

添付 5-3 金属キャスクの耐震性に関する説明書

添付 5-3-1 金属キャスクの耐震性に関する計算書  
(BWR用大型キャスク (タイプ 2A))

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造の説明	2
2.2 評価方針	4
2.3 記号の説明	6
2.4 数値の丸め方	12
3. 耐震評価箇所	14
3.1 金属キャスクの耐震評価箇所	14
4. 固有値解析	18
4.1 解析方針	18
4.2 固有値解析結果	21
5. 金属キャスクの応力評価	23
5.1 基本方針	23
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	23
5.3 設計条件	25
5.4 応力評価方法	26
5.5 応力評価条件	36
5.6 評価結果	36
6. 金属キャスクの機能維持評価	69
6.1 機能維持評価方針	69
6.2 機能維持評価方法	70
6.3 機能維持評価条件	75
6.4 評価結果	75
7. 引用文献	83

## 図表目次

第 2-1 図	金属キャスク及び貯蔵架台の概略構造図	3
第 2-2 図	金属キャスクの耐震評価フロー	5
第 3-1 図	密封容器及び二次蓋の応力評価箇所	15
第 3-2 図	バスケットの応力評価箇所	16
第 3-3 図	下部トラニオンの応力評価箇所	17
第 4-1 図	固有値解析モデル	19
第 4-2 図	水平振動モード図 ( $T_H=0.080$ s)	22
第 4-3 図	鉛直振動モード図 ( $T_V=0.023$ s)	22
第 5-1 図	水平方向基準地震動 $S_s$ による床面の水平方向設計用床応答曲線	37
第 5-2 図	水平方向基準地震動 $S_d$ による床面の水平方向設計用床応答曲線	38
第 5-3 図	密封容器及び二次蓋の解析モデル	39
第 5-4 図	下部トラニオンに作用する荷重の計算モデル	40
第 5-5 図	水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー	41
第 6-1 図	外筒下部の概略構造及び応力評価箇所	76
第 6-2 図	一次蓋まわりの概略構造	76
第 2-1 表	数値の丸め方一覧表	13
第 4-1 表	固有値解析モデルの諸元	20
第 4-2 表	固有値解析結果	21
第 5-1 表	密封容器及び二次蓋の荷重の種類とその組合せ	42
第 5-2 表	バスケットの荷重の種類とその組合せ	42
第 5-3 表	トラニオンの荷重の種類とその組合せ	43
第 5-4 表	密封容器用材料の許容応力値	44
第 5-5 表	密封容器用材料 (ボルト用材料) の許容応力値	46
第 5-6 表	二次蓋用材料の許容応力値	47
第 5-7 表	二次蓋用材料 (ボルト用材料) の許容応力値	48
第 5-8 表	バスケット用材料の許容応力値	49
第 5-9 表	トラニオン用材料の許容応力値	50
第 5-10 表	設計条件	52
第 5-11 表	水平方向設計震度の評価結果	53
第 5-12 表	鉛直方向設計震度の評価結果	54
第 5-13 表	設計震度	55
第 5-14 表	一次蓋, 一次蓋締付けボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力評価条件	55
第 5-15 表	カバープレート及びカバープレート締付けボルトの応力評価条件	56
第 5-16 表	底板の平均支圧応力の評価条件	56

第5-17表	バスケットの応力評価条件	57
第5-18表	下部トラニオンの応力評価条件	57
第5-19表	一次蓋締付けボルトの疲労評価条件	58
第5-20表	カバープレート締付けボルトの疲労評価条件	58
第5-21表	二次蓋締付けボルトの疲労評価条件	58
第5-22表	評価結果	59
第5-23表	疲労累積係数（一次蓋締付けボルト）	64
第5-24表	疲労累積係数（カバープレート締付けボルト）	64
第5-25表	疲労累積係数（二次蓋締付けボルト）	64
第5-26表	密封容器及び二次蓋の応力評価（供用状態D <sub>s</sub> ）	65
第5-27表	バスケットの応力評価（供用状態D <sub>s</sub> ）	68
第5-28表	トラニオンの応力評価（供用状態D <sub>s</sub> ）	68
第6-1表	外筒の荷重の種類とその組合せ	77
第6-2表	蓋部中性子遮蔽材カバーの荷重の種類とその組合せ	77
第6-3表	外筒の許容応力値	78
第6-4表	蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力値	78
第6-5表	設計震度	79
第6-6表	外筒の応力評価条件	79
第6-7表	蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価条件	79
第6-8表	外筒の評価結果（S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合）	80
第6-9表	外筒の評価結果（S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合）	81
第6-10表	蓋部中性子遮蔽材カバーの評価結果	82

## 1. 概要

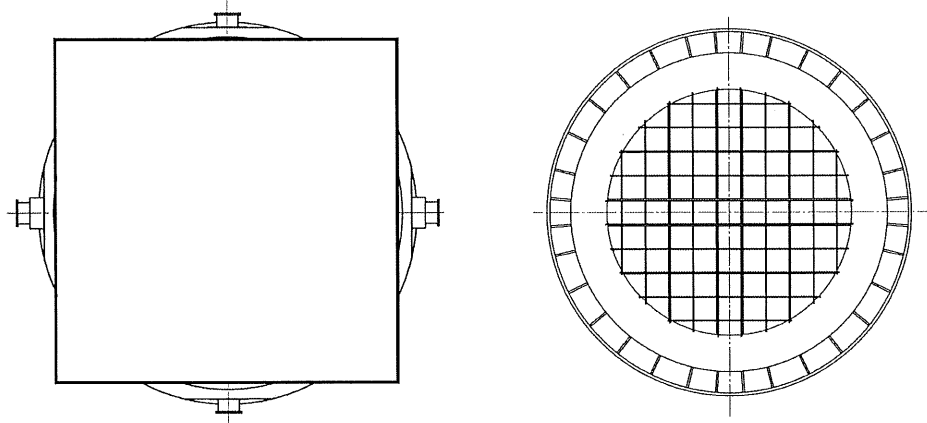
本資料は、金属キャスクが「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（以下、「技術基準規則」という。）の第7条に基づき、設計用地震力に対して十分な構造強度及び安全機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、固有値解析、応力評価及び機能維持評価により行う。

金属キャスクは、「資料 5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」において耐震設計上の重要度分類はSクラスである。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

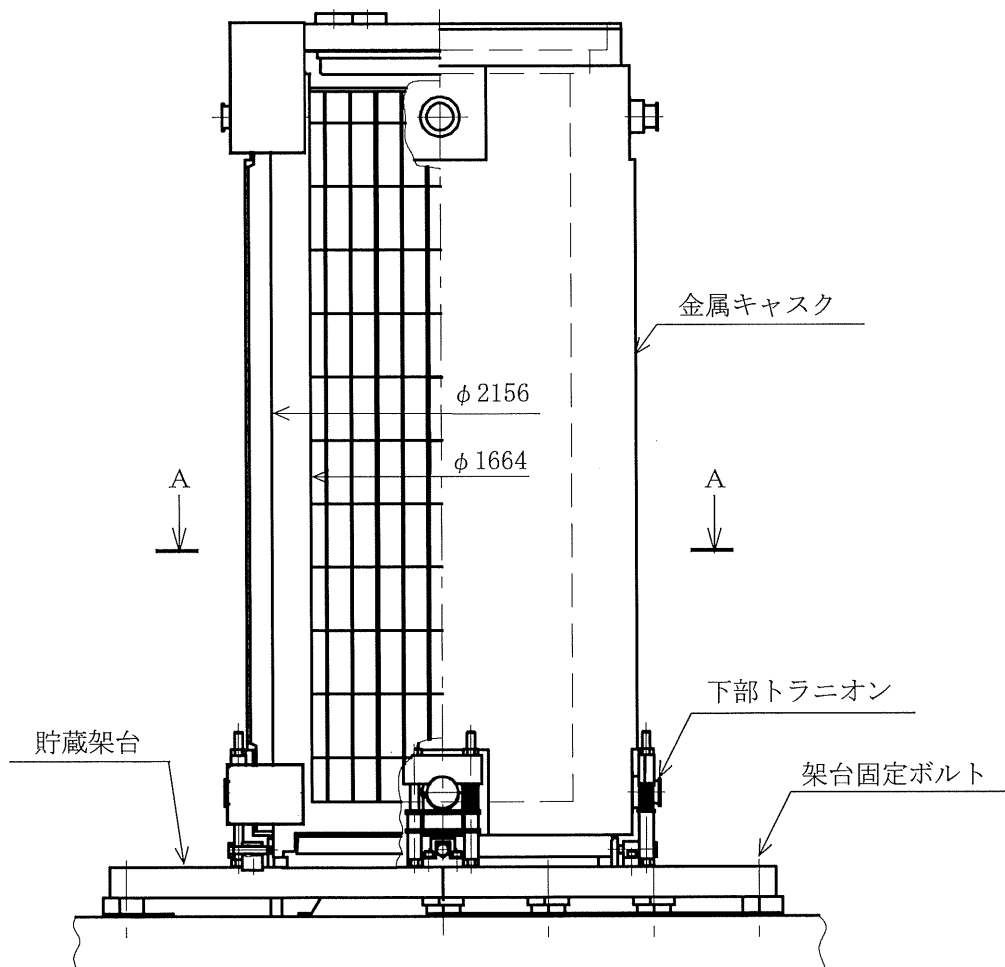
## 2. 基本方針

### 2.1 構造の説明

- (1) 金属キャスクは、たて置きで支持する。
- (2) 金属キャスク（内部収納物を含む。）は 4 個の下部トラニオンを介して貯蔵架台に固定する。
- (3) 貯蔵架台は架台固定ボルトを介して床面に固定する。
- (4) 二次蓋は二次蓋締付けボルトでキャスク容器に固定する。
- (5) 概略構造図を第 2-1 図に示す。



A~A断面



(単位 : mm)

第2-1図 金属キャスク及び貯蔵架台の概略構造図

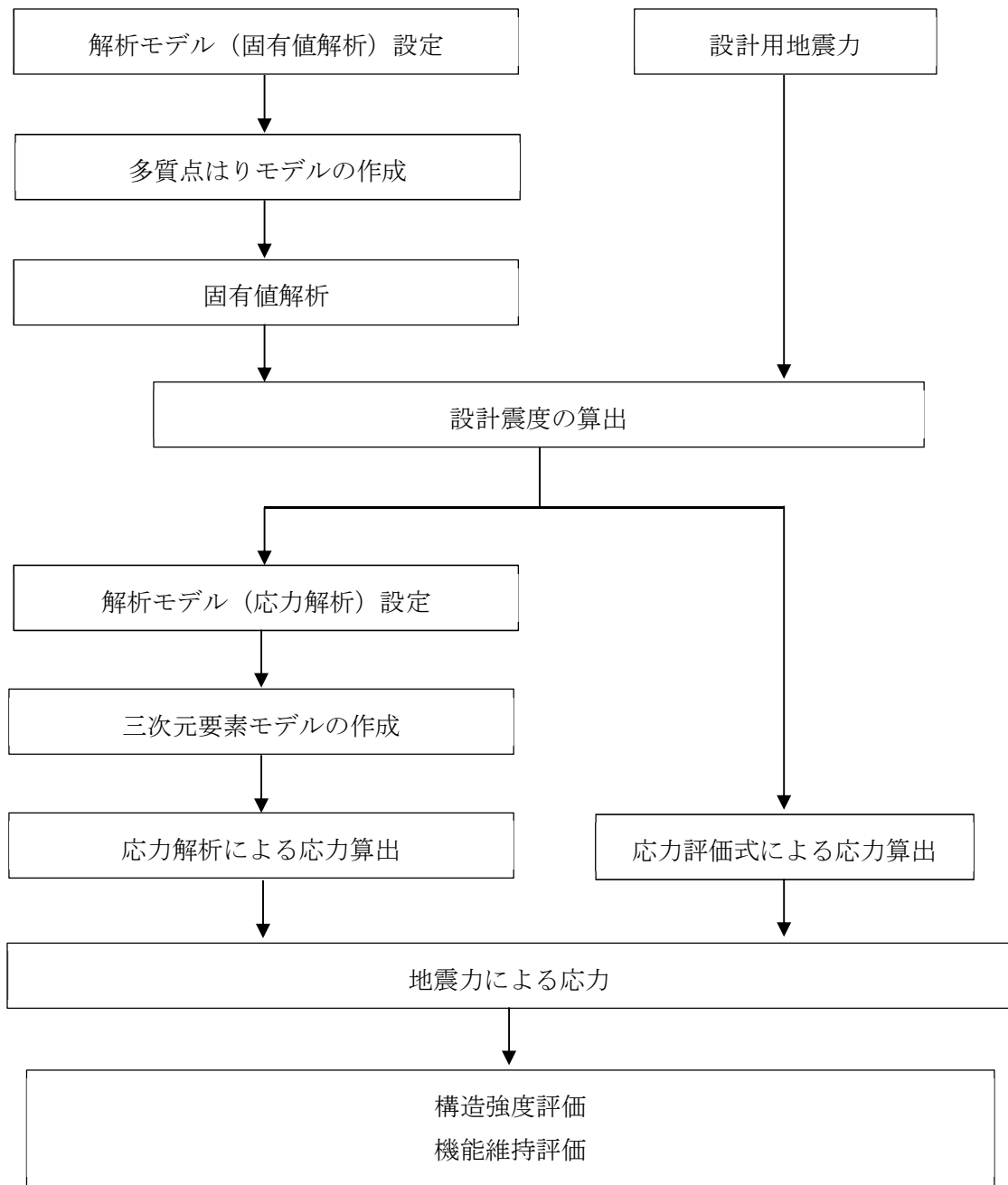
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



## 2.2 評価方針

金属キャスクの応力評価は、「2.1 構造の説明」にて示す金属キャスクの部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 金属キャスクの応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、金属キャスクの機能維持評価は、地震時に発生する応力が機能維持できる応力以下であることを「6. 金属キャスクの機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

金属キャスクの耐震評価フローを第2-2 図に示す。



第 2-2 図 金属キャスクの耐震評価フロー

### 2.3 記号の説明

本書において、下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

計算書の記号	記号の説明	単位
「4. 固有値解析」に使用する記号		
$A_x$	断面積	$\text{mm}^2$
$A_{sy}$	せん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{sz}$	せん断断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D_o$	外径	mm
$D_i$	内径	mm
$E$	金属キャスクの縦弾性係数	MPa
$I_x$	ねじりモーメント係数	$\text{mm}^4$
$I_y$	y 軸廻りの断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$I_z$	z 軸廻りの断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$K_X$	X 方向並進ばね定数	N/mm
$K_Z$	Z 方向並進ばね定数	N/mm
$K_{\theta Y}$	Y 軸廻り回転ばね定数	N・mm/rad
$l_1 \sim l_{13}$	節点間距離	mm
$m_c$	貯蔵時の金属キャスクの質量	kg
$m_s$	貯蔵架台の質量	kg
$m_1 \sim m_{14}$	節点質量	kg
$T_H$	固有周期（水平方向）	s
$T_V$	固有周期（鉛直方向）	s
$\nu$	ポアソン比	—

計算書の記号	記号の説明	単位
「5. 金属キャスクの応力評価」 密封容器及び二次蓋の応力評価に使用する記号		
A	断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
C <sub>S</sub>	供用状態Aの貯蔵時の状態において、S <sub>d</sub> *地震力が作用した場合の供用状態	—
D <sub>S</sub>	供用状態Aの貯蔵時の状態において、S <sub>s</sub> 地震力が作用した場合の供用状態	—
E	縦弾性係数	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
G <sub>1</sub>	水平方向加速度	m/s <sup>2</sup>
G <sub>2</sub>	鉛直方向加速度	m/s <sup>2</sup>
K	応力集中係数	—
m	質量	kg
N <sub>a</sub>	許容繰返し回数	—
N <sub>c</sub>	実際の繰返し回数	—
P <sub>L</sub>	一次局部膜応力強さ	MPa
P <sub>b</sub>	一次曲げ応力強さ	MPa
P <sub>m</sub>	一次一般膜応力強さ	MPa
Q	二次応力強さ	MPa
S <sub>d</sub> *	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S <sub>s</sub>	基準地震動S <sub>s</sub> による地震力	—
S <sub>ℓ</sub>	繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>ℓ</sub> '	縦弾性係数を補正した繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>m</sub>	設計応力強さ	MPa
S <sub>P</sub>	ピーク応力強さの範囲	MPa
S <sub>u</sub>	設計引張強さ	MPa
S <sub>y</sub>	設計降伏点	MPa
U <sub>f</sub>	疲労累積係数	—
σ <sub>p</sub>	平均支圧応力	MPa
σ <sub>s</sub>	平均せん断応力	MPa
σ <sub>r</sub>	半径方向の応力	MPa
σ <sub>θ</sub>	円周方向の応力	MPa
σ <sub>z</sub>	軸方向の応力	MPa

計算書の記号	記号の説明	単位
「5. 金属キャスクの応力評価」 バスケットの応力評価に使用する記号		
$A_1$	バスケットプレートの断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$C_S$	供用状態Aの貯蔵時の状態において、 $S_d^*$ 地震力が作用した場合の供用状態	—
$D_S$	供用状態Aの貯蔵時の状態において、 $S_s$ 地震力が作用した場合の供用状態	—
$f_c$	許容圧縮応力	
$f_c^*$	許容圧縮応力*1	MPa
$G$	重力加速度 (=9.80665)	MPa
$G_1$	水平方向加速度	$\text{m/s}^2$
$G_2$	鉛直方向加速度	$\text{m/s}^2$
$l_P$	バスケットプレートの内のり	$\text{m/s}^2$
$l_W$	バスケットプレート長さ (バスケット全長)	mm
$M$	バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント	mm N・mm/mm
$m_A$	応力計算書で用いる斜線部Aの質量	
$m_B$	応力計算書で用いる斜線部Bの質量	kg
$P_b$	一次曲げ応力	kg
$P_m$	一次一般膜応力	MPa
$Q$	二次応力	MPa
$S_m$	設計応力強さ	MPa
$S_u$	設計引張強さ	MPa
$S_y$	設計降伏点	MPa
$S_d^*$	弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	MPa —
$S_s$	基準地震動 $S_s$ による地震力	—
$Z$	バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数	$\text{mm}^3/\text{mm}$
$\rho$	密度	$\text{kg}/\text{mm}^3$
$\sigma_c$	圧縮応力	MPa
$\sigma_p$	平均支圧応力	MPa
$\sigma_s$	平均せん断応力	MPa
$\sigma_x$	バスケットの鉛直方向の応力 (x 方向)	MPa
$\sigma_y$	バスケットの水平方向の応力 (y 方向)	MPa
$\sigma_z$	バスケットの面に垂直な方向の応力 (z 方向)	MPa
$\tau_{yz}$	せん断応力	MPa

注記\*1:  $f_c$ の値を算出する際に「構造規格」MCD-2317(1)a.の(MCD-104)式において、 $S_y$ (RT)とあるのを $1.2S_y$ (RT)と読み替えて算出した値

計算書の記号	記号の説明	単位
「5. 金属キャスクの応力評価」 トラニオンの応力評価に使用する記号(1/2)		
A	トラニオンの断面積	mm <sup>2</sup>
a <sub>1</sub>	地震時の金属キャスク回転支点Oから固縛装置①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a <sub>2</sub>	地震時の金属キャスク回転支点Oから固縛装置②のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
a <sub>3</sub>	地震時の金属キャスク回転支点Oから金属キャスク中心までの距離	mm
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
C <sub>S</sub>	供用状態Aの貯蔵時の状態において、S <sub>d</sub> *地震力が作用した場合の供用状態	—
D <sub>S</sub>	供用状態Aの貯蔵時の状態において、S <sub>s</sub> 地震力が作用した場合の供用状態	—
E	縦弾性係数	MPa
E <sub>0</sub>	「構造規格」別図8-1に示されている縦弾性係数	MPa
F <sub>m</sub>	トラニオンに作用する荷重	N
f <sub>t</sub>	許容引張応力	MPa
f <sub>s</sub>	許容せん断応力	MPa
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力	MPa
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力	MPa
f <sub>p</sub>	許容支圧応力	MPa
f <sub>t</sub> *	許容引張応力 * <sup>1</sup>	MPa
f <sub>s</sub> *	許容せん断応力 * <sup>1</sup>	MPa
f <sub>c</sub> *	許容圧縮応力 * <sup>1</sup>	MPa
f <sub>b</sub> *	許容曲げ応力 * <sup>1</sup>	MPa
f <sub>p</sub> *	許容支圧応力 * <sup>1</sup>	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
G <sub>1</sub>	水平方向加速度	m/s <sup>2</sup>
G <sub>2</sub>	鉛直方向加速度	m/s <sup>2</sup>

注記\*1: f<sub>t</sub>, f<sub>s</sub>, f<sub>c</sub>, f<sub>b</sub>, f<sub>p</sub>の値を算出する際に「構造規格」MCD-3311.1(1)a.の本文中S<sub>y</sub>とあるのを1.2S<sub>y</sub>と読み替えて算出した値

計算書の記号	記号の説明	単位
「5. 金属キャスクの応力評価」 トラニオンの応力評価に使用する記号(2/2)		
$h_{CG}$	金属キャスク底面から重心までの高さ	mm
$L$	荷重位置と評価点との距離	mm
$m_2$	貯蔵時における金属キャスクの質量	kg
$S_d^*$	弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
$S_s$	基準地震動 $S_s$ による地震力	—
$S_y$	設計降伏点	MPa
$Z$	トラニオンの断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma$	トラニオンの評価断面に垂直な方向の応力	MPa
$\sigma_b$	トラニオンの曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_b$	トラニオンの圧縮側曲げ応力の絶対値	MPa
${}_t\sigma_b$	トラニオンの引張側曲げ応力の絶対値	MPa
$\sigma_c$	トラニオンの圧縮応力の絶対値	MPa
$\sigma_T$	トラニオンの組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	トラニオンの引張応力	MPa
$\tau$	トラニオンのせん断応力	MPa

計算書の記号	記号の説明	単位
「6. 金属キャスクの機能維持評価」に使用する記号		
$m_{all}$	外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部レジンの総質量	kg
$m_1$	外筒一区間当たりの側部レジンと外筒の質量	kg
$m_2$	蓋部中性子遮蔽材カバーの質量	kg
$D_d$	胴外径 (下部端板内径)	mm
$t_b$	下部端板の板厚	mm
$t$	外筒の板厚	mm
$t_L$	蓋部中性子遮蔽材カバーの板厚	mm
$a_1$	伝熱フィンピッチ幅	mm
$a_2$	正方形板の一辺の長さ	mm
$A_1$	外筒一区間当たりの外筒の内面積	mm <sup>2</sup>
$A_2$	蓋部中性子遮蔽材カバーの面積	mm <sup>2</sup>
$G$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$G_1$	水平方向加速度	m/s <sup>2</sup>
$G_2$	鉛直方向加速度	m/s <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$\beta_1$	下部端板の縦横比を考慮した長方形板の最大応力の係数	—
$\beta_2$	外筒の縦横比を考慮した長方形板の最大応力の係数	—
$\beta_3$	正方形板の最大応力の係数	—
$P$	分布荷重	MPa
$p_1$	側部レジン充填部圧力	MPa
$p_2$	外筒及び側部レジンの慣性力による分布荷重	MPa
$p_3$	蓋間圧力	MPa
$p_4$	蓋部中性子遮蔽材カバーの慣性力による分布荷重	MPa
$\tau$	せん断応力	MPa
$\sigma_b$	曲げ応力	MPa



#### 2.4 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を第 2-1 表に示す。

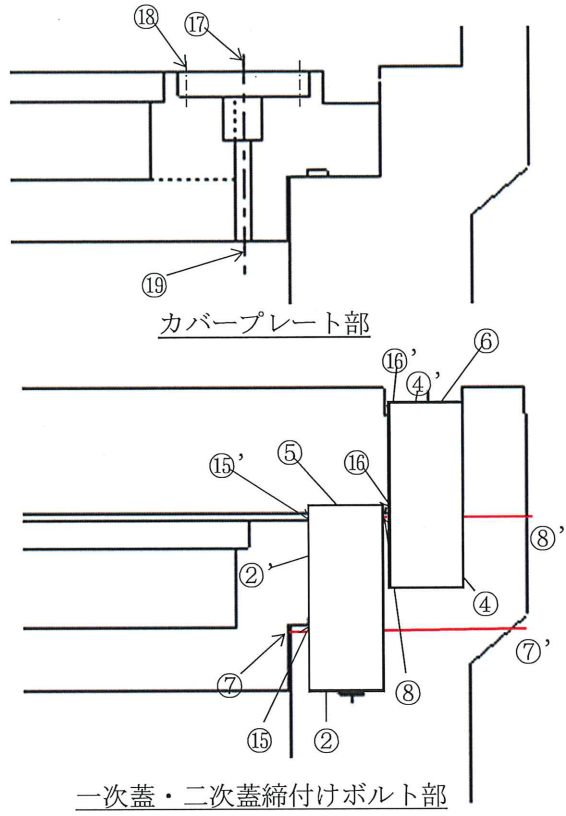
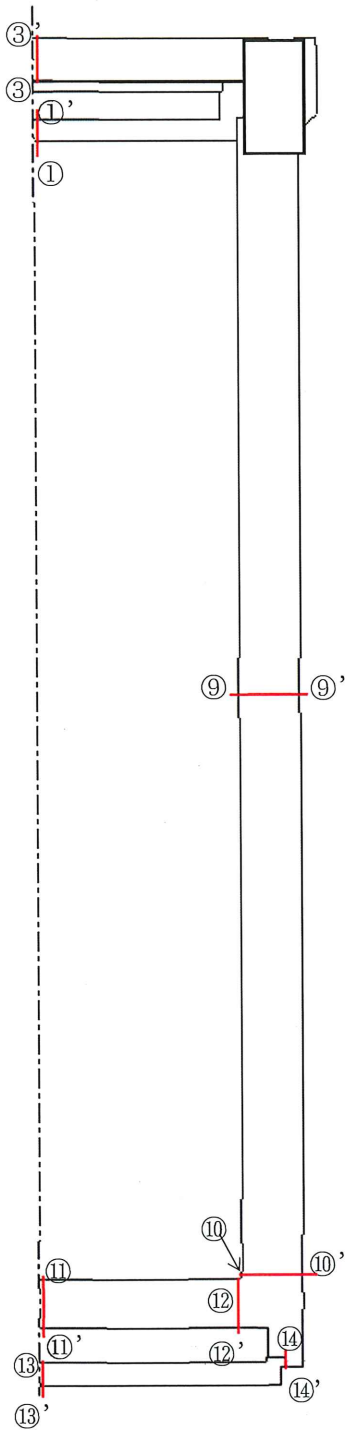
第2-1表 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
最高使用圧力	MPa	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
質量	kg	—	—	設計値
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
ばね定数	N/mm, N・mm/rad	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
許容応力値	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
計算応力値	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
角度	°	—	—	設計値
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁

### 3. 耐震評価箇所

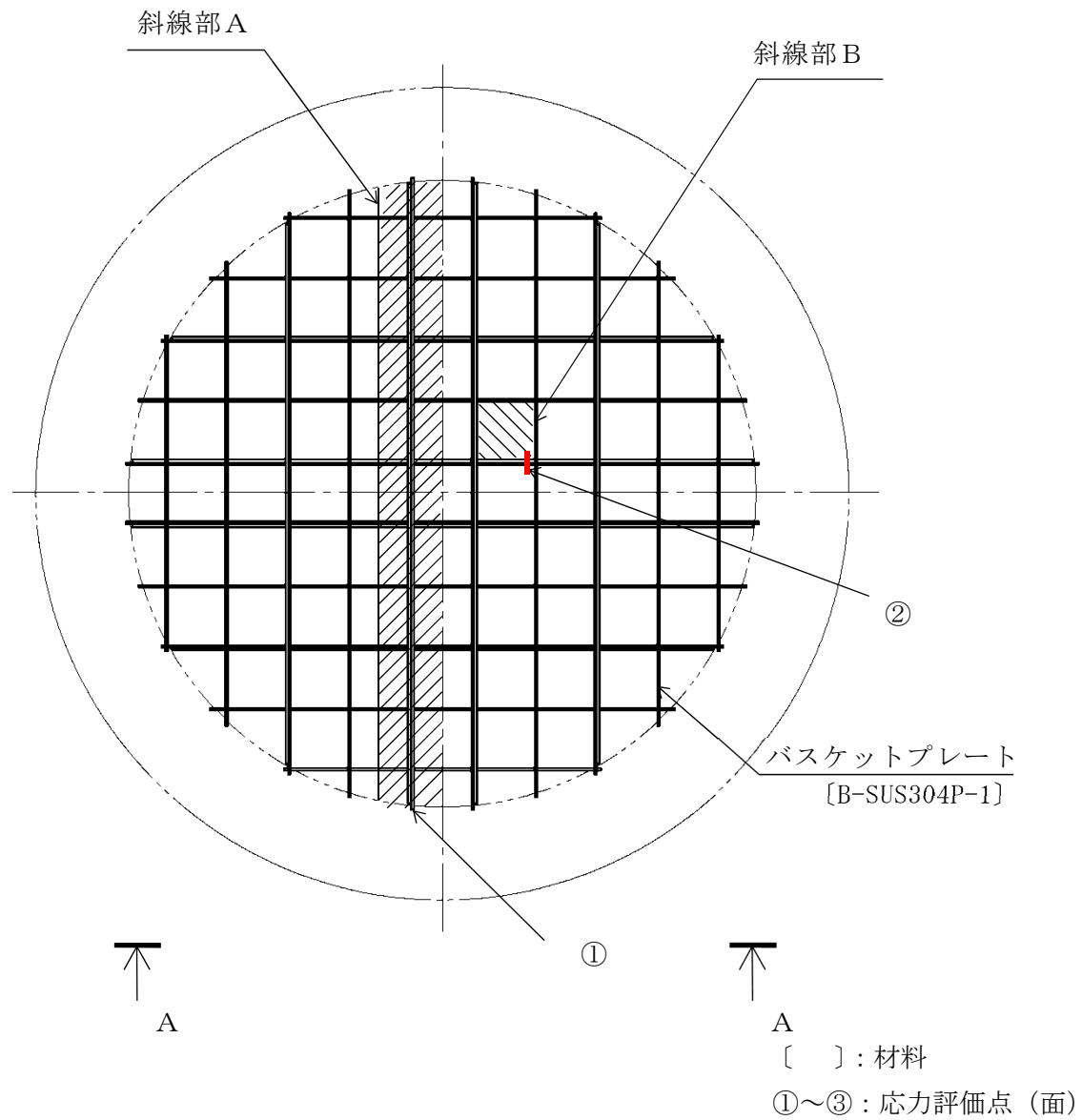
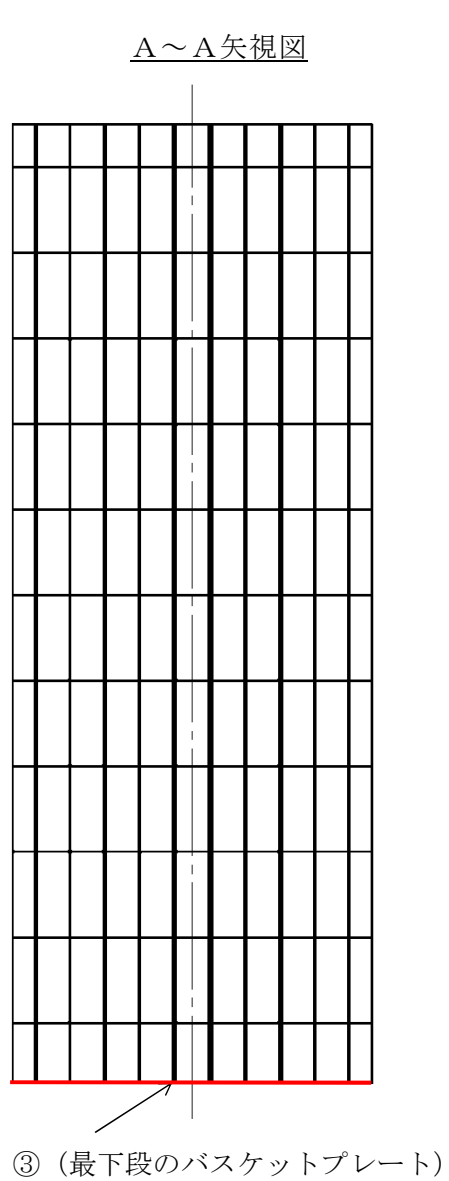
#### 3.1 金属キャスクの耐震評価箇所

金属キャスクの耐震評価箇所の説明図を第 3-1 図，第 3-2 図及び第 3-3 図に示す。金属キャスクの耐震評価は，構造上厳しくなる構造上の不連続部等を選定して行う。

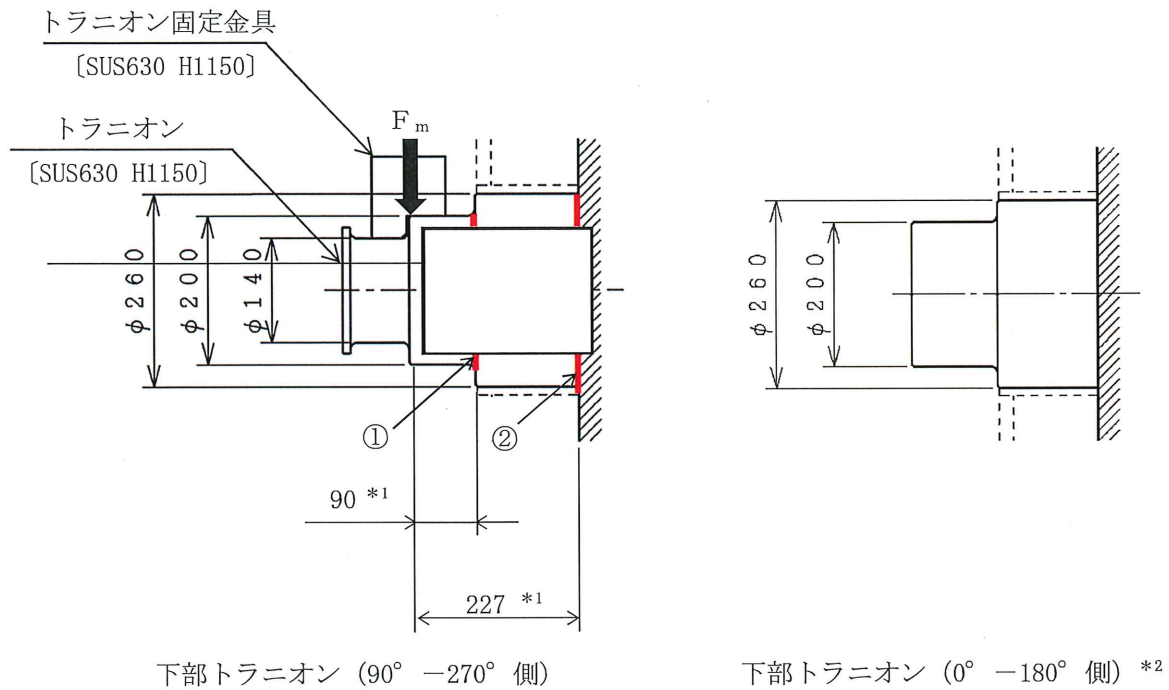


応力評価点 (面)	評価部位
①	一次蓋 (中央)
②	一次蓋 (端部)
③	二次蓋 (中央)
④	二次蓋 (端部)
⑤	一次蓋締付けボルト
⑥	二次蓋締付けボルト
⑦	胴 (一次蓋密封シール部)
⑧	胴 (二次蓋密封シール部)
⑨	胴 (中央)
⑩	胴 (下部)
⑪	底板 (中央)
⑫	底板 (端部)
⑬	底部中性子遮蔽材カバー (中央)
⑭	底部中性子遮蔽材カバー (端部)
⑮	一次蓋 (密封シール部)
⑯	二次蓋 (密封シール部)
⑰	カバープレート
⑱	カバープレート締付けボルト
⑲	貫通孔部

第3-1図 密封容器及び二次蓋の応力評価箇所



第3-2図 バスケットの応力評価箇所



注記 \*1 : 貯蔵時の荷重作用点までの距離  
 \*2 : いずれの下部トラニオンも同様の荷重を受けるが、断面の小さい  $90^\circ - 270^\circ$  側のトラニオンを評価対象とする。

(単位 : mm)

[ ] : 材料

①~② : 応力評価点 (面)

第 3-3 図 下部トラニオンの応力評価箇所

枠囲みの内容は商業機密に属  
 しますので公開できません。

#### 4. 固有値解析

金属キャスクは、下部トラニオンを介して貯蔵架台上に固縛され、貯蔵架台は架台固定ボルトを介して床面に固定される。貯蔵架台は搬送台車を底部に挿入した状態で搬送されることから、架台底部に開口部を有している。固有周期を計算するに当たり、この貯蔵架台の剛性も考慮する必要があるため、金属キャスクと貯蔵架台を組み合わせた連成モデルで固有周期を評価する。

##### 4.1 解析方針

###### (1) 固有値解析方法

有限要素法に基づく汎用解析コードであるABAQUSを用いる。なお、評価に用いる汎用解析コードABAQUSの検証及び妥当性確認等の概要については、「別紙2 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

###### (2) 固有値解析モデル

固有値解析モデルを第4-1図に示す。金属キャスクをはり要素としてモデル化し、質量分布を考慮して軸方向複数箇所に質量点を設ける。貯蔵架台については、本体が床面から離れていることから、本体の面外変形を考慮した並進ばね及び回転ばねを設けて剛性を模擬する。

固有値解析モデルの諸元を第4-1表に示す。なお、ばね定数は有限要素法により算出している。

###### (3) 形状・寸法・材料

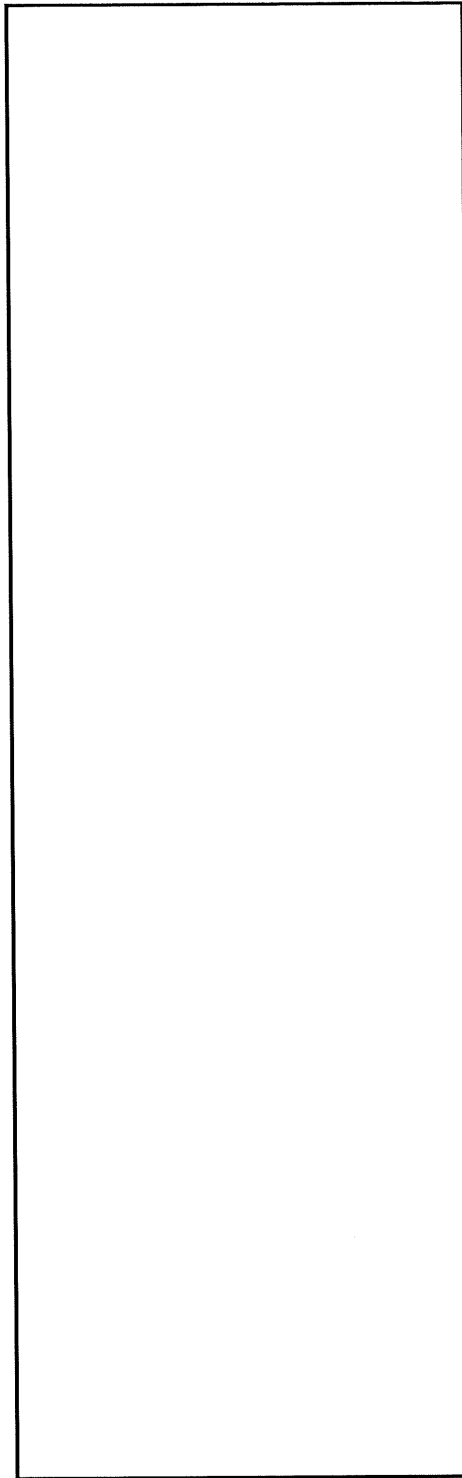
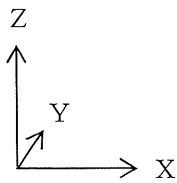
金属キャスクの形状は、内径・外径で代表する円筒形状でモデル化する。このとき、胴軸方向の内径・外径の変化を考慮する。また、金属キャスクの材料は胴材料で代表する。

貯蔵架台形状は、質量と形状の効果を考慮した並進ばね及び回転ばねを設定することで表現する。

###### (4) 物性値

固有値解析に使用する物性値を第4-1表に示す。

断面の種類	節点間
断面 1	
断面 2	
断面 3	



第 4-1 図 固有値解析モデル

枠囲みの内容は商業機密に属  
しますので公開できません。



第4-1表 固有値解析モデルの諸元

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)	m <sub>8</sub> (kg)	m <sub>9</sub> (kg)	m <sub>10</sub> (kg)	m <sub>11</sub> (kg)	m <sub>12</sub> (kg)	m <sub>13</sub> (kg)	m <sub>14</sub> (kg)
15850	1950	4250	6144	8981	11975	11975	11975	11975	11975	11975	11975	6900	5400

ℓ <sub>1</sub> (mm)	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)	ℓ <sub>8</sub> (mm)	ℓ <sub>9</sub> (mm)	ℓ <sub>10</sub> (mm)	ℓ <sub>11</sub> (mm)	ℓ <sub>12</sub> (mm)	ℓ <sub>13</sub> (mm)
70	150	195	280	560	560	560	560	560	560	560	408	212.5

m <sub>c</sub> (kg)	m <sub>s</sub> (kg)	E (MPa)	ν (-)	K <sub>X</sub> (N/mm)	K <sub>Z</sub> (N/mm)	K <sub>θY</sub> (N・mm/rad)
118300	15000	195000	0.3			

断面の 種類	D <sub>o</sub> (mm)	D <sub>i</sub> (mm)	A <sub>x</sub> *1 (mm <sup>2</sup> )	A <sub>sy</sub> *1 (mm <sup>2</sup> )	A <sub>sz</sub> *1 (mm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> *1 (mm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> *1 (mm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> *1 (mm <sup>4</sup> )
断面1	1980		3.032×10 <sup>5</sup>	1.516×10 <sup>5</sup>	1.516×10 <sup>5</sup>	2.825×10 <sup>11</sup>	1.413×10 <sup>11</sup>	1.413×10 <sup>11</sup>
断面2	2156		8.749×10 <sup>5</sup>	4.388×10 <sup>5</sup>	4.388×10 <sup>5</sup>	8.949×10 <sup>11</sup>	4.474×10 <sup>11</sup>	4.474×10 <sup>11</sup>
断面3	2156	1664	1.476×10 <sup>6</sup>	7.462×10 <sup>5</sup>	7.462×10 <sup>5</sup>	1.369×10 <sup>12</sup>	6.843×10 <sup>11</sup>	6.843×10 <sup>11</sup>

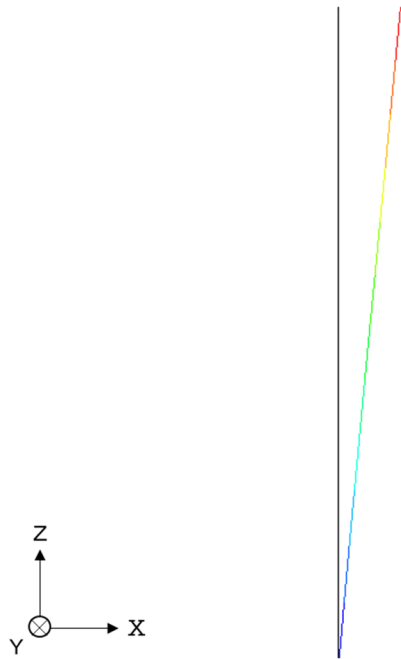
注記\*1：ここで、x、y及びzの記号は、はり要素の軸方向をxとし、その軸直角方向の2方向をy、zとする要素系の座標軸を示す。

#### 4.2 固有値解析結果

第 4-2 表に固有値解析結果を示し、振動モード図を第 4-2 図及び第 4-3 図に示す。

第 4-2 表 固有値解析結果

次数	固有周期 (s)	刺激係数			方向
		X	Y	Z	
1	$T_H=0.080$	1.453	0.000	0.000	水平方向
2	$T_V=0.023$	0.000	0.000	1.036	鉛直方向



第 4-2 図 水平振動モード図 ( $T_H=0.080 \text{ s}$ )



第 4-3 図 鉛直振動モード図 ( $T_V=0.023 \text{ s}$ )

## 5. 金属キャスクの応力評価

### 5.1 基本方針

- (1) 金属キャスクの応力計算モデルは、有限要素モデルを基本とし、モデル全体に地震荷重が作用するものとする。また、一部評価部位については、応力評価式により応力を算出する。
- (2) 許容応力について、使用済燃料貯蔵施設規格（金属キャスク構造規格 JSME SFA1-2007）（日本機械学会 2007年12月）（以下「構造規格」という。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME SNC1-2005）（日本機械学会 2005年9月）（2007年追補版を含む。）（以下「設計・建設規格」という。）を用いて計算する際に、温度が中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の種類と組合せ

考慮すべき荷重の種類とその組合せを第5-1表、第5-2表及び第5-3表に示す。

#### 5.2.2 使用材料の許容応力

##### (1) 密封容器

密封容器の許容基準は、「構造規格」MCD-1300、MCD-1400及びMCD-1700による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

密封容器用材料の許容応力値を第5-4表及び第5-5表に示す。

##### (2) 二次蓋

二次蓋は、通常貯蔵時において密封境界を構成する部材ではないが、圧力監視境界としての耐圧機能に加え、一次蓋に加え多重の閉じ込め機能を有する部材として設けられたものであるので、閉じ込め機能にかかわる部位について一次蓋と同様の基準を用いて評価する。

したがって、二次蓋の許容基準は、「構造規格」MCD-1300によるものとする。また、二次蓋の圧力と貫通孔の影響に対する許容基準は、「設計・建設規格」PVD-3310及びPVD-3322によるものとする。

二次蓋用材料の許容応力値を第5-6表及び第5-7表に示す。

##### (3) バスケット

バスケットの許容基準は、「構造規格」MCD-2300（事例規格を含む。）による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

バスケット用材料の許容応力値を第5-8表に示す。

(4) トラニオン

トラニオンの許容基準は、「構造規格」MCD-3300 による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

トラニオン用材料の許容応力値を第 5-9 表に示す。

### 5.3 設計条件

設計条件を第 5-10 表に示す。

#### (1) 設計震度について

金属キャスク及び貯蔵架台は、耐震設計上の重要度分類 S クラスである。

##### a. 水平方向設計震度

4 章で求められた固有周期 ( $T=0.080$  s) より、柔構造であると判断される。

##### (a) 基準地震動 $S_s$ による地震力

「資料 5-1-5 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づく条件を用いて作成した水平方向基準地震動  $S_s$  による床面の水平方向設計用床応答曲線 (第 5-1 図) 又は、水平方向基準地震動  $S_s$  による建屋の最大応答加速度の 20% の割り増しより算出したものいずれか大きい方に余裕を持った保守的な設計用地震力とする。

##### (b) 弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力

「資料 5-1-5 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づく条件を用いて作成した水平方向弾性設計用地震動  $S_d$  による床面の水平方向設計用床応答曲線 (第 5-2 図) 又は、水平方向弾性設計用地震動  $S_d$  による建屋の最大応答加速度の 20% の割り増しより算出したものいずれか大きい方を設計用地震力とする

##### (c) 静的地震力

S クラスの静的地震力 ( $3.6C_i$ ) とする。

水平方向設計震度の評価結果を第 5-11 表に示す。

##### b. 鉛直方向設計震度

4 章で求められた固有周期 ( $T=0.023$  s) より、剛構造であると判断される。

##### (a) 基準地震動 $S_s$ による地震力

鉛直方向基準地震動  $S_s$  による建屋の最大応答加速度の 20% の割り増しより算出したものに余裕を持った保守的な設計用地震力とする。

##### (b) 弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力

鉛直方向弾性設計用地震動  $S_d$  による建屋の最大応答加速度の 20% の割り増しより算出したものを設計用地震力とする。

##### (c) 静的地震力

S クラスの静的地震力 ( $1.2C_v$ ) とする。

鉛直方向設計震度の評価結果を第 5-12 表に示す。

## 5.4 応力評価方法

### 5.4.1 一次蓋，一次蓋締付けボルト，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー，二次蓋及び二次蓋締付けボルト

#### (1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・ 密封容器内圧力 (MPa)
- ・ 蓋間圧力 (MPa)
- ・ 蓋部レジン充填部圧力 (MPa)
- ・ 側部レジン充填部圧力 (MPa)
- ・ 底部レジン充填部圧力 (MPa)
- ・ 一次蓋締付けボルト初期締付け力 (MPa)
- ・ 二次蓋締付けボルト初期締付け力 (MPa)
- ・ 自重 (－)
- ・ 地震力 (－)
- ・ 熱荷重 (－)

#### (2) 応力計算

一次蓋，一次蓋締付けボルト，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー，二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力計算は，解析コードABAQUSにより行う。なお，底板に作用する支圧については5.4.3項，各ボルトに対する疲労評価は5.4.6項による。また，評価に用いる汎用解析コードABAQUSの検証及び妥当性確認等の概要については，「別紙2 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析モデルを第5-3図に示す。

#### 5.4.2 カバープレート及びカバープレート締付けボルト

##### (1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・ 密封容器内圧力 (MPa)
- ・ 蓋間圧力 (MPa)
- ・ カバープレート締付けボルト初期締付け力 (MPa)
- ・ 自重 (-)
- ・ 地震力 (-)

##### (2) 応力計算

カバープレート及びカバープレート締付けボルトの応力計算は、応力評価式により行う。

##### a. カバープレート

##### (a) 一次応力

密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧及び慣性力により発生する一次膜＋一次曲げ応力 ( $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ ) は、カバープレートを周辺支持の円板とモデル化し、密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧により発生する応力 ( $\sigma_{r1}, \sigma_{\theta1}, \sigma_{z1}$ ) と慣性力により発生する応力 ( $\sigma_{r2}, \sigma_{\theta2}, \sigma_{z2}$ ) より次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_r &= \sigma_{r1} + \sigma_{r2} \\
 \sigma_\theta &= \sigma_{\theta1} + \sigma_{\theta2} \\
 \sigma_z &= \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \\
 \\ 
 \sigma_{r1} &= - \\
 \sigma_{\theta1} &= \sigma_{r1} \\
 \sigma_{z1} &= 0 \\
 \\ 
 \sigma_{r2} &= \frac{1.24 \cdot w \cdot r^2}{t^2} \\
 \sigma_{\theta2} &= \sigma_{r2} \\
 \sigma_{z2} &= 0
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、 P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa)

$$P = P_2 - P_1$$

P<sub>1</sub> : 密封容器内圧力 (MPa)

P<sub>2</sub> : 蓋間圧力 (MPa)

r : カバープレート締付けボルトのピッチ半径 (mm)

t : カバープレートの板厚 (mm)



w : 慣性力による分布荷重 (MPa)

$$w = t \cdot \rho \cdot G \cdot (1 + C_v)$$

$\rho$  : カバープレート材料の密度 (kg/mm<sup>3</sup>)

$C_v$  : 鉛直方向設計震度

G : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

(b) 一次+二次応力

応力の計算方法は(5.1)式の $\sigma_{r2}$ と同じである。ただし、荷重条件は地震力のみとして振幅を考慮し、2倍して求める。

b. カバープレート締付けボルト

(a) 平均引張応力

カバープレート締付けボルトに発生する平均引張応力 ( $\sigma_{n1}$ ) は次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{n1} &= \frac{W_{m1}}{A} \\ W_{m1} &= H + H_P \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot D_G^2 \cdot P + H_P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、 $W_{m1}$  : 使用状態での必要な最小ボルト荷重 (N)

A : 全数のカバープレート締付けボルト最小断面積 (mm<sup>2</sup>)

H : フランジに加わる内圧による全荷重 (N)

$D_G$  : ガスケット反力のかかる位置 (mm)

$sH_P$  : 気密を十分保つために、ガスケット又は継手接触面にかける圧縮力 (N)

P : 密封容器内圧力と蓋間圧力の差圧 (MPa)

(b) 平均引張応力+曲げ応力

カバープレート締付けボルトに発生する平均引張応力+曲げ応力 ( $\sigma_{n+b}$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_{n+b} = \sigma_{n1} + \sigma_{b1}$$

ここで、 $\sigma_{b1}$  : カバープレート締付けボルトに発生する曲げ応力 (MPa)

$$\sigma_{b1} = M / Z$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = m_r \cdot G \cdot C_H \cdot L$$

$m_r$  : カバープレートの質量 (kg)

$C_H$  : 水平方向設計震度

G : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

L : カバープレート締付けボルト軸部の長さ (mm)

Z : カバープレート締付けボルト断面係数 (mm<sup>3</sup>)

### 5.4.3 底板の平均支圧応力

#### (1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重 (－)
- ・地震力 (－)

#### (2) 応力計算

バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力の計算は、応力評価式により行う。

$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot G_2}{A} \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで、  $m_G$  : バスケット及び使用済燃料集合体の質量 (kg)

$$G_2 = (1 + C_v) \cdot G$$

$C_v$  : 鉛直方向設計震度

$G$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$A$  : 接触面積 (mm<sup>2</sup>)

#### 5.4.4 バスケット

##### (1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重 (－)
- ・地震力 (－)
- ・熱荷重 (－)

##### (2) 応力計算

バスケットに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。解析モデル及び応力評価位置を第 3-2 図に示す。

##### a. 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部 (第 3-2 図①部) である。鉛直方向加速度により発生する応力 ( $\sigma_x$ ) は、次式で計算する。

$$\sigma_x = \rho \cdot \ell_w \cdot G_2 \dots \dots \dots (5.4)$$

ここで、 $\rho$  : バスケットプレートの密度 (kg/mm<sup>3</sup>)

$\ell_w$  : バスケットプレートの全長 (mm)

$$G_2 = (1 + C_v) \cdot G$$

$C_v$  : 鉛直方向設計震度

$G$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

水平方向加速度により発生する応力 ( $\sigma_y$ ) は、次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1} \dots \dots \dots (5.5)$$

ここで、 $m_A$  : 第 3-2 図の斜線部 A に含まれる使用済燃料集合体とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

$$G_1 = C_H \cdot G$$

$C_H$  : 水平方向設計震度

$A_1$  : バスケットプレートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

他の応力成分は零である。

##### b. 一次一般膜＋一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部 (第 3-2 図②部) である。鉛直方向加速度により発生する応力 ( $\sigma_x$ ) は、a. と同様である。

水平方向加速度により発生する応力 ( $\sigma_y$ ) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= \frac{M}{Z} \\ M &= \frac{m_B \cdot G_1 \cdot \ell_P}{12 \cdot \frac{\ell_w}{2}} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (5.6)$$

ここで、 $M$  : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント  
( $N \cdot mm/mm$ )

$Z$  : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 ( $mm^3/mm$ )

$m_B$  : 第 3-2 図に示す斜線部 B に含まれる使用済燃料集合体, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

$l_P$  : バスケットプレートの内のり (mm)

$l_W$  : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (使用済燃料集合体の負荷面の軸方向長さ) (mm)

ただし, バスケットプレートどうしの嵌合のための切欠きがあるため実際の荷重負荷面の長さを  $l_W/2$  とする。

$G_1$  : a. と同じ

水平方向加速度により発生するバスケットプレート格子端部 (第 3-2 図②部) に発生する平均せん断応力 ( $\tau_{yz}$ ) は, 次式で計算する。

$$\tau_{yz} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}} \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで,  $G_1, A_1$  : a. と同じ

他の応力成分は零である。

c. 平均せん断応力

バスケットプレート格子端部 (第 3-2 図②部) に発生する平均せん断応力 ( $\sigma_s$ ) は, (5.7) 式で計算する。

d. 平均支圧応力

バスケットプレート端部 (第 3-2 図①部及び③部) に発生する平均支圧応力 ( $\sigma_p$ ) は, 各々 (5.5) 式及び (5.4) 式で計算する。

e. 圧縮応力

バスケットプレート下端部 (第 3-2 図①部及び③部) に発生する圧縮応力 ( $\sigma_c$ ) は, 各々 (5.5) 式及び (5.4) 式で計算する。

なお, 熱応力については, バスケットプレート間及びバスケットプレートと胴間の嵌合部にはギャップを設けており, 熱膨張による拘束が生じないため著しい熱応力は発生しないため考慮しない。

5.4.5 下部トラニオン

(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・地震力（－）
- ・自重（－）
- ・トラニオン固定ボルトの初期締付け力（N）
- ・熱荷重（－）

(2) 応力計算

a. 一次応力

(a) せん断応力

最大応力が発生する箇所は第 3-3 図に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力（ $\tau$ ）は、次式で計算する（第 5-4 図参照）。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_m}{A} \\ F_m &= \frac{m_2 \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_3)}{a_1 + 2 \cdot \frac{a_2^2}{a_1}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 - C_V) \cdot G$$

$G_1$  : 水平方向加速度 ( $m/s^2$ )

$G_2$  : 鉛直方向加速度 ( $m/s^2$ )

$C_H$  : 水平方向設計震度

$C_V$  : 鉛直方向設計震度

$G$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

$h_{CG}$  : 金属キャスク底面から重心までの高さ (mm)

$a_1$  : 支点Oから固縛装置①のトラニオン固定金具中心までの距離 (mm)

$a_2$  : 支点Oから固縛装置②のトラニオン固定金具中心までの距離 (mm)

$a_3$  : 支点Oから金属キャスク中心までの距離 (mm)

$F_m$  : 地震力によりトラニオンに作用する荷重 (N)

$m_2$  : 貯蔵時における金属キャスクの質量 (kg)

$A$  : 第 3-3 図の評価点①の断面積 ( $mm^2$ )

(b) 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は第 3-3 図に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= F_m \cdot L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.9)$$

ここで、 $F_m$  : (5.8) 式と同じ

$Z$  : 第 3-3 図の評価点①の断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$L$  : 第 3-3 図の評価点①と荷重位置との距離 ( $\text{mm}$ )

(c) 組合せ応力

イ. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は第 3-3 図に示す下部トラニオンの評価点①である。

せん断応力 ( $\tau$ ) と曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) との組合せ応力 ( $\sigma_T$ ) は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.10)$$

ここで、 $\tau$  : (5.8) 式と同じ

$\sigma_b$  : (5.9) 式と同じ

b. 一次+二次応力

(a) せん断応力

地震力によるせん断応力 ( $\tau$ ) の全振幅は、(5.8) 式で求めたせん断応力 ( $\tau$ ) の 2 倍とする。

(b) 曲げ応力

地震力による曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) の全振幅は、(5.9) 式で求めた曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) の 2 倍とする。

5.4.6 密封容器（ボルト）の疲労評価

(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・地震力（－）
- ・地震荷重の変動回数（－）

(2) 疲労解析計算

地震時のボルトのピーク応力強さは、次式により計算する。

$$S_p = K \cdot S$$

ここで、 $S_p$  : ボルトのピーク応力強さ (MPa)

$K$  : ボルトのねじ部の応力集中係数 (－)

$S$  : 地震力のみによりボルトに発生する応力強さ (MPa)

次に、ピーク応力強さの範囲 ( $S_p$ ) から、次式により繰返しピーク応力強さ ( $S_\ell$ ,  $S_\ell'$ ) を求める。ここで、繰返しピーク応力強さ ( $S_\ell$ ) は、「構造規格」別図 8-4 に示されている縦弾性係数 ( $E_0$ ) と解析に用いる縦弾性係数 ( $E$ ) との比を考慮し補正する。

$$\left. \begin{aligned} S_\ell &= \frac{1}{2} \cdot S_p \\ S_\ell' &= S_\ell \cdot \frac{E_0}{E} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.11)$$

「構造規格」別図 8-4 より、補正した繰返しピーク応力強さ ( $S_\ell'$ ) に対する許容繰返し回数 ( $N_a$ ) を求め、次式のとおり供用状態 A 及び B を考慮した疲労累積係数を計算する。なお、地震荷重の変動回数は 10000 回とする。また、供用状態 A 及び B における疲労累積回数の計算詳細は、「添付 10-2-2-1 密封容器の応力計算書 (BWR 用大型キャスク (タイプ 2 A))」に示す。ただし、(5.12) 式中の  $U_s$  は、 $S_d$  \* 地震時には  $U_{s_d}$ ,  $S_s$  地震時には  $U_{s_s}$  に読み替えるものとする。

$$\left. \begin{aligned} U_f &= U_n + U_s \\ U_s &= N_c / N_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.12)$$

ここで、 $U_f$  : 供用状態 A 及び B と地震時の疲労累積係数の和 (－)

$U_n$  : 供用状態 A 及び B の疲労累積係数 (－)

$U_s$  : 地震時の疲労累積係数 (－)

$N_a$  : 許容繰返し回数 (－)

$N_c$  : 地震荷重の変動回数 (－)

#### 5.4.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

「資料5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」の4章に基づき、機器系における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価の具体的手法を示す。

##### (1) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

構造上の特徴により水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性のある設備（部位）について、従来の評価である水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ時の耐震評価結果に与える影響を確認する。設備が有する耐震性への影響が確認された場合は詳細な手法を用いた評価を行い、必要に応じて更なる設計上の配慮を行う。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価には、基準地震動 $S_s$ を用いる。基準地震動 $S_s$ は「資料5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」による。

##### (2) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

機器系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。影響評価フローを第5-5図に示す。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を確認する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。）を適用する。この組合せ方法については、基本的におおむね弾性範囲でとどまる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は、機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考としているものである。

##### (3) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認

第5-5図の影響評価フローに従い、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響の可能性のある設備（部位）に対して、各評価点の応力分類もしくは応力の種類における許容応力に対する計算値の裕度（＝許容応力／計算値）が1.5より大きいことを確認する。計算値の水平2方向の地震力を組み合わせる場合、発生応力は最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法では最大 $\sqrt{2}$ 倍となるため、この値を丸めた1.5を影響評価の判定基準とし、計算値の裕度が1.5より大きい設備（部位）については詳細評価を不要とする。各評価点の応力分類もしくは応力の種類における許容応力に対する計算値の裕度が1.5以下の設備（部位）については、詳細評価を行う。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認結果及び詳細評価結果はそれぞれの応力計算書に示す。



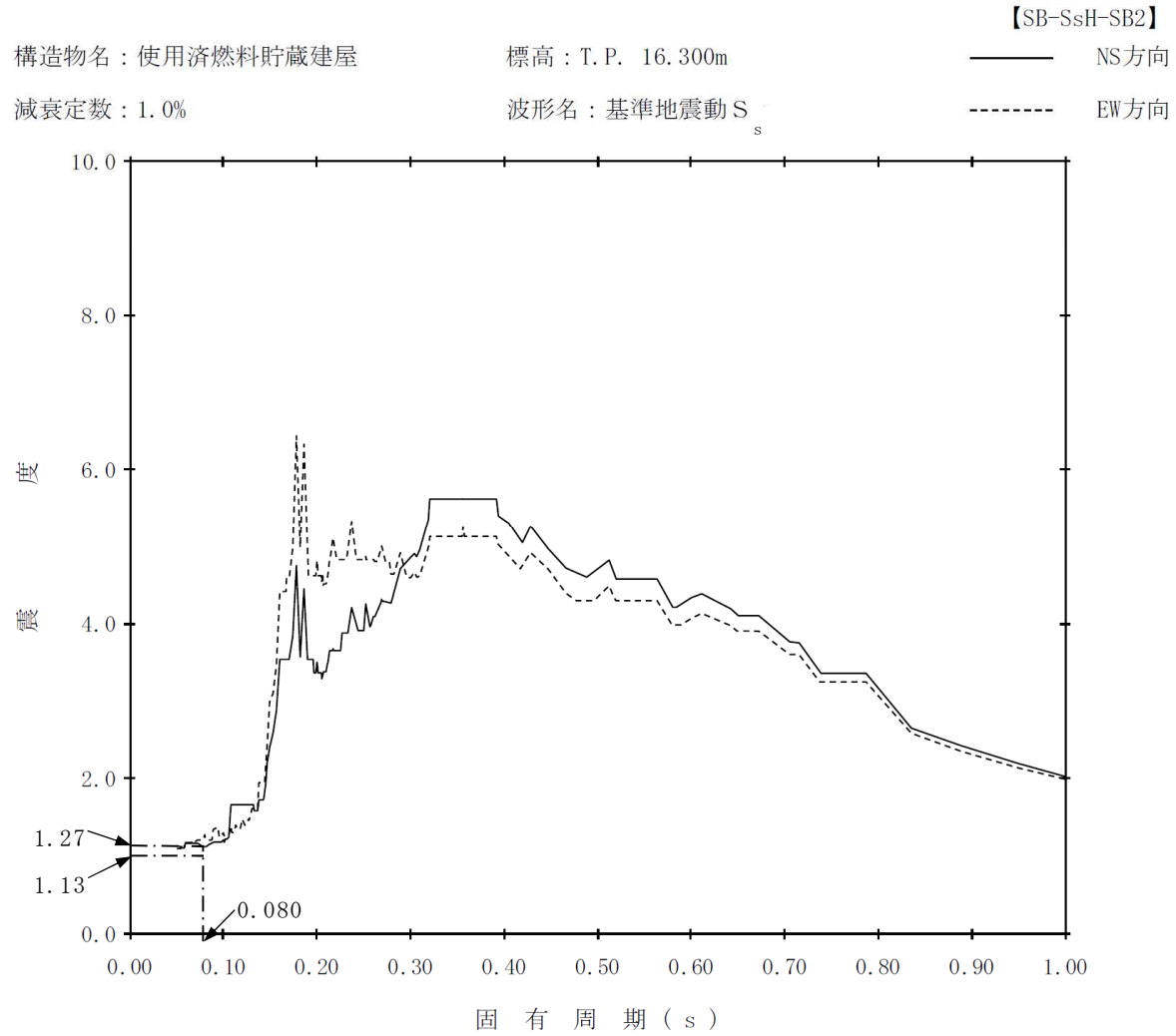
### 5.5 応力評価条件

金属キャスクの設計震度を第5-13表に示す。また、各評価箇所の応力評価条件を第5-14表から第5-21表に示す。

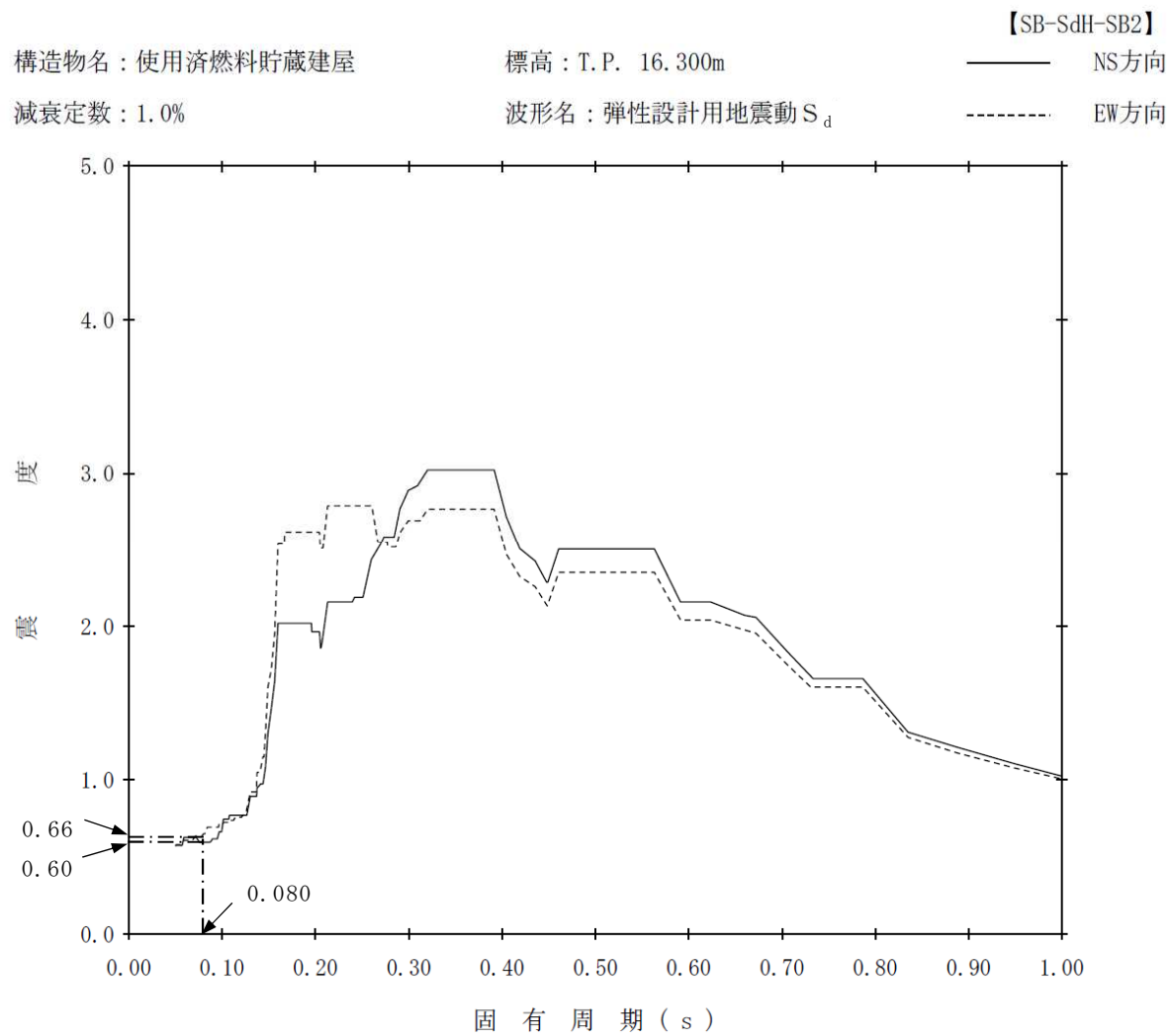
### 5.6 評価結果

金属キャスクの耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。評価結果を第5-22表～第5-25表に示す。

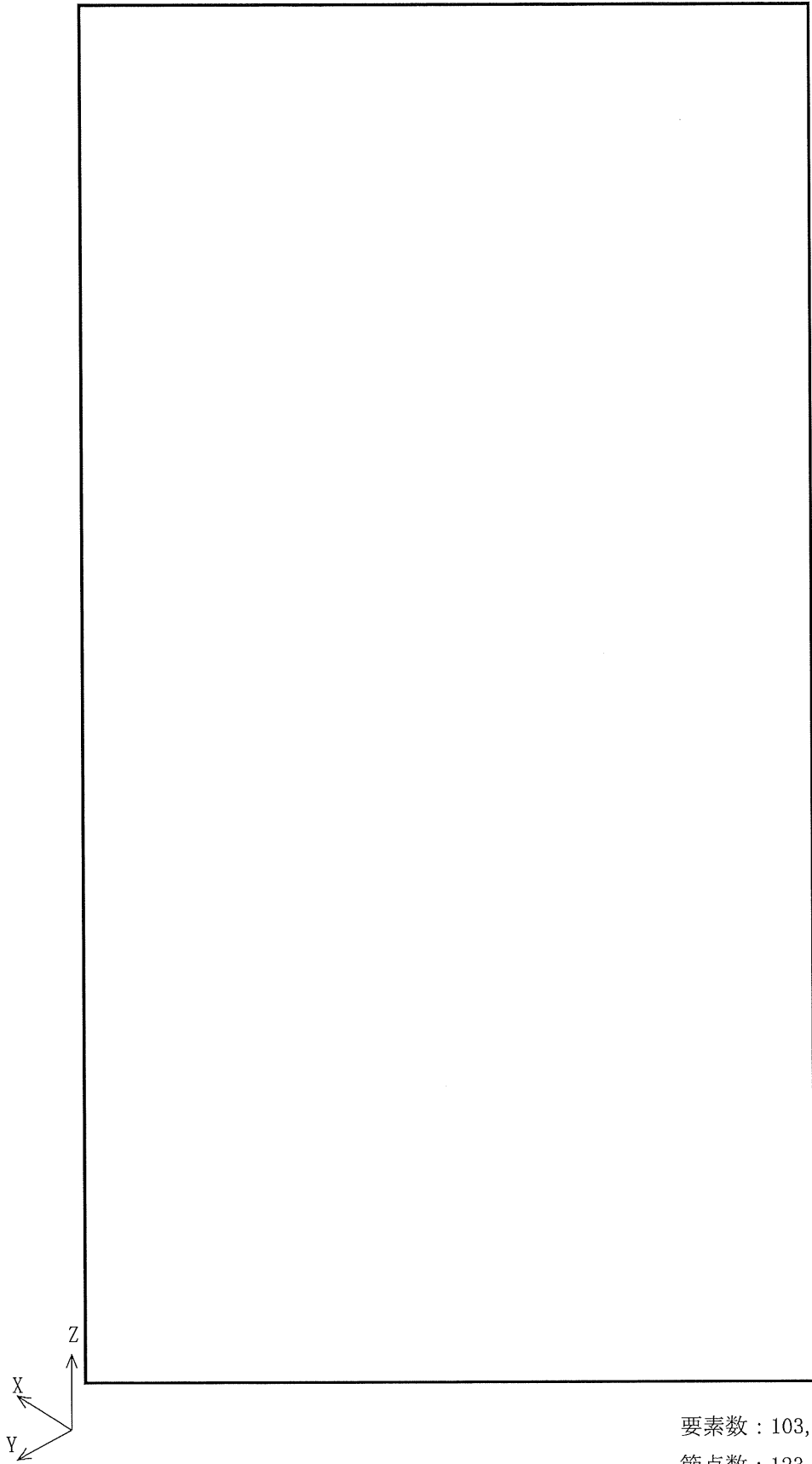
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、各評価点の応力分類における許容応力に対する計算値の裕度を第5-26表～第5-28表に示す。許容応力に対する計算値の裕度が1.5より大きいため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せが従来の耐震評価結果に影響を与えないことを確認した。



第5-1図 水平方向基準地震動  $S_s$  による床面の水平方向設計用床応答曲線



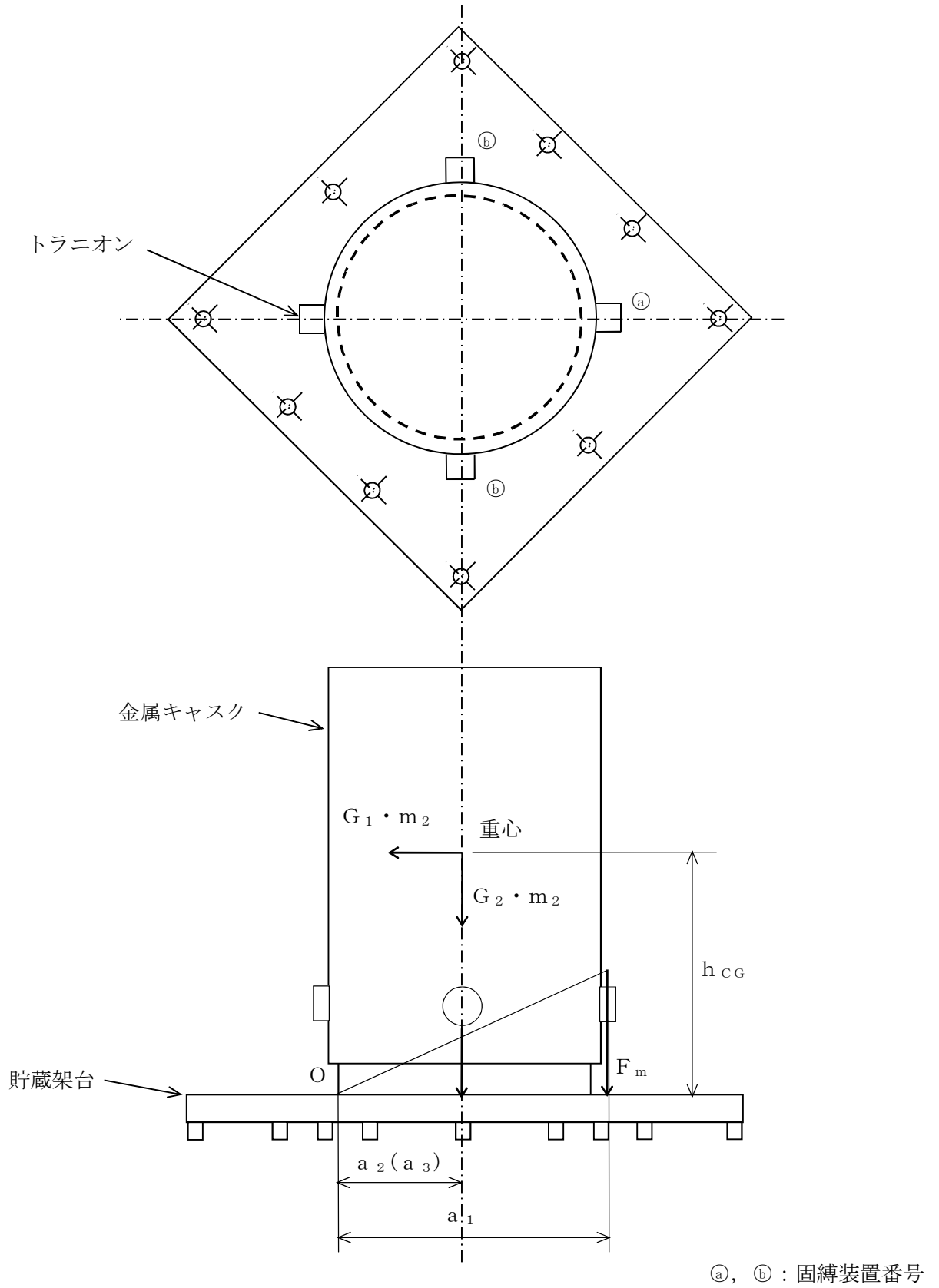
第5-2図 水平方向基準地震動  $S_d$  による床面の水平方向設計用床応答曲線



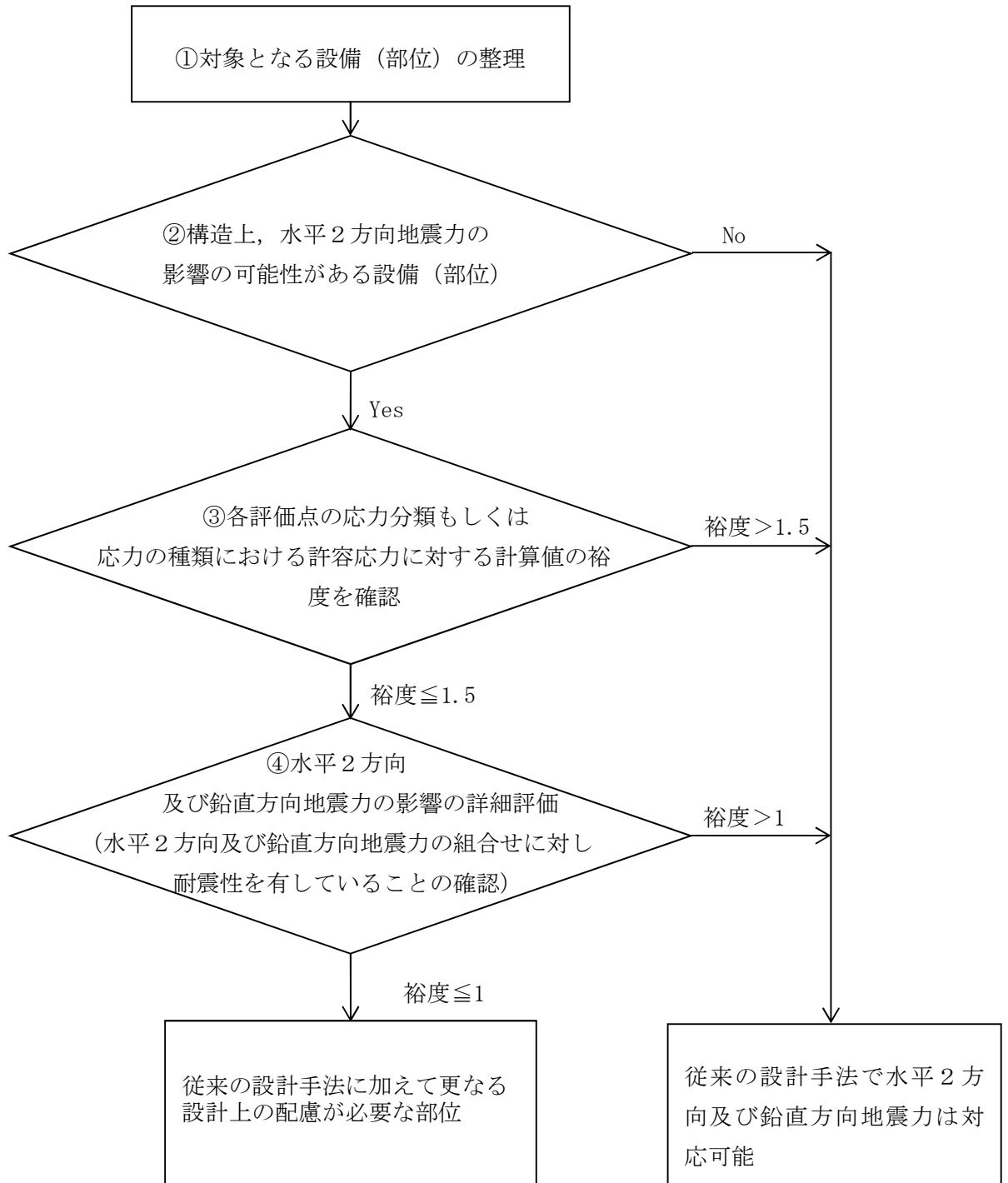
要素数 : 103, 891  
節点数 : 123, 272

第 5-3 図 密封容器及び二次蓋の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密に属  
しますので公開できません。



第5-4図 下部トラニオンに作用する荷重の計算モデル



第5-5図 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

第5-1表 密封容器及び二次蓋の荷重の種類とその組合せ

荷 重			圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付け力	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	地震荷重
設計事象	供用状態	評価事象							
$I + S_d^*$	$C_s$	$S_d^*$ 地震力が作用する場合	○	○	○	—	—	—*1	○
$I + S_s$	$D_s$	$S_s$ 地震力が作用する場合	○	○	○	—	—	—*1	○

注記\*1：密封シール部及び密封蓋締付けボルトの応力評価に当たっては、熱荷重を考慮する。  
また、密封容器変形量の評価に当たっても、熱荷重を考慮する。

第5-2表 バスケットの荷重の種類とその組合せ

荷 重			自重による荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	地震荷重
設計事象	供用状態	評価事象					
$I + S_d^*$	$C_s$	$S_d^*$ 地震力が作用する場合	○	—	—	○	○
$I + S_s$	$D_s$	$S_s$ 地震力が作用する場合	○	—	—	—*1	○

注記\*1：変形量の評価時のみ、熱荷重を考慮する。

第5-3表 トラニオンの荷重の種類とその組合せ

設計事象	供用 状態	評価事象	荷 重					
			自重 による荷重	固縛 荷重	吊上げ 荷重	衝撃 荷重	熱荷重 *1	地震 荷重
I + S <sub>d</sub> *	Cs	S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合	○	○	—	—	○	○
I + S <sub>s</sub>	Ds	S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合	○	○	—	—	○	○

注記\*1：キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。



第5-4表 密封容器用材料の許容応力値(1/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値				
		炭素鋼				
		密封シール部以外			密封シール部	
		GLF1	SGV480	許容値 基準	GLF1	許容値 基準
供用状態 Cs	一次一般膜応力強さ $P_m$	183	232	Min ( $S_y, 2/3 S_u$ )	183	$S_y$
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_L + P_b$	274	348	Min ( $1.5 S_y, S_u$ )	183	$S_y$
	一次+二次応力強さ $P_L + P_b + Q^{*2}$	366	465	$3 S_m$	183	$S_y$
	平均せん断応力 $\sigma_s$	73	93	$0.6 S_m$	—	—
	平均支圧応力 $\sigma_p$	183	232	$S_y^{*1}$	—	—
供用状態 Ds	一次一般膜応力強さ $P_m$	251	282	$2/3 S_u$	183	$S_y$
	一次膜+一次曲げ応力強さ $P_L + P_b$	377	424	$S_u$	183	$S_y$
	一次+二次応力強さ $P_L + P_b + Q^{*2}$	366	465	$3 S_m$	183	$S_y$
	平均せん断応力 $\sigma_s$	150	169	$0.4 S_u$	—	—
	平均支圧応力 $\sigma_p$	377	424	$S_u^{*1}$	—	—

注記\*1：支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きくない場合の値

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

第5-4表 密封容器用材料の許容応力値(2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		ステンレス鋼	
		カバープレート	
		SUS304	許容値基準
供用状態 $C_s$	一次一般膜応力強さ $P_m$	164	$1.2 S_m$
	一次膜＋一次曲げ応力強さ $P_L + P_b$	246	$1.8 S_m$
	一次＋二次応力強さ $P_L + P_b + Q^{*2}$	411	$3 S_m$
	平均せん断応力 $\sigma_s$	82	$0.6 S_m$
	平均支圧応力 $\sigma_p$	155	$S_y^{*1}$
供用状態 $D_s$	一次一般膜応力強さ $P_m$	281	Min ( $2.4 S_m, 2/3 S_u$ )
	一次膜＋一次曲げ応力強さ $P_L + P_b$	422	Min ( $3.6 S_m, S_u$ )
	一次＋二次応力強さ $P_L + P_b + Q^{*2}$	411	$3 S_m$
	平均せん断応力 $\sigma_s$	168	$0.4 S_u$
	平均支圧応力 $\sigma_p$	422	$S_u^{*1}$

注記\*1：支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きくない場合の値

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

第 5-5 表 密封容器用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		低合金鋼	
		一次蓋締付けボルト カバープレート締付けボルト	
		SNB23-3	許容値基準
供用状態 C <sub>s</sub>	平均引張応力	554	2 S <sub>m</sub>
	平均引張応力+曲げ応力	831	3 S <sub>m</sub>
供用状態 D <sub>s</sub>	平均引張応力	831	S <sub>y</sub>
	平均引張応力+曲げ応力	831	S <sub>y</sub>

第5-6表 二次蓋用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値			
		炭素鋼			
		密封シール部以外		密封シール部	
		SGV480	許容値 基準	SGV480	許容値 基準
供用状態 C <sub>s</sub>	一次一般膜応力強さ P <sub>m</sub>	236	Min (S <sub>y</sub> , 2/3 S <sub>u</sub> )	236	S <sub>y</sub>
	一次膜＋一次曲げ応力強さ P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>	355	Min (1.5 S <sub>y</sub> , S <sub>u</sub> )	236	S <sub>y</sub>
	一次＋二次応力強さ P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub> + Q <sup>*2</sup>	474	3 S <sub>m</sub>	236	S <sub>y</sub>
	平均せん断応力 σ <sub>s</sub>	94	0.6 S <sub>m</sub>	—	—
	平均支圧応力 σ <sub>p</sub>	236	S <sub>y</sub> <sup>*1</sup>	—	—
供用状態 D <sub>s</sub>	一次一般膜応力強さ P <sub>m</sub>	286	2/3 S <sub>u</sub>	236	S <sub>y</sub>
	一次膜＋一次曲げ応力強さ P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub>	429	S <sub>u</sub>	236	S <sub>y</sub>
	一次＋二次応力強さ P <sub>L</sub> + P <sub>b</sub> + Q <sup>*2</sup>	474	3 S <sub>m</sub>	236	S <sub>y</sub>
	平均せん断応力 σ <sub>s</sub>	171	0.4 S <sub>u</sub>	—	—
	平均支圧応力 σ <sub>p</sub>	429	S <sub>u</sub> <sup>*1</sup>	—	—

注記\*1：支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きくない場合の値

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

第 5-7 表 二次蓋用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		低合金鋼	
		二次蓋締付けボルト	
		SNB23-3	許容値基準
供用状態 C <sub>s</sub>	平均引張応力	565	2 S <sub>m</sub>
	平均引張応力+曲げ応力	847	3 S <sub>m</sub>
供用状態 D <sub>s</sub>	平均引張応力	848	S <sub>y</sub>
	平均引張応力+曲げ応力	848	S <sub>y</sub>

第5-8表 バスケット用材料の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類	許容応力値	
		ボロン添加 ステンレス鋼板	
		B-SUS304P-1	許容値基準
供用状態 C <sub>s</sub>	一次一般膜応力強さ P <sub>m</sub>	219	1.5 S <sub>m</sub>
	一次一般膜+一次曲げ応力強さ P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	328	2.25 S <sub>m</sub>
	平均せん断応力 σ <sub>s</sub>	131	0.9 S <sub>m</sub>
	平均支圧応力 σ <sub>p</sub>	303	1.5 S <sub>y</sub> * <sup>1</sup>
	圧縮応力* <sup>2</sup> (評価点①/③) σ <sub>c</sub>	176/191	1.5 f <sub>c</sub>
176/191		1.5 f <sub>c</sub>	
供用状態 D <sub>s</sub>	一次一般膜応力強さ P <sub>m</sub>	291	Min {2.4 S <sub>m</sub> , 2/3 S <sub>u</sub> }
	一次一般膜+一次曲げ応力強さ P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	437	Min {3.6 S <sub>m</sub> , S <sub>u</sub> }
	平均せん断応力 σ <sub>s</sub>	175	1.2 S <sub>m</sub>
	平均支圧応力 σ <sub>p</sub>	404	2 S <sub>y</sub> * <sup>1</sup>
	圧縮応力* <sup>2</sup> (評価点①/③) σ <sub>c</sub>	184/201	1.5 f <sub>c</sub> * <sup>*</sup>
176/191		1.5 f <sub>c</sub>	

注記\*1：支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きくない場合の値

\*2：上段は一次応力に対する基準，下段は一次+二次応力に対する基準

第5-9表 トラニオン用材料の許容応力値(1/2)

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類		許容応力値	
			ステンレス鋼	
			SUS630 H1150	許容値基準
供用状態 Cs	*1 一次応力	引張応力	591	1.5 f <sub>t</sub>
		圧縮応力	—	1.5 f <sub>c</sub>
		せん断応力	341	1.5 f <sub>s</sub>
		曲げ応力	591	1.5 f <sub>b</sub>
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub>
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	1182	3 f <sub>t</sub>
		せん断応力 *2	682	3 f <sub>s</sub>
		曲げ応力 *2	1182	3 f <sub>b</sub>
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub>
		座屈応力	—	1.5 f <sub>b</sub> , 1.5 f <sub>s</sub> 又は 1.5 f <sub>c</sub>

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力（σ）とせん断応力（τ）を組み合わせた応力（σ<sub>T</sub>）は，引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c\sigma_b}{f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ただし，②及び③において，Csの一次応力の場合，分母の f<sub>c</sub>，f<sub>b</sub>，f<sub>t</sub> は 1.5 f<sub>c</sub>，1.5 f<sub>b</sub>，1.5 f<sub>t</sub> とする。

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

第5-9表 トラニオン用材料の許容応力値(2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値	
			ステンレス鋼	
			SUS630 H1150	許容値基準
供用状態 Ds	一次 応力	引張応力	591	$1.5 f_t^*$
		圧縮応力	—	$1.5 f_c^*$
		せん断応力	341	$1.5 f_s^*$
		曲げ応力	591	$1.5 f_b^*$
		支圧応力	—	$1.5 f_p^*$
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 <sup>*2</sup>	1182	$3 f_t$
		せん断応力 <sup>*2</sup>	682	$3 f_s$
		曲げ応力 <sup>*2</sup>	1182	$3 f_b$
		支圧応力	—	$1.5 f_p^*$
		座屈応力	—	$1.5 f_b, 1.5 f_s$ 又は $1.5 f_c$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 ( $\sigma$ ) とせん断応力 ( $\tau$ ) を組み合わせた応力 ( $\sigma_T$ ) は，引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{c\sigma_b}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{1.5f_b^*} \leq 1$$

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。



第 5-10 表 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		設計震度		最高使用温度(°C)
					弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力	基準地震動 $S_s$	
金属キャスク	S	使用済燃料 貯蔵建屋 T.P. 16.30 *1	水平方向	$T_H = 0.080$	$C_H = 0.72$	$C_H = 1.40$	150
			鉛直方向	$T_V = 0.023$	$C_V = 0.37$	$C_V = 0.87$	
貯蔵架台			同上				130

注記\*1：基準床レベルを示す。

第 5-11 表(1) 水平方向設計震度の評価結果 (水平方向基準地震動  $S_s$ )

動的地震力 (水平方向弾性設計用地震動 $S_s$ )			
設計用床応答曲線より算出		建屋の最大加速度より算出	
N S (第 5-1 図)	E W (第 5-1 図)	N S	E W
1.13	1.27	<b>1.40*</b> (1.27)	<b>1.40*</b> (1.29)

\* : 括弧内は 1.2ZPA の値。設計では最大の 1.2ZPA に余裕を持った保守的な震度を設定

第 5-11 表(2) 水平方向設計震度の評価結果 (水平方向弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力)

動的地震力 (水平方向弾性設計用地震動 $S_d$ )				静的地震力	
設計用床応答曲線より算出		建屋の最大加速度より算出		3.6C <sub>i</sub>	
N S (第 5-2 図)	E W (第 5-2 図)	N S	E W	N S	E W
0.60	0.66	0.67	0.67	<b>0.72</b>	<b>0.72</b>

第5-12表(1) 鉛直方向設計震度の評価結果（水平方向基準地震動  $S_s$ ）

動的地震力（水平方向弾性設計用地震動 $S_s$ ）
建屋の最大加速度より算出
U D
<b>0.87*</b> (0.69)

\*：括弧内は1.2ZPAの値。設計では最大の1.2ZPAに余裕を持った保守的な震度を設定

第5-12表(2) 鉛直方向設計震度の評価結果（水平方向弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力）

動的地震力（水平方向弾性設計用地震動 $S_d$ ）	静的地震力
建屋の最大加速度より算出	$1.2C_v$
U D	U D
<b>0.37</b>	0.29

第5-13表 設計震度

評価事象	方向	記号	設計震度
S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合	水平	C <sub>H</sub>	0.72
	鉛直	C <sub>V</sub>	0.37
S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合	水平	C <sub>H</sub>	1.40
	鉛直	C <sub>V</sub>	0.87

第5-14表 一次蓋，一次蓋締付けボルト，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー，二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力評価条件

項目	単位	数値
密封容器内圧力	MPa	-0.101325
蓋間圧力	MPa	0.4
蓋部レジン充填部圧力	MPa	
底部レジン充填部圧力	MPa	
側部レジン充填部圧力	MPa	
一次蓋締付けボルト初期締付け力	MPa	247
二次蓋締付けボルト初期締付け力	MPa	247
自重	m/s <sup>2</sup>	9.80665

第5-15表 カバープレート及びカバープレート締付けボルトの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
密封容器内圧力	$P_1$	MPa	-0.101325
蓋間圧力	$P_2$	MPa	0.4
カバープレート締付けボルトピッチ半径	$r$	mm	
カバープレートの板厚	$t$	mm	
カバープレート材料の密度	$\rho$	kg/mm <sup>3</sup>	$7.93 \times 10^{-6}$
重力加速度	$G$	m/s <sup>2</sup>	9.80665
全数のカバープレート締付けボルト最小断面積	$A$	mm <sup>2</sup>	
ガスケット反力のかかる位置	$D_G$	mm	
気密を十分保つために、ガスケット又は継手接触面にかける圧縮力	$H_P$	N	$1.604 \times 10^5$
カバープレートの質量	$m_r$	kg	8
カバープレート締付けボルト軸部の長さ	$L$	mm	
全数のカバープレート締付けボルトの断面係数	$Z$	mm <sup>3</sup>	

