

VI-3-3-8 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書

VI-3-3-8-1 非常用電源設備の強度に関する説明書

VI-3-3-8-1-1 非常用発電装置の強度計算書

VI-3-3-8-1-1-1 非常用ディーゼル発電設備の強度計算書

VI-3-3-8-1-1-1-1 空気だめの強度計算書  
(非常用ディーゼル発電設備)

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」、VI-3-2-7「重大事故等クラス2容器の強度計算方法」及びVI-3-2-11「重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件 圧力 (MPa)	DB条件 温度 (℃)	SA条件 圧力 (MPa)					
空気だめ	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	3.24	100	3.24	100	—	S55告示 又は告示	—	SA-2

## 目 次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	3
2.3 だ円形マンホール平板の計算	4
2.4 容器の管台の厚さの計算	5
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	13
2.6 容器の穴の補強計算	15
2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	20
3. 支持構造物の強度計算書	22

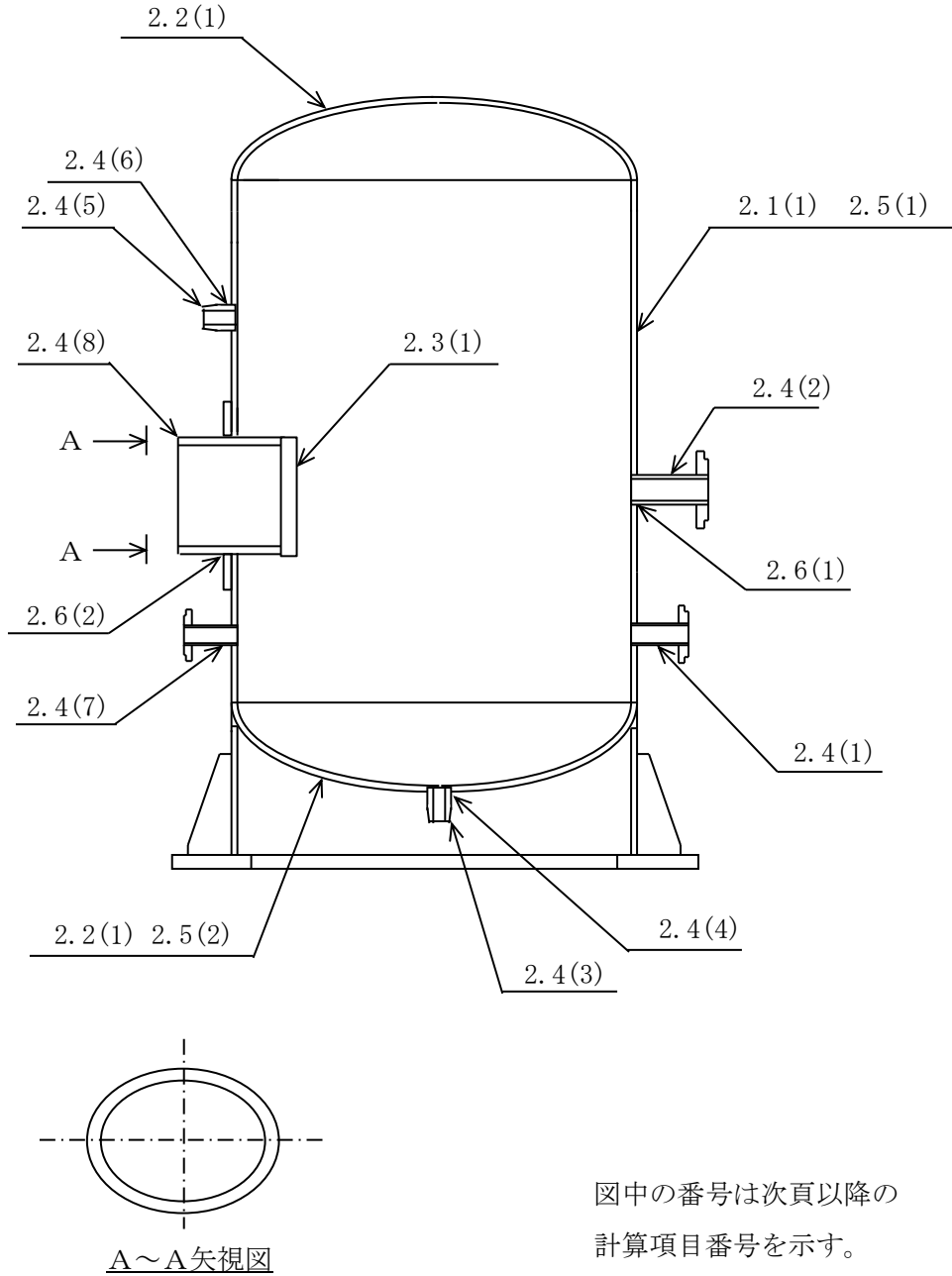
1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

主要寸法 (mm) *		材料
高さ	2544	—
胴内径	1500	—
胴板厚さ	25.00	SB46
鏡板厚さ	27.00	SB46

注記\*：公称値を示す



図中の番号は次頁以降の  
計算項目番号を示す。

図1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	3.24
最高使用温度 (°C)	100



2. 強度計算

2.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称		(1) 胴板
材料		SB46
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
胴の内径	$D_i$ (mm)	1500.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	113
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	21.88
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	21.88
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	25.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	1500.00
鏡板の内面における短径の1/2	$h$ (mm)	375.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SB46
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
胴の内径	$D_i$ (mm)	1500.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	113
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	21.88
必要厚さ	$t_2$ (mm)	21.57
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	21.88
呼び厚さ	$t_{c.o.}$ (mm)	27.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

2.3 だ円形マンホール平板の計算

J I S B 8 2 0 1 6.6.8項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

平板名称			(1) マンホール平板
材料			SB46
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			100
穴の長径	a	(mm)	405.00
穴の短径	b	(mm)	305.00
b / a			0.753
係数	c		7.51
許容引張応力	$\sigma_a$	(MPa)	113
必要厚さ	$t_1$	(mm)	34.39
必要厚さ	$t_2$	(mm)	14.00
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	34.39
呼び厚さ	$t_{po}$	(mm)	40.00
最小厚さ	$t_p$	(mm)	
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。			

## 2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) 空気入口
材料		SF45A
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	$D_o$ (mm)	70.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	1.02
必要厚さ	$t_3$ (mm)	2.70
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$ (mm)	2.70
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	15.80
最小厚さ	$t_n$ (mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(2) 空気出口
材料		SF45A
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	118.10
許容引張応力	S (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	1.72
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	3.40
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	3.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	22.10
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

S2 補 VI-3-3-8-1-1-1-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(3) ドレン
材料		STPT42-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	34.00
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.53
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	4.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	<input type="text"/>
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

S2 補 VI-3-3-8-1-1-1-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(4) ドレン
材料		SF45A
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	60.00
許容引張応力	S (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.88
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	17.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(5) 安全弁
材料		STPT42-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	27.20
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	<input type="text"/>
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(6) 安全弁
材料		SF45A
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	46.00
許容引張応力	S (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.67
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.20
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	13.30
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(7) 圧力計
材料		SF45A
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	$D_o$ (mm)	40.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.59
必要厚さ	$t_3$ (mm)	1.90
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$ (mm)	1.90
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	12.85
最小厚さ	$t_n$ (mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算  
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(8) マンホール
材料			SB46
最高使用圧力	$P$	(MPa)	—
外面に受ける最高の圧力	$P_e$	(MPa)	3.24
最高使用温度	内圧時	(°C)	—
	外圧時	(°C)	100
管台の外径	$D_o$	(mm)	455.00*
許容引張応力	$S$	(MPa)	113
継手効率	$\eta$		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_2$	(mm)	17.75
必要厚さ	$t_3$	(mm)	3.80
$t_2, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	17.75
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	25.00
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

注記\*：管台の外径 $D_o$ は、だ円形マンホールの管台の長径を用いる。

## 2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SB46
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
胴の外径	D (mm)	1550.00
許容引張応力	S (MPa)	113
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	<input type="text"/>
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		<input type="text"/>
$D \cdot t_s$	(mm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	56.96
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		空気出口 (2.6(1)) マンホール(2.6(2))

S2 補 VI-3-3-8-1-1-1-1 R1

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3230(2)




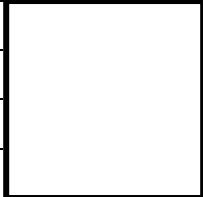
鏡板名称	(2) 鏡板	
材料	SB46	
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	<input type="text"/>
許容引張応力	S (MPa)	113
鏡板の最小厚さ	$t_c$ (mm)	22.01
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	—	
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K	<input type="text"/>	
$D \cdot t_c$	(mm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	56.30
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称	無し	

S2 補 VI-3-3-8-1-1-1-1 R1

## 2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称			(1) 空気出口
胴板材料			SB46
管台材料			SF45A
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			(°C) 100
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	113
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	110
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	118.10
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	1500.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	21.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.72
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$1.696 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	—
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	118.10
溶接寸法	$L_1$	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	83.65
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	$1.845 \times 10^3$
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	81.00
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$2.010 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(1) 空気出口	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$2.177 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$2.826 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$2.177 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	51
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	63
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	79
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	77
応力除去の有無	無し	
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$8.679 \times 10^4$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	$3.353 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	$3.353 \times 10^5$
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	$2.406 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$4.221 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	$3.274 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	$3.353 \times 10^5$
評価： $W_{ebp1} \geq W$ , $W_{ebp2} \geq W$ , $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 W E L D - 1 1

部材名称			(2) マンホール
胴板材料			SB46
管台材料			SB46
強め板材料			SB46
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			(°C) 100
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	113
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	113
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	113
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	367.00
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	1500.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	21.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	17.75
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$6.834 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	618.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	355.00
溶接寸法	$L_1$	(mm)	9.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	15.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	20.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	303.0
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	$2.684 \times 10^3$
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	481.0



強め板の有効補強面積	$A_4$	( $\text{mm}^2$ )	$6.010 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_0$	( $\text{mm}^2$ )	$9.477 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(2) マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.037 \times 10^6$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$7.380 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$7.380 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	51
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	63
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	79
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	79
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.609 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$5.797 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$ (N)	$7.569 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$ (N)	$2.117 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$ (N)	$1.008 \times 10^6$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$ (N)	$1.042 \times 10^6$
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	$7.359 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$1.548 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	$1.848 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	$1.833 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$ (N)	$1.705 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$ (N)	$9.968 \times 10^5$
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。		

## 2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

銅板, 鏡板, マンホール, マンホール平板(使用材料規格: J I S G 3 1 0 3 SB46(SB450))  
 の評価結果(比較材料: J I S G 3 1 1 8 SGV450)

銅板, 鏡板, マンホール, マンホール平板に使用しているSB46は, 材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから, 材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し, 同等であることを示す。

### (1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	46~60kgf/mm <sup>2</sup> (451~588N/mm <sup>2</sup> * <sup>1</sup> )	25kgf/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>2</sup> (245N/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>1</sup> )	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	450~540N/mm <sup>2</sup>	245N/mm <sup>2</sup> 以上	

注記\*1: SI単位化したものを示す。

\*2: 鋼材の厚さが6mm以上200mm以下の場合の値

### (2) 化学的成分

	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.28* <sup>1</sup> 以下	0.15 ~ 0.30	0.90 以下	0.035 以下	0.040 以下	—	—	—	—	—
	0.31* <sup>2</sup> 以下									
	0.33* <sup>3</sup> 以下									
比較材料	0.24* <sup>4</sup> 以下	0.15 ~ 0.40	0.85 ~ 1.20	0.030 以下	0.030 以下	—	—	—	—	—
	0.26* <sup>5</sup> 以下									
	0.28* <sup>6</sup> 以下									
	0.29* <sup>7</sup> 以下									

注記\*1: 鋼材の厚さが25mm以下の場合の値

\*2: 鋼材の厚さが25mmを超え50mm以下の場合の値

\*3: 鋼材の厚さが50mmを超え200mm以下の場合の値

\*4: 鋼材の厚さが12.5mm以下の場合の値

\*5: 鋼材の厚さが12.5mmを超え50mm以下の場合の値

\*6: 鋼材の厚さが50mmを超え100mm以下の場合の値

\*7: 鋼材の厚さが100mmを超え200mm以下の場合の値

(2) 化学的成分 (前頁からの続き)

比較結果	<p>使用材料と比較材料において化学成分規定値に差異のある成分はC, Mn, Si, P及びSの5成分である。</p> <p>C及びMnは材料の機械的強度, 高温強度, 溶接性, じん性及び耐食性のうち応力腐食割れに影響を及ぼす。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・機械的強度については, 影響を及ぼす化学成分規定値 (Siなど) に差異はあるものの, (1)の機械的強度の比較結果より十分な機械的強度を有していることを確認できるため問題はない。</li><li>・高温強度については, 影響を及ぼす化学成分規定値に差異はあるものの, 使用材料は設計・建設規格 PVB-3312に規定された温度域で使用するため問題はない。</li><li>・溶接性については, 影響を及ぼすCの規定値に差異はあるものの, 発電用原子力設備規格 (溶接規格) に定められた数値以下であるため問題はない。</li><li>・じん性については, 影響を及ぼす不純物であるP及びSの規定値に差異はあるものの, 規定値が影響を与えるレベル以下であるため問題はない。</li><li>・耐食性のうち応力腐食割れについては, 影響を及ぼす化学成分規定値に差異はあるものの, 使用条件に対して炭素鋼は応力腐食割れを起こすことはないため問題ない。</li></ul>
------	--

(3) 評価結果

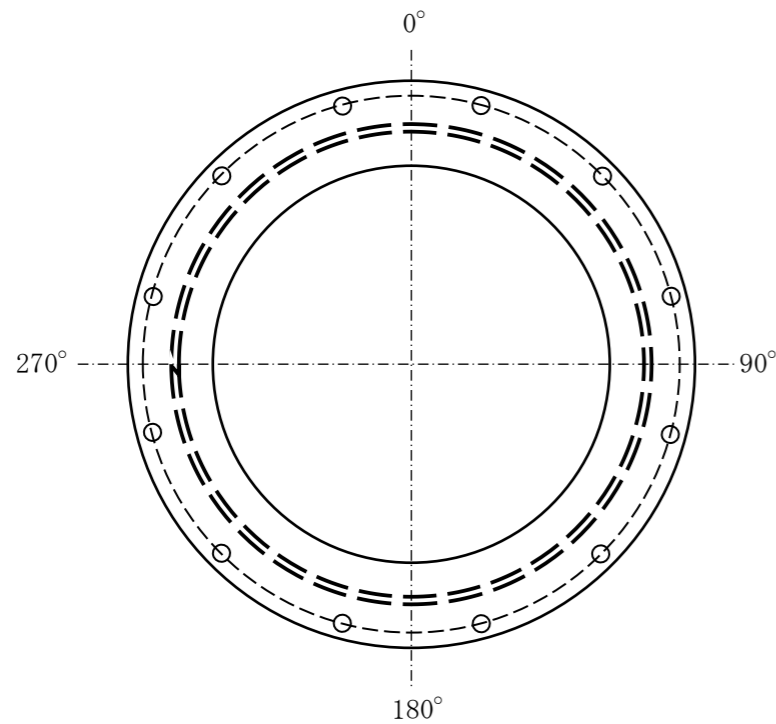
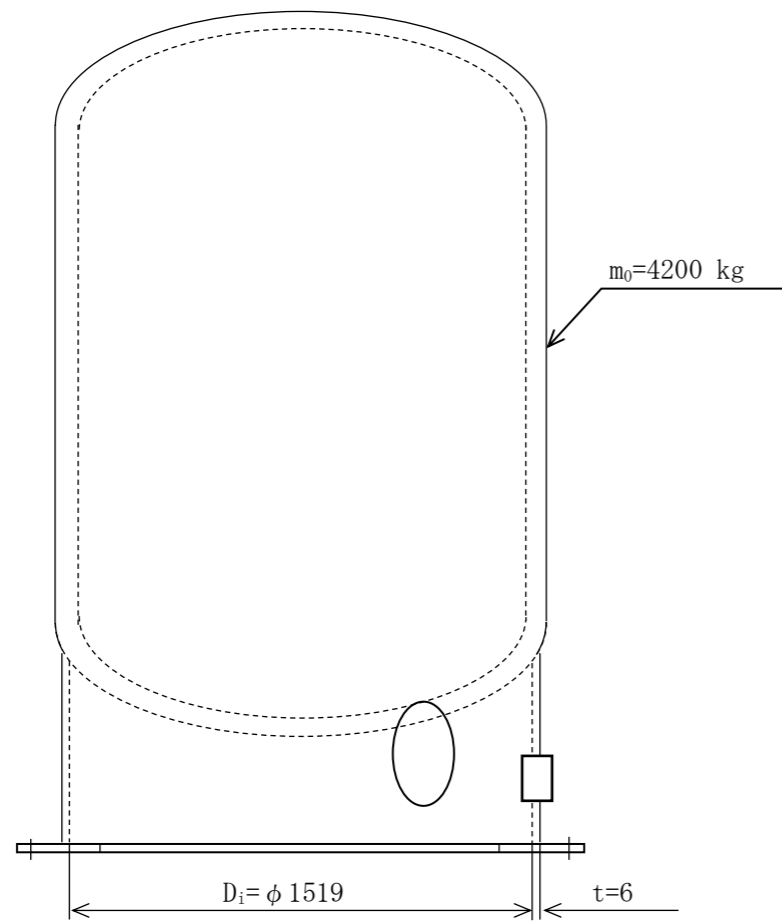
(1), (2)の評価により, 機械的強度, 化学成分, いずれにおいても比較材料と同等であることを確認した。また, 耐食性については, 容器内面において空気だめに貯蔵される内部流体の圧縮空気中に含まれる水分により腐食することが懸念されるが, 適切な塗装を施工し, 腐食防止を図っており, 容器外面についても外面塗装を施工していることから腐食の心配はない。

上記より, 本設備において, SB46 (SB450) を重大事故等クラス2材料として使用することに問題はないと考える。

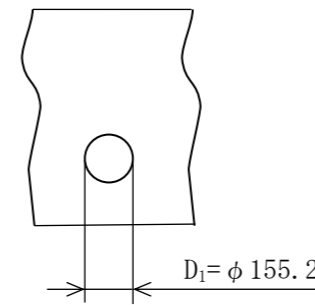
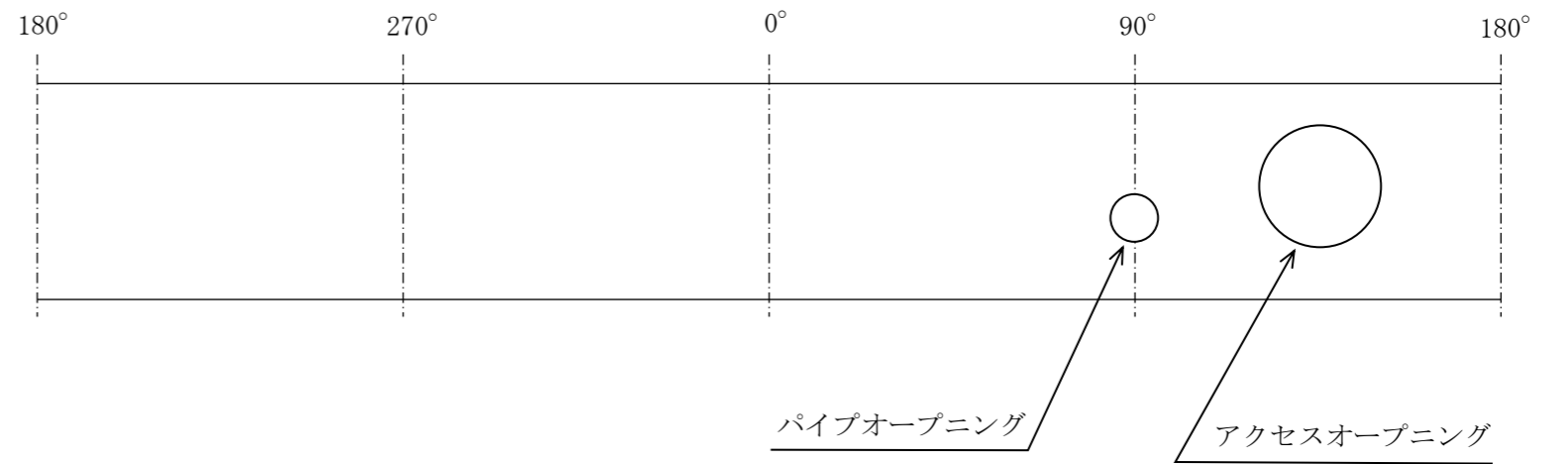
3. 支持構造物の強度計算書

(1) 一次圧縮応力評価

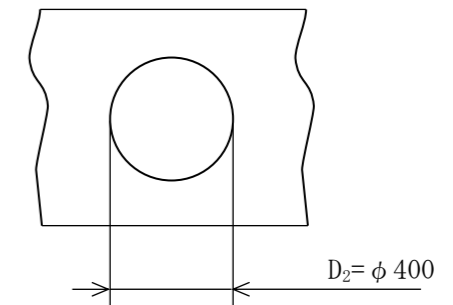
種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 $F_c$ (N)	断面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	一次圧縮応力 $\sigma_c$ (MPa)	許容圧縮応力 $f_c$ (MPa)	評価
スカート支持 たて置円筒型容器	—	SM41A (SM400A)	100	221		$2.538 \times 10^4$	2	147	$\sigma_c$ は, $f_c$ 以下であるので, 強度は十分である。



スカート穴径に関する情報



パイプオープニング



アクセスオープニング

(単位: mm)

空気だめ 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-8-1-1-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の  
強度計算書

VI-3-3-8-1-1-2-1 空気だめの強度計算書  
(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備)



まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」、VI-3-2-7「重大事故等クラス2容器の強度計算方法」及びVI-3-2-11「重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件 圧力 (MPa)	DB条件 温度 (℃)	SA条件 圧力 (MPa)					
空気だめ	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	3.24	100	3.24	100	—	S55告示 又は告示	—	SA-2

## 目 次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	3
2.3 だ円形マンホール平板の計算	4
2.4 容器の管台の厚さの計算	5
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	13
2.6 容器の穴の補強計算	15
2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	20
3. 支持構造物の強度計算書	22

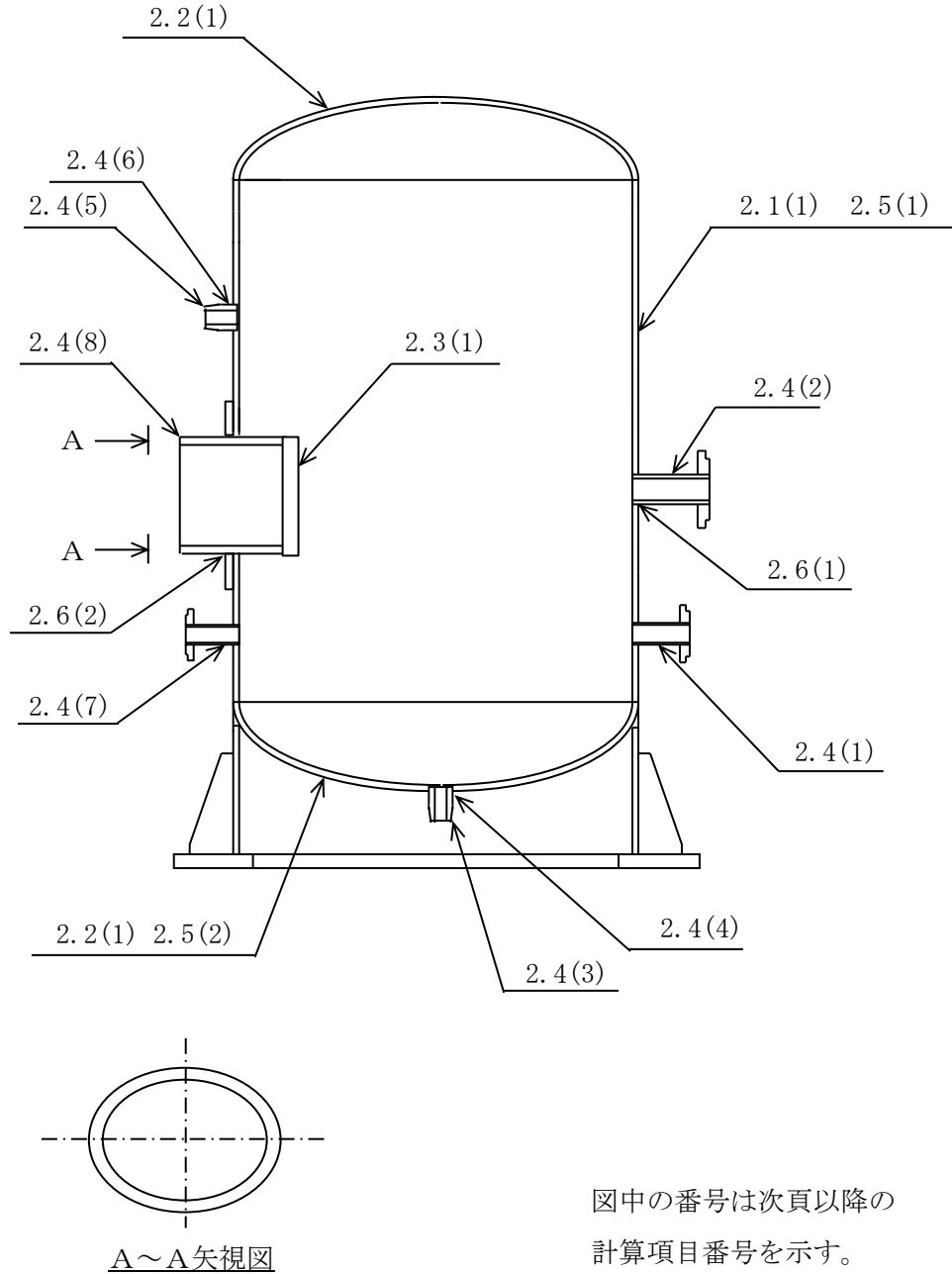
1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

主要寸法 (mm) *		材料
高さ	2544	—
胴内径	1500	—
胴板厚さ	25.00	SB46
鏡板厚さ	27.00	SB46

注記\*：公称値を示す



図中の番号は次頁以降の  
計算項目番号を示す。

図1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	3.24
最高使用温度 (°C)	100

2. 強度計算

2.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称			(1) 胴板
材料			SB46
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			(°C) 100
胴の内径	$D_i$	(mm)	1500.00
許容引張応力	S	(MPa)	113
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			突合せ両側溶接
放射線検査の有無			有り
必要厚さ	$t_1$	(mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$	(mm)	21.88
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	21.88
呼び厚さ	$t_{s.o}$	(mm)	25.00
最小厚さ	$t_s$	(mm)	<input type="text"/>
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。			

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	1500.00
鏡板の内面における短径の1/2	$h$ (mm)	375.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SB46
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
胴の内径	$D_i$ (mm)	1500.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	113
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	21.88
必要厚さ	$t_2$ (mm)	21.57
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	21.88
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	27.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

2.3 だ円形マンホール平板の計算

J I S B 8 2 0 1 6.6.8項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

平板名称			(1) マンホール平板
材料			SB46
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			100
穴の長径	a	(mm)	405.00
穴の短径	b	(mm)	305.00
b / a			0.753
係数	c		7.51
許容引張応力	$\sigma_a$	(MPa)	113
必要厚さ	$t_1$	(mm)	34.39
必要厚さ	$t_2$	(mm)	14.00
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	34.39
呼び厚さ	$t_{po}$	(mm)	40.00
最小厚さ	$t_p$	(mm)	
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。			

## 2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) 空気入口
材料		SF45A
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	$D_o$ (mm)	70.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	1.02
必要厚さ	$t_3$ (mm)	2.70
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$ (mm)	2.70
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	15.80
最小厚さ	$t_n$ (mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(2) 空気出口
材料		SF45A
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	118.10
許容引張応力	S (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	1.72
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	3.40
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	3.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	22.10
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(3) ドレン
材料		STPT42-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	34.00
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.53
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	4.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	<input type="text"/>
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(4) ドレン
材料			SF45A
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			(°C) 100
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.00
許容引張応力	S	(MPa)	110
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.88
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	17.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

S2 補 VI-3-3-8-1-1-2-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(5) 安全弁
材料		STPT42-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	27.20
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	<input type="text"/>
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(6) 安全弁
材料		SF45A
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	46.00
許容引張応力	S (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.67
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.20
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	13.30
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

S2 補 VI-3-3-8-1-1-2-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(7) 圧力計
材料		SF45A
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
管台の外径	$D_o$ (mm)	40.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	110
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.59
必要厚さ	$t_3$ (mm)	1.90
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$ (mm)	1.90
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	12.85
最小厚さ	$t_n$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算  
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(8) マンホール	
材料	SB46	
最高使用圧力	$P$ (MPa)	—
外面に受ける最高の圧力	$P_e$ (MPa)	3.24
最高使用温度	内圧時 (°C)	—
	外圧時 (°C)	100
管台の外径	$D_o$ (mm)	455.00*
許容引張応力	$S$ (MPa)	113
継手効率	$\eta$	—
継手の種類	—	
放射線検査の有無	—	
必要厚さ	$t_2$ (mm)	17.75
必要厚さ	$t_3$ (mm)	3.80
$t_2, t_3$ の大きい値	$t$ (mm)	17.75
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	25.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

注記\*：管台の外径 $D_o$ は，だ円形マンホールの管台の長径を用いる。

## 2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SB46
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
胴の外径	D (mm)	1550.00
許容引張応力	S (MPa)	113
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	<input type="text"/>
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		<input type="text"/>
$D \cdot t_s$	(mm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	56.96
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		空気出口 (2.6(1)) マンホール (2.6(2))

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SB46
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	100
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	1554.00
許容引張応力	S (MPa)	113
鏡板の最小厚さ	$t_c$ (mm)	<input type="text"/>
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		<input type="text"/>
$D \cdot t_c$	(mm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	56.30
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		無し





S2 補 VI-3-3-8-1-1-2-1 R1



## 2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称			(1) 空気出口
胴板材料			SB46
管台材料			SF45A
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			(°C) 100
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	113
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	110
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	118.10
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	1500.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	21.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.72
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$1.696 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	—
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	118.10
溶接寸法	$L_1$	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	83.65
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	$1.845 \times 10^3$
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	81.00
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$2.010 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

補 S2 VI-3-3-8-1-1-2-1 R1

部材名称	(1) 空気出口	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$2.177 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$2.826 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$2.177 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	51
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	63
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	79
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	77
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$8.679 \times 10^4$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	$3.353 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	$3.353 \times 10^5$
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	$2.406 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$4.221 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	$3.274 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	$3.353 \times 10^5$
評価： $W_{ebp1} \geq W$ , $W_{ebp2} \geq W$ , $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 W E L D - 1 1

部材名称			(2) マンホール
胴板材料			SB46
管台材料			SB46
強め板材料			SB46
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			(°C) 100
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	113
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	113
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	113
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	367.00
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	1500.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	21.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	17.75
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$6.834 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	618.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	355.00
溶接寸法	$L_1$	(mm)	9.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	15.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	20.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	303.0
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	$2.684 \times 10^3$
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	481.0

強め板の有効補強面積	$A_4$	( $\text{mm}^2$ )	$6.010 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_0$	( $\text{mm}^2$ )	$9.477 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(2) マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.037 \times 10^6$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$7.380 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$7.380 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	51
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	63
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	79
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	79
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.609 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$5.797 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$ (N)	$7.569 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$ (N)	$2.117 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$ (N)	$1.008 \times 10^6$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$ (N)	$1.042 \times 10^6$
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	$7.359 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$1.548 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	$1.848 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	$1.833 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$ (N)	$1.705 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$ (N)	$9.968 \times 10^5$
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。		

## 2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

銅板, 鏡板, マンホール, マンホール平板(使用材料規格: J I S G 3 1 0 3 SB46(SB450))  
 の評価結果(比較材料: J I S G 3 1 1 8 SGV450)

銅板, 鏡板, マンホール, マンホール平板に使用しているSB46は, 材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから, 材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し, 同等であることを示す。

### (1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	46~60kgf/mm <sup>2</sup> (451~588N/mm <sup>2</sup> * <sup>1</sup> )	25kgf/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>2</sup> (245N/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>1</sup> )	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	450~540N/mm <sup>2</sup>	245N/mm <sup>2</sup> 以上	

注記\*1: SI単位化したものを示す。

\*2: 鋼材の厚さが6mm以上200mm以下の場合の値

### (2) 化学的成分

	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.28* <sup>1</sup> 以下	0.15 ~ 0.30	0.90 以下	0.035 以下	0.040 以下	—	—	—	—	—
	0.31* <sup>2</sup> 以下									
	0.33* <sup>3</sup> 以下									
比較材料	0.24* <sup>4</sup> 以下	0.15 ~ 0.40	0.85 ~ 1.20	0.030 以下	0.030 以下	—	—	—	—	—
	0.26* <sup>5</sup> 以下									
	0.28* <sup>6</sup> 以下									
	0.29* <sup>7</sup> 以下									

注記\*1: 鋼材の厚さが25mm以下の場合の値

\*2: 鋼材の厚さが25mmを超え50mm以下の場合の値

\*3: 鋼材の厚さが50mmを超え200mm以下の場合の値

\*4: 鋼材の厚さが12.5mm以下の場合の値

\*5: 鋼材の厚さが12.5mmを超え50mm以下の場合の値

\*6: 鋼材の厚さが50mmを超え100mm以下の場合の値

\*7: 鋼材の厚さが100mmを超え200mm以下の場合の値

(2) 化学的成分 (前頁からの続き)

比較結果	<p>使用材料と比較材料において化学成分規定値に差異のある成分はC, Mn, Si, P及びSの5成分である。</p> <p>C及びMnは材料の機械的強度, 高温強度, 溶接性, じん性及び耐食性のうち応力腐食割れに影響を及ぼす。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・機械的強度については, 影響を及ぼす化学成分規定値 (Siなど) に差異はあるものの, (1)の機械的強度の比較結果より十分な機械的強度を有していることを確認できるため問題はない。</li><li>・高温強度については, 影響を及ぼす化学成分規定値に差異はあるものの, 使用材料は設計・建設規格 PVB-3312に規定された温度域で使用するため問題はない。</li><li>・溶接性については, 影響を及ぼすCの規定値に差異はあるものの, 発電用原子力設備規格 (溶接規格) に定められた数値以下であるため問題はない。</li><li>・じん性については, 影響を及ぼす不純物であるP及びSの規定値に差異はあるものの, 規定値が影響を与えるレベル以下であるため問題はない。</li><li>・耐食性のうち応力腐食割れについては, 影響を及ぼす化学成分規定値に差異はあるものの, 使用条件に対して炭素鋼は応力腐食割れを起こすことはないため問題ない。</li></ul>
------	--

(3) 評価結果

(1), (2)の評価により, 機械的強度, 化学成分, いずれにおいても比較材料と同等であることを確認した。また, 耐食性については, 容器内面において空気だめに貯蔵される内部流体の圧縮空気中に含まれる水分により腐食することが懸念されるが, 適切な塗装を施工し, 腐食防止を図っており, 容器外面についても外面塗装を施工していることから腐食の心配はない。

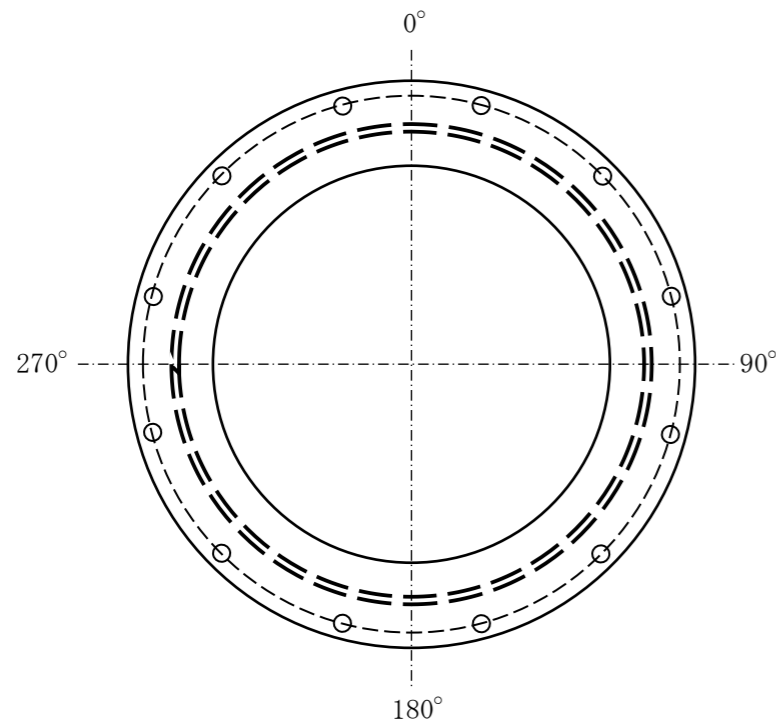
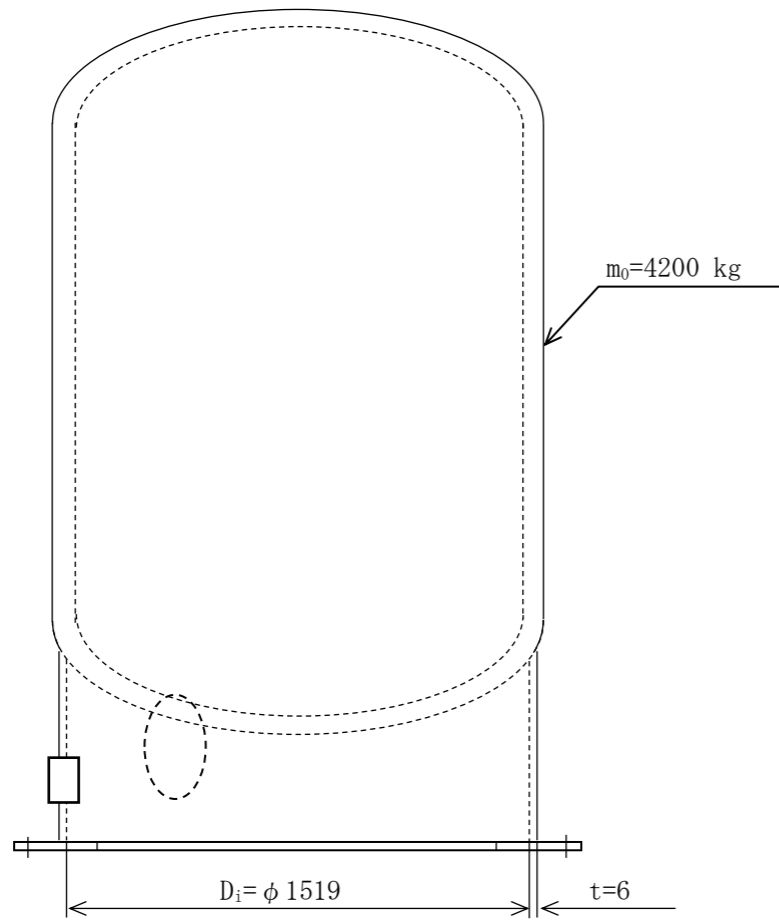
上記より, 本設備において, SB46 (SB450) を重大事故等クラス2材料として使用することに問題はないと考える。

3. 支持構造物の強度計算書

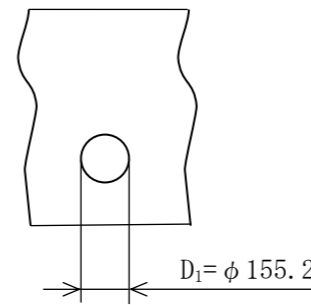
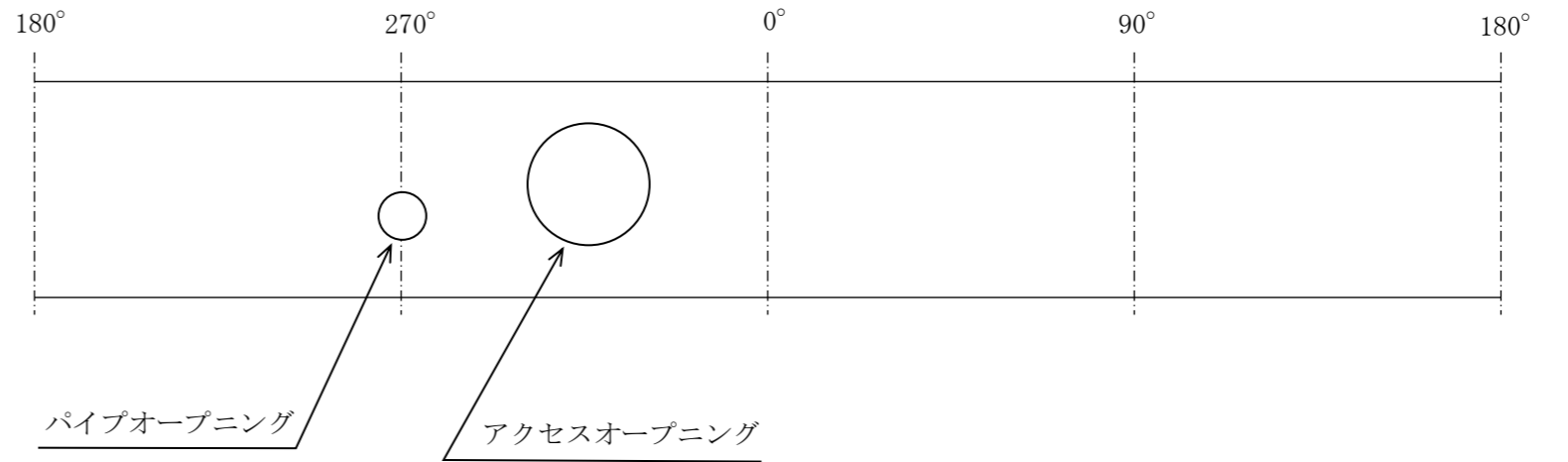
(1) 一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 $F_c$ (N)	断面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	一次圧縮応力 $\sigma_c$ (MPa)	許容圧縮応力 $f_c$ (MPa)	評価
スカート支持 たて置円筒型容器	—	SM41A (SM400A)	100	221		$2.538 \times 10^4$	2	147	$\sigma_c$ は, $f_c$ 以下であるので, 強度は十分である。

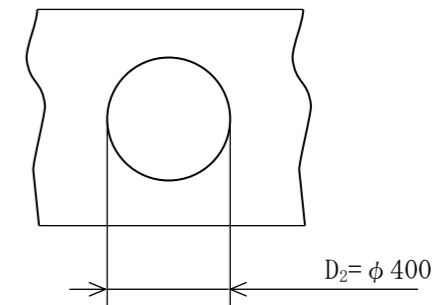




スカート穴径に関する情報



パイプオープニング



アクセスオープニング

(単位：mm)

空気だめ 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-8-1-1-3 高圧発電機の強度計算書

VI-3-3-8-1-1-3-1 冷却水ポンプの強度計算書

(高圧発電機車)

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））（冷却水ポンプ）

I. 非常用発電装置（可搬型）の使用目的及び使用環境、使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量 (kVA/個)
非常用発電装置 (可搬型)	可搬型代替電源設備として、設計基準事故対応設備の電源が喪失した場合に、重大事故等の対応に必要な負荷に電力を供給することを目的とする。使用環境として、屋外で使用する。	500

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量 (kVA/個)	メーカー許容値 (°C)	規格及び基準に基づく試験
内燃機関： 発電機：FSL-GJ-600	災害時等に使用する発電機として、定格出力以内で必要な負荷に対し電力を供給するために使用される。使用環境として、屋外で使用することを想定している。	500	潤滑油温度：115 冷却水温度：95 排気温度：550	温度試験にて、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを確認。
内燃機関： 発電機：E-AF	災害時等に使用する発電機として、定格出力以内で必要な負荷に対し電力を供給するために使用される。使用環境として、屋外で使用することを想定している。	500	潤滑油温度：120 冷却水温度：100 排気温度：650	温度試験にて、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを確認。

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

高圧発電機車は、重大事故等時に屋外で非常用発電装置（可搬型）として使用される。一方、本メーカー規格及び基準は、災害時等に発電機として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋外での使用を想定している。重大事故等における高圧発電機車の使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-3) : 使用条件に対する強度の確認（IIとJEM-1354に規定される温度試験との比較、IとIIの使用条件の比較）

高圧発電機車は、JEM-1354（エンジン駆動陸用同期発電機-温度試験）で規定されている温度試験を実施し、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを試験成績書により確認できる。メーカー許容値は、メーカーにより十分に検証された高圧発電機車各部の機能が保証される温度上昇限度である。

高圧発電機車の容量は、メーカー仕様で定める容量（500kVA/個）の範囲内である。

IV. 評価結果

上記の高圧発電機車は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、内燃機関、燃料タンク及び冷却水ポンプを含めた一体構造品の完成品として、重大事故等時における所要負荷において十分な強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-3-2 高圧発電機車付燃料タンクの強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））  
（高圧発電機車付燃料タンク）

高圧発電機車付燃料タンクは，高圧発電機車の附属機器であり，一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。VI-3-3-8-1-1-3-1「冷却水ポンプの強度計算書（高圧発電機車）」に示すとおり，高圧発電機車付燃料タンクは，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-3-3 タンクローリの強度計算書

(高圧発電機車)



一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）（タンクローリー）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)
だ円型	重大事故等が発生した場合において、ガスタービン発電機用軽油タンク、A-ディーゼル燃料貯蔵タンク、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク又はディーゼル燃料貯蔵タンクから高圧発電機車及び可搬式窒素供給装置用発電設備等に燃料を補給することを目的とする。使用環境として、屋外で燃料を貯蔵、運搬する。	(胴板・鏡板) [ ] (マンホールふた) [ ]	24*	40*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」			
規格及び基準	機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料及び基準に基づく試験
	移動タンク貯蔵所	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的としている。使用環境として、屋外で重油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	規格及び基準に基づく試験 圧力タンクを除くタンクにあっては、水圧試験（試験圧力：70kPa、試験保持時間：10分間）に合格したものに、タンク検査済証の交付がなされる。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
3000 L タンクローリー	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的としている。使用環境として、屋外で軽油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	(胴板・鏡板) [ ] (マンホールふた) [ ]	24*	—	規格及び基準に基づく試験 市町村長等又は行政機関による水圧試験（試験圧力：70kPa、試験保持時間：10分間）に合格している。

注記\*：安全装置の作動圧の最高値を示す。

#### IV. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認 (I と II の使用目的及び使用環境の比較)

当該タンクは、重大事故等時に燃料補給用のタンクローリとして屋外で使用される。一方、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」は、危険物の貯蔵又は取り扱いに関する技術上の規格を定めた一般産業品に対する規格であり、移動タンク貯蔵所は屋外で危険物を貯蔵、運搬することを想定している。重大事故等時における当該タンクの使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-1) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認 (II と III の材料及び試験条件の比較, I と III の使用条件の比較)

当該タンクは、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った適切な材料である鋼板が使用されていることを行政機関によるタンク検査済証により確認できる。

当該タンクの最高使用温度 40℃は、屋外で使用するタンクローリであることから想定内である。また、最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った試験に合格していることを行政機関によるタンク検査済証により確認できることから、当該タンクは要求される強度を有している。

#### V. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は、一般産業品として「消防法」（「危険物の規制に関する政令」含む。）に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-3-4 管の強度計算書  
(高圧発電機車)

VI-3-3-8-1-1-3-4-1 管（可搬）の強度計算書  
(高圧発電機車)

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）（タンクローリー給油用 20m, 7m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境, 材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	ガスタービン発電機用軽油タンク, A-ディーゼル燃料貯蔵タンク, B-ディーゼル燃料貯蔵タンク又はディーゼル燃料貯蔵タンクからタンクローリーへ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で軽油を移送する。	(内側) 補強繊維入り耐油性ゴム (NBR) (外側) 〔耐油性硬質 PVC 一部外周部 耐油性軟質 PVC〕	0.20*	40*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
ラインパワ-AT0 (φ50)	一般給油用又は油圧配管等のホースであり、灯油、軽油、重油を移送するホースとして使用することを目的としている。使用環境として、屋内外で燃料を移送することを想定している。	(内側) 補強繊維入り耐油性ゴム (NBR) (外側) 〔耐油性硬質 PVC 一部外周部 耐油性軟質 PVC〕	0.50	60	耐圧試験（試験圧力：0.75MPa, 試験保持時間：10分間）を実施。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で軽油を移送するためのホースである。一方、本メーカ規格及び基準は、一般給油用等のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外で軽油等の燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較、IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定している JIS K 6349「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.5倍）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は、耐圧部全体に圧力が負荷される試験保持時間（設計・建設規格 PHT-4000）により確認している。なお、設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍を超えないこととしている。一方、設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており、この設計許容応力以下となる必要板厚は、最高使用圧力を条件として評価式により求められている。よって、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を持っているものとみなせるため、当該ホースは要求される強度を有している。

#### IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（タンクローリー送油用 20m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	タンクローリーから高圧発電機車付燃料タンク等へ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で軽油を移送する。	(内側) 導電耐油耐老化性ゴム (外側) 耐油導電耐侯性ゴム	0.20*	40*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
エース ローリーホース	一般給油用又は油圧配管等用のホースであり、灯油、軽油、重油を移送するホースとして使用することを目的としている。使用環境として、屋内外で燃料を移送することを想定している。	(内側) 導電耐油耐老化性ゴム (外側) 耐油導電耐侯性ゴム	1.00	80	耐圧試験（試験圧力： 2.0MPa, 試験保持時間：5 分間）を実施。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることとの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で軽油を移送するためのホースである。一方、本メーカー規格及び基準は、一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外で軽油等の燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較、IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、JIS K 6330「ゴム及びプラスチックホース試験方法」で規定される事項を満足することを確認した一般汎用品として燃料等の移送に用いられるゴムホースと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、ゴム及びプラスチックホースについて規定しているJIS K 6330「ゴム及びプラスチックホース試験方法」に規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×2倍 試験保持時間：30～60秒）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。一方、設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており、この設計許容応力

以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求められている。よって、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計・建設規格と同等の裕度を有しているため、当該ホースは要求される強度を有している。

#### IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。



VI-3-3-8-1-1-4 可搬式窒素供給装置用発電設備の強度計算書

VI-3-3-8-1-1-4-1 冷却水ポンプの強度計算書

(可搬式窒素供給装置用発電設備)

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））（冷却水ポンプ）

I. 非常用発電装置（可搬型）の使用目的及び使用環境、使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量 (kVA/個)
非常用発電装置 (可搬型)	可搬式窒素供給装置専用の非常用発電装置（可搬型）である。使用環境として、屋外で使用する。	220

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量 (kVA/個)	メーカー許容値 (°C)	規格及び基準に基づく試験
内燃機関：いすゞ BH-6UZ1X 発電機：DCA-220LSI	災害時等に使用する発電機として、定格出力以内で必要な負荷に対し電力を供給するために使用される。使用環境として、屋外で使用することを想定している。	220	潤滑油温度：120 冷却水温度：105 排気温度：500	規格試験にて、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを確認。

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

可搬式窒素供給装置用発電設備は、重大事故等時に屋外で非常用発電装置（可搬型）として使用される。一方、本メーカー規格及び基準は、災害時等に発電機として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋外で使用することを想定している。重大事故等時における可搬式窒素供給装置用発電設備の使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-3) : 使用条件に対する強度の確認（IIとJEM-1398に規定される温度試験との比較、IとIIの使用条件の比較）

可搬式窒素供給装置用発電設備は、JEM-1398（ディーゼルエンジン駆動可搬形交流発電装置—温度試験）で規定されている温度試験を実施し、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを試験成績書等により確認できる。メーカー許容値は、メーカーにて実績等により十分に検証された可搬式窒素供給装置用発電設備各部の機能が保証される温度上昇限度である。

可搬式窒素供給装置用発電設備の容量は、メーカー仕様で定める容量（220kVA/個）の範囲内である。

IV. 評価結果

上記の可搬式窒素供給装置用発電設備は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、内燃機関、燃料タンク及び冷却水ポンプを含めた一体構造品の完成品として、重大事故等時における所要負荷において十分な強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-4-2 可搬式窒素供給装置付燃料タンクの強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））  
（可搬式窒素供給装置付燃料タンク）

可搬式窒素供給装置付燃料タンクは、可搬式窒素供給装置用発電設備の附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。VI-3-3-8-1-1-4-1「冷却水ポンプの強度計算書（可搬式窒素供給装置用発電設備）」に示すとおり、可搬式窒素供給装置付燃料タンクは、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-5 緊急時対策所用発電機の強度計算書

VI-3-3-8-1-1-5-1 冷却水ポンプの強度計算書

(緊急時対策所用発電機)



一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型）（冷却水ポンプ））

I. 非常用発電装置（可搬型）の使用目的及び使用環境、使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量 (kVA/個)
非常用発電装置 (可搬型)	重大事故等が発生した場合において、緊急時対策所へ電力を供給することを目的とする。使用環境として、屋外で使用する。	220

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量 (kVA/個)	メーカー許容値 (°C)	規格及び基準に基づく試験
DCA-220LSIB	工事現場等で使用する発電機として、定格出力以内で必要な負荷に対し電力を供給するために使用される。使用環境として、屋内外で使用することを想定している。	220	潤滑油温度 :  冷却水温度 :  排気温度 : 	規格試験にて、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを確認。

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

緊急時対策所用発電機は、重大事故等時に屋外で非常用発電装置（可搬型）として使用される。一方、本メーカー規格及び基準は、工事現場等で発電機として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外での使用を想定している。重大事故等時における緊急時対策所用発電機の使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-3) : 使用条件に対する強度の確認（IIとJEM-1398に規定される温度試験との比較、IとIIの使用条件の比較）

緊急時対策所用発電機は、JEM-1398（ディーゼルエンジン駆動可搬型交流発電装置—温度試験）で規定されている温度試験を実施し、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを試験成績書により確認できる。メーカー許容値は、メーカーにて実績等により十分に検証された緊急時対策所用発電機各部の機能が保証される温度上昇限度である。

緊急時対策所用発電機の容量は、メーカー仕様で定める容量（220kVA/個）の範囲内である。

IV. 評価結果

上記の緊急時対策所用発電機は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、内燃機関、燃料タンク及び冷却水ポンプを含めた一体構造品の完成品として重大事故等時における所要負荷において十分な強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-5-2 緊急時対策所用発電機付燃料タンクの強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））  
(緊急時対策所用発電機付燃料タンク)

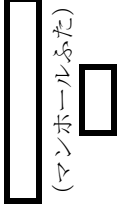
緊急時対策所用発電機付燃料タンクは、緊急時対策所用発電機の附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。VI-3-3-8-1-1-5-1「冷却水ポンプの強度計算書（緊急時対策所用発電機）」に示すとおり、緊急時対策所用発電機付燃料タンクは、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-5-3 タンクローリの強度計算書

(緊急時対策所用発電機)

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）（タンクローリ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件


種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)
だ円型	重大事故等が発生した場合において、緊急時対策所用燃料地下タンクから緊急時対策所用発電機に燃料を補給することを目的とする。使用環境として、屋外で燃料を貯蔵、運搬する。	(胴板・鏡板)  (マンホールふた)	24*	40*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準		「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」		
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)
移動タンク貯蔵所	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的としている。使用環境として、屋外で重油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	厚さ 3.2mm 以上の鋼板又はこれと同等以上の機械的性質を有する材料	—	—
				規格及び基準に基づく試験 圧力タンクを除くタンクにあっては、水圧試験（試験圧力：70kPa，試験保持時間：10分間）に合格したものに、タンク検査済証の交付がなされる。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)
3000 L タンクローリ	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的としている。使用環境として、屋外で軽油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	(胴板・鏡板)  (マンホールふた)	24*	—
				規格及び基準に基づく試験 市町村長等又は行政機関による水圧試験（試験圧力：70kPa，試験保持時間：10分間）に合格している。

注記\*：安全装置の作動圧の最高値を示す。

#### IV. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることとの確認 (I と II の使用目的及び使用環境の比較)

当該タンクは、重大事故等時に燃料補給用のタンクローリとして屋外で使用される。一方、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」は、危険物の貯蔵又は取り扱いに関する技術上の規格を定めた一般産業品に対する規格であり、移動タンク貯蔵所は屋外で危険物を貯蔵、運搬することを想定している。重大事故等時における当該タンクの使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-1) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認 (II と III の材料及び試験条件の比較, I と III の使用条件の比較)

当該タンクは、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った適切な材料である鋼板が使用されていることを行政機関によるタンク検査済証により確認できる。

当該タンクの最高使用温度 40℃は、屋外で使用するタンクローリであることから想定内である。また、最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った試験に合格していることを行政機関によるタンク検査済証により確認できることから、当該タンクは要求される強度を有している。

#### V. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は、一般産業品として「消防法」(「危険物の規制に関する政令」含む。)に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-8-1-1-5-4 管の強度計算書  
(緊急時対策所用発電機)



VI-3-3-8-1-1-5-4-1 管（可搬）の強度計算書

（緊急時対策所用発電機）

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）（タンクローリ給油用 7m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	緊急時対策用燃料地下タンクからタンクローリへ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で軽油を移送する。	補強繊維入り耐油性ゴム (NBR) (内側) (外側) 〔耐油性硬質PVC 一部外周部 耐油性軟質PVC〕	0.20*	40*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
ラインパワ－A10 (φ50)	一般給油用又は油圧配管用等のホースであり、灯油、軽油、重油を移送するホースとして使用することを目的としている。使用環境として、屋内外で燃料を移送することを想定している。	補強繊維入り耐油性ゴム (NBR) (内側) (外側) 〔耐油性硬質PVC 一部外周部 耐油性軟質PVC〕	0.50	60	耐圧試験（試験圧力： 0.75MPa, 試験保持時間：10 分間）を実施。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で軽油を移送するためのホースである。一方、本メーカ規格及び基準は、一般給油用等のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外で軽油等の燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較、IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定しているJIS K 6349「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.5倍）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は、耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（設計・建設規格 PHT-4000）により確認している。なお、設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍の106%を超えないこととしている。一方、設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており、この設計許容応力以下となる必要板厚は、最高使用圧力を条件として評価式により求められている。よって、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を持つているものとみなせるため、当該ホースは要求される強度を有している。

#### IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（タンクローリ送油用 20m ホース）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	タンクローリから緊急時対策所用発電機付燃料タンクへ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で軽油を移送する。	(内側) 導電耐油耐老化性ゴム (外側) 耐油導電耐候性ゴム	0.20*	40*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
エース ローリホース	一般給油又は油圧配管用等のホースであり、灯油、軽油、重油を移送するホースとして使用することを目的としている。使用環境として、屋内外で燃料を移送することを想定している。	(内側) 導電耐油耐老化性ゴム (外側) 耐油導電耐候性ゴム	1.00	80	耐圧試験（試験圧力： 2.0MPa, 試験保持時間：5 分間）を実施。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることとの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で軽油を移送するためのホースである。一方、本メーカー規格及び基準は、一般給油等のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外で軽油等の燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較、IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、JIS K 6330「ゴム及びプラスチックホース試験方法」で規定される事項を満足することを確認した一般汎用品として燃料等の移送に用いられるゴムホースと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、ゴム及びプラスチックホースについて規定しているJIS K 6330「ゴム及びプラスチックホース試験方法」に規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×2倍 試験保持時間：30～60秒）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。一方、設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており、この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求められている。よって、設計・建設規格 PHT-2311で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計・建設規格と同等の裕度を有しているため、当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

## VI-3-3-8-2 火災防護設備の強度計算書

VI-3-3-8-2-1 サイトバンカ建物消火タンクの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-5「クラス3容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。  
 評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件 圧力 (MPa)	温度 (°C)	SA条件 圧力 (MPa)						温度 (°C)
サイトバンカ建物消火タンク	新設	—	—	—	DB-3	—	—	—	—	—	静水頭 66	—	—	—	—	DB-3



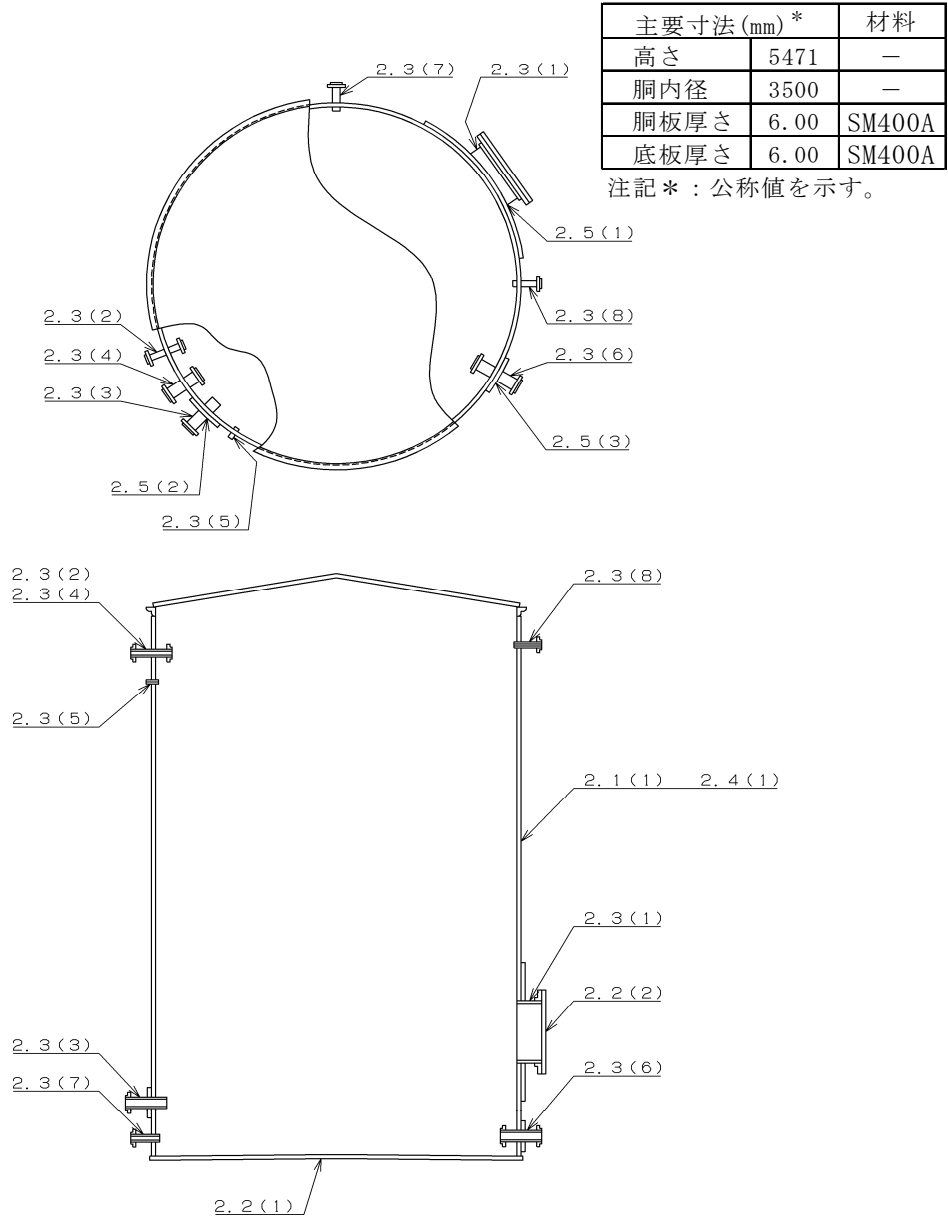
## 目 次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 開放タンクの胴の厚さの計算	2
2.2 開放タンクの底板の厚さの計算	3
2.3 開放タンクの管台の厚さの計算	5
2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算	13
2.5 開放タンクの穴の補強計算	14

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の  
計算項目番号を示す。

図1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	66
液体の比重	1.00

2. 強度計算

2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3920準用)

胴板名称	(1) 胴板		
材料	SM400A		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
胴の内径	D <sub>i</sub>	(m)	3.50
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	100
継手効率	$\eta$		0.70
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	無し		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	3.00
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	1.34
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	3.00
呼び厚さ	t <sub>s0</sub>	(mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	4.60
評価：t <sub>s</sub> ≥ t, よって十分である。			

## 2.2 開放タンクの底板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1)準用)

底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(1)準用)

底板の厚さ

底板名称		(1) 底板
材料		SM400A
必要厚さ	t (mm)	3.00
呼び厚さ	t <sub>bo</sub> (mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>b</sub> (mm)	4.60
評価：t <sub>b</sub> ≥ t，よって十分である。		

開放タンクの底板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1) 準用)  
 底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(2) 準用)  
 取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 側マンホール平板
平板の取付け方法	(n)
平板の穴の有無	無し

(ハ) 設計・建設規格 PVD-3310  
 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 側マンホール平板	
平板材料	SS400	
ボルト材料	SS400 (直径40mm超えるもの)	
ガスケット材料	非石綿ジョイントシート	
ガスケット厚さ (mm)	3.0	
ガスケット座面の形状	1a-II	
最高使用圧力 P (MPa)	0.05	
最高使用温度 (°C)	66	
平板の許容引張応力 S (MPa)	100	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時) (20°C) S <sub>a</sub> (MPa)	54
	最高使用温度(使用状態) S <sub>b</sub> (MPa)	54
ボルト中心円の直径 C (mm)	730.00	
ボルト呼び	M30	
ボルト本数 n	24	
ボルト谷径 d <sub>b</sub> (mm)	26.211	
実際のボルト総有効断面積 A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	1.295 × 10 <sup>4</sup>	
ガスケット接触面の外径 G <sub>s</sub> (mm)	690.00	
ガスケット接触面の幅 N (mm)	37.50	
ガスケット係数 m	2.00	
最小設計締付圧力 y (N/mm <sup>2</sup> )	11.0	
ガスケット座の基本幅 b <sub>o</sub> (mm)	18.75	
ガスケット座の有効幅 b (mm)	10.91	
平板の径 (ガスケット有効径) d = G (mm)	668.18	
内圧による全荷重 W = H (N)	1.879 × 10 <sup>4</sup>	
使用状態での最小ボルト荷重 W <sub>m1</sub> (N)	2.370 × 10 <sup>4</sup>	
ガスケット締付最小ボルト荷重 W <sub>m2</sub> (N)	2.520 × 10 <sup>5</sup>	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態 A <sub>m1</sub> (mm <sup>2</sup> )	438.9
	ガスケット締付時 A <sub>m2</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666 × 10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値 A <sub>m</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666 × 10 <sup>3</sup>
ボルト荷重	使用状態 W <sub>o</sub> (N)	2.370 × 10 <sup>4</sup>
	ガスケット締付時 W <sub>g</sub> (N)	4.756 × 10 <sup>5</sup>
	いずれか大きい値 F (N)	4.756 × 10 <sup>5</sup>
モーメントアーム h <sub>g</sub> (mm)	30.91	
取付け方法による係数 K	1.37	
必要厚さ t (mm)	18.12	
呼び厚さ t <sub>p o</sub> (mm)	20.00	
最小厚さ t <sub>p</sub> (mm)	20.00	
評価： t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。		

2.3 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(1) 側マンホール		
材料	STPY400		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.5842
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	70*
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.23
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	12.70
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	10.63
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 5(備考)2. ロ. に基づき0.7倍した値を用いた。

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(2) 受入		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.0495
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$	(mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	4.01
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(3) 流体出口		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0971
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.03
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	8.60
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	6.72
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			



開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(4) テストライン		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0623
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.70
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	7.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	5.32
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(5) ミニマムフロー		
材料	S25C (直径100mm以下)		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0345
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	110
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.01
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	1.90
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	1.90
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	4.20
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(6) ドレン		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0971
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.03
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	8.60
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	6.72
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(7) 予備		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度			(°C) 66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0623
液体の比重	ρ		
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	η		
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.70
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	7.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	5.32
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(8) オーバーフロー		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	5.4650
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0495
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	4.01
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算  
設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板
評価：補強の計算を要する85mmを超える穴の名称	側マンホール(2.5(1)) 流体出口(2.5(2)) ドレン(2.5(3))

2.5 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-12

部材名称		(1) 側マンホール
胴板材料		SM400A
管台材料		STPY400
強め板材料		SM400A
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	70*
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	588.34
管台が取り付く穴の径	d <sub>w</sub> (mm)	622.00
胴板の最小厚さ	t <sub>s</sub> (mm)	4.60
管台の最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	10.63
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	D <sub>i</sub> (mm)	3500.00
胴板の計算上必要な厚さ	t <sub>s r</sub> (mm)	0.94
管台の計算上必要な厚さ	t <sub>n r</sub> (mm)	0.23
穴の補強に必要な面積	A <sub>r</sub> (mm <sup>2</sup> )	558.0
補強の有効範囲	X <sub>1</sub> (mm)	588.34
補強の有効範囲	X <sub>2</sub> (mm)	588.34
補強の有効範囲	X (mm)	1176.68
補強の有効範囲	Y <sub>1</sub> (mm)	11.50
強め板の最小厚さ	t <sub>e</sub> (mm)	4.60
強め板の外径	B <sub>e</sub> (mm)	1255.00
管台の外径	D <sub>o n</sub> (mm)	609.60
溶接寸法	L <sub>1</sub> (mm)	6.00
溶接寸法	L <sub>2</sub> (mm)	—
胴板の有効補強面積	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	2.131×10 <sup>3</sup>
管台の有効補強面積	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	167.5
すみ肉溶接部の有効補強面積	A <sub>3</sub> (mm <sup>2</sup> )	36.00
強め板の有効補強面積	A <sub>4</sub> (mm <sup>2</sup> )	2.609×10 <sup>3</sup>
補強に有効な総面積	A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.943×10 <sup>3</sup>
評価：A <sub>0</sub> >A <sub>r</sub> ，よって十分である。		

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 5(備考)2. ロ. に基づき0.7倍した値を用いた。

部材名称	(1) 側マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$2.812 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-1.547 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-1.547 \times 10^5$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		



開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附図 WELD-18

部材名称	(2) 流体出口		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.05
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	100.85
管台が取り付く穴の径	d <sub>w</sub>	(mm)	126.30
胴板の最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	6.72
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D <sub>i</sub>	(mm)	3500.00
胴板の計算上必要な厚さ	t <sub>s r</sub>	(mm)	0.94
管台の計算上必要な厚さ	t <sub>n r</sub>	(mm)	0.03
穴の補強に必要な面積	A <sub>r</sub>	(mm <sup>2</sup> )	95.50
補強の有効範囲	X <sub>1</sub>	(mm)	100.85
補強の有効範囲	X <sub>2</sub>	(mm)	100.85
補強の有効範囲	X	(mm)	201.70
補強の有効範囲	Y <sub>1</sub>	(mm)	11.50
補強の有効範囲	Y <sub>2</sub>	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	t <sub>e</sub>	(mm)	4.60
強め板の外径	B <sub>e</sub>	(mm)	305.00
管台の外径	D <sub>o n</sub>	(mm)	114.30
溶接寸法	L <sub>1</sub>	(mm)	6.00
溶接寸法	L <sub>2</sub>	(mm)	—
溶接寸法	L <sub>3</sub>	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A <sub>1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	365.8
管台の有効補強面積	A <sub>2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	287.1
すみ肉溶接部の有効補強面積	A <sub>3</sub>	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	A <sub>4</sub>	(mm <sup>2</sup> )	402.0
補強に有効な総面積	A <sub>o</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.172×10 <sup>3</sup>
評価：A <sub>o</sub> >A <sub>r</sub> ，よって十分である。			

部材名称	(2) 流体出口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)	$8.061 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	$-2.474 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	$-2.474 \times 10^4$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附図 WELD-18

部材名称	(3) ドレン		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.05
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	100.85
管台が取り付く穴の径	d <sub>w</sub>	(mm)	126.30
胴板の最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	6.72
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D <sub>i</sub>	(mm)	3500.00
胴板の計算上必要な厚さ	t <sub>s r</sub>	(mm)	0.94
管台の計算上必要な厚さ	t <sub>n r</sub>	(mm)	0.03
穴の補強に必要な面積	A <sub>r</sub>	(mm <sup>2</sup> )	95.50
補強の有効範囲	X <sub>1</sub>	(mm)	100.85
補強の有効範囲	X <sub>2</sub>	(mm)	100.85
補強の有効範囲	X	(mm)	201.70
補強の有効範囲	Y <sub>1</sub>	(mm)	11.50
補強の有効範囲	Y <sub>2</sub>	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	t <sub>e</sub>	(mm)	4.60
強め板の外径	B <sub>e</sub>	(mm)	305.00
管台の外径	D <sub>o n</sub>	(mm)	114.30
溶接寸法	L <sub>1</sub>	(mm)	6.00
溶接寸法	L <sub>2</sub>	(mm)	—
溶接寸法	L <sub>3</sub>	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A <sub>1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	365.8
管台の有効補強面積	A <sub>2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	287.1
すみ肉溶接部の有効補強面積	A <sub>3</sub>	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	A <sub>4</sub>	(mm <sup>2</sup> )	402.0
補強に有効な総面積	A <sub>o</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.172×10 <sup>3</sup>
評価：A <sub>o</sub> >A <sub>r</sub> ，よって十分である。			

部材名称	(3) ドレン
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)	$8.061 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	$-2.474 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	$-2.474 \times 10^4$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

VI-3-3-8-2-2 4 4 m盤消火タンクの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-5「クラス3容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。  
 評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)					
4.4 m盤消火タンク	新設	—	—	—	DB-3	—	—	—	66	静水頭	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

## 目 次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 開放タンクの胴の厚さの計算	2
2.2 開放タンクの底板の厚さの計算	3
2.3 開放タンクの管台の厚さの計算	5
2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算	13
2.5 開放タンクの穴の補強計算	14

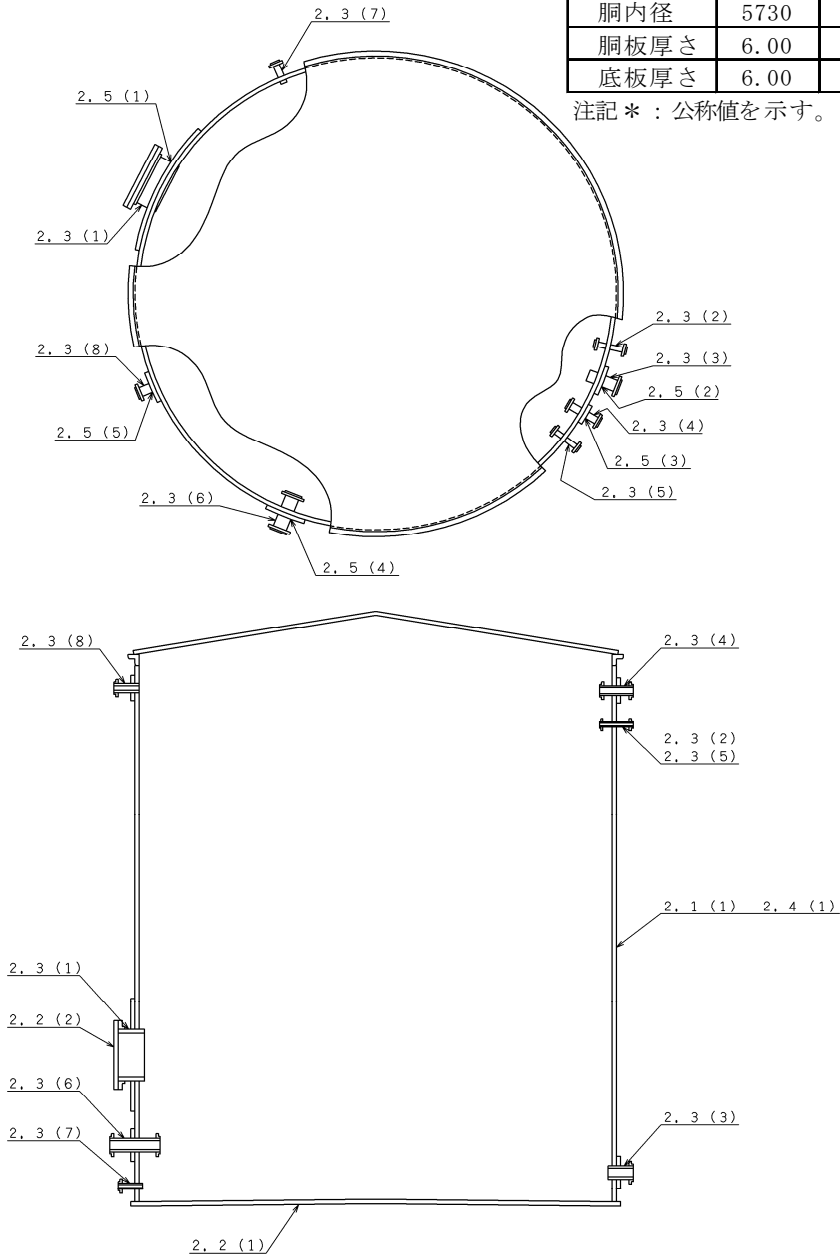
1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

主要寸法(mm)*		材料
高さ	6696	—
胴内径	5730	—
胴板厚さ	6.00	SM400A
底板厚さ	6.00	SM400A

注記\*：公称値を示す。



図中の番号は次頁以降の計算項目番号を示す。

図1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	66
液体の比重	1.00



2. 強度計算

2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3920準用)

胴板名称	(1) 胴板		
材料	SM400A		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
胴の内径	D <sub>i</sub>	(m)	5.73
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	100
継手効率	$\eta$		0.70
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	無し		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	3.00
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.69
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	4.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	4.50
呼び厚さ	t <sub>s0</sub>	(mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	4.60
評価: t <sub>s</sub> ≥ t, よって十分である。			

## 2.2 開放タンクの底板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1)準用)

底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(1)準用)

底板の厚さ

底板名称		(1) 底板
材料		SM400A
必要厚さ	t (mm)	3.00
呼び厚さ	t <sub>bo</sub> (mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>b</sub> (mm)	4.70
評価：t <sub>b</sub> ≥ t，よって十分である。		

開放タンクの底板の厚さの計算  
 (イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1) 準用)  
 底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(2) 準用)  
 取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 側マンホール平板
平板の取付け方法	(n)
平板の穴の有無	無し

(ハ) 設計・建設規格 PVD-3310  
 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 側マンホール平板		
平板材料	SS400		
ボルト材料	SS400 (直径40mmを超えるもの)		
ガスケット材料	非石綿ジョイントシート		
ガスケット厚さ	(mm)	3.0	
ガスケット座面の形状	1a-II		
最高使用圧力	P (MPa)	0.07	
最高使用温度	(°C)	66	
平板の許容引張応力	S (MPa)	100	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時) (20°C)	S <sub>a</sub> (MPa)	54
	最高使用温度(使用状態)	S <sub>b</sub> (MPa)	54
ボルト中心円の直径	C (mm)	730.00	
ボルト呼び	M30		
ボルト本数	n	24	
ボルト谷径	d <sub>b</sub> (mm)	26.211	
実際のボルト総有効断面積	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	1.295×10 <sup>4</sup>	
ガスケット接触面の外径	G <sub>s</sub> (mm)	690.00	
ガスケット接触面の幅	N (mm)	37.50	
ガスケット係数	m	2.00	
最小設計締付圧力	y (N/mm <sup>2</sup> )	11.0	
ガスケット座の基本幅	b <sub>o</sub> (mm)	18.75	
ガスケット座の有効幅	b (mm)	10.91	
平板の径(ガスケット有効径)	d = G (mm)	668.18	
内圧による全荷重	W = H (N)	2.300×10 <sup>4</sup>	
使用状態での最小ボルト荷重	W <sub>m1</sub> (N)	2.902×10 <sup>4</sup>	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W <sub>m2</sub> (N)	2.520×10 <sup>5</sup>	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A <sub>m1</sub> (mm <sup>2</sup> )	537.3
	ガスケット締付時	A <sub>m2</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666×10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値	A <sub>m</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666×10 <sup>3</sup>
ボルト荷重	使用状態	W <sub>o</sub> (N)	2.902×10 <sup>4</sup>
	ガスケット締付時	W <sub>g</sub> (N)	4.756×10 <sup>5</sup>
	いずれか大きい値	F (N)	4.756×10 <sup>5</sup>
モーメントアーム	h <sub>g</sub> (mm)	30.91	
取付け方法による係数	K	1.16	
必要厚さ	t (mm)	18.41	
呼び厚さ	t <sub>p o</sub> (mm)	20.00	
最小厚さ	t <sub>p</sub> (mm)	20.00	
評価：t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。			

2.3 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(1) 側マンホール		
材料	STPY400		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.5842
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	70*
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.28
必要厚さ	$t_2$	(mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$	(mm)	10.63
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 5(備考)2. ロ. に基づき0.7倍した値を用いた。

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(2) 受入		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0495
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	4.01
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(3) 流体出口		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.1432
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.05
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	11.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	8.82
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(4) テストライン		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0971
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.04
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	8.60
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	6.72
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(5) ミニマムフロー		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0495
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	4.01
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			



開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(6) ドレン		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.1432
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.05
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	11.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	8.82
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称		(7) 予備
材料		STPG370-S
水頭	H (m)	6.6900
最高使用温度	(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub> (m)	0.0623
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.03
必要厚さ	t <sub>2</sub> (mm)	2.70
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t (mm)	2.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	7.00
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	5.32
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(8) オーバーフロー		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0971
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.04
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	8.60
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	6.72
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算  
 設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板
評価：補強の計算を要する85mmを超える穴の名称	側マンホール(2.5(1)) 流体出口(2.5(2)) テストライン(2.5(3)) ドレン(2.5(4)) オーバーフロー(2.5(5))

2.5 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(1) 側マンホール		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPY400		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	70*
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	588.34
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	622.00
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	10.63
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.28
穴の補強に必要な面積	$A_r$	( $\text{mm}^2$ )	$1.118 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	588.34
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	588.34
補強の有効範囲	X	(mm)	1176.68
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	11.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	4.70
強め板の外径	$B_e$	(mm)	1255.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	609.60
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	( $\text{mm}^2$ )	$1.583 \times 10^3$
管台の有効補強面積	$A_2$	( $\text{mm}^2$ )	337.8
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	( $\text{mm}^2$ )	36.00
強め板の有効補強面積	$A_4$	( $\text{mm}^2$ )	$2.665 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_0$	( $\text{mm}^2$ )	$4.622 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 5(備考)2. ロ. に基づき0.7倍した値を用いた。

部材名称	(1) 側マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.039 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-4.131 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-4.131 \times 10^4$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(2) 流体出口		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	147.55
管台が取り付く穴の径	d <sub>w</sub>	(mm)	177.20
胴板の最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	8.82
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D <sub>i</sub>	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	t <sub>s r</sub>	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	t <sub>n r</sub>	(mm)	0.06
穴の補強に必要な面積	A <sub>r</sub>	(mm <sup>2</sup> )	279.8
補強の有効範囲	X <sub>1</sub>	(mm)	147.55
補強の有効範囲	X <sub>2</sub>	(mm)	147.55
補強の有効範囲	X	(mm)	295.10
補強の有効範囲	Y <sub>1</sub>	(mm)	11.50
補強の有効範囲	Y <sub>2</sub>	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	t <sub>e</sub>	(mm)	4.70
強め板の外径	B <sub>e</sub>	(mm)	400.00
管台の外径	D <sub>o n</sub>	(mm)	165.20
溶接寸法	L <sub>1</sub>	(mm)	6.00
溶接寸法	L <sub>2</sub>	(mm)	—
溶接寸法	L <sub>3</sub>	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A <sub>1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	397.9
管台の有効補強面積	A <sub>2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	376.4
すみ肉溶接部の有効補強面積	A <sub>3</sub>	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	A <sub>4</sub>	(mm <sup>2</sup> )	610.5
補強に有効な総面積	A <sub>o</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.502×10 <sup>3</sup>
評価：A <sub>o</sub> >A <sub>r</sub> ，よって十分である。			

部材名称	(2) 流体出口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)	$1.104 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	$-6.472 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	$-6.472 \times 10^3$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	



開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(3) テストライン		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	100.85
管台が取り付く穴の径	d <sub>w</sub>	(mm)	126.30
胴板の最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	6.72
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D <sub>i</sub>	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	t <sub>s r</sub>	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	t <sub>n r</sub>	(mm)	0.04
穴の補強に必要な面積	A <sub>r</sub>	(mm <sup>2</sup> )	191.4
補強の有効範囲	X <sub>1</sub>	(mm)	100.85
補強の有効範囲	X <sub>2</sub>	(mm)	100.85
補強の有効範囲	X	(mm)	201.70
補強の有効範囲	Y <sub>1</sub>	(mm)	11.50
補強の有効範囲	Y <sub>2</sub>	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	t <sub>e</sub>	(mm)	4.70
強め板の外径	B <sub>e</sub>	(mm)	305.00
管台の外径	D <sub>o n</sub>	(mm)	114.30
溶接寸法	L <sub>1</sub>	(mm)	6.00
溶接寸法	L <sub>2</sub>	(mm)	—
溶接寸法	L <sub>3</sub>	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A <sub>1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	271.7
管台の有効補強面積	A <sub>2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	286.9
すみ肉溶接部の有効補強面積	A <sub>3</sub>	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	A <sub>4</sub>	(mm <sup>2</sup> )	410.8
補強に有効な総面積	A <sub>o</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.086×10 <sup>3</sup>
評価：A <sub>o</sub> >A <sub>r</sub> ，よって十分である。			

部材名称	(3) テストライン	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$8.147 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-3.422 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-3.422 \times 10^3$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附図 WELD-18

部材名称	(4) ドレン		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	147.55
管台が取り付く穴の径	d <sub>w</sub>	(mm)	177.20
胴板の最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	8.82
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D <sub>i</sub>	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	t <sub>s r</sub>	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	t <sub>n r</sub>	(mm)	0.06
穴の補強に必要な面積	A <sub>r</sub>	(mm <sup>2</sup> )	279.8
補強の有効範囲	X <sub>1</sub>	(mm)	147.55
補強の有効範囲	X <sub>2</sub>	(mm)	147.55
補強の有効範囲	X	(mm)	295.10
補強の有効範囲	Y <sub>1</sub>	(mm)	11.50
補強の有効範囲	Y <sub>2</sub>	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	t <sub>e</sub>	(mm)	4.70
強め板の外径	B <sub>e</sub>	(mm)	400.00
管台の外径	D <sub>o n</sub>	(mm)	165.20
溶接寸法	L <sub>1</sub>	(mm)	6.00
溶接寸法	L <sub>2</sub>	(mm)	—
溶接寸法	L <sub>3</sub>	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A <sub>1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	397.9
管台の有効補強面積	A <sub>2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	376.4
すみ肉溶接部の有効補強面積	A <sub>3</sub>	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	A <sub>4</sub>	(mm <sup>2</sup> )	610.5
補強に有効な総面積	A <sub>o</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.502×10 <sup>3</sup>
評価：A <sub>o</sub> >A <sub>r</sub> ，よって十分である。			

部材名称	(4) ドレン
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)	$1.104 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	$-6.472 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	$-6.472 \times 10^3$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-12

部材名称		(5) オーバーフロー
胴板材料		SM400A
管台材料		STPG370-S
強め板材料		SM400A
最高使用圧力	P (MPa)	0.07
最高使用温度	(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	100.85
管台が取り付く穴の径	$d_w$ (mm)	126.30
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	4.60
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	6.72
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	0.04
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	191.4
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	100.85
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	100.85
補強の有効範囲	X (mm)	201.70
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	11.50
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	4.70
強め板の外径	$B_e$ (mm)	305.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	114.30
溶接寸法	$L_1$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$ (mm)	—
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	271.7
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	143.1
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	36.00
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	410.8
補強に有効な総面積	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	861.6
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。		

部材名称	(5) オーバーフロー	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$5.899 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-3.422 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-3.422 \times 10^3$
評価： $W < 0$ ， よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

VI-3-3-8-2-3 4 5 m盤消火タンクの強度計算書





## 目 次

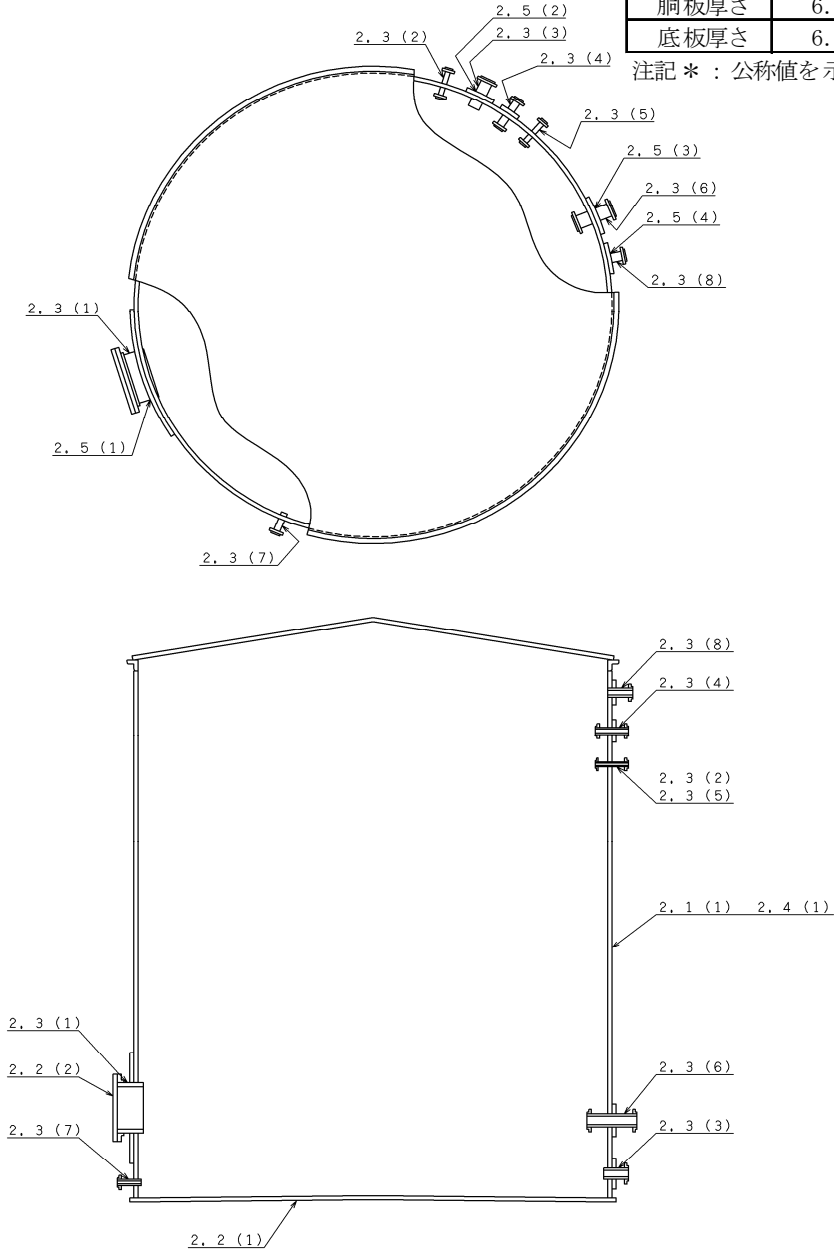
1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 開放タンクの胴の厚さの計算	2
2.2 開放タンクの底板の厚さの計算	3
2.3 開放タンクの管台の厚さの計算	5
2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算	13
2.5 開放タンクの穴の補強計算	14

1. 計算条件  
 1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

主要寸法(mm)*		材料
高さ	6696	—
胴内径	5730	—
胴板厚さ	6.00	SM400A
底板厚さ	6.00	SM400A

注記\*：公称値を示す。



図中の番号は次頁以降の  
 計算項目番号を示す。

図1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	66
液体の比重	1.00

## 2. 強度計算

### 2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3920準用)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SM400A
水頭	H (m)	6.6900
最高使用温度	(°C)	66
胴の内径	D <sub>i</sub> (m)	5.73
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	3.00
必要厚さ	t <sub>2</sub> (mm)	2.69
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	4.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	t <sub>s o</sub> (mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>s</sub> (mm)	4.60
評価: t <sub>s</sub> ≥ t, よって十分である。		

## 2.2 開放タンクの底板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1)準用)

底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(1)準用)

底板の厚さ

底板名称		(1) 底板
材料		SM400A
必要厚さ	t (mm)	3.00
呼び厚さ	t <sub>bo</sub> (mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>b</sub> (mm)	4.70
評価：t <sub>b</sub> ≥ t, よって十分である。		

開放タンクの底板の厚さの計算  
 (イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1) 準用)  
 底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(2) 準用)  
 取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 側マンホール平板
平板の取付け方法	(n)
平板の穴の有無	無し

(ハ) 設計・建設規格 PVD-3310  
 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 側マンホール平板		
平板材料	SS400		
ボルト材料	SS400 (直径40mmを超えるもの)		
ガスケット材料	非石綿ジョイントシート		
ガスケット厚さ	(mm)	3.0	
ガスケット座面の形状	1a-II		
最高使用圧力	P (MPa)	0.07	
最高使用温度	(°C)	66	
平板の許容引張応力	S (MPa)	100	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S <sub>a</sub> (MPa)	54
	最高使用温度(使用状態)	S <sub>b</sub> (MPa)	54
ボルト中心円の直径	C (mm)	730.00	
ボルト呼び	M30		
ボルト本数	n	24	
ボルト谷径	d <sub>b</sub> (mm)	26.211	
実際のボルト総有効断面積	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	1.295×10 <sup>4</sup>	
ガスケット接触面の外径	G <sub>s</sub> (mm)	690.00	
ガスケット接触面の幅	N (mm)	37.50	
ガスケット係数	m	2.00	
最小設計締付圧力	y (N/mm <sup>2</sup> )	11.0	
ガスケット座の基本幅	b <sub>o</sub> (mm)	18.75	
ガスケット座の有効幅	b (mm)	10.91	
平板の径(ガスケット有効径)	d = G (mm)	668.18	
内圧による全荷重	W = H (N)	2.300×10 <sup>4</sup>	
使用状態での最小ボルト荷重	W <sub>m1</sub> (N)	2.902×10 <sup>4</sup>	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W <sub>m2</sub> (N)	2.520×10 <sup>5</sup>	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A <sub>m1</sub> (mm <sup>2</sup> )	537.3
	ガスケット締付時	A <sub>m2</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666×10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値	A <sub>m</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666×10 <sup>3</sup>
ボルト荷重	使用状態	W <sub>o</sub> (N)	2.902×10 <sup>4</sup>
	ガスケット締付時	W <sub>g</sub> (N)	4.756×10 <sup>5</sup>
	いずれか大きい値	F (N)	4.756×10 <sup>5</sup>
モーメントアーム	h <sub>g</sub> (mm)	30.91	
取付け方法による係数	K	1.16	
必要厚さ	t (mm)	18.41	
呼び厚さ	t <sub>po</sub> (mm)	20.00	
最小厚さ	t <sub>p</sub> (mm)	20.00	
評価： t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。			

### 2.3 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称			(1) 側マンホール
材料			STPY400
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度			66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.5842
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	70*
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.28
必要厚さ	$t_2$	(mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$	(mm)	10.63
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 5(備考)2. ロ. に基づき0.7倍した値を用いた。

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称			(2) 受入
材料			STPG370-S
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度			(°C) 66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0495
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	4.01
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称			(3) 流体出口
材料			STPG370-S
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度			(°C) 66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.1208
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.05
必要厚さ	$t_2$	(mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	9.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	7.51
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			



開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(4) テストライン		
材料	STPG370-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0739
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.03
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	7.60
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	5.85
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称			(5) ミニマムフロー
材料			STPG370-S
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度			66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.0495
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$	(mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	4.01
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称			(6) ドレン
材料			STPG370-S
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度			66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.1432
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.05
必要厚さ	$t_2$	(mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	11.00
最小厚さ	$t_n$	(mm)	8.82
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称		(7) 予備
材料		STPG370-S
水頭	H (m)	6.6900
最高使用温度	(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub> (m)	0.0623
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.03
必要厚さ	t <sub>2</sub> (mm)	2.70
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t (mm)	2.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	7.00
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	5.32
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称			(8) オーバーフロー
材料			STPG370-S
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度			66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.0971
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.04
必要厚さ	$t_2$	(mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	8.60
最小厚さ	$t_n$	(mm)	6.72
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算  
 設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板
評価：補強の計算を要する85mmを超える穴の名称	側マンホール(2.5(1)) 流体出口(2.5(2)) ドレン(2.5(3)) オーバーフロー(2.5(4))

2.5 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(1) 側マンホール		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPY400		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	70*
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	588.34
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	622.00
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	10.63
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.28
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$1.118 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	588.34
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	588.34
補強の有効範囲	X	(mm)	1176.68
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	11.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	4.70
強め板の外径	$B_e$	(mm)	1255.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	609.60
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	$1.583 \times 10^3$
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	337.8
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	36.00
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	$2.665 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$4.622 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 5(備考)2. ロ. に基づき0.7倍した値を用いた。

部材名称	(1) 側マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.039 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-4.131 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-4.131 \times 10^4$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		



開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附図 WELD-18

部材名称	(2) 流体出口		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	124.78
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	151.80
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	7.51
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.05
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	236.6
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	124.78
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	124.78
補強の有効範囲	X	(mm)	249.55
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	11.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	4.70
強め板の外径	$B_e$	(mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	139.80
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	336.5
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	320.4
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	515.8
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$1.290 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(2) 流体出口	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$9.533 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-5.104 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-5.104 \times 10^3$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(3) ドレン		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	147.55
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	177.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	8.82
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.06
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	279.8
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	147.55
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	147.55
補強の有効範囲	X	(mm)	295.10
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	11.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	4.70
強め板の外径	$B_e$	(mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	397.9
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	376.4
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	610.5
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$1.502 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(3) ドレン		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$1.104 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$-6.472 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$-6.472 \times 10^3$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。			

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-12

部材名称	(4) オーバーフロー		
胴板材料	SM400A		
管台材料	STPG370-S		
強め板材料	SM400A		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	100.85
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	126.30
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	4.60
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	6.72
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.04
穴の補強に必要な面積	$A_r$	( $\text{mm}^2$ )	191.4
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	100.85
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	100.85
補強の有効範囲	X	(mm)	201.70
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	11.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	4.70
強め板の外径	$B_e$	(mm)	305.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	114.30
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
胴板の有効補強面積	$A_1$	( $\text{mm}^2$ )	271.7
管台の有効補強面積	$A_2$	( $\text{mm}^2$ )	143.1
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	( $\text{mm}^2$ )	36.00
強め板の有効補強面積	$A_4$	( $\text{mm}^2$ )	410.8
補強に有効な総面積	$A_0$	( $\text{mm}^2$ )	861.6
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(4) オーバーフロー		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$5.899 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$-3.422 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$-3.422 \times 10^3$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。			

VI-3-3-8-2-4 50m盤消火タンクの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-5「クラス3容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。  
 評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか			条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス		
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件							SA条件	
								圧力 (MPa)	温度 (°C)						圧力 (MPa)	温度 (°C)
50 m <sup>3</sup> 盤消火タンク	新設	—	—	—	DB-3	—	—	—	—	静水頭 66	—	—	—	—	DB-3	



## 目 次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 開放タンクの胴の厚さの計算	2
2.2 開放タンクの底板の厚さの計算	3
2.3 開放タンクの管台の厚さの計算	5
2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算	13
2.5 開放タンクの穴の補強計算	14

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

主要寸法(mm)*		材料
高さ	6696	—
胴内径	5730	—
胴板厚さ	6.00	SM400B
底板厚さ	6.00	SM400B

注記\*：公称値を示す。

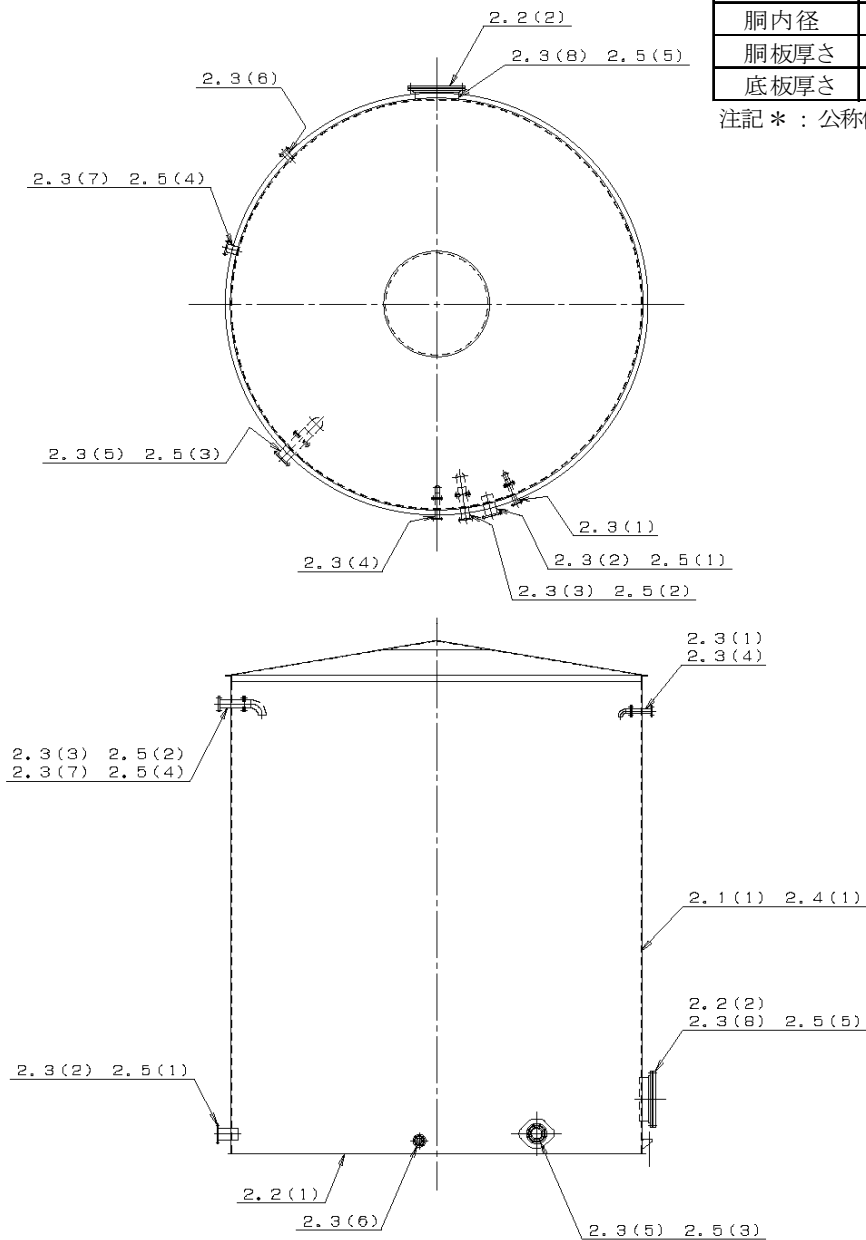


図1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	66
液体の比重	1.00

2. 強度計算

2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3920準用)

胴板名称	(1) 胴板		
材料	SM400B		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
胴の内径	D <sub>i</sub>	(m)	5.73
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	100
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	3.00
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.69
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	4.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	4.50
呼び厚さ	t <sub>s0</sub>	(mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	
評価: t <sub>s</sub> ≥ t, よって十分である。			

2.2 開放タンクの底板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1) 準用)

底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(1) 準用)

底板の厚さ

底板名称	(1) 底板		
材料	SM400B		
必要厚さ	t	(mm)	3.00
呼び厚さ	t <sub>bo</sub>	(mm)	6.00
最小厚さ	t <sub>b</sub>	(mm)	
評価： t <sub>b</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの底板の厚さの計算  
 (イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1) 準用)  
 底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(2) 準用)  
 取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 側マンホール平板
平板の取付け方法	(n)
平板の穴の有無	無し

(ハ) 設計・建設規格 PVD-3310  
 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 側マンホール平板	
平板材料	SF440A	
ボルト材料	SS400 (直径40mm超えるもの)	
ガスケット材料	非石綿ジョイントシート	
ガスケット厚さ (mm)	3.0	
ガスケット座面の形状	1a-II	
最高使用圧力 P (MPa)	0.07	
最高使用温度 (°C)	66	
平板の許容引張応力 S (MPa)	110	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時) (20°C) S <sub>a</sub> (MPa)	54
	最高使用温度(使用状態) S <sub>b</sub> (MPa)	54
ボルト中心円の直径 C (mm)		
ボルト呼び		
ボルト本数 n		
ボルト谷径 d <sub>b</sub> (mm)		
実際のボルト総有効断面積 A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )		
ガスケット接触面の外径 G <sub>s</sub> (mm)		
ガスケット接触面の幅 N (mm)		
ガスケット係数 m		
最小設計締付圧力 y (N/mm <sup>2</sup> )		
ガスケット座の基本幅 b <sub>o</sub> (mm)		
ガスケット座の有効幅 b (mm)		
平板の径 (ガスケット有効径) d = G (mm)		
内圧による全荷重 W = H (N)		2.300 × 10 <sup>4</sup>
使用状態での最小ボルト荷重 W <sub>m1</sub> (N)		2.902 × 10 <sup>4</sup>
ガスケット締付最小ボルト荷重 W <sub>m2</sub> (N)		2.520 × 10 <sup>5</sup>
ボルトの所要総有効断面積	使用状態 A <sub>m1</sub> (mm <sup>2</sup> )	537.3
	ガスケット締付時 A <sub>m2</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666 × 10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値 A <sub>m</sub> (mm <sup>2</sup> )	4.666 × 10 <sup>3</sup>
ボルト荷重	使用状態 W <sub>o</sub> (N)	2.902 × 10 <sup>4</sup>
	ガスケット締付時 W <sub>g</sub> (N)	4.756 × 10 <sup>5</sup>
	いずれか大きい値 F (N)	4.756 × 10 <sup>5</sup>
モーメントアーム h <sub>g</sub> (mm)		30.91
取付け方法による係数 K		
必要厚さ t (mm)		17.55
呼び厚さ t <sub>p o</sub> (mm)		36.00
最小厚さ t <sub>p</sub> (mm)		
評価： t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。		

2.3 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(1) 受入		
材料	STPT410-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0495
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(2) 流体出口		
材料	STPT410-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.1432
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.05
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	11.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(3) テストライン		
材料	STPT410-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0971
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.03
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	8.60
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			



開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(4) ミニマムフロー		
材料	STPT410-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0495
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(5) ドレン		
材料	STPT410-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.1432
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.05
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	11.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(6) 予備		
材料	STPT410-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.0623
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.02
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	2.70
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	2.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	7.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(7) オーバーフロー		
材料	STPT410-S		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	$D_i$	(m)	0.0971
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	$\eta$		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.03
必要厚さ	$t_2$	(mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	8.60
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(8) 側マンホール		
材料	SM400B		
水頭	H	(m)	6.6900
最高使用温度		(°C)	66
管台の内径	D <sub>i</sub>	(m)	0.5856
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	100
継手効率	η		
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.28
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	3.50
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	12.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算  
 設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板
評価：補強の計算を要する85mmを超える穴の名称	流体出口(2.5(1)) テストライン(2.5(2)) ドレン(2.5(3)) オーバーフロー(2.5(4)) 側マンホール(2.5(5))

2.5 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(1) 流体出口		
胴板材料	SM400B		
管台材料	STPT410-S		
強め板材料	SM400B		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	147.00
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		
係数	F		
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.05
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	276.4
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	147.00
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	147.00
補強の有効範囲	X	(mm)	294.00
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	12.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	12.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	458.6
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	453.8
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	579.6
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$1.609 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(1) 流体出口		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$1.150 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$-1.254 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$-1.254 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ， よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。			



開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(2) テストライン		
胴板材料	SM400B		
管台材料	STPT410-S		
強め板材料	SM400B		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	100.30
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		
係数	F		
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.04
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	188.6
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	100.30
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	100.30
補強の有効範囲	X	(mm)	200.60
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	12.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	12.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	305.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	114.30
溶接寸法	$L_1$	(mm)	
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	312.9
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	349.2
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	388.4
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$1.167 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(2) テストライン		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$8.546 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$-7.541 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$-7.541 \times 10^3$
評価： $W < 0$ ， よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。			

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(3) ドレン		
胴板材料	SM400B		
管台材料	STPT410-S		
強め板材料	SM400B		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	147.00
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		
係数	F		
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.05
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	276.4
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	147.00
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	147.00
補強の有効範囲	X	(mm)	294.00
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	12.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	12.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	458.6
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	453.8
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	579.6
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$1.609 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(3) ドレン		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$1.150 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$-1.254 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$-1.254 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ， よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。			

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附图 WELD-18

部材名称	(4) オーバーフロー		
胴板材料	SM400B		
管台材料	STPT410-S		
強め板材料	SM400B		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	100.30
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		
係数	F		
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.04
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	188.6
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	100.30
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	100.30
補強の有効範囲	X	(mm)	200.60
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	12.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	12.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	305.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	114.30
溶接寸法	$L_1$	(mm)	
溶接寸法	$L_2$	(mm)	-
溶接寸法	$L_3$	(mm)	
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	312.9
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	349.2
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	388.4
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$1.167 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(4) オーバーフロー		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$8.546 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$-7.541 \times 10^3$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$-7.541 \times 10^3$
評価： $W < 0$ ， よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。			

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附図 WELD-18

部材名称	(5) 側マンホール		
胴板材料	SM400B		
管台材料	SM400B		
強め板材料	SM400B		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.07
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	100
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	589.60
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		
係数	F		
胴の内径	$D_i$	(mm)	5730.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.88
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.20
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$1.109 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	589.60
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	589.60
補強の有効範囲	X	(mm)	1179.20
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	12.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	12.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	1255.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	609.60
溶接寸法	$L_1$	(mm)	
溶接寸法	$L_2$	(mm)	—
溶接寸法	$L_3$	(mm)	
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	$1.839 \times 10^3$
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	495.2
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	$2.563 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$5.015 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(5) 側マンホール		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$3.175 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$-6.705 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$-6.705 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ， よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。			



VI-3-3-8-2-5 管の強度計算書  
(火災防護設備)

VI-3-3-8-2-5-1 管の強度計算書  
(水消火設備 (2号炉廻り))

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

## ・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
							圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)						
1~4 E1~E2	新設	—	—	DB-3	—	—	静水頭	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	
5~8, 11~12,15 E3~E5	新設	—	—	DB-3	—	—	1.20	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	
9~10, 13~14	既設	有	Non	DB-3	—	無	1.20	66	—	—	—	—	設計・建設規格 又は告示	—	DB-3	

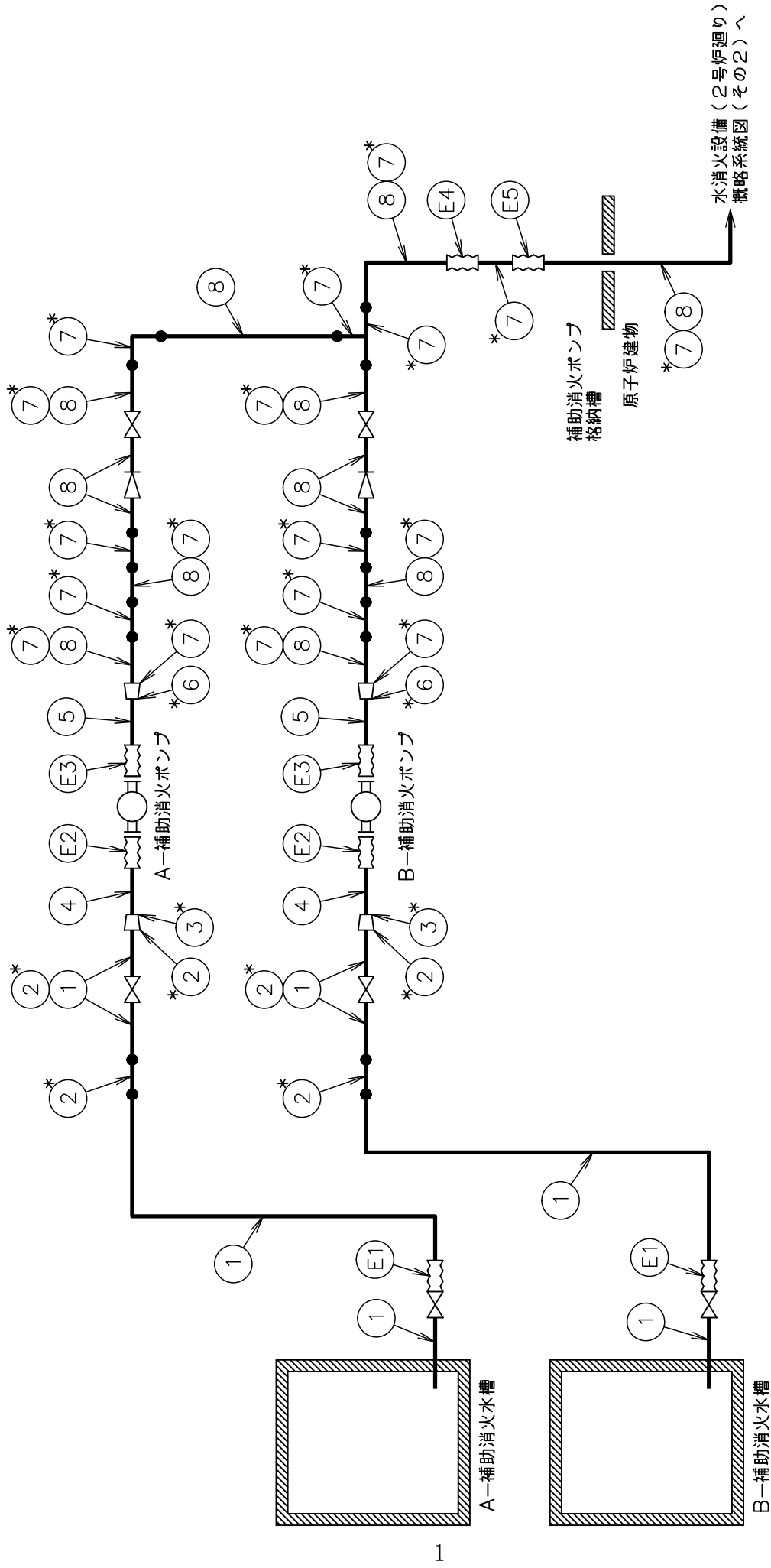
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～8, 11～12, 15	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
9～10, 13～14	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
T1	管の穴と補強計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
E1～E5	伸縮継手の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

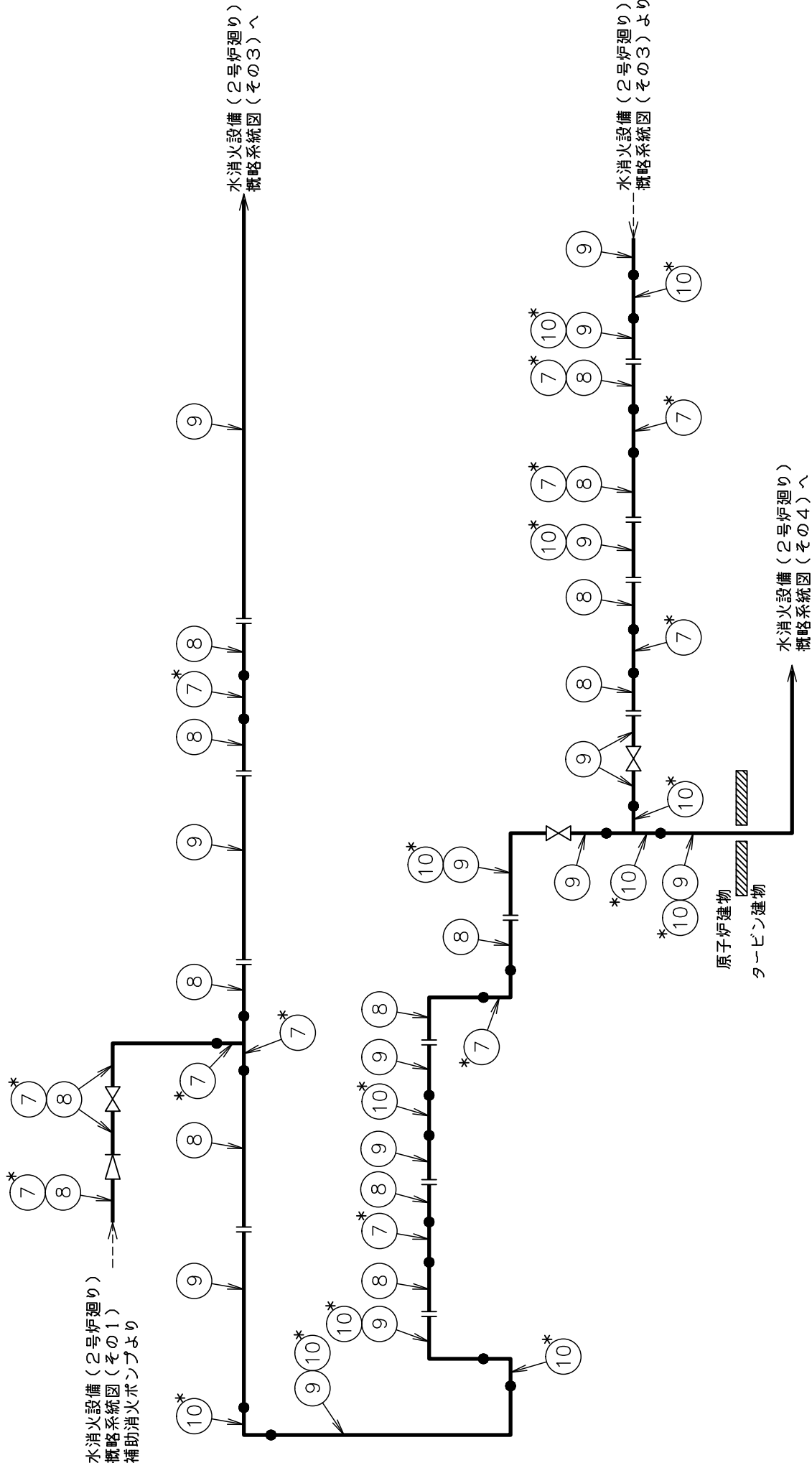
## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	6
3. 管の穴と補強計算書	8
4. 伸縮継手の強度計算書	9

1. 概略系統図

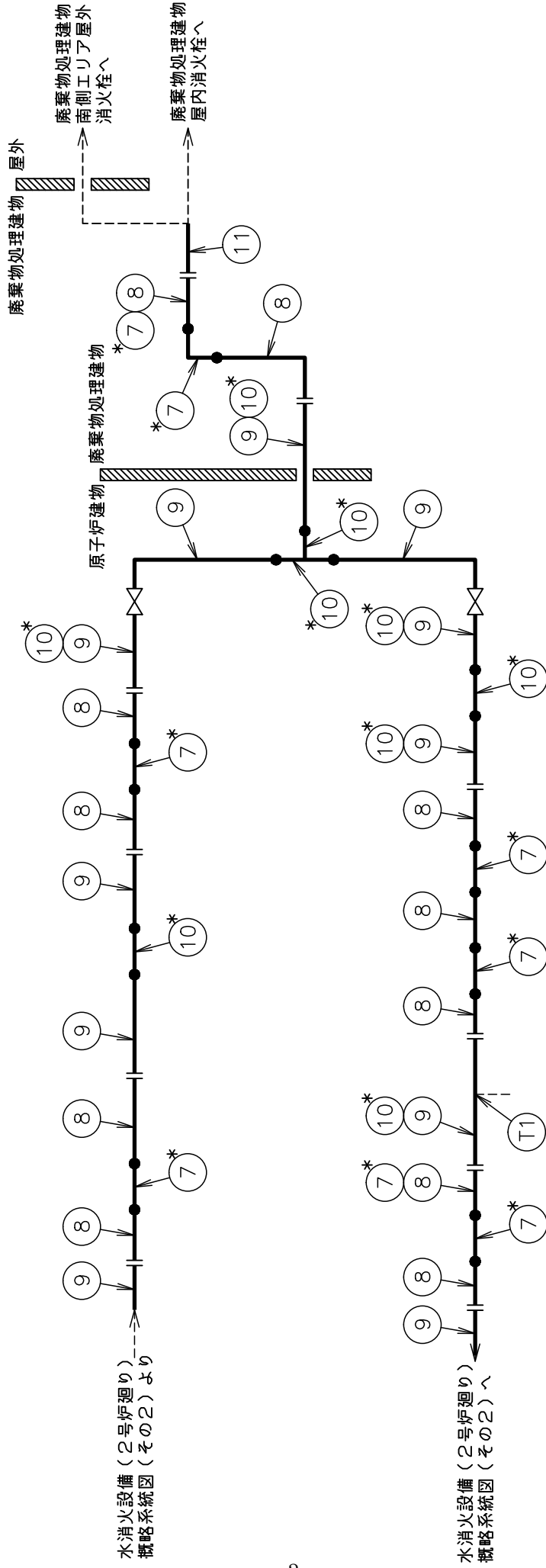


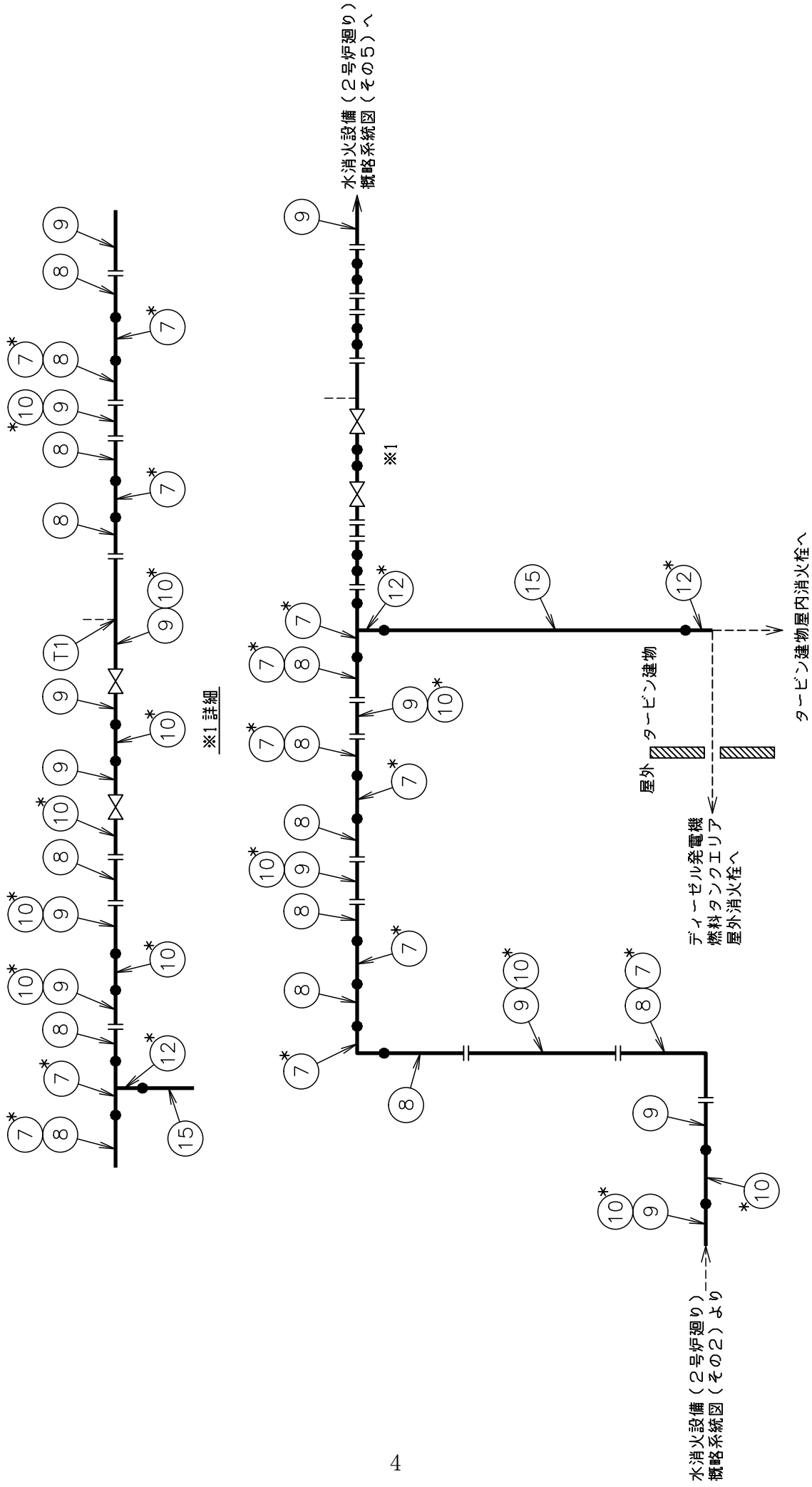
注記\*：管継手  
 水消火設備（2号炉廻り）概略系統図（その1）



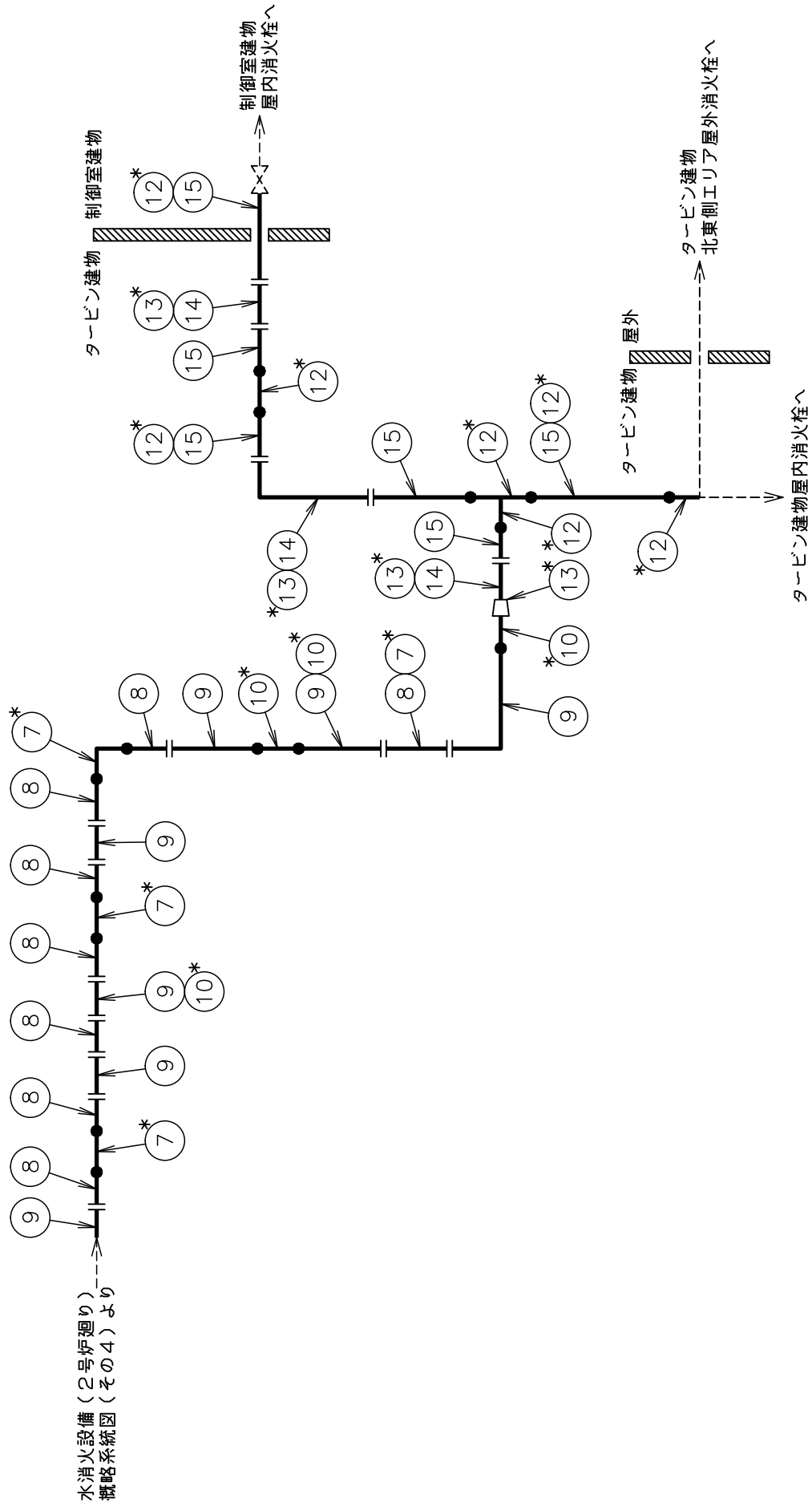
注記\*: 管継手  
 水消火設備 (2号炉廻り) 概略系統図 (その2)







注記\*：管継手  
水消火設備 (2号炉廻り) 概略系統図 (その4)



注記\*: 管継手  
 水消火設備 (2号炉廻り) 概略系統図 (その5)

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	静水頭	66	165.20	7.10	STPG370	S	3	—	—	12.5 %	6.21	—	—	—
2	静水頭	66	165.20	7.10	STPT370	S	3	—	—	12.5 %	6.21	—	—	—
3	静水頭	66	139.80	6.60	STPT370	S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
4	静水頭	66	139.80	6.60	STPG370	S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
5	1.20	66	139.80	6.60	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.77	0.90	C	3.80
6	1.20	66	139.80	6.60	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.77	0.90	C	3.80
7	1.20	66	165.20	7.10	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	6.21	1.06	C	3.80
8	1.20	66	165.20	7.10	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	6.21	1.06	C	3.80
9	1.20	66	165.20	7.10	STPG38	S	3	93	1.00	12.5 %	6.21	1.06	C	3.80
10	1.20	66	165.20	7.10	STPT38	S	3	93	1.00	12.5 %	6.21	1.06	C	3.80

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 管の強度計算書 (クラス3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材	料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
11	1.20	66	165.20	7.10	STPT410		S	3	103	1.00	12.5 %	6.21	0.96	C	3.80
12	1.20	66	89.10	5.50	STPT370		S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.58	C	3.00
13	1.20	66	89.10	5.50	STPT38		S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.58	C	3.00
14	1.20	66	89.10	5.50	STPG38		S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.58	C	3.00
15	1.20	66	89.10	5.50	STPG370		S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.58	C	3.00

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	1.20
最高使用温度	(°C)	66
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	STPG38
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 93
	外 径	$D_{or}$ (mm) 165.20
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 152.78
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 7.10
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 6.21
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	STPG38
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 76.30
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 67.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 5.20
穴の径	$d$ (mm) 67.20	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm) 38.20	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm) 38.20	
K	0.1886	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm) 75.73	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm) 75.73	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

## 4. 伸縮継手の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3416

NO.	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	材	料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 $\delta$ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算式	継手部応力 $\sigma$ (MPa)	N $\times 10^3$	Nr $\times 10^3$	U
E1	静水頭	66	SUS304		192000	1.00	1.00	7.50	10.00	34	1	A	98	15130.8	7.0	0.0005
E2	静水頭	66	SUS316		192000	0.50	1.00	7.20	12.00	94	1	A	14	13731057.0	7.0	0.0000
E3	1.20	66	SUS316		192000	0.50	1.00	7.20	12.00	94	1	A	360	159.3	7.0	0.0440
E4	1.20	66	SUS304		192000	1.20	1.00	7.50	10.00	44	1	A	133	5196.0	7.0	0.0014
E5	1.20	66	SUS304		192000	1.20	1.00	7.50	10.00	156	1	A	68	54371.4	7.0	0.0002

評価：U $\leq$ 1, よって十分である。

注：E1, E4, E5の外径は, 174.0mm, E2, E3の外径は, 152.0mm

VI-3-3-8-2-5-2 管の強度計算書  
(水消火設備 (サイトバンカ建物) )



## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

## ・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件					
							圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)					
1~4 E1~E2	新設	—	—	—	DB-3	—	静水頭	66	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	
5~8 E3	新設	—	—	—	DB-3	—	1.02	66	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	

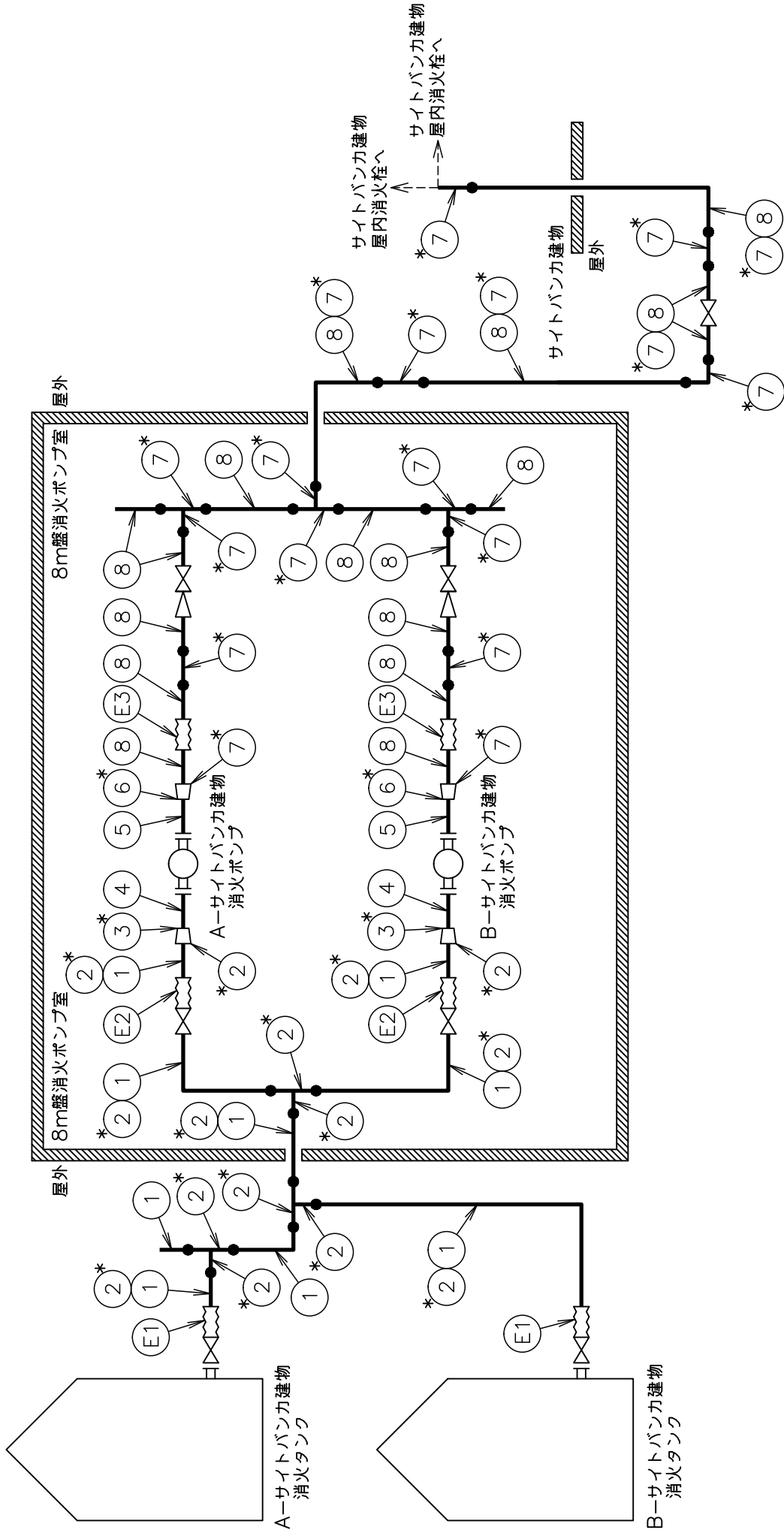
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～8	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
E1～E3	伸縮継手の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	2
3. 伸縮継手の強度計算書	3

1. 概略系統図



注記\*: 管継手  
水消火設備 (サイトバンカ建物) 概略系統図

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	外径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材	料	製	法	ク	ラ	S	η	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算	t <sub>r</sub> (mm)
1	静水頭	66	114.30	6.00	STPG370		S	3	—	—	12.5 %	—	5.25	—	—	—	—
2	静水頭	66	114.30	6.00	STPT370		S	3	—	—	12.5 %	—	5.25	—	—	—	—
3	静水頭	66	76.30	5.20	STPT370		S	3	—	—	12.5 %	—	4.55	—	—	—	—
4	静水頭	66	76.30	5.20	STPG370		S	3	—	—	12.5 %	—	4.55	—	—	—	—
5	1.02	66	76.30	5.20	STPG370		S	3	93	1.00	12.5 %	—	4.55	0.42	—	C	2.70
6	1.02	66	76.30	5.20	STPT370		S	3	93	1.00	12.5 %	—	4.55	0.42	—	C	2.70
7	1.02	66	89.10	5.50	STPT370		S	3	93	1.00	12.5 %	—	4.81	0.49	—	C	3.00
8	1.02	66	89.10	5.50	STPG370		S	3	93	1.00	12.5 %	—	4.81	0.49	—	C	3.00

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 3. 伸縮継手の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3416

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	材 料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 $\delta$ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算 式	継手部応力 $\sigma$ (MPa)	N $\times 10^3$	Nr $\times 10^3$	U
E1	静水頭	66	SUS316	192000	1.20	20.00	15.00	30.00	12	1	B	904	6.3	1.0	0.1576
E2	静水頭	66	SUS316	192000	0.40	1.00	6.85	11.60	86	1	A	13	17797146.0	7.0	0.0000
E3	1.02	66	SUS316	192000	0.40	1.00	6.15	10.60	78	1	A	376	136.8	7.0	0.0512

評価：U $\leq$ 1, よって十分である。

注：E1の外径は, 164.0mm, E2の外径は, 125.5mm, E3の外径は, 99.0mm

VI-3-3-8-2-5-3 管の強度計算書  
(水消火設備 (4 4 m盤) )



## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

## ・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス			
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件								
1~4 E1~E2	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	—	—	—	静水頭	66	—	—	—	—	設計・建設規格	DB-3
5~8 E3	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	—	—	—	1.30	66	—	—	—	—	設計・建設規格	DB-3
7~14	新設	—	—	—	—*	—	—	—	—	—	1.30	66	—	—	—	—	設計・建設規格	DB-3

注記\*：DBクラス「一」である管については，SA設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

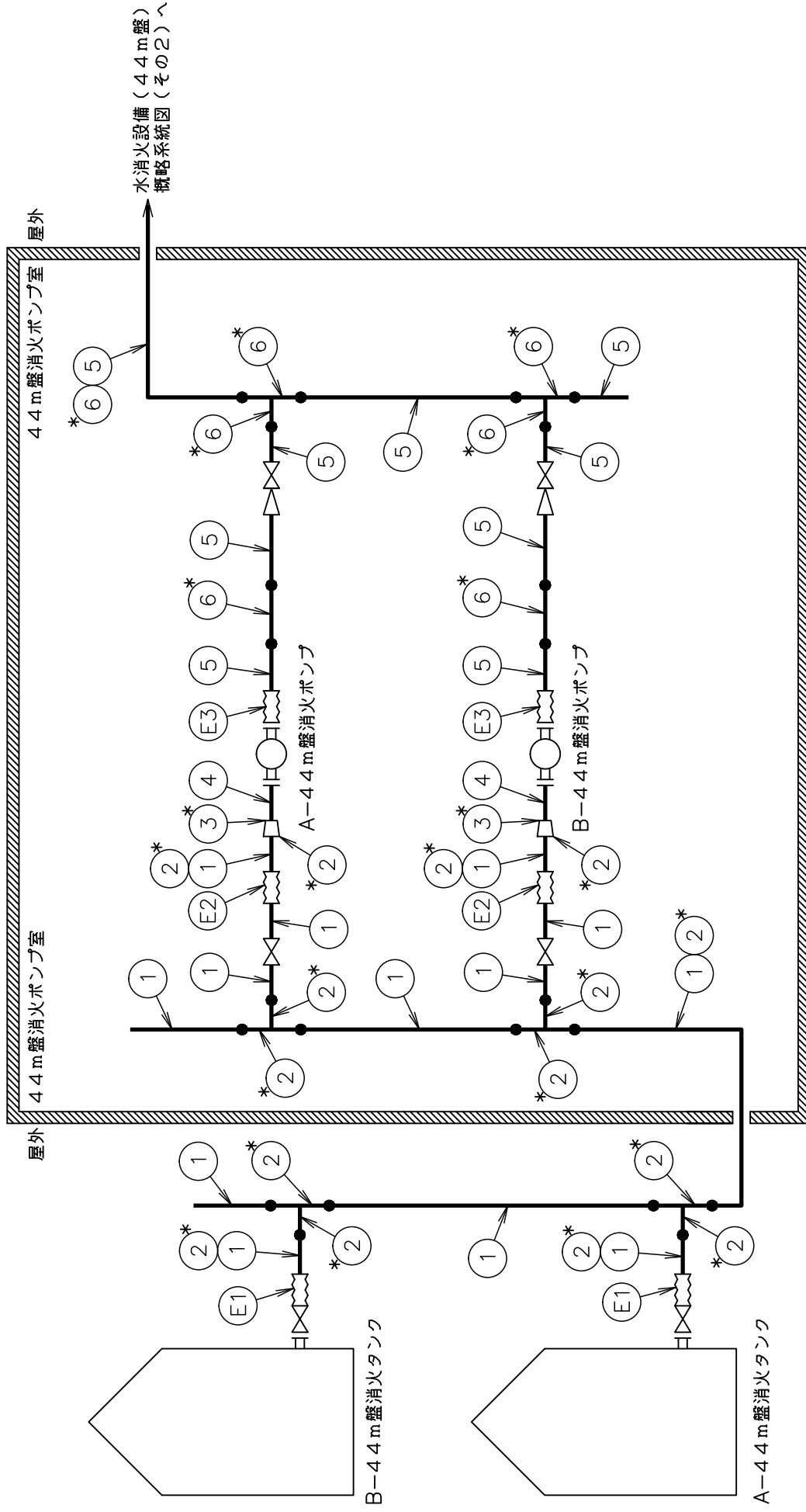
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～14	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
E1～E3	伸縮継手の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

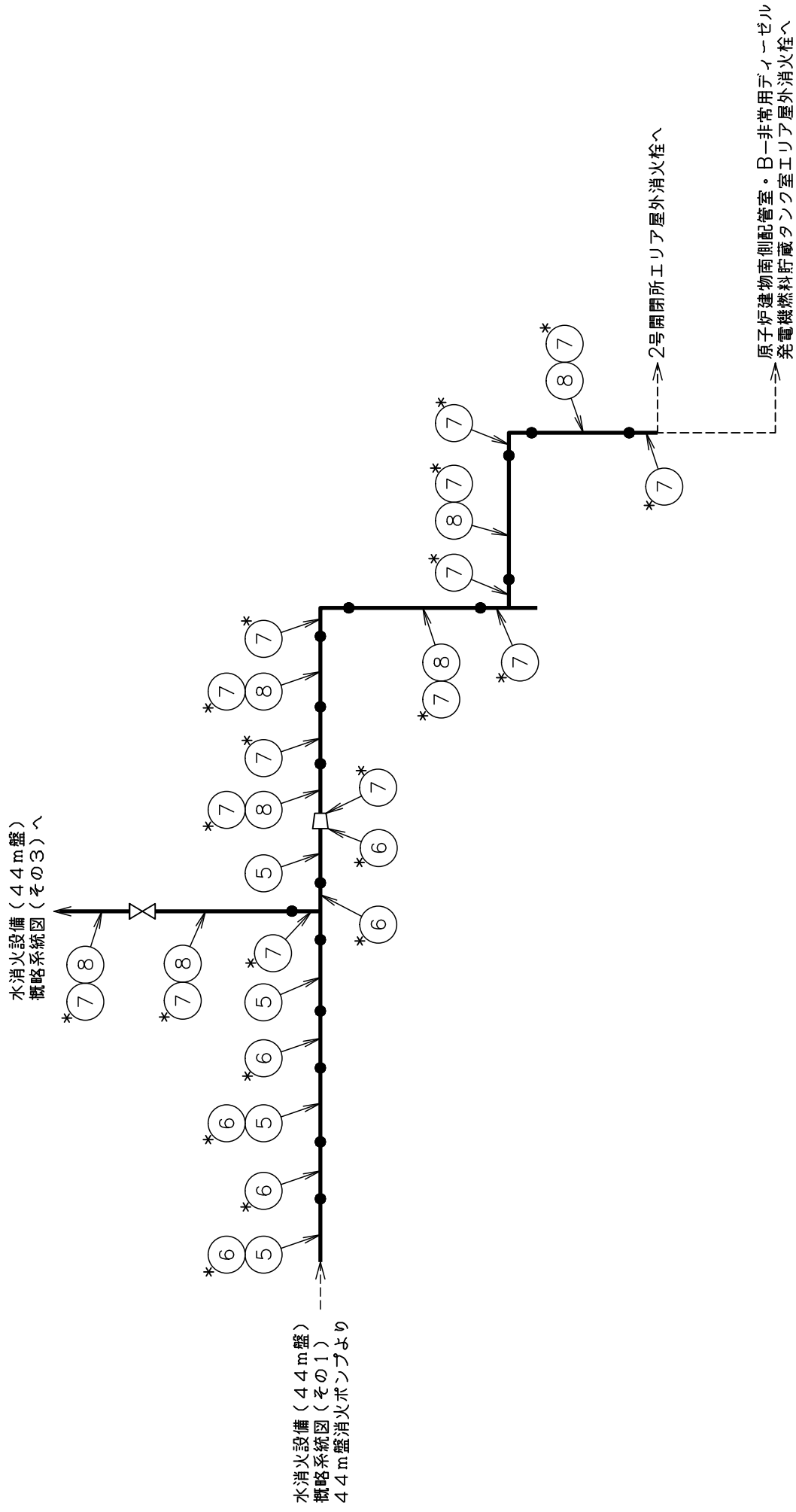
## 目 次

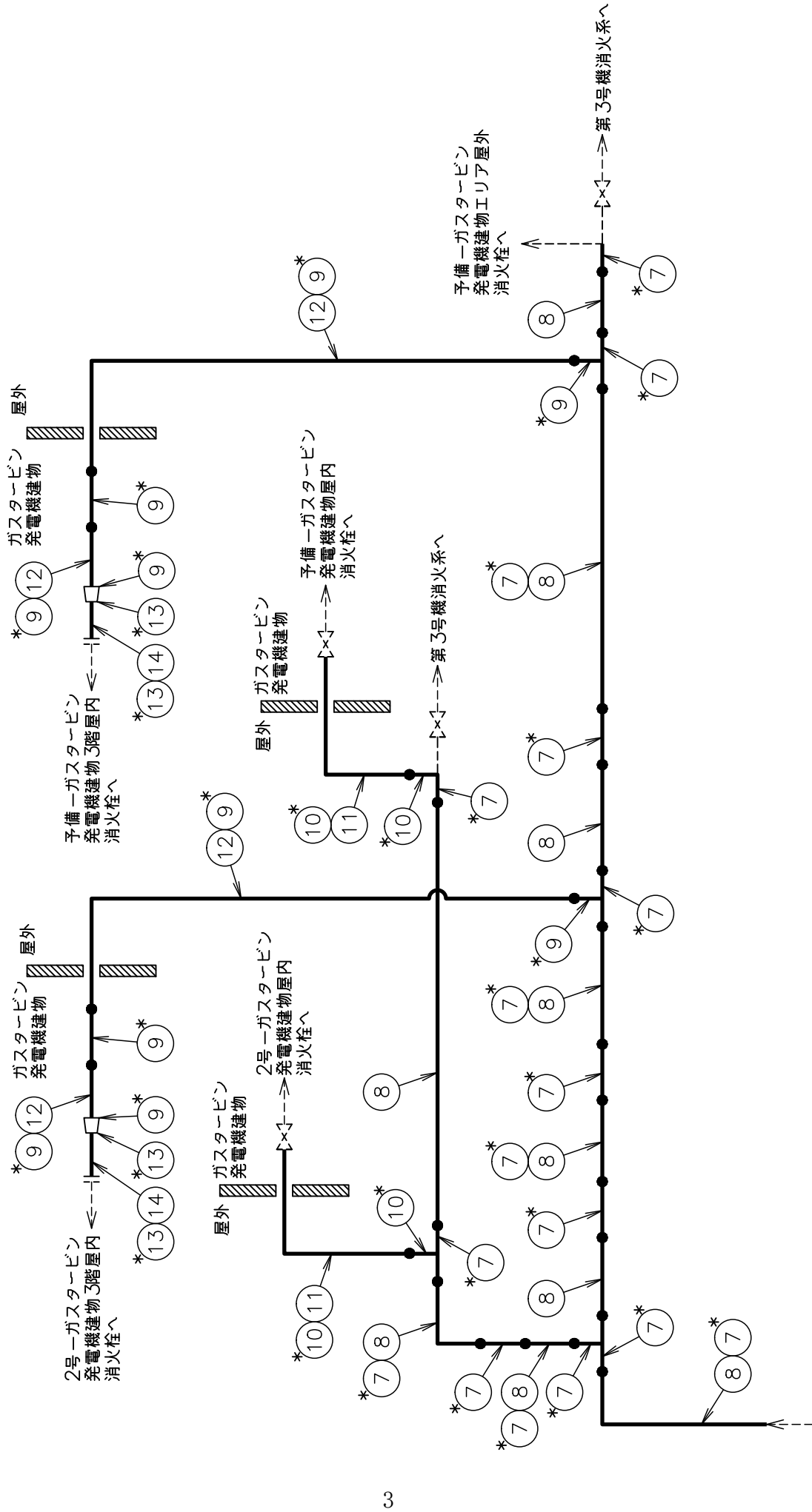
1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	4
3. 伸縮継手の強度計算書	6

1. 概略系統図



注記\* : 管継手  
 水消火設備 (44 m 盤) 概略系統図 (その1)





水消火設備(44m盤)  
概略系統図(その2)より

注記\*: 管継手  
水消火設備(44m盤) 概略系統図(その3)

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	静水頭	66	165.20	7.10	STPG370	S	3	—	—	12.5 %	6.21	—	—	—
2	静水頭	66	165.20	7.10	STPT370	S	3	—	—	12.5 %	6.21	—	—	—
3	静水頭	66	139.80	6.60	STPT370	S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
4	静水頭	66	139.80	6.60	STPG370	S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
5	1.30	66	139.80	6.60	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.77	0.98	C	3.80
6	1.30	66	139.80	6.60	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.77	0.98	C	3.80
7	1.30	66	114.30	6.00	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.80	C	3.40
8	1.30	66	114.30	6.00	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.80	C	3.40
9	1.30	66	60.50	5.50	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.42	C	2.40
10	1.30	66	76.30	5.20	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.55	0.53	C	2.70

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。



## 管の強度計算書 (クラス3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材	料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
11	1.30	66	76.30	5.20	STPG370		S	3	93	1.00	12.5 %	4.55	0.53	C	2.70
12	1.30	66	60.50	5.50	STPG370		S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.42	C	2.40
13	1.30	66	48.60	5.10	STPT370		S	3	93	1.00	12.5 %	4.46	0.34	C	2.20
14	1.30	66	48.60	5.10	STPG370		S	3	93	1.00	12.5 %	4.46	0.34	C	2.20

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 3. 伸縮継手の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3416

NO.	P (MPa) 静水頭	最高使用温度 (°C)	材 料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 $\delta$ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算 式	継手部応力 $\sigma$ (MPa)	N $\times 10^3$	N r $\times 10^3$	U
E1		66	SUS316	192000	1.50	27.00	20.00	45.00	12	1	B	719	14.1	1.0	0.0707
E2		66	SUS316	192000	0.50	1.00	7.65	13.50	110	1	A	10	44581235.1	7.0	0.0000
E3	1.30	66	SUS316	192000	0.50	1.00	7.20	12.00	94	1	A	389	121.4	7.0	0.0577

評価：U $\leq$ 1, よって十分である。

注：E1の外径は，243.5mm，E2の外径は，178.5mm，E3の外径は，152.0mm

VI-3-3-8-2-5-4 管の強度計算書  
(水消火設備 (45 m盤) )

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
1～4 E1～E2	新設	—	—	—	DB-3	—	—	静水頭	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
5～6 E3	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.20	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

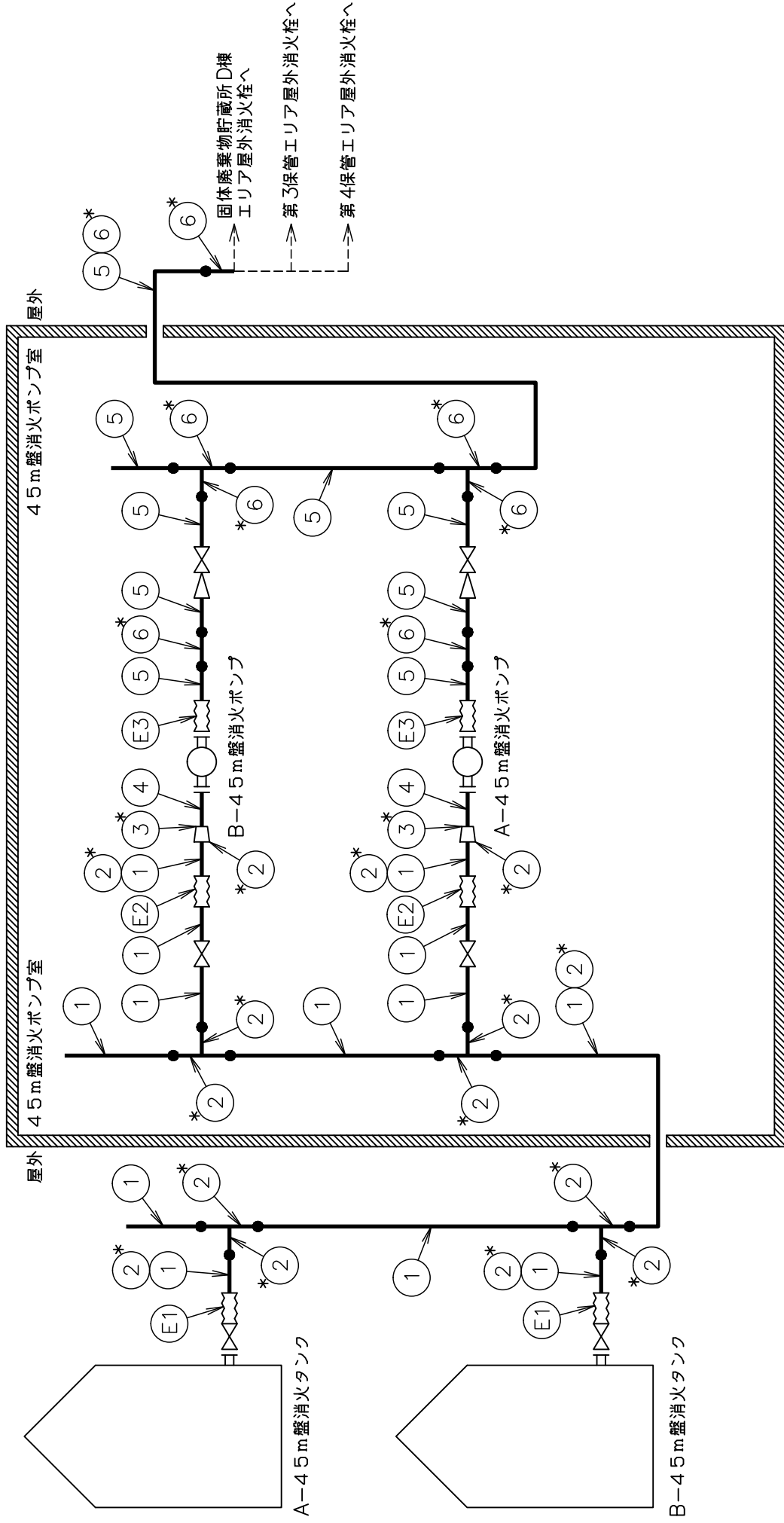
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～6	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
E1～E3	伸縮継手の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	2
3. 伸縮継手の強度計算書	3

1. 概略系統図



注記\*：管継手  
水消火設備（45m盤）概略系統図



## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材	料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	静水頭	66	139.80	6.60	STPG370		S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
2	静水頭	66	139.80	6.60	STPT370		S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
3	静水頭	66	114.30	6.00	STPT370		S	3	—	—	12.5 %	5.25	—	—	—
4	静水頭	66	114.30	6.00	STPG370		S	3	—	—	12.5 %	5.25	—	—	—
5	1.20	66	114.30	6.00	STPG370		S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.74	C	3.40
6	1.20	66	114.30	6.00	STPT370		S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.74	C	3.40

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 3. 伸縮継手の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3416

NO.	P (MPa) 静水頭	最高使用温度 (°C)	材 料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 $\delta$ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算 式	継手部応力 $\sigma$ (MPa)	N $\times 10^3$	N r $\times 10^3$	U
E1		66	SUS316	192000	1.20	18.00	15.00	30.00	12	1	B	814	9.2	1.0	0.1092
E2		66	SUS316	192000	0.50	1.00	7.20	12.00	94	1	A	14	13731057.0	7.0	0.0000
E3	1.20	66	SUS316	192000	0.40	1.00	6.85	11.60	86	1	A	518	44.6	7.0	0.1571

評価：U $\leq$ 1, よって十分である。

注：E1の外径は, 189.0mm, E2の外径は, 152.0mm, E3の外径は, 125.5mm

VI-3-3-8-2-5-5 管の強度計算書  
(水消火設備 (50m盤))

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
1～4 E1～E2	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	静水頭	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
5～10 E3	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	0.80	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
9～10	新設	—	—	—	DB-3	—	—	0.80	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
9～10	新設	—	—	—	—*	—	—	0.80	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
11～12	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.20	66	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

注記\* : DBクラス「—」である管については、SA設備を防護する設備であり、評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

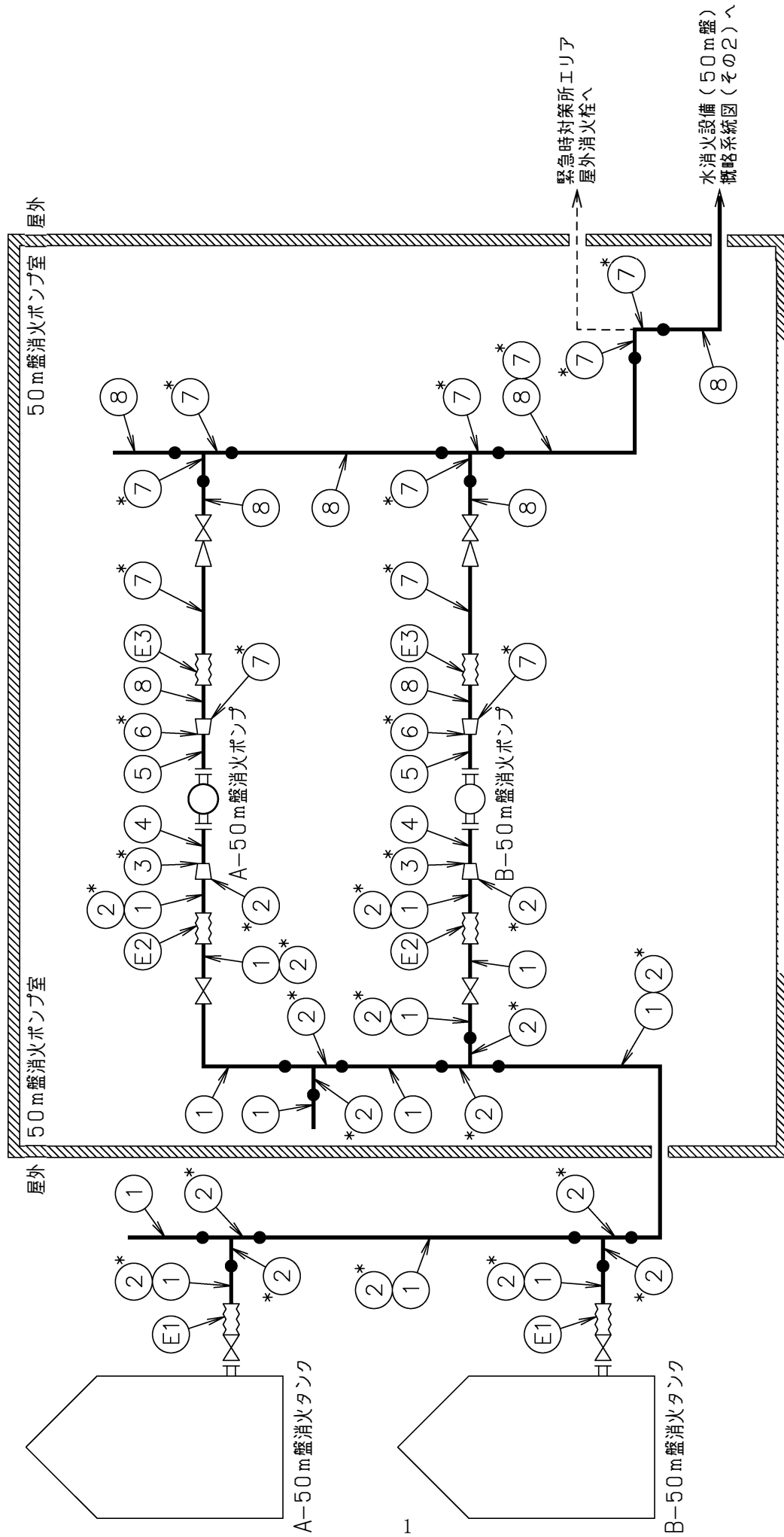
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～12	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
E1～E3	伸縮継手の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	3
3. 伸縮継手の強度計算書	4

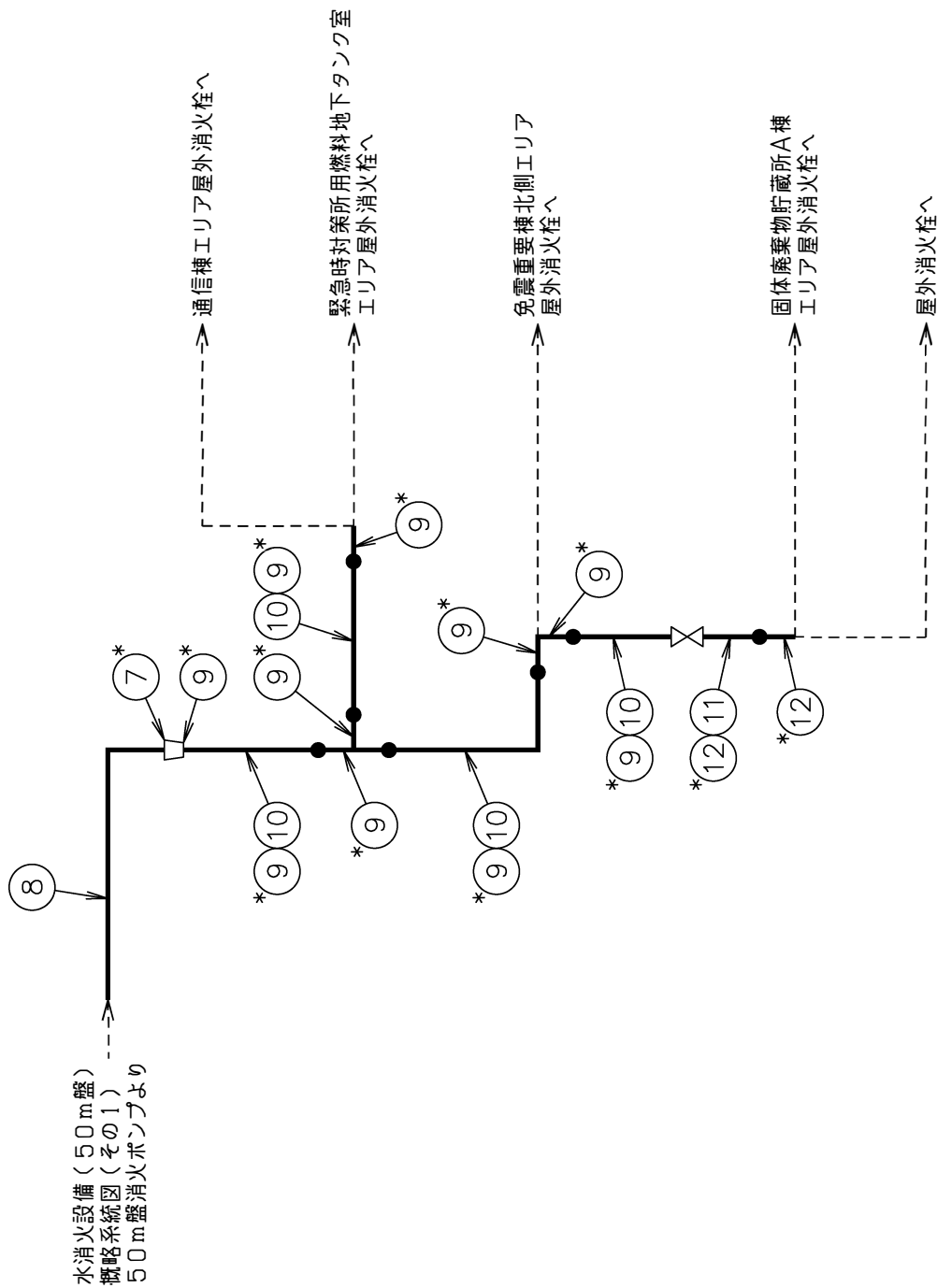
1. 概略系統図



注記\*: 管継手

水消火設備 (50m 盤) 概略系統図 (その1)





S2 補 VI-3-3-8-2-5-5 R1

2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	静水頭	66	165.20	7.10	STPG370	S	3	—	—	12.5 %	6.21	—	—	—
2	静水頭	66	165.20	7.10	STPT370	S	3	—	—	12.5 %	6.21	—	—	—
3	静水頭	66	139.80	6.60	STPT370	S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
4	静水頭	66	139.80	6.60	STPG370	S	3	—	—	12.5 %	5.77	—	—	—
5	0.80	66	89.10	5.50	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.39	C	3.00
6	0.80	66	89.10	5.50	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	0.39	C	3.00
7	0.80	66	139.80	6.60	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.77	0.60	C	3.80
8	0.80	66	139.80	6.60	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.77	0.60	C	3.80
9	0.80	66	114.30	6.00	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.49	C	3.40
10	0.80	66	114.30	6.00	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.49	C	3.40
11	1.20	66	114.30	6.00	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.74	C	3.40
12	1.20	66	114.30	6.00	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	0.74	C	3.40

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 3. 伸縮継手の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3416

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	材 料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 $\delta$ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算 式	継手部応力 $\sigma$ (MPa)	N $\times 10^3$	N r $\times 10^3$	U
E1	静水頭	66	SUS316	192000	1.50	27.00	20.00	45.00	12	1	B	719	14.1	1.0	0.0707
E2	静水頭	66	SUS316	192000	0.50	1.00	7.65	13.50	110	1	A	10	44581235.1	7.0	0.0000
E3	0.80	66	SUS316	192000	0.50	1.00	7.20	12.00	94	1	A	245	612.5	7.0	0.0115

評価：U $\leq$ 1, よって十分である。

注：E1の外径は，243.5mm，E2の外径は，178.5mm，E3の外径は，152.0mm

VI-3-3-8-2-5-6 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (原子炉建物) )

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

## ・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 を対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件	SA 条件	既工認に おける 評価結果 の有無					
			圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)							
1～23	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	—	5.20	40	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
1～3, 5～9	新設	—	—	—	DB-3	—	—	—	5.20	40	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
1～3, 5～9, 22	新設	—	—	—	—*	—	—	—	5.20	40	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
24～25	新設	—	—	—	DB-3	—	—	—	4.60	40	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

注記\*：DBクラス「—」である管については，SA設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

・適用規格の選定

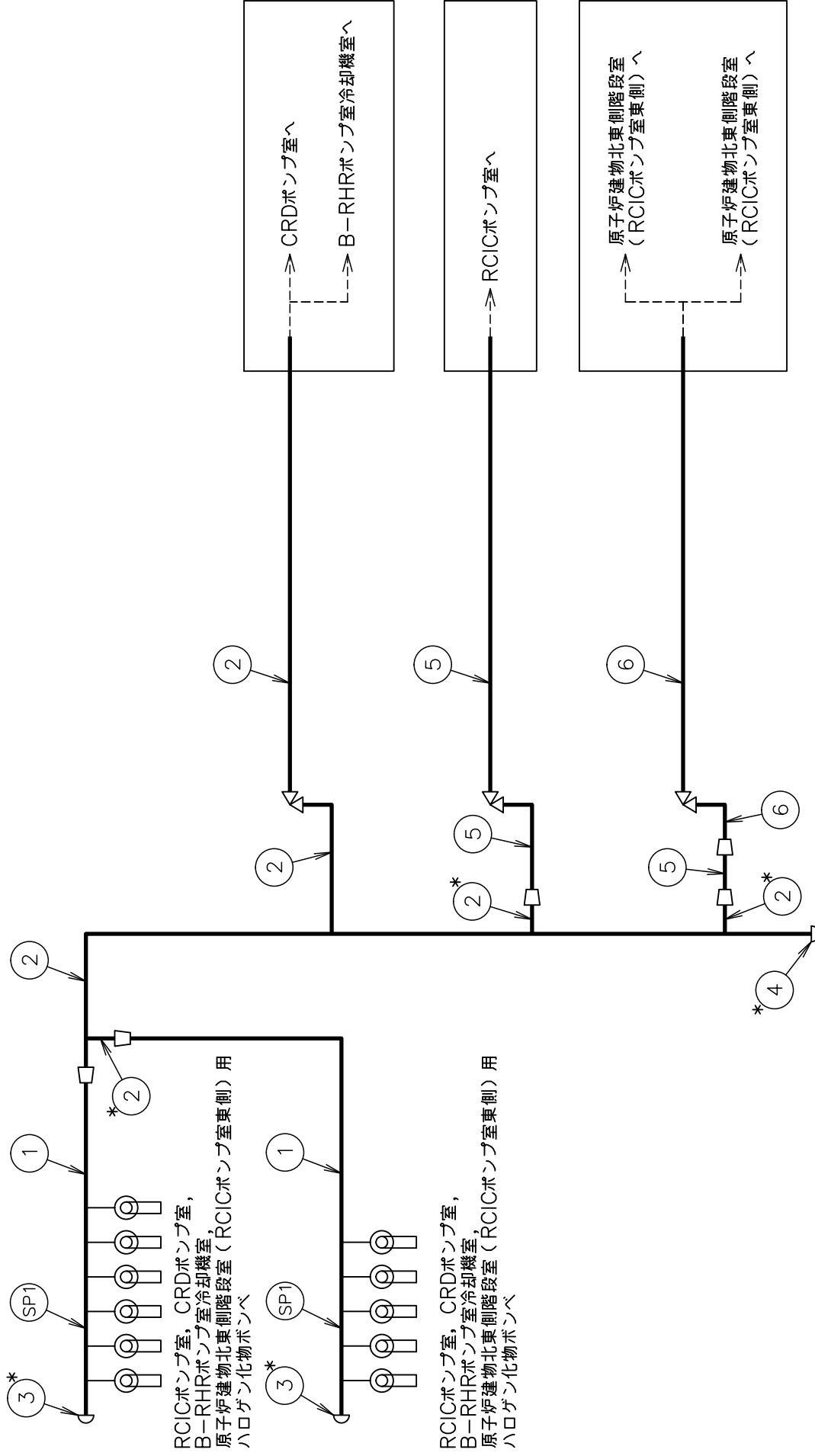
NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～25	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
T1～T2	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1～SP7	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

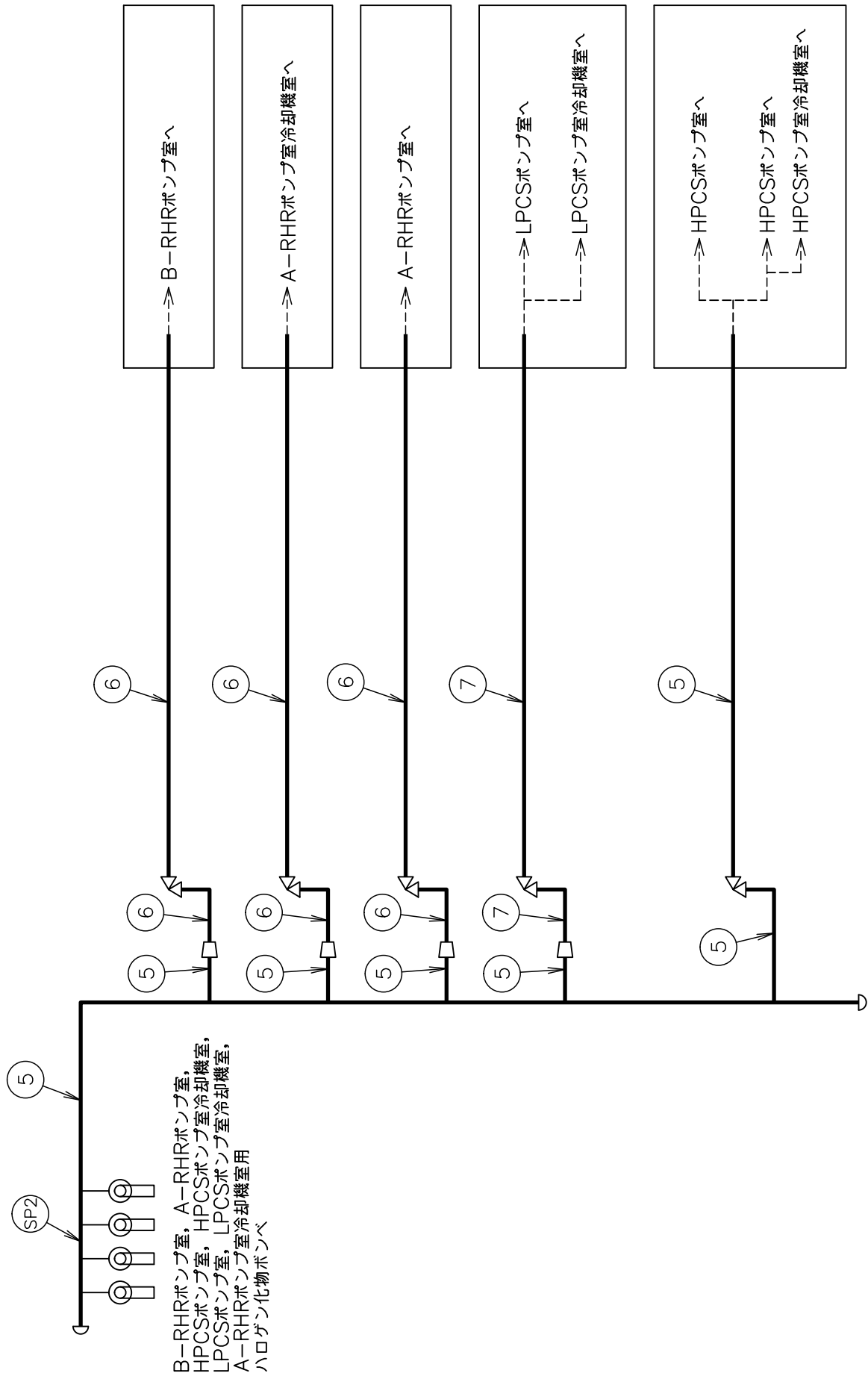
1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	27
3. 管の穴と補強計算書	30



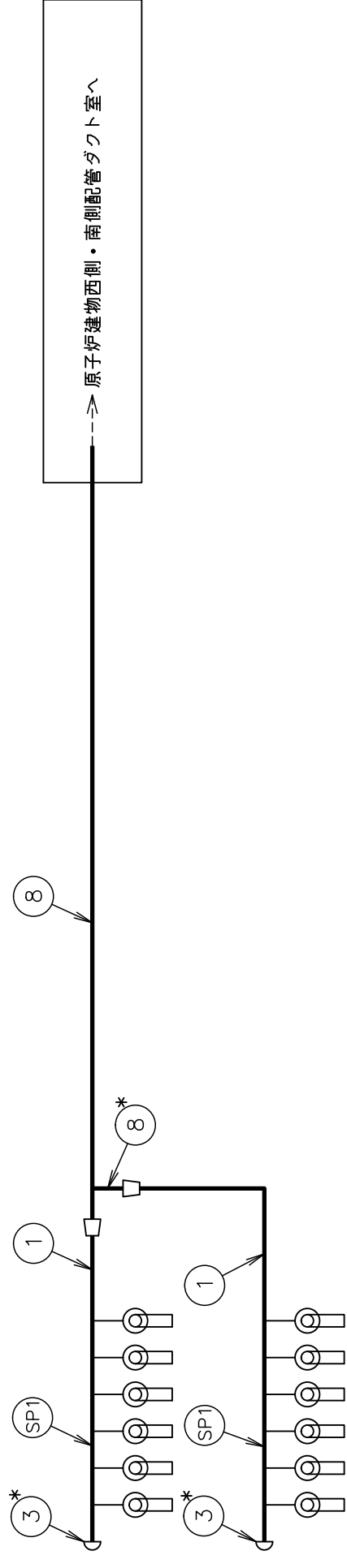
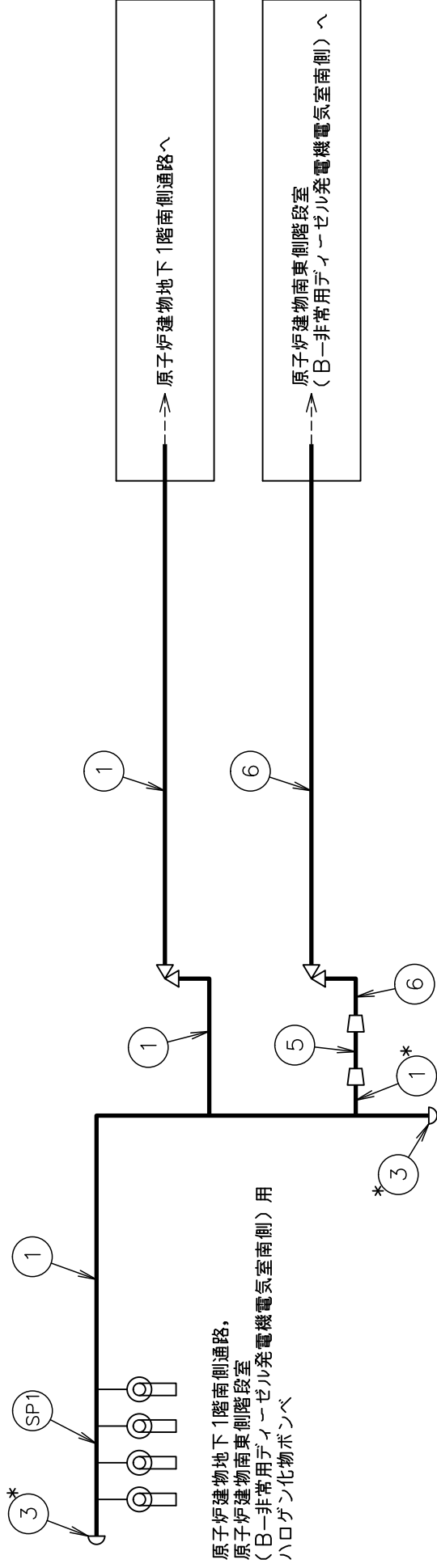
1. 概略系統図



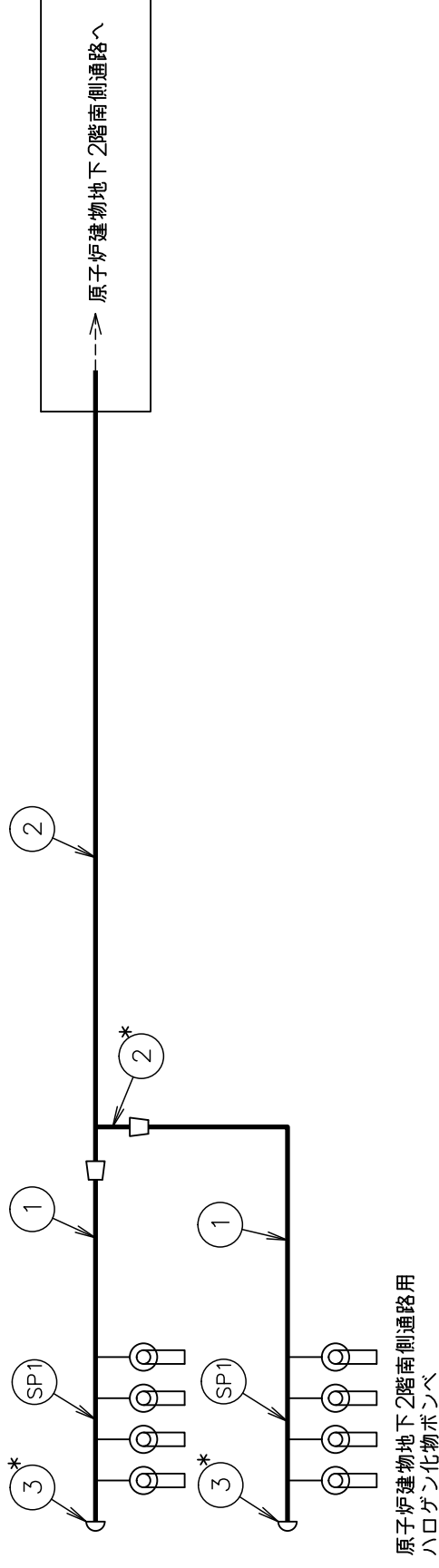
注記\*: 管継手  
ハロゲン化物消火設備 (原子炉建物)  
概略系統図 (その1)



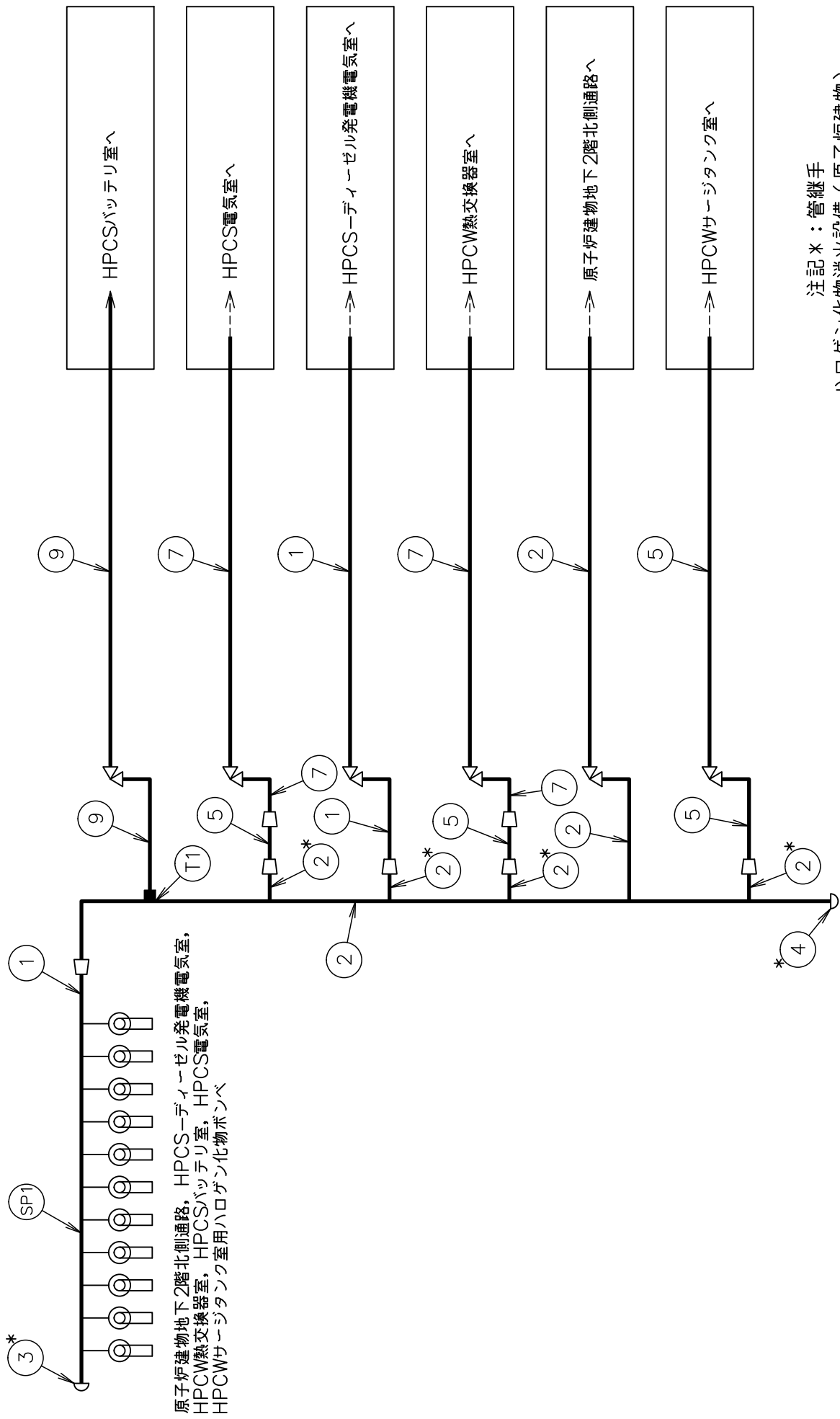
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その2）



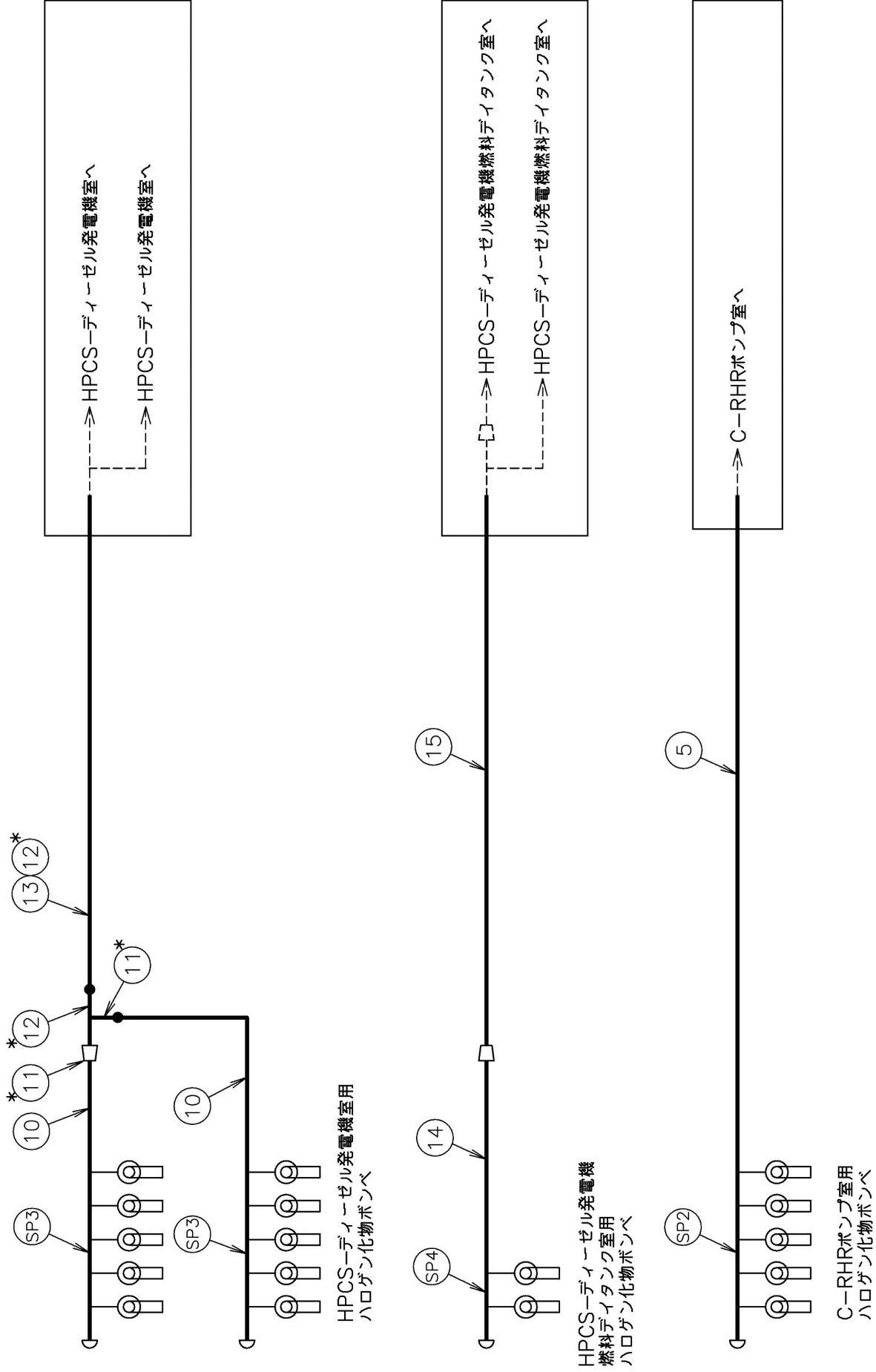
注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その3）



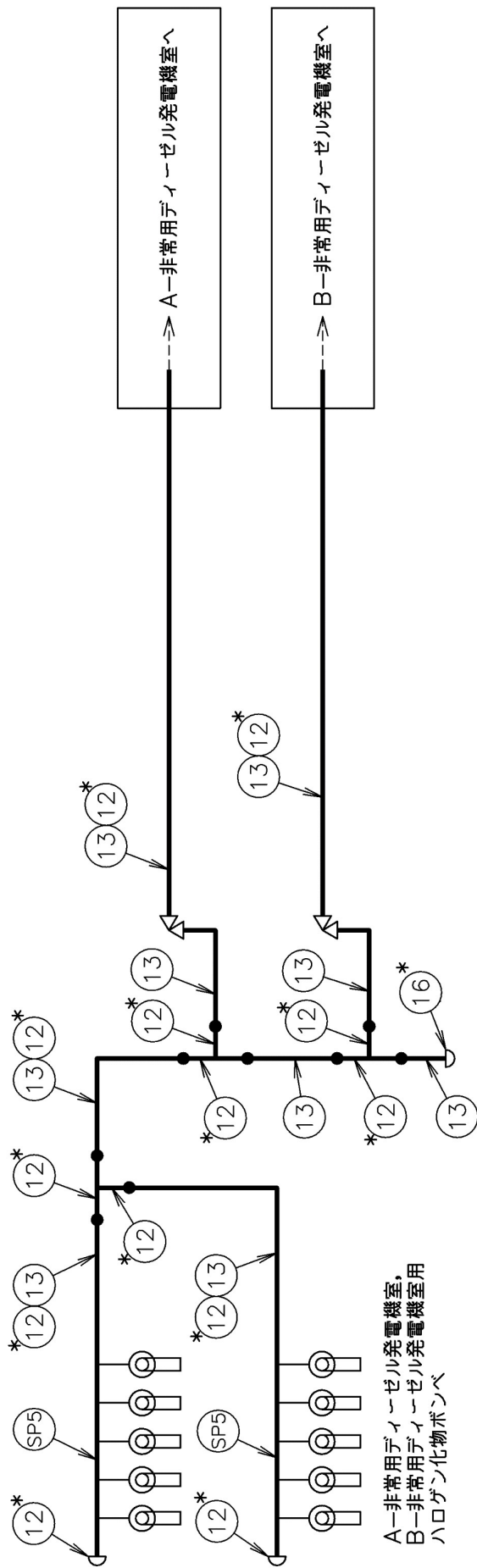
注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その4）



注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その5）

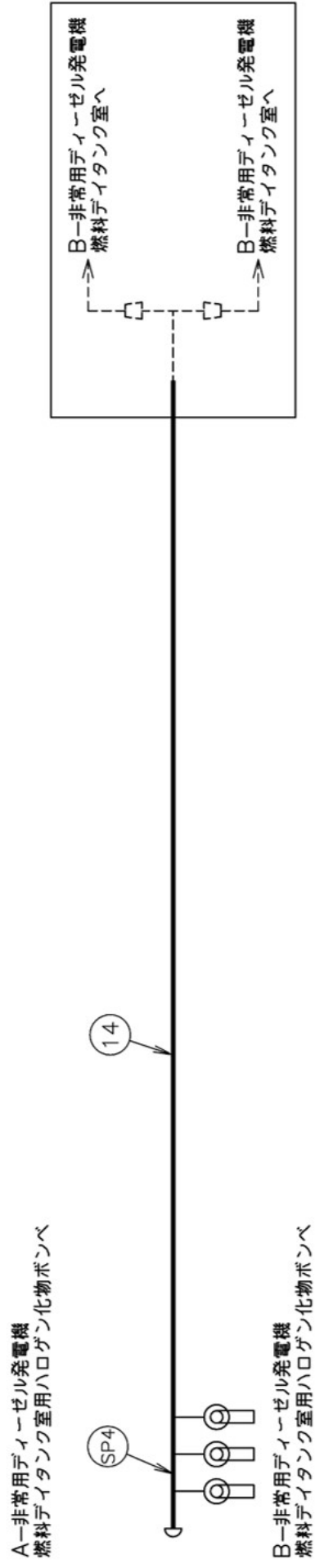
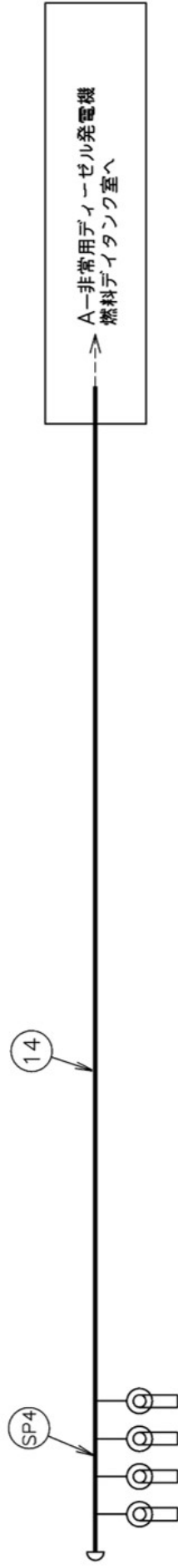
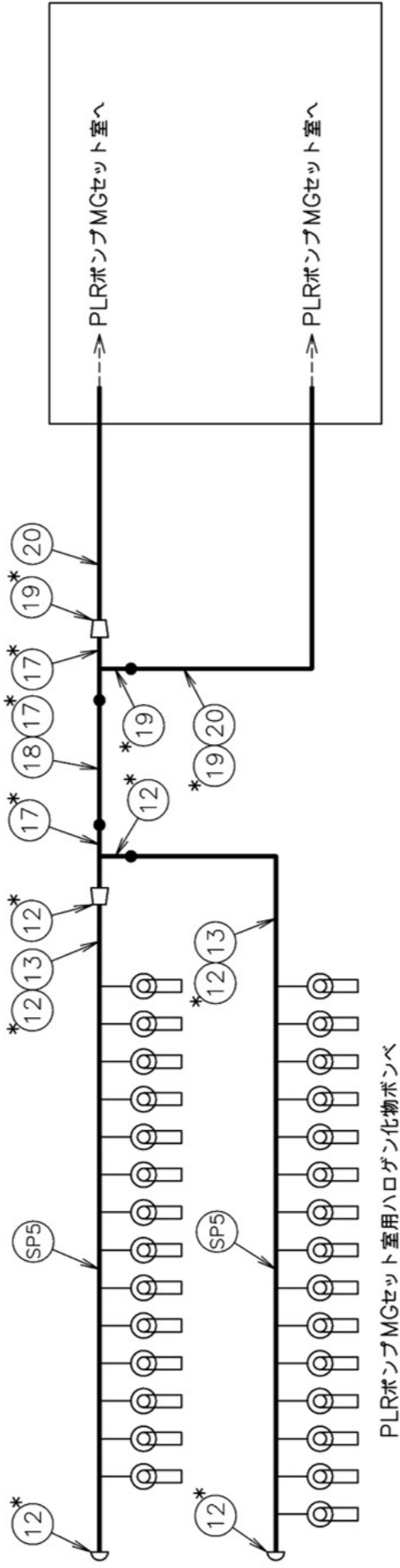


注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その6）



A-非常用ディーゼル発電機室,  
 B-非常用ディーゼル発電機室用  
 ハロゲン化物ボンベ

注記\*: 管継手  
 ハロゲン化物消火設備 (原子炉建物)  
 概略系統図 (そのア)

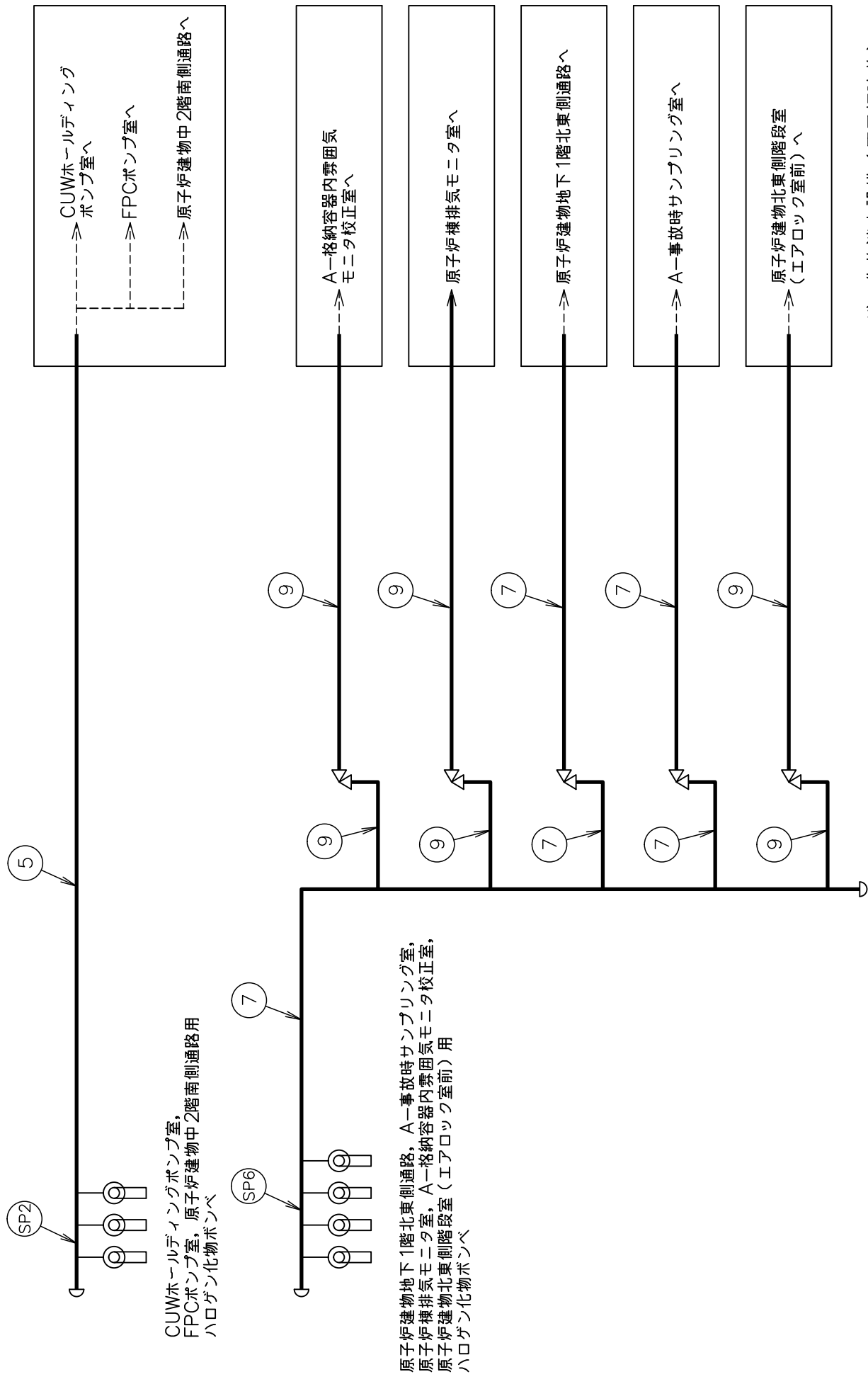


注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その8）



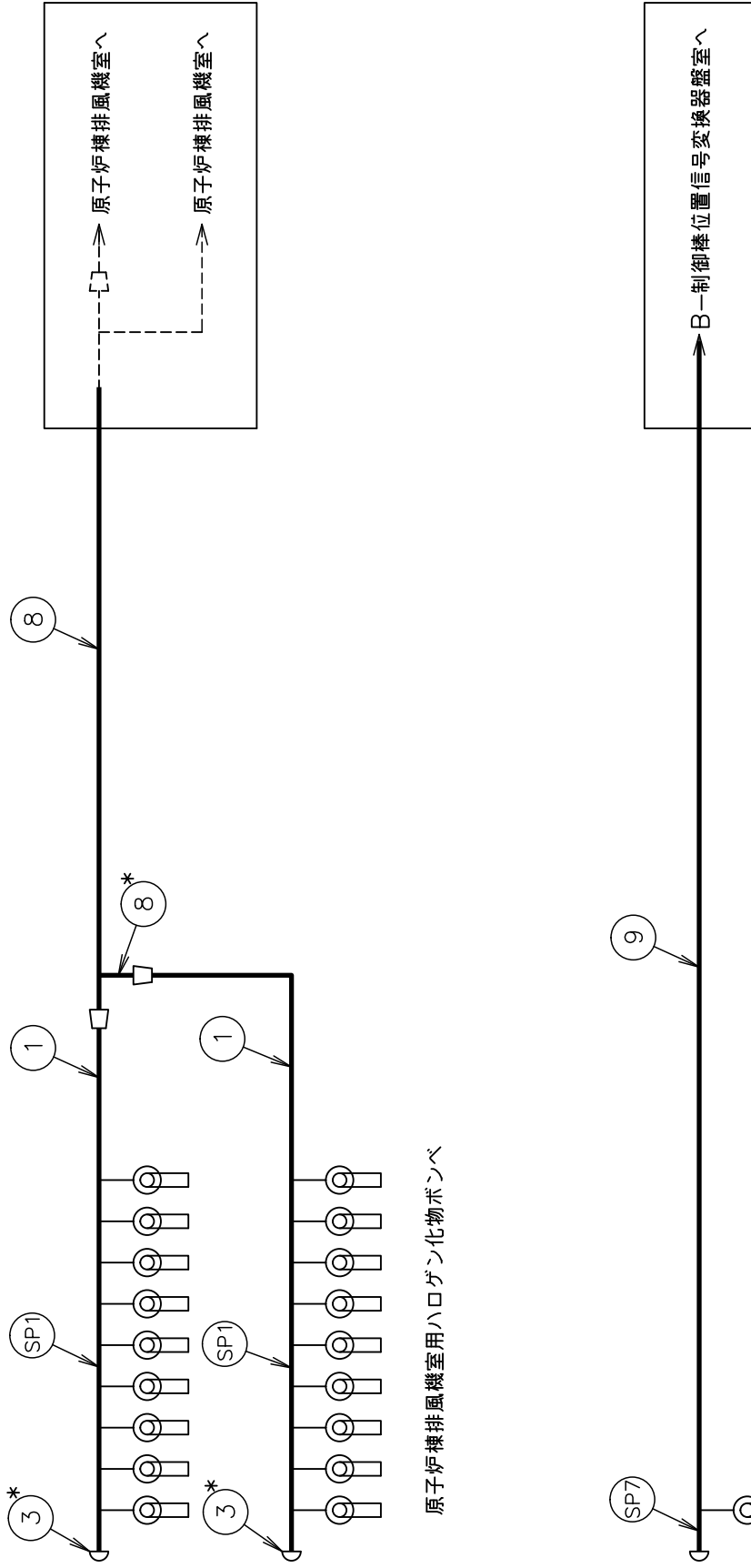






原子炉建物地下1階北東側通路, A-事故時サンプリング室,  
原子炉棟排気モニタ室, A-格納容器内雰囲気モニタ校正室,  
原子炉建物北東側階段室(エアロック室前)用  
ハロゲン化物ポンベ

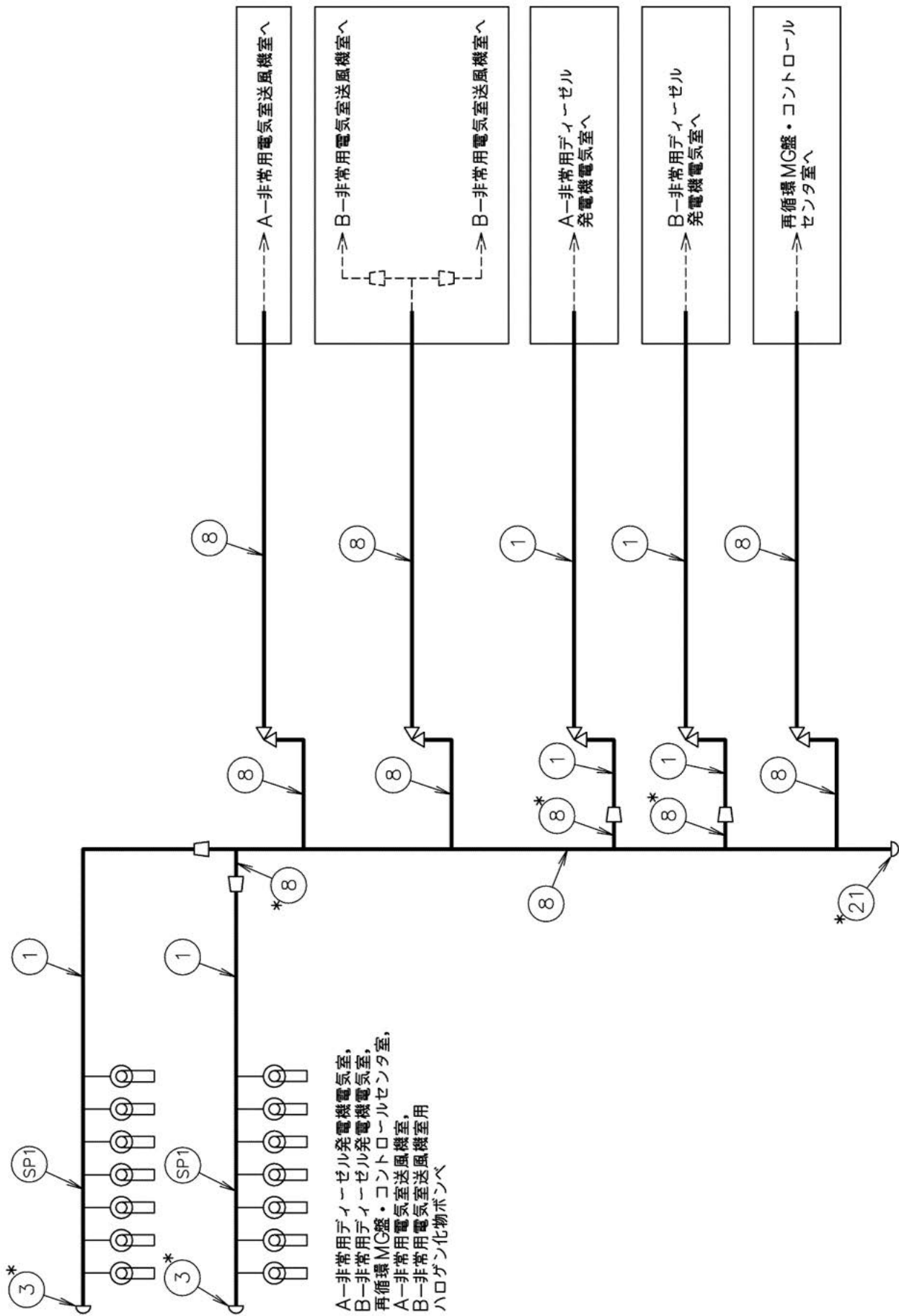
ハロゲン化物消火設備(原子炉建物)  
概略系統図(その111)



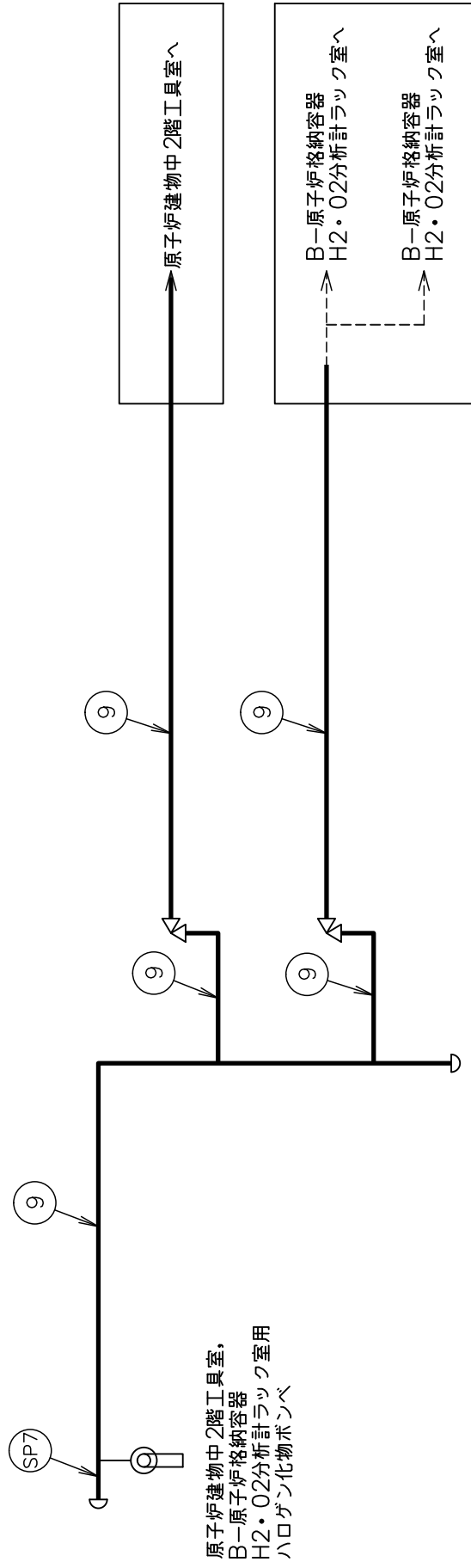
原子炉棟排風機室用ハロゲン化物ポンプ

B-制御棒位置信号変換器室用  
ハロゲン化物ポンプ

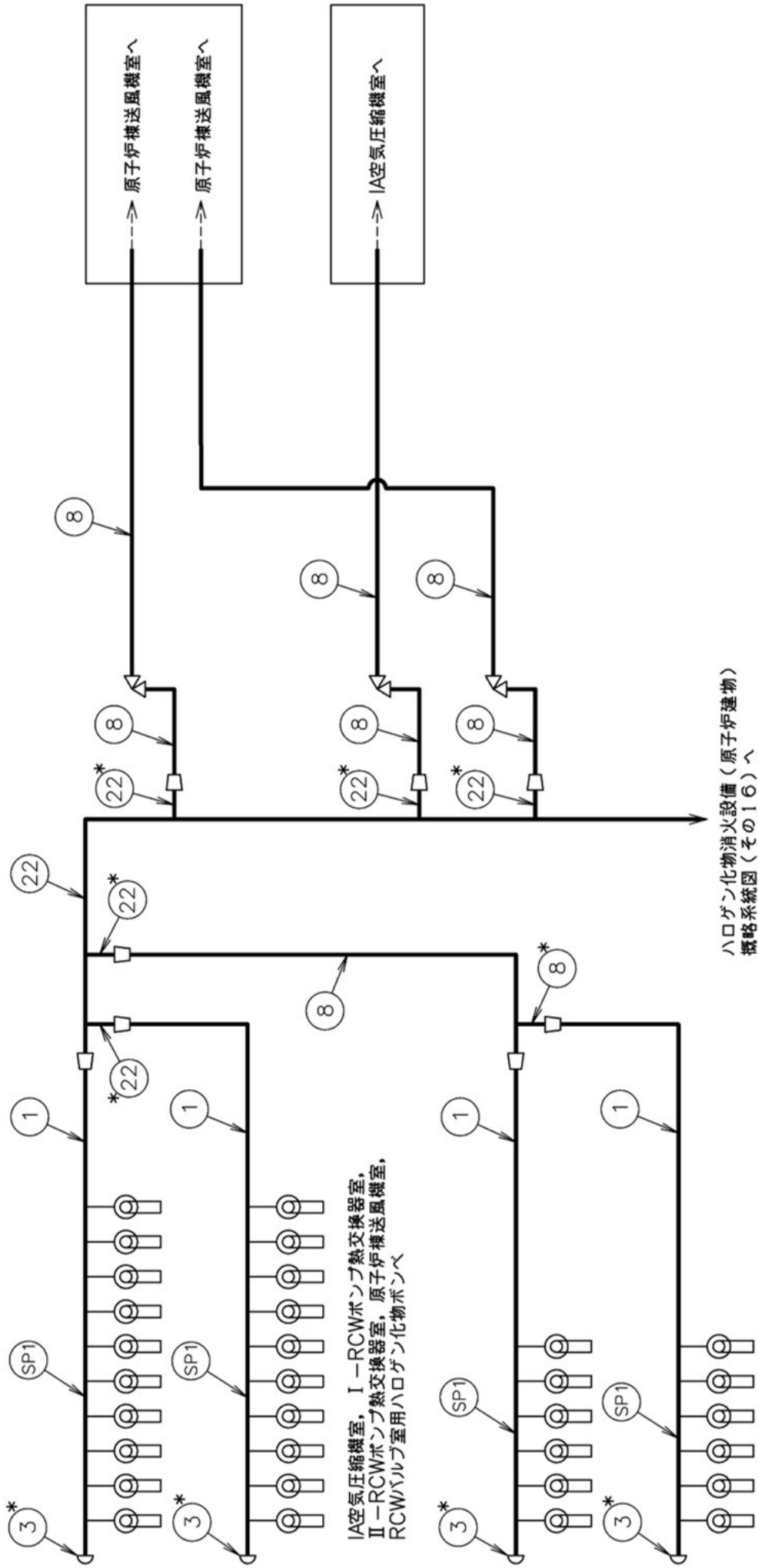
注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その12）



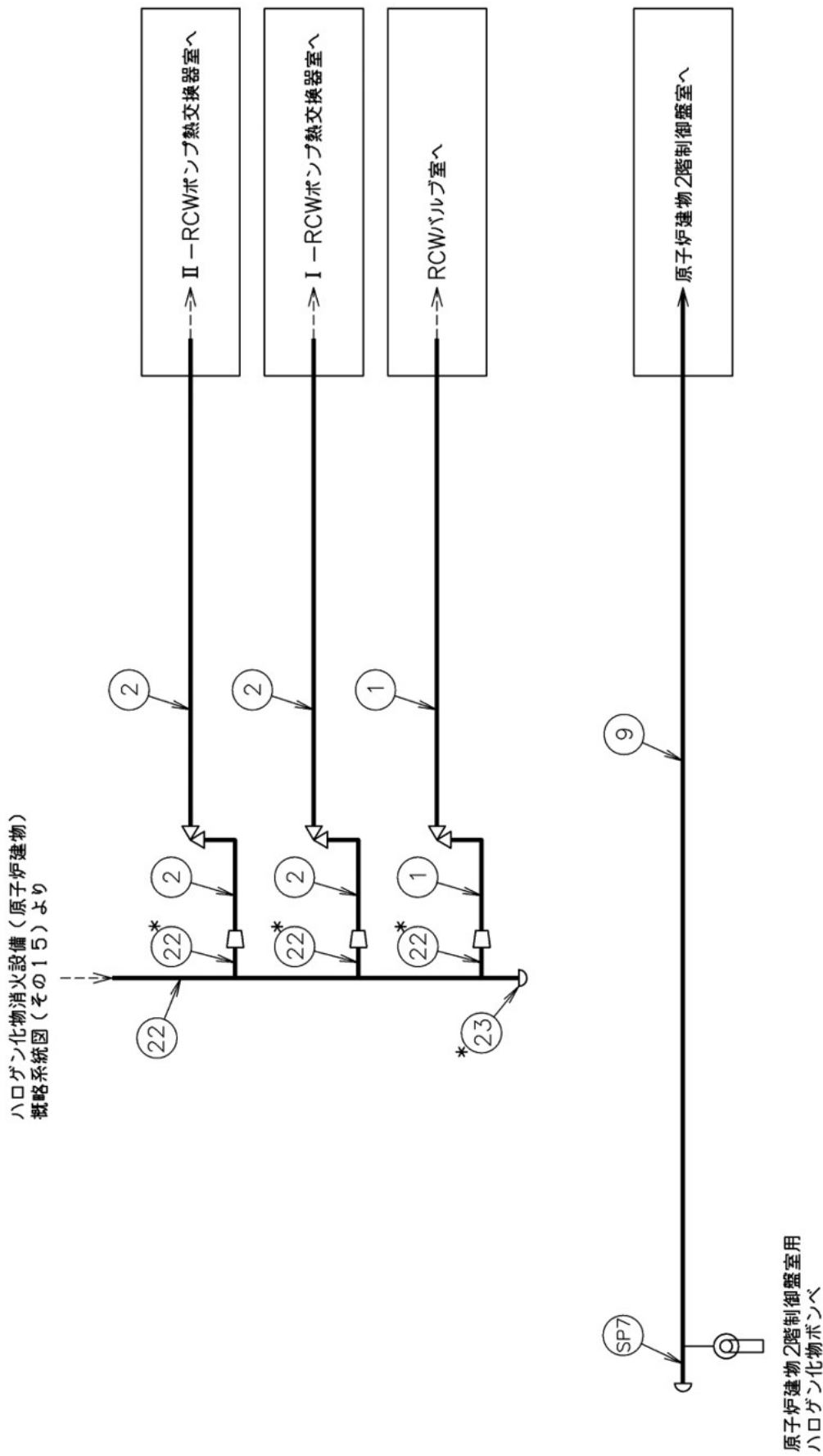
注記\*：管継手  
 ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
 概略系統図（その13）



ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その14）

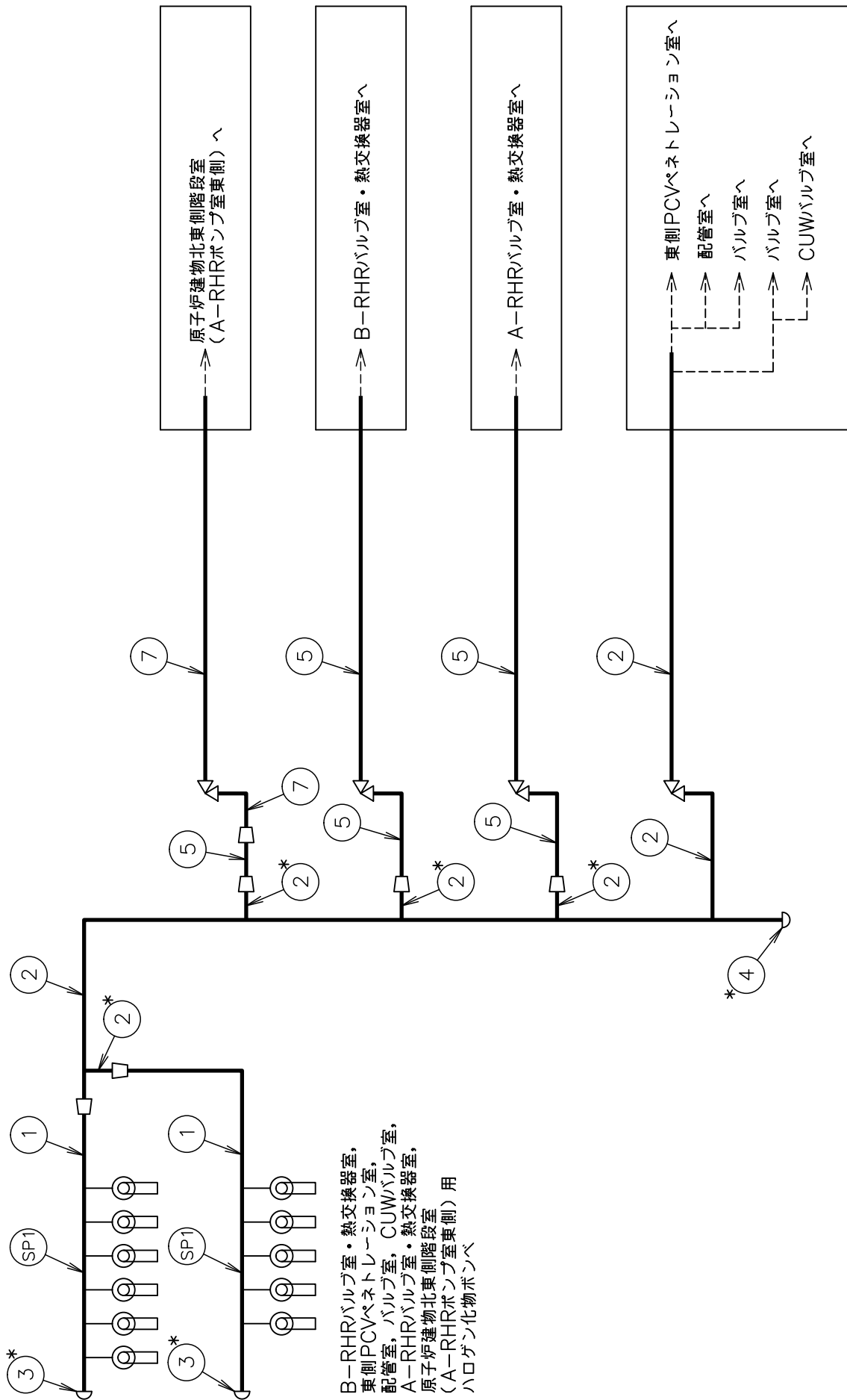


注記\*：管継手  
 ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
 概略系統図（その15）

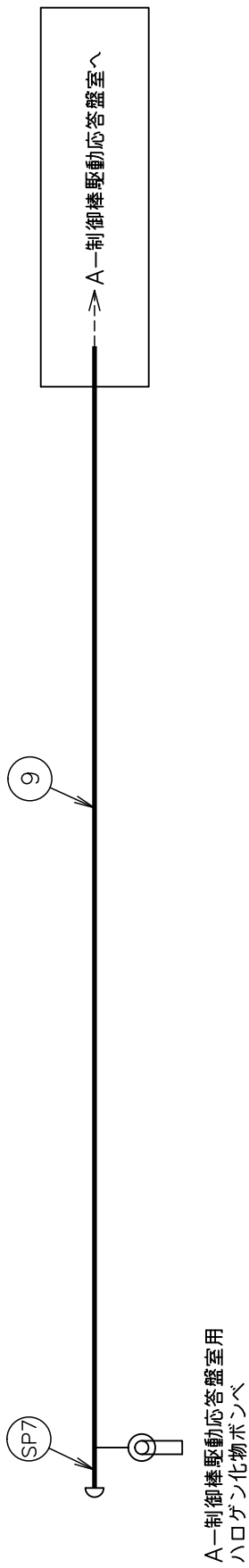


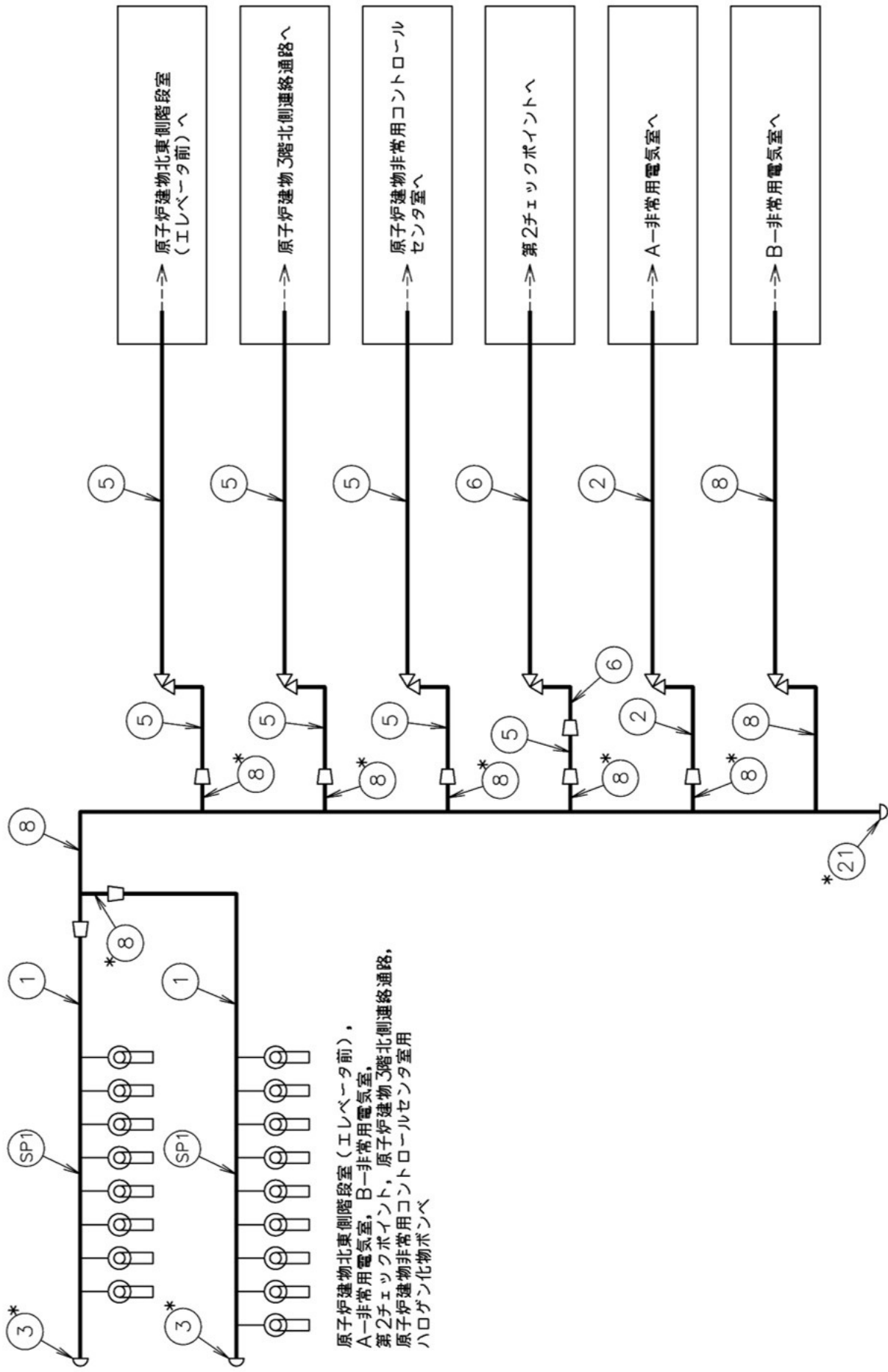
注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その16）



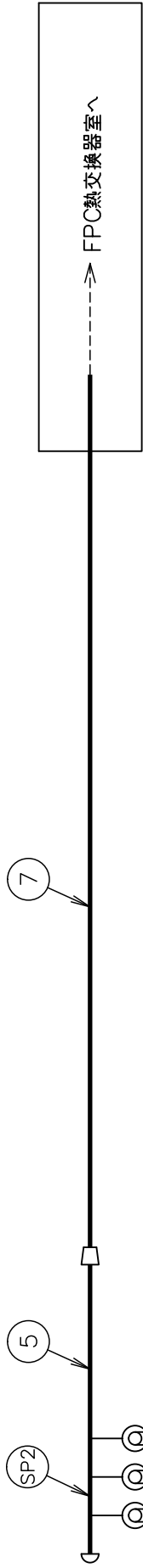


B-RHRバルブ室・熱交換器室，  
 東側PCVペネトレーション室，  
 配管室，バルブ室，CUWバルブ室，  
 A-RHRバルブ室・熱交換器室，  
 原子炉建物北東側階段室  
 (A-RHRポンプ室東側) 用  
 ハロゲン化物ポンベ

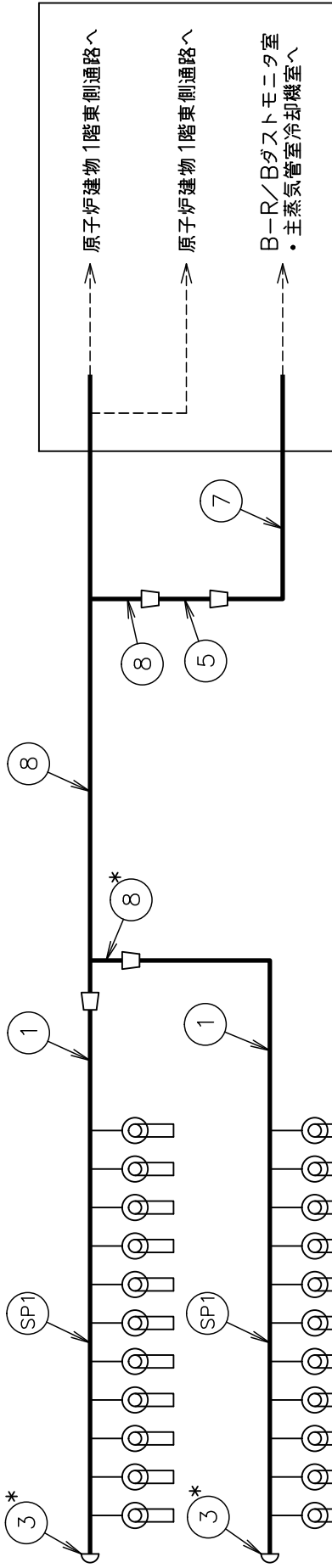




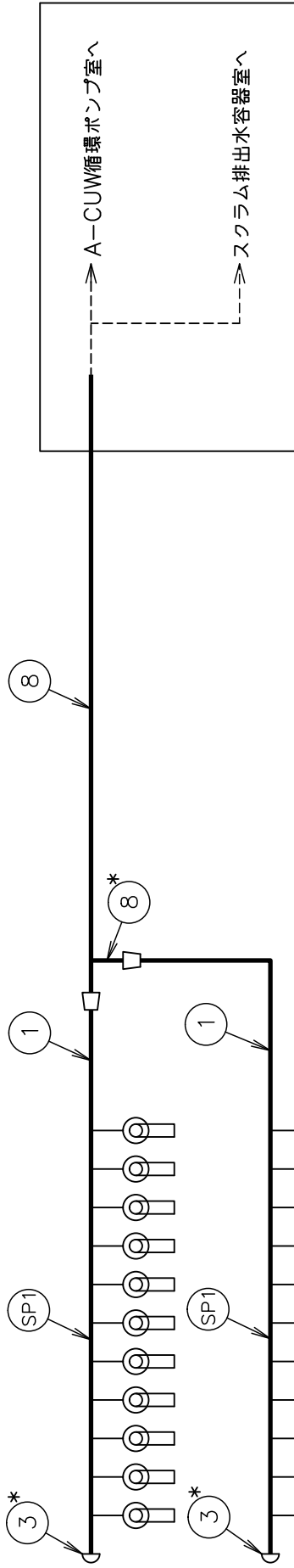
注記\*：管継手  
 ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
 概略系統図（その119）



FPC熱交換器室用  
ハロゲン化物ポンベ

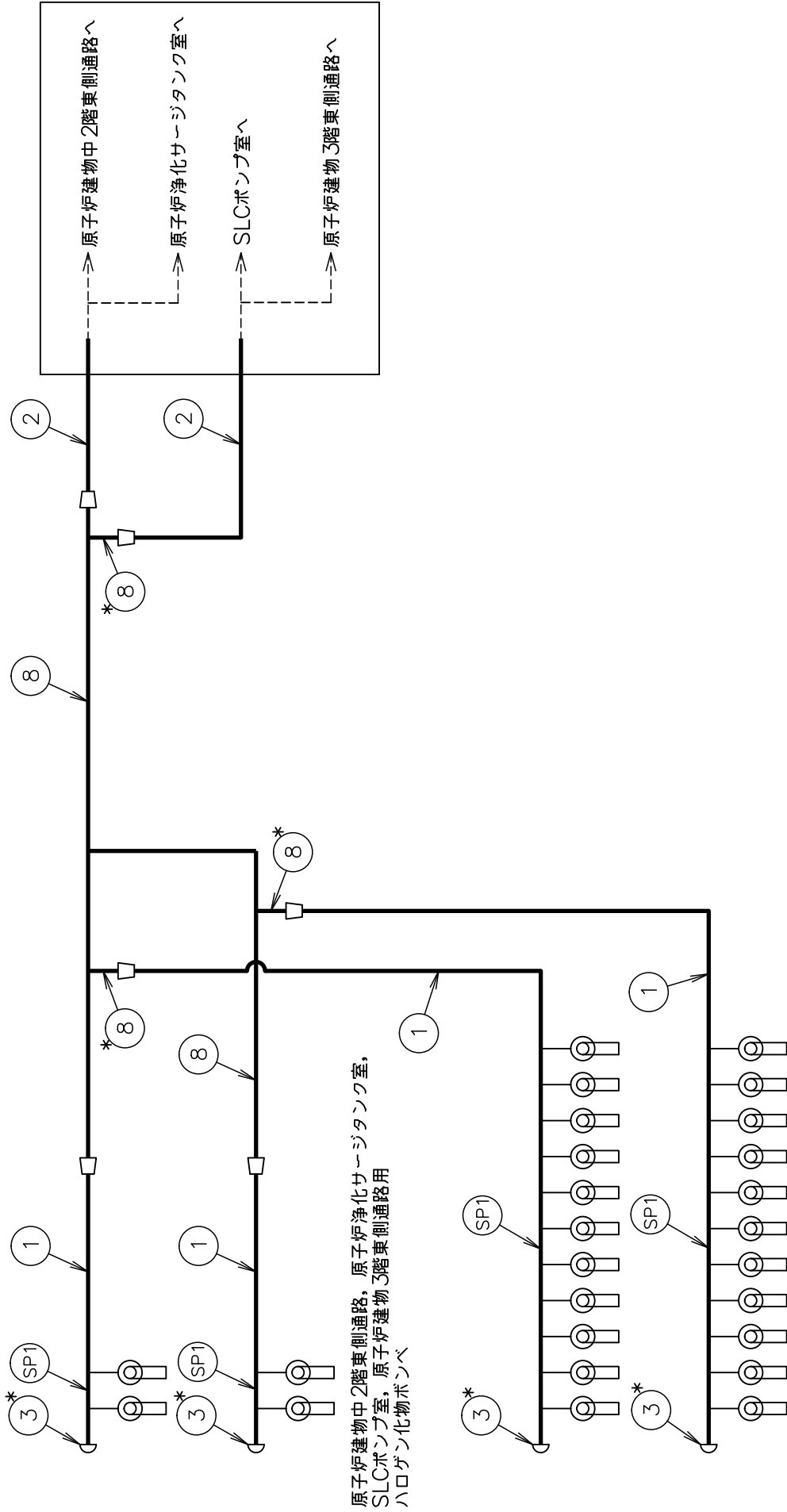


B-R/Bダストモニタ室・主蒸気管室冷却機室,  
原子炉建物 1階東側通路用ハロゲン化物ポンベ



A-CUW循環ポンプ室, スクラム排出水容器室用  
ハロゲン化物ポンベ

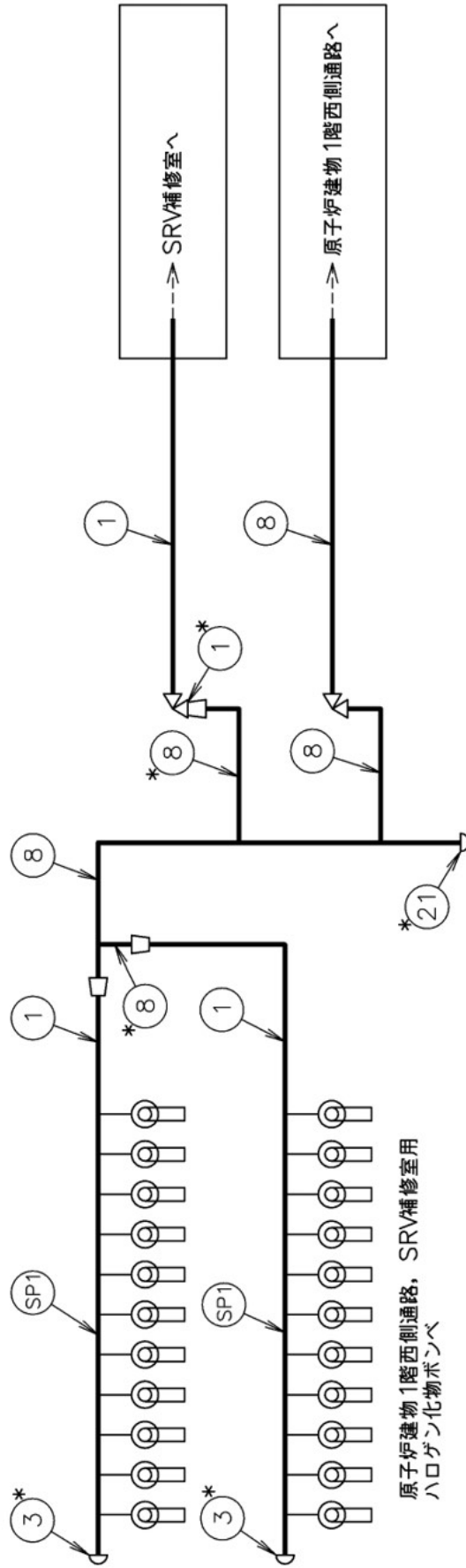
注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その20）



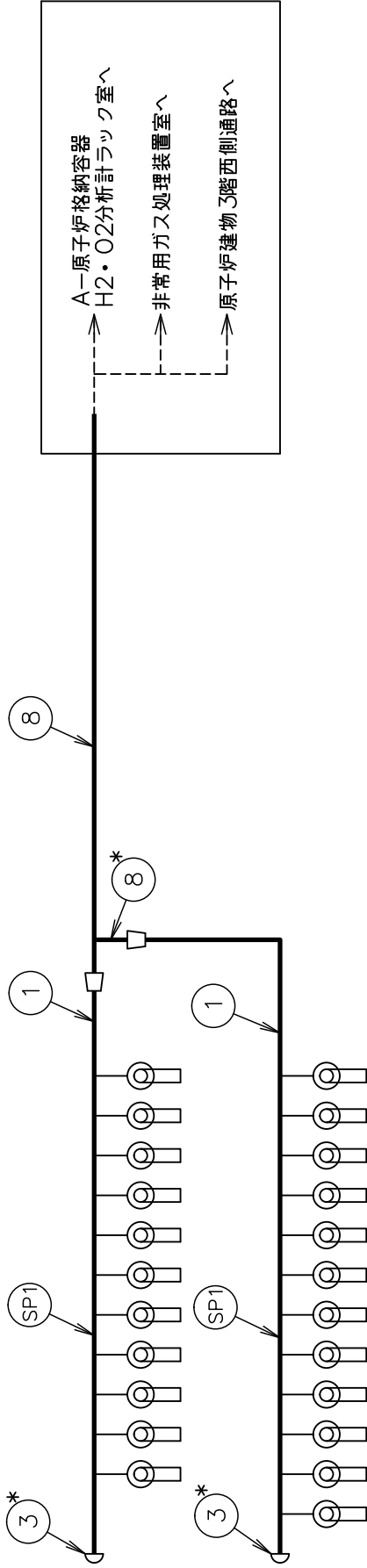
原子炉建物中2階東側通路，原子炉浄化サージタンク室，  
SLCポンプ室，原子炉建物3階東側通路用  
ハロゲン化物ポンベ

原子炉建物中2階東側通路，原子炉浄化サージタンク室，  
SLCポンプ室，原子炉建物3階東側通路用  
ハロゲン化物ポンベ

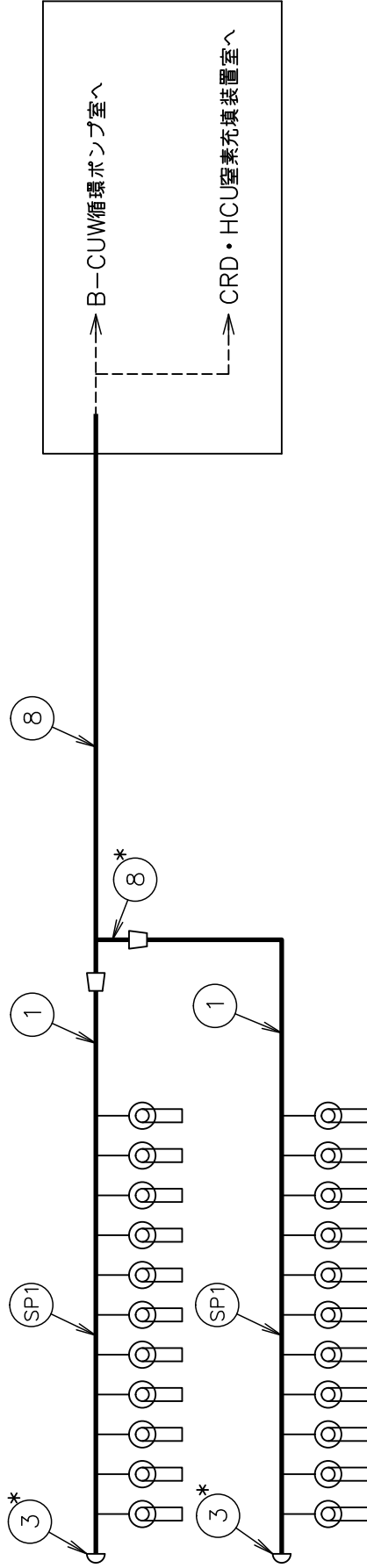
注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その21）



注記\*：管継手  
 ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
 概略系統図（その22）

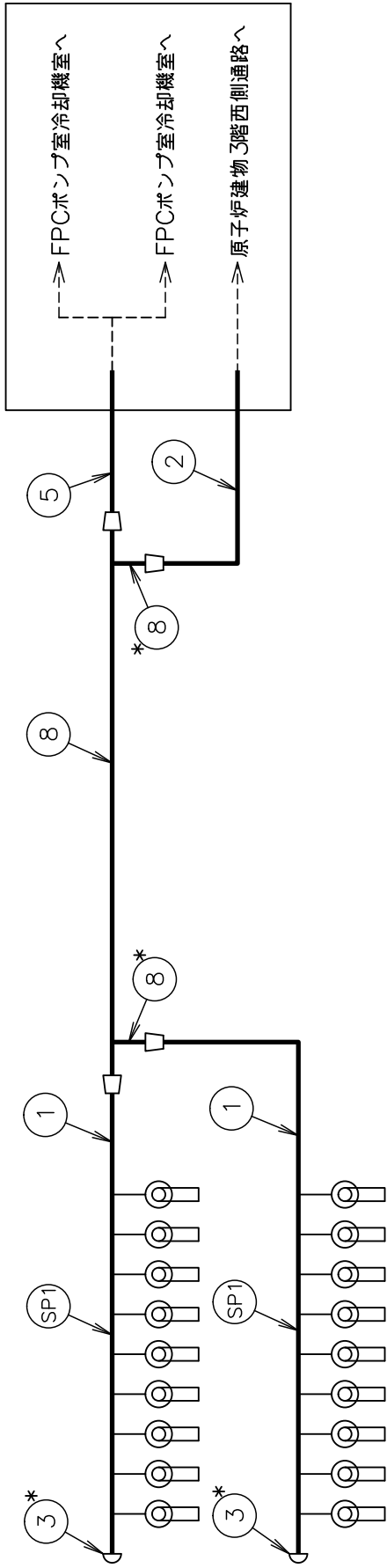


A-原子炉格納容器H2・O2分析計ラック室，  
非常用ガス処理装置室，原子炉建物3階西側通路用  
ハロゲン化物ポンプ

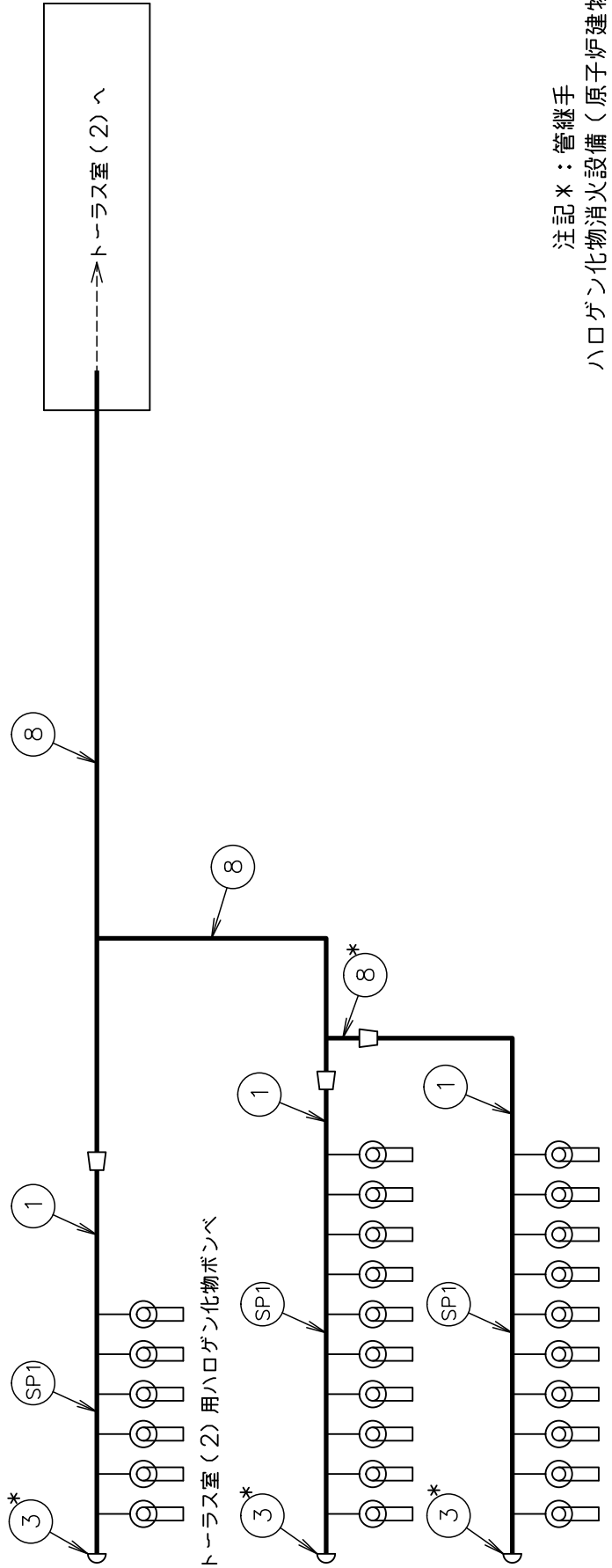


B-CUW循環ポンプ室，CRD・HCU窒素充填装置室用  
ハロゲン化物ポンプ

注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その23）



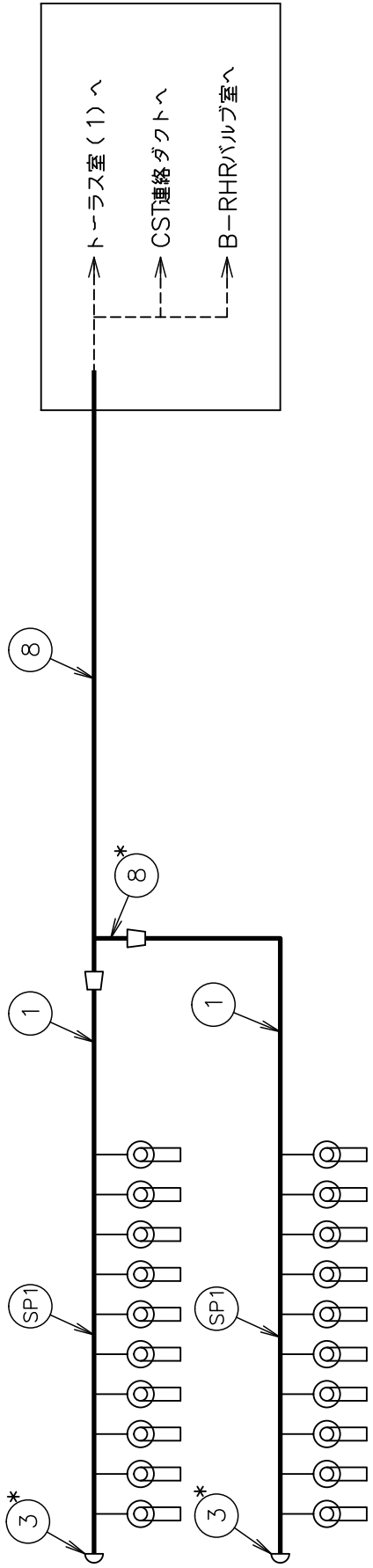
FPCポンプ室冷却機室，原子炉建物3階西側通路用  
ハロゲン化物ポンベ



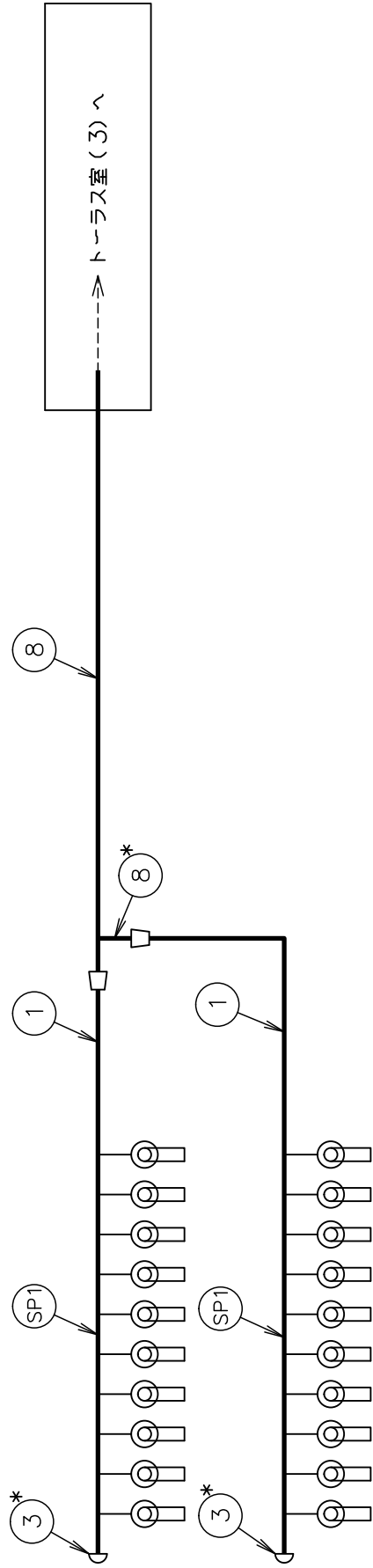
トールラス室(2)用ハロゲン化物ポンベ

注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（原子炉建物）  
概略系統図（その24）



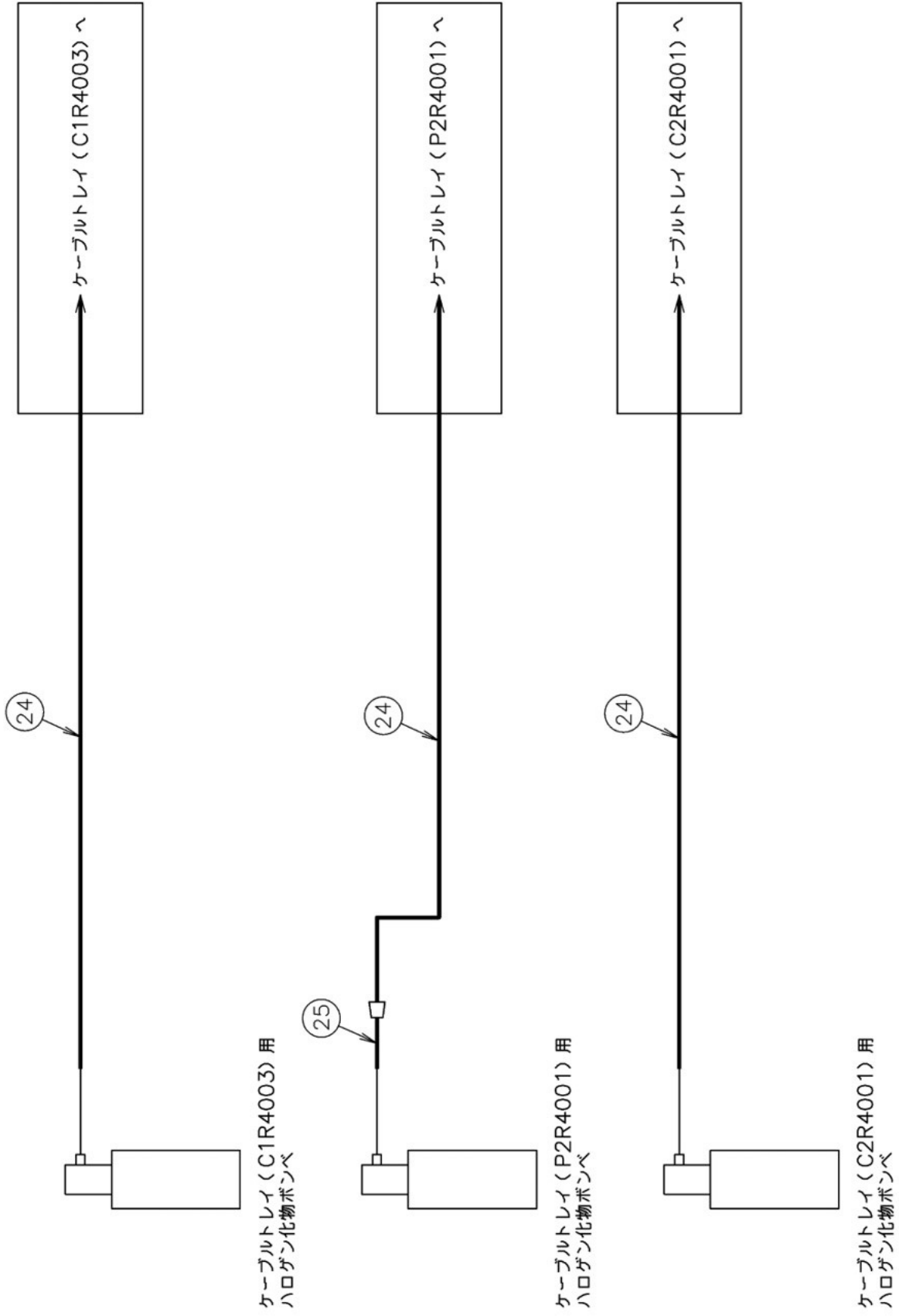


トーラス室(1), CST連絡ダクト,  
B-RHRバルブ室用ハロゲン化物ポンベ



トーラス室(3)用ハロゲン化物ポンベ

注記\*: 管継手  
ハロゲン化物消火設備(原子炉建物)  
概略系統図(その25)



ハロゲン化物消火設備 (原子炉建物)  
概略系統図 (その26)

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	76.30	5.20	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
2	5.20	40	89.10	5.50	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	4.81	1.77	A	1.77
3	5.20	40	76.30	5.20	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
4	5.20	40	89.10	5.50	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	4.81	1.77	A	1.77
5	5.20	40	60.50	3.90	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.40	1.20	A	1.20
6	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85
7	5.20	40	48.60	3.70	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.20	0.97	A	0.97
8	5.20	40	114.30	6.00	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	5.25	2.27	A	2.27
9	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68
10	5.20	40	48.60	3.70	STPG370	S	3	93	1.00	0.50mm	3.20	1.33	C	2.20

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 管の強度計算書 (クラス3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
11	5.20	40	48.60	3.70	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	3.23	1.33	C	2.20
12	5.20	40	76.30	5.20	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.55	2.09	C	2.70
13	5.20	40	76.30	5.20	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.55	2.09	C	2.70
14	5.20	40	34.00	3.40	STPG370	S	3	93	1.00	0.50mm	2.90	0.93	C	1.70
15	5.20	40	27.20	2.90	STPG370	S	3	93	1.00	0.50mm	2.40	0.75	C	1.70
16	5.20	40	76.30	5.20	S25C (100mm<径≦200mm)	S	3	103	1.00	12.5 %	4.55	1.89	C	2.70
17	5.20	40	114.30	6.00	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	3.13	C	3.40
18	5.20	40	114.30	6.00	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	5.25	3.13	C	3.40
19	5.20	40	89.10	5.50	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	2.44	C	3.00
20	5.20	40	89.10	5.50	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.81	2.44	C	3.00

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 管の強度計算書 (クラス3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
21	5.20	40	114.30	6.00	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	5.25	2.27	A	2.27
22	5.20	40	139.80	6.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	5.77	2.78	A	2.78
23	5.20	40	139.80	6.60	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	5.77	2.78	A	2.78
24	4.60	40			Cl220T	S	3	41	1.00				A	0.54
25	4.60	40			Cl220T	S	3	41	1.00				A	0.33

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 89.10
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 79.48
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 5.50
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 4.81
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 47.00
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 25.40
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 11.00
穴の径	$d$ (mm) 25.40	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm) 19.87	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm) 19.87	
K	0.4103	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm) 50.90	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm) 50.90	
<p>評価： <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T2
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 114.30
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 103.80
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 6.00
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 5.25
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 47.00
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 25.40
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 11.00
穴の径	$d$ (mm) 25.40	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm) 25.95	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm) 25.95	
K	0.4822	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm) 54.52	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm) 54.52	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 76.30
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 67.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 5.20
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 4.55
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 16.80
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 16.80
K		0.3714
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 48.47
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 48.47
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1



管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP2
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 60.50
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 53.70
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.90
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.40
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 13.43
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 13.43
K		0.3941
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 40.21
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 40.21
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP3	
形 式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材 料	STPG370	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	93
	外 径	$D_{or}$ (mm)	48.60
	内 径	$D_{ir}$ (mm)	42.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	3.70
	厚さの負の許容差	$Q_r$	0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	3.20
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材 料	S25C(100mm<径 $\leq$ 200mm)	
	外 径	$D_{ob}$ (mm)	30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm)	16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	7.10
穴の径	d (mm)	16.20	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	10.55	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	10.55	
K		0.4666	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	35.11	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	35.11	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>			

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP4	
形 式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材 料	STPG370	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	93
	外 径	$D_{or}$ (mm)	34.00
	内 径	$D_{ir}$ (mm)	28.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	3.40
	厚さの負の許容差	$Q_r$	0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	2.90
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材 料	S25C(100mm<径 $\leq$ 200mm)	
	外 径	$D_{ob}$ (mm)	30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm)	16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	7.10
穴の径	$d$ (mm)	16.20	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	7.05	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	7.05	
K		0.3602	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	32.05	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	32.05	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>			

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP5	
形 式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材 料	STPG370	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	93
	外 径	$D_{or}$ (mm)	76.30
	内 径	$D_{ir}$ (mm)	67.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	5.20
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	4.55
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材 料	S25C(100mm < 径 ≤ 200mm)	
	外 径	$D_{ob}$ (mm)	30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm)	16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	7.10
穴の径		d (mm)	16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm)	16.80
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	16.80
K			0.5152
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	44.45
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm)	44.45
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>			

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP6
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 48.60
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 42.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.70
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.20
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 10.55
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 10.55
K		0.3364
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 37.76
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 37.76
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP7
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力 $S_r$	(MPa) 129
	外 径 $D_{or}$	(mm) 34.00
	内 径 $D_{ir}$	(mm) 28.20
	公称厚さ $t_{ro}$	(mm) 3.40
	厚さの負の許容差 $Q_r$	0.50mm
	最小厚さ $t_r$	(mm) 2.90
	継手効率 $\eta$	1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径 $D_{ob}$	(mm) 30.20
	内 径 $D_{ib}$	(mm) 16.20
	公称厚さ $t_{bn}$	(mm) 7.10
穴の径 $d$		(mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 7.05
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 7.05
K		0.2597
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 33.64
補強不要な穴の最大径 $d_{fr}$		(mm) 33.64
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-6 RIE

VI-3-3-8-2-5-7 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (廃棄物処理建物) )

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。



## ・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス		
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)					
1~2, 4~11, 13~16	新設	—	—	DB-3	—	—	—	5.20	40	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	
1~3, 11~15	新設	—	—	DB-3 —*	—	—	—	5.20	40	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	
1~3,11, 13	新設	—	—	—*	—	—	—	5.20	40	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	

注記\*：DBクラス「一」である管については，SA設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

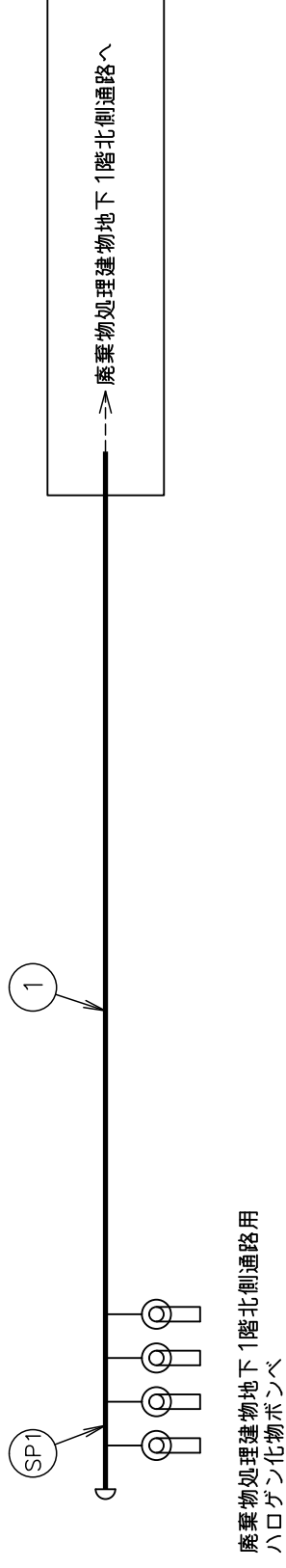
・適用規格の選定

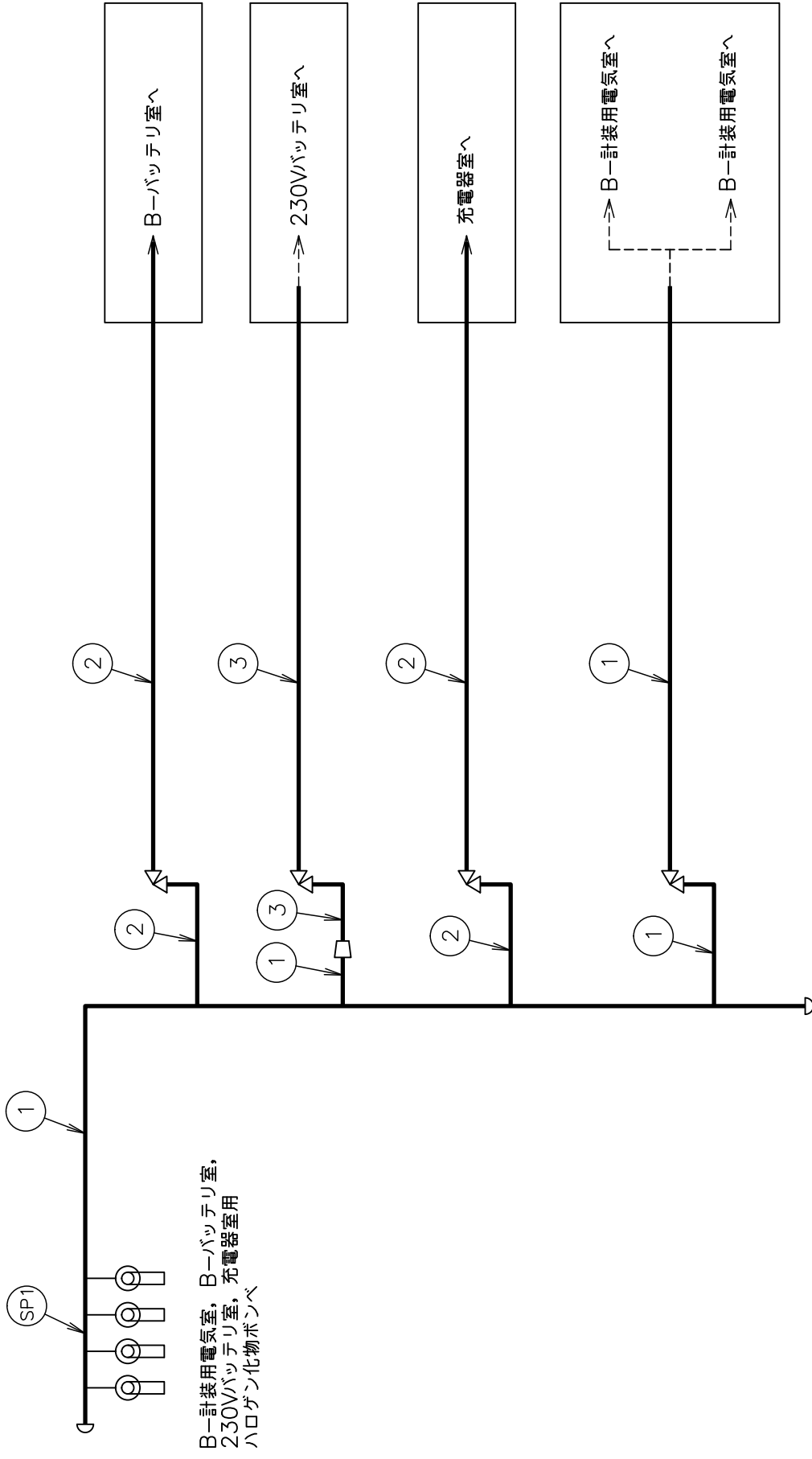
NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～16	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
T1	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1～SP6	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

