

VI-2-10-3-1-8 補機冷却用海水取水路の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	11
2.4 適用基準	14
3. 地震応答解析	15
3.1 評価対象断面	15
3.2 解析方法	19
3.2.1 地震応答解析	19
3.2.2 構造部材	19
3.2.3 地盤	21
3.2.4 減衰定数	22
3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定	22
3.3 荷重及び荷重の組合せ	23
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	23
3.3.2 荷重	23
3.3.3 荷重の組合せ	23
3.4 入力地震動	24
3.5 解析モデル及び諸元	51
3.5.1 地震応答解析モデル	51
3.5.2 使用材料及び材料物性値	56
3.5.3 地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の物性値	56
3.6 地震応答解析結果	57
4. 3次元構造解析	61
4.1 評価対象部材	61
4.2 解析方法	63
4.3 解析モデルの諸元	63
4.3.1 解析モデル	63
4.3.2 使用材料及び材料物性値	67
4.4 照査時刻及び入力荷重	68
4.4.1 照査時刻	68
4.4.2 入力荷重	68
4.5 3次元構造解析結果	69
5. 耐震評価	74

5.1 許容限界	74
5.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界	74
5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	74
5.2 評価方法	75
6. 耐震評価結果	76
6.1 構造部材の健全性に対する評価結果	76
6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	82

## 1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、補機冷却用海水取水路が基準地震動 $S_s$ に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

補機冷却用海水取水路に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

補機冷却用海水取水路の位置図を図2-1に示す。

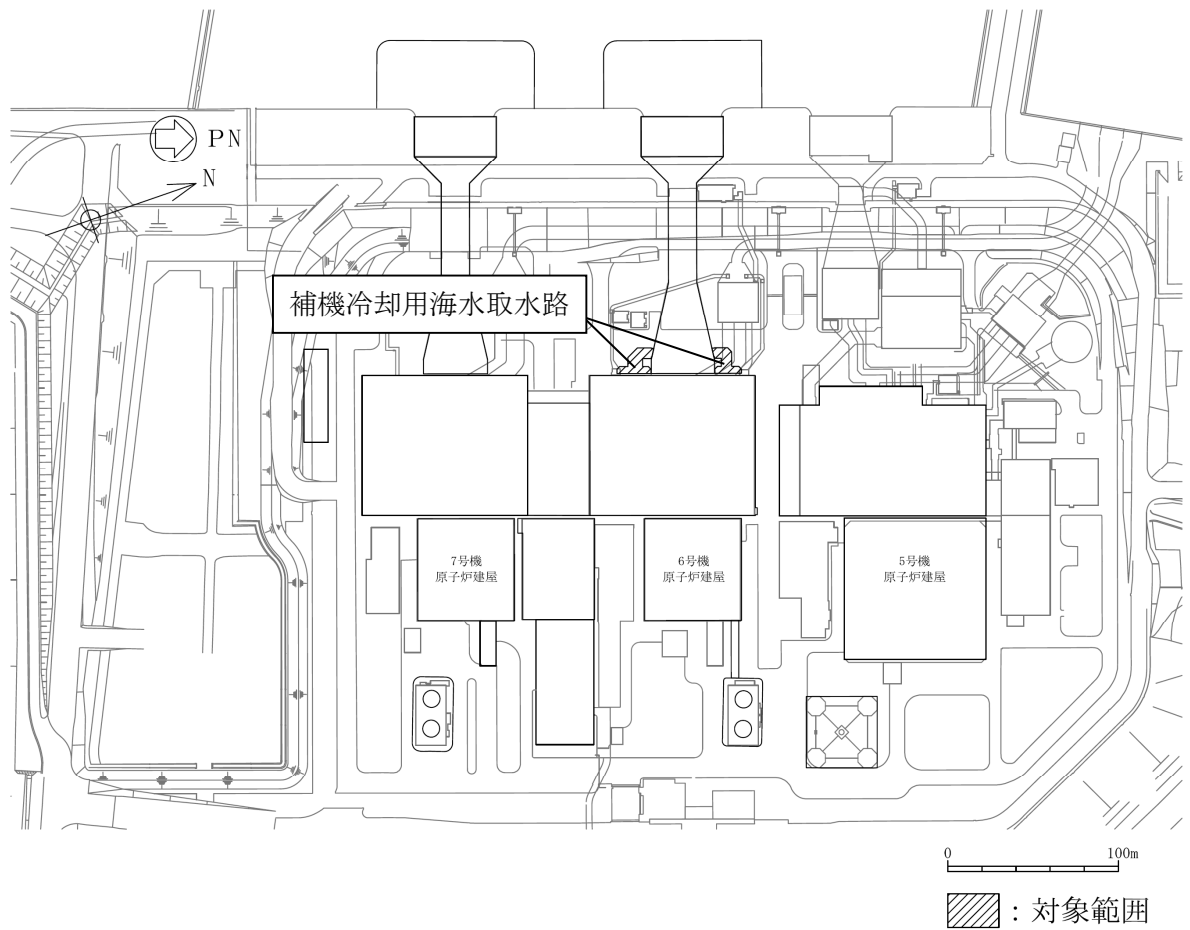


図2-1 補機冷却用海水取水路の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

補機冷却用海水取水路の平面図を図2-2、断面図を図2-3、概略配筋図を図2-4に示す。

補機冷却用海水取水路は、非常時における海水の通水機能を求められる鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり、取水路漸拡部からそれぞれ北側及び南側に分岐し、取水方向に複数の断面形状を示し、マンメイドロックを介して西山層に支持される。

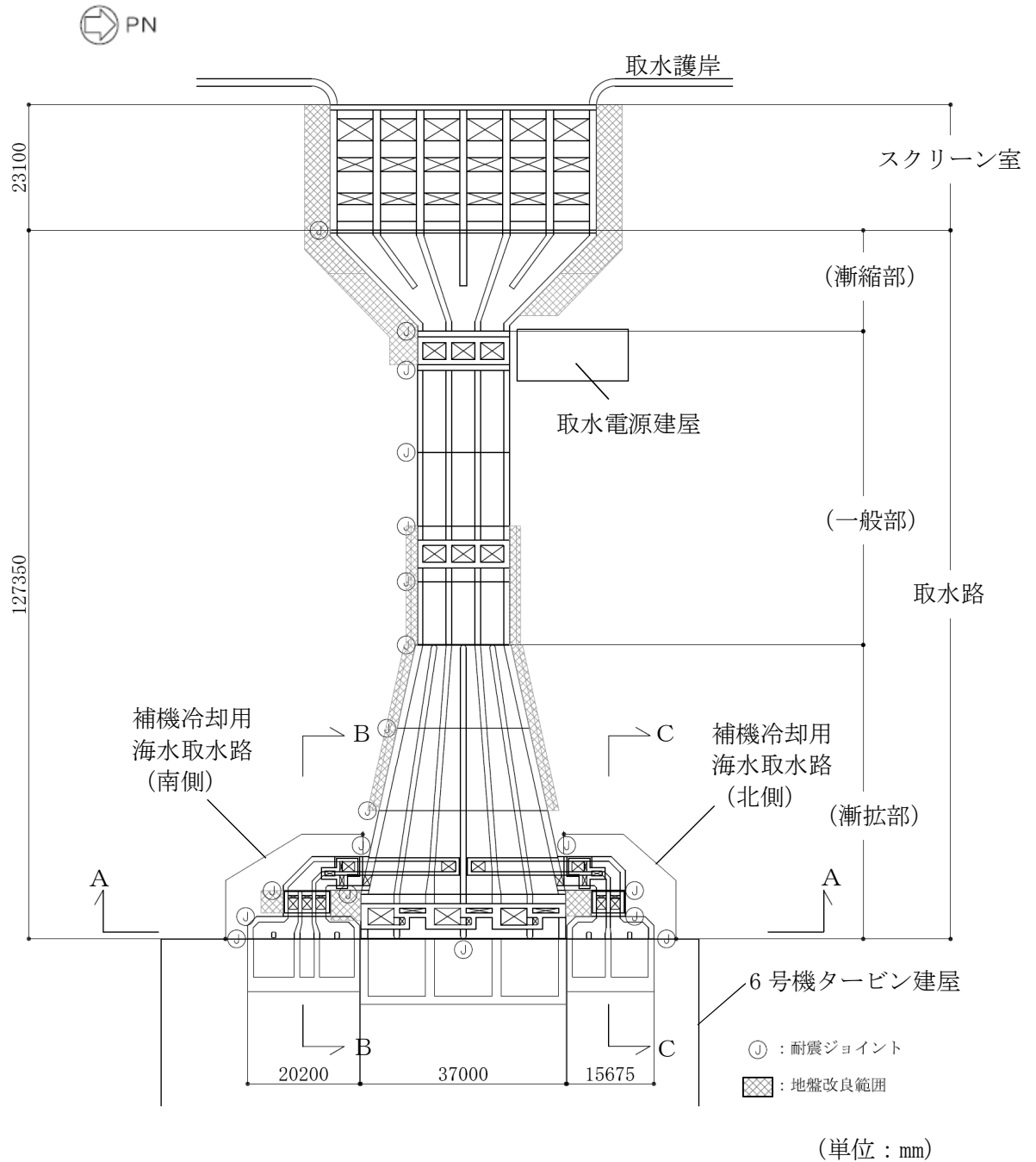
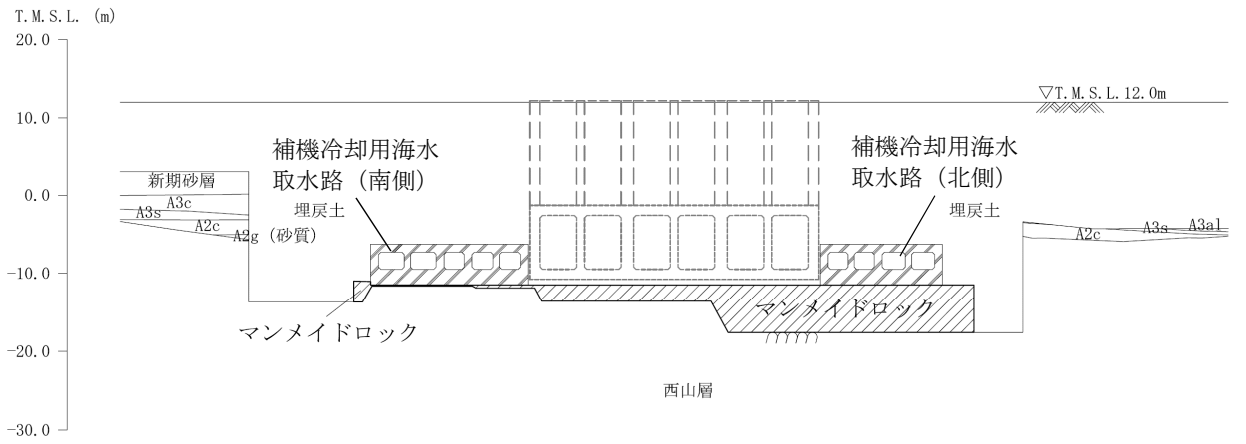
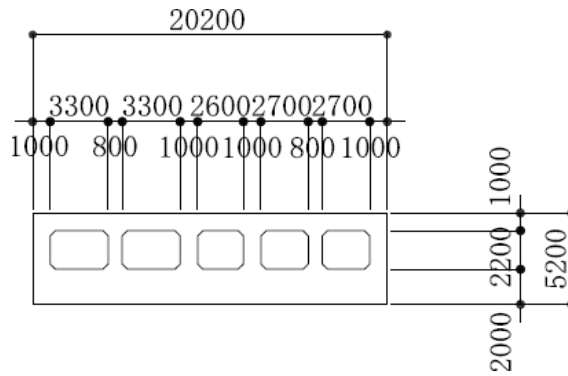


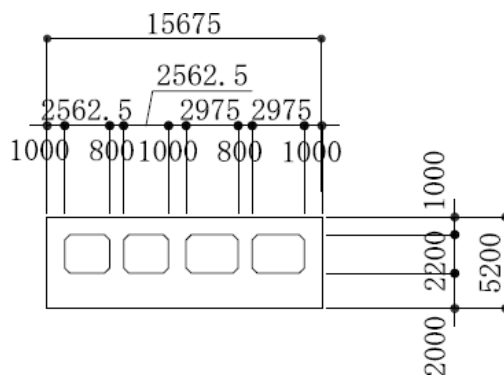
図2-2 補機冷却用海水取水路の平面図



(a) 補機冷却用海水取水路（全体）



(b) 補機冷却用海水取水路（南側）

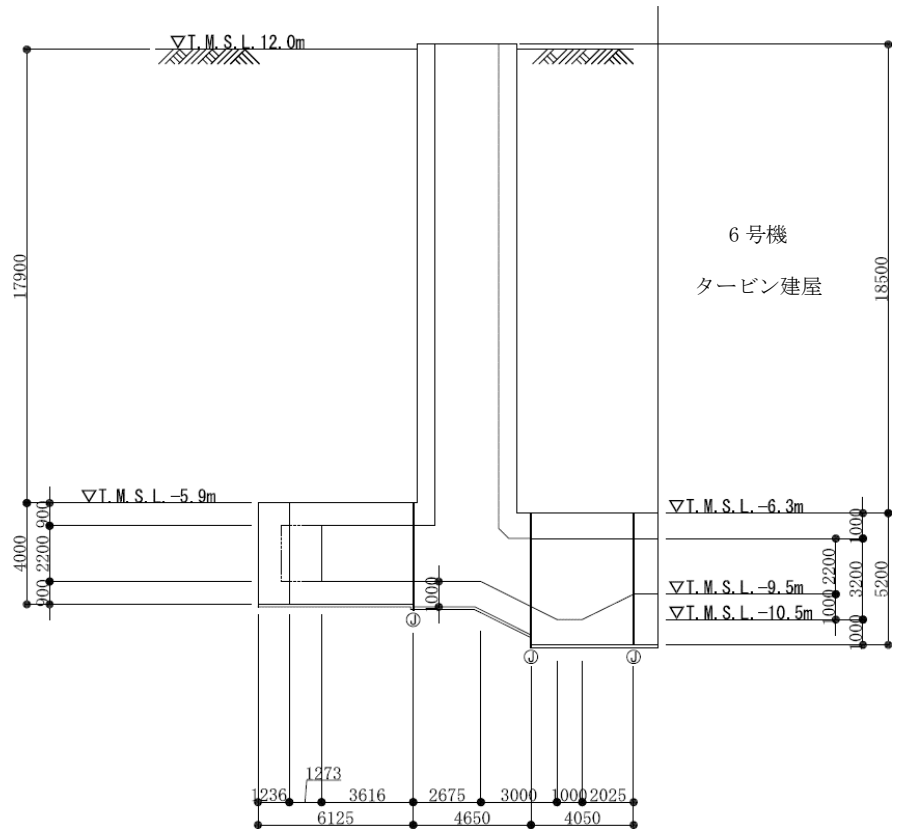


(c) 補機冷却用海水取水路（北側）

(単位：mm)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-3 (1) 補機冷却用海水取水路の断面図（A-A断面）



(単位：mm)

図 2-3 (2) 補機冷却用海水取水路の断面図 (南側, B-B 断面)



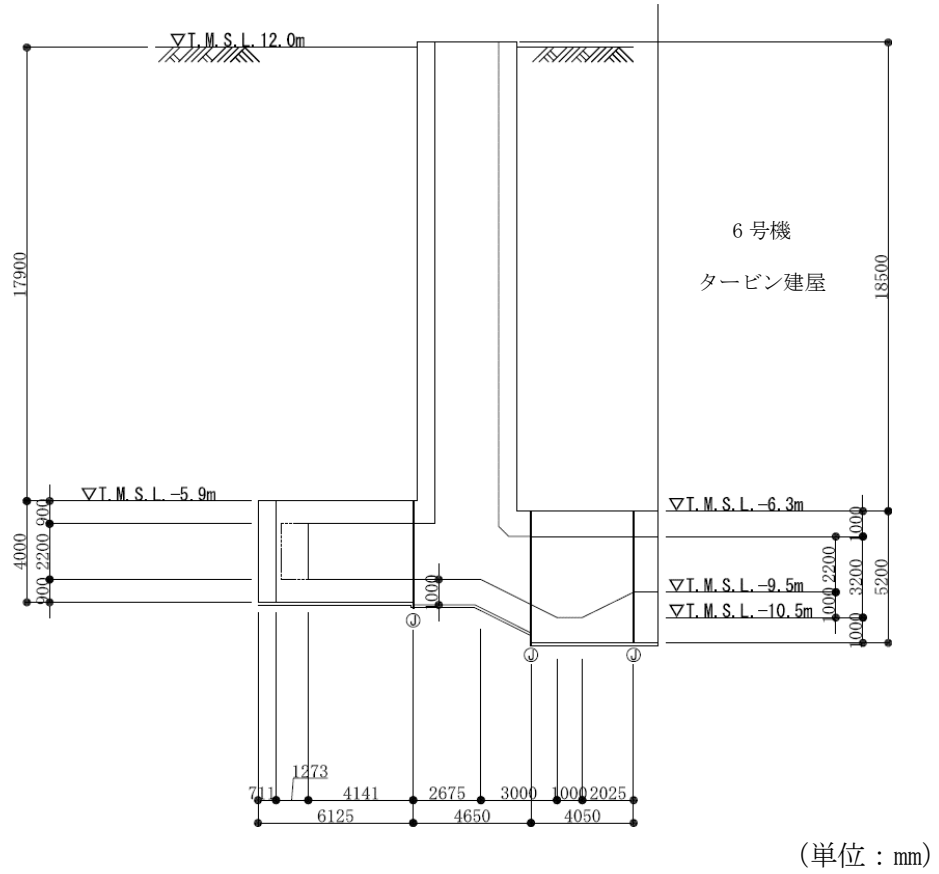
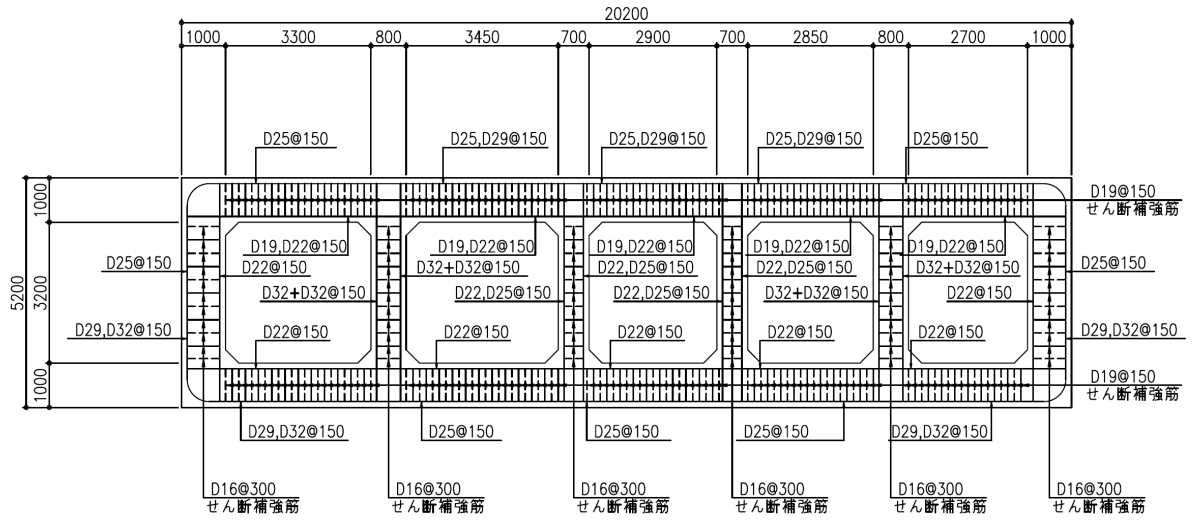
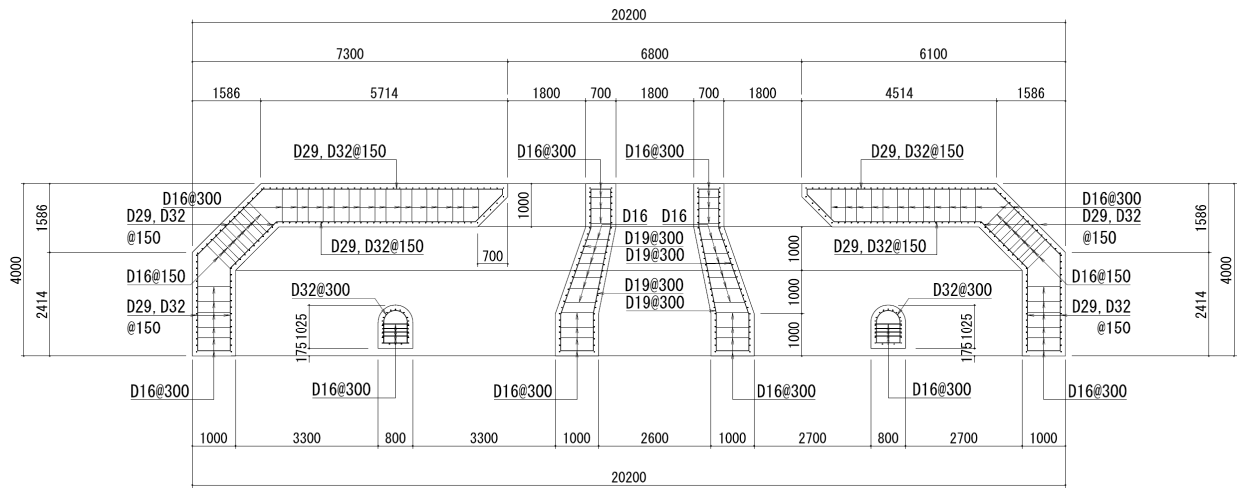


図 2-3 (3) 補機冷却用海水取水路の断面図 (北側, C-C 断面)



注 1 : 側壁の配筋方向鉄筋 : D25, D29@150  
 注 2 : 隔壁の配筋方向鉄筋 : D19@300

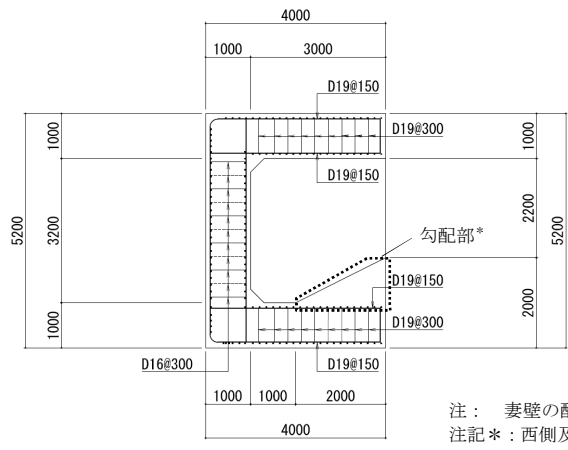
(断面図)



(平面図)

(単位 : mm)

図 2-4 (1) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (南側)

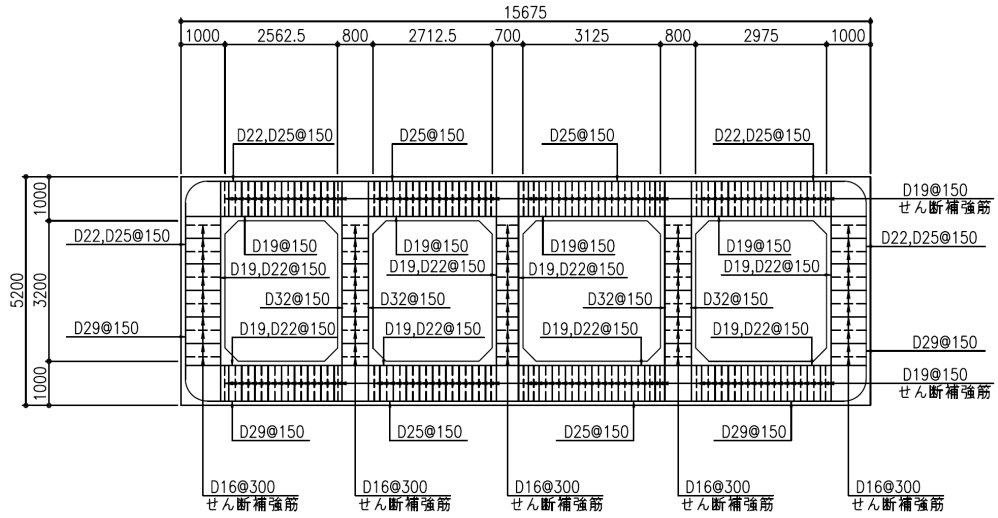


(断面図)

注： 妻壁の配力筋方向鉄筋：D29, D32@150  
 注記\*： 西側及び東側の勾配部は、解析モデル上、構造部材として扱わないことから、配筋は非表示とした。

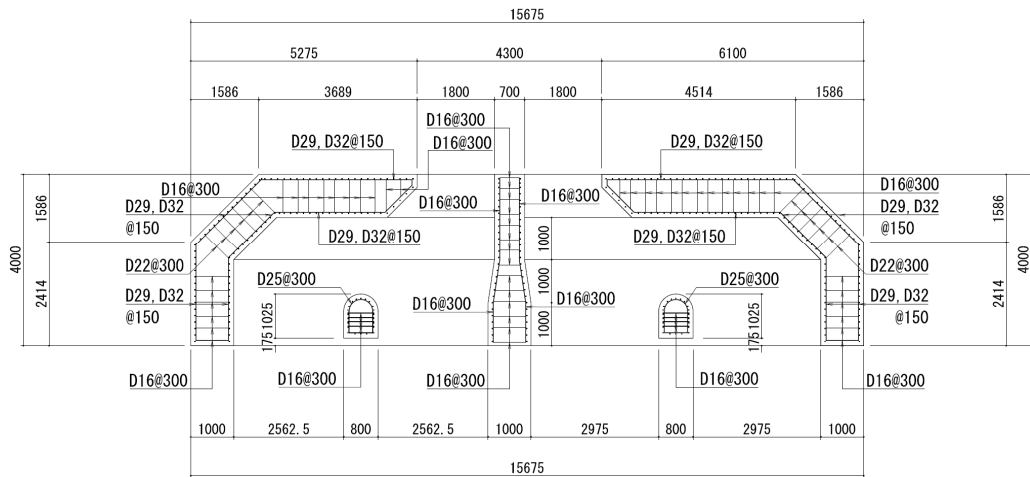
(単位：mm)

図 2-4 (2) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (南側, 妻壁部)



注 1 : 側壁の配力筋方向鉄筋 : D25, D29@150  
 注 2 : 隔壁の配力筋方向鉄筋 : D16@300

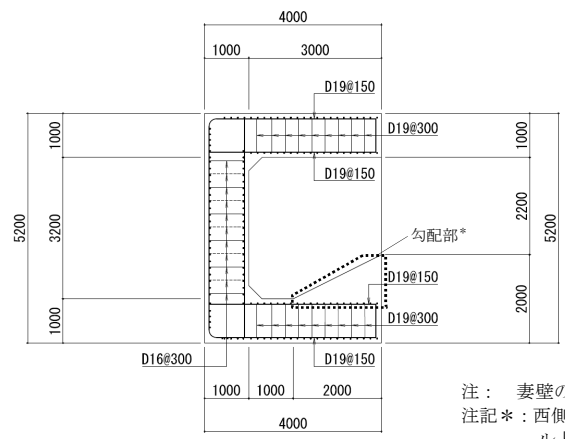
(断面図)



(平面図)

(単位 : mm)

図 2-4 (3) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (北側)



注： 妻壁の配筋方向鉄筋：D29, D32@150  
 注記＊： 西側及び東側の勾配部は、解析モデル上、構造部材として扱わないことから、配筋は非表示とした。

(断面図)

(単位：mm)

図 2-4 (4) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (北側, 妻壁部)

### 2.3 評価方針

補機冷却用海水取水路は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。

補機冷却用海水取水路の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析から得られた水平 2 方向及び鉛直方向の荷重を用いた 3 次元非線形シェル要素による静的有限要素法解析（以下「3 次元構造解析」という。）を実施し、構造部材に生じるコンクリートひずみ及びせん断力が、許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

補機冷却用海水取水路の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

ここで、補機冷却用海水取水路は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 補機冷却用海水取水路の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
				面内せん断力	限界せん断ひずみ*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。

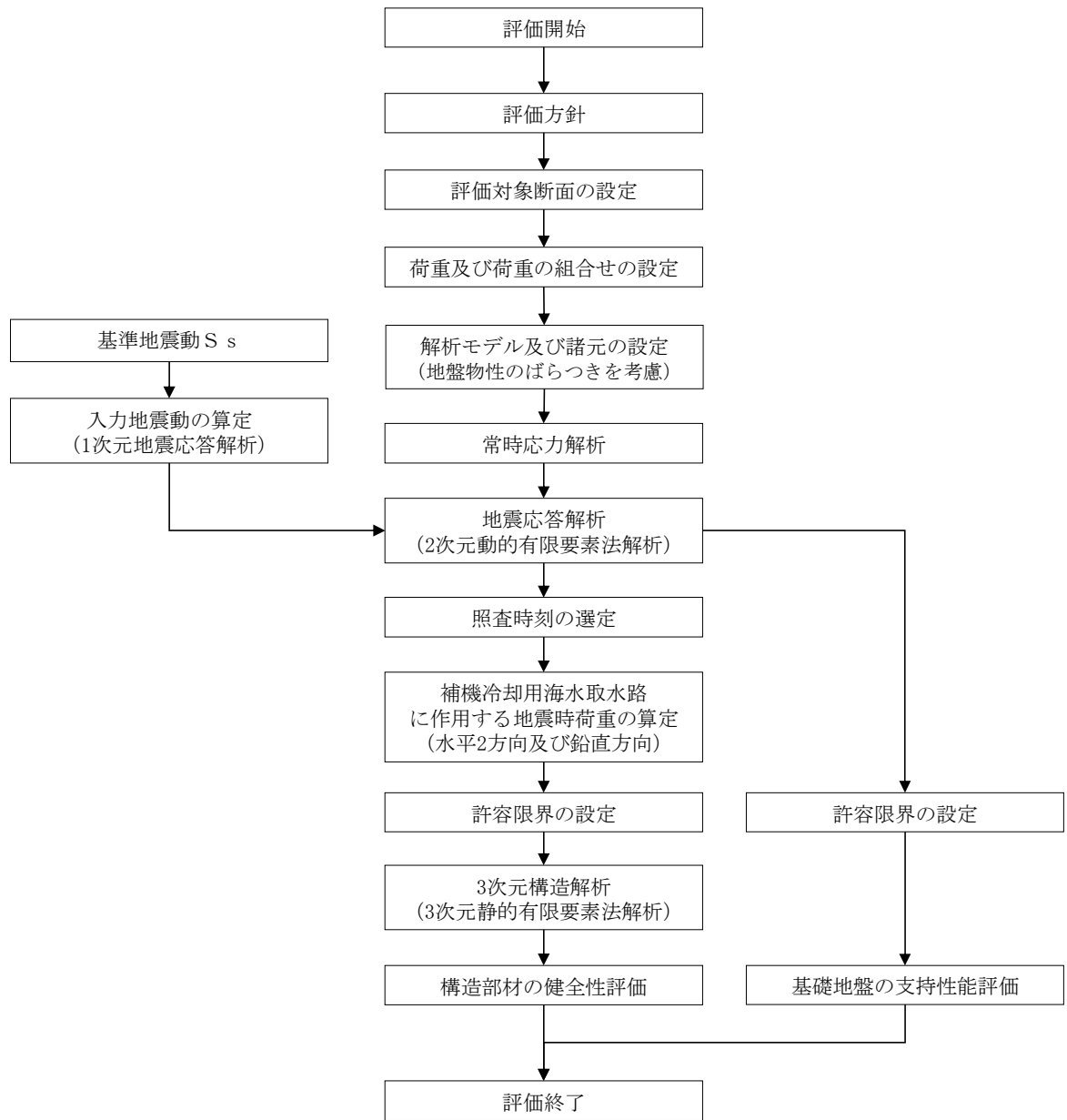


図 2-5 補機冷却用海水取水路の耐震評価フロー



## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

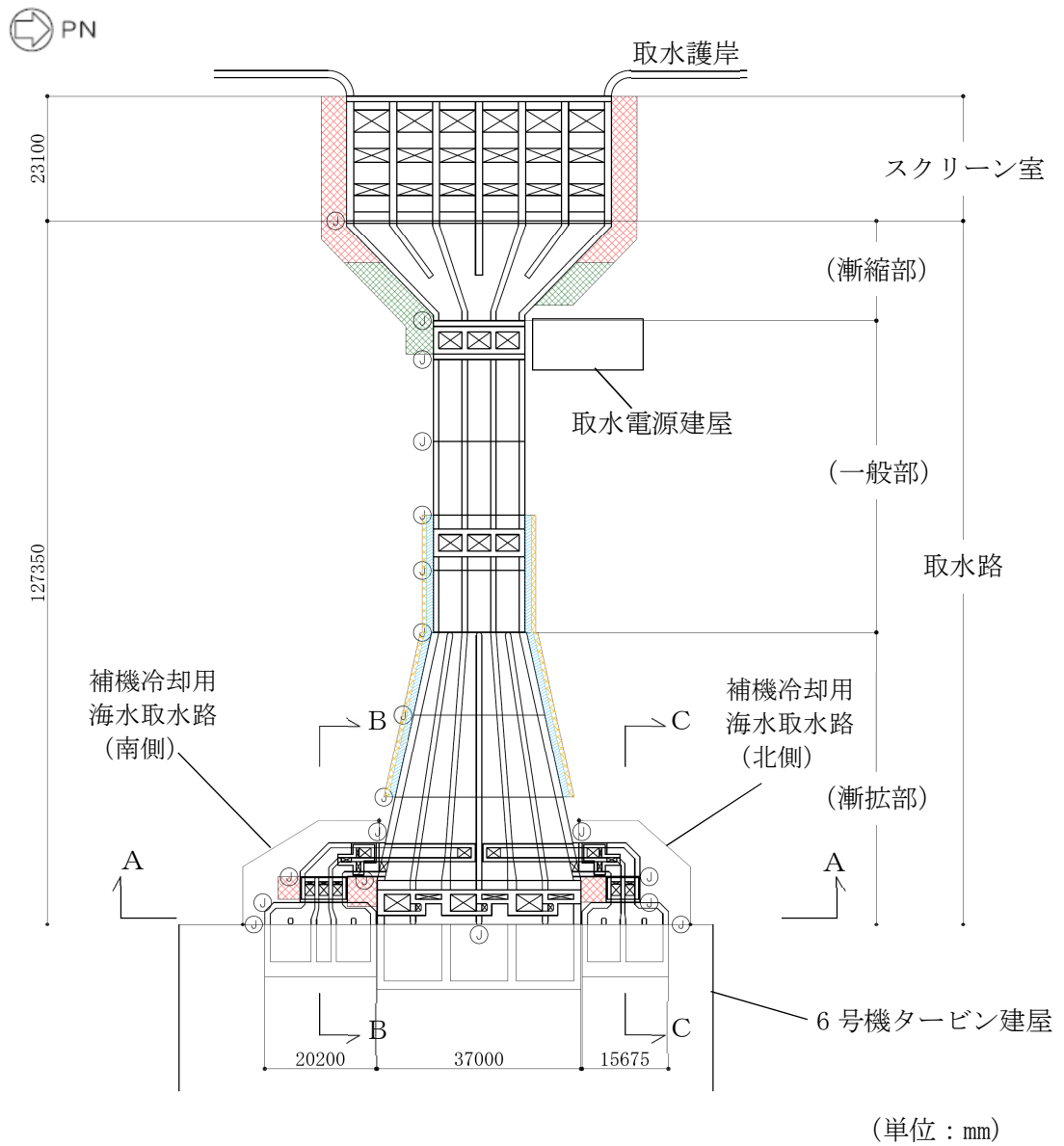
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定)
- ・コンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会, 2012年制定)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)

### 3. 地震応答解析

#### 3.1 評価対象断面

補機冷却用海水取水路の評価対象断面位置を図 3-1 に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図 3-1 の A-A 断面、B-B 断面及び C-C 断面とする。

評価対象断面図を図 3-2 に示す。

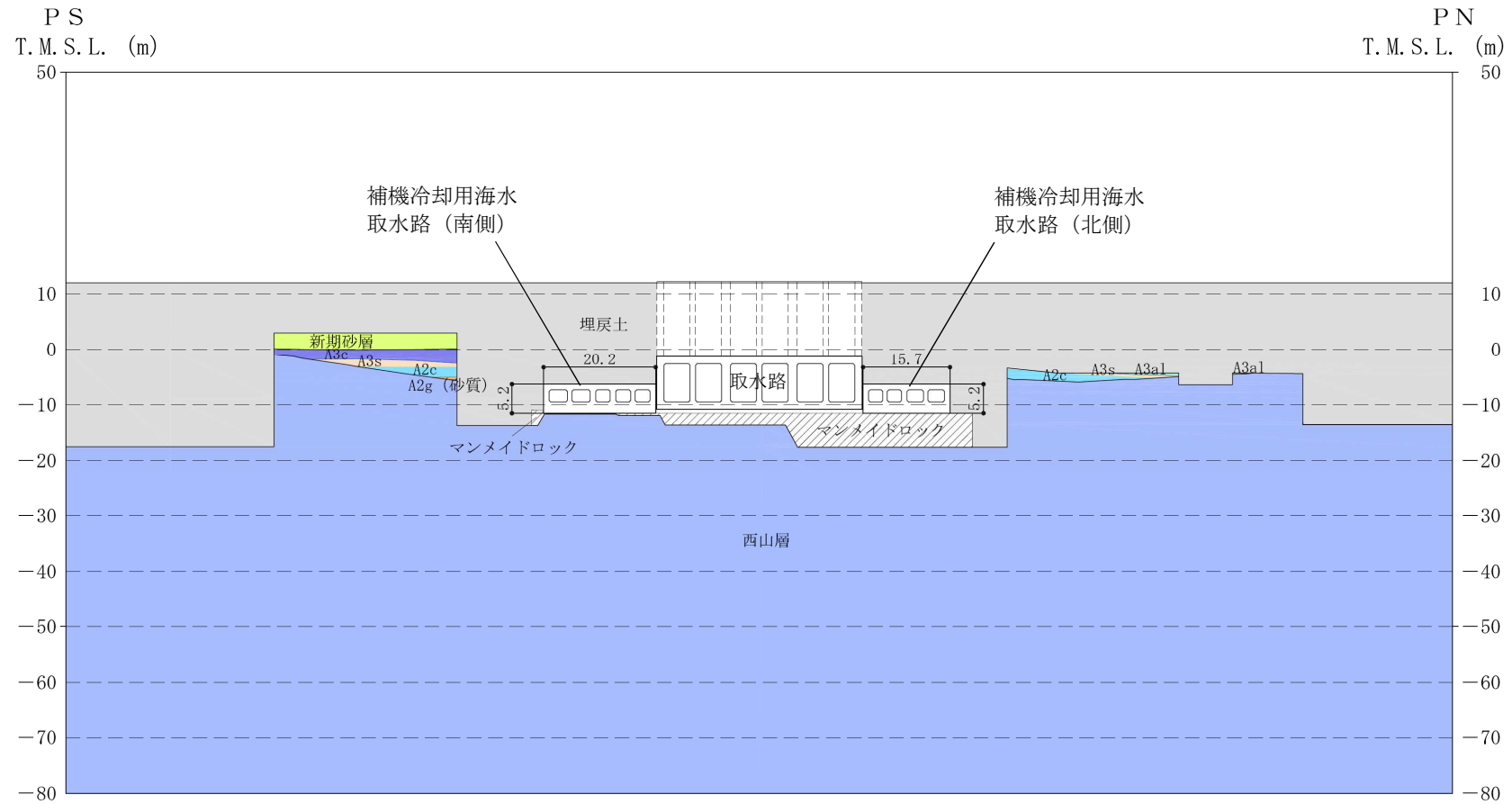


(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高压喷射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法(地中連続壁), 機械攪拌工法の施工範囲の内, 地上構造物及び埋設構造物がある箇所では, 高压喷射または置換(開削)を適用

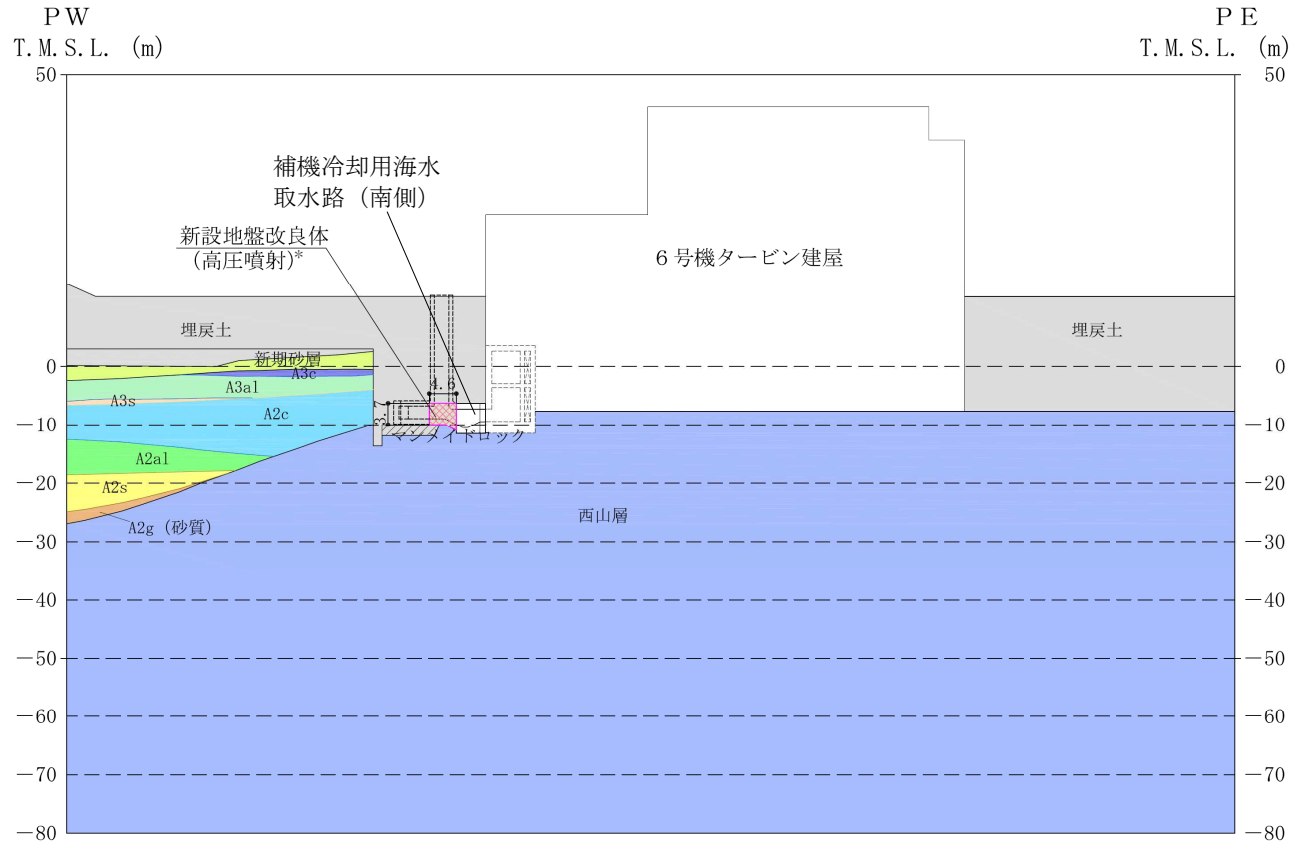
図 3-1 補機冷却用海水取水路の評価対象断面位置図



16

(単位 : m)

図 3-2 (1) 補機冷却用海水取水路の評価対象断面図 (A-A 断面)



注記\* : 地盤改良体の投影位置を示す

(単位 : m)

図 3-2 (2) 補機冷却用海水取水路の評価対象断面図 (南側, B-B断面)

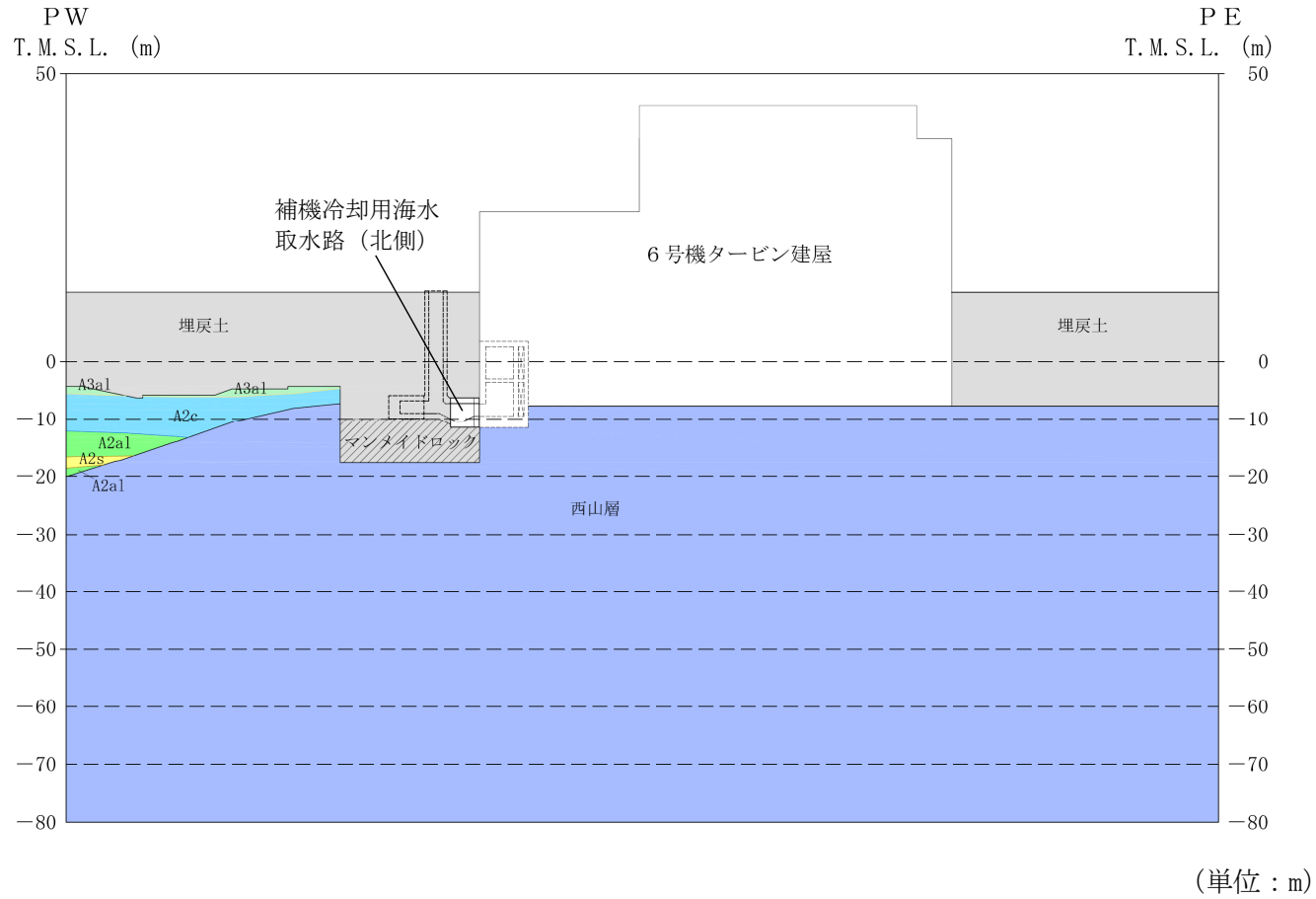


図 3-2 (3) 補機冷却用海水取水路の評価対象断面図 (北側, C-C断面)

### 3.2 解析方法

#### 3.2.1 地震応答解析

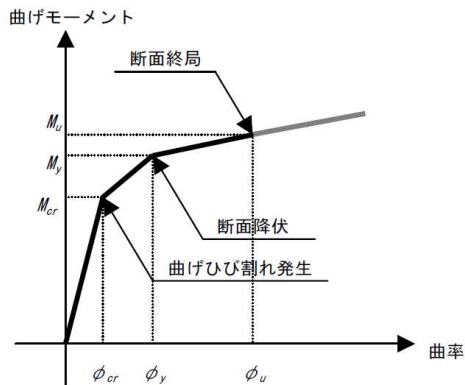
補機冷却用海水取水路の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動 $S_s$ に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。構造部材については、非線形はり要素及び線形平面ひずみ要素でモデル化する。非線形はり要素の非線形特性についてはコンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、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。

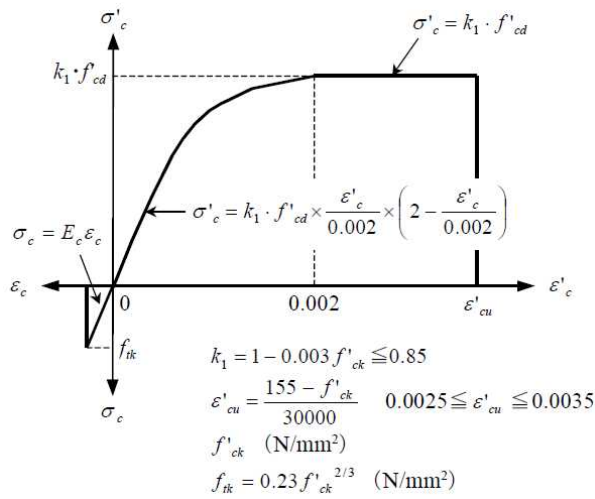
#### 3.2.2 構造部材

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素及び線形平面ひずみ要素でモデル化し、非線形はり要素は図3-3～図3-5に示す非線形特性及び履歴特性を考慮する。



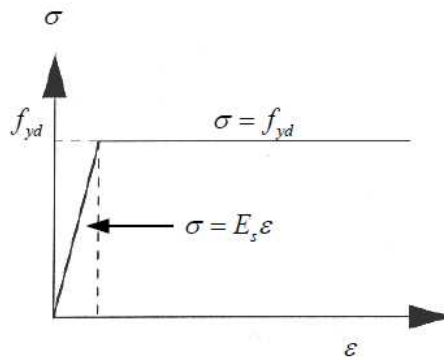
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用)

図3-3 鉄筋コンクリート部材の $M-\phi$ 関係



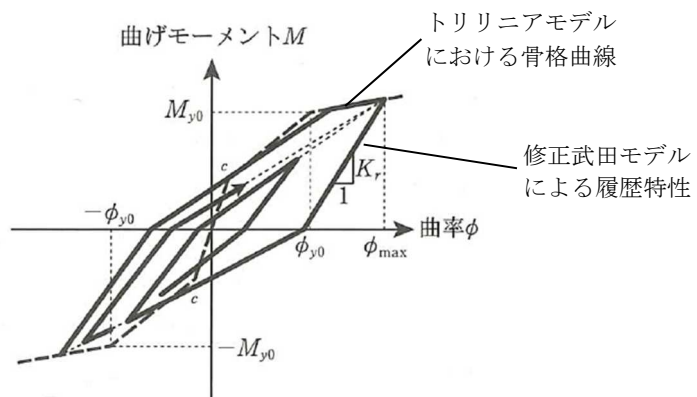
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-4 (1) 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-4 (2) 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)



(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月) より引用 (一部加筆))

図 3-5 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

### 3.2.3 地盤

地盤については、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を用いる。

また、地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケース (①～⑤) を設定する。

表 3-1 耐震評価における解析ケース

	①	②	③	④	⑤
解析ケース	基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1σ)	地盤剛性 (-1σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性 (-1σ)	液状化強度特性 (-1σ)	液状化強度特性 (-1σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層 (埋戻土及び新期砂層) のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差  $\sigma$  を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層 (沖積層及び古安田層) のばらつきは、各地層の PS 検層の結果からせん断波速度の標準偏差  $\sigma$  を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する (解析ケース②, ③, ⑤)。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差  $\sigma$  を用いて、液状化強度特性を (-1σ) にて設定する (解析ケース①, ②, ③)。

また、構造物への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する (解析ケース④, ⑤)。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース (①～⑤) を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。



#### 3.2.4 減衰定数

減衰特性は、柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析等を踏まえ、Rayleigh 減衰として、 $\alpha = 0$ 、 $\beta = 0.005$  を設定する。

#### 3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げ軸力、せん断力、面内せん断力及び基礎地盤の支持性能の全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい照査値の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。なお、解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.3.1 耐震評価上考慮する状態

補機冷却用海水取水路の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

埋設構造物であるため、積雪を考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.3.2 荷重

補機冷却用海水取水路の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び水圧による荷重を考慮する。

(3) 地震荷重 (S<sub>s</sub>)

基準地震動S<sub>s</sub>による荷重を考慮する。

#### 3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S <sub>s</sub> )	G + P + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重

### 3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を 1 次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

図 3-6 に入力地震動算定の概念図を、図 3-7 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SLOK」を使用する。

解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

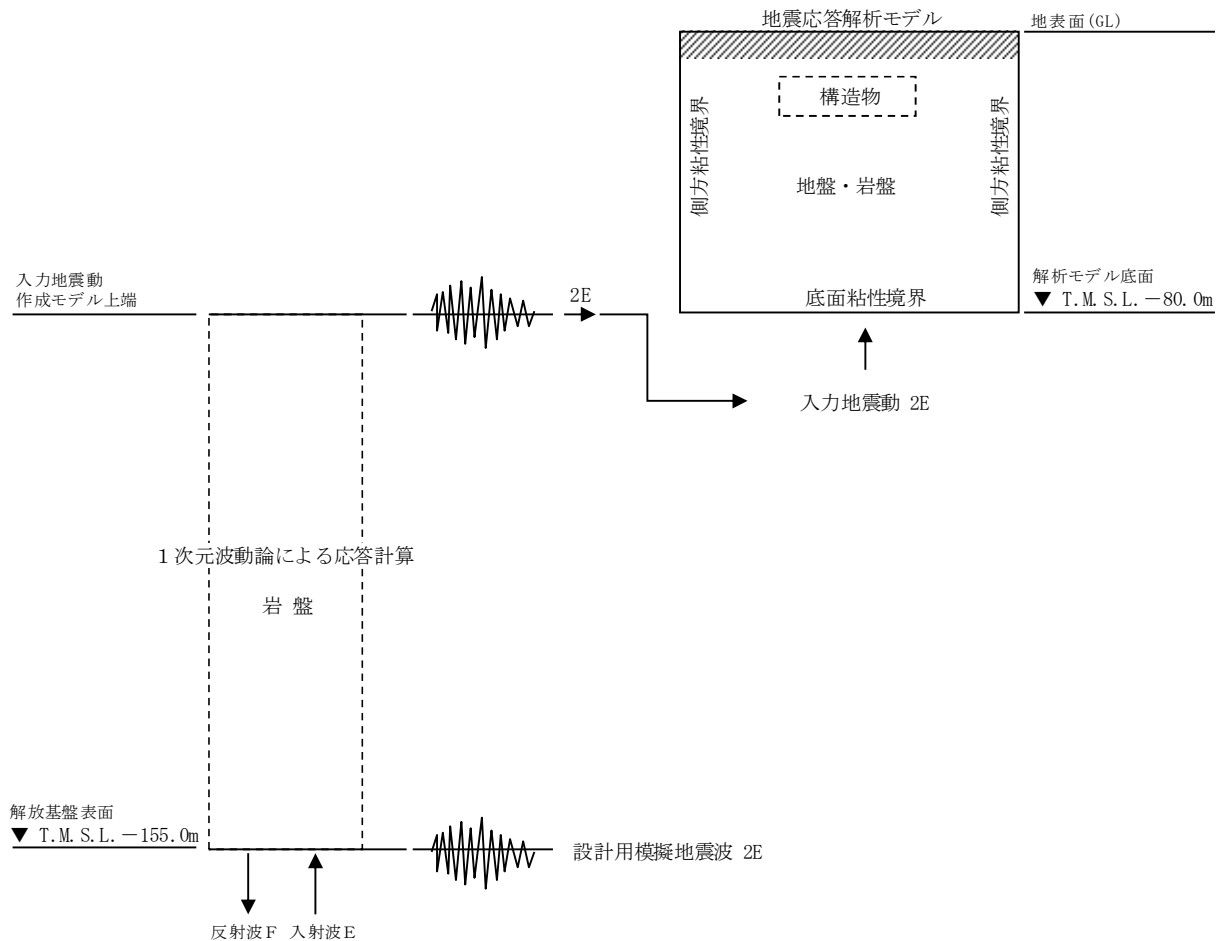
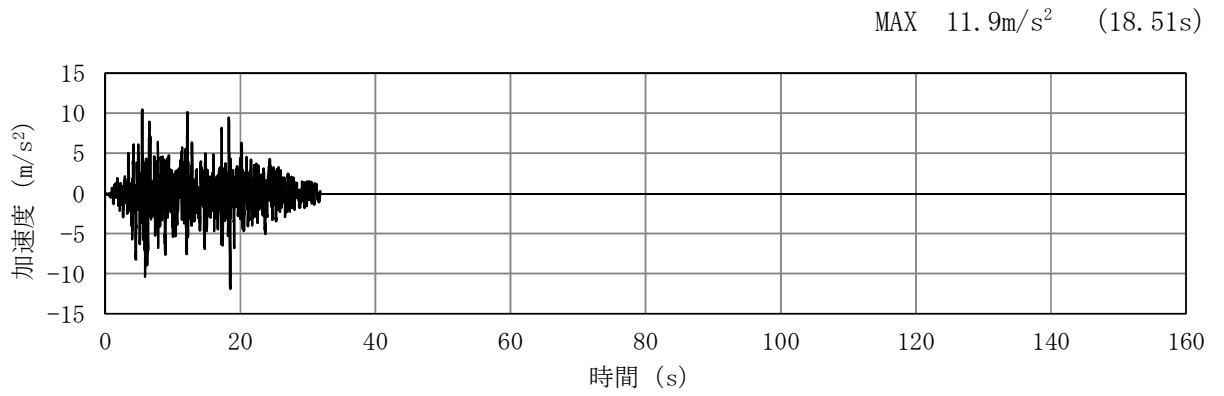
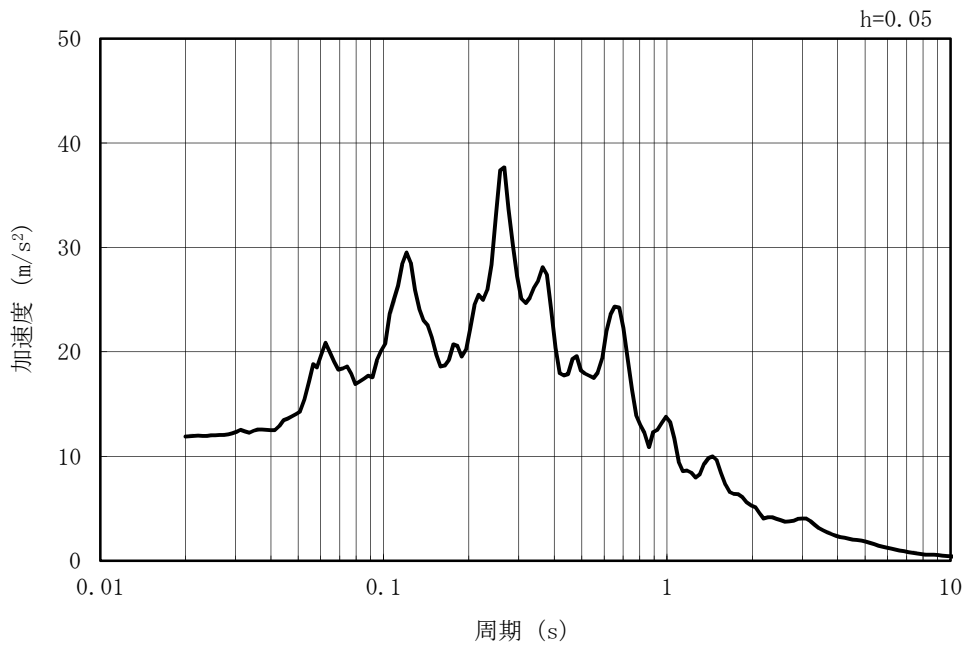


図 3-6 入力地震動算定の概念図

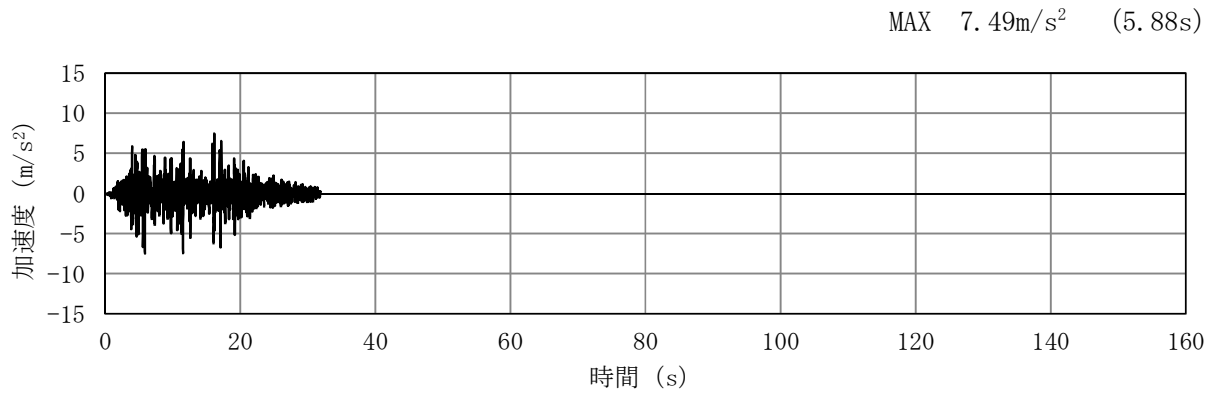


(a) 加速度時刻歴波形

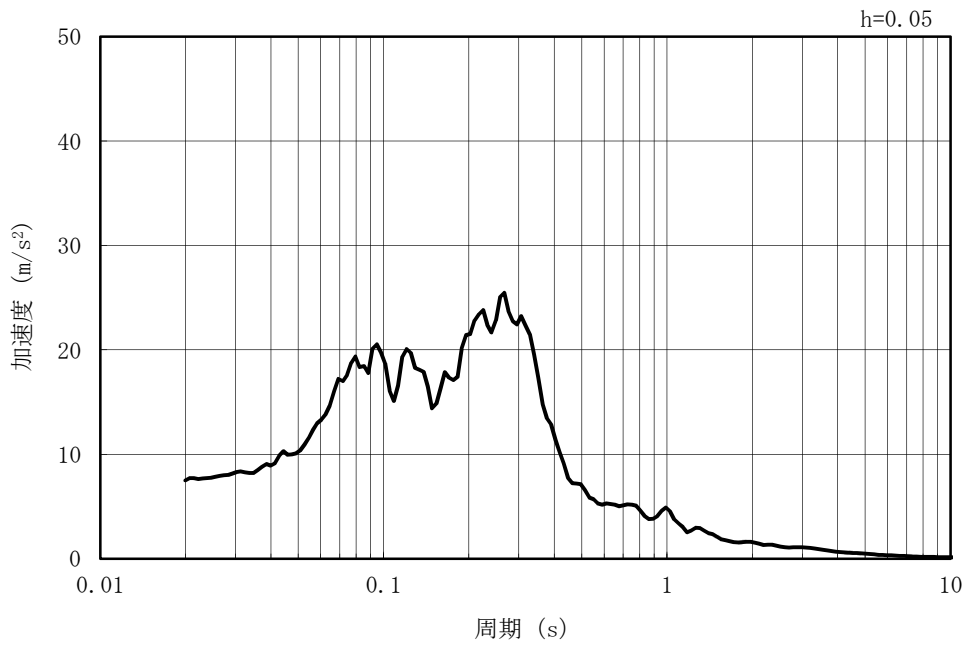


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-1)