第5-16表 底板の平均支圧応力の評価条件

項目	記号	単位	数値
バスケット及び使用済燃料集合体の質量	$m_G$	kg	28300
重力加速度	$G$	m/s <sup>2</sup>	9.80665
接触面積	$A_1$	mm <sup>2</sup>	

第5-17表 バスケットの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
バスケットプレートの密度	$\rho$	kg/mm <sup>3</sup>	$7.93 \times 10^{-6}$
バスケットプレートの全長	$\ell_w$	mm	
使用済燃料集合体とバスケットプレート等の合計質量	$m_A$	kg	3790
バスケットプレートの断面積	$A_1$	mm <sup>2</sup>	
バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数	$Z$	mm <sup>3</sup> /mm	
バスケットプレートの内のり	$\ell_P$	mm	
使用済燃料集合体, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量	$m_B$	kg	381

第5-18表 下部トラニオンの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
金属キャスク底面から重心までの高さ	$h_{CG}$	mm	2672
支点Oから固縛装置aのトラニオン固定金具中心までの距離	$a_1$	mm	2288
支点Oから固縛装置bのトラニオン固定金具中心までの距離	$a_2$	mm	990
支点Oから金属キャスク中心までの距離	$a_3$	mm	990
貯蔵時における金属キャスクの質量	$m_2$	kg	118300
第3-3図の評価点①の断面積	$A$	mm <sup>2</sup>	
第3-3図の評価点①の断面係数	$Z$	mm <sup>3</sup>	
第3-3図の評価点①と荷重位置との距離	$L$	mm	90

第5-19表 一次蓋締付けボルトの疲労評価条件

項目	記号	単位	数値
ボルトのねじ部の応力集中係数	K	—	4
S <sub>d</sub> *地震力のみによりボルトに発生するピーク応力強さ	S	MPa	1.0
S <sub>s</sub> 地震力のみによりボルトに発生するピーク応力強さ	S	MPa	2.2
「構造規格」別図8-4に使用されている縦弾性係数	E <sub>0</sub>	MPa	2.07×10 <sup>5</sup>
解析に用いる縦弾性係数	E	MPa	1.84×10 <sup>5</sup>
供用状態A及びBにおける疲労累積係数	U <sub>n</sub>	—	0.0442* <sup>1</sup>
地震荷重の変動回数	N <sub>c</sub>	—	10000

注記\*1：添付10-2-2-1 密封容器の応力計算書（BWR用大型キャスク（タイプ2A））  
第5-3表

第5-20表 カバープレート締付けボルトの疲労評価条件

項目	記号	単位	数値
ボルトのねじ部の応力集中係数	K	—	4
S <sub>d</sub> *地震力のみによりボルトに発生するピーク応力強さ	S	MPa	0.10
S <sub>s</sub> 地震力のみによりボルトに発生するピーク応力強さ	S	MPa	0.23
「構造規格」別図8-4に使用されている縦弾性係数	E <sub>0</sub>	MPa	2.07×10 <sup>5</sup>
解析に用いる縦弾性係数	E	MPa	1.84×10 <sup>5</sup>
供用状態A及びBにおける疲労累積係数	U <sub>n</sub>	—	0.0413* <sup>1</sup>
地震荷重の変動回数	N <sub>c</sub>	—	10000

注記\*1：添付10-2-2-1 密封容器の応力計算書（BWR用大型キャスク（タイプ2A））  
第5-5表

第5-21表 二次蓋締付けボルトの疲労評価条件

項目	記号	単位	数値
ボルトのねじ部の応力集中係数	K	—	4
S <sub>d</sub> *地震力のみによりボルトに発生するピーク応力強さ	S	MPa	1.0
S <sub>s</sub> 地震力のみによりボルトに発生するピーク応力強さ	S	MPa	2.2
「構造規格」別図8-4に使用されている縦弾性係数	E <sub>0</sub>	MPa	2.07×10 <sup>5</sup>
解析に用いる縦弾性係数	E	MPa	1.86×10 <sup>5</sup>
供用状態A及びBにおける疲労累積係数	U <sub>n</sub>	—	0.0353* <sup>1</sup>
地震荷重の変動回数	N <sub>c</sub>	—	10000

注記\*1：添付10-2-2-1 密封容器の応力計算書（BWR用大型キャスク（タイプ2A））  
第5-7表

第5-22表(1) 評価結果

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
一次 蓋	炭素鋼 (GLF1)	供用状態 Cs	4	183	①-①'	-	-	-	18	274	②	48	366	②'
		供用状態 Ds	5	251	①-①'	-	-	-	18	377	②	49	366	②'
二次 蓋	炭素鋼 (SGV480)	供用状態 Cs	1	236	③-③'	-	-	-	30	355	④	64	474	④'
		供用状態 Ds	1	286	③-③'	-	-	-	30	429	④	66	474	④'
胴	炭素鋼 (GLF1)	供用状態 Cs	1	183	⑨-⑨'	-	-	-	13	274	⑩	42	366	⑩'
		供用状態 Ds	2	251	⑨-⑨'	-	-	-	30	377	⑩	83	366	⑩'
底板	炭素鋼 (GLF1)	供用状態 Cs	2	183	⑪-⑪'	-	-	-	6	274	⑪'	17	366	⑫'
		供用状態 Ds	3	251	⑪-⑪'	-	-	-	10	377	⑫	32	366	⑫'
底部 中性子 遮蔽材 カバー	炭素鋼 (SGV480)	供用状態 Cs	9	232	⑬-⑬'	-	-	-	47	348	⑭	112	465	⑭
		供用状態 Ds	10	282	⑬-⑬'	-	-	-	91	424	⑭	217	465	⑭



第5-22表(2) 評価結果

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ			一次局部膜応力強さ			一次膜+一次曲げ応力強さ			一次+二次応力強さ		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
一次蓋 (密封 シール 部)	炭素鋼 (GLF1)	供用状態 Cs	—	—	—	—	—	—	10	183	⑦	61	183	⑮'
		供用状態 Ds	—	—	—	—	—	—	10	183	⑦	61	183	⑮'
二次蓋 (密封 シール 部)	炭素鋼 (GLF1) (SGV480)	供用状態 Cs	—	—	—	—	—	—	16	183	⑧	37	183	⑧
		供用状態 Ds	—	—	—	—	—	—	16	183	⑧	37	183	⑧
カバー プレート	ステンレス鋼 (SUS304)	供用状態 Cs	—	—	—	—	—	—	3	246	⑰	1*1	411	⑰
		供用状態 Ds	—	—	—	—	—	—	3	422	⑰	1*1	411	⑰

注記\*1：計算応力値の丸め値が0 MPaとなる場合，1 MPaを記載した。

第 5-22(3) 評価結果

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均引張応力			平均引張応力+曲げ応力		
			計算値	許容応力	評価点	計算値	許容応力	評価点
一次蓋 締付け ボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	供用状態 Cs	241	554	⑤	336	831	⑤
		供用状態 Ds	241	831	⑤	337	831	⑤
二次蓋 締付け ボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	供用状態 Cs	244	565	⑥	275	847	⑥
		供用状態 Ds	244	848	⑥	274	848	⑥
カバープレート 締付け ボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	供用状態 Cs	138	554	⑱	142	831	⑱
		供用状態 Ds	138	831	⑱	146	831	⑱

第 5-22(4) 評価結果

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力区分	平均支圧応力		
			計算値	許容応力	評価点
底板	炭素鋼 (GLF1)	供用状態Cs	1	183	⑪
		供用状態Ds	1	377	⑪

第 5-22(5) 評価結果

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ			一次＋二次応力強さ		
			計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板 (B-SUS304P-1)	供用状態 Cs	1	①	219	4	②	328	—	—	—
		供用状態 Ds	2	①	291	6	②	437	—	—	—

第 5-22(6) 評価結果

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均せん断応力			平均支圧応力			圧縮応力		
			計算 値	評価 面	許容 応力	計算 値	評価面	許容 応力	計算値	評価面	許容 応力
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板 (B-SUS304P-1)	供用状態 Cs	1	②	131	1	①	303	1	①	176
		供用状態 Ds	1	②	175	2	①	404	2	①	176

## 第 5-22(7) 評価結果

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次応力									一次+二次応力					
			せん断応力			曲げ応力			垂直応力とせん断 応力の組合せ			せん断応力			曲げ応力		
			計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	供用状態 C <sub>s</sub>	32	①	341	76	①	591	93	①	591	64	①	682	151	①	1182
		供用状態 D <sub>s</sub>	88	①	341	209	①	591	259	①	591	177	①	682	418	①	1182

第 5-23 表 疲労累積係数 (一次蓋締付けボルト)

No.	$S_P$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
疲労累積係数 $U_n = 0.0442$						
1	2	1	1	$10^6$	10000	0.0100
疲労累積係数 $U_{sd} = 0.0100$						
2	4	2	3	$10^6$	10000	0.0100
疲労累積係数 $U_{ss} = 0.0100$						
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{ss} = 0.0542$						

第 5-24 表 疲労累積係数 (カバープレート締付けボルト)

No.	$S_P$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
疲労累積係数 $U_n = 0.0413$						
1	0.2	0.1	0.1	$10^6$	10000	0.0100
疲労累積係数 $U_{sd} = 0.0100$						
2	0.5	0.2	0.3	$10^6$	10000	0.0100
疲労累積係数 $U_{ss} = 0.0100$						
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{ss} = 0.0513$						

第 5-25 表 疲労累積係数 (二次蓋締付けボルト)

No.	$S_P$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
疲労累積係数 $U_n = 0.0353$						
1	2	1	1	$10^6$	10000	0.0100
疲労累積係数 $U_{sd} = 0.0100$						
2	4	2	2	$10^6$	10000	0.0100
疲労累積係数 $U_{ss} = 0.0100$						
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{ss} = 0.0453$						

第5-26表 密封容器及び二次蓋の応力評価（供用状態D<sub>s</sub>）（1/3）

（単位：MPa）

部 位	応力評価点	応力分類	計算値	許容応力	裕度* <sup>2</sup>
一次蓋 （中央）	①-①'	$P_m$	5	251	50.20
	①	$P_L + P_b$	9	377	41.88
	①'	$P_L + P_b$	2	377	188.50
	①	$P_L + P_b + Q^{*1}$	4	366	91.50
	①'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	2	366	183.00
一次蓋 （端部）	②	$P_L + P_b$	18	377	20.94
	②'	$P_L + P_b$	18	377	20.94
	②	$P_L + P_b + Q^{*1}$	46	366	7.95
	②'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	49	366	7.46
二次蓋 （中央）	③-③'	$P_m$	1	286	286.00
	③	$P_L + P_b$	15	429	28.60
	③'	$P_L + P_b$	16	429	26.81
	③	$P_L + P_b + Q^{*1}$	4	474	118.50
	③'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	5	474	94.80
二次蓋 （端部）	④	$P_L + P_b$	30	429	14.30
	④'	$P_L + P_b$	30	429	14.30
	④	$P_L + P_b + Q^{*1}$	54	474	8.77
	④'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	66	474	7.18
一次蓋締付け ボルト	⑤	平均引張応力	241	831	3.44
		平均引張応力 + 曲げ応力	337	831	2.46
二次蓋締付け ボルト	⑥	平均引張応力	244	848	3.47
		平均引張応力 + 曲げ応力	274	848	3.09

注記\*1：地震力のみによる全振幅について評価する。

\*2：許容応力に対する計算値の裕度

第5-26表 密封容器及び二次蓋の応力評価（供用状態D<sub>s</sub>）（2/3）

（単位：MPa）

部 位	応力評価点	応力分類	計算値	許容応力	裕度* <sup>2</sup>
胴 (一次蓋密封 シール部)	⑦	$P_L + P_b$	10	183	18.30
	⑦'	$P_L + P_b$	10	183	18.30
	⑦	$P_L + P_b + Q$	26	183	7.03
	⑦'	$P_L + P_b + Q$	12	183	15.25
胴 (二次蓋密封 シール部)	⑧	$P_L + P_b$	16	183	11.43
	⑧'	$P_L + P_b$	16	183	11.43
	⑧	$P_L + P_b + Q$	37	183	4.94
	⑧'	$P_L + P_b + Q$	9	183	20.33
胴 (中央)	⑨-⑨'	$P_m$	2	251	125.50
	⑨	$P_L + P_b + Q^{*1}$	5	366	73.20
	⑨'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	4	366	91.50
胴 (下部)	⑩	$P_L + P_b$	30	377	12.56
	⑩'	$P_L + P_b$	30	377	12.56
	⑩	$P_L + P_b + Q^{*1}$	51	366	7.17
	⑩'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	83	366	4.40
底板 (中央)	⑪-⑪'	$P_m$	3	251	83.66
	⑪	$P_L + P_b$	7	377	53.85
	⑪'	$P_L + P_b$	9	377	41.88
	⑪	$P_L + P_b + Q^{*1}$	8	366	45.75
	⑪'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	9	366	40.66
	⑪	$\sigma_p$	1	377	377.00

注記\*1：地震力のみによる全振幅について評価する。

\*2：許容応力に対する計算値の裕度

第5-26表 密封容器及び二次蓋の応力評価（供用状態D<sub>s</sub>）（3/3）

（単位：MPa）

部 位	応力評価点	応力分類	計算値	許容応力	裕度* <sup>2</sup>
底板 (端部)	⑫	$P_L + P_b$	10	377	37.70
	⑫'	$P_L + P_b$	10	377	37.70
	⑫	$P_L + P_b + Q^{*1}$	24	366	15.25
	⑫'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	32	366	11.43
	⑫	$\sigma_p$	1	377	377.00
底部中性子 遮蔽材カバー (中央)	⑬-⑬'	$P_m$	10	282	28.20
	⑬	$P_L + P_b$	16	424	26.50
	⑬'	$P_L + P_b$	23	424	18.43
	⑬	$P_L + P_b + Q^{*1}$	19	465	24.47
	⑬'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	12	465	38.75
底部中性子 遮蔽材カバー (端部)	⑭	$P_L + P_b$	91	424	4.65
	⑭'	$P_L + P_b$	91	424	4.65
	⑭	$P_L + P_b + Q^{*1}$	217	465	2.14
	⑭'	$P_L + P_b + Q^{*1}$	152	465	3.05
一次蓋 (密封シール部)	⑮	$P_L + P_b$	7	183	26.14
	⑮'	$P_L + P_b$	7	183	26.14
	⑮	$P_L + P_b + Q$	30	183	6.10
	⑮'	$P_L + P_b + Q$	61	183	3.00
二次蓋 (密封シール部)	⑯	$P_L + P_b$	9	236	26.22
	⑯'	$P_L + P_b$	9	236	26.22
	⑯	$P_L + P_b + Q$	18	236	13.11
	⑯'	$P_L + P_b + Q$	12	236	19.66
カバープレート	⑰	$P_L + P_b$	3	422	140.66
		$P_L + P_b + Q^{*1}$	1	411	411.00
カバープレート 締付けボルト	⑱	平均引張応力	138	831	6.02
		平均引張応力 + 曲げ応力	146	831	5.69

注記\*1：地震力のみによる全振幅について評価する。

\*2：許容応力に対する計算値の裕度



第 5-27 表 バスケットの応力評価 (供用状態 D s)

(単位 : MPa)

部 位	応力分類	計算値	評価点 (面)	許容応力	裕度*1
バスケット プレート	$P_m$	2	①	291	145.50
	$P_m + P_b$	6	②	437	72.83
	$\sigma_s$	1	②	175	175.00
	$\sigma_p$	2	①	404	202.00
	$\sigma_c$	2	①	176	88.00

注記\*1 : 許容応力に対する計算値の裕度

第 5-28 表 トラニオンの応力評価 (供用状態 D s)

(単位 : MPa)

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力	裕度*2
下部 トラニオン	一次 応力	せん断応力	88	②	341	3.88
		曲げ応力	209	②	591	2.83
		垂直応力と せん断応力 の組合せ	259	②	591	2.28
	一*1 次 十二次 応力	せん断応力	177	②	682	3.85
		曲げ応力	418	②	1182	2.83

注記\*1 : 地震力のみによる全振幅について評価する。

\*2 : 許容応力に対する計算値の裕度

## 6. 金属キャスクの機能維持評価

金属キャスクは、地震時及び地震後に安全機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

金属キャスクの各構成部材の有する安全機能を次に示す。

- ・密封容器：閉じ込め機能，遮蔽機能，除熱機能
- ・バスケット：臨界防止機能，除熱機能
- ・外筒（端板含む。）：遮蔽機能（外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持）
- ・蓋部中性子遮蔽材カバー：閉じ込め機能（蓋間圧力監視）

### 6.1 機能維持評価方針

地震力が作用した場合に、密封容器、バスケット、外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに発生する応力が、機能維持される許容応力以下であることを確認する。

なお、使用済燃料被覆管は閉じ込め機能の前提となっていることから「10-1-2-1 別記1 使用済燃料被覆管の応力計算について（BWR用大型キャスク（タイプ2A）」で健全性を確認している。

#### 6.1.1 荷重の種類とその組合せ

密封容器及びバスケットの荷重の種類とその組み合わせは「5. 金属キャスクの応力評価」と同じである。

外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの荷重の種類とその組合せを第6-1表及び第6-2表に示す。

#### 6.1.2 許容応力値

##### (1) 密封容器

密封容器の許容応力値は「5. 金属キャスクの応力評価」と同じである。

##### (2) バスケット

バスケットの許容応力値は「5. 金属キャスクの応力評価」と同じである。

##### (3) 外筒（端板含む。）

外筒は、放射性物質の閉じ込め境界ではないが、自らが遮蔽体であると同時に、外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持する機能が求められる。類似の機能を持つ部材として、「構造規格」に示される中間胴があり、外筒の構造強度評価手法としては中間胴の規定を準用する。ただし、中間胴は密封容器を支持し、その損壊を防止する機能が要求されるため、密封容器との溶接部近接部分に対する特別な規定が設けられている(MCD-3710)が、外筒においてはこの機能は要求されないため、当該規定は参考としない。

外筒の許容応力は「構造規格」MCD-3721.3(2)による。許容応力は、最高使用

温度に対する値を用いる。外筒の許容応力値を第 6-3 表に示す。

#### (4) 蓋部中性子遮蔽材カバー

蓋部中性子遮蔽材カバーは、一次蓋の中性子遮蔽材を覆うカバーであり、一次蓋と二次蓋の間にヘリウムガスを封入して圧力を監視することから、圧力に対して十分な強度が求められる。このため、蓋部中性子遮蔽材カバーの構造強度評価手法としては、圧力荷重に対する評価要求が定められている「設計・建設規格」のクラス 3 容器の規定を準用する。

蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力は、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）（日本電気協会 電気技術基準調査会 1991 年 6 月）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）の第 3 種容器による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力値を第 6-4 表に示す。

## 6.2 機能維持評価方法

### 6.2.1 密封容器

密封容器の評価方法は「5. 金属キャスクの応力評価」と同じである。

### 6.2.2 バスケット

バスケットの評価方法は「5. 金属キャスクの応力評価」と同じである。

### 6.2.3 外筒（端板含む。）

外筒及び端板に発生する応力の計算は、応力評価式により行う。ただし端板の評価では、貯蔵状態の金属キャスクはたて姿勢であり、地震時において外筒、端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に生じた慣性力は、主に下部端板が支えており、上部端板に作用する荷重は小さいことから、下部端板のみ評価する。応力評価箇所を第 6-1 図に示す。

#### (1) 荷重条件

地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重（－）
- ・地震力（－）
- ・側部レジン充填部圧力（MPa）

#### (2) 応力計算

##### a. 一次応力

##### (a) 下部端板

イ. 鉛直方向地震荷重によるせん断応力

金属キャスクがたて姿勢での事象であるので、外筒、端板、伝熱フィン及び

側部レジンに生じた慣性力は、胴との結合部で支持される。

外筒，端板，伝熱フィン及び側部レジンに，地震力による鉛直方向加速度が作用し，これを下部端板の胴結合部にてせん断力として受ける場合の評価点①に生じるせん断応力  $\tau$  は以下で計算される。

$$\tau = \frac{m_{all} \cdot G_2}{\pi \cdot D_d \cdot t} \dots\dots\dots (6.1)$$

ここで，  $m_{all}$  : 外筒，端板，伝熱フィン及び側部レジンの総質量 (kg)

$G_2$  : 鉛直方向加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$$G_2 = G \cdot (1 + C_v)$$

$C_v$  : 鉛直方向設計震度

$G$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$D_d$  : 胴外径 (下部端板内径) (mm)

$t$  : 板厚 (mm)

$$t = t_b$$

$t_b$  : 下部端板の板厚 (mm)

ロ. 側部レジン充填部圧力による曲げ応力

下部端板に側部レジン充填部圧力が作用する場合を考える。下部端板は，伝熱フィンに区切られる幅ごとに，それぞれ胴，外筒，及び伝熱フィンに溶接されるため，四辺を固定された板となっている。下部端板内面に圧力が作用した場合において，評価点①には曲げ応力  $\sigma_b$  が生じ，その値は以下で表される。

$$\sigma_b = \beta \cdot \frac{P \cdot a^2}{t^2} \dots\dots\dots (6.2)$$

ここで，  $\sigma_b$  : 長方形板に生じる最大曲げ応力 (MPa)

$\beta$  : 長方形板の最大応力の係数 (-)

$$\beta = \beta_1$$

$\beta_1$  : 引用文献(1)より，下部端板の縦横比を考慮した値 (-)

$P$  : 分布荷重 (MPa)

$$P = p_1$$

$p_1$  : 側部レジン充填部圧力 (MPa)

$a$  : 長方形板の一辺の長さ (mm)

$$a = a_1$$

$a_1$  : 最大の伝熱フィンピッチ幅 (mm)

$t$  : 板厚 (mm)

$$t = t_b$$

$t_b$  : 下部端板の板厚 (mm)

ハ. 組合せ応力

評価点①には、曲げ応力とせん断応力が同時に作用するため、組合せ応力を評価する。組合せ応力は次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (6.3)$$

ここで、 $\sigma_T$ ：組合せ応力 (MPa)

(b) 外筒

イ. 水平方向地震荷重及び側部レジン充填部圧力による曲げ応力

金属キャスクがたて姿勢での事象であるので、外筒及び側部レジンに生じた慣性力は、外筒と伝熱フィンの結合部で支持される。

外筒を伝熱フィンに区切られる幅ごとに考えると、内面には水平地震力による外筒及び側部レジンの慣性力が作用する。また、側部レジン充填部の圧力も同時に作用する。このとき、評価点②には曲げ応力が作用するので、(6.2) 式で評価する。

ただし、 $\beta = \beta_2$

$\beta_2$ ：引用文献(1)より、外筒の縦横比を考慮した値

$$P = p_1 + p_2$$

$p_1$ ：側部レジン充填部圧力 (MPa)

$p_2$ ：外筒及び側部レジンの慣性力による分布荷重 (MPa)

$$p_2 = m_1 \cdot G_1 / A_1$$

$m_1$ ：外筒一区間当たりの側部レジンと外筒の質量 (kg)

$G_1$ ：水平方向加速度 ( $m/s^2$ )

$$G_1 = C_H \cdot G$$

$C_H$ ：水平方向設計震度

$G$ ：重力加速度 ( $m/s^2$ )

$A_1$ ：外筒一区間当たりの外筒の内面積 ( $mm^2$ )

$a$ ：最大の伝熱フィンピッチ幅 (mm)

$$a = a_1$$

$t$ ：外筒の板厚 (mm)

b. 一次+二次応力

(a) 下部端板

イ. 鉛直方向地震荷重によるせん断応力

短期繰返し荷重 ( $S_S$  地震力) のみによる評価点①におけるせん断応力の全振幅は、(6.1) 式で求まるせん断応力の2倍とする。ただし、

$$G_2 = G \cdot C_v$$

とする。

(b) 外筒

イ. 水平方向地震荷重による曲げ応力

短期繰返し荷重（ $S_s$  地震力）のみによる評価点①及び②における曲げ応力の全振幅は、(6.2) 式で求まる曲げ応力の 2 倍とする。ただし、

$$P = p_2$$

$p_2$  : a. (b)イ. と同じ。

とする。

6.2.4 蓋部中性子遮蔽材カバー

(1) 荷重条件

地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重 (－)
- ・地震力 (－)
- ・蓋間圧力 (MPa)

(2) 応力計算

a. 曲げ応力

蓋部中性子遮蔽材カバーに発生する応力の計算は、応力評価式により行う。第 6-2 図に一次蓋まわりの概略構造を示す。

蓋間圧力及び鉛直方向地震力による蓋部中性子遮蔽材カバーの慣性力が作用する場合の蓋部中性子遮蔽材カバーに生じる応力を評価する。一次蓋のレジン充填部には、第 6-2 図に示すようにリブが設けられており、蓋間圧力が作用する場合には、このリブと蓋カバー周囲固定部(溶接部)で荷重を支持する構造となっている。

ここでは、十字に交差するリブと周囲固定部で形成される四半円形状に着目し、蓋部中性子遮蔽材カバーの直径の 1/2 を一辺とする正方形の板に圧力荷重が作用するモデルを考える。四辺は対称条件もしくは溶接により固定されるため、四辺固定条件となる。四辺固定の正方形の板において、等分布で圧力荷重が作用するときの最大曲げ応力は四辺の中央に生じ、(6.2)式で評価することができる。

ただし、 $\beta = \beta_3$

$\beta_3$  : 正方形板の最大応力の係数 (引用文献(1)より)

$$P = p_3 + p_4$$

$p_3$  : 蓋間圧力 (MPa)

$p_4$  : 蓋部中性子遮蔽材カバーの慣性力による分布荷重 (MPa)

$$p_4 = m_2 \cdot G_2 / A_2$$

$m_2$  : 蓋部中性子遮蔽材カバーの質量 (kg)

(蓋部中性子遮蔽材カバー全質量の 1/4 とする)

$G_2$  : 鉛直方向加速度 ( $m/s^2$ )

$$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$$

$C_V$  : 鉛直方向設計震度

$G$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

$A_2$  : 蓋部中性子遮蔽材カバーの面積 ( $mm^2$ )

(蓋部中性子遮蔽材カバー面積の 1/4 とする)

$$a = a_2$$

$a_2$  : 正方形板の一辺の長さ (mm)

(蓋部中性子遮蔽材カバー直径の 1/2 とする)

$$t = t_L$$

$t_L$  : 蓋部中性子遮蔽材カバーの板厚 (= 40 mm)

### 6.3 機能維持評価条件

機能維持評価の設計震度を第 6-5 表に示す。また、外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価条件を第 6-6 表及び第 6-7 表に示す。

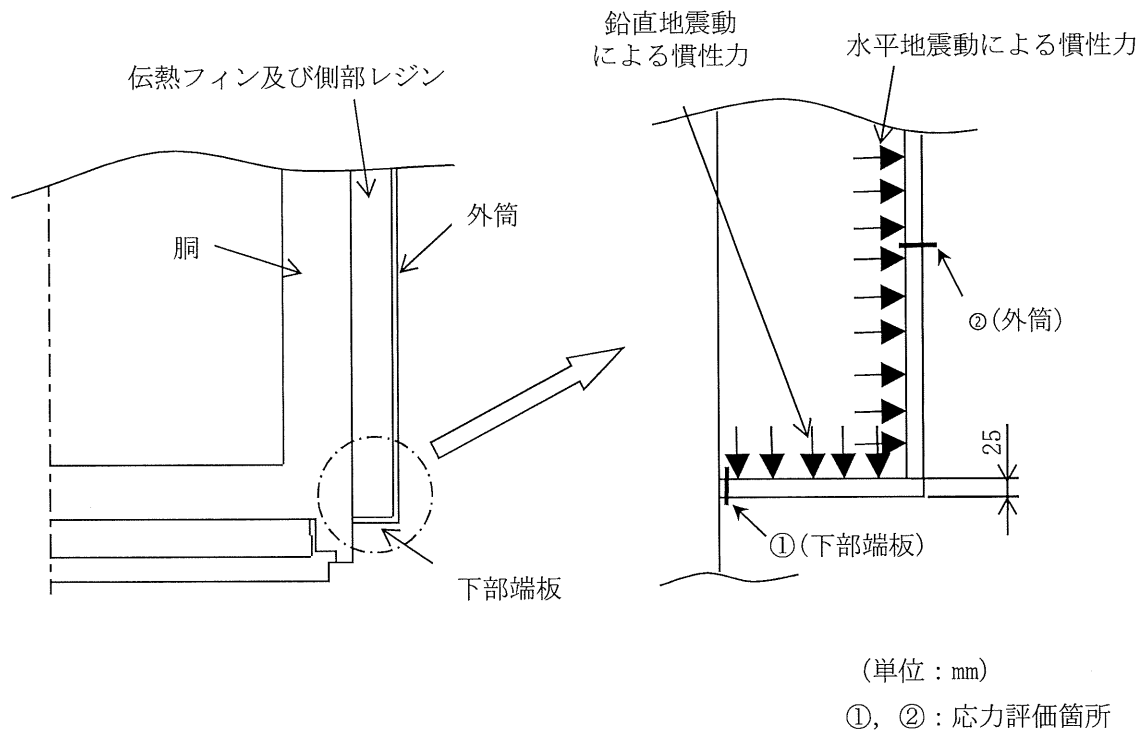
### 6.4 評価結果

密封容器及びバスケットの機能維持評価結果は「5. 金属キャスクの応力評価」に示すとおり、発生応力は評価基準値を満足する。

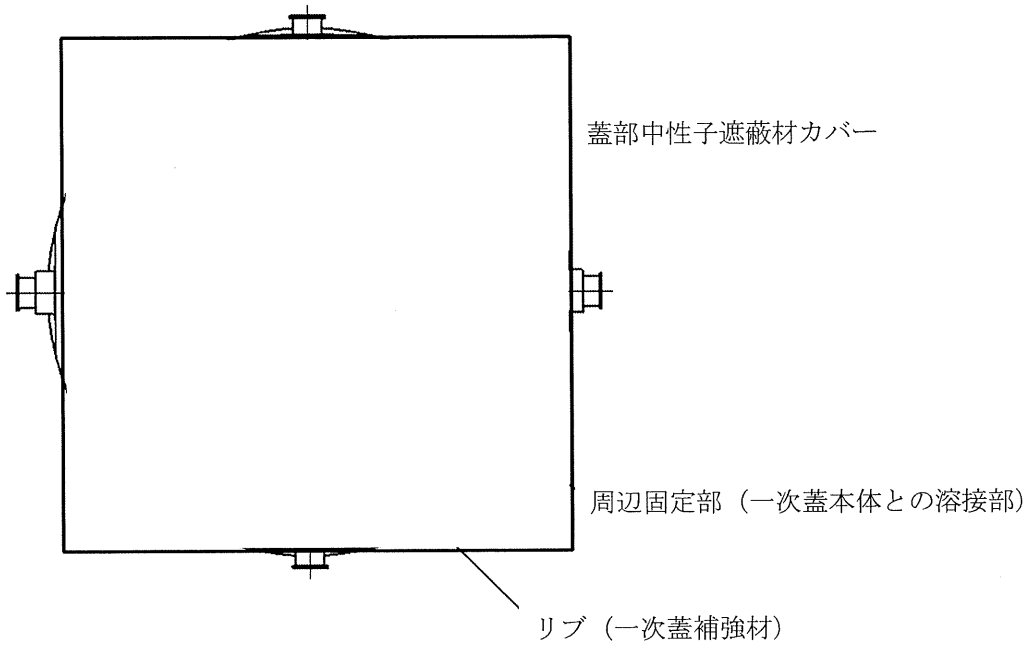
外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの機能維持評価結果を第 6-8 表から第 6-10 表に示す。発生応力は評価基準値を満足する。

地震時において密封容器、バスケット、外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの機能が維持されることを確認した。





第6-1図 外筒下部の概略構造及び応力評価箇所



第6-2図 一次蓋まわりの概略構造

第6-1表 外筒の荷重の種類とその組合せ

荷 重			圧力による荷重	自重による荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	地震荷重
部位	供用状態	評 価 事 象						
外筒 (端板含む。)	C <sub>s</sub>	S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合	○	○	-	-	-	○
	D <sub>s</sub>	S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合						

第6-2表 蓋部中性子遮蔽材カバーの荷重の種類とその組合せ

荷 重			圧力による荷重	自重による荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重	地震荷重
部位	供用状態	評 価 事 象						
蓋部中性子遮蔽材カバー	C <sub>s</sub>	S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合	○	○	-	-	-	○
	D <sub>s</sub>	S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合						

第6-3表 外筒の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力区分	評価部位	応力の種類		許容応力値		
				炭素鋼		
				SM400B	許容値基準	
供用状態Cs	外筒 (端板含む。)	一次応力	曲げ応力	206	$1.5f_b$	
			せん断応力	119	$1.5f_s$	
		一次 +二次応力	曲げ応力* <sup>1</sup>	412	$3f_b$	
			せん断応力* <sup>1</sup>	238	$3f_s$	
供用状態Ds		外筒 (端板含む。)	一次応力	曲げ応力	247	$1.5f_b^*$
				せん断応力	142	$1.5f_s^*$
			一次 +二次応力	曲げ応力* <sup>1</sup>	412	$3f_b$
				せん断応力* <sup>1</sup>	238	$3f_s$

\*1：地震力のみによる全振幅について評価する。

第6-4表 蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力値

(単位：MPa)

許容応力区分	評価部位	応力の種類	許容応力値	
			ステンレス鋼	
			SUS304	許容値基準
供用状態Cs	蓋部中性子	曲げ応力	162	$1.5\eta \text{ MIN}[S_y, 0.6S_u]^*1$
供用状態Ds	遮蔽材カバー	曲げ応力	255	$0.9\eta S_u^*1$

注記\*1： $\eta$ ：溶接効率

第6-5表 設計震度

評価事象	方向	記号	設計震度
S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合	水平	C <sub>H</sub>	0.72
	鉛直	C <sub>V</sub>	0.37
S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合	水平	C <sub>H</sub>	1.40
	鉛直	C <sub>V</sub>	0.87

第6-6表 外筒の応力評価条件

項目	記号	単位	数値
外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部中レジンの総質量	m <sub>all</sub>	kg	15500
重力加速度	G	m/s <sup>2</sup>	9.80665
胴外径 (下部端板内径)	D <sub>d</sub>	mm	2156
下部端板の板厚	t <sub>b</sub>	mm	25
長方形板の最大応力の係数(下部端板の縦横比を考慮した値)	β <sub>1</sub>	—	0.5
側部レジジン充填部の圧力	p <sub>1</sub>	MPa	
最大のフィンピッチ幅	a <sub>1</sub>	mm	
長方形板の最大応力の係数(外筒の縦横比を考慮した値)	β <sub>2</sub>	—	0.65
外筒一区間当たりの側部レジジンと外筒の質量	m <sub>1</sub>	kg	510
外筒一区間当たりの外筒の内面積	A <sub>1</sub>	mm <sup>2</sup>	
外筒の板厚	t	mm	20

第6-7表 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
正方形板の最大応力の係数	β <sub>3</sub>	—	0.32
蓋部中性子遮蔽材カバーの質量	m <sub>2</sub>	kg	154.5
重力加速度	G	m/s <sup>2</sup>	9.80665
正方形板の一辺の長さ (蓋部中性子遮蔽材カバー直径の 1/2)	a <sub>2</sub>	mm	787.5
蓋部中性子遮蔽材カバーの板厚	t <sub>L</sub>	mm	40

第 6-8 表 外筒の評価結果 (S<sub>d</sub>\*地震力が作用する場合)

(単位 : MPa)

部位	応力の種類		計算値	許容応力
下部端板	一次 応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	2	119
		曲げ応力	39	206
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	39	206
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	1	238
		曲げ応力	—	—
		支圧応力	—	—
座屈応力		—	—	
外筒	一次 応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	60	206
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	—	—
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	1	412
		支圧応力	—	—
座屈応力		—	—	

第6-9表 外筒の評価結果（S<sub>s</sub>地震力が作用する場合）

（単位：MPa）

部位	応力の種類		計算値	許容応力
下部端板	一次 応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	2	142
		曲げ応力	39	247
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	39	247
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	2	238
		曲げ応力	—	—
		支圧応力	—	—
座屈応力		—	—	
外筒	一次 応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	61	247
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	—	—
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	1	412
		支圧応力	—	—
座屈応力		—	—	

第 6-10 表 蓋部中性子遮蔽材カバーの評価結果

(単位：MPa)

応力評価 位置	評価事象	応力の種類		計算値	許容応力
		一次応力	曲げ応力		
蓋部中性子 遮蔽材カバー	S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合	一次応力	曲げ応力	51	162
	S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合	一次応力	曲げ応力	51	255

## 7. 引用文献

- (1) 日本機械学会，機械工学便覧，新版，丸善株式会社，1987年



添付 5-4 貯蔵架台の耐震性に関する説明書

添付 5-4-1 貯蔵架台の耐震性に関する計算書  
(BWR用大型キャスク (タイプ2A))

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 構造の説明	2
2.2 評価方針	2
2.3 記号の説明	3
2.4 数値の丸め方	6
3. 耐震評価箇所	10
3.1 貯蔵架台の耐震評価箇所	10
4. 固有値解析	12
5. 貯蔵架台の耐震評価	14
5.1 基本方針	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力, 許容荷重	14
5.3 設計条件	17
5.4 応力評価方法	18
5.5 応力評価条件	25
5.6 評価結果	25

## 図表目次

第 2-1 図	金属キャスク及び貯蔵架台の概略構造図	7
第 2-2 図	貯蔵架台の耐震評価フロー	8
第 3-1 図	貯蔵架台の耐震評価箇所	11
第 5-1 図	貯蔵架台固縛用埋込金物の配置及びコーン状破壊面の有効投影断面積の評価概念図	26
第 5-2 図	貯蔵架台本体に作用する荷重の計算モデル	27
第 5-3 図	トラニオン固定ボルトに作用する荷重の計算モデル	28
第 5-4 図	架台固定ボルト及び貯蔵架台脚部に作用する荷重の計算モデル	29
第 5-5 図	ボス及び基礎ボルトに作用する荷重の計算モデル	30
第 2-1 表	数値の丸め方一覧表	9
第 4-1 表	固有値解析結果	13
第 5-1 表	貯蔵架台の荷重の種類とその組合せ	31
第 5-2 表	貯蔵架台用材料（貯蔵架台本体及び脚部）の許容応力値	32
第 5-3 表	貯蔵架台用材料（トラニオン固定金具）の許容応力値	34
第 5-4 表	貯蔵架台用材料（ボルト用材料）の許容応力値	36
第 5-5 表	貯蔵架台固縛用埋込金物用材料（ボルト用材料）の許容応力値	37
第 5-6 表	コーン状破壊及び支圧破壊各々の引張耐力の低減係数	38
第 5-7 表	コーン状破壊面の有効投影断面積及び支圧面積と有効投影断面積から定まる係数	38
第 5-8 表	せん断耐力の低減係数	38
第 5-9 表	コンクリート部の許容荷重値	39
第 5-10 表	設計条件	40
第 5-11 表	設計震度	41
第 5-12 表	貯蔵架台本体の応力評価条件	41
第 5-13 表	トラニオン固定ボルトの応力評価条件	42
第 5-14 表	トラニオン固定金具の応力評価条件	42
第 5-15 表	架台固定ボルトの応力評価条件	42
第 5-16 表	貯蔵架台脚部の応力評価条件	43
第 5-17 表	ボスの応力評価条件	43
第 5-18 表	基礎ボルトの応力評価条件	43
第 5-19 表	評価結果	44
第 5-20 表	貯蔵架台の応力評価（供用状態 D s）	47
第 5-21 表	コンクリート部の荷重評価（供用状態 D s）	49

第 5-22 表	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の詳細評価結果 (トラニオン固定金具) .....	50
第 5-23 表	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の詳細評価結果 (コンクリート部) .....	51

## 1. 概要

本資料は、貯蔵架台が「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）の第7条に基づき、設計用地震力に対して十分な構造強度及び安全機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は、固有値解析及び応力評価により行う。

貯蔵架台は、「資料5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」において耐震設計上の重要度分類はSクラスである。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

## 2. 基本方針

### 2.1 構造の説明

- (1) 金属キャスクは、たて置きで支持する。
- (2) 金属キャスク（内部収納物を含む。）は 4 個の下部トラニオンを介して貯蔵架台に固定する。
- (3) 貯蔵架台は架台固定ボルトを介して床面に固定する。
- (4) 二次蓋は二次蓋締付けボルトでキャスク容器に固定する。
- (5) 概略構造図を第 2-1 図に示す。

### 2.2 評価方針

貯蔵架台の応力評価は、「2.1 構造の説明」にて示す貯蔵架台の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 貯蔵架台の耐震評価」にて示す方法にて確認することで実施する。貯蔵架台の耐震評価フローを第 2-2 図に示す。

### 2.3 記号の説明

本書において、下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

計算書の記号	記号の説明	単位
「4. 固有値解析」に使用する記号		
$T_H$	固有周期（水平方向）	s
$T_V$	固有周期（鉛直方向）	s
「5. 貯蔵架台の耐震評価」に使用する記号		
A	断面積	mm <sup>2</sup>
$A_0$	基礎ボルト頭の支圧面積	mm <sup>2</sup>
$A_1$	貯蔵架台脚部（A）面積	mm <sup>2</sup>
$A_2$	貯蔵架台脚部（B）（D）面積	mm <sup>2</sup>
$A_3$	貯蔵架台脚部（C）面積	mm <sup>2</sup>
$A_{a11}$	貯蔵架台脚部総面積	mm <sup>2</sup>
$A_b$	基礎ボルトの谷径断面積	mm <sup>2</sup>
$A_c$	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影断面積	mm <sup>2</sup>
$a_1$	金属キャスク中心から最外周ボルトまでの距離	mm
$a_2$	キャスク底面半径	mm
$a_3$	地震時の金属キャスク回転支点Oから固縛装置①のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
$a_4$	地震時の金属キャスク回転支点Oから固縛装置②のトラニオン固定金具中心までの距離	mm
$a_5$	地震時の金属キャスク回転支点Oから金属キャスク中心までの距離	mm
$a_6$	金属キャスク中心から架台固定ボルト（A）までの距離	mm
$a_7$	金属キャスク中心から架台固定ボルト（B）までの距離	mm
$a_8$	金属キャスク中心から架台固定ボルト（C）までの距離	mm
$a_9$	金属キャスク中心から架台固定ボルト（D）までの距離	mm
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$C_S$	供用状態Aの貯蔵時の状態において、 $S_d^*$ 地震力が作用した場合の供用状態	—
$D_S$	供用状態Aの貯蔵時の状態において、 $S_S$ 地震力が作用した場合の供用状態	—
$E_c$	コンクリートのヤング係数	MPa
$F_1$	固縛装置に生じる引張力	N
$F_{1b}$	架台固定ボルトの引張力	N



計算書の記号	記号の説明	単位
$F_{1c}$	貯蔵架台脚部の圧縮力	N
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	MPa
$F_H$	水平力	N
$F_V$	鉛直力	N
$f_T$	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_t$	許容引張応力	MPa
$f_s$	許容せん断応力	MPa
$f_c$	許容圧縮応力	MPa
$f_b$	許容曲げ応力	MPa
$f_p$	許容支圧応力	MPa
$f_t^*$	許容引張応力 * <sup>1</sup>	MPa
$f_s^*$	許容せん断応力 * <sup>1</sup>	MPa
$f_c^*$	許容圧縮応力 * <sup>1</sup>	MPa
$f_b^*$	許容曲げ応力 * <sup>1</sup>	MPa
$f_p^*$	許容支圧応力 * <sup>1</sup>	MPa
$G$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$G_1$	水平方向加速度	m/s <sup>2</sup>
$G_2$	鉛直方向加速度	m/s <sup>2</sup>
$h_{CG}$	金属キャスク底面から重心までの高さ	mm
$h_1$	床面から金属キャスク重心までの高さ	mm
$h_2$	床面から貯蔵架台本体重心までの高さ	mm
$K_1$	コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数	—
$K_2$	支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数	—
$K_3$	せん断耐力（複合破壊の場合）の低減係数	—
$L$	トラニオン固定ボルト間距離	mm
$M_1$	鉛直方向加速度により生じる曲げ力	N
$M_2$	水平方向加速度により生じる曲げモーメント	N・mm
$m_c$	金属キャスクの質量	kg
$m_s$	貯蔵架台の質量	kg
$n$	架台固定ボルトの本数	—
$n_t$	固縛装置1組当たりのトラニオン固定ボルトの本数	—
$p$	基礎ボルト1本当当たりの引張荷重	N
$p_a$	基礎ボルト1本当当たりのコンクリート部の許容引張荷重	N
$p_{a1}$	コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト1本当当たりの許容引張荷重	N

注記\*1:  $f_t$ ,  $f_s$ ,  $f_c$ ,  $f_b$ ,  $f_p$ の値を算出する際に「設計・建設規格」 SSB-3121.1(1)a.の本文中 $S_y$ とあるのを $1.2S_y$ と読み替えて算出した値

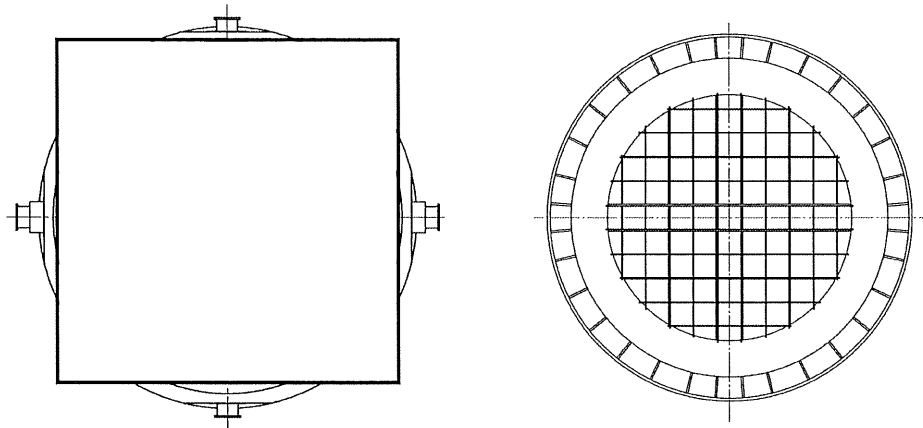
計算書の記号	記号の説明	単位
$p_{a2}$	基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張荷重	N
$q$	基礎ボルト1本当たりのせん断荷重	N
$q_a$	基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重	N
$q_{a1}$	基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊(複合破壊)する場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断荷重	N
$S_d^*$	弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
$S_s$	基準地震動 $S_s$ による地震力	—
$S_y$	設計降伏点	MPa
$t$	貯蔵架台厚さ	mm
$Z$	断面係数	mm <sup>3</sup>
$\alpha$	支圧面積と有効投影断面積から定まる係数	—
$\beta$	係数	—
$\sigma$	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
$\sigma_b$	曲げ応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力の絶対値	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力の絶対値	MPa
$\sigma_c$	圧縮応力の絶対値	MPa
$\sigma_p$	支圧応力	MPa
$\sigma_T$	組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	引張応力	MPa
$\nu$	ポアソン比	—
$\tau$	せん断応力	MPa

#### 2.4 数値の丸め方

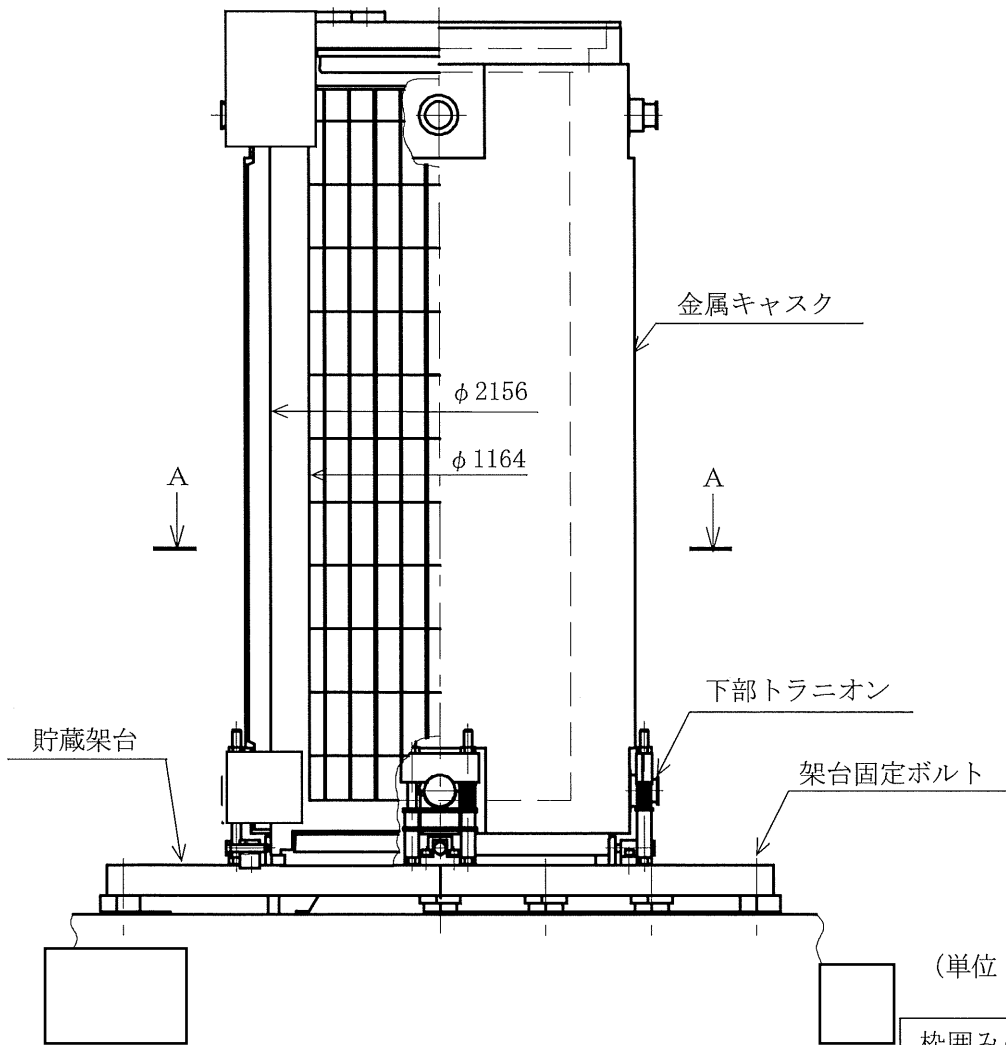
数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

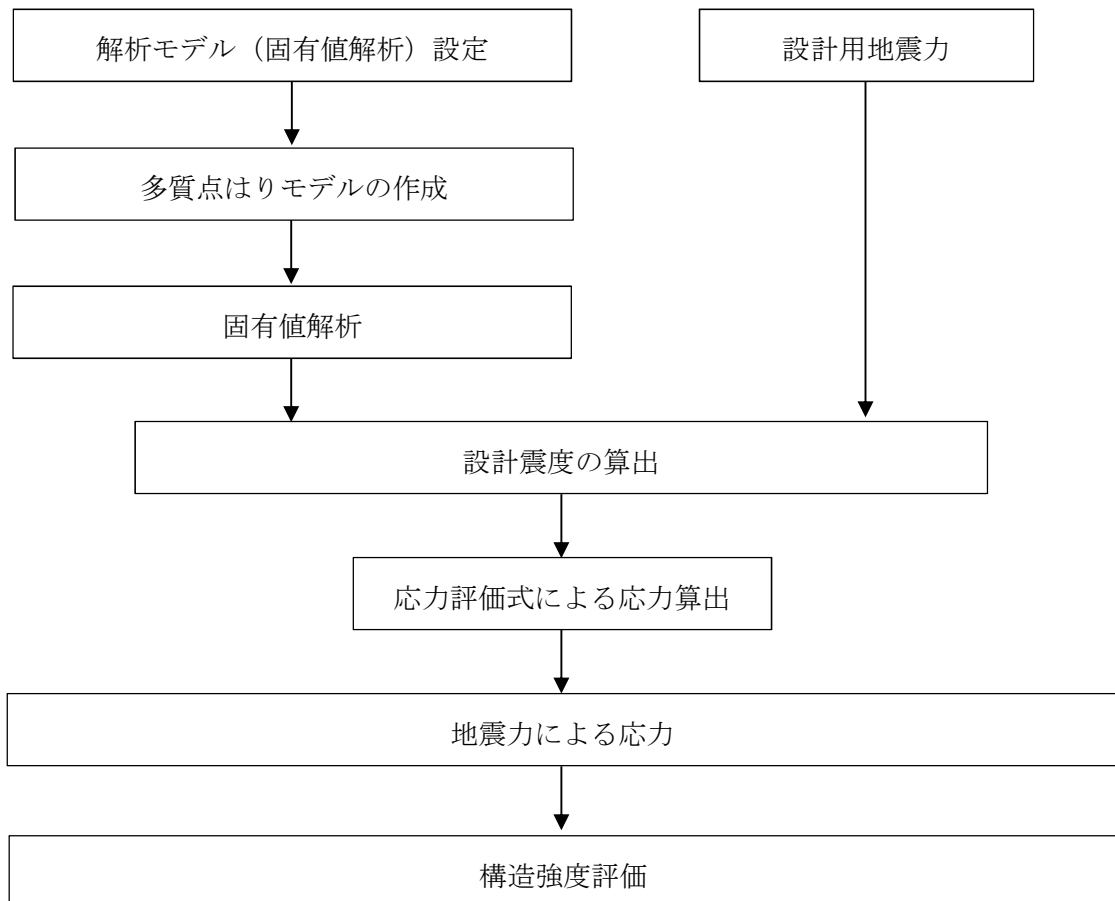
表示する数値の丸め方を第 2-1 表に示す。



A~A断面



第2-1図 金属キャスク及び貯蔵架台の概略構造図



第2-2図 貯蔵架台の耐震評価フロー

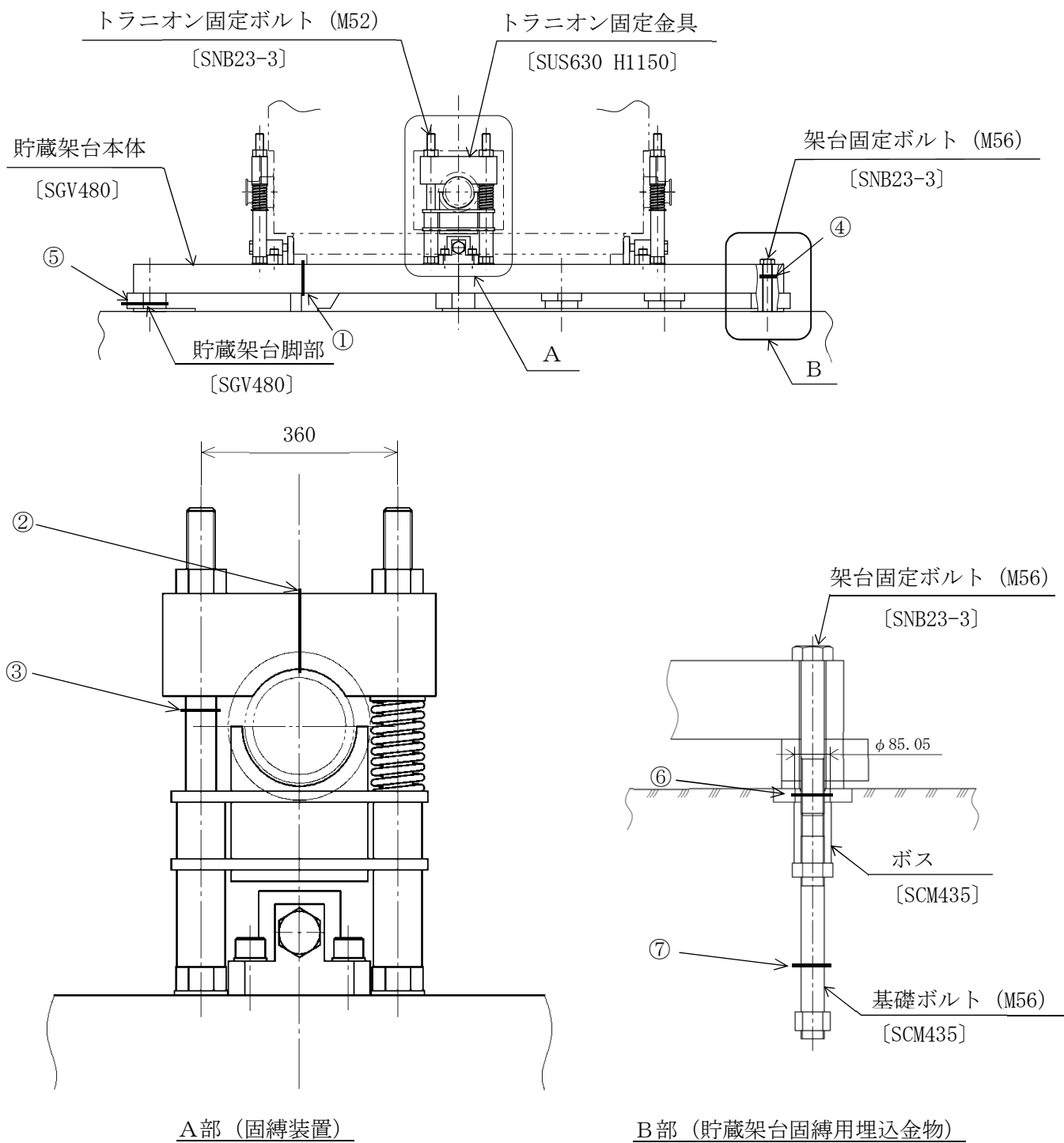
第2-1表 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
コンクリートのヤング係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
コンクリートの設計基準強度	MPa	—	—	設計値
許容荷重値	N	有効数字 5 桁目	切捨て	有効数字 4 桁
計算荷重値	N	有効数字 5 桁目	切上げ	有効数字 4 桁
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値

### 3. 耐震評価箇所

#### 3.1 貯蔵架台の耐震評価箇所

貯蔵架台の耐震評価箇所の説明図を第 3-1 図に示す。貯蔵架台の耐震評価は、貯蔵架台本体、貯蔵架台脚部、トラニオン固定金具、トラニオン固定ボルト、架台固定ボルト、ボス及び基礎ボルトについて行う。



(単位 : mm)

[ ] : 材料

①~⑦ : 応力評価点 (面)

第 3-1 図 貯蔵架台の耐震評価箇所



#### 4. 固有値解析

金属キャスクは、下部トラニオンを介して貯蔵架台上に固縛され、貯蔵架台は架台固定ボルトを介して床面に固定される。貯蔵架台は搬送台車を底部に挿入した状態で搬送されることから、架台底部に開口部を有している。固有周期を計算するに当たり、この貯蔵架台の剛性も考慮する必要があるため、金属キャスクと貯蔵架台を組み合わせた連成モデルで固有周期を評価する。

したがって、貯蔵架台の固有周期の計算方法は、「資料 5-3-1 金属キャスクの耐震性に関する計算書（BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）」と同様である。

第 4-1 表に固有値解析結果を示す。

第 4-1 表 固有值解析結果

次数	固有周期 (s)	刺激係数			方向
		X	Y	Z	
1	$T_H=0.080$	1.453	0.000	0.000	水平方向
2	$T_V=0.023$	0.000	0.000	1.036	鉛直方向

## 5. 貯蔵架台の耐震評価

### 5.1 基本方針

- (1) 貯蔵架台の応力計算モデルは、応力評価式により応力を算出する。
- (2) 許容応力について、「設計・建設規格」を用いて計算する際に、温度が中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力、許容荷重

#### 5.2.1 荷重の種類と組合せ

考慮すべき荷重の種類とその組合せを第5-1表に示す。

#### 5.2.2 使用材料の許容応力

##### (1) 貯蔵架台

貯蔵架台の許容応力は、「設計・建設規格」SSB-3100による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。貯蔵架台用材料の許容応力値を第5-2表、第5-3表及び第5-4表に示す。

##### (2) 貯蔵架台固縛用埋込金物

貯蔵架台固縛用埋込金物の許容応力は、「設計・建設規格」SSB-3100による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。貯蔵架台固縛用埋込金物用材料の許容応力値を第5-5表に示す。

#### 5.2.3 コンクリート部の許容荷重

コンクリート部の許容荷重は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、次のとおりとする。

##### (1) 基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は、以下に示すコンクリート部の引張荷重に対する許容値以下となるようにする。

$$p \leq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2}) \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、 $p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_c}$

$$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha \cdot A_0 \cdot F_c$$

$p$  : 基礎ボルト1本当たりの引張荷重 (N)

$p_a$  : 基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)

$p_{a1}$  : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)

$p_{a2}$  : 基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)

$K_1$  : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数

- $K_2$  : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数
- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (MPa)
- $A_c$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\alpha$  : 支圧面積と有効投影断面積から定まる係数 ( $=\sqrt{A_c/A_0}$  かつ 10 以下)
- $A_0$  : 基礎ボルト頭の支圧面積 (mm<sup>2</sup>)

また、コーン状破壊及び支圧破壊各々の引張耐力の低減係数 ( $K_1$  及び  $K_2$ ) の値を第 5-6 表に示す。

コンクリートのコーン状破壊面の有効投影断面積の評価については、基礎ボルトの近接による円錐状せん断破壊面の重なりを考慮する。貯蔵架台固縛用埋込金物の配置及びコーン状破壊面の有効投影断面積の評価概念図を第 5-1 図に、コーン状破壊面の有効投影断面積 ( $A_c$ ) 及び支圧面積と有効投影断面積から定まる係数 ( $\alpha$ ) を第 5-7 表に示す。

(2) 基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価

荷重の算定で得られた基礎ボルトのせん断荷重は、以下に示すコンクリート部のせん断荷重に対する許容値以下となるようにする。ただし、貯蔵区域の床面コンクリートにはへりがないため、へり側コンクリートの破壊は評価しない。

$$q \leq q_a = q_{a1} \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、 $q_{a1} = 0.5 \cdot K_3 \cdot A_b \cdot \sqrt{E_c \cdot F_c}$

- $q$  : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重 (N)
- $q_a$  : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)
- $q_{a1}$  : 基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊 (複合破壊) する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容せん断荷重 (N)
- $K_3$  : せん断耐力 (複合破壊の場合) の低減係数
- $A_b$  : 基礎ボルトの谷径断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $E_c$  : コンクリートのヤング係数 (MPa)
- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (MPa)

ただし、 $\sqrt{E_c \cdot F_c}$  の値は、500 MPa 以上、880 MPa 以下とする。880 MPa を超える場合は、 $\sqrt{E_c \cdot F_c} = 880$  MPa として計算する。

また、せん断耐力の低減係数 ( $K_3$ ) の値を第 5-8 表に示す。

(3) 基礎ボルトが引張、せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価

基礎ボルトが引張、せん断の組合せ荷重を受ける場合、それらの組合せ荷重が以下に示すコンクリート部の引張荷重及びせん断荷重の組合せに対する許容値以下となるようにする。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1 \dots\dots\dots (5.3)$$

- ここで、 $p_a$  : 引張荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)  
 $= \min (p_{a1}, p_{a2})$
- $q_a$  : せん断荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)  
 $= q_{a1}$
- $p$  : 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重 (N)
- $q$  : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重 (N)

コンクリート部の許容荷重値を第 5-9 表に示す。

### 5.3 設計条件

設計条件を第 5-10 表に示す。

設計震度の評価方法は、「添付 5-3-1 金属キャスクの耐震性に関する計算書（BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）」の 5.3 項と同様である。

5.4 応力評価方法

5.4.1 貯蔵架台本体，トラニオン固定ボルト，トラニオン固定金具，架台固定ボルト，貯蔵架台脚部，ボス及び基礎ボルト

(1) 荷重条件

地震時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重（－）
- ・地震力（－）
- ・熱荷重（－）

(2) 応力計算

貯蔵架台本体，トラニオン固定ボルト，トラニオン固定金具，架台固定ボルト，貯蔵架台脚部，ボス及び基礎ボルトの応力計算は，応力評価式により行う。基礎ボルトに作用する荷重については，架台固定ボルトに作用する荷重と等しい荷重が作用するものとする。また，ボス及び基礎ボルトからコンクリート部に作用する荷重をあわせて評価する。

a. 貯蔵架台本体

貯蔵架台本体に作用する荷重の計算モデルを第5-2図に示す。

(a) 一次応力

イ. せん断応力

鉛直方向加速度により発生するせん断応力（ $\tau$ ）は，次式で計算する。

$$\tau = \frac{F_v}{A} \dots\dots\dots (5.4)$$

ここで， $F_v$  : 鉛直力 (N)

$A$  : キヤスク底面直径円周部の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$$F_v = (m_c + m_s) \cdot G_2 \dots\dots\dots (5.5)$$

ここで， $G_2 = (1 + C_v) \cdot G$

$G_2$  : 鉛直方向加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$C_v$  : 鉛直方向設計震度

$G$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$m_c$  : 金属キヤスクの質量 (kg)

$m_s$  : 貯蔵架台の質量 (kg)

ロ. 曲げ応力

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力（ $\sigma_b$ ）は，次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot M_1}{t^2} + \frac{\beta \cdot M_2}{a_1 \cdot t^2} \dots\dots\dots (5.6)$$

$$\text{ここで， } M_1 = \frac{F_v}{2\pi} \left\{ \frac{(1+\nu)}{2} \ln\left(\frac{a_1}{a_2}\right) + \frac{(1-\nu)}{4} \cdot \left[ 1 - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \right] \right\}$$

- $M_1$  : 鉛直方向加速度により生じる曲げ力 (N)
- $F_v$  : イ. と同じ
- $\nu$  : ポアソン比
- $a_1$  : 金属キャスク中心から最外周ボルトまでの距離 (第5-2図) (mm)
- $a_2$  : キャスク底面半径 (第5-2図) (mm)
- $t$  : 架台厚さ (mm)
- $\beta$  : 係数 (引用文献(1)より)

$$M_2 = m_c \cdot G_1 \cdot h_{CG}$$

- $M_2$  : 水平方向加速度により生じるモーメント (N・mm)
- $m_c$  : イ. と同じ
- $G_1 = C_H \cdot G$
- $G_1$  : 水平方向加速度 ( $m/s^2$ )
- $C_H$  : 水平方向設計震度
- $h_{CG}$  : 金属キャスク底面から重心までの高さ (mm)

ハ. 組合せ応力

せん断応力 ( $\tau$ ) と曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) との組合せ応力 ( $\sigma_T$ ) は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.7)$$

- ここで,  $\tau$  : (5.4) 式と同じ
- $\sigma_b$  : (5.6) 式と同じ

(b) 一次+二次応力

イ. せん断応力

地震力によるせん断応力 ( $\tau$ ) の全振幅は、(5.4) 式で求めたせん断応力 ( $\tau$ ) の2倍とする。

ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) の全振幅は、(5.6) 式で求めた曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) の2倍とする。

b. トラニオン固定ボルト

トラニオン固定ボルトに作用する荷重の計算モデルを第5-3図に示す。

(a) 引張応力

固縛装置1組あたりに作用する最大引張力 ( $F_1$ ) によりトラニオン固定ボルトに発生する引張応力 ( $\sigma_t$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_t = \frac{F_1}{n_t \cdot A} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで,  $n_t$  : 固縛装置1組あたりのトラニオン固定ボルトの本数

$A$  : トラニオン固定ボルト (M52) の断面積 ( $mm^2$ )

引張力 ( $F_1$ ) は、第5-3図に示す固縛装置①に生じ、次式で計算する。



$$F_1 = \frac{m_c \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_5)}{a_3 + 2 \cdot \frac{a_4^2}{a_3}} \dots \dots \dots (5.9)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 - C_V) \cdot G$$

$G_1$  : 水平方向加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$G_2$  : 鉛直方向加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$C_H$  : a. (a)ロ. と同じ

$C_V$  : a. (a)イ. と同じ

$G$  : a. (a)イ. と同じ

$h_{CG}$  : a. (a)ロ. と同じ

$a_3$  : 支点Oから固縛装置㊸のトラニオン固定金具中心までの距離(第5-3図)  
(mm)

$a_4$  : 支点Oから固縛装置㊹のトラニオン固定金具中心までの距離(第5-3図)  
(mm)

$a_5$  : 支点Oから金属キャスク中心までの距離 (第5-3図) (mm)

$F_1$  : 固縛装置に生じる引張力 (N)

$m_c$  : a. (a)イ. と同じ

(b) せん断応力

金属キャスクに加わる水平荷重は、金属キャスク底面と貯蔵架台の摩擦力及びスト  
ッパで保持するため、トラニオン固定ボルトにせん断力は加わらない。

c. トラニオン固定金具

(a) 一次応力

イ. せん断応力

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力 ( $\tau$ ) は、次式で計  
算する。

$$\tau = \frac{F_1}{2 \cdot A} \dots \dots \dots (5.10)$$

ここで、 $F_1$  : (5.9) 式と同じ

$A$  : トラニオン固定金具の断面積 (mm<sup>2</sup>)

ロ. 曲げ応力

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) は、次式で計  
算する。

$$\sigma_b = \frac{F_1 \cdot L}{4 \cdot Z} \dots \dots \dots (5.11)$$

ここで、 $F_1$  : (5.9) 式と同じ

$L$  : トラニオン固定ボルト間距離 (mm)

$Z$  : トラニオン固定金具の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ハ. 組合せ応力

せん断応力 ( $\tau$ ) と曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) との組合せ応力 ( $\sigma_T$ ) は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.12)$$

ここで、 $\tau$  : (5.10) 式と同じ

$\sigma_b$  : (5.11) 式と同じ

(b) 一次+二次応力

イ. せん断応力

地震力によるせん断応力 ( $\tau$ ) の全振幅は、(5.10) 式で求めたせん断応力 ( $\tau$ ) の 2 倍とする。

ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) の全振幅は、(5.11) 式で求めた曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) の 2 倍とする。

d. 架台固定ボルト

架台固定ボルト及び貯蔵架台脚部に作用する荷重の計算モデルを第 5-4 図に示す。

(a) 引張応力

架台固定ボルトに作用する引張力 ( $F_{1b}$ ) により架台固定ボルトに生じる引張応力 ( $\sigma_t$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_t = \frac{F_{1b}}{A} \dots\dots\dots (5.13)$$

ここで、 $A$  : 架台固定ボルト (M56) の断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$$F_{1b} = \frac{(m_c \cdot h_1 + m_s \cdot h_2) \cdot G_1 - (m_c + m_s) \cdot G_2}{2 \cdot \left( a_6 + \frac{a_7^2}{a_6} + \frac{a_8^2}{a_6} + \frac{a_9^2}{a_6} \right)} \dots\dots\dots (5.14)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 - C_V) \cdot G$$

$G_1$  : 水平方向加速度 ( $\text{m/s}^2$ )

$G_2$  : 鉛直方向加速度 ( $\text{m/s}^2$ )

$C_H$  : a. (a)ロ. と同じ

$C_V$  : a. (a)イ. と同じ

$G$  : a. (a)イ. と同じ

$m_c$  : a. (a)イ. と同じ

$m_s$  : a. (a)イ. と同じ

$h_1$  : 床面から金属キャスク重心までの高さ (mm)

$h_2$  : 床面から貯蔵架台本体重心までの高さ (mm)

$a_6$  : 金属キャスク中心から架台固定ボルト(A)までの距離 (第 5-4 図) (mm)

$a_7$  : 金属キャスク中心から架台固定ボルト(B)までの距離 (第 5-4 図)

(mm)

$a_8$  : 金属キャスク中心から架台固定ボルト(C)までの距離 (第5-4図)

(mm)

$a_9$  : 金属キャスク中心から架台固定ボルト(D)までの距離 (第5-4図)

(mm)

$n$  : 架台固定ボルトの本数

(b) せん断応力

水平力 ( $F_H$ ) により架台固定ボルトに発生するせん断応力 ( $\tau$ ) は、次式で計算する。

$$\tau = \frac{F_H}{n \cdot A} \dots\dots\dots (5.15)$$

ここで、 $n$  : (a)と同じ

$A$  : (a)と同じ

架台固定ボルトに作用する最大水平力 ( $F_H$ ) は、次式で計算する。

$$F_H = (m_c + m_s) \cdot G_1 \dots\dots\dots (5.16)$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

$C_H$  : a. (a)口. と同じ

$m_c$  : a. (a)イ. と同じ

$m_s$  : a. (a)イ. と同じ

e. 貯蔵架台脚部

(a) 圧縮応力

鉛直方向加速度により発生する圧縮応力 ( $\sigma_c$ ) は、次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{F_{1c}}{A_1} \dots\dots\dots (5.17)$$

ここで、

$$F_{1c} = \frac{(m_c \cdot h_1 + m_s \cdot h_2) \cdot G_1}{2 \cdot \left( a_6 + \frac{A_2 a_7^2}{A_1 a_6} + \frac{A_3 a_8^2}{A_1 a_6} + \frac{A_2 a_9^2}{A_1 a_6} \right)} + \frac{(m_c + m_s) \cdot G_2}{\frac{A_{a11}}{A_1}}$$

$G_1 = C_H \cdot G$

$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

$G_1$  : 水平方向加速度 ( $m/s^2$ )

$G_2$  : 鉛直方向加速度 ( $m/s^2$ )

$C_H$  : a. (a)口. と同じ

$C_V$  : a. (a)イ. と同じ

$G$  : a. (a)イ. と同じ

$m_c$  : a. (a)イ. と同じ

$m_s$  : a. (a)イ. と同じ

$h_1$  : d. (a)と同じ

- $h_2$  : d. (a)と同じ
- $a_6$  : d. (a)と同じ
- $a_7$  : d. (a)と同じ
- $a_8$  : d. (a)と同じ
- $a_9$  : d. (a)と同じ
- $A_1$  : 貯蔵架台脚部 (A) 面積(mm<sup>2</sup>)
- $A_2$  : 貯蔵架台脚部 (B) (D) 面積(mm<sup>2</sup>)
- $A_3$  : 貯蔵架台脚部 (C) 面積(mm<sup>2</sup>)
- $A_{all}$  : 貯蔵架台脚部総面積(mm<sup>2</sup>)

f. ボス

ボス及び基礎ボルトに作用する荷重の計算モデルを第5-5図に示す。

(a) 引張応力

架台固定ボルトに作用する引張力 ( $F_{1b}$ ) によりボスに作用する引張荷重 ( $p$ ) は次式により計算する。

$$p = F_{1b} \dots\dots\dots (5.18)$$

ここで,  $F_{1b}$  : (5.14) 式と同じ

ボスに作用する引張荷重 ( $p$ ) によりボスに生じる引張応力 ( $\sigma_t$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_t = \frac{p}{A} \dots\dots\dots (5.19)$$

ここで,  $p$  : (5.18) 式と同じ

$A$  : ボスの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(b) せん断応力

架台固定ボルトに作用する水平力 ( $F_H$ ) によりボスに作用するせん断荷重 ( $q$ ) は次式により計算する。

$$q = \frac{F_H}{n} \dots\dots\dots (5.20)$$

ここで,  $F_H$  : (5.16) 式と同じ

$n$  : d. (a)と同じ

ボスに作用するせん断荷重 ( $q$ ) によりボスに生じるせん断応力 ( $\tau$ ) は次式で計算する。

$$\tau = \frac{q}{A} \dots\dots\dots (5.21)$$

ここで,  $q$  : (5.20) 式と同じ

$A$  : (a)と同じ

g. 基礎ボルト

(a) 引張応力

基礎ボルトについては、架台固定ボルトに作用する引張力 ( $F_{1b}$ ) によって架台固定ボルトに作用する引張荷重と等しい引張荷重が基礎ボルトに作用するものとして評価する。基礎ボルトに作用する引張荷重 ( $p$ ) は (5.18) 式により計算する。

ここで、 $F_{1b}$  : (5.14) 式と同じ

基礎ボルトに作用する引張荷重 ( $p$ ) により基礎ボルトに生じる引張応力 ( $\sigma_t$ ) は (5.19) 式で計算する。

ここで、 $p$  : (5.18) 式と同じ

$A$  : 基礎ボルト (M56) の断面積 ( $\text{mm}^2$ )

(b) せん断応力

基礎ボルトについては、架台固定ボルトに作用する水平力 ( $F_H$ ) によって生じる架台固定ボルトのせん断荷重と等しいせん断荷重が基礎ボルトに作用するものとして評価する。基礎ボルトに作用するせん断荷重 ( $q$ ) は (5.20) 式により計算する。

ここで、 $F_H$  : (5.16) 式と同じ

$n$  : d. (a) と同じ

基礎ボルトに作用するせん断荷重 ( $q$ ) により基礎ボルトに生じるせん断応力 ( $\tau$ ) は (5.21) 式で計算する。

ここで、 $q$  : (5.20) 式と同じ

$A$  : (a) と同じ

h. コンクリート部

(a) 基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価

(5.18) 式で計算される基礎ボルトに作用する引張荷重 ( $p$ ) が、第 5-9 表に示すコンクリート部の引張荷重に対する許容値以下となることを確認する。

(b) 基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価

(5.20) 式で計算される基礎ボルトに作用するせん断荷重 ( $q$ ) が、第 5-9 表に示すコンクリート部のせん断荷重に対する許容値以下となることを確認する。

(c) 基礎ボルトが引張、せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価

(5.18) 式で計算される基礎ボルトに作用する引張荷重 ( $p$ ) 及び (5.20) 式で計算される基礎ボルトに作用するせん断荷重 ( $q$ ) が、第 5-9 表に示すコンクリート部の引張荷重及びせん断荷重の組合せに対する許容値以下となることを確認する。

#### 5.4.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認結果

貯蔵架台の各評価点における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価は、「資料5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」の4章に基づき評価する。影響評価の具体的手法は「添付5-3-1 金属キャスクの耐震性に関する計算書（BWR用大型キャスク（タイプ2A）」の5.4.7項と同様である。

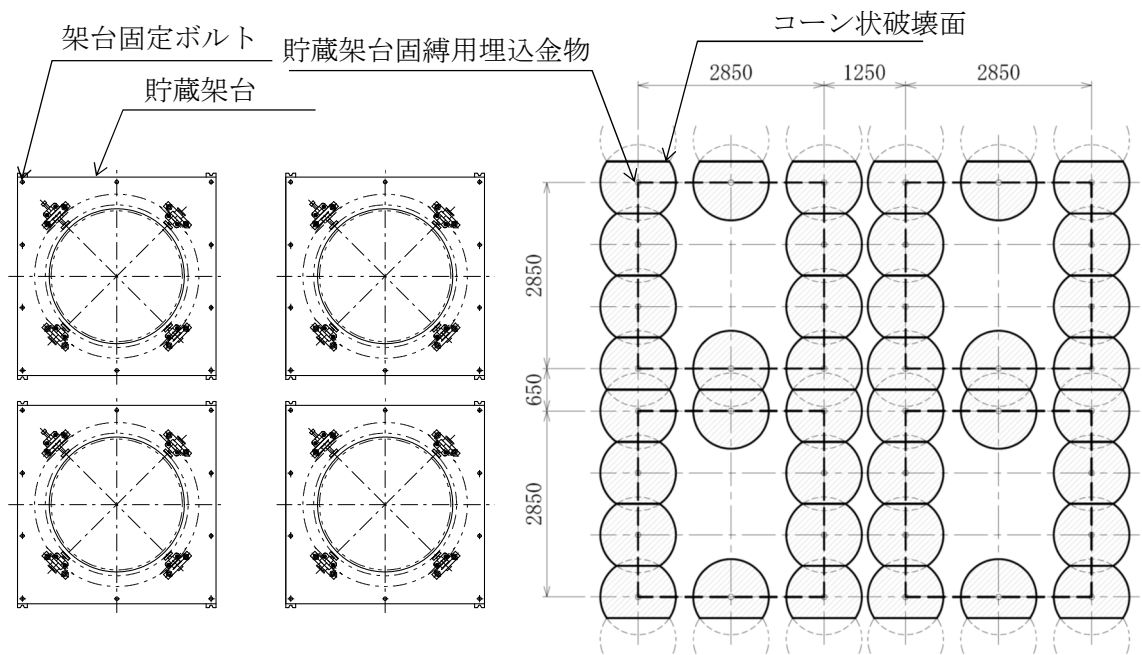
#### 5.5 応力評価条件

貯蔵架台の設計震度を第5-11表に示す。また、貯蔵架台の各評価箇所の評価条件を第5-12表から第5-18表に示す。

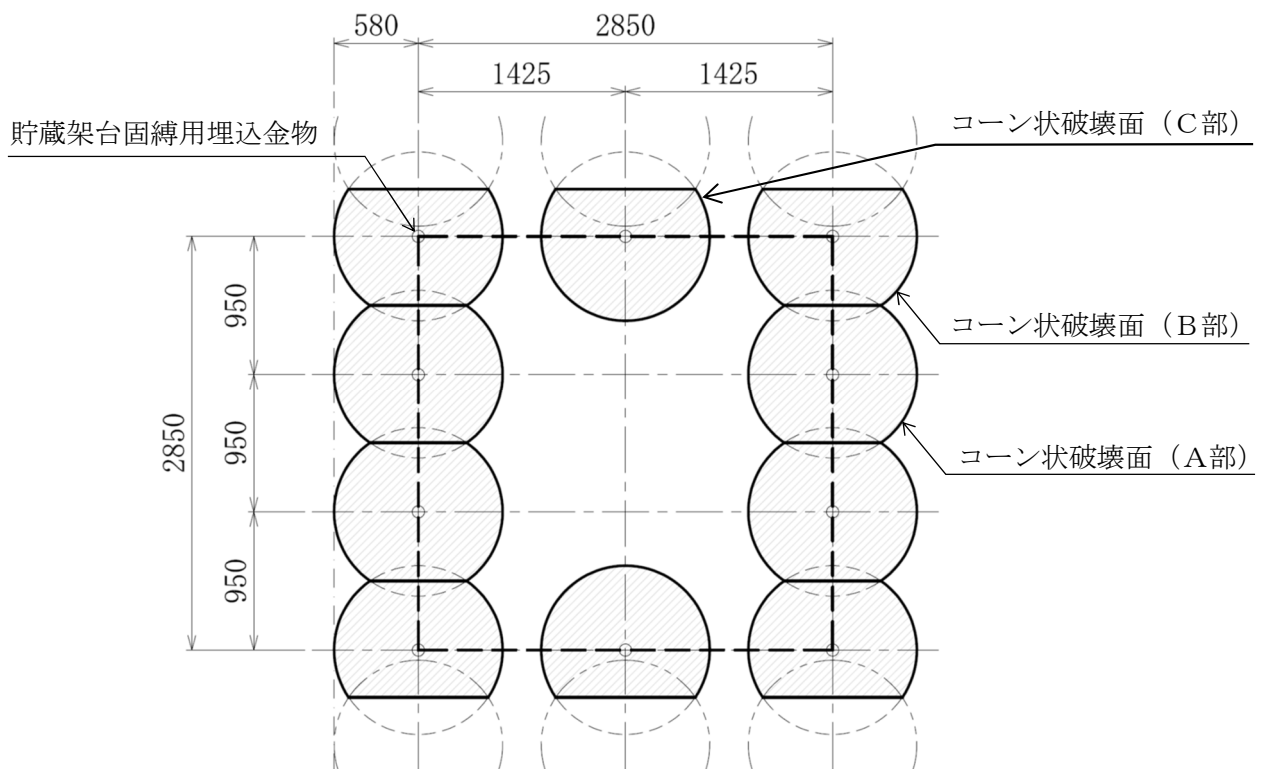
#### 5.6 評価結果

貯蔵架台の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。評価結果を第5-19表に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、各評価点の応力の種類における許容応力に対する計算値の裕度を第5-20表に、コンクリート部の許容値に対する計算値の裕度を第5-21表に示す。評価対象となる部位のうち、トラニオン固定金具、コンクリート部については許容応力及び許容値に対する計算値の裕度が1.5より小さくなるため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響について詳細評価を実施した。トラニオン固定金具の応力計算及びコンクリート部の荷重計算は5.4.1項と同様である。ただし、水平方向設計震度 $C_H (=1.69)$ 、鉛直方向設計震度 $C_V (=0.69)$ とした。評価結果を第5-22表及び第5-23表に示す。トラニオン固定金具及びコンクリート部の計算値は許容基準値を満足する。

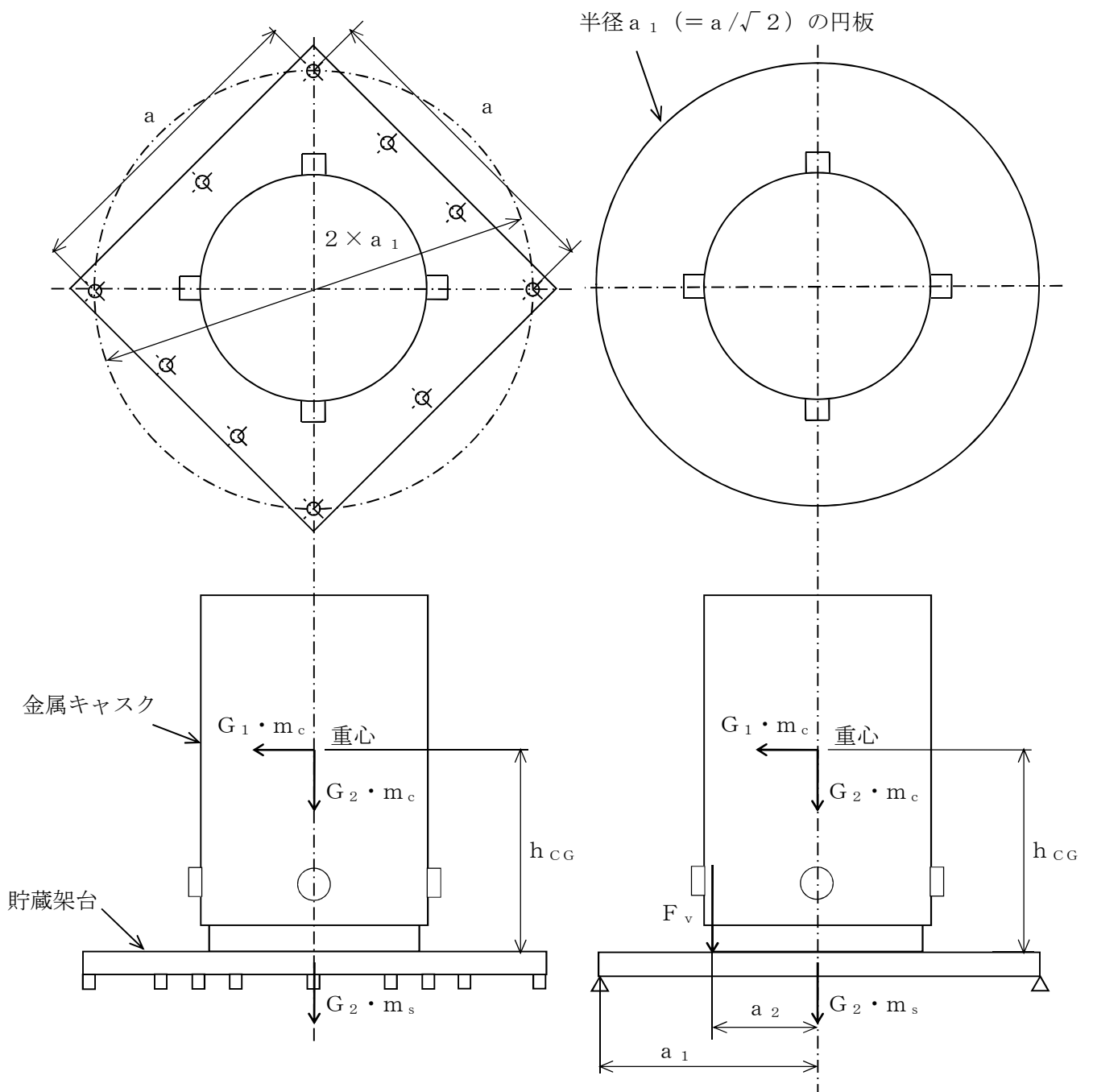


貯蔵架台固縛用埋込金物及びコーン状破壊面の近接する貯蔵架台との関係図



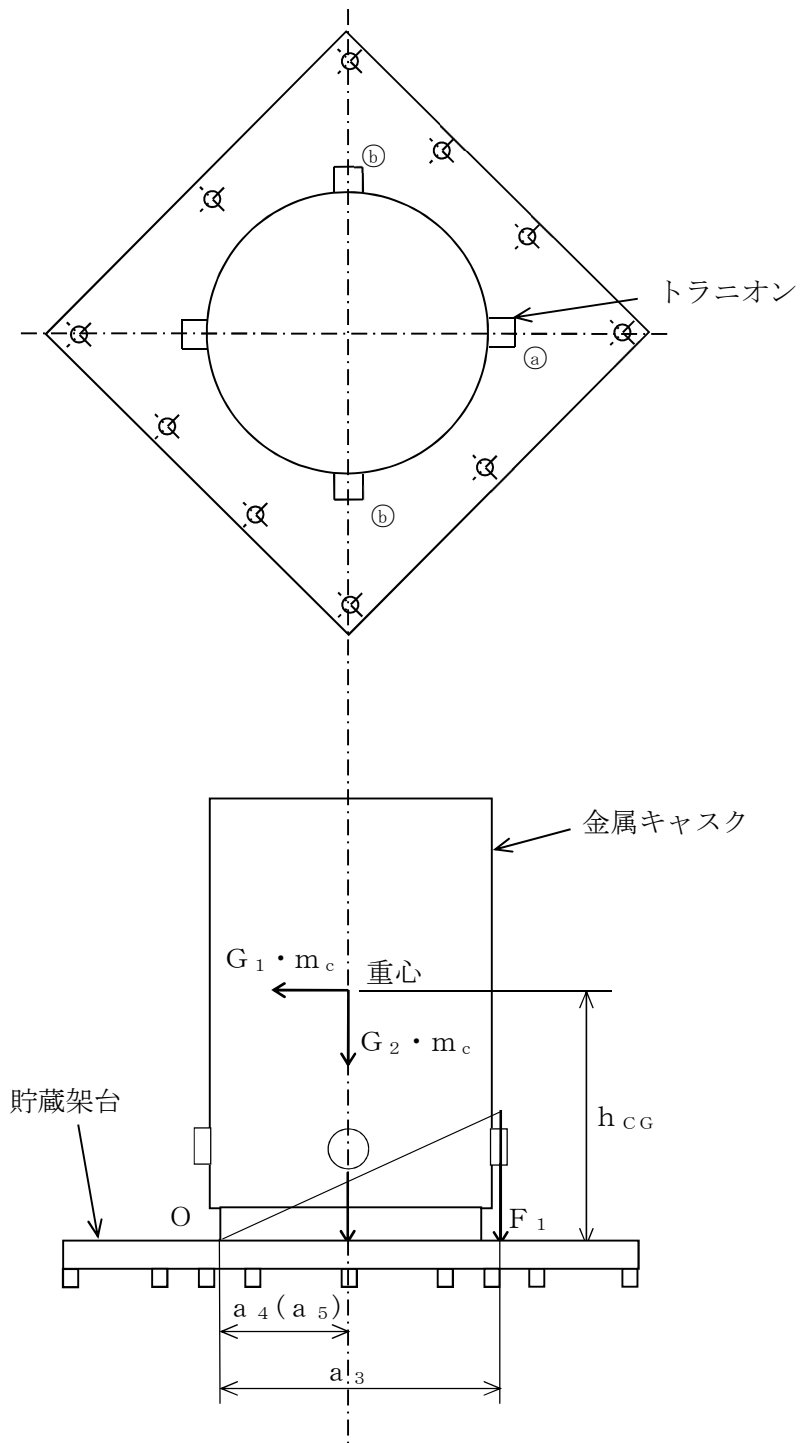
貯蔵架台固縛用埋込金物及びコーン状破壊面の拡大図 (金属キャスク 1 基分)

