

VI-2-10-2-8-3 浸水防止蓋  
(揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内) ) 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	3
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
3.	評価対象部位	7
4.	固有値解析	8
4.1	固有振動数の計算方法	8
4.2	固有振動数の計算条件	9
4.3	固有振動数の計算結果	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重及び荷重の組合せ	10
5.3	許容限界	11
5.4	設計用地震力	12
5.5	評価方法	13
5.6	評価条件	17
6.	評価結果	18
7.	揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価	19
7.1	揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の構造概要	19
7.2	評価方針	20
7.3	適用基準	22
8.	地震応答解析	23
8.1	評価対象断面	23
8.2	評価方針	26
8.3	地盤の応答解析モデル	27
8.4	地盤応答	45
9.	耐震評価	46
9.1	評価方針	46
9.2	許容限界	46
9.3	評価方法	47
9.4	評価結果	49

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に設置する。  
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

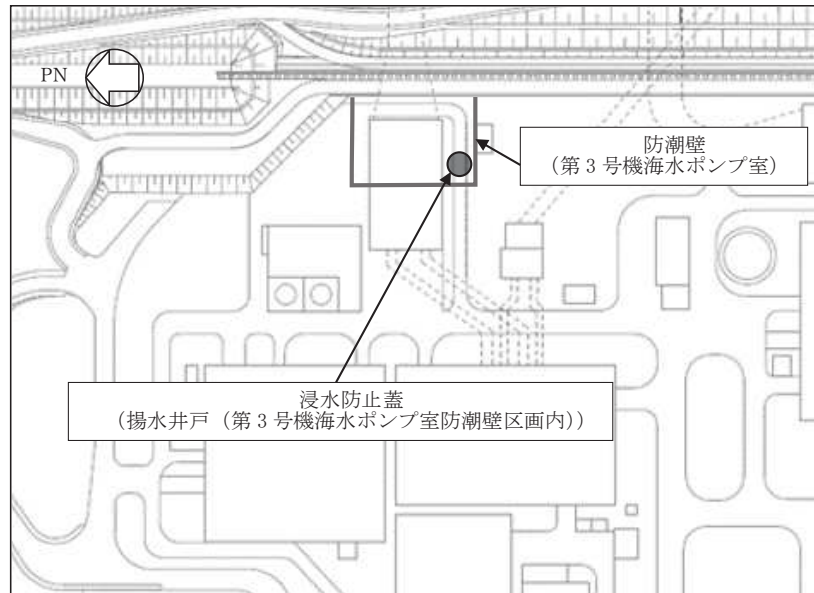


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図



## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、円形のスキンプレートによる構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	<p>The diagram illustrates the construction of the water prevention cover. It consists of a circular skin plate (浸水防止蓋) which is secured to the structure above the wellhead by fixed bolts (固定ボルト). A cross-section A-A shows the cover's profile and its attachment points.</p>

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。耐震評価フローを図2-2に示す。

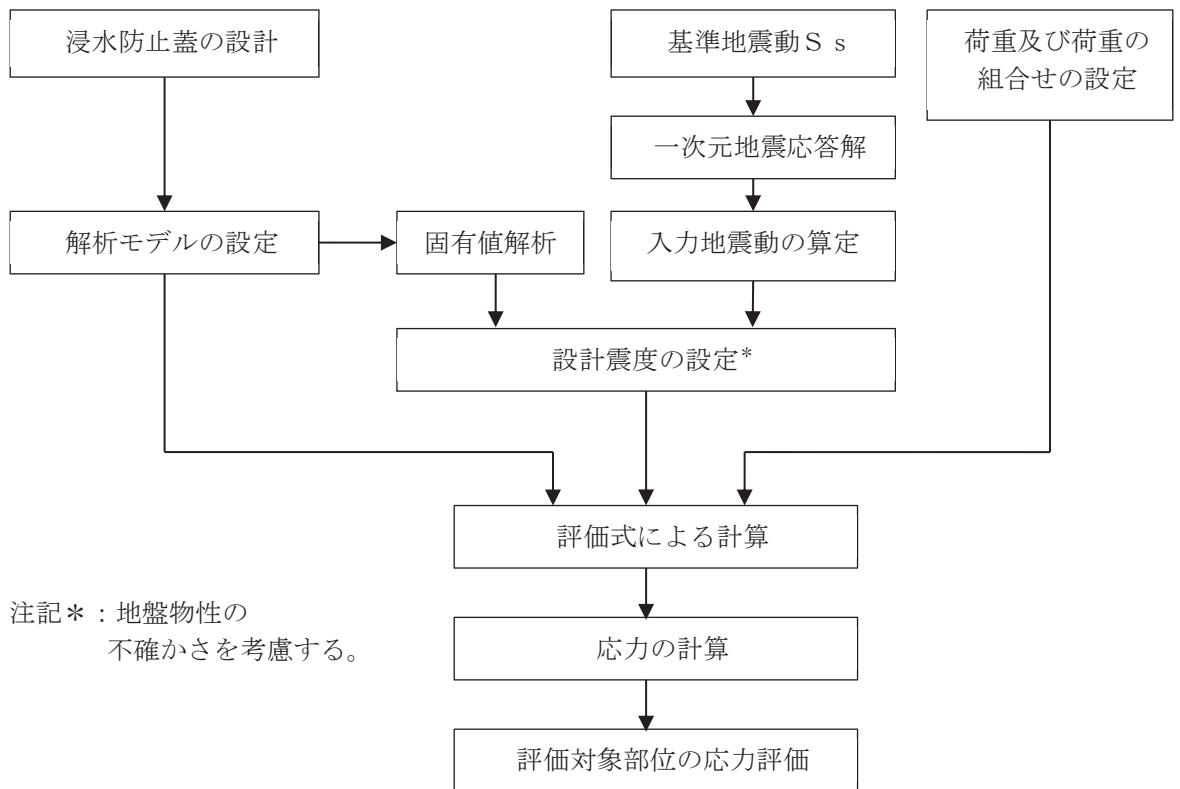


図2-2 耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（日本建築学会，2005 改定）
- (2) 機械工学便覧（日本機械学会，2005 改訂）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
$S_s$	kN	基準地震動 $S_s$ による地震荷重
$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
$G$	kN	固定荷重
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	$N/m^2$	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	$m^2$	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	$kN/m^2$	単位面積当りの等分布荷重
$\tau$	$N/mm^2$	最大せん断応力度
$\sigma$	$N/mm^2$	最大曲げ応力度
$x$	$N/mm^2$	組合せ応力度
$a$	mm	スキンプレーットの半径
$t$	mm	スキンプレーットの厚さ
$N$	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
$A'$	$mm^2$	固定ボルトの有効断面積
$\sigma_t$	$N/mm^2$	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
$\tau_s$	$N/mm^2$	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレートに伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。評価対象部位を図3-1に示す。

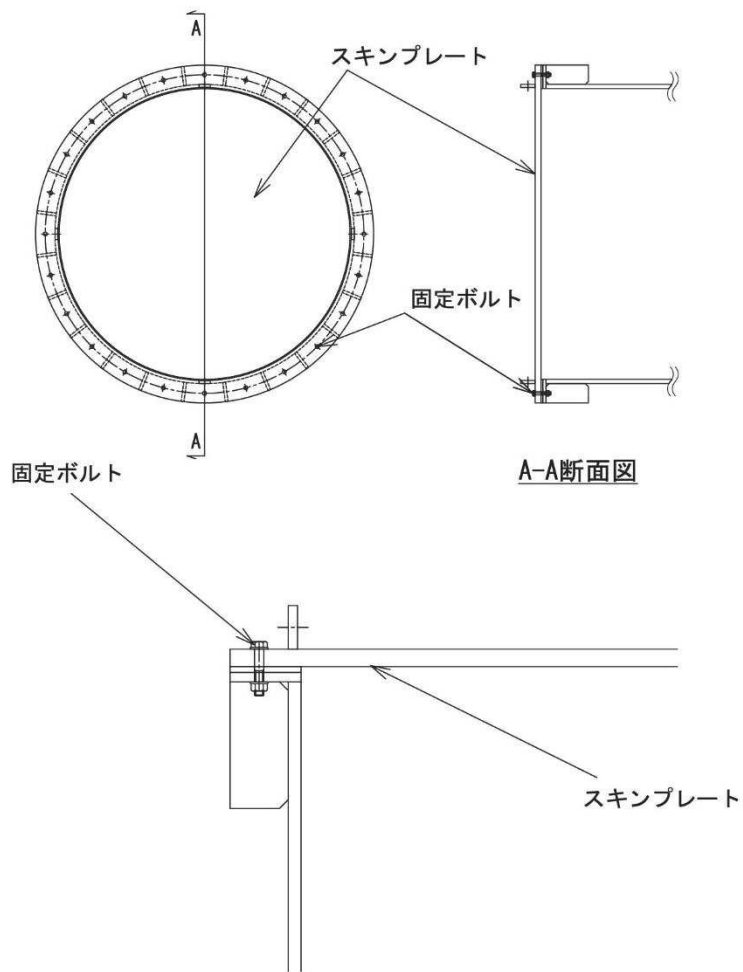


図3-1 評価対象部位

#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

##### 4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、剛な断面を有しているとともに、固定ボルトを介し、浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋を両端ピン支持に単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、スキンプレーットの直径とする。図 4-1 に解析モデル図を示す。

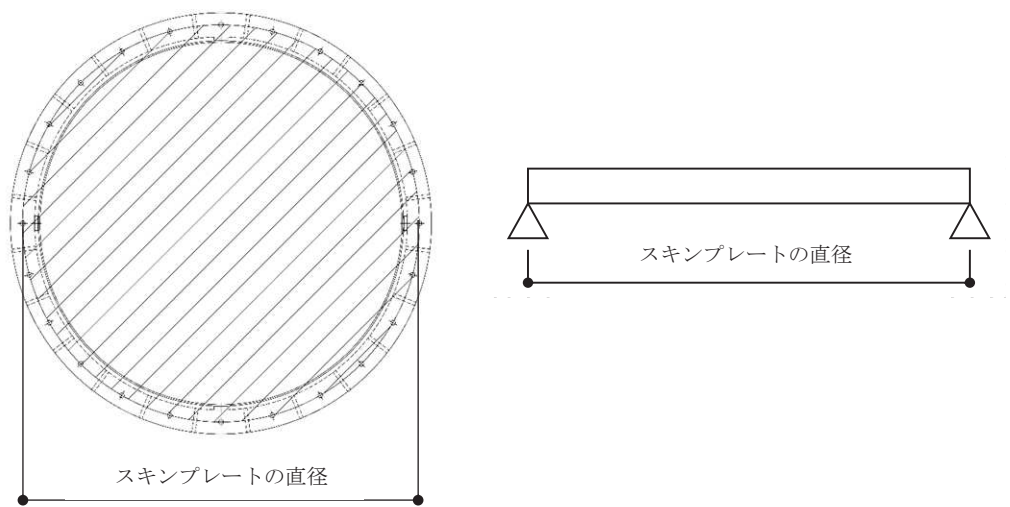


図 4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

#### 4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はりの長さ (スキンプレートの直径)
E	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
I	mm <sup>4</sup>	スキンプレートの断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

#### 4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

#### 4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

はり長さ L  (mm)	ヤング率 E  (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I  (mm <sup>4</sup> )	質量分布 m  (kg/mm)
1644	2.05 × 10 <sup>5</sup>	3.70 × 10 <sup>6</sup>	3.87 × 10 <sup>-1</sup>

#### 4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

固有振動数 (Hz)	25.73
---------------	-------

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)

#### 5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

##### (1) 固定荷重 ( $G$ )

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

##### (2) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $W_s$  : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)  
 $d_s$  : 積雪高さ 43 (cm)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)



(3) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k$  : 基準地震動  $S_s$  の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成するスキンプレート、固定ボルトの使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 30 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16

5.3.2 許容限界 (スキンプレート、固定ボルト)

鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえて表 5-2 の値とする。

表 5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

#### 5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数が20Hz以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は「8. 地震応答解析」に示す地震応答解析結果を用いる。

耐震評価で用いる設計震度を表5-3に示す。

表5-3 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 $S_s$ の設計震度	
		水平方向 $k_H$	鉛直方向 $k_v$
揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	0.52	1.34

## 5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成するスキンプレート及び固定ボルトに発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。スキンプレートについては、評価上最も厳しい条件となる断面で評価を実施する。図 5-1 に評価の対象とするスキンプレートを示す。また、図 5-2 に固定ボルトの納まりを示す。

### 5.5.1 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は周辺支持の円板とし、図 5-2 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会，2005 改訂）」より以下の式にて算出する。

- (1) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重  $W_{ss}$

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

- (3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会，2005 改訂）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = 1.24 \cdot W_{ss} \cdot a^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、  
 $\sigma$  : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $a$  : スキンプレートの半径 (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

- (4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度  $\tau$   
 スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会，2005 改訂）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot A \cdot 10^{-3} / (2 \cdot \pi \cdot a \cdot t)$$

ここで、 $\tau$  : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $a$  : スキンプレートの半径 (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

- (5) スキンプレートに作用する組合せ応力度  
 スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（日本建築学会，2005 改定）」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで、 $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

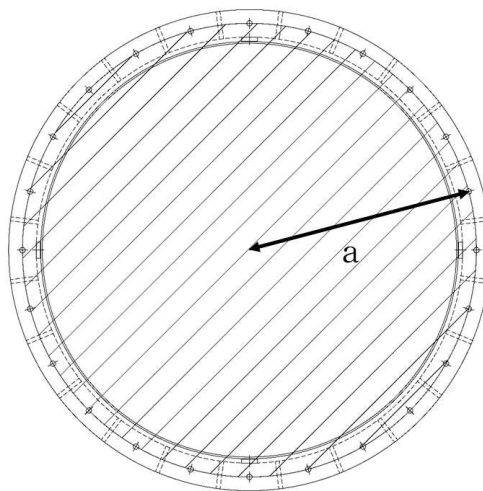


図 5-1 評価の対象とするスキンプレート

### 5.5.2 固定ボルト

- (1) 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度  $\sigma_t$

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、  
 $T_s = S_s / N$

$\sigma_t$  : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (N/mm)  
 $T_s$  : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数  
 $A'$  : 固定ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (4) 固定ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力度  $\tau_s$

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、  
 $q_s = S_s / N$

$\tau_s$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $q$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数  
 $A'$  : 固定ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

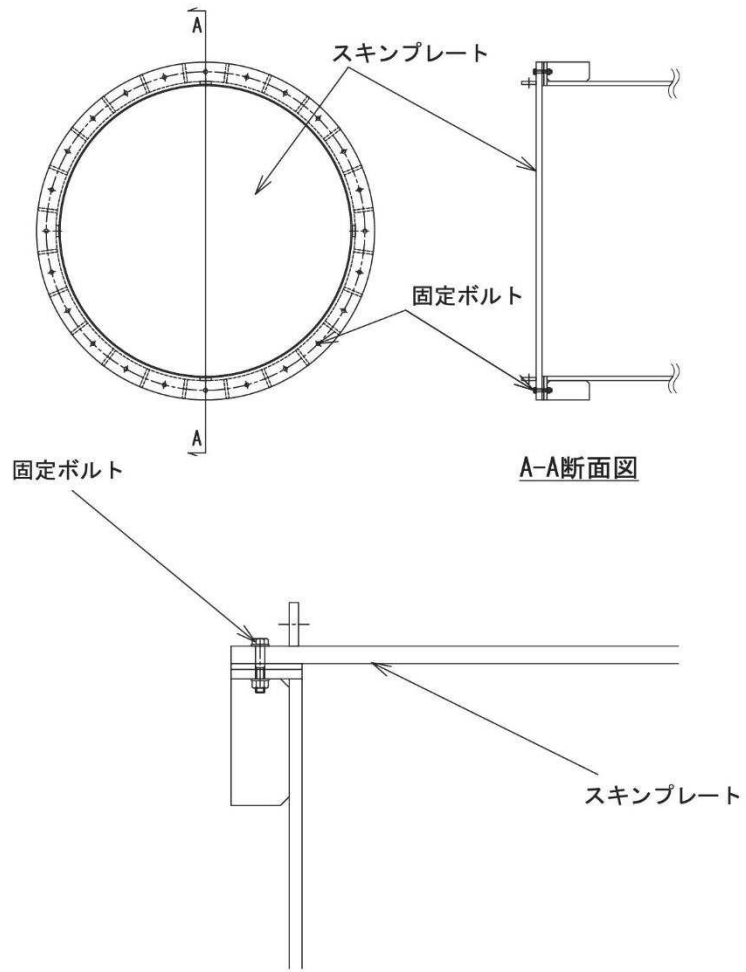


図5-2 固定ボルトの納まり

## 5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-4 に示す。

表 5-4 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	G	kN	スキンプレーートの固定荷重	5.59
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.72
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	2.39
	a	mm	スキンプレーートの半径	822
固定ボルト	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	24
	A'	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの有効断面積	157

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 浸水防止蓋の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
スキンプレート	曲げ	6	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
固定ボルト	引張	3	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0



## 7. 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価

### 7.1 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の構造概要

揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）（以下「揚水井戸」という）は、鋼製シャフトからなる構造物であり、MMR を介し CM 級岩盤に設置する。揚水井戸の頂部開口部に浸水防止蓋を設置する。

揚水井戸に要求される機能の維持を確認するに当たっては、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。

## 7.2 評価方針

揚水井戸の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 7-1 に示すとおり、構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する応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おいては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

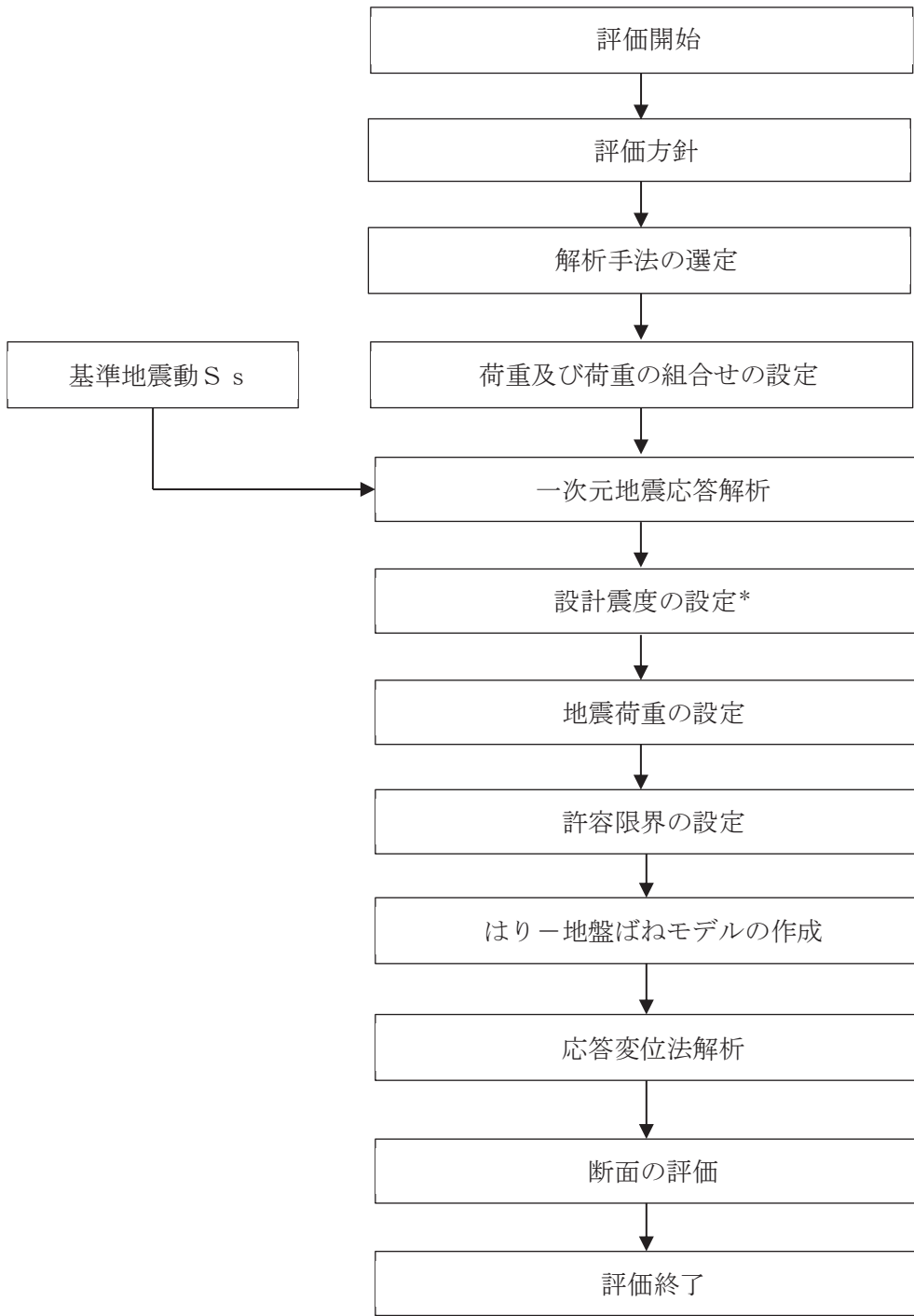
構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