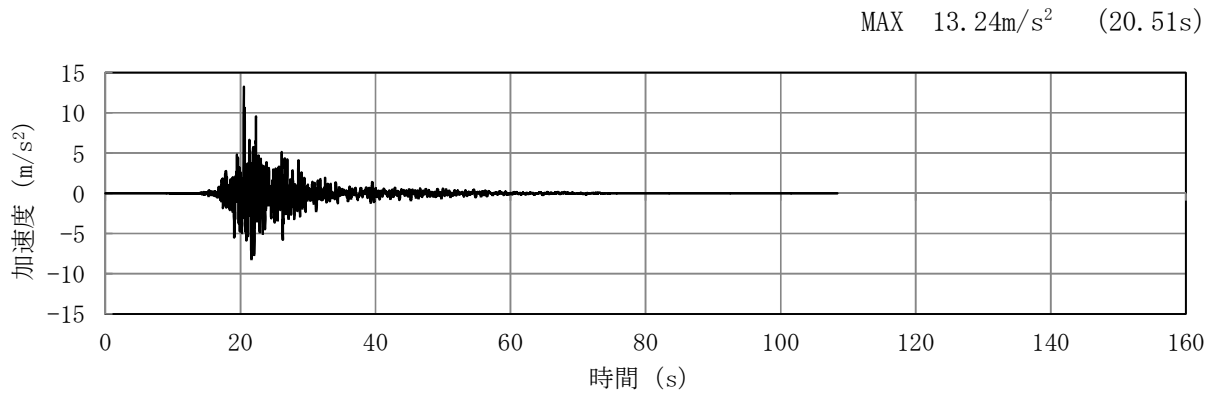


(a) 加速度時刻歴波形

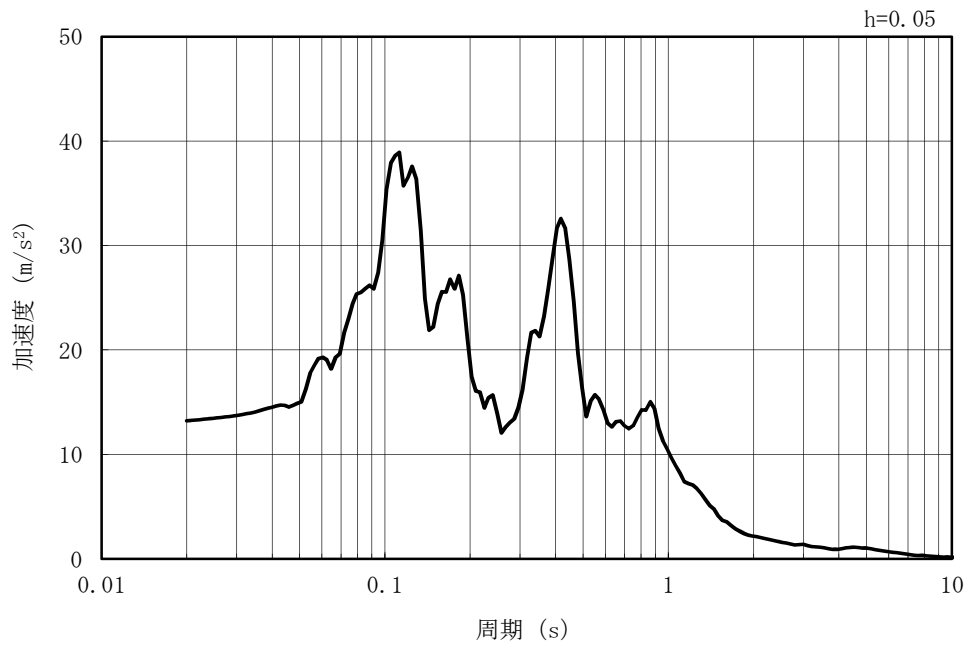


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-1)

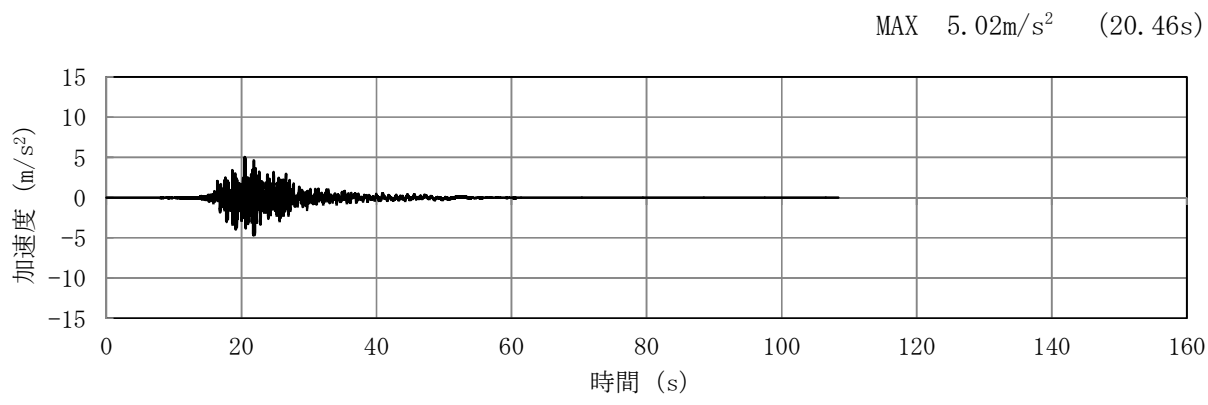


(a) 加速度時刻歴波形

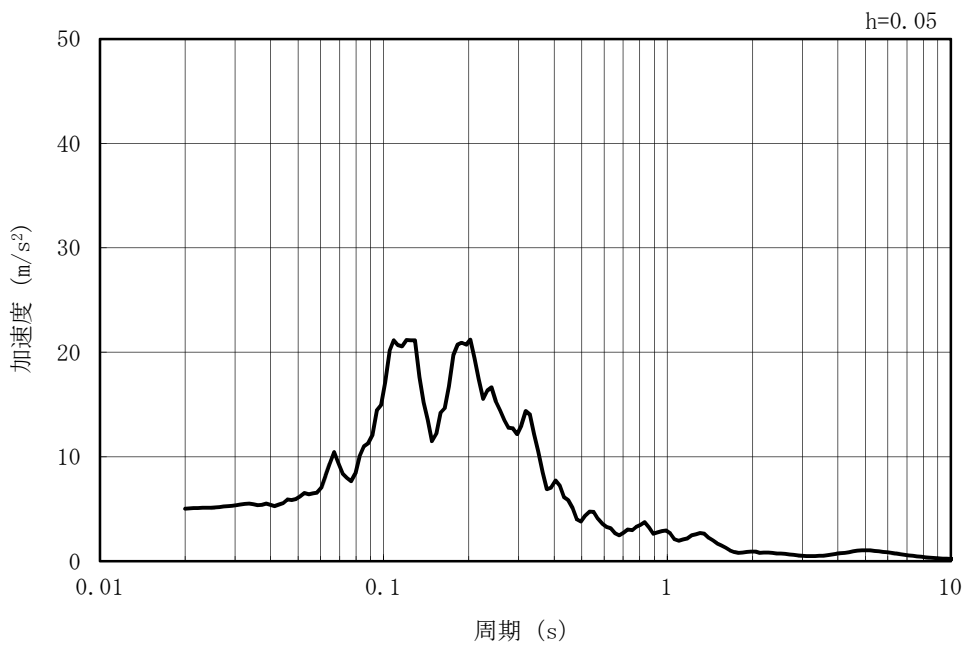


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-2EW)

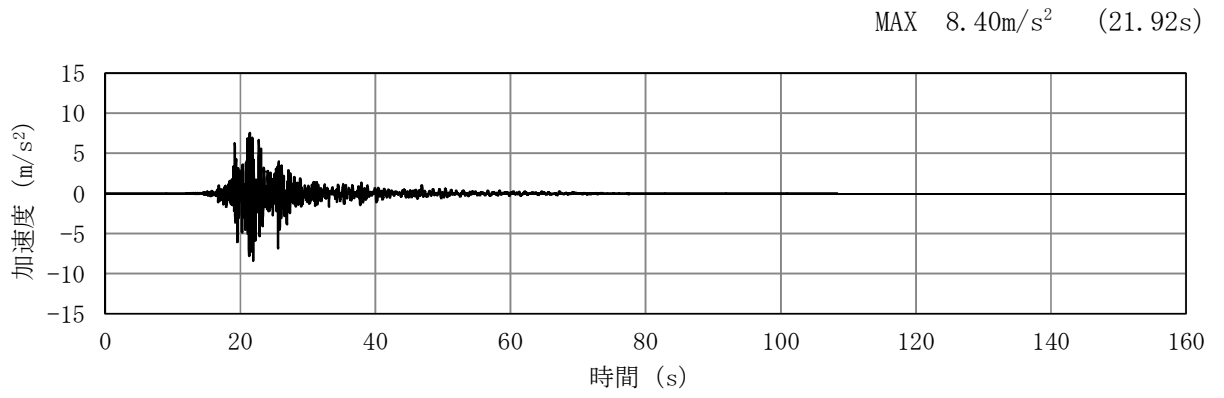


(a) 加速度時刻歴波形

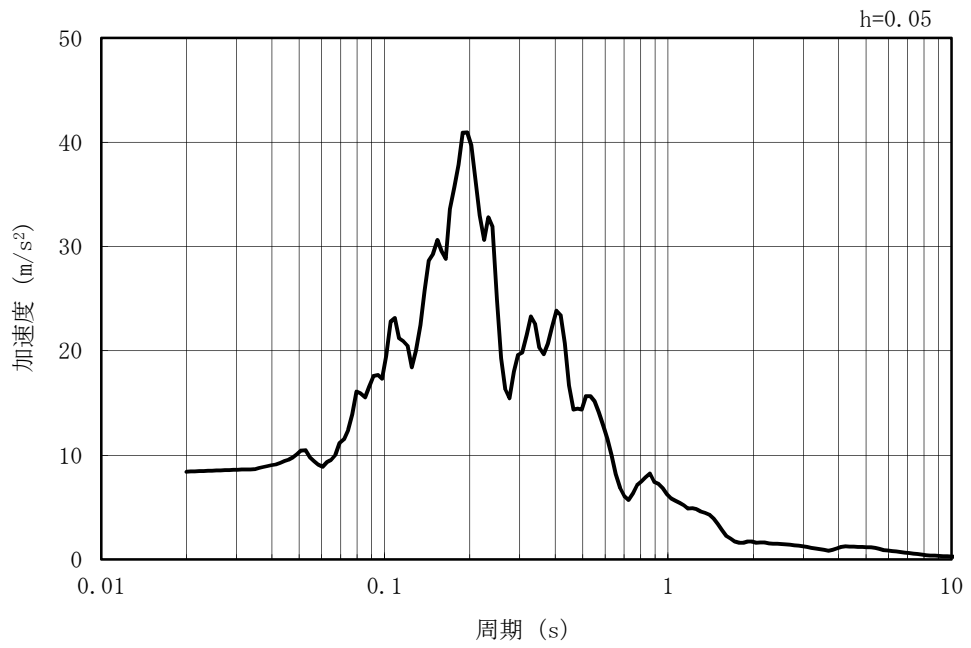


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-2EW)



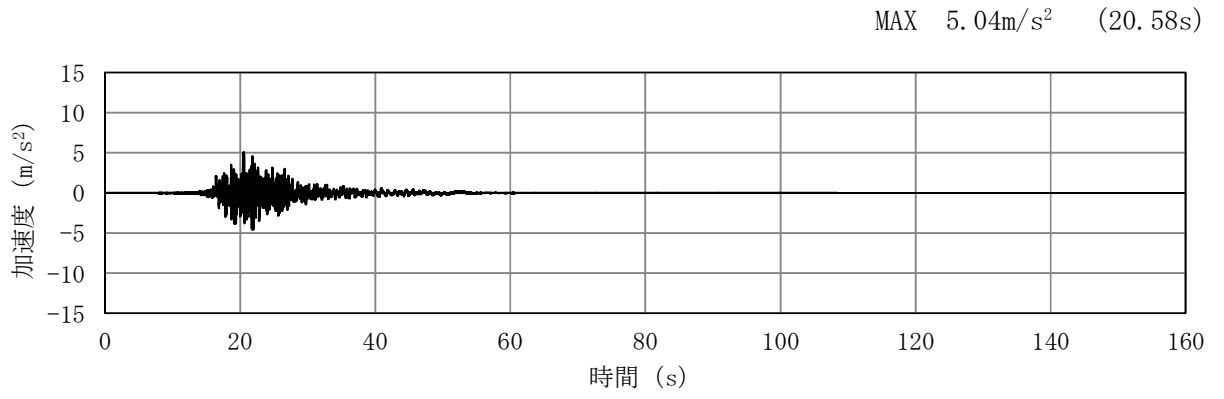
(a) 加速度時刻歴波形



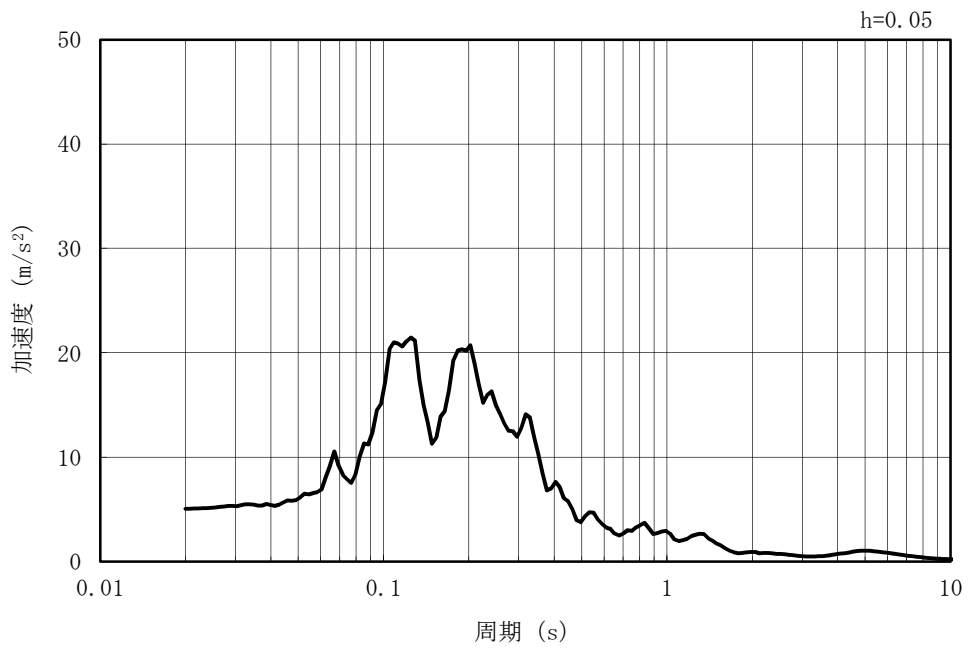
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-2NS)



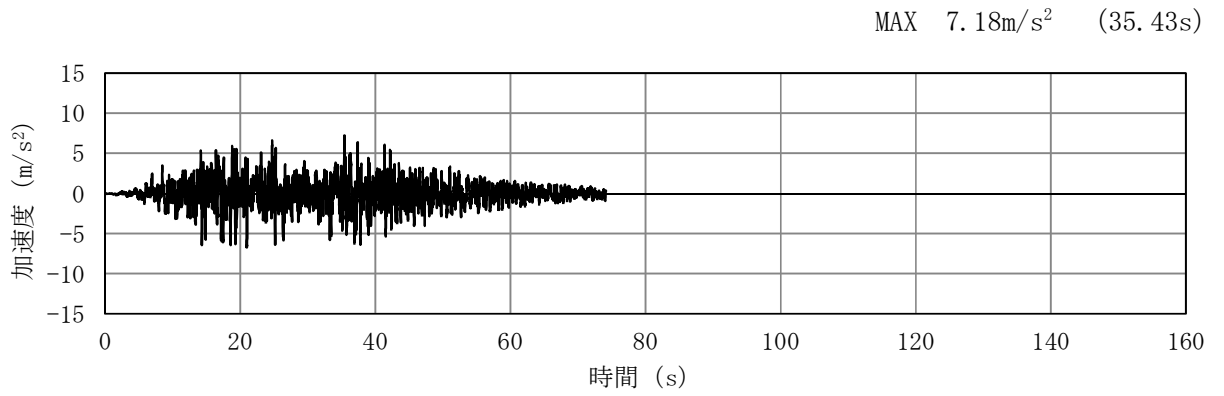


(a) 加速度時刻歴波形

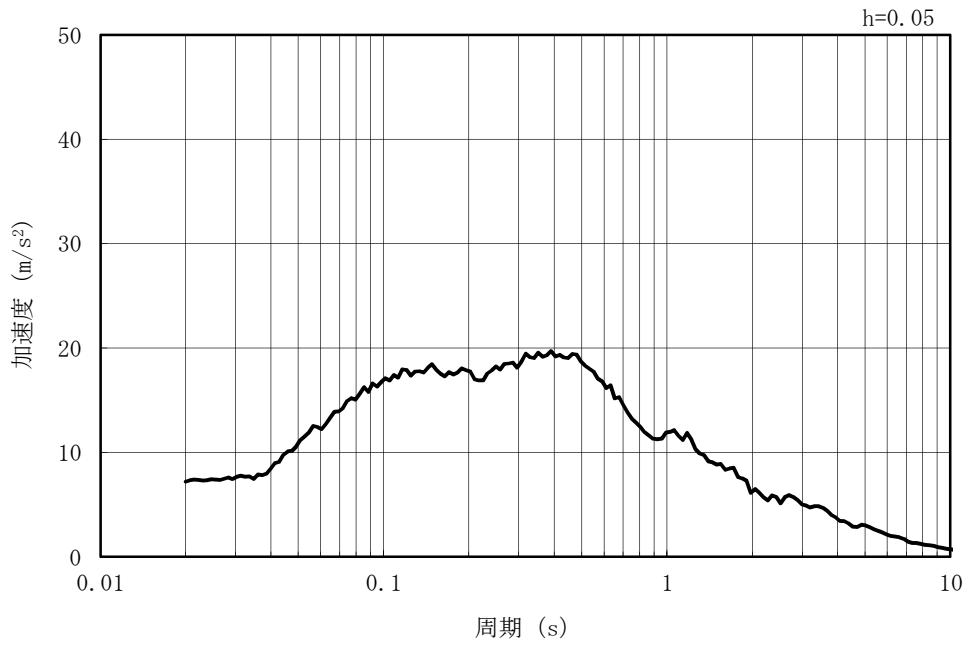


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-2NS)

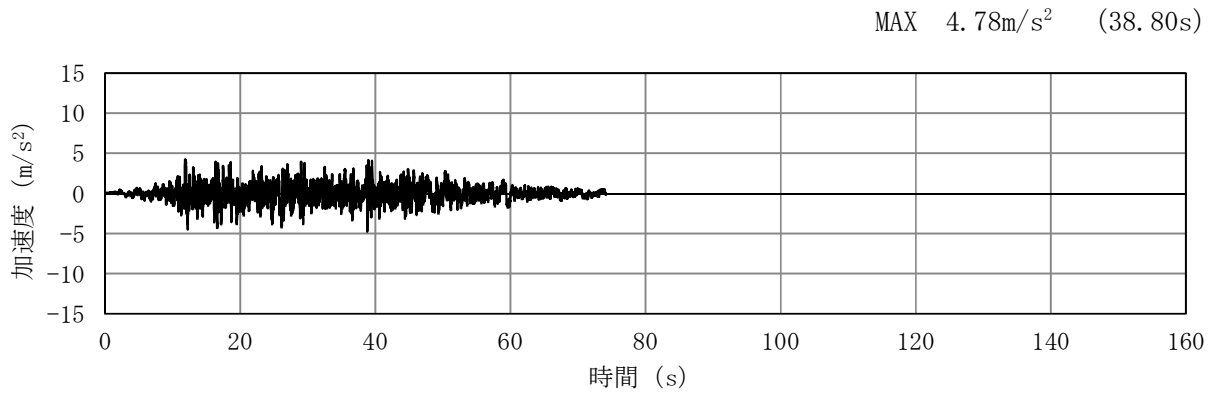


(a) 加速度時刻歴波形

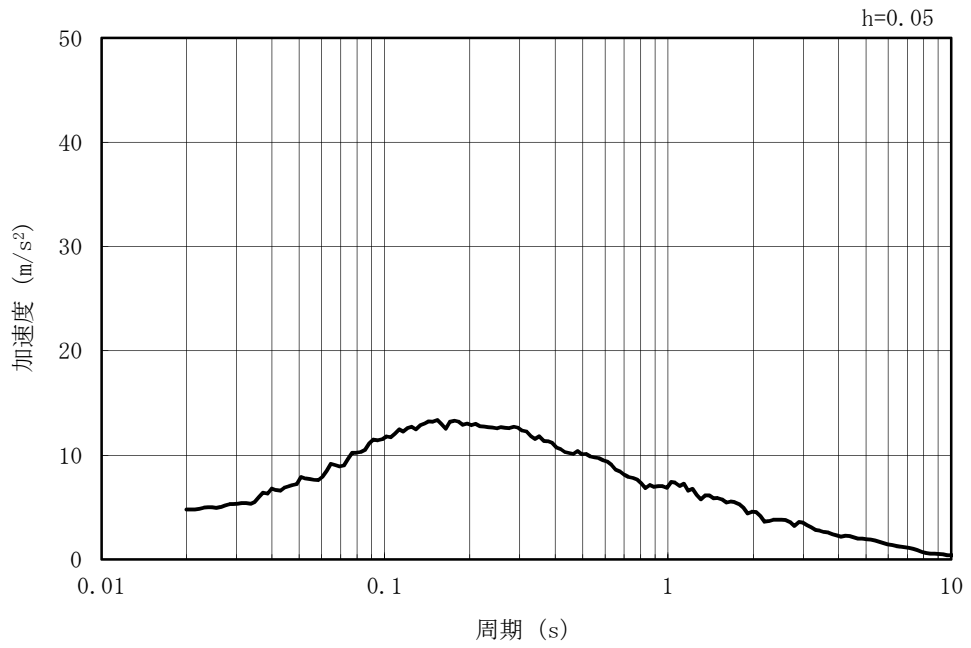


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-3)

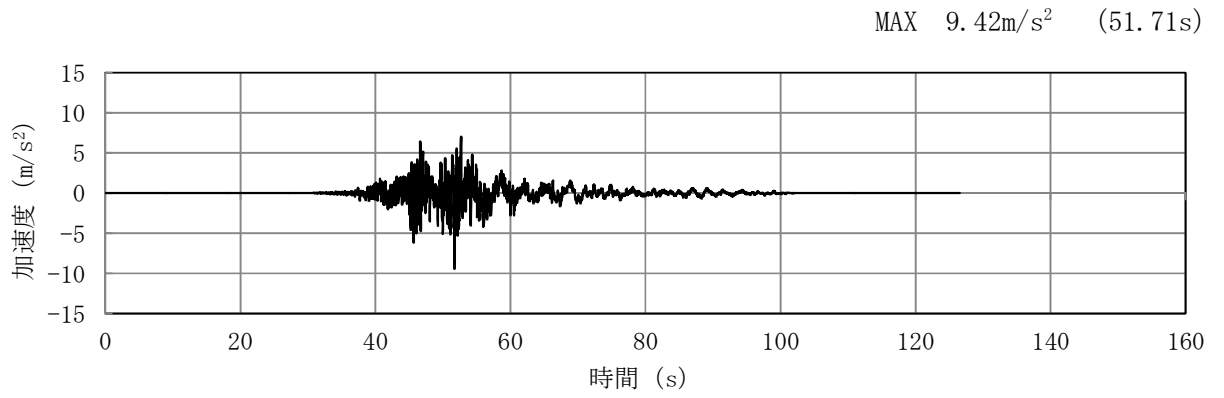


(a) 加速度時刻歴波形

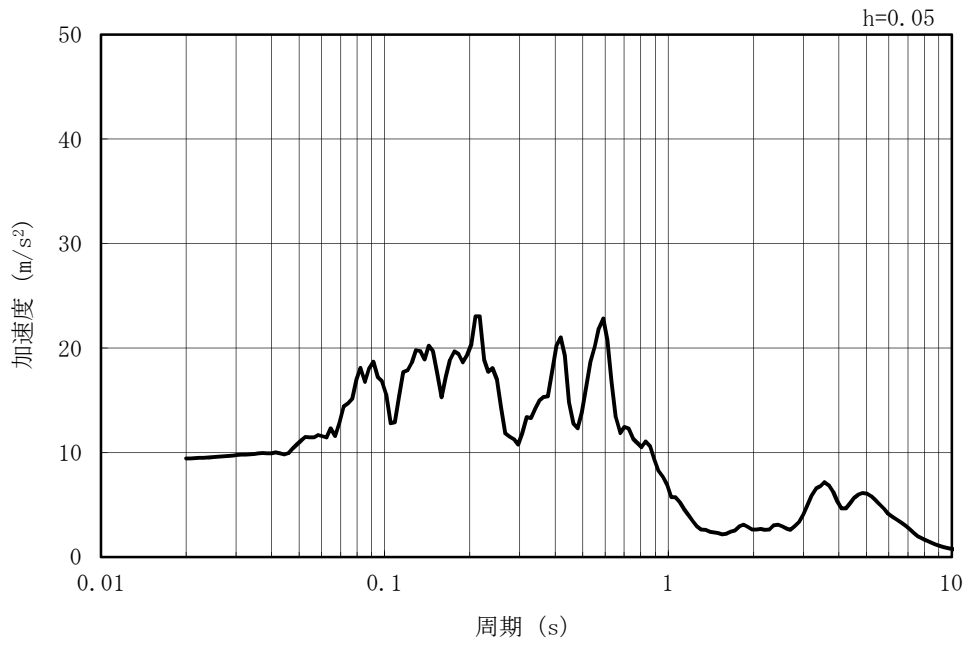


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-3)

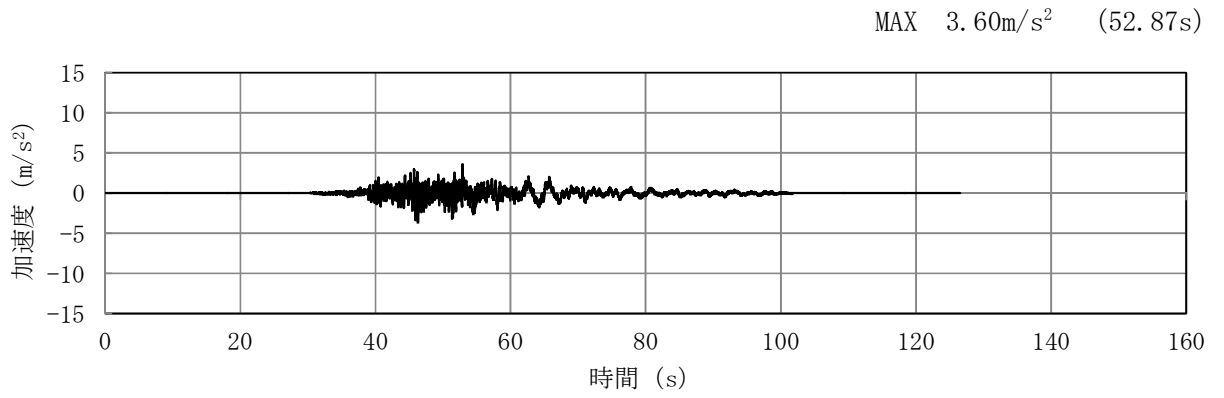


(a) 加速度時刻歴波形

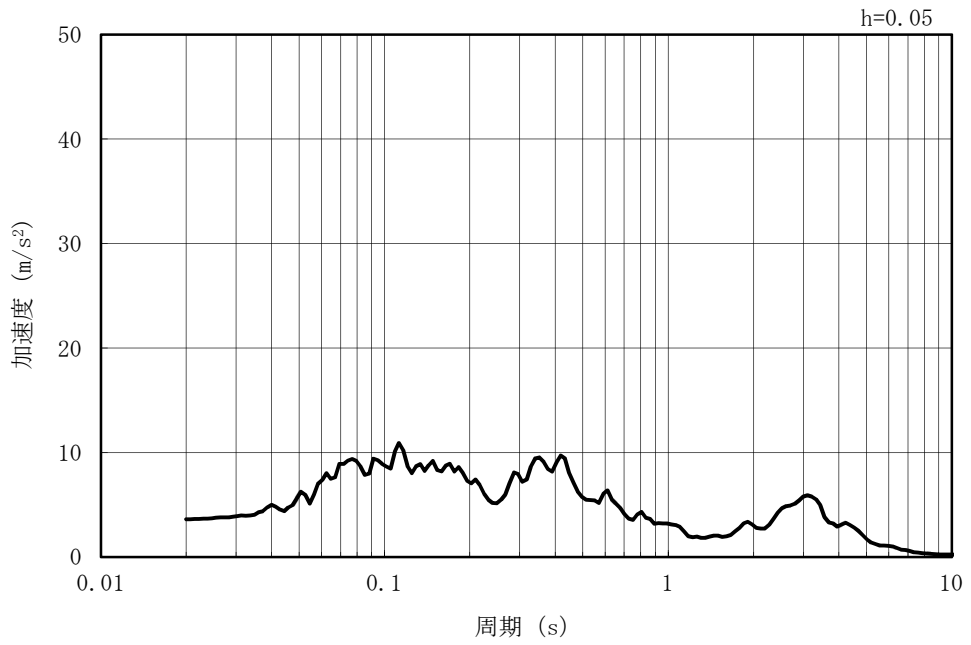


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-4EW)

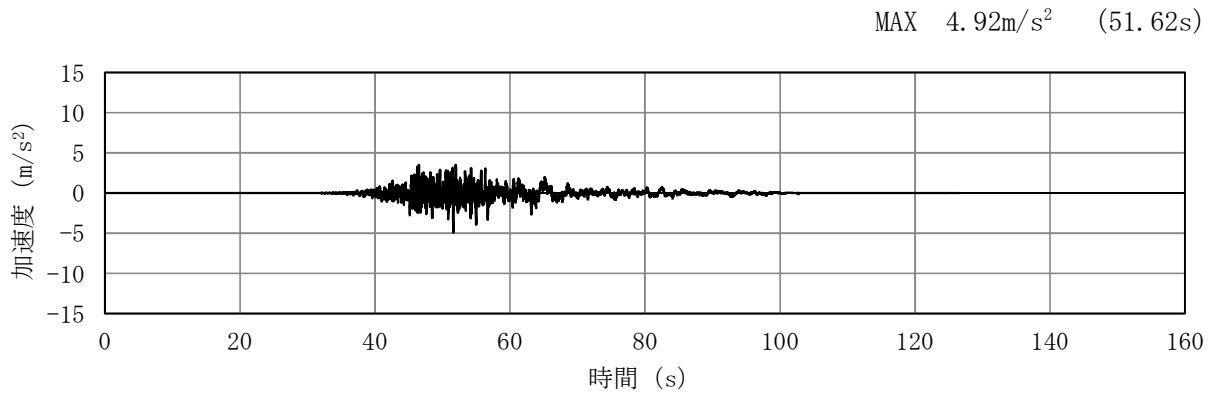


(a) 加速度時刻歴波形

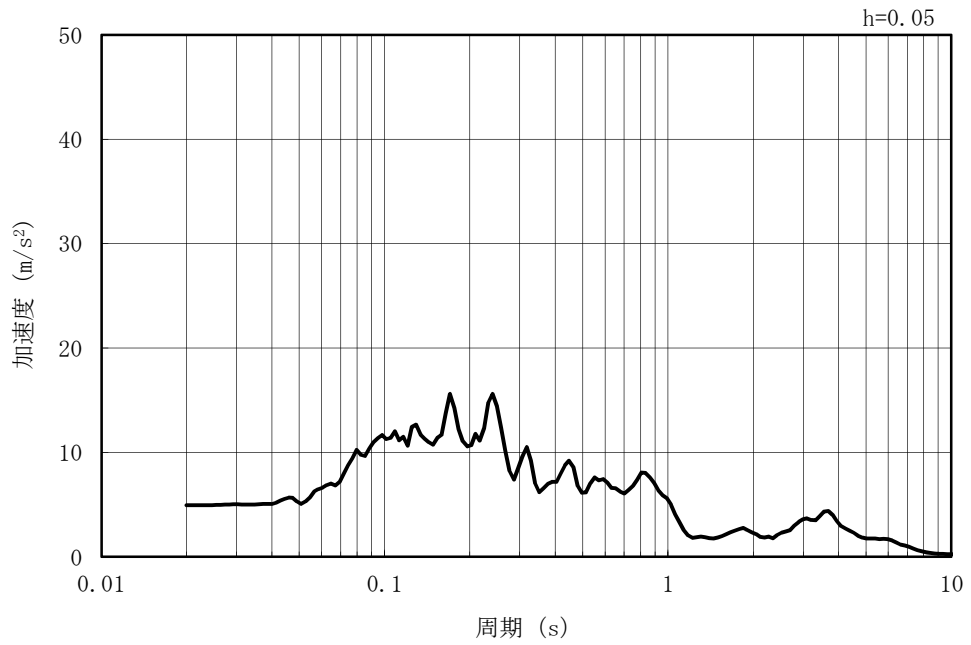


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-4EW)

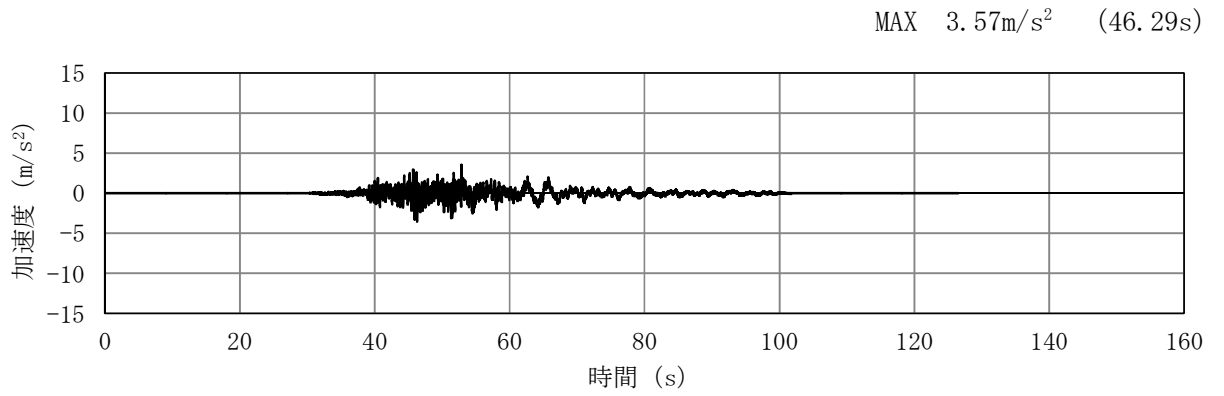


(a) 加速度時刻歴波形

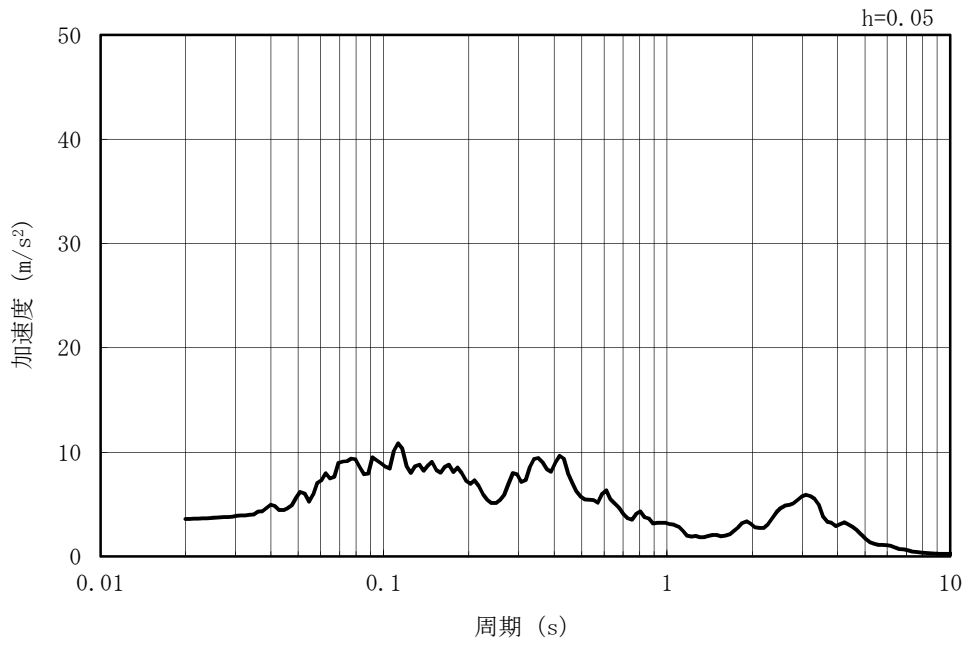


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-4NS)

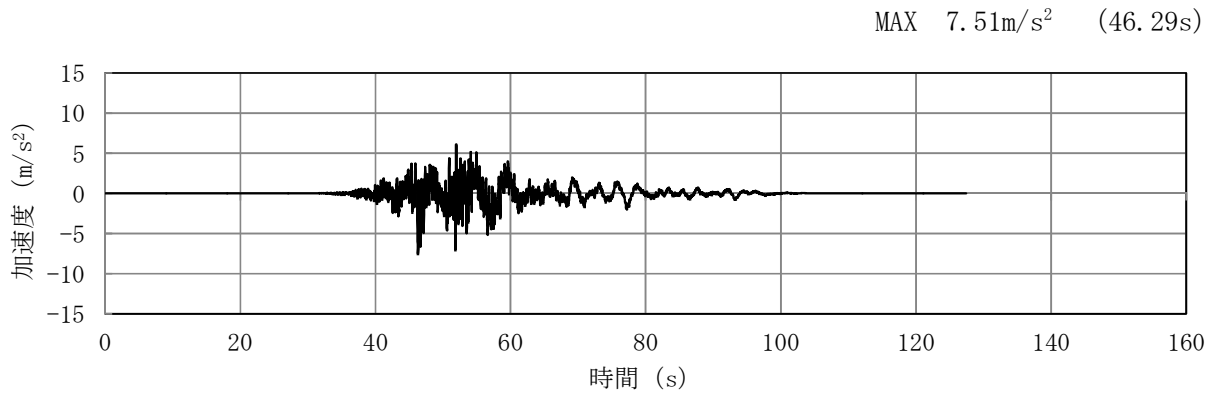


(a) 加速度時刻歴波形

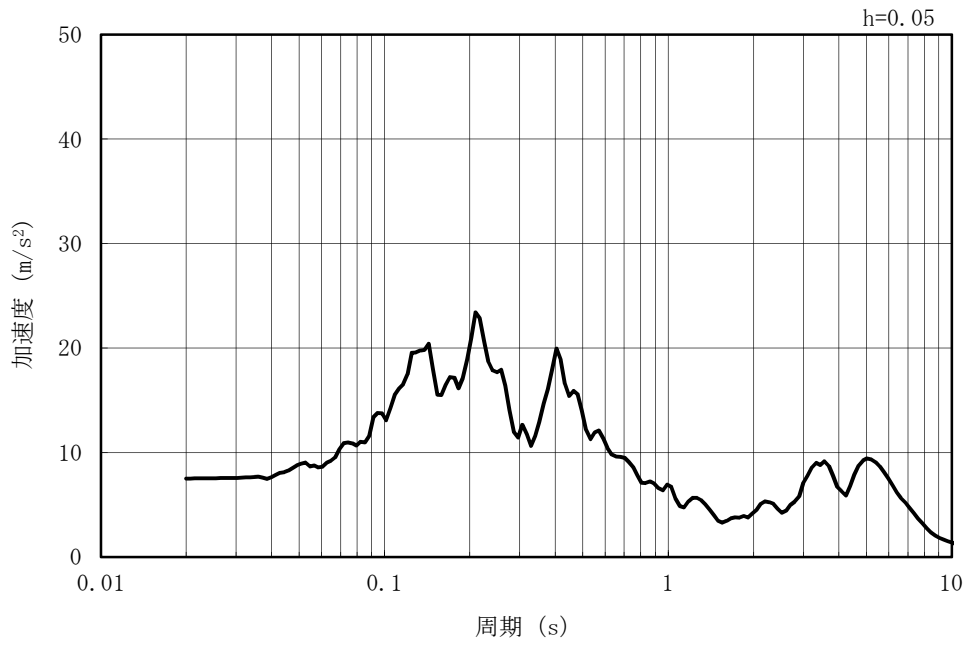


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-4NS)



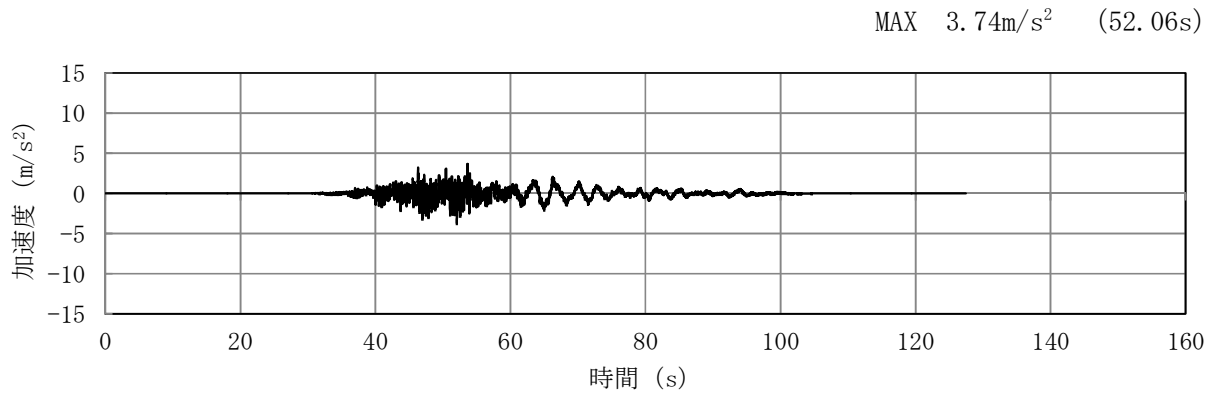
(a) 加速度時刻歴波形



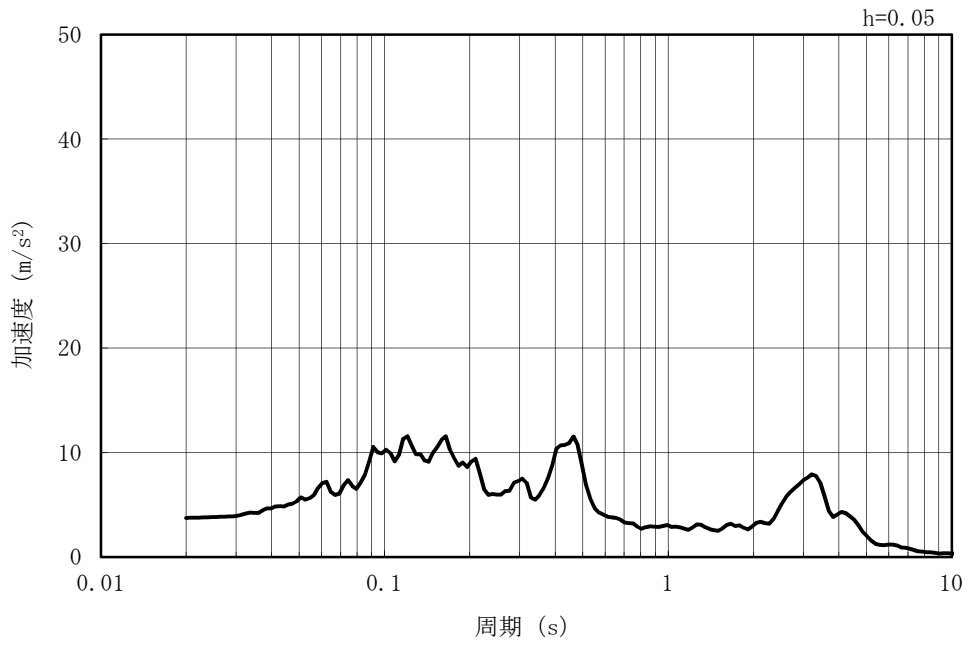
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-5EW)



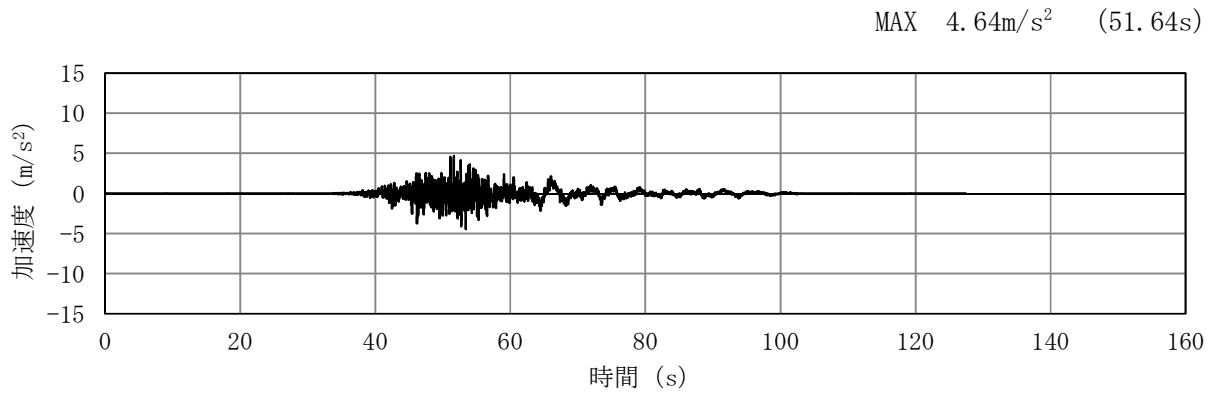


(a) 加速度時刻歴波形

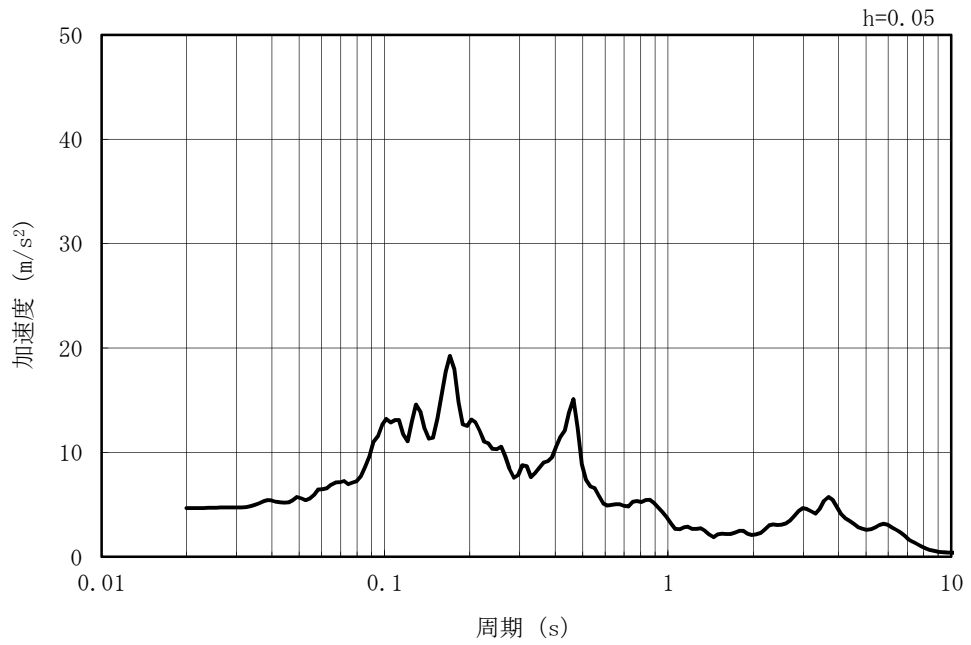


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-5EW)

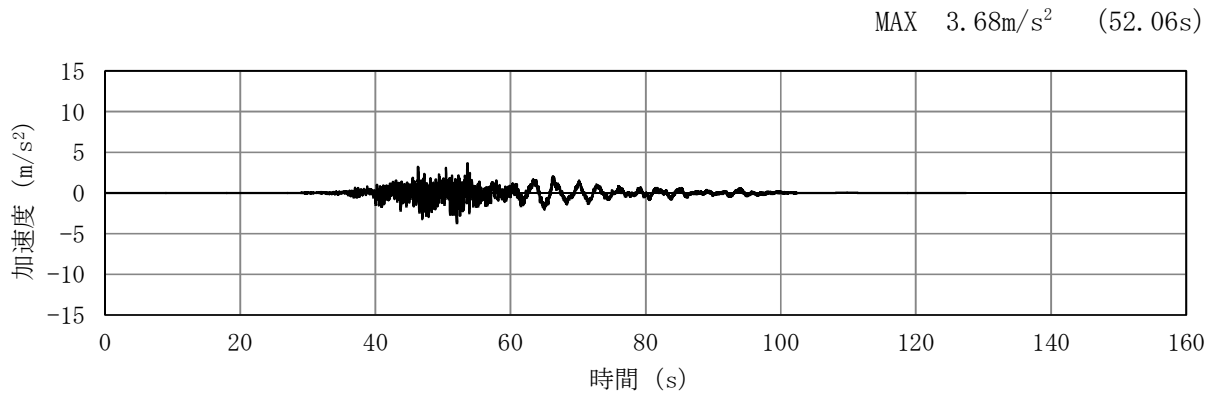


(a) 加速度時刻歴波形

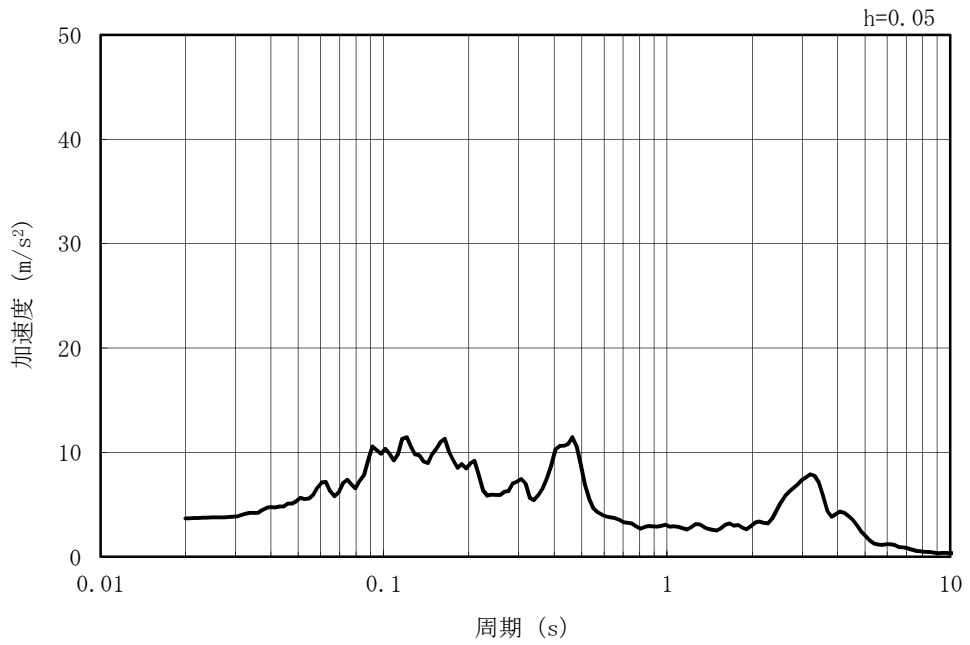


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-5NS)

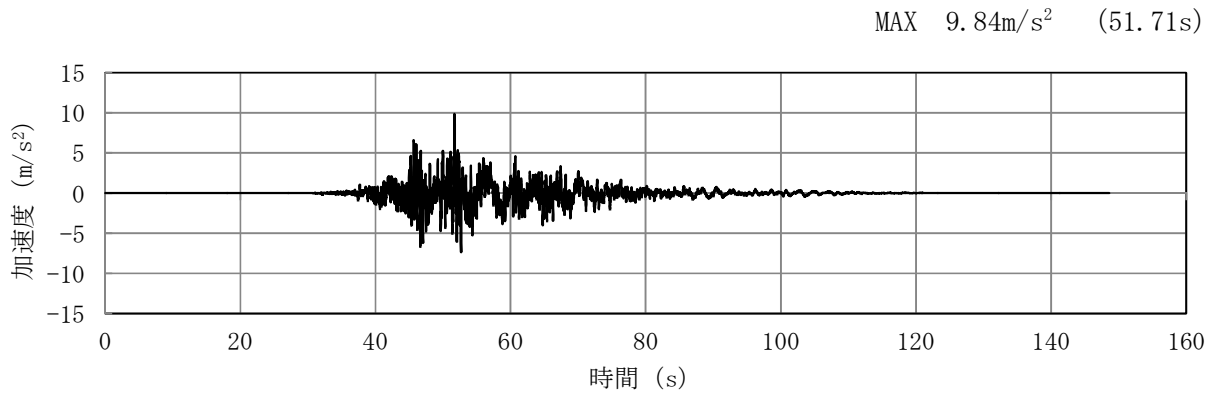


(a) 加速度時刻歴波形

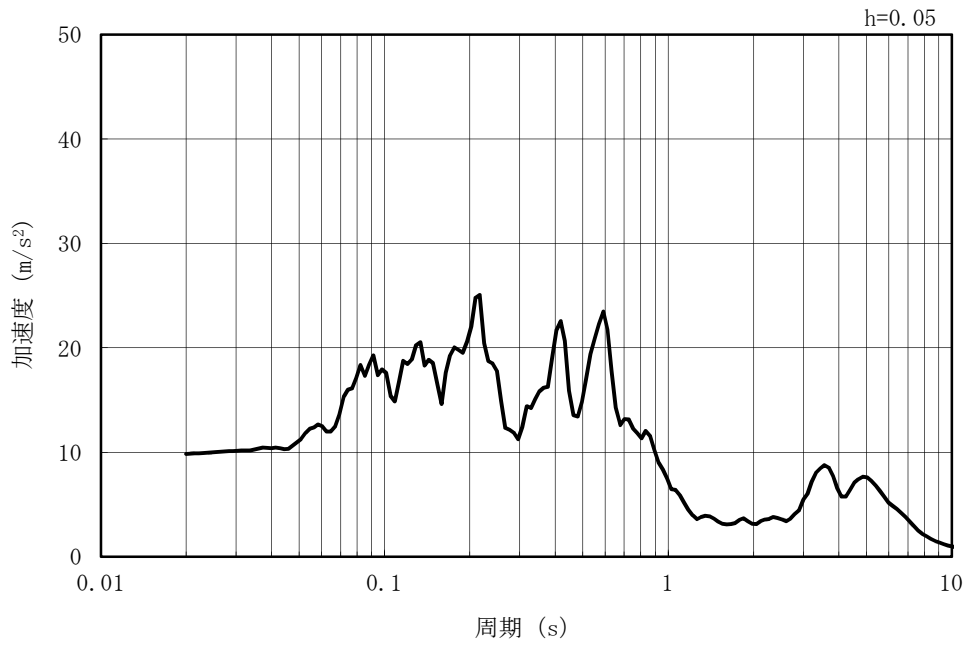


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-5NS)

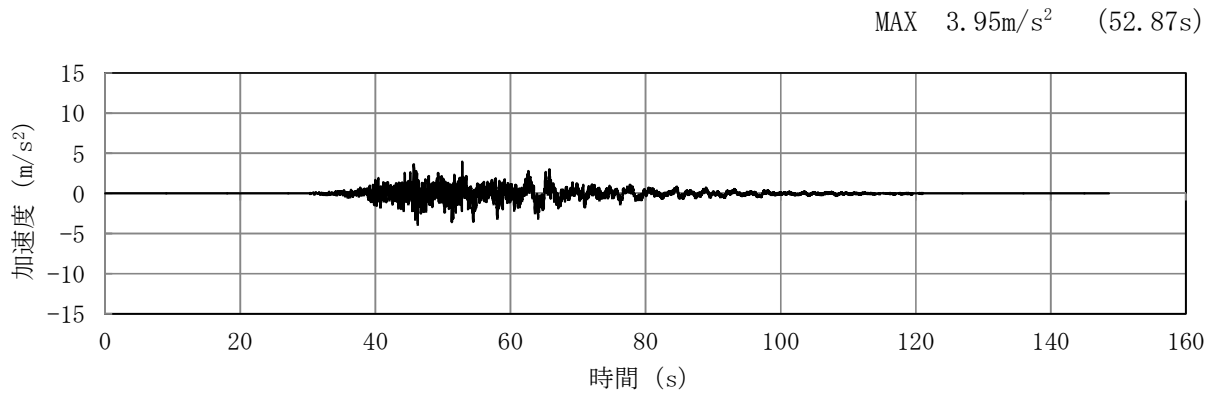


(a) 加速度時刻歴波形

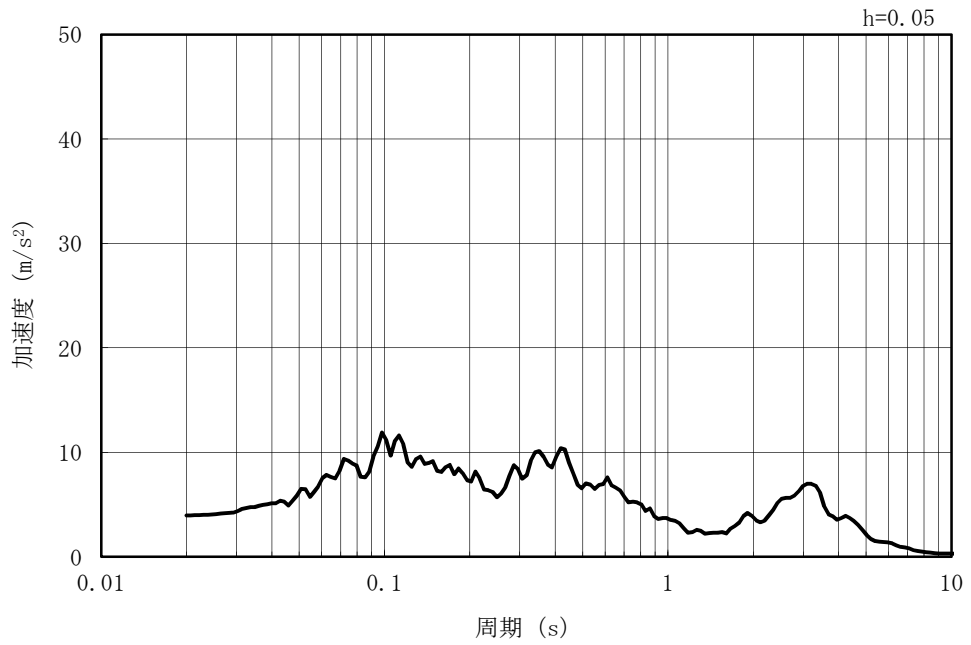


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (17) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-6EW)

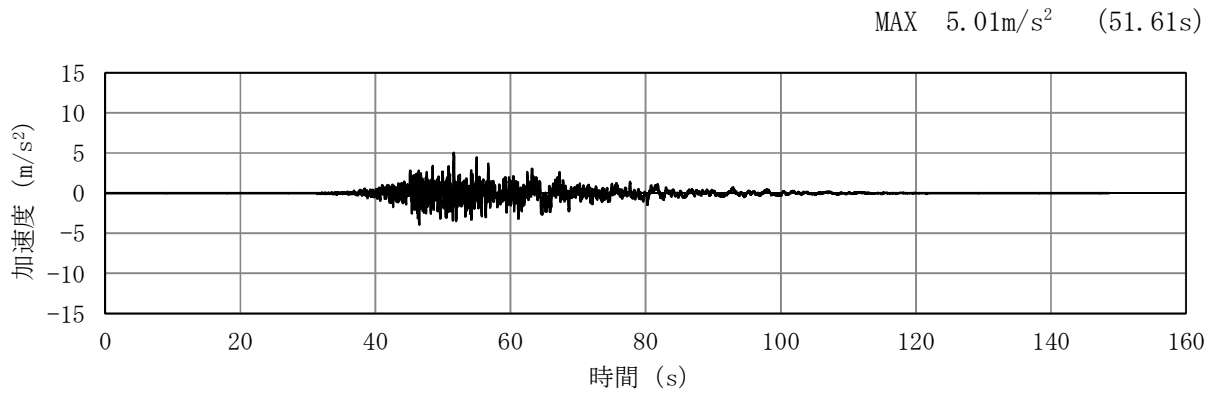


(a) 加速度時刻歴波形

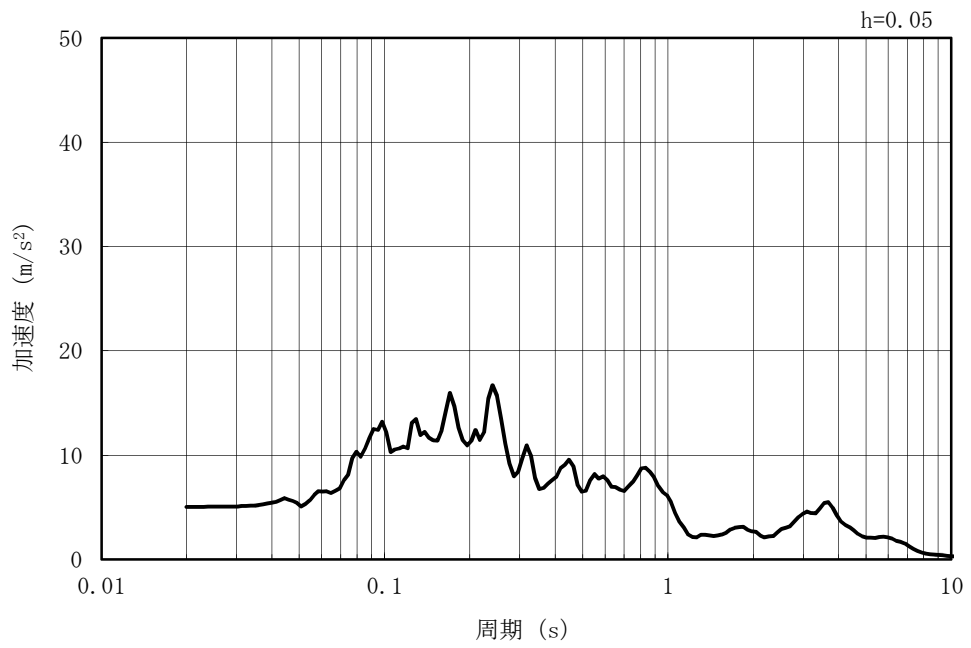


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (18) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-6EW)

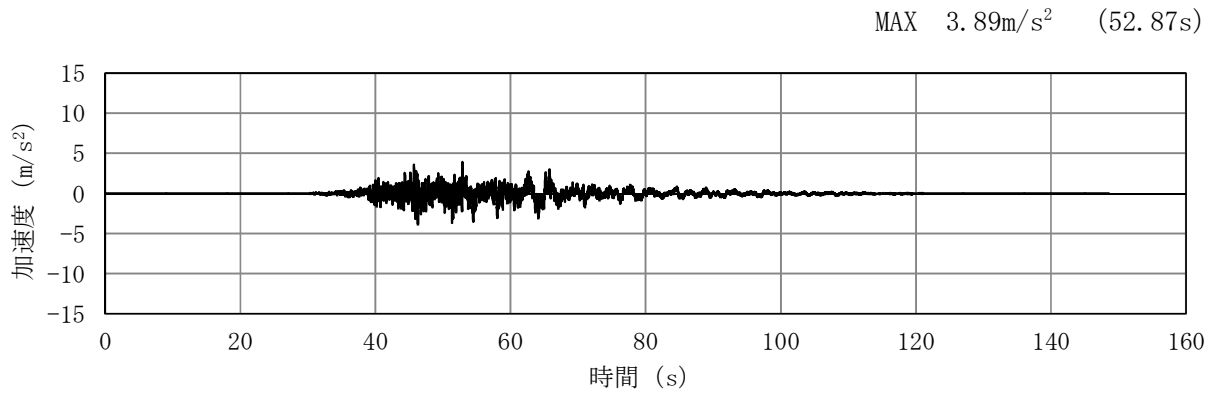


(a) 加速度時刻歴波形

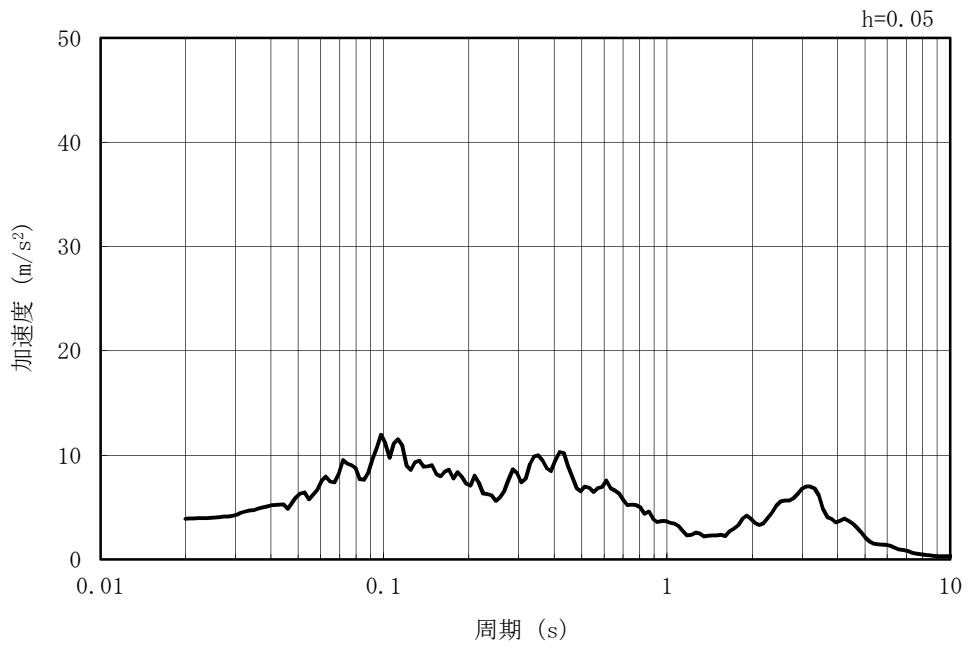


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (19) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-6NS)