第 5-1 図 貯蔵架台固縛用埋込金物の配置及びコーン状破壊面の有効投影断面積の評価概念図



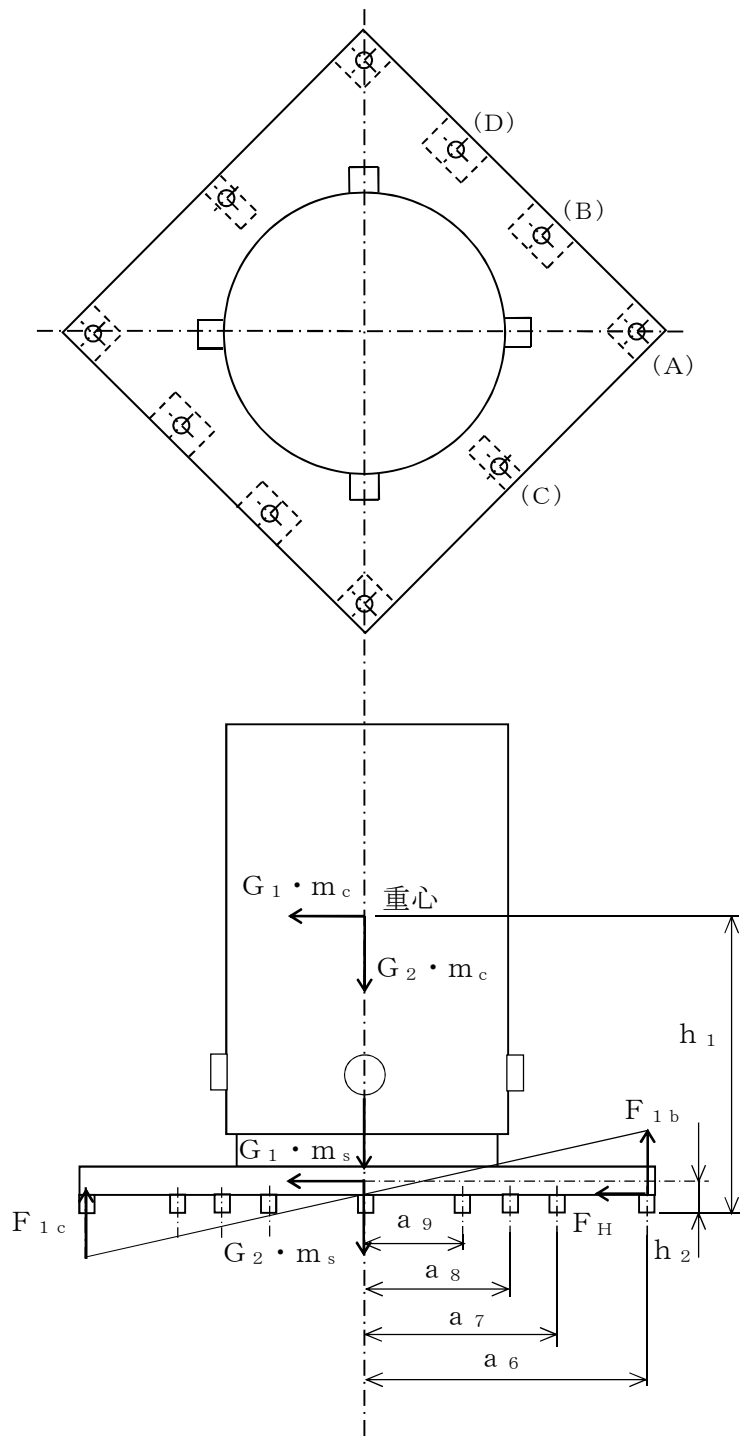
第5-2図 貯蔵架台本体に作用する荷重の計算モデル



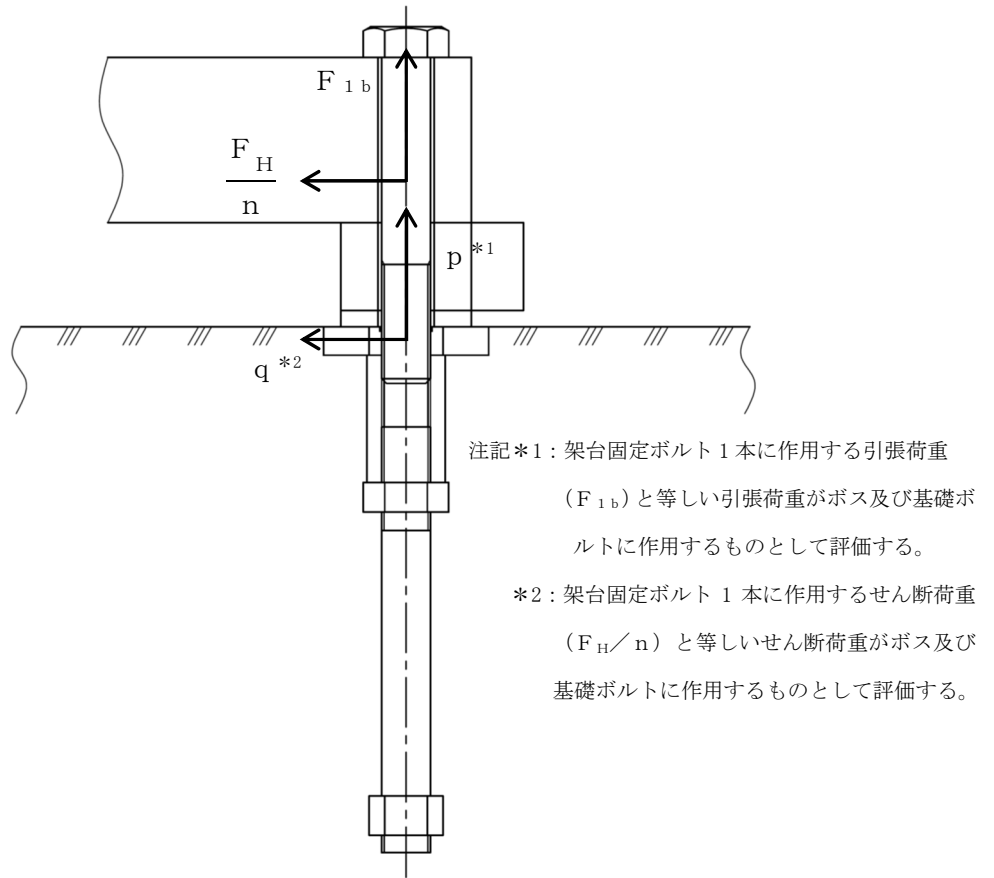


Ⓐ, Ⓑ : 固縛装置番号

第5-3図 トラニオン固定ボルトに作用する荷重の計算モデル



第 5-4 図 架台固定ボルト及び貯蔵架台脚部に作用する荷重の計算モデル



第5-5図 ボス及び基礎ボルトに作用する荷重の計算モデル

第5-1表 貯蔵架台の荷重の種類とその組合せ

設計事象			自重による荷重	熱荷重 *1	地震荷重
供用 状態	評価事象				
$I + S_d^*$	$C_s$	$S_d^*$ 地震力が作用する場合	○	○	○
$I + S_s$	$D_s$	$S_s$ 地震力が作用する場合	○	○	○

注記\*1：キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

第5-2表 貯蔵架台用材料（貯蔵架台本体及び脚部）の許容応力値(1/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類 *1		許容応力値	
			炭素鋼	
			貯蔵架台本体 貯蔵架台脚部	許容値基準
			SGV480	
供用状態 Cs	一次 応力	引張応力	234	1.5 f <sub>t</sub>
		圧縮応力	234	1.5 f <sub>c</sub>
		せん断応力	135	1.5 f <sub>s</sub>
		曲げ応力	234	1.5 f <sub>b</sub>
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub>
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	468	3 f <sub>t</sub>
		せん断応力 *2	270	3 f <sub>s</sub>
		曲げ応力 *2	468	3 f <sub>b</sub>
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub>
		座屈応力	—	1.5 f <sub>b</sub> , 1.5 f <sub>s</sub> 又は 1.5 f <sub>c</sub>

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力（σ）とせん断応力（τ）を組み合わせた応力（σ<sub>T</sub>）は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c + c\sigma_b}{f_c} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、Csの一次応力の場合、分母のf<sub>c</sub>、f<sub>b</sub>、f<sub>t</sub>は1.5f<sub>c</sub>、1.5f<sub>b</sub>、1.5f<sub>t</sub>とする。

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

第 5-2 表 貯蔵架台用材料（貯蔵架台本体及び脚部）の許容応力値 (2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値	
			炭素鋼	
			貯蔵架台本体 貯蔵架台脚部	許容値基準
			SGV480	
供用状態 Ds	*1 一次応力	引張応力	281	1.5 f <sub>t</sub> *
		圧縮応力	281	1.5 f <sub>c</sub> *
		せん断応力	162	1.5 f <sub>s</sub> *
		曲げ応力	281	1.5 f <sub>b</sub> *
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub> *
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	562	3 f <sub>t</sub>
		せん断応力 *2	324	3 f <sub>s</sub>
		曲げ応力 *2	562	3 f <sub>b</sub>
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub> *
		座屈応力	—	1.5 f <sub>b</sub> , 1.5 f <sub>s</sub> 又は 1.5 f <sub>c</sub>

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 ( $\sigma$ ) とせん断応力 ( $\tau$ ) を組み合わせた応力 ( $\sigma_T$ ) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{c\sigma_b}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{1.5f_b^*} \leq 1$$

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

第5-3表 貯蔵架台用材料（トラニオン固定金具）の許容応力値(1/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値	
			ステンレス鋼	
			トラニオン固定金具	許容値基準
			SUS630 H1150	
供用状態 Cs	*1 一次 応力	引張応力	591	1.5 f <sub>t</sub>
		圧縮応力	—	1.5 f <sub>c</sub>
		せん断応力	341	1.5 f <sub>s</sub>
		曲げ応力	591	1.5 f <sub>b</sub>
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub>
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 *2	1182	3 f <sub>t</sub>
		せん断応力 *2	682	3 f <sub>s</sub>
		曲げ応力 *2	1182	3 f <sub>b</sub>
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub>
		座屈応力	—	1.5 f <sub>b</sub> , 1.5 f <sub>s</sub> 又は 1.5 f <sub>c</sub>

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力（ $\sigma$ ）とせん断応力（ $\tau$ ）を  
組み合わせた応力（ $\sigma_T$ ）は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c + c\sigma_b}{f_c} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、Csの一次応力の場合、分母の  $f_c$ ,  $f_b$ ,  $f_t$  は  
 $1.5 f_c$ ,  $1.5 f_b$ ,  $1.5 f_t$  とする。

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

第5-3表 貯蔵架台用材料（トラニオン固定金具）の許容応力値(2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値	
			ステンレス鋼	
			トラニオン固定金具	許容値基準
			SUS630 H1150	
供用状態 Ds	* <sub>1</sub> 一次 応力	引張応力	591	1.5 f <sub>t</sub> *
		圧縮応力	—	1.5 f <sub>c</sub> *
		せん断応力	341	1.5 f <sub>s</sub> *
		曲げ応力	591	1.5 f <sub>b</sub> *
		支圧応力	—	1.5 f <sub>p</sub> *
		一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力 * <sub>2</sub>	1182
せん断応力 * <sub>2</sub>	682		3 f <sub>s</sub>	
曲げ応力 * <sub>2</sub>	1182		3 f <sub>b</sub>	
支圧応力	—		1.5 f <sub>p</sub> *	
座屈応力	—		1.5 f <sub>b</sub> , 1.5 f <sub>s</sub> 又は 1.5 f <sub>c</sub>	

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力（σ）とせん断応力（τ）を  
組み合わせた応力（σ<sub>T</sub>）は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{c\sigma_b}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{1.5f_b^*} \leq 1$$

\*2：地震力のみによる全振幅について評価する。



第5-4表 貯蔵架台用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類 *1	許容応力値	
		低合金鋼	
		トラニオン固定ボルト 架台固定ボルト	許容値基準
		SNB23-3	
供用状態 Cs	引張応力	478	$1.5 f_t$
	せん断応力	368	$1.5 f_s$
供用状態 Ds	引張応力	478	$1.5 f_t^*$
	せん断応力	368	$1.5 f_s^*$

注記\*1：組合せ応力が考えられる場合の許容引張応力値は、次の2つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_T = f_t$$

ここで、 $\tau$ ：ボルトに発生するせん断応力 (MPa)

ただし、Csの場合、 $f_t$ は $1.5 f_t$ とする。Dsの場合、 $f_t$ は $1.5 f_t^*$ とする。

第 5-5 表 貯蔵架台固縛用埋込金物用材料（ボルト用材料）の許容応力値

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類 *1	許容応力値	
		低合金鋼	
		ボス 基礎ボルト	許容値基準
		SCM435	
供用状態 Cs	引張応力	456	$1.5 f_t$
	せん断応力	351	$1.5 f_s$
供用状態 Ds	引張応力	456	$1.5 f_t^*$
	せん断応力	351	$1.5 f_s^*$

注記\*1：組合せ応力が考えられる場合の許容引張応力値は、次の2つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とする。

$$f_T = 1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_T = f_t$$

ここで、 $\tau$ ：ボルトに発生するせん断応力 (MPa)

ただし、Cs の場合、 $f_t$  は  $1.5 f_t$  とする。Ds の場合、 $f_t$  は  $1.5 f_t^*$  とする。

第5-6表 コーン状破壊及び支圧破壊各々の引張耐力の低減係数

供用状態	コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 ( $K_1$ )	支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 ( $K_2$ )
供用状態 Cs	0.45	2/3
供用状態 Ds	0.6	0.75

第5-7表 コーン状破壊面の有効投影断面積及び支圧面積と有効投影断面積から定まる係数

部位	コーン状破壊面の有効投影断面積 ( $A_c$ ) ( $\text{mm}^2$ )	支圧面積と有効投影断面積から定まる係数 ( $\alpha$ ) (-)
A	$9.618 \times 10^5$	10
B	$8.371 \times 10^5$	10
C	$8.845 \times 10^5$	10

第5-8表 せん断耐力の低減係数

供用状態	複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数 ( $K_3$ )
供用状態 Cs	0.6
供用状態 Ds	0.8

第5-9表 コンクリート部の許容荷重値

供用状態	荷重の種類		
	引張荷重*1 (N)	せん断荷重 (N)	引張荷重及びせん断荷重の 組合せ (-)
供用状態 Cs	$6.708 \times 10^5$	$5.192 \times 10^5$	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$
供用状態 Ds	$8.944 \times 10^5$	$6.923 \times 10^5$	

注記\*1：コーン状破壊面の有効投影断面積が最も小さくなり，許容引張荷重が最も厳しくなる  
第5-1図のB部がコーン状破壊する場合の許容引張荷重値とする。

第5-10表 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		設計震度		最高使用温度(°C)
					弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	
金属キャスク	S	使用済燃料貯蔵建屋 T.P. 16.30* <sup>1</sup>	水平方向	$T_H=0.080$	$C_H=0.72$	$C_H=1.40$	150
			鉛直方向	$T_V=0.023$	$C_V=0.37$	$C_V=0.87$	
貯蔵架台			同上				130

注記\*1：基準床レベルを示す。

第5-11表 設計震度

評価事象	方向	記号	設計震度
S <sub>d</sub> *地震力が作用する場合	水平	C <sub>H</sub>	0.72
	鉛直	C <sub>V</sub>	0.37
S <sub>s</sub> 地震力が作用する場合	水平	C <sub>H</sub>	1.40
	鉛直	C <sub>V</sub>	0.87

第5-12表 貯蔵架台本体の応力評価条件

項目	記号	単位	数値
重力加速度	G	m/s <sup>2</sup>	9.80665
キャスク底面直径円周部の断面積	A	mm <sup>2</sup>	1.182×10 <sup>6</sup>
金属キャスクの質量	m <sub>c</sub>	kg	118300
貯蔵架台の質量	m <sub>s</sub>	kg	15000
ポアソン比	ν	—	0.3
金属キャスク中心から最外周ボルトまでの距離	a <sub>1</sub>	mm	2015.3
キャスク底面半径	a <sub>2</sub>	mm	990
架台厚さ	t	mm	190
係数	β	—	1.539
金属キャスク底面から重心までの高さ	h <sub>CG</sub>	mm	2672

第5-13表 トラニオン固定ボルトの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
固縛装置1組当たりのトラニオン固定ボルトの本数	$n_t$	—	2
トラニオン固定ボルト (M52) の断面積	A	mm <sup>2</sup>	$2.124 \times 10^3$
支点Oから固縛装置㊸のトラニオン固定金具中心までの距離	$a_3$	mm	2288
支点Oから固縛装置㊹のトラニオン固定金具中心までの距離	$a_4$	mm	990
支点Oから金属キャスク中心までの距離	$a_5$	mm	990

第5-14表 トラニオン固定金具の応力評価条件

項目	記号	単位	数値
トラニオン固定金具の断面積	A	mm <sup>2</sup>	$1.330 \times 10^4$
トラニオン固定ボルト間距離	L	mm	360
トラニオン固定金具の断面係数	Z	mm <sup>3</sup>	$2.948 \times 10^5$

第5-15表 架台固定ボルトの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
架台固定ボルト (M56) の断面積	A	mm <sup>2</sup>	$2.463 \times 10^3$
床面から金属キャスク重心までの高さ	$h_1$	mm	2982
床面から貯蔵架台本体重心までの高さ	$h_2$	mm	215
金属キャスク中心から架台固定ボルト(A)までの距離	$a_6$	mm	2015.3
金属キャスク中心から架台固定ボルト(B)までの距離	$a_7$	mm	1343.5
金属キャスク中心から架台固定ボルト(C)までの距離	$a_8$	mm	1007.6
金属キャスク中心から架台固定ボルト(D)までの距離	$a_9$	mm	671.8
架台固定ボルトの本数	n	—	10

第5-16表 貯蔵架台脚部の応力評価条件

項目	記号	単位	数値
貯蔵架台脚部 (A) 面積	$A_1$	$\text{mm}^2$	$1.887 \times 10^4$
貯蔵架台脚部 (B) (D) 面積	$A_2$	$\text{mm}^2$	$1.887 \times 10^4$
貯蔵架台脚部 (C) 面積	$A_3$	$\text{mm}^2$	$1.137 \times 10^4$
貯蔵架台脚部総面積	$A_{\text{all}}$	$\text{mm}^2$	$1.737 \times 10^5$

第5-17表 ボスの応力評価条件

項目	記号	単位	数値
ボスの断面積	A	$\text{mm}^2$	$3.218 \times 10^3$

第5-18表 基礎ボルトの荷重評価条件

項目	記号	単位	数値
基礎ボルト (M56) の断面積	A	$\text{mm}^2$	$2.463 \times 10^3$



第 5-19 表 (1) 評価結果

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次応力			一次+二次応力		
			計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力
貯蔵架台 本体	炭素鋼 (SGV480)	供用状態 C <sub>s</sub>	76	①	234	151	①	468
		供用状態 D <sub>s</sub>	131	①	281	261	①	562

第 5-19 表 (2) 評価結果

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次応力			一次+二次応力		
			計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力
トラニオン 固定金具	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	供用状態 C <sub>s</sub>	150	②	591	293	②	1182
		供用状態 D <sub>s</sub>	416	②	591	814	②	1182

第 5-19 表 (3) 評価結果

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	引張応力			せん断応力			組合せ応力		
			計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力
トラニオン 固定ボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	供用状態 C <sub>s</sub>	113	③	478	—	—	—	—	—	—
		供用状態 D <sub>s</sub>	314	③	478	—	—	—	—	—	—
架台固定 ボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	供用状態 C <sub>s</sub>	107	④	478	39	④	368	107	④	478
		供用状態 D <sub>s</sub>	266	④	478	75	④	368	266	④	478

第 5-19 表 (4) 評価結果

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	圧縮応力		
			計算値	評価点 (面)	許容 応力
貯蔵架台 脚部	炭素鋼 (SGV480)	供用状態 C <sub>s</sub>	30	⑤	234
		供用状態 D <sub>s</sub>	52	⑤	281

第 5-19 表 (5) 評価結果

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	引張応力			せん断応力			組合せ応力		
			計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力	計算値	評価点 (面)	許容 応力
ボス	低合金鋼 (SCM435)	供用状態 C <sub>s</sub>	82	⑥	456	30	⑥	351	82	⑥	456
		供用状態 D <sub>s</sub>	204	⑥	456	57	⑥	351	204	⑥	456
基礎ボルト	低合金鋼 (SCM435)	供用状態 C <sub>s</sub>	107	⑦	456	39	⑦	351	107	⑦	456
		供用状態 D <sub>s</sub>	266	⑦	456	75	⑦	351	266	⑦	456

第 5-19 表 (6) 評価結果

部 位	供用状態	引張荷重 (N)		せん断荷重 (N)		引張荷重及びせん断荷重の組合せ (一)	
		計算値	許容荷重	計算値	許容荷重	計算値	許容値
コンクリート部	供用状態 Cs	$2.631 \times 10^5$	$6.708 \times 10^5$	$9.412 \times 10^4$	$5.192 \times 10^5$	0.19	1
	供用状態 Ds	$6.547 \times 10^5$	$8.944 \times 10^5$	$1.831 \times 10^5$	$6.923 \times 10^5$	0.61	1

第5-20表 貯蔵架台の応力評価（供用状態Ds）（1/2）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類	計算値	評価点 (面)	許容応力	裕度*2	
貯蔵架台本体	一次応力	せん断応力	2	①	162	81.00
		曲げ応力	131	①	281	2.14
		組合せ応力	131	①	281	2.14
	一次+二次応力 *1	せん断応力	5	①	324	64.80
		曲げ応力	261	①	562	2.15
トラニオン 固定金具	一次応力	せん断応力	50	②	341	6.82
		曲げ応力	407	②	591	1.45
		組合せ応力	416	②	591	1.42
	一次+二次応力 *1	せん断応力	101	②	682	6.75
		曲げ応力	814	②	1182	1.45
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	314	③	478	1.52
架台固定ボルト	—	引張応力	266	④	478	1.79
		せん断応力	75	④	368	4.90
		組合せ応力	266	④	478	1.79
貯蔵架台脚部	—	圧縮応力	52	⑤	281	5.40

注記\*1：地震力のみによる全振幅について評価する。

\*2：許容応力に対する計算値の裕度

第5-20表 貯蔵架台の応力評価（供用状態Ds）（2/2）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力	裕度*1
ボス	—	引張応力	204	⑥	456	2.23
		せん断応力	57	⑥	351	6.15
		組合せ応力	204	⑥	456	2.23
基礎ボルト	—	引張応力	266	⑦	456	1.71
		せん断応力	75	⑦	351	4.68
		組合せ応力	266	⑦	456	1.71

注記\*1：許容応力に対する計算値の裕度

第5-21表 コンクリート部の荷重評価（供用状態Ds）

荷重の種類	計算値	許容値	裕度*1
引張荷重 (N)	$6.547 \times 10^5$	$8.944 \times 10^5$	1.36
せん断荷重 (N)	$1.831 \times 10^5$	$6.923 \times 10^5$	3.78
引張荷重及びせん断荷重の 組合せ (-)	0.61	1	1.28*2

注記\*1：許容値に対する計算値の裕度

\*2：引張荷重及びせん断荷重の組合せの計算値は次式による。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2$$

ここで、 $p_a$ ：引張荷重のみに対する基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)

$q_a$ ：せん断荷重のみに対する基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)

$p$ ：基礎ボルト1本当たりの引張荷重 (N)

$q$ ：基礎ボルト1本当たりのせん断荷重 (N)

引張、せん断の組合せ荷重の裕度は、計算値を許容値の1と等しくさせるために必要となる引張荷重 ( $p$ ) とせん断荷重 ( $q$ ) の計算値の増倍率を裕度とする。

第5-22表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の詳細評価結果  
(トラニオン固定金具)

(単位：MPa)

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力*2
トラニオン 固定金具	一次応力	せん断応力	59	②	341
		曲げ応力	474	②	591
		組合せ応力	485	②	591
	一次+二次応力 *1	せん断応力	117	②	682
		曲げ応力	948	②	1182

注記\*1：地震力のみによる全振幅について評価する。

\*2：供用状態Dsの許容応力

第5-23表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の詳細評価結果  
(コンクリート部)

荷重の種類	計算値	許容値*1
引張荷重 (N)	$7.703 \times 10^5$	$8.944 \times 10^5$
せん断荷重 (N)	$2.210 \times 10^5$	$6.923 \times 10^5$
引張荷重及びせん断荷重の 組合せ (-)	0.85	1

注記\*1：供用状態D<sub>s</sub>の許容値



添付 5-5 受入れ区域天井クレーンの耐震性に関する説明書

添付 5-5-1 受入れ区域天井クレーンの耐震性に関する計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 計算条件	3
3.1 計算条件	3
3.2 記号の説明	5
3.3 数値の丸め方	10
4. 計算方法	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.1.1 走行方向 (EW 方向)	11
4.1.2 横行方向 (NS 方向)	11
4.1.3 鉛直方向 (UD 方向)	11
4.1.4 断面形状	12
4.2 応力の計算方法	14
4.2.1 クレーン本体ガーダの応力	14
4.2.2 脱線防止ラグの応力	17
4.2.3 トロリストッパの応力	18
4.2.4 走行レールの応力	21
4.2.5 横行レールの応力	25
5. 評価方法	29
5.1 固有周期の評価	29
5.2 応力の評価	29
5.2.1 クレーン本体ガーダの応力評価	29
5.2.2 脱線防止ラグの応力評価	29
5.2.3 トロリストッパの応力評価	30
5.2.4 走行及び横行レールの応力評価	31
6. 設計条件	32
7. 機器要目	33
8. 計算数値	34
8.1 クレーン本体ガーダに生じる応力	34
8.2 脱線防止ラグに生じる応力	34
8.3 トロリストッパに生じる応力	34
8.4 走行レールウェブに生じる応力	34
8.5 横行レールウェブに生じる応力	34
9. 評価結果及び結論	35
9.1 固有周期	35
9.2 応力	35

10. 安全検討	36
10.1 一般事項	36
10.2 計算条件	36
10.3 計算方法	36
10.3.1 固有周期の計算方法	36
10.3.2 応力の計算方法	36
10.3.2.1 クレーン本体ガーダの応力	36
10.3.2.2 脱線防止ラグの応力	38
10.3.2.3 トロリストッパの応力	38
10.3.2.4 走行レールの応力	38
10.3.2.5 横行レールの応力	40
10.4 評価方法	43
10.4.1 固有周期の評価	43
10.4.2 応力の評価	43
10.5 設計条件	46
10.6 機器要目	47
10.7 計算数値	48
10.7.1 クレーン本体ガーダに生じる応力	48
10.7.2 脱線防止ラグに生じる応力	48
10.7.3 トロリストッパに生じる応力	48
10.7.4 走行レールウェブに生じる応力	48
10.7.5 横行レールウェブに生じる応力	48
10.8 評価結果及び結論	49
10.8.1 固有周期	49
10.8.2 応力	49

## 図表目次

第3-1図	モデル図	4
第4-1図	ガーダ中央部モデル図	12
第4-2図	ガーダ端部モデル図	13
第4-3図	トロリがガーダ中央部にある場合	16
第4-4図	トロリがガーダ端部にある場合	16
第4-5図	脱線防止ラグモデル図（水平方向）	17
第4-6図	トロリストoppaモデル図（水平方向）	18
第4-7図	トロリストoppaモデル図（鉛直方向）	19
第4-8図	荷重状態	21
第4-9図	走行レール伝達幅モデル図	23
第4-10図	走行レール伝達幅鳥瞰図	24
第4-11図	荷重状態	25
第4-12図	横行レール伝達幅モデル図	27
第4-13図	横行レール伝達幅鳥瞰図	28
第10-1図	荷重状態	38
第3-1表	記号の説明	5
第3-2表	表示する数値の丸め方	10

## 1. 概要

本計算書は、受入れ区域天井クレーン（以下「クレーン」という。）の耐震性についての計算方法と計算結果を示すものである。

## 2. 適用基準

クレーンの耐震評価については、クレーン構造規格（平成 7 年 12 月 26 日 労働省告示第 134 号）を適用し、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）（日本電気協会 電気技術基準調査会 昭和 62 年 8 月）に準ずる。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算条件

##### (1) 走行方向 (EW 方向) 水平力

- a. クレーンは、走行レール上に乗っているだけで、建屋とは固定されていないので、走行方向 (EW 方向) の水平力がクレーンに加わっても、クレーンはレール上をすべるだけで、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- b. クレーンの走行車輪は 8 個であり、そのうちの 2 個は駆動輪、他の 6 個が従動輪である。
- c. 駆動輪は、電動機、減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加われば、レール上をすべる。
- d. 従動輪は回転部分が連結されていないので、駆動輪のみで水平力を受ける。
- e. 最大静止摩擦係数を  $\mu=0.3$  とする。したがって、クレーン本体ガーダ (以下「ガーダ」という。) の走行方向 (EW 方向) に作用する水平力は、以下に示す本クレーンの最大静止摩擦力より求める。

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{8} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.075$$

##### (2) 横行方向 (NS 方向) 水平力

- a. 横行方向 (NS 方向) は、走行レールに対して直角方向であるため、クレーンは建屋と固定されているものとし、水平力がそのままクレーンに作用する。
- b. トロリは横行レール上に乗っているだけで、ガーダとは固定されていないので、水平力がトロリに加わっても、トロリはレール上をすべるだけで、トロリ自身には、レールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- c. トロリの横行車輪は 4 個であり、そのうちの 2 個は駆動輪、他の 2 個は従動輪である。
- d. 駆動輪は、電動機、減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加われば、レール上をすべる。
- e. トロリ部分は走行方向 (EW 方向) と同様に駆動輪で水平力を受ける。
- f. 最大静止摩擦係数を  $\mu=0.3$  とする。したがって、トロリの横行方向 (NS 方向) に作用する水平力は、以下に示す本クレーンの最大静止摩擦力より求める。

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{4} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

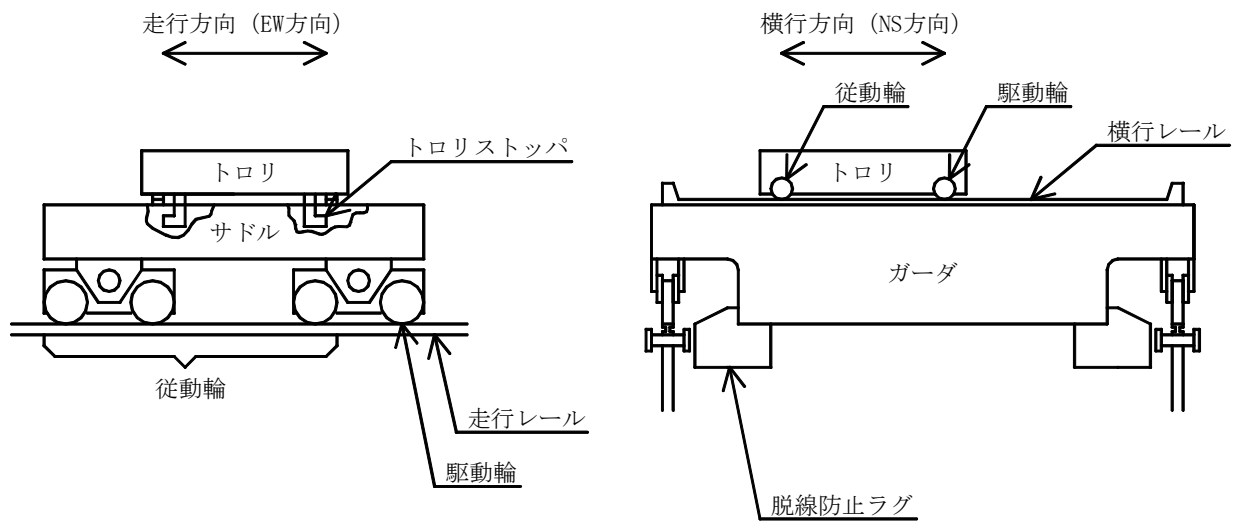


(3) 設置レベル

クレーンレール設置レベルはT.P. +28.7mであることから、T.P. +29.22mの設計用床応答曲線による設計震度を適用する。

(4) 評価部材

評価部材は、走行方向（EW方向）水平力に対しては、ガーダ、トロリストッパ及び横行レールとし、横行方向（NS方向）水平力に対しては、脱線防止ラグ及び走行レールとする。



第3-1図 モデル図

### 3.2 記号の説明

本耐震計算書で使用する記号の説明については第3-1表に示すとおりとする。

第3-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	ガード中央部の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>1</sub>	脱線防止ラグの圧縮応力評価部の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>2</sub>	トロリストッパの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>3</sub>	横行方向 (NS 方向) 水平力に対する走行レールウェブの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>4</sub>	鉛直方向車輪荷重に対する走行レールウェブの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>5</sub>	走行方向 (EW 方向) 水平力に対する横行レールウェブの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>6</sub>	鉛直方向車輪荷重に対する横行レールウェブの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>v</sub>	ガード端部の主桁及び補桁の合計断面積	mm <sup>2</sup>
b	レール直角方向水平力の作用幅	mm
b <sub>1</sub>	鉛直方向車輪荷重の作用幅	mm
b <sub>2</sub>	横行方向 (NS 方向) 水平力の走行レール頭部における伝達幅 (走行レール中心)	mm
b <sub>3</sub>	横行方向 (NS 方向) 水平力の走行レールウェブにおける伝達幅 (走行レール中心)	mm
b <sub>4</sub>	鉛直方向車輪荷重の走行レールウェブにおける伝達幅 (走行レール中心)	mm
b <sub>5</sub>	走行方向 (EW 方向) 水平力の横行レール頭部における伝達幅 (横行レール中心)	mm
b <sub>6</sub>	走行方向 (EW 方向) 水平力の横行レールウェブにおける伝達幅 (横行レール中心)	mm
b <sub>7</sub>	鉛直方向車輪荷重の横行レールウェブにおける伝達幅 (横行レール中心)	mm
C <sub>H</sub>	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度 (EW 方向)	—
C <sub>H1</sub>	水平方向設計震度 (NS 方向)	—
C <sub>H2</sub>	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度 (NS 方向)	—
C <sub>V1</sub>	ガード中央にトロリがある場合の固有周期より求まる鉛直方向設計震度	—
C <sub>V2</sub>	ガード端部にトロリがある場合の固有周期より求まる鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F <sub>1</sub>	脱線防止ラグ 1 個あたりに作用する力	N

記号	記号の説明	単位
$F_2$	トロリストッパ1個あたりに作用する力	N
$F_3$	走行車輪1個あたりの鉛直方向最大車輪荷重	N
$F_4$	走行車輪1個あたりの横行方向(NS方向)水平力	N
$F_5$	横行車輪1個あたりの鉛直方向最大車輪荷重	N
$F_6$	横行車輪1個あたりの走行方向(EW方向)水平力	N
$F_8$	鉛直地震力によるトロリストッパ1個あたりに作用する力	N
$f_c$	脱線防止ラグの許容圧縮応力	MPa
$f_{c3}$	走行及び横行レールウェブの許容圧縮応力	MPa
$f_{c4}$	走行及び横行レールウェブの許容組合せ応力	MPa
$f_s$	材料の許容せん断応力	MPa
$f_{s1}$	トロリストッパの許容せん断応力	MPa
$f_{s2}$	走行及び横行レールウェブの許容せん断応力	MPa
$f_t$	材料の許容引張応力	MPa
$f_{t1}$	トロリストッパの許容引張応力	MPa
$f_{t2}$	トロリストッパの許容組合せ応力	MPa
$f_{t3}$	レール鋼の許容引張応力	MPa
$f_{t4}$	トロリストッパの許容荷重組合せ応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$I_x$	ガーダ中央部のX軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$L_1$	走行レール上面からガーダ部重心位置までの高さ	mm
$L_2$	走行レール上面からトロリ重心位置までの高さ	mm
$L_3$	走行レールウェブから横行方向(NS方向)水平力作用位置までの高さ	mm
$L_4$	横行方向(NS方向)水平力作用位置から走行レール上面までの高さ	mm
$L_5$	トロリストッパ高さ	mm
$L_6$	横行レール上面からトロリ重心位置までの高さ	mm
$L_7$	横行レールウェブから走行方向(EW方向)水平力作用位置までの高さ	mm
$L_8$	走行方向(EW方向)水平力作用位置から横行レール上面までの高さ	mm
$l$	走行レール間距離	mm
$l_1$	トロリがクレーン中央部にある場合の走行レールとトロリ車輪との距離	mm
$l_2$	トロリ車輪間距離	mm
$l_3$	トロリがクレーン端部にある場合の走行レールとトロリ車輪との距離 (走行レール最遠側)	mm

記号	記号の説明	単位
$l_5$	脱線防止ラグの圧縮応力評価部の鉛直材の長さ	mm
$l_6$	トロリストッパ水平材の長さ	mm
$l_7$	走行レール上面のレール中心から端部までの距離	mm
$l_8$	横行レール上面のレール中心から端部までの距離	mm
$l_9$	横行レール間距離	mm
$l_{11}$	トロリストッパ浮上り力の作用する水平距離	mm
$M_1$	ガーダ質量によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント	N・mm
$M_2$	トロリ質量によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント	N・mm
$M_3$	主巻定格荷重（質量）によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント	N・mm
$M_4$	水平地震力によるガーダ質量に対するガーダ中央部の水平曲げモーメント	N・mm
$M_5$	水平地震力によるトロリ質量に対するガーダ中央部の水平曲げモーメント	N・mm
$M_6$	トロリストッパの曲げモーメント	N・mm
$M_7$	走行レールウェブの曲げモーメント	N・mm
$M_8$	横行レールウェブの曲げモーメント	N・mm
$M_{10}$	トロリストッパの曲げモーメント	N・mm
$M_H$	ガーダ中央部の合計水平曲げモーメント	N・mm
$M_V$	ガーダ中央部の合計垂直曲げモーメント	N・mm
$m_G$	ガーダ部全質量（サドル, ロッカービームを含む）	kg
$m_g$	ガーダ 1 本当たりの質量	kg
$m_m$	主巻定格荷重（質量）	kg
$m_t$	トロリ質量（フック, ワイヤロープ含む）	kg
$n$	走行車輪の個数	—
$n_t$	横行車輪の個数	—
$n_s$	脱線防止ラグの個数	—
$Q$	ガーダ端部の合計せん断力	N
$Q_1$	ガーダ質量によるガーダ端部のせん断力	N
$Q_2$	トロリがガーダ端部に寄った場合のトロリ質量によるガーダ端部のせん断力	N
$Q_3$	トロリがガーダ端部に寄った場合の主巻定格荷重（質量）によるガーダ端部のせん断力	N

記号	記号の説明	単位
$Q_4$	トロリがガーダ中央部にある場合のトロリ質量によるガーダ端部のせん断力	N
$Q_5$	トロリがガーダ中央部にある場合の主巻定格荷重（質量）によるガーダ端部のせん断力	N
$S_u$	J I S（日本産業規格）に規定する材料の設計引張強さ	MPa
$S_{u1}$	レール鋼の引張強さ	MPa
$S_y$	J I S（日本産業規格）に規定する材料の設計降伏点	MPa
$T$	固有周期	s
$T_{V1}$	固有周期（鉛直方向）	s
$T_{V2}$	ガーダ端部にトロリ質量が集中する場合の固有周期（鉛直方向）	s
$t_1$	脱線防止ラグ鉛直材の板厚	mm
$t_3$	トロリストッパ水平材の板厚	mm
$t_4$	走行レールウェブの厚さ	mm
$t_5$	横行レールウェブの厚さ	mm
$Z_1$	トロリストッパの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_2$	横行方向（NS 方向）水平力に対する走行レールウェブの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_3$	走行方向（EW 方向）水平力に対する横行レールウェブの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{Xt}$	ガーダ中央部の X 軸に関する断面係数（下フランジ側）	mm <sup>3</sup>
$Z_{Y1}$	ガーダ中央部の Y 軸に関する断面係数（主桁側）	mm <sup>3</sup>
$\Sigma m$	クレーン総質量（ $m_t+m_G$ ）	kg
$\sigma_c$	脱線防止ラグの圧縮応力	MPa
$\sigma_{t1}$	トロリストッパの曲げ（引張）応力	MPa
$\sigma_{t2}$	トロリストッパの組合せ応力	MPa
$\sigma_{t3}$	トロリストッパの曲げ（引張）応力	MPa
$\sigma_{t4}$	トロリストッパの引張応力	MPa
$\sigma_{t5}$	トロリストッパの合計（引張）応力	MPa
$\sigma_{t6}$	荷重組合せ応力（水平地震力による組合せ応力 $\sigma_{t2}$ と鉛直地震力による合計応力 $\sigma_{t5}$ との組合せ応力）	MPa
$\sigma_{c3}$	走行レールウェブの曲げ（圧縮）応力	MPa
$\sigma_{c4}$	走行レールウェブの組合せ応力	MPa
$\sigma_{c5}$	横行レールウェブの曲げ（圧縮）応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{c6}$	横行レールウェブの組合せ応力	MPa
$\sigma_H$	$M_H$ によるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
$\sigma_t$	ガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
$\sigma_{vt}$	$M_V$ によるガーダ中央部の垂直曲げ（引張）応力	MPa
$\tau$	ガーダ端部のせん断応力	MPa
$\tau_1$	トロリストッパのせん断応力	MPa
$\tau_2$	走行レールウェブのせん断応力	MPa
$\tau_3$	横行レールウェブのせん断応力	MPa
$\mu$	最大静止摩擦係数	—
$\pi$	円周率	—

### 3.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は、原則として安全側に処理する。

ただし、計算途中の数値については、計算機の保有の数値を使用する。

表示する数値の丸め方を第3-2表に示す。

第3-2表 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 \*1：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

4. 計算方法

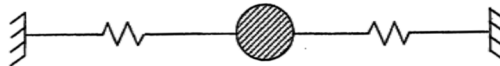
4.1 固有周期の計算方法

4.1.1 走行方向 (EW 方向)

3.1 節の理由により評価不要である。

4.1.2 横行方向 (NS 方向)

1 本のガーダ中央部にトロリ質量の半分が 2 つのばねで固定されていると仮定して計算する。

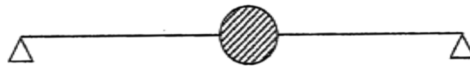


$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell \cdot \left( \frac{m_t \cdot g}{2} + \frac{m_g \cdot g}{3} \right)}{2 \cdot 2 \cdot A \cdot E \cdot g \cdot 10^3}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell \cdot (3 \cdot m_t + 2 \cdot m_g)}{24 \cdot A \cdot E \cdot 10^3}}$$

..... (4.1)

4.1.3 鉛直方向 (UD 方向)

(1) 1 本のガーダ中央部にトロリ質量の半分が集中する単純支持梁として計算する。



・空荷時

$$T_{v1} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot \left( \frac{m_t \cdot g}{2} + \frac{m_g \cdot g}{2} \right)}{48 \cdot E \cdot I_x \cdot g \cdot 10^3}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot (m_t + m_g)}{96 \cdot E \cdot I_x \cdot 10^3}}$$

..... (4.2)

・吊荷時

$$T_{v1} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot \left( \frac{m_t \cdot g}{2} + \frac{m_g \cdot g}{2} + \frac{m_m \cdot g}{2} \right)}{48 \cdot E \cdot I_x \cdot g \cdot 10^3}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot (m_t + m_g + m_m)}{96 \cdot E \cdot I_x \cdot 10^3}}$$

..... (4.3)

空荷時と吊荷時の固有周期により地震応答スペクトルから求まる設計震度を比較し、大なるものを使用する。

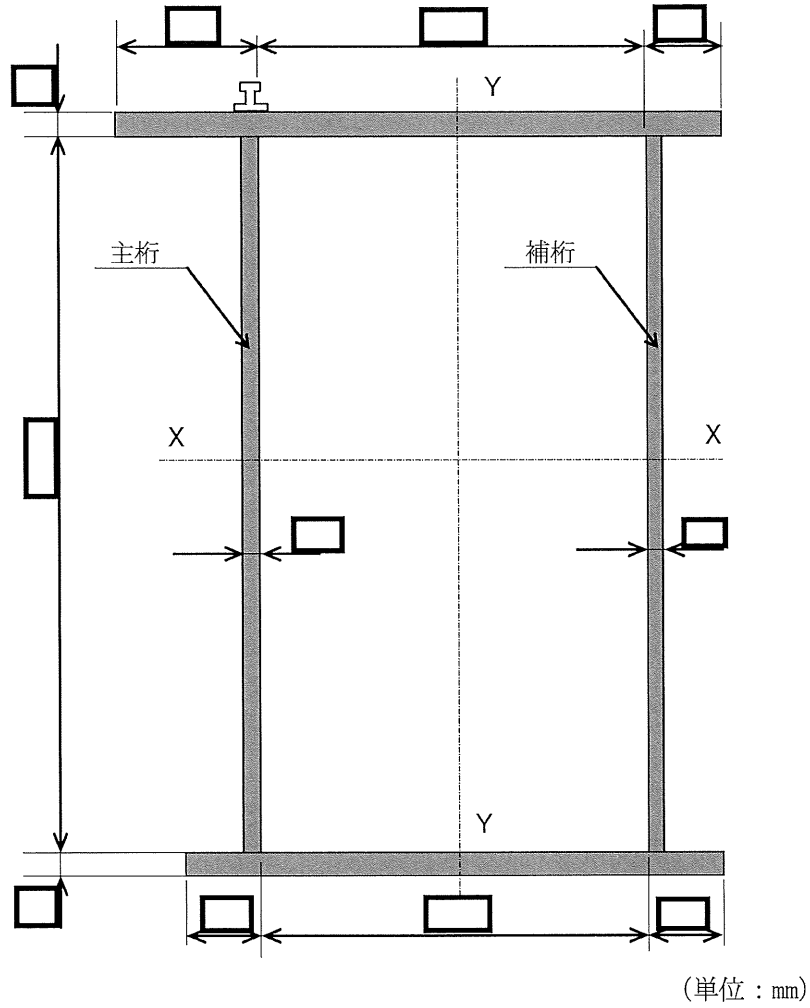
(2) ガーダ端部にトロリ質量が集中する場合の固有周期  $T_{v2}$  は、上記式でトロリ質量  $m_t$  と主巻定格荷重  $m_m$  を 0 (ゼロ) として計算し固有周期を求める。



#### 4.1.4 断面形状

##### (1) ガーダ中央部

評価部材のうちガーダの断面形状を第4-1図に示す。



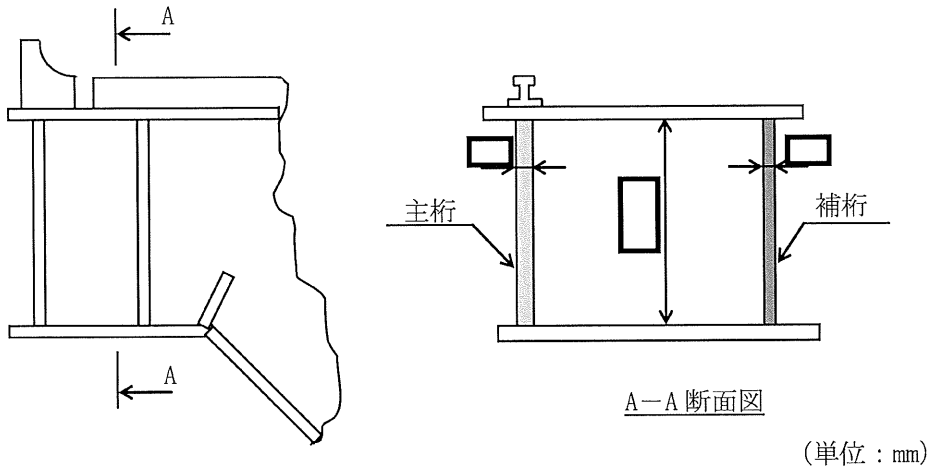
注：網掛け部は評価部材を示す

第4-1図 ガーダ中央部モデル図

枠囲みの内容は商業機密に属するため公開できません。

(2) ガーダ端部

評価部材のうちガーダ端部の断面形状を第4-2図に示す。



注：網掛け部は評価部材を示す

第4-2図 ガーダ端部モデル図

## 4.2 応力の計算方法

### 4.2.1 クレーン本体ガーダの応力

#### (1) 曲げ応力

ガーダに対する最大曲げ応力は第4-3図の場合による。

ガーダ質量によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント： $M_1$

$$M_1 = \frac{m_g \cdot g \cdot \ell}{8} \quad \dots\dots (4.4)$$

トロリ質量によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント： $M_2$

$$M_2 = \frac{m_t \cdot g \cdot \ell_1}{4} \quad \dots\dots (4.5)$$

主巻定格荷重(質量)によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント： $M_3$

$$M_3 = \frac{m_m \cdot g \cdot \ell_1}{4} \quad \dots\dots (4.6)$$

ガーダ中央部の合計垂直曲げモーメント： $M_V$

$$M_V = M_1 + M_2 + M_3 \quad \dots\dots (4.7)$$

$M_V$ によるガーダ中央部の垂直曲げ(引張)応力： $\sigma_{vt}$

$$\sigma_{vt} = \frac{M_V}{Z_{xt}} \cdot (1 + C_{v1}) \quad \dots\dots (4.8)$$

水平地震力によるガーダ質量に対するガーダ中央部の水平曲げモーメント： $M_4$

$$M_4 = M_1 \cdot C_H \quad \dots\dots (4.9)$$

水平地震力によるトロリ質量に対するガーダ中央部の水平曲げモーメント： $M_5$

$$M_5 = M_2 \cdot C_H \quad \dots\dots (4.10)$$

ガーダ中央部の合計水平曲げモーメント： $M_H$

$$M_H = M_4 + M_5 \quad \dots\dots (4.11)$$

$M_H$ によるガーダ中央部の曲げ(引張)応力： $\sigma_H$

$$\sigma_H = \frac{M_H}{Z_{y1}} \quad \dots\dots (4.12)$$

ガーダ中央部の曲げ(引張)応力： $\sigma_t$

$$\sigma_t = \sigma_{vt} + \sigma_H \quad \dots\dots (4.13)$$

(2) せん断応力

ガーダに対する最大のせん断応力は第4-4図の場合による。

ガーダ質量によるガーダ端部のせん断力： $Q_1$

$$Q_1 = \frac{m_g \cdot g}{2} \cdot (1 + C_{v2}) \quad \dots\dots (4.14)$$

トロリがガーダ端部に寄った場合のトロリ質量によるガーダ端部のせん断力： $Q_2$

$$Q_2 = \frac{m_t \cdot g}{2} \cdot \frac{\left(\frac{\ell_2}{2} + \ell_3\right)}{\ell} \cdot (1 + C_{v2}) \quad \dots\dots (4.15)$$

トロリがガーダ端部に寄った場合の主巻定格荷重(質量)によるガーダ端部のせん断力： $Q_3$

$$Q_3 = \frac{m_m \cdot g}{2} \cdot \frac{\left(\frac{\ell_2}{2} + \ell_3\right)}{\ell} \cdot (1 + C_{v2}) \quad \dots\dots (4.16)$$

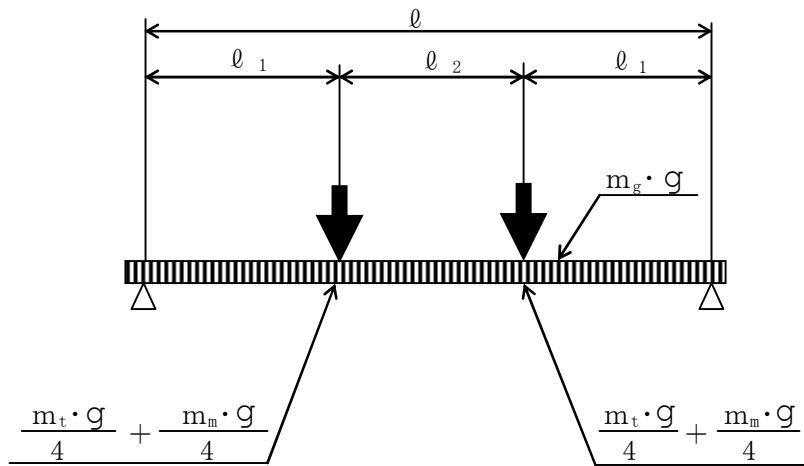
ガーダ端部の合計せん断力： $Q$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \dots\dots (4.17)$$

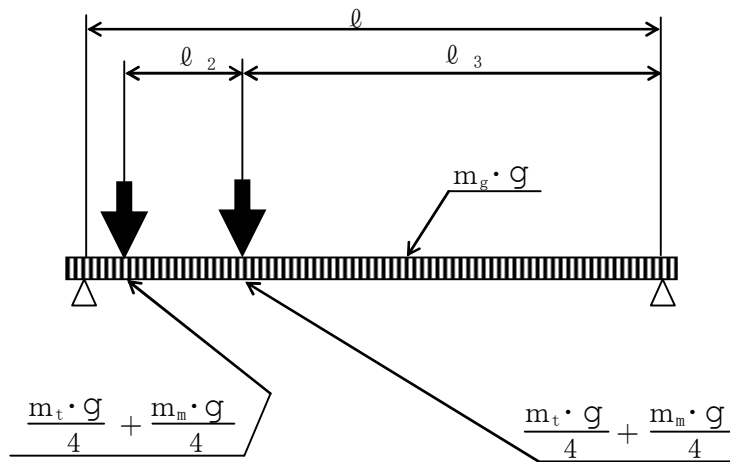
ガーダ端部のせん断応力： $\tau$

$$\tau = \frac{Q}{A_v} \quad \dots\dots (4.18)$$

荷重条件を下記第 4-3 図及び第 4-4 図に示す。



第 4-3 図 トロリがガーダ中央部にある場合



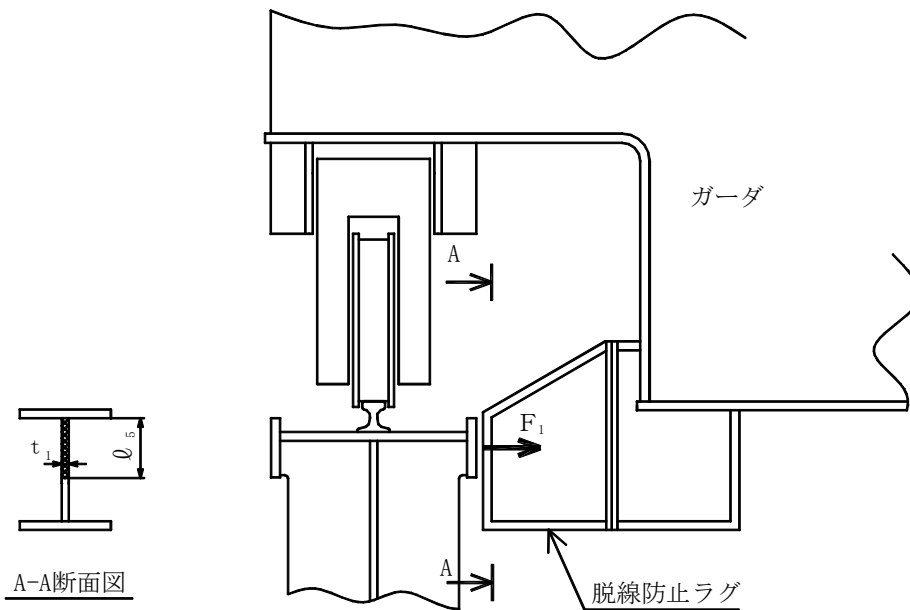
第 4-4 図 トロリがガーダ端部にある場合

#### 4.2.2 脱線防止ラグの応力

##### (1) 脱線防止ラグの圧縮応力

水平地震力がクレーンに作用し脱線防止ラグと走行レールガーダ間に発生する水平力により，脱線防止ラグに作用する圧縮応力を求める。

脱線防止ラグモデル図（水平方向）を第4-5図に示す。



注1：網掛け部は評価部材を示す

第4-5図 脱線防止ラグモデル図（水平方向）

脱線防止ラグ1個あたりに作用する力： $F_1$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \Sigma m \cdot g \cdot C_{HI} \quad \dots\dots (4.19)$$

脱線防止ラグの圧縮応力評価部の断面積： $A_1$

$$A_1 = t_1 \cdot l_5 \quad \dots\dots (4.20)$$

脱線防止ラグの圧縮応力： $\sigma_c$

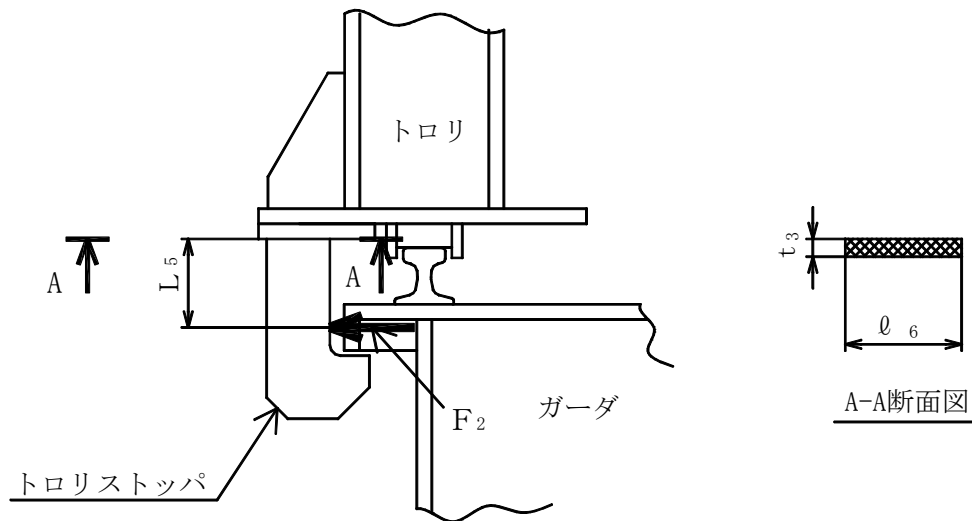
$$\sigma_c = \frac{F_1}{A_1} \quad \dots\dots (4.21)$$

#### 4.2.3 トロリストップの応力

##### (1) トロリストップの水平方向震度による応力

水平地震力がクレーン走行方向に作用し（EW 方向）トロリストップと横行レールガード間に発生する水平力により，トロリストップに作用する組合せ応力を求める。

トロリストップモデル図（水平方向）を第4-6図に示す。



注1：網掛け部は評価部材を示す

第4-6図 トロリストップモデル図（水平方向）

トロリストップ1個あたりに作用する力： $F_2$

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot m_t \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots (4.22)$$

トロリストップの曲げモーメント： $M_6$

$$M_6 = F_2 \cdot L_5 \quad \dots\dots (4.23)$$

トロリストップの断面係数： $Z_1$

$$Z_1 = \frac{t_3 \cdot l_6^2}{6} \quad \dots\dots (4.24)$$

トロリストップの曲げ（引張）応力： $\sigma_{t1}$

$$\sigma_{t1} = \frac{M_6}{Z_1} \quad \dots\dots (4.25)$$

トロリストッパの断面積： $A_2$

$$A_2 = t_3 \cdot \ell_6 \quad \dots\dots (4.26)$$

トロリストッパのせん断応力： $\tau_1$

$$\tau_1 = \frac{F_2}{A_2} \quad \dots\dots (4.27)$$

トロリストッパの組合せ応力： $\sigma_{t2}$

$$\sigma_{t2} = \sqrt{\sigma_{t1}^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \quad \dots\dots (4.28)$$

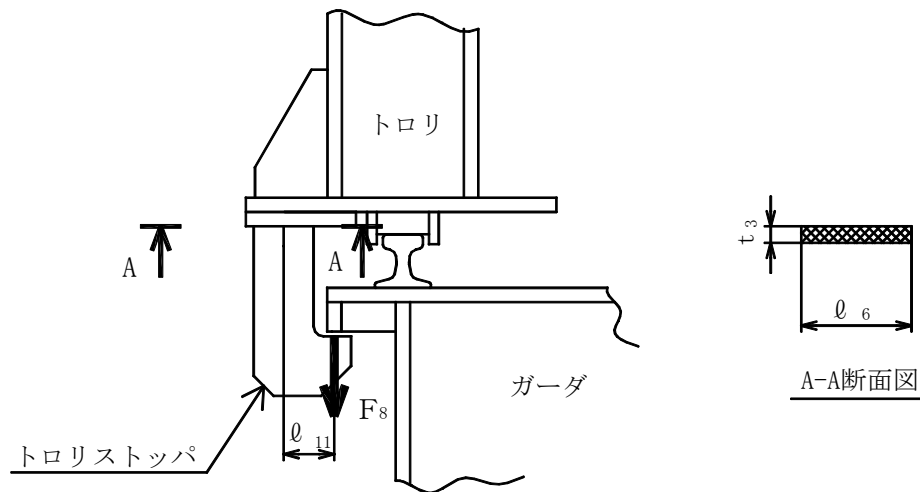
(2) トロリストッパの浮上り荷重による応力

浮上り力は、上向き鉛直方向設計震度より自重を引いた値が正となる場合に検討対象とする。

上向き鉛直力はガーダ中央にトロリがある場合第 4-3 図の場合の固有周期より求める鉛直方向設計震度より求める。

ワイヤロープによって支えられる主巻定格荷重は、浮上り力には関与しないとして計算を行う。

トロリストッパモデル図（鉛直方向）を第 4-7 図に示す。



注 1：網掛け部は評価部材を示す

第 4-7 図 トロリストッパモデル図（鉛直方向）



鉛直地震力によるトロリストッパ1個あたりに作用する力： $F_8$

$$F_8 = \frac{m_t \cdot g}{4} \cdot (C_{v1} - 1) \quad \dots\dots\dots (4.29)$$

トロリストッパの曲げモーメント： $M_{10}$

$$M_{10} = F_8 \cdot \ell_{11} \quad \dots\dots\dots (4.30)$$

トロリストッパの曲げ（引張）応力： $\sigma_{t3}$

$$\sigma_{t3} = \frac{M_{10}}{Z_1} \quad \dots\dots\dots (4.31)$$

トロリストッパの引張応力： $\sigma_{t4}$

$$\sigma_{t4} = \frac{F_8}{A_2} \quad \dots\dots\dots (4.32)$$

トロリストッパの合計（引張）応力： $\sigma_{t5}$

$$\sigma_{t5} = \sigma_{t3} + \sigma_{t4} \quad \dots\dots\dots (4.33)$$

荷重組合せ応力（水平地震力による組合せ応力  $\sigma_{t2}$  と鉛直地震力による  
合計応力  $\sigma_{t5}$  との組合せ応力）： $\sigma_{t6}$

$$\sigma_{t6} = \sqrt{\sigma_{t2}^2 + \sigma_{t5}^2} \quad \dots\dots\dots (4.34)$$

#### 4.2.4 走行レールの応力

##### (1) 走行車輪荷重

鉛直方向荷重と横行方向（NS 方向）水平力が走行レールに作用するものとして計算する。

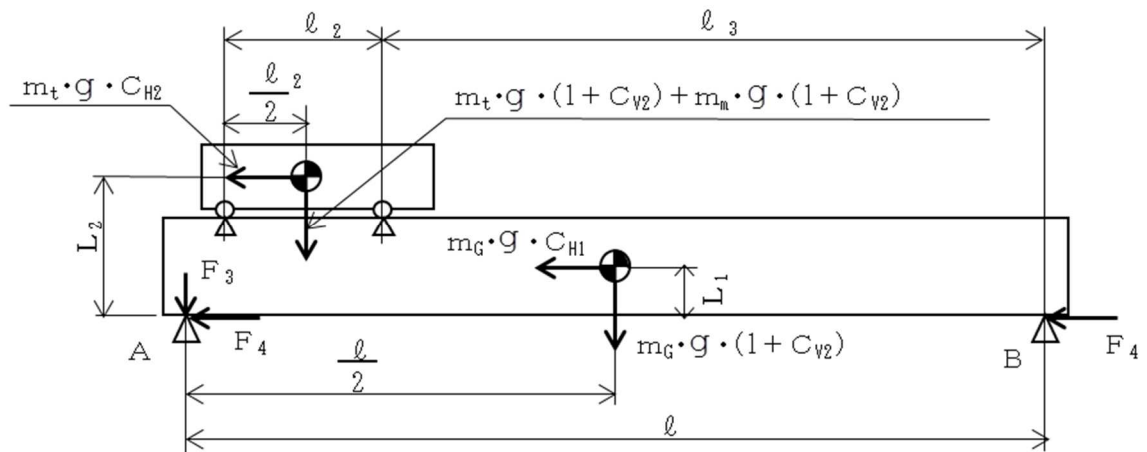
##### a. 鉛直方向最大車輪荷重

鉛直方向最大車輪荷重は、第 4-8 図のごとく、トロリが主巻定格荷重（質量）負荷状態で最も端に寄った場合の A 点側の車輪に生じる。

荷重状態を第 4-8 図に示す。

走行車輪 1 個当たりの鉛直方向最大車輪荷重：  $F_3$

$$F_3 = \left\{ \frac{m_G \cdot g \cdot (1 + C_{V2})}{n} + \frac{1}{\frac{n}{2}} \cdot [m_t \cdot g \cdot (1 + C_{V2}) + m_n \cdot g \cdot (1 + C_{V2})] \cdot \frac{(\frac{\ell_2}{2} + \ell_3)}{\ell} \right. \\ \left. + \frac{1}{\frac{n}{2}} \cdot \frac{(m_G \cdot g \cdot L_1 \cdot C_{H1} + m_t \cdot g \cdot L_2 \cdot C_{H2})}{\ell} \right\} \dots\dots (4.35)$$



第 4-8 図 荷重状態

##### b. 横行方向（NS 方向）水平力

横行方向（NS 方向）水平力は、第 4-8 図のごとく、A 点側及び B 点側の車輪に生じる。

走行車輪 1 個当たりの横行方向（NS 方向）水平力：  $F_4$

$$F_4 = \frac{1}{n} \cdot (m_G \cdot g \cdot C_{H1} + m_t \cdot g \cdot C_{H2}) \dots\dots (4.36)$$

(2) 走行レールの応力

鉛直方向車輪荷重と横行方向（NS 方向）水平力による走行レール応力を第 4-9 図及び第 4-10 図を用いて計算する。

a. 走行レールウェブの応力

走行レールウェブの最大応力は、鉛直方向最大車輪荷重と横行方向（NS 方向）水平力が同時に作用したとき走行レールウェブの最小板厚部に生じる。

鉛直方向最大車輪荷重と横行方向（NS 方向）水平力は、第 4-9 図及び第 4-10 図の斜線部に示すような分布荷重として計算する。

走行レール伝達幅モデル図及び走行レール伝達幅鳥瞰図を第 4-9 図及び第 4-10 図に示す。

横行方向（NS 方向）水平力の走行レール頭部における  
伝達幅（走行レール中心）： $b_2$

$$b_2 = b + 2 \cdot \ell_7 \quad \dots\dots (4.37)$$

横行方向（NS 方向）水平力の走行レールウェブにおける  
伝達幅（走行レール中心）： $b_3$

$$b_3 = b_2 + 2 \cdot L_3 \quad \dots\dots (4.38)$$

鉛直方向車輪荷重の走行レールウェブにおける伝達幅（走行レール中心）： $b_4$

$$b_4 = b_1 + 2 \cdot (L_3 + L_4) \quad \dots\dots (4.39)$$

横行方向（NS 方向）水平力に対する走行レールウェブの断面積： $A_3$

$$A_3 = b_3 \cdot t_4 \quad \dots\dots (4.40)$$

鉛直方向車輪荷重に対する走行レールウェブの断面積： $A_4$

$$A_4 = b_4 \cdot t_4 \quad \dots\dots (4.41)$$

横行方向（NS 方向）水平力に対する走行レールウェブの断面係数： $Z_2$

$$Z_2 = \frac{b_3 \cdot t_4^2}{6} \quad \dots\dots (4.42)$$

走行レールウェブの曲げモーメント： $M_7$

$$M_7 = L_3 \cdot F_4 \quad \dots\dots (4.43)$$

走行レールウェブの曲げ（圧縮）応力： $\sigma_{c3}$

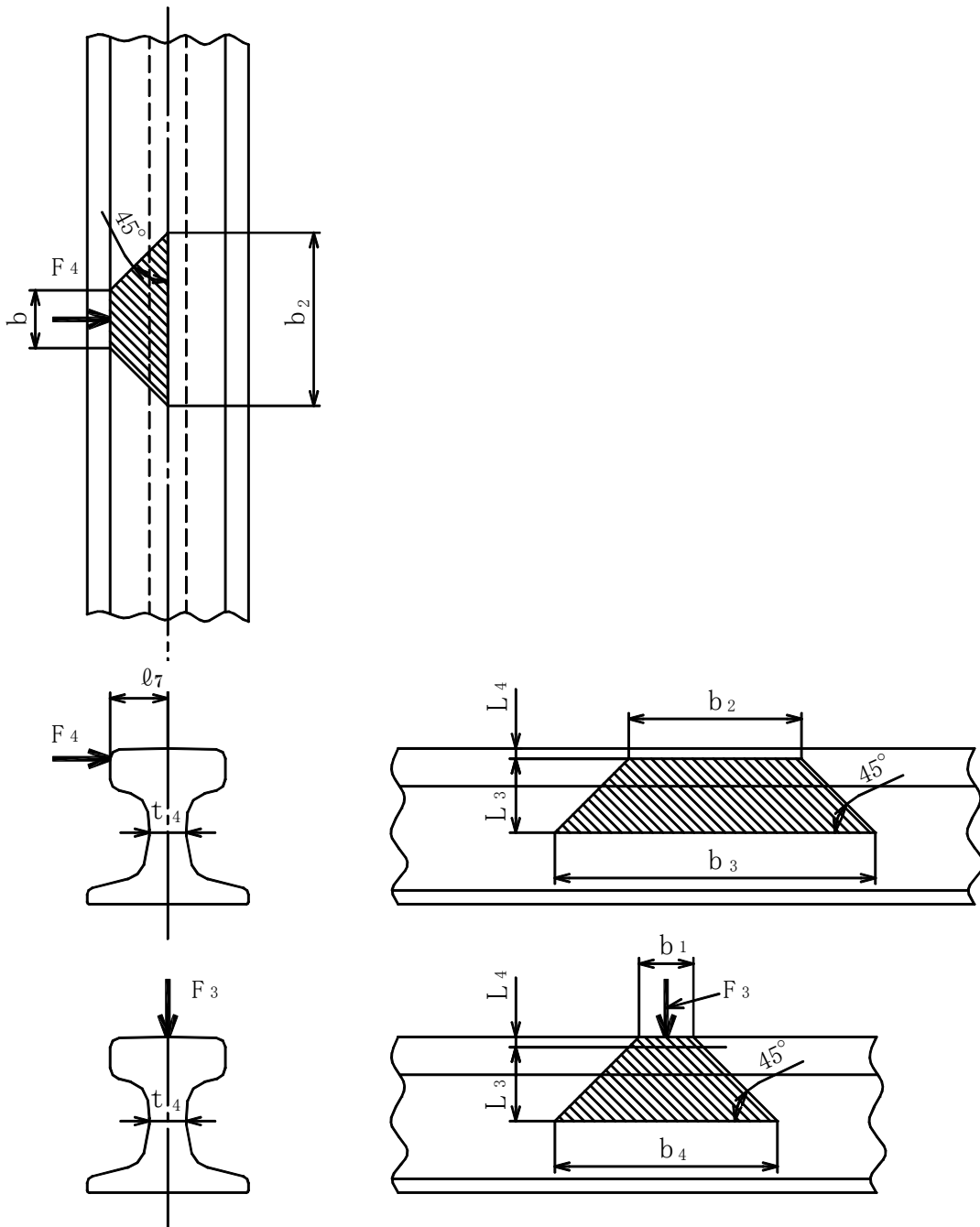
$$\sigma_{c3} = \frac{M_7}{Z_2} + \frac{F_3}{A_4} \quad \dots\dots (4.44)$$

走行レールウェブのせん断応力： $\tau_2$

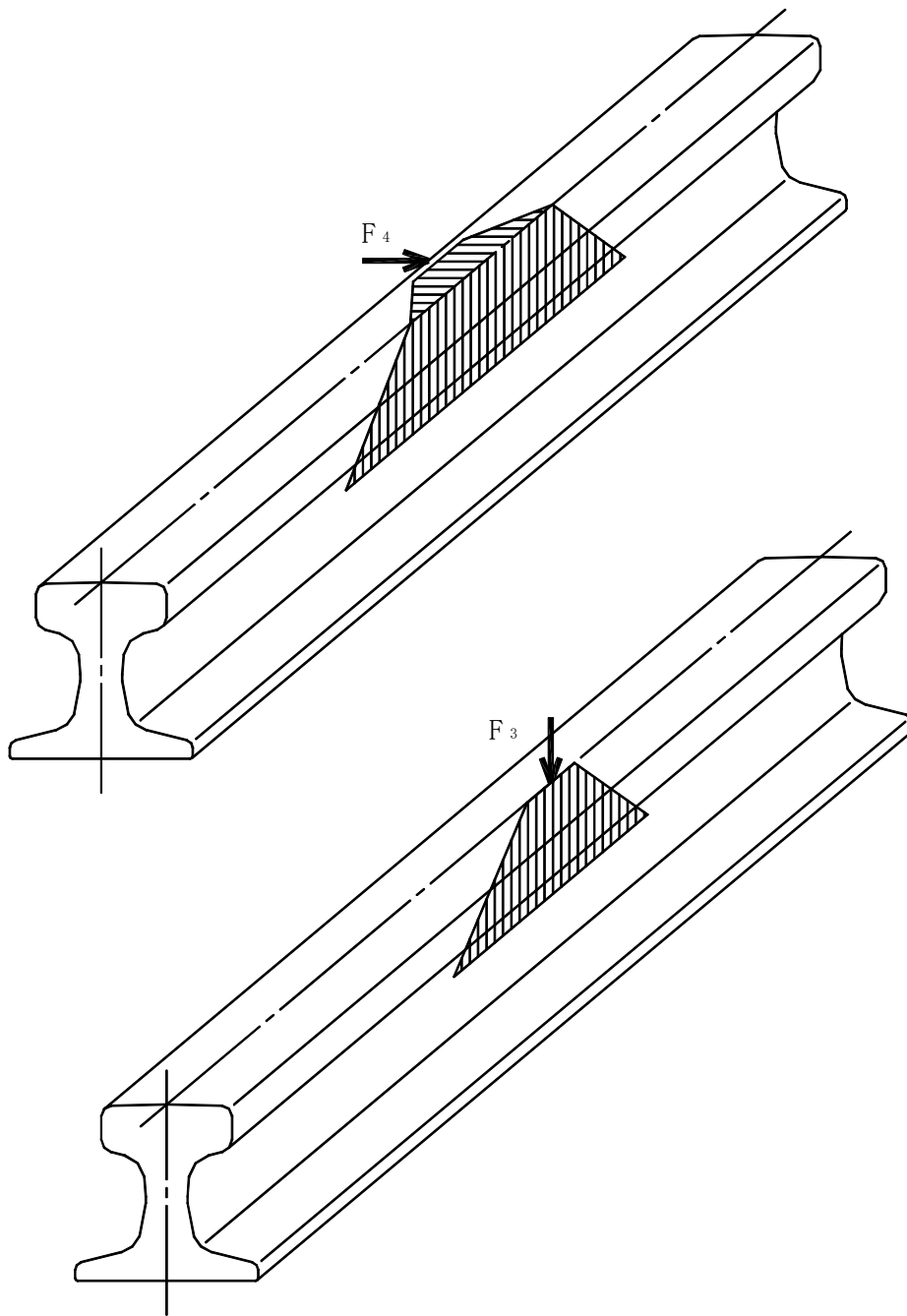
$$\tau_2 = \frac{F_4}{A_3} \quad \dots\dots (4.45)$$

走行レールウェブの組合せ応力： $\sigma_{c4}$

$$\sigma_{c4} = \sqrt{\sigma_{c3}^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \quad \dots\dots (4.46)$$



第4-9図 走行レール伝達幅モデル図



第 4-10 図 走行レール伝達幅鳥瞰図

#### 4.2.5 横行レールの応力

##### (1) 横行車輪荷重

鉛直方向荷重と走行方向（EW 方向）水平力が横行レールに作用するものとして計算する。

##### a. 鉛直方向最大車輪荷重

鉛直方向最大車輪荷重は、第 4-11 図のごとく、トロリが主巻定格荷重（質量）負荷状態で各横行車輪（4 輪）に均等に生じる。

荷重状態を第 4-11 図に示す。

横行車輪 1 個当たりの鉛直方向最大車輪荷重： $F_5$

$$F_5 = \left\{ \frac{m_t \cdot g \cdot (1 + C_V^{*1}) + m_n \cdot g \cdot (1 + C_V^{*1})}{n_t} + \frac{1}{2} \cdot \frac{m_t \cdot g \cdot L_6 \cdot C_H}{\ell_g} \right\} \dots \dots (4.47)$$

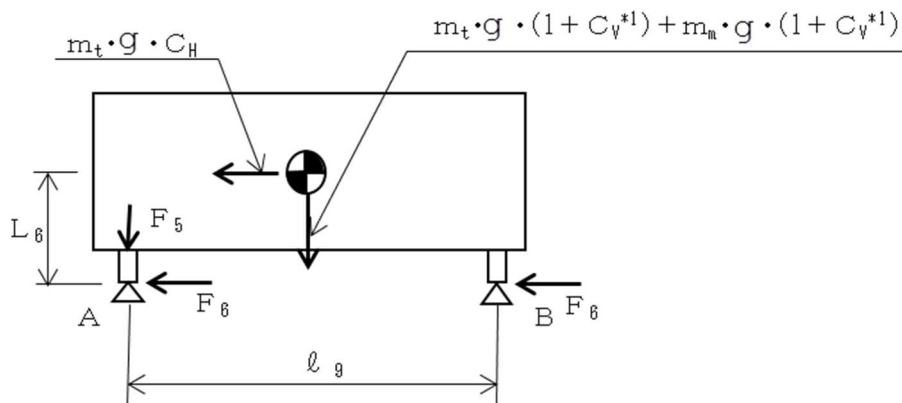
\*1:  $C_V$  は  $C_{V1}$  と  $C_{V2}$  の大なるものを用いる。

##### b. 走行方向（EW 方向）水平力

走行方向（EW 方向）水平力は、図 4-11 のごとく、A 点側及び B 点側の車輪に生じる。

横行車輪 1 個当たりの走行方向（EW 方向）水平力： $F_6$

$$F_6 = \frac{m_t \cdot g \cdot C_H}{n_t} \dots \dots (4.48)$$



第 4-11 図 荷重状態

(2) 横行レールの応力

鉛直方向荷重と走行方向（EW 方向）水平力による横行レールの応力を第 4-12 図及び第 4-13 図を用いて計算する。

a. 横行レールウェブの応力

横行レールウェブの最大応力は、鉛直方向最大荷重と走行方向（EW 方向）水平力が同時に作用したとき横行レールウェブの最小板厚部に生じる。

横行レール伝達幅モデル図及び横行レール伝達幅鳥瞰図を第 4-12 図及び第 4-13 図に示す。

走行方向（EW 方向）水平力の横行レール頭部における

伝達幅（横行レール中心）：  $b_5$

$$b_5 = b + 2 \cdot \varrho_8 \quad \dots\dots (4.49)$$

走行方向（EW 方向）水平力の横行レールウェブにおける

伝達幅（横行レール中心）：  $b_6$

$$b_6 = b_5 + 2 \cdot L_7 \quad \dots\dots (4.50)$$

鉛直方向車輪荷重の横行レールウェブにおける

伝達幅（横行レール中心）：  $b_7$

$$b_7 = b_1 + 2 \cdot (L_7 + L_8) \quad \dots\dots (4.51)$$

走行方向（EW 方向）水平力に対する横行レールウェブの断面積：  $A_5$

$$A_5 = b_6 \cdot t_5 \quad \dots\dots (4.52)$$

鉛直方向車輪荷重に対する横行レールウェブの断面積：  $A_6$

$$A_6 = b_7 \cdot t_5 \quad \dots\dots (4.53)$$

走行方向（EW 方向）水平力に対する横行レールウェブの断面係数：  $Z_3$

$$Z_3 = \frac{b_6 \cdot t_5^2}{6} \quad \dots\dots (4.54)$$

横行レールウェブの曲げモーメント：  $M_8$

$$M_8 = F_6 \cdot L_7 \quad \dots\dots (4.55)$$

横行レールウェブの曲げ（圧縮）応力：  $\sigma_{c5}$

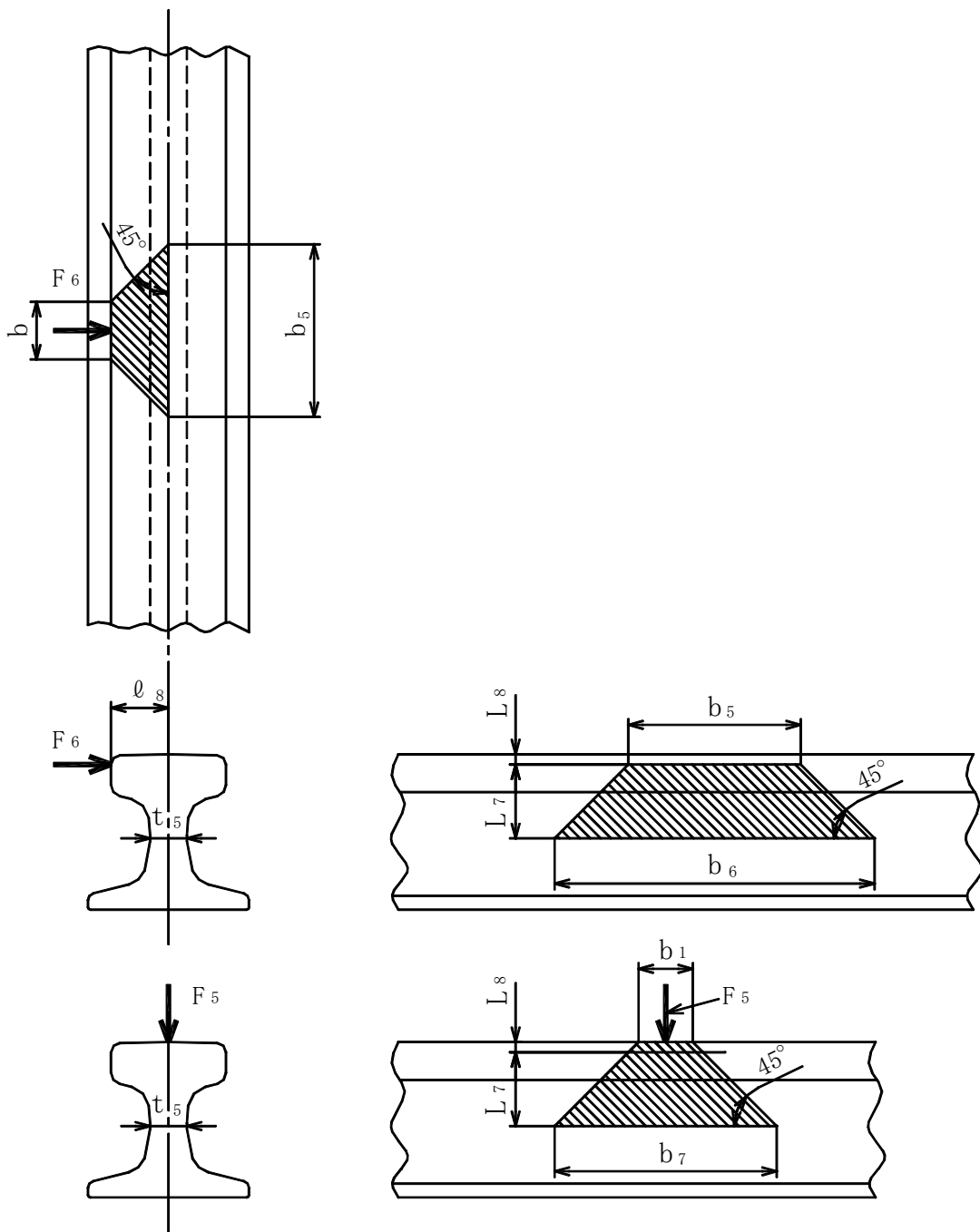
$$\sigma_{c5} = \frac{M_8}{Z_3} + \frac{F_5}{A_6} \quad \dots\dots (4.56)$$

横行レールウェブのせん断応力： $\tau_3$

$$\tau_3 = \frac{F_6}{A_5} \quad \dots\dots (4.57)$$

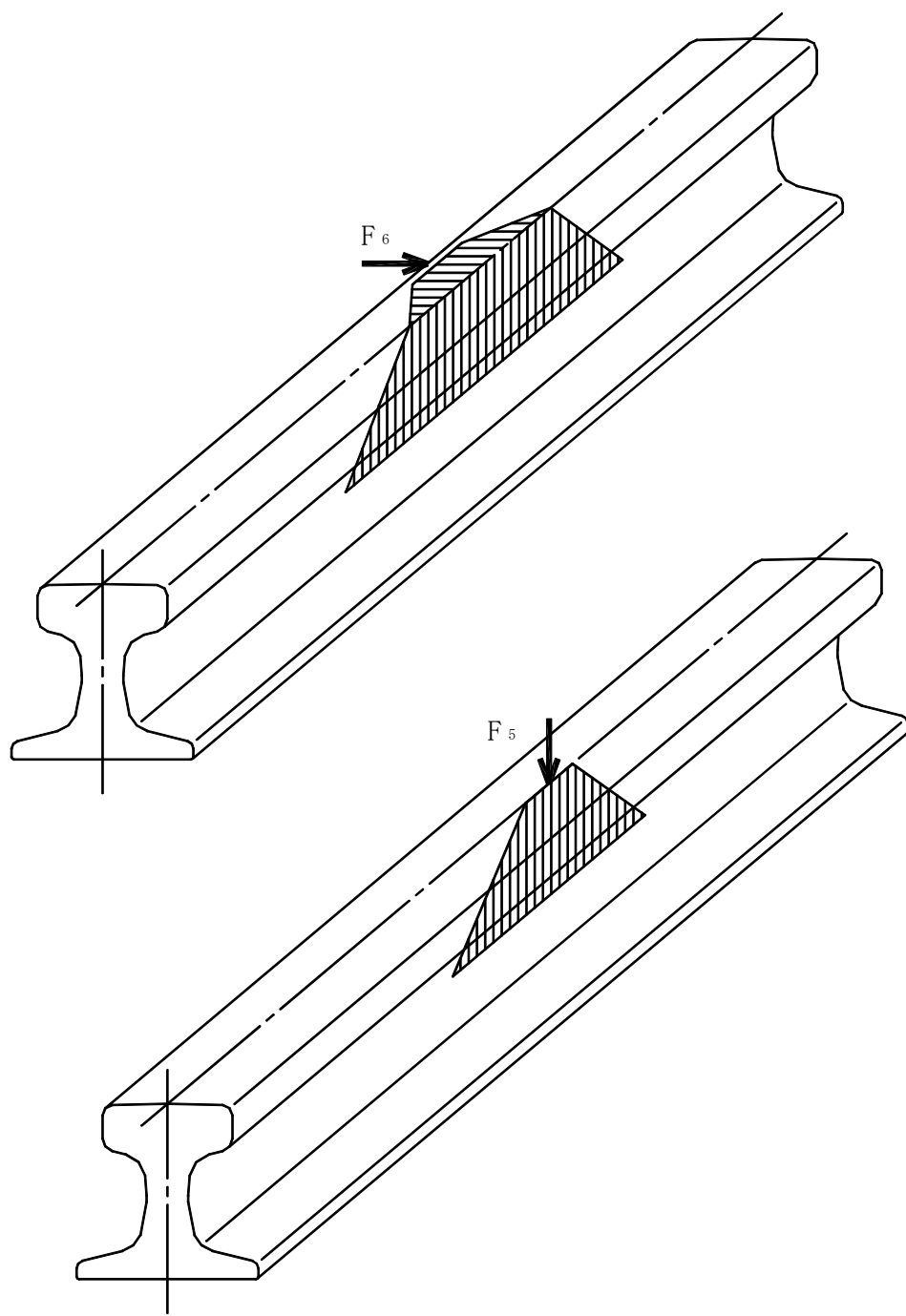
横行レールウェブの組合せ応力： $\sigma_{C6}$

$$\sigma_{C6} = \sqrt{\sigma_{C5}^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \quad \dots\dots (4.58)$$



第 4-12 図 横行レール伝達幅モデル図





第4-13図 横行レール伝達幅鳥瞰図

## 5. 評価方法

### 5.1 固有周期の評価

クレーンはレールと車輪の走行方向のすべりを考慮し、ガーダの走行方向及びトロリの走行、横行方向については、3.1 節で述べた最大静止摩擦係数より求めた値を水平方向設計震度とする。

ガーダの横行方向及び鉛直方向の設計震度については、4.1 節で求めた固有周期から「添付 5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」より求める。

### 5.2 応力の評価

引張強度、圧縮強度、せん断強度の許容応力はクレーン構造規格の算出方法による。

#### 5.2.1 クレーン本体ガーダの応力評価

4.2.1(1) 項で求めたガーダ中央部の曲げ（引張）応力  $\sigma_t$  は下記材料の許容引張応力  $f_t$  以下であること。

4.2.1(2) 項で求めたガーダ端部のせん断応力  $\tau$  は下記材料の許容せん断応力  $f_s$  以下であること。

	材料の許容引張応力 ( $f_t$ )	材料の許容せん断応力 ( $f_s$ )
計算式	$f_t = \min(S_u/1.8, S_y/1.5) \times 1.3$	$f_s = f_t / \sqrt{3}$

#### 5.2.2 脱線防止ラグの応力評価

4.2.2 項で求めた脱線防止ラグの圧縮応力  $\sigma_c$  は、下記脱線防止ラグの許容圧縮応力  $f_c$  以下であること。

	材料の許容引張応力 ( $f_t$ )
計算式	$f_t = \min(S_u/1.8, S_y/1.5) \times 1.3$

	脱線防止ラグの 許容圧縮応力 ( $f_c$ )
計算式	$f_c = f_t / 1.15$

### 5.2.3 トロリストッパの応力評価

4.2.3 項で求めたトロリストッパの曲げ（引張）応力  $\sigma_{t1}$  は、下記許容引張応力  $f_{t1}$  以下であること。

4.2.3 項で求めたトロリストッパのせん断応力  $\tau_1$  は、下記許容せん断応力  $f_{s1}$  以下であること。

4.2.3 項で求めたトロリストッパの組合せ応力  $\sigma_{t2}$  は、下記許容組合せ応力  $f_{t2}$  以下であること。

	材料の許容引張応力 ( $f_t$ )	材料の許容せん断応力 ( $f_s$ )
計算式	$f_t = \min(S_u/1.8, S_y/1.5) \times 1.3$	$f_s = f_t / \sqrt{3}$

	トロリストッパの 許容引張応力 ( $f_{t1}$ )	トロリストッパの 許容せん断応力 ( $f_{s1}$ )	トロリストッパの 許容組合せ応力 ( $f_{t2}$ )
計算式	$f_{t1} = f_t$	$f_{s1} = f_s$	$f_{t2} = f_t$

#### 5.2.4 走行及び横行レールの応力評価

レール鋼についてはレール鋼の引張強さ  $S_{u1}$  の  $1/1.8$  を許容引張応力として評価する。

4.2.4(2)a. 項で求めた走行レールウェブの曲げ（圧縮）応力  $\sigma_{c3}$  及び 4.2.5(2)a. 項で求めた横行レールウェブの曲げ（圧縮）応力  $\sigma_{c5}$  は下記許容圧縮応力  $f_{c3}$  以下であること。

4.2.4(2)a. 項で求めた走行レールウェブのせん断応力  $\tau_2$  及び 4.2.5(2)a. 項で求めた横行レールウェブのせん断応力  $\tau_3$  は下記許容せん断応力  $f_{s2}$  以下であること。

4.2.4(2)a. 項で求めた走行レールウェブの組合せ応力  $\sigma_{c4}$  及び 4.2.5(2)a. 項で求めた横行レールウェブの組合せ応力  $\sigma_{c6}$  は下記許容組合せ応力  $f_{c4}$  以下であること。

	レール鋼の許容引張応力 ( $f_{t3}$ )
計算式	$f_{t3} = (S_{u1}/1.8) \times 1.3$

	走行及び横行 レールウェブの 許容圧縮応力 ( $f_{c3}$ )	走行及び横行 レールウェブの 許容せん断応力 ( $f_{s2}$ )	走行及び横行 レールウェブの 許容組合せ応力 ( $f_{c4}$ )
計算式	$f_{c3} = f_{t3}/1.15$	$f_{s2} = f_{t3}/\sqrt{3}$	$f_{c4} = f_{t3}$

6. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期 (s)			水平方向設計震度			鉛直方向設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	鉛直方向	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	横行方向 (NS 方向)	C <sub>V1</sub>	C <sub>V2</sub>
受入れ区域 天井 クレーン	B	使用済燃料 貯蔵建屋 T.P. +28.7* <sup>1</sup>	—	T = 0.016	T <sub>V1</sub> = 0.174 T <sub>V2</sub> = 0.063	C <sub>H</sub> = 0.08* <sup>2</sup>	C <sub>H1</sub> = 0.38	C <sub>H2</sub> = 0.15* <sup>2</sup>	0.67* <sup>3</sup>	0.25

最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
—	45

- 注記
- \*1: 走行レール天端レベルを示す
  - \*2: 最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度
  - \*3: 吊荷時固有周期 T<sub>V1</sub> より求めた鉛直方向設計震度

枠囲みの内容は商業機密に属するため公開できません。

## 7. 機器要目

$m_g$ (kg)	$m_t$ (kg)	$m_m$ (kg)	$m_G$ (kg)	$\Sigma m$ (kg)
		160000		

$\varnothing$ (mm)	$\varnothing_1$ (mm)	$\varnothing_2$ (mm)	$\varnothing_3$ (mm)	$\varnothing_5$ (mm)	$\varnothing_6$ (mm)	$\varnothing_7$ (mm)	$\varnothing_8$ (mm)	$\varnothing_9$ (mm)	$t_1$ (mm)	$t_3$ (mm)	$t_4$ (mm)	$t_5$ (mm)	$I_x$ (mm <sup>4</sup> )
18650													

$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	$L_4$ (mm)	$L_5$ (mm)	$L_6$ (mm)	$L_7$ (mm)	$L_8$ (mm)	$b$ (mm)	$b_1$ (mm)	$b_2$ (mm)	$b_3$ (mm)	$b_4$ (mm)	$b_5$ (mm)	$b_6$ (mm)	$b_7$ (mm)

$A$ (mm <sup>2</sup> )	$A_v$ (mm <sup>2</sup> )	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	$A_5$ (mm <sup>2</sup> )	$A_6$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_{xt}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{y1}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_1$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_2$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_3$ (mm <sup>3</sup> )	$E$ (MPa)	$n$	$n_t$	$n_s$
													2.06 $\times 10^5$	8	4	4

クレーン本体ガード				脱線防止ラグ		トロリストッパ		走行及び横行レール
ガード中央部		ガード端部						
$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_{u1}$ (MPa)
325	490	315	490	235	400	315	490	780

8. 計算数値

8.1 クレーン本体ガーダに生じる応力

(単位：MPa)

	中央部曲げ応力	端部せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t=88$	$\tau=45$

8.2 脱線防止ラグに生じる応力

(単位：MPa)

	圧縮応力
脱線防止ラグ	$\sigma_c=49$

8.3 トロリストッパに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ（引張）応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	$\sigma_{t1}=19$	$\tau_1=3$	$\sigma_{t2}=20$

	合計（引張）応力	荷重組合せ応力
トロリストッパ	—	—

8.4 走行レールウェブに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ（圧縮）応力	せん断応力	組合せ応力
走行レール	$\sigma_{c3}=146$	$\tau_2=4$	$\sigma_{c4}=146$

8.5 横行レールウェブに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ（圧縮）応力	せん断応力	組合せ応力
横行レール	$\sigma_{c5}=138$	$\tau_3=1$	$\sigma_{c6}=138$

## 9. 評価結果及び結論

### 9.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
走行方向 (EW 方向)	—
横行方向 (NS 方向)	$T = 0.016$
鉛直方向 (UD 方向)	$T_{v1} = 0.174^{*1}$ $T_{v2} = 0.063^{*2}$

\*1：ガーダ中央部にトロリがある場合

\*2：ガーダ端部にトロリがある場合

### 9.2 応力

(単位：MPa)

部材		材料	応力	算出応力	許容応力	判定
クレーン本体 ガーダ	中央部	SM490A	曲げ	$\sigma_t = 88$	$f_t = 281$	良
	端部	SM490A	せん断	$\tau = 45$	$f_s = 157$	良
脱線防止ラグ		SS400	圧縮	$\sigma_c = 49$	$f_c = 177$	良
トロリストッパ		SM490A	曲げ (引張)	$\sigma_{t1} = 19$	$f_{t1} = 273$	良
			せん断	$\tau_1 = 3$	$f_{s1} = 157$	良
			組合せ	$\sigma_{t2} = 20$	$f_{t2} = 273$	良
走行レール		レール鋼	曲げ (圧縮)	$\sigma_{c3} = 146$	$f_{c3} = 489$	良
			せん断	$\tau_2 = 4$	$f_{s2} = 325$	良
			組合せ	$\sigma_{c4} = 146$	$f_{c4} = 563$	良
横行レール		レール鋼	曲げ (圧縮)	$\sigma_{c5} = 138$	$f_{c3} = 489$	良
			せん断	$\tau_3 = 1$	$f_{s2} = 325$	良
			組合せ	$\sigma_{c6} = 138$	$f_{c4} = 563$	良