揚水井戸の耐震評価フローを図 7-1 に示す。

表 7-1 揚水井戸の評価項目

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	鋼製シャフト	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。



注記\*：一次元地震応答解析にて算出された最大加速度による設計震度を設定する。

図 7-1 揚水井戸の耐震評価フロー

### 7.3 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- (1)道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会 平成14年3月）
- (2)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）
- (3)原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会）

## 8 地震応答解析

### 8.1 評価対象断面

評価対象断面の断面位置を図 8-1 に示す。また、揚水井戸の断面図を図 8-2 及び揚水井戸設置位置の地質状況を図 8-3 に示す。

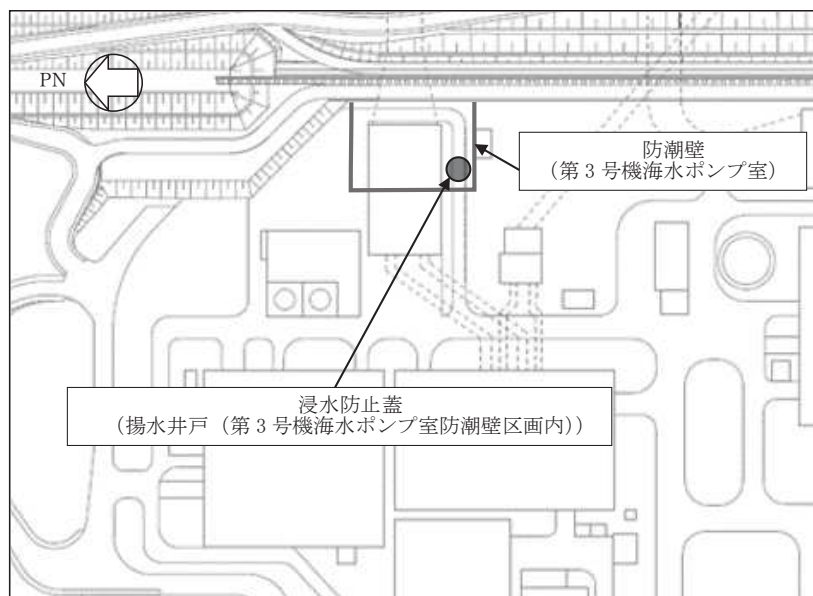


図 8-1 揚水井戸の平面配置図

	1.80	O. P. +13.8m
		O. P. +12.0m (JOINT)
	4.50	
		O. P. +7.5m (JOINT)
	4.50	
		O. P. +3.0m (JOINT)
	4.50	
		O. P. -1.5m (JOINT)
	4.50	
		O. P. -6.0m (JOINT)
	4.50	
		O. P. -10.5m (JOINT)
	4.50	
		O. P. -15.0m

図 8-2 揚水井戸 構造概要図 (単位 : m)



図 8-3 揚水井戸設置位置の地質状況

## 8.2 評価方針

揚水井戸設置位置の地盤の応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 $S_s$ 及び弾性設計用地震動 $S_d-D2$ に対して実施する。

地盤の応答解析は、「8.3 地盤の応答解析モデル」において設定した地盤モデルに基づき「8.4 地盤応答」を評価する。

地盤モデルには、地盤物性の不確かさを考慮し、地盤応答として最大応答加速度を算出する。



### 8.3 地盤の応答解析モデル

地盤の応答解析は、基準地震動  $S_s$  を用いて添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を踏まえて算定する。設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力して評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念を図 8-4 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図 8-5 に示す。揚水井戸は液状化の影響が及ばないよう周囲を地盤改良するため、解析手法は全応力解析とする。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようなモデル化し、添付書類「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。

地盤の応答解析では地盤物性のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表 8-1 に解析ケースを表 8-2 に示す。

解析コードには、引戻し解析に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地盤の応答解析による設計震度算定には「TDAPⅢ Ver3.11」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

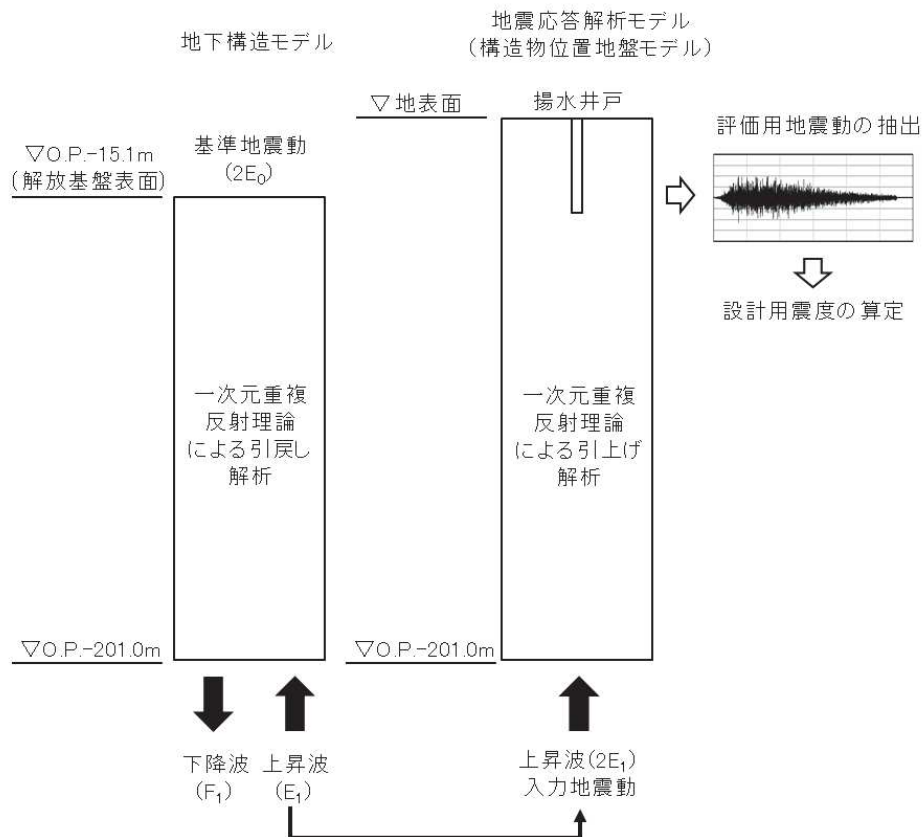


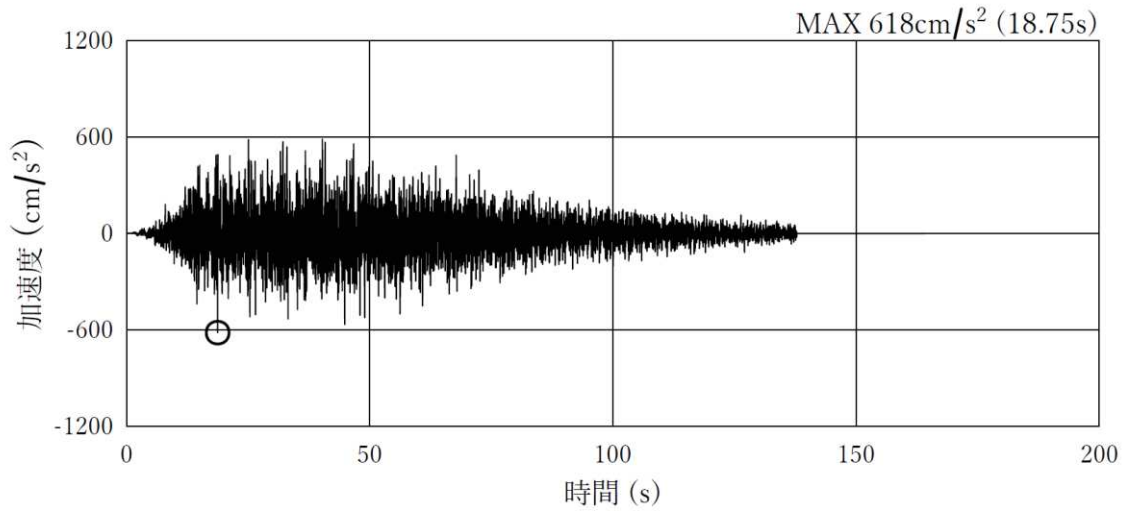
図 8-4 地震応答解析の概念

表 8-1 解析ケース（揚水井戸）

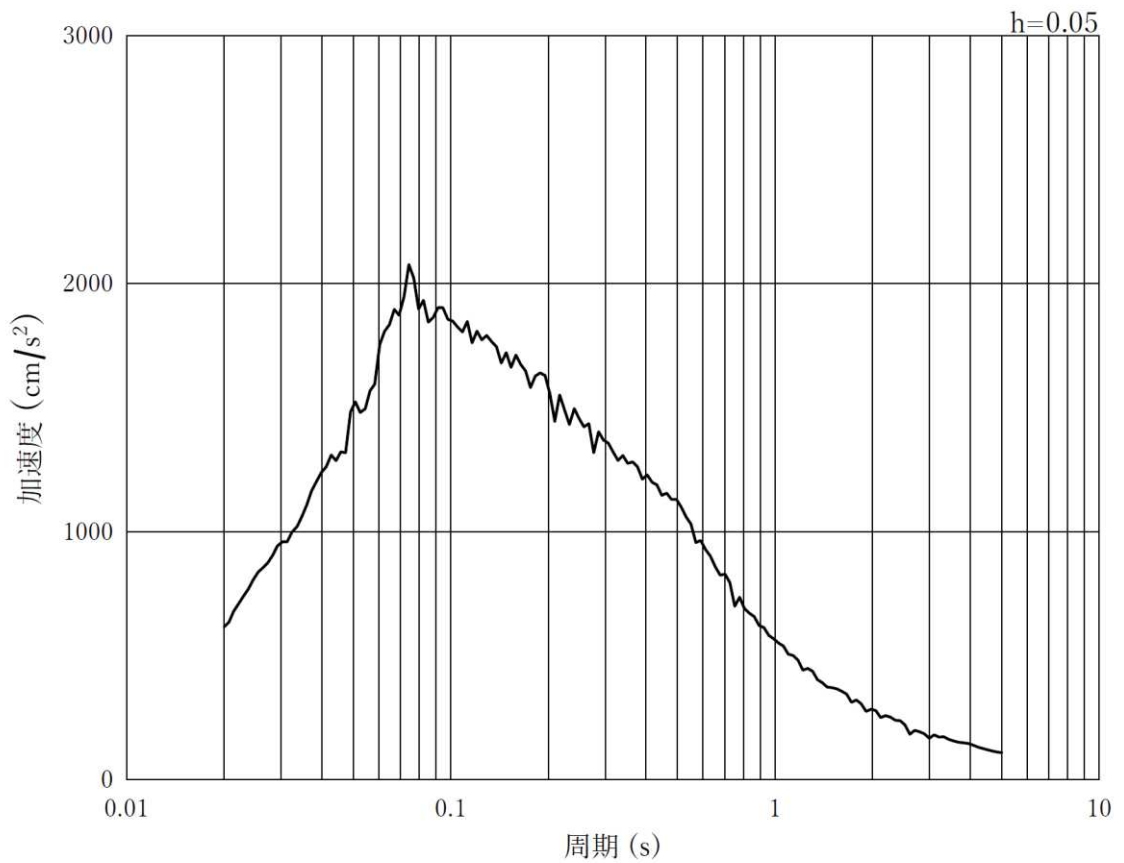
解析ケース	地盤物性
	盛土, 改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + $1\sigma$
ケース③	平均値 - $1\sigma$

表 8-2 設計震度算定における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+ $1\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (- $1\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + $1\sigma$	平均値 - $1\sigma$
地震動	S s - D 1	○	○	○
	S s - D 2	○	○	○
	S s - D 3	○	○	○
	S s - F 1	○	○	○
	S s - F 2	○	○	○
	S s - F 3	○	○	○
	S s - N 1	○	○	○
	S d - D 2	○	○	○

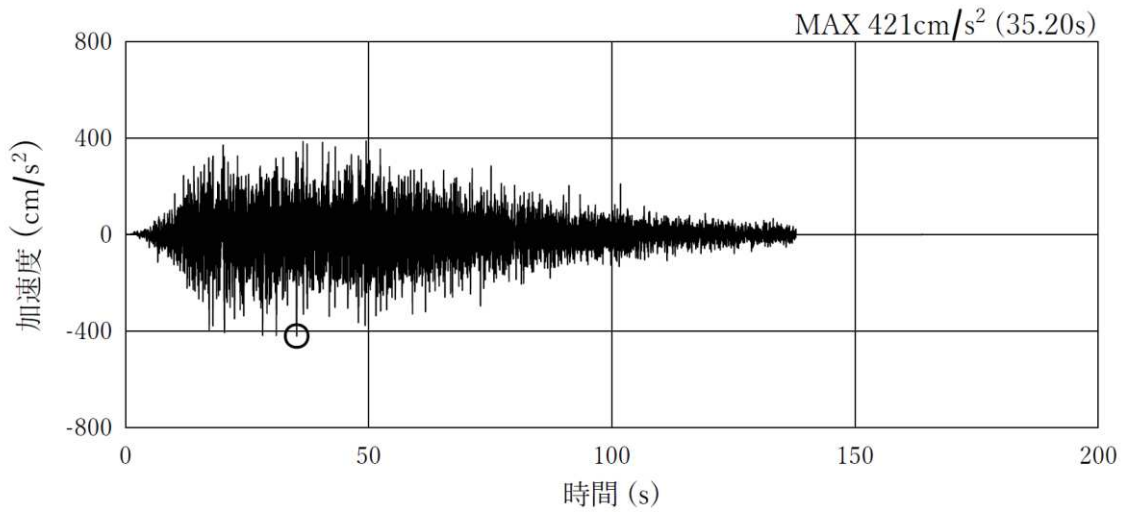


(a) 加速度時刻歴波形

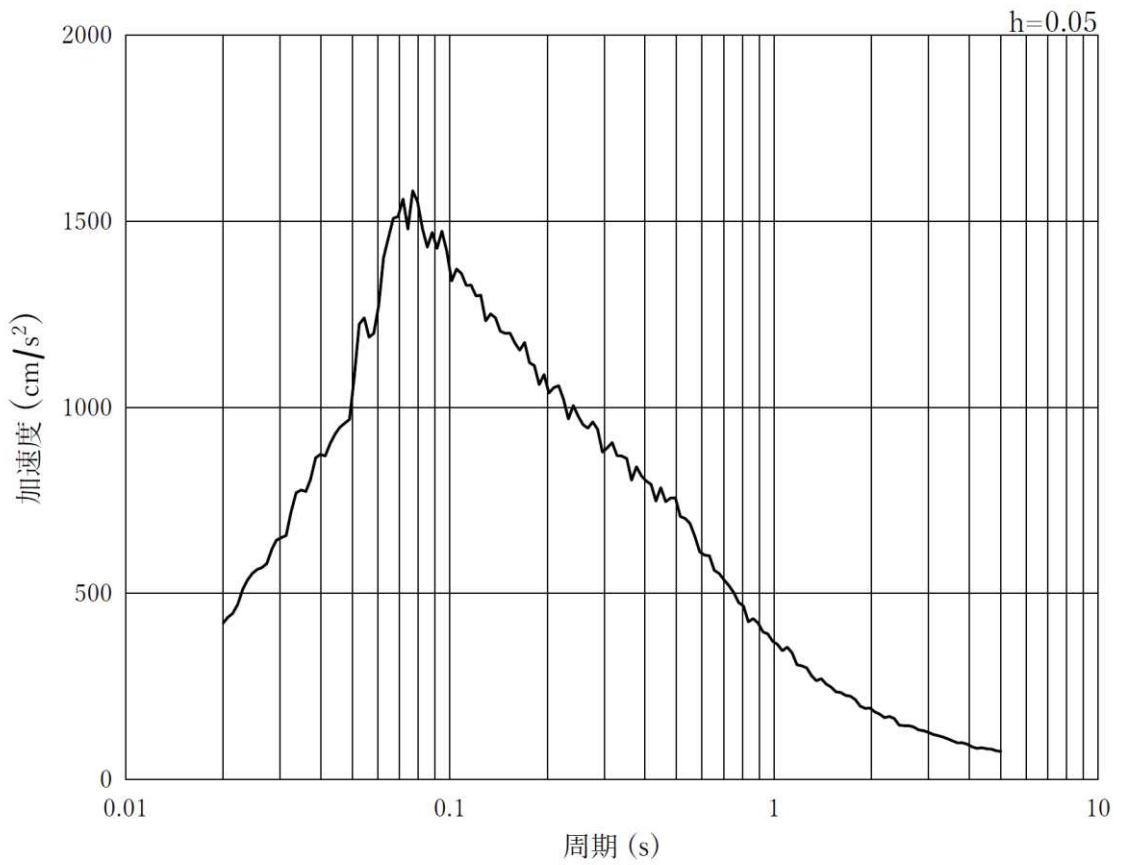


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S s - D 1)