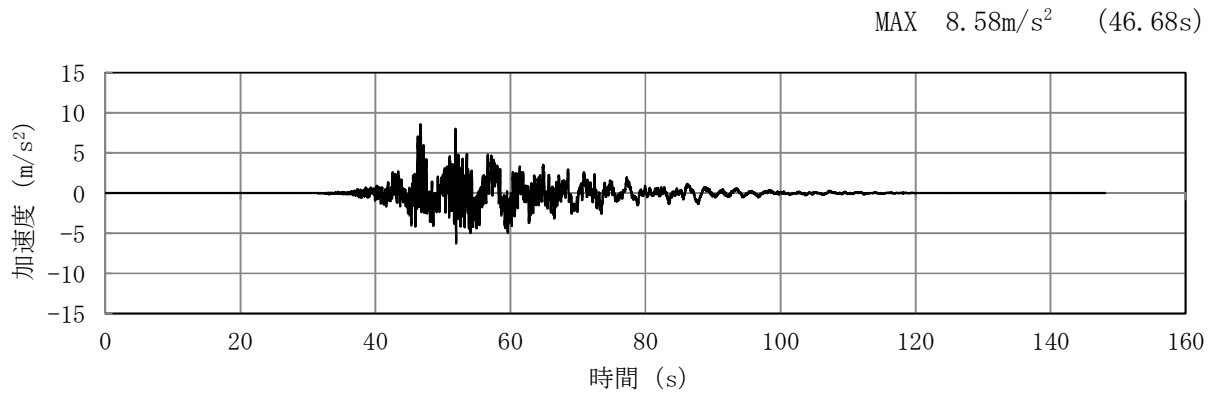


(a) 加速度時刻歴波形

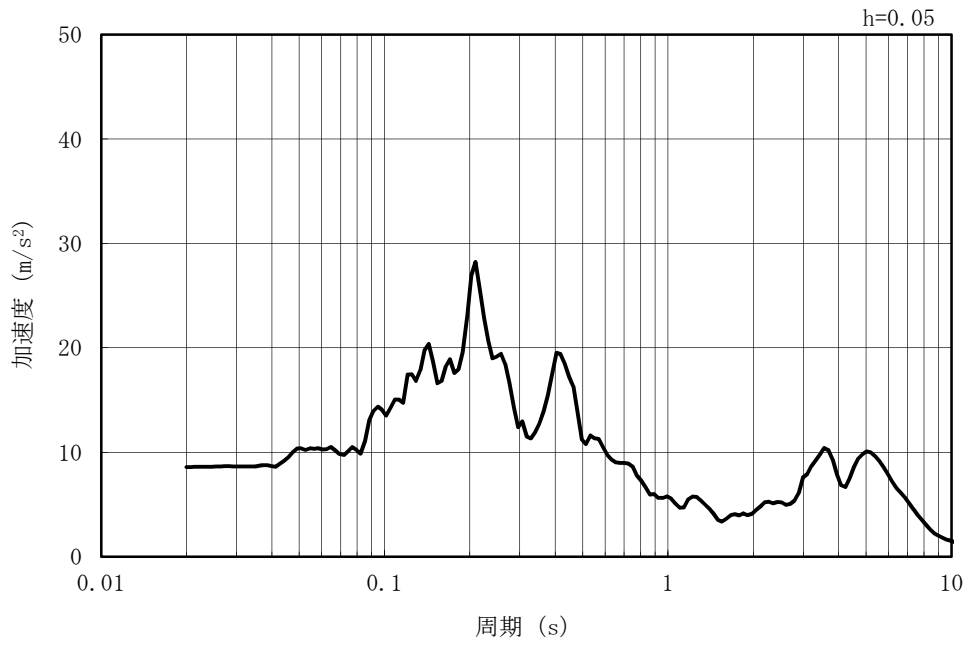


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (20) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-6NS)



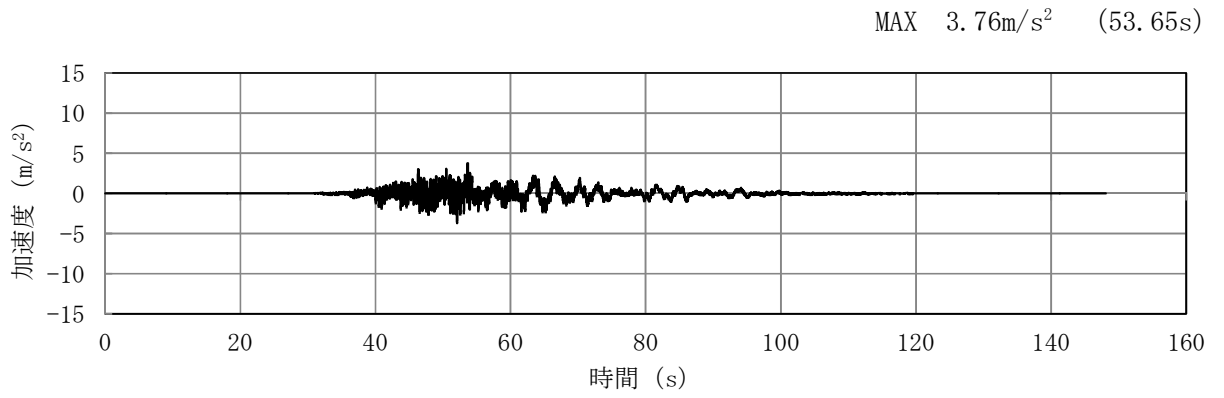
(a) 加速度時刻歴波形



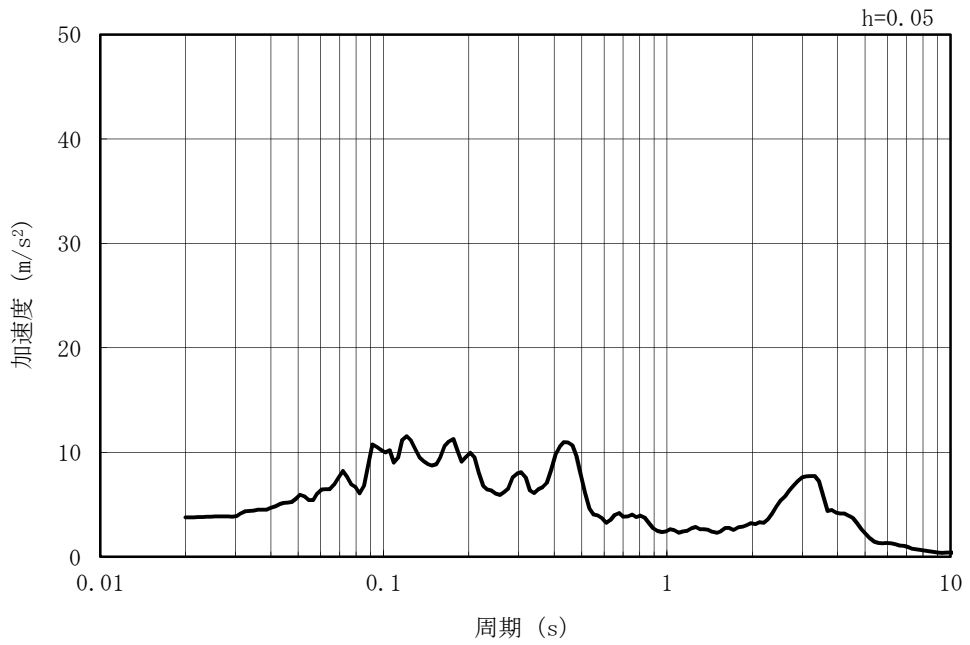
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-7EW)



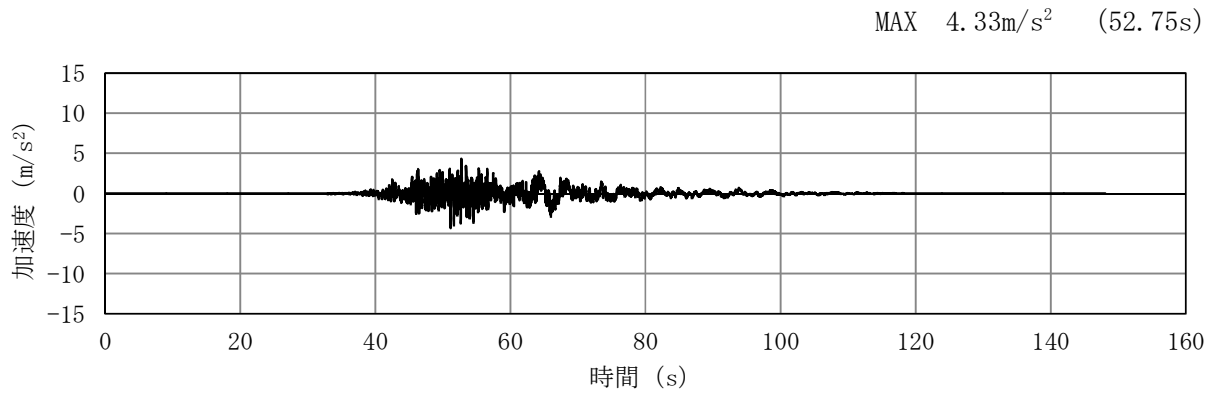


(a) 加速度時刻歴波形

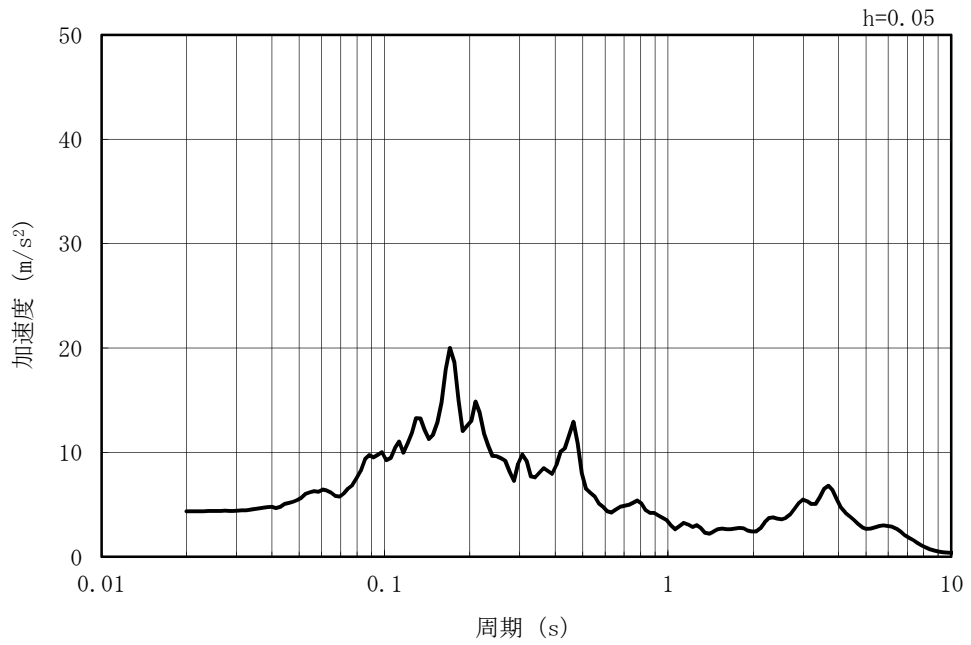


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-7EW)

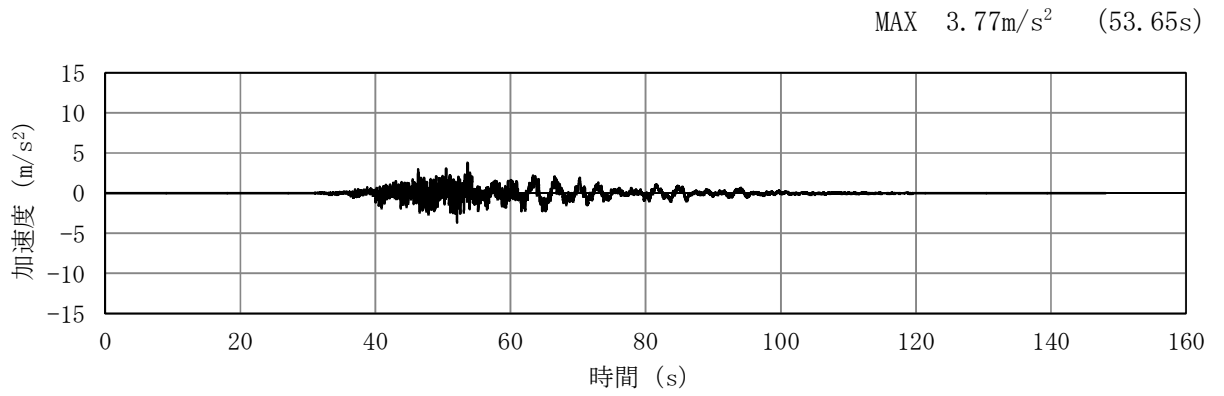


(a) 加速度時刻歴波形

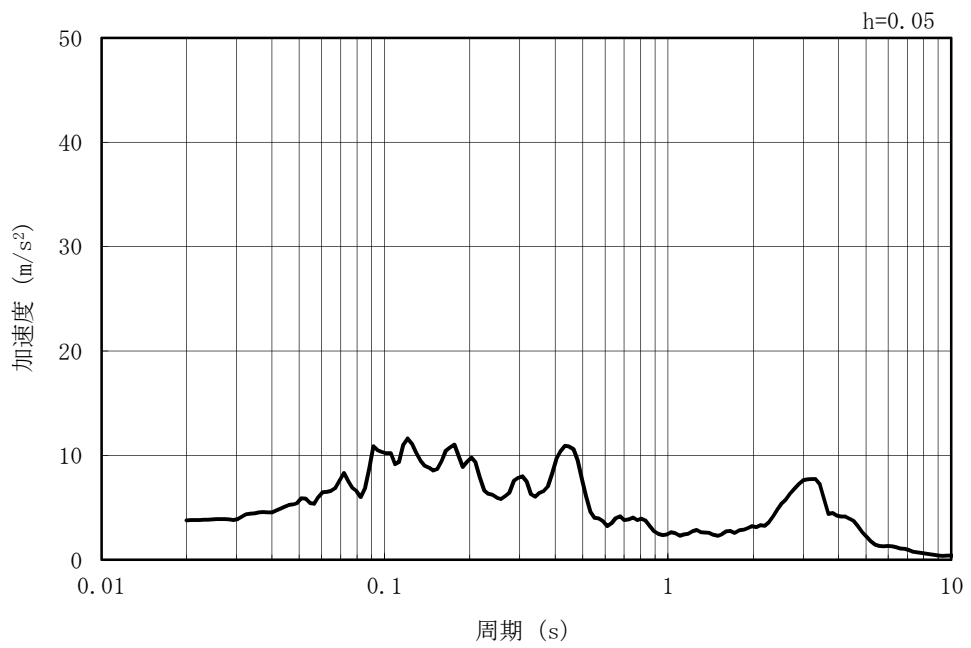


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (23) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-7NS)

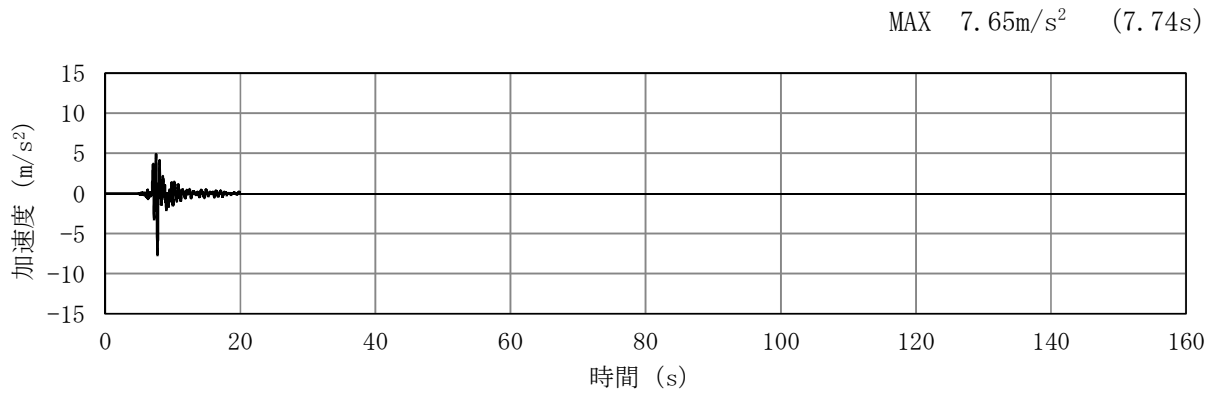


(a) 加速度時刻歴波形

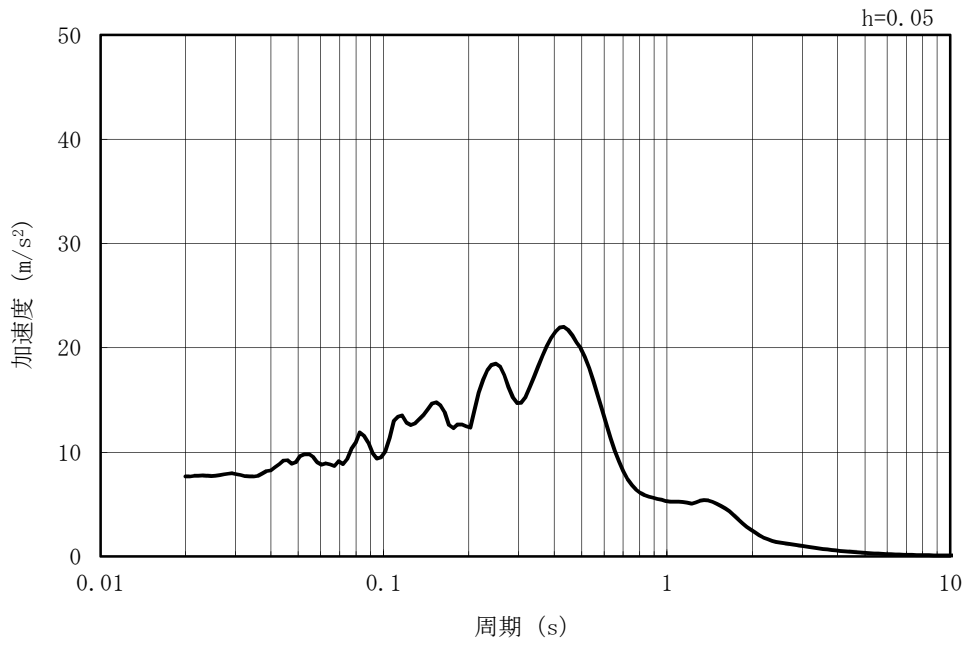


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (24) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-7NS)

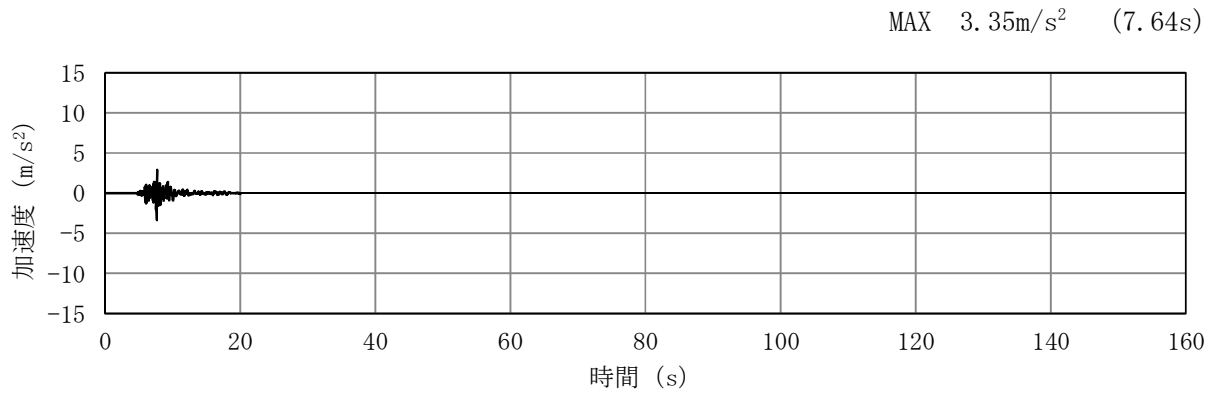


(a) 加速度時刻歴波形

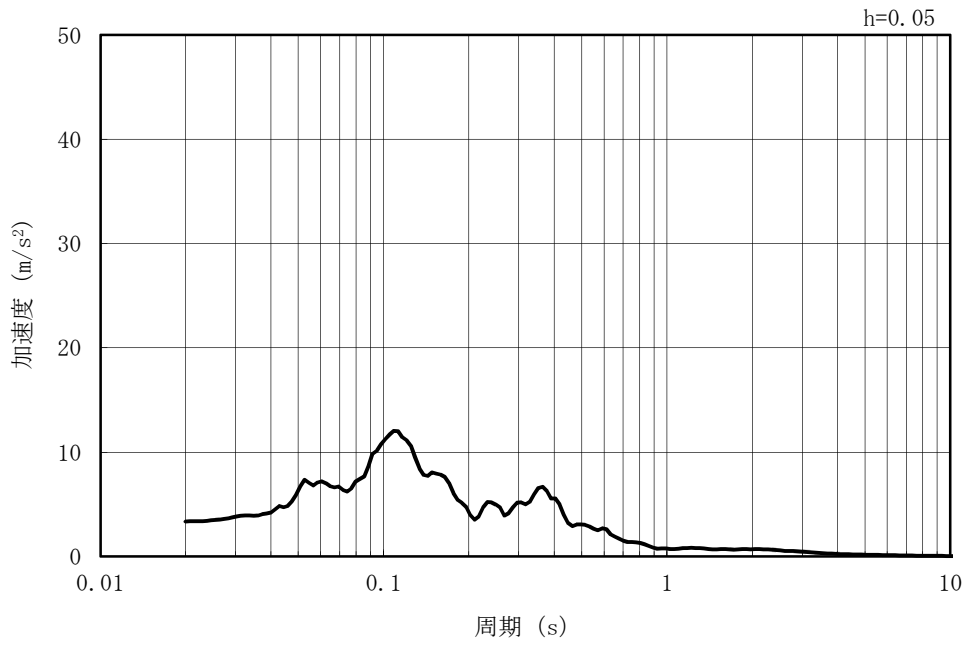


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (25) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (26) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-8)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 地震応答解析モデル

補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデルを図3-8に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素及び線形平面ひずみ要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) マンメイドロックのモデル化

マンメイドロックは、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化する。

(6) 地盤改良体のモデル化

構造物周辺の地盤改良体は、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」、「地盤改良体と構造物」、「マンメイドロックと構造物」、「地盤と地盤改良体」及び「マンメイドロックと地盤改良体」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

(8) 水位条件

補機冷却用海水取水路の内水位は、朔望平均満潮位 T. M. S. L. 0.49m に対し、保守性を考慮し、T. M. S. L. 1.0m とする。

地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、A-A断面は T. M. S. L. 8.0m に、B-B断面及びC-C断面は T. M. S. L. 5.0m～8.0m に設定する。

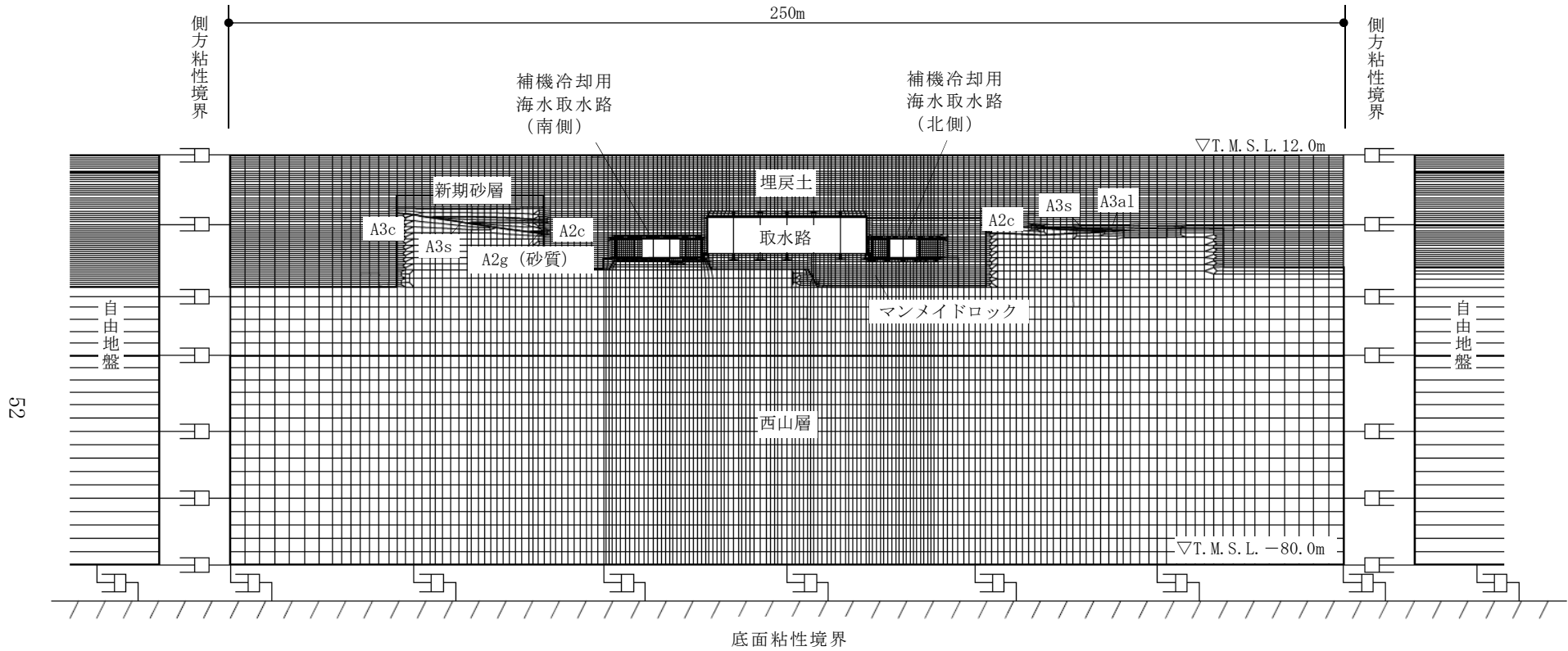


図 3-8 (1) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル (A-A断面)

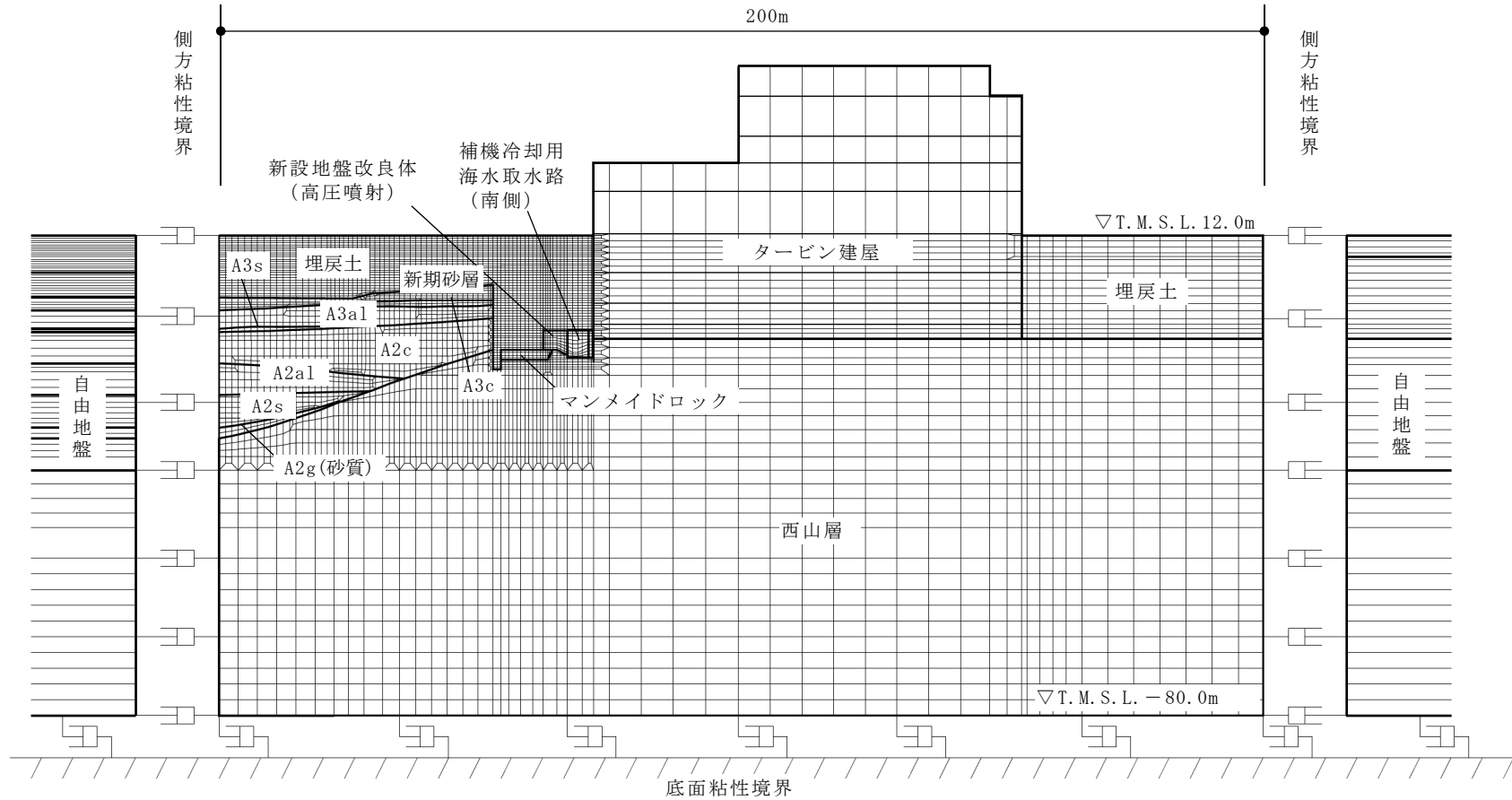
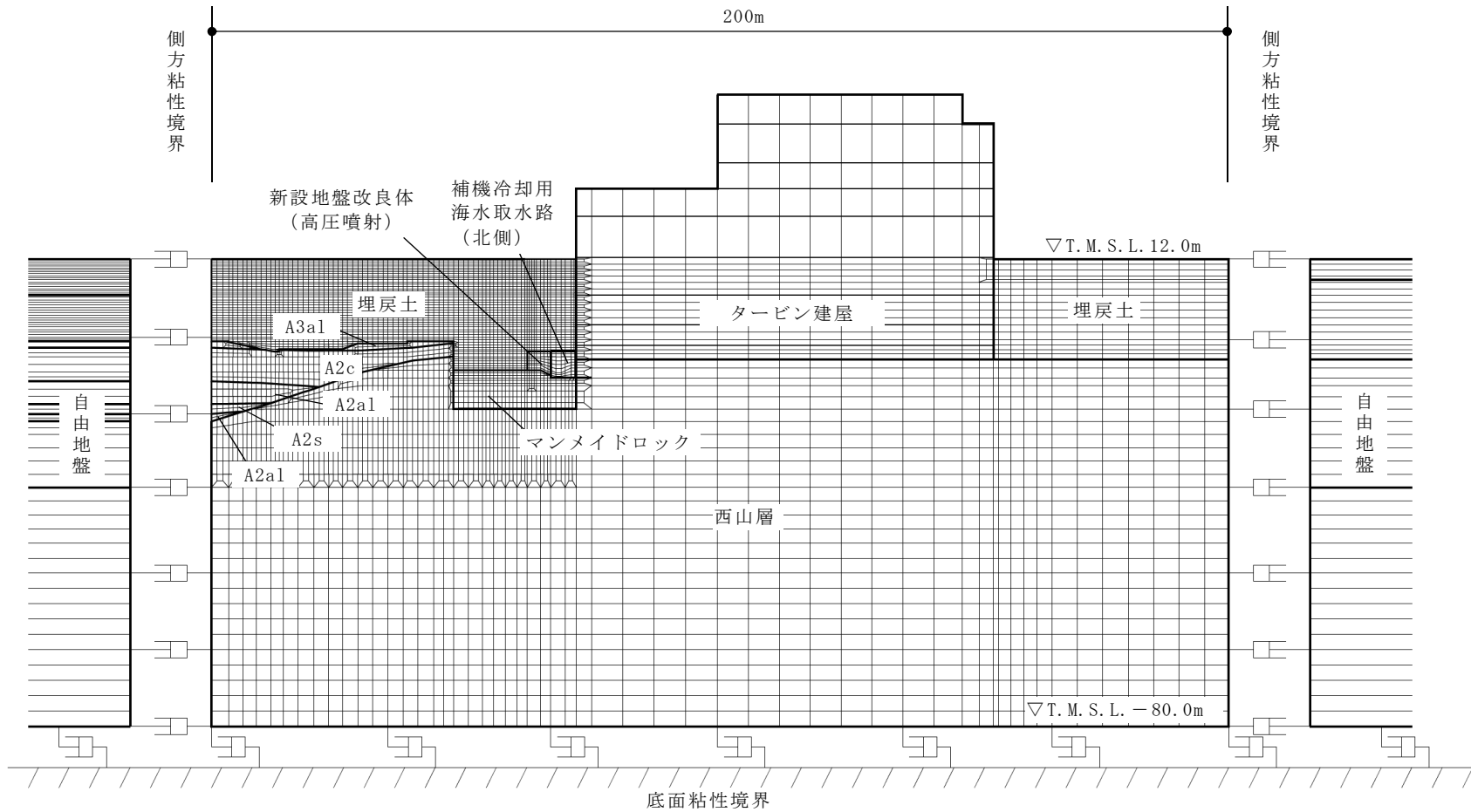


図 3-8 (2) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル (南侧, B-B断面)

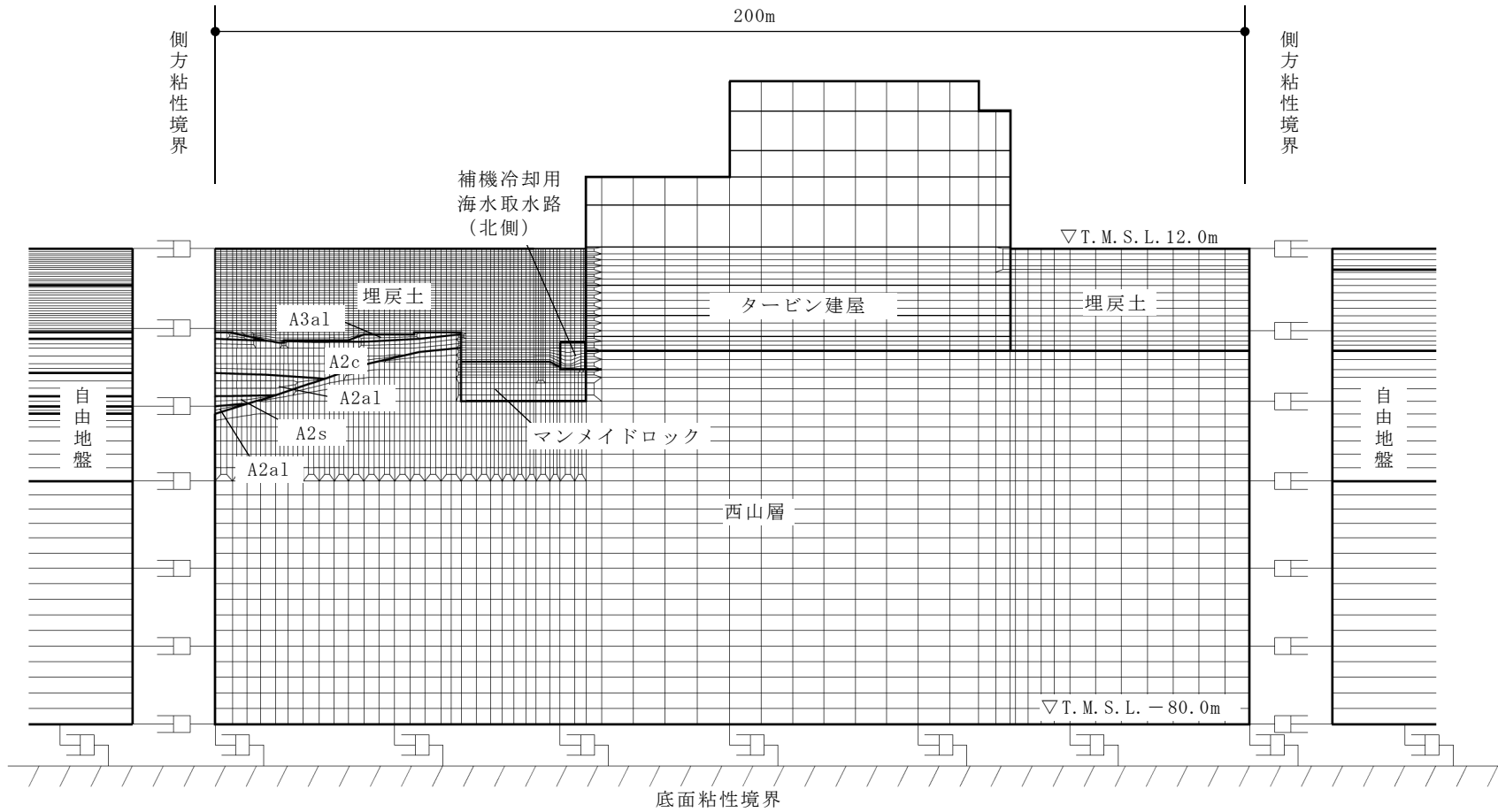




54

注： 補機冷却用海水取水路（北側）については、南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため、それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

図 3-8 (3) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル（北側，C-C断面（南妻壁側））



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については、南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため、それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

図 3-8 (4) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル（北側，C-C断面（北妻壁側））

3.5.2 使用材料及び材料物性値

構造物の使用材料を表 3-3、材料物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD35 (SD345 相当)

表 3-4 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45×10 <sup>4</sup> *	0.2*

注記\*：建設時の設計値に基づく。

3.5.3 地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の物性値

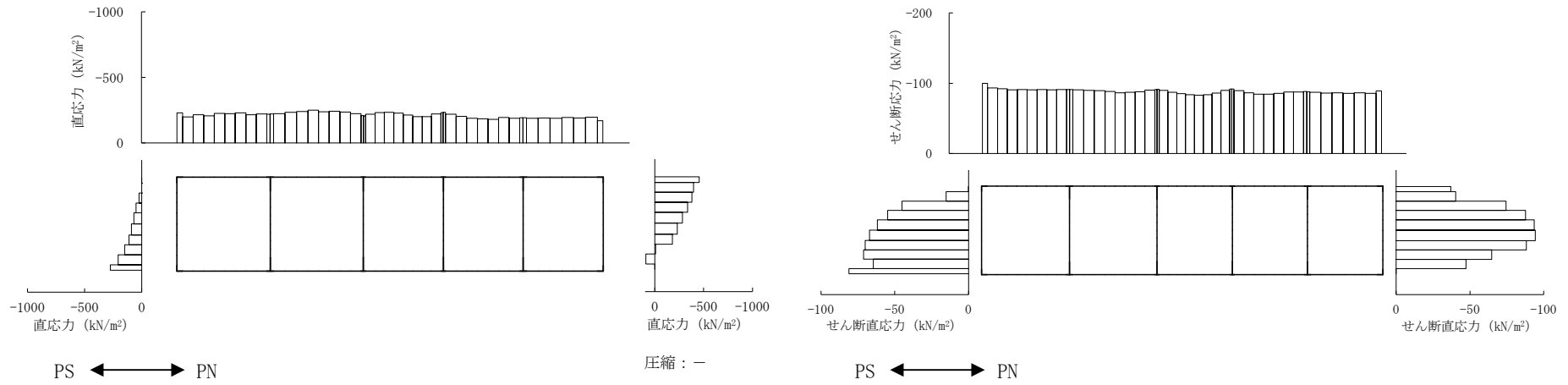
地盤及びマンメイドロックについては、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 地盤改良体の配置を考慮した物性値

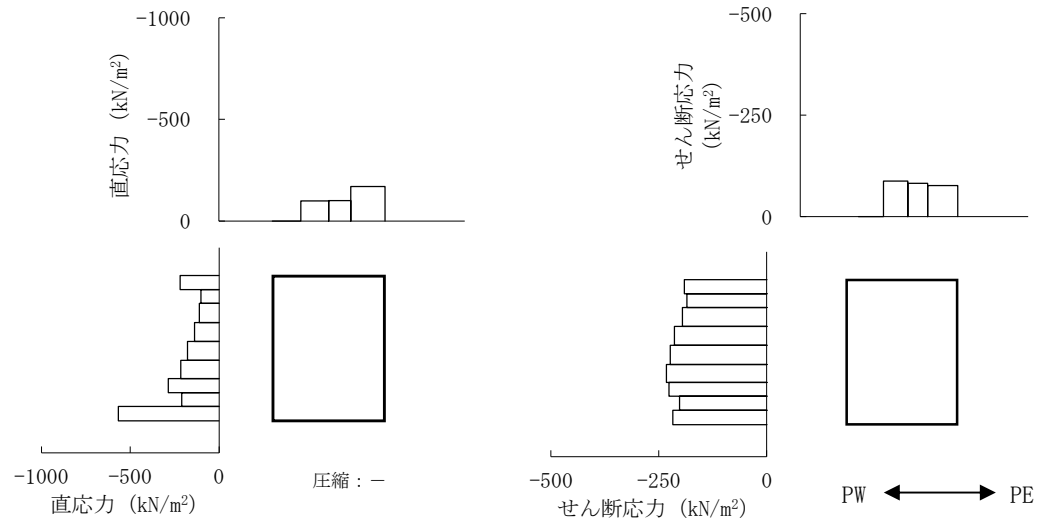
既設／新設		新設地盤改良体
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.94
	間隙率 $n$	0.49
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$ (kN/m <sup>2</sup> )	2.51×10 <sup>5</sup>
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98.0
	ポアソン比 $\nu$	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.050
強度特性	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	500

### 3.6 地震応答解析結果

構造部材の曲げ軸力及びせん断力照査のうち、照査値が最大となるせん断力照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 3-9 に示す。また、基礎地盤の支持性能評価で最大照査値を示す地震動及び解析ケースにおける最大接地圧分布図を図 3-10 に示す。

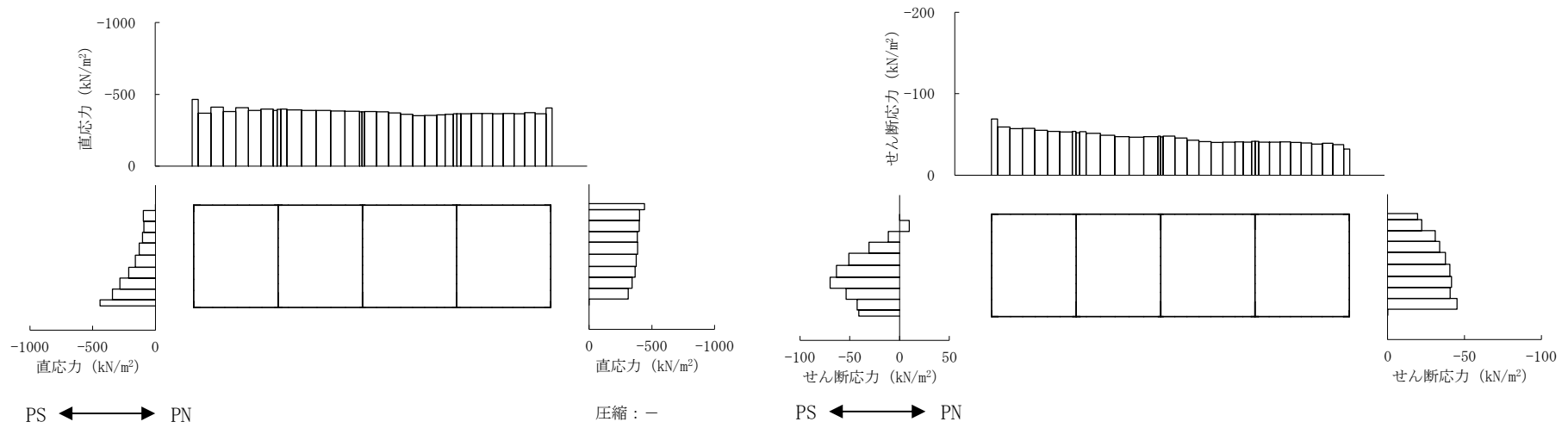


(a) A-A断面の作用荷重分布

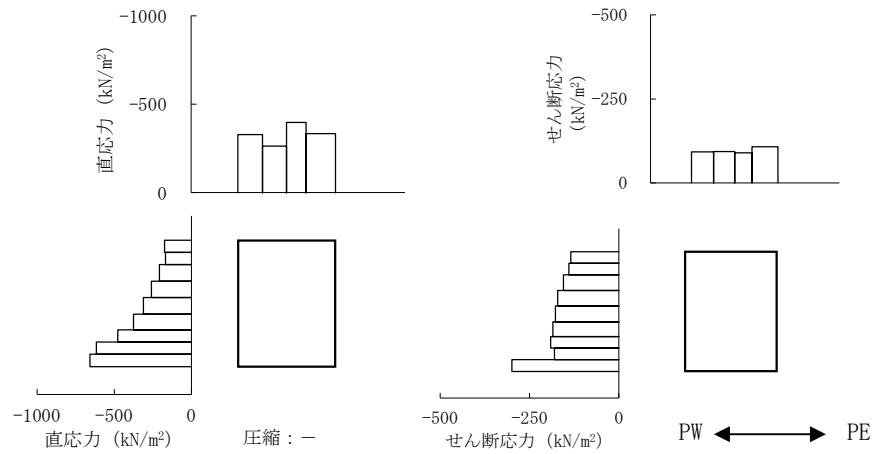


(b) B-B断面の作用荷重分布

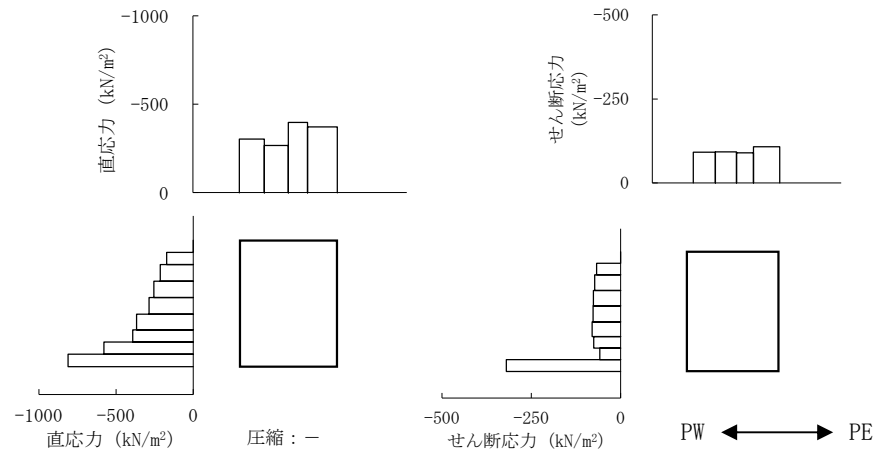
図 3-9 (1) 補機冷却用海水取水路の作用荷重分布図 (南側, 解析ケース⑤, Ss-8-+)



(a) A-A断面の作用荷重分布



(b) C-C断面の作用荷重分布 (南妻壁)



(c) C-C断面の作用荷重分布 (北妻壁)

図3-9 (2) 補機冷却用海水取水路の作用荷重分布図 (北側, 解析ケース④, Ss-1+-)

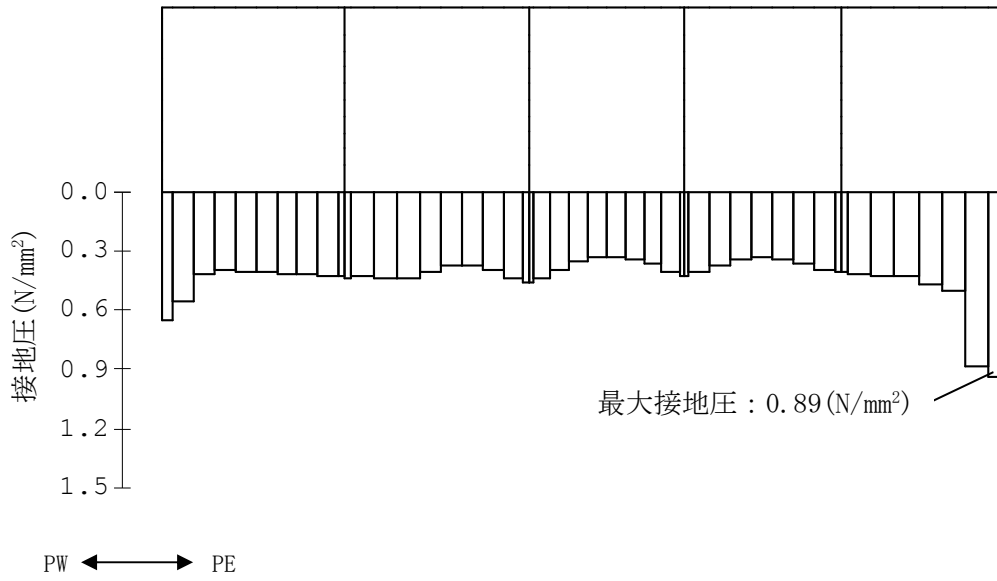


図 3-10 (1) 補機冷却用海水取水路の最大接地圧分布図  
(南側, 解析ケース①, Ss-1--)

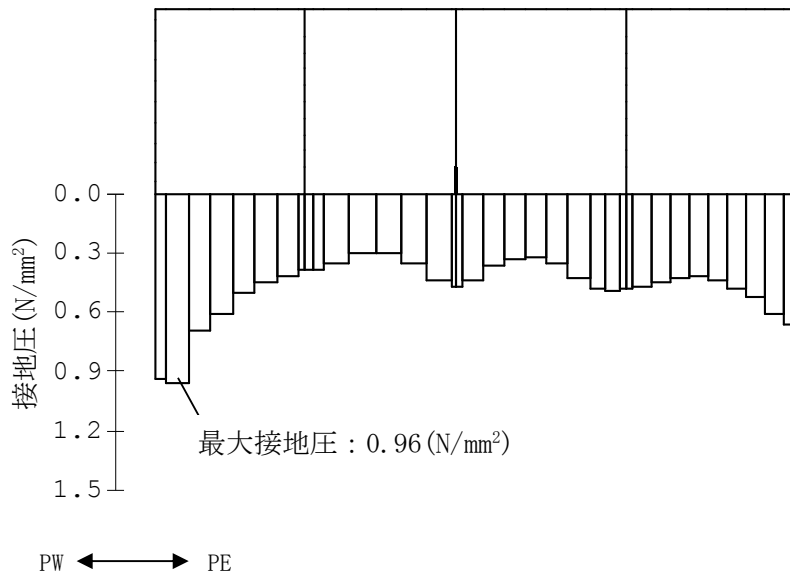


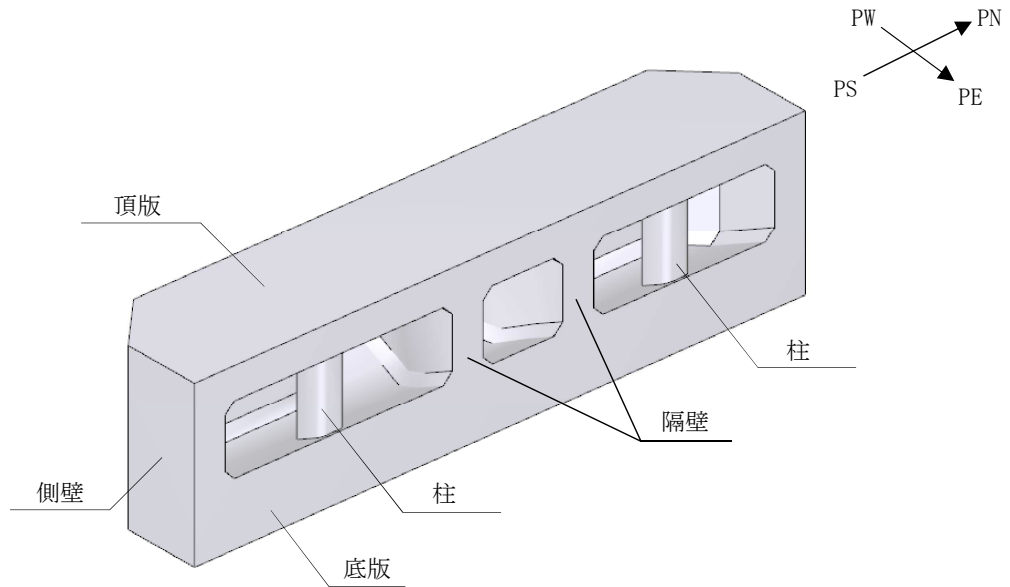
図 3-10 (2) 補機冷却用海水取水路の最大接地圧分布図  
(北側, 解析ケース②, Ss-1+-)

4. 3次元構造解析

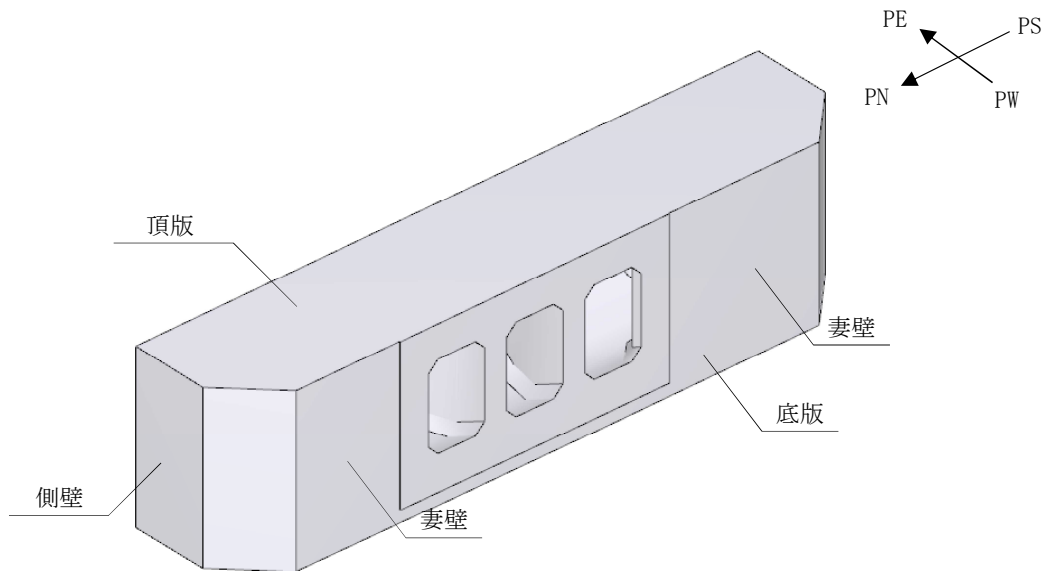
4.1 評価対象部材

補機冷却用海水取水路の3次元構造解析の評価対象部材は、補機冷却用海水取水路を構成する構造部材である頂版、底版、側壁、隔壁、柱及び妻壁とする。

評価対象部材を図4-1に示す。



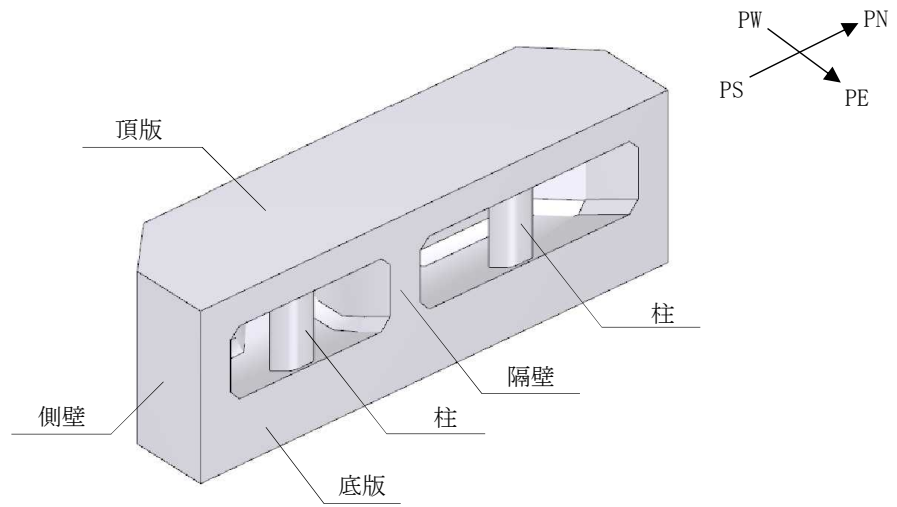
(a) 鳥瞰図 (東側視点)



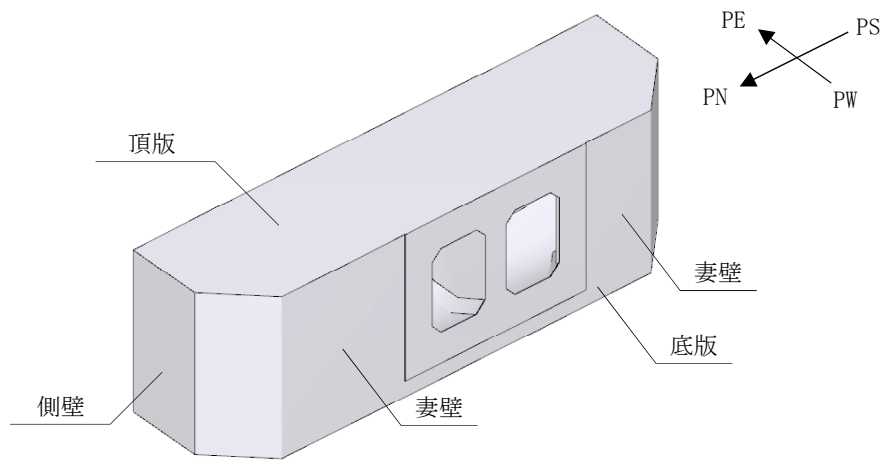
(b) 鳥瞰図 (西側視点)

図4-1 (1) 3次元構造解析の評価対象部材  
(補機冷却用海水取水路 (南側))





(a) 鳥瞰図 (東側視点)



(b) 鳥瞰図 (西側視点)

図 4-1 (2) 3次元構造解析の評価対象部材  
(補機冷却用海水取水路 (北側))

## 4.2 解析方法

補機冷却用海水取水路の3次元構造解析は、「3. 地震応答解析」より得られた応答値に基づき、水平2方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ軸力及びせん断力に対する照査を実施する。

3次元構造解析には、解析コード「Engineer's Studio」を用いる。なお、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。

## 4.3 解析モデルの諸元

### 4.3.1 解析モデル

補機冷却用海水取水路の解析モデルを図4-2、要素分割図を図4-3に示す。

#### (1) 構造物のモデル化

補機冷却用海水取水路の構造部材のうち、柱以外の部材については、材料の非線形特性を考慮した非線形積層シェル要素でモデル化し、柱については、材料の非線形特性を考慮した非線形はり要素でモデル化する。コンクリート及び鉄筋の非線形特性を図4-4及び図4-5に示す。

#### (2) 境界条件

3次元構造解析モデルの底面には、地盤ばね要素を配置する。東側のタービン建屋との接続面は、NS方向および鉛直方向にはローラーを配置し、EW方向には、隣接するタービン建屋により構造物の変形が拘束されることから、固定とする。西側の水路部との接続面は、土圧が西側から東側に作用することを踏まえ、自由境界とする。

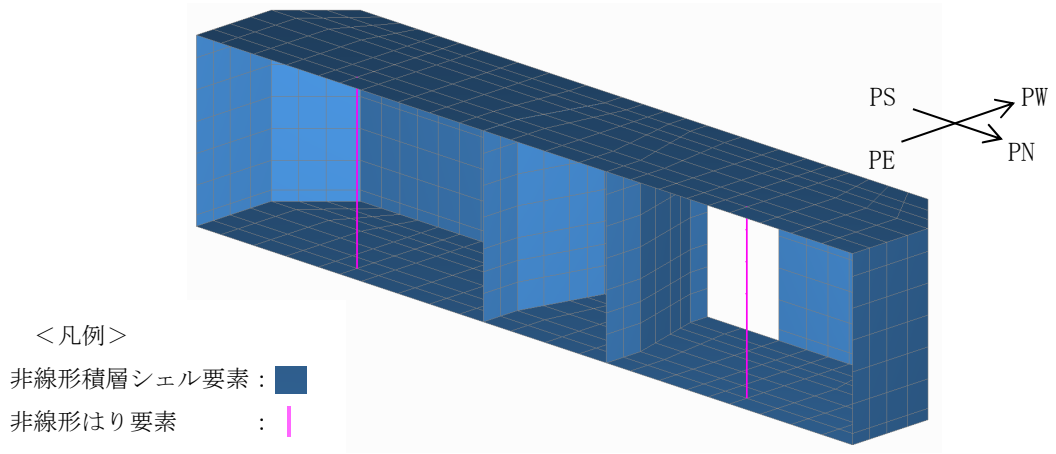


図 4-2 (1) 補機冷却用海水取水路のモデル概念図 (南側)

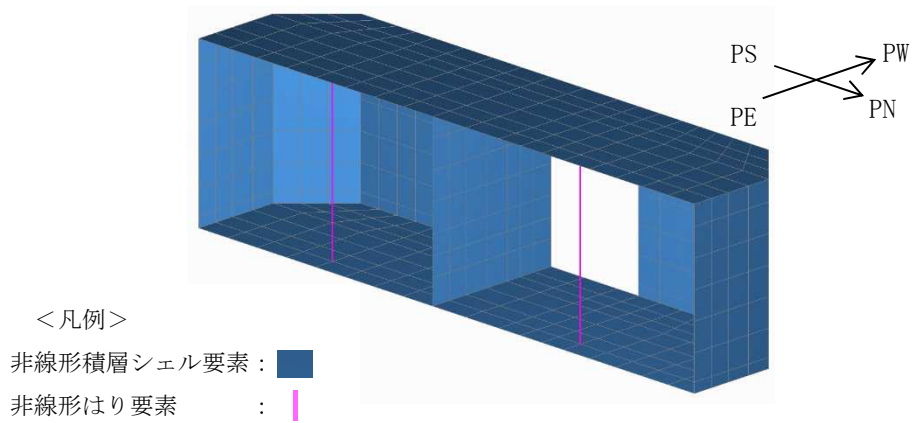
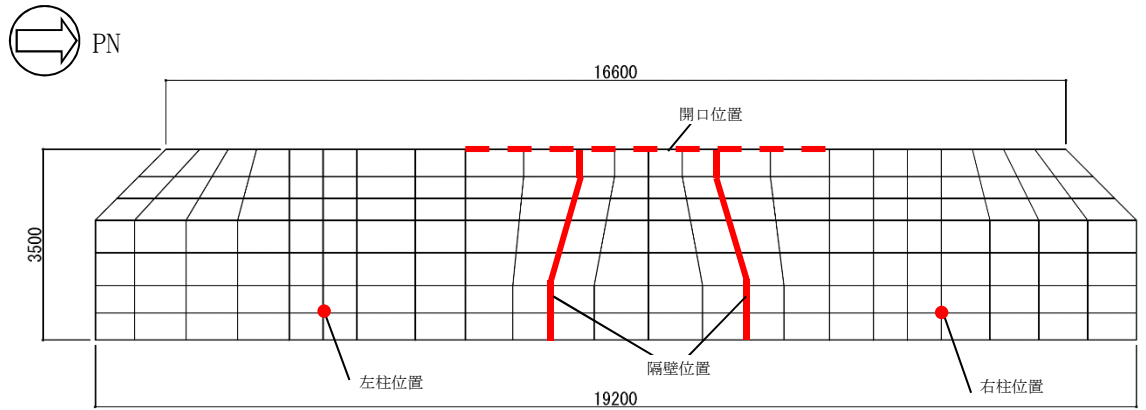
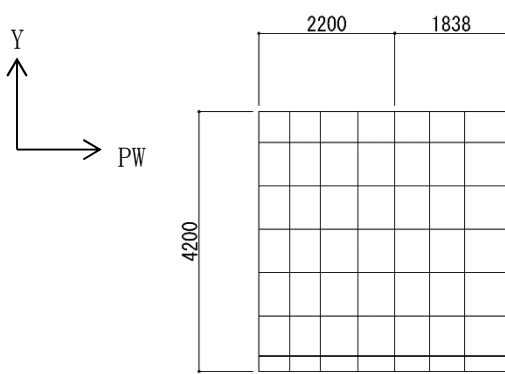


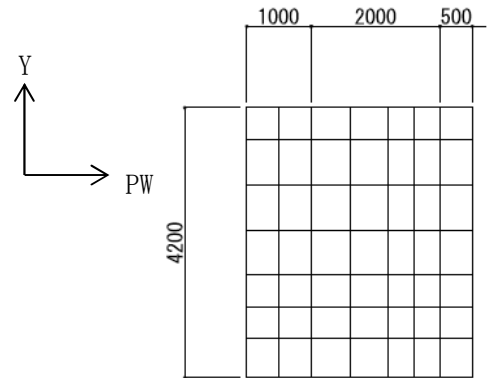
図 4-2 (2) 補機冷却用海水取水路のモデル概念図 (北側)