上記に示すとおり、算出応力は許容応力を下回っており、Bクラスの設計地震力に対して耐える設計である。



## 10. 安全検討

### 10.1 一般事項

基準地震動  $S_s$  に対し落下しないことを確認する。

### 10.2 計算条件

3.1 節で述べる計算条件に基づき計算を行う。

### 10.3 計算方法

#### 10.3.1 固有周期の計算方法

4.1 節で述べる計算方法に基づき計算を行う。

#### 10.3.2 応力の計算方法

##### 10.3.2.1 クレーン本体ガーダの応力

###### (1) 曲げ応力

ガーダに対する最大曲げ応力は第 4-3 図の場合による。

ガーダ質量によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント： $M_1$

$$M_1 = \frac{m_g \cdot g \cdot \ell}{8} \quad \dots\dots (10.1)$$

トロリ質量によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント： $M_2$

$$M_2 = \frac{m_t \cdot g \cdot \ell_1}{4} \quad \dots\dots (10.2)$$

主巻定格荷重(質量)によるガーダ中央部の垂直曲げモーメント： $M_3$

$$M_3 = \frac{m_m \cdot g \cdot \ell_1}{4} \quad \dots\dots (10.3)$$

ガーダ中央部の合計垂直曲げモーメント： $M_v$

$$M_v = M_1 + M_2 + M_3 \quad \dots\dots (10.4)$$

$M_v$ によるガーダ中央部の垂直曲げ(引張)応力： $\sigma_{vt}$

トロリは浮き上がりの発生が予測されることから、30%割り増しを行う。

$$\sigma_{vt} = \frac{M_v}{Z_{xt}} \cdot (1 + C_{v1}) \times 1.3 \quad \dots\dots (10.5)$$

水平地震力によるガーダ質量に対するガーダ中央部の水平曲げモーメント： $M_4$

$$M_4 = M_1 \cdot C_H \quad \dots\dots (10.6)$$

水平地震力によるトロリ質量に対するガーダ中央部の水平曲げモーメント： $M_5$

$$M_5 = M_2 \cdot C_H \quad \dots\dots (10.7)$$

ガーダ中央部の合計水平曲げモーメント： $M_H$

$$M_H = M_4 + M_5 \quad \dots\dots (10.8)$$

$M_H$ によるガーダ中央部の曲げ(引張)応力： $\sigma_H$

$$\sigma_H = \frac{M_H}{Z_{Y1}} \quad \dots\dots (10.9)$$

ガーダ中央部の曲げ(引張)応力： $\sigma_t$

$$\sigma_t = \sigma_{vt} + \sigma_H \quad \dots\dots (10.10)$$

(2) せん断応力

ガーダに対する最大のせん断応力は第4-3図の場合による。

ガーダ質量によるガーダ端部のせん断力： $Q_1$

$$Q_1 = \frac{m_g \cdot g}{2} \cdot (1 + C_{V1}) \quad \dots\dots (10.11)$$

トロリがガーダ中央部にある場合のトロリ質量による

ガーダ端部のせん断力： $Q_4$

$$Q_4 = \frac{m_t \cdot g}{2} \cdot \frac{\left( l_1 + \frac{l_2}{2} \right)}{l} \cdot (1 + C_{V1}) \quad \dots\dots (10.12)$$

トロリがガーダ中央部にある場合の主巻定格荷重(質量)による

ガーダ端部のせん断力： $Q_5$

$$Q_5 = \frac{m_m \cdot g}{2} \cdot \frac{\left( l_1 + \frac{l_2}{2} \right)}{l} \cdot (1 + C_{V1}) \quad \dots\dots (10.13)$$

ガーダ端部の合計せん断力： $Q$

トロリは浮き上がりの発生が予測されることから、30%割り増しを行う。

$$Q = (Q_1 + Q_4 + Q_5) \times 1.3 \quad \dots\dots (10.14)$$

ガーダ端部のせん断応力： $\tau$

$$\tau = \frac{Q}{A_v} \quad \dots\dots (10.15)$$

10.3.2.2 脱線防止ラグの応力

4.2.2 節で述べる脱線防止ラグの応力計算方法に基づき計算を行う。

10.3.2.3 トロリストッパの応力

4.2.3 節で述べるトロリストッパの応力計算方法に基づき計算を行う。

10.3.2.4 走行レールの応力

(1) 走行車輪荷重

鉛直方向荷重と横行方向（NS 方向）水平力が走行レールに作用するものとして計算する。

a. 鉛直方向最大車輪荷重

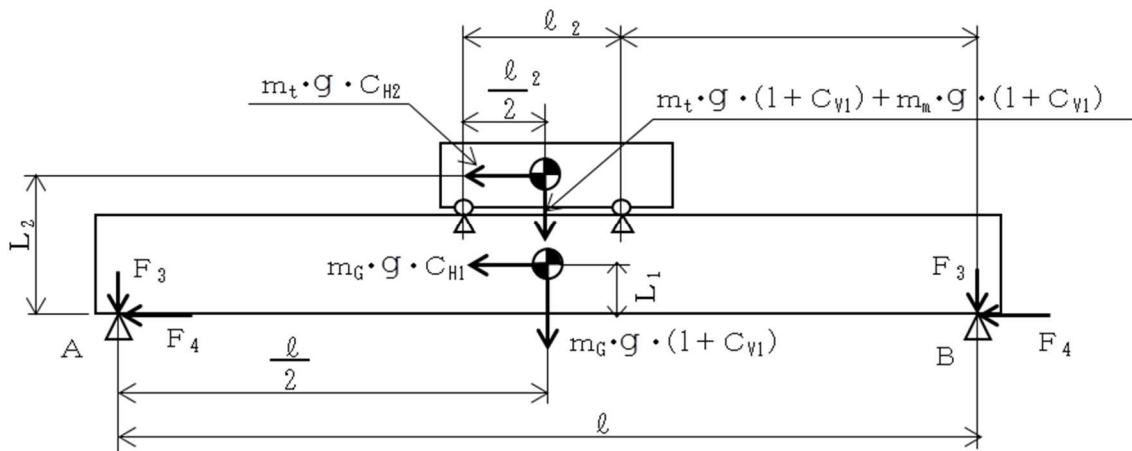
鉛直方向最大車輪荷重は、第 10-1 図のごとく、トロリが主巻定格荷重（質量）負荷状態で中央部にある場合の A 点側及び B 点側の車輪に生じる。

荷重状態を第 10-1 図に示す。

走行車輪 1 個当たりの鉛直方向最大車輪荷重： $F_3$

ガーダは浮き上がりの発生が予測されることから、30%割り増しを行う。

$$F_3 = \left\{ \frac{m_G \cdot g \cdot (1 + C_{V1})}{n} + \frac{1}{\frac{n}{2}} \cdot [m_t \cdot g \cdot (1 + C_{V1}) + m_m \cdot g \cdot (1 + C_{V1})] \cdot \frac{\left(\frac{\ell_2}{2} + \ell_1\right)}{\ell} + \frac{1}{\frac{n}{2}} \cdot \frac{(m_G \cdot g \cdot L_1 \cdot C_{H1} + m_t \cdot g \cdot L_2 \cdot C_{H2})}{\ell} \right\} \times 1.3 \quad \dots\dots (10.16)$$



第 10-1 図 荷重状態

b. 横行方向（NS 方向）水平力

横行方向（NS 方向）水平力は、第 10-1 図のごとく、A 点側及び B 点側の車輪に生じる。

走行車輪 1 個当たりの横行方向（NS 方向）水平力： $F_4$

$$F_4 = \frac{1}{n} \cdot (m_G \cdot g \cdot C_{H1} + m_t \cdot g \cdot C_{H2}) \quad \dots\dots (10.17)$$

(2) 走行レールの応力

鉛直方向車輪荷重と横行方向（NS 方向）水平力による走行レール応力を第 4-9 図及び第 4-10 図を用いて計算する。

a. 走行レールウェブの応力

走行レールウェブの最大応力は、鉛直方向最大車輪荷重と横行方向（NS 方向）水平力が同時に作用したとき走行レールウェブの最小板厚部に生じる。

鉛直方向最大車輪荷重と横行方向（NS 方向）水平力は、第 4-9 図及び第 4-10 図の斜線部に示すような分布荷重として計算する。

走行レール伝達幅モデル図及び走行レール伝達幅鳥瞰図を第 4-9 図及び第 4-10 図に示す。

横行方向（NS 方向）水平力の走行レール頭部における

伝達幅（走行レール中心）： $b_2$

$$b_2 = b + 2 \cdot \ell_7 \quad \dots\dots (10.18)$$

横行方向（NS 方向）水平力の走行レールウェブにおける

伝達幅（走行レール中心）： $b_3$

$$b_3 = b_2 + 2 \cdot L_3 \quad \dots\dots (10.19)$$

鉛直方向車輪荷重の走行レールウェブにおける伝達幅（走行レール中心）： $b_4$

$$b_4 = b_1 + 2 \cdot (L_3 + L_4) \quad \dots\dots (10.20)$$

横行方向（NS 方向）水平力に対する走行レールウェブの断面積： $A_3$

$$A_3 = b_3 \cdot t_4 \quad \dots\dots (10.21)$$

鉛直方向車輪荷重に対する走行レールウェブの断面積： $A_4$

$$A_4 = b_4 \cdot t_4 \quad \dots\dots (10.22)$$

横行方向（NS 方向）水平力に対する走行レールウェブの断面係数： $Z_2$

$$Z_2 = \frac{b_3 \cdot t_4^2}{6} \quad \dots\dots (10.23)$$

走行レールウェブの曲げモーメント： $M_7$

$$M_7 = L_3 \cdot F_4 \quad \dots\dots (10.24)$$

走行レールウェブの曲げ（圧縮）応力： $\sigma_{C3}$

$$\sigma_{C3} = \frac{M_7}{Z_2} + \frac{F_3}{A_4} \quad \dots\dots (10.25)$$

走行レールウェブのせん断応力： $\tau_2$

$$\tau_2 = \frac{F_4}{A_3} \quad \dots\dots (10.26)$$

走行レールウェブの組合せ応力： $\sigma_{C4}$

$$\sigma_{C4} = \sqrt{\sigma_{C3}^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \quad \dots\dots (10.27)$$

### 10.3.2.5 横行レールの応力

#### (1) 横行車輪荷重

鉛直方向荷重と走行方向（EW 方向）水平力が横行レールに作用するものとして計算する。

##### a. 鉛直方向最大車輪荷重

鉛直方向最大車輪荷重は、第4-11図のごとく、トロリが主巻定格荷重（質量）負荷状態で各横行車輪（4輪）に均等に生じる。

荷重状態を第4-11図に示す。

横行車輪1個当たりの鉛直方向最大車輪荷重： $F_5$

トロリは浮き上がりの発生が予測されることから、30%割り増しを行う。

$$F_5 = \left\{ \frac{m_t \cdot g \cdot (1 + C_V^{*1}) + m_m \cdot g \cdot (1 + C_V^{*1})}{n_t} + \frac{1}{\frac{n_t}{2}} \cdot \frac{m_t \cdot g \cdot L_6 \cdot C_H}{\ell_g} \right\} \times 1.3 \quad \dots (10.28)$$

\*1： $C_V$ は $C_{V1}$ と $C_{V2}$ の大なるものを用いる。

b. 走行方向（EW 方向）水平力

走行方向（EW 方向）水平力は、第 4-11 図のごとく、A 点側及び B 点側の車輪に生じる。

横行車輪 1 個当たりの走行方向（EW 方向）水平力： $F_6$

$$F_6 = \frac{m_t \cdot g \cdot C_H}{n_t} \quad \dots\dots (10.29)$$

(2) 横行レールの応力

鉛直方向荷重と走行方向（EW 方向）水平力による横行レールの応力を第 4-12 図及び第 4-13 図を用いて計算する。

a. 横行レールウェブの応力

横行レールウェブの最大応力は、鉛直方向最大荷重と走行方向（EW 方向）水平力が同時に作用したとき横行レールウェブの最小板厚部に生じる。

横行レール伝達幅モデル図及び横行レール伝達幅鳥瞰図を第 4-12 図及び第 4-13 図に示す。

走行方向（EW 方向）水平力の横行レール頭部における

伝達幅（横行レール中心）： $b_5$

$$b_5 = b + 2 \cdot \ell_8 \quad \dots\dots (10.30)$$

走行方向（EW 方向）水平力の横行レールウェブにおける

伝達幅（横行レール中心）： $b_6$

$$b_6 = b_5 + 2 \cdot L_7 \quad \dots\dots (10.31)$$

鉛直方向車輪荷重の横行レールウェブにおける伝達幅（横行レール中心）： $b_7$

$$b_7 = b_1 + 2 \cdot (L_7 + L_8) \quad \dots\dots (10.32)$$

走行方向（EW 方向）水平力に対する横行レールウェブの断面積： $A_5$

$$A_5 = b_6 \cdot t_5 \quad \dots\dots (10.33)$$

鉛直方向車輪荷重に対する横行レールウェブの断面積： $A_6$

$$A_6 = b_7 \cdot t_5 \quad \dots\dots (10.34)$$

走行方向（EW 方向）水平力に対する横行レールウェブの断面係数： $Z_3$

$$Z_3 = \frac{b_6 \cdot t_5^2}{6} \quad \dots\dots (10.35)$$

横行レールウェブの曲げモーメント： $M_8$

$$M_8 = F_6 \cdot L_7 \quad \dots\dots\dots (10.36)$$

横行レールウェブの曲げ（圧縮）応力： $\sigma_{c5}$

$$\sigma_{c5} = \frac{M_8}{Z_3} + \frac{F_5}{A_6} \quad \dots\dots\dots (10.37)$$

横行レールウェブのせん断応力： $\tau_3$

$$\tau_3 = \frac{F_6}{A_5} \quad \dots\dots\dots (10.38)$$

横行レールウェブの組合せ応力： $\sigma_{c6}$

$$\sigma_{c6} = \sqrt{\sigma_{c5}^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \quad \dots\dots\dots (10.39)$$

## 10.4 評価方法

### 10.4.1 固有周期の評価

クレーンはレールと車輪の走行方向のすべりを考慮し、ガーダの走行方向及びトロリの走行方向については、3.1節で述べた最大静止摩擦係数より求めた値を水平方向設計震度とする。

ガーダの横行方向については、レール直角方向であるため、基準地震動  $S_s$  による建屋水平方向応答加速度を基に定まる震度を水平方向設計震度とする。

また、鉛直方向設計震度は、基準地震動  $S_s$  による建屋鉛直方向応答加速度を基に定まる震度を鉛直方向設計震度とする。

### 10.4.2 応力の評価

#### (1) クレーン本体ガーダの応力評価

10.3.2.1項で求めたガーダ中央部の曲げ（引張）応力  $\sigma_t$  は下記材料の許容引張応力  $f_t$  以下であること。

10.3.2.1項で求めたガーダ端部のせん断応力  $\tau$  は下記材料の許容せん断応力  $f_s$  以下であること。

	材料の許容引張応力 ( $f_t$ )	材料の許容せん断応力 ( $f_s$ )
計算式	$f_t = S_y$	$f_s = f_t / \sqrt{3}$

#### (2) 脱線防止ラグの応力評価

10.3.2.2項で求めた脱線防止ラグの圧縮応力  $\sigma_c$  は下記許容圧縮応力  $f_c$  以下であること。

	材料の許容引張応力 ( $f_t$ )
計算式	$f_t = S_y$

	脱線防止ラグの許容 圧縮応力 ( $f_c$ )
計算式	$f_c = f_t / 1.15$



(3) トロリストッパの応力評価

10.3.2.3項で求めたトロリストッパの曲げ（引張）応力  $\sigma_{t1}$  は、下記許容引張応力  $f_{t1}$  以下であること。

10.3.2.3項で求めたトロリストッパのせん断応力  $\tau_1$  は、下記許容せん断応力  $f_{s1}$  以下であること。

10.3.2.3項で求めたトロリストッパの組合せ応力  $\sigma_{t2}$  は、下記許容組合せ応力  $f_{t2}$  以下であること。

10.3.2.3項で求めたトロリストッパの合計（引張）応力  $\sigma_{t5}$  は、下記許容引張応力  $f_{t1}$  以下であること。

10.3.2.3項で求めたトロリストッパの荷重組合せ応力  $\sigma_{t6}$  は、下記許容荷重組合せ応力  $f_{t4}$  以下であること。

	材料の許容引張応力 ( $f_t$ )
計算式	$f_t = S_y$

	トロリストッパの 許容引張応力 ( $f_{t1}$ )	トロリストッパの 許容せん断応力 ( $f_{s1}$ )	トロリストッパの 許容組合せ応力 ( $f_{t2}$ )
計算式	$f_{t1} = f_t$	$f_{s1} = f_t / \sqrt{3}$	$f_{t2} = f_t$

	トロリストッパの 許容荷重組合せ応力 ( $f_{t4}$ )
計算式	$f_{t4} = f_t$

(4) 走行及び横行レールの応力評価

レール鋼についてはレール鋼の引張強さ  $S_{u1}$  の  $1/1.8$  を許容引張応力として評価する。

10.3.2.4(2)a. 項で求めた走行レールウェブの曲げ（圧縮）応力  $\sigma_{c3}$  及び 10.3.2.5(2)a. 項で求めた横行レールウェブの曲げ（圧縮）応力  $\sigma_{c5}$  は下記許容圧縮応力  $f_{c3}$  以下であること。

10.3.2.4(2)a. 項で求めた走行レールウェブのせん断応力  $\tau_2$  及び 10.3.2.5(2)a. 項で求めた横行レールウェブのせん断応力  $\tau_3$  は下記許容せん断応力  $f_{s2}$  以下であること。

10.3.2.4(2)a. 項で求めた走行レールウェブの組合せ応力  $\sigma_{c4}$  及び 10.3.2.5(2)a. 項で求めた横行レールウェブの組合せ応力  $\sigma_{c6}$  は下記許容組合せ応力  $f_{c4}$  以下であること。

	レール鋼の許容引張 応力 ( $f_{t3}$ )
計算式	$f_{t3} = (S_{u1}/1.8) \times 1.3$

	走行及び横行レール ウェブの許容圧縮応 力 ( $f_{c3}$ )	走行及び横行レールウ ェブの許容せん断応力 ( $f_{s2}$ )	走行及び横行レールウ ェブの許容組合せ応力 ( $f_{c4}$ )
計算式	$f_{c3} = f_{t3}/1.15$	$f_{s2} = f_{t3}/\sqrt{3}$	$f_{c4} = f_{t3}$

## 10.5 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及 び床面高さ (m)	固有周期 (s)			水平方向設計震度			鉛直方向 設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	鉛直方向	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	横行方向 (NS 方向)	$C_{v1}$	$C_{v2}$
受入れ区域 天井 クレーン	基準地震動 $S_s$ に対する 安全検討	使用済燃料 貯蔵建屋 T.P. +28.7* <sup>1</sup>	—	$T = 0.016$	$T_{v1} = 0.174$ $T_{v2} = 0.063$	$C_H = 0.08^{*2}$	$C_{H1} = 1.45$	$C_{H2} = 0.15^{*2}$	$3.07^{*3}$	1.35

最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
—	45

注記 \*1: 走行レール天端レベルを示す

\*2: 最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

\*3: 吊荷時固有周期  $T_{v1}$  より求めた鉛直方向設計震度

枠囲みの内容は商業機密に属するため公開できません。

## 10.6 機器要目

$m_g$ (kg)	$m_t$ (kg)	$m_m$ (kg)	$m_G$ (kg)	$\Sigma m$ (kg)
		160000		

$\varnothing$ (mm)	$\varnothing_1$ (mm)	$\varnothing_2$ (mm)	$\varnothing_5$ (mm)	$\varnothing_6$ (mm)	$\varnothing_7$ (mm)	$\varnothing_8$ (mm)	$\varnothing_9$ (mm)	$\varnothing_{11}$ (mm)	$t_1$ (mm)	$t_3$ (mm)	$t_4$ (mm)	$t_5$ (mm)	$I_x$ (mm <sup>4</sup> )
18650													

$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	$L_4$ (mm)	$L_5$ (mm)	$L_6$ (mm)	$L_7$ (mm)	$L_8$ (mm)	$b$ (mm)	$b_1$ (mm)	$b_2$ (mm)	$b_3$ (mm)	$b_4$ (mm)	$b_5$ (mm)	$b_6$ (mm)	$b_7$ (mm)

$A$ (mm <sup>2</sup> )	$A_v$ (mm <sup>2</sup> )	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	$A_5$ (mm <sup>2</sup> )	$A_6$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_{xt}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{y1}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_1$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_2$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_3$ (mm <sup>3</sup> )	$E$ (MPa)	$n$	$n_t$	$n_s$
													$2.06 \times 10^5$	8	4	4

クレーン本体ガーダ		脱線防止ラグ	トロリストッパ	走行及び横行レール
ガーダ中央部	ガーダ端部			
$S_y$ (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_{u1}$ (MPa)
325	315	235	315	780

## 10.7 計算数値

### 10.7.1 クレーン本体ガーダに生じる応力

(単位：MPa)

	中央部曲げ応力	端部せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 272$	$\tau = 122$

### 10.7.2 脱線防止ラグに生じる応力

(単位：MPa)

	圧縮応力
脱線防止ラグ	$\sigma_c = 185$

### 10.7.3 トロリストッパに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ（引張）応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	$\sigma_{t1} = 19$	$\tau_1 = 3$	$\sigma_{t2} = 20$

	合計（引張）応力	荷重組合せ応力
トロリストッパ	$\sigma_{t5} = 178$	$\sigma_{t6} = 179$

### 10.7.4 走行レールウェブに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ（圧縮）応力	せん断応力	組合せ応力
走行レール	$\sigma_{c3} = 432$	$\tau_2 = 11$	$\sigma_{c4} = 433$

### 10.7.5 横行レールウェブに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ（圧縮）応力	せん断応力	組合せ応力
横行レール	$\sigma_{c5} = 418$	$\tau_3 = 1$	$\sigma_{c6} = 418$

## 10.8 評価結果及び結論

### 10.8.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
走行方向 (EW 方向)	—
横行方向 (NS 方向)	$T = 0.016$
鉛直方向 (UD 方向)	$T_{V1} = 0.174$ * <sup>1</sup> $T_{V2} = 0.063$ * <sup>2</sup>

\*1：ガーダ中央部にトロリがある場合

\*2：ガーダ端部にトロリがある場合

### 10.8.2 応力

(単位：MPa)

部材		材料	応力	算出応力	許容応力	判定
クレーン本体 ガーダ	中央部	SM490A	曲げ	$\sigma_t = 272$	$f_t = 325$	良
	端部	SM490A	せん断	$\tau = 122$	$f_s = 181$	良
脱線防止ラグ		SS400	圧縮	$\sigma_c = 185$	$f_c = 204$	良
トロリストッパ		SM490A	曲げ (引張)	$\sigma_{t1} = 19$	$f_{t1} = 315$	良
			せん断	$\tau_1 = 3$	$f_{s1} = 181$	良
			組合せ	$\sigma_{t2} = 20$	$f_{t2} = 315$	良
			合計 (引張)	$\sigma_{t5} = 178$	$f_{t1} = 315$	良
			荷重組合せ	$\sigma_{t6} = 179$	$f_{t4} = 315$	良
走行レール		レール鋼	曲げ (圧縮)	$\sigma_{c3} = 432$	$f_{c3} = 489$	良
			せん断	$\tau_2 = 11$	$f_{s2} = 325$	良
			組合せ	$\sigma_{c4} = 433$	$f_{c4} = 563$	良
横行レール		レール鋼	曲げ (圧縮)	$\sigma_{c5} = 418$	$f_{c3} = 489$	良
			せん断	$\tau_3 = 1$	$f_{s2} = 325$	良
			組合せ	$\sigma_{c6} = 418$	$f_{c4} = 563$	良

上記に示すとおり、算出応力は許容応力を下回っており、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して基本的安全機能を損なわない設計である。

添付 5-6 搬送台車の耐震性に関する説明書

添付 5-6-1 搬送台車の耐震性に関する計算書



## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 計算条件	2
3.1 計算条件	2
3.2 記号の説明	6
3.3 数値の丸め方	7
4. 計算方法	8
5. 評価方法	10
5.1 設計震度	10
5.2 応力の評価	10
6. 計算結果	11
6.1 設計条件	11
6.2 機器要目	11
6.3 評価結果及び結論	12

## 図表目次

第3-1 図	搬送台車概要図	4
第3-2 図	搬送台車のモデル図及び応力評価面	5
第3-1 表	記号の説明	6
第3-2 表	数値の丸め方一覧表	7

## 1. 概要

本資料は、搬送台車の耐震性についての計算方法及びその計算結果について示すものである。

## 2. 適用基準

本計算書においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1-2005）（日本機械学会 2005年9月）（2007年追補版を含む。）（以下「設計・建設規格」という。）及び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 及び JEAG 4601-1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月及び昭和62年8月）に準拠して評価する。

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算条件

##### (1) 搬送台車構造

搬送台車の概要図を第 3-1 図に示す。

本装置は、使用済燃料を収納した金属キャスクを固定した貯蔵架台を圧縮空気により浮上させ、床面との摩擦力を低減して金属キャスクを搬送するものである。

装置は、貯蔵架台を積載する搬送台、及び搬送台等に連結して搬送台を搬送するドライブユニットで構成されている。また、搬送台には駆動源となる圧縮空気の供給を受けるホースを巻き取るホースリール及び制御盤等を搭載するホースリール用フレームが設けられている。

搬送する際に貯蔵架台は搬送台車には固定しない。また、浮上時には金属キャスク及び貯蔵架台の荷重を搬送台にて受けるが、着床時には貯蔵架台脚部が床面に接しており、搬送台は荷重を受けない設計であることから、浮上状態においてのみ評価を行う。

評価において金属キャスクを積載した状態で、金属キャスク及び貯蔵架台の荷重と、搬送台車下面に作用する圧縮空気による等分布荷重がつりあった状態としたモデル図を第 3-2 図に示す。

##### (2) 応力評価面

搬送台車の応力評価面を第 3-2 図に示す。

##### (3) 水平方向 (NS/EW 方向)

搬送台は床面から浮上しているため、搬送台には、水平方向の地震力は作用しない。

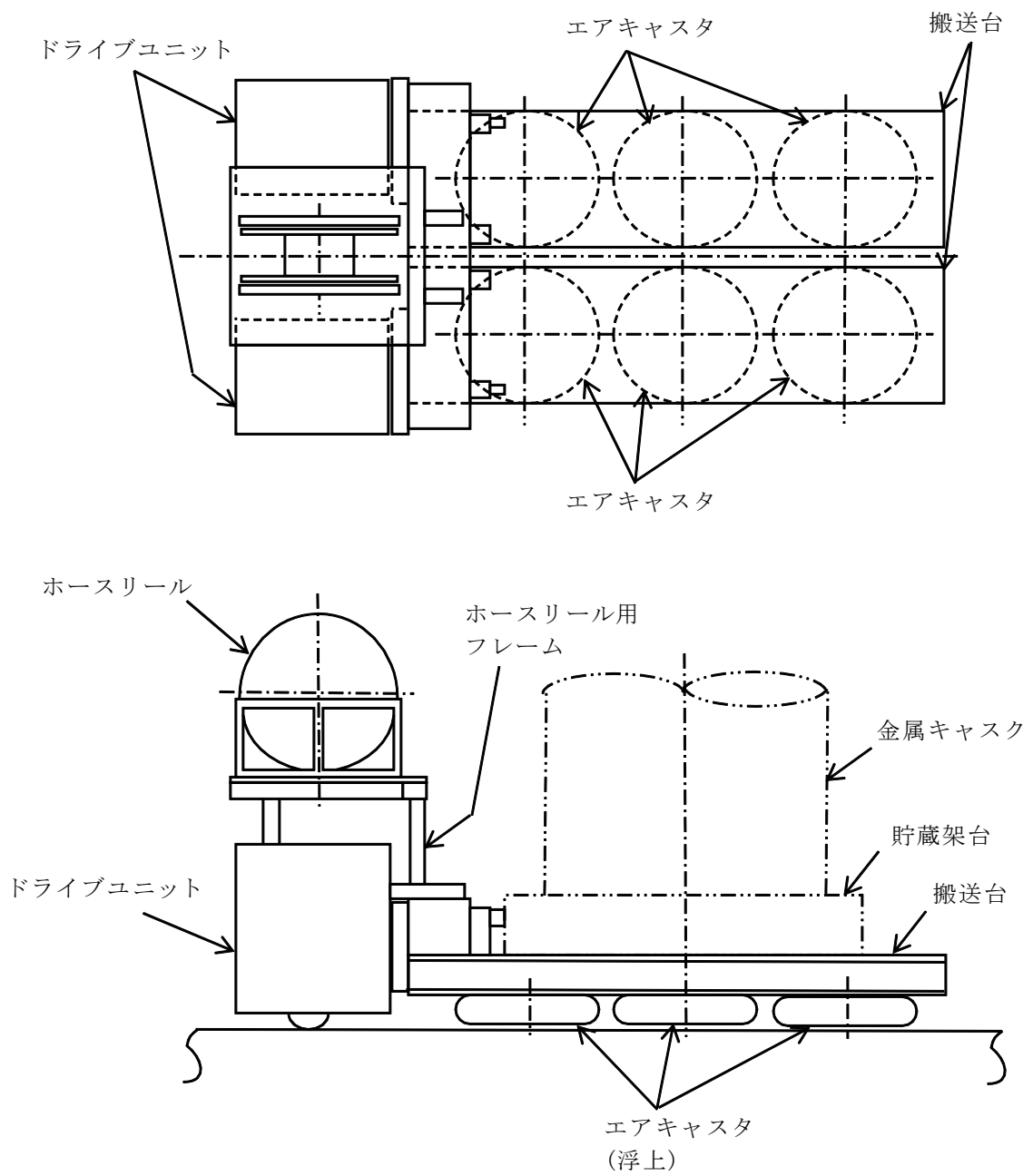
##### (4) 鉛直方向 (UD 方向)

搬送台には、鉛直方向の地震力が作用する。耐震重要度分類 B クラスの機器は、その固有周期を算出して剛柔判断を行い、柔構造と判断される場合には、共振のおそれのある施設として、弾性設計用地震動  $S_d$  に 2 分の 1 を乗じたものを用いてその影響を検討しなければならない。しかし、ここでは保守的に浮上状態における固有周期の算出は行わず、鉛直方向弾性設計用地震動  $S_d$  による床面の応答スペクトルに 2 分の 1 を乗じたものの最大値を設計用地震力としてその影響を評価する。

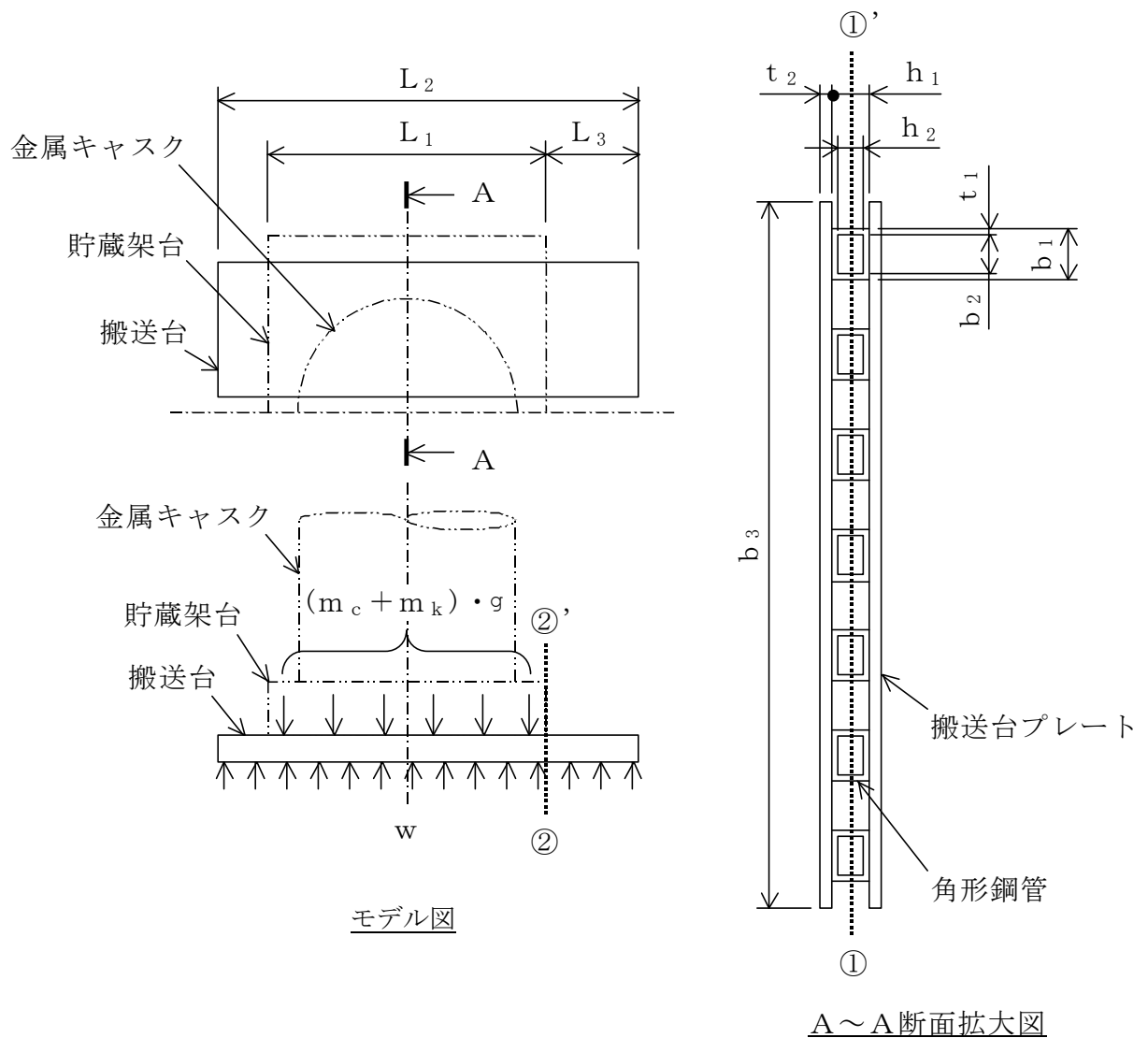
##### (5) 安全検討

基準地震動  $S_s$  に基づいて求められる地震力が作用しても、基本的安全機能を損なわない設計とは、搬送台車が転倒しないことを確認することである。

転倒しないことの評価は、「添付 11-2 搬送台車の金属キャスクの取扱いに関する説明書」において実施しており、本計算書においては行わない。



第3-1図 搬送台車概要図



応力評価面	評価部位
①-①'	搬送台 (中央部)
②-②'	搬送台 (端部)

第3-2図 搬送台車のモデル図及び応力評価面

### 3.2 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第3-1表に示すとおりとする。

第3-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_1$	応力評価面①の断面積	$\text{mm}^2$
$A_2$	応力評価面②の断面積	$\text{mm}^2$
$b_1$	搬送台の角形鋼管の外幅	mm
$b_2$	搬送台の角形鋼管の内幅	mm
$b_3$	搬送台の幅	mm
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1 に定める値	MPa
$f_b$	許容曲げ応力	MPa
$f_c$	許容圧縮応力	MPa
$f_s$	許容せん断応力	MPa
$f_t$	許容組合せ応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_1$	搬送台の角形鋼管の外高さ	mm
$h_2$	搬送台の角形鋼管の内高さ	mm
$L_1$	貯蔵架台の長さ	mm
$L_2$	搬送台の長さ	mm
$L_3$	貯蔵架台が積載されない範囲の長さ	mm
$m_c$	金属キャスクの最大取扱質量	kg
$m_k$	貯蔵架台の最大質量	kg
$n_1$	搬送台の角形鋼管の個数	—
$n_2$	搬送台の個数	—
$t_1$	搬送台の角形鋼管の板厚	mm
$t_2$	搬送台プレートの板厚	mm
$w$	搬送台下面に作用する圧縮空気による等分布荷重	N/mm
$Z$	応力評価面②の断面係数	$\text{mm}^3$
$\sigma$	応力評価面②に作用する組合せ応力	MPa
$\sigma_b$	応力評価面②に作用する曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	応力評価面①に作用する圧縮応力	MPa
$\tau$	応力評価面②に作用するせん断応力	MPa



### 3.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を第3-2表に示す。

第3-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
設計震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	設計値
質量	kg	—	—	設計値
長さ	mm	—	—	設計値
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* <sup>1</sup>
計算応力値	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力値	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 \*1：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

4. 計算方法

搬送台車に作用する鉛直方向の荷重による応力を、以下のとおりに計算する。

応力評価面①の断面積： $A_1$

$$A_1 = 2 \cdot n_1 \cdot t_1 \cdot L_1 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

応力評価面①に作用する圧縮応力： $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{\frac{m_c + m_k}{n_2} \cdot g \cdot (1 + C_V)}{A_1} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

搬送台下面に作用する圧縮空気による等分布荷重： $w$

$$w = \frac{\frac{m_c + m_k}{n_2} \cdot g \cdot (1 + C_V)}{L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

応力評価面②の断面積： $A_2$

$$A_2 = 2 \cdot b_3 \cdot t_2 + n_1 \cdot (b_1 \cdot h_1 - b_2 \cdot h_2) \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

応力評価面②の断面係数： $Z$

$$Z = \frac{\frac{b_3 \cdot \{(h_1 + 2 \cdot t_2)^3 - h_1^3\}}{12} + n_1 \cdot \frac{b_1 \cdot h_1^3 - b_2 \cdot h_2^3}{12}}{\frac{h_1}{2} + t_2} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

応力評価面②に作用する曲げ応力： $\sigma_b$

$$\sigma_b = \frac{w \cdot L_3^2}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

応力評価面②に作用するせん断応力：  $\tau$

$$\tau = \frac{w \cdot L_3}{A_2} \dots\dots\dots (4.7)$$

応力評価面②に作用する組合せ応力：  $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.8)$$

## 5. 評価方法

### 5.1 設計震度

「添付 5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」に基づき、鉛直方向設計震度を求める。

### 5.2 応力の評価

4章で求めた圧縮応力 $\sigma_c$ は、下記許容圧縮応力 $f_c$ 以下であること。

4章で求めた曲げ応力 $\sigma_b$ は、下記許容曲げ応力 $f_b$ 以下であること。

4章で求めたせん断応力 $\tau$ は、下記許容せん断応力 $f_s$ 以下であること。

4章で求めた組合せ応力 $\sigma$ は、下記許容組合せ応力 $f_t$ 以下であること。

	許容圧縮応力 $f_c$	許容曲げ応力 $f_b$	許容せん断応力 $f_s$	許容組合せ応力 $f_t$
計算式	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

## 6. 計算結果

## 6.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向			
搬送台車	B	使用済燃料 貯蔵建屋 T.P. 16.30* <sup>1</sup>	—	—	—	C <sub>v</sub> = 0.95* <sup>2</sup>	130

注記 \*1: 搬送台車走行床面レベルを示す。  
\*2: 床応答スペクトルの最大値を使用する。

## 6.2 機器要目

m <sub>c</sub> (kg)	m <sub>k</sub> (kg)
120000	20000

b <sub>1</sub> (mm)	b <sub>2</sub> (mm)	b <sub>3</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)
76	64	1270	50	38	6	7

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)
3000	3791	419

A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>
2.520×10 <sup>5</sup>	2.736×10 <sup>4</sup>	7	2

### 6.3 評価結果及び結論

以下に示すとおり，計算応力値は許容応力値を下回っており，Bクラスの設計地震力に対して耐える設計である。

(単位：MPa)

部位	応力評価面	材料	応力	計算応力値	許容応力値	判定
搬送台 (中央部)	①-①'	ASTM A500B (STKR400 相当)	圧縮	$\sigma_c = 6$	$f_c = 187$	良
搬送台 (端部)	②-②'	ASTM A36 (SS400 相当)	曲げ	$\sigma_b = 55$	$f_b = 212$	良
			せん断	$\tau = 6$	$f_s = 122$	良
			組合せ	$\sigma = 56$	$f_t = 212$	良

添付 5-7 波及的影響を及ぼすおそれのある施設に関する説明書

添付 5-7-1 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の  
金属キャスクへの影響評価結果



## 目次

1. 概要	1
2. 影響評価及び結果	2
2.1 使用済燃料貯蔵建屋	2
2.2 受入れ区域天井クレーン	2
2.3 搬送台車	2
2.4 検査架台	2
2.4.1 基本方針	2
2.4.2 評価	3
2.4.3 評価結果	4
2.5 防火シャッター	6
2.5.1 基本方針	6
2.5.2 評価	6
2.5.3 評価結果	8
2.6 中性子線エリアモニタ	10
2.6.1 基本方針	10
2.6.2 評価	10
2.6.3 評価結果	14

## 図表目次

第2-1 図	計算モデル（金属キャスクと検査架台の衝突）	5
第2-2 図	計算モデル（防火シャッタの金属キャスクへの衝突）	9
第2-3 図	計算モデル（中性子線エリアモニタが二次蓋中央に衝突する場合）	15
第2-4 図	計算モデル（中性子線エリアモニタが二次蓋端部に衝突する場合）	16
第2-1 表	設計条件（金属キャスクと検査架台の衝突）	3
第2-2 表	評価結果（金属キャスクと検査架台の衝突）	4
第2-3 表	設計条件（防火シャッタの金属キャスクへの衝突）	6
第2-4 表	評価結果（防火シャッタの金属キャスクへの衝突）	8
第2-5 表	設計条件（中性子線エリアモニタの二次蓋への衝突）	10
第2-6 表	評価結果（中性子線エリアモニタの二次蓋への衝突）	14

## 1. 概要

本資料は、「添付 5-1-3-1 波及的影響を考慮する施設の選定」にて選定した施設について「添付 5-1-3 波及的影響に係る基本方針」の「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に基づき、波及的影響を及ぼすおそれのある施設の金属キャスクへの影響評価を示す。

## 2. 影響評価及び結果

### 2.1 使用済燃料貯蔵建屋

使用済燃料貯蔵建屋の影響評価及び結果については「添付 5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」に示すとおり金属キャスクの設計に適用する地震動に対して、主要構造部材に発生する応力が許容限界以下であることを確認した。そのため金属キャスクへの波及的影響はない。

### 2.2 受入れ区域天井クレーン

受入れ区域天井クレーンの影響評価及び結果については「添付 5-5-1 受入れ区域天井クレーンの耐震性に関する計算書」に示すとおり金属キャスクの設計に適用する地震力に対して、主要構造部材に発生する応力が許容限界以下であることを確認した。そのため金属キャスクへの波及的影響はない。

### 2.3 搬送台車

搬送台車の影響評価及び結果については「添付 11-2 搬送台車の金属キャスク取扱いに関する説明書」に示すとおり金属キャスクの設計に適用する地震動に対して、転倒しないことを確認した。そのため金属キャスクへの波及的影響はない。

### 2.4 検査架台

#### 2.4.1 基本方針

検査架台は、上位クラス施設である金属キャスクの検査の際に側面に設置している。金属キャスクの搬送中は、金属キャスク（貯蔵架台）と床面との固縛がされていないため、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う金属キャスクのロッキング振動により、金属キャスクと検査架台の衝突が考えられる。このため、金属キャスクの設計に適用する地震動又は地震力により、金属キャスクの基本的安全機能に影響がないよう金属キャスクの衝突部位として外筒を選定し、評価を実施する。

#### (1) 評価方針

金属キャスクの検査架台への転倒評価において、外筒の有する基本的安全機能である遮蔽機能が保持されることを確認する。外筒は、放射性物質の閉じ込め境界ではないが、自らが遮蔽体であると同時に、外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持する機能が求められるため、当該事象において破断しないことを確認する。

#### (2) 許容応力

外筒が破断しなければ遮蔽機能を保持できることから、遮蔽機能を保持できる破断点を許容値基準とする。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

外筒は、放射性物質の閉じ込め境界ではないが、自らが遮蔽体であると同時に、外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持する機能が求められる。類似の機能を持つ部材として、使用済燃料貯蔵施設規格（金属キャスク構造規格 JSME SFA1

—2007) (日本機械学会 2007年12月) (以下「構造規格」という。) に示される中間胴があり、外筒の構造強度評価手法としては中間胴の規定を用いる。

(3) 設計条件

外筒の材料及び最高使用温度を第2-1表に示す。

第2-1表 設計条件 (金属キャスクと検査架台の衝突)

部材	項目	評価条件
外筒	材料	SM400B
	最高使用温度	120 °C

2.4.2 評価

(1) 計算モデル

計算モデルを第2-1図に示す。

(2) 評価方法

a. せん断応力

第2-1図は、検査架台足場の上段及び下段が下ろされた状態であり、上段の検査架台足場に金属キャスクが接触している状態である。

金属キャスクへの衝突荷重は、上段の検査架台足場に金属キャスクが接触している傾斜角度から、ロックング振動による最大傾斜角度まで金属キャスクが傾いた際の位置エネルギーが検査架台の弾性変形エネルギーに全て吸収されるとして算出する。金属キャスクが衝突荷重を受ける面積は、足場の板厚寸法で構成する矩形の面積とすると、衝突荷重により金属キャスク外筒部に生じるせん断応力 $\tau$ は、以下の式で算出する。

$$\tau = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.4.2-1)$$

ここで、F : 金属キャスク外筒部への衝突荷重(N)

$$F = \sqrt{2 \cdot k \cdot E} \dots \dots \dots (2.4.2-2)$$

k : 検査架台のばね定数 (=1.464×10<sup>4</sup> N/mm)

E : 金属キャスクの位置エネルギー (=1.660×10<sup>5</sup> N・mm)

$$E = m \cdot G \cdot h$$

m : 金属キャスクと貯蔵架台の合計質量 (=133300 kg)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s<sup>2</sup>)

h : 金属キャスク及び貯蔵架台の重心変位 (=127 mm)

A : せん断面積(=1.872×10<sup>4</sup> mm<sup>2</sup>)

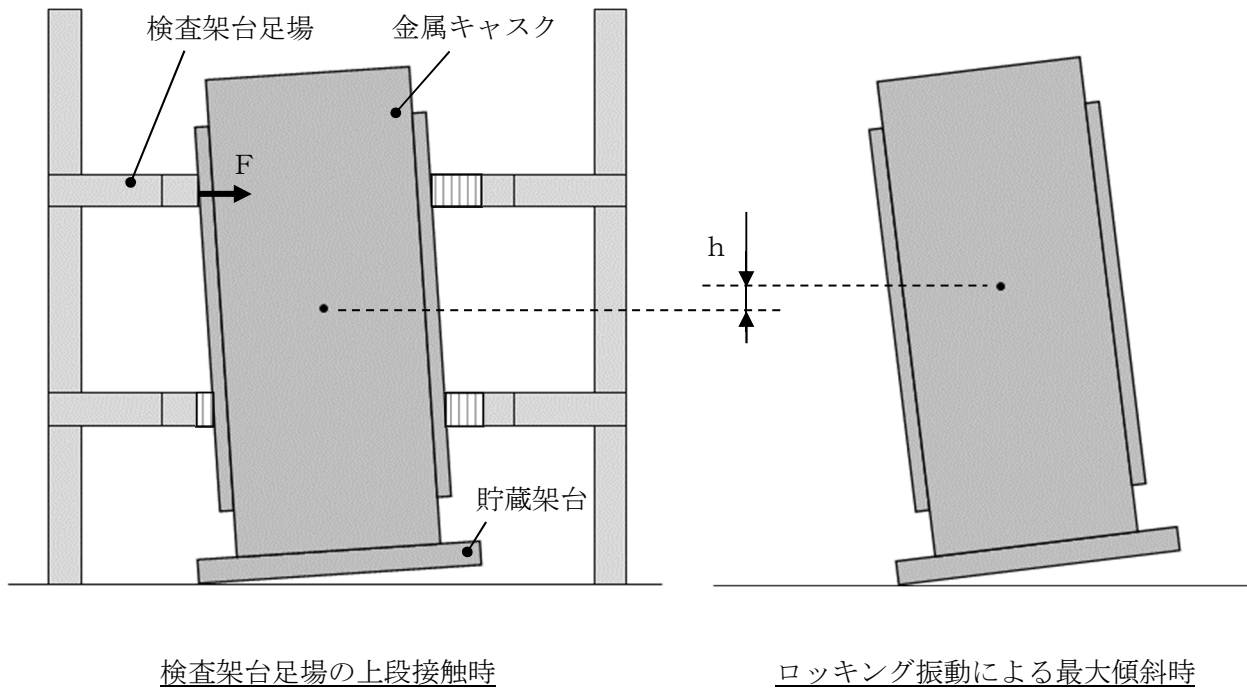
### 2.4.3 評価結果

評価結果を第2-2表に示す。評価の結果、外筒に発生する応力が許容応力を超えないことを確認した。

第2-2表 評価結果（金属キャスクと検査架台の衝突）

（単位：MPa）

機能設計上の性能目標	評価部位	材料	機能維持のための考え方	計算値	許容応力	許容値基準	結果
上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないこと	外筒	炭素鋼 (SM400B)	外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持する機能を維持するため破断しないこと	118	143	$(S_u/1.5\sqrt{3})$	良



第2-1図 計算モデル (金属キャスクと検査架台の衝突)

## 2.5 防火シャッター

### 2.5.1 基本方針

防火シャッターは、上位クラス施設である金属キャスクの移動の際に上部に設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により、金属キャスクとの衝突が考えられる。このため上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力により、落下した際の金属キャスクの基本的安全機能に影響がないよう金属キャスクの衝突部位として胴（蓋フランジ部）を選定し、評価を実施する。

#### (1) 評価方針

防火シャッターの金属キャスクへの落下事象では、金属キャスクの有する基本的安全機能のうち、閉じ込め機能が保持されることを確認するため、当該事象において、金属キャスクの衝突部位である胴（蓋フランジ部）が塑性変形しないことを確認する。

#### (2) 許容応力

胴（蓋部フランジ部）が塑性変形しなければ閉じ込め機能を保持できることから、閉じ込め機能を保持できる設計降伏点を許容値基準とする。許容応力は、密封容器の最高使用温度に対する値を用いる。

胴（蓋部フランジ部）の強度評価については、構造規格を適用する。

#### (3) 設計条件

密封容器の材料及び最高使用温度を第2-3表に示す。

第2-3表 設計条件（防火シャッターの金属キャスクへの衝突）

部材	項目	評価条件
密封容器	材料	GLF1
	最高使用温度	150 °C

### 2.5.2 評価

#### (1) 計算モデル

計算モデルを第2-2図に示す。



(2) 評価方法

a. 圧縮応力

防火シャッターが落下し、金属キャスク上部に衝突した場合、衝突荷重により金属キャスク胴（蓋フランジ部）に生じる圧縮応力 $\sigma_c$ は、以下の式で算出する。

$$\sigma_c = \frac{F}{A_P} \dots\dots\dots (2.5.2-1)$$

ここで、 $F$  : 金属キャスク胴（蓋フランジ部）への衝突荷重(N)

$$F = \sqrt{2 \cdot m_s \cdot G \cdot h \cdot k} \dots\dots\dots (2.5.2-2)$$

$m_s$  : 防火シャッターの質量 (=1480 kg)

$G$  : 重力加速度 (=9.80665 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : 防火シャッターの落下高さ (mm)

$$h = h_3 - (h_1 + h_2)$$

$h_1$  : 金属キャスク高さ (=5320 mm)

$h_2$  : 貯蔵架台高さ (=310 mm)

$h_3$  : 防火シャッターの開口高さ (=7000 mm)

$k$  : 防火シャッターのばね定数 (=9.07×10<sup>5</sup> N/mm)

$$k = \frac{E \cdot A_s}{a_0} \dots\dots\dots (2.5.2-3)$$

$E$  : 防火シャッターの縦弾性係数 (=203000 MPa)

$a_0$  : 防火シャッターの断面高さ (=870 mm)

$A_s$  : 防火シャッターの圧縮変形部面積 (mm<sup>2</sup>)

$$A_s = (b_o - b_i) \cdot D_o \dots\dots\dots (2.5.2-4)$$

$b_o$  : 防火シャッターの断面幅 (=630 mm)

$b_i$  : 防火シャッターの断面幅 (=613 mm)

$D_o$  : 金属キャスク外径 (=2308 mm)

$A_P$  : 荷重作用面積 (mm<sup>2</sup>)

$$A_P = b_o \cdot (D_o - D_i) \dots\dots\dots (2.5.2-5)$$

$D_i$  : 金属キャスク内径 (=2138 mm)

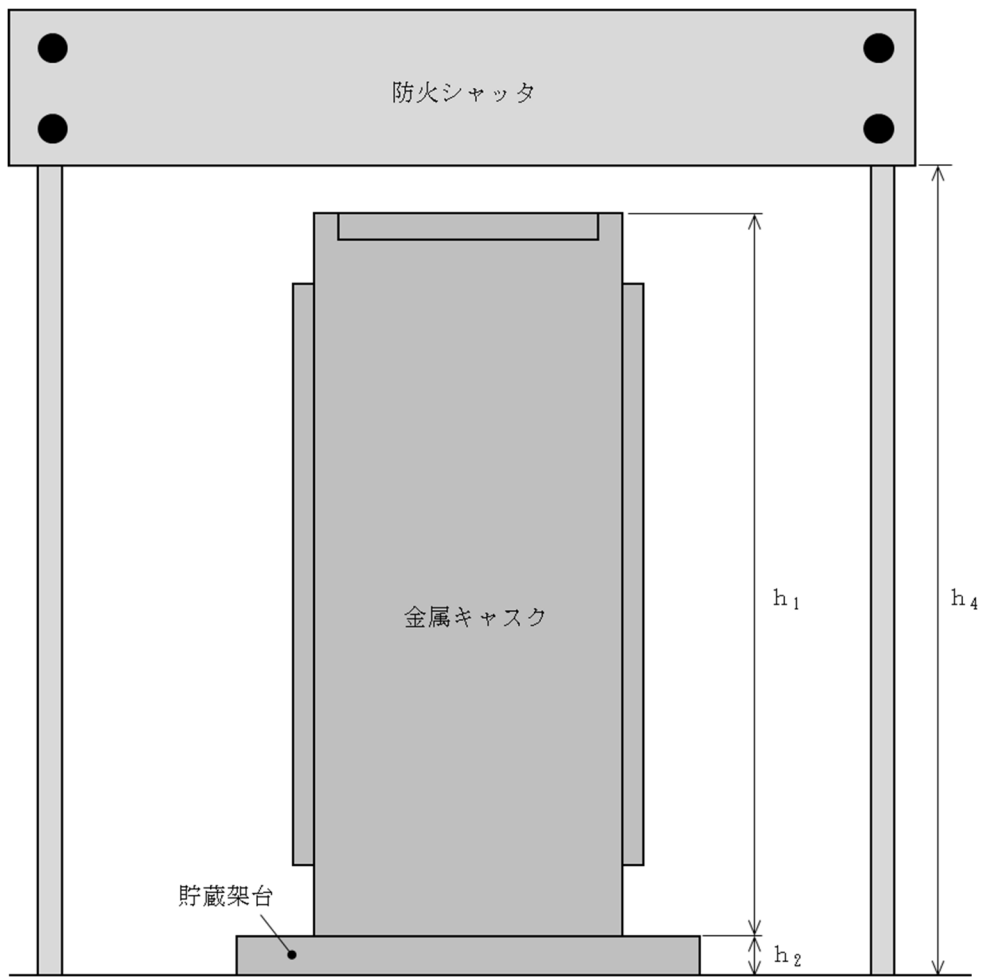
### 2.5.3 評価結果

評価結果を第2-4表に示す。評価の結果、金属キャスクの衝突部位に生じる応力は許容基準値を超えないことを確認した。

第2-4表 評価結果（防火シャッタの金属キャスクへの衝突）

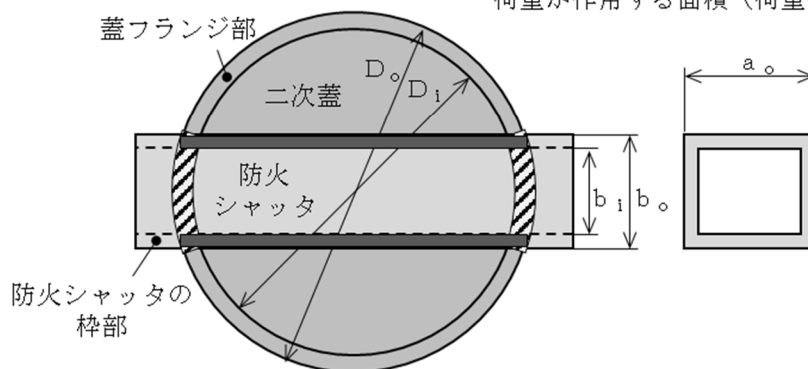
（単位：MPa）

機能設計上の性能目標	評価部位	材料	機能維持のための考え方	計算値	許容応力	許容基準値	結果
上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないこと	胴 (蓋フランジ部)	炭素鋼 (GLF1)	閉じ込め機能を維持するため塑性変形しないこと	178	183	( $S_y$ )	良



防火シャッターと金属キャスクの位置関係

- :  $A_S$  (防火シャッターが、圧縮変形により落下エネルギーを吸収する部分の断面積)
- ▨ :  $A_P$  (金属キャスクの、防火シャッターの落下による荷重が作用する面積 (荷重作用面積))



防火シャッターの衝突荷重作用範囲

第 2-2 図 計算モデル (防火シャッターの金属キャスクへの衝突)

## 2.6 中性子線エリアモニタ

### 2.6.1 基本方針

中性子線エリアモニタは、上位クラス施設である金属キャスクの移動の際に上部に設置していることから、金属キャスクの設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により、金属キャスクとの衝突が考えられる。このため金属キャスクの設計に適用する地震動又は地震力により、落下した際の金属キャスクの基本的安全機能に影響がないよう金属キャスクの衝突部位として二次蓋を選定し、評価を実施する。

#### (1) 評価方針

中性子線エリアモニタの金属キャスクへの落下事象では、密封容器の有する基本的安全機能のうち、閉じ込め機能が保持されることを確認するため、当該事象において、金属キャスクの衝突部位である二次蓋について、二次蓋端部（密封シール部）及び二次蓋締付けボルトは塑性変形しないこととし、二次蓋中央部は破断しないことを確認する。

#### (2) 許容応力

二次蓋が塑性変形及び破断をしなければ閉じ込め機能が保持できることから、閉じ込め機能を保持できる設計降伏点及び破断点を許容値基準とする。許容応力は、二次蓋の最高使用温度に対する値を用いる。

金属キャスクの強度評価については、構造規格を適用する。

#### (3) 設計条件

二次蓋の材料及び最高使用温度を第2-5表に示す。

第2-5表 設計条件（中性子線エリアモニタの二次蓋への衝突）

部材	項目	評価条件
二次蓋	材料	SGV480
	最高使用温度	110 °C

### 2.6.2 評価

#### (1) 計算モデル

中性子線エリアモニタが二次蓋中央及び二次蓋端部に衝突した場合の二次蓋中央、二次蓋端部及び二次蓋締付けボルトに発生する応力を評価する。

中性子線エリアモニタが二次蓋中央に衝突する場合の計算モデルを第2-3図に示す。

中性子線エリアモニタが二次蓋端部に衝突する場合の計算モデルを第2-4図に示す。

(2) 評価方法

a. 二次蓋中央衝突時

(a) 二次蓋中央部

イ. 曲げ応力

中性子線エリアモニタの衝突荷重により二次蓋中央部に生じる曲げ応力  $\sigma_{b1}$  は、以下の式で算出する。

$$\sigma_{b1} = \frac{P_1}{t_2} \cdot (1 + \nu) \cdot (0.485 \cdot \ln \frac{r_2}{t_2} + 0.52) \quad \dots (2.6.2-1)$$

ここで、 $r_2$  : 二次蓋取付部半径 (=955 mm)

$t_2$  : 二次蓋の厚さ (=169 mm)

$P_1$  : 二次蓋中央に作用する集中荷重 (N)

$$P_1 = \sqrt{m_1 \cdot G \cdot h \cdot \frac{2 \cdot K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2}} \quad \dots (2.6.2-2)$$

$m_1$  : 中性子線エリアモニタの質量 (=70 kg)

$G$  : 重力加速度 (=9.80665 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : 中性子線エリアモニタの落下高さ (=5296.5 mm)

$K_1$  : 中性子線エリアモニタの高さ方向のばね定数  
(=6.885×10<sup>6</sup> N/mm)

$$K_1 = E_1 \cdot A / H_1$$

$E_1$  : 中性子線エリアモニタの縦弾性係数 (=195000 MPa)

$A$  : 中性子線エリアモニタの衝突部面積 (mm<sup>2</sup>)

$$A = m_1 / (H_1 \cdot \rho_1)$$

$H_1$  : 中性子線エリアモニタの高さ (=500 mm)

$\rho_1$  : 中性子線エリアモニタの密度  
(=7.93×10<sup>-6</sup> kg/mm<sup>3</sup>)

$K_2$  : 二次蓋のばね定数 (=4.805×10<sup>6</sup> N/mm)

$$K_2 = \frac{E_2 \cdot t_2^3}{0.217 \cdot r_2^2} \quad \dots (2.6.2-3)$$

$E_2$  : 二次蓋の縦弾性係数  
(=197000 MPa)

(b) 二次蓋端部

二次蓋端部に生じる径方向応力  $\sigma_r$  及び周方向応力  $\sigma_\theta$  は以下のとおり。

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot \nu \cdot P_1}{2 \pi \cdot t_2^2} \dots \dots \dots (2.6.2-4)$$

ここで、 $\sigma_r$  : 二次蓋端部に生じる径方向応力 (MPa)  
 $\nu$  : 二次蓋のポアソン比 (=0.3)

$$\sigma_\theta = \frac{3 \cdot P_1}{2 \pi \cdot t_2^2} \dots \dots \dots (2.6.2-5)$$

ここで、 $\sigma_\theta$  : 二次蓋端部に生じる周方向応力 (MPa)  
このとき、 $\sigma_r$ 、 $\sigma_\theta$  及び  $|\sigma_r - \sigma_\theta|$  の最大値を二次蓋端部に生じる応力強さとする。

(c) 二次蓋締付けボルト

二次蓋の中央部に荷重  $2R_1$  が作用する場合、二次蓋フランジ部までの範囲においては荷重  $2R_1$  による反力とモーメント  $M_2$  が作用する両端固定梁、二次蓋フランジ部の外側はモーメント  $M_2$  が作用する片持ち梁とそれぞれモデル化することができる。このとき、二次蓋締付けボルトに生じる平均引張応力  $\sigma_t$  は以下に示すとおりである。

$$\sigma_t = \frac{R_3}{A} \dots \dots \dots (2.6.2-6)$$

ここで、 $\sigma_t$  : 二次蓋締付けボルトに生じる平均引張応力 (MPa)  
 $R_3$  : 二次蓋締付けボルトに加わる引張荷重 (N)

$$R_3 = M_2 / L_3$$

$L_3$  : 支点間距離 (=67.5 mm)

$M_2$  : 二次蓋の支点に作用するモーメント (N・mm)

$$\left. \begin{aligned} M_2 &= \frac{2 \cdot R_1 \cdot D}{8} \\ R_1 &= \frac{P_1}{n} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2.6.2-7)$$

$D$  : 二次蓋フランジ径 (=1910 mm)

$R_1$  : 二次蓋締付けボルト 1 本あたりの評価荷重 (N)

$n$  : 二次蓋締付けボルト本数 (=60 本)

$A$  : 二次蓋締付けボルトの最小断面積  
(=1.176 × 10<sup>3</sup> mm<sup>2</sup>)

a. 二次蓋端部衝突時

(a) 二次蓋端部

イ. 支圧応力

二次蓋端部に中性子線エリアモニタが衝突した場合、ガスケットが取り付けられる二次蓋下面に作用する支圧応力  $\sigma_c$  を評価する。

$$\sigma_c = \frac{P_2}{A'} \dots \dots \dots (2.6.2-8)$$

ここで、 $P_2$  : 二次蓋端部に作用する集中荷重 (N)

$$P_2 = K_1 \sqrt{\frac{2 \cdot m_1 \cdot G \cdot h}{K_1}} \dots \dots (2.6.2-9)$$

$A'$  : 支圧荷重の作用する面積 (mm<sup>2</sup>)

$$A' = \pi \times t_2^2 \dots \dots \dots (2.6.2-10)$$

ロ. せん断応力

二次蓋端部に中性子線エリアモニタが衝突した場合、ガスケットが取り付けられる二次蓋下面に作用する支圧応力  $\tau$  を評価する。

$$\tau = \frac{P_2}{A''} \dots \dots \dots (2.6.2-11)$$

ここで、 $P_2$  : 二次蓋端部に作用する集中荷重 (N)

$A''$  : 支圧荷重の作用する面積 (mm<sup>2</sup>)

$$A'' = \sqrt{2} \cdot t_2^2 \cdot \pi \dots \dots \dots (2.6.2-12)$$

### 2.6.3 評価結果

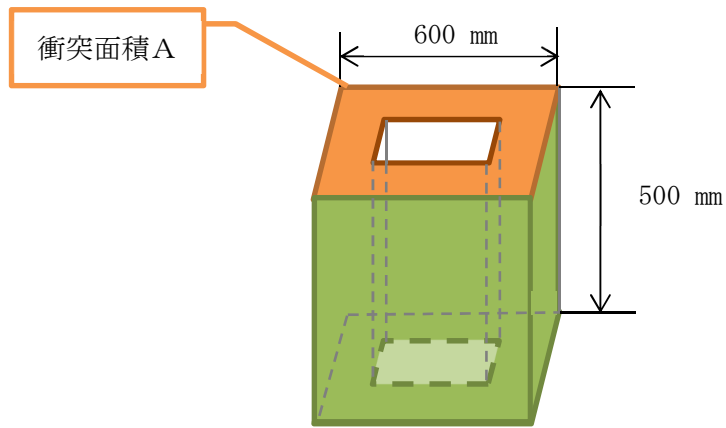
評価結果を第2-6表に示す。中性子線エリアモニタが二次蓋に落下した場合、二次蓋の各部位に発生する応力は許容基準値を超えないことを確認した。

第2-6表 評価結果（中性子線エリアモニタの二次蓋への衝突）

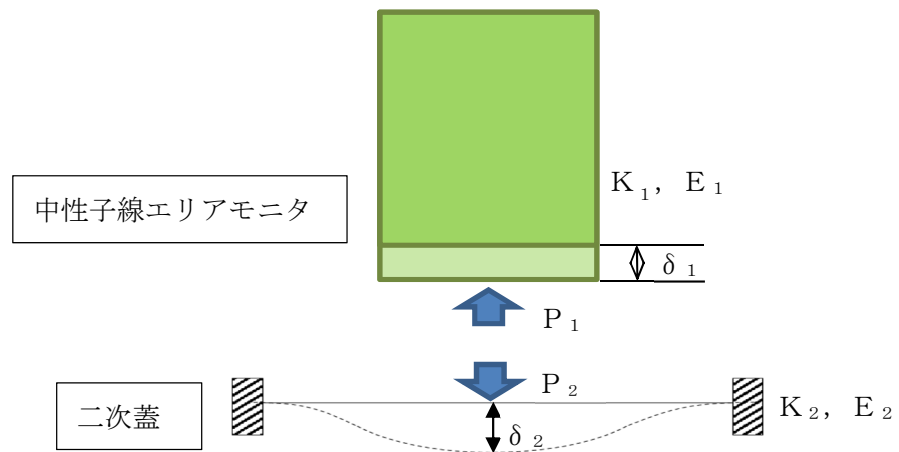
（単位：MPa）

機能設計上の性能目標	衝突箇所	評価部位	材料	機能維持のための考え方	計算値	許容応力	許容基準値	結果
上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないこと	二次蓋中央	二次蓋中央	炭素鋼 (SGV480)	破断しないことを確認	281	429	( $S_u$ )	良
		二次蓋端部 (密封シール部)			76	236	( $S_y$ )	良
		二次蓋締付けボルト	炭素鋼 (SNB23-3)	閉じ込め機能を維持できる よう塑性変形しないことを 確認	455	848	( $S_y$ )	良
	二次蓋端部	二次蓋端部	炭素鋼 (SGV480)	確認	56	171	( $0.4S_u$ )	良
		二次蓋端部 (密封シール部)			79	236	( $S_y$ )	良

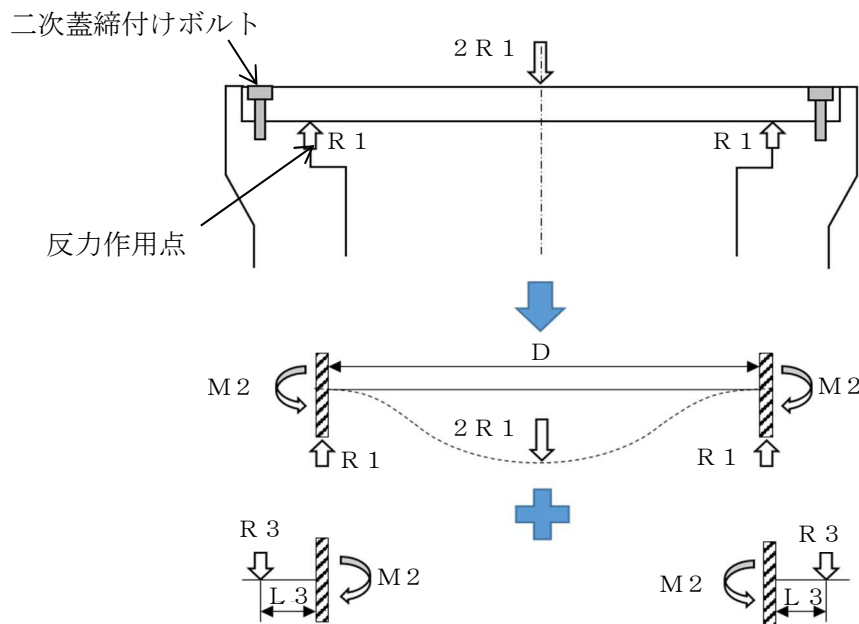




中性子線エリアモニタの仮想形状

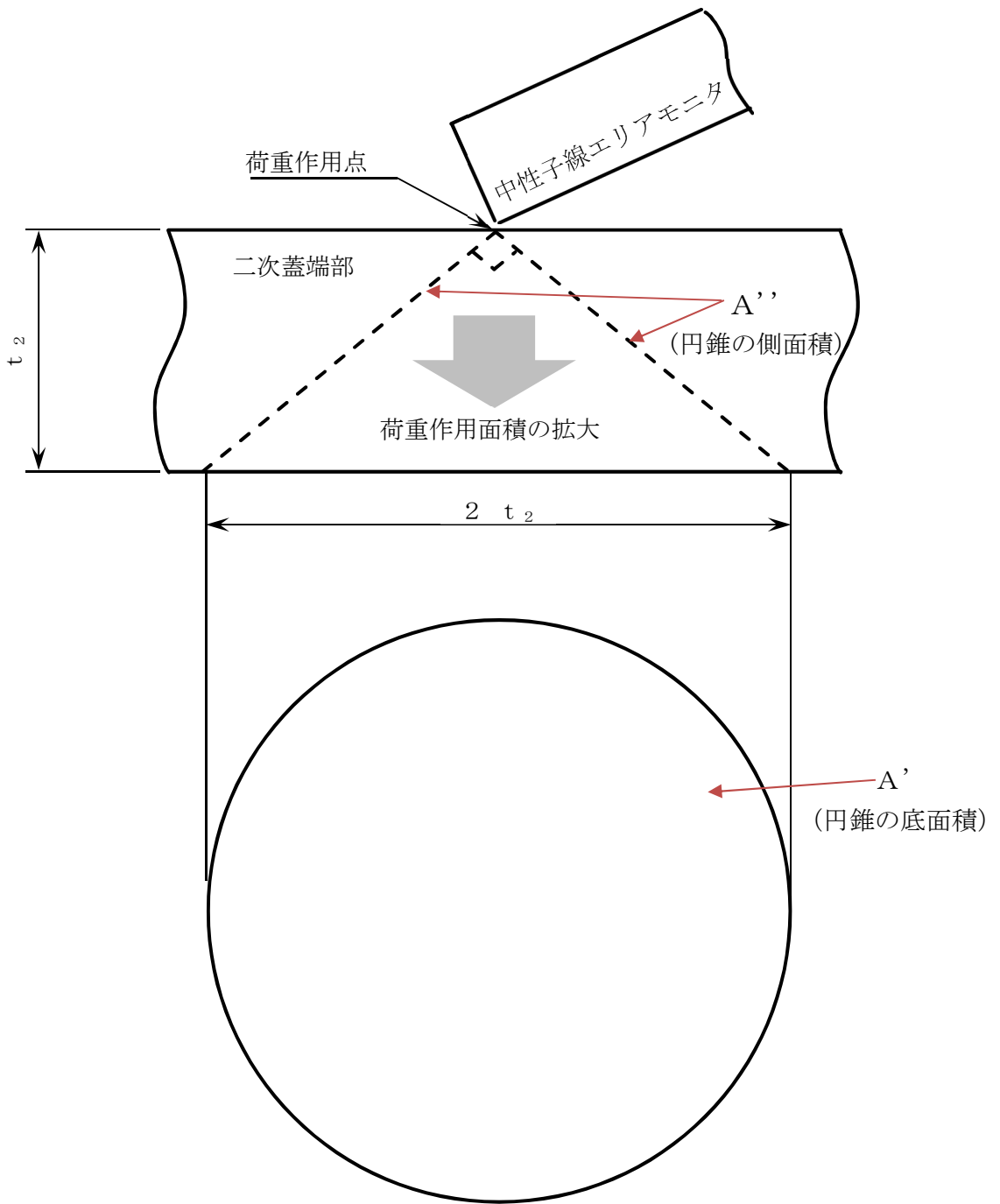


中性子線エリアモニタの二次蓋への落下計算モデル



二次蓋締付けボルト応力計算モデル

第2-3図 計算モデル (中性子線エリアモニタが二次蓋中央に衝突する場合)



第 2-4 図 計算モデル (中性子線エリアモニタが二次蓋端部に衝突する場合)

添付 5-8 耐震 C クラス設備の耐震基本方針及び評価

## 目次\*

1. 概要	1
2. 耐震Cクラス施設，設備の評価	2
2.1 耐震Cクラス施設，設備	2
2.2 耐震Cクラス施設，設備の評価方針	3
3. 使用材料及び材料定数	4
3.1 建物・構築物	4
3.2 機器・配管系	4
4. 荷重及び荷重の組合せ	5
4.1 建物・構築物	5
4.2 機器・配管系	5
5. 許容限界	6
5.1 建物・構築物	6
5.2 機器・配管系	6
5.3 対象設備の評価項目	7
5.3.1 電気設備	前回申請
5.3.2 電気設備以外の耐震Cクラス設備	7
6. 電気設備の評価方法及び設計用地震力	9
6.1 評価方法	前回申請
6.2 電気設備の設計用地震力	9
7. 電気設備以外の耐震Cクラス設備の評価方法及び設計用地震力	11
7.1 評価方法	11
7.2 設計用地震力	15
8. 評価結果	17
8.1 電気設備	前回申請
8.2 電気設備以外の耐震Cクラス設備	17

\*：令和3年8月20日付け原規規発第2108202号にて変更認可され，今回申請に関係しない事項については，目次において「前回申請」と記載し，本申請では記載しない。  
また，同様に認可され，今回申請で変更がない事項については，当該事項を記載した章，節又は項等の表題に「前回申請に同じ」と記載する。

## 1. 概要

本資料は、耐震Cクラス施設、設備における耐震評価の基本方針及び評価について説明を行う。

また、申請設備について具体的な耐震評価方法について説明を行い、評価の結果を説明するものである。

## 2. 耐震Cクラス施設、設備の評価

### 2.1 耐震Cクラス施設、設備

設備分類			設備名		
大分類	中分類	小分類	前回申請	今回申請	
建物・構築物	建物	—	—	コンクリート壁，廃棄物貯蔵室	
	構築物	—	—	—	
	扉	—	—	安全避難用扉，防火扉，防火シャッター	
機器・配管系	容器	横置円筒容器	軽油貯蔵タンク（地下式）	—	
		たて置円筒容器	—	空気貯槽，空気除湿装置，除湿装置前置フィルタ，除湿装置後置フィルタ	
		水槽	—	防火水槽	
	ポンプ	横型ポンプ	—	冷却水系統（冷却水ポンプ）	
	冷却塔	—	—	冷却水系統（冷却塔）	
	圧縮機	—	—	空気圧縮機	
	架台	—	—	仮置架台，たて起こし架台，検査架台	
	配管	—	—	主配管（圧縮空気供給設備），冷却水系統（配管）	
	弁	—	—	安全弁（圧縮空気供給設備）	
	盤	—	無停電電源装置，共用無停電電源装置，電気設備（常用電源設備）	出入管理設備，火災受信機，表示機，社内電話設備，送受話器，放送設備	
	その他	固定されている設備	—	蓋間圧力検出器，給排気温度検出器，ガンマ線エリアモニタ，中性子線エリアモニタ，モニタリングポスト（ガンマ線モニタ（低レンジ）），モニタリングポスト（ガンマ線モニタ（高レンジ）），モニタリングポスト（中性子線モニタ），社内電話設備，送受話器，放送設備，通路誘導灯，避難口誘導灯，保安灯，光電式分離型感知器，光電式スポット型感知器，差動式スポット型感知器，棟上導体	
		固定されことなく設置又は保管する設備	—	表示・警報装置，表面温度検出器，圧力検出器（蓋間圧力の代替計測用），非接触式可搬型温度計（表面温度の代替計測用），温度検出器（給排気温度の代替計測用），GM管サーベイメータ，電離箱サーベイメータ，シンチレーションサーベイメータ，中性子線サーベイメータ，ガスモニタ，モニタリングポイント，社内電話設備，送受話器，放送設備，衛星携帯電話，加入電話設備，無線連絡設備，粉末（ABC）消火器，大型粉末消火器，化学泡消火器，個人管理用測定設備（個人線量計）	
	車両	—	—	電源車	動力消防ポンプ

2.2 耐震Cクラス施設，設備の評価方針 前回申請に同じ

耐震Cクラス施設，設備の直接支持構造物及び間接支持構造物について，要求させる設計用地震力，荷重の組合せと許容限界を考慮し，評価する方針とする。

3. 使用材料及び材料定数 前回申請に同じ

3.1 建物・構築物

原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）（日本電気協会 電気技術基準調査会 昭和 62 年 8 月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）、建築基準法・同施行令及び鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 1999 改定）（以下「R C 基準」という。）の規定に基づく、材料及び材料定数を使用する。

3.2 機器・配管系

J E A G 4 6 0 1 及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005）（日本機械学会 2005 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）の規定に基づく、材料及び材料定数を使用する。



#### 4. 荷重及び荷重の組合せ 前回申請に同じ

##### 4.1 建物・構築物

J E A G 4 6 0 1, 建築基準法・同施行令及びR C基準に規定されている地震力以外の荷重を考慮する。また, J E A G 4 6 0 1 及び建築基準法・同施行令の荷重の組合せの考え方にに基づき, 地震力と地震力以外の荷重を組み合わせせて評価する。

##### 4.2 機器・配管系

J E A G 4 6 0 1 及び設計・建設規格に規定されている地震力以外の荷重を考慮する。また, J E A G 4 6 0 1 の荷重の組合せの考え方にに基づき, 地震力と地震以外の荷重を組み合わせせて評価する。

5. 許容限界

5.1 建物・構築物 前回申請に同じ

J E A G 4 6 0 1, 建築基準法・同施行令及びRC基準の規定に基づき, 施設に応じた許容限界を設定する。

5.2 機器・配管系 前回申請に同じ

J E A G 4 6 0 1 及び設計・建設規格に基づき, 設備に応じた許容限界を設定する。

5.3 対象設備の評価項目

5.3.1 電気設備 前回申請

5.3.2 電気設備以外の耐震Cクラス設備

電気設備以外の耐震Cクラス設備について評価項目を以下に示す。

設備分類			設備名称	評価部位	許容限界	
大分類	中分類	小分類				
建物・構築物	建物	—	廃棄物貯蔵室	鉄筋	必要鉄筋比	
			コンクリート壁	鉄筋	必要鉄筋比	
	扉	—	安全避難用扉, 防火扉	扉枠	扉の施工許容誤差	
			防火シャッター	基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
機器・配管系	容器	たて置円筒容器	空気貯槽	胴	一次一般膜応力	
				スカート	組合せ応力 圧縮膜応力	
				基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
			空気除湿装置, 除湿装置 前置フィルタ, 除湿装置 後置フィルタ	基礎ボルト (注1)	一次応力	せん断 引張り
			水槽	防火水槽	胴	一次一般膜応力
	ポンプ	横型ポンプ	冷却水系統 (冷却水ポンプ)	基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
	冷却塔	—	冷却水系統 (冷却塔)	基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
	圧縮機	—	空気圧縮機	基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
	架台	—	仮置架台, たて起こし架台, 検査架台	基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
	配管	—	主配管 (圧縮空気供給設備) 冷却水系統 (配管)	配管サポート 支持間隔	配管サポート 最大支持間隔	
	弁	—	安全弁 (圧縮空気供給設備)	取付ボルト (注2)	一次応力	せん断 引張り
	盤		出入管理設備, 火災受信機, 表示機, 社内電話設備, 送 受話器, 放送設備	基礎ボルト (注3)	一次応力	せん断 引張り
	その他	固定されている 設備	蓋間圧力検出器	固定ボルト	一次応力	せん断
			給排気温度検出器, ガンマ 線エリアモニタ, 中性子線 エリアモニタ	取付ボルト	一次応力	せん断 引張り
			モニタリングポスト (ガン マ線モニタ (低レンジ)), モニタリングポスト (ガン マ線モニタ (高レンジ)), モニタリングポスト (中性 子線モニタ)	基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
			社内電話設備, 送受話器, 放送設備, 通路誘導灯, 避 難口誘導灯, 保安灯	基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
光電式分離型感知器, 光電 式スポット型感知器, 差動 式スポット型感知器			基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り	
棟上導体			基礎ボルト	一次応力	せん断	

設備分類			設備名称	評価部位	許容限界	
大分類	中分類	小分類			一次応力	せん断 引張り
機器・配管系	その他	固定され ることな く設置又 は保管す る設備	個人管理用測定設備（個人線量計）	個人線量計充電器の基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
			モニタリングポイント	固定用のポール	地震力により杭が転倒しないこと	
			表面温度検出器	マグネットベース	磁力による摩擦力	
				シャフト固定ボルト	一次応力	せん断 引張り
			圧力検出器（蓋間圧力の代替計測用）、非接触式可搬型温度計（表面温度の代替計測用）、温度検出器（給排気温度の代替計測用）、GM管サーベイメータ、電離箱サーベイメータ、シンチレーションサーベイメータ、中性子線サーベイメータ、ガスモニタ、社内電話設備、送受話器、放送設備、衛星携帯電話、加入電話設備、無線連絡設備	保管ラックのアンカーボルト	一次応力	せん断 引張り
				保管ケース	地震力により保管用ケースが転倒しないこと	
			表示・警報装置	机	地震力により机が転倒しないこと	
			粉末(ABC)消火器	消火器収納箱の基礎ボルト	一次応力	せん断 引張り
大型粉末消火器、化学泡消火器	結束材の基礎ボルト	一次応力	引張り			
車両	—	—	動力消防ポンプ	(評価対象物) 動力消防ポンプ	(許容状態) 地震力による車両の移動がないこと。(注4)	

(注1) 空気除湿装置、除湿装置前置フィルタ及び除湿装置後置フィルタについて、一般産業用工業品でありその構造強度は十分大きいものである。そのためCクラスの地震力に対して転倒しないことを確認するため、基礎ボルトを評価する。

(注2) 安全弁（圧縮空気供給設備）について、一般産業用工業品であり、圧力容器構造規格及び日本産業規格に基づき設計、製作されたものであり、その構造強度は十分大きいものである。そのためCクラスの地震力に対して取付状態が維持できることを確認するため、取付ボルトを評価する。

(注3) 盤について、筐体は、鉄板とフレームで構成された構造で、その構造強度は十分大きいものである。そのためCクラスの地震力に対して転倒しないことを確認するため、基礎ボルトを評価する。

(注4) 水平地震力が路面とタイヤの摩擦力を下回ることにより確認する。

6. 電気設備の評価方法及び設計用地震力

6.1 評価方法 前回申請

6.2 電気設備の設計用地震力 前回申請に同じ

耐震Cクラスである電気設備の設計用地震力は静的地震力とする。

電気設備は、貯蔵建屋、受変電施設、南側高台及び南東側高台に設置される。各建屋、設置場所における水平震度について以下に記載する。

(1) 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度

貯蔵建屋内に設置される無停電電源装置、電気設備（常用電源）の水平震度について「第6-1表 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度（ $1.2C_i$ ）」に記載する。

なお、記載する水平震度については「添付 5-1 申請設備に係る耐震設計の基本方針」（以下「耐震設計の基本方針」とする。）に記載の地震層せん断力係数： $C_i$ に1.2（耐震Cクラスの耐震設計上の重要度分類に応じた係数1.0を乗じ20%増しした値）を乗じた値を記載する。

第6-1表 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度（ $1.2C_i$ ）

T.P. (m)	水平震度	
	NS	EW
43.5	0.324	0.281
39.3	0.269	0.271
33.22	0.257	0.262
29.22	0.24	0.24
16.3		

(2) 受変電施設に設置される電気設備の水平震度

受変電施設は地表面に設置されており、1階のみの構造である。そのため受変電施設に設置される共用無停電電源装置の水平震度は「第6-1表 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度（ $1.2C_i$ ）」のT.P. 16.3（m）と同様の値となり、NS、EWともに0.24である。

(3) 南側高台に設置される電気設備の水平震度

南側高台に配置、設置する設備は、電源車である。

電源車の配置面は地表面であり、電源車の水平震度は「第6-1表 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度（ $1.2C_i$ ）」のT.P. 16.3（m）と同様の値となり、NS、EWともに0.24である。

(4) 南東側高台に設置される電気設備の水平震度

南東側高台に配置，設置する設備は，軽油貯蔵タンク（地下式）である。

軽油貯蔵タンク（地下式）の水平震度は，「第 6-1 表 貯蔵建屋内の耐震 C クラス設備における水平震度（ $1.2C_i$ ）」の T.P. 16.3（m）の値である 0.24 とする。

## 7. 電気設備以外の耐震Cクラス設備の評価方法及び設計用地震力

### 7.1 評価方法

#### (1) コンクリート壁

地震時に火災区域及び火災区画を構成する建屋のコンクリート壁について、建屋の耐震壁については、静的地震力(1.5Ci)に対する健全性を「添付 5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」にて確認している。間仕切り壁については、間仕切り壁の鉄筋比が耐震壁のうち最も大きな応力が生じる耐震壁の必要鉄筋比以上であることを確認する。評価を「添付 5-8-4 火災区域構造物及び火災区画構造物の計算方法に関する説明書」に示す。

#### (2) 廃棄物貯蔵室

廃棄物貯蔵室の壁のうち、対象となる壁は、耐震壁である貯蔵建屋外壁、及び、廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁である。

このうち、耐震壁である建屋の外壁については、静的地震力(1.5Ci)に対する健全性を「添付 5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」にて確認している。また、廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁については、耐震壁のうち最も大きな応力が生じる壁である、EW 方向6通りの耐震壁に生じるせん断応力より必要鉄筋比を算定し、廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁の鉄筋比がこの必要鉄筋比以上であることを確認する。評価を「添付 5-8-4 火災区域構造物及び火災区画構造物の計算方法に関する説明書」に示す。

#### (3) 扉

防火扉は、扉枠の変形がその許容誤差以内であることを確認する。

防火シャッタは、シャッタスラットの両端がガイドレールの懐に内に収まる構造となっていることから、ガイドレールの変形がその懐の大きさを下回ることを確認する。また、シャッタボックスについては、シャッタボックスの基礎ボルトの応力が許容応力を下回ることを確認する。評価を「添付 5-8-4 火災区域構造物及び火災区画構造物の計算方法に関する説明書」に示す。

#### (4) たて置円筒容器

空気貯槽はスカート支持たて置円筒型容器であり、容器はスカート下端部を多数のボルトで基礎に固定されている。耐震計算については水平地震力に対する胴、スカート、基礎ボルトの評価を行う。評価を「添付 5-8-5 スカート支持たて置円筒型容器の計算方法に関する説明書」に示す。

空気除湿装置、除湿装置前置フィルタ及び除湿装置後置フィルタは、一般産業用工業品でありその構造強度は十分大きいものであることからCクラス施設、設備の設計用地震力により転倒しないことを評価することとし、水平地震力に対する基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。なお、評価については「添付 5-8-6 圧縮機の計算方法に関する説明書」と同様に評価を行う。

(5) 水槽

貯蔵建屋近傍の地中に設置される防火水槽は、(一財)日本消防設備安全センターの二次製品等耐震性貯水槽の型式認定(認定番号 耐-00009号 2000年6月30日)を取得した製品であり、この認定基準の考え方に従い各部の応力を算定し、最も厳しい部位の裕度の評価を行う。評価を「添付5-8-7 消火設備の計算方法に関する説明書」に示す。

(6) 圧縮機

空気圧縮機は一般産業用工業品であり、箱型の筐体となっておりその構造強度は十分大きいものである。箱型が基礎ボルトで固定されており、耐震計算については水平地震力に対する基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。評価を「添付5-8-6 圧縮機の計算方法に関する説明書」に示す。

(7) 架台

仮置架台、たて起こし架台及び検査架台について仮想的大規模津波により漂流しない設計とし「添付6-1-7 仮想的大規模津波に対する受入れ設備の影響評価」において基礎への固定状態が維持されることを確認している。各架台の耐震評価はCクラス施設、設備の設計用地震力が「添付6-1-6 仮想的大規模津波に対する受入れ設備の評価方針」に記載の波力より小さいことを確認する。

(8) 配管

主配管(圧縮空気供給設備)について支持間隔が標準支持間隔法により算出した最大支持間隔以下であることを確認する。評価を「添付5-8-8 配管の計算方法に関する説明書」に示す。

(9) 弁

空気貯槽に設置される安全弁は一般産業用工業品であり、圧力容器構造規格及び日本産業規格に基づき設計、製作されたものであり、その構造強度は十分大きいものである。安全弁は取付ボルトで空気貯槽に取付けられており、耐震計算については水平地震力に対する取付ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。評価を「添付5-8-9 安全弁の計算方法に関する説明書」に示す。

(10) 火災受信機及び表示機

火災受信機及び表示機については、箱型の筐体であるため、建築設備耐震設計・施工指針に示される壁面支持の式を用いて基礎ボルトの引抜き力及びせん断力の評価を行う。評価を「添付5-8-10 火災感知設備の計算方法に関する説明書」に示す。



(11) 固定されている設備

a. 蓋間圧力検出器

蓋間圧力検出器は、蓋間圧力検出器、フランジ、バルブ及びセンサーポートで構成され、二次蓋のモニタリングポートに12本の固定ボルトで固定されている。耐震計算については水平地震力に対する固定ボルトのせん断応力の評価を行う。評価を「添付5-8-11 蓋間圧力検出器の計算方法に関する説明書」に示す。

b. 給排気温度検出器

給排気温度検出器は使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域（以下「貯蔵区域」という。）の給気口と排気口の壁面に設置されており、壁面に設置されたサポートに取付ボルトで固定されている。耐震計算については水平地震力に対する取付ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。評価を「添付5-8-12 給排気温度検出器の計算方法に関する説明書」に示す。

c. ガンマ線エリアモニタ

ガンマ線エリアモニタは、貯蔵区域の壁面に設置されており、壁面に設置されたサポートに取付ボルトで固定されている。耐震計算については水平地震力に対する取付ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。評価を「添付5-8-13 ガンマ線エリアモニタの計算方法に関する説明書」に示す。

d. 中性子線エリアモニタ

貯蔵区域の中性子線エリアモニタは天井面に設置されており、天井面に設置されたサポートに溶接された取付板の取付ボルトに固定されている。耐震計算については水平地震力に対する取付ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。

受入れ区域の中性子線エリアモニタは、貯蔵区域の壁面に設置されており、壁面に設置されたサポートに溶接された取付板の取付ボルトに固定されている。耐震計算については水平地震力に対する取付ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。

評価を「添付5-8-14 中性子線エリアモニタの計算方法に関する説明書」に示す。

e. モニタリングポスト（ガンマ線モニタ（低レンジ））、モニタリングポスト（ガンマ線モニタ（高レンジ））及びモニタリングポスト（中性子線モニタ）

モニタリングポスト（ガンマ線検出器（低レンジ）、ガンマ線モニタ（高レンジ）、中性子線モニタ）はモニタリングポストの屋根部に設置される。モニタはモニタリングポストの屋根に基礎ボルトで固定されている。耐震計算については水平地震力に対する基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。評価を「添付5-8-15 放射線監視設備（モニタリングポスト）の計算方法に関する説明書」に示す。

f. 光電式分離型感知器, 光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器

光電式分離型感知器, 光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器については, 基礎ボルトにより固定するため, 基礎ボルトの引張力及びせん断力で評価を行う。評価を「添付 5-8-10 火災感知設備の計算方法に関する説明書」に示す。

g. 棟上導体

棟上導体は, 基礎ボルトにてコンクリート部に支持されることから, 基礎ボルトのせん断力で評価を行う。評価を「添付 5-8-16 避雷設備の計算方法に関する説明書」に示す。

(12) 固定されることなく設置又は保管する設備

a. 表面温度検出器

表面温度検出器の検出器である熱電対は熱電対固定部で固定されている。熱電対が外筒表面に固定されていれば, 表面温度が計測できることから, 水平方向地震力による慣性力により熱電対を固定しているマグネットベースが動かないことを確認する。加えて, 熱電対固定部について, 熱電対を固定する構造が維持できるか評価する。評価を「添付 5-8-17 表面温度検出器の計算方法に関する説明書」に示す。

b. 圧力検出器 (蓋間圧力の代替計測用), 非接触式可搬型温度計 (表面温度の代替計測用), 温度検出器 (給排気温度の代替計測用), GM管サーベイメータ, 電離箱サーベイメータ, シンチレーションサーベイメータ, 中性子線サーベイメータ, ガスモニタ

代替計測用計測器や放射線サーベイ機器は可搬型設備であり, 保管に当たっては機器をボルト等で固定することは行わないが, 地震による損傷を防ぐために, 保管ラック及び保管ケースに保管する。

保管ラックは四隅で床面にアンカーボルトで固定するため, 耐震計算については, 水平地震力に対するアンカーボルトにかかる引張応力とせん断応力の評価を行う。ラックは高さが高いほど, 奥行きが短いほど, アンカーボルトの呼び径が細いほど転倒しやすくなることから, 指定した寸法で限界となる重量を評価する。評価を「添付 5-8-18 保管ラックの計算方法に関する説明書」に示す。

また, 保管ケースについては, 1 段積みとして重ねないこととし, 耐震計算については, 水平地震力に対して保管ケースが転倒しないことの評価を行う。保管ケースは高さが高いほど, 幅が狭いほど転倒しやすくなることから, 指定した寸法で限界となる寸法を評価する。評価を「添付 5-8-19 保管ケースの計算方法に関する説明書」に示す。

c. 粉末(ABC)消火器

粉末(ABC)消火器は消火器収納箱にて保管し, 消火器収納箱底部を基礎ボルトで固定するため, ボルトの引張力及びせん断力で評価を行う。評価を「添付 5-8-7 消

火設備の計算方法に関する説明書」に示す。

d. 大型粉末消火器及び化学泡消火器

大型粉末消火器及び化学泡消火器は、転倒を防止するための結束材を基礎ボルトで固定することとし、建屋壁面に設置する基礎ボルトの引張力で評価を行う。評価を「添付 5-8-7 消火設備の計算方法に関する説明書」に示す。

(13) 動力消防ポンプ

動力消防ポンプについては、Cクラス施設、設備の設計用地震力により横滑りしないことを評価することにより動力消防ポンプが有する安全機能を損なわないことの確認を行う。評価については「添付 5-8-3 車両の計算方法に関する説明書」と同様の評価とする。