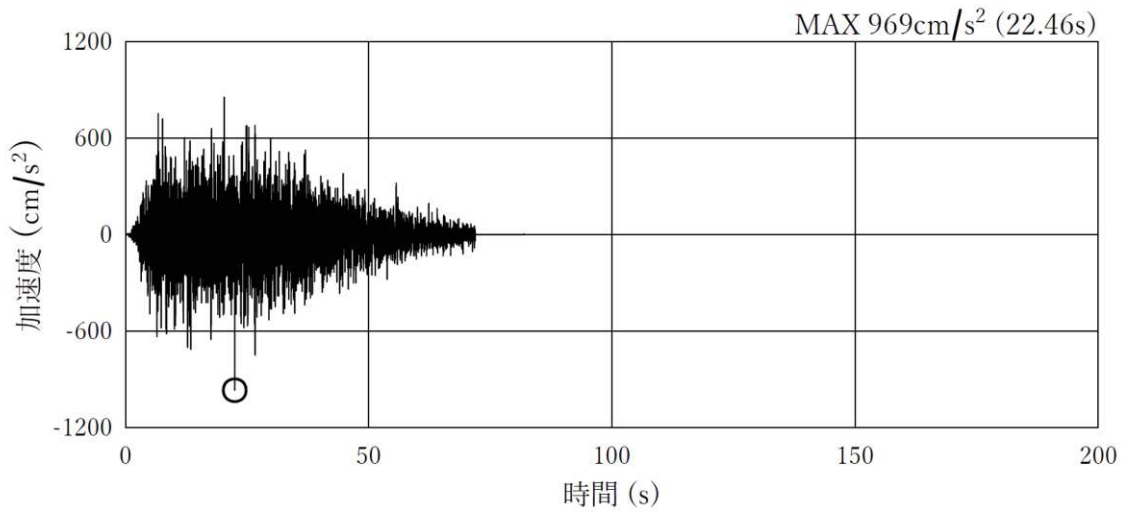


(a) 加速度時刻歴波形

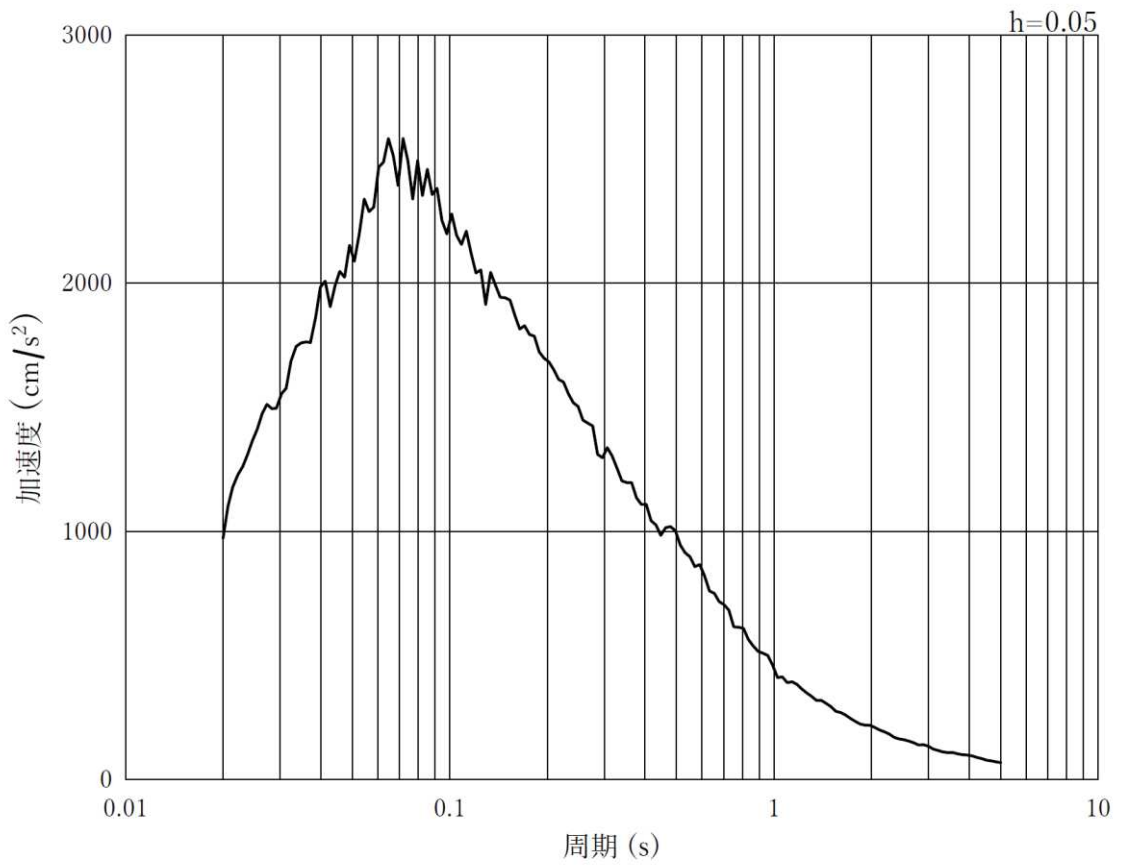


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S s - D 1)

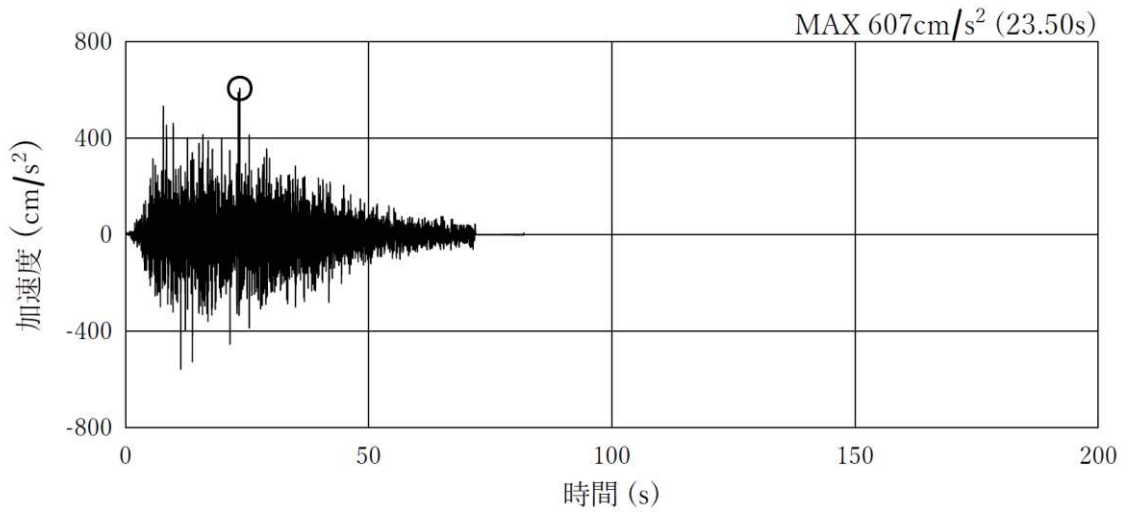


(a) 加速度時刻歴波形

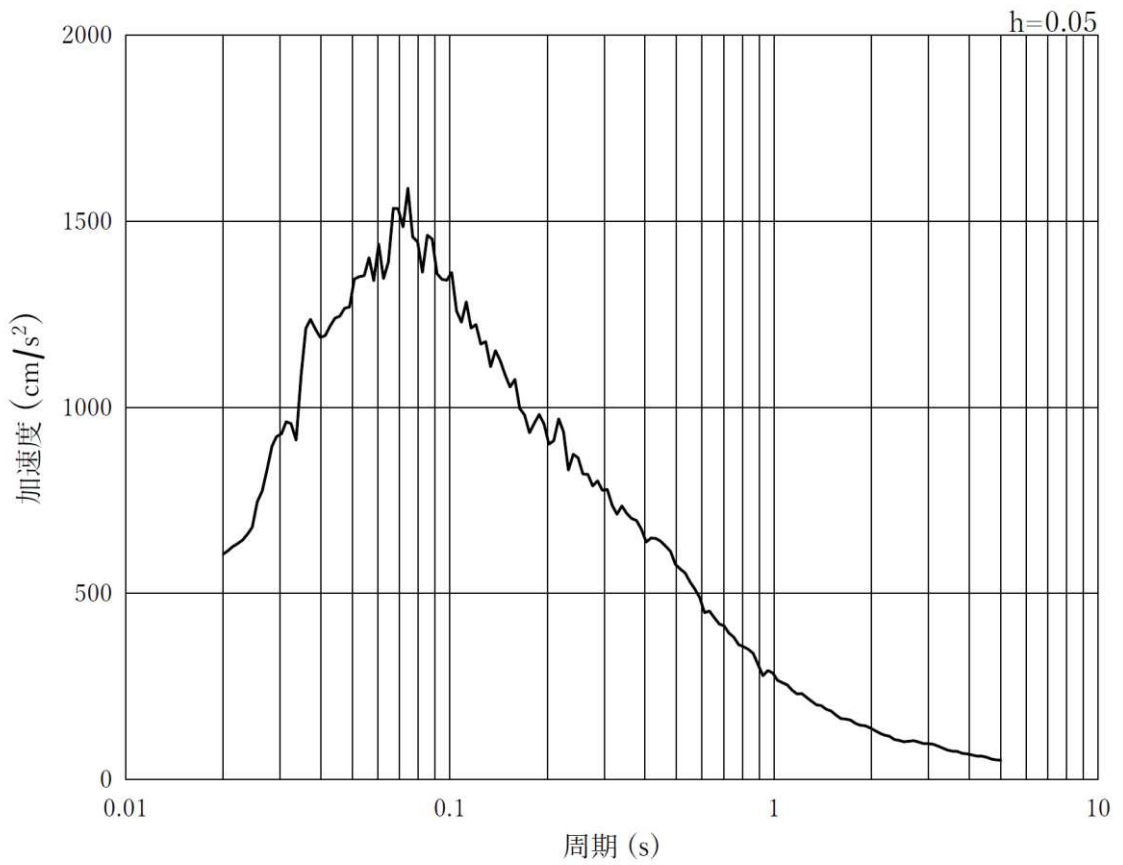


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S s - D 2)

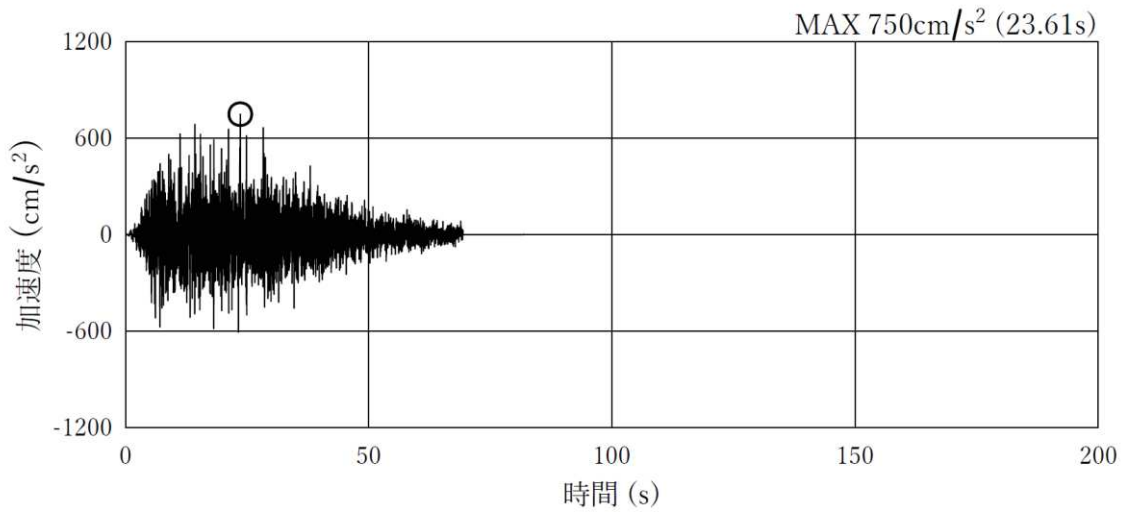


(a) 加速度時刻歴波形

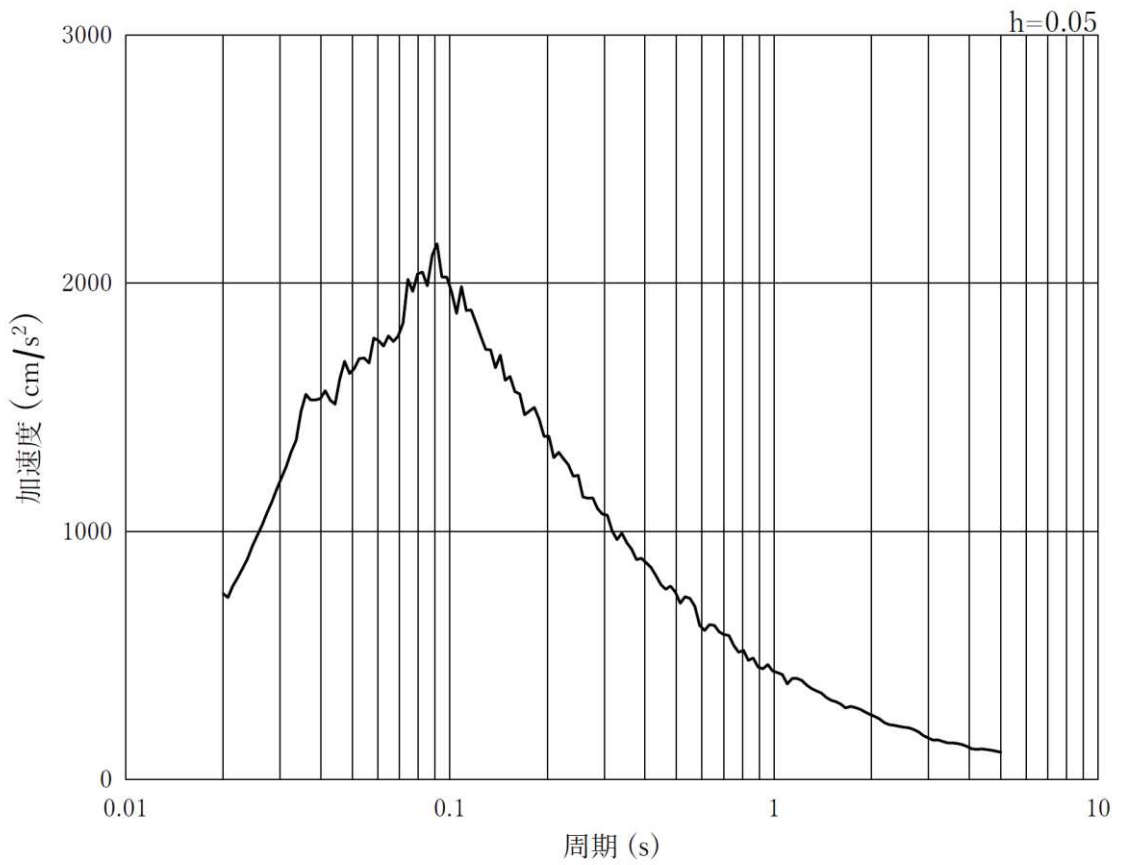


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S s - D 2)

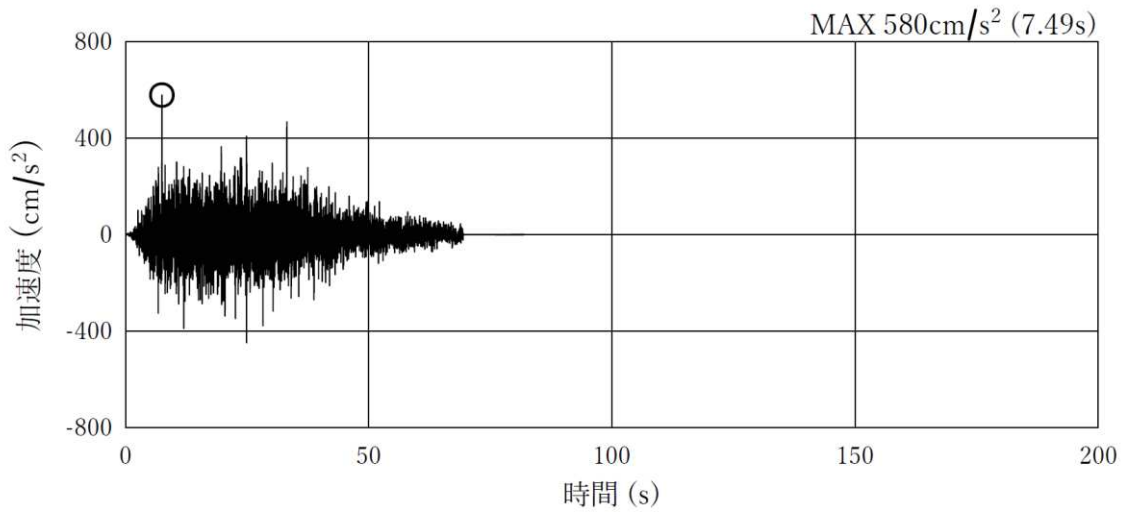


(a) 加速度時刻歴波形

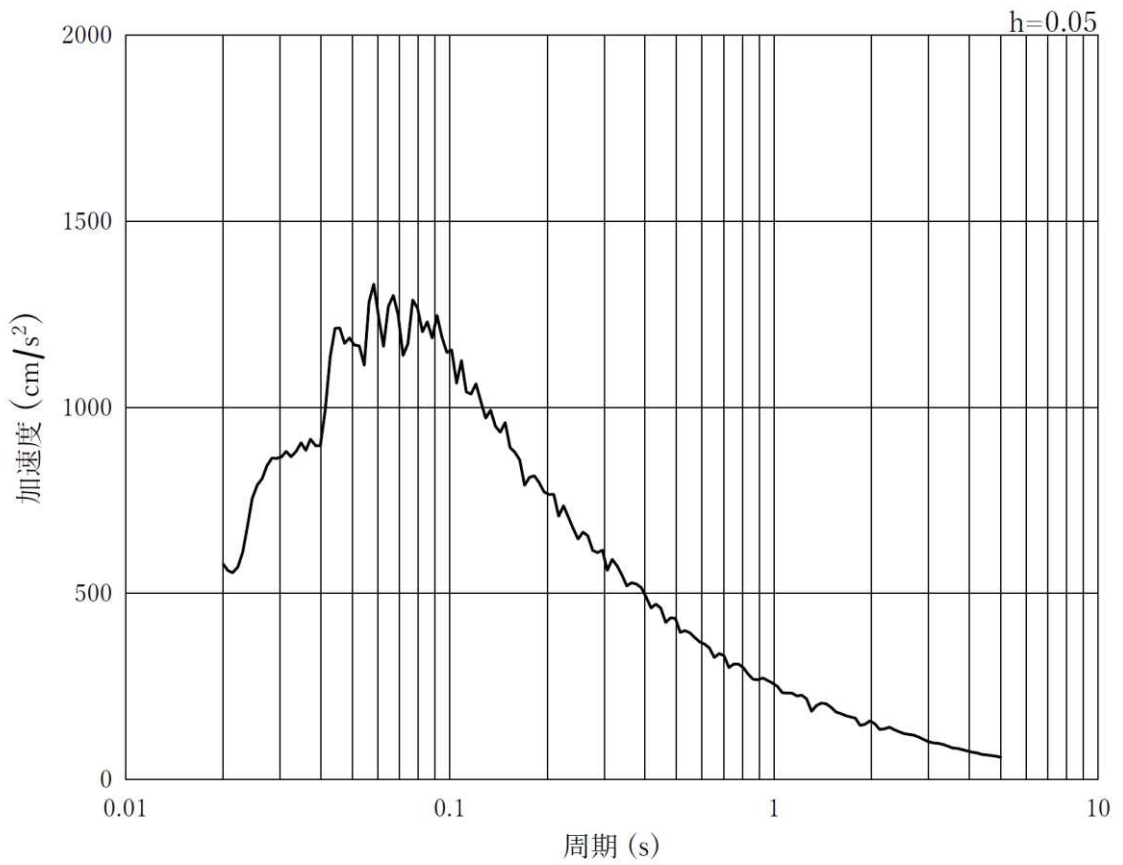


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S s - D 3)