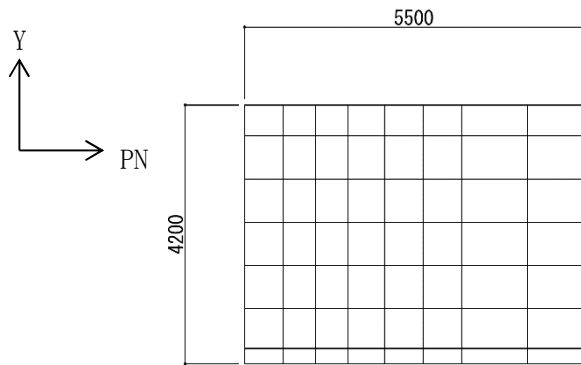
(a) 頂版及び底版



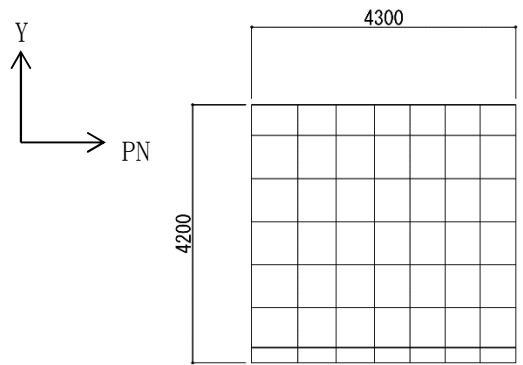
(b) 南側壁及び北側壁



(c) 隔壁



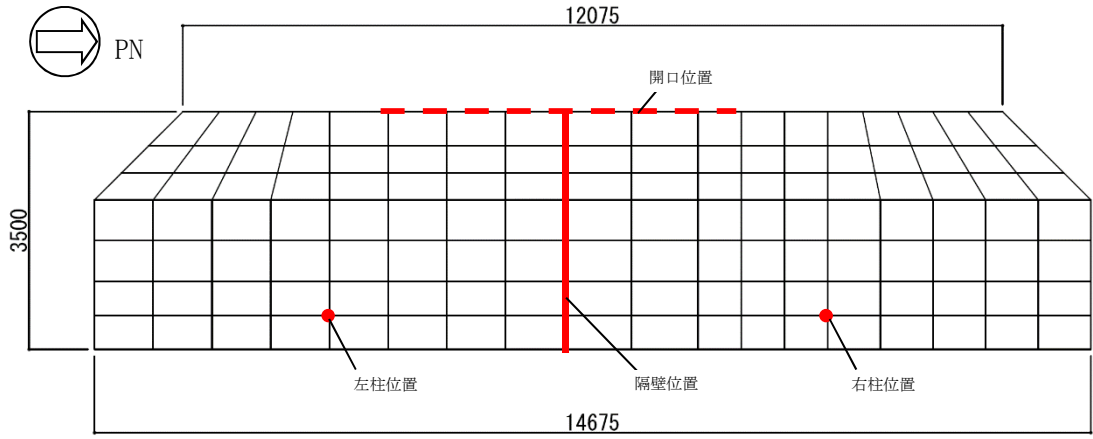
(d) 南妻壁



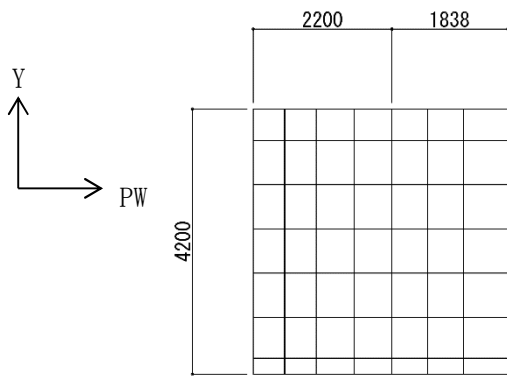
(e) 北妻壁

(単位：mm)

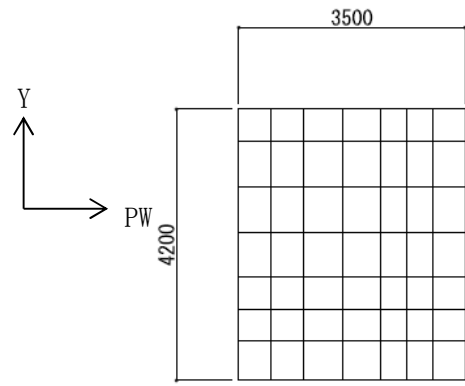
図 4-3 (1) 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (南側))



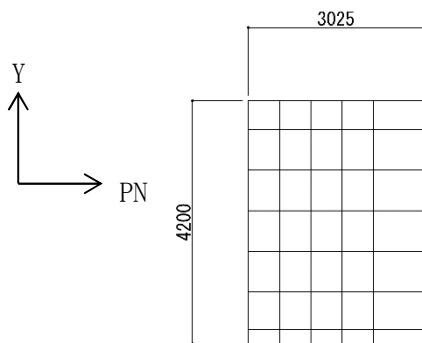
(a) 頂版及び底版



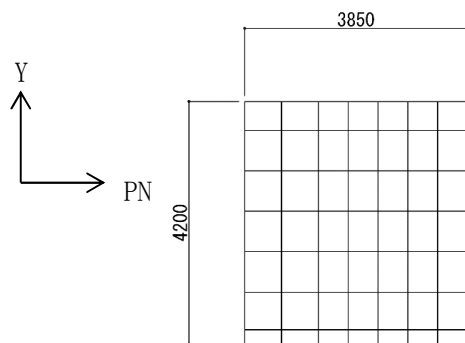
(b) 南側壁及び北側壁



(c) 隔壁



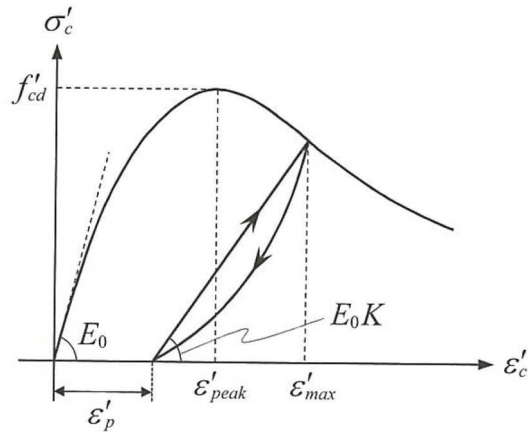
(d) 南妻壁



(e) 北妻壁

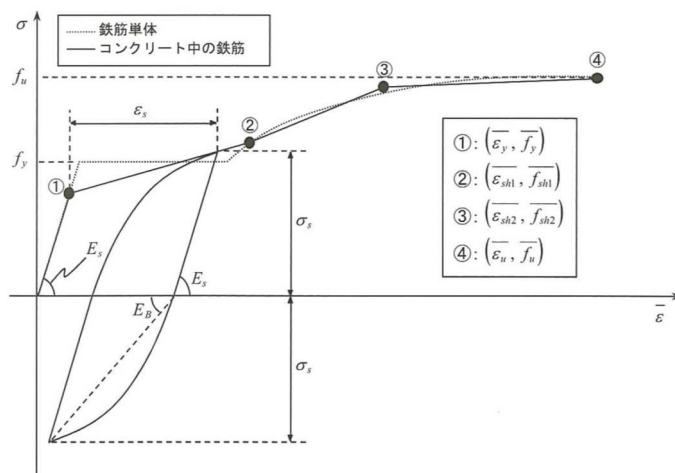
(単位：mm)

図 4-3 (2) 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (北側))



(コンクリート標準示方書[設計編] (土木学会, 2012年) より引用)

図 4-4 コンクリートの非線形特性



(コンクリート標準示方書[設計編] (土木学会, 2012年) より引用)

図 4-5 鉄筋の非線形特性

#### 4.3.2 使用材料及び材料物性値

補機冷却用海水取水路の使用材料及び材料物性値は、「3.5.2 使用材料及び材料物性値」に基づき設定する。

#### 4.4 照査時刻及び入力荷重

##### 4.4.1 照査時刻

照査時刻は、耐震評価に支配的な荷重が発生する時刻を選定する。

A-A断面のうち、補機冷却用海水取水路（南側）については、頂版に作用するせん断力最大時、補機冷却用海水取水路（北側）については、妻壁の面内せん断応力最大時を照査時刻とする。また、B-B断面及びC-C断面については、妻壁の土水圧最大時を照査時刻とする。

##### 4.4.2 入力荷重

3次元構造解析の入力荷重は、地震応答解析に基づく「4.4.1 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表4-1に示す。

表4-1 3次元構造解析における入力荷重

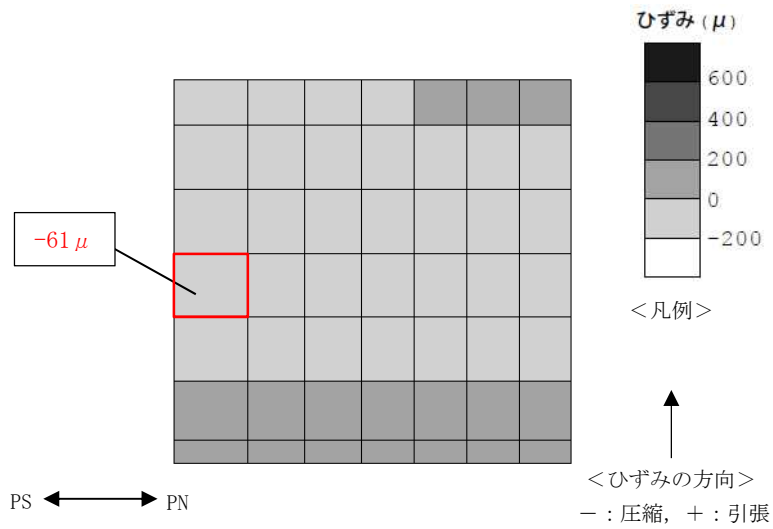
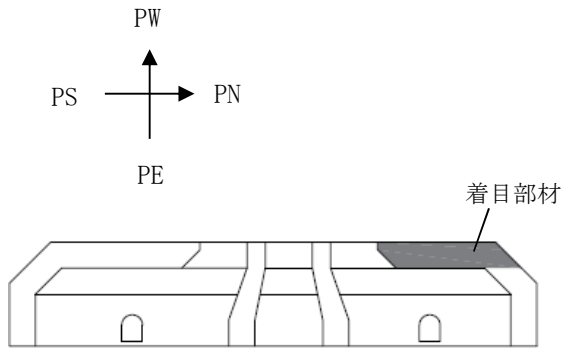
入力荷重		地震応答解析から抽出する地震時応答	載荷位置
慣性力	躯体 (NS 方向)	応答加速度	躯体全体
	躯体 (EW 方向)	応答加速度	躯体全体
内水圧及び動水圧	躯体 (NS 方向)	—*	作用位置
	躯体 (EW 方向)	—*	作用位置
土圧及び水圧	躯体 (NS 方向)	土圧及び水圧	作用位置
	躯体 (EW 方向)	土圧及び水圧	作用位置

注記\*：動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

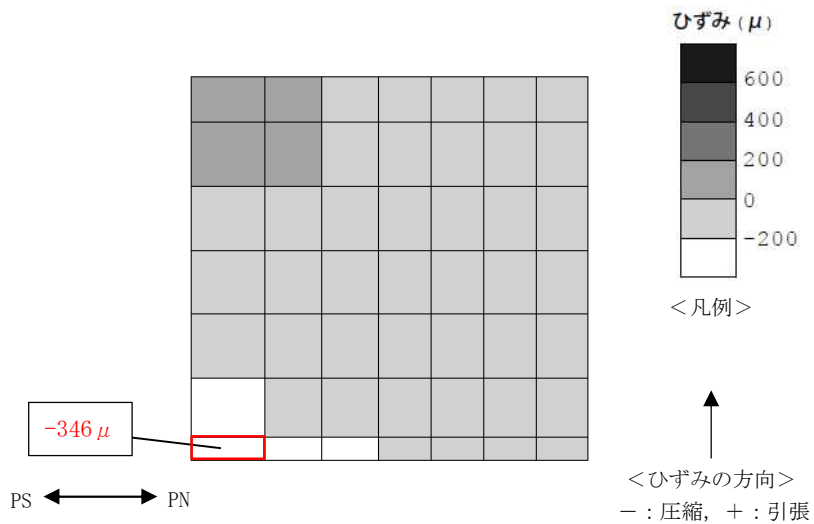
#### 4.5 3次元構造解析結果

3次元構造解析に基づく構造部材の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻でのひずみ分布を図4-6,せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図4-7に示す。





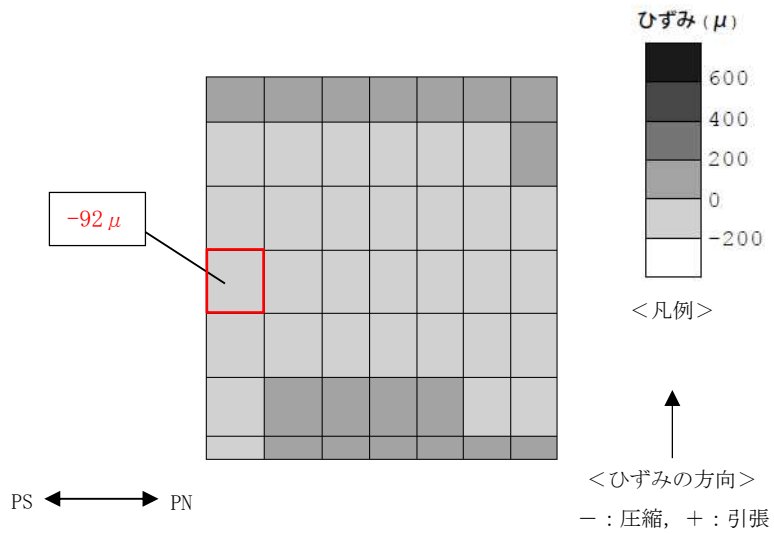
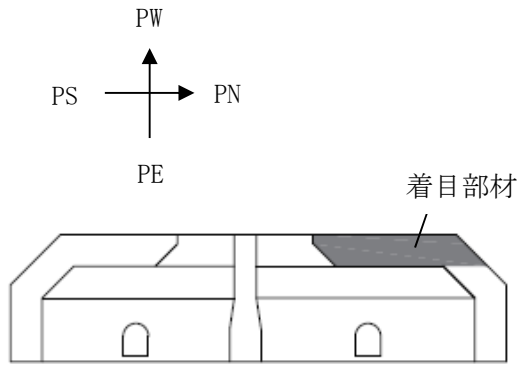
(a) 最外縁（西側）のひずみ分布



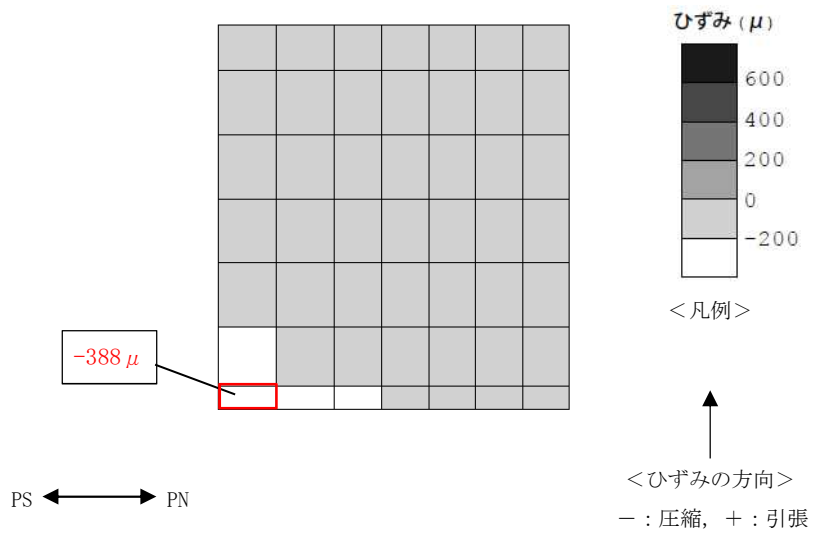
(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

: 最大ひずみ発生箇所

図 4-6 (1) 曲げ軸力照査における照査値最大時のひずみ分布図  
 (補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 妻壁, 解析ケース⑤, Ss-8-+, t=8.03s)



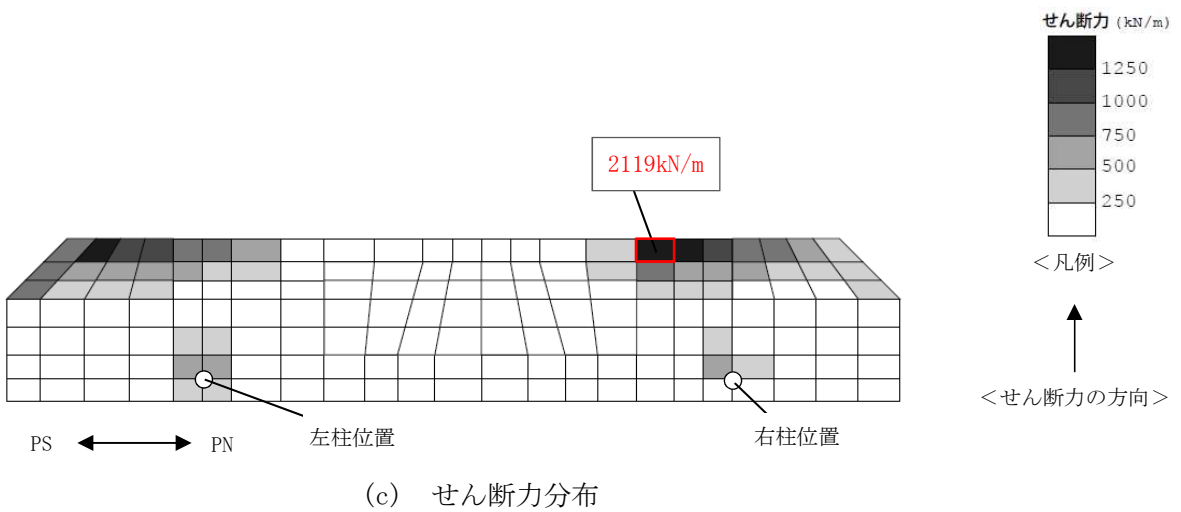
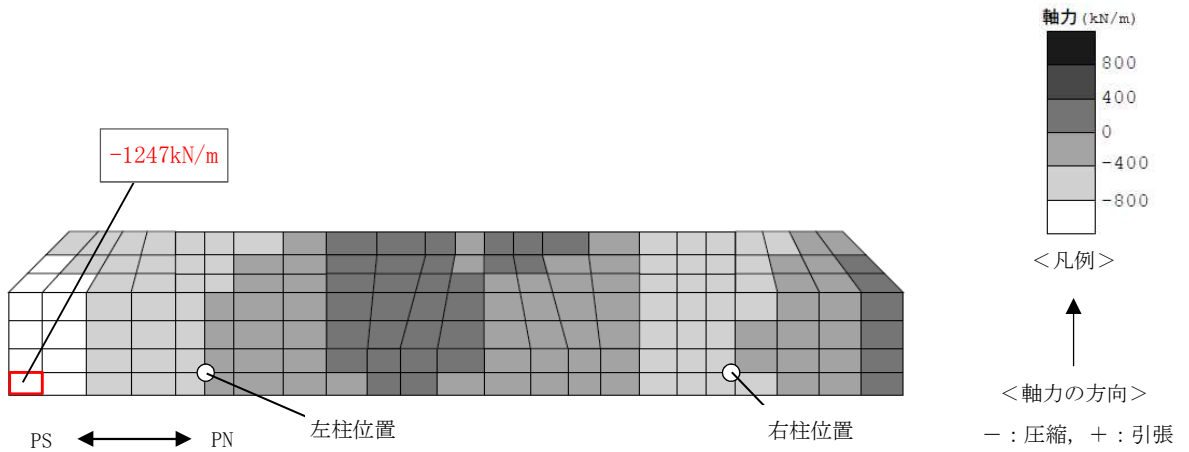
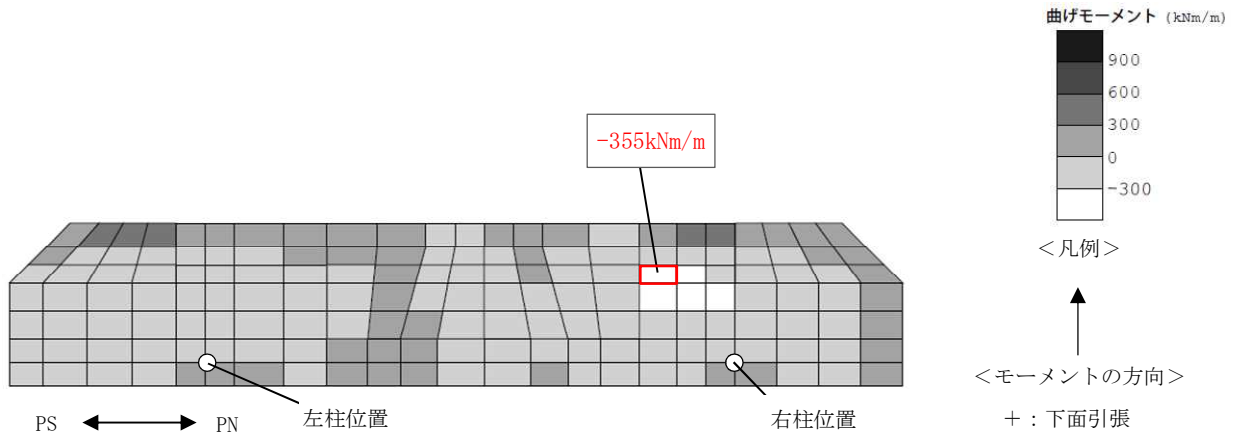
(a) 最外縁（西側）のひずみ分布



(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

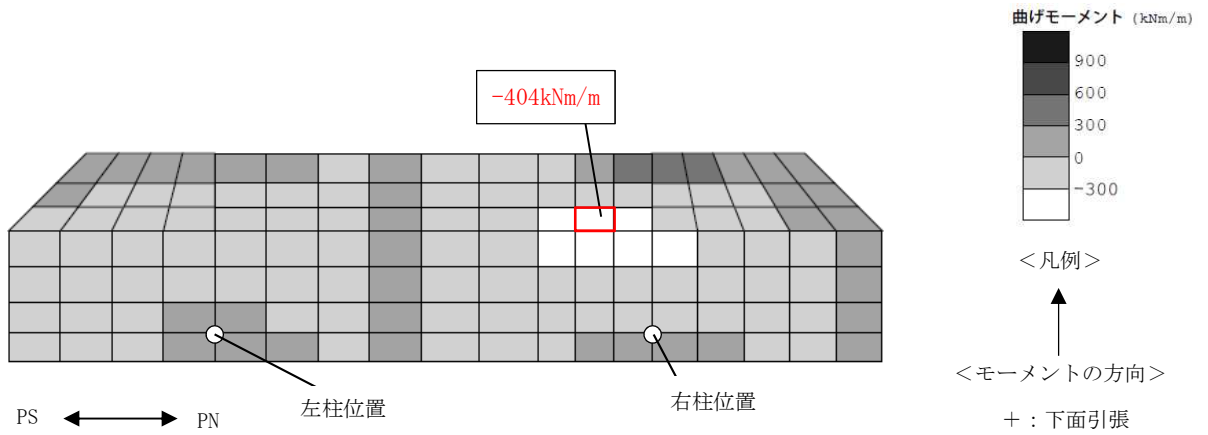
: 最大ひずみ発生箇所

図 4-6 (2) 曲げ軸力照査における照査値最大時のひずみ分布図  
 (補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 妻壁, 解析ケース④, Ss-1+, t=5.66s)

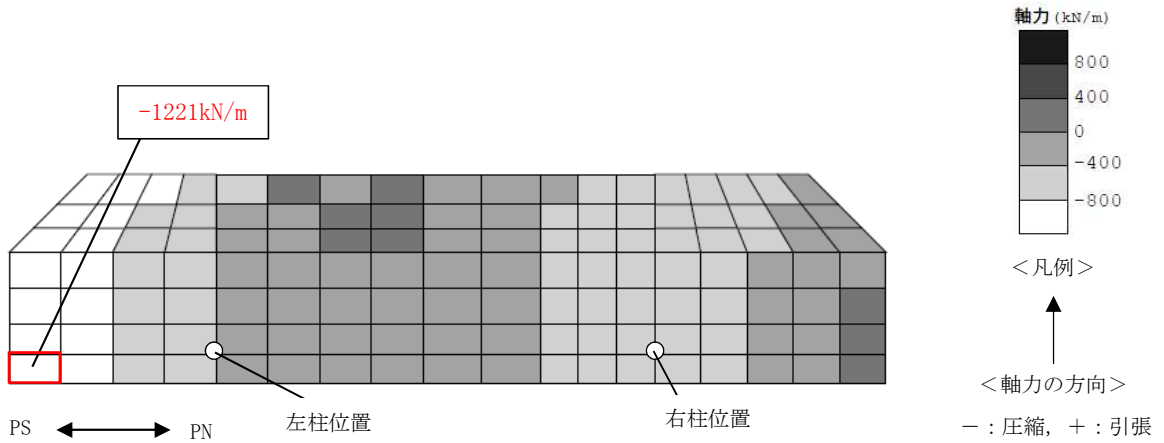


: 最大断面力発生箇所

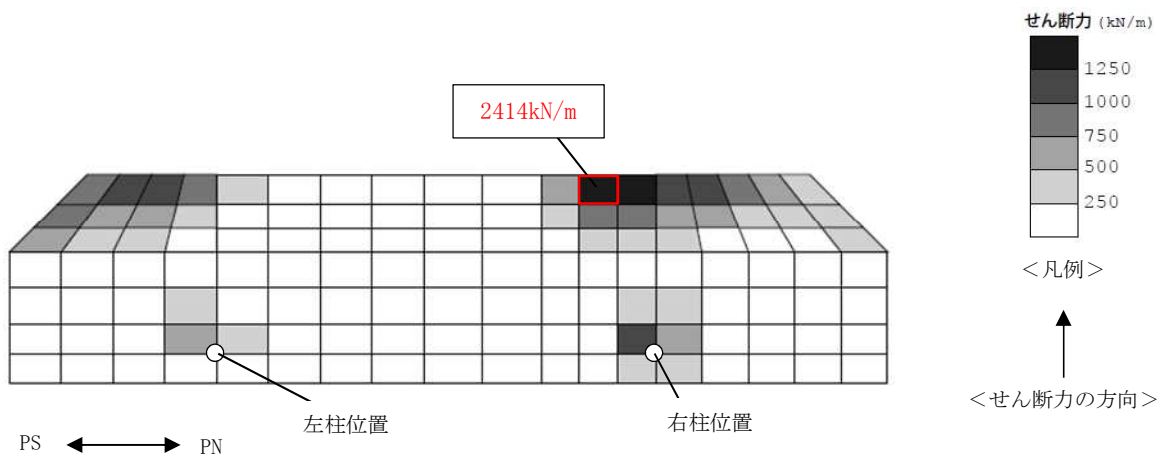
図 4-7 (1) 構造部材のせん断力照査値最大時の断面力分布図  
 (補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 底版, 解析ケース⑤, Ss-8-+, t=8.03s)



(a) 曲げモーメント分布



(b) 軸力分布



(c) せん断力分布

□ : 最大断面力発生箇所

図 4-7 (2) 構造部材のせん断力照査値最大時の断面力分布図  
(補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 底版, 解析ケース④, Ss-1+, t=5.66s)

## 5. 耐震評価

### 5.1 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 5.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界

##### (1) 曲げ軸力に対する許容限界

曲げ軸力に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされている。

圧縮縁コンクリートひずみ1.0%の状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

##### (2) せん断力に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式又はディープビーム式で求まるせん断耐力を許容限界とする。妻壁の面内せん断に対する許容限界については、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）に基づき、せん断ひずみ度に関する許容限界の目安値とする。

#### 5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する最大接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、基礎地盤（西山層）の極限支持力度とする。

基礎地盤（西山層）の極限支持力度を表5-1に示す。

表5-1 基礎地盤（西山層）の極限支持力度

項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	5.98

## 5.2 評価方法

補機冷却用海水取水路の耐震評価は、地震応答解析により得られた応答値から、3次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

構造部材の健全性評価については、3次元構造解析より算定した構造部材の照査用圧縮ひずみ、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能については、地震応答解析から算定した最大接地圧が、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

## 6. 耐震評価結果

### 6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げ軸力照査における最大照査値を表 6-1、せん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 6-2 に示す。また、妻壁の面内せん断力照査の結果を表 6-3 に示す。

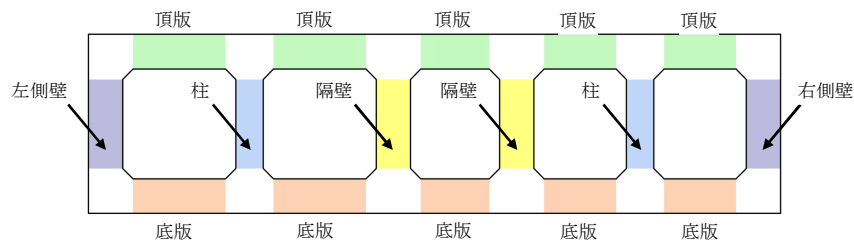
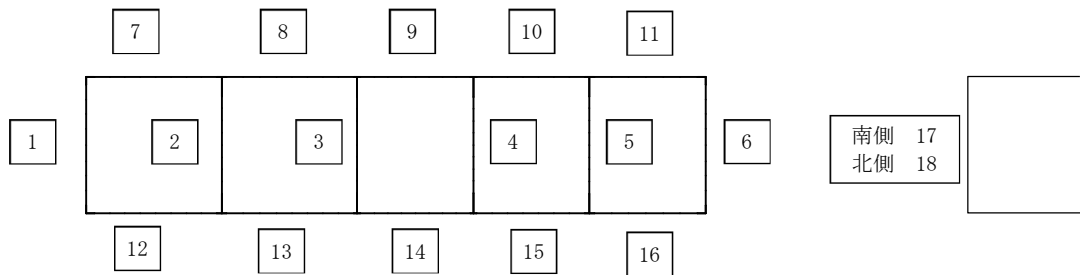
補機冷却用海水取水路の構造部材の照査用圧縮ひずみ、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 曲げ軸力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (南側))

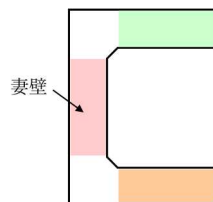
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用圧縮ひずみ $\epsilon_d^{*2}$ ( $\mu$ )	限界ひずみ $\epsilon_r$ ( $\mu$ )	照査値 $\epsilon_d / \epsilon_r$
頂版	8	①	Ss-1--	192	10000	0.020
側壁	1	①	Ss-1--	258	10000	0.026
隔壁	3	①	Ss-1--	255	10000	0.026
底版	12	⑤	Ss-8-+	166	10000	0.017
柱	2	①	Ss-1--	220	10000	0.022
妻壁	18	⑤	Ss-8-+	338	10000	0.034

注記\*1 : 評価位置は下図に示す。

\*2 : 照査用圧縮ひずみ  $\epsilon_d =$  圧縮縁の発生ひずみ  $\epsilon \times$  構造解析係数  $\gamma_a$



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (南側))



B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

評価位置

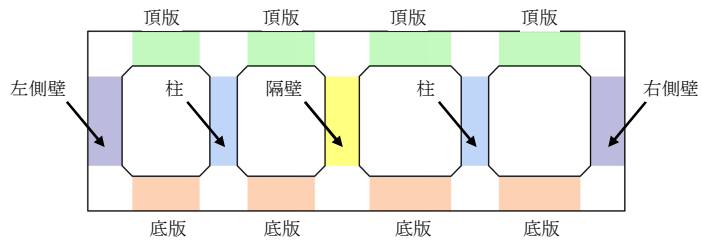
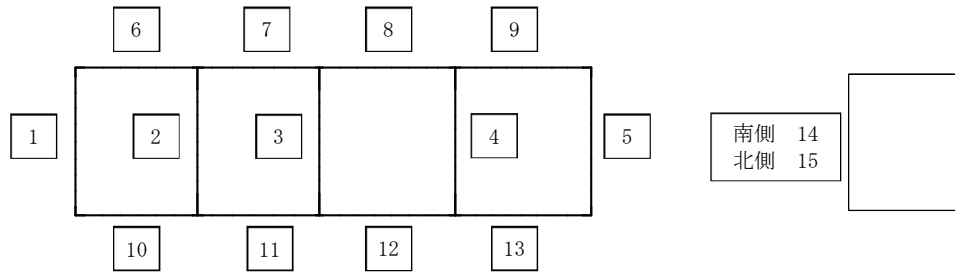


表 6-1 (2) 曲げ軸力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (北側))

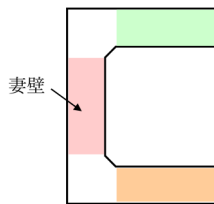
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用圧縮ひずみ $\epsilon_d^{*2}$ ( $\mu$ )	限界ひずみ $\epsilon_r$ ( $\mu$ )	照査値 $\epsilon_d / \epsilon_r$
頂版	8	①	Ss-1--	181	10000	0.019
側壁	5	①	Ss-1--	231	10000	0.024
隔壁	3	⑤	Ss-1+-	307	10000	0.031
底版	12	⑤	Ss-1+-	216	10000	0.022
柱	4	④	Ss-1+-	282	10000	0.029
妻壁	15	④	Ss-1+-	361	10000	0.037

注記\*1 : 評価位置は下図に示す。

\*2 : 照査用圧縮ひずみ  $\epsilon_d =$  圧縮縁の発生ひずみ  $\epsilon \times$  構造解析係数  $\gamma_a$



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (北側))



C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

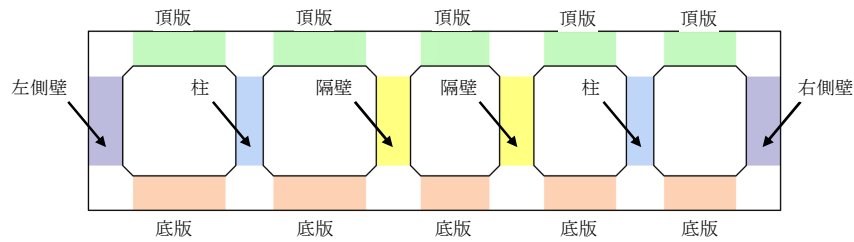
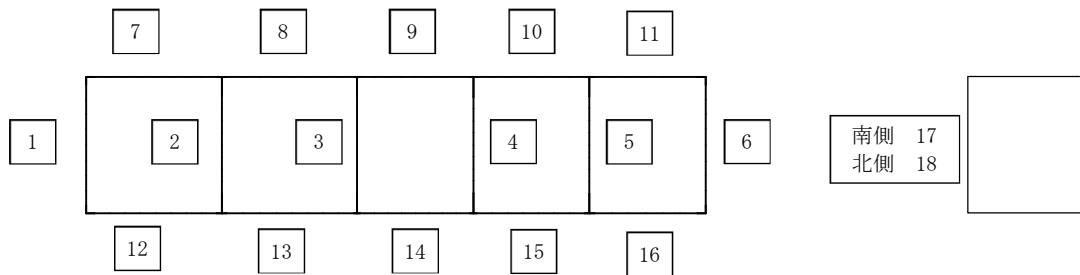
評価位置

表 6-2 (1) せん断力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (南側))

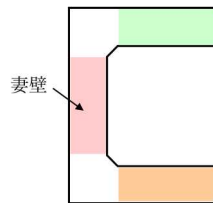
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{yd}$
頂版	8	①	Ss-1--	1336	3112	0.43
側壁	1	①	Ss-1--	972	2146	0.46
隔壁	4	⑤	Ss-8-+	211	809	0.27
底版	15	⑤	Ss-8-+	2225	2975	0.75
柱	5	⑤	Ss-8-+	163	1032	0.16
妻壁	17	①	Ss-1--	769	1569	0.50

注記\*1 : 評価位置は下図に示す。

\*2 : 照査用せん断力  $V_d = \text{発生せん断力} \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (南側))



B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

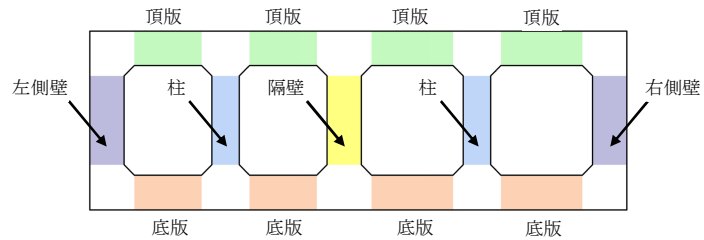
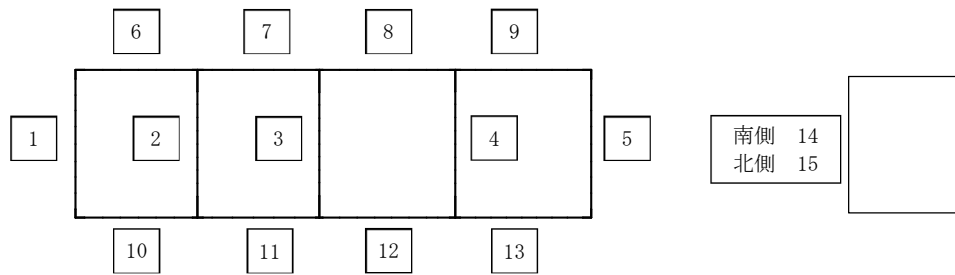
評価位置

表 6-2 (2) せん断力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (北側))

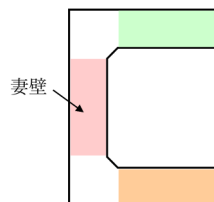
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{yd}$
頂版	8	①	Ss-1--	1227	2881	0.43
側壁	5	①	Ss-1--	805	1780	0.46
隔壁	3	⑤	Ss-1+-	256	793	0.33
底版	12	④	Ss-1+-	2535	3073	0.83
柱	2	⑤	Ss-1+-	191	1042	0.19
妻壁	15	①	Ss-1-+	725	1525	0.48

注記\*1 : 評価位置は下図に示す。

\*2 : 照査用せん断力  $V_d = \text{発生せん断力} \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (北側))



C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

評価位置

表 6-3 (1) 妻壁の面内せん断照査結果 (補機冷却用海水取水路 (南側))

評価位置	解析 ケース	地震動	照査用面内 せん断ひずみ* $\gamma_d$	限界せん断 ひずみ $\gamma_A$	照査値 $\gamma_d / \gamma_A$
南妻壁	⑤	Ss-8+-	$1.01 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-3}$	0.051
北妻壁			$1.51 \times 10^{-4}$		0.076

注記\* : 照査用面内せん断ひずみ  $\gamma_d$  = 発生面内せん断ひずみ  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$

表 6-3 (2) 妻壁の面内せん断照査結果 (補機冷却用海水取水路 (北側))

評価位置	解析 ケース	地震動	照査用面内 せん断ひずみ* $\gamma_d$	限界せん断 ひずみ $\gamma_A$	照査値 $\gamma_d / \gamma_A$
南妻壁	⑤	Ss-1+-	$1.28 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-3}$	0.064
北妻壁			$8.91 \times 10^{-5}$		0.045

注記\* : 照査用面内せん断ひずみ  $\gamma_d$  = 発生面内せん断ひずみ  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$

## 6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 6-4 に示す。

補機冷却用海水取水路の基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 6-4 (1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (補機冷却用海水取水路 (南側))

解析ケース	基準地震動	最大接地圧 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 $q_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma / q_u$
①	Ss-1--	0.89*	5.98	0.15

注記\* : 最大接地圧発生位置は下図に示す。



表 6-4 (2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (補機冷却用海水取水路 (北側))

解析ケース	基準地震動	最大接地圧 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 $q_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma / q_u$
②	Ss-1+-	0.96*	5.98	0.17

注記\* : 最大接地圧発生位置は下図に示す。



VI-2-10-3-1-9 補機冷却用海水取水槽の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要 .....	1
-------------	---

## 1. 概要

補機冷却用海水取水槽に関しては、VI-2-2-6「タービン建屋の耐震性についての計算書」で説明する。



## VI-2-10-4 緊急時対策所の耐震性に関する説明書

## VI- 2-10-4-1 緊急時対策所の耐震計算結果

目 次

1. 概要 .....	1
2. 耐震評価条件整理 .....	1

1. 概要

本資料は、緊急時対策所の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

緊急時対策所の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件との差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

緊急時対策所の設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
緊急時対策所	緊急時対策所機能	5号機原子炉建屋内緊急時 対策所（7号機設備，6，7 号機共用）	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-2*3
	その他の緊急時対策所機能	5号機原子炉建屋内緊急時 対策所（対策本部）二酸化 炭素吸収装置（7号機設備， 6，7号機共用）	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-4-2-1
		安全パラメータ表示シス テム（SPDS）	C	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-6-7*4
		安全パラメータ表示シス テム（SPDS）（6，7号機共 用） （7号機設備，6，7号機共 用）	C	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-6-7*4
		統合原子力防災ネットワ ークを用いた通信連絡設 備（テレビ会議システム， IP-電話機及び IP-FAX）（7 号機設備，6，7号機共用）	C	—*2	—	常設／その他	—	VI-2-6-7*4

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
緊急時対策所	その他の緊急時対策所機能	データ伝送設備 (7号機設備, 6,7号機共用)	C	—*2	—	常設/その他	—	VI-2-6-7*4
		衛星電話設備 (常設) (7号機設備, 6,7号機共用)	C	—*2	—	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-6-7*4
		無線連絡設備 (常設) (7号機設備, 6,7号機共用)	C	—*2	—	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-6-7*4
		5号機屋外緊急連絡用インターフォン (インターフォン) (7号機設備, 6,7号機共用)	—	—*2	—	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-6-7*4

注記\*1 : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設/その他」は常設重大事故等対処設備 (防止でも緩和でもない設備) を示す。

\*2 : 本設計及び工事の計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外。

\*3 : 建物・構築物の耐震評価は, VI-2-2 「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震計算書」に記載する。

\*4 : 計測制御系統施設と兼用の設備であり, 評価内容が共通であるため, 耐震評価は, VI-2-6-7 「その他の計測制御系統施設の耐震性についての計算書」に記載する。

VI-2-10-4-2 その他の緊急時対策所の耐震性についての計算書

VI-2-10-4-2-1 5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）

二酸化炭素吸収装置の耐震性についての計算書



## 目 次

1. 概要 .....	1
-------------	---

## 1. 概要

本資料は、5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置（「7号機設備、6,7号機共用、5号機に設置」（以下同じ。））の耐震性が「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第50条に適合することを説明するものである。

5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置の耐震性に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画のV-2-10-4-2-1「5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置の耐震性についての計算書」による。

VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書

VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス  
施設の耐震評価方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 耐震評価方針	2
3.1 耐震評価部位	2
3.1.1 不等沈下又は相対変位の観点	2
3.1.2 接続部の観点	2
3.1.3 建屋内施設の損傷, 転倒及び落下等の観点	2
3.1.4 建屋外施設の損傷, 転倒及び落下等の観点	4
3.2 地震応答解析	5
3.3 設計用地震動又は地震力	5
3.4 荷重の種類及び荷重の組合せ	5
3.5 許容限界	5
3.5.1 建物・構築物	6
3.5.2 機器・配管系	6
3.5.3 土木構造物	6
3.6 まとめ	6

1. 概要

本資料は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を設計する際に、VI-2-1-5「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」にて選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針を説明するものである。

2. 基本方針

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設は、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5. 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、以下「3. 耐震評価方針」に示すとおり、耐震評価部位、地震応答解析、設計用地震動又は地震力、荷重の種類及び荷重の組合せ並びに許容限界を定めて耐震評価を実施する。この耐震評価を実施するものとして、VI-2-1-5「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」にて選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設を、建物・構築物、機器・配管系及び土木構造物に分けて表 2-1 に示す。

表 2-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設

建物・構築物	サービス建屋 原子炉ウェル遮蔽プラグ 見学者ギャラリー室竜巻防護扉
機器・配管系	原子炉遮蔽壁 原子炉建屋クレーン 燃料取替機 中央制御室天井照明 換気空調系ダクト防護壁 原子炉補機冷却海水系配管防護壁 耐火隔壁 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 竜巻防護鋼製フード 竜巻防護ネット
土木構造物	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

### 3. 耐震評価方針

耐震評価部位については、対象設備の構造及び波及的影響の観点を考慮し、J E A G 4 6 0 1 を含む設計及び工事の計画での実績を参照した上で、耐震評価上厳しい箇所を選定する。

#### 3.1 耐震評価部位

##### 3.1.1 不等沈下又は相対変位の観点

###### (1) 地盤の不等沈下による影響

###### a. サービス建屋

サービス建屋は、地盤の不等沈下によりコントロール建屋に衝突する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、サービス建屋の不等沈下による衝突の有無の確認を行い、衝突する場合には衝突時にコントロール建屋に影響がないことを確認する。

###### (2) 建屋間の相対変位による影響

###### a. サービス建屋

サービス建屋は、相対変位によりコントロール建屋に衝突する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、サービス建屋の相対変位による衝突の有無の確認を行い、衝突する場合には衝突時にコントロール建屋に影響がないことを確認する。

##### 3.1.2 接続部の観点

接続部における影響は、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「4.2 接続部の観点」に示すように、接続部における相互影響の観点で波及的影響を及ぼす下位クラス施設はない。

##### 3.1.3 建屋内施設の損傷、転倒及び落下等の観点

###### (1) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響

###### a. 原子炉遮蔽壁

原子炉遮蔽壁は、損傷により原子炉圧力容器等に衝突し、原子炉圧力容器等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

###### b. 原子炉建屋クレーン

原子炉建屋クレーンは、本体及び吊荷の落下により、使用済燃料貯蔵プール、使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、使用済燃料貯蔵プール、使用済燃料貯蔵ラック等が損

傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材、支持部及び吊具の評価を実施する。

c. 燃料取替機

燃料取替機は、本体及び吊荷の転倒又は落下により、使用済燃料貯蔵プール、使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、使用済燃料貯蔵プール、使用済燃料貯蔵ラック等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材、支持部及び吊具の評価を実施する。

d. 原子炉ウェル遮蔽プラグ

原子炉ウェル遮蔽プラグは、落下により原子炉格納容器に衝突し、原子炉格納容器が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

e. 中央制御室天井照明

中央制御室天井照明は、落下により中央運転監視盤等に衝突し、中央運転監視盤等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

f. 換気空調系ダクト防護壁

換気空調系ダクト防護壁は、転倒又は落下によりコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト・配管等に衝突し、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト・配管等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

g. 原子炉補機冷却海水系配管防護壁

原子炉補機冷却海水系配管防護壁は、転倒又は落下により原子炉補機冷却海水系配管に衝突し、原子炉補機冷却海水系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

h. 耐火隔壁

耐火隔壁は、転倒により非常用ガス処理系排風機等に衝突し、非常用ガス処理系排風機等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する



地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

i. 見学者ギャラリー室竜巻防護扉

見学者ギャラリー室竜巻防護扉は、転倒により原子炉建屋エアロックに衝突し、原子炉建屋エアロックが損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

3.1.4 建屋外施設の損傷、転倒及び落下等の観点

(1) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響

a. 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、転倒により上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ等に衝突し、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

b. 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、転倒又は落下により上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管に衝突し、非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

c. 竜巻防護鋼製フード

竜巻防護鋼製フードは、落下により上位クラス施設である格納容器圧力逃がし装置配管等に衝突し、格納容器圧力逃がし装置配管等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

d. 竜巻防護ネット

竜巻防護ネットは、落下により上位クラス施設である燃料プール冷却浄化系配管に衝突し、燃料プール冷却浄化系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

e. サービス建屋

サービス建屋は、損傷により上位クラス施設であるコントロール建屋に衝突し、コントロール建屋が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

各施設の評価に必要な詳細構造計画は各計算書に示す。

### 3.2 地震応答解析

地震応答解析については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.2 地震応答解析」に基づき、下位クラス施設に適用する方法として、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の建物・構築物、機器・配管系又は屋外重要土木構造物それぞれの地震応答解析の方針に従い実施する。

### 3.3 設計用地震動又は地震力

設計用地震動又は地震力については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.3 設計用地震動又は地震力」に基づき、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力として、基準地震動  $S_s$  を適用する。

### 3.4 荷重の種類及び荷重の組合せ

荷重の種類及び組合せについてはVI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.4 荷重の種類及び荷重の組合せ」に基づき、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設の運転状態において下位クラス施設に発生する荷重として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の設計基準対象施設又は常設重大事故等対処施設の荷重の組合せを適用し、上位クラス施設が設計基準対象施設のうち耐震重要度分類のSクラスに属する施設（以下「Sクラス施設」という。）の場合は運転状態Ⅰ～Ⅳとして、重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「SA施設」という。）の場合は運転状態Ⅴとして発生する荷重を設定する。また、建屋外に設置されている施設については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の積雪荷重の組合せの考え方に基づき設定する。

### 3.5 許容限界

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の評価に用いる許容限界については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態において、下位クラス施設が波及的影響を及ぼすおそれがないよう、また、上位クラス施設の機能に影響がないよう、以下、建物・構築物、機器・配

管系及び土木構造物に分けて設定する。

### 3.5.1 建物・構築物

建物・構築物については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、距離、許容応力度、許容荷重及び層間変形角を許容限界とする。

許容応力度及び許容荷重においては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」及び「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、設定する。層間変形角においては、「建築基準法及び同施行令」に基づく評価基準値を許容限界として設定する。

### 3.5.2 機器・配管系

機器・配管系については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、下位クラス施設が破断延性限界に十分な余裕を有していることに相当する許容限界として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す許容応力状態IV<sub>A</sub>Sを設定する。

### 3.5.3 土木構造物

土木構造物については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、構造部材の短期許容応力度又は終局耐力並びに構造物の層間変形角に対して妥当な安全余裕を考慮して設定する。

## 3.6 まとめ

以上を踏まえ、波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針を表3-1に示す。評価条件の欄については、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態を想定することから、上位クラス施設がSクラス施設の場合は「DB」、SA施設の場合は「SA」と評価条件に明記する。また、荷重の種類及び荷重の組合せに用いている記号はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づく。

各施設の詳細な評価は、VI-2-11-2「波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書」以降の各計算書に示す。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (1/5)

(建物・構築物)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
サービス建屋	① (不等沈下)	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「建築基準法及び同施行令」に基づく層間変形角の評価基準値を許容限界として設定する。
	① (相対変位)				SA	
原子炉ウェル遮蔽 プラグ	③	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」及び「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき、許容応力度を設定する。
					SA	
見学者ギャラリー室 竜巻防護扉	③	主要構造部材 支持部	S s	G + P + S s	DB	「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」, 「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」及び「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、許容応力度及び許容荷重を設定する。
					SA	

注記\* : VI-2-1-5 「波及的影響に係る基本方針」にて設定した4つの設計の観点を記載

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (2/5)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
原子炉遮蔽壁	③	主要構造部材	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	「鋼構造設計規準」に基づく短期許容 応力度を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
原子炉建屋クレーン	③	主要構造部材 支持部 吊具	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示 すその他支持構造物の許容応力（許容 応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S）を適用する。 吊具については、クレーン構造規格及 び日本クレーン協会規格に定められた 安全率を上回るように設定された許容 荷重を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
燃料取替機	③	主要構造部材 支持部 吊具	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示 すその他支持構造物の許容応力（許容 応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S）を適用する。 吊具については、クレーン構造規格及 び日本クレーン協会規格に定められた 安全率を上回るように設定された許容 荷重を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	

注記\* : VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した4つの設計の観点を記載

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (3/5)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
中央制御室天井照明	③	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す その他支持構造物の許容応力（許容 応力状態IV <sub>A</sub> S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
換気空調系ダクト 防護壁	③	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す その他支持構造物の許容応力（許容 応力状態IV <sub>A</sub> S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
原子炉補機冷却 海水系配管防護壁	③	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す その他支持構造物の許容応力（許容 応力状態IV <sub>A</sub> S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	

注記\*：VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した4つの設計の観点を記載

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (4/5)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
耐火隔壁	③	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す すその他支持構造物の許容応力（許容 応力状態IV <sub>A</sub> S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
非常用ディーゼル 発電設備燃料移送 配管防護板	④	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	$D + P_D + M_D$ $+ S_s + P_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す すその他支持構造物の許容応力（許容 応力状態IV <sub>A</sub> S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD}$ $+ S_s + P_s$	SA	
竜巻防護鋼製フード	④	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	$D + P_{SAD} + M_{SAD}$ $+ S_s + P_s$	SA	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す すその他支持構造物の許容応力（許容 応力状態IV <sub>A</sub> S）を適用する。
竜巻防護ネット	④	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	$D + P_{SAD} + M_{SAD}$ $+ S_s + P_s$	SA	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す すその他支持構造物の許容応力（許容 応力状態IV <sub>A</sub> S）を適用する。

注記\* : VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した4つの設計の観点を記載

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (5/5)

(土木構造物)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
非常用ディーゼル 発電設備燃料移送 ポンプ防護板	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「建築基準法及び同施行令」に基づく 層間変形角の評価基準値を許容限界と して設定する。
					SA	

注記\* : VI-2-1-5 「波及的影響に係る基本方針」にて設定した4つの設計の観点を記載



VI-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-1 サービス建屋の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要 .....	1
-------------	---

## 1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、サービス建屋がコントロール建屋に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

サービス建屋の耐震性に関する説明は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機的设计及び工事の計画の V-2-11-2-1「サービス建屋の耐震性についての計算書」による。

VI-2-11-2-2 竜巻対策設備の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-2-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ  
防護板の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造概要	4
2.3 評価方針	12
2.4 適用基準	15
3. 評価部位	16
4. 許容限界	31
4.1 構造物全体の変形性能に対する許容限界	31
4.2 構造部材の健全性に対する許容限界	31
4.3 使用材料の許容限界評価条件	32
5. 耐震評価	33
5.1 耐震評価方法	33
5.2 荷重の組合せ	34
5.3 解析モデル	36
5.4 固有周期	38
5.5 設計用地震力	39
5.6 計算方法	40
5.6.1 構造物全体の変形性能評価	40
5.6.2 構造部材の健全性評価	41
5.7 変形及び応力の評価	42
5.7.1 変形評価	42
5.7.2 応力評価	42
6. 評価結果	45
6.1 構造物全体の変形性能評価	45
6.2 構造部材の健全性評価	46

## 1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板が基準地震動 $S_s$ に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、内部に設置された上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。



## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の位置図を図 2-1 に、配置図を図 2-2 に示す。

図 2-2 に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板内部に上位クラス施設である燃料移送ポンプ等が設置されており、本施設の転倒時に燃料移送ポンプ等に波及的影響を及ぼすおそれがある。

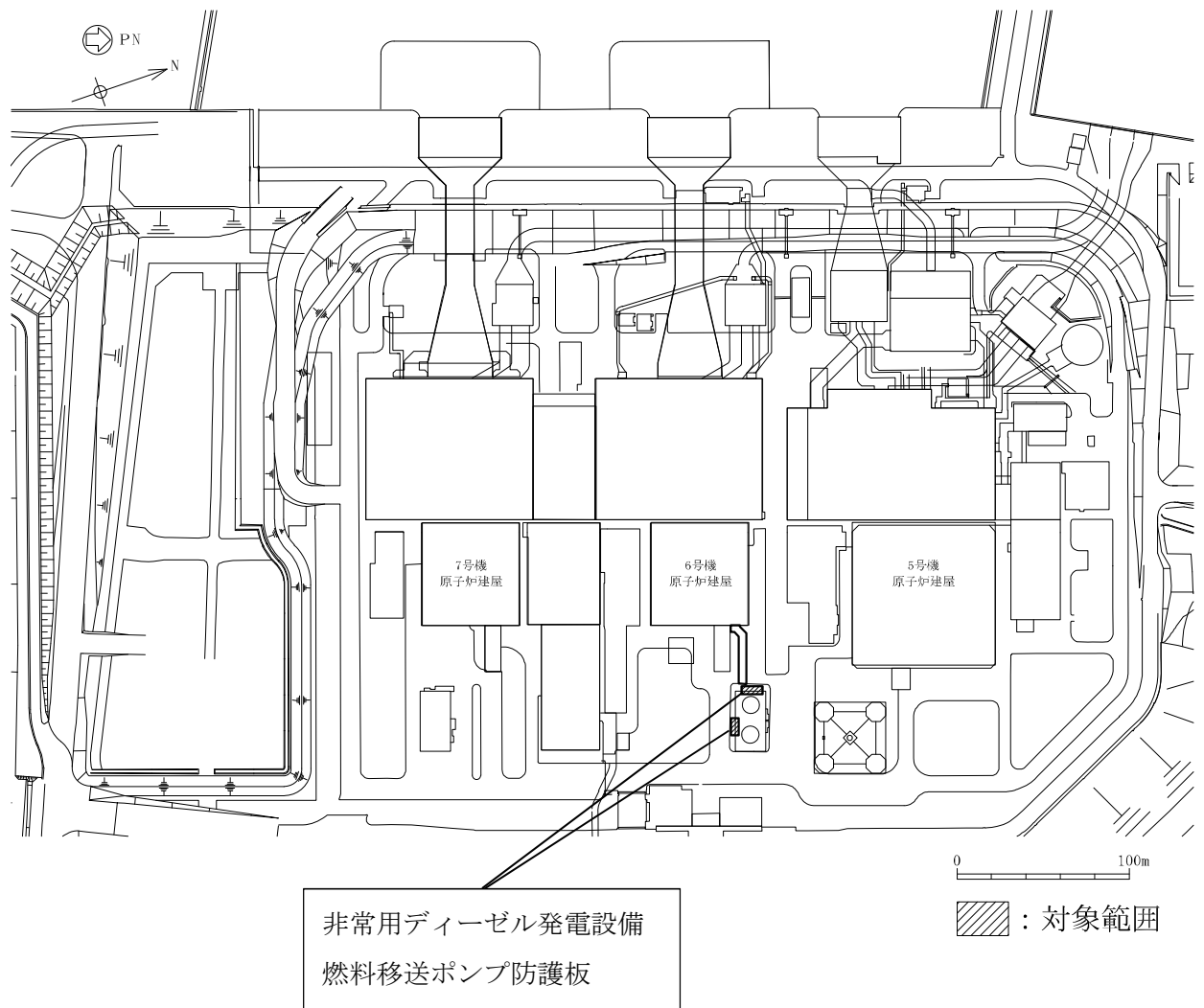


図 2-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の位置図

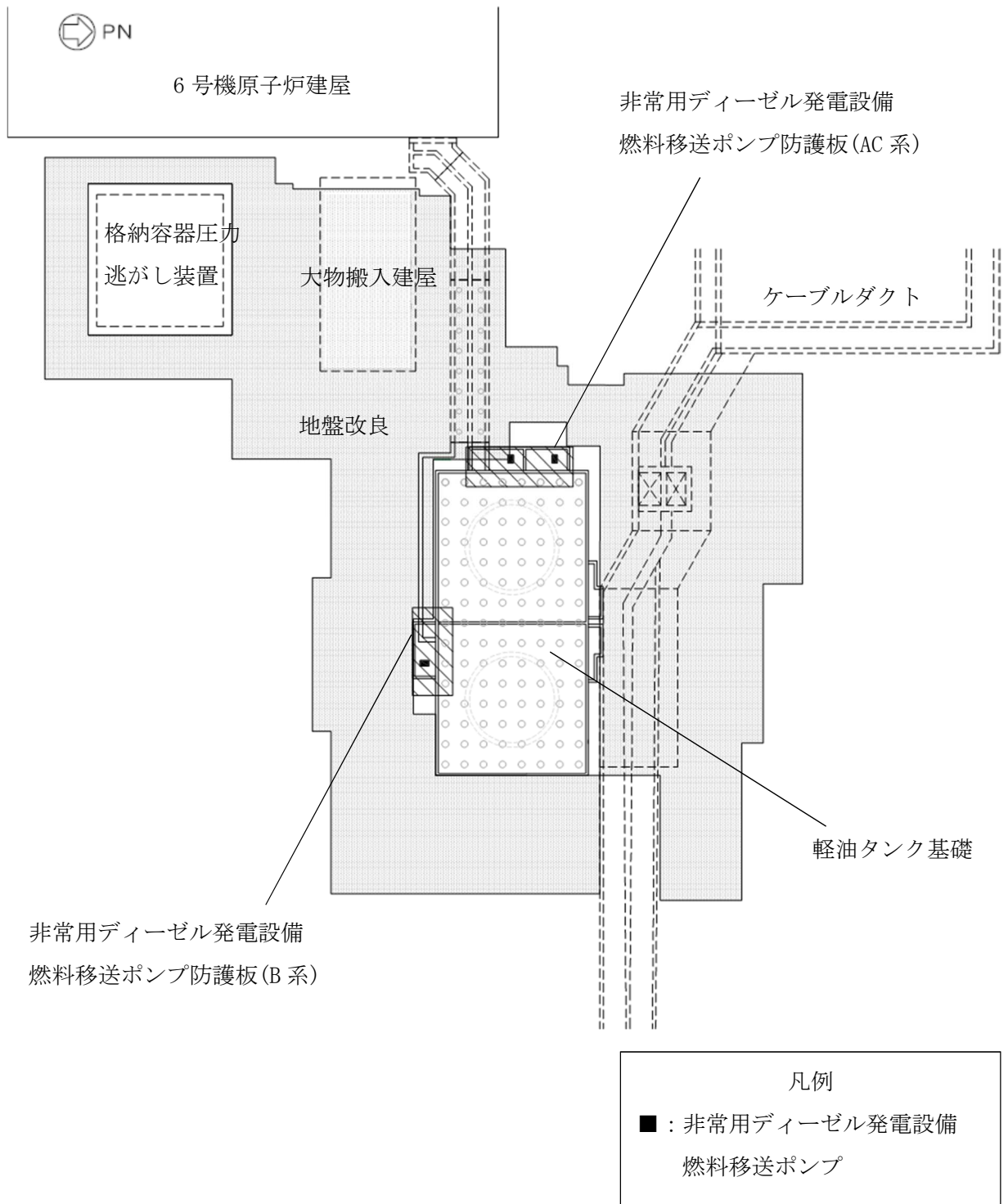
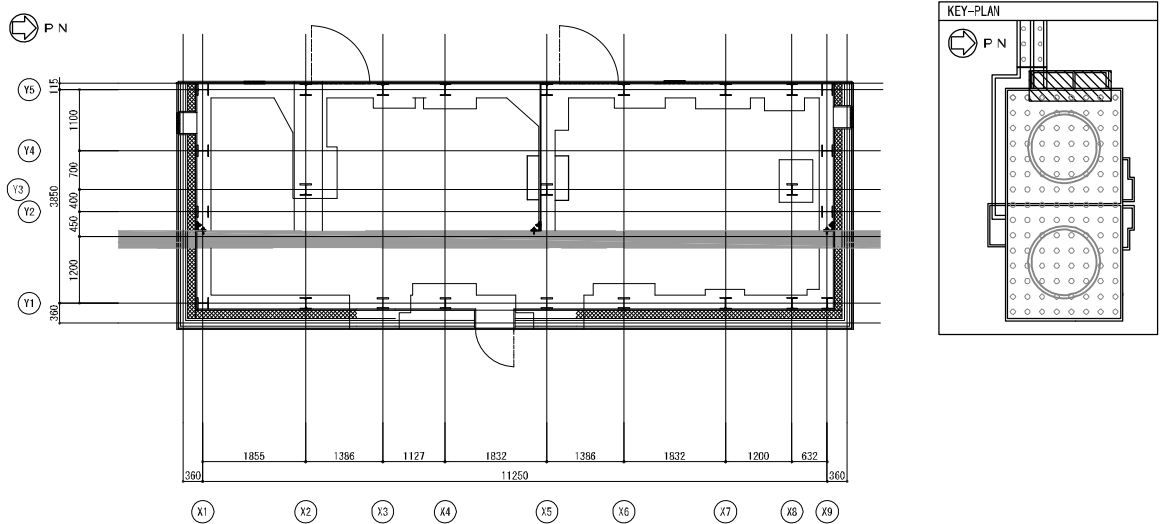