7.2 設計用地震力

耐震Cクラスの設計用地震力は静的地震力とする。

電気設備以外の耐震Cクラス設備は、貯蔵建屋、出入管理建屋及び屋外に設置される。各建屋、設置場所における水平震度について以下に記載する。

(1) 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度

貯蔵建屋内に設置される耐震Cクラス設備の水平震度について 6.2(2)項の「第 6-1 表 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度 ( $1.2C_i$ )」の水平震度とする。

(2) 出入管理建屋の耐震Cクラス設備における水平震度

出入管理建屋内に設置される耐震Cクラス設備の水平震度について「第 7-1 表 出入管理建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度 ( $1.2C_i$ )」に記載する。

なお、記載する水平震度については「耐震設計の基本方針」に記載の地震層せん断力係数： $C_i$ に 1.2（耐震Cクラスの耐震設計上の重要度分類に応じた係数 1.0 を乗じ 20%増しした値）を乗じた値を記載する。

第 7-1 表 出入管理建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度 ( $1.2C_i$ )

T.P. (m)	水平震度
25.4	0.269
20.9	0.216
16.3	

(3) 屋外

屋外に設置される耐震Cクラス設備の水平震度は「第6-1表 貯蔵建屋内の耐震Cクラス設備における水平震度(1.2C<sub>i</sub>)」のT.P. 16.3(m)と同様の値となり、NS、EWともに0.24である。

なお、防火水槽については、「二次製品等耐震性貯水槽認定基準((一財)日本消防設備安全センター)」で定める水平震度0.288を適用する。

## 8. 評価結果

### 8.1 電気設備 前回申請

### 8.2 電気設備以外の耐震Cクラス設備

電気設備以外の耐震Cクラス設備について評価の結果、全ての評価において許容値以下であることを確認した。

#### (1) 建物

##### a. コンクリート壁

コンクリート壁は、地震力を鉄筋が負担する設計としている。対象となる貯蔵建屋の壁は、耐震壁である貯蔵区域間の壁、及び、受入れ区域と貯蔵区域の境界壁、並びに、間仕切壁である受入れ区域と付帯区域の境界壁、及び、受入れ区域と貯蔵区域前室の境界壁である。

このうち、耐震壁については、静的地震力(1.5Ci)対する健全性を「添付 5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」にて確認している。また、間仕切壁については、耐震壁のうち最も大きな応力が生じる壁である、EW 方向6通りの耐震壁に生じるせん断応力より必要鉄筋比を算定し、間仕切壁の鉄筋比がこの必要鉄筋比以上であることを確認する。検討結果は以下のとおりである。

壁位置	せん断応力度 <sup>※1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	必要鉄筋比 <sup>※2</sup> (%)
EW 方向6通りの耐震壁	0.73	0.212

※1  $Q/Ae = \tau = 15.63\text{kN}/21.48\text{m}^2 = 0.73 \text{ N/mm}^2$

※2  $P_s = (0.73\%/345 \text{ N/mm}^2) \times 100 = 0.212\%$

壁位置	配筋	鉄筋比 (%)	判定
受入れ区域と付帯区域の境界壁	2-D25@200	0.780	良
受入れ区域と貯蔵区域前室の境界壁	2-D16@200	0.397	良

##### b. 廃棄物貯蔵室

廃棄物貯蔵室の壁のうち、対象となる壁は、耐震壁である貯蔵建屋外壁、及び、廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁である。

このうち、耐震壁については、静的地震力(1.5Ci)対する健全性を「添付 5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」にて確認している。また、廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁については、耐震壁のうち最も大きな応力が生じる壁である、EW 方向6通りの耐震壁に生じるせん断応力より必要鉄筋比を算定し、廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁の鉄筋比がこの必要鉄筋比以上であることを確認する。検討結果は以下のとおりである。

壁位置	せん断応力度 <sup>※1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	必要鉄筋比 <sup>※2</sup> (%)
EW 方向 6 通りの耐震壁	0.73	0.212

※1  $Q/A_e = \tau = 15.63\text{kN}/21.48\text{m}^2 = 0.73 \text{ N/mm}^2$

※2  $P_s = (0.73\%/345 \text{ N/mm}^2) \times 100 = 0.212\%$

壁位置	配筋	鉄筋比 (%)	判定
廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁	2-D16@200	0.397	良

(2) 扉

a. 防火扉

扉枠の変形 (mm)	扉の施工許容誤差 (mm)	判定
0.20	2.00	良

b. 防火シャッター

(a) シャッターボックスの基礎ボルト

	発生応力 (kN)	許容応力 <sup>※2</sup> (kN)	判定
基礎ボルトの引抜き力 <sup>※1</sup> (N)	5.56	43.1	良
基礎ボルトのせん断力 (N)	4.16	24.7	良

※1 ボルト 1 本当たり

※2 許容応力は、建築設備耐震設計・施工指針 ((一財) 日本建築センター 2014 年版) に示されるボルトの許容荷重。

(b) ガイドレールの変形に関する検討

ガイドレールの変形 (mm)	ガイドレールの懐寸法 (mm)	判定
0.64	70	良

(3) 縦置円筒容器

a. 空気貯槽

(単位 : MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
空気貯槽	胴板	SS400	一次一般膜	62	228	良
			組合せ	2	231	良
	スカート	SS400	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	0.01	1 <sup>※1</sup>	良
			引張り	—	173	良
	基礎ボルト	SS400	せん断	4	133	良

※1  $(\alpha_B \cdot \sigma_{S1})/f_c + (\alpha_B \cdot \sigma_{S2})/f_b \leq 1$

b. 空気除湿装置，除湿装置前置フィルタ，除湿装置後置フィルタ

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
空気除湿装置	基礎ボルト	SS400	引張り	6	173	良
			せん断	6	133	良
除湿装置前置 フィルタ	基礎ボルト	SS400	引張り	3	173	良
			せん断	1	133	良
除湿装置後置 フィルタ	基礎ボルト	SS400	引張り	3	173	良
			せん断	1	133	良

(4) 水槽

機器名称	評価部位	材料	応力	発生応力 (N/m <sup>2</sup> )	許容応力 (N/m <sup>2</sup> )	裕度	判定
防火水槽	胴	SS400	一次一般膜 応力	34.7×10 <sup>3</sup>	108.4×10 <sup>3</sup>	3.1	良

(5) 圧縮機

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
空気圧縮機	基礎ボルト	SS400	引張り	—	166	良
			せん断	14	128	良

(6) 架台

耐震Cクラス設備における水平震度に基づく地震力

$$F = m \cdot C_H \cdot g$$

m : 金属キャスク取扱い時の質量

C<sub>H</sub> : 耐震Cクラス設備における水平震度 (1.2C<sub>i</sub>)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s<sup>2</sup>)

仮想的大規模津波の波力

$$F_h = \frac{1}{2} C_D \rho_0 |\vec{u}_n| \vec{u}_n \cdot D \Delta S$$

(注) 仮想的大規模津波の波力の算出式の記号については「添付 6-1-6 仮想的大規模津波に対する受入れ設備の評価方針 4.1.2 記号の説明」の記載に同じとする。

(単位：N)

機器名称	耐震Cクラス設備における水平震度に基づく地震力	仮想的大規模津波の波力	判定
仮置架台	$3.434 \times 10^4$	$1.441 \times 10^6$	良
たて起こし架台	$3.422 \times 10^4$	$1.452 \times 10^6$	良
検査架台	$3.177 \times 10^3$	$1.123 \times 10^6$	良

仮想的な大規模津波の波力が、耐震Cクラス設備における水平震度（ $1.2C_i$ ）に基づく地震力を上回ることから、仮置架台、たて起こし架台及び検査架台は耐震Cクラス設備における水平震度（ $1.2C_i$ ）に基づく地震力に耐えうるものとなっていることを確認した。

(7) 配管

a. 主配管

主配管（圧縮空気供給設備）について設計した支持間隔が標準支持間隔法により算出した最大支持間隔以下であることを確認した。

(8) 弁

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
安全弁	取付ボルト	SS400	引張り	0.46	173	良
		相当	せん断	0.07	133	良

(9) 盤

a. 火災受信機及び表示機

火災受信機及び表示機の基礎ボルトの引張力及びせん断力に関する検討結果は以下のとおりである。

(単位：N)

機器名称	評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力 <sup>※2</sup>	判定
火災受信機	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	12.9	1,545	良
			せん断力 <sup>※1</sup>	49.5	887	良
表示機	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	3.15	1,545	良
			せん断力 <sup>※1</sup>	6.29	887	良

※1 ボルト1本当たりの引抜力

※2 許容応力は、建築設備耐震設計・施工指針（（一財）日本建築センター 2014年版）に示されるボルトの許容荷重。



(10) 固定されている設備

a. 蓋間圧力検出器

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
蓋間圧力検出器	固定ボルト	SUS304	せん断	0.03	118	良

b. 給排気温度検出器

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
給排気温度検出器	取付ボルト	SS400 相当	引張り	0.17	173	良
			せん断	0.17	133	良

c. ガンマ線エリアモニタ

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
ガンマ線エリア モニタ	取付ボルト 1	SS400 相当	引張り	1.79	173	良
			せん断	1.43	133	良

d. 中性子線エリアモニタ

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
中性子線エリア モニタ (貯蔵区域)	取付ボルト	SUS304	引張り	6.31	153	良
			せん断	0.45	118	良
中性子線エリア モニタ (受入れ区域)	取付ボルト	SUS304	引張り	1.77	153	良
			せん断	0.45	118	良

- e. モニタリングポスト（ガンマ線モニタ（低レンジ））、モニタリングポスト（ガンマ線モニタ（高レンジ））及びモニタリングポスト（中性子線モニタ）

（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
モニタリングポスト （ガンマ線モニタ （低レンジ））	基礎ボルト	SUS304	引張り	2.76	153	良
			せん断	0.57	118	良
モニタリングポスト （ガンマ線モニタ （高レンジ））	基礎ボルト	SUS304	引張り	1.91	153	良
			せん断	0.74	118	良
モニタリングポスト （中性子線モニタ）	基礎ボルト	SUS304	引張り	1.91	153	良
			せん断	0.74	118	良

- f. 光電式分離型感知器、光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器

（単位：N）

機器名称	評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力 <sup>※2</sup>	判定
光電式分離型 感知器	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	2.37	1,545	良
			せん断力 <sup>※1</sup>	1.99	887	良
光電式スポット型 感知器	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	0.10	1,545	良
			せん断力 <sup>※1</sup>	0.17	887	良
差動式スポット型 感知器	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	0.10	1,545	良
			せん断力 <sup>※1</sup>	0.17	887	良

※1 ボルト1本当たり

※2 引張の許容応力は、建築設備耐震設計・施工指針（（一財）日本建築センター 2014年版）に示される後施工金属拡張アンカーボルト（めねじ形M6～M12）の許容引抜荷重。せん断の許容応力は、許容引抜荷重の2/3として設定。

- g. 棟上導体

（単位：N）

機器名称	評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力 <sup>※2</sup>	判定
棟上胴体	基礎ボルト	SS400	せん断力 <sup>※1</sup>	32.9	5,858	良

※1 ボルト1本当たり

※2 引張の許容応力は、建築設備耐震設計・施工指針（（一財）日本建築センター 2014年版）に示される後施工金属拡張アンカーボルト（めねじ形M6～M12）の許容引抜荷重。せん断の許容応力は、許容引抜荷重の2/3として設定。

(11) 固定されることなく設置又は保管する設備

a. 表面温度検出器

(a) マグネットベースの磁力による摩擦力と地震による水平力の比較

(単位：N)

部位	摩擦力	地震力による 水平力	判定
熱電対固定部 マグネットベース	160	2.83	良

(b) シャフトホルダ固定ボルト

(単位：MPa)

部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
シャフトホルダ 固定ボルト	SUS304相当	引張	0.02	153	良

- b. 圧力検出器（蓋間圧力の代替計測用）、非接触式可搬型温度計（表面温度の代替計測用）、温度検出器（給排気温度の代替計測用）、GM管サーベイメータ、電離箱サーベイメータ、シンチレーションサーベイメータ、中性子線サーベイメータ、ガスモニタ

(a) 保管ラックの評価条件と結果

イ. 評価条件

機器名称	アンカーボルト の材料	間隔※ <sup>1</sup> (mm)	重心距離※ <sup>2</sup> (mm)	重心高さ (mm)	重量※ <sup>3</sup> (kg)
保管ラック	SS400相当	350	－50	2200	630

※1 奥行方向のアンカーボルトの間隔

※2 アンカーボルトと保管ラックの前面までの距離

※3 保管ラックの重量と保管ラックに収納する機器の総重量の合計

ロ. 評価結果

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	計算応力	許容応力	判定
保管ラック	アンカーボルト	SS400 相当	引張り	181	183	良
			せん断	14	141	良

高さ 2200mm の保管ラックを、呼び径 M6 のアンカーボルトで四隅を固定（奥行方向の間隔 350 mm，ラック前面とアンカーボルトの距離は 50mm）した場合、保管ラックの最上部前方に総重量 630kg の重量があったとしても、耐震Cクラスの地震動では保管ラックが転倒しないことが確認できる。

従って、保管ラックに保管する場合には、以下の条件を満足するように保管する。

- ・保管ラックの四隅を、呼び径 M6 以上のアンカーボルトで固定する。
- ・アンカーボルトの奥行方向の間隔は、350mm 以上とする。また、アンカーボルトと保管ラック前面までの間隔は、50mm 以内とする。
- ・保管ラックの高さは、2200mm 以内とする。また、2200mm 以下のラックを使用してラックの天板上にケースを保管する場合は、ケース上端の高さが 2200mm 以内とする。
- ・保管ラックと保管ラックに収納する機器の総重量の合計が 630 kg までとする。
- ・保管ラックへの保管にあたってはケースに収納し、ベルト等で棚からの落下防止措置を施す。

(b) 保管ケースの評価条件と結果

機器名称	ケースの幅 (mm)	重心距離※ <sup>1</sup> (mm)	重心高さ (mm)	重量※ <sup>2</sup> (kg)	転倒力 (N)
保管ケース	300	120	500	30	0

※1 ケースの端からの距離

※2 保管ケースの重量と保管ケースに収納する機器の総重量の合計

この評価結果から、幅 300mm、高さ 500mm の保管ケースに 30kg (保管ケース含む) を保管する場合、横方向の重心までの距離をケースの端から 120mm 以内とすると、転倒する可能性があることが確認できる。

従って、保管ケースに保管する場合には、以下の条件を満足するように保管する。

- ・保管ケースのサイズは、幅 300 mm 以上、高さ 500 mm 以内とする。
- ・保管ケース内での保管に際しては、保管する機器の重心をケースの中心部に近づけるために、クッション材等で機器の左右の空間を均等に埋めることによって、重心位置が中央部近くになるように配置する。また、機器の保護のために内部で機器を積み重ねないように配置する。
- ・保管ケースは平置きし、重ねて保管しない。

c. 粉末(ABC)消火器

(単位：N)

機器名称	評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力 <sup>※2</sup>	判定
粉末(ABC) 消火器	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	16.63	750	良
			せん断力 <sup>※1</sup>	4.59	500	良

※1 ボルト1本当たり

※2 引張の許容応力は、建築設備耐震設計・施工指針（(一財)日本建築センター 2014年版）に示される後施工金属拡張アンカーボルト（めねじ形M6～M12）の許容引抜荷重。せん断の許容応力は、許容引抜荷重の2/3として設定。

d. 大型粉末消火器及び化学泡消火器

(単位：N)

機器名称	評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力 <sup>※2</sup>	判定
大型粉末消火器	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	10.14	750	良
化学泡消火器	基礎ボルト	SS400	引張力 <sup>※1</sup>	86.5	750	良

※1 ボルト1本当たり

※2 引張の許容応力は、建築設備耐震設計・施工指針（(一財)日本建築センター 2014年版）に示される後施工金属拡張アンカーボルト（めねじ形M6～M12）の許容引抜荷重。

(12) 動力消防ポンプ

動力消防ポンプの横滑り発生に必要な荷重

$$F = \mu_s \cdot m \cdot g$$

$$= 5.71727 \times 10^3 \text{ (N)} \dots \dots \textcircled{1}$$

設計地震力の加速度によって発生する水平方向の荷重

$$F = m \cdot a$$

$$= 3.11852 \times 10^3 \text{ (N)} \dots \dots \textcircled{2}$$

上記①と②を比較すると、①>②の関係になり、路面と動力消防ポンプの摩擦力が、耐震Cクラス設備における水平震度（1.2C<sub>i</sub>）に基づく地震力を上回り、動力消防ポンプの滑動が生じることはない。

以上のことから、動力消防ポンプは耐震Cクラス設備における水平震度（1.2C<sub>i</sub>）に基づく地震力に耐えうるものとなっていることを確認した。

添付 5-8-3 車両の計算方法に関する説明書

## 目次\*

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 計算条件	3
4. 記号の説明	4
5. 計算方法	5
5.1 車両の評価	5
5.2 電源車固縛装置の評価	5
6. 設計条件及び仕様	6
6.1 電源車の設計条件及び仕様	前回申請
6.2 動力消防ポンプの設計条件及び仕様	6
7. 地盤の支持性能に関する検討	7
7.1 電源車の地盤の支持性能に関する検討	前回申請
7.2 動力消防ポンプの地盤の支持性能に関する検討	7

---

\* : 令和3年8月20日付け原規発第2108202号にて変更認可され、今回申請に関係しない事項については、目次において「前回申請」と記載し、本申請では記載しない。  
また、同様に認可され、今回申請で変更がない事項については、当該事項を記載した章、節又は項等の表題に「前回申請に同じ」と記載する。

## 1. 概要

本資料は、車両の耐震評価の計算方法について説明するものである。



2. 適用基準 前回申請に同じ

本計算書においては、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 - 1 9 8 4 及び J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）を適用して評価する。

### 3. 計算条件

設計用地震力の加速度により発生する水平方向の荷重と、車両が横滑り発生に必要な荷重を算出する。

#### 4. 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	設計地震力による加速度	m/s <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
m	車両の質量	kg
$\mu$ s	車両と路面の静摩擦係数※ (=0.44)	—

※：「道路構造令 5. 視距」湿潤状態の路面の制動停止距離より

地震力が発生した際の車両は停止状態であるが 保守的に走行速度 20km/h の摩擦係数 0.44 を使用。

## 5. 計算方法

### 5.1 車両の評価

設計用地震力の加速度により発生する水平方向の荷重と，車両が横滑り発生に必要な荷重を算出する。

(1) 車両の横滑り発生に必要な荷重

$$F = \mu_s \cdot m \cdot g$$

(2) 設計地震力の加速度

$$a = C_H \times g$$

(3) 設計地震力の加速度によって発生する水平方向の荷重

$$F = m \cdot a$$

上記(1)と(3)を比較すると，(1) > (3)の関係になり，設計地震力の加速度による水平方向の荷重は，車両の横滑り発生に必要な荷重より小さいことが分かる。

### 5.2 電源車固縛装置の評価 前回申請に同じ

「添付7-2-4 竜巻に対する電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果」で示している通り，竜巻（最大風速 100m/s）により電源車が受ける荷重は以下表の通りであり，Cクラスの水平地震力によって発生する水平方向の荷重を大きく上回っているため，固縛装置の評価に包絡される。

電源車に作用する設計荷重

ケース		荷重 (N)
横滑り荷重	左右方向	$1.97549 \times 10^5$

6. 設計条件及び仕様

6.1 電源車の設計条件及び仕様 前回申請

6.2 動力消防ポンプの設計条件及び仕様

(1) 設計条件

設備名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	水平方向 設計震度
動力消防ポンプ	Cクラス	車庫 T.P.16	0.24

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i=0.2$

(2) 動力消防ポンプの仕様

設備名称	動力消防ポンプの質量 m [kg]
動力消防ポンプ	1325

7. 地盤の支持性能に関する検討

7.1 電源車の地盤の支持性能に関する検討 前回申請

7.2 動力消防ポンプの地盤の支持性能に関する検討

地盤の許容支持応力度

地盤の許容支持応力度	長期	短期	極限
※ (kN/m <sup>2</sup> )	50	100	—

※建築基準法施行令第93条の表に示される値（ローム層）より設定。

重量，地震荷重

	基礎底面からの高さ ※1 (m)	重量 (kN)	水平震度 ※2	Q (kN)	M (kN・m)
上載荷重	0.150	49.9	0.24	12.0	1.8
動力消防ポンプ（車両，ポンプ）	1.130	13.0	0.24	3.2	3.7
基礎	0.075	17.6	0.24	4.3	0.4
合計	—	80.5	—	19.5	5.9

※1 基礎の厚さを0.15mと設定する。

※2 水平震度は，地表面に設置される耐震Cクラス設備の耐震設計に求められる水平震度である0.24とする。

接地圧の検討

検討方向			短辺方向
地盤の許容支持応力度（長期）	$q_L$	(kN/m <sup>2</sup> )	50
地盤の許容支持応力度（短期）	$q_S$	(kN/m <sup>2</sup> )	100
鉛直力	$N$	(kN)	80.5
転倒モーメント	$M$	(kN・m)	5.9
基礎の短辺長さ※1	$L_1$	(m)	1.47
基礎の長辺長さ※1	$L_2$	(m)	3.39
基礎の底面積	$A$	(m <sup>2</sup> )	4.98
限界モーメント ( $N \cdot L_1/6$ )	$M_0$	(kN・m)	19.7
浮き上がり有無			無
偏心距離 (M/N)	$e$	(m)	0.07
中立軸※2	$X_n$	(m)	3.31
接地率	$\eta$	%	100
平均接地圧 (N/A)	$\sigma_0$	(kN/m <sup>2</sup> )	16.2
接地圧係数※3	$\alpha$		1.29
最大接地圧 ( $\alpha \cdot \sigma_0$ )	$\sigma_{max}$	(kN/m <sup>2</sup> )	20.9
判定（長期：地盤の許容支持応力度（長期） $\geq$ 平均接地圧）			良
判定（短期：地盤の許容支持応力度（短期） $\geq$ 最大接地圧）			良

※1 基礎の短辺長さ，長辺長さは，動力消防ポンプ（車両）の全幅，全長で設定する。

※2 浮き上がり有： $3(L_1/2 - e)$  ， 浮き上がり無： $(L_1/2) \cdot (1 + L_1/6e)$

※3 浮き上がり有： $2L_1/X_n$  ， 浮き上がり無： $1 + 6e/L_1$

以上より，動力消防ポンプは，耐震Cクラス施設に適用される地震力が作用した場合においても当該施設，設備を十分に支持することができる地盤に設置されたものであることを確認した。

添付 5-8-4 火災区域構造物及び火災区画構造物の  
計算方法に関する説明書



## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 計算方法	2
5. 設計の条件及び仕様	4

## 1. 概要

本資料は、火災区域構造物及び火災区画構造物、並びに廃棄物貯蔵室の計算方法として、防火シャッター、防火扉、コンクリート壁、並びに廃棄物貯蔵室の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、建築基準法及び消防法、並びにこれらの関係法令を適用して評価する。また、建築設備耐震設計・施工指針（（一財）日本建築センター 2014年版）に示された建築設備耐震設計の考え方をを用いて評価する。

## 3. 計算条件

火災区域構造物及び火災区画構造物、並びに廃棄物貯蔵室は、耐震Cクラスの設備である。耐震計算は、設備の特徴を踏まえて以下のとおりとする。

### (1) 防火シャッター

防火シャッターは、シャッタースラットの両端がガイドレールの懐に収まる構造となっていることから、ガイドレールの変形がその懐の大きさを下回ることを確認する。また、シャッターボックスについては、シャッターボックスの基礎ボルトの応力が許容応力を下回ることを確認する。

### (2) 防火扉

防火扉は、扉枠の変形がその許容誤差以内であることを確認する。

### (3) コンクリート壁及び廃棄物貯蔵室

地震時に火災区域及び火災区画を構成する建屋のコンクリート壁、並びに廃棄物貯蔵室の壁について、建屋の耐震壁については、静的地震力(1.5Ci)に対する健全性を「添付5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」にて確認している。間仕切り壁については、間仕切り壁の鉄筋比が耐震壁のうち最も大きな応力が生じる耐震壁の必要鉄筋比以上であることを確認する。

#### 4. 計算方法

##### (1) 防火シャッター

防火シャッターは貯蔵区域間及び貯蔵区域と受入れエリアの境界壁に設置され、いずれも高さ7mである。防火シャッターのスラットは開閉時にシャッターボックスに収納される。

防火シャッターの検討に用いる変位量は、保有水平耐力検討時の層間変形角をシャッター高さに乗じて下式にて算出する。

$$\delta = R \cdot H_s$$

- $\delta$  : 変位量  
 $R$  : 保有水平耐力算定時の層間変形角  
 $H_s$  : シャッター高さ

シャッターボックスの検討は、建築設備耐震設計・施工指針に示される壁面支持矩形断面機器の計算方法に従い、壁平行方向及び壁直角方向の基礎ボルト1本に作用する引抜き力及びせん断力を下式により算定する。

壁平行方向の基礎ボルト1本に作用する引抜き力  $R_b$

$$R_b = \frac{F_H \cdot l_{3G}}{l_1 \cdot n_{t2}} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}}$$

壁直角方向の基礎ボルト1本に作用する引抜き力  $R_b$

$$R_b = \frac{F_H \cdot (l_2 - l_{2G})}{l_2 \cdot n_{t1}} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}}$$

基礎ボルト1本に作用するせん断力  $Q$

$$Q = \frac{\sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2}}{n}$$

- $R_b$  : 基礎ボルト1本に作用するせん断力  
 $F_H$  : 設計用水平震度  
 $F_V$  : 設計用鉛直震度 (=1/2 ·  $F_H$ )  
 $W$  : 機器設備の重量  
 $l_1$  : 水平方向のボルトスパン  
 $l_2$  : 鉛直方向のボルトスパン  
 $l_{2G}$  : 上部基礎ボルト中心から設備機器重心までの鉛直方向の距離  
 $l_{3G}$  : 壁面から設備機器重心までの距離  
 $n_{t1}$  : 上下面に設けた基礎ボルトの片側本数

- $n_{t2}$  : 側面に設けた基礎ボルトの片側本数
- $Q$  : 基礎ボルト 1 本に作用するせん断力
- $n$  : 基礎ボルトの総本数

(2) 防火扉

防火扉の検討に用いる変位量は、保有水平耐力検討時の層間変形角を扉高さに乗じて下式にて算出する。

$$\delta = R \cdot H_D$$

- $\delta$  : 変位量
- $R$  : 層間変形角
- $H_D$  : 扉高さ

(3) コンクリート壁及び廃棄物貯蔵室

火災区域及び火災区画を構成する建屋のコンクリート壁，並びに廃棄物貯蔵室の壁のうち，建屋耐震壁については静的地震力(1.5Ci)に対する健全性を「添付 5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」にて確認している。耐震壁以外の間仕切壁の検討は，間仕切壁の鉄筋費が，静的地震力(1.5Ci)に対して最も応力の高い耐震壁のせん断応力度に対応する必要鉄筋比を上回ることを下式により確認を行う。

$$p_{tpw} > p_{msw}$$

- $p_{tpw}$  : 間仕切壁の鉄筋比
- $p_{msw}$  : 静的地震力(1.5Ci)に対する耐震壁の最大必要鉄筋比

5. 設計の条件及び仕様

(1) 防火シャッター

・防火シャッター

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	層間変形角 ( $\times 10^{-5}$ )	ガイドレール 懐寸法 (mm)
防火シャッター	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 16. 3	9. 17	70

・シャッターボックス

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所	水平方向 設計震度	重量 [N]
シャッターボックス	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 16. 3*	0. 24	14, 514

設計用水平地震力  $1. 2 \times C_i$

※ シャッター高さは7m。

② 基礎ボルトの仕様

機器名称	基礎ボルト 本数[本]	ボルト径	基礎ボルト許容応力度 ( $N/mm^2$ )
シャッターボックス	4	M20	引張 176 せん断 101

(2) 防火扉

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	層間変形角 ( $\times 10^{-5}$ )	扉施工 許容誤差 (mm)
防火扉	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 16. 3	9. 17	2. 0

(3) コンクリート壁

コンクリート壁種別	壁厚(mm)	配筋	鉄筋費 (%)
受入れ区域と付帯区域の境界壁 (間仕切壁)	650	2-D25@200	0.780
受入れ区域と貯蔵区域の境界壁 (間仕切壁)	500	2-D16@200	0.397

(4) 廃棄物貯蔵室

壁位置	配筋	鉄筋比 (%)	判定
廃棄物貯蔵室と受入れ区域の境界壁	2-D16@200	0.397	良

添付 5-8-5 スカート支持たて置円筒型容器の計算方法  
に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 計算条件	3
4. 記号の説明	5
5. 計算方法	7
5.1 固有周期	7
5.2 応力の計算方法	7
5.3 応力の評価	10
6. 空気貯槽の設計条件及び仕様	13



## 図表目次

第3-1図	計算モデル図	4
第5-1図	基礎の荷重説明図	10
第4-1表	記号の説明	5

## 1. 概要

本資料は、スカート支持たて置円筒型容器の計算方法として空気貯槽の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1－2005）、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 4 6 0 1・補－1984 及び JEAG 4 6 0 1－1987）を適用して評価する。

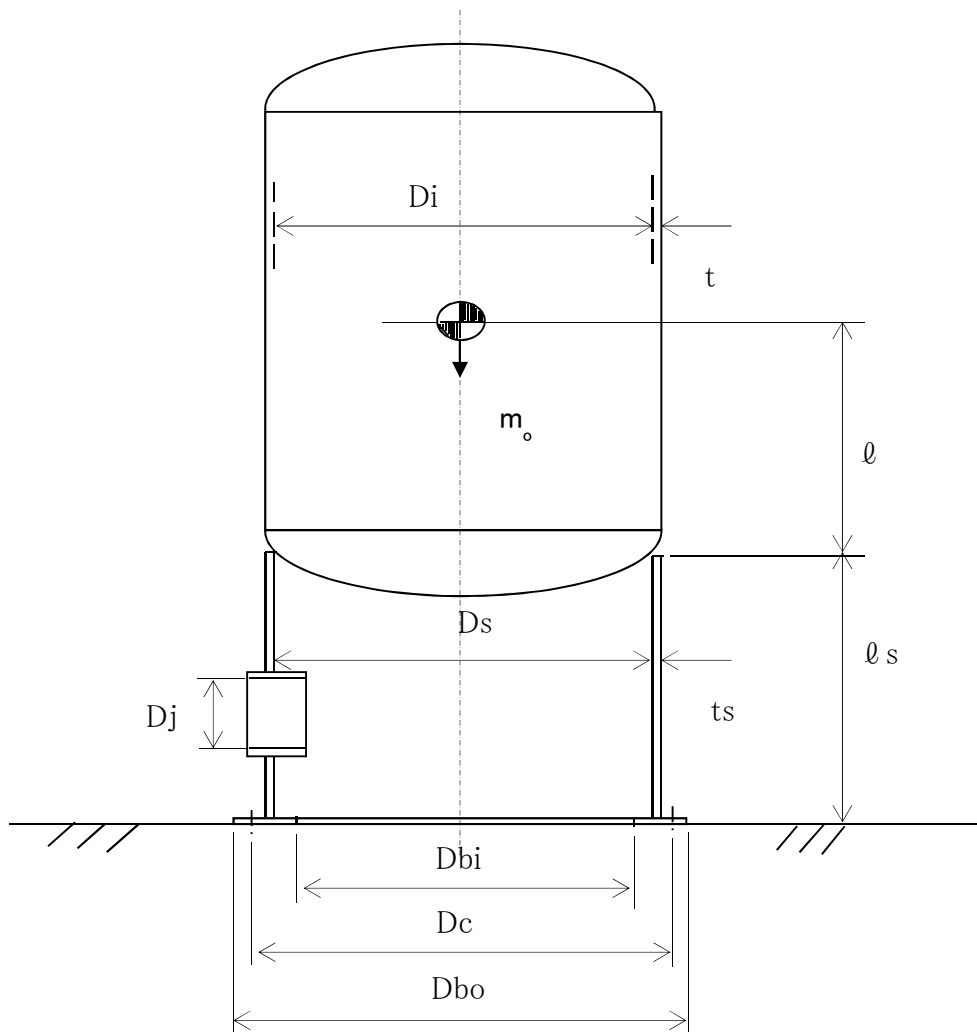
### 3. 計算条件

空気貯槽はスカート支持たて置円筒型容器であり，容器はスカート下端部を多数のボルトで基礎に固定されている。耐震計算については水平地震力に対する胴，スカート，基礎ボルトの評価を行う。

評価の計算モデルを第3-1図に示す。

また，計算条件を以下に記載する。

- (1) 容器の質量は重心に集中したものとする。
- (2) 容器はスカート下端部を多数の基礎ボルトで基礎に固定されているものとする。
- (3) 地震力は容器に対して水平方向から作用するものとする。
- (4) 鉛直方向の設計震度は考慮しないものとする。



第3-1図 計算モデル図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第 4-1 表に示すとおりとする。

第 4-1 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$A_e$	胴の有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s e}$	スカートの有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$D_{b i}$	ベースプレートの内径	mm
$D_{b o}$	ベースプレートの外径	mm
$D_c$	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
$D_i$	胴の内径	mm
$D_j$	スカートに設けられた各開口部の水平断面における最大開口幅 ( $j = 1, 2, 3, 4, 5$ )	mm
$D_s$	スカートの内径	mm
$E$	胴の縦弾性係数	MPa
$E_s$	スカートの縦弾性係数	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
$F_b$	基礎ボルトに生じる引張力	MPa
$f_b$	曲げモーメントに対する座屈応力	MPa
$f_c$	軸圧縮荷重に対する座屈応力	MPa
$G$	胴のせん断弾性係数	MPa
$G_s$	スカートのせん断弾性係数	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$I$	胴の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$I_s$	スカートの断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$j_i$	スカートに設けられた開口部の個数	—
$K_H$	水平方向のばね定数	N/mm
$\ell$	胴のスカート接合点からの重心までの距離	mm
$\ell_s$	スカートの長さ	mm
$M_s$	スカートに作用する転倒モーメント	N・mm
$m_o$	機器の運転時質量 (ベース含む)	kg
$m_e$	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
$n$	基礎ボルトの本数	—
$P_r$	最高使用圧力	MPa

記号	記号の説明	単位
$Q_b$	基礎ボルトに生じるせん断力	N
S	設計建設規格 Part3 第1章 表3に定める値	MPa
$S_u$	設計建設規格 Part3 第1章 表7に定める値	MPa
$S_y$	設計建設規格 Part3 第1章 表6に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
$T_H$	水平方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
$t_s$	スカートの板厚	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
$\sigma_{x2}$	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
$\sigma_{x3}$	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
$\sigma_{x4}$	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{xc}$	胴の軸方向の和（圧縮側）	MPa
$\sigma_{xt}$	胴の軸方向の和（引張側）	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

## 5. 計算方法

「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）6.6.3(1) b. スカート支持たて置円筒形容器」を準用し計算方法を以下に示す。

### 5.1 固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数  $K_H$  は次式で求める。

$$K_H = \frac{1}{\left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_S \cdot I_S} \left( 3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3 \right) + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \right\}}$$

5.1-1

また、固有周期  $T_H$  は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{1000 \cdot K_H}}$$

5.1-2

### 5.2 応力の計算方法

#### (1) 胴の応力

##### a. 内圧による応力

内圧による胴に生じる軸方向応力 ( $\sigma_{x1}$ ) 及び周方向応力 ( $\sigma_{\phi1}$ ) は次式で求める。

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t}$$

5.1-3

$$\sigma_{\phi1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t}$$

5.1-4

##### b. 運転時質量による応力

胴がスカートと接合する点を境界として、上部には胴自身の質量による圧縮応力 ( $\sigma_{x2}$ ) が、下部には下部の胴自身の質量による引張応力 ( $\sigma_{x3}$ ) が生じる。

##### (a) 下部の胴

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

5.1-5

##### (b) 上部の胴

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

5.1-6



c. 水平方向地震による応力

水平方向の地力により胴はスカート結合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントにより軸方向応力 ( $\sigma_{x4}$ ) と地震力によるせん断応力 ( $\tau$ ) は次式で求める。

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \quad 5.1-7$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad 5.1-8$$

d. 組合せ応力

a. ~ c. によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

(a) 組合せ引張応力 ( $\sigma_{ot}$ )

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi 1} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi 1} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \quad 5.1-9$$

(b) 組合せ圧縮応力 ( $\sigma_{oc}$ )

$\sigma_{xc} < 0$  のため、組合せ圧縮応力は不要。

(2) スカートの応力

a. 運転時質量による応力

スカート底部に生じる運転時質量のよる圧縮応力 ( $\sigma_{s1}$ ) は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_o \cdot g}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s} \quad 5.1-10$$

b. 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によるスカートに作用する曲げモーメント ( $M_s$ ) により生じる軸方向応力 ( $\sigma_{s2}$ ) 及び水平方向地震力によるせん断応力 ( $\tau_s$ ) は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}} \quad 5.1-11$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s} \quad 5.1-12$$

$$\text{ここで } M_s = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \quad 5.1-13$$

c. 組合せ応力

組合せ応力 ( $\sigma_s$ ) は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \quad 5.1-14$$

(3) 基礎ボルトの応力

a. 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(第5-1図参照)

基礎ボルトに作用する引張力 ( $F_t$ ) は次式で求める。

$$F_t = \frac{M_s - m_o \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \quad 5.1-15$$

各定数  $e$ ,  $z$  は次式で求める。

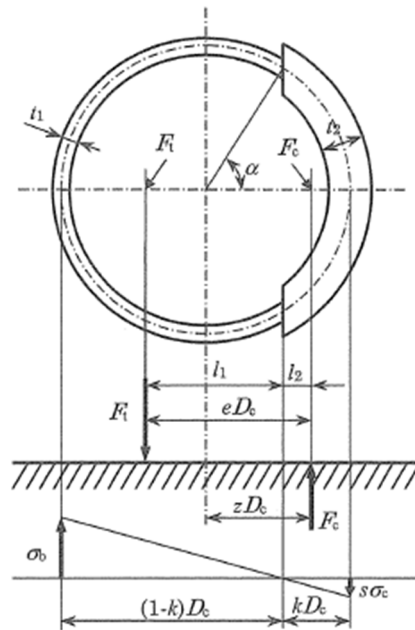
$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \quad 5.1-16$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left( \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \quad 5.1-17$$

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k) \quad 5.1-18$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad 5.1-19$$

中立軸を定める角度  $\alpha$  が  $\pi$  と等しくなった時、基礎ボルトに引張力は作用しない。よって、 $\alpha$  を  $\pi$  に近づけた場合の値  $e=0.75$  及び  $z=0.25$  を上式に代入し、 $F_t < 0$  ならば、引張力は作用しないため、基礎ボルトの引張応力による評価は不要。



第 5-1 図 基礎の荷重説明図

b. せん断応力

基礎ボルトに作用するせん断応力（ $\tau_b$ ）は次式で求める。

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n \cdot A_b} \quad 5.1 - 20$$

5.3 応力の評価

(1) 胴の応力評価

5.2(1)項で求めた組合せ応力が許容応力  $S_a$  以下であること。ただし、 $S_a$  は設計降伏点  $S_y$  と設計引張強さ  $S_u$  の 0.6 倍のいずれか小さい方の値とする。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は許容引張応力  $S$  の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。

(2) スカートの応力評価

a. 組合せ応力

5.2 (2)項で求めた組合せ応力が許容引張応力  $f_t$  以下であること。ただし、 $f_t$  は次式で求める。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad 5.2 - 1$$

b. 圧縮と曲げの組合せ

圧縮応力と曲げによる応力の組合せは次式を満足すること。

$$\frac{\alpha_B \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\alpha_B \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1 \quad 5.2-2$$

ここで、 $\alpha_B$ 、 $f_c$ 及び $f_b$ は次式で求める。

$$\eta_1 = \frac{1200 \cdot g}{F} < \eta = \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \eta_2 = \frac{8000 \cdot g}{T} \text{より}$$

$$\alpha_B = 1 + \left\{ \frac{F}{13600 \cdot g} \cdot \left( \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right\} \quad 5.2-3$$

$$f_c = F \cdot \left\{ 1 - \frac{(F - \Phi_C \cdot \{\eta_2\}) \cdot \left( \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right)}{6800 \cdot g} \right\} \quad 5.2-4$$

ただし、 $\Phi_C\{\eta_2\}$ は次の関数とする。

$$\Phi_C \{ \eta_2 \} = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta_2} \cdot \left[ 1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \cdot \left( -\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta_2} \right) \right\} \right] \quad 5.2-5$$

$$f_b = F \cdot \left\{ 1 - \frac{(F - \Phi_b \{ \eta_2 \}) \cdot \left( \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right)}{8400 \cdot g} \right\} \quad 5.2-6$$

ただし、 $\Phi_b\{\eta_2\}$ は次の関数とする。

$$\Phi_b \{ \eta_2 \} = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta_2} \cdot \left[ 1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp \cdot \left( -\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta_2} \right) \right\} \right] \quad 5.2-7$$

(3) 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

$$f_{ts} = \min \left[ (1.4 f_{t0} - 1.6 \tau_b), f_{t0} \right] \quad 5.2-8$$

せん断応力  $\tau_b$  は許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

ここで、 $f_{t0}$  及び  $f_{sb}$  は以下による。

	許容引張応力 $f_{t0}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$1.5 \left( \frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left( \frac{F}{1.5 \sqrt{3}} \right)$

## 6. 空気貯槽の設計条件及び仕様

## (1) 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	比重
空気貯槽	C	使用済燃料 貯蔵建屋 T. P. 16.3	0.01	$C_H=0.24$	—	0.98	60	—

## (2) 機器要目

$m_o$ (kg)	$m_e$ (kg)	$D_i$ (mm)	$t$ (mm)	$D_s$ (mm)	$t_s$ (mm)	$E$ (MPa)	$E_s$ (MPa)	$I$ (mm <sup>4</sup> )	$I_s$ (mm <sup>4</sup> )	$G$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$\ell$ (mm)	$\ell_s$ (mm)	$D_1$ (mm)	$D_2$ (mm)
3450	2300	1852	15	1850	16	200400	201000	$3.833 \times 10^{10}$	$2.621 \times 10^{10}$	77000	77300	932.5	767.5	388.4	388.4

$D_3$ (mm)	$D_4$ (mm)	$D_5$ (mm)	$s$ (-)	$n$ (-)	$j_i$ (-)	$D_c$ (mm)	$D_{bo}$ (mm)	$D_{bi}$ (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	$A_e$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{se}$ (mm <sup>2</sup> )	$Y$ (mm)
80.7	80.7	105.3	15	12	5	1980	2060	1750	201	$5.865 \times 10^4$	$5.134 \times 10^4$	1049.3

F (スカート) (MPa)	e (-)	z (-)	$\eta$ (-)	S (胴) (MPa)	$S_u$ (胴) (MPa)	$S_y$ (胴) (MPa)
231	0.75	0.25	58.8	100	381	231

添付 5-8-6 圧縮機の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 計算条件	3
4. 記号の説明	4
5. 計算方法	5
5.1 基礎ボルトに生じる引張応力及びせん断応力	5
5.2 応力の評価	6
6. 空気圧縮機的设计条件及び仕様	7



## 図表目次

第3-1図	計算モデル図	3
第4-1表	記号の説明	4

## 1. 概要

本資料は、圧縮機の計算方法として空気圧縮機の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1－2005）、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 4 6 0 1・補－1984 及び JEAG 4 6 0 1－1987）を適用して評価する。

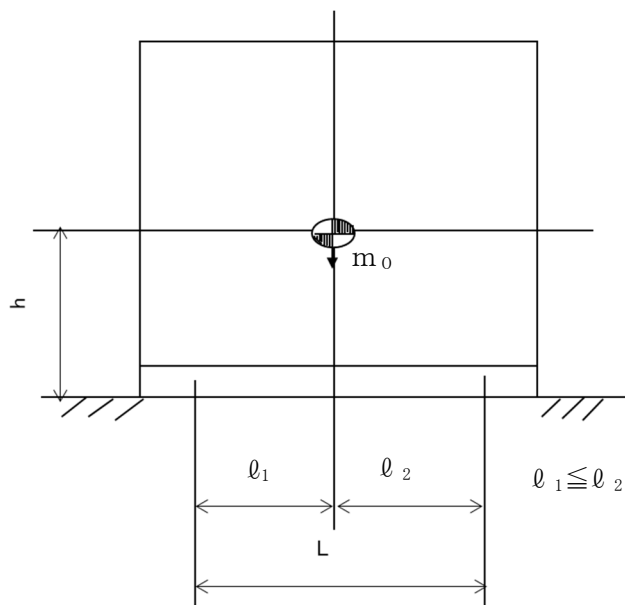
### 3. 計算条件

空気圧縮機は一般産業用工業品であり，箱型のパッケージ品となっておりその構造強度は十分大きいものである。箱型が基礎ボルトで固定されており，耐震計算については水平地震力に対する基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。

評価の計算モデルを第3-1図に示す。

また，計算条件を以下に記載する。

- (1) 機器の質量は重心に集中したものとする。
- (2) 機器は基礎ボルトで十分剛な基礎に固定されるものとする。
- (3) 地震力は基礎ボルトに対して水平方向から作用するものとする。
- (4) 鉛直方向の設計震度は考慮しないものとする。
- (5) 水平地震力を加える方向は，基礎ボルトに作用する引張力が厳しい方向とする。



本図は短辺側を示す。

第3-1図 計算モデル図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第 4-1 表に示すとおりとする。

第 4-1 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_P$	ポンプ振動による震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
$F_b$	基礎ボルトに生じる引張力	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$H_P$	予想最大振幅	mm
$h$	据付面 (基礎) から重心までの距離	mm
$\varnothing_1$	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
$\varnothing_2$	重心と基礎ボルト間の水平方向距離 ( $\varnothing_1 \leq \varnothing_2$ )	mm
$L$	支点としている基礎ボルトから最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離	mm
$m_o$	機器の運転時質量 (ベース含む)	kg
$N$	回転速度 (原動機の同期回転速度)	$\text{min}^{-1}$
$n$	基礎ボルトの本数	—
$n_f$	引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	—
$Q_b$	基礎ボルトに生じるせん断力	N
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

## 5. 計算方法

「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1987）6.6.3(3) a. (b) 横型ポンプ」を準用し計算方法を以下に示す。

### 5.1 基礎ボルトに生じる引張応力及びせん断応力

#### (1) 引張応力 ( $\sigma_b$ )

基礎ボルトに対する引張応力は、最も厳しいものとして、片側の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

なお、ポンプと原動機のベースが共通である場合には、ポンプ回転によるモーメントは考慮しない。

・引張力 ( $F_b$ )

$$F_b = \frac{\{m_o \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h - m_o \cdot g \cdot (1 - C_P) \cdot l_1\}}{n_f \cdot L} \quad 5-1$$

$$C_P = \frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2 \cdot \frac{1}{g} \quad 5-2$$

$F_b < 0$  の場合は、転倒しないため、基礎ボルトの引張応力の評価は不要である。

・引張応力 ( $\sigma_b$ )

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad 5-3$$

#### (2) せん断応力 ( $\tau_b$ )

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。

・せん断力 ( $Q_b$ )

$$Q_b = m_o \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad 5-4$$

・せん断応力 ( $\tau_b$ )

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad 5-5$$

## 5.2 応力の評価

前項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

$$f_{ts} = \min \left[ \left( 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b \right), f_{t0} \right] \quad 5-6$$

また、せん断応力  $\tau_b$  は許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

ここで、 $f_{t0}$  及び  $f_{sb}$  は以下による。

	許容引張応力 $f_{t0}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$1.5 \left( \frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left( \frac{F}{1.5 \sqrt{3}} \right)$

## 6. 空気圧縮機的设计条件及び仕様

## (1) 设计条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	ポンプ振動によ る震度	最高使用温度 (°C)
空気圧縮機	C	使用済燃料貯蔵建屋 T.P. 16. 3	—	$C_H=0.24$	—	$C_p=0.044$	45

## (2) 機器要目

$m_o$ (kg)	h (mm)	$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	L (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	n (-)	$n_f$ (-)	F (MPa)	転倒方向	N (min <sup>-1</sup> )	$H_P$ (mm)
6200	860	840	940	1780	314.1	4	2	222	軸直角方向	1500	0.035



添付 5-8-7 消火設備の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 計算方法	1
5. 設計の条件及び仕様	3

## 1. 概要

本資料は、消火設備の計算方法及び確認方法として粉末(ABC)消火器、大型粉末消火器、化学泡消火器及び防火水槽の計算方法及び確認方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、建築基準法及び消防法、並びにこれらの関係法令を適用して評価する。また、建築設備耐震設計・施工指針((一財)日本建築センター 2014年版)に示された建築設備耐震設計の考え方、及び(一財)日本消防設備安全センターの二次製品等耐震性貯水槽の型式認定の認定基準の考え方をを用いて評価する。

## 3. 計算条件

消火設備である粉末(ABC)消火器、大型粉末消火器、化学泡消火器及び防火水槽は、耐震Cクラスの設備である。耐震計算は、設備の特徴を踏まえて以下のとおりとする。

### (1) 粉末(ABC)消火器

粉末(ABC)消火器は消火器収納箱にて保管し、消火器収納箱底部を基礎ボルトで固定するため、ボルトの引張力及びせん断力で評価を行う。

### (2) 大型粉末消火器及び化学泡消火器

大型粉末消火器及び化学泡消火器は、転倒を防止するための結束材を基礎ボルトで固定することとし、建屋壁面に設置する基礎ボルトの引張力で評価を行う。

### (3) 防火水槽

貯蔵建屋近傍の地中に設置される防火水槽は、(一財)日本消防設備安全センターの二次製品等耐震性貯水槽の型式認定(認定番号 耐-00009号 2000年6月30日)を取得した製品であり、この認定基準の考え方に従い各部の応力を算定し、最も厳しい部位の裕度の評価を行う。

## 4. 計算方法

### (1) 粉末(ABC)消火器

粉末(ABC)消火器が消火器収納箱にて保管されることから、その耐震計算の考え方は、「建築設備耐震設計・施工指針」((一財)日本建築センター 2014年版)に示される、床・基礎支持の矩形断面機器の計算方法を用いて検討を行う。同指針に示される基礎ボルト1本の引抜き力及びせん断力は、以下の式にて算定される。

基礎ボルト1本に作用する引抜き力  $R_b$

$$R_b = \frac{F_H \cdot h_G - (W - F_V) \cdot l_G}{l \cdot n_t}$$

基礎ボルト1本に作用するせん断力  $\tau$

$$\tau = \frac{F_H}{n \cdot A}$$

$R_b$	:	アンカーボルト1本に作用する引抜き力 (kN)
$F_H$	:	設計用水平地震力
$F_v$	:	設計用鉛直地震力 ( $F_v=1/2 \cdot F_H$ )
$W$	:	機器設備の重量 (kN)
$l$	:	検討する方向から見たアンカーボルトスパン (cm)
$l_G$	:	検討する方向から見たアンカーボルト中心から設備機器重心までの距離
$n$	:	アンカーボルトの総本数
$n_t$	:	設備機器の店頭を考えた場合の引張りを受ける片側のアンカーボルト本数
$\tau$	:	せん断応力度
$A$	:	アンカーボルト1本当たりの軸断面積 (cm <sup>2</sup> )

(2) 大型粉末消火器及び化学泡消火器

大型粉末消火器及び化学泡消火器は、転倒を防止するための結束材を基礎ボルトで固定することから、地震力と重心位置から求める転倒モーメントを結束高さと基礎ボルト本数で除してボルト応力を求めることとし、下式にて算定される。

基礎ボルト1本に作用する引抜き力  $R_b$

$$R_b = \frac{F_H \cdot l_G}{H \cdot n}$$

$R_b$	:	基礎ボルト1本に作用する引抜き力 (kN)
$F_H$	:	設計用水平地震力
$W$	:	機器設備の重量 (kN)
$l_G$	:	検討する方向から見た基礎ボルト中心から設備機器重心までの距離
$n$	:	アンカーボルトの総本数

(3) 防火水槽

防火水槽は、(一財)日本消防設備安全センターの二次製品等耐震性貯水槽の型式認定の認定基準の考え方に示される各部の応力算定式を用いて応力を算定した。

5. 設計の条件及び仕様

(1) 粉末(ABC)消火器

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	水平方向 設計震度	重量 [kg]
粉末(ABC)消火器	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 16. 3	0. 24	3. 0

設計用水平地震力  $1. 2 \times C_i$

② アンカーボルトの仕様

機器名称	アンカーボルト 本数 [本]	アンカーボルト種別	ボルト径
粉末(ABC)消火器	4	あと施工金属拡張アンカー (めねじ形)	M6～M12

(2) 大型粉末消火器及び化学泡消火器

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	水平方向 設計震度	重量 [kg]
大型粉末消火器	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 16. 3	0. 24	38. 3
化学泡消火器	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 16. 3	0. 24	210

設計用水平地震力  $1. 2 \times C_i$

② アンカーボルトの仕様

機器名称	アンカーボルト 本数[本]	アンカーボルト種別	ボルト径
大型粉末消火器	4	あと施工金属拡張アンカー (めねじ形)	M6～M12
化学泡消火器	4	あと施工金属拡張アンカー (めねじ形)	M6～M12

(3) 防火水槽

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	水平方向 設計震度	重量 [t]
防火水槽	Cクラス 相当	使用済燃料貯蔵建屋 T.P. 16. 3	0. 24	6. 3

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

② 防火水素の仕様

機器名称	長さ×径(mm)	土被り厚(m)	水平方向 設計震度
防火水槽	6744×2972	1. 0	0. 288

添付 5-8-8 配管の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 計算条件	3
4. 記号の説明	4
5. 計算方法	5
6. 主配管（圧縮空気供給設備）の設計条件及び仕様	6



表目次

第4-1表 記号の説明 ..... 4

## 1. 概要

本資料は、配管の計算方法として主配管（圧縮空気供給設備）の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1 - 2005）、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 J E A G 4 6 0 1 - 1987）を適用して評価する。

### 3. 計算条件

配管耐震計算上の最大支持間隔を算出し、配管の設計した支持間隔が最大支持間隔以下であることを確認する。計算条件について以下に記載する。

- (1) 内部流体の圧力および温度は、設計上の最高使用圧力、温度とする。
- (2) 地震力は配管に対して水平方向から作用するものとする。
- (3) 鉛直方向の設計震度は考慮しないものとする。

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第 4-1 表に示すとおりとする。

第 4-1 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	垂直方向設計震度	—
$D_o$	配管外形	mm
$D_i$	腐食代を考慮した配管内径	mm
$E$	縦弾性係数（設計建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に定める値）	MPa
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$I$	腐食代を考慮した断面 2 次モーメント	mm <sup>4</sup>
$N_B$	配管の固有振動数	Hz
$P$	設計圧力	MPa
$S_y$	設計建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$t$	腐食代を考慮した厚み	mm
$Z$	断面係数	mm <sup>3</sup>
$\alpha$	配管と支持装置の剛性比	—
$\omega$	配管材，保温材及び内部流体の単位質量	N/ mm
$\theta$	たわみ角	rad
$\sigma$	許容応力（設計建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値）	MPa

## 5. 計算方法

標準支持間隔寸法の算出は以下の4ケースによる支持間隔算出のうち、最小の支持間隔を許容値とする。

- ・一次応力による支持間隔
- ・自重応力による支持間隔
- ・たわみ角による支持間隔
- ・固有周期による支持間隔

### (1) 一次応力による支持間隔

$$L = \sqrt{\frac{\left(S_y - \frac{P \cdot D_0}{4 \cdot t}\right) \cdot 8 \cdot Z}{\omega \cdot (1 + C_H + C_V)}} \quad 5-1$$

### (2) 自重応力による支持間隔

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot Z \cdot \sigma}{\omega}} \quad 5-2$$

### (3) たわみ角による支持間隔

$$L = \sqrt[3]{\frac{48 \cdot E \cdot I \cdot \theta}{\omega}} \quad 5-3$$

$$I = \frac{\pi}{64} \left( D_0^4 - D_i^4 \right) \quad 5-4$$

### (4) 一次固有周期上限スパン

$$L = \pi \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot g}{\omega (2 \cdot \pi \cdot NB)^2} \cdot \frac{\alpha}{1 + \alpha}} \quad 5-5$$

## 6. 主配管（圧縮空気供給設備）の設計条件及び仕様

## (1) 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有 振動数 (Hz)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	設計圧力 (MPa)	配管と支持装 置の剛性比	たわみ角 (rad)
				空気圧縮機室	$C_H=0.24$				
主配管 (圧縮空気供給設備)	C	使用済燃料貯蔵建屋 T.P. 16. 4~26. 6	8	その他	$C_H=0.26$	—	0.98	1000	0.0077

## (2) 機器要目

呼び径 (A)	$D_o$ (mm)	$D_i$ (mm)		t (mm)		$\omega$ (N/mm)		E (MPa)		$S_y$ (MPa)		$\sigma$ (MPa)	
		STPG370	SUS304TP	STPG370	SUS304TP	STPG370	SUS304TP	STPG370	SUS304TP	STPG370	SUS304TP	STPG370	SUS304TP
20	27.2	21.4	22.4	5.8	4.8	0.021978	0.014934	201000	193000	215	205	93	129
50	60.5	54.7	53.7	5.8	6.8	0.053385	0.048248						
80	89.1	80.1	81.3	9	7.8	0.111201	0.082324						
100	114.3	104.3	106.5	10	7.8	0.157152	0.10670						

添付 5-8-9 安全弁の計算方法に関する説明書



## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 計算条件	3
4. 記号の説明	4
5. 計算方法	5
5.1 取付ボルトに生じる引張応力及びせん断応力	5
5.2 応力の評価	6
6. 安全弁の設計条件及び仕様	7

図表目次

第3-1図	計算モデル図	3
第4-1表	記号の説明	4

## 1. 概要

本資料は、安全弁の計算方法として空気貯槽に設置する安全弁の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1－2005）、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 4 6 0 1・補－1984 及び JEAG 4 6 0 1－1987）を適用して評価する。

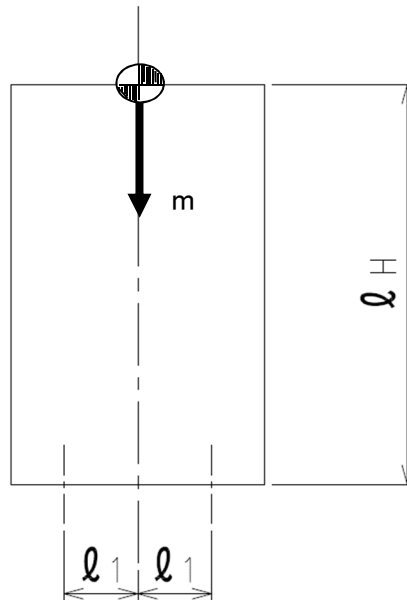
### 3. 計算条件

空気貯槽に設置される安全弁は一般産業用工業品であり，圧力容器構造規格及び日本産業規格に基づき設計，製作されたものであり，その構造強度は十分大きいものである。安全弁は取付ボルトで空気貯槽に取付けられており，耐震計算については水平地震力に対する取付ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。

評価の計算モデルを第3-1図に示す。

また，計算条件を以下に記載する。

- (1) 安全弁の質量は重心に集中したものとする。
- (2) 重心位置は安全弁において最も高い位置とする。
- (3) 地震力は取付ボルトに対して水平方向から作用するものとする。
- (4) 鉛直方向の設計震度は考慮しないものとする。
- (5) 水平地震力を加える方向は，取付ボルトに作用する引張力が厳しい方向とする。



第3-1図 計算モデル図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第 4-1 表に示すとおりとする。

第 4-1 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$D$	取付ボルト穴中心円の径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
$F_b$	取付ボルトに生じる引張力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$\ell_1$	中心から取付ボルトまでの長さ	mm
$\ell_H$	安全弁の全高	mm
$m$	質量	kg
$n$	取付ボルトの本数	—
$n_f$	引張力の作用する取付ボルトの評価本数	—
$Q_b$	取付ボルトに生じるせん断力	N
$\sigma_b$	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

## 5. 計算方法

安全弁の計算方法を以下に示す。

### 5.1 取付ボルトに生じる引張応力及びせん断応力

#### (1) 引張応力 ( $\sigma_b$ )

取付ボルトに対する引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

・引張力 ( $F_b$ )

$$F_b = \frac{(m \cdot g \cdot C_H \cdot \ell_H - m \cdot g \cdot \ell_1)}{2 \cdot \ell_1 \cdot n_f} \quad 5-1$$

・引張応力 ( $\sigma_b$ )

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad 5-2$$

#### (2) せん断応力 ( $\tau_b$ )

取付ボルトに対するせん断応力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・せん断力 ( $Q_b$ )

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad 5-3$$

・せん断応力 ( $\tau_b$ )

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad 5-4$$

## 5.2 応力の評価

前項で求めた取付ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

$$f_{ts} = \min \left[ \left( 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b \right), f_{t0} \right] \quad 5-5$$

また、せん断応力  $\tau_b$  は許容せん断応力  $f_s$  以下であること。

ここで、 $f_{t0}$  及び  $f_s$  は以下による。

	許容引張応力 $f_{t0}$	許容せん断応力 $f_s$
計算式	$1.5 \cdot \frac{F}{2}$	$1.5 \cdot \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$



## 6. 安全弁の設計条件及び仕様

## (1) 設計条件

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	耐震設計上の 重要度分類	固有周期 (s)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (°C)
安全弁	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 16. 3	C	—	$C_H=0.26$	—	60

## (2) 機器要目

m (kg)	$\ell_1$ (mm)	$\ell_H$ (mm)	D (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	n (-)	$n_f$ (-)	F (MPa)
20	37.1	411	105	201	4	2	231

添付 5-8-10 火災感知設備の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 計算方法	1
5. 設計の条件及び仕様	3

## 1. 概要

本資料は、火災感知設備の計算方法として、光電式分離型感知器、光電式スポット型感知器、差動式スポット型感知器、火災受信機及び表示機の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、建築基準法及び消防法、並びにこれらの関係法令を適用して評価する。また、建築設備耐震設計・施工指針（（一財）日本建築センター 2014年版）に示された建築設備耐震設計の考え方をを用いて評価する。

## 3. 計算条件

火災感知設備である光電式分離型感知器、光電式スポット型感知器、差動式スポット型感知器、火災受信機及び表示機は、耐震Cクラスの設備である。耐震計算方法は、設備の特徴を踏まえて以下のとおりとする。

### (1) 光電式分離型感知器、光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器

光電式分離型感知器、光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器については、基礎ボルトにより固定するため、基礎ボルトの引張力及びせん断力で評価を行う。

### (2) 火災受信機及び表示機

火災受信器は、箱型の筐体であるため、建築設備耐震設計・施工指針に示される壁面支持の式を用いて基礎ボルトの引抜き力及びせん断力で評価を行う。

## 4. 計算方法

### (1) 光電式分離型感知器、光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器

光電式分離型感知器、光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器は、機器が設置される位置の静的震度から求めた地震力による基礎ボルトの引張力及びせん断応力と許容応力の比較により行う。

応力の算定は下式により行う。

$$\sigma = \frac{K_H \cdot W \cdot h_G}{n}$$

$$\tau = \frac{K_H \cdot W}{n}$$

$\sigma$	:	基礎ボルト1本に作用する引張力
$h_G$	:	支持面から設備機器重心までの高さ
$\tau$	:	基礎ボルト1本に作用するせん断力
$K_H$	:	設計用水平震度
$W$	:	機器設備の重量

n : アンカーボルトの総本数

(2) 火災受信機及び表示機

火災受信機及び表示機の計算では、建築設備耐震設計・施工指針に示される壁面支持矩形断面機器の計算方法に従い、壁平行方向及び壁直角方向のアンカーボルト1本に作用する引抜き力を算定するとともに基礎ボルト1本に作用する引張力及びせん断力を下式により算定し、最大の応力にて検討を行う。

壁平行方向の基礎ボルト1本に作用する引抜き力

$$R_b = \frac{F_H \cdot l_{3G}}{l_1 \cdot n_{t2}} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}}$$

壁直角方向の基礎ボルト1本に作用する引抜き力

$$R_b = \frac{F_H \cdot (l_2 - l_{2G})}{l_2 \cdot n_{t1}} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}}$$

基礎ボルト1本に作用するせん断力

$$Q = \frac{\sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2}}{n}$$

- R<sub>b</sub> : 基礎ボルト1本に作用する引張力
- F<sub>H</sub> : 設計用水平震度
- F<sub>V</sub> : 設計用鉛直震度 (=1/2・F<sub>H</sub>)
- W : 機器設備の重量
- l<sub>1</sub> : 水平方向のボルトスパン
- l<sub>2</sub> : 鉛直方向のボルトスパン
- l<sub>2G</sub> : 上部基礎ボルト中心から設備機器重心までの鉛直方向の距離
- l<sub>3G</sub> : 壁面から設備機器重心までの距離
- n<sub>t1</sub> : 上下面に設けた基礎ボルトの片側本数
- n<sub>t2</sub> : 側面に設けた基礎ボルトの片側本数
- Q : 基礎ボルト1本に作用するせん断力
- n : 基礎ボルトの総本数

5. 設計の条件及び仕様

(1) 光電式分離型感知器, 光電式スポット型感知器及び差動式スポット型感知器

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所及び 床面高さ (m)	水平方向 設計震度	重量 [N]
光電式分離型感知器	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T.P. 16.3*	0.271	14.71
光電式スポット型感知器	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T.P. 16.3	0.24	1.42
差動式スポット型感知器	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T.P. 16.3	0.24	1.42

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

※ 感知器設置高さは床面より+19m位置 (受入れ区域)

② 基礎ボルトの仕様

機器名称	基礎ボルト 本数[本]	ボルト径	基礎ボルト許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )
光電式分離型感知器	2	M4	引張 176 せん断 101
光電式スポット型感知器	2	M4	
差動式スポット型感知器	2	M4	

(2) 火災受信機

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所	水平方向 設計震度	重量 [N]
火災受信機	Cクラス	出入管理建屋2階	0.269	255

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

② 基礎ボルトの仕様

機器名称	基礎ボルト 本数[本]	基礎ボルト径	基礎ボルト許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )
火災受信機	6	3/8 インチ	引張 176 せん断 101

(3) 表示機

① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所	水平方向 設計震度	重量 [N]
表示機	Cクラス	出入管理建屋2階	0.269	10.8

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

② 基礎ボルトの仕様

機器名称	基礎ボルト 本数[本]	基礎ボルト径	基礎ボルト許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )
表示機	3	M4	引張 176 せん断 101

添付 5-8-11 蓋間圧力検出器の計算方法に関する説明書



## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	2
4. 記号の説明	3
5. 計算方法	3
5.1 固定ボルトの評価	3
5.2 応力の評価	3
6. 蓋間圧力検出器の設計条件及び仕様	4
6.1 設計条件	4
6.2 機器要目	4

図表目次

第 3-1 図	蓋間圧力検出器の概要図	2
第 4-1 表	記号の説明	3

## 1. 概要

本資料は、蓋間圧力検出器の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

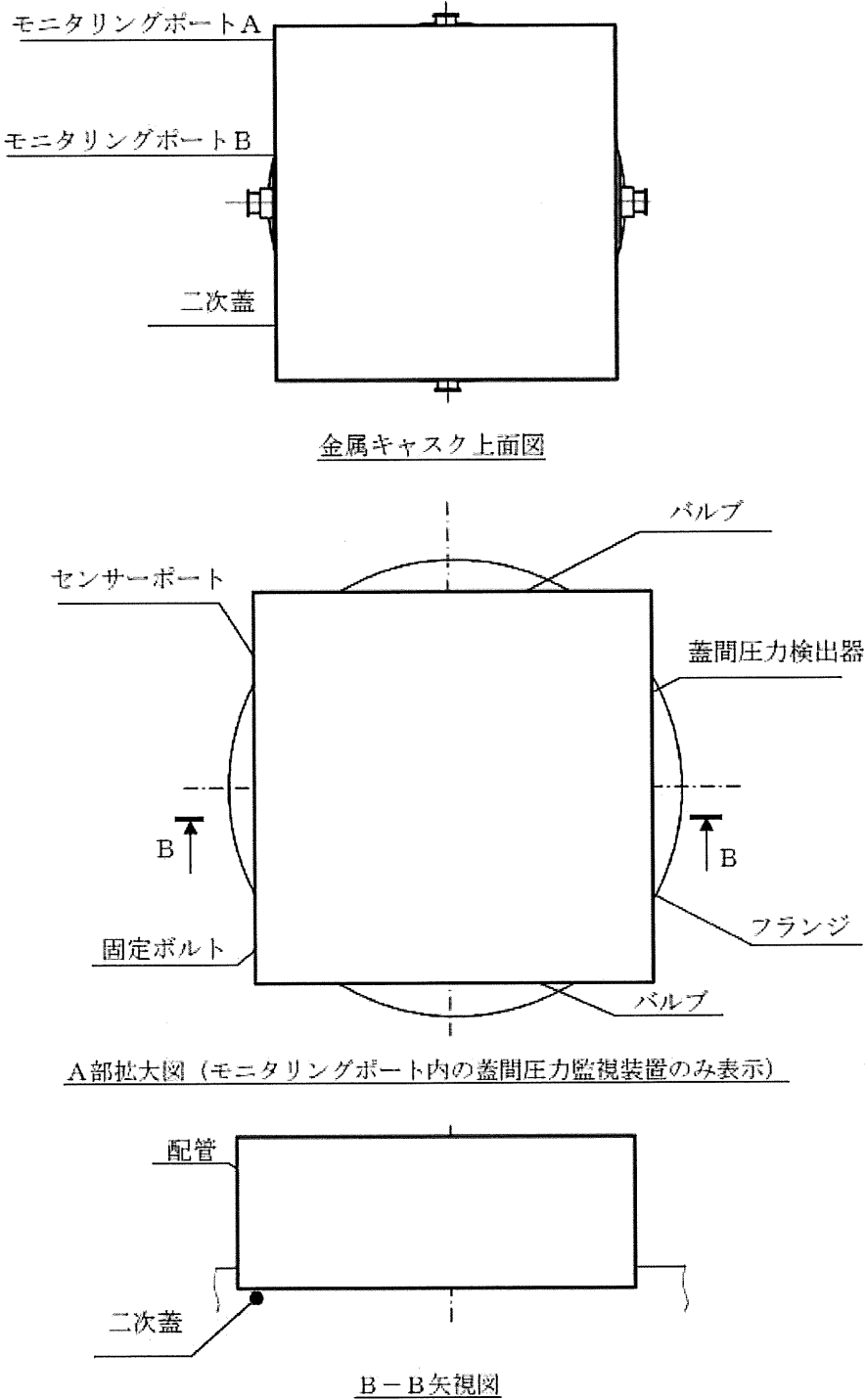
本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1－2005）（2007 年追補版含む）、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG 4 6 0 1・補－1984 及び JEAG 4 6 0 1－1987）を適用して評価する。

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

3. 計算条件

(1) 蓋間圧力検出器の構造

蓋間圧力検出器は、フランジ、バルブ及びセンサーポートとともに、二次蓋のモニタリングポートに固定ボルトで固定されている。概要図を第3-1図に示す。



第3-1図 蓋間圧力検出器の概要図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第 4-1 表に示すとおりとする。

第 4-1 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_1$	固定ボルト (M5) の断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$d$	固定ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格に定める値	MPa
$f_{sb}$	固定ボルトの許容せん断応力	MPa
$F_H$	固定ボルトに作用する水平力	N
$g$	重力加速度	$\text{m/s}^2$
$m$	蓋間圧力検出器 (配管, バルブ含む) の質量	kg
$n$	固定ボルト (M5) の本数	—
$\tau$	固定ボルトのせん断応力	MPa

#### 5. 計算方法

##### 5.1 固定ボルトの評価

蓋間圧力検出器は, フランジ, バルブ及びセンサーポートとともに, 二次蓋のモニタリングポートに 12 本の固定ボルトで固定されている。この固定ボルトの評価を行う。

##### (1) せん断応力

水平方向地震力により固定ボルトに作用する水平力 ( $F_H$ ) による固定ボルトに生じるせん断応力  $\tau$  は次式で計算する。

$$\tau = F_H / (n \cdot A_1)$$

ここで,  $F_H$  は次式により算出する。

$$F_H = m \cdot C_H \cdot g$$

##### 5.2 応力の評価

前項で求めた固定ボルトに生じるせん断応力  $\tau$  は, 次式より求めた許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

$$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \times 1.5$$

6. 蓋間圧力検出器の設計条件及び仕様

6.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	取付箇所及び設置床(m)	水平方向 設計震度	最高使用 温度(°C)
蓋間圧力検出器	C	使用済燃料貯蔵建屋 貯蔵区域 T.P. 16.3	0.24	110

6.2 機器要目

m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	n (-)	d (mm)	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )
2.3	9.80665	12	5	19.6

固定ボルトの 材料	F (固定ボルト) (MPa)
SUS304	205

添付 5-8-12 給排気温度検出器の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 記号の説明	2
5. 計算方法	3
5.1 取付ボルトの評価	3
5.2 応力の評価	3
6. 給排気温度検出器の設計条件及び仕様	4
6.1 設計条件	4
6.2 機器要目	4



## 図表目次

第3-1図	給排気温度検出器のモデル図	1
第4-1表	記号の説明	2

### 1. 概要

本資料は、給排気温度検出器の計算方法について説明するものである。

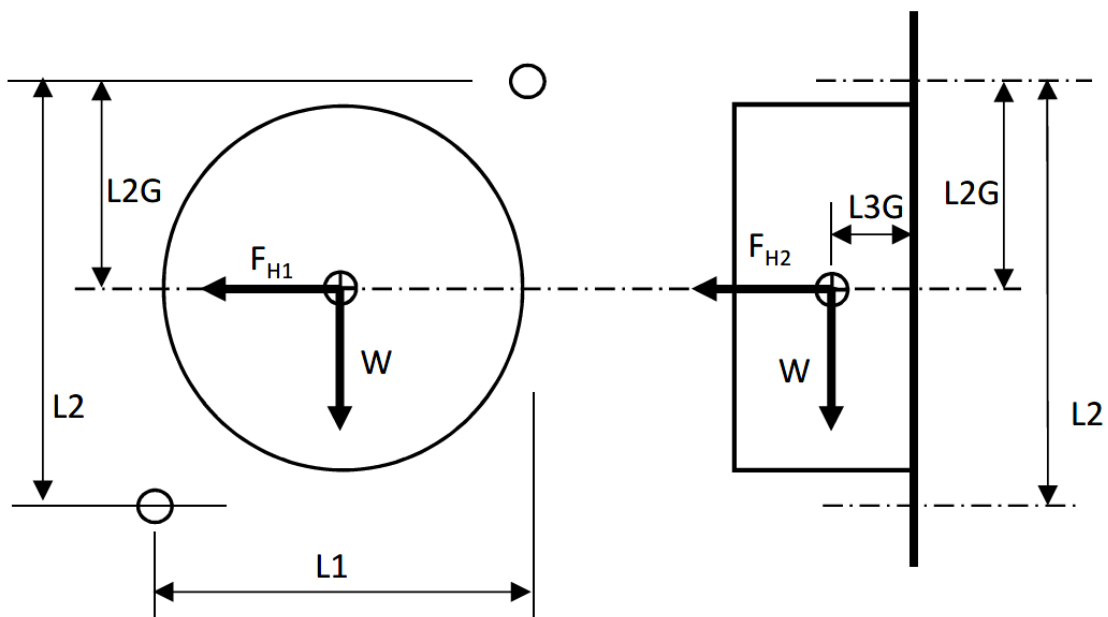
### 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1-2005）、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 及び JEAG 4601-1987）を適用して評価する。

### 3. 計算条件

#### (1) 給排気温度検出器の構造

給排気温度検出器は使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域の給気口と排気口の壁面に設置されており、壁面に設置された埋込金物に溶接されたサポートと2本の取付ボルトで固定されている。給排気温度検出器の取付ボルトを評価する際のモデル図を、第3-1図に示す。



第3-1図 給排気温度検出器のモデル図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第4-1表に示すとおりとする。

第4-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	取付ボルト軸面積	$\text{mm}^2$
$d$	取付ボルトの呼び径	mm
$K_H$	水平方向設計震度	—
$K_V$	鉛直方向設計震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3121 に定める値	MPa
$f_{sb}$	取付ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	取付ボルトの許容引張応力	MPa
$F_H$	水平方向荷重	N
$F_V$	鉛直方向荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$N_b$	取付ボルト本数	本
$n_1$	水平方向の引張を受けるボルト本数	本
$n_2$	鉛直方向の引張を受けるボルト本数	本
$W$	給排気温度検出器の重量	kg
$\tau$	取付ボルトにかかるせん断応力	MPa
$R_b$	取付ボルト1本にかかる引抜力	N
$\sigma$	取付ボルト1本にかかる引張応力	MPa
$L_1$	水平方向の取付ボルトの間隔	mm
$L_2$	鉛直方向の取付ボルトの間隔	mm
$L_2G$	上部ボルトから重心までの鉛直方向の距離	mm
$L_3G$	取付面から重心までの水平方向の距離	mm

## 5. 計算方法

### 5.1 取付ボルトの評価

給排気温度検出器は、壁に設置された埋込金物に溶接されたサポートに取付ボルトで固定されている。取付ボルトの引抜力及びせん断力で評価を行う。

(1) 給排気温度検出器にかかる水平方向荷重  $F_H$  と垂直方向荷重  $F_V$

設計用地震力によりモニタにかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } F_H = K_H \times W \times g$$

$$\text{垂直方向荷重 } F_V = K_V \times W \times g$$

(2) 給排気温度検出器の取付ボルト 1 本にかかる引抜力  $R_b$

壁に平行な方向にかかる引抜力  $R_{b1}$  と壁と垂直な方向にかかる引抜力  $R_{b2}$  のうち、大きい値を引抜力  $R_b$  とする。

$$R_{b1} = (F_H \times L_3 G) / (L_1 \times n_2) + (W \times g + F_V) \times L_3 G / L_2 \times n_1$$

$$R_{b2} = (F_H \times (L_2 - L_2 G)) / (L_2 \times n_1) + (W \times g + F_V) \times L_3 G / (L_2 \times n_1)$$

$$R_b = \max [R_{b1}, R_{b2}]$$

(3) 取付ボルトの引張応力  $\sigma$

$$\sigma = R_b / A_b$$

(4) 取付ボルトにかかるせん断応力  $\tau$

$$\tau = \sqrt{(F_H^2 + (W \times g + F_V)^2)} / (N_b \times A_b)$$

### 5.2 応力の評価

前項で求めた取付ボルトの引張応力  $\sigma$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

$$f_{ts} = \min [f_{to}, 1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau]$$

また、せん断応力  $\tau$  は許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

ここで、 $f_{to}$  及び  $f_{sb}$  は以下による。

	許容引張応力 $f_{to}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$f_{to} = F / 2 \times 1.5$	$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \times 1.5$

## 6. 給排気温度検出器の設計条件及び仕様

### 6.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	取付箇所 及び設置床(m)	水平方向 設計震度 $K_H$	鉛直方向 設計震度 $K_V$	最高使用 温度(°C)
給排気温度検出器	C	使用済燃料貯蔵建屋 貯蔵区域 T. P. 16. 3	0. 262	—	70

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i = 0.218$

(給排気温度検出器の設置箇所が壁面で、給気口は T. P. 19. 6、排気口は T. P. 28. 72m であることから、 $C_i$  は T. P. 29. 22m~33. 22m の 0. 218 (EW) と 0. 214 (NS) の大きい値を用いる)

### 6.2 機器要目

W (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub> (—)	n <sub>2</sub> (—)	N <sub>b</sub> (—)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
0. 64	9. 80665	1	1	2	5	19. 6

取付ボルトの 材料	F (MPa)	L 1 (mm)	L 2 (mm)	L 2 G (mm)	L 3 G (mm)
SS400相当	231	45	75	37. 5	27

添付 5-8-13 放射線監視設備（ガンマ線エリアモニタ）  
の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 記号の説明	3
5. 計算方法	4
5.1 取付ボルトの評価	4
5.2 応力の評価	4
6. 放射線監視設備（ガンマ線エリアモニタ）の設計条件及び仕様	5
6.1 設計条件	5
6.2 機器要目	5

## 図表目次

第3-1図	ガンマ線エリアモニタの概要図	1
第3-2図	ガンマ線エリアモニタのモデル図	2
第4-1表	記号の説明	3



## 1. 概要

本資料は、放射線監視設備の計算方法としてエリア放射線モニタリング設備のうち、ガンマ線エリアモニタの計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

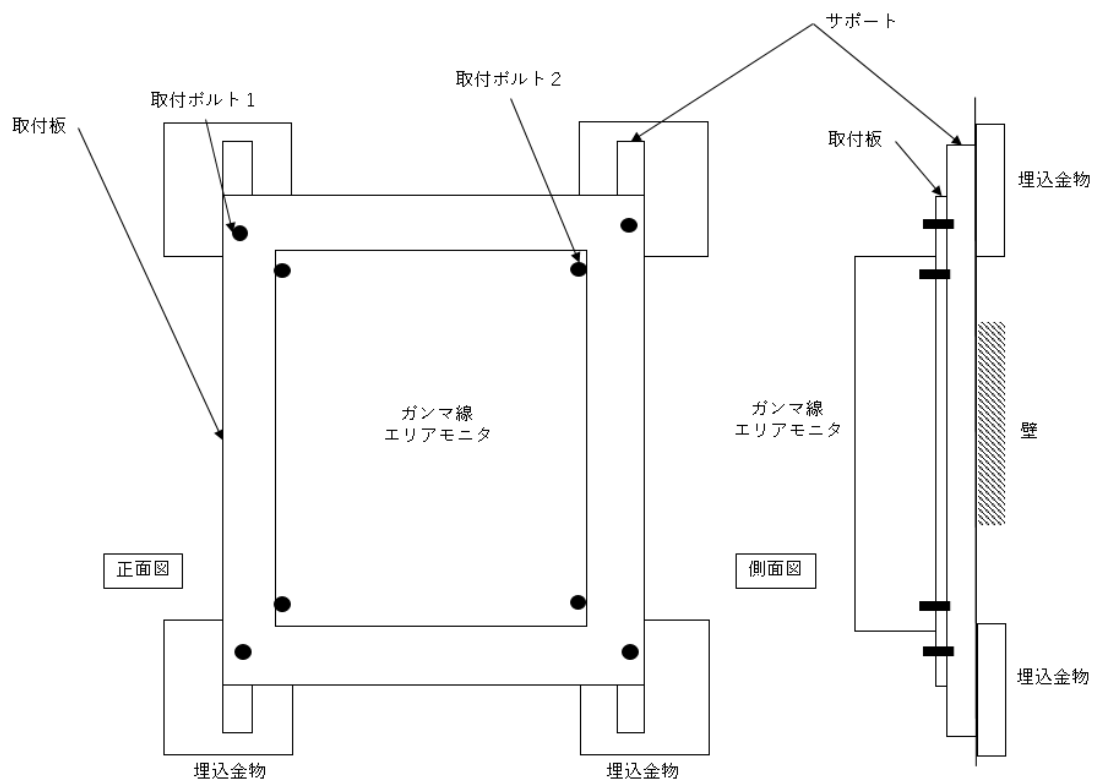
本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005）、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984 及び JEAG4601-1987）を適用して評価する。

## 3. 計算条件

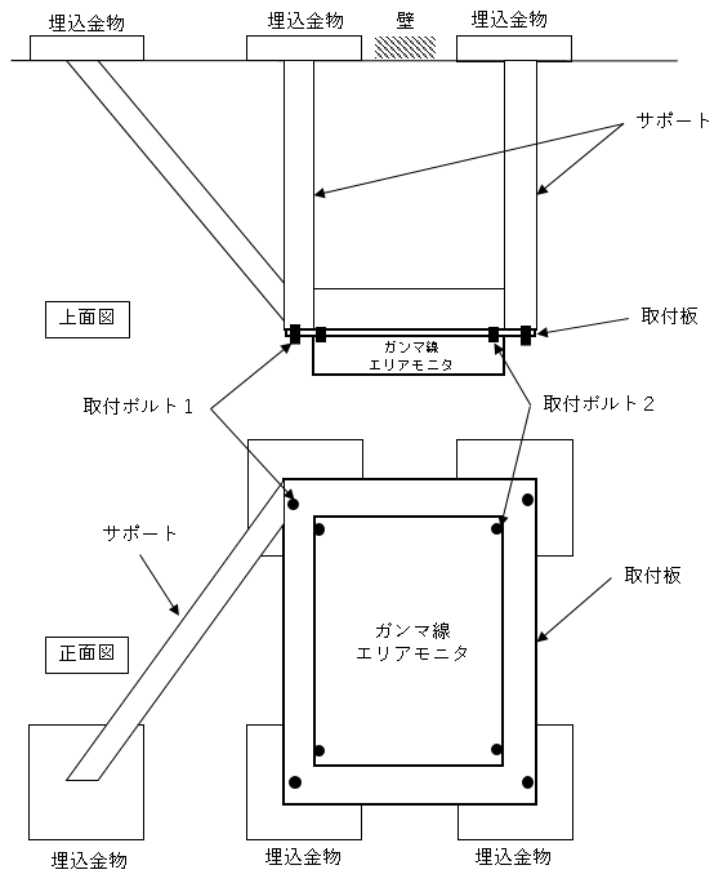
### (1) ガンマ線エリアモニタの構造

ガンマ線エリアモニタは、壁面に設置されている。ガンマ線エリアモニタは、取付板に取付ボルト2で固定されており、取付板は、壁面に設置された埋込金物に溶接されたサポートと取付ボルト1で固定されている。

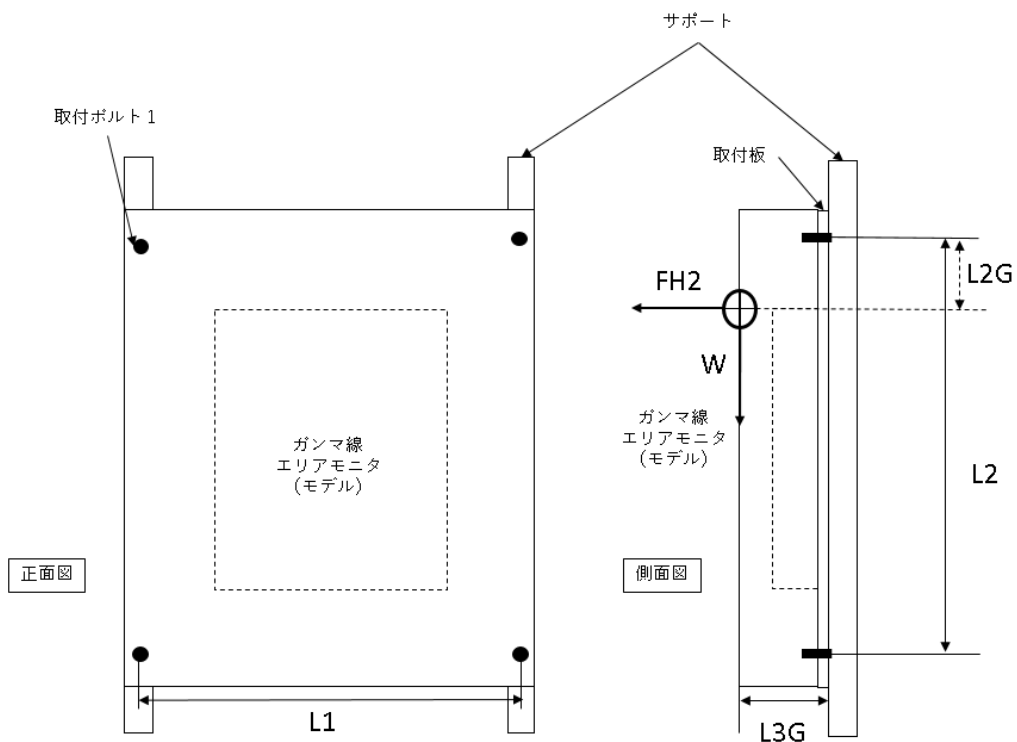
使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域（以下「貯蔵区域」という。）と廃棄物貯蔵室のガンマ線エリアモニタの概要図を第3-1図に、使用済燃料貯蔵建屋受入れ区域（以下「受入れ区域」という。）のガンマ線エリアモニタの概要図を第3-2図に示す。取付ボルト1を評価する際のモデル図を第3-3図に示す。



第3-1図 ガンマ線エリアモニタ（貯蔵区域，廃棄物貯蔵室）の概要図



第3-2図 ガンマ線エリアモニタ（廃棄物貯蔵室）の概要図



第3-3図 ガンマ線エリアモニタのモデル図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第4-1表に示すとおりとする。

第4-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	取付ボルト軸面積	$\text{mm}^2$
$d$	取付ボルトの呼び径	mm
$K_H$	水平方向設計震度	—
$K_V$	鉛直方向設計震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3121 に定める値	MPa
$f_{sb}$	取付ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	取付ボルトの許容引張応力	MPa
$F_H$	水平方向荷重	N
$F_V$	鉛直方向荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$N_b$	取付ボルト本数	—
$n_1$	水平方向の引張を受けるボルト本数	—
$n_2$	鉛直方向の引張を受けるボルト本数	—
$W$	モニタの重量 (取付板含む)	kg
$\tau$	取付ボルトにかかるせん断応力	MPa
$R_b$	取付ボルト1本にかかる引抜力	N
$\sigma$	取付ボルト1本にかかる引張応力	MPa
$L_1$	水平方向の取付ボルトの間隔	mm
$L_2$	鉛直方向の取付ボルトの間隔	mm
$L_2G$	上部ボルトから重心までの鉛直方向の距離	mm
$L_3G$	取付面から重心までの水平方向の距離	mm

## 5. 計算方法

### 5.1 取付ボルトの評価

ガンマ線エリアモニタは、壁面に設置されている。ガンマ線エリアモニタは、取付板に取付ボルト2で固定されており、取付板は、壁面に設置された埋込金物に溶接されたサポートと取付ボルト1で固定されている。

壁面に近く、荷重の大きい取付ボルト1の評価を行う。

(1) ガンマ線エリアモニタにかかる水平方向荷重 $F_H$ と垂直方向荷重 $F_V$

設計用地震力によりモニタにかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } F_H = K_H \times W \times g$$

$$\text{垂直方向荷重 } F_V = K_V \times W \times g$$

(2) ガンマ線エリアモニタの取付ボルト1本にかかる引抜力 $R_b$

壁に平行な方向にかかる引抜力 $R_{b1}$ と壁と垂直な方向にかかる引抜力 $R_{b2}$ のうち、大きい値を引抜力 $R_b$ とする。

$$R_{b1} = (F_H \times L_3 G) / (L_1 \times n_2) + (W \times g + F_V) \times L_3 G / L_2 \times n_1$$

$$R_{b2} = (F_H \times (L_2 - L_2 G)) / (L_2 \times n_1) + (W \times g + F_V) \times L_3 G / (L_2 \times n_1)$$

$$R_b = \max [R_{b1}, R_{b2}]$$

(3) 取付ボルトの引張応力 $\sigma$

$$\sigma = R_b / A_b$$

(4) 取付ボルトにかかるせん断応力 $\tau$

$$\tau = \sqrt{(F_H^2 + (W \times g + F_V)^2)} / (N_b \times A_b)$$

### 5.2 応力の評価

前項で求めた取付ボルトの引張応力 $\sigma$ は、次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$ 以下であること。

$$f_{ts} = \min [f_{to}, 1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau]$$

また、せん断応力 $\tau$ は許容せん断応力 $f_{sb}$ 以下であること。

ここで、 $f_{to}$ 及び $f_{sb}$ は以下による。

	許容引張応力 $f_{to}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$f_{to} = F / 2 \times 1.5$	$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \times 1.5$

## 6. ガンマ線エリアモニタの設計条件及び仕様

### 6.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	取付箇所 及び設置床 (m)	水平方向 設計震度 $K_H$	鉛直方向 設計震度 $K_V$	最高使用 温度 (°C)
ガンマ線エリア モニタ	C	使用済燃料貯蔵建屋 貯蔵区域 T. P. 16. 3	0. 262	—	45
		使用済燃料貯蔵建屋 受入れ区域 T. P. 16. 3			
		使用済燃料貯蔵建屋 廃棄物貯蔵室 T. P. 16. 3			

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i = 0.218$

(ガンマ線エリアモニタの設置箇所が、高さ T. P. 22. 5~25. 6m であることから、 $C_i$  は T. P. 29. 22m~33. 22m の 0. 218 (EW) と 0. 214 (NS) の大きい値を用いる。)

### 6.2 機器要目

W (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub> (-)	n <sub>2</sub> (-)	N <sub>b</sub> (-)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
44	9. 80665	2	2	4	10	78. 5

取付ボルト 1 の材料	F (MPa)	L 1 (mm)	L 2 (mm)	L 2 G (mm)	L 3 G (mm)
SS400相当	231	500	600	90	256

添付 5-8-14 放射線監視設備（中性子線エリアモニタ）

の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 記号の説明	3
5. 計算方法	4
5.1 取付ボルトの評価	4
5.2 応力の評価	4
6. 放射線監視設備（中性子線エリアモニタ）の設計条件及び仕様	5
6.1 設計条件	5
6.2 機器要目	5

## 図表目次

第3-1図	中性子線エリアモニタの概要図	1
第3-1図	中性子線エリアモニタのモデル図	2
第4-1表	記号の説明	3



## 1. 概要

本資料は、放射線監視設備の計算方法としてエリア放射線モニタリング設備のうち、中性子線エリアモニタの計算方法について説明するものである。

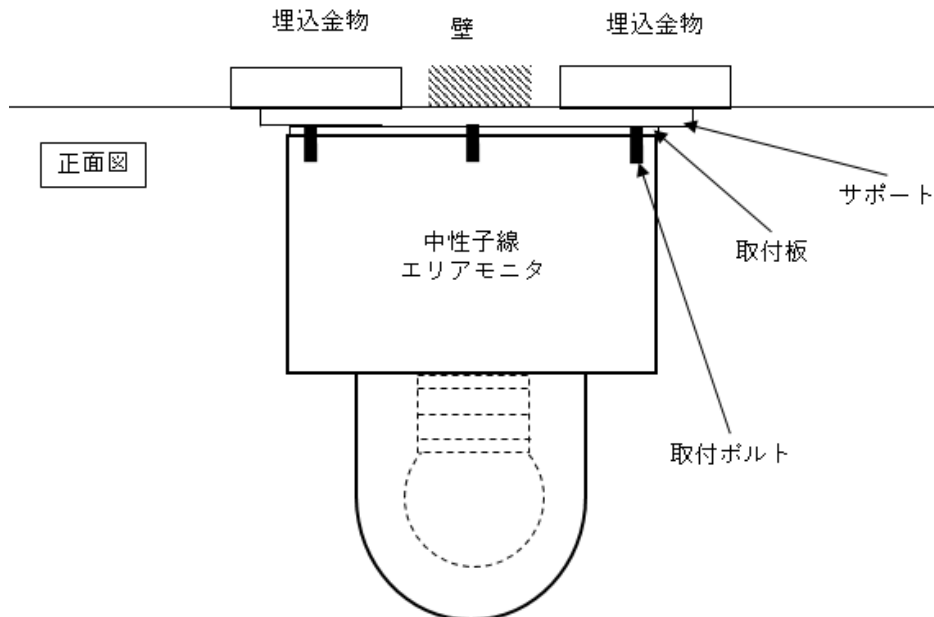
## 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005）（2007年追補版を含む）、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984及びJEAG4601-1987）を適用して評価する。