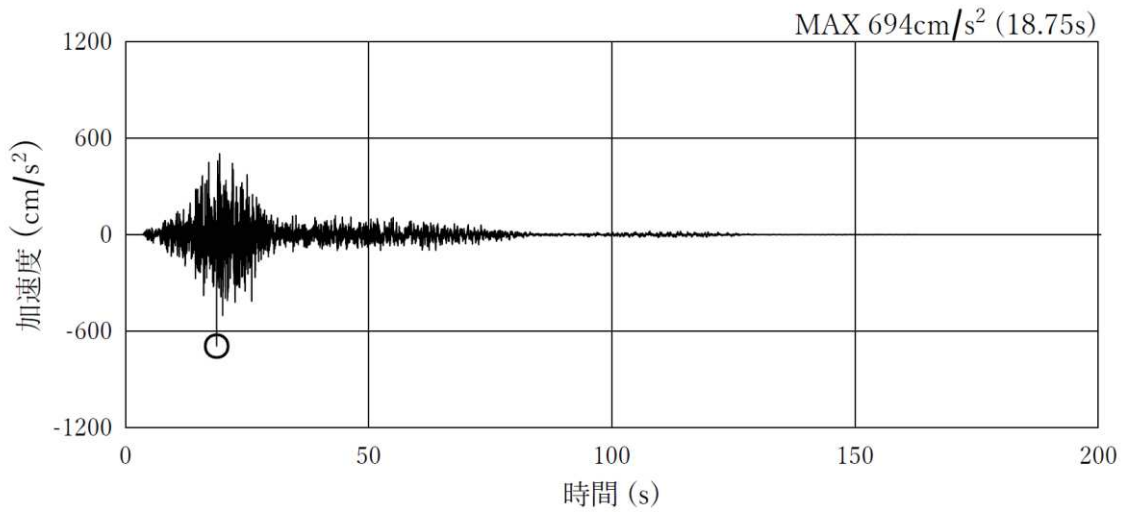
(a) 加速度時刻歴波形



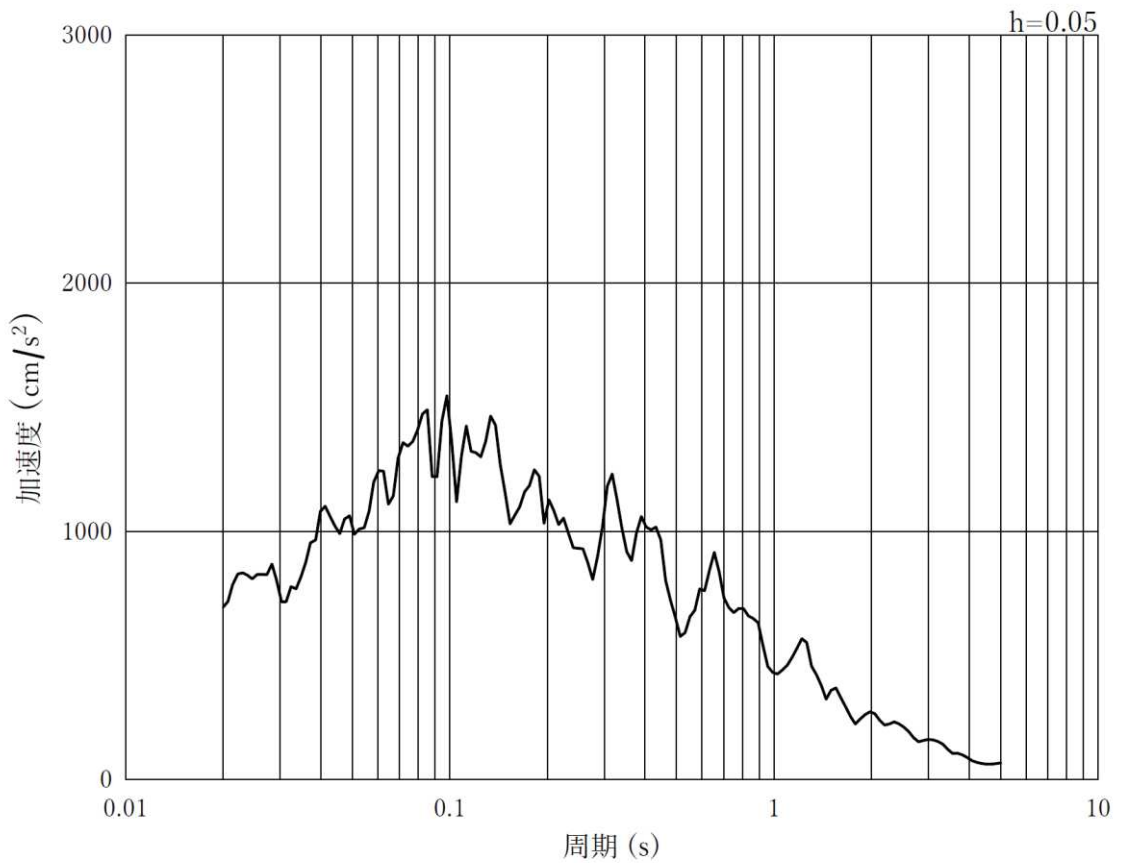
(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S s - D 3)



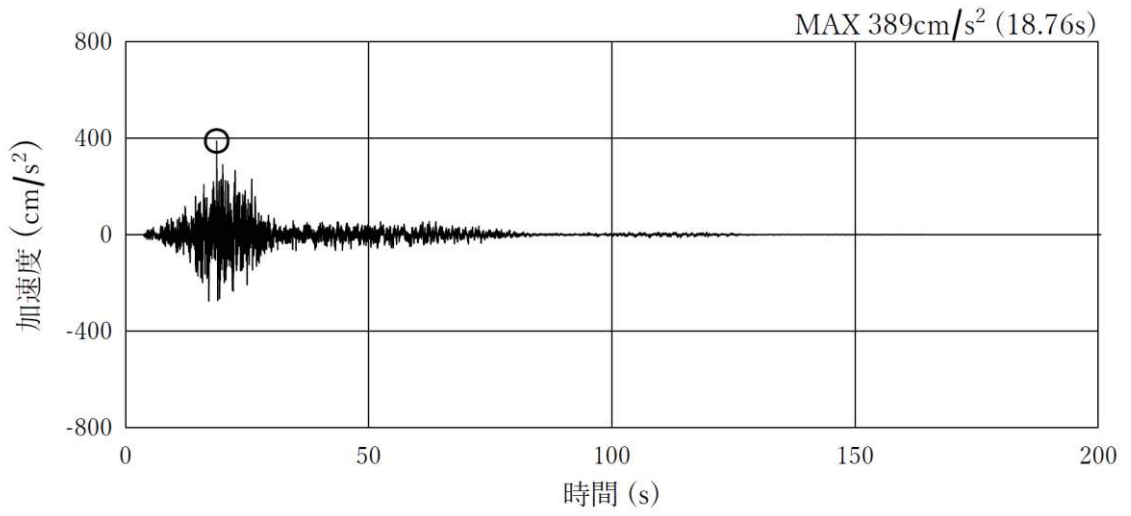


(a) 加速度時刻歴波形

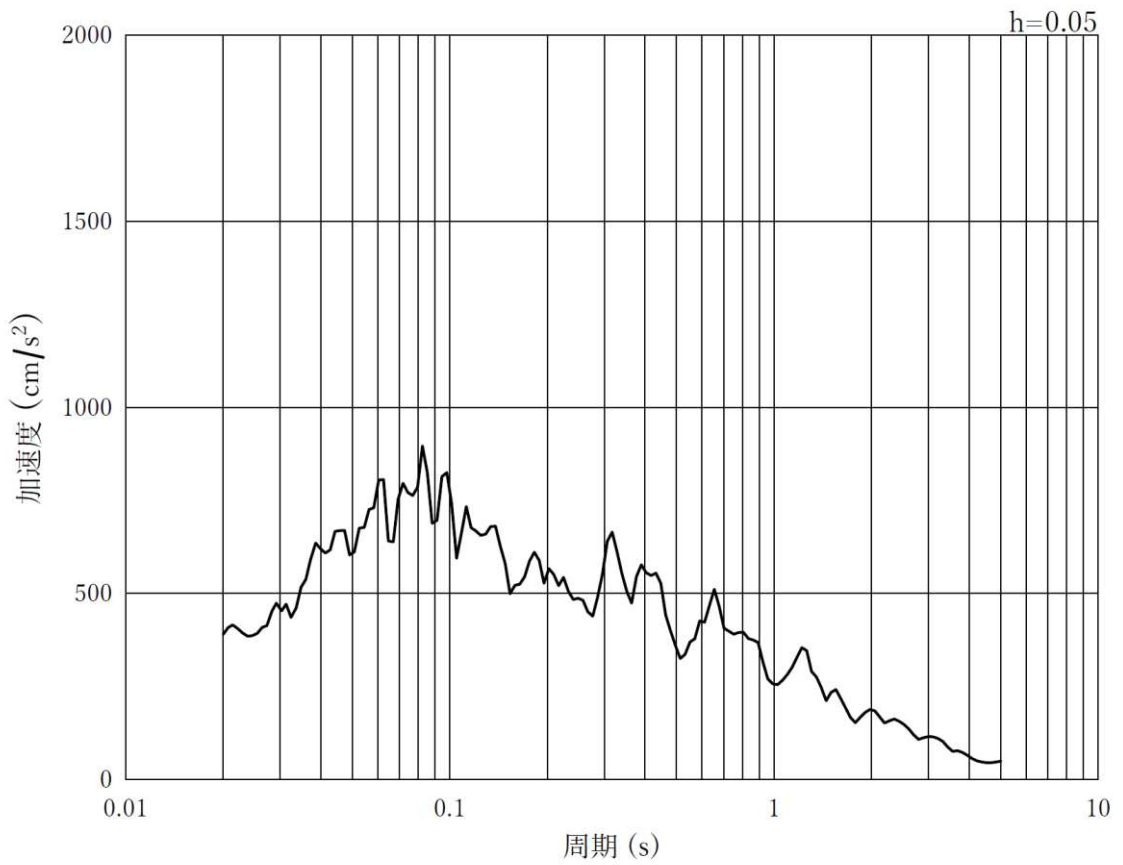


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S s - F 1)

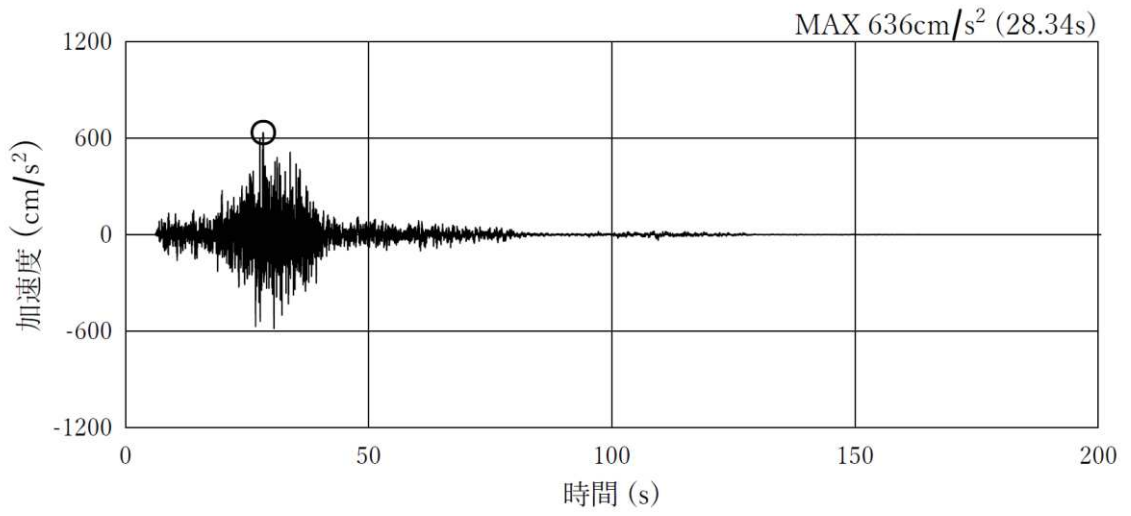


(a) 加速度時刻歴波形

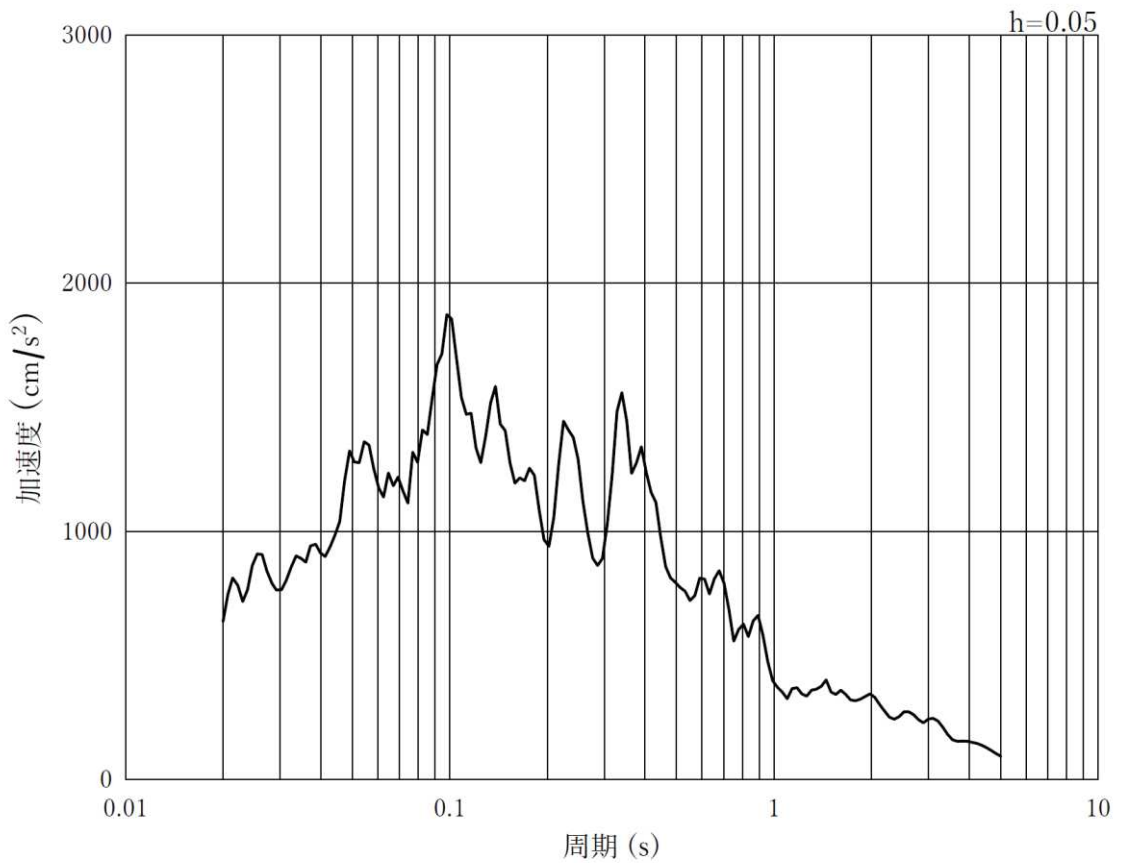


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S s - F 1)

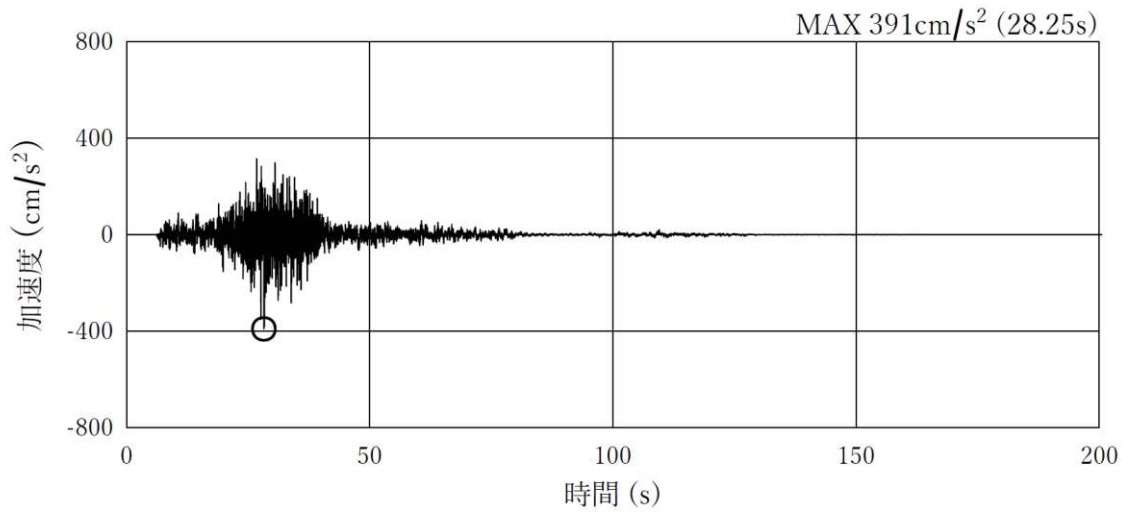


(a) 加速度時刻歴波形

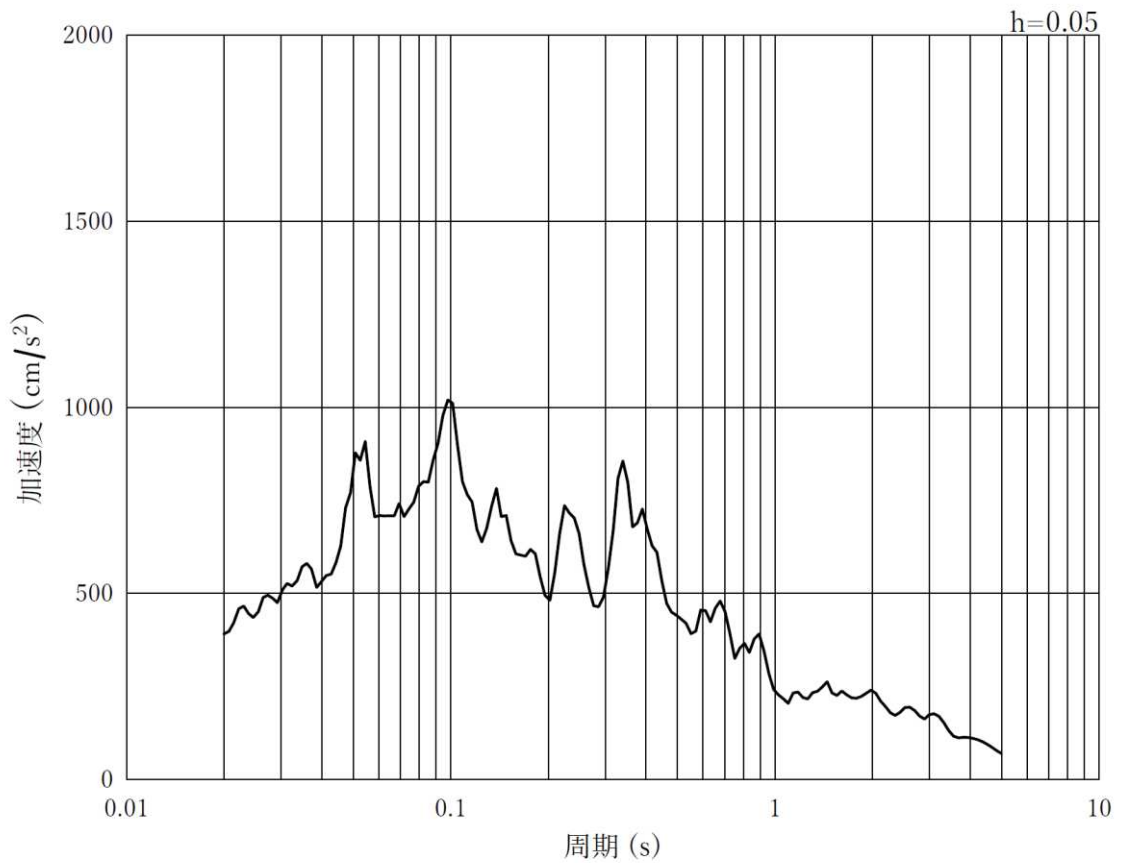


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S s - F 2)