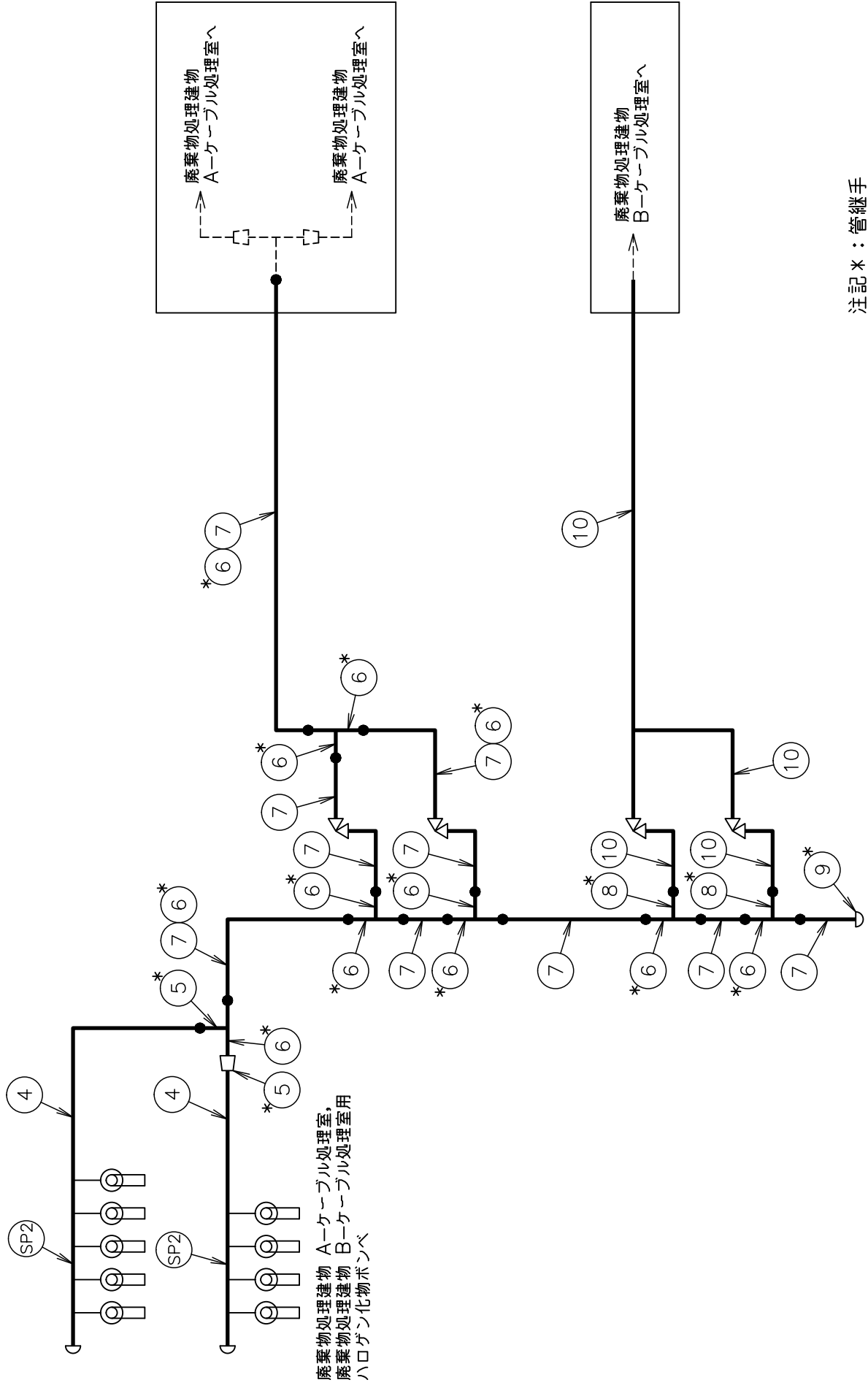
1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	10
3. 管の穴と補強計算書	12

1. 概略系統図

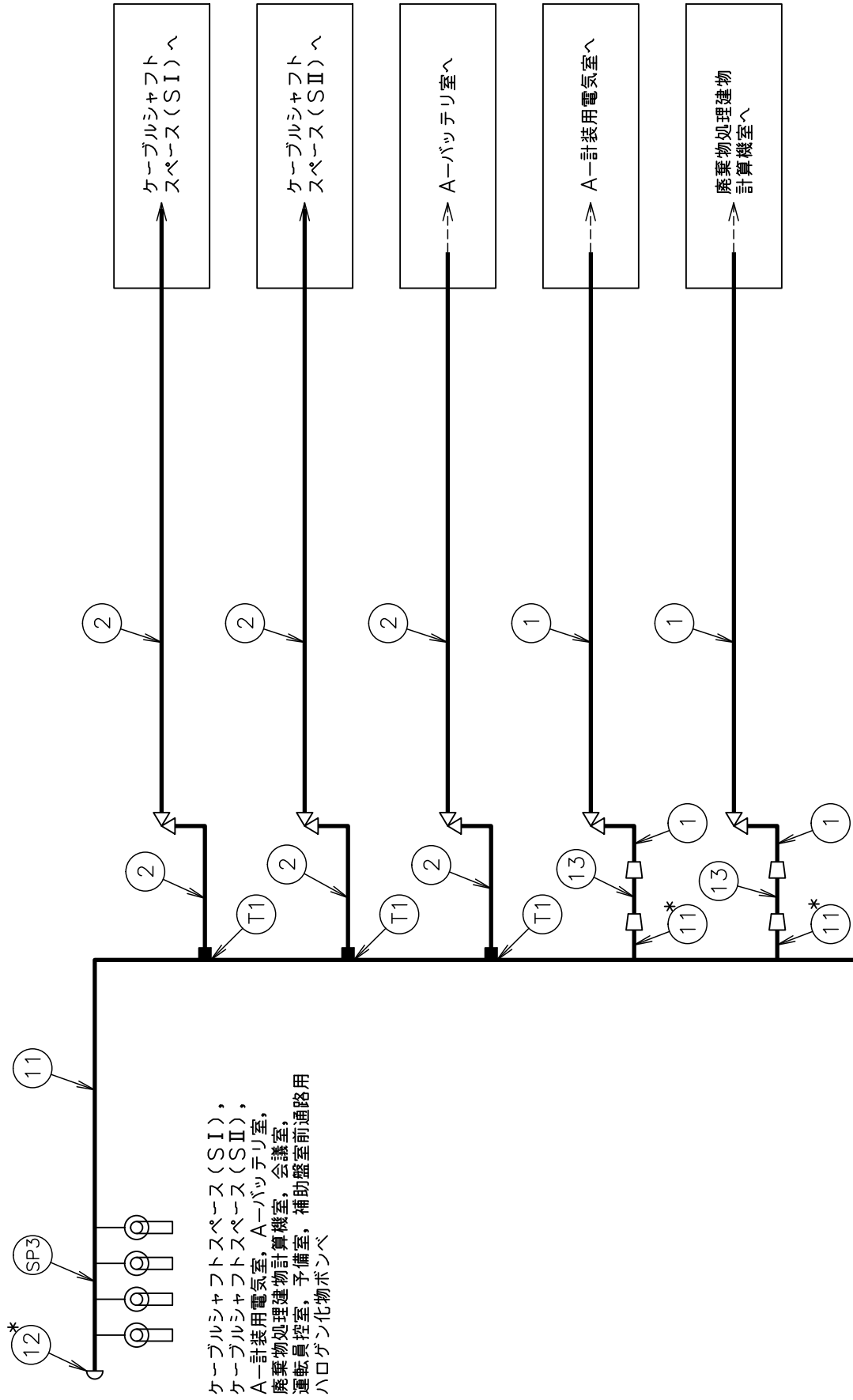




ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
概略系統図（その2）



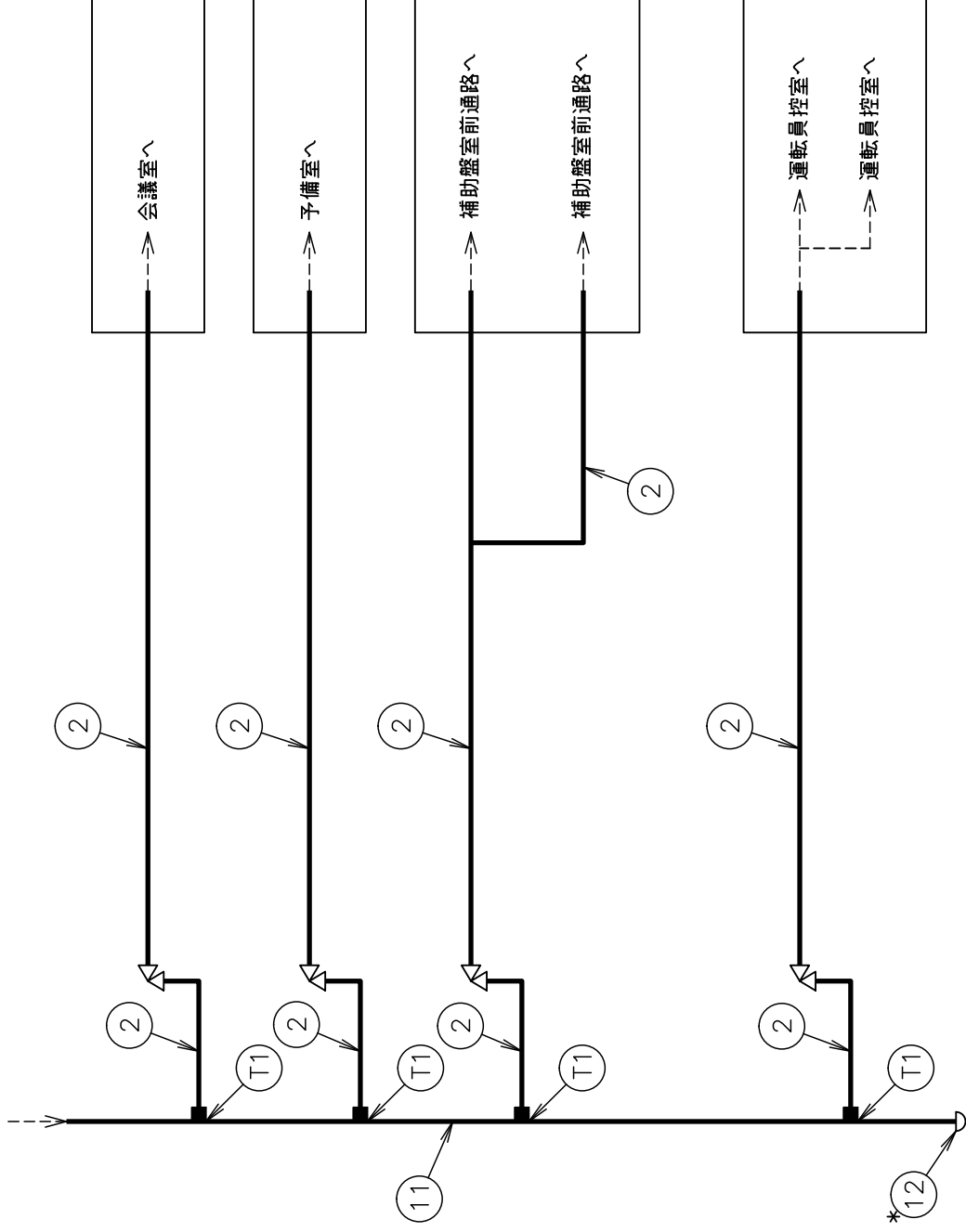
注記\*：管継手  
 ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
 概略系統図（その3）



注記\*：管継手  
 ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
 概略系統図（その4）

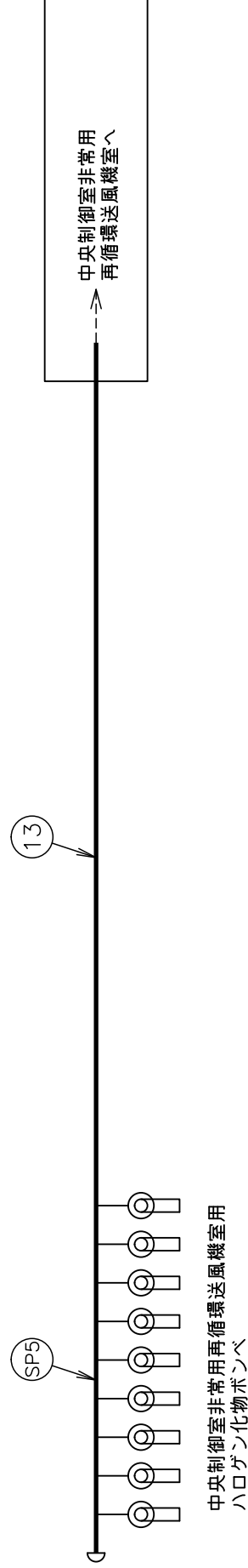
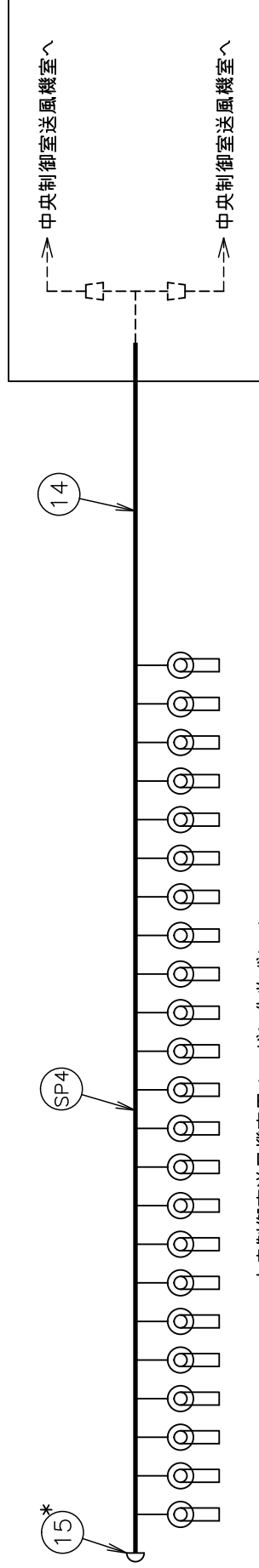
ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
 概略系統図（その5）へ

ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
概略系統図（その4）より

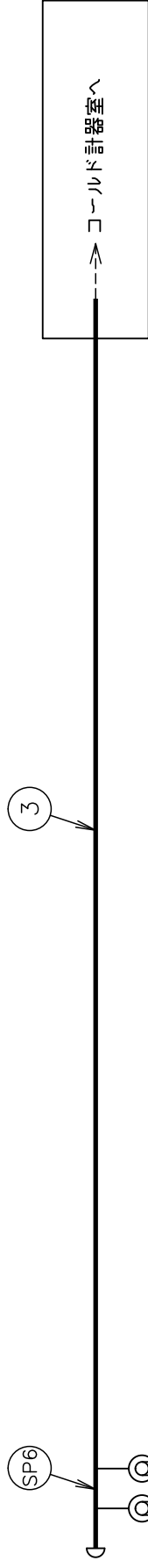


注記＊：管継手  
ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
概略系統図（その5）

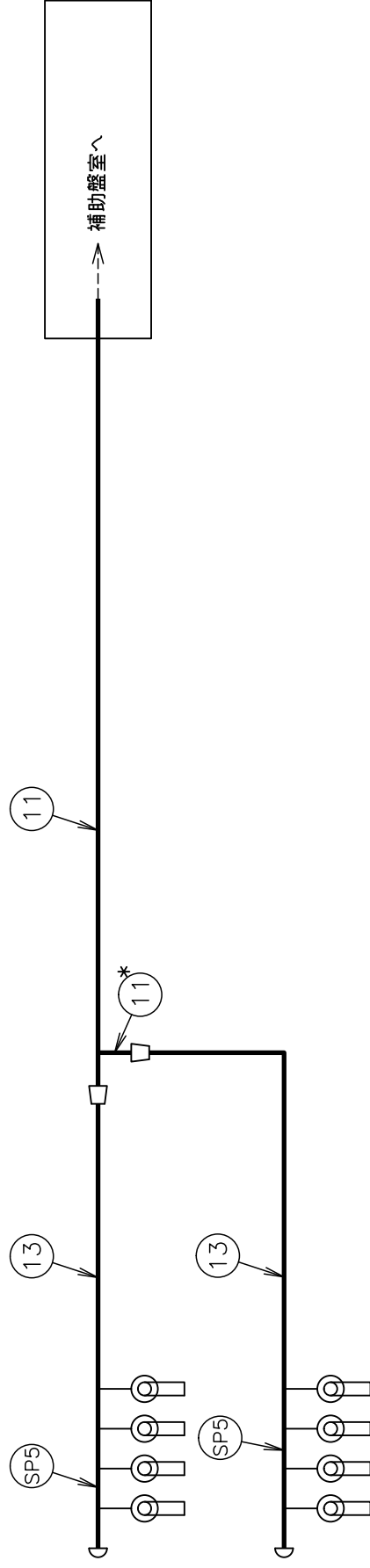




注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
概略系統図（その6）

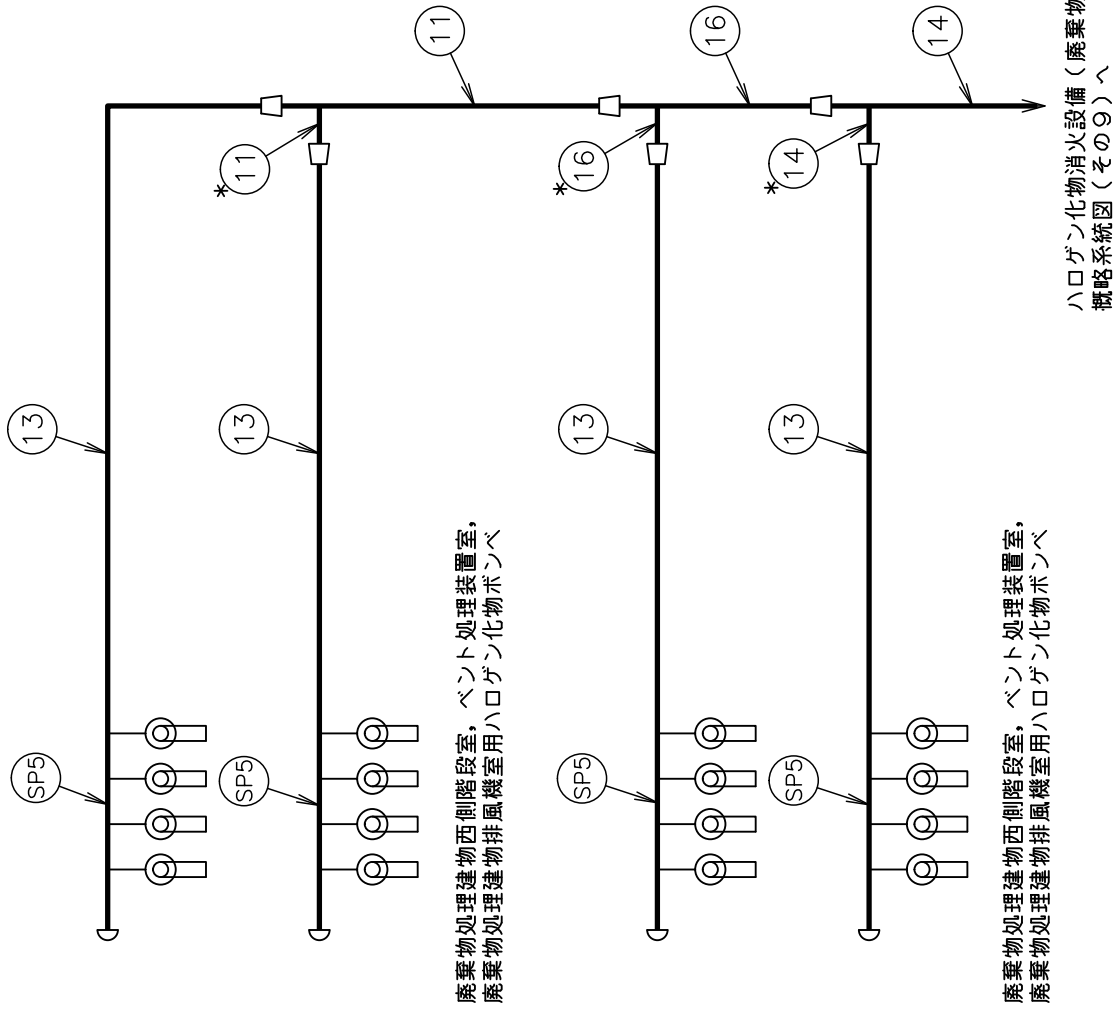


コントロール計器室用  
ハロゲン化物ポンベ



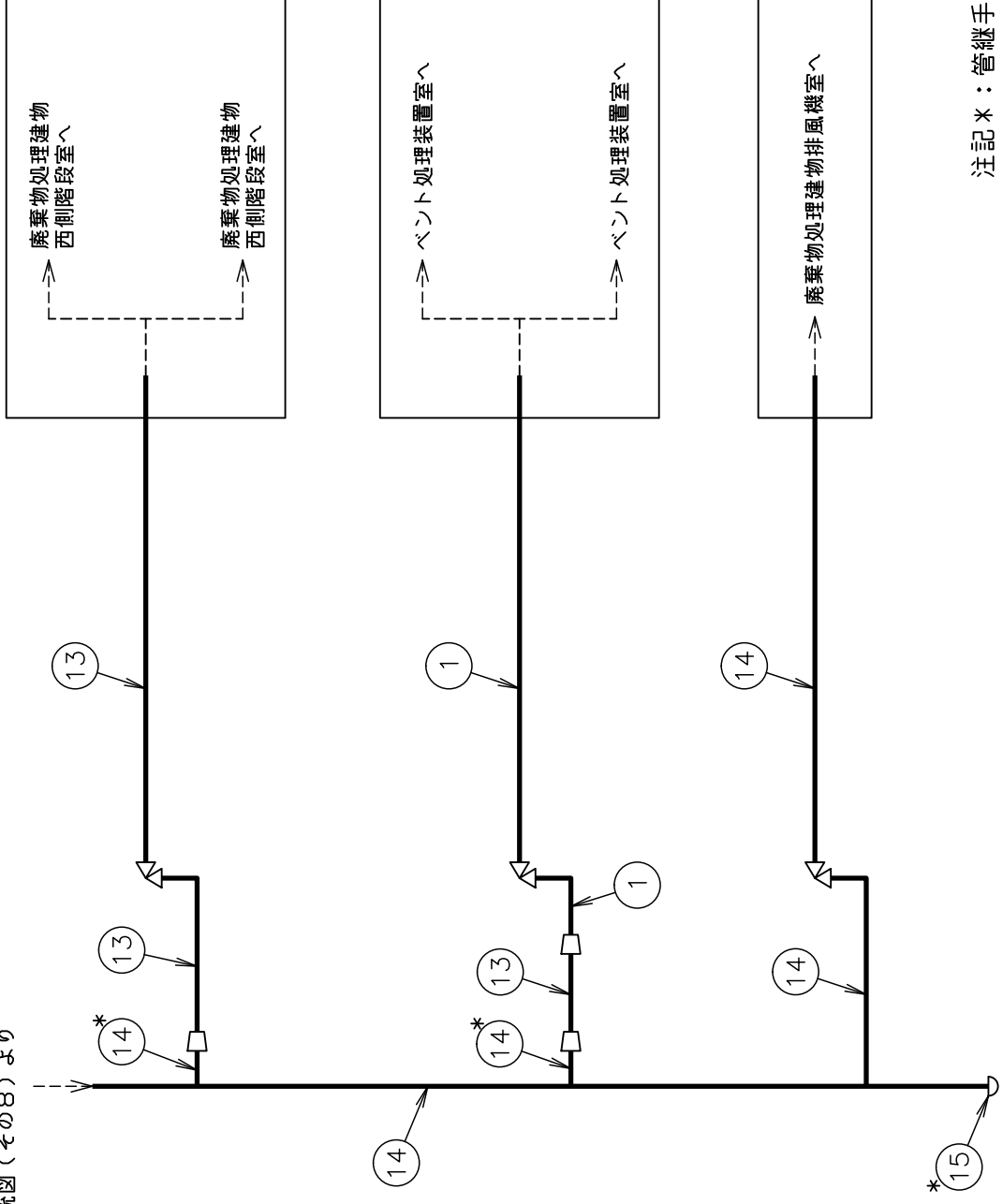
補助盤室用  
ハロゲン化物ポンベ

注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
概略系統図（その7）



注記\*: 管継手  
 ハロゲン化物消火設備 (廃棄物処理建物)  
 概略系統図 (その8)

ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
概略系統図（その8）より



注記＊：管継手  
ハロゲン化物消火設備（廃棄物処理建物）  
概略系統図（その9）

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	48.60	3.70	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.20	0.97	A	0.97
2	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68
3	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85
4	5.20	40	48.60	3.70	STPG370	S	3	93	1.00	0.50mm	3.20	1.33	C	2.20
5	5.20	40	48.60	3.70	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	3.23	1.33	C	2.20
6	5.20	40	76.30	5.20	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.55	2.09	C	2.70
7	5.20	40	76.30	5.20	STPG370	S	3	93	1.00	12.5 %	4.55	2.09	C	2.70
8	5.20	40	60.50	3.90	STPT370	S	3	93	1.00	12.5 %	3.41	1.66	C	2.40
9	5.20	40	76.30	5.20	S25C (100mm<径≦200mm)	S	3	103	1.00	12.5 %	4.55	1.89	C	2.70
10	5.20	40	60.50	3.90	STPG370	S	3	93	1.00	0.50mm	3.40	1.66	C	2.40

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

## 管の強度計算書 (クラス3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
11	5.20	40	76.30	5.20	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
12	5.20	40	76.30	5.20	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
13	5.20	40	60.50	3.90	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.40	1.20	A	1.20
14	5.20	40	114.30	6.00	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	5.25	2.27	A	2.27
15	5.20	40	114.30	6.00	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	5.25	2.27	A	2.27
16	5.20	40	89.10	5.50	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	4.81	1.77	A	1.77

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力 $S_r$	(MPa) 129
	外 径 $D_{or}$	(mm) 76.30
	内 径 $D_{ir}$	(mm) 67.20
	公称厚さ $t_{ro}$	(mm) 5.20
	厚さの負の許容差 $Q_r$	12.5 %
	最小厚さ $t_r$	(mm) 4.55
	継手効率 $\eta$	1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径 $D_{ob}$	(mm) 47.00
	内 径 $D_{ib}$	(mm) 25.40
	公称厚さ $t_{bn}$	(mm) 11.00
穴の径 $d$	(mm) 25.40	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm) 16.80	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm) 16.80	
K	0.3714	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm) 48.47	
補強不要な穴の最大径 $d_{fr}$	(mm) 48.47	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-7 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 48.60
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 42.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.70
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.20
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 10.55
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 10.55
K		0.3364
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 37.76
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 37.76
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-7 R1



管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP2	
形 式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材 料	STPG370	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	93
	外 径	$D_{or}$ (mm)	48.60
	内 径	$D_{ir}$ (mm)	42.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	3.70
	厚さの負の許容差	$Q_r$	0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	3.20
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材 料	S25C(100mm<径 $\leq$ 200mm)	
	外 径	$D_{ob}$ (mm)	30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm)	16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	7.10
穴の径	d (mm)	16.20	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	10.55	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	10.55	
K		0.4666	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	35.11	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	35.11	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>			

S2 補 VI-3-3-8-2-5-7 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP3
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 76.30
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 67.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 5.20
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 4.55
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 16.80
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 16.80
K		0.3714
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 48.47
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 48.47
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-7 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP4	
形 式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材 料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外 径	$D_{or}$ (mm)	114.30
	内 径	$D_{ir}$ (mm)	103.80
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	6.00
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	5.25
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材 料	SUS304	
	外 径	$D_{ob}$ (mm)	30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm)	16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	7.10
穴の径	$d$ (mm)	16.20	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	25.95	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	25.95	
K		0.4822	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	54.52	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	54.52	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>			

S2 補 VI-3-3-8-2-5-7 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP5
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 60.50
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 53.70
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.90
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.40
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 13.43
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 13.43
K		0.3941
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 40.21
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 40.21
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-7 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP6
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 42.70
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 36.50
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.60
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.10
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径	$d$ (mm) 16.20	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm) 9.13	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm) 9.13	
K	0.3051	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm) 36.34	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm) 36.34	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-7 RIE

VI-3-3-8-2-5-8 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (制御室建物) )

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件					
							圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)					
1～3	新設	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	



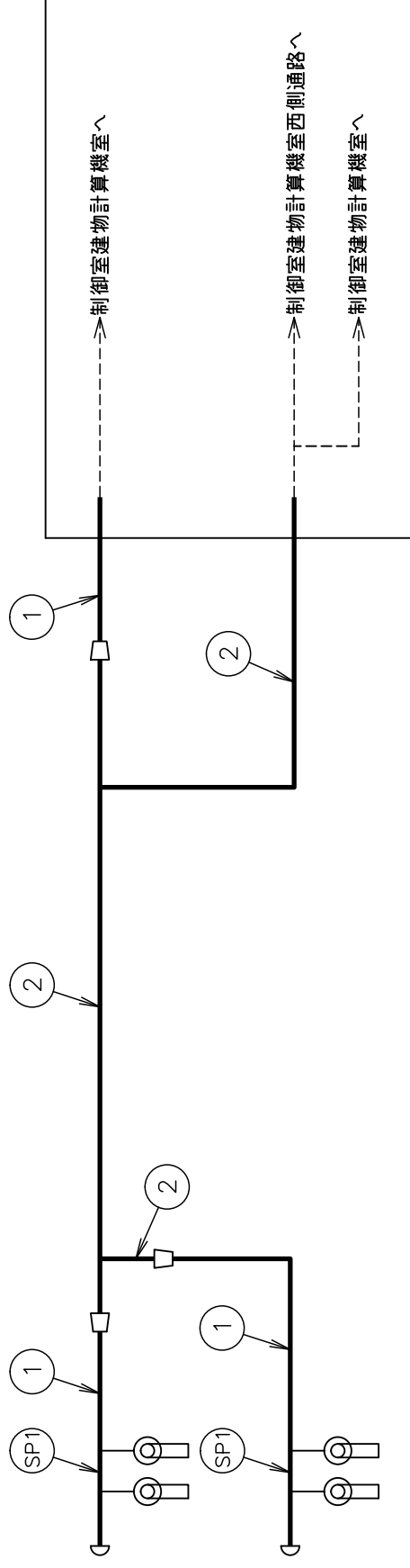
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～3	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1～SP2	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

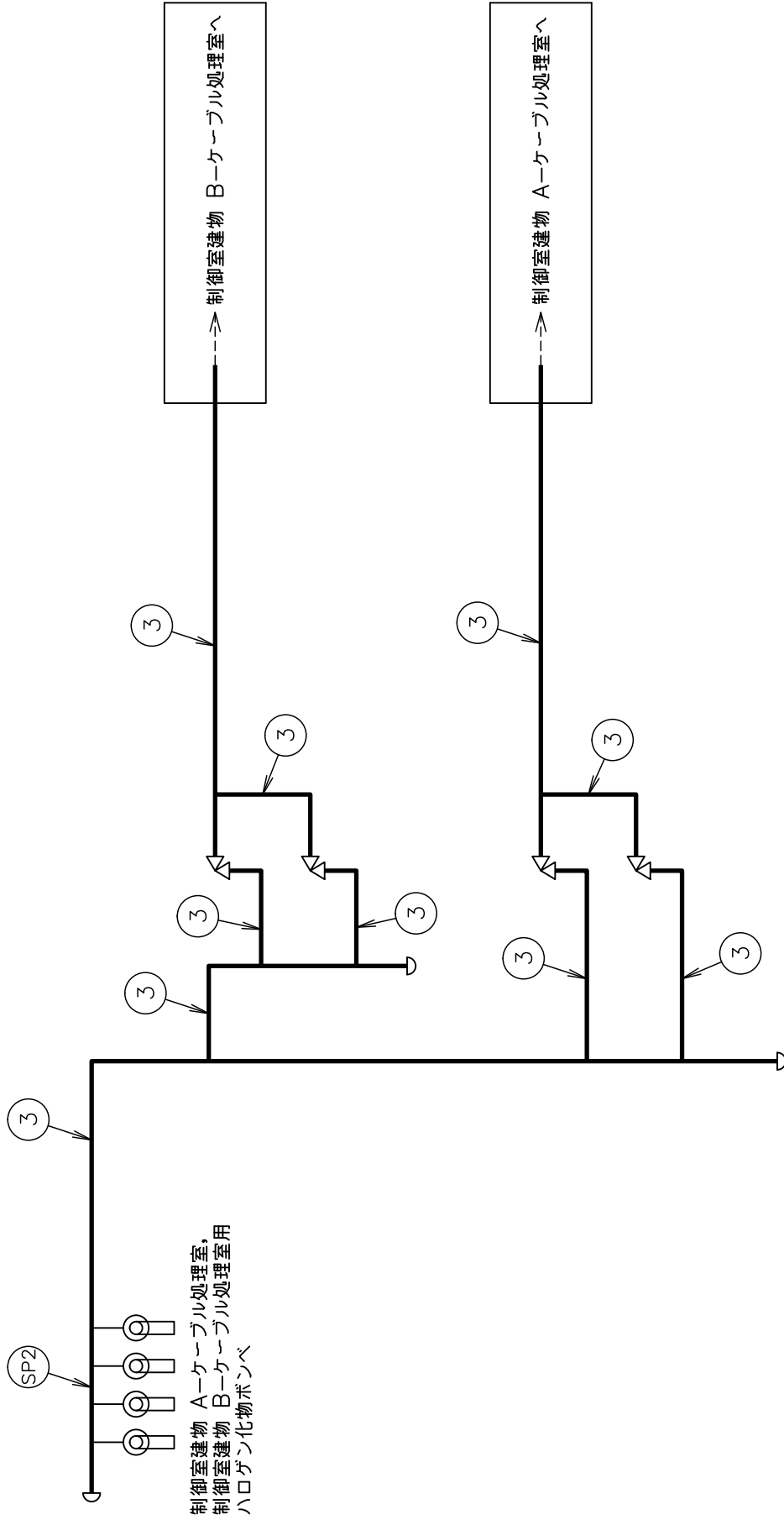
1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	3
3. 管の穴と補強計算書	4

1. 概略系統図



制御室建物計算機室西側通路,  
制御室建物計算機室用  
ハロゲン化物ボンベ

ハロゲン化物消火設備 (制御室建物)  
概略系統図 (その1)



ハロゲン化物消火設備（制御室建物）  
概略系統図（その2）

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85
2	5.20	40	48.60	3.70	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.20	0.97	A	0.97
3	5.20	40	60.50	3.90	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.40	1.20	A	1.20

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1	
形 式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材 料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外 径	$D_{or}$ (mm)	42.70
	内 径	$D_{ir}$ (mm)	36.50
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	3.60
	厚さの負の許容差	$Q_r$	0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	3.10
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材 料	SUS304	
	外 径	$D_{ob}$ (mm)	30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm)	16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	7.10
穴の径	$d$ (mm)	16.20	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	9.13	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	9.13	
K		0.3051	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	36.34	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	36.34	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>			

S2 補 VI-3-3-8-2-5-8 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP2
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 60.50
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 53.70
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.90
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.40
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 13.43
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 13.43
K		0.3941
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 40.21
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 40.21
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-8 RIE

VI-3-3-8-2-5-9 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (タービン建物) )



## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス		
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件							
1~8	新設	—	—	DB-3	—	—	—	—	5.20	40	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	

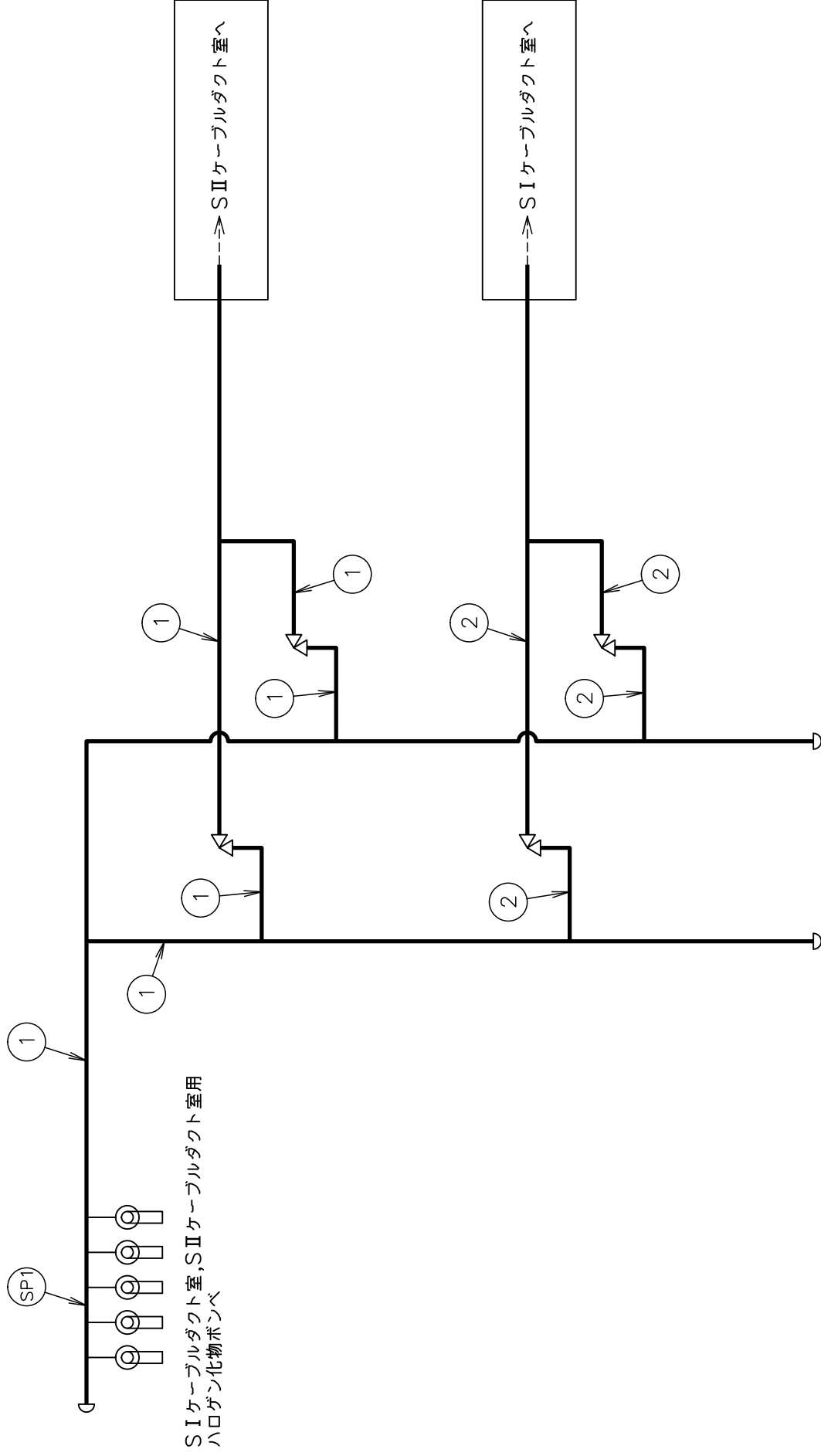
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～8	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1～SP4	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

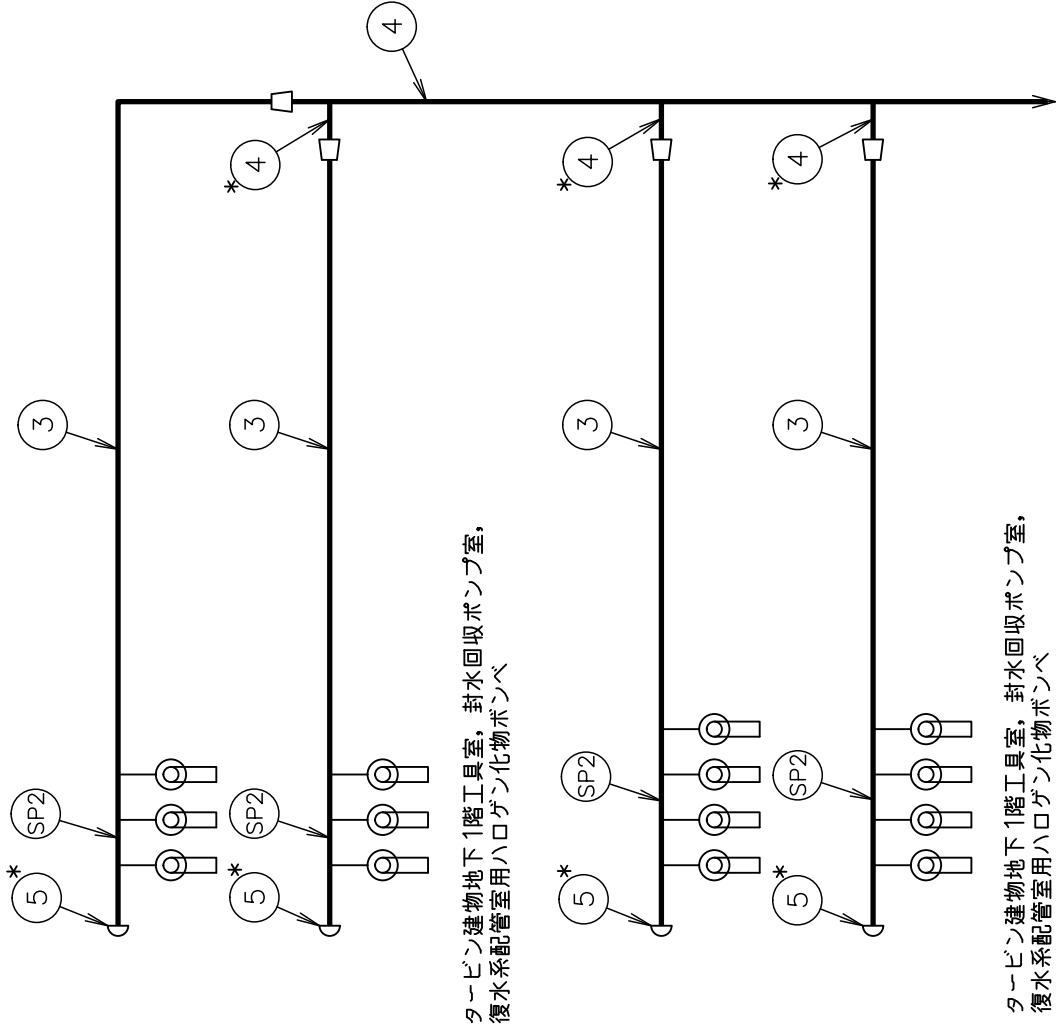
## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	8
3. 管の穴と補強計算書	9

1. 概略系統図

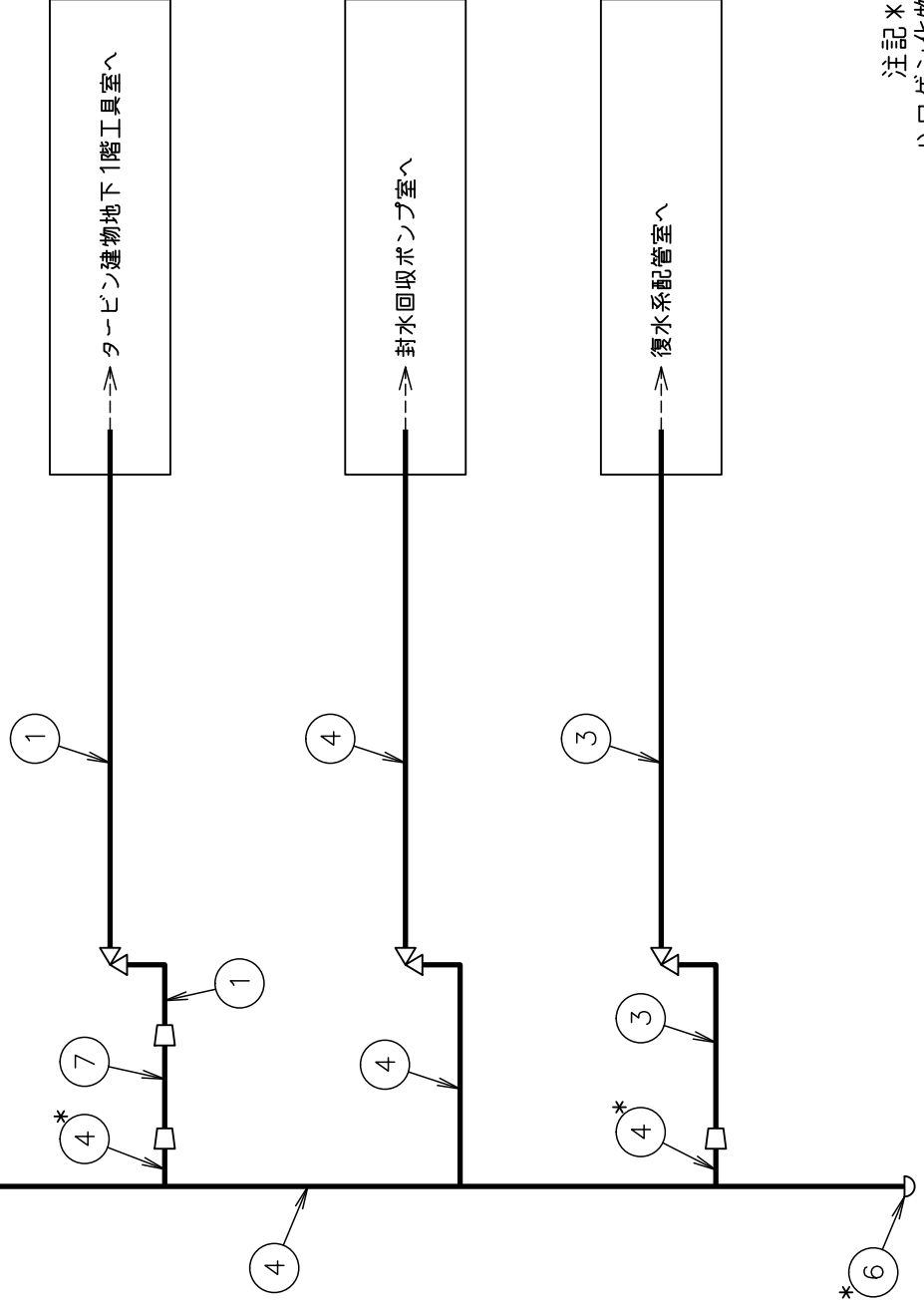


ハロゲン化物消火設備（タービン建物）  
概略系統図（その1）

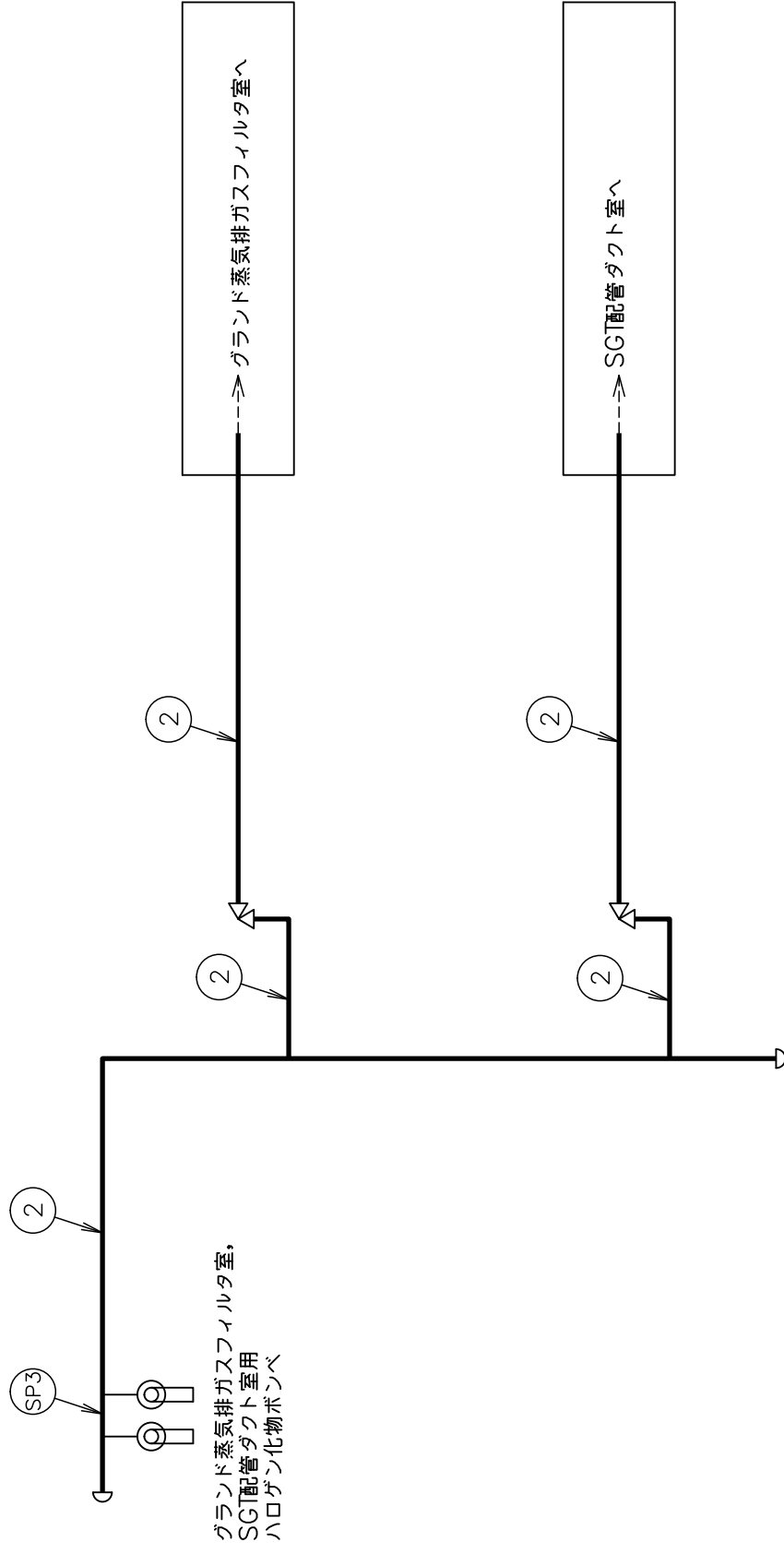


注記\* : 管継手  
ハロゲン化物消火設備 (タービン建物)  
概略系統図 (その2)

ハロゲン化物消火設備（タービン建物）  
概略系統図（その2）より

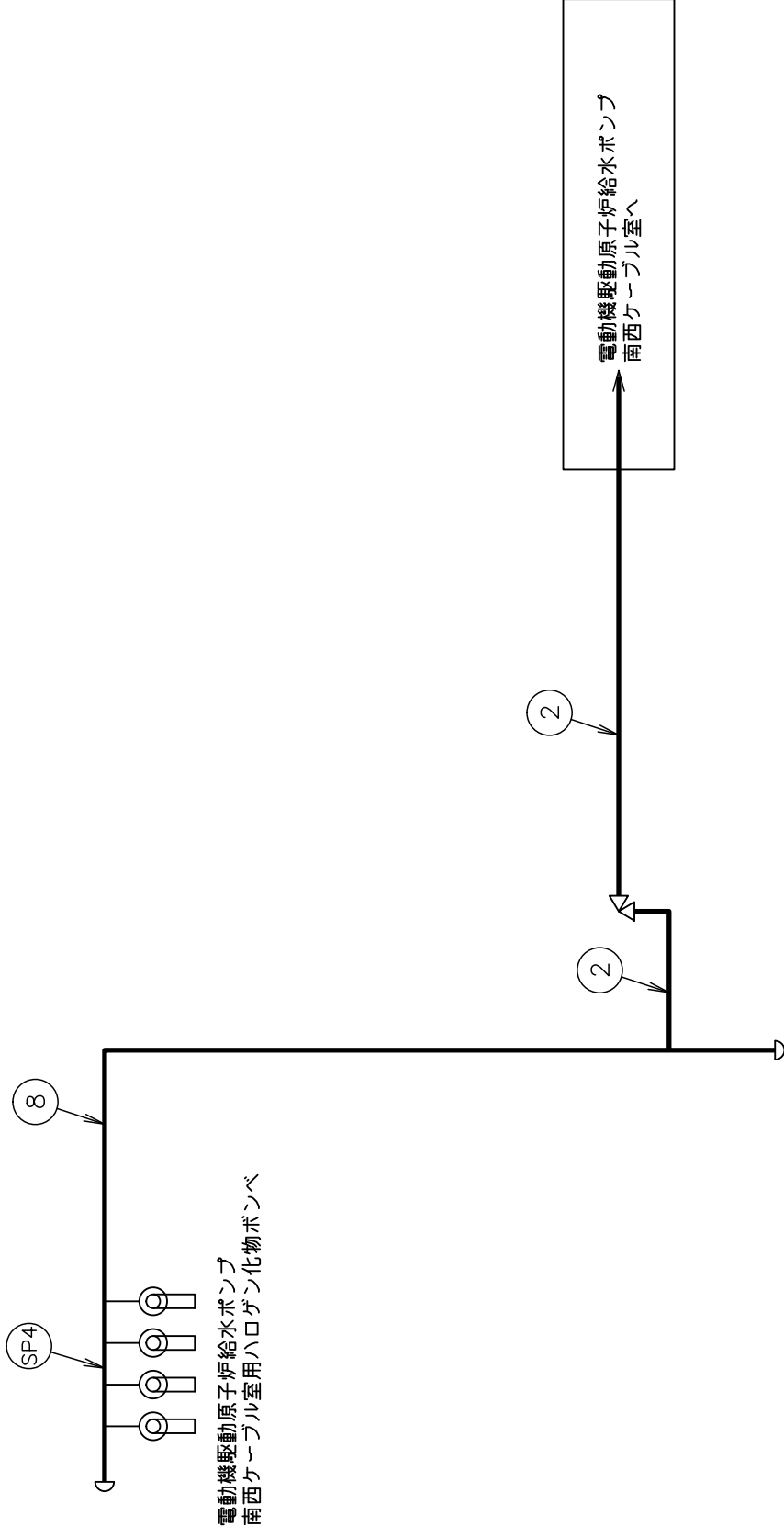


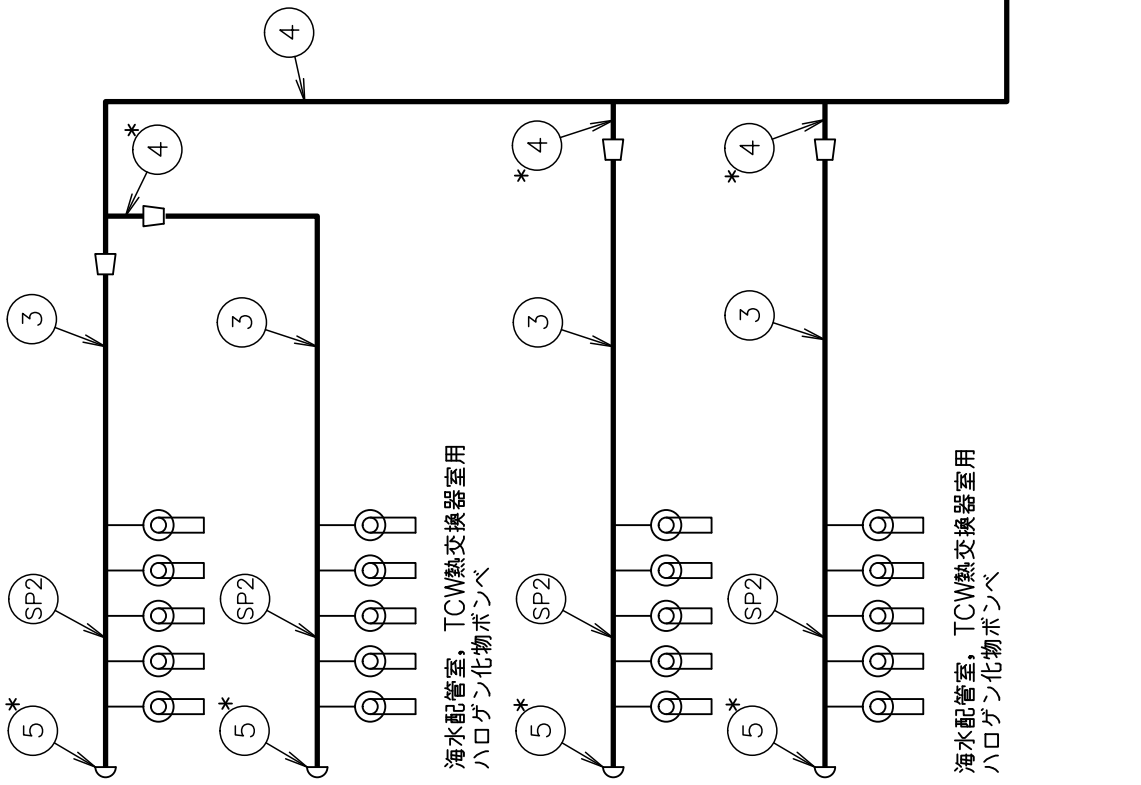
注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（タービン建物）  
概略系統図（その3）



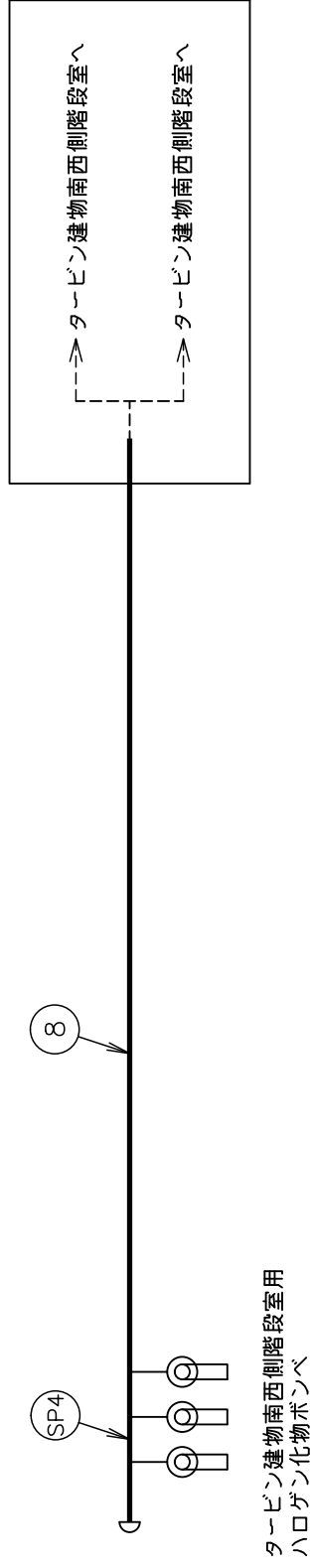
ハロゲン化物消火設備（タービン建物）  
概略系統図（その4）







注記\*: 管継手  
ハロゲン化物消火設備 (タービン建物)  
概略系統図 (その6)



ハロゲン化物消火設備（タービン建物）  
概略系統図（そのア）

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85
2	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68
3	5.20	40	76.30	5.20	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
4	5.20	40	114.30	6.00	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	5.25	2.27	A	2.27
5	5.20	40	76.30	5.20	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
6	5.20	40	114.30	6.00	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	5.25	2.27	A	2.27
7	5.20	40	60.50	3.90	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.40	1.20	A	1.20
8	5.20	40	48.60	3.70	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.20	0.97	A	0.97

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 42.70
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 36.50
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.60
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.10
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 9.13
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 9.13
K		0.3051
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 36.34
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 36.34
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP2
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力 $S_r$	(MPa) 129
	外 径 $D_{or}$	(mm) 76.30
	内 径 $D_{ir}$	(mm) 67.20
	公称厚さ $t_{ro}$	(mm) 5.20
	厚さの負の許容差 $Q_r$	12.5 %
	最小厚さ $t_r$	(mm) 4.55
	継手効率 $\eta$	1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径 $D_{ob}$	(mm) 30.20
	内 径 $D_{ib}$	(mm) 16.20
	公称厚さ $t_{bn}$	(mm) 7.10
穴の径	d (mm)	16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	16.80
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	16.80
K		0.3714
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	48.47
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	48.47
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-9 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP3
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 34.00
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 28.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.40
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 2.90
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 7.05
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 7.05
K		0.2597
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 33.64
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 33.64
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-9 R1

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP4
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 48.60
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 42.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.70
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.20
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 10.55
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 10.55
K		0.3364
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 37.76
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 37.76
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-9 RIE



VI-3-3-8-2-5-10 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (ディーゼル発電機  
燃料貯蔵タンクエリア) )

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

## ・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)					
1	新設	—	—	DB-3 —*	—	—	—	5.20	40	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	
2	新設	—	—	DB-3	—	—	—	5.20	40	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3	

注記\*：DBクラス「一」である管については，SA設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

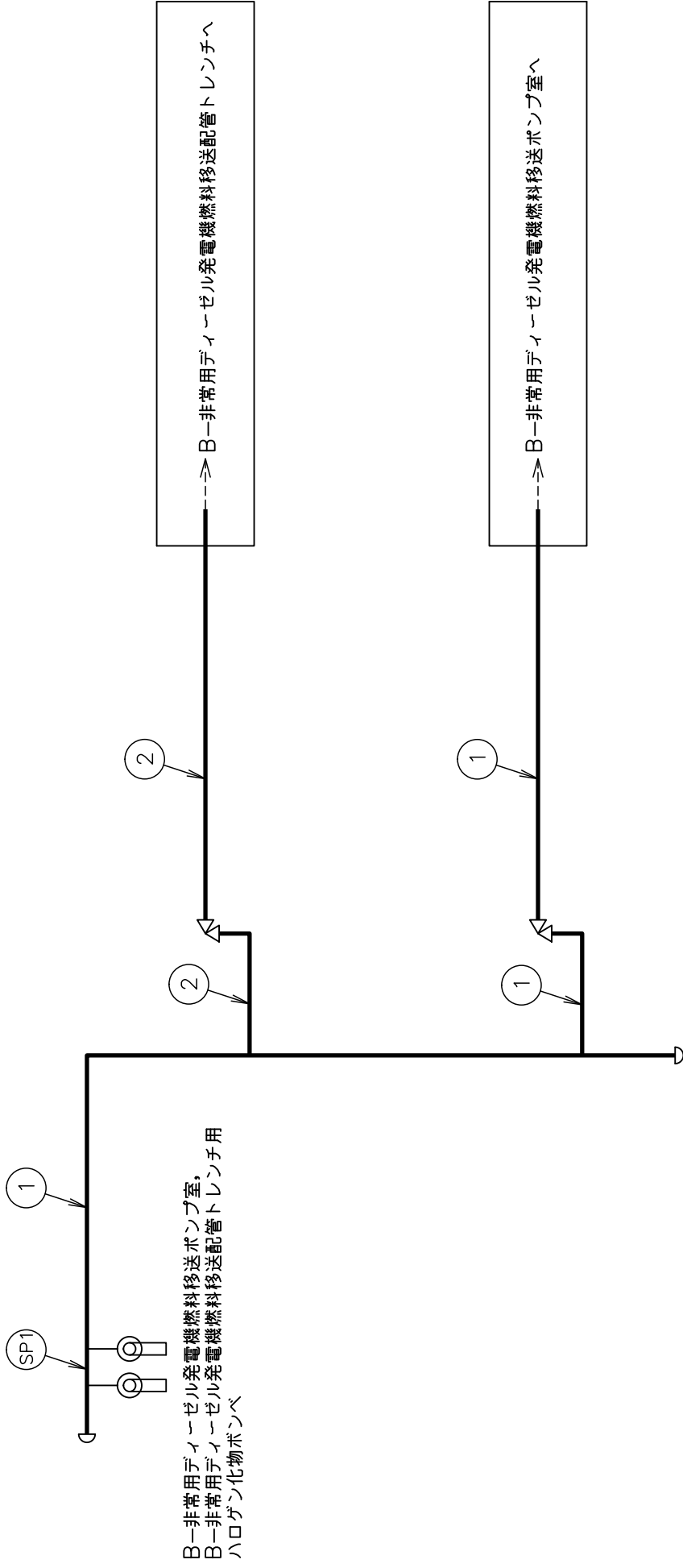
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～2	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	2
3. 管の穴と補強計算書	3

1. 概略系統図



ハロゲン化物消火設備（ディーゼル発電機燃料貯蔵タンクエリア）  
概略系統図

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85
2	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 42.70
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 36.50
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.60
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.10
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 9.13
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 9.13
K		0.3051
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 36.34
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 36.34
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		



VI-3-3-8-2-5-11 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (格納槽))

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス			
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件							
1~7	新設	—	—	—	—*	—	—	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	DB-3

注記\*：DBクラス「一」である管については，SA設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

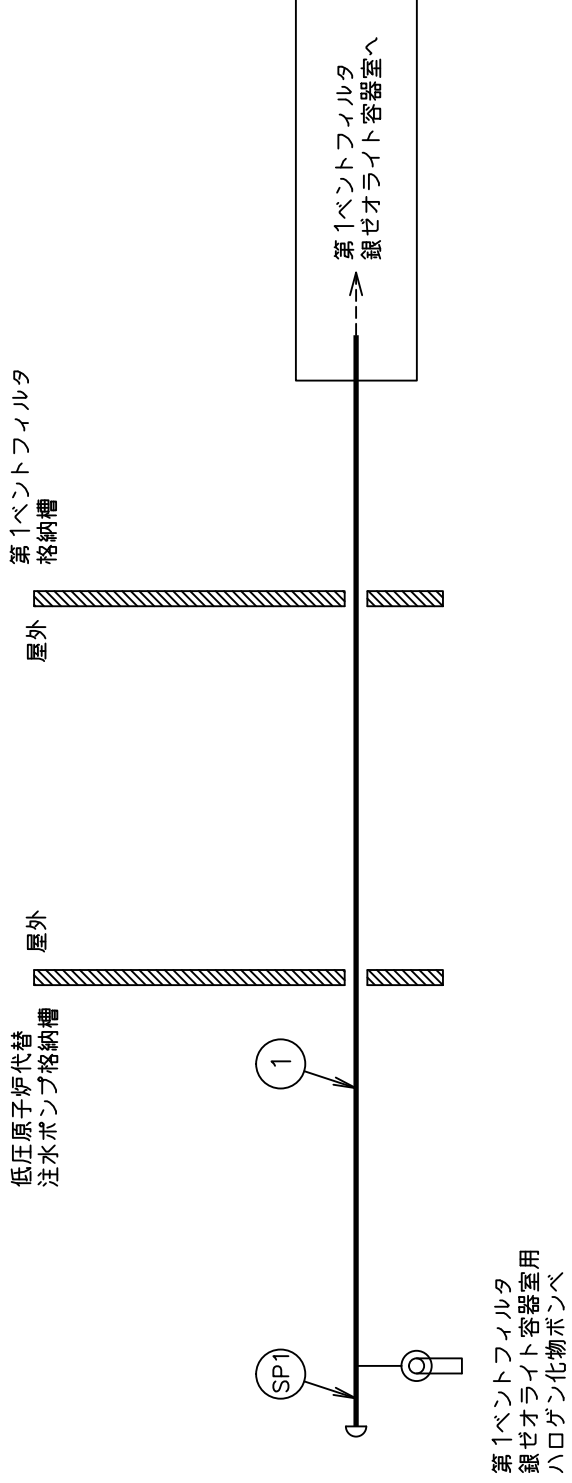
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～7	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1～SP2	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

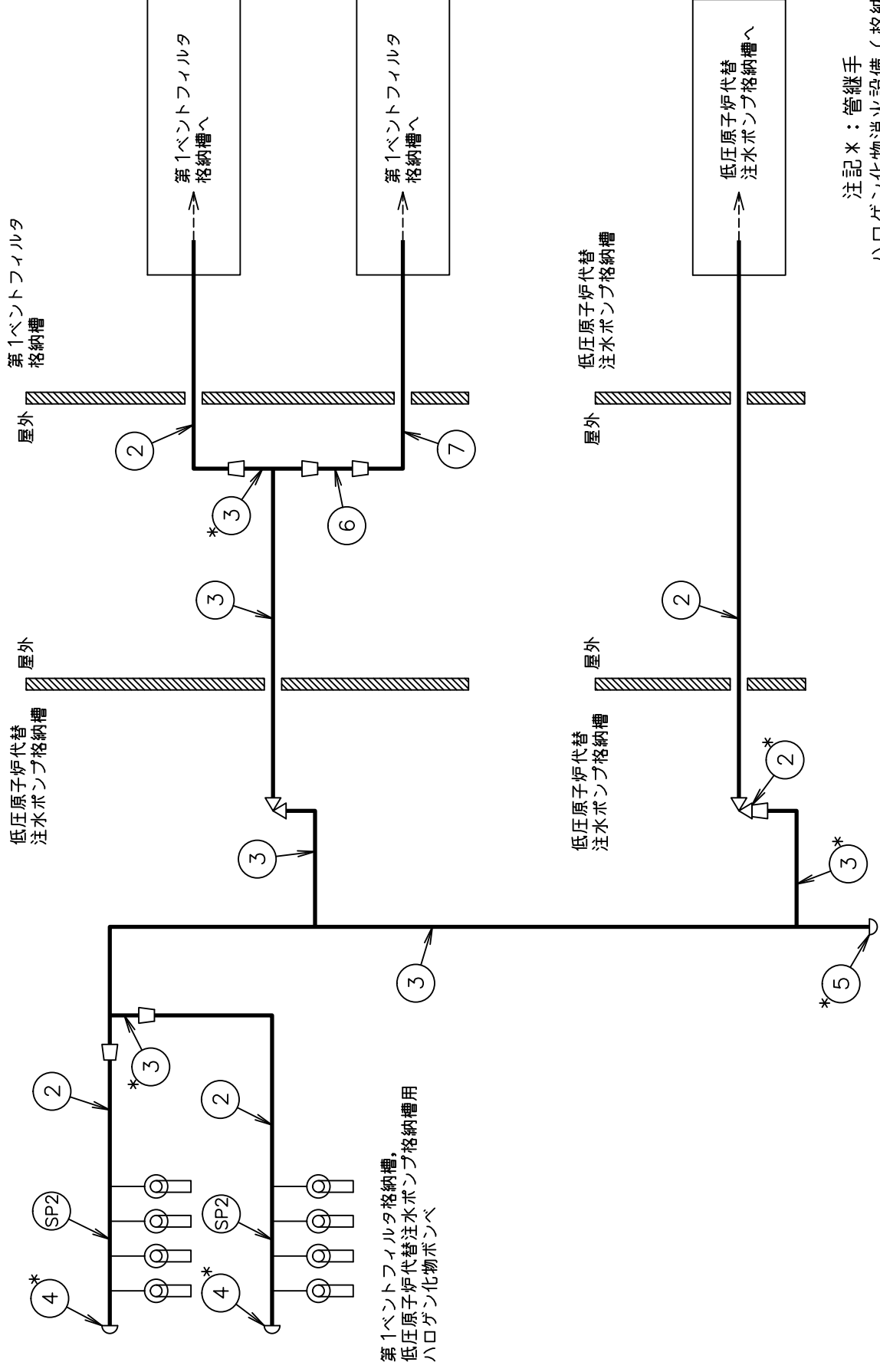
## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	3
3. 管の穴と補強計算書	4

1. 概略系統図



ハロゲン化物消火設備（格納槽）  
概略系統図（その1）



## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68
2	5.20	40	76.30	5.20	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
3	5.20	40	89.10	5.50	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5 %	4.81	1.77	A	1.77
4	5.20	40	76.30	5.20	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
5	5.20	40	89.10	5.50	SUS304	S	3	129	1.00	12.5 %	4.81	1.77	A	1.77
6	5.20	40	60.50	3.90	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.40	1.20	A	1.20
7	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。



3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 34.00
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 28.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.40
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 2.90
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 7.05
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 7.05
K		0.2597
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 33.64
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 33.64
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP2
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力 $S_r$	(MPa) 129
	外 径 $D_{or}$	(mm) 76.30
	内 径 $D_{ir}$	(mm) 67.20
	公称厚さ $t_{ro}$	(mm) 5.20
	厚さの負の許容差 $Q_r$	12.5 %
	最小厚さ $t_r$	(mm) 4.55
	継手効率 $\eta$	1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径 $D_{ob}$	(mm) 30.20
	内 径 $D_{ib}$	(mm) 16.20
	公称厚さ $t_{bn}$	(mm) 7.10
穴の径 $d$		(mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 16.80
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 16.80
K		0.3714
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 48.47
補強不要な穴の最大径 $d_{fr}$		(mm) 48.47
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-11 R1E

VI-3-3-8-2-5-12 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (ガスタービン発電機建物) )

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス			
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件							
1~5	新設	—	—	—	—*	—	—	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	DB-3

注記\*：DBクラス「一」である管については，SA設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

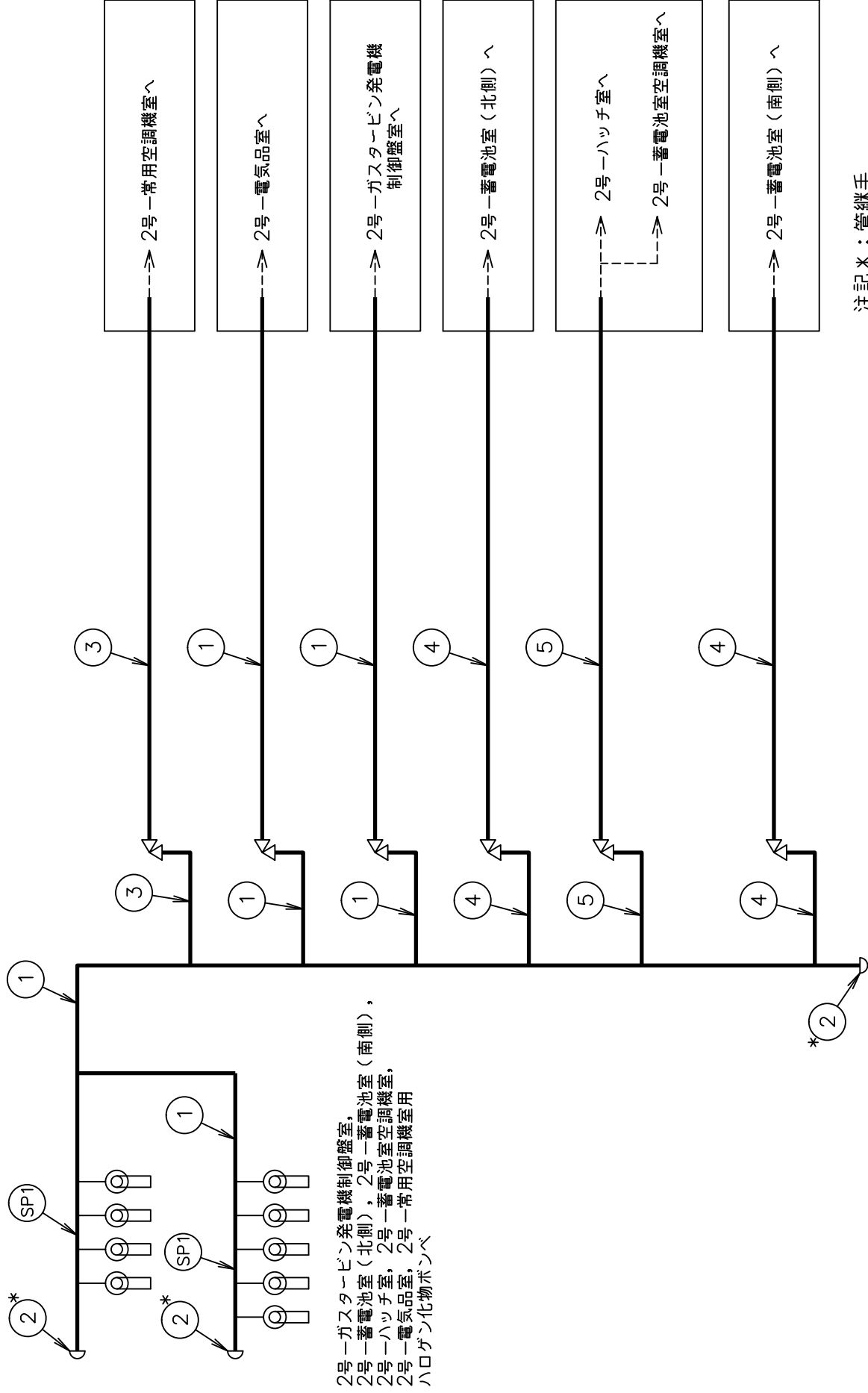
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～5	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	5
3. 管の穴と補強計算書	6

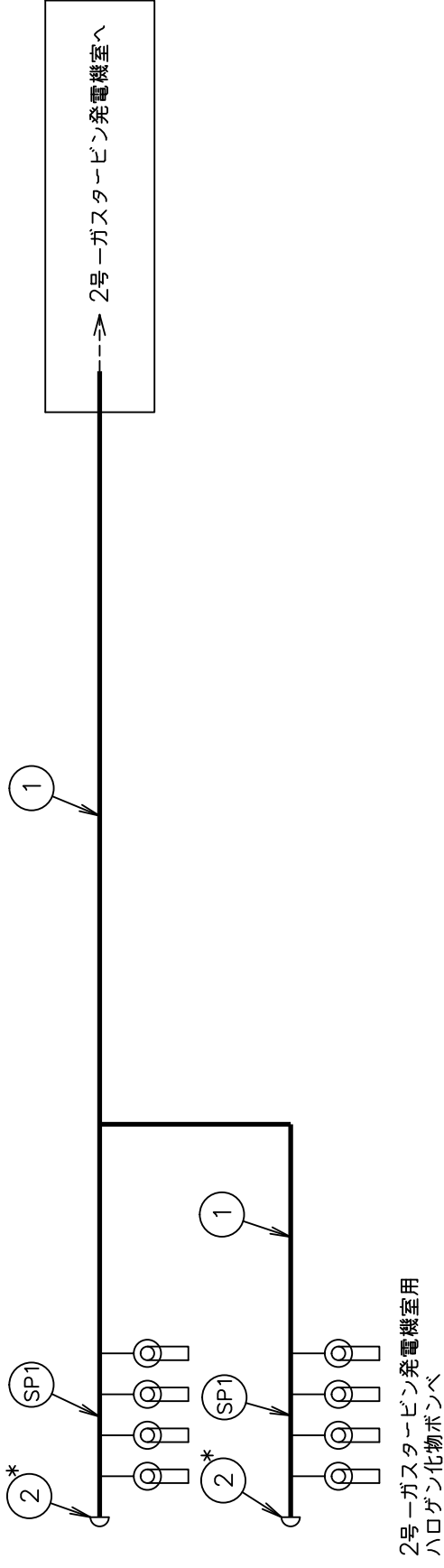
1. 概略系統図



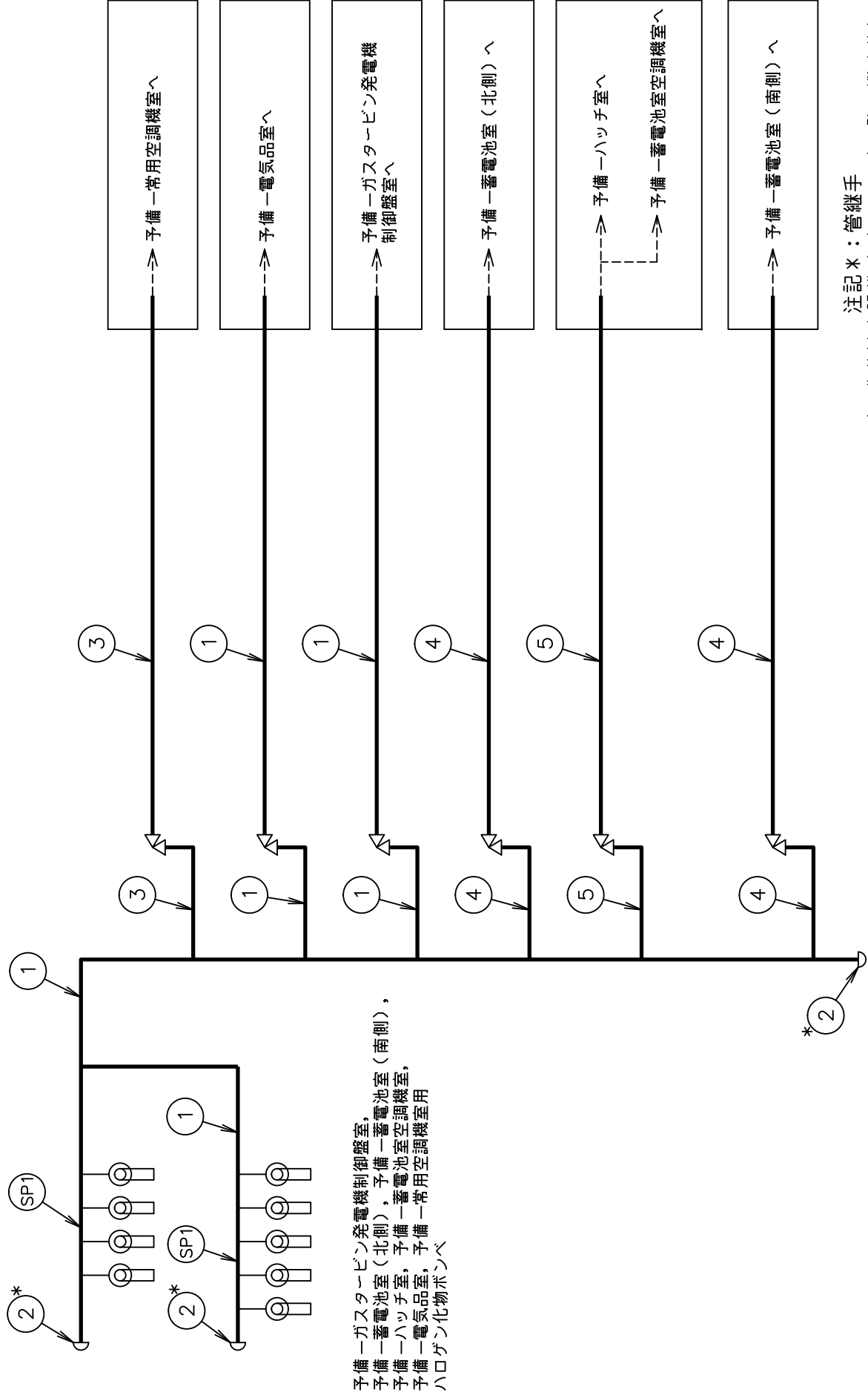
2号-ガスタービン発電機制御盤室,  
 2号-蓄電池室(北側), 2号-蓄電池室(南側),  
 2号-ハッチ室, 2号-蓄電池室空調機室,  
 2号-電気品室, 2号-常用空調機室用  
 ハロゲン化物ポンベ

注記\*: 管継手  
 ハロゲン化物消火設備(ガスタービン発電機建物)  
 概略系統図(その1)

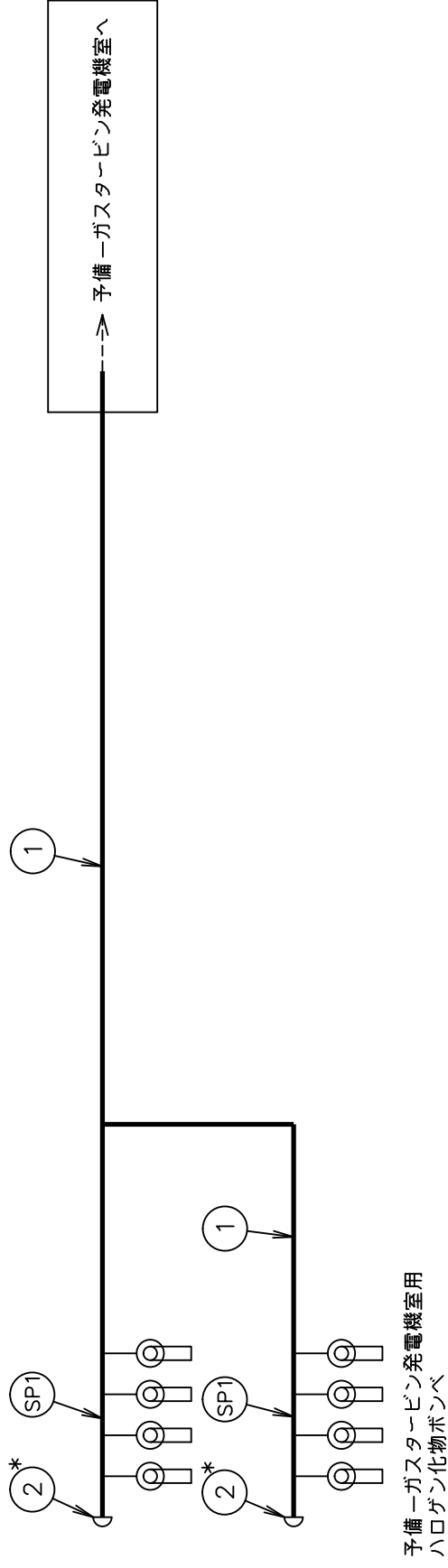




注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（ガスタービン発電機建物）  
概略系統図（その2）



注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（ガスタービン発電機建物）  
概略系統図（その3）



予備ーガスタービン発電機室用  
ハロゲン化物ボンベ

注記\*：管継手  
ハロゲン化物消火設備（ガスタービン発電機建物）  
概略系統図（その4）

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材	料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	76.30	5.20	SUS304TP		S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
2	5.20	40	76.30	5.20	SUS304		S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
3	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP		S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85
4	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP		S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68
5	5.20	40	60.50	3.90	SUS304TP		S	3	129	1.00	0.50mm	3.40	1.20	A	1.20

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 76.30
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 67.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 5.20
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 4.55
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.50
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.50
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 16.80
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 16.80
K		0.3714
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 48.47
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 48.47
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-12 R1E

VI-3-3-8-2-5-13 管の強度計算書  
(ハロゲン化物消火設備 (緊急時対策所) )

## まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-6「クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理にあたって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

NO.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス			
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件								
1~5	新設	—	—	—	—*	—	—	—	—	5.20	40	—	—	—	—	—	設計・建設規格	DB-3

注記\*：DBクラス「一」である管については，SA設備を防護する設備であり，評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。



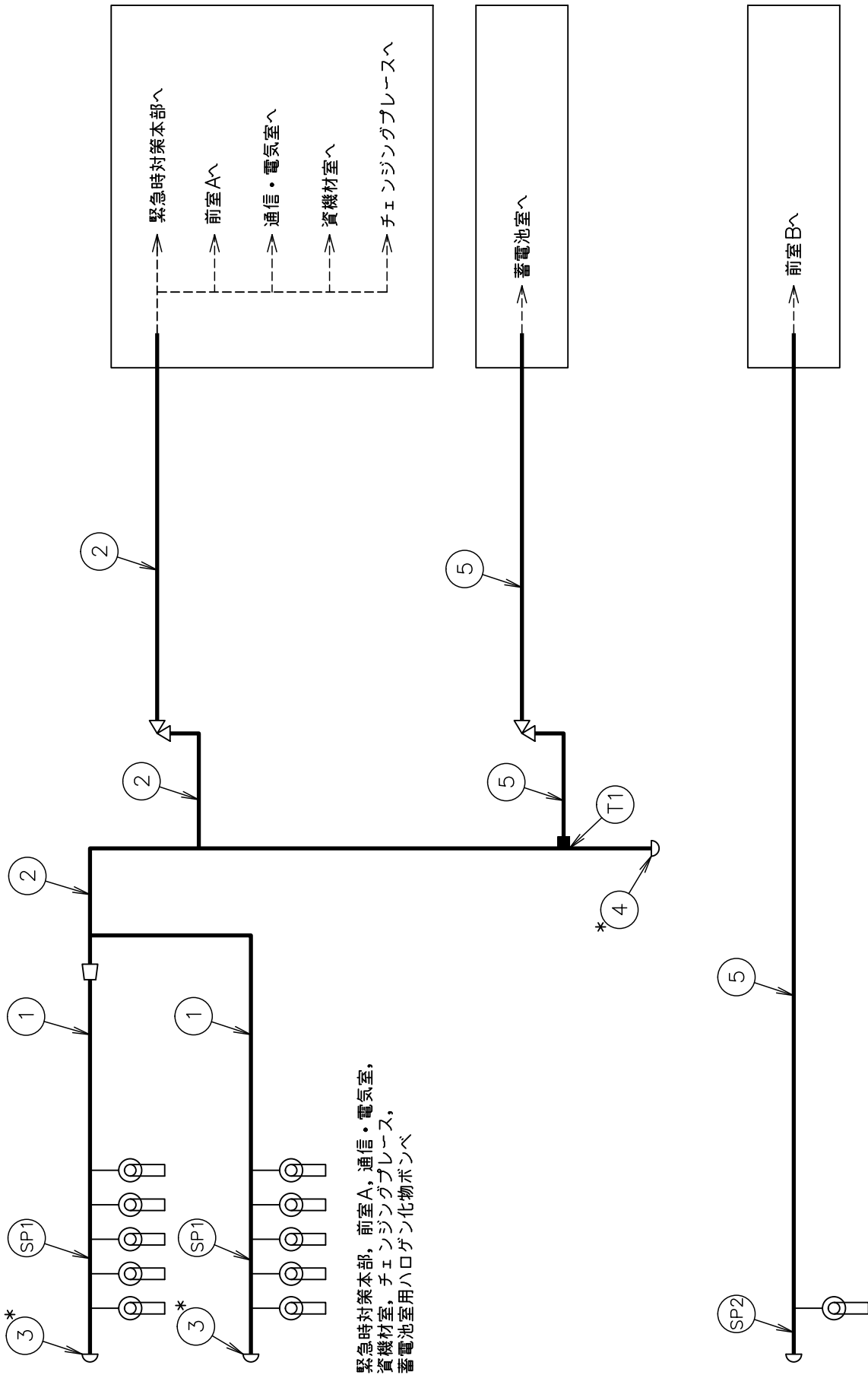
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～5	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
T1	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1～SP2	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	2
3. 管の穴と補強計算書	3

1. 概略系統図



緊急時対策本部, 前室A, 通信・電気室,  
 資機材室, チェンジングブレース,  
 蓄電池室用ハロゲン化物ポンベ

注記\*: 管継手  
 ハロゲン化物消火設備 (緊急時対策所)  
 概略系統図

前室B用  
 ハロゲン化物ポンベ

## 2. 管の強度計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材	料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	76.30	5.20	SUS304TP		S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
2	5.20	40	89.10	5.50	SUS304TP		S	3	129	1.00	12.5 %	4.81	1.77	A	1.77
3	5.20	40	76.30	5.20	SUS304		S	3	129	1.00	12.5 %	4.55	1.52	A	1.52
4	5.20	40	89.10	5.50	SUS304		S	3	129	1.00	12.5 %	4.81	1.77	A	1.77
5	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP		S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68

評価：t<sub>s</sub> ≧ t<sub>r</sub>, よって十分である。

3. 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 89.10
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 79.48
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 5.50
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5 %
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 4.81
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 47.00
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 27.60
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 9.90
穴の径	$d$ (mm) 27.60	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm) 19.87	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm) 19.87	
K	0.4103	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm) 50.90	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm) 50.90	
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-13 RI

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力 $S_r$	(MPa) 129
	外 径 $D_{or}$	(mm) 76.30
	内 径 $D_{ir}$	(mm) 67.20
	公称厚さ $t_{ro}$	(mm) 5.20
	厚さの負の許容差 $Q_r$	12.5 %
	最小厚さ $t_r$	(mm) 4.55
	継手効率 $\eta$	1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径 $D_{ob}$	(mm) 30.20
	内 径 $D_{ib}$	(mm) 16.20
	公称厚さ $t_{bn}$	(mm) 7.10
穴の径	d (mm)	16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	16.80
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	16.80
K		0.3714
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	48.47
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	48.47
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-13 RI

管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP2
形 式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材 料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外 径	$D_{or}$ (mm) 34.00
	内 径	$D_{ir}$ (mm) 28.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.40
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 0.50mm
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 2.90
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材 料	SUS304
	外 径	$D_{ob}$ (mm) 30.20
	内 径	$D_{ib}$ (mm) 16.20
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 7.10
穴の径		d (mm) 16.20
$d_{r1} = D_{ir} / 4$		(mm) 7.05
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm) 7.05
K		0.2597
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm) 33.64
補強不要な穴の最大径		$d_{fr}$ (mm) 33.64
<p>評価: <math>d \leq d_{fr}</math></p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

S2 補 VI-3-3-8-2-5-13 R1E

### VI-3-3-8-3 補機駆動用燃料設備の強度に関する説明書



VI-3-3-8-3-1 燃料設備の強度についての計算書

VI-3-3-8-3-1-1 大量送水車付燃料タンクの強度計算書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）  
(大量送水車付燃料タンク)

大量送水車付燃料タンクは、大量送水車の附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。VI-3-3-2-2-2-1「大量送水車の強度計算書」に示すとおり、大量送水車付燃料タンクは、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-8-3-1-2 大型送水ポンプ車付燃料タンクの強度計算書  
(原子炉建物放水設備)

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）  
(大型送水ポンプ車付燃料タンク)

大型送水ポンプ車付燃料タンクは、大型送水ポンプ車の附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。VI-3-3-2-2-3-1「大型送水ポンプ車の強度計算書（原子炉建物放水設備）」に示すとおり、大型送水ポンプ車付燃料タンクは、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-8-3-1-3 大型送水ポンプ車付燃料タンクの強度計算書  
(原子炉補機代替冷却系)

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）  
(大型送水ポンプ車付燃料タンク)

大型送水ポンプ車付燃料タンクは、大型送水ポンプ車の附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。VI-3-3-3-6-3-3「大型送水ポンプ車の強度計算書（原子炉補機代替冷却系）」に示すとおり、大型送水ポンプ車付燃料タンクは、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

## VI-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書



## VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
2.2 評価方針	2
2.2.1 評価の分類	2
3. 強度設計	6
3.1 構造強度の設計方針	6
3.2 機能維持の方針	11
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	65
4.1 荷重及び荷重の組合せ	65
4.2 許容限界	78
4.2.1 建物・構造物	78
4.2.2 機器・配管系	83
5. 強度評価方法	100
5.1 建物・構造物に関する評価式	101
5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物	101
5.1.2 排気筒	106
5.1.3 鋼製構造物	107
5.2 機器・配管系に関する評価式	110
5.2.1 衝突評価が必要な機器	110
5.2.2 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	111
5.2.3 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	127
5.2.4 原子炉補機海水系配管及び弁, 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁, 非常用ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁, 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁	130
5.2.5 非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	135
5.2.6 ダンパ	137
5.2.7 角ダクト	142
5.2.8 丸ダクト	146
5.2.9 隔離弁	150
5.2.10 送風機	155
5.2.11 処理装置	157
5.2.12 排気消音器	159

5.2.13	排気管及びベント管	164
5.2.14	取水槽ガントリクレーン	169
6.	適用規格・基準等	190

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設が、竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」に示す適用規格・基準等を用いて実施する。

竜巻防護対策設備の設計方針については、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示し、具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 1-3「竜巻防護ネットの強度計算書」、VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」及びVI-3-別添 1-5「架構の強度計算書」に示す。

その他の竜巻の影響を考慮する施設の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 1-6「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」からVI-3-別添 1-13「波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書」に示す。

なお、屋外の重大事故等対処設備に、飛散して外部事象防護対象施設や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に影響を与えるものはない。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重を適切に組み合わせた荷重により生じる応力等が「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」に示す方法を使用し、「6. 適用規格・基準等」に示す規格を用いて確認する。

### 2.1 評価対象施設

VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」にて構造強度上の性能目標を設定している竜巻の影響を考慮する施設を強度評価の対象とする。強度評価を行うにあたり、評価対象施設を以下のとおり分類することとし、表 2-1 に示す。

#### (1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建物等）

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を保持する必要がある屋外の外部事象防護対象施設のうち、屋内の竜巻より防護すべき施設を防護する外殻となる、竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建物等）とする。

#### (2) 屋外の外部事象防護対象施設（建物等を除く。）

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を保持する必要がある屋外の外

部事象防護対象施設（建物等を除く。）とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を保持する必要がある，外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設とする。

(4) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を保持する必要がある，外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設とする。

## 2.2 評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は，VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに，竜巻に対する強度評価を実施する。

強度評価の評価方針は，それぞれ「衝突評価」の方針，「構造強度評価」の方針及び「動的機能維持評価」の方針に分類でき，評価対象施設はこれらの評価を実施する。

外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度評価は，防護措置として設置する竜巻防護対策設備，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度評価を踏まえたものであるため，最初に竜巻防護対策設備，竜巻より防護すべき施設を内包する施設について示し，次に外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設について示す。

### 2.2.1 評価の分類

#### (1) 衝突評価

衝突評価は，竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対する直接的な影響の評価として，評価対象施設に，貫通，貫入及びひずみが生じた場合においても，当該施設の機能を維持可能な変形に留めることを確認する評価とする。

評価対象施設の構造及び当該施設の機能を考慮し，設計飛来物の衝突により想定される損傷モードを以下のとおり分類し，それぞれの評価方針を設定する。なお，建物・構造物は，設計飛来物の鋼製材の衝突に対し，内包する外部事象防護対象施設の防護の観点から，「貫通」及び「ひずみ」について，評価を実施する。機器・配管系は，竜巻より防護すべき施設を内包する施設又は竜巻防護対策設備により，設計飛来物の鋼製材の衝突から防護されるため，設計飛来物の砂利の衝突に対し，必要最小肉厚を下回らないか確認する観点から，「貫入」について，評価を実施する。

- a. 建物・構造物
  - (a) 貫通
  - (b) ひずみ
- b. 機器・配管系
  - (a) 貫入

(2) 構造強度評価

構造強度評価は、竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重により生じる応力等に対し、評価対象施設及びその支持構造物が、当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する評価とする。構造強度評価は、構造強度により閉止性及び開閉機能を確保することの評価を含む。

構造強度評価は、評価対象施設の構造を考慮し、以下の分類ごとに評価方針を設定する。

a. 建物・構造物

建物・構造物の強度評価のうち、鉄筋コンクリート造構造物と鋼製構造物は、その構造を踏まえた評価項目を抽出する。

- (a) 鉄筋コンクリート造構造物
  - イ. 裏面剥離
  - ロ. 転倒及び脱落
  - ハ. 変形
- (b) 鋼製構造物
  - イ. 転倒及び脱落
  - ロ. 変形
- (c) 排気筒
  - イ. 変形角

b. 機器・配管系

- (a) 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ
- (b) 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ
- (c) 非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ
- (d) 原子炉補機海水系配管及び弁、高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁、非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁
- (e) ダンパ（換気空調設備）
- (f) 角ダクト（換気空調設備）及び丸ダクト（換気空調設備）

- (g) 隔離弁（換気空調設備）
- (h) 送風機（換気空調設備）
- (i) 処理装置（換気空調設備）
- (j) 非常用ガス処理系配管及び弁
- (k) 取水槽ガントリクレーン
- (l) 排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）
- (m) 排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料デイトンク並びに潤滑油サンプタンクの付属施設）

(3) 動的機能維持評価

動的機能維持評価は，設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後において，評価対象施設のうち動的機器が，当該施設の動的機能を保持可能なことを確認する評価とする。

a. 機器・配管系

- (a) 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

表 2-1 強度評価における施設分類

強度評価における分類	施設名称
(1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建物等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建物</li> <li>・タービン建物</li> <li>・廃棄物処理建物</li> <li>・制御室建物</li> <li>・ディーゼル燃料貯蔵タンク室</li> <li>・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽</li> </ul>
(2) 屋外の外部事象防護対象施設（建物等を除く）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ</li> <li>・原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ</li> <li>・排気筒</li> <li>・原子炉補機海水系配管及び弁, 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁, 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁</li> <li>・非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料移送ポンプ</li> </ul>
(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダンパ（換気空調設備）</li> <li>・隔離弁（換気空調設備）</li> <li>・角ダクト（換気空調設備）及び丸ダクト（換気空調設備）</li> <li>・送風機（換気空調設備）</li> <li>・処理装置（換気空調設備）</li> <li>・非常用ガス処理系配管及び弁</li> </ul>
<p>(4) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>a. 機械的影響を与える可能性がある施設</p> <p>b. 機能的影響を与える可能性がある施設</p>	<p>a. 機械的影響を与える可能性がある施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1号機原子炉建物</li> <li>・1号機タービン建物</li> <li>・1号機廃棄物処理建物</li> <li>・1号機排気筒</li> <li>・排気筒モニタ室</li> <li>・復水貯蔵タンク遮蔽壁</li> </ul> <p>b. 機能的影響を与える可能性がある施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・取水槽ガントリクレーン</li> <li>・排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）</li> <li>・排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク, ディーゼル燃料デイトンク並びに潤滑油サンプタンクの付属施設）</li> </ul>



### 3. 強度設計

VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」で設定している設計竜巻に対し、「2.1 評価対象施設」で設定している施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するよう、VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「4. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ、強度設計の方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、各施設の構造強度を維持するよう、機能維持の方針において構造設計と評価方針を設定する。

#### 3.1 構造強度の設計方針

VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1 評価対象施設」で設定している評価対象施設分類ごとに示す。

##### (1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建物等）

竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建物等）は、VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の設計とする。

原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突することを防止するために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を設計飛来物が貫通せず、また、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落（裏面剥離を含む）が生じない設計とする。

##### (2) 屋外の外部事象防護対象施設（建物等を除く。）

屋外の外部事象防護対象施設（建物等を除く。）は、VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の設計とする。

##### a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、取水槽海水ポンプエリアに設けた基礎に本体を基礎ボルトで固定し、ポンプの機能保持に必要な付属品を本体にボルトで固定し、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が海水の送水機能を維持可能な構造強度を有すること及び海水を送水するための動的機能を維持する設計とする。

b. 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは、取水槽循環水ポンプエリアに設けた基礎に支持脚を基礎ボルトで固定し、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が海水中の固形物を除去する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

c. 原子炉補機海水系配管及び弁、高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁、非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁

原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁は、取水槽床面又は壁面にサポートで支持し、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が原子炉補機及び高圧炉心スプレイ系補機を冷却する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁は、燃料移送ポンプエリア及び配管ダクト床面又は壁面にサポートで支持し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が非常用電源設備に燃料を供給する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

d. 非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ

非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは、ディーゼル燃料移送ポンプエリアに設けた基礎に本体を基礎ボルトで固定し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が非常用電源設備に燃料を供給する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

e. 排気筒（非常用ガス処理系配管及び弁（屋外部分）を含む。）

排気筒は、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が流路を確保する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設は、VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の設計とする。

a. ダンパ（換気空調設備）

ダンパは、原子炉建物の天井面等にサポートにより固定し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、開閉可能な機能及び閉止性の保持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を保持する設計とする。

b. 角ダクト及び丸ダクト（換気空調設備）

角ダクト及び丸ダクトは、原子炉建物の天井面等にサポートで支持し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が換気空調を行う機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

c. 隔離弁（換気空調設備）

隔離弁は、換気空調設備のダクトに固定し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、開閉可能な機能及び閉止性の保持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を保持する設計とする。

d. 送風機（換気空調設備）

送風機は、原子炉建物の床面等にサポートで支持し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が必要な風量を送風する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

e. 処理装置（換気空調設備）

処理装置は、原子炉建物の床面等にサポートで支持し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が外気処理する機能を保持する設計とする。

f. 非常用ガス処理系配管及び弁（屋内部分）

非常用ガス処理系配管及び弁は、配管ダクト床面又は壁面にサポートで支持し、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他の考慮すべき荷重に対し、主要な構造部材が放射性物質の放出低減機能を保持する設計とする。

「(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設」の屋内の外部事象防護対象施設の設計フローを図 3-1 に示す。

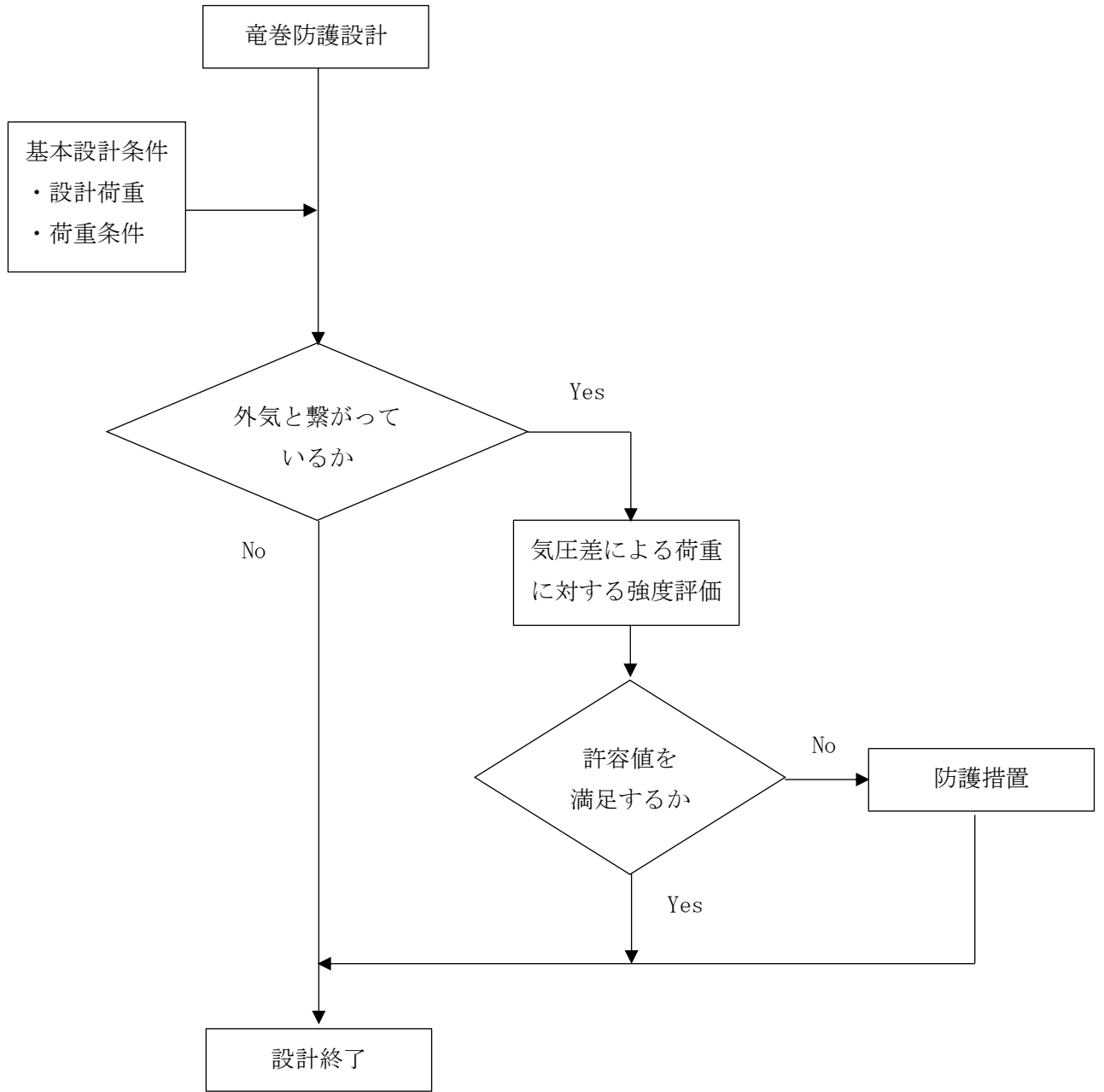


図 3-1 屋内の外部事象防護対象施設的设计フロー

(4) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設

機械的影響を及ぼす可能性がある施設は、VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.4(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の設計とする。

(a) 1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室

1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室は，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気筒並びに竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物に接触及び倒壊による影響を及ぼさない設計とする。

(b) 1号機原子炉建物，1号機排気筒及び復水貯蔵タンク遮蔽壁

1号機原子炉建物，1号機排気筒及び復水貯蔵タンク遮蔽壁は，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建物，制御室建物及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽等に倒壊による影響を及ぼさない設計とする。なお，設計飛来物の鋼製材の衝突により，復水貯蔵タンクが損傷し，内包水が漏えいした場合においても，遮蔽壁内は地下で屋外配管ダクトと繋がっており，漏えいした水は屋外配管ダクトに流出するため，復水貯蔵タンク遮蔽壁に静水圧が作用する前に竜巻は通過すると考えられる（表3-17参照）。従って，設計竜巻荷重と復水貯蔵タンクの損傷により漏えいした水の静水圧の組合せは考慮しない。

(c) 取水槽ガントリクレーン

取水槽ガントリクレーンは，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉補機海水ポンプ等に逸走及び転倒による影響を及ぼさない設計とする。

b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設

機能的影響を及ぼす可能性がある施設は，VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.4(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の設計とする。

(a) 排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）

排気消音器は，原子炉建物にボルトで固定し，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

- (b) 排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料デイタンク並びに潤滑油サンプタンクの付属施設）

排気管及びベント管は，サポート等により建物等に固定し，設計竜巻の風圧力，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

### 3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するために，「3.1 構造強度の設計方針」に示す設計方針を踏まえ，VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

#### (1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建物等）

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の機能維持の方針は，施設の設置状況に応じ，以下の方針とする。

##### a. 建物（原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物，制御室建物）

###### (a) 構造設計

建物は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造としている。

建物に作用する荷重は，外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し，建物内に配置された耐震壁等を介し，直接岩盤に支持される基礎スラブへ伝達する。

建物の構造計画を表 3-1 に示す。

###### (b) 評価方針

###### イ. 衝突評価

建物の衝突評価については，設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために，設計飛来物による衝撃荷重に対し，当該部材が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

最小厚さ以上であることの確認ができない屋根スラブについては，鉄筋が終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては，FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

竜巻防護対策設備のうち鋼製扉（以下「扉」という。）については、開口部の周辺に外部事象防護対象施設が設置されており、設計飛来物が衝突した場合に貫通し、外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性がある開口部に設置し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、設計飛来物による衝撃荷重に対し、当該部材が設計飛来物の貫通を生じない必要最小肉厚以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.3(3) 強度評価方法」に示す解析による必要最小肉厚と扉の厚さを比較することで評価を行う。

#### ロ. 構造強度評価

建物の構造強度評価については、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない確認として、設計飛来物による衝撃荷重に対し、建物の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、外殻となる外壁及び屋根スラブのうち、コンクリートの裏面剥離により内包する外部事象防護対象施設への影響が考えられる箇所については、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

最小厚さ以上であることの確認ができない外壁及び屋根スラブについては、鉄筋又はデッキプレートが終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

また、建物を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするため、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブ及び屋根スラブのスタッド並びに外壁に終局状態に至るような応力又はひずみが生じないことを計算及び解析により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す強度評価式により算出した応力並びに建物の地震応答解析モデルを用いて算出したせん断ひずみを基に評価を行う。

扉については、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、扉支持部材の破断による転倒及び脱落を生じないことを計算により確認する。

表 3-1 建物の構造計画 (1/6)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建物	【位置】			

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1



表 3-1 建物の構造計画 (2/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉 建物	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁を介し、基礎スラブへ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p>

注記\* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

表 3-1 建物の構造計画 (3/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン 建物	鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造) で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁及びブレイムを介し、基礎スラブへ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p>

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

表 3-1 建物の構造計画 (4/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
廃棄物 処理建物	鉄筋コンクリート造で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁を介し、基礎スラブへ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p> <p>(単位:m)</p>

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

表 3-1 建物の構造計画 (5/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
制御室 建物	鉄筋コンクリート造で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁を介し、基礎スラブへ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p>

表 3-1 建物の構造計画 (6/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉 建物 (扉)	扉は片開型の鋼製扉とし、扉板に芯材を取り付け、扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。	扉開放時は、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、扉と扉枠を一体化する構造とする。	<div data-bbox="858 439 1426 1034" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">扉の位置図</p> <div data-bbox="746 1104 1528 1984" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">扉の構造図</p>

b. 構造物（ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽）

(a) 構造設計

構造物は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

構造物は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部にはスラブ、開口等が露出し、露出する開口部には鋼製の蓋を設置する構造とする。

構造物に作用する荷重は、地上に露出したスラブ、鋼製蓋等に作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、直接岩盤に支持される基礎スラブへ伝達する構造とする。

構造物の構造計画を表3-2に示す。

(b) 評価方針

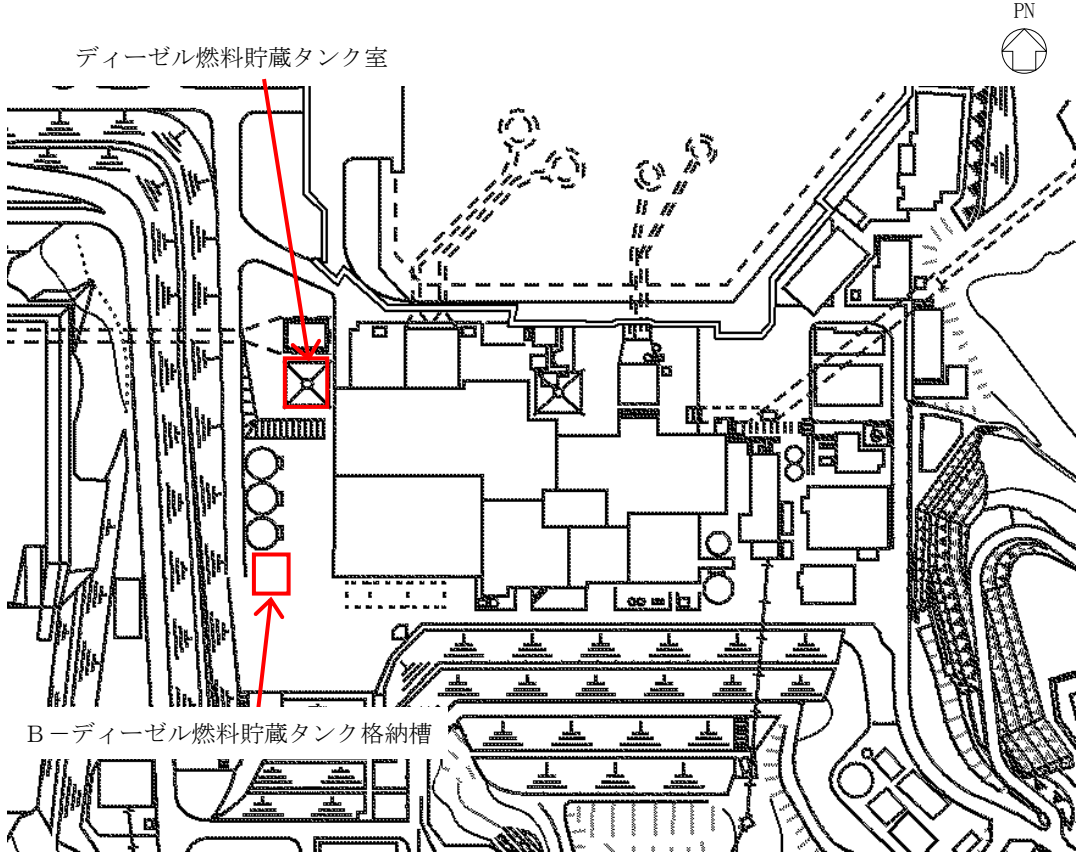
イ. 衝突評価

構造物の衝突評価については、設計飛来物による衝撃荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、地上に露出したスラブ及び鋼製蓋が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、スラブについては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に、鋼製蓋については、「5.1.3(3) 強度評価方法」に示す解析による必要最小肉厚と鋼製蓋の厚さと比較することで評価を行う。

ロ. 構造強度評価

構造物の構造強度評価については、設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう、構造物の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、スラブが裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

表 3-2 構造物の構造計画 (1/3)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
構造物	<p>【位置】</p> <p>ディーゼル燃料貯蔵タンク室</p>  <p>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽</p>			

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

表 3-2 構造物の構造計画 (2/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
ディーゼル燃料貯蔵タンク室	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出するスラブは鉄筋コンクリート造、開口部には鋼製蓋を設置する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造のスラブ及び鋼製蓋に作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、基礎スラブへ伝達する。</p>	<p>(平面図)</p> <p>(A-A断面)</p>

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1



表 3-2 構造物の構造計画 (3/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出するスラブは鉄筋コンクリート造、開口部には鋼製蓋を設置する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造のスラブ及び鋼製蓋に作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、基礎スラブへ伝達する。</p>	<p><b>KEY-PLAN</b></p> <p>(平面図)</p> <p>(A-A断面)</p>

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

(2) 屋外の外部事象防護対象施設（建物等を除く。）

a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

(a) 構造設計

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に原動機を取り付け、原動機によりポンプの軸を回転させる。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプはコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、原動機はポンプの上の原動機台にボルトで結合する。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、原動機にボルトで結合する。また、作用する荷重については、各取付ボルトを介して接続する構造部材に伝達し、基礎ボルトに伝達する。原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造計画を表 3-3 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する飛来物が原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、竜巻防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、当該部材が飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び竜巻防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ及びポンプの機能保持に必要な付属品を支持する基礎ボルト、取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する原動機フレームに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ハ. 動的機能維持評価

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの動的機能維持評価については、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、竜巻防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した荷重を基に評価を行う。

表 3-3 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造計画(1/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b> 原子炉補機海水ポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。</p>			
原子炉補機海水ポンプ	鋼製のたて形ポンプ	基礎に基礎ボルトで固定する。	
原子炉補機海水ポンプモータ	鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

表 3-3 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。</p>			
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	鋼製のたて形ポンプ	基礎に基礎ボルトで固定する。	
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプモータ	鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

b. 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ

(a) 構造設計

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-3「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは、胴と支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を並べて組み合わせ、支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。また、作用する荷重については、支持脚を介して基礎ボルトに伝達する。原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの構造計画を表3-4に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナを構成する基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-4 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは屋外の取水槽循環水ポンプエリアに設置する。			
原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	胴及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせ構成する。	支持脚を基礎に基礎ボルトで固定する。	

- c. 原子炉補機海水系配管及び弁，高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁，非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁

(a) 構造設計

原子炉補機海水系配管及び弁，高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁，非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造としている。

原子炉補機海水系配管及び弁，高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁，非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁は，鋼製の配管本体及び弁を主体構造とし，支持構造物により床，壁等に支持する。また，作用する荷重については，配管本体に作用する。原子炉補機海水系配管及び弁，高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁，非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁の構造計画を表3-5に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

原子炉補機海水系配管及び弁，高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁，非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁の衝突評価については，竜巻防護ネット等を通過する飛来物による衝撃荷重に対し，配管及び弁の外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.1(3) 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した貫通限界厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁の強度評価については，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁の強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-5 原子炉補機海水系配管及び弁， 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁， 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>            原子炉補機海水系配管及び弁， 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁， 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁は屋外の取水槽海水ポンプエリア及びディーゼル燃料移送ポンプエリアに設置する。</p>			
原子炉補機海水系配管及び弁， 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁， 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁	鋼製の配管本体及び弁で構成する。	配管本体及び弁は，支持構造物により床及び壁等から支持する。	

d. 非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ

(a) 構造設計

非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

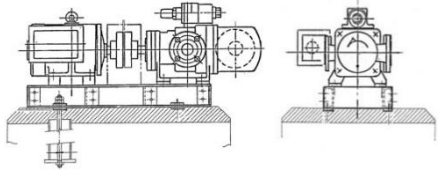
非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは、ポンプ部と原動機部からなる横形ポンプであり、基礎ボルト及び取付ボルトによって固定されている。また、作用する荷重については、ディーゼル燃料移送ポンプの耐圧部に作用する。非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの構造計画を表3-6に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの強度評価については、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ポンプ耐圧部に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.5(3) 強度評価方法」に示すとおり、設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重を加えた応力を基に評価を行う。

表3-6 非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b>			
非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは屋外のディーゼル燃料移送ポンプエリアに設置する。			
非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	鋼製の横形ポンプに付属品が取り付けられた構造	基礎に基礎ボルト等で固定する。	



## e. 排気筒

## (a) 構造設計

排気筒は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

排気筒は、地盤からの高さ120mである内径3.3mの鋼板製筒身（排気筒（空調換気系用））を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。また、筒身外部には排気筒（非常用ガス処理系用）が筒身に支持されている。筒身は第4支持点位置(EL 113.5m)にて制震装置（粘性ダンパ）を介して鉄塔と接合されている。作用する荷重については、筒身及び鉄塔を介して基礎に伝達する。

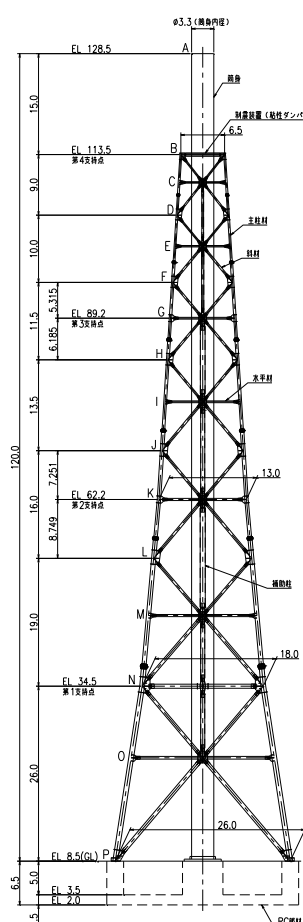
排気筒の構造計画を表3-7に示す。

## (b) 評価方針

## イ. 構造強度評価

排気筒の構造強度評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、排気筒全体が倒壊しないことを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示すとおり、FEMを用いた解析により算出した変形角を基に評価を行う。

表 3-7 排気筒の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図																																																							
	主体構造	支持構造																																																								
<p><b>【位置】</b> 排気筒は、屋外に設置する。</p>																																																										
排気筒	鋼製の筒身及び鉄塔で構成する。	筒身は支持点位置にて鉄塔で支持する。	 <table border="1" data-bbox="1300 492 1468 1411"> <caption>部材リスト (単位:mm)</caption> <thead> <tr> <th>主柱材</th> <th>斜材</th> <th>水平材</th> <th>筒身</th> <th>補助柱</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>10</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>φ267.4×6.6</td> <td>φ216.3×5.8</td> <td>H=450.200×2 φ101.9</td> <td>12</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>φ355.6×6.6</td> <td>φ216.3×5.8</td> <td>φ216.3×5.8</td> <td>10</td> <td>φ267.4×6.0</td> </tr> <tr> <td>φ267.4×6.6</td> <td>φ267.4×6.6</td> <td>φ267.4×6.6</td> <td>12</td> <td>φ318.5×6.0</td> </tr> <tr> <td>φ406.4×7.9</td> <td>φ267.4×6.6</td> <td>φ267.4×6.6</td> <td>10</td> <td>φ711.2×7.9</td> </tr> <tr> <td>φ508.0×9.5</td> <td>φ318.5×6.9</td> <td>φ318.5×6.9</td> <td>12</td> <td>φ609.6×12.7</td> </tr> <tr> <td>φ609.6×12.7</td> <td>φ355.6×7.9</td> <td>φ318.5×6.9</td> <td>10</td> <td>φ762.0×12.7*3</td> </tr> <tr> <td>φ711.2×12.7 8Fls-22x100*1</td> <td>φ457.2×9.5</td> <td>φ609.6×9.5</td> <td>12</td> <td>φ609.6×12.7*3</td> </tr> <tr> <td>φ558.8×9.5</td> <td>φ406.4×9.5</td> <td>φ609.6×9.5</td> <td>1=10</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>STK41 (SS400相当)</td> <td>SM41A (SS400相当)</td> <td>SM41A (SS400相当)</td> <td>STK400</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記：1：SS400Hを示す。 2：SS41H（SS400相当）を示す。 3：STK490Hを示す。</p>	主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱	-	-	-	10	-	φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	H=450.200×2 φ101.9	12	-	φ355.6×6.6	φ216.3×5.8	φ216.3×5.8	10	φ267.4×6.0	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	12	φ318.5×6.0	φ406.4×7.9	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	10	φ711.2×7.9	φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ318.5×6.9	12	φ609.6×12.7	φ609.6×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	10	φ762.0×12.7*3	φ711.2×12.7 8Fls-22x100*1	φ457.2×9.5	φ609.6×9.5	12	φ609.6×12.7*3	φ558.8×9.5	φ406.4×9.5	φ609.6×9.5	1=10	-	STK41 (SS400相当)	SM41A (SS400相当)	SM41A (SS400相当)	STK400	-
主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱																																																						
-	-	-	10	-																																																						
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	H=450.200×2 φ101.9	12	-																																																						
φ355.6×6.6	φ216.3×5.8	φ216.3×5.8	10	φ267.4×6.0																																																						
φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	12	φ318.5×6.0																																																						
φ406.4×7.9	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	10	φ711.2×7.9																																																						
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ318.5×6.9	12	φ609.6×12.7																																																						
φ609.6×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	10	φ762.0×12.7*3																																																						
φ711.2×12.7 8Fls-22x100*1	φ457.2×9.5	φ609.6×9.5	12	φ609.6×12.7*3																																																						
φ558.8×9.5	φ406.4×9.5	φ609.6×9.5	1=10	-																																																						
STK41 (SS400相当)	SM41A (SS400相当)	SM41A (SS400相当)	STK400	-																																																						

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

a. ダンパ（換気空調設備）

(a) 構造設計

ダンパは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

ダンパは鋼製の外板、羽根及びシャフトを主体構造とし、支持構造物で天井面等に支持する。また、作用する荷重については、外板及び羽根に作用し、羽根を介してシャフトに伝達する。ダンパの構造計画を表3-8に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ダンパの構造強度評価については、開閉可能な機能及び閉止性を考慮して、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、発生する応力が許容応力以下になることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.6(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-8 ダンパ（換気空調設備）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ダンパは十分な強度を有する建物（原子炉建物）内に設置する。</p>			
ダンパ（換気空調設備）	外板、羽根及びシャフトなどの鋼材で構成する。	接続ダクトにより支持する。	

b. 角ダクト（換気空調設備）及び丸ダクト（換気空調設備）

(a) 構造設計

角ダクト及び丸ダクトは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

角ダクト及び丸ダクトは、鋼製のダクトを主体構造とし、支持構造物により天井面等に支持する。また、作用する荷重については、ダクト鋼板に作用する。角ダクト及び丸ダクトの構造計画を表 3-9 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価については、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、角ダクト及び丸ダクトを構成する鋼製のダクトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、ダクト形状で評価方法を分類し「5.2.7(3) 強度評価方法」及び「5.2.8(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-9 角ダクト（換気空調設備）及び丸ダクト（換気空調設備）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 角ダクト（換気空調設備）及び丸ダクト（換気空調設備）は十分な強度を有する建物（原子炉建物、制御室建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。			
角ダクト（換気空調設備）及び丸ダクト（換気空調設備）	鋼製のダクトで構成する。	ダクトは、支持構造物により建物壁、床及びはり等から支持する。	<p>【角ダクト】 ダクト鋼板</p> <p>【丸ダクト】 ダクト鋼板</p> <p>ダクト</p> <p>支持構造物</p> <p>建物壁, 床, はり等</p>

c. 隔離弁（換気空調設備）

(a) 構造設計

隔離弁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

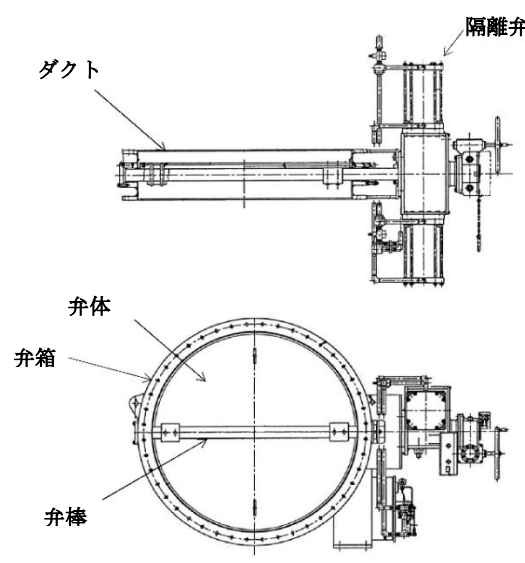
隔離弁は、鋼製の弁箱、弁体及び弁棒で構成し、接続ダクトにより支持する。内部の弁体、弁棒が回転することにより弁の開閉動作を行い、閉止時には、上流と下流の圧力差が気密性を有する弁の耐圧部に作用する。隔離弁の構造計画を表3-10に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

隔離弁の構造強度評価については、開閉可能な機能及び閉止性を考慮して、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、発生する応力が許容応力以下になることを計算により確認する。評価方法としては「5.2.9(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3-10 隔離弁（換気空調設備）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      隔離弁は十分な強度を有する建物（原子炉建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。</p>			
隔離弁（換気空調設備）	鋳鋼材で構成する。	接続ダクトで支持する。	

d. 送風機（換気空調設備）

(a) 構造設計

送風機は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

送風機は、流路を形成するケーシング、冷却するための空気を送り込む羽根車及び原動機からの回転力を伝達する主軸で構成し、床に基礎ボルトで支持する。送風機の構造計画を表3-11に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

送風機の構造強度評価については、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.10(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3-11 送風機（換気空調設備）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b>			
送風機は十分な強度を有する建物（原子炉建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。			
送風機（換気空調設備）	ケーシング及びケーシング内の羽根車及び主軸で構成する。	床に基礎ボルトで支持する。	

e. 処理装置（換気空調設備）

(a) 構造設計

処理装置は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

処理装置は流路を形成するケーシング、ケーシングを固定するはり及び長柱で形成し、床に基礎ボルトで支持する。処理装置の構造計画を表 3-12 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

処理装置の構造強度評価については、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.11(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-12 処理装置（換気空調設備）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>処理装置は十分な強度を有する建物（原子炉建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。</p>			
処理装置（換気空調設備）	ケーシング及びはり等の鋼材で構成する。	床に基礎ボルトで支持する。	



## f. 非常用ガス処理系配管及び弁

## (a) 構造設計

非常用ガス処理系配管及び弁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

非常用ガス処理系配管及び弁は鋼製の配管を主体構造とし、支持構造物により床、壁等に支持する。また、作用する荷重については、配管本体に作用する。

## (b) 評価方針

## イ. 構造強度評価

非常用ガス処理系配管及び弁の構造強度評価については、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

## (4) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

## a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設

## (a) 1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室

## イ. 構造設計

1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）とし、荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁及びフレームを介し、基礎スラブへ伝達する。

1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の構造計画を表3-13～表3-16に示す。

## ロ. 評価方針

## (イ) 構造強度評価

1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の構造強度評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物及び排気筒に倒壊による影響を及ぼさないことを解析により確認する。評価方法としては、各建物の地震応答解析モデル

を用いて算出したせん断ひずみ及び層間変形角を基に評価を行う。

また、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の構造強度評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物及び排気筒に接触する変形を生じないことを解析により確認する。評価方法としては、各建物の地震応答解析モデルを用いて算出した隣接建物との最大相対変位を基に評価を行う。

(b) 復水貯蔵タンク遮蔽壁

イ. 強度評価

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造とし、荷重は遮蔽壁に作用し、基礎へ伝達する。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造計画を表3-17に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造強度評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包するB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に倒壊による影響を及ぼさないことを解析により確認する。評価方法としては、はり要素により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-13 1号機原子炉建物の構造計画 (1/2)

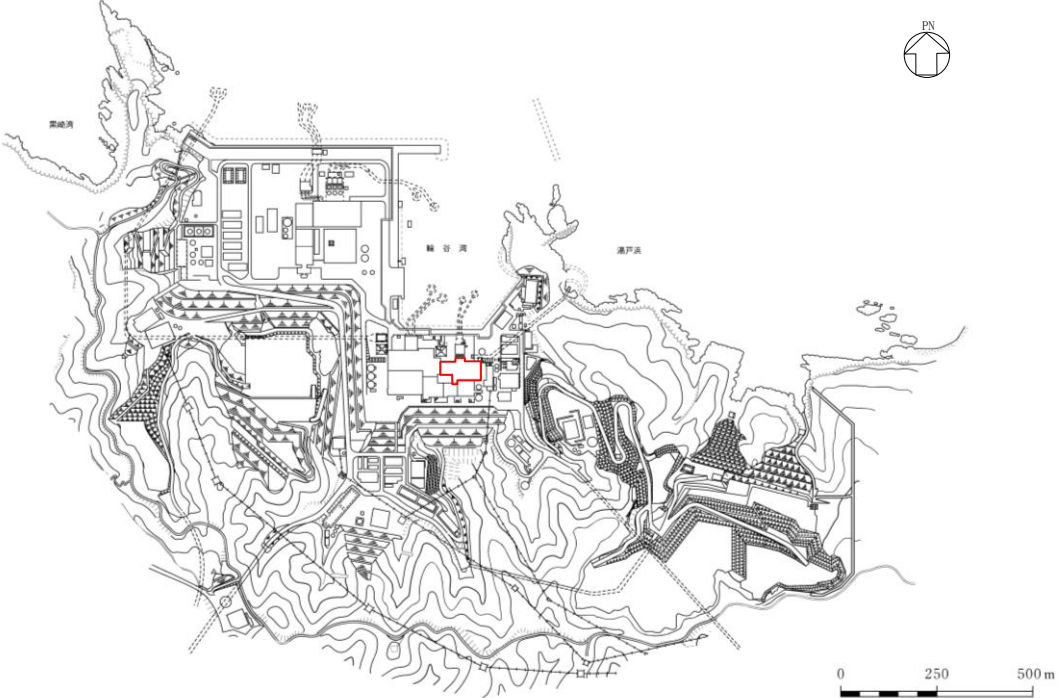
施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建物	【位置】			

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

表 3-13 1号機原子炉建物の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
1号機 原子炉建物	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁及びフレームを介し、基礎スラブへ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p>

表 3-14 1号機タービン建物の構造計画 (1/2)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建物	【位置】			<p>PN</p> 
				<p>0 250 500 m</p> 

□ 1号機タービン建物

表 3-14 1号機タービン建物の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
1号機タービン建物	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁及びフレームを介し、基礎スラブへ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p>

表 3-15 1号機廃棄物処理建物の構造計画 (1/2)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建物	【位置】			<p>PN</p> <p>0 250 500 m</p> <p>□ 1号機廃棄物処理建物</p>

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

表 3-15 1号機廃棄物処理建物の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
1号機 廃棄物 処理建物	鉄筋コンクリート造で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁を介し、基礎スラブへ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p>



表 3-16 排気筒モニタ室の構造計画 (1/2)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建物	【位置】			

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

表 3-16 排気筒モニタ室の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
排気筒 モニタ室	鉄筋コンクリート造で構成する。	荷重は建物の外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建物内に配置された耐震壁を介し、排気筒の基礎へ伝達する。	<p>(A-A断面)</p> <p>(B-B断面)</p>

表 3-17 復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造計画 (1/2)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
構造物	<p>【位置】</p> <p>復水貯蔵タンク遮蔽壁</p>			

S2 補 VI-3-別添 1-1 R1

表 3-17 復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
復水貯蔵タンク遮蔽壁	鉄筋コンクリート造で構成する。	荷重は遮蔽壁に作用し、基礎へ伝達する。	<p>(平面図)</p> <p>(A-A断面)</p>

(d) 1号機排気筒

イ. 構造設計

1号機排気筒は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

1号機排気筒は、地盤からの高さ120mである内径2.8mの鋼板製筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。筒身は支持点位置(EL 37.5m, EL 59.5m, EL 89.5m及びEL 113.5m)にて鉄塔と接合されている。また、作用する荷重については、筒身及び鉄塔を介して基礎に伝達する。

1号機排気筒の構造計画を表3-18に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

1号機排気筒の構造強度評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、1号機排気筒が原子炉建物、タービン建物等に倒壊による影響を及ぼさないことを解析により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示すとおり、FEMを用いた解析により算出した変形角を基に評価を行う。

表 3-18 1号機排気筒の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図																																				
	主体構造	支持構造																																					
<p>【位置】</p> <p>1号機排気筒は、屋外に設置する。</p>																																							
1号機排気筒	鋼製の筒身及び鉄塔で構成する。	筒身は支持点位置にて鉄塔で支持する。	<table border="1"> <caption>部材リスト (単位: mm)</caption> <thead> <tr> <th>主柱材</th> <th>斜材</th> <th>水平材</th> <th>筒身</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>φ257.4×6.6</td> <td>φ216.3×6.8</td> <td>φ105.3 H=600×200 ×4.5 ×10×10<sup>4</sup></td> <td>φ216.3×6.8</td> </tr> <tr> <td>φ305.0×8.4</td> <td>φ287.4×6.6</td> <td>φ216.3×6.8</td> <td>φ287.4×6.6</td> </tr> <tr> <td>φ308.0×7.9</td> <td>φ287.4×6.6</td> <td>φ216.3×6.8</td> <td>φ287.4×6.6</td> </tr> <tr> <td>φ609.6×8.5</td> <td>φ318.5×6.9</td> <td>φ287.4×6.6</td> <td>φ287.4×6.6</td> </tr> <tr> <td>φ711.2×12.7</td> <td>φ306.4×7.9</td> <td>φ315.6 ×6.4</td> <td>φ287.4×6.6</td> </tr> <tr> <td>φ812.8×16.0</td> <td>φ308.0×8.5</td> <td>φ457.2×6.4</td> <td>φ287.4×6.6</td> </tr> <tr> <td>SS41 (SS400相当)</td> <td>SS41 (SS400相当)</td> <td>SS41 (SS400相当)</td> <td>SS41 (SS400相当)</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 *1: SS41 (SS400相当) を示す。</p>	主柱材	斜材	水平材	筒身	—	—	—	—	φ257.4×6.6	φ216.3×6.8	φ105.3 H=600×200 ×4.5 ×10×10 <sup>4</sup>	φ216.3×6.8	φ305.0×8.4	φ287.4×6.6	φ216.3×6.8	φ287.4×6.6	φ308.0×7.9	φ287.4×6.6	φ216.3×6.8	φ287.4×6.6	φ609.6×8.5	φ318.5×6.9	φ287.4×6.6	φ287.4×6.6	φ711.2×12.7	φ306.4×7.9	φ315.6 ×6.4	φ287.4×6.6	φ812.8×16.0	φ308.0×8.5	φ457.2×6.4	φ287.4×6.6	SS41 (SS400相当)	SS41 (SS400相当)	SS41 (SS400相当)	SS41 (SS400相当)
主柱材	斜材	水平材	筒身																																				
—	—	—	—																																				
φ257.4×6.6	φ216.3×6.8	φ105.3 H=600×200 ×4.5 ×10×10 <sup>4</sup>	φ216.3×6.8																																				
φ305.0×8.4	φ287.4×6.6	φ216.3×6.8	φ287.4×6.6																																				
φ308.0×7.9	φ287.4×6.6	φ216.3×6.8	φ287.4×6.6																																				
φ609.6×8.5	φ318.5×6.9	φ287.4×6.6	φ287.4×6.6																																				
φ711.2×12.7	φ306.4×7.9	φ315.6 ×6.4	φ287.4×6.6																																				
φ812.8×16.0	φ308.0×8.5	φ457.2×6.4	φ287.4×6.6																																				
SS41 (SS400相当)	SS41 (SS400相当)	SS41 (SS400相当)	SS41 (SS400相当)																																				

(e) 取水槽ガントリクレーン

イ. 強度評価

取水槽ガントリクレーンは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

取水槽ガントリクレーンは、取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリアの南側に敷設する走行レール上に設置し、鋼製の脚、クレーン本体ガーダ、トロリ等により構成し、係留位置において各従動輪側ボギーに4基ずつ計8基設置されている逸走防止装置及び各従動輪側ボギー・駆動輪側ボギーに2基ずつ計8基設置されている転倒防止装置にて固定する。係留位置において取水槽ガントリクレーンに作用する荷重はクレーン側逸走防止装置（短冊，上部ブラケット，下部ブラケット）及びクレーン側転倒防止装置（クレーン側ブラケット）を介し、基礎側逸走防止装置（ピン，基礎ボルト）及び基礎側転倒防止装置（基礎側ブラケット，架台，架台取付ボルト，基礎ボルト）に作用する。

取水槽ガントリクレーンの構造計画を表3-19に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

取水槽ガントリクレーンの構造強度評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、逸走防止装置及び転倒防止装置に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.14(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-19 取水槽ガントリクレーンの構造計画 (1/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>取水槽ガントリクレーンは、取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリアの南側に敷設する走行レール上に設置する。</p>			
取水槽 ガントリ クレーン	鋼製の 脚、クレーン 本体ガーダ、 トロリ等により構 成する。	係留位置において各従動輪側ボギーに4基ずつ計8基設置されている逸走防止装置及び各従動輪側ボギー・駆動輪側ボギーに2基ずつ計8基設置されている転倒防止装置にて固定する。	<p>注記* : 2基の従動輪側ボギーのうち、北側の従動輪側ボギーを代表として詳細を示す。</p>



表 3-19 取水槽ガントリクレーンの構造計画 (2/3)

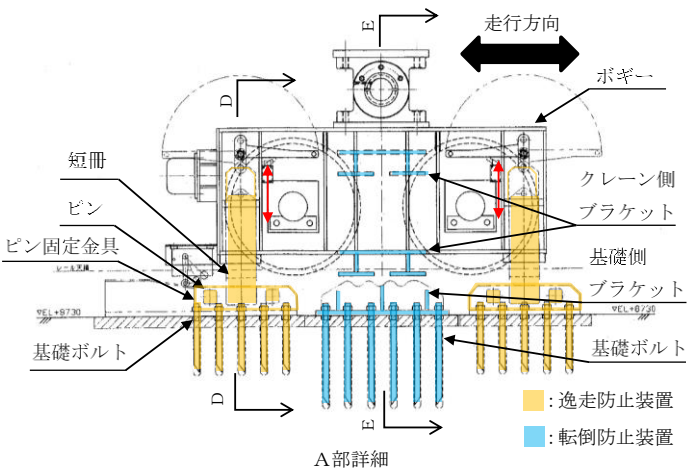
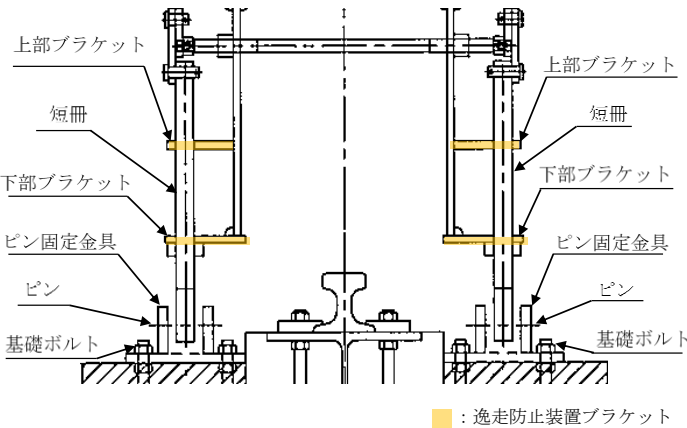
施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
取水槽 ガントリ クレーン 逸走防止 装置	短冊, 上部 ブラケッ ット, 下 部ブラケ ット, ピ ン固定金 具, ピン 及び基礎 ボルトに より構成 する。	逸走防止装置 は, 短冊, 短冊 をクレーン脚 に固定するブ ラケット (上 部ブラケット 及び下部ブラ ケットにより 構成), ピン固 定金具, ピン 及び基礎ボルト により構成 され, 取水槽 ガントリクレー ンを係留位 置に移動後, 短冊をピン固 定金具にスラ イドさせ, ピ ンにより走行 方向の前後を 固定すること によって, 逸 走を防止す る。	 <p>A部詳細</p> <p>●: 逸走防止装置 ■: 転倒防止装置</p>
			 <p>D-D断面 (逸走防止装置)</p> <p>■: 逸走防止装置ブラケット</p>

表 3-19 取水槽ガントリクレーンの構造計画 (3/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
取水槽 ガントリ クレーン 転倒防止 装置	クレーン 側ブラケ ット, 基 礎側ブラ ケット, 架 台, 架台 取付ボ ルト及び 基礎ボ ルトによ り構成す る。	転倒防止装置 は, クレー ン側ブラ ケット, 基 礎側ブラ ケット, 架 台, 架台 取付ボ ルト及び 基礎ボ ルトによ り構成さ れ, 係留 位置にお いて, 取 水槽ガ ントリク レーンが 転倒す ることを 防止す る。なお, 南側レ ールの近 傍に消火 用配管 ピットが あるた め, 南側 レールの 転倒防 止装置に は架台を 取付け, 基礎側 ブラケッ トを支持 している。	<p> <span style="color: yellow;">■</span> : 逸走防止装置  <span style="color: blue;">■</span> : 転倒防止装置         </p> <p>(逸走防止装置及び転倒防止装置の設置位置の概要図)</p>

b. 機能的影響を及ぼす施設

- (a) 排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）

イ. 構造設計

排気消音器は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造としている。

排気消音器は、鋼製の胴板を主体構造とし、原子炉建物屋上に本体を基礎ボルト及び結合ボルトで固定する。また、作用する荷重については、排気消音器を介し、基礎ボルト及び結合ボルトに伝達する。排気消音器の構造計画を表3-20に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

排気消音器の強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、基礎ボルト及び結合ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。

評価方法としては、「5.2.12(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3-20 排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b> 排気消音器は、原子炉建物屋上に設置する。</p>			
排気消音器	鋼製の胴板で構成する。	原子炉建物屋上に設けた基礎に本体を基礎ボルト及び取付ボルトで固定する。	

- (b) 排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料タンク並びに潤滑油サンプタンクの付属施設）

イ. 構造設計

排気管及びベント管は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造としている。

排気管及びベント管は，鋼製の配管を主体構造とし，サポート等により建物等に固定する。また，作用する荷重については，配管本体に作用する。

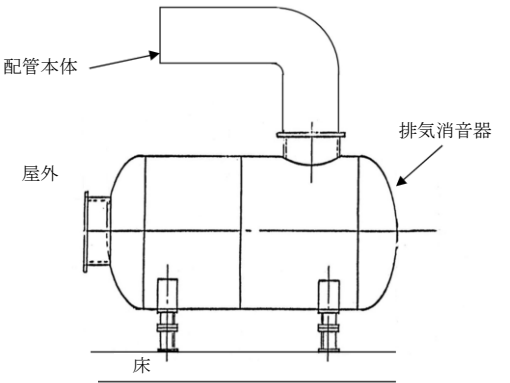
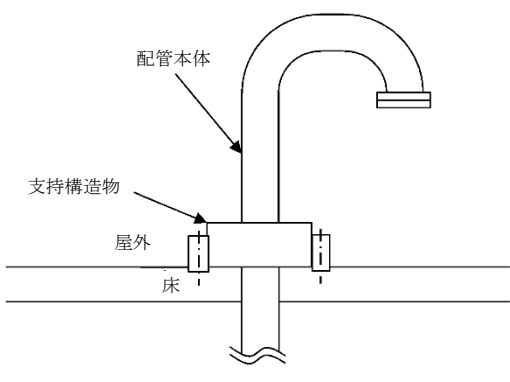
排気管及びベント管の構造計画を表3-21に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

排気管及びベント管の強度評価については，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気管及びベント管の配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.13(3) 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-21 排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料デイトンク並びに潤滑油サンプタンクの付属施設）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      排気管は，原子炉建物屋上に設置する。ベント管は，原子炉建物屋上，B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽上部及びディーゼル燃料貯蔵タンク室上部に設置する。</p>			
排気管	鋼製の配管で構成する。	配管は，支持構造物により建物等に固定する。	
ベント管			

「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計と作用する荷重の伝達を基に，表 3-22 に示すとおり評価対象部位を設定する。

表 3-22 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (1/6)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設 (建物等)	原子炉建物 タービン建物 廃棄物処理建物 制御室建物	屋根スラブ(デッキプレートを含む。)スタッド外壁構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁を評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻による荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、構造躯体、屋根スラブ及び屋根スラブを固定するスタッドを評価対象部位として選定する。
		扉	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる竜巻の影響に対する防護を期待する扉の扉板を評価対象部位として選定する。
			構造強度	転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻の気圧差による荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、竜巻の影響に対する防護を期待する扉の扉板を固定する部位(カンヌキ)を評価対象部位として選定する。
		ディーゼル燃料貯蔵タンク室 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	スラブ	衝突	貫通
	構造強度			裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、外部に露出している部位であるスラブを評価対象部位として選定する。
	鋼製蓋		衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻の影響に対する防護を期待する鋼製蓋を評価対象部位として選定する。

表 3-22 竜巻の影響を考慮する施設 構造強度評価対象部位 (2/6)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設（建物等を除く。）	原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	ポンプ据付面より上部の全方向からの飛来物を考慮し、外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため、ポンプを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト 取付ボルト	構造強度	引張 せん断 曲げ	竜巻の風圧力による荷重の影響を受けるポンプ据付面より上部の各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、基礎ボルト、各部取付ボルト及び原動機フレームを評価対象部位として選定する。
		原動機フレーム			
	軸受部	機能維持	接触	外殻に面する部分への竜巻による荷重の作用を考慮し、施設の外殻を構成する部材の変形によって、ポンプの動作に影響がないことを確認するため、動的機能維持に必要な軸受部を評価対象部位として選定する。	
	原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	基礎ボルト	構造強度	引張 せん断	設計竜巻による荷重は、胴及び支持脚を介して、基礎ボルトに作用する。これらのうち、胴及び支持脚と比較し、断面積が小さく、発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	耐圧部	構造強度	変形	非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは、竜巻防護対策設備内に設置していることから、竜巻の風圧力による荷重は直接受けませんが、竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用するため、非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの耐圧部を評価対象部位として選定する。

表 3-22 竜巻の影響を考慮する施設 構造強度評価対象部位 (3/6)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設（建物等を除く。）	原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁	外殻を構成する部材	衝突	貫入	配管の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として配管の最小肉厚部を選定する。
		配管本体	構造強度	曲げ	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、配管仕様と支持間隔による受圧面積に応じて配管本体に作用するため、配管本体を評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁	配管本体	構造強度	一次一般膜	非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁は、建物等内に設置していることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、竜巻の気圧差による荷重が考えられるため、配管本体を評価対象部位として選定する。
	排気筒	筒身及び鉄塔	構造強度	変形角	設計竜巻による荷重は、筒身及び鉄塔に作用するため、筒身及び鉄塔を評価対象部位として選定する。



表 3-22 竜巻の影響を考慮する施設 構造強度評価対象部位 (4/6)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	ダンパ (換気空調設備)	外板 羽根 シャフト	構造強度	曲げ せん断	換気空調設備のダンパは建物内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、竜巻の気圧差による荷重が風路である外板に作用する。また、閉止しているダンパには羽根及びシャフトに対しても気圧差による荷重が作用することから、外板、羽根及びシャフトを評価対象部位として選定する。
	角ダクト(換気空調設備)及び丸ダクト (換気空調設備)	ダクト鋼板	構造強度	曲げ 座屈	換気空調設備のダクトは、建物内に設置していることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、竜巻の気圧差による荷重が考えられるため、ダクト本体の鋼板部を評価対象部位として選定する。
	隔離弁 (換気空調設備)	弁箱 弁体 弁棒	構造強度	変形	換気空調設備の隔離弁は、建物内に設置していることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから、隔離弁の閉止性を確認するため耐圧部を評価対象部位として選定する。
	送風機 (換気空調設備)	ケーシング	構造強度	曲げ	換気空調設備の送風機は、建物内に設置していることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、竜巻の気圧差による荷重が考えられるため、ケーシングを評価対象部位として選定する。
	処理装置 (換気空調設備)	ケーシング	構造強度	曲げ	換気空調設備の処理装置は、建物内に設置していることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、竜巻の気圧差による荷重が考えられるため、ケーシングを評価対象部位として選定する。
	非常用ガス処理系 配管及び弁	配管本体	構造強度	一次一般膜	非常用ガス処理系配管及び弁は、建物内に設置していることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、竜巻の気圧差による荷重が考えられるため、配管本体を評価対象部位として選定する。

表 3-22 竜巻の影響を考慮する施設 構造強度評価対象部位 (5/6)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
外部 事象 防護 対象 施設 に 波 及 的 影 響 を 及 ぼ す 可 能 性 が あ る 施 設	1号機原子炉建物	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への倒壊による波及的影響を考慮し、1号機原子炉建物の構造躯体である耐震壁及び鉄骨フレームを評価対象部位として選定する。
	1号機タービン建物	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への倒壊及び接触による波及的影響を考慮し、1号機タービン建物の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	1号機廃棄物処理建物	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への倒壊及び接触による波及的影響を考慮し、1号機廃棄物処理建物の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	排気筒モニタ室	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への倒壊及び接触による波及的影響を考慮し、排気筒モニタ室の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	1号機排気筒	筒身及び鉄塔	構造強度	変形角	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への倒壊及び接触による波及的影響を考慮し、設計竜巻による荷重は、筒身及び鉄塔に作用するため、筒身及び鉄塔を評価対象部位として選定する。
	復水貯蔵タンク遮蔽壁	構造躯体	構造強度	曲げ せん断	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への倒壊及び接触による波及的影響を考慮し、復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造躯体である遮蔽壁を評価対象部位として選定する。

表 3-22 竜巻の影響を考慮する施設 構造強度評価対象部位 (6/6)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設	取水槽ガントリクレーン	短冊 上部ブラケット 下部ブラケット ピン クレーン側ブラケット 基礎側ブラケット 架台	構造強度	せん断 曲げ	原子炉補機海水ポンプ等への取水槽ガントリクレーンの転倒による波及的影響を考慮して、クレーン側逸走防止装置（短冊，上部ブラケット，下部ブラケット），基礎側逸走防止装置（ピン，基礎ボルト），クレーン側転倒防止装置（クレーン側ブラケット）及び基礎側転倒防止装置（基礎側ブラケット，架台，架台取付ボルト，基礎ボルト）を評価対象部位として選定する。
		架台取付ボルト 基礎ボルト		引張 せん断*	
	排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）	結合ボルト 基礎ボルト	構造強度	引張 せん断	
	排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料デイトンク及びディーゼル潤滑油サンプタンクの付属施設）	配管本体	構造強度	曲げ	排気管及びベント管の機能を維持するために、主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定とする。

注記\*：逸走防止装置の基礎ボルトに考慮する。

#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

###### (1) 荷重の種類

###### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重、水頭圧及び上載荷重とする。

###### b. 設計竜巻による荷重 ( $W_T$ )

設計竜巻による荷重は、設計竜巻の以下の特性を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表 4-1 に示す。

- ・ 竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) ( $N/m^2$ )

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

$\rho$  : 空気密度 ( $kg/m^3$ )

$V_{Rm}$  : 竜巻の最大接線風速 ( $m/s$ )

- ・ 竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

$V_D$  : 竜巻の最大風速 ( $m/s$ )

$V_T$  : 竜巻の移動速度 ( $m/s$ )

- ・ 竜巻の移動速度 ( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

$V_D$  : 竜巻の最大風速 ( $m/s$ )

表 4-1 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ ( $m/s$ )	移動速度 $V_T$ ( $m/s$ )	最大接線風速 $V_{Rm}$ ( $m/s$ )	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ ( $N/m^2$ )
92	14	78	7500

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻の影響を考慮する施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数 ( $G$ ) は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から、施設の形状によらず竜巻影響評価ガイドを参照して、 $G=1.0$  とする。

空気密度 ( $\rho$ ) は「REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADOMISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1」(米国原子力規制委員会) より  $\rho=1.226\text{kg/m}^3$  とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため、設計竜巻の設計用速度圧 ( $q$ ) は施設の形状によらず  $q=5189\text{N/m}^2$  と設定する。

(b) 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻より防護すべき施設を内包する施設の建物の外壁、屋根等においては、竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。

閉じた施設 (通気がない施設) については、この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設 (通気がある施設等) については、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) は空気密度及び最大接線風速から、 $\Delta P_{max}=7500\text{N/m}^2$  とする。

(c) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物である鋼製材の衝突による影響が大きくなる向きで外部事象防護対象施設等に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においては、設計飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

竜巻防護ネット等を設置している箇所には、竜巻防護ネット等を設置していること、また、発電所構内においては、資機材等について、適切に管理する運用とされていることから、ネットの網目寸法相当等の砂利を飛来物として選定する。設計飛来物の寸法、質量及び飛来速度を表 4-2 に示す。設計飛来物の飛来速度については、設置（変更）許可を受けたとおり設定する。

表 4-2 設計飛来物の諸元

	鋼製材	砂 利
寸 法 (m)	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
質 量 (kg)	135	0.20
水平方向の 飛来速度 (m/s)	51	54
鉛直方向の 飛来速度 (m/s)	34	36

c. 運転時に作用する荷重 ( $F_p$ )

運転時に作用する荷重として、配管等にかかる内圧やポンプのスラスト荷重等の運転時荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計に用いる竜巻荷重は、気圧差による荷重 ( $W_P$ ) を考慮した荷重  $W_{T1}$  並びに設計竜巻の風圧力による荷重 ( $W_W$ )、気圧差による荷重 ( $W_P$ ) 及び設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重  $W_{T2}$  を以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

竜巻の影響を考慮する施設には  $W_{T1}$  及び  $W_{T2}$  の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を以下に示す。

a. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設 (表 4-3 (1/4))

設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。なお、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽について、屋外に面している鋼製蓋には隙間等があり、閉じた施設ではないため、気圧差による荷重は考慮しない。

b. 屋外の外部事象防護対象施設 (表 4-3 (2/4))

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ、原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ並びに原子炉補機海水系配管及び弁、高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁に関しては、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ、原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ並びに原子炉補機海水系配管及び弁、高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁には運転時にスラスト荷重や内圧等が作用するため、運転時に作用する荷重も考慮する。

非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ並びに非常用ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備(燃

料移送系)配管及び弁に関しては、気圧差による荷重、常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ並びに非常用ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁には、運転時に内圧が作用するため、運転時に作用する荷重も考慮する。

竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板(穴あき)により防護される原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ、非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ、原子炉補機海水系配管及び弁、高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁、非常用ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁に関しては、竜巻防護ネット等を通ずる飛来物による衝撃荷重も考慮する。

排気筒に関しては、風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。運転時に作用する荷重については、気圧差同様考慮しない。筒身及び排気筒(非常用ガス処理系用)に関しては、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することなく、飛来物の衝突により貫通した場合は速やかに補修する運用としていることから、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

c. 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設(表4-3(3/4))

外気と繋がっている屋内の施設である換気空調設備のダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置は建物内に設置しているため、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は考慮しないが、外気と繋がっているために施設に作用する気圧差による荷重と常時作用する荷重を組み合わせることを基本とする。

運転時の内圧が給気側は負圧、排気側は正圧となるが、保守性を考慮し気圧差による荷重と同等の向きに作用するものとして、運転時に作用する荷重を組み合わせる。なお、ダンパ及び隔離弁については閉止していることから、運転時に作用する荷重は考慮しない。また、送風機の自重は内圧荷重に比べ十分小さく、自重を考慮しない。



- d. 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設（表 4-3（4/4））  
機械的影響を及ぼす可能性がある施設のうち、1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物、復水貯蔵タンク遮蔽壁及び排気筒モニタ室に関しては、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時に作用する荷重については作用しないため考慮しない。

1号機排気筒に関しては、屋外施設であり閉じた施設ではないため、風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時に作用する荷重については作用しないため、気圧差同様考慮しない。

取水槽ガントリクレーンに関しては、風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については、作用しないため考慮しない。取水槽ガントリクレーンは屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。

機能的影響を及ぼす可能性がある施設である排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）、排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトank及び潤滑油サンプタンクの付属施設）は、風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。

排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）、排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトank及び潤滑油サンプタンクの付属施設）は排気機能が健全であれば良く、仮に設計飛来物による衝撃荷重により貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されるため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

また、排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）は屋外施設であり閉じた施設ではないため気圧差による荷重を考慮しない。

排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトank及び潤滑油サンプタンクの付属施設）は、運転時に内圧が作用するため、運転時に作用する荷重も考慮する。

上記の施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を踏まえ、各評価対象施設における評価項目ごとの荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (1/4)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷 重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時に作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
竜巻より防護すべき施設を内包する施設 (建物等)	原子炉建物	衝突	○*1	—	○*1	○*1	○*1	○	—
	タービン建物								
	廃棄物処理建物	構造強度	○*2	—	○*2	○*2	○*2	○	—
	制御室建物								
	ディーゼル燃料貯蔵タンク室	衝突	—	—	—	—	—	○	—
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	構造強度	—	—	—	—	—	○	—

(○：考慮する荷重を示す。)

注記\*1：「設計飛来物の貫通を生じない最小厚さであること」の確認においては考慮しない。

\*2：「設計飛来物の裏面剥離を生じない最小厚さであること」の確認においては考慮しない。

表 4-3 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (2/4)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷 重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>P</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時に作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
屋外の外部事象防護対象施設 (建物等を除く。)	原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレ イ補機海水ポンプ	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	—	○
		機能維持	—	—	—	○	○	—	○
	原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心ス プレイ補機海水ストレーナ	構造強度	○	—	—	○	○	—	○
		衝突	—	—	—	—	—	○	—
	原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉 心スプレイ補機海水系配管及び弁	構造強度	○	—	—	○	○	—	○
		衝突	—	—	—	—	—	○	—
	非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系デ ィーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁	構造強度	—	—	—	—	○	—	○
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル 燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系デ ィーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポン プ	構造強度	—	—	—	—	○	—	○	
排気筒	構造強度	○	—	○	○	—	○	—	

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4-3 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (3/4)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷 重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時に作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	ダンパ (換気空調設備)	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	角ダクト (換気空調設備)	構造強度	○	—	—	—	○	—	○
	丸ダクト (換気空調設備)	構造強度	○	—	—	—	○	—	○
	隔離弁 (換気空調設備)	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	送風機 (換気空調設備)	構造強度	—	—	—	—	○	—	○
	処理装置 (換気空調設備)	構造強度	—	—	—	—	○	—	○
	非常用ガス処理系配管及び弁	構造強度	—	—	—	—	○	—	○

(○ : 考慮する荷重を示す。)

表 4-3 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (4/4)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷 重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>P</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時に作用する荷重 (F <sub>P</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	1号機原子炉建物 1号機タービン建物 1号機廃棄物処理建物 排気筒モニタ室	構造強度	○	—	○	○	○	○	—
	1号機排気筒 復水貯蔵タンク遮蔽壁	構造強度	○	—	○	○	—	○	—
	取水槽ガントリクレーン	構造強度	○	—	—	○	—	○	—
	排気消音器	構造強度	○	—	—	○	—	—	—
	排気管及びベント管	構造強度	○	—	—	○	○	—	○

(○：考慮する荷重を示す。)

## (3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

## a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	施設の受圧面積
C	—	風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。）
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	N	自重による荷重
m	kg	質量
$\Delta P_{max}$	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の風速
V <sub>Rm</sub>	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W <sub>M</sub>	N	設計飛来物による衝撃荷重
W <sub>P</sub>	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W <sub>W</sub>	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度

## b. 自重による荷重の算出

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

## c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会)に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

$$q = \frac{1}{2} \rho V_D^2$$

(b) 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{max} \cdot A$$

ここで、

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

(c) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物が衝突する施設、評価対象部位及び評価方法に応じて適切に設定する必要があるため、個別計算書にその算出方法を含めて記載する。

評価条件を表 4-5 に示す。

表 4-5 評価条件

$V_D$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	G (-)	q (N/m <sup>2</sup> )	$V_{Rm}$ (m/s)	$\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
92	1.226	1.0	5189	78	7500



## 4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価項目ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価項目ごとの許容限界を表 4-8 に示す。

各施設の許容限界の詳細は、個別計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価項目ごとに許容限界を定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）」（(社)日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」（(社)日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）」（(社)日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）を準用できる施設については、J E A G 4 6 0 1 に基づき「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（(社)日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）の付録材料図表及び J I S の材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については、設計・建設規格や既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし、設計・建設規格の適用を受ける機器であって、供用状態に応じた許容値の規定が設計・建設規格にないものは機能維持の評価方針を考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づいた許容限界を設定する。

### 4.2.1 建物・構造物

#### (1) 許容限界の設定

##### a. 衝突評価

##### (a) 貫通（表 4-8（1/7））

建物・構造物の衝突による貫通評価においては、設計飛来物による衝撃荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材の最小厚さを許容限界として設定する。

鋼製構造物の衝突による貫通評価においては、設計飛来物に対する必要最小肉厚が部材の厚さに収まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、部材の最小厚さを許容限界として設定する。

## (b) ひずみ (表 4-8 (1/7))

建物・構造物の衝突による貫通評価のうち、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない建物の屋根スラブにおいては、設計飛来物による衝撃荷重に対し、屋根スラブの鉄筋が終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、鉄筋の破断ひずみを許容限界として設定する。鉄筋の破断ひずみは、J I S 規格値 / T F ( T F = 2.0 ) を許容限界とする。

## b. 構造強度評価

## (a) 裏面剥離 (表 4-8 (1/7))

設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外壳を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、施設の最小部材厚さを許容限界として設定する。また、許容限界を超えた場合は、裏面剥離に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、鉄筋又はデッキプレートの破断ひずみを許容限界として設定する。鉄筋又はデッキプレートの破断ひずみは、J I S 規格値 / T F ( T F = 2.0 ) を許容限界とする。

## (b) 転倒及び脱落 (表 4-8 (1/7), (2/7))

鉄筋コンクリート造構造物の転倒及び脱落の評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外壳を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、構造躯体のうち耐震壁に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、終局せん断ひずみに基づく制限値を許容限界として設定する。制限値は J E A G 4 6 0 1 に基づき  $2.0 \times 10^{-3}$  とする。

また、屋根スラブに生じる応力については、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)」に基づく短期許容応力度を許容限界とし、屋根スラブのスタッドボルトにおいては、「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)」に基づく許容耐力を許容限界として設定する。

扉の転倒及び脱落の評価については、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、施設の外壳を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、扉支持部材の破断による転倒及び脱落が生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準

－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」に基づく短期許容  
応力度を許容限界として設定する。

(c) 構造躯体の変形（表 4-8 (6/7)）

外部事象防護対象に波及的影響を及ぼす可能性のある施設については，設計  
竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，1号機原子炉建物，1号機  
タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室が倒壊しないことを  
解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，耐震壁については終局  
点に対応するせん断ひずみ，鉄骨フレームについては「建築基準法施行令第 82  
条の 2（層間変形角）」に基づく制限値を許容限界として設定する。制限値は，  
耐震壁については J E A G 4 6 0 1 に基づき  $4.0 \times 10^{-3}$ ，鉄骨フレームについては  
「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」に基づき 1/120 とする。

また，1号機タービン，1号機廃棄物処理建物，及び排気筒モニタ室につい  
ては設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，隣接する竜巻より  
防護すべき施設を内包する建物等に接触する変形を生じないことを解析により  
確認する評価方針としていることを踏まえ，各建物との離隔距離を許容限界と  
して設定する。

(d) 変形角（表 4-8 (4/7, 6/7)）

排気筒の構造強度評価においては，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重  
に対し，排気筒全体が倒壊しないことを計算により確認する評価方針としてい  
ることを踏まえ，「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」に基づく制  
限值を許容限界として設定する。

また，1号機排気筒の構造強度評価においては，設計竜巻荷重及びその他考  
慮すべき荷重に対し，1号機排気筒が原子炉建物，タービン建物等に倒壊によ  
る影響を及ぼさないことを解析により確認する評価方針としていることを踏ま  
え，「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」に基づく制限値を許容限界  
として設定する。

(e) 壁の曲げ，せん断（表 4-8 (6/7)）

復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造強度評価においては，設計竜巻荷重及びその他  
考慮すべき荷重に対し，復水貯蔵タンク遮蔽壁全体が倒壊しないことを計算に  
より確認する評価方針としていることを踏まえ，「コンクリート標準示方書 [構  
造性能照査編]（（社）土木学会，2002 制定）」（以下「コンクリート標準示方書」  
という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

## (2) 許容限界設定方法

## a. 記号の定義

許容限界式に使用する記号を表 4-6 に示す。

表 4-6(1) スタッドの許容限界式に用いる記号

記号	単位	定義
$A_c$	$\text{mm}^2$	コーン状破壊面の有効投影面積
$A_0$	$\text{mm}^2$	スタッド頭部の支圧面積
$a_{ca}$	$\text{mm}^2$	スタッド断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値
$f_n$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コンクリートの支圧強度
$p_a$	kN	スタッド 1 本あたりの許容引張力
$p_{a1}$	kN	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力
$p_{a2}$	kN	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力
$p_{a3}$	kN	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド 1 本あたりの許容引張力
$c\sigma_t$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
$s\sigma_{pa}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	スタッドの引張強度
$\Phi_1$	—	低減係数
$\Phi_2$	—	低減係数

表 4-6(2) 屋根スラブの許容限界式に用いる記号

記号	単位	定義
$M_a$	$\text{kN} \cdot \text{m}$	屋根スラブの許容曲げモーメント
$Q_a$	kN	屋根スラブの許容せん断力
$a_t$	$\text{mm}^2$	引張鉄筋の断面積
$f_t$	$\text{N}/\text{mm}^2$	鉄筋の許容せん断応力度
$j$	mm	屋根スラブの応力中心間距離 ( $j = (7/8) \cdot d'$ )
$d'$	mm	屋根スラブの有効せい
$b$	mm	屋根スラブの幅
$f_s$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コンクリートの許容せん断応力度
$wf_t$	$\text{N}/\text{mm}^2$	せん断補強筋の短期許容引張応力度

## b. 許容限界式

## (a) スタッドの許容限界式

コンクリート躯体中に定着されたスタッド 1 本あたりの許容引張力  $p_a$  は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づき，スタッドの降伏により定まる場合の許容引張力  $p_{a1}$ ，定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合の許容引張力  $p_{a2}$  及びコンクリートの支圧破壊により定まる場合の許容引張力  $p_{a3}$  のうち，最も小さい値とする。スタッドの許容引張力  $p_a$  の算定式を以下に示す。

$$p_a = \text{Min} \{ p_{a1}, p_{a2}, p_{a3} \}$$

ここで，

$$p_{a1} = \Phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot a_c \cdot a$$

$$p_{a2} = \Phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c$$

$$p_{a3} = f_n \cdot A_0$$

## (b) 屋根スラブの許容限界式

屋根スラブに発生する曲げモーメント及びせん断力に対する許容限界は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」に基づき下式により算定する。

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$Q_a = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w \cdot f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで，

$\alpha$ ：許容せん断力の割増し係数で，次式による。

(2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

$M$ ：曲げモーメント ( $N \cdot mm^2$ )

$Q$ ：せん断力 ( $N$ )

$d$ ：断面の有効せい ( $mm$ )

$p_w$ ：せん断補強筋比で，次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$ ：せん断補強筋の断面積 ( $mm^2$ )

$x$ ：せん断補強筋の間隔 ( $mm$ )

注記\*：せん断補強筋がない領域については，第 2 項を 0 とする。

#### 4.2.2 機器・配管系

##### (1) 許容限界の設定

###### a. 衝突評価

###### (a) 貫入

衝突による貫入評価においては，設計飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，部材厚さを許容限界として設定する。

ただし，耐圧部については部材厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界として設定する。

###### b. 構造強度評価

###### (a) 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（表 4-8 (3/7)）

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及び竜巻防護ネット等を通ずる飛来物の衝撃荷重に対し，原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ，原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの機能維持に必要な付属品を支持する取付ボルト並びにポンプの機能保持に必要な付属品を支持する原動機フレームが，おおむね弾性域に収まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて供用状態Ⅲ A S の許容応力を許容限界として設定する。

###### (b) 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ（表 4-8 (3/7)）

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナを支持する基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ A S の許容応力を許容限界として設定する。

- (c) 原子炉補機海水系配管及び弁， 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁， 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁， 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁（表 4-8（4/7），（5/7））

原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重，竜巻防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体が，おおむね弾性域に収まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて供用状態ⅢA S の許容応力を許容限界として設定する。

非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁の構造強度評価においては，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体が，おおむね弾性域に収まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて供用状態ⅢA S の許容応力を許容限界として設定する。

- (d) 非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ（表 4-8（3/7））

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの耐圧部が，燃料を供給する機能を維持することを確認する評価方針としていることを踏まえ，ポンプの耐圧試験圧力を許容限界として設定する。

- (e) ダンパ（表 4-8（5/7））

ダンパの構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ダンパを構成する外板，羽根及びシャフトが，おおむね弾性域に収まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて供用状態ⅢA S の許容応力を許容限界として設定する。

## (f) ダクト (表 4-8 (5/7))

ダクトの構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ダクトを構成するダクト鋼板が、おおむね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて供用状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び座屈に対する評価式を満足する許容応力又はクリップリング座屈及び弾性座屈曲げ応力に応じた許容応力を許容限界として設定する。

## (g) 隔離弁 (表 4-8 (5/7))

隔離弁の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、隔離弁が、おおむね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて供用状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力又はクリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

## (h) 送風機 (表 4-8 (5/7))

送風機の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差及びその他考慮すべき荷重に対し、送風機のケーシングが、おおむね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、クリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

## (i) 処理装置 (表 4-8 (5/7))

処理装置の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差及びその他考慮すべき荷重に対し、処理装置のケーシングが、おおむね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて供用状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容値を許容限界として設定する。

## (j) 排気消音器 (非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設) (表 4-8 (7/7))

排気消音器の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、排気消音器を構成する結合ボルト及び基礎ボルトが、おおむね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて供用状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。



- (k) 排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトンク及び潤滑油サンプタンクの付属施設）（表 4-8 (7/7)）

排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトンク及び潤滑油サンプタンクの付属施設）の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体が、おおむね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて供用状態ⅢA S の許容応力を許容限界として設定する。

- (l) 取水槽ガントリクレーン（表 4-8 (7/7)）

取水槽ガントリクレーンの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、逸走防止装置及び転倒防止装置が、塑性域に達しても必要な機能が損なわれず、外部事象防護対象施設に逸走及び転倒による影響を及ぼさないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態ⅣA S の許容応力を許容限界として設定する。

c. 動的機能維持評価

- (a) 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（表 4-8 (3/7)）

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの動的機能維持評価においては、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの軸受部は、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界として設定する。

(2) 許容限界設定方法

a. 記号の定義

許容限界式に使用する記号を表 4-7 に示す。

表 4-7 許容限界式に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
b	mm	ケーシング外半径
d <sub>1</sub>	mm	ダクト内径
d <sub>2</sub>	mm	ダクト外径
E	MPa	縦弾性係数
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
f <sub>1</sub>	N	曲げモーメントによる圧縮荷重
f <sub>2</sub>	N	最大気圧低下量及び通常運転圧力による圧縮荷重
f <sub>b</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
f <sub>b</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍」と読み替えて算出した値
f <sub>c</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
f <sub>c</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍」と読み替えて算出した値
f <sub>s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
f <sub>s</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍」と読み替えて算出した値
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
f <sub>t</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍」と読み替えて算出した値
f <sub>t s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131 により規定されるせん断力と引張力を同時に受けるボルトの許容引張応力
k <sub>p</sub>	—	座屈係数
L	mm	評価対象板の長さ

表 4-7 許容限界式に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$L_1$	mm	弁箱の面間寸法
$M_{cr}$	kN・mm	弾性座屈曲げモーメント
$n$	—	座屈モードの次数
$P_m$	N	限界荷重
$R$	mm	内半径
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 にて規定される設計引張強さ
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される設計降伏点
$r_m$	mm	平均半径
$t$	mm	板厚
$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
$Z_c$	—	形状係数
$\beta$	—	補正係数
$\nu$	—	ポアソン比
$\sigma_{cr1}$	MPa	クリッピング座屈が発生する際に生じる応力
$\sigma_{cr2}$	MPa	弾性座屈曲げ応力
$\sigma_b$	MPa	自重による発生応力
$\sigma_{pb}$	MPa	設計竜巻による気圧差及び内圧による発生応力
$\sigma_y$	MPa	降伏応力
$\sigma_\theta$	MPa	ダクトに作用する圧力により軸直角方向に生じる応力
$\tau$	MPa	せん断応力

## b. 許容限界式

J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容限界を設定するものについては, 表 4-9 及び表 4-10 に示す許容応力を用いる。また, 評価式を用いて許容限界を設定するものについては, 以下の許容限界式に準じて, 設定する。

## (a) 支持構造物の許容限界式

## イ. ボルト

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  は, 次式で算出される。

$$\begin{cases} f_{ts} = 1.4(1.5 \cdot f_t) - 1.6 \cdot \tau \\ f_{ts} \leq 1.5 \cdot f_t \end{cases}$$

許容引張応力  $f_{ts}$  は, 上記 2 式の小なる値をとる。

## (b) 角ダクトの許容限界式

## イ. 軸方向の荷重に対する許容限界

ダクト自重による軸方向圧縮荷重  $f_1$  と設計竜巻による気圧差及び内圧による軸方向圧縮荷重  $f_2$  の和が許容荷重  $P_m$  以下であることを確認する。

なお, ダクト自重による軸方向圧縮荷重  $f_1$  はダクト板 1 枚あたりの軸方向圧縮荷重として算出され, 設計竜巻による気圧差及び内圧による軸方向圧縮荷重  $f_2$  はダクト板 4 枚あたりの軸方向圧縮荷重として算出される。許容荷重  $P_m$  はダクト板 1 枚あたりとして算出されるため, これらの関係は以下の式で表わされる。

$$4 \cdot f_1 + f_2 \leq 4 \cdot P_m$$

ここで,

$$P_m = \frac{\pi}{\sqrt{3(1-\nu)}} \sqrt{E \cdot \sigma_y \cdot t^2}$$

## (c) 丸ダクトの許容限界式

## イ. 軸直角方向の荷重により生じる応力に対する許容限界

ダクトに作用する圧力により軸直角方向の荷重が生じ, この荷重により生じる応力  $\sigma_\theta$  が, クリップリング座屈が発生する際に生じる応力 (座屈応力)  $\sigma_{cr1}$  を超えないことを確認する。クリップリング座屈が発生する際に生じる応力  $\sigma_{cr1}$  は, 円筒殻の座屈応力の式より算出する。

$$\sigma_\theta \leq \sigma_{cr1}$$

$$\sigma_{cr1} = k_p \left\{ \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \right\} \cdot \left( \frac{t}{L} \right)^2$$

$$k_p = \frac{(1 + \beta^2)^2}{0.5 + \beta^2} + \frac{12 \cdot Z_c^2}{\pi^4 \cdot (0.5 + \beta^2) \cdot (1 + \beta^2)^2}$$

$$\beta = \frac{L \cdot n}{\pi \cdot r_m}$$

$$Z_c = \frac{L^2}{r_m \cdot t} \sqrt{1 - \nu^2}$$

ここで、座屈モードの次数  $n$  は  $k_p$  が最小となる時の次数とする。

ロ. 軸方向の荷重により生じる応力に対する許容限界

ダクト自重による軸方向圧縮荷重により生じる曲げ応力  $\sigma_b$  と設計竜巻による気圧差及び内圧により生じる軸方向圧縮荷重による応力  $\sigma_{pb}$  の和が、弾性座屈曲げ応力  $\sigma_{cr2}$  以下であることを確認する。

$$\sigma_b + \sigma_{pb} \leq \sigma_{cr2}$$

$$\sigma_{cr2} = \frac{M_{cr}}{Z}$$

$$M_{cr} = \frac{\beta \cdot E \cdot R \cdot t^2}{(1 - \nu^2)}, \quad \beta = 0.72$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$$

(d) 隔離弁の許容限界式

イ. 弁箱に対する許容応力

隔離弁に作用する圧力により生じる周方向応力は、クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） $\sigma_{cr1}$  を超えないこととする。

隔離弁に作用する圧力によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力  $\sigma_{cr1}$  は、円筒殻の座屈応力の式より算出する。

$$\sigma_{cr1} = \frac{k_p \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \nu^2)} \left( \frac{t}{L_1} \right)^2$$

$$k_p = \frac{(1 + \beta^2)^2}{0.5 + \beta^2} + \frac{12 \cdot Z_c^2}{\pi^4 \cdot (0.5 + \beta^2) \cdot (1 + \beta^2)^2}$$

$$\beta = \frac{L_1 \cdot n}{\pi \cdot R}$$

$$Z_c = \frac{L_1^2}{R \cdot t} \sqrt{1 - \nu^2}$$

(e) 送風機の許容限界式

イ. 外圧に対する許容応力

外圧により生じる周方向応力は、クリップリング座屈\*が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） $\sigma_{cr1}$ を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{cr1}$ は、円筒殻の座屈応力の式より算出する。

注記\*：送風機のケーシングが真円とは異なり、局部的に応力がかかることから、クリップリング座屈を適用

$$\sigma_{cr1} = k_p \left\{ \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \right\} \cdot \left( \frac{t}{L} \right)^2 \cdot \boxed{\phantom{00}}$$

$$k_p = \frac{(1 + \beta^2)^2}{0.5 + \beta^2} + \frac{12 \cdot Z_c^2}{\pi^4 \cdot (0.5 + \beta^2) \cdot (1 + \beta^2)^2}$$

$$\beta = \frac{L \cdot n}{\pi \cdot b}, \quad Z_c = \frac{L^2}{b \cdot t} \sqrt{1 - \nu^2}$$

表 4-8 施設ごとの許容限界 (1/7)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設を内包する施設（建物等）	原子炉建物 タービン建物 廃棄物処理建物 制御室建物	$W_M$	屋根スラブ 外壁	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_M)$	屋根スラブ		変形	貫通	鉄筋の発生ひずみが J I S 規格値 / T F (T F = 2.0) を考慮した値以下とする。
		$W_M$	屋根スラブ 外壁	構造 強度	変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_M)$	屋根スラブ 外壁		変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	鉄筋及びデッキプレートの発生ひずみが J I S 規格値 / T F (T F = 2.0) を考慮した値以下とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_P)$	屋根スラブ		曲げ, せん断	部材の破断による転倒及び脱落	「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づく短期許容応力度以下とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_P)$	スタッド		引張	部材の破断による転倒及び脱落	「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力以下とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_P, W_M)$	耐震壁		変形	部材の破断による転倒及び脱落	せん断ひずみが制限値 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 以下とする。
	ディーゼル燃料 貯蔵タンク室 B-ディーゼル 燃料貯蔵タンク 格納槽	$W_M$	スラブ	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
			鋼製蓋				施設の最小部材厚さが必要最小肉厚以上とする。
		$W_M$	スラブ	構造 強度	変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (2/7)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設 (建物等)	原子炉建物	W <sub>M</sub>	扉 (扉板)	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが必要最小肉厚以上とする。
		W <sub>P</sub>	扉 (カンヌキ)	構造強度	曲げ, せん断	部材の降伏	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-」に基づく短期許容応力度以下とする。



表 4-8 施設ごとの許容限界 (3/7)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設 (建物等を除く。)	原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	$F_d + W_T$ ( $W_W, W_P, W_M$ ) + $F_P$	外殻を構成する部材	衝突	貫入	送水機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
			基礎ボルト 取付ボルト	構造強度	引張, せん断	部材の降伏	「JEAG4601」等に準じて許容応力状態ⅢAS*の許容応力以下とする。
			原動機フレーム	構造強度	曲げ		
			軸受部	機能維持	接触	軸と軸受が接触する。	軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下とする。
	原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	$F_d + W_T$ ( $W_W, W_P$ ) + $F_P$	基礎ボルト	構造強度	引張, せん断	部材の降伏	「JEAG4601」等に準じて許容応力状態ⅢAS*の許容応力以下とする。
非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	$W_P + F_P$	耐圧部	構造強度	変形	部材の降伏	耐圧試験圧力以下とする。	

注記\* : JEAG4601を基に、表4-9 クラス1・クラス2, 3・その他の支持構造物の許容応力を準用する。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (4/7)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設 (建物等を除く。)	原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁	$F_d + W_T$ ( $W_W, W_P, W_M$ ) $+ F_P$	外殻を構成する部材	衝突	貫入	流路を確保する機能の喪失	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未滿とする。
			配管本体	構造強度	曲げ	部材の降伏	「JEAG4601」等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>AS</sub> *の許容応力以下とする。
	非常用ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁	$W_P + F_P$	配管本体	構造強度	一次一般膜	部材の降伏	「JEAG4601」等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>AS</sub> *の許容応力以下とする。
	排気筒	$F_d + W_T$ ( $W_W, W_M$ )	筒身及び鉄塔	構造強度	変形	部材の損傷による転倒	変形が「建築基準法施行令第82条の2(層間変形角)」に基づく層間変形角以下とする。

注記\* : JEAG4601を基に、表4-10 クラス2, 3配管の許容応力を準用する。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (5/7)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	ダンパ(換気空調設備)	$F_d + W_P$	外板 羽根 シャフト	構造強度	曲げ, せん断	部材の降伏	「J E A G 4 6 0 1」等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup> の許容応力以下とする。
	角ダクト(換気空調設備)及び丸ダクト(換気空調設備)	$F_d + W_P + F_P$	ダクト鋼板(本体)	構造強度	曲げ, 座屈	部材の降伏	「J E A G 4 6 0 1」等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup> の許容応力以下又はクリッピング座屈に応じた許容応力以下とする。
	隔離弁(換気空調設備)	$F_d + W_P$	弁箱 弁体 弁棒	構造強度	変形	部材の降伏	呼び圧力以下とする。
	送風機(換気空調設備)	$W_P + F_P$	ケーシング	構造強度	曲げ	部材の降伏	「J E A G 4 6 0 1」等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup> の許容応力以下とする。
	処理装置(換気空調設備)	$W_P + F_P$	ケーシング	構造強度	曲げ	部材の降伏	「J E A G 4 6 0 1」等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup> の許容応力以下とする。
	非常用ガス処理系配管及び弁	$W_P + F_P$	配管本体	構造強度	一次一般膜	部材の降伏	「J E A G 4 6 0 1」等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*2</sup> の許容応力以下とする。

注記\*1: J E A G 4 6 0 1を基に, 表 4-9 クラス1・クラス2, 3・その他の支持構造物の許容応力を準用する。

\*2: J E A G 4 6 0 1を基に, 表 4-10 クラス2, 3配管の許容応力を準用する。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (6/7)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位		評価項目	機能損傷モード		許容限界
						応力等の状態	限界状態	
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	1号機原子炉建物	$F_d + W_T (W_w, W_p, W_m)$	構造躯体	耐震壁	構造強度	変形	倒壊	終局せん断ひずみに基づく制限値以下とする。
				鉄骨フレーム				変形が「建築基準法施行令第82条の2(層間変形角)」に基づく層間変形角以下とする。
	1号機タービン建物	$F_d + W_T (W_w, W_p, W_m)$	構造躯体		構造強度	変形	接触	隣接する建物との相対変位が、各建物との離隔距離以下とする。
	1号機廃棄物処理建物							
	排気筒モニタ室							
	1号機排気筒	$F_d + W_T (W_w, W_m)$	筒身及び鉄塔	構造強度	変形	部材の損傷による転倒	変形が「建築基準法施行令第82条の2(層間変形角)」に基づく層間変形角以下とする。	
復水貯蔵タンク遮蔽壁	$F_d + W_T (W_w, W_m)$	壁	構造強度	曲げ, せん断	倒壊	「コンクリート標準示方書」に基づく短期許容応力度以下とする。		

表 4-8 施設ごとの許容限界 (7/7)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	取水槽 ガントリー クレーン	$F_d + W_T$ ( $W_W, W_M$ )	短冊 上部ブラケット 下部ブラケット ピン クレーン側ブラケット 基礎側ブラケット 架台	構造 強度	曲げ, せん断	部材が弾性 域に留まら ず塑性域に 入る状態	「JEAG4601」等に準じて 許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S <sup>*2</sup> の許容応力 以下とする。
			架台取付ボルト 基礎ボルト		引張, せん断 <sup>*1</sup>		
	排気消音器	$F_d + W_T$ ( $W_W, W_P$ )	結合ボルト 基礎ボルト	構造 強度	引張, せん断	部材の降伏	
排気管及び ベント管	$F_d + W_T$ ( $W_W, W_P$ ) + $F_P$	配管本体	構造 強度	曲げ	部材の降伏	「JEAG4601」等に準じて 許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*3</sup> の許容応力 以下とする。	

注記\*1：逸走防止装置の基礎ボルトに考慮する。

\*2：JEAG4601を基に、表 4-9 クラス1・クラス2, 3・その他の支持構造物の許容応力を準用する。

\*3：JEAG4601を基に、表 4-10 クラス2, 3配管の許容応力を準用する。

表 4-9 クラス 1・クラス 2, 3・その他の支持構造物の許容応力

許容 応力 状態	許容応力*1, *2, *3 (ボルト以外)				許容応力*2 (ボルト等)	
	一 次 応 力				一 次 応 力	
	引張	せん断	圧 縮	曲 げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t'$	$1.5 \cdot f_s'$	$1.5 \cdot f_c'$	$1.5 \cdot f_b'$	$1.5 \cdot f_t'$	$1.5 \cdot f_s'$

注記\*1:「鋼構造設計規準 S I 単位版」(2002 年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

\*2: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*3: 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

表 4-10 クラス 2, 3 配管の許容応力

許容 応力 状態	許 容 応 力	
	一次一般膜応力	一次応力 (膜+曲げ)
Ⅲ <sub>A</sub> S	$\text{Min} [S_y, 0.6 S_u]$ ただし, オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては 1.2S としてもよい。	$S_y$

## 5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ F E M等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して、設計竜巻による荷重は地震荷重と同様に施設に作用する場合は、地震荷重と同様に外力として評価をするため、J E A G 4 6 0 1 を適用可能とする。ただし、閉じた施設となる屋外配管等については、その施設の大きさ及び形状を考慮した上で気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として評価する。

設計竜巻の風圧力による荷重の影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風圧力による荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの 1/2 又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。設計竜巻荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、強度評価方法としてポンプ、容器及び建物等の定式化された評価式を用いた解析法を以下に示す。

ただし、以下に示す強度評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については、個別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

## 5.1 建物・構造物に関する評価式

### 5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物

#### (1) 評価条件

- a. 貫通限界厚さは、NEI 07-13 に示されている D e g e n 式を用いて算定する。D e g e n 式における貫入深さは、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正 N D R C 式を用いて算定する。
- b. 裏面剥離限界厚さは、NEI 07-13 に示されている C h a n g 式を用いて算定する。
- c. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算定する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建物</li> <li>・タービン建物</li> <li>・廃棄物処理建物</li> <li>・制御室建物</li> </ul>	屋根スラブ 外壁 構造躯体 スタッド	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル燃料貯蔵タンク室</li> <li>・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽</li> </ul>	スラブ	貫通 裏面剥離
<ul style="list-style-type: none"> <li>・1号機原子炉建物</li> <li>・1号機タービン建物</li> <li>・1号機廃棄物処理建物</li> <li>・排気筒モニタ室</li> </ul>	構造躯体	変形
<ul style="list-style-type: none"> <li>・復水貯蔵タンク遮蔽壁</li> </ul>	構造躯体	断面力

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

D e g e n 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号を表 5-2 に、C h a n g 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表 5-3 に、力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号を表 5-4 に示す。



表 5-2 D e g e n式による鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
D	kgf/cm <sup>3</sup>	設計飛来物直径密度 ( $D = W / d^3$ )	
d	cm	設計飛来物直径	
e	cm	貫通限界厚さ	
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
N	—	設計飛来物の形状係数	
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)
		屋根	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)
W	kgf	設計飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
$\alpha_e$	—	低減係数	

表 5-3 C h a n g式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
d	cm	設計飛来物直径	
f <sub>c</sub> '	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
S	cm	裏面剥離限界厚さ	
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)
		屋根	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)
V <sub>0</sub>	m/s	飛来物基準速度	
W	kgf	設計飛来物重量	
$\alpha_s$	—	低減係数	

表 5-4(1/3) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(荷重算定用)

記号	単位	定義
W <sub>M</sub>	N	設計飛来物による衝撃荷重
m	kg	設計飛来物質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度 (水平)
$\Delta t$	s	設計飛来物と被衝突体の接触時間
L <sub>1</sub>	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

表 5-4(2/3) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(屋根スラブ)

記号	単位	定義
L	m	屋根スラブの支持スパン
M	kN・m	設計竜巻による単位幅あたりの曲げモーメント
Q	kN	屋根スラブに生じる単位幅あたりのせん断力
$\omega_d$	kN/m	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重
$\omega_T$	kN/m	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 (=Max { $\omega_{T1}$ , $\omega_{T2}$ })
$\omega_{T1}$	kN/m	複合荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	kN/m	複合荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重 (設計飛来物による 衝撃荷重 $W_M$ は考慮しない)

表 5-4(3/3) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(スタッド)

記号	単位	定義
$L_1$	m	屋根スラブの支持スパン
$L_2$	m	屋根スラブの支持スパン
p	mm	スタッドの間隔
Q	kN	屋根スラブに生じる単位幅あたりのせん断力
T	kN	スタッドに生じる引張力
$\omega_T$	kN/m	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 (=Max { $\omega_{T1}$ , $\omega_{T2}$ })
$\omega_{T1}$	kN/m	複合荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	kN/m	複合荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重 (設計飛来物による 衝撃荷重 $W_M$ は考慮しない)

## b. 評価方法

(a) D e g e n 式による裏面剥離限界厚さの算定

D e g e n 式を以下に示す。

1.52 ≤ X / d ≤ 13.42 の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{0.69 + 1.29 \cdot (X / d)\} \cdot d$$

X / d ≤ 1.52 の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{2.2 \cdot (X / d) - 0.3 \cdot (X / d)^2\} \cdot d$$

修正 N D R C 式を以下に示す。

X / d ≤ 2.0 の場合

$$X / d = 2 \cdot \left\{ \left( 12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V / 1000)^{1.8} \right\}^{0.5}$$

X / d ≥ 2.0 の場合

$$X / d = \left( 12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V / 1000)^{1.8} + 1$$

(b) C h a n g 式による貫通限界厚さの算定

C h a n g 式を以下に示す。

$$S = 1.84 \cdot \alpha_s \cdot \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \cdot \frac{\left( \frac{W \cdot V^2}{0.0980} \right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

(c) 力学における標準式による荷重の算定

イ. 設計飛来物による衝撃荷重

$$W_M = m \cdot V / \Delta t = m \cdot V^2 / L_1$$

ロ. 屋根スラブに発生する単位幅あたりの曲げモーメント

$$M = \text{M a x} \{ M_1, M_2 \}$$

ここで,

$$M_1 = \frac{9}{128} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L^2$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L^2$$

ハ. 屋根スラブに発生する単位幅あたりのせん断力

$$Q = \frac{5}{4} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L$$

二. スタッド 1 本あたりの発生引張力

$$T = Q \cdot \frac{p}{1000 \cdot n}$$

$$\text{ここで, } Q = \frac{\omega_T (L_1 + L_2)}{2}$$

n : スタッドの本数 (本)

### 5.1.2 排気筒

#### (1) 評価条件

- a. 排気筒は筒身と鉄塔が一体となって構成されるため，施設全体で風圧力による一様な荷重を受けるモデルとして評価を行う。この際，排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材に対して，設計竜巻による設計飛来物が衝突するものとする。排気筒のモデル図を図 5-1 に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-5 に示す。

表 5-5 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 排気筒</li> <li>・ 1号機排気筒</li> </ul>	筒身及び鉄塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形角</li> </ul>

#### (3) 強度評価方法

##### a. 解析モデル

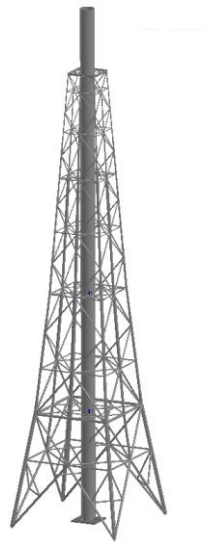


図5-1 排気筒のモデル図

##### b. 評価方法

排気筒について，3次元FEMモデルによる変形評価を実施し，頂部最大変位を排気筒高さで除した全体変形角が許容限界を超えないことを確認する。

## 5.1.3 鋼製構造物

## (1) 評価条件

- a. 設計飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の必要最小肉厚を，衝突解析により求める。
- b. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算定する。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

## (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-6 に示す。

表 5-6 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
・原子炉建物	扉	貫通 転倒及び脱落
・ディーゼル燃料貯蔵タンク室 ・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	鋼製蓋	貫通

## (3) 強度評価方法

## a. 記号の定義

力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号を表 5-7 に示す。

表 5-7 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(扉)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	表面鋼板の受圧面積
$A_2$	$mm^2$	カンヌキの断面積
$L$	$mm$	カンヌキと扉枠の距離
$n$	本	カンヌキの本数
$R$	$N$	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重
$W_P$	$N$	設計竜巻の気圧差による荷重
$\Delta P_{max}$	$N/m^2$	設計竜巻の最大気圧低下量
$Z$	$mm^3$	カンヌキの断面係数
$\sigma_b$	$N/mm^2$	曲げ応力度
$\tau$	$N/mm^2$	せん断応力度

## b. 評価方法

## (a) 解析による必要最小肉厚の算定

解析における被衝突物の破断ひずみは、JIS に規定されている伸びの下限値を基に設定するが、「NEI 07-13」において、TF（多軸性係数）を考慮することが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として二軸引張状態で  $TF = 2.0$  を考慮して設定する。

## (b) 力学における標準式による荷重の算定

## イ. 扉支持部材（カンヌキ）に生じる荷重

次式により算定する設計竜巻の気圧差による荷重による反力から、各部材に発生する荷重を算定する。扉のカンヌキに生じる荷重の例を図5-2に示す。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A_1$$

$$R = \frac{W_p}{n}$$



(a) 平面図



(b) 正面図

図5-2 カンヌキに生じる荷重の例

カンヌキの詳細図を図5-3に示す。カンヌキに生じる曲げモーメント  $M_k$  及びせん断力  $Q_k$  は次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L$$

$$Q_k = R$$



図 5-3 カンヌキの詳細図

ロ. カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_k}{Z}$$

ハ. カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{Q_k}{A_2}$$



## 5.2 機器・配管系に関する評価式

### 5.2.1 衝突評価が必要な機器

#### (1) 評価条件

衝突評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 貫通計算においては，評価対象部位に飛来物が衝突した際に跳ね返らず，貫通するものとして評価する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-8 に示す。

表 5-8 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
飛来物が衝突する可能性がある部位のうち，最小肉厚部等，貫通によって当該施設が機能喪失する可能性がある箇所	衝突による貫通力

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

衝突評価に用いる記号を表 5-9 に示す。

表 5-9 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

##### b. 評価方法

###### (a) 貫通限界厚さの算出 $10^9$

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている B R L 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

## 5.2.2 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

### (1) 評価条件

- a. 計算モデルは1質点系モデルとし、ポンプ部は全高の1/2の位置に、原動機部は重心位置に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度評価対象部位を図5-4に示す。また、ポンプ部及び原動機部の応力計算モデル図を図5-5に示す。

- b. 原動機フレームのたわみ量計算においては、ポンプ据付面から原動機台上端まで（ポンプ部）と、原動機台上端から原動機上部軸受部まで（原動機部）の片持ちはりと考える。ポンプ部については、ポンプ部の断面性能は原動機台が最も小さいことから、原動機台の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価する。原動機部については、原動機フレームの断面性能を用いて評価する。このため、計算モデルは違う断面性能の一軸中空形モデルとして考え、荷重は全高の半分の位置に作用することとする。

たわみ量計算モデル図を図5-5に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体（原動機フレーム等）は、水平方向の複合荷重により、ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方、回転体（ポンプ軸及び原動機軸）は、風荷重を受けないため、変形せず、原動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態を維持する。原動機フレーム等の変形により、軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-10に示す。

表5-10 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
基礎ボルト, 取付ボルト*	引張 せん断
原動機フレーム	引張
エンドカバー取付ボルト	せん断

注記\*：原動機取付ボルト，ポンプ取付ボルト，通風ダクト取付ボルト，空気冷却器取付ボルト，端子箱取付ボルト及びエンドカバー取付ボルトを示す。

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表 5-11 に示す。

表 5-11 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
a	mm	部材間の長さ
a <sub>1</sub>	mm	ポンプ据付面からの原動機台上端までの長さ
a <sub>2</sub>	mm	原動機台上端から原動機下部軸受までの長さ
a <sub>3</sub>	mm	原動機台から荷重作用点までの長さ
A	m <sup>2</sup>	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>	四角形状の部分の受圧面積
A <sub>2</sub>	m <sup>2</sup>	円形状の部分の受圧面積
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	各ボルトの軸断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>1</sub>	—	四角形状の部分に対する建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>2</sub>	—	円形状の部分に対する建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>p</sub>	—	ポンプ振動による震度
d	mm	回転子コア径
D	mm	各ボルトのピッチ円直径
D <sub>m</sub>	mm	原動機フレーム外径
d <sub>m</sub>	mm	原動機フレーム内径
D <sub>p</sub>	mm	原動機台外径
d <sub>p</sub>	mm	原動機台内径
E	MPa	縦弾性係数
E <sub>m</sub>	MPa	原動機フレームの縦弾性係数
E <sub>p</sub>	MPa	原動機台の縦弾性係数
E <sub>m</sub> '	MPa	回転子の縦弾性係数

表 5-11 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
$F_b$	N	各ボルトに対する引張力
$F_i$	N	転倒支点から $L_i$ の距離にあるボルトに対する引張力
$F_H$	N	水平方向に作用する荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$h_1$	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの距離
$h_2$	mm	原動機台から荷重作用点までの距離
$h_{1'}$	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの距離
$h_{2'}$	mm	原動機下部軸受から荷重作用点までの距離
$h_{3'}$	mm	荷重作用点から荷重作用点までの距離
$h_g$	mm	基準面から重心位置までの距離
$h_w$	mm	すみ肉溶接高さ
$I$	$mm^4$	断面二次モーメント
$I_m$	$mm^4$	原動機フレームの断面二次モーメント
$I_{m'}$	$mm^4$	回転子の断面二次モーメント
$I_p$	$mm^4$	原動機台の断面二次モーメント
$L_g$	mm	重心からボルトまでの距離
$L_i$	mm	転倒支点からボルトの距離
$m$	kg	質量
$M$	$N \cdot mm$	設計竜巻により作用するモーメント
$M_a$	$N \cdot mm$	設計竜巻により作用するモーメント
$M_b$	$N \cdot mm$	設計竜巻により作用するモーメント
$M_c$	$N \cdot mm$	設計竜巻により作用するモーメント
$M_{C_p}$	$N \cdot mm$	ポンプ振動による転倒モーメント
$M_p$	$N \cdot mm$	ポンプの回転によるモーメント
$N$	rpm	回転数 (原動機の同期回転数)
$n$	—	各ボルトの本数
$n_f$	—	引張力を受ける各ボルトの本数
$Q_b$	N	各ボルトに対するせん断力
$P$	kW	原動機出力
$\Delta P_{max}$	$N/m^2$	設計竜巻の最大気圧低下量
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧

表 5-11 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
W	N	自重
W'	N	たわみ量及び発生荷重計算において設計竜巻による風圧を受ける面それぞれの $W_{T2}$ の合計の複合荷重
W''	N	発生荷重
W <sub>M</sub>	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W <sub>P</sub>	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W <sub>T</sub>	N	設計竜巻による複合荷重
W <sub>T1</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1} = W_P$ )
W <sub>T2</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$ )
W <sub>W</sub>	N	設計竜巻による風圧力による荷重
x	mm	荷重作用点から評価対象部位までの距離
x'	mm	評価対象部位から支点までの距離
x <sub>a</sub> '	mm	ポンプグランド部から原動機下部軸受部までの距離
x <sub>b</sub> '	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
y	mm	たわみ量
y <sub>1</sub>	mm	ポンプ据付面から原動機台上端部のたわみ量
y <sub>2</sub>	mm	原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量
y <sub>3</sub>	mm	原動機台上端部から荷重作用点のたわみ量
y <sub>4</sub>	mm	荷重作用点のたわみ量
y <sub>5</sub>	mm	荷重作用点から原動機上部軸受部のたわみ量
y <sub>a</sub>	mm	原動機下部案内軸受部のたわみ量
y <sub>b</sub>	mm	原動機上部案内軸のたわみ量
$\sigma_b$	MPa	各ボルトに生じる引張応力
$\sigma_w$	MPa	原動機フレームに生じる引張応力
$\tau$	MPa	各ボルトに生じるせん断応力
$\theta$	rad	傾斜
$\theta_1$	rad	ポンプ据付面から原動機台上端部の傾斜
$\theta_3$	rad	原動機台上端部から荷重作用点の傾斜
$\theta_4$	rad	荷重作用点の傾斜
$\delta$	mm	フレーム変位量
$\delta_a$	mm	ポンプ据付面から原動機下部軸受部までのフレーム変位量
$\delta_b$	mm	原動機下部軸受部から電動機上部軸受部までのフレーム変位量

b. 計算モデル

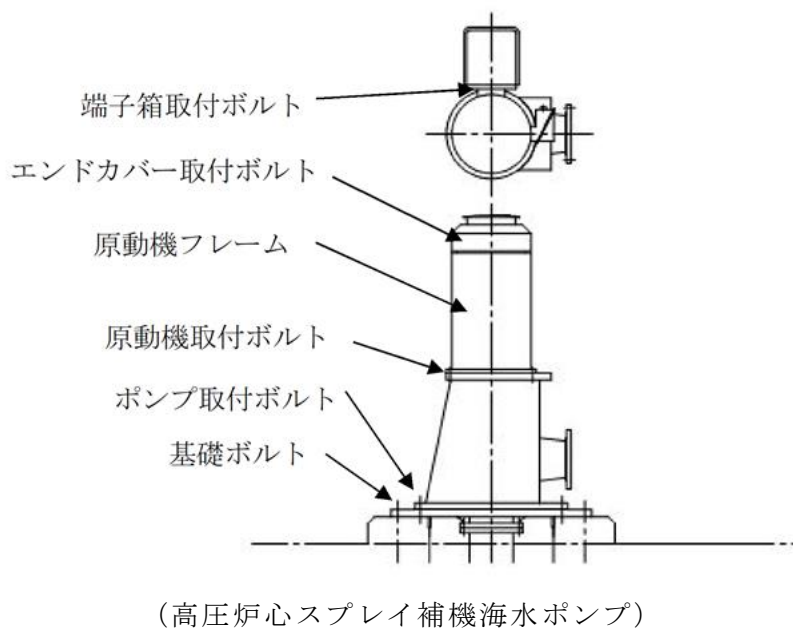
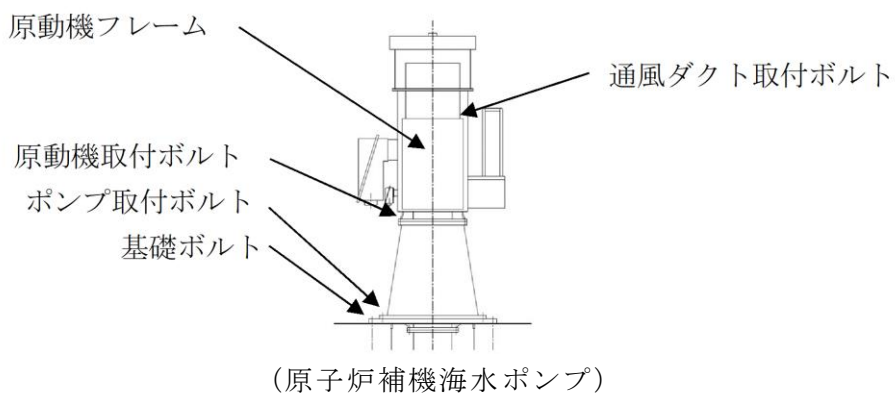
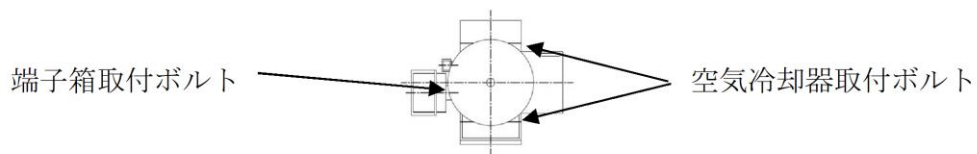
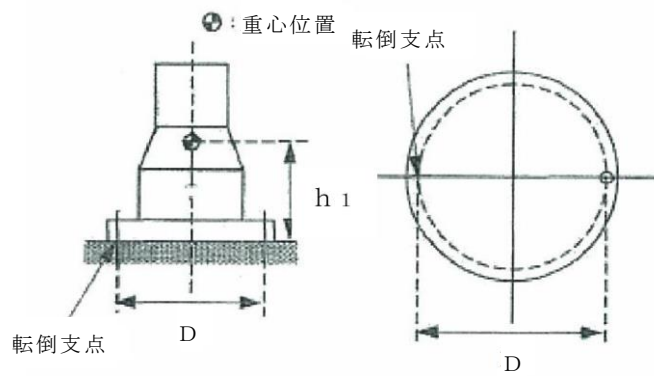
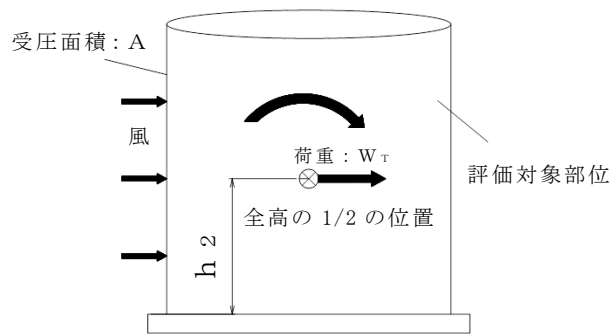


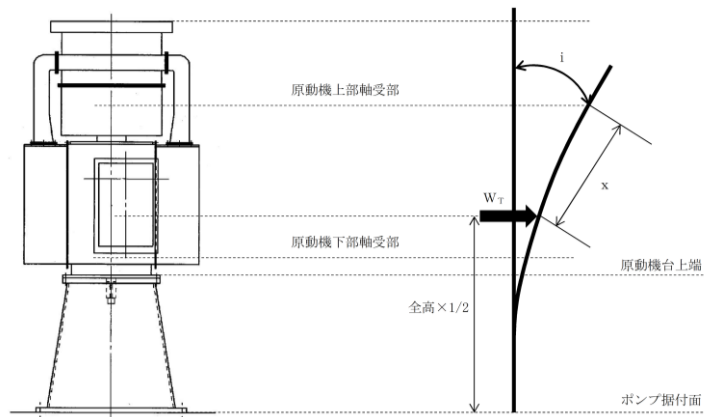
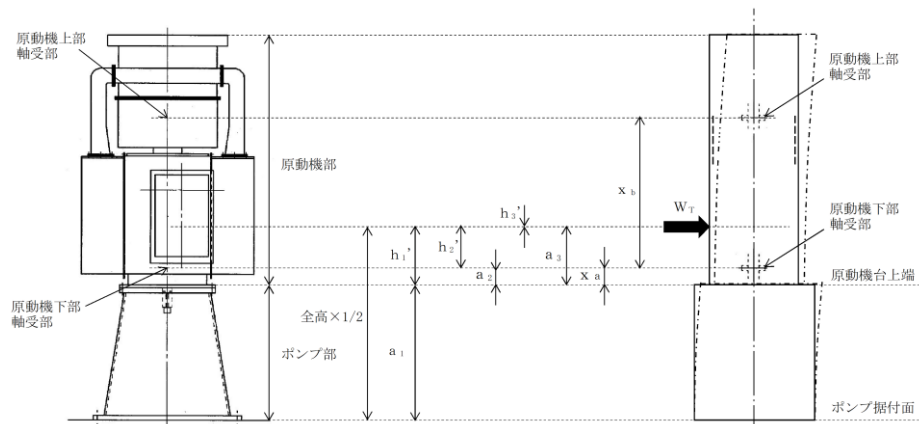
図 5-4 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの評価対象部位



(ポンプ部)



(原動機部)



(たわみ量計算モデル)

図 5-5 応力計算モデル図

## c. 評価方法

## (a) 応力の算出

## イ. ポンプ部（ボルト部）

ポンプ部（ボルト部）の応力算出方法を以下に、原動機取付ボルト、ポンプ取付ボルト及び基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 5-6～図 5-8 に示す。

## ・引張力

$$F_b = \frac{M + M_{C_p} + \left( (m \cdot g \cdot D) / 2 \right) \cdot (C_p - 1)}{3/8 \cdot D \cdot n_f}$$

ただし、 $F_b \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_b > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

## ・せん断応力

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot n}$$

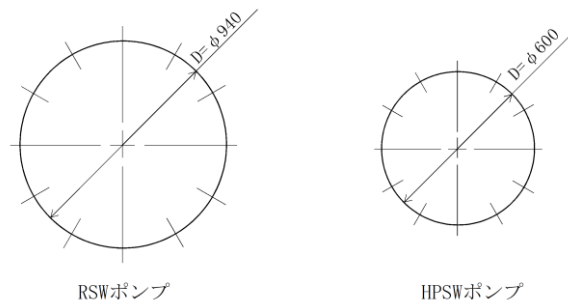


図 5-6 原動機取付ボルトの配置図

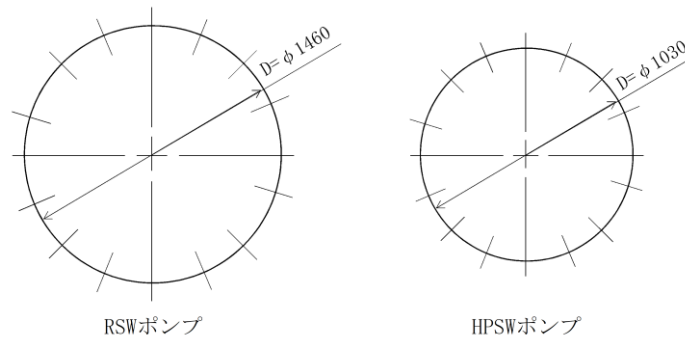


図 5-7 ポンプ取付ボルトの配置図



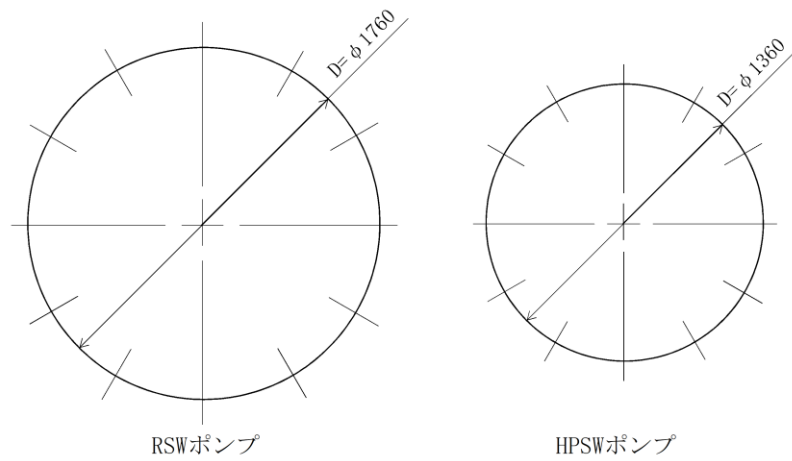


図 5-8 基礎ボルトの配置図

ロ. 原動機部

- ・原動機フレーム部 (RSWポンプ) (HPSWポンプ)

原動機フレームの応力算出方法を以下に、原動機フレーム取付部の詳細図を図 5-9 に示す。

設計竜巻により作用する転倒モーメント

$$M = W_T \cdot h_g$$

引張応力

$$\sigma_w = \frac{5.66 \cdot M}{\pi \cdot h_w \cdot D^2}$$

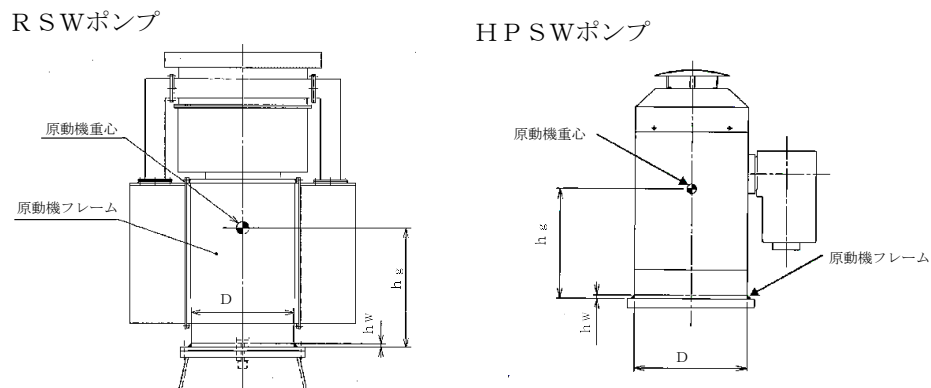


図 5-9 原動機フレーム取付部詳細図

- ・端子箱取付ボルト部 (RSWポンプ) (HPSWポンプ)

端子箱取付ボルトの応力算出方法を以下に、端子箱取付ボルト部の詳細図を図 5-10 に示す。

設計竜巻により作用するモーメント

$$M = W_T \cdot L_g$$

引張応力

$$F_b = \frac{M + W \cdot h_g}{L_1 \cdot n_f}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{A_b \cdot n}$$

ここで、

$$F_H = \sqrt{W_T^2 + W^2}$$

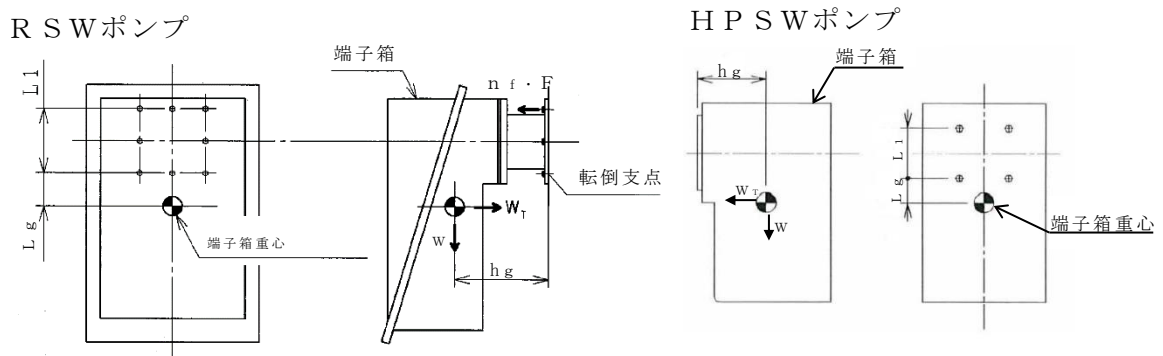


図 5-10 端子箱取付ボルト部詳細図

- ・ 通風ダクト取付ボルト部, 空気冷却器取付ボルト部

通風ダクト取付ボルト部, 空気冷却器取付ボルト部の応力算出方法を以下に, 詳細図を図 5-11 及び図 5-12 に示す。

設計竜巻によって生じる転倒荷重が, 通風ダクト等に作用した際の各取付ボルトに生じる際の引張応力を算出し評価する。なお, 通風ダクトは上部軸受ブラケットとの接続もあるが, 空気冷却器とのみ接続されているとして, 評価する。(評価上厳しい条件)

風による転倒モーメント

$$M = W_T \cdot h_g$$

引張応力

$$M = \sum_{i=1}^8 F_i \cdot L_i \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \dots \text{②}$$

①, ②式より,

$$F_b = \frac{F_1}{n_f} = \frac{M}{n_f \cdot \sum_{i=1}^8 L_i^2} L_1$$

よって,

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

せん断応力

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot n}$$

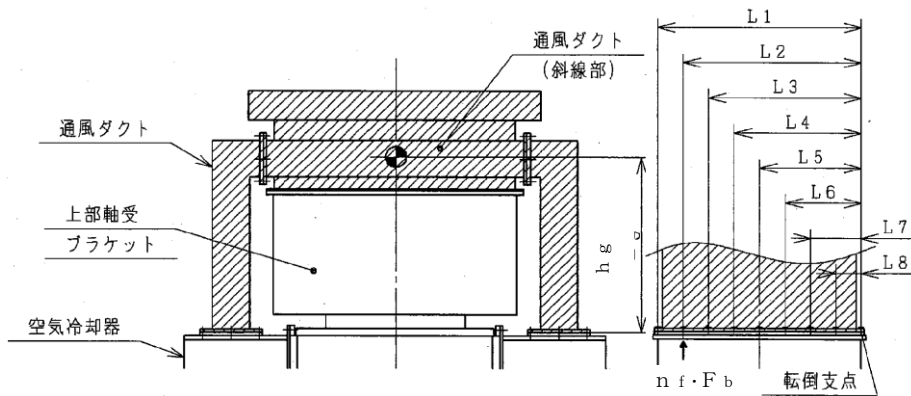


図 5-11 通風ダクト取付ボルト部の詳細図

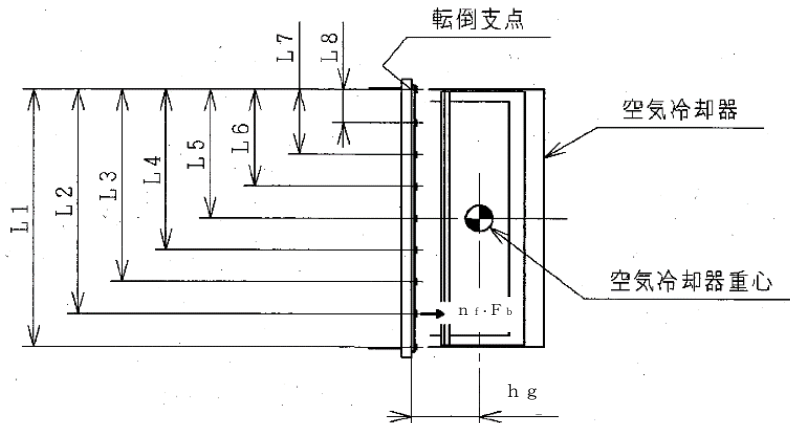


図 5-12 空気冷却器取付ボルト部の詳細図

・エンドカバー取付ボルト（HP SWポンプ）

竜巻によって生じる転倒荷重が、エンドカバーに作用した際の取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

(i) ポンプ回転によるモーメント

$$M_p = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P$$

(ii) せん断応力

$$\tau = \frac{W_T + 2 \cdot \frac{M_p}{D}}{A_b \cdot n}$$

ハ. 発生荷重の計算

(イ) たわみ量の算出

たわみ量の算出において、竜巻による風圧力を受ける面（原動機台、原動機フレーム、端子箱、通風ダクト及び空気冷却器）のそれぞれの $W_{T2}$ の合計を複合荷重 $W'$ とする。

$$W' = \sum W_{T2}$$

各部位の受圧部図を図5-13及び図5-14に示す。

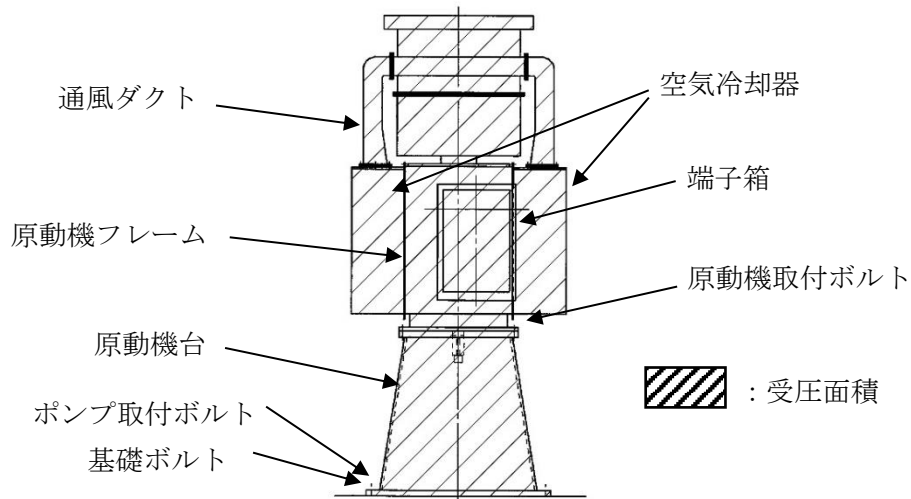


図5-13 原子炉補機海水ポンプの受圧面積図

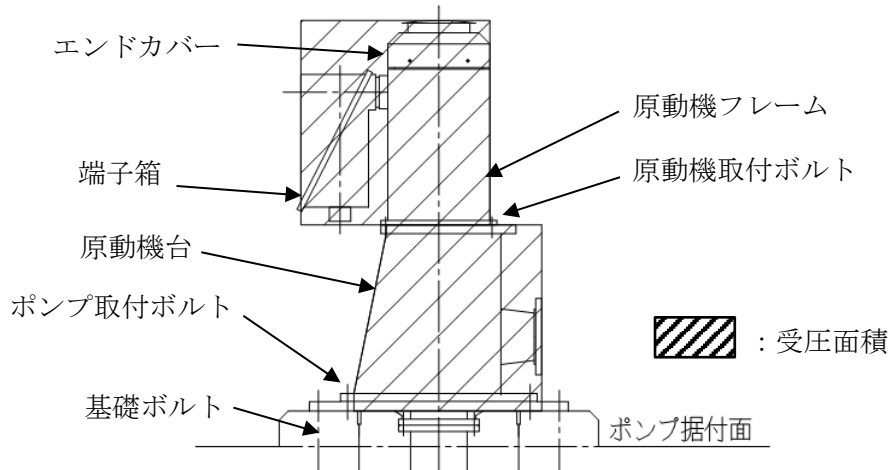


図 5-14 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの受圧面積図

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量  $y$  と傾斜  $\theta$  を算出する。  
 なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法  $W'$

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$\theta = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(ロ) 原動機下部軸受部

・ポンプ据付面から原動機台上端部のたわみ量  $y_1$ ，傾斜  $\theta_1$

$$y_1 = \frac{M_a \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^3}{3 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$\theta_1 = \frac{M_a \cdot a_1}{E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$M_a = W' \cdot h_1'$$

ここで、原動機台の断面図を図 5-15 に示す。

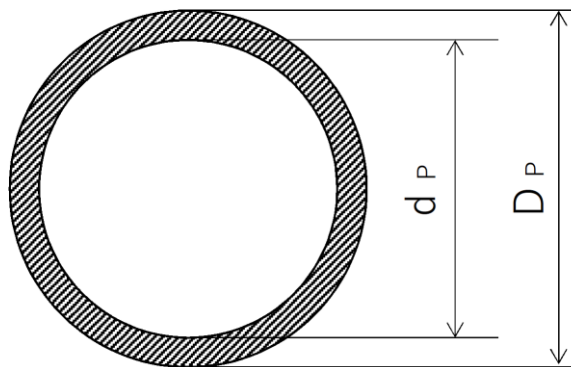


図 5-15 原動機台の断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

- ・原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量  $y_2$

$$y_2 = \frac{M_b \cdot a^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_b = W' \cdot h_2'$$

ここで、原動機フレームの断面図を図 5-16 に示す

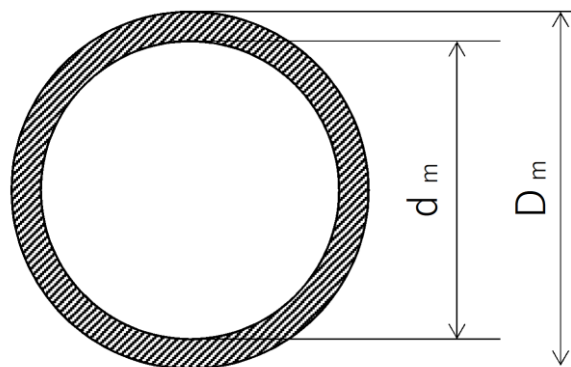


図 5-16 原動機フレームの断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m = \frac{\pi (D_m^4 - d_m^4)}{64}$$

よって、原動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

ここで、原動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図 5-17 に示す。

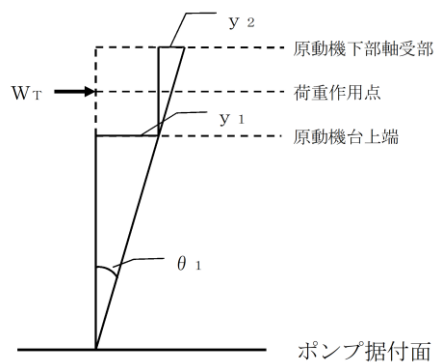


図 5-17 原動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

(ハ) 原動機上部軸受部

- ・原動機台上端部から荷重作用点のたわみ量  $y_3$ , 傾斜  $\theta_3$

$$y_3 = \frac{M_c \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$\theta_3 = \frac{M_c \cdot a_3}{E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_c = W' \cdot h_3'$$

よって、荷重作用点のたわみ量  $y_4$ , 傾斜  $\theta_4$

$$y_4 = y_1 + y_3$$

$$\theta_4 = \theta_1 + \theta_3$$

荷重作用点から原動機上部軸受部のたわみ量  $y_5$

$$y_5 = x \cdot \sin(\theta_4)$$

以上より、原動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_4 + y_5$$

ここで、原動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図 5-18 に示す。

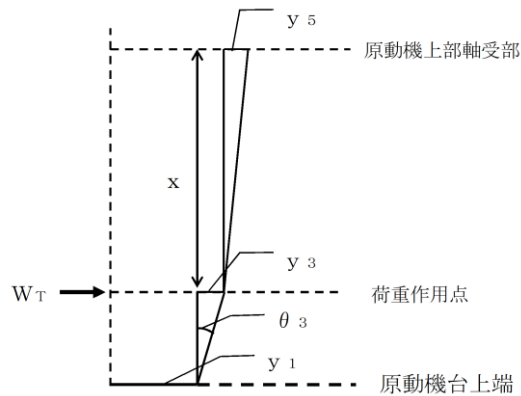


図 5-18 原動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

## (二) 発生荷重の算出

軸受部において、フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し、発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。発生荷重 $W''$  は次式より計算する。

$\delta$  = 評価対象部位の変位量 - 支点の変位量

また、発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

## (ホ) 原動機下部軸受部の発生荷重

$$W'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'^3}$$

ここで、 $\delta_a = y_a$

回転子（原動機部）の断面図を図 5-19 に示す。

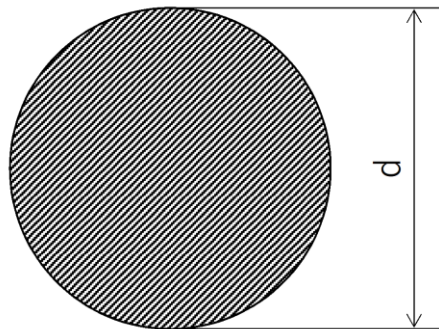


図 5-19 回転子（原動機部）の断面図



回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_{m'} = \frac{\pi d^4}{64}$$

(へ) 原動機上部軸受部の発生荷重

$$W'' = \frac{3 \cdot E_{m'} \cdot I_{m'} \cdot \delta_b}{x_{b'}^3}$$

ここで、 $\delta_b = y_b - y_a$

### 5.2.3 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ

#### (1) 評価条件

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、有効運転質量を考慮した荷重が作用する1質点系モデルとして計算を行う。ここで、荷重の作用点は評価上高さの1/2より高いストレーナの重心位置とする。原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの応力の計算モデル図を図5-20に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-12に示す。

表5-12 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
基礎ボルト	引張 せん断

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの強度評価に用いる記号を表5-13に示す。

表5-13 原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	基礎ボルトの軸断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
F <sub>b</sub>	N	基礎ボルトに対する引張力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h	mm	ストレーナ重心高さ
H	N	自重
l	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量
N	—	基礎ボルトの本数
n <sub>f</sub>	—	引張力を受ける基礎ボルトの本数
Q <sub>b</sub>	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
W <sub>P</sub>	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W <sub>T1</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 (W <sub>T1</sub> = W <sub>P</sub> )
W <sub>T2</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 (W <sub>T2</sub> = W <sub>w</sub> + 0.5W <sub>P</sub> + W <sub>M</sub> )
W <sub>w</sub>	N	設計竜巻による風圧力による荷重
ΔP <sub>max</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の最大気圧低下量
σ <sub>b</sub>	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

b. 計算モデル

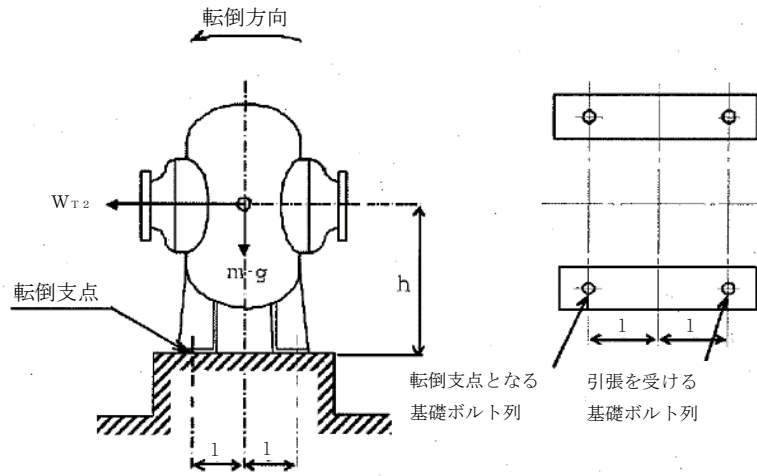


図 5-20 海水ストレーナのモデル図

c. 評価方法

(a) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-20 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot l}{n_f \cdot 2 \cdot l}$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

(b) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = W_{T2}$$

せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

5.2.4 原子炉補機海水系配管及び弁，高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁，非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁

(1) 評価条件

配管及び弁の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 配管は一定距離ごとにサポートにより支持されているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持はりとして評価を行う。評価に用いる支持間隔は，管外径，材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。配管モデルは，図 5-21 のとおり，曲がり部を直管とみなし評価を行うが，曲がり部の影響を考慮し，当該支持間隔内にある曲がり部の応力係数のうち最大のものを，最大曲げモーメント発生位置における応力に乗じることとする。保温材を使用している配管については，保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため，弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。
- b. 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁は建物内等に設置されているため，気圧差による荷重を配管内部に受けるものとして計算を行う。非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁のモデル図を図 5-22 に示す。なお，気圧差による荷重の影響としては，板厚方向の応力による影響が考えられるが，評価対象施設の管は，耐圧試験を実施しており，気圧差による荷重と耐圧試験圧力（（例）気圧差による荷重：0.0075 (MPa)，耐圧試験圧力（非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁）：1.47 (MPa)）を比較し，十分小さいことから影響はない。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を用いる。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-14 に示す。

表 5-14 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
配管本体	一次応力

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

配管及び弁の強度評価に用いる記号を表 5-15 に示す。

表 5-15 配管及び弁の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup> /m	単位長さあたりの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	風力係数
D	mm	管外径
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
G	—	ガスト影響係数
i	—	応力係数で J S M E P P C - 3 8 1 0 ( 5 ) c . に規定する値または 1.33 のいずれか大きい方の値
L	m	支持間隔
m	kg/m	単位長さあたりの質量
M <sub>a</sub>	N・m	風圧力により作用する曲げモーメント
M <sub>b</sub>	N・m	自重により作用する曲げモーメント
P <sub>1</sub>	M P a	内圧
P <sub>b</sub>	M P a	配管に作用する圧力
Δ P <sub>m a x</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の最大気圧低下量
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
r <sub>m</sub>	mm	平均半径
S <sub>p r m</sub>	M P a	一次応力
t	mm	配管の厚さ
V <sub>D</sub>	m/s	竜巻の最大風速
W <sub>P</sub>	N/m	単位長さあたりの気圧差による荷重
W <sub>w</sub>	N/m	単位長さあたりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さあたりの自重による荷重
Z	m <sup>3</sup>	断面係数
σ	M P a	最大発生応力
σ <sub>W P</sub>	M P a	気圧差により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	M P a	内圧により生じる応力
σ <sub>θ</sub>	M P a	管に生じる周方向応力
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度

b. 原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁

(a) 計算モデル

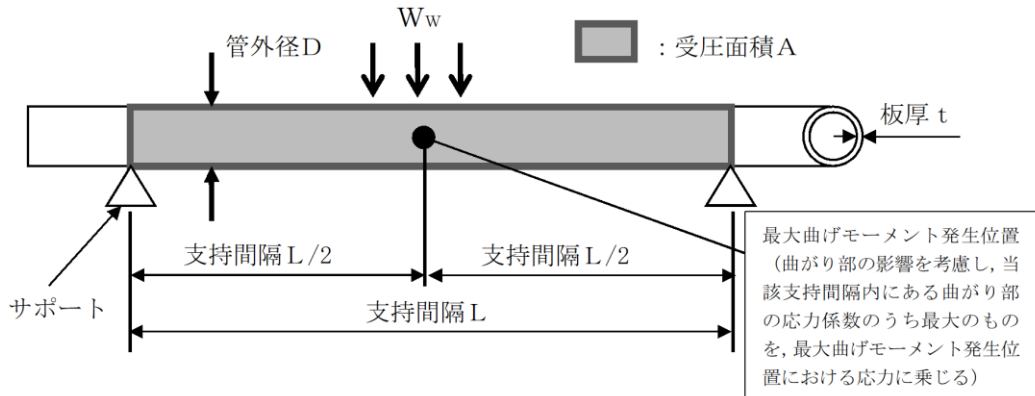


図 5-21 配管のモデル図

(b) 評価方法

イ. 竜巻による応力計算

(イ) 風圧力により生じるモーメント

風圧力により生じるモーメントは、風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げモーメントを発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$M_a = \frac{W_w \cdot L^2}{8}$$

(ロ) 気圧差により生じる応力

気圧差により生じる応力は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P_{max} \cdot D}{4t}$$

ロ. 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧による荷重を考慮する。自重により生じる曲げモーメント及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$M_b = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P_1 \cdot D}{4t}$$

したがって、応力係数を考慮した自重及び風圧力により生じる曲げ応力と気圧差及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $S_{pr m}$  を算出する。

$$S_{pr m} = \frac{P_b \cdot D}{4t} + \frac{0.75 \cdot i \cdot (M_a + M_b)}{Z}$$

ここで、 $P_b = \Delta P_{max} + P_1$

- c. 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁  
(a) 計算モデル

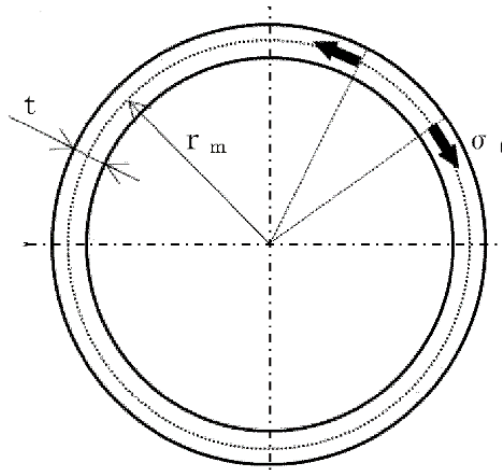


図 5-22 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁のモデル図



(b) 計算方法

イ. 配管に作用する圧力により生じる周方向応力

配管に作用する圧力は、設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので、

$$P_b = \Delta P_{max} + P_1$$

$$\sigma_\theta = \frac{P_b \cdot r_m}{t}$$

ただし、

$$r_m = \frac{D - t}{2}$$

### 5.2.5 非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ

#### (1) 評価条件

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 気圧差による荷重は、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの耐圧部に作用する。非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの概要図を図5-23に示す。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-16に示す。

表5-16 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
耐圧部	一次応力

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの強度評価に用いる記号を表5-17に示す。

表5-17 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$\Delta P_{max}$	MPa	設計竜巻最大の気圧低下量
P	MPa	設計竜巻により発生する圧力
$P_1$	MPa	最高使用圧力

b. 計算モデル

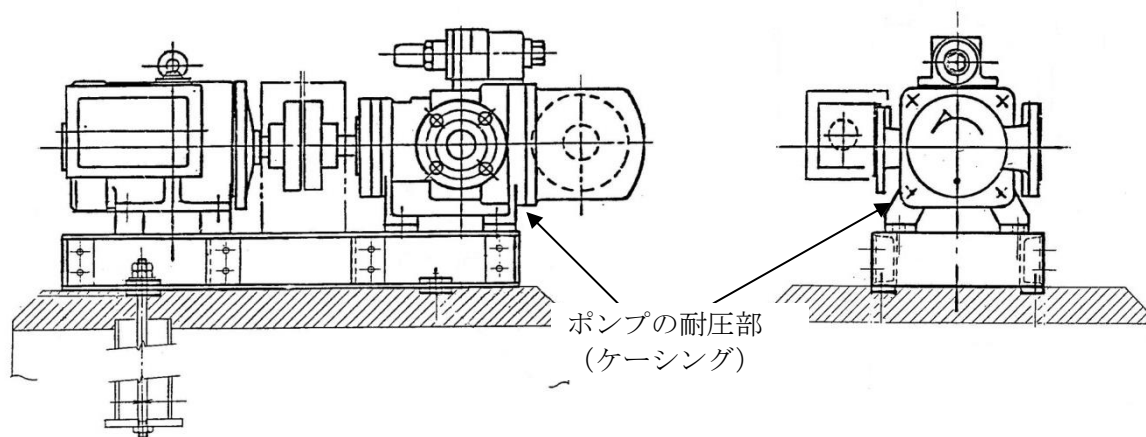


図 5-23 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの概要図

c. 評価方法

評価方法は、運転時に作用する内圧に設計竜巻による気圧差を加え、これと燃料移送ポンプの耐圧試験圧力との比較を行う。運転時に作用する内圧として、燃料移送ポンプの最高使用圧力  $P_1$  を考慮する。

設計竜巻により発生する圧力は以下のとおり。

$$P = \Delta P_{max} + P_1$$

## 5.2.6 ダンパ

### (1) 評価条件

ダンパの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 外板は、外板を4辺に分割し、その1辺を同等の断面性能を持つ単純支持はりとして計算を行う。外板のモデル図を図5-24に示す。
- b. 羽根は、4辺支持長方形板に等分布荷重がかかるものとし、曲げ応力による評価を行う。羽根のモデル図を図5-25に示す。
- c. シャフトは、ダンパに作用する圧力及び自重により発生する荷重が両端のシャフトに均等に作用するものとし、シャフト断面についてせん断応力による評価を行う。シャフトのモデル図を図5-26に示す。
- d. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-18に示す。

表5-18 評価対象位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
外板	曲げ
羽根	曲げ
シャフト	せん断

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

ダンパの強度評価に用いる記号を表5-19に示す。

表5-19 ダンパの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	評価対象板の短辺
A	mm <sup>2</sup>	シャフト断面積
b	mm	評価対象板の長辺
D	mm	シャフト直径
e	mm	外板における断面の重心高さ
F <sub>1</sub>	N/mm	気圧低下による分布荷重
F <sub>2</sub>	N/mm	自重による分布荷重
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h	mm	羽根厚さ
H	mm	外板高さ
E	MPa	縦弾性係数
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
L	mm	面間寸法
m	kg	羽根質量
M <sub>1</sub>	kg	外板質量
M <sub>2</sub>	kg	上流側フランジ質量
M <sub>3</sub>	kg	下流側フランジ質量
M <sub>x</sub>	N・mm	外板に作用する曲げモーメント
P	MPa	ダンパに作用する圧力
$\Delta P_{max}$	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
W	mm	外板幅
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\nu$	—	ポアソン比
$\omega_{max}$	mm	羽根の最大変位量
$\sigma_{max}$	MPa	羽根に生じる面外方向の荷重による最大応力
$\sigma_{bmax}$	MPa	外板に生じる最大曲げ応力
$\sigma_{smax}$	MPa	シャフトに生じる最大せん断応力

b. 計算モデル

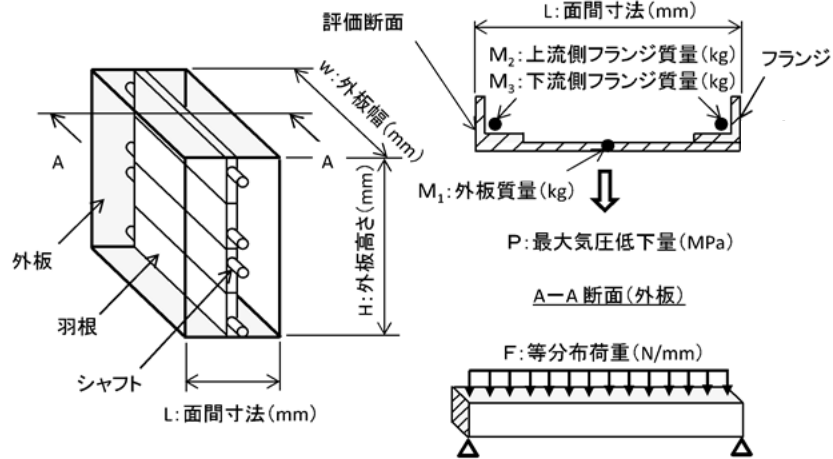


図 5-24 外板モデル図

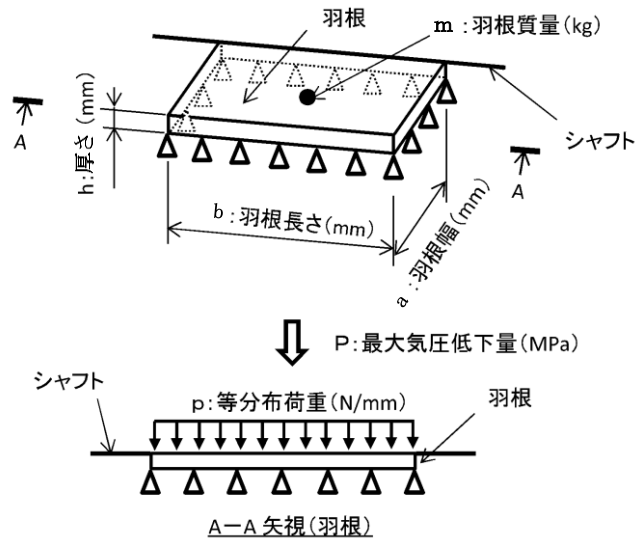


図 5-25 羽根モデル図

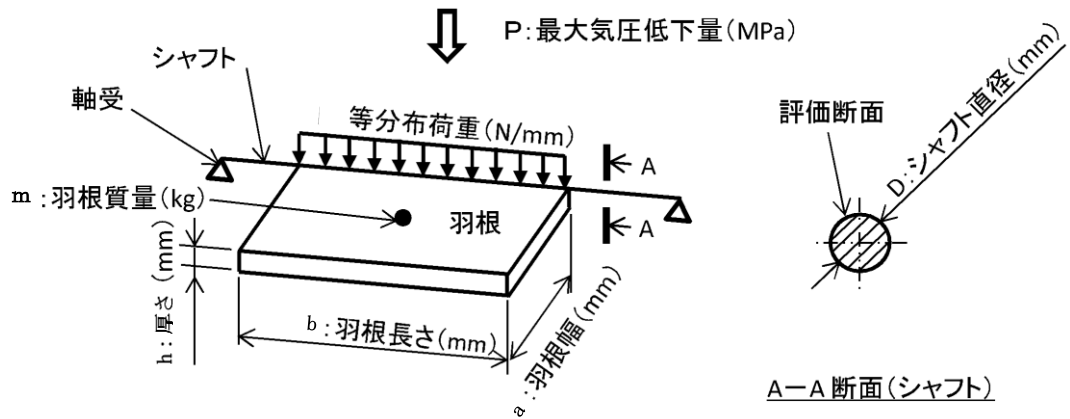


図 5-26 シャフトモデル図

## c. 評価方法

ダンパに作用する圧力は、設計竜巻の気圧差によって発生する。

$$P = \Delta P_{\max}$$

## (a) 外板

外板に作用する最大曲げモーメント

$$M_x = \frac{M_{\max}(W, H) \cdot (F_1 + F_2)}{8}$$

ここで、

$$F_1 = P \cdot L$$

$$F_2 = \frac{(M_1 + M_2 + M_3) \cdot 9.80665}{M_{\max}(W, H)}$$

外板に生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{I}{e}$$

## (b) 羽根

羽根に生じる応力は、4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合において、ダンパに作用する圧力及び自重による面外荷重により生じる最大応力  $\sigma_{\max}$  とその面外荷重による羽根の最大変位量  $\omega_{\max}$  との関係は、以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{\max} = \frac{\pi^2 E \omega_{\max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\omega_{\max} + 4h}{b^2} + \frac{\nu(\omega_{\max} + 4h)}{a^2} \right\} \dots \textcircled{3}$$

$$\frac{256(1-\nu^2)(F_1 + F_2)}{\pi^6 E h^4} = \frac{4}{3} \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \frac{\omega_{\max}}{h} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 b^2} + (3-\nu^2) \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) \right\} \left( \frac{\omega_{\max}}{h} \right)^3 \dots \textcircled{4}$$

式④で得られる  $\omega_{\max}$  の値を式③に代入し、 $\sigma_{\max}$  を算出する。

ここで、

$$F_1 = P$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g}{a \cdot b}$$

(c) シャフト

シャフトに生じる最大せん断応力

$$\sigma_{s \max} = \frac{F_1 + F_2}{A}$$

ここで,

$$F_1 = P \cdot a \cdot b$$

$$F_2 = m \cdot g$$

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$



### 5.2.7 角ダクト

#### (1) 評価条件

角ダクトの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 角ダクトは、任意のダクト面に着目すると、ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で、軸方向（流れ方向）を補強材・フランジで支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持長方形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し、ウェブでの応力分布が線形で、中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。角ダクトのモデル図を図5-27及び図5-28に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-20に示す。

表5-20 評価対象部位及び評価内容

機器形状	評価対象部位	応力等の状態
角ダクト	ダクト（本体）	曲げ 座屈

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

角ダクトの強度評価に用いる記号を表5-21に示す。

表 5-21 角ダクトの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	評価対象板の短辺
b	mm	評価対象板の長辺
c	mm	ダクト支持間隔
E	MPa	縦弾性係数
$f_1$	N	曲げモーメントによる圧縮荷重
$f_2$	N	最大気圧低下量及び通常運転圧力による圧縮荷重
H	mm	ダクト高さ
M	N・mm	自重による曲げモーメント
$\Delta P_{max}$	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
P	MPa	ダクトに作用する圧力
$P_1$	MPa	通常運転圧力
t	mm	ダクト厚さ
W	mm	ダクト幅
$w_1$	N/mm	ダクト単位長さあたりの荷重
$w_2$	N/mm <sup>2</sup>	ダクト単位面積あたりの荷重
$\nu$	—	ポアソン比
$\omega_{max}$	mm	軸直角方向の荷重によるダクトの最大変位量
$\sigma_{max}$	MPa	軸直角方向の荷重により生じる最大応力

b. 計算モデル

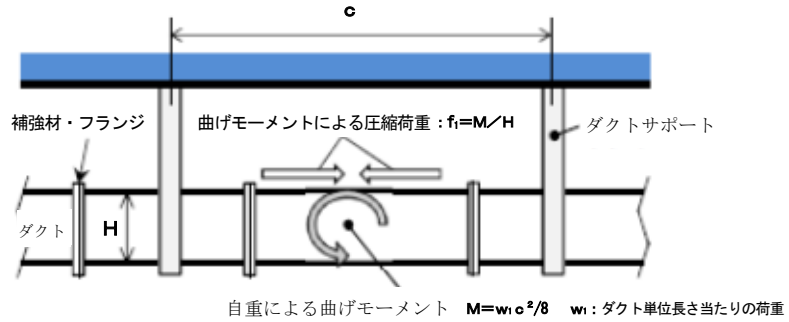
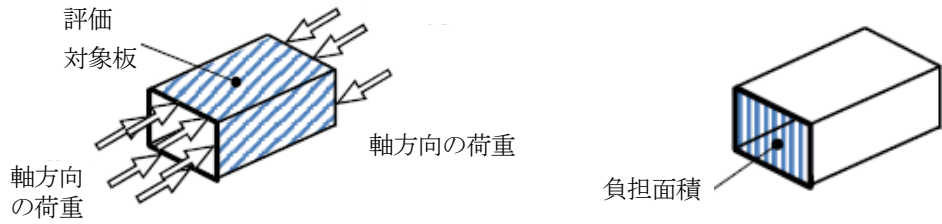


図 5-27 角ダクトの軸方向の荷重のモデル図

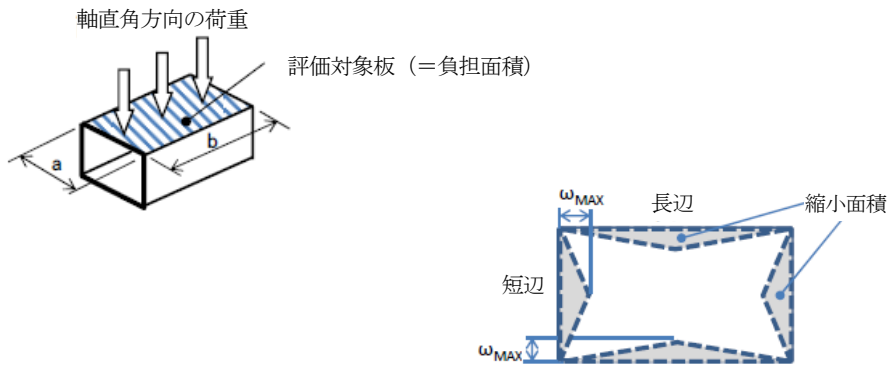


図 5-28 角ダクトの軸直角方向の荷重のモデル図

c. 評価方法

ダクトに作用する圧力は，設計竜巻の気圧差及び内圧が影響するので，

$$P = \Delta P_{max} + P_1$$

(a) 軸直角方向の荷重による発生応力

4 辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，ダクトに作用する圧力及び自重による軸直角方向の荷重により生じる最大応力  $\sigma_{max}$  とその軸直角方向の荷重によるダクト鋼板の最大変位量  $\delta_{max}$  との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている 4 辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の「大たわみの式」を引用する。

$$\sigma_{\max} = \frac{\pi^2 E \omega_{\max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\omega_{\max} + 4t}{b^2} + \frac{\nu(\omega_{\max} + 4t)}{a^2} \right\} \dots \textcircled{5}$$

$$\frac{256(1-\nu^2)(P + w_2)}{\pi^6 E t^4} = \frac{4}{3} \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \frac{\omega_{\max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 b^2} + (3-\nu^2) \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) \right\} \left( \frac{\omega_{\max}}{t} \right)^3 \dots \textcircled{6}$$

式⑥より得られる $\omega_{\max}$ の値を式⑤へ代入し、 $\sigma_{\max}$ を算出する。

(b) 軸方向の荷重による発生応力

イ. 自重による圧縮荷重

ダクトの自重により発生する曲げモーメントによる軸方向の圧縮荷重は、以下の式により算出する。

$$f_1 = \frac{M}{H}$$

ここで、

$$M = \frac{w_1 \cdot c^2}{8}$$

ロ. ダクトに作用する圧力による圧縮荷重

ダクトが軸方向に受ける設計竜巻の気圧差と内圧による圧縮荷重は、以下の式により算出する。

$$f_2 = \frac{(W + 2 \cdot t) \cdot (H + 2 \cdot t) \cdot P}{10^6}$$

### 5.2.8 丸ダクト

#### (1) 評価条件

丸ダクトの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒のはりともなし計算を行う。  
丸ダクトのモデル図を図 5-29 及び図 5-30 に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-22 に示す。

表 5-22 評価対象部位及び評価内容

機器形状	評価対象部位	応力等の状態
丸ダクト	ダクト（本体）	曲げ 座屈

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

丸ダクトの強度評価に用いる記号を表 5-23 に示す。

表 5-23 丸ダクトの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_1$	$\text{mm}^2$	ダクト全断面積
$A_2$	$\text{mm}^2$	ダクト板の断面積
$c$	$\text{mm}$	ダクト支持間隔
$d_1$	$\text{mm}$	ダクト内径
$d_2$	$\text{mm}$	ダクト外径
$M$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	自重による曲げモーメント
$L$	$\text{mm}$	ダクト板の長さ
$P$	$\text{MPa}$	ダクトに作用する圧力
$\Delta P_{\text{max}}$	$\text{MPa}$	設計竜巻の最大気圧低下量
$P_1$	$\text{MPa}$	通常運転圧力
$R$	$\text{mm}$	内半径
$r_m$	$\text{mm}$	平均半径
$t$	$\text{mm}$	ダクト厚さ
$\nu$	—	ポアソン比
$w$	$\text{N}/\text{mm}$	ダクト単位長さあたりの荷重
$Z$	$\text{mm}^3$	断面係数
$\sigma_b$	$\text{MPa}$	自重による発生応力
$\sigma_{Pb}$	$\text{MPa}$	設計竜巻による気圧差及び内圧による発生応力
$\sigma_P$	$\text{MPa}$	ダクトに作用する圧力による発生応力
$\sigma_\theta$	$\text{MPa}$	ダクトに作用する圧力により軸直角方向に生じる応力

b. 計算モデル

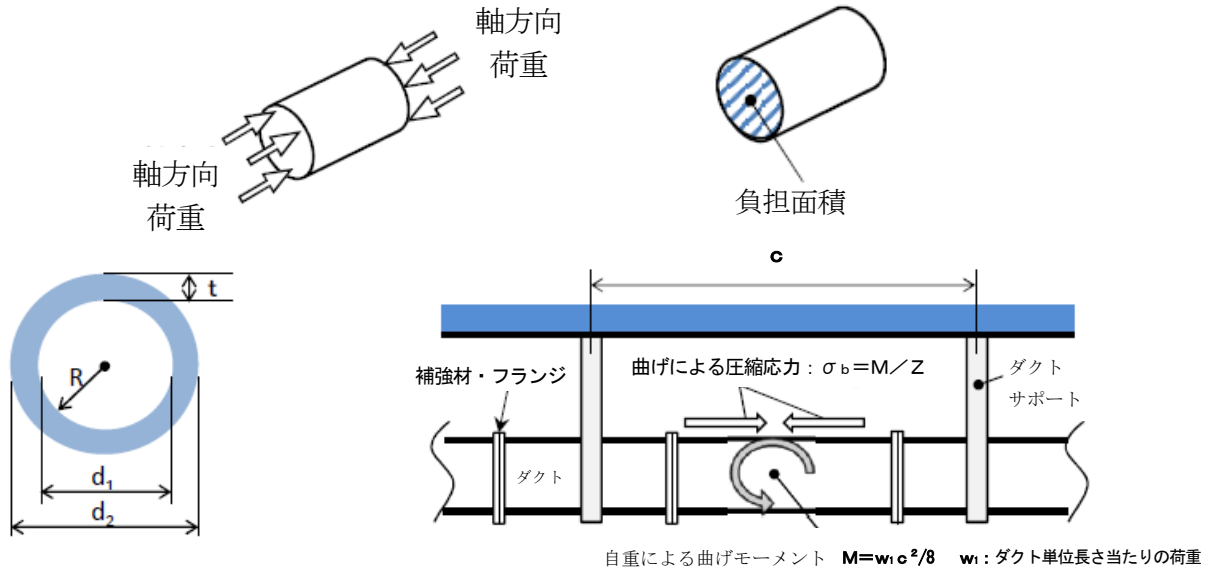


図 5-29 丸ダクトの軸方向荷重のモデル図



図 5-30 丸ダクトの軸方向荷重のモデル図

c. 評価方法

ダクトに作用する圧力は、設計竜巻の気圧差及び内圧が影響する。

$$P = \Delta P_{\max} + P_1$$

(a) ダクトに作用する圧力により生じる周方向応力

$$\sigma_{\theta} = - \frac{r_m P}{t}$$

(b) 面内荷重による発生応力

イ. 自重による発生応力

ダクトが軸方向に受ける自重による曲げ応力は、以下の式により算出する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで,

$$M = \frac{w c^2}{8}$$
$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$$

ロ. ダクトに作用する圧力による発生応力

ダクトが軸方向に受ける設計竜巻の気圧差と内圧による圧縮応力は、以下の式により算出する。

$$\sigma_P = P \cdot \frac{A_1}{A_2}$$

ここで,

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_2^2 - d_1^2)$$



### 5.2.9 隔離弁

#### (1) 評価条件

隔離弁の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 弁箱は、両端を補強部材で支持された円筒のはりとみなし、計算を行う。弁箱のモデル図を図 5-31 に示す。
- b. 弁体は、円形の弁体面積に受ける荷重を長方形の評価面積に作用するとみなし、弁体評価面積の断面と同等の断面性能を持つ単純はりとして、曲げ応力による計算を行う。弁体のモデル図を図 5-32 に示す。
- c. 弁棒は、内部圧力及び自重により発生する荷重が両端の弁棒に作用するものとし、弁棒断面についてせん断応力による計算を行う。弁棒のモデル図を図 5-33 に示す。
- d. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-24 に示す。

表 5-24 評価対象部位及び評価内容

機器形状	評価対象部位	応力等の状態
隔離弁	弁箱	座屈
	弁体	曲げ
	弁棒	せん断

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

隔離弁の強度評価に用いる記号を表 5-25 に示す。

表 5-25 隔離弁の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	mm <sup>2</sup>	弁棒断面積
D	mm	弁棒直径
e	mm	主軸から断面最端点までの距離
F <sub>1</sub>	N	最大気圧低下量による荷重
F <sub>2</sub>	N	自重による荷重
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h	mm	弁体厚さ
H	mm	弁体幅
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
ℓ	mm	弁体評価面の長さ
L <sub>1</sub>	mm	弁箱の面間寸法
L <sub>2</sub>	mm	弁体長さ
M	kg	弁体質量
M <sub>x</sub>	N・mm	弁体に作用する曲げモーメント
P	MPa	隔離弁に作用する圧力
ΔP <sub>max</sub>	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
R	mm	内半径
r <sub>m</sub>	mm	平均半径
t	mm	弁箱厚さ
w	mm	弁体評価面の幅
ν	—	ポアソン比
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
σ <sub>max</sub>	MPa	弁箱に生じる周方向応力
σ <sub>bmax</sub>	MPa	弁体に生じる最大曲げ応力
σ <sub>smax</sub>	MPa	弁棒に生じる最大せん断応力

b. 計算モデル

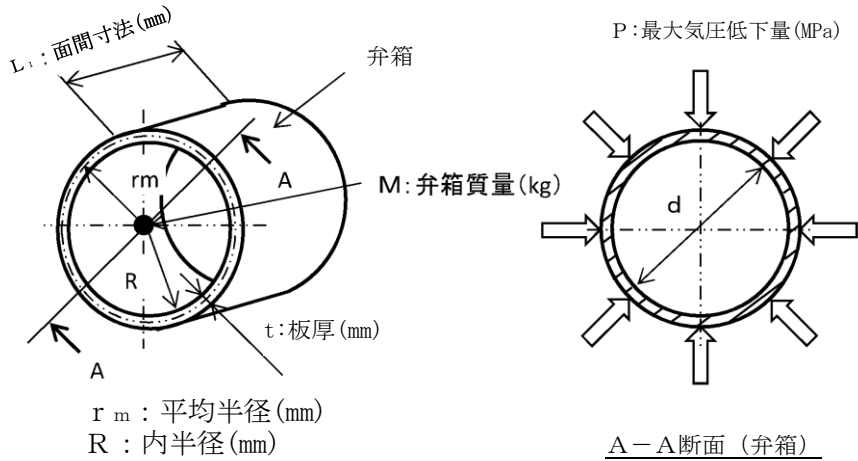


図 5-31 弁箱モデル図

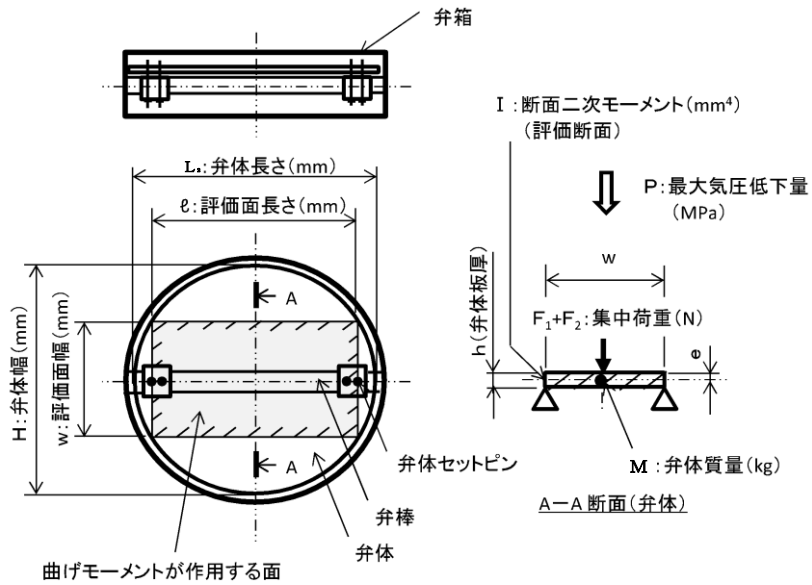


図 5-32 弁体モデル図

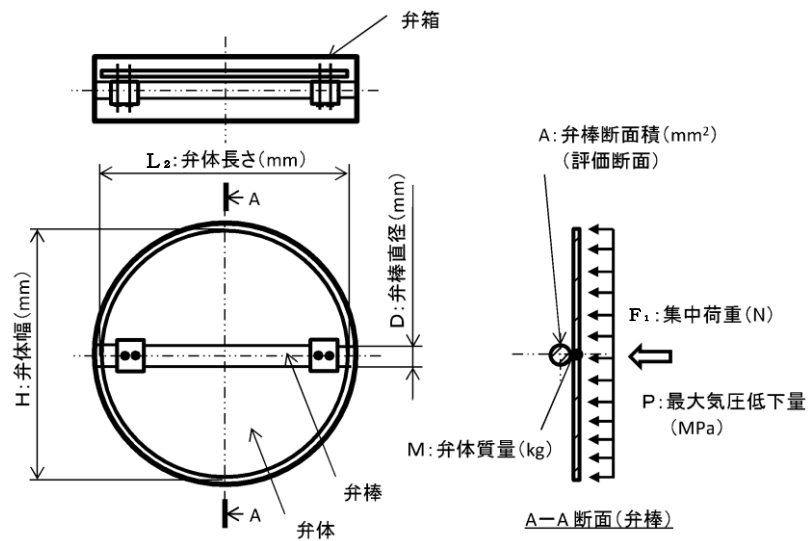


図 5-33 弁棒モデル図

## c. 評価方法

隔離弁に作用する圧力は、設計竜巻の気圧差によって発生する。

$$P = \Delta P_{\max}$$

## (a) 弁箱

弁箱に生じる周方向応力

$$\sigma_{\max} = \frac{r_m \cdot P}{t}$$

## (b) 弁体

弁体に作用する曲げモーメント

$$M_x = (F_1 + F_2) \cdot \frac{1}{4}$$

ここで、

$$F_1 = P \cdot \left( \pi \cdot \left( \frac{H}{2} \right)^2 \right)$$

$$F_2 = M \cdot g$$

弁体に生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{b \max} = \frac{M_x}{Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{I}{e}$$

$$I = \frac{l}{12} \cdot (w h^3)$$

## (c) 弁棒

シャフトに生じる最大せん断応力

$$\sigma_{s \max} = \frac{F_1 + F_2}{A}$$

ここで、

$$F_1 = P \cdot \left\{ \pi \cdot \left( \frac{L_2}{2} \right)^2 \right\}$$

$$F_2 = M \cdot g$$

$$A = \pi \cdot \left( \frac{D}{2} \right)^2$$

## 5.2.10 送風機

## (1) 評価条件

送風機の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 送風機は両端を補強部材で支持された円筒のほりとみなし、計算を行う。送風機のモデル図を図 5-34 に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