図 2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の配置図

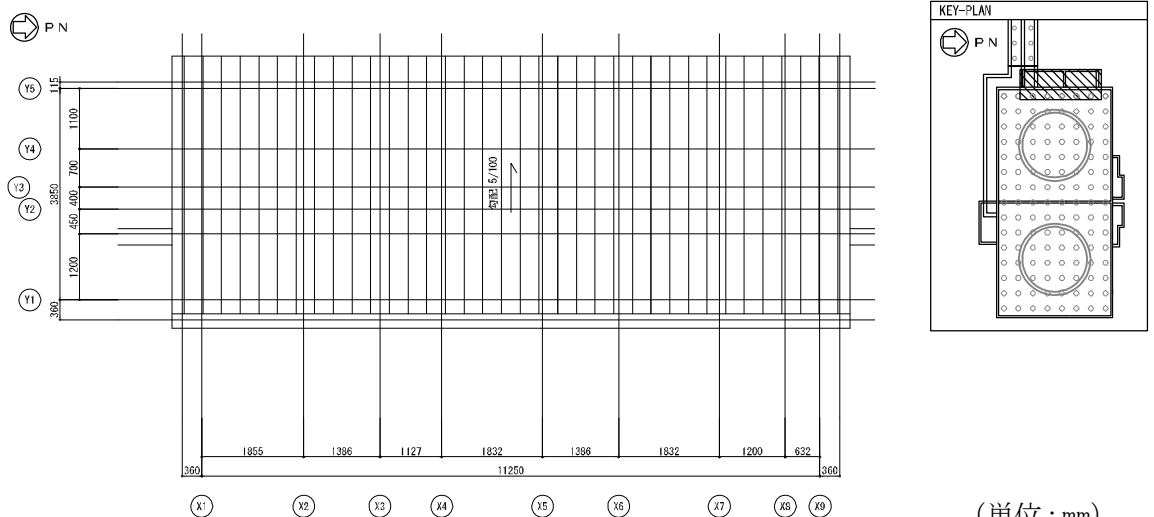
## 2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、防護鋼板、防護鋼板を支持する架構(はり、柱、ブレース)、及び架構を鉄筋コンクリート造の基礎に固定する柱脚(ベースプレート、基礎ボルト)から構成される。平面図を図 2-3 及び図 2-4 に、立面図を図 2-5 及び図 2-6 に、断面図を図 2-7 及び図 2-8 に、柱とはりの接合部の詳細図を図 2-9 に、基礎ボルトの断面図を図 2-10 に示す。



(1) 平面図

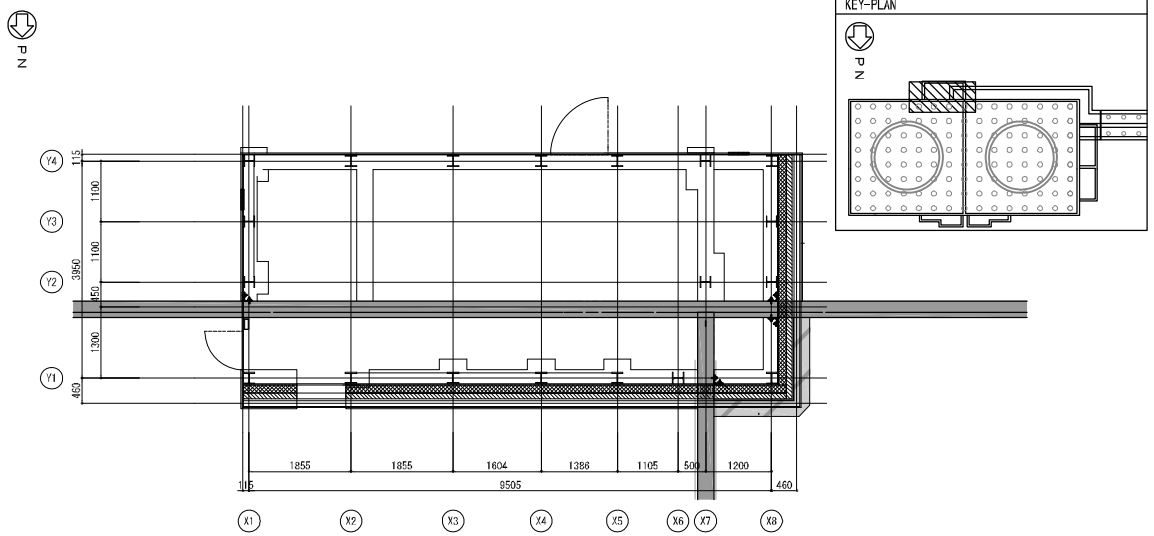
(単位 : mm)



(2) 屋根伏図

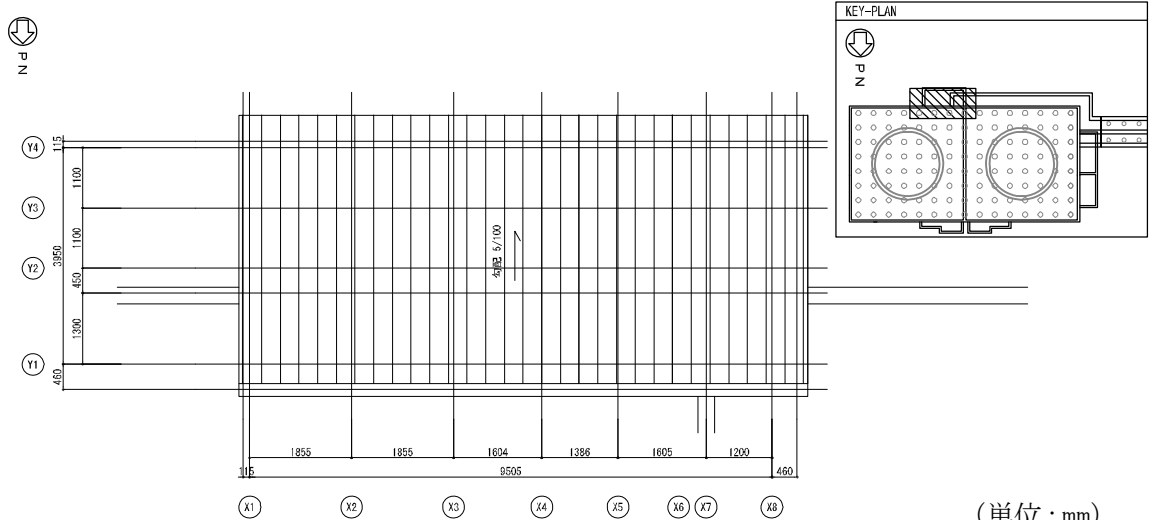
(単位 : mm)

図 2-3 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の平面図 (AC 系)



(1) 平面図

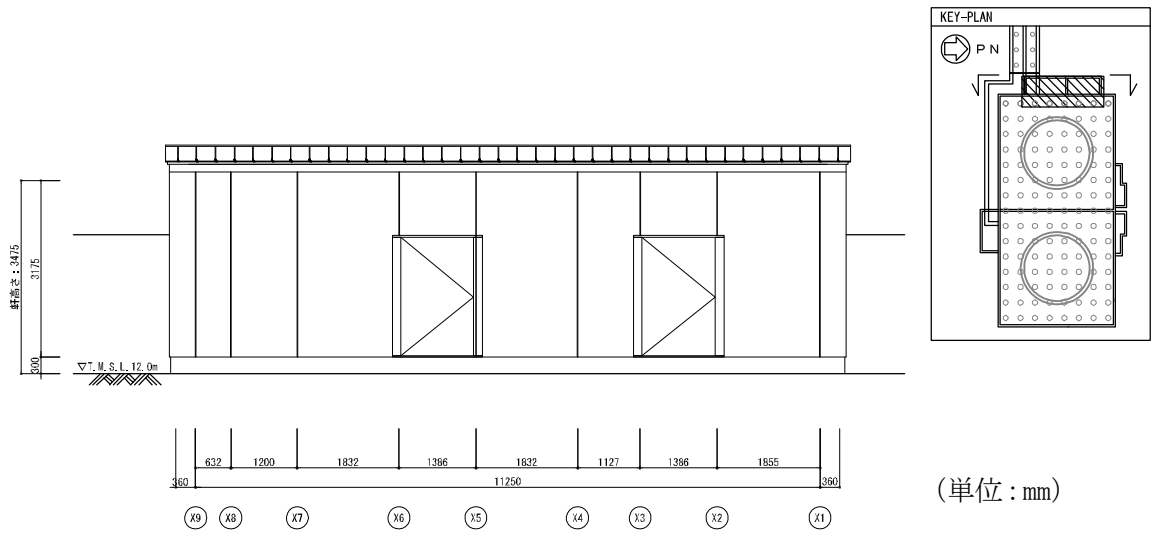
(単位：mm)



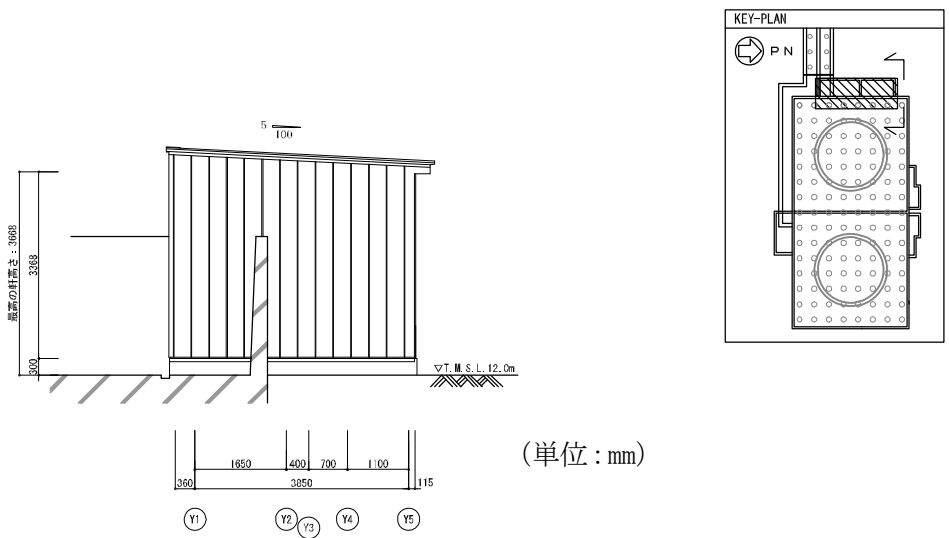
(2) 屋根伏図

(単位：mm)

図 2-4 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の平面図 (B系)

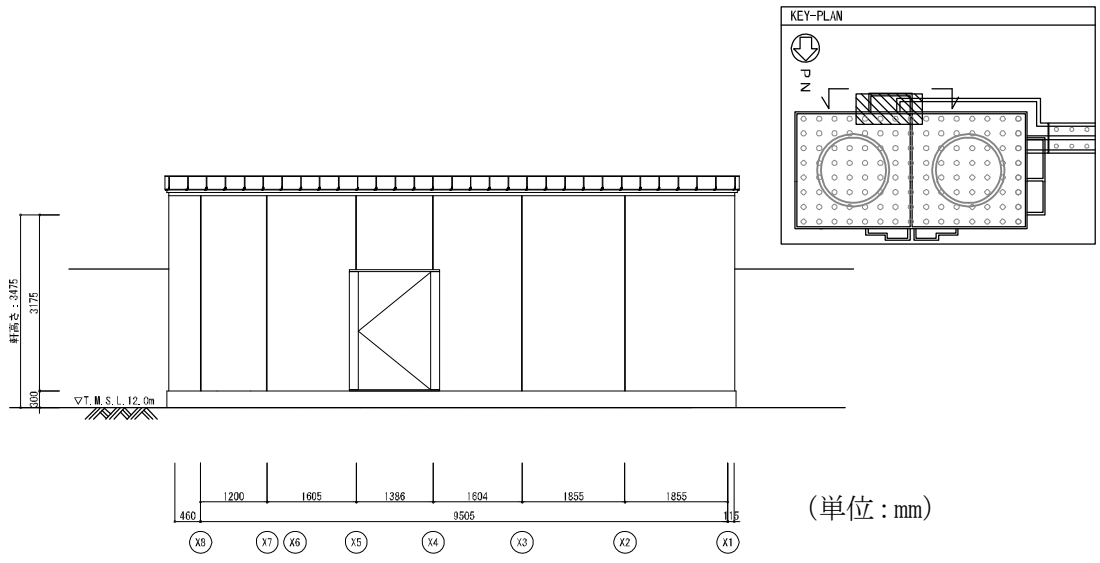


(1) 西面立面図

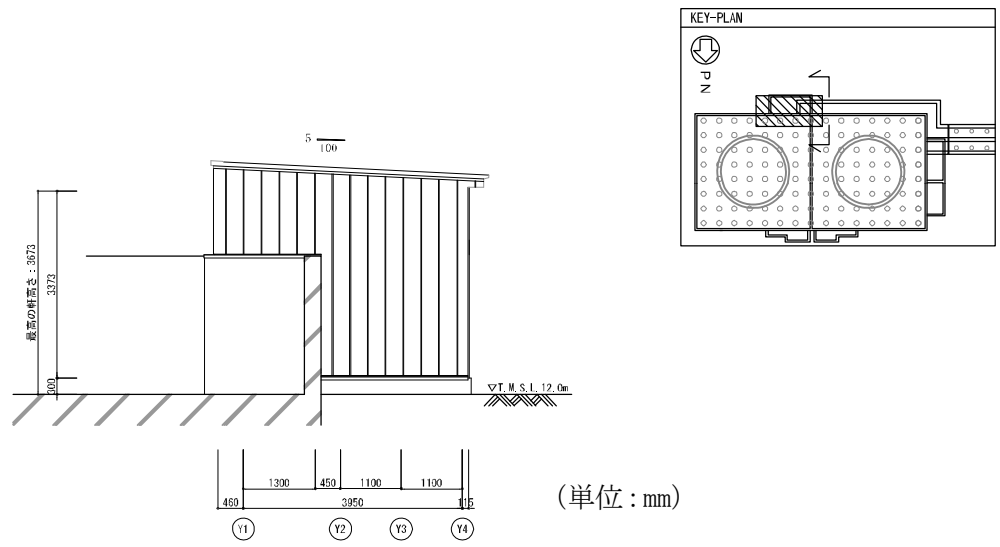


(2) 北面立面図

図 2-5 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の立面図(AC系)

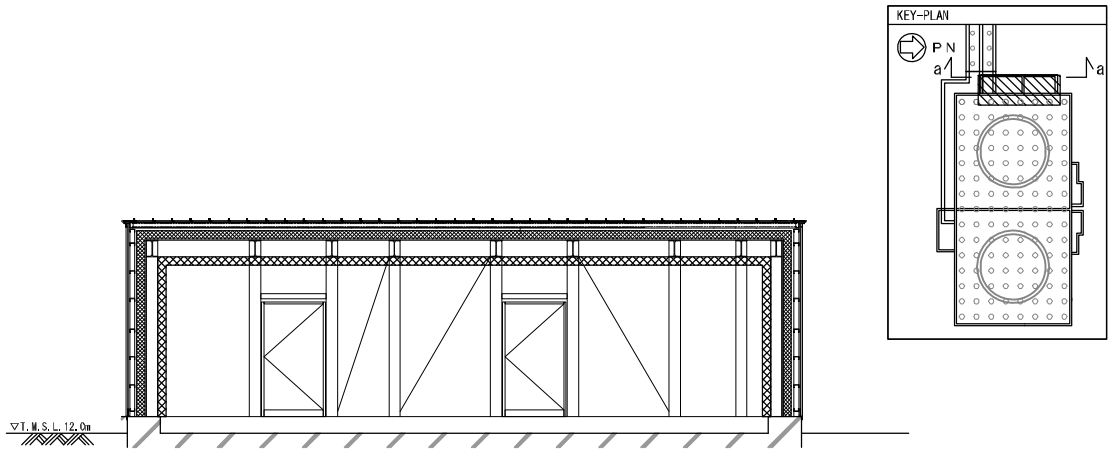


(1) 南面立面図

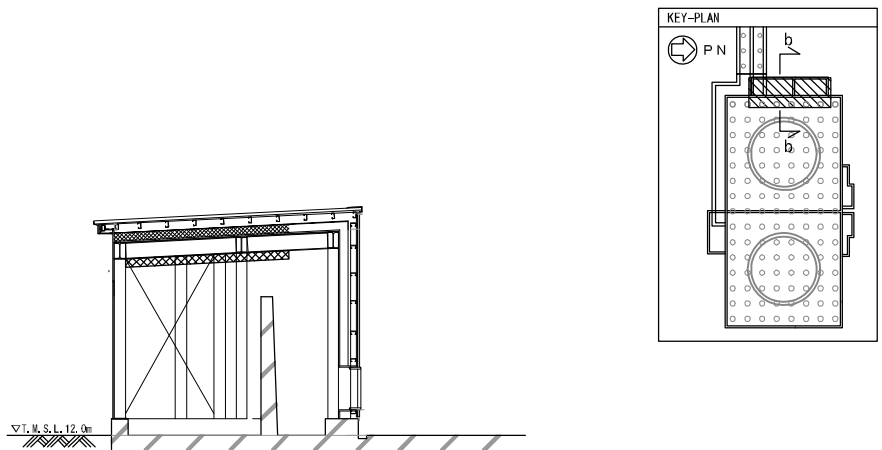


(2) 西面立面図

図 2-6 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の立面図(B系)

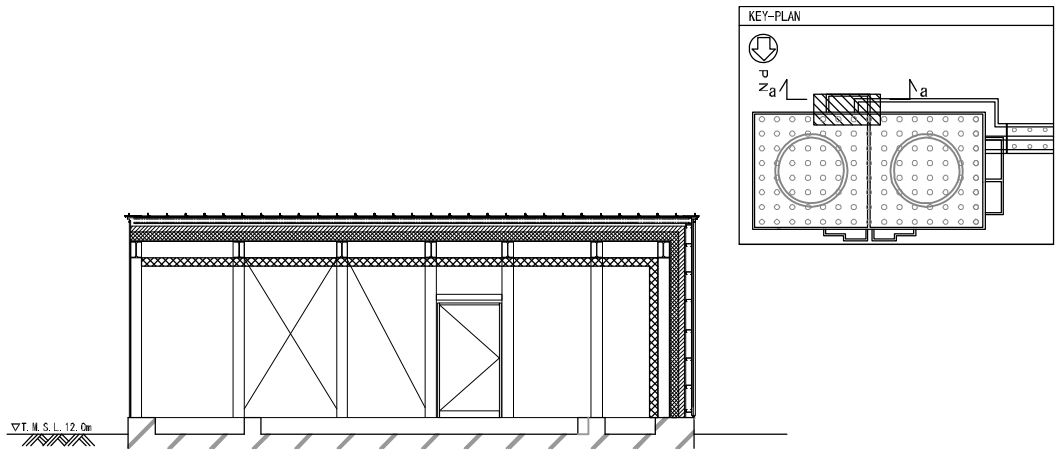


(1) a-a 断面図

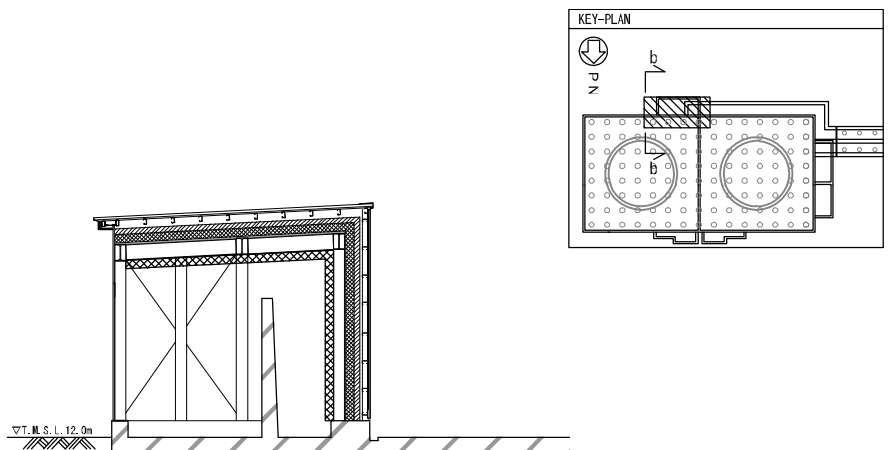


(2) b-b 断面図

図 2-7 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の断面図(AC系)



(1) a-a 断面図



(2) b-b 断面図

図 2-8 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の断面図(B系)



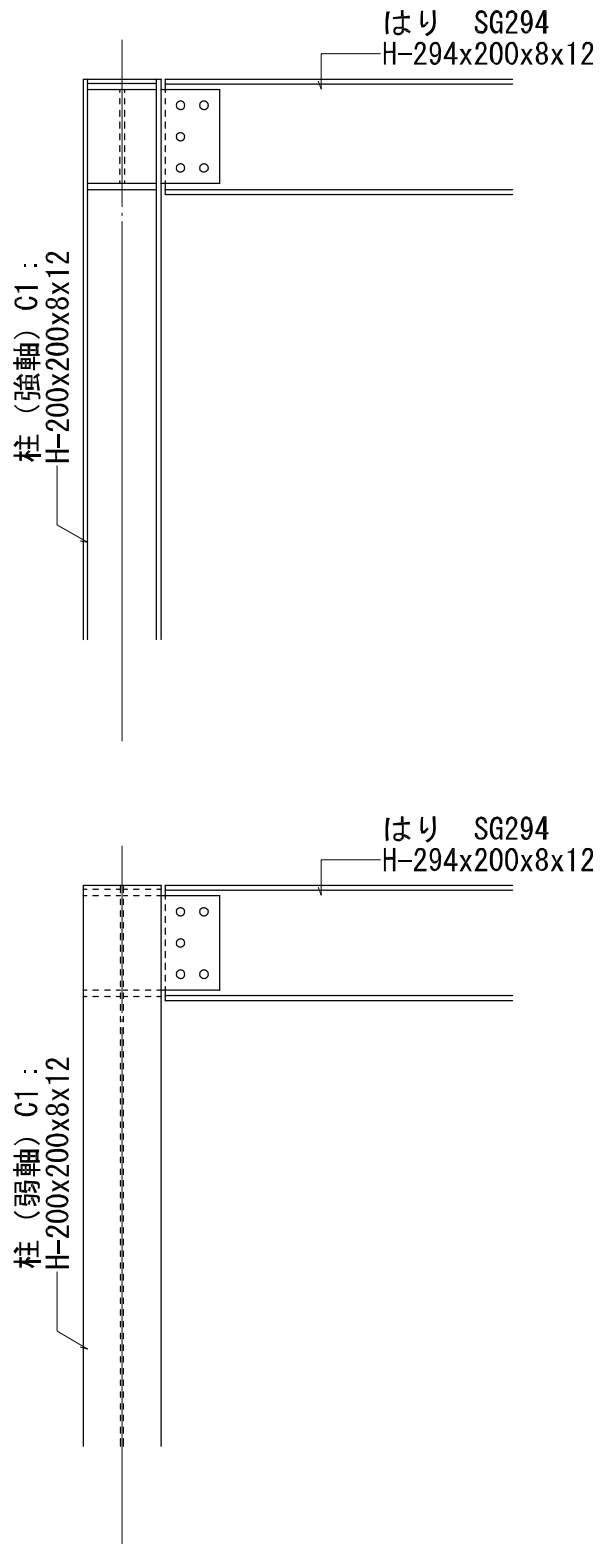


図 2-9 接合部詳細図 (一般図, 上段 : 柱強軸, 下段 : 柱弱軸)

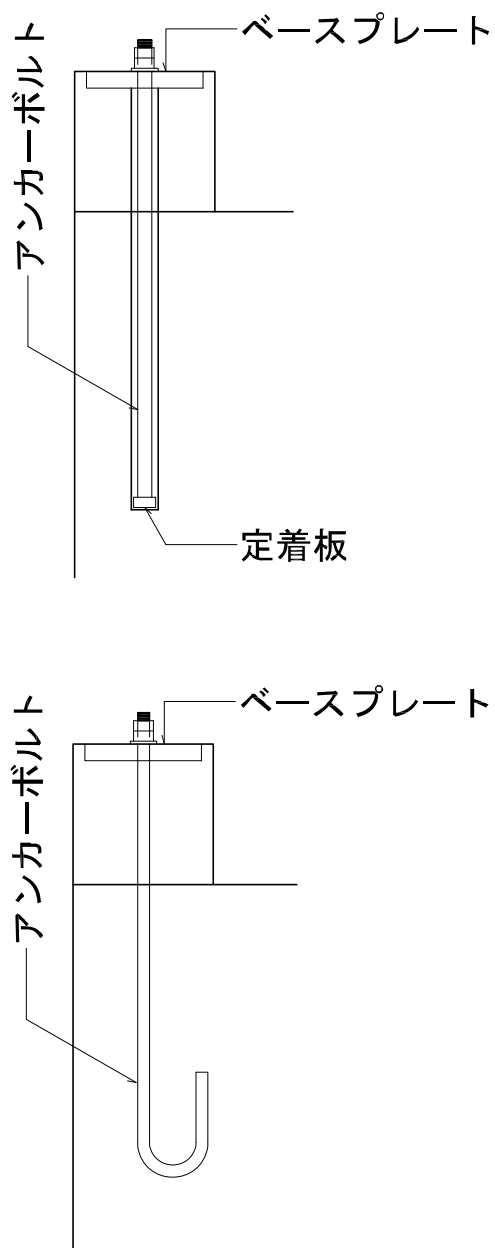


図 2-10 基礎ボルト断面図（一般図，上段：タイプA，下段：タイプB）

### 2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に基づき実施する。評価については、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」における軽油タンク基礎の設計用床応答曲線に基づき、静的応力解析による構造物全体の変形性能評価及び構造部材の健全性評価を行う。表 2-1 に非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価項目を示す。

構造物全体の変形性能評価は、構造物全体の層間変形角が許容限界以下であることを確認する。また、構造部材の健全性評価は、構造部材の応力が許容限界以下であることを確認する。各評価項目の許容限界は終局応力度とすることを基本とするが、はり、柱のせん断応力及び基礎ボルトの評価項目については、構造物の脆性崩壊を避けるため、保守的に短期許容応力度を許容限界とする。構造物全体の変形性能評価及び構造部材の健全性評価を実施することで、基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度を有し、内部に設置された上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

構造物全体の層間変形角及び構造部材の応力は、解析コード「Super Build/S S 3」を用いた 3 次元静的線形応力解析により算定する。なお、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。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価フローを図 2-11 に示す。

表 2-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価項目

評価方針	評価項目	評価部位	評価方法	許容限界		
内部に設置された上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないこと	構造物全体としての変形性能	構造物全体	構造物全体の層間変形角が許容限界以下であることを確認	構造物全体の層間変形角	層間変形角 1/200*1	
	構造部材の健全性	架 構	はり, 柱	部材に生じる応力が許容限界以下であることを確認	曲げ応力	終局曲げ応力度*3
					軸応力	終局軸応力度*3
					せん断応力	短期許容せん断応力度*2
			ブレース	部材に生じる応力が許容限界以下であることを確認	軸応力	終局軸応力度*3
		柱 脚	ベースプレート	部材に生じる応力が許容限界以下であることを確認	曲げ応力	終局曲げ応力度*3
			せん断応力	短期許容せん断応力度*2		

注記\*1 : 「建築基準法施行令第 82 条の 2(層間変形角)」に基づく。

\*2 : 「鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」(日本建築学会, 2005 年改定) に基づく。

\*3 : 「建築基準法及び同施行令」及び「鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」(日本建築学会, 2005 年改定) に基づく。

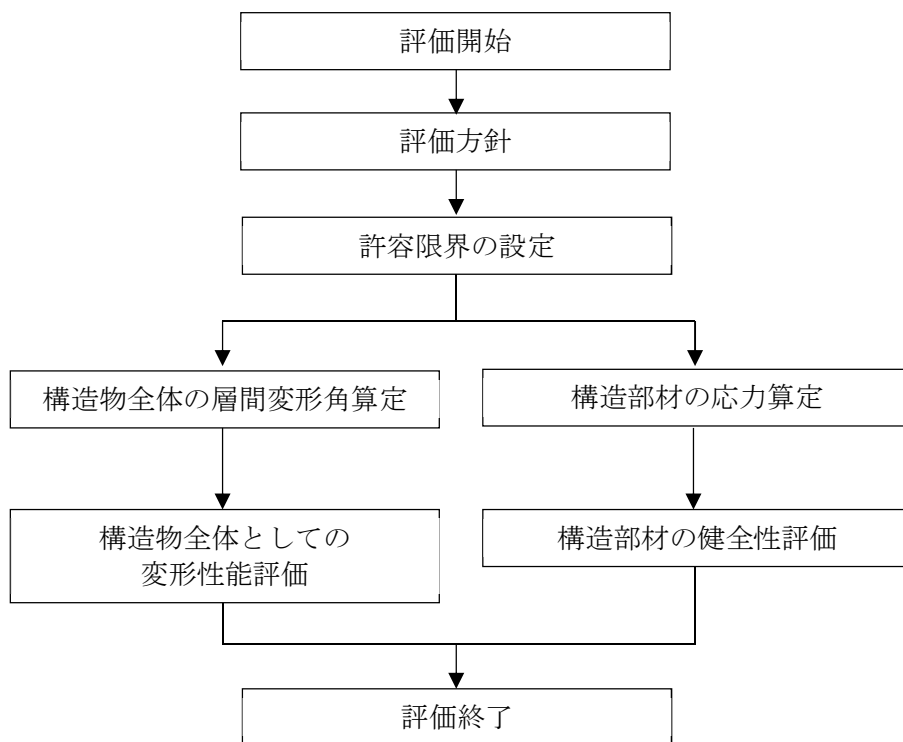


図 2-11 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）
- ・ 挿入型鉄筋定着工法「Post-Head-Anchor 工法」（BCJ 評定-SS0030-03）（日本建築センター）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，1999 年）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（日本電気協会）

### 3. 評価部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価では、構造物全体の变形性能評価及び構造部材の健全性評価を行う。構造部材の健全性評価については、架構（はり、柱、ブレース）及び柱脚（ベースプレート、基礎ボルト）を評価対象部位とする。評価対象部位の一覧を表 3-1 及び表 3-2 に、評価対象部位の位置図を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

表 3-1 評価対象部位一覧 (AC 系)

部位	記号	部材		鋼種																																							
架構	SG294	はり	H-294×200×8×12	SS400																																							
	SG294A, B		H-294×200×8×12	SS400																																							
	C1	柱	H-200×200×8×12	SS400																																							
	C2		BH-200×200×9×16	SS400																																							
	HV1, HV1A	水平ブレース	L-100×100×13	SS400																																							
	HV2	水平ブレース	2 PL s -105×12	SS400																																							
	V1	鉛直ブレース	2 [-150×75×9×12.5	SS400																																							
	V2		2 [-200×90×8×13.5	SS400																																							
柱脚	BP1, BP1A, BP1B, BP1C, BP1D, BP1E, BP2, BP2A, BP2B, BP2C	ベースプレート	BPL-36	SN490B																																							
		基礎ボルト	2-D29	SD390																																							
					BP3, BP3A, BP3B, BP3C, BP4, BP6, BP6A, BP6B, BP7	ベースプレート	BPL-36	SN490B		基礎ボルト	6-D29	SD390	BP9	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	7-D29	SD390	BP10	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	10-D29	SD390	BP8A	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	11-D29	SD390	BP5	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	12-D29	SD390	BP8	ベースプレート	BPL-36
	BP3, BP3A, BP3B, BP3C, BP4, BP6, BP6A, BP6B, BP7	ベースプレート	BPL-36	SN490B																																							
		基礎ボルト	6-D29	SD390																																							
					BP9	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	7-D29	SD390	BP10	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	10-D29	SD390	BP8A	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	11-D29	SD390	BP5	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	12-D29	SD390	BP8	ベースプレート	BPL-36	SN490B	基礎ボルト	13-D29	SD390				
	BP9	ベースプレート	BPL-36	SN490B																																							
		基礎ボルト	7-D29	SD390																																							
	BP10	ベースプレート	BPL-36	SN490B																																							
		基礎ボルト	10-D29	SD390																																							
	BP8A	ベースプレート	BPL-36	SN490B																																							
		基礎ボルト	11-D29	SD390																																							
	BP5	ベースプレート	BPL-36	SN490B																																							
		基礎ボルト	12-D29	SD390																																							
BP8	ベースプレート	BPL-36	SN490B																																								
	基礎ボルト	13-D29	SD390																																								

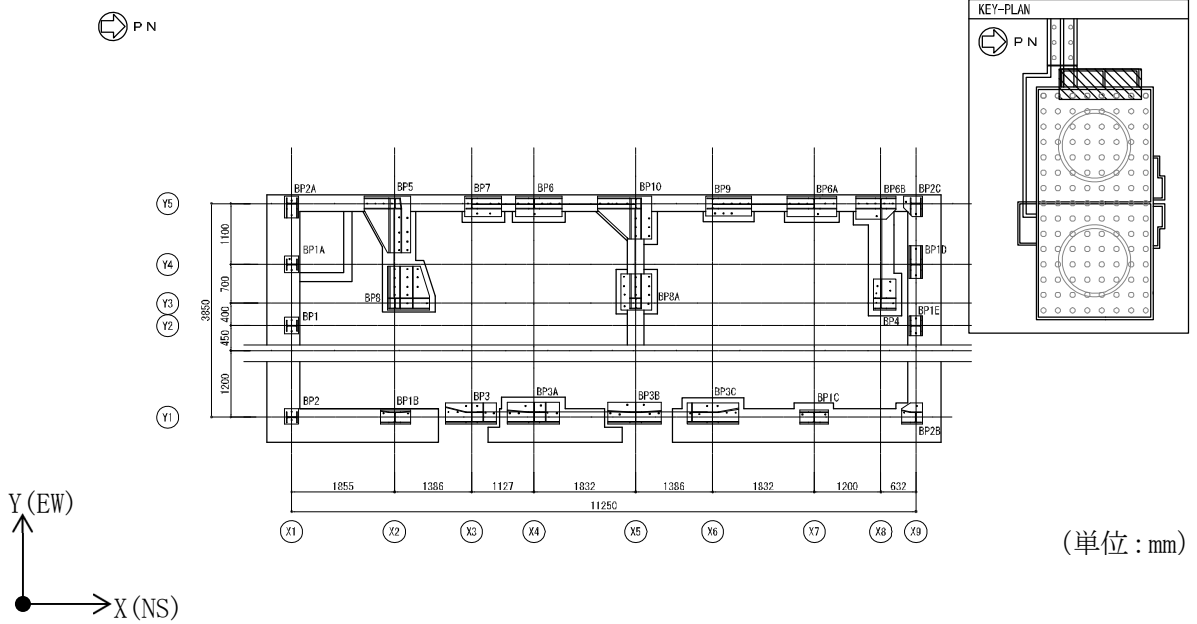
注：特記なき限り、基礎ボルトはタイプ A とする。

表 3-2 評価対象部位一覧 (B系)

部位	記号	部材		鋼種
架構	SG294	はり	H-294×200×8×12	SS400
	SG294A		H-294×200×8×12	SS400
	C1	柱	H-200×200×8×12	SS400
	C2		BH-200×200×9×16	SS400
	HV1	水平ブレース	L-100×100×13	SS400
	HV2	水平ブレース	2 PL s -105×12	SS400
	V1	鉛直ブレース	2 [-150×75×6.5×10	SS400
	V2		2 [-150×75×9×12.5	SS400
柱脚	BP1, BP9A	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト(タイプB)	2-D25	SD345
	BP1A, BP2, BP2A, BP8, BP9, BP10	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	2-D29	SD390
	BP7	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	5-D29	SD390
	BP3, BP3A	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト(タイプB)	6-D25	SD345
	BP5A, BP6, BP6A, BP6B, BP6C	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	6-D29	SD390
	BP5	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	7-D29	SD390
	BP4	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	10-D29	SD390
	BP4A	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	12-D29	SD390

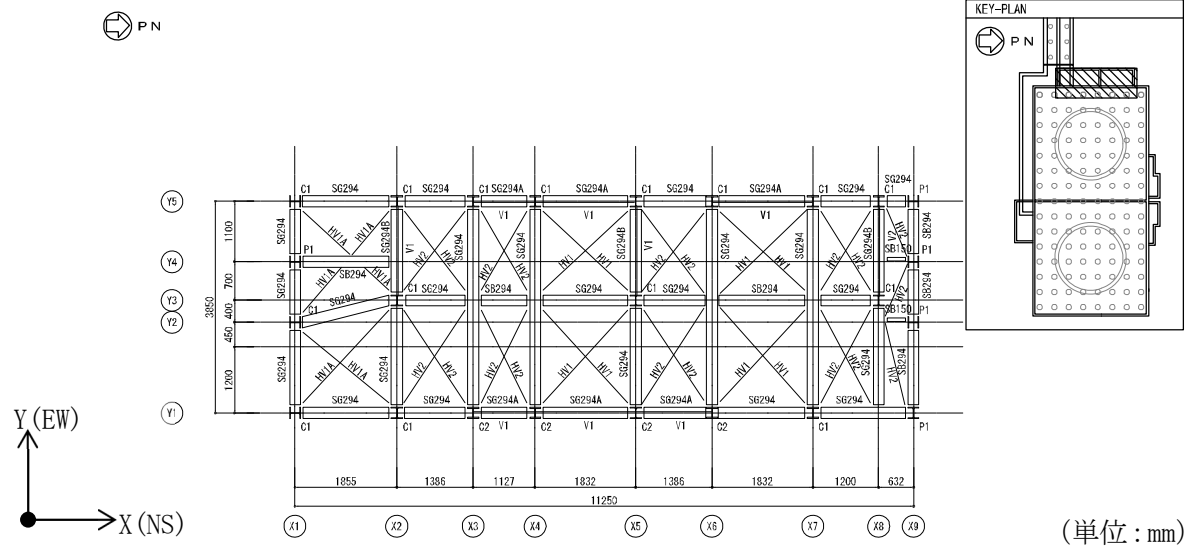
注：特記なき限り，基礎ボルトはタイプAとする。





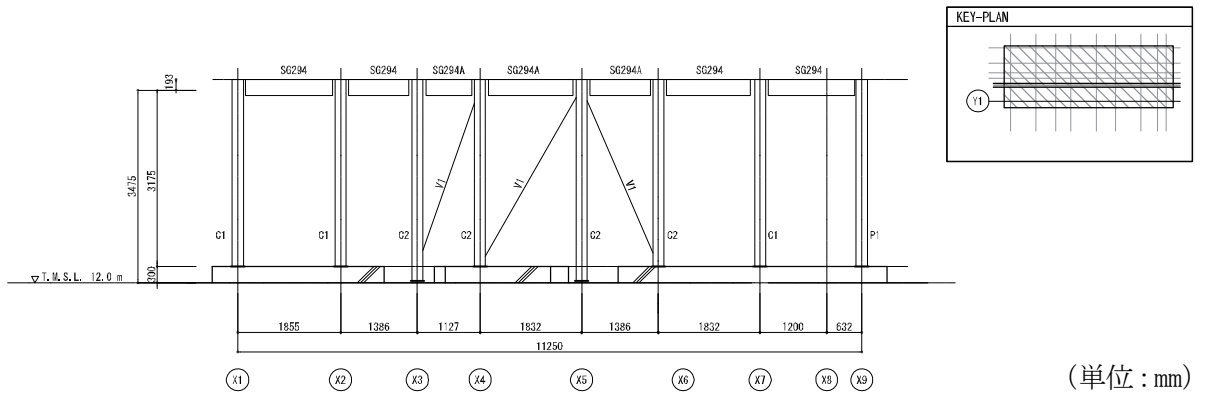
(1) 基礎伏図

注: 図中の BP はベースプレートを示す。



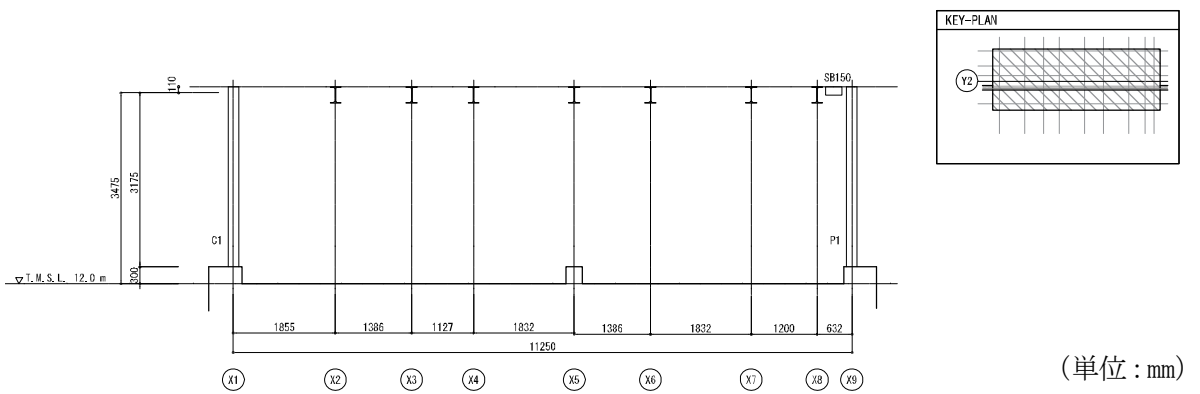
(2) 屋根伏図(見下げ)

図 3-1 評価対象部位位置図(AC系) (1/7)



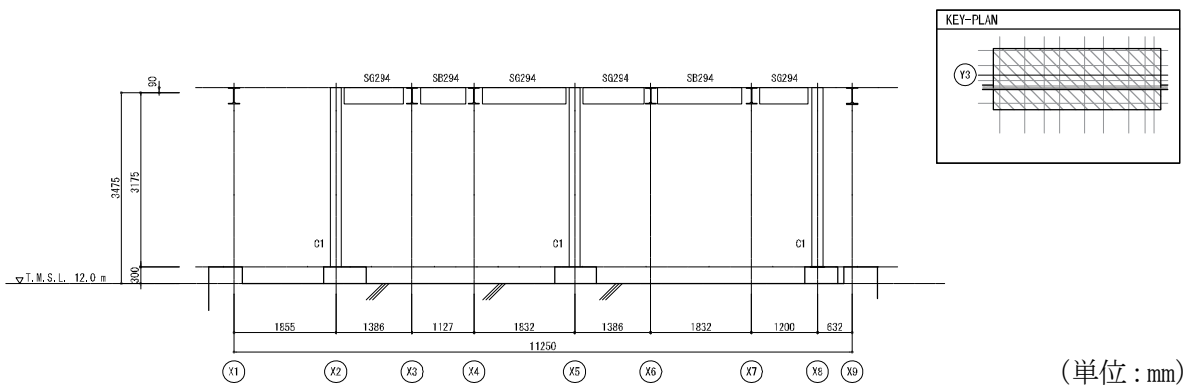
(1) Y1 通り軸組図

(単位 : mm)



(2) Y2 通り軸組図

(単位 : mm)



(3) Y3 通り軸組図

(単位 : mm)

図 3-1 評価対象部位位置図(AC系) (2/7)

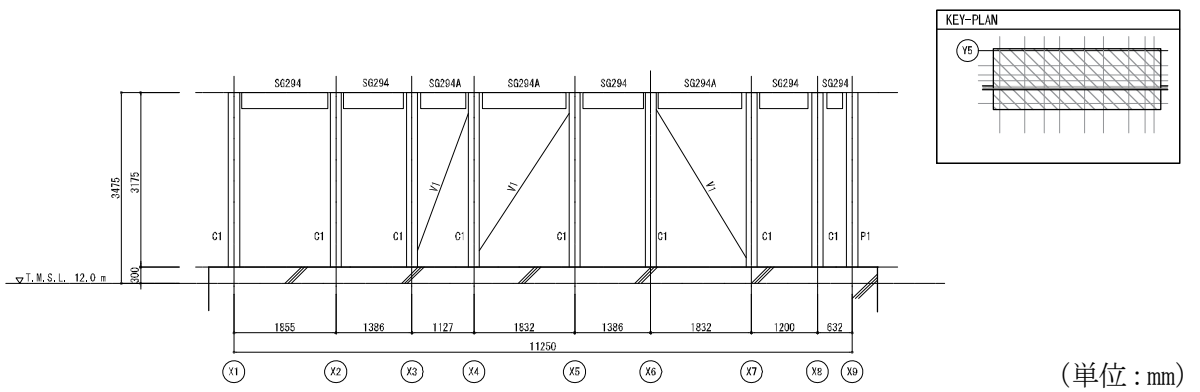
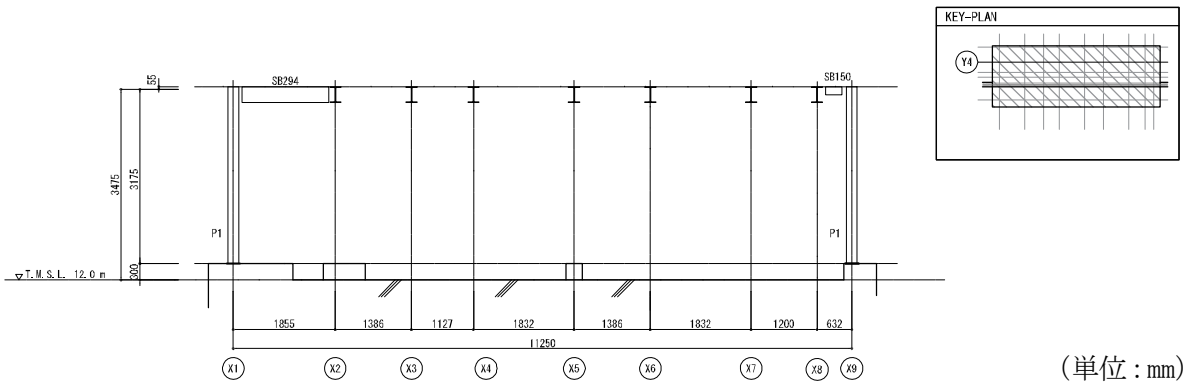
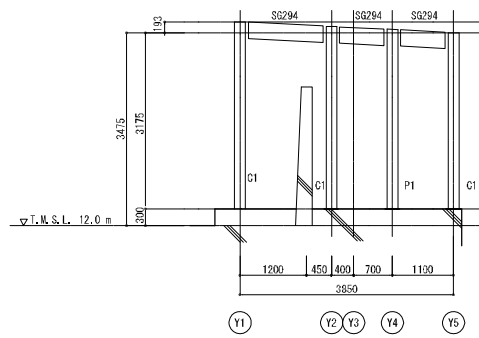
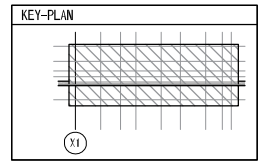


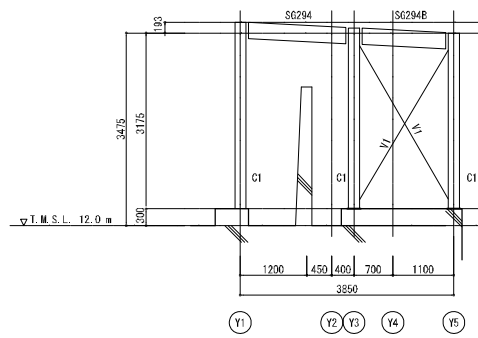
図 3-1 評価対象部位位置図(AC系) (3/7)



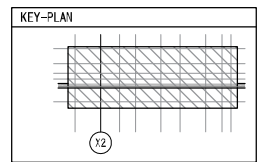
(1) X1 通り軸組図



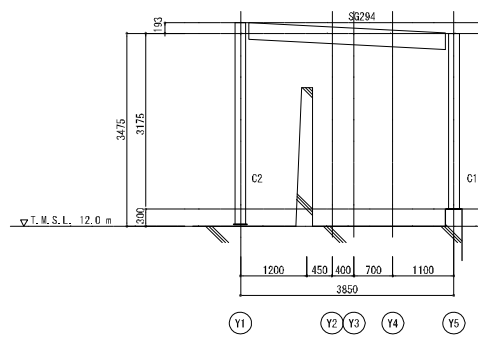
(単位: mm)



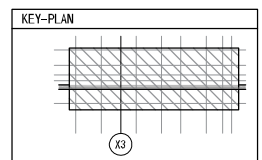
(2) X2 通り軸組図



(単位: mm)

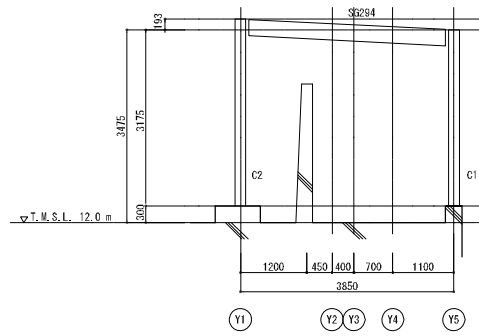


(3) X3 通り軸組図

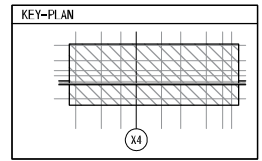


(単位: mm)

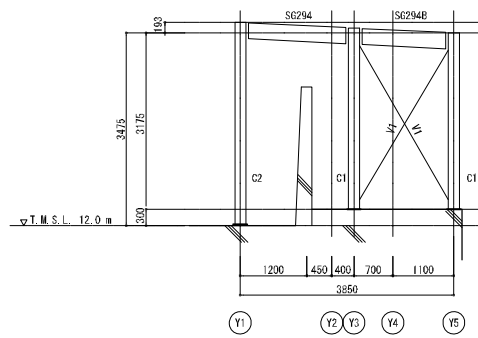
図 3-1 評価対象部位位置図(AC系) (4/7)



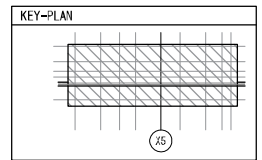
(1) X4 通り軸組図



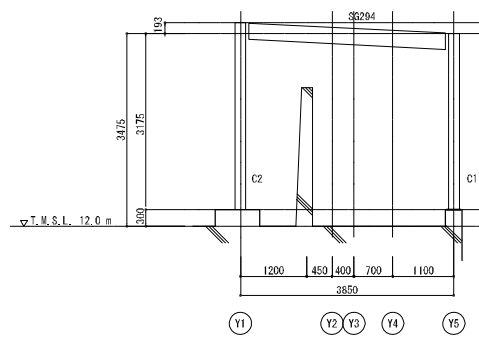
(単位: mm)



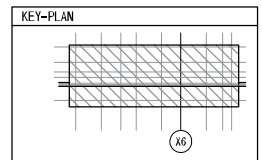
(2) X5 通り軸組図



(単位: mm)

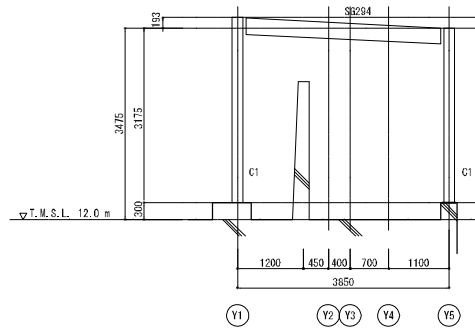


(3) X6 通り軸組図

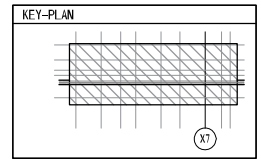


(単位: mm)

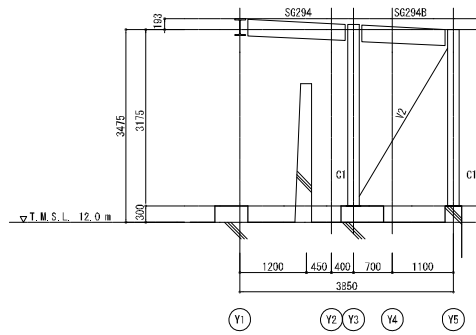
図 3-1 評価対象部位位置図(AC系) (5/7)



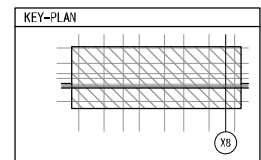
(1) X7 通り軸組図



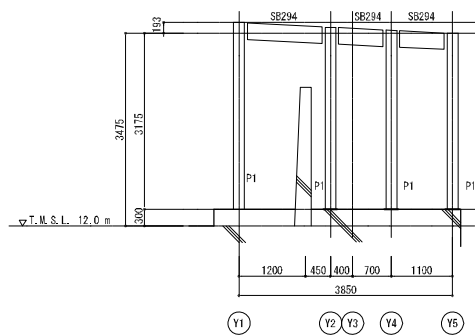
(単位 : mm)



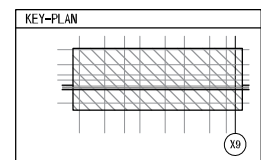
(2) X8 通り軸組図



(単位 : mm)

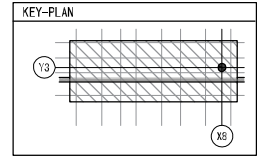
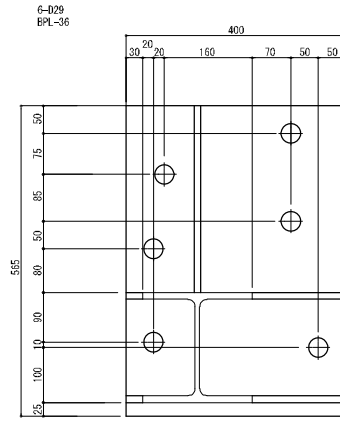


(3) X9 通り軸組図



(単位 : mm)

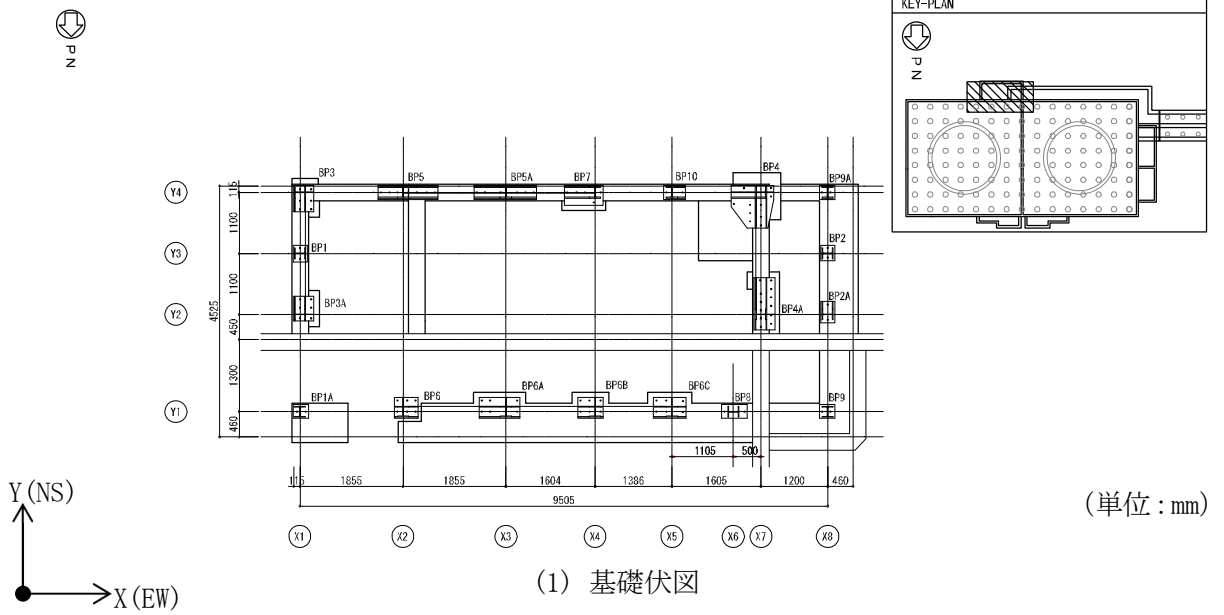
図 3-1 評価対象部位位置図(AC系) (6/7)



(単位 : mm)

(1) BP4 詳細図

図 3-1 評価対象部位位置図(AC系) (7/7)



注：図中の BP はベースプレートを示す。

(単位：mm)

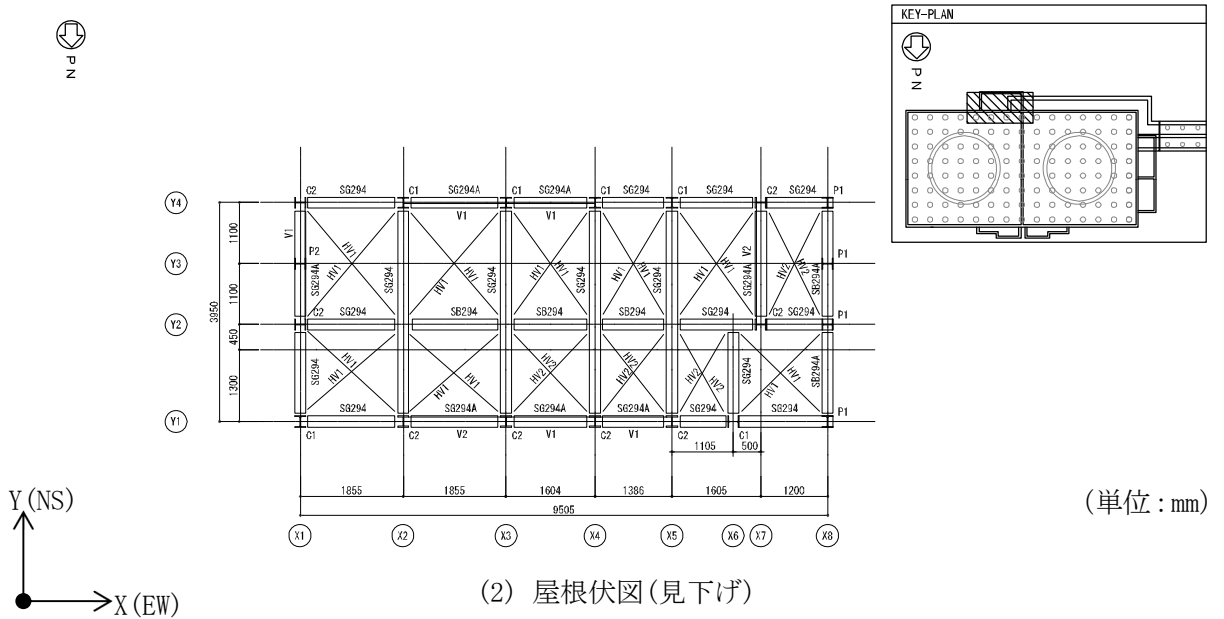
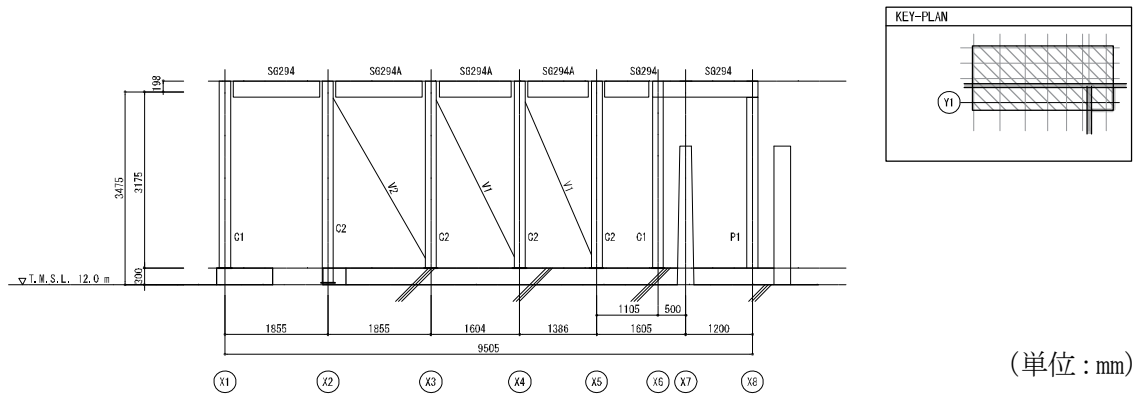


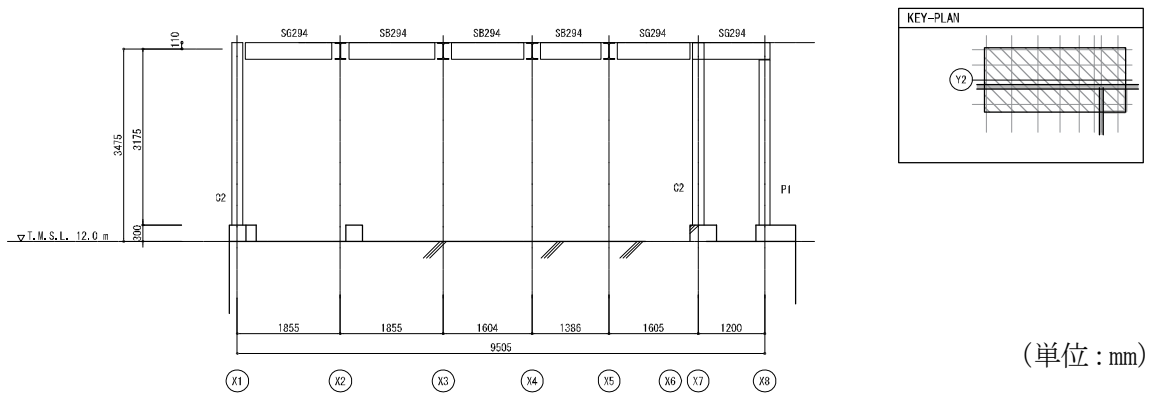
図 3-2 評価対象部位位置図(B系) (1/7)





(1) Y1 通り軸組図

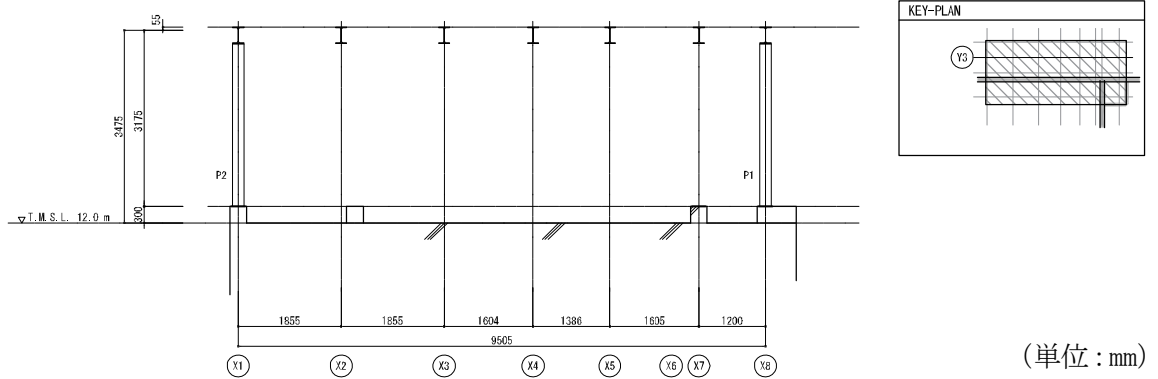
(単位 : mm)



(2) Y2 通り軸組図

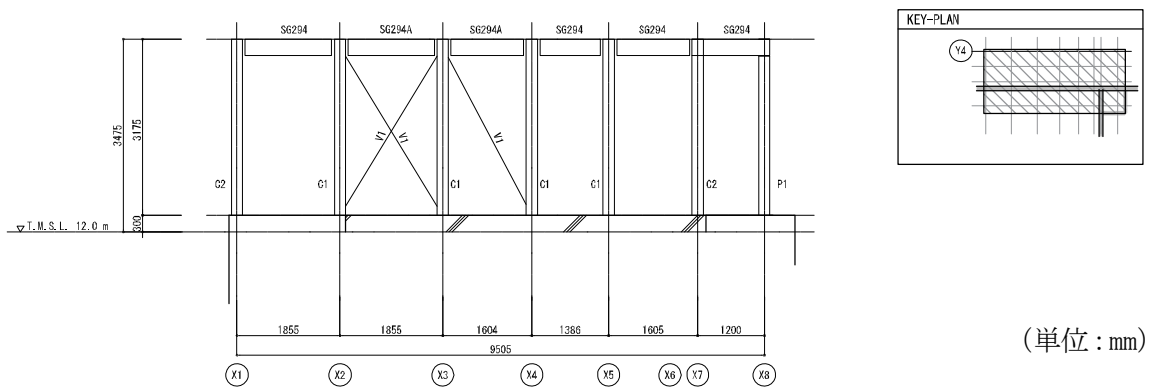
(単位 : mm)

図 3-2 評価対象部位位置図(B系) (2/7)



(1) Y3 通り軸組図

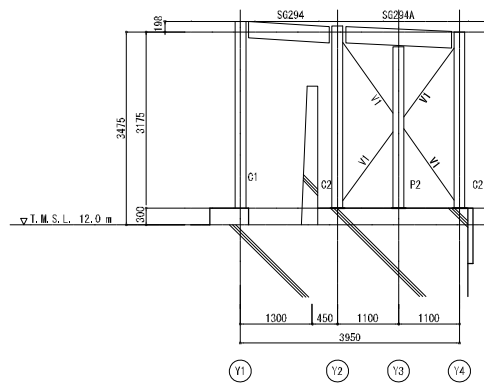
(単位 : mm)



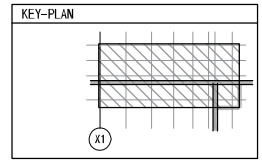
(2) Y4 通り軸組図

(単位 : mm)