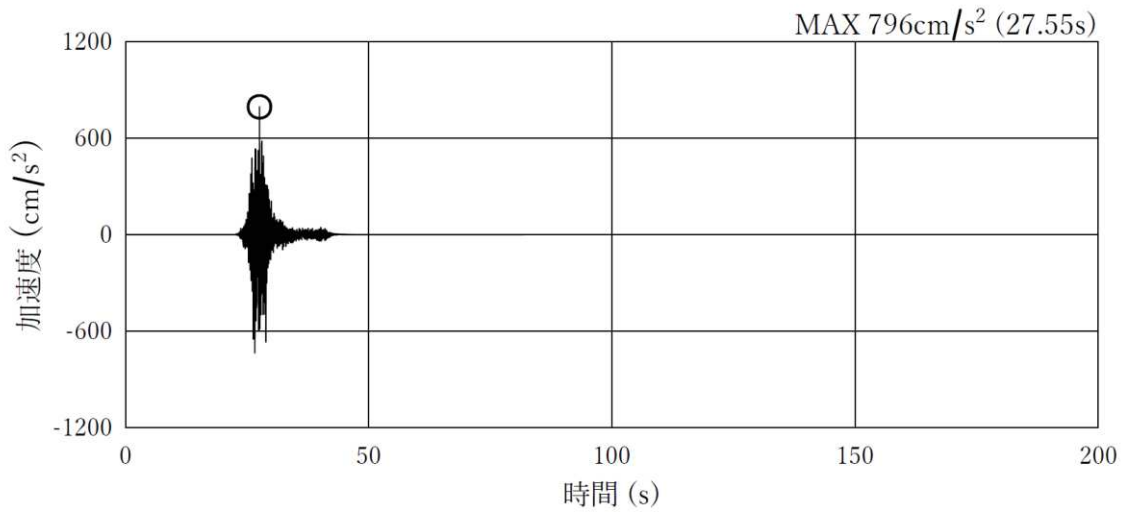


(a) 加速度時刻歴波形

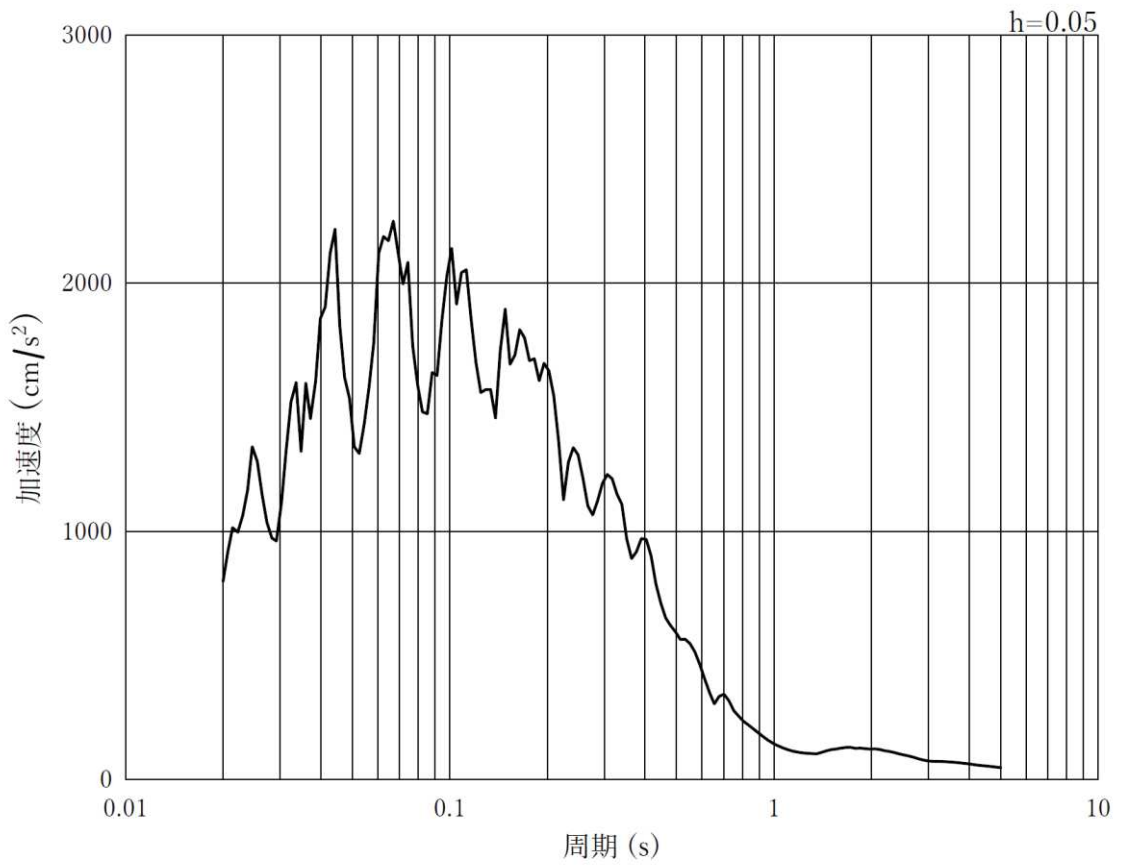


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S s - F 2)

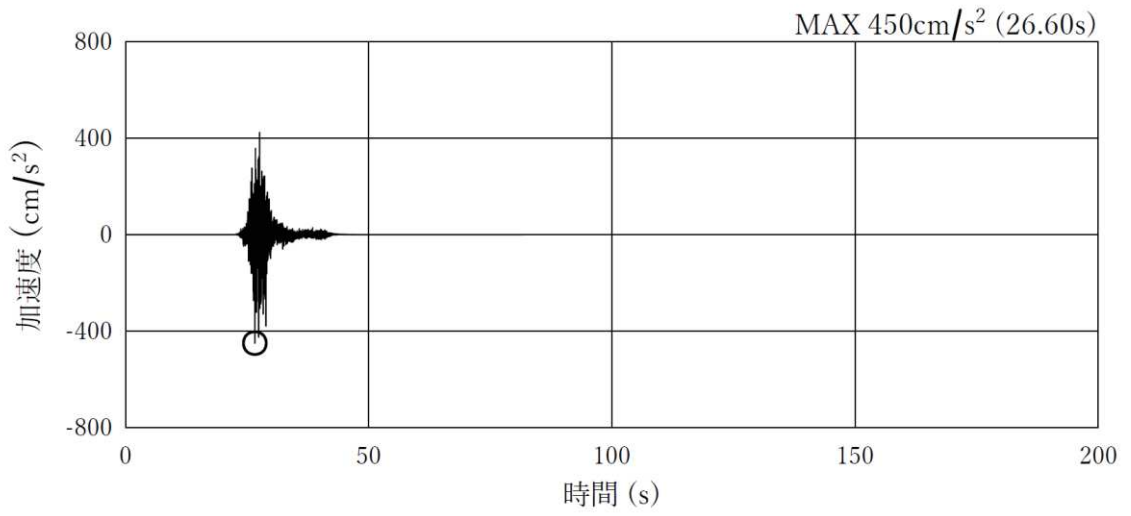


(a) 加速度時刻歴波形

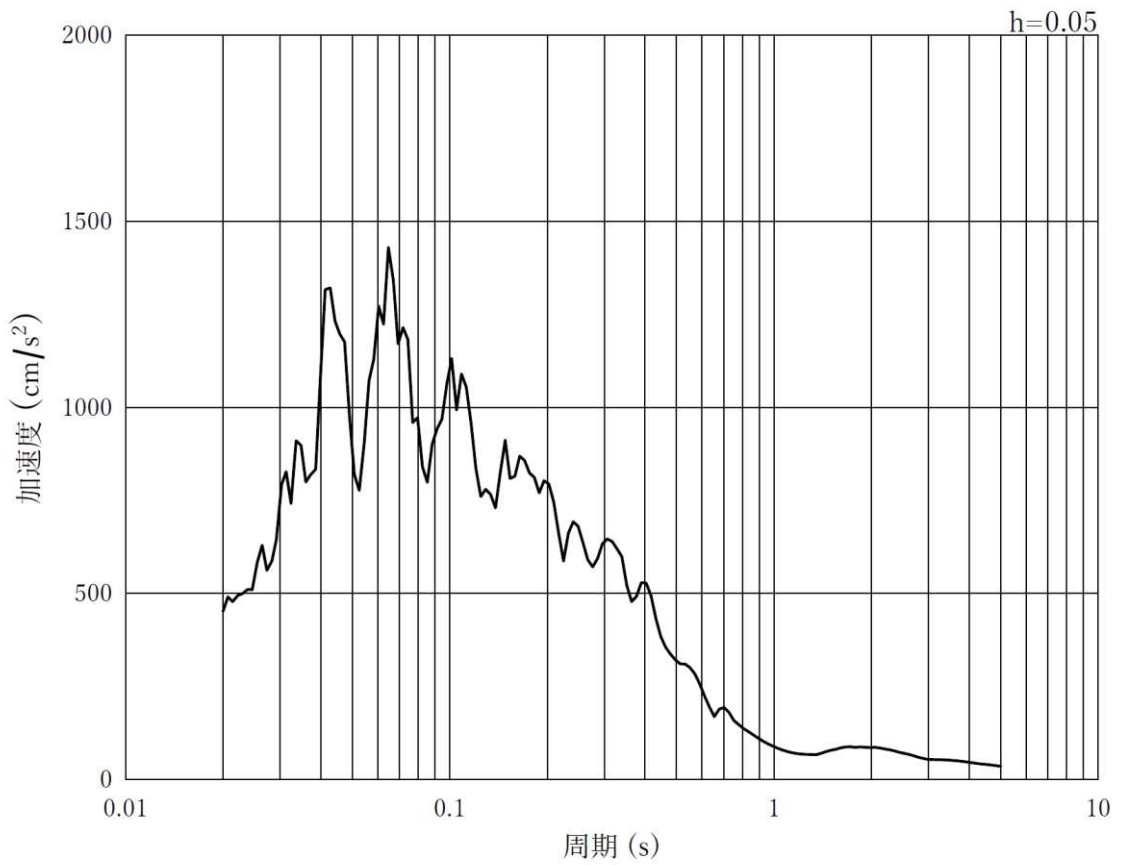


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S s - F 3)

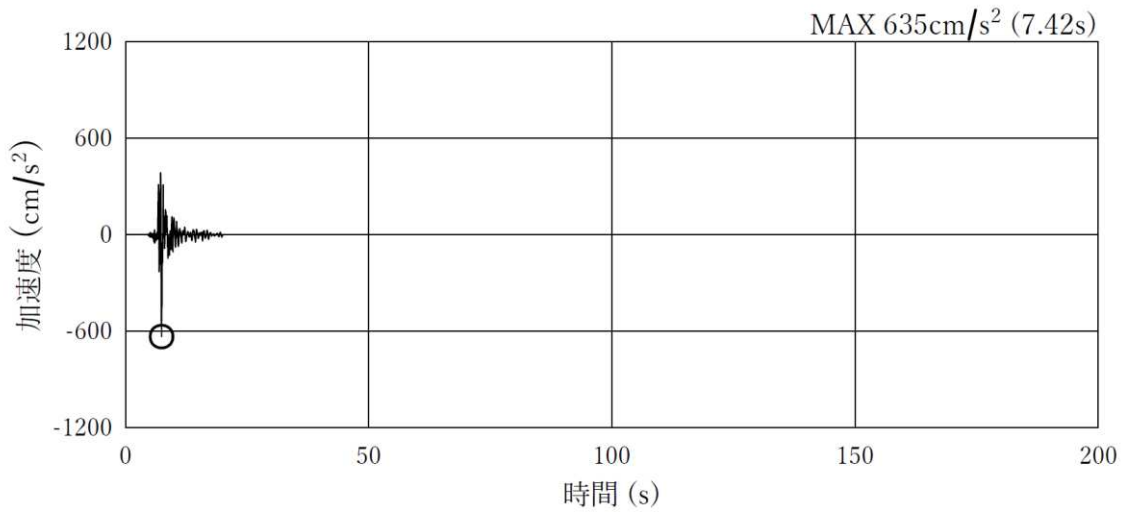


(a) 加速度時刻歴波形

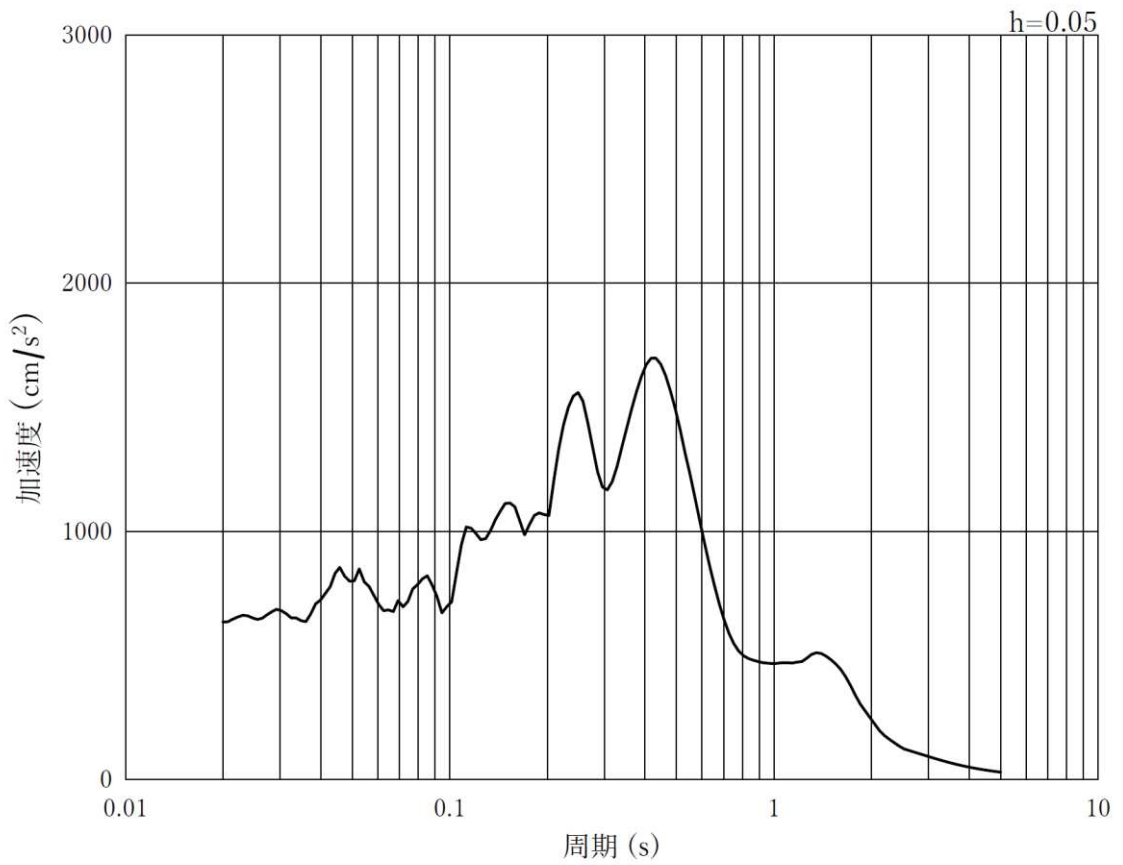


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S s - F 3)

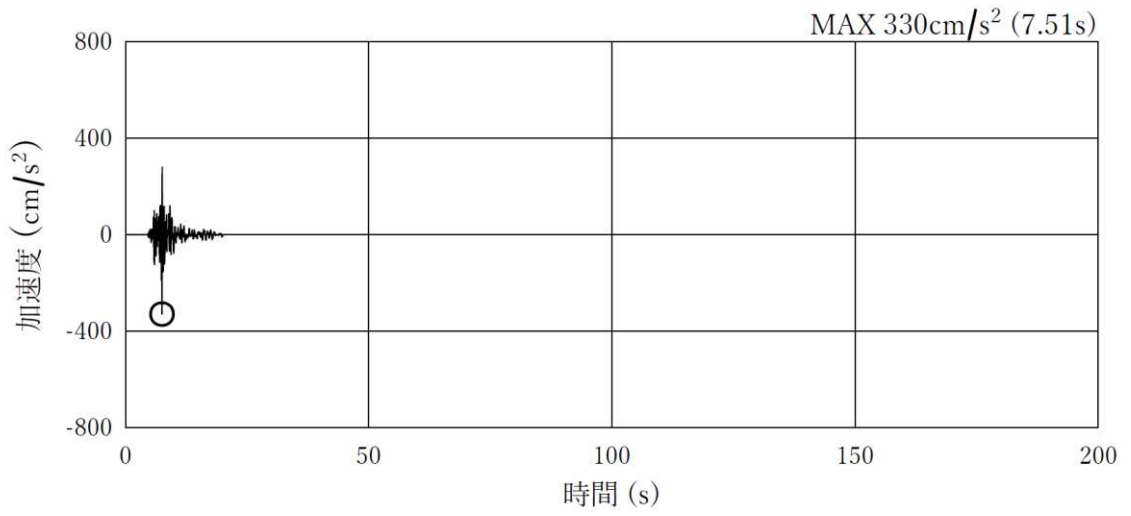


(a) 加速度時刻歴波形

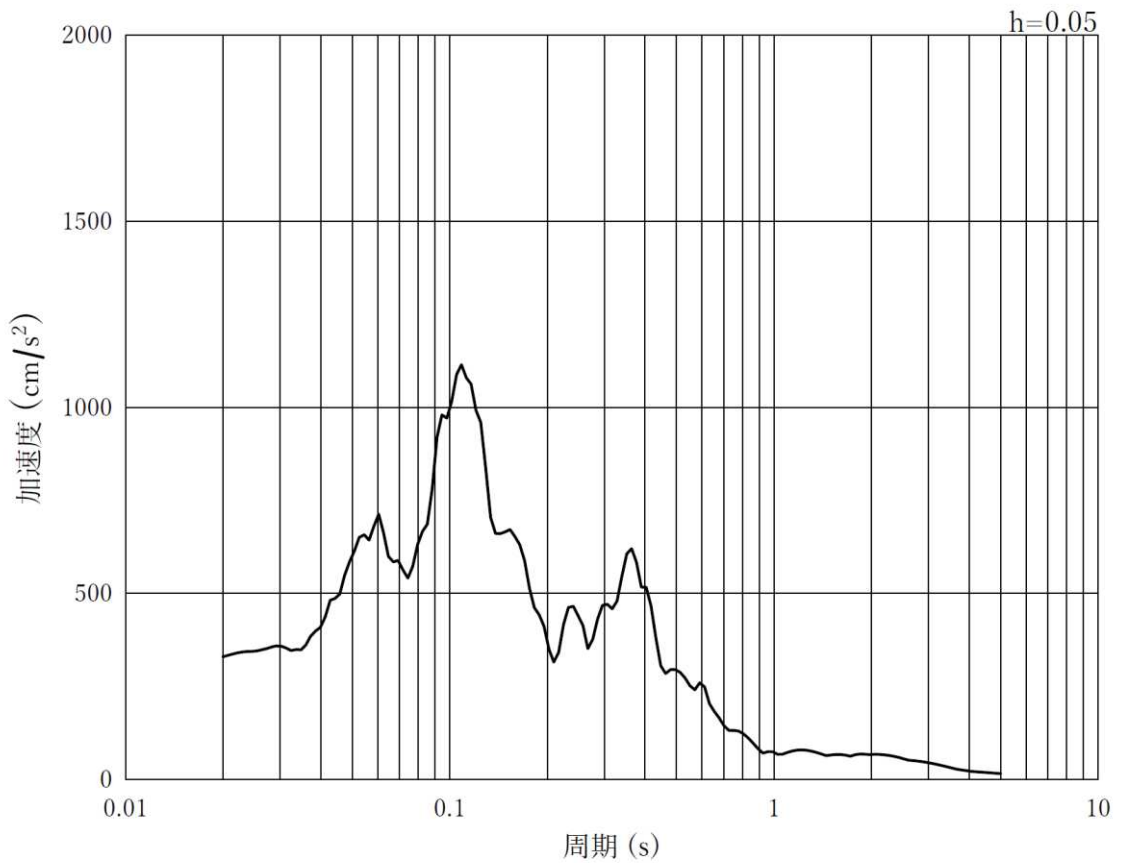


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S s - N 1)