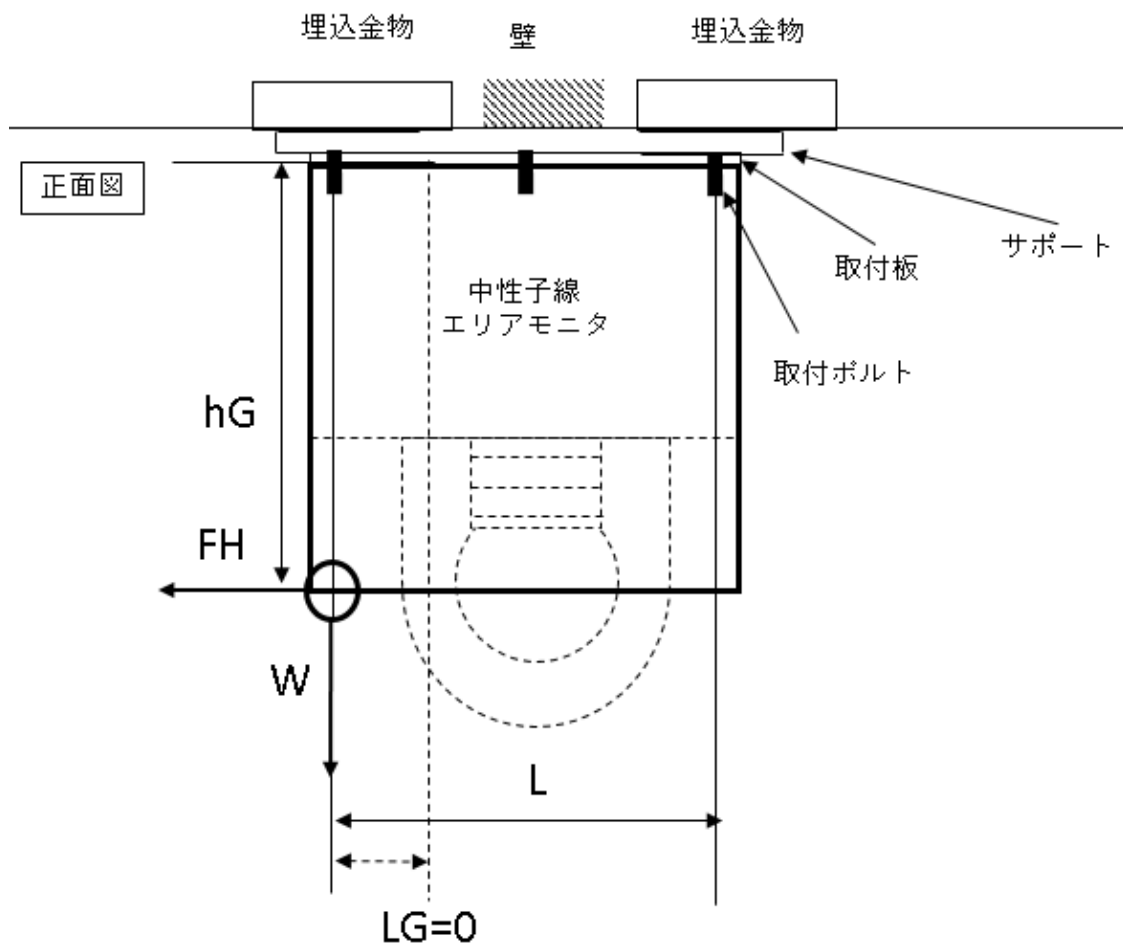
## 3. 計算条件

### (1) 中性子線エリアモニタ（貯蔵区域）の構造

使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域（以下「貯蔵区域」という。）の中性子線エリアモニタは中央通路部の天井面に設置されている。モニタを取り付けるための取付板は、天井に設置された埋込金物に溶接されたサポートに溶接されており、中性子線エリアモニタは、取付板に溶接された取付ボルトに固定されている。概要図を第3-1図に、取付ボルトを評価する際のモデル図を第3-2図に示す。



第3-1図 中性子線エリアモニタ（貯蔵区域）の概要図

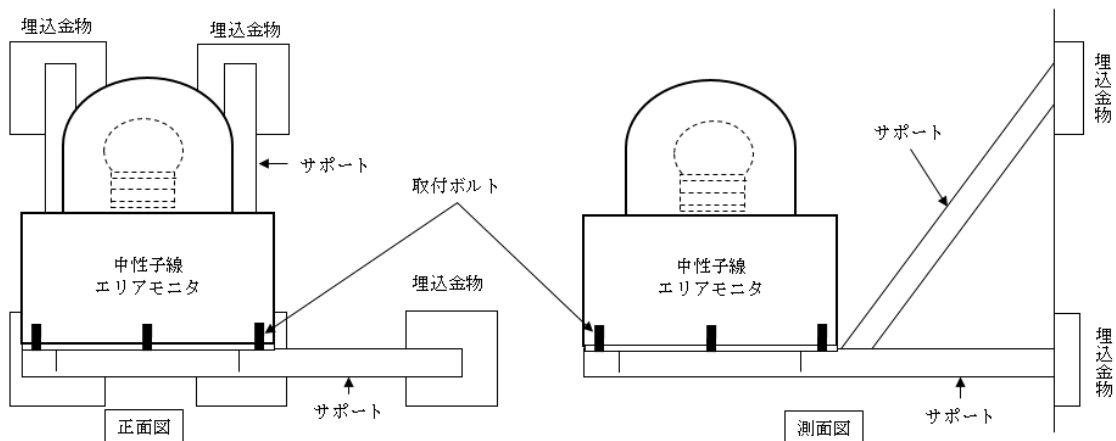


第3-2図 中性子線エリアモニタ（貯蔵区域）のモデル図

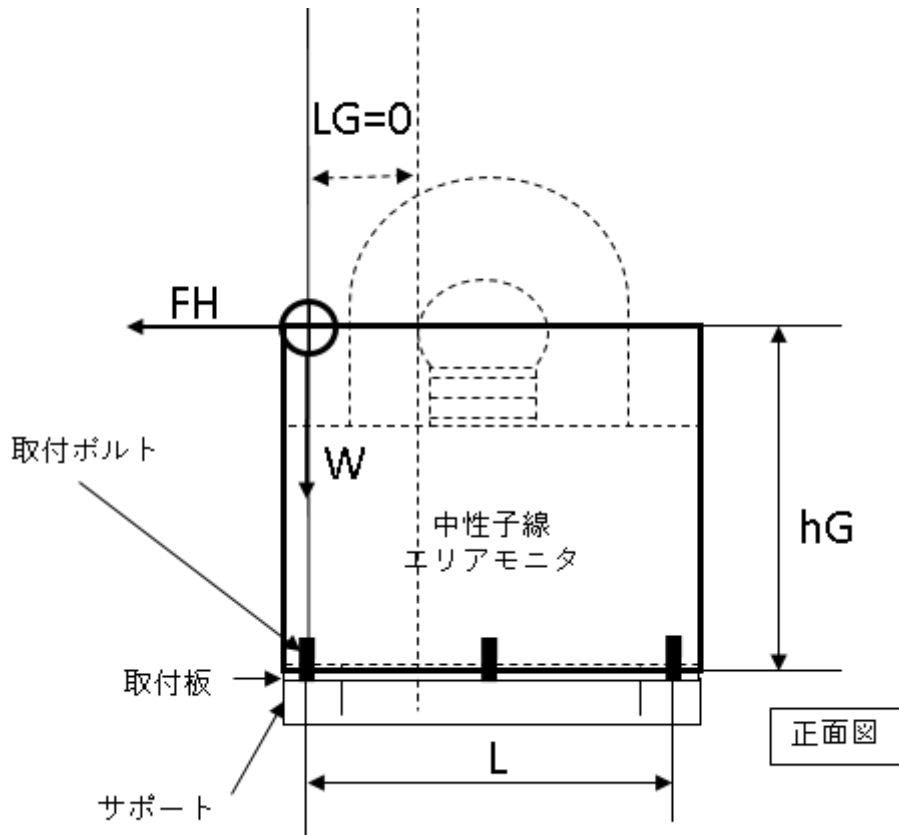
(2) 中性子線エリアモニタ（受入れ区域）の構造

使用済燃料貯蔵建屋受入れ区域（以下「受入れ区域」という。）の中性子線エリアモニタは、受入れ区域南側壁面に設置されている。モニタを取り付けるための取付板は、壁面に設置された埋込金物に溶接されたサポートに溶接されており、中性子線エリアモニタは、取付板に溶接された取付ボルトに固定されている。

概要図を第3-3図に、取付ボルトを評価する際のモデル図を第3-4図に示す。



第3-3図 中性子線エリアモニタ（受入れ区域）の概要図



第3-4図 中性子線エリアモニタ（受入れ区域）のモデル図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第4-1表に示すとおりとする。

第4-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	取付ボルト軸面積	$\text{mm}^2$
$d$	取付ボルトの呼び径	mm
$K_H$	水平方向設計震度	—
$K_V$	鉛直方向設計震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3121 に定める値	MPa
$f_{sb}$	取付ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	取付ボルトの許容引張応力	MPa
$F_H$	水平方向荷重	N
$F_V$	鉛直方向荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$N_b$	取付ボルト本数	—
$n_t$	水平方向の引張を受けるボルト本数	—
$W$	中性子線エリアモニタの重量	kg
$\tau$	取付ボルトにかかるせん断応力	MPa
$R_b$	取付ボルト1本にかかる引抜力	N
$\sigma$	取付ボルト1本にかかる引張応力	MPa
$L$	水平方向の取付ボルトの間隔	mm
$L_G$	取付ボルトから重心までの水平方向の距離	mm
$h_G$	取付面から重心までの鉛直方向の距離	mm

## 5. 計算方法

### 5.1 取付ボルトの評価

#### 5.1.1 中性子線エリアモニタ（貯蔵区域）の取付ボルトの評価

貯蔵区域の中性子線エリアモニタは、中央通路部の天井面に設置されている。モニタを取り付けるための取付板は、天井に設置された埋込金物に溶接されたサポートに溶接されており、中性子線エリアモニタは、取付板に溶接された取付ボルトに固定されている。取付ボルトにかかる引張応力とせん断応力の評価を行う。

- (1) 中性子線エリアモニタ（貯蔵区域）にかかる水平方向荷重 $F_H$ と垂直方向荷重 $F_V$  設計用地震力によりモニタにかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } F_H = K_H \times W \times g$$

$$\text{垂直方向荷重 } F_V = K_V \times W \times g$$

- (2) 中性子線エリアモニタ（貯蔵区域）の取付ボルト1本にかかる引抜力 $R_b$  取付ボルトにかかる引抜力を、以下の式で計算する。

$$R_b = (F_H \times h G + (W \times g + F_V) \times (L - L G)) / (L \times n_t)$$

- (3) 取付ボルトの引張応力 $\sigma$

$$\sigma = R_b / A_b$$

- (4) 取付ボルトにかかるせん断応力 $\tau$

$$\tau = F_H / (N_b \times A_b)$$

#### 5.1.2 中性子線エリアモニタ（受入れ区域）の取付ボルトの評価

受入れ区域の中性子線エリアモニタは、受入れ区域南側壁面中央部付近に設置されている。モニタを取り付けるための取付板は、壁面に設置された埋込金物に溶接されたサポートに溶接されており、中性子線エリアモニタは、取付板に溶接された取付ボルトに固定されていることから、取付ボルトにかかる引張応力とせん断応力の評価を行う。

- (1) 中性子線エリアモニタ（受入れ区域）にかかる水平方向荷重 $F_H$ と垂直方向荷重 $F_V$

設計用地震力により保管ラックにかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } F_H = K_H \times W \times g$$

$$\text{垂直方向荷重 } F_V = K_V \times W \times g$$

- (2) 中性子線エリアモニタ（受入れ区域）の取付ボルト1本にかかる引抜力 $R_b$

設計用水平地震力によりアンカーボルトにかかる引抜力を以下の式で計算する。

$$R_b = (F_H \times h G) / (L \times n_t) - (W \times g + F_V) \times L G / (L \times n_t)$$

(3) 取付ボルトの引張応力  $\sigma$

$$\sigma = R_b / A_b$$

(4) 取付ボルトにかかるせん断応力  $\tau$

$$\tau = F_H / (N_b \times A_b)$$

## 5.2 応力の評価

前項で求めた取付ボルトの引張応力  $\sigma$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

$$f_{ts} = \min [f_{to}, 1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau]$$

また、せん断応力  $\tau$  は許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

ここで、 $f_{to}$  及び  $f_{sb}$  は以下による。

	許容引張応力 $f_{to}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$f_{to} = F / 2 \times 1.5$	$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \times 1.5$

## 6. 中性子線エリアモニタの設計条件及び仕様

### 6.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	取付箇所及び設置床 (m)	水平方向設計震度 $K_H$	鉛直方向設計震度 $K_V$	最高使用温度 (°C)
中性子線エリア モニタ	C	使用済燃料貯蔵建屋 貯蔵区域 T.P. 16. 3	0. 262	—	45
		使用済燃料貯蔵建屋 受入れ区域 T.P. 16. 3			

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i = 0.218$

(中性子線エリアモニタの設置箇所が、高さ T.P. 25. 6~26. 72m であることから、 $C_i$  は T.P. 29. 22m~33. 22m の 0. 218 (EW) と 0. 214 (NS) の大きい値を用いる。

### 6.2 機器要目

#### 6.2.1 中性子線エリアモニタ (貯蔵区域, 受入れ区域) の機器要目

W (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	$n_t$ (—)	$N_b$ (—)	d (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
70	9. 80665	3	8	8	50. 3

取付ボルトの 材料	F (MPa)	L (mm)	L G (mm)	h G (mm)
SUS304	205	520	0	768

添付 5-8-15 放射線監視設備（モニタリングポスト）

の計算方法に関する説明書



## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 記号の説明	3
5. 計算方法	4
5.1 基礎ボルトの評価	4
5.2 応力の評価	4
6. 放射線監視設備（モニタリングポスト）の設計条件及び仕様	5
6.1 設計条件	5
6.2 機器要目	5

## 図表目次

第3-1図	モニタリングポストのモニタの概要図	1
第3-2図	モニタリングポストのモニタのモデル図	2
第4-1表	記号の説明	3

## 1. 概要

本資料は、放射線監視設備の計算方法として周辺監視区域境界付近モニタリング設備のうち、モニタリングポスト（ガンマ線モニタ（低レンジ）、ガンマ線モニタ（高レンジ）、中性子線モニタ）の計算方法について説明するものである。

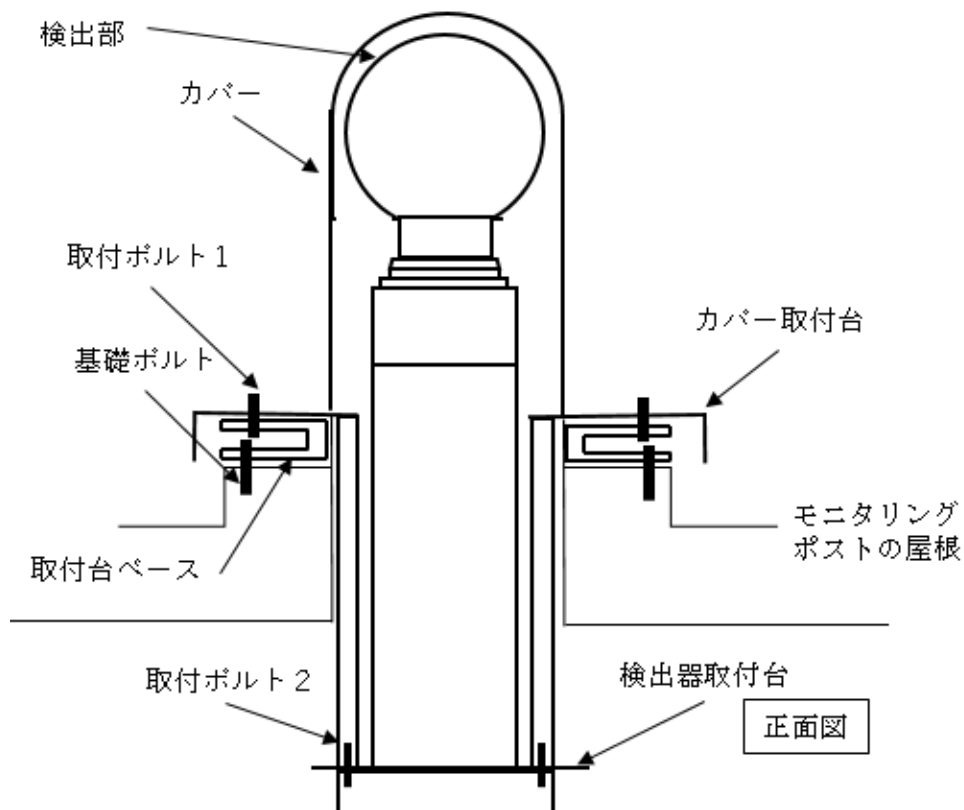
## 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005）、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 及び JEAG 4601-1987）を適用して評価する。

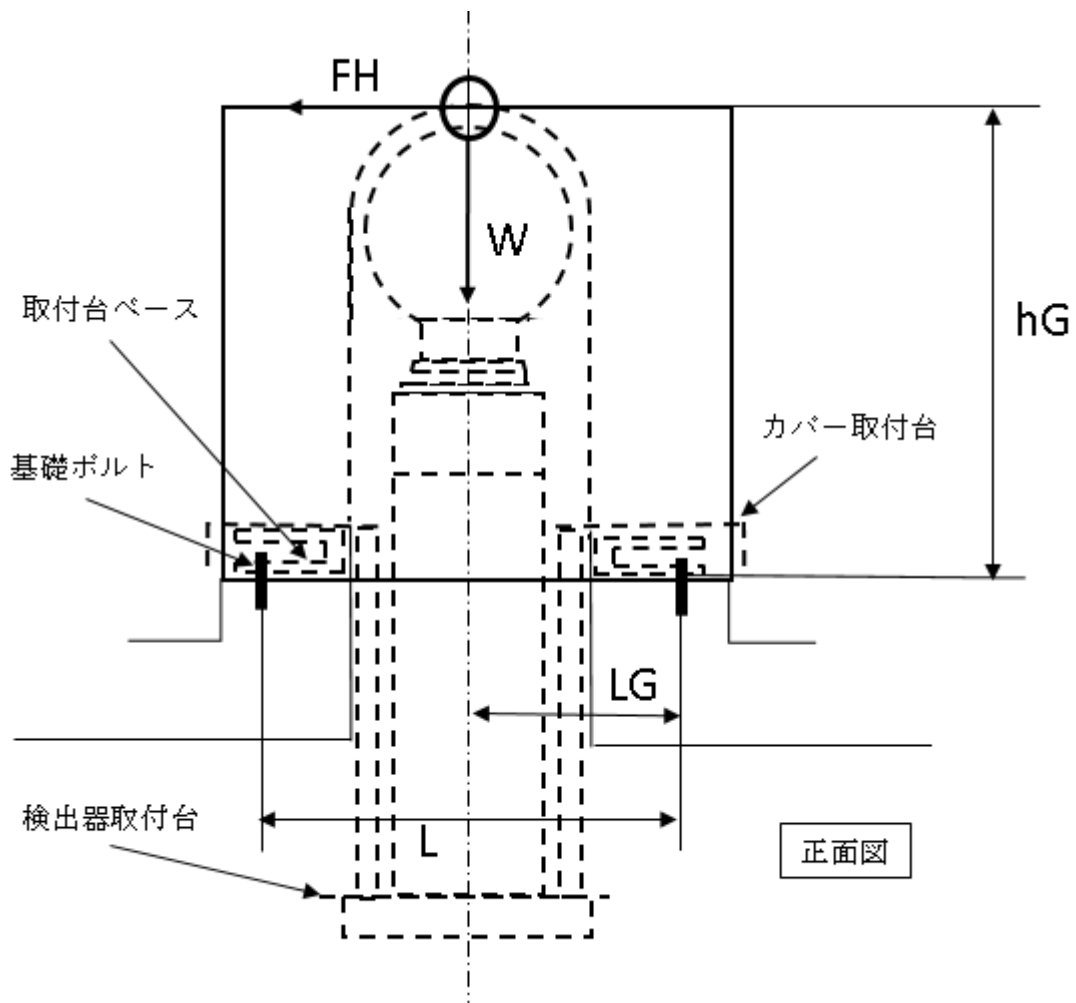
## 3. 計算条件

### (1) モニタリングポストの構造

モニタリングポスト（ガンマ線検出器（低レンジ）、ガンマ線モニタ（高レンジ）、中性子線モニタ）はモニタリングポストの屋根部に設置されている。モニタが固定された検出器取付台は、カバー取付台と取付ボルト2で固定されている。カバー取付台は、取付台ベースと取付ボルト1で固定されており、取付台ベースは、モニタリングポストの屋根と基礎ボルトで固定されている。概要図を第3-1図に、基礎ボルトを評価する際のモデル図を第3-2図に示す。



第3-1図 モニタリングポストのモニタの概要図



第3-2図 モニタリングポストのモニタのモデル図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第4-1表に示すとおりとする。

第4-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	基礎ボルト軸面積	$\text{mm}^2$
$d$	基礎ボルトの呼び径	mm
$K_H$	水平方向設計震度	—
$K_V$	鉛直方向設計震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3121 に定める値	MPa
$f_{sb}$	基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$F_H$	水平方向荷重	N
$F_V$	鉛直方向荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$N_b$	基礎ボルト本数	—
$n_t$	水平方向の引張を受けるボルト本数	—
$W$	重量	kg
$\tau$	基礎ボルトにかかるせん断応力	MPa
$R_b$	基礎ボルト1本にかかる引抜力	N
$\sigma$	基礎ボルト1本にかかる引張応力	MPa
$L$	水平方向の基礎ボルトの間隔	mm
$L_G$	基礎ボルトから重心までの水平方向の距離	mm
$h_G$	基礎ボルトから重心までの鉛直方向の距離	mm

## 5. 計算方法

### 5.1 基礎ボルトの評価

モニタリングポスト（ガンマ線検出器（低レンジ）、ガンマ線モニタ（高レンジ）、中性子線モニタ）はモニタリングポストの屋根部に設置されている。モニタが固定された検出器取付台は、カバー取付台と取付ボルト2で固定されている。カバー取付台は、取付台ベースと取付ボルト1で固定されており、取付台ベースは、モニタリングポストの屋根と基礎ボルトで固定されている。最も重量が重くなる基礎ボルトで評価を行う。

(1) モニタにかかる水平方向荷重 $F_H$ と垂直方向荷重 $F_V$

設計用地震力によりモニタにかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } F_H = K_H \times W \times g$$

$$\text{垂直方向荷重 } F_V = K_V \times W \times g$$

(2) モニタの基礎ボルト1本にかかる引抜力 $R_b$

設計用水平地震力により基礎ボルトにかかる引抜力を以下の式で計算する。

$$R_b = (F_H \times h G) / (L \times n_t) - (W \times g + F_V) \times L G / (L \times n_t)$$

(3) 基礎ボルトの引張応力 $\sigma$

$$\sigma = R_b / A_b$$

(4) 基礎ボルトにかかるせん断応力 $\tau$

$$\tau = F_H / (N_b \times A_b)$$

### 5.2 応力の評価

前項で求めた基礎ボルトの引張応力 $\sigma$ は、次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$ 以下であること。

$$f_{ts} = \min [f_{to}, 1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau]$$

また、せん断応力 $\tau$ は許容せん断応力 $f_{sb}$ 以下であること。

ここで、 $f_{to}$ 及び $f_{sb}$ は以下による。

	許容引張応力 $f_{to}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$f_{to} = F / 2 \times 1.5$	$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \times 1.5$

6. モニタリングポストの設計条件及び仕様

6.1 設計条件

名称	耐震設計上の 重要度分類	取付箇所 及び設置床 (m)	水平方向 設計震度 $K_H$	鉛直方向 設計震度 $K_V$	最高使用 温度 (°C)
ガンマ線モニタ (低レンジ)	C	モニタリング ポストA (屋根) T.P. 23.7	0.24	—	45
		モニタリング ポストB (屋根) T.P. 34.2			
ガンマ線モニタ (高レンジ)		モニタリング ポストA (屋根) T.P. 23.7			
		モニタリング ポストB (屋根) T.P. 34.2			
中性子線モニタ		モニタリング ポストA (屋根) T.P. 23.7			

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i = 0.2$

## 6.2 機器要目

機器名称	W* (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	n <sub>t</sub> (-)	N <sub>b</sub> (-)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
ガンマ線モニタ (低レンジ)	150	9.80665	2	8	10	78.5
ガンマ線モニタ (高レンジ)	195	9.80665	2	8	10	78.5
中性子線モニタ	195	9.80665	2	8	10	78.5

\*：モニタと検出器取付台，カバー取付台，取付台ベースの合計

機器名称	基礎ボルトの 材料	F (MPa)	L (mm)	L G (mm)	h G (mm)
ガンマ線モニタ (低レンジ)	SUS304	205	220	110	728
ガンマ線モニタ (高レンジ)	SUS304	205	290	145	793
中性子線モニタ	SUS304	205	290	145	793



添付 5-8-16 避雷設備の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 計算方法	1
5. 設計の条件及び仕様	1

## 1. 概要

本資料は、避雷設備の計算方法として、棟上導体の計算方法について説明するものである。

## 2. 適用基準

本資料においては、建築基準法及び消防法、並びにこれらの関係法令を適用して評価する。また、建築設備耐震設計・施工指針（（一財）日本建築センター 2014年版）に示された建築設備耐震設計の考え方をういて評価する。

## 3. 計算条件

避雷設備は、耐震Cクラスの設備である。耐震計算は、設備の特徴を踏まえて以下のとおりとする。

### (1) 棟上導体

棟上導体は、基礎ボルトにてコンクリート部に支持されることから、基礎ボルトのせん断力で評価を行う。

## 4. 計算方法

### (1) 棟上導体

棟上導体については、棟上導体が設置される位置の静的震度から求めた地震力による基礎ボルトのせん断応力と許容せん断応力の比較により行う。

応力の算定は下式により行う。

$$\tau = \frac{K_H \cdot W}{n}$$

- $\tau$  : 基礎ボルト1本に作用するせん断力  
 $K_H$  : 設計用水平震度  
 $W$  : 棟上導体の重量  
 $n$  : 基礎ボルトの総本数

## 5. 設計の条件及び仕様

### (1) 棟上導体

#### ① 設計条件

機器名称	耐震クラス	据付場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度	重量 [N]
棟上導体	Cクラス	使用済燃料貯蔵建屋 T. P. 43. 5	0. 324	406

添付 5-8-17 表面温度検出器の計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	2
4. 記号の説明	4
5. 計算方法	5
5.1 熱電対固定部の評価	5
5.2 評価	5
6. 表面温度検出器の設計条件及び仕様	6
6.1 設計条件	6
6.2 機器要目	6

## 図表目次

第 3-1 図	表面温度検出器の概要図	2
第 3-2 図	熱電対固定部の詳細図	2
第 3-3 図	熱電対固定部の評価モデル	3
第 4-1 表	記号の説明	4

## 1. 概要

本資料は、表面温度検出器の計算方法について説明するものである。

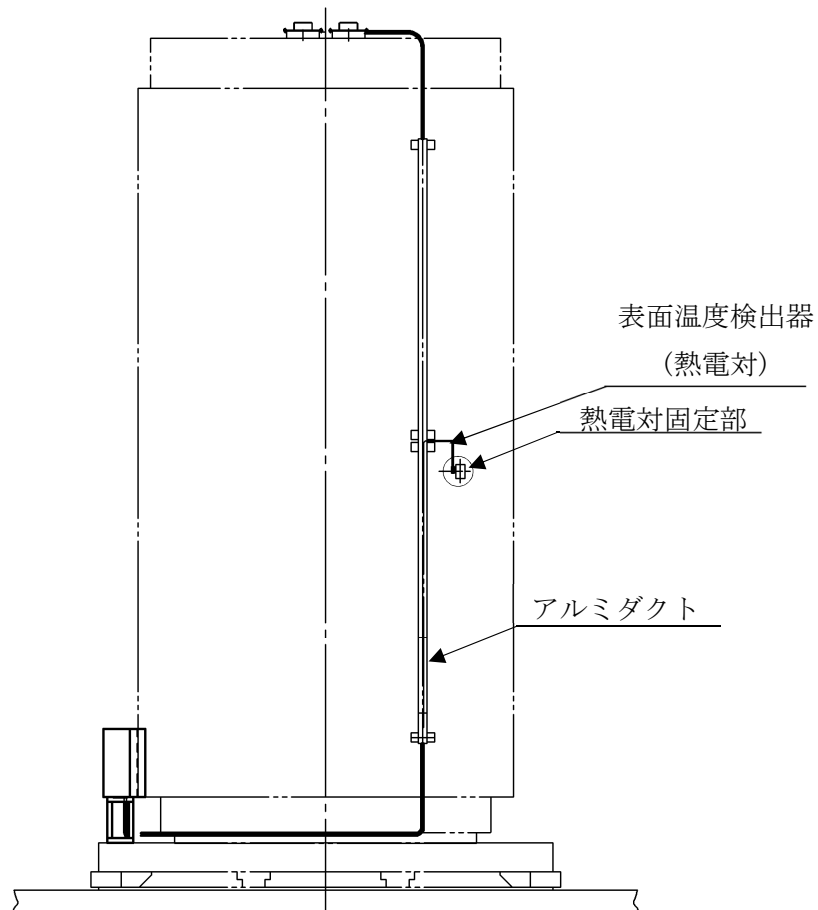
## 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1－2005）（2007 年追補版含む）、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 4 6 0 1・補－1984 及び JEAG 4 6 0 1－1987）を適用して評価する。

### 3. 計算条件

#### (1) 表面温度検出器の構造

第 3-1 図に表面温度検出器の概要図を示す。検出器である熱電対は熱電対固定部で固定されている。熱電対のケーブルはアルミダクトの中を通過して、貯蔵架台上に設置される中継端子箱に接続する。

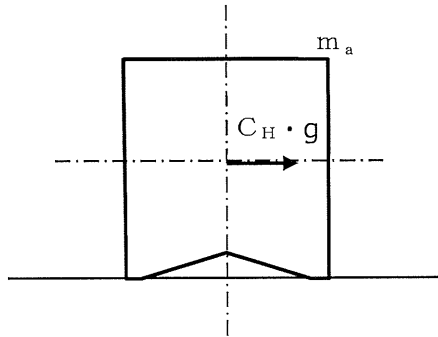


第 3-1 図 表面温度検出器の概要図



(2) 表面温度検出器の評価モデルと応力評価位置

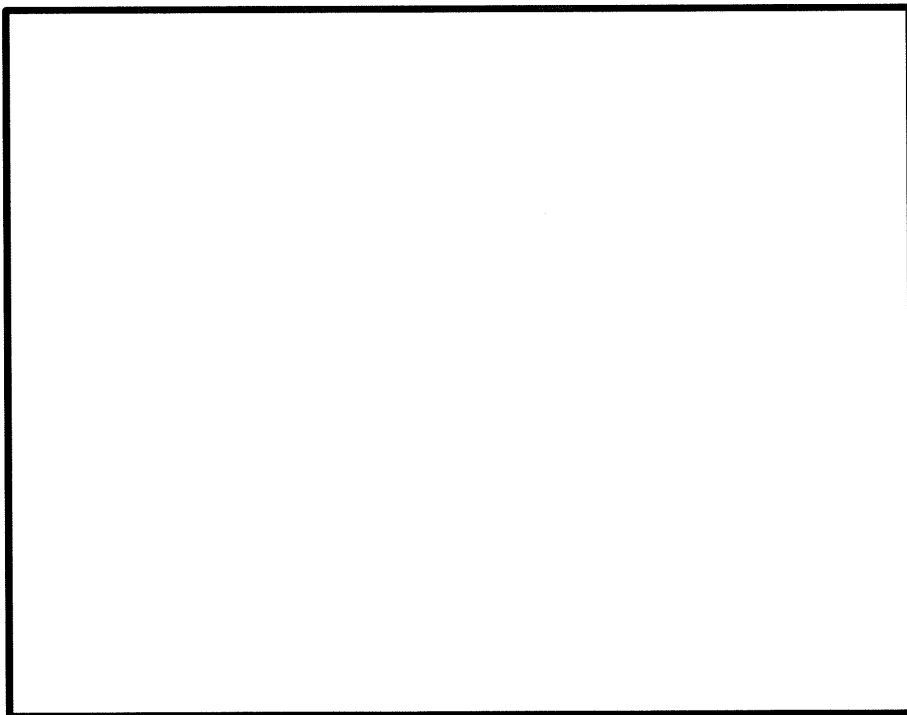
熱電対が外筒表面に固定されていれば、表面温度が計測できることから、水平方向地震力による慣性力により熱電対を固定しているマグネットベースが動かないことを確認する。加えて、熱電対固定部について、熱電対を固定する構造が維持できるか評価する。熱電対固定部の応力評価モデルを第3-2図に示す。



第3-2図 熱電対固定部の評価モデル

熱電対固定部の詳細図を第3-3図に示す。

構造上、コイルスプリングの反力が失われないようにシャフトホルダが固定される必要があるためシャフトホルダ固定ボルトについて応力評価を実施する。



第3-3図 熱電対固定部の詳細図

#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第4-1表に示すとおりとする。

第4-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_1$	シャフトホルダ固定ボルト(M3)の断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$d$	シャフトホルダ固定ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格に定める値	MPa
$F_{s1}$	マグネットベースの磁力による摩擦力	N
$F_{H1}$	熱電対固定部に作用する水平力	N
$F_m$	マグネットベースの磁力	N
$F_t$	シャフトホルダ固定ボルトに作用する荷重	N
$g$	重力加速度	$\text{m/s}^2$
$m_a$	熱電対固定部の質量	kg
$m_b$	熱電対固定パッド及びシャフトホルダの質量	kg
$n_1$	シャフトホルダ固定ボルトの本数	—
$\sigma_t$	シャフトホルダ固定ボルトに発生する引張応力	MPa
$\mu$	外筒表面の摩擦係数	—

## 5. 計算方法

### 5.1 熱電対固定部の評価

#### (1) マグネットベース

##### ① マグネットベースの磁力による摩擦力

マグネットベースの磁力による摩擦力  $F_{s1}$  は次式で算出する。

$$F_{s1} = \mu \cdot F_m$$

##### ② 地震力による水平力

地震力により熱電対固定部に作用する水平力  $F_{H1}$  は次式で算出する。

$$F_{H1} = m_a \cdot C_H \cdot g$$

#### (2) シャフトホルダ固定ボルト

##### ① シャフトホルダ固定ボルトに発生する引張応力

水平方向地震力によりシャフトホルダ固定ボルトに発生する引張応力  $\sigma_t$  は次式で算出する。

$$\sigma_t = F_t / (n_1 \cdot A_1)$$

ここで、 $F_t$  は次式により算出する。

$$F_t = m_b \cdot C_H \cdot g$$

### 5.2 評価

#### (1) マグネットベースの評価

前項(1)で求めた地震力による水平力は、マグネットベースの摩擦力以下であること。

#### (2) シャフトホルダ固定ボルトの評価

前項(2)で求めたシャフトホルダ固定ボルトに発生する引張応力  $\sigma_t$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{t0}$  以下であること。

$$f_{t0} = F / 2 \times 1.5$$

6. 表面温度検出器の設計条件及び仕様

6.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	取付箇所及び設置床 (m)	水平方向 設計震度	最高使用 温度 (°C)
表面温度検出器 (熱電対固定部)	C	使用済燃料貯蔵建屋 貯蔵区域 T. P. 16. 3	0. 24	120

6.2 機器要目

$m_a$ (kg)	$m_b$ (kg)	$\mu$ (-)	$F_m$ (N)	$n_1$ (-)	$d$ (mm)	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )
1. 2	0. 1	0. 2	800	2	3	7. 069

シャフトホルダ固定ボルトの 材料	F (シャフトホルダ固定ボルト) (MPa)
SUS304相当	205※1

※1 : SUS304の値

添付 5-8-18 保管ラックの計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	1
3. 計算条件	1
4. 記号の説明	2
5. 計算方法	3
5.1 アンカーボルトの評価	3
5.2 応力の評価	3
6. 保管ラックの設計条件及び仕様	4
6.1 設計条件	4
6.2 機器要目	4

図表目次

第3-1図	保管ラックのモデル図	1
第4-1表	記号の説明	2

### 1. 概要

本資料は、放射線サーベイ機器や可搬式の代替計測用計測器を保管する際の保管ラックの計算方法について説明するものである。

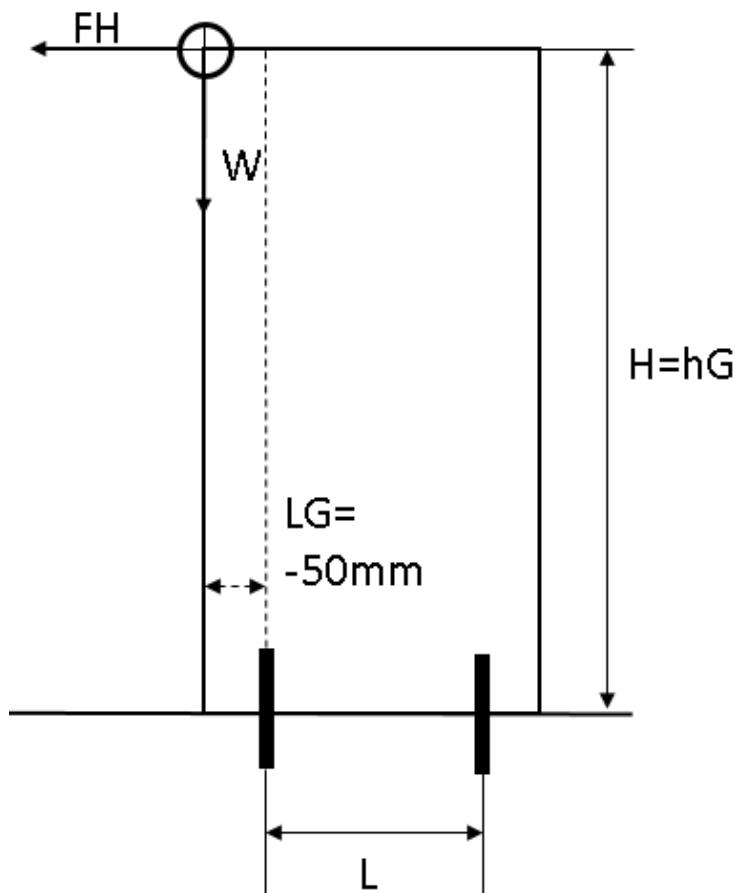
### 2. 適用基準

本資料においては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1-2005）、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 及び JEAG 4601-1987）を適用して評価する。

### 3. 計算条件

#### (1) 保管ラックの構造

保管ラックはスチール製で四隅をアンカーボルトで固定できるものを選択する。保管ラックは棚板の間隔を変更することで、段数を変更することも可能なものとする。アンカーボルトを評価する際のモデル図を第 3-1 図に示す。アンカーボルトは保管ラック前面から 50mm 奥行方向に配置し、重心位置は、保管ラック前面とする。



第 3-1 図 保管ラックのモデル図



#### 4. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第4-1表に示すとおりとする。

第4-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	アンカーボルト軸面積	$\text{mm}^2$
$d$	アンカーボルトの呼び径	mm
$K_H$	水平方向設計震度	—
$K_V$	鉛直方向設計震度	—
$F$	設計・建設規格 SSB-3121 に定める値	MPa
$f_{sb}$	アンカーボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	アンカーボルトの許容引張応力	MPa
$F_H$	水平方向荷重	N
$F_V$	鉛直方向荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$N_b$	アンカーボルト本数	—
$n_t$	水平方向の引張を受けるボルト本数	—
$W$	重量	kg
$\tau$	アンカーボルトにかかるせん断応力	MPa
$R_b$	アンカーボルト1本にかかる引抜力	N
$\sigma$	アンカーボルト1本にかかる引張応力	MPa
$L$	奥行方向のアンカーボルトの間隔	mm
$L_G$	アンカーボルトから重心までの水平方向の距離	mm
$h_G$	アンカーボルトから重心までの鉛直方向の距離	mm

## 5. 計算方法

### 5.1 アンカーボルトの評価

保管ラックは四隅で床面にアンカーボルトで固定される。アンカーボルトにかかる引張応力とせん断応力の評価を行う。保管ラックの高さ、奥行き方向のアンカーボルトの間隔及びアンカーボルトの呼び径を指定し、転倒する可能性がある限界の重量の評価を行う。

#### (1) 保管ラックにかかる水平方向荷重 $F_H$ と垂直方向荷重 $F_V$

設計用地震力により保管ラックにかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } F_H = K_H \times W \times g$$

$$\text{垂直方向荷重 } F_V = K_V \times W \times g$$

#### (2) 保管ラックのアンカーボルト1本にかかる引抜き力 $R_b$

設計用水平地震力によりアンカーボルトにかかる引抜き力を以下の式で計算する。

$$R_b = (F_H \times h G) / (L \times n_t) - (W \times g + F_V) \times L G / (L \times n_t)$$

#### (3) アンカーボルトの引張応力 $\sigma$

$$\sigma = R_b / A_b$$

#### (4) アンカーボルトにかかるせん断応力 $\tau$

$$\tau = F_H / (N_b \times A_b)$$

### 5.2 応力の評価

前項で求めたアンカーボルトの引張応力 $\sigma$ は、次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$ 以下であること。

$$f_{ts} = \min [f_{to}, 1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau]$$

また、せん断応力 $\tau$ は許容せん断応力 $f_{sb}$ 以下であること。

ここで、 $f_{to}$ 及び $f_{sb}$ は以下による。

	許容引張応力 $f_{to}$	許容せん断応力 $f_{sb}$
計算式	$f_{to} = F / 2 \times 1.5$	$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \times 1.5$

## 6. 保管ラックの設計条件及び仕様

### 6.1 設計条件

名称	耐震設計上の 重要度分類	取付箇所 及び設置床 (m)	水平方向 設計震度 $K_H$	鉛直方向 設計震度 $K_V$	周囲環境 温度 (°C)
保管ラック	C	資機材保管庫 T.P. 約 30	0.24	—	40
		使用済燃料 貯蔵建屋 T.P. 16.3			
		備品管理建屋 T.P. 16.2			

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i = 0.2$

### 6.2 機器要目

機器名称	$W^*$ (kg)	$g$ ( $m/s^2$ )	$n_t$ (—)	$N_b$ (—)	$d$ (mm)	$A_b$ ( $mm^2$ )
保管ラック	630	9.80665	2	4	6	28.3

\* :  $W$ は、保管ラックの重量と保管ラックに収納する機器の総重量の合計

機器名称	アンカーボルトの 材料	$F$ (MPa)	$L$ (mm)	$L_G$ (mm)	$h_G$ (mm)
保管ラック	SS400相当	245	350	—50	2200

(高さ 2200mm の保管ラックを、呼び径 M6 のアンカーボルトで四隅を固定 (奥行方向の間隔 350 mm) し、総重量が 630kg の場合の評価を行う。ラック前面とアンカーボルトの距離は 50mm とし、重心位置はラック前面とする。)

添付 5-8-19 保管ケースの計算方法に関する説明書

## 目次

1. 概要	1
2. 計算条件	1
3. 記号の説明	2
4. 計算方法	3
4.1 保管ケースの転倒評価	3
4.2 転倒の評価	3
5. 保管ケースの設計条件及び仕様	4
5.1 設計条件	4
5.2 機器要目	4

## 図表目次

第2-1図	保管ケースのモデル図	1
第3-1表	記号の説明	2

## 1. 概要

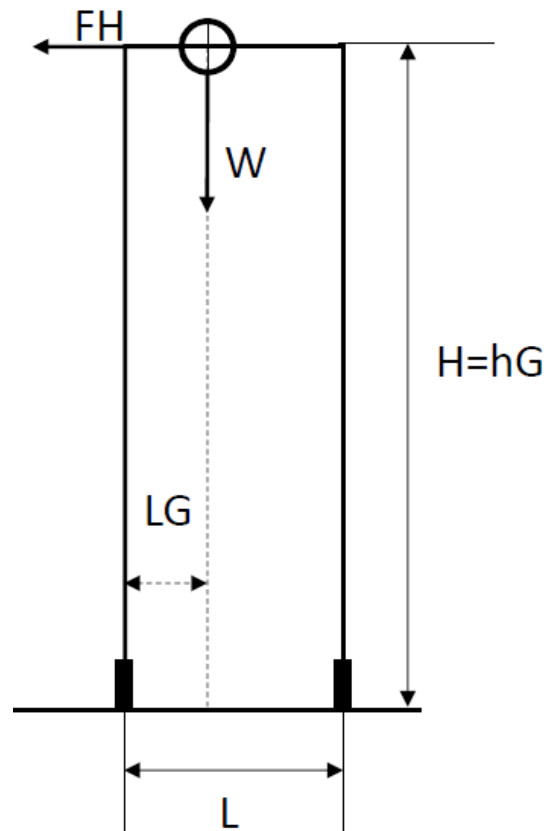
本資料は、放射線サーベイ機器や可搬式の代替計測用計測器を保管する際の保管ケースの計算方法について説明するものである。

## 2. 計算条件

### (1) 保管ケースの構造

保管ケースは蓋付のケースを選択する。地震力により保管ケースが転倒しないことの評価を行う。保管ケースの転倒を評価する際のモデル図を第3-1図に示す。

保管ケースに脚（2本）を想定し、自重により下に向かう力が、水平地震動により足を引っ張る力よりも小さくなった場合に保管ケースが転倒する可能性が生じることから、転倒しない条件を評価する。



第2-1図 保管ケースのモデル図

### 3. 記号の説明

本計算書で使用する記号の説明について第3-1表に示すとおりとする。

第3-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$K_H$	水平方向設計震度	—
$K_V$	鉛直方向設計震度	—
$F_H$	水平方向荷重	N
$F_V$	鉛直方向荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$m/s^2$
$n_t$	水平方向の引張を受ける脚数	—
$W$	重量	kg
$R_b$	保管ケースを転倒させようとする力	N
$L$	保管ケースの幅	mm
$L_G$	保管ケースの端から重心までの水平方向の距離	mm
$h_G$	保管ケースの底面から重心までの鉛直方向の距離	mm



#### 4. 計算方法

##### 4.1 保管ケースの転倒評価

保管ケースは床面に配置される。水平地震力により生じる転倒モーメントの評価を行う。

(1) 保管ケースにかかる水平方向荷重 $F_H$ と垂直方向荷重 $F_V$

設計用地震力により保管ケースにかかる荷重を以下の通り計算する。

$$\text{水平方向荷重 } F_H = K_H \times W \times g$$

$$\text{垂直方向荷重 } F_V = K_V \times W \times g$$

(2) 保管ケースを転倒させようとする力 $R_b$

設計用水平地震力により保管ケースを転倒させようとする力を以下の式で計算する。

$$R_b = (F_H \times h G) / (L \times n_t) - (W \times g + F_V) \times L G / (L \times n_t)$$

(脚を2本と考え、 $n_t=1$ とする)

##### 5.2 転倒の評価

前項で求めた転倒させようとする力が負の場合、保管ケースと保管する機器の自重の方が大きいことから転倒しない。前項の式より

$$R_b < 0$$

$$(F_H \times h G) / (L \times n_t) - (W \times g + F_V) \times L G / (L \times n_t) < 0$$

$n_t=1$ ,  $F_V=0$ とした場合

$$(K_H \times W \times g \times h G) / L - (W \times g) \times L G / L < 0$$

$$K_H \times h G - L G < 0$$

となり、保管する機器の重量ではなく、水平方向設計震度 $K_H$ と機器も含めた保管ケース全体の重心位置 ( $h G$ と $L G$ ) により転倒の有無が定まることとなる。

そのため、高さ方向の重心位置は保管ケースを重ねないこと、保管ケース内で機器を重ねておかないことで、保管ケースの高さに制限する。横方向の重心位置は、保管ケース内での機器の置き方により変わることから、クッション材等を用いて各機器を中央部に配置することで制限することとする。

5. 保管ケースの設計条件及び仕様

5.1 設計条件

名称	耐震設計上の 重要度分類	取付箇所 及び設置床 (m)	水平方向 設計震度 $K_H$	鉛直方向 設計震度 $K_V$
保管ケース	C	資機材保管庫 T.P. 約 30	0.24	—
		使用済燃料 貯蔵建屋 T.P. 16.3		
		備品管理建屋 T.P. 16.2		

設計用水平地震力  $1.2 \times C_i$

地震層せん断力係数  $C_i = 0.2$

5.2 機器要目

機器名称	$W^*$ (kg)	$g$ ( $m/s^2$ )	L (mm)	L G (mm)	h G (mm)
保管ケース	30	9.80665	300	120	500

\* :  $W$ は保管ケースの重量と保管ケースに収納する機器の総重量の合計

添付6 津波による損傷の防止に関する説明書

添付 6-1 津波への配慮に関する説明書

添付6-1-1 津波への配慮に関する基本方針

## 目次\*

1. 概要 .....	1
2. 津波への配慮に関する基本方針 .....	2
2.1 基本方針 .....	2
2.2 適用規格及び適用基準 .....	3

\*：令和3年8月20日付け原規規発第2108202号にて変更認可され、今回申請で変更がない事項については、当該事項を記載した章、節又は項等の表題に前回申請と同じと記載する。

1. 概要 前回申請に同じ

本資料は、使用済燃料貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）の津波防護設計が「使用済燃料貯蔵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8条（津波による損傷の防止）に適合することを説明するものである。

## 2. 津波への配慮に関する基本方針 前回申請に同じ

### 2.1 基本方針

貯蔵施設の安全確保の仕組みは、基本的安全機能がほぼ金属キャスクに集約された極めてシンプルな構成であること、基本的安全機能は動力源や電気信号を要しない静的なメカニズムにより確保可能であること、使用済燃料の崩壊熱が発電炉と比べ格段に小さく、大気を最終的な逃がし場とすること、基本的安全機能を確保する上で人による判断や操作をほとんど必要としないことの特徴を有している。

金属キャスクは輸送容器として想定される事故条件に対しても密封性能や遮蔽性能を失わないよう設計されており、貯蔵時の津波による外力に対しても相当の裕度を期待でき、かつ浸水の影響も極めて限定的と考えられることを踏まえ、以下、津波防護の基本方針を設定する。

貯蔵施設は、その供用中に当該貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波として、基準津波に相当する仮想的大規模津波を想定し、これに対して、使用済燃料貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）の受入れ区域の損傷を仮定しても、基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

既往の知見を大きく上回る仮想的大規模津波を想定し、これを基準津波に相当する津波として、津波防護施設及び浸水防止設備の設置による遡上波の到達や流入の防止は行わず遡上波が貯蔵施設に到達する前提とする。

貯蔵建屋の貯蔵区域（以下「貯蔵区域」という。）は波力及び津波漂流物の衝突に耐えるよう設計するとともに、貯蔵されている金属キャスクの基本的安全機能が貯蔵区域の浸水により損なわれないよう設計する。

貯蔵建屋の受入れ区域（以下「受入れ区域」という。）については、損傷を仮定しても、落下物や津波漂流物の衝突により仮置きされている金属キャスクの閉じ込め機能が損なわれず、また適切な復旧手段及び復旧期間において金属キャスク損傷部及び貯蔵区域に通じる遮蔽扉部分の遮蔽機能を回復することにより、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないよう設計する。

仮想的大規模津波による敷地内の浸水を想定しても、以下の対策により金属キャスク（貯蔵区域）の基本的安全機能を確認するための監視を継続して実施する。

津波襲来後の活動に対して、電気設備は活動拠点へ給電できる設計とし、給電された通信連絡設備を用いてリサイクル燃料備蓄センター内外へ通報連絡できる設計とする。

また、津波襲来により金属キャスクの通常の監視機能が喪失するため、計測設備及び放射線監視設備については、以下を考慮した設計とする。

- ・計測設備のうち代替計測用計測器により金属キャスクの表面温度及び蓋間圧力を計測できる設計とする。
- ・計測設備のうち代替計測用計測器により貯蔵建屋給排気口近傍の温度を計測できる設計とする。
- ・放射線監視設備のうち代替の放射線サーベイ機器により貯蔵建屋内及び周辺監視区域付近の放射線を計測できる設計とする。



上記の電気設備（電源車、軽油貯蔵タンク（地下式））、通信連絡設備（放送設備、衛星携帯電話、加入電話設備）、代替計測用計測器（圧力検出器、非接触式可搬型温度計、温度検出器）、放射線サーベイ機器（電離箱サーベイメータ、シンチレーションサーベイメータ、中性子線用サーベイメータ）は、仮想的大規模津波の津波高さT.P. +23mより標高の高い敷地南側高台又は敷地南東側高台の活動拠点に配備する。

なお、貯蔵施設の浸水を想定した活動に必要な対策や体制を整備することを保安規定に定め、運用する。

## 2.2 適用規格及び適用基準

適用する規格、基準を以下に示す。

- ・「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成25年12月6日原子力規制委員会規則第24号）
- ・「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（平成25年11月27日 原管廃発第1311272号 原子力規制委員会決定）
- ・「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号）
- ・「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格（2007年版）J S M E S F A 1 - 2007」（（社）日本機械学会）
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補含む））J S M E S N C 1 - 2005 / 2007」（（社）日本機械学会）

## 添付6-1-2 仮想的大規模津波の設定

## 目次\*

1. 概要	1
2. 仮想的大規模津波の設定	2
2.1 仮想的大規模津波の概要	2
2.2 浸水範囲の考え方	2
2.3 入力津波について	2

## 図表目次

第2-1図 青森県による津波想定	3
第2-2図 仮想的大規模津波による浸水範囲	4
第2-3図 仮想的大規模津波と等価なモデルにおける貯蔵建屋周りの水位及び 流速の分布	5

\*：令和3年8月20日付け原規規発第2108202号にて変更認可され、今回申請で変更がない事項については、当該事項を記載した章、節又は項等の表題に「前回申請と同じ」と記載する。

1. 概要 前回申請に同じ

本資料は、津波防護基本方針の対象とする施設が津波に対して十分な健全性を有することを確認するための評価に用いる仮想的大規模津波の設定について説明するものである。

## 2. 仮想的大規模津波の設定 前回申請と同じ

### 2.1 仮想的大規模津波の概要

津波防護基本方針の策定に当たっては、既往の知見を大きく上回る仮想的大規模津波を想定し、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう設計する方針とする。

敷地周辺の津波に関する客観的な既往の知見としては、青森県による津波想定、文献調査、津波堆積物調査結果が挙げられ、青森県による津波想定は、文献調査結果及び津波堆積物調査結果から十分な保守性を有することが確認されている。

これに更なる保守性を持たせた仮想的大規模津波として、第 2-1 図に示す青森県による津波想定（青森県海岸津波対策検討会，平成 25 年 1 月 29 日）からむつ市及び東通村の津軽海峡側全体を俯瞰して、敷地前面及び敷地周辺の最大津波高さである T.P. +11.5m の 2 倍とし、T.P. +23m とした。

なお、このときの浸水深は、貯蔵建屋の設置地盤高が T.P. +16m であることから、一様に 7m となる。

### 2.2 浸水範囲の考え方

仮想的大規模津波の設定の考え方にに基づき、敷地内の浸水範囲は、T.P. +23m の等高線を境界として T.P. +23m 以下の区域が一律に浸水し、貯蔵建屋の T.P. +23m 以下に位置する開口部及び遮蔽扉の隙間部から貯蔵建屋内への流入が発生するものとする。

仮想的大規模津波による浸水範囲を第 2-2 図に示す。

なお、敷地内への津波の浸水を前提として、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう設計するため、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備は設置しない。

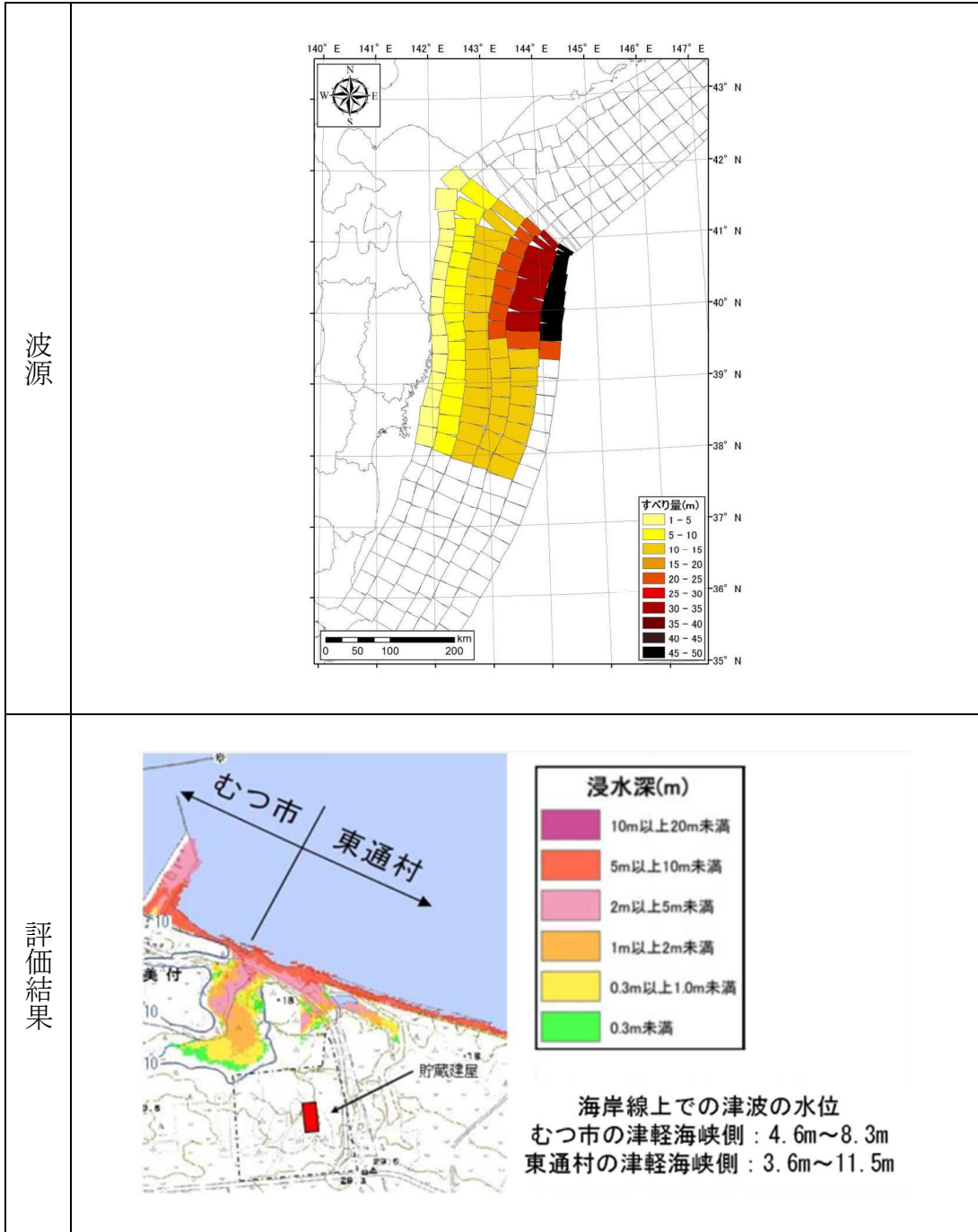
### 2.3 入力津波について

実際の津波は動的な現象であり、局所的な浸水深及び浸水の有無については、地形、構築物や潮位の影響による遡上及び駆け上がりの挙動による影響並びに地震による敷地の隆起・沈降等による影響に伴う変動が生じうるが、仮想的大規模津波が遡上波の到達を前提とするため津波高さ自体に大きな保守性を持たせ仮想的に設定した津波であることを踏まえると、局所的な浸水深の差異については、設定の保守性に包含されると考えられる。

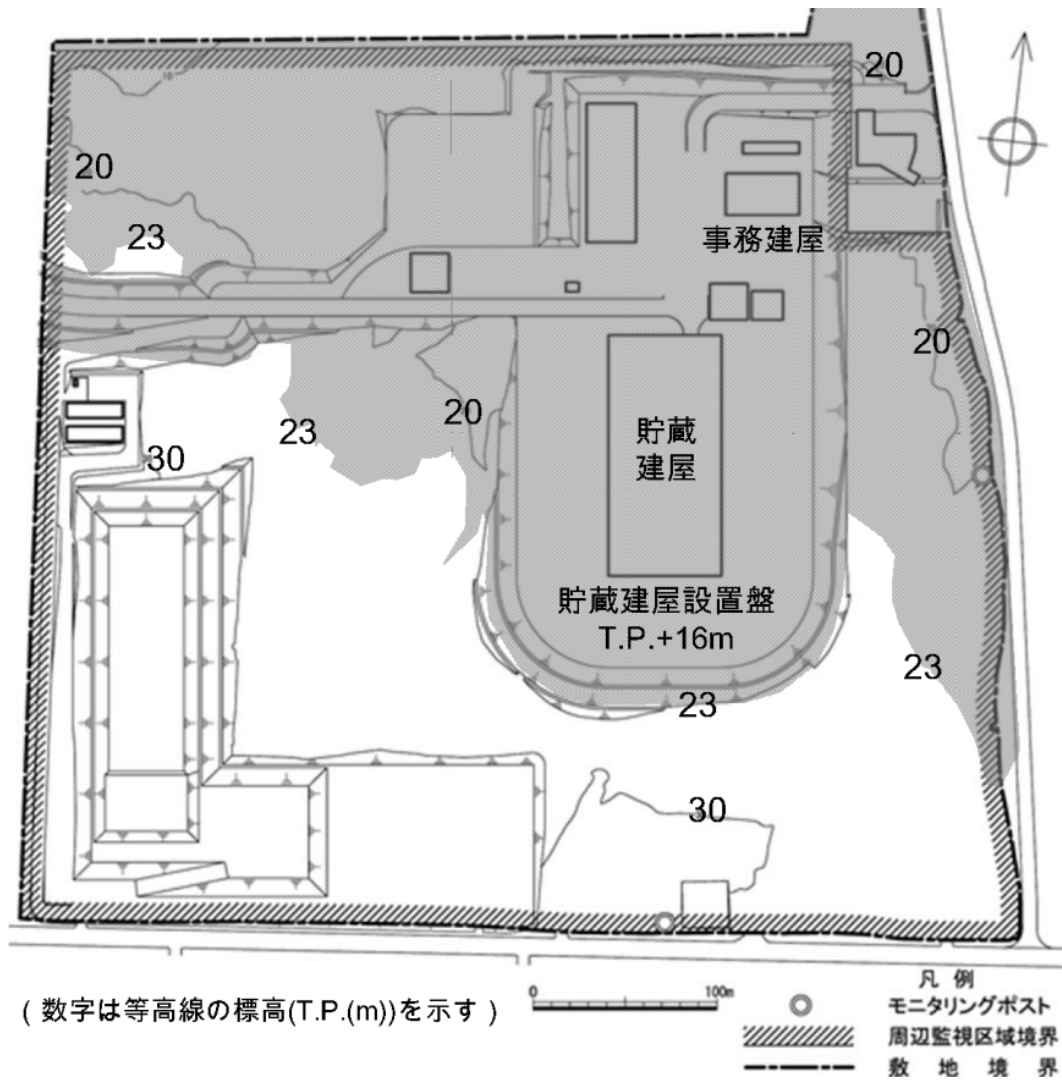
したがって、更なる安全性向上の観点から、基準津波に相当する津波として、既往知見を大きく上回る仮想的大規模津波（津波高さ T.P. +23m，貯蔵建屋の設置位置で一様に 7m の浸水深）を想定するが、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を設置しないことから、個別の入力津波は設定しない。

なお、波源域を三陸沖北部～根室沖とした波源モデルを設定し、仮想的大規模津波と同等の浸水深となるすべり量について検証したところ、すべり量は 2.4 倍程度であり、既往の知見に比べ十分に保守的な値となる。

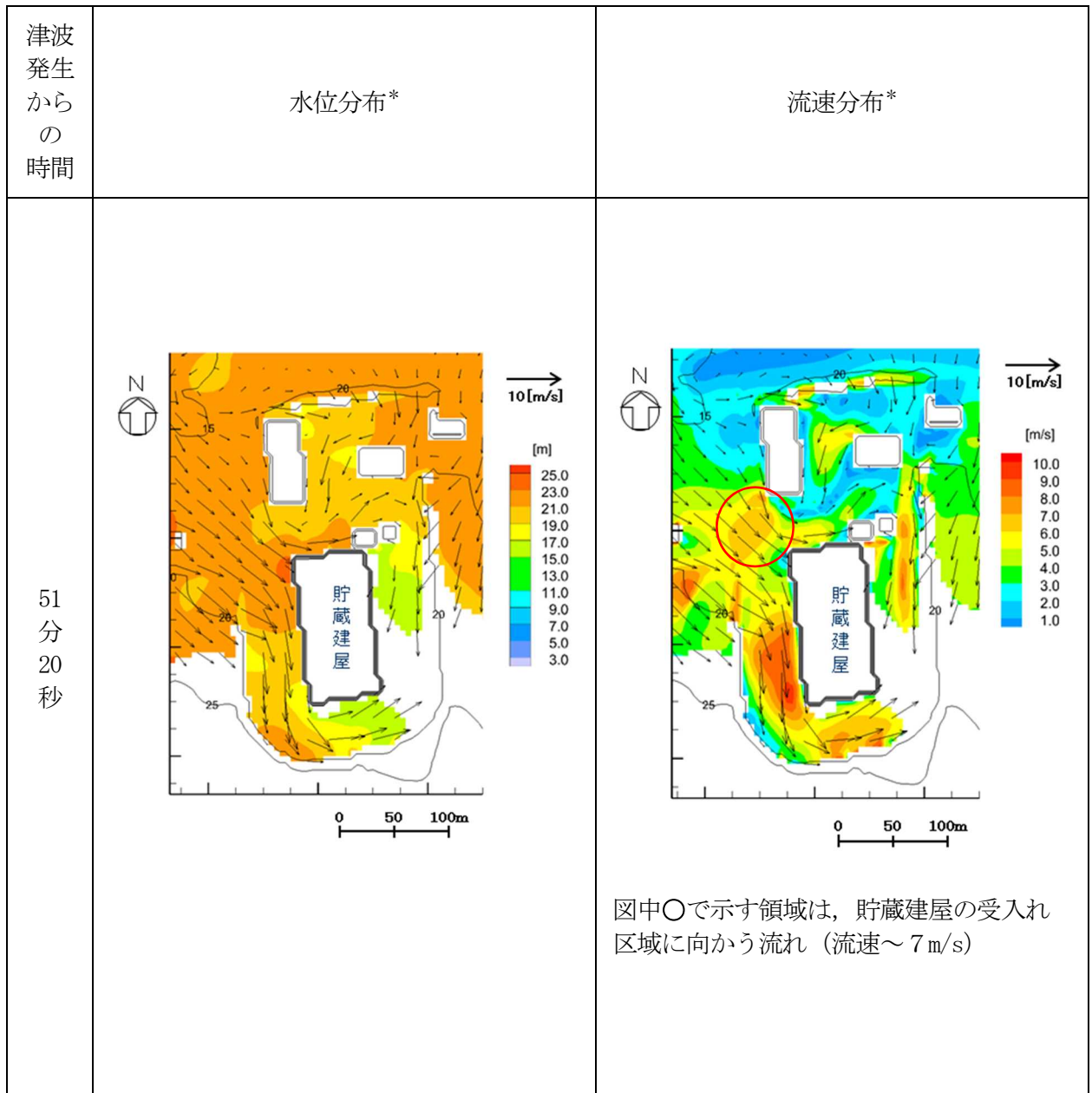
上記の仮想的大規模津波と等価なモデルにおける貯蔵建屋周りの水位および流速の分布を第 2-3 図に示す。



第2-1図 青森県による津波想定  
 (青森県海岸津波対策検討会(平成25年1月29日)に一部加筆)



第2-2図 仮想的な大規模津波による浸水範囲



\*) 矢印は流向及び流速を示す

第2-3図 仮想的大規模津波と等価なモデルにおける貯蔵建屋周りの水位及び流速の分布



添付6-1-3 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の選定及び  
設計方針

## 目次\*

1. 概要	1
2. 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の選定	2
2.1 使用済燃料貯蔵設備本体（金属キャスク及び貯蔵架台）	2
2.2 貯蔵区域（貯蔵区域の遮蔽扉を除く。）	2
3. 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の設計方針	3
3.1 使用済燃料貯蔵設備本体（金属キャスク及び貯蔵架台）	3
3.2 貯蔵区域（貯蔵区域の遮蔽扉を除く。）	3

\*：令和3年8月20日付け原規発第2108202号にて変更認可され、今回申請で変更がない事項については、当該事項を記載した章、節又は項等の表題に前回申請と同じと記載する。

1. 概要 前回申請に同じ

本資料は、「添付6-1-1 津波への配慮に関する基本方針」に従い、仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の選定及び設計方針について説明するものである。

## 2. 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の選定 前回申請に同じ

仮想的な大規模津波に対して、使用済燃料貯蔵施設の基本的な安全機能を確保する上で必要な施設を網羅的に抽出した結果、使用済燃料貯蔵設備本体（金属キャスク及び貯蔵架台）、並びに貯蔵区域（貯蔵区域の遮蔽扉を除く。）を津波防護基本方針の対象とする。

### 2.1 使用済燃料貯蔵設備本体（金属キャスク及び貯蔵架台）

基本的な安全機能を有する施設であり、耐震設計にてSクラスが要求される施設であることから、津波防護基本方針の対象とする。

### 2.2 貯蔵区域（貯蔵区域の遮蔽扉を除く。）

受入れ区域は仮想的な大規模津波による損傷を仮定することから、津波防護基本方針の対象としないが、貯蔵区域は遮蔽機能及び除熱機能の一部を担う施設であるため、津波防護基本方針の対象とする。

ただし、津波襲来時は、貯蔵区域と受入れ区域の間の遮蔽扉が開放された状態で浸水し、津波が引くと同時に排水された後も遮蔽扉が閉鎖できない状態を仮定する。したがって、遮蔽扉が担う遮蔽機能は前提とせず、津波防護基本方針の対象としない。

3. 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の設計方針 前回申請に同じ

3.1 使用済燃料貯蔵設備本体（金属キャスク及び貯蔵架台）

使用済燃料貯蔵設備本体のうち金属キャスクは、仮想的大規模津波による受入れ区域の損傷を仮定しても、落下物等の衝突により受入れ区域に仮置きされている金属キャスクの閉じ込め機能が損なわれないよう設計する。

また、金属キャスク及び貯蔵架台に対して、仮想的大規模津波による水流が水平方向に作用しても、金属キャスク、貯蔵架台及び床面の固定状態が維持されるよう設計する。

3.2 貯蔵区域（貯蔵区域の遮蔽扉を除く。）

貯蔵建屋の貯蔵区域は、水深係数3を用いた仮想的大規模津波の波力及び津波漂流物の衝突に耐えるよう設計する。

添付6-1-4 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針

## 目次

1. 概要	1
2. 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針	2
2.1 金属キャスクの閉じ込め機能評価	2
2.1.1 評価方針	2
2.1.2 記号	2
2.1.3 設計条件	3
2.1.4 計算条件	3
2.1.5 強度解析の手順	4
2.2 貯蔵架台の固定状態の維持評価	6
2.2.1 評価方針	6
2.2.2 評価方法	6
2.3 貯蔵建屋の耐性評価	6
2.3.1 評価方針	6
2.3.2 貯蔵建屋への影響を考慮する津波漂流物の選定	6
2.3.3 評価方法	7

## 図表目次

第2-1図 金属キャスクの強度解析箇所	9
第2-2図 金属キャスクの強度解析フロー	10
第2-3図 津波漂流物評価対象の選定フロー	11
第2-1表 燃料及び環境条件	12
第2-2表 設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	13
第2-3表 評価事象	14
第2-4表 一次蓋密封シール部の許容塑性ひずみ値	15
第2-5表 一次蓋締付けボルトの許容応力値	16
第2-6表 数値の丸め方一覧表	17
第2-7表 漂流物調査及び抽出の結果（敷地内）	18
第2-8表 漂流物調査及び抽出の結果（敷地外）	19

## 1. 概要

本資料は、仮想的大規模津波の影響を考慮する施設について、仮想的大規模津波によりその基本的安全機能が損なわれないことを確認するための評価方針を説明するものである。



## 2. 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針

技術基準規則に適合することを確認するため、「添付6-1-3 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の選定及び設計方針」にて選定した津波防護基本方針の対象となる設備である使用済燃料貯蔵本体（金属キャスク及び貯蔵架台）、並びに貯蔵建屋（貯蔵区域）について、「添付6-1-1 津波への配慮に関する基本方針」に従い評価を行う。

金属キャスクにおいては、受入れ区域の損傷を仮定し、受入れ区域の損傷に伴う落下物や津波漂流物に対する金属キャスクの閉じ込め機能評価を行う。貯蔵架台においては、仮想的な大規模津波による水流が作用しても、金属キャスク、貯蔵架台及び床面の固定状態が維持されることを評価する。貯蔵建屋においては、仮想的な大規模津波の波圧及び津波漂流物に対する貯蔵区域の耐性評価を行う。

### 2.1 金属キャスクの閉じ込め機能評価

#### 2.1.1 評価方針

金属キャスクについては、損傷を仮定する受入れ区域には貯蔵しないが、金属キャスクの搬入・搬出時に津波の襲来を受けた場合を仮定して、受入れ区域の損傷に伴う落下物や津波漂流物に対し、金属キャスクの密封境界部がおおむね弾性範囲内にとどまることを評価する。

なお、津波漂流物については、仮に、貯蔵区域の遮蔽扉が開放された状態で受入れ区域が損傷しても、損傷した受入れ区域が障壁となること等の理由から、衝撃力のある大型の漂流物が貯蔵区域の機器搬出入口から支障なく流入し金属キャスク及び貯蔵架台に衝突する可能性は極めて小さいと考えられる。

金属キャスクの閉じ込め機能が維持できるように、以下に示した設計基準を用いる。

- ・一次蓋密封シール部の塑性ひずみが0.2%以下となり、おおむね弾性範囲内にある。
- ・一次蓋締付けボルト応力が設計降伏点以下となり、弾性範囲にある。

#### 2.1.2 記号

本資料において、評価に関する以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

記号	記号の説明	単位
m	質量	kg
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	-
C <sub>d</sub>	抗力係数	-
A	断面積	m <sup>2</sup>
ρ	密度	kg/m <sup>3</sup>
V	流速	m/s
S <sub>y</sub>	設計降伏点	MPa

### 2.1.3 設計条件

#### 2.1.3.1 解析温度

胴及び一次蓋の解析温度を以下に示す。

胴	天井クレーン落下	130 °C
	天井スラブ落下	150 °C
一次蓋	天井クレーン落下	110 °C
	天井スラブ落下	150 °C

#### 2.1.3.2 燃料及び環境条件

燃料及び環境条件として、金属キャスクの収納物（使用済燃料）、姿勢及び周囲温度の条件を第2-1表に示す。

#### 2.1.3.3 衝突想定条件

津波による受入れ区域損傷に伴う落下物の衝突想定条件を以下に示す。受入れ区域の損傷に伴う落下物として、金属キャスクの運用状態と考えられる落下物（建屋構造材及び天井クレーン）の組合せから、金属キャスクの密封境界部への衝突荷重が大きい事象である天井クレーンの水平姿勢キャスクへの落下及び天井スラブのたて姿勢キャスクへの落下の2つを衝突想定条件として設定する。

落下物	落下物概要	金属キャスクの状態
天井クレーン	質量 : 128 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水平姿勢（たて起こし架台上に仮置きされた金属キャスク）</li> <li>・緩衝体なし</li> <li>・三次蓋なし*</li> </ul>
	落下高さ : 5.3 m	
	落下速度 : 10.2 m/s	
	落下エネルギー : $6.7 \times 10^6$ N·m	
天井スラブ	質量 : 30 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>・たて姿勢（受入れ区域内の移送中及び検査架台上の金属キャスク）</li> <li>・緩衝体なし</li> <li>・三次蓋なし</li> </ul>
	落下高さ : 16.6 m	
	落下速度 : 18.1 m/s	
	落下エネルギー : $4.9 \times 10^6$ N·m	

\*) 運用上、水平姿勢の金属キャスクには三次蓋が付いているが、保守的な条件として三次蓋がない状態を仮定する。

#### 2.1.3.4 荷重の種類とその組合せ

設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを第2-2表に示す。

強度解析に用いる荷重は「添付 6-1-5-1 仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響評価」の「2.1 金属キャスクの強度計算」に記載する。

### 2.1.4 計算条件

#### 2.1.4.1 解析対象とする事象

「2.1.3.3 衝突想定条件」で示した津波による受入れ区域損傷に伴う落下物の衝突想定条件より、第2-3表に示すように荷重条件を考慮して天井クレーン及び天井スラブの密封容器への落下事象について解析を実施する。

#### 2.1.4.2 解析箇所

強度解析を行う箇所は、以下のとおりである。強度解析箇所を第2-1図に示す。

- (1) 一次蓋（密封シール部）
- (2) 胴（一次蓋密封シール部）
- (3) 一次蓋締付けボルト

#### 2.1.4.3 形状及び寸法

強度解析を行う部位の形状及び寸法は、「添付 6-1-5-1 仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響評価」の「2.1 金属キャスクの強度計算」に示す。

#### 2.1.4.4 物性値

強度計算に使用する物性値は、金属キャスクの温度分布計算の結果を踏まえて得られた解析温度を各部ごとに設定し、これに対応した値を用いる。なお、弾性を超える範囲はASME B&PV Code Sec. VIII (2011 Addenda) Div. 2, Annex3-D にて示される構成方程式を用いて補正する。

#### 2.1.4.5 許容基準

- (1) 一次蓋密封シール部

一次蓋密封シール部の塑性ひずみが0.2%以下となり、おおむね弾性範囲内にある。

- (2) 一次蓋締付けボルト

一次蓋締付けボルト応力が設計降伏点以下となり、弾性範囲にある。

#### 2.1.5 強度解析の手順

強度解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。

##### 2.1.5.1 解析手順の概要

金属キャスクの強度解析フローを第2-2図に示す。

金属キャスクの強度解析は、想定される内圧、機械的荷重及び衝突荷重を基に、密封容器の実形状をモデル化し、解析コードであるABAQUSを用いて行う。

ABAQUSとは、有限要素法に基づく強度解析等の汎用解析コードである。

強度計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部で小さなメッシュに分割することによって行う。

##### 2.1.5.2 荷重条件の選定

金属キャスクに作用させる落下物の衝突荷重条件を以下に示す。

事象	衝突荷重条件
天井クレーン落下	<ul style="list-style-type: none"> <li>荷重は48 MN</li> <li>荷重範囲は、軸方向は一次蓋側面に相当する範囲、周方向は金属キャスク直径の約1/2 の範囲として一様分布を与える</li> </ul>
天井スラブ落下	<ul style="list-style-type: none"> <li>荷重は 11 MN</li> <li>荷重範囲は、二次蓋及び二次蓋フランジ部として一様分布を与える</li> </ul>

### 2.1.5.3 強度計算の方法

(1) 強度計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。

a. 内圧

圧力による荷重をいう。

b. 機械的荷重

自重（燃料集合体を含む金属キャスクの輸送時及び貯蔵時の設計質量を用いる。）による荷重及びボルト初期締付け力をいう。

c. 衝突荷重

落下物衝突時に金属キャスクに作用する荷重をいう。

(2) 解析モデルは次の方針に従う。

a. モデル化に当たっては、金属キャスクの形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。

b. 解析モデルは三次元1/2モデルとし、固体要素及びはり要素による解析モデルとする。また、モデル化に当たり対称性を考慮して境界条件を設定する。モデル図及び境界条件を「添付6-1-5-1 仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響評価」の強度計算書に示す。

(3) 構造及び材料の不連続性を考慮して、強度評価点（領域）をとる。評価点（領域）は、「添付6-1-5-1 仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響評価」の第2-3図に番号〔例①〕で示す。

(4) 強度評価は、この強度評価点（領域）について行う。

(5) 溶接部については、母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。

### 2.1.5.4 強度の評価

(1) 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ評価

一次蓋密封シール部の強度評価は、塑性ひずみを評価する。一次蓋密封シール部の許容塑性ひずみ値を第2-4表に示す。

(2) 一次蓋締付けボルトの応力評価

一次蓋締付けボルトの応力評価は、平均引張応力+曲げ応力を評価する。一次蓋締付けボルトの許容応力値を第2-5表に示す。

### 2.1.5.5 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。また、規格、基準等により決まる数値につ

いては丸めず，規格，基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。  
表示する数値の丸め方を第2-6表に示す。

## 2.2 貯蔵架台の固定状態の維持評価

### 2.2.1 評価方針

貯蔵架台上には金属キャスクが固定され，貯蔵区域の所定の床面に固定された状態を考  
える。

仮想的な大規模津波により損傷した受入れ区域が障壁となることから，貯蔵区域に設置し  
ている貯蔵架台に直接波力が作用することはないが，仮に貯蔵架台に固定している金属キ  
ャスク及び貯蔵架台に対して，仮想的な大規模津波による水流が水平方向に作用しても，金  
属キャスク，貯蔵架台及び床面の固定状態が維持されることを評価する。

### 2.2.2 評価方法

貯蔵架台に作用する基準地震動の水平方向地震力と仮想的な大規模津波で想定される最大  
の水流により金属キャスク及び貯蔵架台（水平方向）に作用する抗力を計算し，比較する。

## 2.3 貯蔵建屋の耐性評価

### 2.3.1 評価方針

貯蔵建屋については，水深係数3を用いた仮想的な大規模津波に伴う波圧に対する評価に  
基づき，貯蔵区域の外壁において，仮想的な大規模津波に伴う波圧に対し，変形，応力が許  
容値を超えないことを評価する。

同様に，貯蔵区域の遮蔽扉（3箇所）においても，閉鎖されている状態で，仮想的な大規  
模津波に伴う波圧に対し，応力が許容値を超えないことを評価する。

また，貯蔵区域の外壁及び遮蔽扉の評価においては，津波波圧による荷重に対する確認  
に加え，津波波圧による荷重及び津波漂流物による衝突荷重に対する評価を行う。

なお，受入れ区域については，仮想的な大規模津波に伴う波圧に対し，外壁の応力が許容  
値を超えることから損傷を仮定する。

### 2.3.2 貯蔵建屋への影響を考慮する津波漂流物の選定

リサイクル燃料備蓄センターの敷地内が津波により浸水した場合の津波漂流物による貯  
蔵建屋への影響を考慮するため，敷地内及び敷地外（西側沿岸部及び東側沿岸部）で確認  
される品目を取りまとめ，貯蔵建屋への影響を評価すべき対象を選定する。評価対象の選  
定フローを第2-3図に示す。

津波漂流物の影響を考察する上では，発電用原子炉における観点をベースに使用済燃料  
貯蔵施設の特徴を踏まえてスクリーニングの観点を設定した。

基本的な安全機能の観点からは，金属キャスク等への津波漂流物の衝突による強度への影  
響が重要であることから，衝突に伴う運動エネルギーの付与が大きくなる大型の物品を抽  
出の対象とする。大型の物品の範囲としては，竜巻における設計飛来物（ワゴン車：質量

1,970kg)を参考に、おおむね乗用車レベル(1t程度以上)とする。また、漂流過程(漂流開始時、漂流中、衝突時)において変形・分解しやすい物品については衝突による影響が小さいと考えられることから、スクリーニングにおいて抽出の対象から除外する。

抽出から除外する観点として、①漂流物化しない(水密性がなく大きな浮力が生じない、地面に固定されている、船舶等で退避可能)、②到達しない(距離、地形及び流向より敷地に到達する可能性が小さい、周辺監視区域境界フェンスにより敷地内への到達を阻害される)及び③敷地に到達しても衝突による貯蔵建屋への影響が小さい(大型の漂流物でない、漂流過程において変形・分解する)を踏まえる。

以上を踏まえ、敷地内及び敷地外で確認された品目と抽出からの除外の有無を第2-7表及び第2-8表に示す。

津波漂流物として貯蔵建屋へ衝突する際、その質量と同様に対象が浮力により浮遊しているか水中を滑動しているかによって、付与されるエネルギーは大きく異なる。一般的に、浮遊状態(質量<浮力)のものの方が、滑動状態(質量 $\geq$ 浮力)のものより衝突時に付与されるエネルギーは大きい。

したがって、貯蔵建屋への津波漂流物の衝突による強度への影響が大きくなる大型の津波漂流物としては、浮遊状態のものと滑動状態のものから、それぞれ質量が最大であるキャスク緩衝体(浮遊/約6t)とキャスク輸送車両(滑動/約44t)を選定する。

### 2.3.3 評価方法

#### (1) 貯蔵建屋の耐性評価の確認項目

貯蔵建屋の耐性評価として、以下の項目につき確認を行う。

- a. 貯蔵区域の外壁の健全性確認
- b. 貯蔵区域の遮蔽扉の健全性確認
- c. 津波による荷重と設計用地震力及び保有水平耐力の比較

#### (2) 検討方法及び判定基準

##### a. 貯蔵区域の外壁の健全性確認

貯蔵区域の四周の外壁に採用する荷重が等しいことから、相対的に最も応力の高くなる部位を代表部位として健全性の確認を行う。

東側及び西側の外壁は南側の外壁及び受入れ区域との境界壁よりも厚いこと、受入れ区域との境界壁は南側外壁に比べて取り付く柱により相対的に剛性が高いことから、貯蔵区域の南側外壁を対象として健全性の確認を行う。

津波により貯蔵建屋外壁に作用する荷重の算定に当たっては、静的荷重として評価し、外壁に生じる応力を算出する。

判定基準として「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 JSME S NE1-2011」(日本機械学会, 2011年4月)の荷重状態IVの許容値として定めるコンクリートの圧縮ひずみ $3000\mu$ 及び鉄筋の引張ひずみ $5000\mu$ を、面外せん断応力度については「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会, 2018年12月)に示される許容値をそれぞれ用いる。

b. 貯蔵区域の遮蔽扉の健全性確認

貯蔵区域の遮蔽扉（3箇所）のうち1箇所を代表箇所として健全性の確認を行う。機器搬出入口の遮蔽扉は、津波襲来時に閉鎖された状態ではなく、開放された状態となることを想定することから、代表箇所から除外する。残り2箇所の人員用遮蔽扉は、扉開口寸法は同じであるが、南側の遮蔽扉のほうが北側の遮蔽扉より厚さが薄いことから、南側の人員用遮蔽扉を代表箇所として健全性の確認を行う。

判定基準に用いる許容値として、曲げモーメントにより鋼板に生じる引張応力度として鋼板の短期許容応力度を用いる。

c. 津波による波圧（荷重）と設計用地震力及び保有水平耐力の比較

上記の確認に加え、津波による荷重と建物の設計用地震力及び地震時の耐力である保有水平耐力との比較を行い、設計裕度の確認を行う。

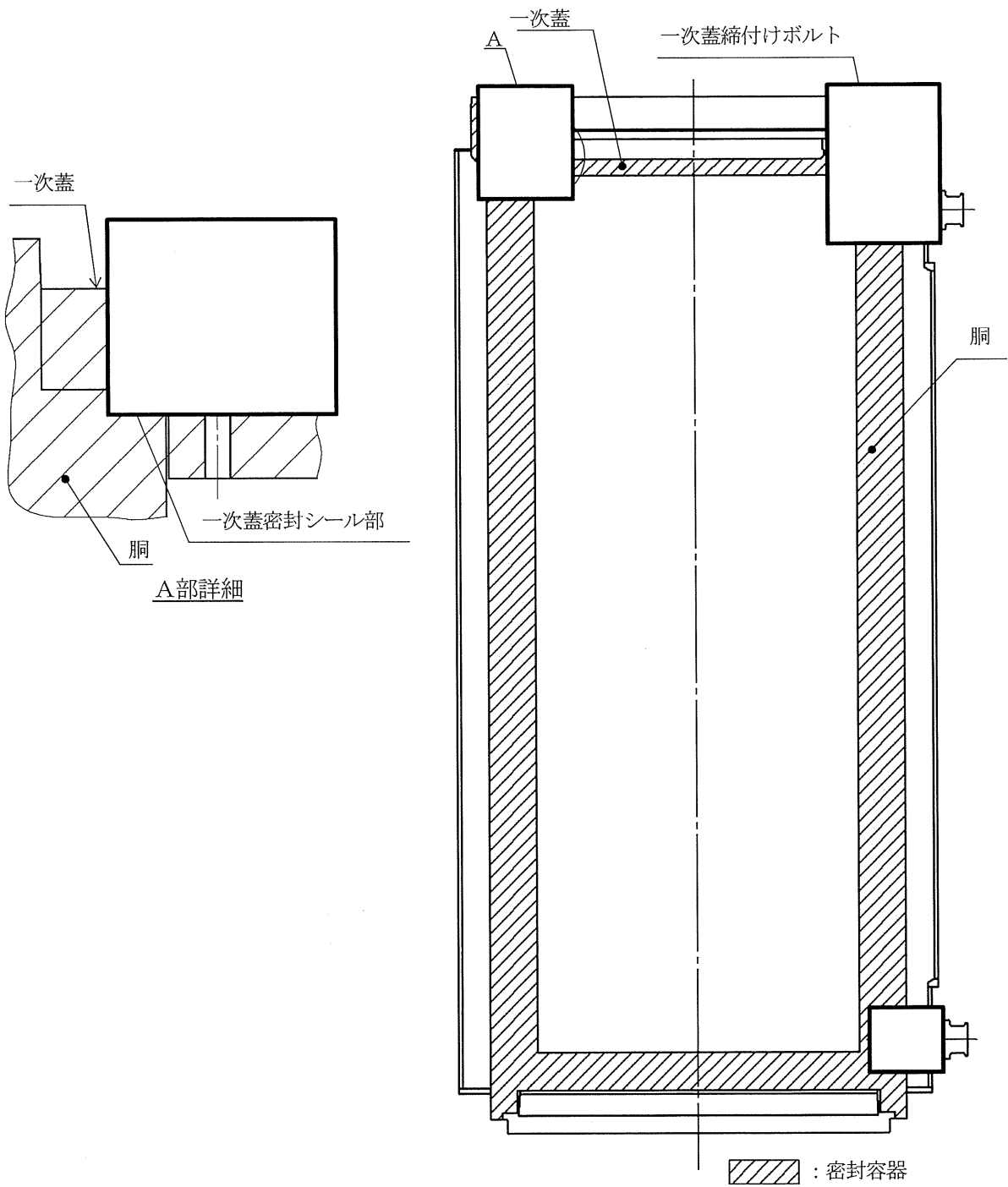
(3) 荷重の組合せ

貯蔵建屋への荷重の観点から設計上考慮すべき自然現象として地震、竜巻、風（台風）、積雪及び降下火砕物が考えられるが、以下の理由から、津波による波圧とこれらの荷重の組合せは考慮しない。

- a. 地震については、発生可能性が小さく継続時間も短いことから津波による波圧と同時に作用する可能性が考え難く、仮に同時に発生しても貯蔵建屋への荷重の作用方向が異なる。
- b. 竜巻及び風（台風）による荷重は津波による波圧と比べて非常に小さく津波による波圧に包絡されると考えられ、また竜巻は発生可能性が小さく継続時間が短い。
- c. 積雪及び降下火砕物による荷重は、津波による波圧と貯蔵建屋への荷重の作用方向が異なる。

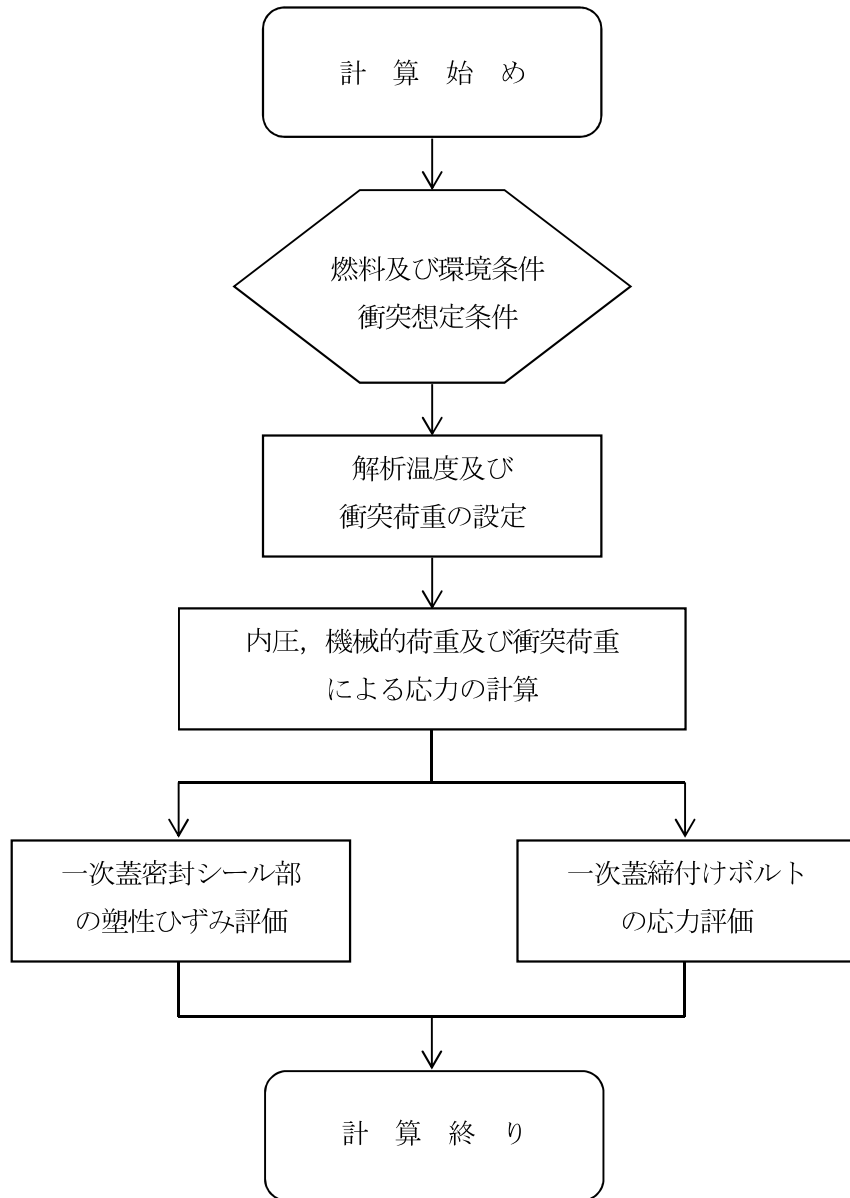
上記を踏まえ、貯蔵建屋の耐性評価に用いる荷重は、津波波圧による荷重及び津波漂流物による衝突荷重とする。