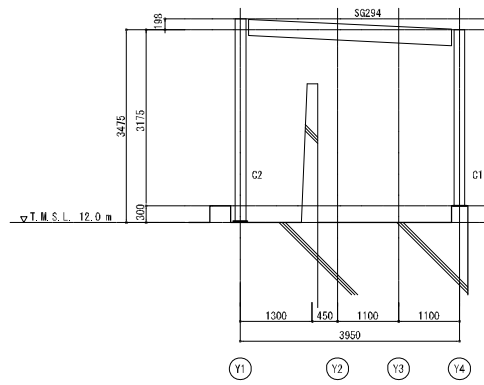
図 3-2 評価対象部位位置図(B系) (3/7)



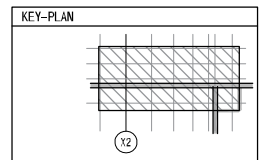
(1) X1 通り軸組図



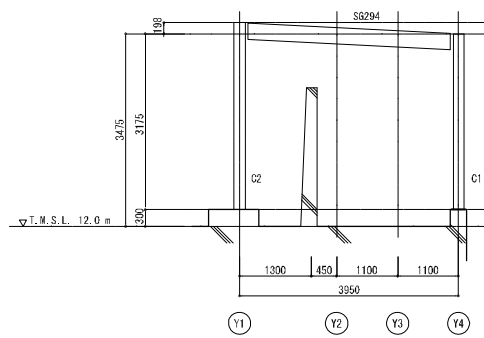
(単位 : mm)



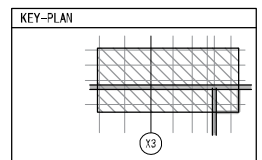
(2) X2 通り軸組図



(単位 : mm)

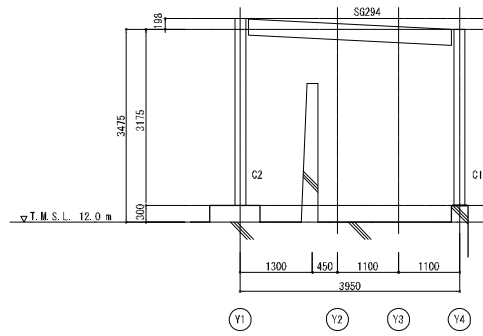


(3) X3 通り軸組図

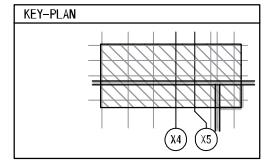


(単位 : mm)

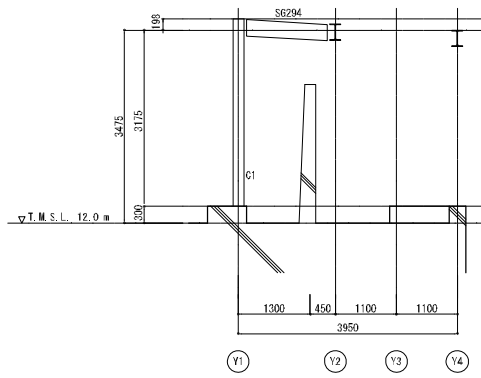
図 3-2 評価対象部位位置図(B系) (4/7)



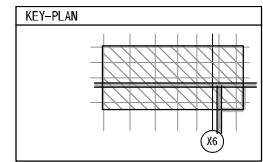
(1) X4, X5 通り軸組図



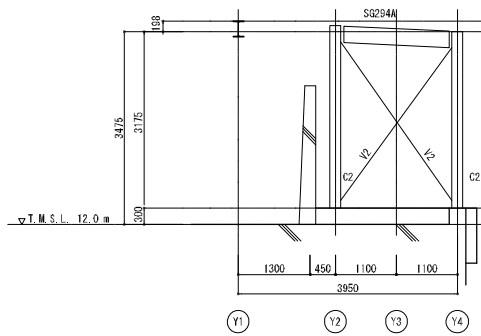
(単位 : mm)



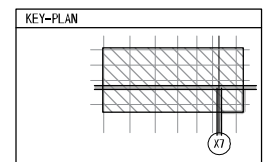
(2) X6 通り軸組図



(単位 : mm)

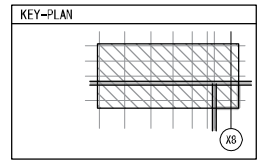
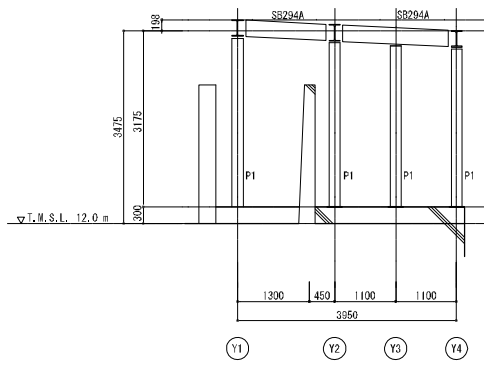


(3) X7 通り軸組図



(単位 : mm)

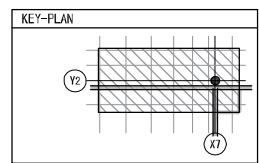
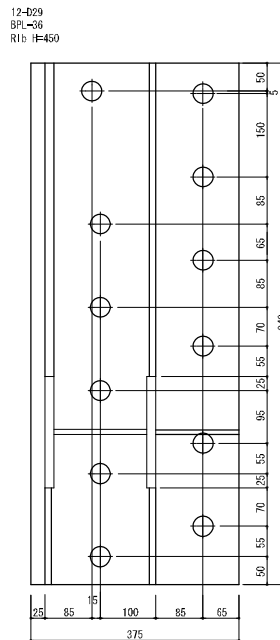
図 3-2 評価対象部位位置図(B系) (5/7)



(単位 : mm)

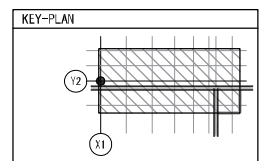
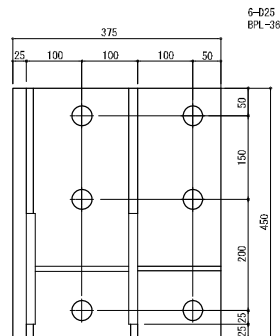
(1) X8 通り軸組図

図 3-2 評価対象部位位置図(B系) (6/7)



(単位 : mm)

(1) BP4A 詳細図



(単位 : mm)

(2) BP3A 詳細図

図 3-2 評価対象部位位置図(B系) (7/7)

#### 4. 許容限界

##### 4.1 構造物全体の变形性能に対する許容限界

構造物全体の变形性能に対する許容限界は、構造物全体の層間変形角が建築基準法施行令第82条の2に基づく層間変形角 1/200 以下とする。

##### 4.2 構造部材の健全性に対する許容限界

評価対象部材の許容限界における応力度算出式を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価対象部材の許容限界における応力度\*1

部材	応力	応力度の種類	単位	許容応力度計算式
架構 (はり, 柱, プレース), 柱脚 (ベースプレート)	曲げ	終局曲げ応力度 $sf_{bu}$	N/mm <sup>2</sup>	$sf_{bu} = f_b \times 1.1$
	軸力	終局軸応力度 $sf_{cu}$ (圧縮時)	N/mm <sup>2</sup>	$sf_{cu} = f_c \times 1.1$ (圧縮時)
		$sf_{tu}$ (引張り時)		$sf_{tu} = F \times 1.1$ (引張り時)
せん断	短期許容せん断応力度 $sf_s$	N/mm <sup>2</sup>	$sf_s = F/\sqrt{3}$	
柱脚 (基礎ボルト)	引張り	短期許容引張応力度 $bf_t$	N/mm <sup>2</sup>	$bf_t = F$
	せん断*2	短期許容せん断応力度 $bf_s$	N/mm <sup>2</sup>	$bf_s = F/\sqrt{3}$

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 基礎ボルトのせん断は、鉄筋コンクリートの支圧によるせん断破壊に対しても評価を行う。

ここで、

$f_b$  : 短期許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_c$  : 短期許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

F : 鋼材の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

### 4.3 使用材料の許容限界評価条件

架構（はり，柱，ブレース）及び柱脚（ベースプレート，基礎ボルト）の使用材料の許容限界評価条件を表 4-2 から表 4-4 に示す。

表 4-2 使用材料の許容限界評価条件(鋼材)\*<sup>1</sup>

評価部材	材料 (寸法:mm)	基準強度 F (N/mm <sup>2</sup> )	短期	
			引張り (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )
架構 (はり，柱，ブレース)	SS400 (t≤40)	235	235	135
柱脚 (ベースプレート)	SN490B (t≤40)	325	325	187

表 4-3 使用材料の許容限界評価条件(鉄筋)\*<sup>2</sup>

評価部材		材料	短期	
			引張り及び 圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )
柱脚 (基礎ボルト)	タイプA	SD390	390	390
	タイプB	SD345	345	345

表 4-4 使用材料の許容限界評価条件(コンクリート)\*<sup>2</sup>

評価部材		材料	短期		
			圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	付着 (N/mm <sup>2</sup> )
柱脚 (基礎ボルト)	タイプA	F <sub>c</sub> 23.5	15.6	1.08	1.48
	タイプB				

注記\*1 : 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会, 2005年改定) に基づく

\*2 : 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会, 1999年) に基づく

## 5. 耐震評価

### 5.1 耐震評価方法

耐震評価は、「5.3 解析モデル」に示す評価部位全体を対象とした解析モデルを用いた3次元静的線形応力解析に基づき行う。本応力解析により得られた架構全体の変形性能を評価するとともに、個々の部材に生じる応力が許容値以下であり十分な強度を有していることを確認する。応力解析は以下の方針に基づく。

- (1) モデルに作用する荷重及び荷重の組合せは、「5.2 荷重の組合せ」による。本解析は線形解析であることから、個々の荷重による変形及び応力を求め、それらを「5.6 計算方法」に示す方法により評価することで、荷重組合せ時の結果として検討を行う。
- (2) 地震荷重は、水平2方向（NS方向及びEW方向）と鉛直方向（UD方向）を考慮する。3方向地震荷重の組合せは、組合せ係数法（1.0, 0.4, 0.4）による。
- (3) 屋根面は剛床としてモデル化を行うが、屋根面勾配および水平ブレースによりはりに生じる軸力は別途考慮の上、部材検討を行う。
- (4) 応力解析には、一貫構造計算プログラム「Super Build/SS3」を用いる。



## 5.2 荷重の組合せ

応力解析において、考慮する荷重を以下に示す。

### (1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

### (2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、積雪荷重を考慮する。

### (3) 地震荷重 ( $S_{sNS}$ , $S_{sEW}$ , $S_{sUD}$ )

基準地震動  $S_s$  による水平 2 方向 (NS 方向及び EW 方向) と鉛直 (UD 方向) の荷重を考慮する。3 方向地震荷重の組合せは、組合せ係数法 (1.0, 0.4, 0.4) による。荷重の組合せの一覧を表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
地震時 (S <sub>s</sub> )	1	$G + P + 1.0 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	2	$G + P + 1.0 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	3	$G + P - 1.0 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	4	$G + P - 1.0 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	5	$G + P + 1.0 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	6	$G + P + 1.0 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	7	$G + P - 1.0 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	8	$G + P - 1.0 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	9	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} + 1.0 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	10	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} + 1.0 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	11	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} + 1.0 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	12	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} + 1.0 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	13	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} - 1.0 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	14	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} - 1.0 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	15	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} - 1.0 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
	16	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} - 1.0 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
	17	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	18	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
	19	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	20	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{EW}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
	21	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	22	$G + P + 0.4 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
	23	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
	24	$G + P - 0.4 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{EW}} - 1.0 S_{s_{UD}}$

ここで、

G : 固定荷重

P : 積載荷重

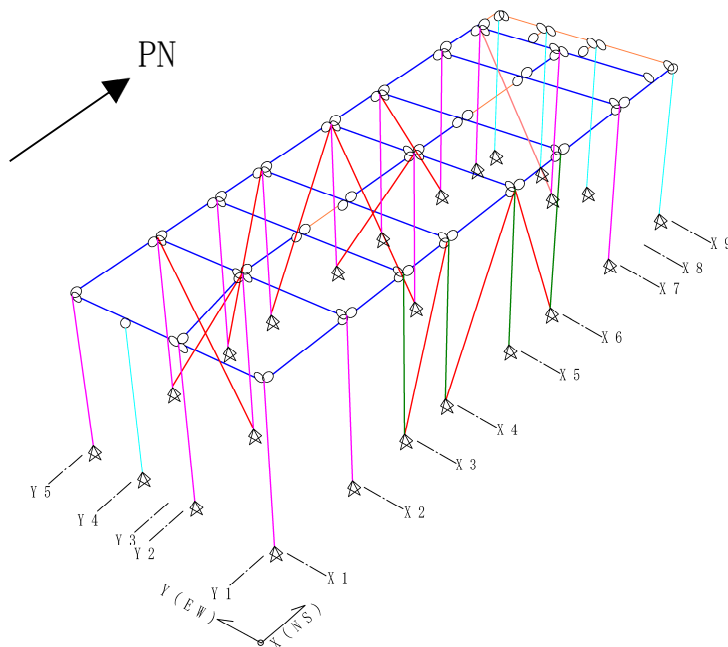
S<sub>s<sub>NS</sub></sub> : 地震荷重(NS 方向)

S<sub>s<sub>EW</sub></sub> : 地震荷重(EW 方向)

S<sub>s<sub>UD</sub></sub> : 地震荷重(UD 方向)

### 5.3 解析モデル

3次元静的応力解析に用いる解析モデルを図 5-1 及び図 5-2 に示す。解析モデルは、架構（はり、柱、ブレース）をはりでモデル化し、はりと柱の接合部はピン接合とする。柱脚（ベースプレート、基礎ボルト）は、ピン支点としてモデル化する。



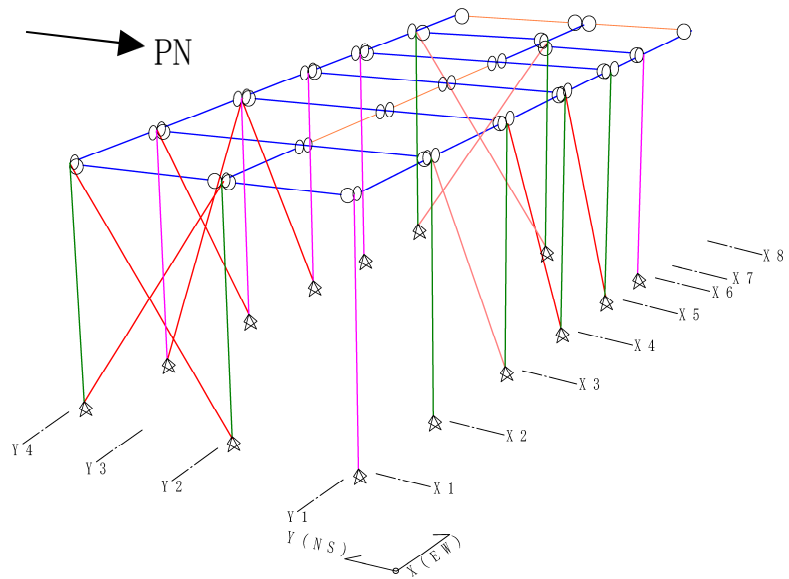
部位	凡例	記号	部材	鋼種
大はり	—	SG294, SG294A, SG294B	H-294×200×8×12	SS400
小はり	—	SB294	H-294×200×8×12	SS400
		SB150	[-150×75×6.5×10	SS400
主柱	—	C1	H-200×200×8×12	SS400
		C2	BH-200×200×9×16	SS400
間柱	—	P1	H-200×200×8×12	SS400
鉛直ブレース	—	V1	2 [-150×75×9×12.5	SS400
		V2	2 [-200×90×8×13.5	SS400

注：床面は剛床としてモデル化する。

条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

注：鉛直ブレースの両端部はピン接合とする。

図 5-1 解析モデル(AC系)



部位	凡例	記号	部材	鋼種
大ばり	—	SG294, SG294A	H-294×200×8×12	SS400
小ばり	—	SB294, SB294A	H-294×200×8×12	SS400
主柱	—	C1	H-200×200×8×12	SS400
	—	C2	BH-200×200×9×16	SS400
鉛直ブレース	—	V1	2 [-150×75×6.5×10]	SS400
	—	V2	2 [-150×75×9×12.5]	SS400

注：床面は剛床としてモデル化する。

条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

注：鉛直ブレースの両端部はピン接合とする。

図 5-2 解析モデル(B系)

#### 5.4 固有周期

地震力の算出においては、屋根面レベルにおける構造物の固有周期による応答値の増幅を考慮する。固有周期算定の概念図を図 5-3 に示す。当構造物は一層で成り立つ平屋構造であり、屋根面が剛床であることから、構造物の振動は質量及び層剛性から決まる一質点系の振動となる。よって当構造物に対する固有値解析は、次式により固有周期を算定することと同義である。

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{m/k}$$

ここで、

m : 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の質量(kg)

k : 各方向における層剛性(N/m)

各方向における層剛性は、水平方向については応力解析モデルの地震荷重と変形の関係から、鉛直方向については応力解析モデルの柱鉛直剛性の集計により算出する。一質点系の振動であることから、生じる振動モードは一次モードのみである。以上の固有周期の算定手法は、一般建築分野の構造計算及び建築確認申請で広く使用される方法である。

固有周期の算定結果を表 5-2 に示す。

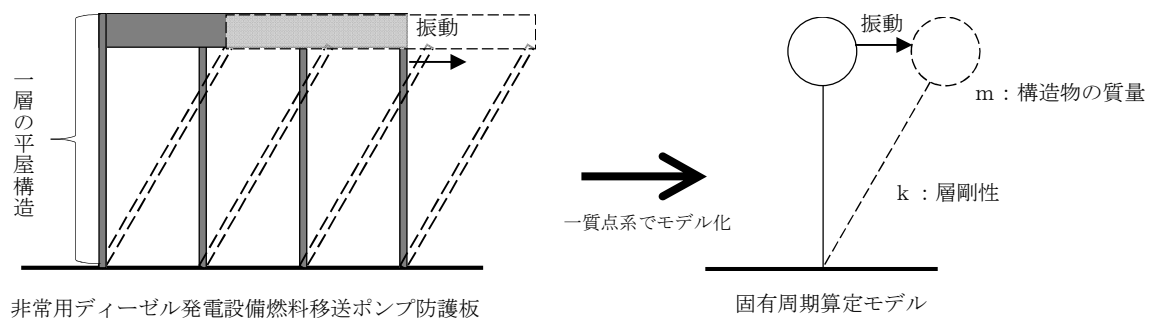


図 5-3 固有周期算定の概念図

表 5-2 固有周期算定結果

系統	方向		固有周期 T (s)	固有振動数 f* (Hz)
AC系	水平 方向	X方向	0.098	10.21
		Y方向	0.101	9.91
	鉛直方向		0.020	51.03
B系	水平 方向	X方向	0.088	11.36
		Y方向	0.091	10.97
	鉛直方向		0.020	51.29

注記\* : 固有振動数 f は次式にて算出する。

$$f = 1/T$$

### 5.5 設計用地震力

適用する設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方法」における軽油タンク基礎の設計用床応答曲線について、表 5-2 に示す固有周期に対応した震度を上回るように設定する。減衰定数は、「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）の鉄骨構造物に適用される減衰定数の値より、2%を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 5-3 に示す。

表 5-3 設計用地震力

系統	固有周期(s)			基準地震動 S s			減衰定数(%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度		鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
AC系	0.098	0.101	0.020	1.60	1.60	1.00	2	2
B系	0.088	0.091	0.020	1.60	1.60	1.00	2	2

## 5.6 計算方法

### 5.6.1 構造物全体の变形性能評価

構造物全体の变形性能評価は「Super Build/SS3」を用いた3次元静的線形応力解析の結果より、構造物全体の層間変形角を算出する。なお、水平2方向の地震力を組み合わせる際の变形性能評価は「Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「SRSS」という。）」により行う。構造物全体の層間変形角の計算式を表5-4に示す。

表 5-4 構造物全体の層間変形角の計算式

種別		変形計算式
層間変形角	X 方向	$\gamma_X$
	Y 方向	$\gamma_Y$
	2 方向	$\sqrt{\gamma_X^2 + \gamma_Y^2}$

ここで、

$\gamma_X$  : 層間変形角 (X 方向)

$\gamma_Y$  : 層間変形角 (Y 方向)

5.6.2 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価のうち、架構(はり，柱，ブレース)の応力評価は3次元静的線形応力解析の結果より評価部位の応力を算出する。柱脚(ベースプレート，基礎ボルト)の応力評価は3次元静的線形応力解析の結果より支点反力を算出する。構造部材の応力度の計算式を表5-5に示す。

表 5-5 構造部材の応力度の計算式

評価部位		応力度の種類	単位	応力度計算式
架 構	はり	曲げ応力度 $\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b = M_X / Z_{pX}$
		軸応力度 $\sigma_{c(t)}$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{c(t)} = N_{c(t)} / A_g$
		せん断応力度 $\tau$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau = Q_1 / A_w$
	柱	曲げ応力度 $\sigma_{bX}, \sigma_{bY}$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{bX} = M_X / Z_{pX}, \sigma_{bY} = M_Y / Z_{pY}$
		軸応力度 $\sigma_{c(t)}$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{c(t)} = N_{c(t)} / A_g$
		せん断応力度 $\tau_1, \tau_2$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_1 = Q_1 / A_w, \tau_2 = Q_2 / A_f$
ブレース	軸応力度 $\sigma_{c(t)}$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{c(t)} = N_{c(t)} / A_g$	
柱 脚	ベースプレート	曲げ応力度 $\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b = M_B / Z_p$
	基礎ボルト	せん断応力度 $\tau_{ts}$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{ts} = Q_{DS} / a_s$
		引張応力度 $\sigma_{ts}$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{ts} = T_{DS} / a_s$

ここで、

$M_X, M_Y$  : 強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (N・mm)

$M_B$  : ベースプレートに作用する曲げモーメント (N・mm)

$$M_B = P b \times L$$

$P b$  : 各柱脚部の支点反力より得られる基礎ボルト1本あたりの軸力

$L$  : 基礎ボルトと柱軸芯間の距離

$N_{c(t)}$  : 圧縮及び引張り軸力 (N)

$Q_1, Q_2$  : 強軸及び弱軸方向のせん断力 (N)

$Z_p$  : 塑性断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_g$  : 部材の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 部材のウェブ断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_f$  : 部材のフランジ断面積 (mm<sup>2</sup>)

$Z_{pX(pY)}$  : 強軸及び弱軸回りの塑性断面係数 (mm<sup>3</sup>)



- $Q_{DS}$  : 基礎ボルト 1 本に負担させるせん断力(N)  
 $T_{DS}$  : 基礎ボルト 1 本に負担させる引張り力(N)  
 $a_s$  : 基礎ボルトの断面積(mm<sup>2</sup>)

## 5.7 変形及び応力の評価

### 5.7.1 変形評価

「5.6.1 構造物全体の变形性能評価」で算定した構造物全体の層間変形角が「4.1 構造物全体の变形性能に対する許容限界」で定める許容限界以下であることを確認する。

### 5.7.2 応力評価

「5.6.2 構造部材の健全性評価」で算定した応力度が表 5-6, 表 5-7 及び表 5-8 に示す応力評価式を満たすことを確認する。

表 5-6 構造部材の応力評価式 (架構)

評価部位	応力	応力の種類	単位	検定方法
はり	曲げ	曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b \leq s f_{bu}$
	圧縮	圧縮応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_c \leq s f_{cu}$
	せん断	せん断応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\tau \leq s f_s$
	組合せ	曲げ+軸力	—	$\frac{\sigma_b}{s f_{bu}} + \frac{\sigma_{c(t)}}{s f_{c(t)u}} \leq 1.0$
曲げ+せん断 +軸力		N/mm <sup>2</sup>	$\sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_{c(t)}^2 + 3\tau^2} \leq s f_{tu}$	
柱	曲げ	曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b \leq s f_{bu}$
	圧縮/ 引張り	軸応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_c \leq s f_{cu}$ (圧縮時) $\sigma_t \leq s f_{tu}$ (引張り時)
	せん断	せん断応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{1(2)} \leq s f_s$
	組合せ	曲げ+軸力	—	$\frac{\sigma_{bx}}{s f_{bxu}} + \frac{\sigma_{by}}{s f_{byu}} + \frac{\sigma_{c(t)}}{s f_{c(t)u}} \leq 1.0$
曲げ+せん断 +軸力		N/mm <sup>2</sup>	$\max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{bx}^2 + \sigma_{c(t)}^2 + 3\tau_1^2}, \\ \sqrt{\sigma_{by}^2 + \sigma_{c(t)}^2 + 3\tau_2^2} \end{array} \right\} \leq s f_{tu}$	
ブレース	圧縮/ 引張り	軸応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_c \leq s f_{cu}$ (圧縮時) $\sigma_t \leq s f_{tu}$ (引張り時)

表 5-7 構造部材の応力評価式 (ベースプレート)

評価部位	応力	応力の種類	単位	検定方法
ベースプレート	曲げ	曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b \leq_s f_{bu}$

表 5-8 構造部材の応力評価式 (基礎ボルト)

評価部位	評価対象	応力	応力の種類	単位	検定方法	
基礎ボルト	タイプ A	鋼材	引張り	引張応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{ts} \leq_B f_t$
			せん断	せん断応力度	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{ts} \leq_B f_s$
			組合せ	引張応力度 (引張り +せん断)	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{ts} \leq 1.2 \cdot f_{ts} - \sqrt{3} \cdot \tau_{ts}$
	定着部 コンクリート	せん断	せん断力	kN	$Q_{DS} \leq Q_{ac}$	
		組合せ	せん断力 (引張り +せん断)	kN	$Q_{DS} \leq (1.2 - \sigma_{ts}/f_{ts}) \cdot Q_{ac}$	
	タイプ B	鋼材, 定着部 コンクリート	引張り	引張り力	kN	$T_{DS} \leq t_{ac}$
			せん断	せん断力	kN	$Q_{DS} \leq q_{ac}$
			組合せ	引張り +せん断	—	$\left(\frac{T_{DS}}{t_{ac}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{DS}}{q_{ac}}\right)^2 \leq 1.0$

ここで、

$Q_{ac}$  : 定着筋 1 本あたりの許容せん断力(タイプA) (N)

許容せん断力(タイプA)  $Q_{ac}$  は、下式により求める。

$$Q_{ac} = \min(Q_{ac1}, Q_{ac2})$$

$$Q_{ac1} = \phi \cdot 0.5 \cdot a_s \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}$$

$$Q_{ac2} = \phi \cdot 0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_{qc}$$

$\phi$  : 低減係数(短期設計用=2/3)

$a_s$  : 定着筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度(N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)

$A_{qc}$  : せん断力に対するコーン状破壊の有効投影面積(mm<sup>2</sup>)

$t_{ac}$  : 定着筋 1 本あたりの許容引張り力(タイプB) (N)

許容引張り力(タイプB)  $t_{ac}$  は、下式により求める。

$$t_{ac} = \min(t_{ac1}, t_{ac2})$$

$$t_{ac1} = s f_y \cdot a_s$$

$$t_{ac2} = \phi \cdot 0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_c$$

$s f_y$  : 鉄筋アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_c$  : コーン状破壊面の有効水平投影面積(mm<sup>2</sup>)

$q_{ac}$  : 定着筋 1 本あたりの許容せん断力(タイプB) (N)

許容せん断力(タイプB)  $q_{ac}$  は、下式により求める。

$$q_{ac} = \min(q_{ac1}, q_{ac2}, q_{ac3})$$

$$q_{ac1} = 0.7 \cdot s f_y \cdot a_s$$

$$q_{ac2} = \phi \cdot 0.5 \cdot a_s \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}$$

$$q_{ac3} = \phi \cdot 0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_{qc}$$

## 6. 評価結果

### 6.1 構造物全体の变形性能評価

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板における構造物全体の变形性能評価結果を表 6-1 に示す。

構造物全体の变形性能評価の結果、構造物全体の最大層間変形角が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 構造物全体の变形性能評価結果

系統	方向	最大層間変形角	許容限界
AC 系	X 方向	1/839	1/200
	Y 方向	1/746	
	2 方向 (SRSS)	1/625	
B 系	X 方向	1/1023	
	Y 方向	1/871	
	2 方向 (SRSS)	1/746	

## 6.2 構造部材の健全性評価

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板における構造部材の健全性評価結果を表 6-2 及び表 6-3 に示す。また最大応力発生箇所を図 6-1 及び図 6-2 に示す。

発生応力度は許容限界以下であり、また、座屈の評価の条件式を満足していることから、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2 構造部材の健全性評価結果 (AC 系) (1/2)

評価部材		材料	応力	発生応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	発生箇所
架 構	はり	SS400	曲げ	51	258	X6/Y1-5
			圧縮	76	236	X5/Y3-5
			せん断	18	135	X6/Y1-5
			組合せ* (曲げ+軸力)	0.38	1.0	X5/Y3-5
			組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	78	258	X5/Y3-5
	柱	SS400	曲げ	0	258	—
			圧縮	74	203	X8/Y5
			せん断	0	135	—
			組合せ* (曲げ+軸力)	0.37	1.0	X8/Y5
			組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	74	258	X8/Y5
	水平ブレース	SS400	引張り	192	258	Y1-3/ X4-5
	鉛直ブレース	SS400	圧縮	107	145	Y1/X4-5

注記\*：検定比による結果を示す。

表 6-2 構造部材の健全性評価結果 (AC系) (2/2)

評価部材		材料	応力	発生応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	発生箇所	
柱 脚	ベースプレート		SN490B	曲げ	280	357	X8/Y3
	基礎 ボルト	タイプ A	SD390	引張り	220	390	X5/Y3
				せん断	139	225	X8/Y3
				組合せ (引張応力度)	163	228	X8/Y3
			定着部コ ンクリー ト	せん断*	62	107	X8/Y3
				組合せ* (せん断力)	62	84	X8/Y3

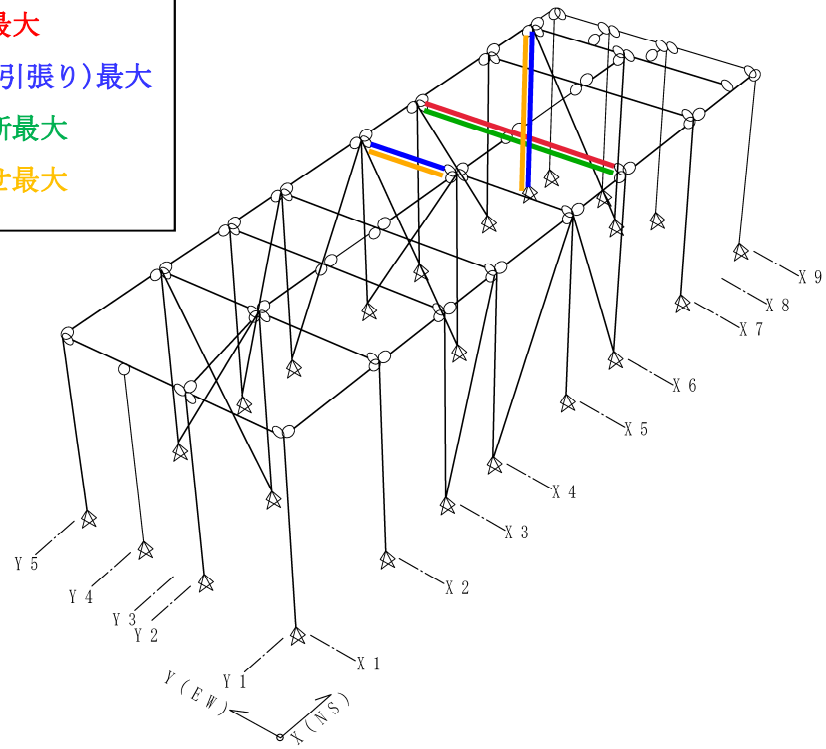
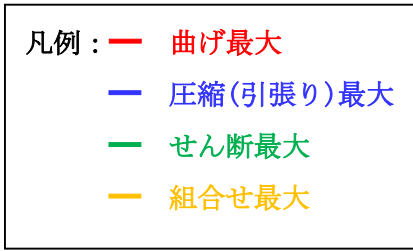
注記\* : 単位は kN とする。

表 6-3 構造部材の健全性評価結果 (B系)

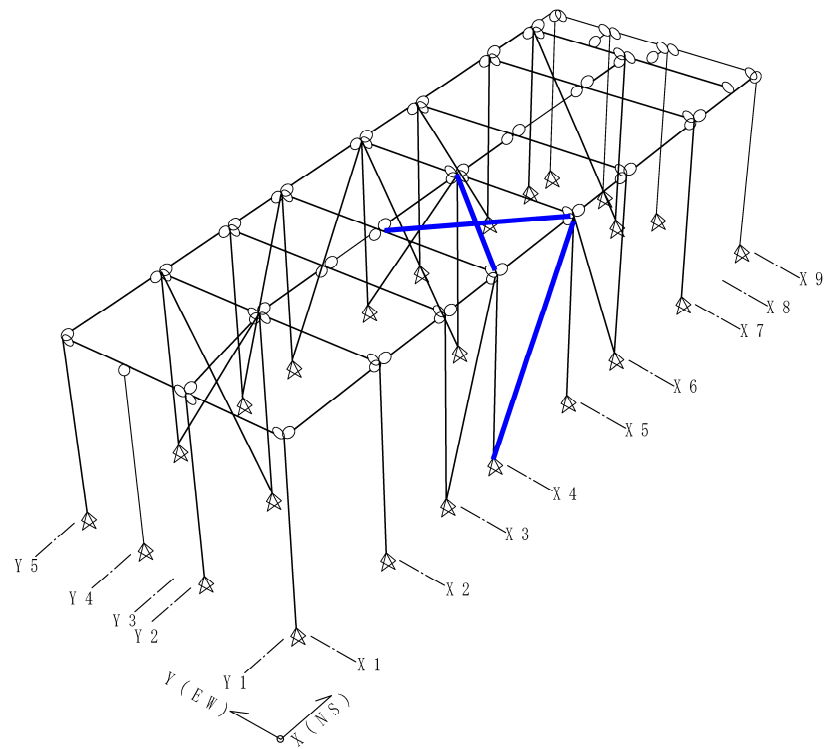
評価部材		材料	応力	発生応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	発生箇所	
架 構	はり	SS400	曲げ	112	258	Y2/X7-8	
			圧縮	85	226	X7/Y2-4	
			せん断	41	135	Y2/X7-8	
			組合せ* <sup>1</sup> (曲げ+軸力)	0.45	1.0	X7/Y2-4	
			組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	133	258	Y2/X7-8	
	柱	SS400	曲げ	145	258	X7/Y2	
			圧縮	61	202	X7/Y2	
			せん断	20	135	X7/Y2	
			組合せ* <sup>1</sup> (曲げ+軸力)	0.73	1.0	X7/Y2	
			組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	149	258	X7/Y2	
水平ブレース	SS400	引張り	162	258	Y2-4/ X5-7		
鉛直ブレース	SS400	圧縮	90	158	Y4/X3-4		
柱 脚	ベースプレート		SN490B	曲げ	231	357	X1/Y2
	基礎 ボルト	タイプ A	SD390	引張り	278	390	Y4/X2
				せん断	159	225	X7/Y2
				組合せ (引張応力度)	278	348	Y4/X2
		タイプ B	SD345, 定着部コン クリート	せん断* <sup>2</sup>	71	107	X7/Y2
				組合せ* <sup>2</sup> (せん断力)	71	88	X7/Y2
				引張り* <sup>2</sup>	91	116	X1/Y4
	せん断* <sup>2</sup>	35	81	X1/Y2			
	組合せ* <sup>1</sup>	0.80	1.0	X1/Y2			

注記\*1 : 検定比による結果を示す。

\*2 : 単位はkNとする。



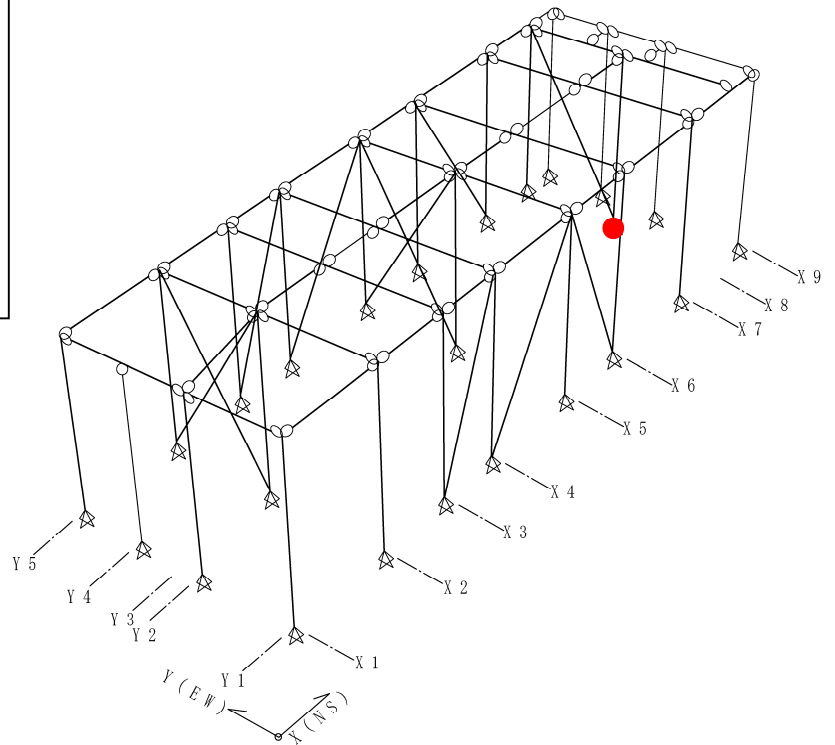
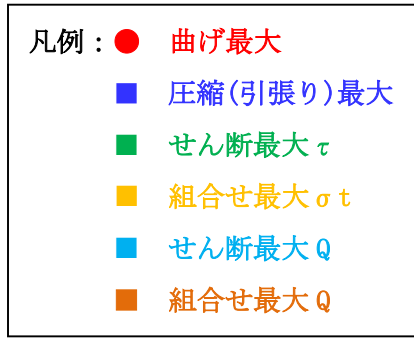
(1) 架構(はり, 柱)の最大応力度発生箇所



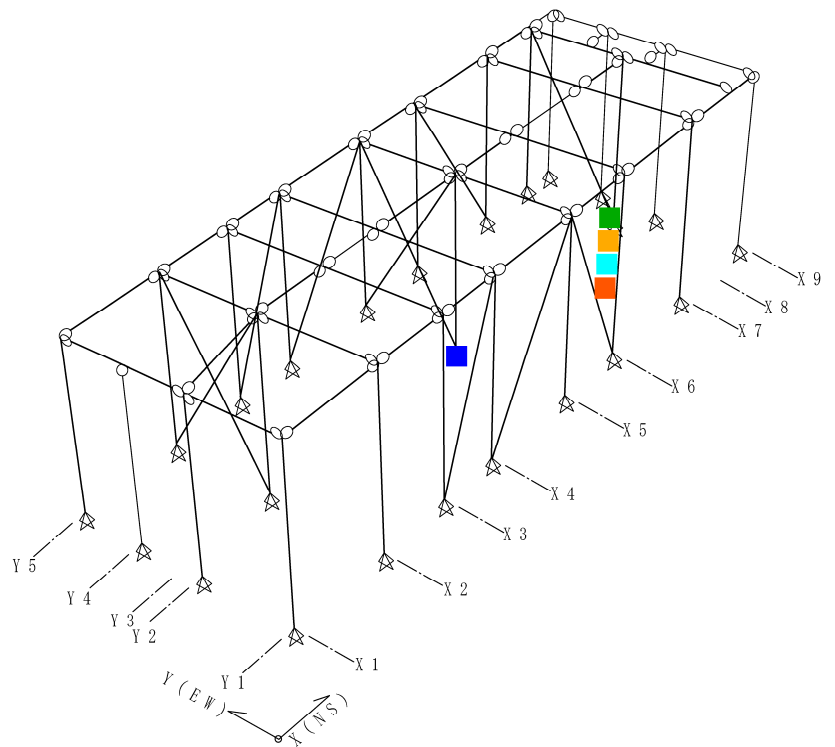
(2) 架構(ブレース)の最大応力度発生箇所

図 6-1 最大応力度発生箇所 (AC 系) (1/2)





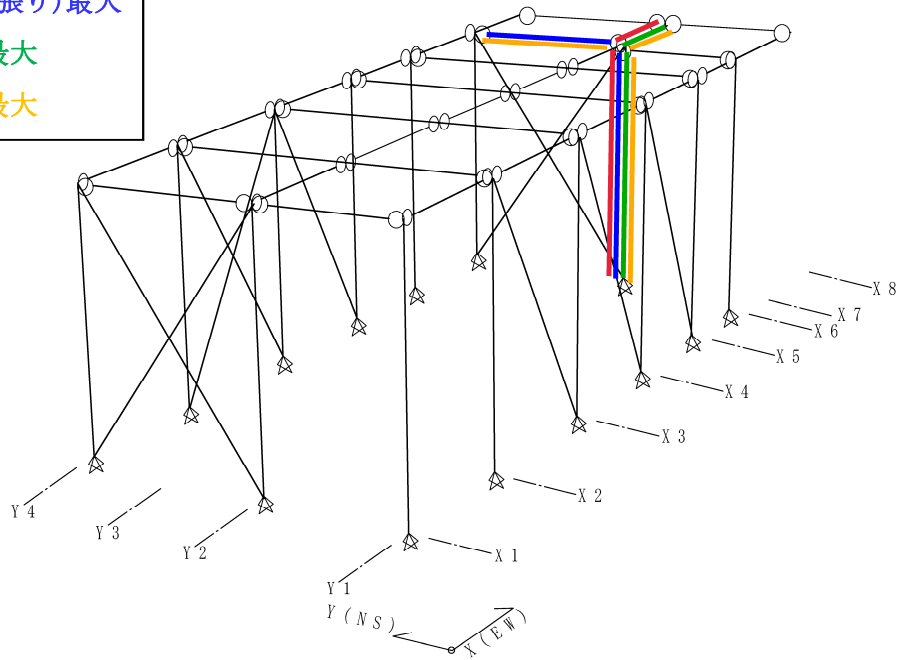
(3) ベースプレートの最大応力度発生箇所



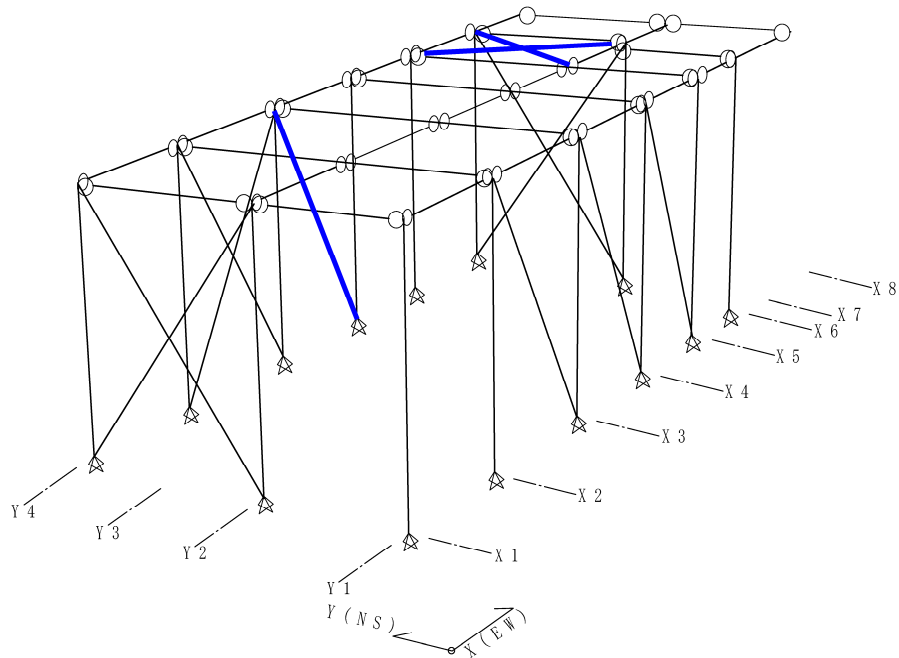
(4) 基礎ボルトの最大応力度発生箇所

図 6-1 最大応力度発生箇所 (AC 系) (2/2)

凡例：— 曲げ最大  
 — 圧縮(引張り)最大  
 — せん断最大  
 — 組合せ最大

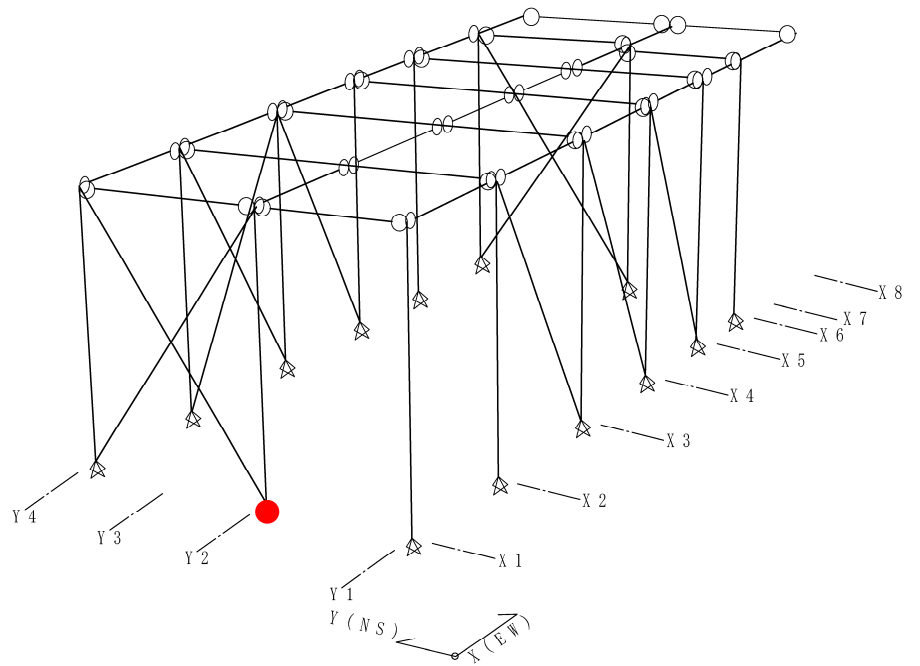
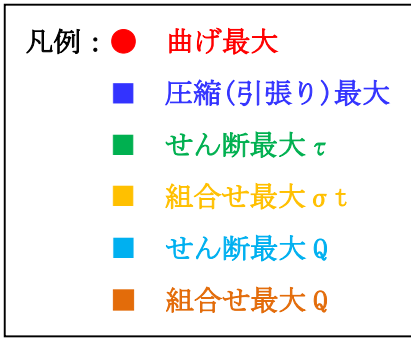


(1) 架構(はり・柱)の最大応力度発生箇所

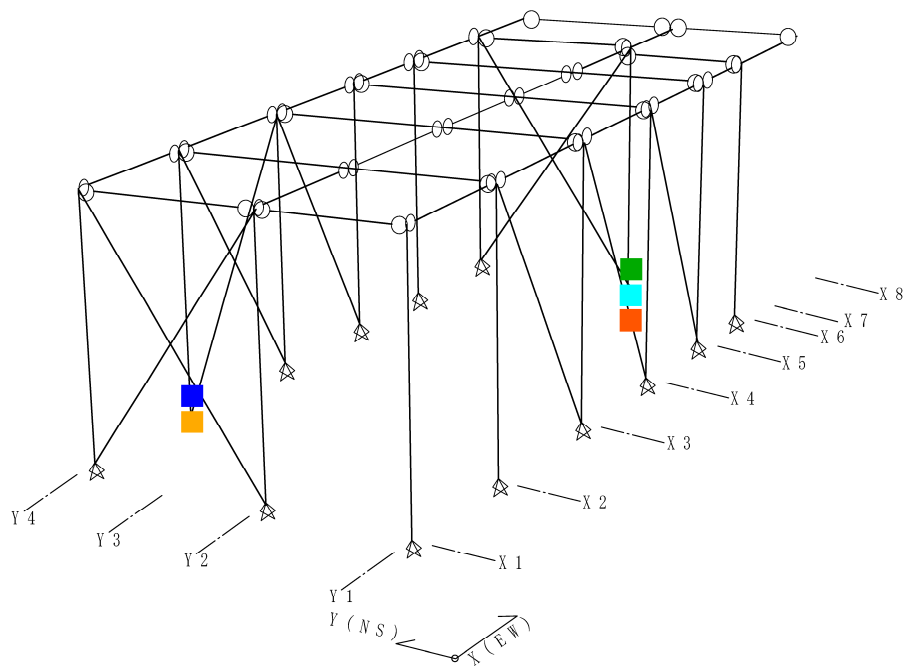


(2) 架構(ブレース)の最大応力度発生箇所

図 6-2 最大応力度発生箇所 (B系) (1/3)



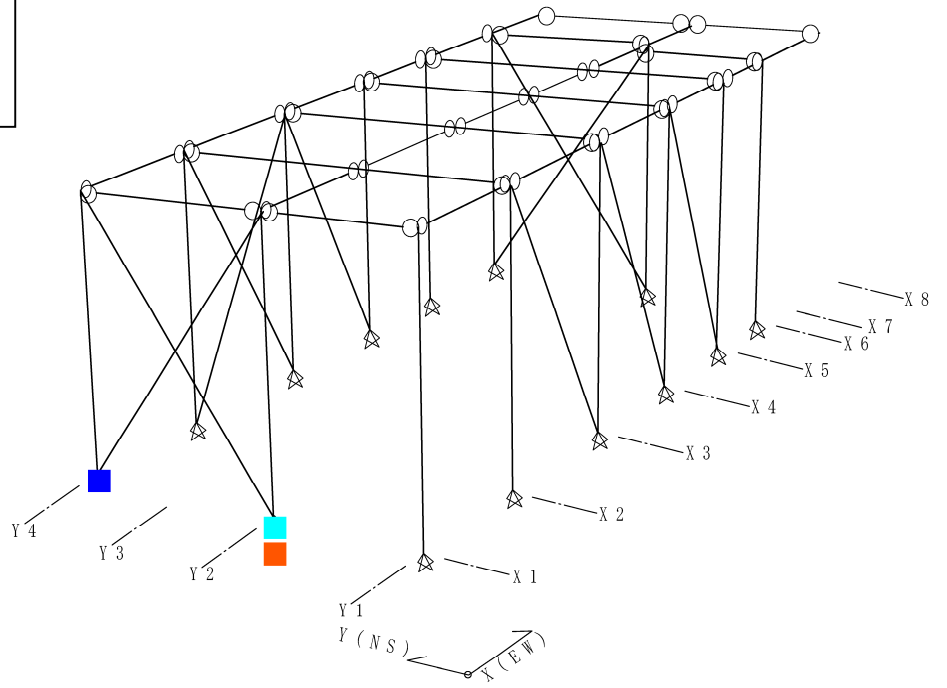
(3) ベースプレートの最大応力度発生箇所



(4) 基礎ボルト(タイプA)の最大応力度発生箇所

図 6-2 最大応力度発生箇所 (B系) (2/3)

凡例：■ 引張り最大  
 ■ せん断最大Q  
 ■ 組合せ最大



(5) 基礎ボルト(タイプB)の最大応力度発生箇所

図 6-2 最大応力度発生箇所 (B系) (3/3)

VI-2-11-2-2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の  
耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
2.5 記号の説明	9
2.6 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
4.2.2 許容応力	13
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
4.3 解析モデル及び諸元	17
4.4 固有周期	22
4.5 設計用地震力	23
4.6 計算方法	24
4.6.1 応力の計算方法	24
4.7 計算条件	27
4.8 応力の評価	27
4.8.1 防護鋼板の応力評価	27
4.8.2 架構の応力評価	27
4.8.3 アンカボルトの応力評価	28
5. 評価結果	29
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	29

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の設置位置を図2-1に示す。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管の上部に設置されており、落下時に非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

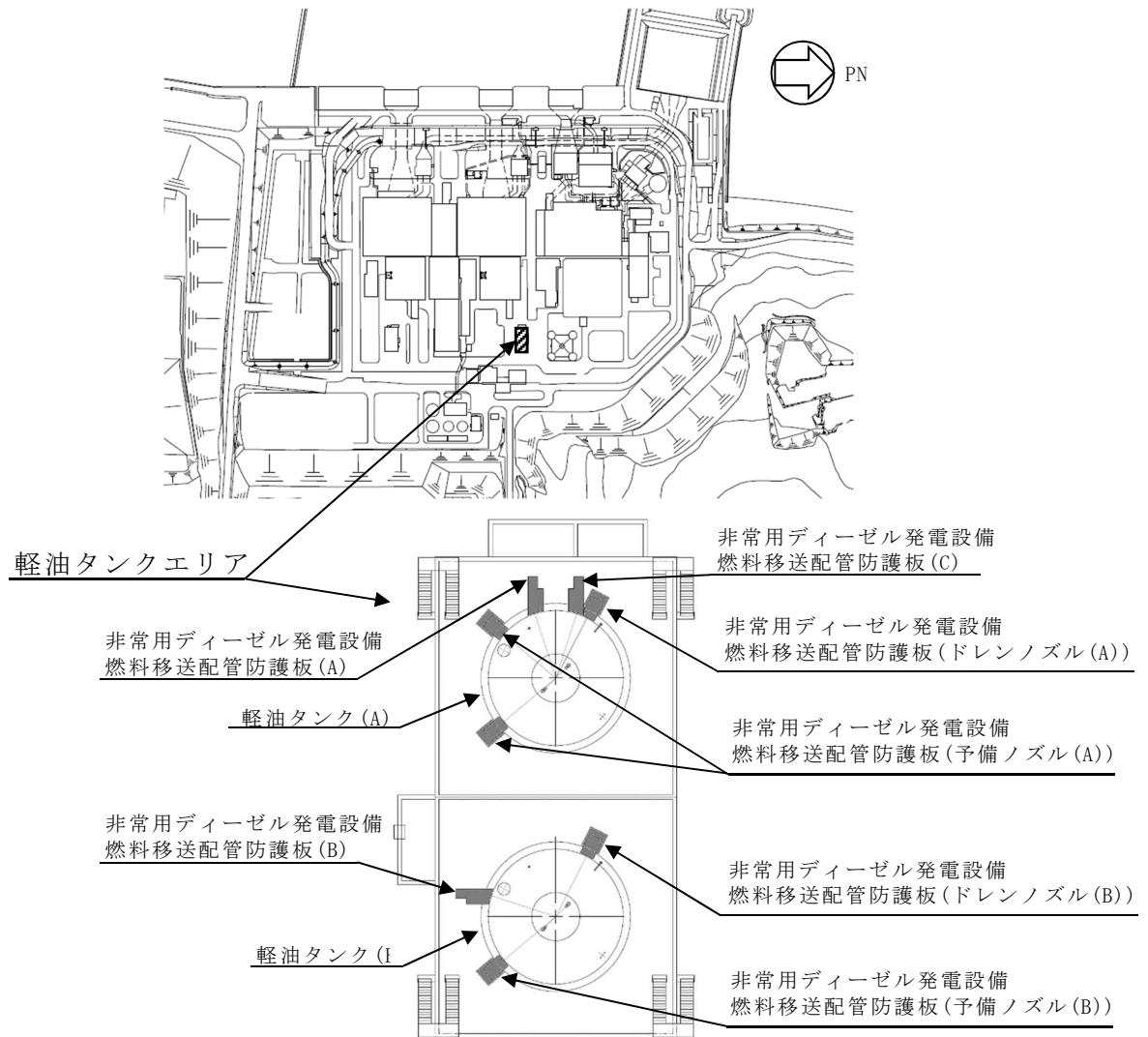


図2-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の設置位置図

### 2.2 構造計画

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画を表2-1に示す。



表2-1 構造計画 (1/4)

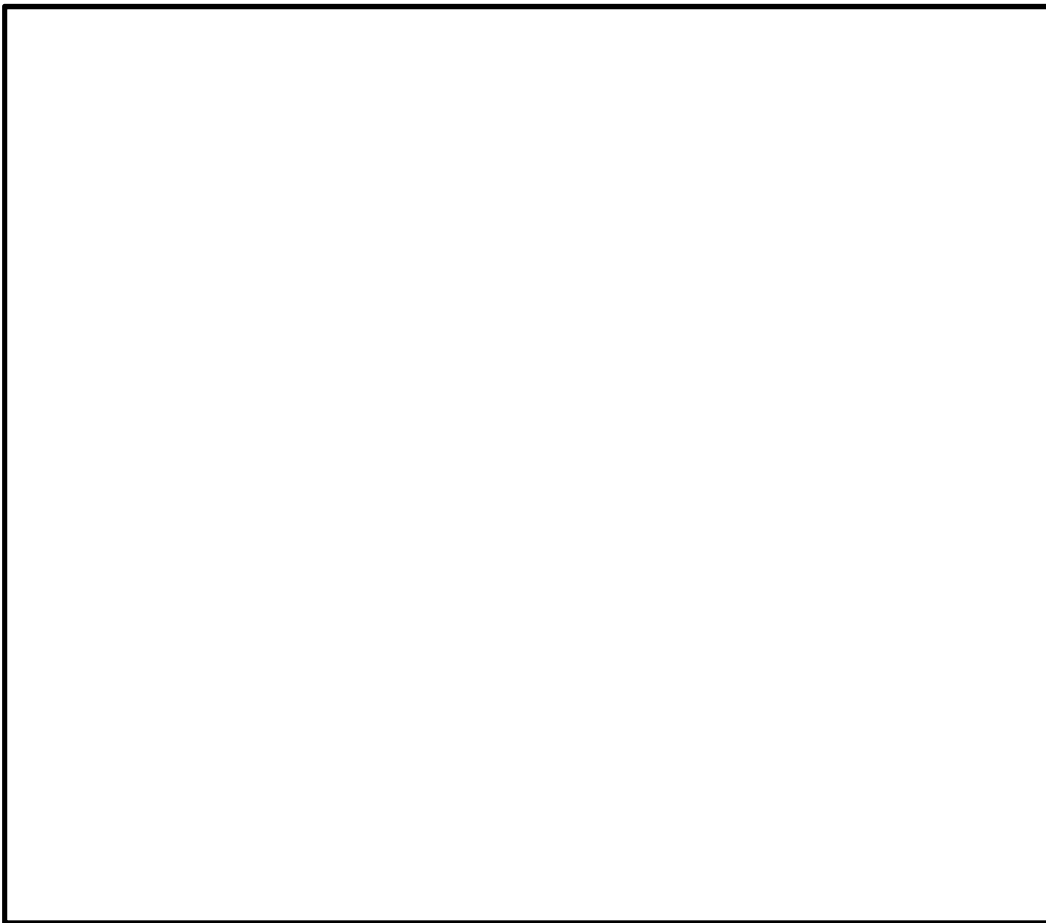
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板は、アンカボルトにより軽油タンク基礎に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p>非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)及び(C)</p>

表2-1 構造計画 (2/4)

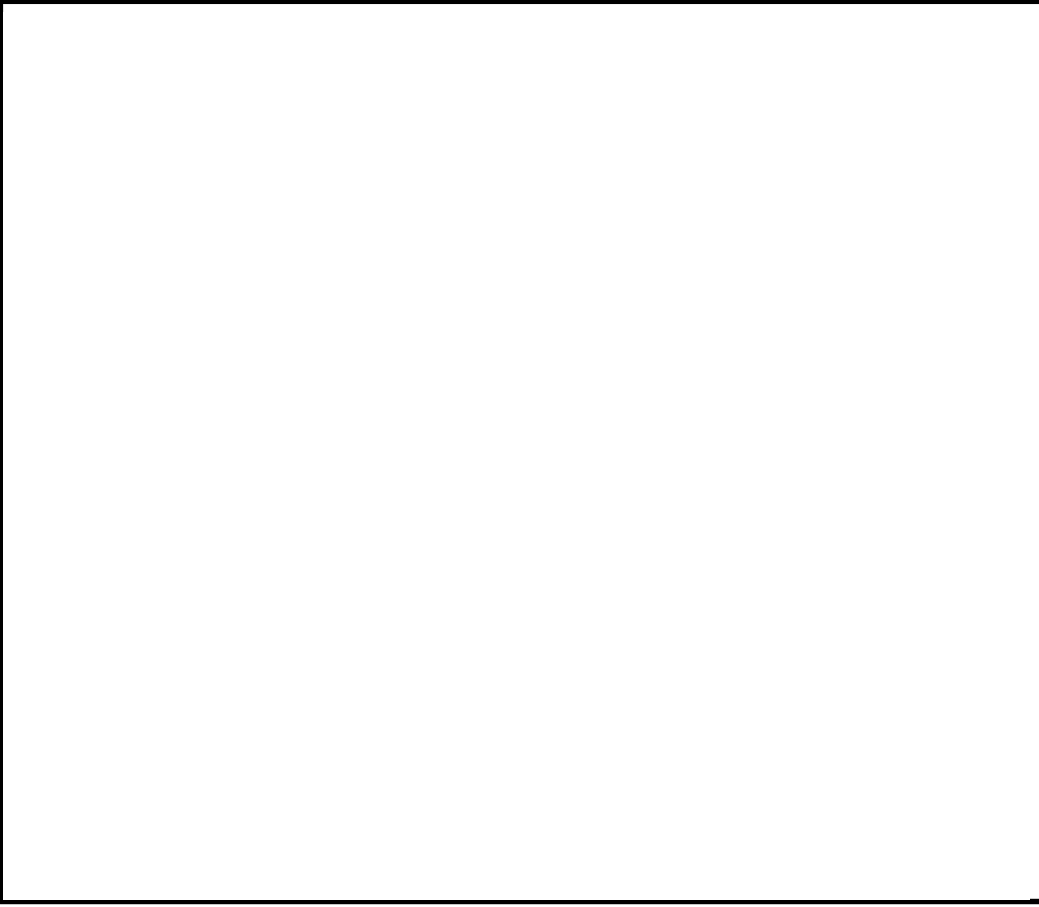
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板は、アンカボルトにより軽油タンク基礎に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p>非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)</p>

表2-1 構造計画 (3/4)

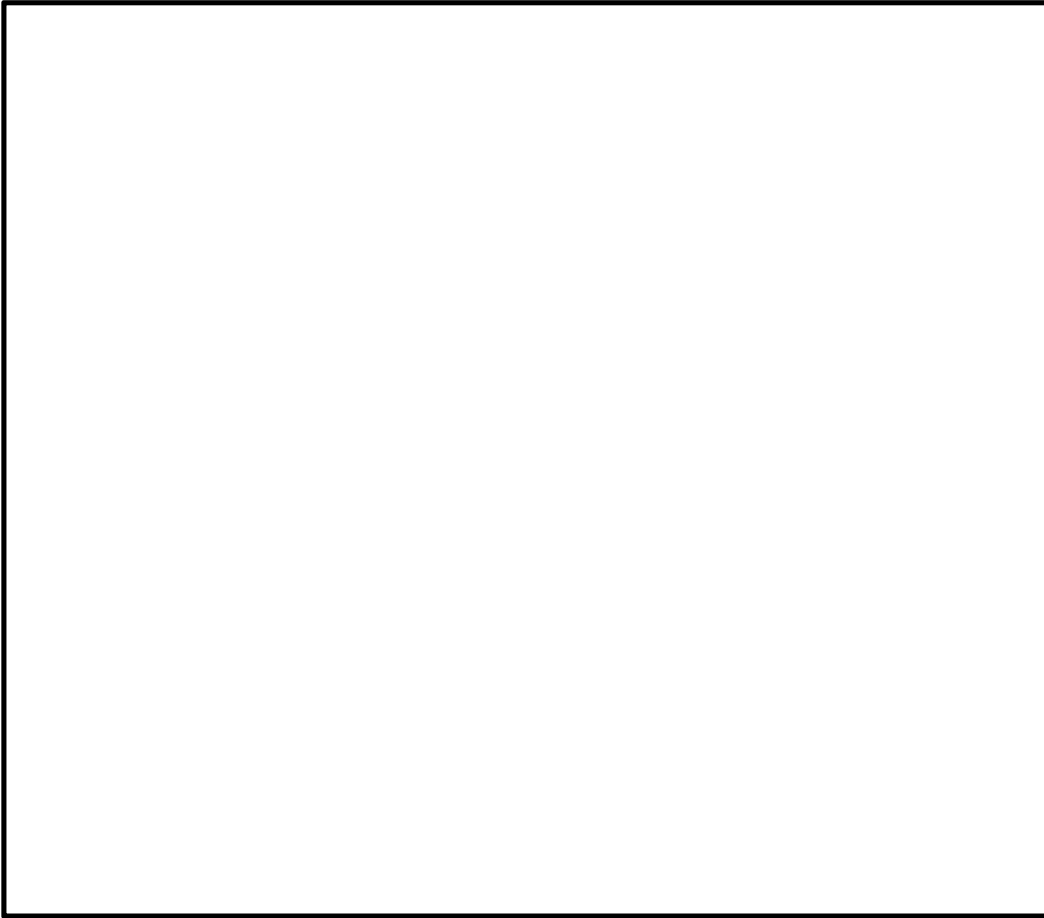

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板は、アンカボルトにより軽油タンク基礎に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p>非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル(A))</p>