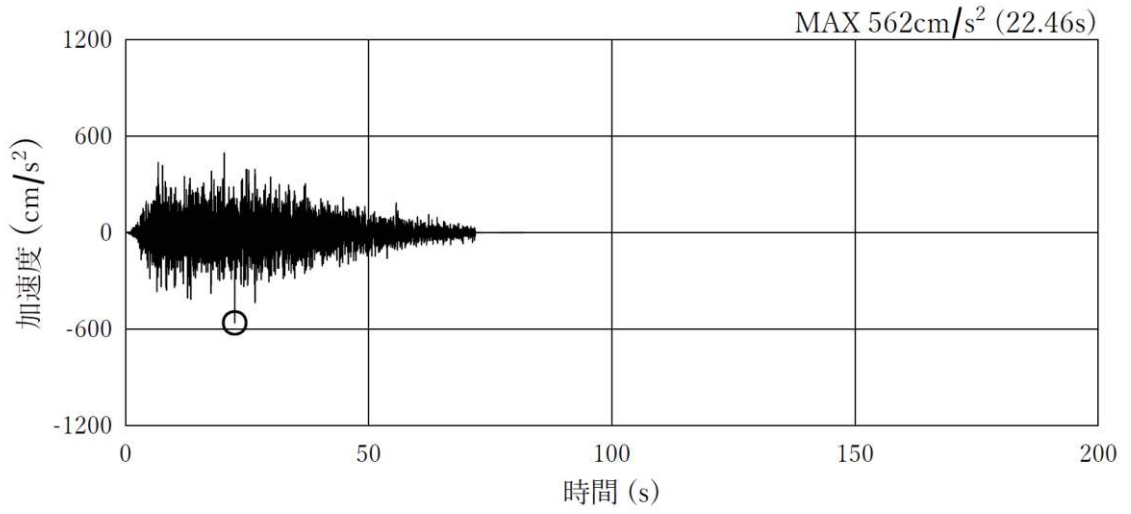
(a) 加速度時刻歴波形



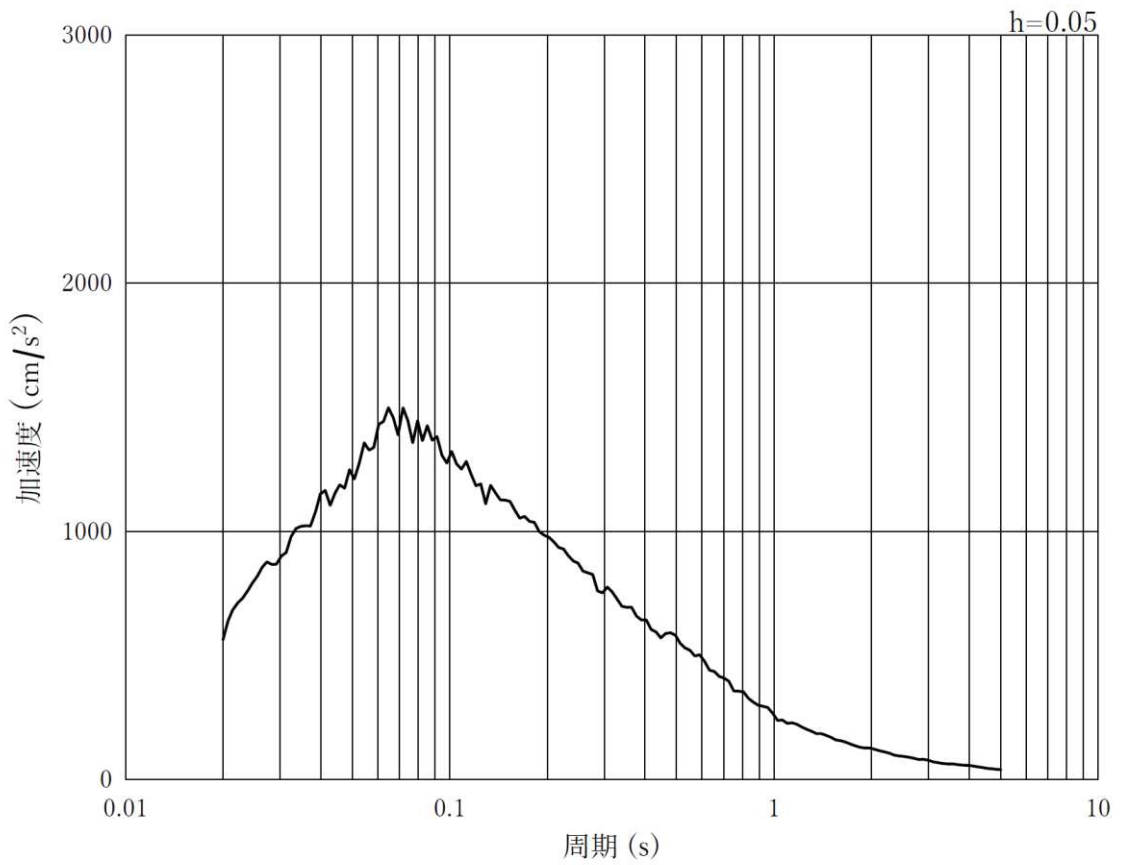
(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S s - N 1)



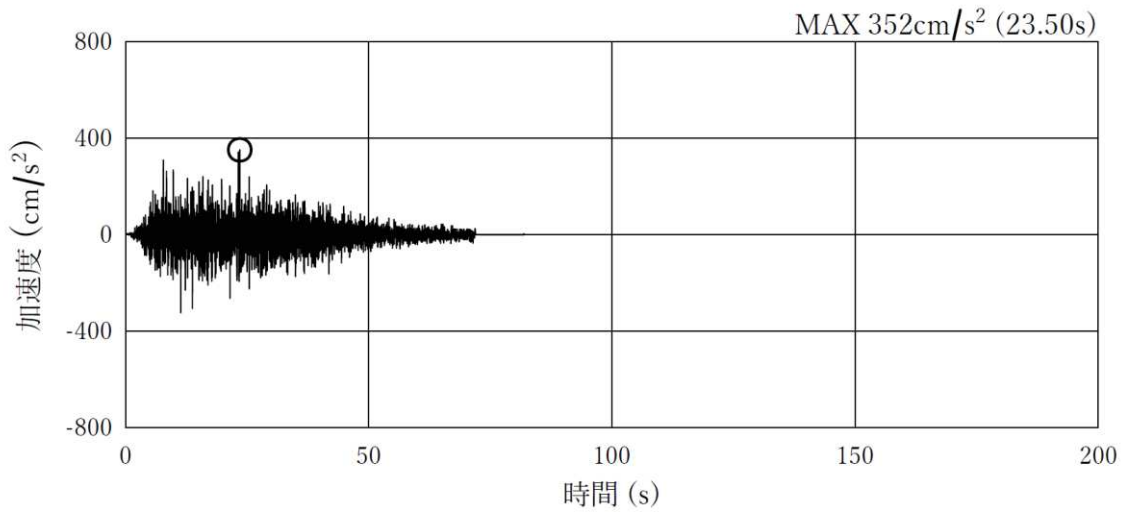


(a) 加速度時刻歴波形

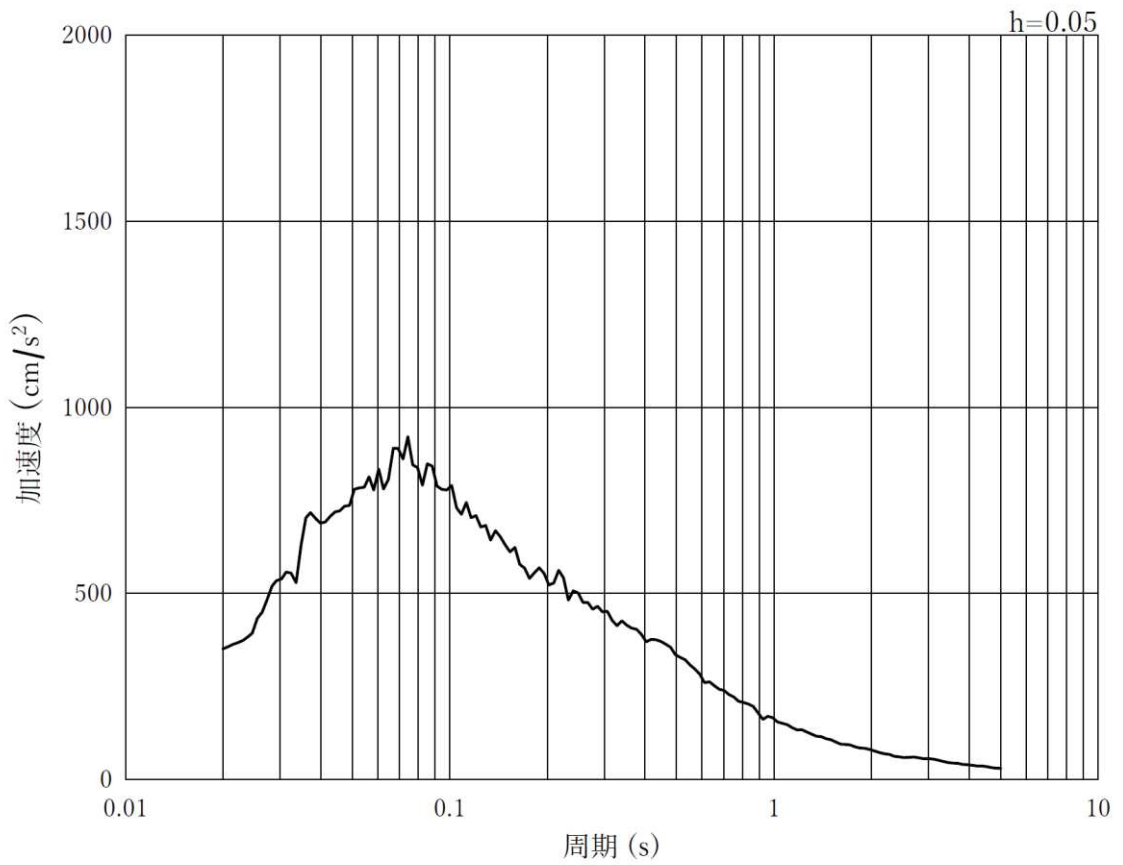


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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 : S d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(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：S d - D 2)

#### 8.4 地盤応答

解析結果のうち、すべての基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d-D2$  に対する地盤の地表面最大加速度を表 8-3 に示す。

表 8-3(1) 地盤の最大応答加速度 (ケース①)

( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

方向	$S_s-D1$	$S_s-D2$	$S_s-D3$	$S_s-F1$	$S_s-F2$	$S_s-F3$	$S_s-N1$	$S_d-D2$
水平	371.3	371.3	345.1	-341.2	382.3	350.2	-477.2	265.3
鉛直	-1170.2	1308.9	1007.2	532.3	-747.5	-812.4	848.9	759.8

表 8-3(2) 地盤の最大応答加速度 (ケース②)

( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

方向	$S_s-D1$	$S_s-D2$	$S_s-D3$	$S_s-F1$	$S_s-F2$	$S_s-F3$	$S_s-N1$	$S_d-D2$
水平	364.5	365.5	340.9	-335.9	377.9	353.6	-460.2	265.6
鉛直	-1158.3	1298.2	-1059.2	537.3	-702.9	-780.6	809.6	752.1

表 8-3(3) 地盤の最大応答加速度 (ケース③)

( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

方向	$S_s-D1$	$S_s-D2$	$S_s-D3$	$S_s-F1$	$S_s-F2$	$S_s-F3$	$S_s-N1$	$S_d-D2$
水平	374.8	375.9	354.4	-348.3	394.8	344.9	-505.5	262.9
鉛直	-1182.7	1260.8	954.2	541.7	-792.5	-886.3	882.0	733.7

## 9 耐震評価

### 9.1 評価方針

揚水井戸の評価は、添付書類「VI-2-6 耐震設計の基本方針」に基づき、応力解析による断面の評価を行うことで、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能の確認を行う。

### 9.2 許容限界

#### 9.2.1 構造部材の健全性に対する許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

排水シャフトの許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会、平成14年3月）」に基づき、表9-1示す短期許容応力度とする。

表9-1 鋼製シャフトの許容応力度及び短期許容応力度

鋼材	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容 応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	SM570 (t ≤ 40mm)	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	
許容せん断応力度 $\tau_{sa}$		145	217

注記\*：「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会、平成14年3月）」により鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割り増しを考慮する。

#### 9.2.2 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接地圧に対する許容限界は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表9-2に示す。

表9-2 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	牧の浜部層	11.4

### 9.3 評価方法

#### 9.3.1 構造部材の健全性評価

鋼製シャフトの応力解析は、「8. 地震応答解析」で得られる地盤変位を用いた応答変位法を用いる。鋼製シャフトは線形はり要素としてモデル化し、地盤は「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）」に基づき、地盤ばねでモデル化する。応答変位法では、水平方向の地盤ばねを介して地表面の地盤変位が最大となる時刻における地震時応力を算出する。

応答変位法に用いる地盤変位は表 8-2 に示す解析ケース①の地表面相対変位が最大となる時刻の変位分布とする。また、解析ケース②、③の地表面相対変位がケース①を上回る場合は、その変位分布を用いて検討を行う。

図 9-1 に解析モデルを示す。鋼製シャフトは曲げ及びせん断剛性を考慮した線形はり要素とする。鋼製シャフトの断面性能を表 9-3 に物性値を表 9-4 に示す。

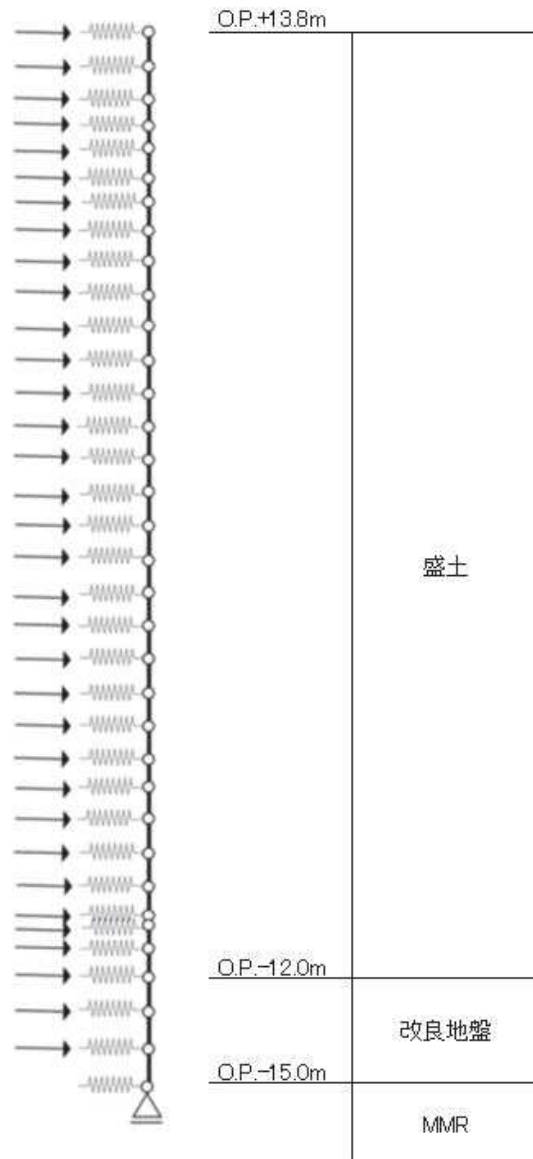


図 9-1 応答変位法解析モデル

表 9-3 揚水井戸 鋼製シャフトの断面性能

標高 O.P. (m)	内径 (mm)	厚さ* (mm)	断面係数 (mm <sup>3</sup> )	せん断断面積 (mm <sup>2</sup> )
13.8~-15.0	1500	30	$5.06 \times 10^7$	$1.35 \times 10^5$

注記\*：鋼管の外面が土中に接し内面が湿潤状態となるため、各応力度の算定に当たっては、道路橋示方書（I 共通編・IV 下構造編）・同解説（日本道路協会、平成 14 年 3 月）に基づき、内側及び外側に 1mm の腐食代を考慮する。

表 9-4 揚水井戸 鋼製シャフトの材料物性

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
鋼材	SM570	77.0	$2.0 \times 10^5$	0.3

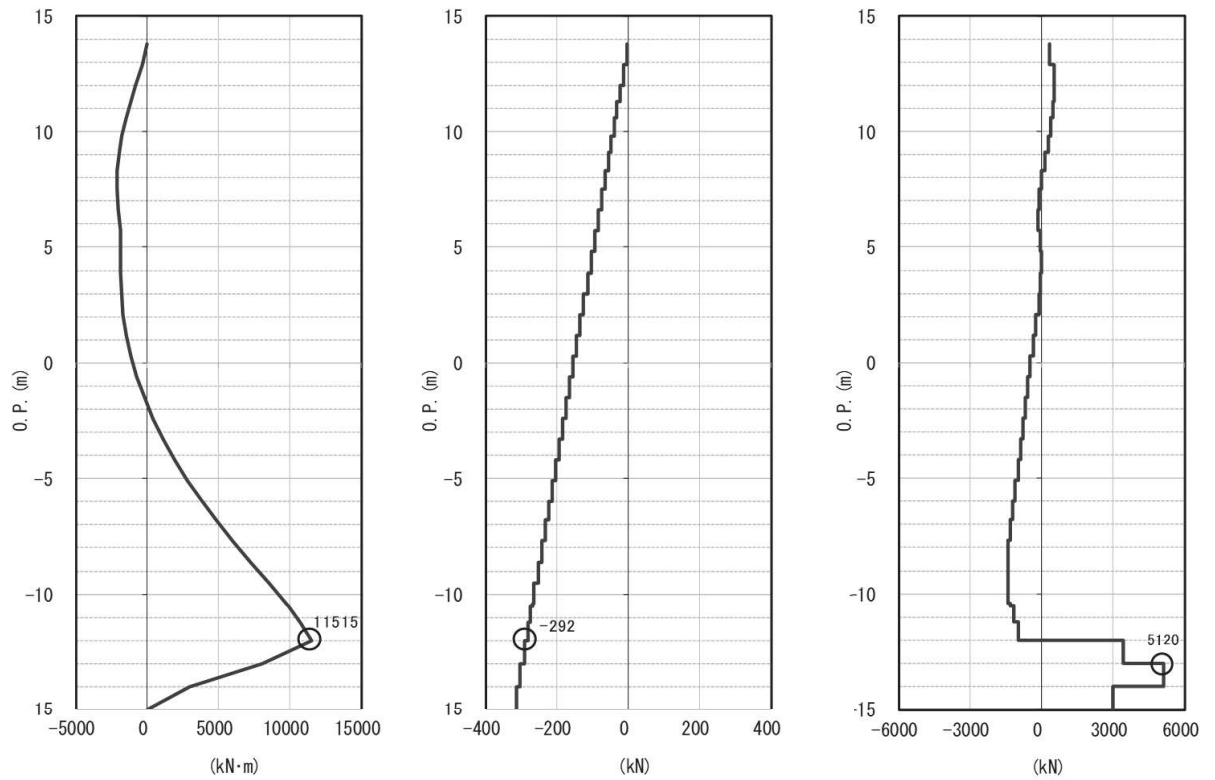
### 9.3.2 基礎地盤の支持性能評価

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能評価は、「8. 地震応答解析」で得られる鉛直加速度を用いた地震時慣性力に対して評価を行う。

## 9.4 評価結果

### 9.4.1 構造部材の健全性評価

鋼製シャフトの断面力分布図を図9-2に示す。また、鋼製シャフトの評価結果を表9-5に示す。



(a) 曲げモーメント

(b) 軸力\*

(c) せん断力

図9-2 断面力分布図

注記\* : +引張, -圧縮として示す

表 9-5(1) 鋼製シャフトの評価結果 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げ モーメント (kN/m)	軸力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N1	①	11515	-292	230	382	0.61

表 9-5(2) 鋼製シャフトの評価結果 せん断破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N1	①	5120	77	217	0.36

#### 9.4.2 基礎地盤の支持性能照査

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能照査結果を表 9-5 に示す。

表 9-6 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動	解析ケース	最大接地圧 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_u / R_{ua}$
S <sub>s</sub> -D2	①	5.5	11.4	0.49



VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）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 .....	3
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
3. 評価対象部位 .....	8
3.1 応力評価の評価対象部位 .....	8
3.2 変形性評価の評価対象部位 .....	9
4. 固有値解析 .....	10
4.1 固有値解析のモデルの設定及び解析手法 .....	10
4.2 固有振動数の解析結果 .....	12
5. 耐震評価 .....	15
5.1 応力評価方法 .....	15
5.2 変形性評価方法 .....	26
6. 評価結果 .....	32

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析、応力評価及び変形性評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピットの上部に設置する。  
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

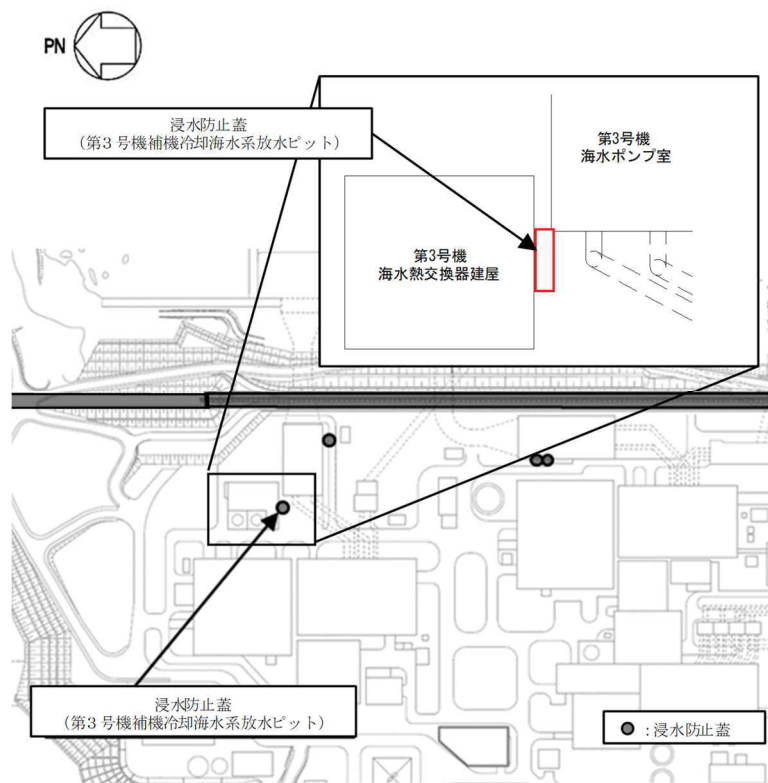


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピットからの浸水を防止するため、近接する第3号機海水熱交換器建屋側面に鋼製ブラケットを介して固定ボルトにて固定し、地震時に異なる挙動を示す可能性がある第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置することで止水性を確保する構造とする。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