## (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-26 に示す。

表 5-26 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
ケーシング	座屈

## (3) 強度評価方法

## a. 記号の定義

送風機の強度評価に用いる記号を表 5-27 に示す。

表 5-27 送風機の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ケーシング内半径
b	mm	ケーシング外半径
P	MPa	送風機に作用する圧力
$\Delta P_{max}$	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
$P_1$	MPa	通常運転圧力
t	mm	ケーシングの肉厚
$\sigma$	MPa	送風機に作用する圧力により生じる周方向応力

b. 計算モデル

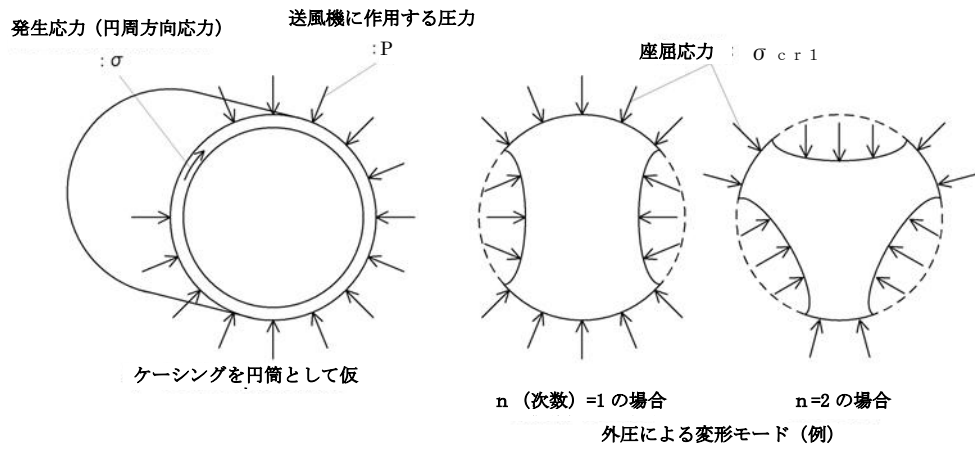


図 5-34 ケーシングのモデル図

c. 評価方法

送風機に作用する圧力は、設計竜巻の気圧差及び内圧が影響する。

$$P = \Delta P_{max} + P_1$$

(a) 送風機に作用する圧力により生じる周方向応力

$$\sigma = \frac{2b^2}{b^2 - a^2} P$$

## 5.2.11 処理装置

## (1) 評価条件

- a. 処理装置のケーシングは両サイドを補強部材で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、ケーシングの両サイドを補強部材で支持された4辺単純支持長方形板とし、評価を行う。処理装置のモデル図を図5-35に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

## (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-28に示す。

表5-28 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
ケーシング	座屈

## (3) 強度評価方法

## a. 記号の定義

処理装置の強度評価に用いる記号を表5-29に示す。

表5-29 処理装置の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	長方形板の短辺
b	mm	長方形板の長辺
E	MPa	縦弾性係数
P	MPa	処理装置に作用する圧力
$\Delta P_{max}$	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
$P_1$	MPa	通常運転圧力
t	mm	ケーシング厚さ
$\nu$	—	ポアソン比
$\omega_{max}$	mm	面外方向の荷重によるケーシングの最大変位量
$\sigma_{max}$	MPa	面外方向の荷重により生じる最大応力



b. 計算モデル

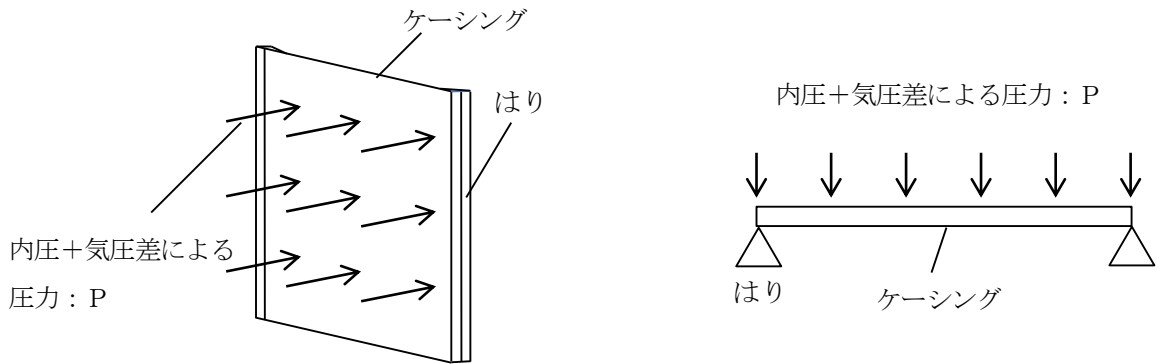


図 5-35 処理装置のモデル図

c. 評価方法

処理装置に作用する圧力は，設計竜巻により発生する気圧差及び内圧が影響する。

$$P = \Delta P_{\max} + P_1$$

(a) ケーシングの変形

4 辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，処理装置に作用する圧力及び自重による面外荷重により生じる最大応力  $\sigma_{\max}$  とその面外荷重によるケーシングの最大変位量  $\omega_{\max}$  との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている 4 辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の「大たわみの式」を引用する。

$$\sigma_{\max} = \frac{\pi^2 E \omega_{\max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\omega_{\max} + 4t}{b^2} + \frac{\nu(\omega_{\max} + 4t)}{a^2} \right\} \dots \textcircled{7}$$

$$\frac{256(1-\nu^2)P}{\pi^6 E t^4} = \frac{4}{3} \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \frac{\omega_{\max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 b^2} + (3-\nu^2) \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) \right\} \left( \frac{\omega_{\max}}{t} \right)^3 \dots \textcircled{8}$$

式⑧より得られる  $\omega_{\max}$  の値を式⑦へ代入し，  $\sigma_{\max}$  を算出する。

## 5.2.12 排気消音器

### (1) 評価条件

排気消音器の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 重心位置に風圧力による荷重が作用する1質点系モデルとして計算を行う。なお、基礎ボルトに関しては、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関と高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の排気消音器で取付位置が異なるためそれぞれで評価を行う。排気消音器のモデル図を図5-36に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-30に示す。

表5-30 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
基礎ボルト 結合ボルト	引張 せん断

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

排気消音器の強度評価に用いる記号を表 5-31 に示す。

表 5-31 排気消音器の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	排気消音器の受圧面積
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	ボルト呼び径
F <sub>b</sub>	N	ボルトに生じる引張荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h <sub>1</sub>	mm	取付面から重心までの高さ
h <sub>2</sub>	mm	脚結合部から重心までの高さ
ℓ <sub>1</sub>	mm	軸方向における基礎ボルトから重心までの距離
ℓ <sub>2</sub>	mm	軸方向における基礎ボルトから重心までの距離
ℓ <sub>3</sub>	mm	軸方向における結合ボルトから重心までの距離
ℓ <sub>4</sub>	mm	軸方向における結合ボルトから重心までの距離
ℓ <sub>1</sub> '	mm	軸直角方向における基礎ボルトから重心までの距離
ℓ <sub>2</sub> '	mm	軸直角方向における基礎ボルトから重心までの距離
ℓ <sub>3</sub> '	mm	軸直角方向における結合ボルトから重心までの距離
ℓ <sub>4</sub> '	mm	軸直角方向における結合ボルトから重心までの距離
m	kg	排気消音器の質量
n	—	ボルトの本数
n <sub>f</sub>	—	引張荷重を受けるボルトの本数
Q <sub>b</sub>	N	ボルトに生じるせん断荷重
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧

表 5-31 排気消音器の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$W_T$	N	設計竜巻による荷重
$W_w$	N	風圧力により作用する荷重
$\sigma_b$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\tau$	MPa	ボルトに生じるせん断応力
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度

b. 計算モデル

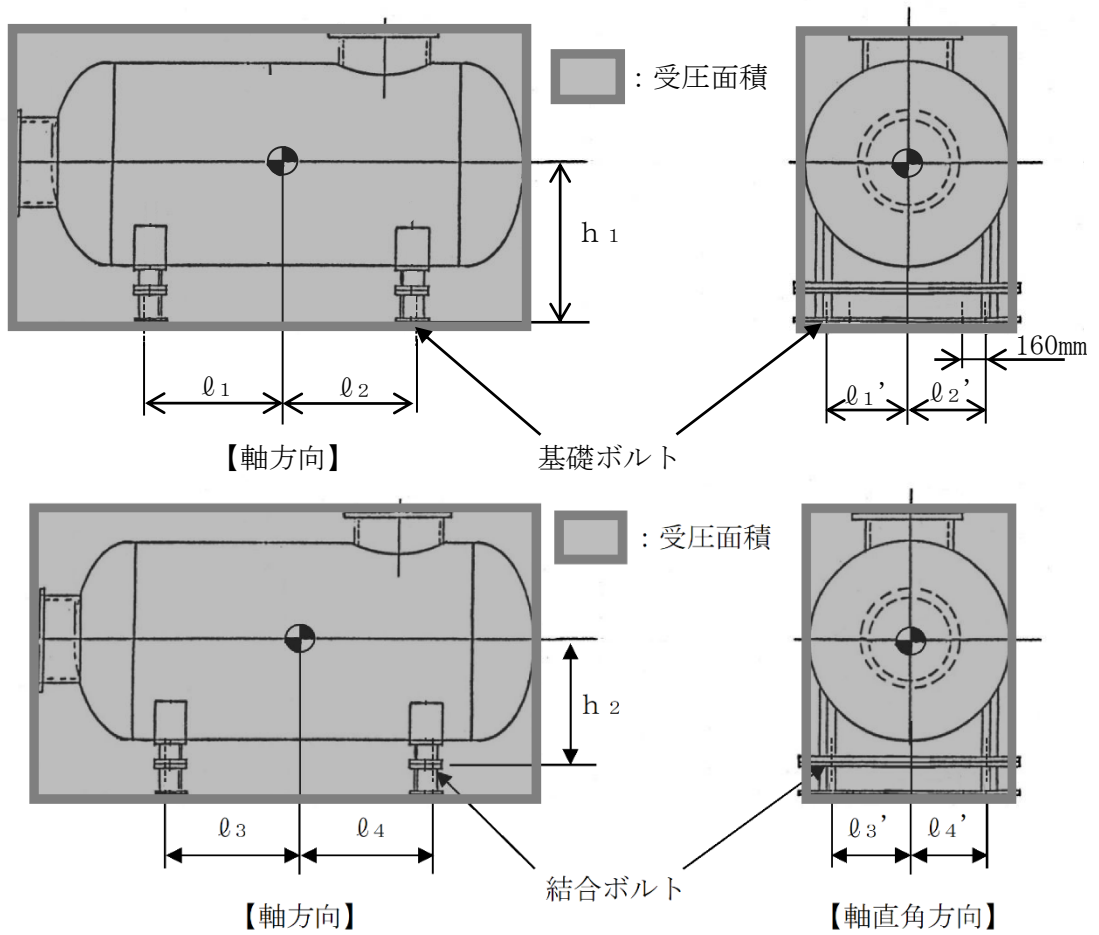


図 5-36 排気消音器のモデル図

## c. 評価方法

## (a) 基礎ボルトの引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-36 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。なお、軸直角方向と軸方向の各引張応力を比較し、値の大きいほうを採用する。

## イ. 軸直角方向

## (イ) 引張力

$$F_b = \frac{(W_w \cdot h_1 - m \cdot g \cdot \ell_1') \cdot (\ell_1' + \ell_2')}{(\ell_1' + \ell_2')^2 + (\ell_1' + \ell_2' - 160)^2}$$

## (ロ) 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

## ロ. 軸方向

## (イ) 引張力

$$F_b = \frac{W_w \cdot h_1 - m \cdot g \cdot \ell_1}{\ell_1 + \ell_2}$$

## (ロ) 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

## (b) 基礎ボルトのせん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

## イ. せん断力

$$Q_b = W_w$$

## ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

## (c) 結合ボルトの引張応力

結合ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-36 で結合ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の結合ボルトで受けるものとして計算する。なお、強度評価においては軸直角方向と軸方向の各引張応力を比較し、値の大きいほうを採用する。

## イ. 軸直角方向

## (イ) 引張力

$$F_b = \frac{W_w \cdot h_2 - m \cdot g \cdot l_3'}{l_3' + l_4'}$$

## (ロ) 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

## ロ. 軸方向

## (イ) 引張力

$$F_b = \frac{W_w \cdot h_2 - m \cdot g \cdot l_3}{l_3 + l_4}$$

## (ロ) 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

## (d) 結合ボルトのせん断応力

結合ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

## イ. せん断力

$$Q_b = W_w$$

## ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

### 5.2.13 排気管及びベント管

#### (1) 評価条件

- a. 配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持はりとして評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。なお、排気管及びベント管は、配管端部が片持ち形状となっていることから、配管端部についても片持ちはりとして評価を行う。排気管及びベント管のモデル図を図 5-37 に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-32 に示す。

表 5-32 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
配管本体	曲げ

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

排気管及びベント管の強度評価に用いる記号を表 5-33 に示す。

表 5-33 排気管及びベント管の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup> /m	単位長さあたりの受圧面積（風向に垂直な面を投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	配管外径
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
G	—	ガスト影響係数
ℓ	m	受圧部長さ（片持ち部）
L	m	支持間隔
m	kg/m	単位長さあたりの質量
M	N・m	風圧力による曲げモーメント
P	MPa	内圧
$\Delta P_{max}$	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速
t	mm	板厚
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
W <sub>w</sub>	N/m	単位長さあたりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さあたりの自重による荷重
Z	m <sup>3</sup>	断面係数
$\sigma_1, \sigma_2$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1}, \sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
$\sigma_{WW}$	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度



b. 計算モデル

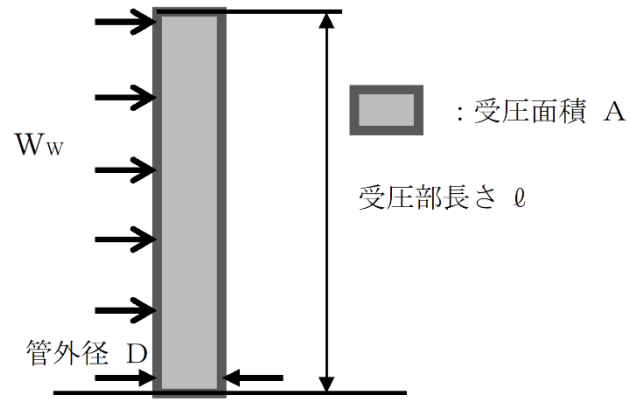


図 5-37 排気管及びベント管モデル図

## c. 評価方法

## (a) 竜巻による応力計算

## イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持間隔に等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{WW} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

## ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P_{max} \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，イ.，ロ. 項の複合荷重により生じる応力  $\sigma_{WT1}$  及び  $\sigma_{WT2}$  は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

## (b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は，以下の式により算定する。

## イ. 自重により生じる応力

$$\sigma_{自重} = \frac{M}{Z} = \frac{W \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

## ロ. 内圧により生じる応力

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma_1$  及び  $\sigma_2$  を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WT1}}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WT2}}$$

## 5.2.14 取水槽ガントリクレーン

## (1) 評価条件

- a. 設計竜巻の風圧力による荷重により発生する水平方向の荷重に対する，取水槽ガントリクレーンの逸走防止装置の構造健全性を単純支持はりとして計算を行う。なお，設計飛来物の衝突により，逸走防止装置 8 基のうち 2 基が損傷したと仮定し，残り 6 基にて評価を実施する。また，強度計算においては，取水槽ガントリクレーンに作用した荷重が逸走防止装置の短冊に集中荷重として作用するものとする。
- b. 設計竜巻の風圧力による荷重及び自重により発生するモーメントに対する，取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置の構造健全性を 1 質点系のモデルとして計算を行う。なお，設計飛来物の衝突により，転倒防止装置 8 基のうち 1 基が損傷したと仮定し，残り 7 基にて評価を実施する。また，強度計算においては，取水槽ガントリクレーンに作用した荷重が転倒防止装置のクレーン側ブラケットに集中荷重として作用するものとする。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

## (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-34 に示す。

表 5-34 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
短冊 上部ブラケット 下部ブラケット ピン クレーン側ブラケット 基礎側ブラケット 架台	せん断 曲げ
架台取付ボルト 基礎ボルト	引張 せん断*

注記\*：逸走防止装置の基礎ボルトに考慮する。

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

取水槽ガントリクレーンの強度評価に用いる記号を表 5-35 に示す。

表 5-35 取水槽ガントリクレーンの強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	取水槽ガントリクレーンの受圧面積
A <sub>1</sub>	mm <sup>2</sup>	短冊の断面積
A <sub>2</sub>	mm <sup>2</sup>	上部ブラケットの断面積
A <sub>3</sub>	mm <sup>2</sup>	下部ブラケットの断面積
A <sub>4</sub>	mm <sup>2</sup>	ピンの軸断面積
A <sub>5</sub>	mm <sup>2</sup>	逸走防止装置基礎ボルトの軸断面積
A <sub>6</sub>	mm <sup>2</sup>	クレーン側ブラケットの有効せん断断面積
A <sub>7</sub>	mm <sup>2</sup>	基礎側ブラケットの有効せん断断面積
A <sub>8</sub>	mm <sup>2</sup>	架台の有効せん断断面積
A <sub>9</sub>	mm <sup>2</sup>	架台取付ボルトの軸断面積
A <sub>10</sub>	mm <sup>2</sup>	転倒防止装置基礎ボルトの軸断面積
a	mm	架台の支持点 A から荷重作用点までの距離
a <sub>1</sub>	mm	ベースプレートの長さ
B <sub>i</sub>	mm	転倒支点からボルトの距離
C	-	風力係数
D	mm	ピン幅
d <sub>1</sub>	mm	ベースプレート端部からボルト中心までの距離
e	mm	モーメントと圧縮荷重の比
F <sub>b</sub>	N	各ボルトに対する引張力
F <sub>i</sub>	N	転倒支点から L <sub>i</sub> の距離にあるボルトに対する引張力
F <sub>s</sub>	N	架台に作用するせん断力
G	-	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	mm	転倒支点から荷重作用点までの距離
H <sub>g</sub>	mm	重心高さ

表 5-35 取水槽ガントリクレーンの強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
L	mm	ピンの支持間隔
L <sub>1</sub>	mm	上部ブラケットから下部ブラケットまでの距離
L <sub>2</sub>	mm	下部ブラケットから荷重作用点までの距離
L <sub>3</sub>	mm	上部ブラケットの評価断面から荷重作用点までの距離
L <sub>4</sub>	mm	下部ブラケットの評価断面から荷重作用点までの距離
L <sub>5</sub>	mm	転倒支点から重心までの水平方向距離（走行方向断面）
L <sub>6</sub>	mm	脚中心間距離（走行方向断面）
L <sub>7</sub>	mm	クレーン側ブラケットの評価断面から荷重作用点までの距離
L <sub>8</sub>	mm	基礎側ブラケットの評価断面から荷重作用点までの距離
L <sub>9</sub>	mm	架台の評価断面から荷重作用点までの距離
L <sub>10</sub>	mm	架台支持点長さ
L <sub>w</sub>	mm	ピンに対する等分布荷重範囲
n	-	各ボルトの本数
n <sub>f</sub>	-	引張力を受ける各ボルトの本数
m	kg	取水槽ガントリクレーンの質量
M	N・mm	各評価対象部位に作用する曲げモーメント
M <sub>a</sub>	N・mm	転倒防止装置に作用する荷重により基礎側ブラケット中心に作用するモーメント
M <sub>t</sub>	N・mm	取水槽ガントリクレーンに作用する転倒モーメント
M <sub>s</sub>	N・mm	自重による安定モーメント
P	N	設計竜巻により短冊一本あたりに作用する荷重
P <sub>1</sub>	N	片側の転倒防止装置に作用する荷重
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
r	mm	ピンコーナーの半径
R	N	ピンに作用する支点反力
R <sub>a</sub> , R <sub>b</sub>	N	架台に作用する支点反力
R <sub>U</sub>	N	設計竜巻により上部ブラケットに作用する反力
R <sub>L</sub>	N	設計竜巻により下部ブラケットに作用する反力

表 5-35 取水槽ガントリクレーンの強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$w$	N/mm	ピンに作用する等分布荷重
$W$	N	自重による荷重
$W_W$	N	設計竜巻による風圧力による荷重
$W_R$	N	クレーン自重による脚 1 本あたりの走行抵抗
$X_n$	mm	転倒防止装置基礎ボルトの中立軸位置
$Z_1$	mm <sup>3</sup>	短冊の断面係数
$Z_2$	mm <sup>3</sup>	上部ブラケットの断面係数
$Z_3$	mm <sup>3</sup>	下部ブラケットの断面係数
$Z_4$	mm <sup>3</sup>	ピンの断面係数
$Z_5$	mm <sup>3</sup>	クレーン側ブラケットの断面係数
$Z_6$	mm <sup>3</sup>	基礎側ブラケットの断面係数
$Z_7$	mm <sup>3</sup>	架台の断面係数
$\tau$	MPa	各評価対象部位に生じるせん断応力
$\sigma_b$	MPa	各評価対象部位に生じる曲げ応力
$\sigma_b'$	MPa	各ボルトに生じる引張応力
$\sigma$	MPa	各評価対象部位に生じる組合せ応力
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$\mu$	-	最大静止摩擦係数

## b. 計算モデル

## (a) 逸走防止装置

設計竜巻の風圧力による荷重により発生する水平方向の荷重に対する、取水槽ガントリクレーンの逸走防止装置の構造健全性を単純支持はりとして計算を行う。なお、設計竜巻の風圧力による荷重は、表 3-19 より、原子炉補機海水ポンプ等が設置される取水槽との位置関係を考慮して、走行方向（EW方向）に東側から荷重がかかるものとし、設計飛来物の衝突により、逸走防止装置 8 基のうち 2 基が損傷したと仮定し、残り 6 基にて評価を実施する。また、強度計算においては、取水槽ガントリクレーンに作用した荷重が逸走防止装置の短冊に集中荷重として作用するものとする。取水槽ガントリクレーンのモデル図を図 5-38 に、短冊及びピンモデル図を図 5-39 及び図 5-40 に、基礎ボルトの配置図を図 5-41 に示す。

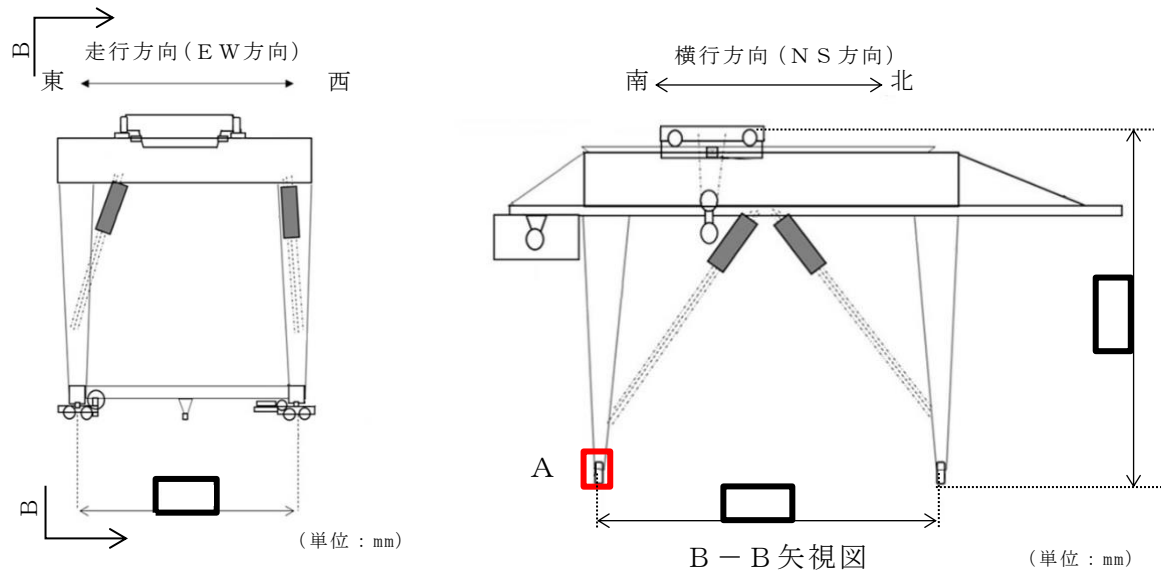


図 5-38 取水槽ガントリクレーンのモデル図(1/2)



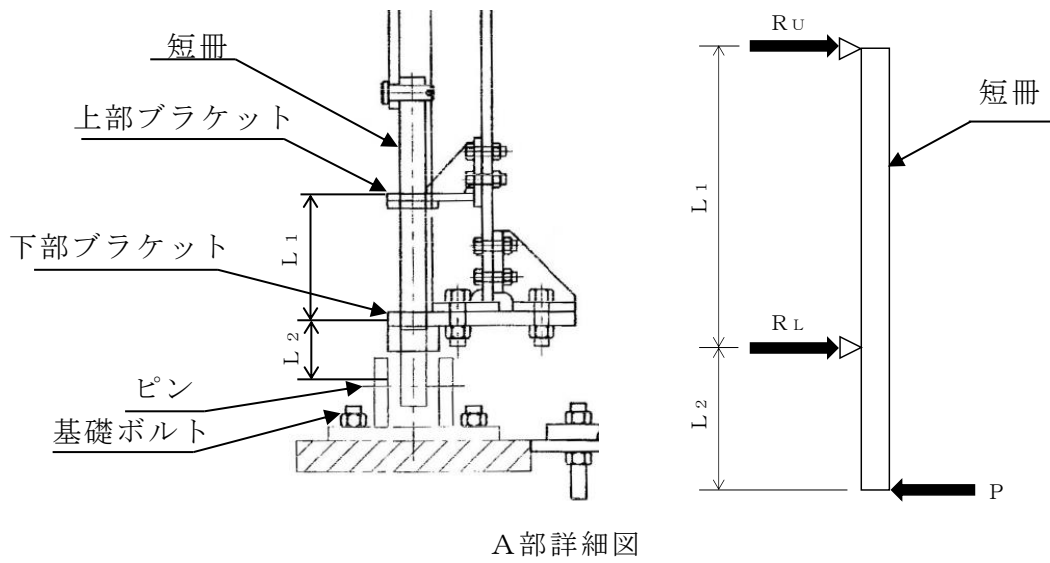
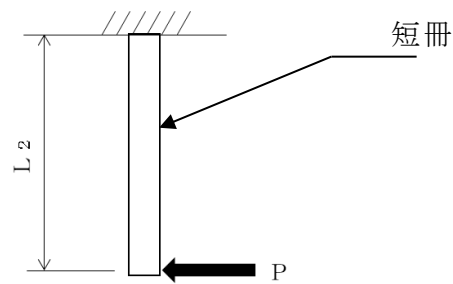


図 5-38 取水槽ガントリクレーンのモデル図 (2/2)



注：図 5-38 の  $L_2$  の部分をモデル化

図 5-39 短冊のモデル図

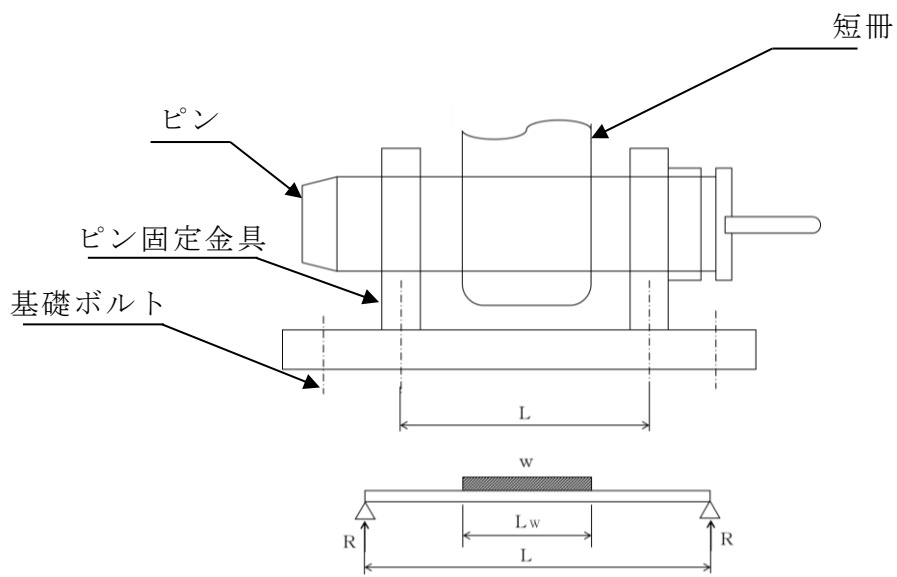
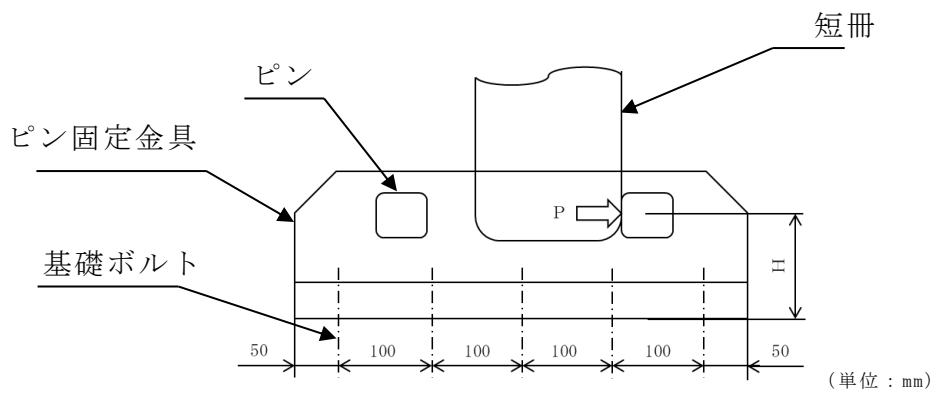


図 5-40 ピンのモデル図



(単位：mm)

図 5-41 基礎ボルトの配置図

## (b) 転倒防止装置

設計竜巻の風圧力による荷重及び自重により発生するモーメントに対する、取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置の構造健全性を1質点系のモデルとして計算を行う。なお、設計竜巻の風圧力による荷重は、表3-19より、原子炉補機海水ポンプ等が設置される取水槽との位置関係を考慮して、走行方向(EW方向)に東側から荷重がかかるものとし、設計飛来物の衝突により、転倒防止装置8基のうち1基が損傷したと仮定し、残り7基にて評価を実施する。また、強度計算においては、取水槽ガントリクレーンに作用した荷重が転倒防止装置のクレーン側ブラケットに集中荷重として作用するものとする。取水槽ガントリクレーンのモデル図を図5-42に、架台及び基礎ボルトのモデル図を図5-43及び図5-44に示す。

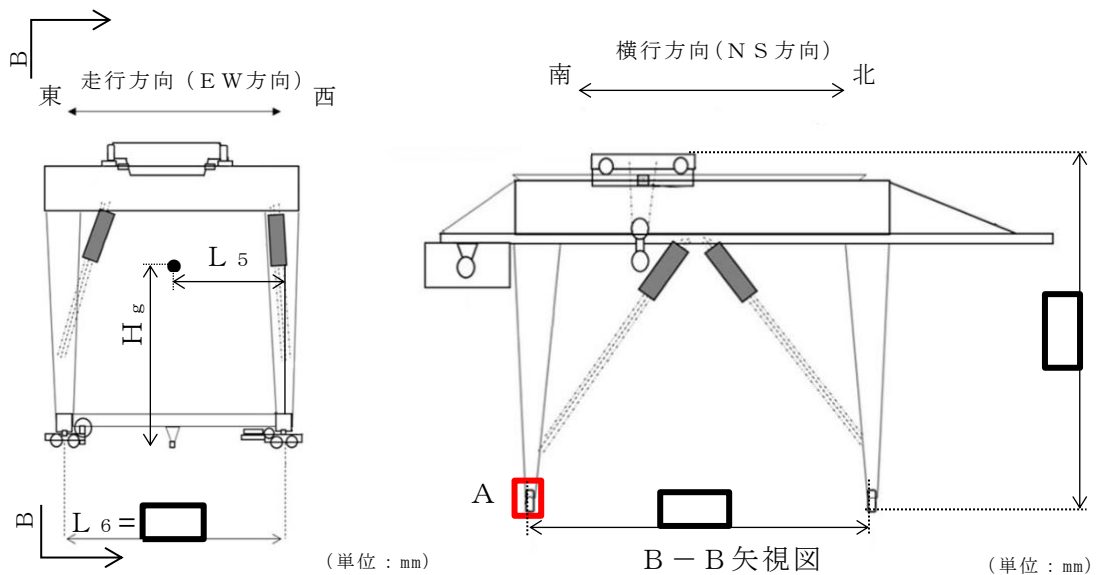


図5-42 取水槽ガントリクレーンのモデル図(1/3)

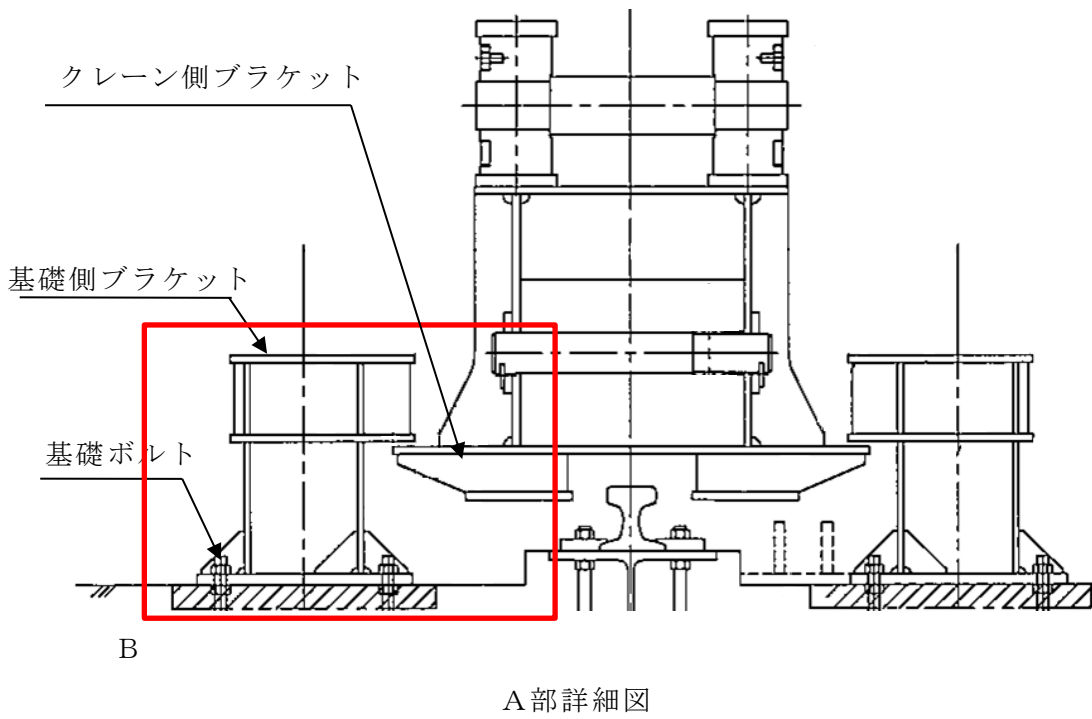


図 5-42 取水槽ガントリクレーンのモデル図 (2/3)

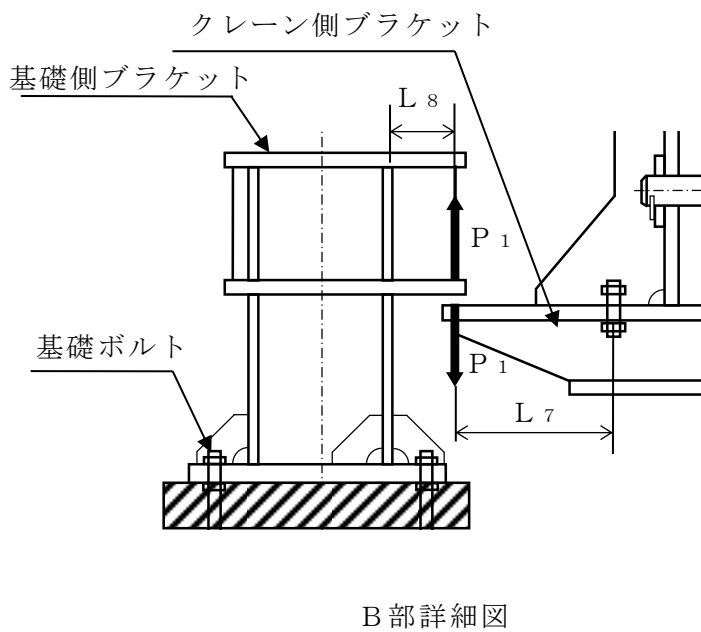


図 5-42 取水槽ガントリクレーンのモデル図 (3/3)

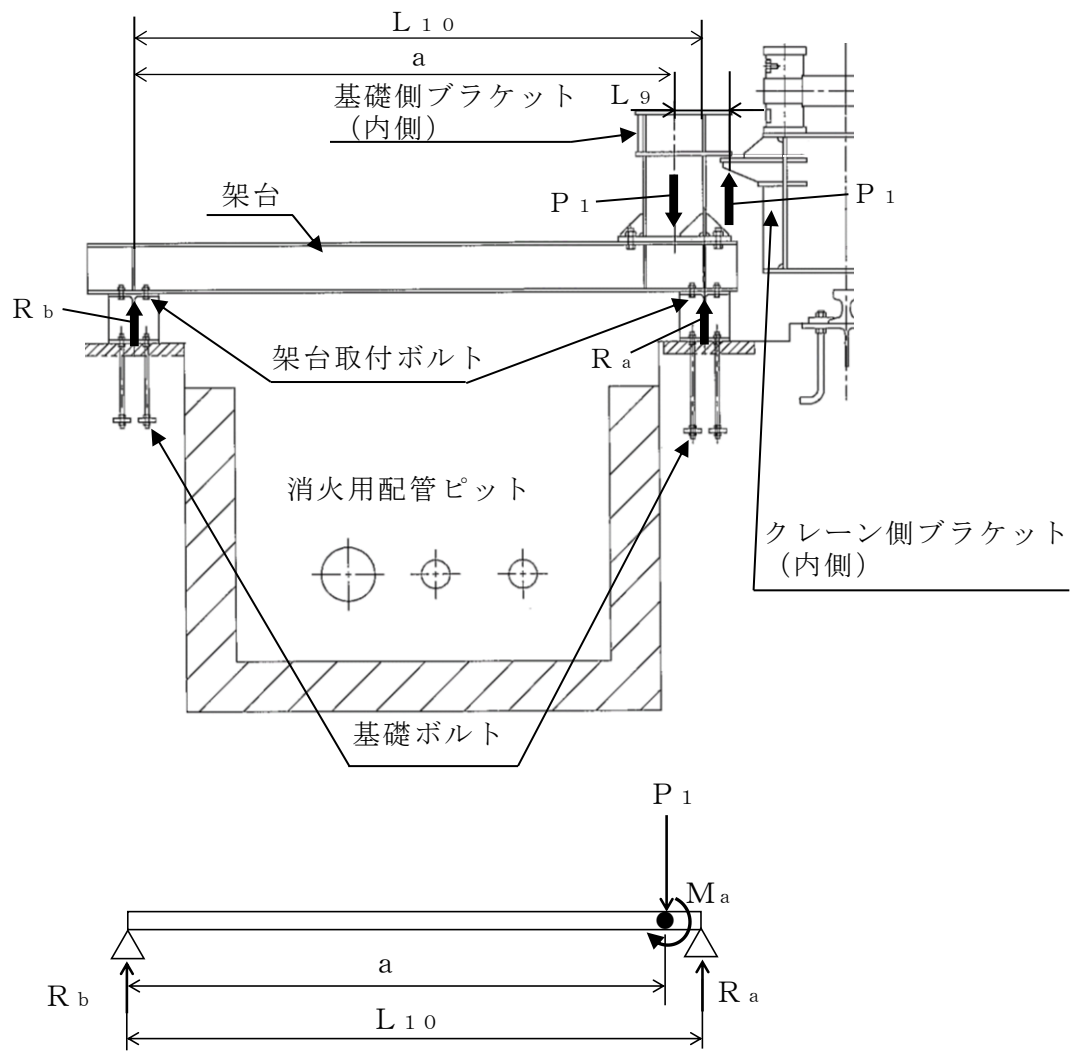


図 5-43 架台のモデル図

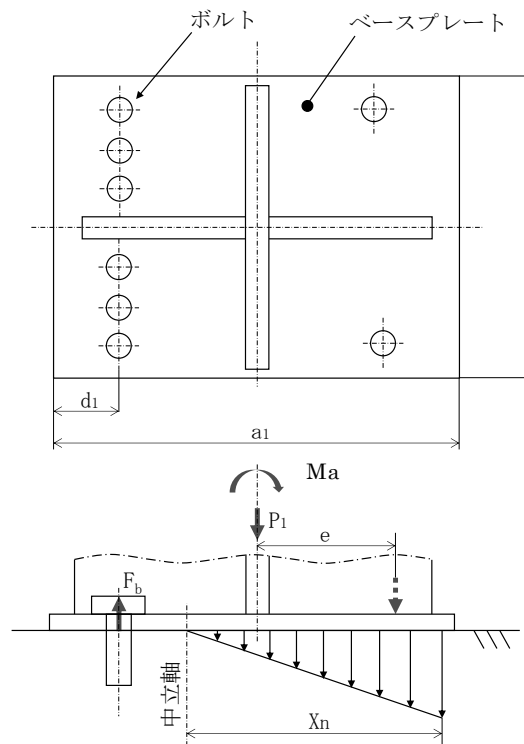


図 5-44 基礎ボルトのモデル図

## c. 評価方法

## (a) 逸走防止装置

取水槽ガントリクレーンに最大静止摩擦係数以上の力が加われば、車輪がレール上をすべることを考慮した水平力を設定する。ここで、最大静止摩擦係数を  $\mu = 0.3$  とし、各構造部材に発生する水平力は、車輪（従動輪及び駆動輪）の総数（8 個）と駆動輪の数（4 個）との関係から以下に示す式から求める。

## ・短冊 1 本あたりに作用する荷重

短冊 1 本あたりに作用する荷重は、設計飛来物の衝突により、逸走防止装置 8 基のうち 2 基が損傷したと仮定し、残り 6 基にて評価を実施する。したがって、設計竜巻による風圧力による荷重が残りの短冊の数（6 本）に作用するとし、短冊 1 本あたりに作用する荷重を算出する（図 5-45 参照）。

自重による荷重

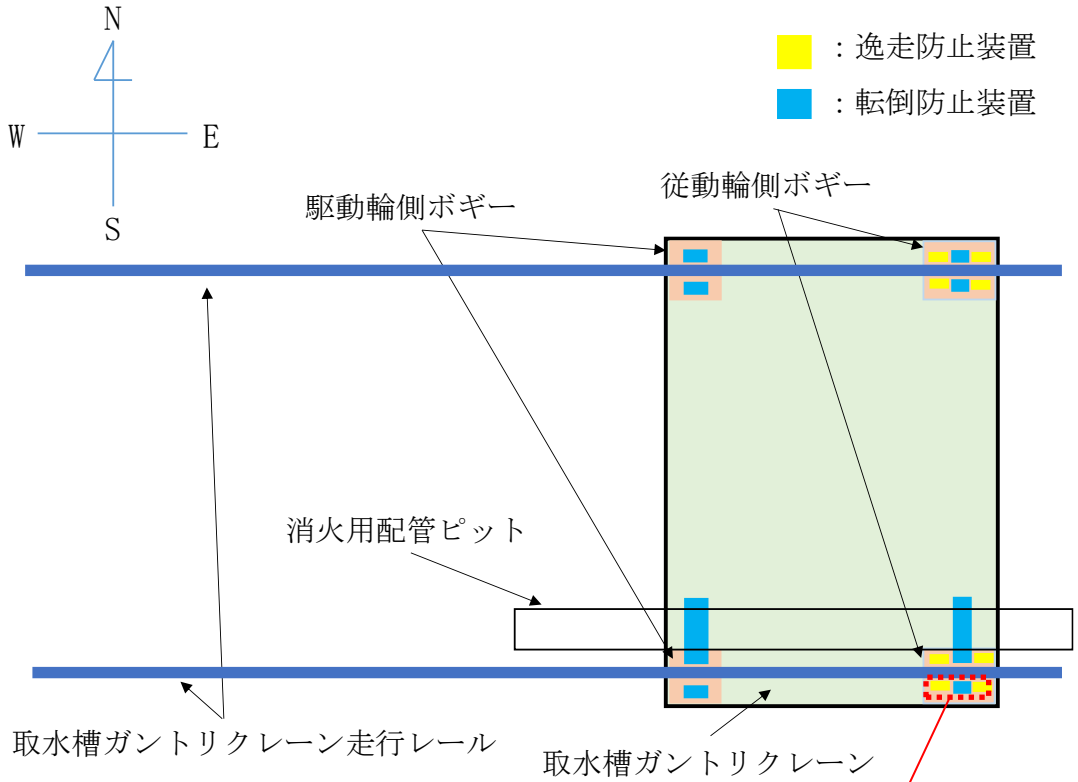
$$W = m \cdot g$$

クレーン自重による脚 1 本あたりの走行抵抗

$$W_R = \left( \mu \cdot W \cdot \frac{4}{8} \right) \cdot \frac{1}{4}$$

短冊 1 本あたりに作用する荷重

$$P = \frac{W_W}{6} - W_R$$



いずれかのボギーの片側の逸走防止装置（2基）の損傷を想定

図 5-45 逸走防止装置損傷の考え方

イ. 短冊

竜巻によって生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際の短冊に生じる曲げ応力及びせん断応力を算出し、評価する。

(イ) 曲げ応力

短冊に作用する曲げモーメント

$$M = P \cdot L_2$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_1}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{P}{A_1}$$

(ハ) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ロ. ブラケット

竜巻により生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際の上部及び下部ブラケットの応力算出方法を以下に示す。

設計竜巻により上部ブラケットに作用する反力

$$R_U = \frac{-L_2 \cdot P}{L_1}$$

設計竜巻により下部ブラケットに作用する反力

$$R_L = P - R_U$$

(イ) 上部ブラケット

上部ブラケットの応力算出方法を以下に、上部ブラケットの詳細図を図 5-46 に示す。

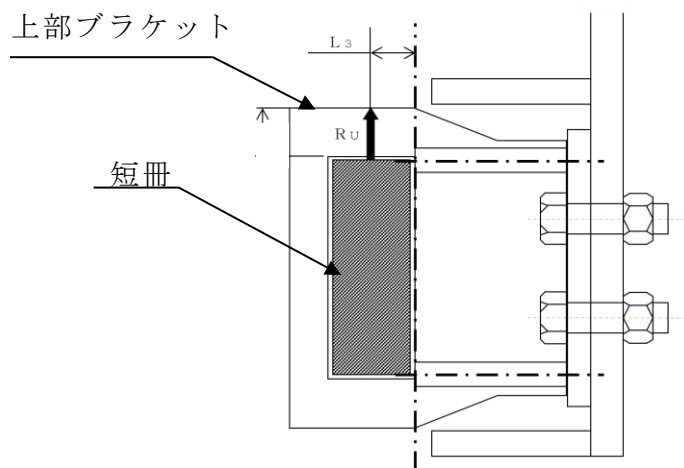


図 5-46 上部ブラケットの詳細図

(i) 曲げ応力

上部ブラケットに作用する曲げモーメント



$$M = R_U \cdot L_3$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_2}$$

(ii) せん断応力

$$\tau = \frac{R_U}{A_2}$$

(iii) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(ロ) 下部ブラケット

下部ブラケットの応力算出方法を以下に，下部ブラケットの詳細図を図 5-47 に示す。

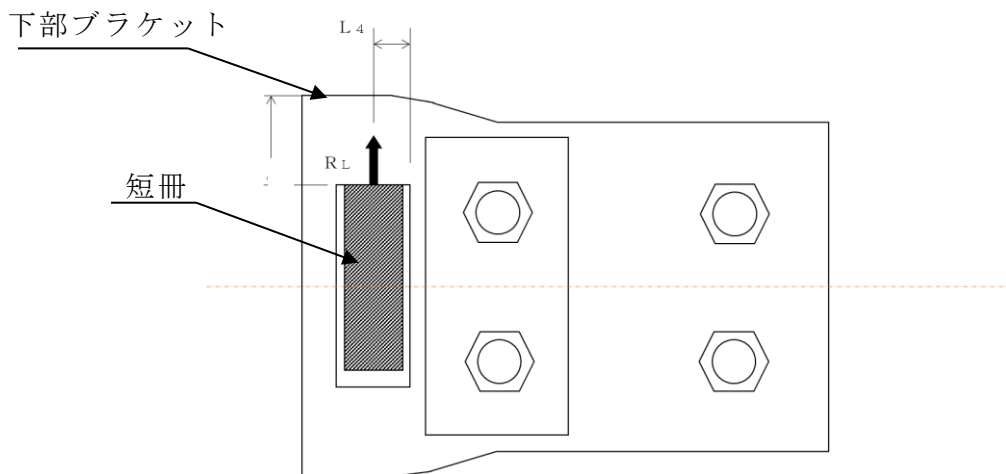


図 5-47 下部ブラケットの詳細図

(i) 曲げ応力

下部ブラケットに作用する曲げモーメント

$$M = R_L \cdot L_4$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_3}$$

(ii) せん断応力

$$\tau = \frac{R_L}{A_3}$$

(iii) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ハ. ピン

竜巻により生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際のピンの応力算出方法を以下に示す。荷重が作用するピンの断面図を図 5-48 に示す。

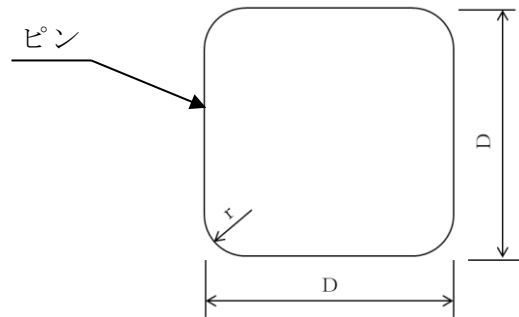


図 5-48 ピンの断面図

(イ) 曲げ応力

ピンの軸断面積

$$A_4 = D^2 - 4 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \cdot r^2$$

ピンに作用する等分布荷重

$$w = \frac{P}{L_w}$$

ピンに作用する支点反力

$$R = \frac{w \cdot L_w}{2}$$

ピンに作用する曲げモーメント

$$M = \frac{R \cdot L}{2} - \frac{w \cdot L_w^2}{8}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_4}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{R}{A_4}$$

(ハ) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

## 二. 基礎ボルト

竜巻により生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際の基礎ボルトの応力算出方法を以下に示す。

(イ) 引張応力

最も引張荷重が大きくなる5列目（端部）のボルトについて評価を行う。

基礎ボルトに作用するモーメント

$$M = P \cdot H$$

$$M = \sum_{i=1}^5 F_i \cdot B_i \cdot \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{F_i}{B_i} = \text{一定} \cdot \dots \textcircled{2}$$

①, ②式より,

$$F_b = \frac{F_5}{n_f} = \frac{M}{n_f \cdot \sum_{i=1}^5 B_i} B_5$$

よって,

$$\sigma_b' = \frac{F_b}{A_5}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{P}{A_5 \cdot n}$$

(b) 転倒防止装置

イ. 設計竜巻により取水槽ガントリクレーンに作用する転倒モーメント

設計竜巻により取水槽ガントリクレーンに作用するモーメントは以下の式により算定する。

$$M_t = W_w \cdot H_g$$

ロ. 自重による安定モーメント

自重により作用する安定モーメントは以下の式より算定する。

$$M_s = m \cdot g \cdot L_5$$

ハ. 転倒防止装置に作用する荷重

転倒モーメントと安定モーメントのつり合いにより、片側の転倒防止装置に作用する荷重は、設計飛来物の衝突により、転倒防止装置 8 基のうち 1 基が損傷したと仮定し、残り 7 基にて評価を実施する。したがって、転倒支点の反対側の脚（2 本）の 1 本あたりに作用するモーメントが転倒防止装置 1 基に作用するとし、片側の転倒防止装置に作用する荷重を算出する。（図 5-49 参照）。

片側の転倒防止装置に作用する荷重

$$P_1 = \frac{M_t - M_s}{2 \cdot L_6}$$

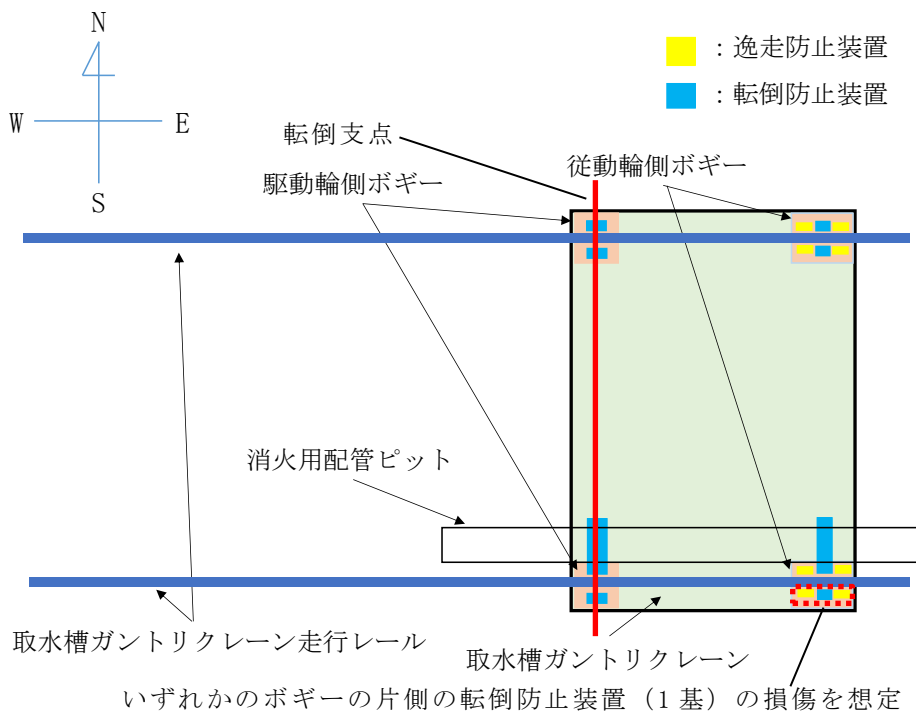


図 5-49 転倒防止装置損傷の考え方

## ニ. クレーン側ブラケット

竜巻により生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際のクレーン側ブラケットの応力算出方法を以下に、クレーン側ブラケットの断面図を図 5-50 に示す。

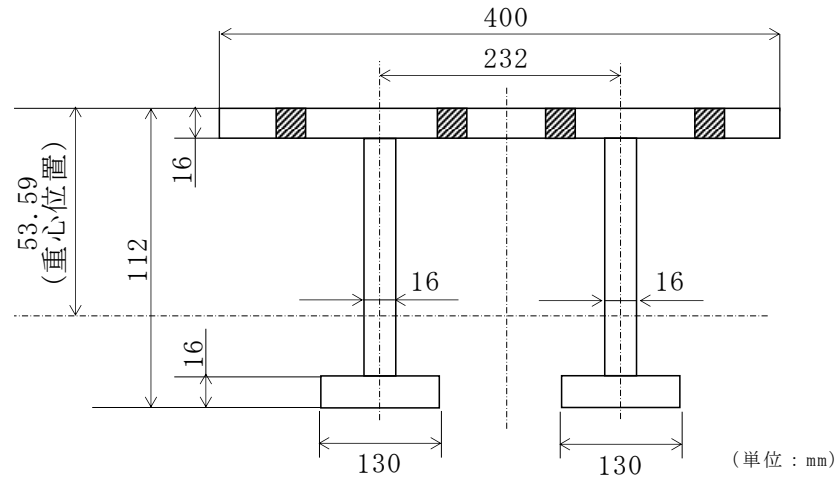


図 5-50 クレーン側ブラケットの断面図

### (イ) 曲げ応力

クレーン側ブラケットに作用する曲げモーメント

$$M = P_1 \cdot L_7$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_5}$$

### (ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{P_1}{A_6}$$

### (ハ) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

## ホ. 基礎側ブラケット

竜巻により生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際の基礎側ブラケットの応力算出方法を以下に示す。荷重が作用する基礎側ブラケットの断面図を図 5-51 に示す。

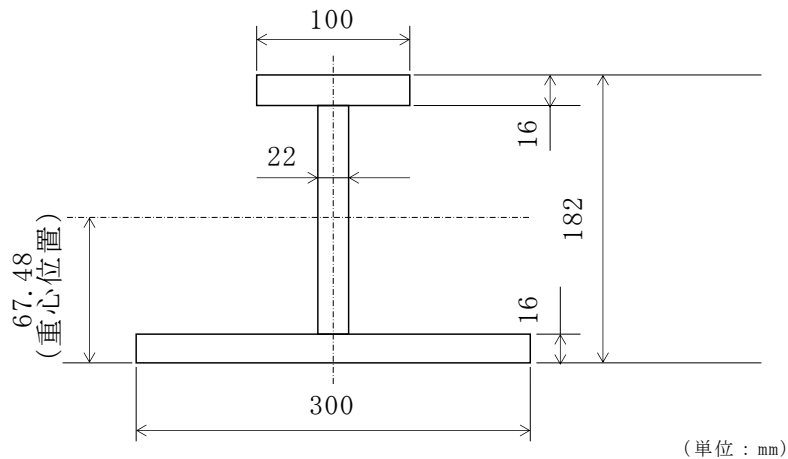


図 5-51 基礎側ブラケットの断面図

## (イ) 曲げ応力

クレーン側ブラケットに作用する曲げモーメント

$$M = P_1 \cdot L_8$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_6}$$

## (ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{P_1}{A_7}$$

## (ハ) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

## へ. 架台

竜巻により生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際の架台の応力算出方法を以下に示す。

## (イ) 曲げ応力

転倒防止装置に作用する荷重により基礎側ブラケット中心に作用するモーメント

$$M_a = P_1 \cdot L_9$$

架台に作用する支点反力

$$R_a = \frac{P_1 \cdot (L_{10} - a) - L_{10}}{L_{10}}$$

$$R_b = \frac{P_1 \cdot (L_{10} - a) + L_{10}}{L_{10}}$$

架台に作用する曲げモーメント

$$M = R_a \cdot a + M_a$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_7}$$

## (ロ) せん断応力

架台に作用する支点反力のうち大きいほうが架台のせん断力となる。

$$F_s = \text{MAX} (|R_a|, |R_b|)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_8}$$

## (ハ) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

## ト. 架台取付ボルト

竜巻により生じる水平荷重が、取水槽ガントリクレーンに作用した際の基礎ボルトの応力算出方法を以下に示す。

## (イ) 引張応力

へ. で算出した支点反力がボルトの引張力となる。

$$F_b = R_b$$

引張応力

$$\sigma_{b'} = \frac{F_b}{A_9 \cdot n_f}$$

チ. 基礎ボルト

竜巻により生じる水平荷重が，取水槽ガントリクレーンに作用した際の基礎ボルトの応力算出方法を以下に示す。

(ロ) 引張応力

J E A G 4 6 0 1 の横置き円筒容器の基礎ボルトの引張応力より，モーメントと圧縮荷重の比

$$e = \frac{M_a}{P_1}$$

基礎ボルトに作用する引張荷重

$$F_b = \frac{P_1 \left( e - \frac{a_1}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a_1 - d_1 - \frac{X_n}{3}}$$

引張応力

$$\sigma_{b'} = \frac{F_b}{A_{10} \cdot n_f}$$



## 6. 適用規格・基準等

### (1) 適用規格・基準等

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる適用規格・基準等は、VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」による。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ((社) 日本建築学会 2004 年改定)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984) ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987) ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 追補版-1991) ((社) 日本電気協会)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)
- ・ ISE7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討 (昭和 51 年 10 月 高温構造安全技術研究組合)
- ・ タービンミサイル評価について (昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- ・ 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 1999 年改定)
- ・ 日本産業規格 (J I S)
- ・ 各種合成構造設計指針 同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 年改定)
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8P (NEI07-13))
- ・ 理科年表 (国立天文台, 第 85 冊, 2003 年)
- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 年制定)
- ・ クレーン構造規格 (平成 7 年 12 月 26 日労働省告示第 134 号)

### (2) 参考文献

- ・ Wichman, K. R. et al, :Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of W R C bulletin 107/August 1965.

- Bijlaard, P. P. :Stresses from Radical Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.

## VI-3-別添 1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 強度設計の基本方針	2
2.1 対象施設	2
2.2 構造強度の設計方針	2
2.3 荷重及び荷重の組合せ	3
2.4 構造設計	10
2.5 評価方針	18
3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針	19
3.1 竜巻防護ネットの構造設計	20
3.2 竜巻防護鋼板の構造設計	23
3.3 架構の構造設計	24
4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針	25
4.1 竜巻防護ネットの評価方針	27
4.2 竜巻防護鋼板の評価方針	31
4.3 架構の評価方針	32
5. 許容限界	34
5.1 竜巻防護ネットの許容限界	34
5.2 竜巻防護鋼板の許容限界	43
5.3 架構の許容限界	44
6. 強度評価方法	45
6.1 竜巻防護ネットの強度評価	45
7. 適用規格・基準等	63

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」に基づき、竜巻防護対策設備が、設計竜巻に対して要求される強度を確保するための強度設計方針について説明するものである。

## 2. 強度設計の基本方針

強度設計は、「2.1 対象施設」に示す施設を対象として、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重とこれと組み合わせる荷重を考慮し、「6. 強度評価方法」で示す評価方法により、「5. 許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

### 2.1 対象施設

VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」にて設定している以下の竜巻防護対策設備を対象とする。

- ・取水槽海水ポンプエリア防護対策設備
- ・取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備
- ・ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備
- ・建物開口部防護対策設備

### 2.2 構造強度の設計方針

竜巻防護対策設備は、設計飛来物（以下「飛来物」という。）の外部事象防護対象施設への衝突を防止するものであり、VI-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.3(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の設計とする。

#### (1) 竜巻防護ネット

竜巻防護ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉できる設計とする。

#### (2) 竜巻防護鋼板

竜巻防護鋼板は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が竜巻防護鋼板を貫通せず、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

#### (3) 架構

架構は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

### 2.3 荷重及び荷重の組合せ

竜巻防護対策設備の強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せは、VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

#### (1) 荷重の種類

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重及び上載荷重とする。なお、竜巻防護ネットのワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の評価時は、上載荷重としてネットの自重を考慮する。

##### b. 設計竜巻による荷重 ( $W_T$ )

設計竜巻（最大風速 92m/s）による荷重は、設計竜巻の以下の特性を踏まえ、風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。

設計竜巻の特性値を表 2-1 に示す。

- 設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

$V_D$  : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

- 竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

$V_T$  : 設計竜巻の移動速度 (m/s)

- 竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

$\rho$  : 空気密度 (=1.226 kg/m<sup>3</sup>)

$V_{Rm}$  : 設計竜巻の最大接線風速 (m/s)

表 2-1 設計竜巻の特性値

最大速度 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
92	14	78	7500

##### (a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、設計竜巻の最大風速による荷重である。竜巻の最大風速は、一般的には水平方向の風速として算出されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考

えられる場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

竜巻の風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数 $G$ は、設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から施設の形状によらず「竜巻影響評価ガイド」を参照して、 $G=1.0$ とする。空気密度 $\rho$ は「REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1」（米国原子力規制委員会）より $\rho=1.226\text{kg/m}^3$ とする。

設計用速度圧 $q$ については施設の形状によらず $q=5189\text{N/m}^2$ と設定する。

(b) 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける施設の建物壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設（通気がない施設）については、この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、設定することを基本としているが、竜巻防護対策設備は外気と通じており、設備の外殻に面する部材に気圧差は生じないことから考慮しない。

(c) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

衝突による影響が大きくなる向きで飛来物が竜巻防護対策設備に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においても、飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の諸元を表 2-2 に示す。

表 2-2 飛来物の諸元

	鋼製材	砂利
寸法 (m)	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
重量 (kg)	135	0.2
水平方向の飛来速度 (m/s)	51	54
鉛直方向の飛来速度 (m/s)	34	36



c. 運転時に作用する荷重（ $F_P$ ）

運転時の状態で作用する荷重は、配管等に作用する内圧等であり、竜巻防護対策設備には作用しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計竜巻の荷重は、設計竜巻の気圧差による荷重（ $W_P$ ）を考慮した複合荷重 $W_{T1}$ 並びに設計竜巻の風圧力による荷重（ $W_w$ ）、気圧差による荷重（ $W_P$ ）及び飛来物による衝撃荷重（ $W_M$ ）を組み合わせた複合荷重 $W_{T2}$ を以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

竜巻の影響を考慮する施設には $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ、適切な組合せを設定する。竜巻防護対策設備の構成要素別の荷重の組合せを、表 2-3 に示す。

表2-3 竜巻防護対策設備構成要素別の荷重の組合せ

竜巻防護 対策設備	評価 内容	荷 重						
		作用 方向	常時作用する 荷重 (F <sub>d</sub> )		風圧力 による 荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差に よる荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物 による 衝撃荷 重(W <sub>M</sub> )	運転時の状 態で作用す る荷重
			自重	上載 荷重				
竜巻防護ネット	構造 強度	水平	○	—	○	—*1	○	—
		鉛直	○	—	○	—*1	○	—
竜巻防護鋼板	構造 強度	水平	○	—	—	—*1	○	—
		鉛直	—	—	○	—*1	○	—
架構	構造 強度	水平	○	○*2	○	—*1	○	—
		鉛直	○	○*2	○	—*1	○	—

注記\*1：外気と通じており，気圧差は生じない。

\*2：竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板に作用する風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重を含む。

(3) 荷重の算定方法

「2.3(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、竜巻防護ネットに生じる荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2-4 に示す。

表 2-4 荷重の算出に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	竜巻防護ネットの受圧面積
A <sub>a</sub>	m <sup>2</sup>	ネットの面積
C	—	竜巻防護ネットの風力係数
d	m	飛来物衝突後の飛来物の移動距離
E <sub>f</sub>	kJ	飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
F <sub>a</sub>	kN	飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F <sub>a</sub> '	kN	飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (g=9.80665)
L <sub>x</sub>	m	ネット展開方向寸法
L <sub>y</sub>	m	ネット展開直角方向寸法
m	kg	飛来物の質量
m <sub>N</sub>	kg/m <sup>2</sup>	ネットの単位面積あたりの質量
n	—	主金網の枚数
P <sub>w</sub>	kN	ネットの自重により作用する荷重
Q	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
q	N/mm <sup>2</sup>	設計用速度圧
t	s	時間
t <sub>1</sub>	s	飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
V	m/s	ネットへの衝突後の飛来物の飛来速度
V <sub>1</sub>	m/s	ネットへの飛来物の衝突速度

表 2-4 荷重の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$W_w$	kN	風圧力による荷重
$\delta$	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$\phi$	—	ネットの充実率

b. 自重による荷重の算出

竜巻防護ネットに常時作用する荷重として、自重を考慮する。

ネットにおいては、自重による荷重  $P_w$  は、

$$P_w = \frac{A_a \cdot m_N \cdot g \cdot (n+1)}{1000}$$

と算出される。

$A_a$  はネットの実寸法  $L_x$ 、 $L_y$  を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_x \cdot L_y$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A}{1000}$$

ここで、

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ネットにおいては、ネットの充実率を  $\phi$  とすると、風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積  $A$  は、次式のとおりとなる。

$$A = \phi \cdot A_a$$

d. 飛来物による衝撃荷重の算出

ネットにおいて、飛来物の衝突時に受ける衝撃荷重  $F_a''$  は時間とともに比例して増加すると仮定すると、衝撃荷重  $F_a''$  は以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Q \cdot t \dots\dots\dots (2. 1)$$

したがって、ネットへの衝突後の飛来物の移動速度  $V$  は式 (2. 1) の衝撃荷重  $F_a''$  から、以下のとおり算出される。

$$V = -\frac{1}{m} \int_0^t F_a \, dt$$

$$= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \quad \dots\dots\dots (2. 2)$$

さらに、ネットへの衝突後の飛来物の移動距離  $d$  は、式(2. 2)の速度  $V$  から以下のとおり算出される。

$$d = \int_0^t V \, dt$$

$$= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \quad \dots\dots\dots (2. 3)$$

飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間  $t_1$  におけるネットの最大変位  $\delta$  は、飛来物の速度は  $V=0$  であるから、式(2. 2)、(2. 3)より、

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \quad \dots\dots\dots (2. 4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記2式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3}{2 \cdot V_1} \cdot \delta \quad \dots\dots\dots (2. 5)$$

以上より、時間  $t_1$  における飛来物による衝撃荷重  $F_a$  は式(2. 1)、(2. 4)より、

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに、式(2. 5)と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \dots\dots\dots (2. 6)$$

また、時間  $t_1$  における飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー  $E_f$  としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \quad \dots\dots\dots (2. 7)$$

したがって、式(2. 6)、(2. 7)より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \quad \dots\dots\dots (2. 8)$$

式(2. 8)にたわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量  $\delta$  を代入し、 $F_a$  を算出する。

## 2.4 構造設計

竜巻防護対策設備は、「2.2 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

### (1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備は竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板及び架構で構成し、外部事象防護対象施設を取り囲むように設置することで、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し、外部事象防護対象施設と竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板の離隔を確保することなどにより、竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても、外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板は架構を介して、取水槽躯体に支持する構造とする。

竜巻防護ネットはネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）及び鋼製枠により構成され、竜巻防護ネットに作用する荷重をワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）を介して鋼製枠に伝達し、鋼製枠から架構を介して鉄筋コンクリート造の取水槽躯体に伝達する構造とする。

ネットは、らせん状の硬鋼線を3次的に編み込み、編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち、架構の配置、ネットに作用する荷重及び外部事象防護対象施設との離隔に応じて、ネットの展開方向と展開直角方向の長さの比を考慮して、鋼製枠内に複数枚を重ねて設置する構造とする。また、ネットに飛来物が衝突した際、ワイヤロープに瞬間的な大荷重が作用するのを防ぐため、鋼製枠の四隅には緩衝材を設置する設計とする。

竜巻防護鋼板は鋼板により構成され、竜巻防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の取水槽躯体に伝達する構造とする。

竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等から構成され、上載する竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、鉄筋コンクリート造の取水槽躯体に伝達する構造とする。

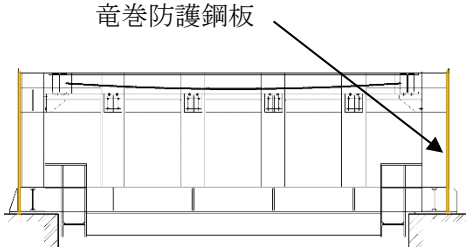
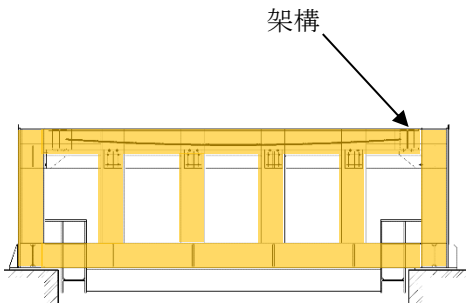
なお、外部事象防護対象施設に衝突する可能性がある飛来物は竜巻防護ネットで捕捉する構造とするため、架構は開口部より大きな構造とし、飛来物の衝突により仮に架構が損傷した場合であっても、外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造計画を表2-5に示す。

表 2-5 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備(1/2)

構成要素	計画概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      取水槽海水ポンプエリア竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板及び架構は、取水槽海水ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
竜巻防護ネット	<p>竜巻防護ネットは、鋼製のネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）及び鋼製枠より構成する。</p>	<p>竜巻防護ネットに作用する荷重は、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）を介して鋼製枠に伝達し、鋼製枠から架構を介して鉄筋コンクリート造の取水槽躯体に伝達する構造とする。</p>	

表 2-5 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 (2/2)

構成要素	計画概要		説明図
	主体構造	支持構造	
竜巻防護鋼板	竜巻防護鋼板は、鋼板により構成する。	竜巻防護鋼板に作用する荷重は、架構を介して鉄筋コンクリート造の取水槽躯体に伝達する構造とする。	
架構	架構は、鋼製のH形鋼等より構成する。	架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、鉄筋コンクリート造の取水槽躯体に伝達する構造とする。	



(2) 取水槽循環水ポンプエリア及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備

取水槽循環水ポンプエリア及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備は、竜巻防護鋼板及び架構で構成し、外部事象防護対象施設を取り囲むように設置することで、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し、外部事象防護対象施設と竜巻防護鋼板の離隔を確保することなどにより、竜巻防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても、外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、竜巻防護鋼板は架構を介して、取水槽躯体又はディーゼル燃料移送ポンプエリア躯体に支持する構造とする。

竜巻防護鋼板は鋼板より構成され、竜巻防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の取水槽躯体又はディーゼル燃料移送ポンプエリア躯体に伝達する構造とする。

竜巻防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等から構成され、架構に作用する荷重及び竜巻防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、取水槽躯体又はディーゼル燃料移送ポンプエリア躯体に伝達する構造とする。

取水槽循環水ポンプエリア及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の構造計画を表 2-6 に示す。

表 2-6 取水槽循環水ポンプエリア及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の構造計画

構成要素	計画概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>            取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護鋼板及び架構は、取水槽循環水ポンプエリアに、ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板及び架構は、ディーゼル燃料移送ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
竜巻防護鋼板	竜巻防護鋼板は、鋼板により構成する。	竜巻防護鋼板に作用する荷重は、架構を介して鉄筋コンクリート造の取水槽躯体又はディーゼル燃料移送ポンプエリア躯体に伝達する構造とする。	
架構	架構は、鋼製のH形鋼等より構成する。	架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、鉄筋コンクリート造の取水槽躯体又はディーゼル燃料移送ポンプエリア躯体に伝達する構造とする。	

### (3) 建物開口部防護対策設備

建物開口部防護対策設備は、竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板及び架構で構成し、飛来物が侵入した場合に外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建物及び廃棄物処理建物の開口部を取り囲むように設置することで、飛来物が建物内に侵入することを防止し、外部事象防護対象施設と竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板の離隔を確保することなどにより、竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても、外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板は架構を介して、原子炉建物躯体又は廃棄物処理建物躯体に支持する構造とする。

竜巻防護ネットはネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）及び鋼製枠により構成され、竜巻防護ネットに作用する荷重をワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）を介して鋼製枠に伝達し、鋼製枠から架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建物躯体又は廃棄物処理建物躯体に伝達する構造とする。

ネットは、らせん状の硬鋼線を3次的に編み込み、編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち、架構の配置、ネットに作用する荷重及び外部事象防護対象施設との離隔に応じて、ネットの展開方向と展開直角方向の長さの比を考慮して、鋼製枠内に複数枚を重ねて設置する構造とする。また、ネットに飛来物が衝突した際、ワイヤロープに瞬間的な大荷重が作用するのを防ぐため、鋼製枠の四隅には緩衝材を設置する設計とする。

竜巻防護鋼板は、鋼板により構成され、竜巻防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建物躯体又は廃棄物処理建物躯体に伝達する構造とする。

竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等から構成され、直接架構に作用する荷重及び竜巻防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、鉄筋コンクリート造の原子炉建物躯体又は廃棄物処理建物躯体に伝達する構造とする。

なお、外部事象防護対象施設に衝突する可能性がある飛来物は竜巻防護ネットで捕捉する構造とするため、架構は建物の開口部より大きな構造とし、飛来物の衝突により仮に架構が損傷した場合であっても、外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。

建物開口部防護対策設備の構造計画を表2-7に示す。

表 2-7 建物開口部防護対策設備の構造計画(1/2)

構成要素	計画概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>            建物開口部竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板及び架構は、原子炉建物又は廃棄物処理建物の開口部に設置する設計としている。</p>			
竜巻防護ネット	<p>竜巻防護ネットは、鋼製のネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）及び鋼製枠より構成する。</p>	<p>竜巻防護ネットに作用する荷重は、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）を介して鋼製枠に伝達し、鋼製枠から架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建物又は廃棄物処理建物躯体に伝達する構造とする。</p>	
竜巻防護鋼板	<p>竜巻防護鋼板は、鋼板により構成する。</p>	<p>竜巻防護鋼板に作用する荷重は、架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建物躯体に伝達する構造とする。</p>	

表 2-7 建物開口部防護対策設備の構造計画 (2/2)

構成要素	計画概要		説明図
	主体構造	支持構造	
架構	<p>架構は、鋼製のH形鋼等より構成する。</p>	<p>架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、鉄筋コンクリート造の原子炉建物又は廃棄物処理建物躯体に伝達する構造とする。</p>	<p>建物開口部架構 (竜巻防護鋼板)</p> <p>建物開口部架構 (竜巻防護ネット)</p>

## 2.5 評価方針

竜巻防護対策設備の強度評価は、「2.4 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

### (1) 竜巻防護ネット

設計竜巻の風圧力による荷重, 飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し, 主要な部材が破断しなければ飛来物は捕捉可能であり, 飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しない。したがって, 竜巻防護ネットのうち, ネット, ワイヤロープ及び接続冶具(支持部及び固定部)に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを, 計算により確認する。

また, 設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し, 飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために, 竜巻防護ネットのうち, ネット及びワイヤロープにたわみを生じて, 飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

### (2) 竜巻防護鋼板

設計竜巻の風圧力による荷重, 飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し, 飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために, 竜巻防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ(以下「必要最小厚さ」という。)以上であることを計算により確認する。必要最小厚さについては, 解析により確認する。

なお, 竜巻防護鋼板は, 外部事象防護対象施設に対し, 十分な離隔距離を確保していることから, 外部事象防護対象施設に波及的影響を与えることはない。

### (3) 架構

設計竜巻の風圧力による荷重, 飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し, 外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう, 飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し, 架構全体の転倒及び架構部材の脱落を生じないことを解析により確認する。

なお, 架構部材に貫通が生じないことの評価については, 主要な架構部材の外側には竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板を設置しているため, 飛来物が架構に直接衝突することはないことから, 評価対象外とする。

### 3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針

竜巻防護対策設備は「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、「2.4 構造設計」で示した構造と「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重を踏まえ、竜巻防護対策設備を構成する要素間での荷重の受け渡し、要素ごとの設計及び設計結果の全体設計への反映を行う。

竜巻防護対策設備の設計フローを図3-1に示す。

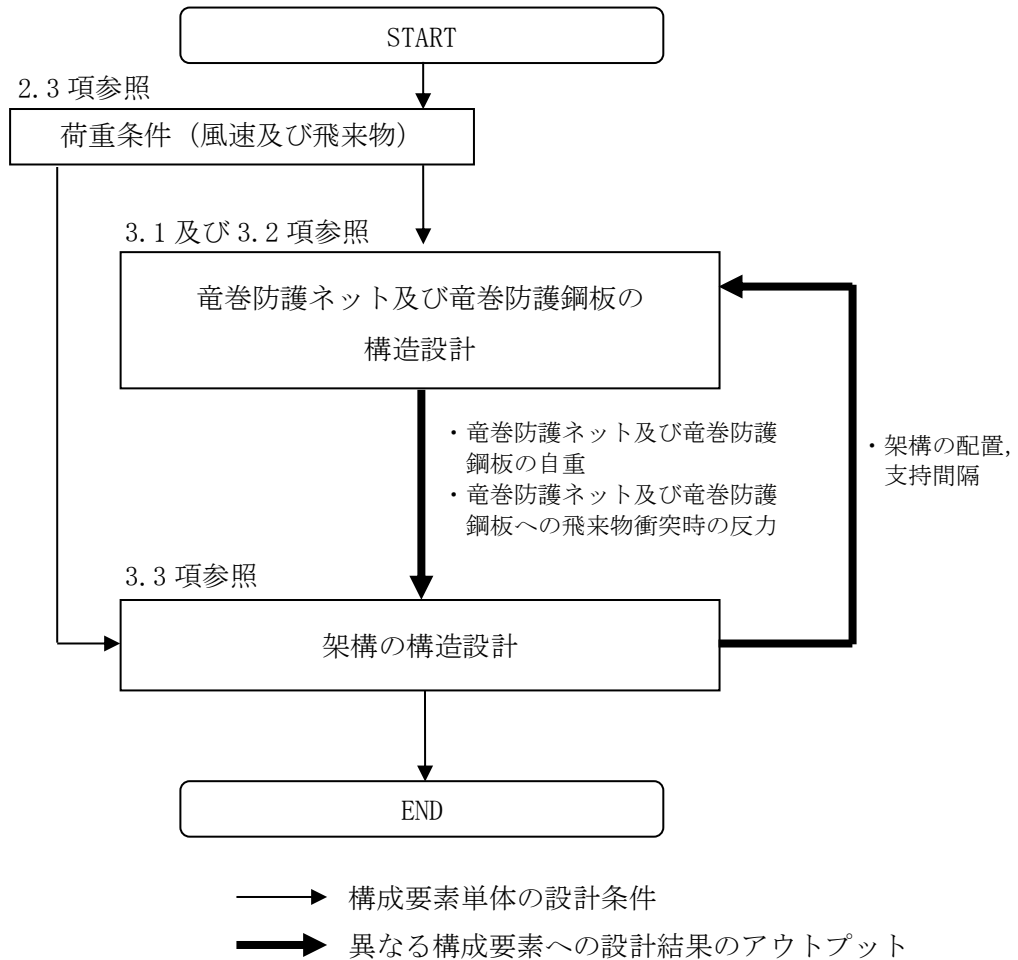


図3-1 竜巻防護対策設備の設計フロー

### 3.1 竜巻防護ネットの構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、飛来物の竜巻防護ネットへの衝突に対し、主要な部材が破断することなく架構に荷重を伝達し、たわみを生じて、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護ネットで捕捉できる設計とする。

竜巻防護ネットの設計フローを図3-2に示す。

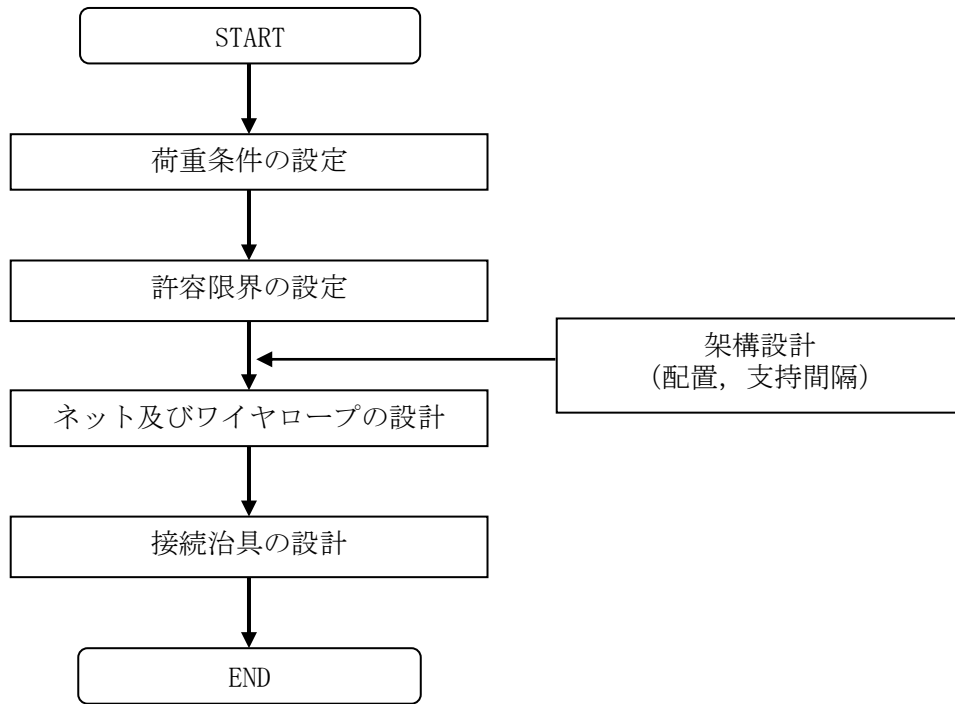


図3-2 竜巻防護ネットの設計フロー



竜巻防護ネットの概要図を図3-3に示す。ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）及び鋼製枠により構成され、ネットの4辺をワイヤロープにより支持し、ワイヤロープは鋼製枠に設置した接続治具にて支持する構造とする。ワイヤロープの端部はターンバックル又はシャックルを設置し、ターンバックル又はシャックルを鋼製枠に設置した取付けプレートに接続する構造とする。

竜巻防護ネットは、ネットに作用する荷重、ネットの有する限界吸収エネルギー及び飛来物衝突時のたわみ量を考慮し、設置するネット枚数を設計する。

竜巻防護ネットは、電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以下「電中研報告書」という。）にて適用性が確認されている評価式及びネットの物性値を用いた設計とする。

竜巻防護ネットを構成するネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）についての構造設計を以下に示す。

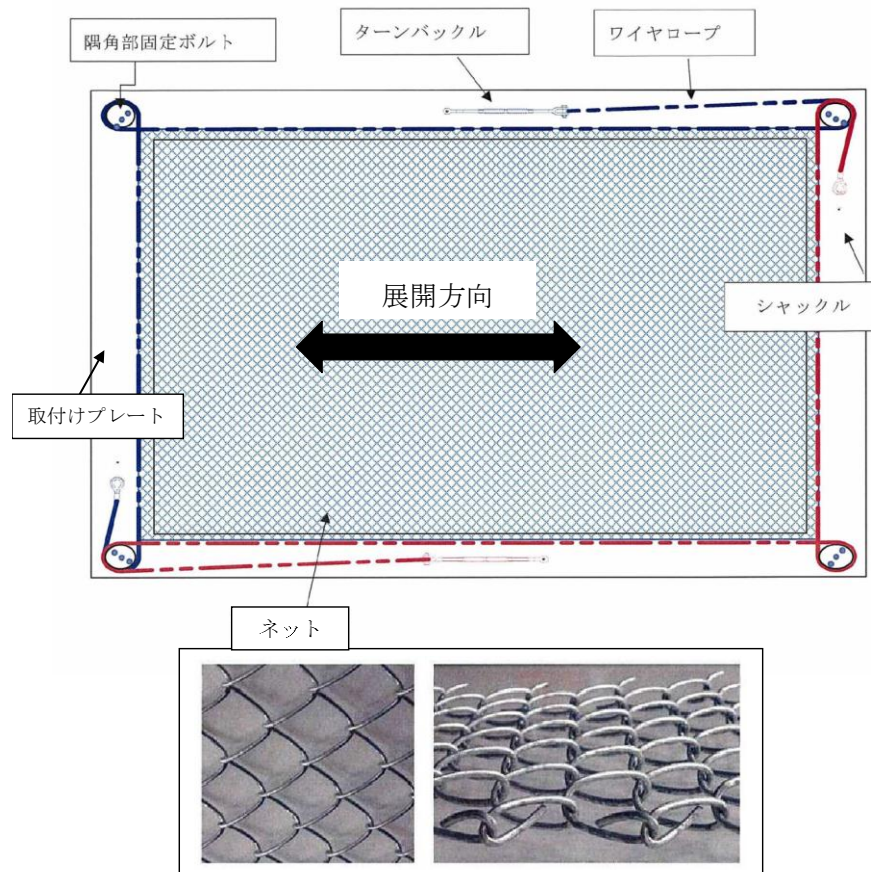


図3-3 竜巻防護ネットの概要図

(1) ネット

ネットは、らせん状の硬鋼線を山形に折り曲げて列線とし、3次元的に交差させて編み込んだものであり、編み込みの向きにより、展開方向とその直角方向の異方性を有する。展開方向が主に荷重を受け持ち、展開方向と展開直角方向で剛性や伸び量が異なるため、これらの異方性を考慮した設計とする。ネットは、電中研報告書において、その剛性、最大たわみ時のたわみ角、1目合いの破断変位等が確認されている。

ネットの寸法は、架構の柱・はりの間隔並びにネットの展開方向と展開直角方向の剛性や伸び量の異方性を考慮して、展開方向と展開直角方向の寸法の比（以下「アスペクト比」という。）について、原則として電中研報告書にて適用性が確認されている範囲（1:1~2:1）に入るように設計する。ただし、設定する寸法での限界吸収エネルギー量等を踏まえ、設置するネットの枚数を増やし、衝撃荷重に対する耐力を持たせるとともにたわみ量を低減させる設計とする。

(2) ワイヤロープ

ワイヤロープの取付部は、展開方向のワイヤロープと展開直角方向のワイヤロープで荷重の伝達分布が異なり、さらにワイヤロープの巻き方によりワイヤロープ間の荷重伝達に影響を及ぼす可能性があるため、ネットに対して2本をL字に設置することにより、ワイヤロープに作用する荷重が均一となるような設計とする。

(3) 接続治具（支持部及び固定部）

電中研報告書の評価式を適用するため、衝突試験における試験体と同じ構造を採用しており、飛来物衝突時に急激な大荷重が作用するのを抑制するために、緩衝装置を四隅に設置する設計とする。

接続治具は、ネットへの飛来物の衝突によりネットからワイヤロープを介して直接作用する荷重もしくは発生する応力に対して、破断することのない強度を有する設計とする。

接続治具（支持部）はワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルであり、接続治具（固定部）は隅角部固定ボルト及びターンバックル又はシャックルを鋼製枠に接続する取付けプレートである。

### 3.2 竜巻防護鋼板の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物の竜巻防護鋼板への衝突に対し、竜巻防護鋼板が貫通しない構造強度を有する設計とする。

竜巻防護鋼板の設計フローを図 3-4 に示す。

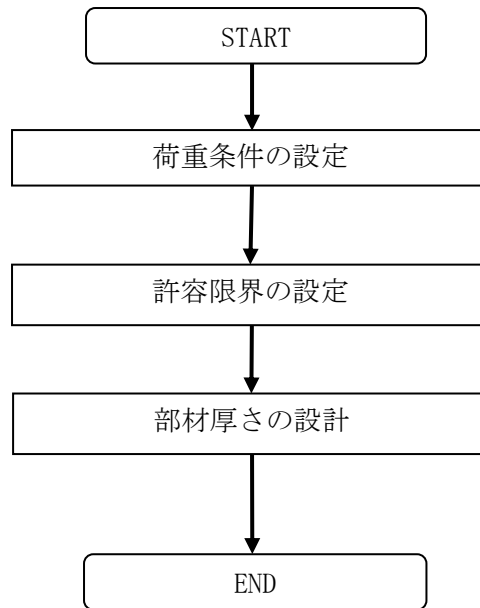


図 3-4 竜巻防護鋼板の設計フロー

### 3.3 架構の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、架構全体の転倒及び架構部材の脱落を生じない設計とする。

架構の設計フローを図3-5に示す。

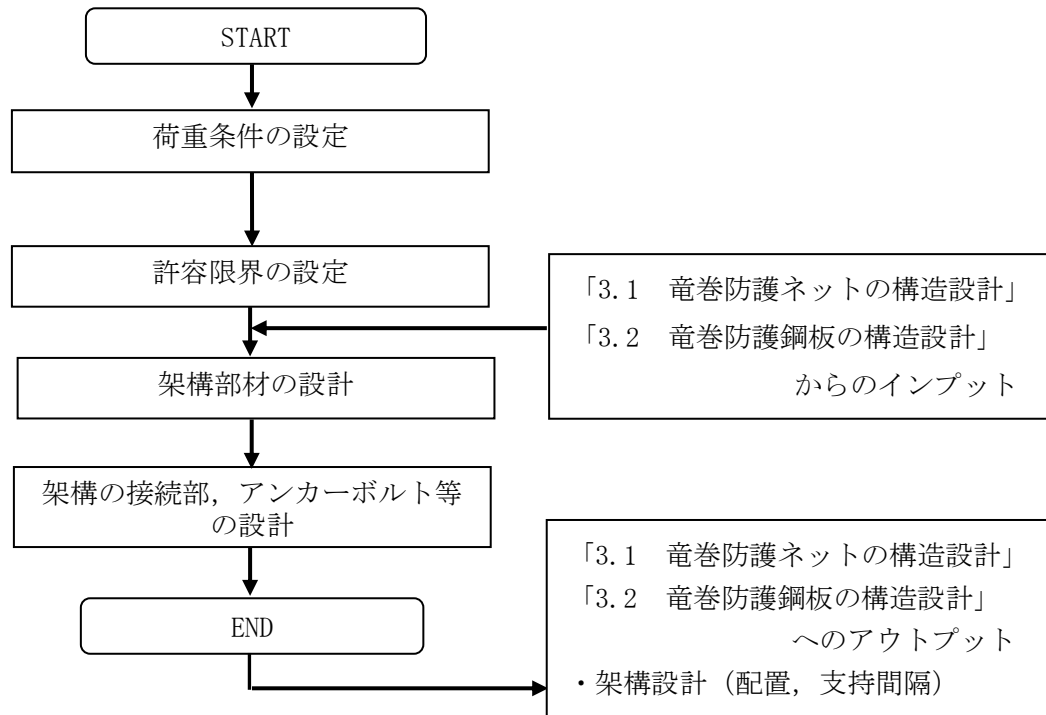


図3-5 架構の設計フロー

架構は、H形鋼等から構成し、竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構の主体構造は、柱、はり等の鋼材であり、外殻に面する柱及びはりに竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板を設置し、アンカーボルトで建物等の躯体に固定する設計とする。架構の接続部については、母材と同等の耐力を有する設計とする。

また、作用する荷重については、飛来物による衝撃荷重が支配的であり、竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板に作用する荷重を、周囲の柱、はり等に伝達し、アンカーボルトを介して建物等の躯体に伝達する設計とする。

#### 4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針

「2.3 荷重及び荷重の組合せ」, 「2.5 評価方針」及び「3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針」に基づき, 竜巻防護対策設備の構成要素ごとの評価方針を設定する。

竜巻防護対策設備を設計する上で, 飛来物の衝突回数については, 屋外の鋼製材等の飛来物となりうるものは, 飛来物発生防止管理を実施し, 飛来物となるものが少なくなるように運用することにより, 竜巻の影響期間中に複数の飛来物が同一の竜巻防護対策設備に衝突する可能性は十分低いことから, 同一の竜巻防護対策設備への複数の飛来物の衝突は考慮しない設計とする。

竜巻防護対策設備は, 飛来物の衝突に対して, 竜巻防護対策設備を構成する部材が許容限界を満足し, 外部事象防護対象施設が飛来物の影響を受けないことを確認する。

竜巻防護対策設備の評価フローを図 4-1 に示す。

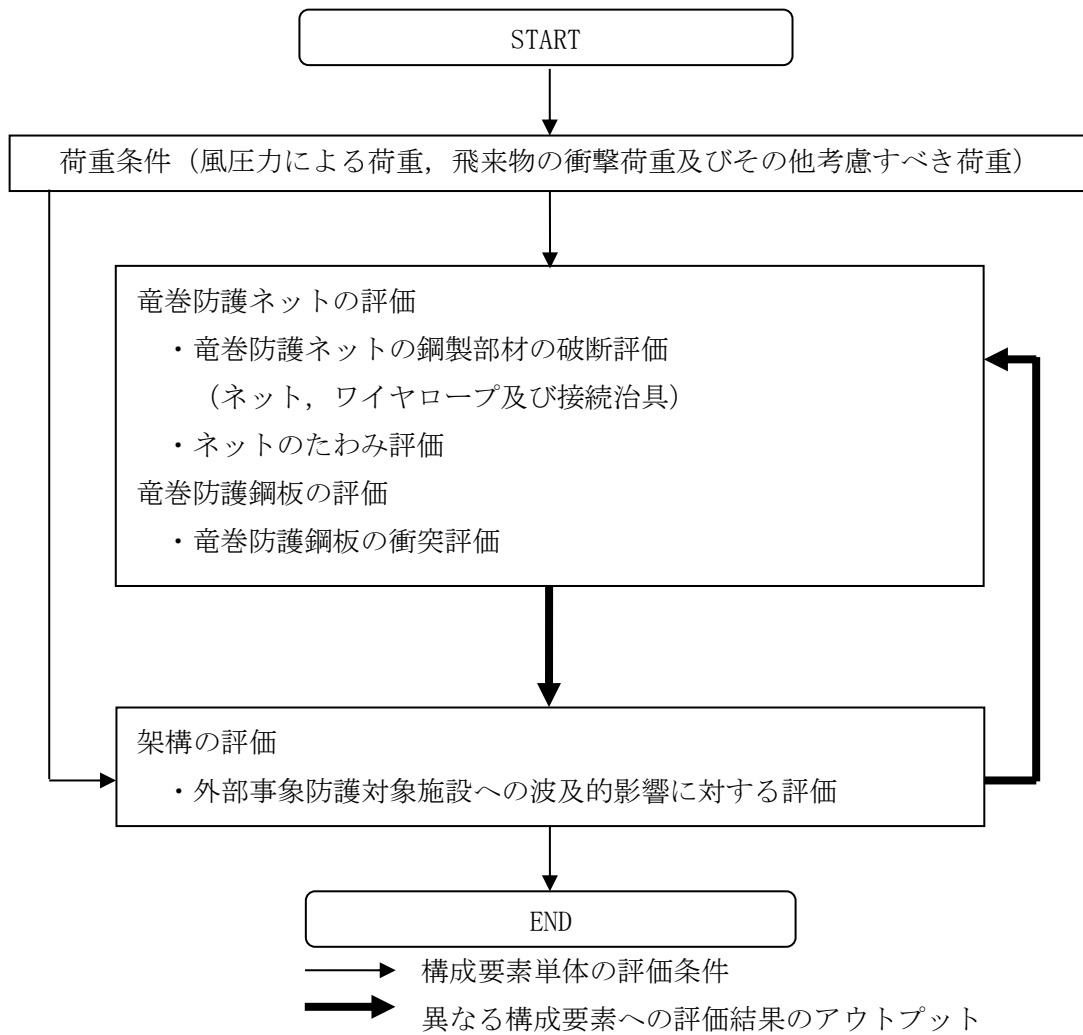


図 4-1 竜巻防護対策設備の評価フロー

#### 4.1 竜巻防護ネットの評価方針

「2.5(1) 竜巻防護ネット」の評価方針に基づき、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な部材が破断しないために、竜巻防護ネットのうちネット、ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。その方法は「6.1 竜巻防護ネットの強度評価」に示すとおり、算出されるネットの限界吸収エネルギー及び衝撃荷重を基に吸収エネルギー評価及び破断評価を行う。

また、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じても、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう、外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。その方法は、「6.1 竜巻防護ネットの強度評価」に示すとおり、算出されるネットのたわみ量を基にたわみ評価を行う。

竜巻防護ネットの評価フローを図4-2に示す。

竜巻防護ネットは竜巻による荷重が作用する場合に、破断が生じることなく、たわみを生じたとしても飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないような離隔を有することを確認する。

竜巻防護ネットの破断及びたわみに対する評価方針を以下に示す。

竜巻防護ネットの具体的な計算方法及び結果は、VI-3-別添 1-3「竜巻防護ネットの強度計算書」に示す。

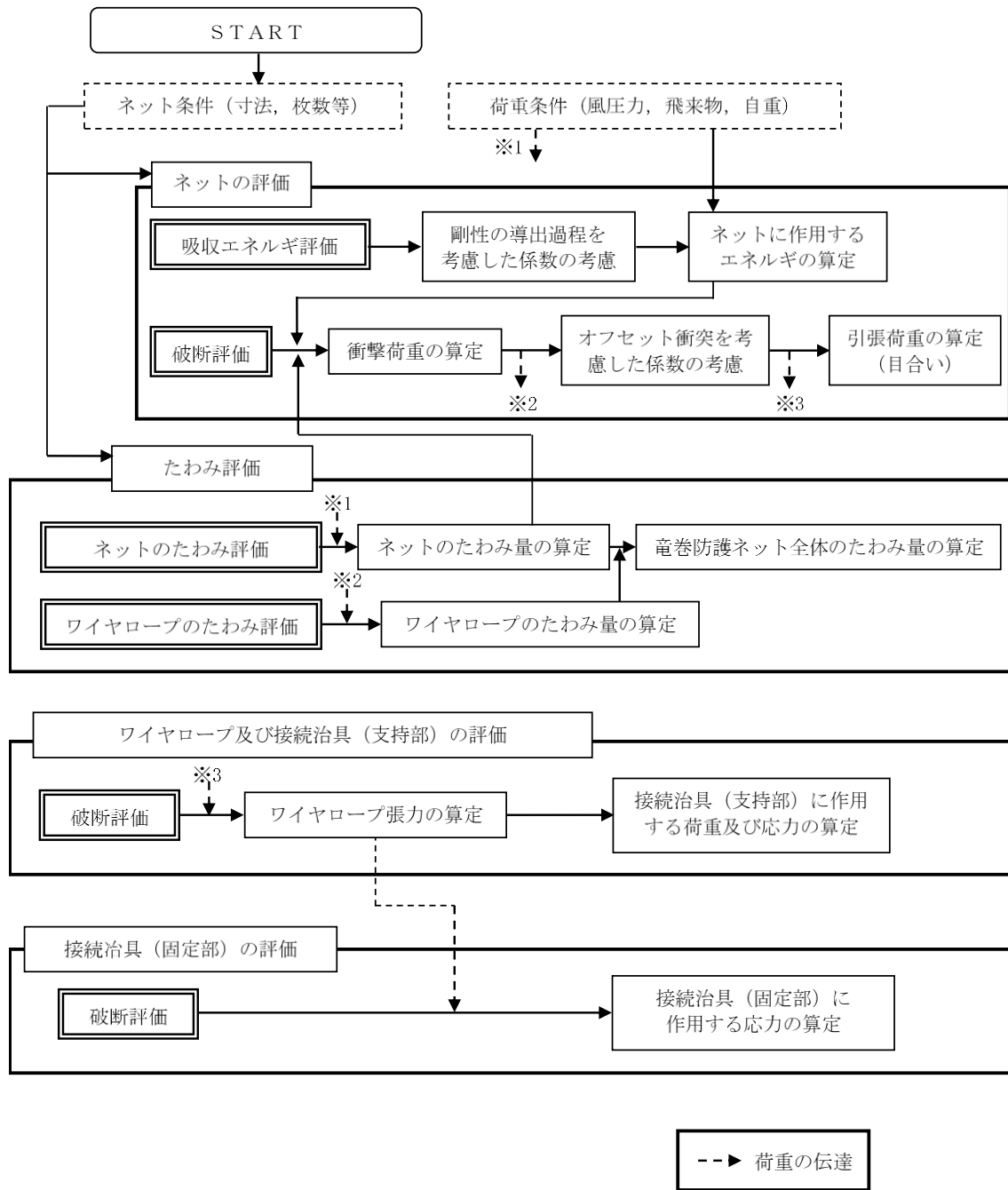


図 4-2 竜巻防護ネットの評価フロー



## (1) 強度評価

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，主要な部材が破断しないために，竜巻防護ネットのうちネット，ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

自重，風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重がネットに作用する場合に，ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認するために，以下を評価する。

ネットについては，設計竜巻による荷重が作用する場合に，ネット全体でエネルギー吸収することから，ネットの吸収エネルギーを評価する。評価方法としては，電中研報告書において，ネットへの適用性が確認されている評価式（以下「電中研評価式」という。）を参照して評価する。また，飛来物の衝突箇所において，破断が生じないことを確認するために，ネットに作用する引張荷重を，電中研評価式を参照して評価する。さらに，ネットが機能を発揮できるように，ネットに作用する荷重がワイヤロープ及び接続治具に伝達され，その荷重によりワイヤロープ及び接続治具（支持部）に発生する荷重，並びに接続治具（固定部）に発生する応力が許容値以下であることを確認する。

ネット，ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の破断に対する評価においては，ネット寸法に対するアスペクト比及びネットの衝突位置の影響について，以下のとおり考慮して評価を実施する。

### a. ネットの吸収エネルギー評価

ネットの吸収エネルギー評価においては，ネットの目合いの方向に従ってネットの剛性を設定し，ネットのエネルギー吸収に有効な面積を考慮し，アスペクト比を考慮して，ネットの有効面積を設定し評価を実施する。また，飛来物の衝突位置の違いによりたわみ量の影響があり，衝突位置，ネットの剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して，評価を実施する。

ネットのアスペクト比については，ネットのエネルギー吸収性能が主に荷重を受け持つ展開方向寸法によることから，評価ごとに保守的な評価となるように，評価においてはアスペクト比を考慮した展開方向及び展開直角方向の寸法を設定する。

### b. ネット，ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の破断評価

ネットの破断評価においては，吸収エネルギー評価と同様にネットのアスペクト比を考慮して，ネットの有効面積を設定し評価する。ネットのアスペクト比は，ネット目合いの方向を踏まえ，評価が保守的となるように，ネットの有効面積を設定して評価を実施する。

また，衝突位置を考慮して評価を実施する。

ネット，ワイヤロープ及び接続治具については，飛来物の衝突位置として，中央位置からずれた（以下「オフセット」という。）衝突についても考慮する。具体的には，電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施するため，オフセット位置に衝突する場合の評価においては，中央位置に衝突する場合とオフセット位

置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。

ネットのアスペクト比については、吸収エネルギー評価と同様に考慮する。

(2) たわみ評価

設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、竜巻防護ネットのうちネット及びワイヤロープが、たわみを生じても、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

竜巻防護ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重がネットに作用する場合に、ネットがたわむことでエネルギーを吸収することから、ネット及びワイヤロープがたわんでも、ネットと外部事象防護対象施設が衝突しないことを確認するために、ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては、電中研評価式等を用いて評価する。

ネット及びワイヤロープのたわみ評価においても、構造強度評価と同様にネット寸法に対するアスペクト比を考慮する必要があるため、評価が保守的となるように、ネットの有効面積を設定して評価を実施する。

評価の条件についても、構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置を考慮して評価を実施する。

#### 4.2 竜巻防護鋼板の評価方針

竜巻防護鋼板については、「2.5(2) 竜巻防護鋼板」の評価方針に基づき、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために、竜巻防護鋼板が飛来物の貫通を生じない必要最小厚さ以上であることを確認する。

竜巻防護鋼板の評価フローを図4-3に示す。

竜巻防護鋼板の具体的な計算方法及び結果は、VI-3-別添1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す。

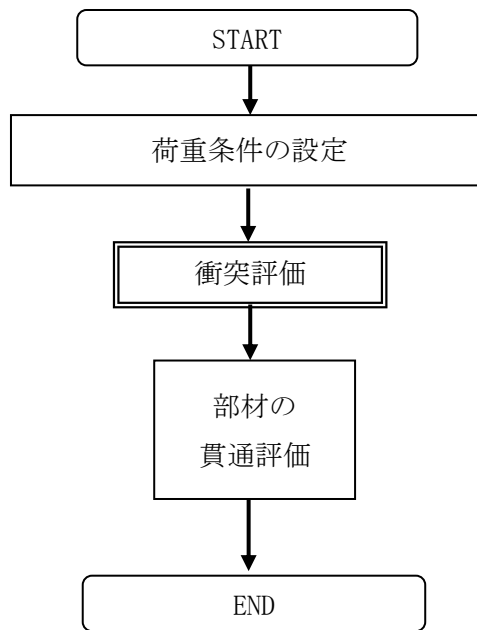


図 4-3 竜巻防護鋼板の評価フロー

##### (1) 衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、竜巻防護鋼板が外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させないために、竜巻防護鋼板が飛来物の貫通を生じない必要最小厚さ以上であることを計算により確認する。必要最小厚さは解析により算出する。算出方法は、FEMを用いた解析とし、使用する解析コードは「Virtual Performance Solution」とする。

#### 4.3 架構の評価方針

「2.5(3) 架構」の評価方針に基づき、上載する竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板の自重並びに竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、架構全体の転倒及び架構部材の脱落を生じないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、架構全体の転倒及び架構部材の脱落に至るような変形が生じないことを解析により確認する。

架構の評価フローを図4-4に示す。

架構の具体的な計算方法及び結果は、VI-3-別添1-5「架構の強度計算書」に示す。

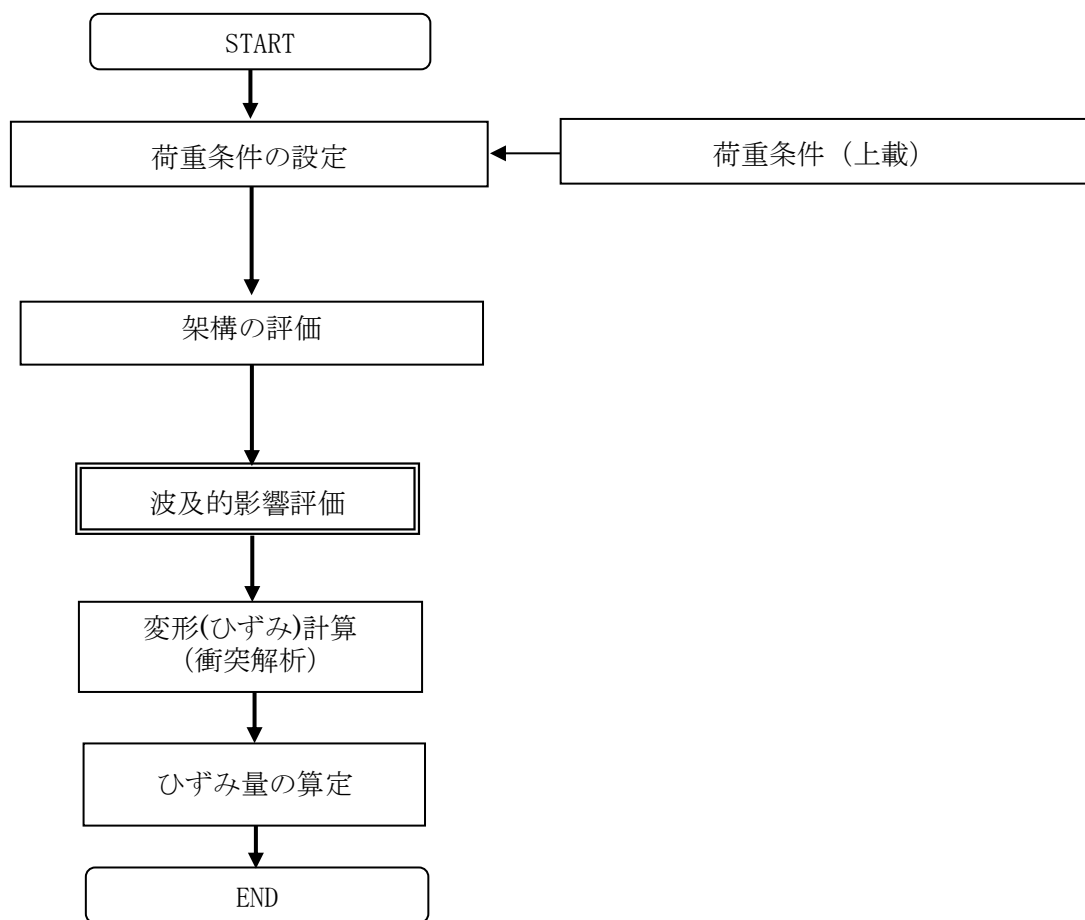


図4-4 架構の評価フロー

(1) 波及的影響評価

上載する竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板の自重並びに竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し、これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認及び外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、架構部材に破断が生じ、支持する竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板が脱落しないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに架構全体が竜巻防護対策設備の転倒に至るような変形が生じないことを解析により確認する。

設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重が架構に作用する場合に、以下のとおり評価する。

a. 架構全体

架構全体については、飛来物が衝突した際の架構のひずみ量を評価し、架構全体が転倒及び架構部材の脱落に至らないことを確認する。評価方法は、FEMを用いた解析とする。使用する解析コードは「Virtual Performance Solution」とする。

5. 許容限界

「2.5 評価方針」及び「4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針」を踏まえ、竜巻防護対策設備の構成要素ごとの設計に用いる許容限界を設定する。

5.1 竜巻防護ネットの許容限界

(1) 許容限界の設定

a. 構造強度評価

竜巻防護ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対する評価を行うため、破断せず、荷重が作用するとしても竜巻防護ネットが内包する外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させないために、竜巻防護ネットの主要な部材が、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを許容限界として設定する。

竜巻防護ネットのうちネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の許容限界を以下のとおり設定する。

(a) ネット

ネットの許容限界は、吸収エネルギー評価及び破断評価（引張荷重評価）において設定する。

吸収エネルギー評価は、飛来物によりネットに与えられる全エネルギーがネットの限界吸収エネルギー以下であることにより、ネットが破断しないことを確認することから、ネットの限界吸収エネルギーを許容限界とする。

破断評価は、ネットが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としている。ネットは、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、飛来物の衝撃荷重に対し、ネットの許容引張荷重を許容限界とする。

ネットの許容限界を表 5-1 に示す。

表 5-1 ネットの許容限界

許容限界	
吸収エネルギー評価の許容値	破断評価の許容値
等価剛性の導出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギー	ネット設置枚数を考慮した許容引張荷重
$E_{max}'$	$F_{max}$

## (b) ワイヤロープ

ワイヤロープの端部にはワイヤグリップを取付ける。一般にワイヤロープの破断荷重の値はメーカーの引張試験によれば J I S 規格値よりも大きいので、ワイヤロープの許容限界は、J I S に規定する破断荷重にワイヤグリップ効率  $C_c$  を乗じた値とする。

ワイヤロープの許容限界を表5-2に示す。

表 5-2 ワイヤロープの許容限界

規格値	許容限界
$F_2^{*1}$	$C_c^{*2} \cdot F_2^{*1}$

注記\*1: J I S G 3549の破断荷重

\*2: J I S B 2809及び(社)日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

## (c) 接続冶具(支持部)

接続冶具(支持部)の強度評価は、接続冶具(支持部)として、ワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルが、ワイヤロープから受ける引張荷重に対し、破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、ターンバックルについては J I S に規定する保証荷重の 1.5 倍を、シャックルについては試験結果に基づくメーカー保証値を許容限界とする。

ターンバックル及びシャックルの許容限界を表 5-3 に示す。

表5-3 接続冶具の許容限界

評価部位	許容荷重
ターンバックル	$F_3^{*1}$
シャックル	$F_4^{*2}$

注記\*1: J I S A 5540の保証荷重の 1.5 倍

\*2: 試験結果に基づくメーカー保証値

## (d) 接続冶具(固定部)

接続冶具(固定部)の破断評価は、接続冶具(固定部)である隅角部固定ボルト及び取付けプレートが、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、鋼構造設計規準に基づいた短期許容応力度を許容限界とする。

設計竜巻による荷重は、ネットに作用し、ワイヤロープを介して接続冶具に作用するため、評価対象は、接続冶具(固定部)である隅角部固定ボルト及び取付けプレートとする。取付けプレートは、プレート本体、プレートと鋼製枠、プレートとリブ及び鋼製枠とリブの溶接部が存在するが、強度評価上、溶接脚長が短い取付けプレートとリブの溶接部を評価対象部位とする。

接続治具（固定部）の許容限界を表 5-4 に示す。

表 5-4 接続治具（固定部）の許容限界

許容限界
せん断
$1.5 f_s^*$

注記\*：鋼構造設計規準に基づいた短期許容応力度

b. たわみ評価

竜巻防護ネットは，飛来物衝突時にたわんだとしても，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することがないように，十分な離隔を有していることを確認する評価方針としていることを踏まえ，ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離  $L_{min}$  を許容限界として設定する。

竜巻防護ネットのたわみ評価の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-5 竜巻防護ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
竜巻防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
$L_{min}$



(2) 許容限界の設定方法

a. 記号の定義

竜巻防護ネットのうち、ネットの強度評価における許容限界の算出に用いる記号を表5-6に示す。

表5-6 ネットの強度評価における許容限界の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$a$	mm	ネット1目合いの対角寸法
$a_s$	mm	ネット1目合いの破断変位
$b$	mm	飛来物の端面の長辺方向寸法
$c$	mm	飛来物の端面の短辺方向寸法
$E_i$	kJ	$i$ 番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
$E_{max}$	kJ	ネット設置枚数 $n$ を考慮した限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	等価剛性の算出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$F_i$	kN	飛来物衝突時の $i$ 番目の列における作用力
$F_{max}$	kN	ネット設置枚数 $n$ を考慮したネットの許容破断荷重
$F_1$	kN	ネット1交点あたりの許容引張荷重
$K$	kN/m	ネット1目合いの等価剛性
$K_x'$	kN/m	ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
$K_x$	kN/m	ネット設置枚数 $n$ を考慮したネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
$L_x$	m	ネット展開方向寸法
$L_y$	m	ネット展開直角方向寸法
$n$	—	主金網の設置枚数
$N_i$	—	$i$ 列目のネット展開直角方向目合い数
$N_x$	—	ネット展開方向目合い数
$N_y$	—	ネット展開直角方向目合い数
$P_i$	kN	飛来物衝突時にネットに発生する $i$ 番目の列における張力
$X_i$	m	$i$ 列目のネットの伸び
$\delta_i$	m	飛来物衝突時の $i$ 番目の列におけるネットのたわみ量
$\delta_{max}$	m	ネットの最大たわみ量
$\theta_i$	deg	$i$ 番目の列におけるネットたわみ角
$\theta_{max}$	deg	ネットの最大たわみ角

b. 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用するエネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。ネット1目合いの要素試験の結果から得られる目合い方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり、ネット最大変形角におけるエネルギー吸収量がネットの有する最大吸収エネルギー $E_{max}$ となる。この値に以下の係数を考慮した値を吸収エネルギー評価の許容限界とする。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また、ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

限界吸収エネルギーは、ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性、展開方向寸法及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図を図5-1に示す。

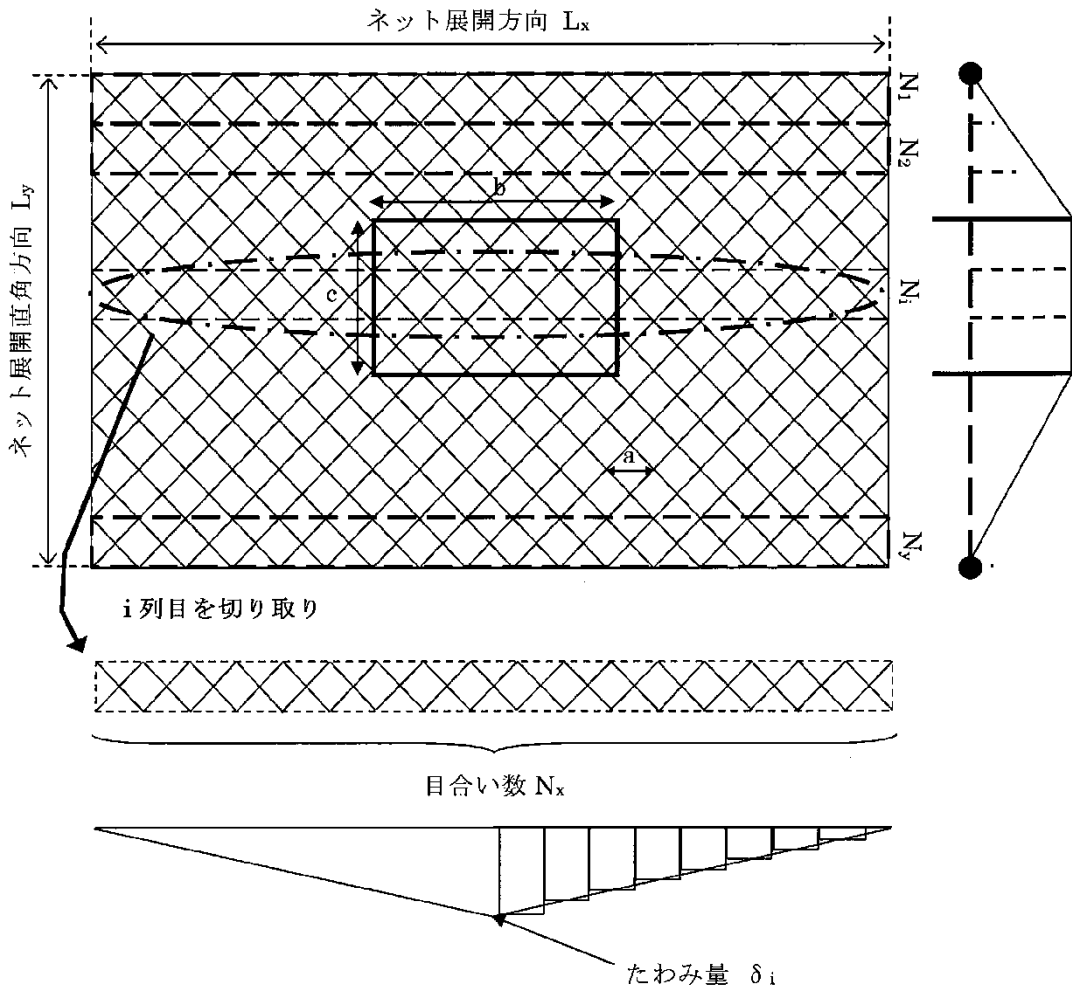


図5-1 吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

図5-1に示すとおりネットの展開方向に1目合いごとに□で囲った形に帯状に分割し、 $N_1$ から $N_y$ までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみが発生する列数は、飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法 ( $b \times c$ ) 及びネット目合いの対角寸法  $a$  を考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法  $c$  を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギー量が小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に1目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギー量が小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを図5-2に示す。

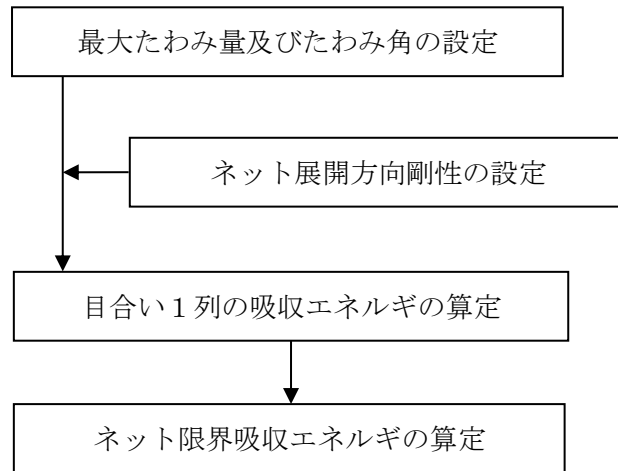
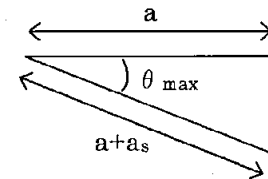


図5-2 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

ネット1目合いの最大伸び量は、電中研報告書のネット目合いの引張試験から求められ、そこから算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量  $\delta_{max}$  は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan \theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left( \frac{a}{a + a_s} \right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数  $N_x$  は、ネット展開方向寸法  $L_x$  及びネット1目合いの対角寸法  $a$  から求める。展開直角方向の目合い数  $N_y$  は、ネット展開直角方向寸法  $L_y$  及びネット1目合いの対角寸法  $a$  から求める。ネットを構成する1目合いはそれぞれ  $K$  の等価剛性を持っているため、1目合いあたりばね定数  $K$  を持つばねを  $N_x$  個直列に接続したものと考えることができる。そのため、1列あたりの剛性  $K_x'$  は、

$$N_x = \frac{1000 \cdot L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000 \cdot L_y}{a}$$

$$\text{ネット展開方向剛性 } K_x' = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 $N_x$ 、 $N_y$  の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように  $N_x$  は保守的に切り上げ、 $N_y$  は保守的に切り捨てた値を用いる。また、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性  $K_x$  は、次式により算出される。電中研報告書によると、40mm目合いの補助金網は、飛来物落下試験において40mm目合い0.5枚相当の吸収エネルギー能力を有していることが確認されていることから、補助金網については、40mm目合いの金網0.5枚として考慮する。

$$K_x = K_x' \cdot (n + 0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量  $\delta_i$  は、最大たわみ量  $\delta_{max}$  から定着部のたわみ

量0までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を図5-3に示す。

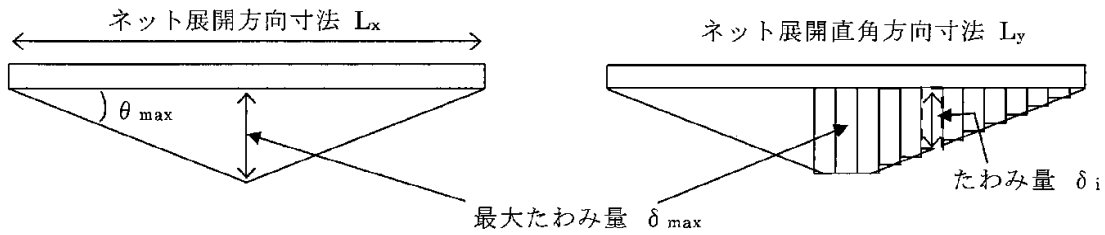


図5-3 ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を、ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを図5-4に示す。

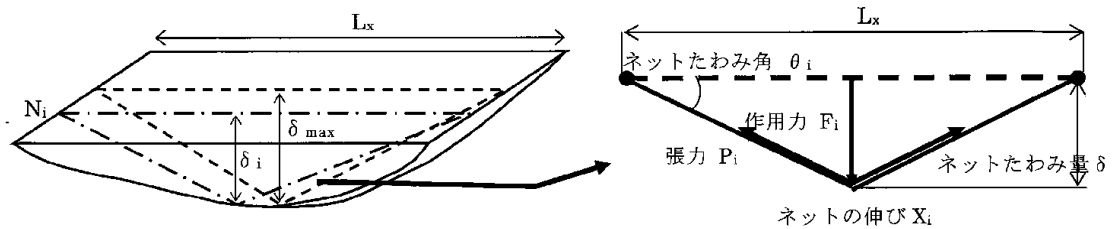


図5-4 ネットに作用する力のつり合い

i番目の列におけるネットの張力Piは、飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると、伸び量はXi/2、剛性は2Kxとなることから、

$$P_i = 2 \cdot K_x \cdot \frac{X_i}{2}$$

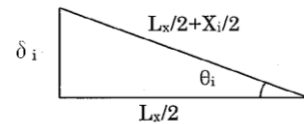
$$= K_x \cdot X_i$$

となる。また、作用力Fiは変位量とたわみ量の関係から、

$$F_i = 2 \cdot P_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot L_x \cdot (\tan \theta_i - \sin \theta_i)$$



$$= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots \dots \dots (5. 1)$$

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力Fiを積分することによりi番目の列における吸収エネルギーEiを次式に示す。

$$\begin{aligned}
 E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d \delta_i \\
 &= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) d \delta_i \\
 &= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \dots\dots\dots (5. 2)
 \end{aligned}$$

以上から、ネット設置枚数  $n$  を考慮した限界吸収エネルギー  $E_{max}$  は、各列の吸収エネルギー  $E_i$  を第 1 列から第  $N_y$  列まで積算することにより求められる。

$$\begin{aligned}
 E_{max} &= \sum_{i=1}^{N_y} E_i \\
 &= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \dots\dots\dots (5. 3)
 \end{aligned}$$

また、等価剛性の導出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数を考慮した限界吸収エネルギーを  $E_{max}'$  とする。係数としては、電中研報告書のネット引張試験結果より 1/1.03 と定める。

$$E_{max}' = \frac{1}{1.03} \cdot E_{max} \dots\dots\dots (5. 4)$$

c. 破断評価

ネットの破断評価においては、計算により算出するネットの許容引張荷重が飛来物の衝撃荷重以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。

40mm 目合いのネットに飛来物（鋼製材）が衝突した評価モデルを図 5-5 に示す。

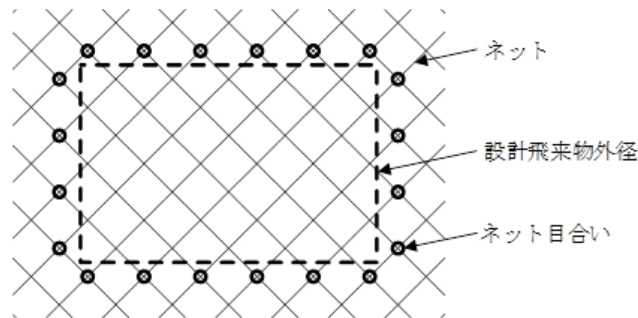


図 5-5 40mm 目合いのネットに飛来物が衝突した評価モデル

ネットの許容引張荷重はネットの 1 交点あたりの許容引張荷重から定まり、飛来物衝突時の周辺交点数から算出される許容引張荷重を許容限界とする。

図 5-5 に示すように、40mm 目合いのネットは飛来物（鋼製材）が衝突した際、20 交点が接触するため、許容引張荷重  $F_{max}$  は以下のとおり算出される。

$$F_{max} = F_1 \cdot 20 \cdot n$$

## 5.2 竜巻防護鋼板の許容限界

### (1) 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻防護鋼板に貫通が生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、解析により求めた飛来物の必要最小厚さを許容限界として設定する。解析における鋼板の破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限值を基に設定するが、「NEI 07-13 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」(以下「NEI 07-13」という。)において、TF (多軸性係数) を考慮することが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として二軸引張状態で $TF = 2.0$ を考慮して設定する。

### 5.3 架構の許容限界

#### (1) 波及的影響評価

上載する竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板の自重並びに竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し、これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認及び外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、架構全体が竜巻防護対策設備の転倒に至るような変形が生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ以下のとおり許容限界を設定する。

##### a. 架構全体

架構全体の評価は、局所的なひずみの影響を考慮してひずみ量を評価し、破断が生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、NEI 07-13において、T F（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として二軸引張状態で $T F = 2.0$ を考慮して設定する。最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。



## 6. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ FEM等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

### 6.1 竜巻防護ネットの強度評価

#### (1) 評価方針

- ネットの限界吸収エネルギーの算出においては、ネットの展開直角方向に1目合いごとに帯状に分割し、各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出する。
- ネットの限界吸収エネルギーの算出においては、ネットを構成する1目合いはそれぞれKの等価剛性を持っているため、1列あたりばね定数Kを持つばねを $N_x$ 個直列に接続したものと考える。
- 自重及び風圧力によるネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであり、ネット展開直角方向に対しては荷重が均一となるよう作用させる。
- 一方、ネット展開方向に対しては、設計モデル上均一に荷重を作用させることが困難であるため、保守的にエネルギー量が大きくなるよう、自重及び風圧力によりネットに作用する荷重 $F_w$ が全てネット展開方向 $L_x$ の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて1列あたりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表6-1に示す。

表 6-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位		評価内容
ネット		<ul style="list-style-type: none"> <li>・限界吸収エネルギー</li> <li>・破断</li> <li>・たわみ</li> </ul>
ワイヤロープ		<ul style="list-style-type: none"> <li>・破断</li> <li>・たわみ*</li> </ul>
接続治具（支持部）	ターンバックル	・破断
	シャックル	・破断
接続治具（固定部）	隅角部固定ボルト	・破断
	取付けプレート溶接部	・破断

注記\*：竜巻防護ネット全体のたわみ評価に用いる。

(3) 強度計算

a. 記号の定義

ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の強度評価に用いる記号を表 6-2 に示す。

表 6-2 ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の  
強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
$a_w$	mm	取付けプレート溶接部ののど厚
$A_b$	mm <sup>2</sup>	隅角部固定ボルトの断面積
$E_f$	kJ	飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
$E_i$	kJ	i 番目の列におけるネットの吸収可能エネルギー
$E_{max}$	kJ	ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	等価剛性の導出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$E_t$	kJ	ネット設置枚数 n を考慮したネットに作用する全エネルギー
$E_w$	kJ	自重及び風圧力によりネットに作用するエネルギー
$F_a$	kN	飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
$F_a'$	kN	飛来物衝突時にネットが受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
$F_i$	kN	飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
$F_p$	kN	飛来物がネットに衝突する際 1 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_p'$	kN	飛来物がネットに衝突する際 2 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_w$	kN	自重及び風圧力によりネットに作用する荷重
$F_x$	kN	飛来物がネットに衝突する際にワイヤロープから隅角部へ作用する X 方向の合成荷重
$F_y$	kN	飛来物がネットに衝突する際にワイヤロープから隅角部へ作用する Y 方向の合成荷重
$K_x$	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
$L$	mm	取付けプレートの面取り長さ
$L_b$	m	変形前のワイヤロープ長さ
$L_{pw}$	mm	取付けプレートの溶接部の有効長さ
$L_{p1}$	mm	取り付けプレート長さ（縦方向）
$L_{p2}$	mm	取り付けプレート長さ（横方向）
$L_s$	m	直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計

表6-2 ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の  
強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
$L_x$	m	ネット展開方向寸法（吸収エネルギー、破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
$L_y$	m	ネット展開直角方向寸法（吸収エネルギー、破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
$L_y'$	m	飛来物衝突の影響範囲
$L_z$	m	ワイヤロープの全長
$m$	kg	飛来物の質量
$n$	—	主金網の設置枚数
$n_2$	—	隅角部固定ボルト本数
$N_y$	—	ネット展開直角方向目合い数
$P_w$	kN	ネットの自重により作用する荷重
$S$	m	変形後のワイヤロープの長さ
$S_w$	mm	取付けプレート溶接部の隅肉厚さ
$S_x$	m	ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さ
$S_y$	m	ネット展開方向と直行するワイヤロープの変形後の長さ
$V$	m/s	飛来物の飛来速度
$T_1'$	kN	飛来物のネットへの衝突によりワイヤロープに発生する張力
$T_1''$	kN	補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力
$T_x$	kN	飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
$T_x'$	kN	飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
$T_y$	kN	飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
$T_y'$	kN	飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
$W_w$	kN	風圧力による荷重
$\varepsilon$	—	ワイヤロープのひずみ量
$\delta$	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\delta'$	m	変形によるワイヤロープ伸び量
$\delta_a$	m	自重及び風圧力による荷重によるたわみ量

表 6-2 ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の  
強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$\delta_i$	m	飛来物衝突時の i 番目の列におけるネットのたわみ量
$\delta_L$	m	直線区間のワイヤロープたわみ量
$\delta_t$	m	ネットとワイヤロープの合計たわみ量
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\delta_{wx}$	m	ネット展開方向に平行に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
$\delta_{wy}$	m	ネット展開方向に直交に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
$\theta$	deg	飛来物衝突時のネットのたわみ角
$\theta_{w1}$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_x$	deg	飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットたわみ角
$\theta_y$	deg	飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットたわみ角
$\tau_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	MPa	取付けプレート溶接部に発生するせん断応力

## b. 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、電中研評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー算定のモデル化を行い、自重、風圧力による荷重及び飛来物による衝突荷重による荷重及び自重によるエネルギーを算出する。

評価においては、複数枚の重ね合わせたネットを一体として考えたモデルにて評価を実施する。

式(5. 3)及び(5. 4)より、 $E_{max}$ 及び $E_{max}'$ は以下のとおりである。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

$$E_{max}' = \frac{1}{1.03} \cdot E_{max}$$

自重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方、ネット展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、ネットに作用するエネルギーが保守的に大きくなるよう、 $F_w$ が全てネット展開方向 $L_x$ の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて1列あたりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。

評価条件である $K_x$ 及び $L_x$ 並びに自重及び風圧力による荷重から算出する $F_w$ を式(5. 1)の $F_i$ に代入して数値計算を実施することにより、自重及び風圧力による荷重によるたわみ量 $\delta_a$ が算出される。

$$F_w = N_y \cdot 4 \cdot K_x \cdot \delta_a \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

ただし、 $F_w = P_w + W_w$

上式にて算出した $\delta_a$ を式(5. 3)において、展開方向の1列あたりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを列数倍する以下の式に代入することにより、自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー $E_w$ が算出される。

$$E_w = N_y \cdot \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー $E_f$ としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

飛来物の飛来速度は、ネットの設置方向により、水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は、評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また、飛来物がネットの設置方向に対して斜め方向から衝突する場合は、飛来物が衝突後に回転し、ネットと飛来物の衝突面積が大きくなるため、ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。

したがって、飛来物の衝突方向は、ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし、その飛来速度はネットの設置方向に応じ、水平設置の場合は鉛直最大飛来速度、鉛直設置の場合は水平最大飛来速度を用いる。

以上から、ネット設置枚数 $n$ を考慮したネットに作用する全エネルギー $E_t$ が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \quad \dots\dots\dots (6. 1)$$

### c. 破断評価

#### (a) ネットの引張荷重評価

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値 $F_a$ は、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した式(2. 8)のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、自重及び風圧力による荷重を考慮するため、 $E_f$ を $E_t$ と置き換えて、式(2. 8)より

$$F_a = \frac{8 \cdot E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

$E_t$ としては、式(6. 1)により飛来物による運動エネルギー $E_f$ 並びに自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー $E_w$ から算出したネットに作用する全エネルギー量を代入する。 $\delta$ としては、たわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量を代入し、 $F_a$ を算出する。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数 1.211 を考慮し、衝撃荷重の最大値 $F_a'$ は、

$$F_a' = 1.211 \cdot F_a$$

にて算出される。

## (b) ワイヤロープの破断評価

破断評価における衝撃荷重と、ネットとワイヤロープの接続構造からワイヤロープに作用する荷重を導出する。

ワイヤロープの設計において、ワイヤロープに発生する荷重として以下を考慮する。

- ① ネットの自重により作用する荷重
- ② 風圧力によりネットに作用する荷重
- ③ 飛来物の衝突によりネットに作用する衝撃荷重

竜巻防護ネットは、電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し、さらにワイヤロープが緩衝材により拘束されない構造としており、衝突試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。

自重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値 $F_a'$ が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、飛来物が衝突する場合の設置枚数 $n$ を考慮したネットに発生する張力の合計である張力 $T'$ は、図6-1に示すネットに発生する力のつり合いより以下のとおり算出され、各辺のワイヤロープが結合されていることから張力が一定となるため、ワイヤロープ1本が負担する張力は $T'/2$ と設定する。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \cdot \sin \theta}$$

ただし、 $\theta$ は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \cdot \delta}{L_x}$$

ネットに発生する力のつり合いを図6-1に示す。

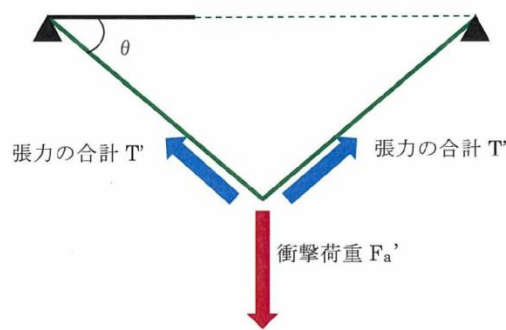


図6-1 ネットに発生する力のつり合い

主金網を $n$ 枚重ねて設置する場合、1枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値 $T_1'$ は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1}{n} = \frac{F_a'}{4 \cdot n \cdot \sin \theta}$$

と算出される。

さらに、ワイヤロープが支持する補助金網の影響を考慮する。電中研報告書による



と、主金網  $n$  枚及び補助金網 1 枚を重ねて設置する場合、補助金網を設置したネットのワイヤロープに作用する張力は、その他のネットの張力の 1.5 倍となることを考慮すると、主金網  $n$  枚及び補助金網 1 枚を重ねて設置する場合、1 枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値  $T_{1'}'$  は、

$$T_{1'}' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1.5}{n+0.5} = \frac{F_a'}{4 \cdot \sin \theta} \cdot \frac{1.5}{n+0.5}$$

と算出される。

ネットに対して飛来物がオフセット衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生することが衝突試験により確認されており、算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。

(c) 接続治具（支持部）の破断評価

イ. ターンバックル

ターンバックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても、許容値を満足することを確認することから、引張荷重の最大値としてワイヤロープに発生する張力  $T_{1'}'$  により評価を実施する。

ロ. シャックル

シャックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても、許容値を満足することを確認することから、引張荷重の最大値としてワイヤロープに発生する張力  $T_{1'}'$  により評価を実施する。

(d) 接続治具（固定部）の破断評価

イ. 隅角部固定ボルト

ワイヤロープは、設置するネット枚数に応じて設置するため、隅角部固定ボルトにかかる応力は、ネット枚数ごとに評価する。

ここで、ワイヤロープはたわみにより鋼管に対して  $\theta_{w1}$ ,  $\theta_{w2}$  の水平投影たわみ角を有することから、隅角部へ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。鉛直方向成分は、水平方向成分のように溶接部に対する有意な荷重ではないことから、面内荷重で評価する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 6-2 に示す。

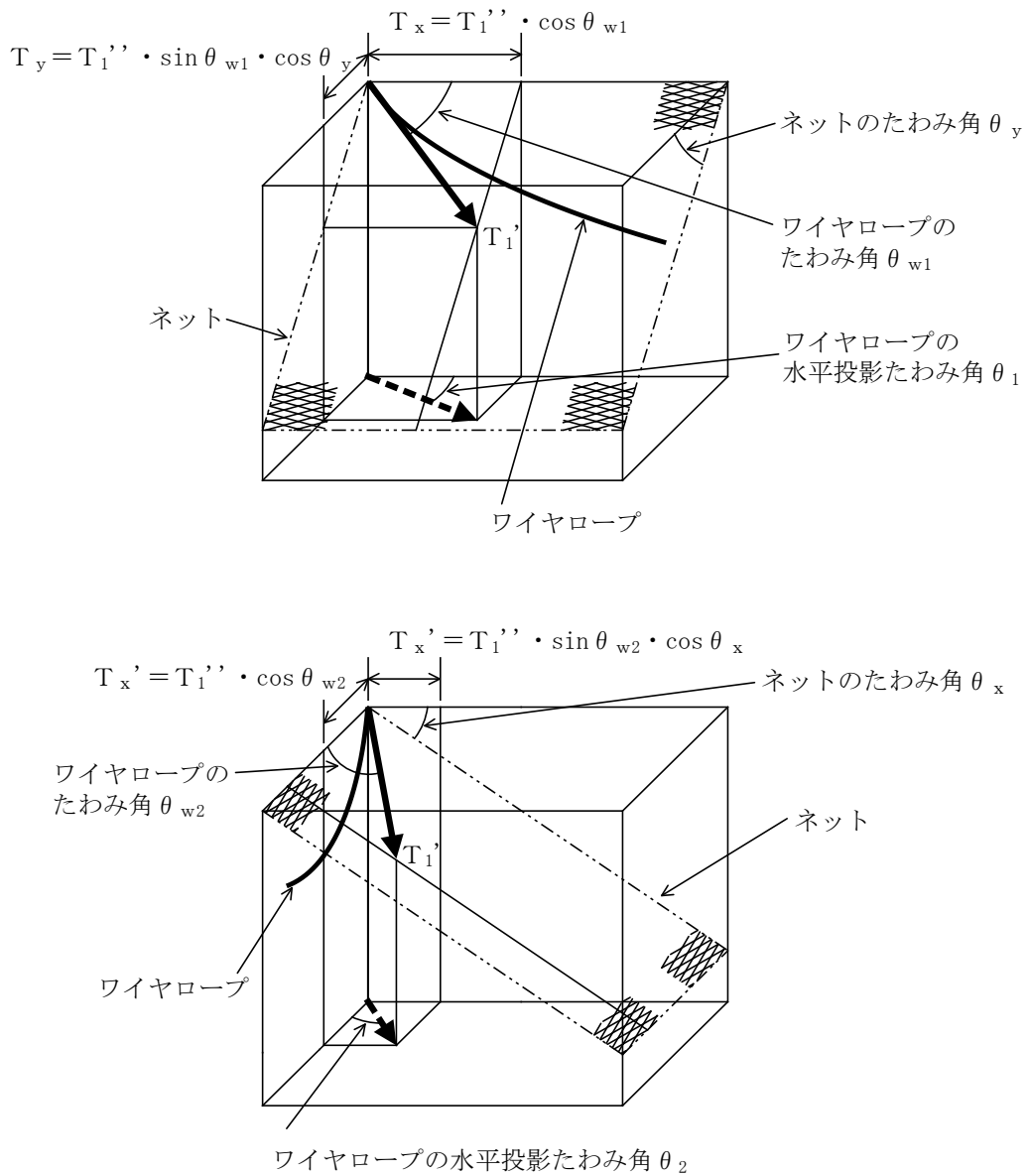


図6-2 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

鋼管の荷重状態を図6-3、隅角部固定ボルトの荷重状態を図6-4に示す。

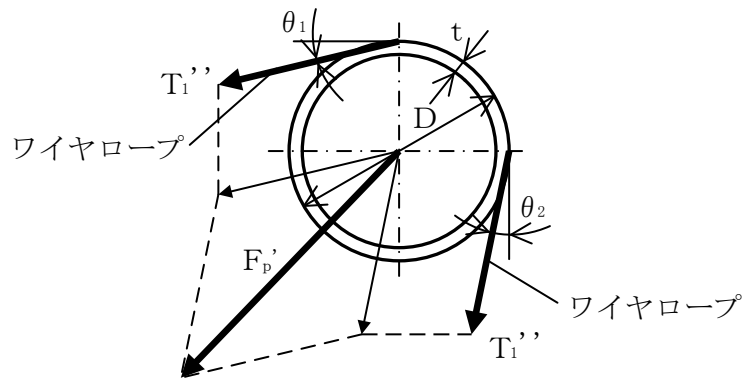


図6-3 鋼管の荷重状態

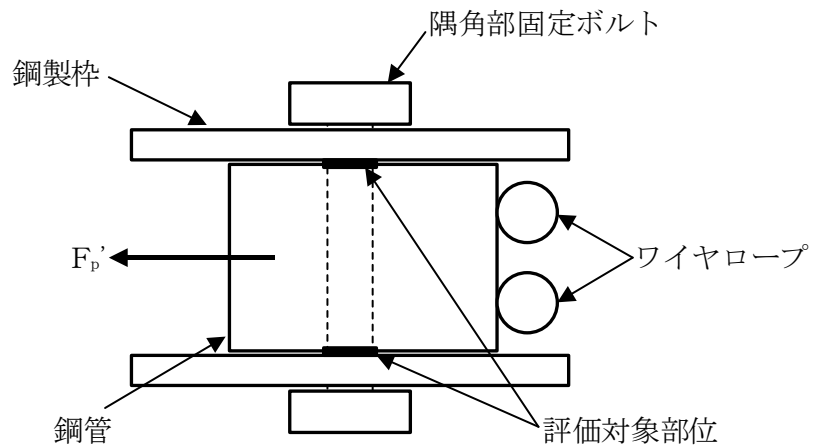


図6-4 隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力のつり合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネット展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重、 $T_x$ 及び $T_y$ は、以下のとおりとなる。

$$T_x = T_1'' \cdot \cos \theta_{w1}$$

$$T_y = T_1'' \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \cos \theta_y$$

ただし、 $\theta_y$ 及び $\theta_{w1}$ は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

$$\theta_{w1} = \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \cdot \left( \frac{\delta_{wx}}{L_x} \right)^2}} \right\}$$

また、ネット展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重、 $T_x'$  及び  $T_y'$  は以下の関係となる。

$$T_x' = T_1'' \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \cos \theta_x$$

$$T_y' = T_1'' \cdot \cos \theta_{w2}$$

ただし、 $\theta_x$  及び  $\theta_{w2}$  は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w2} = \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \cdot \left( \frac{\delta_{wy}}{L_y} \right)^2}} \right\}$$

隅角部へ作用する X 方向及び Y 方向への合成荷重は、

$$F_x = T_x + T_x'$$

$$F_y = T_y + T_y'$$

より求まる。

1 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は、

$$F_p = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

より求まる。

隅角部には、2 本のワイヤロープが支持されていることから、隅角部へ作用する合成荷重  $F_p'$  は、

$$F_p' = 2 \cdot F_p$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力  $\tau_s$  は、

$$\tau_s = \frac{F_p'}{2 \cdot n_2 \cdot A_b}$$

## ロ. 取付けプレート

設計飛来物が防護ネット本体に衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重 $T_1''$ は、ワイヤロープの引張荷重として作用し、隅肉溶接部にはせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付けプレートの荷重状態を図6-5に示す。

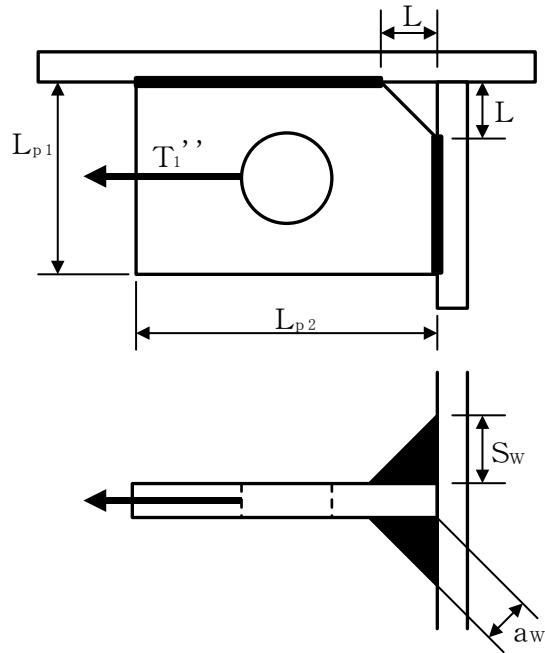


図6-5 取付けプレートの荷重状態

溶接部の有効脚長 $L_{pw}$ は、

$$L_{pw} = L_{p1} - L - 2 \cdot S_w + L_{p2} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力 $\tau_w$ は、

$$\tau_w = \frac{T_1''}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで溶接部ののど厚 $a_w$ は以下の式で求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

## d. たわみ評価

## (a) ネットのたわみ量の算出

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は「5.1(2)b. 吸収エネルギー評価」の式(5.2)のとおり、以下の式にて導出される。

$$E_i = 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで、 $K_x$ 及び $L_x$ は定数であるため、

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで、ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量 $\delta$ を算出することができる。

## (b) ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネットのたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は、ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし、「6.1(3)c 破断評価」に示す評価方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

以下に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 $\varepsilon$ が算出される。よって、変形によるワイヤロープの伸び量 $\delta'$ は以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

ワイヤロープの変形図を図6-6に示す。飛来物の衝突によりワイヤロープは放物線状に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ $S$ は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

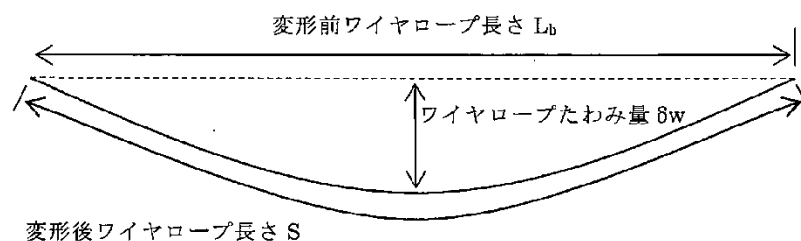


図6-6 ワイヤロープ変形図

$$S = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \cdot \delta_w} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2}}{L_b} \right)$$

また、ワイヤロープはネットのアスペクト比により、変形形状が異なる。ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）を図6-7、ネット及びワイヤロープ変形

図（展開方向が短い場合）を図 6-8 に示す。

「展開方向寸法 > 展開直角方向寸法」の場合は，飛来物の衝突によるネット変形がネット全体に及ぶため，図 6-7 のとおり 4 辺のワイヤロープが変形する形状となり，「展開方向寸法 < 展開直角方向寸法」の場合は，ネット変形がネット展開方向長さの範囲に制限されるため図 6-8 のとおりネット展開直角方向のワイヤロープのみが変形する形状となる。

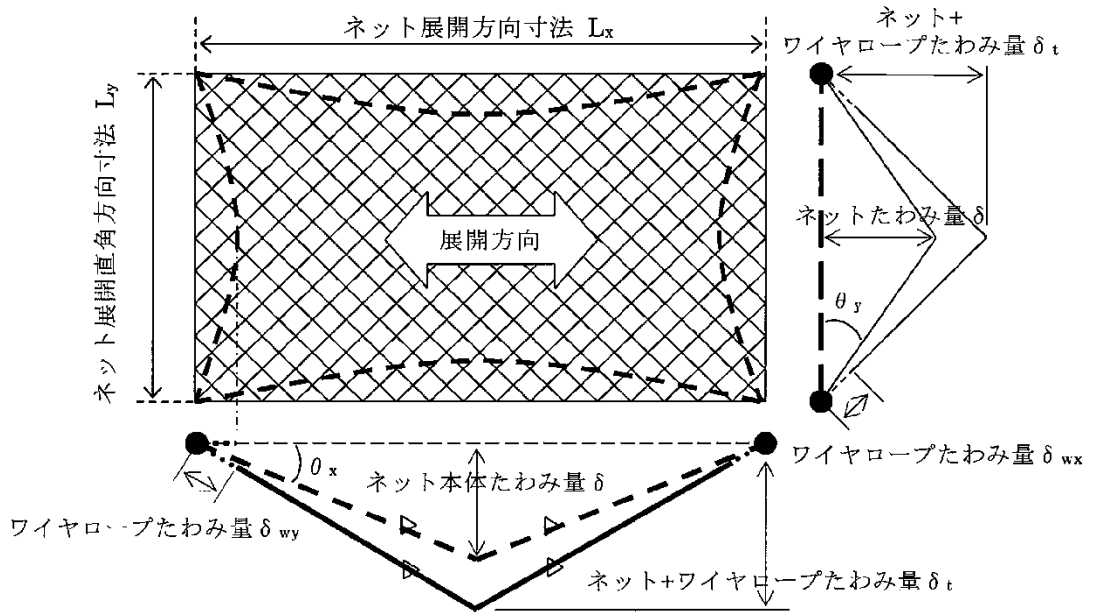


図 6-7 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）

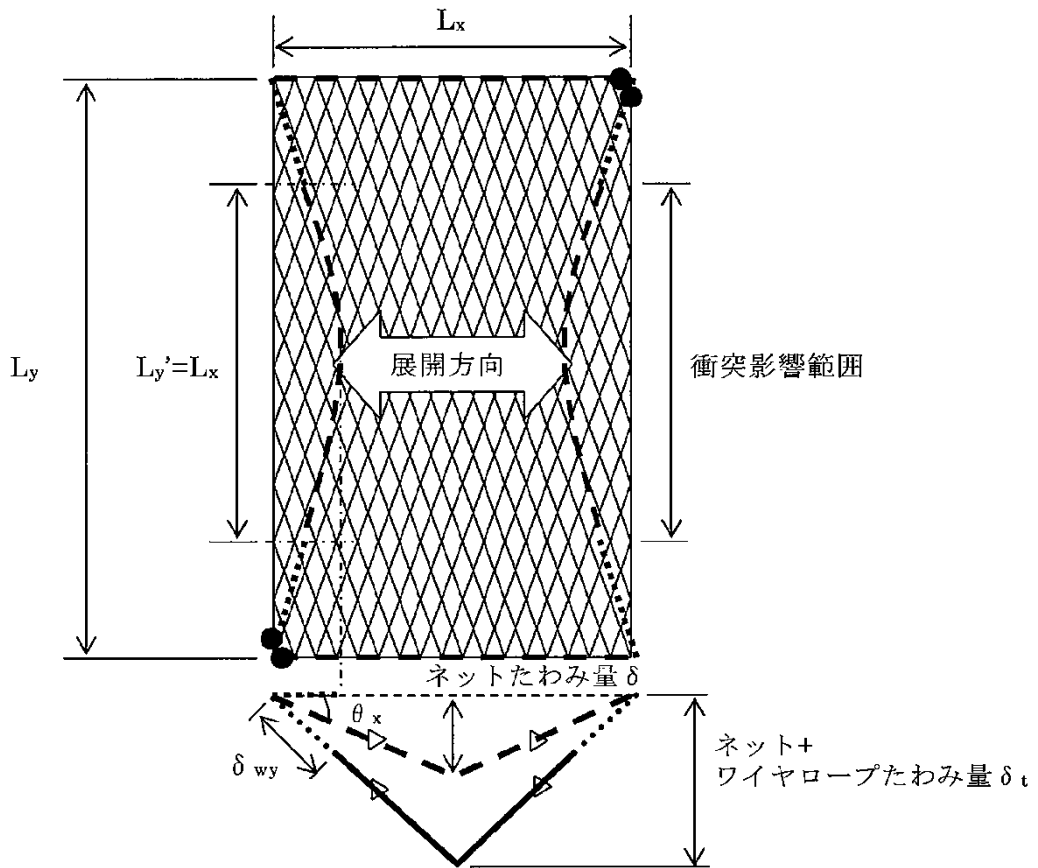


図6-8 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）

よって、ネットのアスペクト比に応じ、ワイヤロープたわみ量を含めた竜巻防護ネットのたわみ量の算出を行う。

「展開方向寸法 $\geq$ 展開直角方向寸法」の場合、図6-7のとおり、ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さを $S_x$ 、ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを $S_y$ とすると、 $S_x$ 及び $S_y$ はそれぞれ $\delta_{wx}$ 、 $\delta_{wy}$ の関数であり、ワイヤロープの伸び量 $\delta'$ は、

$$\delta' = \left\{ S_x (\delta_{wx}) - L_x \right\} + \left\{ S_y (\delta_{wy}) - L_y \right\}$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、

$$\delta_t = \sqrt{\left( \delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos \theta_x} \right)^2 - \left( \frac{L_x}{2} \right)^2} = \sqrt{\left( \delta_{wx} + \frac{L_y}{2 \cdot \cos \theta_y} \right)^2 - \left( \frac{L_y}{2} \right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量 $\delta_{wx}$ 及び $\delta_{wy}$ を導出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めた竜巻防護ネットのたわみ量 $\delta_t$ が算出される。

「展開直角方向寸法 $>$ 展開方向寸法」の場合、図6-8より、ワイヤロープ伸び量 $\delta'$ が、 $L_y$ の範囲に集約されて変形する。「展開直角方向寸法 $>$ 展開方向寸法」の場



合における，ワイヤロープの変形図を図6-9に示す。

ワイヤロープは，飛来物の影響範囲（ $L_y'$ ）にのみ分布荷重が発生するため放物線状となり，その両端部は放物線状に変形したワイヤロープからの引張力のみが作用するため，両端部の接線がそのままネット端部まで延長される形となる。

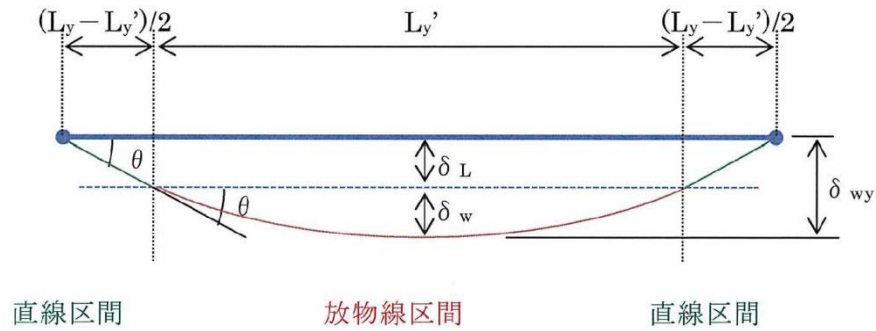


図6-9 「展開直角方向寸法>展開方向寸法」の場合におけるワイヤロープの変形図

ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを  $S_y$  とすると， $S_y$  は  $\delta_w$  の関数であり，

$$S_y = S_y(\delta_w)$$

と表される。

また，直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計  $L_s$  は，

$$L_s = \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta}$$

と表される。

$L_y$ （展開方向に直交する辺）の変形後のワイヤロープ長さ  $S_t$  は，

$$S_t = L_y + \delta'$$

と算出されることから，

$$\begin{aligned} L_y + \delta' &= S_y + L_s \\ &= S_y \cdot (\delta_w) + \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta} \end{aligned}$$

となり， $L_y$ ， $L_y'$ ， $\delta'$ ， $\theta$  は定数であることから，放物線区間のワイヤロープたわみ量  $\delta_w$  を導出することができる。

また，直線区間のワイヤロープのたわみ量  $\delta_L$  は，

$$\delta_L = \frac{L_y - L_y'}{2} \tan \theta$$

と算出されることから，放物線区間，直線区間を含むワイヤロープ全体のたわみ量が，

$$\delta_{wy} = \delta_w + \delta_L$$

と算出される。

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos \theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2}$$

より，ワイヤロープたわみ量を含めた竜巻防護ネットのたわみ量  $\delta_t$  が算出される。

## 7. 適用規格・基準等

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる適用規格は、VI-1-1-3-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」による。

これらのうち、竜巻防護対策設備の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会）
- ・ 小規模吊橋指針・同解説（（社）日本道路協会）
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs  
（Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI 07-13)）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984  
（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）

## VI-3-別添 1-3 竜巻防護ネットの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	7
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格・基準等	12
3. 強度評価方法	13
3.1 記号の定義	13
3.2 評価対象部位	18
3.3 荷重及び荷重の組合せ	21
3.4 許容限界	26
3.5 評価方法	34
4. 評価条件	51
4.1 荷重条件	51
4.2 竜巻防護ネット仕様	52
5. 強度評価結果	57
5.1 吸収エネルギー評価	57
5.2 破断評価	60
5.3 たわみ評価	67

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設である竜巻防護ネットが、外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物（以下「設計飛来物」という。）が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう、竜巻防護ネットを構成する主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」を踏まえ、竜巻防護ネットの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

竜巻防護ネットは、海水ポンプエリア、原子炉建物外壁及び廃棄物処理建物外壁に設置する。

竜巻防護ネットの設置位置図を図 2-1 に、各設置位置における竜巻防護ネットの割付図を図 2-2～図 2-4 に示す。

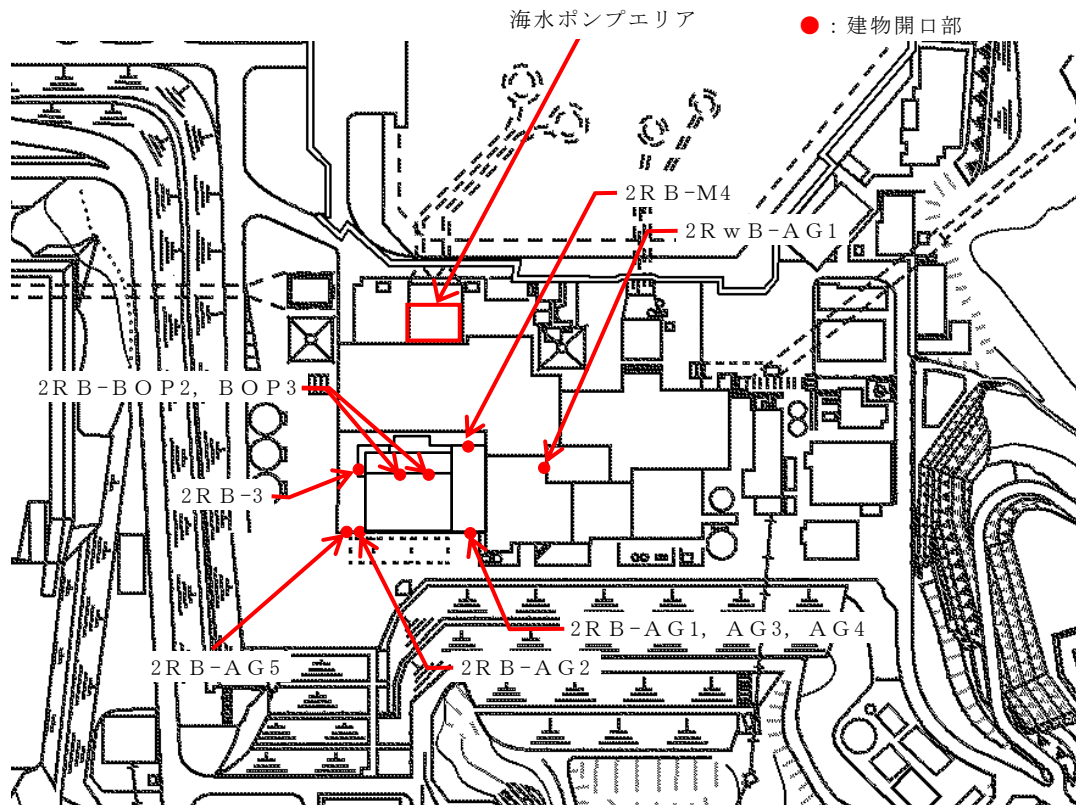
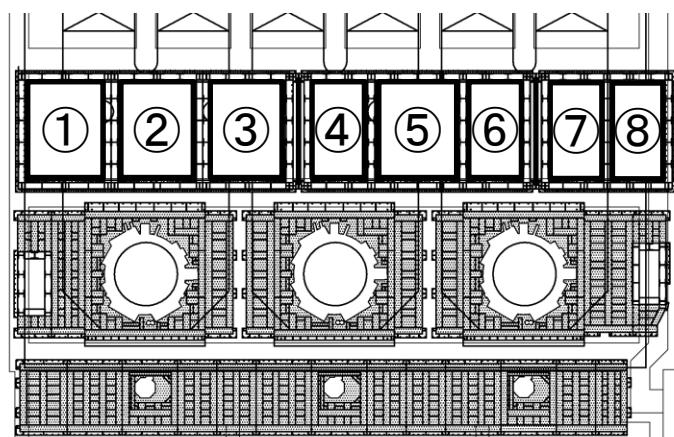
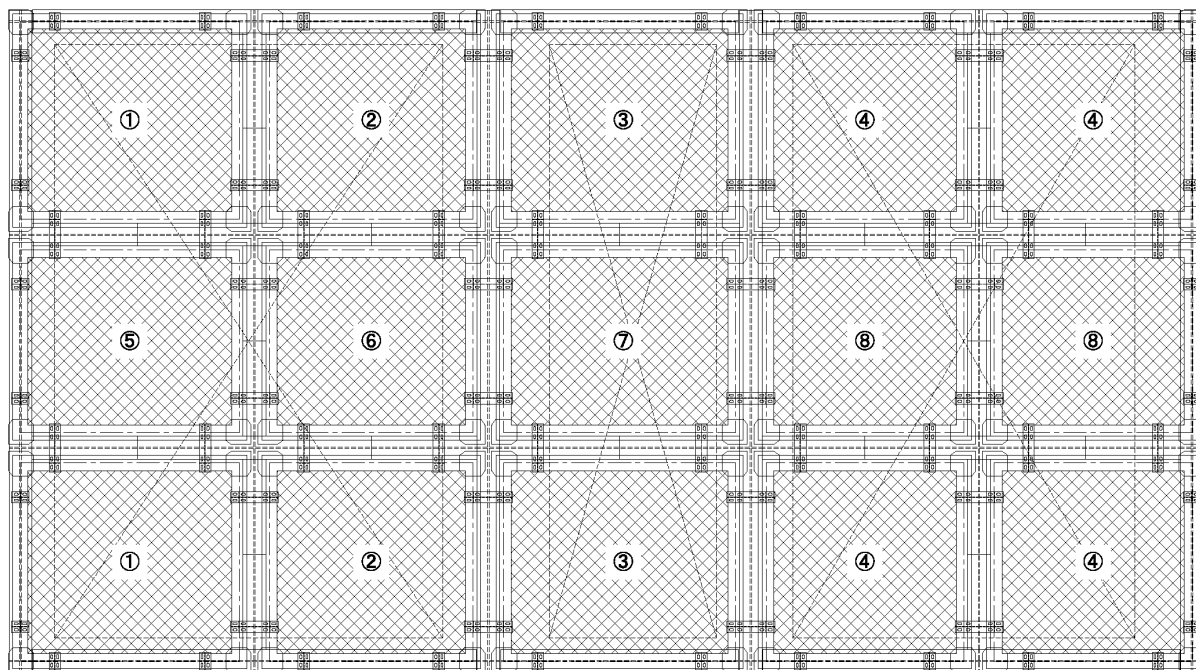


図 2-1 竜巻防護ネットの設置位置図



注：ネットの数字は，後段の評価における整理番号

図 2-2 竜巻防護ネットの割付図（海水ポンプエリア）

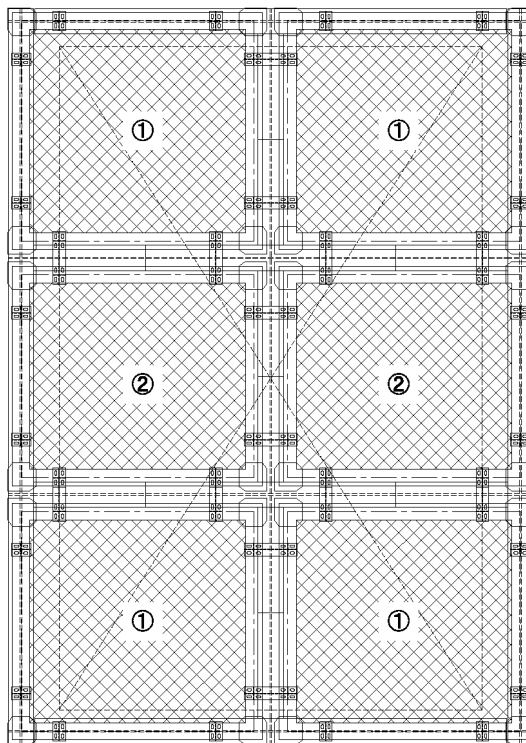


2RB-AG1・AG3・AG4

注：ネットの数字は，後段の評価における整理番号

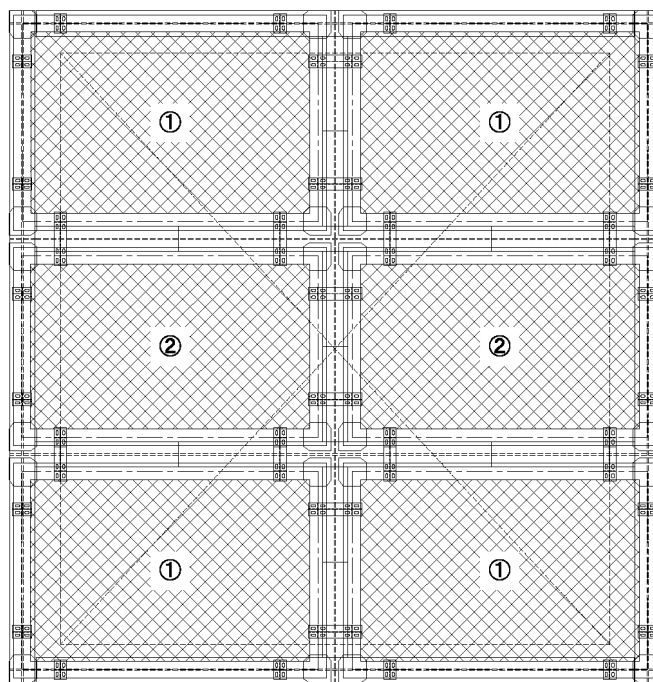
図 2-3(1) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）





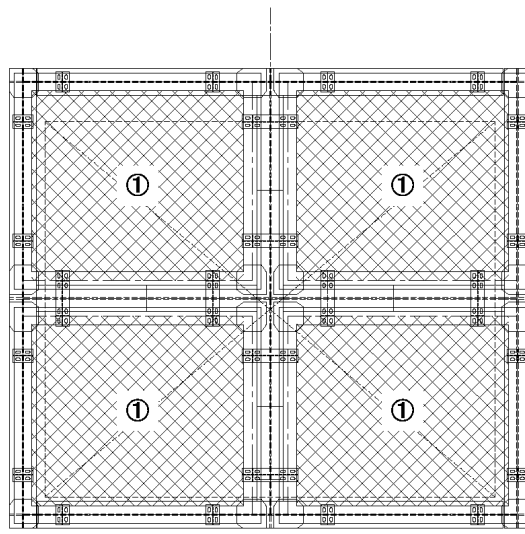
2RB-AG2

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号  
図 2-3(2) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



2RB-AG5

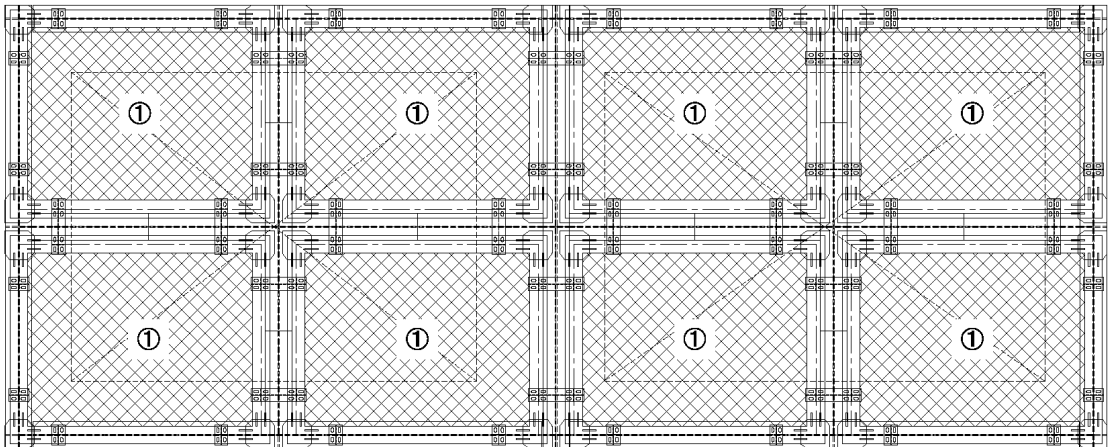
注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号  
図 2-3(3) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



2RB-3

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号

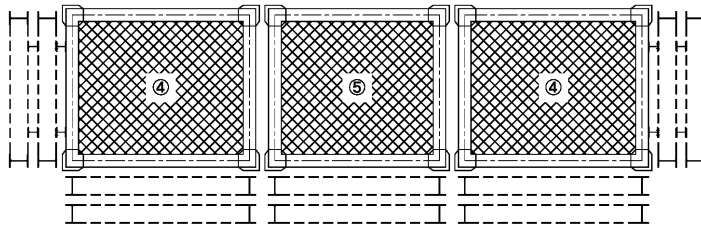
図 2-3(4) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



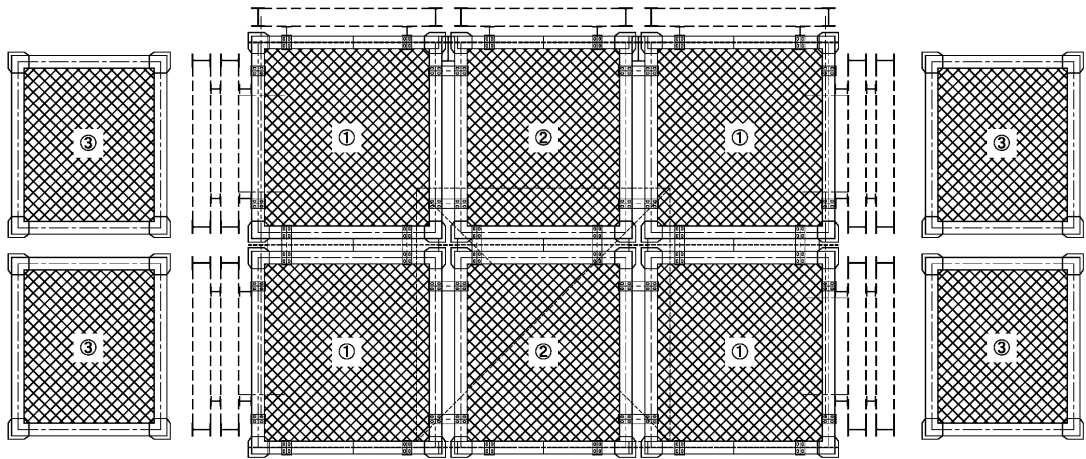
2RB-M4

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号

図 2-3(5) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



平面図



(側面)

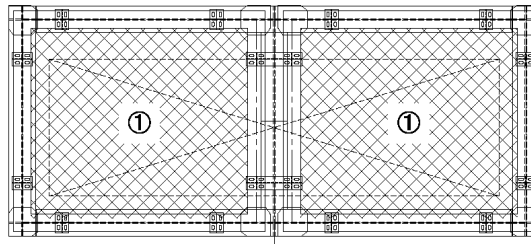
(正面)

(側面)

立面図

2RB-BOP2・BOP3

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号  
 図 2-3(6) 竜巻防護ネットの割付図 (原子炉建物外壁)



2RwB-AG1

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号  
 図 2-4 竜巻防護ネットの割付図 (廃棄物処理建物外壁)

## 2.2 構造概要

竜巻防護ネットの構造は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「3.1 竜巻防護ネットの構造設計」に示す構造計画を踏まえ設定する。

竜巻防護ネットは、ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）及び鋼製枠から構成され、海水ポンプエリア、原子炉建物外壁及び廃棄物処理建物外壁に設置する。竜巻防護ネットは、外部事象防護対象施設又は開口部周辺に設置した架構に接続ボルトを用いて取り付けられ、架構は基礎若しくは建物の外壁により支持される。

ネットは、4 辺を縫うように通したワイヤロープにより支持し、ワイヤロープは接続治具（支持部）を介して、鋼製枠に設置した接続治具（固定部）にて支持する構造とする。

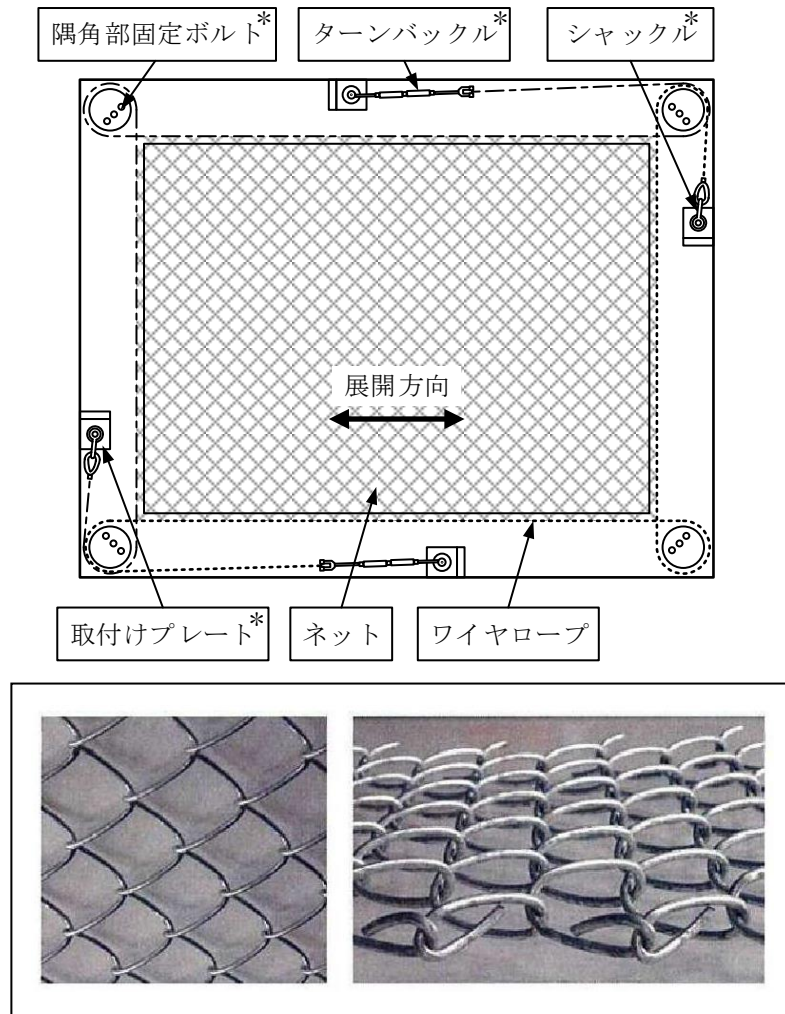
竜巻防護ネットは、ネットに作用する自重、設計飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重をワイヤロープ並びに接続治具（支持部及び固定部）を介して、鋼製枠に伝達する。

鋼製枠は、ネットに作用する自重、設計飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重を、接続部を介して架構に伝達する。

ネットは、設計飛来物が衝突した際に局部的に生じる衝撃荷重に耐え、変形することにより設計飛来物の持つ運動エネルギーを吸収し、外部事象防護対象施設への衝突を防止するものである。ネットは、らせん状の硬鋼線を 3 次的に編み込み、編み込みの方向によって主に荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持っており、ネットに対して L 字に張った 2 本のワイヤロープで支持される。

ワイヤロープは、展開方向に並行するワイヤロープと、展開方向に直交するワイヤロープが接合されていることから、ワイヤロープの張力が均一に発生する構造となっており、ワイヤロープは接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックル並びに接続治具（固定部）である取付けプレート及び隅角部固定ボルトで支持される。ワイヤロープは、ネットの自重による平常時のたわみが大きくなるように、初期張力をかけ、トルク管理を行う。また、ネットは 2 枚以上重ねて敷設するため、それぞれのネットの機能が発揮されるよう、ワイヤロープや接続治具等はネットごとに同じ構成にて設置する。

竜巻防護ネットの概要図を図 2-5 に示す。



注記\*：接続用の治具

図 2-5 竜巻防護ネットの概要図

### 2.3 評価方針

竜巻防護ネットの強度計算は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、竜巻防護ネットの評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

竜巻防護ネットの評価フローを図 2-6 に示す。

竜巻防護ネットの強度評価においては、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、設計荷重に対して、竜巻防護ネットは内側に設置した外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある設計飛来物を捕捉し、外部事象防護対象施設へ衝突させないために、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有すること及びたわみが生じても、設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔が確保できることを確認する。

ネットの破断が生じないことを確認するために、ネットが設計飛来物の持つ運動エネルギーを吸収することができること及び設計飛来物の衝突箇所においてネット目合いの破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。また、竜巻防護ネットが設計飛来物を捕捉可能であることを確認するために、設計荷重に対して、ネットを支持するワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。

評価においては、竜巻防護ネットの形状及び評価条件として、展開方向寸法と展開直角方向寸法の比（以下「アスペクト比」という。）、設計飛来物の衝突位置の影響及びネットの等価剛性の算定方法の影響を考慮する。

ネット寸法のアスペクト比については、電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以下「電中研報告書」という。）の評価式の適用性が確認されている 1：1～2：1 の範囲で使用し、その範囲を外れる部分はエネルギー吸収等において有効な面積とならないため、ネットの吸収エネルギー評価、ネットの破断評価及びたわみ評価において、評価ごとに保守的な設定となるように、アスペクト比を考慮した評価を実施する。アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法の設定方法については、「3.5 評価方法」に示す。また、アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法は、「4. 評価条件」に示す。

設計飛来物の衝突位置の影響については、評価において設計飛来物がネット中心に衝突する場合について評価を実施することから、中央位置からずれた位置（以下「オ

フセット位置」という。)に衝突する場合の影響を考慮し、ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の破断評価において、評価における係数を設定する。係数の設定については「3.5 評価方法」に示す。

ネットの等価剛性については、電力中央研究所にて複数回実施している衝撃引張試験の結果から算定する。等価剛性の算定の方法を考慮し、ネットの吸収エネルギー評価及び竜巻防護ネットのたわみ評価において、評価における係数を設定する。係数の設定については、「3.4 許容限界」に示す。

ネット評価の考慮事項の選定について、表 2-1 に示す。

竜巻防護ネットを支持し、ネットに作用する荷重が伝達される架構の強度評価は、VI-3-別添 1-5「架構の強度計算書」に示す。

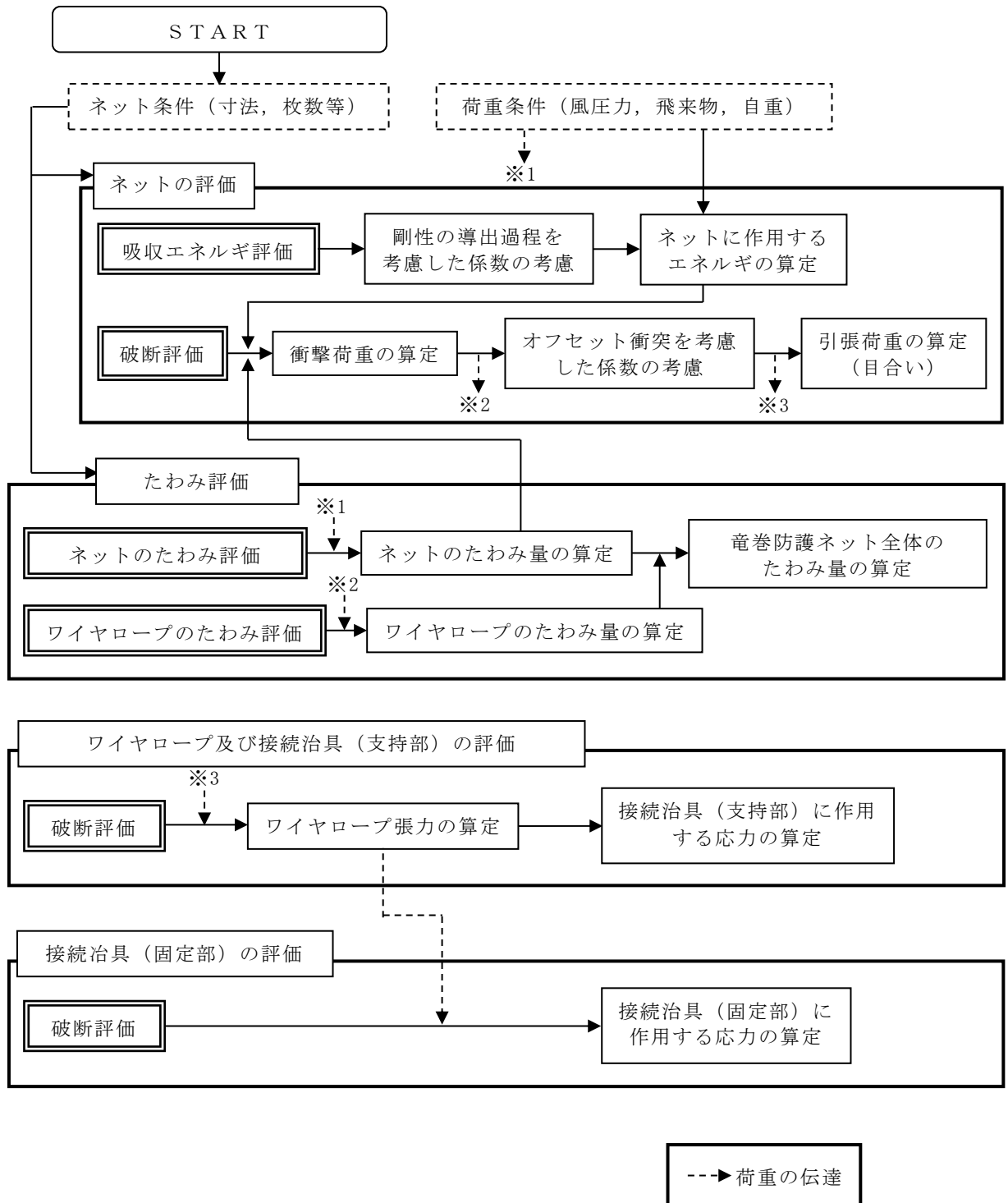


図 2-6 竜巻防護ネットの評価フロー



表 2-1 ネット評価の考慮事項の選定

	吸収エネルギー評価	破断評価	たわみ評価
算定方法	設計飛来物の有する運動エネルギー、自重及び風圧力により生じるエネルギーを算定し、ネットに生じるエネルギーの総量を算定。	自重、設計飛来物によるネットへの衝撃荷重及び風圧力による荷重を算定し、ネットの引張荷重及びワイヤロープの張力、接続治具に発生する応力を算定。	自重、設計飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネット及びワイヤロープに生じるたわみ量を算定。
アスペクト比	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。
衝突位置	オフセット衝突時のネットの吸収エネルギーは中央衝突と同等であることから、オフセットによる影響はなく考慮不要。	オフセット衝突時の衝撃荷重が中央衝突より増加することを算定荷重に考慮。	ネットの最大たわみ位置である中央位置のたわみ及びオフセット位置のたわみを考慮して、たわみ量を設定。

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・ 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
- ・ 小規模吊橋指針・同解説（（社）日本道路協会，平成 20 年 8 月）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 荷重の算定

荷重の算定に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
$A_a$	$m^2$	ネットの面積
$C$	—	竜巻防護ネットの風力係数
$d$	$m$	設計飛来物衝突後の設計飛来物の移動距離
$E_f$	$kJ$	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
$F_a$	$kN$	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
$F_a''$	$kN$	設計飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$m$	$kg$	設計飛来物の質量
$Q$	$kN/s$	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
$q$	$N/mm^2$	設計用速度圧
$t$	$s$	時間
$t_1$	$s$	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
$V$	$m/s$	ネットへの衝突後の設計飛来物の飛来速度
$V_1$	$m/s$	ネットへの設計飛来物の衝突速度
$V_D$	$m/s$	設計竜巻の最大風速
$W_w$	$kN$	風圧力による荷重
$\delta$	$m$	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$\phi$	—	ネットの充実率

(2) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表 3-2 吸収エネルギー評価に用いる記号

記号	単位	定義
$a$	mm	ネット 1 目合いの対角寸法
$a_s$	mm	ネット 1 目合いの破断変位
$b$	mm	設計飛来物の端面の長辺方向寸法
$c$	mm	設計飛来物の端面の短辺方向寸法
$E_i$	kJ	$i$ 番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
$E_{max}$	kJ	ネット設置枚数 $n$ を考慮した限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	等価剛性の導出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数 $n$ を考慮した限界吸収エネルギー
$E_t$	kJ	ネット設置枚数 $n$ を考慮したネットに作用する全エネルギー
$E_w$	kJ	自重及び風圧力によりネットに作用する外力エネルギー
$F_i$	kN	設計飛来物衝突時の $i$ 番目の列における作用力
$F_w$	kN	自重及び風圧力によりネットに作用する荷重
$K$	kN/m	ネット 1 目合いの等価剛性
$K_x'$	kN/m	ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
$K_x$	kN/m	ネット設置枚数 $n$ を考慮したネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
$L_x$	m	ネット展開方向寸法
$L_y$	m	ネット展開直角方向寸法
$n$	—	主金網の枚数
$N_x$	—	ネット展開方向目合い数
$N_y$	—	ネット展開直角方向目合い数
$P_i$	kN	設計飛来物衝突時にネットに発生する $i$ 番目の列における張力
$P_w$	kN	ネットの自重により作用する荷重
$X_i$	m	$i$ 列目のネットの伸び
$\delta_a$	m	自重及び風圧力による荷重によるネットのたわみ量
$\delta_i$	m	設計飛来物衝突時の $i$ 番目の列におけるネットのたわみ量
$\delta_{max}$	m	ネットの最大たわみ量
$\theta_i$	deg	$i$ 番目の列におけるネットのたわみ角
$\theta_{max}$	deg	ネットの最大たわみ角

(3) 破断評価

破断評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-3(1) 破断評価に用いる記号

記号	単位	定義
$a_w$	mm	取付けプレート溶接部ののど厚
$A_b$	mm <sup>2</sup>	隅角部固定ボルトの有効断面積
$C_c$	—	ワイヤグリップ効率
$F_1$	kN	ネット 1 交点当たりの破断荷重
$F_2$	kN	ワイヤロープの規格値 (破断荷重)
$F_3$	kN	ターンバックルの規格値 (保証荷重)
$F_4$	kN	シャックルの規格値
$F_{a'}$	kN	設計飛来物衝突時にネットが受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
$F_P$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に 1 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_{P'}$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に 2 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_x$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する X 方向の合成荷重
$F_y$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する Y 方向の合成荷重
$L$	mm	取付けプレートの面取り長さ
$L_{Pw}$	mm	取付けプレート溶接部の有効長さ
$L_{P1}$	mm	取付けプレート長さ (縦方向)
$L_{P2}$	mm	取付けプレート長さ (横方向)
$n_1$	—	設計飛来物の衝突位置周辺のネット 1 枚当たりの交点の個数
$n_2$	—	隅角部固定ボルト本数
$S_w$	mm	取付けプレート溶接部の溶接脚長
$T'$	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりネットに発生する張力の合計の最大値
$T_1'$	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりワイヤロープ 1 本に作用する張力の最大値
$T_1''$	kN	設計飛来物のネットへの衝突により補助金網を支持しているワイヤロープ 1 本に作用する張力の最大値

表 3-3(2) 破断評価に用いる記号

記号	単位	定義
$T_x$	kN	ネット展開方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
$T_x'$	kN	ネット展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
$T_y$	kN	ネット展開方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
$T_y'$	kN	ネット展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
$\delta_{wx}$	m	ネット展開方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\delta_{wy}$	m	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\theta$	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
$\theta_1$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_2$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_{w1}$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_x$	deg	ネット展開方向に平行なネットたわみ角
$\theta_y$	deg	ネット展開直角方向に平行なネットたわみ角
$\tau_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	MPa	取付けプレート溶接部に発生するせん断応力

(4) たわみ評価

たわみ評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表 3-4 たわみ評価に用いる記号

記号	単位	定義
$L_b$	m	変形前のワイヤロープ長さ
$L_{min}$	m	竜巻防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
$L_s$	m	直線区画のワイヤロープの変形後の長さの合計
$L_y'$	m	ワイヤロープへの設計飛来物の影響範囲
$L_z$	m	ワイヤロープの全長
$S$	m	変形後のワイヤロープ長さ
$S_x$	m	ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さ
$S_y$	m	ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さ
$S_t$	m	ネット展開方向に直交する辺の変形後のワイヤロープ長さ
$\delta$	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\delta'$	m	設計飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量
$\delta_L$	m	直線区間のワイヤロープのたわみ量
$\delta_t$	m	ネットとワイヤロープの合計たわみ量
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\varepsilon$	—	ワイヤロープのひずみ量

### 3.2 評価対象部位

竜巻防護ネットの評価対象部位は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。竜巻防護ネットの評価対象部位を図 3-1 に示す。

#### (1) ネット

設計荷重はネットに直接作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、ネットとする。

#### (2) ワイヤロープ

設計荷重はネットに作用し、ワイヤロープに作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、ワイヤロープとする。

#### (3) 接続治具（支持部）

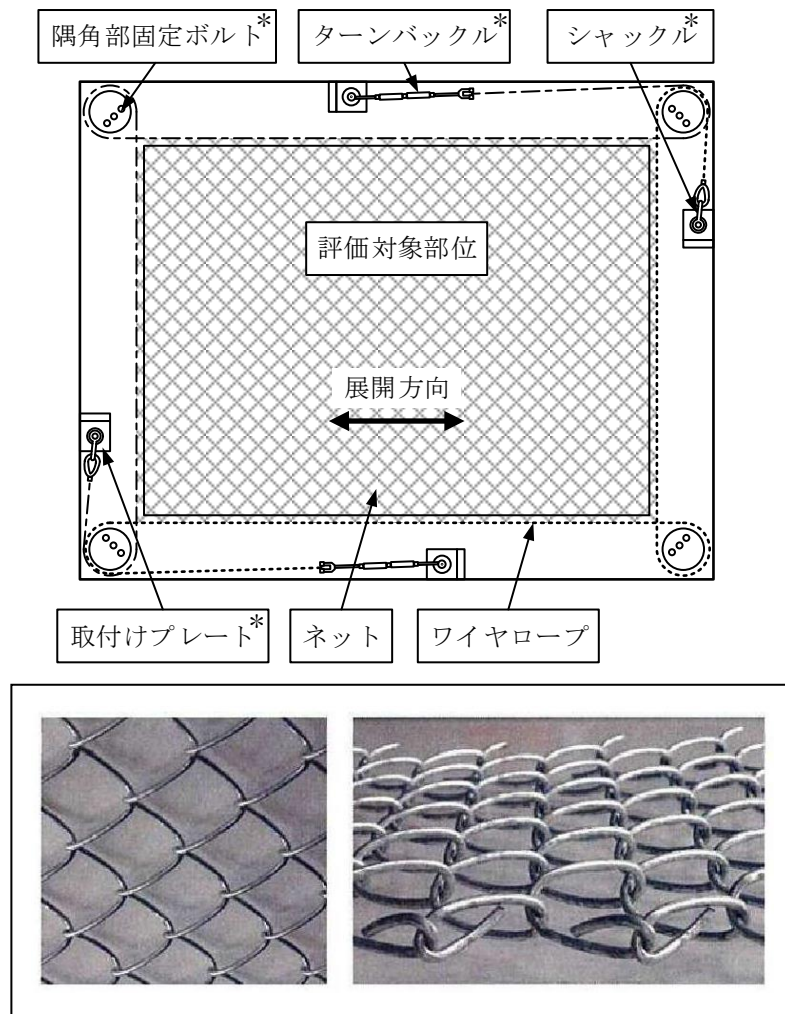
設計荷重はネットに作用し、ワイヤロープを介して接続治具（支持部）に作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルとする。

#### (4) 接続治具（固定部）

設計荷重はネットに作用し、ワイヤロープ及び接続治具（支持部）を介して接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートに作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、隅角部固定ボルト及び取付けプレートとする。

取付けプレートの評価部位は、プレート本体、プレートと鋼製枠及び支持板の溶接部並びに支持板と鋼製枠の溶接部があるが、評価上溶接部が最も短いプレートと鋼製枠及び支持板の溶接部を評価対象部位とする。

隅角部固定ボルトの評価対象部位を図 3-2 に、取付けプレートの評価対象部位を図 3-3 に示す。



注記\*：接続用の治具

図 3-1 竜巻防護ネットの評価対象部位



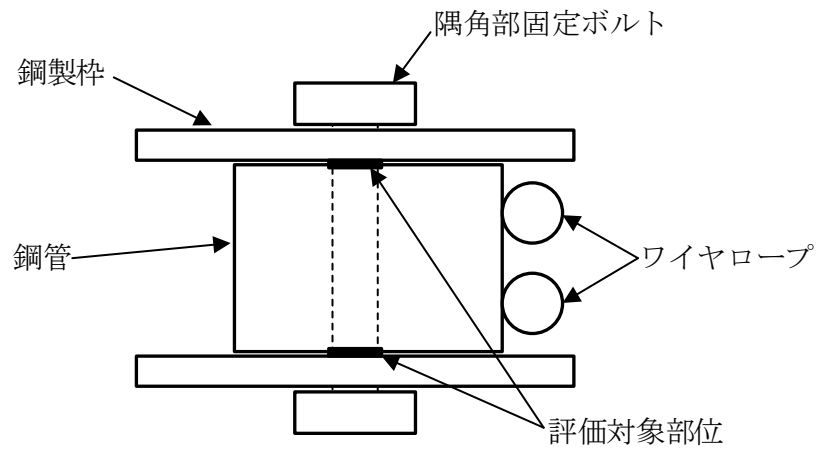


図 3-2 隅角部固定ボルトの評価対象部位

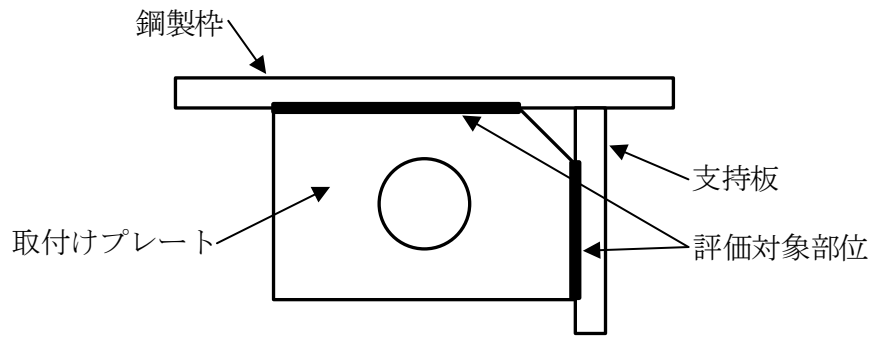


図 3-3 取付けプレートの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の種類を踏まえ設定する。

#### (1) 荷重の設定

##### a. 常時作用する荷重

自重を考慮する。また、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）については、ネットを支持する機能を有していることから、ネットの重量を荷重として考慮する。なお、これらの自重はネットから作用する荷重に比べ十分に小さいことから考慮しない。

##### b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び設計飛来物の衝撃荷重を考慮する。なお、竜巻防護ネットは開かれた構造のため、気圧差による荷重は考慮しない。設計飛来物による衝撃荷重としては、衝撃荷重が大きくなる向きで設計飛来物がネットに衝突することを想定する。

強度評価に用いる荷重は、以下の方法により算定する。設計竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 設計竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
92	14	78	7500

#### (a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 $W_w$ は、次式により算定する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A_a \cdot \phi}{1000}$$

設計用速度圧 $q$ は、次式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(b) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

破断評価においては、設計飛来物による衝撃荷重は以下のとおり算定する。

ネットと設計飛来物による衝撃荷重  $F_a''$  は時間とともに比例的に増加すると仮定すると、衝撃荷重  $F_a''$  は以下のとおり算定される。

$$F_a'' = Q \cdot t \cdots \cdots \cdots (3. 1)$$

したがって、速度  $V$  は式 (3. 1) の衝撃荷重  $F_a''$  から、以下のとおり算定される。

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' \, dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \cdots \cdots \cdots (3. 2) \end{aligned}$$

さらに、設計飛来物の移動距離  $d$  は、式 (3. 2) の速度  $V$  から以下のとおり算定される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t V \, dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \cdots \cdots \cdots (3. 3) \end{aligned}$$

設計飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間  $t_1$  におけるネットの変位は  $\delta$ 、設計飛来物の速度は  $V=0$  であるから式 (3. 2) 及び (3. 3) より、

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \cdots \cdots \cdots (3. 4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記 2 式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \cdots \cdots \cdots (3. 5)$$

以上より、時間  $t_1$  における設計飛来物による衝撃荷重  $F_a$  は式 (3. 1) 及び (3. 4) より、

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに、式 (3. 5) と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \cdots \cdots \cdots (3. 6)$$

また、時間  $t_1$  における設計飛来物の衝突によりネットに作用する外力エネルギー  $E_f$  は、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \dots\dots\dots (3. 7)$$

したがって、式(3. 6)及び(3. 7)より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \dots\dots\dots (3. 8)$$

## (2) 荷重の組合せ

## a. ネット

ネットに作用する荷重として、ネットの自重、設計飛来物がネットに衝突する場合の衝撃荷重及び風圧力による荷重を組み合わせた荷重を設定する。

## b. ワイヤロープ及び接続治具（支持部）

設計飛来物がネットに衝突する場合にワイヤロープ等に作用する荷重は、ネットからワイヤロープに伝達し、その荷重を接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルを介して接続治具（固定部）に伝達することから、ネットに作用する荷重を評価対象部位であるワイヤロープ及び接続治具（支持部）に作用する荷重として設定する。

なお、ワイヤロープ及び接続治具（支持部）に作用する自重及び風圧力による荷重については、ネットに作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

## c. 接続治具（固定部）

設計飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部に作用する荷重は、ネットからワイヤロープ及び接続治具（支持部）を介して接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートに作用することから、ワイヤロープからの荷重を評価対象部位である隅角部固定ボルト及び取付けプレートに作用する荷重として設定する。

なお、接続治具（固定部）に作用する自重及び風圧力による荷重については、ネットに作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価における、ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）に作用する荷重及びその組合せを表 3-6～表 3-8 に示す。

表 3-6 吸収エネルギー評価における荷重及びその組合せ

設置エリア		考慮する荷重		
		常時作用する荷重 (自重)	設計飛来物による 衝撃荷重	風圧力による 荷重
・海水ポンプエリア ・原子炉建物外壁 ・廃棄物処理建物外壁	水平	○	○	○
	鉛直	○	○	○

<凡例> ○：考慮する，－：考慮しない

表 3-7 破断評価における荷重及びその組合せ

設置エリア		評価対象部位	考慮する荷重		
			常時作用する荷重	設計飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・海水ポンプエリア ・原子炉建物外壁 ・廃棄物処理建物外壁	水平	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ ・ターンバックル ・シャックル ・隅角部固定ボルト ・取付けプレート	○ (ネットの自重)	○	○
	鉛直	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ ・ターンバックル ・シャックル ・隅角部固定ボルト ・取付けプレート	○ (ネットの自重)	○	○

<凡例> ○：考慮する，－：考慮しない

表 3-8 たわみ評価における荷重及びその組合せ

設置エリア		評価対象部位	考慮する荷重		
			常時作用する荷重	設計飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・海水ポンプエリア ・原子炉建物外壁 ・廃棄物処理建物外壁	水平	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ	○ (ネットの自重)	○	○
	鉛直	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ	○ (ネットの自重)	○	○

<凡例> ○：考慮する，－：考慮しない

### 3.4 許容限界

ネットの許容限界は，VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

吸収エネルギー評価，破断評価及びたわみ評価の許容限界を以下に示す。

#### (1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては，計算により算定するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用する外力エネルギー以上であることにより，ネットが破断しないことを確認する。ネット 1 目合いの要素試験の結果から得られる目合い展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり，ネット最大変形角における吸収エネルギーがネットの有する最大吸収エネルギー  $E_{max}$  となる。

限界吸収エネルギーは，複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算定する。また，ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果，電中研報告書を参照して，ネット最大たわみ時のネットの全長は設計飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり，ネットに発生する張力も一定となることから，設計飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから設計飛来物への反力も同等となり，オフセット位置への設計飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって，吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

限界吸収エネルギーは，ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性，展開方向寸法及びたわみ量から，以下のとおり算定される。吸収エネルギー評価におけるネットの限界吸収エネルギー算定モデル図を図 3-4 に示す。

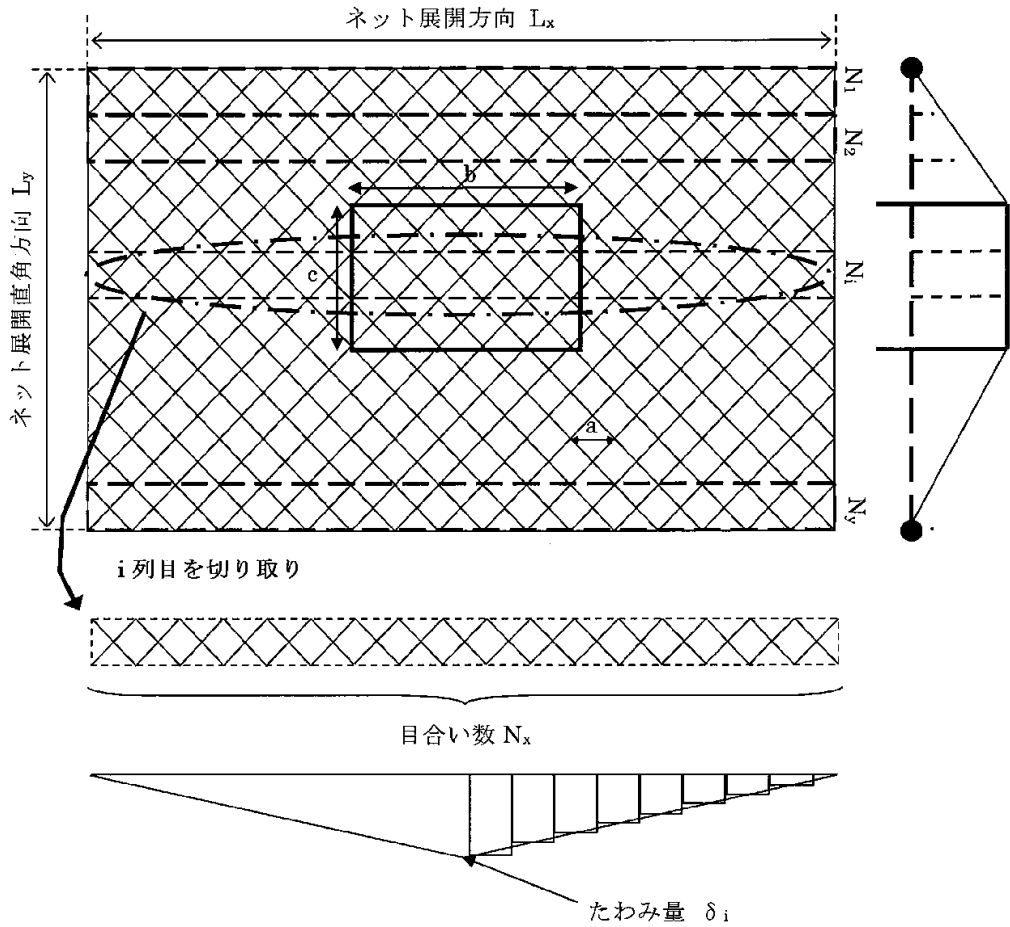


図 3-4 吸収エネルギー評価におけるネットの限界吸収エネルギー算定モデル図

図 3-4 に示すとおりネットの展開方向に 1 目合いごとに  で囲った形に帯状に分割し、 $N_1$  から  $N_y$  までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算定し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算定する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、設計飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算定されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。設計飛来物の端部寸法 ( $b \times c$ ) 及びネット目合いの対角寸法  $a$  を考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算定する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算定に用いる設計飛来物の寸法として値の小さい寸法  $c$  を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギーが小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギーが小さく算定されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。



吸収エネルギー評価の許容限界の評価フローを図 3-5 に示す。

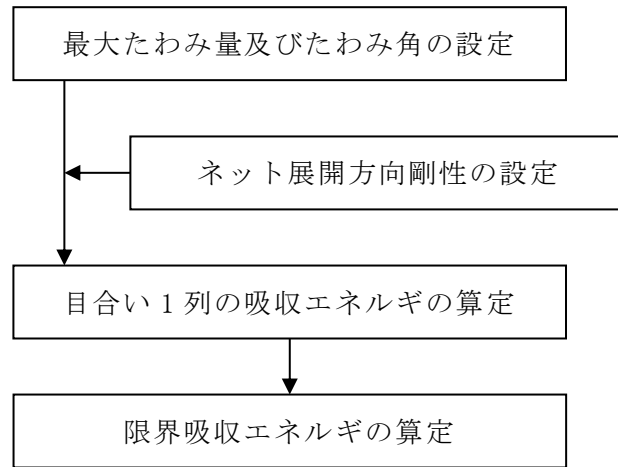
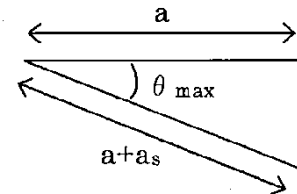


図 3-5 吸収エネルギー評価の許容限界の評価フロー

電中研報告書のネット 1 目合いの引張試験から 1 目合いの破断変位を設定する。ネット 1 目合いの破断変位から算定する最大たわみ角から，設計飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量  $\delta_{max}$  は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan \theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left( \frac{a}{a + a_s} \right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数  $N_x$  は，ネット展開方向寸法  $L_x$  及びネット 1 目合いの対角寸法  $a$  から，また，展開直角方向の目合い数  $N_y$  は，ネット展開直角方向寸法  $L_y$  及びネット 1 目合いの対角寸法  $a$  から次式により算定される。

$$N_x = \frac{1000 \cdot L_x}{a}$$

$$N_y = \frac{1000 \cdot L_y}{a}$$

ただし， $N_x$ ， $N_y$  の算定において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように， $N_x$  は保守的に切り上げ， $N_y$  は保守的に切り捨てた値を用いる。

ネットを構成する 1 目合いはそれぞれ  $K$  の等価剛性を持っているため，1 目合い当たりばね定数  $K$  を持つばねを  $N_x$  個直列に接続したものと考えることができる。そのため，1 列当たりの剛性  $K_x'$  は次式により算定される。

$$K_x' = \frac{K}{N_x}$$

なお、電中研報告書によると補助金網は主金網 0.5 枚相当の吸収エネルギー能力を有していることが確認されていることから、補助金網を主金網 0.5 枚として考慮し、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性  $K_x$  は、次式により算定される。

$$K_x = K_x' \cdot (n + 0.5)$$

設計飛来物が衝突しなかった列のたわみ量  $\delta_i$  は、最大たわみ量  $\delta_{max}$  からネット端部のたわみ量 0 までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を図 3-6 に示す。

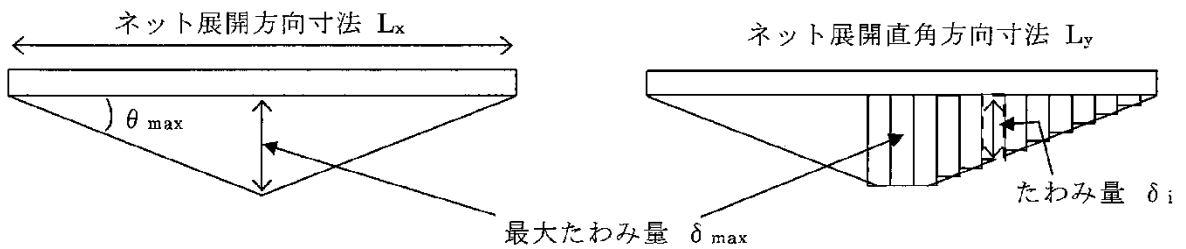


図 3-6 最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに設計飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を、ネットの剛性及びネットの伸び量から算定する。ネットに作用する力のつり合いを図 3-7 に示す。

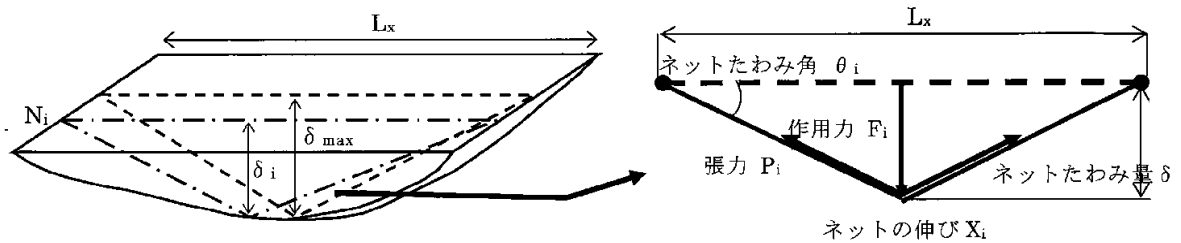


図 3-7 ネットに作用する力のつり合い

$i$  番目の列におけるネットの張力  $P_i$  は、設計飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると、伸び量は  $X_i/2$ 、剛性は  $2 \cdot K_x$  となることから、

$$P_i = 2 \cdot K_x \cdot \frac{X_i}{2}$$

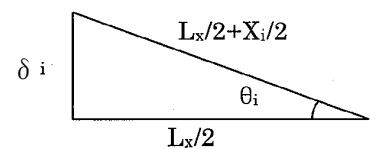
$$= K_x \cdot X_i$$

となる。また、作用力  $F_i$  は変位量とたわみ量の関係から、

$$F_i = 2 \cdot P_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot L_x \cdot (\tan \theta_i - \sin \theta_i)$$



$$= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots \dots \dots (3.9)$$

ネットに設計飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力  $F_i$  を積分することにより得られる、 $i$  番目の列における吸収エネルギー  $E_i$  を次式に示す。

$$\begin{aligned}
 E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta_i \\
 &= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i \\
 &= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \cdots \cdots (3. 10)
 \end{aligned}$$

以上から、ネット設置枚数  $n$  を考慮した限界吸収エネルギー  $E_{max}$  は、各列の吸収エネルギー  $E_i$  を第 1 列から第  $N_y$  列まで積算することにより求められる。

$$\begin{aligned}
 E_{max} &= \sum_{i=1}^{N_y} E_i \\
 &= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \cdots (3. 11)
 \end{aligned}$$

また、等価剛性の導出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数を考慮した限界吸収エネルギーを  $E_{max}'$  とする。係数としては、電中研報告書のネット引張試験結果より 1/1.03 と定める。

$$E_{max}' = \frac{1}{1.03} \cdot E_{max} \cdots \cdots (3. 12)$$

## (2) 破断評価

## a. ネット

破断評価においては、計算により算定するネットに作用する荷重がネットの素材の持つ破断強度以下であることにより、ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。ネットは、設計飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、設計飛来物を捕捉することから、電中研報告書を参照してネット 1 目合いの引張試験に基づいた 1 交点当たりの破断荷重  $F_1$ 、設計飛来物衝突時の周辺のネット 1 枚当たりの交点数  $n_1$  及びネットの設置枚数  $n$  から、ネット設置枚数を考慮した許容引張荷重を算定する。

ネットの破断評価の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9 ネットの破断評価の許容限界

評価対象部位	引張荷重評価
ネット	$F_1 \cdot n_1 \cdot n$

## b. ワイヤロープ

ワイヤロープは、ネットと一体となって設計飛来物を捕捉するため、ネットと同様に塑性変形を許容することから、破断荷重を許容限界とする。具体的な破断荷重は、ネットメーカーが実施した引張試験にて確認した破断荷重よりも保守的な値である、J I S に規定されている破断荷重  $F_2$  に、端部のワイヤグリップの効率  $C_c$  を乗じて設定する。

ワイヤロープの破断評価の許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 ワイヤロープの破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界	備考
ワイヤロープ	$C_c \cdot F_2$	ワイヤグリップの効率を考慮

## c. 接続治具（支持部）

接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルは、破断しなければネットを設置位置に保持することができ、設計飛来物を捕捉可能である。したがって、ワイヤロープの張力に対し、設計荷重が十分な裕度を有していることを確認する。ターンバックルについては、破断荷重よりも保守的な値である、J I S に規定されている保証荷重  $F_3$  を 1.5 倍した値を許容限界として設定する。シャックルについては、試験結果を踏まえたメーカー保証値として、規格値  $F_4$  を 2 倍した値を許容限界として設定する。

接続治具（支持部）の破断評価の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 接続治具（支持部）の破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
ターンバックル	$1.5 \cdot F_3$
シャックル	$2.0 \cdot F_4$

d. 接続治具（固定部）

接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートの破断評価においては、計算により算定する応力により破断が生じないように、十分な余裕を持った強度を許容限界とする。具体的には、隅角部固定ボルト及び取付けプレートの許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度法－（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づいた短期での破断応力度とする。

接続治具（固定部）の破断評価の許容限界を表 3-12 及び表 3-13 に示す。

表 3-12 隅角部固定ボルトの破断評価の許容限界

評価対象部位	強度区分	考慮すべき 損傷モード	短期に生じる力に 対する許容応力度 (MPa)
隅角部固定ボルト	8.8* <sup>1</sup>	せん断	$1.5 \cdot f_s$ * <sup>2</sup>

注記\*1：材料証明書による。

\*2： $f_s$ は下式により算定。

$$\left( f_s = \frac{560}{1.5\sqrt{3}} \right)$$

表 3-13 取付けプレート溶接部の破断評価の許容限界

評価対象部位	材質	考慮すべき 損傷モード	短期に生じる力に 対する許容応力度 (MPa)
取付けプレート溶接部	SS400* <sup>1</sup>	せん断	$1.5 \cdot f_s$ * <sup>2</sup>

注記\*1：母材であるプレートの材質。

\*2： $f_s$ は下式により算定。F値は引張強さとする。

$$\left( f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$$

(3) たわみ評価

竜巻防護ネットのたわみ評価においては，自重，設計飛来物による衝撃荷重及び設計竜巻の風圧力による荷重に対し，計算により算定する竜巻防護ネットの最大たわみ量が，竜巻防護ネットと外部事象防護対象施設の離隔距離未満であることを確認するため，竜巻防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離を許容限界  $L_{min}$  として設定する。

竜巻防護ネットのたわみ評価の許容限界を表 3-14 に示す。

表 3-14 竜巻防護ネットのたわみ評価の許容限界

評価対象項目	許容限界
竜巻防護ネットの最大たわみ量	竜巻防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離 ( $L_{min}$ )

### 3.5 評価方法

竜巻防護ネットの吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の方法を以下に示す。評価に際しては、等価剛性に対する係数、アスペクト比及び設計飛来物の衝突位置の影響に対して以下を考慮した評価を実施する。

- ・等価剛性に対する係数の考慮

電中研報告書におけるネット引張試験結果のばらつきを考慮し、吸収エネルギー評価においては、等価剛性の算定方法の影響から定められる係数を考慮する。

- ・アスペクト比の取扱い

ネットは展開方向、展開直角方向の2方向で剛性が異なり、それぞれの方向に対して伸び量の制限があるため、展開方向：展開直角方向のアスペクト比が1:1～2:1の範囲を有効な面積として評価する。

- ・設計飛来物の衝突位置の影響

評価においては、設計飛来物の衝突位置として中央位置に衝突することを想定した評価を実施しており、中央位置からずれたオフセット位置に衝突する場合の影響を考慮する。

吸収エネルギー評価においては、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は設計飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、設計飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから設計飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への設計飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

破断評価においては、中央位置への衝突に対してオフセット位置への衝突では、その移動距離が短くなることから、式(3.8)から中央位置衝突時よりもオフセット位置衝突時の方が作用する荷重が大きくなることを踏まえ、作用する荷重が大きくなるように、中央位置衝突時とオフセット位置衝突時の移動距離を踏まえた係数を作用する荷重に乗じる。ただし、ネット端部近傍に衝突する場合には、設計飛来物は傾き、設計飛来物の側面がネットや架構に接触すると考えられ、衝撃荷重は小さくなる。

たわみ評価においては、ネットの全長が設計飛来物の衝突位置によらず、ネット最大たわみ時展開方向の長さで一定となるため、たわみの軌跡が楕円状となることを考慮して評価する。さらに、ネットに対して設計飛来物がオフセット位置へ衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生するため、算定結果は設計飛来物の衝突位置によらず適用可能である。また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープの評価において有意ではないため計算上考慮しない。

## (1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、電中研報告書の評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー算定のモデル化を行い、自重、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重による外力エネルギーがネットの有する限界吸収エネルギーを下回ることを確認する。

評価においては、複数枚の重ね合わせたネットを一体として考えたモデルにて評価を実施する。

式(3. 11)及び(3. 12)より、 $E_{max}$ 及び $E_{max}'$ は以下のとおりである。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

$$E_{max}' = \frac{1}{1.03} \cdot E_{max}$$

自重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重 $F_w$ は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方、ネット展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、ネットに作用する外力エネルギーが保守的に大きくなるよう、 $F_w$ が全てネット展開方向 $L_x$ の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて展開方向の1列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受ける外力エネルギーを算定し、列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受ける外力エネルギーを算定する。

評価条件である $K_x$ 及び $L_x$ 並びに自重及び風圧力による荷重から算定する $F_w$ を式(3. 9)に代入して数値計算を実施することにより、自重及び風圧力による荷重によるたわみ量 $\delta_a$ が算定される。

$$F_w = N_y \cdot 4 \cdot K_x \cdot \delta_a \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

ただし、 $F_w = P_w + W_w$

上式にて算定した $\delta_a$ を式(3. 11)において、展開方向の1列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受ける外力エネルギーを列数倍した以下の式に代入することにより、自重及び風圧力による荷重によりネットが受ける外力エネルギー $E_w$ が算定される。

$$E_w = N_y \cdot \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー $E_f$ は、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下により求められる。



$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

設計飛来物の飛来速度は、ネットの設置方向に応じて、水平設置の場合は鉛直方向の飛来速度、鉛直設置の場合は水平方向の飛来速度にて算定する。なお、斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直速度成分は、評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また、設計飛来物がネットに対して斜め方向から衝突する場合は、設計飛来物が衝突後に回転し、ネットと設計飛来物の衝突面積が大きくなるため、ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって、設計飛来物の衝突方向は、ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に衝突するものとし、その飛来速度はネットの設置方向に応じ、水平設置の場合は鉛直最大飛来速度、鉛直設置の場合は水平最大飛来速度を用いる。

以上から、ネット設置枚数  $n$  を考慮したネットに作用する全外力エネルギー  $E_t$  が以下のとおり算定される。

$$E_t = E_f + E_w \dots\dots\dots (3. 13)$$

## (2) 破断評価

破断評価においては、電中研報告書の評価式を参照して、ネットに作用する自重、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重が竜巻防護ネットを構成する部材の局所的な耐力未満であることを確認する。

評価に際しては、「2.3 評価方針」のとおり、設計飛来物の衝突位置の影響として、オフセット衝突する場合の影響を考慮する。以下にオフセット衝突する場合の影響を係数として考慮した発生値の割増係数の設定方法を示す。

- ・オフセット衝突を考慮する係数

設計飛来物の移動距離が最も小さくなる場合のオフセット衝突を考えると、中央衝突と比較して $\delta$ が0.826倍となることから、中央衝突に比べ衝撃荷重が1.211倍となる。

ネット端部近傍に衝突する場合には、設計飛来物は傾き、設計飛来物の側面がネットや架構に接触すると考えられ、衝撃荷重は小さくなる。

## a. ネット

ネットに設計飛来物が衝突した後、ネットのたわみが増加し、設計飛来物の運動エネルギーを吸収する。ネットに作用する設計飛来物による衝撃荷重はネット変位の増加に伴い大きくなり、最大変位発生時に最大値を示すため、破断評価では最大変位発生時の衝撃荷重を用いる。

最大変位発生時において、設計飛来物の衝突によりネットの目合いはネット展開方向に引張荷重を受けることから、破断評価としてネット目合いの引張荷重評価を実施する。ネットの破断評価の評価フローを図3-8に示す。

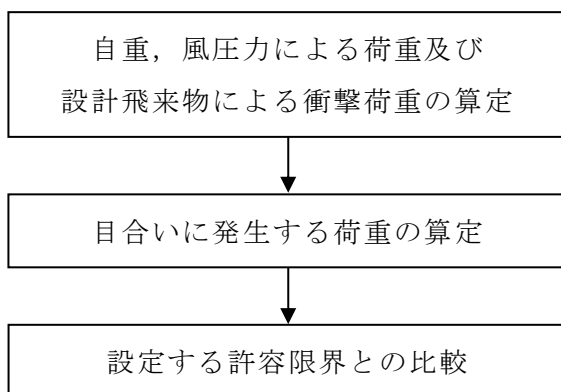


図 3-8 ネットの破断評価の評価フロー

## (a) 評価モデル

ネットに設計飛来物が衝突した際に生じる衝撃について評価を実施する。ネット構造及び設計飛来物の大きさを考慮し、ネットの目合い数が最小となるモデル化を行う。衝突位置周辺の目合い数はネット1枚あたり  $n_1$  点となる。破断評価モデルを図3-9に示す。

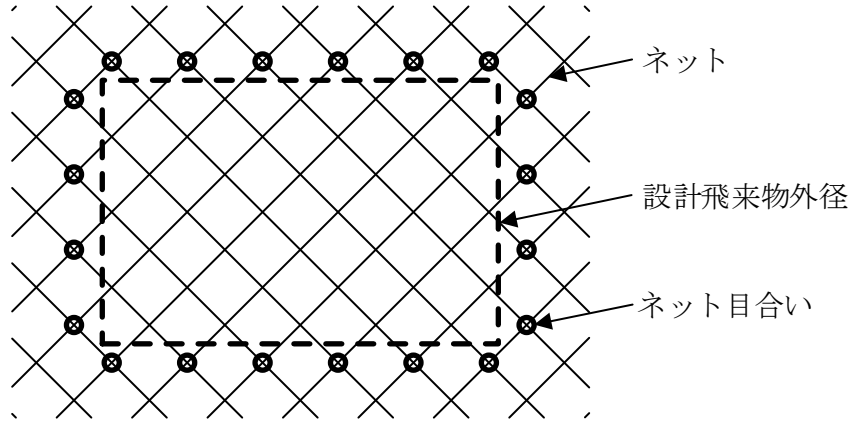


図3-9 破断評価モデル

## (b) 評価方法

ネットに設計飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重が、ネットの破断荷重以下であり、ネット目合いに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

ここで、ネットに設計飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値  $F_a$  は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算定した式(3.8)のたわみ量と設計飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算定する。

設計飛来物の衝突による荷重に加え、自重及び風圧力による荷重を考慮するため、 $E_f$ を $E_t$ と置き換えて、式(3.8)より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数 1.211 を考慮し、衝撃荷重の最大値  $F_a'$  は

$$F_a' = 1.211 \cdot F_a$$

にて算定される。

## b. ワイヤロープ

設計飛来物による衝撃荷重については、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」において算定した設計飛来物が衝突する場合のネットごとに作用する衝撃荷重の最大値  $F_a'$  を考慮する。

竜巻防護ネットは、電中研報告書と同様に 2 本のワイヤロープを L 字に設置し、さらにワイヤロープが接続治具により拘束されない構造としており、電中研報告書において実施されている衝撃試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。ネット及びワイヤロープに発生する荷重のつり合いの概念図を図 3-10 に示す。

自重、設計飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値  $F_a'$  が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、設計飛来物が衝突する場合のネットに発生する張力の合計の最大値  $T'$  は、図 3-10 のネット及びワイヤロープに発生する力のつり合いより以下のとおり算定される。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \cdot \sin \theta}$$

ここで、 $\theta$  は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \cdot \delta}{L_x}$$

補助金網を除くネット設置枚数  $n$  を考慮すると、1 枚のネットのワイヤロープ 1 本に発生する張力の最大値  $T_1'$  は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1}{n} = \frac{F_a'}{4 \cdot n \cdot \sin \theta}$$

と算定される。

さらに、ワイヤロープが支持する補助金網の影響を考慮する。電中研報告書によると、主金網  $n$  枚及び補助金網 1 枚を重ねて設置する場合、補助金網を設置したネットのワイヤロープに作用する張力は、その他のネットの張力の 1.5 倍となることを考慮すると、主金網  $n$  枚及び補助金網 1 枚を重ねて設置する場合、1 枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値  $T_1''$  は、

$$T_1'' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1.5}{n+0.5} = \frac{F_a'}{4 \cdot \sin \theta} \cdot \frac{1.5}{n+0.5} \dots\dots\dots (3.14)$$

と算定される。

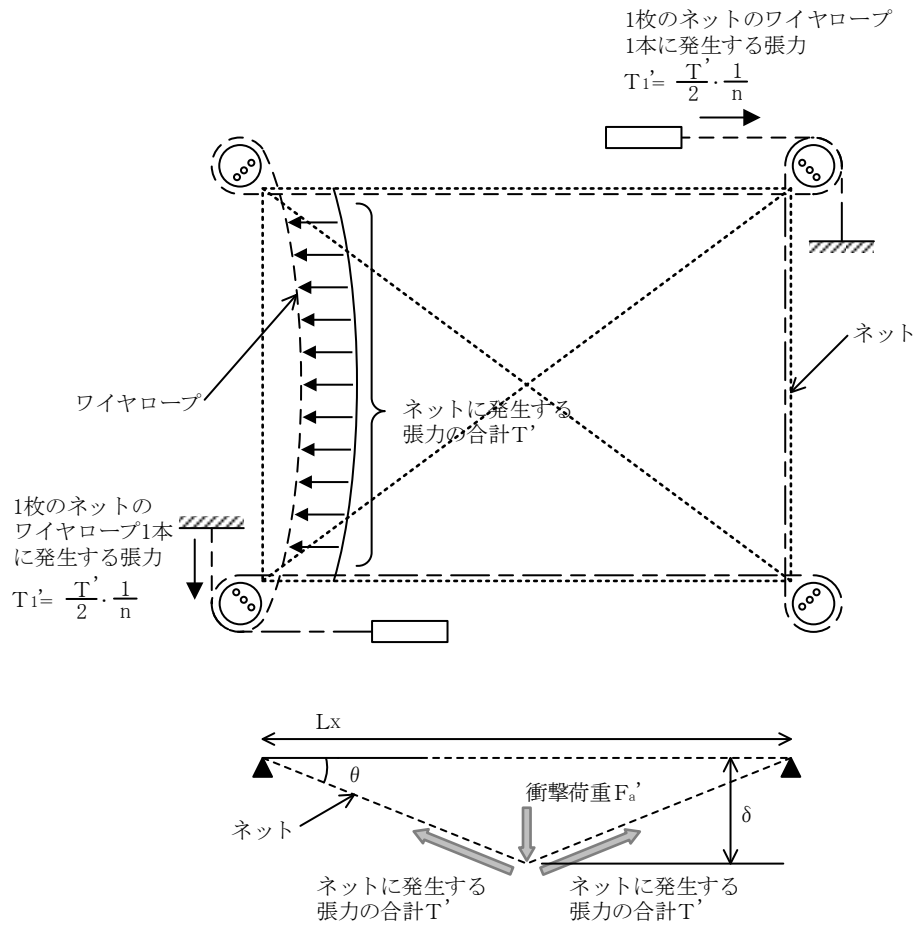


図 3-10 ネット及びワイヤロープに発生する荷重のつり合い (ネット平面図及び断面図)

c. 接続治具（支持部）

(a) ターンバックル

ターンバックルについては、以下の評価を実施する。

ターンバックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、ターンバックルの設計荷重以下であることを確認する。

(b) シャックル

シャックルについては、以下の評価を実施する。

シャックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、シャックルの設計荷重以下であることを確認する。

d. 接続治具（固定部）

(a) 隅角部固定ボルト

鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトは、ワイヤロープの荷重を鋼管を介して受けることとなる。

ここで、ワイヤロープはたわみにより鋼管に対して $\theta_{w1}$ 、 $\theta_{w2}$ のたわみ角を有することから、隅角部固定ボルトへ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

面外成分は、面内成分のように隅角部固定ボルトに対する有意な荷重ではないことから、面内荷重で評価する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 3-11 に、隅角部固定ボルトの荷重状態を図 3-12 に示す。

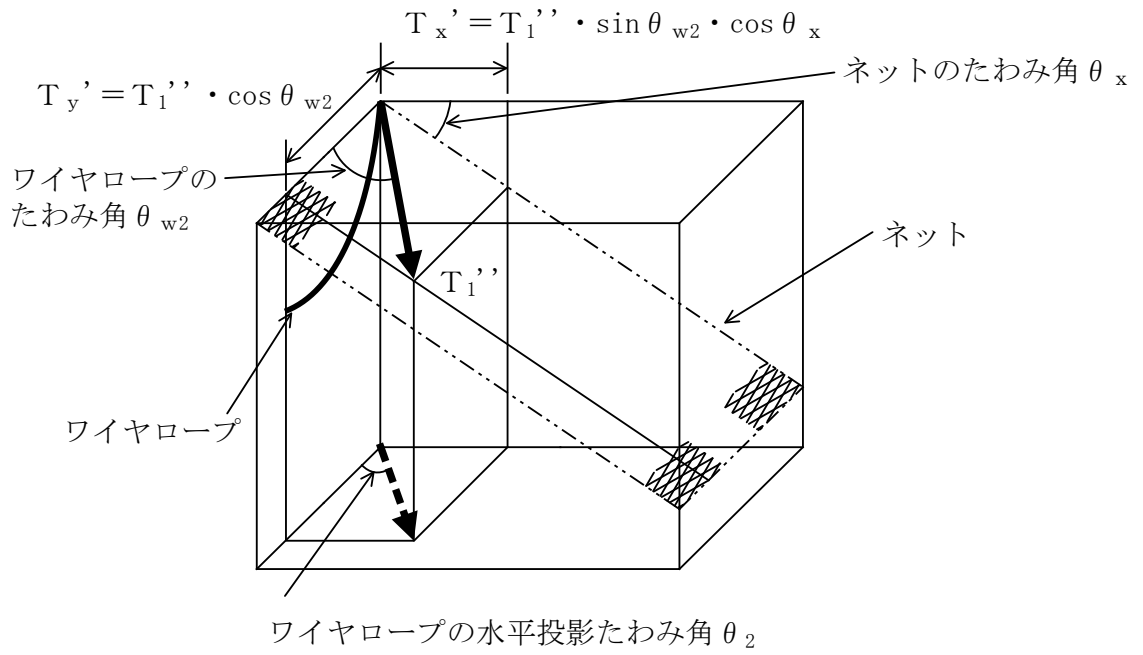
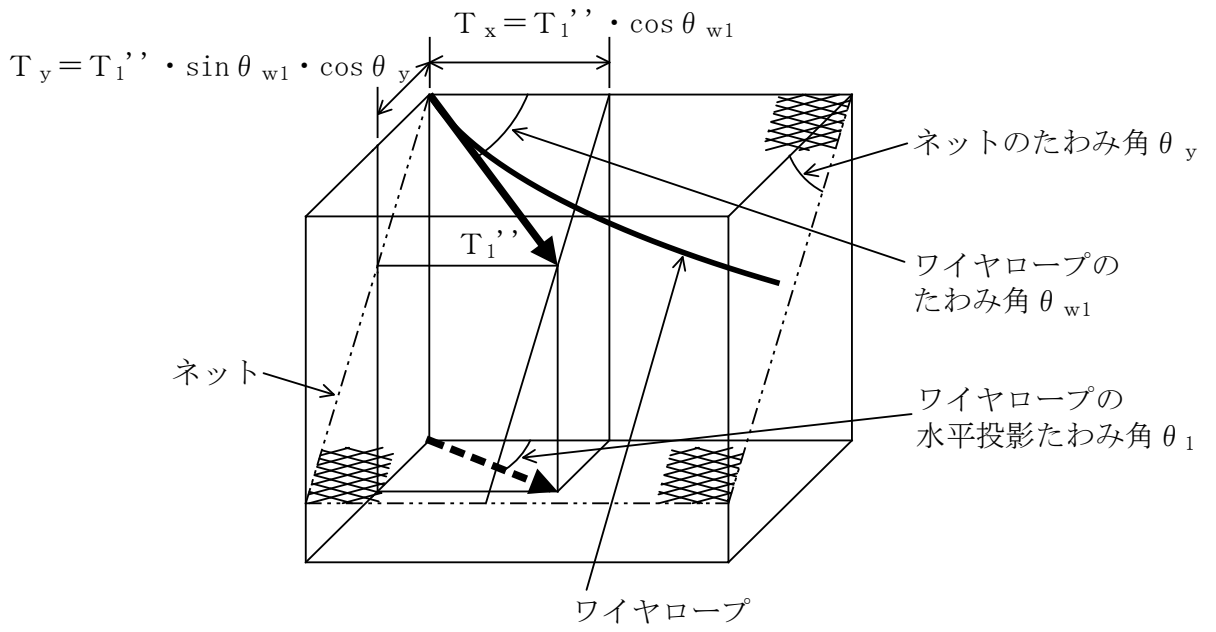


図 3-11 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

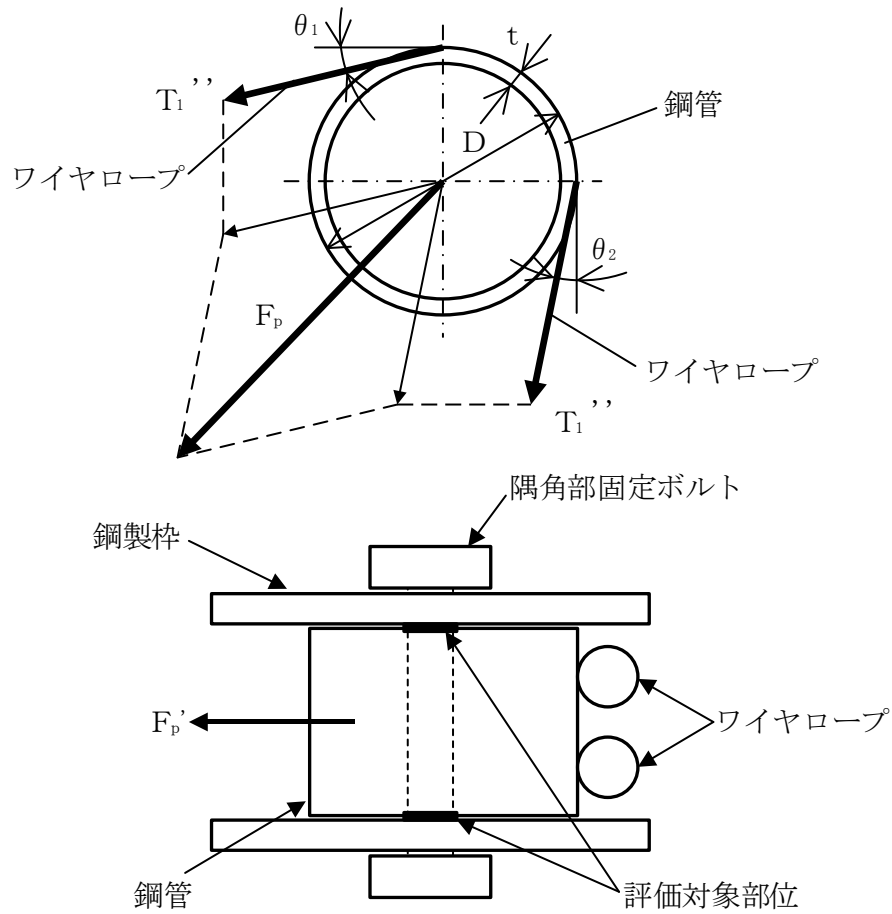


図 3-12 隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力のつり合いの関係から以下の評価式を用いて算定する。

ネット展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重， $T_x$ 及び $T_y$ は，以下のとおりとなる。

$$T_x = T_1'' \cdot \cos \theta_{w1}$$

$$T_y = T_1'' \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \cos \theta_y$$

ただし， $\theta_y$ 及び $\theta_{w1}$ は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

$$\theta_{w1} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \cdot \left( \frac{\delta_{wx}}{L_x} \right)^2}}$$

また，ネット展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重， $T_x'$ 及び $T_y'$ は以下の関係となる。



$$T_x' = T_1'' \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \cos \theta_x$$

$$T_y' = T_1'' \cdot \cos \theta_{w2}$$

ただし、 $\theta_x$  及び  $\theta_{w2}$  は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w2} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \cdot \left( \frac{\delta_{wy}}{L_y} \right)^2}}$$

隅角部へ作用する X 方向及び Y 方向への合成荷重は、

$$F_x = T_x + T_x'$$

$$F_y = T_y + T_y'$$

より求まる。

1 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は、

$$F_p = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

より求まる。

隅角部には、2 本のワイヤロープが支持されていることから、隅角部へ作用する合成荷重  $F_p'$  は、

$$F_p' = 2 \cdot F_p$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力  $\tau_s$  は、

$$\tau_s = \frac{F_p'}{2 \cdot n_2 \cdot A_b}$$

#### (b) 取付けプレート

設計飛来物が竜巻防護ネットに衝突する場合に生じるネット取付け部への衝撃荷重  $T_1''$  は、ワイヤロープの引張荷重として作用し、隅肉溶接部にはせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付けプレートの溶接部を図 3-13 に示す。

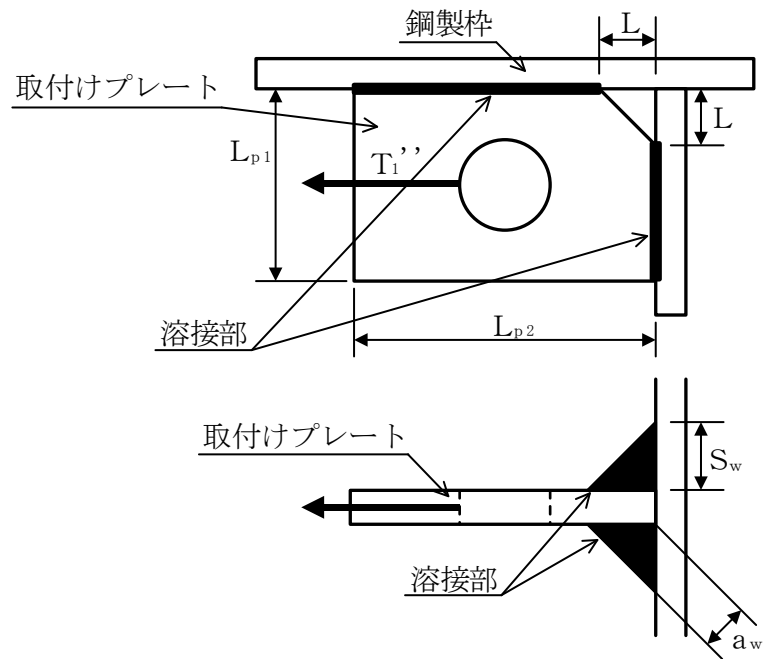


図 3-13 取付けプレートの溶接部

溶接部の有効長さ  $L_{pw}$  は、

$$L_{pw} = L_{p1} - L - 2 \cdot S_w + L_{p2} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力  $\tau_w$  は、

$$\tau_w = \frac{T_1''}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで溶接部ののど厚  $a_w$  は以下の式で求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

## (3) たわみ評価

たわみ評価においては，吸収エネルギー算定モデルを用い，設計飛来物の運動エネルギー，風圧力による荷重及び自重によるエネルギーを吸収するために必要となるネットのたわみ量を算定する。また，ワイヤロープ張力に応じたワイヤロープのたわみ量についても算定し，竜巻防護ネット全体のたわみ量が外部事象防護対象施設との離隔距離未満であることを確認する。

たわみ評価の評価フローを図 3-14 に示す。

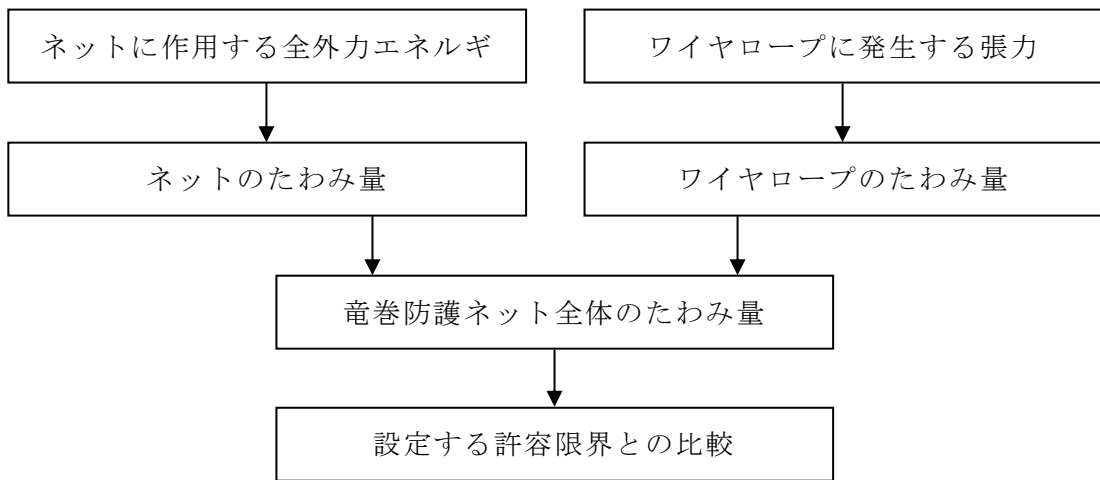


図 3-14 たわみ評価の評価フロー

## a. ネット

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は式(3. 10)のとおり，以下の式にて算定される。

$$E_i = 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで， $K_x$ 及び $L_x$ は定数であるため，

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで，ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量 $\delta$ を算定することができる。

## b. ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量の算定

ワイヤロープのたわみ量は，ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし，算定したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果(荷重-ひずみ曲線)から変形後のワイヤロープ長さを求めることで算定する。

また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算定におい

て有意ではないため計算上考慮しない。

式(3.14)に示す計算方法を用いて算定されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 $\varepsilon$ が算定される。よって、ワイヤロープの変形による伸び量 $\delta'$ は以下のとおり算定される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

また、設計飛来物の衝突によりワイヤロープが図3-15のとおり放物線状に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ $S$ は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

$$S = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \cdot \delta_w} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2}}{L_b} \right)$$

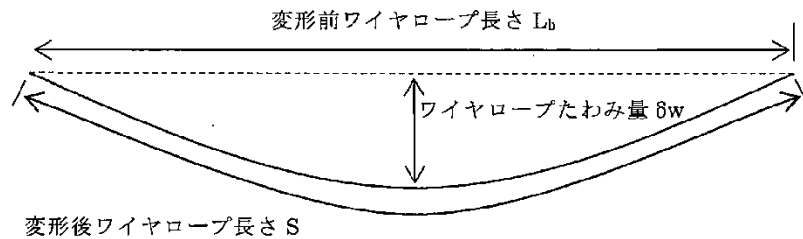


図 3-15 ワイヤロープ変形図

ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量 $\delta_t$ の算定を行う。ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）を図3-16に、ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）を図3-17に示す。

設計飛来物の衝突によるネット及びワイヤロープの変形は、ネットのアスペクト比により設計飛来物衝突の影響範囲が異なることからその変形形状が異なり、「展開方向寸法>展開直角方向寸法」の場合は、設計飛来物の衝突によるネット変形がネット全体に及ぶため図3-16のとおり4辺のワイヤロープが変形する形状となり、「展開方向寸法<展開直角方向寸法」の場合は、ネット変形がネット展開方向寸法の範囲に制限されるため図3-17のとおりネット展開直角方向のワイヤロープのみが変形する形状となる。

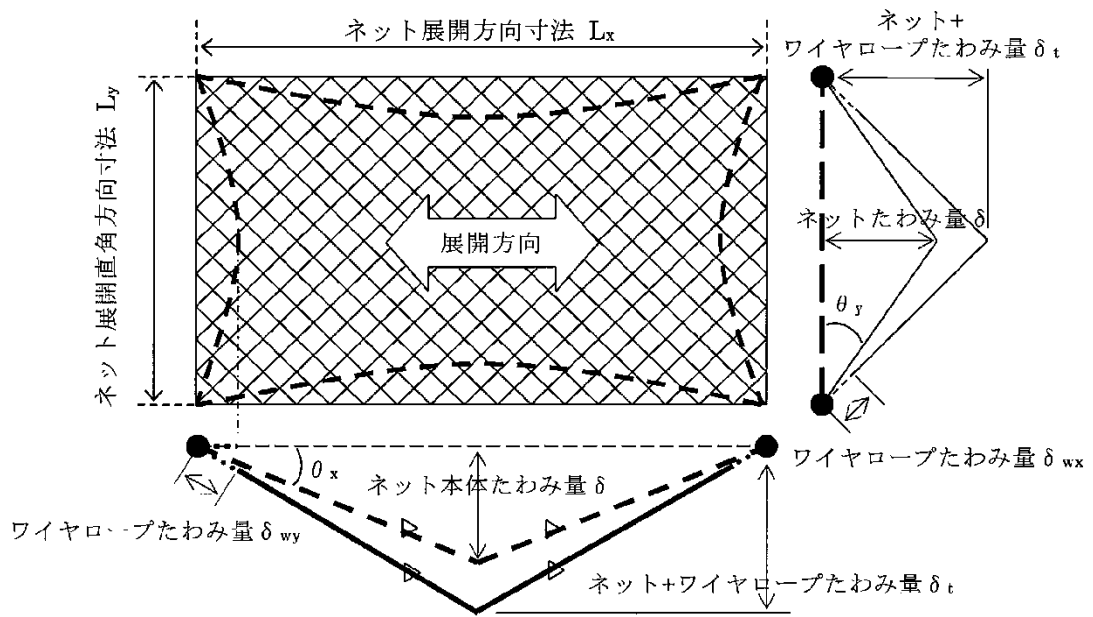


図 3-16 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）

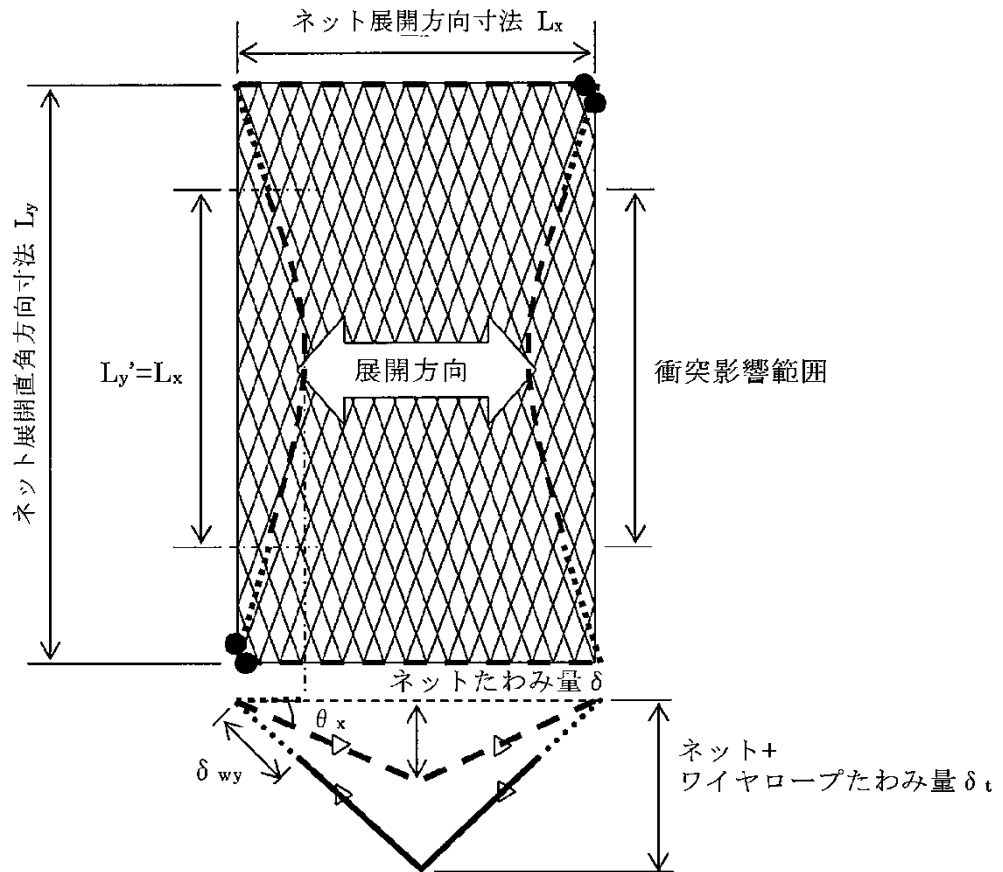


図 3-17 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）

よって、ネットのアスペクト比に応じ、ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量の算定を行う。

展開方向寸法>展開直角方向寸法の場合、図3-16のとおり、ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さを $S_x$ 、ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを $S_y$ とすると、 $S_x$ 及び $S_y$ はそれぞれ $\delta_{wx}$ 、 $\delta_{wy}$ の関数であり、ワイヤロープの伸び量 $\delta'$ は、

$$\delta' = \{S_x (\delta_{wx}) - L_x\} + \{S_y (\delta_{wy}) - L_y\}$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量 $\delta_t$ は、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos \theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2 \cdot \cos \theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量 $\delta_{wx}$ 及び $\delta_{wy}$ を算定することができる。同時にワイヤロープたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量 $\delta_t$ が算定される。

ここで、 $\theta_x$ 及び $\theta_y$ は、「3.5(3)a. ネット」で算定したネットに作用する全外力エネルギー $E_t$ に応じたたわみ量 $\delta$ より、以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

展開直角方向寸法>展開方向寸法の場合、図3-17より、ワイヤロープ伸び量 $\delta'$ が、 $L_y$ （展開方向に直交する辺）の範囲に集約されて変形する。

ワイヤロープ全体変形図を図3-18に示す。変形形状は図3-18のとおり、設計飛来物の影響範囲（ $L_y'$ ）にのみ分布荷重が発生するため放物線状となり、その両端部の接線がそのままネット端部まで延長される形となる。

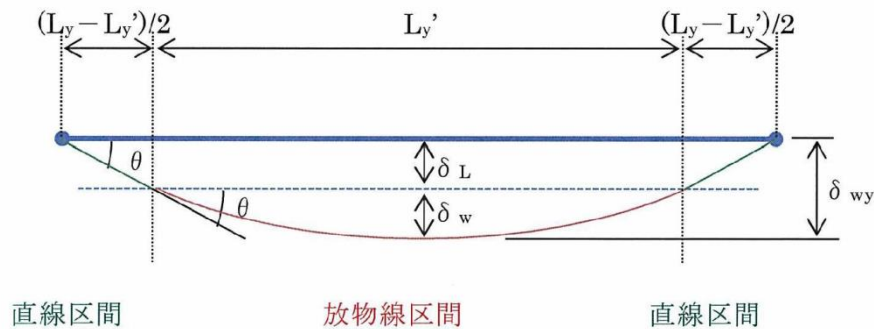


図3-18 ワイヤロープ全体変形図

放物線区間の変形形状は図 3-18 のとおりであり、ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを  $S_y$  とすると、 $S_y$  は  $\delta_w$  の関数であり、

$$S_y = S_y(\delta_w)$$

と表される。

また、直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計  $L_s$  は、

$$L_s = \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta}$$

と表される。

$L_y$  (展開方向に直交する辺) の変形後のワイヤロープ長さ  $S_t$  は、

$$S_t = L_y + \delta'$$

と算定されることから、

$$\begin{aligned} L_y + \delta' &= S_y + L_s \\ &= S_y(\delta_w) + \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta} \end{aligned}$$

となり、 $L_y$ 、 $L_y'$ 、 $\delta'$ 、 $\theta$  は定数であることから、放物線区間のワイヤロープたわみ量  $\delta_w$  を算定することができる。

また、直線区間のワイヤロープのたわみ量  $\delta_L$  は、

$$\delta_L = \frac{L_y - L_y'}{2} \tan \theta$$

と算定されることから、放物線区間、直線区間を含むワイヤロープ全体のたわみ量が、

$$\delta_{wy} = \delta_w + \delta_L$$

と算定される。

$$\delta_t = \sqrt{\left( \delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos \theta_x} \right)^2 - \left( \frac{L_x}{2} \right)^2}$$

より、ワイヤロープたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量  $\delta_t$  が算定される。

#### 4. 評価条件

##### 4.1 荷重条件

設計飛来物による衝撃荷重の評価条件を表 4-1 に、風圧力による荷重の評価条件を表 4-2 に示す。

表 4-1 設計飛来物による衝撃荷重の評価条件

設計飛来物	b × c (mm)	m (kg)	V <sub>1</sub> (m/s)	
			水平方向	鉛直方向
鋼製材	300×200	135	51	34

表 4-2 風圧力による荷重の評価条件

C (-)	G (-)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>D</sub> (m/s)
1.2	1.0	1.226	92



## 4.2 竜巻防護ネット仕様

## (1) ネット仕様

ネット仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 ネット仕様

項目	記号	仕様	備考
ネット材料	—	硬鋼線材 ( J I S G 3 5 0 6 )	—
ネット目合い寸法	—	40mm	電中研報告書
ネット 1 目合いの対角寸法	a	56.6mm	
ネット 1 目合いの破断変位	a <sub>s</sub>	13.9mm	
ネット素線の直径	d'	4mm	
ネット 1 目合いの破断荷重	F <sub>1</sub>	17.2kN	
ネット 1 目合いの等価剛性	K	1239kN/m	
衝突箇所周辺の ネット 1 枚当たりの目合い数	n <sub>1</sub>	20 個	
ネットの素線の引張強度	σ'	1400MPa	
破断時たわみ角	θ <sub>max</sub>	36.6deg	
ネットの単位面積当たりの質量	m <sub>N</sub>	5.7kg/m <sup>2</sup>	
ネットの充実率	φ	0.61 (5 枚* <sup>1</sup> ) 0.44 (3 枚* <sup>1</sup> )	計算値* <sup>2</sup>

注記\*1：補助金網を含む。

$$*2: \phi = 1 - \left\{ \frac{(\text{ネット目合い寸法})^2}{(\text{ネット目合い寸法} + \text{ネット素線直径})^2} \right\}^n$$

## (2) 竜巻防護ネット構成

海水ポンプエリア，原子炉建物外壁及び廃棄物処理建物外壁の竜巻防護ネットの構成を表 4-4～表 4-6 に示す。

表 4-4 海水ポンプエリアの竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	$L_x$	$L_y^{*2}$		
1	3.570	4.770	水平	2 枚 (1 枚) *1
2	3.520	4.770	水平	
3	3.420	4.770	水平	
4	2.395	4.770	水平	
5	3.870	4.770	水平	
6	2.395	4.770	水平	
7	2.295	4.770	水平	
8	2.295	4.770	水平	

注記\*1：( ) 内は補助金網

\*2：展開方向：展開直行方向のアスペクト比が 1：1 より小さいため， $L_y = L_x$  として評価する。

表 4-5(1) 原子炉建物外壁 (2RB-AG1, AG3, AG4) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	$L_x$	$L_y$		
1	2.705	2.430	鉛直	4 枚 (1 枚) *
2	2.505	2.430	鉛直	
3	2.880	2.430	鉛直	
4	2.430	2.430	鉛直	
5	2.705	2.230	鉛直	
6	2.505	2.230	鉛直	
7	2.880	2.230	鉛直	
8	2.430	2.230	鉛直	

注記\*：( ) 内は補助金網

表 4-5(2) 原子炉建物外壁 (2R B-A G2) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>		
1	2.580	2.430	鉛直	4 枚
2	2.580	2.230	鉛直	(1 枚) *

注記\* : ( ) 内は補助金網

表 4-5(3) 原子炉建物外壁 (2R B-A G5) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>		
1	3.330	2.180	鉛直	4 枚
2	3.330	1.980	鉛直	(1 枚) *

注記\* : ( ) 内は補助金網

表 4-5(4) 原子炉建物外壁 (2R B-3) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>		
1	2.430	2.080	鉛直	4 枚 (1 枚) *

注記\* : ( ) 内は補助金網

表 4-5(5) 原子炉建物外壁 (2R B-M4) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>		
1	2.580	1.990	鉛直	4 枚 (1 枚) *

注記\* : ( ) 内は補助金網

表 4-5(6) 原子炉建物外壁 (2RB-BOP2, BOP3) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	$L_x$	$L_y$		
1	2.830	2.630	鉛直	4枚 (1枚)*
2	2.830	2.430	鉛直	
3	2.460	2.080	鉛直	
4	2.630	2.130	水平	2枚
5	2.430	2.130	水平	(1枚)*

注記\* : ( ) 内は補助金網

表 4-6 廃棄物処理建物外壁 (2RwB-AG1) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	$L_x$	$L_y$		
1	2.480	2.130	鉛直	4枚 (1枚)*

注記\* : ( ) 内は補助金網

## (3) ワイヤロープ

ワイヤロープの仕様を表 4-7 に示す。

表 4-7 ワイヤロープの仕様

評価対象部位	仕様	径	破断荷重 $F_2$ (kN)	ワイヤグリップ効率 $C_c$
ワイヤロープ	7×7	$\phi 16$	165* <sup>1</sup>	0.8* <sup>2</sup>