表2-1 構造計画 (4/4)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板は、アンカボルトにより軽油タンク基礎に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p style="text-align: center;">非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル(B), 予備ノズル(A)及び(B))</p>

### 2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価フローを図2-2に示す。

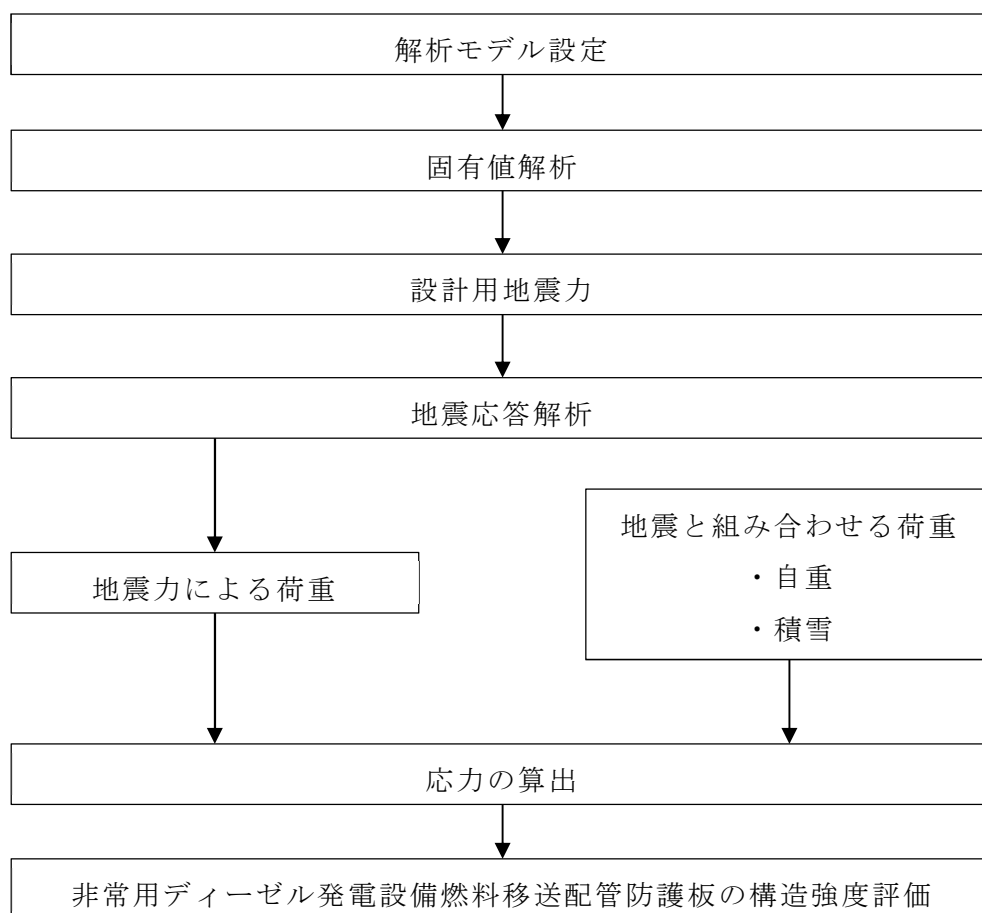


図2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架構の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	鋼板の単位長さ当たりの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s y</sub>	架構のせん断断面積 (y 軸)	mm <sup>2</sup>
A <sub>s z</sub>	架構のせん断断面積 (z 軸)	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	接着系アンカボルトの軸断面積	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	—
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>s x</sub>	防護鋼板の膜力 (x 軸)	N
F <sub>s y</sub>	防護鋼板の膜力 (y 軸)	N
F <sub>s x y</sub>	防護鋼板のせん断力	N
f <sub>b</sub>	架構の許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	架構の許容圧縮応力	MPa
f <sub>s</sub>	架構の許容せん断応力	MPa
f <sub>s b</sub>	アンカボルトの許容せん断応力	MPa
f <sub>t</sub>	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
f <sub>t o</sub>	アンカボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	引張力とせん断力を同時に受けるアンカボルトの許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ <sub>k</sub>	座屈長さ	mm
M <sub>y</sub>	架構の曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M <sub>z</sub>	架構の曲げモーメント (z 軸)	N・mm
M <sub>s x</sub>	防護鋼板の曲げモーメント (x 軸)	N・mm
M <sub>s y</sub>	防護鋼板の曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M <sub>s x y</sub>	防護鋼板のねじりモーメント	N・mm
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg

記号	記号の説明	単位
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
$Z_b$	鋼板の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	架構の断面係数（y 軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	架構の断面係数（z 軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_t$	鋼板のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	架構の限界細長比	—
$\lambda$	架構の有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	防護鋼板の組合せ応力	MPa
$\sigma_x, \sigma_y$	互いに直交する垂直応力	MPa
$N_c$	架構の軸力（圧縮）	N
$N_t$	架構の軸力（引張り）	N
$R_x$	アンカボルト部の反力（x 軸）	N
$R_y$	アンカボルト部の反力（y 軸）	N
$R_z$	アンカボルト部の反力（z 軸）	N
p	アンカボルト1本当たりの引張力	N
q	アンカボルト1本当たりのせん断力	N
$Q_y$	架構のせん断力（y 軸）	N
$Q_z$	架構のせん断力（z 軸）	N
$\sigma_b$	架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{by}$	架構に生じる曲げ応力（y 軸）	MPa
$\sigma_{bz}$	架構に生じる曲げ応力（z 軸）	MPa
$\sigma_c$	架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_t$	架構に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{tb}$	アンカボルトに生じる引張応力の最大値	MPa



記号	記号の説明	単位
$\tau$	防護鋼板に生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	アンカボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_k$	架構に生じるせん断応力	MPa
$\tau_y$	架構に生じるせん断応力 (y 軸)	MPa
$\tau_z$	架構に生じるせん断応力 (z 軸)	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 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
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 <sup>*3</sup>	四捨五入 小数点以下第1位 <sup>*2</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*5</sup>	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

\*2：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

\*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

\*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、落下により、非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管が損傷することを防止するため、防護鋼板、架構及びアンカボルトについて実施する。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

なお、表2-1に示す施設のうち、同一構造である非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)と同防護板(C)については同防護板(A)の評価結果を代表するものとする。同様に、同防護板(ドレンノズル(B))と同防護板(予備ノズル(A)及び(B))については同防護板(予備ノズル(B))の評価結果を代表するものとする。同一構造のない同防護板(B)及び同防護板(ドレンノズル(A))についてはそれぞれについて示すものとする。

### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

#### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の架構は、アンカボルトにより鉄筋コンクリート造である軽油タンク基礎に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

##### 4.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容応力は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表4-3に示す。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s + P_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表4-3 許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)				許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張り	せん断	圧縮	曲げ	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SS400 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	周囲環境温度	40	—			—

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SS400 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	周囲環境温度	40	—			—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。
- (2) 拘束条件として，アンカボルト部の各軸方向を固定する。
- (3) 解析コード「A B A Q U S」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

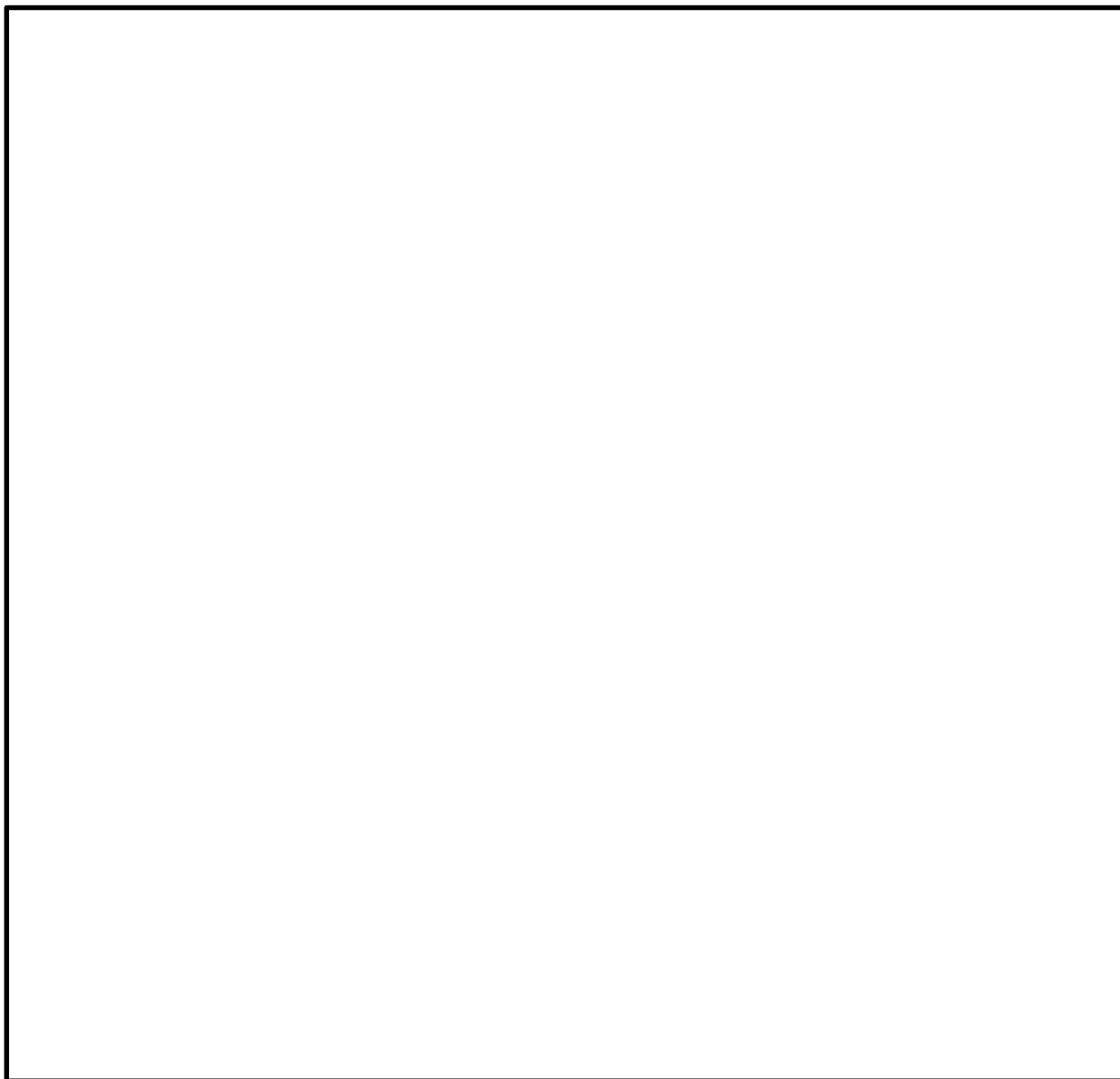


図4-1 (1/4) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)の解析モデル



K6 ① VI-2-11-2-2-2 R0

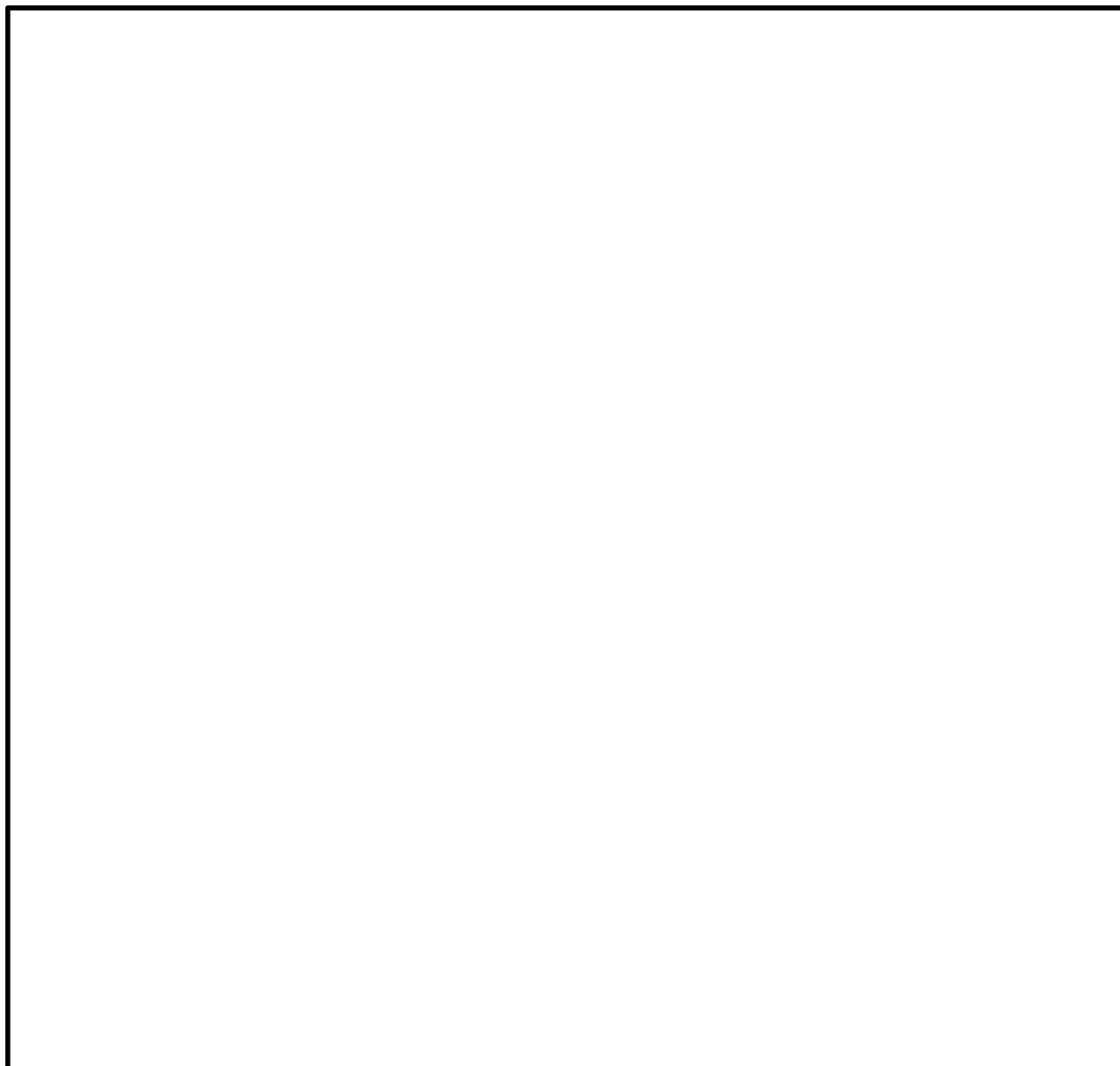


図4-1 (2/4) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)の解析モデル

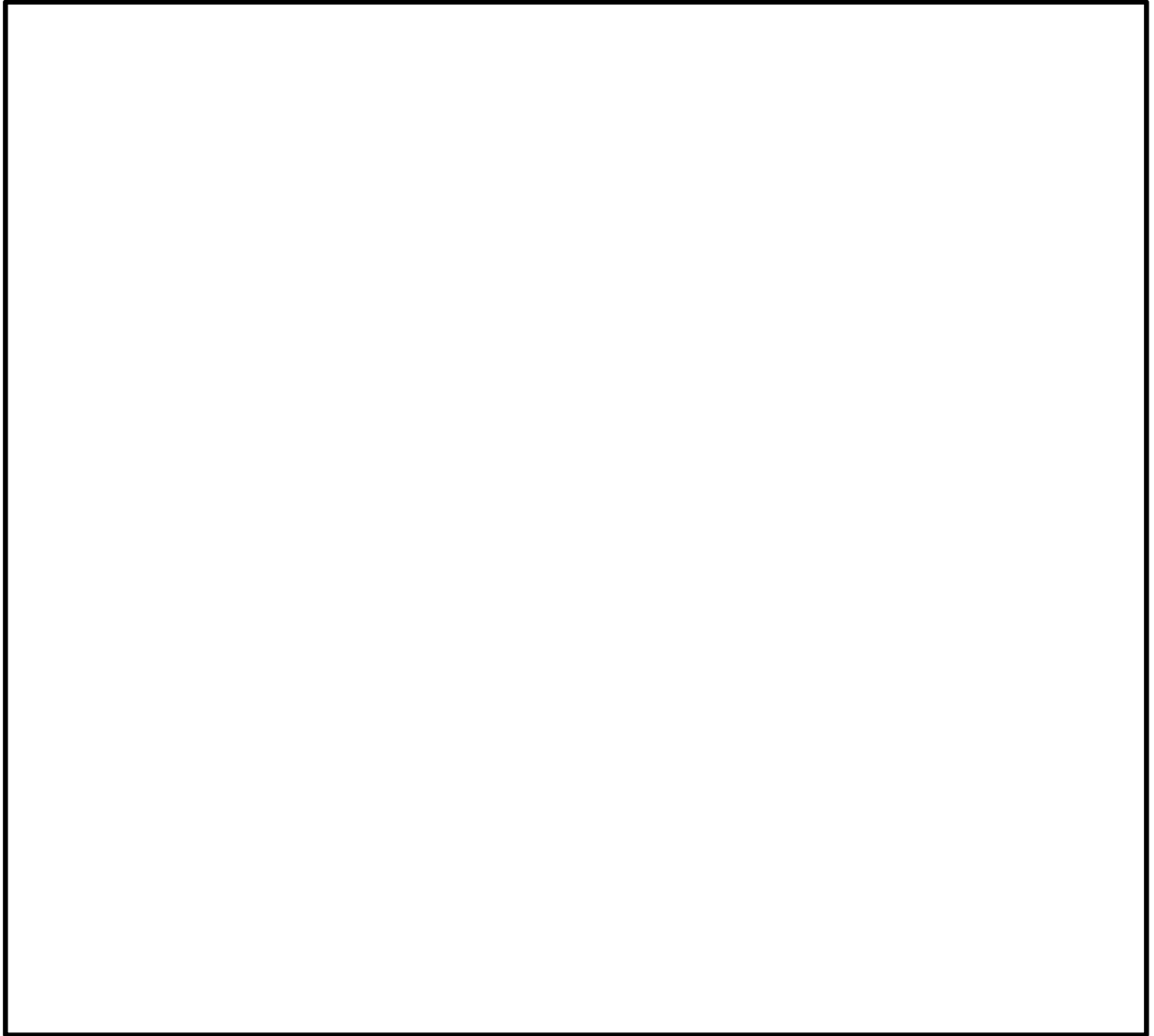


図4-1 (3/4) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル(A))  
の解析モデル

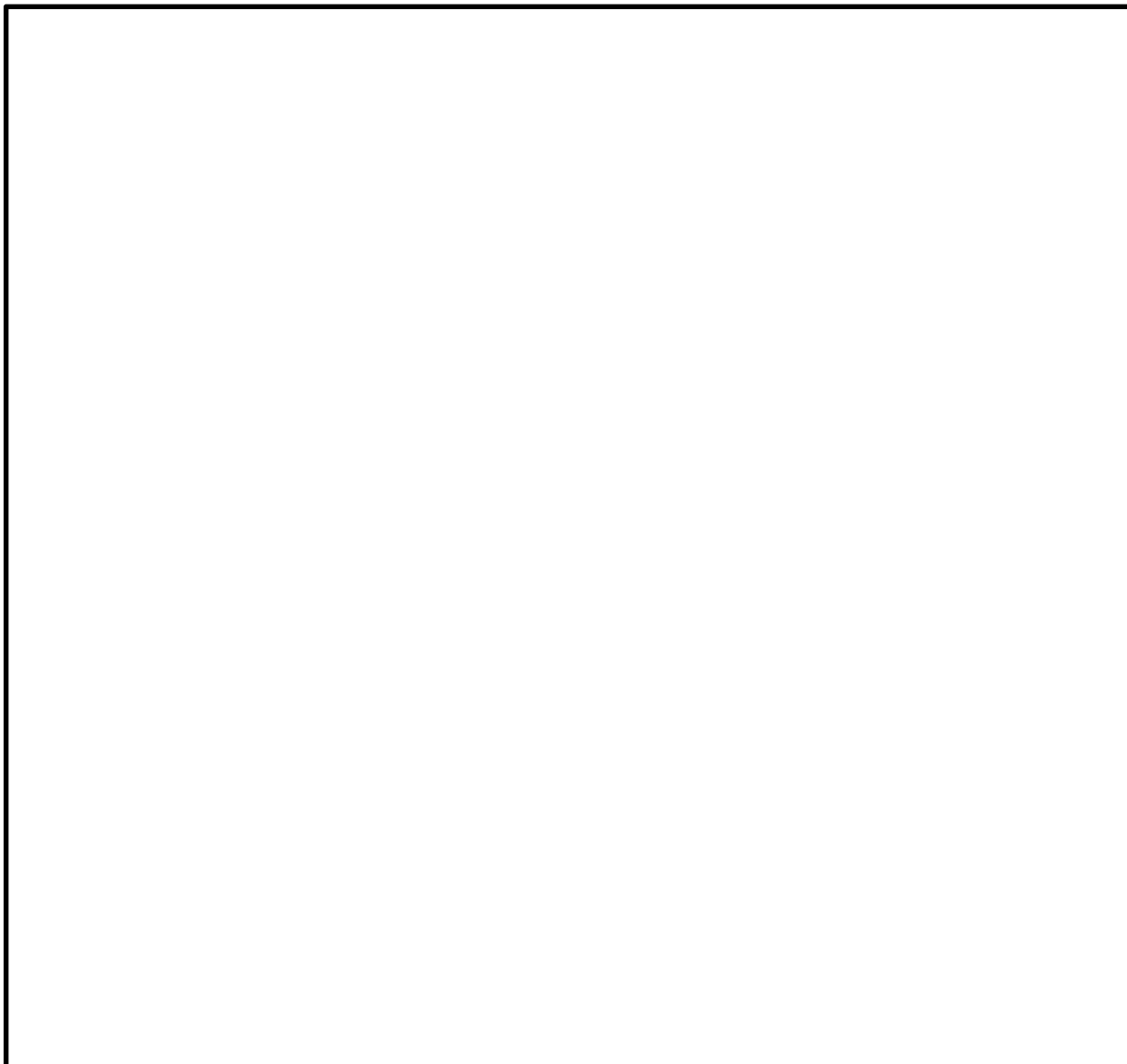


図4-1 (4/4) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（予備ノズル(B)）  
の解析モデル

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

表4-6 (1/4) 固有値解析結果 (A)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1	水平	0.033	—	—	—
2	鉛直	0.027	—	—	—

表4-6 (2/4) 固有値解析結果 (B)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1	水平	0.033	—	—	—
2	鉛直	0.030	—	—	—

表4-6 (3/4) 固有値解析結果 (ドレンノズル(A))

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1	水平	0.035	—	—	—
2	鉛直	0.032	—	—	—

表4-6 (4/4) 固有値解析結果 (予備ノズル(B))

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1	水平	0.038	—	—	—
2	鉛直	0.031	—	—	—

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-7及び表4-8に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

設備	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
A	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.033	0.027	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$
B	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.033	0.030	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$
ドレン ノズル (A)	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.035	0.032	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$
予備 ノズル (B)	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.038	0.031	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$

表4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

設備	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
A	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.033	0.027	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$
B	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.033	0.030	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$
ドレン ノズル (A)	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.035	0.032	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$
予備 ノズル (B)	6号機軽油タンク基礎 T.M.S.L. 12.0	0.038	0.031	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.33$

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素での膜力  $F_{s x}$ ,  $F_{s y}$ , せん断力  $F_{s x y}$ , 曲げモーメント  $M_{s x}$ ,  $M_{s y}$  及びねじりモーメント  $M_{s x y}$  により組合せ応力を次のように求める。

##### a. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,

$$\sigma_x = \frac{F_{s x}}{A_s} \pm \frac{M_{s x}}{Z_b}, \quad \sigma_y = \frac{F_{s y}}{A_s} \pm \frac{M_{s y}}{Z_b}$$

$$\tau = \frac{F_{s x y}}{A_s} \pm \frac{M_{s x y}}{Z_t}$$

#### (2) 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力  $N_t$ ,  $N_c$ , せん断力  $Q_y$ ,  $Q_z$  及び曲げモーメント  $M_y$ ,  $M_z$  により各応力を次のように求める。

##### a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

##### b. せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \tau_z)$$

ここで,

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s y}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s z}}$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

ここで,

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

d. 組合せ応力

(a) 圧縮+曲げ

$$\max \left( \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*} \right)$$

(b) 引張り+曲げ

$$\max \left( \frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b^*} \right)$$

(c) 曲げ+せん断

$$\max \left( \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_z^2}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_y^2}}{1.5 \cdot f_t^*} \right)$$

引張軸力の場合は  $\sigma_c$  を  $\sigma_t$  とする。

(3) アンカボルトの応力

アンカボルトの応力は、解析による計算で得られるアンカボルト部の反力  $R_x$ ,  $R_y$  及び  $R_z$  により各応力を次のように求める。

a. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{p}{A_b}$$

ここで,

$$p = R_z$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{q}{A_b}$$

ここで,

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_x^2}$$



#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 $f_t$ 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は1以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_c$	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}}$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

#### 4.8.3 アンカボルトの応力評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張応力  $\sigma_{tb}$  は、次式より求めた引張力とせん断力を同時に受けるアンカボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \min (1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$$

せん断応力  $\tau_b$  は、せん断力のみを受けるアンカボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。ただし、 $f_{sb}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$0.8 \cdot \frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$0.8 \cdot \frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため，記載を省略する。

## 【非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算結果】

## 1. 設計基準対象施設

## 1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板(A)	C	6号機軽油タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0	0. 033	0. 027	C <sub>H</sub> =1. 69	C <sub>V</sub> =1. 33	—	40
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板(B)	C	6号機軽油タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0	0. 033	0. 030	C <sub>H</sub> =1. 69	C <sub>V</sub> =1. 33	—	40
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板 (ドレンノズル(A))	C	6号機軽油タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0	0. 035	0. 032	C <sub>H</sub> =1. 69	C <sub>V</sub> =1. 33	—	40
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板 (予備ノズル(B))	C	6号機軽油タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0	0. 038	0. 031	C <sub>H</sub> =1. 69	C <sub>V</sub> =1. 33	—	40

1.2 機器要目

m (kg)				d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
A	B	ドレンノズル(A)	予備ノズル(B)		

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
防護鋼板	SUS304				
架構	SS400				
アンカボルト	SS400				

	材料	E (MPa)	ν'	ℓ <sub>k</sub> (mm)	i (mm)	λ	要素番号	
A	SS400	202000					5182001	
	SS400							5131399
B	SS400	202000					5182001	
	SS400							5131399
	SS400							
ドレンノズル(A)	SS400	202000					7050082	
予備ノズル(B)	SS400	202000					7050001	
	SS400							7090014
	SS400							

	A	B	ドレンノズル(A)	予備ノズル(B)	
	要素番号	要素番号	要素番号	要素番号	
	5182001, 5131399	5182001, 5131399	7050082, 7050125	7050001	7090014
材料					
A (mm <sup>2</sup> )					
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )					
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )					

1.3 計算数値

1.3.1 鋼板の荷重

(単位: N)

	要素番号	節点番号	F <sub>s x</sub>	F <sub>s y</sub>	F <sub>s x y</sub>
			基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
A	3110001	—			
B	3110001	—			
ドレンノズル(A)	7020013	—			
予備ノズル(B)	7010001	—			

注: 添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.2 鋼板のモーメント

(単位: N・mm)

	要素番号	節点番号	M <sub>s x</sub>	M <sub>s y</sub>	M <sub>s x y</sub>
			基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
A	3110001	—			
B	3110001	—			
ドレンノズル(A)	7020013	—			
予備ノズル(B)	7010001	—			

注: 添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構の荷重

(単位：N)

	要素 番号	節点 番号	$N_t$	$N_c$	$Q_y$	$Q_z$
			基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
A	5152049	—				
	5182001	—				
	3130002	—				
	5131399	—				
B	5150001	—				
	5182001	—				
	3130002	—				
	5131399	—				
ドレンノズル(A)	7050082	—				
	7050001	—				
	7050125	—				
予備ノズル(B)	7050001	—				
	7090013	—				
	7090014	—				

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.4 架構のモーメント

(単位：N・mm)

	要素 番号	節点 番号	$M_y$	$M_z$
			基準地震動 S s	基準地震動 S s
A	5152049	—		
	5182001	—		
	3130002	—		
	5131399	—		
B	5150001	—		
	5182001	—		
	3130002	—		
	5131399	—		
ドレンノズル(A)	7050082	—		
	7050001	—		
	7050125	—		
予備ノズル(B)	7050001	—		
	7090013	—		
	7090014	—		

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。



1.3.5 アンカボルトの荷重

(単位：N)

	要素 番号	節点 番号	$R_x$	$R_y$	$R_z$
			基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
A	—	3111059			
	—	5140149			
B	—	3111059			
	—	5140139			
ドレンノズル(A)	—	7085467			
	—	7085089			
予備ノズル(B)	—	7085296			
	—	7085950			

注：添字  $x$ ,  $y$ ,  $z$  は要素に与えられた座標軸。

35

1.3.6 アンカボルトに作用する力

(単位：N)

	要素 番号	節点 番号	p	q
			基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
A	—	3111059		
	—	5140149		
B	—	3111059		
	—	5140139		
ドレンノズル(A)	—	7085467		
	—	7085089		
予備ノズル(B)	—	7085296		
	—	7085950		

## 1.4 結論

## 1.4.1 固有周期

(単位：s)

	モード	方向	固有周期
A	1	水平	0.033
	2	鉛直	0.027
B	1	水平	0.033
	2	鉛直	0.030
ドレンノズル(A)	1	水平	0.035
	2	鉛直	0.032
予備ノズル(B)	1	水平	0.038
	2	鉛直	0.031

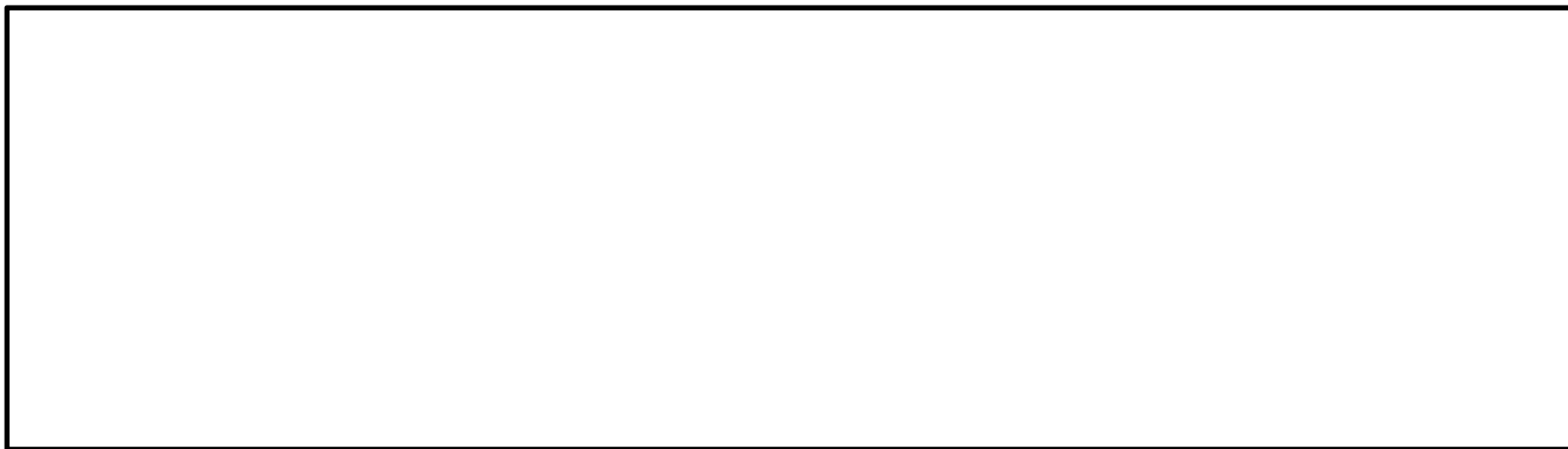
1.4.2 応力

(単位：MPa)

A	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S <sub>s</sub>		備考
						算出応力	許容応力	
	防護鋼板	SUS304	組合せ	3110001	—			
	架構	SS400	引張り	5152049	—			
			圧縮	5182001	—			
			せん断	3130002	—			
			曲げ	5131399	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	5131399	—			単位：なし
			組合せ (引張り+曲げ)	5131399	—			単位：なし
			組合せ (曲げ+せん断)	5131399	—			単位：なし
	アンカボルト	SS400	引張り	—	3111059			
			せん断	—	5140149			

すべて許容応力以下である。

注記\* :  $f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$

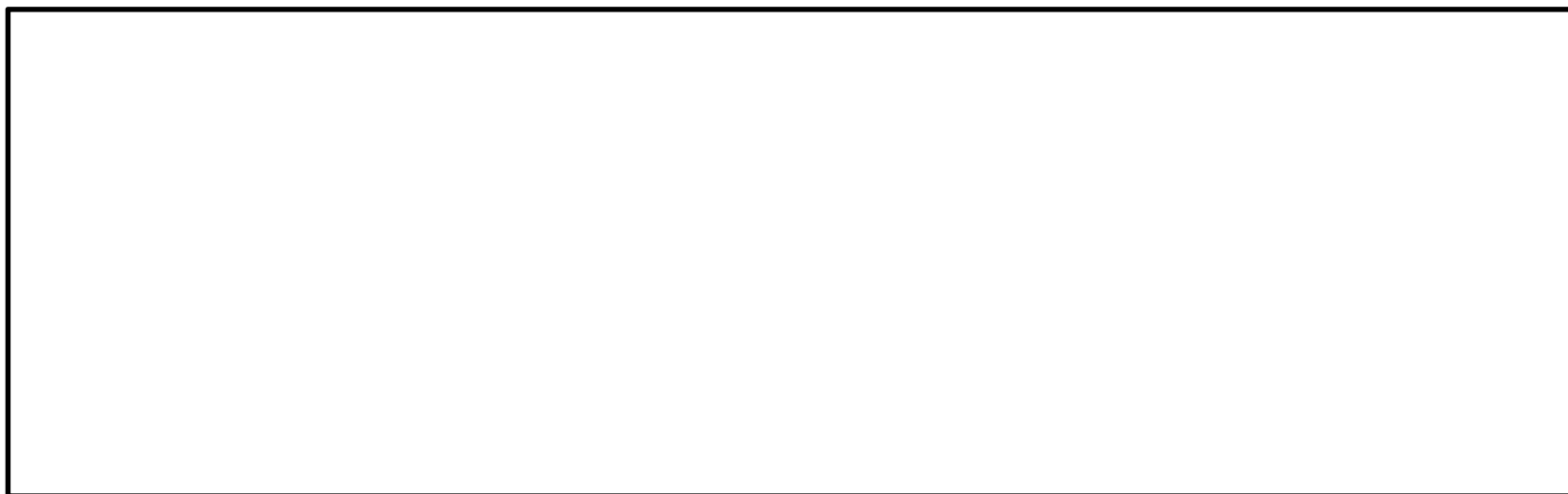


(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S <sub>s</sub>		備考
						算出応力	許容応力	
B	防護鋼板	SUS304	組合せ	3110001	—			
	架構	SS400	引張り	5150001	—			
			圧縮	5182001	—			
			せん断	3130002	—			
			曲げ	5131399	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	5131399	—		単位：なし	
			組合せ (引張り+曲げ)	5131399	—		単位：なし	
			組合せ (曲げ+せん断)	3130002	—		単位：なし	
	アンカボルト	SS400	引張り	—	3111059			
			せん断	—	5140139			

すべて許容応力以下である。

注記\* :  $f_{ts} = \min (1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$

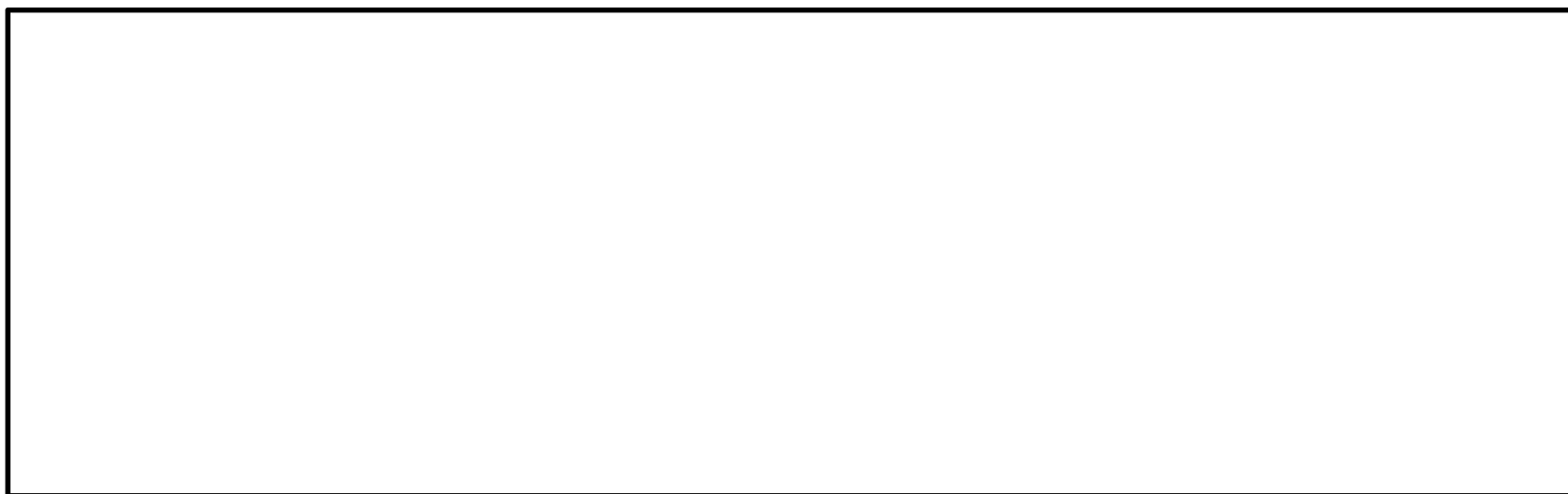


(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S <sub>s</sub>		備考
						算出応力	許容応力	
ドレンノズル(A)	防護鋼板	SUS304	組合せ	7020013	—			
	架構	SS400	引張り	7050082	—			
			圧縮	7050082	—			
			せん断	7050001	—			
			曲げ	7050125	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	7050082	—		単位：なし	
			組合せ (引張り+曲げ)	7050125	—		単位：なし	
			組合せ (曲げ+せん断)	7050082	—		単位：なし	
	アンカボルト	SS400	引張り	—	7085467			
			せん断	—	7085089			

すべて許容応力以下である。

注記\* :  $f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$



(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S <sub>s</sub>		備考
						算出応力	許容応力	
予備ノズル(B)	防護鋼板	SUS304	組合せ	7010001	—			
	架構	SS400	引張り	7050001	—			
			圧縮	7050001	—			
			せん断	7090013	—			
			曲げ	7090014	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	7090014	—		単位：なし	
			組合せ (引張り+曲げ)	7090014	—		単位：なし	
			組合せ (曲げ+せん断)	7090014	—		単位：なし	
	アンカボルト	SS400	引張り	—	7085296			
			せん断	—	7085950			

すべて許容応力以下である。

注記\* :  $f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$



-2-11-2-2-3 竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
2.6 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	17
4.6.1 応力の計算方法	17
4.7 計算条件	19
4.8 応力の評価	19
4.8.1 防護鋼板の応力評価	19
4.8.2 架構の応力評価	19
4.8.3 アンカボルトの評価	20
5. 評価結果	21
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21



## 1. 概要

本計算書は、-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、竜巻防護鋼製フードが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである格納容器圧力逃がし装置配管等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

竜巻防護鋼製フードの設置位置を図 2 - 1 に示す。

竜巻防護鋼製フードは、上位クラス施設である格納容器圧力逃がし装置配管等の上部に設置されており、落下時に格納容器圧力逃がし装置配管等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



原子炉建屋 T.M.S.L.27.2m

図 2 - 1 竜巻防護鋼製フードの設置位置図

### 2.2 構造計画

竜巻防護鋼製フードの構造計画を表 2 - 1 に示す。

表 2 - 1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>竜巻防護鋼製フードは、アンカボルトにより建屋躯体である壁に固定される。</p>	<p>防護鋼板及び架構により構成する。</p>	<div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> <p style="text-align: center;">竜巻防護鋼製フード (No.56)</p>

### 2.3 評価方針

竜巻防護鋼製フードの応力評価は、-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す竜巻防護鋼製フードの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

竜巻防護鋼製フードの耐震評価フローを図2-2に示す。

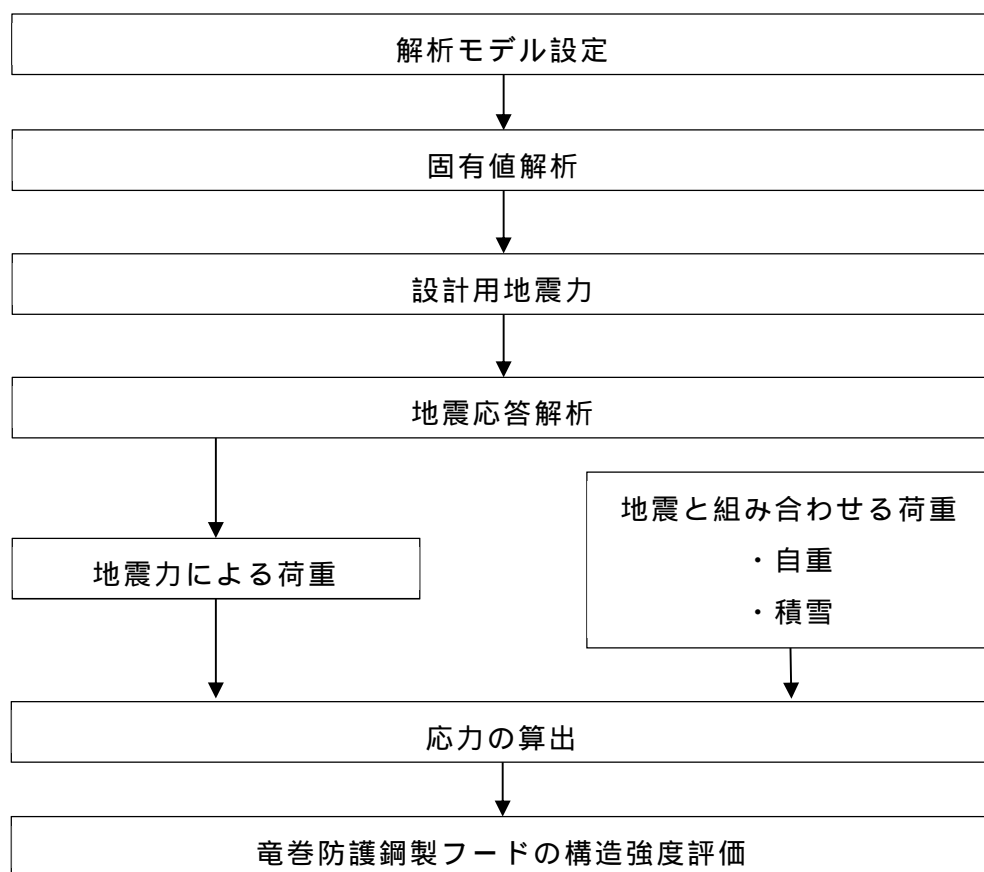


図2-2 竜巻防護鋼製フードの耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社)日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社)日本機械学会, 2005/2007)(以下「設計・建設規格」という。)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会 2010年改定)

## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$s_c a$	接着系アンカボルトの断面積	mm <sup>2</sup>
A	架構の断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{q c}$	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm <sup>2</sup>
$A_{s y}$	架構のせん断断面積 ( y 軸 )	mm <sup>2</sup>
$A_{s z}$	架構のせん断断面積 ( z 軸 )	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	
$C_V$	鉛直方向設計震度	
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 ( 1 ) に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$f_b$	架構の許容曲げ応力	MPa
$f_c$	架構の許容圧縮応力	MPa
$f_s$	架構の許容せん断応力	MPa
$f_t$	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
$\ell_k$	座屈長さ	mm
J	架構の極断面係数	mm <sup>3</sup>
$j_y$	脚部の応力中心間距離 ( y 軸 )	mm
$j_z$	脚部の応力中心間距離 ( z 軸 )	mm
L	アンカボルト中心と架構の離隔距離	mm
$L_{c e}$	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
$L_e$	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
$M_x$	架構の曲げモーメント ( x 軸 )	N・mm
$M_y$	架構の曲げモーメント ( y 軸 )	N・mm
$M_z$	架構の曲げモーメント ( z 軸 )	N・mm
$M_{b x}$	脚部のねじりモーメント ( x 軸 )	N・mm
$M_{b y}$	脚部の曲げモーメント ( y 軸 )	N・mm
$M_{b z}$	脚部の曲げモーメント ( z 軸 )	N・mm

記号	記号の説明	単位
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	架構と壁の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40 における値	MPa
X, Y, Z	絶対(節点)座標軸	
x, y, z	局所(要素)座標軸	
Z <sub>y</sub>	架構の断面係数(y軸)	mm <sup>3</sup>
Z <sub>z</sub>	架構の断面係数(z軸)	mm <sup>3</sup>
	架構の限界細長比	
	架構の有効細長比	
	座屈に対する安全率	
	円周率	
	防護鋼板のミーゼス応力	MPa
n <sub>f y</sub>	引張偶力を受けるアンカボルトの本数(y軸)	
n <sub>f z</sub>	引張偶力を受けるアンカボルトの本数(z軸)	
N <sub>c</sub>	架構の軸力(圧縮)	N
N <sub>t</sub>	架構の軸力(引張り)	N
R <sub>x</sub>	ベースプレート部の荷重(x軸)	N
R <sub>y</sub>	ベースプレート部の荷重(y軸)	N
R <sub>z</sub>	ベースプレート部の荷重(z軸)	N
p	接着系アンカボルト1本当たりの引張力	N
p <sub>a</sub>	接着系アンカボルト1本当たりの許容引張力	N
p <sub>a1</sub>	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1 本当たりの許容引張応力	N
p <sub>a3</sub>	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボル ト1本当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
q	接着系アンカボルト1本当たりのせん断力	N
q <sub>a</sub>	接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q <sub>a1</sub>	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q <sub>a2</sub>	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q <sub>a3</sub>	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
Q <sub>y</sub>	架構のせん断力 ( y 軸 )	N
Q <sub>z</sub>	架構のせん断力 ( z 軸 )	N
1	低減係数 長期 : 2/3 短期 : 1.0	
2	低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3	
3	低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3	
n	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数 ( n = 1,2,3 )	
c <sub>n</sub>	へりあき及びボルトピッチの1/2 ( n = 1,2,3 )	
c <sub>q<sub>a</sub></sub>	コンクリートの支圧強度	MPa
c <sub>t</sub>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
s <sub>p<sub>a</sub></sub>	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
s <sub>q<sub>a</sub></sub>	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
b	架構に生じる曲げ応力	MPa
b <sub>y</sub>	架構に生じる曲げ応力 ( y 軸 )	MPa
b <sub>z</sub>	架構に生じる曲げ応力 ( z 軸 )	MPa
c	架構に生じる圧縮応力	MPa
t	架構に生じる引張応力	MPa
a	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
b <sub>a<sub>v</sub>g</sub>	ボルトの基本平均付着強度	MPa
k	架構に生じるせん断応力	MPa
y	架構に生じるせん断応力 ( y 軸 )	MPa
z	架構に生じるせん断応力 ( z 軸 )	MPa



## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2 - 2 に示すとおりとする。

表 2 - 2 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
温度				整数位
質量	kg			整数位 <sup>*1</sup>
長さ	下記以外の長さ	mm		整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*3</sup>	四捨五入 小数点以下第 1 位 <sup>*2</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*5</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 \*1 : 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

\*2 : 設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は，小数点以下第 2 位表示とする。

\*3 : 設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は，小数点以下第 3 位表示とする。

\*4 : 絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て，整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

竜巻防護鋼製フードの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、落下により、格納容器圧力逃がし装置配管等が損傷することを防止するため、防護鋼板、架構及びアンカボルトについて実施する。竜巻防護鋼製フードの耐震評価部位については、表 2 - 1 の概略構造図に示す。

### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

#### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 竜巻防護鋼製フードの架構は、アンカボルトにより建屋躯体である壁に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、竜巻防護鋼製フードに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

竜巻防護鋼製フードの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4 - 1 に示す。

##### 4.2.2 許容応力

竜巻防護鋼製フードの許容応力は、 -2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4 - 2 に示す。

アンカボルトの許容応力は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010 年改定）」に基づき、算出したものを許容応力とする。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

竜巻防護鋼製フードの使用材料の許容応力評価条件を表 4 - 3 に示す。

表 4 - 1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	竜巻防護鋼製フード		*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_s$	AS

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4 - 2 許容応力 (その他支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記 \*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4 - 3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 ( )		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> ( R T ) (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40				
架構	SUS304	周囲環境温度	40				
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40				

#### 4.3 解析モデル及び諸元

竜巻防護鋼製フードの解析モデルを図 4 - 1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 竜巻防護鋼製フードを構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。
- (2) 拘束条件は，架構の壁への取付部を完全固定とする。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。
- (3) 解析コード「NX NASTRAN」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

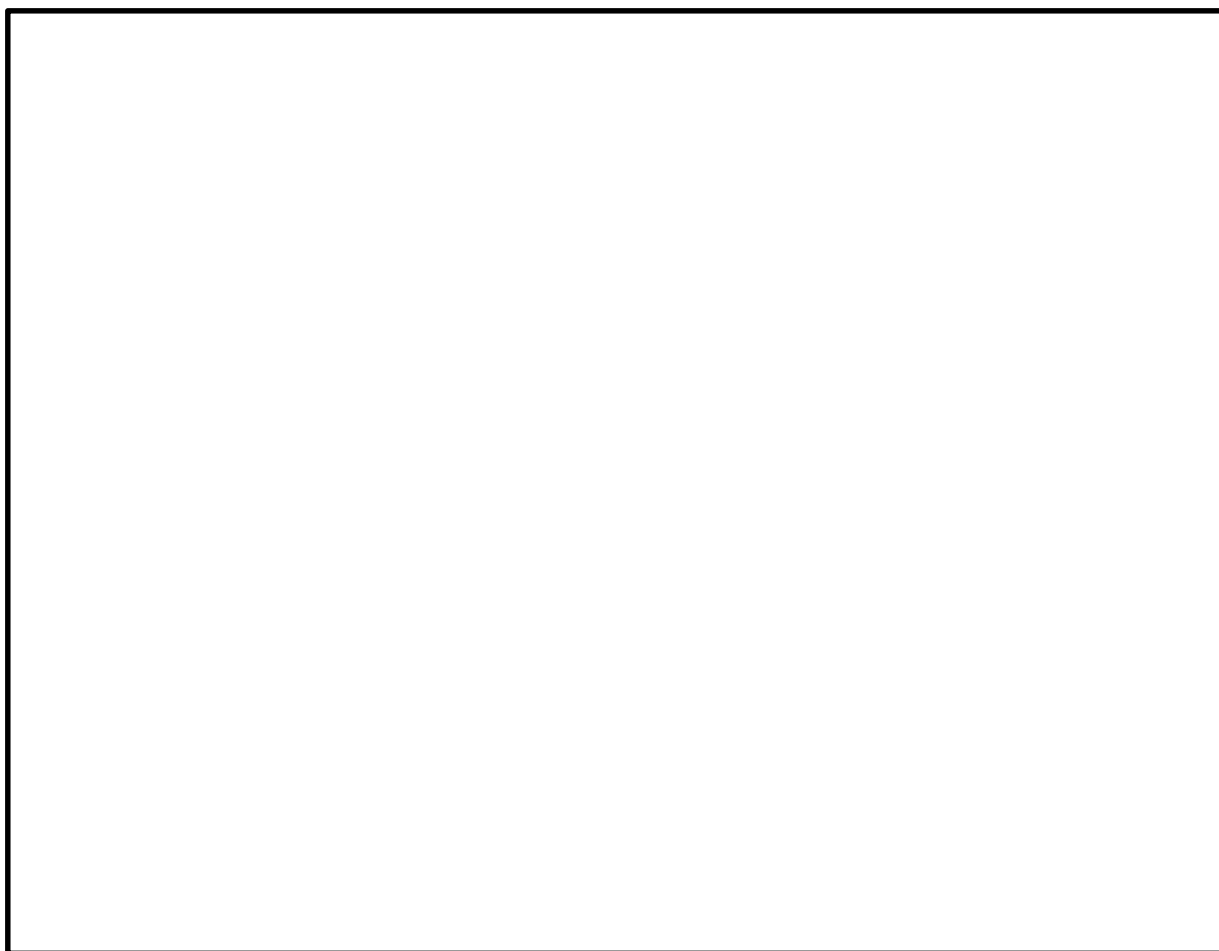


図 4 - 1 竜巻防護鋼製フードの解析モデル

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4 - 4 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4 - 4 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1	鉛直	0.032			
2	水平	0.032			

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4 - 5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、 -2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4 - 5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
6号機原子炉建屋 T.M.S.L.23.5 (T.M.S.L. 31.7 <sup>*</sup> )	0.032	0.032	$C_H = 1.37$	$C_V = 1.16$

注記\*：基準床レベルを示す。



## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素でのミーゼス応力とする。

#### (2) 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力  $N_t, N_c$ 、せん断力  $Q_y, Q_z$  及び曲げモーメント  $M_x, M_y, M_z$  により各応力を次のように求める。

##### a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

##### b. せん断応力

$$\tau = \max(\tau_y, \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s_y}} + \frac{M_x}{J}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s_z}} + \frac{M_x}{J}$$

##### c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z}$$

$$\sigma_{b_y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b_z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

##### d. 組合せ応力

###### (a) 圧縮又は引張り + 曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合は  $\sigma_c$  を  $-\sigma_t$  に、 $f_c^*$  を  $f_b^*$  とする。

###### (b) 圧縮又は引張り + 曲げ + せん断

$$\max\left(\sqrt{\left(\frac{\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z}}{1.5 \cdot f_c^*}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau}{1.5 \cdot f_b^*}\right)^2}, \sqrt{\left(\frac{\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z}}{1.5 \cdot f_t^*}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau}{1.5 \cdot f_b^*}\right)^2}\right)$$

引張軸力の場合は  $\sigma_c$  を  $-\sigma_t$  とする。

(3) アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は、解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端に生じる荷重  $R_x$  ,  $R_y$  ,  $R_z$  , ねじりモーメント  $M_{bx}$  及び曲げモーメント  $M_{by}$  ,  $M_{bz}$  により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_x/n + M_{by}/(j_y \cdot n_{fy}) + M_{bz}/(j_z \cdot n_{fz})$$

b. せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}/n + M_{bx}/(L \cdot n)$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力  $f_t$  以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力は  $f_t$  以下，又は，応力比の場合は 1 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_c$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( - \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし，

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\ell_k}{i} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \\
 &= 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left( - \right)^2
 \end{aligned}$$

### 4.8.3 アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重  $p$  及びせん断荷重  $q$  が許容値以下であること。また、引張応力比とせん断応力比の二乗和が1以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との 組合せの場合
許容引張力 $p_a$	$\min(p_{a1}, p_{a3})$
許容せん断力 $q_a$	$\min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

ただし、

$$p_{a1} = 1 \cdot s_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = 3 \cdot a \cdot d \cdot L_{ce}$$

$$q_{a1} = 1 \cdot s_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = 2 \cdot c_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = 2 \cdot c_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

低減係数  $1, 2, 3$  は、-2-1-9「機能維持の基本方針」より、以下の表のとおり。

	1	2	3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$$a = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot b_{avg}$$

$$s_n = 0.5 \cdot \left(\frac{c_n}{L_e}\right) + 0.5 \quad (n = 1, 2, 3)$$

なお、 $(c_n / L_e) = 1.0$  の場合は、 $(c_n / L_e) = 1.0$ 、 $L_e = 10d$  の場合は、 $L_e = 10d$  とする。

ボルトの基本平均付着強度  $b_{avg}$  は、-2-1-9「機能維持の基本方針」より、カプセル方式・有機系の  $10 \cdot \sqrt{F_c / 21}$  とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さ $L_e$ は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e = \frac{s_p a \cdot d}{4 \cdot a}$$

## 5. 評価結果

### 5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

竜巻防護鋼製フードの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		最高使用温度 ( )	周囲環境温度 ( )
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
竜巻防護鋼製フード	C	原子炉建屋 T.M.S.L.23.5 (T.M.S.L. 31.7*)	0.032	0.032	C <sub>H</sub> =1.37	C <sub>V</sub> =1.16		40

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	<sup>s c</sup> a (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>fy</sub>	n <sub>fz</sub>	L	j <sub>y</sub>	j <sub>z</sub>

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p <sub>a</sub> (N)	q <sub>a</sub> (N)
防護鋼板	SUS304						
架構	SUS304						
アンカボルト	SUS304						

材料	E (MPa)	,	$\rho_k$ (mm)	i (mm)	要素番号
SUS304	194000				30003,30016

	要素番号
	30003,30016
材料	
A (mm <sup>2</sup> )	
A <sub>s y</sub> (mm <sup>2</sup> )	
A <sub>s z</sub> (mm <sup>2</sup> )	
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	
J (mm <sup>3</sup> )	

1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の応力 (単位: MPa)

要素番号	節点番号	
		基準地震動 S s
44431	-	

1.3.2 架構の荷重 (単位: N)

要素番号	節点番号	$N_t$	$N_c$	$Q_y$	$Q_z$
		基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
30003	-				
30016	-				

注: 添字 y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構のモーメント (単位: N・mm)

要素番号	節点番号	$M_x$	$M_y$	$M_z$
		基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
30003	-			
30016	-			

注: 添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.4 アンカボルトの荷重 (単位: N)

要素番号	節点番号	$R_x$	$R_y$	$R_z$
		基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
-	1			

注: 添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。



1.3.5 脚部のモーメント

(単位：N・mm)

要素番号	節点番号	$M_{bx}$	$M_{by}$	$M_{bz}$
		基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
-	1			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.6 アンカボルトに作用する力

(単位：N)

要素番号	節点番号	p	q
		基準地震動 S s	基準地震動 S s
-	1		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

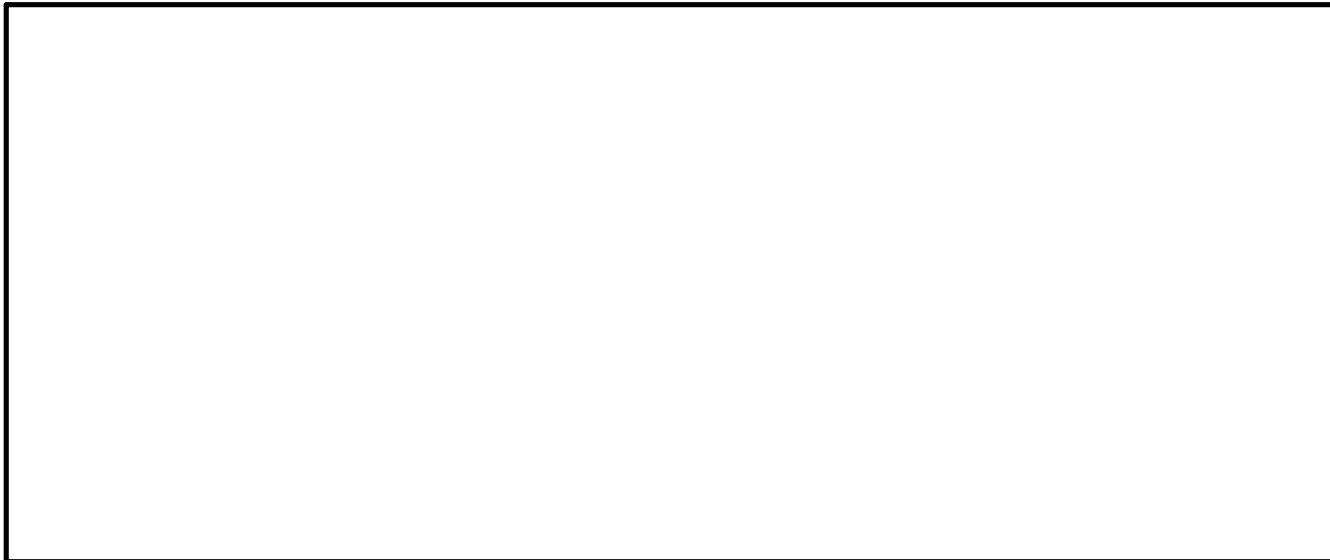
モード	方向	固有周期
1	鉛直	0.032
2	水平	0.032

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考
					算出応力	許容応力	
防護鋼板	SUS304	組合せ	44431	-			
架構	SUS304	引張り	30003	-			
		圧縮	30003	-			
		せん断	30003	-			
		曲げ	30016	-			
		組合せ(圧縮又は引張り+曲げ)	30003	-		単位：なし	
		組合せ(圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	30003	-			
アンカボルト	SUS304	引張り	-	1		単位：N	
		せん断	-	1		単位：N	
		組合せ(引張り+せん断)	-	1		単位：なし	

すべて許容応力以下である。



VI-2-11-2-2-4 換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算書

- (1) 換気空調系ダクト防護壁 (タービン建屋)
- (2) 換気空調系ダクト防護壁 (コントロール建屋)

(1) 換気空調系ダクト防護壁（タービン建屋）

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	8
2.6 計算精度と数値の丸め方	11
3. 評価部位	12
4. 地震応答解析及び構造強度評価	12
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
4.2.2 許容応力	12
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	12
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	22
4.6.1 応力の計算方法	22
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
4.8.1 防護鋼板の応力評価	24
4.8.2 架構の応力評価	24
4.8.3 アンカボルトの評価	25
5. 評価結果	26
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26

## 1. 概要

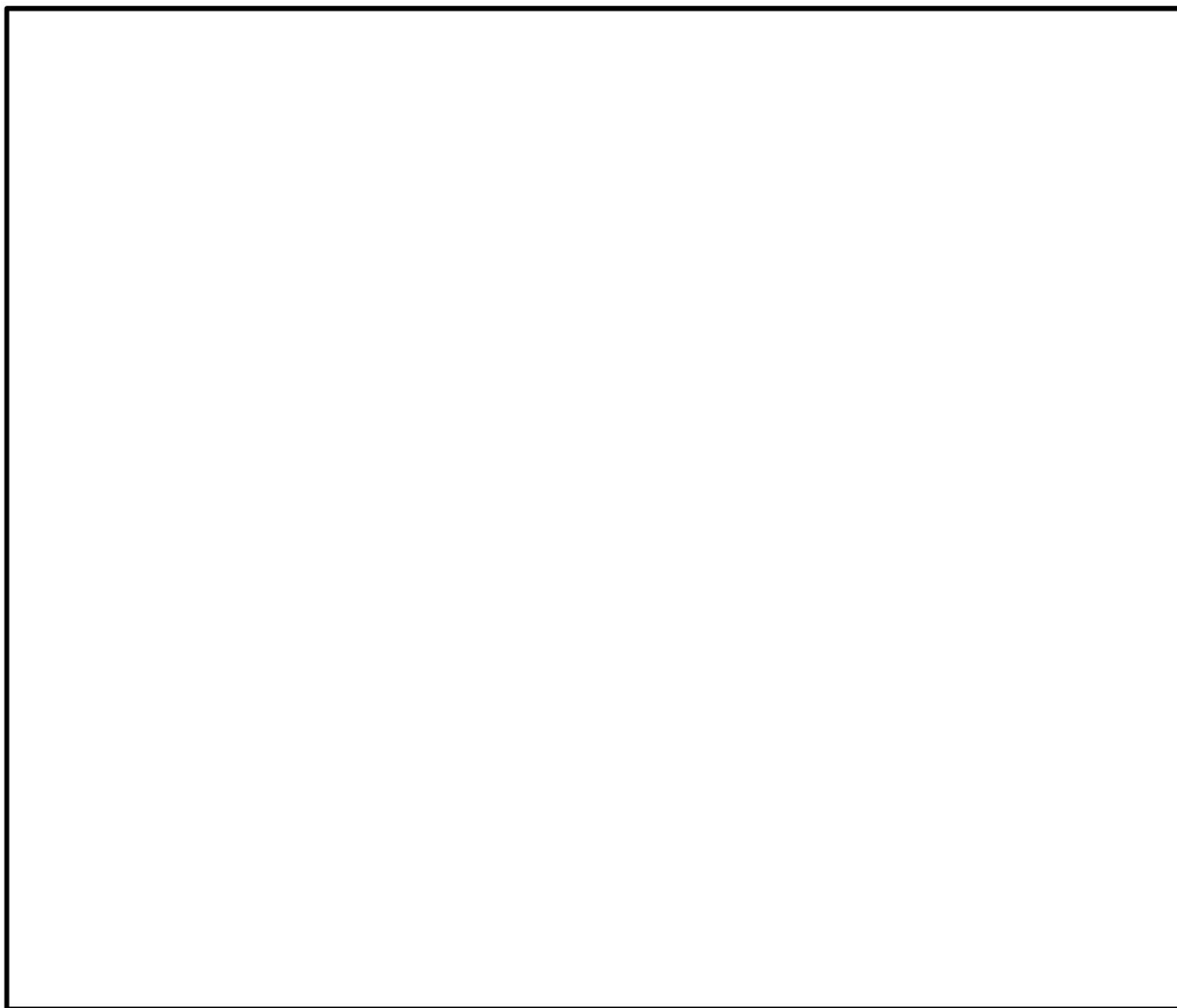
本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、換気空調系ダクト防護壁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである海水熱交換器区域換気空調系ダクト等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