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

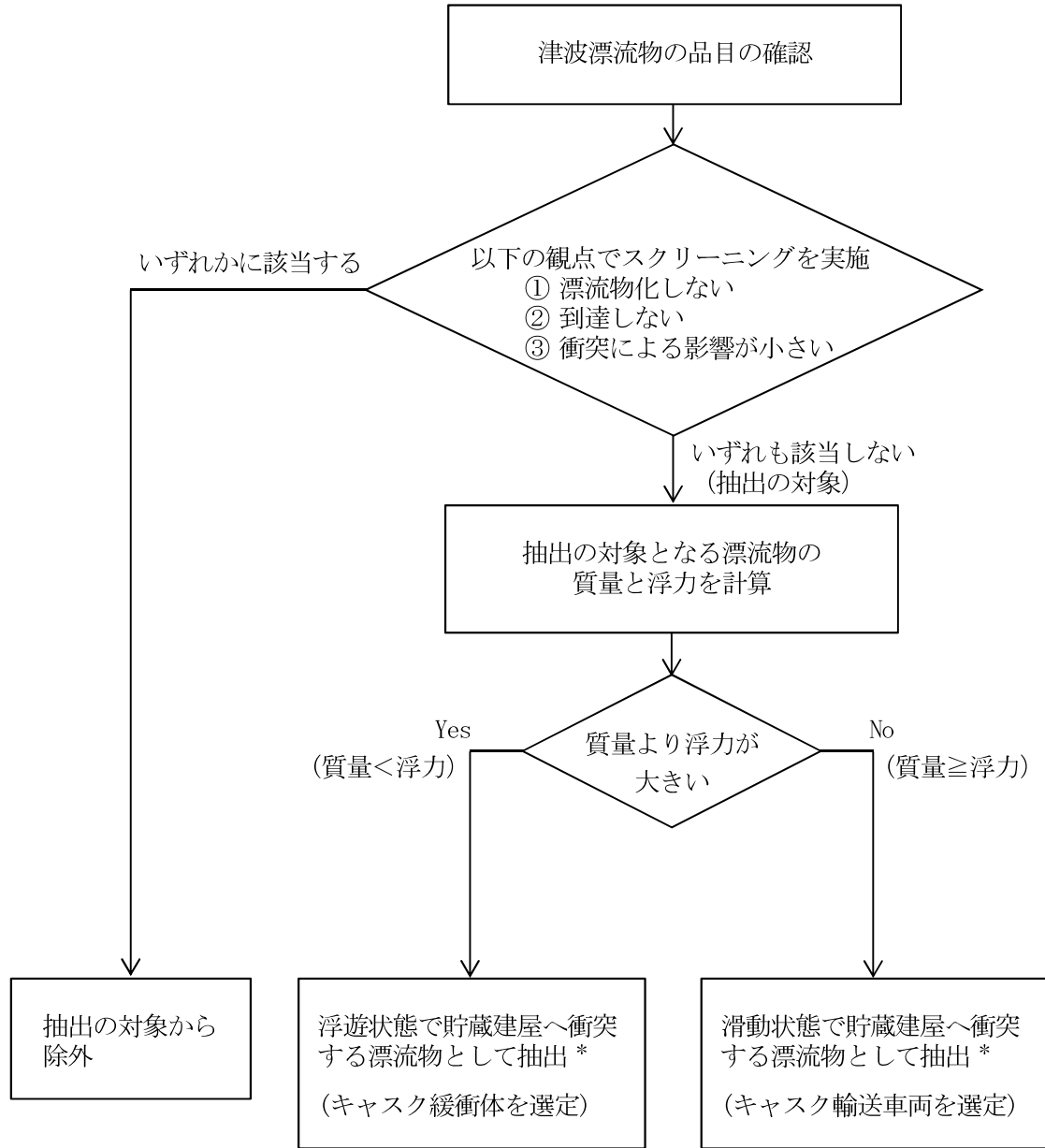


第2-1図 金属キャスクの強度解析箇所





第2-2図 金属キャスクの強度解析フロー



\* ) 抽出した漂流物のうち、質量が最大のものを選定する

第2-3図 津波漂流物評価対象の選定フロー

第2-1表 燃料及び環境条件

項目	評価条件
対象燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料
収納体数(体)	69
設計崩壊熱量(kW)*	15.3
姿勢	たて姿勢/水平姿勢
周囲の空気温度(°C)	45(たて姿勢)/38(水平姿勢)

\*) 金属キャスクの最大崩壊熱量は12.1kWであるが、温度分布計算では燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を保守的に考慮した設計崩壊熱量を用いる。崩壊熱量はORIGEN2コードにより求めた。

第2-2表 設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

事象 \ 荷重	圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付け力	吊上げ荷重	衝突荷重	熱荷重
天井クレーン落下	○	○	○	-	○	-
天井スラブ落下	○	○	○	-	○	-

第2-3表 評価事象

事象	荷重条件
天井クレーン落下	密封容器内圧力 : -0.101325 MPa 蓋間圧力 : 0.4 MPa 蓋部レジン充填部圧力 : <input type="text"/> MPa 側部レジン充填部圧力 : <input type="text"/> MPa 底部レジン充填部圧力 : <input type="text"/> MPa 自重 ボルト初期締付け力 衝突荷重 : 48 MN
天井スラブ落下	密封容器内圧力 : -0.101325 MPa 蓋間圧力 : 0.4 MPa 蓋部レジン充填部圧力 : <input type="text"/> MPa 側部レジン充填部圧力 : <input type="text"/> MPa 底部レジン充填部圧力 : <input type="text"/> MPa 自重 ボルト初期締付け力 衝突荷重 : 11 MN

第2-4表 一次蓋密封シール部の許容塑性ひずみ値

事象	評価点（領域）	許容塑性ひずみ値 （%）	基準
天井クレーン落下	一次蓋（密封シール部）	0.2	おおむね弾性範囲内
	胴（一次蓋密封シール部）	0.2	おおむね弾性範囲内
天井スラブ落下	一次蓋（密封シール部）	0.2	おおむね弾性範囲内
	胴（一次蓋密封シール部）	0.2	おおむね弾性範囲内

第2-5表 一次蓋締付けボルトの許容応力値

事象	応力の種類	許容応力値 (MPa)	
		低合金鋼	
		一次蓋締付けボルト	
		SNB23-3	許容値基準
天井クレーン落下	平均引張応力+曲げ応力	848	$S_y$
天井スラブ落下	平均引張応力+曲げ応力	831	$S_y$

第2-6表 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示桁
温度	℃	—	—	設計値
圧力	MPa	—	—	設計値
長さ	mm	—	—	設計値
質量	kg	—	—	設計値
衝突荷重	MN	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力値	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
計算応力値	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
設計震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
断面積	m <sup>2</sup>	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
地震力	kN	小数点以下第1位	切捨て	整数位
抗力	kN	小数点以下第1位	切上げ	整数位



第2-7表 漂流物調査及び抽出の結果（敷地内）

大区分	小区分	品目（カッコ内は設置場所）	漂流物として抽出*1	備考	
建築物 構築物	鉄筋コンクリート造	守衛所／ビジターハウス, 出入管理建屋, モニタリングポスト	× (①-1/①-2)		
	鉄骨造	事務建屋, 車庫, 備品管理建屋, 特殊車両庫, 給水施設, 受変電施設	× (③-2)		
	その他	発電機		○ (浮遊)	質量: 約 5.2t
		分電盤		○ (浮遊)	質量: 約 3.9t
		冷却塔		○ (浮遊)	質量: 約 1.8 t
		ゲート		× (①-1)	
	タンク コンテナ 等	物置, 仮設 ハウス等	倉庫, 詰所, 仮設トイレ	○ (浮遊)	質量: 約 2 t (倉庫)
その他		キャスク緩衝体 (備品管理建屋)	○ (浮遊)	質量: 約 6t	
		貯蔵架台, 輸送用機材 (備品管理建屋)	× (①-1)		
車両	特殊車両	キャスク輸送車両 (特殊車両庫)	○ (滑動)	質量: 約 44t (アダプタを含む)	
		電源車	○ (滑動)	質量: 約 8t	
		動力消防ポンプ積載軽トラック (車庫)	○ (滑動)	質量: 約 1t	
	一般車両	乗用車, トラック, バス	○ (滑動)	最大質量: 約 13t (バス)	

\* 1) 漂流物として抽出しない事由の凡例（第2-7表, 第2-8表 共通）

- ①-1: 水密性がなく, 大きな浮力が生じないため漂流物化しない
- ①-2: 設置状況より漂流物化しない
- ①-3: 退避可能であり, 漂流物化しない
- ②-1: 距離, 地形及び流向より到達しない
- ②-2: 周辺監視区域境界フェンスに阻害され, 到達しない
- ③-1: 大型の漂流物でなく, 衝突による影響が小さい
- ③-2: 漂流過程において変形・分解し, 衝突による影響が小さい

第2-8表 漂流物調査及び抽出の結果（敷地外）

大区分	小区分	品目（カッコ内は設置場所）	漂流物として抽出*1	備考
船舶 港湾 施設	大型船舶	使用済燃料運搬船（関根浜港） 海洋地球研究船（関根浜港）	× (①-3)	津波警報発生時は緊急 離岸する
	小型船舶	巡視艇（関根浜港） 漁船（関根漁港、石持漁港等） 廃漁船（敷地外西側沿岸部等）	× (②-1/②-2)	
	港湾施設	浮棧橋（関根浜港） 浮標（関根浜港）	× (②-1/②-2)	
		デリッククレーン（関根浜港） 水管橋（関根浜港） ケーソン（漁港）	× (①-1)	
建築物 構築物*2	鉄筋コンクリート造	事務所、宿泊施設、 荷捌施設（漁港）、 水道施設、モニタリングポスト等	× (①-1/①-2)	
	鉄骨造	事務所、集会所、保育園、 コンビニエンスストア、 自動車工場、鉄工所、 水産加工場、牛舎、倉庫等	× (③-2)	
	プレハブ	倉庫、小屋、詰所等 （関根浜港周辺等）	× (③-2)	
	木造	一般家屋、神社、小学校、荷捌施設 （漁港）、倉庫、小屋等	× (③-2)	
	その他	セメントミキサ（生コン製造施設） ベルトコンベア（砕石・砂利施設、 生コン製造施設） 鉄塔（携帯基地局、気象観測塔等） 監視塔（漁港）	× (①-1)	
		沈泥槽（砕石・砂利施設）	× (①-1/①-2)	
タンク コンテナ 等	タンク	石油タンク（敷地外西側沿岸部）	× (②-1)	敷地との直線距離が約 3.5kmで途中に起伏あり
	コンテナ 物置、 仮設ハウス	倉庫、小屋、詰所等 （関根浜港周辺等）	× (②-1/②-2)	
	ドラム缶	ドラム缶（漁港等）	× (③-1)	
車両	特殊車両	ショベルカー、フォークリフト等	× (①-1)	
	一般車両	乗用車、トラック、バス	× (②-2)	

\*1) 漂流物として抽出しない事由の凡例は、第2-7表と同じ

\*2) 建築物・構築物の構造（小区分）は、推定を含む

添付 6-1-5 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の影響評価

添付6-1-5-1 仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響  
評価

## 目次

1. 概要	1
2. 仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響評価	2
2.1 金属キャスクの強度計算	2
2.1.1 形状・寸法・材料	2
2.1.2 強度計算	2
2.1.3 強度計算結果	3
3. 仮想的大規模津波に対する貯蔵架台の影響評価	12
3.1 貯蔵架台の固定状態の維持評価	12
3.1.1 形状・寸法	12
3.1.2 水平方向地震力及び抗力の算出	12
3.1.3 評価結果	12

## 図表目次

第2-1図 密封容器の形状・寸法・材料	4
第2-2図 二次蓋の形状・寸法・材料	5
第2-3図 強度評価点（領域）	6
第2-4図 解析モデル（天井クレーン落下）	7
第2-5図 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布（天井クレーン落下）	8
第2-6図 解析モデル（天井スラブ落下）	9
第2-7図 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布（天井スラブ落下）	10
第3-1図 貯蔵架台上に固定された金属キャスク及び貯蔵架台の形状・寸法	13
第2-1表 強度計算結果（一次蓋密封シール部）	11
第2-2表 強度計算結果（一次蓋締付けボルト応力）	11
第3-1表 評価結果（貯蔵架台の固定状態の維持評価）	14

## 1. 概要

本資料は、仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響評価について説明するものである。

## 2. 仮想的大規模津波に対する金属キャスクの影響評価

### 2.1 金属キャスクの強度計算

#### 2.1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する密封容器の形状・寸法・材料を第2-1図に、二次蓋の形状・寸法・材料を第2-2図に示す。

#### 2.1.2 強度計算

##### 2.1.2.1 強度評価点

密封容器の強度評価点（領域）を第2-3図に示す。

なお、強度評価点については、解析上最も厳しい部位を選定し、代表評価点（領域）として本計算書に記載している。

##### 2.1.2.2 天井クレーン落下時

###### 2.1.2.2.1 荷重条件

天井クレーン落下時における荷重は次に示す組合せとする。

密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) + 蓋間圧力 (0.4 MPa) + 蓋部レジン充填部圧力 (  MPa) + 側部レジン充填部圧力 (  MPa) + 底部レジン充填部圧力 (  MPa) + 自重 + ボルト初期締付け力 + 衝突荷重 (48 MN)

###### 2.1.2.2.2 計算方法

強度計算は、解析コードABAQUSにより行う。三次元固体（連続体）要素及び三次元はり要素による解析モデルを第2-4図に示す。

###### 2.1.2.2.3 計算結果

一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布を第2-5図に示す。

##### 2.1.2.3 天井スラブ落下時

###### 2.1.2.3.1 荷重条件

天井スラブ落下時における荷重は次に示す組合せとする。

密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) + 蓋間圧力 (0.4 MPa) + 蓋部レジン充填部圧力 (  MPa) + 側部レジン充填部圧力 (  MPa) + 底部レジン充填部圧力 (  MPa) + 自重 + ボルト初期締付け力 + 衝突荷重 (11 MN)

###### 2.1.2.3.2 計算方法

強度計算は、解析コードABAQUSにより行う。三次元固体（連続体）要素及び三次元はり要素による解析モデルを第2-6図に示す。

#### 2.1.2.3.3 計算結果

一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布を第2-7図に示す。

#### 2.1.3 強度計算結果

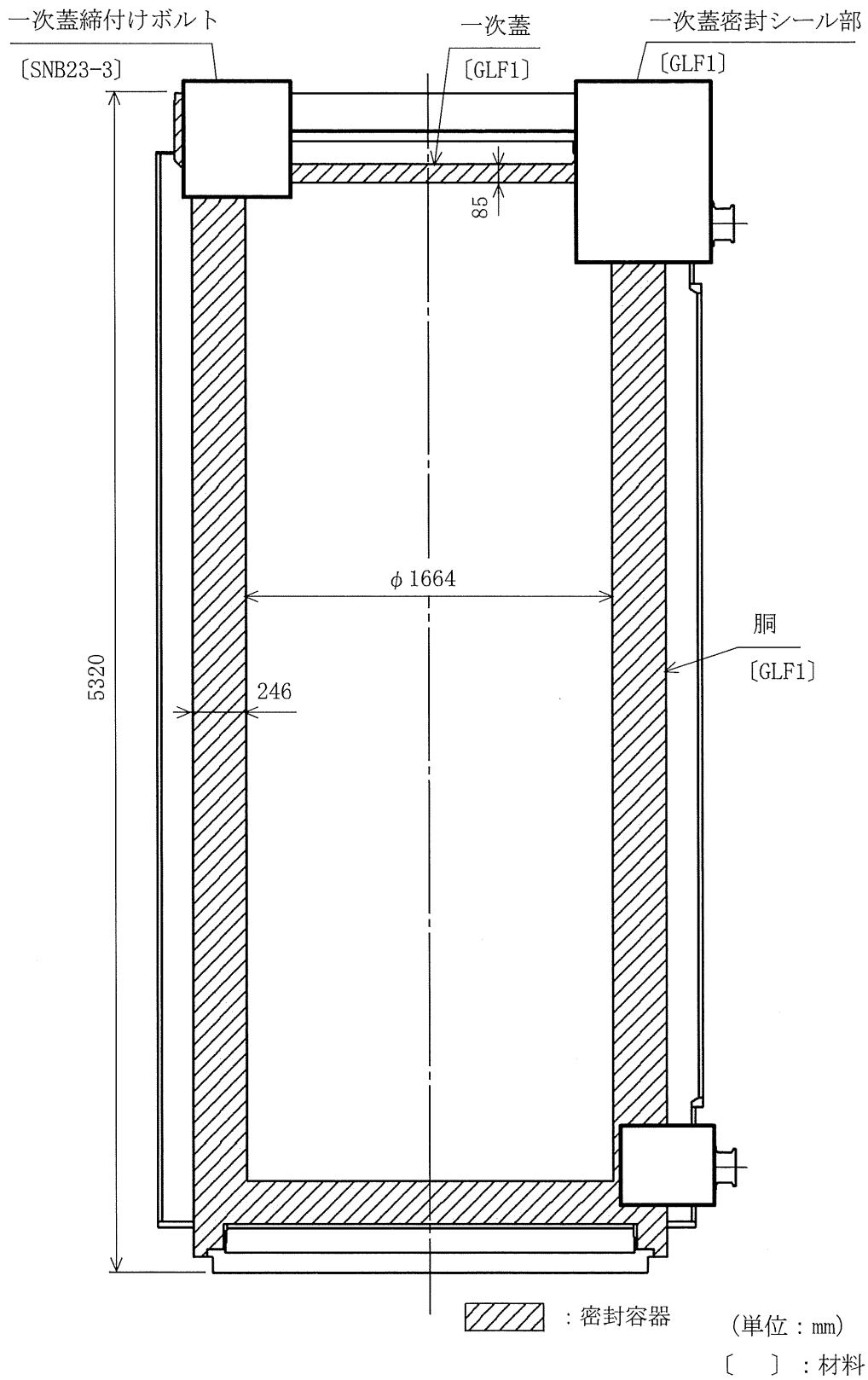
強度計算結果を第2-1表及び第2-2表に示す。

一次蓋密封シール部の塑性ひずみは0.2%以下であるため、おおむね弾性範囲内にある。

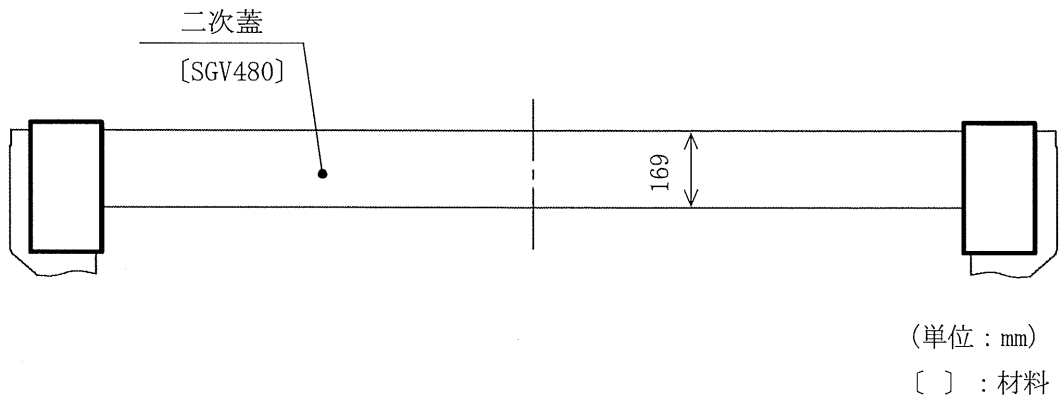
一次蓋締付けボルトの平均引張応力+曲げ応力は、設計降伏点以下にあり、閉じ込め機能を維持できる。



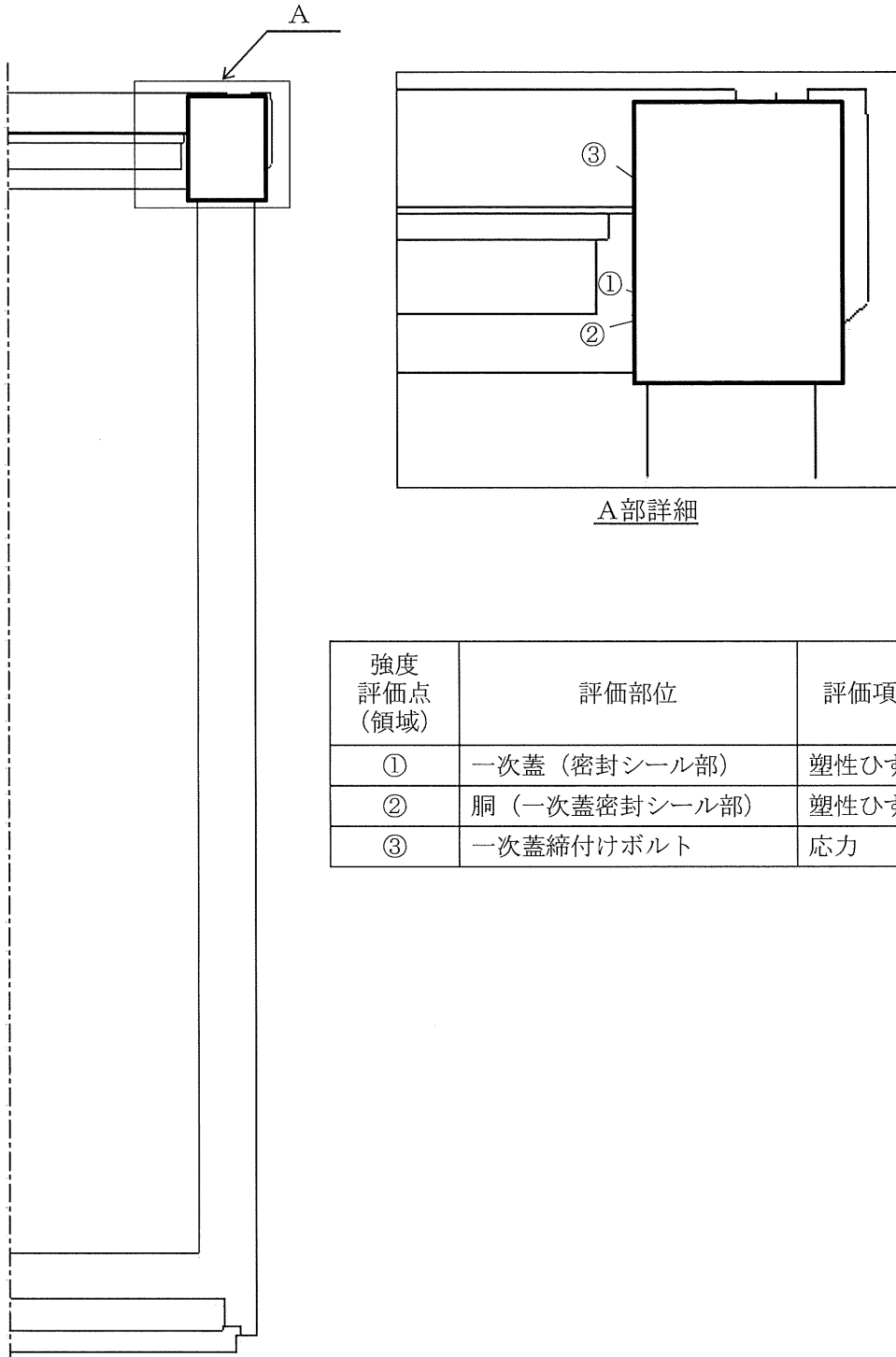
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



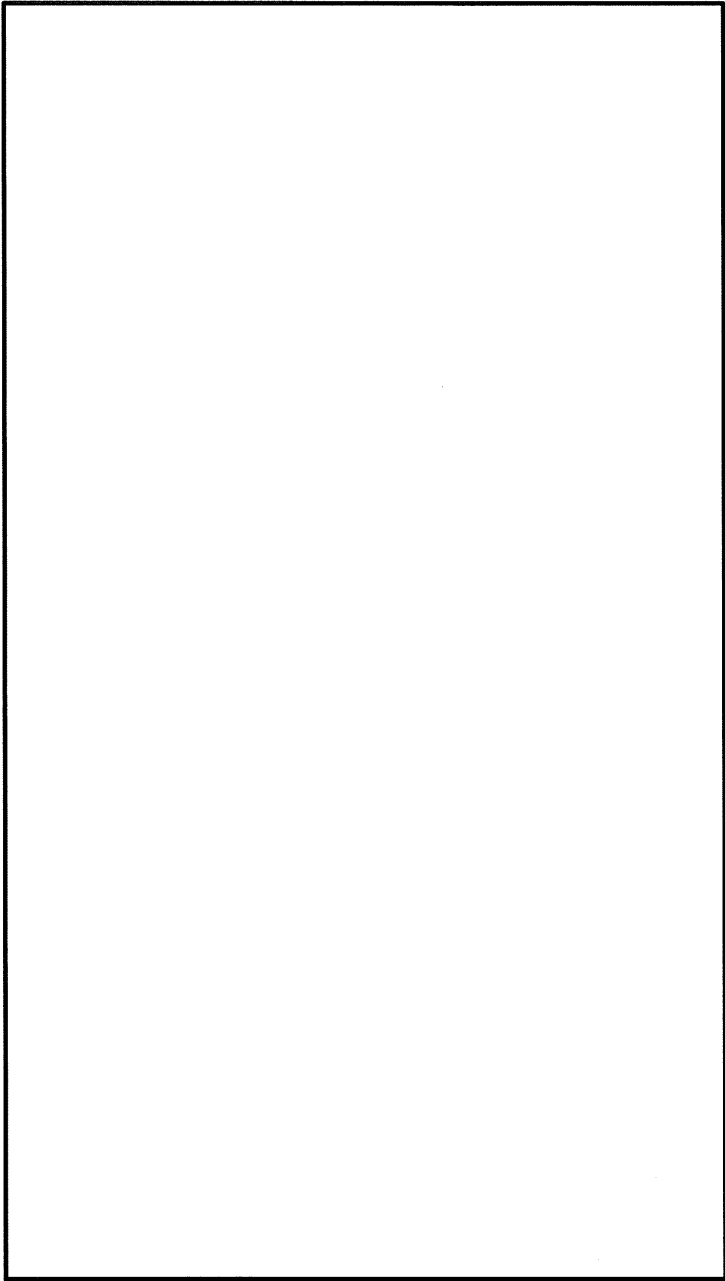
第2-1図 密封容器の形状・寸法・材料



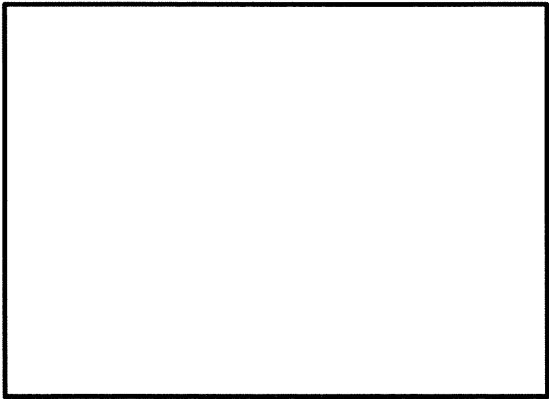
第 2-2 図 二次蓋の形状・寸法・材料



第2-3図 強度評価点 (領域)



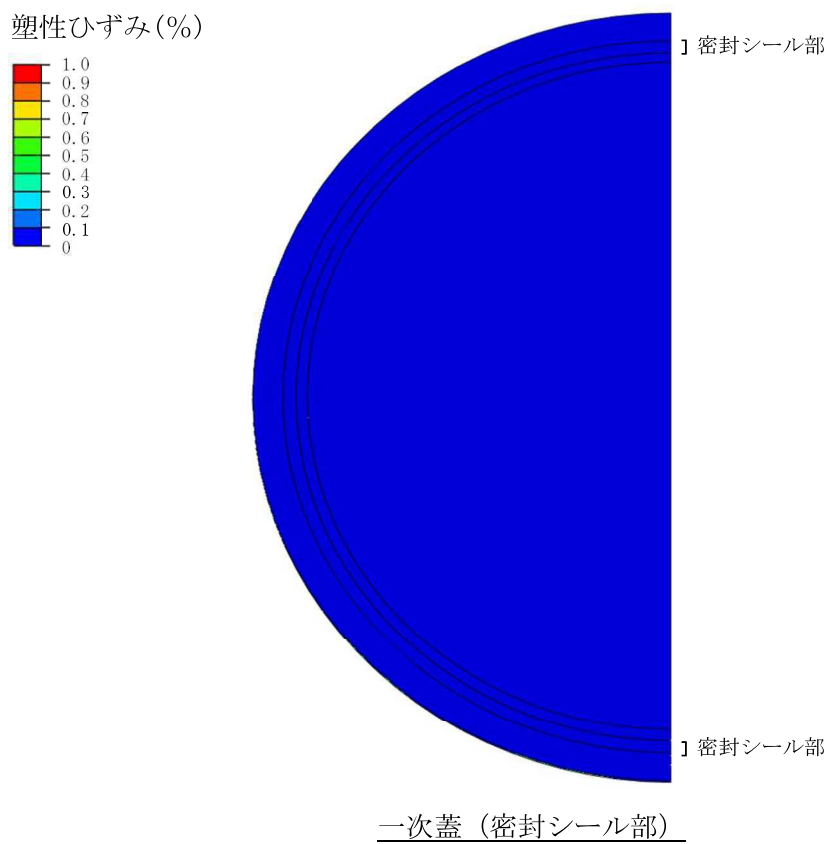
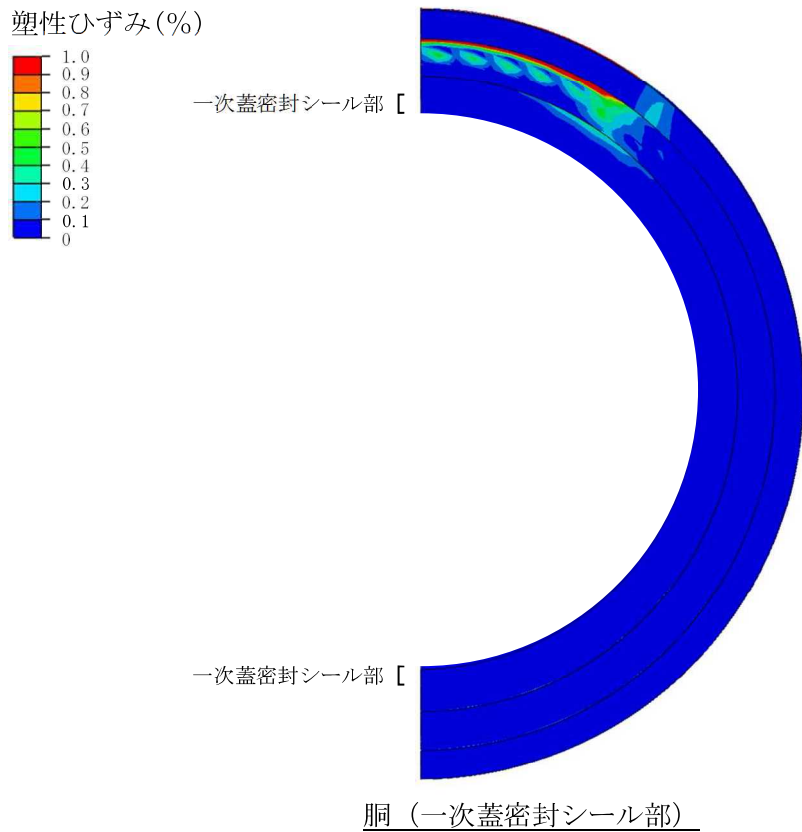
A



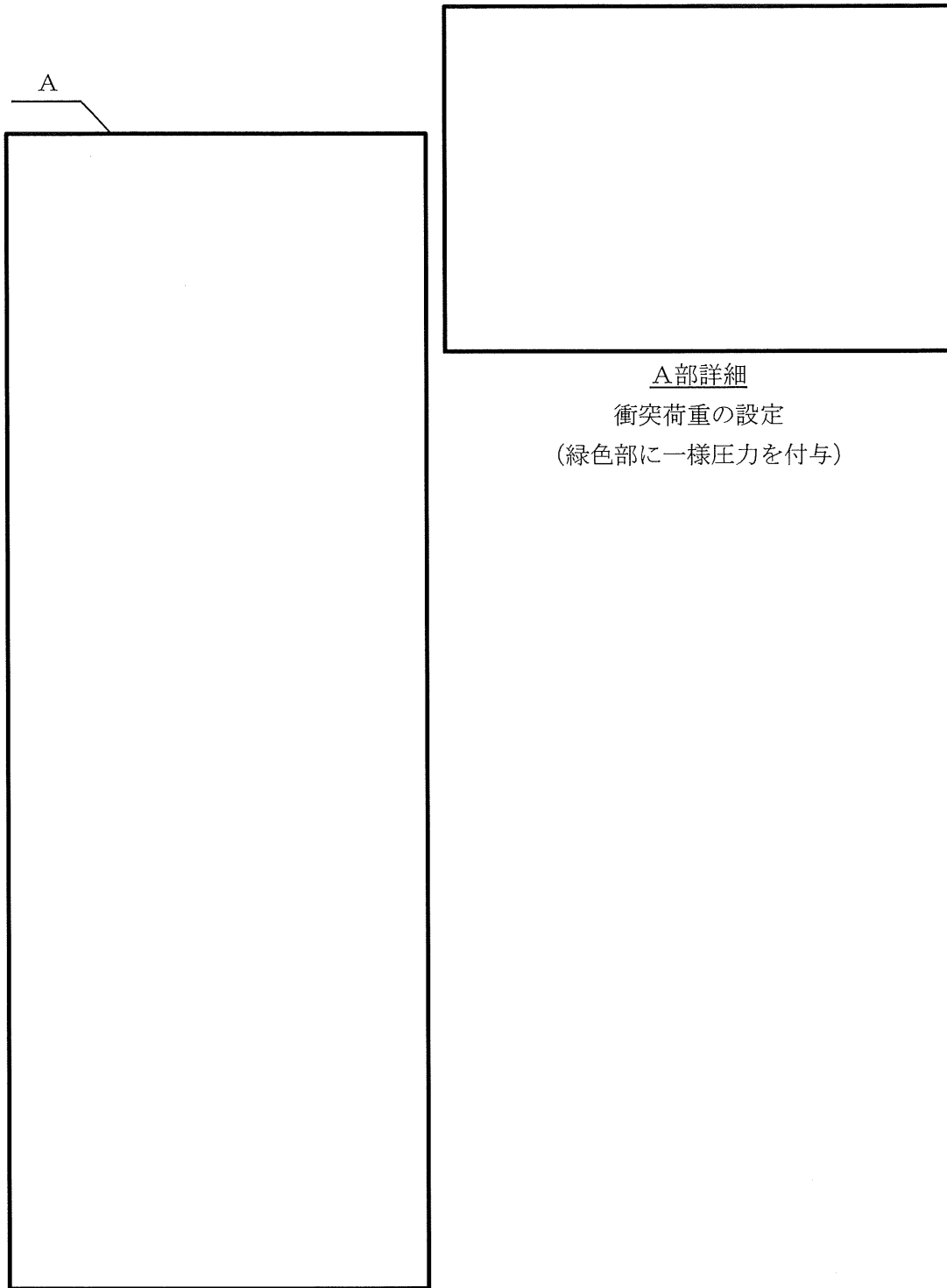
A部詳細

衝突荷重の設定  
(緑色部に一様圧力を付与)

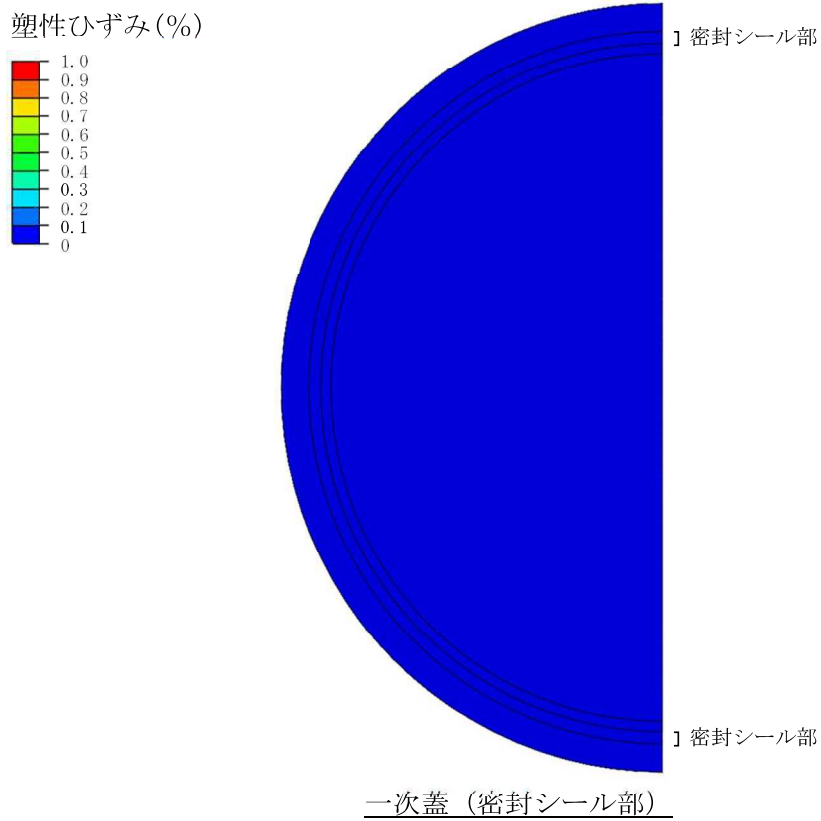
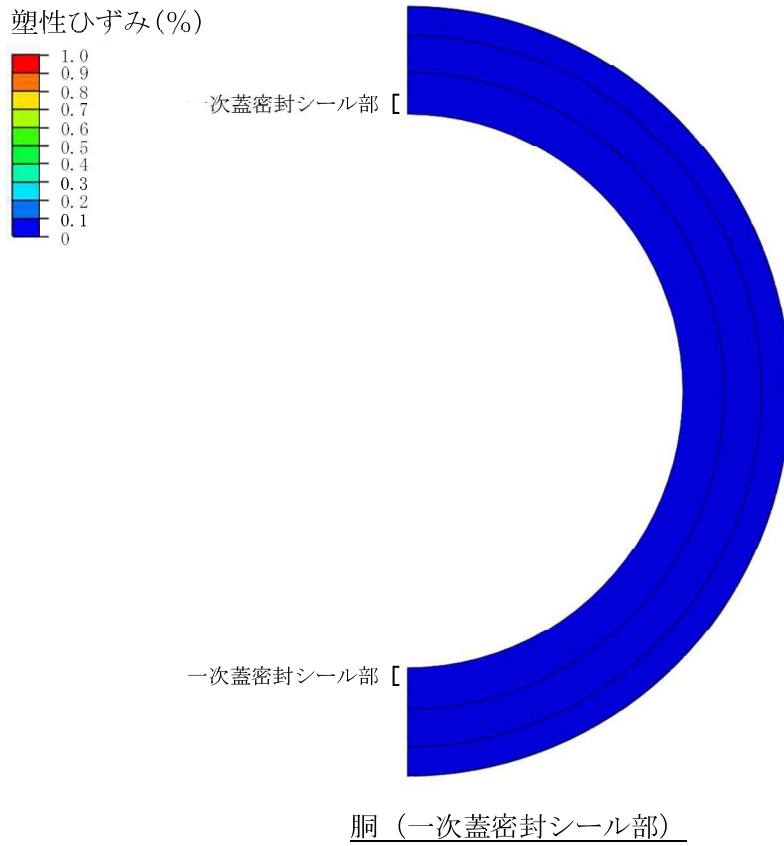
第2-4図 解析モデル (天井クレーン落下)



第 2-5 図 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布 (天井クレーン落下)



第2-6図 解析モデル (天井スラブ落下)



第2-7図 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布 (天井スラブ落下)

第2-1表 強度計算結果（一次蓋密封シール部）

（単位：％）

事象	部位	材料	塑性ひずみ		
			計算値	判定基準	評価領域*
天井 クレーン 落下	一次蓋（密封シール部）	炭素鋼 （GLF1）	0	0.2	①
	胴（一次蓋密封シール部）		0	0.2	②
天井 スラブ 落下	一次蓋（密封シール部）		0	0.2	①
	胴（一次蓋密封シール部）		0	0.2	②

\*) 第2-3図参照

第2-2表 強度計算結果（一次蓋締付けボルト応力）

（単位：MPa）

事象	部位	材料	平均引張応力+曲げ応力		
			計算値	許容応力	評価点*
天井 クレーン 落下	一次蓋締付けボルト	低合金鋼 （SNB23-3）	735	848	③
天井 スラブ 落下			263	831	③

\*) 第2-3図参照



### 3. 仮想的大規模津波に対する貯蔵架台の影響評価

#### 3.1 貯蔵架台の固定状態の維持評価

##### 3.1.1 形状・寸法

本評価で用いる貯蔵架台上に固定された金属キャスク及び貯蔵架台の形状・寸法を第3-1図に示す。

##### 3.1.2 水平方向地震力及び抗力の算出

貯蔵中の金属キャスクは貯蔵架台に固定されており、貯蔵架台に作用する基準地震動の水平方向地震力は以下の式で算出される。

$$\text{水平方向地震力 (N)} = (m_c + m_s) \times C_H \times G$$

$m_c$  : 金属キャスクの質量 (=118300 kg)

$m_s$  : 貯蔵架台の質量 (=15000 kg)

$C_H$  : 水平方向設計震度 (水平2方向考慮) (=1.69)

$G$  : 重力加速度 (=9.80665 m/s<sup>2</sup>)

仮想的大規模津波で想定される最大の水流により、金属キャスク及び貯蔵架台 (水平方向) に作用する抗力は以下の式で算出される。

$$\text{抗力 (N)} = 1/2 \times C_{d1} \times A_{c1} \times \rho \times V^2 + 1/2 \times C_{d2} \times A_{c2} \times \rho \times V^2$$

$C_{d1}$  : 金属キャスク (円柱) の抗力係数 (=1.0)

$C_{d2}$  : 貯蔵架台 (平板) の抗力係数 (=1.4)

$A_{c1}$  : 金属キャスクの鉛直方向断面積 (=13.2 m<sup>2</sup>)

$A_{c2}$  : 貯蔵架台 (固縛装置を含む) の鉛直方向断面積 (=1.5 m<sup>2</sup>)

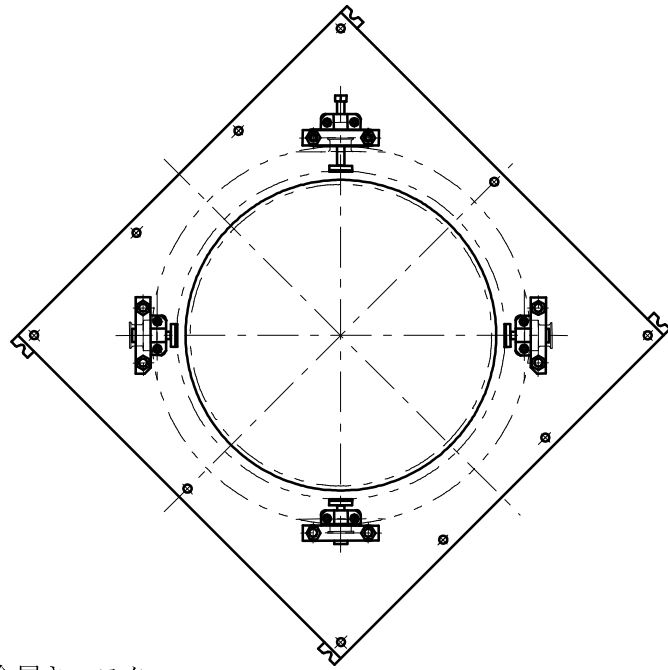
$\rho$  : 海水密度 (=1050 kg/m<sup>3</sup>)

$V$  : 津波の流速 (=10 m/s)

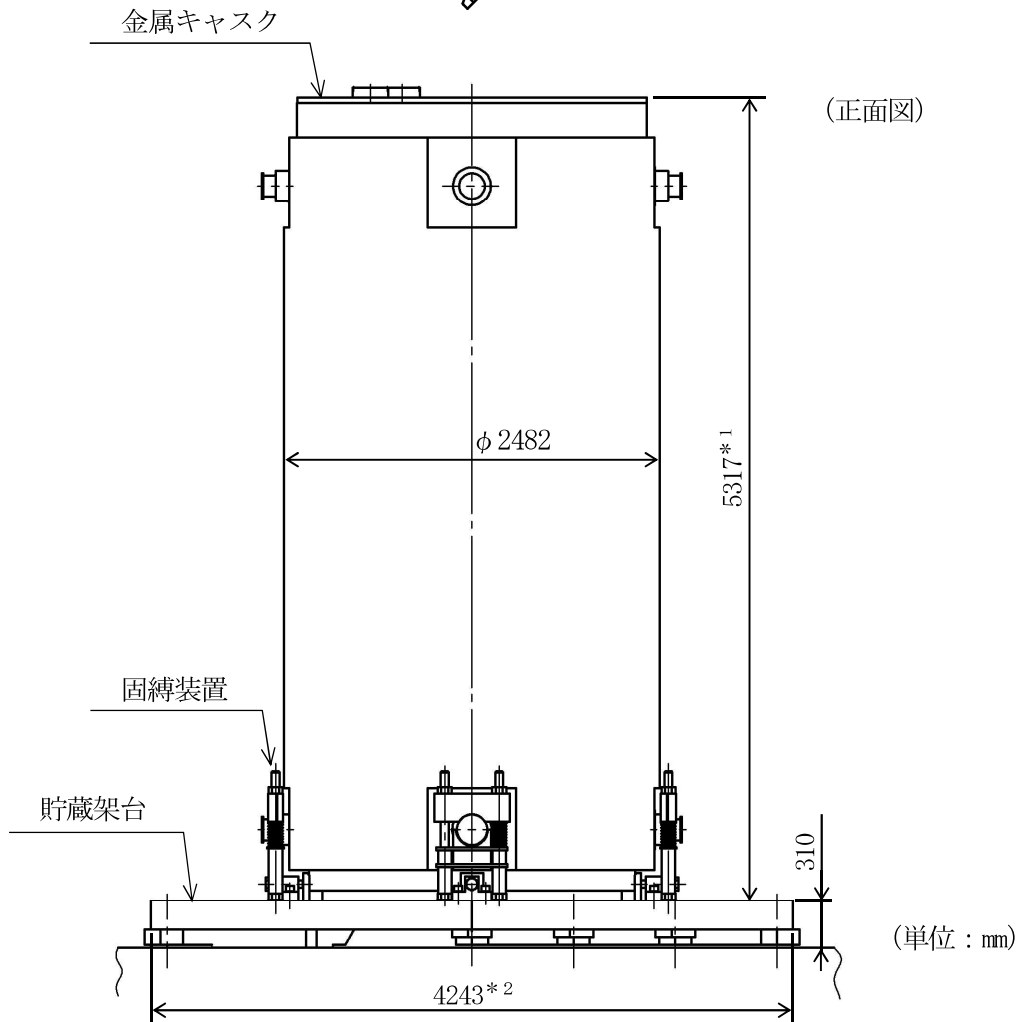
##### 3.1.3 評価結果

評価結果を第3-1表に示す。

仮想的大規模津波の水流により作用する抗力は基準地震動の水平方向地震力よりも小さいことから、基準地震動による地震力に耐える設計とする金属キャスク及び貯蔵架台は、仮想的大規模津波の水流により転倒することなく、金属キャスク、貯蔵架台及び床面の固定状態は維持される。



(上面図)



- \* 1) 金属キャスクの高さは 5320mm であるが、金属キャスクは貯蔵架台上面の 3mm の窪みに据え付けるため、貯蔵架台上面から金属キャスク上部までの寸法は 5317mm になる。
- \* 2) 対角方向寸法 (計算値)

第 3-1 図 貯蔵架台上に固定された金属キャスク及び貯蔵架台の形状・寸法

第3-1表 評価結果（貯蔵架台の固定状態の維持評価）

（単位：kN）

貯蔵架台に作用する基準地震動の水平方向地震力	2209
仮想的な大規模津波の水流により金属キャスク及び貯蔵架台（水平方向）に作用する抗力	804

添付 6-1-5-2 仮想的大規模津波に対する使用済燃料貯蔵建屋の  
影響評価

## 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	8
2.4 適用規格	10
3. 強度評価方法	11
3.1 評価対象部位	11
3.2 荷重及び荷重の組合せ	12
3.2.1 荷重の設定	12
3.2.2 荷重の組合せ	15
3.3 許容限界	17
4. 評価条件及び評価結果	19
4.1 建屋全体の評価	19
4.2 外壁の評価	27
4.3 遮蔽扉の評価	38

## 図目次

図2-1	貯蔵建屋の配置図	3
図2-2	杭伏図 (T.P. 13.8)	4
図2-3	1階伏図 (T.P. 16.3)	4
図2-4	屋根伏図 (その1) (T.P. 29.22)	5
図2-5	中間階伏図 (T.P. 33.22)	5
図2-6	屋根階伏図 (その2) (T.P. 39.3)	6
図2-7	屋根階伏図 (その3) (T.P. 43.5)	6
図2-8	A-A断面図 (NS方向)	7
図2-9	B-B断面図 (EW方向)	7
図2-10	貯蔵建屋の設計荷重作用時の強度評価のフロー	9
図3-1	貯蔵建屋の平面図	11
図3.2-1	津波波圧の算定	12
図3.2-2	強度評価に用いる荷重について	16
図4.1-1	津波の水圧による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較 (荷重ケース1: 津波波力)	21
図4.1-2	津波の水圧による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較 (荷重ケース2: 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))	22
図4.1-3	津波の水圧による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較 (荷重ケース3: 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))	23
図4.1-4	荷重—変形関係における津波の水圧による層せん断力と設計用地震力 (1層 T.P. 16.3m~29.22m) (荷重ケース1: 津波波力)	24
図4.1-5	荷重—変形関係における津波の水圧による層せん断力と設計用地震力 (1層 T.P. 16.3m~29.22m) (荷重ケース2: 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))	25
図4.1-5	荷重—変形関係における津波の水圧による層せん断力と設計用地震力 (1層 T.P. 16.3m~29.22m) (荷重ケース3: 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))	26
図4.2-1	解析モデル図 (14通り)	28
図4.2-2	コンクリートの応力—ひずみ関係	29
図4.2-3	鉄筋の応力—ひずみ関係	30
図4.2-4	コンクリートの圧縮比済み分布 (荷重ケース1: 津波波力)	32
図4.2-5	鉄筋の圧縮比済み分布 (荷重ケース1: 津波波力)	32

図4.2-6	面外せん断力分布（荷重ケース1：津波波力）	33
図4.2-7	面外せん断力に対する検定費の分布（荷重ケース1：津波波力）	33
図4.2-8	コンクリートの圧縮比済み分布（荷重ケース2：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク緩衝体））	34
図4.2-9	鉄筋の圧縮比済み分布（荷重ケース2：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク緩衝体））	34
図4.2-10	面外せん断力分布（荷重ケース2：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク緩衝体））	35
図4.2-11	面外せん断力に対する検定費の分布（荷重ケース2：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク緩衝体））	35
図4.2-12	コンクリートの圧縮比済み分布（荷重ケース3：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク輸送車両））	36
図4.2-13	鉄筋の圧縮比済み分布（荷重ケース3：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク輸送車両））	36
図4.2-14	面外せん断力分布（荷重ケース3：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク輸送車両））	37
図4.2-15	面外せん断力に対する検定費の分布（荷重ケース3：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク輸送車両））	37
図4.3-1	遮蔽扉が受ける津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重について	38
図4.3-2	遮蔽扉の概要	39
図4.3-3	津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重に対する遮蔽扉の応力算定の考え方	40

## 表目次

表3.2-1	津波漂流物による衝突荷重について	13
表3.2-2	荷重の組合せ	15
表3.3-1	許容限界	17
表3.3-2	コンクリートの短期許容応力度	18
表3.3-3	コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ	18
表3.3-4	鋼材の短期許容応力度	18
表4.1-1	津波による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較 (荷重ケース1：津波波力)	20
表4.1-2	津波による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較 (荷重ケース2：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク緩衝 体）)	20
表4.1-3	津波による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較 (荷重ケース3：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク輸送 車両）)	20
表4.2-1	コンクリートの材料構成則の設定	29
表4.2-2	鉄筋の材料構成則の設定	30
表4.2-3	評価結果（荷重ケース1：津波波力）	30
表4.2-4	評価結果（荷重ケース2：津波波力＋漂流物による衝突荷（キャスク 緩衝体）)	31
表4.2-5	評価結果(荷重ケース3：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャスク 輸送車両）)	31
表4.3-1	遮蔽扉の概要	39
表4.3-2	評価結果（荷重ケース1：津波波力）	42
表4.3-1	評価結果（荷重ケース2：津波波力＋漂流物による衝突荷重（キャス ク緩衝体）)	42



## 1. 概要

本資料は、津波への配慮が必要な施設である使用済燃料貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）が、使用済燃料貯蔵事業変更許可（以下「事業変更許可」という。）を受けた仮想的大規模津波による波力に対し、津波への配慮において確保すべき施設の基本的安全機能を損なわないことを計算により確認するものである。

## 2. 基本方針

貯蔵建屋について、「添付 6-1-4 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針」の「2.3 貯蔵建屋の耐性評価」を踏まえ、貯蔵建屋の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

貯蔵建屋の配置図を図 2-1 に示す。

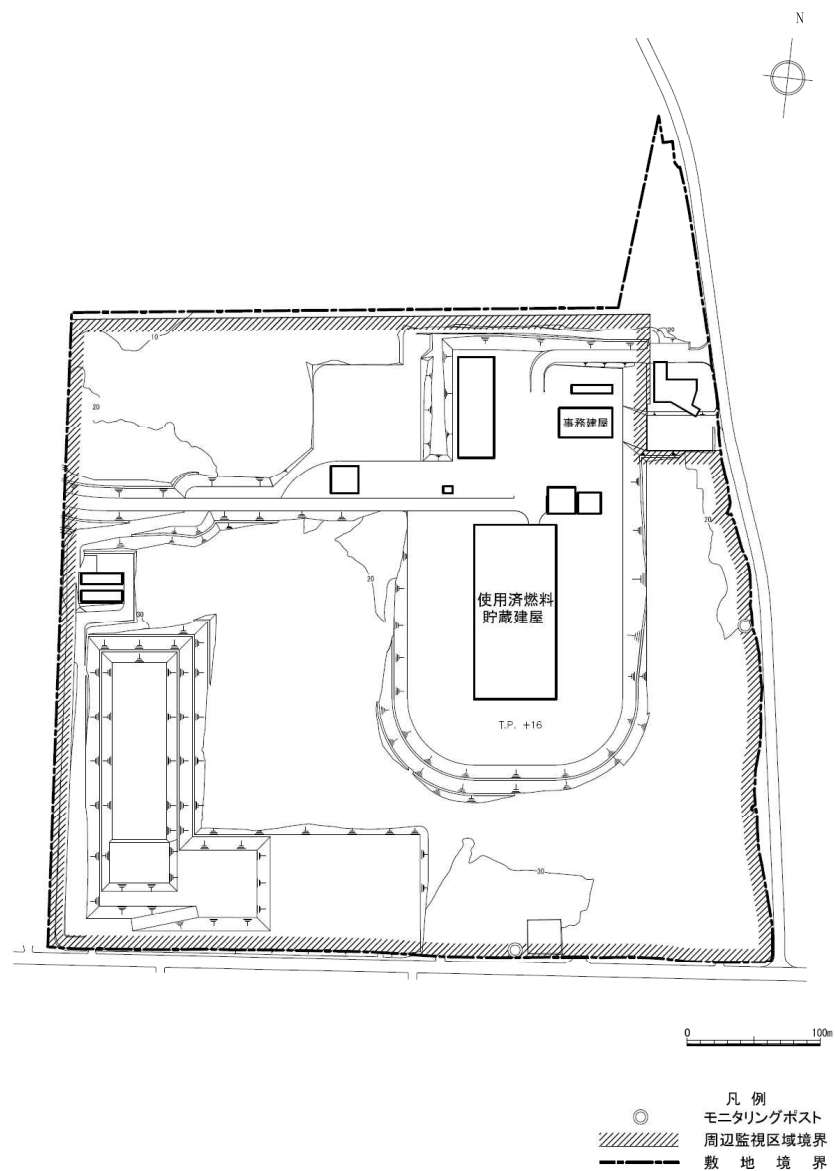


図2-1 貯蔵建屋の配置図

## 2.2 構造概要

貯蔵建屋は、金属製の乾式キャスク（以下「金属キャスク」という。）を288基収納する地上1階建てで、平面が約131m（NS方向）×約62m（EW方向）の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。標高\*16mの整地地盤からの高さは、約28mである。貯蔵建屋の伏図及び断面図を図2-2～図2-9に示す。

注記\*：東京湾平均海面を基準とした標高（以下「T.P.」という。）

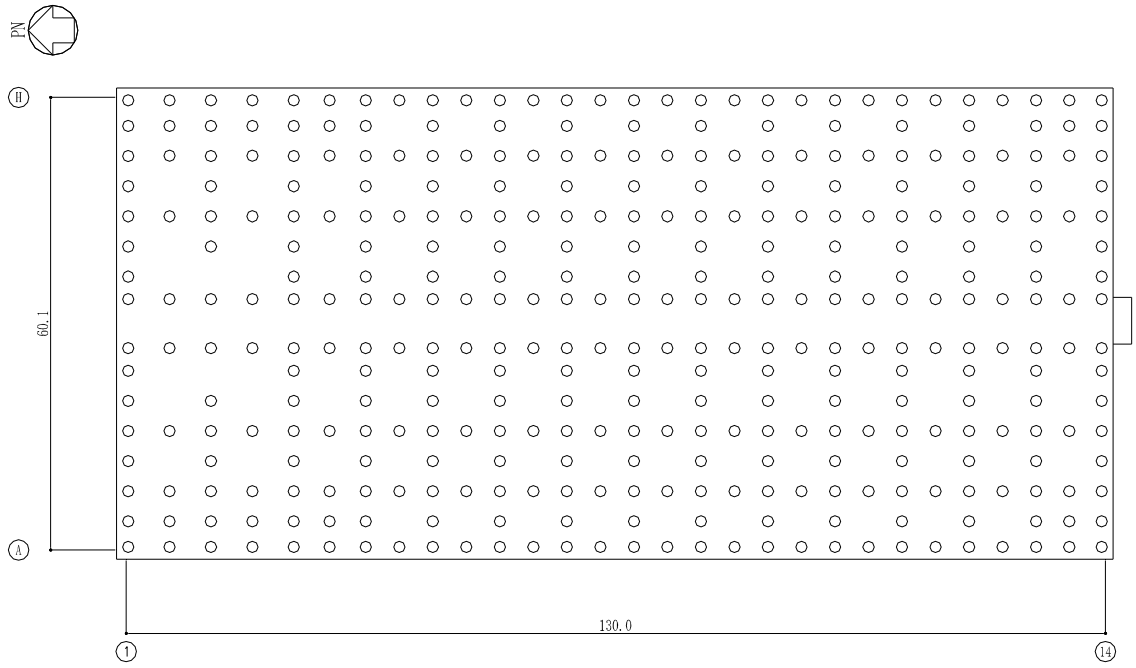


图 2-2 杭伏图 (T.P. 13.8) (单位 : m)

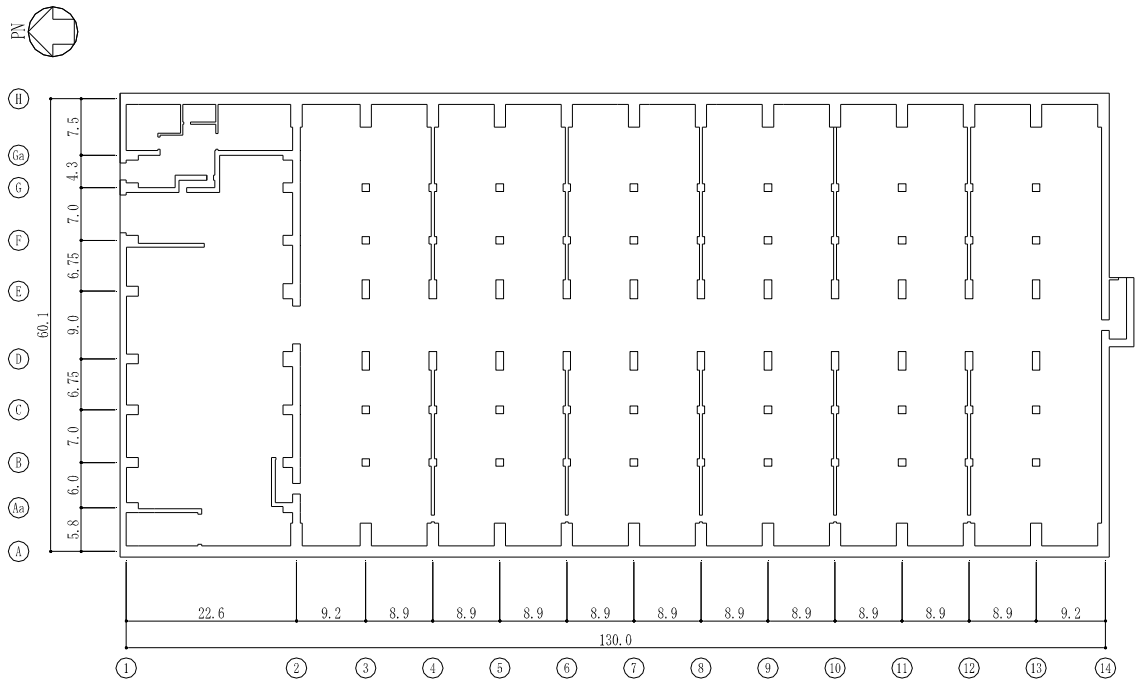


图 2-3 1 階伏图 (T.P. 16.3) (单位 : m)

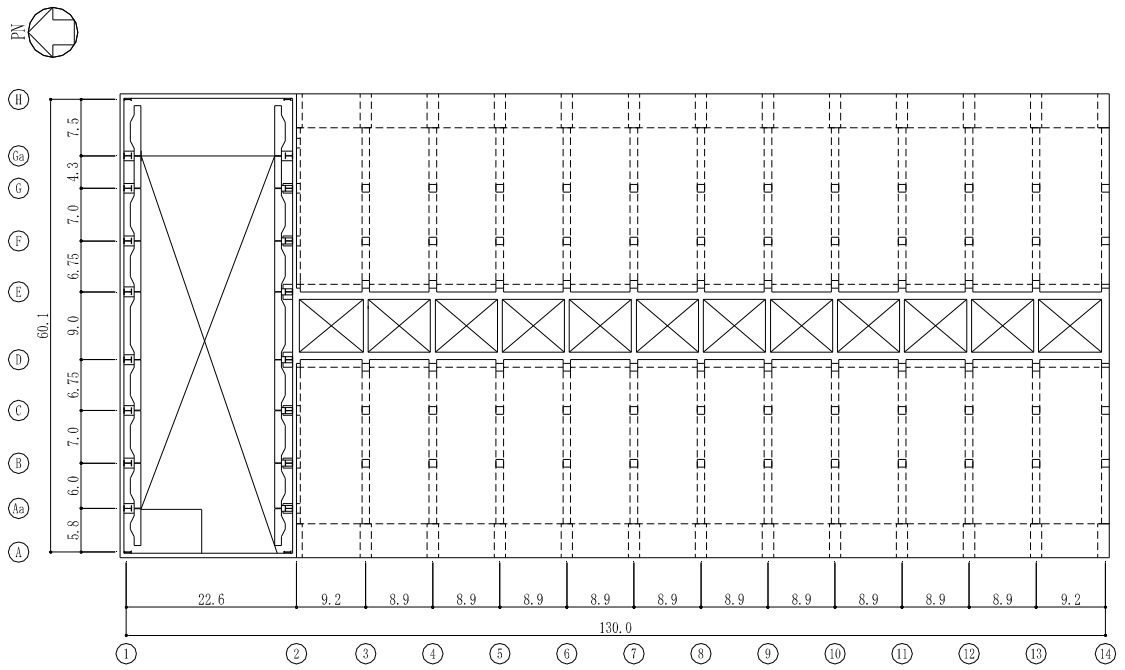


図 2-4 屋根伏図 (その 1) (T. P. 29. 22) (単位 : m)

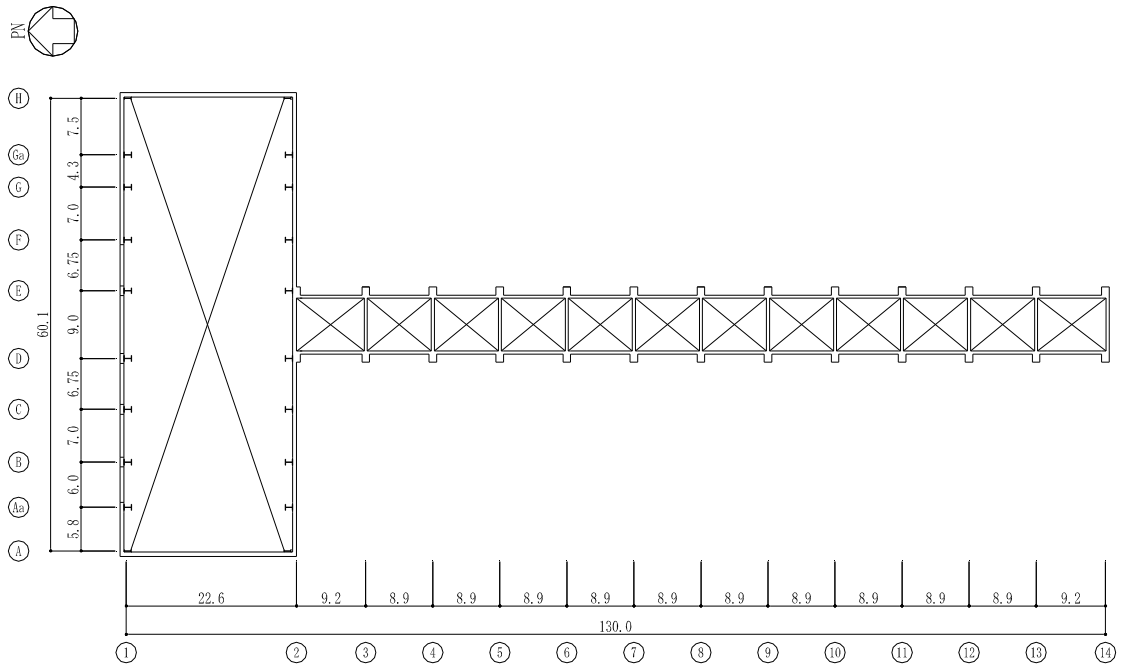


図 2-5 中間階伏図 (T. P. 33. 22) (単位 : m)

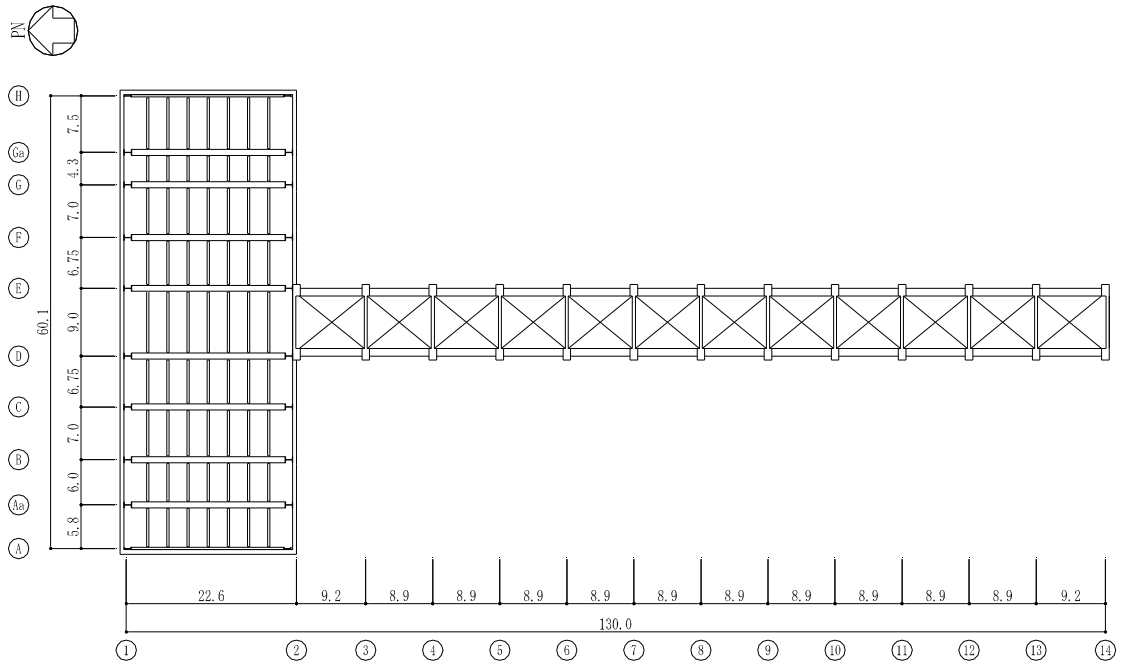


図 2-6 屋根伏図 (その 2) (T. P. 39. 3) (単位 : m)

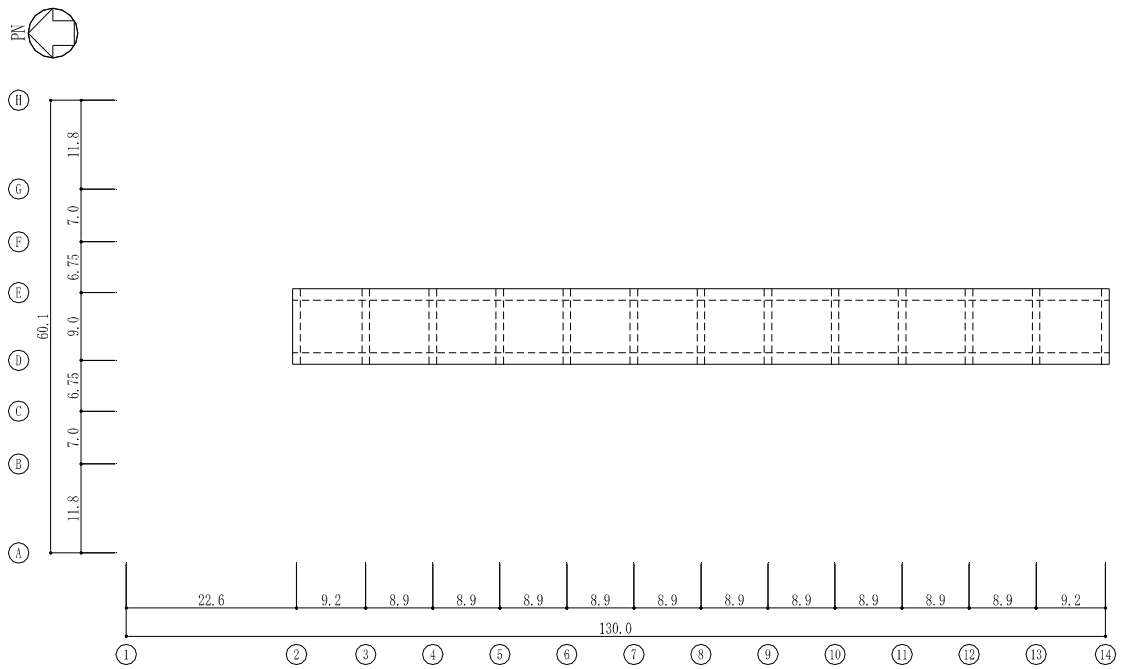


図 2-7 屋根伏図 (その 3) (T. P. 43. 5) (単位 : m)

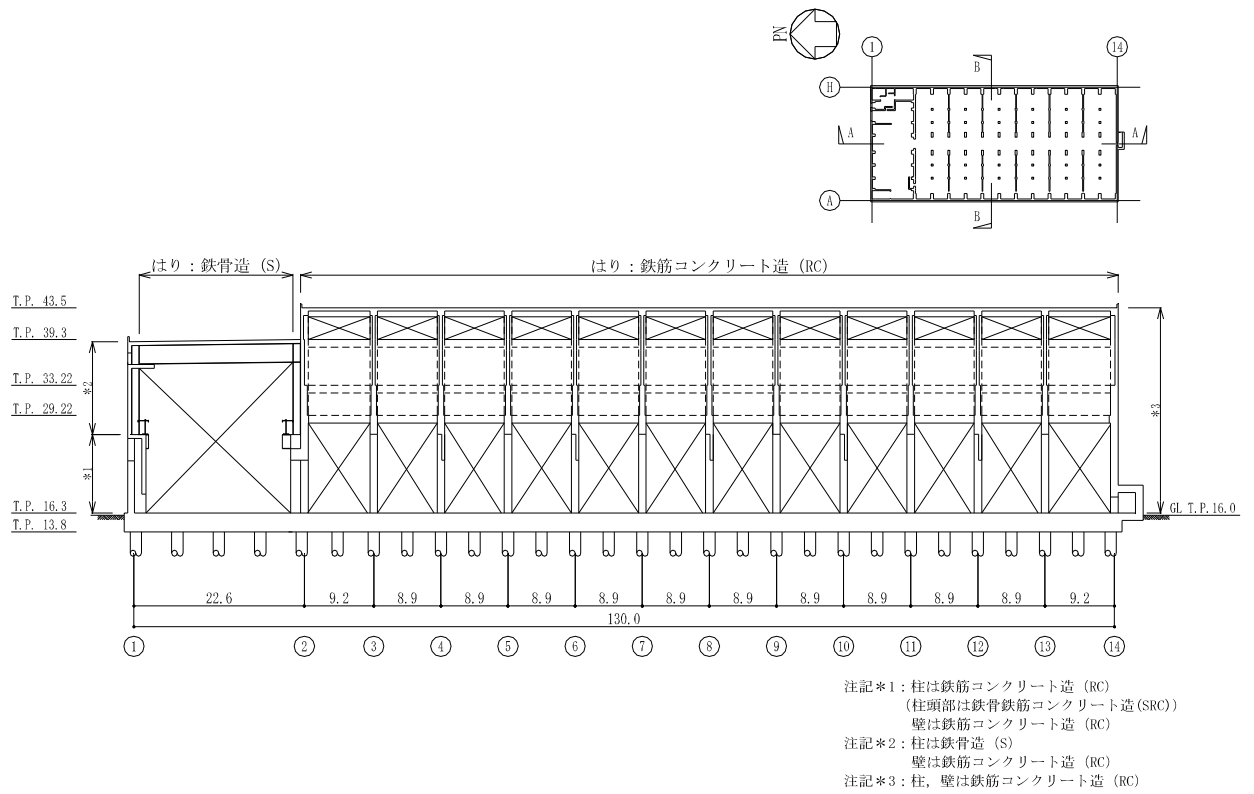


図 2-8 A-A 断面図 (NS 方向) (単位：m)

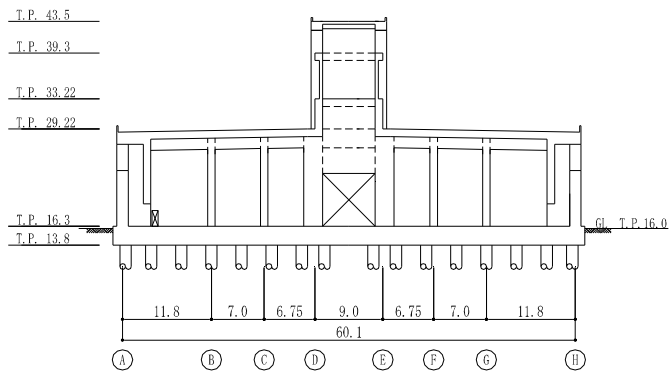


図 2-9 B-B 断面図 (EW 方向) (単位：m)

### 2.3 評価方針

貯蔵建屋の強度評価は、「添付 6-1-4 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針」の「2.3.3(2) 検討方法及び判定基準」及び「2.3.3(3) 荷重の組合せ」を踏まえ、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件及び強度評価結果」に示す評価条件を用いて計算して確認する。

評価部位の選定は、貯蔵建屋の構造を踏まえ、津波の波圧による荷重、漂流物の衝突荷重及びその他の組み合わせるべき荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向を考慮し、評価対象部位を設定する。

強度評価において、波圧に対する評価については、建屋外壁及び遮蔽扉について以下に示す方法により建屋の健全性を確認する。

波圧に対する評価のうち建屋全体の評価については、建屋に作用する層せん断力が、保有水平耐力を超えないことを確認する。また、外壁の評価については、有限要素法を用いた静的弾塑性解析により、コンクリートの圧縮ひずみ、鉄筋の引張ひずみ及び面外せん断力が許容限界を超えないことを確認する。

また、遮蔽扉の評価については、津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重に対して発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。

貯蔵建屋の設計荷重作用時の強度評価フローを図 2-10 に示す。



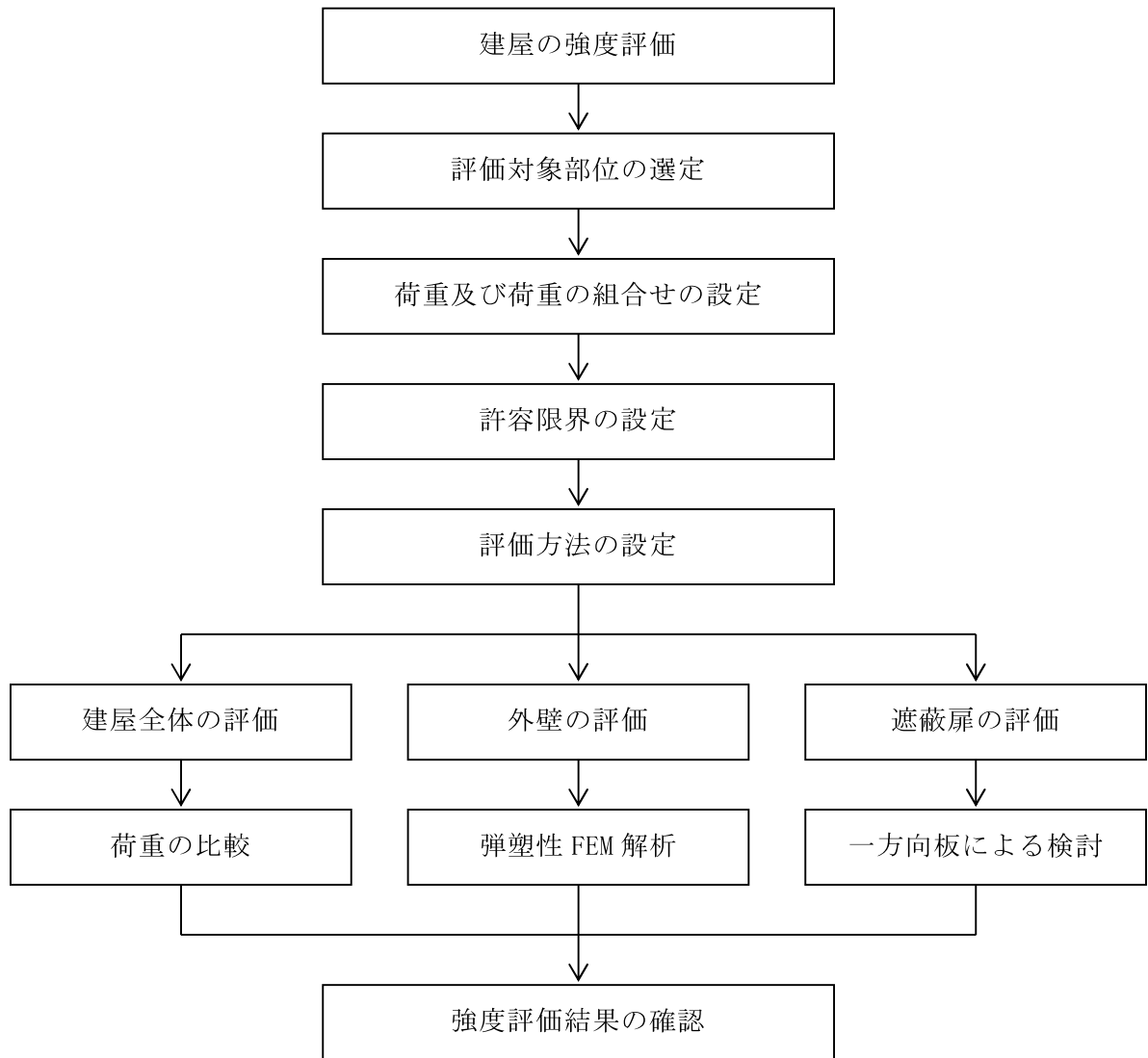


図2-10 貯蔵建屋の設計荷重作用時の強度評価のフロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（一社）日本建築学会，2005 制定）
- (3) 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（（一社）日本建築学会，1999 改訂）
- (4) 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（（一社）日本建築学会，2005 改訂）
- (5) 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（一社）日本建築学会，2001 改訂）
- (6) 日本産業規格（JIS 規格）
- (7) 原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 （（一社）日本電気協会）
- (8) 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（（一社）日本機械学会，2003）（以下「CCV 規格」という。）
- (9) 津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国土交通省，平成 24 年 3 月）
- (10) Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012（以下「FEMA（2012）」という。）
- (11) Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Third Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2019（以下「FEMA（2019）」という。）
- (12) Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI Standard 7-16, American Society of Civil Engineers, 2016（以下「ASCE（2016）」という。）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

貯蔵建屋の評価対象部位は、「添付 6-1-4 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針」の「2.3.1 評価方針」を踏まえて設定する。

貯蔵建屋のうち評価対象として貯蔵区域のみを選定し、受入れ区域については津波により損傷するものとする。

貯蔵建屋の平面図を図 3-1 に示す。貯蔵区域の外壁及び受入れ区域との境界壁について、南側の外壁（壁厚  $\square$  m）は、東側及び西側の外壁（壁厚  $\square$  m）より薄く、受入れ区域との境界壁（壁厚  $\square$  m）と同じ厚さであるが付随する柱形がないことから、外壁の評価部位として南側外壁を選定する。

貯蔵区域の遮蔽扉（機器搬出入口扉 1 ヶ所、人員用扉 2 ヶ所）のうち、機器搬出入口の遮蔽扉については開放されていると想定していること、南側人員用扉については北側の人員用扉に比べ扉厚さが薄いことから、評価部位として南側人員用扉を選定する。

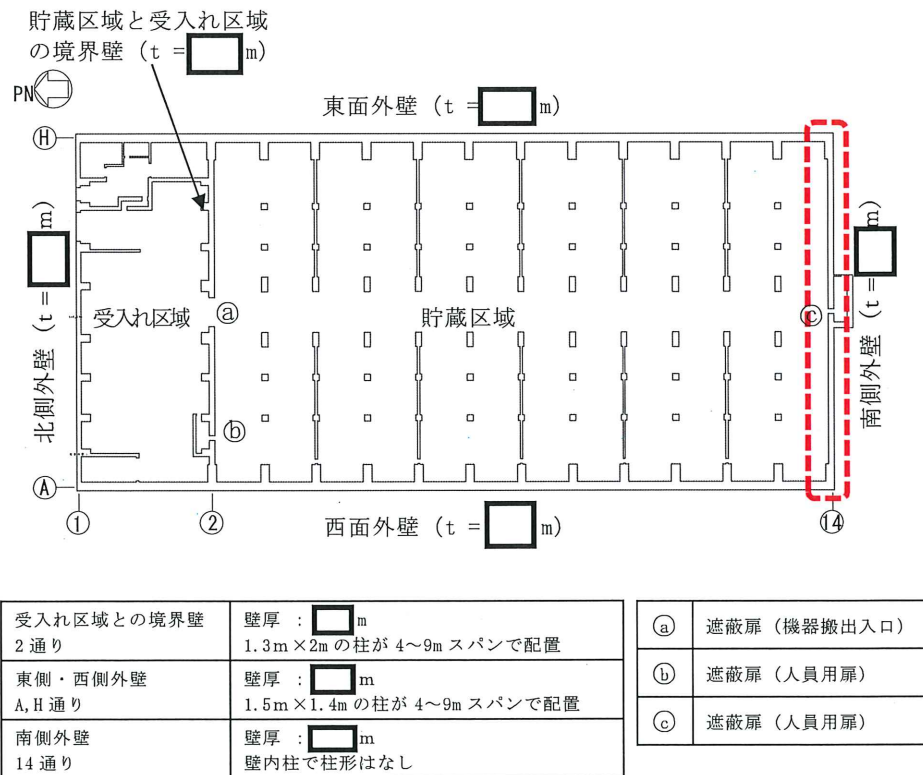


図 3-1 貯蔵建屋の平面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

### 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、「添付 6-1-4 仮想的な大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針」の「2.3.3 貯蔵建屋の耐性評価」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。

##### (1) 津波による荷重 (W)

津波による波力は、「津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国土交通省住宅局及び国土技術政策総合研究所，平成 24 年 3 月）」に従い下式により算定する。

$$q_z = \gamma \cdot (a \cdot h - z) \quad (1)$$

ここで、

$q_z$  : 地上 G.L. 0m からの当該高さにおける波圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  : 海水の単位体積重量 (= 10.3kN/m<sup>3</sup>)

$h$  : 浸水深 (m) (= 7.0m)

$z$  : 地上 G.L. 0m からの当該高さ (m)

$a$  : 水深係数 (= 3)

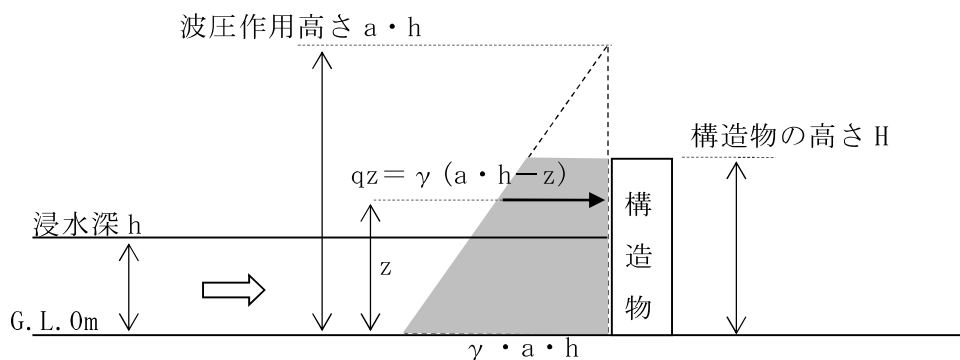


図 3.2-1 津波波圧の算定

(2) 津波漂流物による衝突荷重

津波漂流物は、浮遊する漂流物としてキャスク緩衝体、滑動する漂流物としてキャスク輸送車両とする。

浮遊する漂流物による衝突荷重は FEMA (2012) に従い算定する。また、滑動する漂流物による衝突荷重は FEMA (2019) で示される ASCE (2016) により算定する。漂流物による衝突荷重の算定結果を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 津波漂流物による衝突荷重について

	津波漂流物	
	浮遊する漂流物	滑動する漂流物
対象とする漂流物	キャスク緩衝体	キャスク輸送車両
漂流物の質量 (kg)	6100	44000
最大流速 (m/s)	10	10
設計用衝突荷重 (kN) *	1573	496

注記\*：浮遊する漂流物による衝突荷重は FEMA (2012) に従い算定する。  
また、滑動する漂流物による衝突荷重は FEMA (2019) で示される ASCE (2016) により算定する。

以下にそれぞれの衝突荷重の算定式を示す。

a. 浮遊する漂流物

浮遊する漂流物の衝突荷重は、下式により算定する。

$$F = 1.3u\sqrt{km(1+c)} \quad (2)$$

ここで、

- F : 設計用衝突力 (N)
- u : 漂流物を運ぶ流体の最大流速 (m/s) (=10m/s)
- k : 漂流物の有効剛性 (N/m) (=2.4×10<sup>6</sup> N/m)
- m : 漂流物の質量 (kg) (=6100kg)
- c : 付加質量係数 (=0.0)

b. 滑動する漂流物

滑動する漂流物の衝突荷重は、下式により算定する。

$$F = I_{tsu} \cdot C_0 \cdot F_{ni} \quad (3)$$

$$F_{ni} = F_{ni0} \cdot u' \sqrt{k'm'} \quad (4)$$

ここで、

F : 設計用衝突力 (kN)

$I_{tsu}$  : 重要度係数 (=1.25)

$C_0$  : 配向係数 (=1.0)

$F_{ni}$  : 衝突力 (kN)

$F_{ni0}$  : 基準とする石材・コンクリート殻 (質量 2270kg) の流速 4m/s 条件下の衝突荷重 (=36kN)

$u'$  : 流速の比率 (基準とする石材・コンクリート殻の流速 4m/s に対する設計用流速 10m/s の比) (=10 / 4)

$k'$  : 有効軸剛性の比率 (キャスク輸送車両の有効軸剛性は石材・コンクリート殻に対して小さいと想定されることから、保守的に石材・コンクリート殻と同じものとする。) (=1.0)

$m'$  : 衝突物質量の比率 (基準とする石材・コンクリート殻の質量 2270kg に対する漂流物質量 44000kg の比) (=44000 / 2270)

### 3.2.2 荷重の組合せ

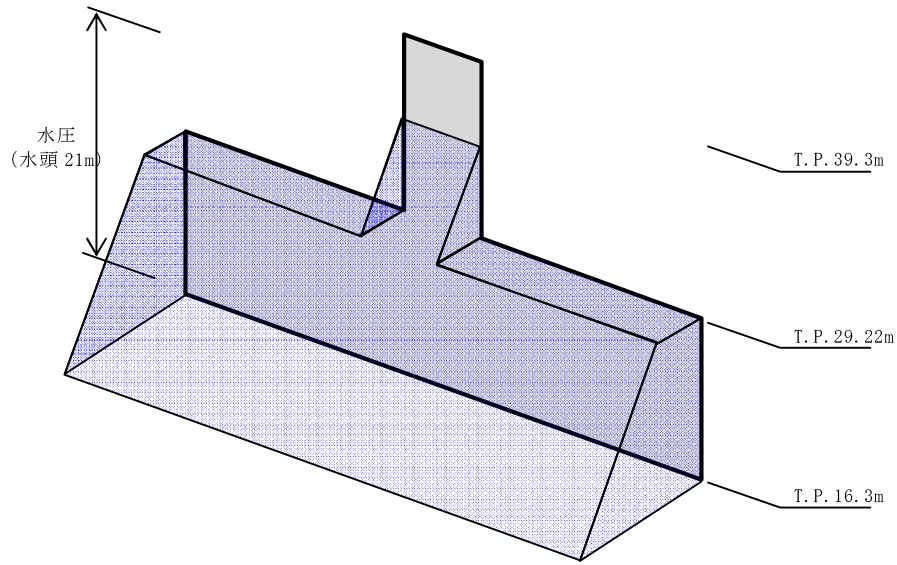
強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「添付 6-1-4 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針」の「2.3.3(3) 荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

荷重の組合せを表 3.2-2 に、それぞれの荷重の概要を図 3.2-2 に示す。

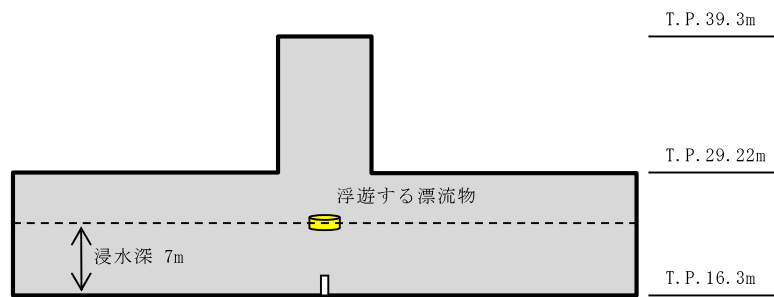
表 3.2-2 荷重の組合せ

評価部位	評価内容	荷重ケース	荷重の組合せ
建屋全体	応力評価	ケース 1	津波波圧
		ケース 2	津波波圧＋漂流物の衝突荷重 (浮遊する漂流物)
		ケース 3	津波波圧＋漂流物の衝突荷重 (滑動する漂流物)
耐震壁	変形評価	ケース 1	津波波圧
		ケース 2	津波波圧＋漂流物の衝突荷重 (浮遊する漂流物)
		ケース 3	津波波圧＋漂流物の衝突荷重 (滑動する漂流物)
遮蔽扉*	応力評価	ケース 1	津波波圧
		ケース 2	津波波圧＋漂流物の衝突荷重 (滑動する漂流物)

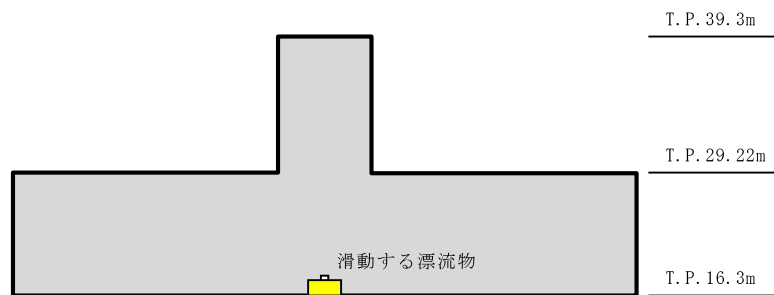
注記\*：遮蔽扉設置レベルに浮遊する漂流物は衝突しないことから、浮遊する漂流物による衝突荷重の組合せは考慮しない。



(a) 津波波力による荷重



(b) 浮遊する漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体)



(c) 滑動する漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両)

図 3.2-2 強度評価に用いる荷重について



### 3.3 許容限界

貯蔵建屋の許容限界は、「添付 6-1-4 仮想的大規模津波の影響を考慮する施設の評価方針」の「2.3.3(2) 検討方法及び判定基準」にて設定している許容限界を踏まえて、評価対象部位ごとに、評価内容に応じて表 3.3-1 のとおり設定する。

また、コンクリートの短期許容応力度を表 3.3-2 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 3.3-3 に、鋼材の短期許容応力度を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-1 許容限界

評価部位	評価内容	許容限界
建屋全体	応力評価	保有水平耐力
耐震壁	変形評価	・ひずみ*1 コンクリート $3.0 \times 10^{-3}$ (圧縮) 鉄筋 $5.0 \times 10^{-3}$ ・面外せん断力*2 短期許容せん断力
遮蔽扉	応力評価	短期許容応力度

注記\*1：CCV 規格に基づく。

\*2：RC-N 規準に基づく。

表 3.3-2 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部位	圧縮	せん断
上部構造 ( $F_c = \square$ )	$\square$	$\square$

表 3.3-3 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

部位	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮及び引張ひずみ)
耐震壁	0.003	0.005

表 3.3-4 鋼材の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

部位	曲げ	せん断
遮蔽扉 (SS400)	235	135

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

#### 4. 評価条件及び評価結果

##### 4.1 建屋全体の評価

###### (1) 評価条件

貯蔵建屋全体の評価は、津波による波圧（水深係数3による波圧）及び津波漂流物による衝突荷重による貯蔵建屋の層せん断力が保有水平耐力以内であることを確認する。

###### (2) 評価結果

津波の波圧及び津波漂流物による衝突荷重による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較を表4.1-1～表4.1-3及び図4.1-1～図4.1-3に示す。また、荷重－変形関係における津波の波圧及び津波漂流物による衝突荷重による層せん断力と設計用地震力を図4.1-4～図4.1-6に示す。