注記\*1 : J I S G 3 5 4 9 の破断荷重

\*2 : J I S B 2 8 0 9 及び (社) 日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

## (4) 接続治具（支持部）

## a. ターンバックル

ターンバックルの仕様を表 4-8 に示す。

表 4-8 ターンバックルの仕様

評価対象部位	規格値 $F_3$ (kN)	許容限界 (kN)
ターンバックル	86.8*	130

注記\*：J I S A 5 5 4 0 の保証荷重

## b. シャックル

シャックルの仕様を表 4-9 に示す。

表 4-9 シャックルの仕様

評価対象部位	規格値 $F_4$ (kN)	許容限界 (kN)
シャックル	78.4	156*

注記\*：試験結果に基づくメーカー保証値

## (5) 接続治具（固定部）

## a. 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの評価条件を表 4-10 に示す。

表 4-10 隅角部固定ボルトの評価条件

評価対象部位	ボルト径	強度区分	ボルト本数 $n_2$
隅角部固定ボルト	M27	8.8	3

## b. 取付けプレート

取付けプレートの評価条件を表 4-11 に示す。

表 4-11 取付けプレートの評価条件

評価対象部位	取付けプレート 母材	プレート長さ		面取り長さ L (mm)	溶接脚長 $S_w$ (mm)
		$L_{p1}$ (mm)	$L_{p2}$ (mm)		
取付けプレート	SS400	90	130	20	7

## 5. 強度評価結果

## 5.1 吸収エネルギー評価

竜巻による設計飛来物衝突時の吸収エネルギー評価結果を表 5-1～表 5-3 に示す。

全ての竜巻防護ネットにおいて、作用する全外力エネルギー  $E_t$  は、ネットの限界吸収エネルギー  $E_{max}$  を下回っている。

## (1) 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-1 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	83.0	244.3
2	82.9	253.2
3	82.6	239.6
4	80.3	120.3
5	83.9	304.6
6	80.3	120.3
7	80.1	110.9
8	80.1	110.9

## (2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-2(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の  
吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.1	247.3
2	176.9	226.4
3	177.3	264.0
4	176.8	222.9
5	177.0	207.7
6	176.8	190.2
7	177.2	221.7
8	176.7	187.2

表 5-2(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の  
吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.0	235.2
2	176.8	197.5

表 5-2(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の  
吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.8	279.9
2	177.6	253.9

表 5-2(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の  
吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	176.6	194.4

表 5-2(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の  
吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	176.7	177.1

表 5-2(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の  
吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.4	282.6
2	177.3	260.5
3	176.6	194.6
4	79.1	106.0
5	78.9	98.6

(3) 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-3 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット (2R w B-A G1) の  
吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	176.7	181.0



## 5.2 破断評価

## (1) ネット

竜巻による設計飛来物衝突時の破断評価結果を表 5-4～表 5-6 に示す。

全ての竜巻防護ネットにおいて、設計飛来物による衝撃荷重  $F_{a'}$  は、ネットの許容荷重を下回っている。

## a. 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-4 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの  
破断評価結果

No.	$F_{a'}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	276	688
2	282	
3	286	
4	330	
5	273	
6	330	
7	336	
8	336	

## b. 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-5(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の

破断評価結果

No.	$F_{a'}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	630	1376
2	663	
3	603	
4	680	
5	600	
6	632	
7	575	
8	649	

表 5-5(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の  
破断評価結果

No.	F <sub>a</sub> ' (kN)	許容限界 (kN)
1	651	1376
2	620	

表 5-5(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の  
破断評価結果

No.	F <sub>a</sub> ' (kN)	許容限界 (kN)
1	531	1376
2	516	

表 5-5(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の  
破断評価結果

No.	F <sub>a</sub> ' (kN)	許容限界 (kN)
1	655	1376

表 5-5(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の  
破断評価結果

No.	F <sub>a</sub> ' (kN)	許容限界 (kN)
1	602	1376

表 5-5(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の  
破断評価結果

No.	F <sub>a</sub> ' (kN)	許容限界 (kN)
1	625	1376
2	611	
3	648	
4	286	688
5	303	

c. 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-6 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット (2R w B-A G1) の

破断評価結果

No.	$F_{a'}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	630	1376

(2) ワイヤロープ

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-7～表 5-9 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重  $T_{1''}$  は、ワイヤロープの許容荷重を下回っている。

a. 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-7 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	87	132
2	90	
3	90	
4	91	
5	90	
6	91	
7	91	
8	91	

## b. 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-8(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	94	132
2	98	
3	92	
4	100	
5	87	
6	91	
7	85	
8	93	

表 5-8(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	97	132
2	89	

表 5-8(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	82	132
2	78	

表 5-8(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	94	132

表 5-8(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の  
ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_1''$ (kN)	許容限界 (kN)
1	85	132

表 5-8(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の  
ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_1''$ (kN)	許容限界 (kN)
1	96	132
2	93	
3	93	
4	77	
5	80	

c. 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-9 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット (2RwB-AG1) の  
ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_1''$ (kN)	許容限界 (kN)
1	89	132

(3) 接続治具 (支持部)

a. ターンバックル

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-10 に示す。

発生荷重は、ターンバックルの許容限界を下回っている。

表 5-10 ターンバックルの強度評価結果

評価対象部位	発生荷重* (kN)	許容限界 (kN)
ターンバックル	100	130

注記\* : ワイヤロープの張力が最大である, 原子炉建物外壁竜巻防護ネット  
(2RB-AG1, AG3, AG4) の  $T_1''$  の値を示す。

## b. シャックル

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-11 に示す。

発生荷重は、シャックルの許容限界を下回っている。

表 5-11 シャックルの強度評価結果

評価対象部位	発生荷重* (kN)	許容限界 (kN)
シャックル	100	156

注記\*：ワイヤロープの張力が最大である，原子炉建物外壁竜巻防護ネット  
(2RB-AG1, AG3, AG4) の  $T_1''$  の値を示す。

## (4) 接続治具 (固定部)

## a. 隅角部固定ボルト

接続治具 (固定部) のうち，隅角部固定ボルトの竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-12 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重  $T_1''$  による発生応力は，隅角部固定ボルトの許容限界を下回っている。

表 5-12 隅角部固定ボルトの強度評価結果

評価対象部位	発生応力* (MPa)	許容限界 (MPa)
隅角部固定ボルト	117	323

注記\*：ワイヤロープの張力が最大である，原子炉建物外壁竜巻防護ネット  
(2RB-AG1, AG3, AG4) の値を示す。

## b. 取付けプレート

取付けプレート溶接部の竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-13 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重  $T_1''$  による発生応力は，取付けプレート溶接部の許容限界を下回っている。

表 5-13 取付けプレート溶接部の強度評価結果

評価対象部位	発生応力* (MPa)	許容限界 (MPa)
取付けプレート溶接部	101	135

注記\* : ワイヤロープの張力が最大である，原子炉建物外壁竜巻防護ネット  
(2RB-AG1, AG3, AG4) の値を示す。

### 5.3 たわみ評価

竜巻による設計飛来物衝突時のたわみ評価結果を表 5-14～表 5-16 に示す。

全ての竜巻防護ネットにおいて、設計飛来物の衝突による竜巻防護ネット全体のたわみ量  $\delta_t$  は、竜巻防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離  $L_{min}$  を下回っている。

#### (1) 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-14 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの  
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.78	2.85
2	1.78	
3	1.79	
4	2.00	
5	1.71	
6	2.00	
7	2.02	
8	2.02	



## (2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-15(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の

たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.11	1.51
2	1.06	
3	1.15	
4	1.03	
5	1.13	
6	1.08	
7	1.17	
8	1.05	

表 5-15(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の

たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.07	1.51
2	1.09	

表 5-15(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の

たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.26	1.51
2	1.27	

表 5-15(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の  
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.04	1.51

表 5-15(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の  
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.10	1.26

表 5-15(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の  
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.13	3.11
2	1.14	
3	1.05	3.16
4	1.05	2.69
5	1.00	

(3) 廃物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-16 廃物処理建物外壁竜巻防護ネット (2R w B-A G1) の  
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.07	1.51

## VI-3-別添 1-4 竜巻防護鋼板の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	4
2.3 評価方針	11
2.4 適用規格・基準等	12
3. 強度評価方法	13
3.1 記号の定義	13
3.2 評価対象部位	14
3.3 荷重及び荷重の組合せ	17
3.4 許容限界	18
3.5 評価方法	21
4. 評価条件	22
5. 強度評価結果	23

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護対策設備のうち、取水槽海水ポンプエリア、取水槽循環水ポンプエリア、ディーゼル燃料移送ポンプエリア及び建物開口部に設置する竜巻防護鋼板が、竜巻時及び竜巻通過後においても構造健全性を保持し、外部事象防護対象施設の安全機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」,「3.2 竜巻防護鋼板の構造設計」及び「5. 許容限界」を踏まえて,竜巻防護鋼板の「2.1 位置」,「2.2 構造概要」,「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

竜巻防護鋼板は,取水槽(取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリア),ディーゼル燃料移送ポンプエリア及び建物開口部に設置する。竜巻防護鋼板の位置図を図2-1,取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の位置図を図2-2,ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の位置図を図2-3に示す。

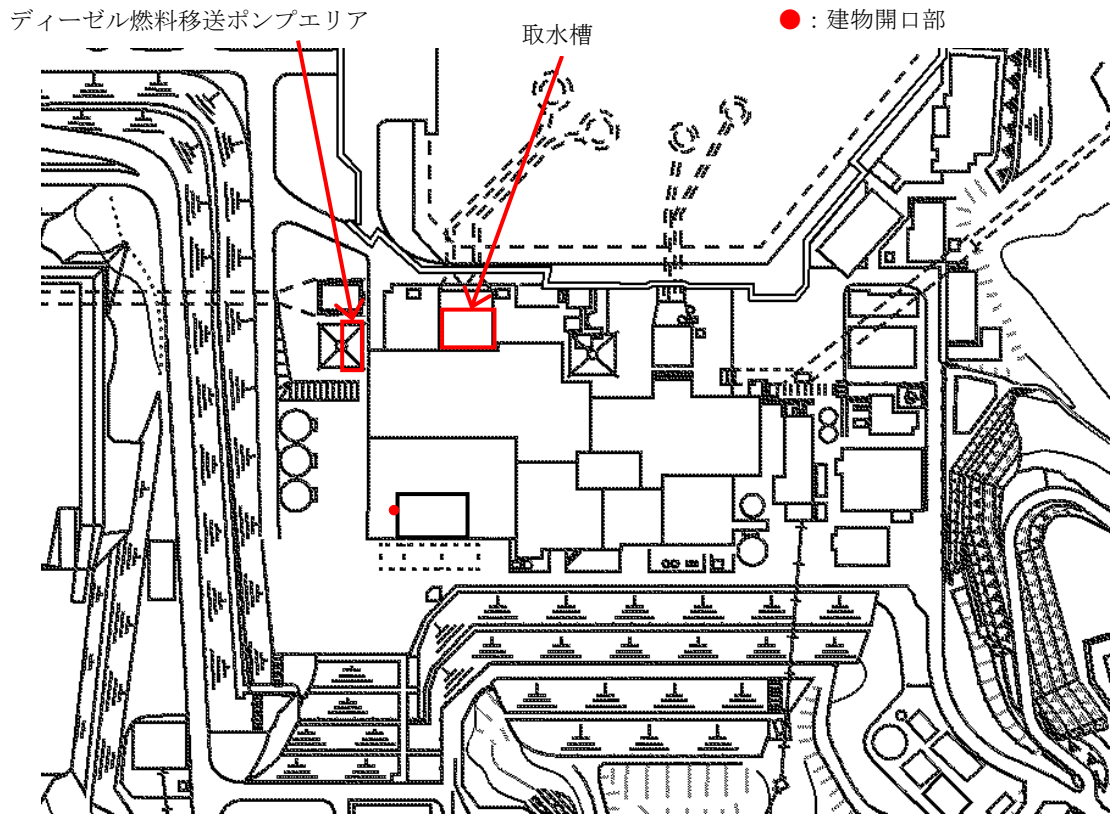


図2-1 竜巻防護鋼板の位置図

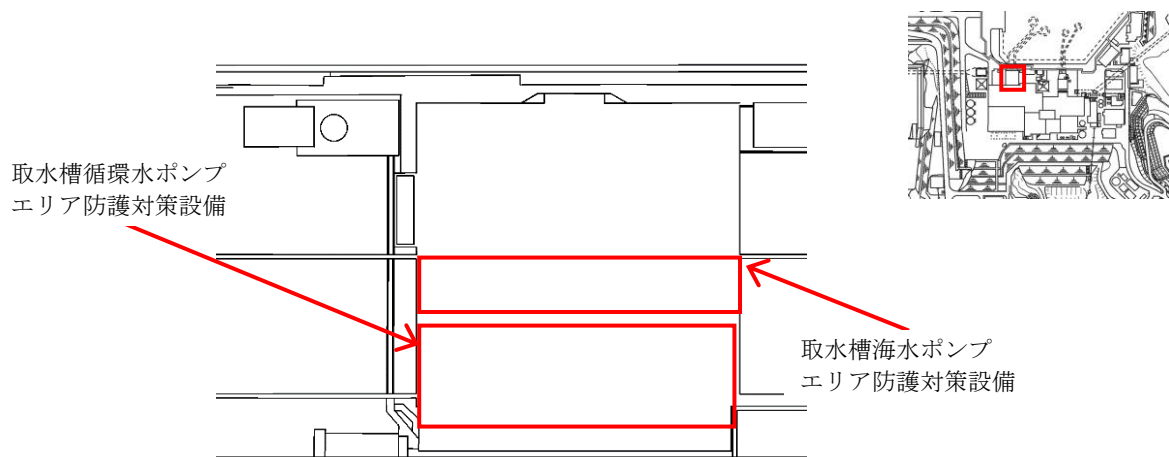


図 2-2 取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の位置図

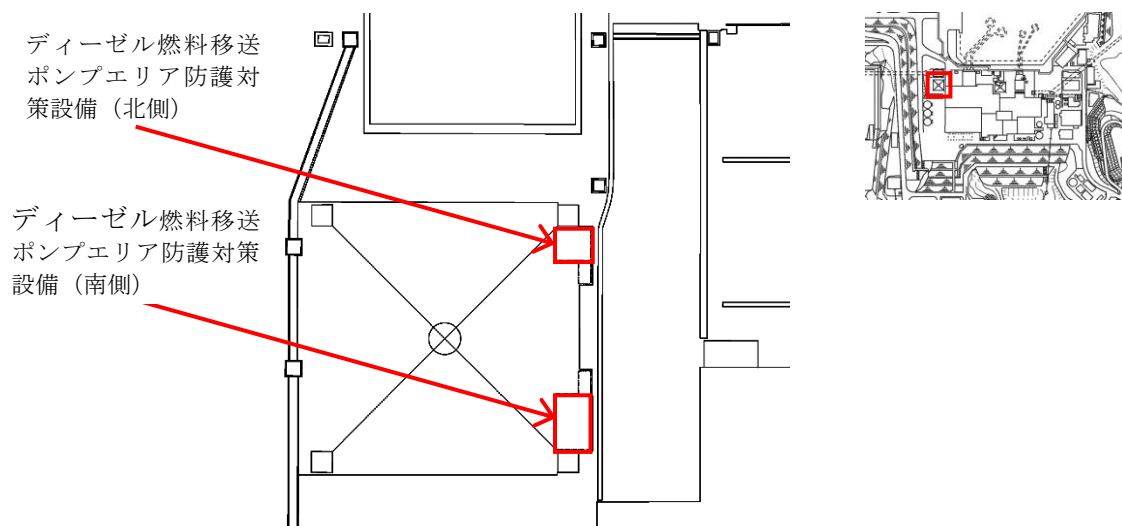


図 2-3 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の位置図



## 2.2 構造概要

VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 竜巻防護鋼板の構造設計」に示す構造設計を踏まえて、竜巻防護鋼板の構造を設定する。

取水槽海水ポンプエリア、取水槽循環水ポンプエリア、ディーゼル燃料移送ポンプエリア及び建物開口部の竜巻防護鋼板は、鋼板で構成する鋼製構造物である。

### (1) 取水槽海水ポンプエリア竜巻防護鋼板

取水槽海水ポンプエリア竜巻防護鋼板は、当該竜巻防護対策設備の架構に取り付けられ外部事象防護対象施設の外殻となる。取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の平面図を図 2-4、断面図を図 2-5 に示す。

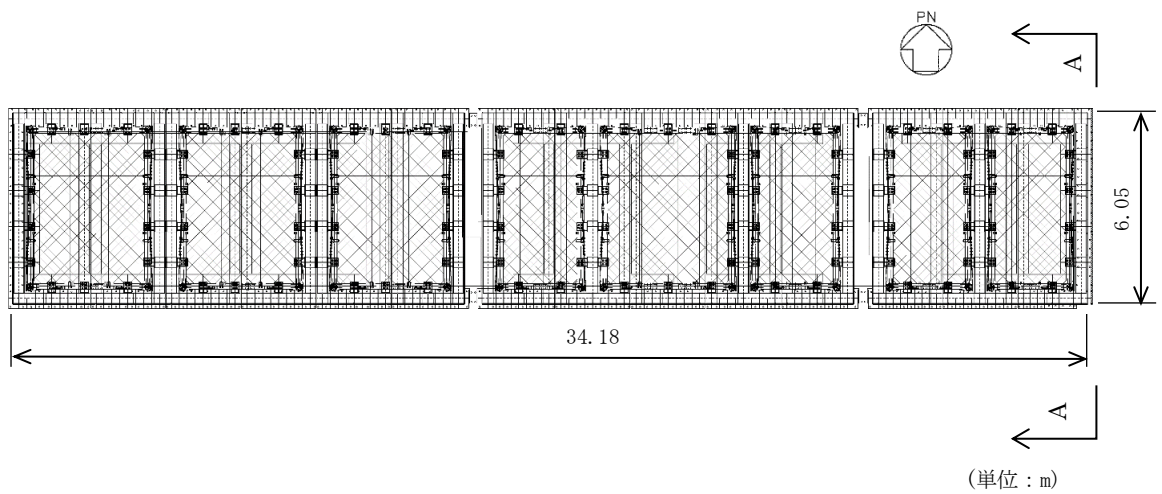
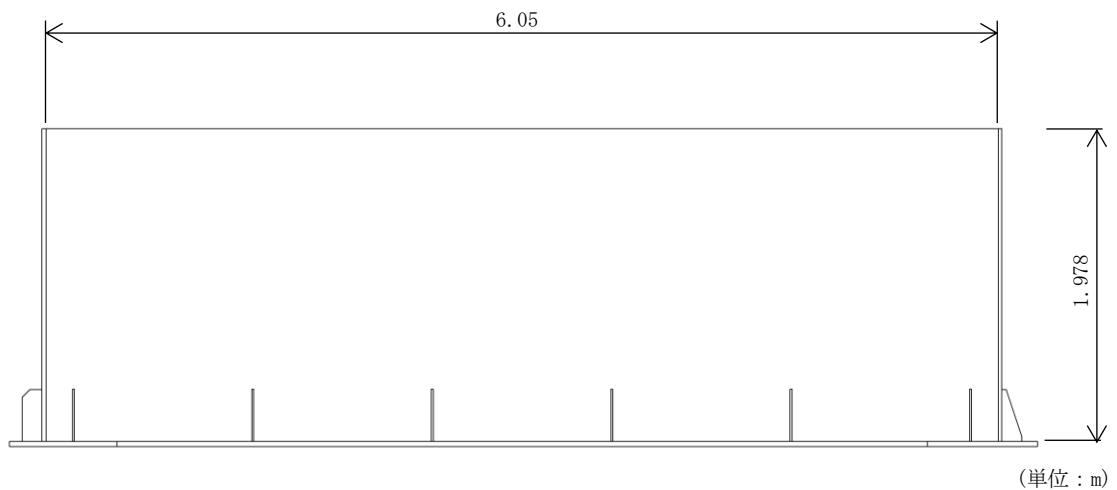


図 2-4 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の平面図



A-A断面図

図 2-5 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の断面図

(2) 取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護鋼板

取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護鋼板は、当該竜巻防護対策設備の架構に取り付けられ外部事象防護対象施設の外壳となる。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の平面図を図 2-6、断面図を図 2-7 に示す。

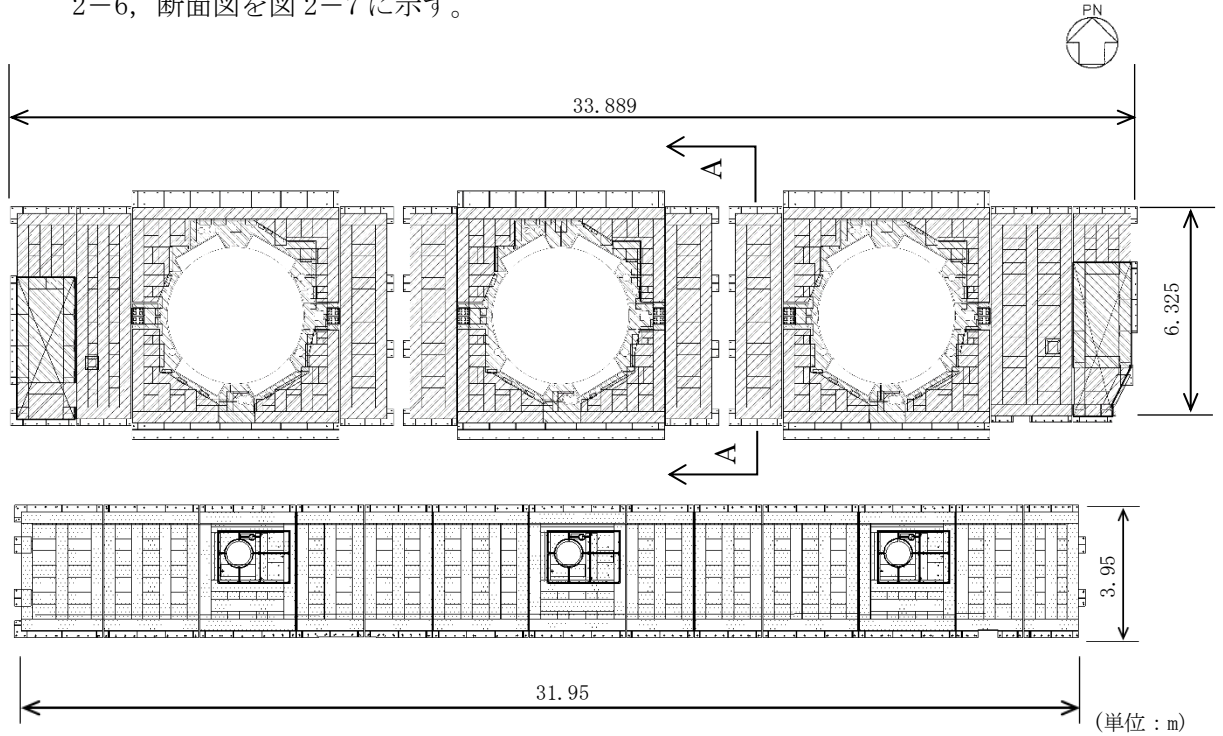


図 2-6 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の平面図

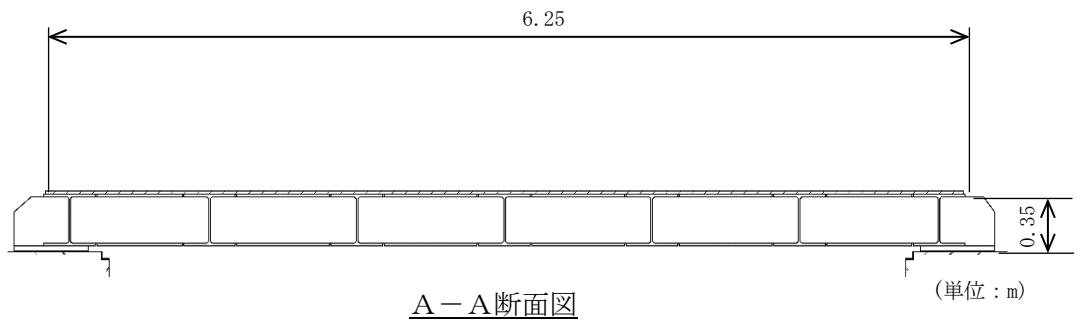


図 2-7 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の断面図

(3) ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板

ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板は、当該竜巻防護対策設備の架構に取り付けられ外部事象防護対象施設の外殻となる。ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の平面図を図 2-8 及び図 2-10、断面図を図 2-9 及び図 2-11 に示す。

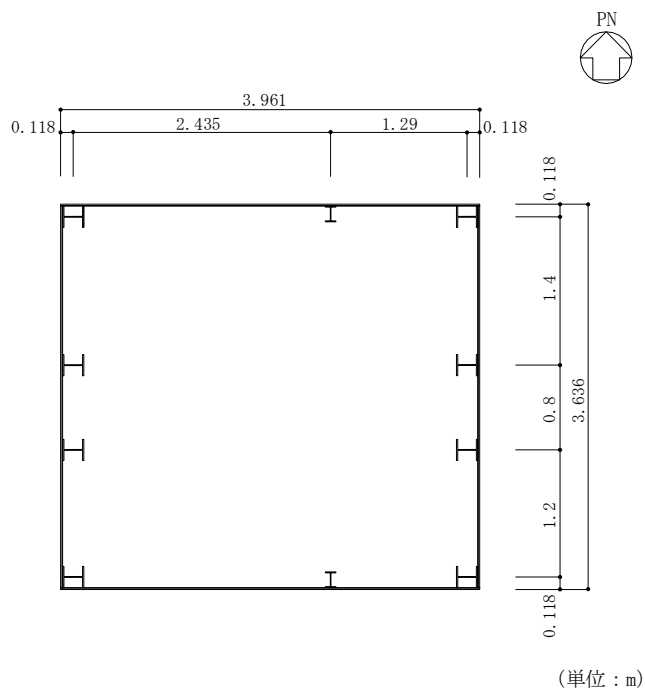


図 2-8 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（北側）の平面図

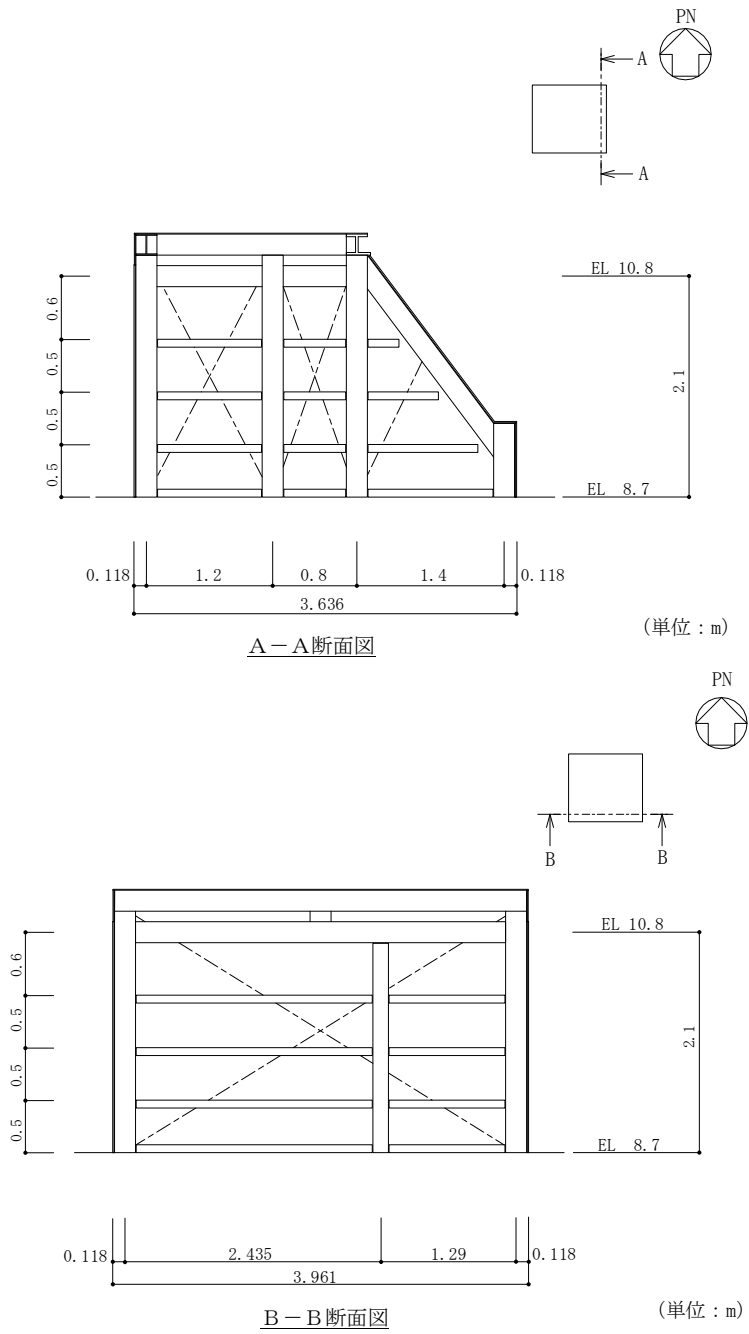


図 2-9 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（北側）の断面図

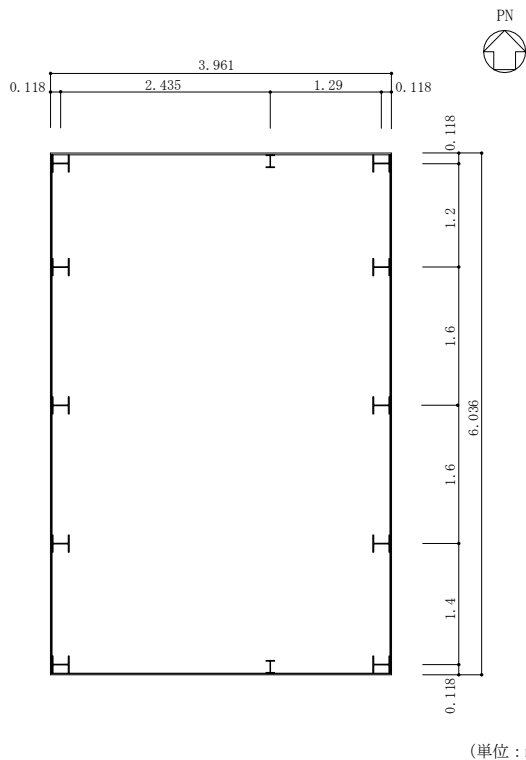
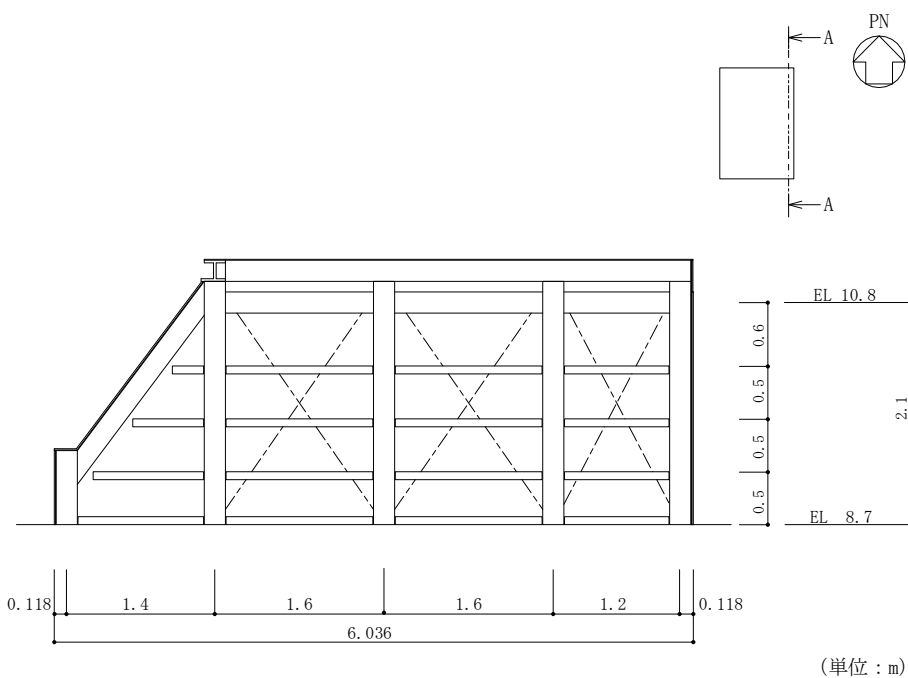
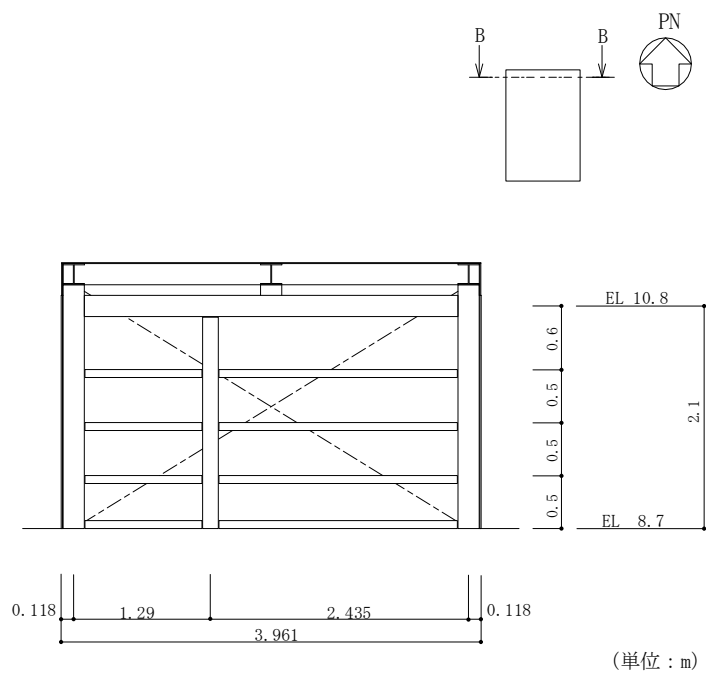


図 2-10 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（南側）の平面図



A-A断面図

図 2-11 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（南側）の断面図（1/2）



B-B断面図

図 2-11 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備 (南側) の断面図 (2/2)

## (4) 建物開口部竜巻防護鋼板

建物開口部竜巻防護鋼板は、当該竜巻防護対策設備の架構に取り付けられ外部事象防護対象施設の外殻となる。建物開口部防護対策設備の概要図を図 2-12 に示す。

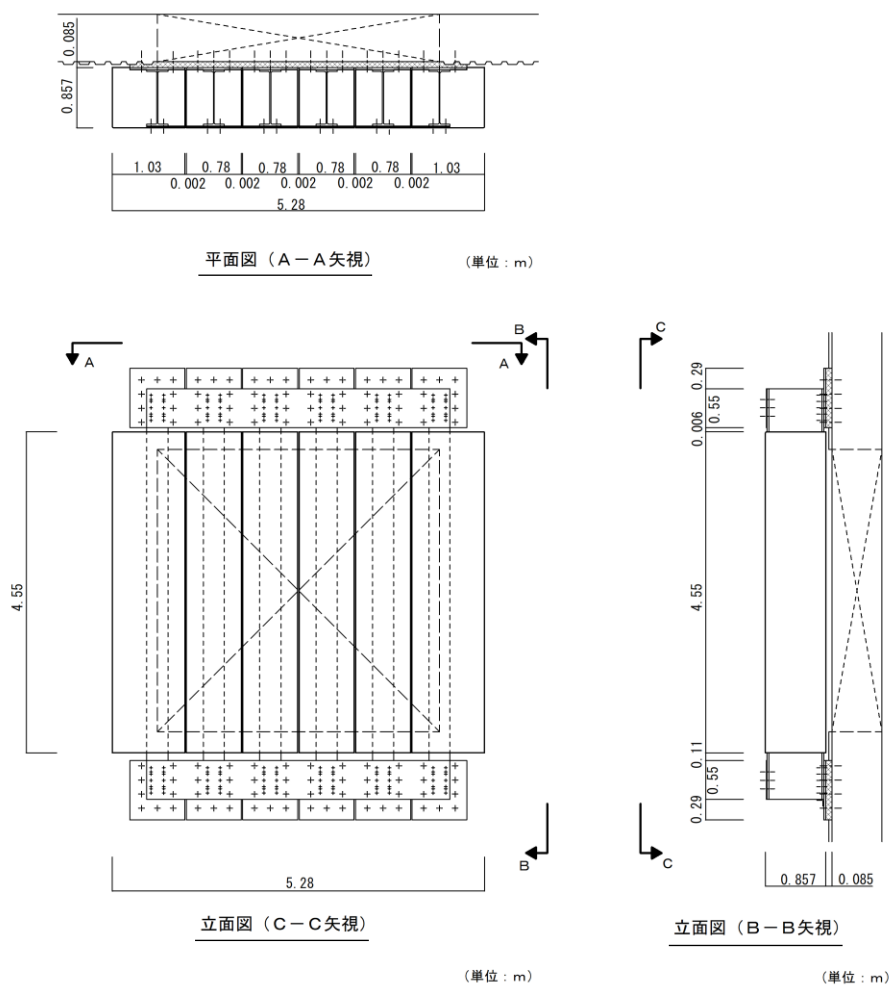


図 2-12 建物開口部防護対策設備の概要図

### 2.3 評価方針

竜巻防護鋼板の強度評価は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5. 許容限界」を踏まえ、竜巻防護鋼板の評価対象部位に生じる応力等が許容限界に収まることを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

#### (1) 衝突評価の方針

設計飛来物が竜巻防護鋼板に衝突した場合に、設計飛来物が鋼板を貫通しない最小肉厚(必要最小肉厚)に対し、竜巻防護鋼板が十分な厚さを有していることを確認する。

竜巻防護鋼板の衝突評価フローを図 2-13 に示す。

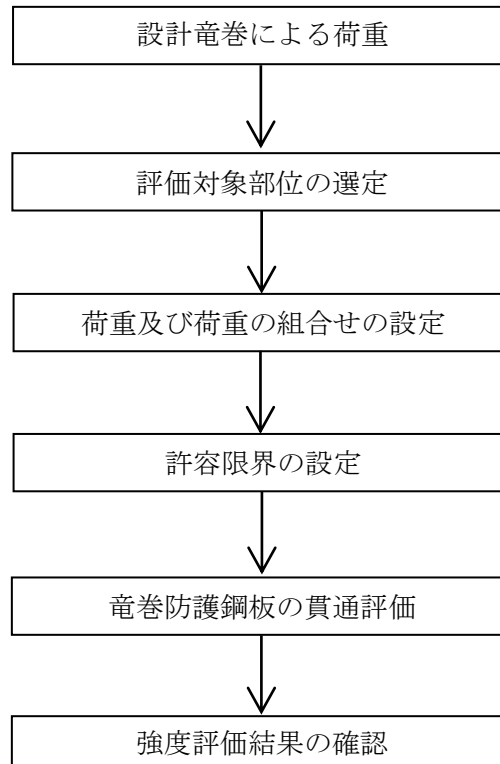


図 2-13 竜巻防護鋼板の衝突評価フロー



## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（(社)日本機械学会, 2005/2007)
- ・ 日本産業規格(J I S) (以下「J I S」という。)
- ・ 「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会, 2004 改定)
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8(NEI 07-13)) (以下「NEI 07-13」という。)
- ・ 動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物のぜい性破壊性能評価方法 (WES2808 : 2003) ((社)日本溶接協会)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

衝突評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
$E$	MPa	縦弾性係数
$E'$	MPa	塑性硬化係数
$T$	°C	想定するひずみ速度時の温度
$T_0$	°C	基準ひずみ速度時の温度
$W_M$	N	設計飛来物による衝撃荷重
$\dot{\epsilon}$	—	想定するひずみ速度
$\epsilon'$	—	破断ひずみ
$\dot{\epsilon}_0$	—	基準ひずみ速度
$\sigma_T$	MPa	想定するひずみ速度時の引張強さ
$\sigma_{T0}$	MPa	基準ひずみ速度時の引張強さ
$\sigma_Y$	MPa	想定するひずみ速度時の降伏応力
$\sigma_{Y0}$	MPa	基準ひずみ速度時の降伏応力

### 3.2 評価対象部位

衝突評価として、「2.3 評価方針」に示すとおり、竜巻防護対策設備の外殻を構成する竜巻防護鋼板を対象とする。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

竜巻防護鋼板を評価対象として選定する。評価対象の仕様を表 3-2 に、評価対象部位を図 3-1～図 3-4 に示す。

表 3-2 竜巻防護鋼板の仕様

評価対象	材質	厚さ (mm)
取水槽海水ポンプエリア竜巻防護鋼板	SS400	
取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護鋼板	SS400	
ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板		
ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板 (穴あき)		
建物開口部竜巻防護鋼板	SS400	

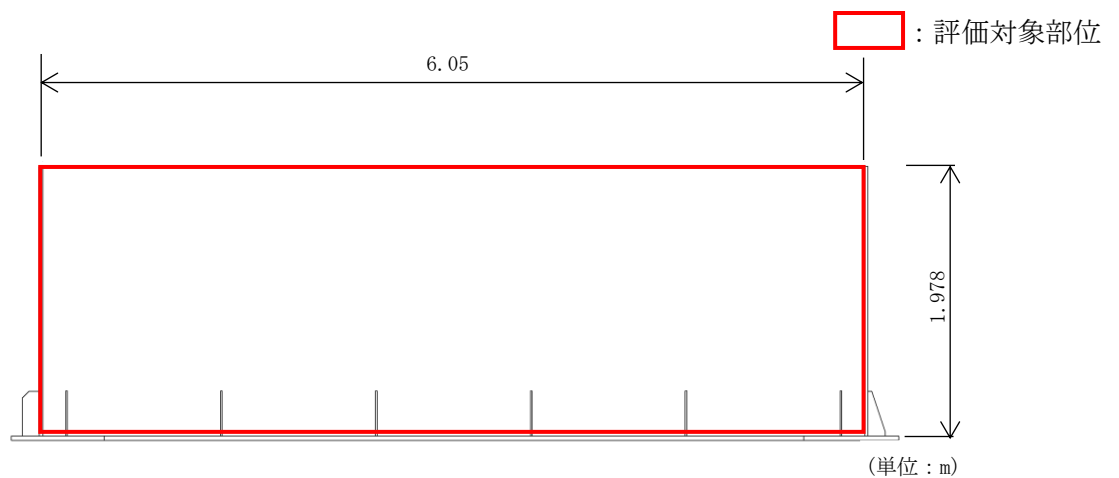


図 3-1 評価対象部位 (取水槽海水ポンプエリア竜巻防護鋼板)

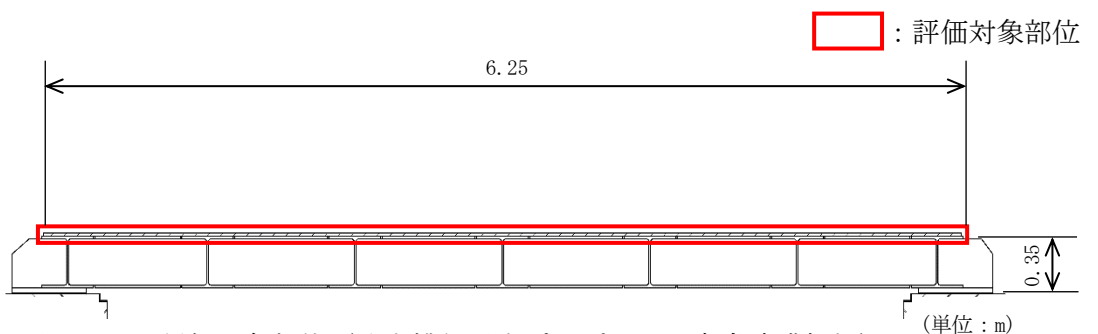


図 3-2 評価対象部位 (取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護鋼板)

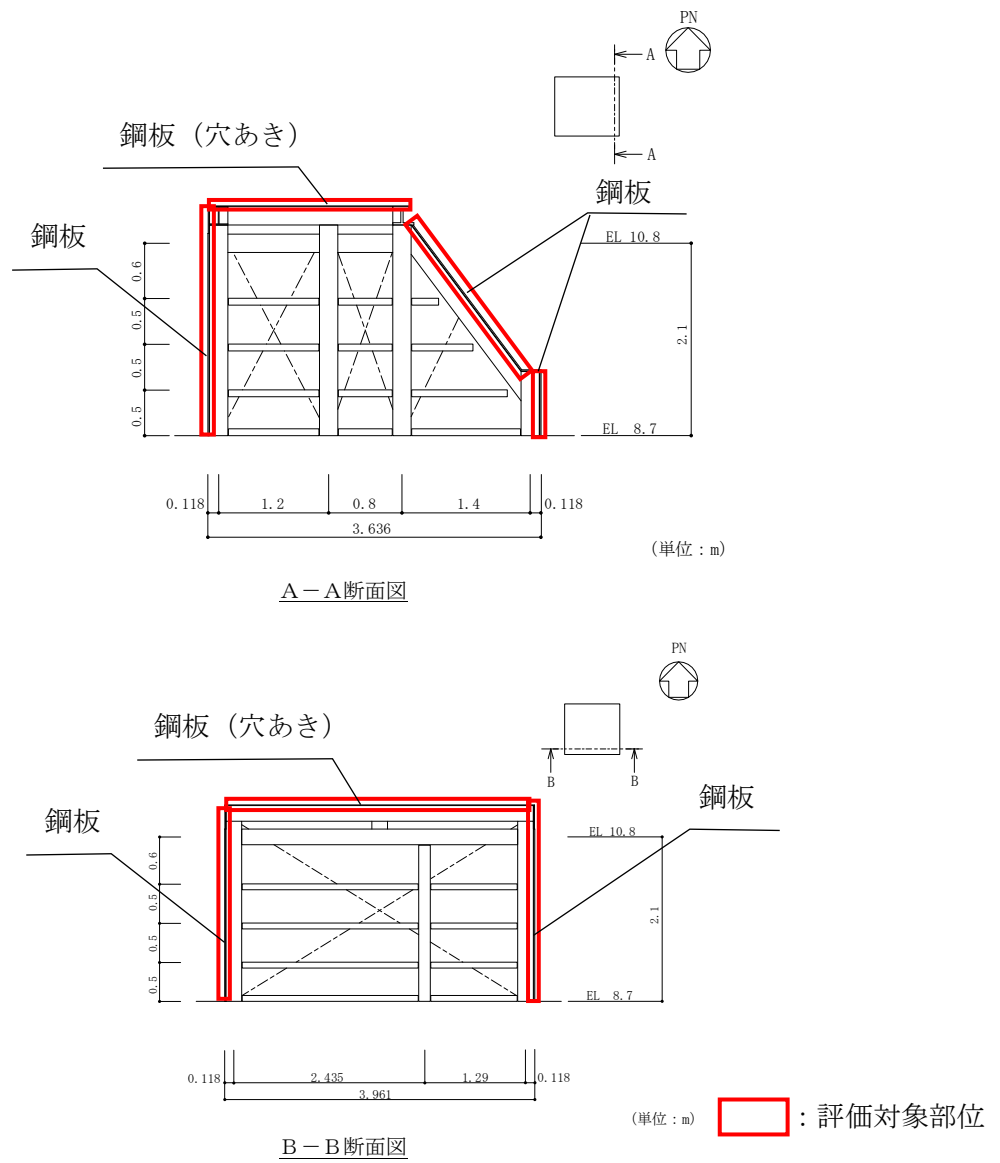
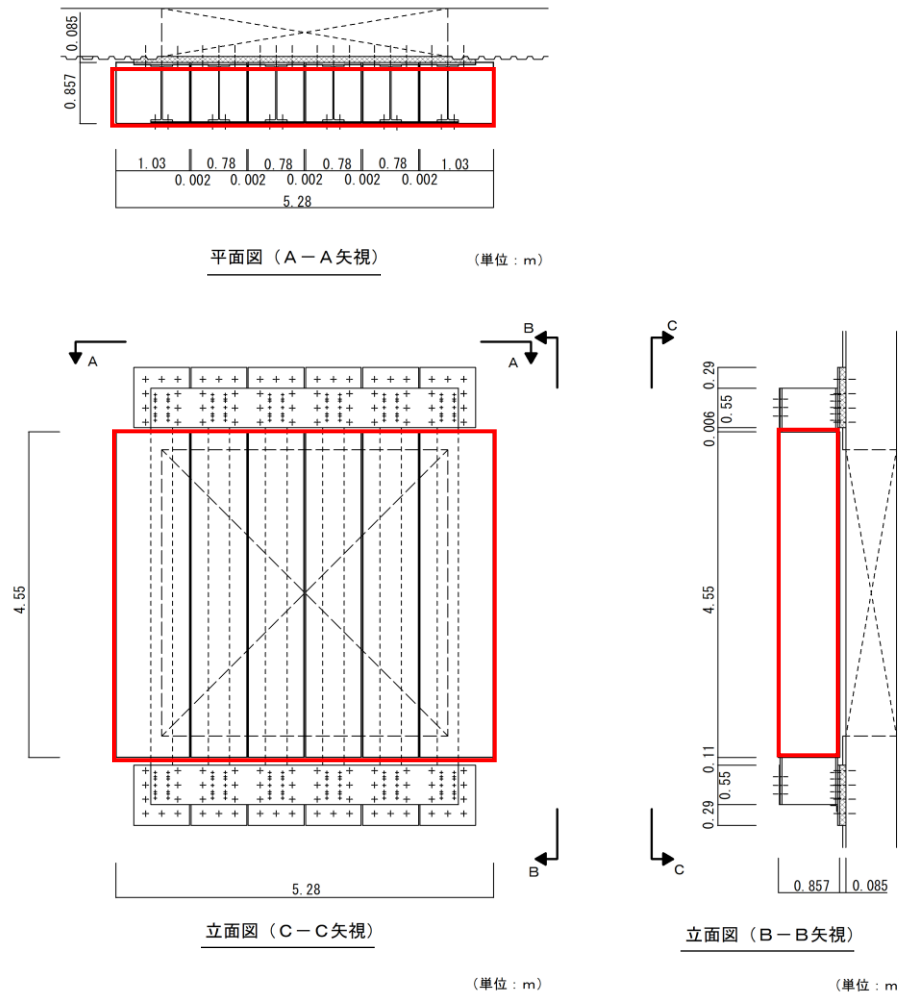


図 3-3 評価対象部位 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板)



□ : 評価対象部位

図 3-4 評価対象部位 (建物開口部竜巻防護鋼板)

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

衝突評価には以下の荷重を用いる。

##### (a) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )は、表 3-3 に示す設計飛来物の衝突に伴う荷重とし、表 3-4 に設計飛来物の材料定数を示す。

表 3-3 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 長さ×幅×奥行き (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

表 3-4 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	$\sigma_{Y0}$ (MPa)	E (MPa)	ポアソン比
鋼製材	245	$2.06 \times 10^5$	0.3

##### b. 荷重の組合せ

貫通評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重と荷重の組合せ」のとおり、設計飛来物による衝撃荷重を考慮する。竜巻防護対策設備は外殻に面する部材に気圧差は生じないことから、気圧差による荷重は考慮しない。また、衝突評価においては、自重及び風圧力による荷重は有意ではないため、考慮しない。

評価において考慮する荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

評価内容	荷重の組合せ
貫通評価	$W_M$

### 3.4 許容限界

竜巻防護鋼板の許容限界は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮して、設定する。

#### (1) 衝突評価の許容限界

衝突解析により求めた必要最小肉厚を許容限界として設定する。以下に、解析条件及び許容限界を示す。

##### a. 解析条件

##### (a) 解析モデル及び諸元

設計飛来物の衝突による竜巻防護鋼板の貫通は、設計飛来物の運動エネルギーを竜巻防護鋼板の変形によるひずみエネルギーにより吸収しきれない場合に生じると考え、必要最小肉厚を安全側に評価するために、被衝突物の寸法は、鋼製材の断面寸法(0.3m×0.2m)に0.1mの固定代を考慮して、0.5m×0.4mとする。

設計飛来物及び被衝突物の衝突解析モデルを図3-5、境界条件を表3-6に示す。

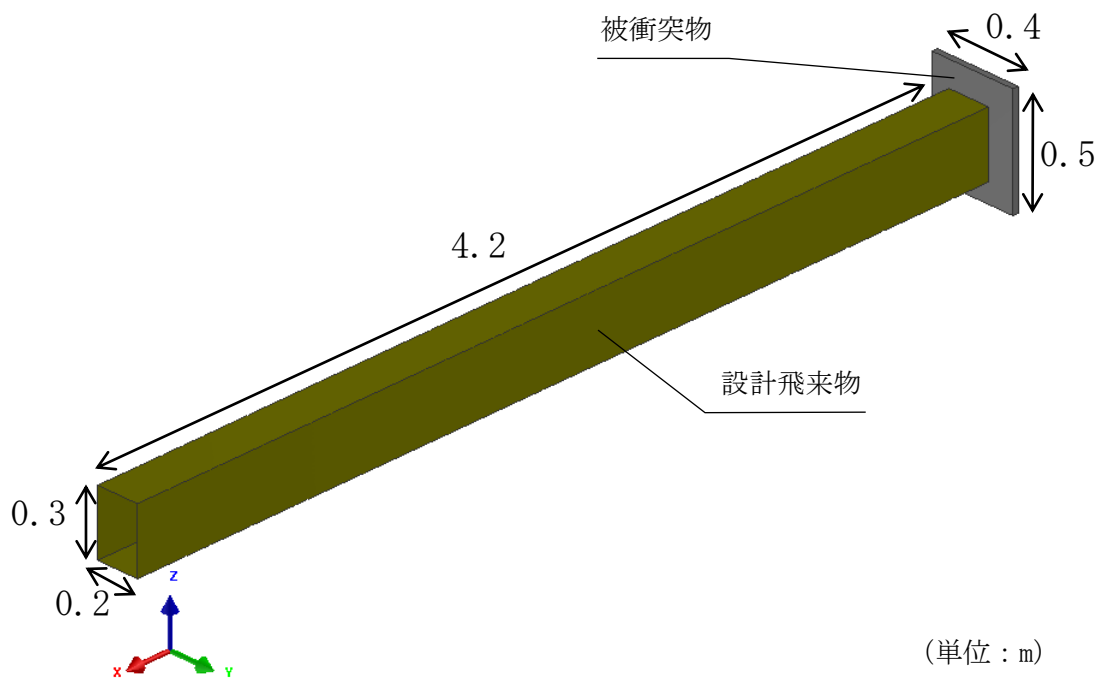


図3-5 設計飛来物及び被衝突物の衝突解析モデル図

表3-6 解析モデルの境界条件

項目	境界条件
設計飛来物	X, Y, Z 方向並進拘束
被衝突物	4 辺固定

イ. 解析コード

衝突解析には、解析コード「Virtual Performance Solution」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5-43「計算プログラム(解析コード)の概要・Virtual Performance Solution」に示す。

ロ. 材料仕様

構成する材料仕様については、「3.2 評価対象部位」に示すとおり設定する。

(b) 材料定数

使用材料の材料定数を「鋼構造設計基準—許容応力度設計法—」, J I S等に基づき設定し、表3-7に示す。

表3-7 使用材料の材料定数

分類	材質	厚さ (mm)	降伏応力 $\sigma_{Y0}$ (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)	引張強さ $\sigma_{T0}$ (MPa)	破断ひずみ $\epsilon'$ (-)	塑性硬化係数 E' (MPa)
竜巻 防護 鋼板	SS400			$2.06 \times 10^5$	400		
				$2.06 \times 10^5$	400		
				$2.06 \times 10^5$	400		

注記\* : J I S Z 2241に基づく引張試験または共振法の試験に基づき設定

(c) 材料モデル

イ. 材料の応力—ひずみの関係

材料モデルでは、竜巻防護鋼板の破断ひずみを設定し、破断ひずみを越えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。材料の応力—ひずみ関係はバイリニア型とし、降伏後の塑性硬化係数（2次係数E'）を表3-7に示す。材料に適用するバイリニア型の応力—ひずみの関係を図3-6に示す。

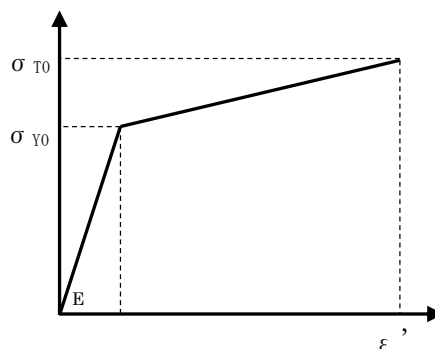


図3-6 竜巻防護鋼板及び設計飛来物（鋼製材）の応力—ひずみ線図



ロ. ひずみ速度効果

衝突現象による鋼板の変形速度は速いため、ひずみ速度効果を考慮することとし、以下に示す日本溶接協会の推定式から得られる動的増大効果を線形補間し設定する。

$$\sigma_Y = \sigma_{Y0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{Y0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{T0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$

ハ. 破断ひずみ

破断ひずみは、JIS又はメーカー試験値に規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NEI 07-13においてTF（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として二軸引張状態でTF=2.0を考慮する。TFについては、竜巻防護鋼板のみ考慮する。

なお、安全側の評価として、竜巻防護鋼板の破断ひずみを超えた要素は削除することとし、鋼製材の破断ひずみを超えた要素は削除せず、荷重を伝達するものとする。

b. 許容限界

「3.4(1)a. 解析条件」を基に解析により求めた必要最小肉厚を表3-8に示す。

表 3-8 許容限界（貫通評価）

評価対象	材質	衝突方向	必要最小肉厚 (mm)
取水槽海水ポンプエリア竜巻防護鋼板	SS400	水平	16
取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護鋼板	SS400	鉛直	16
ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板			
ディーゼル燃料移送ポンプエリア竜巻防護鋼板 (穴あき)			
建物開口部竜巻防護鋼板	SS400	水平	16

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

竜巻防護鋼板の厚さが「3.4 許容限界」で定めた必要最小肉厚を上回っていることを確認する。

#### 4. 評価条件

##### (1) 衝突評価

評価条件については、「3. 強度評価方法」に示すとおり設定する。

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価

衝突評価結果を表 5-1 に示す。竜巻防護鋼板の厚さは必要最小肉厚を上回っており設計飛来物は竜巻防護鋼板を貫通しない。

表 5-1 評価結果

評価箇所	材質	衝突方向	必要最小肉厚 (mm)	厚さ (mm)	結果
取水槽海水ポンプエリア 竜巻防護鋼板	SS400	水平	16		貫通しない
取水槽循環水ポンプエリア 竜巻防護鋼板	SS400	鉛直	16		貫通しない
ディーゼル燃料移送ポンプ エリア竜巻防護鋼板					貫通しない
ディーゼル燃料移送ポンプ エリア竜巻防護鋼板 (穴あき)					貫通しない
建物開口部竜巻防護鋼板	SS400	水平	16		貫通しない

VI-3-別添 1-5 架構の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	4
2.3 評価方針	13
2.4 適用規格・基準等	15
3. 強度評価方法	16
3.1 記号の定義	16
3.2 評価対象部位	17
3.3 荷重及び荷重の組合せ	20
3.4 許容限界	22
3.5 評価方法	24
4. 評価条件	26
5. 強度評価結果	28
5.1 構造強度評価	28

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護対策設備のうち竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板を支持する架構が、竜巻時及び竜巻通過後においても構造健全性を保持し、機械的な波及的影響を与えず、外部事象防護対象施設の安全機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」,「3.3 架構の構造設計」及び「5. 許容限界」を踏まえて,竜巻防護対策設備架構の「2.1 位置」,「2.2 構造概要」,「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

竜巻防護対策設備架構は,取水槽(取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリア),ディーゼル燃料移送ポンプエリア及び建物開口部に設置する。架構の位置図を図2-1,取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の位置図を図2-2,ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の位置図を図2-3に示す。

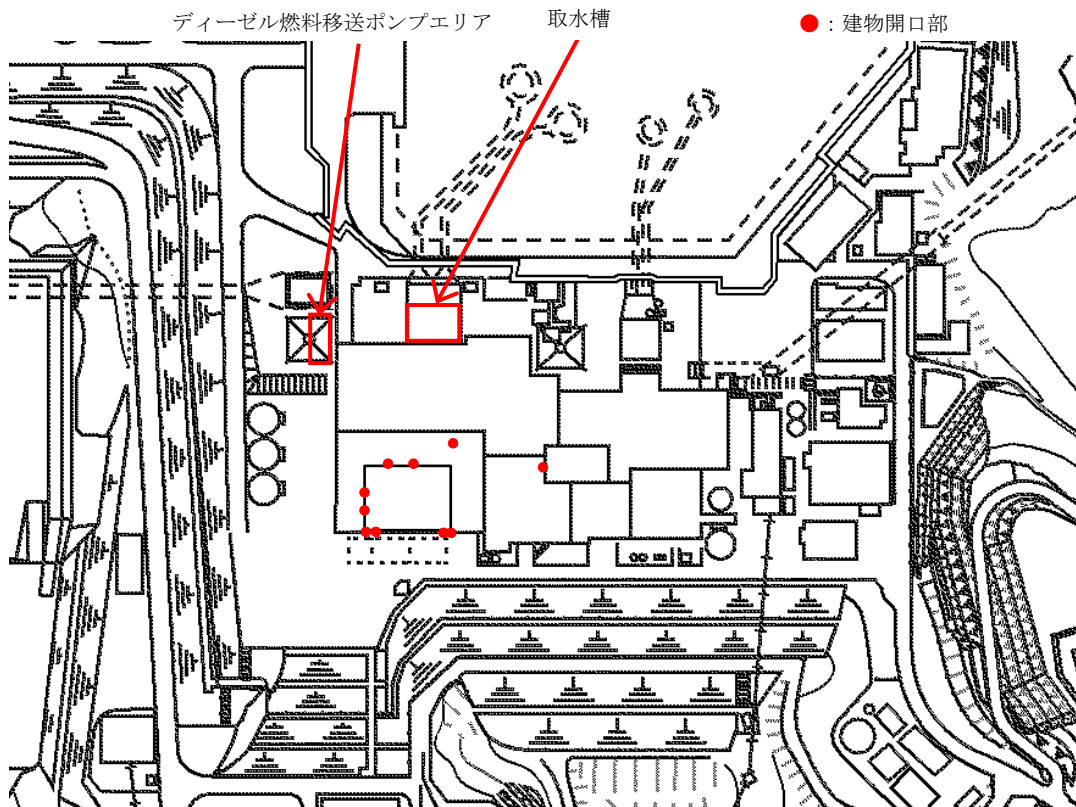


図2-1 架構の位置図



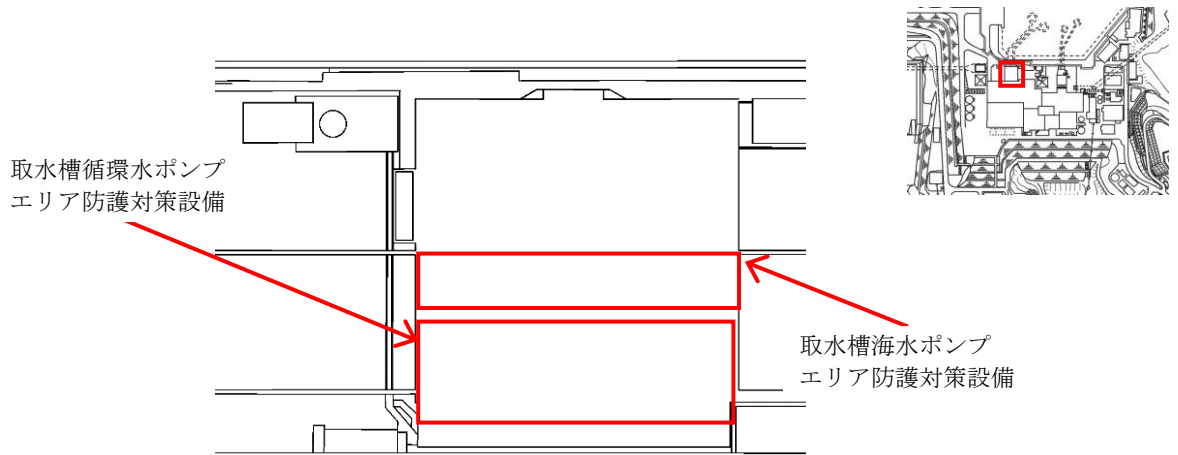


図 2-2 取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の位置図

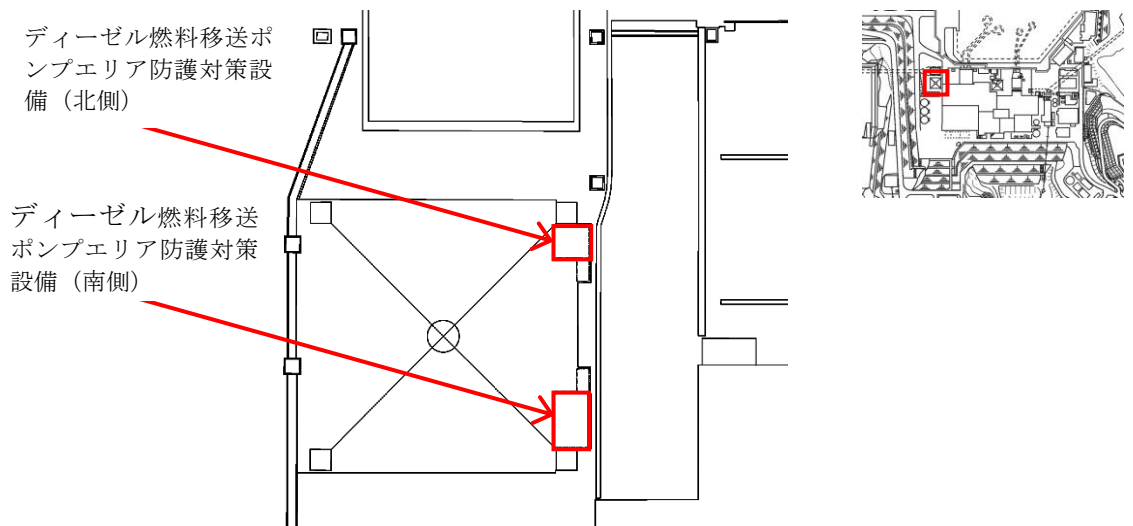


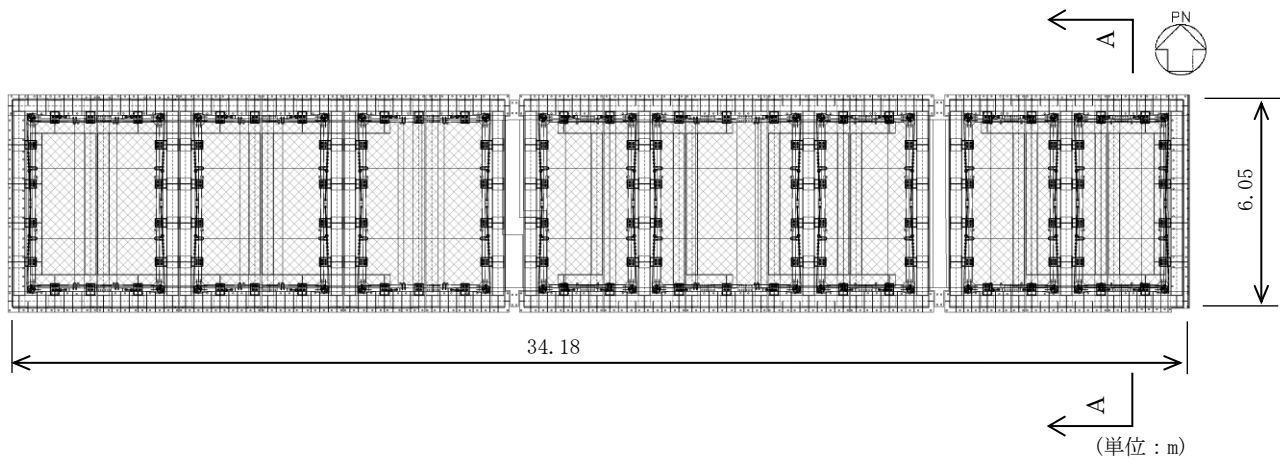
図 2-3 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「3.3 架構の構造設計」に示す構造計画を踏まえて、竜巻防護対策設備架構の構造を設定する。

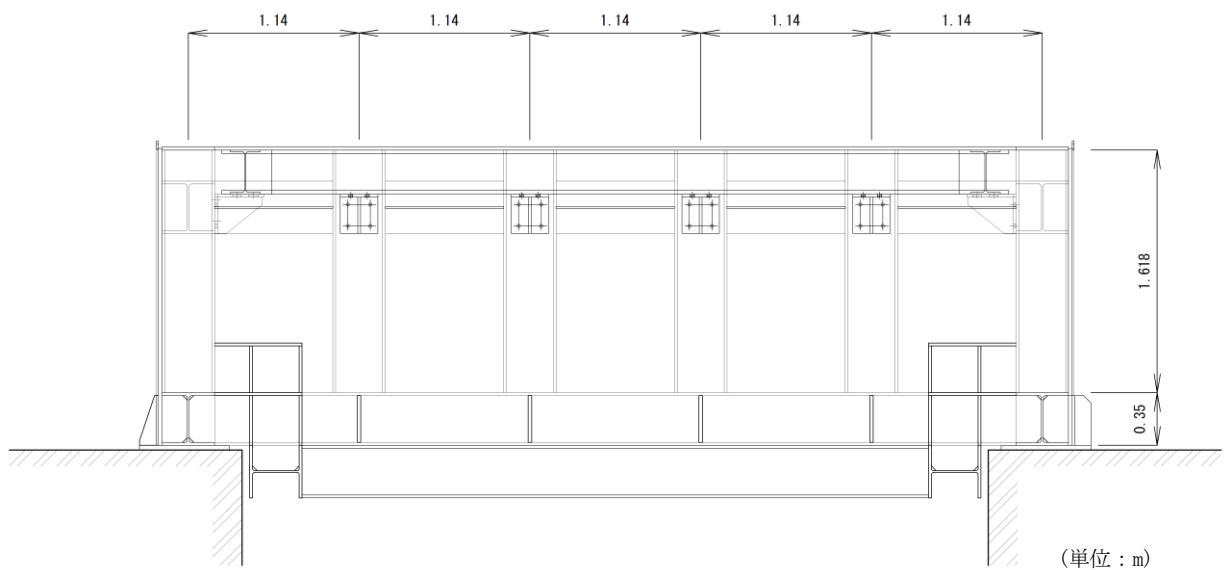
### (1) 取水槽海水ポンプエリア架構

取水槽海水ポンプエリア架構は、竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり、柱、はり等により構成される。取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の平面図を図2-4、断面図を図2-5に示す。



仕様	材質
	SS400
	SS400

図2-4 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の平面図

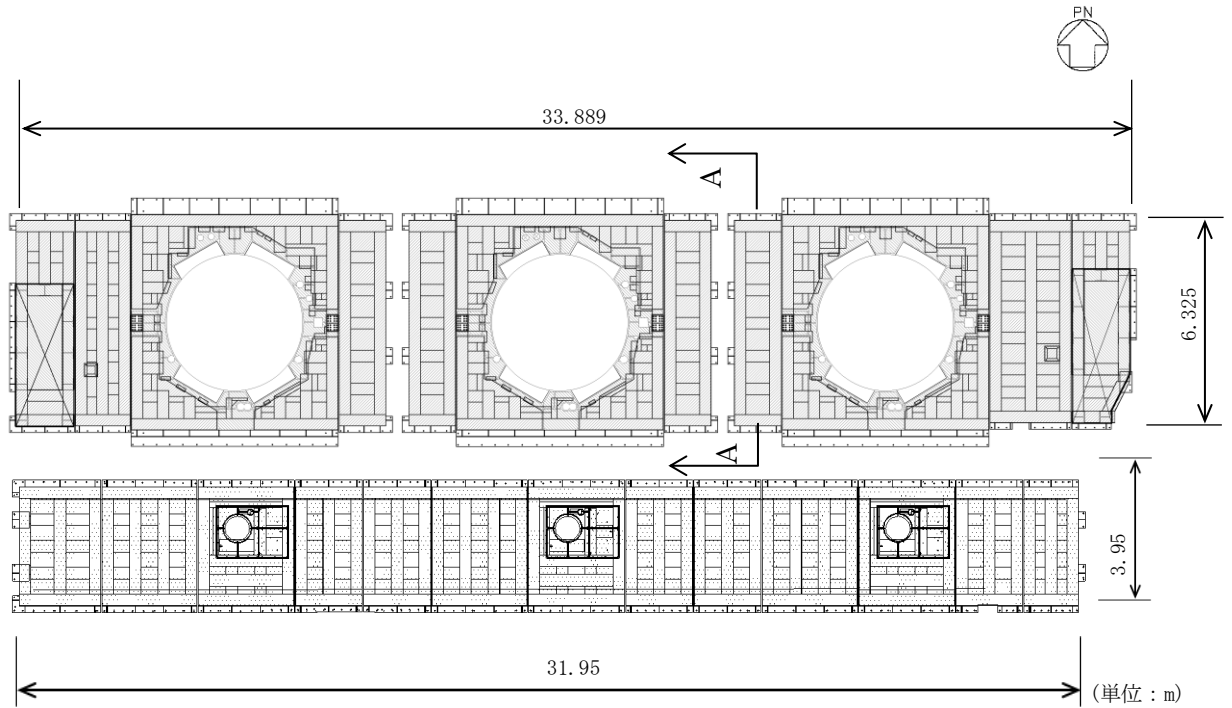


A-A断面図

図2-5 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の断面図

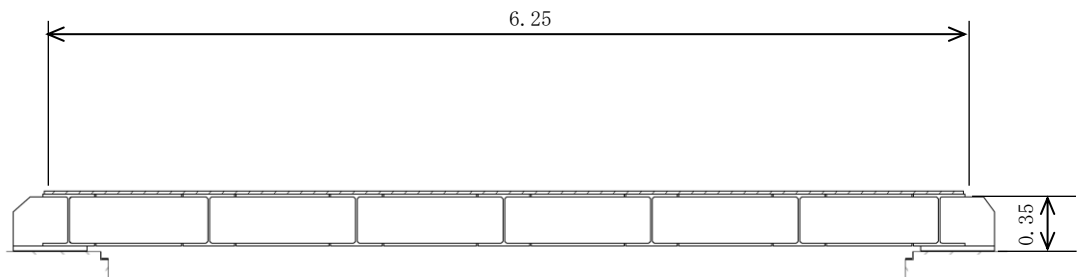
(2) 取水槽循環水ポンプエリア架構

取水槽循環水ポンプエリア架構は、竜巻防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり、柱、はり等により構成される。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の平面図を図 2-6、断面図を図 2-7 に示す。



仕様	材質
	SS400

図 2-6 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の平面図



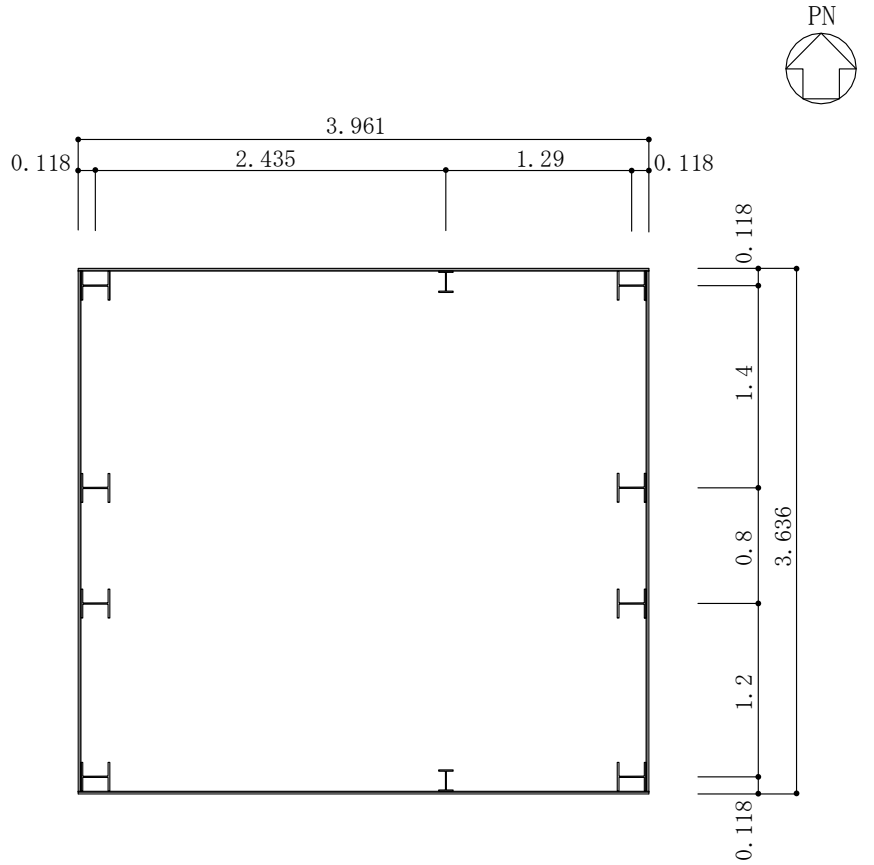
A-A断面図

(単位：m)

図 2-7 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の断面図

(3) ディーゼル燃料移送ポンプエリア架構

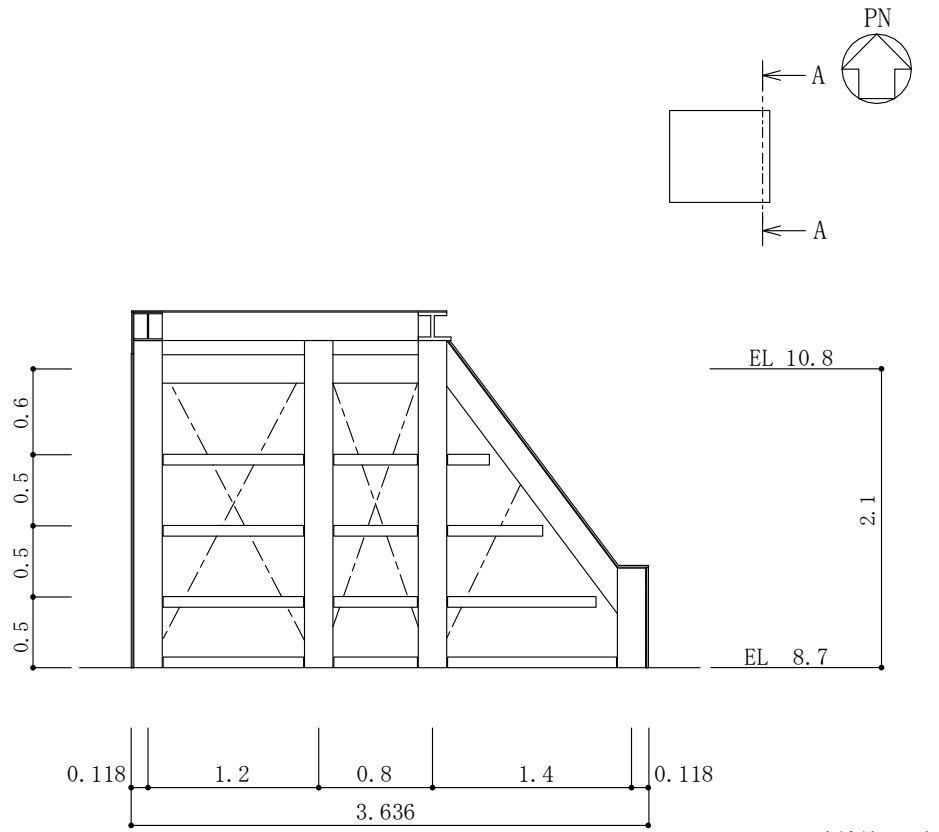
ディーゼル燃料移送ポンプエリア架構は, 竜巻防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり, 柱, はり等により構成される。ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の平面図を図 2-8 及び図 2-10, 断面図を図 2-9 及び図 2-11 に示す。



(単位 : m)

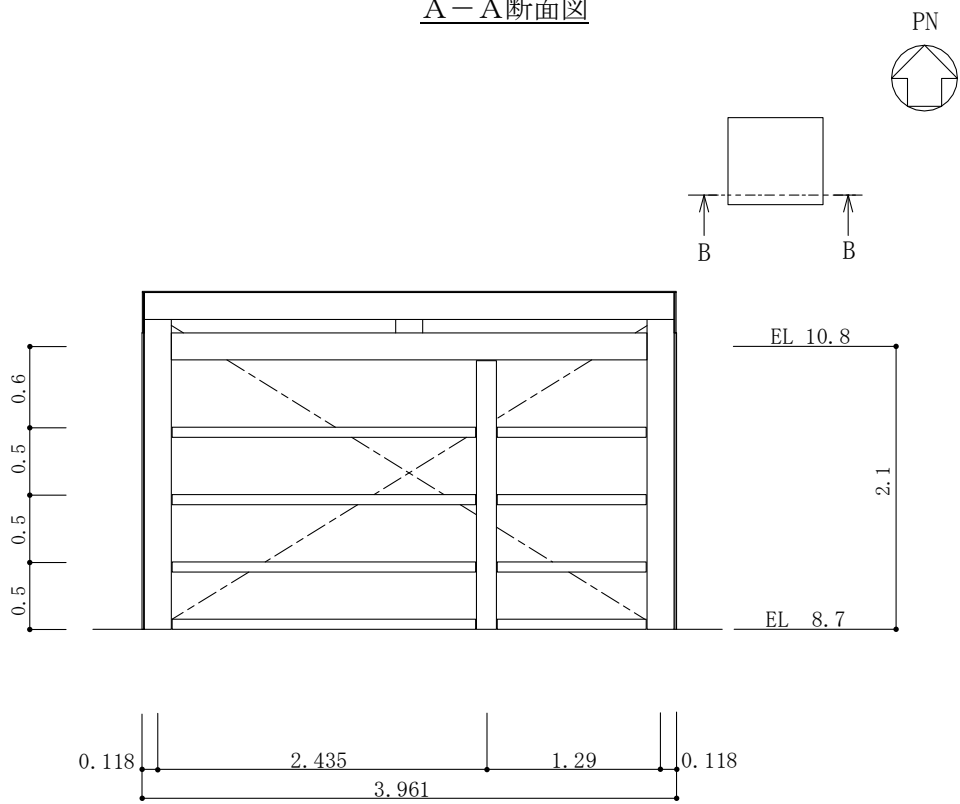
仕様	材質
	SS400
	SS400
	SS400
	SS400
	SS400
	SS400

図 2-8 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備 (北側) の平面図



A-A断面図

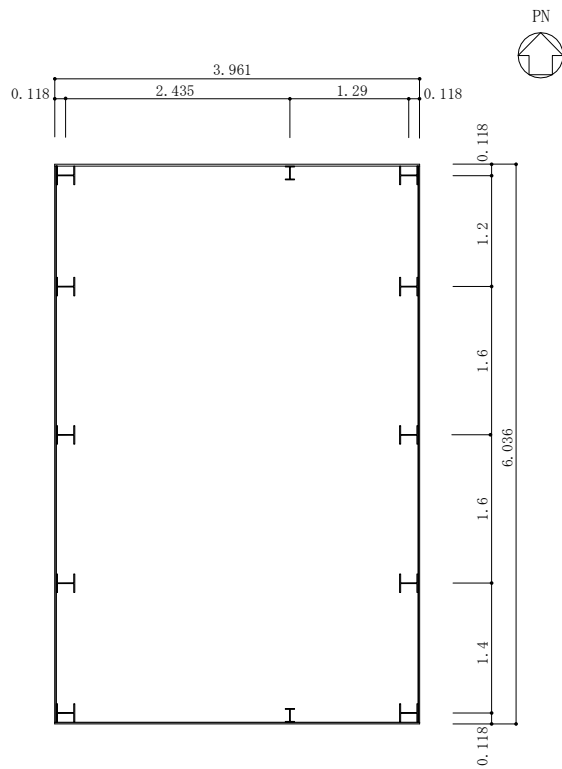
(単位：m)



B-B断面図

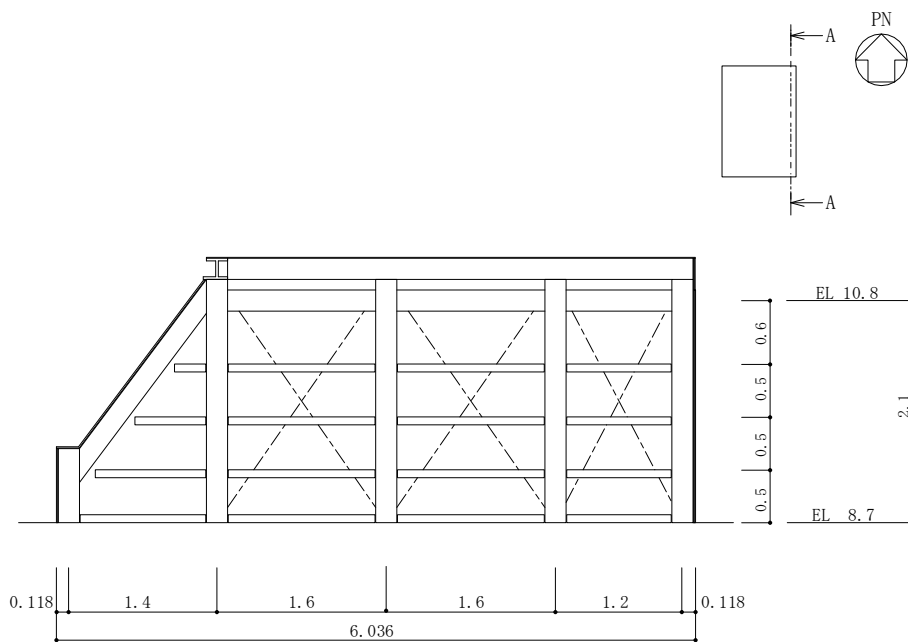
(単位：m)

図 2-9 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（北側）の断面図



(単位：m)

図 2-10 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（南側）の平面図



(単位：m)

図 2-11 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（南側）の断面図（1/2）

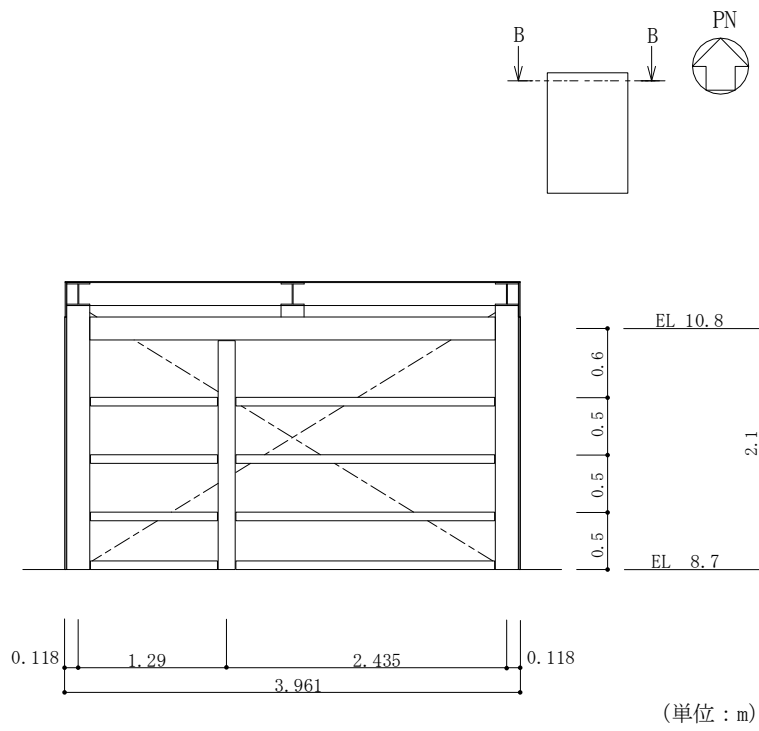


図 2-11 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備（南側）の断面図（2/2）

(4) 建物開口部架構

建物開口部架構は、鉄筋コンクリート造の原子炉建物又は廃棄物処理建物に竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり、柱、はり等により構成される。建物開口部防護対策設備の概要図を図 2-12～図 2-14 に示す。

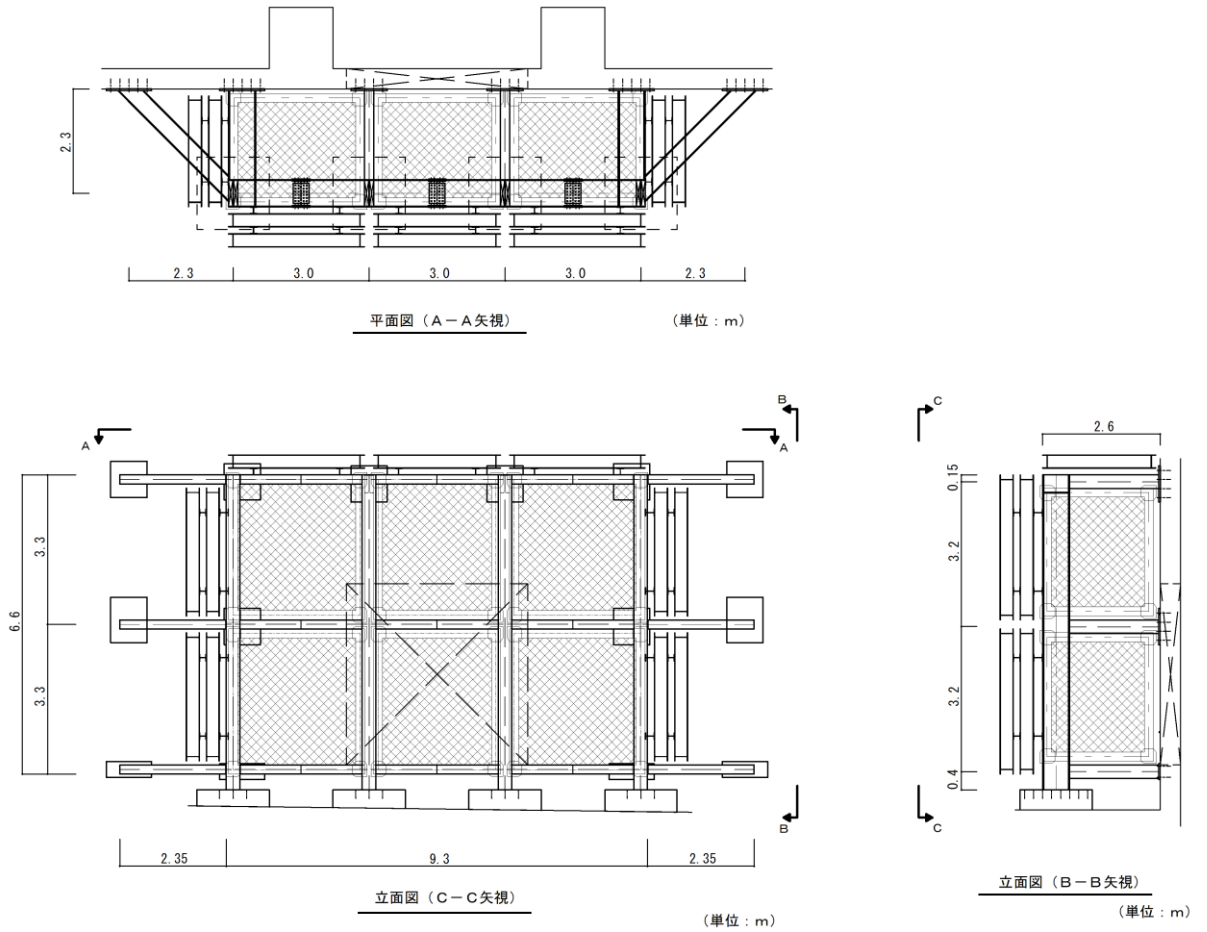
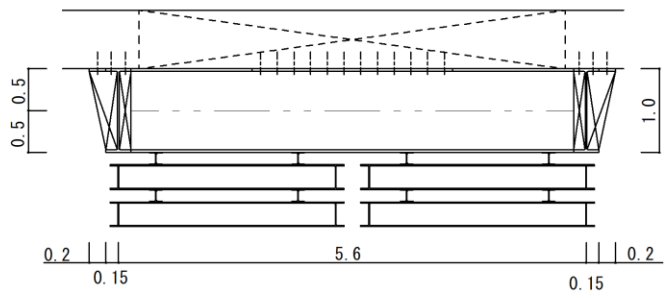
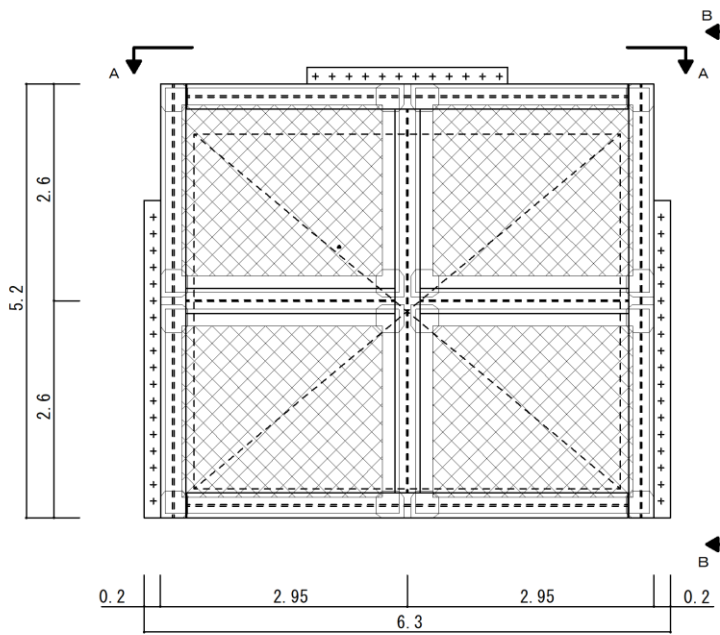


図 2-12 建物開口部防護対策設備の概要図 (その 1)

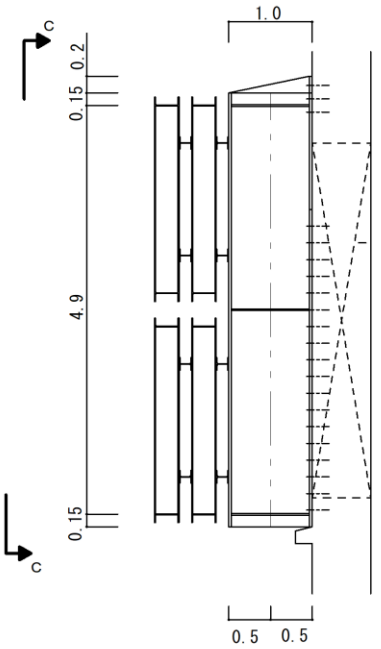




平面図 (A-A 矢視) (単位: m)



立面図 (C-C 矢視) (単位: m)



立面図 (B-B 矢視) (単位: m)

仕様	材質
	SN490B
	SN490B

図 2-13 建物開口部防護対策設備の概要図 (その 2)

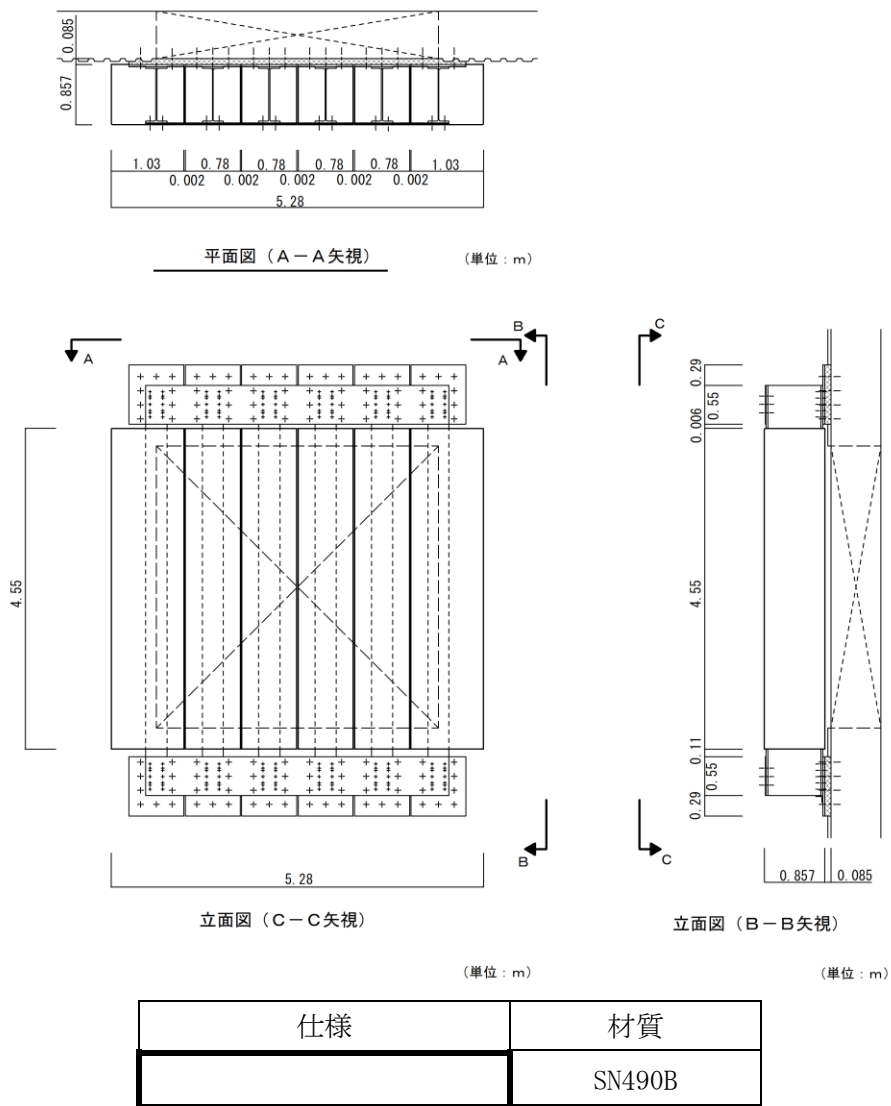


図 2-14 建物開口部防護対策設備の概要図 (その 3)

## 2.3 評価方針

竜巻防護対策設備架構の強度評価は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5. 許容限界」を踏まえて、架構の評価対象部位に生じる変形等が許容限界に収まることを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

### (1) 構造強度評価の方針

架構の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-15 に示す。

- 設計荷重に対して、架構を構成する部材に転倒及び脱落を生じない設計とするために、架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する（以下「変形評価」という。）。
- 架構の外側には竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板が設置されており、設計飛来物が直接衝突することはないことから、設計飛来物による架構の貫通は考慮しない。

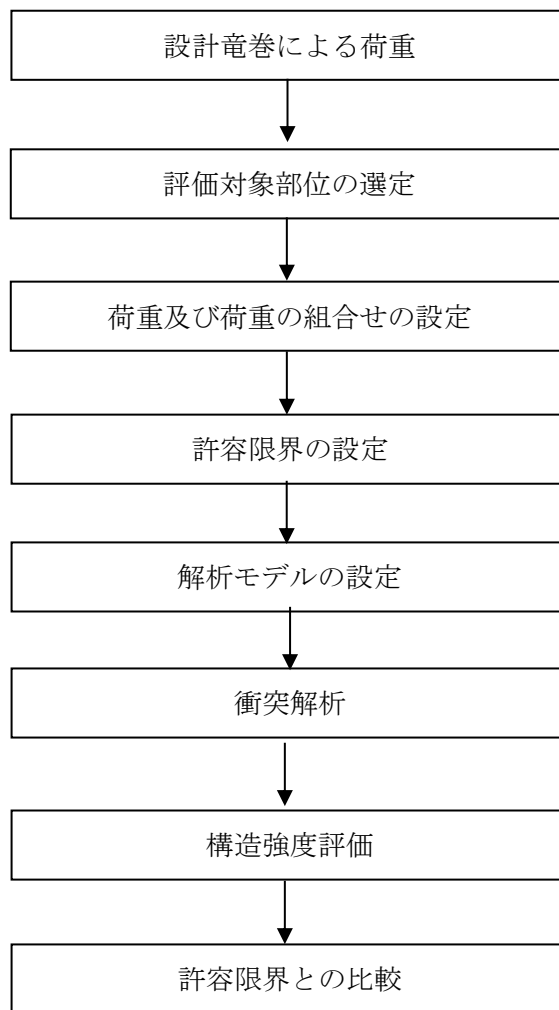


図 2-15 架構の衝突評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・鋼構造設計基準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会（2005））
- ・建築基準法及び同施行令
- ・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会（2004））
- ・「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」原子力規制委員会制定
- ・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8(NEI 07-13)) (以下「NEI 07-13」という。)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）
- ・日本産業規格(J I S) (以下「J I S」という。)
- ・動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物のぜい性破壊性能評価方法 (WES2808 : 2003) (（社）日本溶接協会)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 変形評価の記号の定義

変形評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 変形評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積
C	—	風力係数
E	MPa	縦弾性係数
E'	MPa	塑性硬化係数
F <sub>d</sub>	N	常時作用する荷重
G	—	ガスト影響係数
ΔP	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
T	°C	想定するひずみ速度時の温度
T <sub>0</sub>	°C	基準ひずみ速度時の温度
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速
V <sub>Rm</sub>	m/s	最大接線風速
V <sub>T</sub>	m/s	移動速度
W <sub>M</sub>	N	設計飛来物による衝撃荷重
W <sub>w</sub>	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$\dot{\varepsilon}$	—	想定するひずみ速度
ε'	—	破断ひずみ
$\dot{\varepsilon}_0$	—	基準ひずみ速度
σ <sub>T</sub>	MPa	想定するひずみ速度時の引張強さ
σ <sub>T0</sub>	MPa	基準ひずみ速度時の引張強さ
σ <sub>Y</sub>	MPa	想定するひずみ速度時の降伏応力
σ <sub>Y0</sub>	MPa	基準ひずみ速度時の降伏応力

### 3.2 評価対象部位

竜巻防護対策設備架構の評価対象部位は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5.3 架構の許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、選定する。

#### (1) 変形評価の評価対象部位

設計飛来物の衝突を考慮する場合、被衝突物の支持間隔が長いほどたわみ量が大きくなる傾向にある。このため、竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板を支持する架構部材の支持間隔が最長となる箇所を選定する。衝突位置については、たわみ量が大きくなるよう部材の中央とする。

- ・取水槽海水ポンプエリア架構

竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板を架構により支持する構造であり、設計飛来物の衝突位置は、部材に生じる曲げモーメントが最大となる鋼板を支持する架構の中央を選定する。取水槽海水ポンプエリア架構の評価対象部位を図 3-1 に示す。

- ・取水槽循環水ポンプエリア架構

竜巻防護鋼板を架構により支持する構造であり、設計飛来物の衝突位置は、部材に生じる曲げモーメントが最大となる架構部材の中央を選定する。取水槽循環水ポンプエリア架構の評価対象部位を図 3-2 に示す。

- ・ディーゼル燃料移送ポンプエリア架構

竜巻防護鋼板を架構により支持する構造であり、設計飛来物の衝突位置は、部材に生じる曲げモーメントが最大となる架構部材の中央を選定する。ディーゼル燃料移送ポンプエリア架構の評価対象部位を図 3-3 に示す。

- ・建物開口部架構

竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板を建物外壁に接した架構により支持する構造である。竜巻防護ネット又は竜巻防護鋼板に作用する設計飛来物による衝撃荷重は、架構を介して建物外壁に伝達されること（図 3-4 参照）並びに建物開口部架構は、他の竜巻防護対策設備架構の評価対象部位となる架構と同等以上の強度を有する部材を使用していることから、架構に有意な変形は生じないため、建物開口部架構は変形評価の対象としない。取水槽循環水ポンプエリア架構及び建物開口部架構の材料仕様を表 3-2 に示す。

表 3-2 取水槽循環水ポンプエリア及び建物開口部の架構

竜巻防護対策設備	仕様	スパン(m)
取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備		約 6.3
建物開口部防護対策設備		約 4.6

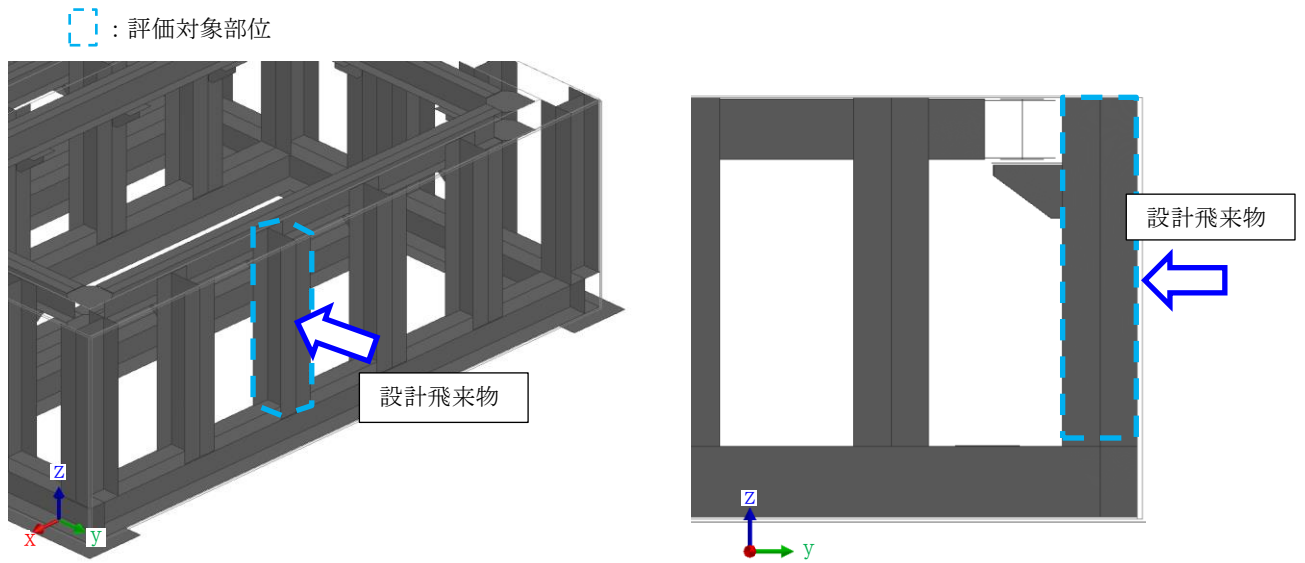


図 3-1 変形評価の評価対象部位（取水槽海水ポンプエリア防護対策設備）

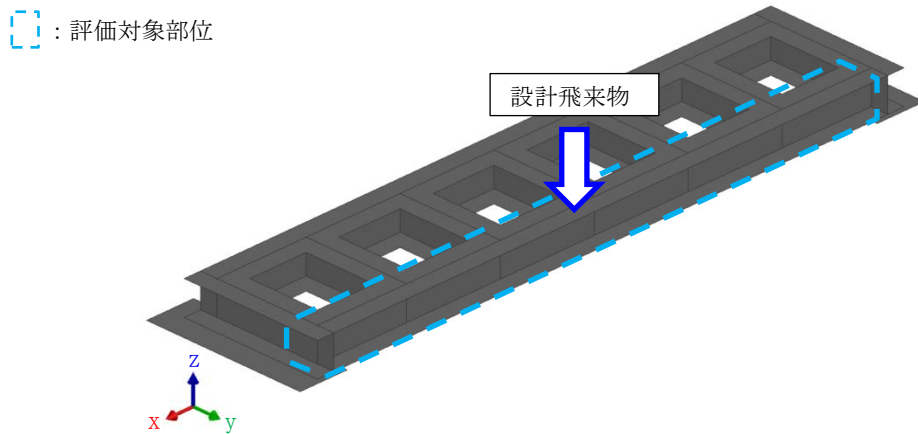


図 3-2 変形評価の評価対象部位（取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備）

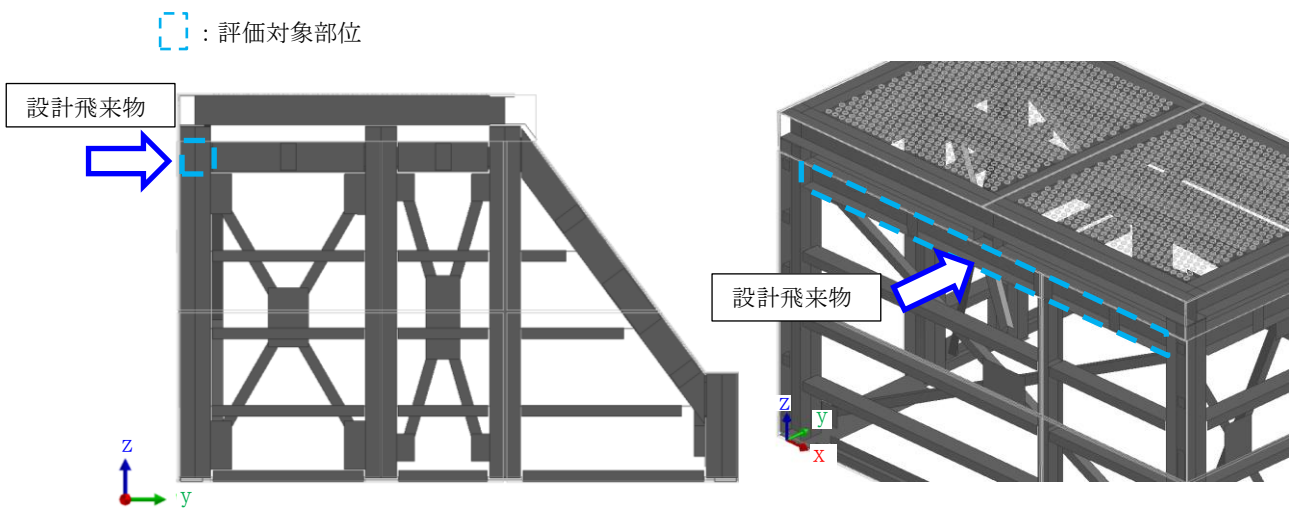


図 3-3 変形評価の評価対象部位（ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備）



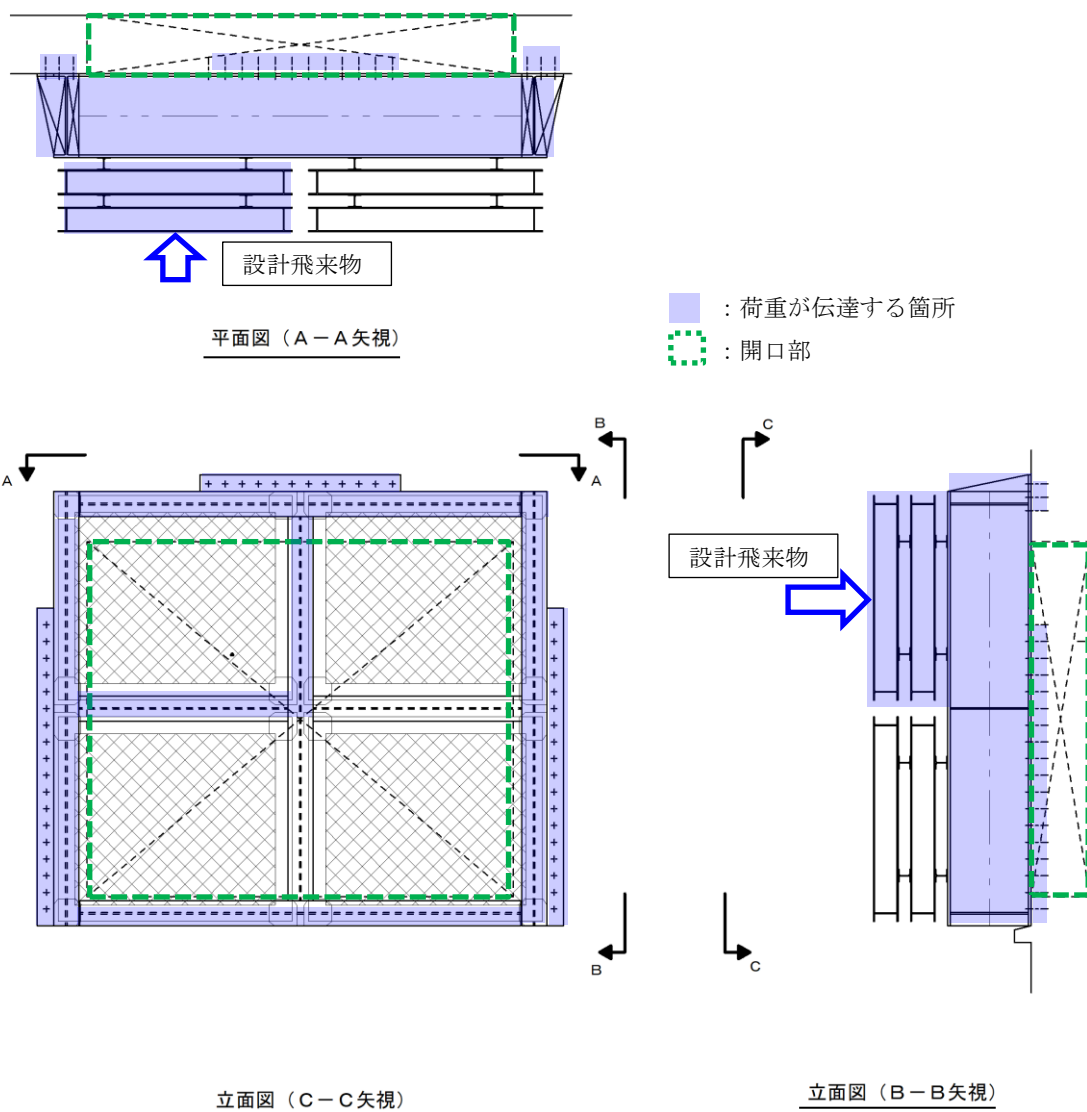


図 3-4 建物開口部防護対策設備における設計飛来物による衝撃荷重の伝達箇所

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

衝突評価には以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重算定に用いる竜巻の特性値

$V_D$ (m/s)	$V_T$ (m/s)	$V_{Rm}$ (m/s)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
92	14	78	7500

##### (a) 竜巻による荷重

###### イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 ( $W_w$ ) は、次式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

設計用速度圧  $q$  は、次式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

###### ロ. 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) については、表 3-4 に諸元を示す設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、設計飛来物の材料定数を表 3-5 に示す。

表 3-4 設計飛来物の諸元

設計飛来物	サイズ 長さ×幅×奥行き (m)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)	質量 (kg)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	51	34	135

表 3-5 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	$\sigma_{Y0}$ (MPa)	E (MPa)	ポアソン比
鋼製材	245	$2.06 \times 10^5$	0.3

(b) 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ ) としては、架構部材の自重、架構に取り付く竜巻防護ネット及び竜巻防護鋼板の上載荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

衝突評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」のとおり、風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

衝突評価において考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

評価内容	荷重の組合せ
波及的影響評価	$W_w + W_M + F_d$

### 3.4 許容限界

竜巻防護対策設備架構の許容限界は、VI-3-別添1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮して設定する。

#### (1) 評価対象部位の材料仕様

構造強度評価にて選定する架構の材料及び寸法の仕様を表3-7に示す。

表3-7 評価対象部位の材料仕様

設置エリア	仕様	材質
取水槽海水ポンプエリア		SS400
取水槽循環水ポンプエリア		SS400
ディーゼル燃料移送ポンプ エリア		SS400

#### (2) 評価対象部位の材料定数

使用材料の材料定数を表3-8に示す。材料定数は、JIS及び「鋼構造設計基準—許容応力度設計法—」に基づき設定する。

表3-8 評価対象部位の材料定数

材質	厚さ (mm)	$\sigma_{Y0}$ (MPa)	E (MPa)	$\sigma_{T0}$ (MPa)	$\varepsilon'$ (—)	E' (MPa)
SS400			$2.06 \times 10^5$	400		
			$2.06 \times 10^5$	400		
			$2.06 \times 10^5$	400		

(3) 構造強度評価の許容限界

設計飛来物が架構及び竜巻防護鋼板に衝突する場合は、衝突部において貫通が防止できても、架構部材端部が曲げ等により破断し架構の支持機能が保持されないことが考えられることから、架構部材端部及びその近傍の曲げによる破断が生じないことを確認する。

許容限界としては、材料の破断ひずみを設定する。破断ひずみについては、「4.(3)c. 破断ひずみ」に示すとおり、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、NEI 07-13においてTF（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として2軸引張状態でTF=2.0を考慮して設定する。

最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断ひずみを超える範囲が全断面に発生しないことを確認する。

設定した許容限界を表3-9に示す。

表3-9 許容限界（波及的影響評価）

材質	J I S規格値	破断ひずみ* (TF=2.0のとき)
SS400		
SS400		
SS400		

注記\*：真ひずみ換算値

### 3.5 評価方法

#### (1) 構造強度評価

竜巻防護対策設備架構の強度評価は、架構又は竜巻防護鋼板に設計飛来物が衝突した場合の波及的影響評価においては、解析コード「Virtual Performance Solution」を用いて3次元FEMによりモデル化し評価を実施する。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の衝突解析モデル並びに設計飛来物の解析モデルを図3-5～図3-8に示す。これらの解析モデルを用いて、設計飛来物が架構に衝突する場合に、架構端部に発生するひずみ量を算出し、架構部材端部に破断が生じないことを確認する。

最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算プログラム（解析コード）の概要」に示す。

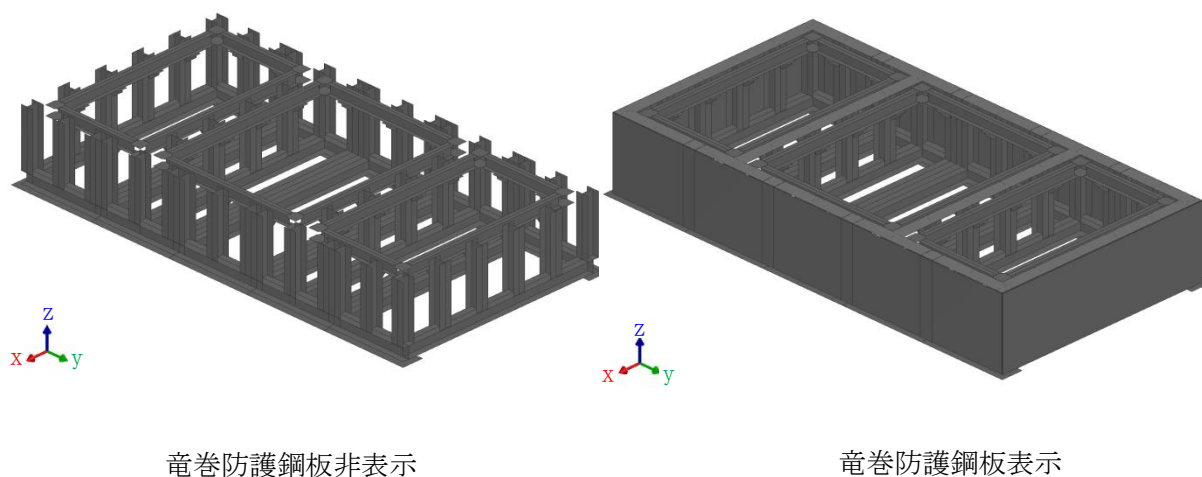


図3-5 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の衝突解析モデル

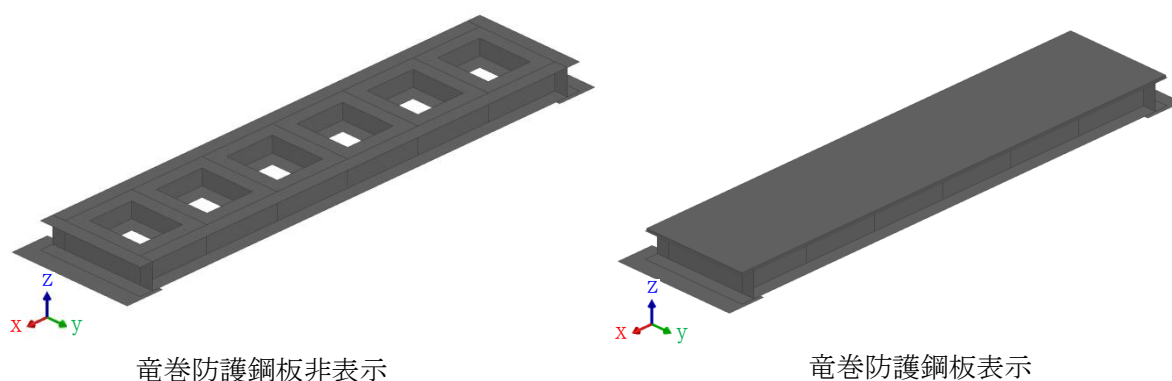


図3-6 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の衝突解析モデル

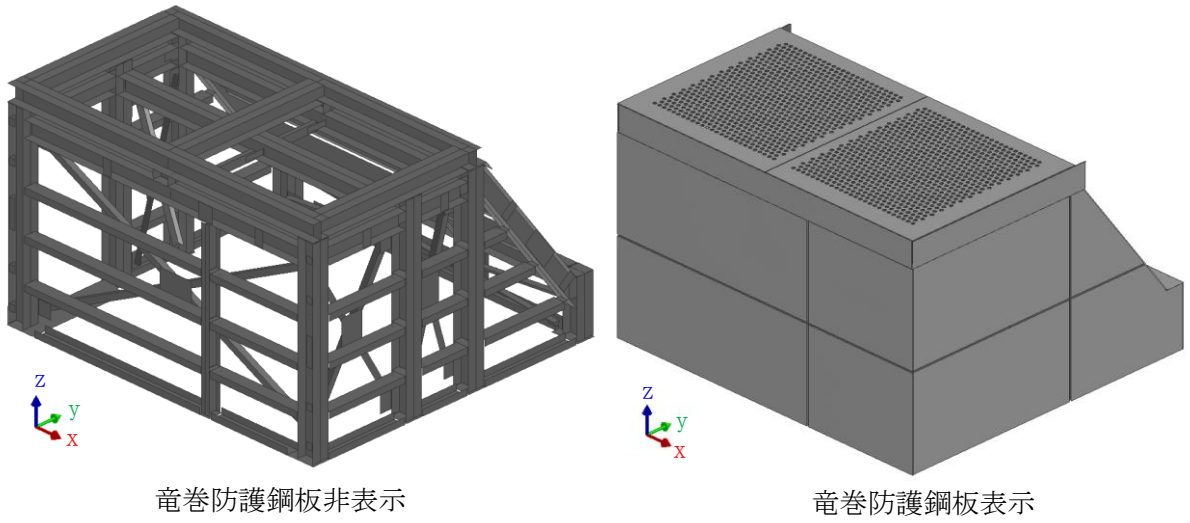


図 3-7 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の衝突解析モデル

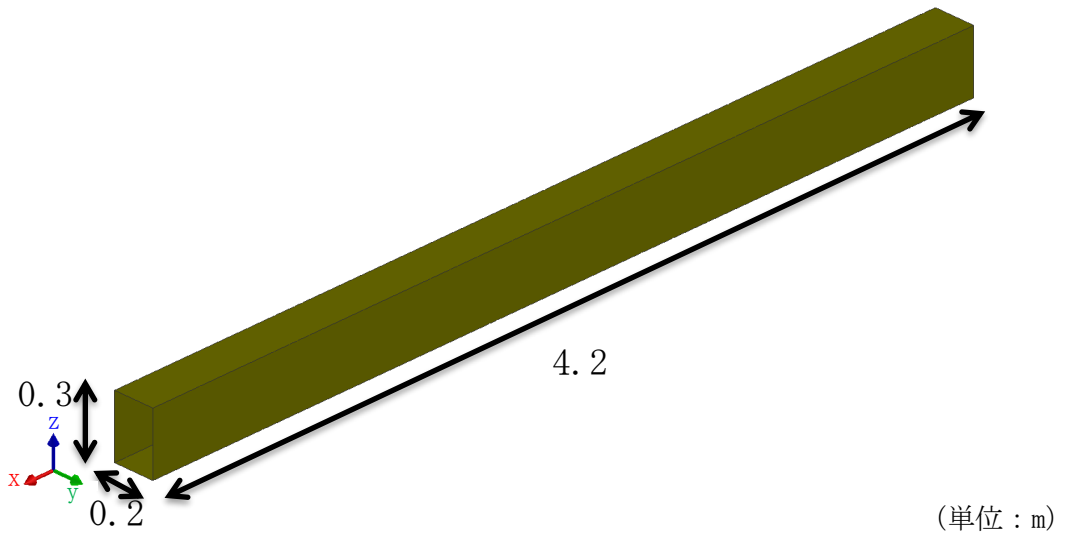


図 3-8 設計飛来物（鋼製材）の解析モデル

## 4. 評価条件

## (1) 使用材料及び寸法

波及的影響評価にて選定する架構の材料及び寸法の仕様については、「3.4(1) 評価対象部位の材料仕様」に示すとおり設定する。

## (2) 材料定数

架構の材料定数については、「3.4(2) 評価対象部位の材料定数」に示すとおり設定する。

## (3) 材料の非線形特性

## a. 材料の応力-ひずみの関係

材料モデルでは、架構の破断ひずみを設定し、破断ひずみを越えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。材料の応力-ひずみ関係はバイリニア型とし、降伏後の塑性硬化係数（2次係数 $E'$ ）は、表3-8に示す値とする。材料に適用するバイリニア型の応力-ひずみの関係を図4-1に示す。

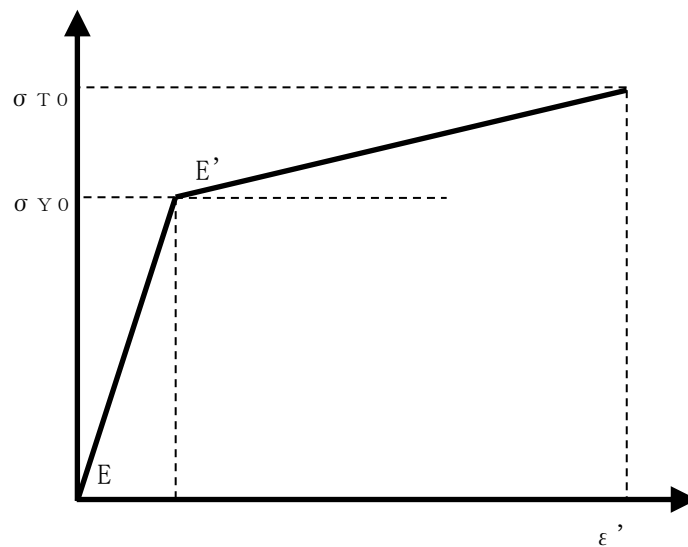


図4-1 架構及び設計飛来物（鋼製材）の応力-ひずみ線図

## b. ひずみ速度効果

竜巻による飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、ひずみ速度効果を考慮することとし、以下に示す日本溶接協会の推定式から得られる動的増大効果を線形補間し設定する。

$$\sigma_Y = \sigma_{Y0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{Y0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$



$$\sigma_T = \sigma_{T0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{T0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$

c. 破断ひずみ

破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NEI 07-13においてTF（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として2軸引張状態でTF=2.0を考慮する。TFについては、架構のみ考慮する。

なお、安全側の評価として、架構の破断ひずみを超えた要素は削除することとし、鋼製材の破断ひずみを超えた要素は削除せず、荷重を伝達するものとする。

材料ごとの破断ひずみを表4-1に示す。

表4-1 架構の破断ひずみ

種別	材質	J I S規格値	TF	破断ひずみ*
架構	SS400		2.0	
	SS400		2.0	
	SS400		2.0	

注記\*：真ひずみ換算値

## 5. 強度評価結果

## 5.1 構造強度評価

## (1) 取水槽海水ポンプエリア架構

設計飛来物の架構への衝突時の構造強度評価結果を表 5-1、図 5-1 及び図 5-2 に示す。架構を構成する部材の最大ひずみは、破断ひずみを超えず、架構を構成する部材に転倒及び脱落は生じない。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象	最大ひずみ	破断ひずみ*
取水槽海水ポンプエリア架構		

注記\*：真ひずみ換算値

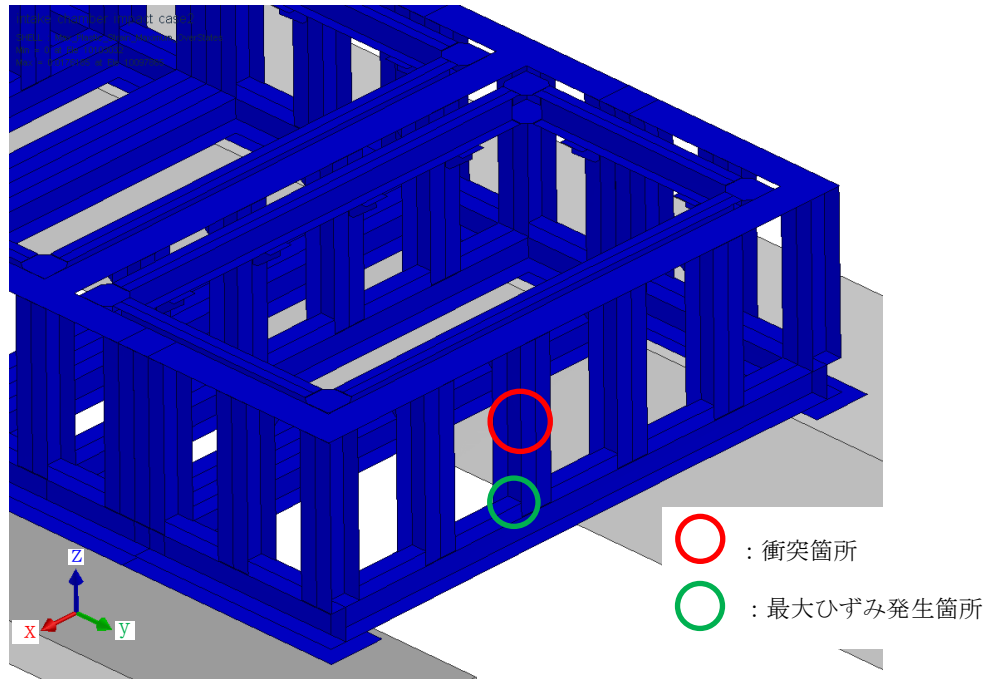


図 5-1 ひずみ分布図（部材変位最大時）

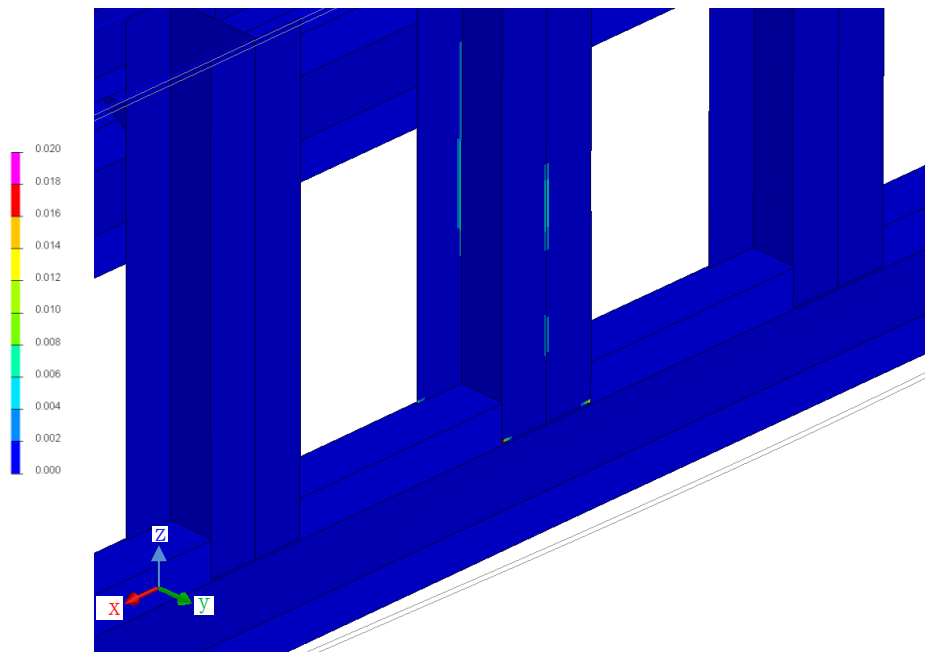


図 5-2 ひずみ分布図 (最大ひずみ発生箇所拡大図)

(2) 取水槽循環水ポンプエリア架構

設計飛来物の架構への衝突時の構造強度評価結果を表 5-2、図 5-3 及び図 5-4 に示す。架構を構成する部材の最大ひずみは、破断ひずみを超えず、架構を構成する部材に転倒及び脱落は生じない。

表 5-2 構造強度評価結果

評価対象	最大ひずみ	破断ひずみ*
取水槽循環水ポンプエリア架構		

注記\*：真ひずみ換算値

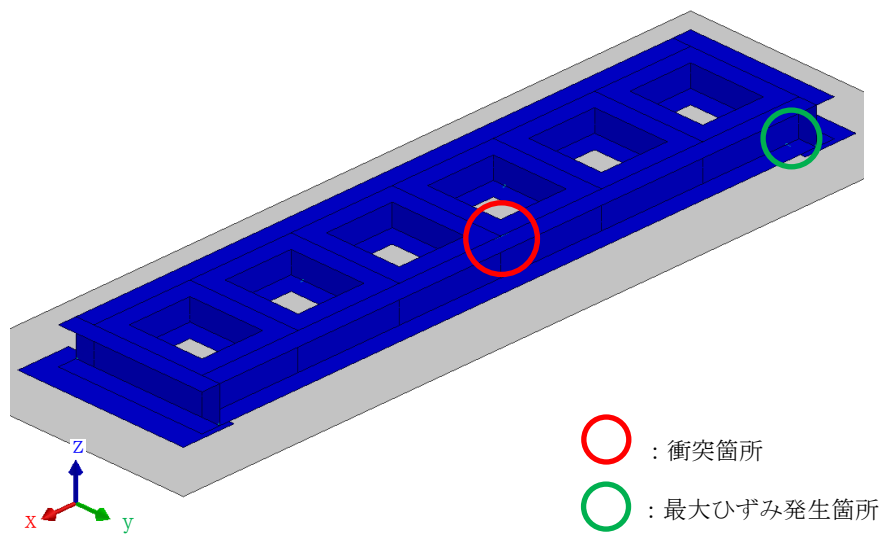


図 5-3 ひずみ分布図 (部材変位最大時)

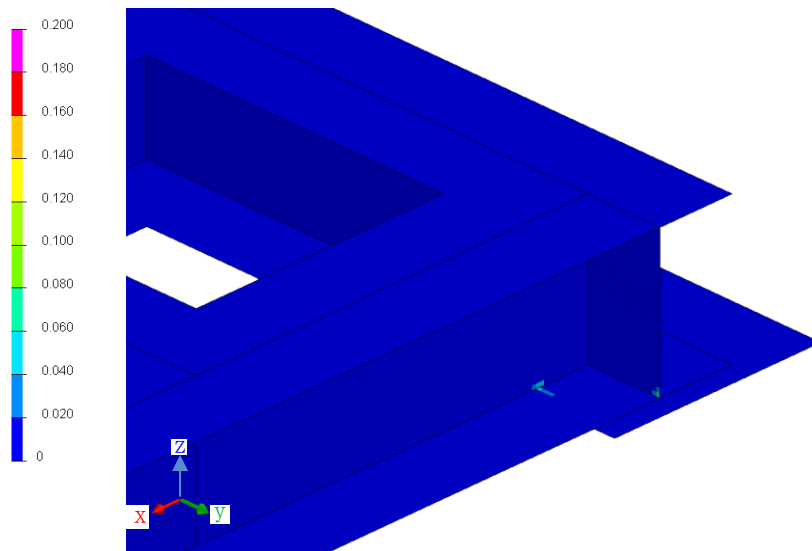


図 5-4 ひずみ分布図 (最大ひずみ発生箇所拡大図)

(3) ディーゼル燃料移送ポンプエリア架構

設計飛来物の架構への衝突時の構造強度評価結果を表 5-3、図 5-5 及び図 5-6 に示す。架構を構成する部材の最大ひずみは、破断ひずみを超えるが、その範囲は局所的であり、架構を構成する部材に転倒及び脱落は生じない。

表 5-3 構造強度評価結果

評価対象	最大ひずみ	破断ひずみ*
ディーゼル燃料移送ポンプ エリア架構		

注記\*：真ひずみ換算値

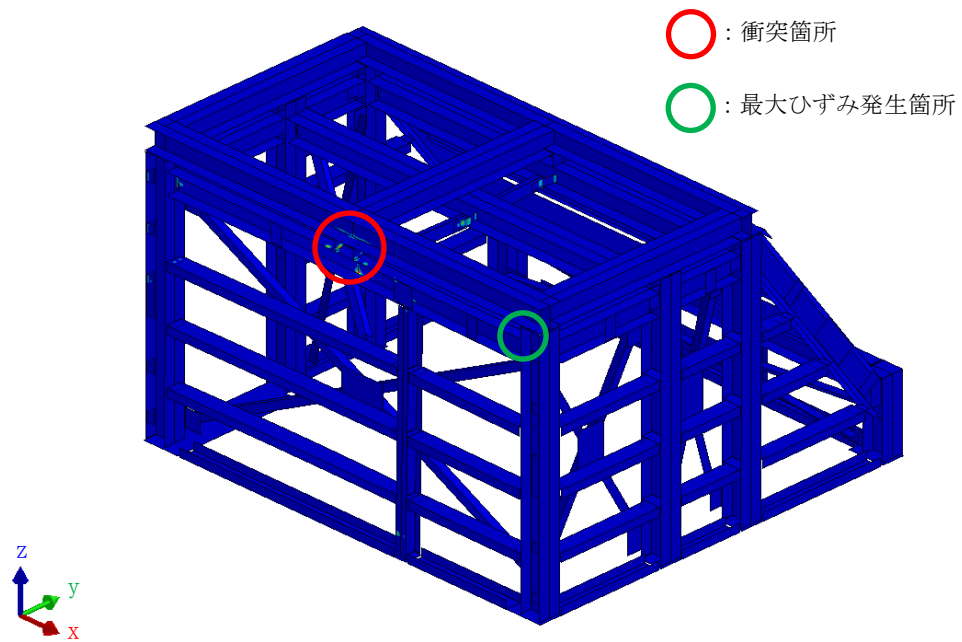


図 5-5 ひずみ分布図 (部材変位最大時)

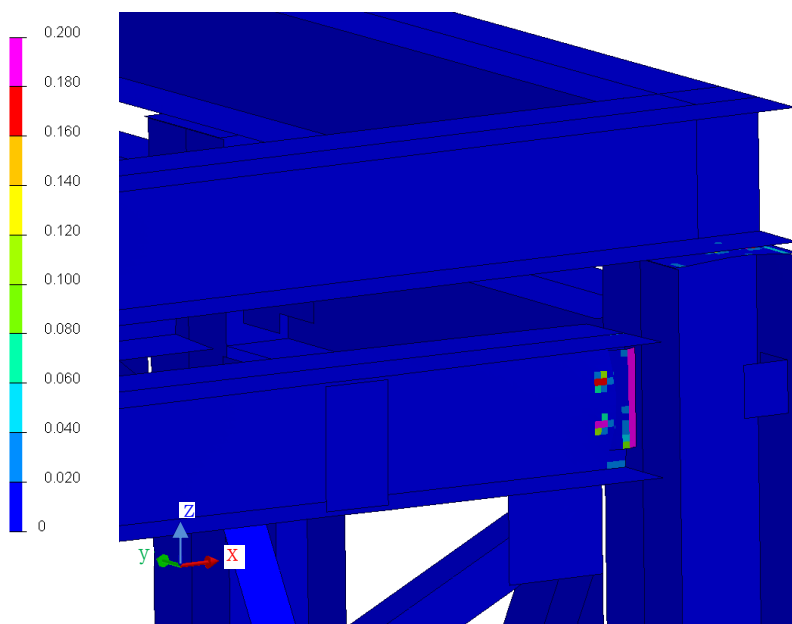


図 5-6 ひずみ分布図 (最大ひずみ発生箇所拡大図)

VI-3-別添 1-6 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の  
強度計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	13
2.3.1	衝突評価	13
2.3.2	構造強度評価	14
2.4	適用規格・基準等	16
3.	強度評価方法	17
3.1	記号の定義	17
3.2	評価対象部位	22
3.2.1	貫通評価	22
3.2.2	裏面剥離評価	22
3.2.3	変形評価	23
3.2.4	応力評価	23
3.3	荷重及び荷重の組合せ	25
3.3.1	荷重の設定	25
3.3.2	荷重の組合せ	26
3.4	許容限界	28
3.4.1	貫通評価	28
3.4.2	裏面剥離評価	29
3.4.3	変形評価	31
3.4.4	応力評価	31
3.5	評価方法	33
3.5.1	貫通評価	33
3.5.2	裏面剥離評価	43
3.5.3	変形評価	47
3.5.4	応力評価	70
4.	評価条件	72
4.1	貫通評価	72
4.1.1	式による評価（鉄筋コンクリート部）	72
4.1.2	タービン建物屋根スラブに対する衝突解析	73
4.1.3	扉及び鋼製蓋	73
4.2	裏面剥離評価	74



4.2.1	式による評価	74
4.2.2	タービン建物外壁に対する衝突解析	74
4.2.3	タービン建物屋根スラブに対する衝突解析	75
4.3	変形評価	76
4.3.1	耐震壁	76
4.3.2	屋根スラブ	79
4.4	応力評価	82
5.	強度評価結果	83
5.1	貫通評価	83
5.2	裏面剥離評価	85
5.3	変形評価	88
5.3.1	耐震壁	88
5.3.2	屋根スラブ	88
5.4	応力評価	89

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻より防護すべき施設を内包する施設である原子炉建物（竜巻防護対策設備である鋼製扉を含む）、タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物（以下「建物」という。）、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（以下「地中構造物」という。）が、設計竜巻による設計飛来物の衝突に加え、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、内包する竜巻より防護すべき施設に設計飛来物が衝突することを防止する機能を有すること及び竜巻より防護すべき施設に必要な機能を損なわないことを確認するものである。

また、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護対策設備のうち、原子炉建物鋼製扉（以下「扉」という。）が、設計竜巻による設計飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、外部事象防護対象施設に設計飛来物を衝突させず、また、機械的な波及的影響を与えず、外部事象防護対象施設の安全機能を考慮して、扉が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、各施設及び扉の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

建物及び地中構造物の設置位置を図 2-1 に示す。

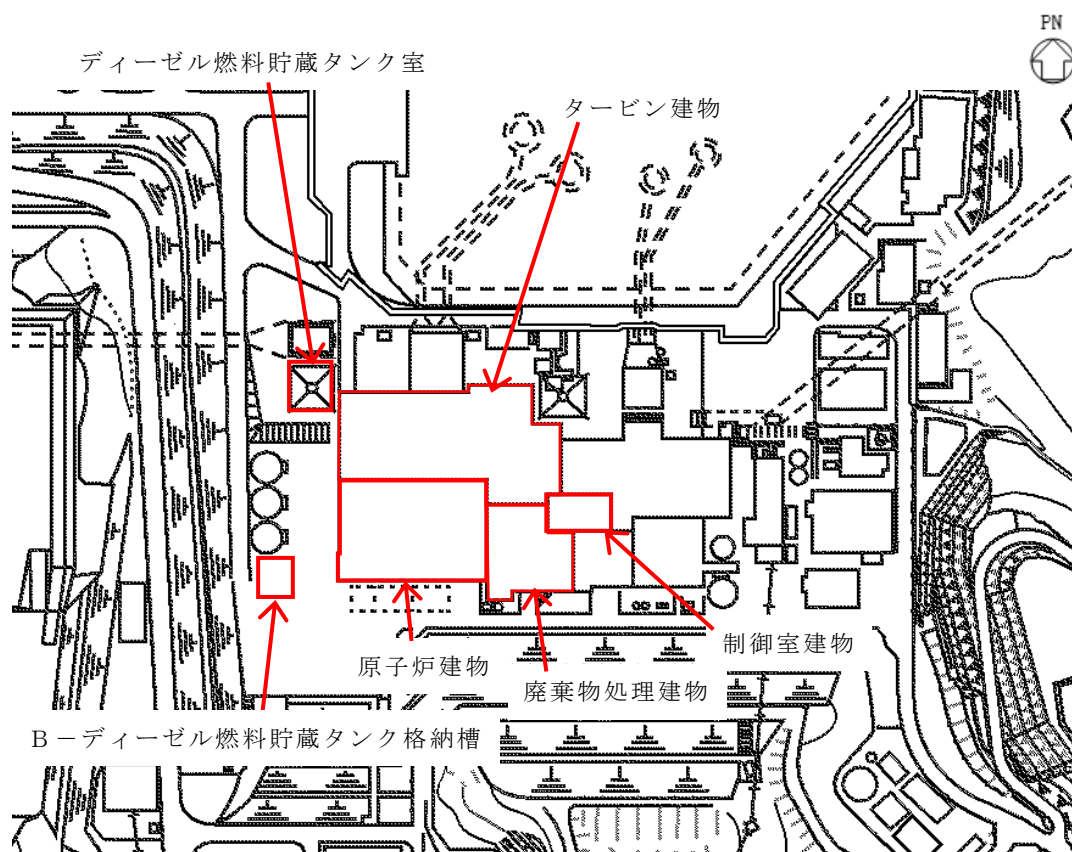


図 2-1 建物及び地中構造物の設置位置

### 2.2 構造概要

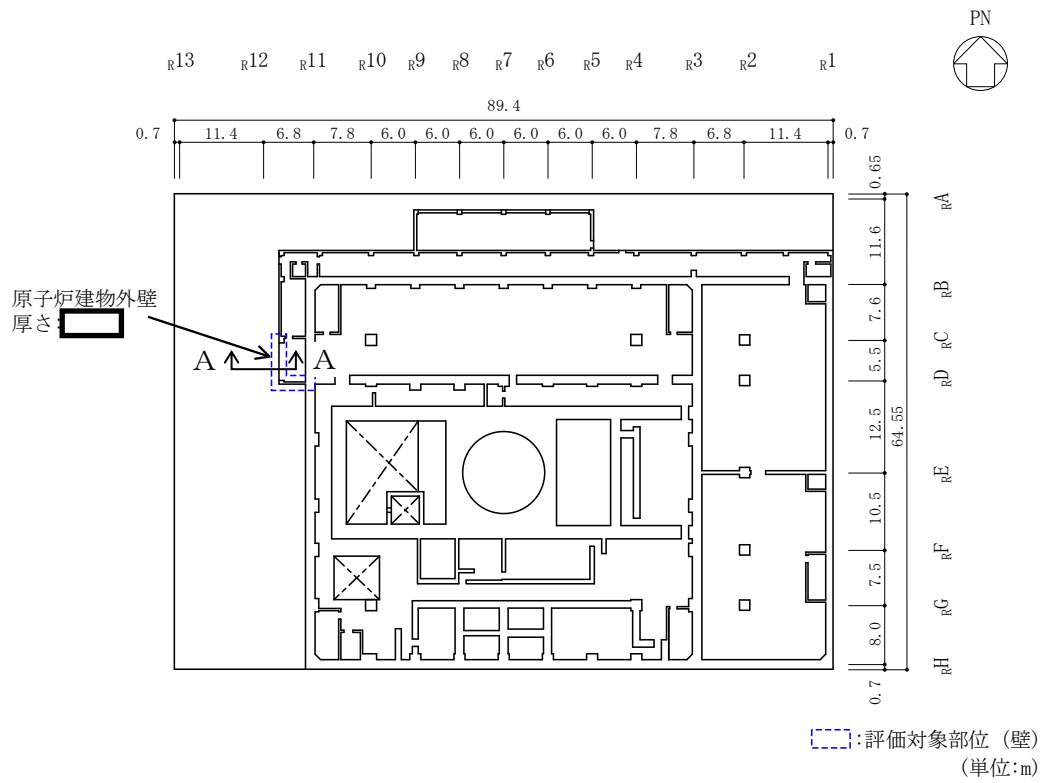
各施設の構造は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

建物は、主体構造が鉄筋コンクリート造であり、一部鉄骨鉄筋コンクリート造又は一部鉄骨造を有する構造である。地中構造物は、地中に埋設された構造物であり、外殻の躯体は鉄筋コンクリート造、地上部に露出する開口部の蓋は鋼製である。また、原子炉建物には、竜巻防護対策設備である扉が設置されている。

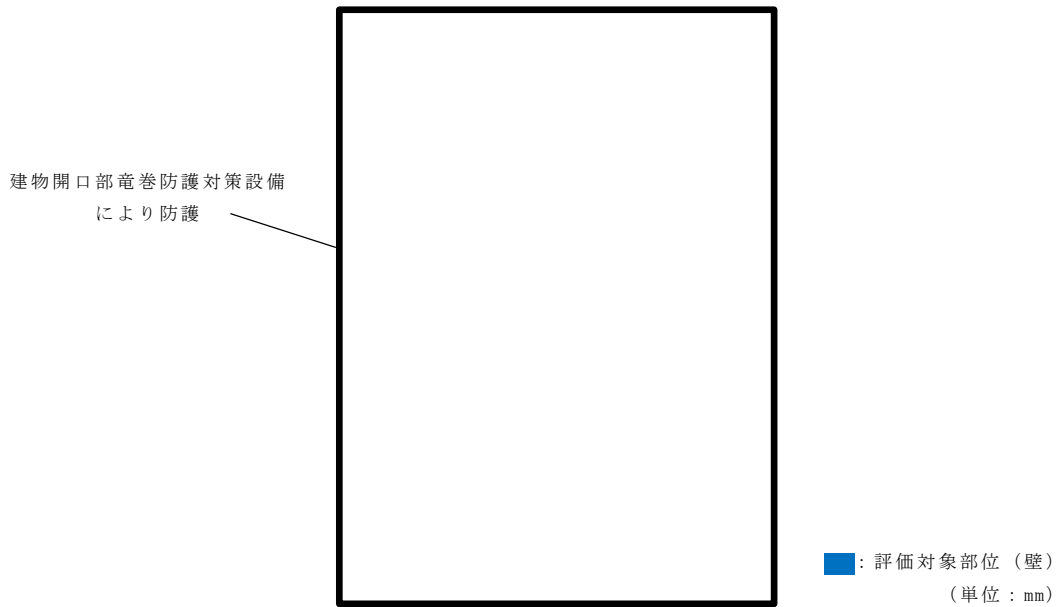
扉は、表面鋼板、芯材、扉枠等の鋼材を主構造とし、アンカーボルトによって建物躯体に固定された扉枠に対し、カンヌキによって扉本体を扉枠と固定することで支持

する設計とする。

各施設の概略平面図及び概略図を図 2-2～図 2-7 に，扉の位置図を図 2-8 に，扉の構造図を図 2-9 に示す。



(a) 平面図



(b) 断面図 (A-A 断面)

図 2-2(1) 原子炉建物の概略図 (EL 34.8m\*)

注記\* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

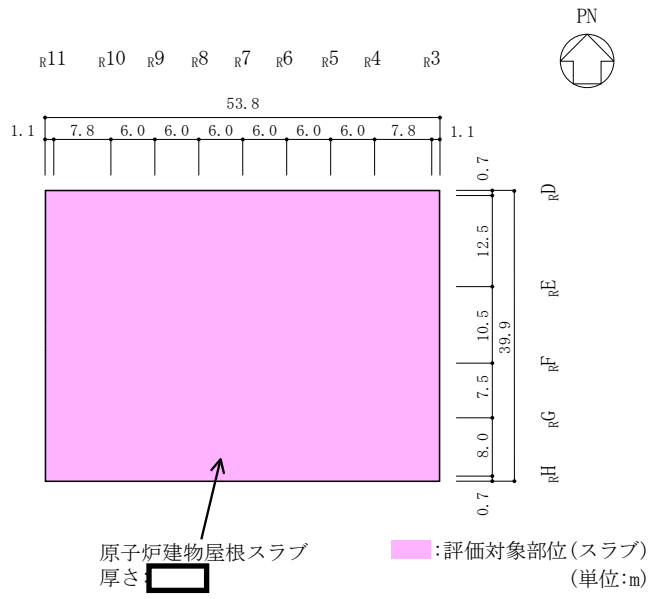


図 2-2(2) 原子炉建物の概略平面図 (EL 63.5m)

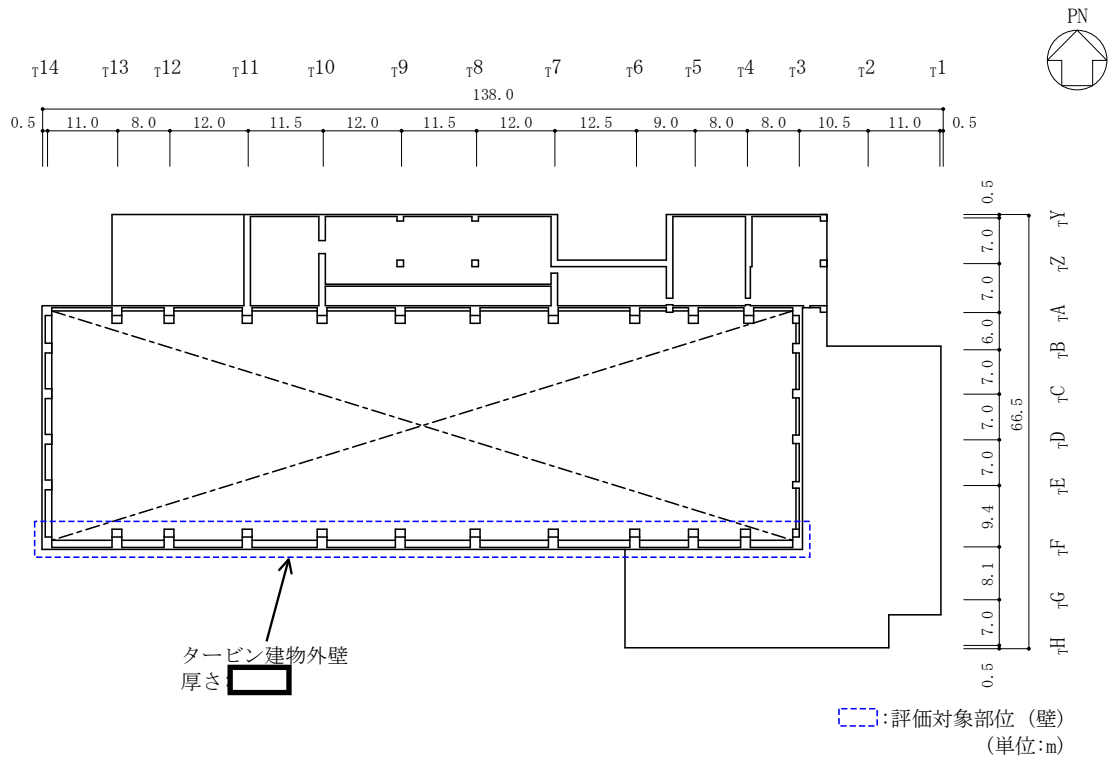


図 2-3(1) タービン建物の概略平面図 (EL 32.0m)

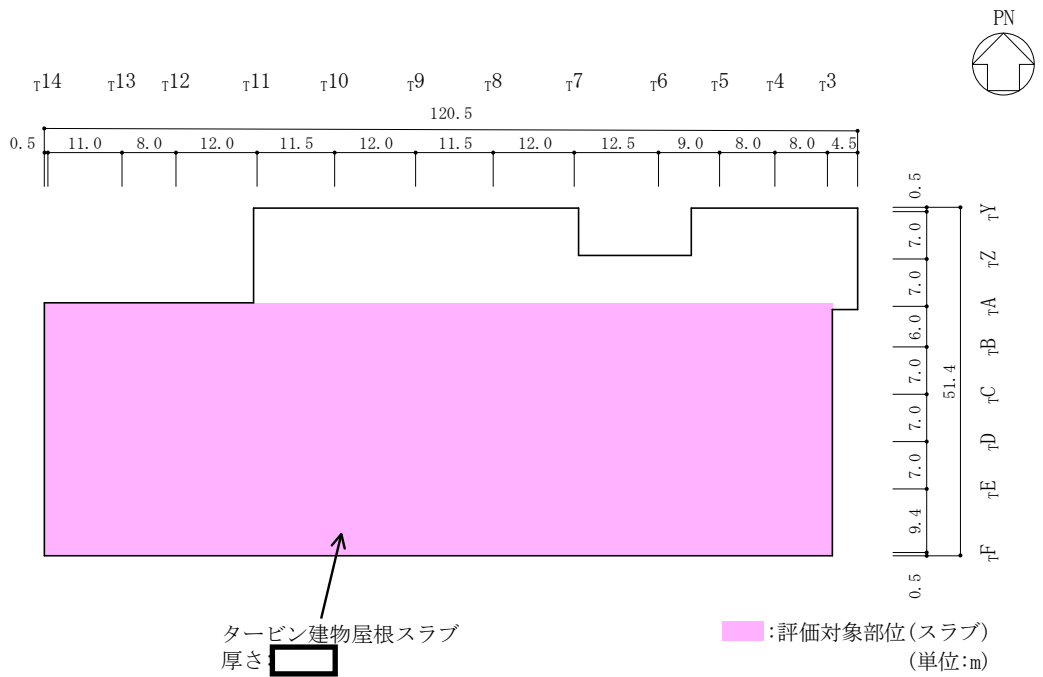


図 2-3(2) タービン建物の概略平面図 (EL 41.6m)

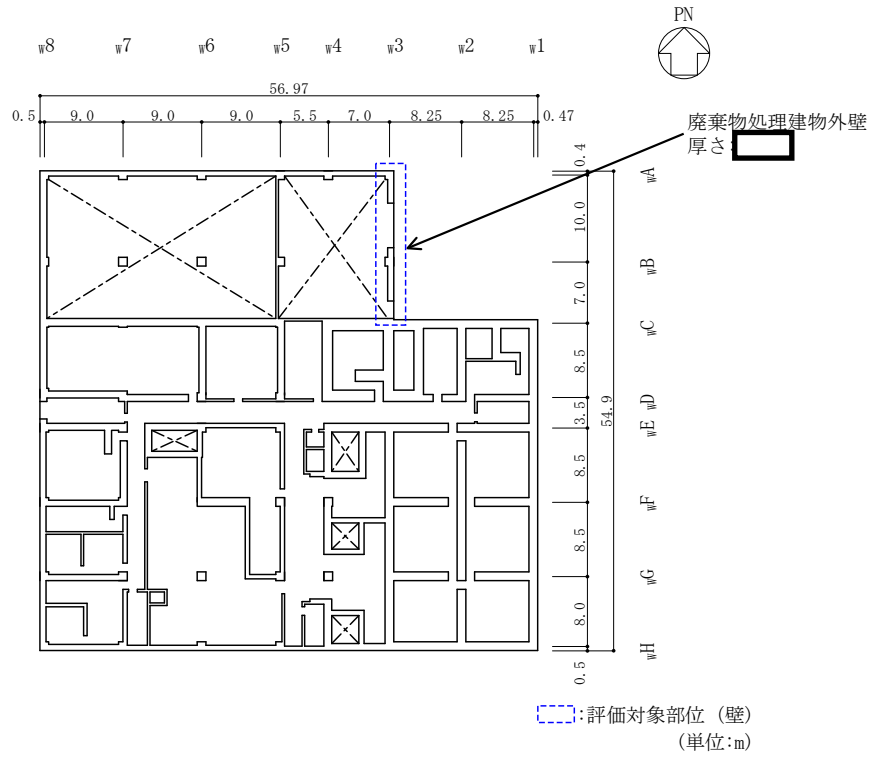


図 2-4(1) 廃棄物処理建物の概略平面図 (EL 26.7m)

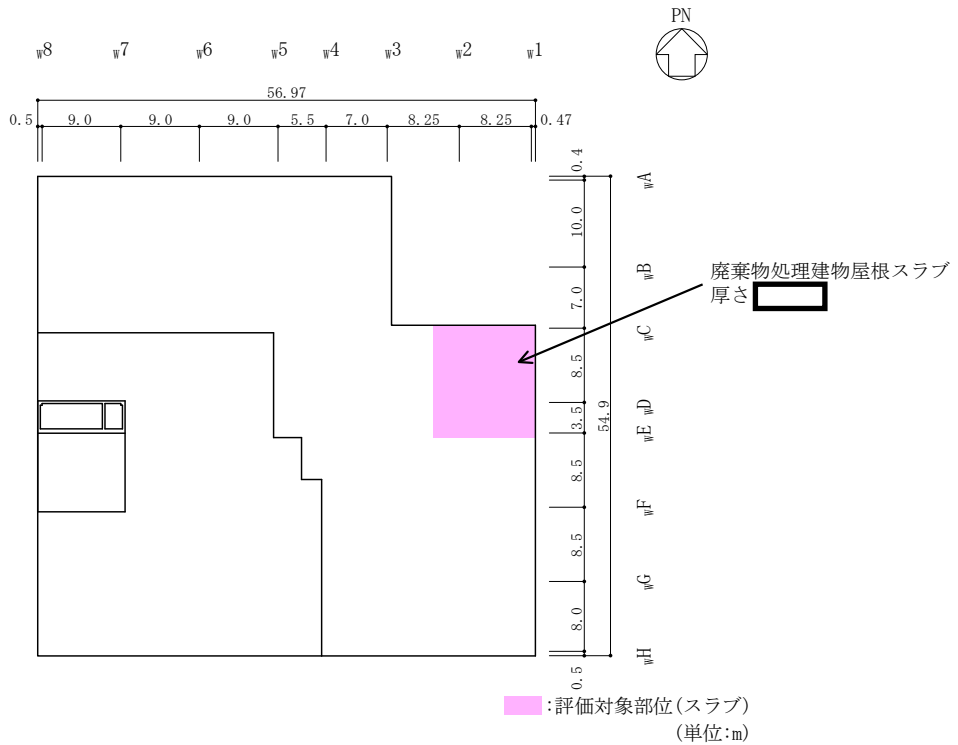


図 2-4(2) 廃棄物処理建物の概略平面図 (EL 42.0m)



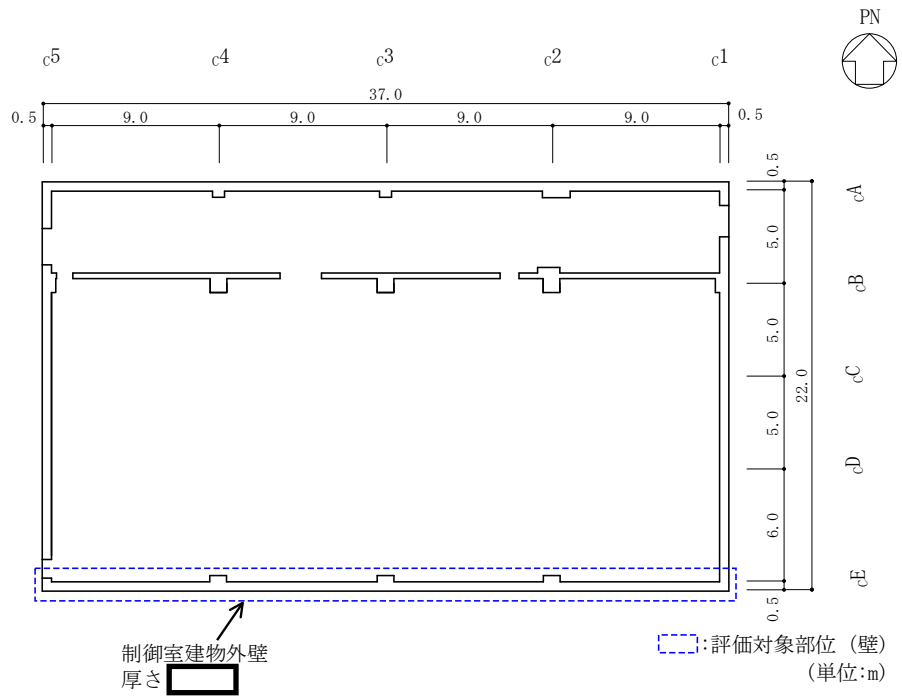


図 2-5(1) 制御室建物の概略平面図 (EL 16.9m)

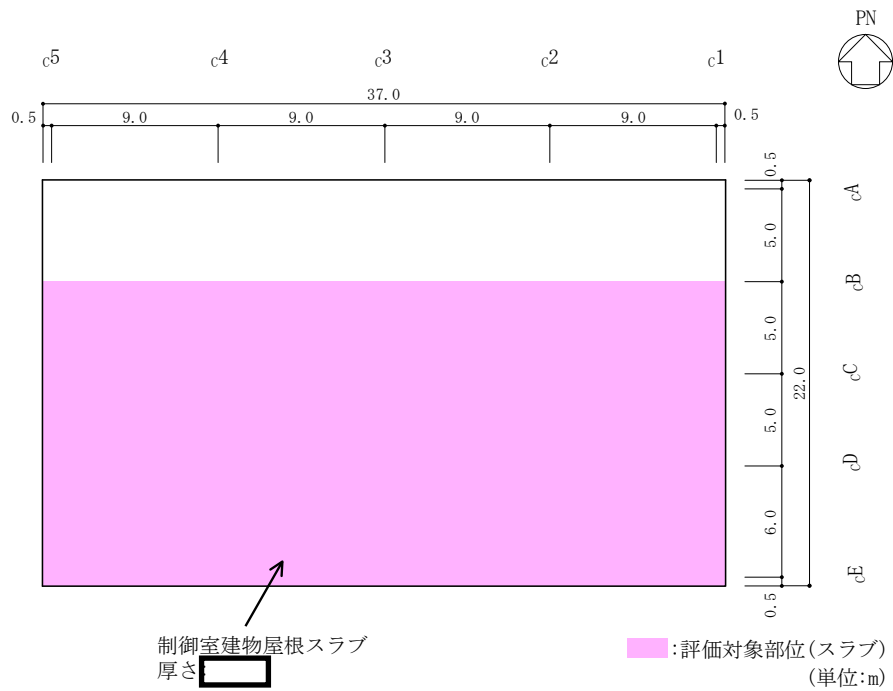
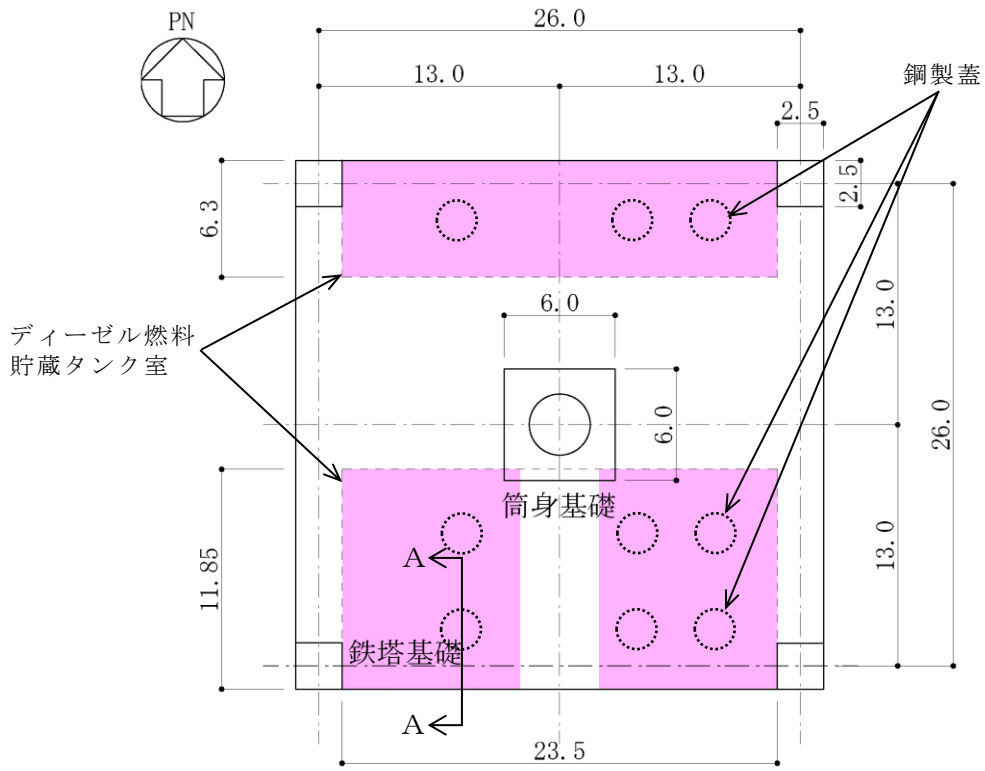
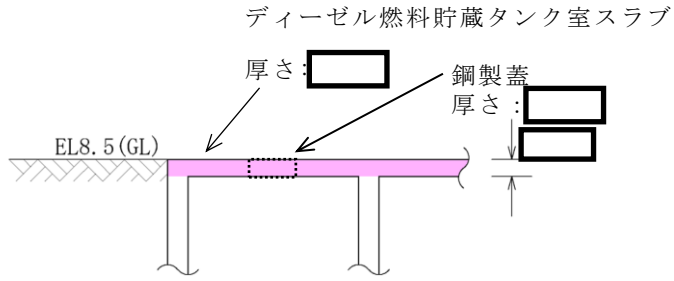


図 2-5(2) 制御室建物の概略平面図 (EL 22.05m)



(a) 平面図



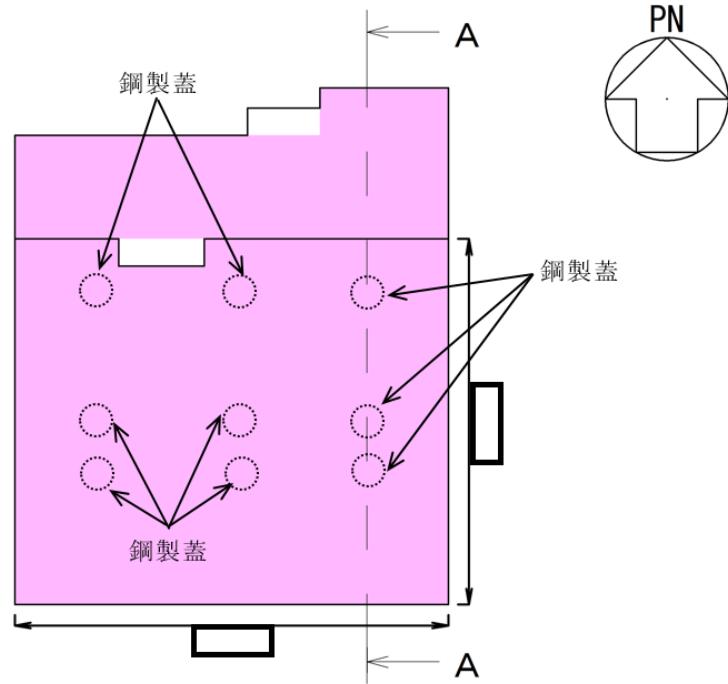
(b) 断面図 (A-A断面)

■: 評価対象部位 (スラブ)

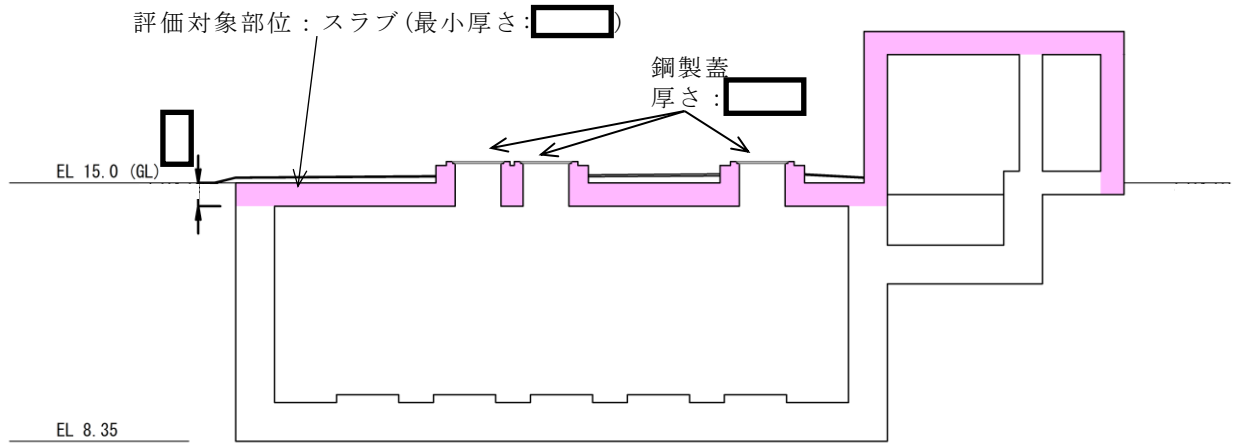
(単位: m)

図 2-6 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略図

### KEY-PLAN



(a) 平面図



(b) 断面図 (A-A 断面)

■ : 評価対象部位(スラブ)  
(単位 : m)

図 2-7 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の概略図

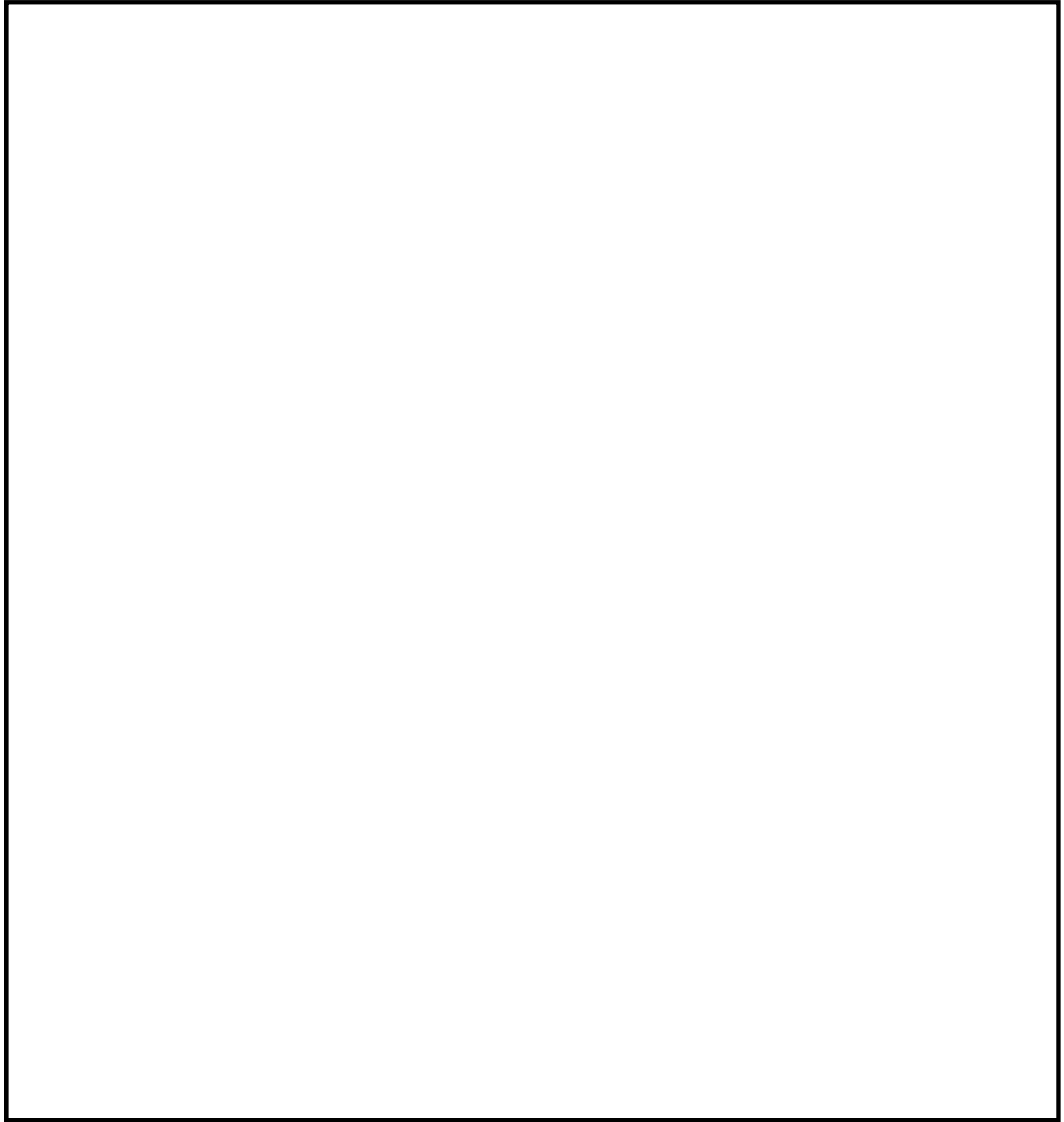


図 2-8 扉の位置図

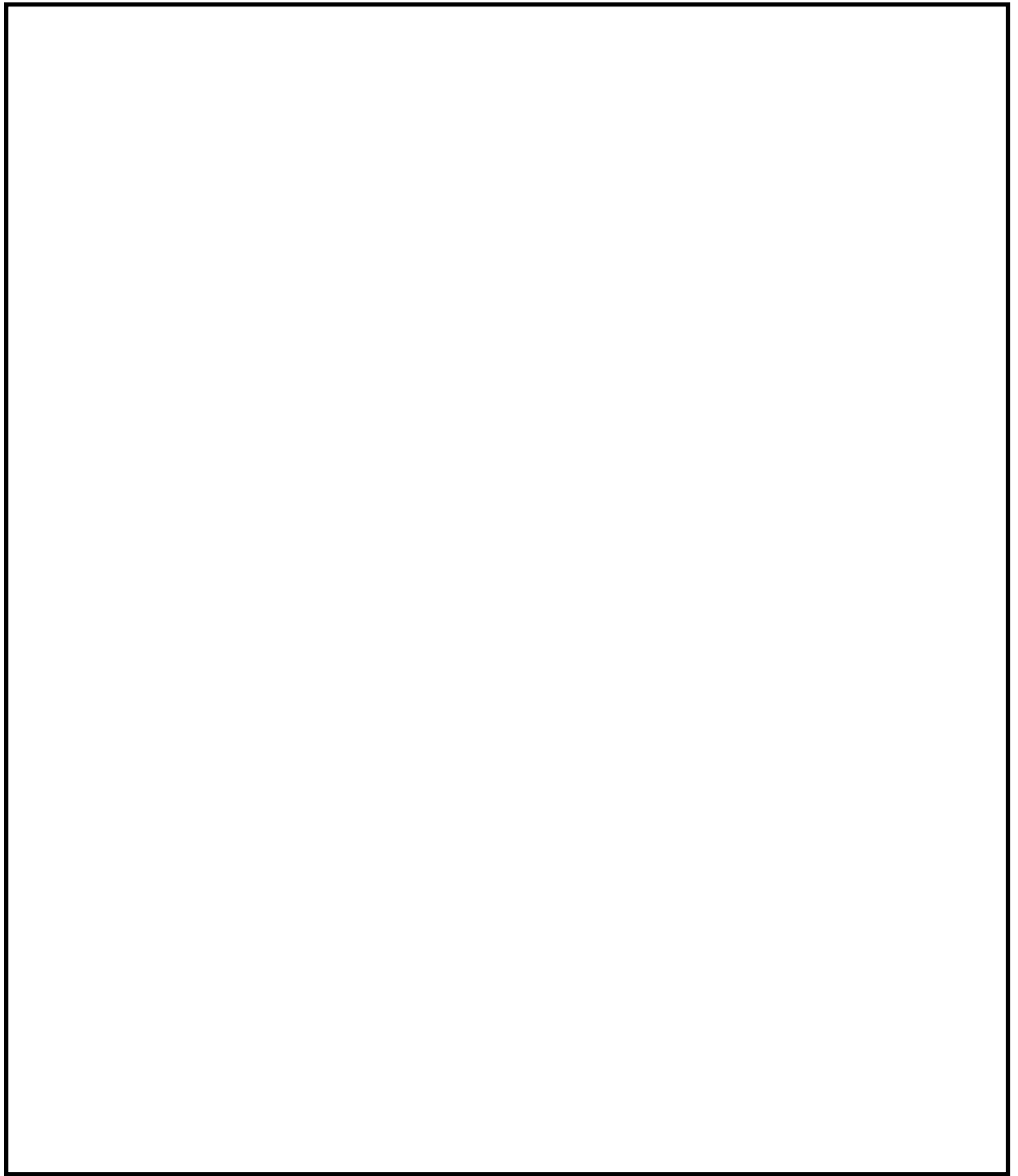


図 2-9 扉の構造図  
(例：原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉)

## 2.3 評価方針

各施設の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、竜巻より防護すべき施設が安全機能を損なわないことを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

各施設の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突する直接的な影響の評価として、施設の外殻を構成する部材に対する衝突評価を行う。また設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突もしくは接触する波及的な影響の構造強度評価として、施設の外殻を構成する部材の裏面剥離による飛散の影響評価及び施設の外殻を構成する部材の転倒及び脱落並びに施設の変形の影響評価を行う。

各施設の強度評価フローを図 2-10 に示す。

### 2.3.1 衝突評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材である建物の外壁、扉及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブ及び鋼製蓋が、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。

建物の外壁、屋根スラブ及び地中構造物のスラブの評価には、「NEI07-13:Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」（以下「NEI07-13」という。）及び「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

なお、施設の外殻を構成する部材のうち、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない屋根スラブにおいては、当該部材に終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。

扉及び鋼製蓋の評価には、VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す解析により求めた必要最小肉厚（設計荷重が作用した場合の鋼板が貫通しない最小肉厚）に対し、扉及び鋼製蓋が十分な厚さを有していることを確認する。（以下「貫通評価」という。）

### 2.3.2 構造強度評価

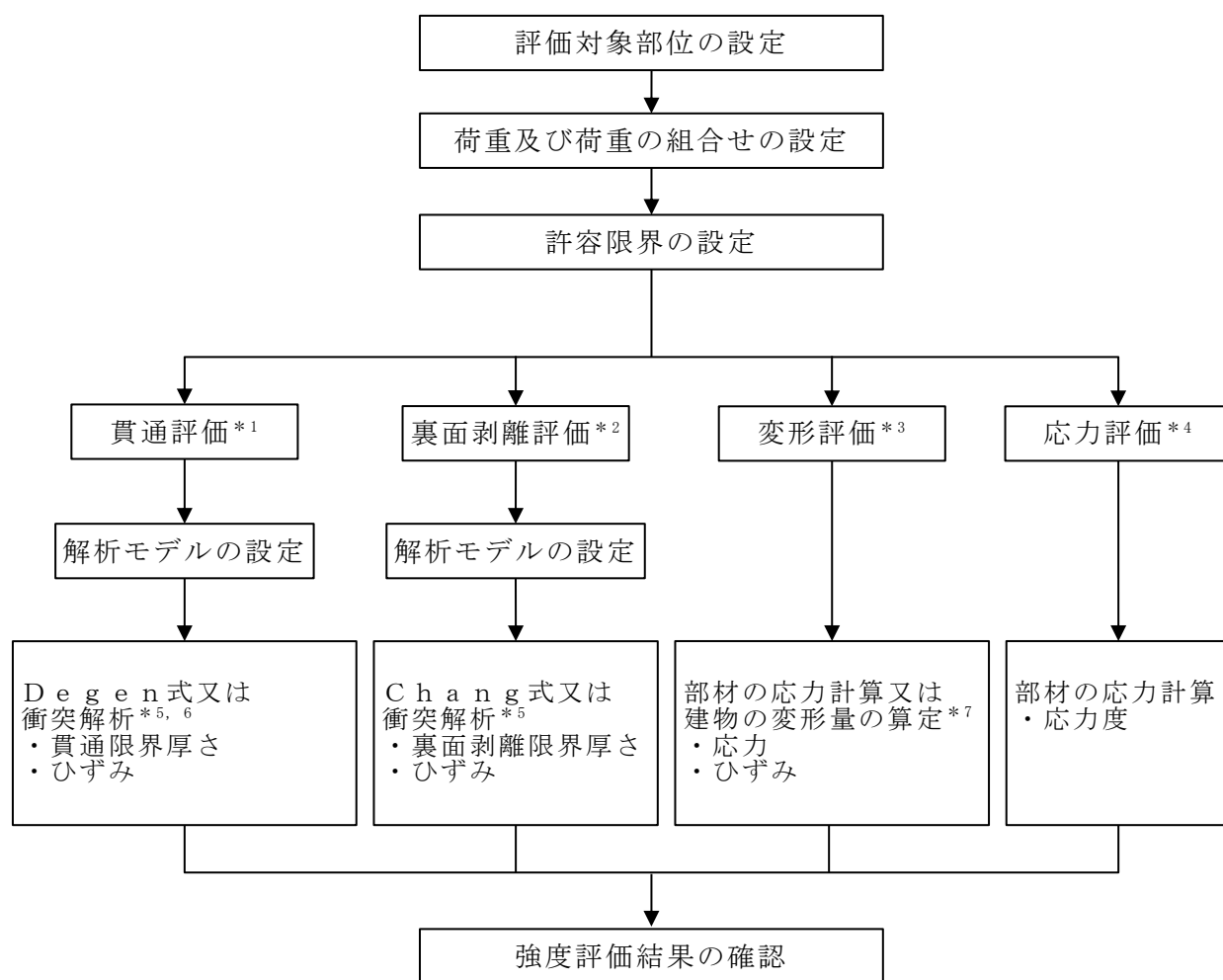
設計荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材である建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを確認する。

評価には、NEI07-13にて示されている式を準用し、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

なお、施設の外殻を構成する部材のうち、裏面剥離によるコンクリート片の飛散を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない壁及び屋根スラブにおいては、当該部材が裏面剥離に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。（以下「裏面剥離評価」という。）

また、建物及び地中構造物の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブ、屋根スラブのスタッドボルト（以下「スタッド」という。）及び耐震壁に終局状態に至るようなひずみ又は応力が生じないことを計算及び解析により確認する。（以下「変形評価」という。）

扉については、施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、設計荷重に対し、扉のカンヌキに生じる応力度が「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改定）」及びJISに基づき設定する短期許容応力度を超えないことを、力学における標準式による荷重及び応力の算定により確認する。（以下「応力評価」という。）



注記\*1: 建物の外壁, 扉及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブ及び鋼製蓋について実施する。

\*2: 建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブについて実施する。

\*3: 屋根スラブ, スタッド及び耐震壁について実施する。

\*4: 扉のカンヌキについて実施する。

\*5: 屋根スラブ及び外壁の衝突解析については, 解析コード「LS-DYNA」により, 壁, スラブ及び鉄筋を3次元FEMモデルによりモデル化し評価を実施する。

\*6: 扉及び鋼製蓋については, VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す解析により求めた必要最小肉厚に対し, 扉及び鋼製蓋が十分な厚さを有していることを確認する。

\*7: 地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図 2-10 強度評価フロー



## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8P (NEI07-13) )
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ( (社) 日本電気協会)
- ・ ISE7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討 (昭和 51 年 10 月 高温構造安全技術研究組合)
- ・ タービンミサイル評価について (昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- ( (社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法- ( (社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 日本産業規格 ( J I S )
- ・ 各種合成構造設計指針 同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 理科年表 (国立天文台, 第 85 冊, 2003)
- ・ コンクリート標準示方書 設計編 ( (社) 土木学会, 2012 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2005 制定)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

D e g e n式による鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定に用いる記号を表 3-1 に、C h a n g式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表 3-2 に、力学における標準式による屋根スラブ，スタッド及び扉の評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-1 D e g e n式による鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
D	kgf/cm <sup>3</sup>	設計飛来物直径密度 ( $D = W / d^3$ )	
d	cm	設計飛来物直径	
e	cm	貫通限界厚さ	
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
N	—	設計飛来物の形状係数	
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)
		屋根	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)
W	kgf	設計飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
α <sub>e</sub>	—	低減係数	

表 3-2 C h a n g 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
d	cm	設計飛来物直径	
$f_c'$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
S	cm	裏面剥離限界厚さ	
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度（水平）
		屋根	設計飛来物の衝突速度（鉛直）
$V_0$	m/s	飛来物基準速度	
W	kgf	設計飛来物重量	
$\alpha_s$	—	低減係数	

表 3-3(1) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(荷重算定用)

記号	単位	定義	
A	m <sup>2</sup>	受圧面積	
C	—	風力係数	
G	—	ガスト影響係数	
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧	
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速	
$W_M$	N	設計飛来物による衝撃荷重	
$W_P$	N	気圧差による荷重	
$W_W$	N	風圧力による荷重	
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度	
$\Delta P_{max}$	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量	
m	kg	設計飛来物質量	
V	m/s	設計飛来物の衝突速度（水平）	
$\Delta t$	s	設計飛来物と被衝突体の接触時間	
$L_1$	m	設計飛来物の最も短い辺の全長	

表 3-3(2) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(屋根スラブ)

記号	単位	定義
L	m	屋根スラブの支持スパン
M	kN・m	設計竜巻による単位幅あたりの曲げモーメント
Q	kN	屋根スラブに生じる単位幅あたりのせん断力
$f_t$	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の許容引張応力度
$f_s$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの許容せん断応力度
$a_t$	mm <sup>2</sup>	引張鉄筋の断面積
b	mm	屋根スラブの幅
$d'$	mm	屋根スラブの有効せい
j	mm	屋根スラブの応力中心間距離 ( $j = (7/8) \cdot d'$ )
$M_a$	kN・m	屋根スラブの許容曲げモーメント
$Q_a$	kN	屋根スラブの許容せん断力
$\omega_d$	kN/m	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重
$\omega_T$	kN/m	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 ( $= \text{Max} \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$ )
$\omega_{T1}$	kN/m	複合荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	kN/m	複合荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重 (設計飛来物による 衝撃荷重 $W_M$ は考慮しない)

表 3-3(3) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(スタッド)

記号	単位	定義
$A_c$	$\text{mm}^2$	コーン状破壊面の有効投影面積
$A_0$	$\text{mm}^2$	スタッド頭部の支圧面積
$a_{ca}$	$\text{mm}^2$	スタッド断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値
$D$	$\text{mm}$	スタッドの頭部直径
$d$	$\text{mm}$	スタッドの軸部直径
$F_c$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コンクリートの設計基準強度
$f_n$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コンクリートの支圧強度
$l_{ce}$	$\text{mm}$	スタッドの強度計算用埋込み長さ ( $l_{ce} = l_e$ )
$l_e$	$\text{mm}$	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ
$p_a$	$\text{kN}$	スタッド 1 本あたりの許容引張力
$p_{a1}$	$\text{kN}$	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力
$p_{a2}$	$\text{kN}$	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力
$p_{a3}$	$\text{kN}$	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド 1 本あたりの許容引張力
$\pi$	—	円周率
${}_c\sigma_t$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
${}_s\sigma_{pa}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	スタッドの引張強度
${}_s\sigma_y$	$\text{N}/\text{mm}^2$	スタッドの規格降伏点強度
$\Phi_1$	—	低減係数
$\Phi_2$	—	低減係数
$L_1$	$\text{m}$	屋根スラブの支持スパン
$L_2$	$\text{m}$	屋根スラブの支持スパン
$p$	$\text{mm}$	スタッドの間隔
$Q$	$\text{kN}$	屋根スラブに生じる単位幅あたりのせん断力
$T$	$\text{kN}$	スタッドに生じる引張力
$\omega_T$	$\text{kN}/\text{m}$	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 ( $=\text{M a x } \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$ )
$\omega_{T1}$	$\text{kN}/\text{m}$	複合荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	$\text{kN}/\text{m}$	複合荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重 (設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は考慮しない)

表 3-3(4) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(扉)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	表面鋼板の受圧面積
$A_2$	$mm^2$	カンヌキの断面積
$L$	$mm$	カンヌキと扉枠の距離
$n$	本	カンヌキの本数
$R$	$N$	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重
$W_P$	$N$	気圧差による荷重
$\Delta P_{max}$	$N/m^2$	最大気圧低下量
$Z$	$mm^3$	カンヌキの断面係数
$\sigma_b$	$N/mm^2$	曲げ応力度
$\tau$	$N/mm^2$	せん断応力度

## 3.2 評価対象部位

各施設の評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、設定する。

評価対象部位は図 2-2～図 2-9 のとおり。

### 3.2.1 貫通評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、外部事象防護対象施設を内包する区画のうち外殻を構成する部材の中から最も厚みが小さい箇所を評価対象部位として設定することとし、原子炉建物については屋根スラブ及び外壁（EL 34.8m）並びに鋼製扉を、タービン建物については屋根スラブ及び外壁（EL 32.0m）を、廃棄物処理建物については屋根スラブ及び外壁（EL 26.7m）を、制御室建物については屋根スラブ及び外壁（EL 16.9m）を、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については地表面に露出するスラブ及び開口部の鋼製蓋を評価対象部位として設定する。

評価においては、各施設の評価対象部位の最小厚さが、設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを確認する。

なお、評価対象部位のうち、設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることが確認できない原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについては、衝突解析により評価を行う。

### 3.2.2 裏面剥離評価

設計荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体が、脱落により竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない設計とするために、外殻を構成する部材の中から最も厚みが小さい箇所を評価対象部位として設定することとし、原子炉建物については屋根スラブ及び外壁（EL 34.8m）を、タービン建物については屋根スラブ及び外壁（EL 32.0m）を、廃棄物処理建物については屋根スラブ及び外壁（EL 26.7m）を、制御室建物については屋根スラブ及び外壁（EL 16.9m）を、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については地表面に露出するスラブを評価対象部位として設定する。

評価においては、各施設の評価対象部位の最小厚さが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない裏面剥離限界厚さを上回ることを確認する。

なお、評価対象部位のうち、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない裏面剥離限界厚さを上回ることが確認できない原子炉建物屋根スラブ及び外壁並びにタービン建物屋根スラブ及び外壁については、衝突解析により評価を行う。

### 3.2.3 変形評価

設計荷重に対して、外殻を構成する部材自体が外部事象防護対象施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において、設計荷重が直接作用し、防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び壁を評価することとし、屋根スラブについては、代表として部材厚が最も小さいタービン建物の屋根スラブを評価対象部位として設定する。

また、風圧力及び気圧差による荷重は屋根スラブに作用し、スタッドに伝達されることから、スタッドを評価対象部位として設定するものとし、屋根スラブの支持にスタッドを用いる構造である原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについて評価を行う。

壁については、原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物の耐震壁を評価対象部位として設定する。

なお、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については、地中に埋設され竜巻の風荷重を受け難い構造であることから評価は不要とする。

### 3.2.4 応力評価

設計荷重に対し、施設を構成する部材自体が、転倒及び脱落により外部事象防護対象施設へ接触等の影響を与えない設計とするために、カンヌキに生じる応力度が「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005 改定）」及びJISに基づき設定する短期許容応力度を超えないことを、力学における標準式による荷重の算定により確認する。

室内側の扉板に作用する荷重が芯材，表面鋼板に作用し，ヒンジ，カンヌキ及びアンカーボルトにより固定された扉枠を介して建物躯体に伝達されることから，これらの部材が評価対象部位として抽出される。

このうち，表面鋼板は対貫通性を考慮した厚板であり，またヒンジ，芯材については評価上期待しないこと，アンカーボルトにより固定された扉枠は建物躯体と一体化していることから，扉の閉止状態を維持するための支持部材であるカンヌキを評価対象部位として設定する。

ここで，カンヌキに作用する荷重は「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に記載するとおり，気圧差による荷重を設定することから，カンヌキに生じる気圧差による荷重が最大となる，即ちカンヌキ1本あたりの表面鋼板の負担面積が最大となる扉を代表として評価するものとし，原子炉建物 1階 RCW熱交換器室南側鋼製扉を評価対象とする。評価の対象とする扉の選定結果として，カンヌキ1本あたりの表面鋼板の負担面積の一覧を表3-4に示す。



表 3-4 評価の対象とする扉の選定結果

評価対象の扉	表面鋼板の仕様			カンヌキの本数 (本)	カンヌキ 1 本あたりの 表面鋼板の負担面積 (m <sup>2</sup> )	評価対象
	幅 (mm)	高さ (mm)	面積 (m <sup>2</sup> )			
原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室北側鋼製扉	2375	5125	12.18	7	1.74	
原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉	4950	5125	25.37	9	2.82	○
原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉 くぐり戸	859.5	2085	1.80	4	0.45	
原子炉建物 1 階 PLR ポンプ MG セット室南側鋼製扉	4900	5045	24.73	9	2.75	
原子炉建物 1 階 PLR ポンプ MG セット室南側鋼製扉 くぐり戸	859.5	2085	1.80	4	0.45	

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

各施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

#### 3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
92	14	78	7500

(1) 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、部材の自重とする。

(2) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」(日本建築学会)に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、 $q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$

(3) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

(4) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重は、表 3-6 に諸元を示す設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、設計飛来物の材料定数を表 3-7 に示す。

なお、評価対象部位に設計飛来物が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

表 3-6 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

表 3-7 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
鋼製材	245	$2.06 \times 10^5$	0.3	77

### 3.3.2 荷重の組合せ

各施設の強度評価に用いる荷重の組合せについては、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」のとおり、設計飛来物による衝撃荷重，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-8 に示す。

表 3-8 荷重の組合せ

評価内容	評価対象部位		設計飛来物の衝突方向	荷重の組合せ
貫通評価	D e g e n式による評価			
	原子炉建物	外壁 (EL 34.8m)	水平	$W_M$
	タービン建物	外壁 (EL 32.0m)	水平	
	廃棄物処理建物	外壁 (EL 26.7m)	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	制御室建物	外壁 (EL 16.9m)	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	ディーゼル燃料貯蔵タンク室	スラブ	鉛直	
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	スラブ	鉛直	
	必要最小肉厚と部材厚の比較による評価			
	原子炉建物	鋼製扉	水平	$W_M$
	ディーゼル燃料貯蔵タンク室	鋼製蓋	鉛直	
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	鋼製蓋	鉛直	
	解析による評価			
原子炉建物	屋根スラブ	鉛直	$W_W + 0.5W_P + W_M + F_d$	
タービン建物	屋根スラブ	鉛直		
裏面剥離評価	C h a n g式による評価			
	廃棄物処理建物	外壁 (EL 26.7m)	水平	$W_M$
		屋根スラブ	鉛直	
	制御室建物	外壁 (EL 16.9m)	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	ディーゼル燃料貯蔵タンク室	スラブ	鉛直	
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	スラブ	鉛直	
	解析による評価			
	原子炉建物	外壁 (EL 34.8m)	水平	$W_W + 0.5W_P + W_M + F_d$
		屋根スラブ	鉛直	
タービン建物	外壁 (EL 32.0m)	水平		
	屋根スラブ	鉛直		
変形評価	力学における標準式による評価			
	原子炉建物	屋根スラブのスタッド	—	複合荷重 $W_{T1} : W_P$ 複合荷重 $W_{T2} : W_W + 0.5W_P$
	タービン建物	屋根スラブのスタッド	—	
		屋根スラブ	—	複合荷重 $W_{T1} : W_P + F_d$ 複合荷重 $W_{T2} : W_W + 0.5W_P + F_d$
	地震応答解析モデルを用いた静的解析			
	原子炉建物	耐震壁	水平	複合荷重 $W_{T1} : W_P + F_d$ 複合荷重 $W_{T2} : W_W + 0.5W_P + W_M + F_d$
	タービン建物	耐震壁	水平	
	廃棄物処理建物	耐震壁	水平	
制御室建物	耐震壁	水平		
応力評価	力学における標準式による評価			
	扉	カンヌキ	—	$W_P$

注： $W_W$ ：風圧力による荷重  $W_P$ ：気圧差による荷重  $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重  $F_d$ ：常時作用する荷重

### 3.4 許容限界

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

#### 3.4.1 貫通評価

貫通評価のうち、式又は必要最小肉厚との比較による評価の許容限界は評価対象部位の最小厚さとした。表 3-9 に設定した許容限界を示す。

表 3-9 貫通評価の許容限界（式又は必要最小肉厚との比較による評価）

評価対象部位		許容限界 (cm)
原子炉建物	外壁 (EL 34.8m)	
	屋根スラブ	
	扉	
タービン建物	外壁 (EL 32.0m)	
	屋根スラブ	
廃棄物処理建物	外壁 (EL 26.7m)	
	屋根スラブ	
制御室建物	外壁 (EL 16.9m)	
	屋根スラブ	
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	スラブ	
	鋼製蓋	
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	スラブ	
	鋼製蓋	

注記\*：単位は mm

貫通評価のうち、式又は必要最小肉厚との比較により算定する貫通限界厚さが最小部材厚さを上回る場合における、解析による評価の許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 貫通評価の許容限界（解析による評価）

評価対象部位		材質	許容限界
			鋼材の破断ひずみ
タービン建物 屋根スラブ*	鉄筋	SD35 (SD345 相当)	0.084 (塑性ひずみ)

注記\*：設計飛来物に対する裏面剥離限界厚さを満たさない屋根スラブのうち、最も厚さの小さいものとして選定

設計飛来物が屋根スラブへ衝突する場合の貫通評価における許容限界は、鋼材の破断ひずみを基本として設定する。破断ひずみについては、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2.1(1) 許容限界の設定」に示すとおり、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、NEI07-13においてT F（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてT F = 2.0を考慮して設定する。

#### 3.4.2 裏面剥離評価

裏面剥離評価の許容限界のうち、式による評価の許容限界は貫通評価の許容限界と同じであり、表 3-9 のとおり。

式により算定する裏面剥離限界厚さが最小部材厚さを上回る場合における、解析による評価の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 裏面剥離評価の許容限界（解析による評価）

評価対象部位		材質	許容限界
			鋼材の破断ひずみ
タービン建物 外壁* <sup>1</sup>	鉄筋	SD35 (SD345 相当)	0.084 (塑性ひずみ)
タービン建物 屋根スラブ* <sup>2</sup>	デッキ プレート	SDP2	0.080 (塑性ひずみ)

注記\*1：設計飛来物に対する裏面剥離限界厚さを満たさない外壁のうち、最も厚さの小さいものとして選定

\*2：設計飛来物に対する裏面剥離限界厚さを満たさない屋根スラブのうち、最も厚さの小さいものとして選定

設計飛来物が外壁及び屋根スラブへ衝突する場合の裏面剥離評価における許容限界は、鋼材の破断ひずみを基本として設定する。破断ひずみについては、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2.1(1) 許容限

界の設定」に示すとおり，J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13においてT F（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕としてT F = 2.0を考慮して設定する。

### 3.4.3 変形評価

変形評価の許容限界を表 3-12 に示す。

表 3-12 変形評価の許容限界

評価対象部位		許容限界	
		項目	数値
原子炉建物	屋根スラブのスタッド	「各種合成構造設計指針 同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づく許容耐力	59 (kN/本)
タービン建物	屋根スラブのスタッド	「各種合成構造設計指針 同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づく許容耐力	61 (kN/本)
タービン建物	屋根スラブ	原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）に基づく短期許容応力度	曲げ：23 (kN・m) せん断：85 (kN)
原子炉建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	$2.0 \times 10^{-3}$
タービン建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	$2.0 \times 10^{-3}$
廃棄物処理建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	$2.0 \times 10^{-3}$
制御室建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	$2.0 \times 10^{-3}$

### 3.4.4 応力評価

#### (1) 評価対象部位の材料仕様

扉の評価対象部位の材料仕様を表 3-13 に示す。

表 3-13 評価対象部位の材料仕様

評価対象部位	仕様	材質
原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉 カンヌキ	φ 70	S45C



(2) 許容限界

応力評価の許容限界を表 3-14 に示す。

応力評価におけるカンヌキの評価は、J I S 及び「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

表 3-14 応力評価の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度	
		曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )
原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室 南側鋼製扉カンヌキ	S45C	345	199

### 3.5 評価方法

各施設の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施し、構造強度評価として裏面剥離評価、変形評価及び応力評価を実施する。

#### 3.5.1 貫通評価

##### (1) 貫通評価式による評価

###### a. 鉄筋コンクリート部

設計飛来物が各施設に衝突する場合の貫通限界厚さを NEI07-13 に示されている D e g e n 式を用いて算定する。D e g e n 式における貫入深さは、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正 N D R C 式を用いて算定する。

D e g e n 式を以下に示す。

$1.52 \leq X/d \leq 13.42$  の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{0.69 + 1.29 \cdot (X/d)\} \cdot d$$

$X/d \leq 1.52$  の場合

$$e = \alpha_e \cdot \left\{ 2.2 \cdot (X/d) - 0.3 \cdot (X/d)^2 \right\} \cdot d$$

修正 N D R C 式を以下に示す。

$X/d \leq 2.0$  の場合

$$X/d = 2 \cdot \left\{ \left( 12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8} \right\}^{0.5}$$

$X/d \geq 2.0$  の場合

$$X/d = \left( 12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8} + 1$$

###### b. 扉及び鋼製蓋

扉及び鋼製蓋の評価方法としては、VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す解析により求めた必要最小肉厚が「3.4 許容限界」で定めた許容限界以下であることを確認する。解析により求めた必要最小肉厚を表 3-15 に示す。

表 3-15 必要最小肉厚

評価対象部位	材質	衝突方向	必要最小肉厚 (mm)
扉	SS400	水平	16
鋼製蓋		鉛直	

(2) 屋根スラブに対する衝突解析

設計飛来物に対して、Degen式による貫通限界厚さを満足しない原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについては、厚さが最も小さいタービン建物屋根スラブを代表箇所を選定し、設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により屋根スラブの鉄筋に生じるひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。

衝突位置については、部材曲げによる変形量が最大になると考えられる中央部を選定した。衝突方向は、部材面に対して垂直とし、局所的な変形によって部材に生じるひずみが最も大きくなるように、飛来物の面積が最小の面(0.3m×0.2m)が衝突するケースを選定した。

なお、風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ については、衝撃荷重と逆方向に作用するため、保守的に考慮しない。

衝突解析には、解析コード「LS-DYNA」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 解析モデル

(a) タービン建物屋根スラブ

タービン建物屋根スラブのモデル化範囲は、想定する荷重の伝達を考慮し、スラブを構成するコンクリート、鉄筋及びデッキプレートとする。コンクリートはソリッド要素でモデル化し、鉄筋をビーム要素、デッキプレートをシェル要素でモデル化する。

タービン建物屋根スラブのモデル化範囲を図 3-1 に、解析モデル及び境界条件を図 3-2 に示す。

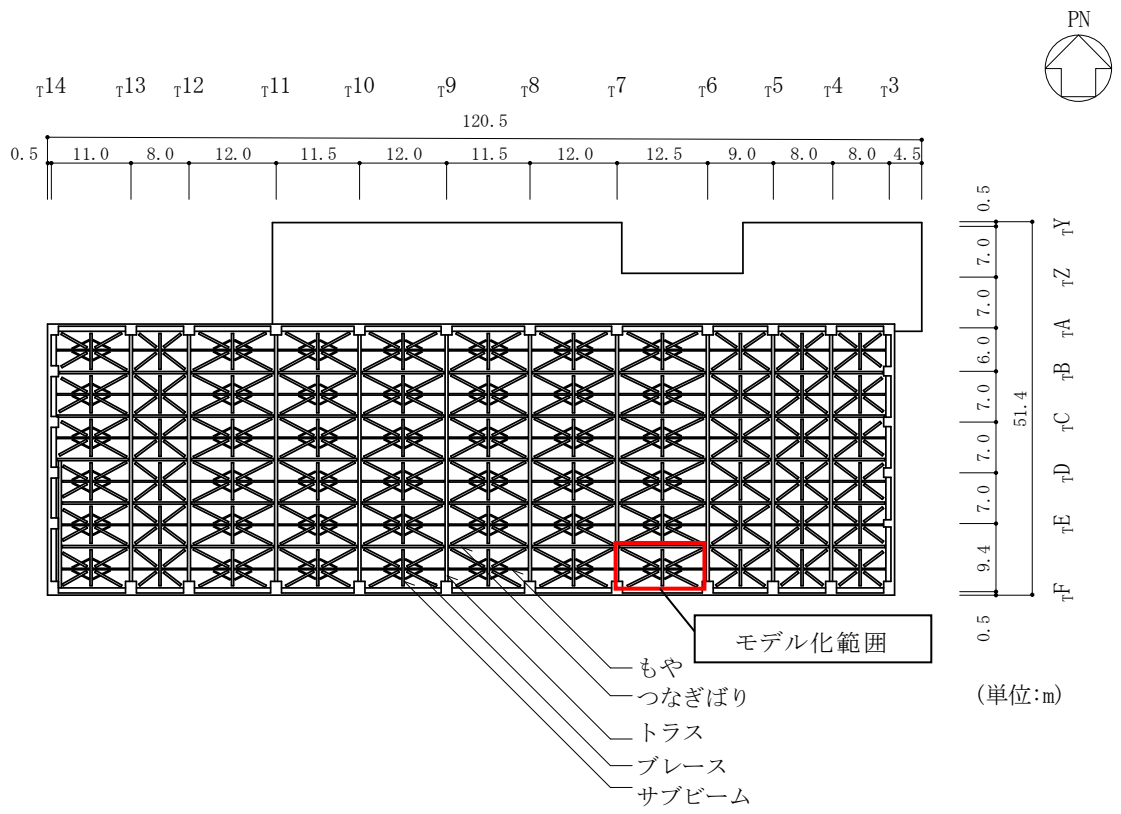
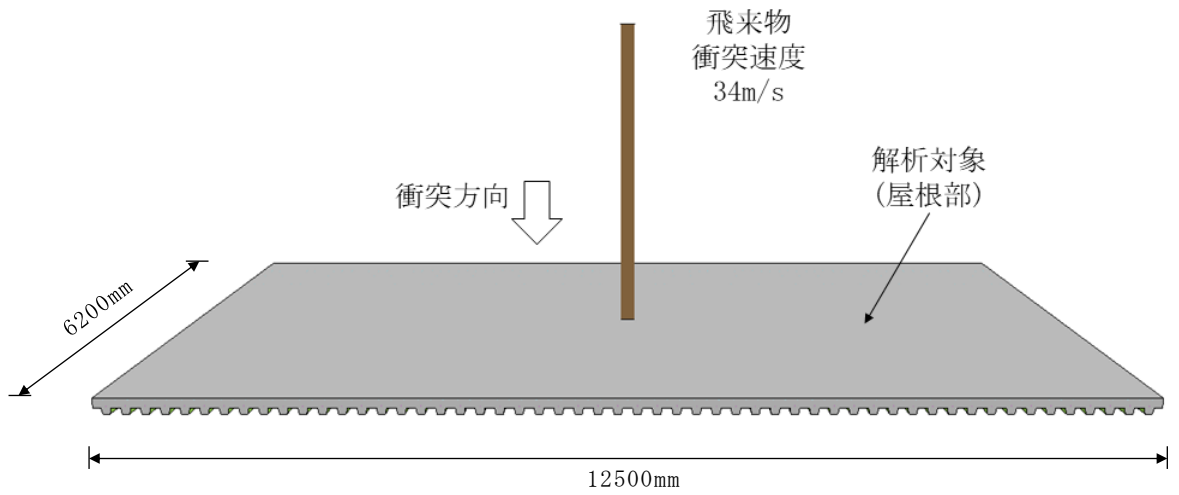
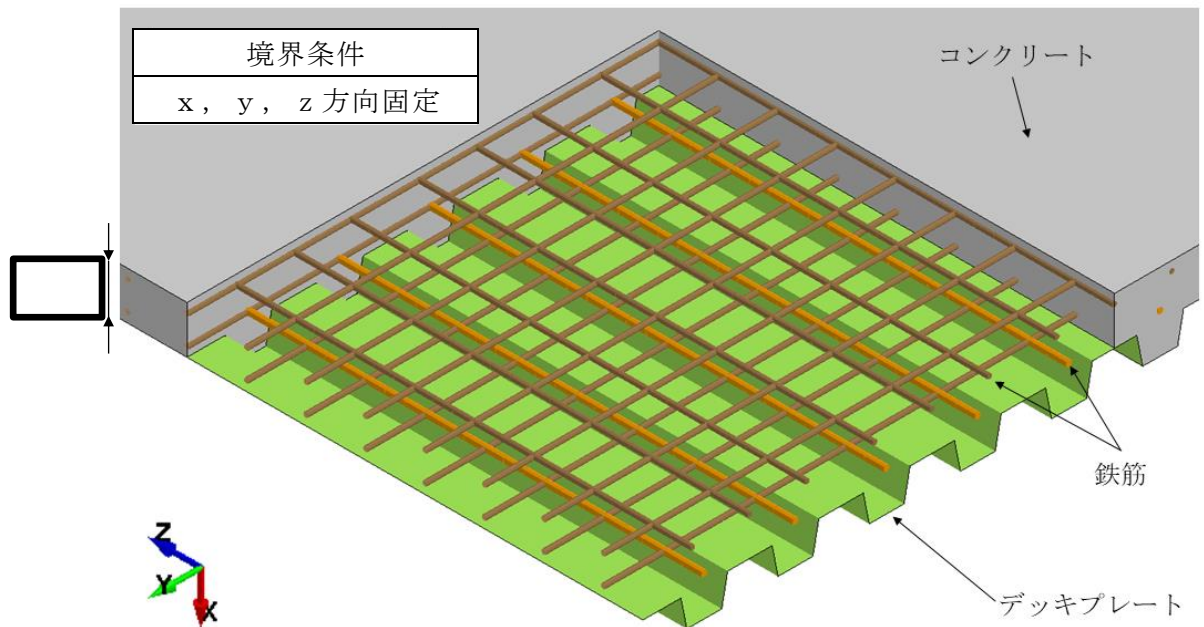


図 3-1 タービン建物屋根スラブのモデル化範囲



<概略図>



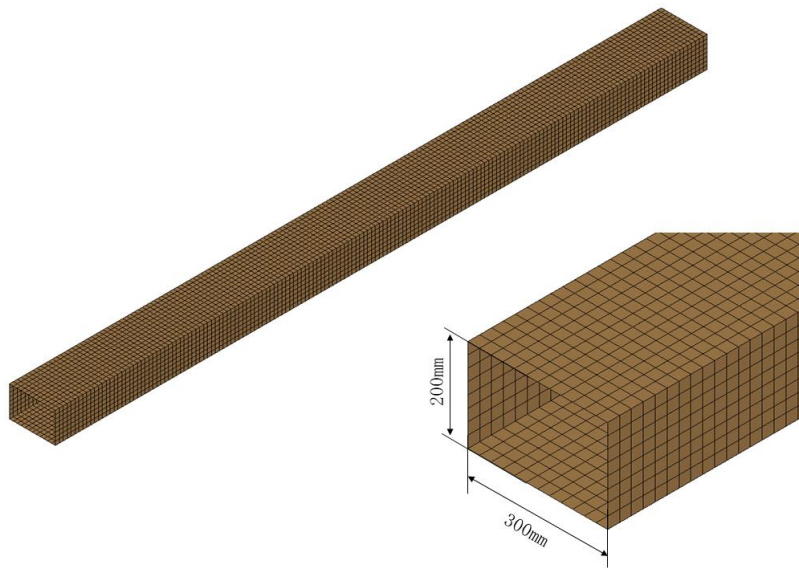
<詳細図>

図 3-2 タービン建物屋根スラブの解析モデル及び境界条件

(b) 設計飛来物

設計飛来物である鋼製材は，シェル要素でモデル化し，自重及び竜巻による風圧力による荷重を作用させた状態で衝突させる。

設計飛来物の解析モデルを図 3-3 に示す。



設計飛来物断面：

t4.2 mm×200 mm×300 mm

全長：4.2m

質量：135kg

図 3-3 設計飛来物の解析モデル

b. 材料定数

コンクリート、鉄筋及びデッキプレートの材料定数をそれぞれ表 3-16～表 3-18 に示す。設計飛来物の材料定数については、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」の表 3-7 に示すとおり設定する。

表 3-16 コンクリートの材料定数

種類	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
普通 コンクリート	23.5 (240kgf/cm <sup>2</sup> )	2.25×10 <sup>4</sup>	0.2	23

表 3-17 鉄筋の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
SD35 (SD345 相当)	345	2.06×10 <sup>5</sup>	0.3	77

表 3-18 デッキプレートの材料定数

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
SDP2	235	2.06×10 <sup>5</sup>	0.3	77

c. 材料の非線形特性

コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮側が圧縮強度に到達後もその応力を保持するバイリニアとし、引張側は主応力が引張強度に到達後に引張主応力と直交方向にひび割れが生じるものとして、ひずみに応じて保持応力を低下させる引張軟化特性を与える。圧縮強度は、NEI07-13に従い、設計基準強度に対して動的増加率 1.25 を乗じた値とする。

鋼製部材である鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の応力-ひずみ曲線は、第1折れ点を「降伏応力-降伏ひずみ」、第2折れ点を「破断相当応力-破断相当ひずみ」とするトリリニア型とする。鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の降伏応力は、降伏応力に動的増加率を乗じた値、破断相当応力は、動的増加率を乗じた降伏応力及び引張強さを結ぶ線のうち、規格値の伸びを「3.4 許容限界」にて示した多軸性係数で除したひずみ（破断相当ひずみ）時に相当する応力とする。

動的増加率は、NEI07-13に基づく値（鉄筋：1.10（降伏応力）、1.05（引張強度）、デッキプレート・設計飛来物：1.29（降伏応力）、1.10（引張強度））とする。

鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NEI07-13においてTF（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、鉄筋及びデッキプレートの破断相当ひずみはTF=2.0とする。なお、設計飛来物の破断相当ひずみは、設計飛来物が破断することなく継続的に荷重がかかるよう配慮し、TF=1.0とする。

コンクリート、鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の強度をそれぞれ表3-19及び表3-20に示す。

表3-19 コンクリートの圧縮及び引張強度

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	材料モデル	
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
23.5 (240kgf/cm <sup>2</sup> )	29.4	2.66



表 3-20 鉄筋，デッキプレート及び設計飛来物の降伏及び破断強度

種別	材質	規格値（公称応力）		材料モデル（真応力，真ひずみ）		
		降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断応力 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断相当 塑性ひずみ ( - )
鉄筋	SD35 (SD345 相当)	345	490	380	497	0.084
デッキ プレート	SDP2	235	400	303	413	0.080
設計飛来物	SS400	245	400	316	532	0.188

コンクリート，鉄筋，デッキプレート及び設計飛来物の応力－ひずみ関係をそれぞれ図 3-4～図 3-7 に示す。

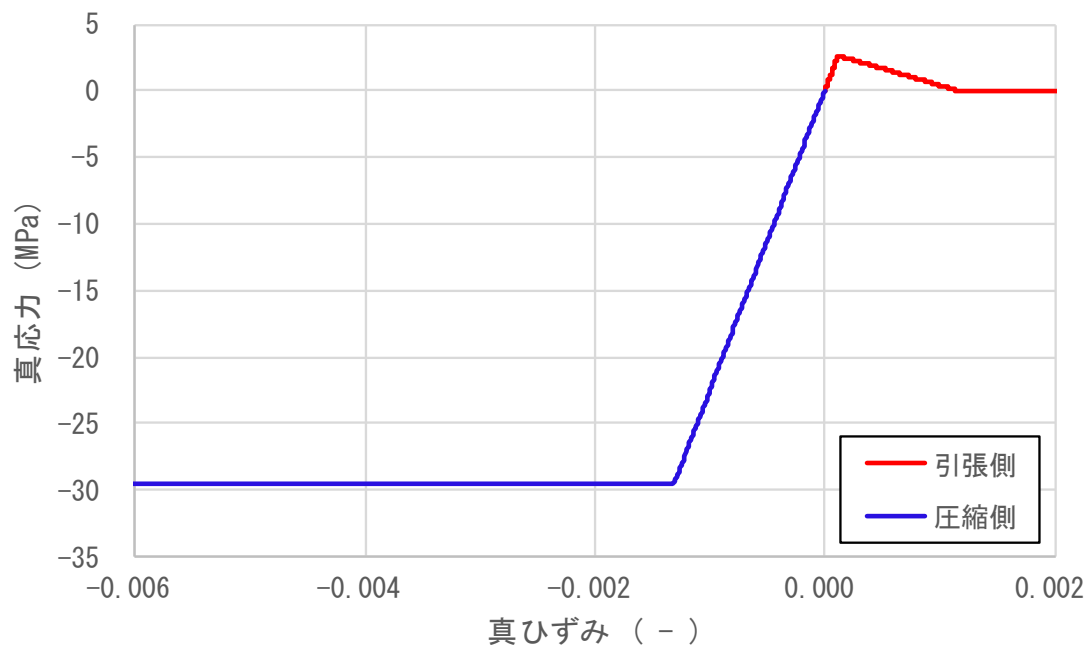


図 3-4 真応力－真ひずみ関係（コンクリート）

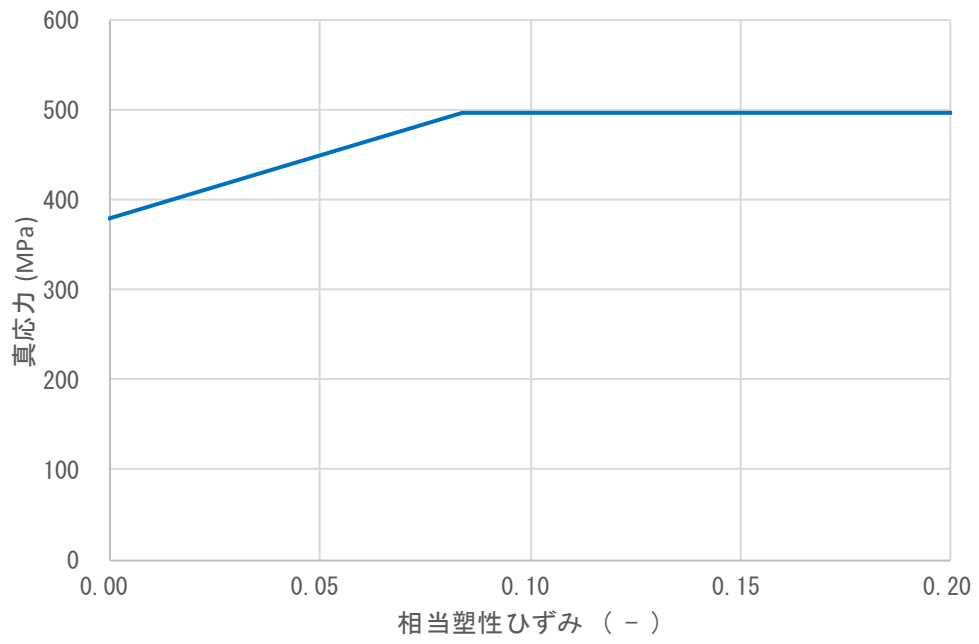


図 3-5 真応力-相当塑性ひずみ関係 (鉄筋)

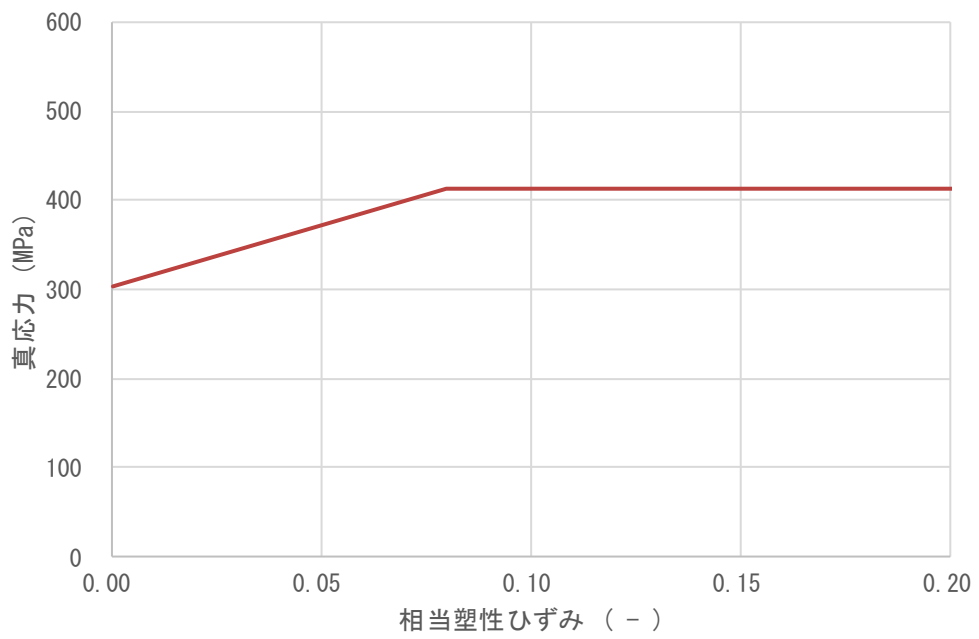


図 3-6 真応力-相当塑性ひずみ関係 (デッキプレート)

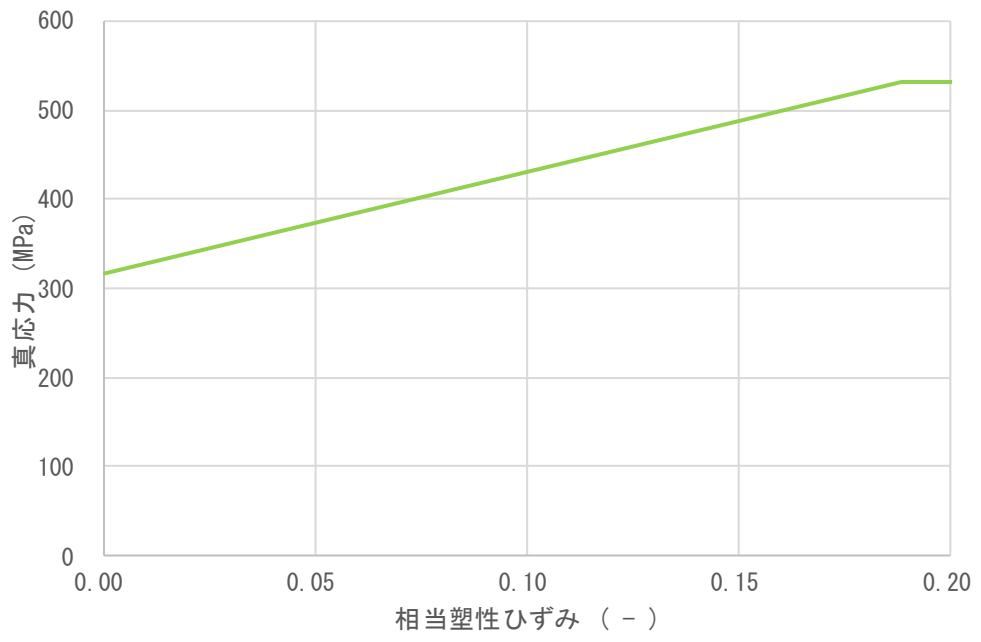


図 3-7 真応力-相当塑性ひずみ関係 (設計飛来物)

### 3.5.2 裏面剥離評価

#### (1) 式による評価

設計飛来物が各施設に衝突する場合の裏面剥離限界厚さを、NEI07-13に示されているC h a n g式を用いて算定する。

C h a n g式を以下に示す。

$$S = 1.84 \cdot \alpha_s \cdot \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \cdot \frac{\left( \frac{W \cdot V^2}{0.0980} \right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c'^{0.4}}$$

#### (2) 屋根スラブに対する衝突解析

設計飛来物に対して、C h a n g式による裏面剥離限界厚さを満足しない原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについては、厚さが最も小さいタービン建物屋根スラブを代表箇所を選定し、設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ を考慮し、貫通評価と同じモデルによる衝突解析によりデッキプレートに生じるひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。

衝突位置については、部材曲げによる変形量が最大になると考えられる中央部を選定した。衝突方向は、部材面に対して垂直とし、局所的な変形によって部材に生じるひずみが最も大きくなるように、飛来物の面積が最小の面(0.3m×0.2m)が衝突するケースを選定した。

なお、風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ については、衝撃荷重と逆方向に作用するため、保守的に考慮しない。

衝突解析に使用する解析コード、解析モデル及び諸元、材料定数、並びに材料の非線形特性は「3.5.1 貫通評価」における設定に同じ。

#### (3) 外壁に対する衝突解析

設計飛来物に対してC h a n g式による裏面剥離限界厚さを満足しない原子炉建物外壁及びタービン建物外壁については、厚さが最も小さいタービン建物外壁を代表箇所を選定し、風圧力による荷重 $W_w$ 、設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により裏面側の鉄筋に生じるひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。

衝突位置については、部材曲げによる変形量が最大になると考えられる中央部を選定した。衝突方向は、部材面に対して垂直とし、局所的な変形によって部材に生じるひずみが最も大きくなるように、飛来物の面積が最小の面(0.3m×0.2m)が衝突するケースを選定した。

なお、気圧差による荷重 $W_p$ については、衝撃荷重と逆方向に作用するため、保

守的に考慮しない。

衝突解析には，解析コード「LS-DYNA」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

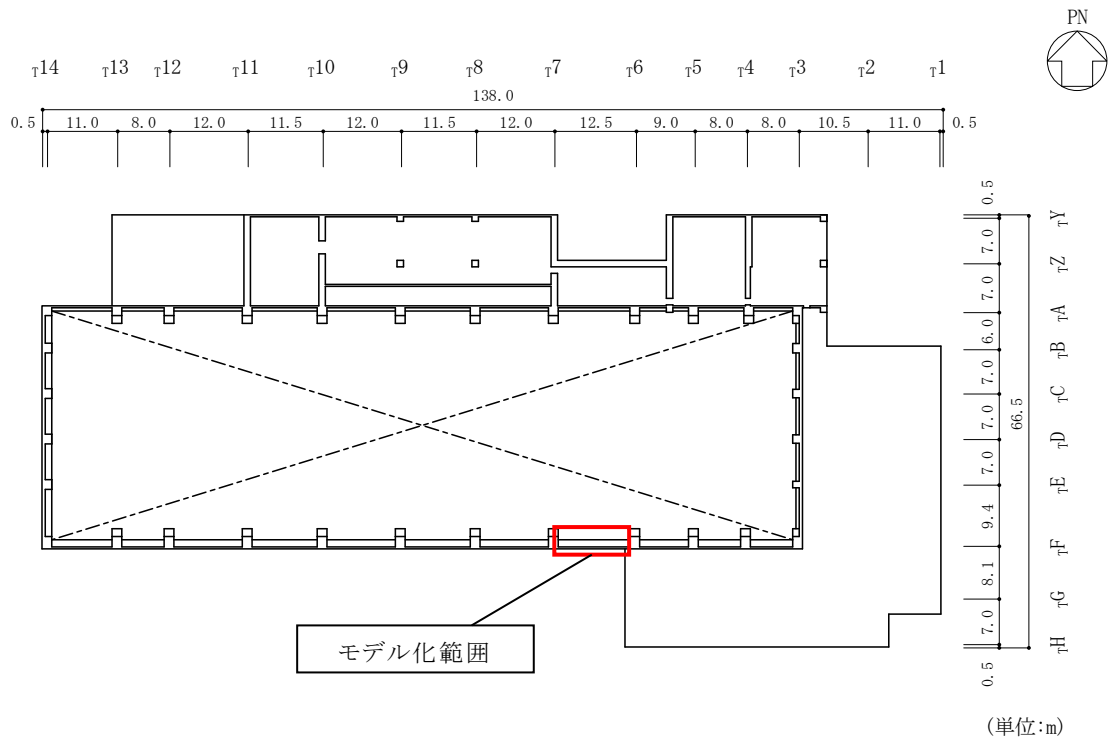
a. 解析モデル

(a) タービン建物外壁

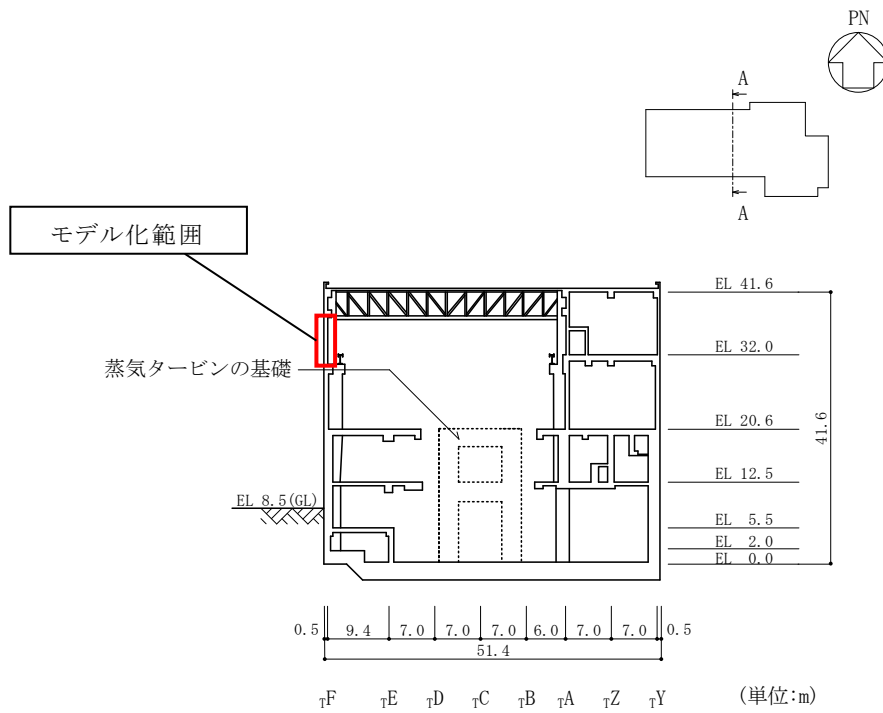
タービン建物外壁のモデル化範囲は，想定する荷重の伝達を考慮し，外壁を構成するコンクリート及び鉄筋とする。

コンクリートはソリッド要素でモデル化し，鉄筋をビーム要素でモデル化する。

タービン建物外壁のモデル化範囲を図 3-8 に，解析モデル及び境界条件を図 3-9 に示す。



(a) 平面図 (EL 32.0m)



(b) 断面図 (A-A断面, NS方向)

図 3-8 タービン建物外壁のモデル化範囲

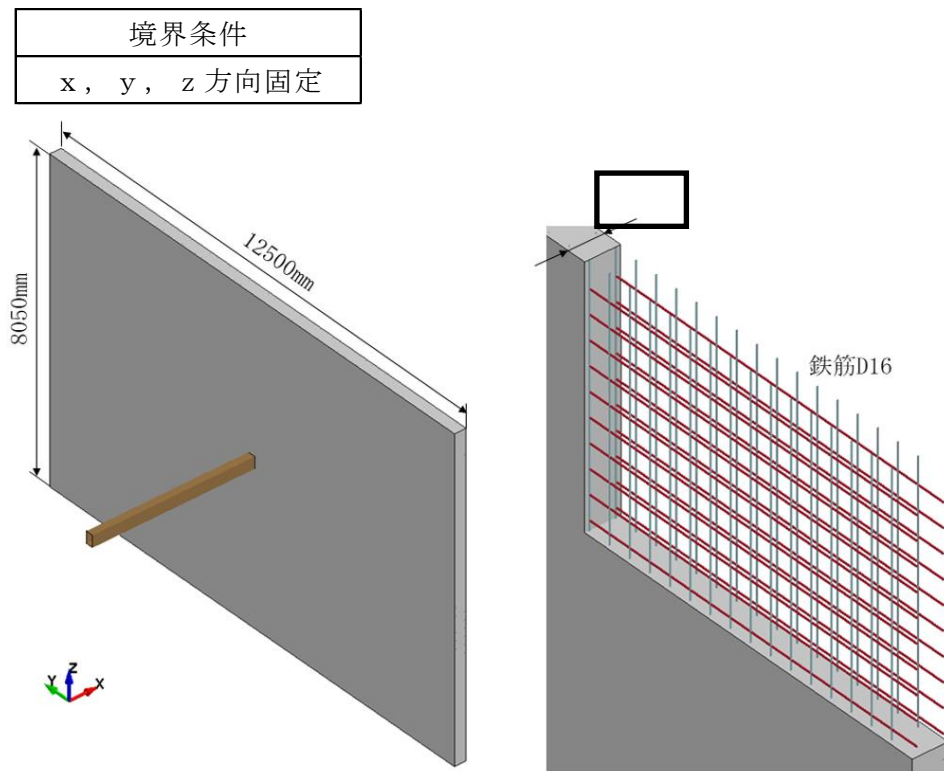


図 3-9 タービン建物外壁の解析モデル及び境界条件

(b) 設計飛来物

設計飛来物は、タービン建物屋根スラブの解析モデルと同じ鋼製材を用いる。

b. 使用材料及び材料定数

コンクリート及び鉄筋の材料物性については、タービン建物屋根スラブの解析に同じ。

### 3.5.3 変形評価

#### (1) 耐震壁

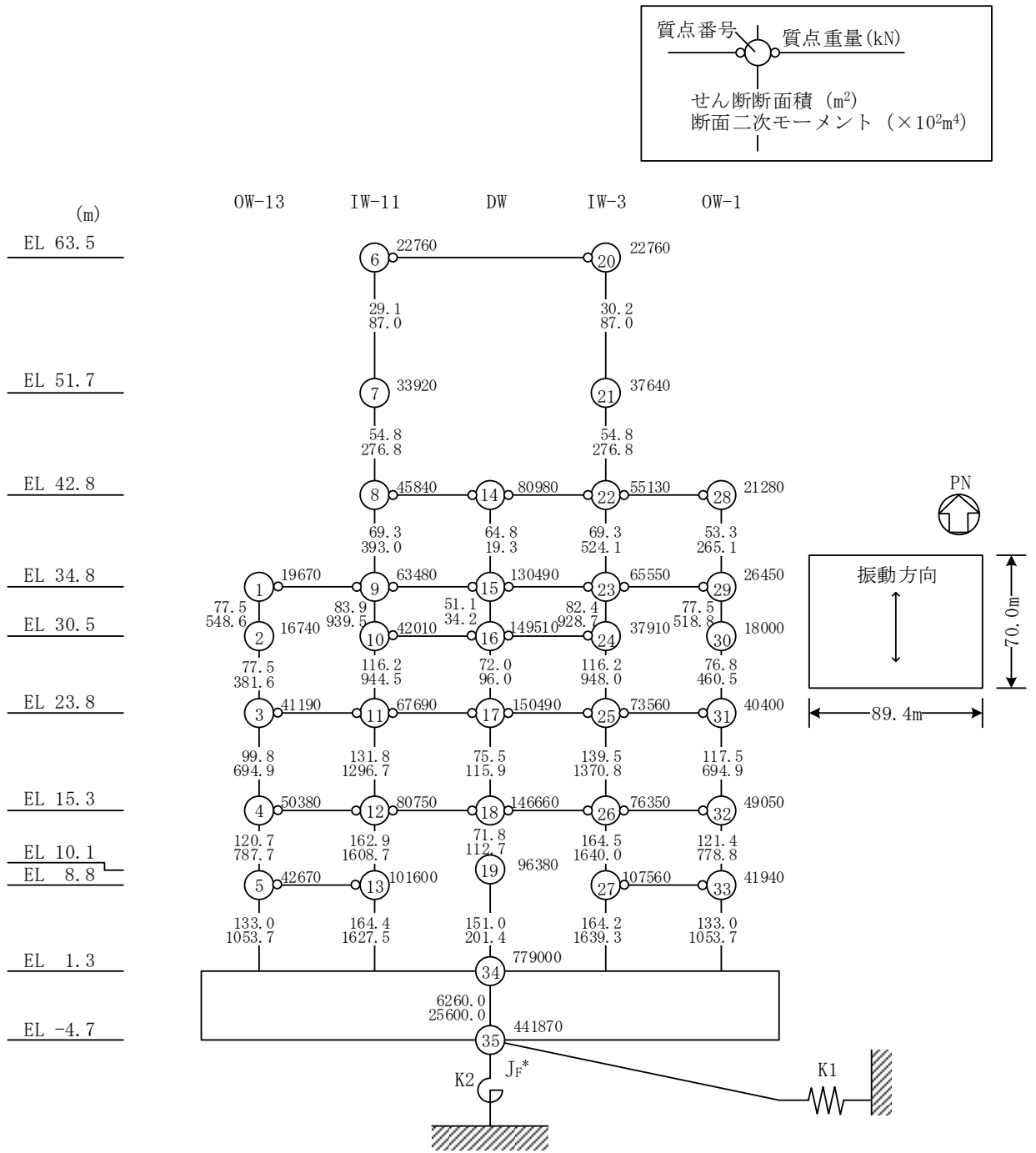
原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の耐震壁については，設計荷重を考慮し，地震応答解析モデルを用いた静的解析によりせん断ひずみを算出し，許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の地震応答解析モデル図を図3-10～図3-13に， $\tau - \gamma$ 関係を表3-21～表3-28に示す。

原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の地震応答解析モデル図及び $\tau - \gamma$ 関係は，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」，VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」，VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」と同じである。

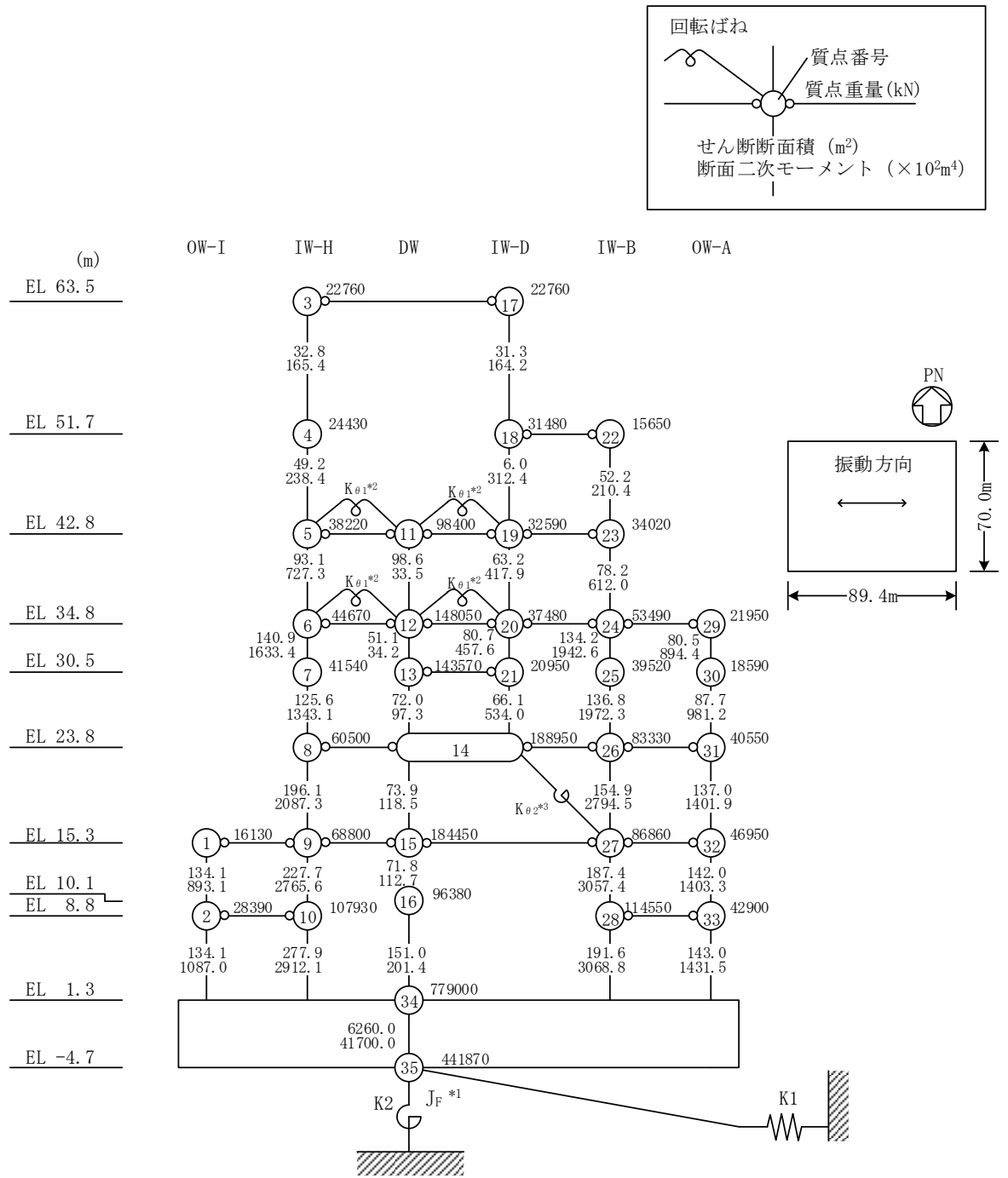
静的解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。評価に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。





注記\* : 回転慣性重量(12.25×10<sup>8</sup>kN・m<sup>2</sup>)

図 3-10(1) 原子炉建物の地震応答解析モデル図 (NS 方向)



注記\*1：回転慣性重量(20.88×10<sup>8</sup>kN・m<sup>2</sup>)

\*2：燃料プール壁の回転ばね(2.195×10<sup>9</sup>kN・m/rad)

\*3：内部ボックス壁の軸抵抗を考慮した回転ばね(135.2×10<sup>9</sup>kN・m/rad)

図 3-10(2) 原子炉建物の地震応答解析モデル図 (EW方向)

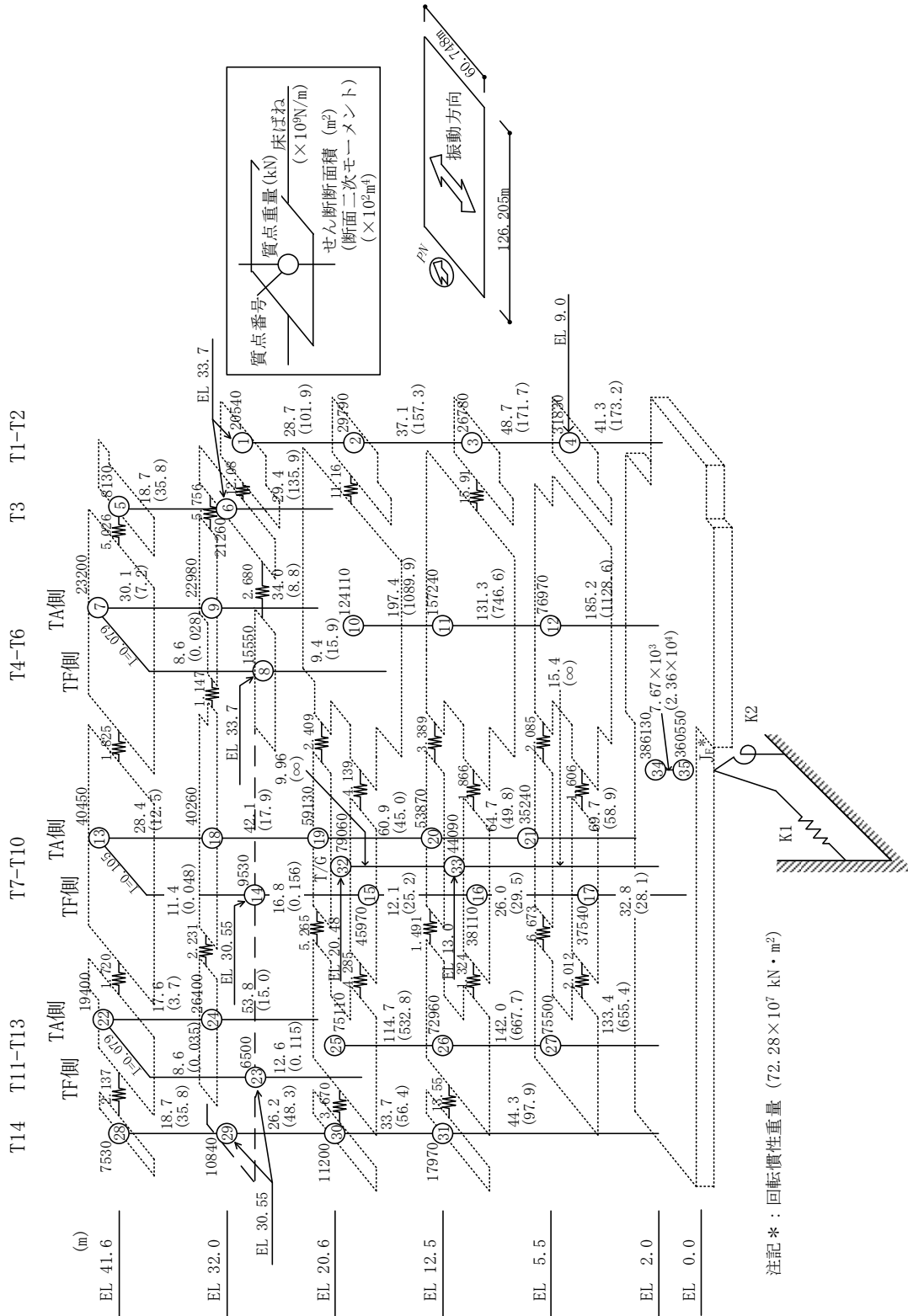


図 3-11(1) タービン建物の地震応答解析モデル図 (N S 方向)

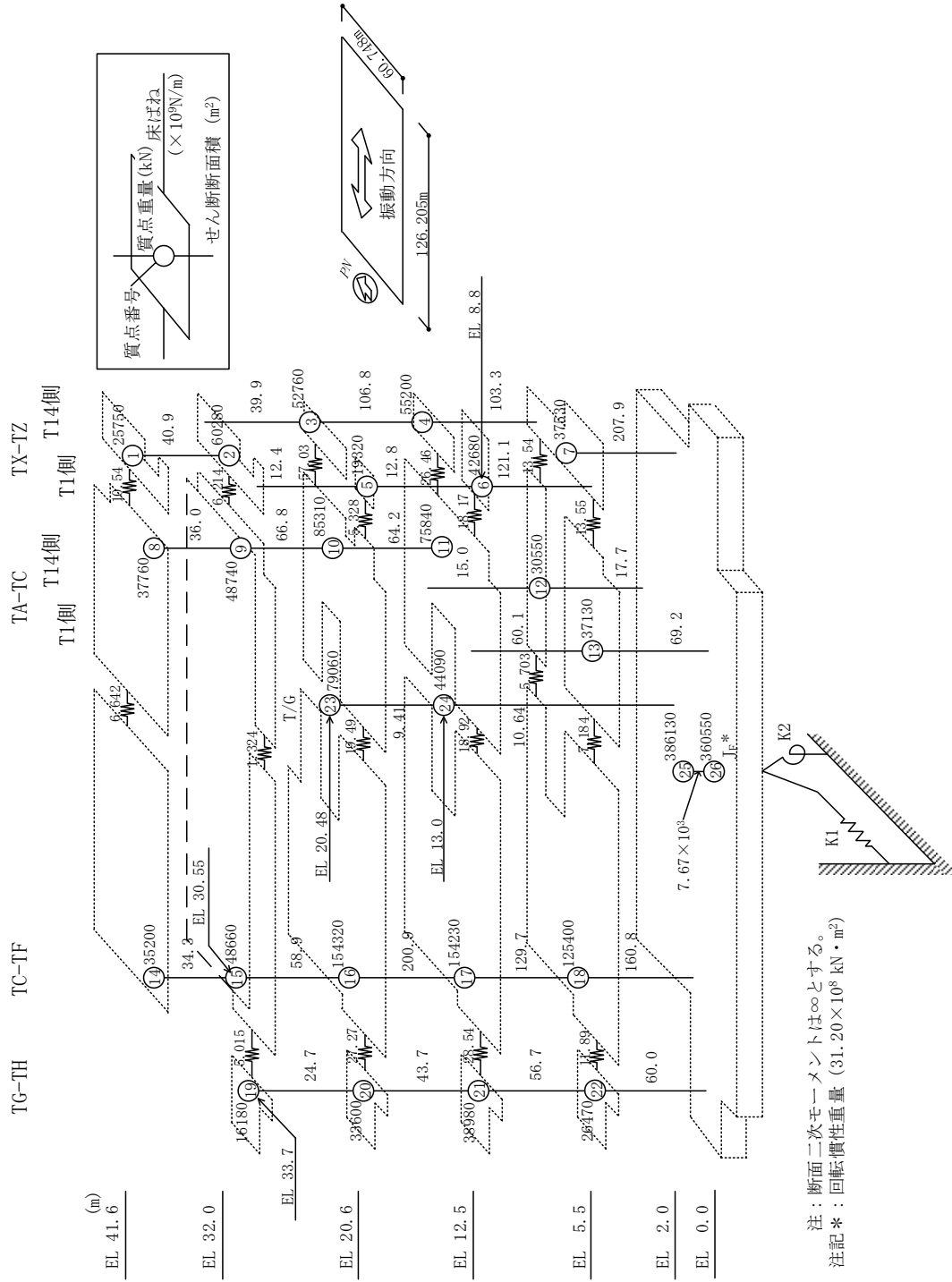
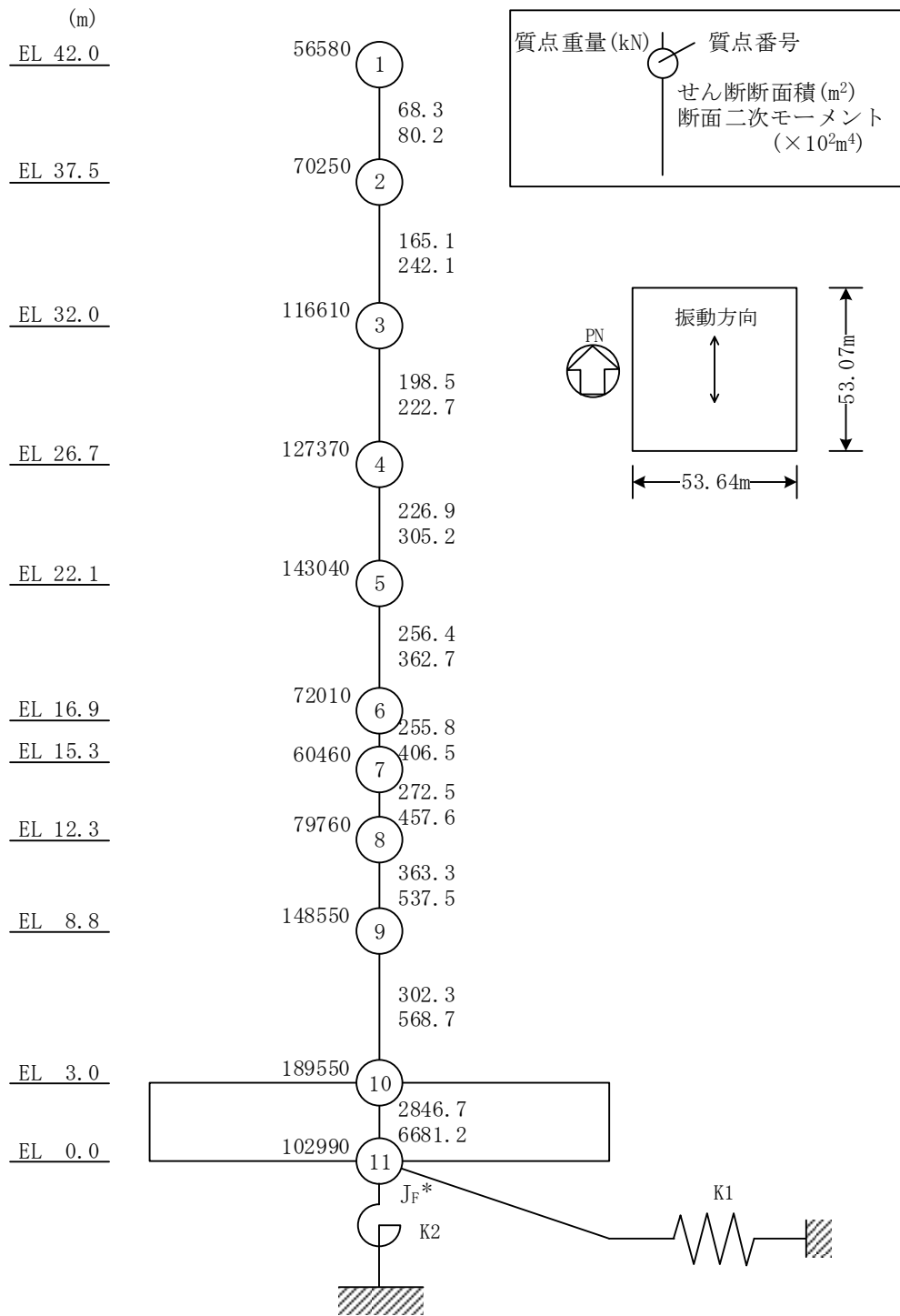
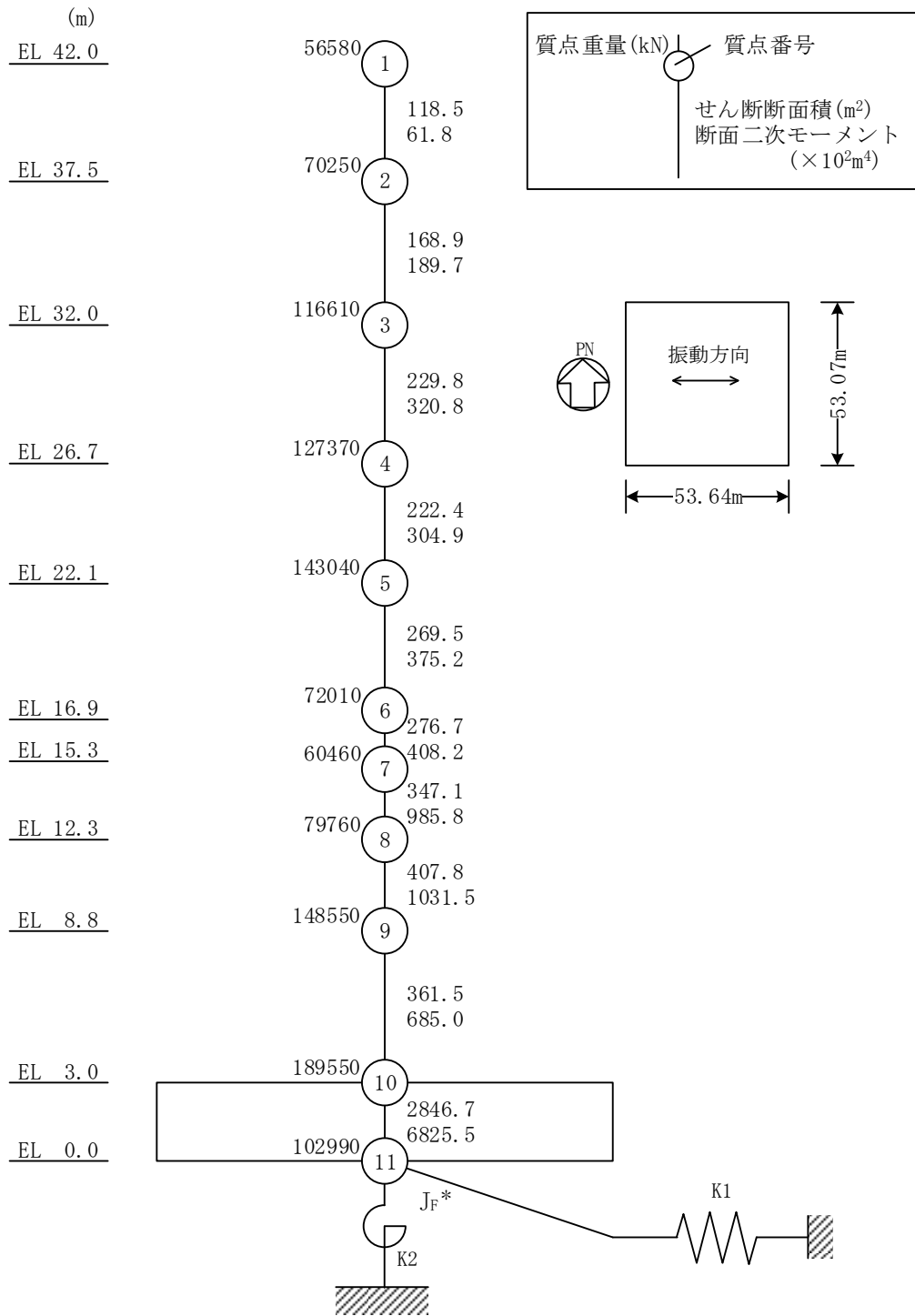


図 3-11 (2) タービン建物の地震応答解析モデル図 (EW方向)



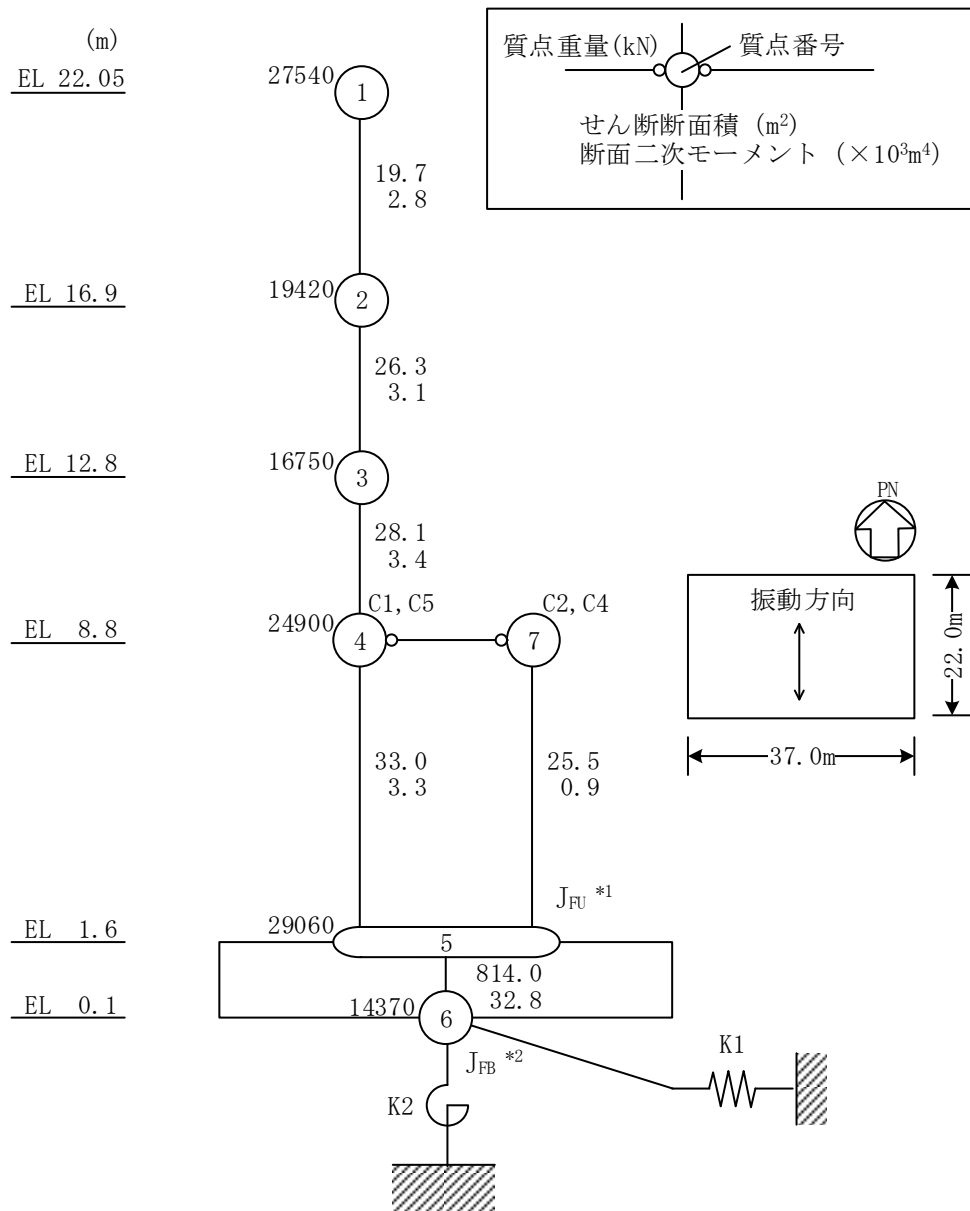
注記\* : 回転慣性重量 (29.35 × 10<sup>7</sup> kN · m<sup>2</sup>)

図 3-12(1) 廃棄物処理建物の地震応答解析モデル図 (NS 方向)



注記\* : 回転慣性重量 (31.61 × 10<sup>7</sup> kN · m<sup>2</sup>)