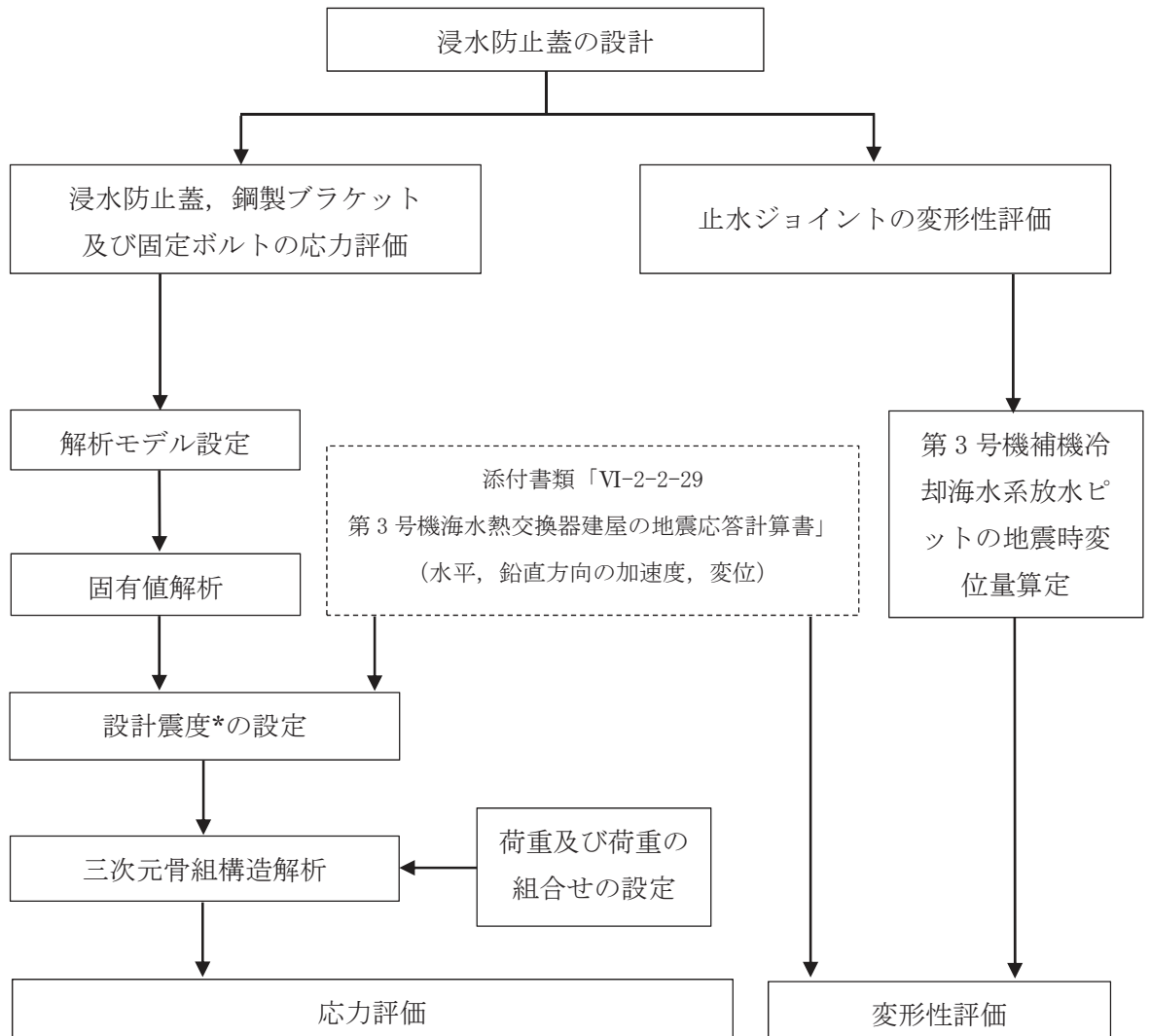
計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
十分な支持性能を有する第3号機海水熱交換器建屋側面に固定ボルトで固定する。	<p>浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトにより構成する。</p> <p>第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置する。</p>	<p>浸水防止蓋</p> <p>平面図</p> <p>A-A断面</p> <p>固定ボルト</p> <p>鋼製ブラケット</p> <p>固定ボルト</p> <p>浸水防止蓋</p> <p>止水ジョイント</p> <p>B-B断面</p>

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、応力評価と変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価については、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力  $S_s$  により算出した応力が許容限界内に収まることを、「5. 耐震評価」にて示す方法にて確認する。

止水ジョイントの変形性評価については、止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量の和が許容限界内に収まることを、「5. 耐震評価」にて示す方法にて確認する。応力評価及び変形性評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。耐震評価フローを図2-2に示す。



注記\*：材料物性の不確かさを考慮する

図2-2 耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 改定）
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 改定）
- (3) 日本産業規格（J I S）
- (4) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018 改定）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$S_s$	kN	基準地震動 $S_s$ による地震荷重
$k$	—	基準地震動 $S_s$ の設計震度
$S_{sH(NS)}$	kN	基準地震動 $S_s$ の水平方向 (N-S) の地震荷重
$S_{sH(EW)}$	kN	基準地震動 $S_s$ の水平方向 (E-W) の地震荷重
$S_{sv}$	kN	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の地震荷重
$k_{H(NS)}$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向 (N-S) の設計震度
$k_{H(EW)}$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向 (E-W) の設計震度
$k_v$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
$G$	kN	固定荷重
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	N・mm	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$A_s$	mm <sup>2</sup>	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	浸水防止蓋の断面係数
$\alpha$	—	平板のモーメントに関する係数
$\beta$	—	平板のせん断力に関する係数
$w$	kN/m <sup>2</sup>	浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重
$w'$	N/mm <sup>2</sup> ・mm	浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
$l_x$	mm	浸水防止蓋の短辺長
$t$	mm	浸水防止蓋の厚さ



表 2-2 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
T d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力
R n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)
R m	kN・mm	固定ボルトの支点モーメント
R s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)
B	mm	照査箇所のボルト間隔 (mm)
N	本	照査箇所の固定ボルトの本数
d n	mm	止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向)
d s	mm	止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向)
d b <sub>NS</sub>	mm	第 3 号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位 (N-S 方向)
d b <sub>EW</sub>	mm	第 3 号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位 (E-W 方向)
d p <sub>NS</sub>	mm	第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの 地震時最大応答変位 (N-S 方向)
d p <sub>EW</sub>	mm	第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの 地震時最大応答変位 (E-W 方向)

### 3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向や伝達過程及び変形を考慮し設定する。

#### 3.1 応力評価の評価対象部位

応力評価の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋及び鋼製ブラケットに作用し、鋼製ブラケットを固定している固定ボルトを介して躯体に伝達することから、浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトを応力評価の評価対象部位として設定する。応力評価の評価対象部位について図 3-1 に示す。

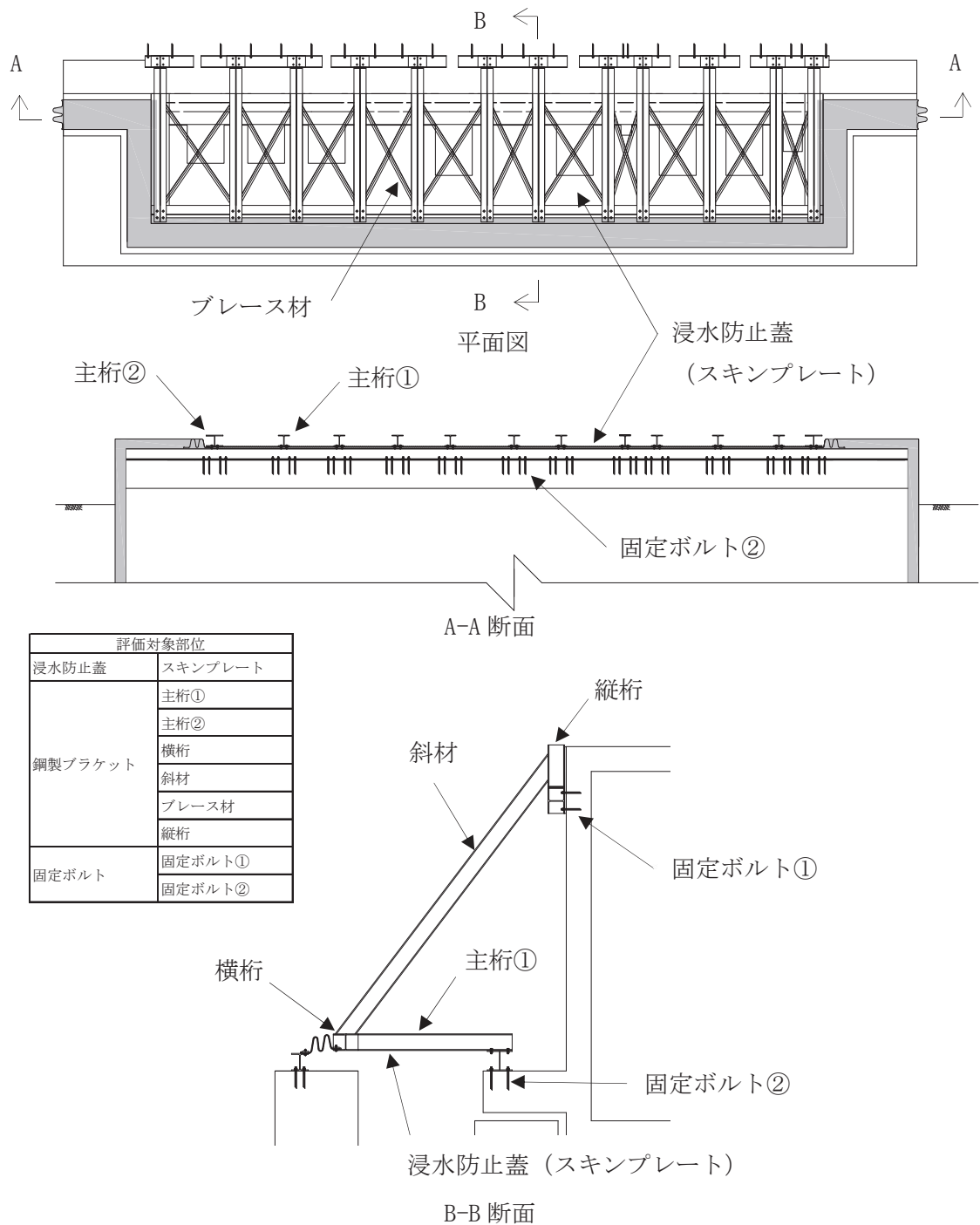
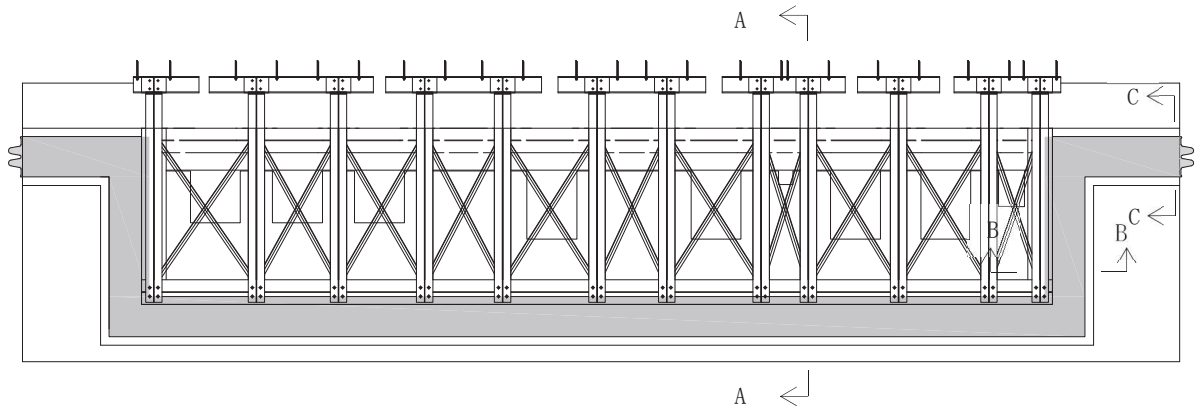


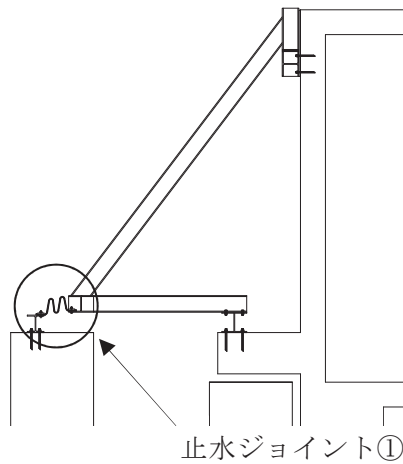
図 3-1 評価対象部位 (応力評価)

### 3.2 変形性評価の評価対象部位

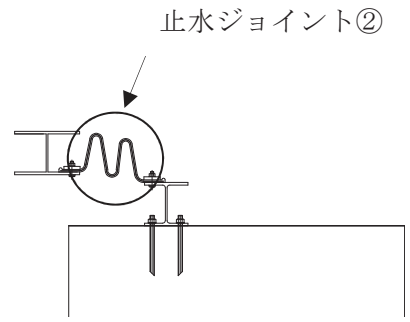
変形性評価の評価対象部位は、地震に伴う浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの変位が止水ジョイントに作用することから、止水ジョイントを変形性評価の評価対象部位として設定する。変形性評価の評価対象部位について図3-2に示す。



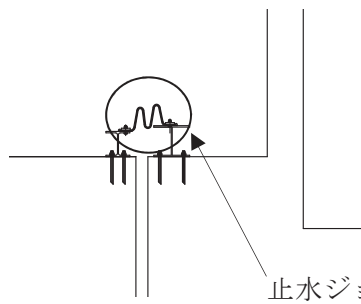
平面図



A-A 断面



B-B 断面



C-C 断面

評価対象部位	
止水ジョイント	止水ジョイント①
	止水ジョイント②
	止水ジョイント③

図3-2 評価対象部位（変形性評価）

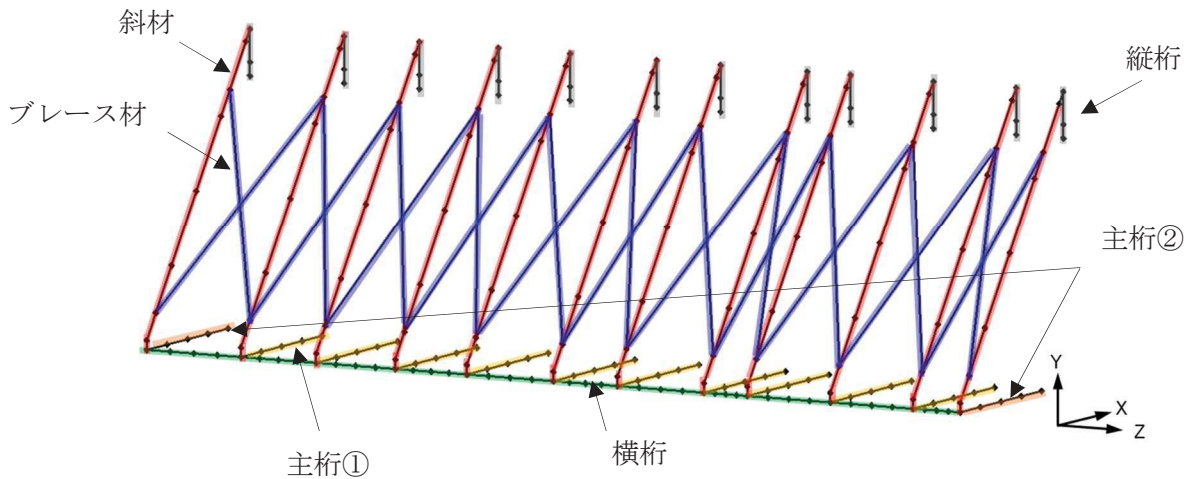
#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有値解析のモデルの設定及び解析手法

浸水防止蓋と鋼製ブラケットは一体化された三次元性を有する構造であることを踏まえ、図4-1に示す三次元フレームモデルにより固有値解析を実施する。

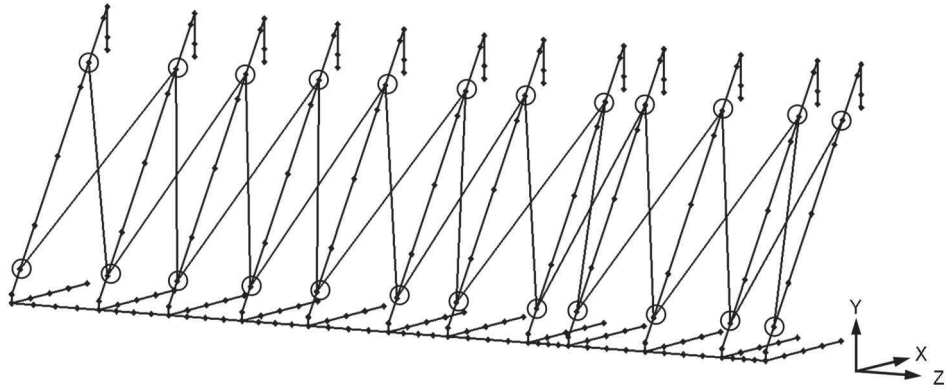
解析コードは「Engineer's StudioVer.6.00.4」を用いる。

解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



対象部材	材質	断面形状
— : 主桁①	SUS304	H-200×200×20×20
— : 主桁②	SUS304	H-200×300×20×20
— : 斜材	SUS304	H-200×200×8×12
— : 横桁	SUS304	H-200×300×20×20
— : ブレース材	SUS304	L-60×60×5
— : 縦桁	SUS304	H-200×200×8×12

図4-1 固有値解析モデル (1/2)



記号	x	y	z
●	剛結	剛結	剛結
◎	ピン	ピン	ピン

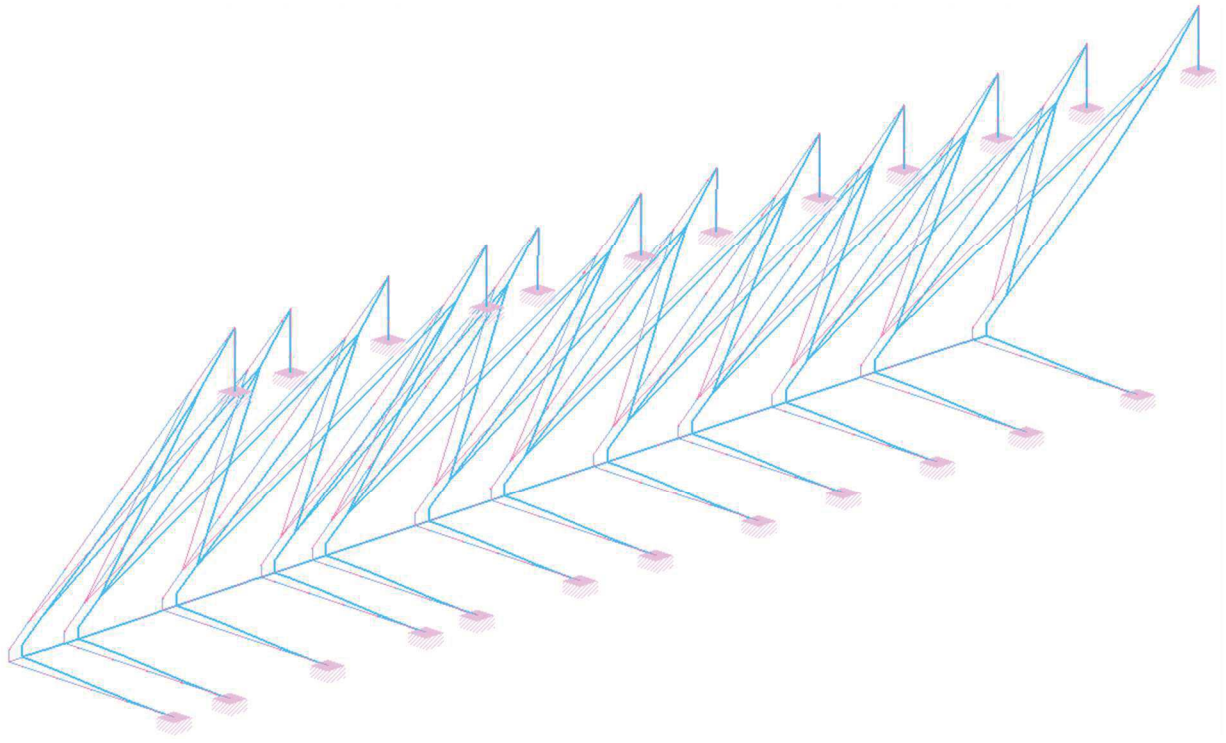
図4-1 固有値解析モデル (2/2)