津波波力に対し、貯蔵建屋の最大層せん断力(NS方向,EW方向ともに1層 T.P.16.3m～29.22mに生じる層せん断力)が、許容値を超えないこと、また、貯蔵建屋の荷重－変形関係において弾性範囲であり、十分な裕度を持つことを確認した。

表 4.1-1 津波による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較  
 (荷重ケース 1 : 津波波力) (1 層 T.P. 16. 3m~29. 22m)

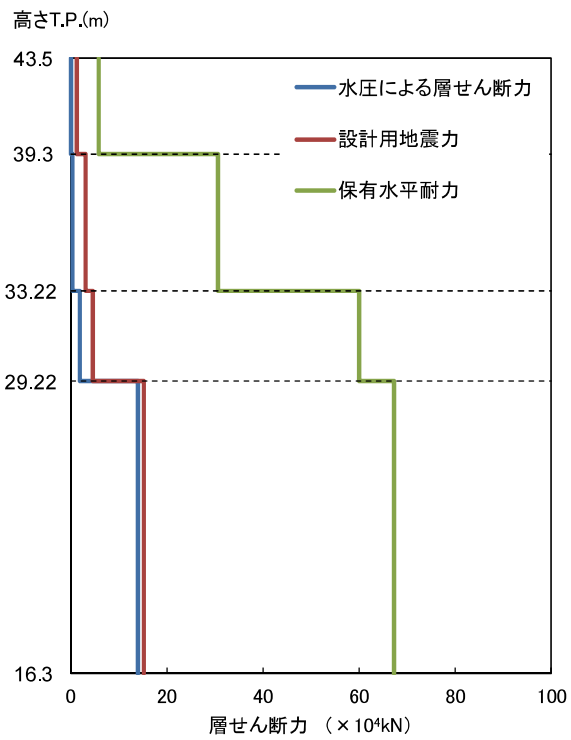
	津波による 層せん断力 ( $\times 10^4$ kN)	設計用地震力 (1.5Ci) ( $\times 10^4$ kN)	保有水平耐力 ( $\times 10^4$ kN)
NS 方向	14.0	15.09	67.25
EW 方向	29.83	15.09	92.32

表 4.1-2 津波による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較  
 (荷重ケース 2 : 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))  
 (1 層 T.P. 16. 3m~29. 22m)

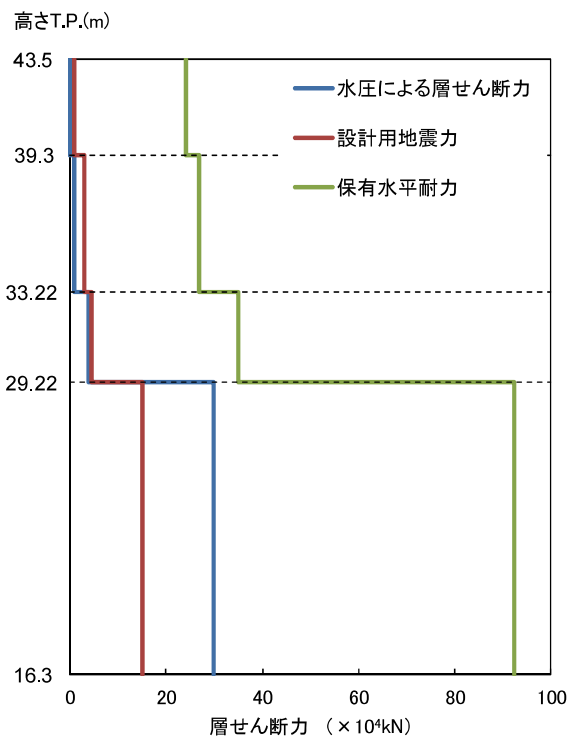
	津波による 層せん断力 ( $\times 10^4$ kN)	設計用地震力 (1.5Ci) ( $\times 10^4$ kN)	保有水平耐力 ( $\times 10^4$ kN)
NS 方向	14.16	15.09	67.25
EW 方向	29.99	15.09	92.32

表 4.1-3 津波による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較  
 (荷重ケース 3 : 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))  
 (1 層 T.P. 16. 3m~29. 22m)

	津波による 層せん断力 ( $\times 10^4$ kN)	設計用地震力 (1.5Ci) ( $\times 10^4$ kN)	保有水平耐力 ( $\times 10^4$ kN)
NS 方向	14.05	15.09	67.25
EW 方向	29.88	15.09	92.32

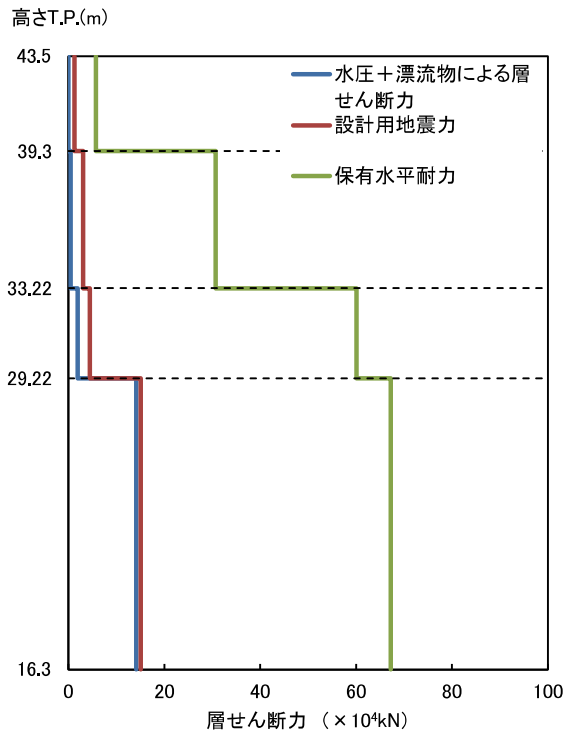


(a) NS 方向

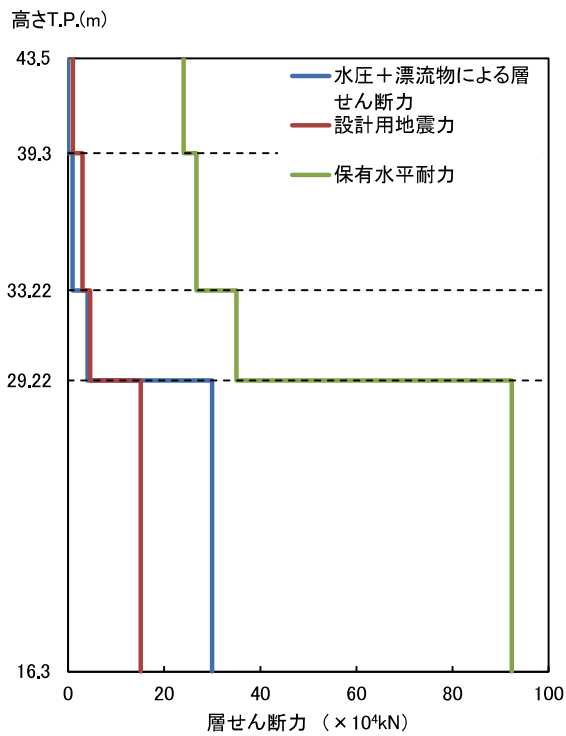


(b) EW 方向

図 4.1-1 津波の水圧による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較  
(荷重ケース 1：津波波力)

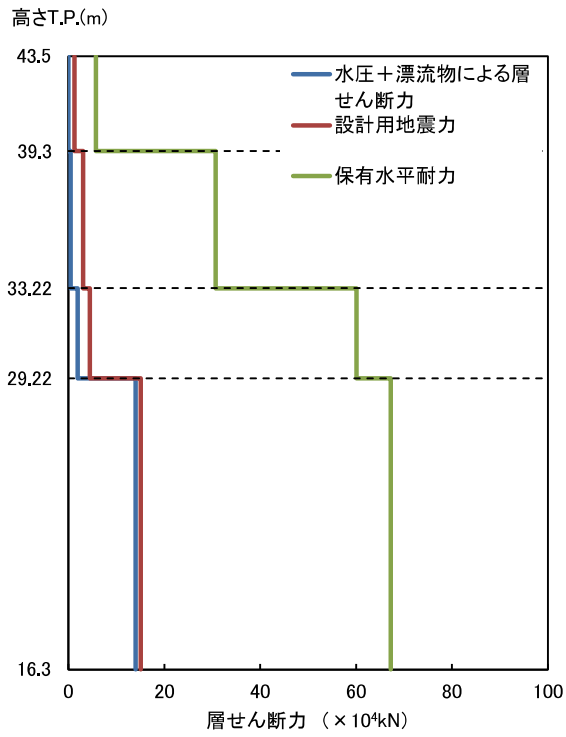


(a) NS 方向

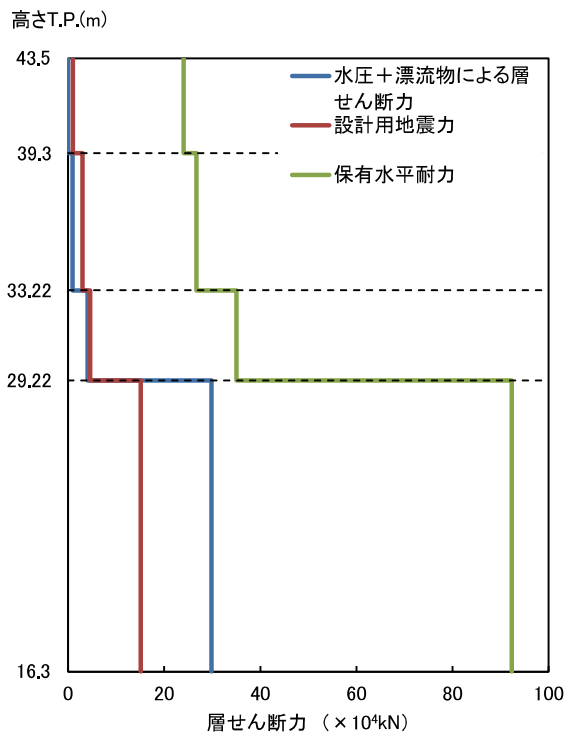


(b) EW 方向

図 4.1-2 津波の水圧による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較  
(荷重ケース 2: 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))

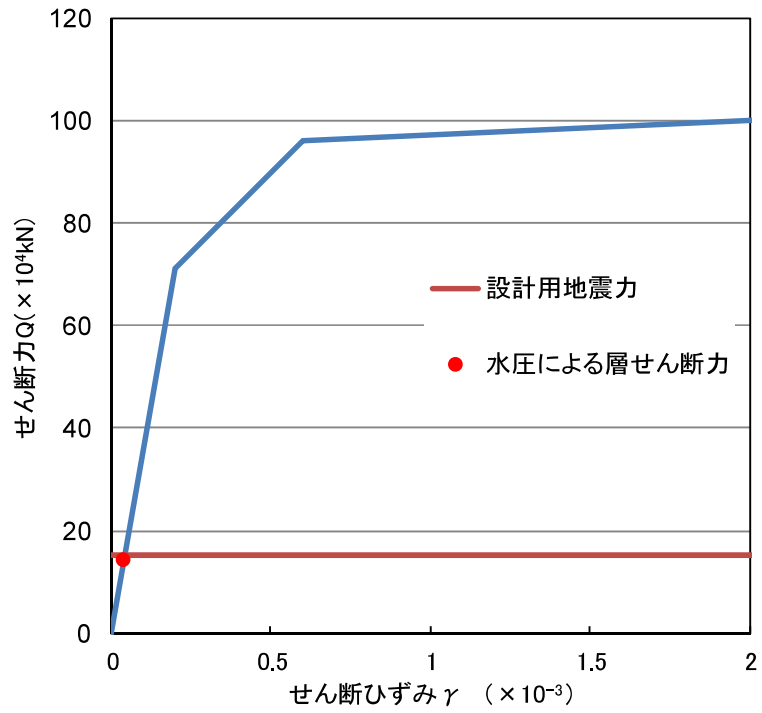


(a) NS 方向

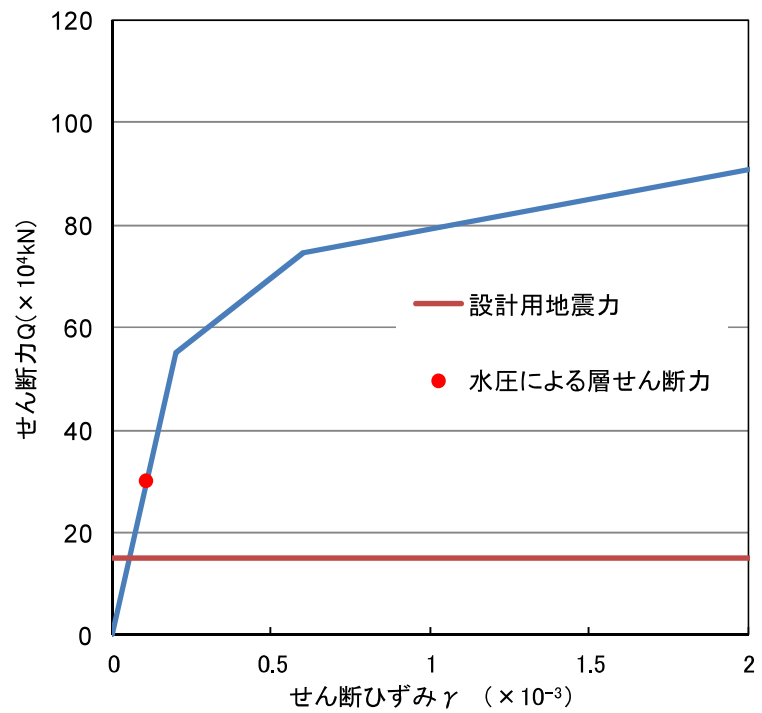


(b) EW 方向

図 4.1-3 津波の水圧による層せん断力と設計用地震力及び保有水平耐力との比較  
(荷重ケース 3 : 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))



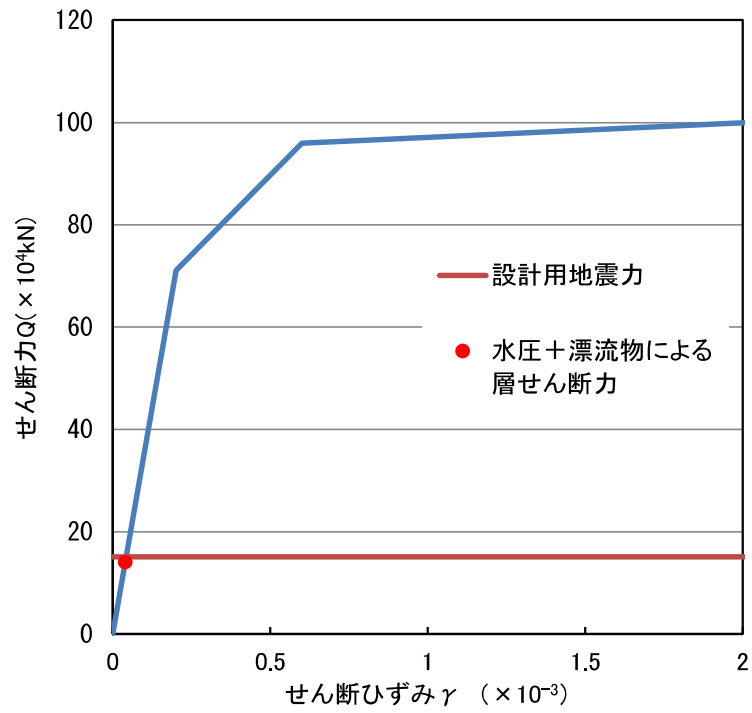
(a) NS 方向



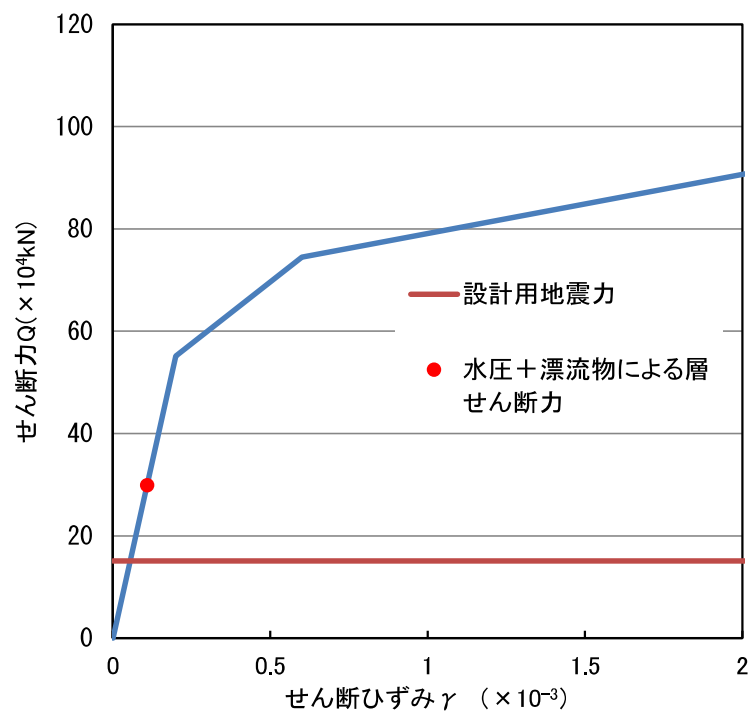
(b) EW 方向

図 4.1-4 荷重－変形関係における津波の水圧による層せん断力と設計用地震力  
(1層 T.P. 16.3m～29.22m) (荷重ケース 1：津波波力)



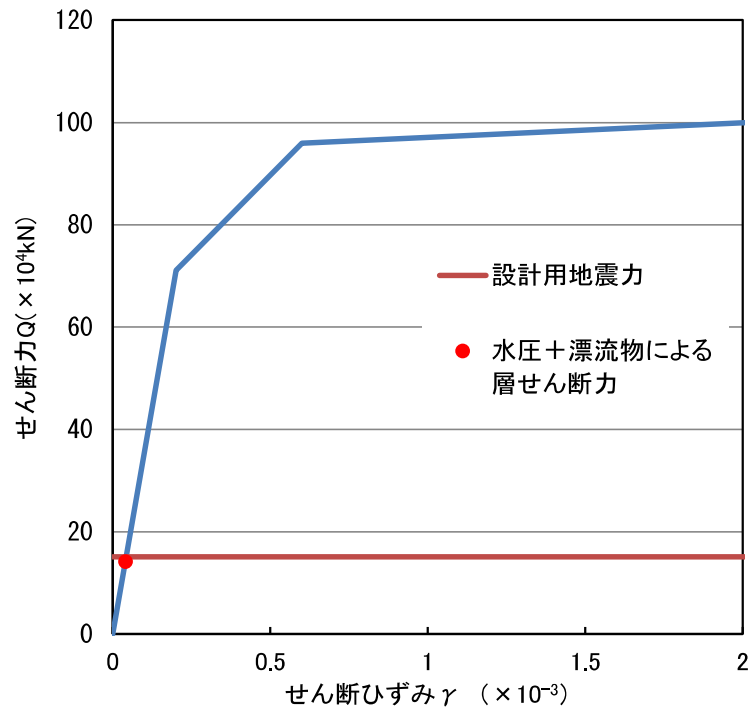


(a) NS 方向

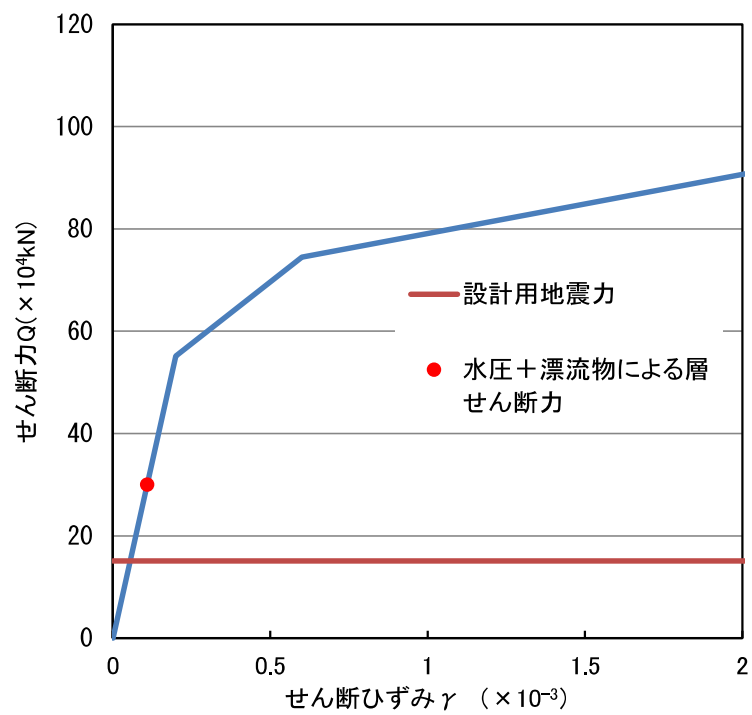


(b) EW 方向

図 4.1-5 荷重－変形関係における津波の水圧による層せん断力と設計用地震力  
(1層 T.P. 16.3m～29.22m) (荷重ケース 2: 津波波力+漂流物による衝突荷重(キャスク緩衝体))



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4.1-6 荷重-変形関係における津波の水圧による層せん断力と設計用地震力  
 (1層 T.P. 16.3m~29.22m) (荷重ケース 3: 津波波力+漂流物による衝突荷重(キャスク輸送車両))

## 4.2 外壁の評価

### (1) 解析モデル及び諸元

#### a. 解析モデル

応力解析は、2次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。解析には、解析モード「ABAQUS」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

応力解析における評価対象部位は、14通りの耐震壁とする。解析モデルを図 4.2-1 に示す。

解析モデルに使用する FEM 要素は、積層シェル要素とする。使用する要素は四辺形で、この要素は鉄筋層をモデル化した異方性材料による積層シェル要素である。

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。解析モデルの節点数は 3550、要素数は 3385 である。

境界条件は、基礎を固定とし、直交する耐震壁及び屋根スラブに該当するモデル周辺部も固定とする。

使用材料の物性値は下記のとおりとする。

- ・コンクリート強度  $F_c = \square \text{ N/mm}^2$
- ・コンクリートのヤング係数  $E_c = 2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
- ・コンクリートのポアソン比  $\nu_c = 0.2$
- ・鉄筋強度 ( $\square$ )  $\sigma_y = \square \text{ N/mm}^2$
- ・鉄筋のヤング係数  $E_s = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
- ・鉄筋のポアソン比  $\nu_s = 0.3$

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

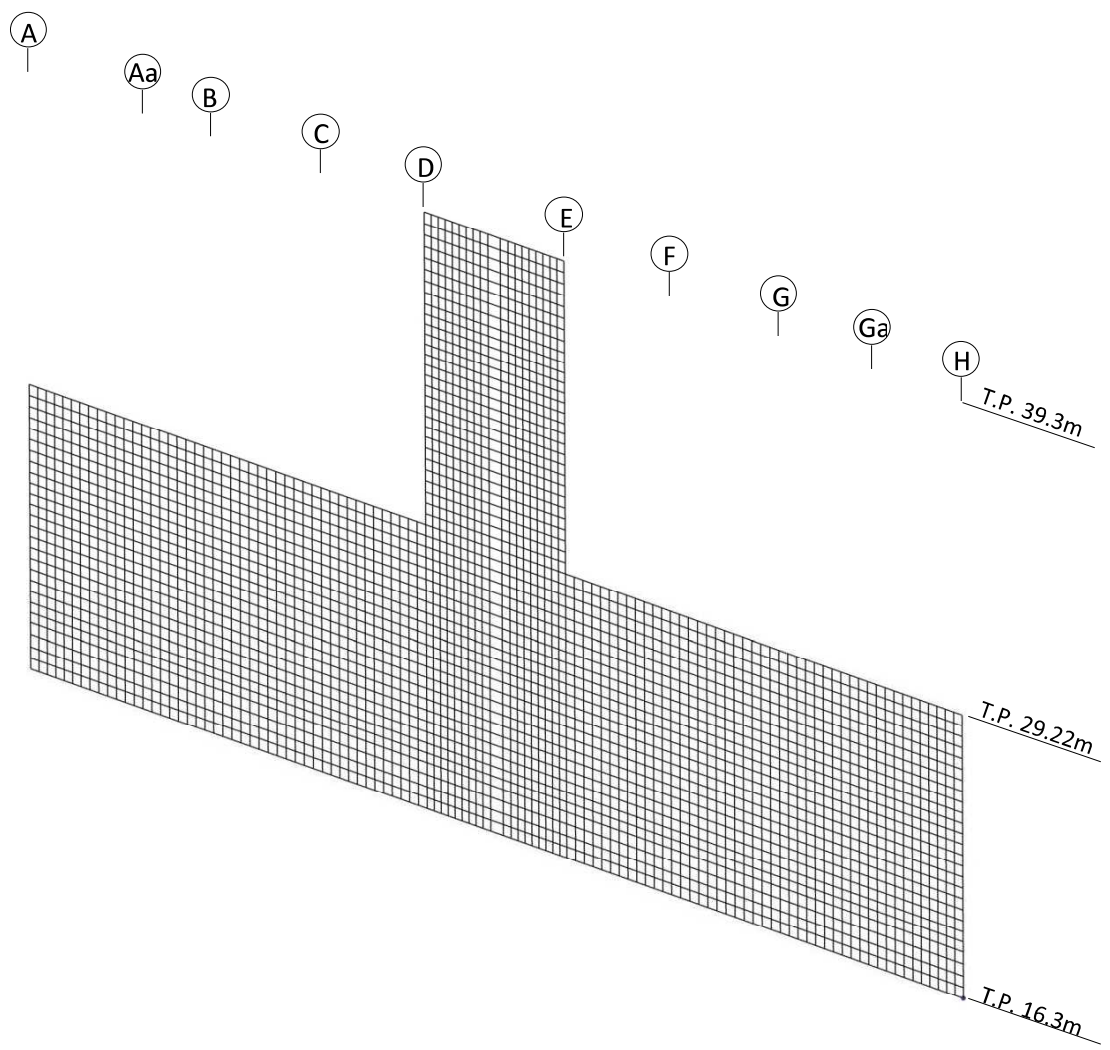


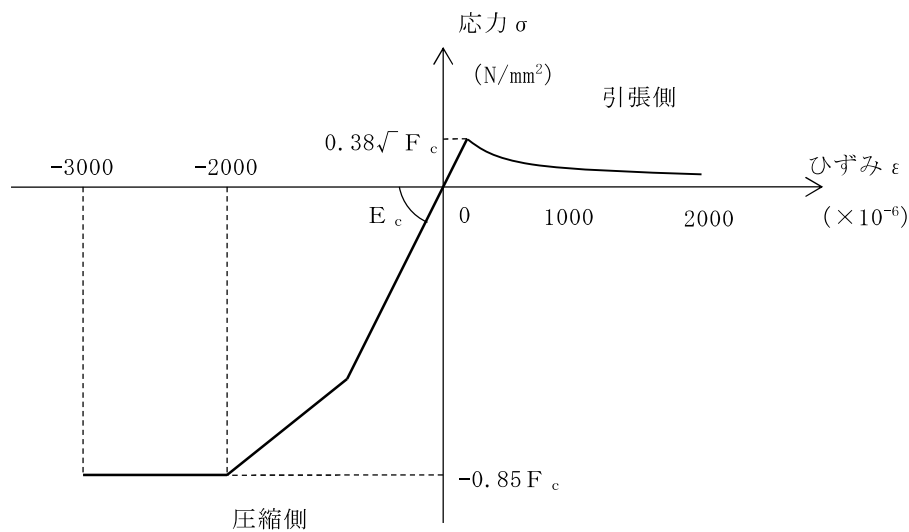
図 4.2-1 解析モデル図 (14 通り)

b. 材料構成則

コンクリートの応力-ひずみ関係を図 4.2-2 に、材料構成則の設定を表 4.2-1 に示す。また、鉄筋の応力-ひずみ関係を図 4.2-3 に、材料構成則の設定を表 4.2-2 に示す。

表 4.2-1 コンクリートの材料構成則の設定

項目	設定
圧縮強度	$-0.85 F_c$ (CCV 規格)
終局圧縮ひずみ	$-3000 \times 10^{-6}$ (CCV 規格)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (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	$\sigma_t = 0.38\sqrt{F_c}$ (RC 規準)



注： $F_c$ はコンクリートの設計基準強度

応力は引張方向の符号を正とする。

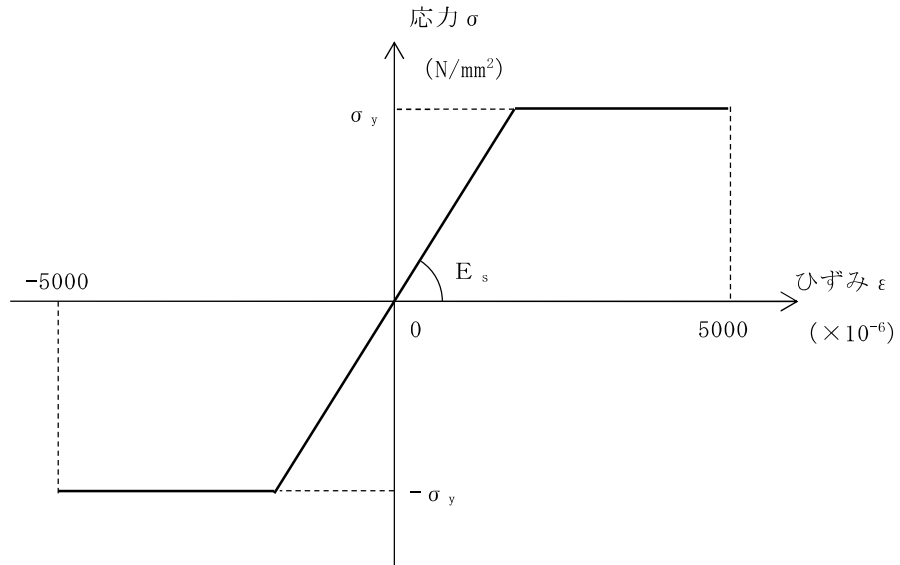
図 4.2-2 コンクリートの応力-ひずみ関係

引用文献

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993
- (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

表 4.2-2 鉄筋の材料構成則の設定

項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型
鉄筋の終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (CCV 規格)



注： $\sigma_y$  は鉄筋の降伏強度

応力は引張方向の符号を正とする。

図 4.2-3 鉄筋の応力-ひずみ関係

(2) 評価結果

弾塑性 FEM 解析によるコンクリートの最小ひずみ分布，鉄筋の最大ひずみ分布及び面外せん断力分布を図 4.2-4～図 4.2-15 に示す。

断面の評価結果を記載する要素は，曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において，発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。評価結果を表 4.2-3～表 4.2-5 に示す。

津波波力及び漂流物による衝突荷重に対し，軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が，各許容値を超えないことを確認した。

表 4.2-3 評価結果  
(荷重ケース 1：津波波力)

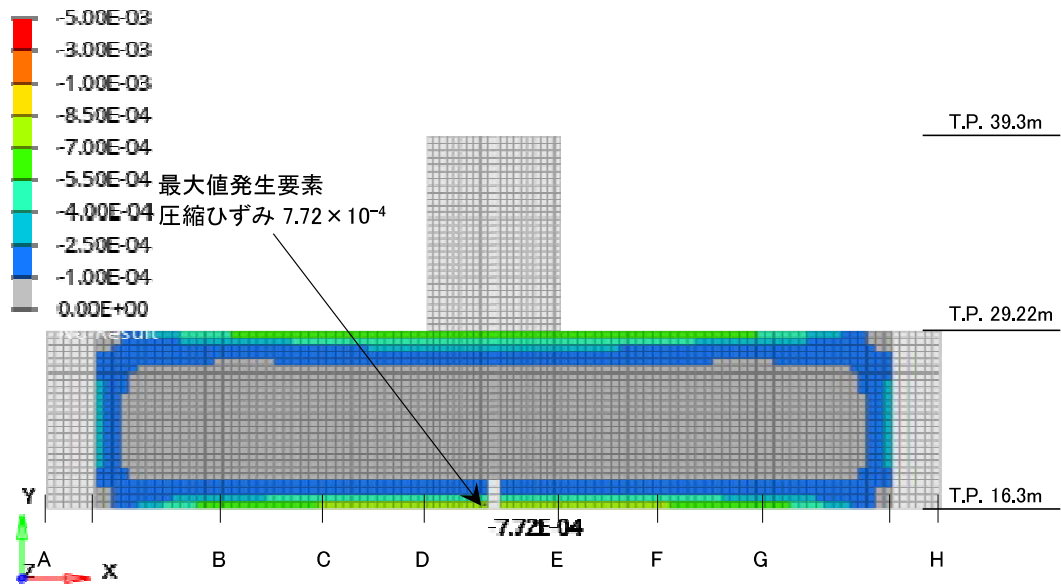
評価項目	発生値	許容値
コンクリート圧縮ひずみ	$7.72 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
鉄筋引張ひずみ	$1.37 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$
面外せん断力 Q (kN/m)	1308	1463

表 4.2-4 評価結果  
(荷重ケース 2：津波波力＋漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))

評価項目	発生値	許容値
コンクリート圧縮ひずみ	$8.57 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
鉄筋引張ひずみ	$1.49 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$
面外せん断力 Q (kN/m)	1402	1434

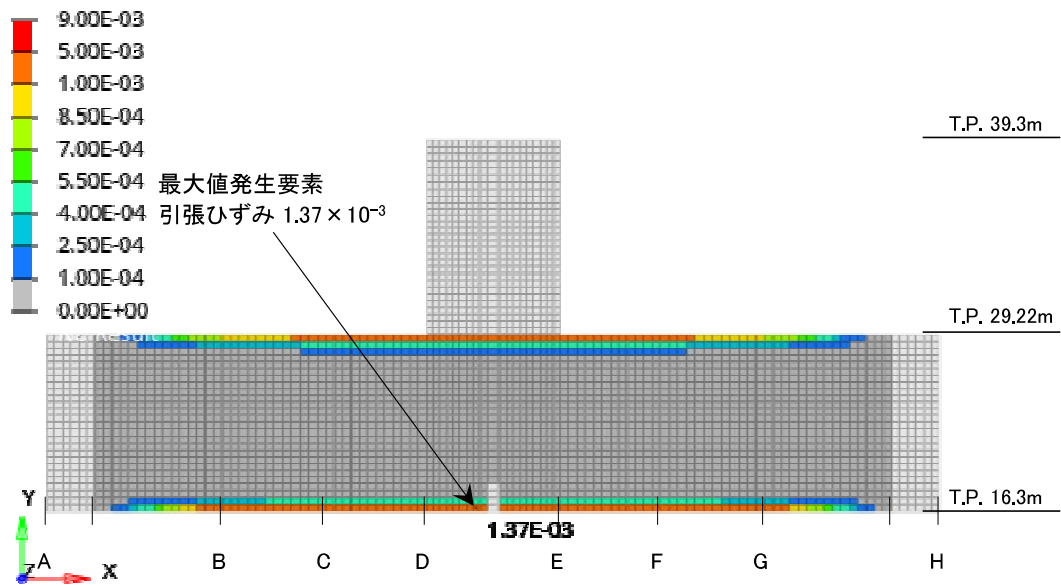
表 4.2-5 評価結果  
(荷重ケース 3：津波波力＋漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))

評価項目	発生値	許容値
コンクリート圧縮ひずみ	$7.90 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-3}$
鉄筋引張ひずみ	$1.41 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$
面外せん断力 Q (kN/m)	1441	1520



注：負の値は圧縮側の値を示す。

図 4.2-4 コンクリートの圧縮ひずみ分布（荷重ケース 1：津波波力）



注：正の値は引張側の値を示す。

図 4.2-5 鉄筋の引張ひずみ分布（荷重ケース 1：津波波力）



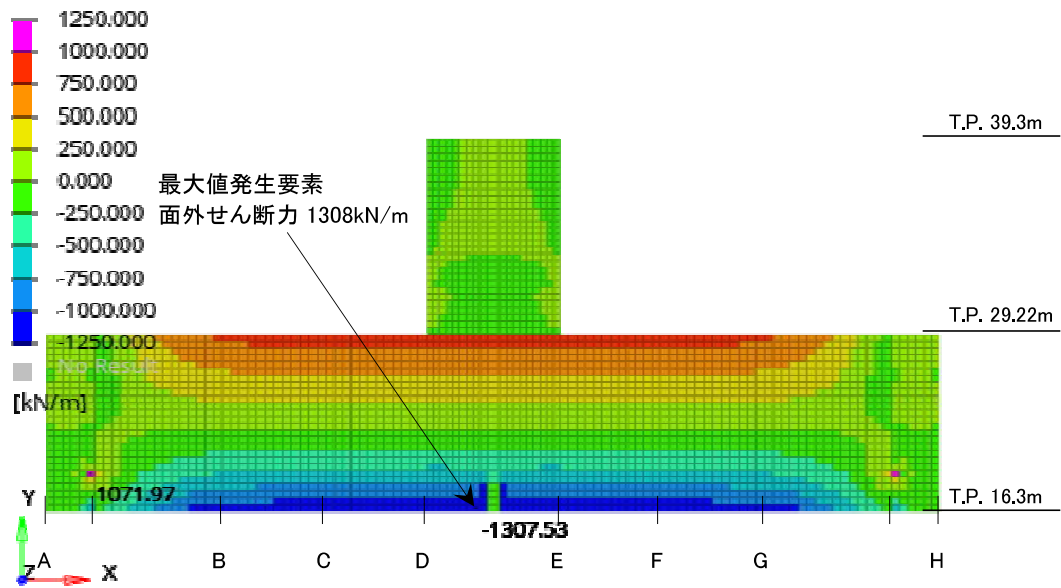


図 4.2-6 面外せん断力分布 (荷重ケース 1 : 津波波力)

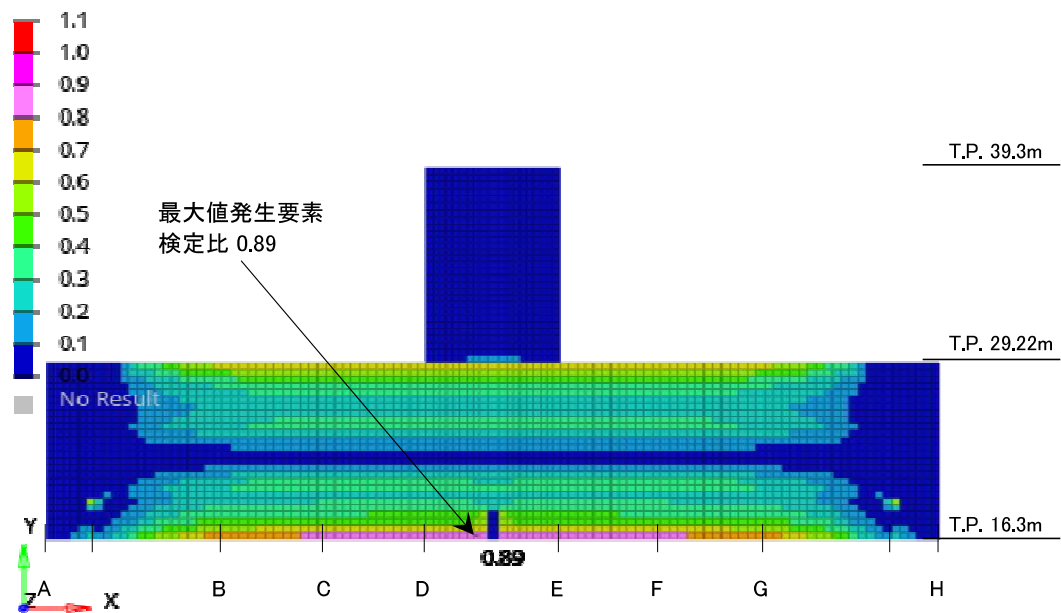
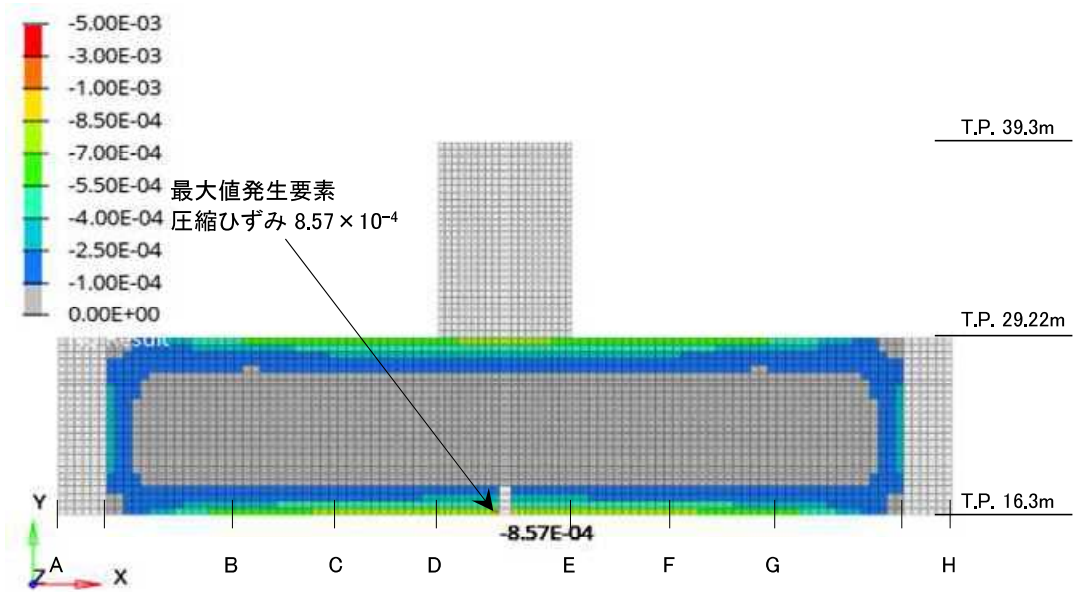


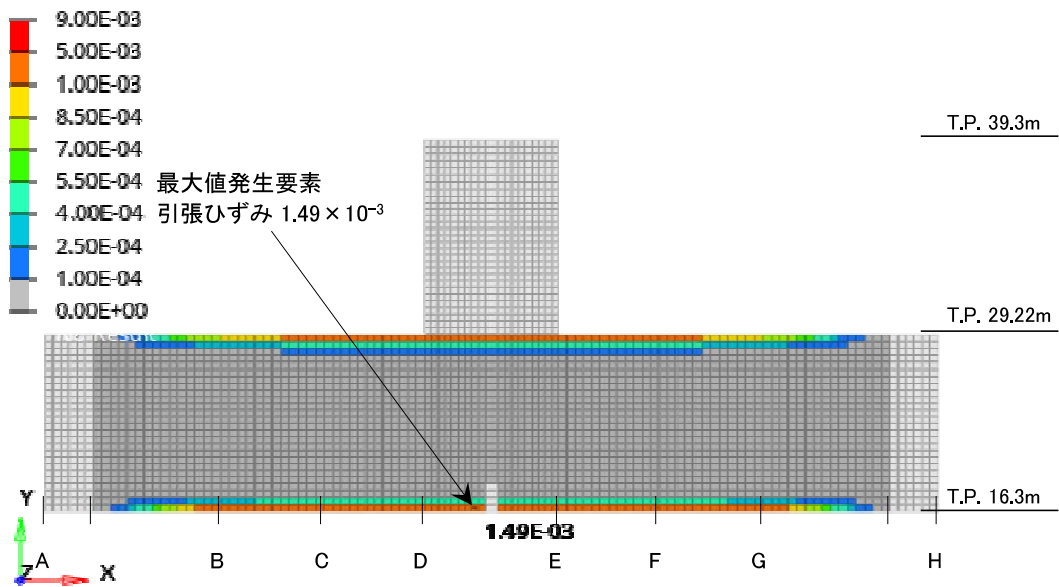
図 4.2-7 面外せん断力に対する検定比の分布 (荷重ケース 1 : 津波波力)



注：負の値は圧縮側の値を示す。

図 4.2-8 コンクリートの圧縮ひずみ分布

(荷重ケース 2：津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))



注：正の値は引張側の値を示す。

図 4.2-9 鉄筋の引張ひずみ分布

(荷重ケース 2：津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))

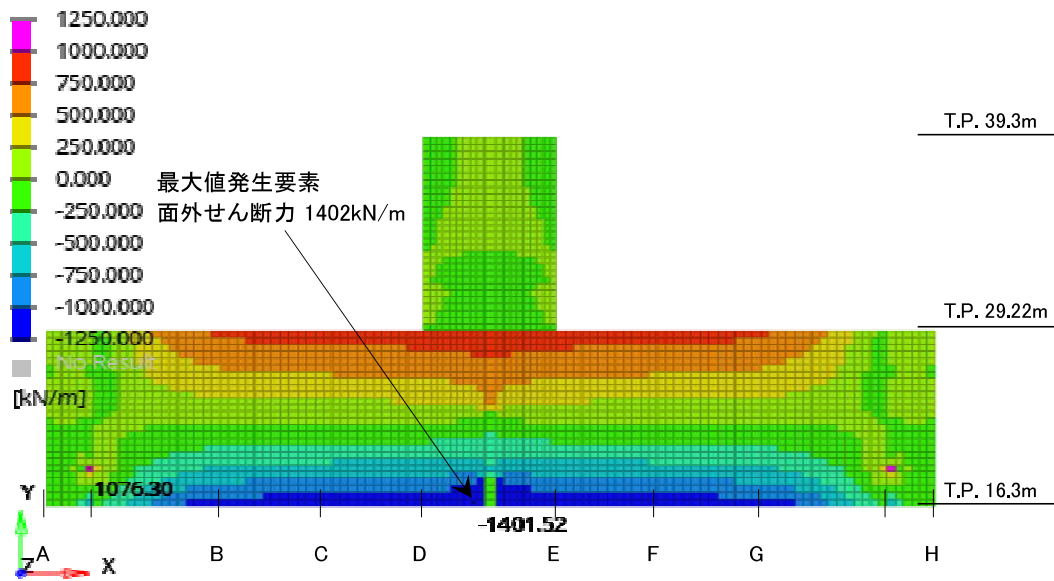


図 4.2-10 面外せん断力分布

(荷重ケース 2：津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))

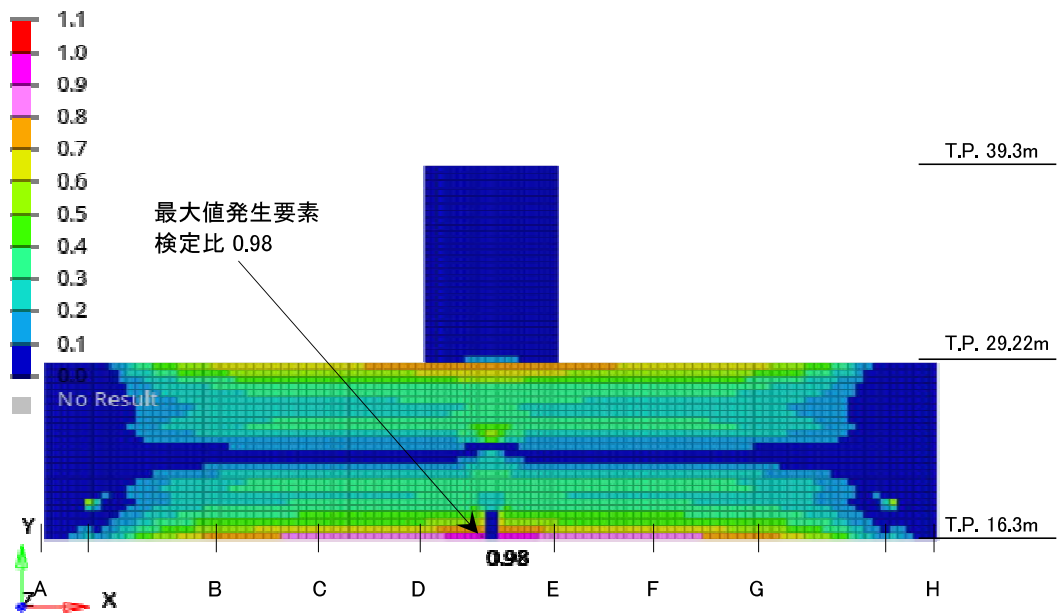
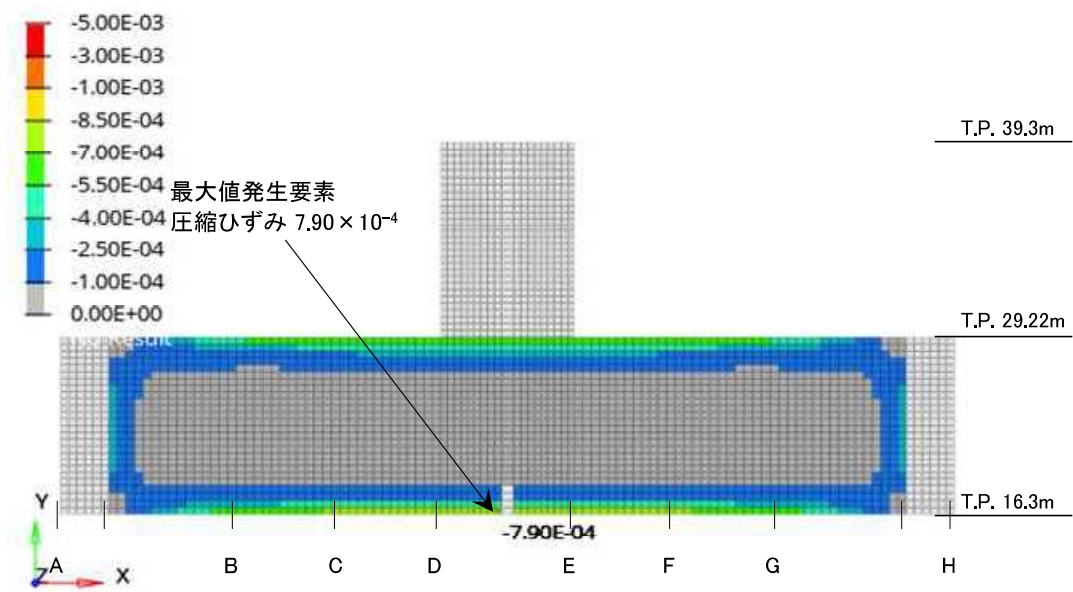


図 4.2-11 面外せん断力に対する検定比の分布

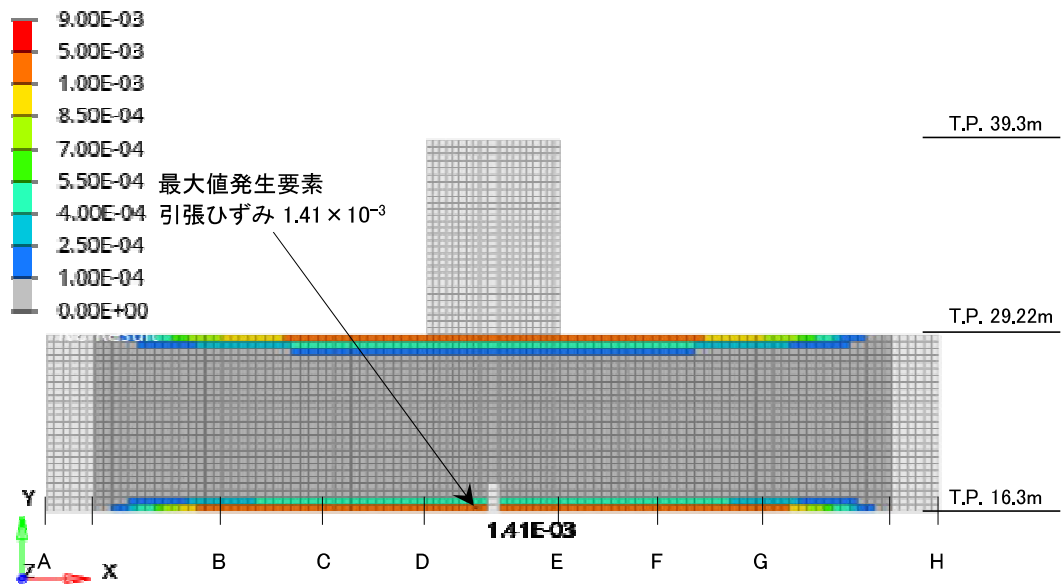
(荷重ケース 2：津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク緩衝体))



注：負の値は圧縮側の値を示す。

図 4.2-12 コンクリートの圧縮ひずみ分布

(荷重ケース 3：津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))



注：正の値は引張側の値を示す。

図 4.2-13 鉄筋の引張ひずみ分布

(荷重ケース 3：津波波力+漂流物による衝突荷重 (トレーラトラック (キャスク輸送車両)))

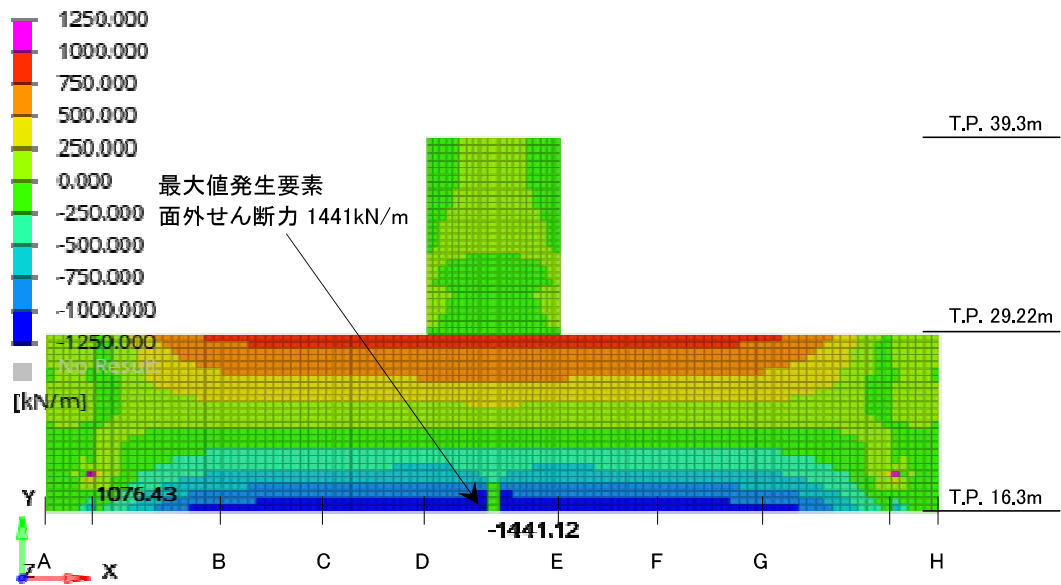


図 4.2-14 面外せん断力分布

(荷重ケース 3 : 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))

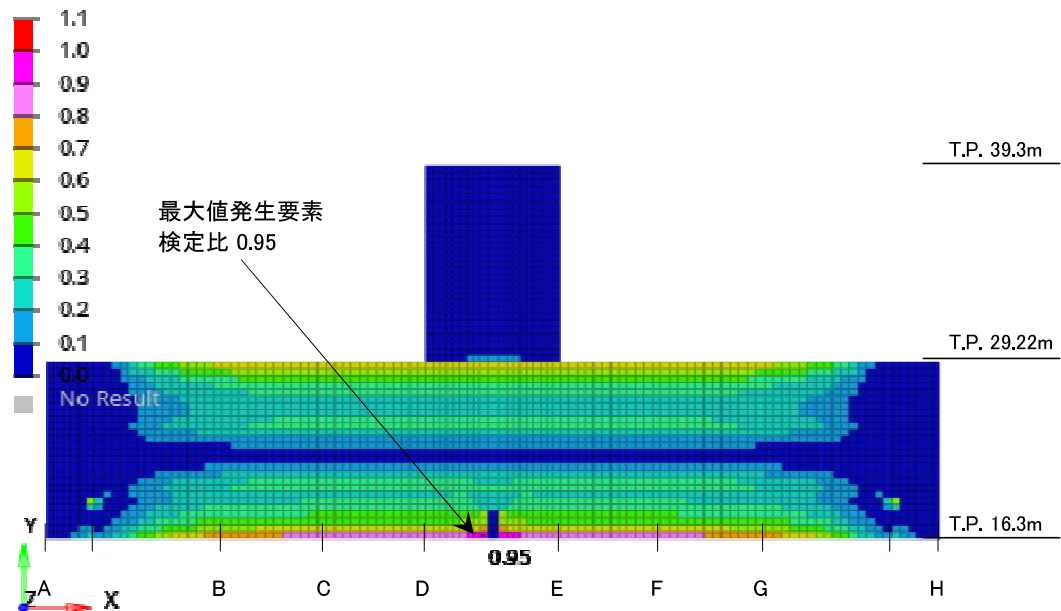


図 4.2-15 面外せん断力に対する検定比の分布

(荷重ケース 3 : 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送車両))

### 4.3 遮蔽扉の評価

#### (1) 評価条件

遮蔽扉の評価は、津波による波圧（水深係数3による波圧）及び津波漂流物による衝突荷重に対して、貯蔵区域外壁南側に設置している遮蔽扉（人員用扉）に発生する応力が短期許容応力度以内であることを確認する。

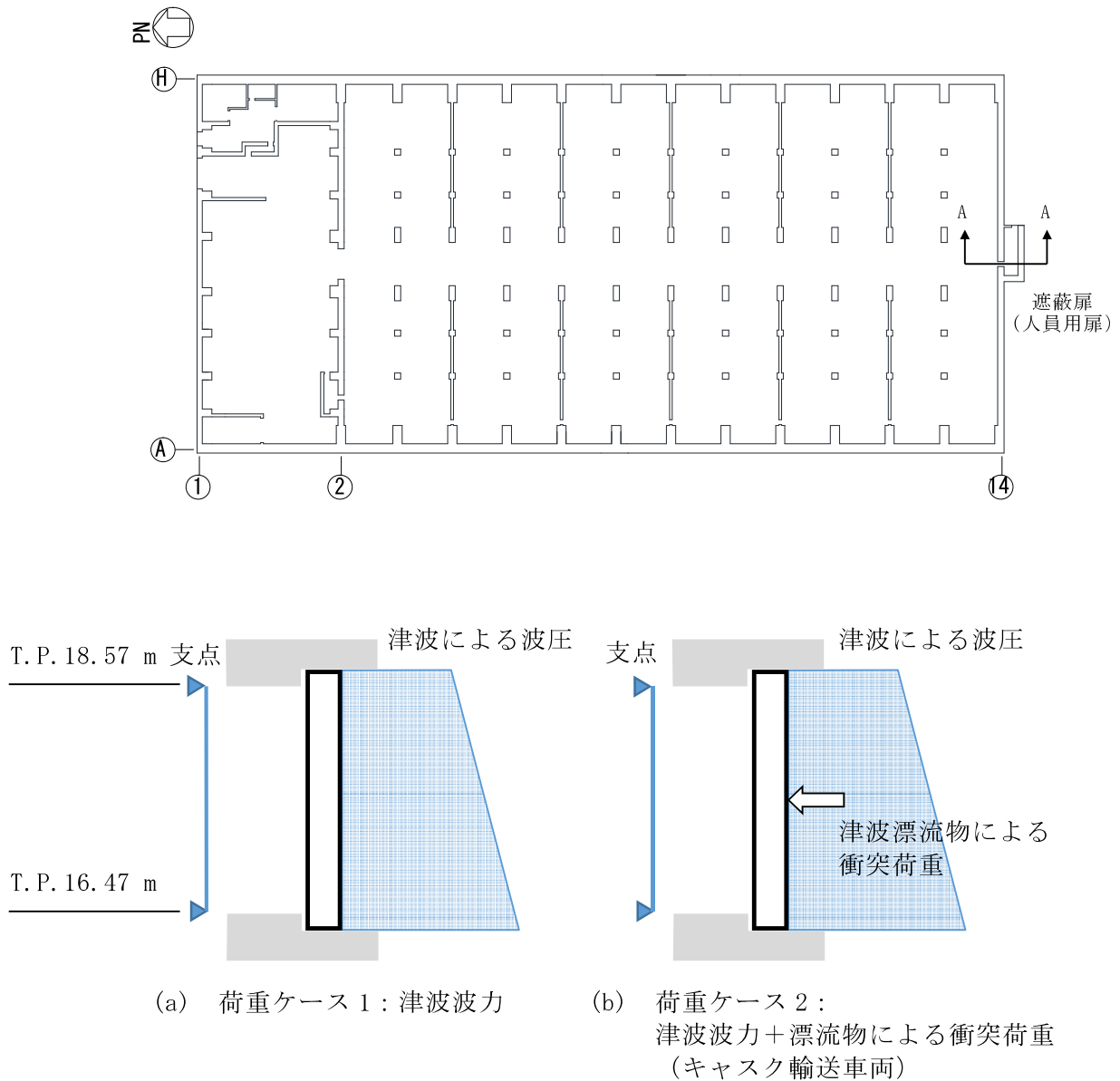


図 4.3-1 遮蔽扉が受ける津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重について

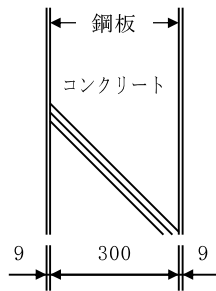


図 4.3-2 遮蔽扉の概要 (単位 : mm)

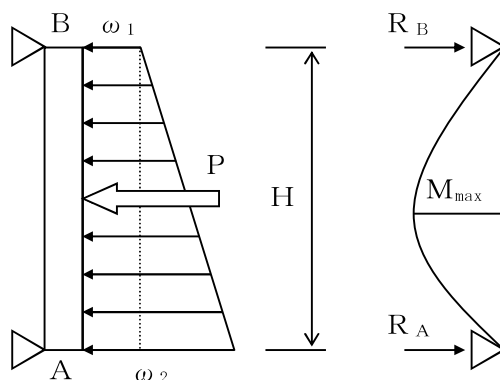
表 4.3-1 遮蔽扉の概要

	扉開口寸法 (m)		鋼板
	幅	高さ	
貯蔵区域南側	0.8	2.1	P L - 9 (SS400)

注：遮蔽扉の構造は外側に鋼板（P L - 9），その内側にアングルの鋼材があり，内部にコンクリートが充填されているが，コンクリートは座屈防止の充填剤と考え，表裏の鋼板 2 枚により強度評価を行う。

a. 遮蔽扉に発生する応力の算定方法

津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重に対して遮蔽扉に発生する応力は、  
 図 4.3-3 に示す考え方に従い、(5)式～(7)式によって算定する。



注記：単位幅（幅 1.0m）として検討を行う。

図 4.3-3 津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重に対する  
 遮蔽扉の応力算定の考え方

$$R_A = \frac{\omega_1 \cdot H}{2} + \frac{(\omega_2 - \omega_1) \cdot H}{3} + \frac{P}{2} \quad (5)$$

$$R_B = \frac{\omega_1 \cdot H}{2} + \frac{(\omega_2 - \omega_1) \cdot H}{6} + \frac{P}{2} \quad (6)$$

$$M_{\max} = \frac{\omega_1 \cdot H^2}{8} + 0.064 \cdot (\omega_2 - \omega_1) \cdot H^2 + \frac{P \cdot H}{4} \quad (7)$$

ここで、

$\omega_1$  : 遮蔽扉の上部支点における波圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\omega_2$  : 遮蔽扉の下部支点における波圧 (kN/m<sup>2</sup>)

P : 津波漂流物による衝突荷重 (kN)

H : 遮蔽扉の支点間距離（開口高さ）(m)

$R_A$  : 下部支点反力 (kN)

$R_B$  : 上部支点反力 (kN)

$M_{\max}$  : 最大曲げモーメント (kN・m)



b. 遮蔽扉に発生する最大曲げモーメントに対する評価方法

遮蔽扉に発生する最大曲げモーメントに対する評価方法を以下に示す。

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{Z} \leq f_b \quad (8)$$

ここで、

$\sigma_b$  : 遮蔽扉に発生する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z$  : 遮蔽扉鋼板の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_b$  : 遮蔽扉鋼板の短期許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (=235 N/mm<sup>2</sup>)

c. 遮蔽扉に発生する最大せん断力に対する評価方法

遮蔽扉に発生する最大せん断力に対する評価方法を以下に示す。

$$Q_{\max} = \max(R_A, R_B) \leq Q_a \quad (9)$$

ここで、

$Q_a$  : 遮蔽扉鋼板の短期許容せん断力 (kN)

$$Q_a = 1000 \cdot t \cdot f_s \times 10^{-3}$$

$t$  : 遮蔽扉鋼板の板厚 (mm)

$f_s$  : 遮蔽扉鋼板の短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (=135 N/mm<sup>2</sup>)

d. コンクリート枠に発生する最大圧縮力に対する評価方法

コンクリート枠に発生する最大圧縮力に対する評価方法を以下に示す。なお、遮蔽扉下部において接触面積が小さく、かつ発生応力が最大となることから、遮蔽扉下部において検討を行う。

$$\sigma_c = \frac{R_A}{S} \leq f_c \quad (10)$$

ここで、

$\sigma_c$  : コンクリート枠に発生する最大圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$S$  : 遮蔽扉下部とコンクリート枠の接触面積 (mm<sup>2</sup>)

$f_c$  : 躯体コンクリートの短期許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (=   N/mm<sup>2</sup>)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(2) 評価結果

貯蔵区域南側に設置している遮蔽扉の津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重に対する評価結果を表 4.3-2 及び表 4.3-3 に示す。

津波による波圧及び津波漂流物による衝突荷重に対し、遮蔽扉に発生する最大曲げ応力度及び最大せん断力が、許容値を超えないこと、また、コンクリート枠に発生する最大圧縮応力度が許容値を超えないことを確認した。

表 4.3-2 評価結果  
(荷重ケース 1 : 津波波力)

評価項目	発生値	許容値
遮蔽扉に発生する曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	42.0	235
遮蔽扉に発生するせん断力 (kN)	219.6	1215
コンクリート枠に発生する圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1.83	<input type="text"/>

表 4.3-3 評価結果  
(荷重ケース 2 : 津波波力+漂流物による衝突荷重 (キャスク輸送用車両))

評価項目	発生値	許容値
遮蔽扉に発生する曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	70.6	235
遮蔽扉に発生するせん断力 (kN)	293.1	1215
コンクリート枠に発生する圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2.44	<input type="text"/>

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

添付 6-1-6 仮想的大規模津波に対する受入設備の評価方針

## 目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 評価方針	3
4. 仮置架台，たて起こし架台の固定状態の維持評価	4
4.1 計算条件	4
4.1.1 計算条件	4
4.1.2 記号の説明	6
4.1.3 数値の丸め方	8
4.2 計算方法	9
4.2.1 波力の計算方法	9
4.2.2 応力の計算方法	9
4.3 評価方法	13
4.4 設計条件及び機器要目	14
4.4.1 仮置架台	14
4.4.2 たて起こし架台	15
5. 検査架台の固定状態の維持評価	16
5.1 計算条件	16
5.1.1 計算条件	16
5.1.2 記号の説明	18
5.1.3 数値の丸め方	18
5.2 計算方法	19
5.2.1 波力の計算方法	19
5.2.2 応力の計算方法	19
5.3 評価方法	20
5.4 設計条件及び機器要目	21

## 図表目次

第4-1 図	仮置架台における評価部材	5
第4-2 図	たて起こし架台における評価部材	5
第4-3 図	仮置架台モデル図	10
第4-4 図	たて起こし架台モデル図	10
第4-5 図	仮置架台脚部モデル図	11
第4-6 図	たて起こし架台脚部モデル図	12
第5-1 図	検査架台における評価部材	17
第5-2 図	検査架台モデル図	19
第4-1 表	記号の説明（架台）	6
第4-2 表	表示する数値の丸め方	8
第5-1 表	記号の説明（検査架台）	18

## 1. 概要

本資料は、受入設備のうち仮置架台、たて起こし架台及び検査架台について仮想的大規模津波（以下「津波」という。）により漂流しない設計とし固定されていることを確認するための評価方針を説明するものである。

## 2. 適用基準

以下の規格・基準に準用する。

- ・港湾の津波避難施設の設計ガイドライン（平成 25 年 10 月 国土交通省港湾局）
- ・原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC 4601-2008）
- ・原子力用原子力設備規格 設計・建設規格（日本機械学会 JSME S NC1-2005）（2007 年追補版含む）

### 3. 評価方針

受入設備のうち仮置架台，たて起こし架台及び検査架台においては，津波により漂流しない設計とする。漂流しない設計とは，津波による水流が作用しても仮置架台，たて起こし架台及び検査架台の基礎への固定状態が維持されることを評価する。



#### 4. 仮置架台、たて起こし架台の固定状態の維持評価

##### 4.1 計算条件

###### 4.1.1 計算条件

計算条件を以下に示す。

###### (1) 津波条件

###### a. 水深

津波の高さは T.P. +23mの津波であり、貯蔵建屋の設置位置で一様に 7 mの浸水深となる。そのため仮置架台及びたて起こし架台（以下「架台」という。）は水没している条件とする。

###### b. 津波の流速

津波の流速は「添付 6-1-2 仮想的大規模津波の設定」の「第 2-3 図 仮想的大規模津波と等価なモデルにおける貯蔵建屋周りの水位及び流速の分布」のうち貯蔵建屋周りの最大流速の 10 m/s とする。

###### (2) 波力を受ける部材

架台及び金属キャスクが受ける波力により評価を行う。

###### (3) 波力を受ける方向

受圧面積が大きい長手方向から津波が到来する条件で評価を行う。

###### (4) 津波による水平力の与え方

架台及び金属キャスクが受ける波力は、金属キャスクと架台の取り付け点に集中荷重で与える。

###### (5) 波力の受圧面積の算出

津波方向から見た投影面積を波力の受圧面積とする。受圧面積を算出する際、複雑な形状である場合には安全側となるように投影面積が大きくなる値を採用し、算出する。

###### (6) 浮力

金属キャスクの浮力を考慮した条件で評価を行う。

###### (7) 架台構造及び評価部材

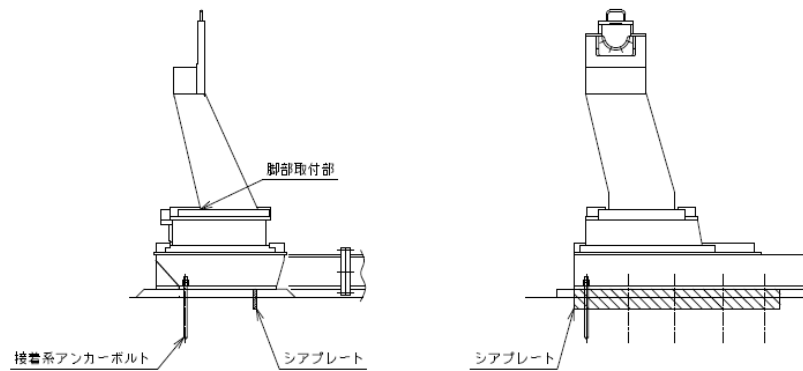
架台は 4 本の脚部のトラニオン受けにて金属キャスクを保持する。架台はベース部のアンカーボルト又は接着系アンカーボルト、シアプレートにて基礎に固定される。架台ベース部のアンカーボルト穴は長穴であり、せん断力はシアプレートが負担する。引張力はアンカーボルト又は接着系アンカーボルトにより負担する。

評価部材は基礎との固定部及び脚部取付部とし以下に評価部材を示す。また、各評

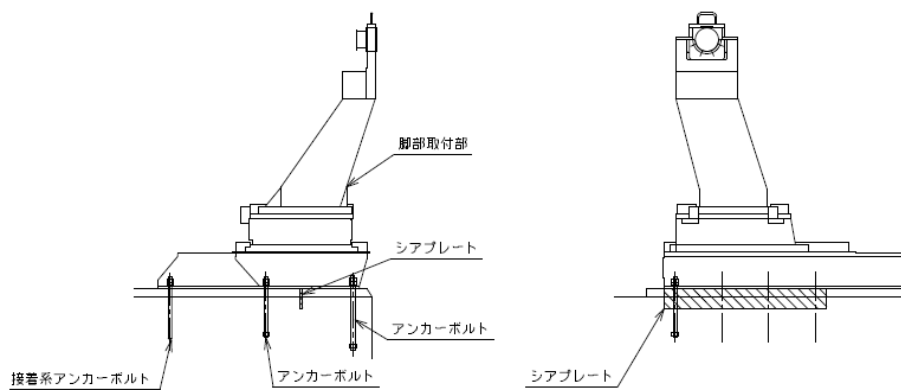
価部材について仮置架台は第 4-1 図、たて起こし架台は第 4-2 図に示す。

- a. アンカーボルト及び接着系アンカーボルト (以下「アンカーボルト」とする。)
- b. シアプレート
- c. 脚部取付部

評価する断面は曲げモーメントが大きくなる取付部について実施する。



第 4-1 図 仮置架台における評価部材



第 4-2 図 たて起こし架台における評価部材

#### 4.1.2 記号の説明

架台の固定状態の維持評価において使用する記号の説明を第4-1表に示す。

第4-1表 記号の説明 (架台)

記号	記号の説明	単位
$A_n$	アンカーボルトの呼び径断面積	$\text{mm}^2$
$A_1$	脚部取付部の断面積	$\text{mm}^2$
$C_D$	抗力係数	—
$D$	津波方向から見た部材軸直角方向の部材幅	m
$F$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
$F_s$	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
$F_b$	浮力	N
$F_h$	津波による架台および金属キャスクにかかる水平力(全体)	N
$F_{h1}$	アンカーボルト評価時における脚1本あたりにかかる水平力	N
$F_{h2}$	脚部取付部評価時における脚1本あたりにかかる水平力	N
$F_{v1}$	脚1本に生じる垂直力	N
$f_{t1}$	アンカーボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t2}$	脚部取付部の許容引張応力	MPa
$f_s$	シアプレートの許容せん断応力	MPa
$g$	重力加速度(=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$L_1$	架台底面から水平力作用点までの距離	mm
$L_2$	垂直力による復元力が働く距離	mm
$L_3$	アンカーボルト間距離	mm
$L_4$	水平力作用点から脚部取付部までの距離	mm
$L_5$	垂直力による転倒力が働く距離	mm
$L_m$	アンカーボルト評価時における等価モーメント長さ	mm
$l_s$	シアプレートの長さ	mm
$M_1$	アンカーボルト評価時における水平力による転倒モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_2$	アンカーボルト評価時における垂直力による転倒モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_3$	アンカーボルト評価時における水平力と垂直力による合計モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_4$	脚部取付部評価時における水平力によるモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$

記号	記号の説明	単位
$M_5$	仮置架台の脚部取付部評価時における垂直力による転倒モーメント	$N \cdot mm$
$M_6$	脚部取付部評価時における水平力と垂直力による合計モーメント	$N \cdot mm$
$M_7$	たて起こし架台の脚部取付部評価時における垂直力による復元モーメント	$N \cdot mm$
$n_1$	仮置架台における脚 1 本あたりにおけるアンカーボルトの本数	本
$n_2$	水平力を受けるシアプレートの枚数	枚
$P_1$	アンカーボルト 1 本に生じる引張力	N
$\sigma_1$	アンカーボルト 1 本に生じる引張応力	MPa
$\sigma_2$	脚部取付部に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_3$	脚部取付部に生じる組合せ応力	MPa
$Q_1$	シアプレート 1 枚に生じるせん断力	N
$\tau_1$	シアプレート 1 枚に生じるせん断応力	MPa
$\tau_2$	脚部取付部に生じるせん断応力	MPa
$Z_1$	脚部取付部の断面係数	$mm^3$
$S$	部材軸方向の長さ	m
$t_s$	シアプレートの厚み	mm
$\vec{u}_n$	津波の流速	m/s
$V$	金属キャスクの体積 (緩衝体含む)	$m^3$
$W$	金属キャスクの重量 (緩衝体含む)	N
$\rho_0$	海水の密度	$kg/m^3$

#### 4.1.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は、原則として安全側に処理する。

ただし、計算途中の数値については、計算機の保有の数値を使用する。

表示する数値の丸め方を第4-2表に示す。

第4-2表 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切り上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切り捨て	整数位

## 4.2 計算方法

### 4.2.1 波力の計算方法

津波による波力の算出式を以下に示す。

$$F_h = \frac{1}{2} C_D \rho_0 |\vec{u}_n| \vec{u}_n D \Delta S$$

### 4.2.2 応力の計算方法

#### (1) アンカーボルトの応力

津波による波力について、仮置架台は第4-3図、たて起こし架台は第4-4図に示す。

脚1本に生じる水平力： $F_{h_1}$

$$F_{h_1} = \frac{F_h}{2} \dots\dots (4.1)$$

金属キャスクに生じる浮力： $F_b$

$$F_b = V \cdot \rho_0 \cdot g \dots\dots (4.2)$$

脚1本に生じる垂直力： $F_{v_1}$

$$F_{v_1} = \frac{(W - F_b)}{4} \dots\dots (4.3)$$

水平力による転倒モーメント： $M_1$

$$M_1 = F_{h_1} \cdot L_1 \dots\dots (4.4)$$

垂直力による復元モーメント： $M_2$

$$M_2 = F_{v_1} \cdot L_2 \dots\dots (4.5)$$

水平力と垂直力による合計モーメント： $M_3$

$$M_3 = M_1 - M_2 \dots\dots (4.6)$$

アンカーボルト1本にかかる引張力： $P_1$

a. 仮置架台

$$P_1 = \frac{M_3}{n_1 \cdot L_3} \dots\dots (4.7)$$

b. たて起こし架台

$$P_1 = \frac{M_3}{L_m} \dots\dots (4.8)$$

アンカーボルト 1 本に生じる引張応力： $\sigma_1$

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A_n} \quad \dots\dots (4.9)$$

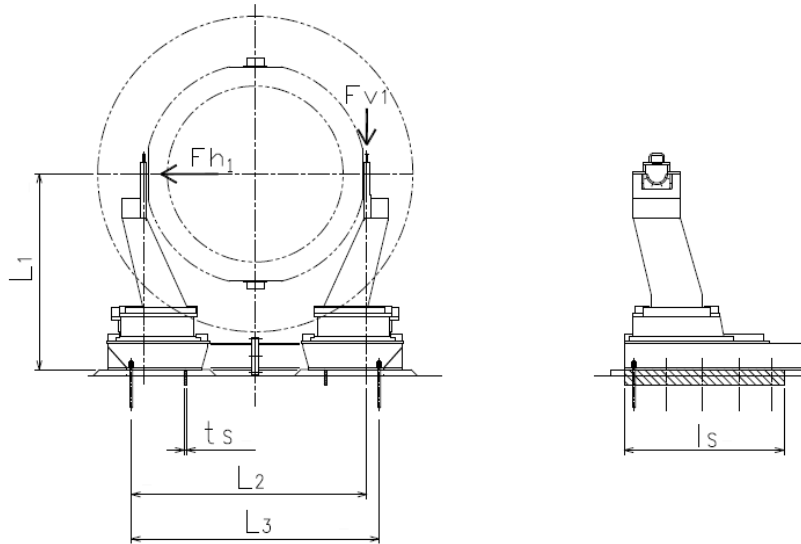
(2) 波力によるシアプレートの応力

シアプレート 1 枚に生じるせん断力： $Q_1$

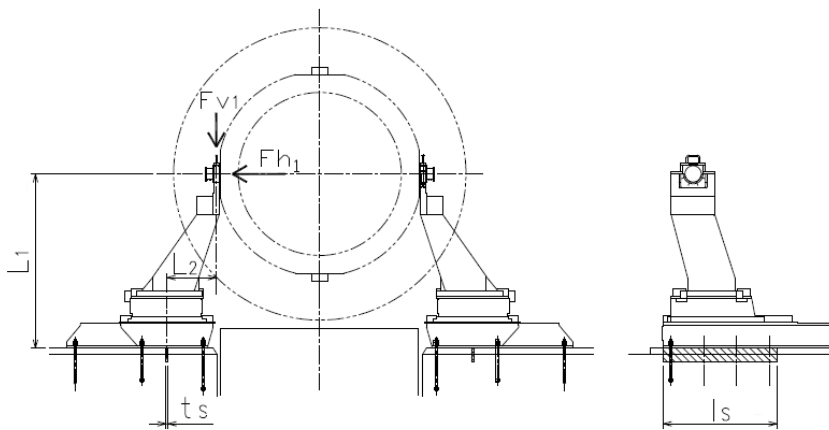
$$Q_1 = \frac{Fh}{n_2} \quad \dots\dots (4.10)$$

シアプレートに発生するせん断応力： $\tau_1$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{t_s \cdot l_s} \quad \dots\dots (4.11)$$



第 4-3 図 仮置架台モデル図



第 4-4 図 たて起こし架台モデル図

(3) 脚部取付部の応力

a. 仮置架台

津波による波力について、第4-5図に示す。

脚1本に生じる水平力： $Fh_2$

水平力による転倒モーメント： $M_4$

$$M_4 = Fh_2 \cdot L_4 \quad \dots\dots (4.12)$$

垂直力による転倒モーメント： $M_5$

$$M_5 = Fv_1 \cdot L_5 \quad \dots\dots (4.13)$$

水平力と垂直力による合計モーメント： $M_6$

$$M_6 = M_4 + M_5 \quad \dots\dots (4.14)$$

脚部取付部に生じる曲げ応力： $\sigma_2$

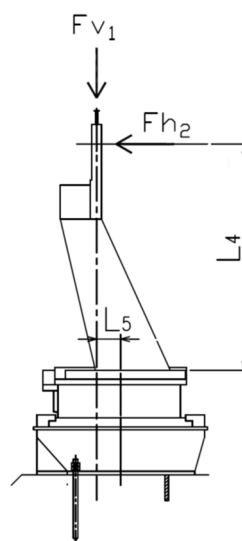
$$\sigma_2 = \frac{M_6}{Z_1} \quad \dots\dots (4.15)$$

脚部取付部に生じるせん断応力： $\tau_2$

$$\tau_2 = \frac{Fh_2}{A_1} \quad \dots\dots (4.16)$$

脚部取付部断面に生じる組合せ応力： $\sigma_3$

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \quad \dots\dots (4.17)$$



第4-5図 仮置架台脚部モデル図



b. たて起こし架台

津波による波力について，第4-6図に示す。

脚1本に生じる水平力： $Fh_2$

水平力による転倒モーメント： $M_4$

$$M_4 = Fh_2 \cdot L_4 \quad \dots\dots (4.18)$$

垂直力による復元モーメント： $M_7$

$$M_7 = Fv_1 \cdot L_2 \quad \dots\dots (4.19)$$

水平力と垂直力による合計モーメント： $M_6$

$$M_6 = M_4 - M_7 \quad \dots\dots (4.20)$$

脚部取付部に生じる曲げ応力： $\sigma_2$

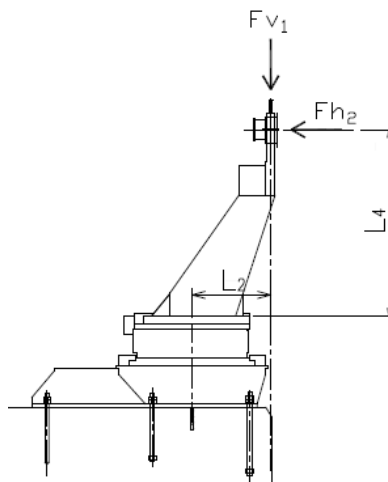
$$\sigma_2 = \frac{M_6}{Z_1} \quad \dots\dots (4.21)$$

脚部取付部に生じるせん断応力： $\tau_2$

$$\tau_2 = \frac{Fh_2}{A_1} \quad \dots\dots (4.22)$$

脚部取付部断面に生じる組合せ応力： $\sigma_3$

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \quad \dots\dots (4.23)$$



第4-6図 たて起こし架台脚部モデル図

### 4.3 評価方法

#### (1) アンカーボルトの応力評価

4.2.2 項(1)で求めたアンカーボルトに生じる引張応力が以下の許容引張応力  $f_{t1}$  以下であること。

	アンカーボルトの許容引張応力 ( $f_{t1}$ )
計算式	$f_{t1}=(F/2) \cdot 1.5$

#### (2) シアプレートの応力評価

4.2.2 項(2)で求めたシアプレートに生じるせん断応力が以下の許容せん断応力  $f_s$  以下であること。

	シアプレートの許容せん断応力 ( $f_s$ )
計算式	$f_s=(F_s/1.5\sqrt{3}) \cdot 1.5$

#### (3) 脚部取付部の応力評価

4.2.2 項(3)で求めた脚部取付部に生じる組合せ応力が以下の許容引張応力  $f_{t2}$  以下であること。

	脚部取付部の許容引張応力 ( $f_{t2}$ )
計算式	$f_{t2}=(F_s/1.5) \cdot 1.5$

枠囲みの内容は商業機密に属するため公開できません。

#### 4.4 設計条件及び機器要目

##### 4.4.1 仮置架台

###### (1) 設計条件

機器名称	供用状態	周辺環境温度 (°C)	津波の流速 (m/s)	海水の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Fh (N)	Fh <sub>1</sub> (N)	Fh <sub>2</sub> (N)
仮置架台	D	45	10	1,050	$1.452 \times 10^6$	$7.258 \times 10^5$	$5.978 \times 10^5$

###### (2) 機器要目

W (N)	V (m <sup>3</sup> )

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	L <sub>4</sub> (mm)	L <sub>5</sub> (mm)	A <sub>n</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )	l <sub>s</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	n <sub>1</sub> (本)	n <sub>2</sub> (枚)

接着系アンカーボルト	シアプレート	脚部取付部
F (MPa)	F <sub>s</sub> (MPa)	F <sub>s</sub> (MPa)
442	319	319

枠囲みの内容は商業機密に属するため公開できません。

#### 4.4.2 たて起こし架台

##### (1) 設計条件

機器名称	供用状態	周辺環境温度 (°C)	津波の流速 (m/s)	海水の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Fh (N)	Fh <sub>1</sub> (N)	Fh <sub>2</sub> (N)
たて起こし架台	D	45	10	1,050	1.441×10 <sup>6</sup>	7.207×10 <sup>5</sup>	5.927×10 <sup>5</sup>

##### (2) 機器要目

W (N)	V (m <sup>3</sup> )

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	L <sub>4</sub> (mm)	L <sub>m</sub> (mm)	A <sub>n</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )	l <sub>s</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	n <sub>1</sub> (本)	n <sub>2</sub> (枚)

アンカーボルト	シアプレート	脚部取付部
F (MPa)	F <sub>s</sub> (MPa)	F <sub>s</sub> (MPa)
442	319	319

## 5. 検査架台の固定状態の維持評価

### 5.1 計算条件

#### 5.1.1 計算条件

計算条件を以下に示す。

##### (1) 津波条件

###### a. 水深

津波の高さは T.P. +23mの津波であり、貯蔵建屋の設置位置で一様に 7 mの浸水深となる。そのため検査架台は水没している条件とする。

###### b. 津波の流速

津波の流速は「添付 6-1-2 仮想的大規模津波の設定」の「第 2-3 図 仮想的大規模津波と等価なモデルにおける貯蔵建屋周りの水位及び流速の分布」のうち貯蔵建屋周りの最大流速の 10 m/s とする。

##### (2) 波力を受ける部材

検査架台が受ける波力により評価を行う。

##### (3) 波力を受ける方向

検査架台は、周りを壁で囲われているため、壁のない方向から津波が到来する条件で評価を行う。

##### (4) 津波による水平力の与え方

検査架台が受ける波力は、全体に均等に与える。

##### (5) 波力の受圧面積の算出

津波方向から見た投影面積を波力の受圧面積とする。受圧面積を算出する際、複雑な形状である場合には安全側となるように投影面積が大きくなる値を採用し、算出する。

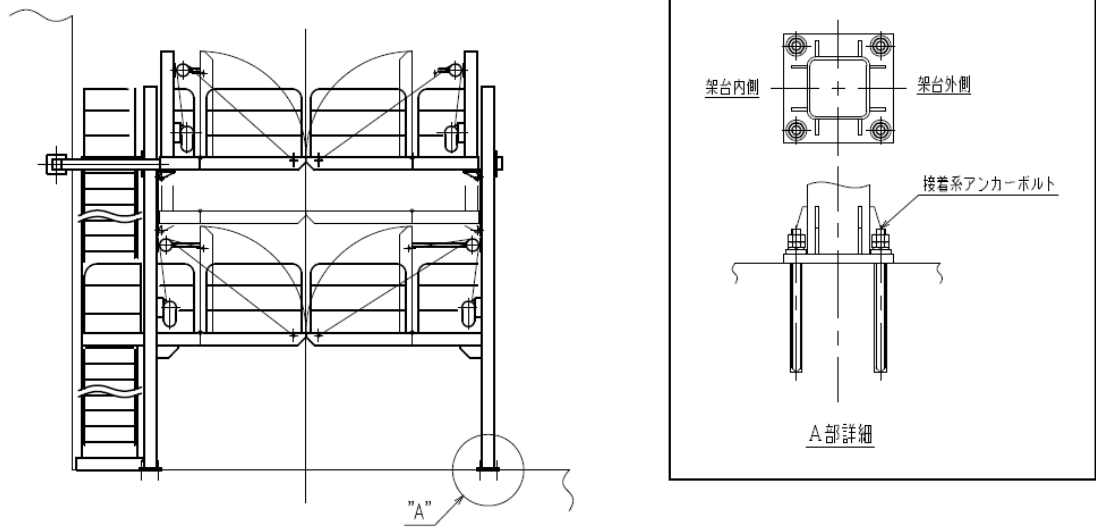
##### (6) 架台構造及び評価部材

検査架台は 4 本の支柱により支えられ支柱ベース部の接着系アンカーボルトにて基礎に固定される。また、転倒防止の振れ止め支持部材により壁に固定される。

評価部材は基礎との固定部とし接着系アンカーボルトを評価する。

なお、検査架台は振れ止め支持部材により転倒しないこと及び波力を受ける部材の構造強度が十分高いことから、接着系アンカーボルトには引張力は発生しない。

評価部材について、第 5-1 図に示す。



第5-1図 検査架台における評価部材

### 5.1.2 記号の説明

検査架台の固定状態の維持評価において使用する記号の説明を第5-1表に示す。

第5-1表 記号の説明（検査架台）

記号	記号の説明	単位
$A_n$	接着系アンカーボルトの呼び径断面積	$\text{mm}^2$
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
$F_h$	津波による架台にかかる水平力(全体)	N
$F_{h1}$	接着系アンカーボルト評価時における支柱1本あたりにかかる水平力	N
$f_s$	接着系アンカーボルトの許容せん断応力	MPa
$n_1$	支柱1本あたりにおける接着系アンカーボルトの本数	本
$Q_1$	接着系アンカーボルト1本に生じるせん断力	N
$\tau_1$	接着系アンカーボルト1本に生じるせん断応力	MPa

### 5.1.3 数値の丸め方

数値の丸め方は4.1.3項に従う。

## 5.2 応力の計算方法

### 5.2.1 波力の計算方法

津波による波力の算出式は 4.2.1 項に従う。

### 5.2.2 接着系アンカーボルトの応力

津波による波力について，第 5-2 図に示す。

支柱 1 本に生じる水平力： $Fh_1$

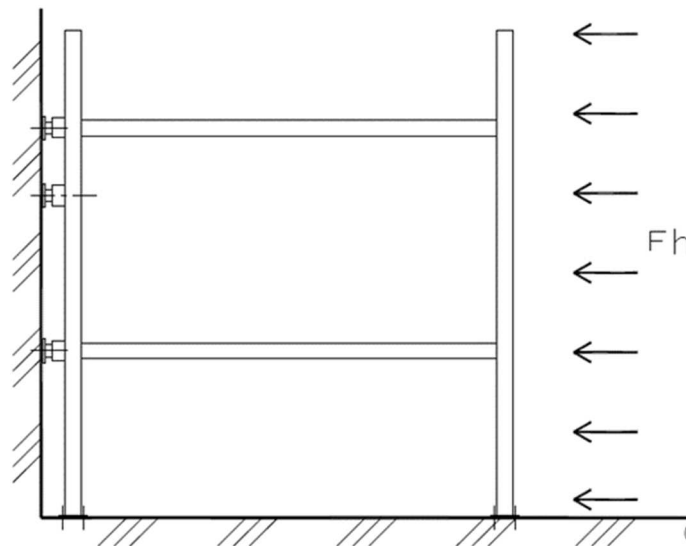
$$Fh_1 = \frac{Fh}{4} \quad \dots\dots (5.1)$$

接着系アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力： $Q_1$

$$Q_1 = \frac{Fh_1}{n_1} \quad \dots\dots (5.2)$$

接着系アンカーボルト 1 本に生じるせん断応力： $\tau_1$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_n} \quad \dots\dots (5.3)$$



第 5-2 図 検査架台モデル図



### 5.3 評価方法

#### (1) 接着系アンカーボルトの応力評価

5.2.2 項で求めた接着系アンカーボルトに生じるせん断応力が許容せん断応力  $f_s$  以下であること。

	接着系アンカーボルトの許容せん断応力 ( $f_s$ )
計算式	$f_s = (F / 1.5\sqrt{3}) \times 1.5$

枠囲みの内容は商業機密に属するため公開できません。

#### 5.4 設計条件及び機器要目

##### (1) 設計条件

機器名称	供用状態	周辺環境温度 (°C)	津波の流速 (m/s)	海水の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Fh (N)	Fh <sub>1</sub> (N)
検査架台	D	45	10	1,050	1.123×10 <sup>6</sup>	2.807×10 <sup>5</sup>

##### (2) 機器要目

A <sub>n</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub> (本)
	4

接着系アンカーボルト
F (MPa)
442

添付 6-1-7 仮想的大規模津波に対する受入設備の影響評価

## 目次

1. 概要 .....	1
2. 評価結果 .....	2
2.1 仮置架台 .....	2
2.2 たて起こし架台 .....	2
2.3 検査架台 .....	2

## 1. 概要

本資料は、「添付 6-1-6 仮想的大規模津波に対する受入設備の評価方針」に基づき算出した結果のうち、各評価部材について示す。

## 2. 評価結果

以下に示すとおり，受入設備の仮置架台，たて起こし架台及び検査架台について各評価部材の算出応力は許容応力を下回っており，仮想的大規模津波により発生する波力に対して耐える設計である。

### 2.1 仮置架台

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力	判定
接着系アンカーボルト	S45C	引張	$\sigma_1 = 106$	$f_{t1} = 331$	良
シアプレート	SM490A	せん断	$\tau_1 = 9$	$f_s = 184$	良
脚部取付部	SM490A	組合せ	$\sigma_3 = 202$	$f_{t2} = 319$	良

### 2.2 たて起こし架台

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力	判定
アンカーボルト	S45C	引張	$\sigma_1 = 178$	$f_{t1} = 331$	良
シアプレート	SM490A	せん断	$\tau_1 = 22$	$f_s = 184$	良
脚部取付部	SM490A	組合せ	$\sigma_3 = 140$	$f_{t2} = 319$	良

### 2.3 検査架台

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力	判定
接着系アンカーボルト	S45C	せん断	$\tau_1 = 100$	$f_s = 255$	良