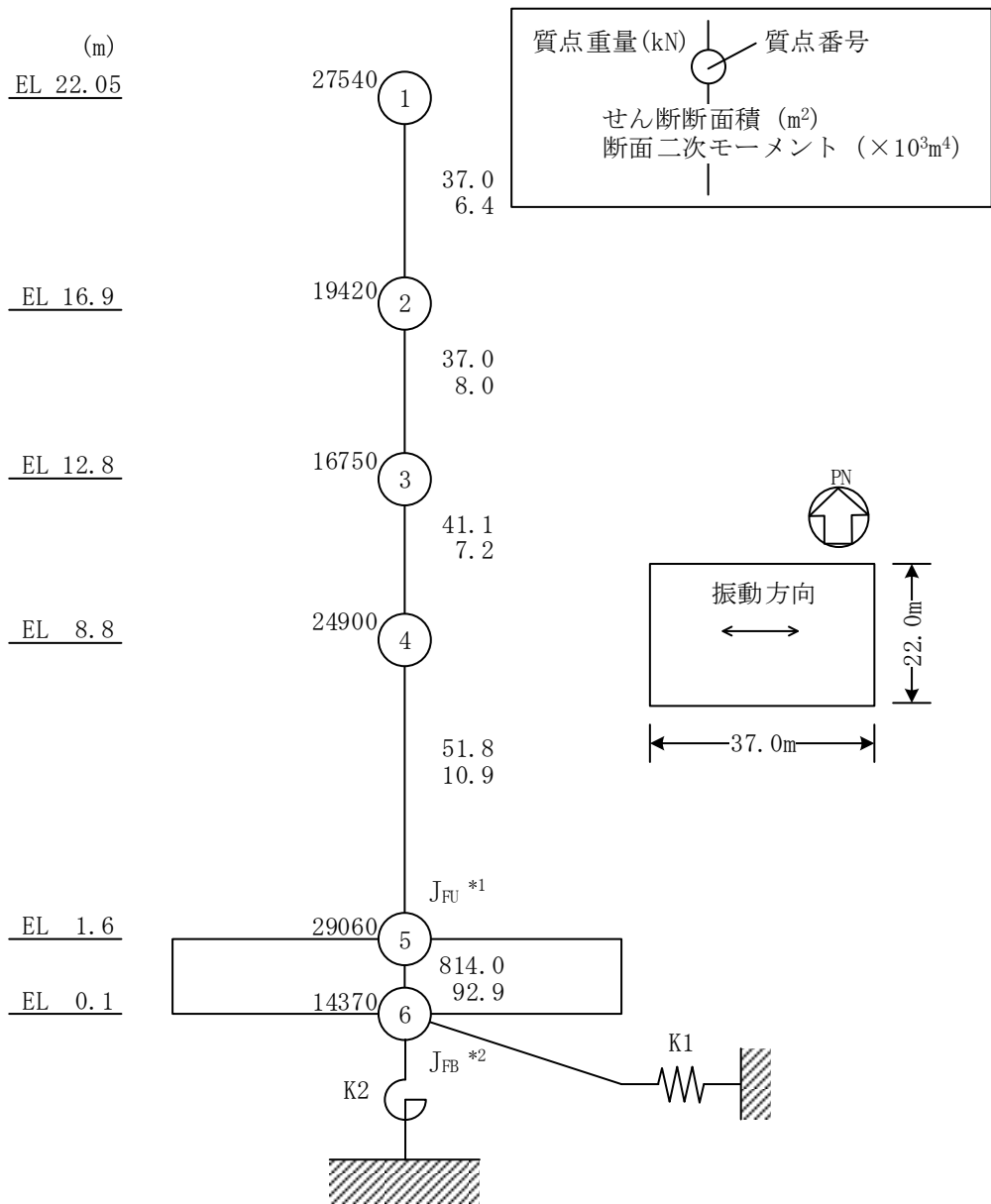
図 3-12(2) 廃棄物処理建物の地震応答解析モデル図 (EW方向)



注記\*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）(47.46×10<sup>5</sup>kN・m<sup>2</sup>)

\*2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）(5.79×10<sup>5</sup>kN・m<sup>2</sup>)

図 3-13(1) 制御室建物の地震応答解析モデル図（NS方向）



注記 \*1 : 回転慣性重量 (基礎スラブ上端) ( $13.42 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

\*2 : 回転慣性重量 (基礎スラブ下端) ( $1.64 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

図 3-13(2) 制御室建物の地震応答解析モデル図 (EW方向)



表 3-21(1) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (N S 方向)

OW-13

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
34.8~30.5	1.60	2.15	5.40	0.170	0.510	4.00
30.5~23.8	1.68	2.26	5.44	0.179	0.536	4.00
23.8~15.3	1.74	2.35	5.33	0.185	0.556	4.00
15.3~8.8	1.82	2.46	5.35	0.194	0.582	4.00
8.8~1.3	1.86	2.52	5.40	0.199	0.596	4.00

IW-11

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
63.5~51.7	1.69	2.28	5.20	0.180	0.539	4.00
51.7~42.8	1.73	2.34	5.28	0.185	0.554	4.00
42.8~34.8	1.75	2.36	5.39	0.186	0.558	4.00
34.8~30.5	1.79	2.41	5.43	0.190	0.571	4.00
30.5~23.8	1.94	2.62	5.23	0.207	0.620	4.00
23.8~15.3	1.96	2.65	5.17	0.209	0.627	4.00
15.3~8.8	2.06	2.78	5.22	0.220	0.659	4.00
8.8~1.3	2.12	2.86	5.25	0.226	0.678	4.00

DW

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
42.8~34.8	1.62	2.19	5.68	0.173	0.519	4.00
34.8~30.5	1.83	2.47	5.56	0.195	0.584	4.00
30.5~23.8	2.05	2.76	5.43	0.218	0.655	4.00
23.8~15.3	2.31	3.12	5.91	0.247	0.740	4.00
15.3~10.1	2.44	3.29	6.34	0.260	0.780	4.00
10.1~1.3	2.35	3.18	5.97	0.251	0.753	4.00

表 3-21(2) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (N S 方向)

IW-3

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
63.5~51.7	1.68	2.26	5.19	0.179	0.536	4.00
51.7~42.8	1.76	2.37	5.30	0.187	0.561	4.00
42.8~34.8	1.75	2.36	5.39	0.187	0.560	4.00
34.8~30.5	1.91	2.57	5.49	0.203	0.610	4.00
30.5~23.8	1.94	2.62	5.23	0.207	0.620	4.00
23.8~15.3	1.99	2.68	5.20	0.212	0.635	4.00
15.3~8.8	2.04	2.76	5.19	0.218	0.653	4.00
8.8~1.3	2.13	2.87	5.24	0.227	0.681	4.00

OW-1

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
42.8~34.8	1.63	2.21	5.36	0.174	0.523	4.00
34.8~30.5	1.70	2.29	5.45	0.181	0.543	4.00
30.5~23.8	1.78	2.40	5.59	0.190	0.569	4.00
23.8~15.3	1.84	2.48	5.34	0.196	0.587	4.00
15.3~8.8	1.87	2.52	5.29	0.199	0.597	4.00
8.8~1.3	1.91	2.57	5.36	0.203	0.610	4.00

表 3-22(1) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W 方向)

OW-I

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
15.3~8.8	1.58	2.13	5.27	0.168	0.505	4.00
8.8~1.3	1.64	2.22	5.46	0.175	0.526	4.00

IW-H

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
63.5~51.7	1.72	2.32	5.26	0.183	0.549	4.00
51.7~42.8	1.77	2.38	5.34	0.188	0.565	4.00
42.8~34.8	1.78	2.40	5.43	0.189	0.568	4.00
34.8~30.5	1.85	2.49	5.40	0.197	0.590	4.00
30.5~23.8	1.91	2.57	5.43	0.203	0.610	4.00
23.8~15.3	1.91	2.58	5.63	0.203	0.610	4.00
15.3~8.8	1.97	2.66	5.36	0.210	0.630	4.00
8.8~1.3	2.05	2.77	5.36	0.219	0.656	4.00

DW

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
42.8~34.8	1.62	2.19	5.85	0.173	0.519	4.00
34.8~30.5	1.83	2.47	5.92	0.195	0.584	4.00
30.5~23.8	2.05	2.76	5.71	0.218	0.655	4.00
23.8~15.3	2.31	3.12	6.01	0.247	0.740	4.00
15.3~10.1	2.44	3.29	6.34	0.260	0.780	4.00
10.1~1.3	2.35	3.18	5.97	0.251	0.753	4.00

表 3-22(2) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W 方向)

IW-D

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
63.5~51.7	1.71	2.31	5.25	0.182	0.547	4.00
51.7~42.8	—*					
42.8~34.8	1.81	2.45	5.06	0.193	0.580	4.00
34.8~30.5	1.93	2.61	5.09	0.206	0.619	4.00
30.5~23.8	2.09	2.82	5.37	0.223	0.669	4.00

IW-B

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
51.7~42.8	1.64	2.21	5.39	0.174	0.523	4.00
42.8~34.8	1.74	2.35	5.47	0.185	0.556	4.00
34.8~30.5	1.74	2.35	5.18	0.185	0.556	4.00
30.5~23.8	1.83	2.47	5.22	0.195	0.584	4.00
23.8~15.3	1.90	2.56	5.43	0.202	0.607	4.00
15.3~8.8	2.00	2.70	5.19	0.213	0.640	4.00
8.8~1.3	2.09	2.82	5.20	0.223	0.668	4.00

OW-A

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
34.8~30.5	1.62	2.18	5.24	0.172	0.517	4.00
30.5~23.8	1.68	2.27	5.14	0.179	0.538	4.00
23.8~15.3	1.74	2.35	5.39	0.185	0.556	4.00
15.3~8.8	1.85	2.50	5.33	0.198	0.593	4.00
8.8~1.3	1.95	2.64	5.38	0.208	0.625	4.00

注記\* : 線形部材

表 3-23(1) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

T1-T2

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~20.6	1.61	2.17	4.66	0.171	0.514	4.00
20.6~12.5	1.69	2.28	4.55	0.180	0.540	4.00
12.5~9.0	1.74	2.35	4.67	0.186	0.557	4.00
9.0~2.0	1.82	2.45	4.60	0.194	0.581	4.00

T3

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~33.7	1.64	2.21	5.10	0.175	0.524	4.00
33.7~20.6	1.80	2.43	4.88	0.192	0.576	4.00

T4-T6 (TA側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~32.0	1.67	2.25	3.95	0.178	0.534	4.00
32.0~20.6	1.86	2.51	3.73	0.198	0.595	4.00

T4-T6 (TF側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~33.7	—*					
33.7~20.6	1.64	2.21	4.07	0.174	0.523	4.00

T3-T6

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
20.6~12.5	1.74	2.34	4.77	0.185	0.555	4.00
12.5~5.5	1.93	2.60	4.85	0.205	0.616	4.00
5.5~2.0	1.95	2.63	4.84	0.208	0.624	4.00

注記\* : 線形部材

表 3-23(2) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

T7-T10(TA側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~32.0	1.69	2.28	4.06	0.180	0.539	4.00
32.0~20.6	2.00	2.70	4.18	0.213	0.640	4.00
20.6~12.5	1.95	2.64	3.60	0.208	0.625	4.00
12.5~5.5	2.06	2.78	3.69	0.220	0.659	4.00
5.5~2.0	2.14	2.89	3.79	0.228	0.683	4.00

T7-T10(TF側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~30.55	—*					
30.55~20.6	—*					
20.6~12.5	1.56	2.10	4.07	0.166	0.498	4.00
12.5~5.5	1.72	2.32	3.81	0.183	0.549	4.00
5.5~2.0	1.80	2.42	3.61	0.191	0.574	4.00

T11-T13(TA側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~32.0	1.69	2.28	4.17	0.180	0.539	4.00
32.0~20.6	1.68	2.27	3.84	0.179	0.537	4.00

T11-T13(TF側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~30.55	—*					
30.55~20.6	—*					

注記\* : 線形部材

表 3-23(3) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

T11-T13

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
20.6~12.5	1.73	2.33	4.66	0.184	0.552	4.00
12.5~5.5	1.82	2.45	4.46	0.193	0.580	4.00
5.5~2.0	1.96	2.64	4.47	0.209	0.626	4.00

T14

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~30.55	1.67	2.26	5.01	0.178	0.535	4.00
30.55~20.6	1.78	2.41	4.31	0.190	0.570	4.00
20.6~12.5	1.83	2.48	3.98	0.195	0.586	4.00
12.5~2.0	1.88	2.53	4.50	0.200	0.600	4.00

表 3-24(1) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W 方向)

TX-TZ

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~32.0	1.69	2.27	4.95	0.180	0.539	4.00

TX-TZ (T14側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
32.0~20.6	1.82	2.46	5.49	0.194	0.583	4.00
20.6~12.5	1.76	2.37	5.00	0.187	0.561	4.00
12.5~5.5	1.84	2.48	4.93	0.196	0.587	4.00

TX-TZ (T1側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
32.0~20.6	1.66	2.24	5.14	0.177	0.531	4.00
20.6~8.8	1.90	2.56	4.13	0.202	0.606	4.00
8.8~5.5	2.06	2.78	4.29	0.220	0.659	4.00

TX-TZ

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
5.5~2.0	1.91	2.57	5.09	0.203	0.609	4.00

TA-TC

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~32.0	1.89	2.55	5.06	0.201	0.604	4.00
32.0~20.6	1.94	2.62	5.25	0.207	0.620	4.00
20.6~12.5	1.94	2.62	5.00	0.207	0.621	4.00



表 3-24(2) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W 方向)

TA-TC(T14側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
12.5~5.5	2.45	3.31	4.49	0.261	0.783	4.00
5.5~2.0	2.47	3.34	4.54	0.263	0.790	4.00

TA-TC(T1側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
12.5~5.5	1.93	2.61	5.07	0.206	0.617	4.00
5.5~2.0	2.03	2.75	4.91	0.217	0.650	4.00

TC-TF

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
41.6~30.55	1.85	2.50	5.04	0.197	0.592	4.00
30.55~20.6	1.89	2.56	5.12	0.202	0.605	4.00
20.6~12.5	1.83	2.48	5.01	0.195	0.586	4.00
12.5~5.5	1.92	2.59	5.11	0.204	0.612	4.00
5.5~2.0	2.18	2.94	5.24	0.232	0.695	4.00

TG-TH

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~20.6	1.65	2.23	4.91	0.176	0.528	4.00
20.6~12.5	1.71	2.31	4.75	0.182	0.546	4.00
12.5~5.5	1.90	2.56	4.75	0.202	0.607	4.00
5.5~2.0	2.07	2.80	4.80	0.221	0.662	4.00

表 3-25 廃棄物処理建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
42.0~37.5	1.62	2.19	4.58	0.173	0.519	4.00
37.5~32.0	1.67	2.26	4.53	0.178	0.535	4.00
32.0~26.7	1.79	2.42	4.31	0.191	0.573	4.00
26.7~22.1	1.89	2.55	4.34	0.201	0.604	4.00
22.1~16.9	1.95	2.63	4.42	0.208	0.624	4.00
16.9~15.3	2.00	2.69	4.43	0.213	0.638	4.00
15.3~12.3	1.99	2.69	4.45	0.212	0.637	4.00
12.3~8.8	1.97	2.67	4.27	0.210	0.631	4.00
8.8~3.0	2.03	2.74	4.17	0.216	0.648	4.00

表 3-26 廃棄物処理建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW 方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
42.0~37.5	1.61	2.17	4.64	0.171	0.514	4.00
37.5~32.0	1.67	2.26	4.33	0.178	0.535	4.00
32.0~26.7	1.79	2.42	4.30	0.191	0.573	4.00
26.7~22.1	1.89	2.55	4.35	0.202	0.605	4.00
22.1~16.9	1.98	2.67	4.37	0.211	0.633	4.00
16.9~15.3	2.10	2.84	4.43	0.224	0.673	4.00
15.3~12.3	2.03	2.74	4.54	0.216	0.649	4.00
12.3~8.8	1.97	2.66	4.28	0.210	0.629	4.00
8.8~3.0	2.06	2.78	4.34	0.220	0.659	4.00

表 3-27 制御室建物のせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$  関係）（N S 方向）

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
22.05~16.9	1.70	2.29	4.72	0.185	0.554	4.00
16.9~12.8	1.80	2.44	4.83	0.196	0.589	4.00
12.8~8.8	1.88	2.53	4.69	0.204	0.613	4.00
8.8~1.6 (C1, C5)	1.83	2.47	4.16	0.199	0.597	4.00
8.8~1.6 (C2, C4)	1.83	2.47	3.82	0.199	0.597	4.00

表 3-28 制御室建物のせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$  関係）（E W 方向）

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
22.05~16.9	1.70	2.29	4.74	0.185	0.554	4.00
16.9~12.8	1.80	2.44	4.80	0.196	0.589	4.00
12.8~8.8	1.88	2.53	4.83	0.204	0.613	4.00
8.8~1.6	1.83	2.47	4.45	0.199	0.597	4.00

設計荷重のうち、風圧力による荷重 $W_w$ は、建物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 $W_p$ は、建物の内部から外部に作用し、建物の層全体の評価においては相殺される荷重であるが、保守的に $W_w$ と同じ方向にのみ作用すると見なす。

また、設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は、各建物の最上部に加える。ここで、地震応答解析モデルが多軸モデルの場合には、各軸の最上部の質点に $W_M$ を加え評価を行うものとし、次式の設計飛来物による衝撃荷重の算定式によって算出した運動エネルギーが最大となる鋼製材の衝撃荷重 $W_M=1760\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$W_M = m \cdot V / \Delta t = m \cdot V^2 / L_1$$

(2) 屋根スラブ

a. スタッド

原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについて、風圧力による上向き荷重 $W_w$ 及び気圧差による上向き荷重 $W_p$ によってスタッドに生じる引張力を算定し、許容限界を超えないことを確認する。なお、常時作用する下向き荷重 $F_d$ は、保守的に考慮しない。スタッドに作用する引張力は、単位幅の屋根スラブに生じるせん断力を当該範囲のスタッドが均等に負担するものとして評価する。

スタッドに発生する引張力 $T$ の算定式を以下に示す。また、スタッドに作用する荷重の概要を図3-14に示す。

スタッド1本あたりの発生引張力

$$T = Q \cdot \frac{P}{1000 \cdot n}$$

ここで、 $Q = \frac{\omega_T (L_1 + L_2)}{2}$

$$\omega_T = \text{Max} \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$$

$\omega_{T1}$  :  $W_{T1} = W_p$ による単位幅あたりの荷重

$\omega_{T2}$  :  $W_{T2} = W_w + 0.5W_p$ による単位幅あたりの荷重

$n$  : スタッドの本数 (本)

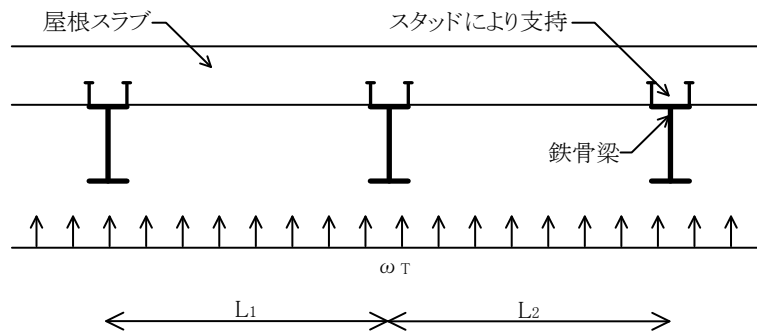


図3-14 屋根スラブの評価方法

スタッドの許容引張力は、「各種合成構造設計指針 同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 改定) 」に基づき、スタッドの降伏により定まる場合の許容引張力 $p_{a1}$ 、定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合の許容引張力 $p_{a2}$ 及びコンクリートの支圧破壊により定まる場合の許容引張力 $p_{a3}$ のうち、最も小さい値とする。スタッドの許容引張力 $p_a$ の算定式を以下に示す。

$$p_a = \text{Min} \{ p_{a1}, p_{a2}, p_{a3} \}$$

ここで、

$$p_{a1} = \Phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot a_c a$$

$$p_{a2} = \Phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c$$

$$p_{a3} = f_n \cdot A_0$$

b. 屋根スラブ

タービン建物屋根スラブについて、風圧力による上向き荷重 $W_w$ 、気圧差による上向き荷重 $W_p$ 及び常時作用する下向き荷重 $F_d$ により屋根スラブに発生する曲げモーメント及びせん断力を算定し、許容限界を超えないことを確認する。評価は、屋根スラブを支持する梁位置を支持点とした二連梁として行う。屋根スラブに発生する曲げモーメント $M$ 及びせん断力 $Q$ の算定式を以下に示す。また、屋根スラブに作用する荷重の概要を図3-15に示す。

屋根スラブに発生する単位幅あたりの曲げモーメント

$$M = \text{Max} \{ M_1, M_2 \}$$

ここで、

$$M_1 = \frac{9}{128} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L^2$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L^2$$

屋根スラブに発生する単位幅あたりのせん断力

$$Q = \frac{5}{4} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L$$

ここで、 $\omega_T = \text{Max} \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$

$\omega_{T1}$  :  $W_{T1} = W_p$ による単位幅あたりの荷重

$\omega_{T2}$  :  $W_{T2} = W_w + 0.5W_p$ による単位幅あたりの荷重

$\omega_d$  :  $W_d$ による単位幅あたりの荷重

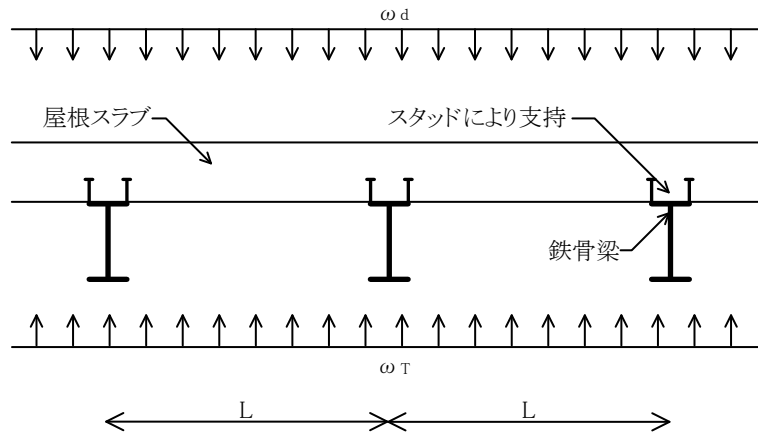


図 3-15 屋根スラブの評価方法

許容限界である屋根スラブの短期許容応力度は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」に基づき算出する。

### 3.5.4 応力評価

気圧差による荷重 ( $W_p$ ) によりカンヌキに発生する応力度を算出し、許容限界を超えないことを確認する。

#### (1) カンヌキに生じる荷重

カンヌキに生じる荷重は気圧差による荷重 ( $W_p$ ) をカンヌキで負担した場合に発生する反力  $R$  から算定する。

カンヌキに生じる荷重を図 3-16 に示す。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A_1$$

$$R = \frac{W_p}{n}$$

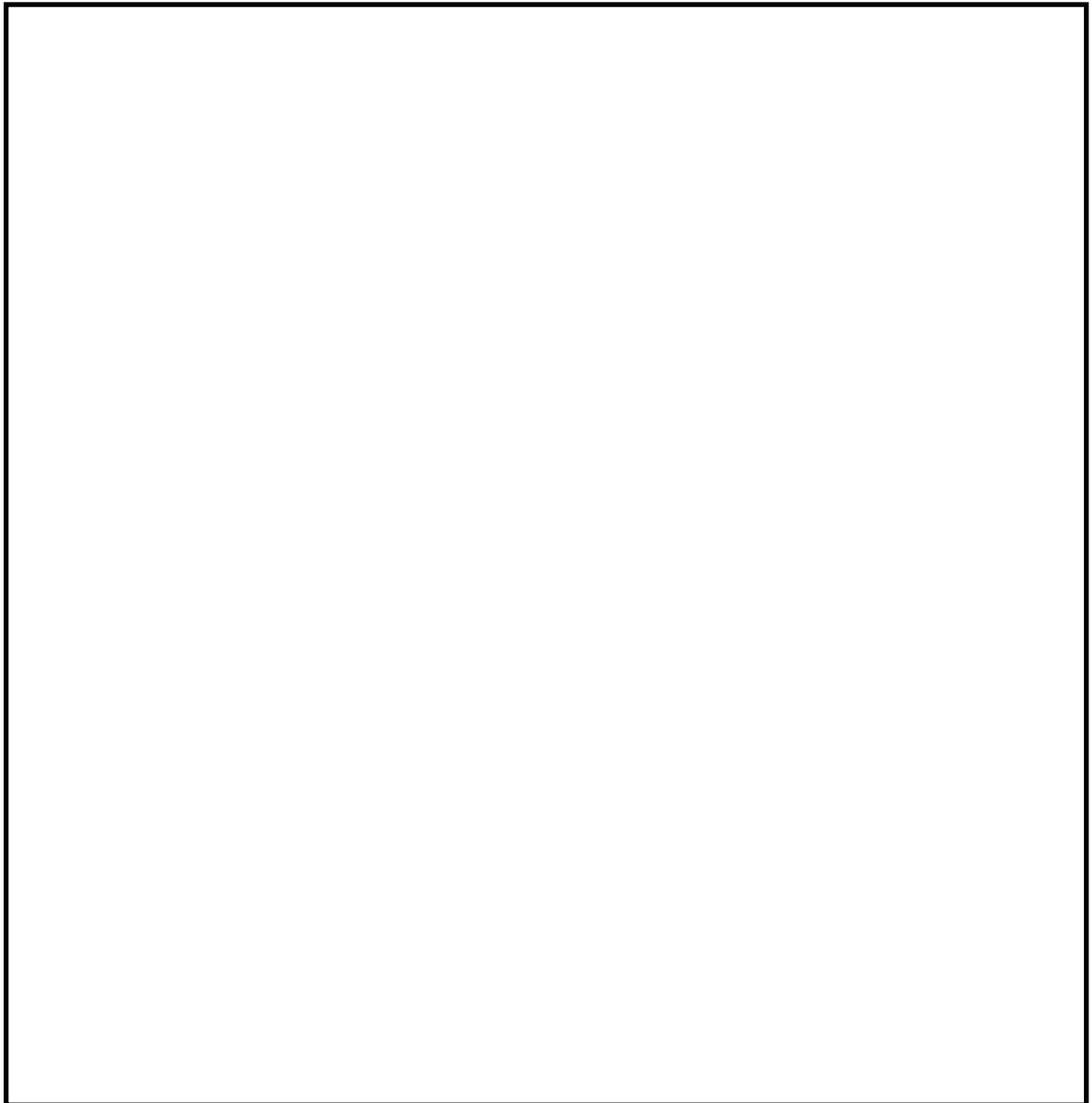


図 3-16 カンヌキに生じる荷重

カンヌキの詳細図及びカンヌキの評価に用いるモデルの概念図を図 3-17 に示す。カンヌキに生じる曲げモーメント $M_k$ 及びせん断力 $Q_k$ は次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L$$

$$Q_k = R$$

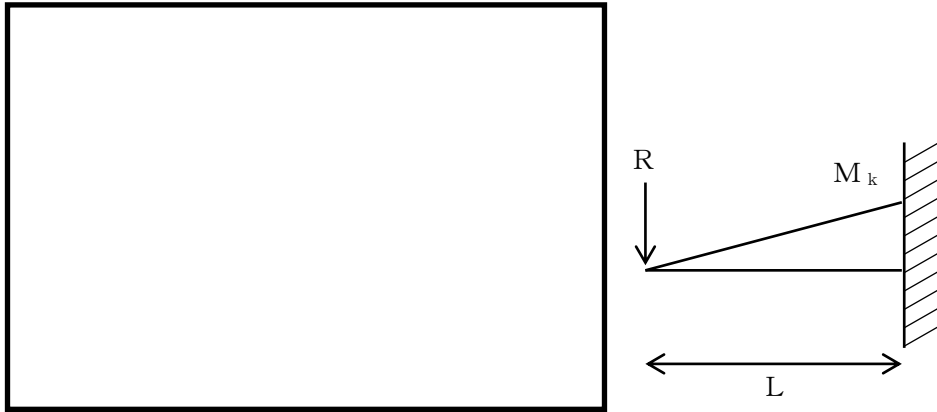


図 3-17 カンヌキの詳細図及びモデルの概念図

(2) 断面検定

カンヌキに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。カンヌキの許容限界は表 3-14 のとおり。

カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_k}{Z}$$

カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{Q_k}{A_2}$$



#### 4. 評価条件

##### 4.1 貫通評価

##### 4.1.1 式による評価（鉄筋コンクリート部）

貫通評価において，各施設の鉄筋コンクリート部の壁，スラブの貫通評価式に用いる条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 貫通評価式に用いる条件

記号	単位	記号の説明		数値
D	kgf/cm <sup>3</sup>	設計飛来物直径密度 ( $D = W/d^3$ )		$6.39 \times 10^{-3}$
d	cm	設計飛来物直径		27.6
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度		240* <sup>1</sup>
				225* <sup>2</sup>
				210* <sup>3</sup>
				244* <sup>4</sup>
N	—	設計飛来物の形状係数		1.14
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度（水平）	51
		屋根スラブ	設計飛来物の衝突速度（鉛直）	34
W	kgf	設計飛来物重量		135
α <sub>e</sub>	—	低減係数		1.0

注記\*1：原子炉建物，タービン建物及び廃棄物処理建物の値

\*2：制御室建物の値

\*3：ディーゼル燃料貯蔵タンク室の値

\*4：B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の値（コンクリートの設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup> より換算）

#### 4.1.2 タービン建物屋根スラブに対する衝突解析

タービン建物屋根スラブの貫通評価における衝突解析は、屋根スラブの最大変形が生じると想定される評価対象の中央部に衝突するケースを設定する。

解析ケースを表 4-2 に、解析ケース図を図 4-1 に示す。

表 4-2 解析ケース

評価対象	衝突位置	設計飛来物の衝突方向	対象部材
タービン建物 屋根スラブ	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート ( <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;"> </span> ) 鉄筋上端筋 EW 方向 D13@150, NS 方向 D13@150 鉄筋下端筋 EW 方向 D13@150, NS 方向 D16@230 デッキプレート (t=2.3mm)

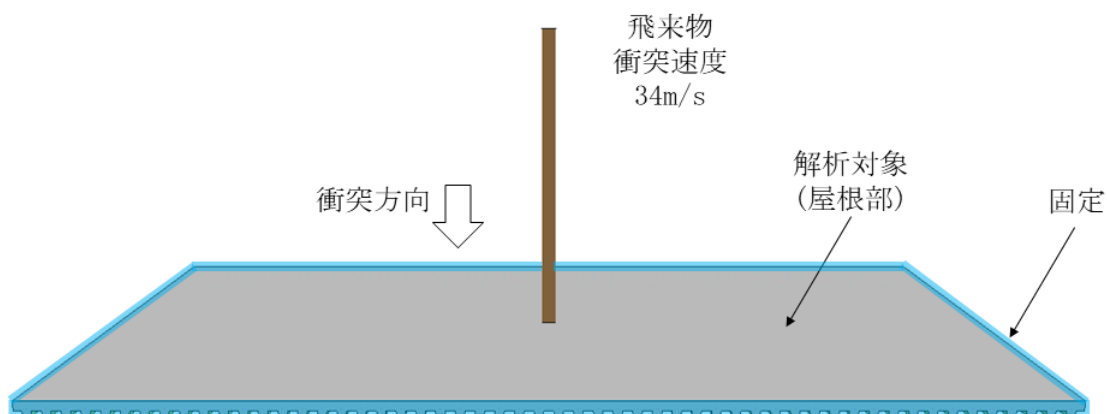


図 4-1 解析ケース図

#### 4.1.3 扉及び鋼製蓋

評価条件については、「3. 強度評価方法」に示すとおり設定する。

## 4.2 裏面剥離評価

### 4.2.1 式による評価

裏面剥離評価において、各施設の壁、スラブの裏面剥離評価式に用いる条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 裏面剥離評価式に用いる条件

記号	単位	記号の説明		数値
d	cm	設計飛来物直径		27.6
$f_c'$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度		240 <sup>*1</sup>
				225 <sup>*2</sup>
				210 <sup>*3</sup>
				244 <sup>*4</sup>
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度（水平）	51
		屋根スラブ	設計飛来物の衝突速度（鉛直）	34
$V_0$	m/s	飛来物基準速度		60.96
W	kgf	設計飛来物重量		135
$\alpha_s$	—	低減係数		1.0

注記\*1：原子炉建物，タービン建物及び廃棄物処理建物の値

\*2：制御室建物の値

\*3：ディーゼル燃料貯蔵タンク室の値


\*4：B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の値（コンクリートの設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup> より換算）

### 4.2.2 タービン建物外壁に対する衝突解析

タービン建物外壁の裏面剥離評価における衝突解析は、外壁の最大変形が生じると想定される評価対象の中央部に衝突するケースを設定する。

解析ケースを表 4-4 に、解析ケース図を図 4-2 に示す。

表 4-4 解析ケース

評価対象	衝突位置	設計飛来物の衝突方向	対象部材
タービン建物 外壁	中央部	水平：縦	躯体コンクリート (  ) 鉄筋 (D16@200)

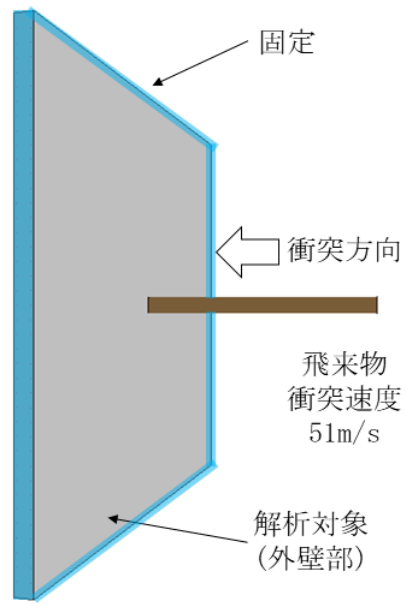


図 4-2 解析ケース図

- 4.2.3 タービン建物屋根スラブに対する衝突解析  
解析ケースは貫通評価に同じ。

### 4.3 変形評価

#### 4.3.1 耐震壁

原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の耐震壁の変形評価に用いる条件を表 4-5～表 4-9 に示す。

表 4-5 設計飛来物による衝撃荷重の評価条件

記号	定義	数値	単位
L <sub>1</sub>	設計飛来物の最も短い辺の全長	0.2	m
m	設計飛来物質量	135	kg
V	設計飛来物の衝突速度（水平）	51	m/s

表 4-6 原子炉建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	
			N S 方向	E W 方向
57.60～65.035	風上	0.8	400	297
	風下	0.4		
47.25～57.60	風上	0.8	557	489
	風下	0.4		
38.80～47.25	風上	0.8	610	477
	風下	0.4		
32.65～38.80	風上	0.8	514	391
	風下	0.4		
27.15～32.65	風上	0.8	492	355
	風下	0.4		
19.55～27.15	風上	0.8	679	491
	風下	0.4		
15.00～19.55	風上	0.8	407	296
	風下	0.4		

表 4-7 タービン建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )			
			N S 方向		E W 方向	
			北側	南側	東側	西側
36.80~42.96	風上	0.8	741	773	334	334
	風下	0.4				
26.30~36.80	風上	0.8	1405	1405	666	666
	風下	0.4				
16.55~26.30	風上	0.8	1362	1329	691	661
	風下	0.4				
9.00~16.55	風上	0.8	1019	1016	521	544
	風下	0.4				
8.50~9.00	風上	0.8	92	95	28	36
	風下	0.4				

表 4-8 廃棄物処理建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	
			N S 方向	E W 方向
39.75~47.117	風上	0.8	261	231
	風下	0.4		
34.75~39.75	風上	0.8	285	275
	風下	0.4		
29.35~34.75	風上	0.8	308	297
	風下	0.4		
24.40~29.35	風上	0.8	282	272
	風下	0.4		
19.50~24.40	風上	0.8	279	288
	風下	0.4		
16.10~19.50	風上	0.8	194	207
	風下	0.4		
15.00~16.10	風上	0.8	63	67
	風下	0.4		

表 4-9 制御室建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	
			N S 方向	E W 方向
19.475~22.80	風上	0.8	123	73
	風下	0.4		
15.00~19.475	風上	0.8	166	99
	風下	0.4		

#### 4.3.2 屋根スラブ

##### (1) スタッド

原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブのスタッドの変形評価に用いる条件を表 4-10 に示す。

表 4-10(1) スタッドの評価条件  
(原子炉建物屋根スラブ)

記号	定義	数値	単位
$A_c$	コーン状破壊面の有効投影面積	59200	$\text{mm}^2$
$A_0$	スタッド頭部の支圧面積	520.7	$\text{mm}^2$
$a_c a$	スタッド断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の smaller の値	284	$\text{mm}^2$
$D$	スタッドの頭部直径	32	mm
$d$	スタッドの軸部直径	19	mm
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	23.5	$\text{N}/\text{mm}^2$
$f_n$	コンクリートの支圧強度	141.0	$\text{N}/\text{mm}^2$
$l_e$	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ	200	mm
$p_a$	スタッド 1 本あたりの許容引張力	59	kN
$p_{a1}$	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力	66	kN
$p_{a2}$	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力	59	kN
$p_{a3}$	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド 1 本あたりの許容引張力	73	kN
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.50	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\Phi_1$	低減係数	1	—
$\Phi_2$	低減係数	2/3	—
$p$	スタッドの間隔	200	mm
$T$	スタッドに生じる引張力	13.86	kN
$L_1$	屋根スラブの支持スパン	8.0	m
$L_2$	屋根スラブの支持スパン	7.5	m
$n$	スタッドの本数	1	本




表 4-10(2) スタッドの評価条件  
(タービン建物屋根スラブ)

記号	定義	数値	単位
$A_c$	コーン状破壊面の有効投影面積	61330	$\text{mm}^2$
$A_0$	スタッド頭部の支圧面積	520.7	$\text{mm}^2$
$a_c a$	スタッド断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小さな方の値	284	$\text{mm}^2$
$D$	スタッドの頭部直径	32	mm
$d$	スタッドの軸部直径	19	mm
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	23.5	$\text{N}/\text{mm}^2$
$f_n$	コンクリートの支圧強度	141.0	$\text{N}/\text{mm}^2$
$l_e$	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ	150	mm
$p_a$	スタッド 1 本あたりの許容引張力	61	kN
$p_{a1}$	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力	66	kN
$p_{a2}$	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力	61	kN
$p_{a3}$	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド 1 本あたりの許容引張力	73	kN
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.50	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\Phi_1$	低減係数	1	—
$\Phi_2$	低減係数	2/3	—
$p$	スタッドの間隔	460	mm
$T$	スタッドに生じる引張力	24.89	kN
$L_1$	屋根スラブの支持スパン	6.0	m
$L_2$	屋根スラブの支持スパン	6.1	m
$n$	スタッドの本数	1	本

(2) 屋根スラブ

タービン建物屋根スラブの変形評価に用いる条件を表 4-11 に示す。

表 4-11 屋根スラブの評価条件

記号	定義	数値	単位
L	屋根スラブの支持スパン	6	m
M	設計竜巻による単位幅あたりの曲げモーメント	15.89	kN・m
Q	屋根スラブに生じる単位幅のせん断力	26.48	kN
$f_t$	鉄筋の許容引張応力度	345	N/mm <sup>2</sup>
$f_s$	コンクリートの許容せん断応力度	1.08	N/mm <sup>2</sup>
$a_t$	引張鉄筋の断面積	863.5	mm <sup>2</sup>
b	屋根スラブの幅	1000	mm
$d'$	屋根スラブの有効せい		mm
j	屋根スラブの応力中心間距離 ( $j = (7/8) \cdot d'$ )	78.75	mm
$M_a$	屋根スラブの許容曲げモーメント	23	kN・m
$Q_a$	屋根スラブの許容せん断力	85	kN
$\omega_d$	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重	5.41	kN/m
$\omega_T$	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 ( $= \text{Max} \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$ )	8.94	kN/m
$\omega_{T1}$	複合荷重 $W_{T1} = W_P$ による単位幅あたりの荷重	7.5	kN/m
$\omega_{T2}$	複合荷重 $W_{T2} = W_W + 0.5W_P$ による単位幅あたりの荷重 (設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は考慮しない)	8.94	kN/m

#### 4.4 応力評価

扉の応力評価に用いる条件を表 4-12 に示す。

表 4-12 応力評価に用いる評価条件  
(原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉)

記号	定義	数値	単位
$A_1$	表面鋼板の受圧面積	25.37	$m^2$
$A_2$	カンヌキの断面積	3848	$mm^2$
L	カンヌキと扉枠の距離	140	mm
n	カンヌキの本数	9	本
R	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重	21142	N
$\Delta P_{max}$	気圧差による等分布荷重	7500	$N/m^2$
$W_P$	気圧差による荷重	190275	N
Z	カンヌキの断面係数	33673	$mm^3$

5. 強度評価結果

5.1 貫通評価

式による評価にて算定した貫通限界厚さと許容限界の比較を表 5-1 に示す。

式による評価で許容限界を満足しなかった屋根スラブのうち、厚さが最も小さいタービン建物屋根スラブについて、解析による評価の結果を表 5-2 に、鉄筋のひずみ分布図を図 5-1 に示す。

上記結果より、建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブに設計飛来物による貫通が生じないことを確認した。

表 5-1 貫通評価結果（式による評価）

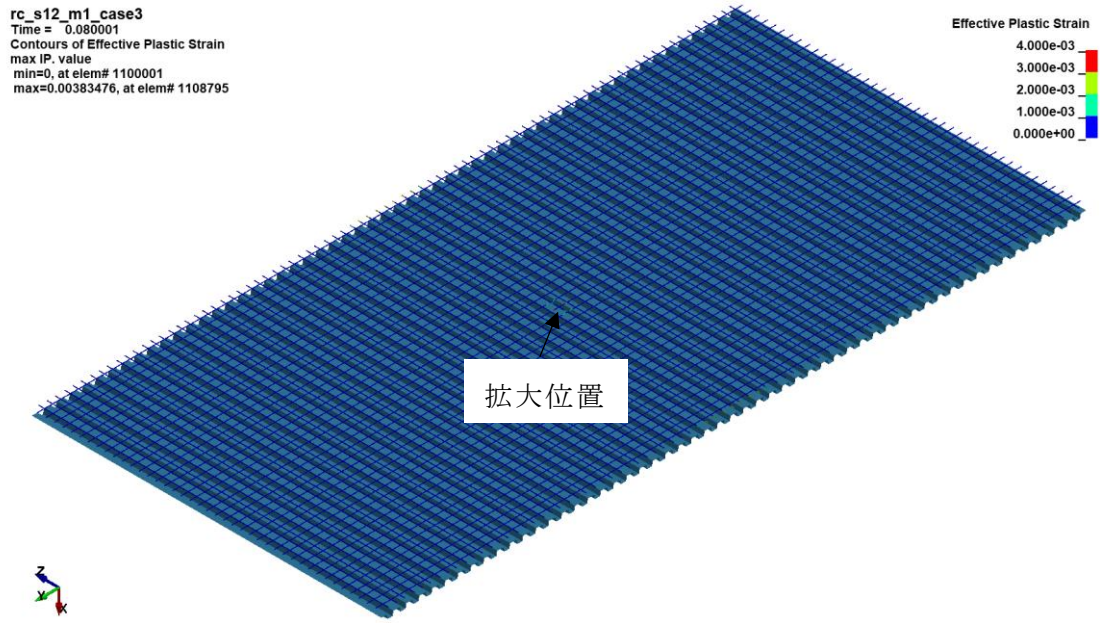
評価対象部位		設計飛来物	評価結果 (cm)	許容限界 (cm)
原子炉建物	外壁	鋼製材	27	
	屋根スラブ		19	
	扉		16*	
タービン建物	外壁		27	
	屋根スラブ		19	
廃棄物処理建物	外壁		27	
	屋根スラブ		19	
制御室建物	外壁		27	
	屋根スラブ		19	
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	スラブ		20	
	鋼製蓋	6*		
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	スラブ	19		
	鋼製蓋	6*		

注記\*：単位は mm

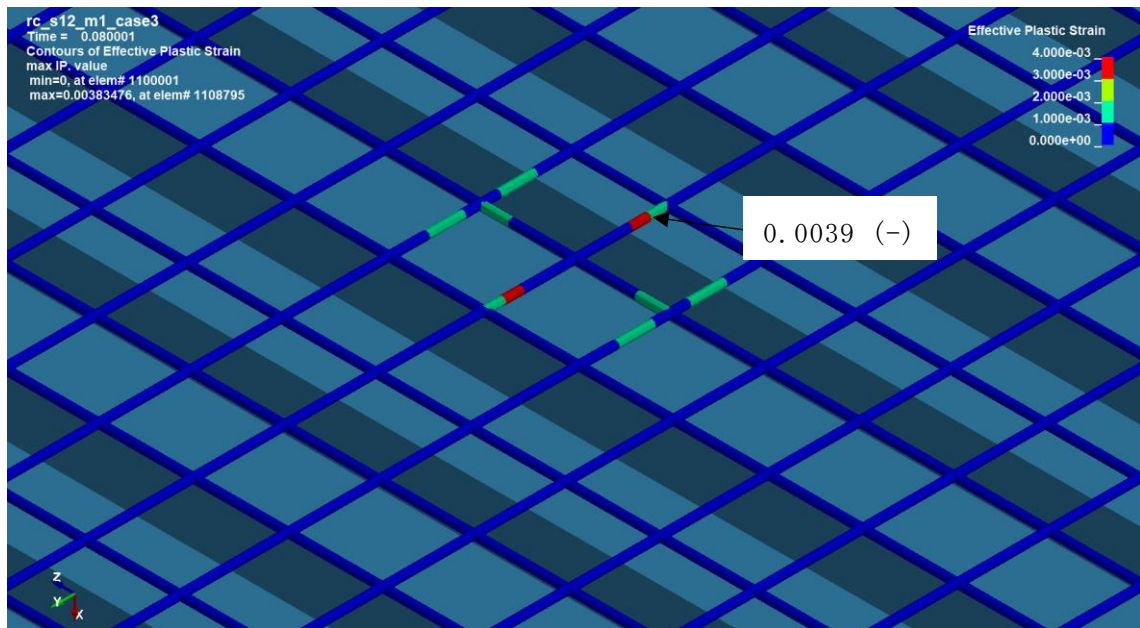
表 5-2 貫通評価結果（解析による評価）

評価対象部位		評価結果	許容限界
タービン建物屋根スラブ*	鉄筋	$3.9 \times 10^{-3}$	$8.4 \times 10^{-2}$

注記\*：外殻となる屋根スラブの代表箇所（最小版厚部位）



(a) モデル全体



(b) 拡大図

図 5-1 鉄筋のひずみ分布図 (タービン建物屋根スラブ)

## 5.2 裏面剥離評価

式による評価にて算定した裏面剥離限界厚さと許容限界の比較を表 5-3 に示す。

式による評価で許容限界を満足しなかった外壁及び屋根スラブのうち、厚さが最も小さいタービン建物外壁及びタービン建物屋根スラブについて、解析による評価の結果を表 5-4 に、鉄筋及びデッキプレートのひずみ分布図を図 5-2 及び図 5-3 に示す。

上記結果より、建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブに設計飛来物による裏面剥離が生じないことを確認した。

表 5-3 裏面剥離評価結果（式による評価）

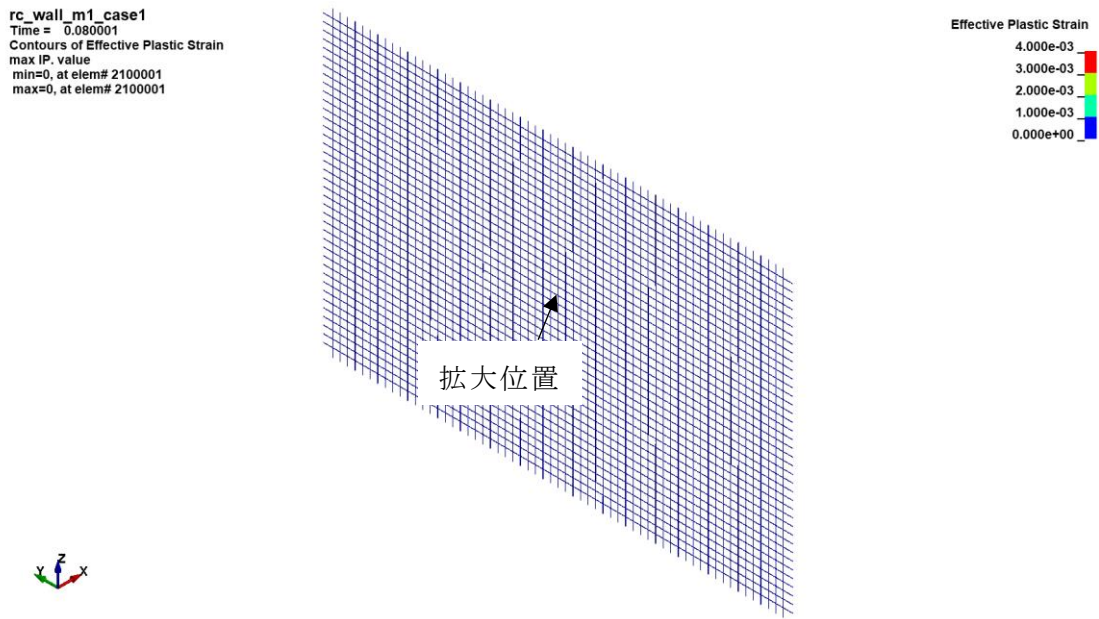
評価対象部位		設計飛来物	評価結果 (cm)	許容限界 (cm)
原子炉建物	外壁	鋼製材	46	
	屋根スラブ		35	
タービン建物	外壁		46	
	屋根スラブ		35	
廃棄物処理建物	外壁		46	
	屋根スラブ		35	
制御室建物	外壁		47	
	屋根スラブ		36	
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	スラブ		37	
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	スラブ		35	

表 5-4 裏面剥離評価結果（解析による評価）

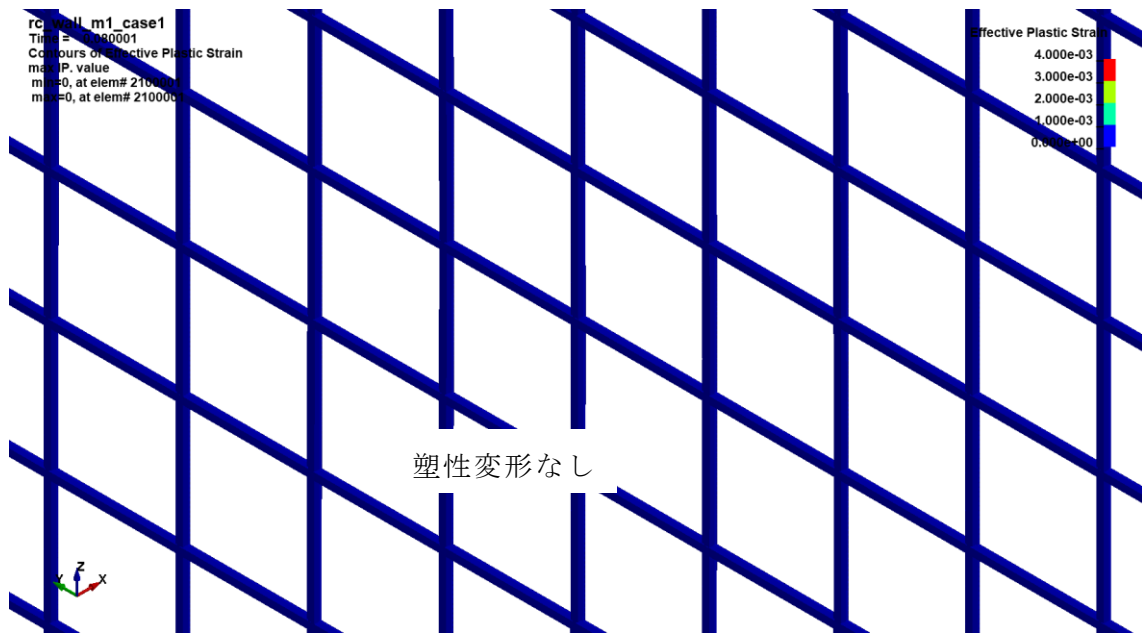
評価対象部位		評価結果	許容限界
タービン建物外壁*1	裏面側鉄筋	塑性ひずみ なし	$8.4 \times 10^{-2}$
タービン建物屋根スラブ*2	デッキプレート	$3.5 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-2}$

注記\*1：外殻となる外壁の代表箇所（最小版厚部位）

\*2：外殻となる屋根スラブの代表箇所（最小版厚部位）

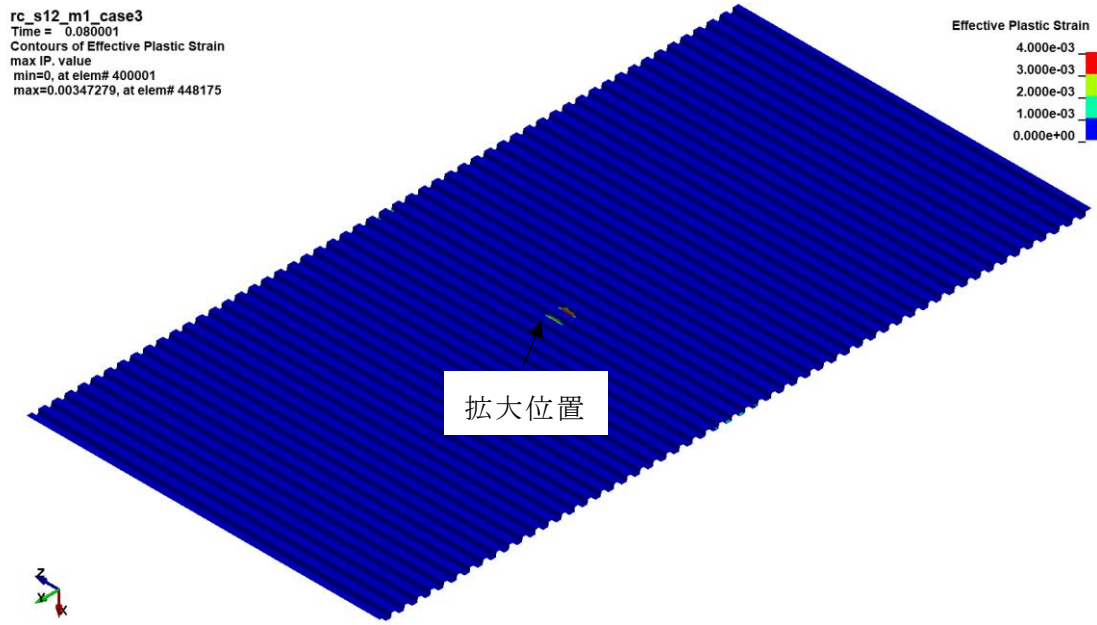


(a) モデル全体

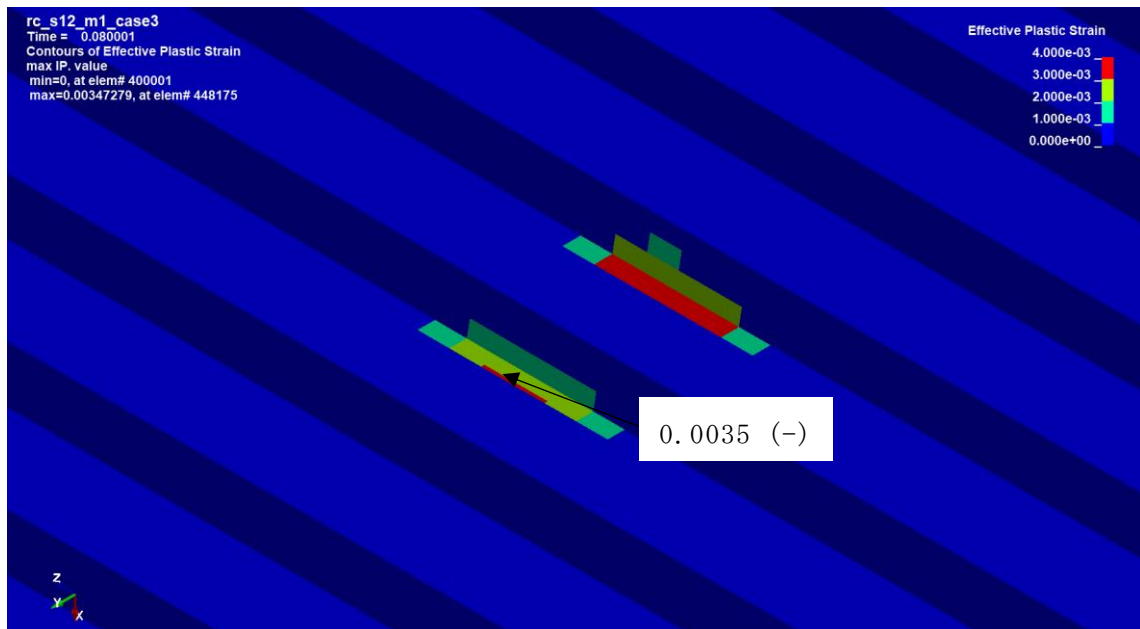


(b) 拡大図

図 5-2 鉄筋のひずみ分布図 (タービン建物外壁)



(a) モデル全体



(b) 拡大図

図 5-3 デッキプレートのひずみ分布図 (タービン建物屋根スラブ)



### 5.3 変形評価

#### 5.3.1 耐震壁

各施設の耐震壁に生じるせん断ひずみについて、許容限界との比較を表 5-5 に示す。

評価結果より、各施設の耐震壁に生じるひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 5-5 変形評価結果（耐震壁）

評価対象施設		評価結果			許容限界
		項目	$W_{T1}$	$W_{T2}$	
原子炉建物	耐震壁	せん断 ひずみ	$0.01 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
タービン建物	耐震壁		$0.03 \times 10^{-3}$	$0.03 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
廃棄物処理建物	耐震壁		$0.01 \times 10^{-3}$	$0.01 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
制御室建物	耐震壁		$0.01 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$

注：N S 方向，E W 方向の評価結果のうち、最も評価結果が厳しい部材について評価結果を記載するものとする。

#### 5.3.2 屋根スラブ

##### (1) スタッド

原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブのスタッドに生じる引張力と許容限界の比較を表 5-6 に示す。

評価結果より、スタッドに生じる引張力が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-6 変形評価結果（スタッド）

評価対象部位		評価結果		許容限界 (kN/本)
		項目	数値 (kN/本)	
原子炉建物	屋根スラブ のスタッド	引張力	13.86	59
タービン建物	屋根スラブ のスタッド	引張力	24.89	61

(2) 屋根スラブ

タービン建物屋根スラブに生じる応力と許容限界の比較を表 5-7 に示す。

評価結果より,屋根スラブに生じる応力が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-7 変形評価結果 (屋根スラブ)

評価対象部位		評価結果		許容限界 (kN・m, kN)
		項目	数値 (kN・m, kN)	
タービン建物	屋根スラブ	曲げ	15.89	23
		せん断	26.48	85

5.4 応力評価

扉のカンヌキに生じる応力度と許容限界の比較を表 5-8 に示す。

評価結果より,扉のカンヌキに生じる応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-8 評価結果

評価対象の扉	評価結果		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
	項目	数値 (N/mm <sup>2</sup> )	
原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室 南側鋼製扉	曲げ応力度	88.0	345
	せん断応力度	5.50	199

VI-3-別添 1-7 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	12
3.3 許容限界	14
3.4 評価方法	16
4. 評価条件	17
5. 強度評価結果	21

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「海水ポンプ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、送水機能の維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

海水ポンプについて、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」, 「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、海水ポンプの「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、海水ポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。取水槽海水ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

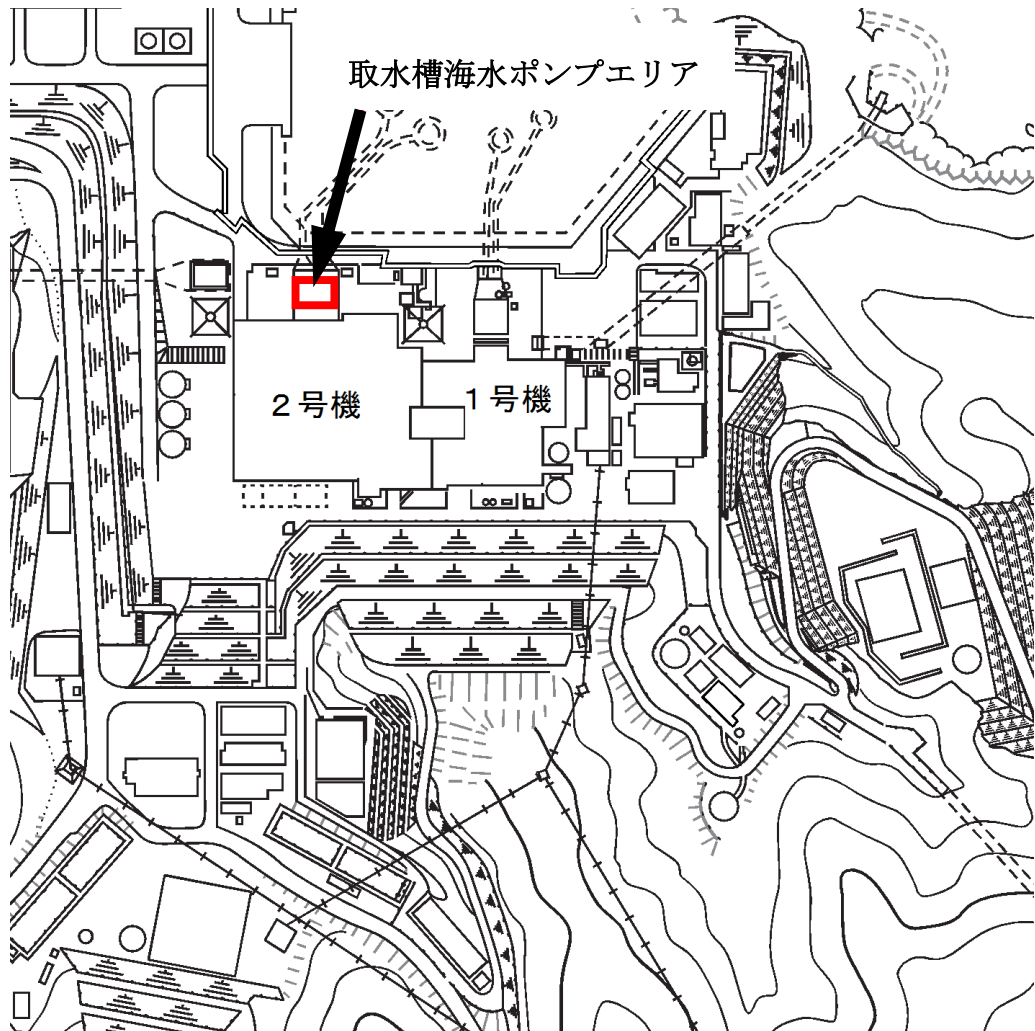


図2-1 取水槽海水ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、海水ポンプの構造を設定している。

海水ポンプは、ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と、上部の原動機部からなる鋼製の立形ポンプであり、原子炉補機海水ポンプ（以下「R SWポンプ」という。）は同一設計のポンプを4台、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「H P S Wポンプ」という。）は1台設置している。R SWポンプの構造計画を表 2-1 に、H P S Wポンプの構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-1 R SWポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b> R SWポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。</p>			
R SWポンプ	鋼製のたて形ポンプ	基礎に基礎ボルトで固定する。	
R S W ポンプモータ	鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

表 2-2 H P S Wポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>H P S Wポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。</p>			
H P S Wポンプ	鋼製のたて形ポンプ	基礎に基礎ボルトで固定する。	
H P S Wポンプモータ	鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	



## 2.3 評価方針

海水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ、海水ポンプの評価対象部位に生じる貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

### (1) 衝突評価の評価方針

海水ポンプの衝突評価の方針を以下に、衝突評価フローを図 2-2 に示す。

- ・ 竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。
- ・ 貫通限界厚さは、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いて、算出する。
- ・ 許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、外殻を構成する部材の厚さとする。

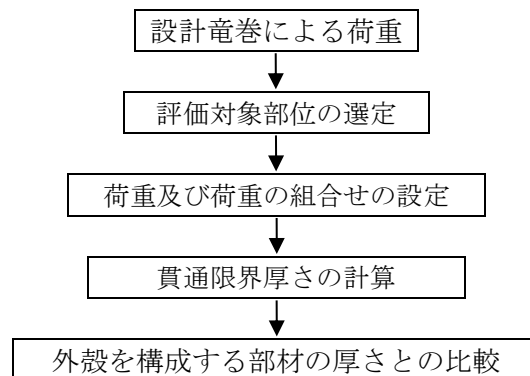


図 2-2 海水ポンプの衝突評価フロー

### (2) 構造強度評価の評価方針

海水ポンプの構造強度評価の評価方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-3 に示す。

- ・ 海水ポンプに対し、常時作用する荷重、設計竜巻による荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界以下であることを確認する。
- ・ その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。
- ・ 設計竜巻による荷重は、水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであるため、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における 1 質点系モデルによる評価方法を準用し、VI-3-別添 1-1

「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。

- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

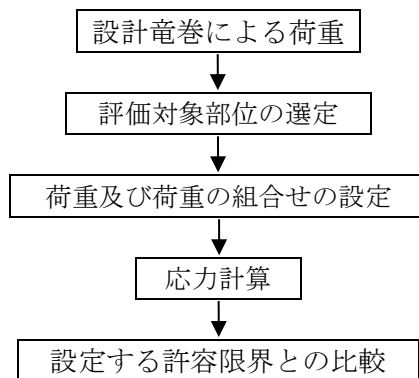


図 2-3 海水ポンプの構造強度評価フロー

### (3) 動的機能維持評価の評価方針

海水ポンプは動的機器であるため、構造強度評価に加え、軸受部の動的機能維持評価を行う。海水ポンプの動的機能維持評価の評価方針を以下に、動的機能維持評価フローを図 2-4 に示す。

- ・ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し、設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容限界以下であることを確認する。
- ・発生荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

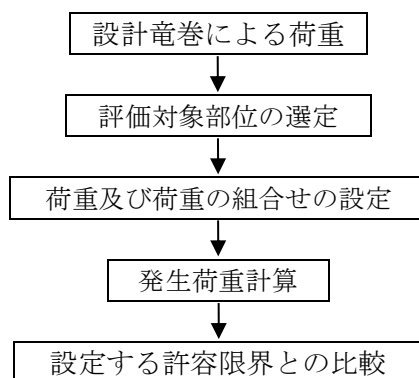


図 2-4 海水ポンプの動的機能維持評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・「タービンミサイル評価について」(昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- ・建築物荷重指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)  
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987) ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1991 追補版) ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・新版機械工学便覧 (1987 年 4 月 日本機械学会編)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

海水ポンプの評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

##### (1) 衝突評価の評価対象部位

飛来物の衝突により、海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入により機能を喪失する可能性がある箇所を評価対象部位として選定する。

海水ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により機能を喪失する可能性がある部位のうち、最薄部として、R SWポンプはスペースヒータ端子箱、HP SWポンプは防滴カバーを選定する。

海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

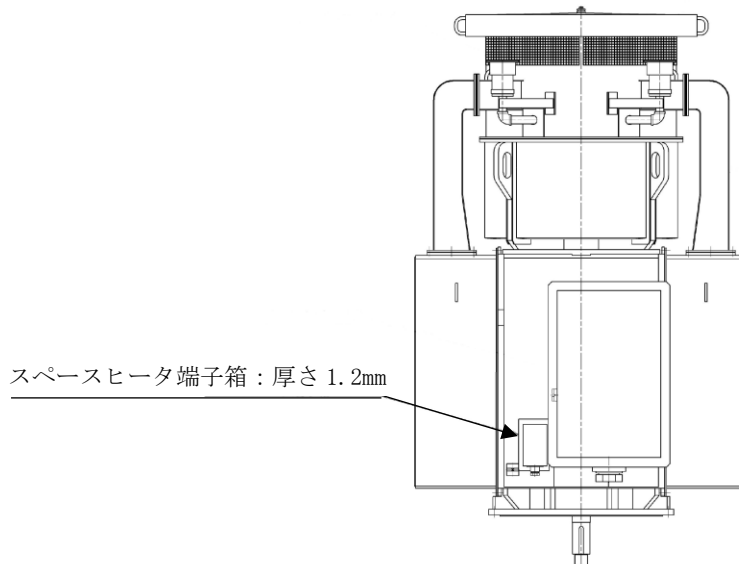


図 3-1 R SWポンプの評価対象部位

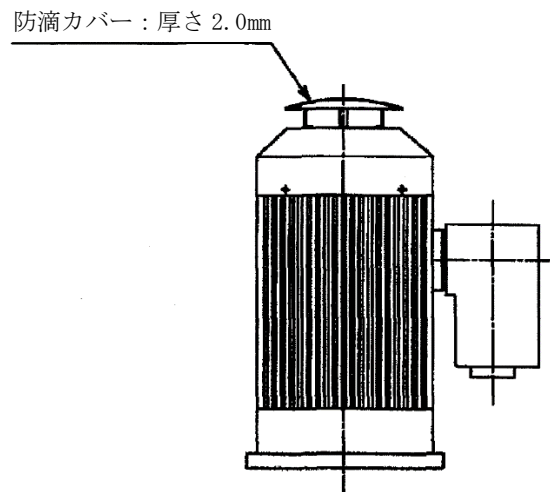


図 3-2 HP SWポンプの評価対象部位

## (2) 構造強度評価の評価対象部位

## a. ポンプ部

ポンプ部について、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用する。このため、ポンプ部及び原動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、以下の部位を評価対象部位として選定する。

- ・原動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・基礎ボルト

## b. 原動機部

原動機部について、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び付属品に作用する。このため、付属品を固定する以下の部位を評価対象部位として選定する。

## R SWポンプ

- ・原動機フレーム
- ・端子箱取付ボルト
- ・通風ダクト取付ボルト
- ・空気冷却器取付ボルト

## H PSWポンプ

- ・原動機フレーム
- ・端子箱取付ボルト
- ・エンドカバー取付ボルト

なお、R SWポンプの上部カバーの取付ボルトについては、受圧面積が小さいため設計竜巻の影響は小さいことから、上部カバーの取付ボルトは評価対象部位として選定しない。海水ポンプの評価対象部位を図3-3及び図3-4に示す。

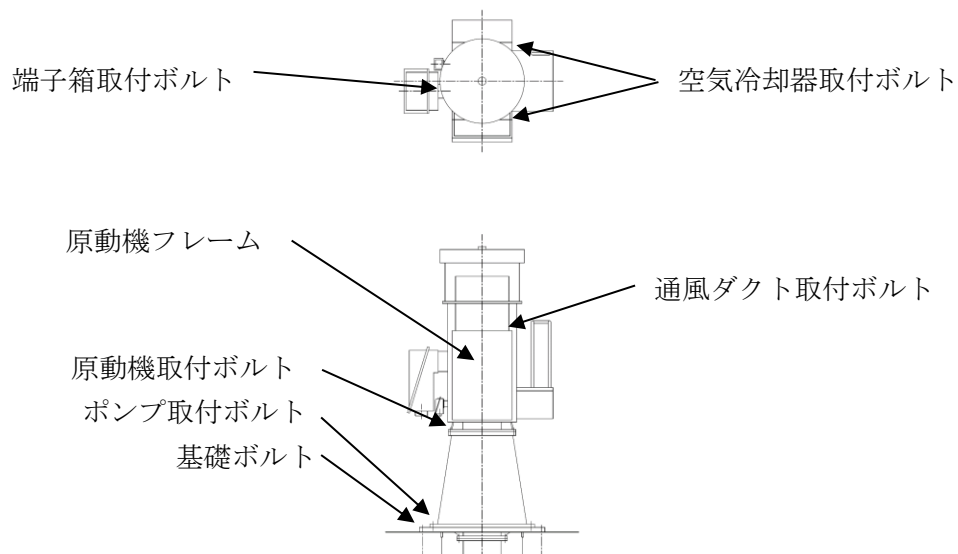


図3-3 R SWポンプの評価対象部位

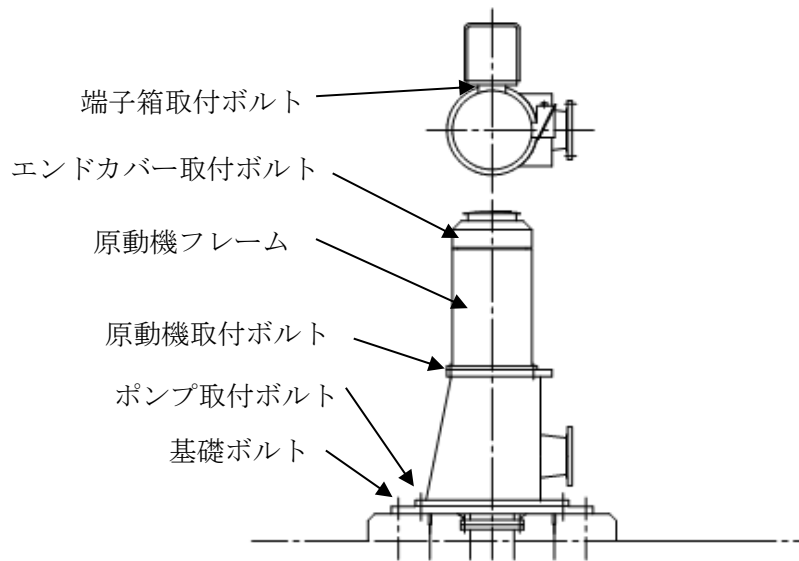


図 3-4 HPSWポンプの評価対象部位

(3) 動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部が設計竜巻による荷重を受けた際に、原動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

- ・ 原動機下部軸受部
- ・ 原動機上部軸受部

海水ポンプの評価対象部位を図 3-5 及び図 3-6 に示す。



図 3-5 RSWポンプの評価対象部位

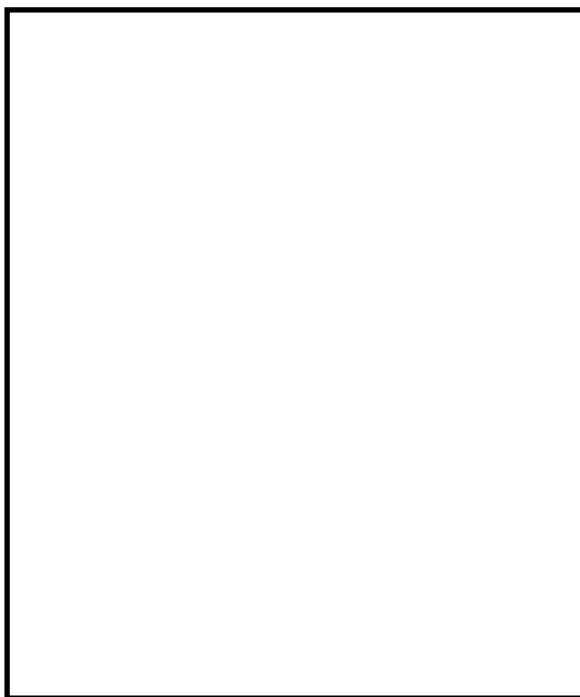


図 3-6 HPSWポンプの評価対象部位

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法 40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。砂利の諸元を表 3-1、海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表 3-2 に示す。

表 3-1 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04*	1	0.2	54	36

注記\*：等価直径 d は、設計飛来物の砂利の寸法 (0.04×0.04×0.04 (m)) で、0.045 (m) となるが、簡便かつ安全側の評価を実施することを目的に d =0.04 (m) を設定

表 3-2 海水ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	R S Wポンプ用原動機	スペースヒータ端子箱	飛来物による衝撃荷重
	H P S Wポンプ用原動機	防滴カバー	

#### (2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ポンプスラスト荷重が作用する評価対象部位は全て鉛直方向に取り付けられており、ポンプスラスト荷重は鉛直方向下向きに作用し抗力となるため、それぞれの構造強度評価を行う際の荷重としては保守的に考慮しない。海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-3 に示す。



表 3-3 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重	
屋外の外部 事象防護対 象施設	R S Wポンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①自重
				ポンプ取付ボルト	②風圧力による荷重
				基礎ボルト	③気圧差による荷重
		構造 強度 評価	原動機部	原動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				端子箱取付ボルト	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重
				通風ダクト取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				空気冷却器取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
		動的 機能 維持 評価	原動機部	原動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
	原動機下部軸受部			①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
	H P S Wポンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①自重
				ポンプ取付ボルト	②風圧力による荷重
				基礎ボルト	③気圧差による荷重
			構造 強度 評価	原動機部	原動機フレーム
		端子箱取付ボルト			①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重
エンドカバー取付ボルト		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重			
動的 機能 維持 評価		原動機部	原動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
			原動機下部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	

### 3.3 許容限界

海水ポンプの許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定した部位における機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さ、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力及び軸受の接触面圧の許容荷重を用いる。

#### (1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、外殻を構成する部材の厚さを許容限界とする。海水ポンプの許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-4 海水ポンプの許容限界

施設名称	外殻を構成する部材の厚さ
R S Wポンプ	1.2mm (スペースヒータ端子箱)
H P S Wポンプ	2.0mm (防滴カバー)

#### (2) 構造強度評価における許容限界

構造強度評価における許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 より、設計引張強さは設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。海水ポンプの許容限界を表 3-5, 許容応力を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-5 海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5 \cdot f_t$
			せん断	$1.5 \cdot f_s$
			組合せ	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau)\}$
原動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5 \cdot f_t$

表 3-6 R S Wポンプの許容応力(1/2)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F (MPa)	1.5 · f <sub>t</sub> (MPa)	1.5 · f <sub>s</sub> (MPa)
原動機 取付ボルト	SUS304	50* <sup>1</sup>	198	504	205	205	153	118
ポンプ 取付ボルト	SUS304	40* <sup>2</sup>	205	520	205	205	153	118
基礎ボルト	SUS304	50* <sup>1</sup>	198	504	205	205	153	118
原動機 フレーム	SM400A	50* <sup>1</sup>	231	394	—	103	102	—

表 3-6 R S Wポンプの許容応力 (2/2)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F (MPa)	1.5・f <sub>t</sub> (MPa)	1.5・f <sub>s</sub> (MPa)
端子箱 取付ボルト	SUS304	95*3	173	446	205	205	153	118
通風ダクト 取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	205	153	118
空気冷却器 取付ボルト	SUS304	95*3	173	446	205	205	153	118

注記\*1：周囲環境温度を安全側に考慮して設定した温度

\*2：内部流体の影響を考慮して設定した温度

\*3：試験により確認したフレームの温度上昇値と周囲環境温度を足し合わせた値

表 3-7 H P S Wポンプの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F (MPa)	1.5・f <sub>t</sub> (MPa)	1.5・f <sub>s</sub> (MPa)
原動機 取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	205	153	118
ポンプ 取付ボルト	SUS304	40*2	205	520	205	205	153	118
基礎ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	205	153	118
原動機 フレーム	SS400	50*1	211	394	—	211	95	—
端子箱 取付ボルト	SS400	50*3	211	394	—	211	158	122
エンド カバー 取付ボルト	SS400	50*1	211	394	—	211	—	122

注記\*1：周囲環境温度を安全側に考慮して設定した温度

\*2：内部流体の影響を考慮して設定した温度

\*3：試験により有意なフレームの温度上昇が確認されなかったため、周囲環境温度を安全側に考慮して設定した温度

(3) 動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は、設計荷重により原動機フレームが変形する場合においても海水ポンプの運転継続が可能であるように、軸受の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。軸受の接触面圧の許容荷重を表 3-8 に示す。

表 3-8 軸受の接触面圧の許容荷重

施設名称	評価対象部位	許容荷重 (N)
R S Wポンプ	原動機上部軸受部	
	原動機下部軸受部	
H P S Wポンプ	原動機上部軸受部	
	原動機下部軸受部	

### 3.4 評価方法

海水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している強度評価が必要な機器の評価式を用いる。

#### 4. 評価条件

##### (1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1～表4-9に示す。

表4-1 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	$\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )	W <sub>M</sub> (N)
5189	1.0	7500	-

表4-2 評価条件 (原動機取付ボルト)

施設名称	C (-)	h <sub>2</sub> (mm)	M <sub>Cp</sub> (N・mm)	m (kg)	D (mm)	C <sub>p</sub> (-)
R S Wポンプ	1.2	1348.5	2744820	6400	940	0.06
H P S Wポンプ	1.2	577	271304	963	600	0.06

施設名称	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>f</sub> (-)	n (-)	A (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ
R S Wポンプ	453	8	8	5.6	M24
H P S Wポンプ	315	8	8	1.23	M20

表4-3 評価条件 (ポンプ取付ボルト)

施設名称	C (-)	h <sub>1</sub> (mm)	M <sub>Cp</sub> (N・mm)	m (kg)	D (mm)	C <sub>p</sub> (-)
R S Wポンプ	1.2	2091	7662173	16600	1460	0.06
H P S Wポンプ	1.2	1103	1169919	4933	1030	0.06

施設名称	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>f</sub> (-)	n (-)	A (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ
R S Wポンプ	1018	12	12	7.62	M36
H P S Wポンプ	707	12	12	2.25	M30

表4-4 評価条件 (基礎ボルト)

施設名称	C (-)	h <sub>1</sub> (mm)	M <sub>Cp</sub> (N・mm)	m (kg)	D (mm)	C <sub>p</sub> (-)
R S Wポンプ	1.2	2091	7372672	17730	1760	0.06
H P S Wポンプ	1.2	1103	1276651	5525	1360	0.06

施設名称	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>f</sub> (-)	n (-)	A (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ
R S Wポンプ	1018	8	8	7.62	M36
H P S Wポンプ	707	8	8	2.25	M30

表 4-5 評価条件 (原動機フレーム)

施設名称	C <sub>1</sub> (-)	C <sub>2</sub> (-)	h <sub>g</sub> (mm)	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )
R S Wポンプ	2.4	1.2	1025	2.793	1.269
H P S Wポンプ	1.2	-	458	1.23	-

施設名称	D (mm)	h <sub>w</sub> (mm)
R S Wポンプ	820	10
H P S Wポンプ	500	6

表 4-6 評価条件 (端子箱の取付ボルト)

施設名称	C <sub>1</sub> (-)	h <sub>g</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>g</sub> (mm)	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )
R S Wポンプ	2.1	356	250	124	0.6593
H P S Wポンプ	2.4	210.5	170	140	0.43

施設名称	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>f</sub> (-)	n (-)	m (kg)	ボルト サイズ
R S Wポンプ	113.1	3	8	144	M12
H P S Wポンプ	201.1	2	4	80	M16

表 4-7 評価条件 (通風ダクトの取付ボルト)

C <sub>1</sub> (-)	C <sub>2</sub> (-)	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	h <sub>g</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
2.4	1.2	0.5256	0.5495	788	850

L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	L <sub>4</sub> (mm)	L <sub>5</sub> (mm)	L <sub>6</sub> (mm)	L <sub>7</sub> (mm)
743	637	531	425	319	213

L <sub>8</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>f</sub> (-)	n (-)	ボルト サイズ
107	78.5	4	40	M10

表 4-8 評価条件 (空気冷却器の取付ボルト)

C <sub>1</sub> (-)	C <sub>2</sub> (-)	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	h <sub>g</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
2.1	1.2	0.5657	0	273	890

L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	L <sub>4</sub> (mm)	L <sub>5</sub> (mm)	L <sub>6</sub> (mm)	L <sub>7</sub> (mm)
775	665	555	445	335	225

L <sub>8</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>f</sub> (-)	n (-)	ボルト サイズ
115	78.5	2	40	M10

表 4-9 評価条件 (エンドカバーの取付ボルト)

C (-)	A (mm <sup>2</sup> )	N (rpm)	P (kw)	D (mm)	n (-)
1.2	0.1	1200	75	497	2

A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	ボルト サイズ
50.27	M8

(2) 動的機能維持評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-10～表 4-14 に示す。

表 4-10 評価条件 (たわみ量の算出)

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	ΔP <sub>max</sub> (Pa)	W <sub>M</sub> (N)	温度 (°C)
5189	1.0	7500	-	50

表 4-11 評価条件 (原動機下部軸受部 (たわみ量の算出))

施設名称	変位量計算 モデルの材質	h <sub>1</sub> ' (mm)	h <sub>2</sub> ' (mm)	a <sub>1</sub> (mm)	a <sub>2</sub> (mm)
R S Wポンプ	SM400A	641	491	1415	150
	SM400B				
H P S Wポンプ	SS400	51	99.5	1052	150.5
	SM400B				

施設名称	E <sub>p</sub> (MPa)	I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )	E <sub>m</sub> (MPa)	I <sub>m</sub> (mm <sup>4</sup> )
R S Wポンプ	201000	9.799×10 <sup>9</sup>	201000	3.837×10 <sup>9</sup>
H P S Wポンプ	201000	2.429×10 <sup>9</sup>	201000	5.480×10 <sup>8</sup>

表 4-12 評価条件 (原動機下部軸受部 (発生荷重の算出))

施設名称	発生荷重計算 モデルの材質	$E_m'$ (MPa)	$I_m'$ (mm <sup>4</sup> )	$x_a'$ (mm)	$\delta_a$ (mm)
R S Wポンプ	S25C	201000	$2.485 \times 10^7$	1565	0.06
H P S Wポンプ	S35C	200000	$1.553 \times 10^6$	1202.5	0.021

表 4-13 評価条件 (原動機上部軸受部 (たわみ量の算出))

施設名称	変位量計算 モデルの材質	$h_3'$ (mm)	$a_3$ (mm)	$E_m$ (MPa)	$I_m$ (mm <sup>4</sup> )
R S Wポンプ	SM400A	0	641	201000	$3.837 \times 10^9$
H P S Wポンプ	SS400	0	51	201000	$5.480 \times 10^8$

表 4-14 評価条件 (原動機上部軸受部 (発生荷重の算出))

施設名称	発生荷重計算 モデルの材質	$E_m'$ (MPa)	$I_m'$ (mm <sup>4</sup> )	$x_b'$ (mm)	$\delta_b$ (mm)
R S Wポンプ	S25C	201000	$2.485 \times 10^7$	1657	0.113
H P S Wポンプ	S35C	200000	$1.553 \times 10^6$	762.5	0.023



5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表 5-2 に示す。砂利の貫通限界厚さは、海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	T (mm)	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	結果
R SWポンプ (スペースヒータ端子箱)	1.0	1.2	貫通しない
H P SWポンプ (防滴カバー)	1.0	2.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

原動機取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 評価結果 (原動機取付ボルト)

施設名称	応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R SWポンプ	引張	40	153
	せん断	16	118
	組合せ	40	153
H P SWポンプ	引張	9	153
	せん断	5	118
	組合せ	9	153

## b. ポンプ取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ポンプ取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果 (ポンプ取付ボルト)

施設名称	応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	9	153
	せん断	7	118
	組合せ	9	153
H P S Wポンプ	引張	1	153
	せん断	3	118
	組合せ	1	153

## c. 基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果 (基礎ボルト)

施設名称	応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	5	153
	せん断	10	118
	組合せ	5	153
H P S Wポンプ	引張	-	153
	せん断	4	118
	組合せ	-	153

## d. 原動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

原動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果 (原動機フレーム)

施設名称	応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	16	102
H P S Wポンプ		7	95

## e. 端子箱の取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

端子箱の取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（端子箱の取付ボルト）

施設名称	応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	20	153
	せん断	11	118
	組合せ	20	153
H P S Wポンプ	引張	17	158
	せん断	9	122
	組合せ	17	158

## f. 通風ダクトの取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

通風ダクトの取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-8 評価結果（通風ダクトの取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	12	153
せん断	5	118
組合せ	12	153

## g. 空気冷却器の取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

空気冷却器の取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-9 評価結果（空気冷却器の取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	5	153
せん断	3	118
組合せ	5	153

h. エンドカバーの取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-10 に示す。

エンドカバーの取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-10 評価結果（エンドカバーの取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
せん断	34	122

(3) 動的機能維持評価結果

a. 原動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-11 に示す。

原動機下部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-11 評価結果（原動機下部軸受部）

施設名称	発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
R S Wポンプ	235	
H P S Wポンプ	12	

b. 原動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-12 に示す。

原動機上部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-12 評価結果（原動機上部軸受部）

施設名称	発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
R S Wポンプ	373	
H P S Wポンプ	48	

## VI-3-別添 1-8 海水ストレーナの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
3. 強度評価方法	5
3.1 評価対象部位	5
3.2 荷重及び荷重の組合せ	6
3.3 許容限界	6
3.4 評価方法	7
4. 評価条件	8
5. 強度評価結果	9

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ（以下「海水ストレーナ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、海水ストレーナの海水中の固形物を除去する機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」，「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえて、海水ストレーナの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、海水ストレーナは、屋外の取水槽循環水ポンプエリアに設置する。取水槽循環水ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

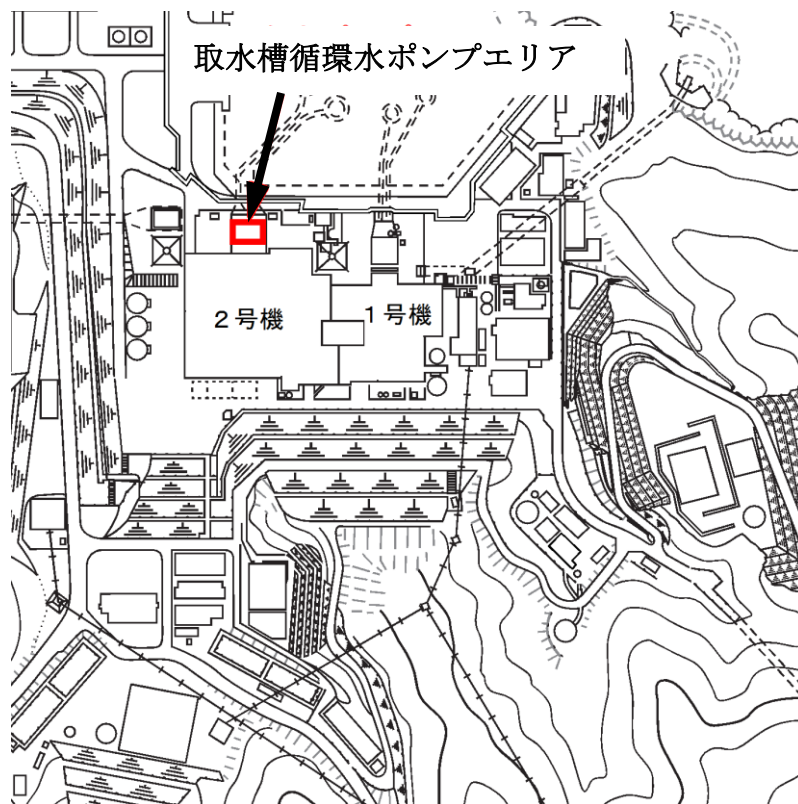


図2-1 取水槽循環水ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、海水ストレーナの構造を設定している。

海水ストレーナは、胴及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせた構造とし、支持脚を基礎に基礎ボルトで固定する。海水ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 海水ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b> 海水ストレーナは屋外の取水槽循環水ポンプエリアに設置する。			
海水ストレーナ	胴及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせて構成する。	支持脚を基礎に基礎ボルトで固定する。	



## 2.3 評価方針

海水ストレーナの強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえて、海水ストレーナの評価対象部位に生じる応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

### (1) 構造強度評価の方針

海水ストレーナの構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-2 に示す。

- ・海水ストレーナに対して、設計竜巻による荷重に常時作用する荷重を加えた応力が許容限界以下であることを確認する。
- ・部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。
- ・設計竜巻による荷重は、水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等であるため、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における 1 質点系モデルによる評価方法を準用し、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S とする。

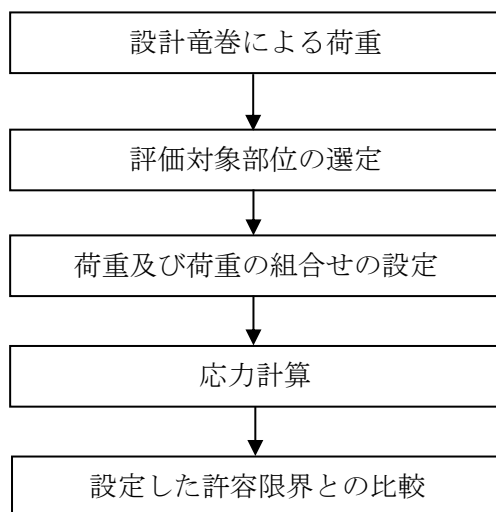


図2-2 海水ストレーナの構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984  
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

海水ストレーナの評価対象部位は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

##### (1) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は、胴及び支持脚を介して、基礎ボルトに作用する。海水ストレーナの転倒により、海水ストレーナの海水中の固形物を除去する機能に与える影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、胴及び支持脚と比較し断面積が小さく、発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

なお、海水ストレーナの蓋はドーム型形状であること、かつ受圧面積も小さいため設計竜巻の影響は小さいことから、蓋取付ボルトは評価対象部位として選定しない。

海水ストレーナの構造強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

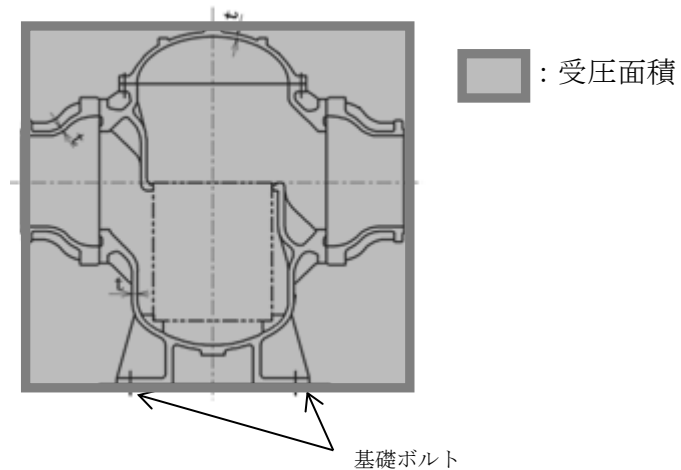


図3-1 海水ストレーナの構造強度評価の評価対象部位

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ設定する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表3-1 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	原子炉補機 海水ストレーナ	基礎ボルト	① 自重 ② 風圧力による荷重 ③ 気圧差による荷重
	高圧炉心スプレイ 補機海水ストレーナ	基礎ボルト	① 自重 ② 風圧力による荷重 ③ 気圧差による荷重

### 3.3 許容限界

海水ストレーナの許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

#### (1) 構造強度評価の許容限界

海水ストレーナの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 より、設計引張強さは設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

海水ストレーナの構造強度評価における許容限界を表 3-2、許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-2 海水ストレーナの許容限界

評価対象施設	評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原子炉補機海水ストレーナ	基礎ボルト	ⅢAS	一次応力	引張	$1.5 \cdot f_t$
				せん断	$1.5 \cdot f_s$
				組合せ	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau)\}$
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	基礎ボルト	ⅢAS	一次応力	引張	$1.5 \cdot f_t$
				せん断	$1.5 \cdot f_s$
				組合せ	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau)\}$

表 3-3 海水ストレーナの許容応力

評価対象施設	評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5・f <sub>t</sub> (MPa)	1.5・f <sub>s</sub> (MPa)
原子炉補機海水ストレーナ	基礎ボルト	SCM435	40	785	930	651	488	375
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	基礎ボルト	SCM435	40	785	930	651	488	375

### 3.4 評価方法

#### (1) 構造強度評価の評価方法

海水ストレーナの構造強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	$\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	C (-)
5189	1.0	7500	1.226	2.4

表 4-2 評価条件 (原子炉補機海水ストレーナ)

A (m <sup>2</sup> )	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	d (mm)	N (-)	n <sub>f</sub> (-)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	9.80665	<input type="text"/>	4	2

A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	l (mm)	h (mm)	W <sub>T2</sub> (N)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.2608×10 <sup>5</sup>

表 4-3 評価条件 (高压炉心スプレイ補機海水ストレーナ)

A (m <sup>2</sup> )	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	d (mm)	N (-)	n <sub>f</sub> (-)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	9.80665	<input type="text"/>	4	2

A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	l (mm)	h (mm)	W <sub>T2</sub> (N)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2.5213×10 <sup>4</sup>

5. 強度評価結果

(1) 構造強度評価の強度評価結果

海水ストレーナの構造強度評価結果を表5-1に示す。

基礎ボルトに発生する応力は許容限界以下である。

表 5-1 評価結果（基礎ボルト）

評価対象施設	応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機 海水ストレーナ	引張	22	488
	せん断	23	375
	組合せ	22	488
高圧炉心スプレイ補機 海水ストレーナ	引張	35	488
	せん断	21	375
	組合せ	35	488

## VI-3-別添 1-9 配管及び弁の強度計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	6
3. 強度評価方法	7
3.1 評価対象部位	7
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.3 許容限界	10
3.4 評価方法	12
4. 評価条件	13
5. 強度評価結果	14

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉補機海水系配管及び弁（取水槽）、高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁（取水槽）、非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁（屋外）、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁（屋外）並びに非常用ガス処理系配管及び弁（以下「配管及び弁」という。）が、竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、各配管及び弁の機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

配管及び弁について、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」，「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、配管及び弁の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、配管及び弁の位置図を図 2-1 に示す。

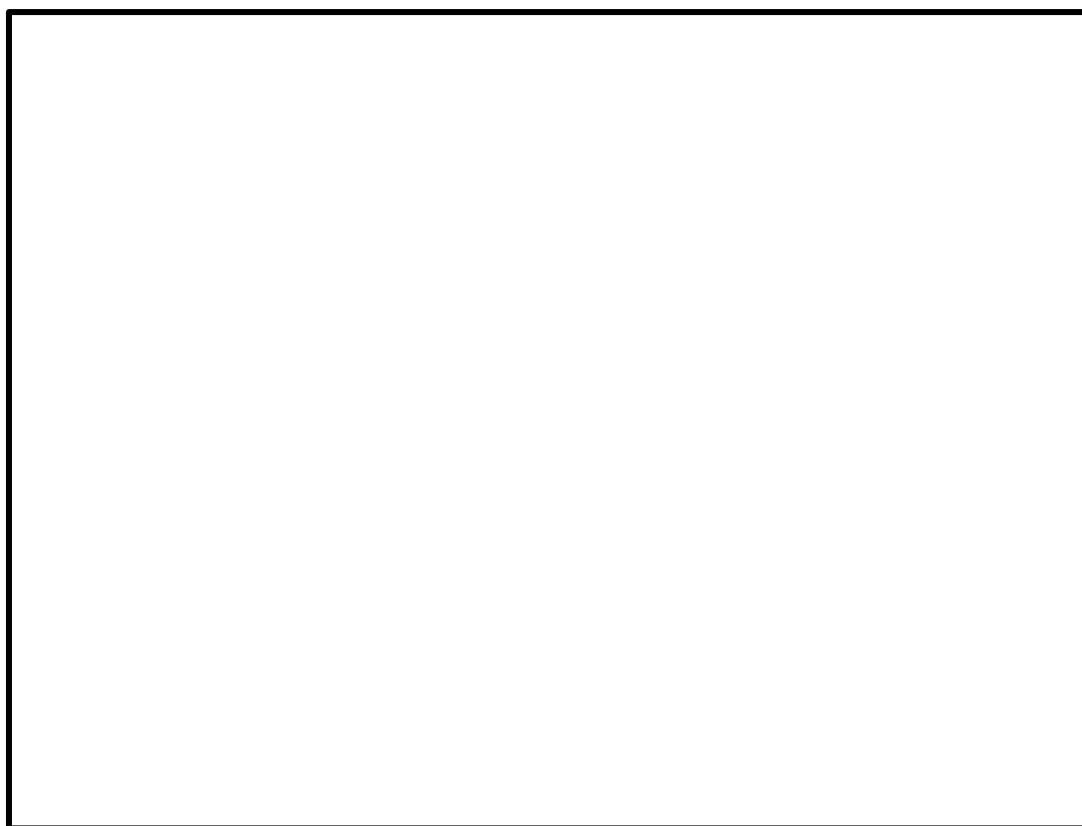


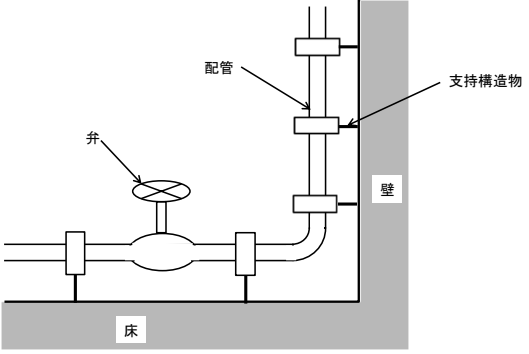
図 2-1 配管及び弁の位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、配管及び弁の構造を設定している。

配管及び弁は、配管本体及び弁で構成され、支持構造物により床、壁等から支持する構造とする。配管及び弁の構造計画を表 2-1 に、各エリアの配管及び弁の配置図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

表 2-1 配管及び弁の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b> 配管及び弁は屋外の取水槽海水ポンプエリア、燃料移送ポンプエリア及び排気筒に設置する。			
配管及び弁	鋼製の配管本体及び弁で構成する。	配管本体及び弁は、支持構造物により床、壁等から支持する。	

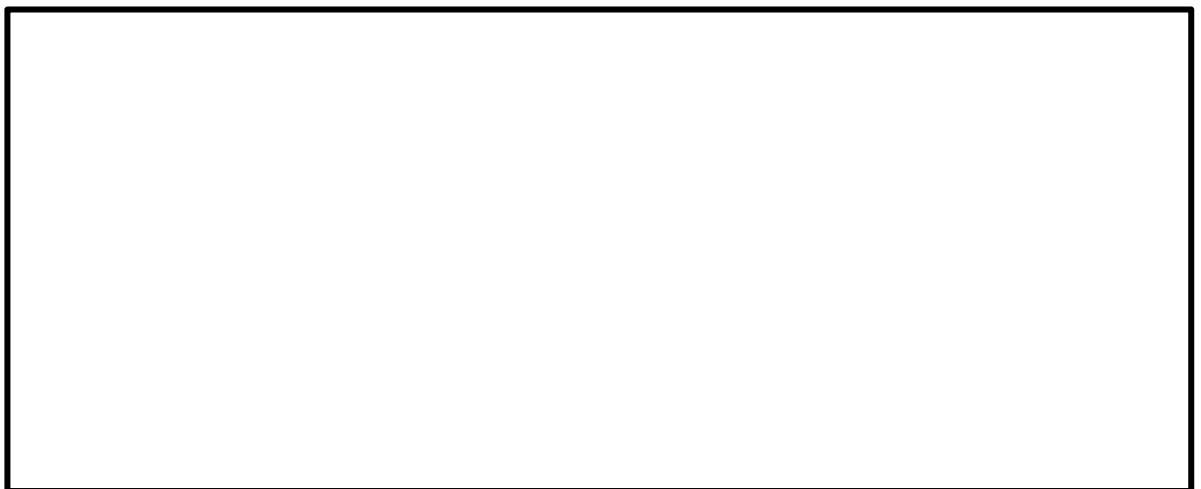


図 2-2 原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁の配置図

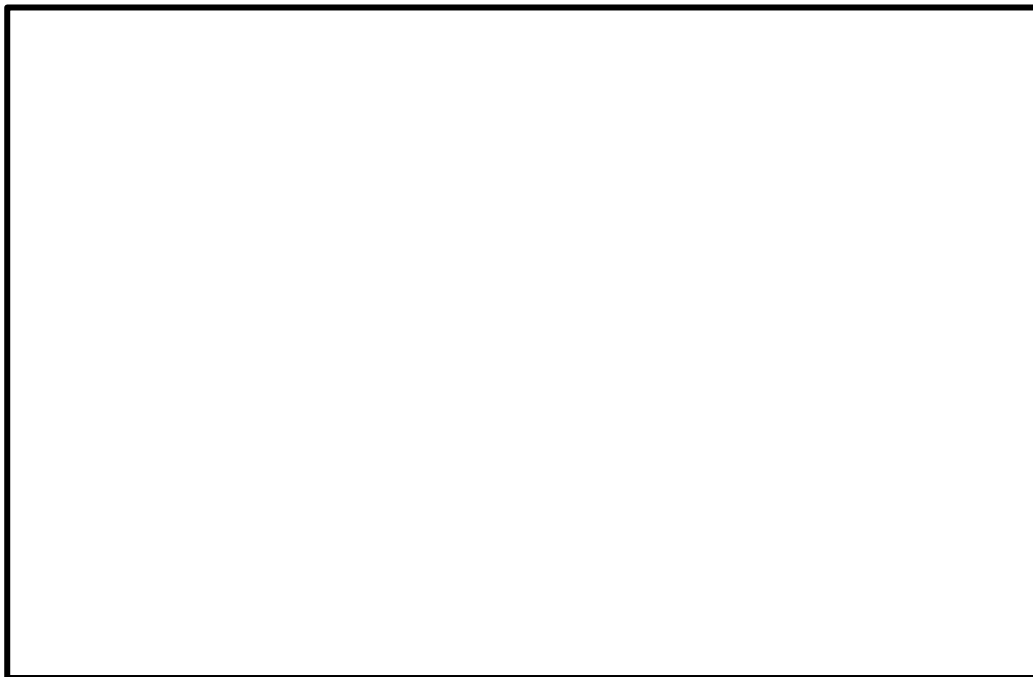


図 2-3 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁の配置図

### 2.3 評価方針

配管及び弁の強度評価は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ，配管及び弁の評価対象部位に生じる貫入，応力等が，許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し，その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

配管及び弁の衝突評価の方針を以下に，衝突評価フローを図 2-4 に示す。

- ・竜巻防護ネット等を設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。
- ・貫通限界厚さは，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いて，算出する。
- ・許容限界は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

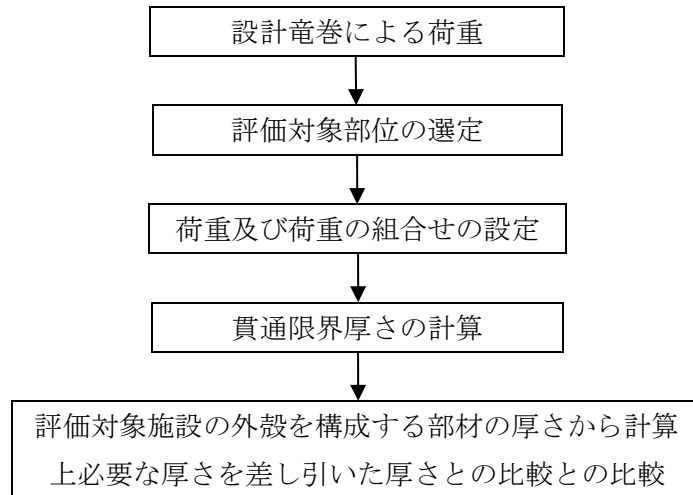


図 2-4 配管及び弁の衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

配管及び弁の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-5 に示す。

- ・配管及び弁に対し、運転時に作用する荷重、設計竜巻による荷重及び常時作用する荷重により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。
- ・配管及び弁に生じる応力は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

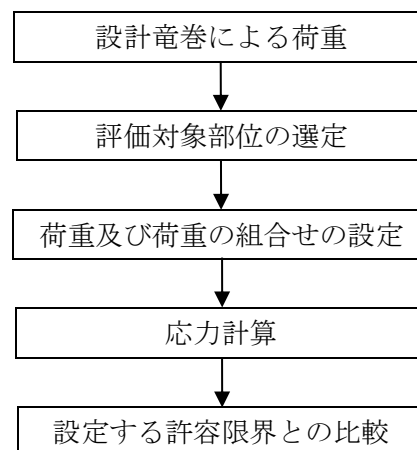


図 2-5 配管及び弁の構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・建築物荷重指針・同解説（(社) 日本建築学会 2004 改定）
- ・「タービンミサイル評価について」（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（(社) 日本機械学会, 2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984  
（(社) 日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（(社) 日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（(社) 日本電気協会）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

配管及び弁の評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。なお、弁の厚さは配管の厚さに比べ厚く、弁の評価は、配管の評価に包絡されるため、配管の評価のみ実施する。

##### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、配管及び弁に衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。なお、非常用ガス処理系配管及び弁は、建物内に設置しているため、設計飛来物の衝突を考慮しない。

配管及び弁の衝突評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。



図 3-1 配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

##### (2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は配管本体に作用する。サポート（配管支持構造物）については、建物内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であり、竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡されることから、配管本体を評価対象部位として選定する。

配管及び弁の構造強度評価の評価対象部位を図 3-2 に示す。

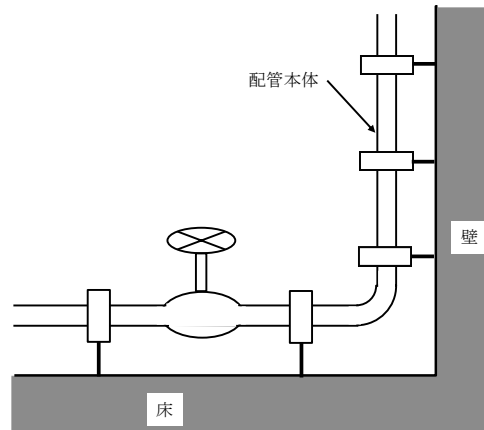


図 3-2 配管及び弁の評価対象部位



### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法 40mm）等をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を評価する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。砂利の諸元を表 3-1、配管及び弁の衝突評価に用いる荷重を表 3-2 に示す。

表 3-1 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04*	1.0	0.2	54	36

注記\*：等価直径 d は、設計飛来物の砂利の寸法（0.04×0.04×0.04 (m)）で、0.045m となるが、簡便かつ安全側の評価を実施することを目的に d = 0.04m を設定

表 3-2 配管及び弁の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	配管及び弁	配管本体	飛来物による衝撃荷重

#### (2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、配管及び弁の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力、気圧差及び内圧による荷重が作用する。なお、非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁の自重は内圧による荷重に比べて十分小さいことから、自重を考慮しない。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	原子炉補機海水系配管及び弁 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及 び弁	配管本体	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重 ④内圧による荷重
	非常用ディーゼル発電設備（燃料移 送系）配管及び弁 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電 設備（燃料移送系）配管及び弁	配管本体	①気圧差による荷重 ②内圧による荷重
外気と繋がっている屋内 の外部事象防護対象施設	非常用ガス処理系配管及び弁	配管本体	①気圧差による荷重 ②内圧による荷重

### 3.3 許容限界

配管及び弁の許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

#### (1) 衝突評価の許容限界

衝突評価においては、飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する。このため、配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界とし、配管及び弁の計算上必要な厚さは、設計・建設規格PPD-3411に基づき、算出する。

配管及び弁の許容限界を表3-4に示す。

表3-4 配管及び弁の許容限界

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
原子炉補機海水系配管及び弁	5.1*	2.2	2.9
高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁	9.3	3.8	5.5
非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁	5.2*	2.7	2.5

注記\*：評価対象となる配管のうち外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが最小となる配管を選定する。

#### (2) 構造強度評価の許容限界

構造強度評価においては、J E A G 4 6 0 1を準用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表Part5表8により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表Part5表8記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。配管の許容限界を表3-5に、許容応力を表3-6に示す。

表3-5 配管の許容限界 (1/2)

外部事象防護対象施設	許容応力状態	許容限界
原子炉補機海水系配管及び弁	Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>
高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁		(一次応力)

表 3-5 配管の許容限界 (2/2)

外部事象防護対象施設	許容応力状態	許容限界
非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁	Ⅲ A S	S <sub>y</sub> (一次一般膜)
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁		
非常用ガス処理系配管		

表 3-6 配管の許容応力

評価対象配管	D (mm)	材質	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)
原子炉補機海水系配管	711.2	SM400C	40	215
	508.0	SM400C	40	215
高圧炉心スプレイ補機海水系配管	267.4	STPT42	40	245
非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管	76.3	STPT42	40	245
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管	60.5	STPT42	40	245
非常用ガス処理系配管	406.4	STPT42	120	217

### 3.4 評価方法

配管及び弁の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している強度評価が必要な機器の評価式を用いる。

## 4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる共通評価条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 共通評価条件

$V_D$ (m/s)	C (-)	q (N/m <sup>2</sup> )	$\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )
92	1.2	5189	7500	9.80665

(1) 原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

表 4-2 評価条件 (原子炉補機海水系配管及び弁)

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	$P_1$ (MPa)	i (-)
711.2	SM400C	11.66	9.5	547.1	0.9807	2.37
508.0	SM400C	8.49	9.5	309.3	0.9807	2.11

表 4-3 評価条件 (高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁)

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	$P_1$ (MPa)	i (-)
267.4	STPT42	6.20	9.3	110.2	0.9807	1.35

(2) 非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁, 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-4 及び表 4-5 に示す。

表 4-4 評価条件 (非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁)

D (mm)	材料	$r_m$ (mm)	t (mm)	$P_1$ (MPa)
76.3	STPT42	35.55	5.2	0.101
60.5	STPT42	27.65	5.5	0.9807

表 4-5 評価条件 (非常用ガス処理系配管及び弁)

D (mm)	材料	$r_m$ (mm)	t (mm)	$P_1$ (MPa)
406.4	STPT42	198.45	9.5	0.0206

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表 5-2 に示す。砂利の貫通限界厚さは、配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

表 5-2 配管及び弁の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	T (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	結果
原子炉補機海水系配管及び弁	1.0	2.9 (配管)	貫通しない
高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁	1.0	5.5 (配管)	貫通しない
非常用ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁	1.0	2.5 (配管)	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁

強度評価結果を表 5-3 及び表 5-4 に示す。原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁の厚さは配管に比べ厚いため、弁の評価は、配管の評価に包絡される。

表 5-3 評価結果（原子炉補機海水系配管及び弁）

D (mm)	材料	$\sigma$ (MPa)	許容応力 (MPa)
711.2	SM400C	103	215
508.0	SM400C	65	215

表 5-4 評価結果（高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁）

D (mm)	材料	$\sigma$ (MPa)	許容応力 (MPa)
267.4	STPT42	39	245

- b. 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁

強度評価結果を表 5-5 及び表 5-6 に示す。非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁に発生する応力は，許容応力以下である。また，弁の厚さは配管に比べ厚いため，弁の評価は，配管の評価に包絡される。

表 5-5 評価結果（非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁）

D (mm)	材料	$\sigma$ (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	STPT42	1	245
60.5	STPT42	5	245

表 5-6 評価結果（非常用ガス処理系配管及び弁）

D (mm)	材料	$\sigma$ (MPa)	許容応力 (MPa)
406.4	STPT42	1	217



VI-3-別添 1-10 排気筒の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.3 許容限界	16
3.4 評価方法	18
4. 評価条件	26
5. 強度評価結果	32
5.1 排気筒の評価結果	32
5.2 鉄塔脚部の評価結果	33
5.3 筒身脚部の評価結果	44

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、排気筒が、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、排気筒の機能の維持を考慮して、排気筒全体が構造健全性を有することを計算により確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、排気筒の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

排気筒は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外に設置する。

排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。

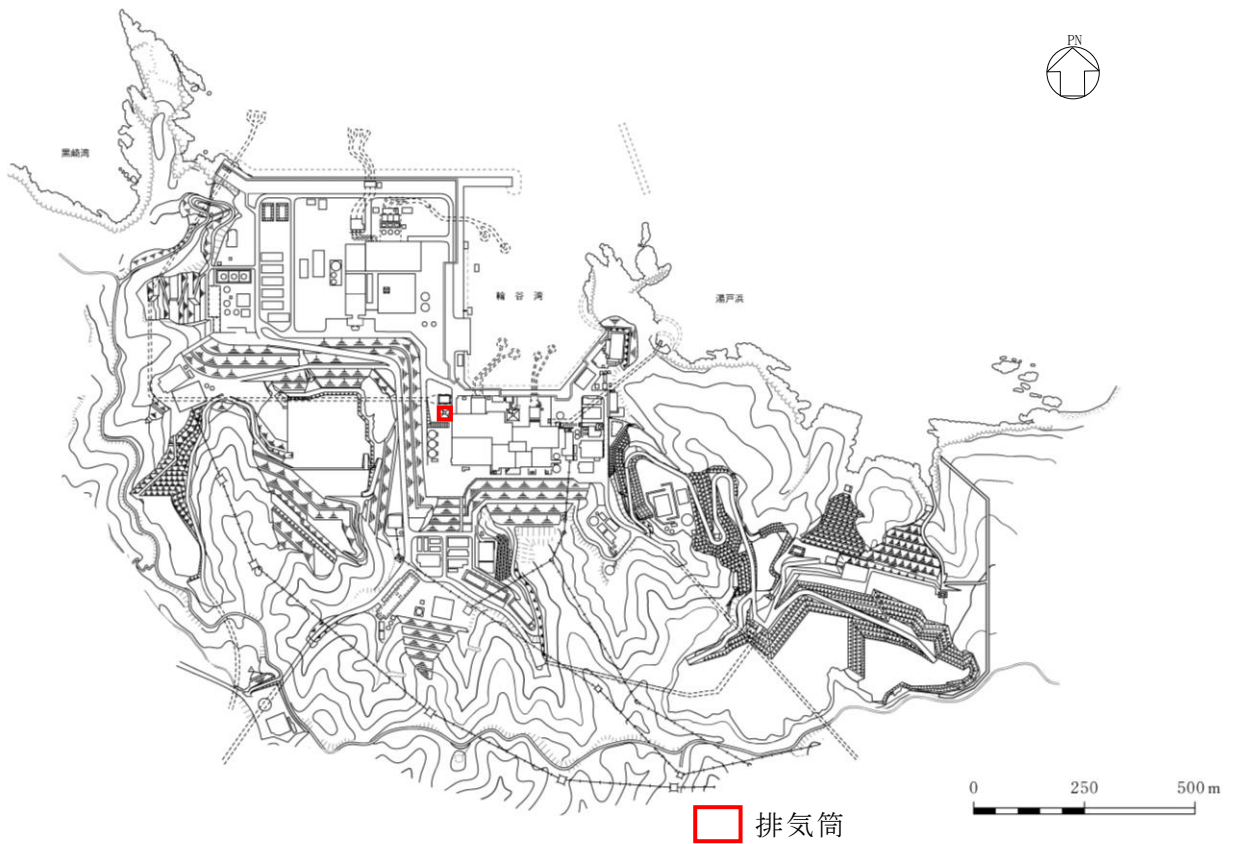


図 2-1 排気筒の設置位置

## 2.2 構造概要

排気筒は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

排気筒は、地盤からの高さ 120m である内径 3.3m の鋼板製筒身（排気筒（空調換気系用））を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。

排気筒の基礎は鉄筋コンクリート造であり、岩盤に直接設置している。

また、筒身外部には排気筒（非常用ガス処理系用）が筒身に支持されている。

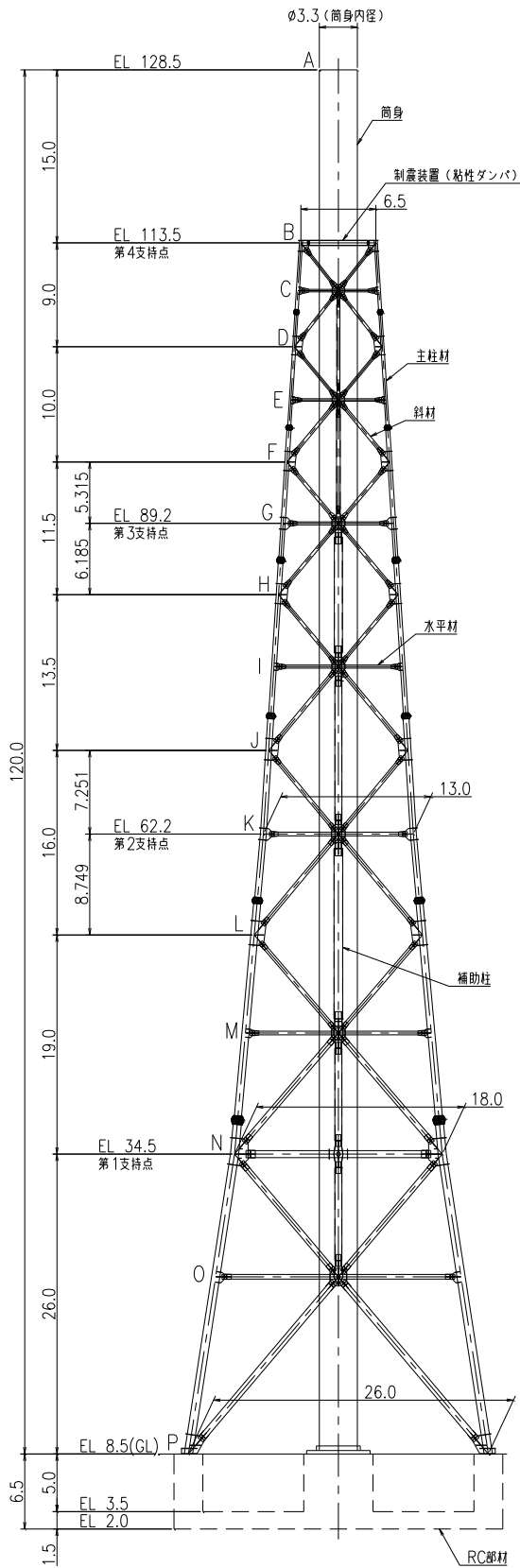
筒身は第 4 支持点位置（EL 113.5m\*）にて制振装置（粘性ダンパ）を介して鉄塔と接合されている。

排気筒の概要図を図 2-2 に示す。

### 構造概要

構造形状	鋼製鉄塔支持型（制震装置（粘性ダンパ）付）
排気筒の高さ	筒身 120.0m (EL 128.5m)
鉄塔高さ	105.0m (EL 113.5m)
鉄塔幅	頂 部 6.5m 根開き 26.0m
筒身支持点位置	EL 34.5m, EL 62.2m, EL 89.2m, EL 113.5m
基礎	鉄筋コンクリート造

注記\*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。



部材リスト (単位:mm)				
主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
-	-	-	10	-
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	H-450×300 x10×15*2	12	φ267.4×6.0
φ355.6×6.4	φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	10	φ318.5×6.0
φ406.4×7.9	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	12	φ711.2×7.9
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	10	φ609.6×12.7
φ609.6×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	12	φ762.0×12.7*3
φ711.2×12.7 8PLs-22x100*1	φ457.2×9.5	φ609.6×9.5	10	φ609.6×12.7*3
φ558.8×9.5	φ406.4×9.5	t=10	12	-
STK41 (STK400相当)				STK400
				SMA41A (SMA400A相当)

注記\*1: SS400材を示す。  
 \*2: SS41材 (SS400相当) を示す。  
 \*3: STK490材を示す。

(単位: m)

図 2-2 排気筒の概要図

### 2.3 評価方針

排気筒の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、排気筒が安全機能を損なわないことを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

排気筒の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから、筒身及び鉄塔を評価対象部位とする。具体的には、排気筒の構造強度評価については、排気筒の構造を踏まえ、設計荷重が排気筒に作用した場合に、排気筒頂部の最大水平変位に基づく排気筒の全体変形角及び脚部に作用する応力が「3.3 許容限界」に示す許容値を下回ることを確認する。また、排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材に対して、設計竜巻による設計飛来物が衝突するものとする。

なお、排気筒の有する安全機能を発揮すべき事象（運転時の異常な過渡変化または設計基準事故に伴う放射性物質の放出）が竜巻に起因して発生することはなく、筒身に損傷が生じた場合は安全上支障のない期間に補修する方針としていることから、排気筒の安全機能に対する影響はない。

排気筒の強度評価フローを図 2-3 に示す。

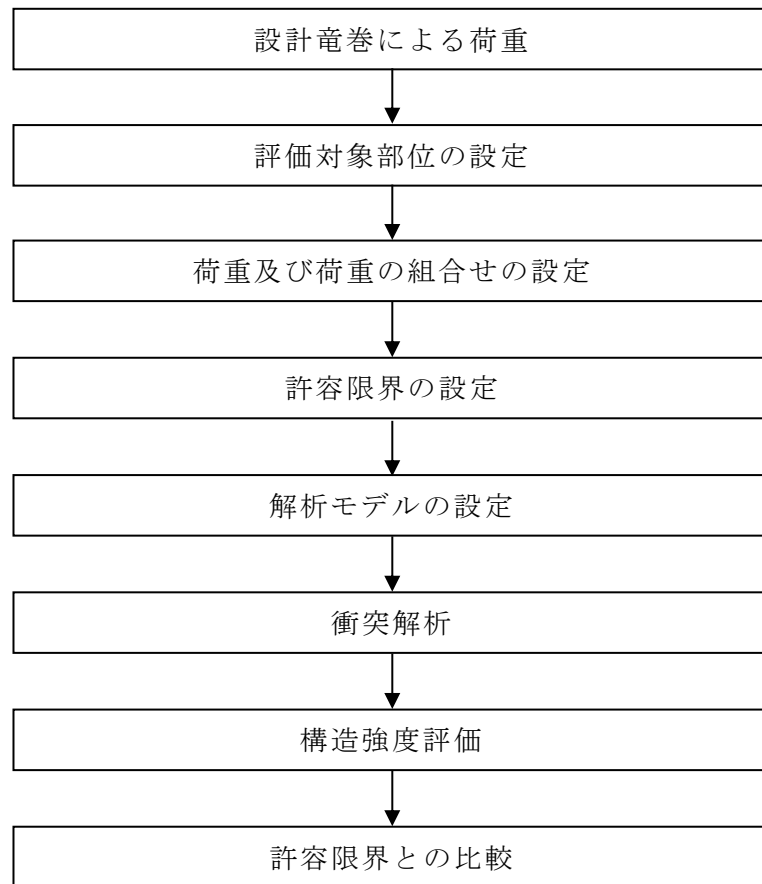


図 2-3 排気筒の強度評価フロー



## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8P (NEI 07-13) )
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ( (社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ( (社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 日本産業規格 ( J I S )
- ・ 動的繰返し大変形をうける溶接鋼構造物のぜい性破壊性能評価方法 (WES2808 : 2003) ( (社) 日本溶接協会)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・ 煙突構造設計施工指針 ( (財) 日本建築センター, 1982 年版)
- ・ 煙突構造設計指針 ( (社) 日本建築学会, 2007 制定)
- ・ 塔状鋼構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 1980 制定)
- ・ 鋼構造座屈設計指針 ( (社) 日本建築学会, 1996 改定)
- ・ 容器構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 改定)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

排気筒の評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価基準を踏まえ筒身及び鉄塔とする。

また、「2.3 評価方針」に示したとおり、鉄塔部材は設計飛来物の衝突を考慮することから、衝突させる部材としては、鉄塔を構成する主要部材である支柱材とし、健全時において風圧力（「3.2 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重 $W_w$ ）を作用させた際に、排気筒全体のせん断力及び曲げモーメントが最大となる最下層とする。なお、最下層の支柱材は鉄塔基礎部に直接荷重を伝達する部材である。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

##### 3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ ( $N/m^2$ )
92	14	78	7500

(1) 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、鉄塔及び筒身自重の他に、制震装置（粘性ダンパ）、歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

(2) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法・同施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会）に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで、 } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

$W_w$  : 風圧力による荷重 (N)

$q$  : 設計用速度圧 ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$G$  : ガスト影響係数

$C$  : 風力係数

$A$  : 鉄塔及び筒身の見付面積 ( $\text{m}^2$ ) (図 3-1 による)

$\rho$  : 空気密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_D$  : 最大風速 ( $\text{m}/\text{s}$ )

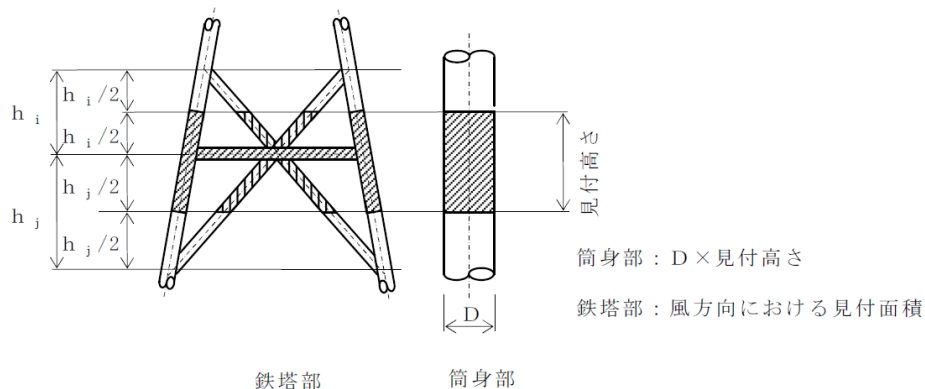


図 3-1 鉄塔及び筒身の見付面積  $A$

風圧力による荷重  $W_w$  の入力方法を図 3-2 に示す。風圧力による荷重が作用する方向は、 $0^\circ$  方向及び  $45^\circ$  方向とする。

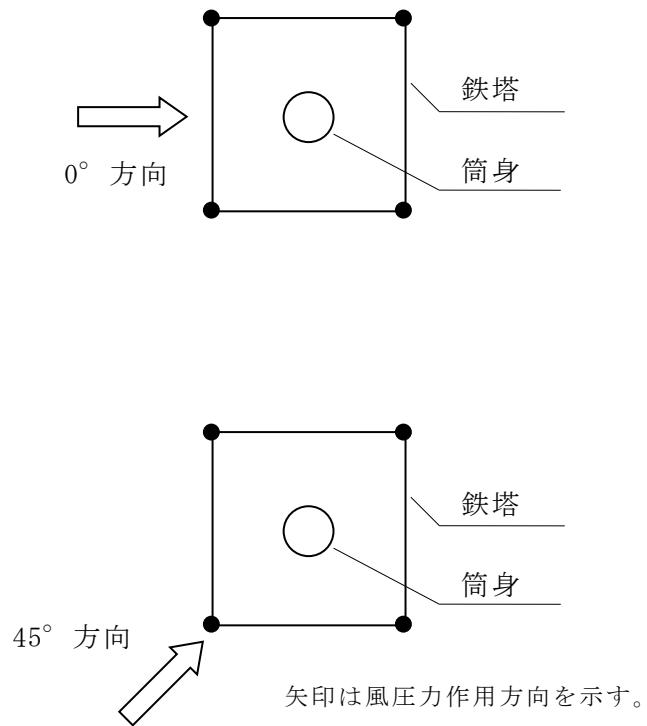


図 3-2 風圧力による荷重 $W_w$ の入力方法

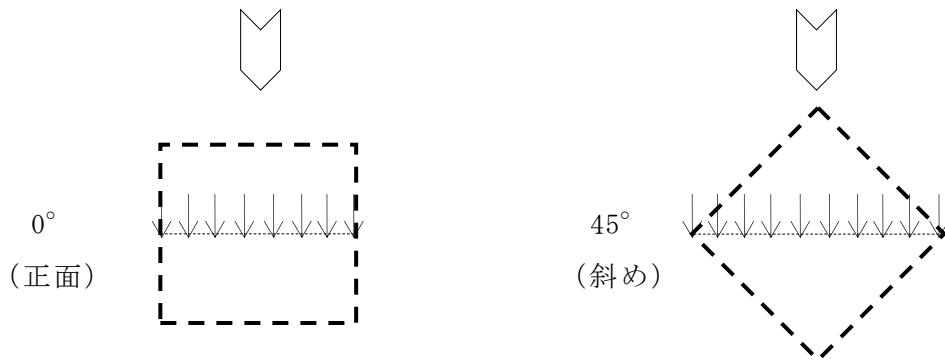
ここで、風力係数 $C$ は「平 12 建告第 1454 号」に基づき、鉄塔はラチス構造物として設定し、筒身は煙突その他の円筒形の構造物として $C = 0.9 \cdot k_z$  ( $k_z = 1.0$ ) とする。

鉄塔の風力係数の算出に必要なラチス構造物の風力係数の考え方を表 3-2 に、ラチス構造物の断面を図 3-3 に示す。

表 3-2 ラチス構造物の風力係数の考え方

風圧力による 荷重の作用方向	$\phi$		
	(1)	(2)	(3)
	0.1 以下	0.1 を超え 0.6 未満	0.6
0° 方向	$2.2 \cdot k_z$	(1) と (3) とに掲げる数値を 直線的に補間した数値	$1.5 \cdot k_z$
45° 方向	$1.7 \cdot k_z$		$1.3 \cdot k_z$

注： $\phi$ （充実率）は風を受ける部分の最外縁により囲まれる面積に対する見付面積の割合とし、 $k_z$ は1.0とする。



注：上図はラチスばり及びラチス柱の断面を表す。

風圧力作用面積としては、 $\Sigma$  の作用する方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3-3 ラチス構造物の断面

(3) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重は、表 3-3 に示す諸元の設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、設計飛来物の材料定数を表 3-4 に示す。

表 3-3 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

表 3-4 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼製材	245	2.06×10 <sup>5</sup>	0.3

### 3.2.2 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

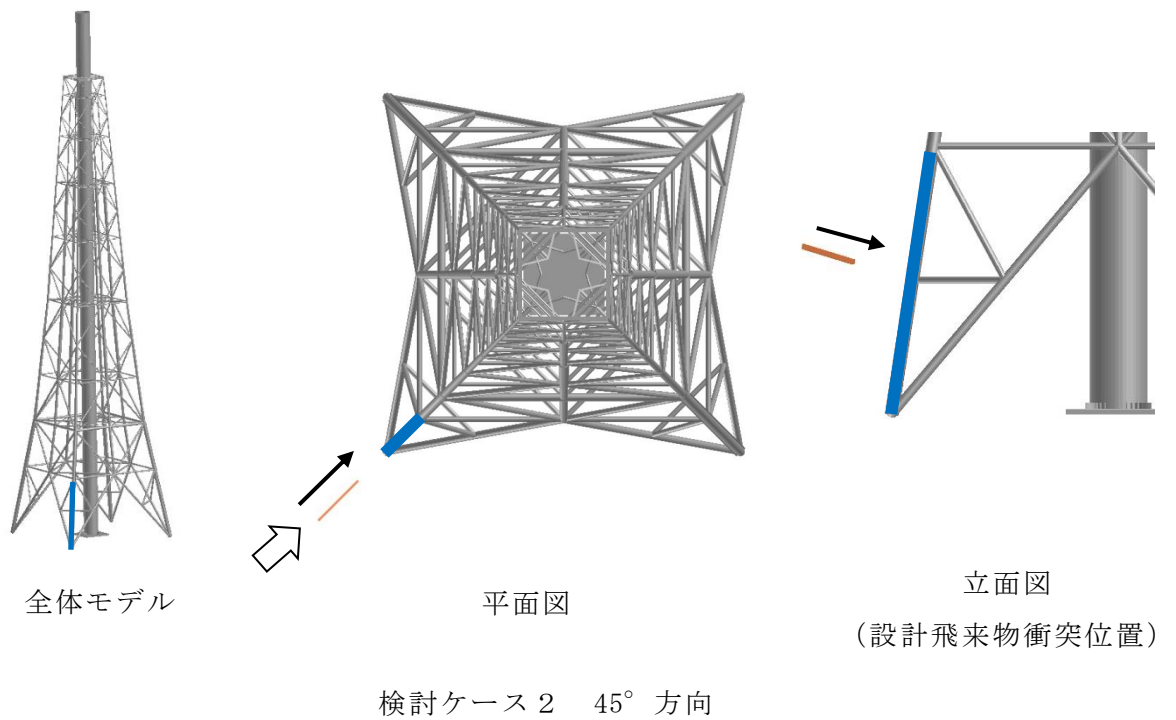
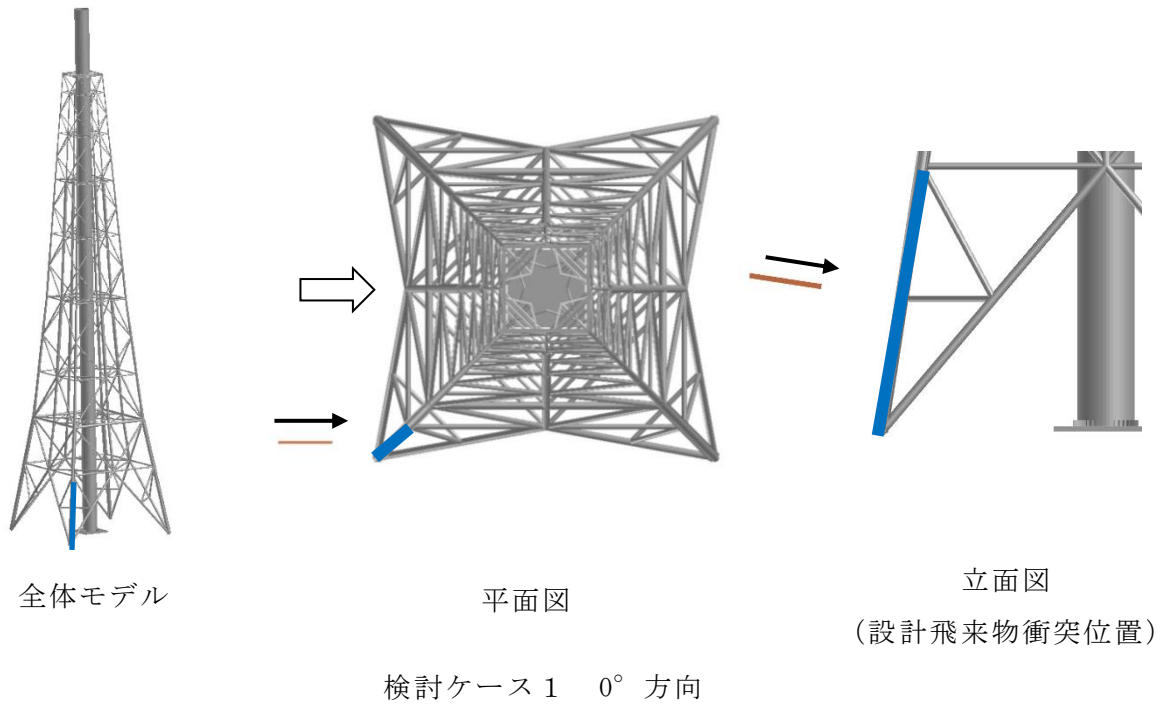
$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

なお、排気筒は大気中に開かれており、排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため、気圧差による荷重は考慮しない ( $W_P = 0$ )。したがって、設計竜巻による複合荷重 $W_T$ は $W_{T1} = 0$  となり、 $W_{T2} = W_W + W_M$ とし、 $0^\circ$  方向と  $45^\circ$  方向の荷重に対して、常時作用する荷重 ( $F_d$ ) を考慮した設計荷重を用いて検討を実施する。

また、「3.1 評価対象部位」に示したとおり、設計飛来物の衝突を考慮する箇所については、鉄塔部の最下層支柱材の中央部とし、設計飛来物は  $0^\circ$  及び  $45^\circ$  方向から衝突するものとする。なお、支柱材の損傷が最も大きくなるよう、設計飛来物は衝突面積が最小となる面を衝突させるものとする。

排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材を図 3-4 に、複合荷重の作用方向を図 3-5 に示す。



: 風圧力による風荷重作用方向       : 設計飛来物衝突を考慮する部材  
 : 設計飛来物の衝突方向                       : 設計飛来物 (鋼製材)

図 3-4 排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材



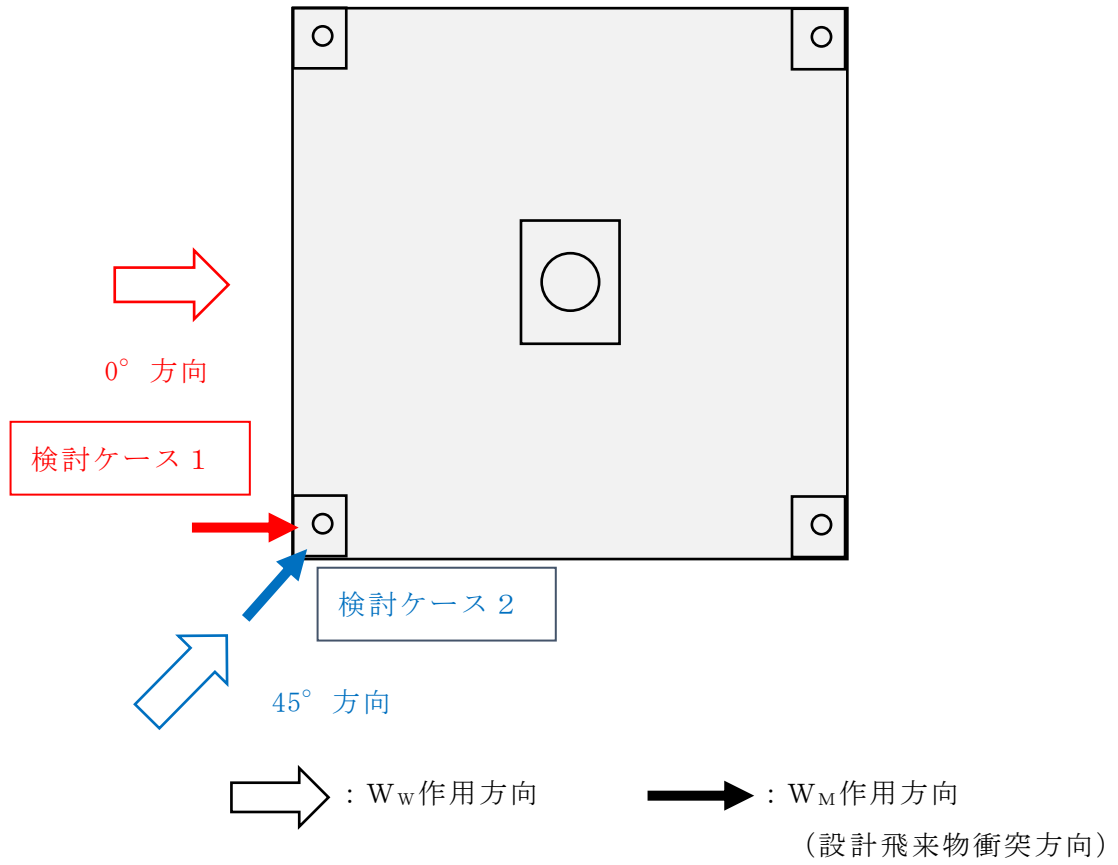


図 3-5 複合荷重の作用方向

### 3.3 許容限界

#### (1) 排気筒

排気筒の許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.1 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

筒身及び鉄塔は、構造強度を確保するための十分な余裕を持った許容限界として「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」に基づき 1/120 を許容限界とし、3 次元 FEM モデルによる変形評価において、頂部変位を高さで除した全体変形角が許容限界を超えないことを確認する。

筒身及び鉄塔の評価における許容限界を表 3-5 に示す。

表 3-5 筒身及び鉄塔の評価における許容限界

機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
構造強度を有すること	筒身及び鉄塔	全体変形角が構造強度を確保するための許容限界を超えないこと	全体変形角 1/120

## (2) 鉄塔脚部及び筒身脚部

鉄塔脚部及び筒身脚部の鋼材は、J I S G 3 1 0 1で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400 (SS41) \*及び J I S G 3 1 0 6で規定される溶接構造用圧延鋼材 SM400A 及び SM490A を使用する。

また、基礎で使用するコンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度  $F_c$  は  $20.6 \text{ N/mm}^2$  とする。

各使用材料の許容応力度を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

注記\* : ( ) 内は従来表記を示す。

表 3-6 鋼材及びアンカーボルトの許容応力度

板厚	材料	基準強度 $F$ ( $\text{N/mm}^2$ )	許容応力度*
$t \leq 40 \text{ mm}$	SS400 (SS41) SM400A	235	許容応力度は $F$ 値より求める。
	SM490A	325	

注記\* : 各使用材料の許容限界は許容応力度とする。なお、許容限界は終局耐力に対して  
 妥当な裕度を有する弾性限強度を用い、鋼材の基準強度  $F$  を「平 12 建告第 2464  
 号」に準拠して  $1.1F$  と読み替える。

注 : アンカーボルトは公称軸径を板厚と読み替える。

表 3-7 コンクリートの許容応力度

(単位 :  $\text{N/mm}^2$ )

$F_c = 20.6$	圧縮	せん断	付着*	
			上端筋	その他
長期	6.8	0.68	0.72	0.90
短期	13.6	1.02	1.05	1.35

注記\* : 付着は丸鋼の許容付着応力度とし、脚部のアンカーボルトの検討に用いる。

### 3.4 評価方法

#### (1) 排気筒に対する検討

排気筒の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」を踏まえて、3次元FEMモデルでモデル化し衝突評価を実施する。

衝突解析には、解析コード「Virtual Performance Solution」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

排気筒及び設計飛来物（鋼製材）はシェル要素でモデル化する。排気筒の衝突解析モデルを図3-6に、設計飛来物（鋼製材）の解析モデルを図3-7に、解析モデルの境界条件を図3-8に、衝突部の拡大図を図3-9に示す。

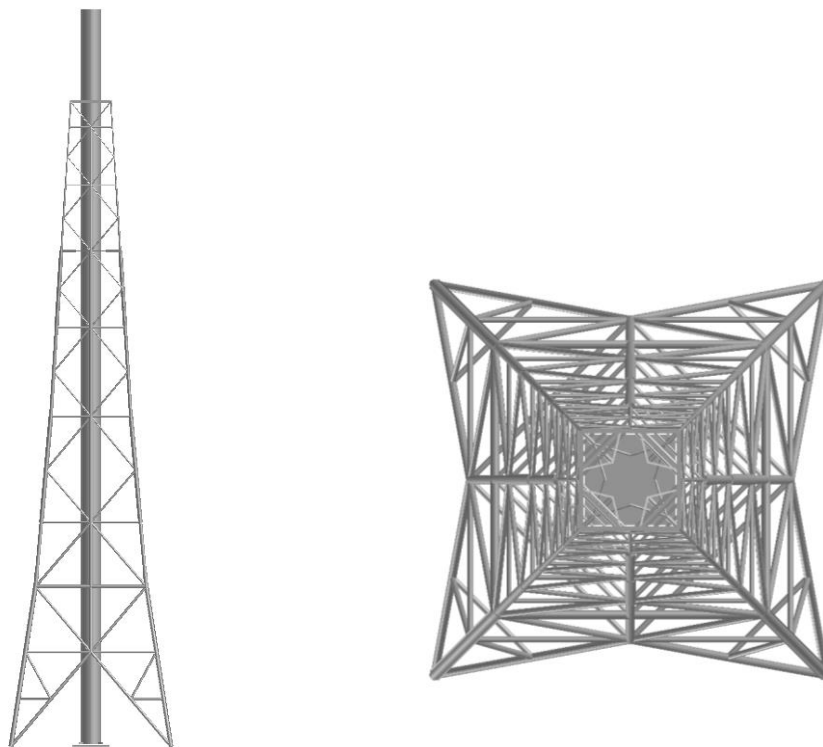
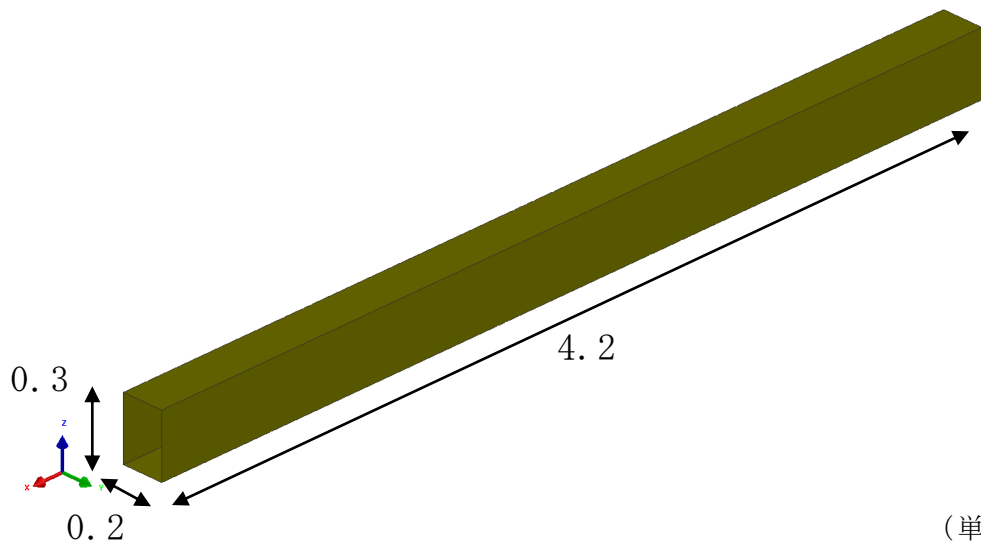


図3-6 排気筒の衝突解析モデル



(単位：m)

図 3-7 設計飛来物（鋼製材）の解析モデル

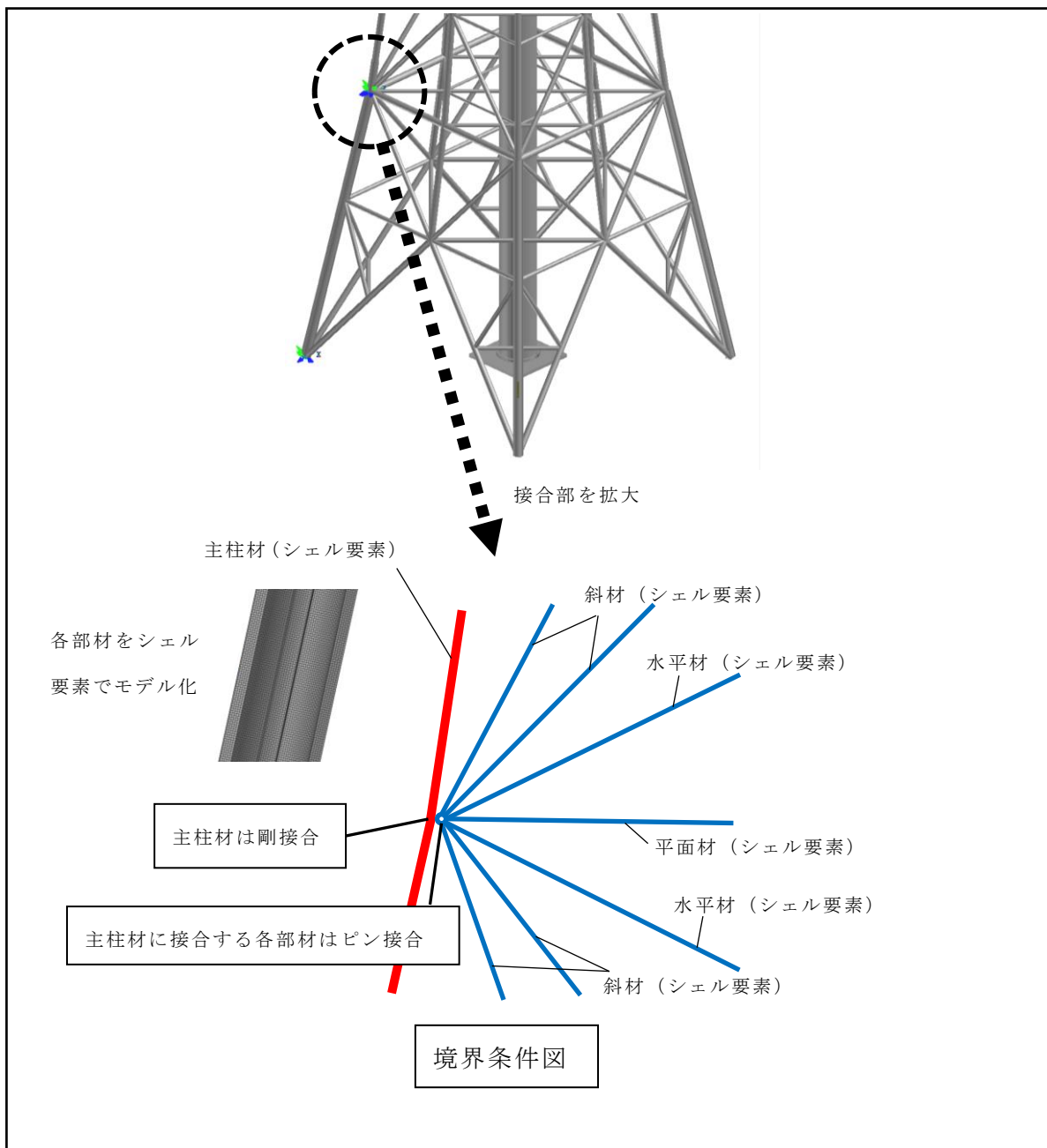


図 3-8(1) 解析モデルの境界条件

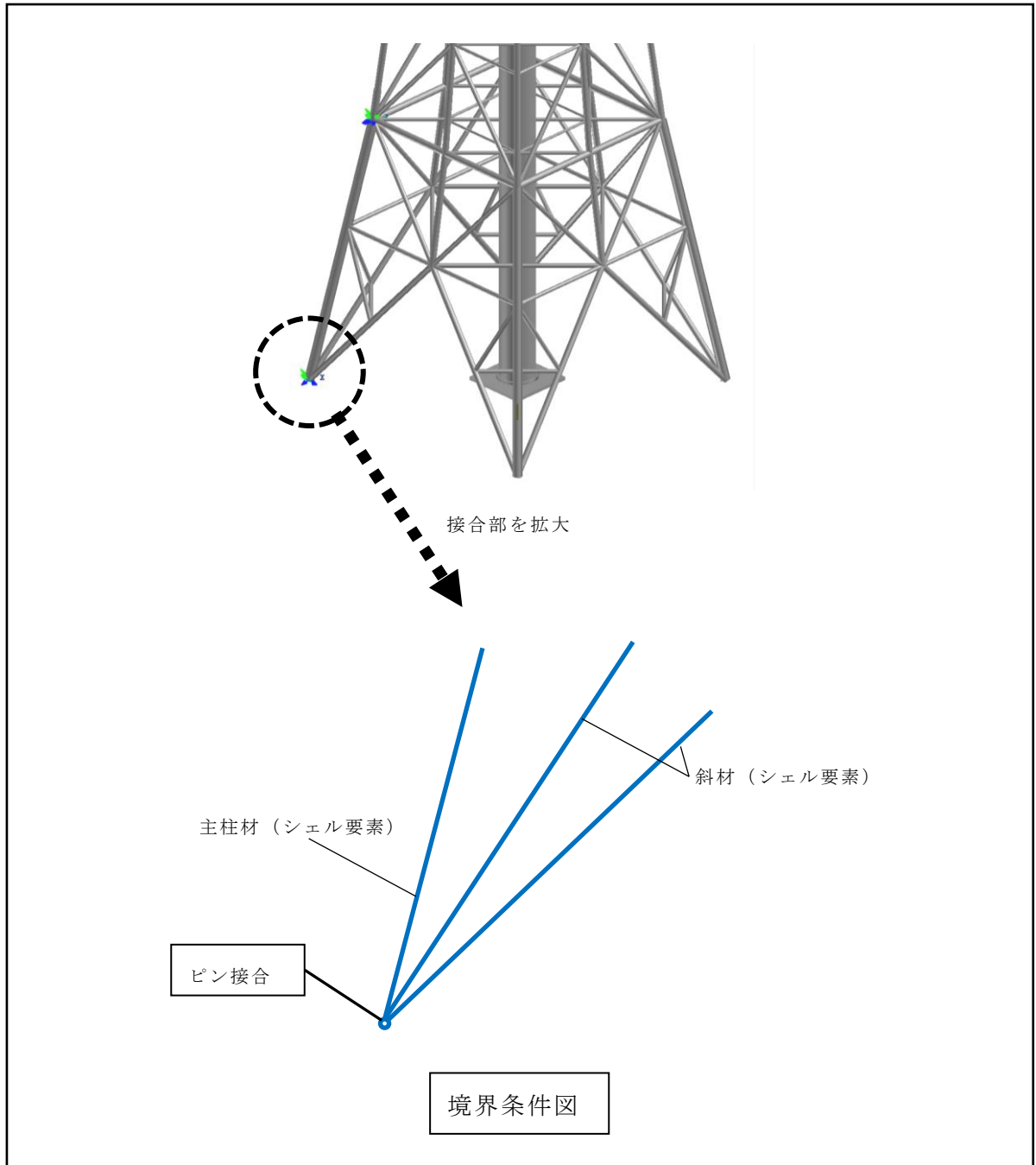


図 3-8(2) 解析モデルの境界条件

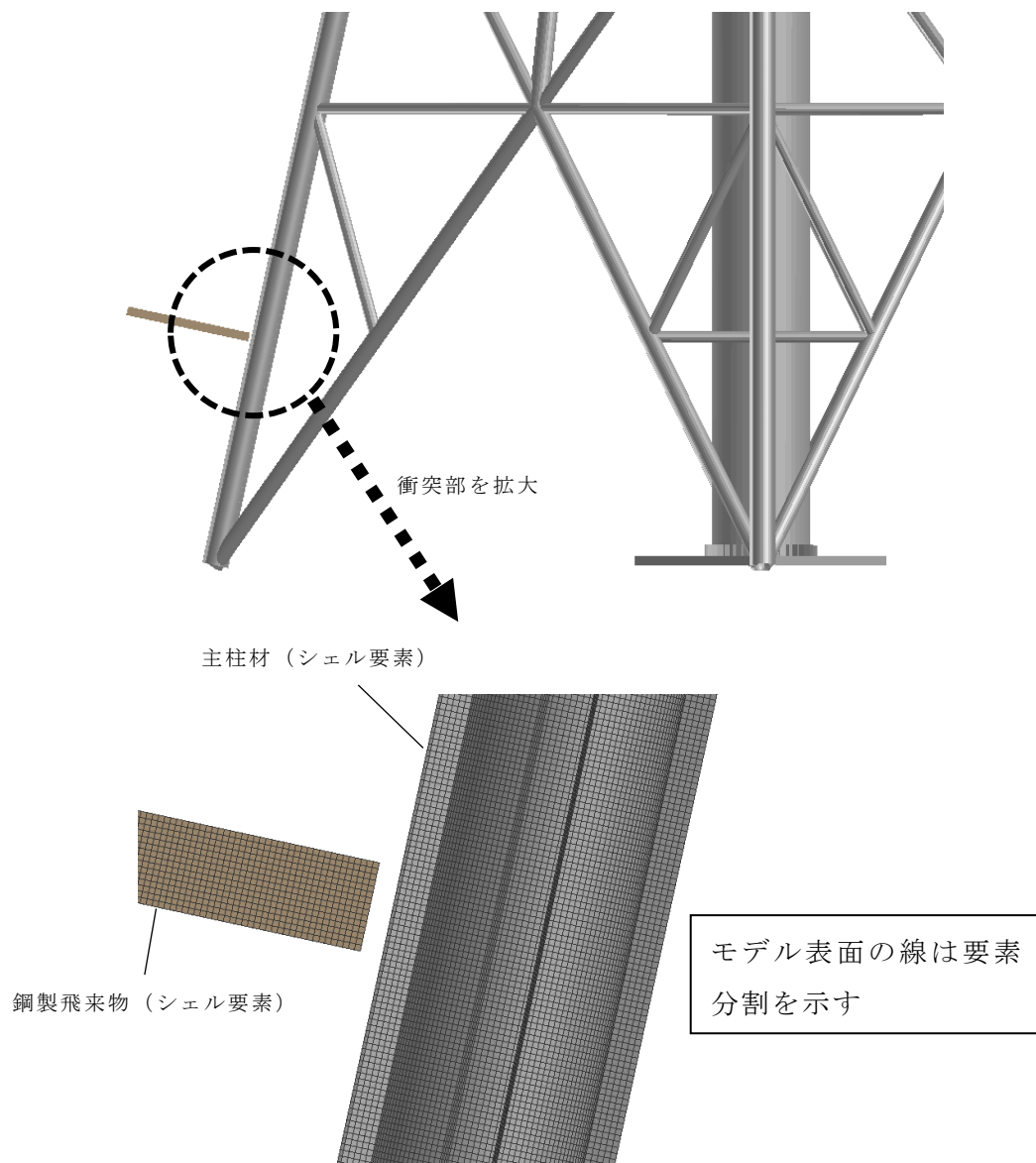


図 3-9 衝突部の拡大図



(2) 鉄塔脚部及び筒身脚部に対する検討

鉄塔脚部及び筒身脚部の断面算定に用いる評価用応力は、立体架構モデルを用いた応力解析により得られた脚部反力を用いて算定する。

各使用材料の許容限界は許容応力度とする。許容限界は終局耐力に対して妥当な裕度を有する弾性限強度を用い、鋼材の基準強度  $F$  を「平 12 建告第 2464 号」に準拠して  $1.1F$  と読み替える。

鉄塔脚部及び筒身脚部の概要図を図 3-10 及び図 3-11 に、評価用応力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

なお、鉄塔脚部は補強を行っており、保守的に既設部の断面には期待せず、補強部のみの評価を行う。

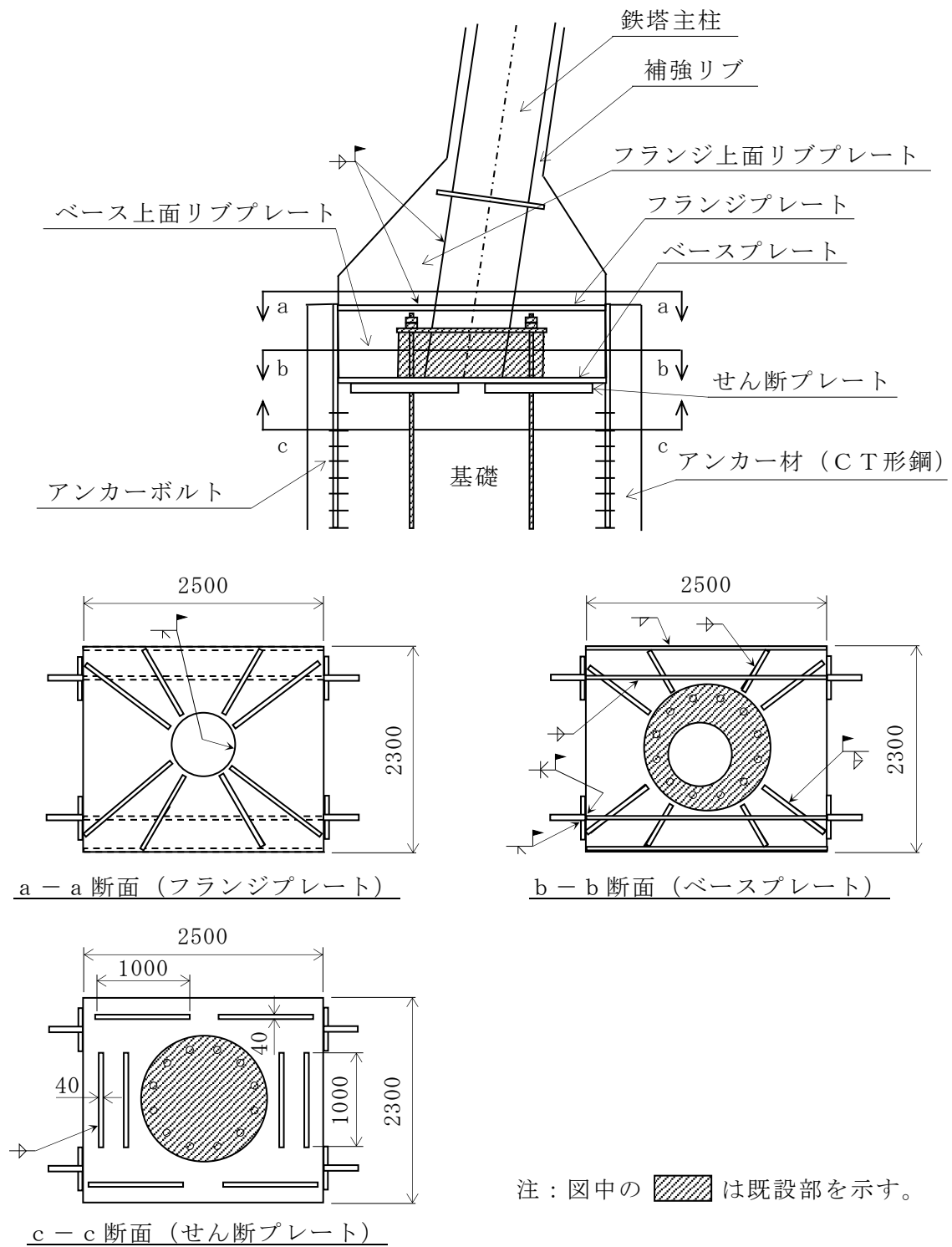


図 3-10 鉄塔脚部の概要図 (単位: mm)

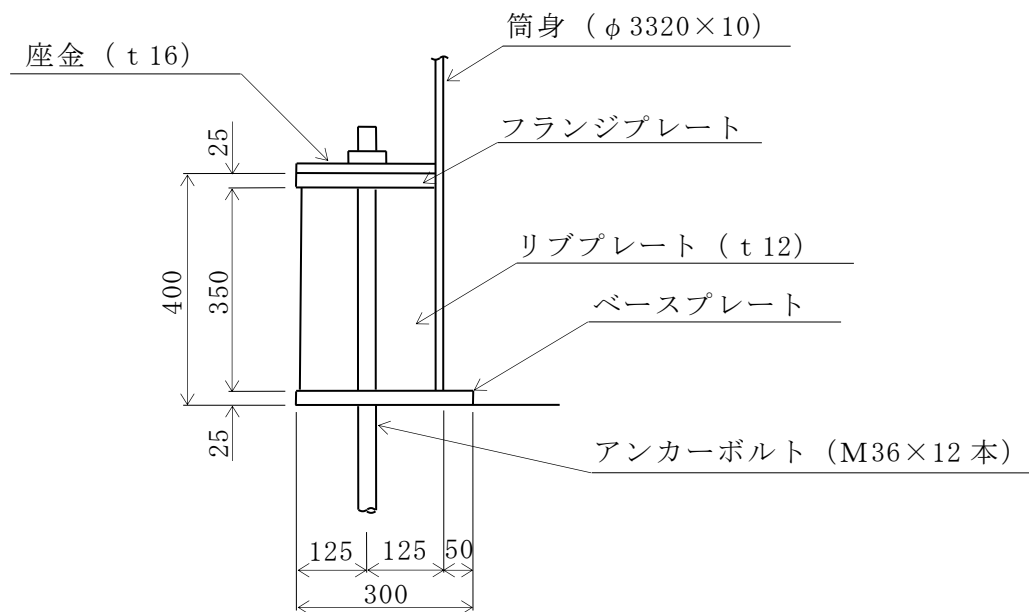


図 3-11 筒身脚部の概要図 (単位 : mm)

表 3-8 鉄塔脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース 1 ( 0° 方向)	6117.5	-4477.6	2349.5	0.0
ケース 2 (45° 方向)	9310.1	-7567.8	3600.1	0.0

注記\* : 圧縮を正とする。

表 3-9 筒身脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース 1 ( 0° 方向)	1638.4	0.0	334.8	3005.4
ケース 2 (45° 方向)	1605.6	0.0	340.6	3253.5

注記\* : 圧縮を正とする。

4. 評価条件

(1) 使用材料及び風圧力の算定

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として、評価対象部位の材料定数を表 4-1 に、風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件を表 4-2 に、算出した風圧力による荷重 $W_w$ （鉄塔及び筒身）を表 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-1 評価対象部位の材料定数

材質	厚さ (mm)	E (MPa)	ポアソン比 (-)	$\sigma_{Y0}$ (MPa)	$\sigma_{T0}$ (MPa)	$\varepsilon'$ (-)	E' (MPa)
SS400		$2.06 \times 10^5$	0.3		400		
		$2.06 \times 10^5$	0.3		400		
SMA400AP		$2.06 \times 10^5$	0.3		400		
STK400		$2.06 \times 10^5$	0.3		400		
STK490		$2.06 \times 10^5$	0.3		490		

記号の説明

- E : 縦弾性係数
- $\sigma_{Y0}$  : 基準ひずみ速度時の降伏応力
- $\sigma_{T0}$  : 基準ひずみ速度時の引張強さ
- $\varepsilon'$  : 破断ひずみ
- E' : 塑性硬化係数

表 4-2 風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト影響係数 $G$	構造物の高さ $H$ (m)	設計用速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )
92	1.226	1.0	鉄塔：105 筒身：120	5188

表 4-3 風圧力による荷重 $W_w$  (鉄塔)

高さ EL (m)	ケース 1 (0° 方向)			ケース 2 (45° 方向)		
	見付面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	風力係数 $C$	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)	見付面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	風力係数 $C$	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)
113.5	5.2	1.88	51	7.9	1.49	61
109.4	10.4	2.06	111	17.2	1.59	142
99.9	16.4	2.07	176	27.8	1.59	229
89.2	24.9	2.04	264	42.4	1.57	345
76.8	33.2	2.04	351	57.0	1.57	464
62.2	45.6	2.05	485	77.7	1.58	637
45.0	45.9	2.06	491	77.3	1.58	634
34.5	46.3	2.02	485	75.5	1.56	611
23.9	53.5	2.08	577	86.3	1.61	721
8.5	25.4	2.16	285	41.4	1.66	357

表 4-4 風圧力による荷重 $W_w$  (筒身)

高さ EL (m)	ケース 1 (0° 方向)			ケース 2 (45° 方向)		
	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風力係数 C	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風力係数 C	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)
128.5	24.9	0.90	116	24.9	0.90	116
113.5	31.8	0.90	148	31.8	0.90	148
109.4	23.0	0.90	107	23.0	0.90	107
99.9	33.2	0.90	155	33.2	0.90	155
89.2	38.1	0.90	178	38.1	0.90	178
76.8	44.8	0.90	209	44.8	0.90	209
62.2	53.1	0.90	248	53.1	0.90	248
45.0	45.7	0.90	213	45.7	0.90	213
34.5	35.1	0.90	164	35.1	0.90	164
23.9	42.7	0.90	199	42.7	0.90	199
8.8	25.0	0.90	117	25.0	0.90	117

(2) 材料の非線形特性

a. 材料の応力-ひずみの関係

材料モデルでは、排気筒の破断ひずみを設定し、破断ひずみを超えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。鋼材の応力-ひずみ関係はバイリニア型とし、降伏後の塑性硬化係数（2次係数 $E'$ ）は、表4-1に示す値とする。材料に適用する応力-ひずみの関係を図4-1に示す。

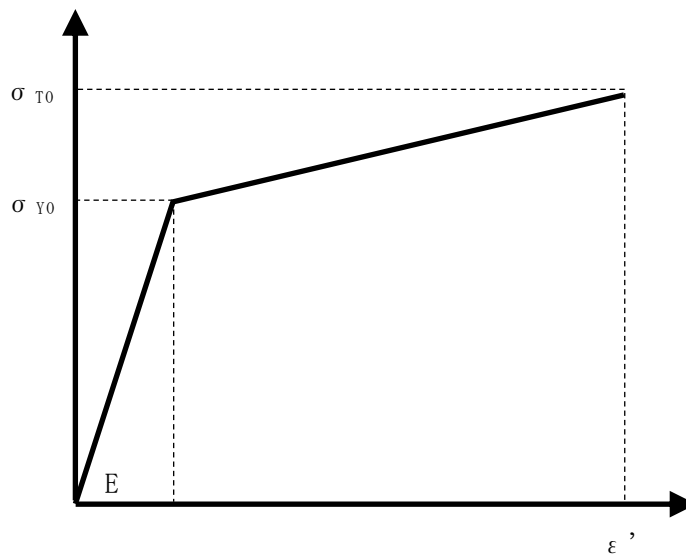


図4-1 排気筒及び飛来物（鋼製材）の応力-ひずみ線図

b. ひずみ速度効果

竜巻による飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、ひずみ速度効果を考慮することとし、以下に示す日本溶接協会の推定式から得られる動的増大効果を線形補間し設定する。

$$\sigma_Y = \sigma_{Y0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{Y0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{T0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$

ここで、

E : 縦弾性係数 (MPa)

$\sigma_Y$  : 想定するひずみ速度時の降伏応力 (MPa)

$\sigma_T$  : 想定するひずみ速度時の引張強さ (MPa)

$\sigma_{Y0}$  : 基準ひずみ速度時の降伏応力 (MPa)

$\sigma_{T0}$  : 基準ひずみ速度時の引張強さ (MPa)

$\dot{\epsilon}$  : 想定するひずみ速度

$\dot{\epsilon}_0$  : 基準ひずみ速度

T : 想定するひずみ速度時の温度 (°C)

$T_0$  : 基準ひずみ速度時の温度 (°C)



c. 破断ひずみ

破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、「NEI 07-13」においてT F（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として2軸引張状態でT F = 2.0を考慮する。

なお、安全側の評価として、排気筒の破断ひずみを超えた要素は削除することとし、鋼製材の破断ひずみを超えた要素は削除せず、荷重を伝達するものとする。

材料ごとの破断ひずみを表4-5に示す。

表4-5 排気筒の破断ひずみ

評価対象	材質	J I S 規格値	T F	破断ひずみ
排気筒	SS400		2.0	
	SS400		2.0	
	SMA400A		2.0	
	STK400		2.0	
	STK490		2.0	

## 5. 強度評価結果

### 5.1 排気筒の評価結果

「3.4 評価方法」に基づいた排気筒の評価結果を表 5-1 に示す。

筒身及び鉄塔について、いずれのケースにおいても許容値を満足していることを確認した。

表 5-1 筒身及び鉄塔の評価結果

検討ケース	評価対象部位	最大変形角	許容限界
ケース 1 (0° 方向)	筒身	1/292	1/120
	鉄塔	1/343	1/120
ケース 2 (45° 方向)	筒身	1/360	1/120
	鉄塔	1/426	1/120

## 5.2 鉄塔脚部の評価結果

### (1) せん断プレートの評価

#### a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

せん断プレートの概要図を図 5-1 に示す。

鉄塔脚部に作用する水平力は、せん断プレートの抵抗力によって基礎に伝達される。ここでは、せん断プレート側面のコンクリートについて、せん断プレートを介して圧縮応力度が作用するものとして評価を行う。評価においては、鉄塔脚部に作用する水平力を各方向 4 枚のせん断プレートで均等に負担するものとする。

$$f_c = 13.6 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_s = \frac{Q}{n} = \frac{3600.1}{4} = 900 \text{ kN/枚}$$

$$\sigma_c = \frac{Q_s}{L \cdot b}$$

ここで、

$f_c$  : コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_s$  : せん断プレート 1 枚あたりの水平力 (kN/枚)

$Q$  : 鉄塔脚部のせん断力 (kN)

$n$  : せん断プレートの枚数 (枚)

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$L$  : せん断プレートの長さ (mm)

$b$  : せん断プレートの幅 (深さ) (mm)

以上より、

$$\sigma_c = \frac{900 \times 1000}{1000 \times 80} = 11.3 \text{ N/mm}^2 \leq 13.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

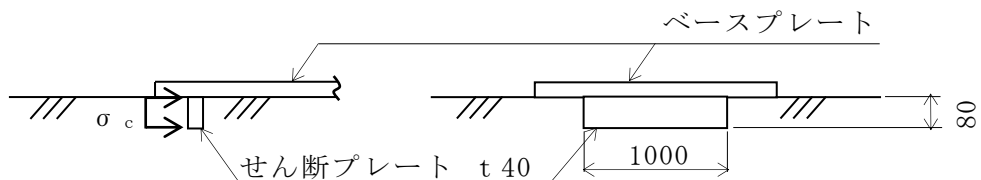


図 5-1 せん断プレートの概要図 (単位: mm)

b. せん断プレートの曲げ応力度に対する評価

ここでは、せん断プレートの曲げ応力度の評価を行う。評価においては、鉄塔脚部に作用する水平力を各方向4枚のせん断プレートで均等に負担するものとする。また、水平力の作用位置は、せん断プレートの幅（深さ）方向の中央に作用するものとする。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$M_s = Q_s \cdot \frac{b}{2} = 900 \times \frac{80}{2} = 36000 \text{ kN}\cdot\text{mm/枚}$$

$$Z = \frac{L \cdot t^2}{6} = \frac{1000 \times 40^2}{6} = 267000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = \frac{M_s}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : 鋼材の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_s$  : せん断プレート1枚あたりの曲げモーメント (kN・mm/枚)

$Q_s$  : せん断プレート1枚あたりの水平力 (kN/枚)

$b$  : せん断プレートの幅（深さ） (mm)

$L$  : せん断プレートの長さ (mm)

$t$  : せん断プレートの板厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z$  : せん断プレートの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{36000 \times 1000}{267000} = 135 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

## (2) フランジプレート及びベースプレートの評価

## a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

コンクリートに作用する圧縮力の概要図を図 5-2 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して、ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、圧縮力がウェブプレート間の図 5-2 に示すコンクリート圧縮領域に作用するものとする。

$$f_c = 13.6 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 2 \cdot L \cdot L_b = 2 \times 382 \times 2500 = 1910000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

ここで、

$f_c$  : コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A$  : 圧縮領域の面積 (mm<sup>2</sup>)

$L$  : ウェブプレート間の距離 (mm)

$L_b$  : ベースプレートの長さ (mm)

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N_c$  : 鉄塔脚部の圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_c = \frac{9310.1 \times 1000}{1910000} = 4.9 \text{ N/mm}^2 \leq 13.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

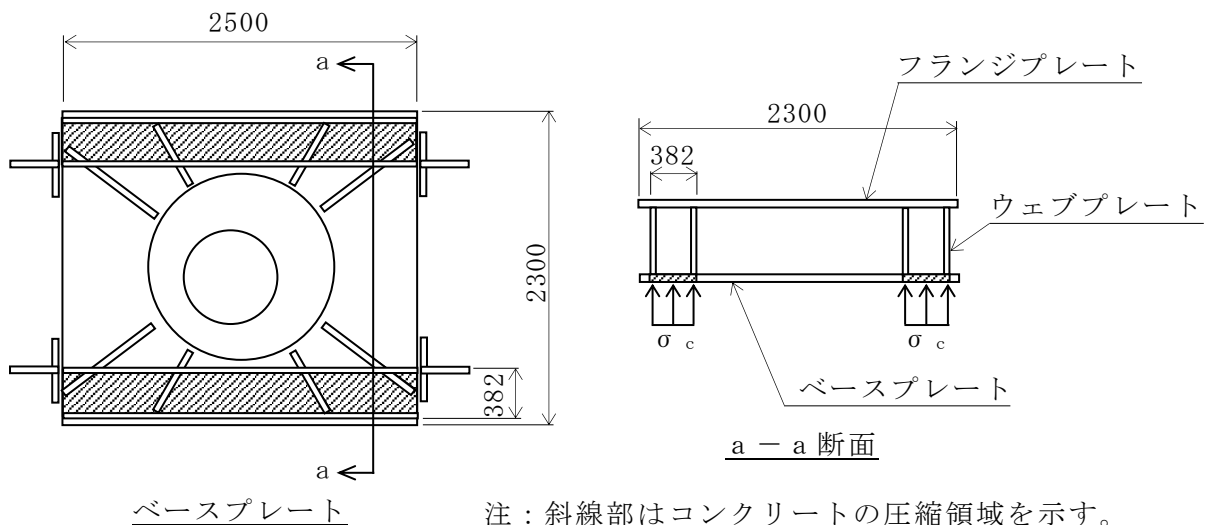


図 5-2 コンクリートに作用する圧縮力の概要図 (単位: mm)

- b. フランジプレート、ベースプレート及びウェブプレートの曲げ応力度及びせん断応力度に対する評価

フランジプレート、ベースプレート及びウェブプレートから成る合成断面の概要図を図 5-3 に、荷重及び支持条件を図 5-4 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、図 5-3 に示す合成断面の曲げ応力度及びせん断応力度の評価を行う。評価においては、引張力が図 5-4 に示す単純支持梁の中央部に集中荷重として作用するものとする。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{357}{\sqrt{3}} = 206 \text{ N/mm}^2$$

$$M_f = \frac{(N_t / 2) \cdot L_{br}}{4} = \frac{(7567.8 / 2) \times 2500}{4} = 2365000 \text{ kN}\cdot\text{mm}$$

$$Z_{min} = 12400000 \text{ mm}^3$$

$$A_s = t_{br} \cdot h_{br} = 22 \times 620 = 13640 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M_f}{Z_{min}}$$

$$\tau = \frac{N_t / 4}{A_s}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- $f_b$  : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $f_s$  : 鋼材の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F$  : 鋼材の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_f$  : 評価断面における曲げモーメント (kN・mm)
- $N_t$  : 鉄塔脚部の引張力 (kN)
- $L_{br}$  : ウェブプレートの長さ (mm)
- $Z_{min}$  : 合成断面の最小断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A_s$  : 合成断面のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $t_{br}$  : ウェブプレートの板厚 (mm)
- $h_{br}$  : ウェブプレートの高さ (mm)
- $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より,

$$\sigma_b = \frac{2365000 \times 1000}{12400000} = 191 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

$$\tau = \frac{7567.8 / 4 \times 1000}{13640} = 139 \text{ N/mm}^2 \leq 206 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} = 308 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

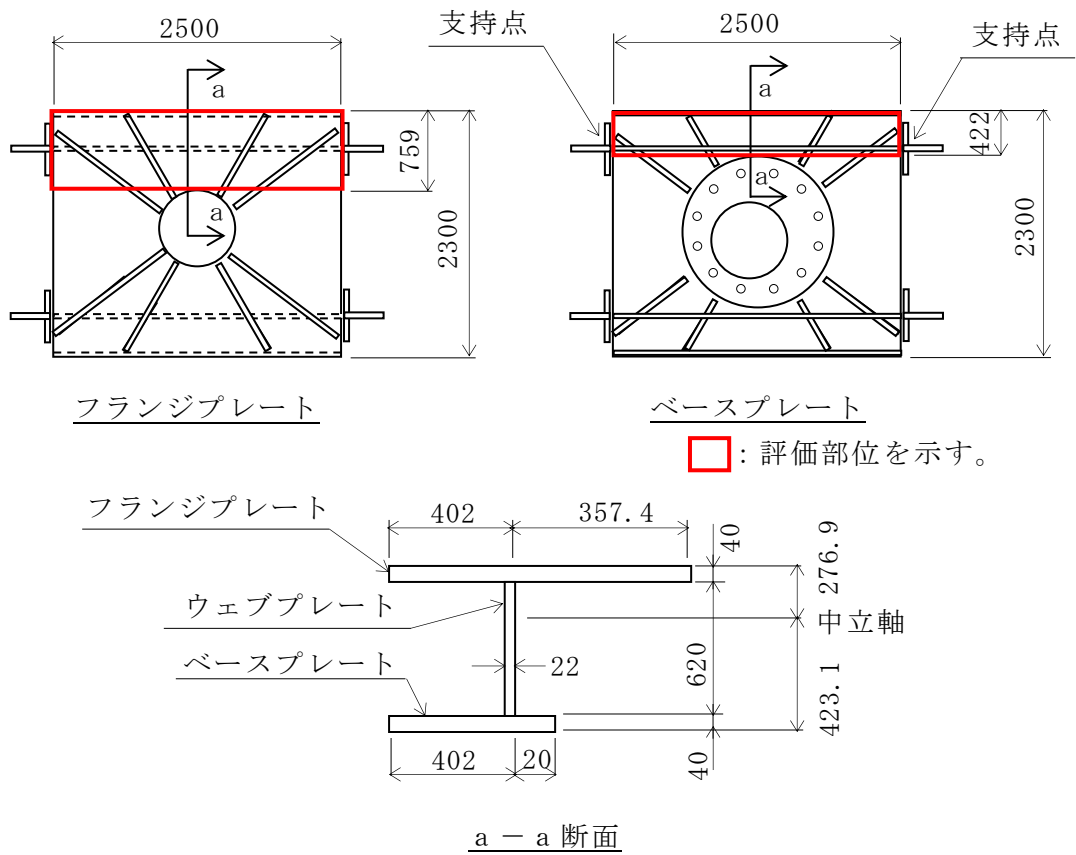
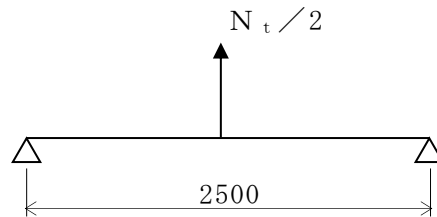


図 5-3 フランジプレート、ベースプレート及びウェブプレートから成る合成断面の概要図 (単位: mm)



注: アンカー材 (C T形鋼) の位置を支点とする。

図 5-4 荷重及び支持条件 (単位: mm)

c. ベースプレート圧縮領域の曲げ応力度に対する評価

ベースプレートに作用する圧縮力の概要図を図5-5に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して、ベースプレートの圧縮領域の曲げ応力度の評価を行う。評価においては、圧縮領域はウェブプレート間とし、その間のベースプレートの評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$M_b = \sigma_c \cdot \frac{L^2}{8} = 4.9 \times \frac{382^2}{8} = 89380 \text{ N}\cdot\text{mm/mm}$$

$$Z = \frac{t^2}{6} = \frac{40^2}{6} = 267 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : 鋼材の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_b$  : ベースプレート圧縮領域の曲げモーメント (N・mm/mm)

$\sigma_c$  : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$L$  : ウェブプレート間の距離 (mm)

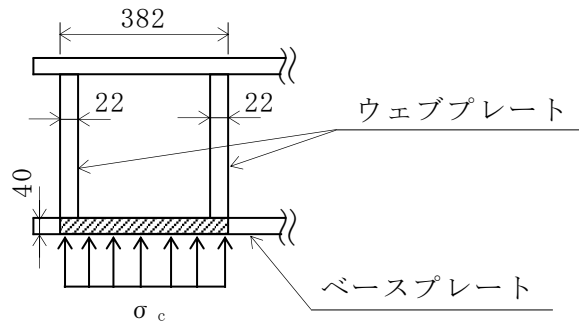
$Z$  : ベースプレート圧縮領域の単位幅あたりの断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

$t$  : ベースプレートの板厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{89380}{267} = 335 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



注：斜線部はベースプレートの圧縮領域を示す。

図5-5 ベースプレートに作用する圧縮力の概要図 (単位: mm)



(3) ベース上面リブプレートの評価

a. ベース上面リブプレートの圧縮応力度に対する評価

ベース上面リブプレートの概要図を図 5-6 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して、ベース上面リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、ベース上面リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。許容座屈応力度は図 5-6 に示す代表とするリブプレートにより算定する。

$$F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$K_r = 0.42 + \left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42 + \left(\frac{645}{620}\right)^2 = 1.502$$

$$\begin{aligned}\sigma_{rk} &= \frac{K_r}{\mu_r} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2 \\ &= \frac{1.502}{1.5} \times \pi^2 \times \frac{205000}{12 \times (1 - 0.3^2)} \times \left(\frac{22}{645}\right)^2 = 215 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

よって、

$$\sigma_{rk} = 215 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{N_c}{4 \cdot t_r \cdot (b_{r1} + b_{r2})}$$

ここで、

F : 鋼材の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>) (F 値は 1.1 倍とする)

K<sub>r</sub> : 係数

b<sub>r</sub> : ベース上面リブプレートの幅 (mm)

h<sub>r</sub> : ベース上面リブプレートの高さ (mm)

σ<sub>rk</sub> : 許容座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (F と σ<sub>rk</sub> の小さい方の値をとる)

μ<sub>r</sub> : 座屈安全率 (1.5 とする)

E : 鋼材のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

ν : 鋼材のポアソン比

σ<sub>r</sub> : 座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

t<sub>r</sub> : ベース上面リブプレートの板厚 (mm)

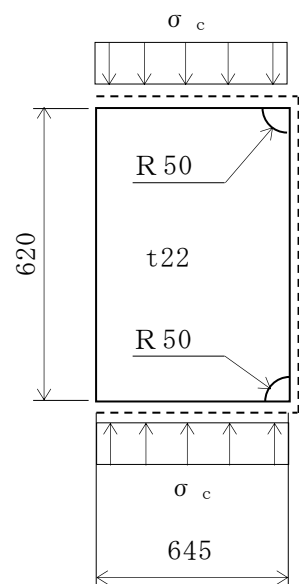
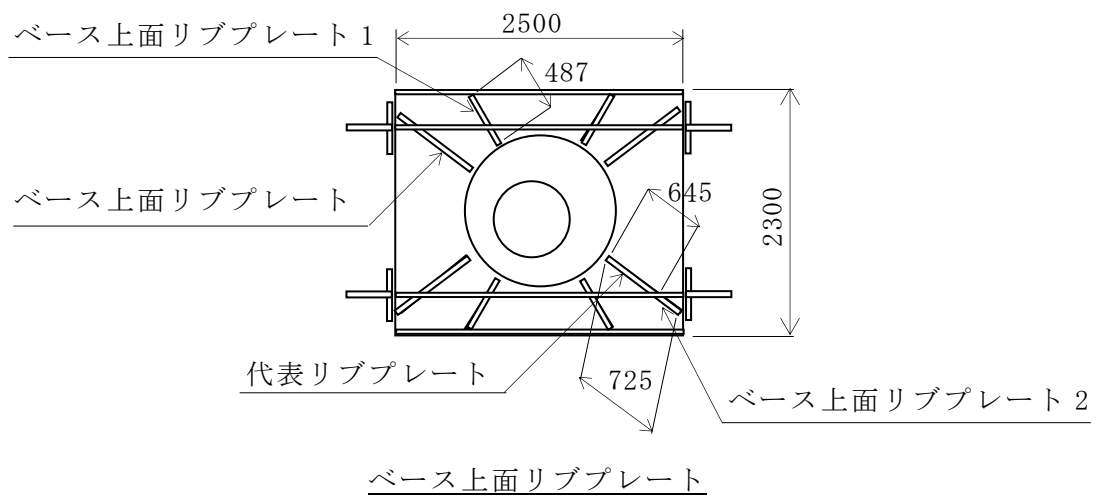
b<sub>r1</sub> : ベース上面リブプレート 1 の幅 (mm)

b<sub>r2</sub> : ベース上面リブプレート 2 の幅 (mm)

N<sub>c</sub> : 鉄塔脚部の圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_r = \frac{9310.1 \times 1000}{4 \times 22 \times (487 + 725)} = 88 \text{ N/mm}^2 \leq 215 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



代表とするリブプレートの計算モデル

図 5-6 ベース上面リブプレートの概要図 (単位: mm)

## (4) アンカー部の評価

## a. アンカー材（C T形鋼）の引張応力度に対する評価

アンカー材（C T形鋼）の概要図を図 5-7 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、アンカー材（C T形鋼）の引張応力度の評価を行う。評価においては、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、4本のアンカー材（C T形鋼）で均等に負担するものとする。

$$f_t = 1.1 \cdot F = 357 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{N_t}{n \cdot A_H}$$

$$\begin{aligned} A_H &= B_f \cdot t_f + (h_T - t_f) \cdot t_w - 2 \cdot D_b \cdot t_f \\ &= 422 \times 36 + (260 - 36) \times 36 - 2 \times 22 \times 36 = 21672 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ここで、

- $f_t$  : 許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F$  : 鋼材の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $n$  : アンカー材の本数 (本)
- $N_t$  : 鉄塔脚部の引張力 (kN)
- $\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $A_H$  : アンカー材の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $B_f$  : アンカー材の幅 (mm)
- $t_f$  : アンカー材フランジの板厚 (mm)
- $h_T$  : アンカー材の高さ (mm)
- $t_w$  : アンカー材ウェブの板厚 (mm)
- $D_b$  : ボルト穴の直径 (mm)

以上より、

$$\sigma_t = \frac{7567.8 \times 1000}{4 \times 21672} = 88 \text{ N/mm}^2 \leq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

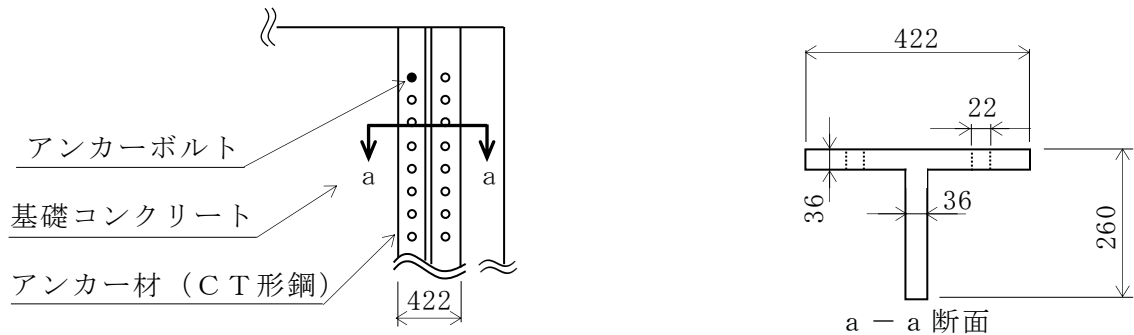


図 5-7 アンカー材（C T形鋼）の概要図（単位：mm）

b. アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトのコーン状破壊の概要図を図 5-8 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する引張力に対して、アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。アンカー材（C T形鋼）に引張力が作用すると、アンカー材とコンクリートの接合面にせん断力が生じる。評価においては、接合面に生じるせん断力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

アンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力  $q_a$  は、以下の式で算定される値のうち最小値とする。

アンカーボルトのせん断強度で決まる場合の許容せん断力  $q_{a1}$

$${}_s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot {}_s \sigma_y = 0.7 \times 240 = 168 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s \sigma_{qa} \cdot A_a = 1.0 \times 168 \times 245 = 41 \text{ kN}$$

定着した躯体の支圧強度で決まる場合の許容せん断力  $q_{a2}$

$${}_c \sigma_{qa} = 0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c} = 0.5 \times \sqrt{20.6 \times 21500} = 332 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot {}_c \sigma_{qa} \cdot A_a = 2/3 \times 332 \times 245 = 54 \text{ kN}$$

定着した躯体のコーン状破壊で決まる場合の許容せん断力  $q_{a3}$

$${}_c \sigma_t = 0.31 \cdot \sqrt{F_c} = 0.31 \times \sqrt{20.6} = 1.4 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot {}_c \sigma_t \cdot A_{qc} = 2/3 \times 1.4 \times 76566 = 71 \text{ kN}$$

よって、

$$q_a = 41 \text{ kN}$$

ここで、

${}_s \sigma_{qa}$  : 接着系アンカーボルトのせん断強度 (N/mm<sup>2</sup>)

${}_s \sigma_y$  : 接着系アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>) (強度区分 4.8)

$A_a$  : アンカーボルトの有効断面積 (M20) (mm<sup>2</sup>)

$\phi_1$  : 低減係数 (=1.0)

${}_c \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$\phi_2$  : 低減係数 (=2/3)

${}_c \sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{qc}$  : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

$$Q_a = \frac{N_t}{n}$$

ここで、

$Q_a$  : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

$N_t$  : 鉄塔脚部の引張力 (kN)

$n$  : アンカーボルトの本数 (本)

以上より、

$$Q_a = \frac{7567.8}{248} = 31 \text{ kN} \leq 41 \text{ kN} \quad \text{可}$$

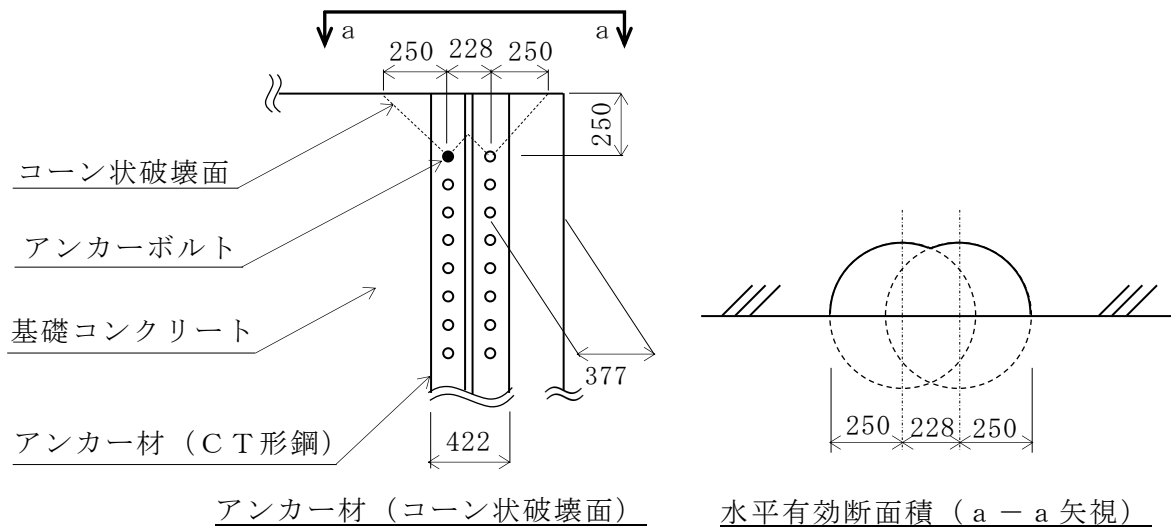


図 5-8 アンカーボルトのコーン状破壊の概要図 (単位 : mm)

## 5.3 筒身脚部の評価結果

## (1) アンカーボルトの評価

## a. アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトの概要図を図 5-9 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する水平力に対して、アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。評価においては、筒身脚部に作用する水平力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{258}{\sqrt{3}} = 148 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_A = \frac{Q}{n} = \frac{340.6}{12} = 28 \text{ kN/本}$$

$$\tau = \frac{Q_A}{A_a}$$

ここで、

$f_s$  : 許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : アンカーボルトの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_A$  : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN/本)

$Q$  : 筒身脚部のせん断力 (kN)

$n$  : アンカーボルトの本数 (本)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_a$  : アンカーボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\tau = \frac{28 \times 1000}{817} = 35 \text{ N/mm}^2 \leq 148 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

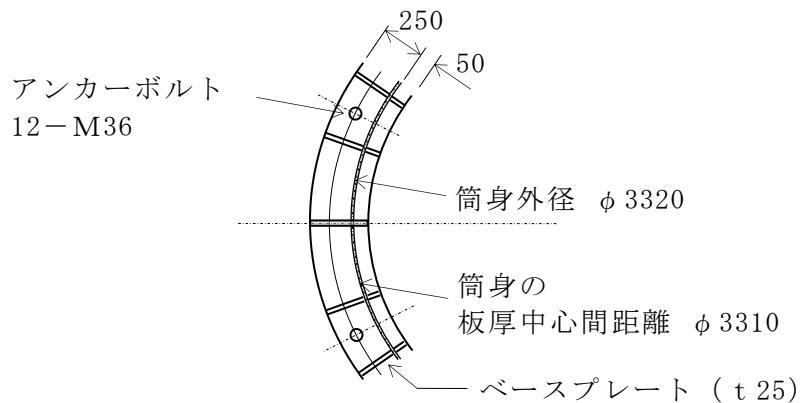


図 5-9 アンカーボルトの概要図 (単位: mm)

- b. アンカーボルトの引張とせん断を同時に受ける場合に対する評価  
 ここでは、引張とせん断を同時に受ける場合のアンカーボルトの評価を行う。

$$f_{t0} = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau = 1.4 \times 258 - 1.6 \times 35 = 305 \text{ N/mm}^2$$

$f_{ts} > f_{t0}$  より、

$$f_{ts} = 258 \text{ N/mm}^2$$

ここで、

$f_{t0}$  : せん断力が作用しないときの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_{ts}$  : せん断力が同時に作用するときの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

アンカーボルトの引張力  $T_A$  の算定にあたって、鉄筋コンクリート構造計算規  
 準・同解説（（社）日本建築学会，1988年改定，1991年一部改定）を参考に、筒  
 身内壁から外側のベースプレート下面を円筒断面の鉄筋コンクリート柱とみなし、  
 中立軸が断面内にある状態（主筋に相当するアンカーボルトの一部が引張りとな  
 る状態）を考慮する。この時、引張側のアンカーボルトに作用する最大引張力を  
 $T_A$  とする。

$$T_A = 62 \text{ kN}$$

$$\sigma_t = \frac{T_A}{A_a}$$

ここで、

$T_A$  : アンカーボルトの最大引張力 (kN)

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_t = \frac{62 \times 1000}{817} = 76 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. アンカーボルト埋込長さに対する評価

アンカーボルトの概要図を図 5-10 に示す。

ここでは、アンカーボルト埋込長さの評価を行う。

$$f_a = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{T_A}{\pi \cdot d \cdot L}$$

ここで、

$f_a$  : 許容付着応力度 (丸鋼) (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_a$  : 付着応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : アンカーボルト径 (mm)

$L$  : アンカーボルト埋込長さ (mm)

以上より、

$$\sigma_a = \frac{62 \times 1000}{\pi \times 36 \times 1500} = 0.37 \text{ N/mm}^2 \leq 1.35 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

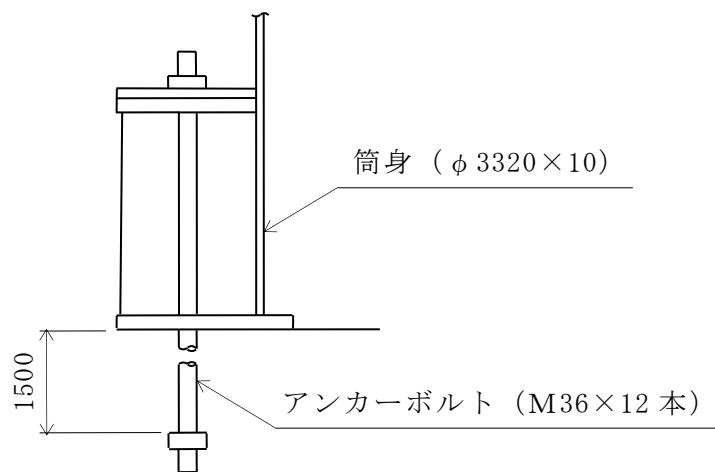


図 5-10 アンカーボルトの概要図 (単位: mm)



(2) フランジプレートの評価

フランジプレートの概要図を図 5-11 に示す。

a. フランジプレートの曲げ応力度に対する評価

フランジプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、アンカーボルトの引張力  $T_A$  が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$L_f = 300 \text{ mm}$$

$$M = T_A \cdot \frac{L_f}{8} = 62 \times 1000 \times \frac{300}{8} = 2325000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(B - d_f) \cdot (t_f + t_f')^2}{6} \\ &= \frac{(240 - 46) \times (25 + 16)^2}{6} = 54400 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : フランジプレートの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$L_f$  : リブ間距離 (mm)

$M$  : 曲げモーメント (N·mm)

$T_A$  : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN/本)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : フランジプレート幅 (mm)

$d_f$  : ボルト孔径 (mm)

$t_f$  : フランジプレートの板厚 (mm)

$t_f'$  : 座金厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{2325000}{54400} = 43 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

b. フランジプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは、フランジプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_1 = T_A \cdot \frac{e_1}{h \cdot L_f} = 62 \times 1000 \times \frac{120}{375 \times 300} = 66 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rf} = D_f \cdot \frac{w_1}{2 \cdot (B - d_f) \cdot (t_f + t_f')}$$

ここで、

$w_1$  : 偏心距離  $e_1$  によって発生する水平力 (N/mm)

$e_1$  : 偏心距離 (mm)

$h$  : フランジプレートからベースプレート間の板厚中心間距離 (mm)

$\sigma_{rf}$  : 水平力  $w_1$  による円周方向応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$D_f$  : フランジプレート中心径 (mm)

以上より、

$$\begin{aligned} \sigma_{rf} &= 3560 \times \frac{66}{2 \times (240 - 46) \times (25 + 16)} \\ &= 15 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可} \end{aligned}$$

c. フランジプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

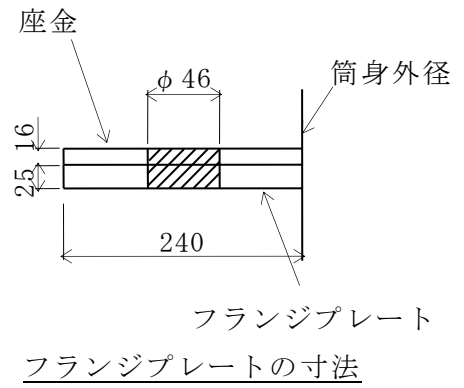
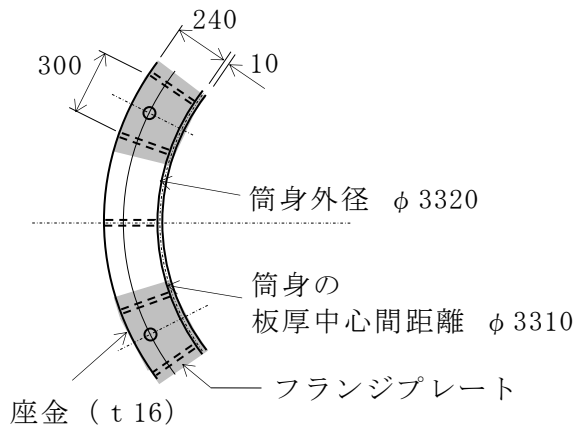
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rf}$$

ここで、

$\sigma$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma = 43 + 15 = 58 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



フランジプレートの評価部位

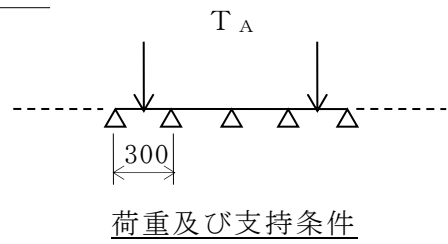
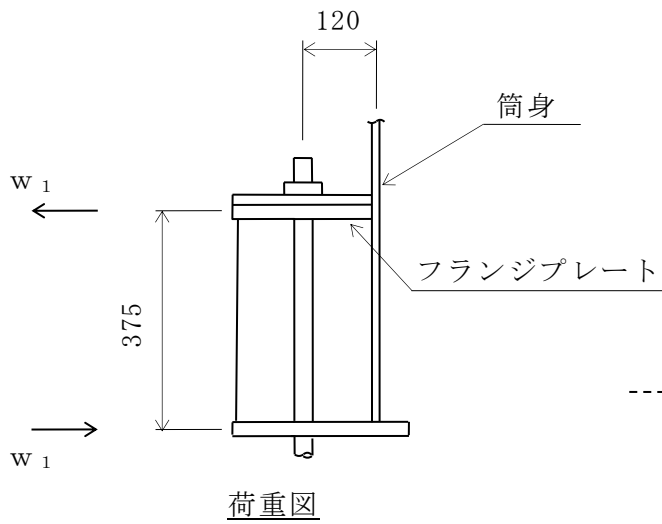


図 5-11 フランジプレートの概要図 (単位 : mm)

(3) ベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図を図 5-12 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する圧縮力及び曲げモーメントによる圧縮応力度に対して、ベースプレート下面のコンクリートの評価を行う。

$$f_c = 13.6 \text{ N/mm}^2$$

$$P_c = \left( \frac{N_c}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_2$$
$$= \left( \frac{1638.4}{104000} + \frac{3253.5 \times 1000}{85800000} \right) \times 2979 = 160 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_b}$$

ここで、

$f_c$  : 許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_c$  : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

$N_c$  : 筒身脚部の圧縮力 (kN)

$A$  : 筒身の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 筒身脚部の曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 筒身の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_2$  : 筒身のリブプレート間の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\sigma_c$  : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_b$  : リブプレート間のベースプレートの接地面積 (mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_c = \frac{160 \times 1000}{94500} = 1.7 \text{ N/mm}^2 \leq 13.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

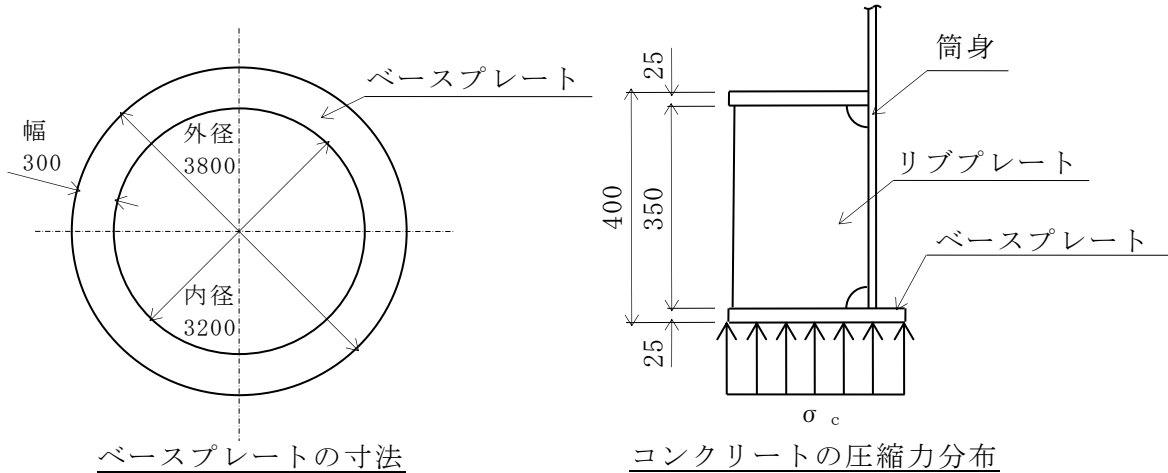


図 5-12 ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図 (単位: mm)

b. ベースプレートの曲げ応力度に対する評価

ベースプレートの概要図を図 5-13 に示す。

ベースプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、リブプレート間に作用する圧縮応力度  $\sigma_{rc}$  が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$L_b = 315 \text{ mm}$$

$$M = \sigma_{rc} \cdot \frac{L_b^2}{12} = 1.7 \times \frac{315^2}{12} = 14060 \text{ N}\cdot\text{mm/mm}$$

$$Z = \frac{t_b^2}{6} = \frac{25^2}{6} = 104 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : ベースプレートの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$L_b$  : リブ間距離 (mm)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm/mm)

$\sigma_{rc}$  : リブプレート間に作用する圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

$t_b$  : ベースプレートの板厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{14060}{104} = 136 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. ベースプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは、ベースプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_2 = P_c \cdot \frac{e_2}{h \cdot L_b} = 160 \times 1000 \times \frac{95}{375 \times 315} = 129 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rb} = D_b \cdot \frac{w_2}{2 \cdot B \cdot t_b}$$

ここで、

$w_2$  : 偏心距離  $e_2$  によって発生する水平力 (N/mm)

$e_2$  : 偏心距離 (mm)

$h$  : ベースプレート板厚中心間距離 (mm)

$\sigma_{rb}$  : 水平力  $w_2$  による円周方向応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$D_b$  : ベースプレート中心径 (mm)

$B$  : ベースプレート幅 (mm)

以上より、

$$\sigma_{rb} = 3500 \times \frac{129}{2 \times 300 \times 25} = 31 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

d. ベースプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rb}$$

ここで、

$\sigma$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma = 136 + 31 = 167 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

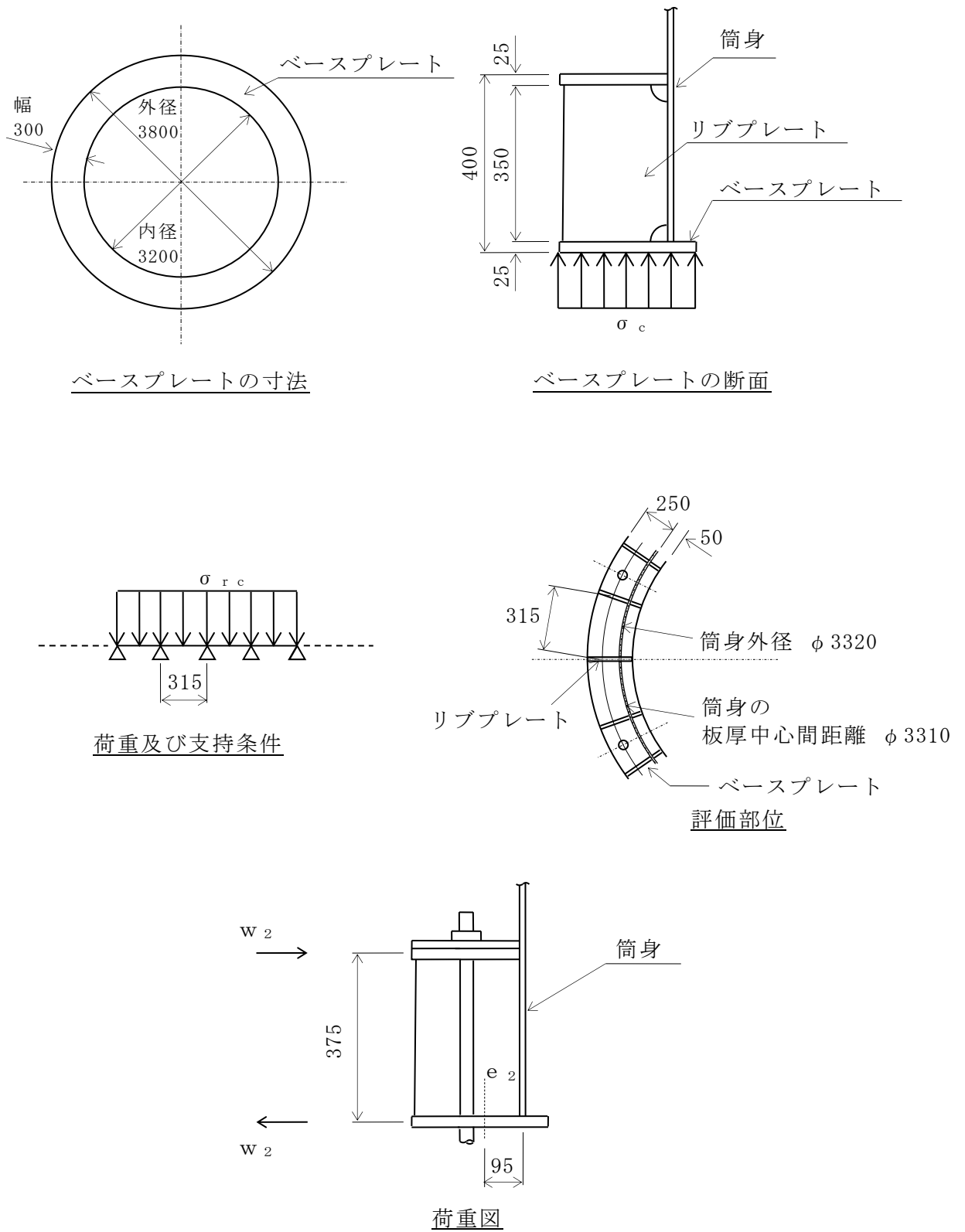


図 5-13 ベースプレートの概要図 (単位: mm)



## (4) リブプレートの評価

## a. リブプレートの圧縮応力度に対する評価

リブプレートの概要図を図 5-14 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する圧縮力に対して、リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。

$$F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$K_r = 0.42 + \left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42 + \left(\frac{230}{350}\right)^2 = 0.8518$$

$$\begin{aligned} \sigma_{rk} &= \frac{K_r}{\mu_r} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2 \\ &= \frac{0.8518}{1.5} \times \pi^2 \times \frac{205000}{12 \times (1 - 0.3^2)} \times \left(\frac{12}{230}\right)^2 = 286 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

よって、

$$\sigma_{rk} = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{P_c}{b_r \cdot t_r}$$

ここで、

$F$  : リブプレートの基準強度 ( $F$  値は 1.1 倍とする) ( $\text{N/mm}^2$ )

$K_r$  : 係数

$b_r$  : リブプレートの幅 (mm)

$h_r$  : リブプレートの高さ (mm)

$\sigma_{rk}$  : 許容座屈応力度 ( $\text{N/mm}^2$ ) ( $F$  と  $\sigma_{rk}$  の小さい方の値をとる)

$\mu_r$  : 座屈安全率 (= 1.5)

$E$  : ヤング係数 ( $\text{N/mm}^2$ )

$\nu$  : ポアソン比

$t_r$  : リブプレートの板厚 (mm)

$\sigma_r$  : 座屈応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$P_c$  : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_r = \frac{160 \times 1000}{230 \times 12} = 58 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

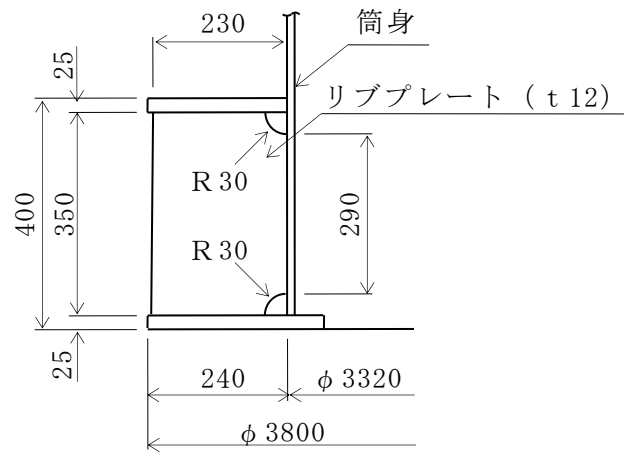


図 5-14 リブプレートの概要図 (単位 : mm)

VI-3-別添 1-11 換気空調設備の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	12
3. 強度評価方法	13
3.1 評価対象部位	13
3.2 荷重及び荷重の組合せ	17
3.3 許容限界	18
3.4 評価方法	23
4. 評価条件	24
5. 強度評価結果	28

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、その施設の機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」, 「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」に示す構造計画を踏まえ, ダンパ, 角ダクト, 丸ダクト, 隔離弁, 送風機及び処理装置の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり, ダンパ, 角ダクト, 丸ダクト, 隔離弁, 送風機及び処理装置は, 図2-1に示す十分な強度を有する原子炉建物及び廃棄物処理建物内に設置する。

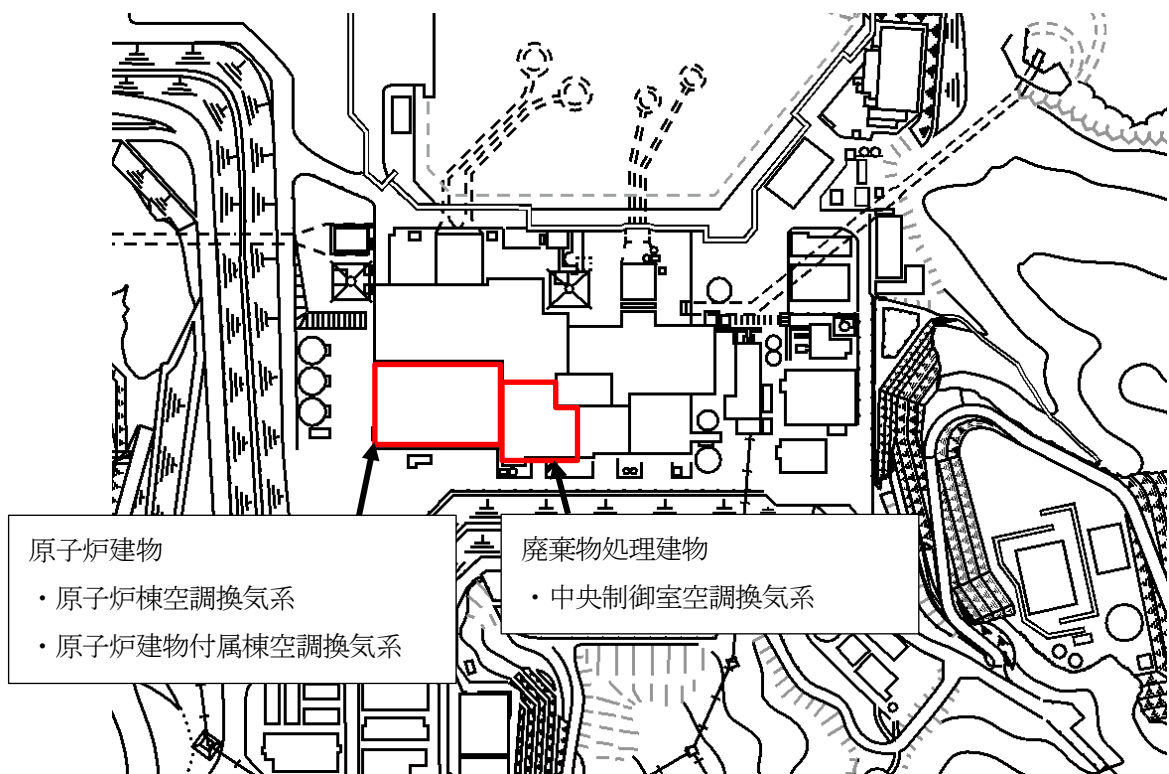


図2-1 ダンパ, 角ダクト, 丸ダクト, 隔離弁, 送風機及び処理装置の位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、換気空調設備の構造を設定している。

ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置の構造を以下に示す。

### (1) ダンパ

ダンパは、外板、羽根及びシャフトで構成され、接続ダクトにより支持する構造とする。ダンパの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 ダンパの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b> ダンパは十分な強度を有する建物（原子炉建物）内に設置する。			
ダンパ	外板、羽根及びシャフトなどの鋼材で構成する。	接続ダクトにより支持する。	<p>The diagram illustrates the damper's construction. The top part is a side view showing a rectangular assembly with an outer plate (外板) on the left, blades (羽根) in the middle, and a shaft (シャフト) on the right. The bottom part is a perspective view showing the internal structure with bolts connecting the components.</p>

(2) 角ダクト及び丸ダクト

角ダクト及び丸ダクトは、ダクト鋼板で構成され、支持構造物により建物壁、床、はり等から支持する構造とする。角ダクト及び丸ダクトの構造計画を表2-2に示す。

表2-2 角ダクト及び丸ダクトの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b> 角ダクト及び丸ダクトは十分な強度を有する建物（原子炉建物、制御室建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。</p>			
角ダクト及び丸ダクト	鋼製のダクトで構成する。	ダクトは、支持構造物により建物壁、床、はり等から支持する。	<p>【角ダクト】 ダクト鋼板</p> <p>【丸ダクト】 ダクト鋼板</p> <p>ダクト</p> <p>支持構造物</p> <p>建物壁、床、はり等</p>



(3) 隔離弁

隔離弁は、鋼製の弁箱、弁体及び弁棒で構成され、接続ダクトにより支持する構造とする。隔離弁の構造計画を表 2-3 に示す。

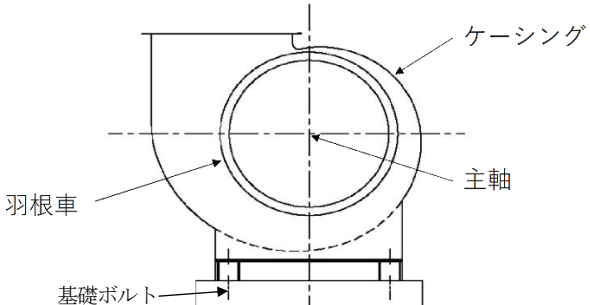
表 2-3 隔離弁の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      隔離弁は十分な強度を有する建物（原子炉建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。</p>			
隔離弁	鋳鋼材で構成する。	接続ダクトで支持する。	

(4) 送風機

送風機は風路を形成するケーシング，空気を送り込む羽根車及び羽根車を支持する主軸で構成され，支持構造物で床面等に支持する構造とする。送風機の構造計画を表 2-4 に示す。

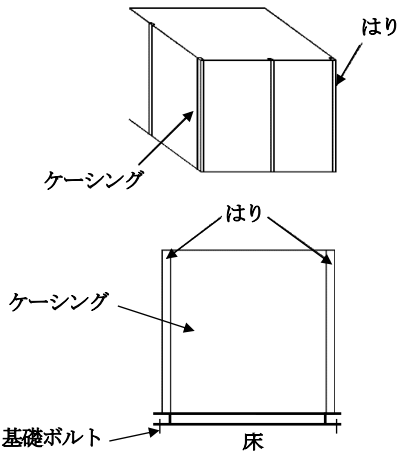
表 2-4 送風機の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b> 送風機は十分な強度を有する建物（原子炉建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。</p>			
送風機	ケーシング，ケーシング内の羽根車及び主軸で構成する。	床に基礎ボルトで支持する。	

(5) 処理装置

処理装置は風路を形成するケーシング，ケーシングを固定するはり及び長柱で構成され，支持構造物で床面等に支持する構造とする。処理装置の構造計画を表 2-5 に示す。

表 2-5 処理装置の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b> 処理装置は十分な強度を有する建物（原子炉建物及び廃棄物処理建物）内に設置する。</p>			
処理装置	ケーシング及びはり等の鋼材で構成する。	床に基礎ボルトで支持する。	

## 2.3 評価方針

換気空調設備の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ、ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置の評価対象部位に生じる応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

### (1) 構造強度評価の方針

#### a. ダンパ

ダンパの構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-2 に示す。

- ・ダンパに対して、設計竜巻による荷重及び常時作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。
- ・ダンパに生じる応力は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>とする。

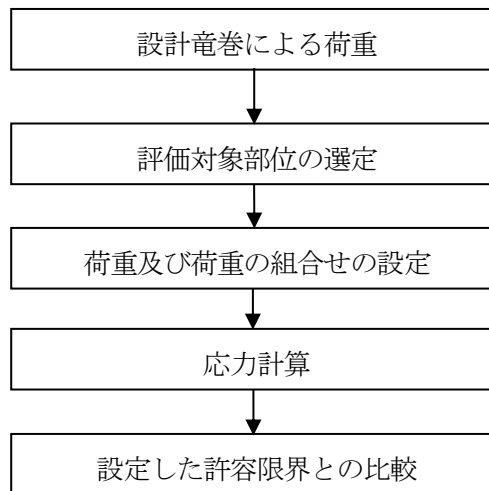


図 2-2 ダンパの構造強度評価フロー

## b. 角ダクト及び丸ダクト

角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-3に示す。

- ・角ダクト及び丸ダクトに対して、設計竜巻による荷重、常時作用する荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。
- ・角ダクト及び丸ダクトに生じる応力は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・角ダクトの許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。ただし、座屈に対しては評価式を満足することを確認する。
- ・丸ダクトの許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、クリップリング座屈及び弾性座屈曲げ応力の式により算出する。

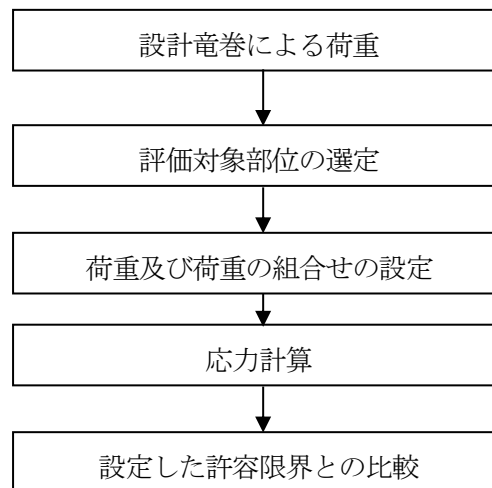


図2-3 角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価フロー

## c. 隔離弁

隔離弁の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-4 に示す。

- ・ 隔離弁に対して、設計竜巻による荷重及び常時作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。
- ・ 隔離弁に生じる応力は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・ 許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態ⅢA S とする。ただし、弁箱については、クリップリング座屈の式により算出する。

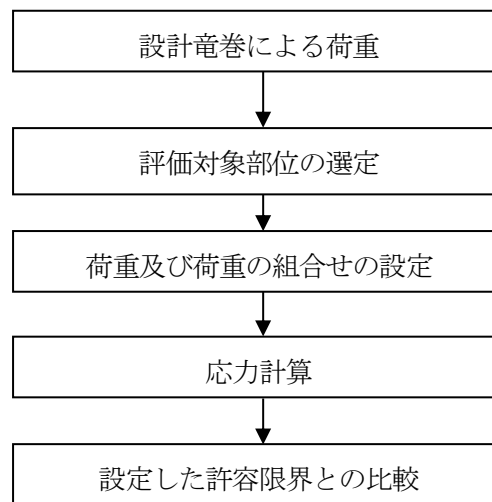


図 2-4 隔離弁の構造強度評価フロー

d. 送風機

送風機の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-5に示す。

- ・送風機に対して、設計竜巻による荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。
- ・送風機に生じる応力は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、クリッピング座屈の式により算出する。

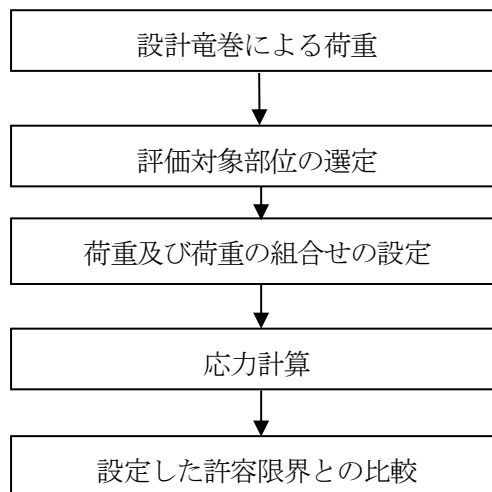


図2-5 送風機の構造強度評価フロー

e. 処理装置

処理装置の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-6に示す。

- ・処理装置に対して、設計竜巻による荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。
- ・処理装置に生じる応力は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

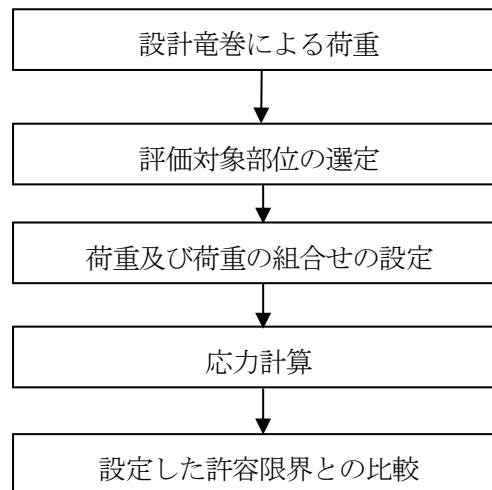


図2-6 処理装置の構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984  
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・日本産業規格（J I S）
- ・機械工学便覧（1987年日本機械学会編）



### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

##### (1) 構造強度評価の評価対象部位

ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置の評価対象部位は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置の評価対象部位を以下に示す。

##### a. ダンパ

設計竜巻による荷重は、外板及び羽根に作用し、羽根を介してシャフトに作用する。このことから、外板、羽根及びシャフトを評価対象部位として選定する。ダンパの構造強度評価における評価対象部位を、図3-1に示す。

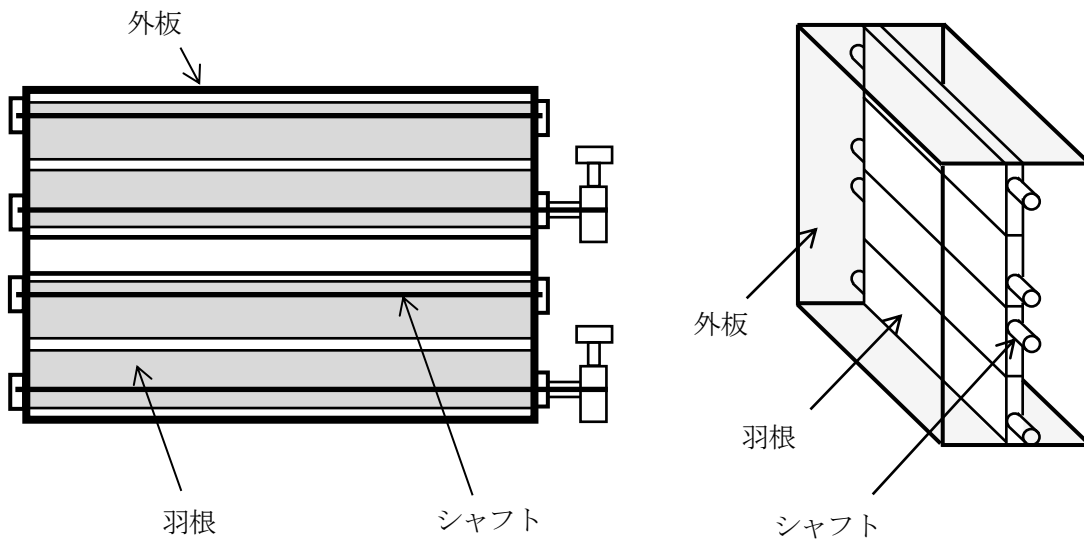


図3-1 ダンパの評価対象部位

## b. 角ダクト

設計竜巻による荷重は、角ダクト本体のダクト鋼板に作用する。このことから、ダクト鋼板を評価対象部位として選定する。角ダクトの構造強度評価における評価対象部位を図 3-2 に示す。

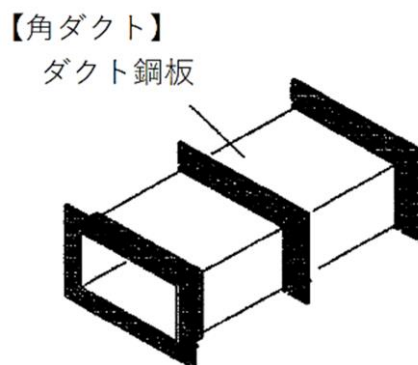


図 3-2 角ダクトの評価対象部位

## c. 丸ダクト

設計竜巻による荷重は、丸ダクト本体のダクト鋼板に作用する。このことから、ダクト鋼板を評価対象部位として選定する。丸ダクトの構造強度評価における評価対象部位を図 3-3 に示す。

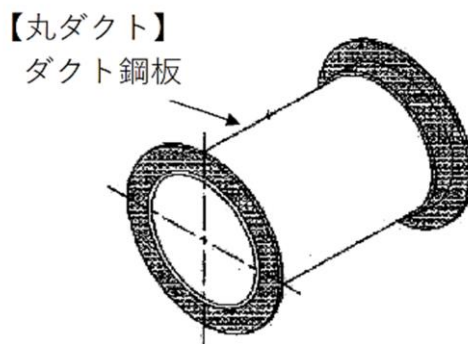


図 3-3 丸ダクトの評価対象部位

## d. 隔離弁

設計竜巻による荷重は、隔離弁の耐圧部に作用する。このことから、耐圧部である弁箱、弁体、弁棒を評価対象部位として選定する。隔離弁の構造強度評価における評価対象部位を、図3-4に示す。

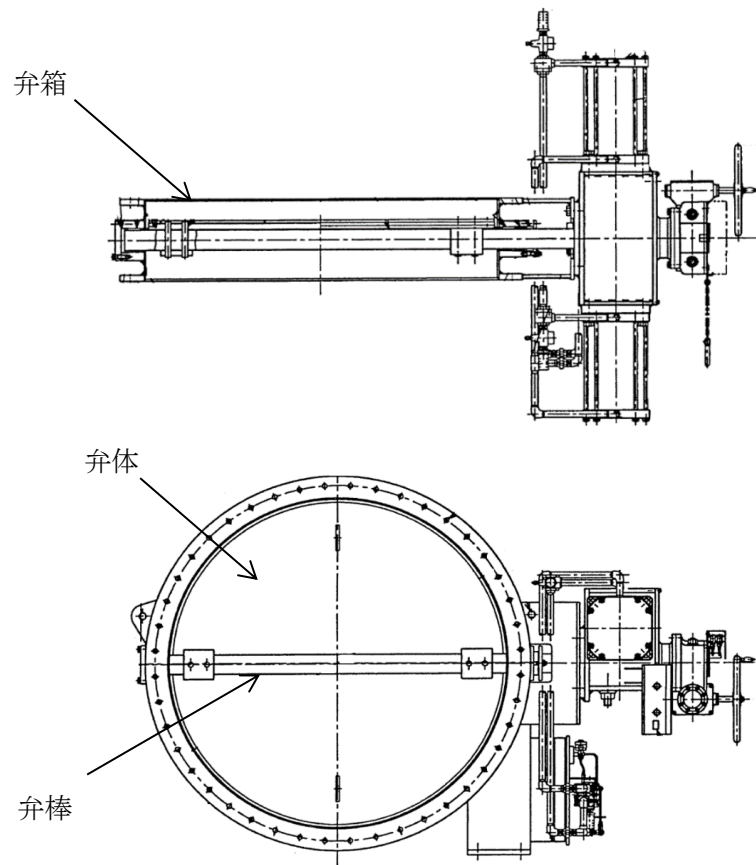


図3-4 隔離弁の評価対象部位

## e. 送風機

設計竜巻による荷重は、送風機のケーシングに作用する。このことから、ケーシングを評価対象部位として設定する。送風機の構造強度評価における評価対象部位を図3-5に示す。

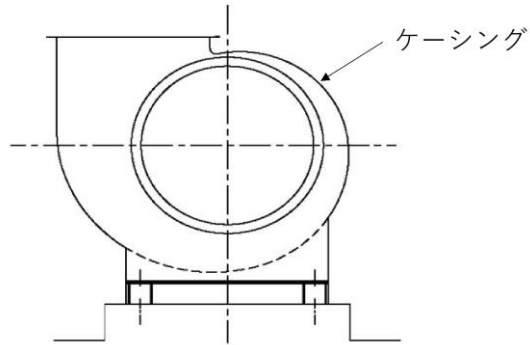


図3-5 送風機の評価対象部位

## f. 処理装置

設計竜巻による荷重は、処理装置のケーシングに作用する。このことからケーシングを評価対象部位として設定する。処理装置の構造強度評価における評価対象部位を図3-6に示す。

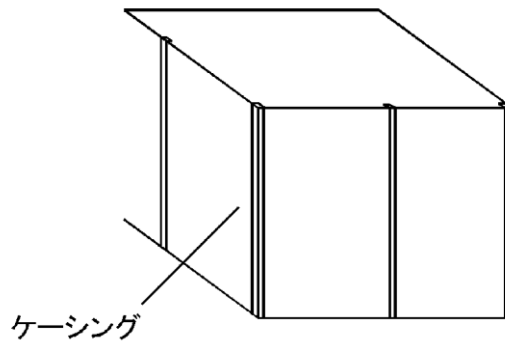


図3-6 処理装置の評価対象部位

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せはVI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、評価対象施設ごとに設定する。なお、ダンパ及び隔離弁については閉止していることから、内圧による荷重は考慮しない。また、隔離弁の弁箱並びに送風機及び処理装置のケーシングの自重は内圧による荷重に比べ十分小さいことから、自重を考慮しない。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-7 に示す。

表 3-7 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷 重
外気と繋がっている 屋内の外部事象防護 対象施設	ダンパ	外板 羽根 シャフト	①自重 ②気圧差による荷重
	角ダクト	ダクト鋼板	①自重 ②気圧差による荷重 ③内圧による荷重
	丸ダクト	ダクト鋼板	①自重 ②気圧差による荷重 ③内圧による荷重
	隔離弁	弁箱	①気圧差による荷重
		弁体 弁棒	①自重 ②気圧差による荷重
	送風機	ケーシング	①気圧差による荷重 ②内圧による荷重
	処理装置	ケーシング	①気圧差による荷重 ②内圧による荷重

### 3.3 許容限界

#### (1) 構造強度評価における許容限界

ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置の許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置の許容限界を以下に示す。

#### a. ダンパ

ダンパの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス 2, 3・その他の支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 により、設計引張強さは設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。なお、設計・建設規格付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料を用いている場合は J I S G 3 1 0 8, 3 3 1 3 を適用する。

ダンパの許容限界を表 3-8、許容応力を表 3-9～表 3-11 に示す。

表 3-8 ダンパの許容限界

許容応力状態	許容限界		
	一次応力		
	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

表 3-9 ダンパの許容応力 (外板)

材料	温度条件 (°C)	$1.5 \cdot f_b$ (MPa)
S E H C	40	218

表 3-10 ダンパの許容応力 (羽根)

材料	温度条件 (°C)	$1.5 \cdot f_t$ (MPa)
S E H C	40	189

表 3-11 ダンパの許容応力 (シャフト)

材料	温度条件 (°C)	$1.5 \cdot f_s$ (MPa)
S G D 4 1	40	141

## b. 角ダクト

角ダクトの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2, 3・その他の支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。ただし、妥当な安全余裕を考慮し、座屈を生じないように設定する許容限界は、座屈の評価式により算出した値を設定する。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 より、及び設計引張強さは設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。なお、設計・建設規格付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料を用いている場合は J I S G 3 3 0 2 を適用する。

## (a) 軸直角方向の荷重により生じる応力に対する許容限界

軸直角方向の荷重により生じる応力に対する許容限界を表 3-12、許容応力を表 3-13 に示す。

表 3-12 角ダクトの許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力
	引張
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$

表 3-13 角ダクトの許容応力

材料	温度条件 (°C)	$1.5 \cdot f_t$ (MPa)
S G C C	40	189

## (b) 軸方向の荷重に対する許容限界

軸方向の荷重に対する許容限界 VI-3-別添 1-1 「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している評価式を用いる。

## c. 丸ダクト

丸ダクトの許容限界は、評価荷重に対して、妥当な安全余裕を考慮し、座屈を生じないこととするため、クリップリング座屈及び弾性座屈曲げ応力の式により算出する。

## (a) 軸直角方向の荷重により生じる応力に対する許容限界

軸直角方向の荷重により生じる応力に対する許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している評価式を用いる。

## (b) 軸方向の荷重により生じる応力に対する許容限界

軸方向の荷重により生じる応力に対する許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している評価式を用いる。



## d. 隔離弁

隔離弁の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2, 3・その他支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。ただし、妥当な安全余裕を考慮し、座屈を生じないように設定する許容限界は、クリッピング座屈の式により算出した値を設定する。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 より、設計引張強さは設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。設計・建設規格付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。なお、設計・建設規格付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料を用いている場合は J I S G 3 3 1 3 を適用する。

## (a) 弁体及び弁棒に対する許容応力

隔離弁に作用する圧力及び自重により生じる応力に対する許容限界を表 3-14、許容応力を表 3-15 及び表 3-16 に示す。

表 3-14 隔離弁の許容限界

許容応力状態	許容限界	
	一次応力	
	曲げ	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$

表 3-15 隔離弁の許容応力 (弁体)

材料	温度条件 (°C)	$1.5 \cdot f_b$ (MPa)
SM4 1 B	40	271

表 3-16 隔離弁の許容応力 (弁棒)

材料	温度条件 (°C)	$1.5 \cdot f_s$ (MPa)
SUS 3 0 4	40	118

## (b) 弁箱に対する許容応力

弁箱に対する許容応力は、VI-3-別添 1-1 「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している評価式を用いる。

## e. 送風機

送風機の許容限界は、評価荷重に対して、妥当な安全余裕を考慮し、座屈を生じないこととするため、クリッピング座屈の式により算出した値とする。

## (a) 送風機に作用する圧力に対する許容応力

送風機に作用する圧力に対する許容応力は、VI-3-別添 1-1 「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している評価式を用いる。

## f. 処理装置

処理装置の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2, 3・その他支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 より、設計引張強さは設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。設計・建設規格付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

処理装置の許容限界を表 3-17、許容応力を表 3-18 に示す。

表 3-17 処理装置の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力
	引張
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$

表 3-18 処理装置の許容応力

材料	温度条件 (°C)	$1.5 \cdot f_t$ (MPa)
S P G S	40	215

### 3.4 評価方法

ダンパ、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、送風機及び処理装置の構造強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

a. ダンパ

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1～表4-3に示す。

ダンパにおいて、外殻を構成する外板の発生応力比が最も厳しくなる設備のダンパについて記載する。

表4-1 評価条件（外板）

設備名称			
A—非常用ディーゼル電気室送風機吐出逆流防止ダンパ			
$\Delta P_{max}$ (MPa)	$M_1$ (kg)	$M_2$ (kg)	$M_3$ (kg)
0.0075	12	13	7
L (mm)	Max(W, H) (mm)	Z (mm <sup>3</sup> )	
300	2204.6	113400	

表4-2 評価条件（羽根）

設備名称		
A—非常用ディーゼル電気室送風機吐出逆流防止ダンパ		
$\Delta P_{max}$ (MPa)	E (MPa)	a (mm)
0.0075	201200	250
b (mm)	h (mm)	m (kg)
2204.6	1.6	7
$\nu$ (—)		
0.3		

表4-3 評価条件（シャフト）

設備名称		
A—非常用ディーゼル電気室送風機吐出逆流防止ダンパ		
$\Delta P_{max}$ (MPa)	D (mm)	m (kg)
0.0075	15	7
a (mm)	b (mm)	
250	2204.6	

## b. 角ダクト

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-4に示す。角ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も大きくなるものは軸直角方向の荷重による応力であり、その発生応力比が最も厳しくなる系統の角ダクトについて記載する。

表4-4 評価条件

系統			
中央制御室空調換気系			
$\Delta P_{max}$ (MPa)	a (mm)	b (mm)	c (mm)
0.0075	1050	3000	3000
E (MPa)	H (mm)	t (mm)	$P_1$ (MPa)
201200	800	1.2	0.002942
W (mm)	$w_1$ (N/mm)	$w_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\nu$ (—)
3000	1.865	346.3	0.3
$\sigma_y$ (MPa)			
189			

## c. 丸ダクト

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-5に示す。丸ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も大きくなるものは軸直角方向の荷重による応力であり、その発生応力比が最も厳しくなる系統の丸ダクトについて記載する。

表4-5 評価条件

系統				
中央制御室空調換気系				
$\Delta P_{max}$ (MPa)	$P_1$ (MPa)	c (mm)	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
0.0075	0.000981	3000	900	902
E (MPa)	L (mm)	n (—)	t (mm)	R (mm)
201200	1460	7	1.0	450
$r_m$ (mm)	w (N/mm)	$\nu$ (—)		
450.5	0.322133	0.3		

d. 隔離弁

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-6～表4-8に示す。隔離弁において、外殻を構成する弁箱の発生応力比が最も厳しくなる隔離弁について記載する。

表4-6 評価条件（弁箱）

系統				
原子炉棟空調換気系				
$\Delta P_{max}$ (MPa)	t (mm)	$L_1$ (mm)	R (mm)	$r_m$ (mm)
0.0075	12	600	1000	1006
E (MPa)	$\nu$ (—)	n (—)		
201200	0.3	10		

表4-7 評価条件（弁体）

系統			
原子炉棟空調換気系			
$\Delta P_{max}$ (MPa)	h (mm)	M (kg)	H (mm)
0.0075	36	1400	1955
$L_2$ (mm)	$\varnothing$ (mm)	e (mm)	
1955	1555.56	18	

表4-8 評価条件（弁棒）

系統			
原子炉棟空調換気系			
$\Delta P_{max}$ (MPa)	D (mm)	M (kg)	$L_2$ (mm)
0.0075	160	1400	1955

e. 送風機

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-9に示す。送風機において、発生応力比が最も厳しくなる送風機について記載する。

表4-9 評価条件

設備名称				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル室送風機				
$\Delta P_{max}$ (MPa)	a (mm)	b (mm)	t (mm)	E (MPa)
0.0075	1774	1780	6	201200
$\nu$ (—)	n (—)	L (mm)		
0.3	10	2090		

f. 処理装置

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-10に示す。処理装置において、発生応力比が最も厳しくなる処理装置について記載する。

表4-10 評価条件

設備名称			
HPCS電気室外気処理装置			
$\Delta P_{max}$ (MPa)	$P_1$ (MPa)	E (MPa)	$\nu$ (—)
0.0075	0.0087	201200	0.3
a (mm)	b (mm)	t (mm)	
1800	3500	2.3	

5. 強度評価結果

(1) 構造強度評価の評価結果

a. ダンパ

ダンパの構造強度評価結果を表5-1～表5-3に示す。

外板、羽根及びシャフトに発生する応力は、許容応力以下である。

表5-1 構造強度評価結果（外板）

外板に発生する曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
13	218

表5-2 構造強度評価結果（羽根）

羽根に発生する引張応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
20	189

表5-3 構造強度評価結果（シャフト）

シャフトに発生するせん断応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
24	141



## b. 角ダクト

角ダクトの構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ダクト鋼板の軸直角方向の荷重により発生する応力は、許容応力以下であり、軸方向の荷重による発生荷重も許容値以下である。

表 5-4 構造強度評価結果 (ダクト鋼板)

系統		ダクトサイズ (mm)	
中央制御室空調換気系		3000×800×1.2t	
軸直角方向			
ダクト鋼板に発生する引張応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	
146		189	
軸方向			
自重による発生荷重 $4 \times f_1$ (N)	ダクトに作用する圧力 による発生荷重 $f_2$ (N)	合成発生荷重 $4 \times f_1 + f_2$ (N)	許容値 $4 \times P_m$ (N)
10493	25157	35650	67540

## c. 丸ダクト

丸ダクトの構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

ダクト鋼板に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 構造強度評価結果 (ダクト鋼板)

系統		ダクトサイズ (mm)	
中央制御室空調換気系		900×1.0t	
軸直角方向			
ダクト鋼板に発生する周方向応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	
4		6	
軸方向			
自重による発生応力 (MPa)	ダクトに作用する圧力 による発生応力 (MPa)	合成発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
0.57	2.36	3	112

## d. 隔離弁

隔離弁の構造強度評価結果を表 5-6～表 5-8 に示す。

弁箱、弁体及び弁棒に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 構造強度評価結果（弁箱）

弁箱に発生する周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
1	460

表 5-7 構造強度評価結果（弁体）

弁体に発生する曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
56	271

表 5-8 構造強度評価結果（弁棒）

弁棒に発生するせん断応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
2	118

## e. 送風機

送風機の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

ケーシングに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-9 構造強度評価結果

ケーシングに発生する周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
3	10

## f. 処理装置

処理装置の構造強度評価結果を表 5-10 に示す。

ケーシングに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-10 構造強度評価結果

ケーシングに発生する引張応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
126	215

VI-3-別添 1-12 非常用発電装置の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
3. 強度評価方法	6
3.1 評価対象部位	6
3.2 荷重及び荷重の組合せ	7
3.3 許容限界	8
3.4 評価方法	9
4. 評価条件	10
5. 強度評価結果	11

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備Aーディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ（以下「燃料移送ポンプ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、燃料移送機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」，「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえて，燃料移送ポンプの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり，燃料移送ポンプは燃料移送ポンプエリアに設置する。燃料移送ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

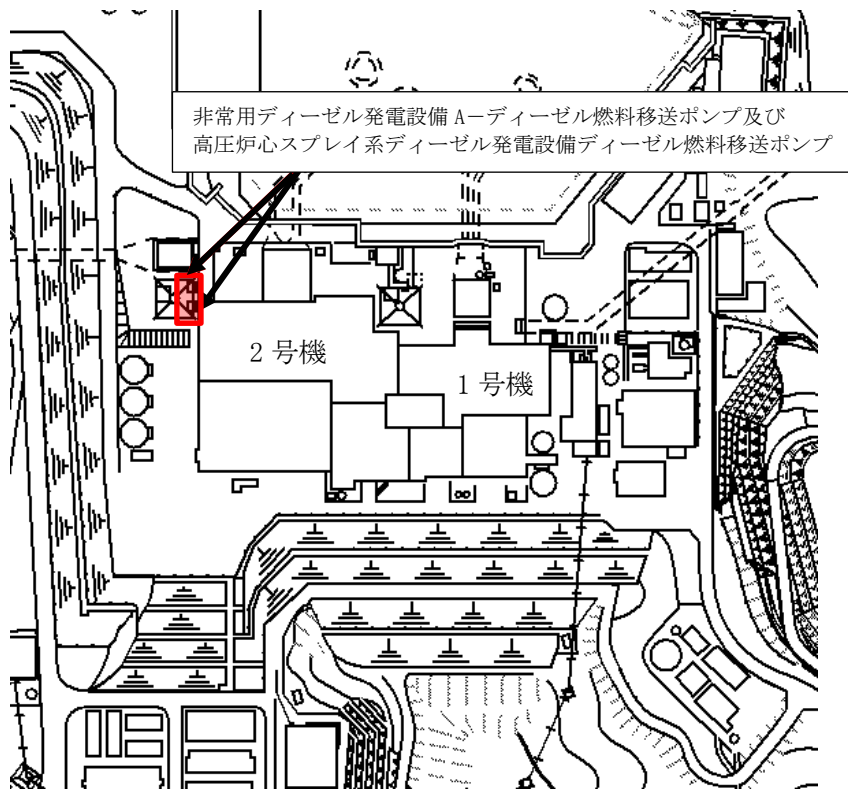


図2-1 燃料移送ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、燃料移送ポンプの構造を設定している。

燃料移送ポンプは、ポンプ部と原動機部からなる横型ポンプであり、基礎ボルト及び取付ボルトによって固定されている。燃料移送ポンプは同一設計のものがA系及び高圧炉心スプレイ系に各々1台ずつ設置されている。燃料移送ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 燃料移送ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b>			
燃料移送ポンプは屋外の燃料移送ポンプエリアに設置する。			
燃料移送ポンプ	鋼製の横型ポンプに付属品が取り付けられた構造	基礎に基礎ボルト等で固定する。	

### 2.3 評価方針

燃料移送ポンプの強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ、燃料移送ポンプの評価対象部位に生じる応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

#### (1) 構造強度評価の方針

燃料移送ポンプの構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-2に示す。

- ・燃料移送ポンプに対して、設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重を加えた荷重が許容限界以下であることを確認する。
- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、耐圧試験圧力とする。

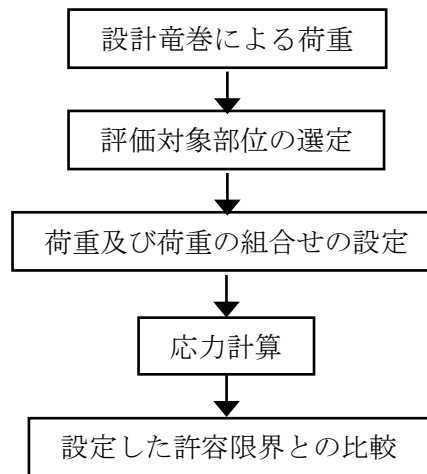


図2-2 構造強度評価フロー



#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

評価対象部位は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

##### (1) 構造強度評価の評価対象部位

気圧差による荷重は、燃料移送ポンプの耐圧部に作用することから、耐圧部であるケーシングを評価対象部位として選定する。

燃料移送ポンプの構造強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

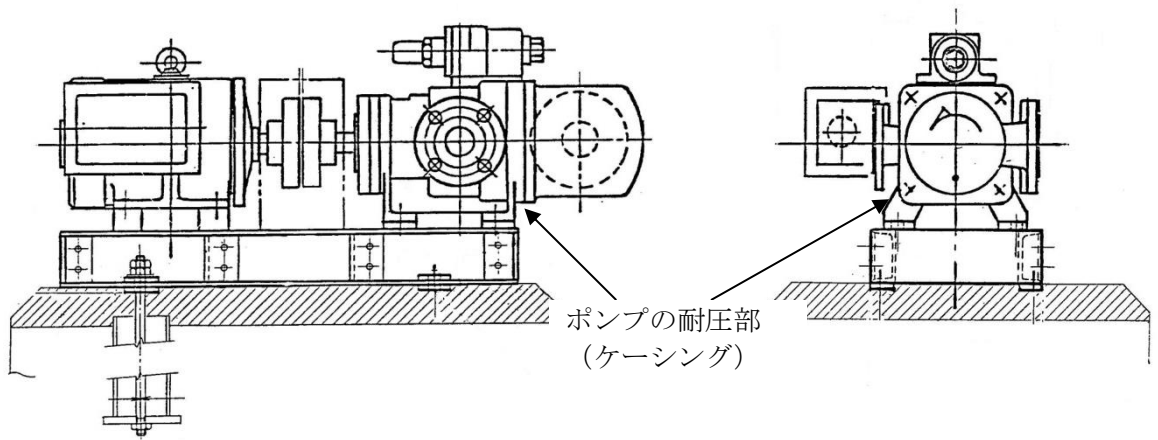


図3-1 燃料移送ポンプの評価対象部位

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価では、以下の荷重を用いる。

##### (a) 設計竜巻による荷重

設計竜巻の気圧差による荷重を考慮する。

なお、燃料移送ポンプは、竜巻防護対策設備内に設置することから、風圧力による荷重を考慮しない。また、砂利は竜巻防護鋼板（穴あき）を通過するが、燃料移送ポンプに鋼製のカバーを設置することから、砂利の衝突は考慮しない。

##### (b) 運転時に作用する荷重

運転時の内圧による荷重を考慮する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえ設定する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-1に示す。

表3-1 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷 重
屋外の外部事象防護対象施設	燃料移送ポンプ	ケーシング	①気圧差による荷重 ②内圧による荷重

### 3.3 許容限界

許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、燃料移送ポンプの耐圧試験圧力とする。

### 3.4 評価方法

燃料移送ポンプの強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している燃料移送ポンプの評価方法を用いる。

4. 評価条件

燃料移送ポンプの構造強度評価に用いる条件を表4-1に示す。

表4-1 評価条件 (ケーシング)

施設名称	$P_1$ (MPa)	$\Delta P_{max}$ (MPa)
燃料移送ポンプ	0.98	0.0075

5. 強度評価結果

燃料移送ポンプの構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価結果 (ケーシング)

施設名称	$P_1 + \Delta P_{max}$ (MPa)	許容限界 (MPa)
燃料移送ポンプ	0.9875	1.47

VI-3-別添 1-13 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書



VI-3-別添 1-13-1 建物の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	17
2.4 適用規格・基準等	20
3. 強度評価方法	21
3.1 記号の定義	21
3.2 評価対象部位	21
3.3 荷重及び荷重の組合せ	22
3.4 許容限界	24
3.5 評価方法	25
4. 評価条件	35
5. 強度評価結果	46
5.1 変形性能の評価結果	46
5.2 相対変位による評価結果	47

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である 1 号機原子炉建物、1 号機タービン建物、1 号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室が、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように、竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物並びに屋外の外部事象防護対象施設である排気筒に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、1 号機原子炉建物、1 号機タービン建物、1 号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

1 号機原子炉建物は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、倒壊により廃棄物処理建物及び制御室建物に損傷を及ぼす可能性がある建物である。

1 号機タービン建物は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、タービン建物及び制御室建物に隣接する建物である。また、倒壊により廃棄物処理建物に損傷を及ぼす可能性がある建物である。

1 号機廃棄物処理建物は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、廃棄物処理建物及び制御室建物に隣接する建物である。

排気筒モニタ室は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、排気筒に隣接する建物である。

1 号機原子炉建物、1 号機タービン建物、1 号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の設置位置を図 2-1 に示す。

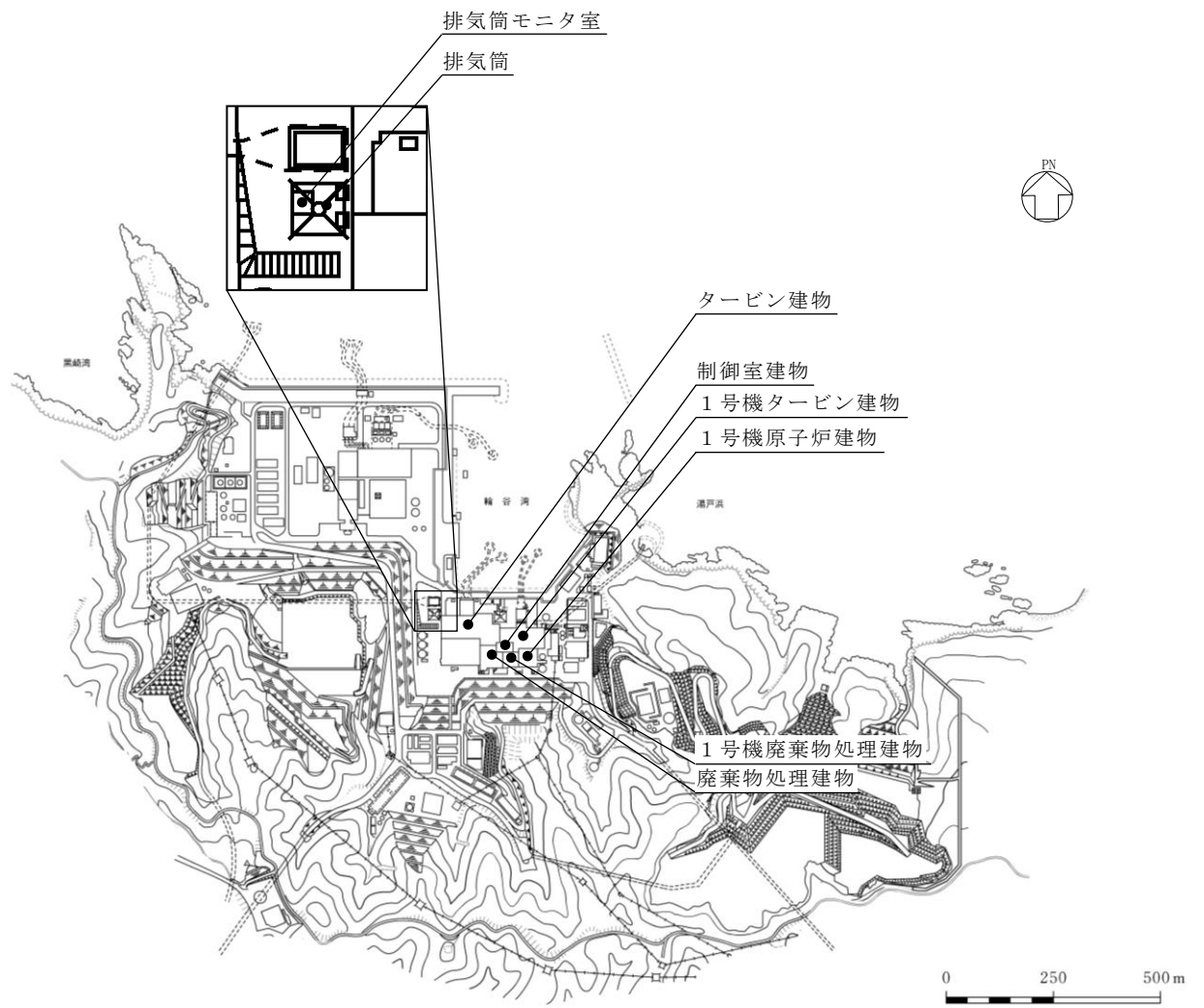


図 2-1 1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物  
及び排気筒モニタ室の設置位置

## 2.2 構造概要

1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室から波及的影響を受けるおそれがあるタービン建物，廃棄物処理建物，制御室建物及び排気筒は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

1号機原子炉建物は，地上5階，地下1階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。1号機タービン建物は，地上1階（一部地上2階），地下2階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物であり，隣接するタービン建物及び制御室建物と構造的に分離している。1号機廃棄物処理建物は，地上3階，地下1階建の鉄筋コンクリート造の建物であり，隣接する廃棄物処理建物及び制御室建物と構造的に分離している。排気筒モニタ室は，1階建の鉄筋コンクリート造の建物であり，排気筒モニタ室の基礎は隣接する排気筒の基礎と一体構造である。

1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の概略断面図を図2-2～図2-5に，建物配置図を図2-6に，図2-6に記載した各建物のクリアランス部分の詳細を図2-7～図2-12に示す。

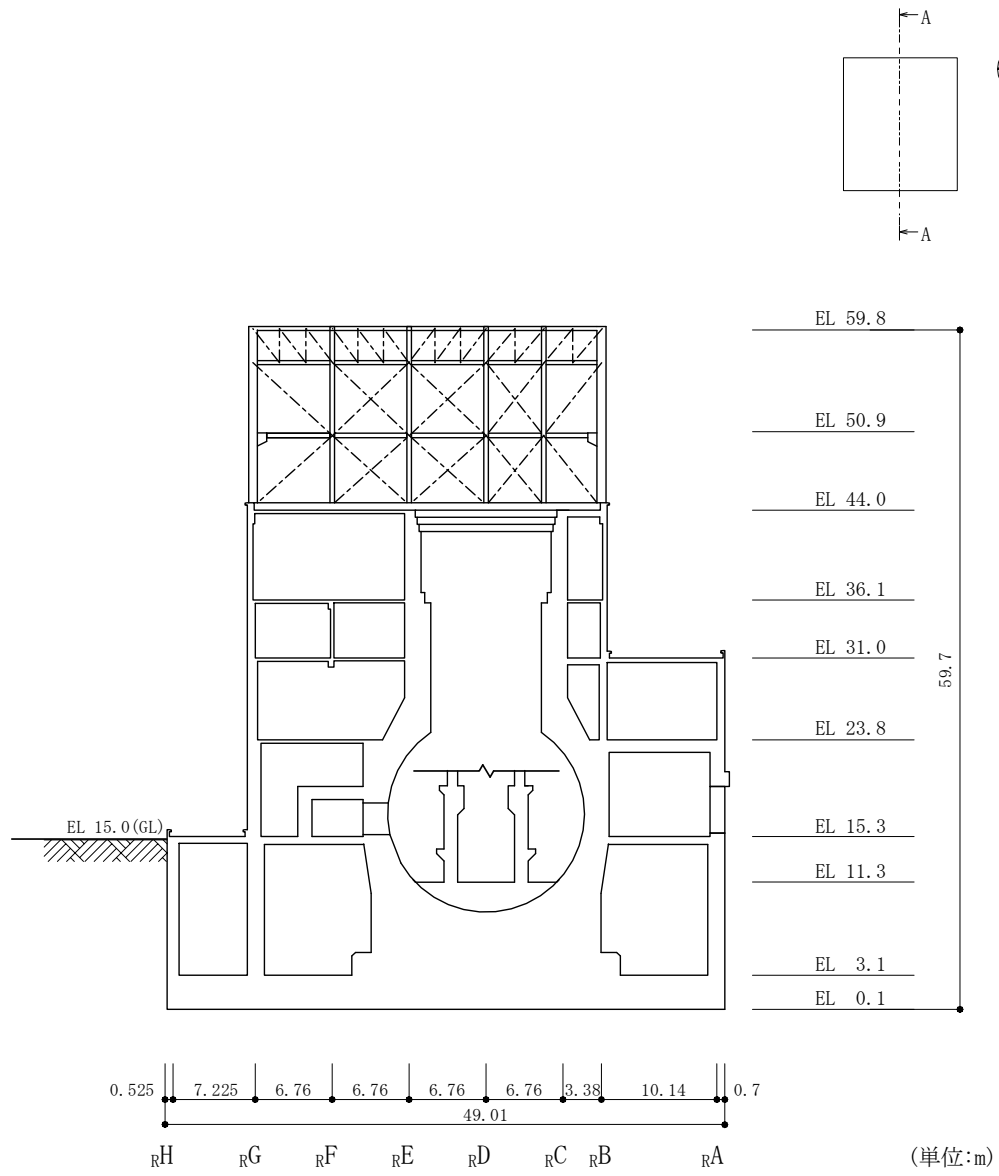


図 2-2(1) 1号機原子炉建物の概略断面図 (A-A断面, NS方向)