換気空調系ダクト防護壁の設置位置を図 2-1 に示す。

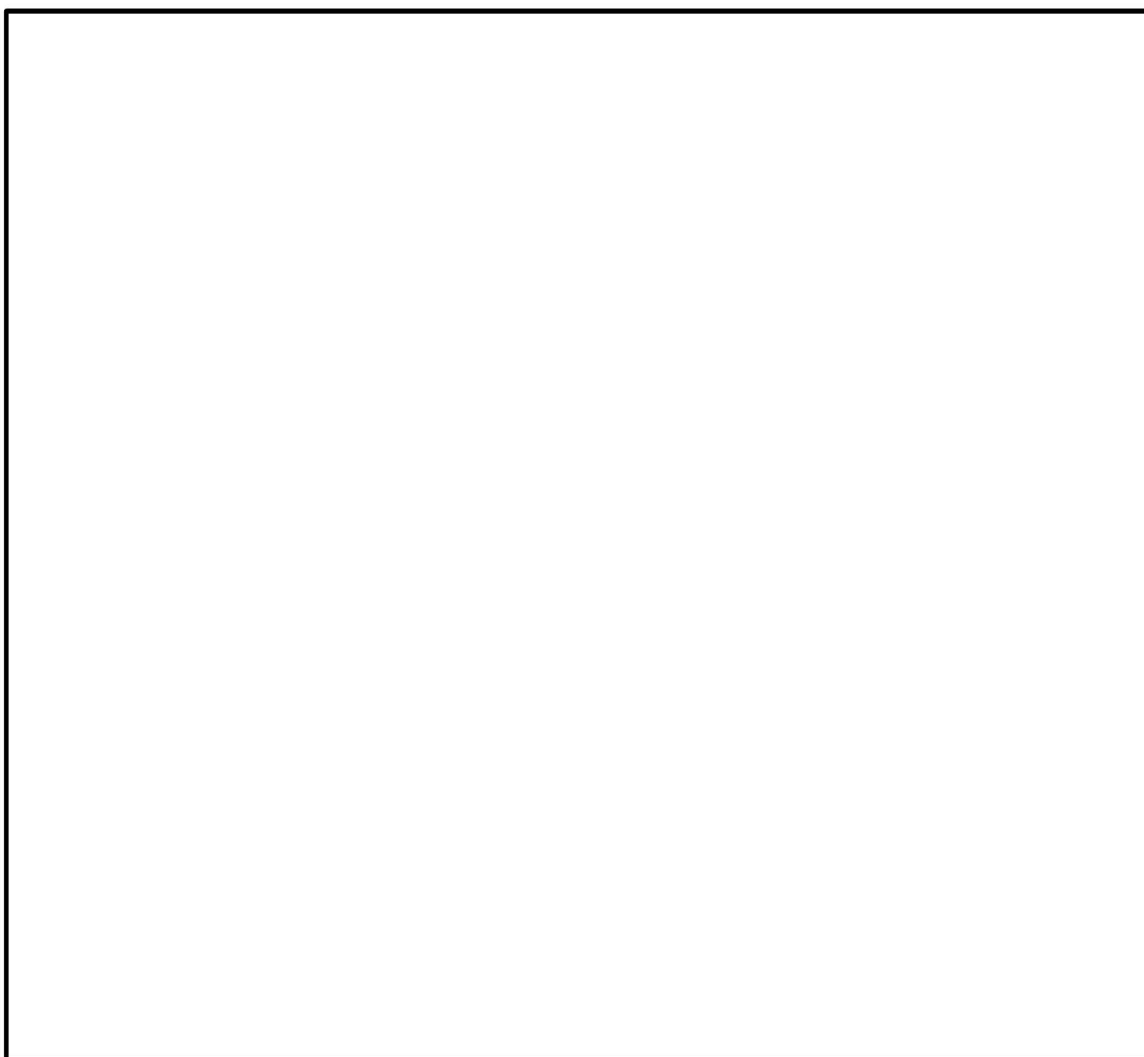
換気空調系ダクト防護壁は、上位クラス施設である海水熱交換器区域換気空調系ダクト等の上部に設置されており、落下時に海水熱交換器区域換気空調系ダクト等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



タービン建屋 T. M. S. L. 12. 3m

図 2-1 (1/2) 換気空調系ダクト防護壁の設置位置図





タービン建屋 T.M.S.L. 30.9m

図 2-1 (2/2) 換気空調系ダクト防護壁の設置位置図

## 2.2 構造計画

換気空調系ダクト防護壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 (1/2) 構造計画

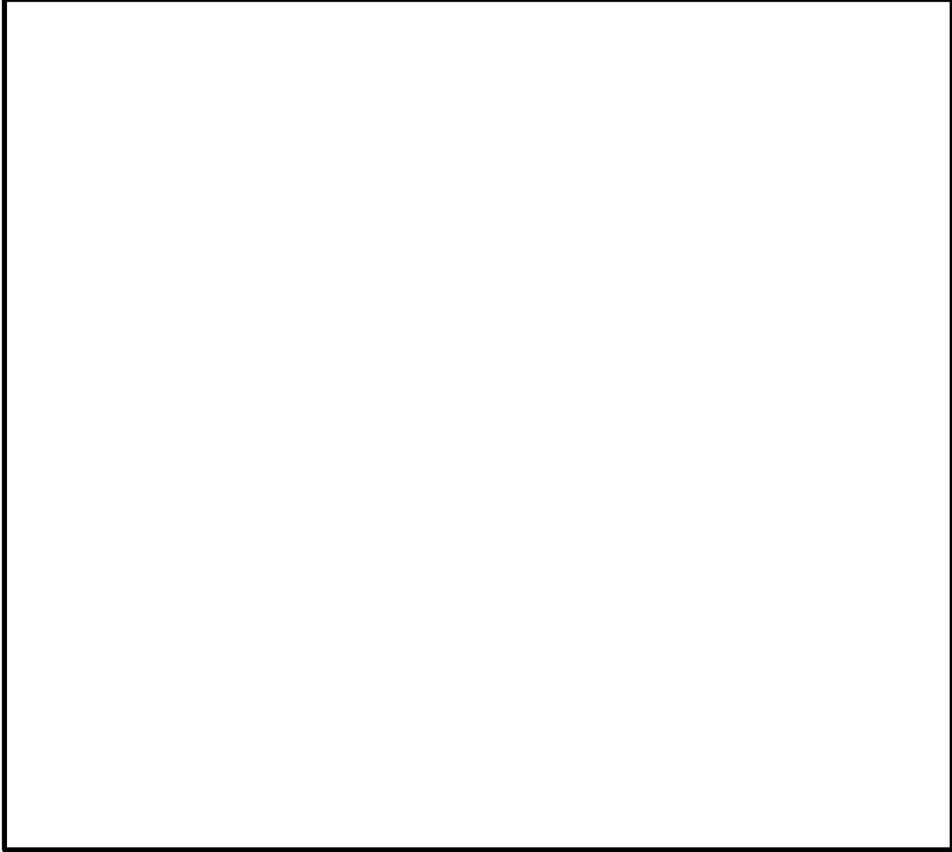
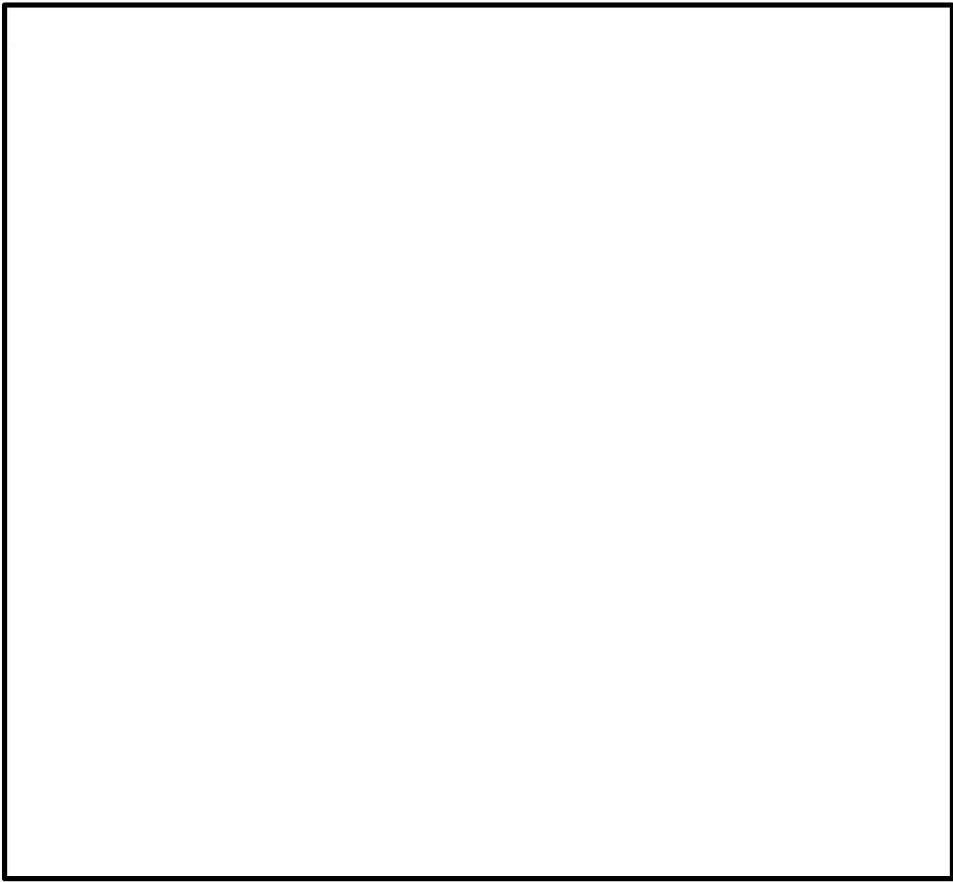
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p> <p style="text-align: center;">換気空調系ダクト防護壁 (No. 50)</p>

表 2-1 (2/2) 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> <p style="text-align: center;">換気空調系ダクト防護壁 (No. 55)</p>

### 2.3 評価方針

換気空調系ダクト防護壁の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す換気空調系ダクト防護壁の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

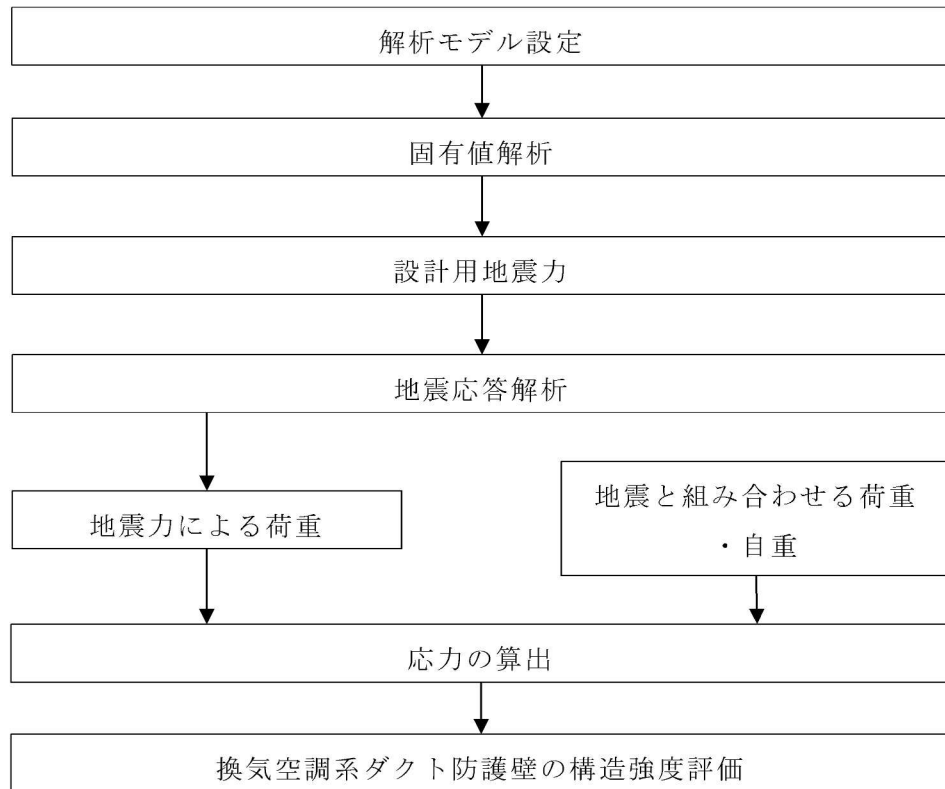


図 2-2 換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 2010年改定)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$s_c a$	接着系アンカボルトの断面積	$\text{mm}^2$
A	架構の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{qc}$	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	$\text{mm}^2$
$A_{sy}$	架構のせん断断面積 (y 軸)	$\text{mm}^2$
$A_{sz}$	架構のせん断断面積 (z 軸)	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
$f_b$	架構の許容曲げ応力	MPa
$f_c$	架構の許容圧縮応力	MPa
$f_s$	架構の許容せん断応力	MPa
$f_t$	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
$l_k$	座屈長さ	mm
J	架構の極断面係数	$\text{mm}^3$
$j_x$	脚部の応力中心間距離 (x 軸)	mm
$j_y$	脚部の応力中心間距離 (y 軸)	mm
L	アンカボルト中心と架構の離隔距離	mm
$L_{ce}$	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
$L_e$	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
$M_x$	架構の曲げモーメント (x 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_y$	架構の曲げモーメント (y 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_z$	架構の曲げモーメント (z 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{bx}$	脚部の曲げモーメント (x 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{by}$	脚部の曲げモーメント (y 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{bz}$	脚部のねじりモーメント (z 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
$m$	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
$n$	架構と床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
$X, Y, Z$	絶対（節点）座標軸	—
$x, y, z$	局所（要素）座標軸	—
$Z_y$	架構の断面係数（ $y$ 軸）	$\text{mm}^3$
$Z_z$	架構の断面係数（ $z$ 軸）	$\text{mm}^3$
$\Lambda$	架構の限界細長比	—
$\lambda$	架構の有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	防護鋼板のミーゼス応力	MPa
$n_{f x}$	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（ $x$ 軸）	—
$n_{f y}$	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（ $y$ 軸）	—
$N_c$	架構の軸力（圧縮）	N
$N_t$	架構の軸力（引張り）	N
$R_x$	ベースプレート部の荷重（ $x$ 軸）	N
$R_y$	ベースプレート部の荷重（ $y$ 軸）	N
$R_z$	ベースプレート部の荷重（ $z$ 軸）	N
$p$	接着系アンカボルト1本当たりの引張力	N
$p_a$	接着系アンカボルト1本当たりの許容引張力	N
$p_{a1}$	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N
$p_{a3}$	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
$q$	接着系アンカボルト1本当たりのせん断力	N
$q_a$	接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$q_{a1}$	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$q_{a2}$	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$q_{a3}$	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$Q_y$	架構のせん断力 (y 軸)	N
$Q_z$	架構のせん断力 (z 軸)	N
$\phi_1$	低減係数 長期：2/3 短期：1.0	—
$\phi_2$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\phi_3$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\alpha_n$	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数 (n = 1, 2, 3)	—
$c_n$	へりあき及びボルトピッチの1/2 (n = 1, 2, 3)	—
$c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
$c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
$s\sigma_{pa}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
$s\sigma_{qa}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
$\sigma_b$	架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{by}$	架構に生じる曲げ応力 (y 軸)	MPa
$\sigma_{bz}$	架構に生じる曲げ応力 (z 軸)	MPa
$\sigma_c$	架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_t$	架構に生じる引張応力	MPa
$\tau_a$	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
$\tau_{bavg}$	ボルトの基本平均付着強度	MPa
$\tau_k$	架構に生じるせん断応力	MPa
$\tau_y$	架構に生じるせん断応力 (y 軸)	MPa
$\tau_z$	架構に生じるせん断応力 (z 軸)	MPa



## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 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
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位* <sup>1</sup>
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位* <sup>1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位* <sup>3</sup>	四捨五入	小数点以下第 1 位* <sup>2</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>4</sup>
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>4</sup>
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>4</sup>
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* <sup>5</sup>		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記\*1 : 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2 : 設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*3 : 設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*4 : 絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、落下により、海水熱交換器区域換気空調系ダクト等が損傷することを防止するため、防護鋼板、架構及びアンカボルトについて実施する。換気空調系ダクト防護壁の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

#### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 換気空調系ダクト防護壁の架構は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、換気空調系ダクト防護壁に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、方向毎に卓越振動モードにおける固有振動数が 20Hz 以上の場合は剛構造として 1.2ZPA の加速度を静的に作用させた静的解析を行い、20Hz 未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析及び 1.2ZPA の加速度を静的に作用させた静的解析を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

換気空調系ダクト防護壁の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

##### 4.2.2 許容応力

換気空調系ダクト防護壁の許容応力は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4-3 に示す。

アンカボルトの許容応力は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010 年改定）」に基づき、算出したものを許容応力とする。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

換気空調系ダクト防護壁の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-3 許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	—			—
架構	SM490A	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	—			—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	—			—
架構	SM490A	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	—			—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

換気空調系ダクト防護壁の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 換気空調系ダクト防護壁を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。
- (2) 拘束条件は，架構の床への取付部を完全固定とする。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。
- (3) 解析コード「NX NASTRAN」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

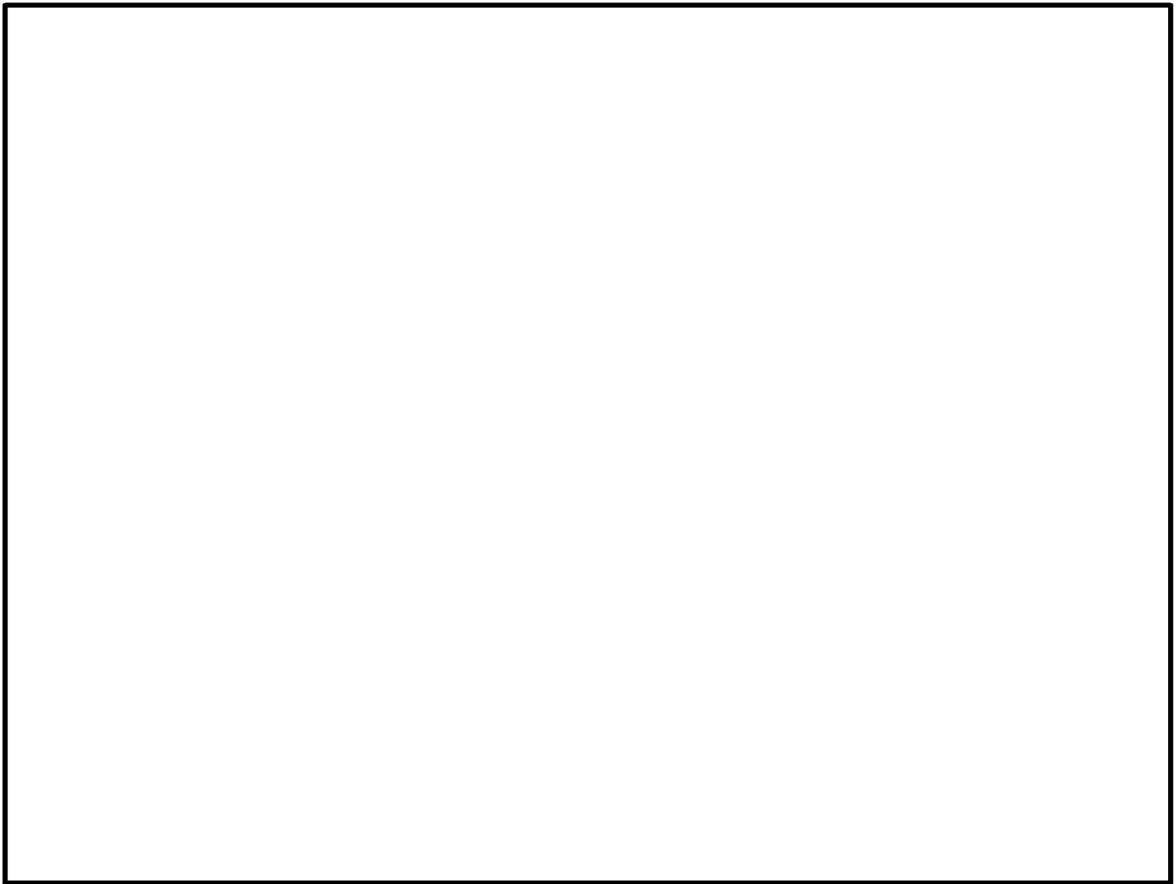


図 4-1 (1/2) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) の解析モデル

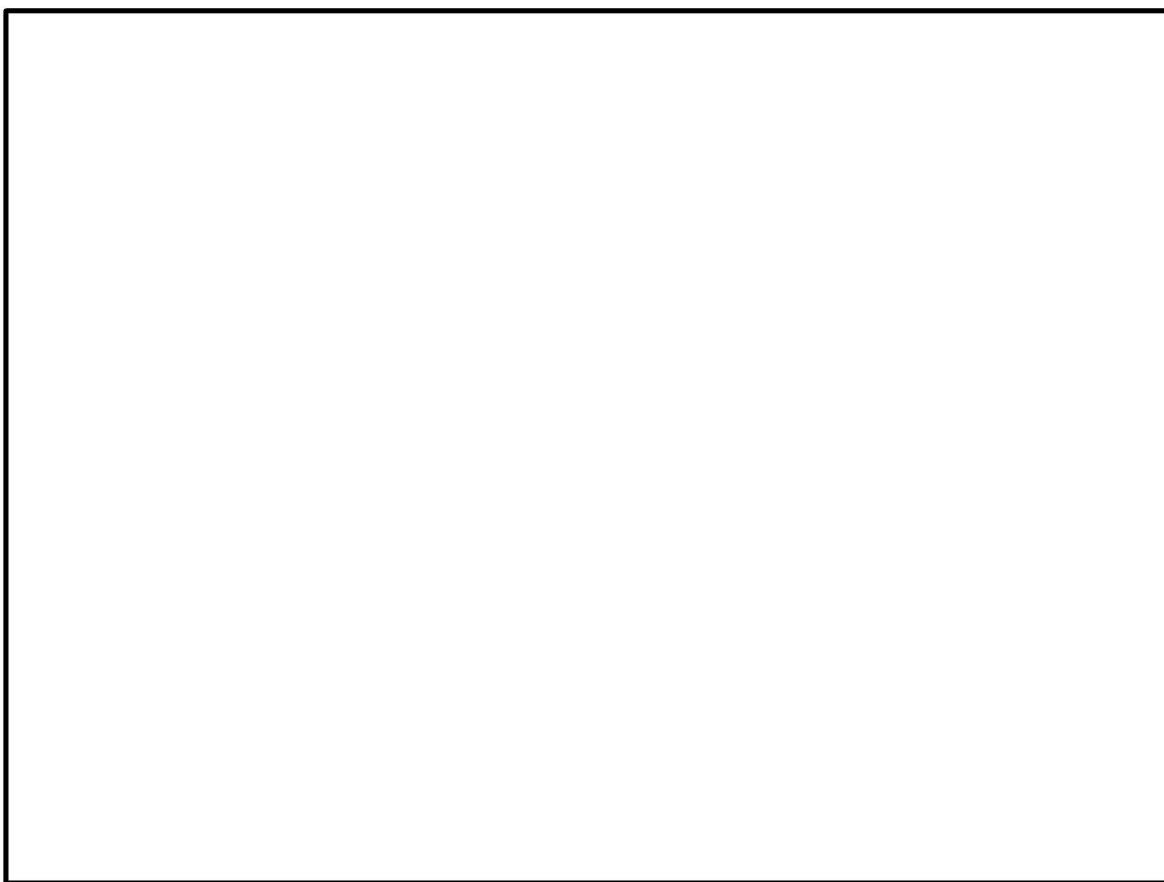


図 4-1 (2/2) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 55) の解析モデル

#### 4.4 固有周期

各換気空調系ダクト防護壁の固有値解析の結果を表4-6に、換気空調系ダクト防護壁 (No. 55) の振動モード図を図4-2に示す。

換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) の固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

換気空調系ダクト防護壁 (No. 55) の水平方向は、2 次で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。鉛直方向は、1 次モードで卓越し、固有周期が柔な領域にあることから、柔であることを確認した。

表 4-6 (1/2) 固有値解析結果 (No. 50)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1	水平	0.031	—	—	—
2	鉛直	0.025	—	—	—

表 4-6 (2/2) 固有値解析結果 (No. 55)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数*
			X方向	Y方向	
1	鉛直	0.051	—	—	0.901
2	水平	0.045	—	—	—

注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。





図 4-2 振動モード図 (1 次モード 鉛直方向 0.051s)

#### 4.5 設計用地震力

換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) の評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 に、換気空調系ダクト防護壁 (No. 55) の評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-7 換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
6号機タービン建屋 T. M. S. L. 25.8	0.031	0.025	$C_H = 1.86$	$C_V = 1.06$

表 4-8 換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) 設計用地震力 (重大事故等対処設備)

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
6号機タービン建屋 T. M. S. L. 25.8	0.031	0.025	$C_H = 1.86$	$C_V = 1.06$

表 4-9 換気空調系ダクト防護壁 (No.55) 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所及び床面高さ (m)		6号機タービン建屋 T.M.S.L. 12.3		
固有周期 (s)		水平 : 0.05以下 鉛直 : 0.051* <sup>1</sup>		
減衰定数 (%)		水平 : — 鉛直 : 1.0		
地震力		基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度* <sup>2</sup>
		NS 方向	EW 方向	
1次	0.051	—	—	1.47
2次* <sup>3</sup>	0.045	—	—	—
動的地震力* <sup>4</sup>		1.35	1.35	0.96

注記\*1 : 1次固有周期について記載。

\*2 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S<sub>s</sub>) より得られる震度を示す。

\*3 : 固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

\*4 : S<sub>s</sub> に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-10 換気空調系ダクト防護壁 (No.55) 設計用地震力 (重大事故等対処設備)

据付場所及び床面高さ (m)		6号機タービン建屋 T.M.S.L. 12.3		
固有周期 (s)		水平 : 0.05以下 鉛直 : 0.051* <sup>1</sup>		
減衰定数 (%)		水平 : — 鉛直 : 1.0		
地震力		基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度* <sup>2</sup>
		NS 方向	EW 方向	
1次	0.051	—	—	1.47
2次* <sup>3</sup>	0.045	—	—	—
動的地震力* <sup>4</sup>		1.35	1.35	0.96

注記\*1 : 1次固有周期について記載。

\*2 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S<sub>s</sub>) より得られる震度を示す。

\*3 : 固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

\*4 : S<sub>s</sub> に基づく設計用最大応答加速度より求めた震度を示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素でのミーゼス応力  $\sigma$  とする。

#### (2) 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力  $N_t$ 、 $N_c$ 、せん断力  $Q_y$ 、 $Q_z$  及び曲げモーメント  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  により各応力を次のように求める。

##### a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

##### b. せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s_y}} + \frac{M_x}{J}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s_z}} + \frac{M_x}{J}$$

##### c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z}$$

$$\sigma_{b_y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b_z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

##### d. 組合せ応力

###### (a) 圧縮又は引張り + 曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合は  $\sigma_c$  を  $-\sigma_t$  に、 $f_c^*$  を  $f_b^*$  とする。

###### (b) 圧縮又は引張り + 曲げ + せん断

$$\max\left(\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3 \cdot \tau_y^2}, \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3 \cdot \tau_z^2}\right)$$

引張軸力の場合は  $\sigma_c$  を  $\sigma_t$  とする。

(3) アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は，解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端に生じる荷重 $R_x$ ， $R_y$ ， $R_z$ ，ねじりモーメント $M_{b_z}$ 及び曲げモーメント $M_{b_x}$ ， $M_{b_y}$ により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_z / n + M_{b_x} / (j_x \cdot n_{f_x}) + M_{b_y} / (j_y \cdot n_{f_y})$$

b. せん断荷重

$$q = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} + M_{b_z} / (L \cdot n)$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 $f_t$ 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は $f_t$ 以下、又は、応力比の場合は1以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_c$	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

4.8.3 アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重  $p$  及びせん断荷重  $q$  が許容値以下であること。また、引張応力比とせん断応力比の二乗和が 1 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との 組合せの場合
許容引張力 $p_a$	$\min(p_{a1}, p_{a3})$
許容せん断力 $q_a$	$\min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

ただし、

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{cc}$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

低減係数  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、以下の表のとおり。

	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

$$\alpha_n = 0.5 \cdot \left(\frac{c_n}{L_e}\right) + 0.5 \quad (n = 1, 2, 3)$$

なお、 $(c_n/L_e) \geq 1.0$  の場合は、 $(c_n/L_e) = 1.0$ 、 $L_e \geq 10d$  の場合は、 $L_e = 10d$  とする。

ボルトの基本平均付着強度  $\tau_{bavg}$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、カプセル方式・有機系の  $10 \cdot \sqrt{F_c/21}$  とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さ $L_e$ は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geq \frac{s \sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

換気空調系ダクト防護壁 (No. 50, No. 55) の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため、記載を省略する。



【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
換気空調系ダクト防護壁 (No. 50)	C	タービン建屋 T. M. S. L. 25.8	0.031	0.025	C <sub>H</sub> =1.86	C <sub>V</sub> =1.06	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No. 55)	C	タービン建屋 T. M. S. L. 12.3	0.05 以下	0.051	C <sub>H</sub> =1.35	C <sub>V</sub> =0.96 又は*	—	40

注記\* : 基準地震動 S<sub>s</sub> に基づく設計用床応答曲線から得られる値。

1.2 機器要目

機器名称	m (kg)	d (mm)	$\sigma \cdot a$ (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>ix</sub>	n <sub>iy</sub>	L	j <sub>x</sub>	j <sub>y</sub>
換気空調系ダクト防護壁 (No. 50)									
換気空調系ダクト防護壁 (No. 55)									

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p <sub>a</sub> (N)	q <sub>a</sub> (N)
防護鋼板	SS400					—	—
架構	SM490A					—	—
アンカボルト	SS400			—	—		

No.	材料	E (MPa)	$\nu$	$l_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$	要素番号
50	SM490A [Redacted]	202000	[Redacted]				11012, 13001
55	SM490A [Redacted]	202000					11020, 13001

	No. 50	No. 55
	要素番号	要素番号
	11012, 13001	11020, 13001
材料	[Redacted]	
A (mm <sup>2</sup> )		
A <sub>s y</sub> (mm <sup>2</sup> )		
A <sub>s z</sub> (mm <sup>2</sup> )		
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )		
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )		
J (mm <sup>3</sup> )	[Redacted]	

1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の応力 (単位: MPa)

No.	要素番号	節点番号	$\sigma$
			基準地震動 S <sub>s</sub>
50	407359	—	
55	401037	—	

1.3.2 架構の荷重 (単位: N)

No.	要素番号	節点番号	$N_t$	$N_c$	$Q_y$	$Q_z$
			基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
50	11012	—				
	13001	—				
55	11020	—				
	13001	—				

注: 添字 y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構のモーメント (単位: N・mm)

No.	要素番号	節点番号	$M_x$	$M_y$	$M_z$
			基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
50	11012	—			
	13001	—			
55	11020	—			
	13001	—			

注: 添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.4 アンカボルトの荷重

(単位：N)

No.	要素番号	節点番号	$R_x$	$R_y$	$R_z$
			基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
50	—	2			
	—	4			
55	—	2			
	—	4			

注：添字  $x$ ,  $y$ ,  $z$  は要素に与えられた座標軸。

1.3.5 脚部のモーメント

(単位：N・mm)

No.	要素番号	節点番号	$M_{b x}$	$M_{b y}$	$M_{b z}$
			基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
50	—	2			
	—	4			
55	—	2			
	—	4			

注：添字  $x$ ,  $y$ ,  $z$  は要素に与えられた座標軸。

1.3.6 アンカボルトに作用する力 (単位：N)

No.	要素番号	節点番号	p	q
			基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
50	—	2		
	—	4		
55	—	2		
	—	4		

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

No.	モード	方向	固有周期
50	1	水平	0.031
	2	鉛直	0.025
55	1	鉛直	0.051
	2	水平	0.045

1.4.2 応力

(単位：MPa)

No. 50	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S <sub>s</sub>		備考
						算出応力	許容応力	
	防護鋼板	SS400	組合せ	407359	—			
	架構	SM490A	引張り	13001	—			
			圧縮	13001	—			
			せん断	13001	—			
			曲げ	11012	—			
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	11012	—			単位：なし
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	11012	—			
	アンカボルト	SS400	引張り	—	4			単位：N
			せん断	—	2			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	4			単位：なし

すべて許容応力以下である。



(単位：MPa)

No. 55	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
	防護鋼板	SS400	組合せ	401037	—			
	架構	SM490A	引張り	13001	—			
			圧縮	13001	—			
			せん断	13001	—			
			曲げ	11020	—			
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	11020	—			単位：なし
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	11020	—			
	アンカボルト	SS400	引張り	—	4			単位：N
			せん断	—	2			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	4			単位：なし

すべて許容応力以下である。



(2) 換気空調系ダクト防護壁（コントロール建屋）



## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 地震応答解析及び構造強度評価	11
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	11
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2 許容応力	11
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	19
4.6 計算方法	20
4.6.1 応力の計算方法	20
4.7 計算条件	22
4.8 応力の評価	22
4.8.1 防護鋼板の応力評価	22
4.8.2 架構の応力評価	22
4.8.3 アンカボルトの評価	23
5. 評価結果	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	24

## 1. 概要

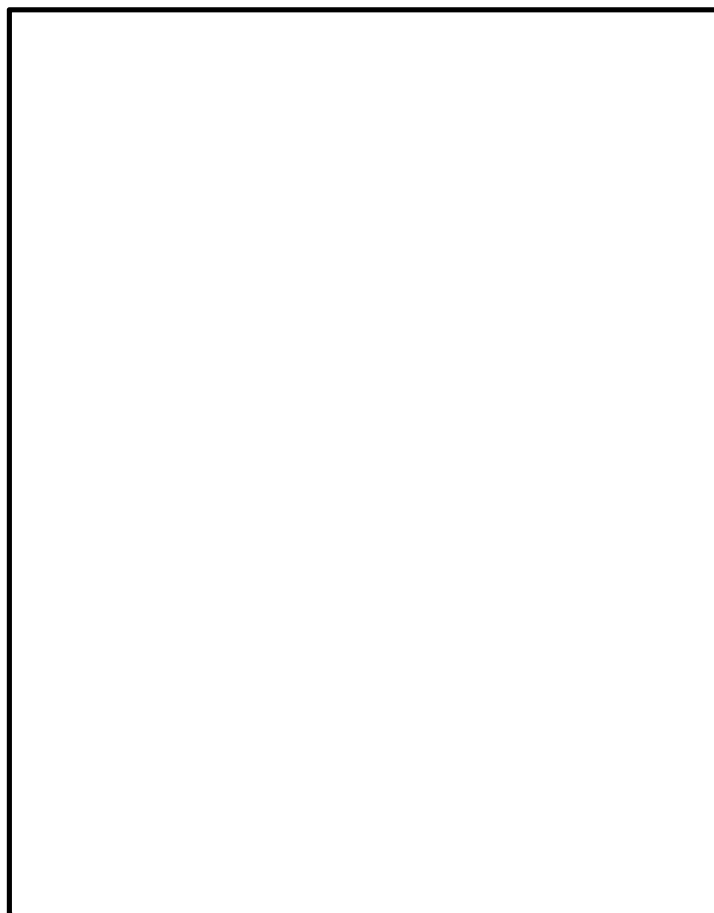
本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、換気空調系ダクト防護壁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスであるコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

換気空調系ダクト防護壁の設置位置を図 2-1 に示す。

換気空調系ダクト防護壁は、上位クラス施設であるコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等の上部に設置されており、落下時にコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1m

図 2-1 換気空調系ダクト防護壁の設置位置図

### 2.2 構造計画

換気空調系ダクト防護壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 (1/2) 構造計画

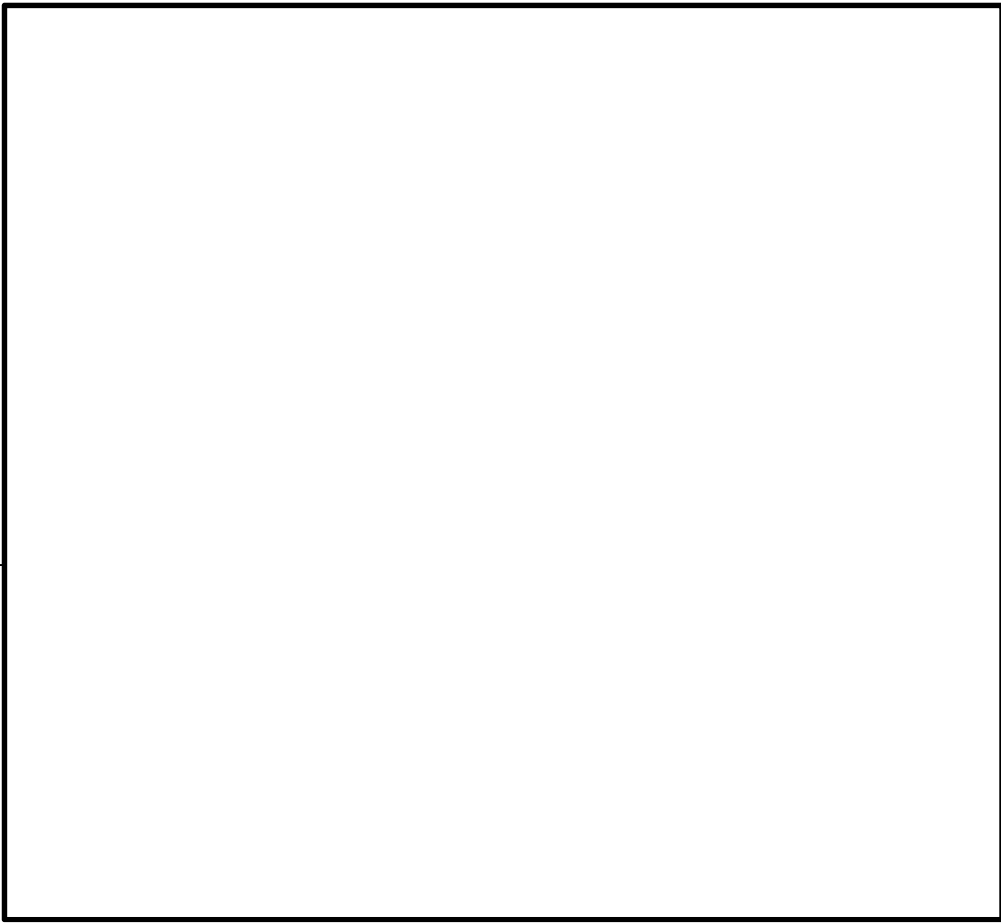
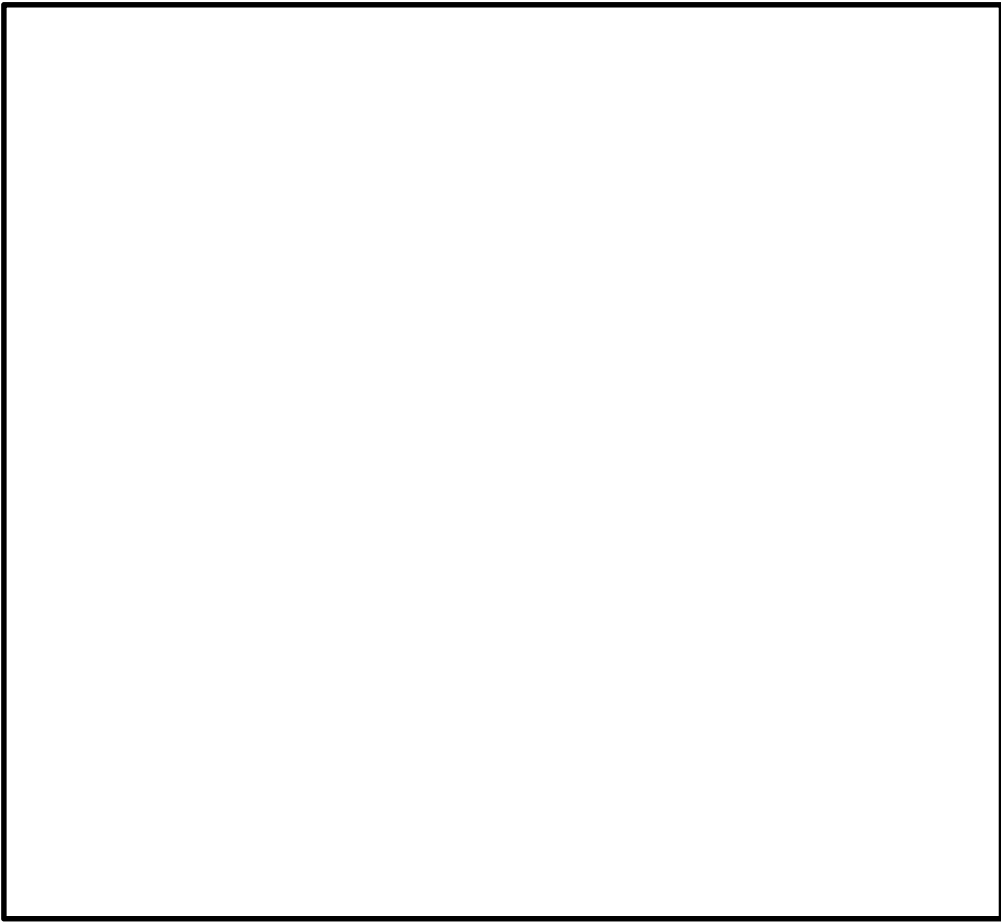
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> <p style="text-align: center;">換気空調系ダクト防護壁 (No. 11)</p>

表 2-1 (2/2) 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> <p style="text-align: center;">換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(A), No. 12(B))</p>

### 2.3 評価方針

換気空調系ダクト防護壁の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す換気空調系ダクト防護壁の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フローを図2-2に示す。

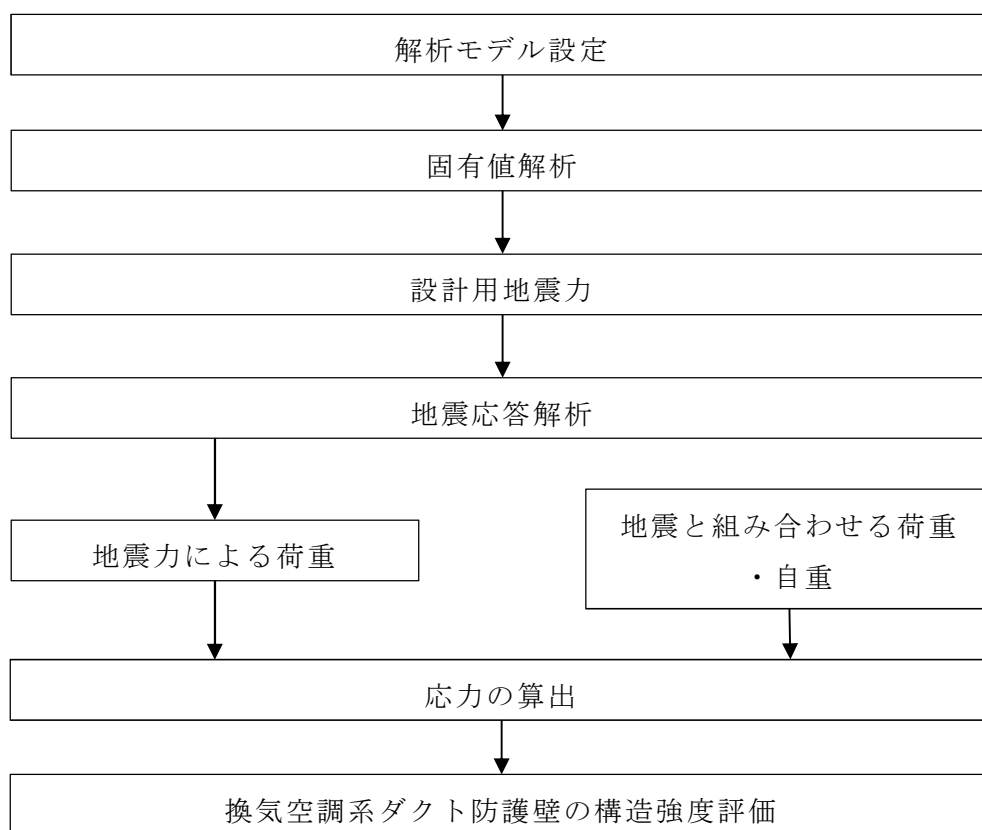


図2-2 換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・  
補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電  
気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下  
「設計・建設規格」という。)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 2010年改定)

## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$s_c a$	接着系アンカボルトの断面積	mm <sup>2</sup>
A	架構の断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{qc}$	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm <sup>2</sup>
$A_s$	鋼板の単位長さ当たりの断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{sy}$	架構のせん断断面積 (y 軸)	mm <sup>2</sup>
$A_{sz}$	架構のせん断断面積 (z 軸)	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
$F_{sx}$	防護鋼板の膜力 (x 軸)	N
$F_{sy}$	防護鋼板の膜力 (y 軸)	N
$F_{sxy}$	防護鋼板のせん断力	N
$f_b$	架構の許容曲げ応力	MPa
$f_c$	架構の許容圧縮応力	MPa
$f_s$	架構の許容せん断応力	MPa
$f_t$	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
$\ell_k$	座屈長さ	mm
$L_{ce}$	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
$L_e$	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
$M_y$	架構の曲げモーメント (y 軸)	N・mm
$M_z$	架構の曲げモーメント (z 軸)	N・mm
$M_{sx}$	防護鋼板の曲げモーメント (x 軸)	N・mm
$M_{sy}$	防護鋼板の曲げモーメント (y 軸)	N・mm
$M_{sxy}$	防護鋼板のねじりモーメント	N・mm



記号	記号の説明	単位
$m$	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
$n$	架構と床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待するアンカボルトの本数	—
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
$X, Y, Z$	絶対（節点）座標軸	—
$x, y, z$	局所（要素）座標軸	—
$Z_b$	鋼板の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	架構の断面係数（y軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	架構の断面係数（z軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_t$	鋼板のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	架構の限界細長比	—
$\lambda$	架構の有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	防護鋼板の組合せ応力	MPa
$\sigma_x, \sigma_y$	互いに直交する垂直応力	MPa
$N_c$	架構の軸力（圧縮）	N
$N_t$	架構の軸力（引張り）	N
$R_x$	ベースプレート部の反力（x軸）	N
$R_y$	ベースプレート部の反力（y軸）	N
$R_z$	ベースプレート部の反力（z軸）	N
$p$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの引張力	N
$p_a$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容引張力	N
$p_{a1}$	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1 本当当たりの許容引張応力	N
$p_{a3}$	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボル ト1本当当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
$q$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトのせん断力	N
$q_a$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容せん断力	N
$q_{a1}$	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当当たりの許容せん断力	N
$q_{a2}$	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当当たりの許容せん断力	N
$q_{a3}$	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当当たりの許容せん断力	N
$Q_y$	架構のせん断力 (y 軸)	N
$Q_z$	架構のせん断力 (z 軸)	N
$\phi_1$	低減係数 長期：2/3 短期：1.0	—
$\phi_2$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\phi_3$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\alpha_n$	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数 (n = 1, 2, 3)	—
$c_n$	へりあき及びボルトピッチの1/2 (n = 1, 2, 3)	—
$c_{\sigma_{qa}}$	コンクリートの支圧強度	MPa
$c_{\sigma_t}$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
$s_{\sigma_{pa}}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
$s_{\sigma_{qa}}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
$\sigma_b$	架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{by}$	架構に生じる曲げ応力 (y 軸)	MPa
$\sigma_{bz}$	架構に生じる曲げ応力 (z 軸)	MPa
$\sigma_c$	架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_t$	架構に生じる引張応力	MPa
$\tau$	防護鋼板に生じるせん断応力	MPa
$\tau_a$	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
$\tau_{bavg}$	ボルトの基本平均付着強度	MPa
$\tau_k$	架構に生じるせん断応力	MPa
$\tau_y$	架構に生じるせん断応力 (y 軸)	MPa
$\tau_z$	架構に生じるせん断応力 (z 軸)	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 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
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*3</sup>	四捨五入 小数点以下第 1 位 <sup>*2</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*5</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、落下により、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等が損傷することを防止するため、防護鋼板、架構及びアンカボルトについて実施する。換気空調系ダクト防護壁の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

#### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 換気空調系ダクト防護壁の架構は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、換気空調系ダクト防護壁に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

換気空調系ダクト防護壁の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

##### 4.2.2 許容応力

換気空調系ダクト防護壁の許容応力は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4-3 に示す。

アンカボルトの許容応力は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010 年改定）」に基づき、算出したものを許容応力とする。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

換気空調系ダクト防護壁の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$IV_A S$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-3 許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40	—			—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40	—			—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

換気空調系ダクト防護壁の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 換気空調系ダクト防護壁を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。
- (2) 拘束条件として，基礎部の各軸方向を固定する。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。
- (3) 解析コード「NX NASTRAN」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 4-1 (1/3) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 11) の解析モデル



K6 ① VI-2-11-2-2-4(2) R0

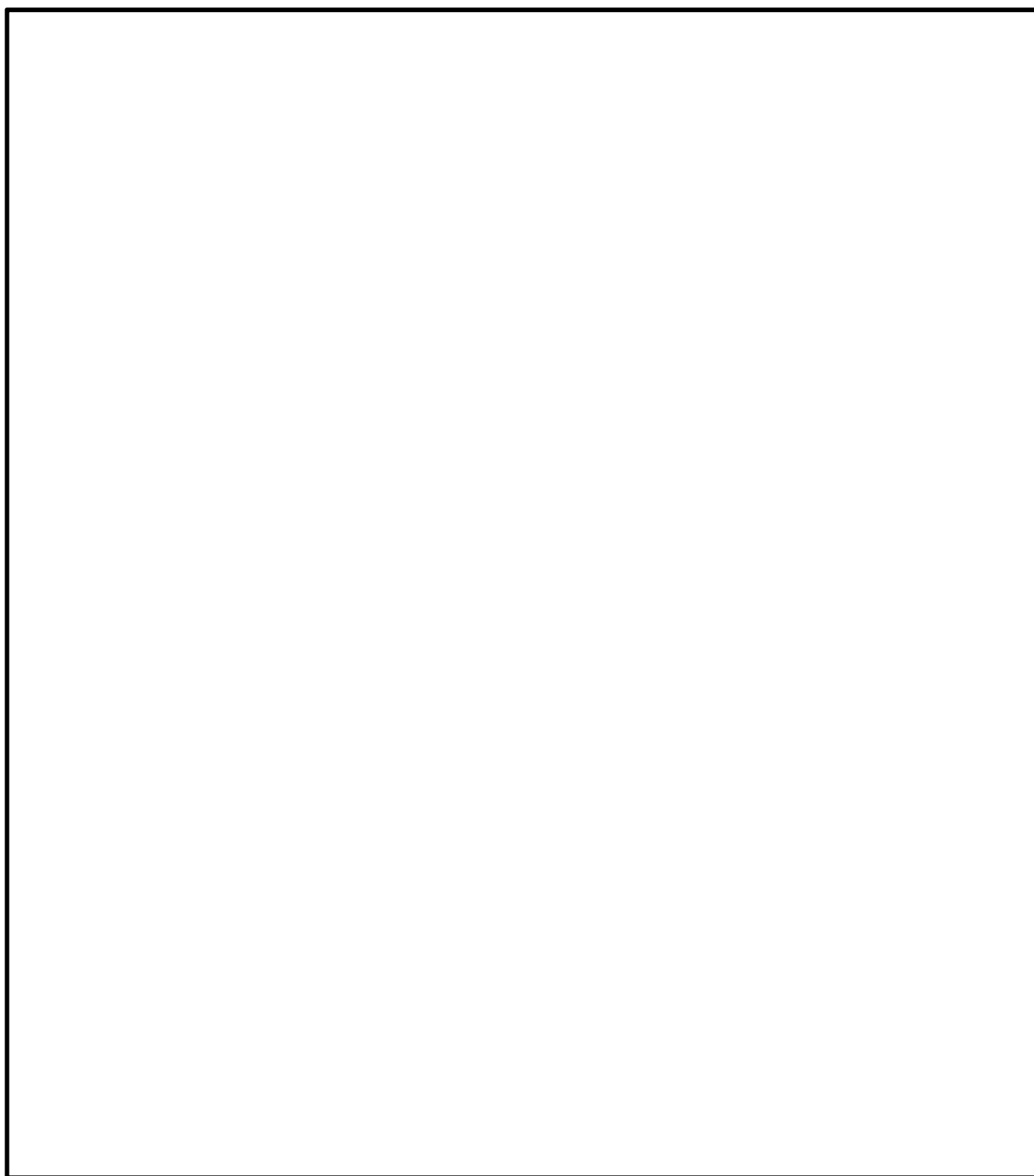


図 4-1 (2/3) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(A)) の解析モデル

K6 ① VI-2-11-2-2-4(2) R0

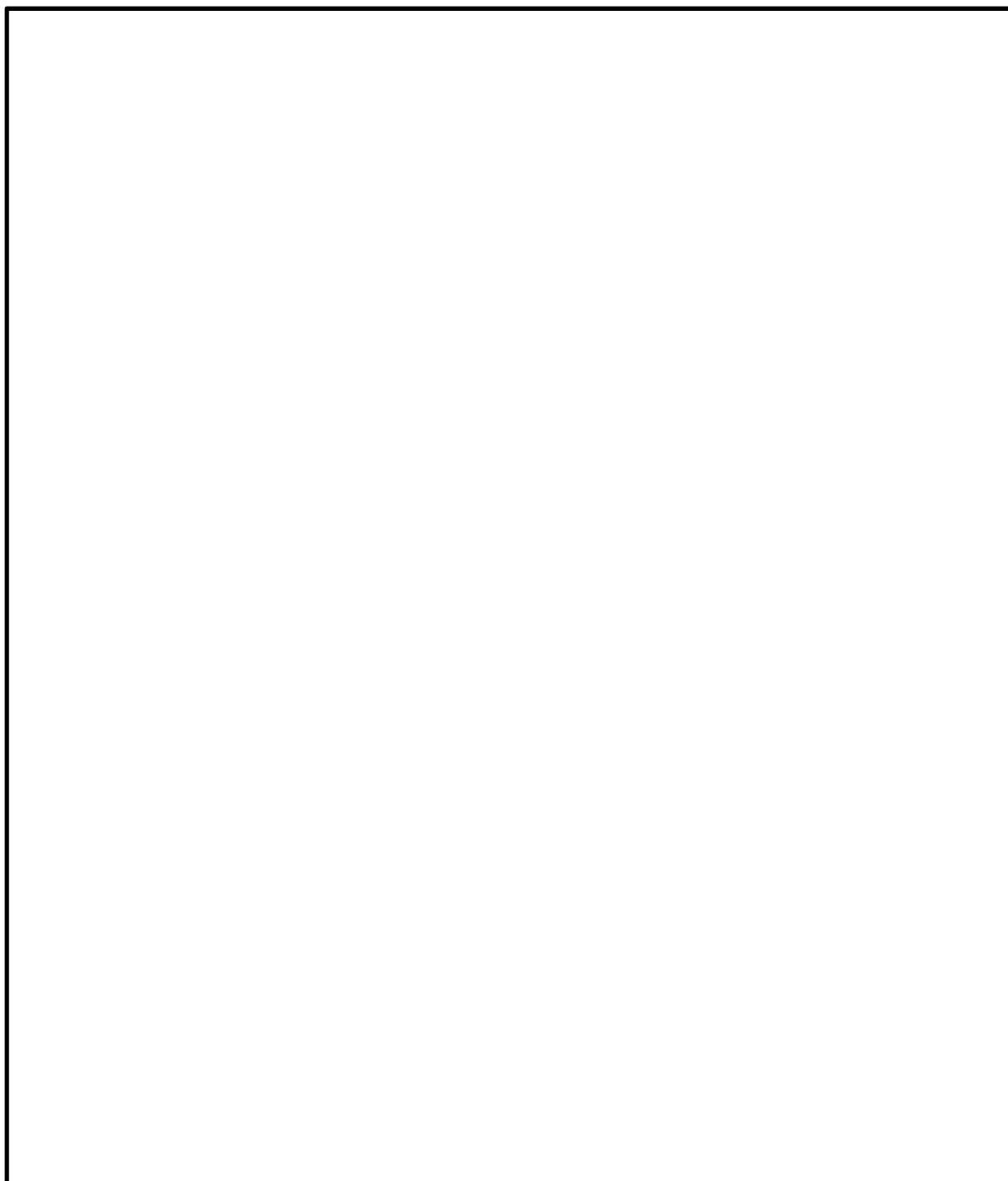


図 4-1 (3/3) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(B)) の解析モデル

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-6 (1/3) 固有値解析結果 (No. 11)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1	水平	0.038	—	—	—
4	鉛直	0.010	—	—	—

表 4-6 (2/3) 固有値解析結果 (No. 12(A))

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1	水平	0.028	—	—	—
8	鉛直	0.006	—	—	—

表 4-6 (3/3) 固有値解析結果 (No. 12(B))

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1	水平	0.034	—	—	—
21	鉛直	0.005	—	—	—

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

No.	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
11	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.038	0.010	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$
12(A)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.028	0.006	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$
12(B)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.034	0.005	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

No.	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
11	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.038	0.010	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$
12(A)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.028	0.006	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$
12(B)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.034	0.005	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素での膜力 $F_{s x}$ 、 $F_{s y}$ 、せん断力 $F_{s x y}$ 、曲げモーメント $M_{s x}$ 、 $M_{s y}$ 及びねじりモーメント $M_{s x y}$ により組合せ応力を次のように求める。

##### a. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau^2}$$

ここで、

$$\sigma_x = \frac{F_{s x}}{A_s} \pm \frac{M_{s x}}{Z_b}, \quad \sigma_y = \frac{F_{s y}}{A_s} \pm \frac{M_{s y}}{Z_b}$$

$$\tau = \frac{F_{s x y}}{A_s} \pm \frac{M_{s x y}}{Z_t}$$

#### (2) 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 $N_t$ 、 $N_c$ 、せん断力 $Q_y$ 、 $Q_z$ 及び曲げモーメント $M_y$ 、 $M_z$ により各応力を次のように求める。

##### a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

##### b. せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s y}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s z}}$$

##### c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{b y} + \sigma_{b z}$$

$$\sigma_{b y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

d. 組合せ応力

(a) 圧縮+曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*}\right)$$

(b) 引張り+曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b^*}\right)$$

(c) 曲げ+せん断

$$\max\left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_z^2}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_y^2}}{1.5 \cdot f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合は  $\sigma_c$  を  $\sigma_t$  とする。

(3) アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は、解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端の反力  $R_x$ 、 $R_y$  及び  $R_z$  により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_x$$

b. せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 $f_t$ 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は1以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_c$	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

### 4.8.3 アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重  $p$  及びせん断荷重  $q$  が許容値以下であること。また、引張応力比とせん断応力比の二乗和が1以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との 組合せの場合
許容引張力 $p_a$	$\min(p_{a1}, p_{a3}) \cdot n_f$
許容せん断力 $q_a$	$\min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}) \cdot n$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

ただし、

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{ce}$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

低減係数  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、以下の表のとおり。

	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

$$\alpha_n = 0.5 \cdot \left(\frac{c_n}{L_e}\right) + 0.5 \quad (n = 1, 2, 3)$$

なお、 $(c_n/L_e) \geq 1.0$  の場合は、 $(c_n/L_e) = 1.0$ 、 $L_e \geq 10d$  の場合は、 $L_e = 10d$  とする。

ボルトの基本平均付着強度  $\tau_{bavg}$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、カプセル方式・有機系の  $10 \cdot \sqrt{F_c/21}$  とする。



短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さ $L_e$ は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geq \frac{s \sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

換気空調系ダクト防護壁 (No. 11, No. 12 (A), No. 12 (B)) の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため、記載を省略する。

【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
換気空調系ダクト防護壁 (No. 11)	C	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.038	0.010	C <sub>H</sub> =1.88	C <sub>V</sub> =1.15	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(A))	C	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.028	0.006	C <sub>H</sub> =1.88	C <sub>V</sub> =1.15	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(B))	C	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.034	0.005	C <sub>H</sub> =1.88	C <sub>V</sub> =1.15	—	40

1.2 機器要目

m (kg)			d (mm)	s <sub>c</sub> a (mm <sup>2</sup> )	n			n <sub>i</sub>		
No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)			No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)	No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p <sub>a</sub> (N)			q <sub>a</sub> (N)		
						No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)	No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)
防護鋼板	SUS304					—	—	—	—	—	—
架構	SUS304					—	—	—	—	—	—
アンカボルト	SUS304			—	—						

No.	材料	E (MPa)	$\nu'$	$l_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$	要素番号
11	SUS304 [Redacted]	194000	[Redacted]				8, 24
12(A)	SUS304 [Redacted]	194000					76
12(B)	SUS304 [Redacted]	194000					38

	No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)
	要素番号	要素番号	要素番号
	8, 24	76	38
材料	[Redacted]		
A (mm <sup>2</sup> )			
Z y (mm <sup>3</sup> )			
Z z (mm <sup>3</sup> )			

1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の荷重

(単位：N)

No.	要素番号	節点番号	$F_{sx}$	$F_{sy}$	$F_{sxy}$
			基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
11	978	—			
12(A)	399	—			
12(B)	1150	—			

注：添字  $x$ ， $y$  は要素に与えられた座標軸。

1.3.2 鋼板のモーメント

(単位：N・mm)

No.	要素番号	節点番号	$M_{sx}$	$M_{sy}$	$M_{sxy}$
			基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$	基準地震動 $S_s$
11	978	—			
12(A)	399	—			
12(B)	1150	—			

注：添字  $x$ ， $y$  は要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構の荷重

(単位：N)

No.	要素番号	節点番号	$N_t$	$N_c$	$Q_y$	$Q_z$
			基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
11	8	—				
	24	—				
	63	—				
12(A)	76	—				
	122	—				
12(B)	38	—				
	260	—				

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.4 架構のモーメント

(単位：N・mm)

No.	要素番号	節点番号	$M_y$	$M_z$
			基準地震動 S s	基準地震動 S s
11	8	—		
	24	—		
	63	—		
12(A)	76	—		
	122	—		
12(B)	38	—		
	260	—		

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.5 アンカボルトの荷重

(単位：N)

No.	要素番号	節点番号	$R_x$	$R_y$	$R_z$
			基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
11	—	4			
12(A)	—	31			
12(B)	—	3			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.6 アンカボルトに作用する力

(単位：N)

No.	要素番号	節点番号	p	q
			基準地震動 S s	基準地震動 S s
11	—	4		
12(A)	—	31		
12(B)	—	3		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

No.	モード	方向	固有周期
11	1	水平	0.038
	4	鉛直	0.010
12(A)	1	水平	0.028
	8	鉛直	0.006
12(B)	1	水平	0.034
	21	鉛直	0.005

1.4.2 応力

(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
No. 11	防護鋼板	SUS304	組合せ	978	—			
	架構	SUS304	引張り	8	—			
			圧縮	8	—			
			せん断	63	—			
			曲げ	24	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	8	—			単位：なし
			組合せ (引張り+曲げ)	24	—			単位：なし
			組合せ (曲げ+せん断)	8	—			単位：なし
	アンカボルト	SUS304	引張り	—	4			単位：N
			せん断	—	4			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	4			単位：なし

すべて許容応力以下である。



(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
No. 12(A)	防護鋼板	SUS304	組合せ	399	—			
	架構	SUS304	引張り	76	—			
			圧縮	76	—			
			せん断	122	—			
			曲げ	76	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	76	—			単位：なし
			組合せ (引張り+曲げ)	76	—			単位：なし
			組合せ (曲げ+せん断)	76	—			単位：なし
	アンカボルト	SUS304	引張り	—	31			単位：N
			せん断	—	31			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	31			単位：なし

すべて許容応力以下である。





(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
No. 12(B)	防護鋼板	SUS304	組合せ	1150	—			
	架構	SUS304	引張り	38	—			
			圧縮	38	—			
			せん断	260	—			
			曲げ	38	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	38	—			単位：なし
			組合せ (引張り+曲げ)	38	—			単位：なし
			組合せ (曲げ+せん断)	38	—			単位：なし
	アンカボルト	SUS304	引張り	—	3			単位：N
			せん断	—	3			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	3			単位：なし

すべて許容応力以下である。