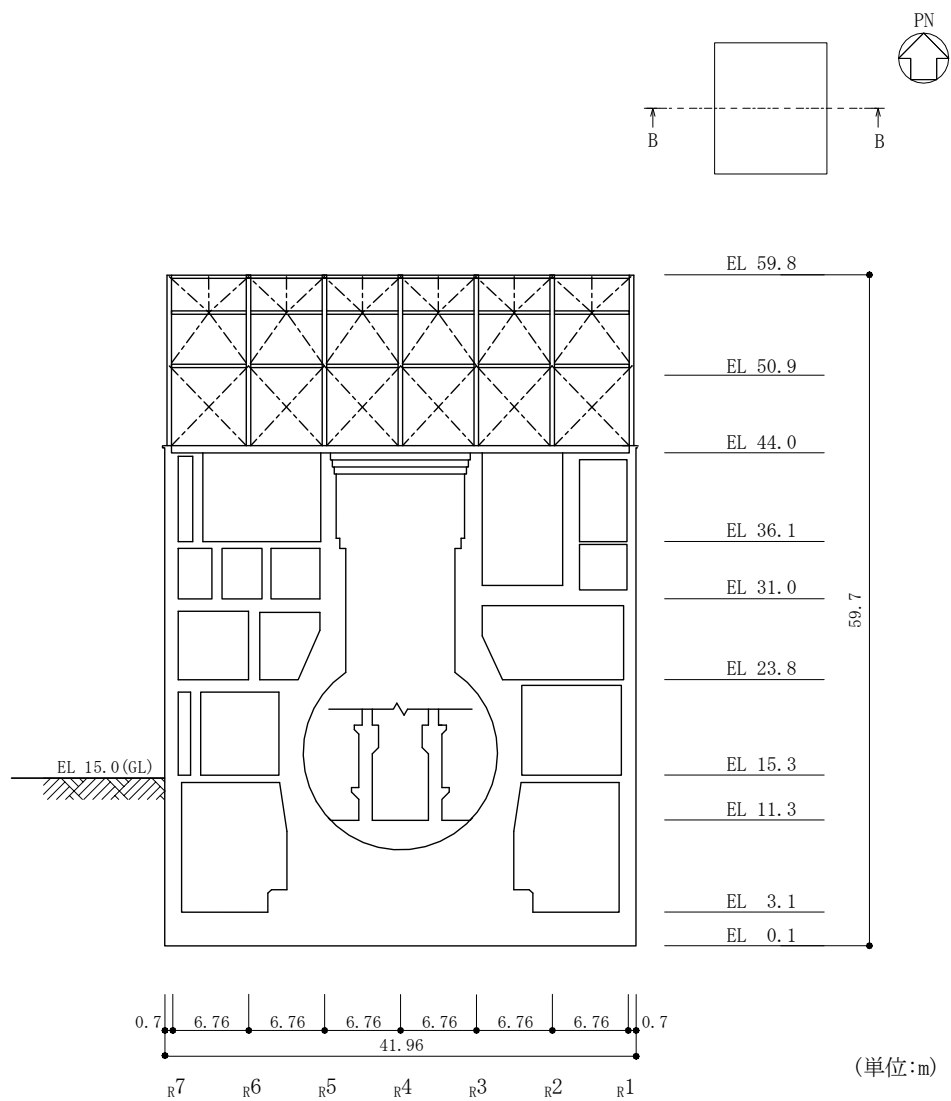


図 2-2(2) 1号機原子炉建物の概略断面図 (B-B断面, EW方向)

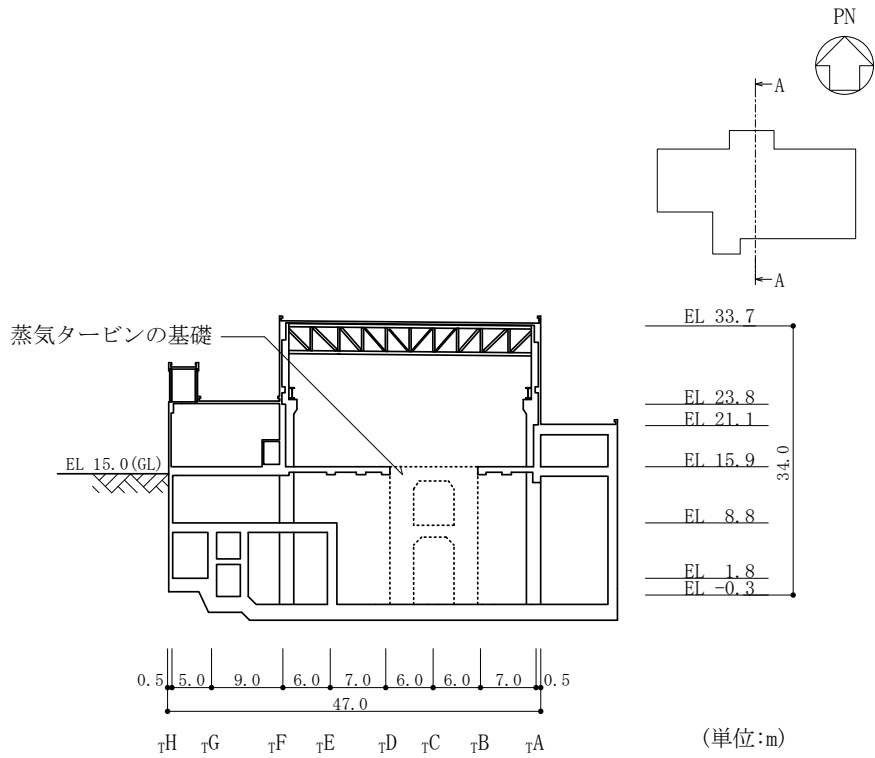


図 2-3(1) 1号機タービン建物の概略断面図 (A-A断面, N S方向)

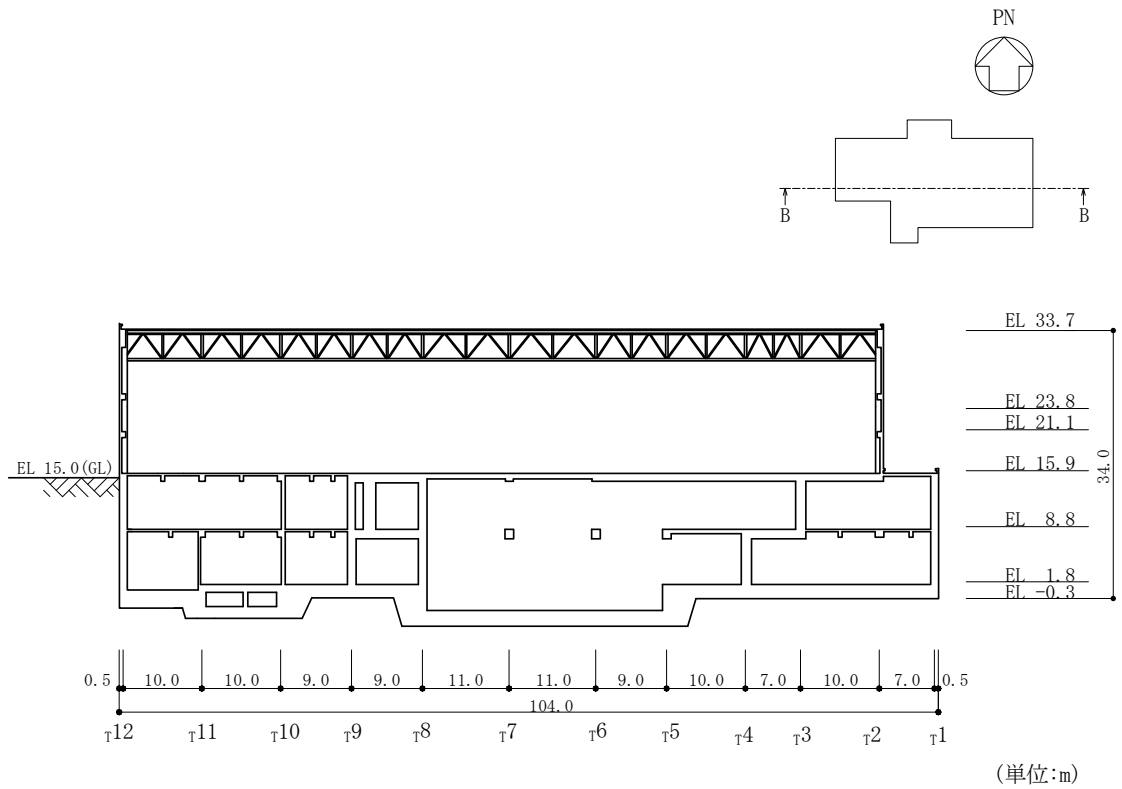


図 2-3(2) 1号機タービン建物の概略断面図 (B-B断面, E W方向)



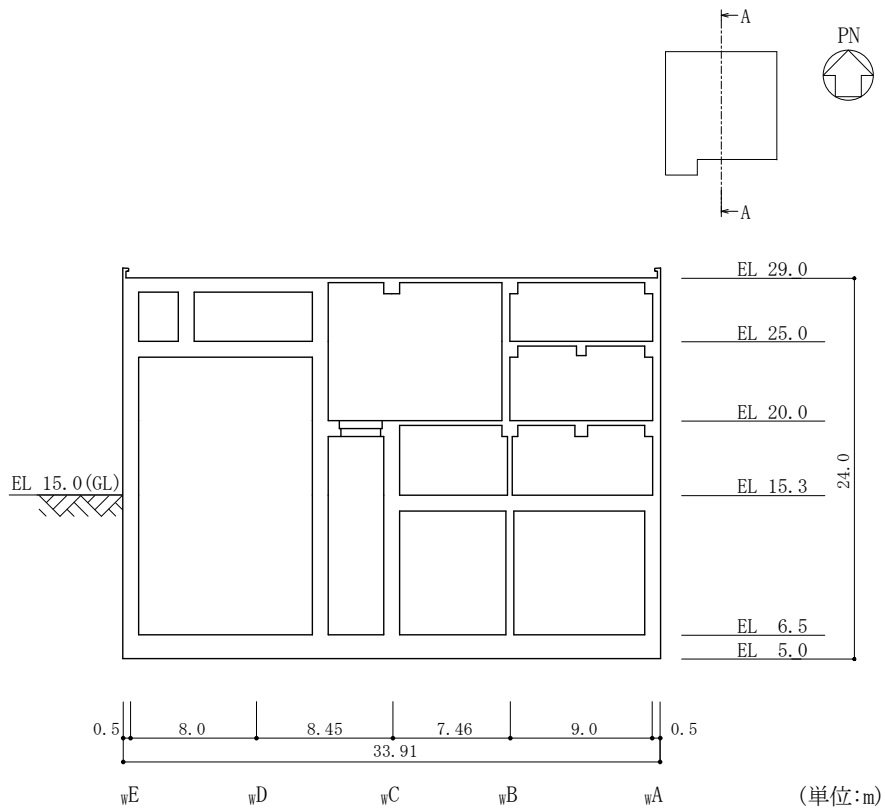


図 2-4(1) 1号機廃棄物処理建物の概略断面図 (A-A断面, N S 方向)

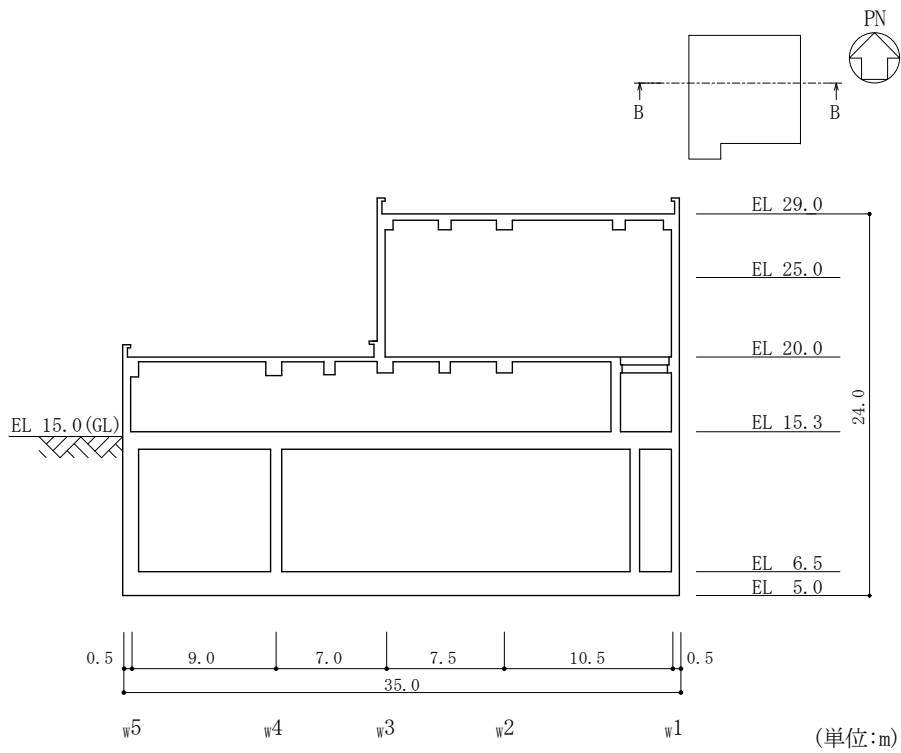


図 2-4(2) 1号機廃棄物処理建物の概略断面図 (B-B断面, E W 方向)

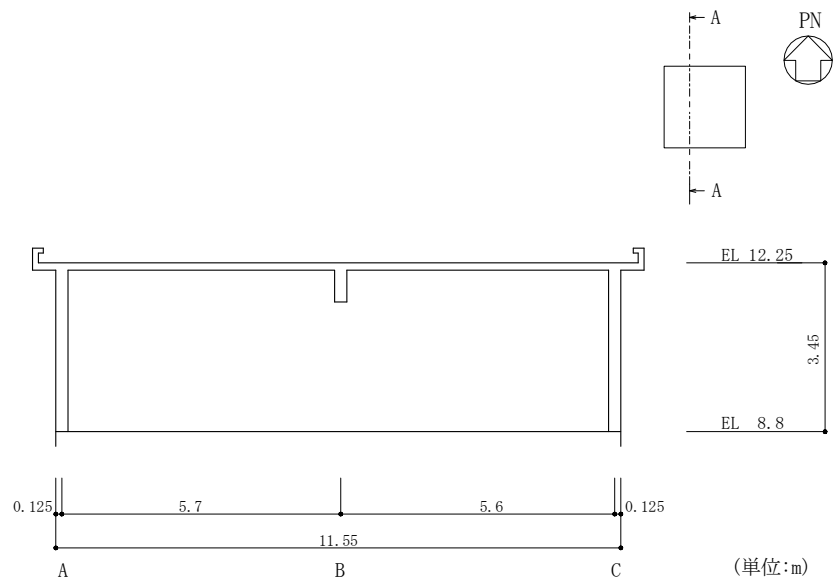


図 2-5(1) 排気筒モニタ室の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

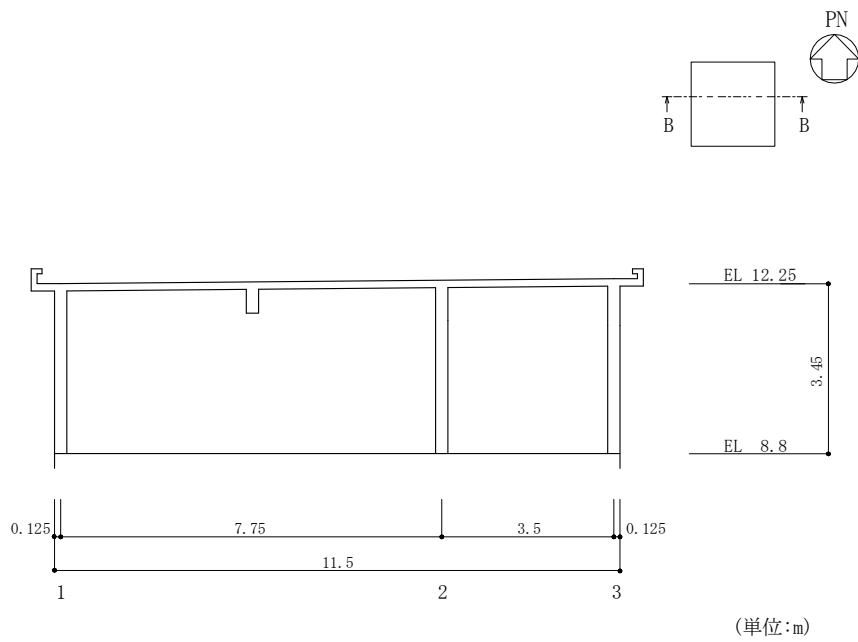


図 2-5(2) 排気筒モニタ室の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

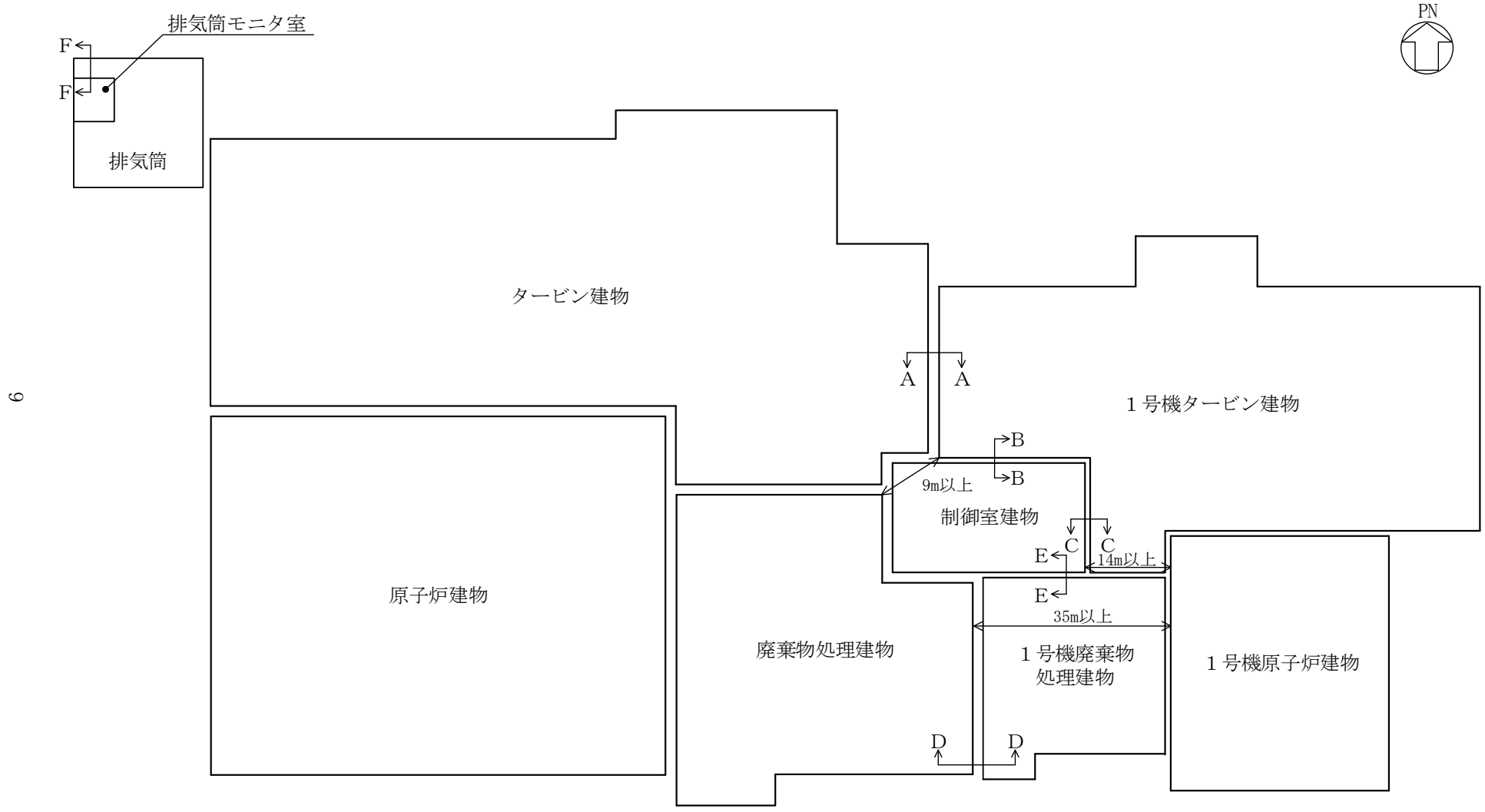


図 2-6(1) 建物配置図

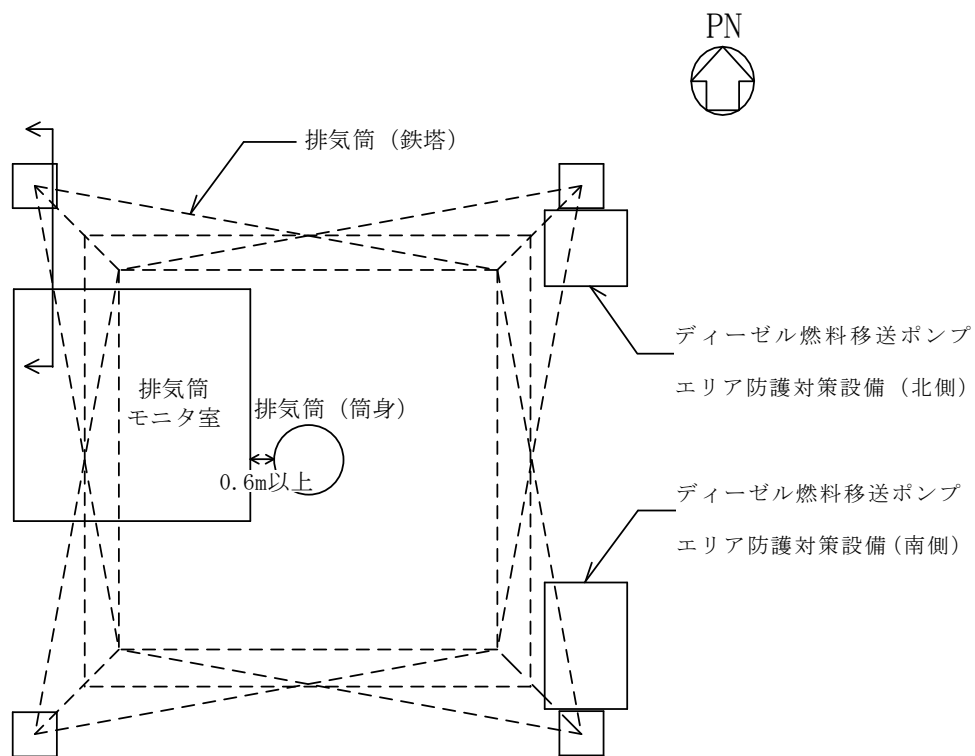


図 2-6(2) 建物配置図 (排気筒モニタ室及び排気筒の詳細)

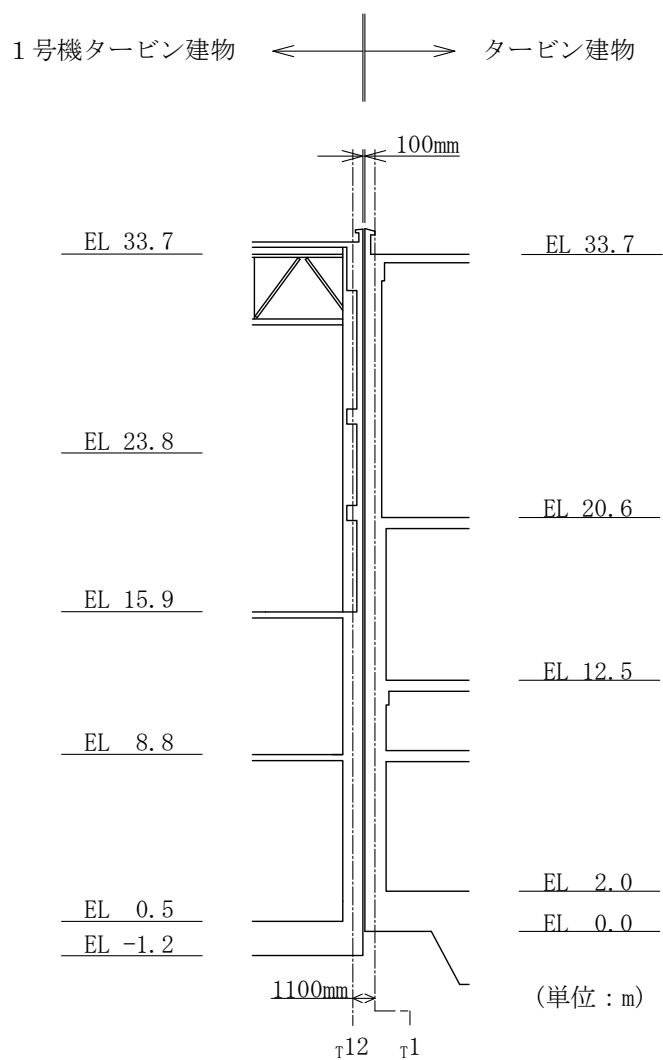


図 2-7 1号機タービン建物とタービン建物のクリアランス  
(図 2-6(1) A-A断面) の詳細

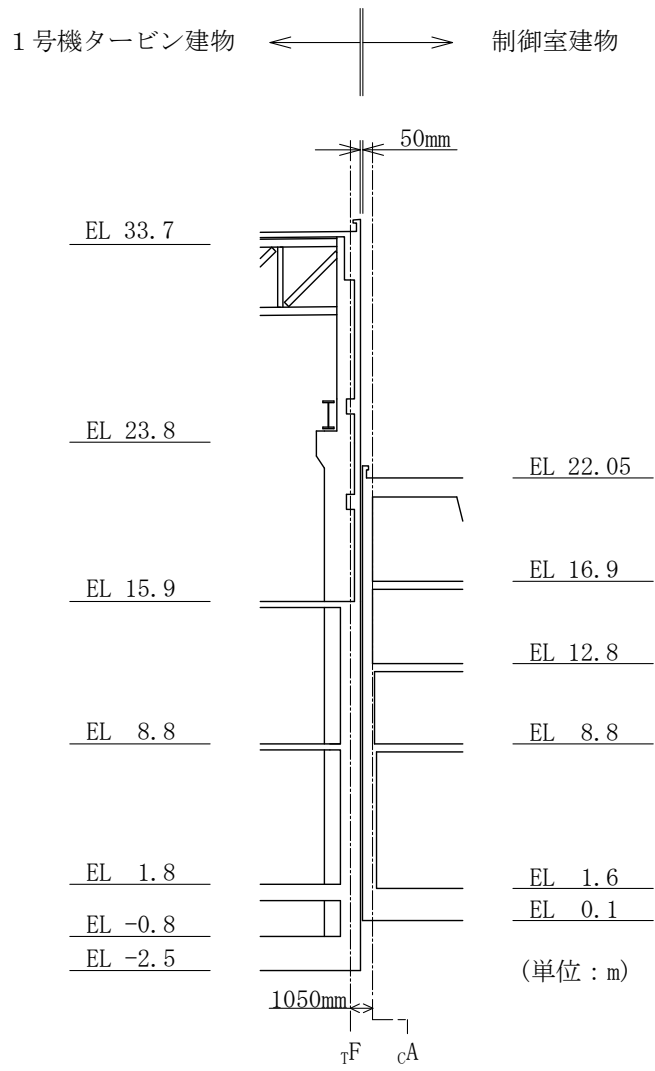


図 2-8 1号機タービン建物と制御室建物のクリアランス  
(図 2-6(1) B-B 断面) の詳細

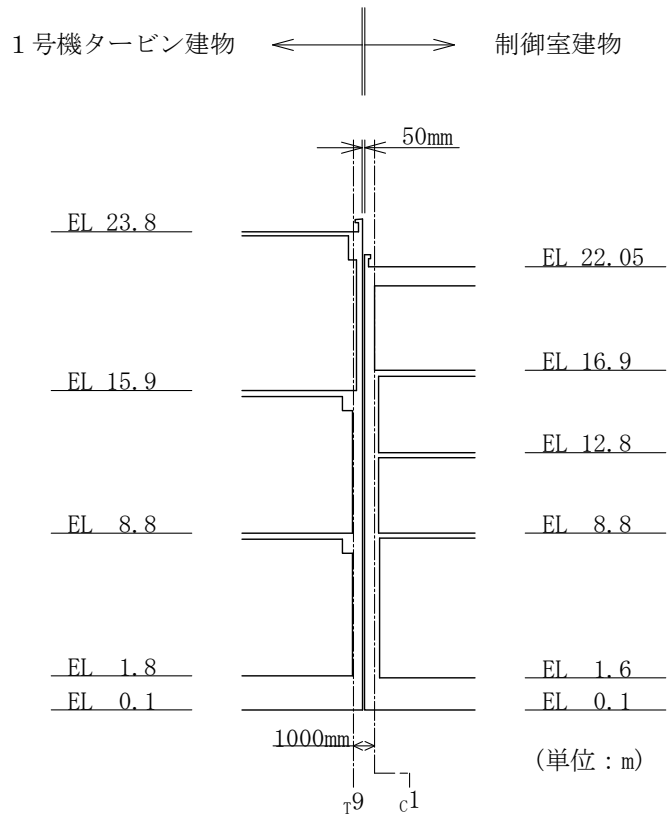


図 2-9 1号機タービン建物と制御室建物のクリアランス  
(図 2-6(1) C-C断面)の詳細

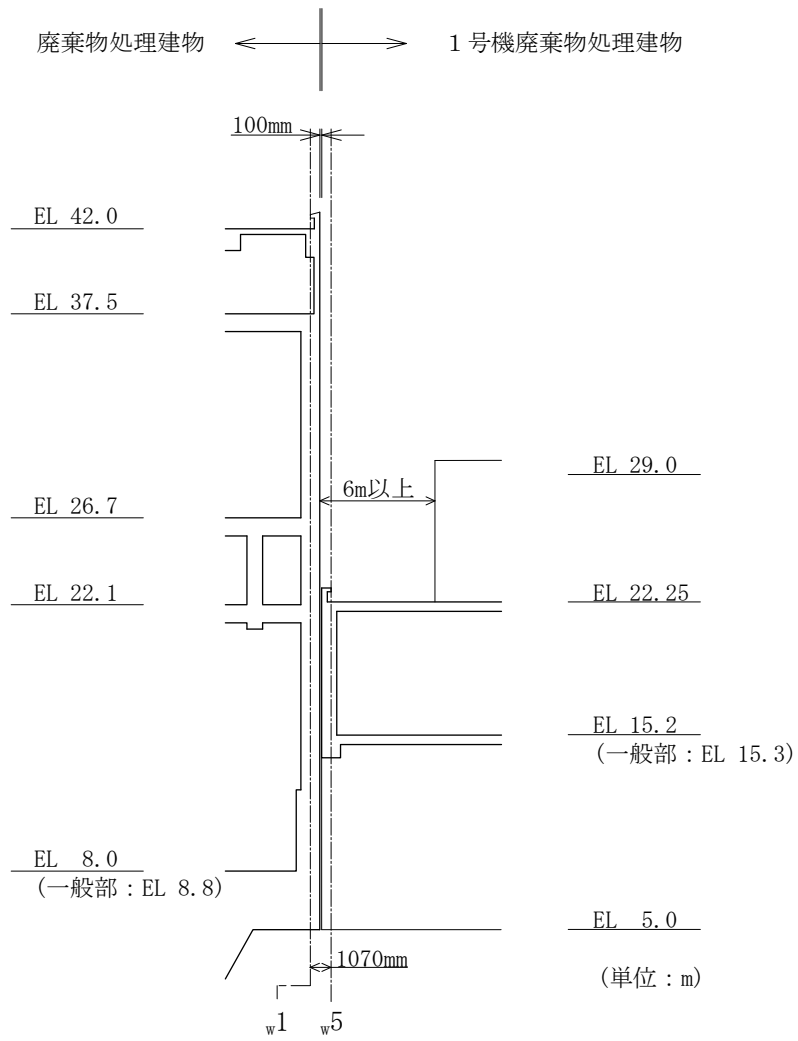


図 2-10 1号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物のクリアランス  
 (図 2-6(1) D-D断面) の詳細



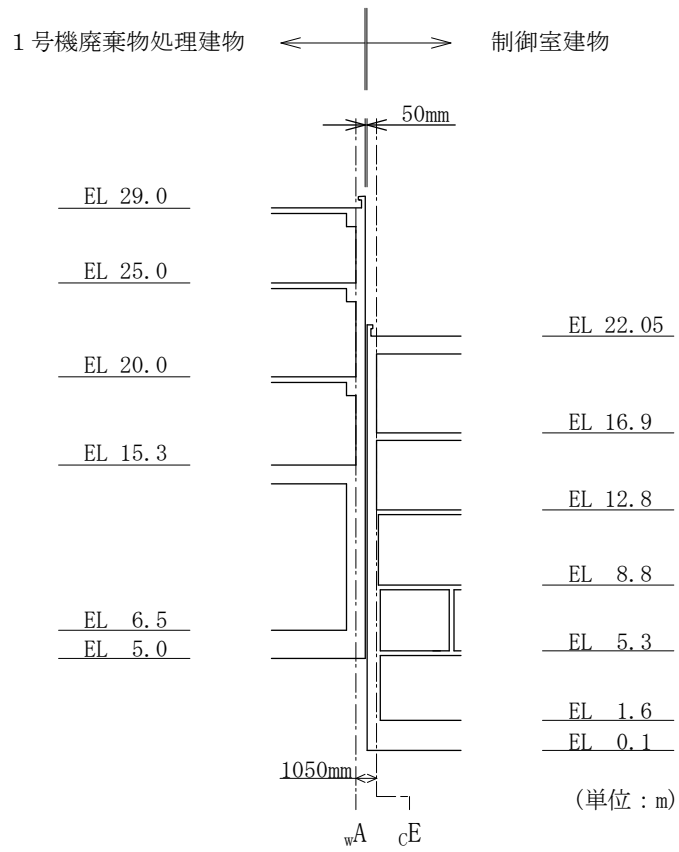


図 2-11 1号機廃棄物処理建物と制御室建物のクリアランス  
(図 2-6(1) E-E 断面) の詳細

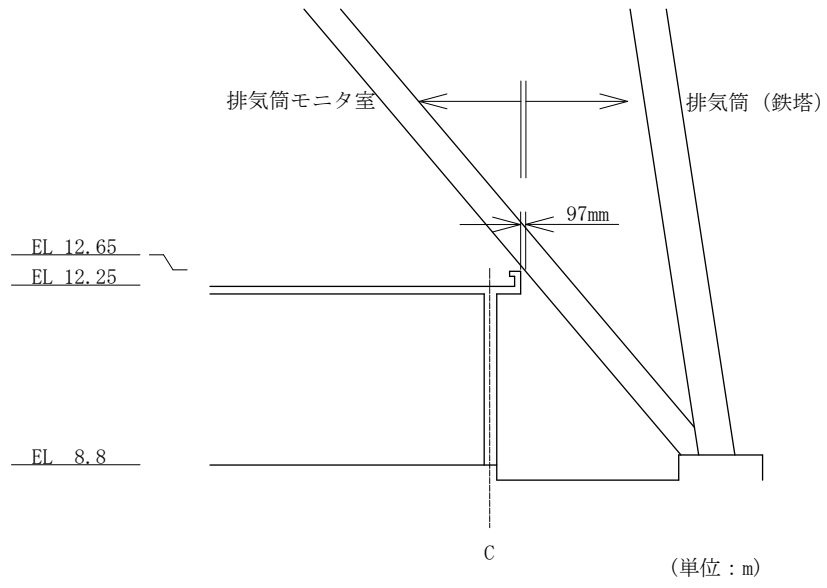


図 2-12 排気筒モニタ室と排気筒 (鉄塔) のクリアランス  
(図 2-6 F-F 断面) の詳細

### 2.3 評価方針

1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の強度評価は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室が，倒壊により竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物並びに屋外の外部事象防護対象施設である排気筒に影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の構造強度評価においては，設計荷重に対し，鉄骨部の層間変形角及び耐震壁のせん断ひずみが，「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」により設定した許容限界を超えないことを確認する「変形性能の評価」を行う。

また，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室が，隣接する竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物並びに屋外の外部事象防護対象施設である排気筒に接触し影響を及ぼさないことを確認する「相対変位による評価」を行う。

1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の相対変位による評価においては，設計荷重に対し，タービン建物，廃棄物処理建物，制御室建物及び排気筒（鉄塔）との最大相対変位を算定し，接触を生じないことを確認する。

なお，1号機原子炉建物は制御室建物と14m以上，廃棄物処理建物と35m以上離れており，1号機原子炉建物が倒壊しない限り衝突・接触することはない。1号機タービン建物は廃棄物処理建物と9m以上離れており，1号機タービン建物が倒壊しない限り衝突・接触することはない。排気筒モニタ室は排気筒（筒身）と0.6m以上離れており，排気筒モニタ室が倒壊しない限り衝突・接触することはない。

変形性能の評価フロー及び相対変位による評価フローを図2-13及び図2-14に示す。

〔 1号機原子炉建物， 1号機タービン建物， 1号機廃棄物処理建物  
及び排気筒モニタ室の変形性能の評価 〕

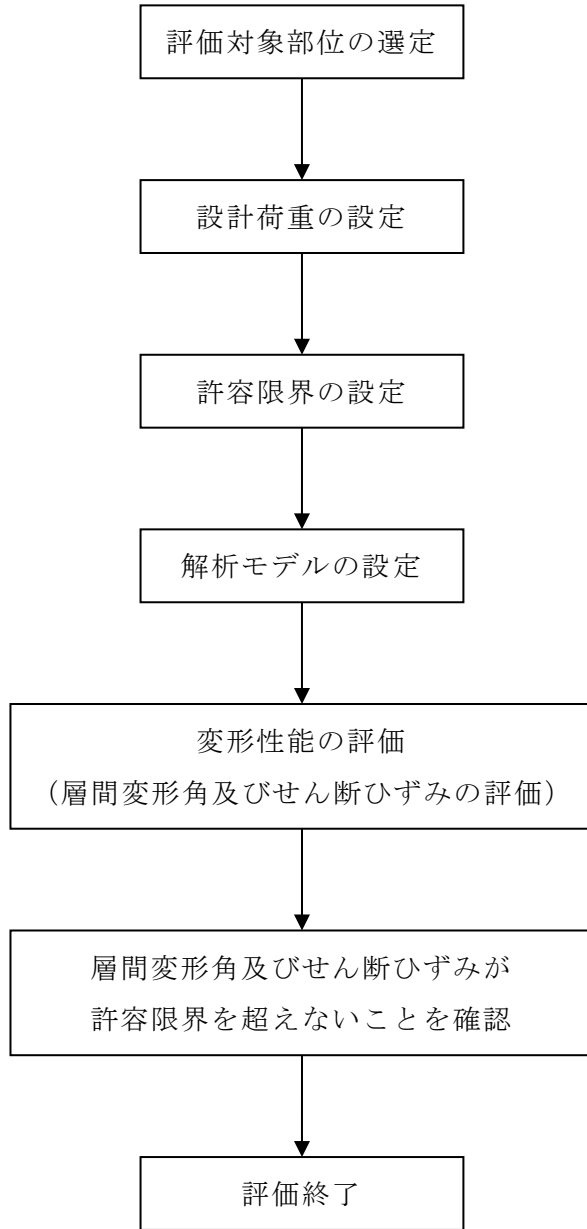


図 2-13 変形性能の評価フロー

〔1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物  
及び排気筒モニタ室の相対変位による評価〕

〔タービン建物，廃棄物処理建物，制御室  
建物及び排気筒の相対変位による評価〕

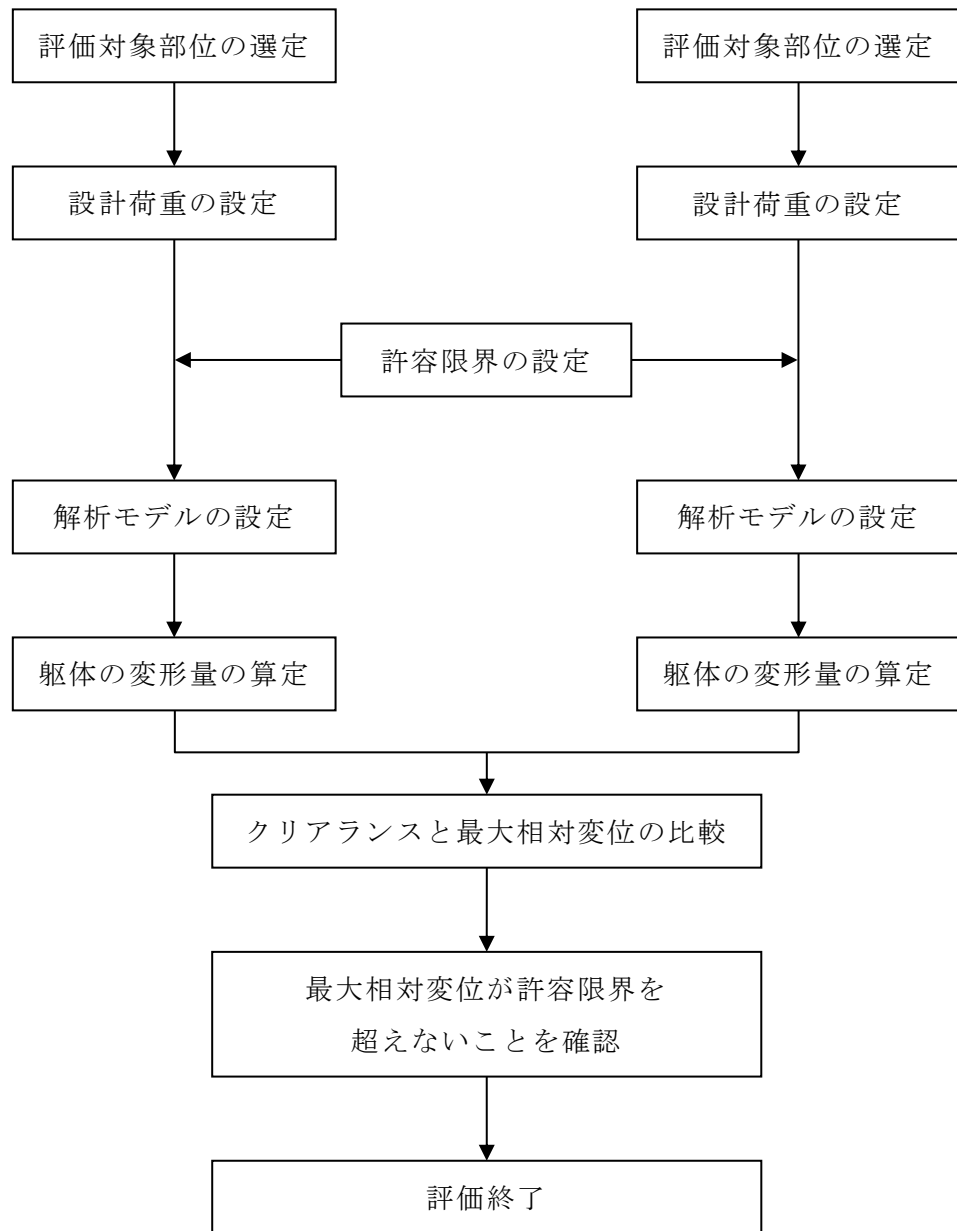


図 2-14 相対変位による評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ( (社) 日本電気協会)
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ( (社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ( (社) 日本建築学会, 2005 改定)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

波及的影響に関する強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	施設の受圧面積
C	—	風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の風速
W <sub>M</sub>	N	設計飛来物による衝撃荷重
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
W <sub>W</sub>	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
Δ P <sub>max</sub>	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量
m	kg	設計飛来物質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度（水平）
Δ t	s	設計飛来物の被衝突体の接触時間
L <sub>1</sub>	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

#### 3.2 評価対象部位

1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の評価対象部位は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価基準を踏まえ，各建物の構造躯体とする。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 $W_w$ はVI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )」に示す式に従い算定する。

風力係数 $C$ は、「建築基準法・同施行令」に基づき設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで, } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

##### b. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重 $W_p$ については、気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A$$

##### c. 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ については、次式の設計飛来物による衝撃荷重の算定式によって算定した運動エネルギーが最大となる鋼製材の衝撃荷重 $W_M = 1760\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$W_M = m \cdot V / \Delta t = m \cdot V^2 / L_1$$

設計飛来物の諸元を表 3-2 に示す。

表 3-2 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51



(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重の組合せを踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重を組み合わせる。なお、常時作用する荷重については、竜巻時せん断力の算定に際しては評価結果に影響しないため考慮しない。

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

設計荷重の種類	荷重の組合せ
複合荷重 $W_{T1}$	$W_P$
複合荷重 $W_{T2}$	$W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$

$W_W$ ：風圧力による荷重

$W_P$ ：気圧差による荷重

$W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

### 3.4 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界に基づき、表 3-4 のとおり設定する。

表 3-4 許容限界

機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物及び排気筒に波及的影響を及ぼさない	鉄骨部	層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/120*
	耐震壁	せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$
	1号機タービン建物及びタービン建物	建物・構築物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 100mm
	1号機タービン建物及び制御室建物		相対変位 50mm
	1号機廃棄物処理建物及び廃棄物処理建物		相対変位 100mm
	1号機廃棄物処理建物及び制御室建物		相対変位 50mm
	排気筒モニタ室及び排気筒（鉄塔）		相対変位 97mm

注記\*：「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」により設定。

### 3.5 評価方法

1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の鉄骨部の層間変形角，耐震壁のせん断ひずみ及び躯体の変形量は，設計荷重による地震応答解析モデルを用いた静的解析により算定する。

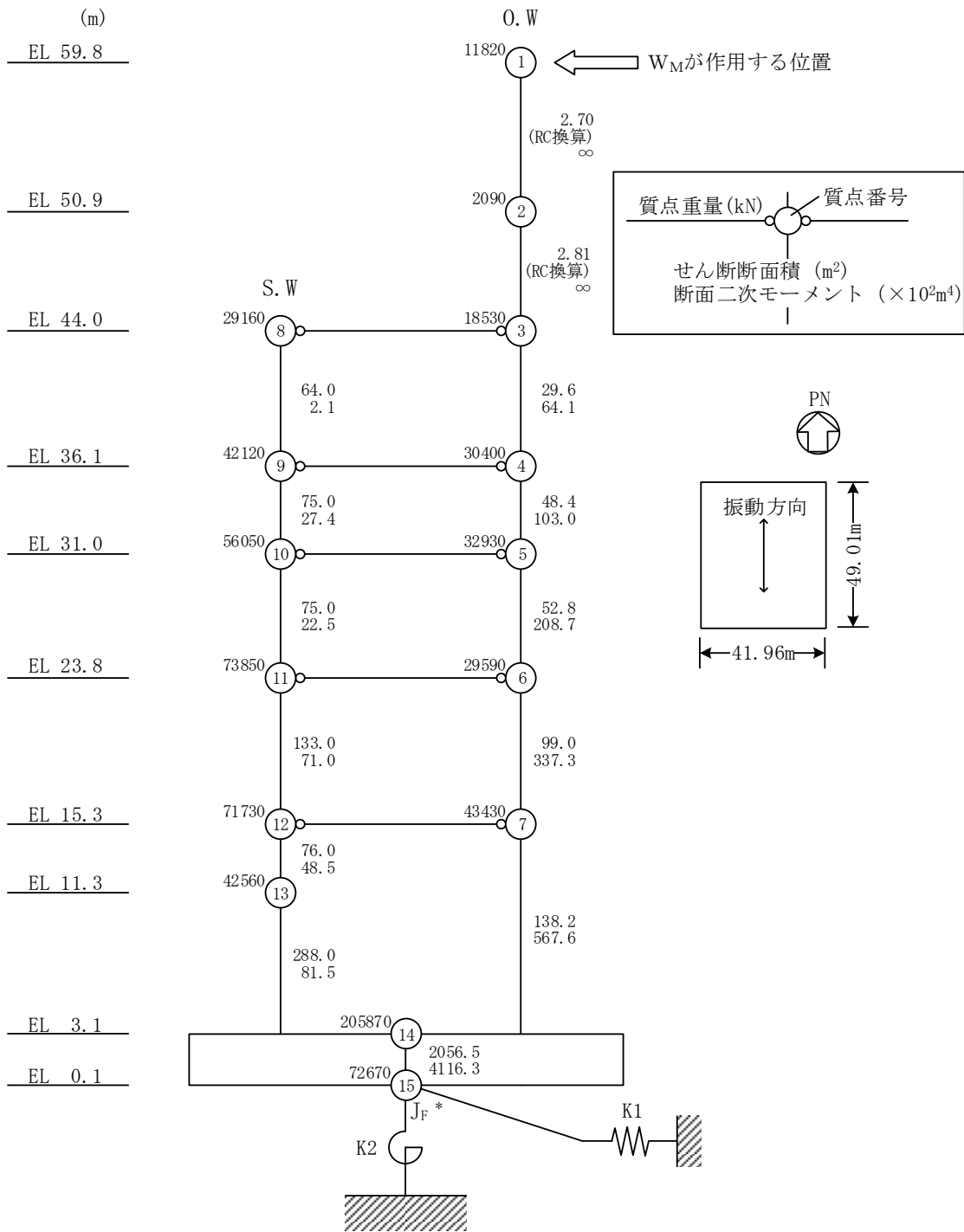
1号機原子炉建物，1号機タービン建物，1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の解析モデル図を図3-1～図3-4に示す。1号機原子炉建物の解析モデルは，VI-2-11-2-1-1「1号機原子炉建物の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルのうち，地盤と建物の相互作用をスウェイ及びロッキングの地盤ばねとして設定したモデルを用いる。1号機タービン建物の解析モデルはVI-2-11-2-1-2「1号機タービン建物の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを，1号機廃棄物処理建物の解析モデルはVI-2-11-2-1-3「1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを，排気筒モニタ室の解析モデルはVI-2-11-2-1-6「排気筒モニタ室の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。

設計荷重のうち，風圧力による荷重 $W_w$ は，建物の形状を考慮して算定した風力係数及び受圧面積に基づき算定する。

気圧差による荷重 $W_p$ は，建物の内部から外部に作用することから，建物層全体の評価においては相殺されるが，保守的に風圧力による荷重 $W_w$ の作用方向のみに作用するものとして考慮する。

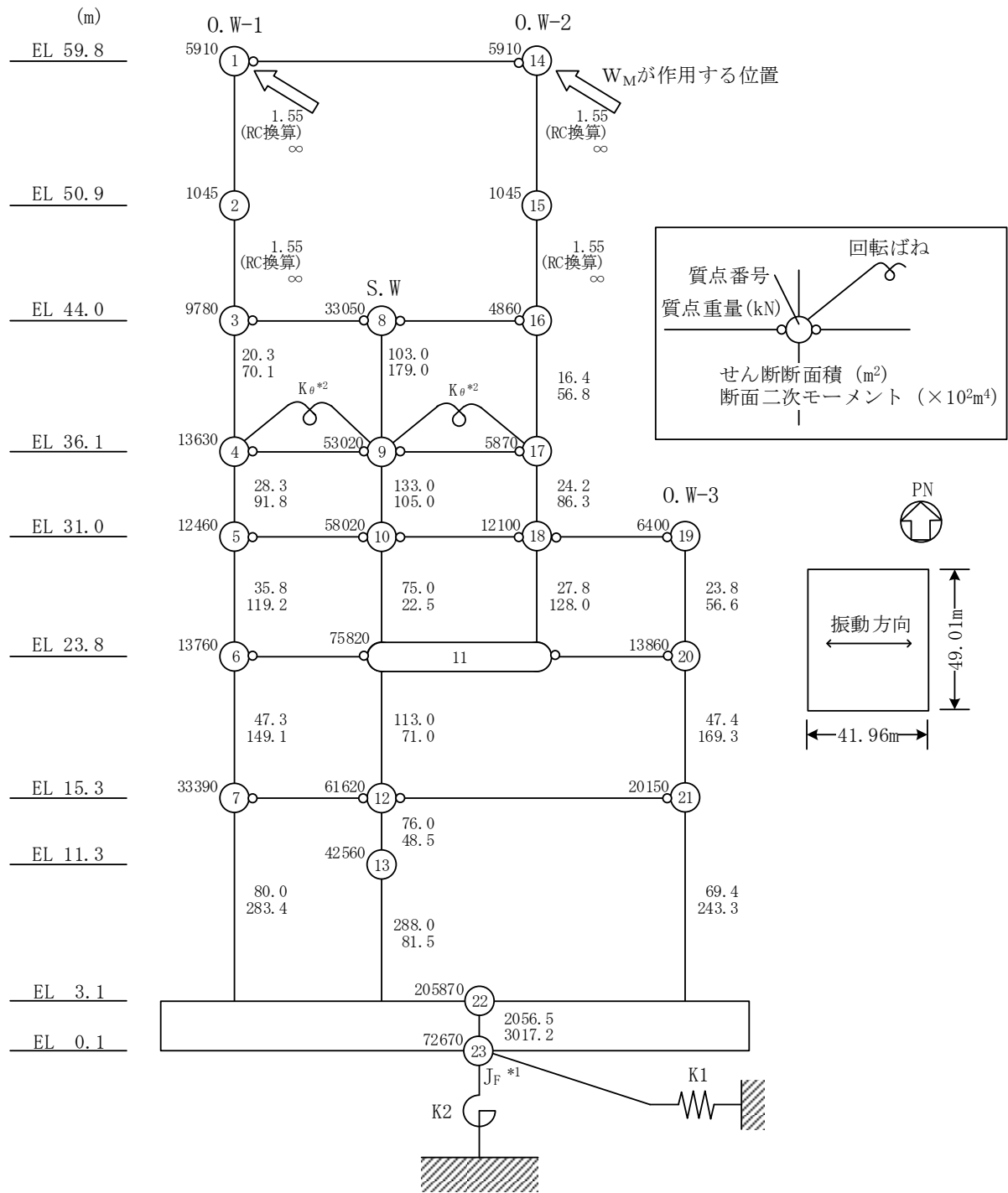
設計飛来物による衝撃荷重 $W_m$ は，建物最上部質点に作用するものとする。ここで，地震応答解析モデルが多軸の場合には，各軸の最上部の質点に $W_m$ が作用するものとする。

静的解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。評価に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注記\* : 回転慣性重量(16.85×10<sup>7</sup>kN・m<sup>2</sup>)

図 3-1(1) 1号機原子炉建物の解析モデル図 (NS方向)



注記\*1：回転慣性重量 ( $12.77 \times 10^7 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

\*2：燃料プール壁の回転ばね ( $2.329 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$ )

図 3-1(2) 1号機原子炉建物の解析モデル図 (EW方向)

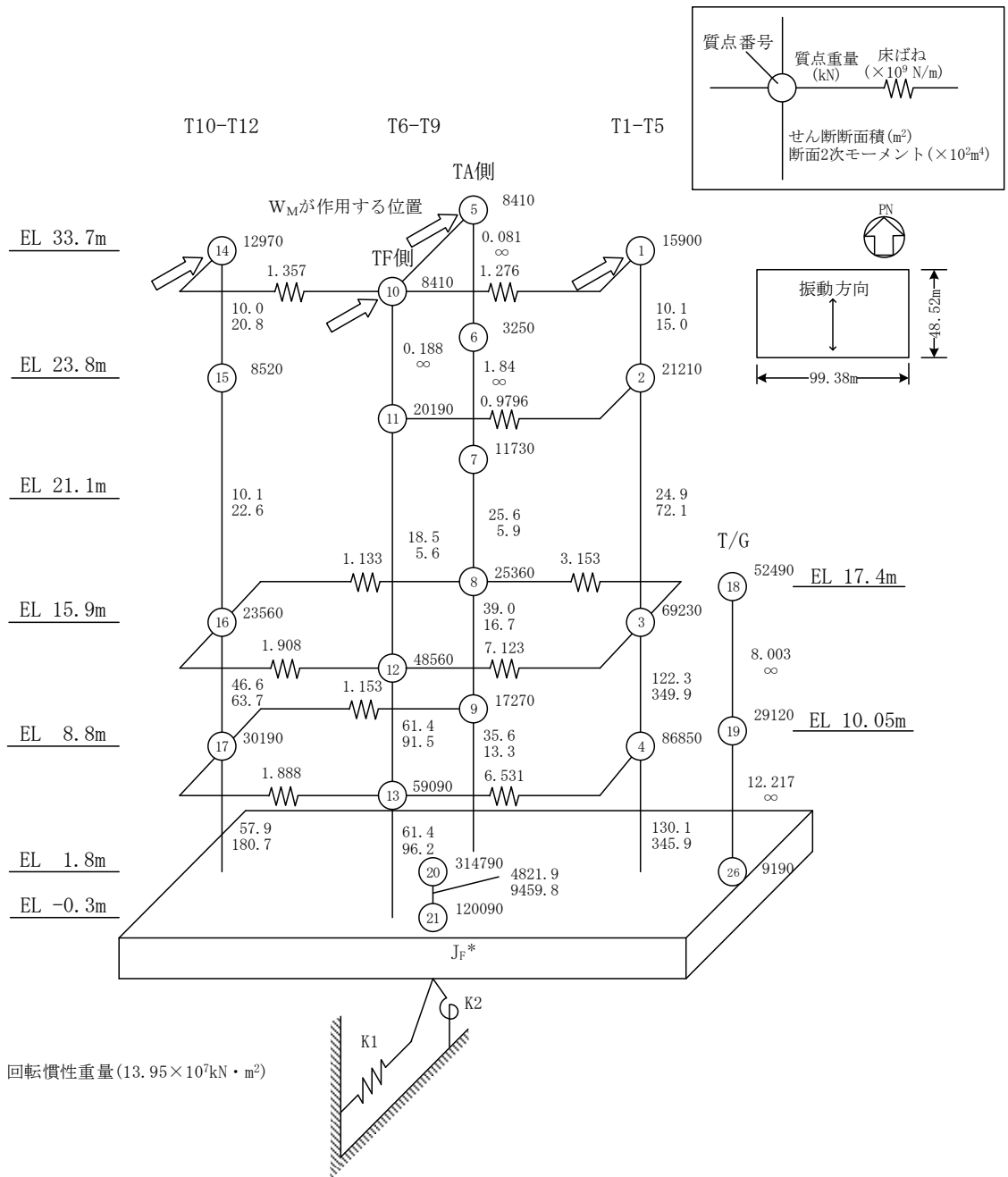


図 3-2(1) 1号機タービン建物の解析モデル図 (NS方向)

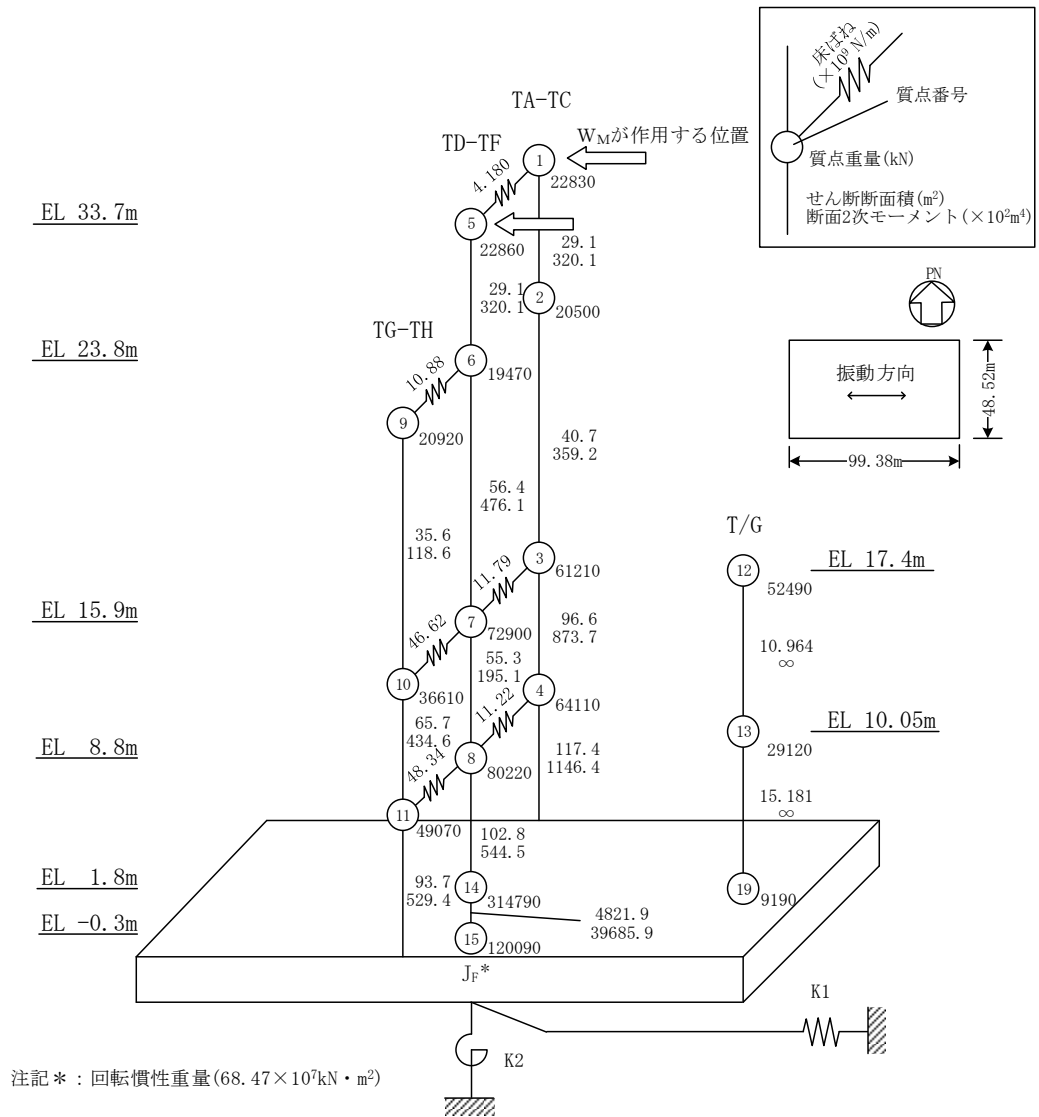
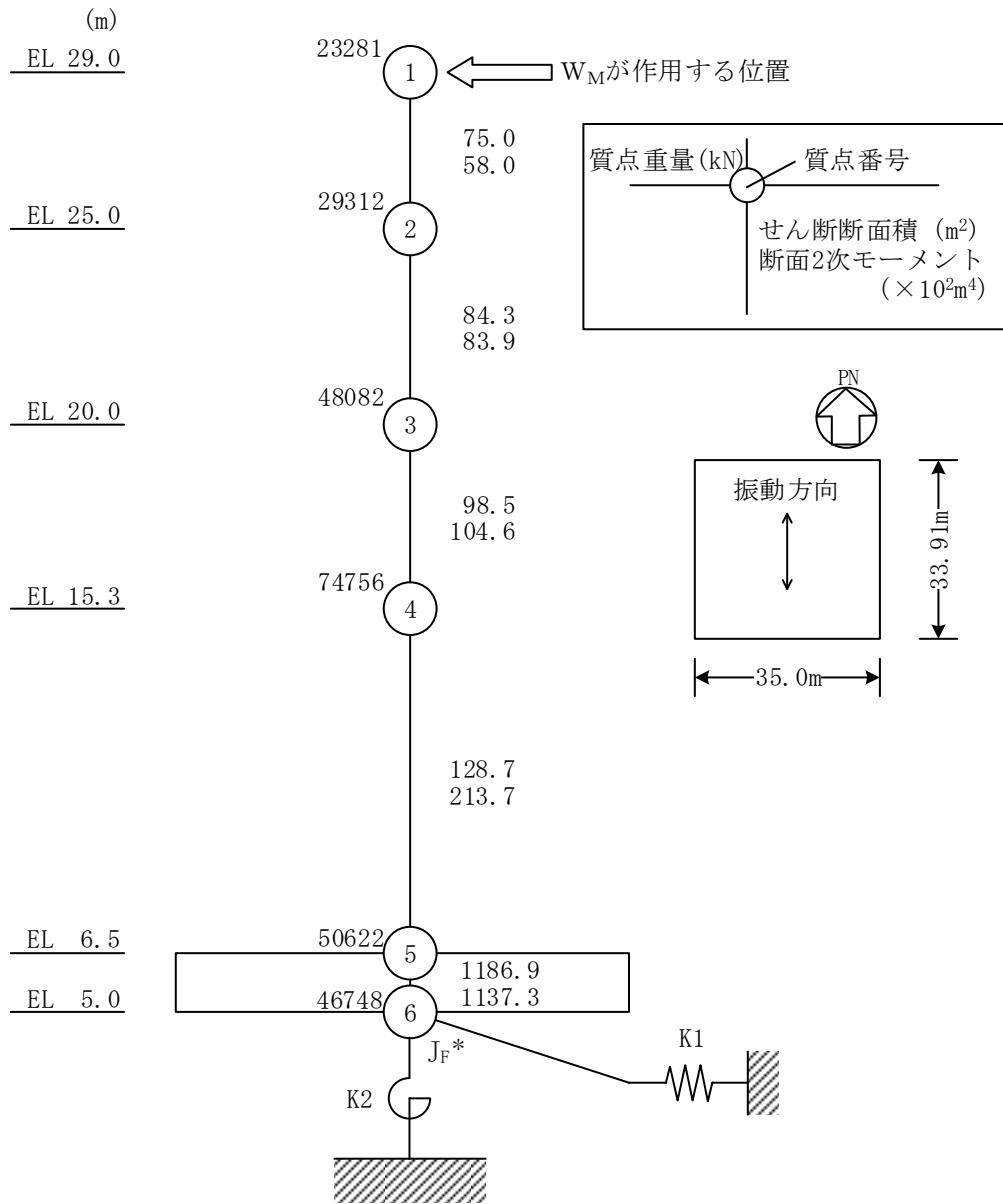


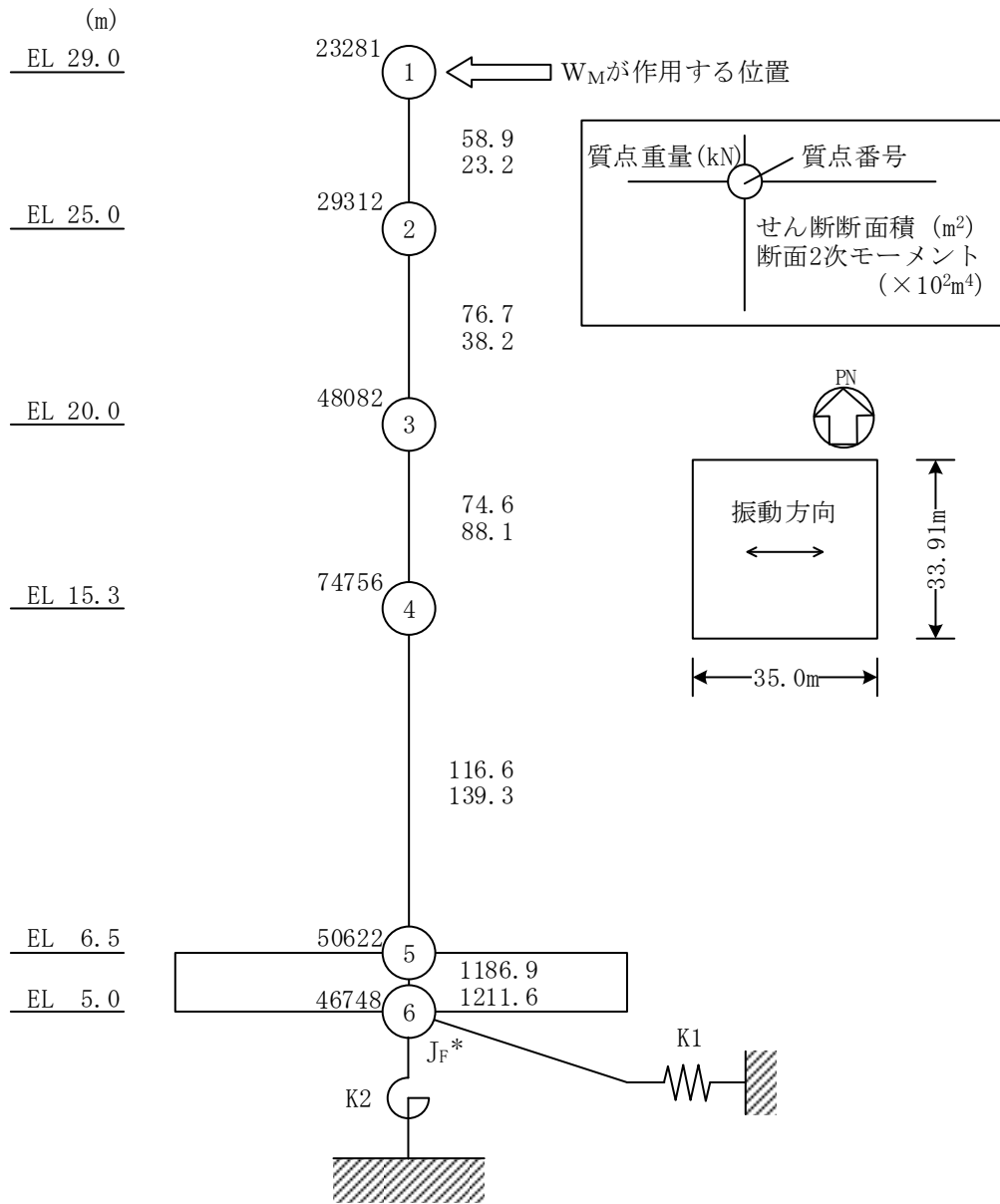
図 3-2(2) 1号機タービン建物の解析モデル図 (EW方向)



注記\* : 回転慣性重量(28.31×10<sup>6</sup> kN・m<sup>2</sup>)

図 3-3(1) 1号機廃棄物処理建物の解析モデル図 (NS方向)





注記\* : 回転慣性重量 ( $30.02 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ )

図 3-3(2) 1号機廃棄物処理建物の解析モデル図 (EW方向)

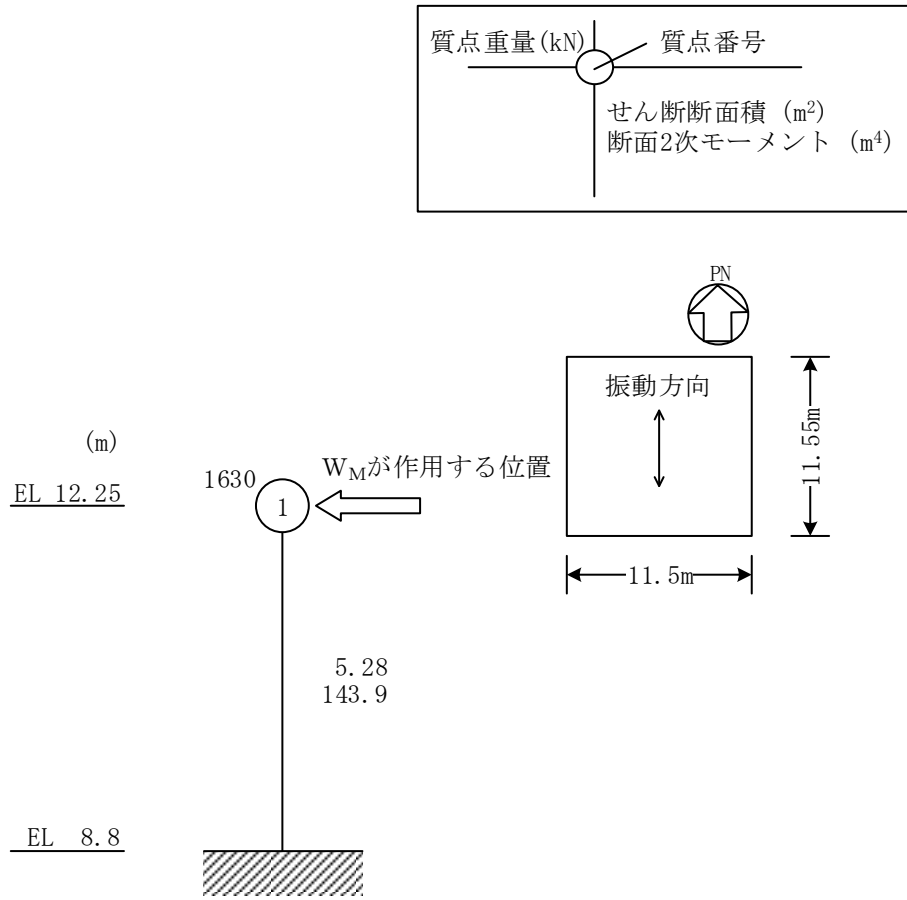


図 3-4(1) 排気筒モニタ室の解析モデル図 (NS 方向)

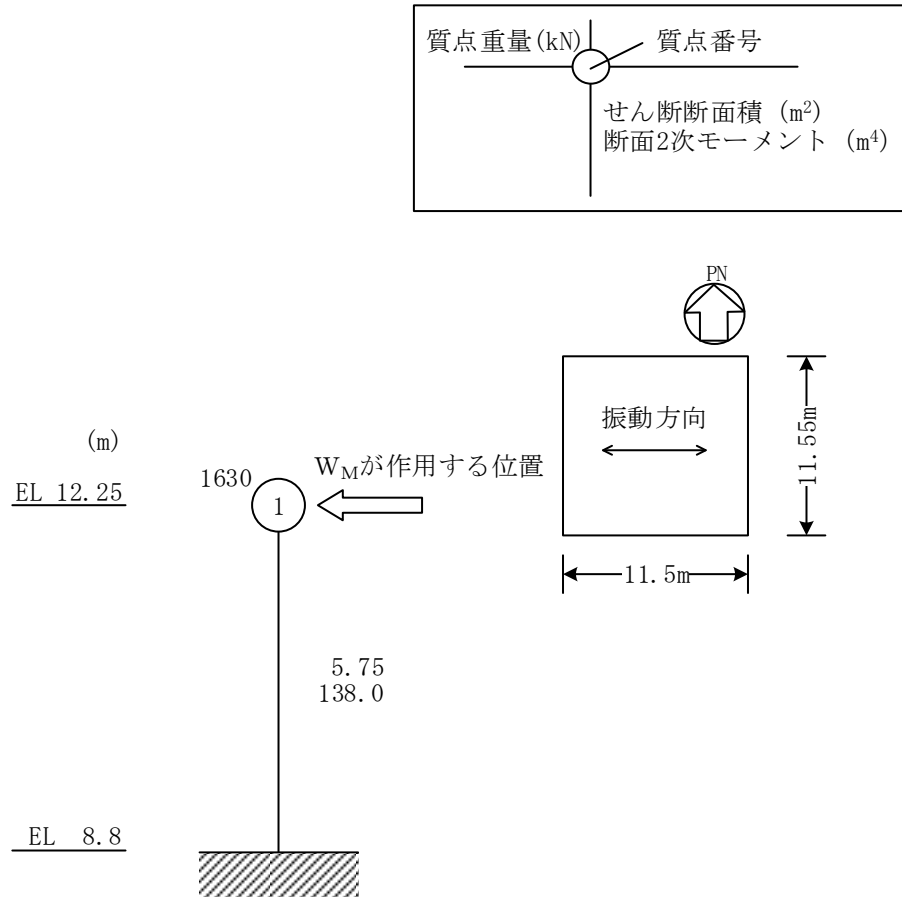


図 3-4(2) 排気筒モニタ室の解析モデル図 (EW方向)

タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物の変形量は、設計荷重による地震応答解析モデルを用いた静的解析により算定する。排気筒の変形量は、設計荷重による3次元FEMモデルを用いた衝突解析により算定する。

タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物の解析モデルはVI-3-別添 1-6「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」に示す解析モデルを用いる。排気筒の解析モデルは、VI-3-別添 1-10「排気筒の強度計算書」に示す解析モデルを用いる。

設計荷重のうち、風圧力による荷重 $W_w$ は、建物・構築物の形状を考慮して算定した風力係数及び受圧面積に基づき算定する。

気圧差による荷重 $W_p$ は、建物の内部から外部に作用することから、建物層全体の評価においては相殺されるが、保守的に風圧力による荷重 $W_w$ の作用方向のみに作用するものとする。なお、排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重 $W_p$ は考慮しない。

設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は、タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物に対しては、建物最上部質点に作用するものとする。ここで、解析モデルが多軸の場合には、各軸の最上部の質点に $W_M$ が作用するものとする。また、排気筒に対しては、VI-3-別添 1-10「排気筒の強度計算書」に示すとおり、最下段支柱材に作用するものとする。

#### 4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を、以下に示す。

変形性能の評価は、各建物に設計荷重が作用する場合のNS方向及びEW方向の検討を実施する。

相対変位による評価については、1号機タービン建物は、建物の西側にタービン建物及び制御室建物、南側に制御室建物が隣接しているため、設計荷重が東から西へ作用する場合及び北から南へ作用する場合の検討を実施する。1号機廃棄物処理建物は、建物の西側に廃棄物処理建物、北側に制御室建物が隣接しているため、設計荷重が東から西へ作用する場合及び南から北へ作用する場合の検討を実施する。排気筒モニタ室は、建物の北側に排気筒（鉄塔）が隣接しているため、設計荷重が南から北へ作用する場合の検討を実施する。

1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の算定条件を表4-1～表4-4に示す。1号機原子炉建物、1号機タービン建物及び1号機廃棄物処理建物については、隣接建物があり、実際には隣接する壁面の風荷重は極めて小さいと考えられるが、本評価では保守的に隣接する側の風荷重も考慮するものとする。

また、1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室のせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$ 関係）を表4-5～表4-12に示す。

表 4-1 1号機原子炉建物の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の算定条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A ( $m^2$ )	
			NS方向	EW方向
61.20~55.35	風上	0.8	249	189
	風下	0.4		
55.35~47.45	風上	0.8	336	254
	風下	0.4		
47.45~40.05	風上	0.8	312	236
	風下	0.4		
40.05~33.55	風上	0.8	273	206
	風下	0.4		
33.55~27.40	風上	0.8	258	239
	風下	0.4		
27.40~19.55	風上	0.8	329	329
	風下	0.4		
19.55~15.00	風上	0.8	191	198
	風下	0.4		

表 4-2 1号機タービン建物の風圧力による荷重 $W_w$ 及び  
気圧差による荷重 $W_p$ の算定条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A ( $m^2$ )		
			NS方向		EW方向
			北側	南側	
35.08~28.75	風上	0.8	614	614	209
	風下	0.4			
28.75~19.85	風上	0.8	917	863	457
	風下	0.4			
19.85~12.35	風上	0.8	703	757	486
	風下	0.4			
12.35~8.50	風上	0.8	401	401	249
	風下	0.4			

表 4-3 1号機廃棄物処理建物の風圧力による荷重 $W_w$ 及び  
気圧差による荷重 $W_p$ の算定条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A ( $m^2$ )	
			N S 方向	E W 方向
29.60~27.00	風上	0.8	75	88
	風下	0.4		
27.00~22.50	風上	0.8	133	155
	風下	0.4		
22.50~17.65	風上	0.8	170	188
	風下	0.4		
17.65~15.00	風上	0.8	93	103
	風下	0.4		

表 4-4 排気筒モニタ室の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の算定条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A ( $m^2$ )	
			N S 方向	E W 方向
12.65~8.50	風上	0.8	48	49
	風下	0.4		

表 4-5 1号機原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS方向)

0. W

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
59.8~50.9	19.9	—	—	2.16	—	—
50.9~44.0	19.3	—	—	2.10	—	—
44.0~36.1	1.65	2.23	4.03	0.180	0.540	4.00
36.1~31.0	1.74	2.34	4.48	0.189	0.567	4.00
31.0~23.8	1.77	2.39	4.56	0.193	0.579	4.00
23.8~15.3	1.80	2.42	4.74	0.195	0.586	4.00
15.3~3.1	1.89	2.55	4.52	0.206	0.617	4.00

S. W

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
44.0~36.1	1.58	2.13	3.41	0.172	0.515	4.00
36.1~31.0	1.69	2.28	4.28	0.184	0.552	4.00
31.0~23.8	1.63	2.20	4.55	0.178	0.533	4.00
23.8~15.3	1.75	2.37	4.12	0.191	0.573	4.00
15.3~11.3	2.12	2.87	4.39	0.231	0.694	4.00
11.3~3.1	1.89	2.55	4.00	0.206	0.617	4.00



表 4-6(1) 1号機原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W方向)

0. W-1

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
59.8~50.9	14.2	—	—	1.55	—	—
50.9~44.0	19.4	—	—	2.12	—	—
44.0~36.1	1.65	2.23	4.48	0.180	0.540	4.00
36.1~31.0	1.74	2.34	4.83	0.189	0.567	4.00
31.0~23.8	1.77	2.39	4.44	0.193	0.579	4.00
23.8~15.3	1.80	2.42	4.44	0.195	0.586	4.00
15.3~3.1	1.89	2.55	3.98	0.206	0.617	4.00

S. W

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
44.0~36.1	1.58	2.13	4.57	0.172	0.515	4.00
36.1~31.0	1.69	2.28	4.69	0.184	0.552	4.00
31.0~23.8	1.63	2.20	4.39	0.178	0.533	4.00
23.8~15.3	1.75	2.37	4.01	0.191	0.573	4.00
15.3~11.3	2.12	2.87	4.14	0.231	0.694	4.00
11.3~3.1	1.89	2.55	4.00	0.206	0.617	4.00

表 4-6(2) 1号機原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW方向)

0. W-2

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
59.8~50.9	14.2	—	—	1.55	—	—
50.9~44.0	19.4	—	—	2.12	—	—
44.0~36.1	1.65	2.23	3.76	0.180	0.540	4.00
36.1~31.0	1.74	2.34	3.76	0.189	0.567	4.00
31.0~23.8	1.77	2.39	3.63	0.193	0.579	4.00

0. W-3

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
31.0~23.8	1.77	2.39	5.27	0.193	0.579	4.00
23.8~15.3	1.80	2.42	5.20	0.195	0.586	4.00
15.3~3.1	1.89	2.55	4.48	0.206	0.617	4.00

表 4-7(1) 1号機タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

T1-T5

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~23.8	1.65	2.23	4.14	0.180	0.540	4.00
23.8~15.9	1.68	2.27	4.22	0.183	0.550	4.00
15.9~8.8	1.63	2.20	3.15	0.177	0.532	4.00
8.8~1.8	1.73	2.34	3.72	0.189	0.566	4.00

T6-T9(TA側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~23.8	—*					
23.8~21.1	—*					
21.1~15.9	1.62	2.18	3.53	0.176	0.529	4.00
15.9~8.8	1.70	2.30	3.20	0.185	0.556	4.00
8.8~1.8	1.78	2.40	2.98	0.194	0.581	4.00

T6-T9(TF側)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~23.8	—*					
23.8~15.9	1.61	2.17	3.86	0.175	0.526	4.00
15.9~8.8	1.66	2.25	4.23	0.181	0.544	4.00
8.8~1.8	1.82	2.46	4.11	0.199	0.596	4.00

注記\* : 線形部材

表 4-7(2) 1号機タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

T10-T12

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~23.8	1.63	2.19	4.14	0.177	0.531	4.00
23.8~15.9	1.74	2.35	3.99	0.190	0.569	4.00
15.9~8.8	1.68	2.26	3.80	0.183	0.548	4.00
8.8~1.8	1.78	2.40	3.99	0.193	0.580	4.00

表 4-8 1号機タービン建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW方向)

TA-TC

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~23.8	1.97	2.66	4.65	0.215	0.645	4.00
23.8~15.9	2.06	2.78	4.61	0.224	0.671	4.00
15.9~8.8	1.83	2.46	4.41	0.199	0.596	4.00
8.8~1.8	1.85	2.50	4.39	0.201	0.604	4.00

TD-TF

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.7~23.8	1.98	2.68	4.66	0.216	0.648	4.00
23.8~15.9	1.98	2.67	4.48	0.216	0.647	4.00
15.9~8.8	1.90	2.57	4.39	0.207	0.622	4.00
8.8~1.8	1.97	2.66	4.49	0.215	0.644	4.00

TG-TH

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
23.8~15.9	1.84	2.48	4.47	0.200	0.601	4.00
15.9~8.8	1.80	2.43	4.43	0.196	0.588	4.00
8.8~1.8	1.92	2.59	4.50	0.209	0.626	4.00

表 4-9 1号機廃棄物処理建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.0~25.0	1.34	1.81	3.74	0.146	0.508	4.00
25.0~20.0	1.36	1.84	3.59	0.149	0.533	4.00
20.0~15.3	1.76	2.37	4.24	0.191	0.563	4.00
15.3~6.5	1.75	2.36	3.77	0.191	0.581	4.00

表 4-10 1号機廃棄物処理建物のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.0~25.0	1.44	1.94	3.95	0.157	0.506	4.00
25.0~20.0	1.63	2.21	4.09	0.178	0.533	4.00
20.0~15.3	1.81	2.44	4.36	0.197	0.563	4.00
15.3~6.5	2.03	2.75	4.36	0.222	0.581	4.00

表 4-11 排気筒モニタ室のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
12.25~8.8	1.48	2.00	4.19	0.165	0.495	4.00

表 4-12 排気筒モニタ室のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
12.25~8.8	1.48	2.00	4.19	0.165	0.495	4.00

タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の算定条件並びにせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$  関係）については、VI-3-別添 1-6「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」の「3.5.3 変形評価」及び「4.3.1 耐震壁」に示す。排気筒の風圧力による荷重 $W_w$ の算定条件及び材料モデル等の解析条件はVI-3-別添 1-10「排気筒の強度計算書」の「3. 強度評価方法」及び「4. 評価条件」に示す。なお、排気筒の最大変位は保守的に $0^\circ$  方向と $45^\circ$  方向の評価結果を包絡した値として算定する。

## 5. 強度評価結果

### 5.1 変形性能の評価結果

#### (1) 層間変形角の評価結果

1号機原子炉建物の層間変形角を表5-1に示す。層間変形角は最大で1/3130(0.W軸, EL 50.9m~EL 44.0m, NS方向,  $W_{T2}$ )であり, 許容限界(1/120)を超えないことを確認した。

表5-1 1号機原子炉建物の層間変形角の評価結果

評価対象施設	層間変形角		許容限界
	$W_{T1}$	$W_{T2}$	
1号機原子炉建物	1/5401	1/3130	1/120

注: NS方向, EW方向の評価結果のうち, 最も評価結果が厳しい部材について評価結果を記載するものとする。

#### (2) せん断ひずみの評価結果

各建物のせん断ひずみを表5-2に示す。せん断ひずみは最大で $0.07 \times 10^{-3}$ (1号機タービン建物, T10-T12軸, EL 23.8m~EL 15.9m, NS方向,  $W_{T2}$ )であり, いずれの建物においても許容限界( $4.0 \times 10^{-3}$ )を超えないことを確認した。

表5-2 各建物のせん断ひずみの評価結果

評価対象施設	せん断ひずみ		許容限界
	$W_{T1}$	$W_{T2}$	
1号機原子炉建物	$0.02 \times 10^{-3}$	$0.03 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$
1号機タービン建物	$0.04 \times 10^{-3}$	$0.07 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$
1号機廃棄物処理建物	$0.01 \times 10^{-3}$	$0.01 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$
排気筒モニタ室	$0.01 \times 10^{-3}$	$0.05 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$

注: NS方向, EW方向の評価結果のうち, 最も評価結果が厳しい部材について評価結果を記載するものとする。



## 5.2 相対変位による評価結果

1号機タービン建物とタービン建物の最大相対変位，1号機タービン建物と制御室建物の最大相対変位，1号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物の最大相対変位，1号機廃棄物処理建物と制御室建物の最大相対変位及び排気筒モニタ室と排気筒の最大相対変位の評価結果を表5-3～表5-8に示す。各建物・構築物の最大相対変位が許容限界を超えないことを確認した。

表5-3 1号機タービン建物とタービン建物の最大相対変位の評価結果  
(EW方向，絶対値和)

複合荷重	EL (m)	設計荷重による最大変位 (mm)		最大相対変位* (mm)	許容限界 (mm)
		1号機タービン建物	タービン建物		
W <sub>T1</sub>	33.70	0.15	0.16	0.31	100
W <sub>T2</sub>	33.70	0.31	0.27	0.58	100

注記\*：保守的に，各建物の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表5-4 1号機タービン建物と制御室建物の最大相対変位の評価結果  
(NS方向，絶対値和)

複合荷重	EL (m)	設計荷重による最大変位 (mm)		最大相対変位* (mm)	許容限界 (mm)
		1号機タービン建物	制御室建物		
W <sub>T1</sub>	22.05	0.49	0.20	0.69	50
W <sub>T2</sub>	22.05	0.84	0.48	1.32	50

注記\*：保守的に，各建物の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表5-5 1号機タービン建物と制御室建物の最大相対変位の評価結果  
(EW方向，絶対値和)

複合荷重	EL (m)	設計荷重による最大変位 (mm)		最大相対変位* (mm)	許容限界 (mm)
		1号機タービン建物	制御室建物		
W <sub>T1</sub>	22.05	0.10	0.08	0.18	50
W <sub>T2</sub>	22.05	0.17	0.23	0.40	50

注記\*：保守的に，各建物の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表 5-6 1号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物の最大相対変位の評価結果  
(EW方向, 絶対値和)

複合荷重	EL (m)	設計荷重による最大変位 (mm)		最大相対変位* (mm)	許容限界 (mm)
		1号機廃棄物処理建物	廃棄物処理建物		
W <sub>T1</sub>	22.25	0.09	0.13	0.22	100
W <sub>T2</sub>	22.25	0.18	0.19	0.37	100

注記\* : 保守的に, 各建物の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表 5-7 1号機廃棄物処理建物と制御室建物の最大相対変位の評価結果  
(NS方向, 絶対値和)

複合荷重	EL (m)	設計荷重による最大変位 (mm)		最大相対変位* (mm)	許容限界 (mm)
		1号機廃棄物処理建物	制御室建物		
W <sub>T1</sub>	22.05	0.07	0.20	0.27	50
W <sub>T2</sub>	22.05	0.14	0.48	0.62	50

注記\* : 保守的に, 各建物の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表 5-8 排気筒モニタ室と排気筒 (鉄塔) の最大相対変位の評価結果  
(NS方向, 絶対値和)

複合荷重	EL (m)	設計荷重による最大変位 (mm)		最大相対変位* <sup>1</sup> (mm)	許容限界 (mm)
		排気筒モニタ室	排気筒* <sup>2</sup> (鉄塔)		
W <sub>T1</sub>	12.65	0.03	0* <sup>3</sup>	0.03	97
W <sub>T2</sub>	12.65	0.17	4.00	4.17	97

注記\*1 : 保守的に, 各建物・構築物の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

\*2 : EL 12.65m の FEM要素のうち, 最も排気筒モニタ室に近接する要素の値を示す。

\*3 : 排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため, 気圧差による荷重W<sub>P</sub>は考慮しないことから, 複合荷重W<sub>T1</sub>による変位は0となる。

VI-3-別添 1-13-2 消音器の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
3. 強度評価方法	6
3.1 評価対象部位	6
3.2 荷重及び荷重の組合せ	7
3.3 許容限界	8
3.4 評価方法	9
4. 評価条件	10
5. 強度評価結果	12

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）（以下「排気消音器」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、排気消音器の機能を維持することを計算により確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」、  
「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、排気消音器  
の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算」の「3.2 機能維持の方針」に示す  
とおり、排気消音器は原子炉建物に設置する。排気消音器の位置図を図2-1に示す。

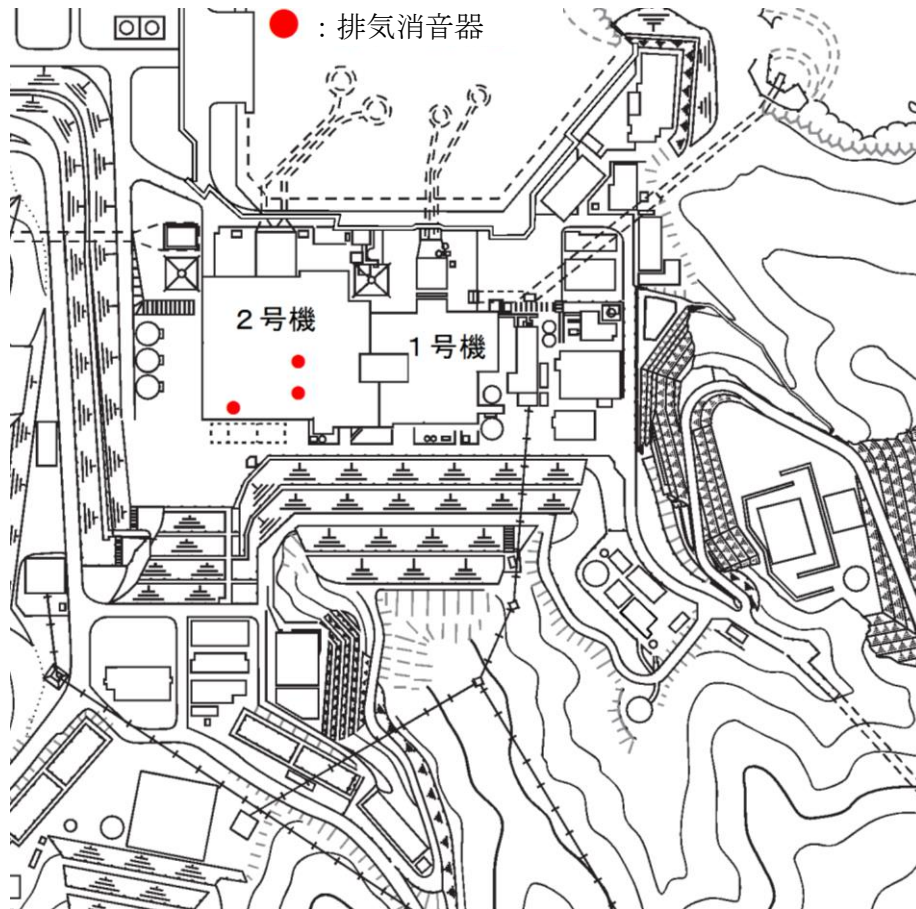


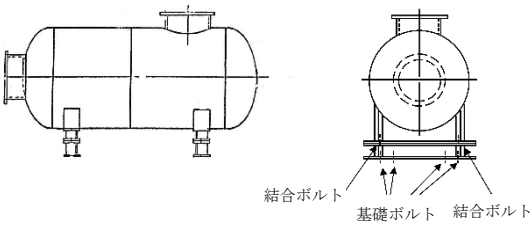
図2-1 排気消音器の位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり，排気消音器の構造を設定している。

排気消音器は，鋼製の胴板を主体構造とし，原子炉建物に設けた基礎に本体を結合ボルト及び基礎ボルトで固定する構造とする。排気消音器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 排気消音器の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b> 排気消音器は，原子炉建物屋上に設置する。			
排気消音器	鋼製の胴板で構成する。	原子炉建物屋上に設けた基礎に本体を基礎ボルト及び取付ボルトで固定する。	

### 2.3 評価方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ、排気消音器の評価対象部位に生じる応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

#### (1) 構造強度評価の方針

排気消音器の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-2に示す。

- ・排気消音器に対して、設計竜巻による荷重に常時作用する荷重を加えた応力が許容限界以下であることを確認する。
- ・部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。
- ・設計竜巻による荷重は、水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様であるため、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

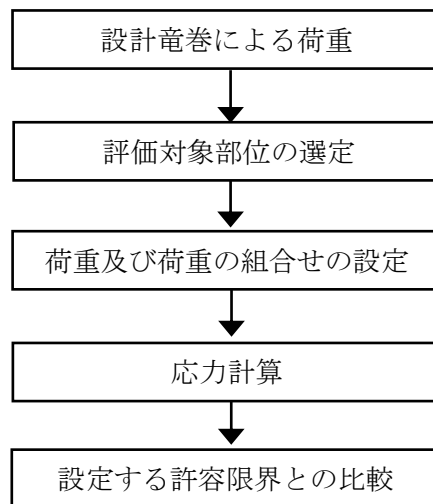


図2-2 構造強度評価フロー



## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984）  
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 －1987）（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 －1991追補版）（（社）日本電気協会）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

排気消音器の評価対象部位は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

##### (1) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は、排気消音器に作用し、結合ボルトを介して基礎ボルトに作用する。

排気消音器の転倒による閉塞により、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、支持断面積が小さいことから、発生する応力が厳しくなる結合ボルト及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

排気消音器の構造強度評価における評価対象部位を図3-1及び図3-2に示す。

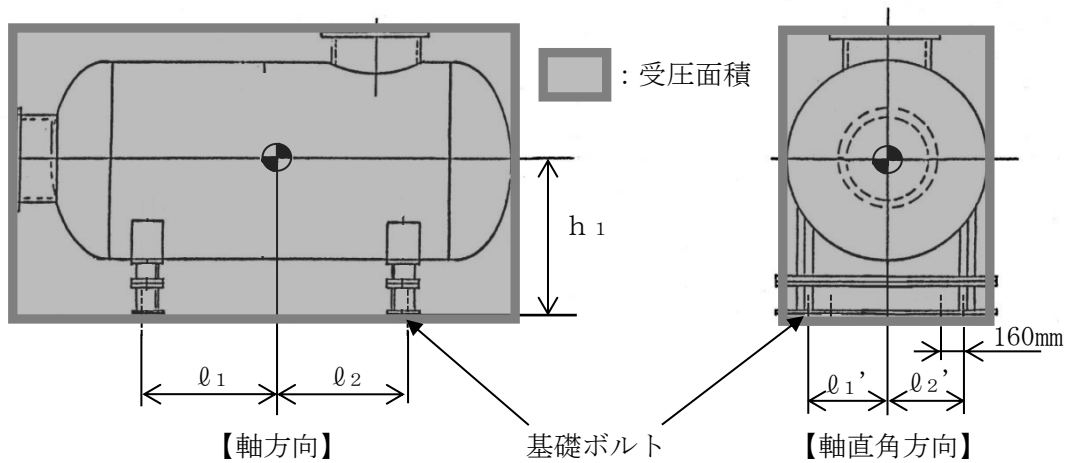


図3-1 排気消音器の基礎ボルト位置図

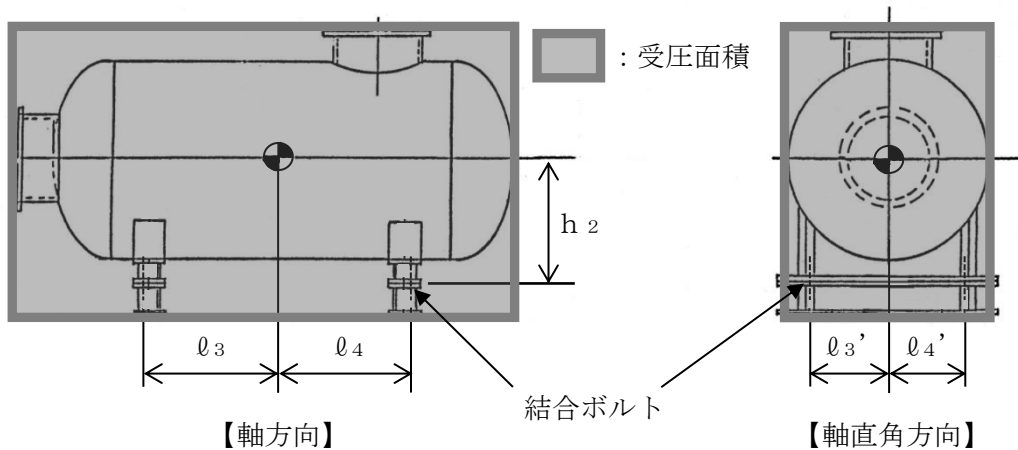


図3-2 排気消音器の結合ボルト位置図

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価では、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、排気消音器の評価対象部位ごとに設定する。

排気消音器の基礎ボルト及び結合ボルトには、自重及び風圧力による荷重が作用する。構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-1に示す。

表3-1 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷 重
波及的影響を及ぼす可能性のある施設	排気消音器	基礎ボルト 結合ボルト	①自重 ②風圧力による荷重

### 3.3 許容限界

排気消音器の基礎ボルト及び結合ボルトの許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

#### (1) 構造強度評価の許容限界

許容限界はJ E A G 4 6 0 1を準用し、その他支持構造物の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表Part5表8より、設計引張強さは設計・建設規格付録材料図表Part5表9により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表Part5表8及び表9記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

排気消音器の基礎ボルト及び結合ボルトの許容限界を表3-2、許容応力を表3-3及び表3-4に示す。

表3-2 許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
基礎ボルト 結合ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5 \cdot f_t$
			せん断	$1.5 \cdot f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau)\}$

表 3-3 許容応力（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5・f <sub>t</sub> (MPa)	1.5・f <sub>s</sub> (MPa)
基礎ボルト	SS400	50	231	394	231	173	133
結合ボルト	SS400	50	231	394	231	173	133

表 3-4 許容応力（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5・f <sub>t</sub> (MPa)	1.5・f <sub>s</sub> (MPa)
基礎ボルト	SS400	50	231	394	231	173	133
結合ボルト	SS400	50	231	394	231	173	133

#### 3.4 評価方法

排気消音器の強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

#### 4. 評価条件

##### (1) 構造強度評価の評価条件

構造強度評価に用いる条件を表4-1～表4-5に示す。

ここでは、受圧面積が大きく、基礎ボルトと重心の水平方向の距離が小さい軸直角方向の条件をまとめる。

表4-1 評価条件

$V_D$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$q$ (N/m <sup>2</sup> )	$G$ (-)	$C$ (-)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
92	1.226	5189	1.0	1.2	9.80665

表4-2 評価条件（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器基礎ボルト）

$A$ (m <sup>2</sup> )	$n$ (-)	$n_f$ (-)	$d$ (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
19.027	8	2	24	452.4

$h_1$ (mm)	$\varnothing_1'$ (mm)	$\varnothing_2'$ (mm)	$m$ (kg)
2120	977	977	4800

注：軸直角方向の転倒の評価に用いる値を記載

表4-3 評価条件（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器結合ボルト）

$A$ (m <sup>2</sup> )	$n$ (-)	$n_f$ (-)	$d$ (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
19.027	12	2	24	452.4

$h_2$ (mm)	$\varnothing_3'$ (mm)	$\varnothing_4'$ (mm)	$m$ (kg)
1370	977	977	4800

注：軸直角方向の転倒の評価に用いる値を記載

表4-4 評価条件（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器基礎ボルト）

A (m <sup>2</sup> )	n (-)	n <sub>f</sub> (-)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
16.3345	8	2	24	452.4

h <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>1</sub> ' (mm)	ℓ <sub>2</sub> ' (mm)	m (kg)
2120	977	977	4400

注：軸直角方向の転倒の評価に用いる値を記載

表4-5 評価条件（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器結合ボルト）

A (m <sup>2</sup> )	n (-)	n <sub>f</sub> (-)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
16.3345	12	2	24	452.4

h <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> ' (mm)	ℓ <sub>4</sub> ' (mm)	m (kg)
1370	977	977	4400

注：軸直角方向の転倒の評価に用いる値を記載

5. 強度評価結果

(1) 構造強度評価の強度評価結果

a. 排気消音器（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）

竜巻発生時の強度評価結果を表5-1に示す。非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器基礎ボルト及び結合ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表5-1 評価結果

評価対象部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト	引張	110	173
	せん断	53	133
	組合せ	110	158
結合ボルト	引張	121	173
	せん断	35	133
	組合せ	121	173

b. 排気消音器（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）

竜巻発生時の強度評価結果を表5-2に示す。高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関排気消音器基礎ボルト及び結合ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表5-2 評価結果

評価対象部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト	引張	94	173
	せん断	46	133
	組合せ	94	170
結合ボルト	引張	103	173
	せん断	31	133
	組合せ	103	173



VI-3-別添 1-13-3 排気管及びベント管の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
3. 強度評価方法	6
3.1 評価対象部位	6
3.2 荷重及び荷重の組合せ	7
3.3 許容限界	8
3.4 評価方法	9
4. 評価条件	10
5. 強度評価結果	11

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）及びベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトンク並びに潤滑油サンプタンクの付属施設）（以下「排気管及びベント管」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、排気管及びベント管の機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」，「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ，排気管及びベント管の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり，排気管及びベント管は，図2-1に示す位置に設置する。

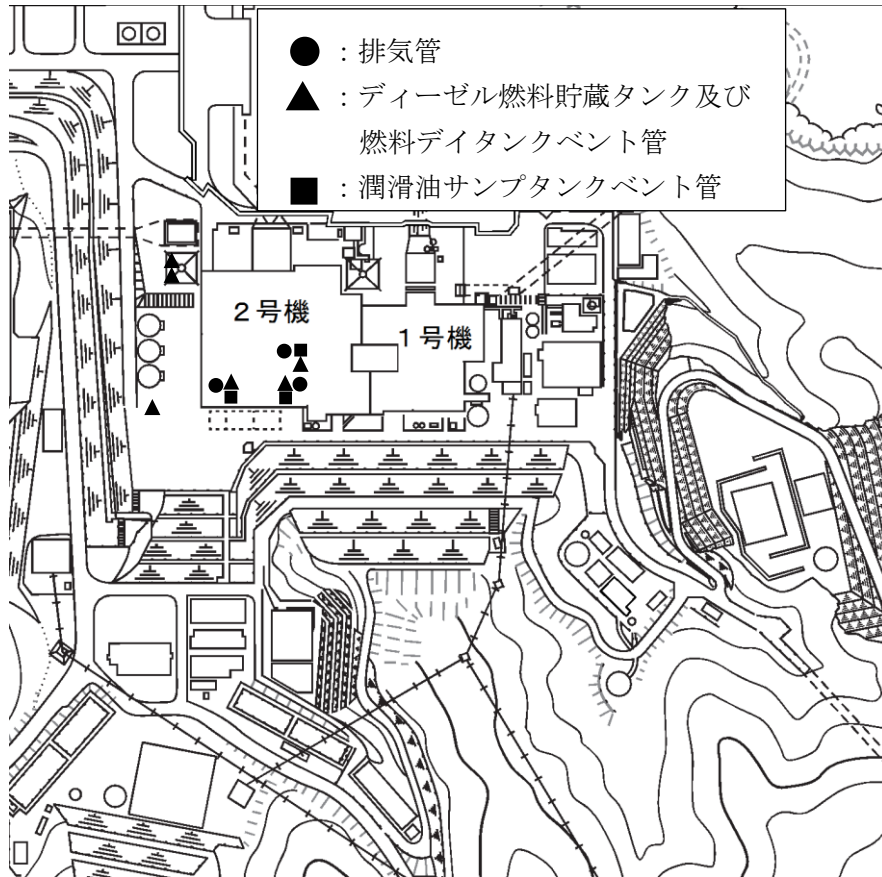


図2-1 排気管及びベント管の位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり，排気管及びベント管の構造を設定している。

排気管及びベント管は鋼製の配管で構成される。排気管は，原子炉建物屋上に，ベント管は，原子炉建物屋上，B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽上部及びディーゼル燃料貯蔵タンク室上部に設置する設計とし，支持構造物で建物等に固定する構造とする。排気管及びベント管の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 排気管及びベント管の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      排気管は，原子炉建物屋上に設置する。ベント管は，原子炉建物屋上，B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽上部及びディーゼル燃料貯蔵タンク室上部に設置する。</p>			
排気管	鋼製の配管で構成する。	配管は，支持構造物により建物等に固定する。	
ベント管			

### 2.3 評価方針

排気管及びベント管の強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ、排気管及びベント管の評価対象部位に生じる応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

#### (1) 構造強度評価の方針

排気管及びベント管の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-2に示す。

- ・排気管及びベント管に対して、常時作用する荷重、設計竜巻による荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。
- ・排気管及びベント管に生じる応力は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

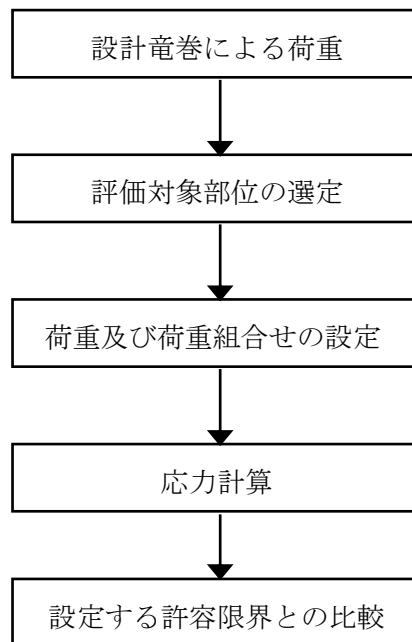


図2-2 排気管及びベント管の構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会 2004改定）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984  
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

排気管及びベント管の評価対象部位は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

##### (1) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は、配管本体及びサポート（配管支持構造物）又は配管本体及び排気消音器に作用する。サポート（配管支持構造物）については、建物内外に関わらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻の風荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、竜巻による荷重に対するサポート（配管支持構造物）の設計は耐震設計に包絡される。排気消音器については、VI-3-別添1-13-2「消音器の強度計算書」に示すとおり、竜巻に対して耐荷重設計がなされているため、竜巻による風荷重が作用した場合でも、構造健全性を保持する。このことから、配管本体を評価対象部位として選定する。排気管の構造強度評価における評価対象部位及びベント管の構造強度評価における評価対象部位を図3-1及び図3-2に示す。

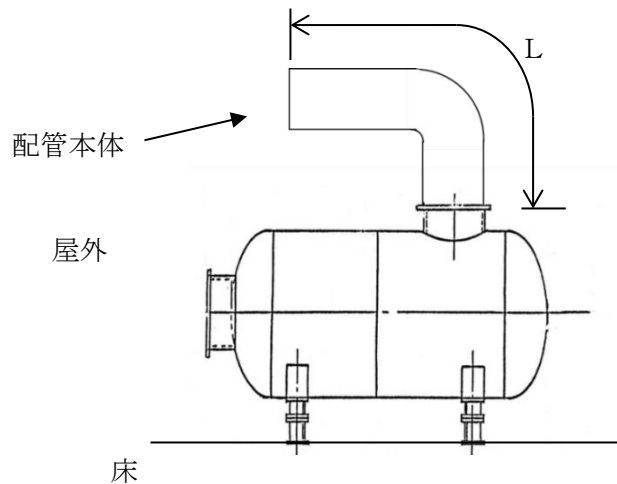


図3-1 排気管の評価対象部位

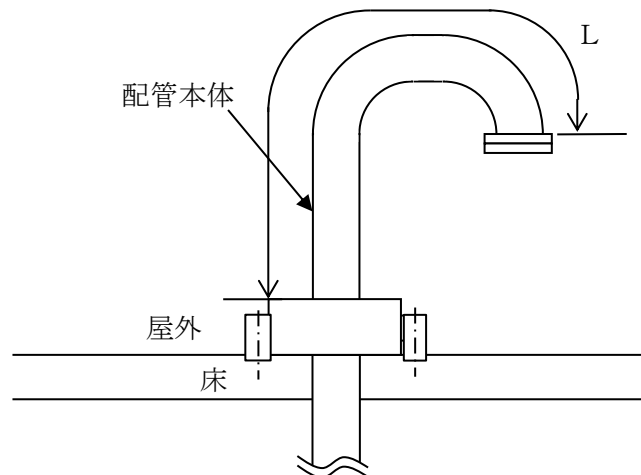


図3-2 ベント管の評価対象部位



### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、排気管及びベント管の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表3-1 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷 重
波及的影響を及ぼす可能性のある施設	排気管（ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）	配管本体	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重 ④内圧による荷重
	ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイタンク並びに潤滑油サンプタンクの付属施設）		①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重 ④内圧による荷重

### 3.3 許容限界

排気管及びベント管の許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

#### (1) 構造強度評価の許容限界

許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2, 3配管」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表Part5表8により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表Part5表8記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。排気管及びベント管の配管本体の許容限界を表3-2、許容応力を表3-3に示す。

表3-2 排気管及びベント管本体の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力 (膜+曲げ)
Ⅲ <sub>A</sub> S	$S_y$

表3-3 排気管及びベント管本体の許容応力

評価対象配管	管外径 (mm)	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)
排気管 (非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設)	914.4	SM400B	450*	135
ベント管 (非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク並びにディーゼル燃料デイトンクの付属施設)	76.3	STPT410	45*	242
ベント管 (非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンクの付属施設)	139.8	STPT410	85*	224

注記\* : 最高使用温度

### 3.4 評価方法

排気管及びベント管の構造強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

#### 4. 評価条件

##### (1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1～表4-4に示す。

表4-1 評価条件

$V_D$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$q$ (N/m <sup>2</sup> )	$G$ (-)	$C$ (-)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
92	1.226	5189	1.0	1.2	9.80665

表4-2 評価条件（排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設））

D (mm)	形状	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	A (m <sup>2</sup> /m)	P (MPa)
914.4	片持ち	SM400B	4.11	9.5	212.1	0.9144	0.00981

表4-3 評価条件（ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク並びにディーゼル燃料デイトンクの付属施設））

D (mm)	形状	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	A (m <sup>2</sup> /m)	P (MPa)
76.3	片持ち	STPT410	2.072	5.2	9.2	0.0763	0

表4-4 評価条件（ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油サンプルタンクの付属施設））

D (mm)	形状	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	A (m <sup>2</sup> /m)	P (MPa)
139.8	片持ち	STPT410	2.072	6.6	21.7	0.1398	0

## 5. 強度評価結果

## (1) 構造強度評価の評価結果

- a. 排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）

構造強度評価結果を表5-1に示す。

排気管（非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関の付属施設）に発生する応力は、許容応力以下である。

表5-1 構造強度評価結果

D (mm)	形状	材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
914.4	片持ち	SM400B	34	135

- b. ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク並びにディーゼル燃料デイトンクの付属施設）

構造強度評価結果を表5-2に示す。

ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク及びディーゼル燃料デイトンクの付属施設）に発生する応力は、許容応力以下である。

表5-2 構造強度評価結果

D (mm)	形状	材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	片持ち	STPT410	120	242

- c. ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンクの付属施設）

構造強度評価結果を表5-3に示す。

ベント管（非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンクの付属施設）に発生する応力は、許容応力以下である。

表5-3 構造強度評価結果

D (mm)	形状	材料	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
139.8	片持ち	STPT410	50	224

VI-3-別添 1-13-4 1号機排気筒の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.3 許容限界	16
3.4 評価方法	18
4. 評価条件	25
5. 強度評価結果	31
5.1 排気筒の評価結果	31
5.2 鉄塔脚部の評価結果	32
5.3 筒身脚部の評価結果	45

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である 1 号機排気筒が、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように、竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建物、タービン建物等に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。



## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、1号機排気筒の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

1号機排気筒は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外に設置する。

1号機排気筒の設置位置を図2-1に示す。

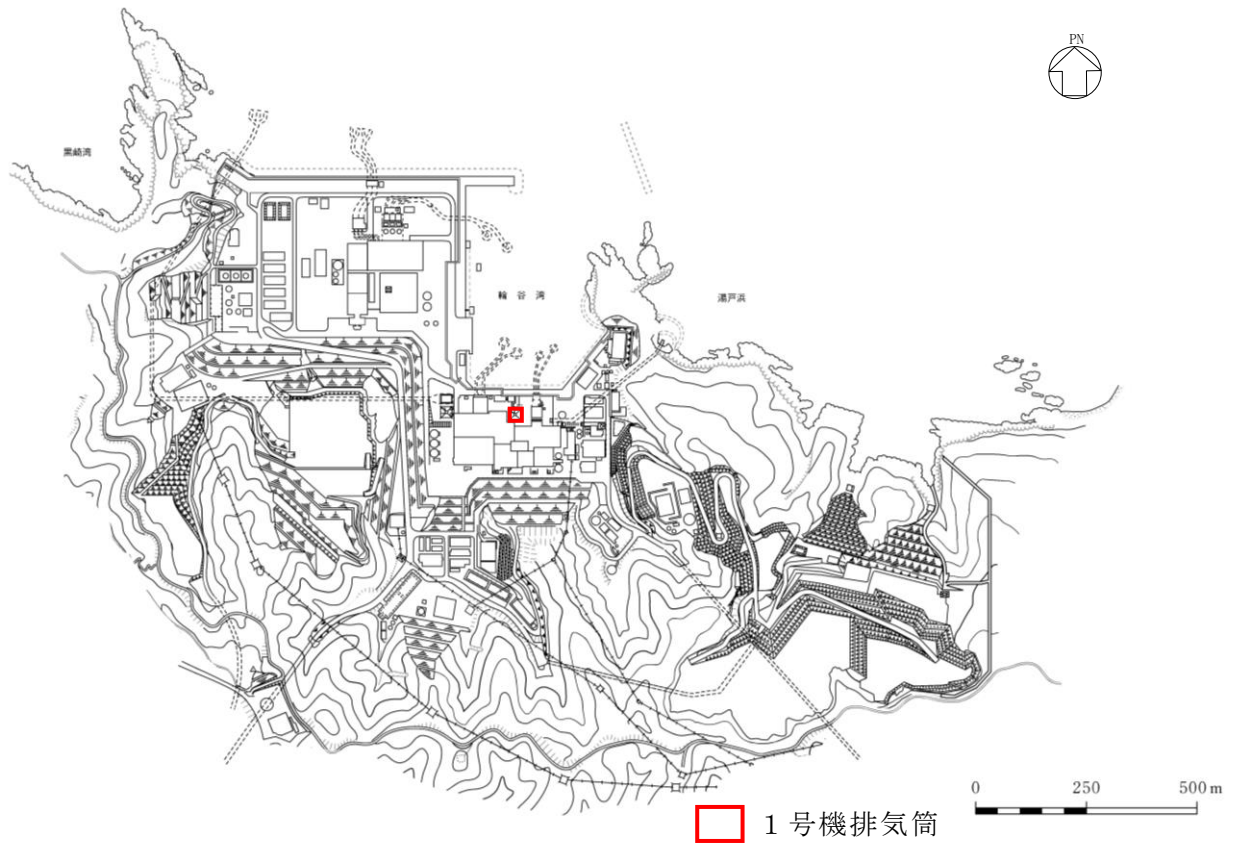


図2-1 1号機排気筒の設置位置

## 2.2 構造概要

1号機排気筒は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

1号機排気筒は、地盤からの高さ120mである内径2.8mの鋼板製筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。

1号機排気筒の基礎は鉄筋コンクリート造であり、岩盤に直接設置している。

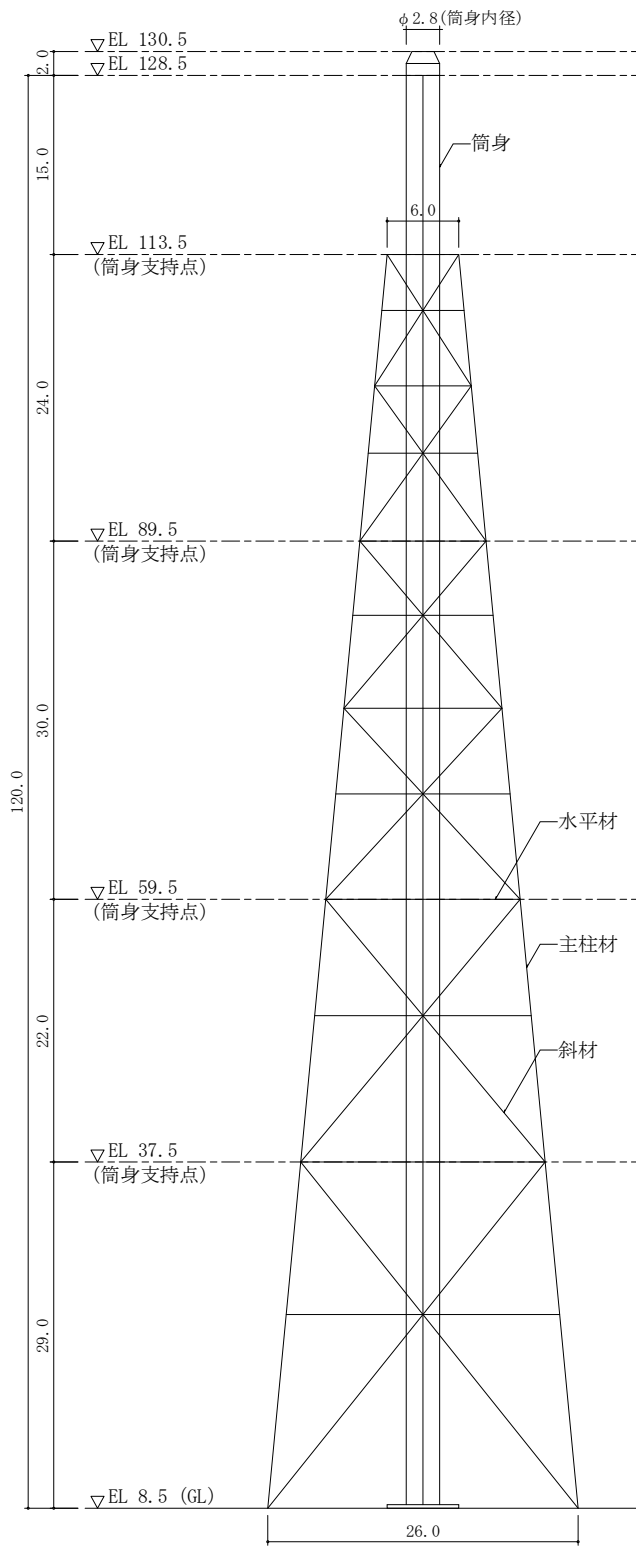
筒身は支持点位置(EL 37.5m, EL 59.5m, EL 89.5m 及び EL 113.5m\*)にて鉄塔と接合されている。

1号機排気筒の概要図を図2-2に示す。

### 構造概要

構造形状	鋼製鉄塔支持型
排気筒高さ	筒身 120.0m (EL 128.5m)
鉄塔高さ	105.0m (EL 113.5m)
鉄塔幅	頂部 6.0m 根開き 26.0m
筒身支持点位置	EL 37.5m, EL 59.5m, EL 89.5m, EL 113.5m
基礎	鉄筋コンクリート造

注記\*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。



部材リスト (単位: mm)			
主柱材	斜材	水平材	筒身
—	—	—	8
φ 355.6×6.4	φ 267.4×6.6	φ 216.3×5.8	12 14 12
φ 508.0×7.9	φ 267.4×6.6	φ 216.3×5.8	12 14 12
φ 609.6×9.5	φ 318.5×6.9	φ 267.4×6.6	8
φ 711.2×12.7	φ 406.4×7.9	φ 355.6×6.4	12 14 12
φ 508.0×9.5	φ 406.4×7.9	φ 508.0×9.5	12 14 12
φ 457.2×6.4	φ 457.2×6.4	φ 457.2×6.4	8
φ 812.8×16.0	φ 812.8×16.0	φ 812.8×16.0	10
STK41 (STK400相当)	STK41 (STK400相当)	STK41 (STK400相当)	t=8
SM41 (SM400相当)	SM41 (SM400相当)	SM41 (SM400相当)	SM41 (SM400相当)

注記 \*1:SS41 (SS400相当)を示す。

(単位: m)

図 2-2 1号機排気筒の概要図

### 2.3 評価方針

1号機排気筒の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、1号機排気筒が竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

1号機排気筒の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

1号機排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから、筒身及び鉄塔を評価対象部位とする。具体的には、1号機排気筒の構造強度評価については、1号機排気筒の構造を踏まえ、設計荷重が1号機排気筒に作用した場合に、1号機排気筒頂部の最大水平変位に基づく1号機排気筒の全体変形角及び脚部に作用する応力が「3.3 許容限界」に示す許容値を下回ることを確認する。また、1号機排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材に対して、設計竜巻による設計飛来物が衝突するものとする。

1号機排気筒の強度評価フローを図2-3に示す。

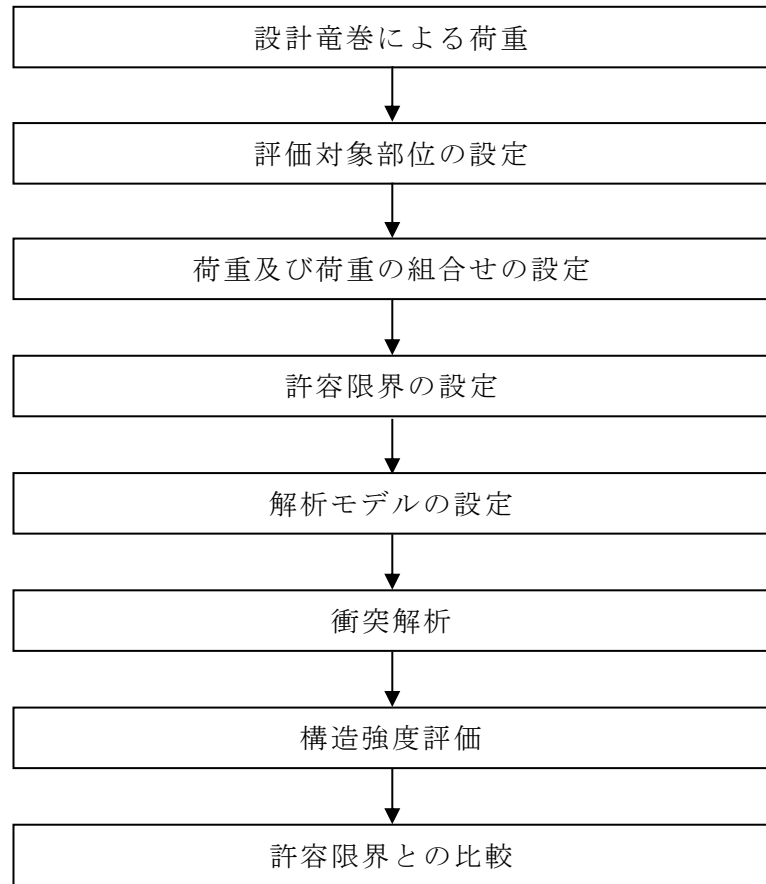


図 2-3 1号機排気筒の強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8P (NEI 07-13) )
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ( (社) 日本電気協会)
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ( (社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ( (社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 日本産業規格 ( J I S )
- ・ 動的繰返し大変形をうける溶接鋼構造物のぜい性破壊性能評価方法 (WES2808 : 2003) ( (社) 日本溶接協会)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・ 煙突構造設計施工指針 ( (財) 日本建築センター, 1982 年版)
- ・ 煙突構造設計指針 ( (社) 日本建築学会, 2007 制定)
- ・ 塔状鋼構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 1980 制定)
- ・ 鋼構造座屈設計指針 ( (社) 日本建築学会, 1996 改定)
- ・ 容器構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 改定)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

1号機排気筒の評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価基準を踏まえ筒身及び鉄塔とする。

また、「2.3 評価方針」に示したとおり、鉄塔部材は設計飛来物の衝突を考慮することから、衝突させる部材としては、鉄塔を構成する主要部材である支柱材とし、健全時において風圧力（「3.2 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重 $W_w$ ）を作用させた際に、1号機排気筒全体のせん断力及び曲げモーメントが最大となる最下層とする。なお、最下層の支柱材は鉄塔基礎部に直接荷重を伝達する部材である。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

##### 3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ ( $N/m^2$ )
92	14	78	7500

(1) 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、鉄塔及び筒身自重の他に、歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

(2) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法・同施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会）に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで、 } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

$W_w$  : 風圧力による荷重 (N)

$q$  : 設計用速度圧 ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$G$  : ガスト影響係数

$C$  : 風力係数

$A$  : 鉄塔及び筒身の見付面積 ( $\text{m}^2$ ) (図 3-1 による)

$\rho$  : 空気密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_D$  : 最大風速 ( $\text{m}/\text{s}$ )

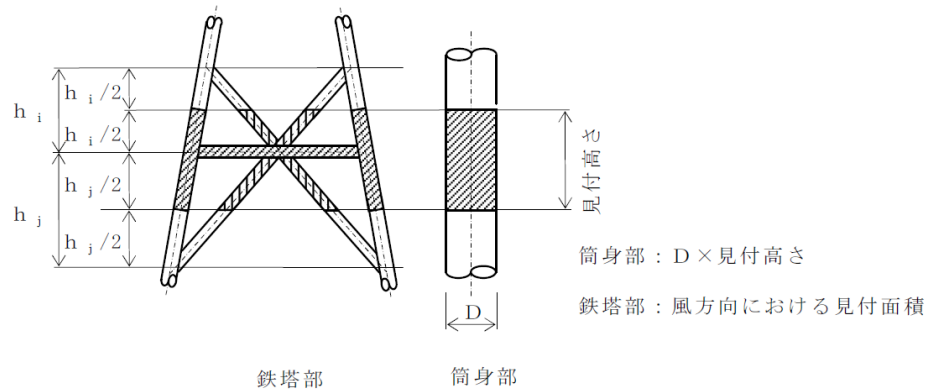


図 3-1 鉄塔及び筒身の見付面積  $A$

風圧力による荷重  $W_w$  の入力方法を図 3-2 に示す。風圧力による荷重が作用する方向は、 $0^\circ$  方向及び  $45^\circ$  方向とする。



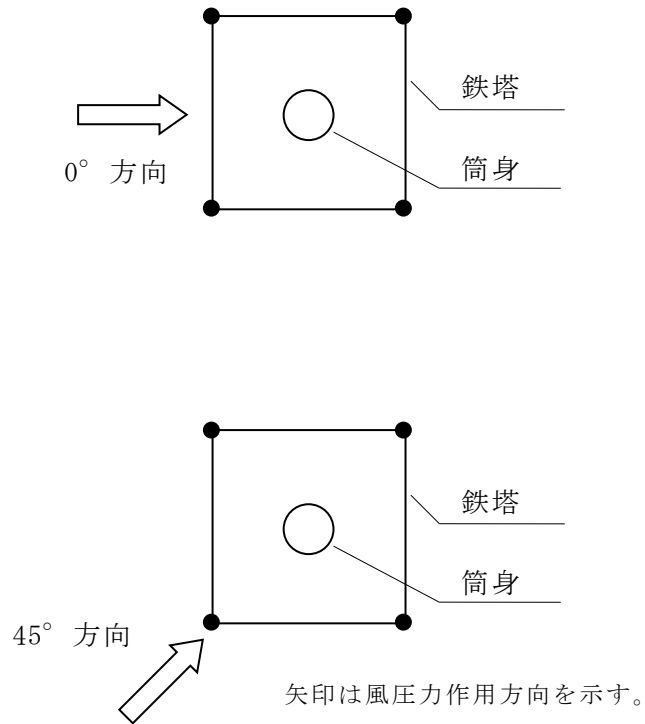


図 3-2 風圧力による荷重 $W_w$ の入力方法

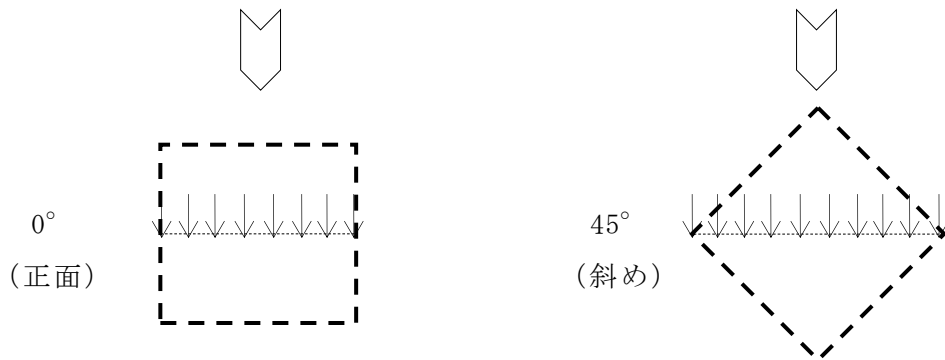
ここで、風力係数 $C$ は「平 12 建告第 1454 号」に基づき、鉄塔はラチス構造物として設定し、筒身は煙突その他の円筒形の構造物として $C = 0.9 \cdot k_z$  ( $k_z = 1.0$ ) とする。

鉄塔の風力係数の算出に必要なラチス構造物の風力係数の考え方を表 3-2 に、ラチス構造物の断面を図 3-3 に示す。

表 3-2 ラチス構造物の風力係数の考え方

風圧力による 荷重の作用方向	$\phi$		
	(1)	(2)	(3)
	0.1 以下	0.1 を超え 0.6 未満	0.6
0° 方向	$2.2 \cdot k_z$	(1) と (3) とに掲げる数値を 直線的に補間した数値	$1.5 \cdot k_z$
45° 方向	$1.7 \cdot k_z$		$1.3 \cdot k_z$

注： $\phi$ （充実率）は風を受ける部分の最外縁により囲まれる面積に対する見付面積の割合とし、 $k_z$ は1.0とする。



注：上図はラチスばり及びラチス柱の断面を表す。

風圧力作用面積としては、 $\Sigma \triangleright$  の作用する方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3-3 ラチス構造物の断面

(3) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重は、表 3-3 に示す諸元の設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、設計飛来物の材料定数を表 3-4 に示す。

表 3-3 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

表 3-4 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼製材	245	2.06×10 <sup>5</sup>	0.3

### 3.2.2 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

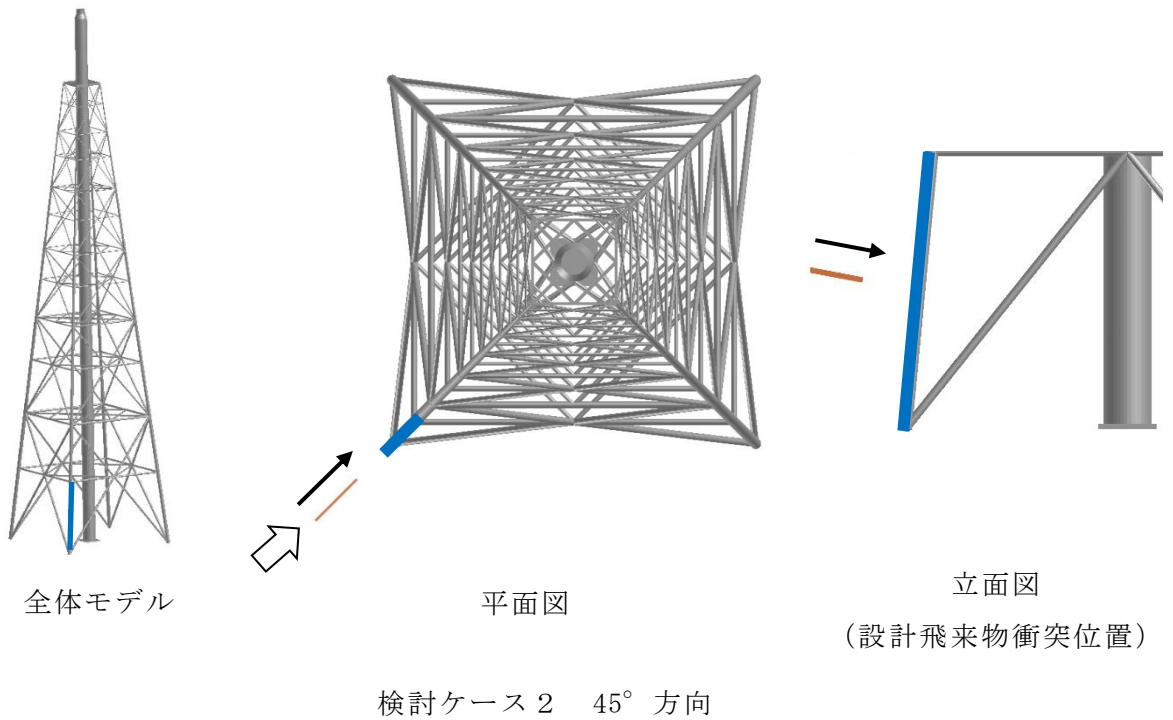
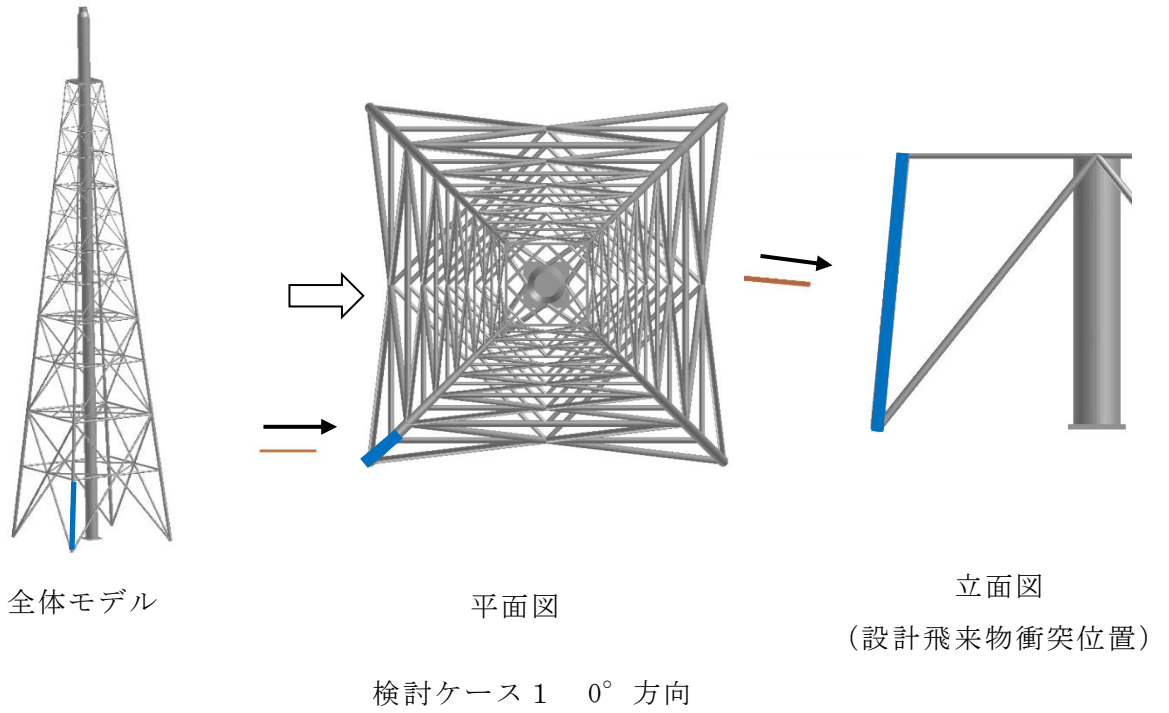
$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

なお、1号機排気筒は大気中に開かれており、1号機排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため、気圧差による荷重は考慮しない ( $W_P = 0$ )。したがって、設計竜巻による複合荷重 $W_T$ は $W_{T1} = 0$  となり、 $W_{T2} = W_W + W_M$ とし、 $0^\circ$  方向と  $45^\circ$  方向の荷重に対して、常時作用する荷重 ( $F_d$ ) を考慮した設計荷重を用いて検討を実施する。

また、「3.1 評価対象部位」に示したとおり、設計飛来物の衝突を考慮する箇所については、鉄塔部の最下層支柱材の中央部とし、設計飛来物は  $0^\circ$  及び  $45^\circ$  方向から衝突するものとする。なお、支柱材の損傷が最も大きくなるよう、設計飛来物は衝突面積が最小となる面を衝突させるものとする。

1号機排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材を図 3-4 に、複合荷重の作用方向を図 3-5 に示す。







 : 風圧力による風荷重作用方向       : 設計飛来物衝突を考慮する部材  
 : 設計飛来物の衝突方向                       : 設計飛来物 (鋼製材)

図 3-4 1号機排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材

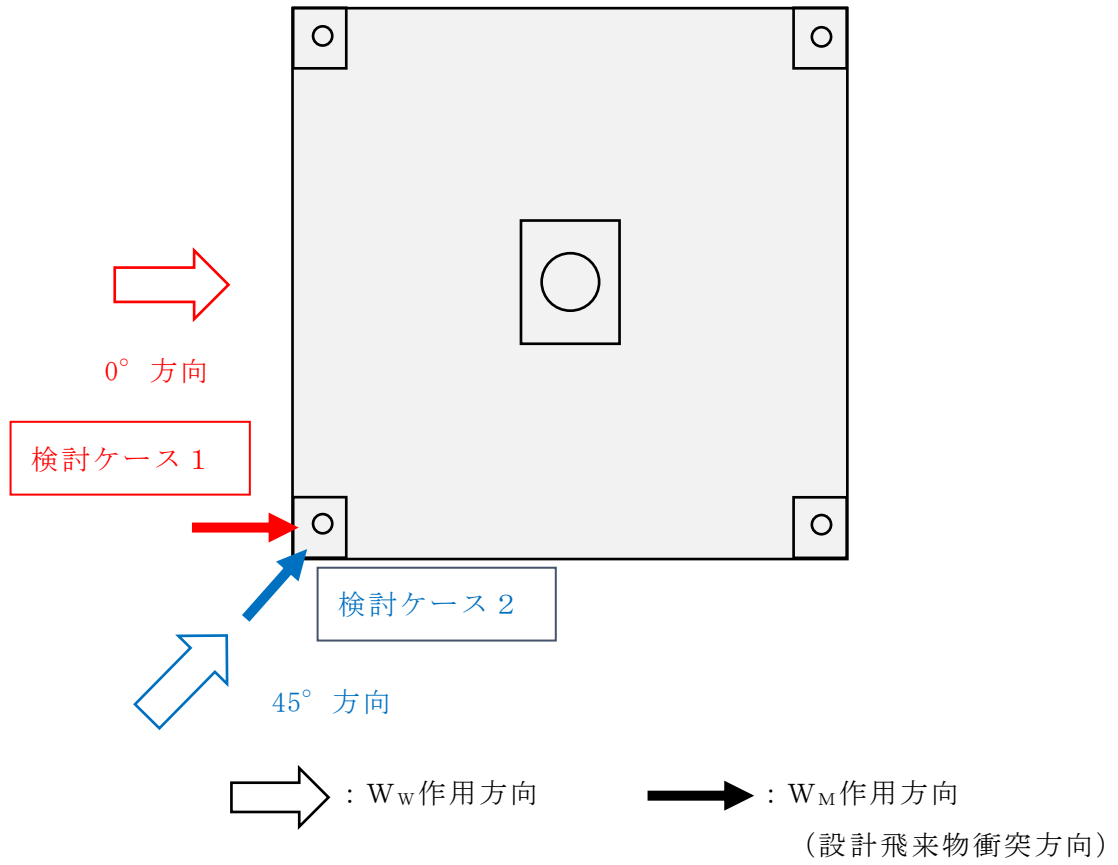


図 3-5 複合荷重の作用方向

### 3.3 許容限界

#### (1) 排気筒

1号機排気筒の許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.1 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

筒身及び鉄塔は、構造強度を確保するための十分な余裕を持った許容限界として「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」に基づき1/120を許容限界とし、3次元FEMモデルによる変形評価において、頂部変位を高さで除した全体変形角が許容限界を超えないことを確認する。

筒身及び鉄塔の評価における許容限界を表3-5に示す。

表 3-5 筒身及び鉄塔の評価における許容限界

機能設計上の 性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
原子炉建物、タービン建物等に波及的影響を及ぼさない	筒身及び鉄塔	全体変形角が構造強度を確保するための許容限界を超えないこと	全体変形角 1/120

## (2) 鉄塔脚部及び筒身脚部

鉄塔脚部及び筒身脚部の鋼材は、J I S G 3 1 0 1で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400 (SS41) \*及びJ I S G 3 1 0 6で規定される溶接構造用圧延鋼材 SM400A (SM41A) を使用する。

また、基礎で使用するコンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度  $F_c$  は  $22.1 \text{ N/mm}^2$  とする。

各使用材料の許容応力度を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

注記\* : ( ) 内は従来表記を示す。

表 3-6 鋼材及びアンカーボルトの許容応力度

板厚	材料	基準強度 $F$ ( $\text{N/mm}^2$ )	許容応力度*
$t \leq 40 \text{ mm}$	SS400 (SS41) SM400A (SM41A)	235	許容応力度は $F$ 値より求める。
$t > 40 \text{ mm}$	SS400 (SS41) SM400A (SM41A)	215	

注記\* : 各使用材料の許容限界は許容応力度とする。なお、許容限界は終局耐力に対して  
 妥当な裕度を有する弾性限強度を用い、鋼材の基準強度  $F$  を「平 12 建告第 2464  
 号」に準拠して  $1.1F$  と読み替える。

注 : アンカーボルトは公称軸径を板厚と読み替える。

表 3-7 コンクリートの許容応力度

(単位 :  $\text{N/mm}^2$ )

$F_c = 22.1$	圧縮	せん断	付着*	
			上端筋	その他
長期	7.3	0.71	0.72	0.90
短期	14.6	1.06	1.05	1.35

注記\* : 付着は丸鋼の許容付着応力度とし、脚部のアンカーボルトの検討に用いる。



### 3.4 評価方法

#### (1) 排気筒に対する検討

1号機排気筒の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」を踏まえて、3次元FEMモデルでモデル化し衝突評価を実施する。

衝突解析には、解析コード「Virtual Performance Solution」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

1号機排気筒及び設計飛来物（鋼製材）はシェル要素でモデル化する。1号機排気筒の衝突解析モデルを図3-6に、設計飛来物（鋼製材）の解析モデルを図3-7に、解析モデルの境界条件を図3-8に、衝突部の拡大図を図3-9に示す。

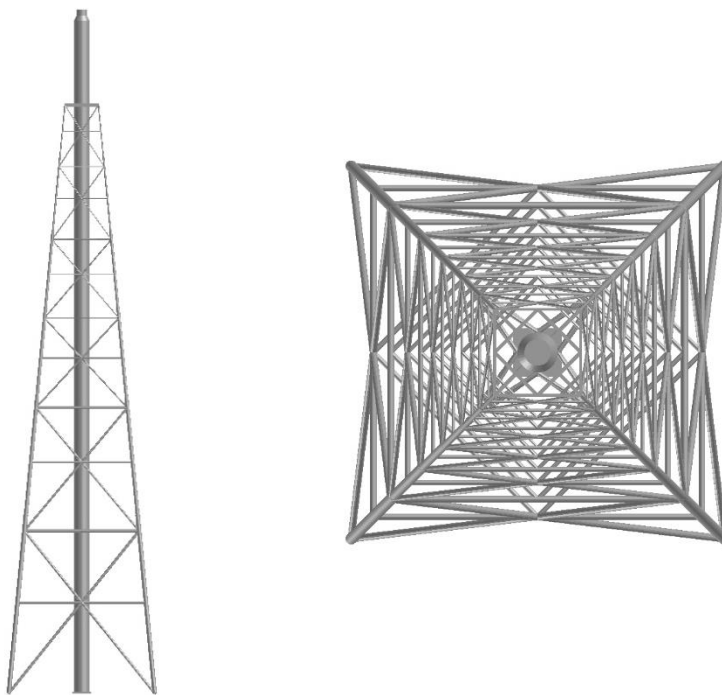
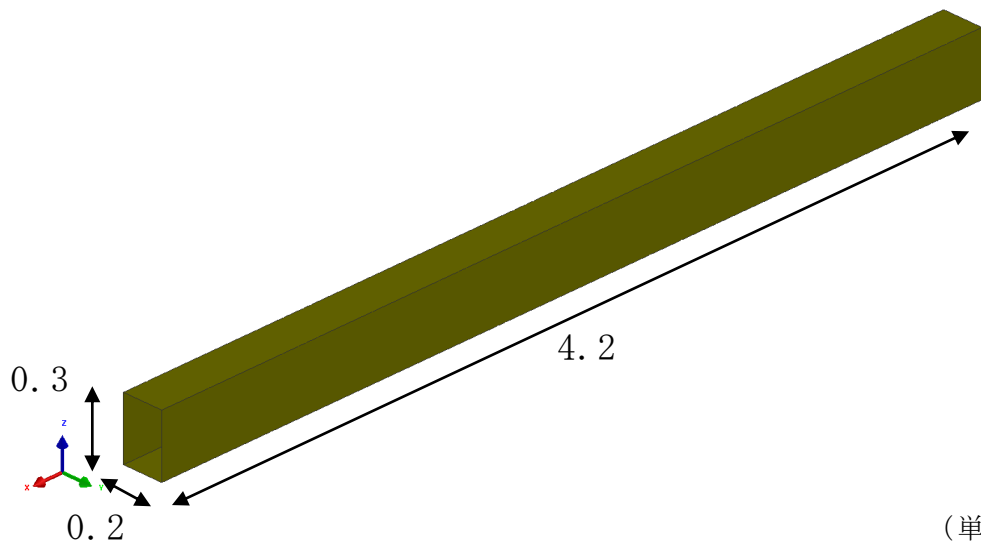


図3-6 1号機排気筒の衝突解析モデル



(単位 : m)

図 3-7 設計飛来物 (鋼製材) の解析モデル

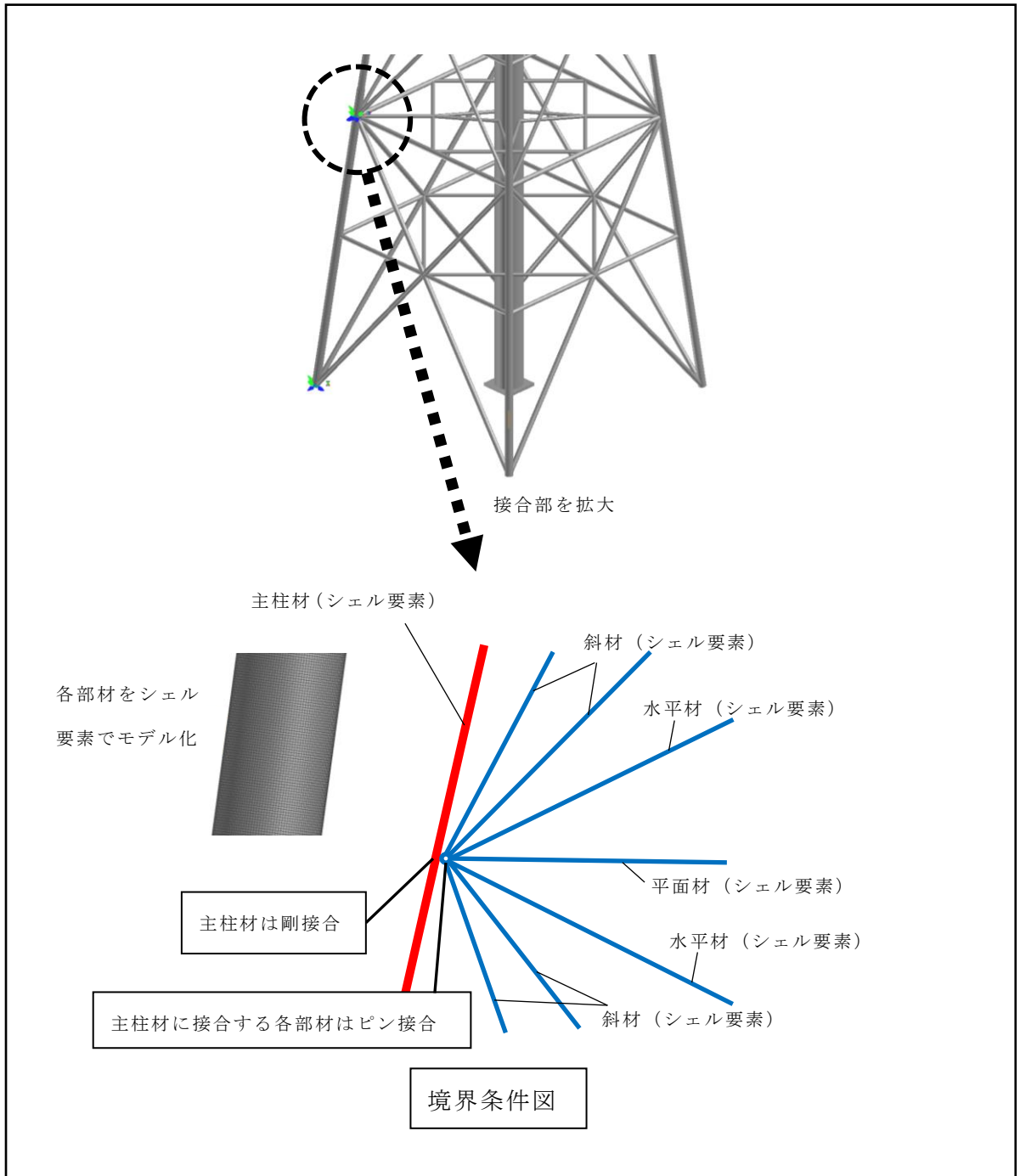


図 3-8(1) 解析モデルの境界条件

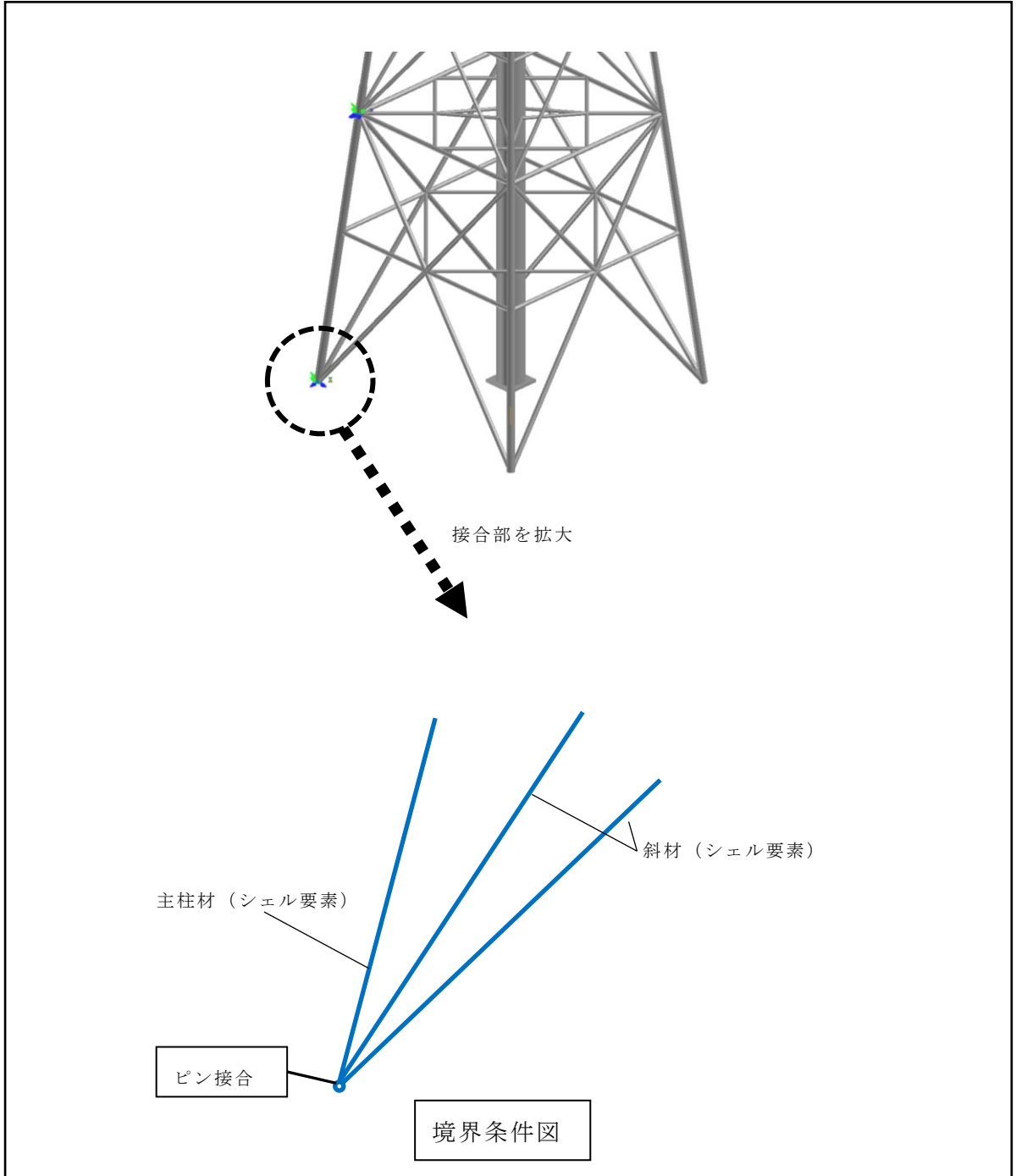


図 3-8(2) 解析モデルの境界条件

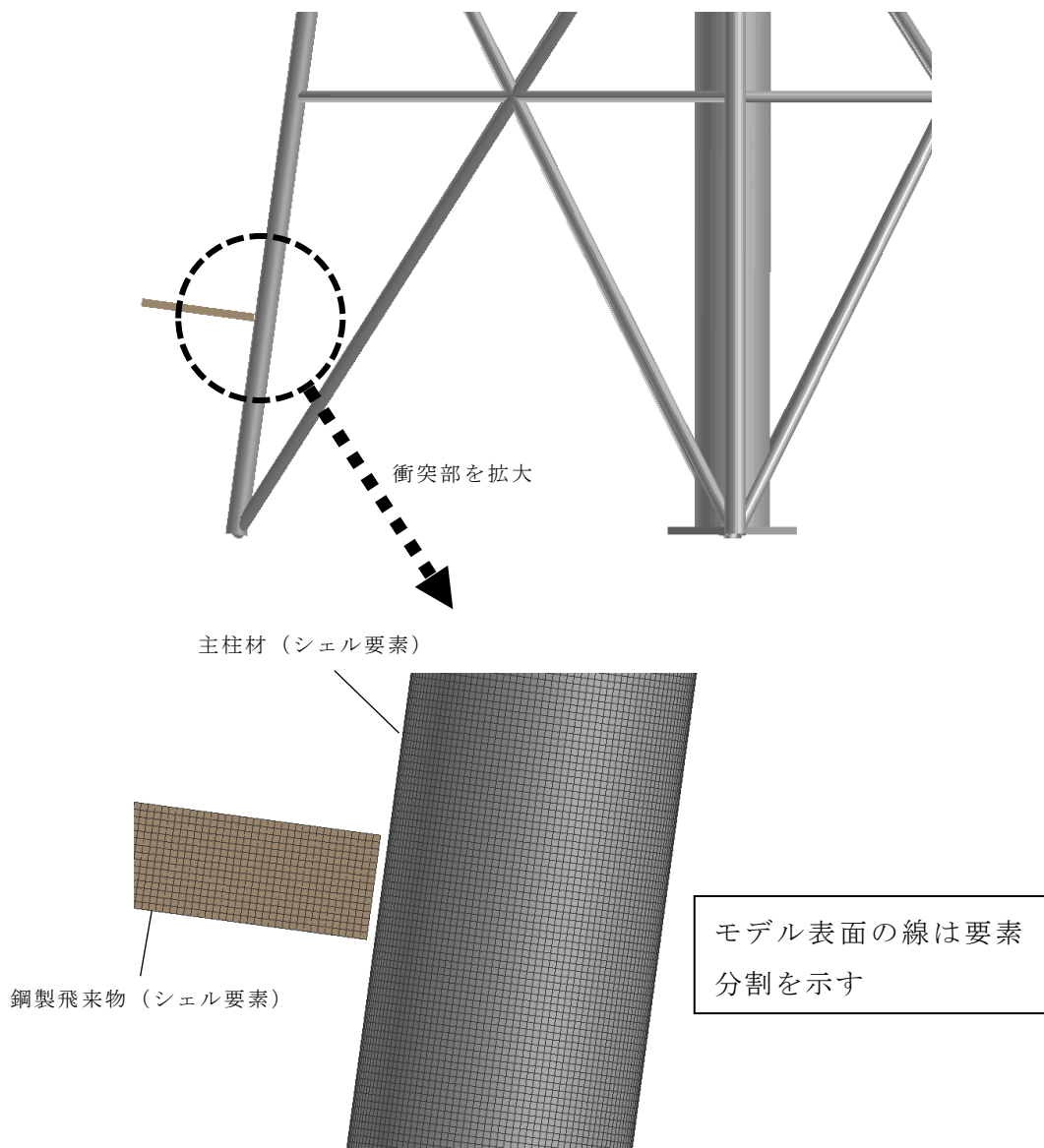


図 3-9 衝突部の拡大図

(2) 鉄塔脚部及び筒身脚部に対する検討

鉄塔脚部及び筒身脚部の断面算定に用いる評価用応力は、立体架構モデルを用いた応力解析により得られた脚部反力を用いて算定する。

各使用材料の許容限界は許容応力度とする。許容限界は終局耐力に対して妥当な裕度を有する弾性限強度を用い、鋼材の基準強度  $F$  を「平 12 建告第 2464 号」に準拠して  $1.1F$  と読み替える。

鉄塔脚部及び筒身脚部の概要図を図 3-10 及び図 3-11 に、評価用応力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

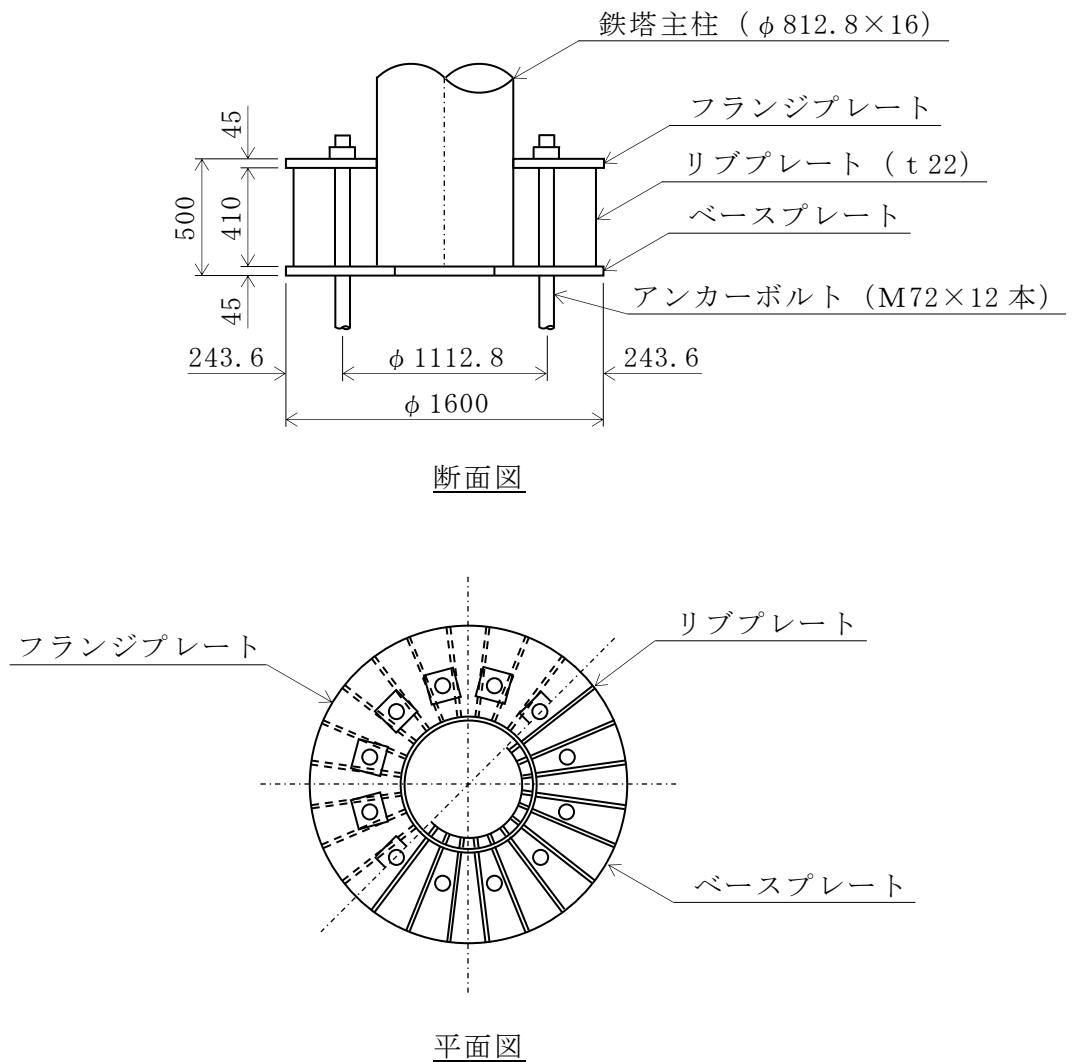


図 3-10 鉄塔脚部の概要図 (単位: mm)

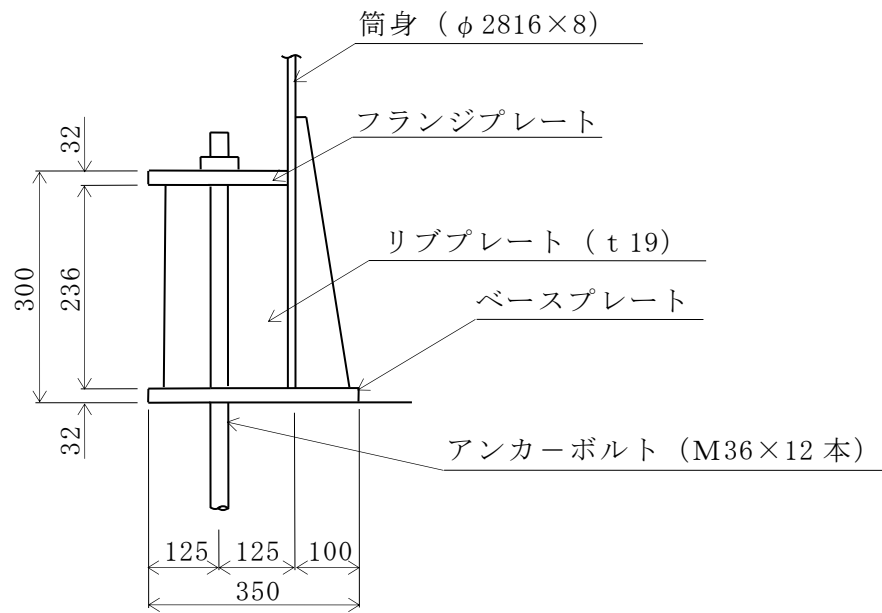


図 3-11 筒身脚部の概要図 (単位: mm)

表 3-8 鉄塔脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース 1 (0° 方向)	5247.1	-4306.3	1690.1	0.0
ケース 2 (45° 方向)	7904.6	-7013.9	2498.6	0.0

注記\* : 圧縮を正とする。

表 3-9 筒身脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース 1 (0° 方向)	1584.1	0.0	317.9	2002.6
ケース 2 (45° 方向)	1578.6	0.0	340.8	2170.2

注記\* : 圧縮を正とする。

#### 4. 評価条件

##### (1) 使用材料及び風圧力の算定

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として、評価対象部位の材料定数を表 4-1 に、風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件を表 4-2 に、算出した風圧力による荷重 $W_w$ （筒身及び鉄塔部）を表 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-1 評価対象部位の材料定数

材質	厚さ (mm)	E (MPa)	ポアソン比 (-)	$\sigma_{Y0}$ (MPa)	$\sigma_{T0}$ (MPa)	$\varepsilon'$ (-)	E' (MPa)
SS41 (SS400 相当)		$2.06 \times 10^5$	0.3		400		
SM41 (SM400 相当)		$2.06 \times 10^5$	0.3		400		
STK41 (STK400 相当)		$2.06 \times 10^5$	0.3		400		

##### 記号の説明

- E : 縦弾性係数
- $\sigma_{Y0}$  : 基準ひずみ速度時の降伏応力
- $\sigma_{T0}$  : 基準ひずみ速度時の引張強さ
- $\varepsilon'$  : 破断ひずみ
- E' : 塑性硬化係数



表 4-2 風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト影響係数 $G$	構造物の長さ $H$ (m)	設計用速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )
92	1.226	1.0	鉄塔：105 筒身：120	5188

表 4-3 風圧力による荷重 $W_w$  (鉄塔)

高さ EL (m)	ケース 1 (0° 方向)			ケース 2 (45° 方向)		
	見付面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	風力係数 $C$	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)	見付面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	風力係数 $C$	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)
113.5	5.5	1.84	52	8.4	1.46	63
108.8	6.9	2.10	75	11.3	1.62	95
102.5	8.6	2.10	93	13.8	1.62	116
96.9	10.1	2.11	110	16.1	1.63	136
89.5	12.2	2.11	134	19.4	1.63	164
83.3	14.6	2.10	159	23.1	1.63	195
75.5	17.7	2.10	193	27.9	1.62	235
68.3	20.6	2.10	225	32.4	1.63	274
59.5	27.1	2.10	296	42.7	1.63	361
49.8	34.7	2.11	380	54.8	1.63	464
37.5	44.4	2.11	486	70.1	1.63	592
24.7	53.0	2.13	586	84.3	1.64	717
8.5	23.8	2.18	269	38.9	1.67	337

表 4-4 風圧力による荷重 $W_w$  (筒身)

高さ EL (m)	ケース 1 (0° 方向)			ケース 2 (45° 方向)		
	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風力係数 C	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風力係数 C	風圧力による荷重 $W_w$ (kN)
128.5	21.1	0.90	99	21.1	0.90	99
113.5	36.6	0.90	171	36.6	0.90	171
102.5	33.8	0.90	158	33.8	0.90	158
89.5	38.0	0.90	177	38.0	0.90	177
75.5	42.2	0.90	197	42.2	0.90	197
59.5	38.0	0.90	178	38.0	0.90	178
48.5	31.0	0.90	145	31.0	0.90	145
37.5	35.7	0.90	167	35.7	0.90	167
23.2	40.4	0.90	189	40.4	0.90	189
8.8	21.1	0.90	98	21.1	0.90	98

(2) 材料の非線形特性

a. 材料の応力-ひずみの関係

材料モデルでは、1号機排気筒の破断ひずみを設定し、破断ひずみを越えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。鋼材の応力-ひずみ関係はバイリニア型とし、降伏後の塑性硬化係数（2次係数 $E'$ ）は、表4-1に示す値とする。材料に適用する応力-ひずみの関係を図4-1に示す。

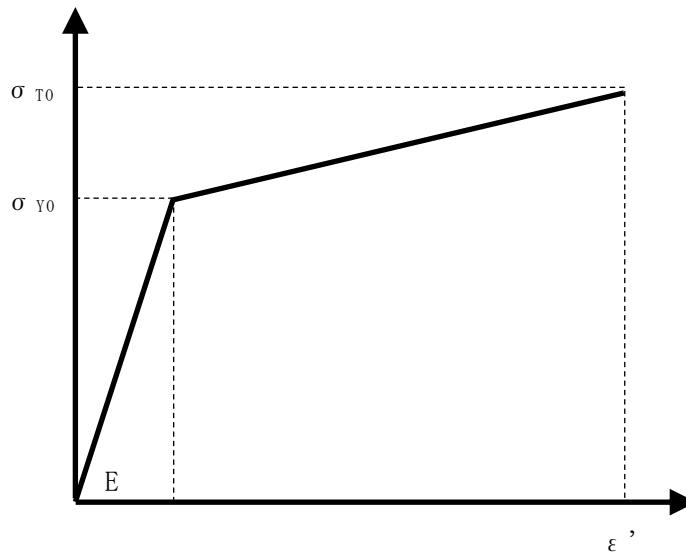


図4-1 1号機排気筒及び飛来物（鋼製材）の応力-ひずみ線図

b. ひずみ速度効果

竜巻による飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、ひずみ速度効果を考慮することとし、以下に示す日本溶接協会の推定式から得られる動的増大効果を線形補間し設定する。

$$\sigma_Y = \sigma_{Y0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{Y0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^8}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0}(T_0) \cdot \exp \left\{ 8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{T0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \frac{1}{T \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}} \right)} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln \left( \frac{10^9}{\dot{\epsilon}_0} \right)} \right\}$$

ここで、

E : 縦弾性係数 (MPa)

$\sigma_Y$  : 想定するひずみ速度時の降伏応力 (MPa)

$\sigma_T$  : 想定するひずみ速度時の引張強さ (MPa)

$\sigma_{Y0}$  : 基準ひずみ速度時の降伏応力 (MPa)

$\sigma_{T0}$  : 基準ひずみ速度時の引張強さ (MPa)

$\dot{\epsilon}$  : 想定するひずみ速度

$\dot{\epsilon}_0$  : 基準ひずみ速度

T : 想定するひずみ速度時の温度 (°C)

$T_0$  : 基準ひずみ速度時の温度 (°C)

c. 破断ひずみ

破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、「NEI 07-13」においてT F（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として2軸引張状態でT F = 2.0を考慮する。

なお、安全側の評価として、1号機排気筒の破断ひずみを超えた要素は削除することとし、鋼製材の破断ひずみを超えた要素は削除せず、荷重を伝達するものとする。

材料ごとの破断ひずみを表4-5に示す。

表4-5 1号機排気筒の破断ひずみ

評価対象	材質	J I S 規格値	T F	破断ひずみ
1号機 排気筒	SS41 (SS400相当)		2.0	
	SM41 (SM400相当)		2.0	
	STK41 (STK400相当)		2.0	

## 5. 強度評価結果

### 5.1 排気筒の評価結果

「3.4 評価方法」に基づいた1号機排気筒の評価結果を表5-1に示す。

筒身及び鉄塔について、いずれのケースにおいても許容値を満足していることを確認した。

表 5-1 筒身及び鉄塔の評価結果

検討ケース	評価対象部位	最大変形角	許容限界
ケース 1 (0° 方向)	筒身	1/353	1/120
	鉄塔	1/423	1/120
ケース 2 (45° 方向)	筒身	1/454	1/120
	鉄塔	1/540	1/120

## 5.2 鉄塔脚部の評価結果

### (1) アンカーボルトの評価

#### a. アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトの配置図を図 5-1 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する水平力に対して、アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。評価においては、鉄塔脚部に作用する水平力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{236}{\sqrt{3}} = 136 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_A = \frac{Q}{n} = \frac{2498.6}{12} = 208 \text{ kN/本}$$

$$\tau = \frac{Q_A}{A_a}$$

ここで、

$f_s$  : 許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : アンカーボルトの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_A$  : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN/本)

$Q$  : 鉄塔脚部のせん断力 (kN)

$n$  : アンカーボルトの本数 (本)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_a$  : アンカーボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\tau = \frac{208 \times 1000}{3460} = 61 \text{ N/mm}^2 \leq 136 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

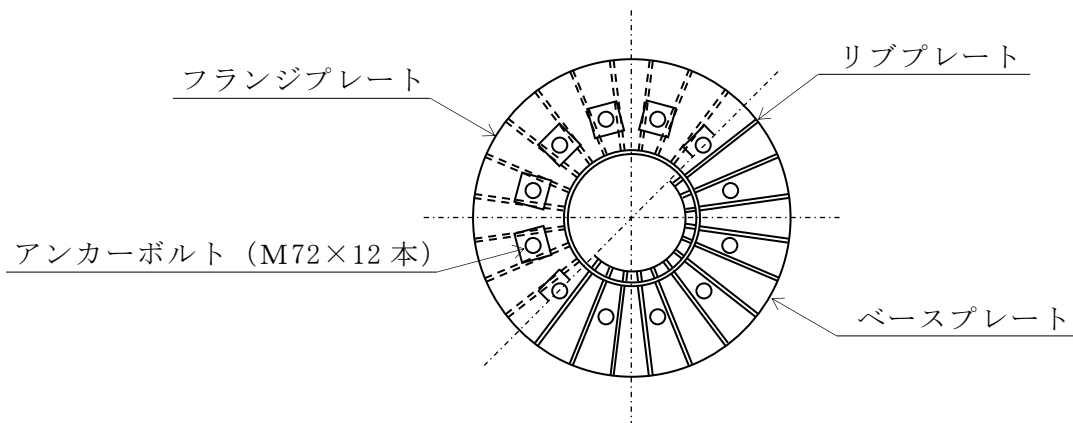


図 5-1 アンカーボルトの配置図

- b. アンカーボルトの引張とせん断を同時に受ける場合に対する評価  
 ここでは、引張とせん断を同時に受ける場合のアンカーボルトの評価を行う。

$$f_{t0} = 1.1 \cdot F = 236 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau = 1.4 \times 236 - 1.6 \times 61 = 232 \text{ N/mm}^2$$

$f_{ts} < f_{t0}$  より、

$$f_{ts} = 232 \text{ N/mm}^2$$

ここで、

$f_{t0}$  : せん断力が作用しないときの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_{ts}$  : せん断力が同時に作用するときの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} T_A &= \left( \frac{N_t}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_1 \\ &= \left( \frac{7013.9}{40050} + \frac{0.0}{7820000} \right) \times 3338 = 585 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sigma_t = \frac{T_A}{A_a}$$

ここで、

$T_A$  : アンカーボルトの最大引張力 (kN)

$N_t$  : 鉄塔脚部の引張力 (kN)

$A$  : 鉄塔の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 鉄塔脚部の曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 鉄塔の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_1$  : 鉄塔のアンカーボルト間の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_t = \frac{585 \times 1000}{3460} = 170 \text{ N/mm}^2 \leq 232 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



c. アンカーボルト埋込長さに対する評価

アンカーボルトの概要図を図 5-2 に示す。

ここでは、アンカーボルト埋込長さの評価を行う。

$$f_a = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{T_A}{\pi \cdot d \cdot L}$$

ここで、

$f_a$  : 許容付着応力度 (丸鋼) (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_a$  : 付着応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : アンカーボルト径 (mm)

$L$  : アンカーボルト埋込長さ (mm)

以上より、

$$\sigma_a = \frac{585 \times 1000}{\pi \times 72 \times 2900} = 0.90 \text{ N/mm}^2 \leq 1.35 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

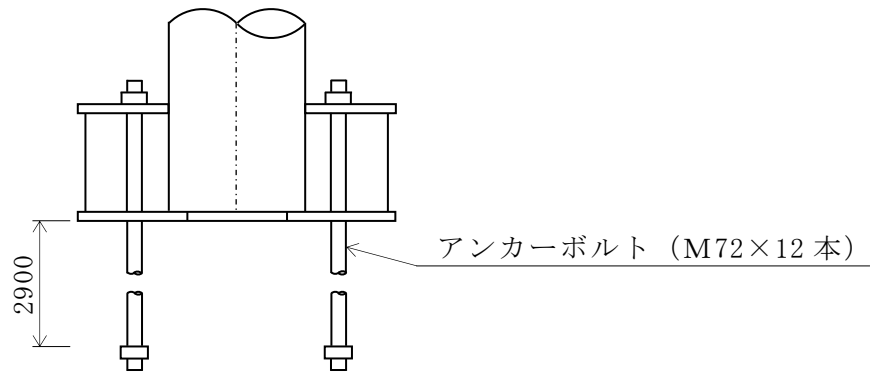


図 5-2 アンカーボルトの概要図 (単位: mm)

(2) フランジプレートの評価

フランジプレートの概要図を図 5-3 に示す。

a. フランジプレートの曲げ応力度に対する評価

フランジプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、アンカーボルトの引張力  $T_A$  が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 236 \text{ N/mm}^2$$

$$L_f = 146 \text{ mm}$$

$$M = T_A \cdot \frac{L_f}{8} = 585 \times 1000 \times \frac{146}{8} = 10680000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Z = \frac{(B - d_f) \cdot t_f^2}{6} = \frac{(393.6 - 90) \times 45^2}{6} = 102000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 許容曲げ応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$F$  : フランジプレートの基準強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$L_f$  : リブ間距離 (mm)

$M$  : 曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$T_A$  : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN/本)

$Z$  : 断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$B$  : フランジプレート幅 (mm)

$d_f$  : ボルト孔径 (mm)

$t_f$  : フランジプレートの板厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

以上より、

$$\sigma_b = \frac{10680000}{102000} = 105 \text{ N/mm}^2 \leq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

b. フランジプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは、フランジプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_1 = T_A \cdot \frac{e_1}{h \cdot L_f} = 585 \times 1000 \times \frac{158}{455 \times 146} = 1391 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rf} = D_f \cdot \frac{w_1}{2 \cdot (B - d_f) \cdot t_f}$$

ここで、

$w_1$  : 偏心距離  $e_1$  によって発生する水平力 (N/mm)

$e_1$  : 偏心距離 (mm)

$h$  : フランジプレートからベースプレート間の板厚中心間距離 (mm)

$\sigma_{rf}$  : 水平力  $w_1$  による円周方向応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$D_f$  : フランジプレート中心径 (mm)

以上より、

$$\begin{aligned} \sigma_{rf} &= 1206.4 \times \frac{1391}{2 \times (393.6 - 90) \times 45} \\ &= 62 \text{ N/mm}^2 \leq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可} \end{aligned}$$

c. フランジプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

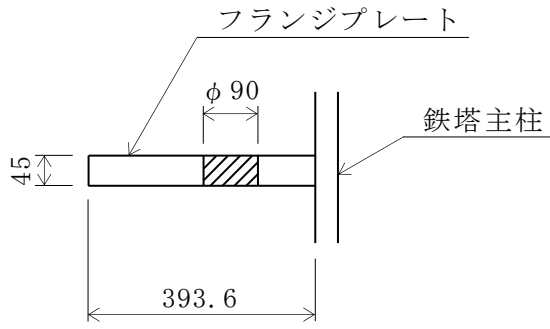
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rf}$$

ここで、

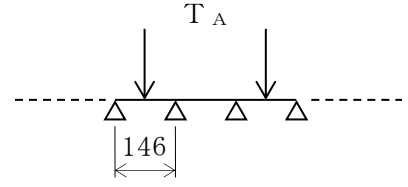
$\sigma$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

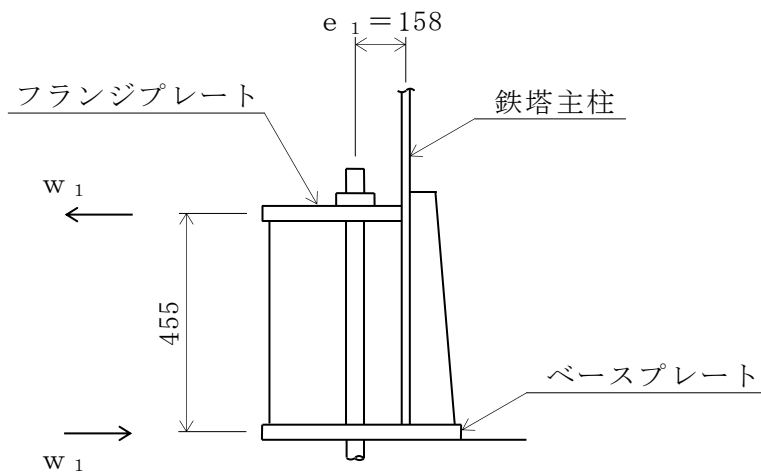
$$\sigma = 105 + 62 = 167 \text{ N/mm}^2 \leq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



フランジプレートの寸法



荷重及び支持条件



荷重図

図 5-3 フランジプレートの概要図 (単位 : mm)

(3) ベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図を図 5-4 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力及び曲げモーメントによる圧縮応力度に対して、ベースプレート下面のコンクリートの評価を行う。

$$f_c = 14.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_c &= \left( \frac{N_c}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_2 \\ &= \left( \frac{7904.6}{40050} + \frac{0.0}{7820000} \right) \times 1669 = 329 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_b}$$

ここで、

$f_c$  : 許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_c$  : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

$N_c$  : 鉄塔脚部の圧縮力 (kN)

$A$  : 鉄塔の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 鉄塔脚部の曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 鉄塔の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_2$  : 鉄塔のリブプレート間の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\sigma_c$  : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_b$  : リブプレート間のベースプレートの接地面積 (mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_c = \frac{329 \times 1000}{71995} = 4.6 \text{ N/mm}^2 \leq 14.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

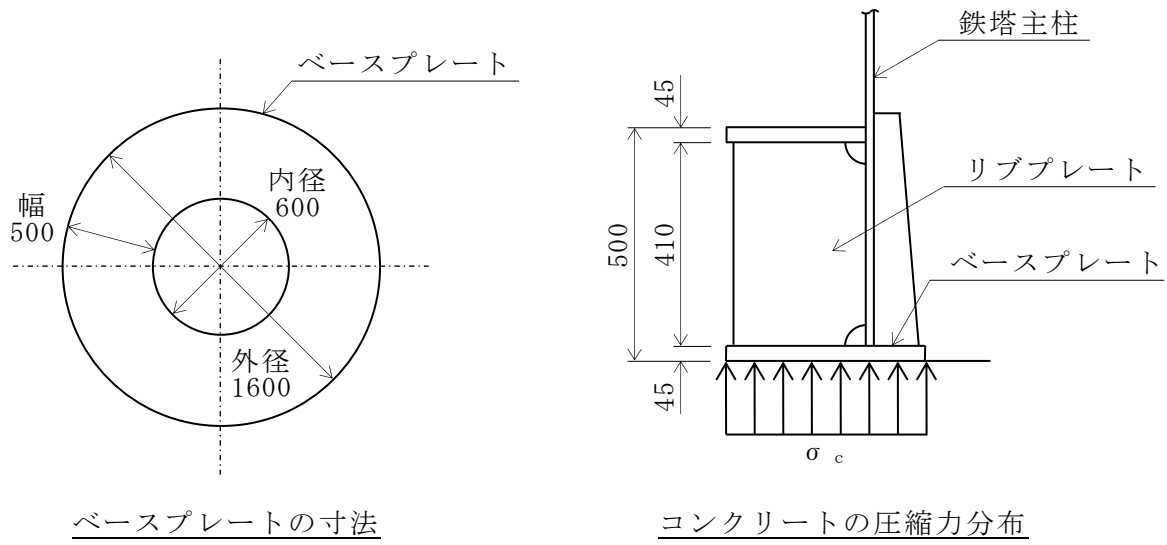


図 5-4 ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図 (単位: mm)

b. ベースプレートの曲げ応力度に対する評価

ベースプレートの概要図を図 5-5 に示す。

ベースプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、リブプレート間に作用する圧縮応力度  $\sigma_{rc}$  が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 236 \text{ N/mm}^2$$

$$L_b = 146 \text{ mm}$$

$$M = \sigma_{rc} \cdot \frac{L_b^2}{12} = 4.6 \times \frac{146^2}{12} = 8171 \text{ N}\cdot\text{mm/mm}$$

$$Z = \frac{t_b^2}{6} = \frac{45^2}{6} = 338 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : ベースプレートの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$L_b$  : リブ間距離 (mm)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm/mm)

$\sigma_{rc}$  : リブプレート間に作用する圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

$t_b$  : ベースプレートの板厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より

$$\sigma_b = \frac{8171}{338} = 25 \text{ N/mm}^2 \leq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. ベースプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは、ベースプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_2 = P_c \cdot \frac{e_2}{h \cdot L_b} = 329 \times 1000 \times \frac{151.6}{455 \times 146} = 751 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rb} = D_b \cdot \frac{w_2}{2 \cdot B \cdot t_b}$$

ここで、

$P_c$  : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

$w_2$  : 偏心距離  $e_2$  によって発生する水平力 (N/mm)

$e_2$  : 偏心距離 (mm)

$h$  : ベースプレート板厚中心間距離 (mm)

$\sigma_{rb}$  : 水平力  $w_2$  による円周方向応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$D_b$  : ベースプレート中心径 (mm)

$B$  : ベースプレート幅 (mm)

以上より、

$$\sigma_{rb} = 1100 \times \frac{751}{2 \times 500 \times 45} = 19 \text{ N/mm}^2 \leq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

d. ベースプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rb}$$

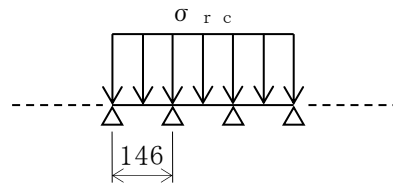
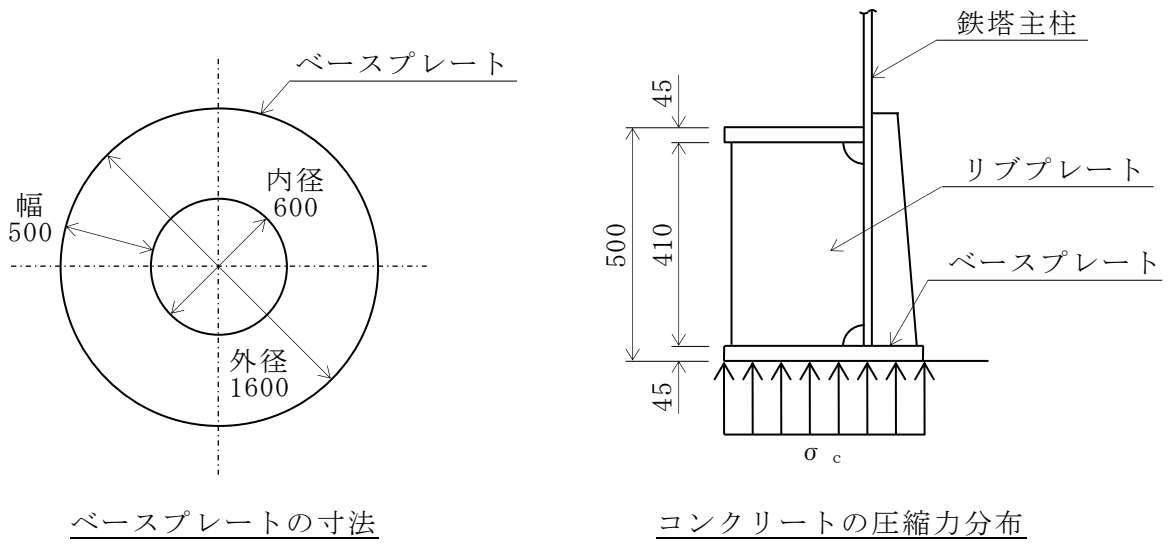
ここで、

$\sigma$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

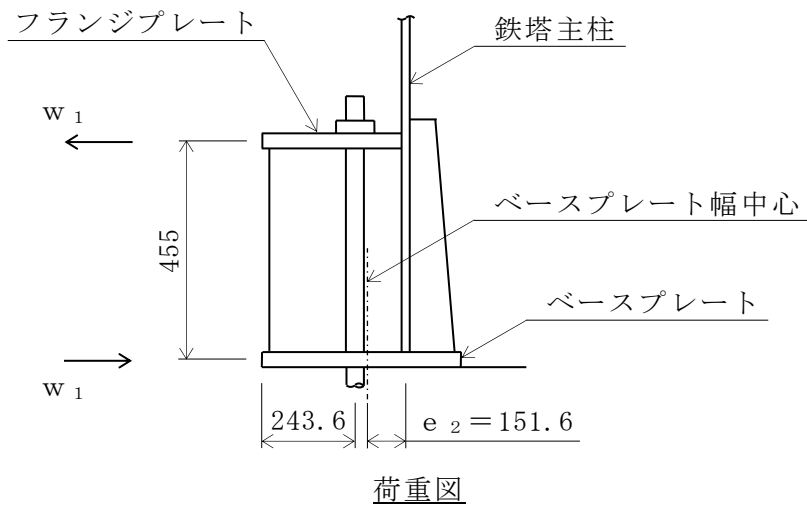
以上より、

$$\sigma = 25 + 19 = 44 \text{ N/mm}^2 \leq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$





荷重及び支持条件



荷重図

図 5-5 ベースプレートの概要図 (単位: mm)

(4) リブプレートの評価

a. リブプレートの圧縮応力度に対する評価

リブプレートの概要図を図 5-6 に示す。

ここでは、鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して、リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。

$$F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$K_r = 0.42 + \left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42 + \left(\frac{378.6}{410}\right)^2 = 1.273$$

$$\begin{aligned}\sigma_{rk} &= \frac{K_r}{\mu_r} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2 \\ &= \frac{1.273}{1.5} \times \pi^2 \times \frac{205000}{12 \times (1 - 0.3^2)} \times \left(\frac{22}{378.6}\right)^2 = 530 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

よって、

$$\sigma_{rk} = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{P_c}{b_r \cdot t_r}$$

ここで、

F : リブプレートの基準強度 (F 値は 1.1 倍とする) (N/mm<sup>2</sup>)

K<sub>r</sub> : 係数

b<sub>r</sub> : リブプレートの幅 (mm)

h<sub>r</sub> : リブプレートの高さ (mm)

σ<sub>rk</sub> : 許容座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (F と σ<sub>rk</sub> の小さい方の値をとる)

μ<sub>r</sub> : 座屈安全率 (= 1.5)

E : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>) (= 205000 N/mm<sup>2</sup>)

ν : ポアソン比

t<sub>r</sub> : リブプレートの板厚 (mm)

σ<sub>r</sub> : 座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

P<sub>c</sub> : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_r = \frac{329 \times 1000}{378.6 \times 22} = 40 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

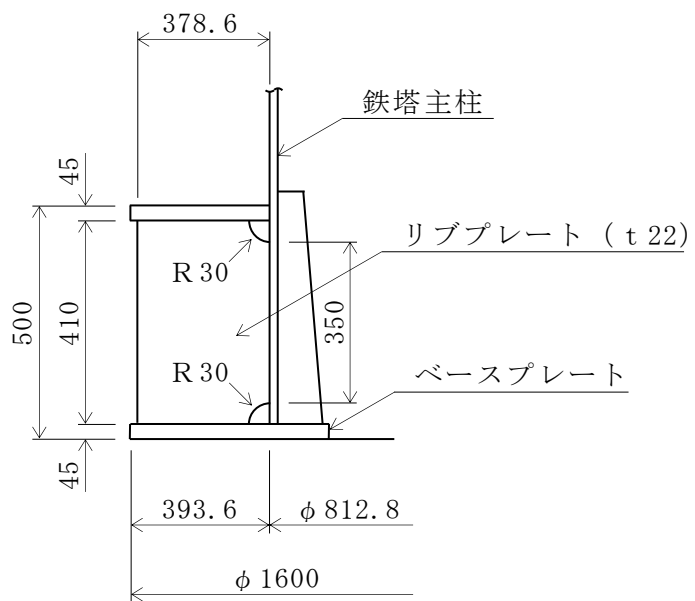


図 5-6 リブプレートの概要図 (単位 : mm)

## 5.3 筒身脚部の評価結果

## (1) アンカーボルトの評価

## a. アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトの概要図を図 5-7 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する水平力に対して、アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。評価においては、筒身脚部に作用する水平力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{258}{\sqrt{3}} = 148 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_A = \frac{Q}{n} = \frac{340.8}{12} = 28 \text{ kN/本}$$

$$\tau = \frac{Q_A}{A_a}$$

ここで、

$f_s$  : 許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : アンカーボルトの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_A$  : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN/本)

$Q$  : 筒身脚部のせん断力 (kN)

$n$  : アンカーボルトの本数 (本)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_a$  : アンカーボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\tau = \frac{28 \times 1000}{817} = 35 \text{ N/mm}^2 \leq 148 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

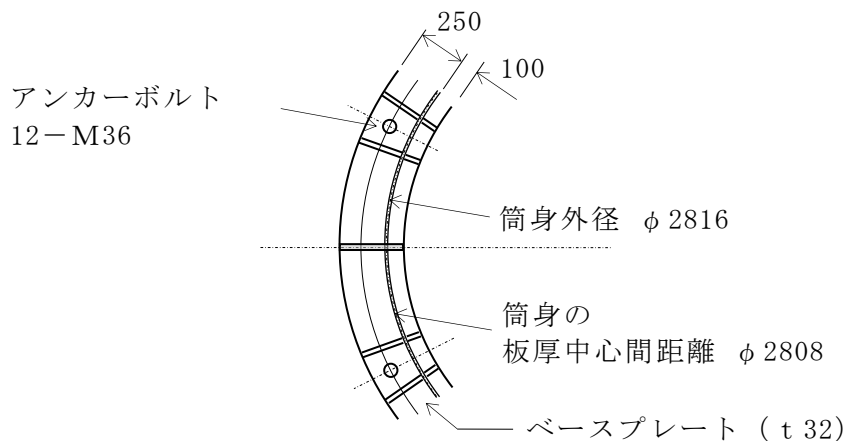


図 5-7 アンカーボルトの概要図 (単位: mm)

- b. アンカーボルトの引張とせん断を同時に受ける場合に対する評価  
 ここでは、引張とせん断を同時に受ける場合のアンカーボルトの評価を行う。

$$f_{t0} = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau = 1.4 \times 258 - 1.6 \times 35 = 305 \text{ N/mm}^2$$

$f_{ts} > f_{t0}$  より、

$$f_{ts} = 258 \text{ N/mm}^2$$

ここで、

$f_{t0}$  : せん断力が作用しないときの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_{ts}$  : せん断力が同時に作用するときの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

アンカーボルトの引張力  $T_A$  の算定にあたって、鉄筋コンクリート構造計算規  
 準・同解説（（社）日本建築学会，1988年改定，1991年一部改定）を参考に、筒  
 身内壁から外側のベースプレート下面を円筒断面の鉄筋コンクリート柱とみなし、  
 中立軸が断面内にある状態（主筋に相当するアンカーボルトの一部が引張りとな  
 る状態）を考慮する。この時、引張側のアンカーボルトに作用する最大引張力を  
 $T_A$  とする。

$$T_A = 28 \text{ kN}$$

$$\sigma_t = \frac{T_A}{A_a}$$

ここで、

$T_A$  : アンカーボルトの最大引張力 (kN)

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_t = \frac{28 \times 1000}{817} = 35 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. アンカーボルト埋込長さに対する評価

アンカーボルトの概要図を図 5-8 に示す。

ここでは、アンカーボルト埋込長さの評価を行う。

$$f_a = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{T_A}{\pi \cdot d \cdot L}$$

ここで、

$f_a$  : 許容付着応力度 (丸鋼) (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_a$  : 付着応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : アンカーボルト径 (mm)

$L$  : アンカーボルト埋込長さ (mm)

以上より、

$$\sigma_a = \frac{28 \times 1000}{\pi \times 36 \times 1200} = 0.21 \text{ N/mm}^2 \leq 1.35 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

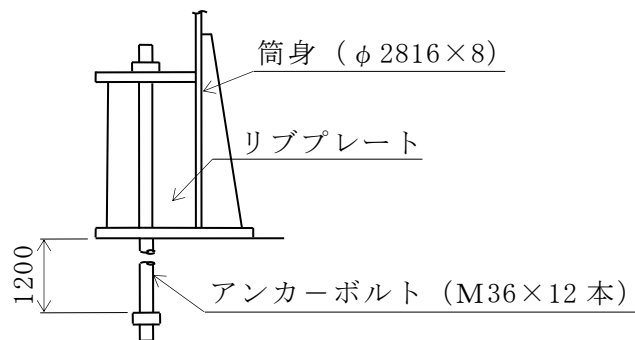


図 5-8 アンカーボルトの概要図 (単位: mm)

(2) フランジプレートの評価

フランジプレートの概要図を図 5-9 に示す。

a. フランジプレートの曲げ応力度に対する評価

フランジプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、アンカーボルトの引張力  $T_A$  が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$L_f = 160 \text{ mm}$$

$$M = T_A \cdot \frac{L_f}{8} = 28 \times 1000 \times \frac{160}{8} = 560000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Z = \frac{(B - d_f) \cdot t_f^2}{6} = \frac{(242 - 46) \times 32^2}{6} = 33500 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 許容曲げ応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$F$  : フランジプレートの基準強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$L_f$  : リブ間距離 (mm)

$M$  : 曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$T_A$  : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN/本)

$Z$  : 断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$B$  : フランジプレート幅 (mm)

$d_f$  : ボルト孔径 (mm)

$t_f$  : フランジプレートの板厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

以上より、

$$\sigma_b = \frac{560000}{33500} = 17 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

b. フランジプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは、フランジプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_1 = T_A \cdot \frac{e_1}{h \cdot L_f} = 28 \times 1000 \times \frac{121}{268 \times 160} = 79 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rf} = D_f \cdot \frac{w_1}{2 \cdot (B - d_f) \cdot t_f}$$

ここで、

$w_1$  : 偏心距離  $e_1$  によって発生する水平力 (N/mm)

$e_1$  : 偏心距離 (mm)

$h$  : フランジプレートからベースプレート間の板厚中心間距離 (mm)

$\sigma_{rf}$  : 水平力  $w_1$  による円周方向応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$D_f$  : フランジプレート中心径 (mm)

以上より、

$$\begin{aligned} \sigma_{rf} &= 3058 \times \frac{79}{2 \times (242 - 46) \times 32} \\ &= 20 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可} \end{aligned}$$

c. フランジプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rf}$$

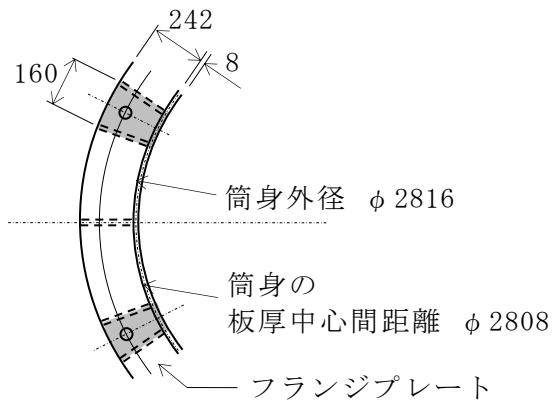
ここで、

$\sigma$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

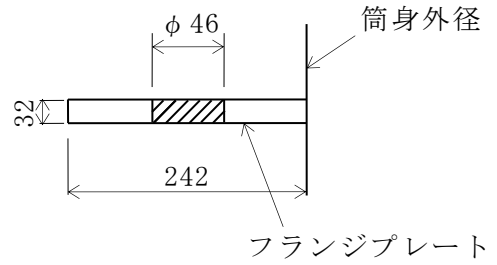
以上より、

$$\sigma = 17 + 20 = 37 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

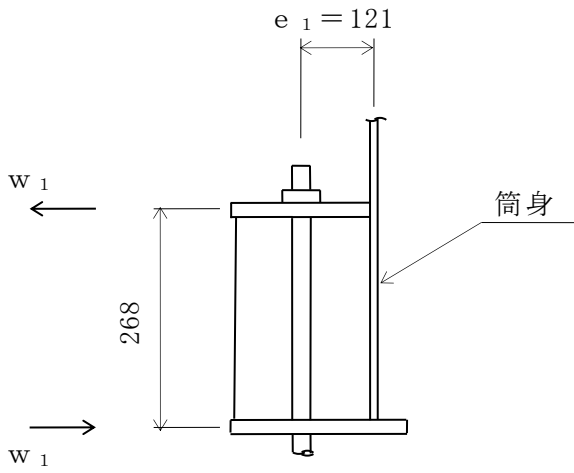




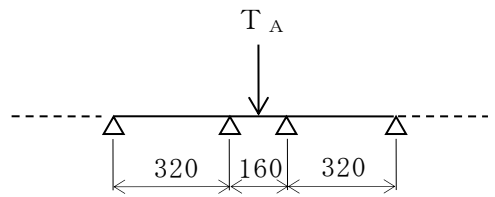
フランジプレートの評価部位



フランジプレートの寸法



荷重図



荷重及び支持条件

図 5-9 フランジプレートの概要図 (単位 : mm)

(3) ベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図を図5-10に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する圧縮力及び曲げモーメントによる圧縮応力度に対して、ベースプレート下面のコンクリートの評価を行う。

$$f_c = 14.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_c &= \left( \frac{N_c}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_2 \\ &= \left( \frac{1584.1}{70570} + \frac{2170.2 \times 1000}{49400000} \right) \times 2437 = 162 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_b}$$

ここで、

$f_c$  : 許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_c$  : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

$N_c$  : 筒身脚部の圧縮力 (kN)

$A$  : 筒身の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 筒身脚部の曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 筒身の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_2$  : 筒身のリブプレート間の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\sigma_c$  : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_b$  : リブプレート間のベースプレートの接地面積 (mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_c = \frac{162 \times 1000}{112000} = 1.5 \text{ N/mm}^2 \leq 14.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

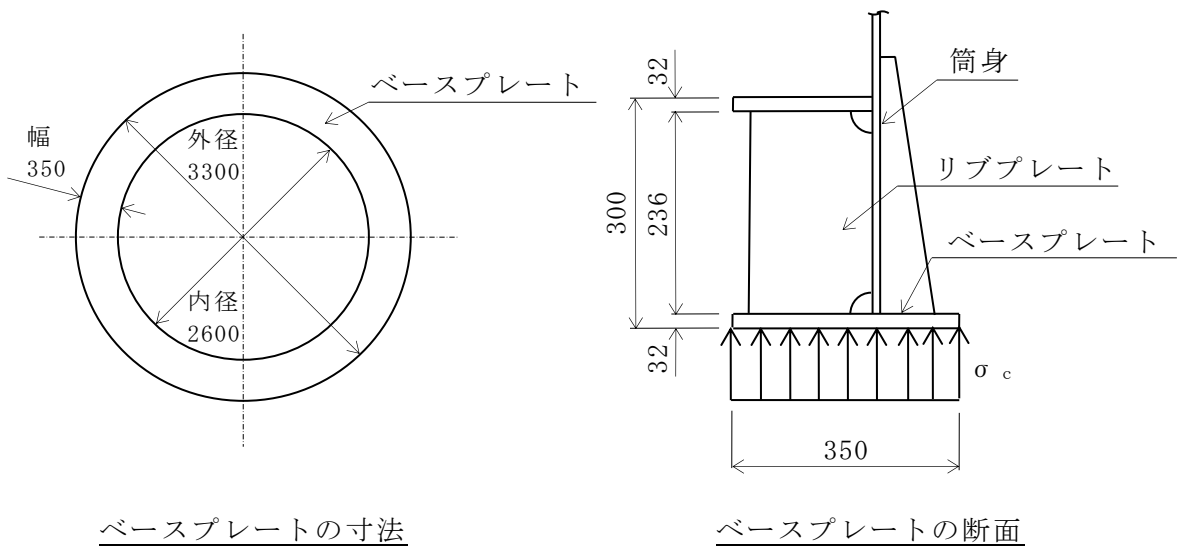


図 5-10 ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図（単位：mm）

b. ベースプレートの曲げ応力度に対する評価

ベースプレートの概要図を図 5-11 に示す。

ベースプレートは、ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし、リブプレート間に作用する圧縮応力度  $\sigma_{rc}$  が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$L_b = 320 \text{ mm}$$

$$M = \sigma_{rc} \cdot \frac{L_b^2}{12} = 1.5 \times \frac{320^2}{12} = 12800 \text{ N}\cdot\text{mm/mm}$$

$$Z = \frac{t_b^2}{6} = \frac{32^2}{6} = 171 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$f_b$  : 許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  : ベースプレートの基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$L_b$  : リブ間距離 (mm)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm/mm)

$\sigma_{rc}$  : リブプレート間に作用する圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

$t_b$  : ベースプレートの板厚 (mm)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma_b = \frac{12800}{171} = 75 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. ベースプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは、ベースプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_2 = P_c \cdot \frac{e_2}{h \cdot L_b} = 162 \times 1000 \times \frac{71}{268 \times 320} = 134 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rb} = D_b \cdot \frac{w_2}{2 \cdot B \cdot t_b}$$

ここで、

$w_2$  : 偏心距離  $e_2$  によって発生する水平力 (N/mm)

$e_2$  : 偏心距離 (mm)

$h$  : ベースプレート板厚中心間距離 (mm)

$\sigma_{rb}$  : 水平力  $w_2$  による円周方向応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$D_b$  : ベースプレート中心径 (mm)

$B$  : ベースプレート幅 (mm)

以上より、

$$\sigma_{rb} = 2950 \times \frac{134}{2 \times 350 \times 32} = 18 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

d. ベースプレートの合成応力度に対する評価

ここでは、曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rb}$$

ここで、

$\sigma$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

以上より、

$$\sigma = 75 + 18 = 93 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

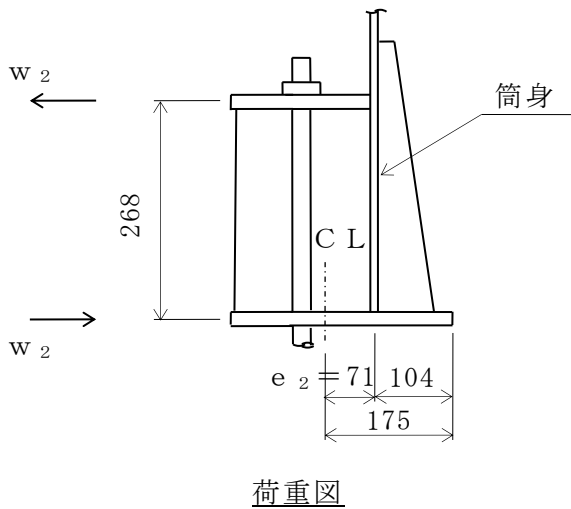
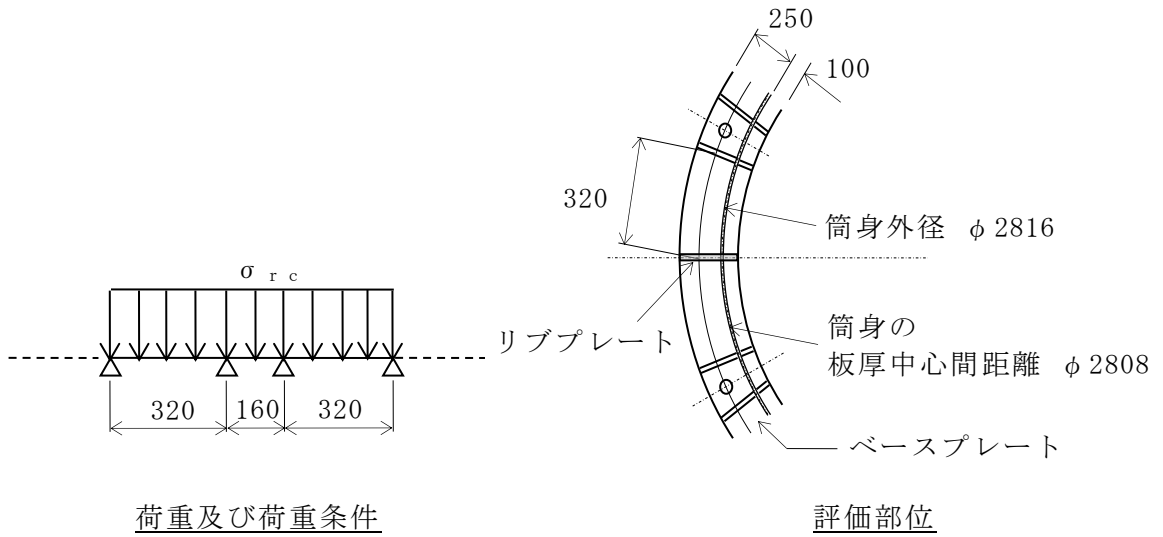
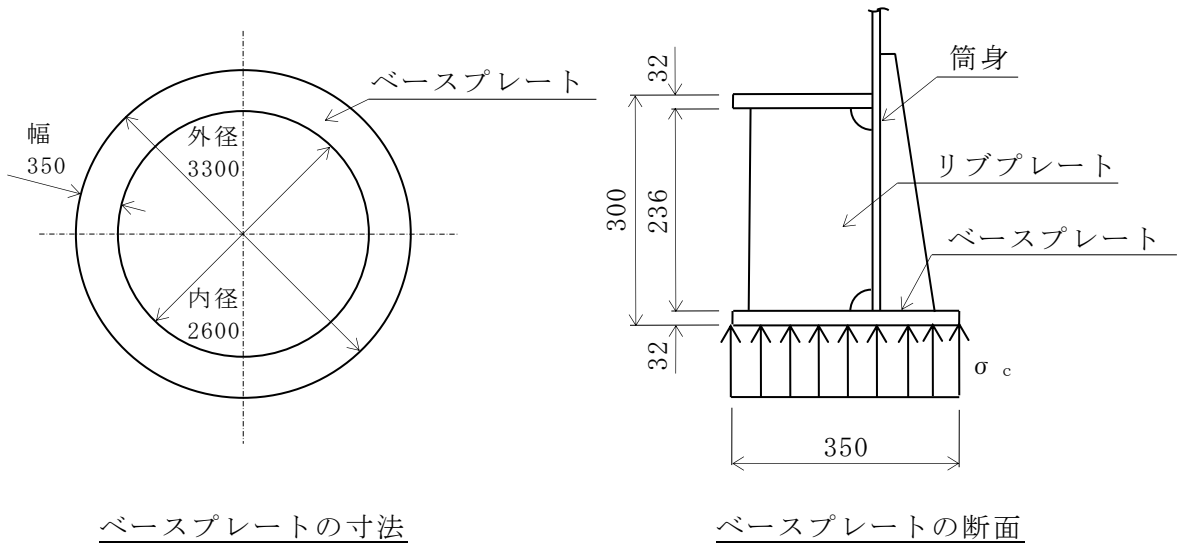


図 5-11 ベースプレートの概要図 (単位: mm)

(4) リブプレートの評価

a. リブプレートの圧縮応力度に対する評価

リブプレートの概要図を図 5-12 に示す。

ここでは、筒身脚部に作用する圧縮力に対して、リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては、リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。

$$F = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$K_r = 0.42 + \left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42 + \left(\frac{227}{236}\right)^2 = 1.345$$

$$\begin{aligned}\sigma_{rk} &= \frac{K_r}{\mu_r} \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2 \\ &= \frac{1.345}{1.5} \times \pi^2 \times \frac{205000}{12 \times (1 - 0.3^2)} \times \left(\frac{19}{227}\right)^2 = 1164 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

よって、

$$\sigma_{rk} = 258 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{P_c}{b_r \cdot t_r}$$

ここで、

F : リブプレートの基準強度 (F 値は 1.1 倍とする) (N/mm<sup>2</sup>)

K<sub>r</sub> : 係数

b<sub>r</sub> : リブプレートの幅 (mm)

h<sub>r</sub> : リブプレートの高さ (mm)

σ<sub>rk</sub> : 許容座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (F と σ<sub>rk</sub> の小さい方の値をとる)

μ<sub>r</sub> : 座屈安全率 (= 1.5)

E : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>) (= 205000 N/mm<sup>2</sup>)

ν : ポアソン比

t<sub>r</sub> : リブプレートの板厚 (mm)

σ<sub>r</sub> : 座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

P<sub>c</sub> : リブプレート間に作用する圧縮力 (kN)

以上より、

$$\sigma_r = \frac{162 \times 1000}{227 \times 19} = 38 \text{ N/mm}^2 \leq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

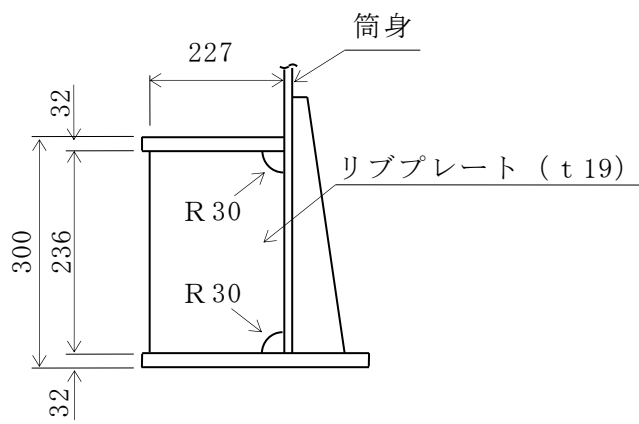


図 5-12 リブプレートの概要図 (単位 : mm)



VI-3-別添 1-13-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1 荷重の設定	8
3.2.2 荷重の組合せ	11
3.3 許容限界	12
3.4 評価方法	13
4. 評価条件	14
5. 強度評価結果	15

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である復水貯蔵タンク遮蔽壁が、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように、竜巻より防護すべき施設を内包するB-デューゼル燃料貯蔵タンク格納槽に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

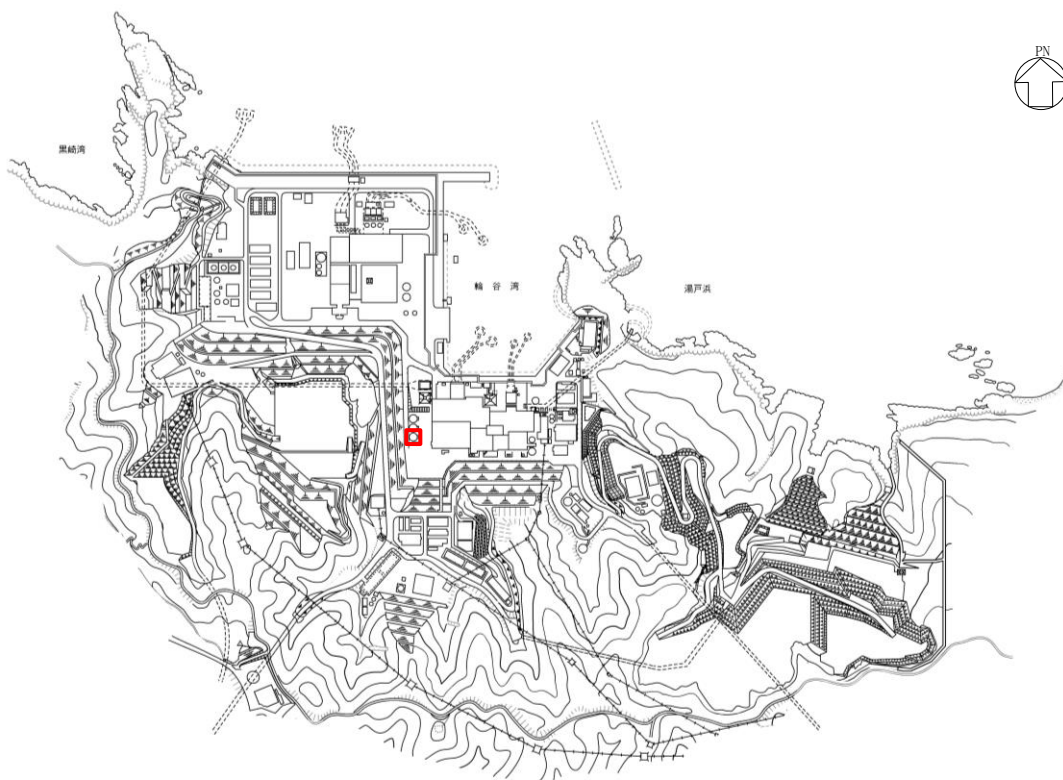
## 2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、復水貯蔵タンク遮蔽壁の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外に設置する。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の設置位置を図 2-1 に示す。



復水貯蔵タンク遮蔽壁

図 2-1(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の設置位置

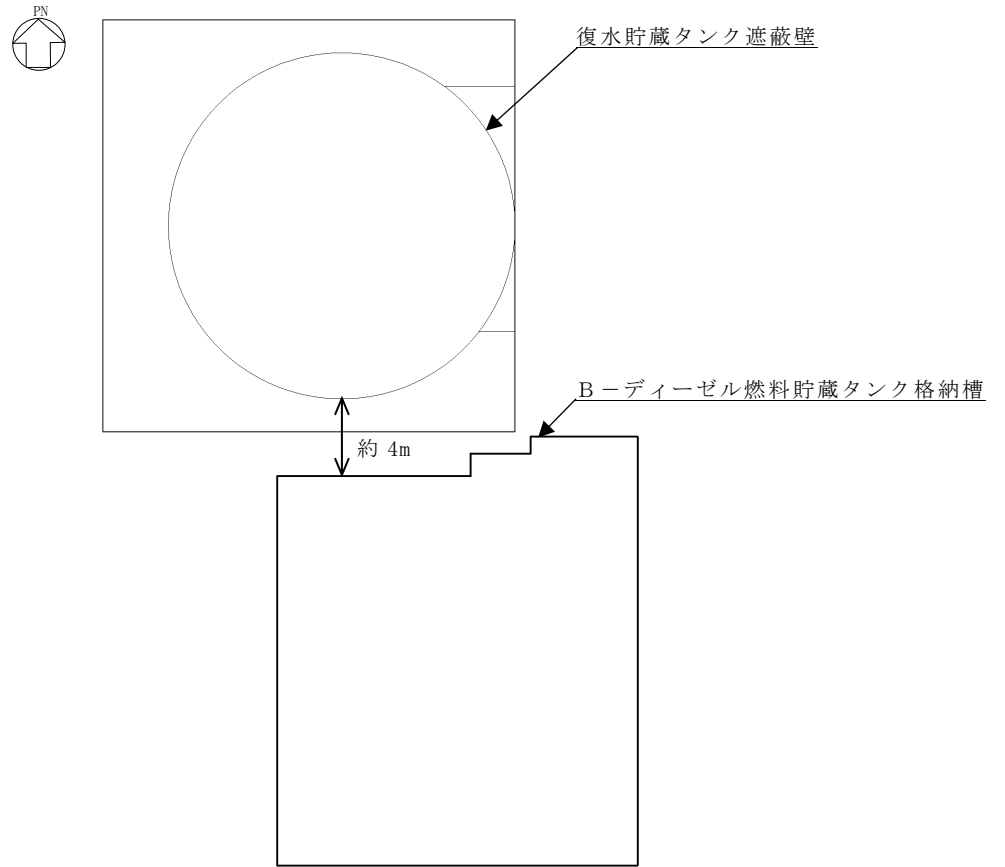


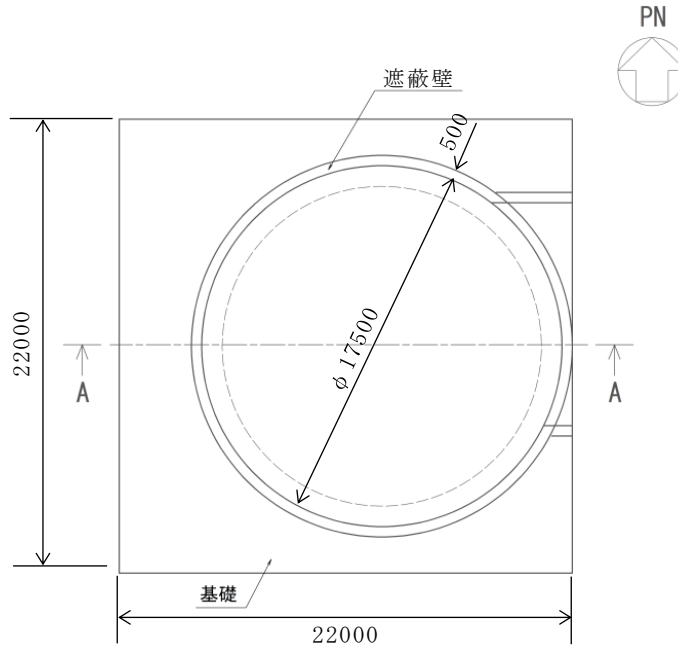
図 2-1(2) 復水貯蔵タンク 遮蔽壁の設置位置 (詳細図)

## 2.2 構造概要

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

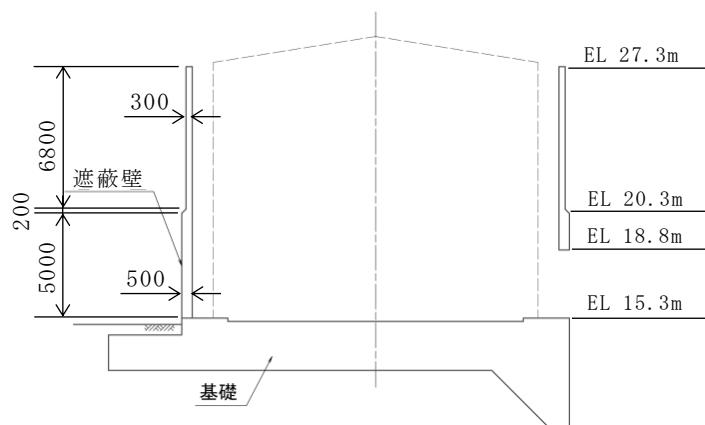
復水貯蔵タンク遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造であり、荷重は遮蔽壁に作用し、基礎へ伝達する構造である。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の概要図を図 2-2 に示す。



(単位：mm)

図 2-2(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の概要図(平面図)



(単位：mm)

図 2-2(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の概要図(A-A断面図)

### 2.3 評価方針

復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、復水貯蔵タンク遮蔽壁が竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、その構造躯体である遮蔽壁を評価対象部位とする。具体的には、復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造強度評価については、復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造を踏まえ、設計荷重が復水貯蔵タンク遮蔽壁に作用した場合に、遮蔽壁に作用する応力が「3.3 許容限界」に示す許容値を下回ることを確認する。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度評価フローを図 2-3 に示す。

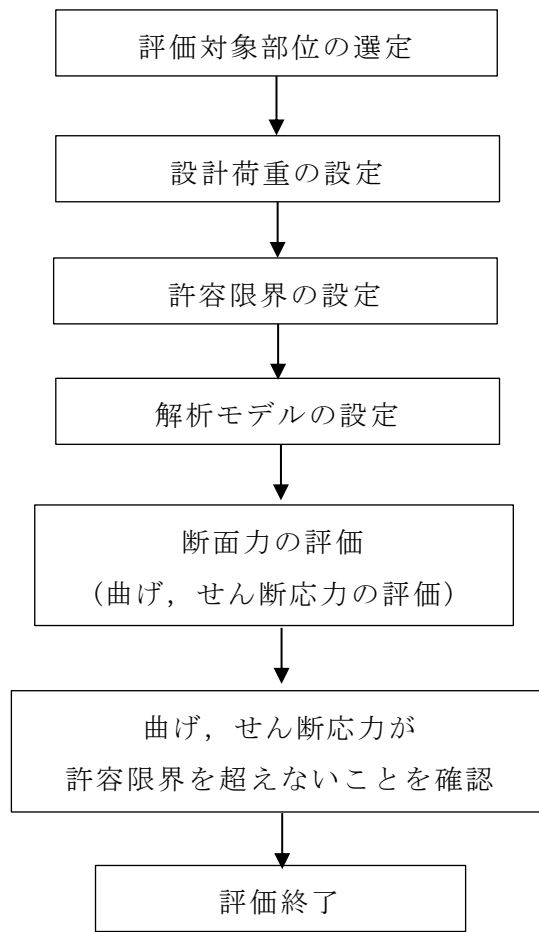


図 2-3 強度評価フロー



#### 2.4 適用規格・基準等

復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社)土木学会, 2002年制定)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 ((社)日本電気協会)
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル ((社)土木学会, 2005年制定)
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ((社)日本建築学会, 2004年改定)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価基準を踏まえ遮蔽壁とする。

また、「2.3 評価方針」に示したとおり、遮蔽壁は設計飛来物の衝突を考慮する。衝突位置は、健全時において風圧力（「3.2 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重 $W_w$ ）を作用させた際に、復水貯蔵タンク遮蔽壁全体の曲げモーメントが最大となる遮蔽壁頂部とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

##### 3.2.1 荷重の設定

強度評価の荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価の荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
92	14	78	7500

(1) 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、遮蔽壁及び基礎自重の他に、付属設備の重量を考慮する。

(2) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法・同施行令」及び「建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004年改定）」に基づき、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C$$

ここで、 $q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$

$W_w$  : 風圧力による荷重 (N)

$q$  : 設計用速度圧 ( $N/m^2$ )

$G$  : ガスト影響係数

$C$  : 風力係数

$\rho$  : 空気密度 ( $kg/m^3$ )

$V_D$  : 最大風速 (m/s)

風圧力による荷重 $W_w$ が作用する方向は、竜巻より防護すべき施設を内包するB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽への倒壊を想定し、南向きとする。

ここで風力係数 $C$ は、遮蔽壁は煙突その他の円筒形の構造物として $C = 0.7 \cdot k_z$  ( $k_z = 1.0$ ) とする。

(3) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重は、力学における標準式により、次式のとおり算出する。算出に用いる設計飛来物の諸元を表 3-2 に示す。

$$W_M = m \cdot V / \Delta t = m \cdot V^2 / L_1$$

ここで、

$W_M$  : 設計飛来物による衝撃荷重 (N)

$m$  : 設計飛来物質量 (kg)

$V$  : 設計飛来物の衝突速度 (水平) (m/s)

$\Delta t$  : 設計飛来物と被衝突体の接触時間 (s)

$L_1$  : 設計飛来物の最も短い辺の全長 (m)

なお、設計飛来物による衝撃荷重による荷重 $W_M$ が作用する方向は、竜巻より防護すべき施設を内包する B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽への倒壊を想定し、南向きとする。

表 3-2 設計飛来物の諸元

設計飛来物	設計飛来物質量 $m$ (kg)	設計飛来物の 衝突速度 (水平) $V$ (m/s)	設計飛来物の 最も短い辺の全長 $L_1$ (m)
鋼製材	135	51	0.2

### 3.2.2 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

なお、復水貯蔵タンク遮蔽壁は大気中に開かれており、復水貯蔵タンク遮蔽壁内外に気圧差が生じない構造であるため、気圧差による荷重は考慮しない ( $W_P = 0$ )。したがって、設計竜巻による複合荷重 $W_T$ は $W_{T1} = 0$  となり、 $W_{T2} = W_W + W_M$ とし、南向きの荷重に対して、常時作用する荷重 ( $F_d$ ) を考慮した設計荷重を用いて検討を実施する。

また、「3.1 評価対象部位」に示したとおり、設計飛来物の衝突を考慮する箇所については、遮蔽壁の頂部とし、設計飛来物は南向きに衝突するものとする。

設計飛来物の衝突を考慮する箇所及び複合荷重の作用方向を図 3-1 に示す。

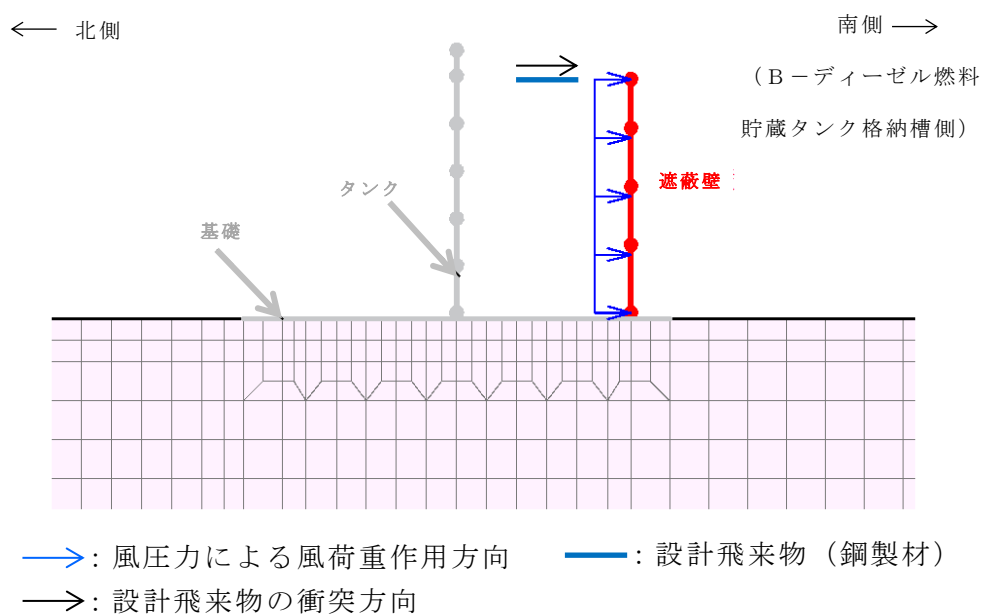


図 3-1 設計飛来物の衝突を考慮する箇所及び複合荷重の作用方向

### 3.3 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.1 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

遮蔽壁は、構造強度を確保するための十分な余裕を持った許容限界として「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年制定）」に基づく設計断面耐力を許容限界とし，2次元FEMモデルによる評価において，評価対象部位の発生応力が許容限界を超えないことを確認する。遮蔽壁の評価における許容限界を表3-3～表3-5のとおり設定する。

表 3-3 遮蔽壁の評価における許容限界

機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に波及的影響を及ぼさない	遮蔽壁	曲げ，せん断応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないこと	「コンクリート標準示方書 構造性能照査編（(社)土木学会，2002年制定）」に基づく短期許容応力度以下とする。

表 3-4 遮蔽壁の評価における許容限界（コンクリート）

設計基準強度 F <sub>c</sub>	許容曲げ圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
23.5	13.2	0.66

表 3-5 遮蔽壁の評価における許容限界（鉄筋）

種別	短期許容引張応力度
SD345	294

### 3.4 評価方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」を踏まえて、2次元FEMモデルでモデル化し静的解析を実施する。

静的解析には、解析コード「T D A P III」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は線形はり要素でモデル化する。復水貯蔵タンク遮蔽壁の静的解析モデルを図3-2に示す。なお、評価用モデルについては、VI-2-11-2-12「復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書」に示す解析モデルを用いる。なお、解析モデルの境界条件は、底面は固定、側方は鉛直ローラーとする。

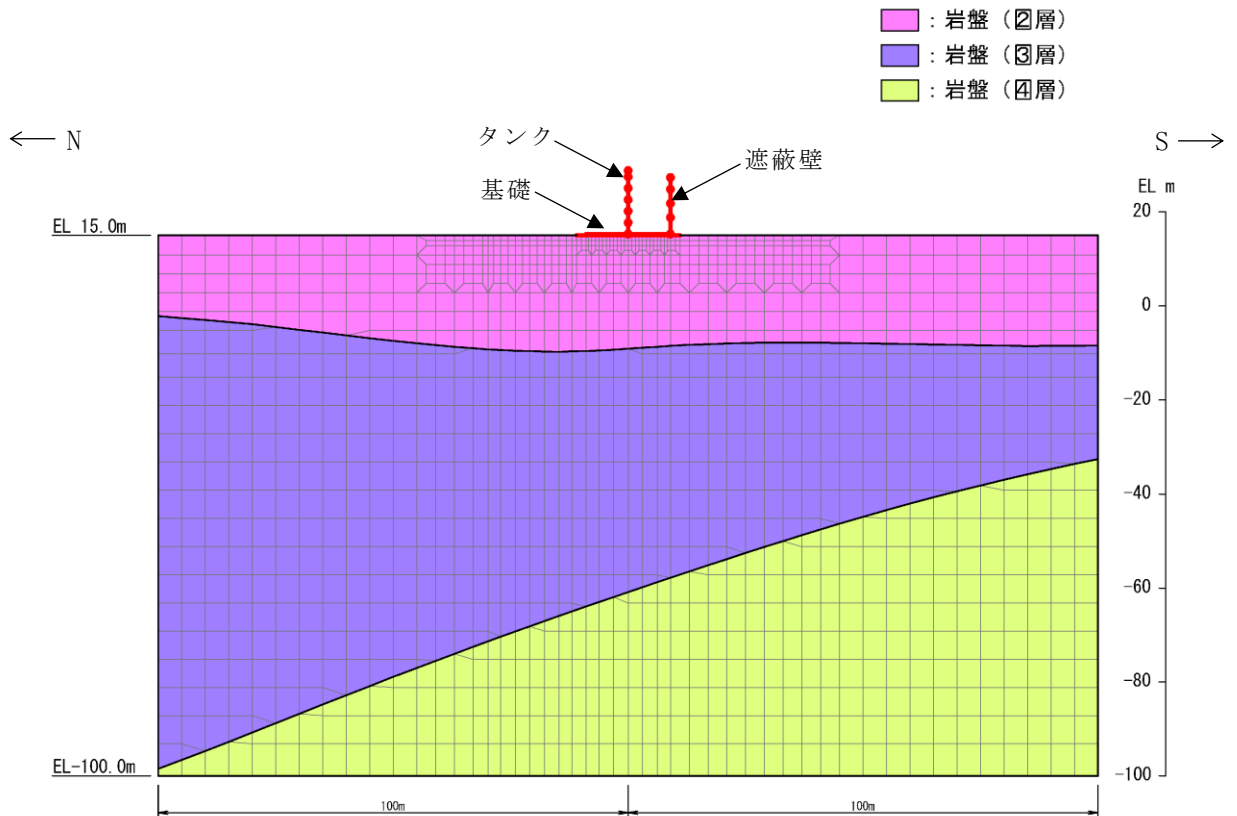


図3-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁の解析モデル(N S 方向)

## 4. 評価条件

## (1) 使用材料及び風圧力の算定

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として、評価対象部位の材料定数を表 4-1 に、風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件を表 4-2 に、設計荷重を表 4-3 に示す。

表 4-1 評価対象部位の材料定数（遮蔽壁）

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
23.5	$2.48 \times 10^7$	0.2

表 4-2 風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト影響係数 $G$	設計用速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )
92	1.226	1.0	5189

表 4-3 設計荷重

記号	定義	数値	単位	
$F_d$	常時作用する荷重	固定荷重*	24.000	kN/m <sup>3</sup>
		積雪荷重	0.700	kN/m <sup>2</sup>
$W_w$	風圧力による荷重	3.632	kN/m <sup>2</sup>	
$W_M$	設計飛来物による衝撃荷重	95.135	kN/m	

注記\*：固定荷重は遮蔽壁躯体の単位体積重量を示す。



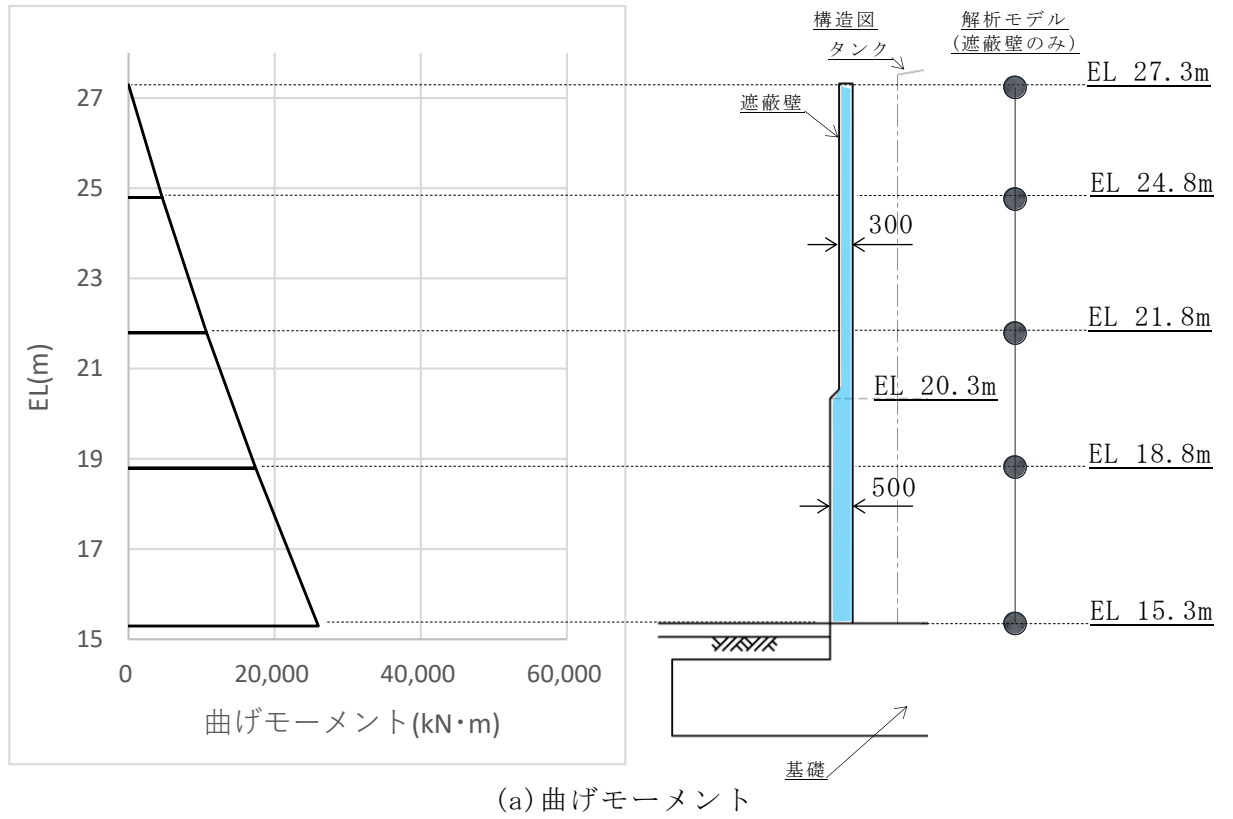
5. 強度評価結果

「3.4 評価方法」に基づいた復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価結果を表 5-1 に、断面力図を図 5-1 に示す。

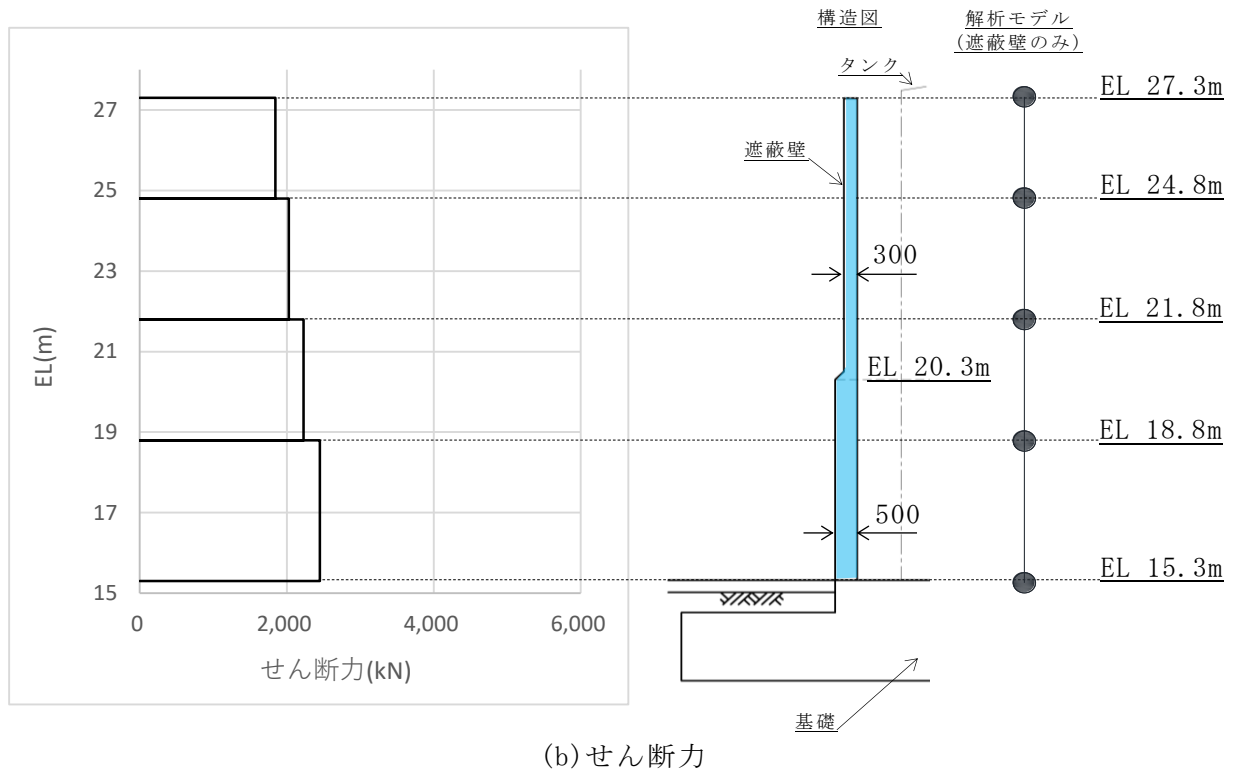
遮蔽壁について、許容値を満足していることを確認した。

表 5-1 評価結果

評価対象部位	評価項目		発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
遮蔽壁	曲げ	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	0.5	13.2
		鉄筋の 曲げ引張応力度	1.0	294
	せん断応力度		0.34	0.66



(a) 曲げモーメント



(b) せん断力

図 5-1 断面力図

VI-3-別添 1-13-6 取水槽ガントリクレーンの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	12
3. 強度評価方法	13
3.1 評価対象部位	13
3.2 荷重及び荷重の組合せ	15
3.3 許容限界	16
3.4 評価方法	18
4. 評価条件	19
5. 強度評価結果	22

## 1. 概要

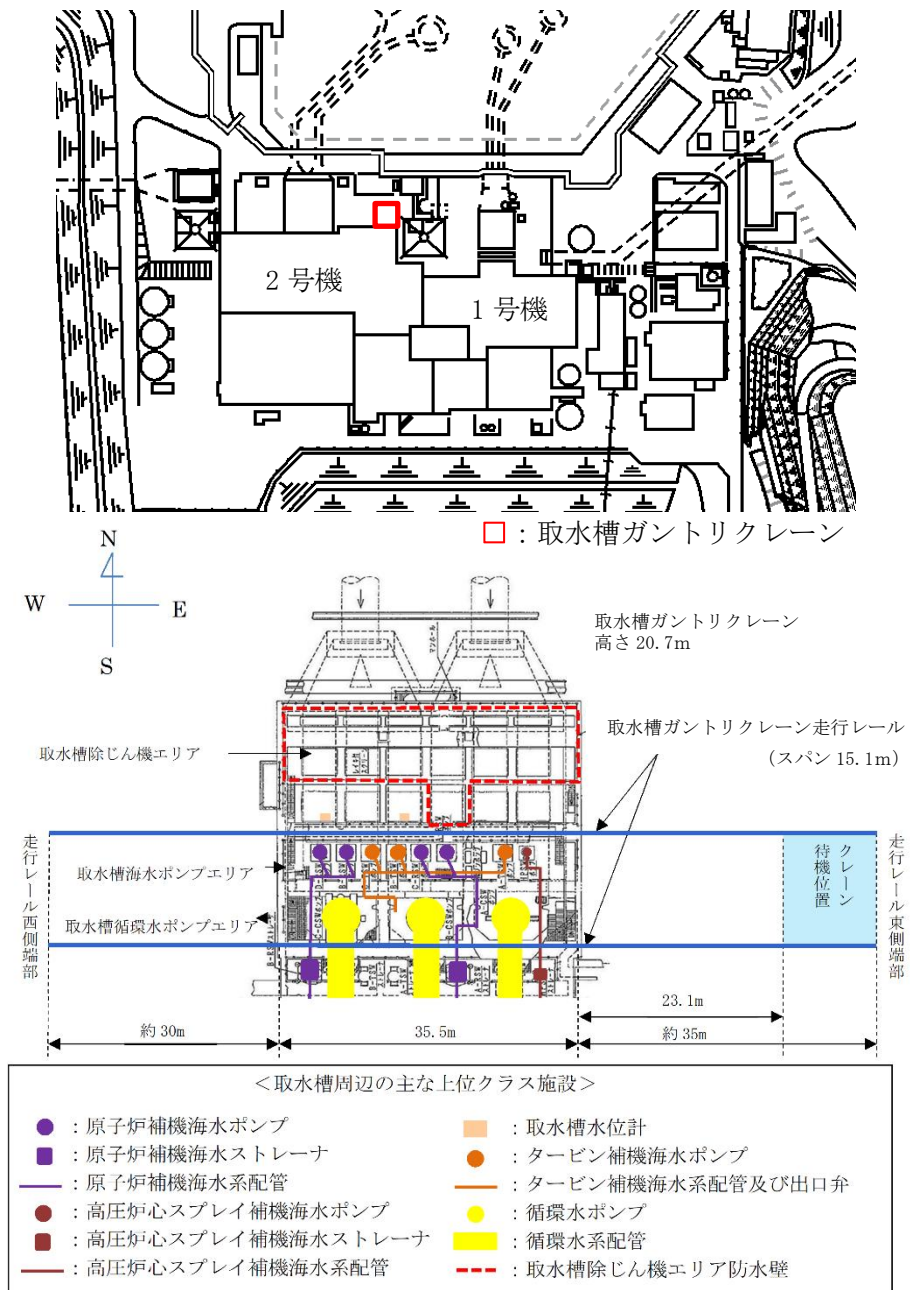
本資料は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある取水槽ガントリクレーンが竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように、原子炉補機海水ポンプ等に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

2. 基本方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」，「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ，取水槽ガントリクレーンの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

2.1 位置

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり，取水槽ガントリクレーンは，図2-1に示す位置に設置する。



(赤枠部拡大図)

図2-1 取水槽ガントリクレーンの位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり，取水槽ガントリクレーンの構造を設定している。

取水槽ガントリクレーンは鋼製の脚，クレーン本体ガーダ，トロリ等で構成される。取水槽ガントリクレーンは，取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリアの南側に敷設する走行レール上に設置する設計とし，係留位置において各従動輪側ボギーに4基ずつ計8基設置されている逸走防止装置及び各従動輪側ボギー・駆動輪側ボギーに2基ずつ計8基設置されている転倒防止装置にて固定する構造とする。取水槽ガントリクレーンの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 取水槽ガントリクレーンの構造計画 (1/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>取水槽ガントリクレーンは、取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリアの南側に敷設する走行レール上に設置する。</p>			
取水槽ガントリクレーン	鋼製の脚、クレーン本体ガーダ、トロリ等により構成する。	係留位置において各従動輪側ボギーに4基ずつ計8基設置されている逸走防止装置及び各従動輪側ボギー・駆動輪側ボギーに2基ずつ計8基設置されている転倒防止装置にて固定する。	<p>走行方向 (EW方向) 東 ← 西 →</p> <p>トロリ</p> <p>クレーン本体ガーダ</p> <p>脚</p> <p>従動輪側ボギー</p> <p>A部*</p> <p>従動輪</p> <p>駆動輪</p> <p>駆動輪側ボギー</p> <p>(単位: mm)</p> <p>注記*: 2基の従動輪側ボギーのうち、北側の従動輪側ボギーを代表として詳細を示す。</p> <p>横行方向 (NS方向) 北 ← 南 →</p> <p>駆動輪側ボギー</p> <p>B-B 矢視図 (単位: mm)</p> <p>横行方向 (NS方向) 南 ← 北 →</p> <p>従動輪側ボギー</p> <p>C-C 矢視図 (単位: mm)</p>



表 2-1 取水槽ガントリクレーンの構造計画 (2/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
取水槽ガントリクレーン 逸走防止装置	短冊, 上部ブラケット, 下部ブラケット, ピン固定金具, ピン及び基礎ボルトにより構成する。	逸走防止装置は, 短冊, 短冊をクレーン脚に固定するブラケット (上部ブラケット及び下部ブラケット) に構成, ピン固定金具, ピン及び基礎ボルトにより構成され, 取水槽ガントリクレーンを係留位置に移動後, 短冊をピン固定金具にスライドさせ, ピンにより走行方向の前後を固定することによって, 逸走を防止する。	<p>A部詳細</p> <p>逸走防止装置 転倒防止装置</p>
			<p>D-D断面 (逸走防止装置)</p> <p>逸走防止装置ブラケット</p>

表 2-1 取水槽ガントリクレーンの構造計画 (3/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
取水槽ガントリクレーン転倒防止装置	クレーン側ブラケット、基礎側ブラケット、架台、架台取付ボルト及び基礎ボルトにより構成される。	転倒防止装置は、クレーン側ブラケット、基礎側ブラケット、架台、架台取付ボルト及び基礎ボルトにより構成される。なお、南側レールの近傍に消火用配管ピットがあるため、南側レールの転倒防止装置には架台を取付け、基礎側ブラケットを支持している。	<p> <span style="color: blue;">■</span> : 転倒防止装置  <span style="color: yellow;">■</span> : 逸走防止装置         </p> <p>           (逸走防止装置及び転倒防止装置の設置位置の概要図)         </p>

## 2.3 評価方針

取水槽ガントリクレーンの強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ、取水槽ガントリクレーンの評価対象部位に生じる応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

### (1) 構造強度評価の方針

取水槽ガントリクレーンの構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図2-2に示す。

- ・取水槽ガントリクレーンに対して、常時作用する荷重，設計竜巻による荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界に収まることを確認する。取水槽ガントリクレーンの構造強度評価における受圧面積を図2-3に示す。
- ・竜巻の襲来が予想される場合，クレーン作業の中止及び取水槽ガントリクレーンの係留についての運用手順を定めることとしていることから，取水槽ガントリクレーンが係留位置にて逸走防止装置及び転倒防止装置により係留されている状態での評価を実施する。
- ・取水槽ガントリクレーンは外部事象防護対象施設ではなく，係留位置においては原子炉補機海水ポンプ等との離隔が十分に取られているため，原子炉補機海水ポンプ等への波及的影響を防止する観点から，取水槽ガントリクレーンが係留位置にて逸走防止装置及び転倒防止装置により固定されることで，取水槽方向に逸走及び転倒せず原子炉補機海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさないことを確認する。
- ・取水槽ガントリクレーンの逸走防止装置及び転倒防止装置がその固定機能を維持可能な構造強度を有することを確認する。確認にあたっては，いずれかのボギーの片面に飛来物が衝突することを想定する。なお，ボギーの片面の逸走防止装置及び転倒防止装置の部材の厚さは約 22mm（転倒防止装置の基礎側ブラケットの最小板厚）以上であり，設計飛来物の貫通厚さ(16mm)を上回るため，飛来物の衝突による影響を受けるのはボギーの片面のみとする。
- ・逸走防止装置は各従動輪側ボギーに 4 基（片側に 2 基）ずつ計 8 基設置されていることから，飛来物による衝撃荷重によって逸走防止装置を 2 基損傷させたモデルとして考慮し，取水槽ガントリクレーンに作用する設計荷重により評価対象部位に生じる応力が許容限界以下であることを確認する。逸走防止装置を 2 基損傷させた従動輪側ボギーの概要図を図 2-4 に示す。
- ・転倒防止装置は各従動輪側ボギー・駆動輪側ボギーに 2 基（片側に 1 基）ずつ計 8 基設置されていることから，飛来物による衝撃荷重によって転倒防止装置を 1 基損傷させたモデルとして考慮し，取水槽ガントリクレーンに作用する設計荷重により評価対

象部位に生じる応力が許容限界以下であることを確認する。転倒防止装置を1基損傷させた従動輪側ボギーの概要図を図2-5に示す。

- ・設計竜巻による荷重は、水平方向より作用する外荷重という観点で、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態IVASとする。

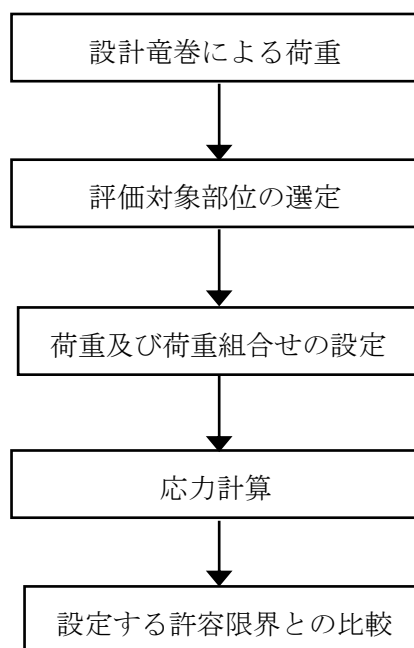


図2-2 取水槽ガントリクレーンの構造強度評価フロー

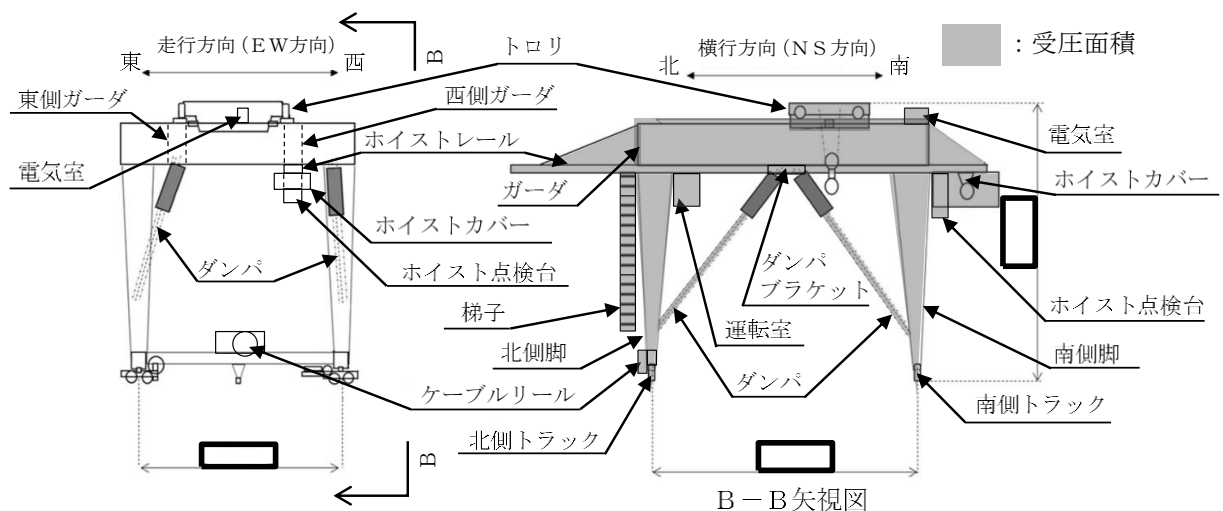
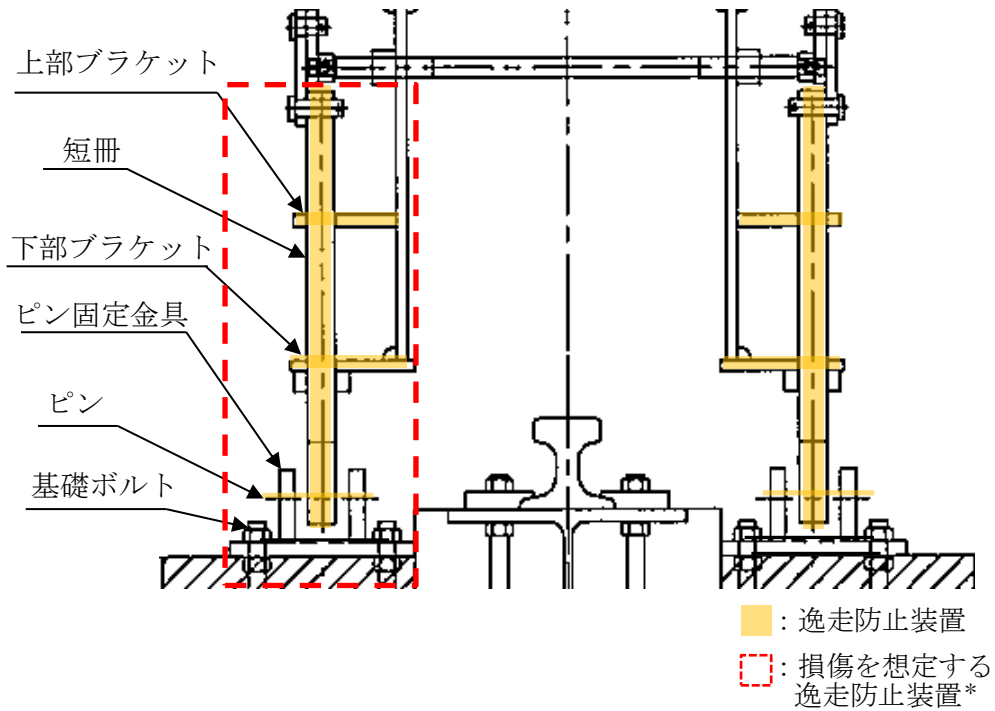
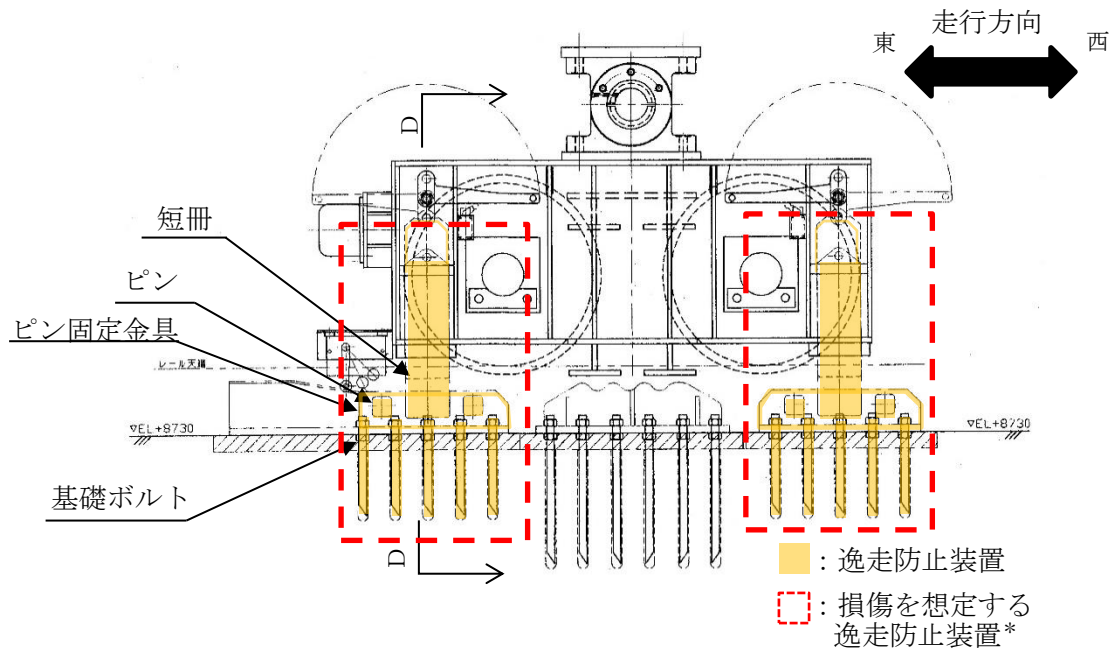


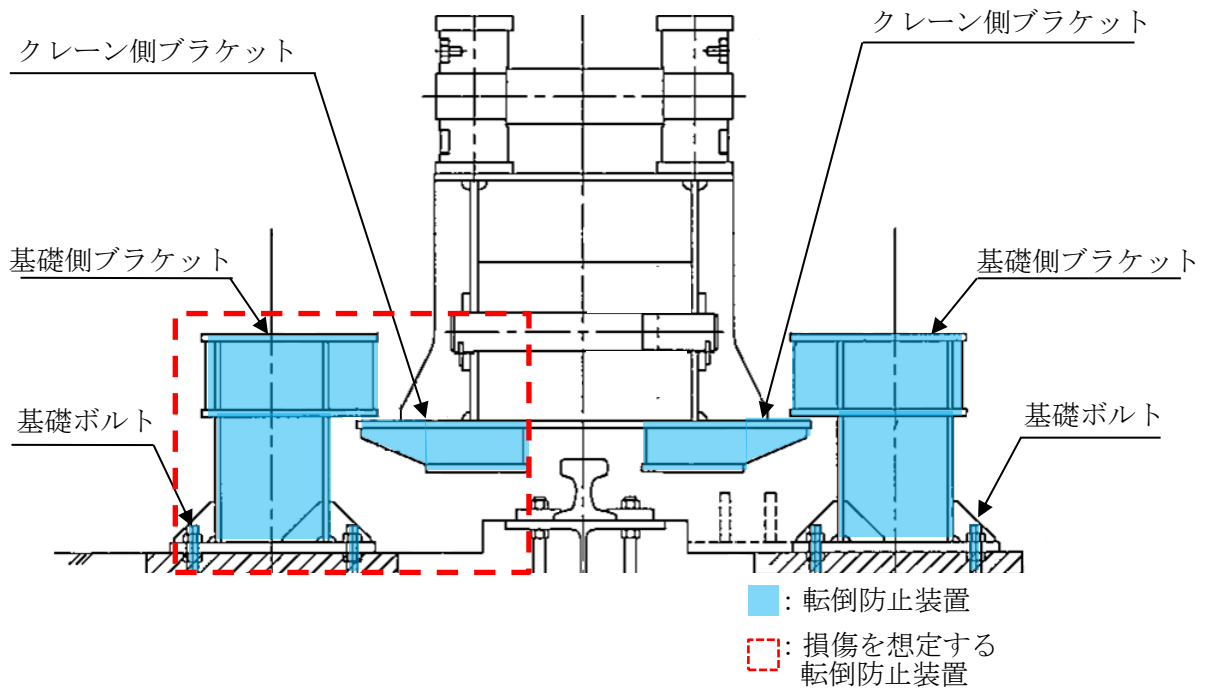
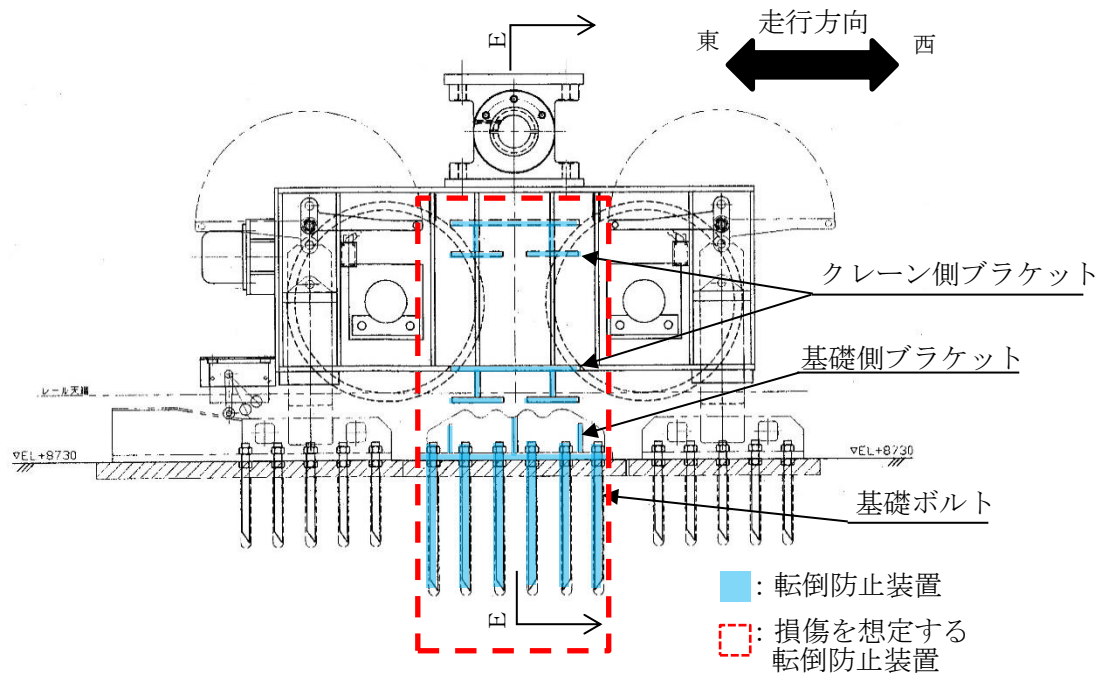
図2-3 取水槽ガントリクレーンの評価における受圧面積



D-D断面（逸走防止装置）

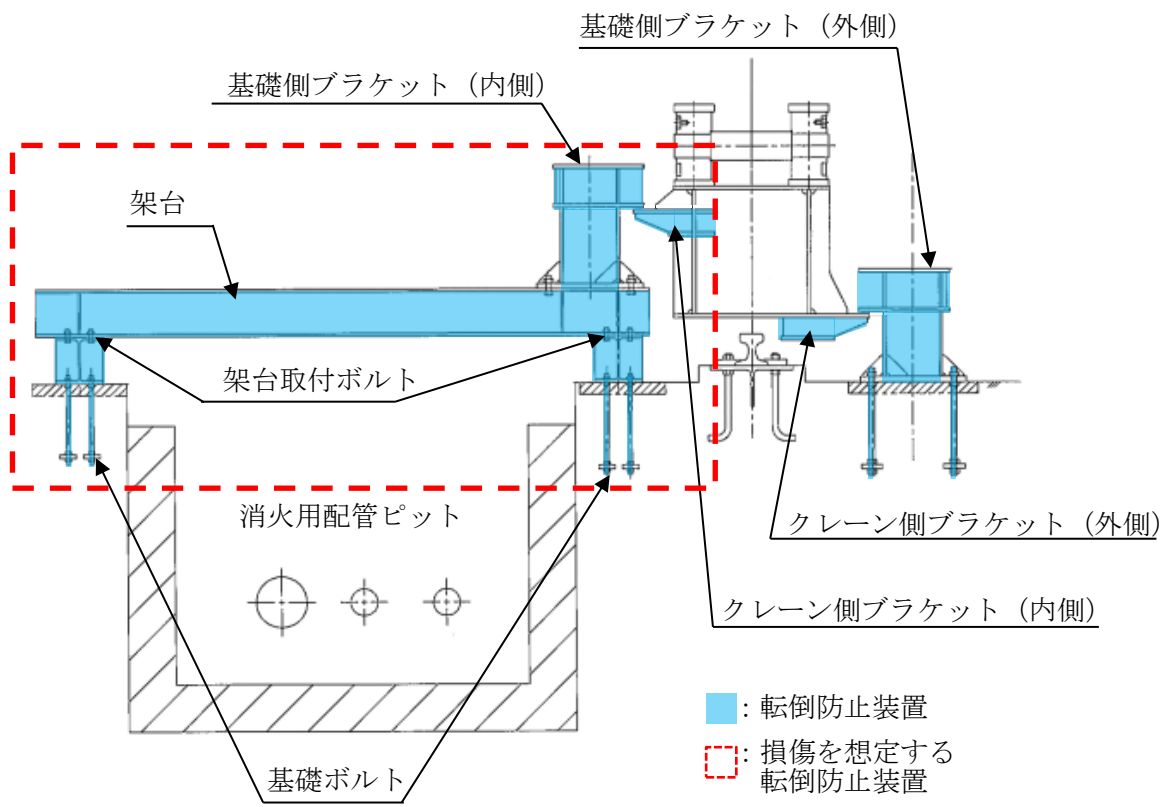
注記\*：例として、北側レールの従動輪側ボギー北面に設置される転倒防止装置を示す。

図2-4 逸走防止装置を2基損傷させた従動輪側ボギー概要図



E-E断面 (転倒防止装置 (北側レール))

図 2-5 転倒防止装置を 1 基損傷させた従動輪側ボギー概要図 (1/2)



E-E断面 (転倒防止装置 (南側レール))

図 2-5 転倒防止装置を 1 基損傷させた従動輪側ボギー概要図 (2/2)

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984）（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 －1987）（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 －1991追補版）（（社）日本電気協会）
- ・クレーン構造規格（平成7年12月26日労働省告示第134号）



### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

取水槽ガントリクレーン逸走防止装置及び転倒防止装置の評価対象部位は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

##### (1) 構造強度評価の評価対象部位

###### a. 逸走防止装置

設計竜巻による荷重は、取水槽ガントリクレーン本体に作用し、クレーン側逸走防止装置である上部ブラケット、下部ブラケット及び短冊を介して、基礎側逸走防止装置であるピン及び基礎ボルトに作用する。逸走を防止するための主要な部材のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・クレーン側逸走防止装置（短冊、上部ブラケット、下部ブラケット）
- ・基礎側逸走防止装置（ピン、基礎ボルト）

取水槽ガントリクレーン逸走防止装置の評価対象部位を図3-1に示す。

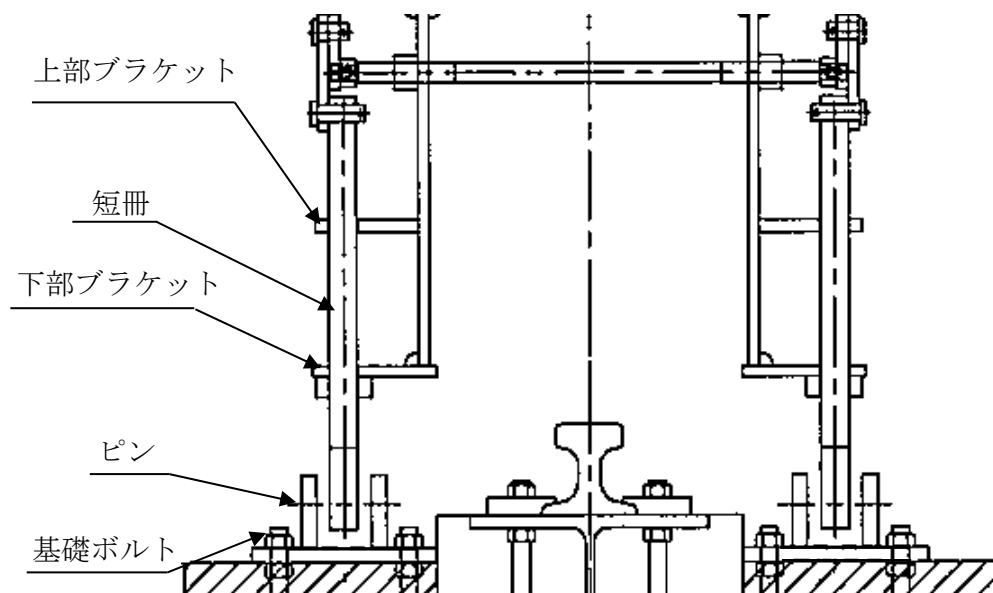


図3-1 逸走防止装置の評価対象部位

## b. 転倒防止装置

設計竜巻による荷重は、取水槽ガントリクレーン本体に作用し、クレーン側転倒防止装置であるクレーン側ブラケットを介して、基礎側転倒防止装置である基礎側ブラケット、架台、架台取付ボルト及び基礎ボルトに作用する。転倒を防止するための主要な部材のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・クレーン側転倒防止装置（クレーン側ブラケット）
- ・基礎側転倒防止装置（基礎側ブラケット、架台、架台取付ボルト、基礎ボルト）

取水槽ガントリクレーン転倒防止装置の評価対象部位を図3-2に示す。基礎側転倒防止装置は、内側と外側で構造及び構成が異なるが、架台及び架台取付ボルトは内側を、基礎側ブラケット及び基礎ボルトは裕度が低い外側を代表に選定し、評価を実施する。

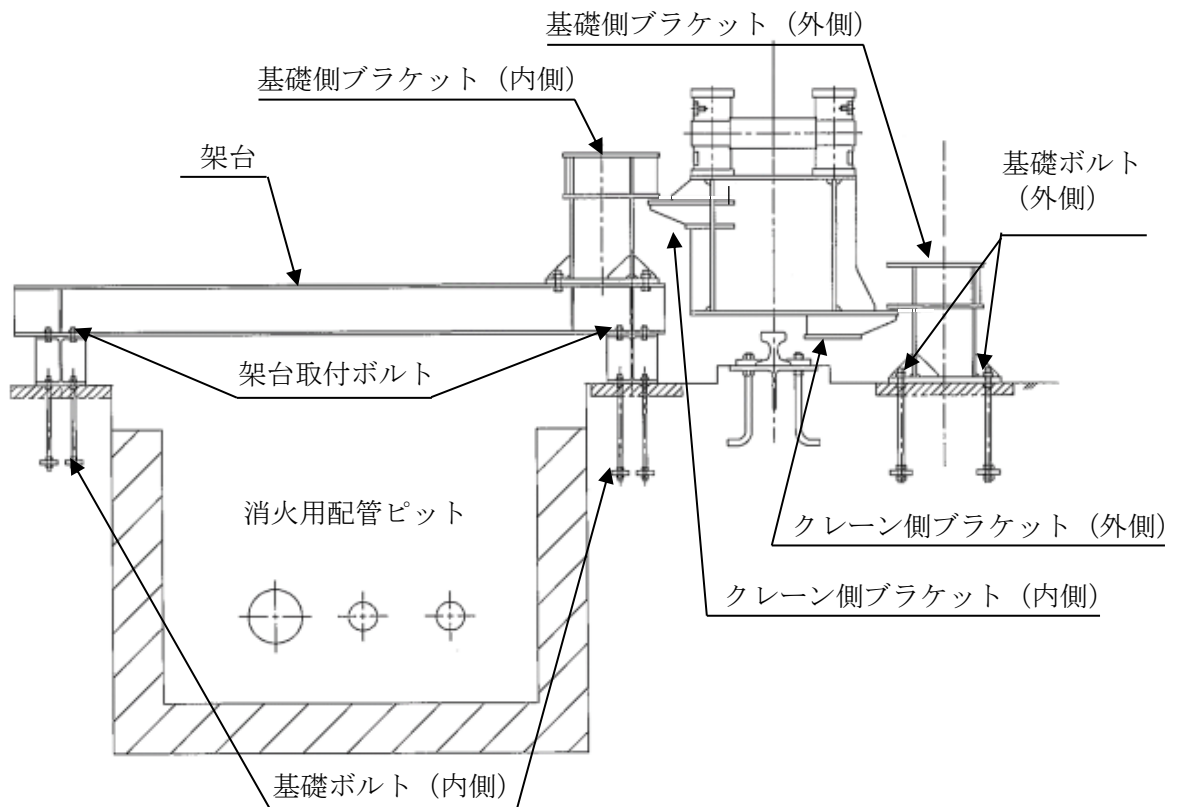


図3-2 転倒防止装置の評価対象部位

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

##### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、取水槽ガントリクレーンの評価対象部位ごとに設定する。

取水槽ガントリクレーンの評価対象部位は、自重による影響を受けないもしくは自重が抗力となるため、自重を考慮しない。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表3-1 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重
波及的影響を及ぼす可能性のある施設	取水槽ガントリクレーン	逸走防止装置	短冊	①風圧力による荷重
			上部ブラケット	①風圧力による荷重
			下部ブラケット	①風圧力による荷重
			ピン	①風圧力による荷重
			基礎ボルト	①風圧力による荷重
		転倒防止装置	クレーン側ブラケット	①風圧力による荷重
			基礎側ブラケット	①風圧力による荷重
			架台	①風圧力による荷重
			架台取付ボルト	①風圧力による荷重
			基礎ボルト	①風圧力による荷重

### 3.3 許容限界

取水槽ガントリクレーン逸走防止装置及び転倒防止装置の許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.1 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

#### (1) 構造強度評価の許容限界

許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態IV<sub>A</sub>Sから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点は設計・建設規格付録材料図表Part5表8により算出した値を用いる。周囲環境温度が設計・建設規格付録材料図表Part5表8記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。取水槽ガントリクレーン逸走防止装置及び転倒防止装置の許容限界を表3-2、許容応力を表3-3に示す。VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すとおり、転倒防止装置の架台取付ボルト及び基礎ボルトは、設計竜巻の風圧力による荷重により取水槽ガントリクレーンに発生する転倒モーメントが引張荷重として作用するため、引張応力に対する評価を実施する。

表3-2 取水槽ガントリクレーン逸走防止装置及び転倒防止装置の許容限界

評価対象部位		許容応力状態	応力の種類		許容限界
逸走防止装置	短冊 上部ブラケット 下部ブラケット ピン	IV <sub>A</sub> S	一次応力	せん断	$1.5 \cdot f_s$
				曲げ	$1.5 \cdot f_b$
				組合せ	$1.5 \cdot f_t$
基礎ボルト	IV <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5 \cdot f_t$	
			せん断	$1.5 \cdot f_s$	
			組合せ*	$\text{Min}\{(2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau), 1.5 \cdot f_t\}$	
転倒防止装置	クレーン側ブラケット 基礎側ブラケット 架台	IV <sub>A</sub> S	一次応力	せん断	$1.5 \cdot f_s$
				曲げ	$1.5 \cdot f_b$
				組合せ	$1.5 \cdot f_t$
	架台取付ボルト 基礎ボルト	IV <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5 \cdot f_t$

注記\*：引張応力が組合せの許容限界以下になることを確認する。

表 3-3 取水槽ガントリクレーン逸走防止装置及び転倒防止装置の許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 \cdot f_t$ (MPa)	$1.5 \cdot f_s$ (MPa)	$1.5 \cdot f_b$ (MPa)	
逸走防止装置	短冊	SM490A	40	315	490	315	343	343	198	395
	上部 ブラケット	SM490A	40	315	490	315	343	343	198	395
	下部 ブラケット	SM490A	40	315	490	315	343	343	198	395
	ピン	SS400	40	215	400	215	258	258	148	351
	基礎ボルト	SS400	40	235	400	235	280	210	161	—
転倒防止装置	クレーン側 ブラケット	SM490A	40	325	490	325	343	343	198	395
	基礎側 ブラケット	SS400	40	235	400	235	280	280	161	381
	架台	SS400	40	245	400	245	280	280	161	381
	架台取付 ボルト	SS400	40	245	400	245	280	210	—	—
	基礎ボルト	SS400	40	235	400	235	280	210	—	—

#### 3.4 評価方法

取水槽ガントリクレーン逸走防止装置及び転倒防止装置の構造強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる共通評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表4-1 共通評価条件

$V_D$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	G (-)	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )
92	1.226	1.0		9.80665

表 4-2 共通評価条件 (受圧面積及び風力係数)

部位	A [m <sup>2</sup> ]	重なり (1 + $\eta$ ) *	C (-)
トロリ	10.5	1	1.2
東側ガード	21	0.25	1.3
西側ガード	36.6	1	1.4
ホイストレール	14.8	1	1.8
南側脚	18.5	2	1.4
北側脚	18.5	2	1.4
電気室	3.2	1	1.2
運転室	5	1	1.2
梯子	3	1	1.4
ホイスト点検台	1	1	1.2
ホイストカバー	8.4	1	1.2
南側トラック	0.6	1	1.2
北側トラック	0.6	1	1.2
ケーブルリール	1.2	1	1.2
ダンパ	7.2	1.15	0.7
ダンパブラケット	1.5	1	1.2

注記\* :  $\eta$  はクレーン構造規格に基づく低減率。風圧力による荷重を算出する際は、各部位の受圧面積に (1 +  $\eta$ ) を乗じる。

## a. 逸走防止装置

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-3～表 4-8 に示す。

表 4-3 評価条件

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)
211	87

表 4-4 評価条件 (短冊)

A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )
4400	80700

表 4-5 評価条件 (上部ブラケット)

A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	L <sub>3</sub> (mm)	Z <sub>2</sub> (mm <sup>3</sup> )
1080	21	8100

表 4-6 評価条件 (下部ブラケット)

A <sub>3</sub> (mm <sup>2</sup> )	L <sub>4</sub> (mm)	Z <sub>3</sub> (mm <sup>3</sup> )
3100	21	25833

表 4-7 評価条件 (ピン)

D (mm)	r (mm)	L (mm)	L <sub>w</sub> (mm)	Z <sub>4</sub> (mm <sup>3</sup> )
58	9	102	40	30500

表 4-8 評価条件 (基礎ボルト)

A <sub>5</sub> (mm <sup>2</sup> )	B <sub>5</sub> (mm)	H (mm)	n <sub>f</sub> (-)	n (-)	ボルト サイズ
452.3	450	85	2	10	M24



## b. 転倒防止装置

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-9～表 4-14 に示す。

表4-9 評価条件

$H_g$ (mm)	$L_5$ (mm)	$L_6$ (mm)
13267	4416	9900

表 4-10 評価条件 (クレーン側ブラケット)

$A_6$ ( $\text{mm}^2$ )	$L_7$ (mm)	$Z_5$ ( $\text{mm}^3$ )
3584	182.5	376000

表 4-11 評価条件 (基礎側ブラケット)

$A_7$ ( $\text{mm}^2$ )	$L_8$ (mm)	$Z_6$ ( $\text{mm}^3$ )
4004	82.9	413000

表 4-12 評価条件 (架台)

$a$ (mm)	$A_8$ ( $\text{mm}^2$ )	$L_9$ (mm)	$L_{10}$ (mm)	$Z_7$ ( $\text{mm}^3$ )
2165	4800	207.5	2284	1420000

表 4-13 評価条件 (架台取付ボルト)

$A_9$ ( $\text{mm}^2$ )	$n_f$ (mm)	ボルト サイズ
201.0	12	M16

表 4-14 評価条件 (基礎ボルト)

$a_1$ (mm)	$A_{10}$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$X_n$ (mm)	$n_f$ (-)	ボルト サイズ
450	452.3	50	43.3	6	M24

## 5. 強度評価結果

## (1) 構造強度評価の評価結果

## a. 逸走防止装置

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-1～表 5-5 に示す。

取水槽ガントリクレーン逸走防止装置に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 評価結果 (短冊)

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	148	395
せん断	32	198
組合せ	158	343

表 5-2 評価結果 (上部ブラケット)

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	147	395
せん断	53	198
組合せ	173	343

表 5-3 評価結果 (下部ブラケット)

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	158	395
せん断	63	198
組合せ	191	343

表 5-4 評価結果 (ピン)

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	93	351
せん断	21	148
組合せ	99	258

表 5-5 評価結果 (基礎ボルト)

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	15	210
せん断	31	161
組合せ	15	210*

注記\* :  $f_{ts} = \text{Min}\{(2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau), 1.5 \cdot f_t\}$

## b. 転倒防止装置

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6～表 5-10 に示す。

取水槽ガントリクレーン転倒防止装置に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（クレーン側ブラケット）

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	205	395
せん断	118	198
組合せ	289	343

表 5-7 評価結果（基礎側ブラケット）

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	85	381
せん断	106	161
組合せ	201	280

表 5-8 評価結果（架台）

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	87	381
せん断	92	161
組合せ	180	280

表 5-9 評価結果（架台取付ボルト）

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	182	210

表 5-10 評価結果（基礎ボルト）

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	169	210

## VI-3-別添 2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	4
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	19
4.1 荷重及び荷重の組合せ	19
4.2 許容限界	24
5. 強度評価方法	35
5.1 機器・配管系	35
5.1.1 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	35
5.1.2 ディーゼル機関給気口	42
5.2 建物等	49
5.2.1 原子炉建物	49
5.2.2 タービン建物	50
5.2.3 制御室建物	51
5.2.4 廃棄物処理建物	51
5.2.5 排気筒モニタ室	52
5.2.6 ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	53
6. 適用規格・基準等	54

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」にて設定している評価対象施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」に示す適用規格・基準等を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する各施設の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-3「原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機海水ポンプの強度計算書」からVI-3-別添 2-10「ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度計算書」に示す。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを、「5. 強度評価方法」で示す方法を使用し、「6. 適用規格・基準等」で示す適用規格・基準等を用いて確認する。

### 2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造物への荷重を考慮する施設を強度評価の対象とする。評価対象施設を表 2-1 に示す。

表 2-1 評価対象施設

区分	施設名称
機器・配管系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ</li> <li>・非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口</li> </ul>
建物等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建物</li> <li>・タービン建物</li> <li>・制御室建物</li> <li>・廃棄物処理建物</li> <li>・排気筒モニタ室</li> <li>・ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽</li> </ul>



### 3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

#### 3.1 構造強度の設計方針

評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物の降灰から30日を目途に降下火砕物を適切に除去すること、また、降灰時には除雪も併せて実施することを保安規定に定める。

##### (1) 機器・配管系

###### a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、取水槽海水ポンプエリアの基礎部に固定し、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

###### b. 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口（以下「ディーゼル機関給気口」という。）は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、架構を基礎部に固定し、ディーゼル機関給気口の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

##### (2) 建物等

###### a. 原子炉建物，タービン建物，制御室建物，廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室

各建物は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを鉄骨フレーム（以下「屋根トラス」という。）、鉄筋コンクリート造の耐震壁等で支持し、支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。

b. ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、鉄筋コンクリート造の躯体は十分な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する底版により支持する構造とする。

### 3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

#### (1) 機器・配管系

a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

##### (a) 構造設計

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、鋼製の立形ポンプ、原動機及び端子箱等で構成される。原動機は立形ポンプの上に取り付け、原動機によりポンプの軸を回転させる。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、ポンプベースに固定する。原動機は、原動機台と結合する。原動機台は、ポンプベースに固定し、取水槽海水ポンプエリアの基礎部に据え付ける。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、原動機にボルトで結合する。原動機の形状は、円筒形を基本とした適切な強度を有する鋼製のフレームに端子箱等が付加された形態である。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、原動機の上部カバー及びキャップに作用し、原動機フレーム及び原動機台を介して基礎部に伝達する。また、風（台風）による水平荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用し、原動機台を介して基礎部に伝達する。更に、ポンプスラスト荷重は軸受を介し、全て原動機フレーム及び原動機台に作用する。

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの設置位置を図3-1に、構造計画を表3-1及び表3-2に示す。

##### (b) 評価方針

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、原子炉補機海水ポンプ及び高

圧炉心スプレイ補機海水ポンプを構成する上部カバー及びキャップ，原動機フレーム及び原動機台が，おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す計算により確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を，VI-3-別添2-3「原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書」に示す。

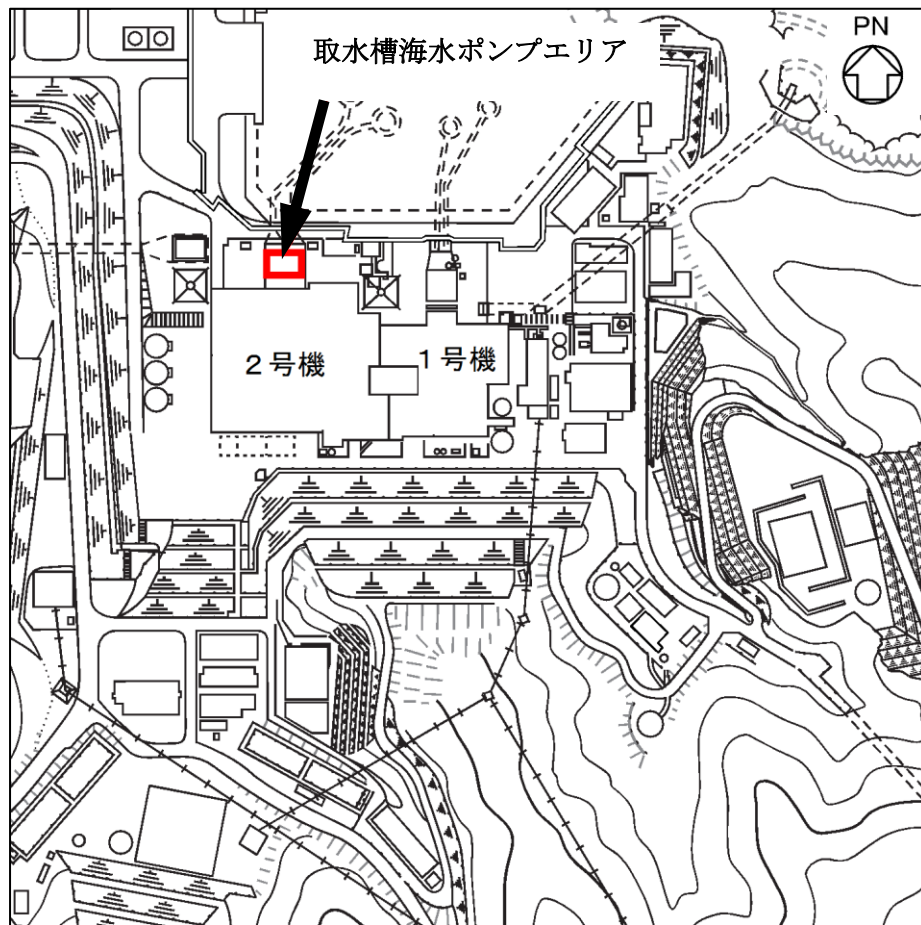


図 3-1 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの設置位置

表 3-1 原子炉補機海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      原子炉補機海水ポンプは，取水槽の取水槽海水ポンプエリアに設置する。</p>			
原子炉補機 海水ポンプ	原動機及び 原動機に結 合されたポ ンプで構成 する。	基礎部に基 礎ボルトで 固定する。	<p>(a) 上面図</p> <p>(b) 側面図</p> <p>原動機フレーム</p> <p>上部カバー</p> <p>A部</p> <p>端子箱</p> <p>A部詳細 (内部)</p> <p>原動機台</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ポンプベース</p>

表3-2 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、取水槽の取水槽海水ポンプエリアに設置する。</p>			
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	原動機及び原動機に結合されたポンプで構成する。	基礎部に基礎ボルトで固定する。	<p>(a) 上面図</p> <p>(b) 側面図</p> <p>キャップ</p> <p>端子箱</p> <p>原動機台</p> <p>基礎ボルト</p> <p>原動機フレーム</p> <p>A部</p> <p>A部詳細(内部)</p> <p>ポンプベース</p>

S2 補 VI-3-別添 2-1 R1

b. ディーゼル機関給気口

(a) 構造設計

ディーゼル機関給気口は、適切な強度を有する鋼製の天板及び架構を主体構造とし、原子炉建物屋上に設けた基礎部に溶接で固定する。

想定する降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、給気口上面の天板に作用し、天板に接続する架構を介して基礎部に伝達する。また、風（台風）による水平荷重は、架構に作用し、架構を介して基礎部に伝達する。

ディーゼル機関給気口の設置位置を図 3-2 に、構造計画を表 3-3 に示す。

(b) 評価方針

ディーゼル機関給気口は、「(a)構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、ディーゼル機関給気口を構成する天板及び架構が、おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-4「非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口の強度計算書」に示す。

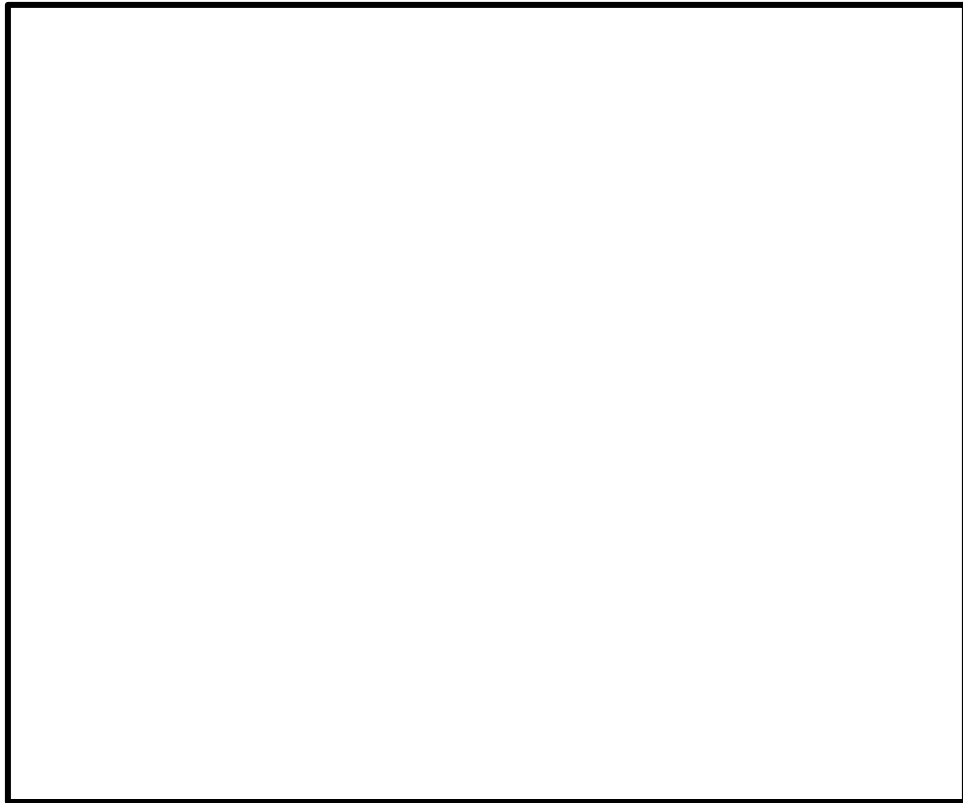


図3-2 ディーゼル機関給気口の設置位置

表 3-3 ディーゼル機関給気口の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      ディーゼル機関給気口は，原子炉建物の屋上に設置する。</p>			
ディーゼル機関給気口	鋼製の天板及び架構により構成する。	原子炉建物屋上の基礎部に溶接で固定する。	<p>(a) 上面図                      (b) 側面図 (A-A矢視)                      (c) 側面図 (B-B矢視)                      (d) 断面図 (C-C断面)</p>

## (2) 建物等

- a. 原子炉建物，タービン建物，制御室建物，廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室

## (a) 構造設計

各建物は，屋根スラブを屋根トラス，耐震壁等で支持し，支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。屋根スラブ，屋根トラス，耐震壁等は適切な強度を有する構造とする。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は，屋根スラブに作用する構造とする。

各建物の設置位置を図3-3に，構造計画を表3-4～表3-8に示す。

## (b) 評価方針

各建物は，「(a)構造設計」を踏まえ，以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，各建物の屋根スラブ，屋根トラス，耐震壁等が，「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。

降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対する強度評価を，VI-3-別添2-5「原子炉建物の強度計算書」，VI-3-別添2-6「タービン建物の強度計算書」，VI-3-別添2-7「制御室建物の強度計算書」，VI-3-別添2-8「廃棄物処理建物の強度計算書」及びVI-3-別添2-9「排気筒モニタ室の強度計算書」に示す。

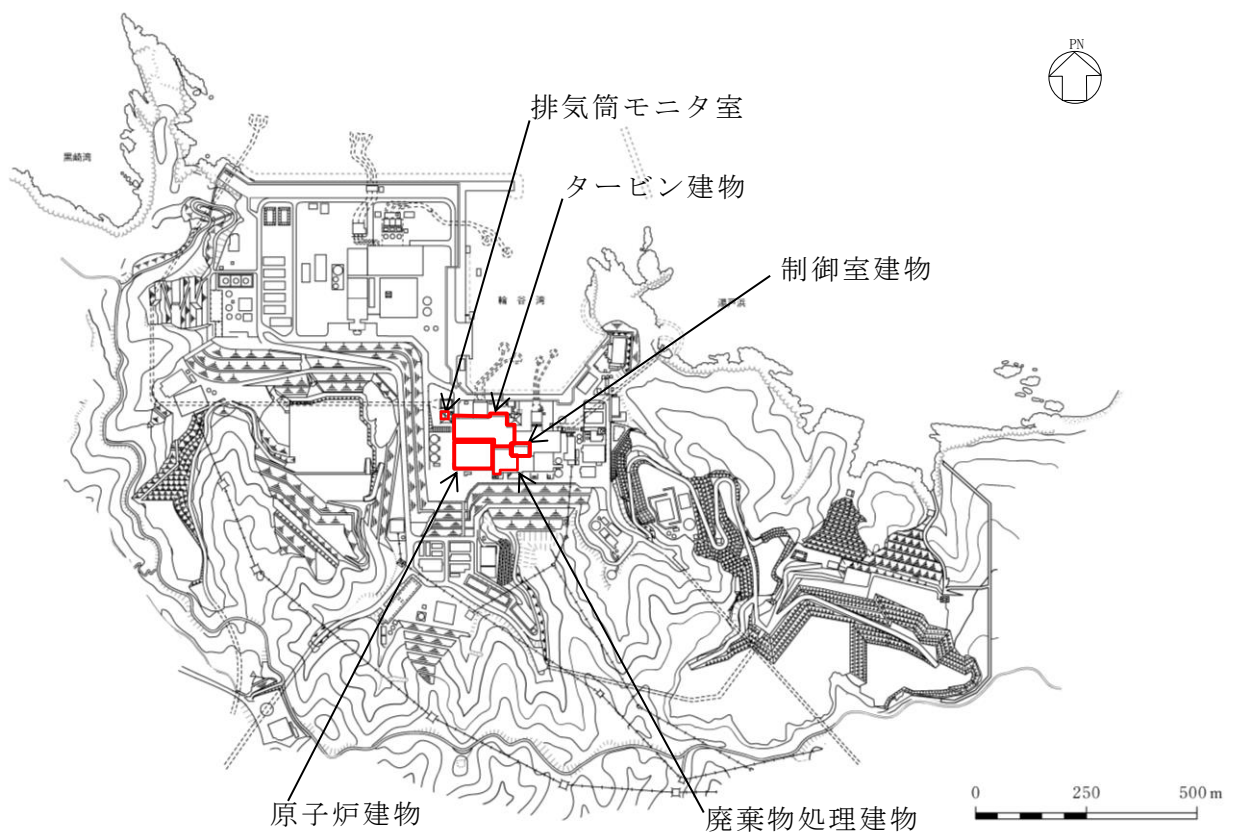


図3-3 各建物の設置位置

表 3-4 原子炉建物の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の主体構造及び鉄骨造の屋根トラスで構成する。</p>	<p>荷重は建物の外殻を構成する屋根，耐震壁等に作用し，耐震壁等を介し，基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	<p>原子炉建物 A-A 断面図（単位：m）</p> <p>原子炉建物 B-B 断面図（単位：m）</p>

S2 補 VI-3-別添 2-1 R1



表 3-5 タービン建物の構造計画

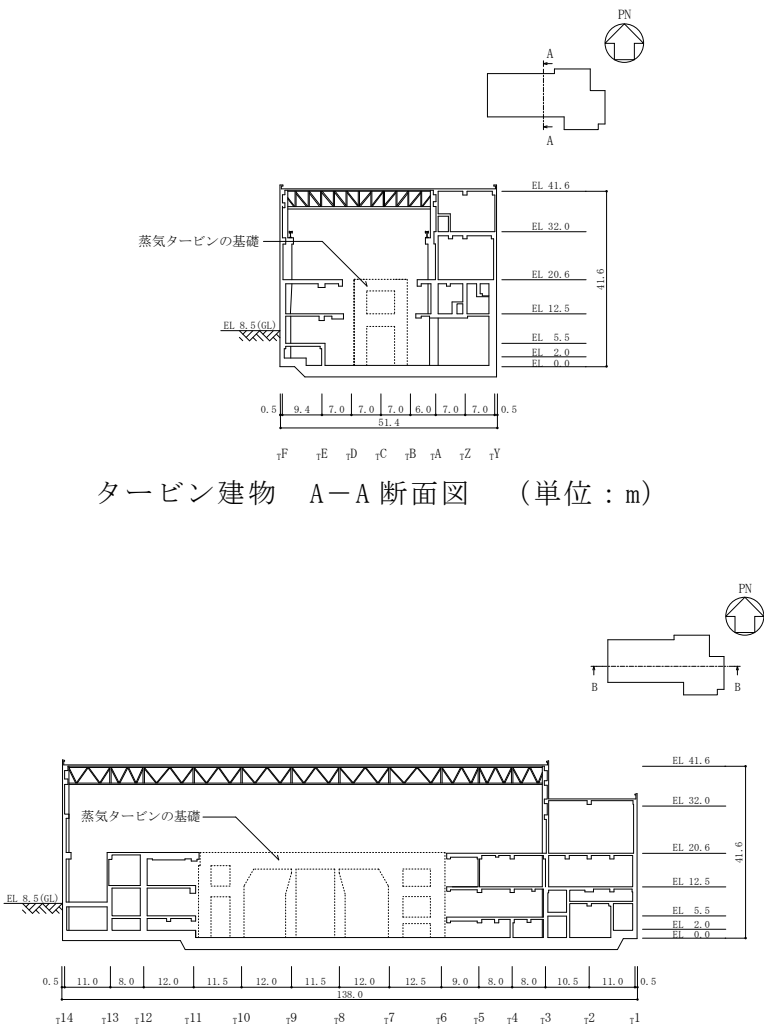
計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の主体構造及び鉄骨造の屋根トラスで構成する。</p>	<p>荷重は建物の外殻を構成する屋根，耐震壁等に作用し，耐震壁等を介し，基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	 <p>タービン建物 A-A 断面図（単位：m）</p> <p>タービン建物 B-B 断面図（単位：m）</p>

表 3-6 制御室建物の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造の主体構造で構成する。</p>	<p>荷重は建物の外殻を構成する屋根、耐震壁等に作用し、耐震壁等を介し、基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	<p>制御室建物 A-A 断面図 (単位：m)</p> <p>制御室建物 B-B 断面図 (単位：m)</p>

S2 補 VI-3-別添 2-1 R1

表 3-7 廃棄物処理建物の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造の主体構造で構成する。</p>	<p>荷重は建物の外殻を構成する屋根、耐震壁等に作用し、耐震壁等を介し、基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	<p>廃棄物処理建物 A-A 断面図 (単位：m)</p> <p>廃棄物処理建物 B-B 断面図 (単位：m)</p>

表 3-8 排気筒モニタ室の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造の主体構造で構成する。</p>	<p>荷重は建物の外殻を構成する屋根，耐震壁等に作用し，耐震壁等を介し，基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	<div style="text-align: center;"> <p>排気筒モニタ室 平面図 (単位：m)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>排気筒モニタ室 断面図 (単位：m)</p> </div>

b. ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

(a) 構造設計

ディーゼル燃料貯蔵タンク室は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部には頂版が露出し、頂版の開口部には鋼製の蓋を設置する。鉄筋コンクリート造の躯体は適切な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する底版により支持する構造とする。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部には頂版及び側壁の一部が露出し、頂版の開口部には鋼製の蓋を設置する。鉄筋コンクリート造の躯体は適切な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する底版により支持する構造とする。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、頂版及び鋼製蓋に作用する構造とする。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の設置位置を図 3-4 に、構造計画を表 3-9 及び表 3-10 に示す。

(b) 評価方針

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、「(a)構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、頂版及び鋼製蓋並びに地上に露出した側壁が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。

降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-10「ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度計算書」に示す。

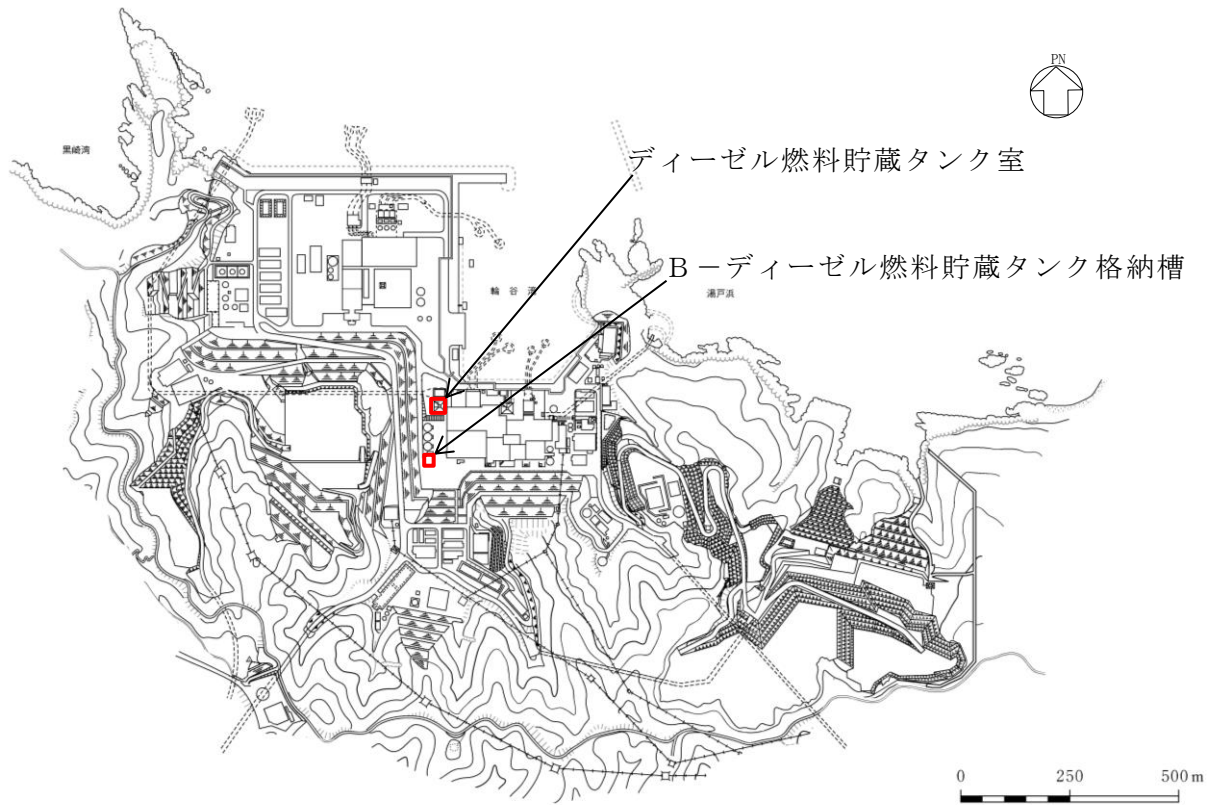




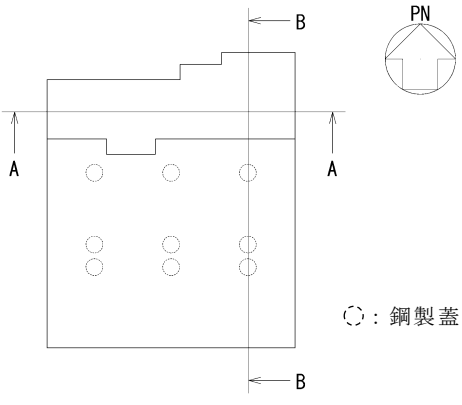
図 3-4 ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の設置位置

表 3-9 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
鉄筋コンクリート造の躯体及び鋼製蓋で構成する。	荷重は鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製蓋に作用する構造とする。	 <p style="text-align: center;">平面図</p>  <p style="text-align: center;">A-A 断面図 (単位 : mm)</p>

S2 補 VI-3-別添 2-1 R1

表 3-10 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート製の躯体及び鋼製蓋で構成する。</p>	<p>荷重は鉄筋コンクリート製の頂版、鋼製蓋及び地上に露出した側壁に作用する構造とする。</p>	<div style="text-align: center;">  <p>平面図</p> <p>○: 鋼製蓋</p> <p>A-A 断面図 (単位: mm)</p> <p>B-B 断面図 (単位: mm)</p> </div>



#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重の種類，荷重の組合せ及び荷重の算定方法を「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

###### (1) 荷重の種類

###### a. 常時作用する荷重 ( $F_a$ )

常時作用する荷重は，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って，持続的に生じる荷重として機器・配管系は自重とし，建物等は固定荷重及び積載荷重とする。

###### b. 降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )

降下火砕物による荷重は，VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，主荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，湿潤密度  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として堆積量  $1\text{cm}$  ごとに  $147.1\text{N}/\text{m}^2$  の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

###### c. 積雪荷重 ( $F_s$ )

積雪荷重は，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，従荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて，発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とする。積雪荷重については，松江市建築基準法施行細則により，積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N}/\text{m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

d. 風荷重 (W)

風荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた松江市の基準風速である30m/sとする。

風荷重については、施設の形状により風力係数等が異なるため、施設ごとに設定する。

e. 運転時の状態で作用する荷重(P)

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプに運転時の状態で作用する荷重は、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している運転時の状態で作用する荷重に従って、ポンプスラスト荷重等の運転時荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

a. 機器・配管系

(a) 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重については、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)b. 荷重の組合せ」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

(b) 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

強度評価における荷重については、施設の設置状況及び構造等を考慮し、設定する。

ただし、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは動的機器であるため、運転時の状態で作用する荷重を考慮する。

評価対象施設における荷重の組合せを表4-1に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

施設名称	考慮する荷重の組合せ	荷重*				
		常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )	積雪荷重 (F <sub>s</sub> )	ポンプスラスト荷重 (P)	風荷重 (W)
原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	ケース 1	○	○	○	○	○
ディーゼル機関給気口	ケース 1	○	○	○	—	○

注記\* : ○は考慮する荷重を示す。

b. 建物等

(a) 降下火砕物による荷重, 積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重, 積雪荷重及び風荷重については, VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)b. 荷重の組合せ」を踏まえて, それらの組合せを考慮し, 自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

(b) 荷重の組合せ

荷重の組合せについては, 自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

強度評価における荷重の組合せの設定については, 建物等の設置状況及び構造を考慮し設定する。

評価対象施設における荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

施設名称	考慮する荷重の組合せ	荷重*1				
		常時作用する荷重 ( $F_d$ )		主荷重	従荷重	
		固定荷重	積載荷重	降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )	積雪荷重 ( $F_s$ )	風荷重 ( $W$ )
原子炉建物, タービン建物, 制御室建物, 廃棄物処理建物及び排気筒モニタ室	ケース 1	○	○	○	○	○
	ケース 2	○	○	○	○	—
ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	ケース 1*2	○	○	○	○	—
	ケース 2*3	○	○	○	○	○

注記\*1: ○は考慮する荷重を示す。

\*2: ケース 1 は, ディーゼル燃料貯蔵タンク室及び鋼製蓋を対象とする。

\*3: ケース 2 は, B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽を対象とする。

(3) 荷重の算定方法

降下火砕物による荷重, 積雪荷重及び風荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$C$	—	風力係数
$E'$	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1 4 5 4 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
$F_a$	$N/m^2$	湿潤状態の降下火砕物による荷重
$F_d$	$N$	常時作用する荷重
$F_s$	$N/m^2$	従荷重として組み合わせる積雪荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積あたりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$f'_s$	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度（=9.80665）
$H$	$m$	全高
$H_a$	$cm$	降下火砕物の層厚
$H_s$	$cm$	組合せ荷重として考慮する積雪深
$P$	$kg$	ポンプスラスト荷重
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	$m/s$	基準風速
$W$	$N$	風荷重
$Z_b$	$m$	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
$Z_G$	$m$	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
$\rho_v$	$kg/m^3$	降下火砕物の湿潤密度

## b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho_v \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_a + F_s$$

表 4-4 に入力条件を示す。

表 4-4 入力条件

$\rho_v$ (kg/m <sup>3</sup> )	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$H_a$ (cm)	$f'_s$ (N/(m <sup>2</sup> ・cm))	$H_s$ (cm)
1500	9.80665	56	20	35

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、 $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ とする。

#### c. 水平荷重

水平荷重については、風（台風）を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30m/s に設定し、風荷重については施設の形状により異なるため、施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき、以下のとおりである。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

#### 4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

##### (1) 機器・配管系

###### a. 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-5 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、風（台風）による水平荷重及びその他の荷重に対し、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプを構成する上部カバー、キャップ、原動機台及び原動機フレームが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987

((社)日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1」という。) に準じて許容応力状態 III A S の許容応力を許容限界として設定する。許容応力状態 III A S における原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの許容限界を表 4-6 に示す。

表 4-5 許容限界

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力の 状態	限界状態	
原子炉補機海水ポンプ及び 高圧炉心スプレ イ補機海水 ポンプ	$F_d + F_a + F_s + P + W$	原動機台	圧縮, 曲げ	部材が弾性 域に留まら ず, 塑性域 に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準 じて許容応 力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力 以下とす る。
	$F_d + F_a + F_s + P + W$	原動機 フレーム	圧縮, 曲げ		
	$F_d + F_a + F_s$	上部カバー, キャップ	曲げ		

表 4-6 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの許容限界

許容応力状態	許容限界	
	一次応力	
	圧縮	曲げ
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$

b. ディーゼル機関給気口

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-7 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、風（台風）による水平荷重及びその他の荷重に対し、ディーゼル機関給気口を構成する天板及び架構が、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「J E A G 4 6 0 1」に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sにおけるディーゼル機関給気口の許容限界を表 4-8 に示す。

表 4-7 許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
ディーゼル機関給気口	$F_d + F_a + F_s$	天板	曲げ	部材が弾性域に留まらず、塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	$F_d + F_a + F_s + W$	架構	曲げ, 圧縮, 座屈		

表 4-8 ディーゼル機関給気口の許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)		
	一次応力		
	圧縮	曲げ	座屈
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$\frac{\sigma_{b2}}{1.5 \cdot f_b} + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$



(2) 建物等

構造強度評価においては、降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、評価対象部位ごとに求められる機能が担保できる許容限界を設定する。

a. 原子炉建物

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-9 に示す。

(a) 屋根スラブ

屋根スラブは、構造健全性、遮蔽性能及び気密性能を維持することを性能目標としており、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005年制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) 主トラス及び二次部材

主トラス及び二次部材は、構造健全性を維持することを性能目標としており、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(c) 耐震壁

耐震壁は、構造健全性、遮蔽性能及び気密性能を維持することを性能目標としており、「J E A G 4 6 0 1」に基づき最大せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-9 原子炉建物の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
			主トラス (上弦材、下弦材、斜材、束材) 二次部材 (もや、つなぎばり、サブビーム)		「S規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup>			最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup> (二次遮蔽壁)		最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
		耐震壁* <sup>3</sup> (原子炉建物原子炉棟(二次格納施設))		最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものと設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*3：事故時に換気性能とあいまって気密性を有する設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、VI-2-9-3-1「原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 原子炉建物原子炉棟の気密性に関する計算書」に示す。

b. タービン建物

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-10 に示す。

(a) 屋根スラブ

屋根スラブは、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「RC-N規準」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) 主トラス及び二次部材

主トラス及び二次部材は、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「S規準」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(c) 耐震壁

耐震壁は、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「J E A G 4 6 0 1」に基づき最大せん断ひずみ  $4.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-10 タービン建物の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
-	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根 スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*1
			主トラス (上弦材 下弦材 斜材 束材) 二次部材 (もや つなぎばり サブビーム)		「S規準」に基づく短期許容応力度*1
		耐震壁*2			最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

c. 制御室建物

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-11 に示す。

(a) 屋根スラブ

屋根スラブは、構造健全性及び遮蔽性能を維持することを性能目標としており、「RC-N規準」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

耐震壁は、構造健全性及び遮蔽性能を維持することを性能目標としており、「J E A G 4 6 0 1」に基づき最大せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-11 制御室建物の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup>	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup> (中央制御室遮蔽)	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

注記\*<sup>1</sup>: 許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものと設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*<sup>2</sup>: 建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

## d. 廃棄物処理建物

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-12 に示す。

## (a) 屋根スラブ

屋根スラブは、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「RC-N規準」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

## (b) 耐震壁

耐震壁は、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「J E A G 4 6 0 1」に基づき最大せん断ひずみ  $4.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-12 廃棄物処理建物の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*1
		耐震壁*2	最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

## e. 排気筒モニタ室

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-13 に示す。

## (a) 屋根スラブ

屋根スラブは、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「RC-N規準」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

## (b) 耐震壁

耐震壁は、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「J E A G 4 6 0 1」に基づき最大せん断ひずみ  $4.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-13 排気筒モニタ室の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*1
		耐震壁*2	最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

f. ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた許容限界を表4-14～表4-16に示す。

表4-14 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	頂版	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002年制定)に基づく短期許容応力度

表4-15 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	頂版	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002年制定)に基づく短期許容応力度
		地上に露出した側壁		

表4-16 鋼製蓋の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	応力等の状態	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	鋼板, 支持脚	組合せ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じた許容応力状態IVASの許容応力



## 5. 強度評価方法

### 5.1 機器・配管系

#### 5.1.1 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ

評価手法は、以下に示すとおり、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いて算出

風荷重による影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの評価上高さの1/2に集中荷重として作用するものとしており、これはJ E A G 4 6 0 1耐震評価における1質点系モデルと等価なものであり、地震荷重を風荷重と置き換えJ E A G 4 6 0 1に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度評価方法を以下に示す。

#### (1) 評価条件

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- 風荷重による影響が大きな原動機フレーム及び原動機台の強度計算モデルは、1質点系モデルとして評価を行う。なお、1質点系モデルの強度計算において、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの評価上高さの1/2に集中荷重として作用するものとする。原動機台及び原動機フレームの1質点系モデル図を図5-1に示す。
- 鉛直荷重によって一様な応力が発生する上部カバー及びキャップは、機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。上部カバー及びキャップの等分布荷重モデル図を図5-2に示す。
- 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-1に示す。

表5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力の状態
原動機台	圧縮，曲げ
原動機フレーム	圧縮，曲げ
上部カバー，キャップ	曲げ

(3) 強度評価方法

a. 記号の説明

原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
A <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>11</sub>	m <sup>2</sup>	原動機台の評価に考慮する風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>12</sub>	m <sup>2</sup>	原動機フレームの評価に考慮する風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>2</sub>	m <sup>2</sup>	降下火砕物等の堆積面積
a	mm	上部カバー，キャップ外径
B <sub>1</sub>	mm	原動機台外径
B <sub>2</sub>	mm	原動機台内径
B <sub>3</sub>	mm	原動機フレーム外径
B <sub>4</sub>	mm	原動機フレーム内径
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E <sub>r</sub>	—	建設省告示第 1 4 5 4 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1 (1) により規定される値
F <sub>d</sub>	N	自重による軸方向荷重
F <sub>d1</sub>	N	原動機台自重及び原動機自重による軸方向荷重
F <sub>d2</sub>	N	原動機自重による軸方向荷重
F <sub>p</sub>	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F <sub>v</sub>	N	降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F <sub>v'</sub>	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f <sub>b</sub>	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
f <sub>c</sub>	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (=9.80665)
H	m	ポンプ高さ（全高）

表 5-2 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度評価に  
用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
$H_{s1}$	N	原動機台に作用する原動機台自重，原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$H_{s2}$	N	原動機フレームに作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$h_1$	mm	原動機台取付面から風荷重作用点までの高さ
$h_2$	mm	原動機取付面から風荷重作用点までの高さ
$M$	N・mm	原動機台に作用するモーメント
$M'$	N・mm	原動機フレームに作用するモーメント
$M_{11}$	N・mm	風（台風）による水平荷重により原動機台に作用するモーメント
$M_{12}$	N・mm	風（台風）による水平荷重により原動機フレームに作用するモーメント
$M_{21}$	N・mm	鉛直荷重により原動機台に作用するモーメント
$M_{22}$	N・mm	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント
$m_1$	kg	原動機台の質量
$m_2$	kg	原動機の質量
$P$	kg	ポンプスラスト荷重
$p$	N/m <sup>2</sup>	上部カバー，キャップ評価時の等分布荷重
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$S_1$	mm <sup>2</sup>	原動機台の断面積
$S_2$	mm <sup>2</sup>	原動機フレームの断面積
$S_u$	MPa	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
$S_y$	MPa	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
$t$	mm	上部カバー，キャップ厚さ
$V_D$	m/s	基準風速
$W$	N	風荷重
$W_1$	N	原動機台評価に対する風（台風）による水平荷重
$W_2$	N	原動機フレーム評価に対する風（台風）による水平荷重
$Z_1$	mm <sup>3</sup>	原動機台の断面係数
$Z_2$	mm <sup>3</sup>	原動機フレームの断面係数
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値

表 5-2 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$\pi$	—	円周率
$\sigma_{b1}$	MPa	原動機台に生じる曲げ応力
$\sigma_{b2}$	MPa	原動機フレームに生じる曲げ応力
$\sigma_{b'}$	MPa	上部カバー，キャップに生じる曲げ応力
$\sigma_{c1}$	MPa	原動機台に生じる圧縮応力
$\sigma_{c2}$	MPa	原動機フレームに生じる圧縮応力

b. 計算モデル

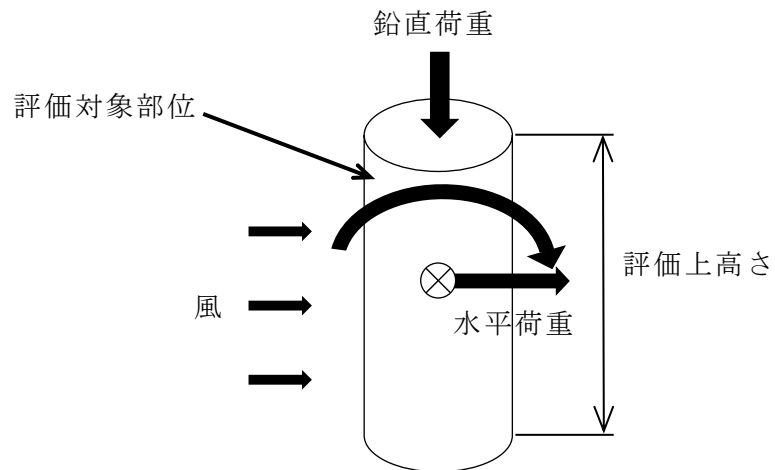


図 5-1 1 質点系モデル図 (原動機台, 原動機フレーム)

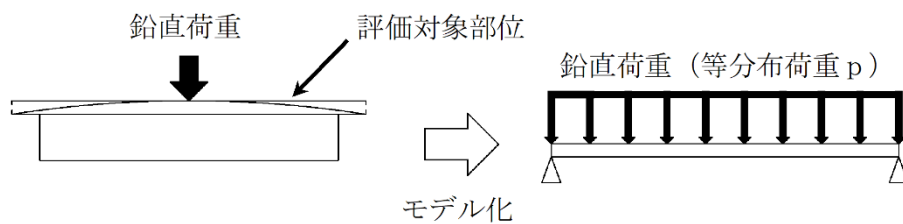


図 5-2 等分布荷重モデル図 (上部カバー, キャップ)

## c. 強度評価方法

## (a) 鉛直荷重

イ. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

ロ. 自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

(イ) 原動機台に作用する原動機台自重，原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$H_{s1} = F_{d1} + F_p$$

ここで，

$$F_{d1} = (m_1 + m_2) \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

(ロ) 原動機フレームに作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$H_{s2} = F_{d2} + F_p$$

ここで，

$$F_{d2} = m_2 \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

## (b) 水平荷重

イ. 風（台風）による水平荷重

風（台風）による水平荷重は，4.1(3)c. に示す式に従い，算出する。全高  $H$  が 5m 以下であるため， $H$  が  $Z_b$  以下の場合の式を用いる。

## (c) 応力評価

イ. 原動機台に生じる応力

(イ) 曲げ応力

原動機台に生じる曲げ応力  $\sigma_{b1}$  は次式により算出される。なお，鉛直荷重により作用するモーメントの算出においては，保守的に原動機台の外周部に荷重の作用点を設定し算出する。

i. 風（台風）による水平荷重により原動機台に作用するモーメント  $M_{11}$ 

$$M_{11} = W_1 \cdot h_1$$

ii. 鉛直荷重により原動機台に作用するモーメント  $M_{21}$ 

$$M_{21} = \frac{(F_v + H_{s1}) \cdot B_1}{2}$$

iii. 原動機台に作用するモーメント  $M$ 

$$M = M_{11} + M_{21}$$

## iv. 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{Z_1}$$

ここで,

$$Z_1 = \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{B_1^4 - B_2^4}{B_1} \right)$$

## (ロ) 圧縮応力

原動機台に生じる圧縮応力  $\sigma_{c1}$  は次式より算出される。

$$\sigma_{c1} = \frac{F_v + H_{s1}}{S_1}$$

ここで,

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (B_1^2 - B_2^2)$$

原動機台の断面図を図 5-3 に示す。

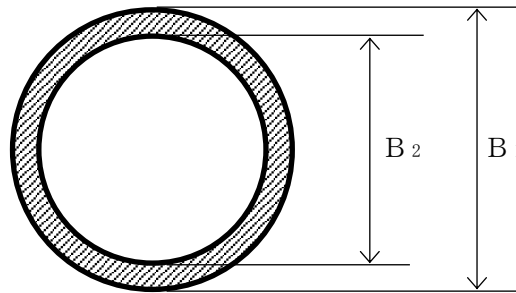


図 5-3 原動機台の断面図

## ロ. 原動機フレームに生じる応力

## (イ) 曲げ応力

原動機フレームに生じる曲げ応力  $\sigma_{b2}$  は次式により算出される。なお、鉛直荷重により作用するモーメントの算出においては、保守的に原動機フレームの外周部に荷重の作用点を設定し算出する。

i. 風（台風）による水平荷重により原動機フレームに作用するモーメント  $M_{12}$

$$M_{12} = W_2 \cdot h_2$$

ii. 鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント  $M_{22}$

$$M_{22} = \frac{(F_v + H_{s2}) \cdot B_3}{2}$$

iii. 原動機フレームに作用するモーメント  $M'$

$$M' = M_{12} + M_{22}$$

iv. 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{M'}{Z_2}$$

ここで,

$$Z_2 = \frac{\pi}{32} \cdot \left( \frac{B_3^4 - B_4^4}{B_3} \right)$$

(ロ) 圧縮応力

原動機フレームに生じる圧縮応力  $\sigma_{c2}$  は次式より算出される。

$$\sigma_{c2} = \frac{F_v + H_{s2}}{S_2}$$

ここで,

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (B_3^2 - B_4^2)$$

原動機フレームの断面図を図 5-4 に示す。

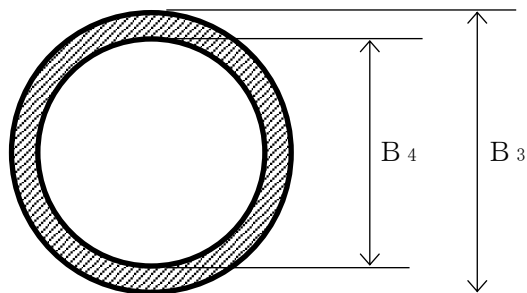


図 5-4 原動機フレームの断面図

ハ. 上部カバー，キャップに生じる応力

(イ) 曲げ応力

上部カバー，キャップの天板に生じる曲げ応力  $\sigma_{b'}$  は次式により算出される。

$$\sigma_{b'} = 1.24 \cdot \frac{p \cdot (a/2)^2}{t^2}$$

上部カバー，キャップの応力評価モデル図を図 5-5 に示す。

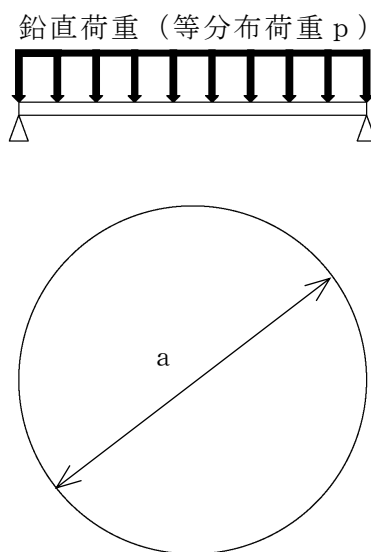


図 5-5 上部カバー，キャップの曲げ応力評価モデル図

### 5.1.2 ディーゼル機関給気口

評価手法は，以下に示すとおり，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いて算出

風荷重による影響を考慮する施設については，建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し，設備の受圧面に対して等分布荷重として発生する荷重の合計が，集中荷重として給気口の上端部に作用するものとする。これは，J E A G 4 6 0 1 耐震評価における 1 質点系モデルと等価なものであり，地震荷重を風荷重と置き換え J E A G 4 6 0 1 に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として，ディーゼル機関給気口の強度評価方法を以下に示す。



## (1) 評価条件

ディーゼル機関給気口の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物が堆積する天板に対し、等分布荷重が作用する 4 辺固定長方形板として機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。計算モデル図を図 5-6 に示す。
- b. 風荷重による影響が大きな架構の強度計算モデルは、1 質点系モデルとして評価を行う。なお、1 質点系モデルの強度計算において、ディーゼル機関給気口の上端に集中荷重として作用するものとする。計算モデル図を図 5-7 に示す。
- c. 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- d. 降下火砕物等の堆積による鉛直方向荷重については、天板の投影面積又は天板の補強材で囲まれた領域に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

## (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
天板	曲げ
架構	曲げ，圧縮，座屈

(3) 強度評価方法

a. 記号の説明

ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号を表 5-4 に示す。

表 5-4 ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
A	mm <sup>2</sup>	架構の断面積
A <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>o</sub>	m <sup>2</sup>	天板の降下火砕物等の堆積面積（補強材で囲まれた領域の面積）
a	m	天板のうち補強材で囲まれた領域の短辺側の長さ
b	m	天板のうち補強材で囲まれた領域の長辺側の長さ
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E <sub>r</sub>	—	建設省告示第1454号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1 (1) により規定される値
F <sub>d1</sub>	N	自重により天板に作用する荷重
F <sub>d2</sub>	N	自重により架構に作用する荷重
F <sub>k1</sub>	N	降下火砕物の堆積により天板に作用する鉛直荷重
F <sub>k2</sub>	N	降下火砕物の堆積により架構に作用する鉛直荷重
F <sub>s1</sub>	N	積雪により天板に作用する鉛直荷重
F <sub>s2</sub>	N	積雪により架構に作用する鉛直荷重
f <sub>b</sub>	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力
f <sub>c</sub>	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容圧縮応力

表 5-4 ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (=9.80665)
H	m	地表面からの給気口高さ (建物含む)
H <sub>f</sub>	mm	給気口高さ (全高)
h <sub>k</sub>	m	降下火砕物の堆積高さ
h <sub>s</sub>	m	積雪高さ
l <sub>1</sub>	m	天板の短辺側の長さ
l <sub>2</sub>	m	天板の長辺側の長さ
M <sub>o</sub>	N・mm	風荷重により架構に作用する曲げモーメント
m	kg	給気口の自重
p	MPa	天板に作用する等分布荷重
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
r	m	給気口 (フード部) の端部の丸みの半径
S <sub>u</sub>	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S <sub>y</sub>	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	天板の板厚
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z <sub>1</sub>	mm <sup>3</sup>	架構の断面係数
Z <sub>b</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
Z <sub>G</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
β	—	新版機械工学便覧の平板の曲げにおける長方形板の最大応力の係数
π	—	円周率

表 5-4 ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$\rho_d$	kg/m <sup>3</sup>	天板材の密度
$\rho_k$	kg/m <sup>3</sup>	降下火砕物の密度
$f'_s$	N/(m <sup>2</sup> ・cm)	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
$\sigma_{b1}$	MPa	天板に生じる曲げ応力
$\sigma_{b2}$	MPa	架構に生じる曲げ応力
$\sigma_c$	MPa	架構に生じる圧縮応力

b. 計算モデル

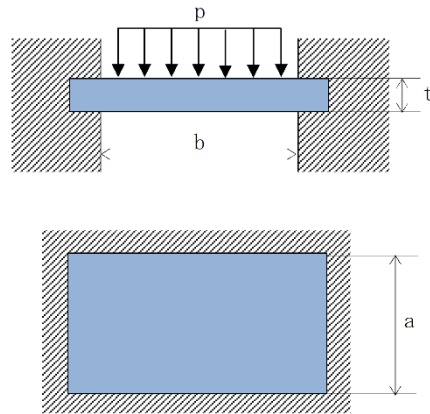


図 5-6 計算モデル (天板)

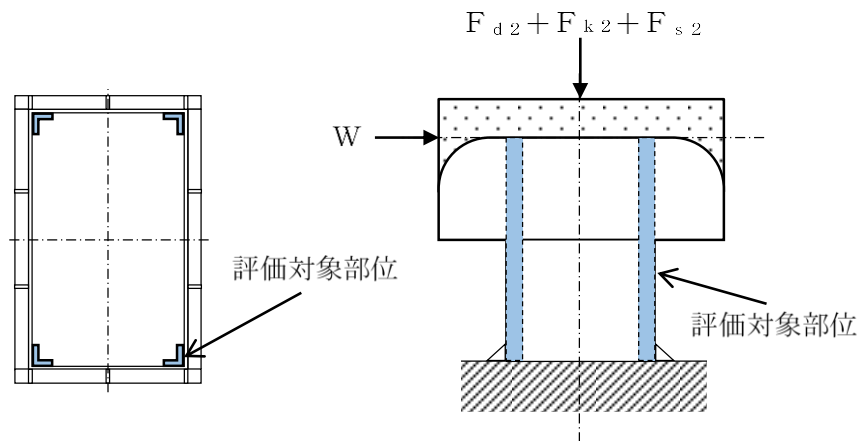


図 5-7 計算モデル図 (架構)

## c. 強度評価方法

## (a) 鉛直荷重

## イ. 常時作用する荷重

天板に常時作用する荷重 ( $F_{d1}$ ) は、天板の補強材で囲まれた領域の自重を考慮する。

$$F_{d1} = t / 10^3 \cdot A_o \cdot \rho_d \cdot g$$

ここで、

$$A_o = a \cdot b$$

架構に常時作用する荷重 ( $F_{d2}$ ) は、給気口の自重を考慮する。

$$F_{d2} = m \cdot g$$

ロ. 降下火砕物の堆積による鉛直荷重 ( $F_{k1}$ ,  $F_{k2}$ )

降下火砕物の堆積高さは、 $h_k = 0.56\text{m}$  とする。

降下火砕物の堆積により天板に作用する鉛直荷重 ( $F_{k1}$ ) は、天板の補強材で囲まれた領域に対して考慮する。

$$F_{k1} = \rho_k \cdot A_o \cdot h_k \cdot g$$

降下火砕物の堆積により架構に作用する鉛直荷重 ( $F_{k2}$ ) は、端部の丸み部分を含めた天板の投影面積に対して考慮する。

$$F_{k2} = \{2 \cdot (r^2 - \pi \cdot r^2 / 4) \cdot l_2 + l_1 \cdot l_2 \cdot h_k\} \cdot \rho_k \cdot g$$

ハ. 積雪による鉛直荷重 ( $F_{s1}$ ,  $F_{s2}$ )

積雪高さは、 $h_s = 0.35\text{m}$  とする。

積雪により天板に作用する鉛直荷重 ( $F_{s1}$ ) は、天板の補強材で囲まれた領域に対して考慮する。

$$F_{s1} = f'_s \cdot A_o \cdot h_s \cdot 10^2$$

積雪により架構に作用する鉛直荷重 ( $F_{s2}$ ) は、天板の投影面積に対して考慮する。なお、積雪は降下火砕物の上部に堆積するものとする。

$$F_{s2} = f'_s \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot h_s \cdot 10^2$$

## (b) 水平荷重

## イ. 風 (台風) による水平荷重

風 (台風) による水平荷重は、4.1(3)c. に示す式に従い、算出する。地表面からの給気口高さ  $H$  が  $5\text{m}$  を超えるため、 $H$  が  $Z_b$  を超える場合の式を用いる。

## (c) 天板の応力

鉛直荷重により天板に作用する最大曲げ応力  $\sigma_{b1}$  は次による。

$$\sigma_{b1} = \frac{\beta \cdot p \cdot (a \cdot 10^3)^2}{t^2}$$

ここで、

$$p = \frac{F_{d1} + F_{k1} + F_{s1}}{A_o \cdot 10^6}$$

## (d) 架構の応力

## イ. 曲げ応力

架構の計算モデルは 1 質点系モデルとし、給気口の上端に風荷重が作用することとする。

架構に生じる最大曲げ応力  $\sigma_{b2}$  は次による。

$$\sigma_{b2} = \frac{M_o}{Z_1}$$

ここで、

$$M_o = W \cdot H_f$$

## ロ. 圧縮応力

圧縮応力は、給気口の自重と降下火砕物及び積雪による荷重が作用することによる。

架構に生じる圧縮応力  $\sigma_c$  は次による。

$$\sigma_c = \frac{F_{d2} + F_{k2} + F_{s2}}{A}$$

## ハ. 座屈評価

座屈評価は、次の式により行う。

$$\frac{\sigma_{b2}}{1.5 \cdot f_b} + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$$

## 5.2 建物等

### 5.2.1 原子炉建物

#### (1) 強度評価条件

原子炉建物の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重として  $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ 、風荷重については、基準風速 30m/s を考慮する。
- c. 風荷重の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し、受圧面積算定において、隣接する建物の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- d. 水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、屋根面の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。
- e. 耐震壁の応力計算には、地震応答解析に用いた質点系モデルを用い、耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、耐震壁の評価においては、保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

#### (2) 強度評価方法

##### a. 屋根スラブの応力計算

応力解析モデルを用いて、屋根スラブに作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

##### b. 主トラスの応力計算

3次元フレームモデルによる応力解析により、主トラスに発生する応力を求める。

##### c. 二次部材の応力計算

応力解析モデルを用いて、二次部材に作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により、二次部材に発生する応力を求める。

##### d. 耐震壁の応力計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた原子炉建物の質点系モデルを用いて、風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

## 5.2.2 タービン建物

### (1) 強度評価条件

タービン建物の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重として  $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ ，風荷重については，基準風速 30m/s を考慮する。
- c. 風荷重の算出は，建物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し，受圧面積算定において，隣接する建物の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- d. 水平方向の風荷重が作用した場合，屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため，屋根面の評価においては，保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。
- e. 耐震壁の応力計算には，地震応答解析に用いた質点系モデルを用い，耐震壁の復元力特性の設定においては，鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため，耐震壁の評価においては，保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

### (2) 強度評価方法

#### a. 屋根スラブの応力計算

応力解析モデルを用いて，屋根スラブに作用する固定荷重，積載荷重，積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

#### b. 主トラスの応力計算

2次元フレームモデルによる弾性応力解析により，主トラスに発生する応力を求める。

#### c. 二次部材の応力計算

応力解析モデルを用いて，二次部材に作用する固定荷重，積載荷重，積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により，二次部材に発生する応力を求める。

#### d. 耐震壁の応力計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえたタービン建物の質点系モデルを用いて，風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。



### 5.2.3 制御室建物

#### (1) 強度評価条件

制御室建物の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重として  $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ ，風荷重については，基準風速 30m/s を考慮する。
- c. 風荷重の算出は，建物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し，受圧面積算定において，隣接する建物の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- d. 水平方向の風荷重が作用した場合，屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため，屋根面の評価においては，保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。
- e. 耐震壁の応力計算には，地震応答解析に用いた質点系モデルを用い，耐震壁の復元力特性の設定においては，鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため，耐震壁の評価においては，保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

#### (2) 強度評価方法

##### a. 屋根スラブの応力計算

解析モデルを用いて，屋根スラブに作用する固定荷重，積載荷重，積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

##### b. 耐震壁の応力計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた制御室建物の質点系モデルを用いて，風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

### 5.2.4 廃棄物処理建物

#### (1) 強度評価条件

廃棄物処理建物の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重として  $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ ，風荷重については，基準風速 30m/s を考慮する。
- c. 風荷重の算出は，建物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し，受圧面積算定において，隣接する建物の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- d. 水平方向の風荷重が作用した場合，屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため，屋根面の評価においては，保守的に水平方向の風荷重

は考慮しない。

- e. 耐震壁の応力計算には、地震応答解析に用いた質点系モデルを用い、耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、耐震壁の評価においては、保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

#### (2) 強度評価方法

##### a. 屋根スラブの応力計算

解析モデルを用いて、屋根スラブに作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

##### b. 耐震壁の応力計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた廃棄物処理建物の質点系モデルを用いて、風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

### 5.2.5 排気筒モニタ室

#### (1) 強度評価条件

排気筒モニタ室の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重として  $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ 、風荷重については、基準風速 30m/s を考慮する。
- c. 風荷重の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し、受圧面積算定において、隣接する建物の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- d. 水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、屋根面の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。
- e. 耐震壁の応力計算には、地震応答解析に用いた質点系モデルを用い、耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、耐震壁の評価においては、保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

#### (2) 強度評価方法

##### a. 屋根スラブの応力計算

解析モデルを用いて、屋根スラブに作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

b. 耐震壁の応力計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた排気筒モニタ室の質点系モデルを用いて、風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

5.2.6 ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

(1) 強度評価条件

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重として  $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ 、風荷重については、基準風速  $30\text{m/s}$  を考慮する。
- c. 風荷重の算出は、構造物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し、受圧面積算定において、隣接する建物の遮断効果による面積の低減は考慮しない。

(2) 強度評価方法

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及び鋼製蓋は2次元はりモデル及び3次元有限要素法による解析モデルを用いて、各部位に作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により頂版及び鋼製蓋に発生する応力を求める。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽及び鋼製蓋は2次元及び3次元有限要素法による解析モデルを用いて、各部位に作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重及び風荷重により頂版及び鋼製蓋並びに地上に露出した側壁に発生する応力を求める。

## 6. 適用規格・基準等

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格・基準等を示している。

これらのうち、評価対象施設の強度評価に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日 松江市規則第 234 号）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 年改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 年制定）
- ・ 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 年改定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））（J S M E S N C 1 -2005/2007）（（社）日本機械学会）
- ・ 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年制定）
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（J S M E S N E 1 -2003）（（社）日本機械学会）

## VI-3-別添 2-2 火山防護対策設備の強度計算の方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
3. 構造強度設計	2
3.1 構造強度の設計方針	2
3.2 機能維持の方針	2
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	7
4.1 荷重及び荷重の組合せ	7
4.2 許容限界	11
5. 強度評価方法	13
5.1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備	13
5.2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	19
6. 適用規格・基準等	24

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定している評価対象施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する各施設の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-11「取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度計算書」及びVI-3-別添 2-12「ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度計算書」に示す。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを、「5. 強度評価方法」で示す方法を使用し、「6. 適用規格・基準等」で示す適用規格を用いて確認する。

### 2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備を強度評価の対象施設とする。

### 3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を保持するよう機能維持の方針を設定する。

#### 3.1 構造強度の設計方針

評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物の降灰から 30 日を目途に降下火砕物を適切に除去すること、また、降灰時には除雪も併せて実施することを保安規定に定める。

##### (1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、主要な構造部材が十分な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する取水槽により支持する構造とする。

##### (2) ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

#### 3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

##### (1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

###### a. 構造設計

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、取水槽循環水ポンプエリアに降下



火砕物が堆積することを防止する鋼板、鋼板を支持する架構及び架構をコンクリートに固定するアンカーボルトから構成される。

想定する降下火砕物等の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する鋼板に作用し、架構に伝達する構造とする。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の設置位置を図 3-1 に、構造計画を表 3-1 に示す。

b. 評価方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を構成する鋼板、架構及びアンカーボルトが、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。

降下火砕物等を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-11「取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度計算書」に示す。

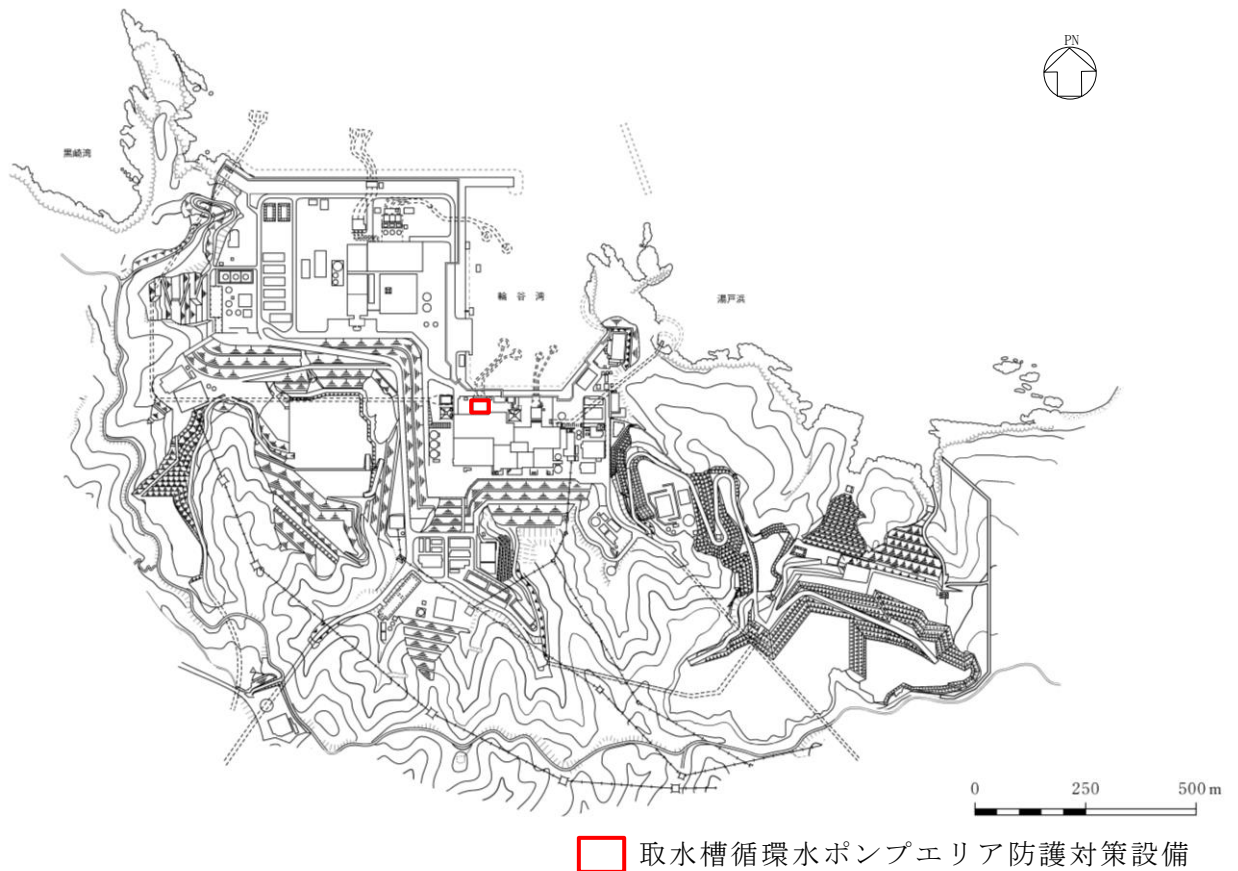


図 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の設置位置

表 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
鋼板, 架構及びアンカーボルトにより構成する。	取水槽にアンカーボルトで固定する。	<p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 平面図 (単位: mm)</p> <p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 A-A 断面図 (単位: mm)</p> <p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 B-B 断面図 (単位: mm)</p>

(2) ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

a. 構造設計

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、燃料移送ポンプエリアの非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ（以下「燃料移送ポンプ」という。）を覆う形で設置し、燃料移送ポンプに降下火砕物が堆積することを防止する鋼製のカバー本体及び点検用開口蓋（以下「カバー」という。）、カバーを支持するサポート及びそれらを固定する取付ボルトで構成される。

想定する降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、カバーに作用し、カバー取付

ボルト，サポート，サポート取付ボルト，基礎ボルトで固定されたポンプベースを介して基礎部に伝達する。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の設置位置を図 3-2 に，構造計画を表 3-2 に示す。

b. 評価方針

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備を構成するカバー，サポート及び取付ボルトが弾性域に留まらず，塑性域に入る状態とならないことを「5. 強度評価方法」に示す FEM解析及び計算により確認する。

降下火砕物等を考慮した荷重に対する強度評価を，VI-3-別添 2-12「ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度計算書」に示す。

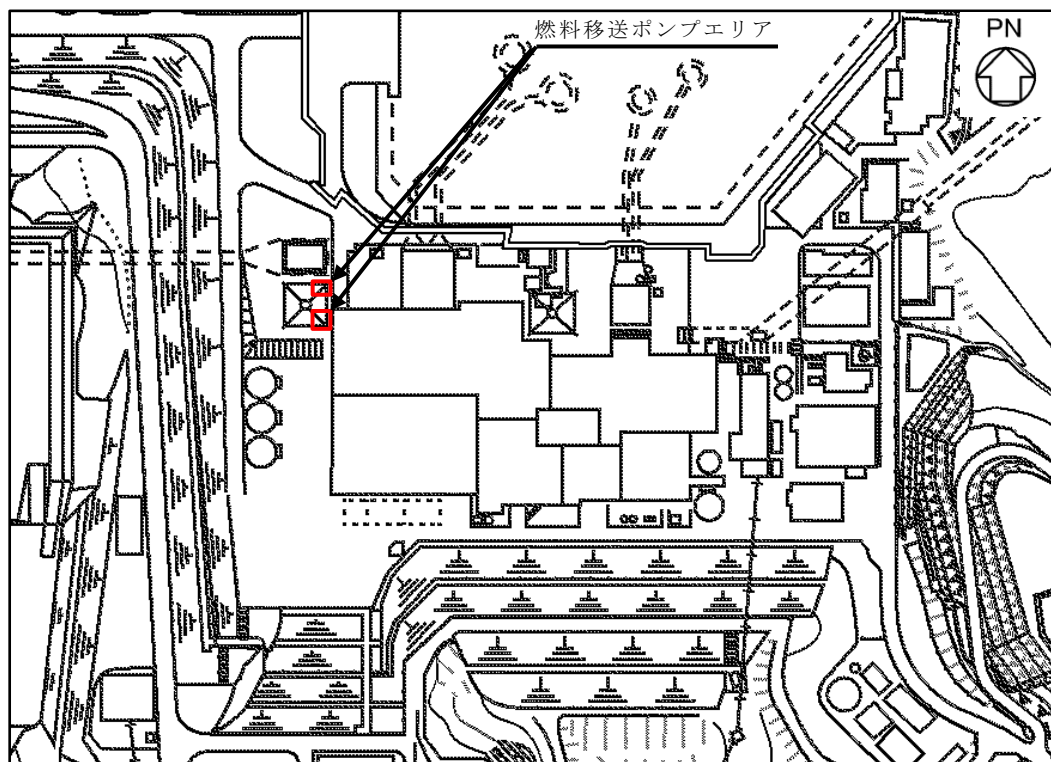


図 3-2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の設置位置

表 3-2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は，燃料移送ポンプエリアに設置する。</p>			
ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	カバー，サポート及び取付ボルトで構成する。	基礎ボルトで固定されたポンプベースに，取付ボルトで固定する。	<p>(a) 上面図</p> <p>(b) 側面図 (A-A 断面)</p> <p>(c) 側面図 (B-B 断面)</p>

#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重の種類，荷重の組合せ及び荷重の算定方法を「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。なお，取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は，近傍にタービン建物及び取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁が設置されていること，部材の受圧面積が小さいことから，風（台風）による荷重を考慮しない。また，ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は，周囲に設置されたディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備により防護されることから風（台風）による荷重は考慮しない。

##### (1) 荷重の種類

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_a$ )

常時作用する荷重は，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って，持続的に生じる荷重として，取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は固定荷重及び積載荷重とし，ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は自重とする。

##### b. 降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )

降下火砕物による荷重は，VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，主荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，湿潤密度  $1.5\text{g/cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として堆積量  $1\text{cm}$  ごとに  $147.1\text{N/m}^2$  の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

##### c. 積雪荷重 ( $F_s$ )

積雪荷重は，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，従荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて，発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とする。

積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1cm ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

(a) 降下火砕物による荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)b. 荷重の組合せ」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

(b) 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

上記を踏まえ、強度評価における荷重の組合せの設定については、施設の設置状況及び構造を考慮し設定する。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備における荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

施設名称	考慮する荷重の組合せ	荷重 <sup>*1</sup>			
		常時作用する荷重 ( $F_d$ )		主荷重	従荷重
		固定荷重	積載荷重 <sup>*2</sup>	降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )	積雪荷重 ( $F_s$ )
取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備	ケース 1	○	○	○	○

注記\*1：○は考慮する荷重を示す。

\*2：積載荷重は、除灰時の人員荷重  $981\text{N/m}^2$  を含む。

b. ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

(a) 降下火砕物による荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)b. 荷重の組合せ」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

(b) 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

上記を踏まえ、強度評価における荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備における荷重の組合せを表4-2に示す。

表4-2 荷重の組合せ

施設名称	考慮する荷重の組合せ	荷重*		
		常時作用する荷重( $F_d$ )	降下火砕物による荷重( $F_a$ )	積雪荷重( $F_s$ )
ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	ケース1	○	○	○

注記\*：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

降下火砕物による荷重及び積雪荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表4-3に示す。

表 4-3 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$F_a$	$N/m^2$	湿潤状態の降下火砕物による荷重
$F_d$	N	常時作用する荷重
$F_s$	$N/m^2$	従荷重として組み合わせる積雪荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$f'_s$	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
$g$	$m/s^2$	重力加速度 (=9.80665)
$H_a$	cm	降下火砕物の層厚
$H_s$	cm	組合せ荷重として考慮する積雪深
$P_1$	$N/m^2$	除灰時の人員荷重
$\rho_v$	$kg/m^3$	降下火砕物の湿潤密度

## b. 鉛直荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho_v \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_a + F_s$$

表 4-4 に入力条件を示す。

表 4-4 入力条件

$\rho_v$ ( $kg/m^3$ )	$g$ ( $m/s^2$ )	$H_a$ (cm)	$f'_s$ ( $N/(m^2 \cdot cm)$ )	$H_s$ (cm)
1500	9.80665	56	20	35

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、 $8938N/m^2$ とする。

また、「建築構造設計規準の資料（国土交通省 平成 30 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重を参考として、除灰時の人員荷重は、 $981N/m^2$ とする。



## 4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

### (1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた許容限界を表 4-5 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物及び積雪を考慮した荷重に対し、評価対象部位ごとに求められる機能が担保できる許容限界を設定する。

構造強度評価においては、降下火砕物の堆積による荷重及び積雪荷重に対し、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を構成する鋼板、架構及びアンカーボルトが、許容限界を超えないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、鋼板及び架構に対しては、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ( (社) 日本建築学会, 2005 年改定)」に基づき算出した許容荷重を許容限界として設定する。アンカーボルトに対しては、「各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき算出した許容荷重を許容限界として設定する。

表 4-5 許容限界

機能設計上の性能目標	評価対象部位	応力等の状態	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
構造強度を有すること	鋼板	曲げ, せん断	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ( (社) 日本建築学会, 2005 年改定) に基づく短期許容応力度
	架構	曲げ, せん断		各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010 年改定) に基づく短期許容荷重
	アンカーボルト	引張		

### (2) ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-6 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備を構成するカバー、サポート及び取付ボルトが弾性域に留まらず、塑性域に入る状態とならないことをFEM解析及び計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に準じて許容応力状態IVASの許容応力を許容限界として設定する。許容応力状態IVASにおけるディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界を表4-7に示す。

表 4-6 評価対象部位ごとの許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力の状態	限界状態	
ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	$F_d + F_a + F_s$	カバー	組合せ	部材が弾性域に留まらず、塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態IVASの許容応力以下とする。
	$F_d + F_a + F_s$	サポート	曲げ，せん断，組合せ		
	$F_d + F_a + F_s$	取付ボルト	引張，せん断		

表 4-7 許容応力状態IVASにおけるディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界

許容応力状態	許容限界* (ボルト以外)			許容限界* (ボルト)	
	一次応力			一次応力	
	曲げ	せん断	引張	せん断	引張
IVAS	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$f_{ts}^*$

注記\*：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）

$f_{ts}^*$ は以下のとおり。

$$f_{ts}^* = \text{Min} \{ 1.4 \cdot (1.5 \cdot f_t^*) - 1.6 \cdot \tau, 1.5 \cdot f_t^* \}$$

## 5. 強度評価方法

### 5.1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

評価手法は、以下に示すとおり、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いて算出

具体的な評価においては、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ( (社) 日本建築学会, 2005 年改定)」及び「各種合成構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 年改定)」を準用する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価方法を以下に示す。

#### (1) 強度評価条件

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- 鉛直荷重によって一様な応力が発生する取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の鋼板及び架構は、「新版機械工学便覧 ( (社) 日本機械学会)」の計算方法を準用して評価を行う。
- アンカーボルトに考慮する荷重は、積載荷重による圧縮力及び架構端部で発生した曲げモーメントによる引張力を考慮し、「各種合成構造設計指針・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき評価を行う。
- 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

#### (2) 強度評価対象部位

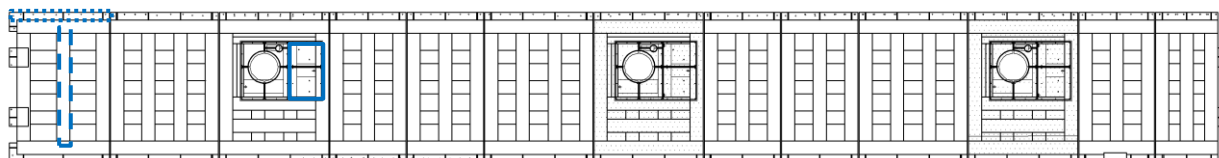
強度評価内容を表 5-1 に、評価対象部位を図 5-1 に示す。

なお、降下火砕物等の堆積を考慮する場合、鋼板及び架構の支持間隔が長いほど、発生する応力が大きくなる。このため、鋼板及び架構の支持間隔が最長となる箇所を、評価対象部位として選定する。なお、評価対象部位とした鋼板の中間部に位置する支持部材については、保守的な評価のため、考慮しない。また、アンカーボルトについては、評価対象の箇所とした架構で発生した応力が伝達される箇所を、評価対象として選定する。

降下火砕物等の堆積を考慮する範囲は、鋼板については、評価対象として選定した箇所と同様の範囲とする。また、架構については、評価対象として選定したものの上部の鋼板のうち、当該架構が荷重を分担する範囲とする。

表 5-1 強度評価内容

施設名称	評価対象部位	応力等の状態
取水槽循環水ポンプ エリア防護対策設備	鋼板	曲げ, せん断
	架構	曲げ, せん断
	アンカーボルト	引張



- : 評価対象部位 (鋼板)
- : 評価対象部位 (架構)
- : 評価対象部位 (アンカーボルト)

図 5-1 評価対象部位

## (3) 強度評価方法

## a. 記号の定義

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	鋼板の短辺
a <sub>2</sub>	mm	架構が荷重を分担する鋼板の短辺
A	mm <sup>2</sup>	鋼板の断面積
A <sub>z</sub>	cm <sup>2</sup>	架構の強軸方向のせん断断面積
b	mm	鋼板の長辺
b <sub>2</sub>	mm	架構の幅及び高さ
T <sub>a</sub>	N	アンカーボルトに生じる引張力
h	mm	鋼板の厚さ
L	mm	アンカーボルト間の距離
L <sub>2</sub>	mm	架構の長さ
M	N・mm	鋼板に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
M <sub>2</sub>	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純支持梁(ピン結合)とした場合)
M <sub>3</sub>	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純固定梁とした場合)
n <sub>a</sub>	-	架構 1 本当たりのアンカーボルトの本数
n <sub>2</sub>	-	評価対象とする架構に対し直交する架構の本数
p	N/mm	鋼板に作用する等分布荷重
p <sub>2</sub>	N/mm	架構に作用する等分布荷重
p <sub>3</sub>	N/mm	架構の単位長さあたりの自重
ρ	kN/m <sup>3</sup>	鋼板の密度
Q	N	鋼板に作用する弱軸まわりのせん断力
Q <sub>2</sub>	N	架構に作用する強軸まわりのせん断力
Z	mm <sup>3</sup>	鋼板の弱軸まわりの断面係数
Z <sub>2</sub>	mm <sup>3</sup>	架構の強軸まわりの断面係数
σ	MPa	鋼板に生じる曲げ応力
σ <sub>2</sub>	MPa	架構に生じる曲げ応力
τ	MPa	鋼板に生じるせん断応力
τ <sub>2</sub>	MPa	架構に生じるせん断応力

b. 評価対象部位及び応力評価モデル図

評価対象部位及び応力評価モデル図を図 5-2～図 5-4 に示す。

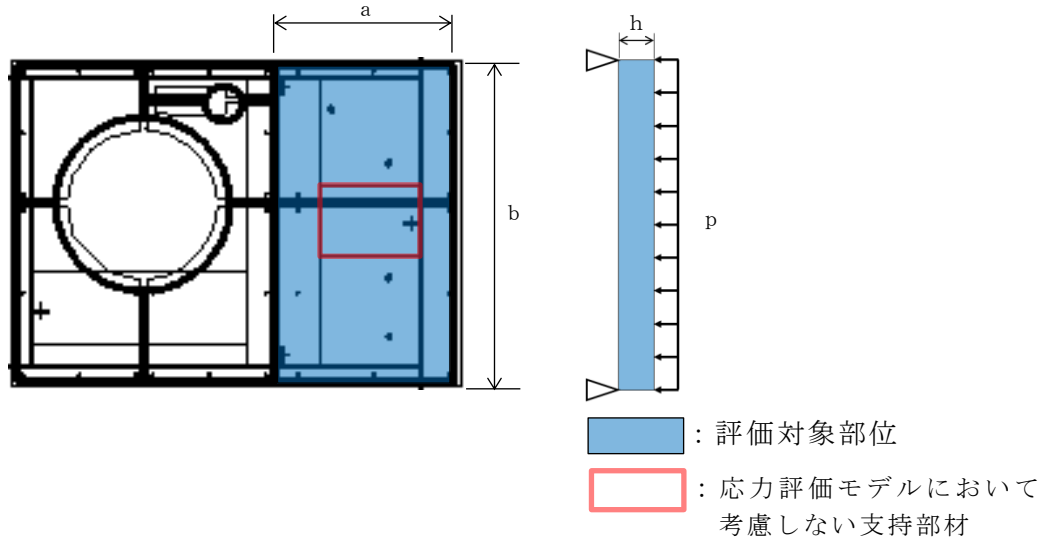


図 5-2 評価対象部位及び応力評価モデル図（鋼板）

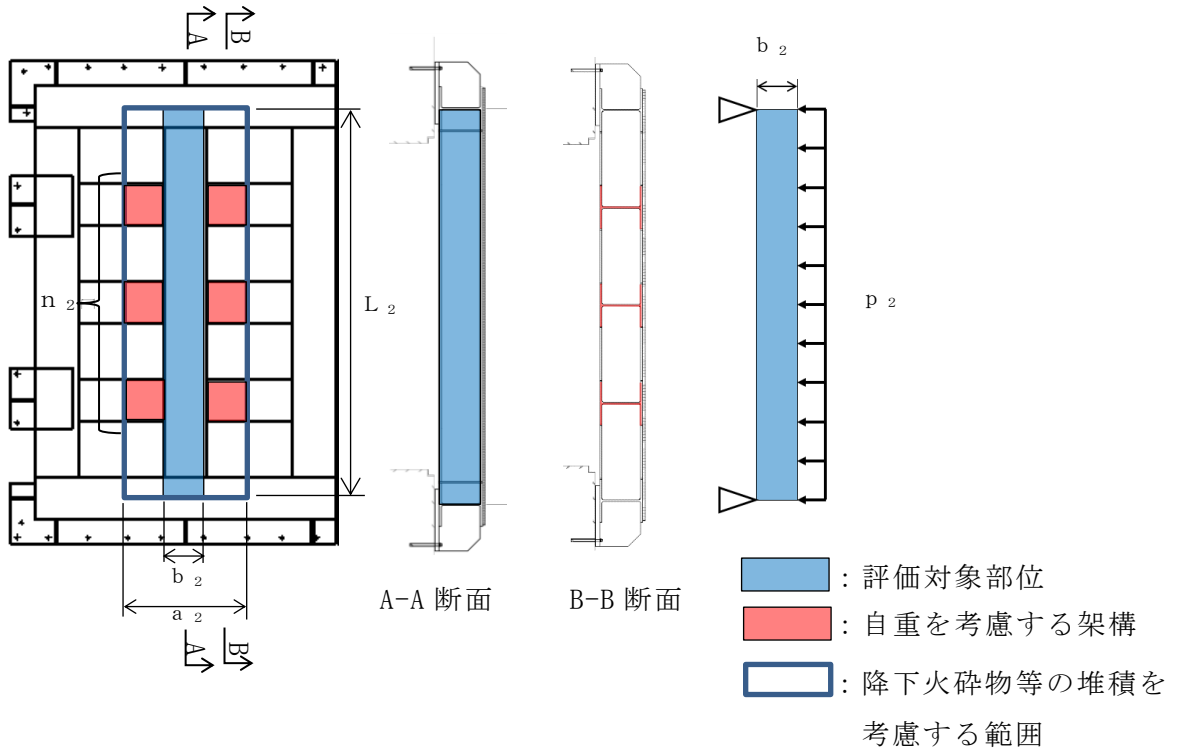


図 5-3 評価対象部位及び応力評価モデル図（架構）

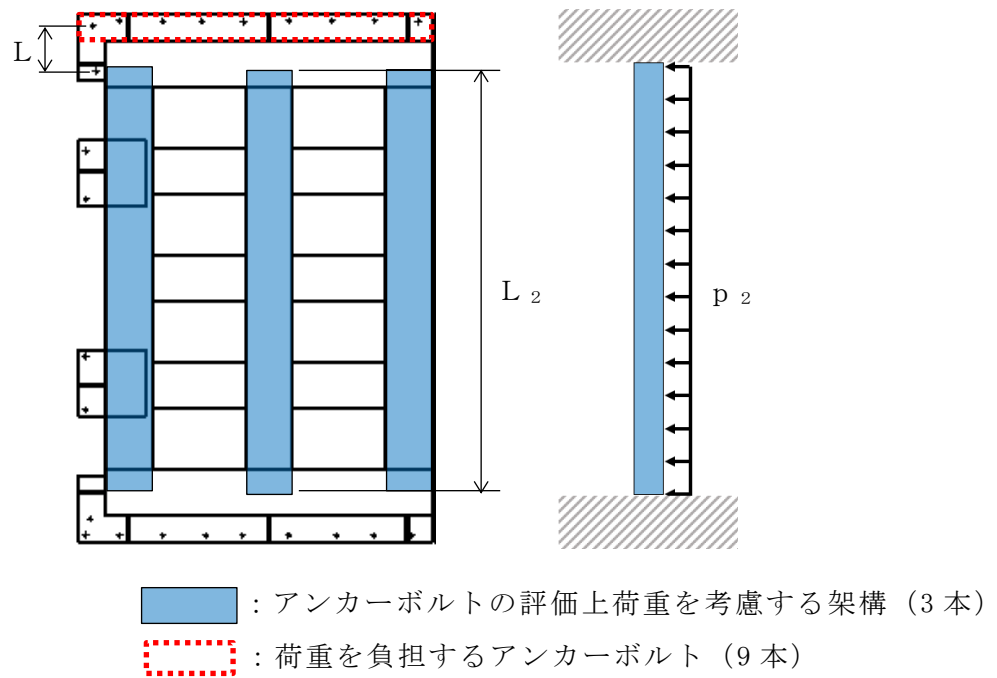


図 5-4 評価対象部位及び応力評価モデル図 (アンカーボルト)

c. 強度評価方法

(a) 鋼板に生じる応力

鋼板の計算モデルは、単純支持梁 (ピン結合) とする。

イ. 曲げ応力

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^{-9}}{Z \cdot 10^{-9}}$$

ここで,

$$M = 1/8 \cdot p \cdot b^2$$

$$p = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a \cdot h$$

$$Z = 1/6 \cdot a \cdot h^2$$

ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{Q \cdot 10^{-6}}{A \cdot 10^{-6}}$$

ここで,

$$Q = 1/2 \cdot p \cdot b$$

$$A = a \cdot h$$

(b) 架構に生じる応力

架構の計算モデルは、単純支持梁（ピン結合）とする。

イ. 曲げ応力

$$\sigma_2 = \frac{M_2 \cdot 10^{-9}}{Z_2 \cdot 10^{-9}}$$

ここで、

$$M_2 = 1/8 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$

$$p_2 = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a_2 + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a_2 \cdot h + p_3 + \frac{n_2 \cdot (a_2 - b_2) \cdot p_3}{L_2}$$

ロ. せん断応力

$$\tau_2 = \frac{Q_2 \cdot 10^{-6}}{A_Z \cdot 10^{-4}}$$

ここで、

$$Q_2 = 1/2 \cdot p_2 \cdot L_2$$

(c) アンカーボルトに生じる応力

引張力

$$T_a = \frac{p_2 \cdot L_2}{n_a} - \frac{M_3}{L \cdot n_a}$$

ここで、

$$M_3 = 1/12 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$



## 5.2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

評価手法は、以下に示すとおり、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ F E M等による解析法
- ・ 定式化された評価式を用いて算出

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価方法を以下に示す。

### (1) 評価条件

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価は、以下の条件に従うものとする。

- a. カバーは上部及び側面に開口を有する構造であり、定式化された評価式を用いた評価が困難なため、F E M解析を用いて部材に発生する応力を算出し評価を行う。モデル図を図 5-5 に示す。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、カバーの水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し、入力荷重として設定する。
- c. 鉛直荷重によって応力が発生するサポート及び取付ボルトは、機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。評価に用いるモデル図を図 5-6 に示す。
- d. 計算に用いる寸法は、公称値又は実測値を使用する。

### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力の状態
カバー	組合せ
サポート	曲げ, せん断, 組合せ
カバー取付ボルト	せん断
サポート取付ボルト	引張, せん断

### (3) 強度評価方法

#### a. 記号の説明

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価に用いる記号を表 5-4 に示す。

表 5-4 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	降下火砕物等の堆積面積
A <sub>b1</sub>	mm <sup>2</sup>	カバー取付ボルトの軸断面積
A <sub>b2</sub>	mm <sup>2</sup>	サポート取付ボルトの軸断面積
A <sub>s a</sub>	cm <sup>2</sup>	サポートの断面積
F*	MPa	J S M E SSB-3121.3 又は SSB-3133 により規定される値
F <sub>d</sub>	N	自重による鉛直荷重
F <sub>v</sub>	N	降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F <sub>v</sub> '	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f <sub>b</sub> *	MPa	F*により算出されるサポートの許容曲げ応力
f <sub>s</sub> *	MPa	F*により算出されるサポート又はボルトの許容せん断応力
f <sub>t</sub> *	MPa	F*により算出されるカバー又はサポートの許容引張応力
f <sub>t s</sub> *	MPa	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度（=9.80665）
L <sub>1</sub>	mm	カバーの短辺側の長さ
L <sub>2</sub>	mm	カバーの長辺側の長さ
l <sub>1</sub>	mm	サポート取付面から荷重作用点までの距離
l <sub>2</sub>	mm	サポート取付ボルト間の距離
M	N・mm	サポートに作用する曲げモーメント
m	kg	カバー，サポート他の全質量
N	—	サポートの本数
n <sub>1</sub>	—	カバー取付ボルトの本数
n <sub>2</sub>	—	サポート取付ボルトの本数
n <sub>f 2</sub>	—	評価上引張力を受けるとして期待するサポート取付ボルトの本数
r	mm	カバーの端部の丸みの半径
S <sub>u</sub>	MPa	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
S <sub>y</sub>	MPa	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
Z	cm <sup>3</sup>	サポートの断面係数
π	—	円周率
σ	MPa	サポートに生じる組合せ応力
σ <sub>b</sub>	MPa	サポートに生じる曲げ応力
σ <sub>t</sub>	MPa	サポート取付ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	サポートに生じるせん断応力
τ <sub>1</sub>	MPa	カバー取付ボルトに生じるせん断応力
τ <sub>2</sub>	MPa	サポート取付ボルトに生じるせん断応力

b. 評価モデル

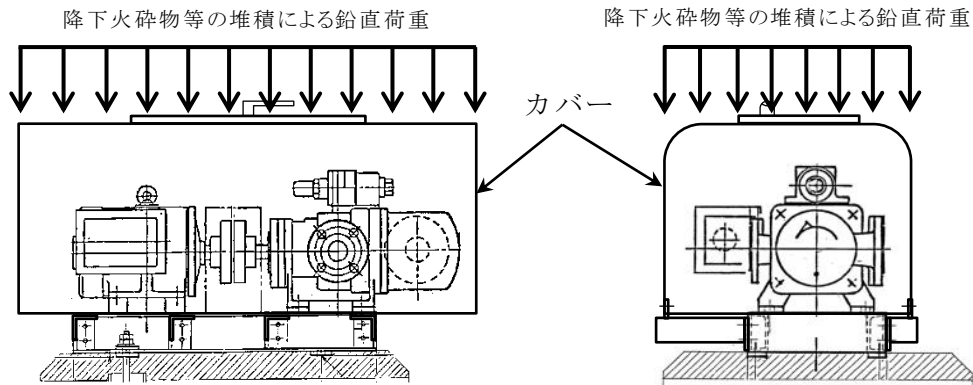


図 5-5 モデル図 (カバー)

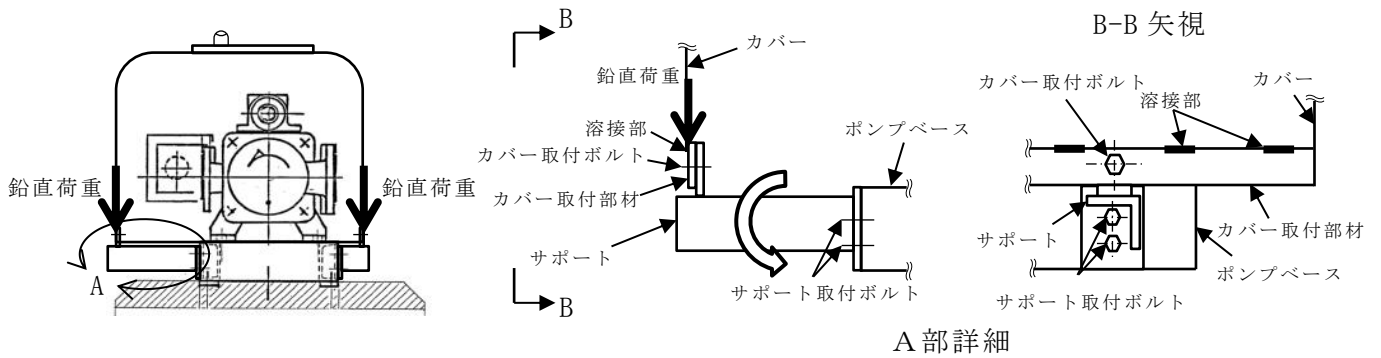


図 5-6 モデル図 (サポート, カバー取付ボルト及びサポート取付ボルト)

c. 強度評価方法

(a) 鉛直荷重

イ. 常時作用する荷重

常時作用する荷重は自重を考慮する。

$$F_d = m \cdot g$$

ロ. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

降下火砕物等の堆積によりカバーに作用する鉛直荷重はカバーの水平投影面積に降下火砕物等が堆積することを考慮する。なお、カバーの端部の丸みを持たせている部分についても降下火砕物等が堆積するものとする。

$$F_v = F_v' \cdot A$$

$$\text{ここで, } A = (L_1 - 2 \cdot r + \pi \cdot r) \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$$

(b) 応力評価

イ. サポートに生じる応力

(イ) 曲げ応力

サポートに生じる曲げ応力  $\sigma_b$  は次式により算出される。

i. 降下火砕物等の鉛直荷重によりサポートに作用する曲げモーメント  $M$

$$M = \frac{F_v + F_d}{N} \cdot l_1$$

ii. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z \cdot 10^3}$$

(ロ) せん断応力

サポートに生じるせん断応力  $\tau$  は次式より算出される。

$$\tau = \frac{F_v + F_d}{N \cdot A_{sa} \cdot 10^2}$$

(ハ) 組合せ応力

サポートの曲げ及びせん断による組合せ応力  $\sigma$  は次式により算出される。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ロ. カバー取付ボルトに生じる応力

(イ) せん断応力

カバー取付ボルトに生じるせん断応力  $\tau_1$  は次式より算出される。

$$\tau_1 = \frac{F_v + F_d}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

ハ. サポート取付ボルトに生じる応力

(イ) 引張応力

サポート取付ボルトに生じる引張応力  $\sigma_t$  は次式により算出される。

$$\sigma_t = \frac{(F_v + F_d) \cdot l_1}{n_{f2} \cdot l_2 \cdot A_{b2}}$$

(ロ) せん断応力

サポート取付ボルトに生じるせん断応力  $\tau_2$  は次式により算出される。

$$\tau_2 = \frac{F_v + F_d}{n_2 \cdot A_{b2}}$$

## 6. 適用規格・基準等

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格・基準等を示している。

これらのうち、評価対象施設の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日 松江市規則第 234 号）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））  
（J S M E S N C 1 -2005/2007）（（社）日本機械学会）
- ・ 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会）
- ・ 日本産業規格（J I S）

VI-3-別添 2-3 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
3. 強度評価方法	9
3.1 評価対象部位	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	10
3.3 許容限界	11
3.4 評価方法	12
4. 評価条件	14
5. 強度評価結果	15



## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「海水ポンプ」という。）が想定する降下火砕物の堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

海水ポンプについて、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、海水ポンプの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

海水ポンプは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。取水槽海水ポンプエリアの位置図を図 2-1 に示す。

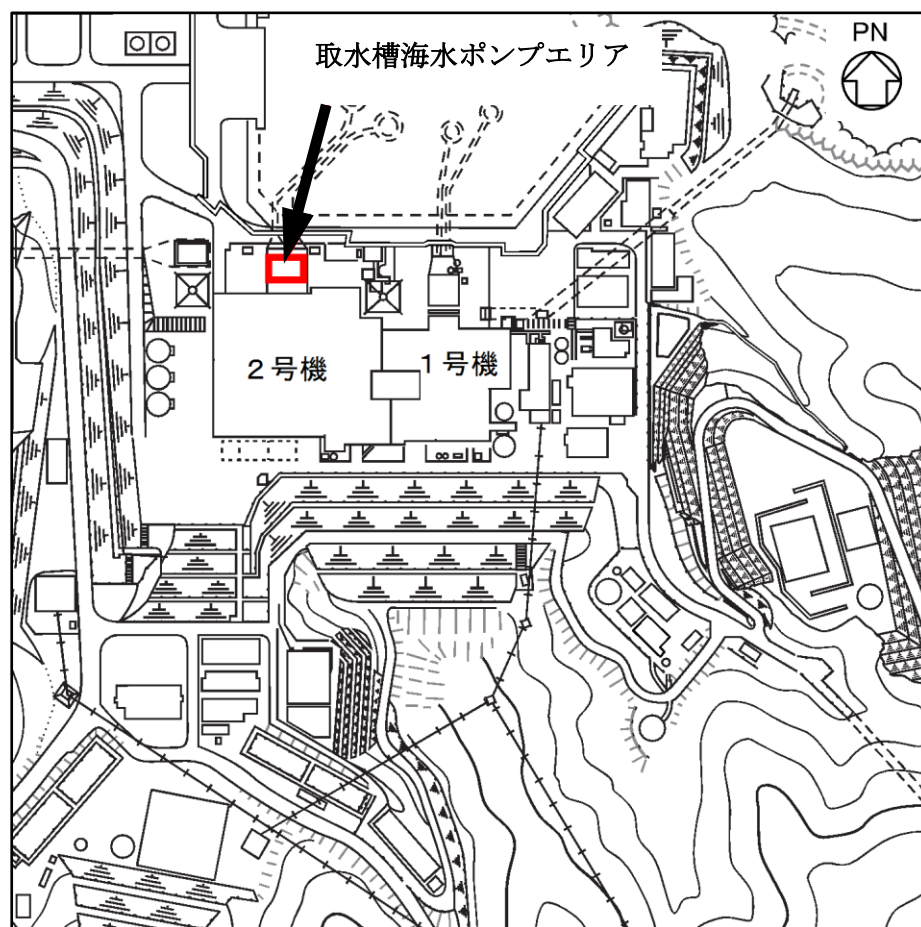


図 2-1 取水槽海水ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

海水ポンプは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、構造を設定している。

海水ポンプは、ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と、原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり、原子炉補機海水ポンプ（以下「R SWポンプ」という。）は同一設計のものを 4 台、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「HPSWポンプ」という。）は 1 台設置している。降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を、図 2-2 及び図 2-3 に示す。

海水ポンプ原動機の形状は円形を基本としたフレームに、端子箱が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重は軸受を介し、すべて原動機フレーム及び原動機台に作用する。海水ポンプが風荷重を受けることを想定する面の概要図を、図 2-4 及び図 2-5 に、降下火砕物等が海水ポンプに堆積することを想定する状態図を、図 2-6 及び図 2-7 にそれぞれ示す。

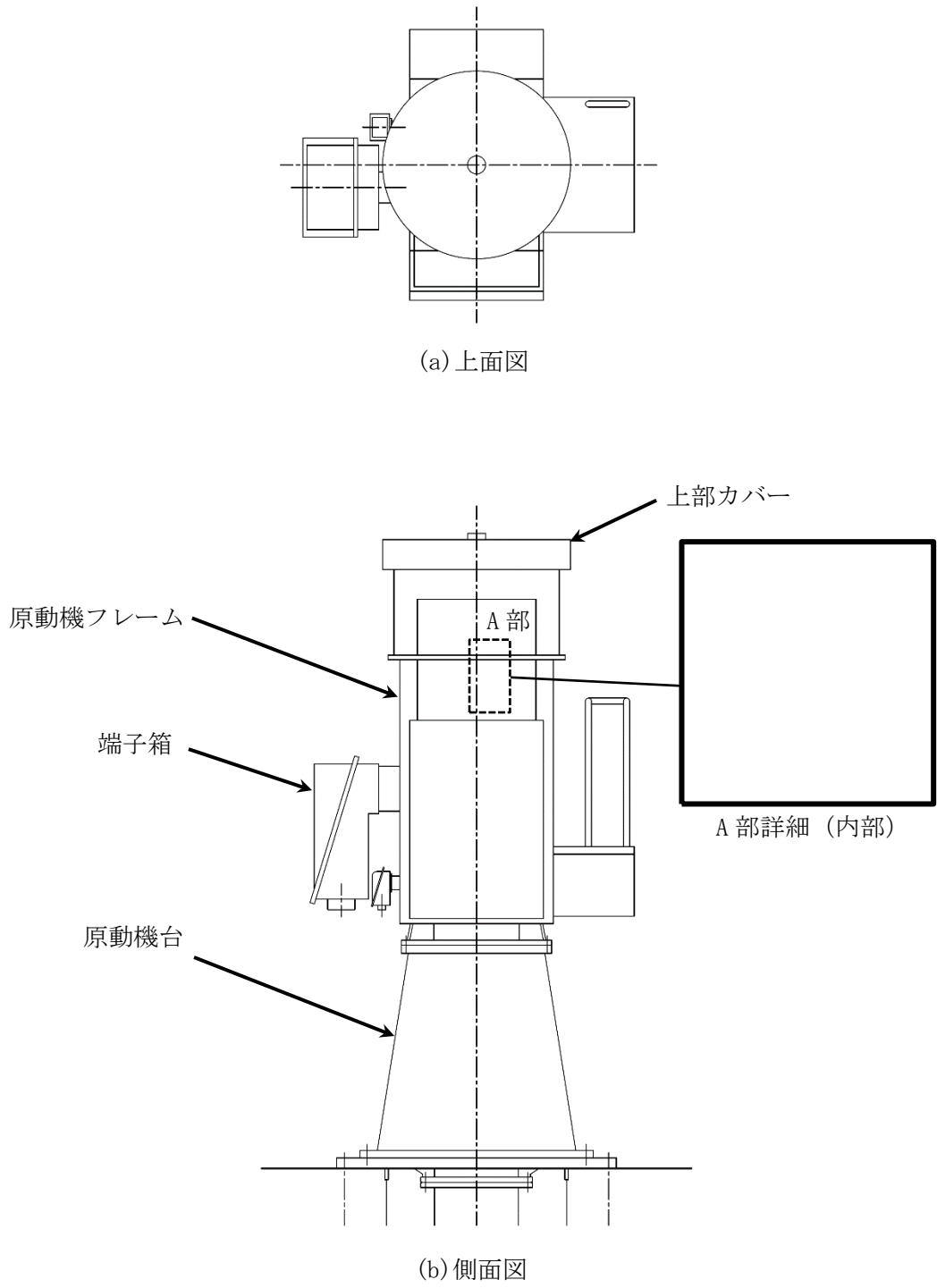
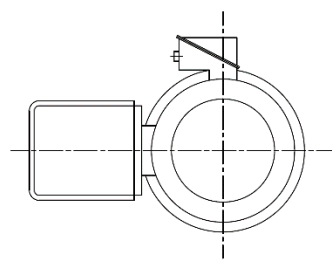
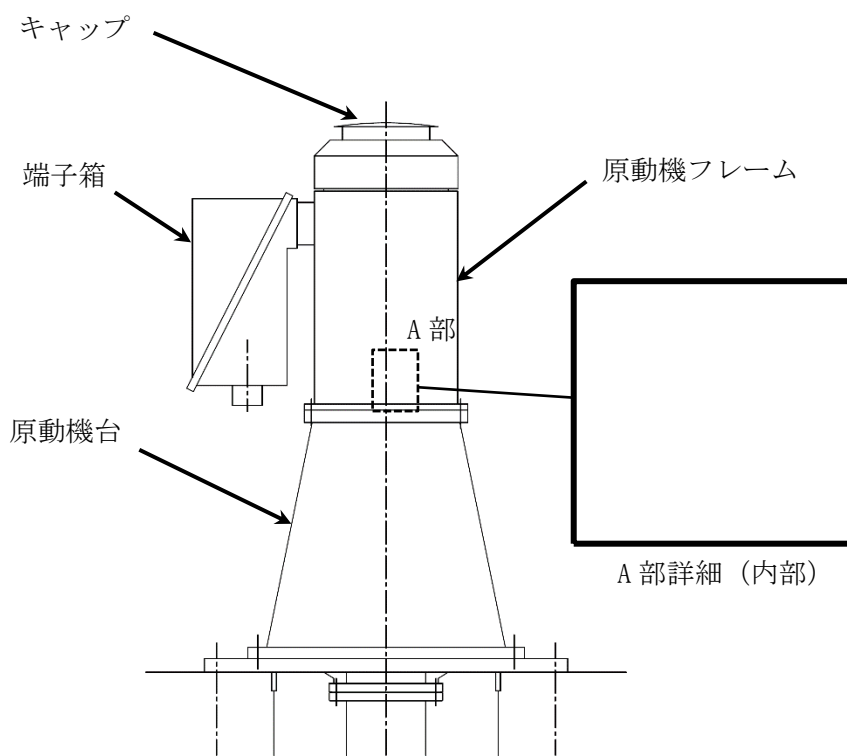


図 2-2 R SWポンプの概要図





(a) 上面図

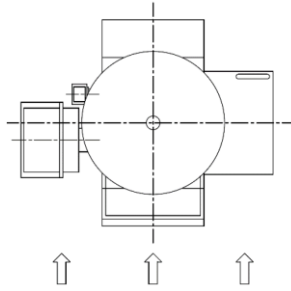


(b) 側面図

図 2-3 HP SWポンプの概要図

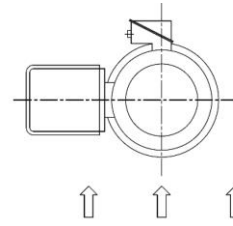
 : 風荷重を受ける面

 : 風荷重を受ける面



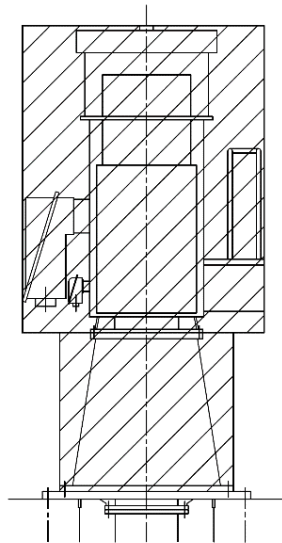
風（台風）による水平荷重の方向

(a) 上面図



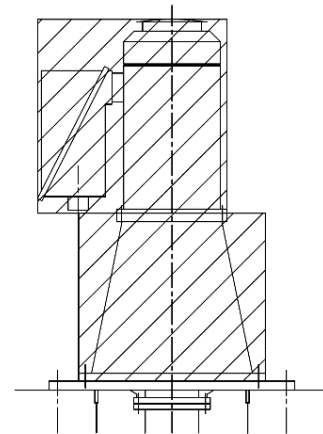
風（台風）による水平荷重の方向

(a) 上面図



(b) 側面図

図 2-4 風荷重を受けることを想定する面の概要図（RSWポンプ）



(b) 側面図

図 2-5 風荷重を受けることを想定する面の概要図（HPSWポンプ）

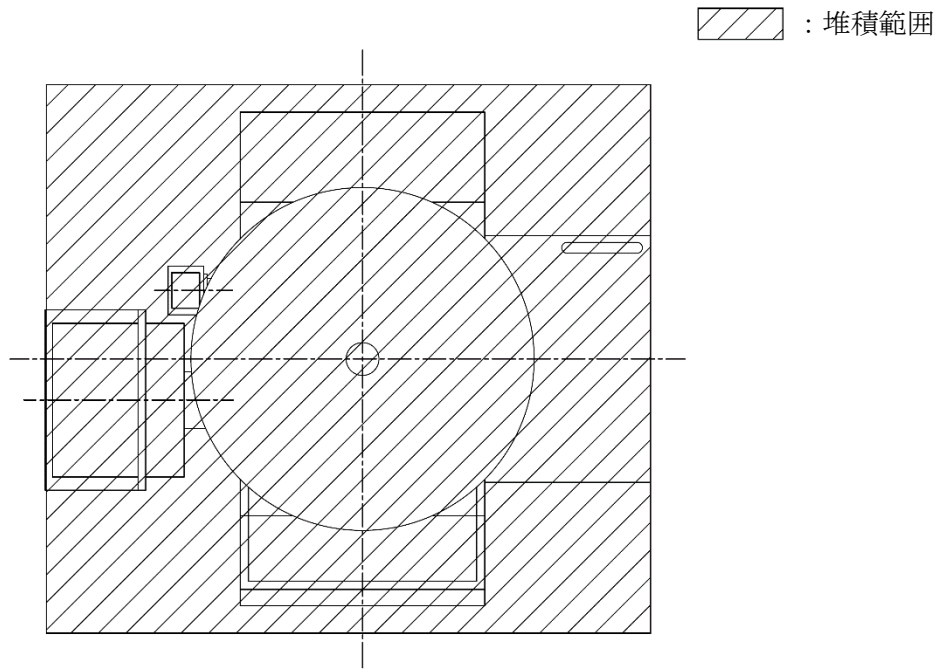


図 2-6 降下火砕物等の堆積状態図 (RSWポンプ)

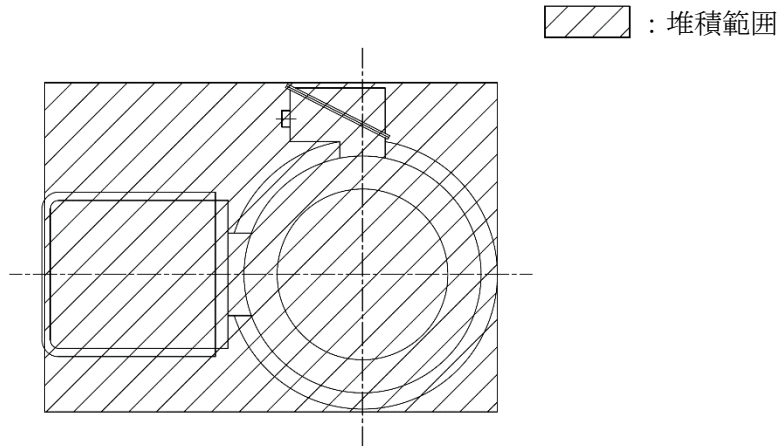


図 2-7 降下火砕物等の堆積状態図 (HPSWポンプ)

### 2.3 評価方針

海水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

海水ポンプの強度評価フローを図 2-8 に示す。海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、ポンプ上面に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風（台風）による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における 1 質点系モデルによる評価方法を準用し、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。海水ポンプの許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S とする。

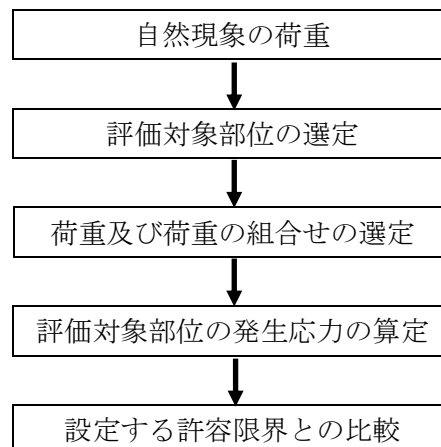


図 2-8 海水ポンプの強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日 松江市規則第 234 号）
- (3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 年改定）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984  
（（社）日本電気協会）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (7) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））（J S M E  
S N C 1 -2005/2007）（（社）日本機械学会）（以下「J S M E」という。）
- (8) 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987 年）



### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

海水ポンプの評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機フレーム、原動機台、上部カバー及びキャップとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物等が堆積する原動機の上部カバー又はキャップ、上部カバー又はキャップに接続する原動機フレームに作用し、原動機フレームを介して原動機台に作用する。また、風（台風）による水平荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用する。さらに、ポンプのスラスト荷重はすべて原動機フレーム及び原動機台に作用する。

このことから、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重に対しては、原動機フレーム、原動機台、上部カバー及びキャップを評価対象部位とする。また、風（台風）による水平荷重に対しては、原動機フレーム及び原動機台を評価対象部位とする。

海水ポンプの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 及び図 3-2 に示す。

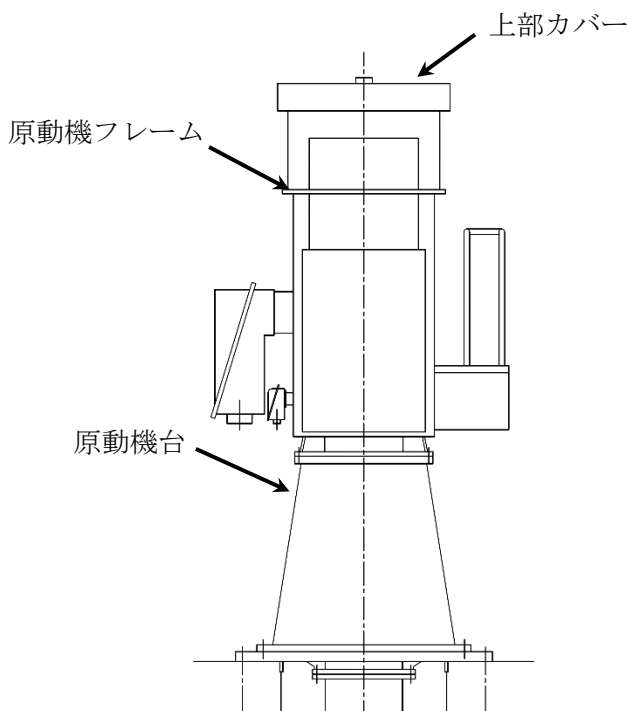


図 3-1 評価対象部位 (R SWポンプ)

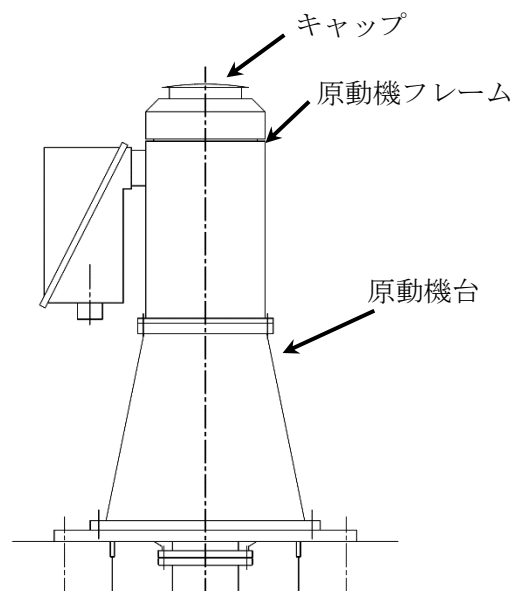


図 3-2 評価対象部位 (HP SWポンプ)

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の選定

海水ポンプの強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

#### (2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

海水ポンプには、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、風荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷 重
R SWポンプ H P SWポンプ	原動機台	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③ 風荷重 ④ ポンプスラスト荷重
	原動機フレーム	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③ 風荷重 ④ ポンプスラスト荷重
	上部カバー (R SWポンプ) キャップ (H P SWポンプ)	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

### 3.3 許容限界

海水ポンプの許容限界値は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値もしくは原動機運転による温度上昇を考慮した値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

海水ポンプの許容限界を表 3-2 に、許容応力を表 3-3 及び表 3-4 にそれぞれ示す。

表 3-2 海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原動機台	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	曲げ	$1.5 \cdot f_b$
			圧縮	$1.5 \cdot f_c$
原動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	曲げ	$1.5 \cdot f_b$
			圧縮	$1.5 \cdot f_c$
上部カバー, キャップ	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	曲げ	$1.5 \cdot f_b$

表 3-3 海水ポンプの許容応力 (R S Wポンプ)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	$1.5 \cdot f_c$ (MPa)	$1.5 \cdot f_b$ (MPa)
原動機台	SM41B* <sup>3</sup>	50* <sup>1</sup>	231	394	231	230	231
原動機 フレーム	SM400A	95* <sup>2</sup>	214	374	214	213	214
上部カバー	SS400	95* <sup>2</sup>	223	374	223	—	257

注記\*1：周囲環境温度

\*2：原動機運転による温度上昇を考慮した値

\*3：SM400B 相当

表 3-4 海水ポンプの許容応力 (HP SWポンプ)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 \cdot f_c$ (MPa)	$1.5 \cdot f_b$ (MPa)
原動機台	SM41B* <sup>3</sup>	50* <sup>1</sup>	241	394	241	240	241
原動機 フレーム	SS41* <sup>4</sup>	90* <sup>2</sup>	225	376	225	223	225
キャップ	SUS304	90* <sup>2</sup>	175	451	175	—	202

注記\*1：周囲環境温度

\*2：原動機運転による温度上昇を考慮した値

\*3：SM400B 相当

\*4：SS400 相当

### 3.4 評価方法

海水ポンプの応力評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。なお、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-3 及び図 3-4 に、風荷重の受圧面積を図 3-5 及び図 3-6 にそれぞれ示す。

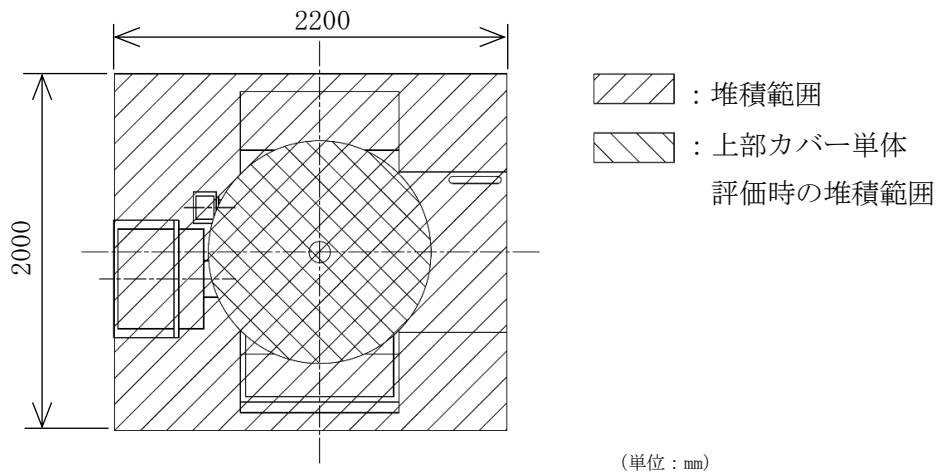


図 3-3 鉛直荷重の受圧面積 (R SWポンプ)

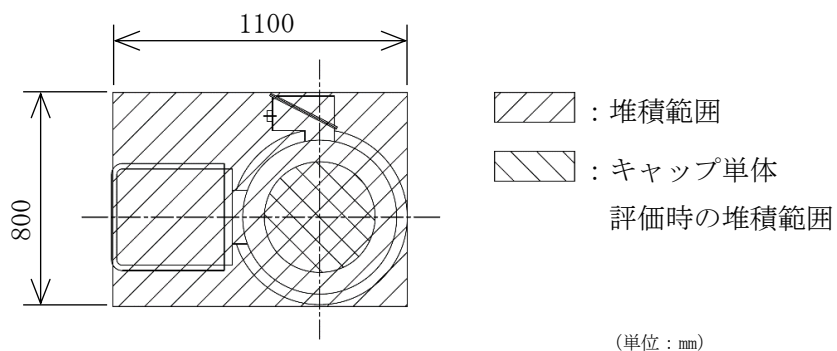
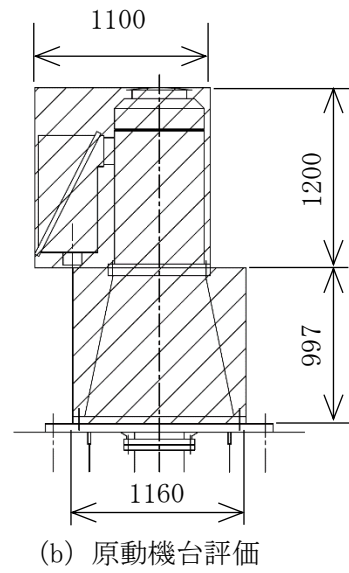
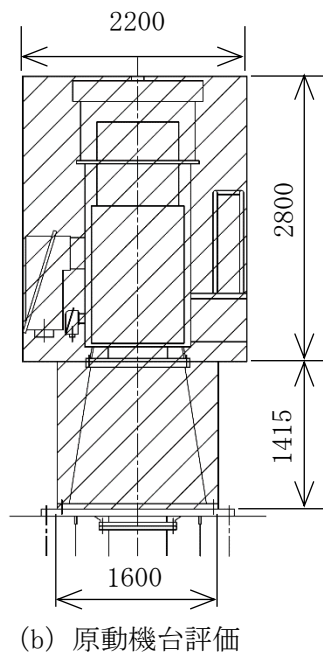
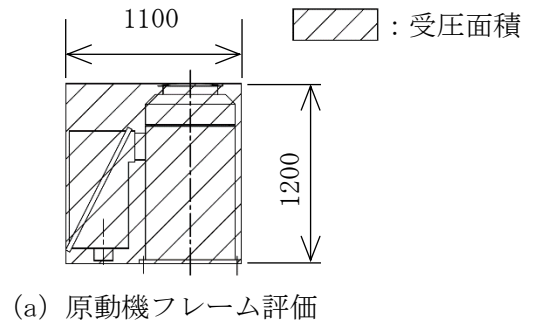
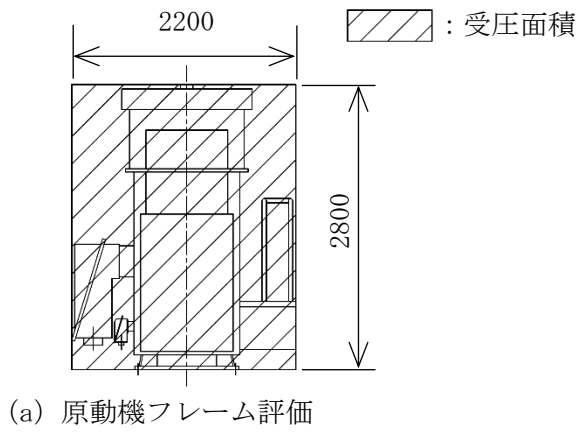


図 3-4 鉛直荷重の受圧面積 (HP SWポンプ)



(単位 : mm)

(単位 : mm)

図 3-5 風荷重の受圧面積  
(RSWポンプ)

図 3-6 風荷重の受圧面積  
(HPSWポンプ)

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1から表4-7に示す。

表4-1 評価条件

G (-)	V <sub>D</sub> (m/s)	Z <sub>b</sub> (m)	Z <sub>G</sub> (m)	F <sub>v'</sub> (N/m <sup>2</sup> )	α (-)	g (m/s <sup>2</sup> )
2.2	30	5	350	8938	0.15	9.80665

表4-2 評価条件 (原動機台 (R S Wポンプ))

C (-)	A <sub>11</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	P (kg)	B <sub>1</sub> (mm)	B <sub>2</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)
1.2	8.424	4.4	2512	6400	5300	1114	1076	2107.5

表4-3 評価条件 (原動機台 (H P S Wポンプ))

C (-)	A <sub>11</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	P (kg)	B <sub>1</sub> (mm)	B <sub>2</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)
1.2	2.477	0.88	1624	960	1725	775.5	747.5	1098.5

表4-4 評価条件 (原動機フレーム (R S Wポンプ))

C (-)	A <sub>12</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	m <sub>2</sub> (kg)	P (kg)	B <sub>3</sub> (mm)	B <sub>4</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)
2.1	6.16	4.4	6400	5300	820	782	1400

表4-5 評価条件 (原動機フレーム (H P S Wポンプ))

C (-)	A <sub>12</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	m <sub>2</sub> (kg)	P (kg)	B <sub>3</sub> (mm)	B <sub>4</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)
2.4	1.32	0.88	960	1725	500	476	600

表4-6 評価条件 (上部カバー (R S Wポンプ))

a (mm)	t (mm)	p (N/m <sup>2</sup> )
1070	4.5	9701

表4-7 評価条件 (キャップ (H P S Wポンプ))

a (mm)	t (mm)	p (N/m <sup>2</sup> )
430	2.0	9127

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

原動機台，原動機フレーム，上部カバー及びキャップに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1 評価結果（R S Wポンプ）

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SM41B	曲げ	7	231
		圧縮	3	230
原動機フレーム	SM400A	曲げ	9	214
		圧縮	4	213
上部カバー	SS400	曲げ	171	257

表 5-2 評価結果（H P S Wポンプ）

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SM41B	曲げ	4	241
		圧縮	2	240
原動機フレーム	SS41	曲げ	5	225
		圧縮	2	223
キャップ	SUS304	曲げ	131	202

VI-3-別添2-4 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口の  
強度計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	5
3. 強度評価方法	6
3.1 評価対象部位	6
3.2 荷重及び荷重の組合せ	7
3.3 許容限界	8
3.4 評価方法	9
4. 評価条件	10
5. 強度評価結果	11

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関給気口（以下「ディーゼル機関給気口」という。）が想定する降下火砕物の堆積時においても、主要な構造部材が吸気機能を保持可能な構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

ディーゼル機関給気口について、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」，「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、ディーゼル機関給気口の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

ディーゼル機関給気口は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、原子炉建物屋上に設置する。ディーゼル機関給気口の位置図を図2-1に示す。

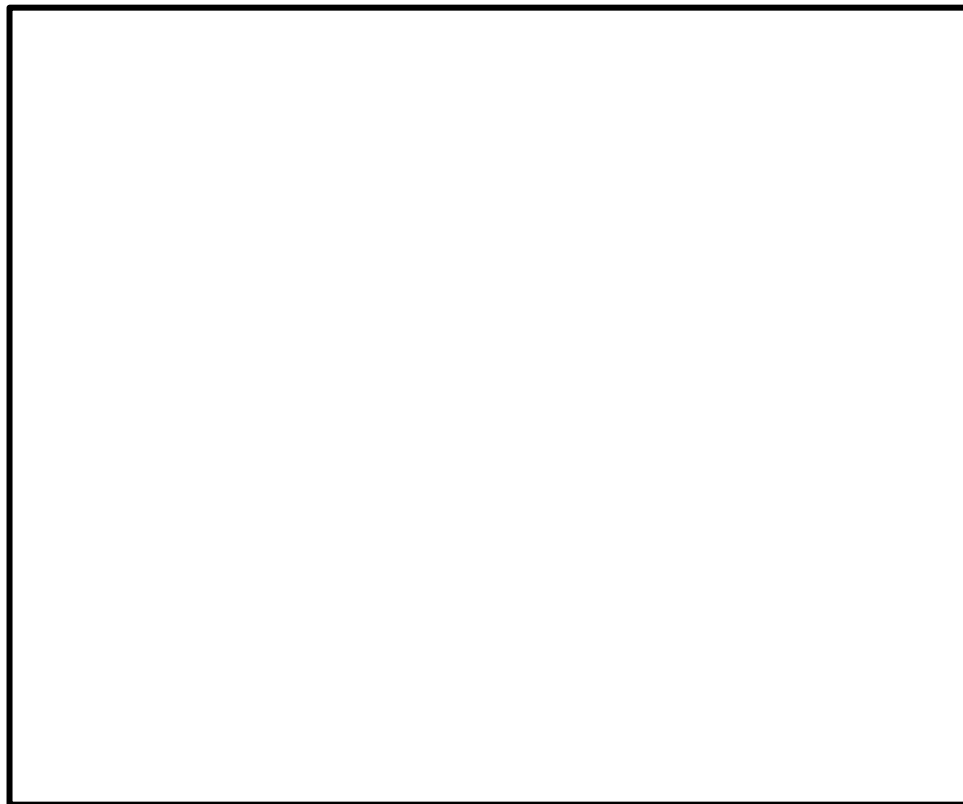


図2-1 ディーゼル機関給気口 位置図

## 2.2 構造概要

ディーゼル機関給気口は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、構造を設定している。

同一設計のディーゼル機関給気口を2台設置している。

ディーゼル機関給気口の概要図を図2-2に示す。ディーゼル機関給気口は、上部を端部に丸みを持たせた天板で覆った構造となっており、原子炉建物屋上の基礎部に溶接で固定している。風荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3に、ディーゼル機関給気口に降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）が最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4にそれぞれ示す。

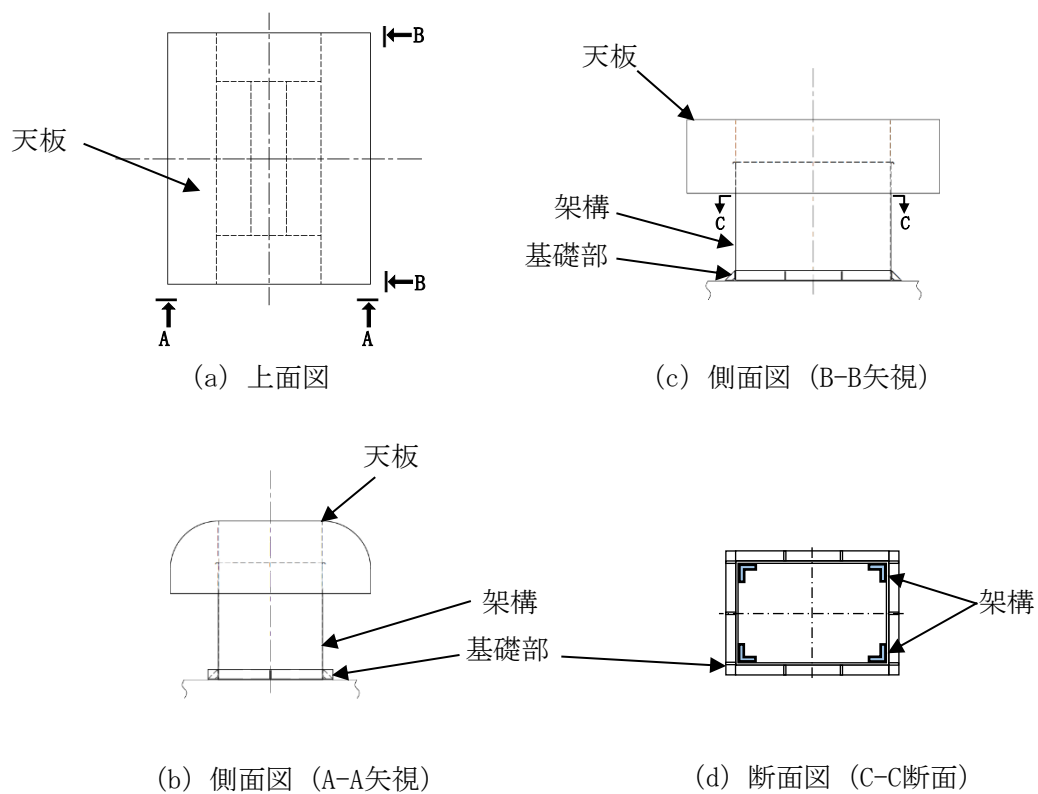
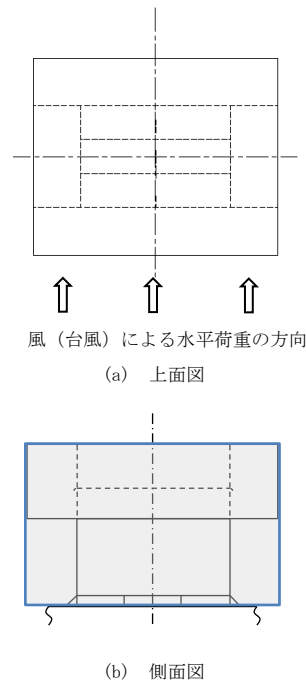


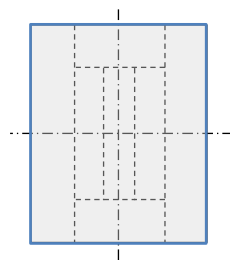
図2-2 ディーゼル機関給気口の概要図



: 風荷重を受ける面\*

注記\* : 保守的に天板、架構及び基礎部を包含する面に風（台風）が作用すると仮定し水平荷重を算出

図2-3 風荷重を受けることを想定する面の概要図



: 降下火砕物等の堆積面\*

注記\* : 保守的に天板面積分の降下火砕物等がディーゼル機関給気口に堆積すると仮定し鉛直荷重を算出

図2-4 降下火砕物等の堆積状態図

### 2.3 評価方針

ディーゼル機関給気口の強度評価は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している。荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、ディーゼル機関給気口の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル機関給気口の強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル機関給気口の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、ディーゼル機関給気口上部の天板の投影面積又は天板の補強材に囲まれた領域に降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風（台風）による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「JEAG 4601」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、それぞれの評価については、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。ディーゼル機関給気口の許容限界は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である JEAG 4601 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S とする。

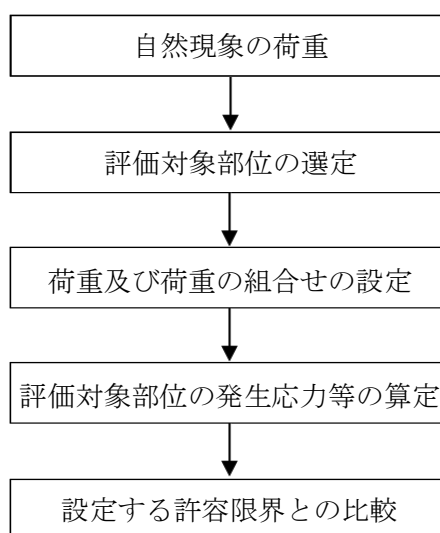


図2-5 ディーゼル機関給気口の強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日 松江市規則第234号）
- (3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004年改定）
- (4) 日本産業規格（J I S G 3 1 9 2（2021））
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- (7) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））  
（J S M E S N C 1 -2005/2007）（（社）日本機械学会）（以下「J S M E」という。）
- (9) 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987年）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

ディーゼル機関給気口の評価対象部位は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、天板及び架構とする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物等が堆積する天板、天板に接続する架構に作用する。また、風（台風）による水平荷重は、架構に作用する。

このことから天板及び架構を評価対象部位とする。

ディーゼル機関給気口の強度評価における評価対象部位を、図3-1に示す。

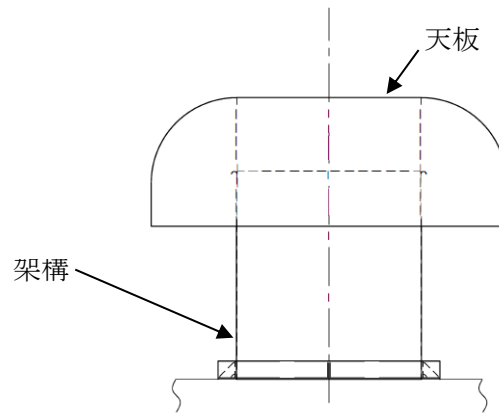


図3-1 ディーゼル機関給気口の評価対象部位

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

ディーゼル機関給気口の強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

#### (2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、ディーゼル機関給気口の評価対象部位ごとに設定する。ディーゼル機関給気口の天板には、自重及び降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する。架構には、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び風荷重が作用する。

ディーゼル機関給気口の評価にて考慮する荷重の組合せを表3-1に示す。

表3-1 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル機関給気口	天板	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
	架構	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③風荷重



### 3.3 許容限界

ディーゼル機関給気口の許容限界は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

ディーゼル機関給気口の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。また、座屈については評価式を満足することを確認する。設計荷重に対して当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E付録材料図表Part5, 6の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E付録材料図表Part5, 6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル機関給気口の許容限界について、天板及び架構の許容限界を表3-2及び表3-3に、許容応力を表3-4にそれぞれ示す。

表3-2 ディーゼル機関給気口の許容限界（天板）

許容応力状態	許容限界
	曲げ
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_b$

表3-3 ディーゼル機関給気口の許容限界（架構）

許容応力状態	許容限界		
	曲げ	圧縮	座屈
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_c$	$\frac{\sigma_{b2}}{1.5 \cdot f_b} + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$

表3-4 ディーゼル機関給気口の許容応力

評価対象部位	材料	温度条件(°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F(MPa)	1.5・f <sub>b</sub> (MPa)	1.5・f <sub>c</sub> (MPa)
天板	SS41*1	50*2	241	394	241	278	-
架構	SS41*1	50*2	241	394	241	241	240

注記 \*1：SS400相当

\*2：周囲環境温度

### 3.4 評価方法

ディーゼル機関給気口の応力評価は、VI-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているディーゼル機関給気口の評価式を用いる。なお、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重の受圧面積を図3-2及び図3-3に、風荷重の受圧面積を図3-4にそれぞれ示す。

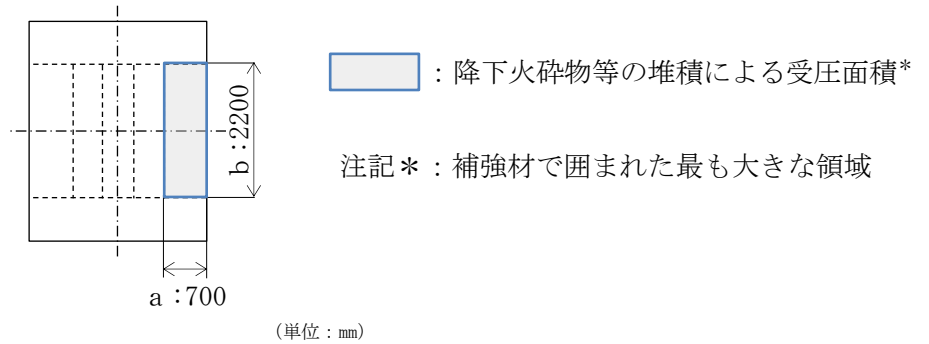


図3-2 降下火砕物等の堆積による受圧面積 (天板)

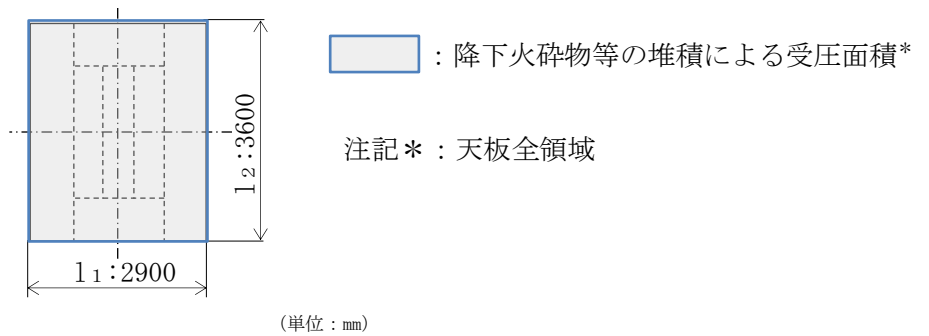


図3-3 降下火砕物等の堆積による受圧面積 (架構)

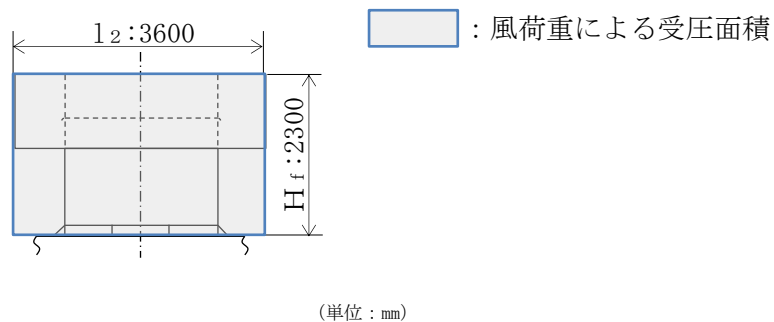


図3-4 風荷重の受圧面積

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1～表4-4に示す。

表4-1 評価条件（共通）

$h_k$ (m)	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$h_s$ (m)	$f'_s$ (N/(m <sup>2</sup> ·cm))
0.56	1500	0.35	20

表4-2 評価条件（風荷重）

G (-)	C (-)	$V_D$ (m/s <sup>2</sup> )	$Z_G$ (m)	$\alpha$ (-)	H (m)
3.1	2.4	30	250	0.10	30.1

表4-3 評価条件（天板）

a (m)	b (m)	t (mm)	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\beta$ (-)
0.7	2.2	4.5	7850	0.5

表4-4 評価条件（架構）

$Z_1$ (mm <sup>3</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )	m (kg)	$l_1$ (m)	$l_2$ (m)	r (m)	$H_f$ (mm)
2478712	3490	2505	2.9	3.6	0.7	2300

## 5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表5-1及び表5-2 に示す。

天板及び架構に発生する応力は、許容応力以下である。

表5-1 ディーゼル機関給気口の評価結果（天板）

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
天板	SS41	曲げ	113	278

表5-2 ディーゼル機関給気口の評価結果（架構）

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
架構	SS41	曲げ	59	241
		圧縮	37	240
		座屈	$\frac{\sigma_b}{1.5 \cdot f_b} + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$	
0.4（無次元）				

VI-3-別添 2-5 原子炉建物の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法及び評価条件	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1 荷重	9
3.2.2 荷重の組合せ	14
3.3 許容限界	15
3.4 解析モデル及び諸元	18
3.4.1 モデル化の基本方針	18
3.4.2 解析諸元	26
3.5 評価方法	27
3.5.1 屋根スラブの評価方法	27
3.5.2 主トラスの評価方法	30
3.5.3 二次部材の評価方法	32
3.5.4 耐震壁の評価方法	35
4. 強度評価結果	36
4.1 屋根スラブの評価結果	36
4.2 主トラスの評価結果	49
4.3 二次部材の評価結果	50
4.4 耐震壁の評価結果	52

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉建物が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能、放射線の遮蔽機能（以下「遮蔽性」という。）及び放射性物質の閉じ込め機能（以下「気密性」という。）の維持を考慮して、建物全体及び建物の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

原子炉建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、本資料では、「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

原子炉建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。原子炉建物の配置を図 2-1 に示す。

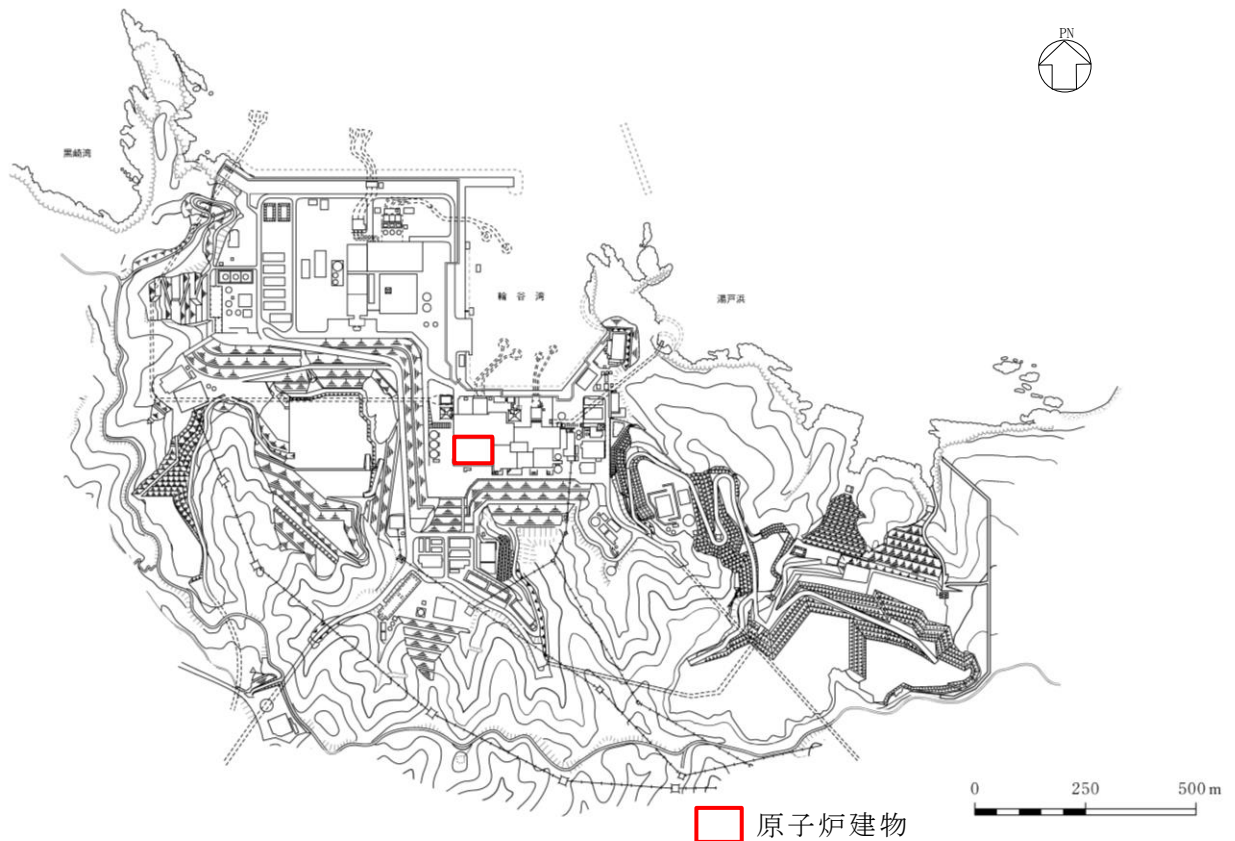


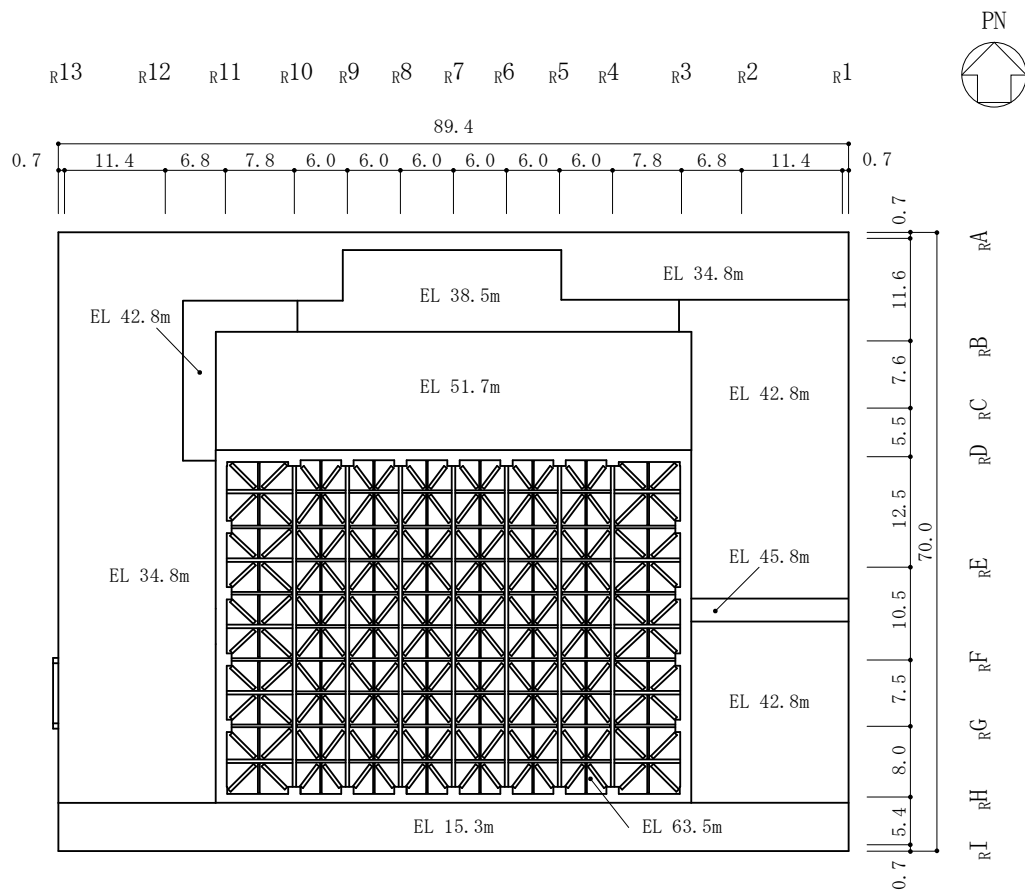
図 2-1 原子炉建物の配置図

## 2.2 構造概要

原子炉建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

原子炉建物は、中央部に地上 4 階、地下 2 階で平面が 53.8m（東西方向）×53.3m（南北方向）（2 階面）の原子炉建物原子炉棟があり、その周囲に地上 2 階（一部 3 階）、地下 2 階の原子炉建物附属棟を配置した鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。屋根スラブを支える屋根トラスの平面形状は 51.6m（東西方向）×38.5m（南北方向）の長方形であり、4 階面 (EL 42.8m) からの高さは 20.7m である。

原子炉建物の屋根面の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。

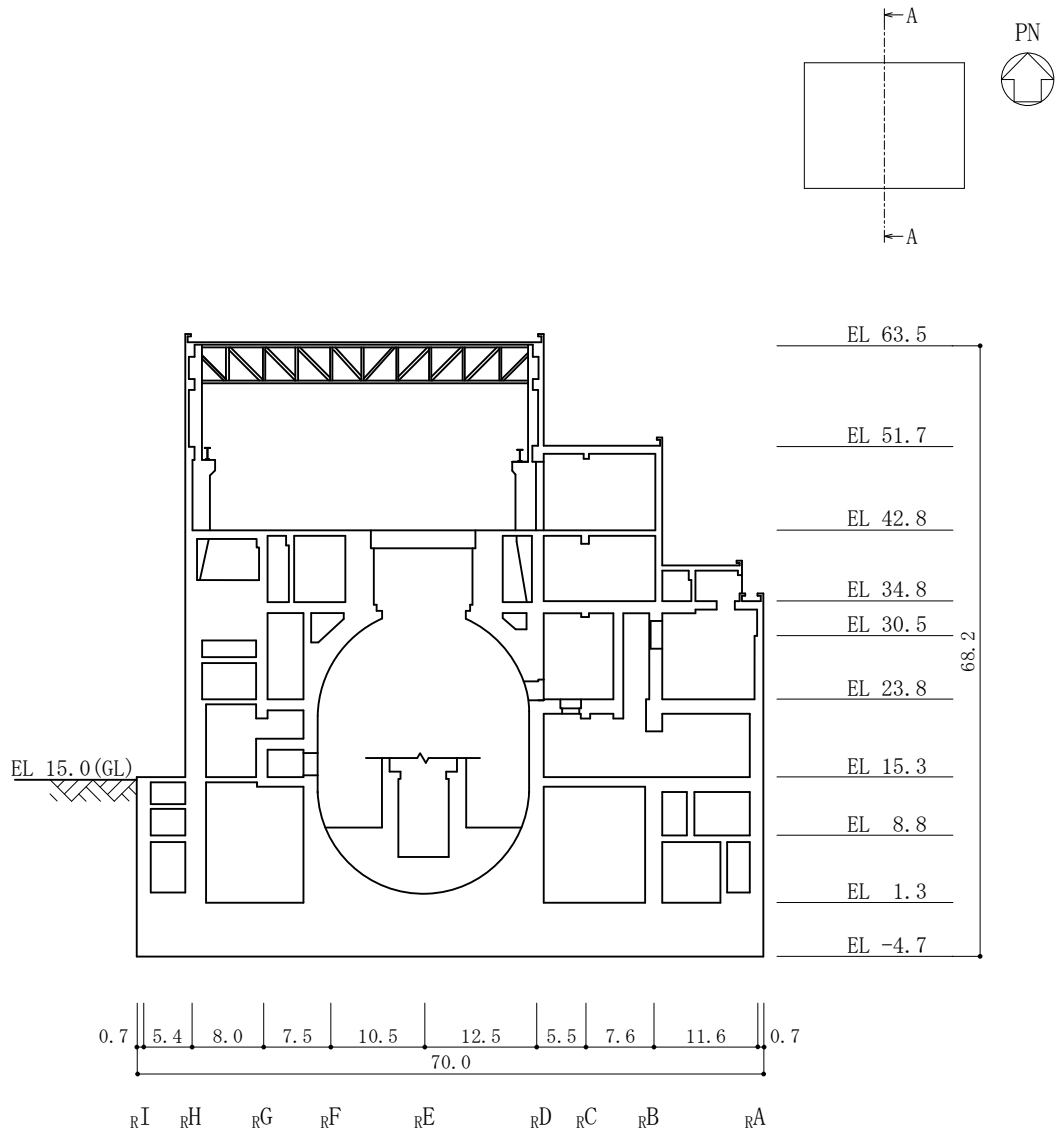


(単位：m)

図 2-2 原子炉建物の概略平面図

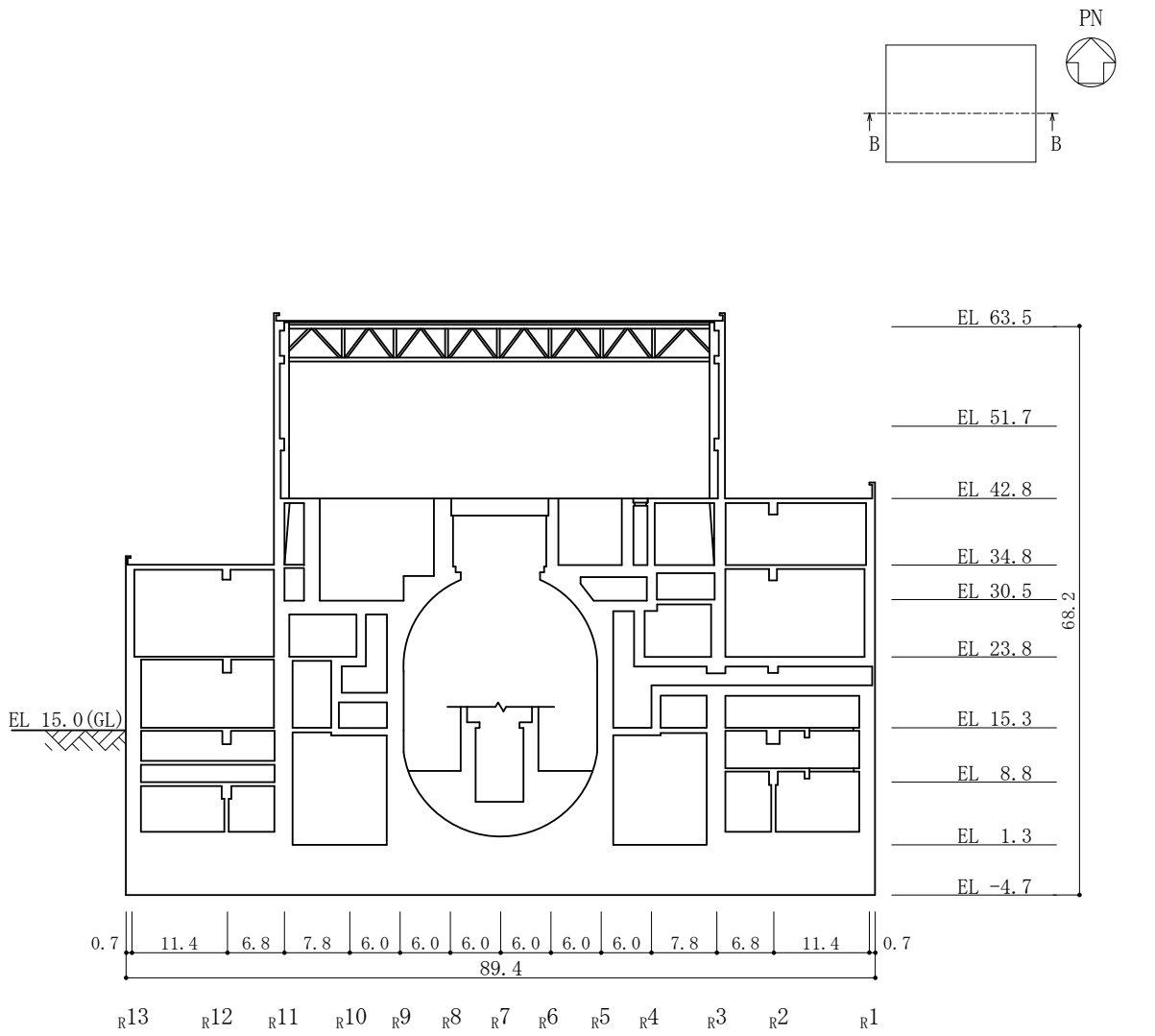
注：「EL」は東京湾平均海面(T.P.)を基準としたレベルを示す。





(単位：m)

図 2-3(1) 原子炉建物の概略断面図 (A-A 断面, 南北方向)



(単位 : m)

図 2-3(2) 原子炉建物の概略断面図 (B-B 断面, 東西方向)

### 2.3 評価方針

原子炉建物の強度評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建物の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

原子炉建物の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根スラブ、主トラス及び二次部材を、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

設計荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根及び耐震壁に作用する荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」に従い、原子炉建物の応力解析モデル及び質点系モデルを用いて評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。

なお、屋根トラスについては、補強工事を実施しているため、補強内容を反映した評価を実施する。

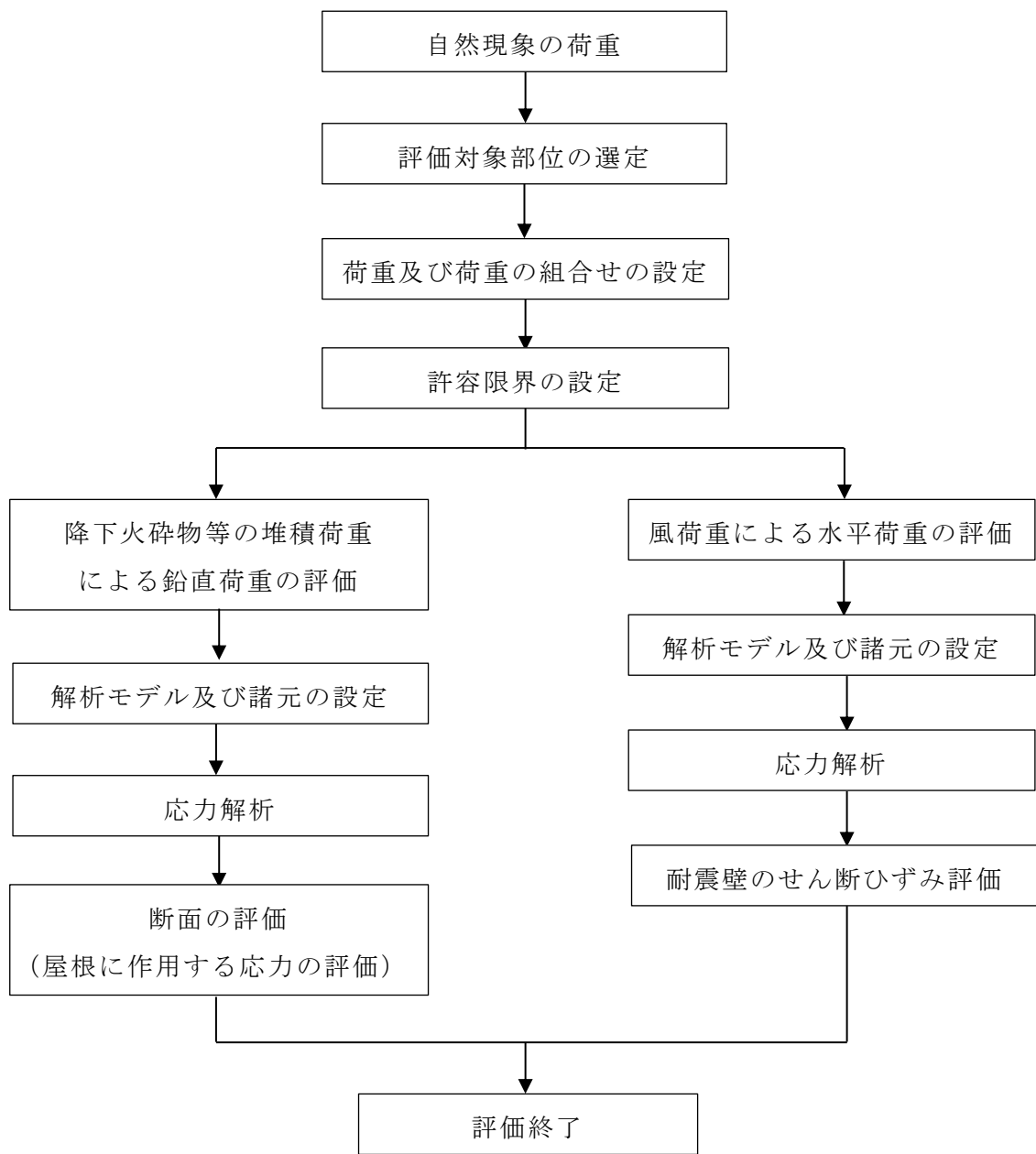


図 2-4 強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

原子炉建物の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 年改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 年制定）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 年改定）

### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

原子炉建物の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ、主トラス、二次部材及び耐震壁とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

## 3.2.1 荷重

## (1) 屋根スラブ

## a. 鉛直荷重

表 3-1～表 3-7 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重\*1( $G$ ) 及び積載荷重\*2( $P$ ) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N}/\text{m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。なお、水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、鉛直荷重に抵抗する部位の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。また、原子炉建物内は負圧となっており、屋根スラブに鉛直下向きの圧力荷重が作用しているが、鉛直荷重と比較して  $6.28 \times 10^{-2} \text{kN}/\text{m}^2$  と非常に軽微なため考慮しない。

注記\*1：固定荷重には躯体重量・仕上重量の他、機器・配管荷重を含む。

\*2：常時の積載荷重（機器搬出入時の荷重等を含む）と除灰時の作業時荷重 ( $0.981\text{kN}/\text{m}^2$ ) のうち大きい方の値を設定する。

表 3-1 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 15.3m, スラブ厚さ  $t = \square \text{mm}, \square \text{mm}$ ）  
（単位： $\text{kN}/\text{m}^2$ ）

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	$t = \square \text{mm}$	13.828
		$t = \square \text{mm}$	17.358
	積載荷重 ( $P$ )	2.942	
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )		8.238	
積雪荷重 ( $F_s$ )		0.7	

表 3-2 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 34.8m, スラブ厚さ  $t = \square \text{mm}, \square \text{mm}$ ）  
（単位： $\text{kN}/\text{m}^2$ ）

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	$t = \square \text{mm}$	18.829～22.065
		$t = \square \text{mm}$	39.953
	積載荷重 ( $P$ )	2.942	
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )		8.238	
積雪荷重 ( $F_s$ )		0.7	

表 3-3 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 38.5m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm,  $\square$ mm）

（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（ $F_d$ ）	固定荷重（G）	$t = \square$ mm	15.005
		$t = \square$ mm	17.358
積載荷重（P）		2.942	
降下火砕物による荷重（ $F_a$ ）		8.238	
積雪荷重（ $F_s$ ）		0.7	

表 3-4 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 42.8m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm,  $\square$ mm）

（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（ $F_d$ ）	固定荷重（G）	$t = \square$ mm	10.297~12.357
		$t = \square$ mm	19.418
積載荷重（P）		2.942	
降下火砕物による荷重（ $F_a$ ）		8.238	
積雪荷重（ $F_s$ ）		0.7	

表 3-5 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 45.8m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm）

（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（ $F_d$ ）	固定荷重（G）	12.357
	積載荷重（P）	2.942
降下火砕物による荷重（ $F_a$ ）		8.238
積雪荷重（ $F_s$ ）		0.7

表 3-6 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 51.7m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm）

（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（ $F_d$ ）	固定荷重（G）	17.358
	積載荷重（P）	2.942
降下火砕物による荷重（ $F_a$ ）		8.238
積雪荷重（ $F_s$ ）		0.7



表 3-7 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 63.5m, スラブ厚さ  $t=$   mm)

(単位：kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	6.130
	積載荷重 (P)	0.981
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7

(2) 主トラス及び二次部材

a. 鉛直荷重

表 3-8 及び表 3-9 に鉛直荷重の一覧を示す。主トラス及び二次部材に考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F<sub>d</sub>)、降下火砕物による荷重 (F<sub>a</sub>) 及び積雪荷重 (F<sub>s</sub>) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とする。また、クレーン荷重の入力する位置は待機位置とする。

降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm<sup>3</sup> の降下火砕物が 56cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とし、積雪量 1cm ごとに 20N/m<sup>2</sup> の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-8 鉛直荷重一覧（主トラス）

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	屋根スラブ	6.130kN/m <sup>2</sup>
		トラス鋼材	2.647kN/m <sup>2</sup>
		クレーン荷重	3433kN
積載荷重 (P)		0.981kN/m <sup>2</sup>	
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238kN/m <sup>2</sup>	
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7kN/m <sup>2</sup>	

表 3-9 鉛直荷重一覧（二次部材）

(単位：kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	サブビーム	7.944
		もや	6.669~6.767
		つなぎばり	8.826
積載荷重 (P)		0.981	
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238	
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7	

## b. 水平荷重

風荷重の算出に用いる基準風速は、30m/s とする。

風荷重（W）は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高Hが5mを超えるため、Hが $Z_b$ を超える場合の式を用いる。風荷重（W）の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数C及び風の受圧面積 $A_1$ に基づき実施し、風荷重(W)の算出に用いる受圧面積の算定において、隣接する建物の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

$Z_G$ ,  $Z_b$ ,  $\alpha$  : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる  
数値

風荷重算定に使用する入力条件及び風荷重を表3-10～表3-12に示す。

表3-10 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 $V_D$ (m/s)	全高 H (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$	ガスト 影響係数 G	設計用 速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )
原子炉建物	30	50.035	350	0.15	2.0	1742.0

表 3-11 原子炉建物の風力係数，受圧面積及び風荷重

(a) 南北方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 $A_1$ (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)
	風上*	風下	風上	風下	
65.035~57.60	0.800	0.4	400	400	836
57.60~47.25	0.729	0.4	557	557	1095
47.25~38.80	0.670	0.4	610	610	1137
38.80~32.65	0.606	0.4	514	514	901
32.65~27.15	0.563	0.4	492	492	825
27.15~19.55	0.475	0.4	679	679	1036
19.55~15.00	0.401	0.4	407	407	568

注記\* : C (風上) は基準階での値を示す。

表 3-12 原子炉建物の風力係数，受圧面積及び風荷重

(b) 東西方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 $A_1$ (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)
	風上*	風下	風上	風下	
65.035~57.60	0.800	0.4	297	297	620
57.60~47.25	0.729	0.4	489	489	961
47.25~38.80	0.670	0.4	477	477	890
38.80~32.65	0.606	0.4	391	391	686
32.65~27.15	0.563	0.4	355	355	596
27.15~19.55	0.475	0.4	491	491	748
19.55~15.00	0.401	0.4	296	296	413

注記\* : C (風上) は基準階での値を示す。

(3) 耐震壁

a. 水平荷重

水平荷重は，(2) 主トラス及び二次部材 b. 水平荷重と同様である。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-13 に示す。

ケース 1 は従荷重として、鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため主トラス及び耐震壁を評価対象とする。ケース 2 は従荷重として積雪荷重を組み合わせ、鉛直荷重のみを用いて評価するため屋根スラブ及び二次部材を評価対象とする。

表 3-13 荷重の組合せ

考慮する 荷重の 組合せ	荷重*				
	常時作用する 荷重 ( $F_d$ )		主荷重	従荷重	
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物に よる荷重 ( $F_a$ )	積雪荷重 ( $F_s$ )	風荷重 ( $W$ )
ケース 1	○	○	○	○	○
ケース 2	○	○	○	○	—

注記\*：○は考慮する荷重を示す。

### 3.3 許容限界

原子炉建物の許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建物の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ，主トラス，二次部材及び耐震壁の許容限界を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005年制定）」（以下「RC-N規準」という。），「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」に基づき表 3-14 に，鋼材の材料強度を表 3-15 に，コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-16 及び表 3-17 に示す。

表 3-14 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
			主トラス (上弦材、下弦材、斜材、束材) 二次部材 (もや、つなぎばり、サブビーム)		「S規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup>			最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup> (二次遮蔽壁)		最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
		耐震壁* <sup>3</sup> (原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設))		最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものと設定すること

し、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*3：事故時に換気性能とあいまって気密性を有する設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、VI-2-9-3-1「原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 原子炉建物原子炉棟の気密性に関する計算書」に示す。

表 3-15 鋼材の材料強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

材料* <sup>1</sup>	板厚	F 値	材料強度		
			引張	圧縮 曲げ	せん断
SS41 (SS400 相当) SS400	t ≤ 40mm	235	235	235* <sup>2</sup>	135
SM50A (SM490A 相当) SN490B	t ≤ 40mm	325	325	325* <sup>2</sup>	187

注記\*1：建設当時の鋼材の種類を、現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

\*2：上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-16 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表 3-17 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別*	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

注記\*：建設当時の鋼材の種類を、現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

### 3.4 解析モデル及び諸元

#### 3.4.1 モデル化の基本方針

##### (1) 屋根スラブ

EL 63.5m の屋根スラブは，屋根トラスで支持され，厚さが同じでスパンがほぼ均等なスラブが連続しており，その外周がスラブに比べて十分剛性の大きい鉄筋コンクリート造の壁に接合されていることから，支持点の間隔を長さとした両端固定ばりの 1 方向スラブとして評価する。その他のスラブについては，端部の支持状況に応じたモデル化（例えば，四辺固定版）により応力算出を行う。

##### (2) 主トラス

応力解析は，3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは，「f a p p a s e」である。なお，解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力解析モデルは，EL42.8mより上部の耐震壁，柱，はり，主トラス，つなぎばり，サブビーム，もや，水平ブレース及びEL51.7mの下屋部屋根スラブをモデル化した3次元フレームモデルとする。評価対象部位については，原子炉建物の構造部材として十分な構造強度を有している耐震壁，柱及びはりを除いた主トラスとする。解析モデル図を図3-1に，部材リストを表3-18に，補強箇所を図3-2に示す。

解析モデルに使用する要素は，はり要素，トラス要素及びシェル要素とする。また，解析モデルの脚部は固定とする。



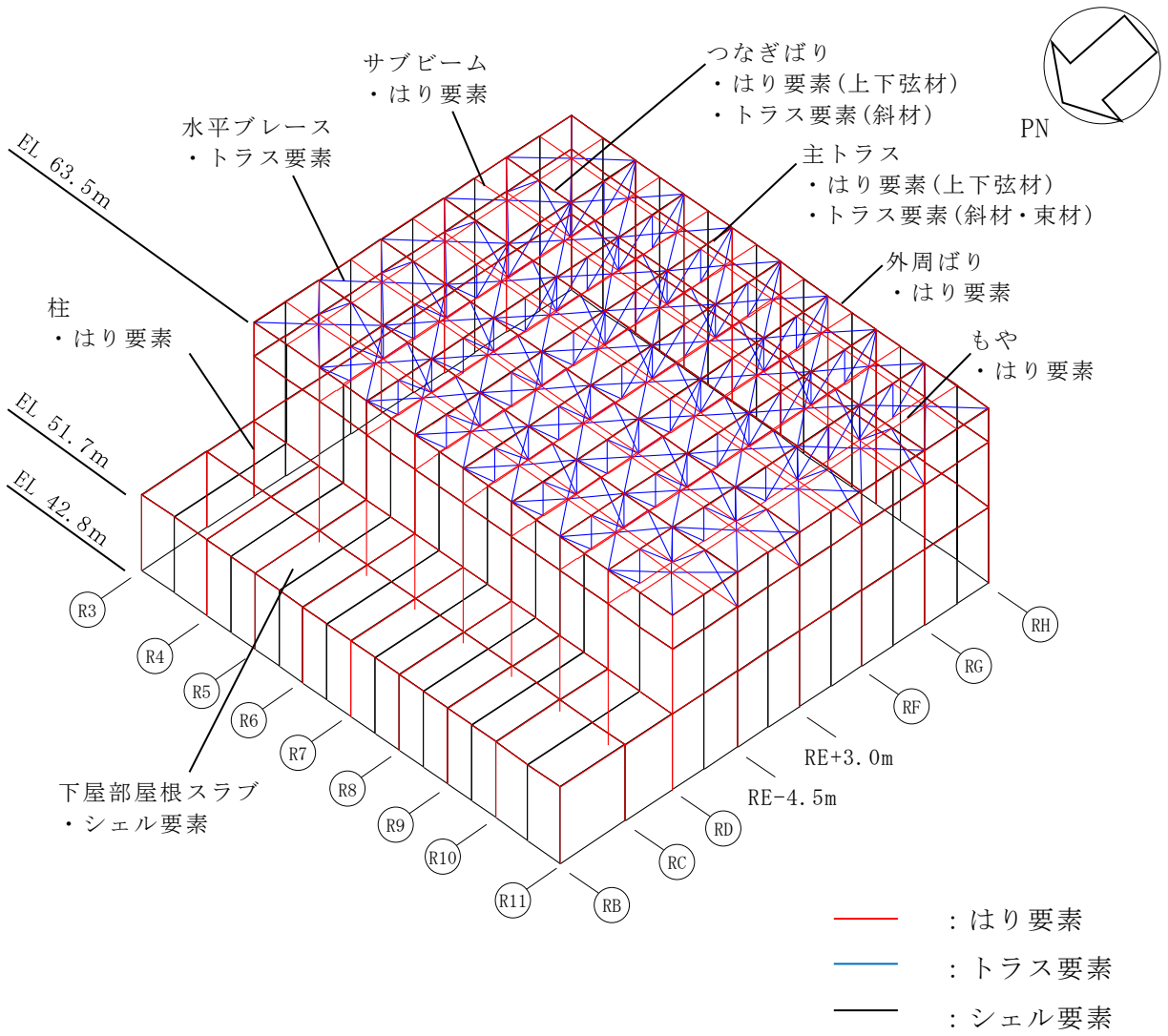


図 3-1 解析モデル図

表 3-18 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	上弦材	H-400×400×13×21	SM490A (SM50A)	218.7	66600
	下弦材	BH-400×400×19×35 +2PL <sub>S</sub> -16×330*	SM490A (SM50A)	448.3	108800
		BH-400×400×19×35		342.7	99230
		H-400×400×13×21		218.7	66600
	斜材	2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19	SS400 (SS41)	173.9	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15 +4L <sub>S</sub> -90×90×10*		187.8	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15		119.8	—
		2CT <sub>S</sub> -125×250×9×14 +4L <sub>S</sub> -90×90×10*		160.2	—
	束材	2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19	SS400 (SS41)	173.9	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15		119.8	—
		2CT <sub>S</sub> -125×250×9×14		92.18	—

注記\*：補強工事で追加した部材

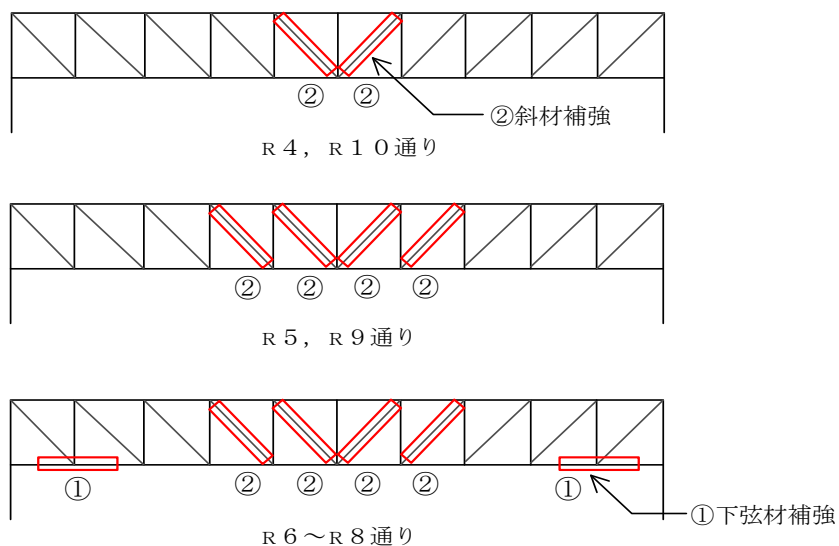


図 3-2 主トラス補強箇所

## (3) 二次部材

もやは、支配幅を取り出し、等分布荷重を受ける単純ばり（両端ピン支持のほり）として応力を算定する。検討スパンは、接合部の現況を考慮した有効長さとして評価する。

つなぎばりは、支配幅を取り出し、中央集中荷重を受ける上弦材、下弦材及び斜材からなる単純支持トラス（両端ピン支持）として応力を算定する。検討スパンは、通り芯間距離として評価する。解析モデル図を図 3-3 に示す。

サブブームは、主トラスで支持された支配幅を取り出し、中央集中荷重を受ける単純ばり（両端ピン支持のほり）として応力を算定する。なお、支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

部材リストを表 3-19 に、つなぎばり補強箇所を図 3-4 に示す。

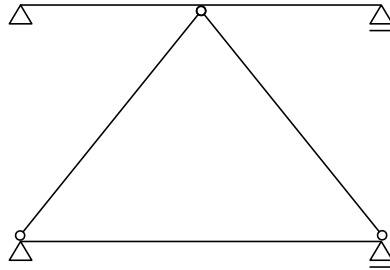


図 3-3 つなぎばり解析モデル図

表 3-19 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
もや		H-294 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 12	SS400 (SS41)	72.38	11300
		H-244 $\times$ 175 $\times$ 7 $\times$ 11	SS400 (SS41)	56.24	6120
つなぎ ばり	上弦材	H-390 $\times$ 300 $\times$ 10 $\times$ 16	SS400 (SS41)	136.0	38700
	下弦材	H-390 $\times$ 300 $\times$ 10 $\times$ 16	SS400 (SS41)	136.0	38700
	斜材	2CT <sub>s</sub> -125 $\times$ 250 $\times$ 9 $\times$ 14 +4L <sub>s</sub> -65 $\times$ 65 $\times$ 6*	SS400 (SS41)	122.3	—
		2CT <sub>s</sub> -125 $\times$ 250 $\times$ 9 $\times$ 14	SS400 (SS41)	92.18	—
サブビーム		H-400 $\times$ 400 $\times$ 13 $\times$ 21	SS400 (SS41)	218.7	66600
		H-390 $\times$ 300 $\times$ 10 $\times$ 16	SS400 (SS41)	136.0	38700

注記\* : 補強工事で追加した部材

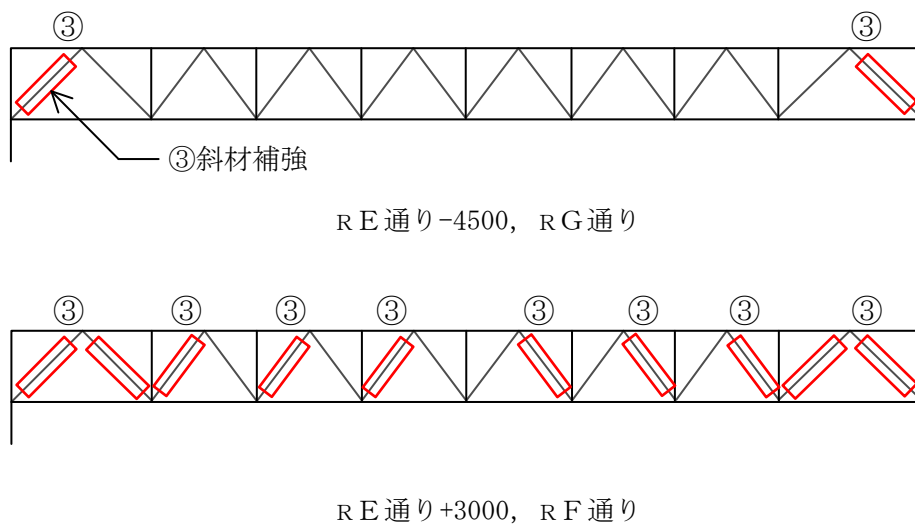
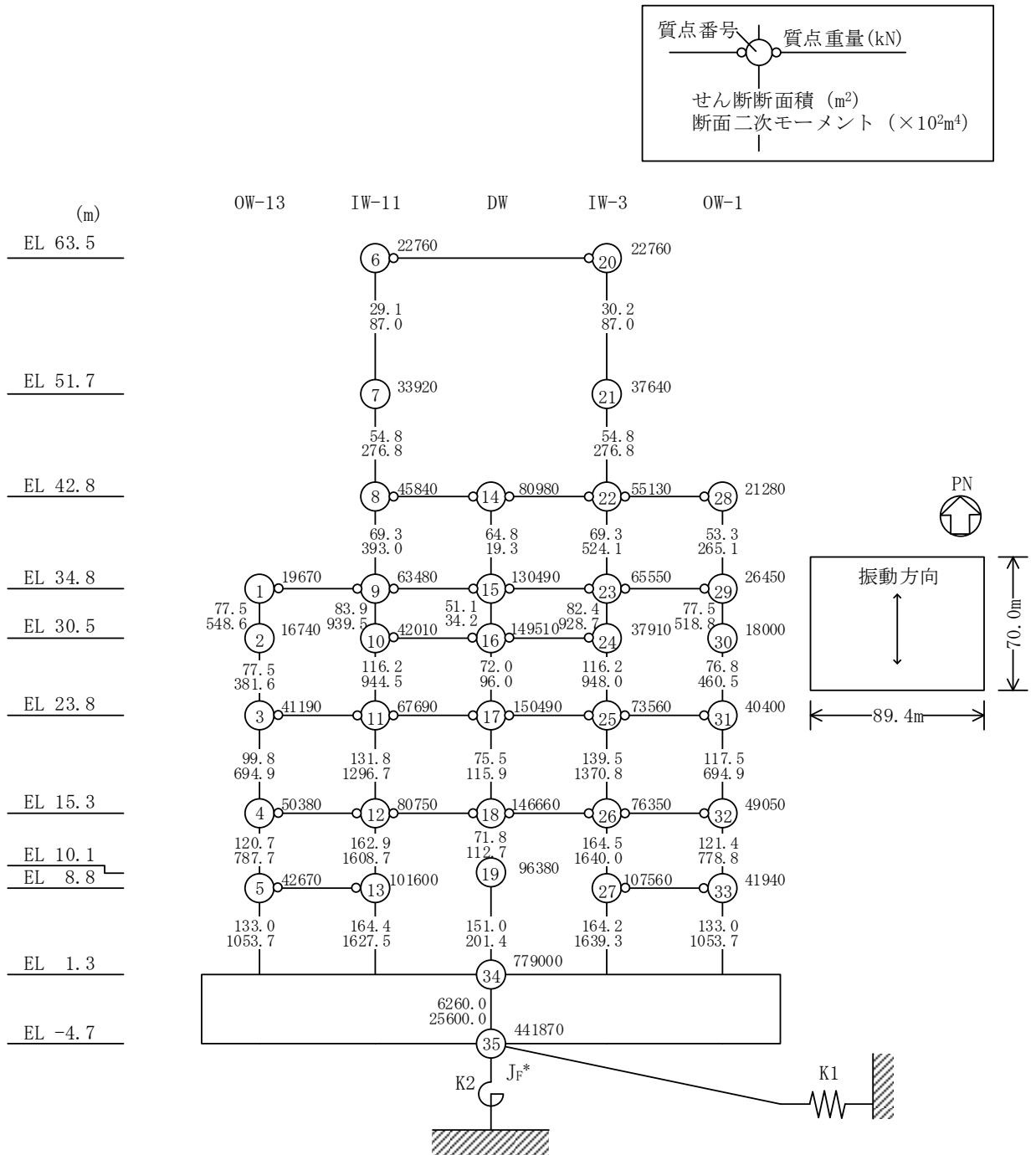


図 3-4 つなぎばり補強箇所

(4) 耐震壁

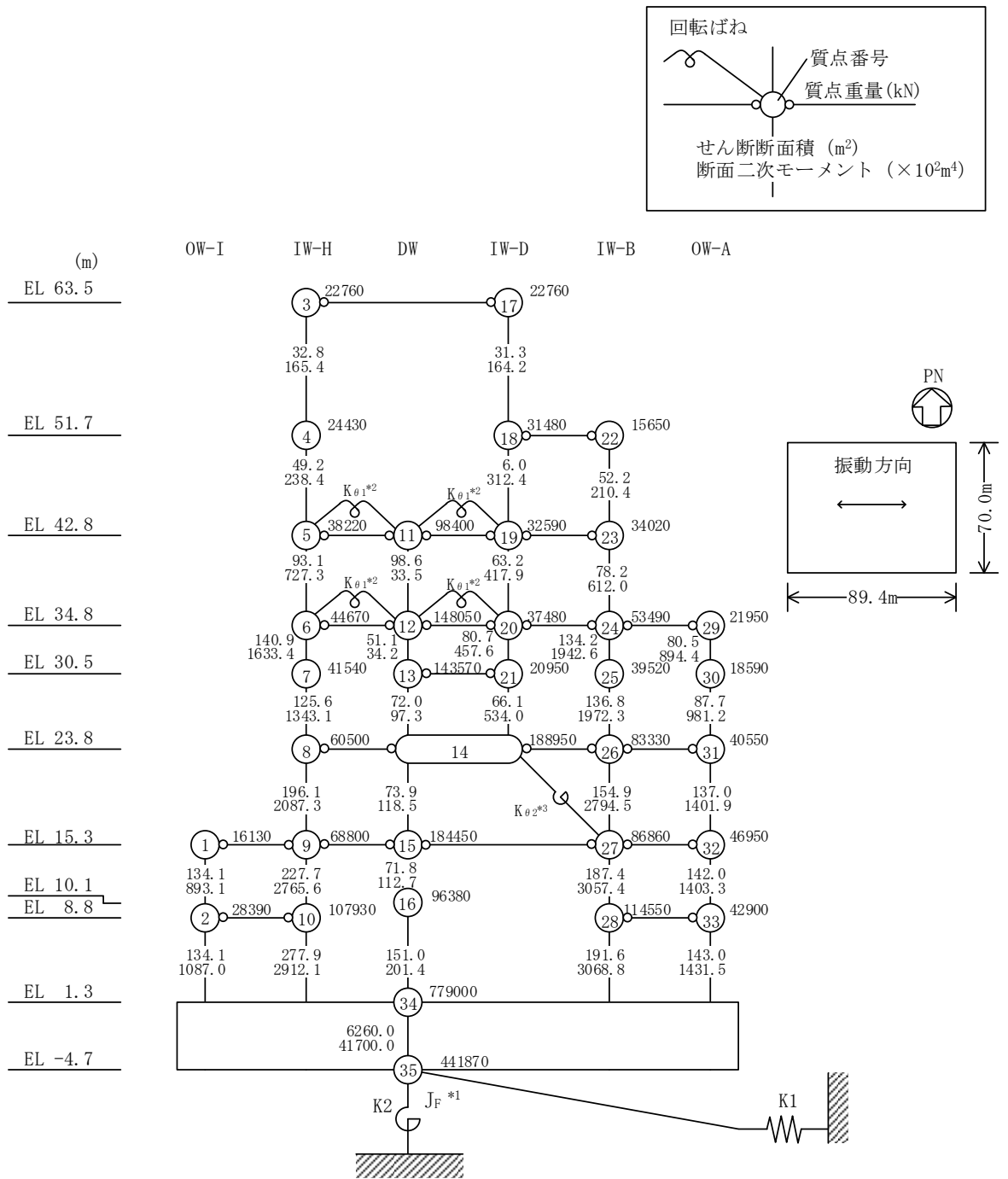
耐震壁は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。解析に使用するコードは、「NUPP4」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。地震応答解析モデルを図3-5に示す。



注記\* : 回転慣性重量(12.25×10<sup>8</sup>kN・m<sup>2</sup>)

(南北方向)

図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向) (1/2)



注記\*1：回転慣性重量 ( $20.88 \times 10^8 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

\*2：燃料プール壁の回転ばね ( $2.195 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$ )

\*3：内部ボックス壁の軸抵抗を考慮した回転ばね ( $135.2 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$ )

(東西方向)

図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向) (2/2)

### 3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-20 に示す。

表 3-20 使用材料の物性値

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

使用材料	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G
鉄筋コンクリート	$2.25 \times 10^4$	$9.38 \times 10^3$
鉄骨	$2.05 \times 10^5$	$7.90 \times 10^4$



### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 屋根スラブの評価方法

##### (1) 応力解析方法

###### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

###### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-21 に示す。

表 3-21 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

###### c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばり及び四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。

(両端固定ばり)

・ 端部曲げモーメント ( $M_E$ )

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot L^2$$

・ 中央部曲げモーメント ( $M_C$ )

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot L^2$$

・ せん断力 ( $Q_E$ )

$$Q_E = \frac{1}{2} w \cdot L$$

ここで、

$w$  : 等分布荷重 (N/m)

$L$  : 有効スパン (m)

(四辺固定版)

- 短辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{x1}$ )

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot L_x^2$$

- 短辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{x2}$ )

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot L_x^2$$

- 長辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{y1}$ )

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot L_x^2$$

- 長辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{y2}$ )

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot L_x^2$$

- 短辺方向のせん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot L_x$$

- 長辺方向のせん断力 ( $Q_y$ )

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot L_x$$

ここで,

$L_x$  : 短辺有効スパン (m)

$L_y$  : 長辺有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$w_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} w$$

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

### a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所が生じる曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで,

- $\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象箇所に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot {}_w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

- $Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)  
 $b$  : 断面の幅 (mm)  
 $j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)  
 $\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数で、次式による。

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

- $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $Q$  : せん断力 (N)  
 $d$  : 断面の有効せい (mm)  
 $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

- $a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $x$  : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記\* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

### 3.5.2 主トラスの評価方法

#### (1) 応力解析方法

主トラスについては，3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により得られた部材の応力を評価する。

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，次の荷重を3次元フレームモデルに入力して求める。荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

$W$  : 風荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-22 に示す。

表 3-22 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_s + W$

##### c. 荷重の入力方法

固定荷重及び積雪荷重は，対応する部材及び節点に分布荷重及び集中荷重として入力する。

## (2) 断面の評価方法

主トラスの評価は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、「S規準」に基づく短期許容応力度とする。ただし、斜材及び束材は軸応力度のみ評価する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)                       $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N_c$  : 圧縮軸力 (N)                                       $A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)                       $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_c$  : 圧縮応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_b$  : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

(引張)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)                       $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N_t$  : 引張軸力 (N)                                       $A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)                       $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_t$  : 引張応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_b$  : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

### 3.5.3 二次部材の評価方法

#### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-23 に示す。

表 3-23 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

##### c. 応力算出方法

集中荷重（サブビーム）あるいは、分布荷重（もや）を受ける両端ピン支持  
ばりの曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。

つなぎばりについては、中央集中荷重を受ける上弦材、下弦材及び斜材から  
なる単純支持トラス（両端ピン支持）として上弦材、下弦材及び斜材に生じる  
軸力を求める。

##### 1) 集中荷重（サブビーム）の場合

（中央曲げモーメント）

$$M = \frac{1}{4} P \cdot L$$

ここで、

$P$  : 集中荷重 (N)

$L$  : スパン (m)

（端部せん断力）

$$Q = \frac{1}{2} P$$

- 2) 分布荷重（もや）の場合  
（中央曲げモーメント）

$$M = \frac{1}{8} w \cdot L^2$$

ここで、

w : 等分布荷重 (N/m)

L : スパン (m)

（端部せん断力）

$$Q = \frac{1}{2} w \cdot L$$

(2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

二次部材における曲げモーメント，せん断力及び軸力による応力度を算定し，各許容限界を超えないことを確認する。

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，「S 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる応力度が，短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

b. せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，「S 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象箇所に生じるせん断応力度が，短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

Q : せん断力 (N)

$A_s$  : せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

c. 軸力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「S規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる圧縮応力度又は引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

(圧縮)

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

ここで、

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N_c$  : 圧縮軸力 (N)

$A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)

(引張)

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N_t$  : 引張軸力 (N)

$A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)



#### 3.5.4 耐震壁の評価方法

耐震壁の評価は、風荷重を地震応答解析モデルの各床レベルの質点位置に水平方向に作用させ、耐震壁に発生するせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。なお、耐震壁の応力計算には、地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、本評価では保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

#### 4. 強度評価結果

##### 4.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は、EL 15.3m（一部 EL 15.15m）、EL 34.8m、EL 38.5m、EL 42.8m、EL 45.8m、EL 51.7m 及び EL 63.5m のそれぞれについて、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-1～図 4-6 に示す。また、評価結果を表 4-1～表 4-7 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

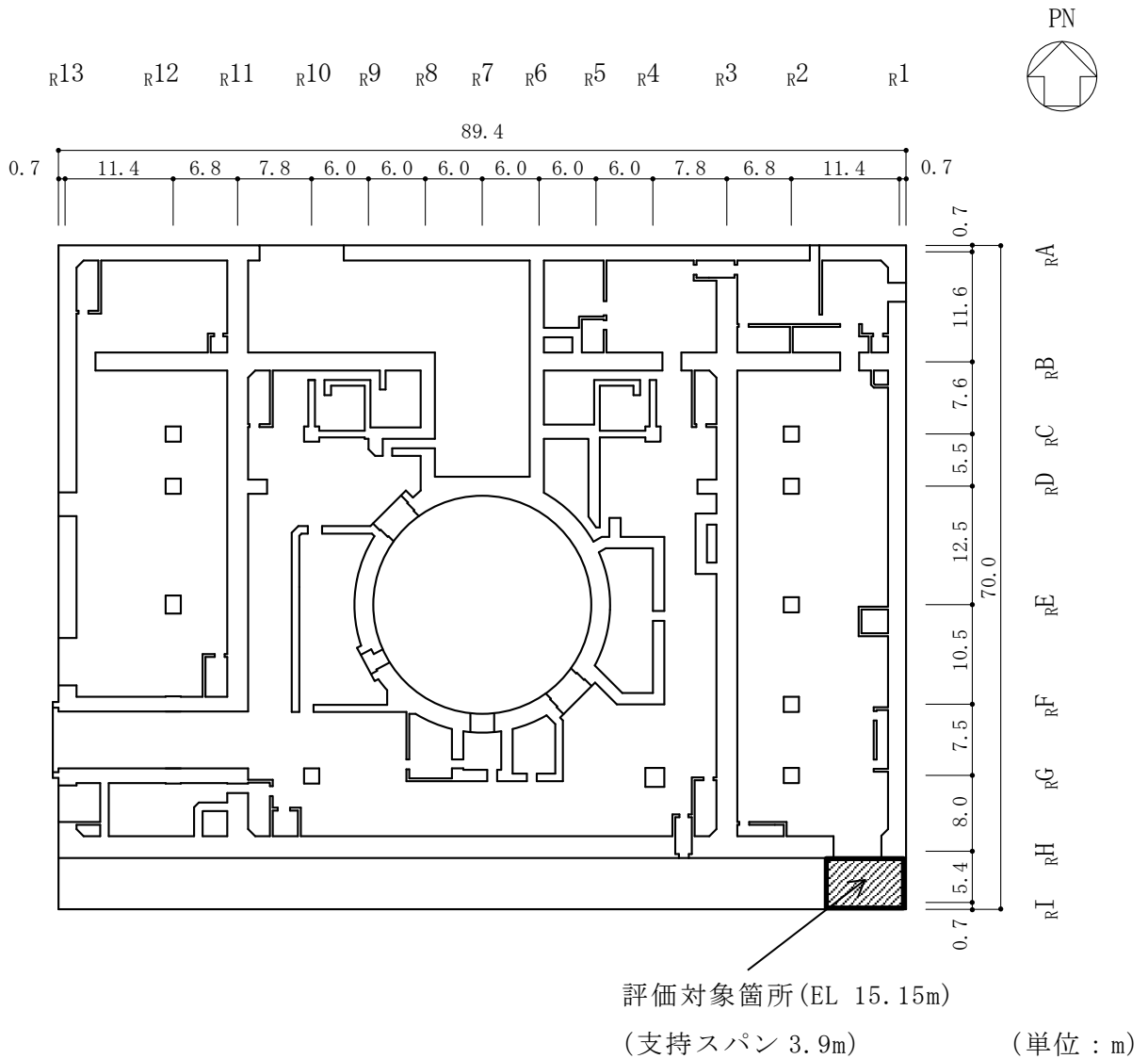


図 4-1 評価対象箇所（屋根スラブ，EL 15.3m（一部 EL 15.15m））

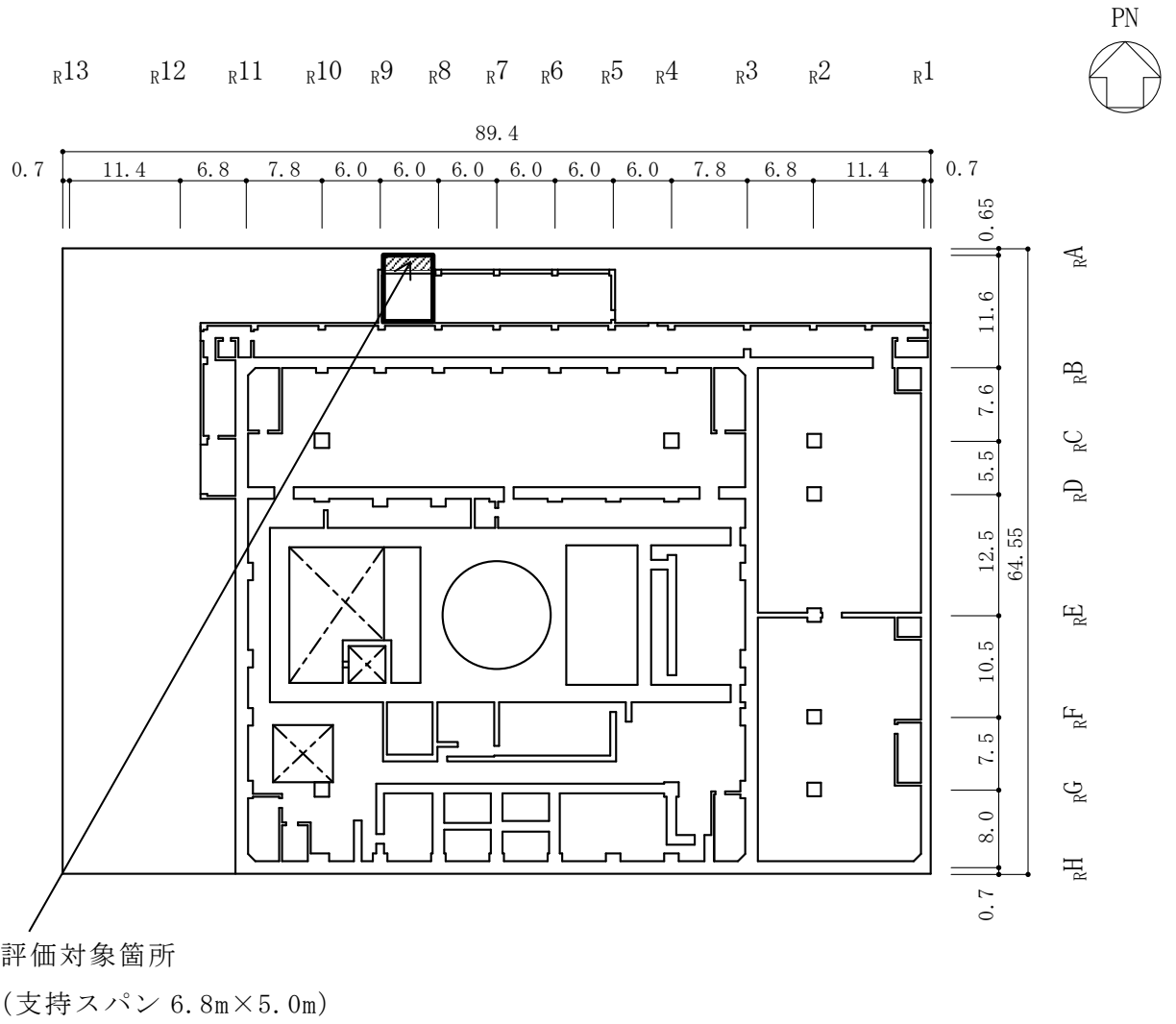
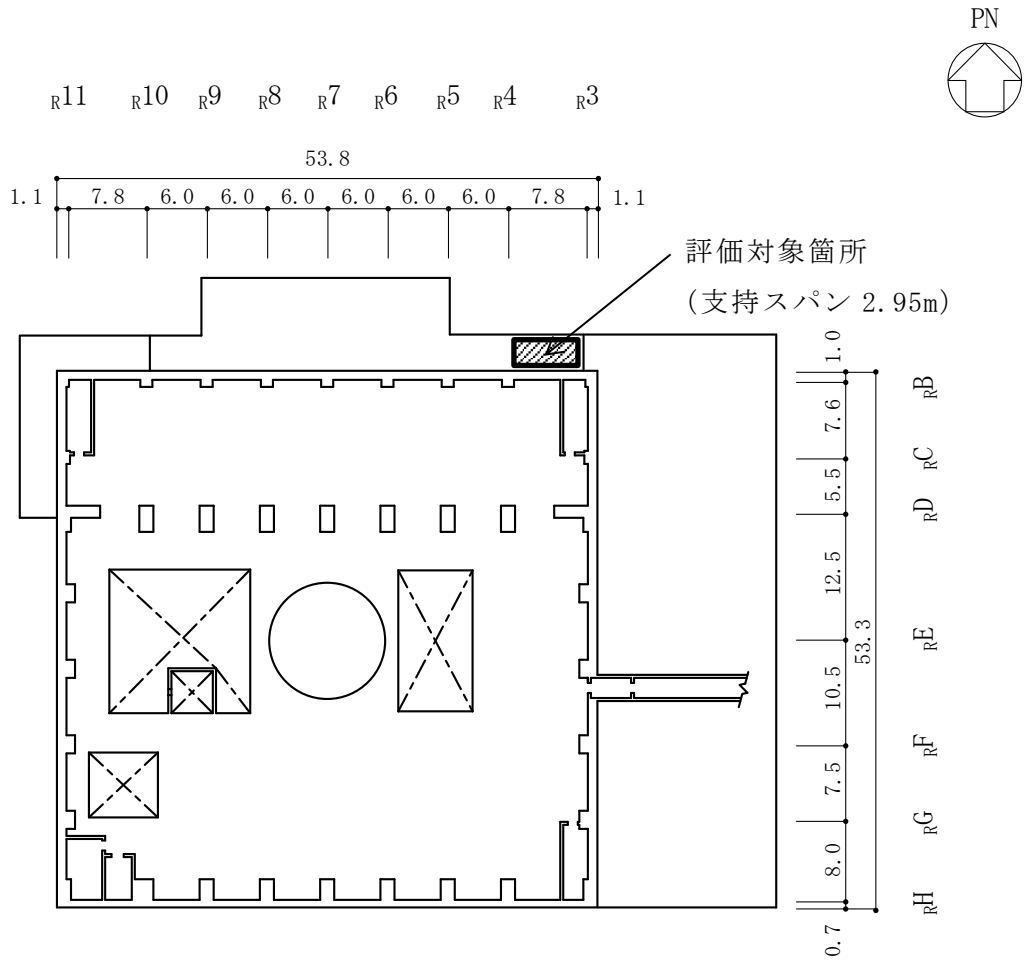
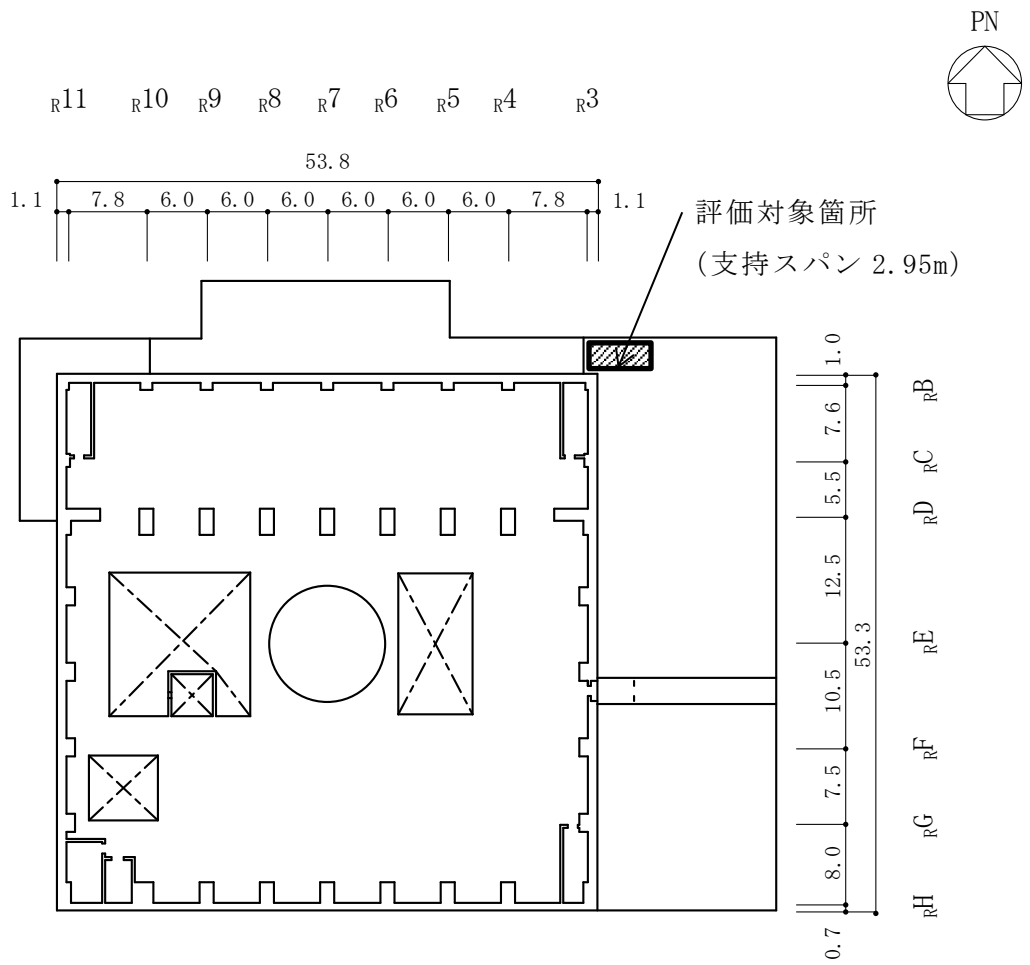


図 4-2 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 34.8m)



(単位：m)

図 4-3 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 38.5m)



(単位 : m)

図 4-4 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 42.8m, EL 45.8m)

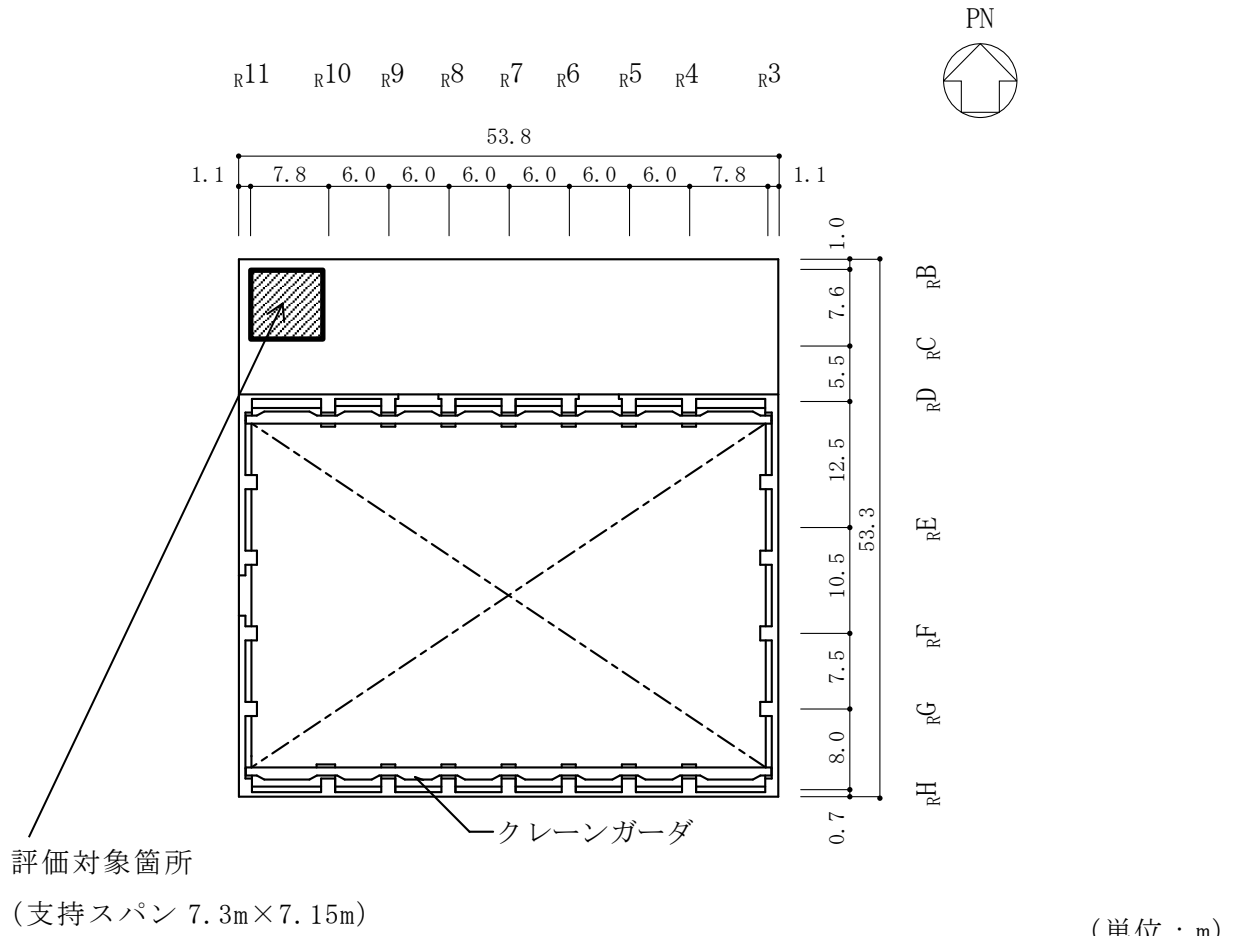
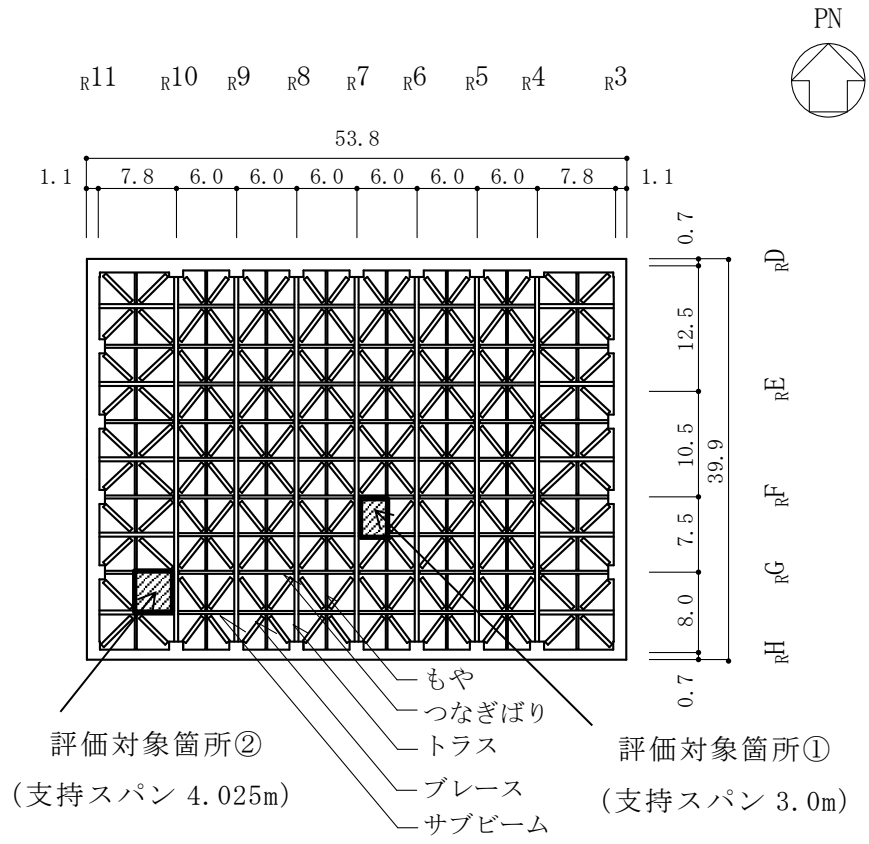


図 4-5 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 51.7m)



(単位 : m)

図 4-6 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 63.5m)

表 4-1 屋根スラブの評価結果 (EL 15.3m (一部 EL 15.15m) )

EL (m)		15.15
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D25@200 (2535mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	32.6
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	37.7
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.11
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	50.2
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.15
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.50
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.62
	検定値	0.10



表 4-2 屋根スラブの評価結果(EL 34.8m)

EL (m)		34.8
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D29@200 (3210mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	194.5
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	93.6
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.28
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	193.8
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.30
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.70
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.83
	検定値	0.17

表 4-3 屋根スラブの評価結果(EL 38.5m)

EL (m)		38.5
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	19.6
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	74.4
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.22
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	39.7
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.22
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.19
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.28
	検定値	0.18

表 4-4 屋根スラブの評価結果(EL 42.8m)

EL (m)		42.8
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	17.6
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	66.8
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.20
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	35.7
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.20
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.19
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.28
	検定値	0.16

表 4-5 屋根スラブの評価結果(EL 51.7m)

EL (m)		51.7
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D29@200 (3210mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	62.3
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	43.5
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.13
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	108.7
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.24
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.90
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	2.05
	検定値	0.12

表 4-6 屋根スラブの評価結果 (EL 63.5m) (評価対象箇所①)

EL (m)		63.5
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	12.1
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	181.5
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.53
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	24.2
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.24
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.08
	検定値	0.23

表 4-7 屋根スラブの評価結果 (EL 63.5m) (評価対象箇所②)

EL (m)		63.5
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D13@100 (1270mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	21.7
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	162.8
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.48
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	32.4
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.31
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.08
	検定値	0.29

#### 4.2 主トラスの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-8 に示す。また、評価対象部位において複数の部材がある場合は、検定値が最大となる部材の値を示す。評価位置を図 4-7 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-8 主トラスの短期許容応力度に基づく評価結果 (EL 63.5m)

評価対象部位	No.	発生応力	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値
上弦材	1	引張	49.09	325	0.37
		曲げ	71.03	325	
下弦材	2	圧縮	85.56	217	0.60
		曲げ	61.17	304	
束材	3	圧縮	102.71	176	0.59
斜材	4	引張	169.66	235	0.73

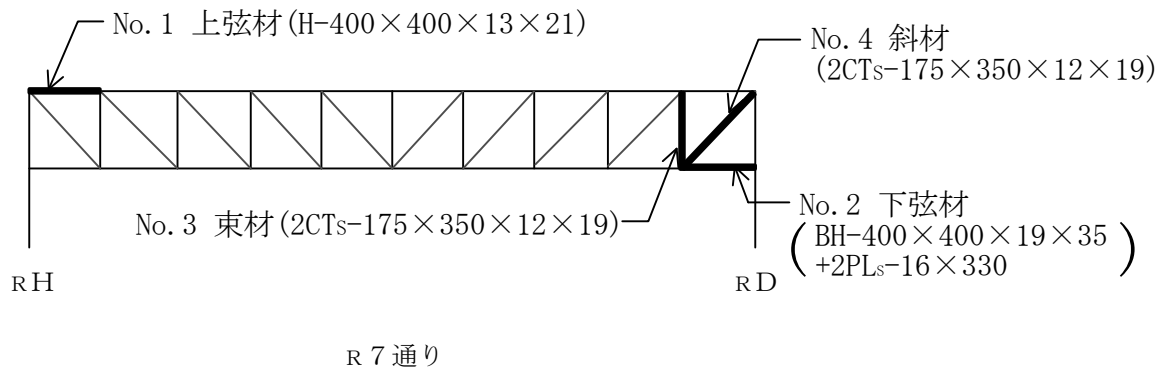
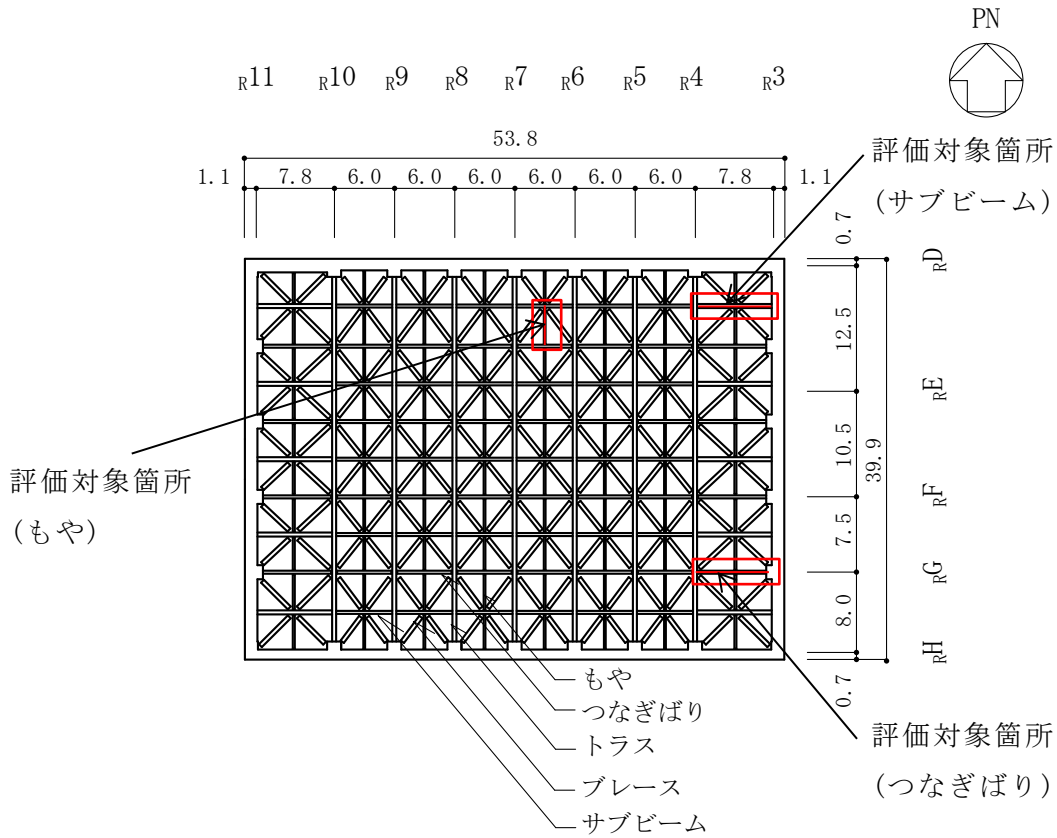


図 4-7 部材評価位置

### 4.3 二次部材の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-9 に示す。二次部材の評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-8 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に生じる軸力、曲げモーメント及びせん断による応力度が許容限界を超えないことを確認した。



(単位 : m)

図 4-8 評価対象箇所 (二次部材, EL 63.5m)



表 4-9 二次部材の短期許容応力度に基づく評価結果 (EL 63.5m)

評価対象部位		発生応力	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値
もや		曲げ	122.7	181	0.68
		せん断	49.9	135	0.37
つなぎばり	上弦材	圧縮	21.7	226	0.10
	下弦材	引張	46.3	235	0.20
	斜材	圧縮	45.0	79	0.57
		引張	53.3	235	0.23
サブビーム		曲げ	173.7	220	0.79
		せん断	30.9	135	0.23

#### 4.4 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-10 に示す。なお、各方向において最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4-10 耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	高さ(EL) (m)	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
ケース 1	せん断 ひずみ	南北方向	51.7~42.8 (IW-3)	0.00190	2.0
		東西方向	51.7~42.8 (IW-B)	0.00159	2.0

VI-3-別添 2-6 タービン建物の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	6
3. 強度評価方法及び評価条件	7
3.1 評価対象部位	7
3.2 荷重及び荷重の組合せ	7
3.2.1 荷重	7
3.2.2 荷重の組合せ	12
3.3 許容限界	13
3.4 解析モデル及び諸元	16
3.4.1 モデル化の基本方針	16
3.4.2 解析諸元	26
3.5 評価方法	27
3.5.1 屋根スラブの評価方法	27
3.5.2 主トラスの評価方法	30
3.5.3 二次部材の評価方法	32
3.5.4 耐震壁の評価方法	36
4. 強度評価結果	37
4.1 屋根スラブの評価結果	37
4.2 主トラスの評価結果	45
4.3 二次部材の評価結果	46
4.4 耐震壁の評価結果	48

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、タービン建物が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、建物全体及び建物の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

タービン建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、本資料では、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

タービン建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。タービン建物の配置を図 2-1 に示す。

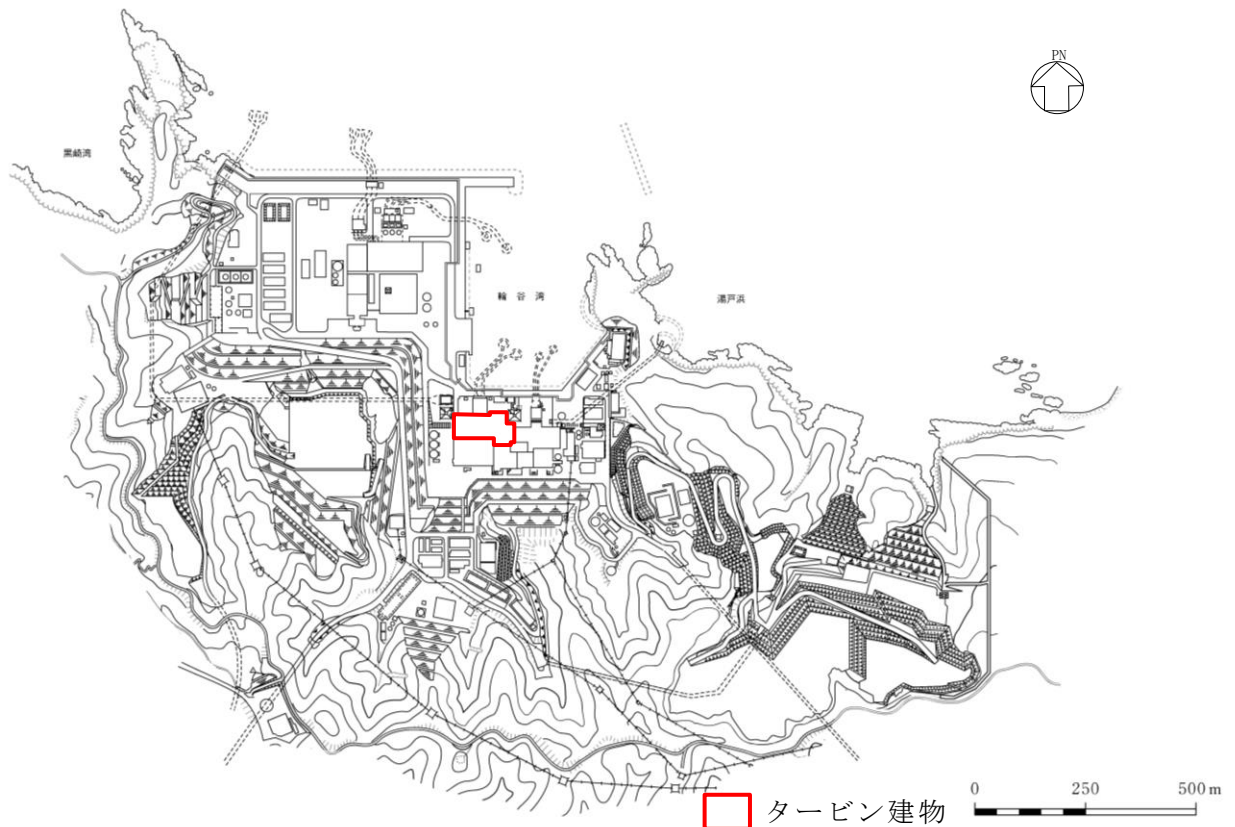


図 2-1 タービン建物の配置図

## 2.2 構造概要

タービン建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

タービン建物は、主体構造が鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で地上 3 階（一部 4 階）、地下 1 階の建物である。建物の平面は 138.0m（東西方向）×72.0m（一部 51.4m）（南北方向）となっている。屋根スラブを支える屋根トラスの平面形状は 116.75m（東西方向）×37.4m（南北方向）の長方形であり、4 階面(EL 32.0m)からの高さは 9.6m である。

タービン建物の屋根面の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。

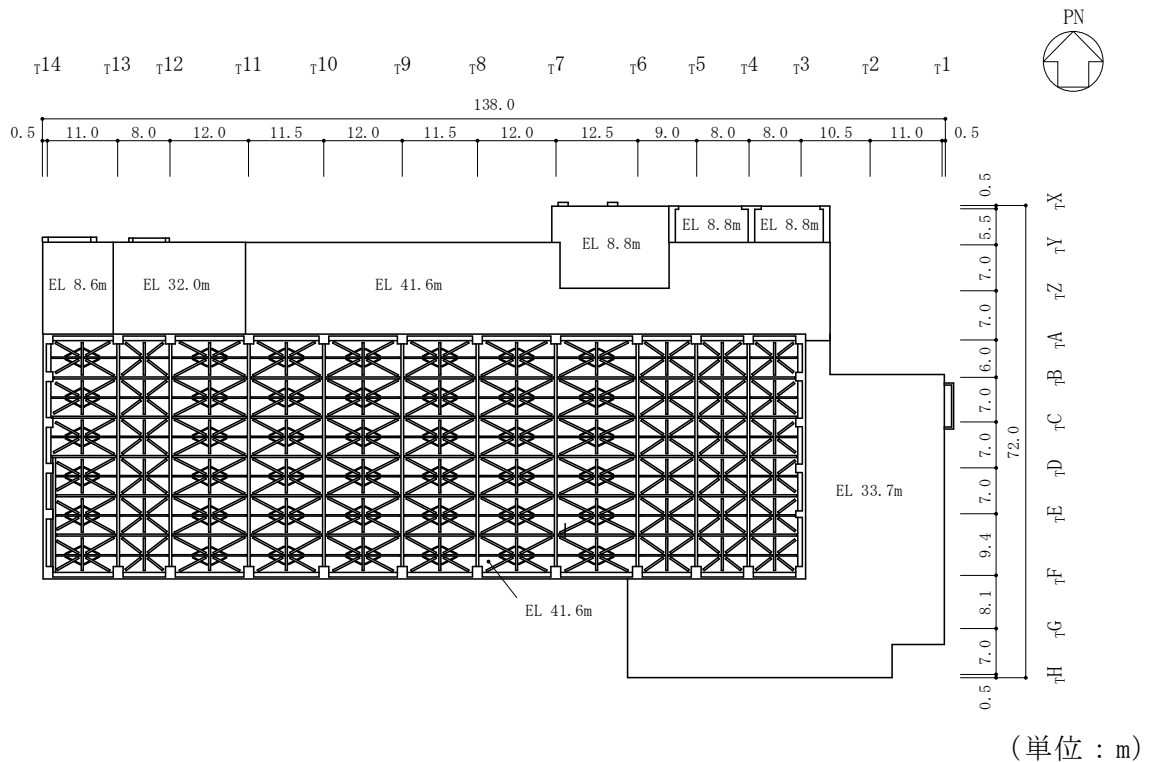
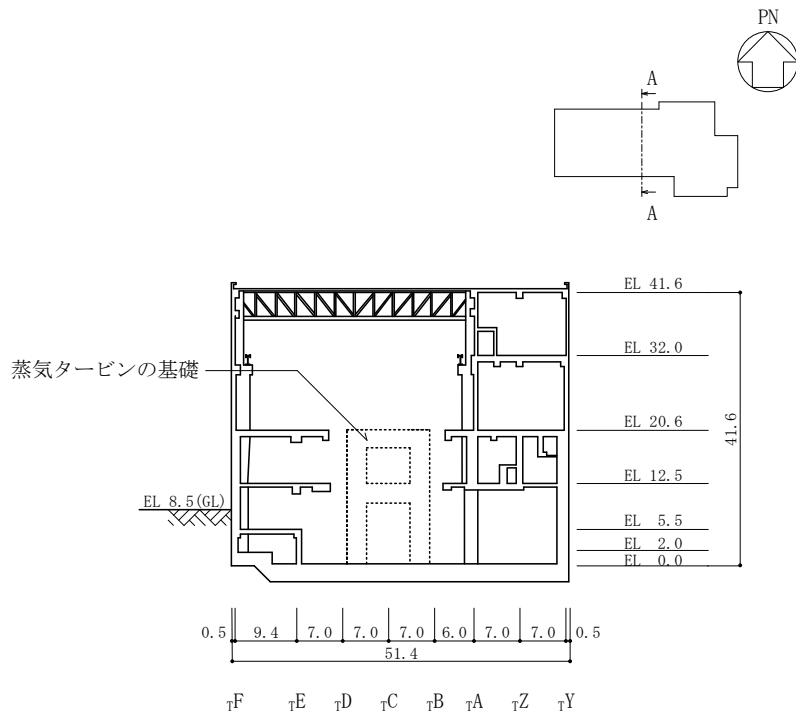


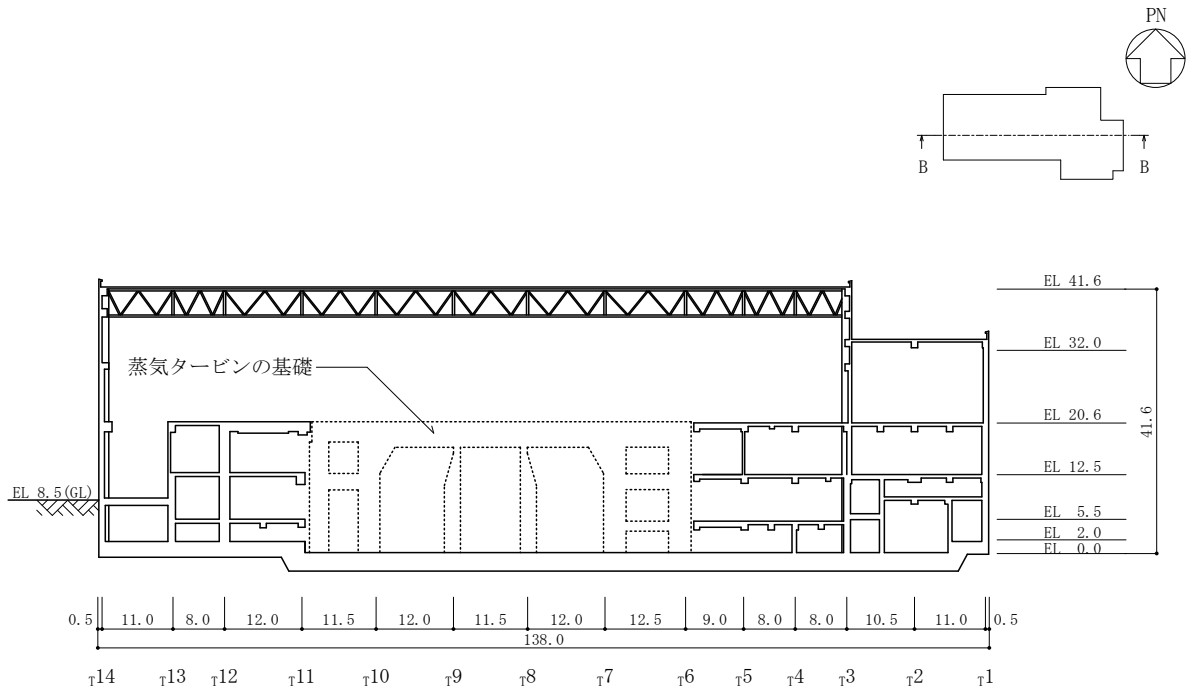
図 2-2 タービン建物の概略平面図

注：「EL」は東京湾平均海面(T.P.)を基準としたレベルを示す。



(単位 : m)

図 2-3(1) タービン建物の概略断面図 (A-A 断面, 南北方向)



(単位 : m)

図 2-3(2) タービン建物の概略断面図 (B-B 断面, 東西方向)

### 2.3 評価方針

タービン建物の強度評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建物の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

タービン建物の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根スラブ、主トラス及び二次部材を、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

設計荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根及び耐震壁に作用する荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」に従い、タービン建物の応力解析モデル及び質点系モデルを用いて評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。

なお、屋根トラスについては、補強工事を実施しているため、補強内容を反映した評価を実施する。



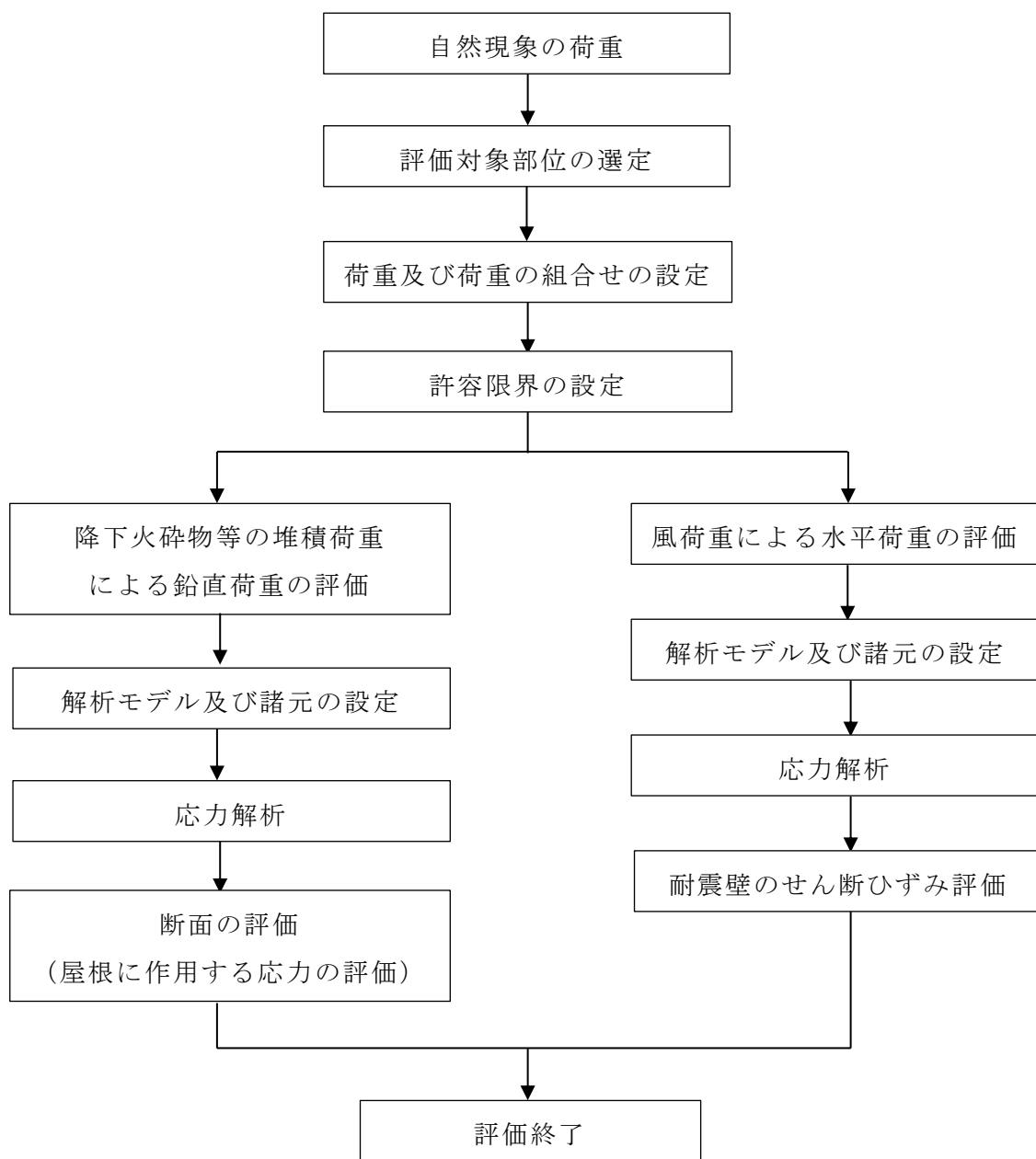


図 2-4 強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

タービン建物の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 年改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 年制定）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 年改定）

### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

タービン建物の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ、主トラス、二次部材及び耐震壁とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

##### 3.2.1 荷重

###### (1) 屋根スラブ

###### a. 鉛直荷重

表 3-1～表 3-5 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重\*1( $G$ ) 及び積載荷重\*2( $P$ ) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N}/\text{m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。なお、水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、鉛直荷重に抵抗する部位の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。

注記\*1：固定荷重には躯体重量・仕上重量の他、機器・配管荷重を含む。

\*2：常時の積載荷重（機器搬出入時の荷重等を含む）と除灰時の作業時荷重 ( $0.981\text{kN}/\text{m}^2$ ) のうち大きい方の値を設定する。

表 3-1 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 8.6m, スラブ厚さ  $t = \square$  mm）

（単位： $\text{kN}/\text{m}^2$ ）

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	35.501
	積載荷重 ( $P$ )	9.807
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )		8.238
積雪荷重 ( $F_s$ )		0.7

表 3-2 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 8.8m, スラブ厚さ t=□mm, □mm)

(単位: kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	t=□mm	27.498~63.587
		t=□mm	27.694~33.578
	積載荷重 (P)	9.807	
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238	
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7	

表 3-3 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 32.0m, スラブ厚さ t=□mm, □mm)

(単位: kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	t=□mm	11.278~2.259
		t=□mm	26.773~27.753
	積載荷重 (P)	0.981	
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238	
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7	

表 3-4 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 33.7m, スラブ厚さ t=□mm, □mm)

(単位: kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	t=□mm	10.297~10.396
		t=□mm	22.065
	積載荷重 (P)	0.981	
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238	
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7	

表 3-5 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 41.6m, スラブ厚さ t=□mm, □mm)

(単位: kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	t=□mm	8.238
		t=□mm	11.278~12.847
	積載荷重 (P)	0.981	
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238	
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7	

## (2) 主トラス及び二次部材

## a. 鉛直荷重

表 3-6 及び表 3-7 に鉛直荷重の一覧を示す。主トラス及び二次部材に考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 ( $G$ ) 及び積載荷重 ( $P$ ) とする。

降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g/cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-6 鉛直荷重一覧 (主トラス)

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	屋根スラブ	$5.590\text{kN/m}^2$
		トラス鋼材	$2.648\text{kN/m}^2$
		クレーン荷重	$2001\text{kN}$
	積載荷重 ( $P$ )		$0.981\text{kN/m}^2$
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )			$8.238\text{kN/m}^2$
積雪荷重 ( $F_s$ )			$0.7\text{kN/m}^2$

表 3-7 鉛直荷重一覧 (二次部材)

(単位 :  $\text{kN/m}^2$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	サブビーム	$7.169$
		もや	$5.698$
		つなぎばり	$7.169$
	積載荷重 ( $P$ )		$0.981$
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )			$8.238$
積雪荷重 ( $F_s$ )			$0.7$

b. 水平荷重

風荷重の算出に用いる基準風速は、30m/s とする。

風荷重（W）は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高Hが5mを超えるため、HがZ<sub>b</sub>を超える場合の式を用いる。風荷重（W）の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数C及び風の受圧面積A<sub>1</sub>に基づき実施し、風荷重(W)の算出に用いる受圧面積の算定において、隣接する建物の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

Z<sub>G</sub>, Z<sub>b</sub>, α : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる  
数値

風荷重算定に使用する入力条件及び風荷重を表3-8及び表3-9に示す。

表3-8 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 V <sub>D</sub> (m/s)	全高 H (m)	Z <sub>G</sub> (m)	α	ガスト 影響係数 G	設計用 速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )
タービン建物	30	34.460	350	0.15	2.037	1586.5

表 3-9 タービン建物の風力係数, 受圧面積及び風荷重

(a) 南北方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)	
	風上* <sup>2</sup>	風下	北側	南側	北→南	南→北
42.96* <sup>1</sup> ~36.80	0.800	0.4	741	773	1432	1452
36.80* <sup>1</sup> ~26.30	0.714	0.4	1405	1405	2484	2484
26.30* <sup>1</sup> ~16.55	0.585	0.4	1362	1329	2107	2098
16.55* <sup>1</sup> ~9.00	0.448	0.4	1019	1016	1369	1369
9.00* <sup>1</sup> ~8.50	0.448	0.4	92	95	126	126

注記\*1: 代表高さを示す。

\*2: C (風上) は基準階での値を示す。

(b) 東西方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)	
	風上* <sup>2</sup>	風下	東側	西側	東→西	西→東
42.96* <sup>1</sup> ~36.80	0.800	0.4	334	334	636	636
36.80* <sup>1</sup> ~26.30	0.714	0.4	666	666	1177	1177
26.30* <sup>1</sup> ~16.55	0.585	0.4	691	661	1061	1052
16.55* <sup>1</sup> ~9.00	0.448	0.4	521	544	716	717
9.00* <sup>1</sup> ~8.50	0.448	0.4	28	36	43	43

注記\*1: 代表高さを示す。

\*2: C (風上) は基準階での値を示す。

(3) 耐震壁

a. 水平荷重

水平荷重は, (2) 主トラス及び二次部材 b. 水平荷重と同様である。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-10 に示す。

ケース 1 は従荷重として、鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため主トラス及び耐震壁を評価対象とする。ケース 2 は従荷重として積雪荷重を組み合わせ、鉛直荷重のみを用いて評価するため屋根スラブ及び二次部材を評価対象とする。

表 3-10 荷重の組合せ

考慮する 荷重の 組合せ	荷重*				
	常時作用する 荷重 ( $F_d$ )		主荷重	従荷重	
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物に よる荷重 ( $F_a$ )	積雪荷重 ( $F_s$ )	風荷重 ( $W$ )
ケース 1	○	○	○	○	○
ケース 2	○	○	○	○	—

注記\*：○は考慮する荷重を示す。



### 3.3 許容限界

タービン建物の許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建物の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ，主トラス，二次部材及び耐震壁の許容限界を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005年制定）」（以下「RC-N規準」という。），「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」に基づき表 3-11 に，鋼材の材料強度を表 3-12 に，コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-13 及び表 3-14 に示す。

表 3-11 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
			屋根トラス		「S規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup>			最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

表 3-12 鋼材の材料強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

材料* <sup>1</sup>	板厚	F 値	材料強度		
			引張	圧縮 曲げ	せん断
SS41 (SS400 相当) SS400 SN400B	t ≤ 40mm	235	235	235* <sup>2</sup>	135
SM50A (SM490A 相当)	t ≤ 40mm	325	325	325* <sup>2</sup>	187

注記\*1：建設当時の鋼材の種類を，現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

\*2：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-13 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表 3-14 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別*	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

注記\*：建設当時の鋼材の種類を，現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

### 3.4 解析モデル及び諸元

#### 3.4.1 モデル化の基本方針

##### (1) 屋根スラブ

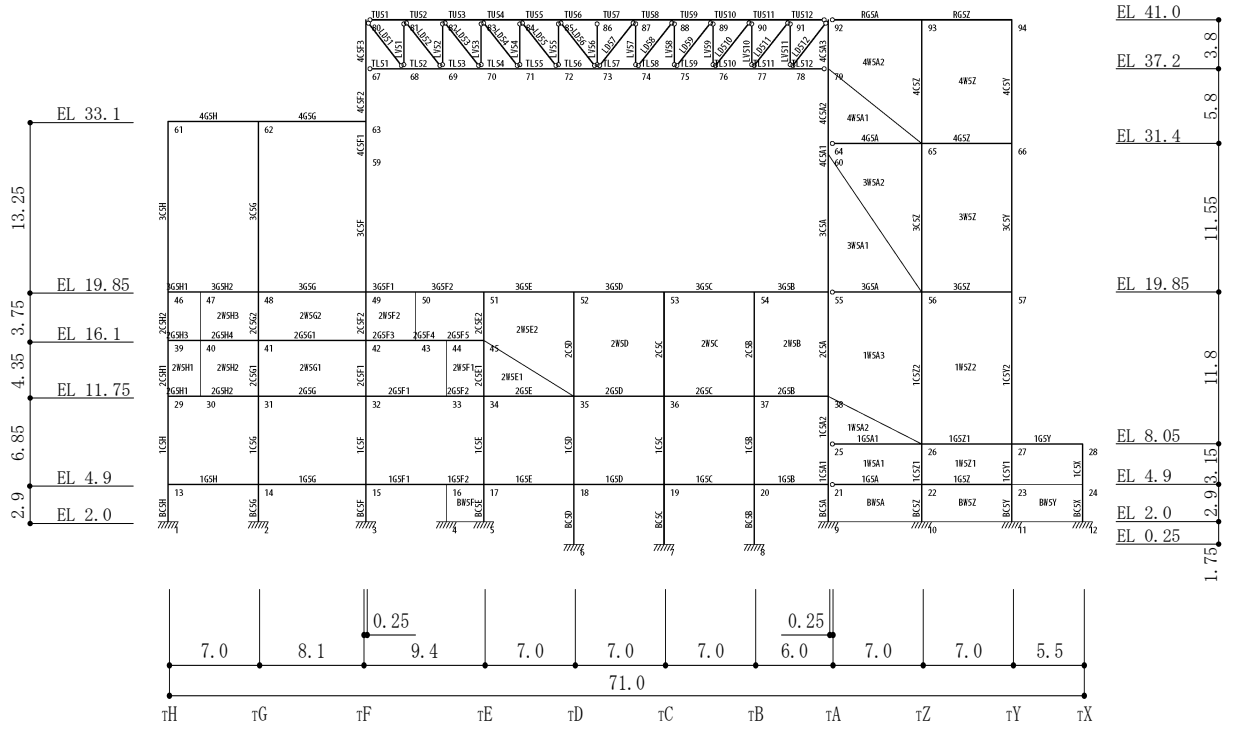
EL 41.6m の屋根スラブは、屋根トラスで支持され、厚さが同じでスパンがほぼ均等なスラブが連続しており、その外周がスラブに比べて十分剛性の大きい鉄筋コンクリート造の壁に接合されていることから、支持点の間隔を長さとした両端固定ばりの 1 方向スラブとして評価する。その他のスラブについては、端部の支持状況に応じたモデル化（例えば、四辺固定版）により応力算出を行う。

##### (2) 主トラス

応力解析は、2次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは、「SD」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。モデル化範囲は、主トラス部材の中で最も応力度比が大きくなる部材を含む構面(T5, T7 フレーム) とする。

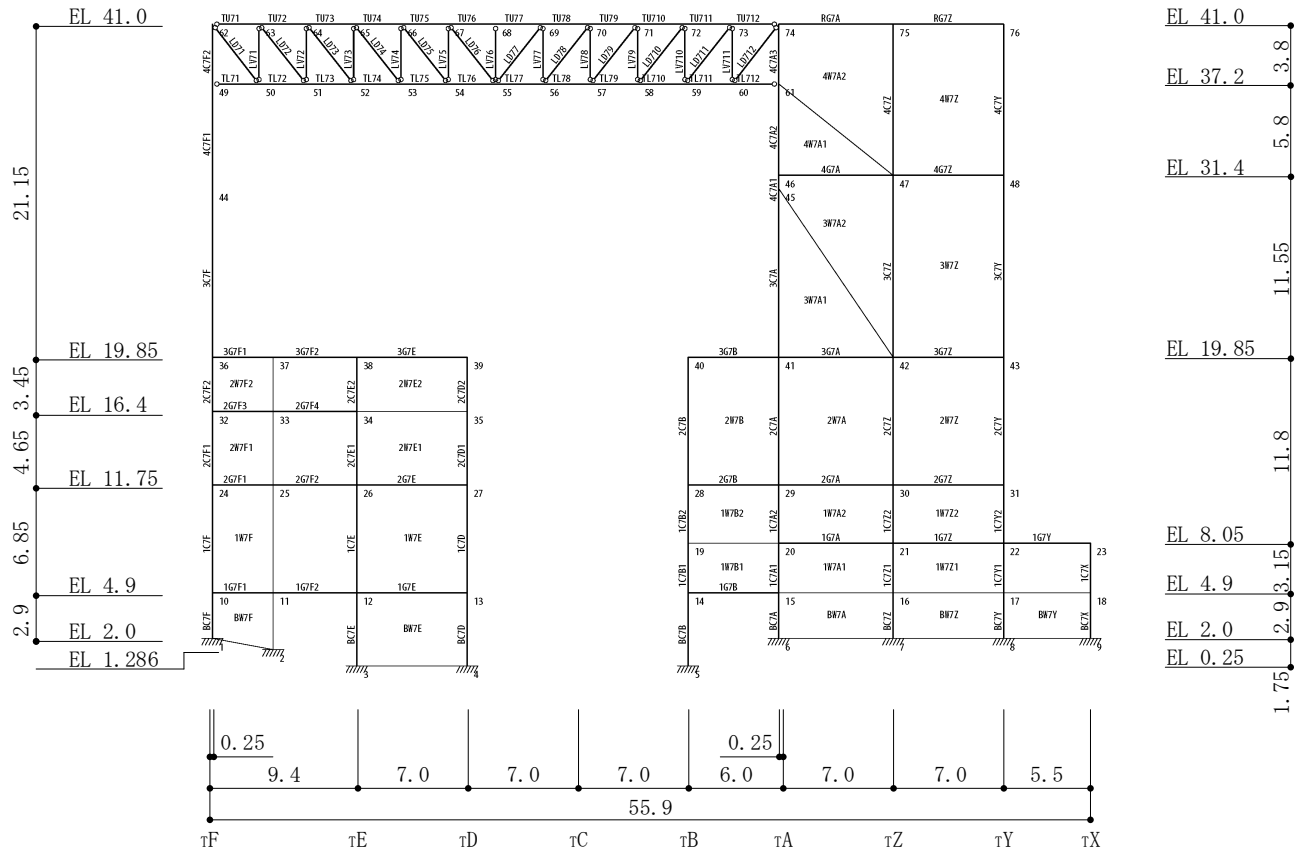
応力解析モデルは、主トラスを含む建物全体の各部材を線材置換した 2次元フレームモデルとする。解析モデル図を図 3-1 に、部材リストを表 3-15 に、補強箇所を図 3-2 に示す。

解析モデルに使用する要素は、はり要素、トラス要素及び壁エレメント要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。



(単位 : m)

図 3-1 解析モデル図 (T5 フレーム) (1/2)



(単位 : m)

図 3-1 解析モデル図 (T7 フレーム) (2/2)

表 3-15(1) 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	上弦材	H-428 $\times$ 407 $\times$ 20 $\times$ 35	SS400	360.7	119000
		BH-428 $\times$ 400 $\times$ 19 $\times$ 28	(SS41)	294.7	97900
	下弦材	BH-428 $\times$ 407 $\times$ 32 $\times$ 40 +2B <sub>S</sub> -386 $\times$ 100 $\times$ 19 $\times$ 19*	SS400 (SS41)	645.2	173200
		BH-428 $\times$ 407 $\times$ 32 $\times$ 40		437.0	134200
		H-428 $\times$ 407 $\times$ 20 $\times$ 35		360.7	119000
		BH-428 $\times$ 400 $\times$ 25 $\times$ 35		369.5	118000
		BH-428 $\times$ 400 $\times$ 19 $\times$ 28		294.7	97900
		2CT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 12 $\times$ 19 +2PL <sub>S</sub> -12 $\times$ 200*		SS400 (SS41)	221.9
	2CT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 12 $\times$ 19	173.9	—		
	2CT <sub>S</sub> -150 $\times$ 300 $\times$ 10 $\times$ 15 +2PL <sub>S</sub> -12 $\times$ 200*	167.8	—		
	2CT <sub>S</sub> -150 $\times$ 300 $\times$ 10 $\times$ 15	119.8	—		
	2BCT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 22 $\times$ 22 +2PL <sub>S</sub> -12 $\times$ 200*	269.3	—		
	2BCT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 22 $\times$ 22 +2PL <sub>S</sub> -16 $\times$ 250*	301.3	—		
	2BCT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 22 $\times$ 22	221.3	—		
	2BCT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 22 $\times$ 22	—	—		

注記\* : 補強工事で追加した部材

表 3-15(2) 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	束材	2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19 +2PL <sub>S</sub> -12×200*	SS400 (SS41)	221.9	—
		2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19		173.9	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15 +2PL <sub>S</sub> -12×200*		167.8	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15		119.8	—
		2BCT <sub>S</sub> -175×350×22×22		221.3	—
		2BCT <sub>S</sub> -175×350×22×22 +2PL <sub>S</sub> -12×200*		269.3	—

注記\* : 補強工事で追加した部材

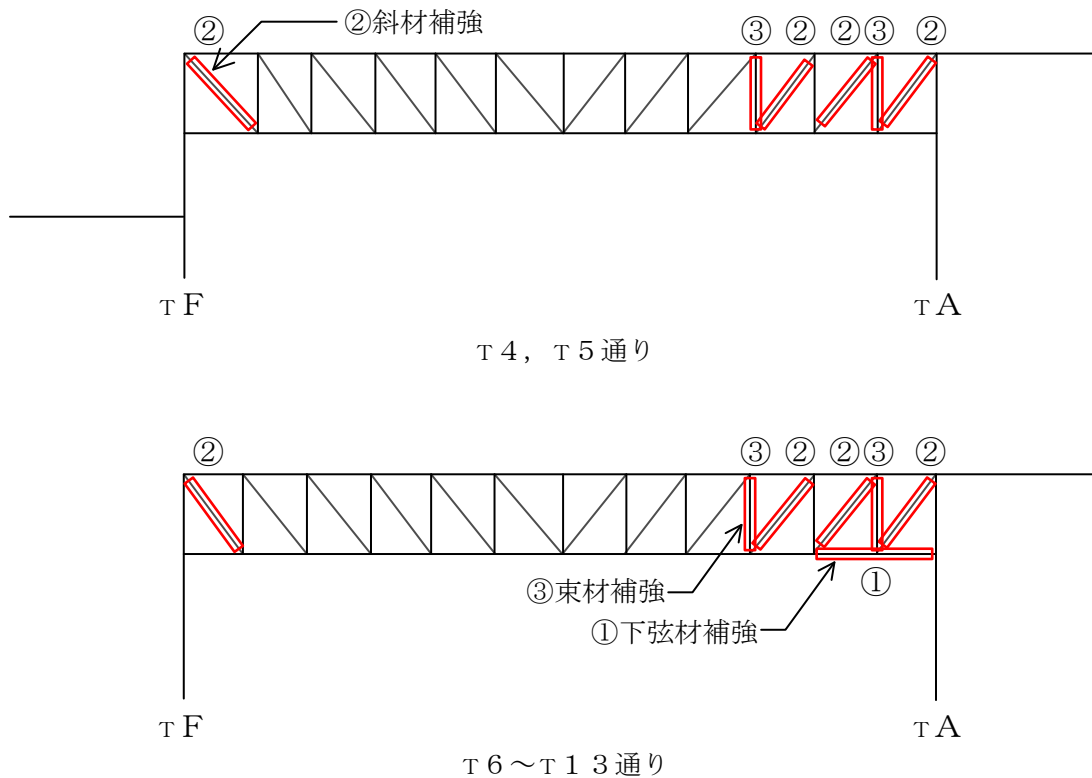


図 3-2 主トラス補強箇所



## (3) 二次部材

もやは、支配幅を取り出し、等分布荷重を受ける単純ばり（両端ピン支持のほり）として応力を算定する。検討スパンは、接合部の現況を考慮した有効長さとして評価する。

つなぎばりは、支配幅を取り出し、上弦材、下弦材及び斜材からなる単純支持トラス（両端ピン支持）として応力解析により応力を算定する。検討スパンは、通り芯間距離として評価する。解析に使用するコードは、「SD」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。解析モデル図を図3-3に示す。

サブビームは、主トラスで支持された支配幅を取り出し、中央集中荷重を受ける単純ばり（両端ピン支持のほり）として応力を算定する。なお、支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

部材リストを表3-16に、もや補強箇所を図3-4に示す。

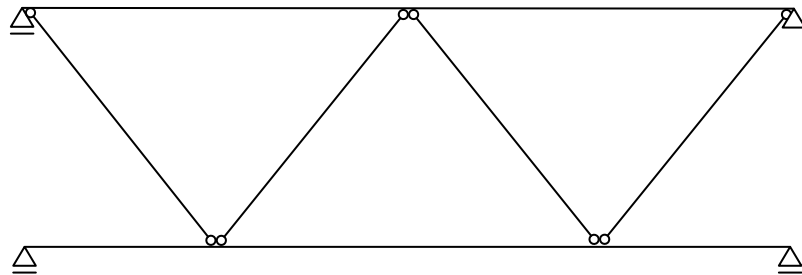
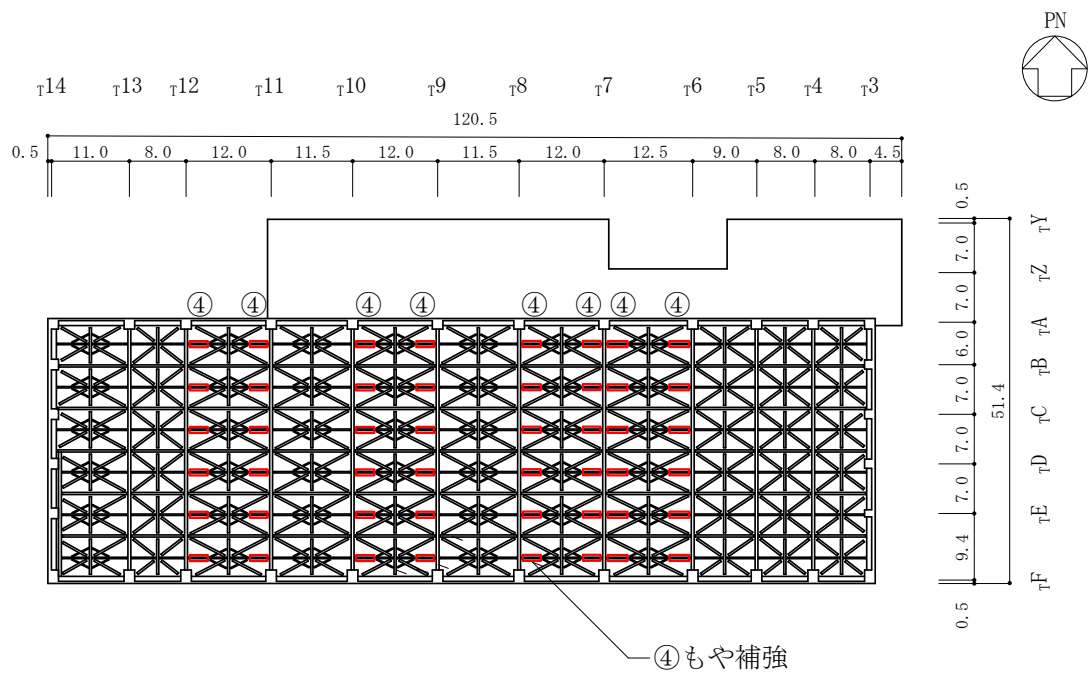


図3-3 つなぎばり解析モデル図

表 3-16 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
もや		H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13 +CT-175 $\times$ 175 $\times$ 7 $\times$ 11*	SS400 (SS41)	115.6	50580
		H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13		84.12	23700
つなぎ ばり	上弦材	BH-428 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 19	SS400 (SS41)	160.8	53600
	下弦材	H-250 $\times$ 250 $\times$ 9 $\times$ 14	SS400	92.18	10800
		BH-428 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 19	(SS41)	160.8	53600
	斜材	2CT <sub>s</sub> -100 $\times$ 204 $\times$ 12 $\times$ 12	SS400	71.53	—
2CT <sub>s</sub> -125 $\times$ 250 $\times$ 9 $\times$ 14		(SS41)	92.18	—	
サブビーム		BH-428 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 19	SS400 (SS41)	160.8	53600

注記\*：補強工事で追加した部材

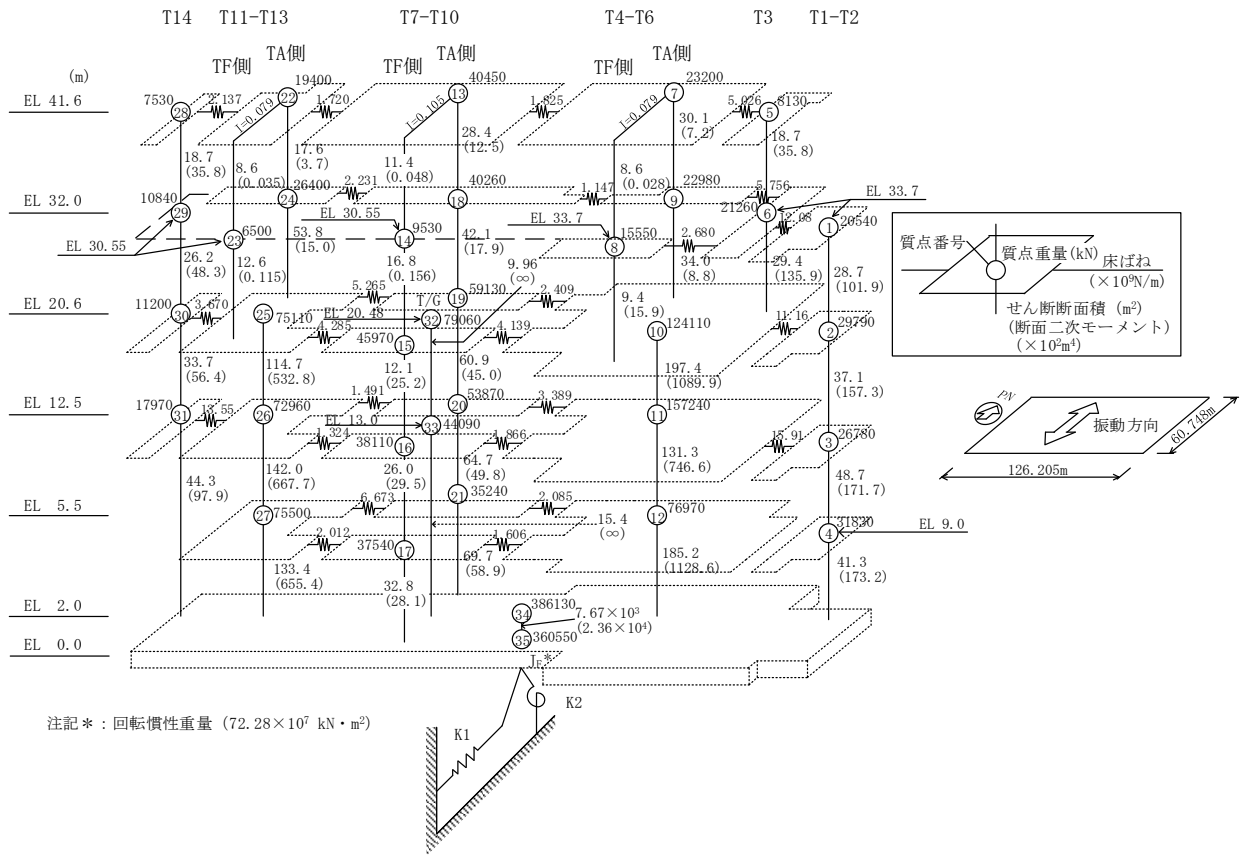


(単位：m)

図 3-4 もや補強箇所 (EL 41.6m)

(4) 耐震壁

耐震壁は、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。解析に使用するコードは、「NUPP4」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。地震応答解析モデルを図3-5に示す。



(南北方向)

図3-5 地震応答解析モデル（水平方向）（1/2）

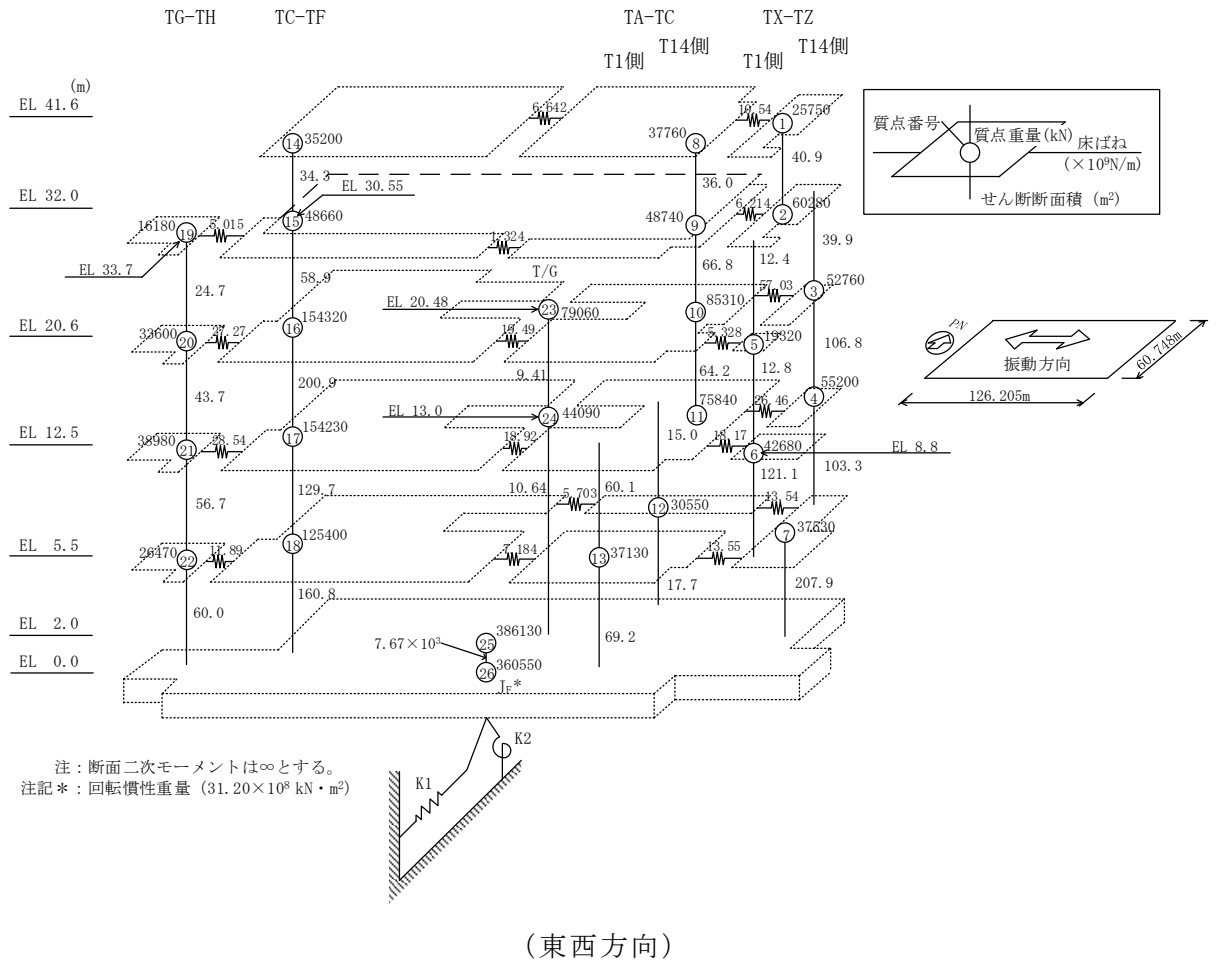


図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向) (2/2)

### 3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-17 に示す。

表 3-17 使用材料の物性値

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

使用材料	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G
鉄筋コンクリート	$2.25 \times 10^4$	$9.38 \times 10^3$
鉄骨	$2.05 \times 10^5$	$7.90 \times 10^4$

### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 屋根スラブの評価方法

##### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-18 に示す。

表 3-18 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

##### c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばり及び四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は次式により求める。

(両端固定ばり)

・ 端部曲げモーメント ( $M_E$ )

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot L^2$$

・ 中央部曲げモーメント ( $M_C$ )

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot L^2$$

・ せん断力 ( $Q_E$ )

$$Q_E = \frac{1}{2} w \cdot L$$

ここで、

$w$  : 等分布荷重 (N/m)

$L$  : 有効スパン (m)

(四辺固定版)

- 短辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{x1}$ )

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot L_x^2$$

- 短辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{x2}$ )

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot L_x^2$$

- 長辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{y1}$ )

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot L_x^2$$

- 長辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{y2}$ )

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot L_x^2$$

- 短辺方向のせん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot L_x$$

- 長辺方向のせん断力 ( $Q_y$ )

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot L_x$$

ここで,

$L_x$  : 短辺有効スパン (m)

$L_y$  : 長辺有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$w_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} w$$

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

### a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所が生じる曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで,



- $\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象箇所に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

- $Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)  
 $b$  : 断面の幅 (mm)  
 $j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)  
 $\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数で、次式による。  
 (2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

ここで、

- $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $Q$  : せん断力 (N)  
 $d$  : 断面の有効せい (mm)  
 $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

- $a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $x$  : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記\* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

### 3.5.2 主トラスの評価方法

#### (1) 応力解析方法

主トラスについては，2次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により得られた部材の応力を評価する。

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，次の荷重を2次元フレームモデルに入力して求める。荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

$W$  : 風荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表3-19に示す。

表3-19 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース1	$F_d + F_a + F_s + W$

##### c. 荷重の入力方法

固定荷重及び積雪荷重は，対応する部材及び節点に分布荷重及び集中荷重として入力する。

## (2) 断面の評価方法

主トラスの評価は、2次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、「S規準」に基づく短期許容応力度とする。ただし、斜材及び束材は軸応力度のみ評価する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)                       $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N_c$  : 圧縮軸力 (N)                                       $A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)                       $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_c$  : 圧縮応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_b$  : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

(引張)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)                       $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N_t$  : 引張軸力 (N)                                       $A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)                       $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_t$  : 引張応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_b$  : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

### 3.5.3 二次部材の評価方法

#### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-20 に示す。

表 3-20 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

c. 応力算出方法

集中荷重（サブビーム）あるいは，分布荷重（もや）を受ける両端ピン支持ばりの曲げモーメント及びせん断力は次式により求める。

つなぎばりについては，図 3-3 に示す解析モデルにより上弦材及び下弦材に生じる曲げモーメント及び軸力，並びに斜材に生じる軸力を求める。

1) 集中荷重（サブビーム）の場合（図 3-6 参照）

（最大曲げモーメント）

$$M = \frac{1}{L} P \cdot L_a \cdot L_b$$

ここで，

P : 集中荷重 (N)

L : スパン (m) で次式による。

$L = L_a + L_b$  ( $L_a \geq L_b$  の場合)

（端部せん断力）

$$Q = \frac{1}{L} P \cdot L_a$$

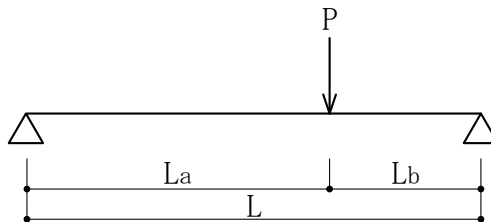


図 3-6 集中荷重 モデル図

2) 分布荷重（もや）の場合

（中央曲げモーメント）

$$M = \frac{1}{8} w \cdot L^2$$

ここで，

w : 等分布荷重 (N/m)

L : スパン (m)

（端部せん断力）

$$Q = \frac{1}{2} w \cdot L$$

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

## a. もや及びサブビームの評価方法

断面の評価は、「S 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる応力度及びせん断応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

(曲げ)

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

(せん断)

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

Q : せん断力 (N)

$A_s$  : せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

## b. つなぎばりの評価方法

断面の評価は、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる軸力による応力度及び曲げモーメントによる応力度が短期許容応力度を超えないことを確認する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)                       $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $N_c$  : 圧縮軸力 (N)                                       $A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 曲げモーメント (N・mm)                       $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)  
 $f_c$  : 圧縮応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_b$  : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

(引張)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)                       $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $N_t$  : 引張軸力 (N)                                       $A$  : 軸断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 曲げモーメント (N・mm)                       $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)  
 $f_t$  : 引張応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_b$  : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm<sup>2</sup>)

#### 3.5.4 耐震壁の評価方法

耐震壁の評価は、風荷重を地震応答解析モデルの各床レベルの質点位置に水平方向に作用させ、耐震壁に発生するせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。なお、耐震壁の応力計算には、地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、本評価では保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。



#### 4. 強度評価結果

##### 4.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は、EL 8.8m、EL 32.0m、EL 33.7m 及び EL 41.6m のそれぞれについて、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-1～図 4-3 に示す。また、評価結果を表 4-1～表 4-5 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

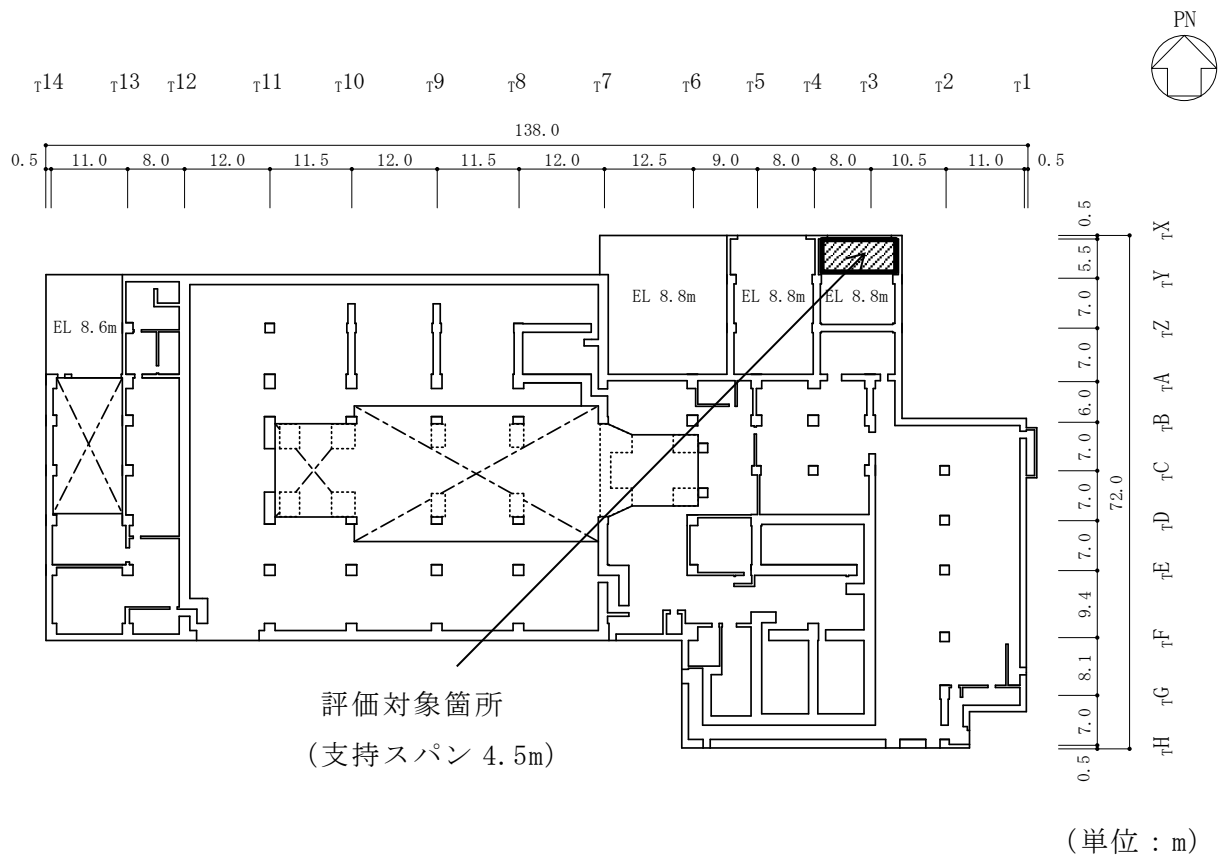


図 4-1 評価対象箇所（屋根スラブ，EL 8.8m）

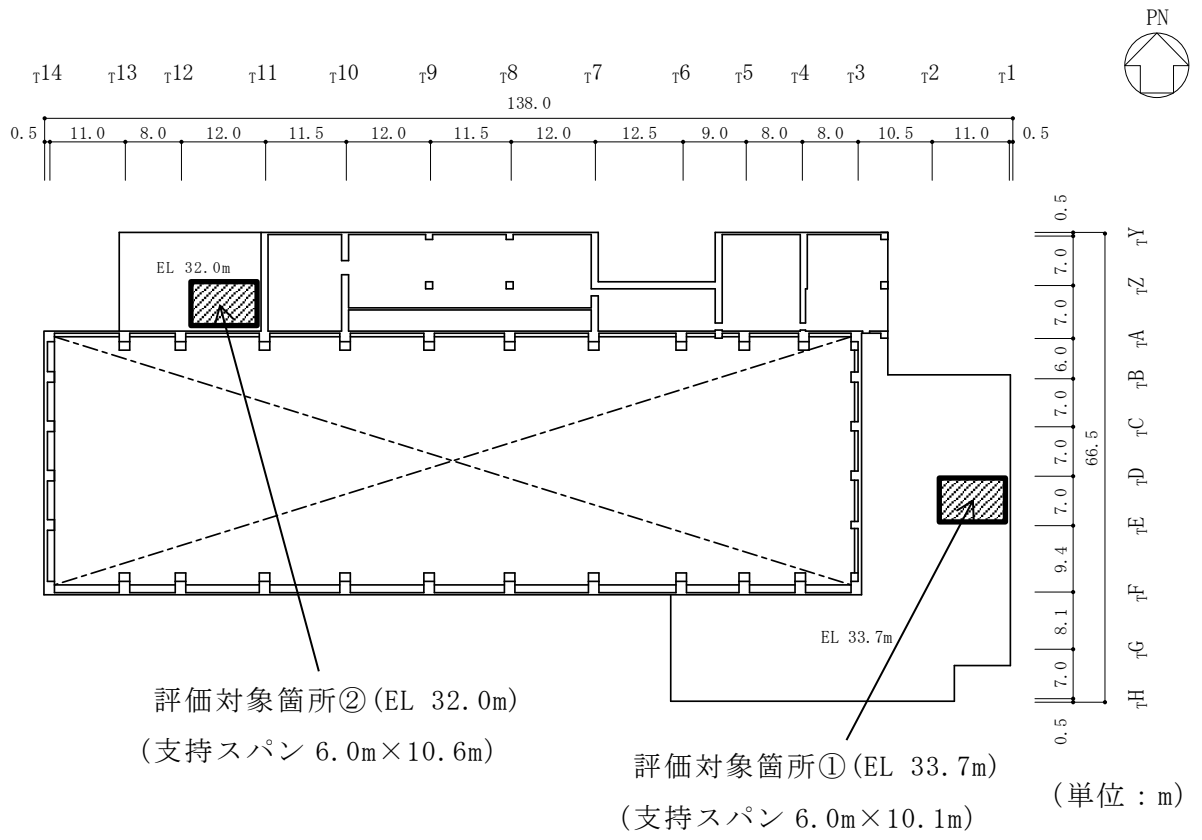


図 4-2 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 32.0m, EL 33.7m)

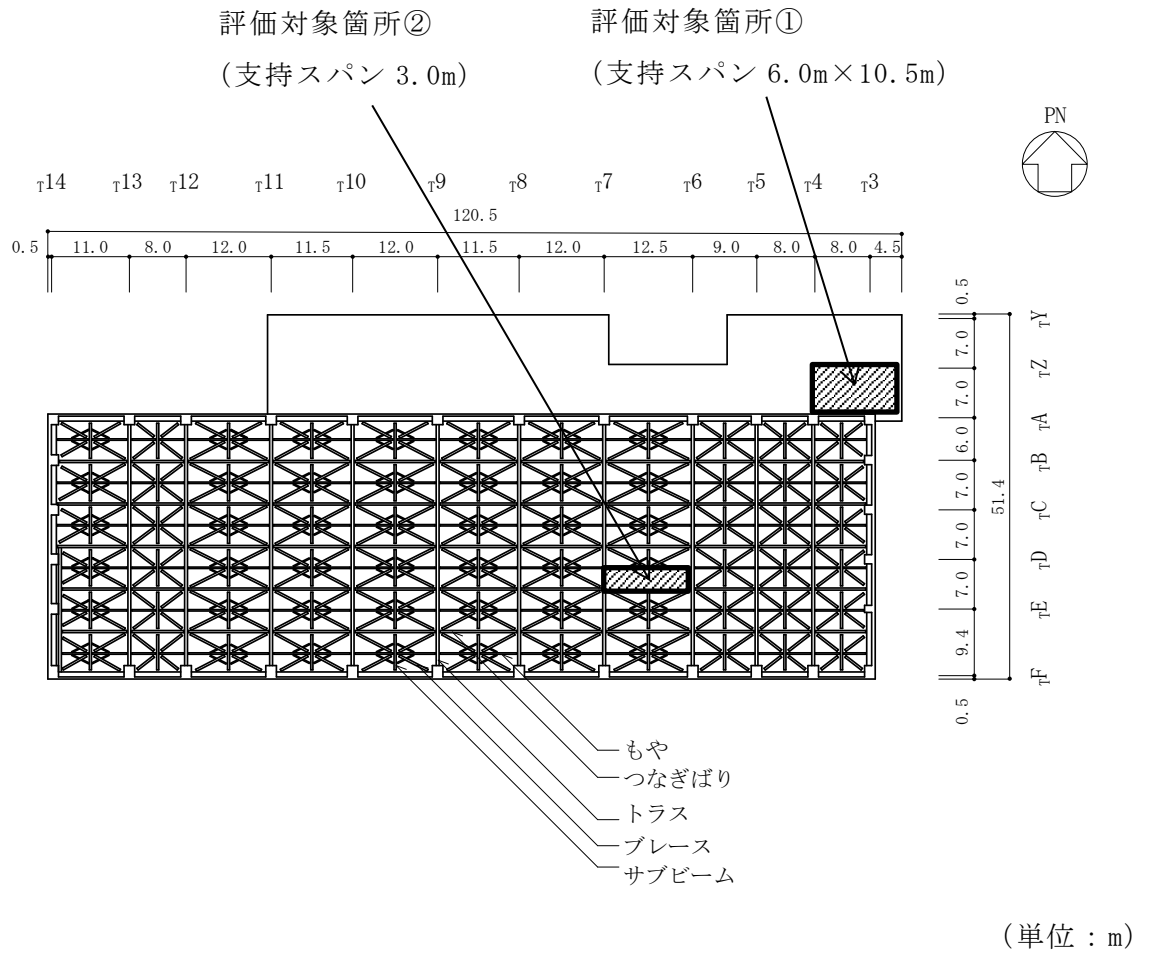


図 4-3 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 41.6m)

表 4-1 屋根スラブの評価結果 (EL 8.8m)

EL (m)		8.8
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D22@200 (1935mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	152.8
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	177.0
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.52
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	205.9
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.47
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.63
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.76
	検定値	0.27

表 4-2 屋根スラブの評価結果 (EL 33.7m) (評価対象箇所①)

EL (m)		33.7
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	53.9
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	204.5
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.60
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	63.1
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.35
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.08
	検定値	0.33

表 4-3 屋根スラブの評価結果 (EL 32.0m) (評価対象箇所②)

EL (m)		32.0
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D25@200 (2535mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	60.4
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	129.7
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.38
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	69.2
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.38
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.08
	検定値	0.36

表 4-4 屋根スラブの評価結果 (EL 41.6m) (評価対象箇所①)

EL (m)		41.6
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D22@200 (1935mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	61.8
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	173.9
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.51
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	71.1
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.39
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.08
	検定値	0.37

表 4-5 屋根スラブの評価結果 (EL 41.6m) (評価対象箇所②)

EL (m)		41.6
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D13@150 (847mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	13.7
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	205.4
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.60
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	27.3
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.35
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.08
	検定値	0.33



#### 4.2 主トラスの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-6 に示す。また、評価対象部位において複数の部材がある場合は、検定値が最大となる部材の値を示す。評価位置を図 4-4 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-6 主トラスの短期許容応力度に基づく評価結果 (EL 41.6m)

評価対象部位	No.	発生応力	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値
上弦材	1	圧縮	127.7	223	0.73
		曲げ	35.8	231	
下弦材	2	圧縮	151.1	201	0.86
		曲げ	24.1	232	
束材	3	圧縮	134.0	154	0.88
斜材	4	引張	208.4	235	0.89

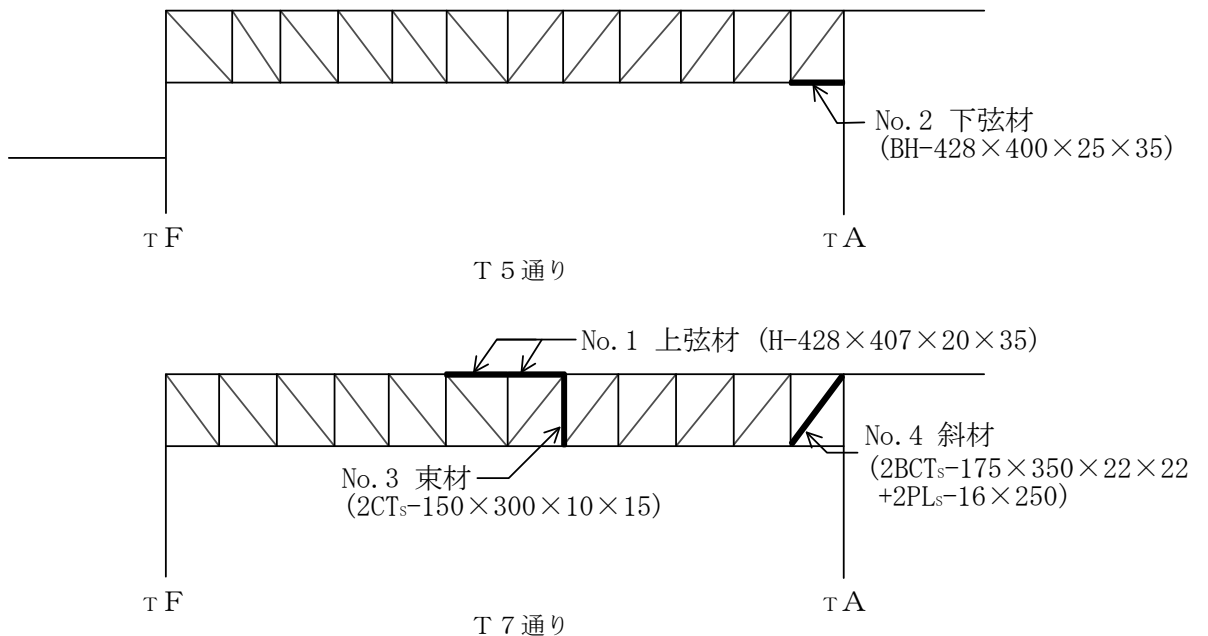
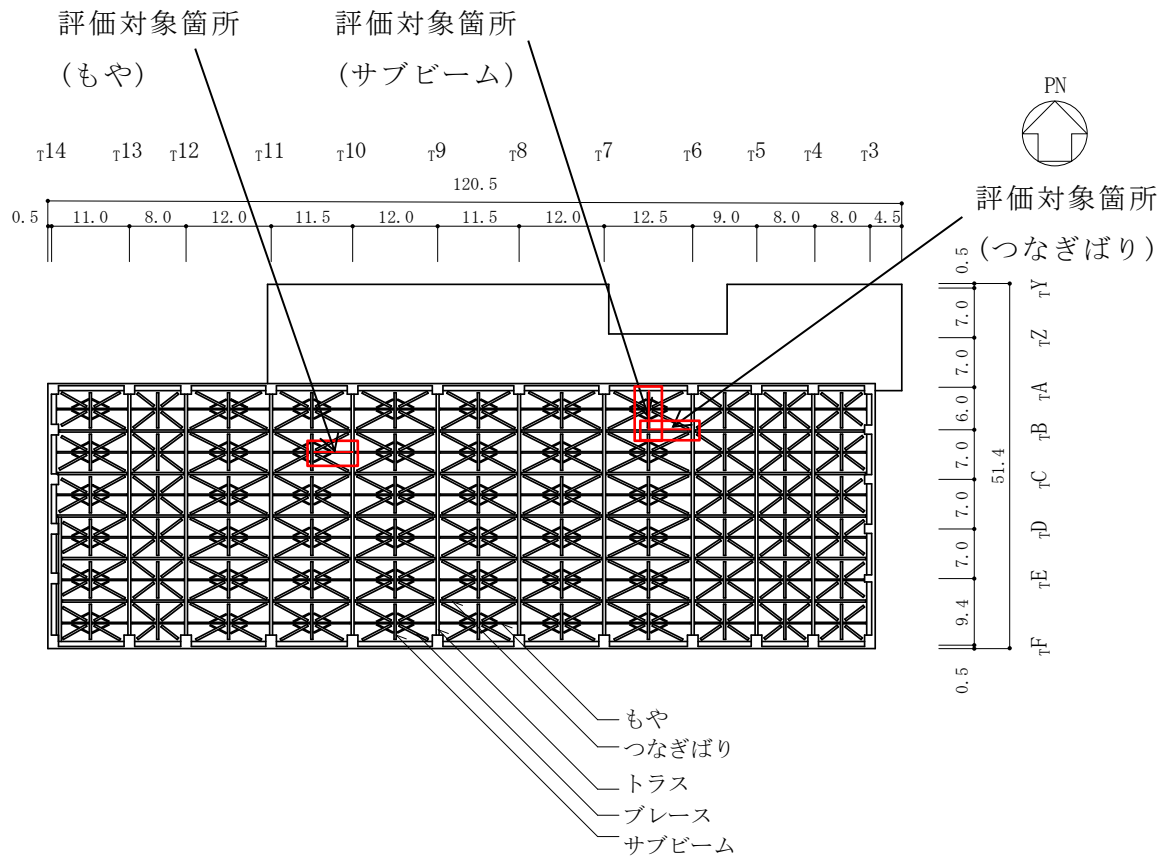


図 4-4 部材評価位置

### 4.3 二次部材の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-7 に示す。二次部材の評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-5 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に生じる軸力、曲げモーメント及びせん断による応力度が許容限界を超えないことを確認した。



(単位 : m)

図 4-5 評価対象箇所 (二次部材, EL 41.6m)

表 4-7 二次部材の短期許容応力度に基づく評価結果 (EL 41.6m)

評価対象部位		発生応力	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値
もや		曲げ	169.3	193	0.88
		せん断	60.0	135	0.45
つなぎばり	上弦材	圧縮	18.0	150	0.60
		曲げ	80.9	172	
	下弦材	引張	62.9	235	0.31
		曲げ	6.8	165	
	斜材	圧縮	64.9	86	0.76
		引張	77.8	235	0.34
サブビーム		曲げ	200.7	232	0.87
		せん断	45.9	135	0.34

#### 4.4 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-8 に示す。なお、各方向において最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4-8 耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	高さ (EL) (m)	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
ケース 1	せん断 ひずみ	南北方向	20.6~12.5 (7-10)F 側	0.00374	4.0
		東西方向	20.6~8.8 (X~Z)1 側	0.00140	4.0

VI-3-別添 2-7 制御室建物の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法及び評価条件	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1 荷重	8
3.2.2 荷重の組合せ	10
3.3 許容限界	11
3.4 解析モデル及び諸元	13
3.4.1 モデル化の基本方針	13
3.4.2 解析諸元	19
3.5 評価方法	20
3.5.1 屋根スラブの評価方法	20
3.5.2 耐震壁の評価方法	22
4. 強度評価結果	23
4.1 屋根スラブの評価結果	23
4.2 耐震壁の評価結果	26
5. 引用文献	27

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、制御室建物が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、建物全体及び建物の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

制御室建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、本資料では、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

制御室建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。制御室建物の配置を図 2-1 に示す。

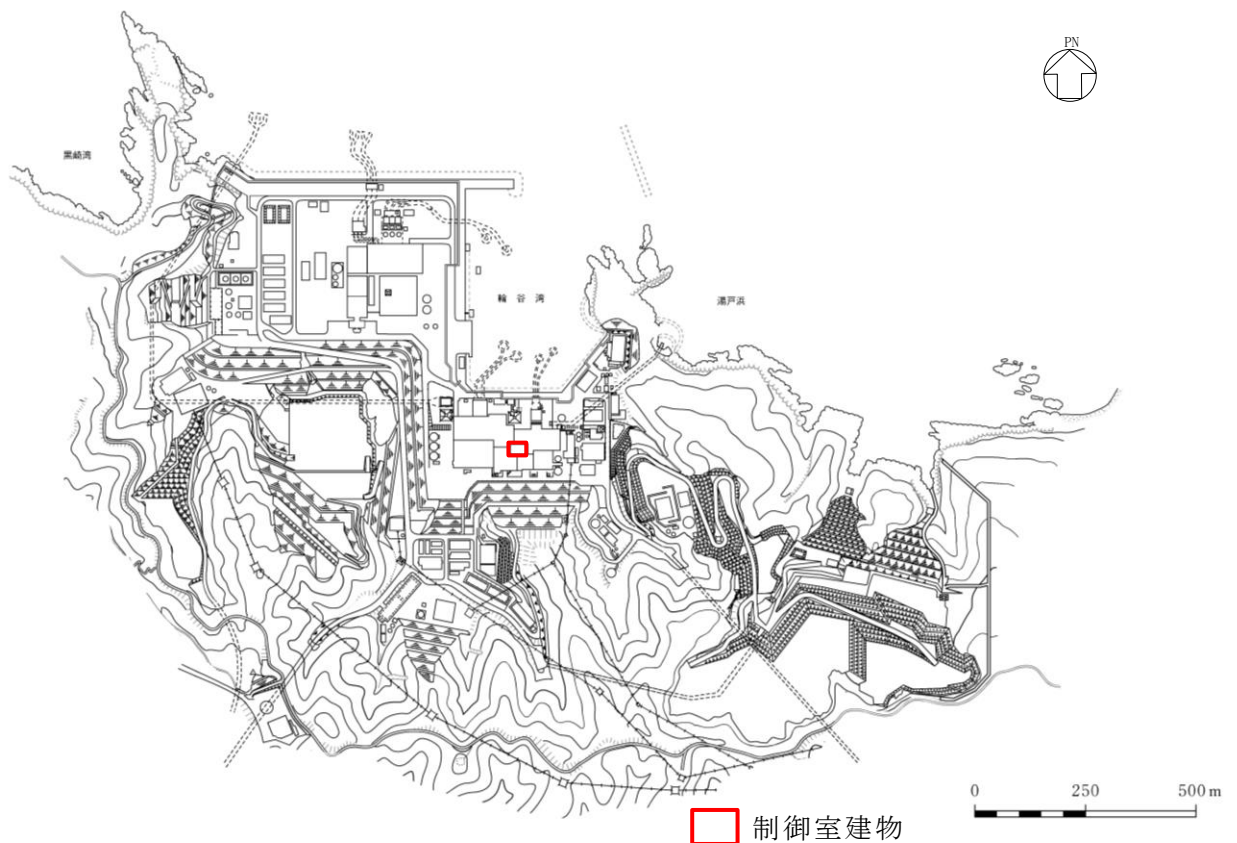


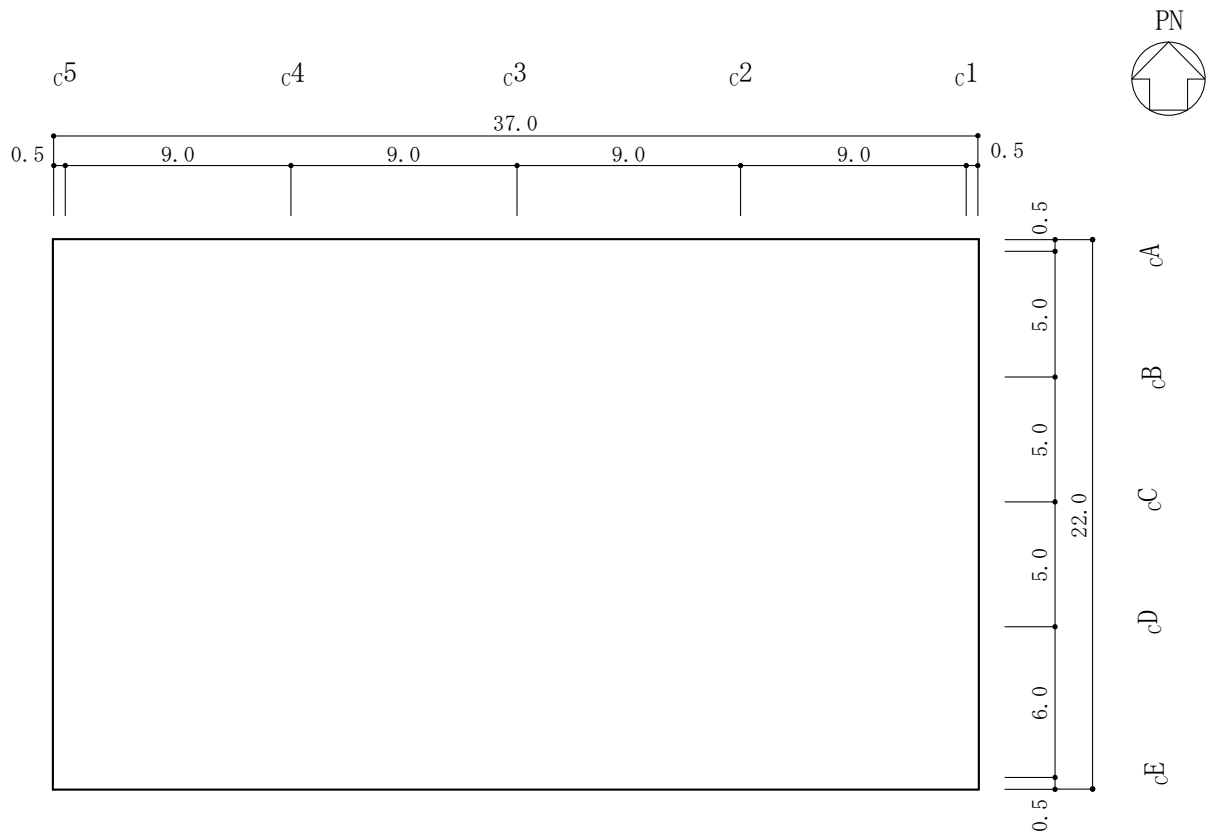
図 2-1 制御室建物の配置図

## 2.2 構造概要

制御室建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

制御室建物は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、高さ 21.95m、地上 4 階建の建物である。建物の平面は 22.0m（南北方向）×37.0m（東西方向）である。

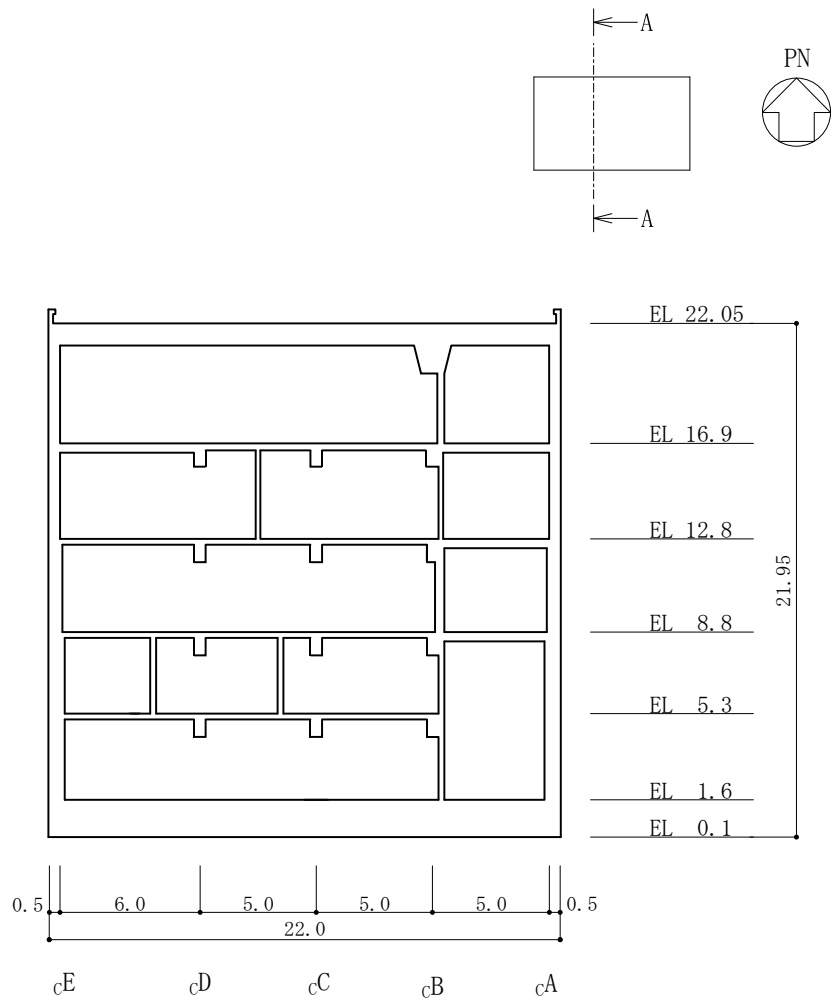
制御室建物の屋根面の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。



(単位：m)

図 2-2 制御室建物の概略平面図

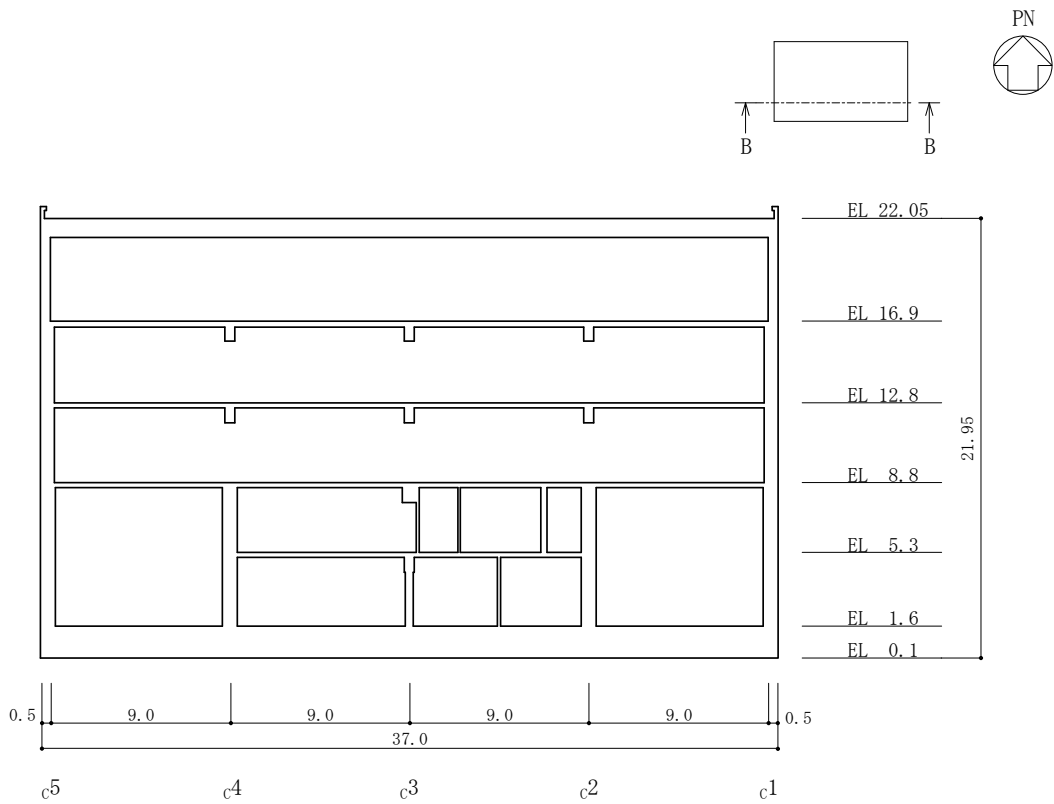




(単位：m)

図 2-3(1) 制御室建物の概略断面図 (A-A 断面, 南北方向)

注：「EL」は東京湾平均海面(T.P.)を基準としたレベルを示す。



(単位 : m)

図 2-3(2) 制御室建物の概略断面図 (B-B 断面, 東西方向)

### 2.3 評価方針

制御室建物の強度評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建物の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

制御室建物の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根スラブを、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

設計荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根及び耐震壁に作用する荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」に従い、制御室建物の応力解析モデル及び質点系モデルを用いて評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。

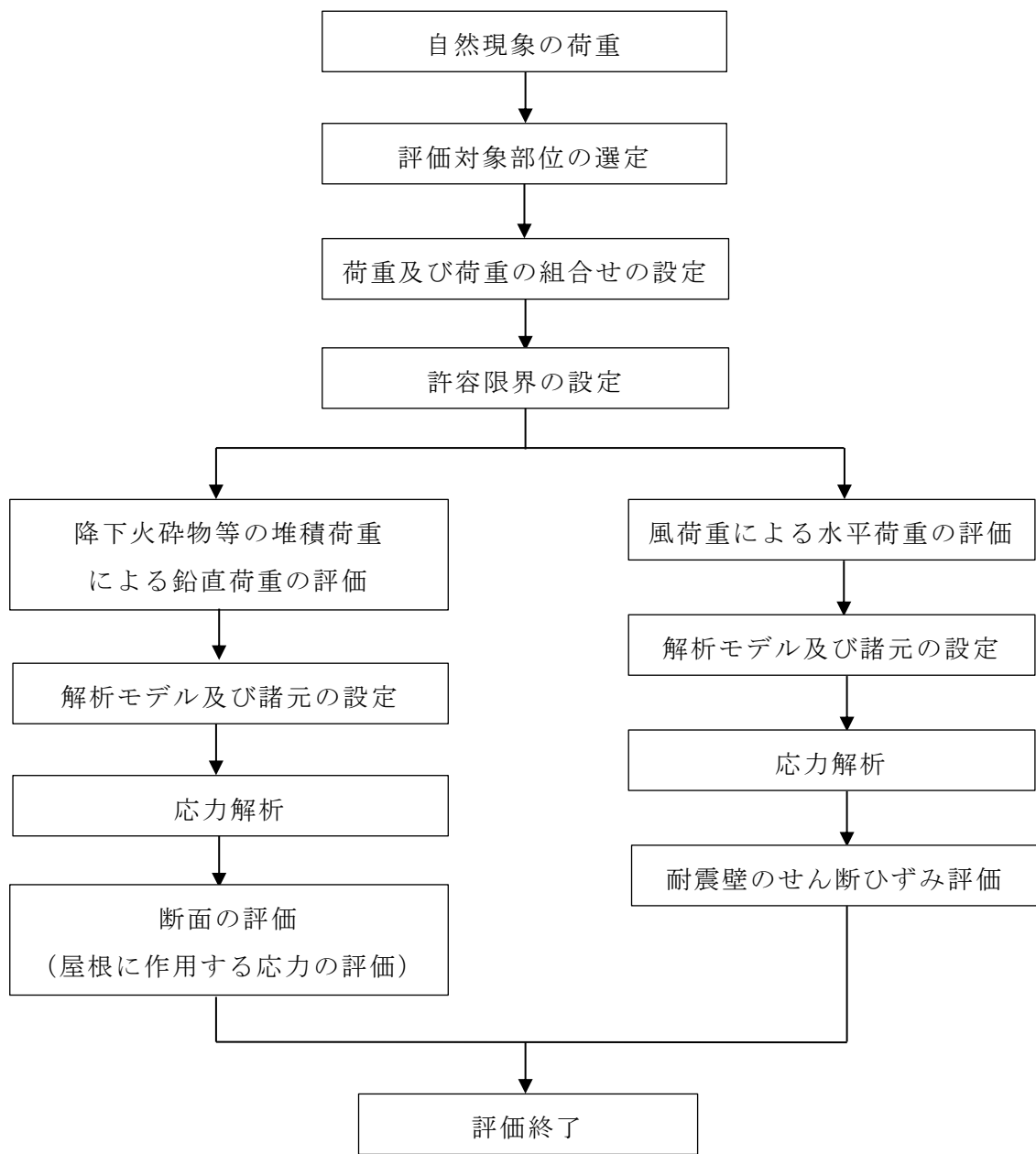


図 2-4 強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

制御室建物の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 年改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 年制定）
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（J S M E S N E 1 -2003）（（社）日本機械学会）

### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

制御室建物の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ及び耐震壁とする。また、屋根スラブを支持する 4 階 (EL 22.05m~EL 16.9m) の壁 (以下「支持壁」という。) が屋根スラブの厚さよりも薄いことから、支持壁についても合わせて評価する。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

##### 3.2.1 荷重

###### (1) 屋根スラブ

###### a. 鉛直荷重

表 3-1 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重\*<sup>1</sup> ( $G$ ) 及び積載荷重\*<sup>2</sup> ( $P$ ) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N}/\text{m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。なお、水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、鉛直荷重に抵抗する部位の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。

注記\*1：固定荷重には躯体重量・仕上重量の他、機器・配管荷重を含む。

\*2：常時の積載荷重（機器搬出入時の荷重等を含む）と除灰時の作業時荷重 ( $0.981\text{kN}/\text{m}^2$ ) のうち大きい方の値を設定する。

表 3-1 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 22.05m, スラブ厚さ  $t = \square$  mm)

(単位：kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	29.009
	積載荷重 (P)	0.981
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7

(2) 耐震壁

風荷重の算出に用いる基準風速は、30m/s とする。

風荷重 (W) は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高 H が 5m を超えるため、H が Z<sub>b</sub> を超える場合の式を用いる。風荷重 (W) の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数 C 及び風の受圧面積 A<sub>1</sub> に基づき実施し、風荷重 (W) の算出に用いる受圧面積の算定において、隣接する建物の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

Z<sub>G</sub>, Z<sub>b</sub>, α : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値

風荷重算定に使用する入力条件及び風荷重を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

表 3-2 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 V <sub>D</sub> (m/s)	全高 H (m)	Z <sub>G</sub> (m)	α	ガスト 影響係数 G	設計用 速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )
制御室建物	30	7.8	350	0.15	2.20	1097.3

表 3-3 制御室建物の風力係数，受圧面積及び風荷重

(a) 南北方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)
	風上*	風下	風上	風下	
22.80~19.475	0.800	0.4	123	123	162
19.475~15.00	0.700	0.4	166	166	200

注記\*：C（風上）は基準階での値を示す。

(b) 東西方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)
	風上*	風下	風上	風下	
22.80~19.475	0.800	0.4	73	73	96
19.475~15.00	0.700	0.4	99	99	119

注記\*：C（風上）は基準階での値を示す。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-4 に示す。

ケース 1 は従荷重として，鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため耐震壁を評価対象とする。ケース 2 は従荷重として積雪荷重を組み合わせ，鉛直荷重のみを用いて評価するため屋根スラブを評価対象とする。

表 3-4 荷重の組合せ

考慮する 荷重の 組合せ	荷重*				
	常時作用する 荷重 (F <sub>d</sub> )		主荷重 降下火砕物に よる荷重 (F <sub>a</sub> )	従荷重	
	固定 荷重	積載 荷重		積雪荷重 (F <sub>s</sub> )	風荷重 (W)
ケース 1	○	○	○	○	○
ケース 2	○	○	○	○	—

注記\*：○は考慮する荷重を示す。



### 3.3 許容限界

制御室建物の許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建物の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ及び耐震壁の許容限界を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005年制定）」（以下「RC-N規準」という。）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）」に基づき表 3-5 に、コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-5 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
—	構造強度を有すること	屋根スラブ（支持壁を含む）	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup>	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ（支持壁を含む）	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup> （中央制御室遮蔽及び補助遮蔽）	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

注記\*<sup>1</sup>：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*<sup>2</sup>：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

表 3-6 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
22.1	14.6	1.06

表 3-7 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別*	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

注記\*：建設当時の鋼材の種類を，現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

### 3.4 解析モデル及び諸元

#### 3.4.1 モデル化の基本方針

##### (1) 屋根スラブ

###### a. 基本方針

屋根スラブ（支持壁を含む）について，3次元FEMモデルを用いた応力解析を行い，断面の評価を行う。

応力解析は，3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とする。解析には，解析コード「FINAL」を用いる。応力解析モデルは，制御室建物4階（EL 16.9m）より上部の鉄筋コンクリート造の屋根スラブ，支持壁，柱及びはりをモデル化する。解析モデルを図3-1に示す。

###### b. 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は，屋根スラブ及び支持壁については積層シェル要素，柱及びはりについてはファイバー要素とする。各要素は，鉄筋層をモデル化した異方性材料による要素である。

各要素には，板の曲げと軸力を同時に考えるが，板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

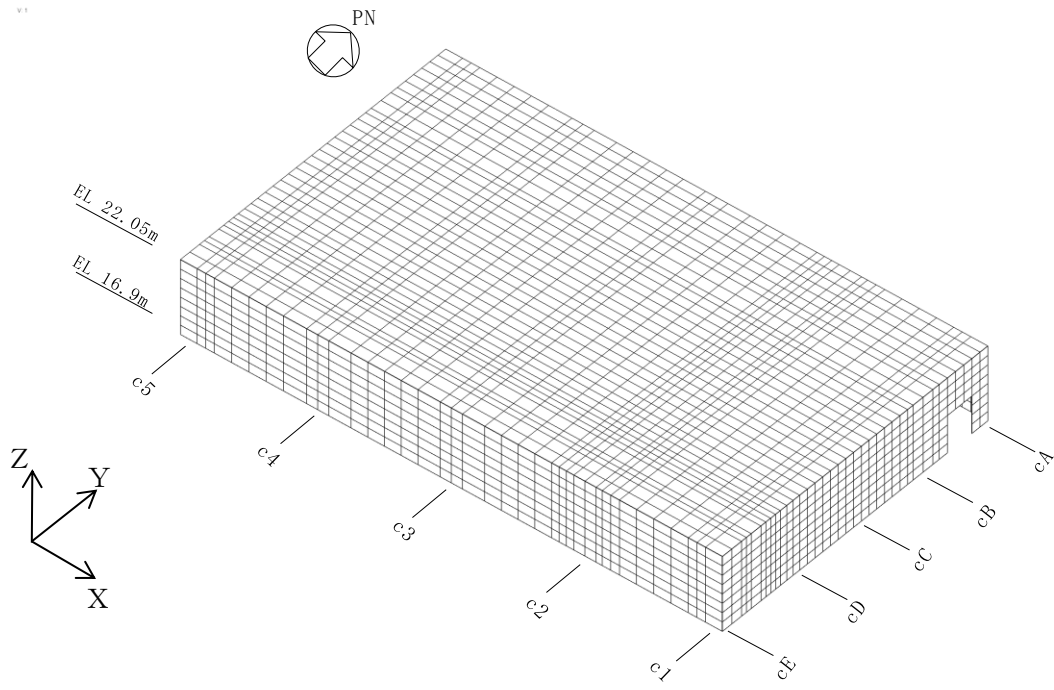
###### c. 境界条件

3次元FEMモデルのEL 16.9mの位置を固定とする。

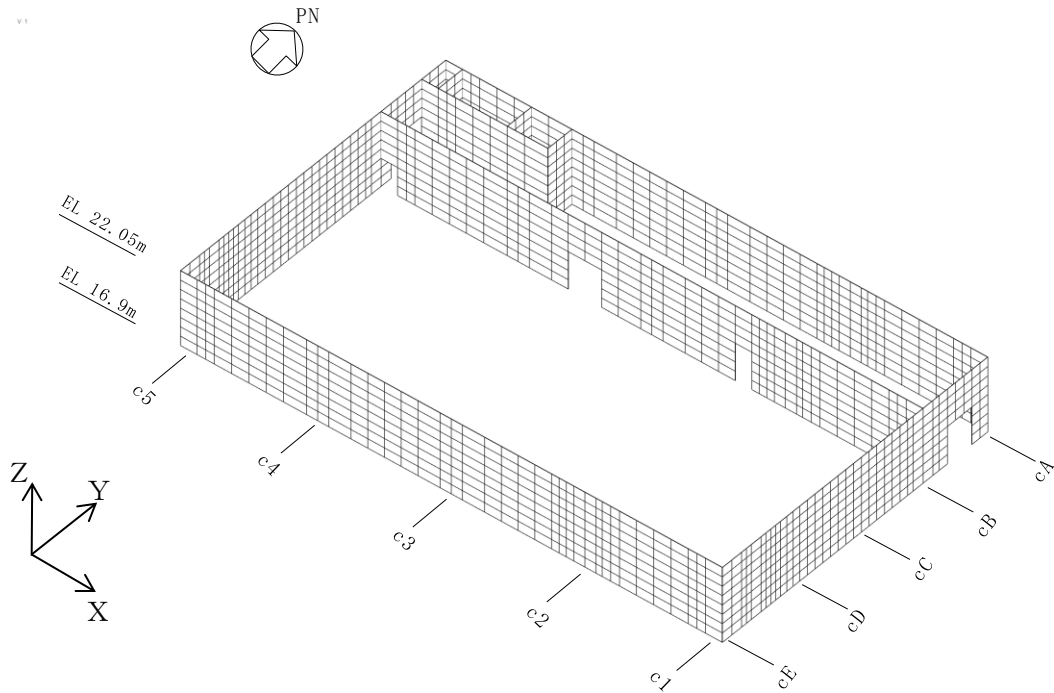
###### d. 材料構成則

材料構成則を図3-2に示す。

コンクリートのヤング係数及び圧縮強度については，設計基準強度に基づき算定した値とする。

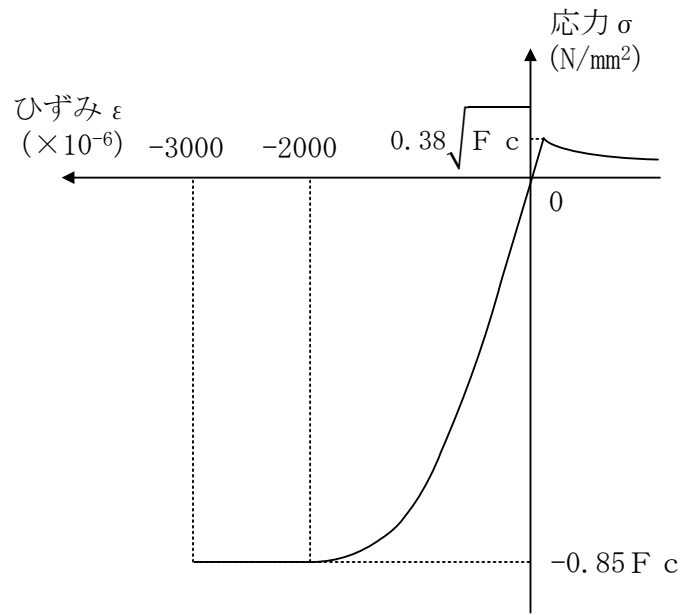


(a) 鳥瞰図 (屋根スラブ表示)



(b) 鳥瞰図 (屋根スラブ非表示)

図 3-1 応力解析モデル



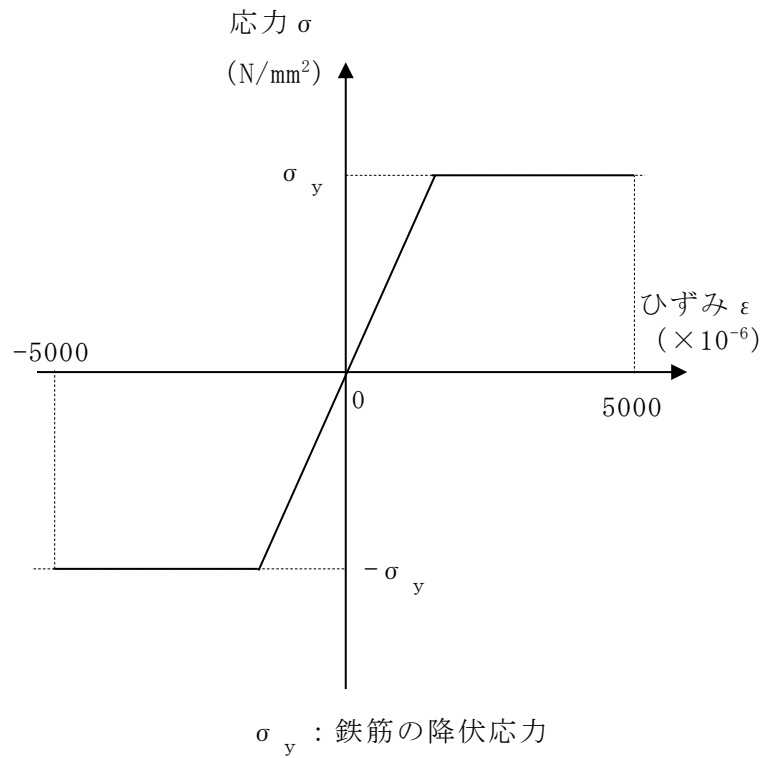
$F_c$  : コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	$\sigma_c = -0.85 F_c$ (発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ( (社) 日本機械学会, 2003) )
終局圧縮ひずみ	$-3000 \times 10^{-6}$ (発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ( (社) 日本機械学会, 2003) )
圧縮側のコンクリート構成則	長沼 (1995) による式 (「修正 Ahmad」) (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 ( $c = 0.4$ ) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \sqrt{F_c}$ (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法- ( (社) 日本建築学会, 1999年改定) )

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 3-2 材料構成則 (1/2)



項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型 (発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ( (社) 日本機械学会, 2003) )
終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ( (社) 日本機械学会, 2003) )

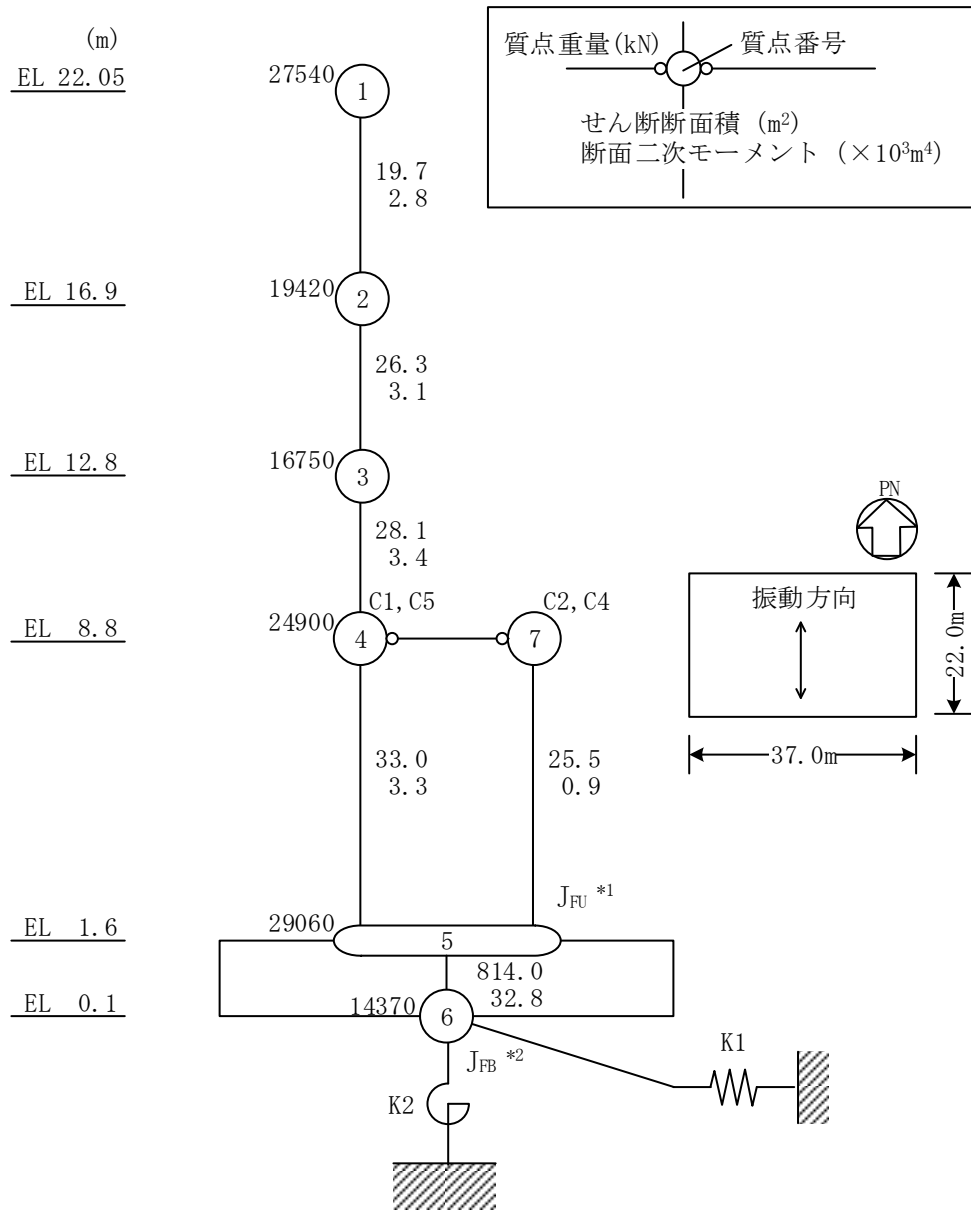
注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

図 3-2 材料構成則 (2/2)

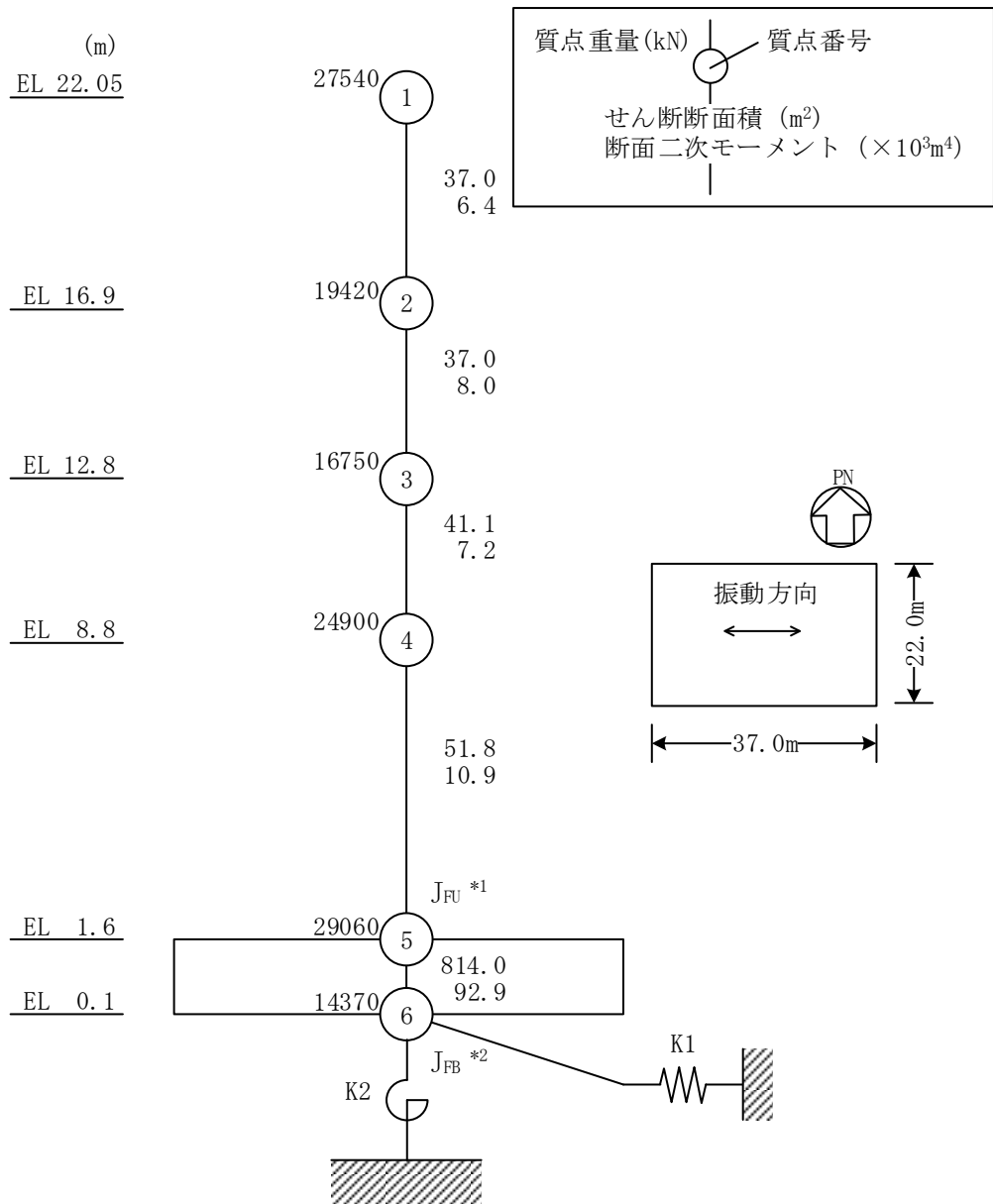
(2) 耐震壁

耐震壁は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。解析に使用するコードは、「NUPP4」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。地震応答解析モデルを図3-3に示す。



注記\*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）( $47.46 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )  
 \*2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）( $5.79 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

図3-3 地震応答解析モデル（水平方向）(1/2)



注記\*1: 回転慣性重量 (基礎スラブ上端) ( $13.42 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

\*2: 回転慣性重量 (基礎スラブ下端) ( $1.64 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

(東西方向)

図 3-3 地震応答解析モデル (水平方向) (2/2)



### 3.4.2 解析諸元

#### (1) 屋根スラブ

屋根スラブ（支持壁を含む）の評価に使用するコンクリート及び鉄筋の物性値を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 コンクリートの物性値

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G
22.1	2.20×10 <sup>4</sup>	9.18×10 <sup>3</sup>

表 3-9 鉄筋の物性値

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

鉄筋の種類	降伏応力 $\sigma_y$	ヤング係数 E
SD35 (SD345 相当)	345	2.05×10 <sup>5</sup>

#### (2) 耐震壁

耐震壁の評価に使用する鉄筋コンクリートの物性値を表 3-10 に示す。

表 3-10 鉄筋コンクリートの物性値

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

ヤング係数 E	せん断弾性係数 G
2.20×10 <sup>4</sup>	9.18×10 <sup>3</sup>

### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 屋根スラブの評価方法

##### (1) 応力解析方法

屋根スラブ（支持壁を含む）について，降下火砕物堆積時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，次の荷重を組み合わせで求める。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表3-11に示す。

表3-11 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース2	$F_d + F_a + F_s$

##### (2) 断面の評価方法

##### a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が，短期許容応力度を超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象箇所に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot {}_w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

$b$  : 断面の幅 (mm)

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数で、次式による。

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

${}_w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$x$  : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記\* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

### 3.5.2 耐震壁の評価方法

耐震壁の評価は、風荷重を地震応答解析モデルの各床レベルの質点位置に水平方向に作用させ、耐震壁に発生するせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。なお、耐震壁の応力計算には、地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、本評価では保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

#### 4. 強度評価結果

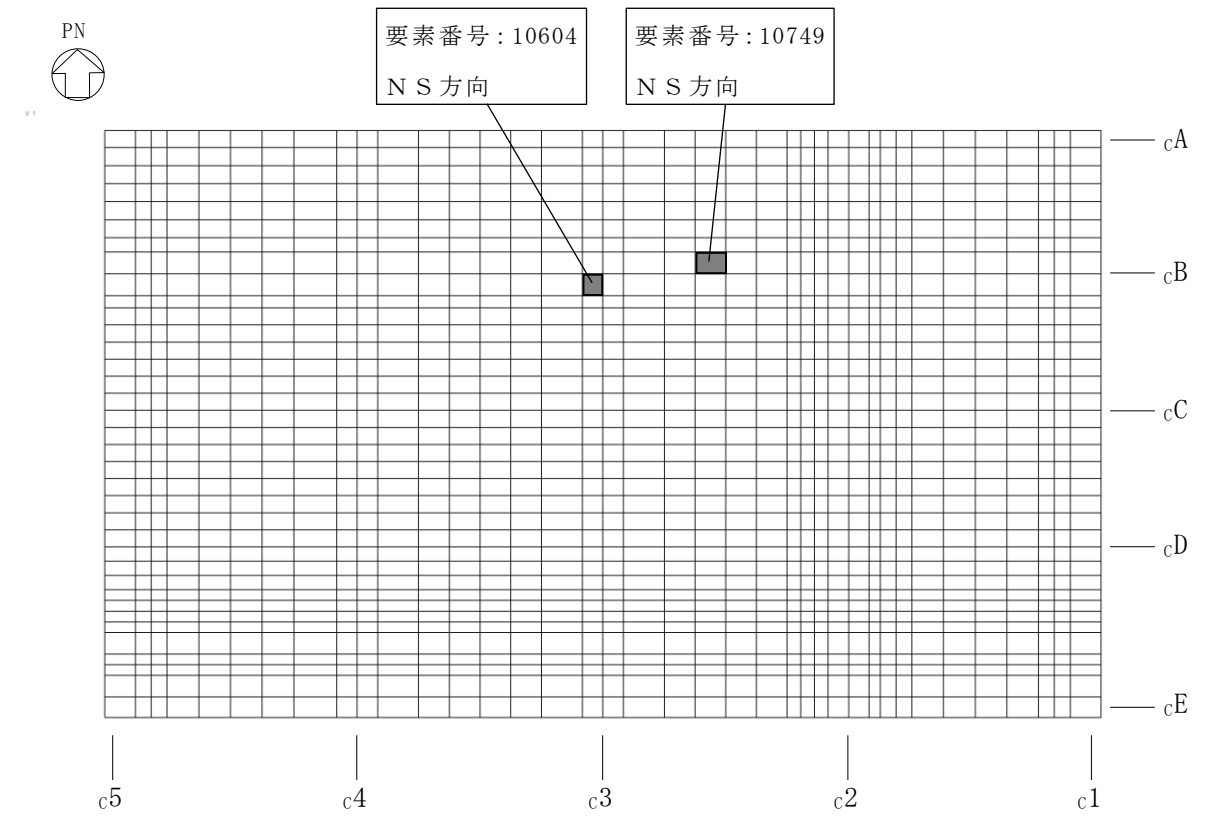
##### 4.1 屋根スラブの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。

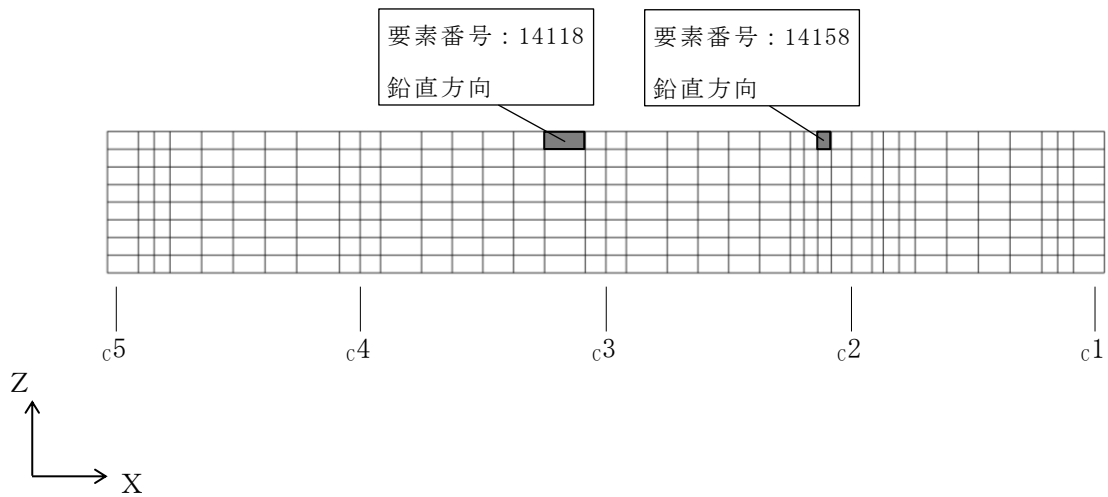
断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力に対する評価において、検定値（許容値に対する発生値の割合）が最大となる要素とする。

選定した要素の位置を図 4-1 に、評価結果を表 4-1 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力が、許容限界を超えないことを確認した。



(a) 屋根スラブ



(b) 支持壁 (c E 通り)

図4-1 選定した要素の位置

表4-1 評価結果

部位	評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
屋根スラブ	軸力 + 曲げモーメント	鉄筋 引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	N S	10749	108.3	345
	面外せん断力	面外せん断力 (kN/m)	N S	10604	482.4	1246.4
支持壁	軸力 + 曲げモーメント	鉄筋 引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉛直	14118	93.9	345
	面外せん断力	面外せん断力 (kN/m)	鉛直	14158	111.1	380.2

#### 4.2 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表4-2に示す。なお、各方向において最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表4-2 耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	高さ(EL) (m)	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
ケース1	せん断 ひずみ	南北方向	16.9~12.8	0.00150	2.0
		東西方向	16.9~12.8	0.000634	2.0



5. 引用文献

- (1) 長沼一洋：三軸圧縮下のコンクリートの応力～ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，第474号，1995.8
- (2) 出雲淳一，島弘，岡村甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル，コンクリート工学，Vol.25，No.9，1987.9

VI-3-別添 2-8 廃棄物処理建物の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法及び評価条件	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1 荷重	8
3.2.2 荷重の組合せ	12
3.3 許容限界	12
3.4 解析モデル及び諸元	14
3.4.1 モデル化の基本方針	14
3.4.2 解析諸元	17
3.5 評価方法	18
3.5.1 屋根スラブの評価方法	18
3.5.2 耐震壁の評価方法	21
4. 強度評価結果	22
4.1 屋根スラブの評価結果	22
4.2 耐震壁の評価結果	27

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、廃棄物処理建物が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、建物全体及び建物の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

廃棄物処理建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、本資料では、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

廃棄物処理建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。廃棄物処理建物の配置を図 2-1 に示す。

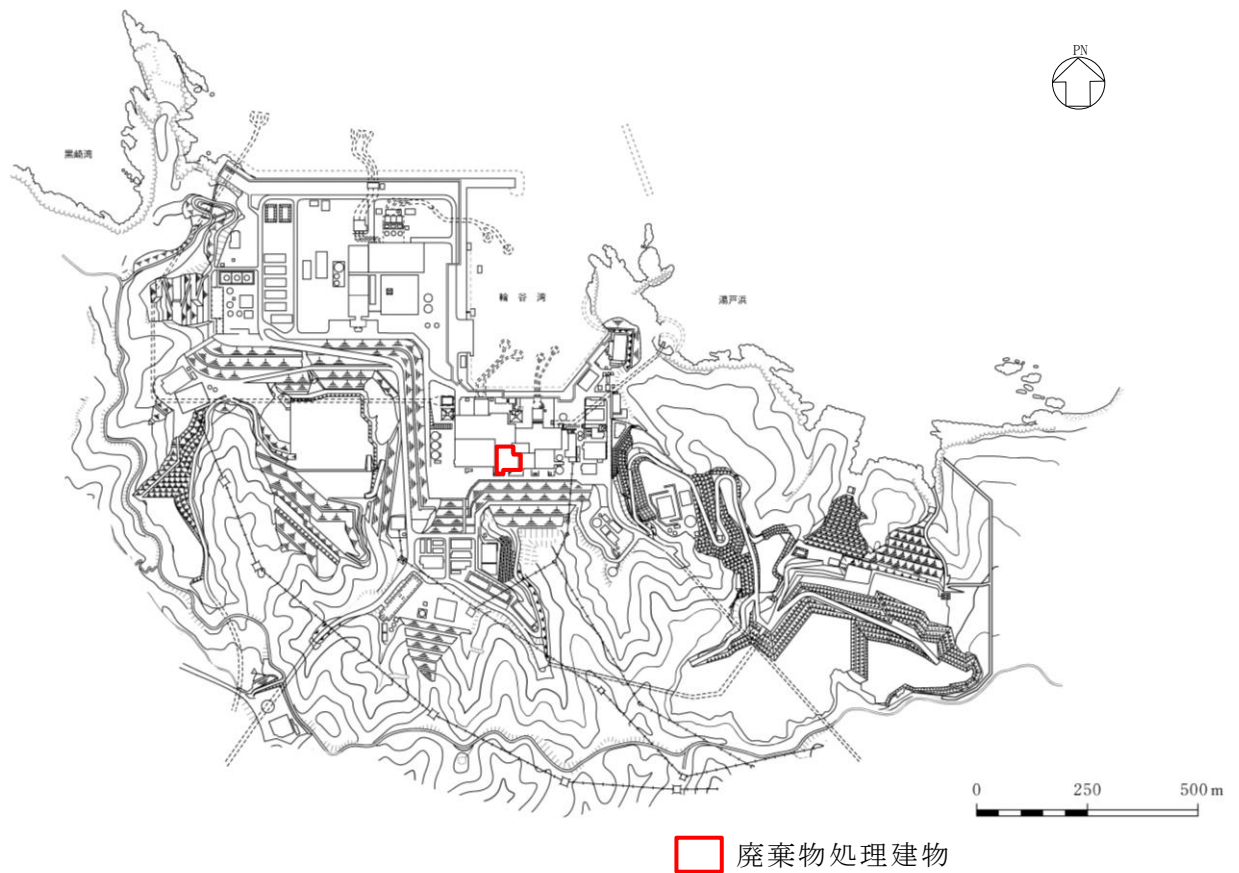


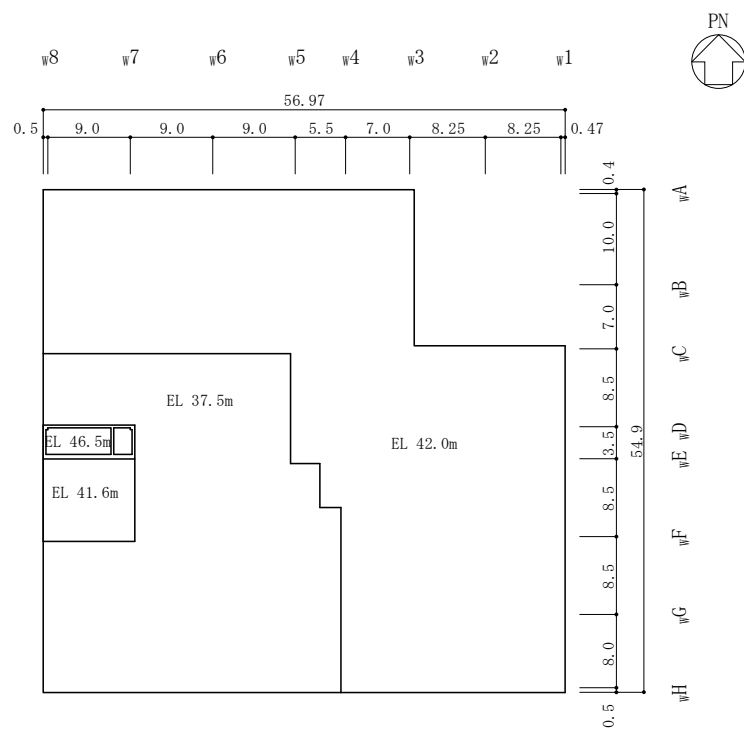
図 2-1 廃棄物処理建物の配置図

## 2.2 構造概要

廃棄物処理建物は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

廃棄物処理建物は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、高さ 42.0m、地上 5 階、地下 2 階建の建物である。建物の平面は 54.9m（南北方向）×56.97m（東西方向）となっている。

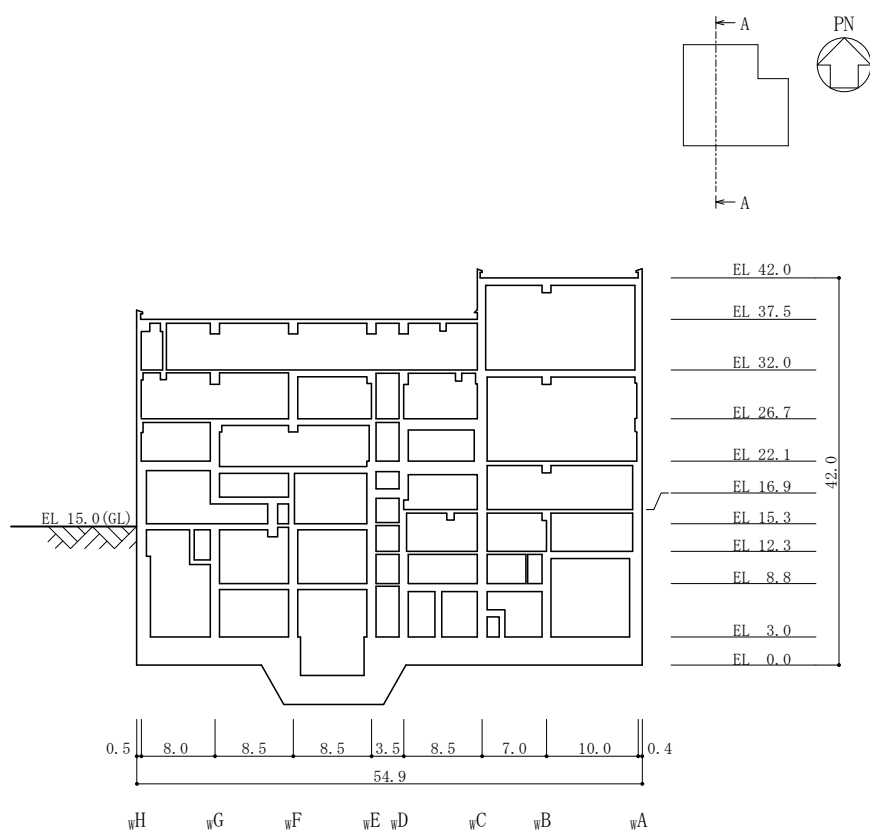
廃棄物処理建物の屋根面の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。



(単位 : m)

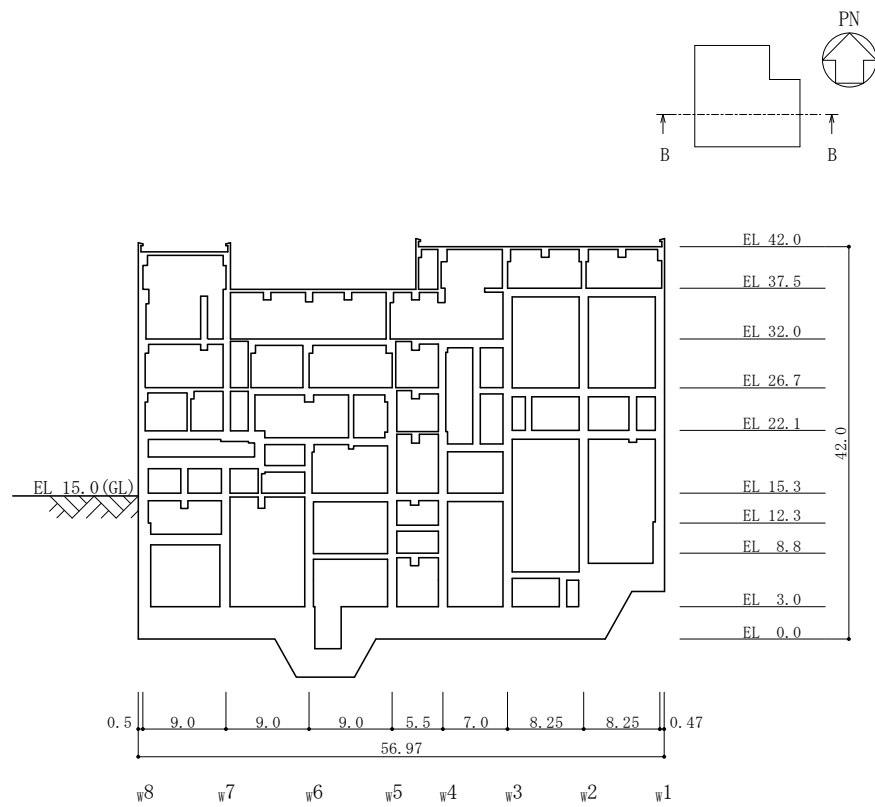
図 2-2 廃棄物処理建物の概略平面図

注：「EL」は東京湾平均海面(T.P.)を基準としたレベルを示す。



(単位 : m)

図 2-3(1) 廃棄物処理建物の概略断面図 (A-A 断面, 南北方向)



(単位 : m)

図 2-3(2) 廃棄物処理建物の概略断面図 (B-B 断面, 東西方向)

### 2.3 評価方針

廃棄物処理建物の強度評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建物の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

廃棄物処理建物の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根スラブを、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

設計荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根及び耐震壁に作用する荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」に従い、廃棄物処理建物の応力解析モデル及び質点系モデルを用いて評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。



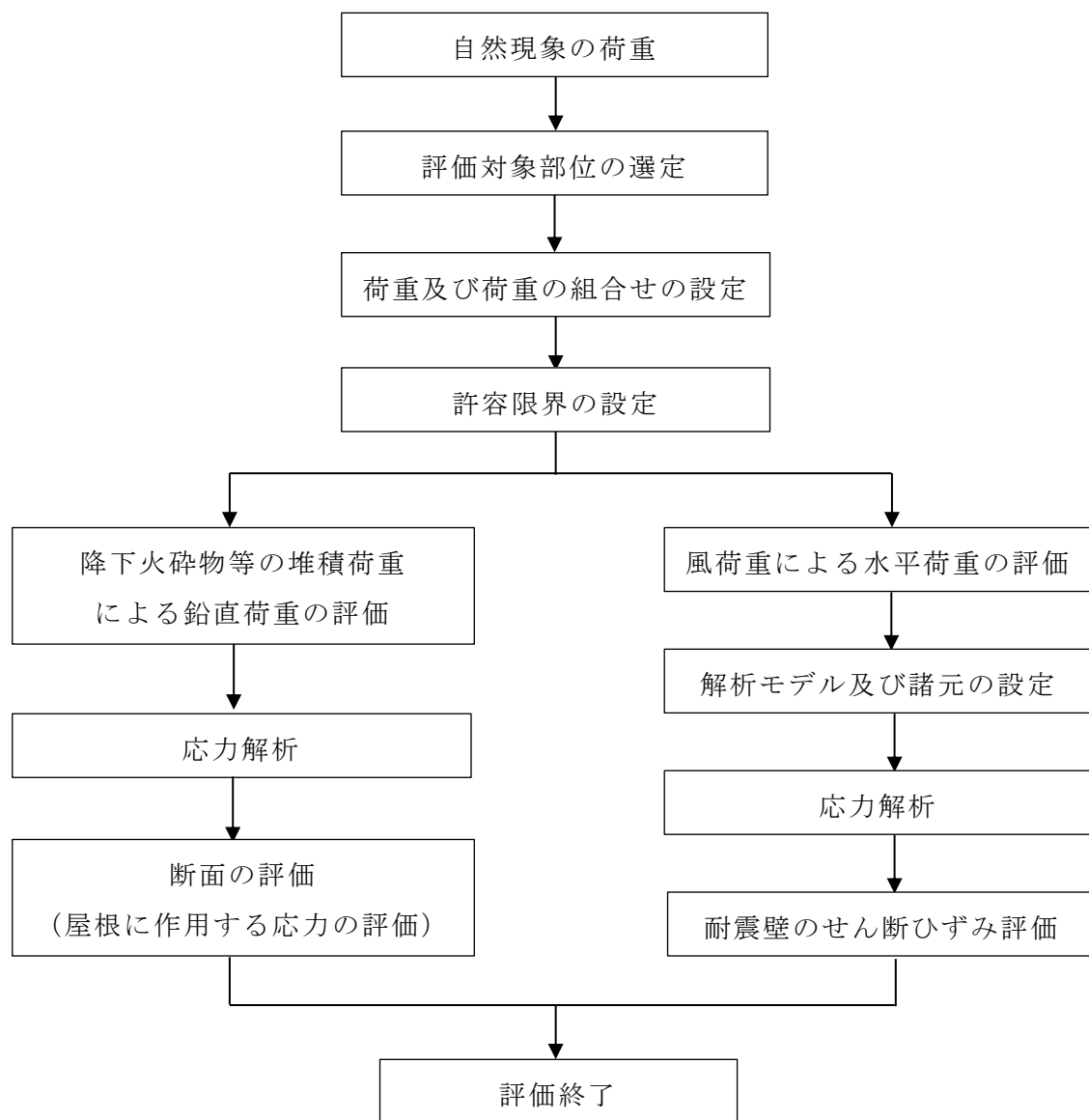


図 2-4 強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

廃棄物処理建物の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 年改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 年制定）

### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

廃棄物処理建物の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ及び耐震壁とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

##### 3.2.1 荷重

###### (1) 屋根スラブ

###### a. 鉛直荷重

表 3-1～表 3-4 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重\*1( $G$ ) 及び積載荷重\*2( $P$ ) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g/cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。なお、水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、鉛直荷重に抵抗する部位の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。

注記\*1：固定荷重には躯体重量・仕上重量の他、機器・配管荷重を含む。

\*2：常時の積載荷重（機器搬出入時の荷重等を含む）と除灰時の作業時荷重 ( $0.981\text{kN/m}^2$ ) のうち大きい方の値を設定する。

表 3-1 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 37.5m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm,  $\square$ mm）  
（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（F <sub>d</sub> ）	固定荷重（G）	$t = \square$ mm	11.278
		$t = \square$ mm	13.632
積載荷重（P）		0.981	
降下火砕物による荷重（F <sub>a</sub> ）		8.238	
積雪荷重（F <sub>s</sub> ）		0.7	

表 3-2 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 41.6m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm）  
（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（F <sub>d</sub> ）	固定荷重（G）	15.985
	積載荷重（P）	0.981
降下火砕物による荷重（F <sub>a</sub> ）		8.238
積雪荷重（F <sub>s</sub> ）		0.7

表 3-3 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 42.0m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm,  $\square$ mm,  $\square$ mm,  
 $\square$ mm,  $\square$ mm）  
（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（F <sub>d</sub> ）	固定荷重（G）	$t = \square$ mm	11.278
		$t = \square$ mm	15.985
		$t = \square$ mm	17.162
		$t = \square$ mm	20.693
		$t = \square$ mm	39.521
積載荷重（P）		0.981	
降下火砕物による荷重（F <sub>a</sub> ）		8.238	
積雪荷重（F <sub>s</sub> ）		0.7	

表 3-4 鉛直荷重一覧（屋根スラブ EL 46.5m, スラブ厚さ  $t = \square$ mm）  
（単位：kN/m<sup>2</sup>）

常時作用する荷重（F <sub>d</sub> ）	固定荷重（G）	11.278
	積載荷重（P）	0.981
降下火砕物による荷重（F <sub>a</sub> ）		8.238
積雪荷重（F <sub>s</sub> ）		0.7

## (2) 耐震壁

風荷重の算出に用いる基準風速は、30m/s とする。

風荷重 (W) は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高 H が 5m を超えるため、H が  $Z_b$  を超える場合の式を用いる。風荷重 (W) の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数 C 及び風の受圧面積  $A_1$  に基づき実施し、風荷重 (W) の算出に用いる受圧面積の算定において、隣接する建物の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

$Z_G$ ,  $Z_b$ ,  $\alpha$  : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値

風荷重算定に使用する入力条件及び風荷重を表 3-5 及び表 3-6 に示す。

表 3-5 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 $V_D$ (m/s)	全高 H (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$	ガスト 影響係数 G	設計用 速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )
廃棄物処理建物	30	32.1	350	0.15	2.05	1564.4

表 3-6 廃棄物処理建物の風力係数，受圧面積及び風荷重

(a) 南北方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 $A_1$ (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)
	風上*	風下	風上	風下	
47.177~39.75	0.800	0.4	261	261	490
39.75~34.75	0.719	0.4	285	285	499
34.75~29.35	0.661	0.4	308	308	511
29.35~24.40	0.591	0.4	282	282	437
24.40~19.50	0.509	0.4	279	279	397
19.50~16.10	0.458	0.4	194	194	260
16.10~15.00	0.458	0.4	63	63	84

注記\* : C (風上) は基準階での値を示す。

(b) 東西方向

高さ(EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 $A_1$ (m <sup>2</sup> )		風荷重 W (kN)
	風上*	風下	風上	風下	
47.177~39.75	0.800	0.4	231	231	434
39.75~34.75	0.719	0.4	275	275	481
34.75~29.35	0.661	0.4	297	297	492
29.35~24.40	0.591	0.4	272	272	421
24.40~19.50	0.509	0.4	288	288	410
19.50~16.10	0.458	0.4	207	207	278
16.10~15.00	0.458	0.4	67	67	90

注記\* : C (風上) は基準階での値を示す。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-7 に示す。

ケース 1 は従荷重として、鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため耐震壁を評価対象とする。ケース 2 は従荷重として積雪荷重を組み合わせ、鉛直荷重のみを用いて評価するため屋根スラブを評価対象とする。

表 3-7 荷重の組合せ

考慮する 荷重の 組合せ	荷重*				
	常時作用する 荷重 ( $F_d$ )		主荷重	従荷重	
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物に よる荷重 ( $F_a$ )	積雪荷重 ( $F_s$ )	風荷重 ( $W$ )
ケース 1	○	○	○	○	○
ケース 2	○	○	○	○	—

注記\*：○は考慮する荷重を示す。

### 3.3 許容限界

廃棄物処理建物の許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建物の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ及び耐震壁の許容限界を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005年制定）」（以下「RC-N規準」という。）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）」に基づき表 3-8 に、コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-9 及び表 3-10 に示す。

表 3-8 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
-	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* <sup>1</sup>
		耐震壁* <sup>2</sup>	最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものと設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

表 3-9 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表 3-10 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別*	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

注記\*：建設当時の鋼材の種類を、現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。



### 3.4 解析モデル及び諸元

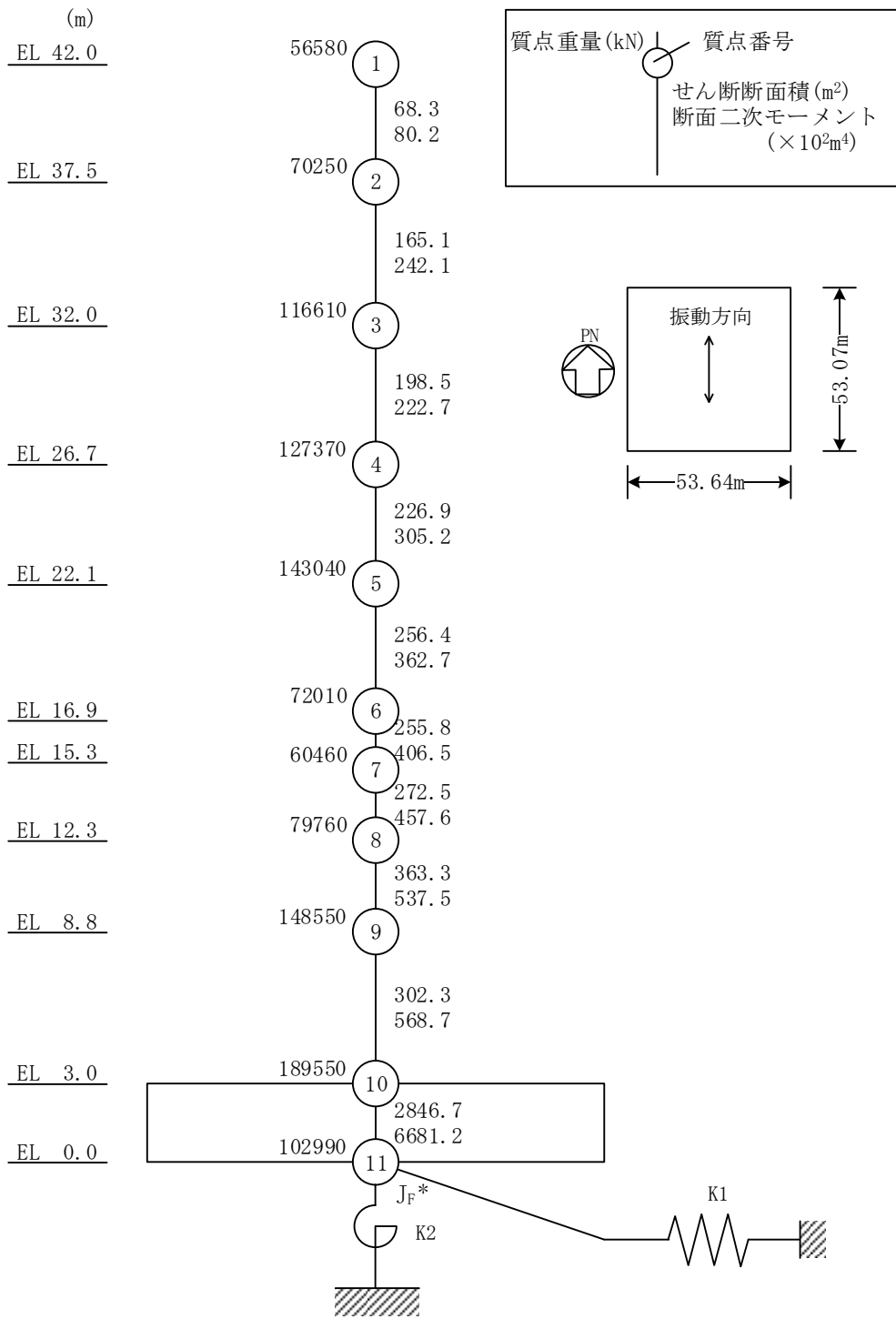
#### 3.4.1 モデル化の基本方針

##### (1) 屋根スラブ

屋根スラブは、端部の支持状況に応じたモデル化により応力算出を行う。

##### (2) 耐震壁

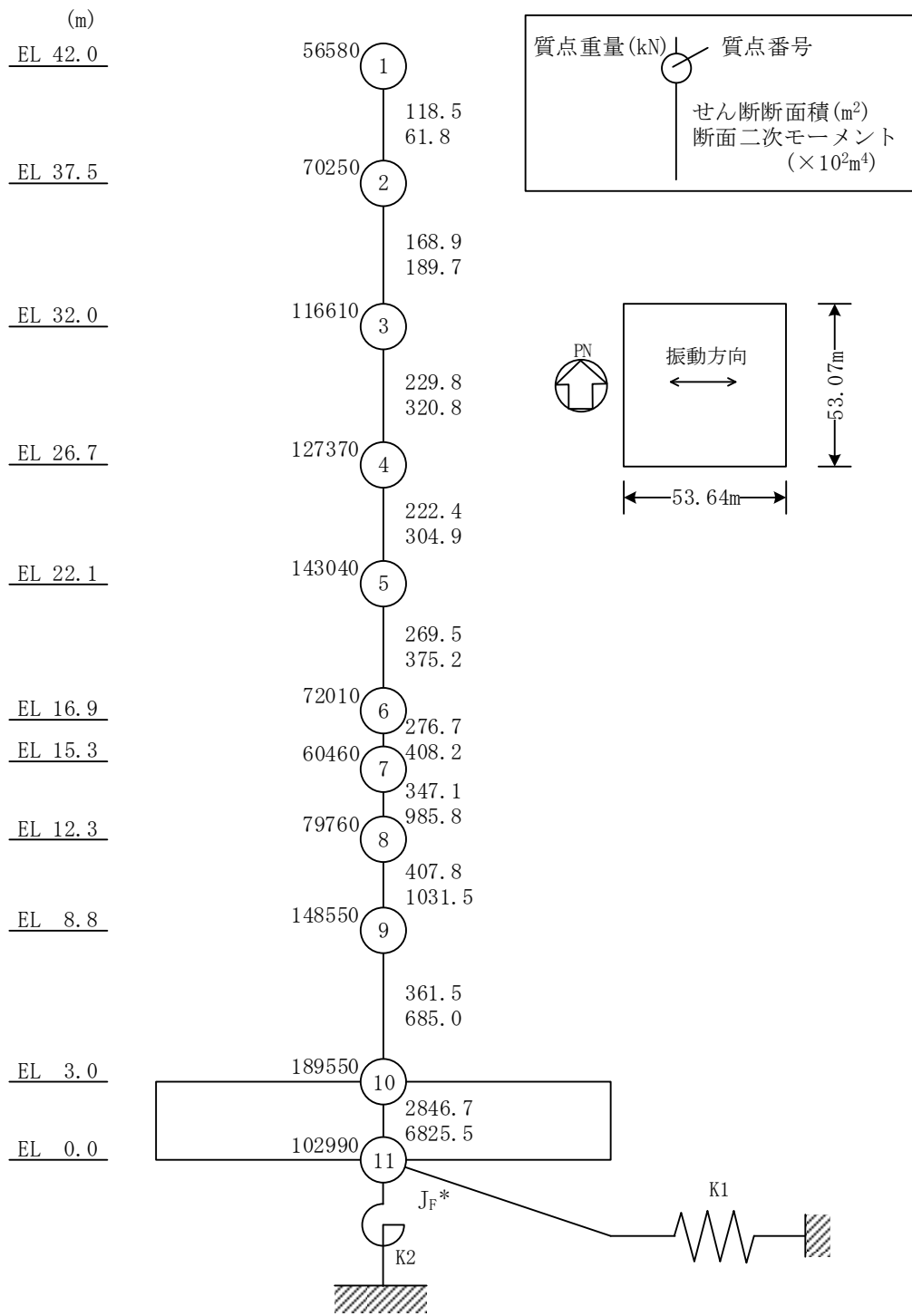
耐震壁は、VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。解析に使用するコードは、「NUPP4」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。地震応答解析モデルを図3-1に示す。



注記\* : 回転慣性重量 ( $29.35 \times 10^7 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

(南北方向)

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向) (1/2)



注記\* : 回転慣性重量 (31.61 × 10<sup>7</sup> kN · m<sup>2</sup>)

(東西方向)

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向) (2/2)

### 3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-11 に示す。

表 3-11 使用材料の物性値

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

使用材料	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G
鉄筋コンクリート	$2.25 \times 10^4$	$9.38 \times 10^3$

### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 屋根スラブの評価方法

##### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$ ：常時作用する荷重

$F_a$ ：降下火砕物による荷重

$F_s$ ：積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-12 に示す。

表 3-12 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

##### c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばり及び四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は次式により求める。

(両端固定ばり)

- ・ 端部曲げモーメント ( $M_E$ )

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot L^2$$

- ・ 中央部曲げモーメント ( $M_C$ )

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot L^2$$

- ・ せん断力 ( $Q_E$ )

$$Q_E = \frac{1}{2} w \cdot L$$

ここで，

$w$  : 等分布荷重 (N/m)

$L$  : 有効スパン (m)

(四辺固定版)

- 短辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{x1}$ )

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot L_x^2$$

- 短辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{x2}$ )

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot L_x^2$$

- 長辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{y1}$ )

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot L_x^2$$

- 長辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{y2}$ )

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot L_x^2$$

- 短辺方向のせん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot L_x$$

- 長辺方向のせん断力 ( $Q_y$ )

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot L_x$$

ここで,

$L_x$  : 短辺有効スパン (m)

$L_y$  : 長辺有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$w_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} w$$

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

### a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで,

- $\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象箇所に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot {}_w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

- $Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)  
 $b$  : 断面の幅 (mm)  
 $j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)  
 $\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数で、次式による。  
 (2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

- $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $Q$  : せん断力 (N)  
 $d$  : 断面の有効せい (mm)  
 $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

- $a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $x$  : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記\* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

### 3.5.2 耐震壁の評価方法

耐震壁の評価は、風荷重を地震応答解析モデルの各床レベルの質点位置に水平方向に作用させ、耐震壁に発生するせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。なお、耐震壁の応力計算には、地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、本評価では保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

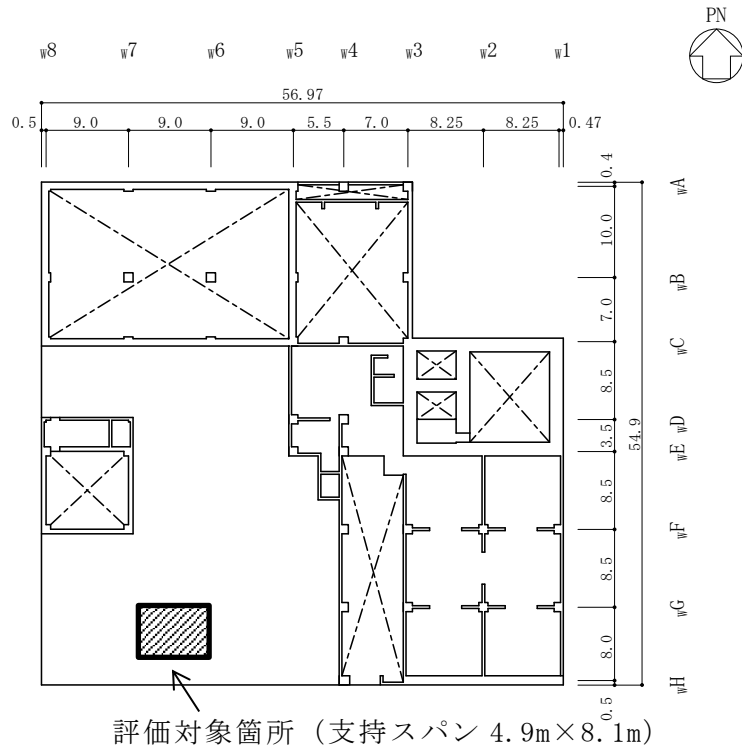


#### 4. 強度評価結果

##### 4.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-1 及び図 4-2 に示す。また、評価結果を表 4-1～表 4-3 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。



(単位：m)

図 4-1 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 37.5m)

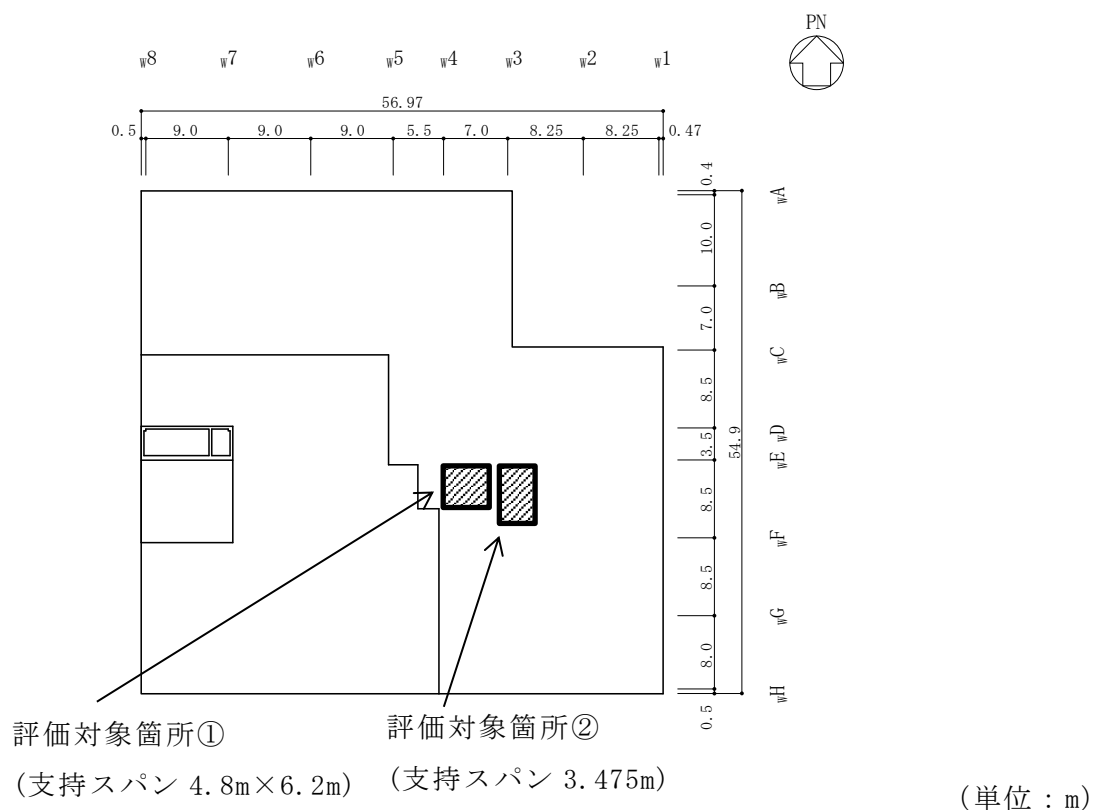


図 4-2 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 42.0m)

表 4-1 屋根スラブの評価結果(EL 37.5m)

EL (m)		37.5
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	37.4
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	281.7
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.82
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	54.0
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.26
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.03
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.11
	検定値	0.24

表 4-2 屋根スラブの評価結果 (EL 42.0m) (評価対象箇所①)

EL (m)		42.0
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D13@100 (1270mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	20.0
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	150.7
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.44
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	52.9
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.26
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.19
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.28
	検定値	0.21

表 4-3 屋根スラブの評価結果 (EL 42.0m) (評価対象箇所②)

EL (m)		42.0
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	21.4
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	152.3
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.45
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	36.9
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.17
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.21
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.30
	検定値	0.14

#### 4.2 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-4 に示す。なお、各方向において最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4-4 耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	高さ(EL) (m)	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
ケース 1	せん断 ひずみ	南北方向	16.9~15.3	0.00108	4.0
		東西方向	16.9~15.3	0.000970	4.0

VI-3-別添 2-9 排気筒モニタ室の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方法	4
2.4 適用規格・基準等	6
3. 強度評価方法及び評価条件	7
3.1 評価対象部位	7
3.2 荷重及び荷重の組合せ	7
3.2.1 荷重	7
3.2.2 荷重の組合せ	10
3.3 許容限界	11
3.4 解析モデル及び諸元	13
3.4.1 モデル化の基本方針	13
3.4.2 解析諸元	16
3.5 評価方法	17
3.5.1 屋根スラブの評価方法	17
3.5.2 はりの評価方法	19
3.5.3 支持柱の評価方法	21
3.5.4 耐震壁の評価方法	22
4. 強度評価結果	23
4.1 屋根スラブの評価結果	23
4.2 小ばりの評価結果	25
4.3 大ばりの評価結果	27
4.4 支持柱の評価結果	29
4.5 耐震壁の評価結果	30



## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、排気筒モニタ室が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、建物全体及び建物の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

排気筒モニタ室は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、本資料では、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

排気筒モニタ室は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。排気筒モニタ室の配置を図 2-1 に示す。

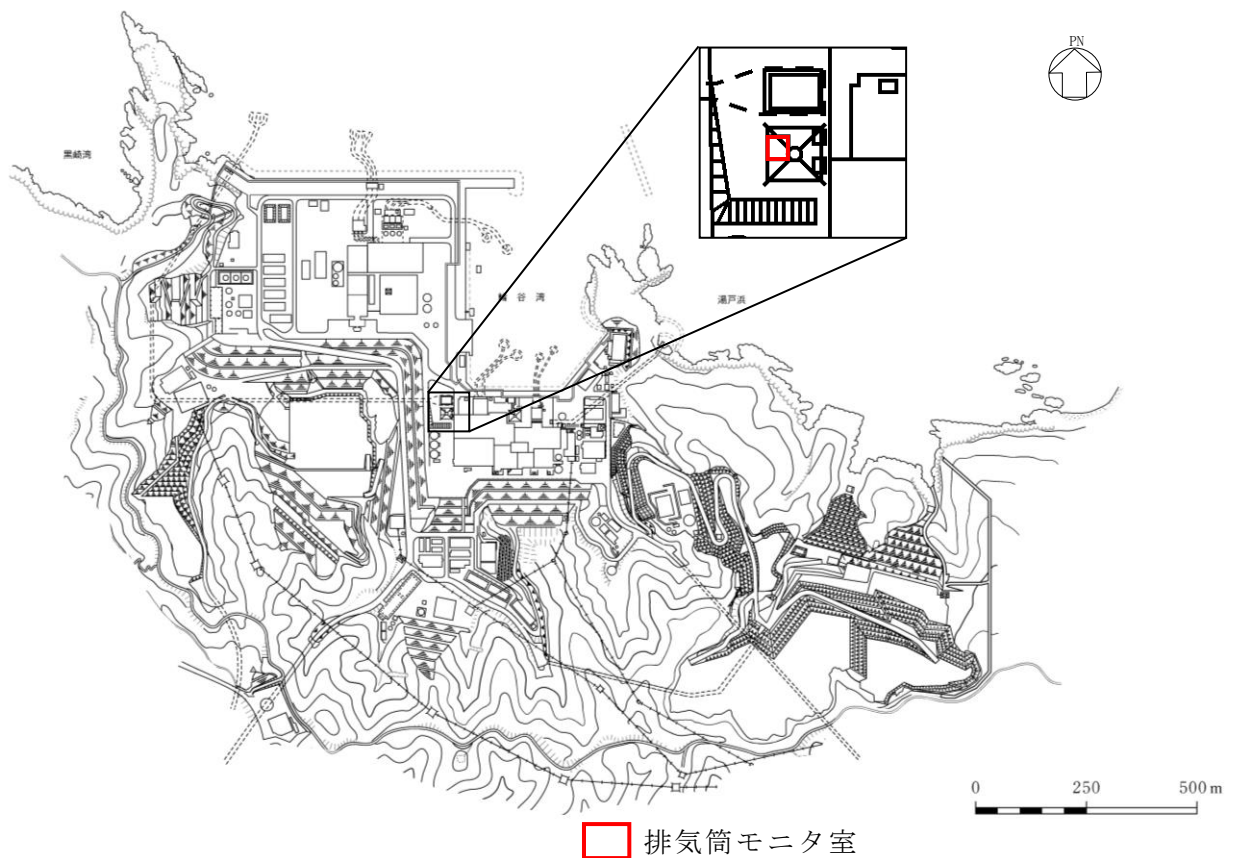


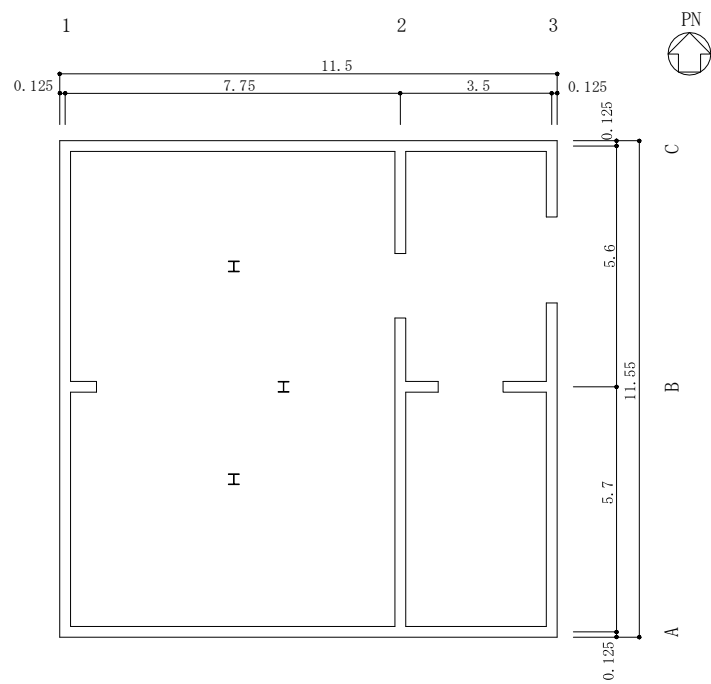
図 2-1 排気筒モニタ室の配置図

## 2.2 構造概要

排気筒モニタ室は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

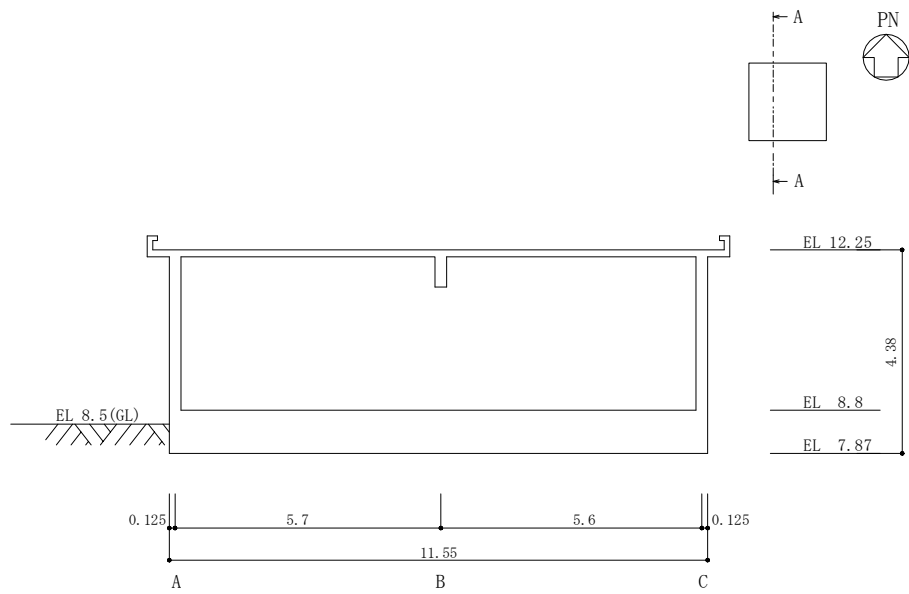
排気筒モニタ室は、高さ 4.38m の平屋で、平面が 11.55m（南北方向）×11.5m（東西方向）の鉄筋コンクリート造の建物である。

排気筒モニタ室の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。



(単位：m)

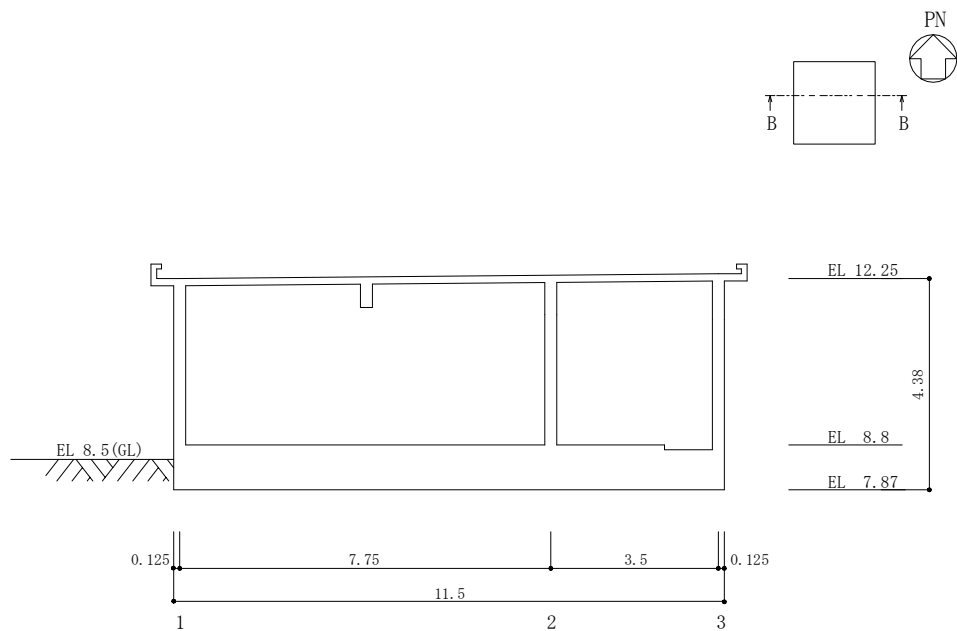
図 2-2 排気筒モニタ室 概略平面図



(単位：m)

図 2-3(1) 排気筒モニタ室 概略断面図 (A-A 断面, 南北方向)

注：「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。



(単位：m)

図 2-3(2) 排気筒モニタ室 概略断面図 (B-B 断面, 東西方向)

### 2.3 評価方法

排気筒モニタ室の強度評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建物の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

排気筒モニタ室の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根スラブを、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

設計荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根及び耐震壁に作用する荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」に従い、評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」に従い設定する。

なお、排気筒モニタ室は降下火砕物による荷重に対して、健全性を確保するために補強工事を実施することから、補強内容を反映した評価を実施することとし、補強により対応することとしたはり及び補強部材である支持柱を評価対象部位に加える。

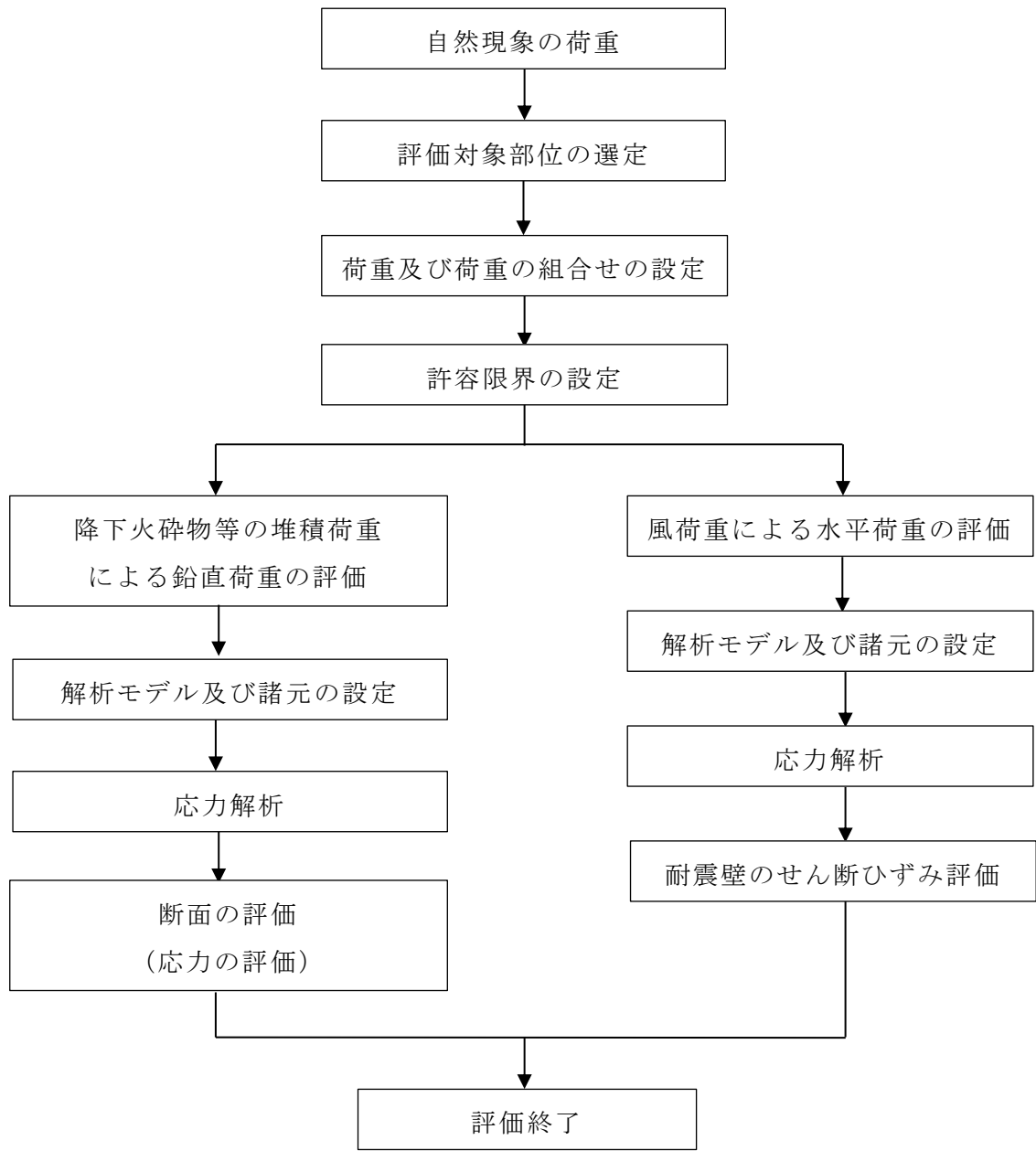


図 2-4 強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

排気筒モニタ室の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 年改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 年制定）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 年改定）

### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

排気筒モニタ室の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ及び耐震壁とする。また、降下火砕物による荷重に対し補強により対応することとしたはり及び補強部材である支持柱についても評価対象部位とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

##### 3.2.1 荷重

###### (1) 屋根スラブ

###### a. 鉛直荷重

表 3-1 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重\*<sup>1</sup> ( $G$ ) 及び積載荷重\*<sup>2</sup> ( $P$ ) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g/cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。なお、水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、鉛直荷重に抵抗する部位の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。

注記\*1：固定荷重には躯体重量・仕上重量の他、機器・配管荷重を含む。

\*2：常時の積載荷重（機器搬出入時の荷重等を含む）と除灰時の作業時荷重 ( $0.981\text{kN/m}^2$ ) のうち大きい方の値を設定する。

表 3-1 鉛直荷重一覧（屋根スラブ）

(単位：kN/m<sup>2</sup>)

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	5.4
	積載荷重 (P)	0.981
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7

## (2) はり

## a. 鉛直荷重

表 3-2 及び表 3-3 に鉛直荷重の一覧を示す。小ばり及び大ばりに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F<sub>d</sub>)、降下火砕物による荷重 (F<sub>a</sub>) 及び積雪荷重 (F<sub>s</sub>) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とする。

降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm<sup>3</sup> の降下火砕物が 56cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、設計基準積雪量 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とし、積雪量 1cm ごとに 20N/m<sup>2</sup> の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-2 鉛直荷重一覧（小ばり）

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	4.05kN/m
	積載荷重 (P)	0.981kN/m <sup>2</sup>
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238kN/m <sup>2</sup>
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7kN/m <sup>2</sup>

表 3-3 鉛直荷重一覧（大ばり）

常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )	固定荷重 (G)	5.25kN/m
	積載荷重 (P)	0.981kN/m <sup>2</sup>
降下火砕物による荷重 (F <sub>a</sub> )		8.238kN/m <sup>2</sup>
積雪荷重 (F <sub>s</sub> )		0.7kN/m <sup>2</sup>



## (3) 支持柱

## a. 鉛直荷重

表 3-4 に鉛直荷重の一覧を示す。支持柱に考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 ( $G$ ) 及び積載荷重 ( $P$ ) とする。

降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、設計基準積雪量  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N}/\text{m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-4 鉛直荷重一覧 (支持柱)

(単位 :  $\text{kN}/\text{m}^2$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	0.705
	積載荷重 ( $P$ )	0.981
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )		8.238
積雪荷重 ( $F_s$ )		0.7

## (4) 耐震壁

風荷重の算出に用いる基準風速は、 $30\text{m}/\text{s}$  とする。

風荷重 ( $W$ ) は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高  $H$  が  $5\text{m}$  以下であるため、 $H$  が  $Z_b$  以下の場合の式を用いる。風荷重 ( $W$ ) の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数  $C$  及び風の受圧面積  $A_1$  に基づき実施する。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

$Z_G$ ,  $Z_b$ ,  $\alpha$  : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値

風荷重算定に使用する入力条件及び風荷重を表 3-5 及び表 3-6 に示す。

表 3-5 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 $V_D$ (m/s)	全高 $H$ (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$	ガスト 影響係数 $G$	設計用 速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )
排気筒モニタ室	30	4.15	350	0.15	2.20	960.1

表 3-6 排気筒モニタ室の風力係数，受圧面積及び風荷重

(a) 南北方向

高さ(EL) (m)	風力係数 $C$		受圧面積 $A_1$ (m <sup>2</sup> )		風荷重 $W$ (kN)
	風上	風下	風上	風下	
12.25~8.8	0.800	0.4	48	48	55

(b) 東西方向

高さ(EL) (m)	風力係数 $C$		受圧面積 $A_1$ (m <sup>2</sup> )		風荷重 $W$ (kN)
	風上	風下	風上	風下	
12.25~8.8	0.800	0.4	49	49	56

## 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-7 に示す。

表 3-7 荷重の組合せ

考慮する 荷重の 組合せ	荷重*				
	常時作用する 荷重 ( $F_d$ )		主荷重 降下火砕物に よる荷重 ( $F_a$ )	従荷重	
	固定 荷重	積載 荷重		積雪荷重 ( $F_s$ )	風荷重 ( $W$ )
ケース 1	○	○	○	○	○
ケース 2	○	○	○	○	—

注記\* : ○は考慮する荷重を示す。

### 3.3 許容限界

排気筒モニタ室の許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建物の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ，はり，支持柱及び耐震壁の許容限界を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005年制定）」（以下「RC-N規準」という。），「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）」に基づき表 3-8 に，鋼材の材料強度を表 3-9 に，コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-10 及び表 3-11 に示す。

表 3-8 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ はり	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*1
		支持柱	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	「S規準」に基づく短期許容応力度*1
		耐震壁*2	最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし，さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

\*2：建物全体としては，水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており，柱，はり，間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること，また，全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため，耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば，建物・構築物に要求される機能は維持される。

表 3-9 鋼材の材料強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

材料	板厚	F 値	材料強度		
			引張	圧縮 曲げ	せん断
SS400	t ≤ 40mm	235	235	235*	135

注記\*：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-10 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 Fc	圧縮	せん断
20.6	13.6	1.02

表 3-11 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別*	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

注記\*：建設当時の鋼材の種類を，現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

### 3.4 解析モデル及び諸元

#### 3.4.1 モデル化の基本方針

##### (1) 屋根スラブ

屋根スラブは、四辺固定版として応力算出を行う。

##### (2) はり

応力解析は、小ばり及び大ばりを線材でモデル化した交差はりモデルを用いて実施する。解析に使用するコードは、「KANSAS2」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析モデル図を図 3-1 に、荷重図を図 3-2 に、部材リストを表 3-12 に示す。

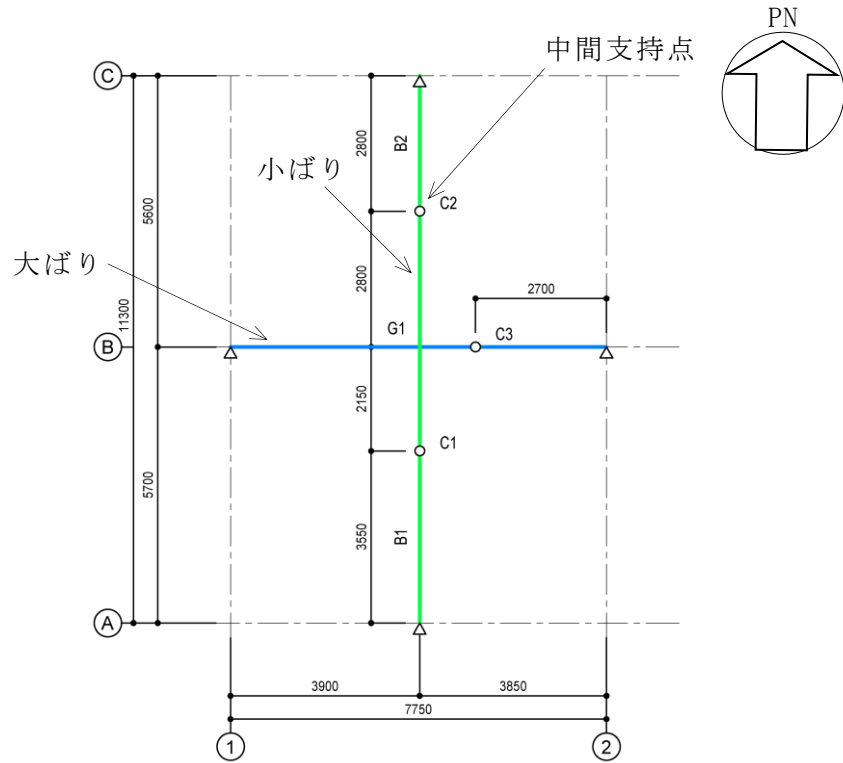


図 3-1 解析モデル図

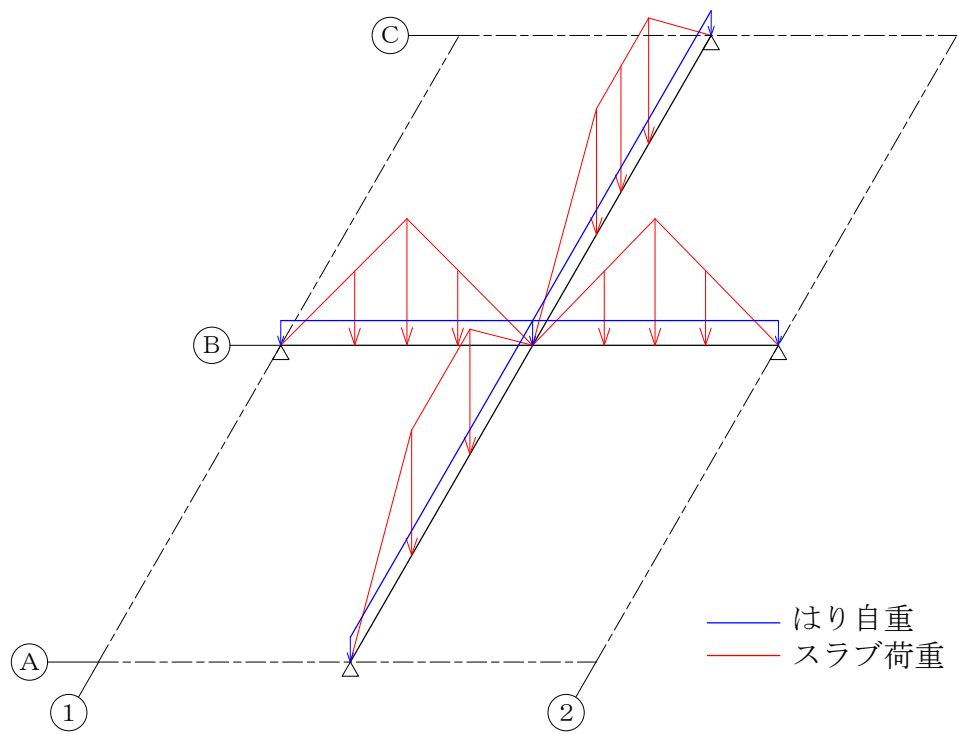


図 3-2 荷重図

表 3-12 部材リスト (はり)

部材		断面寸法 (mm)	設計配筋 : SD345 (SD35)	
			幅×せい	主筋(上ば・下ばとも)
小ぶり	B1	250×600	2-D22	D13@200
	B2			
大ぶり	G1	250×800	4-D22	D13@200

(3) 支持柱

部材リストを表 3-13 に示す。

表 3-13 部材リスト (支持柱)

部材	鋼材断面	部材長 (mm)
C1, C2, C3	H-250×250×9×14 (SS400)	2850

(4) 耐震壁

耐震壁は、VI-2-11-2-1-6「排気筒モニタ室の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。解析に使用するコードは、「NUPP4」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。地震応答解析モデルを図 3-3 に示す。

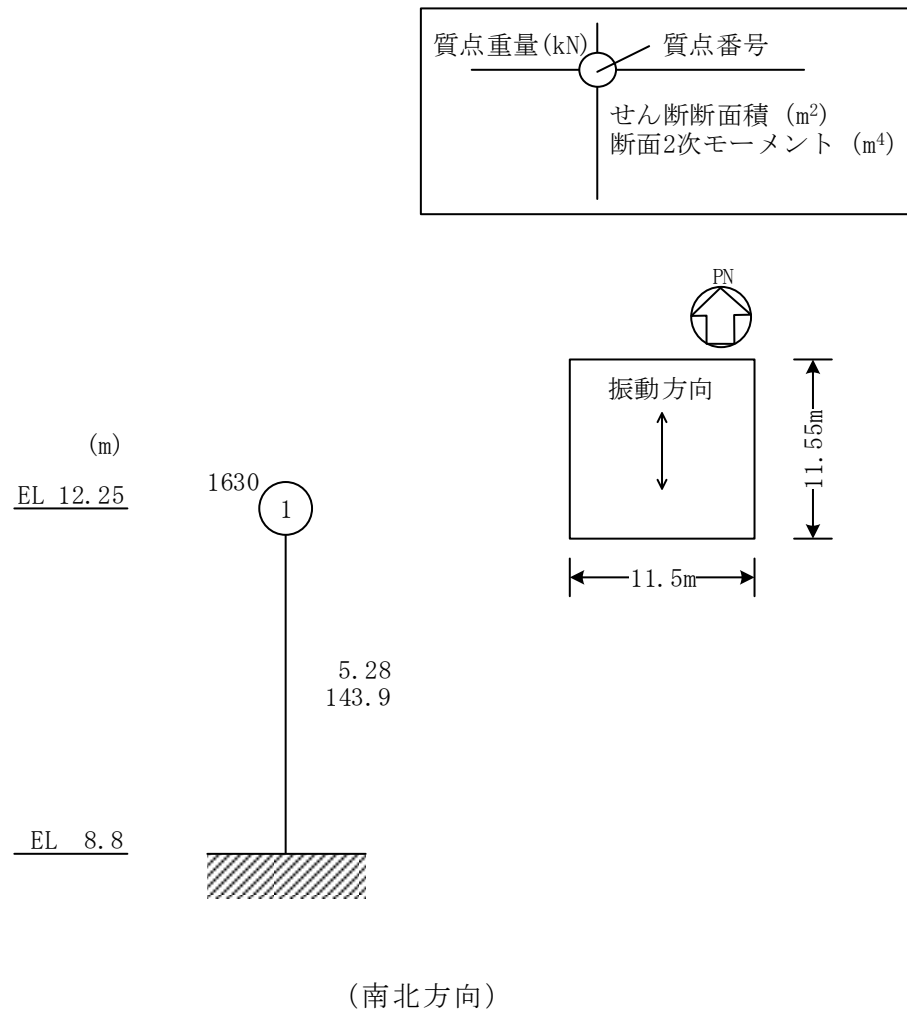


図 3-3 地震応答解析モデル (水平方向) (1/2)

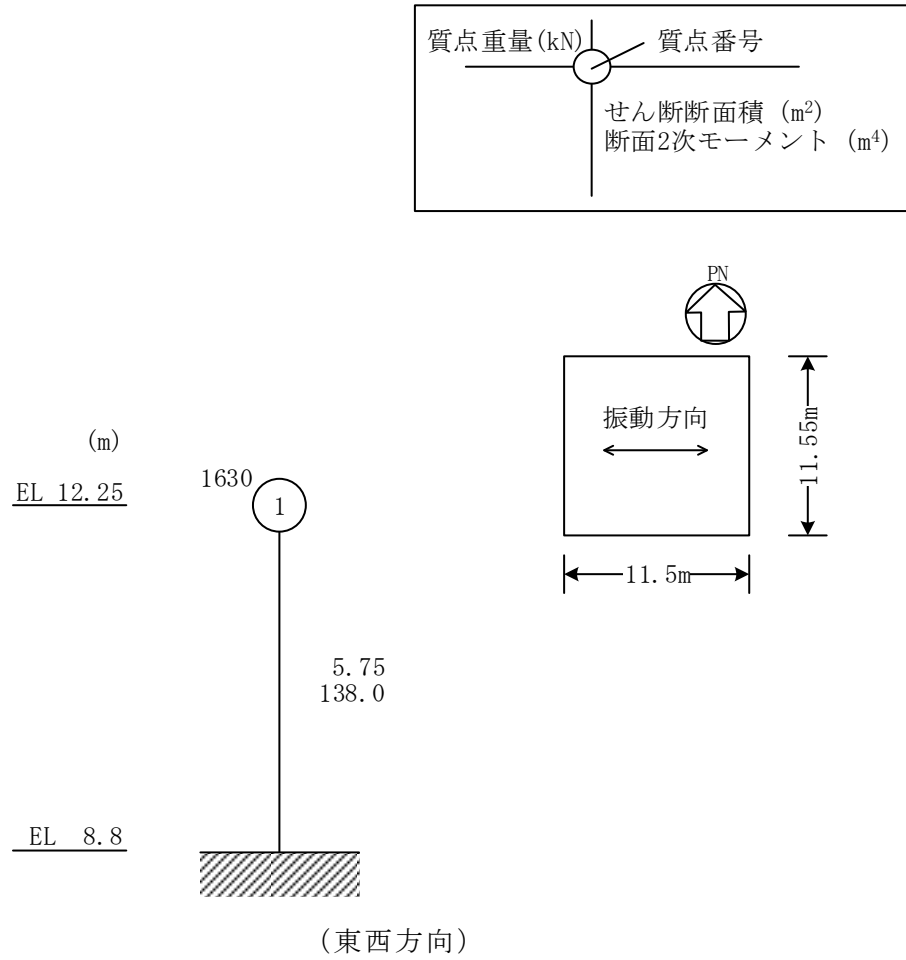


図 3-3 地震応答解析モデル（水平方向）（2/2）

### 3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-14 に示す。

表 3-14 使用材料の物性値

（単位：N/mm<sup>2</sup>）

使用材料	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G
鉄筋コンクリート	$2.15 \times 10^4$	$8.98 \times 10^3$
鉄骨	$2.05 \times 10^5$	$7.90 \times 10^4$



### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 屋根スラブの評価方法

##### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-15 に示す。

表 3-15 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

##### c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は次式により求める。

(四辺固定版)

- ・短辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{x1}$ )

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot L_x^2$$

- ・短辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{x2}$ )

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot L_x^2$$

- ・長辺方向の端部曲げモーメント ( $M_{y1}$ )

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot L_x^2$$

- ・長辺方向の中央部曲げモーメント ( $M_{y2}$ )

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot L_x^2$$

- ・短辺方向のせん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot L_x$$

- ・長辺方向のせん断力 ( $Q_y$ )

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot L_x$$

ここで、

$L_x$  : 短辺有効スパン (m)

$L_y$  : 長辺有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$w_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} w$$

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

### a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所が生じる曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

### b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象箇所が生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \left\{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \right\}$$

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

$b$  : 断面の幅 (mm)

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数で、次式による。

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記\* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

### 3.5.2 はりの評価方法

#### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重による記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-16 に示す。

表 3-16 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

##### c. 応力算出方法

小ばり及び大ばりを線材でモデル化した交差はりモデルとし、曲げモーメント及びせん断力を算出する。なお、はり（小ばり・大ばり）と壁との取り合い部は、壁厚が 250mm であることから境界条件はピン設定とする。また、支持柱は軸ばねとして評価する。

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

はりについては、曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

## a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所が生じる曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

## b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象箇所が生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数で、次式による。

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。\*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

$a_w$  : せん断補強筋の断面積(mm<sup>2</sup>)

$x$  : せん断補強筋の間隔(mm)

注記\* : せん断補強筋がない領域については、第2項を0とする。

### 3.5.3 支持柱の評価方法

#### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重による記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表3-17に示す。

表3-17 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース2	$F_d + F_a + F_s$

##### c. 応力算出方法

はりの応力解析において中間支持点の反力として得られる荷重を、はりから伝達される荷重として考慮する。

#### (2) 断面の評価方法

断面の評価は「S規準」に基づき、以下の方法で行う。

支持柱については、次式により軸力による圧縮応力度を算定し、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_c = N / A$$

ここで、

$\sigma_c$  : 圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)

- N : 軸力 (N)  
 A : 鋼材断面積 (mm<sup>2</sup>)

鋼材の許容応力度  $f_c$  は次式により求める。 ( $\lambda \leq \Lambda$ )

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu} \quad (\lambda \leq \Lambda)$$

$$f_c = \frac{0.277F}{\left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \quad (\lambda > \Lambda)$$

$f_c$  : 許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\lambda$  : 圧縮材の細長比

$\Lambda$  : 限界細長比

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

F : 基準強度 F 値 (N/mm<sup>2</sup>)

E : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

#### 3.5.4 耐震壁の評価方法

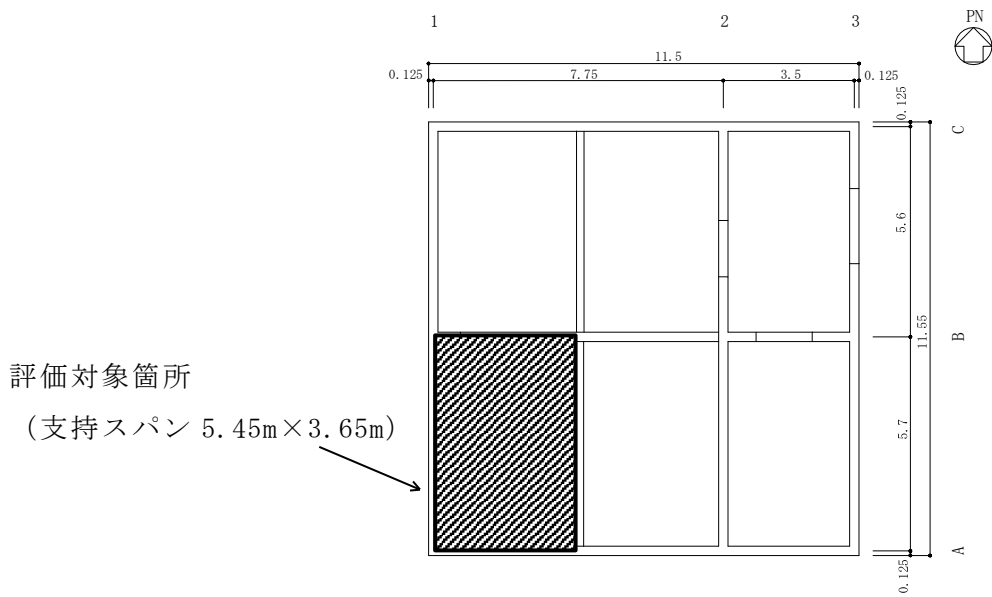
耐震壁の評価は、風荷重を地震応答解析モデルの質点位置に水平方向に作用させ、耐震壁に発生するせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。なお、耐震壁の応力計算には、地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第 1 折れ点の増大が見込まれるため、本評価では保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

#### 4. 強度評価結果

##### 4.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-1 に示す。また、評価結果を表 4-1 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。



(単位：m)

図 4-1 検討対象箇所（屋根スラブ，EL 12.25m）

表 4-1 屋根スラブの評価結果 (EL 12.25m)

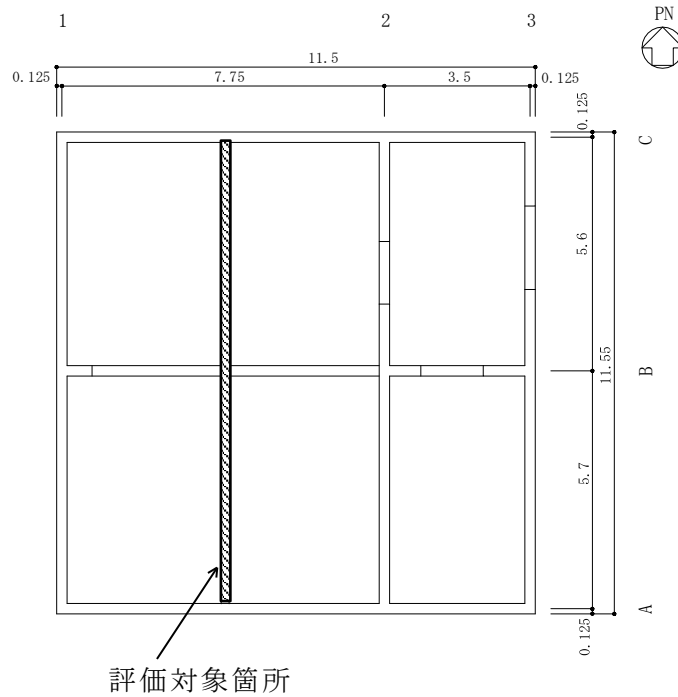
EL (m)		12.25
厚さ t (mm)		150
有効せい d (mm)		90
配筋 (鉄筋断面積)		D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	14.2
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	284.0
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.83
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	29.1
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.37
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.00
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	1.02
	検定値	0.37



#### 4.2 小ばりの評価結果

小ばりの評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-2 に示す。また、評価結果を表 4-2 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。



(単位：m)

図 4-2 検討対象箇所 (小ばり)

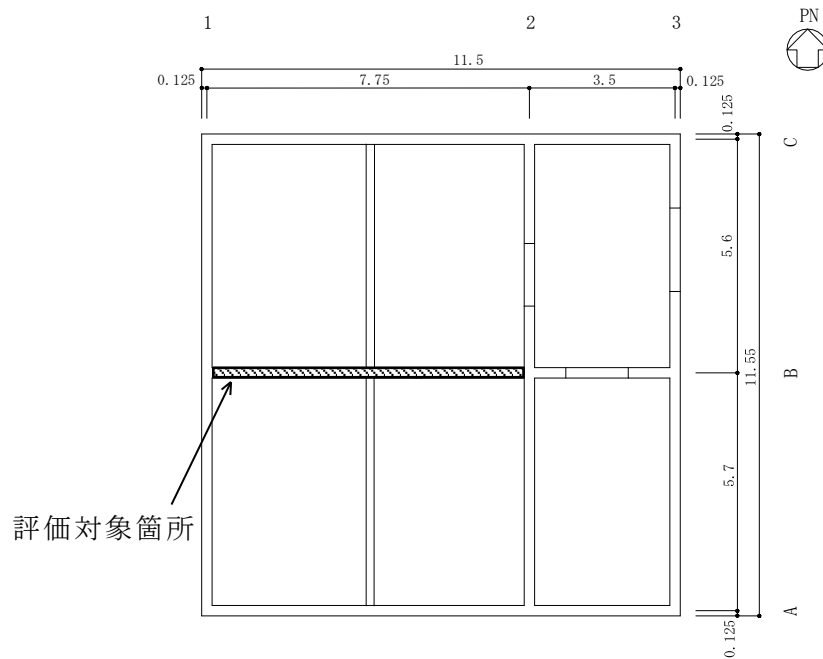
表 4-2 小ばりの評価結果 (EL 12.25m)

断面 (mm)		250×600
有効せい d (mm)		530
配筋 (鉄筋断面積)	主筋 (上ば・下ばとも)	2-D22 (774mm <sup>2</sup> )
	せん断補強筋	D13@200
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	64.6
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	180.0
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.53
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	117.9
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.96
	許容限界 (kN/m)	293.3
	検定値	0.41

### 4.3 大ばりの評価結果

大ばりの評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-3 に示す。また、評価結果を表 4-3 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。



(単位：m)

図 4-3 検討対象箇所（大ばり）

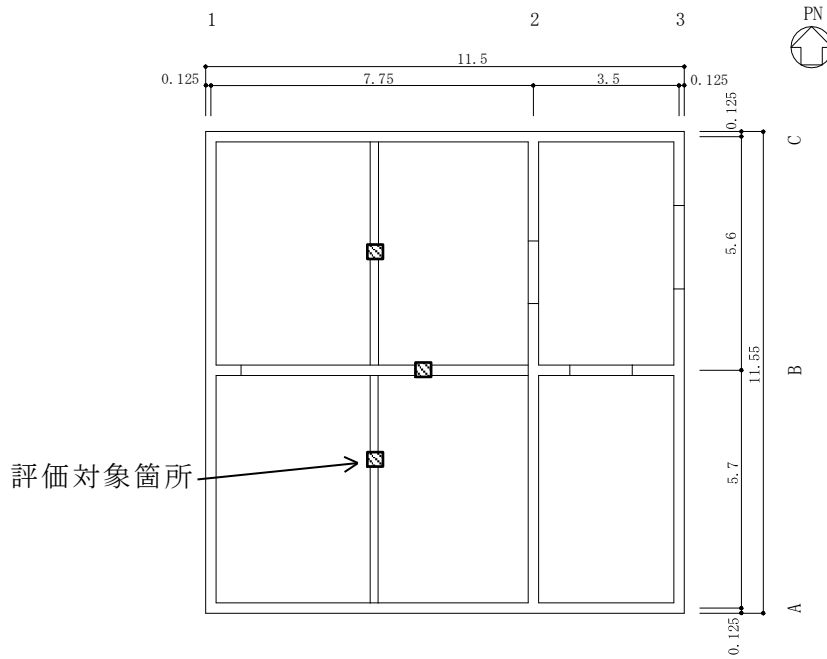
表 4-3 大ばりの評価結果 (EL 12.25m)

断面 (mm)		250×800
有効せい d (mm)		700
配筋 (鉄筋断面積)	主筋 (上ば・下ばとも)	4-D22 (1548mm <sup>2</sup> )
	せん断補強筋	D13@200
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	92.0
	鉄筋の引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	97.1
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.29
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	95.0
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.93
	許容限界 (kN/m)	382.7
	検定値	0.25

#### 4.4 支持柱の評価結果

支持柱の評価対象箇所は、ばね反力が最大となる箇所とし、図 4-4 に示す。また、評価結果を表 4-4 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する圧縮応力度が鋼材の許容限界を超えないことを確認した。



(単位：m)

図 4-4 検討対象箇所（支持柱）

表 4-4 支持柱の評価結果

断面 (mm)	H-250×250×9×14
部材長 (mm)	2850
軸力 N (kN)	206.3
軸応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	22.8
許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	209.1
検定値	0.11

#### 4.5 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-5 に示す。

水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4-5 耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	高さ(EL) (m)	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
ケース 1	せん断 ひずみ	南北方向	12.25~8.8	0.00116	4.0
		東西方向	12.25~8.8	0.00109	4.0

VI-3-別添 2-10 ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル  
燃料貯蔵タンク格納槽の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 強度評価方法及び評価条件	9
3.1 評価対象部位	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	9
3.2.1 荷重	9
3.2.2 荷重の組合せ	12
3.3 許容限界	13
3.4 解析モデル及び諸元	16
3.4.1 モデル化の基本方針	16
3.4.2 解析諸元	18
3.5 評価方法	19
3.5.1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室（頂版）の評価方法	19
3.5.2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）の評価方法	20
3.5.3 鋼製蓋の評価方法	21
4. 強度評価結果	22
4.1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室（頂版）の評価結果	22
4.2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）の評価結果	24
4.3 鋼製蓋の評価結果	25



## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、構造物全体及び構造物の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽について、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の配置を図 2-1 に示す。

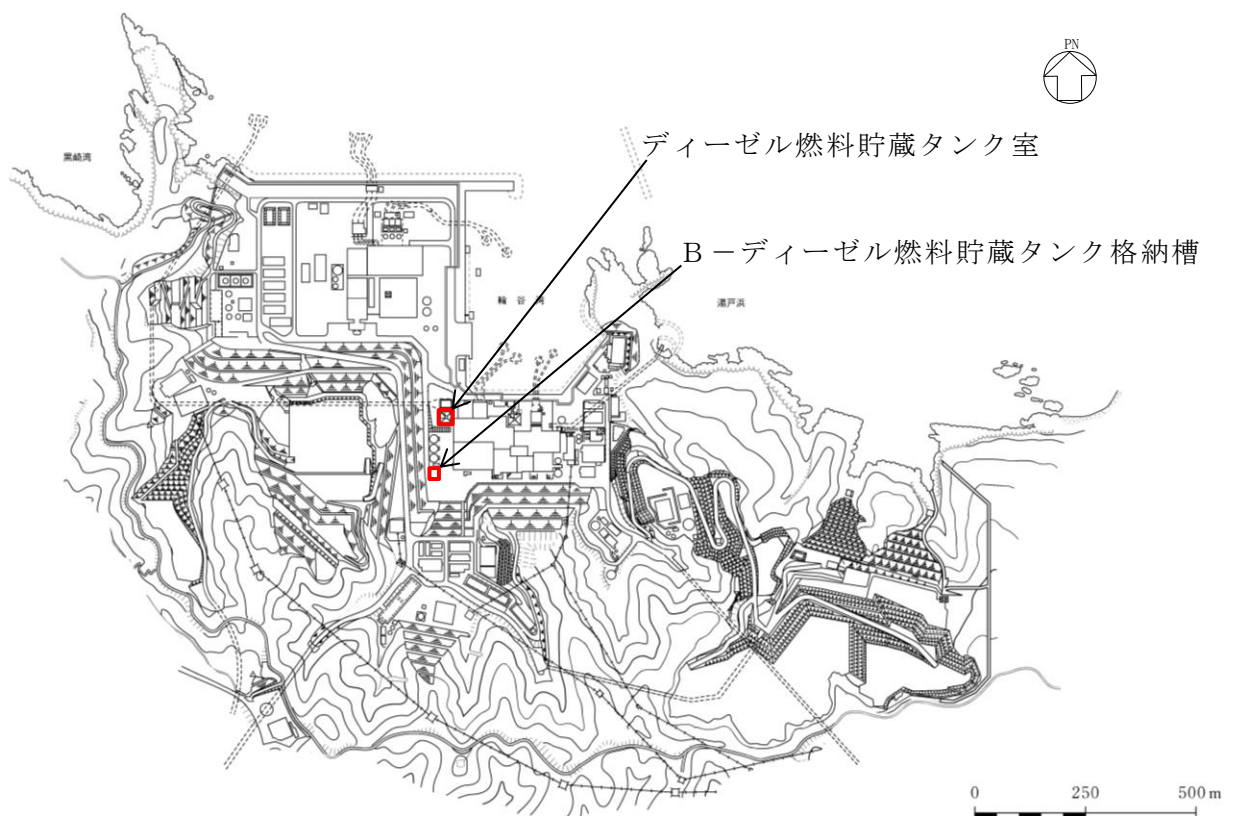


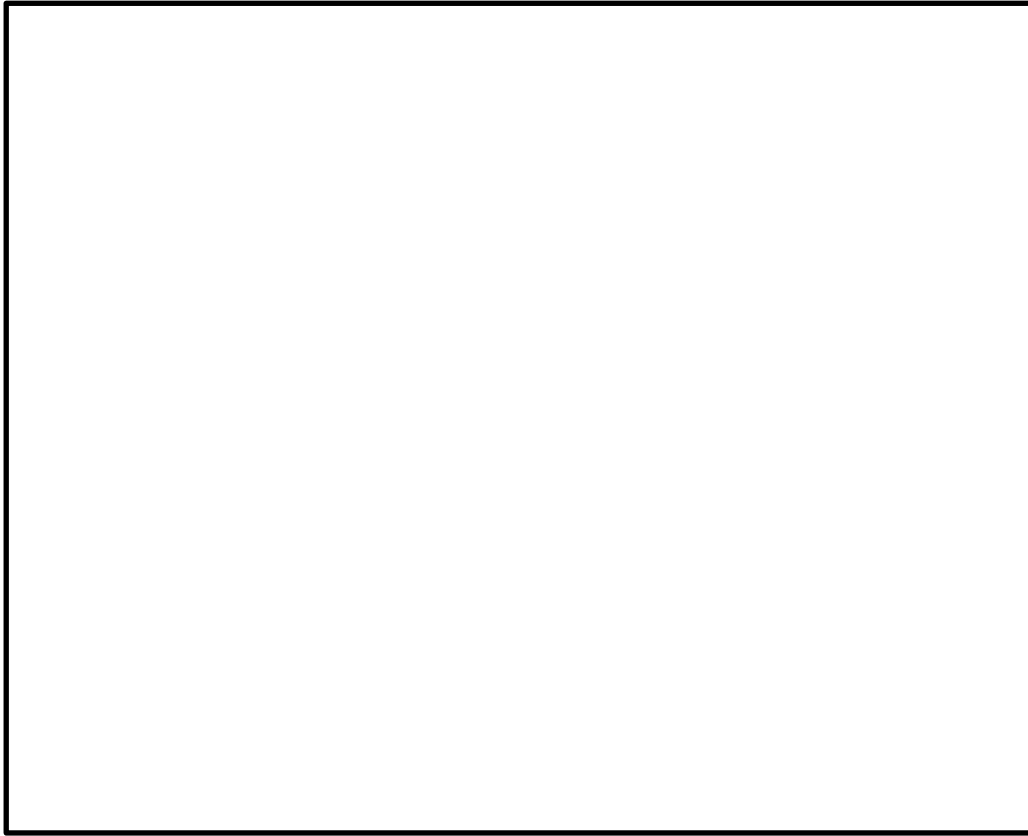
図 2-1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽配置図

## 2.2 構造概要

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室は約 23.5m (EW 方向) ×約 6.3m (NS 方向) , 高さ約 6.6m 及び約 23.5m (EW 方向) ×約 11.8m (NS 方向) , 高さ約 6.6m の鉄筋コンクリート造の地中 (一部地上部を含む) 構造物であり, 頂版の開口部には鋼製の蓋を設置する。ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略平面図を図 2-2 に, 概略断面図を図 2-3 に, 鋼製蓋の概略図を図 2-4 にそれぞれ示す。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は, 約 19.2m (EW 方向) ×約 20.8m (NS 方向) , 高さ約 10.6m の鉄筋コンクリート造の地中 (一部地上部を含む) 構造物であり, 頂版の開口部には鋼製の蓋を設置する。B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の概略平面図を図 2-5 に, 概略断面図を図 2-6 に, 鋼製蓋の概略図を図 2-7 にそれぞれ示す。



(単位：mm)

図 2-2 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略平面図



(単位：mm)

注：「EL」は東京湾平均海面(T.P.)を基準としたレベルを示す。

図 2-3 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略断面図 (A-A断面)

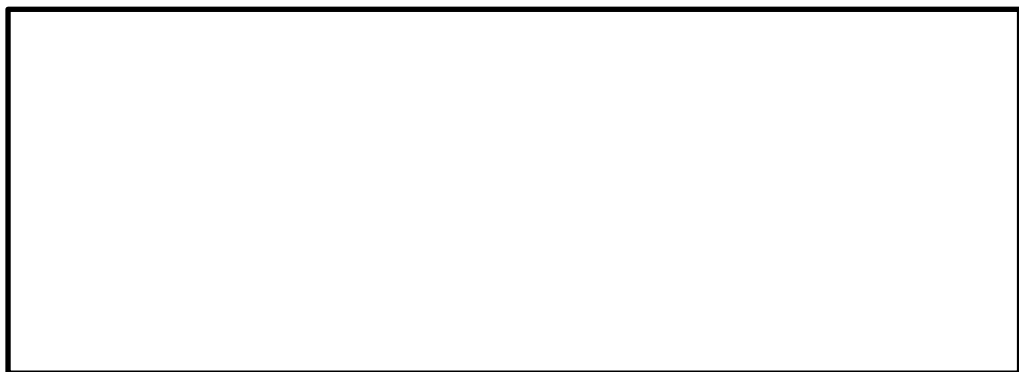
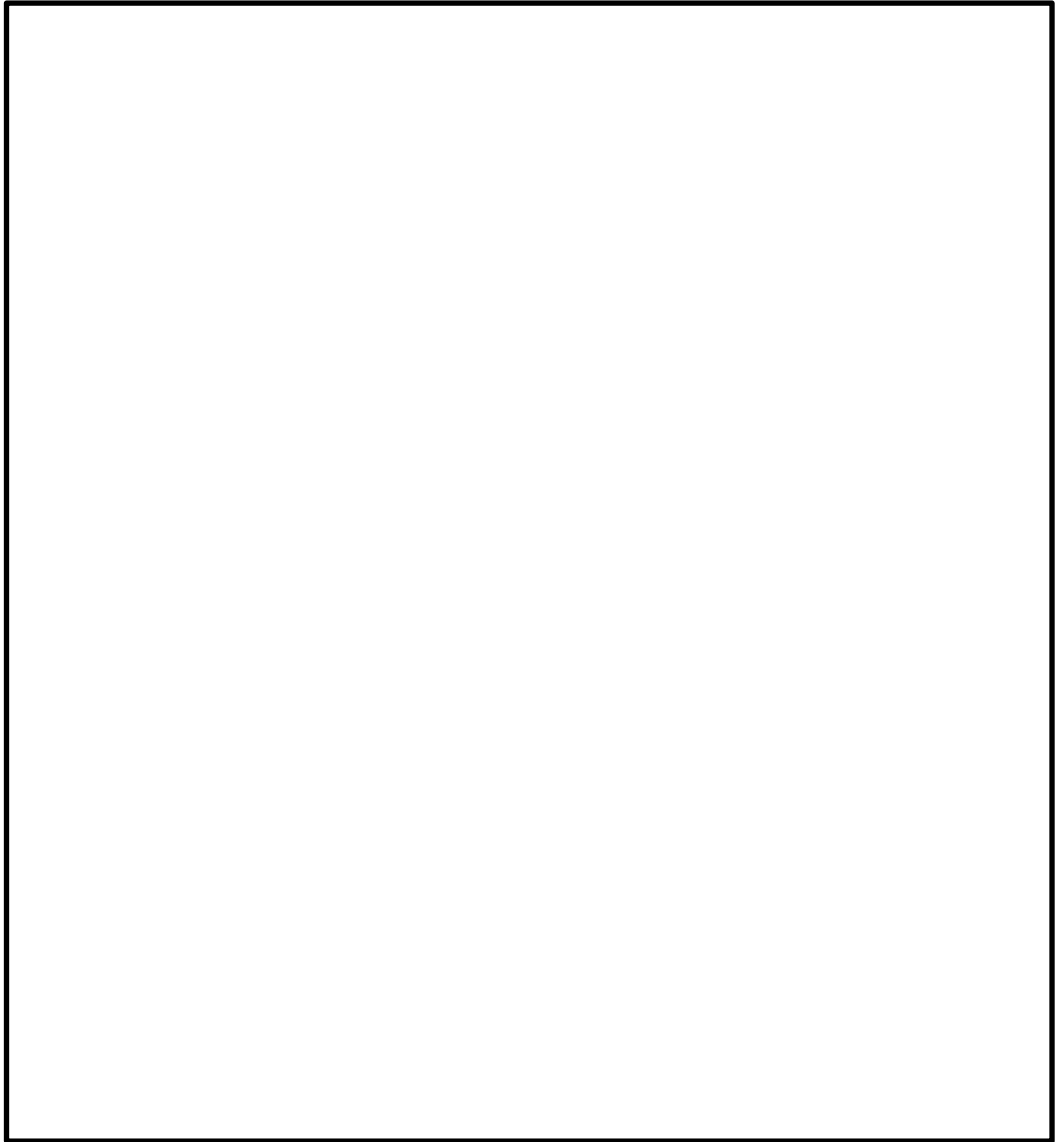


図 2-4 ディーゼル燃料貯蔵タンク室鋼製蓋の概略図



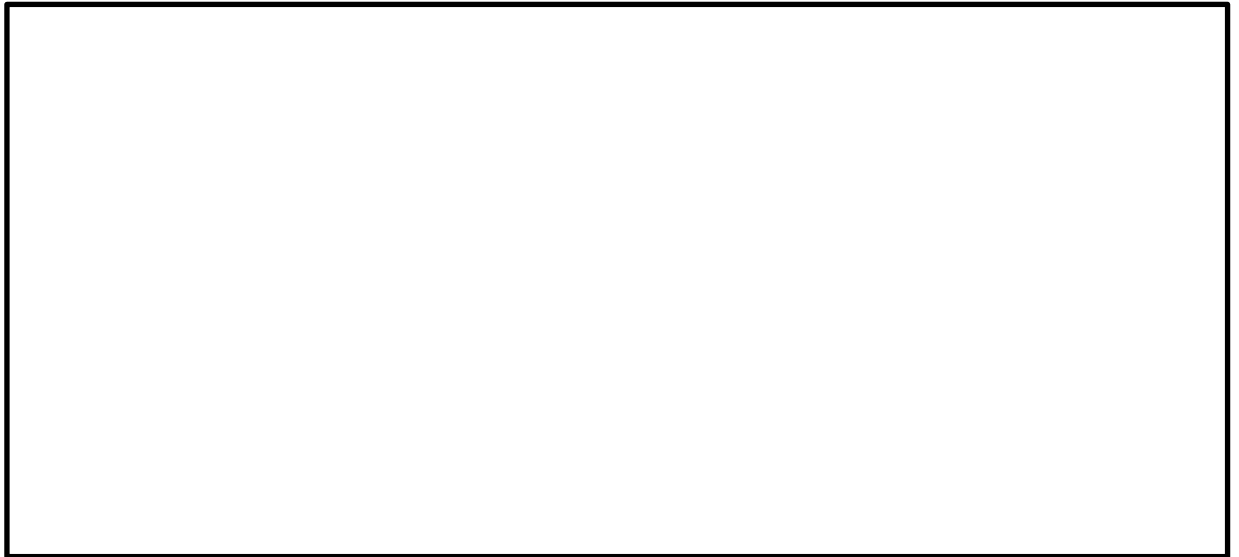
(単位：mm)

図 2-5 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の概略平面図



(単位：mm)

図 2-6(1) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の概略断面図  
(A-A断面, 南北方向)



(単位：mm)

図 2-6(2) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の概略断面図  
(B-B断面, 東西方向)



図 2-7 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽鋼製蓋 (液面計) の概略図

### 2.3 評価方針

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-8 に示す。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室は降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として頂版及び鋼製蓋を選定した。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として頂版及び鋼製蓋を、水平荷重に抵抗する評価対象部位として地上に露出した側壁（以下「側壁」という。）を選定した。

設計荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に作用する荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」に従い評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。

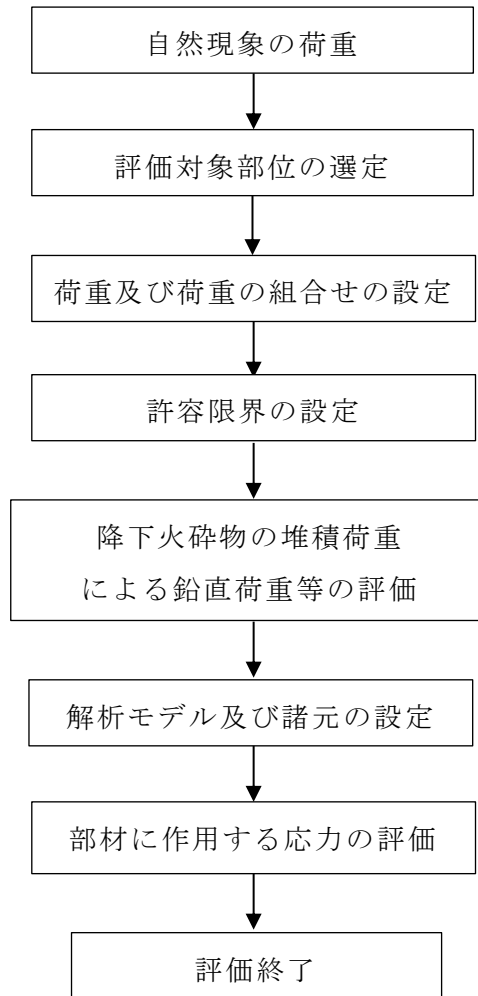


図 2-8 ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年制定）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））（J S M E S N C 1-2005/2007）（（社）日本機械学会）（以下「J S M E」という。）



### 3. 強度評価方法及び評価条件

#### 3.1 評価対象部位

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、頂版及び鋼製蓋とする。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、頂版、鋼製蓋及び側壁とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

##### 3.2.1 荷重

###### (1) 頂版及び鋼製蓋

###### a. 鉛直荷重

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の頂版及び鋼製蓋の鉛直荷重の一覧を表 3-1 及び表 3-2 に示す。鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_a$ ) 及び積雪荷重 ( $F_s$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 ( $G$ ) 及び積載荷重 ( $P$ ) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g/cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮した  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の鉛直荷重一覧

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	頂版	固定荷重 ( $G$ )	$11.77\text{kN/m}^2$
		積載荷重 ( $P$ )	$0.981\text{kN/m}^2$
	鋼製蓋	固定荷重 ( $G$ )	$1.622\text{kN}$
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )			$8.238\text{kN/m}^2$
積雪荷重 ( $F_s$ )			$0.7\text{kN/m}^2$

表 3-2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の鉛直荷重一覧

常時作用する荷重 ( $F_d$ )	頂版	固定荷重 (G)	19.40kN/m <sup>2</sup>
		積載荷重 (P)	0.981kN/m <sup>2</sup>
	鋼製蓋	固定荷重 (G)	1.944kN
降下火砕物による荷重 ( $F_a$ )			8.238kN/m <sup>2</sup>
積雪荷重 ( $F_s$ )			0.7kN/m <sup>2</sup>

## (2) 側壁

風荷重の算出に用いる基準風速は、30m/s とする。

風荷重 (W) は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高Hが5m以下のため、Hが $Z_b$ 以下の場合の式を用いる。風荷重 (W) の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数C及び風の受圧面積 $A_1$ に基づき実施し、風荷重 (W) の算出に用いる受圧面積の算定において、隣接する建物の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

$Z_b$ ,  $Z_G$ ,  $\alpha$  : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値

風荷重算定に使用する入力条件を表3-3及び表3-4に示す。

表3-3 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 $V_D$ (m/s)	全高 H (m)	$Z_b$ (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$	ガスト 影響係数 G	設計用 速度圧 q (kN/m <sup>2</sup> )
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	30	3.9	5	250	0.10	2.0	1.427

表3-4 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の風力係数及び受圧面積

風力係数C		受圧面積 $A_1$ (m <sup>2</sup> ) *	
風上	風下	風上	風下
0.8	0.4	3.9	3.9

注記\* : 受圧面積は、奥行1m当りの数値を示す。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

考慮する荷重の 組合せ	荷重 <sup>*1</sup>				
	常時作用する 荷重 ( $F_d$ )		主荷重	従荷重	
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物に よる荷重 ( $F_a$ )	積雪荷重 ( $F_s$ )	風荷重 ( $W$ )
ケース 1 <sup>*2</sup>	○	○	○	○	—
ケース 2 <sup>*3</sup>	○	○	○	○	○

注記\*1：○は考慮する荷重を示す。

\*2：ケース 1 は，ディーゼル燃料貯蔵タンク室及び鋼製蓋を対象とする。

\*3：ケース 2 は，B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽を対象とする。

### 3.3 許容限界

ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに設定する。

#### (1) ディーゼル燃料貯蔵タンク室の許容限界

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の頂版の許容限界を「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」（以下「コンクリート標準示方書2002」という。）に基づき表3-6に、コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表3-7及び表3-8に示す。

表 3-6 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
—	構造強度を有すること	頂版	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	コンクリート標準示方書2002に基づく短期許容応力度

表 3-7 コンクリートの短期許容応力度

（単位：N/mm<sup>2</sup>）

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
20.6	11.8	0.63

表 3-8 鉄筋の短期許容応力度

（単位：N/mm<sup>2</sup>）

種別*	短期許容引張応力度
SD35 (SD345 相当)	294

注記\*：建設当時の鋼材の種類を，現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

(2) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の許容限界

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の頂版及び側壁の許容限界をコンクリート標準示方書 2002 に基づき表 3-9 に、コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-10 及び表 3-11 に示す。

表 3-9 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	頂版	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を越えないことを確認	コンクリート標準示方書 2002 に基づく短期許容応力度
		側壁		

表 3-10 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
24.0	13.5	0.67

表 3-11 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	短期許容引張応力度
SD345	294

(3) 鋼製蓋の許容限界

鋼製蓋の許容限界を「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ( (社) 日本電気協会) 」(以下「J E A G 4 6 0 1」という。) に準じて表 3-12 に、鋼製蓋の許容引張応力を表 3-13 に示す。

表 3-12 鋼製蓋の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	応力等の状態	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
-	構造強度を有すること	鋼板	組合せ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	$1.5 \cdot f_t^*$ (J E A G 4 6 0 1 に準じた許容応力状態 IV A S の許容引張応力)
		支持脚	組合せ		

表 3-13 鋼製蓋の許容引張応力

部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y^{*1}$ (MPa)	$S_u^{*1}$ (MPa)	$F^{**1}$ (MPa)	$1.5 \cdot f_t^{**1}$ (MPa)
鋼板	□	-	□ *2	□ *2	□	□
支持脚	SS400	40 *3	245	400	280	280
	SGP	40 *3	147	290	176	176

注記 \*1 : 記号の定義は以下のとおり

$S_y$  : J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点

$S_u$  : J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ

$F^*$  : J S M E SSB-3121.3 により規定される値

$f_t^*$  :  $F^*$ により算出される許容引張応力

\*2 : メーカー仕様値 (JIS Z 2241 に基づく試験による)

\*3 : 周囲環境温度

### 3.4 解析モデル及び諸元

#### 3.4.1 モデル化の基本方針

##### (1) ディーゼル燃料貯蔵タンク室（頂版）

頂版は、両端固定ばりの一方向スラブとして評価する。

##### (2) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）

VI-2-2-22「B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書」に示す解析モデルを用いて評価する。なお、対象構造物の要素はファイバー要素から線形はり要素に、モデル底面の境界条件は粘性境界から固定に、モデル側方の境界条件は粘性境界から鉛直ローラーに変更する。解析に使用するコードは、「TDA P III」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。解析モデルを図3-1に示す。

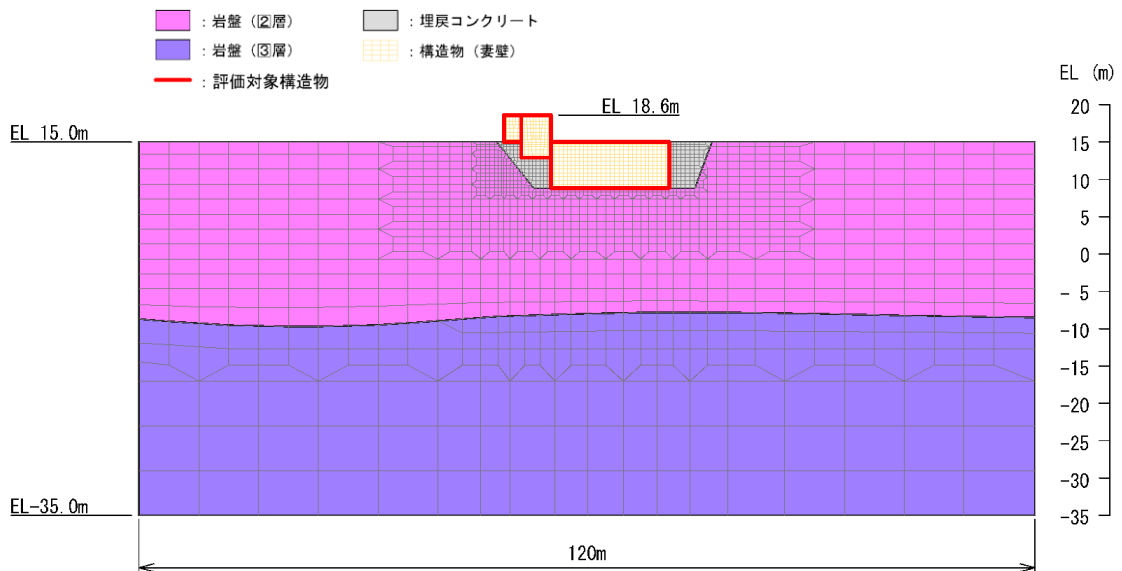


図3-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の解析モデル

##### (3) 鋼製蓋

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の鋼製蓋は、鋼板（天板及び蓋）により構成し、鋼板（天板）は支持脚により支持する。また、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の鋼製蓋は、鋼板（天板及び蓋）により構成し、鋼板（天板）はコンクリート躯体で直接支持する。これらの構造を踏まえ、図3-2及び図3-3に示す解析モデルを用いて評価する。解析に使用するコードは、「MSC NASTRAN」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



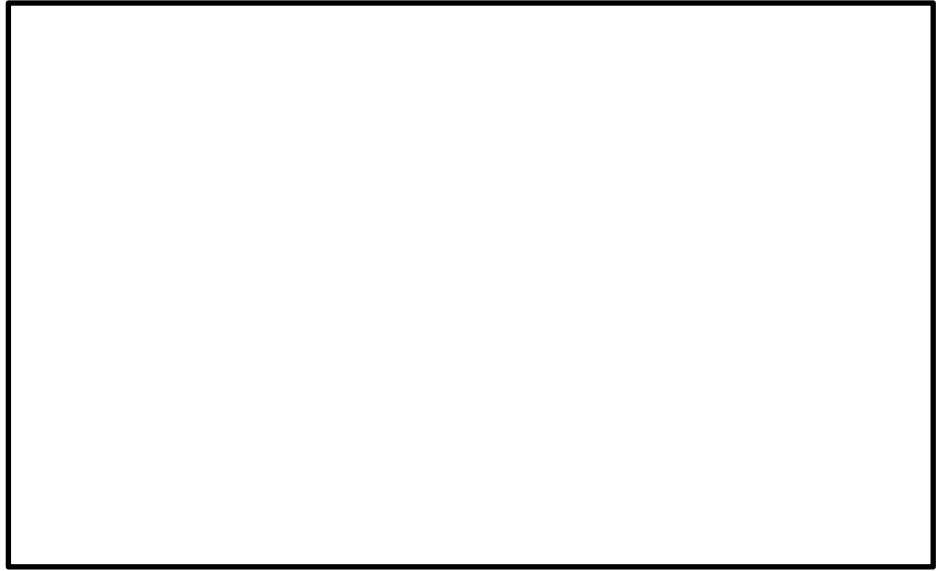


図 3-2 鋼製蓋（ディーゼル燃料貯蔵タンク室）の解析モデル



図 3-3 鋼製蓋（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽）の解析モデル

### 3.4.2 解析諸元

#### (1) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）の使用材料の物性値を表 3-14 に示す。

表 3-14 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）の使用材料の物性値

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	24.0
	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	2.50×10 <sup>4</sup>
コンクリート	ポアソン比 $\nu$	0.2

#### (2) 鋼製蓋

鋼製蓋の使用材料の物性値を表 3-15 に示す。

表 3-15 鋼製蓋の使用材料の物性値

部位	材料	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 $\nu$
鋼板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
支持脚	SS400	203000	0.3
	SGP	203000	0.3

### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室（頂版）の評価方法

##### (1) 応力解析方法

###### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。  
単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

###### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-16 に示す。

表 3-16 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_s$

###### c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばりの曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。

(両端固定ばり)

・ 端部曲げモーメント ( $M_E$ )

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot L^2$$

・ 中央部曲げモーメント ( $M_C$ )

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot L^2$$

・ せん断力 ( $Q_E$ )

$$Q_E = \frac{1}{2} w \cdot L$$

ここで、

$w$  : 等分布荷重 (N/m)

$L$  : 有効スパン (m)

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は、「3.5.1(1)c. 応力算出方法」に示す式より求めた評価対象部位の曲げモーメント及びせん断力に対して鉄筋コンクリート断面の照査を行う。

曲げについては、矩形断面の鉄筋コンクリート断面に対する検討を行い、コンクリートの曲げ圧縮応力度、鉄筋の引張応力度が各々の短期許容応力度以下であることを確認する。

せん断に対しては、矩形断面のせん断応力度が短期許容せん断応力度以下であることを確認する。

## 3.5.2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）の評価方法

## (1) 応力解析方法

## a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

- $F_d$  : 常時作用する荷重
- $F_a$  : 降下火砕物による荷重
- $F_s$  : 積雪荷重
- $W$  : 風荷重

## b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-17 に示す。

表 3-17 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s + W$

## c. 応力算出方法

VI-2-2-22「B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いた 2次元静的 FEM 解析により、評価対象部位に発生する降下火砕物堆積時の断面力（曲げモーメント、軸力及びせん断力）を求める。

## (2) 断面の評価方法

断面の評価は、2次元静的 FEM 解析より求めた評価対象部位の曲げモーメント・軸力及びせん断力に対して鉄筋コンクリート断面の照査を行う。解析に

使用するコードは、「EMERGING」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

曲げ・軸力については、矩形断面の鉄筋コンクリート断面に対する検討を行い、コンクリートの曲げ圧縮応力度、鉄筋の引張応力度が各々の短期許容応力度以下であることを確認する。

せん断に対しては、矩形断面のせん断応力度が短期許容せん断応力度以下であることを確認する。

### 3.5.3 鋼製蓋の評価方法

#### (1) 応力解析方法

##### a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_a$  : 降下火砕物による荷重

$F_s$  : 積雪荷重

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-18 に示す。

表 3-18 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_s$

##### c. 応力算出方法

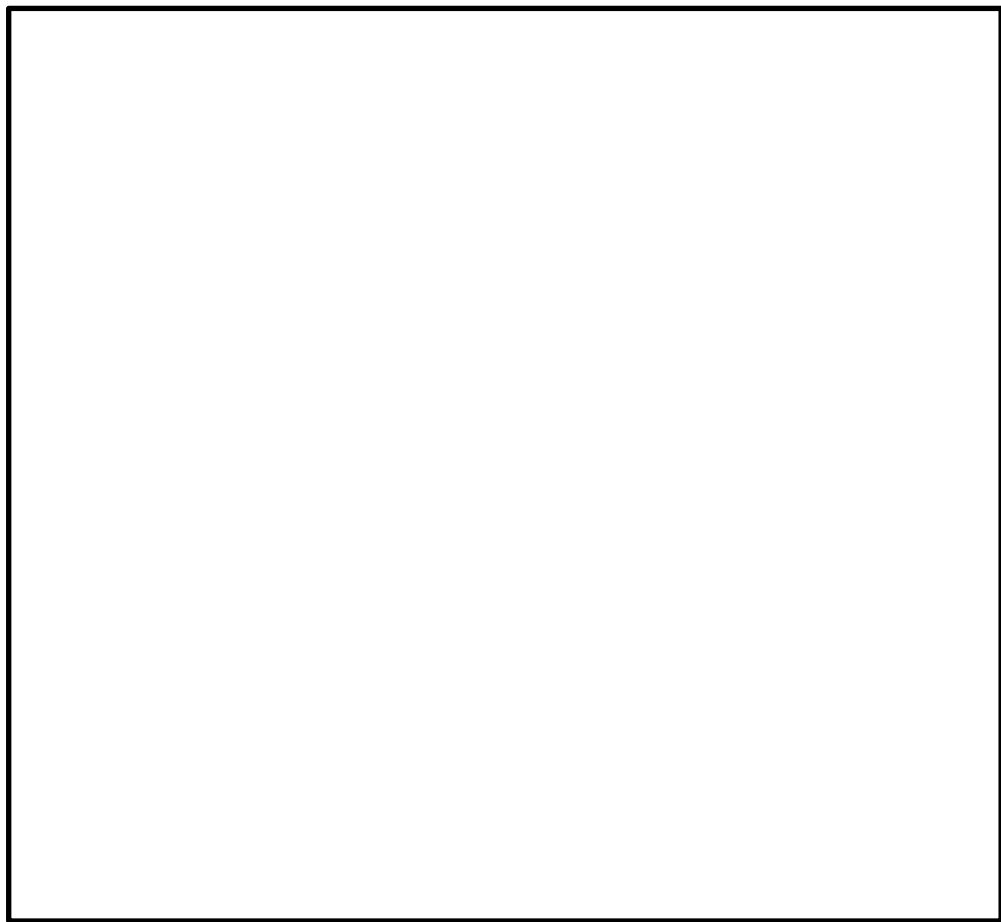
鋼製蓋の評価は降下火砕物堆積による鉛直荷重等により発生する応力が許容応力を超えないことを、図 3-2 及び図 3-3 の解析モデルを用いて 3次元静的 FEM解析により確認する。

#### 4. 強度評価結果

##### 4.1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室（頂版）の評価結果

ディーゼル燃料貯蔵タンク室（頂版）の評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-1 に示す。ディーゼル燃料貯蔵タンク室（頂版）の降下火砕物堆積時の評価結果を表 4-1～表 4-3 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に発生する曲げモーメントに対して、コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を超えないこと、並びに発生するせん断力に対してコンクリートの短期許容せん断応力度を超えないことを確認した。



(単位：mm)

図 4-1 評価対象箇所

表 4-1 コンクリートの曲げに対する評価結果

部位	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
頂版	47.0	1.71	11.8	0.15

表 4-2 鉄筋の曲げに対する評価結果

部位	曲げモーメント (kN・m)	曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
頂版	47.0	79.1	294	0.27

表 4-3 せん断力に対する評価結果

部位	発生せん断力 (kN)	せん断 応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 せん断応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau / \tau_{a1}$
頂版	55.3	0.14	0.63	0.23

#### 4.2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（頂版，側壁）の評価結果

頂版及び側壁の降下火砕物堆積時の評価結果を表 4-4～表 4-6 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，図 4-2 に示す評価対象部位に発生する曲げモーメント及び軸力に対して，コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を超えないこと及び発生するせん断応力度に対してコンクリートの短期許容せん断応力度を超えないことを確認した。

表 4-4 コンクリートの曲げ・軸力に対する評価結果

部位	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
頂版	39	12	1.3	13.5	0.10
側壁	25	57	0.8	13.5	0.06

表 4-5 鉄筋の曲げ・軸力に対する評価結果

部位	発生断面力		曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
頂版	39	12	36	294	0.13
側壁	25	57	13	294	0.05

表 4-6 せん断力に対する評価結果

部位	発生せん断力 (kN)	せん断 応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 せん断応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau / \tau_{a1}$
頂版	51	0.13	0.67	0.20
側壁	11	0.03	0.67	0.05



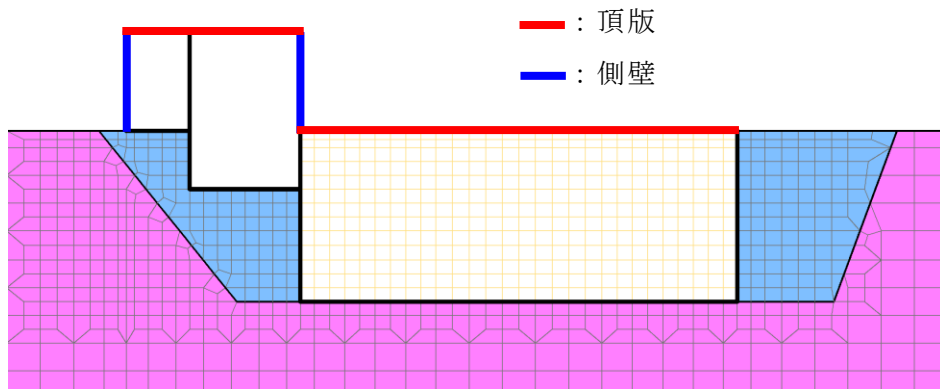


図 4-2 評価対象部位

#### 4.3 鋼製蓋の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた鋼製蓋の3次元静的FEM解析による評価結果を表4-7に、応力分布図を図4-3及び図4-4に示す。評価対象部位に発生する応力が許容応力を超えないことを確認した。

表 4-7 鋼製蓋の評価結果

評価対象部位		材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
鋼製蓋 (ディーゼル燃料貯蔵 タンク室)	鋼板	<input type="text"/>	組合せ	93	<input type="text"/>
	支持脚	SS400		214	280
鋼製蓋 (B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽)		鋼板	組合せ	20	<input type="text"/>

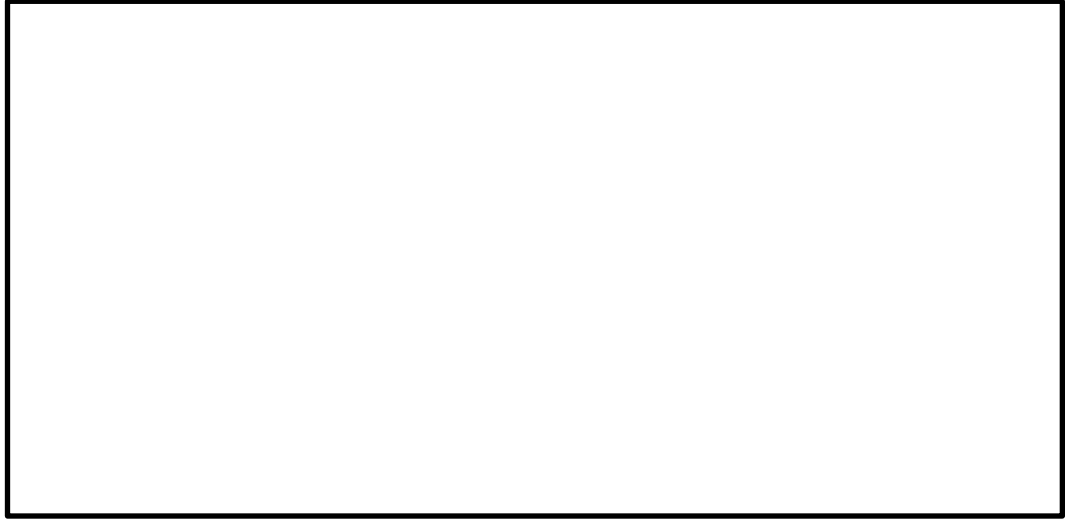


図 4-3 鋼製蓋（ディーゼル燃料貯蔵タンク室）の応力分布図

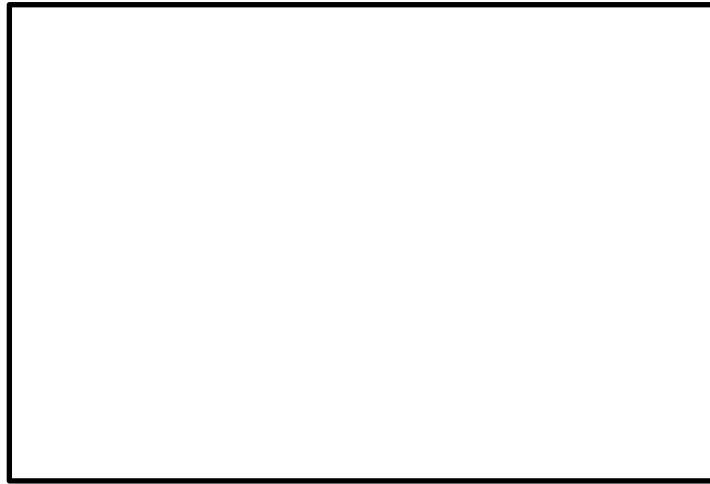


図 4-4 鋼製蓋（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽）の応力分布図

VI-3-別添 2-11 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備  
の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の定義	7
3.2 評価対象部位	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	9
3.3.1 荷重の設定	9
3.3.2 荷重の組合せ	12
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	14
3.5.1 鋼板の評価方法	14
3.5.2 架構の評価方法	16
3.5.3 アンカーボルトの評価方法	18
4. 評価条件	20
5. 強度評価結果	21

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の安全機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の配置図を図 2-1 に示す。

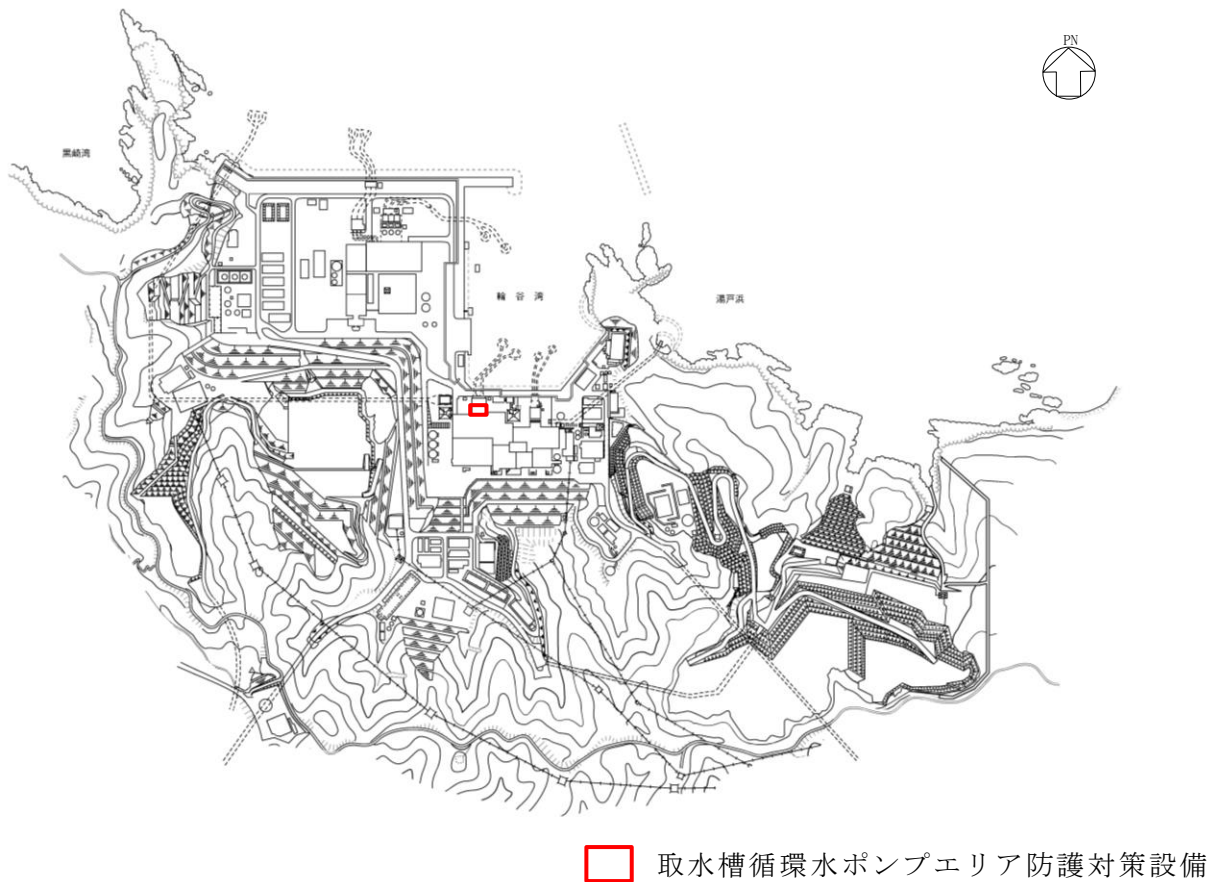


図 2-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の配置図

## 2.2 構造概要

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、構造を設定する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、降下火砕物及び積雪が堆積することを防止する鋼板、鋼板を支持する架構及び架構をコンクリートに固定するアンカーボルトから構成される。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、鳥瞰図を図 2-5 に示す。

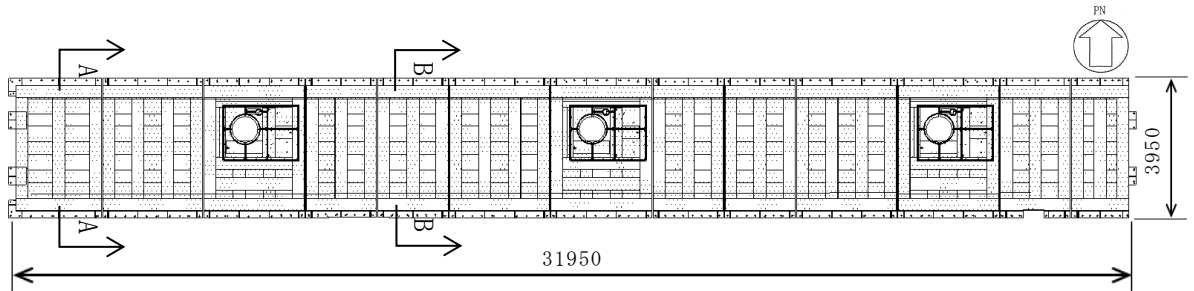


図 2-2 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略平面図 (単位:mm)

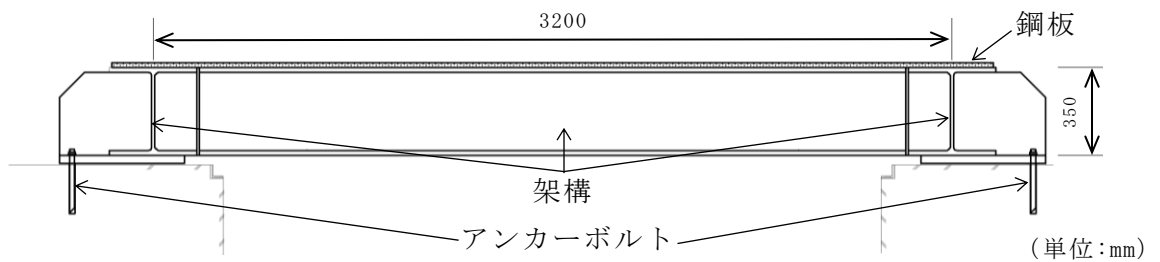


図 2-3 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略断面図 (A-A 断面)

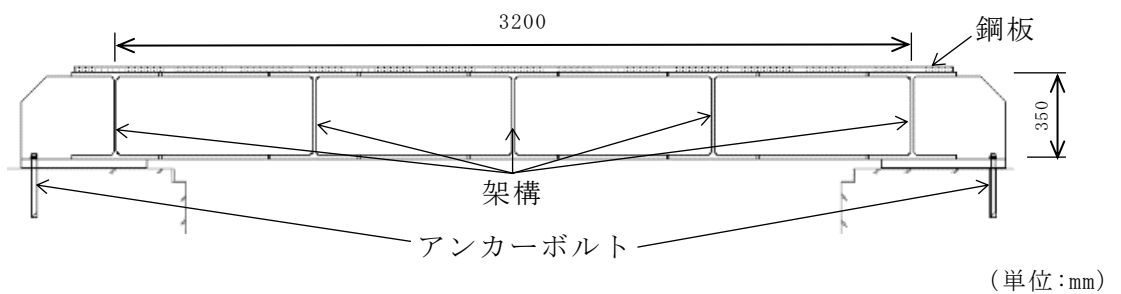


図 2-4 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略断面図 (B-B 断面)

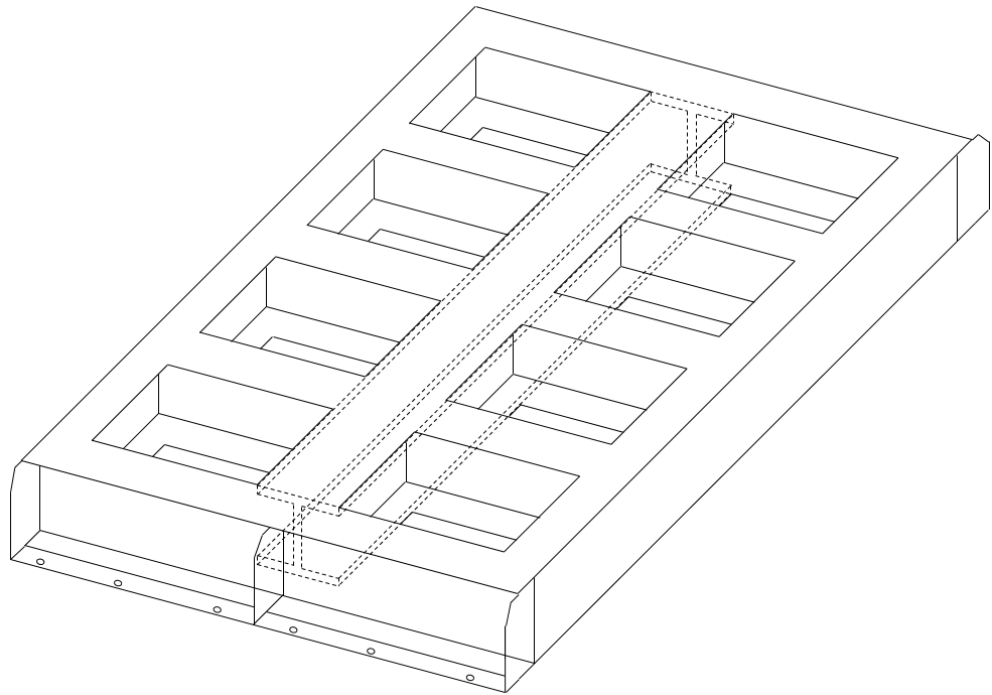


図 2-5(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 鳥瞰図  
(架構の構造表示, 鋼板非表示)

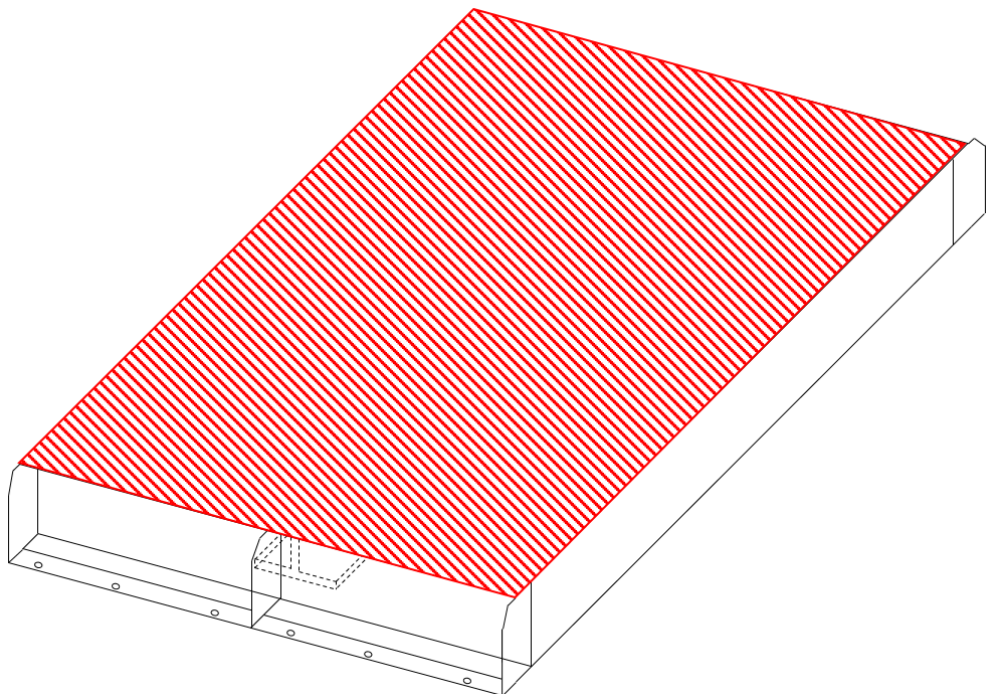


図 2-5(2) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 鳥瞰図  
(鋼板表示)

### 2.3 評価方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の評価対象部位に生じる応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価フローを図 2-6 に示す。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物及び積雪の堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重(以下「設計荷重」という。)の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

評価については、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界は、鋼板及び架構に対しては、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ( (社) 日本建築学会, 2005 年改定)」に基づき算出した許容荷重とする。また、アンカーボルトに対しては、「各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010 年改訂)」に基づき算出した許容荷重とする。



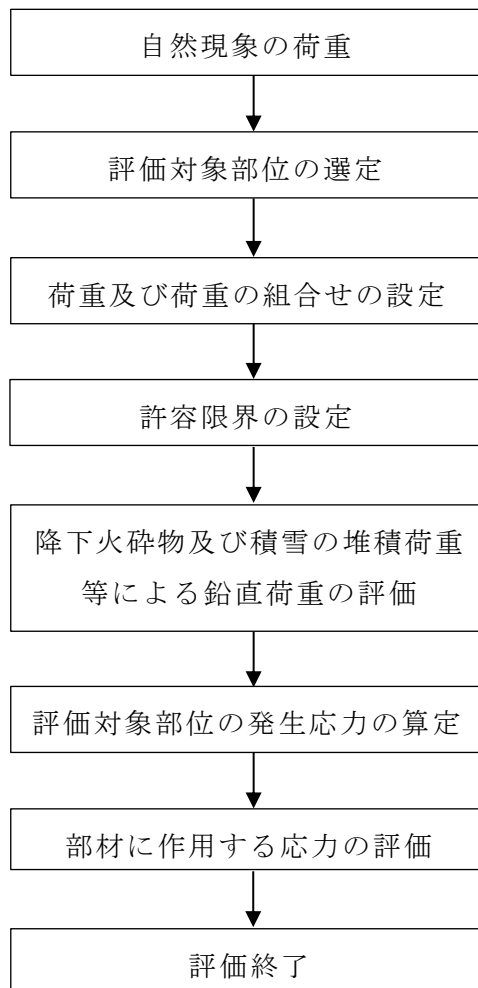


図 2-6 強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - （（社）日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987 年）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	鋼板の短辺
a <sub>2</sub>	mm	架構が荷重を分担する鋼板の短辺
A	mm <sup>2</sup>	鋼板の断面積
A <sub>z</sub>	cm <sup>2</sup>	架構の強軸方向のせん断断面積
b	mm	鋼板の長辺
b <sub>2</sub>	mm	架構の幅及び高さ
T <sub>a</sub>	N	アンカーボルトに生じる引張力
h	mm	鋼板の厚さ
L	mm	アンカーボルト間の距離
L <sub>2</sub>	mm	架構の長さ
M	N・mm	鋼板に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
M <sub>2</sub>	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純支持梁(ピン結合)とした場合)
M <sub>3</sub>	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純固定梁とした場合)
n <sub>a</sub>	-	架構 1 箇所当たりのアンカーボルトの本数
n <sub>2</sub>	-	評価対象とする架構に対し直交する架構の本数
p	N/mm	鋼板に作用する等分布荷重
p <sub>2</sub>	N/mm	架構に作用する等分布荷重
p <sub>3</sub>	N/mm	架構の単位長さあたりの自重
ρ	kN/m <sup>3</sup>	鋼板の密度
Q	N	鋼板に作用する弱軸まわりのせん断力
Q <sub>2</sub>	N	架構に作用する強軸まわりのせん断力
Z	mm <sup>3</sup>	鋼板の弱軸まわりの断面係数
Z <sub>2</sub>	mm <sup>3</sup>	架構の強軸まわりの断面係数
σ	MPa	鋼板に生じる曲げ応力
σ <sub>2</sub>	MPa	架構に生じる曲げ応力

表 3-1(2) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$\tau$	MPa	鋼板に生じるせん断応力
$\tau_2$	MPa	架構に生じるせん断応力
F	N/mm <sup>2</sup>	鋼板及び架構の F 値
$f_b$	N/mm <sup>2</sup>	鋼板及び架構の短期許容曲げ応力度
$f_s$	N/mm <sup>2</sup>	鋼板及び架構の短期許容せん断応力度
$\nu$	—	座屈安全率
$\lambda_b$	—	曲げ材の細長比
$p \lambda_b$	—	塑性限界細長比
$e \lambda_b$	—	弾性限界細長比
$p_{a1}$	N	接着系アンカーボルトの降伏により決まる場合の接着系アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$p_{a3}$	N	接着系アンカーボルトの付着力により決まる場合の接着系アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$\Phi_1, \Phi_3$	—	低減係数
$s \sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの引張強度
$s_c a$	mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの断面積
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	へりあき及びアンカーボルトのピッチを考慮した接着系アンカーボルトの引張力に対する付着強度
$\pi$	—	円周率
$d_a$	mm	接着系アンカーボルトの径
$l_{ce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込み深さ

### 3.2 評価対象部位

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の評価対象部位は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、鋼板、架構及びアンカーボルトとする。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### 3.3.1 荷重の設定

##### (1) 鋼板及び架構

鋼板及び架構の鉛直荷重の一覧を表 3-2 に示す。鉛直荷重は、常時作用する荷重 ( $F_d$ )、降下火砕物による荷重 ( $F_{a'}$ ) 及び積雪荷重 ( $F_{s'}$ ) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 ( $G$ ) 及び積載荷重 ( $P$ ) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5\text{g/cm}^3$  の降下火砕物が  $56\text{cm}$  堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪  $100\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮し  $35.0\text{cm}$  とし、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-2 荷重一覧（鋼板及び架構）

荷重		鋼板	架構
常時作用する荷重 ( $F_d$ )	固定荷重 ( $G$ )	1.54kN/m	2.19kN/m
	積載荷重 ( $P$ ) *	0.98kN/m	2.65kN/m
降下火砕物による荷重 ( $F_{a'}$ )		8.24kN/m	8.65kN/m
積雪荷重 ( $F_{s'}$ )		0.70kN/m	0.74kN/m

注記\*：積載荷重 ( $P$ ) は、除灰時の人員荷重  $981\text{N/m}^2$  を含む。

鋼板及び架構に生じる各荷重について、算定方法を以下に示す。

a. 鋼板の固定荷重 (G)

$$G = \rho \cdot a \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot 10^{-3}$$

$\rho$  : 鋼板の密度 (kN/m<sup>3</sup>)

a : 鋼板の短辺 (mm)

h : 鋼板の厚さ (mm)

b. 鋼板の積載荷重 (P)

$$P = P_1 \cdot 10^{-3} \cdot a \cdot 10^{-3}$$

$P_1$  : 除灰時の人員荷重 (N/m<sup>2</sup>)

a : 鋼板の短辺 (mm)

c. 鋼板の降下火砕物による荷重 ( $F_a'$ )

$$F_a' = F_a \cdot 10^{-3} \cdot a \cdot 10^{-3}$$

$F_a$  : 湿潤状態の降下火砕物による荷重 (N/m<sup>2</sup>)

a : 鋼板の短辺 (mm)

d. 鋼板の積雪荷重 ( $F_s'$ )

$$F_s' = F_s \cdot 10^{-3} \cdot a \cdot 10^{-3}$$

$F_s$  : 従荷重として組み合わせる積雪荷重 (N/m<sup>2</sup>)

a : 鋼板の短辺 (mm)

e. 架構の固定荷重 (G)

$$G = p_3 + \frac{n_2 \cdot (a_2 \cdot 10^{-3} \cdot b_2 \cdot 10^{-3}) \cdot p_3}{L_2 \cdot 10^{-3}}$$

$p_3$  : 架構の単位長さあたりの自重 (N/mm)

$n_2$  : 評価対象とする架構に対し直交する架構の本数

$a_2$  : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

$b_2$  : 架構の幅及び高さ (mm)

$L_2$  : 架構の長さ (mm)

f. 架構の積載荷重 (P)

$$P = P_1 \cdot 10^{-3} \cdot a_2 \cdot 10^{-3} + \rho \cdot a_2 \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot 10^{-3}$$

$P_1$  : 除灰時の人員荷重 (N/m<sup>2</sup>)

$a_2$  : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

$\rho$  : 鋼板の密度 (kN/m<sup>3</sup>)

$h$  : 鋼板の厚さ (mm)

g. 架構の降下火砕物による荷重 ( $F_a'$ )

$$F_a' = F_a \cdot 10^{-3} \cdot a_2 \cdot 10^{-3}$$

$F_a$  : 湿潤状態の降下火砕物による荷重 (N/m<sup>2</sup>)

$a_2$  : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

h. 架構の積雪荷重 ( $F_s'$ )

$$F_s' = F_s \cdot 10^{-3} \cdot a_2 \cdot 10^{-3}$$

$F_s$  : 従荷重として組み合わせる積雪荷重 (N/m<sup>2</sup>)

$a_2$  : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

(2) アンカーボルト

アンカーボルトに考慮する荷重は、積載荷重による圧縮力及び架構端部で発生した曲げモーメントによる引張力とする。

### 3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

	荷重			
	常時作用する荷重 ( $F_d$ )		主荷重	従荷重
	固定荷重 ( $G$ )	積載荷重 ( $P$ ) *	降下火砕物による荷重 ( $F_{a'}$ )	積雪荷重 ( $F_{s'}$ )
考慮する荷重の組合せ	○	○	○	○

注記\*：積載荷重 ( $P$ ) は，除灰時の人員荷重  $981\text{N/m}^2$  を含む。



### 3.4 許容限界

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界値は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに設定する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を構成する鋼板及び架構の許容限界を、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ( (社) 日本建築学会, 2005 年改定)」に基づき、表 3-4 に示すとおり設定する。また、アンカーボルトの許容限界についても、「各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき、表 3-4 に示すとおり設定する。

鋼板及び架構の材料強度を表 3-5 に、コンクリートの短期許容応力度を表 3-6 に、アンカーボルトの短期許容荷重を表 3-7 に示す。

表 3-4 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界

機能設計上の性能目標	評価対象部位	応力等の状態	機能維持のための考え方	許容限界
構造強度を有すること	鋼板	曲げ, せん断	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ( (社) 日本建築学会, 2005 年改定) に準じた短期許容応力度 各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010 年改定) に準じた短期許容荷重
	架構	曲げ, せん断		
	アンカーボルト	引張		

表 3-5 鋼板及び架構の材料強度

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

材料	板厚	F 値	材料強度		
			引張り	圧縮 曲げ	せん断
SS400	t ≤ 40mm	235	234	234*	135

注記\*: 上限値であり, 座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-6 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 $F_c$	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.17

表 3-7 アンカーボルトの短期許容荷重

(単位：kN)

呼び径	引張
D22	52.4

### 3.5 評価方法

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の応力評価は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 強度評価結果」にて設定している評価式を用いる。

#### 3.5.1 鋼板の評価方法

##### (1) 評価モデル

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重によって一様な応力が発生する鋼板を、単純支持梁（ピン結合）として、新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987年）の計算方法を用いて評価を行う。評価対象部位及び応力評価モデル図を図 3-1 に示す。

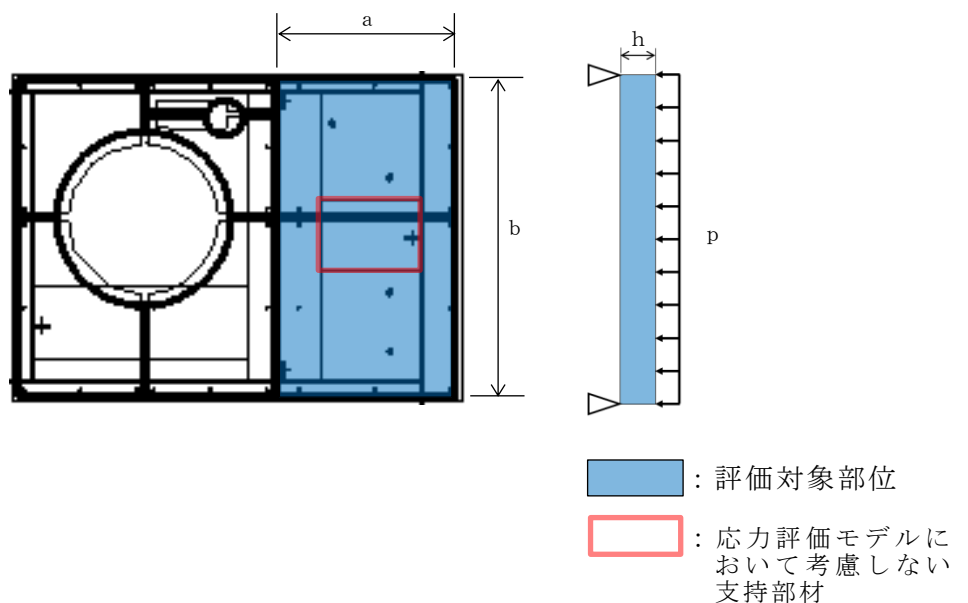


図 3-1 鋼板の評価対象部位及び応力評価モデル図

(2) 応力評価

a. 曲げ応力

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^{-9}}{Z \cdot 10^{-9}}$$

ここで,

$$M = 1/8 \cdot p \cdot b^2$$

$$p = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a \cdot h$$

$$Z = 1/6 \cdot a \cdot h^2$$

b. せん断応力

$$\tau = \frac{Q \cdot 10^{-6}}{A \cdot 10^{-6}}$$

ここで,

$$Q = 1/2 \cdot p \cdot b$$

$$A = a \cdot h$$

(3) 断面評価

断面の評価は、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づき、「3.5.1 鋼板の評価方法」で計算した鋼板に生じる各応力が、各許容限界を超えないことを確認する。

a. 短期許容曲げ応力度

$$f_b = \frac{F}{\nu} \cdot 1.5 \quad (\lambda_b \leq \lambda_{bp})$$

$$f_b = \left\{ 1 - 0.4 \cdot \frac{(\lambda_b - \lambda_{bp})}{(\lambda_{be} - \lambda_{bp})} \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5 \quad (\lambda_{bp} < \lambda_b \leq \lambda_{be})$$

$$f_b = \frac{1}{\lambda_b^2} \cdot \frac{F}{2.17} \cdot 1.5 \quad (\lambda_{be} < \lambda_b)$$

b. 短期許容せん断応力度

$$f_s = \frac{F}{1.5 \sqrt{3}} \cdot 1.5$$

### 3.5.2 架構の評価方法

#### (1) 評価モデル

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重によって一様な応力が発生する架構を、単純支持梁（ピン結合）として、新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987年）の計算方法を用いて評価を行う。評価対象部位及び応力評価モデル図を図3-2に示す。

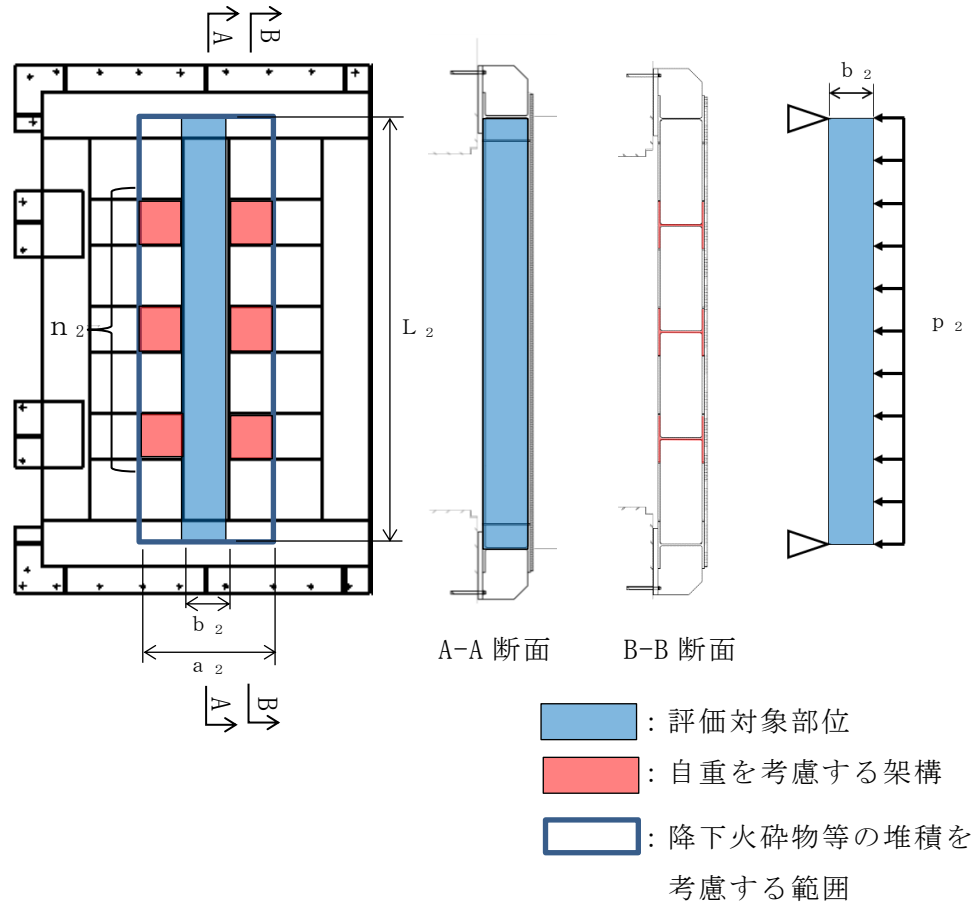


図 3-2 架構の評価対象部位及び応力評価モデル図

#### (2) 応力評価

##### a. 曲げ応力

$$\sigma_2 = \frac{M_2 \cdot 10^{-9}}{Z_2 \cdot 10^{-9}}$$

ここで、

$$M_2 = 1/8 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$

$$p_2 = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a_2 + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a_2 \cdot h + p_3 + \frac{n_2 \cdot (a_2 - b_2) \cdot p_3}{L_2}$$

b. せん断応力

$$\tau_2 = \frac{Q_2 \cdot 10^{-6}}{A_Z \cdot 10^{-4}}$$

ここで,

$$Q_2 = 1/2 \cdot p_2 \cdot L_2$$

(3) 断面評価

断面の評価は、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づき, 「3.5.2 架構の評価方法」で計算した架構に生じる各応力が, 各許容限界を超えないことを確認する。

a. 短期許容曲げ応力度

$$f_b = \frac{F}{v} \cdot 1.5 \quad (\lambda_b \leq p\lambda_b)$$

$$f_b = \left\{ 1 - 0.4 \cdot \frac{(\lambda_b - p\lambda_b)}{(e\lambda_b - p\lambda_b)} \right\} \cdot \frac{F}{v} \cdot 1.5 \quad (p\lambda_b < \lambda_b \leq e\lambda_b)$$

$$f_b = \frac{1}{\lambda_b^2} \cdot \frac{F}{2.17} \cdot 1.5 \quad (e\lambda_b < \lambda_b)$$

b. 短期許容せん断応力度

$$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$$

### 3.5.3 アンカーボルトの評価方法

#### (1) 評価モデル

アンカーボルトに考慮する荷重は、積載荷重による圧縮力及び架構端部で発生した曲げモーメントによる引張力とする。

アンカーボルトに作用する曲げモーメントによる引張力については、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重によって一様な応力が発生する架構を単純固定梁として、新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987年）の計算方法を用いて算定する。積載荷重による圧縮力及び端部で発生した曲げモーメントによる引張力を考慮する架構とその荷重を負担するアンカーボルトの概念図を図 3-3 に示す。

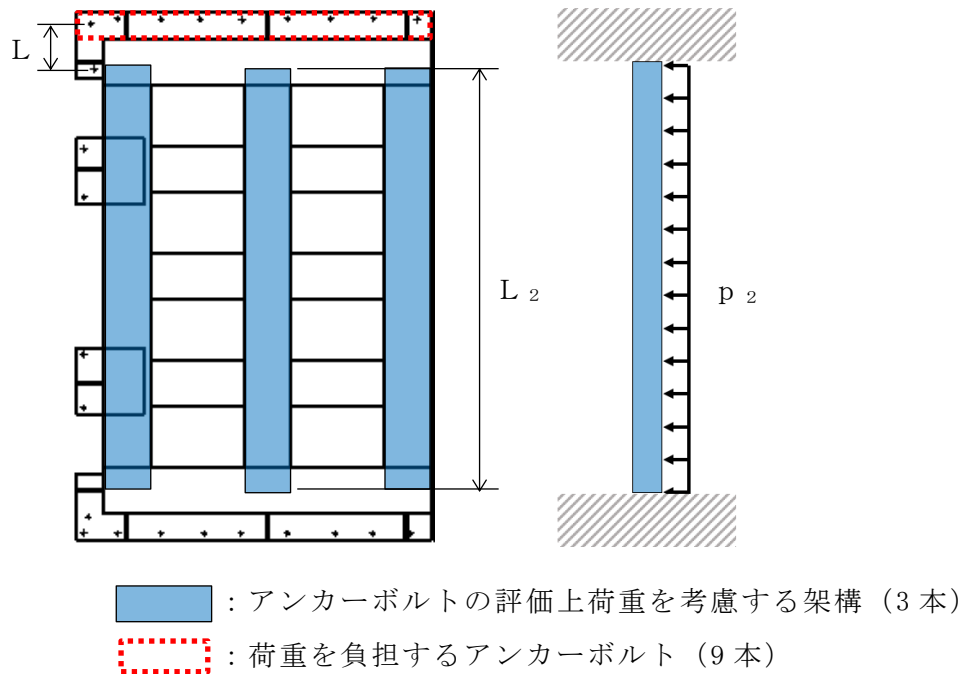


図 3-3 荷重を負担するアンカーボルトの概念図

したがって、1本の架構の荷重を負担するアンカーボルトの本数  $n_a$  は、以下のとおりとなる。

$$n_a = 9 \text{ (本 (アンカーボルト))} \div 3 \text{ (本 (架構))} = 3$$

(2) 応力評価

a. 引張力

$$T_a = \frac{p_2 \cdot L_2}{n_a} - \frac{M_3}{L \cdot n_a}$$

ここで,

$$M_3 = 1/12 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$

(3) 断面評価

断面の評価は、「各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010年改定)」に基づき, 「3.5.3 アンカーボルトの評価方法」で計算したアンカーボルトに生じる引張力が, 許容限界を超えないことを確認する。

a. 短期許容引張力

$$p_{a1} = \Phi_1 \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

#### 4. 評価条件

「3.5 評価方法(2)応力評価」に用いる評価条件を表4-1～表4-3に、「3.5 評価方法(3)断面評価」に用いる評価条件を表4-4及び表4-5に示す。

表4-1 応力評価条件（鋼板）

a (mm)	a <sub>2</sub> (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	b (mm)	h (mm)	ρ (kN/m <sup>3</sup> )
1000	1050	20000	1420	20	77

表4-2 応力評価条件（架構）

n <sub>2</sub> (-)	A <sub>Z</sub> (cm <sup>2</sup> )	b <sub>2</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	p <sub>3</sub> (N/mm)
3	37.44	350	3200	1.324

表4-3 応力評価条件（アンカーボルト）

n <sub>a</sub> (-)	L (mm)
3	400

表4-4 断面評価条件（鋼板及び架構）

F (N/mm <sup>2</sup> )	ν (-)	λ <sub>b</sub> (-)	pλ <sub>b</sub> (-)	eλ <sub>b</sub> (-)
235	1.501	0.049	0.3	1.291

表4-5 断面評価条件（アンカーボルト）

Φ <sub>1</sub> (-)	sσ <sub>pa</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	sca (mm <sup>2</sup> )	Φ <sub>3</sub> (-)	τ <sub>a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	d <sub>a</sub> (mm)	l <sub>ce</sub> (mm)
1	295	387.1	2/3	8.45	22.2	133.4



5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時における強度評価結果を表 5-1 に示す。

鋼板、架構及びアンカーボルトに発生する応力は許容限界以下である。

表 5-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の評価結果

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
取水槽循環 水ポンプエ リア防護対 策設備	鋼板	SS400	曲げ	43.13	234
			せん断	0.41	135
	架構	SS400	曲げ	7.99	234
			せん断	6.08	135
	アンカー ボルト	SS400	引張*	5.06	52.4

注記\*：単位は kN とする。

VI-3-別添 2-12 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
3. 強度評価方法	5
3.1 評価対象部位	5
3.2 荷重及び荷重の組合せ	6
3.3 許容限界	6
3.4 評価方法	8
4. 評価条件	10
5. 強度評価結果	11

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備について、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の燃料移送ポンプエリアに設置する。燃料移送ポンプエリアの位置図を図 2-1 に示す。

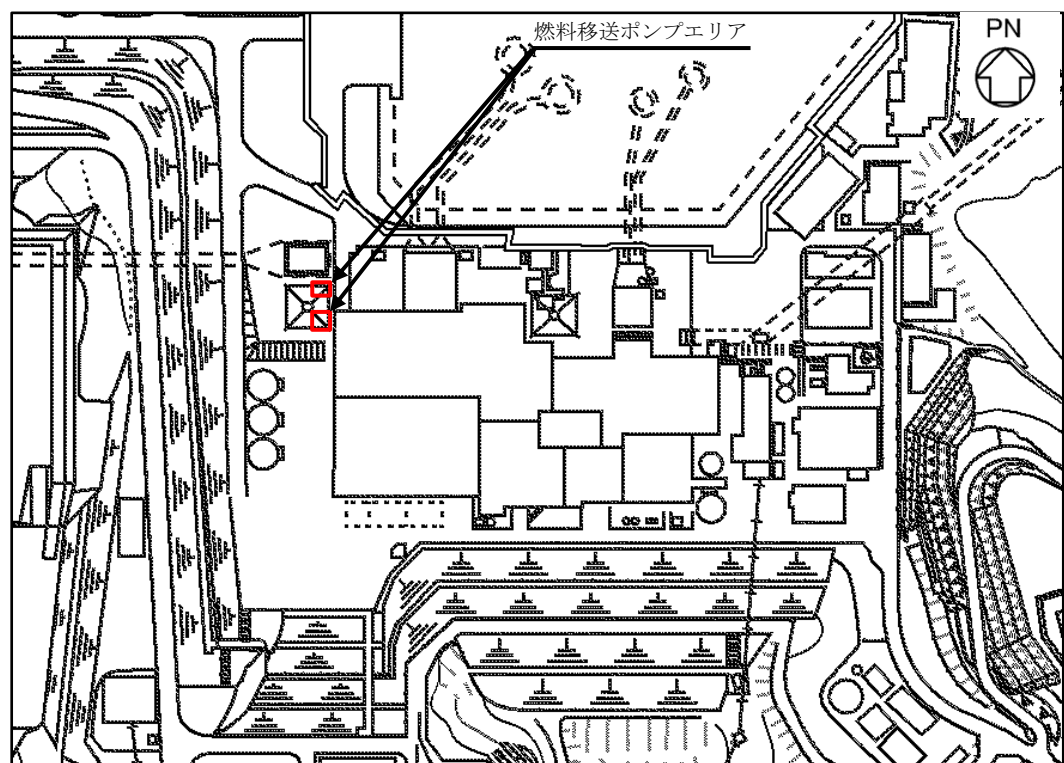


図 2-1 燃料移送ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、構造を設定している。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ（以下「燃料移送ポンプ」という。）に 1 個ずつ設置している。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の概要図を図 2-2 に示す。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、上部の端部に丸みを持たせた鋼製のカバー本体及び点検用開口蓋（以下「カバー」という。）で燃料移送ポンプを覆う構造としており、基礎ボルトで固定されたポンプベースにサポートを介し、取付ボルトで固定されている。降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）がディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備に堆積する範囲を図 2-3 に示す。

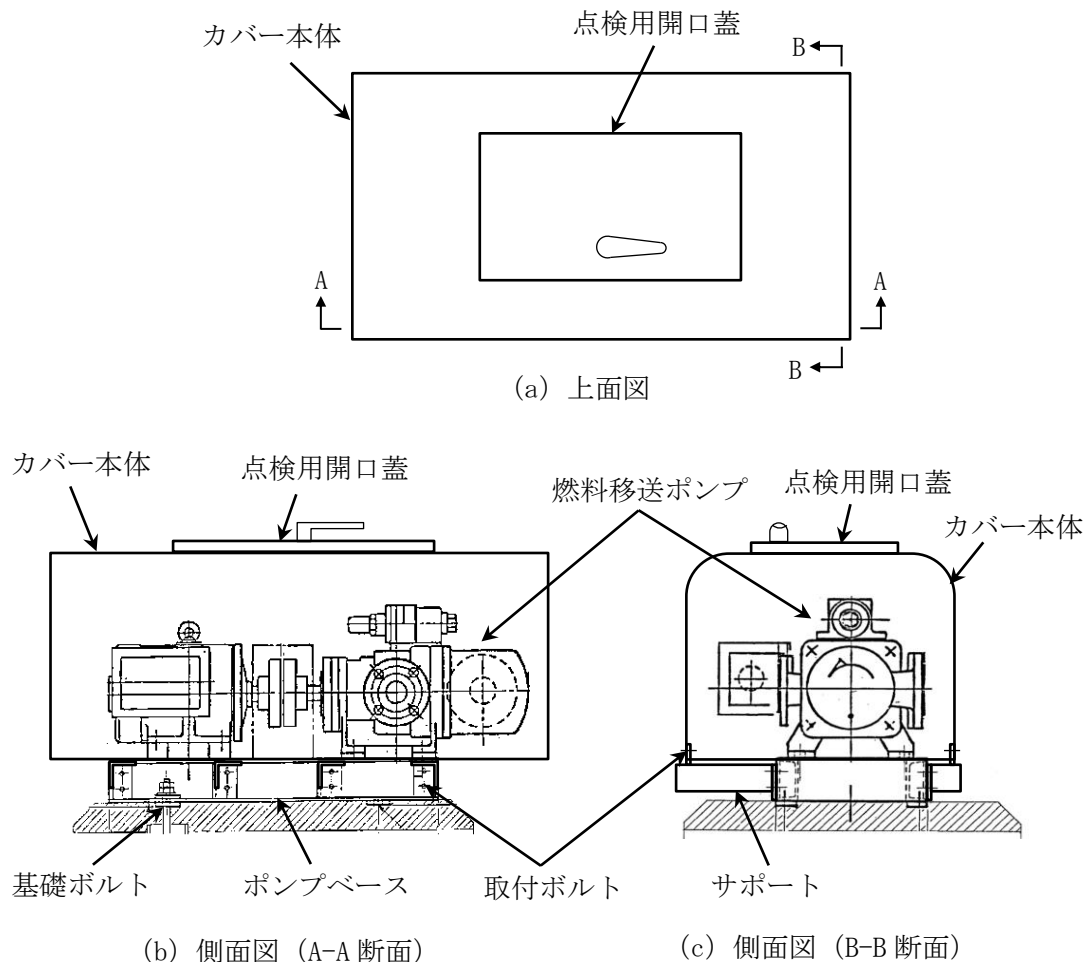


図 2-2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の概要図

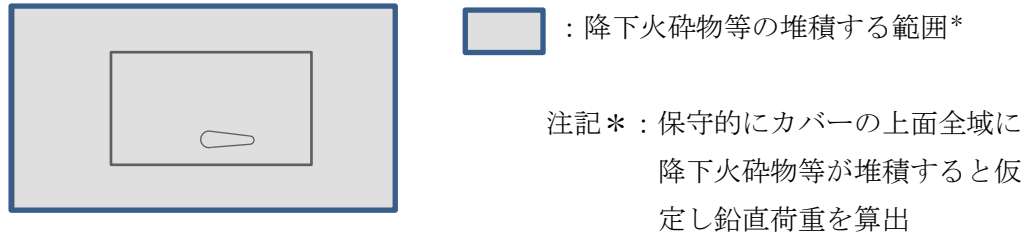


図 2-3 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の降下火砕物等の堆積範囲図

### 2.3 評価方針

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価フローを図 2-4 に示す。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、カバーの上面に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定し、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（(社)日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987」（(社)日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」（(社)日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態IVASとする。

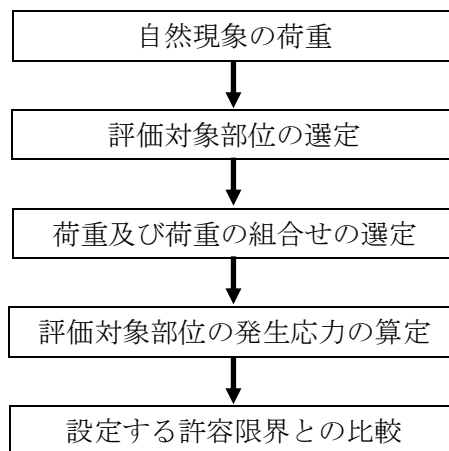


図 2-4 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日 松江市規則第 234 号）
- (3) 日本産業規格（J I S G 3 1 9 2（2021））
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984  
（（社）日本電気協会）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (7) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））  
（J S M E S N C 1 -2005/2007）（（社）日本機械学会）（以下「J S M E」という。）
- (8) 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1984 年）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の評価対象部位は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、カバー、サポート、カバー取付ボルト及びサポート取付ボルトとする。また、考慮する鉛直荷重が大きくなるよう、降下火砕物等が堆積する面積が大きいA系を代表とする。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

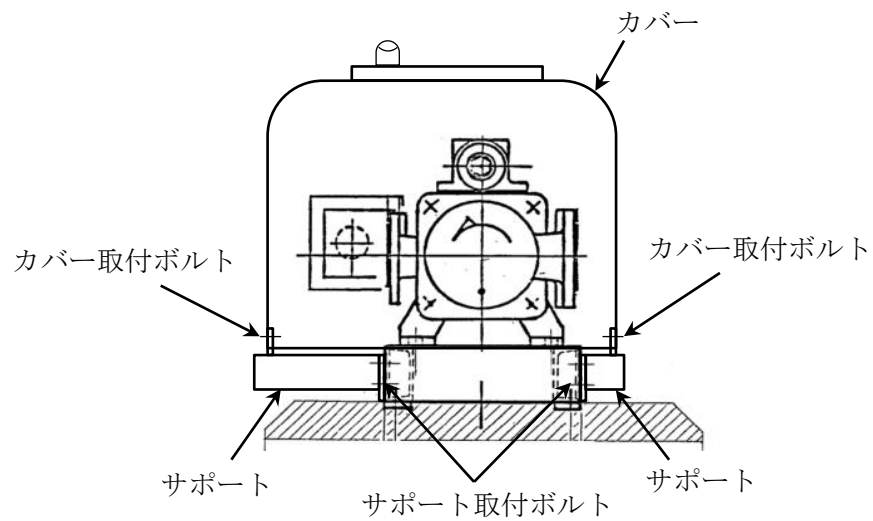


図 3-1 評価対象部位（ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備）



### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の選定

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

#### (2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備には、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷 重
ディーゼル燃料 移送ポンプ防護 対策設備	カバー	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
	サポート	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
	カバー取付ボルト, サポート取付ボルト	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

### 3.3 許容限界

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界値は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される機能を維持できるよう弾性域に留まらず塑性域に入る状態とならない設計とするため、許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界を表 3-2、許容応力を表 3-3 に示す。

表 3-2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
カバー	IVAS	一次応力	組合せ	$1.5 \cdot f_{t^*}$
サポート	IVAS	一次応力	曲げ	$1.5 \cdot f_{b^*}$
			せん断	$1.5 \cdot f_{s^*}$
			組合せ	$1.5 \cdot f_{t^*}$
カバー取付ボルト, サポート取付ボルト	IVAS	一次応力	引張	$f_{ts^*}$
			せん断	$1.5 \cdot f_{s^*}$

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力(許容組合せ応力) $f_{ts^*}$ は以下のとおり。

$$f_{ts^*} = \text{Min} \{1.4 \cdot (1.5 \cdot f_{t^*}) - 1.6 \cdot \tau, 1.5 \cdot f_{t^*}\}$$

表 3-3 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容応力

評価対象部位	材料*1	温度条件*2 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	1.5・f <sub>b</sub> * (MPa)	1.5・f <sub>s</sub> * (MPa)	1.5・f <sub>t</sub> * (MPa)
カバー	SS41	40	245	400	280	—	—	280
サポート	SS41	40	245	400	280	280	161	280
カバー取付ボルト	SS41	40	245	400	280	—	161	—
サポート取付ボルト	SS41	40	245	400	280	—	161	210

注記\*1：SS400 相当

\*2：周囲環境温度

### 3.4 評価方法

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の応力評価はFEM解析と評価式による評価を行う。

#### (1) 評価式による評価

サポート、カバー取付ボルト及びサポート取付ボルトの評価は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いて行う。なお、降下火砕物等が堆積する面積を図3-2に示す。

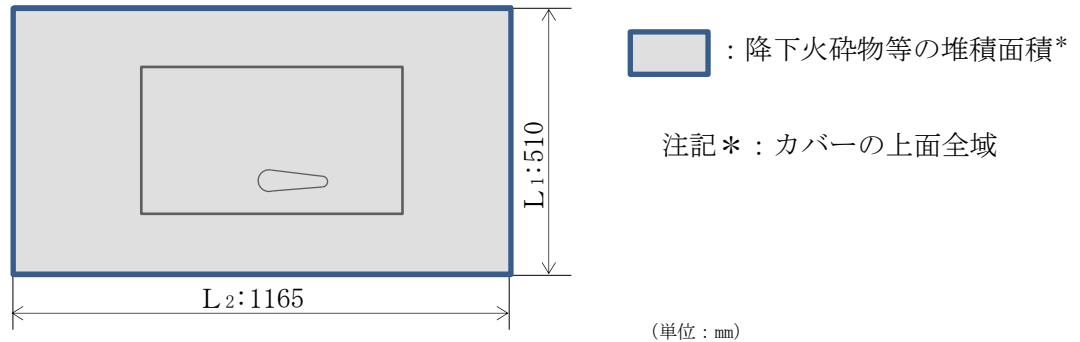


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積

#### (2) FEM解析による評価

カバーはFEM解析にて評価を行う。解析に使用するコードは、「MSC NASTRAN」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### a. 荷重条件

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の荷重条件を表3-4に示す。

表 3-4 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の荷重条件

荷重条件	入力荷重 (N/m <sup>2</sup> )
降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 $F_v'$	8938

##### b. 計算モデル及び諸元

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の解析モデルを図3-3に、解析モデルの概要を以下に示す。また、諸元を表3-5に示す。

- (a) 上部に作用する鉛直荷重に対し構造健全性を確認するため、カバー取付部材との溶接部から上部をシェル要素でモデル化する。
- (b) 拘束条件は以下のとおりとする。
  - ・カバー本体：カバー本体下端の溶接部において、並進3方向及び3軸回りの回転を拘束する。
  - ・点検用開口蓋：点検用開口蓋とカバー本体は接触（並進1方向（Z方向））とし、その他は拘束しない。また、蝶番部において、並進2方向（X, Y方向）を拘束する（並進1方向（Z方向）及び3軸回りの回転は拘束しない）。
- (c) 寸法は公称値及び実測値を用いる。

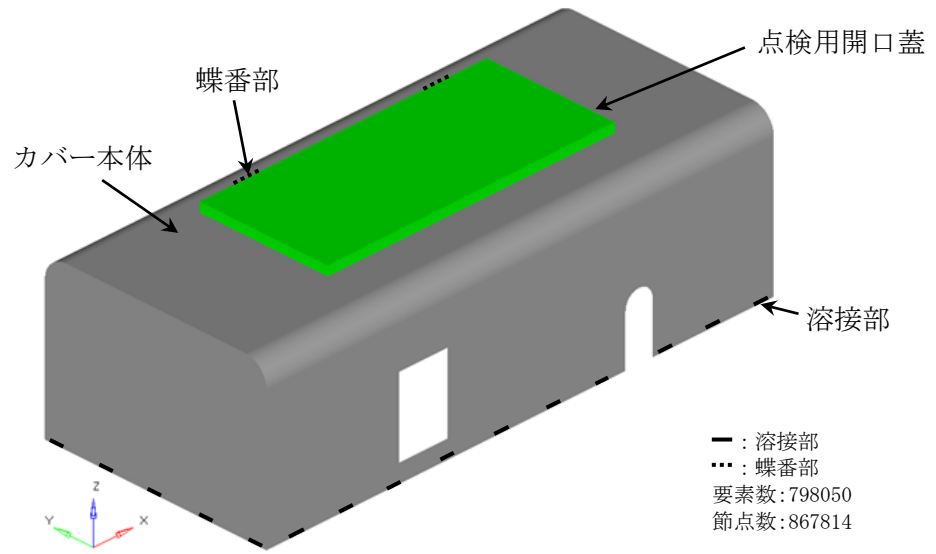


図 3-3 解析モデル

表 3-5 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の諸元

部材	材料	評価温度 (°C)	縦弾性係数E (MPa)	ポアソン比 $\nu$ (-)
カバー	SS41	40	202000	0.3

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 評価条件 (ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備)

m (kg)	$F_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	r (mm)
55	8938	510	1165	50

表 4-2 評価条件 (サポート)

N (-)	$l_1$ (mm)	Z (cm <sup>3</sup> )	$A_{sa}$ (cm <sup>2</sup> )
8	188	3.55	5.644

表 4-3 評価条件 (カバー取付ボルト)

ボルト径 (mm)	$n_1$ (-)
16 (M16)	8

表 4-4 評価条件 (サポート取付ボルト)

ボルト径 (mm)	$n_2$ (-)	$n_{f2}$ (-)	$l_2$ (mm)
10 (M10)	16	8	25

## 5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

カバー、サポート、カバー取付ボルト及びサポート取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 評価結果（ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備）

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
カバー	SS41	組合せ	266	280
サポート	SS41	曲げ	43	280
		せん断	2	161
		組合せ	44	280
カバー取付ボルト	SS41	せん断	5	161
サポート取付ボルト	SS41	引張	78	210*
		せん断	6	161

注記\* :  $f_{ts}^* = \text{Min} \{1.4 \cdot (1.5 \cdot f_t^*) - 1.6 \cdot \tau, 1.5 \cdot f_t^*\}$