#### 4.2 固有振動数の解析結果

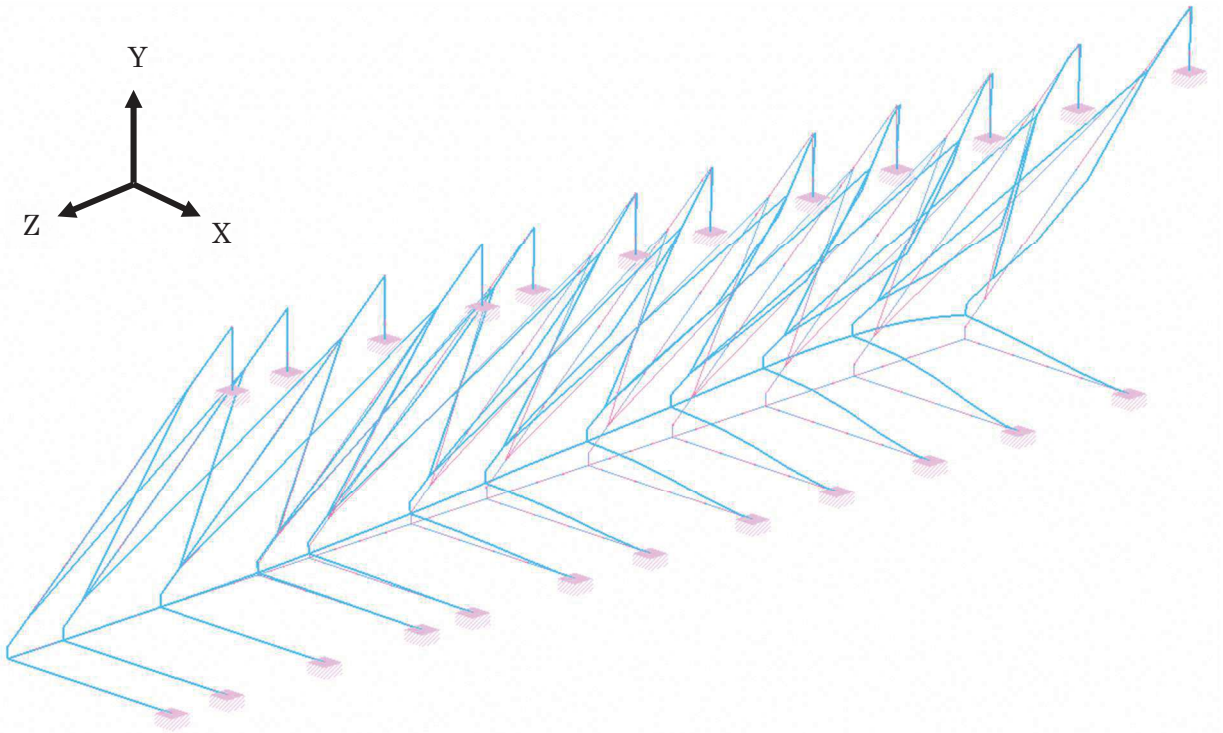
固有振動数の解析結果を表 4-1 及び図 4-2 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-1 固有値解析結果

振動モード 次数	卓越 方向	固有振動数 f (Hz)
1	Z	24.17
38	Y	108.71
95	X	276.20

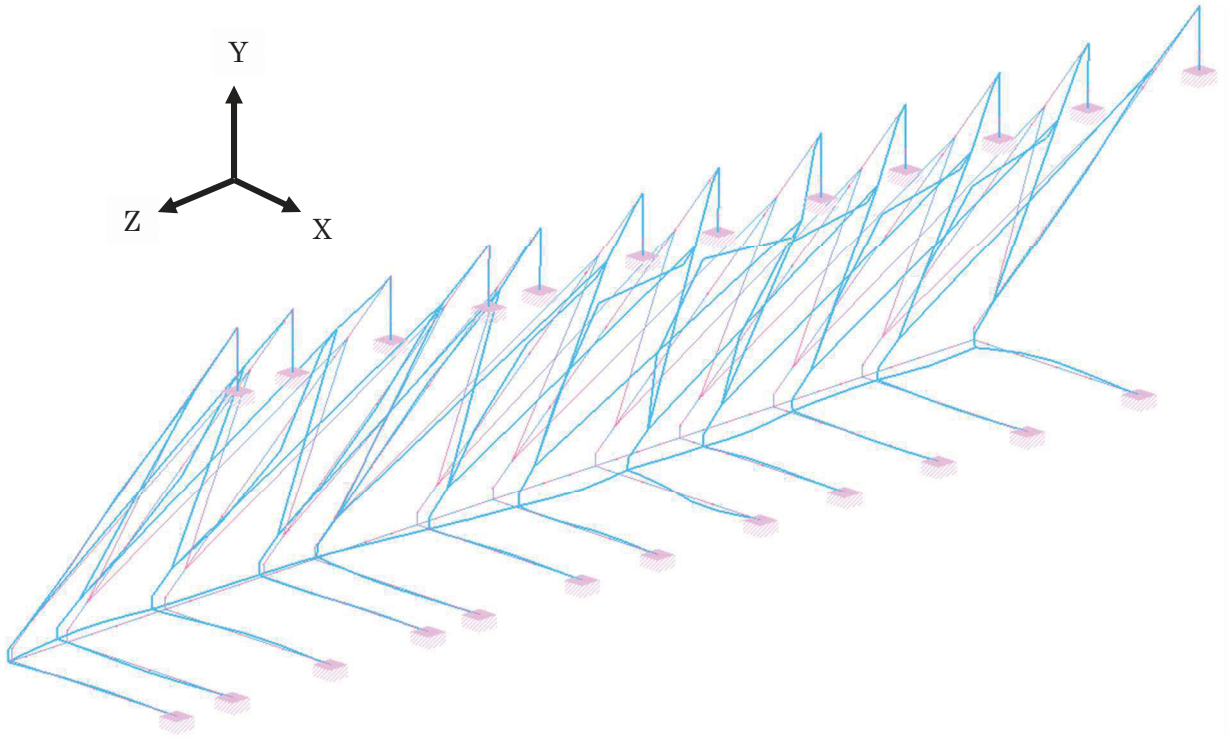


振動モード：1次，固有振動数 24.17Hz



振動モード：38次，固有振動数 108.71Hz

図4-2 固有値解析結果 (1/2)



振動モード：95次，固有振動数 276.20Hz

図4-2 固有値解析結果 (2/2)



## 5. 耐震評価

### 5.1 応力評価方法

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.1.2 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

#### 5.1.1 荷重及び荷重の組合せ

##### (1) 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_s + S_s$$

ここで、 $G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

##### (2) 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

###### a. 固定荷重 ( $G$ )

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

###### b. 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$W_s$  : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)

$d_s$  : 積雪高さ 43 (cm)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

c. 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k$  : 基準地震動  $S_s$  の設計震度

### 5.1.2 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### (1) 使用材料

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及び固定ボルトの使用材料を表5-1に示す。

表5-1 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
浸水防止蓋	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
鋼製ブラケット	主桁①	SUS304	H-200×200×20×20 (mm)
	主桁②	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	横桁	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	斜材	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
	ブレース材	SUS304	L-60×60×5 (mm)
	縦桁	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
固定ボルト	固定ボルト①	SUS304	M20
	固定ボルト②	SUS304	M20

(2) 許容限界

a. 浸水防止蓋，鋼製ブラケット

浸水防止蓋，鋼製ブラケットの許容応力度は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（日本建築学会，2005 改定）」に基づき表 5-2 の値とする。

表 5-2 浸水防止蓋，鋼製ブラケットの短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SUS304	205	118

b. 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は、「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 改定）」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-3 に示す。

なお，固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

部位	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
固定ボルト①	SUS304	50.2	35.1
固定ボルト②	SUS304	37.8	18.4

### 5.1.3 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，固有振動数が20Hz以上であることを確認したため，応力評価に用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「V-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。荷重の組合せは表5-4のとおり，組合せ係数法（1.0：0.4）により評価する。応力評価で用いる設計震度を表5-5に示す。

表5-4 荷重の組合せ

ケース No.	荷重の組合せ
1	$G + P_s + 1.0 S_{sH(NS)} + 0.4 S_{sv}$
2	$G + P_s + 1.0 S_{sH(NS)} - 0.4 S_{sv}$
3	$G + P_s - 1.0 S_{sH(NS)} + 0.4 S_{sv}$
4	$G + P_s - 1.0 S_{sH(NS)} - 0.4 S_{sv}$
5	$G + P_s + 0.4 S_{sH(NS)} + 1.0 S_{sv}$
6	$G + P_s - 0.4 S_{sH(NS)} + 1.0 S_{sv}$
7	$G + P_s + 0.4 S_{sH(NS)} - 1.0 S_{sv}$
8	$G + P_s - 0.4 S_{sH(NS)} - 1.0 S_{sv}$
9	$G + P_s + 1.0 S_{sH(EW)} + 0.4 S_{sv}$
10	$G + P_s + 1.0 S_{sH(EW)} - 0.4 S_{sv}$
11	$G + P_s - 1.0 S_{sH(EW)} + 0.4 S_{sv}$
12	$G + P_s - 1.0 S_{sH(EW)} - 0.4 S_{sv}$
13	$G + P_s + 0.4 S_{sH(EW)} + 1.0 S_{sv}$
14	$G + P_s - 0.4 S_{sH(EW)} + 1.0 S_{sv}$
15	$G + P_s + 0.4 S_{sH(EW)} - 1.0 S_{sv}$
16	$G + P_s - 0.4 S_{sH(EW)} - 1.0 S_{sv}$

G：固定荷重(kN)

$P_s$ ：積雪荷重(kN)

$S_{sH(NS)}$ ：基準地震動 $S_s$ の水平方向（N-S）の地震荷重（ $(G + P_s) \times k_{H(NS)}$ ）(kN)

$S_{sH(EW)}$ ：基準地震動 $S_s$ の水平方向（E-W）の地震荷重（ $(G + P_s) \times k_{H(EW)}$ ）(kN)

$S_{sv}$ ：基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の地震荷重（ $(G + P_s) \times k_v$ ）(kN)

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 $S_s$ の設計震度		
		水平方向 (N-S) $k_{H(NS)}$	水平方向 (E-W) $k_{H(EW)}$	鉛直方向 $k_v$
第 3 号機海水 熱交換器建屋	O.P. 14.0	2.46	2.07	1.27

#### 5.1.4 計算方法

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及び固定ボルトに発生する応力より算出する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

##### (1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋は図 5-1 に示すとおり主桁間に分割して設置することから三辺固定スラブモデルとして断面力を算出する。評価箇所は図 5-1 に示すとおり，断面力が大きいと考えられる主桁間の幅最大の箇所とする。浸水防止蓋に作用する等分布荷重（鉛直震度含む）が作用している板に発生する曲げ応力及びせん断応力は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018 改定）」（図 5-2）より算出する。

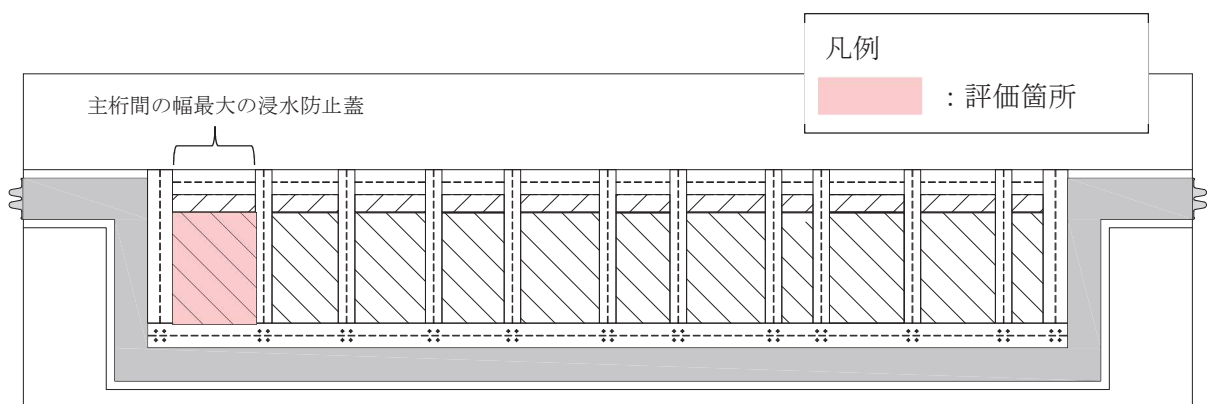


図 5-1 浸水防止蓋の評価箇所

##### a. 基準地震動 $S_s$ による鉛直方向の地震荷重 $S_{sv}$

$$S_{sv} = (G + P_s) \cdot k_v$$

- ここで、
- $S_{sv}$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の地震荷重 (kN)
  - $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
  - $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
  - $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

##### b. 浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重 $w$

$$w = (G + P_s + S_{sv}) / A$$

- ここで、
- $w$  : 浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
  - $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
  - $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
  - $S_{sv}$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の地震荷重 (kN)
  - $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

c. 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重  $w'$

$$w' = w / 1000$$

ここで,  $w'$  : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重  
( $N/mm^2 \cdot mm$ )

d. 最大曲げ応力  $\sigma$

求めた曲げモーメントのうち最大となる曲げモーメントについて、以下の式にて最大曲げ応力を算出する。

$$M = \alpha \cdot w' \cdot l_x^2$$

ここで,  $M$  : 曲げモーメント ( $N \cdot mm$ )  
 $\alpha$  : 平板のモーメントに関する係数  
 $w'$  : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重  
( $N/mm^2 \cdot mm$ )  
 $l_x$  : 浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\sigma = M / Z$$

ここで,  $\sigma$  : 最大曲げ応力 ( $N/mm^2$ )  
 $M$  : 最大曲げモーメント ( $N \cdot mm$ )  
 $Z$  : 浸水防止蓋の断面係数 ( $mm^3$ )

e. 最大せん断応力  $\tau$

求めたせん断力のうち最大となるせん断力について、以下の式にてせん断応力度を算出する。

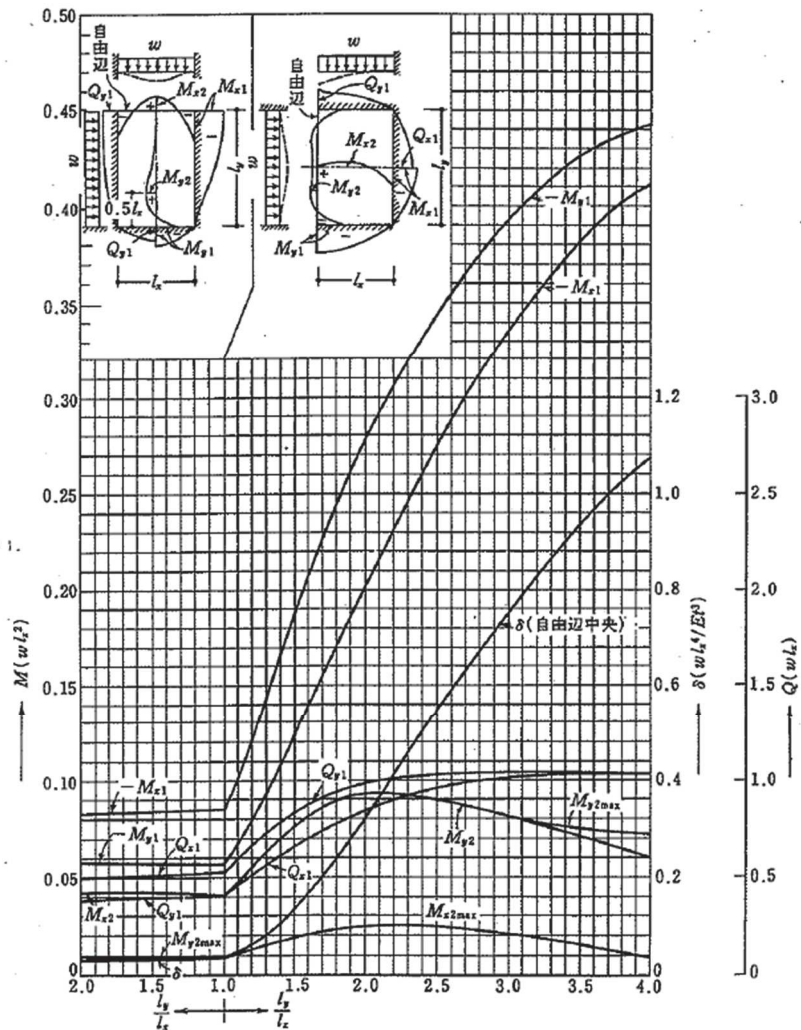
$$Q = \beta \cdot w' \cdot l_x$$

ここで,  $Q$  : せん断力 (N)  
 $\beta$  : 平板のせん断に関する係数  
 $w'$  : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重  
( $N/mm$ )  
 $l_x$  : 浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\tau = Q / A_s$$

ここで,  $\tau$  : 最大せん断応力度 ( $N/mm^2$ )  
 $Q$  : 最大せん断力 (N)  
 $A_s$  : 浸水防止蓋のせん断断面積 ( $mm^2$ )





付図 15.3 等分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ  $\delta^0 (v=0)$

図 5-2 応力算出図

f. 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検討

浸水防止蓋に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「鋼構造設計規  
準—許容応力度設計法—（日本建築学会，2005 改定）」に基づく次式により算定し、短  
期許容応力度以下であることを確認する。

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

- x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma$  : 最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : 最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## (2) 鋼製ブラケット

鋼製ブラケットの応力評価に用いるモデルは固有値解析を行ったモデルと同一とし、鋼製ブラケットの計算には解析コード「Engineer's Studio Ver. 6.00.4」を使用して評価部位に生じる断面力を求める。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。モデルに入力する荷重は、「5.1.1 荷重及び荷重の組合せ」に示すとおりである。

## (3) 固定ボルト

鋼製ブラケットの解析により得られる固定ボルト部の応力により、固定ボルトに作用する応力度を算出する。なお、固定ボルト①の照査箇所のボルト本数は4本であり、また固定ボルト②の照査箇所のボルト本数は8本である。

a. 固定ボルト①に作用する引張力  $T_d$ 

$$T_d = R_n / N + R_m / B / (N / 2)$$

ここで、 $T_d$  : 固定ボルト1本当りに作用する引張力 (kN)  
 $R_n$  : 固定ボルトの支点反力 (引張) (kN)  
 $R_m$  : 固定ボルトの支点モーメント (kN・mm)  
 $B$  : 照査箇所のボルト間隔 (mm)  
 $N$  : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

b. 固定ボルト②に作用する引張力  $T_d$ 

$$T_d = R_n / N + R_m / B / (N / 2)$$

ここで、 $T_d$  : 固定ボルト1本当りに作用する引張力 (kN)  
 $R_n$  : 固定ボルトの支点反力 (引張) (kN)  
 $R_m$  : 固定ボルトの支点モーメント (kN・mm)  
 $B$  : 照査箇所のボルト間隔 (mm)  
 $N$  : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

c. 固定ボルトに作用するせん断力  $q$ 

$$q = R_s / N$$

ここで、 $q$  : 固定ボルト1本当りに作用するせん断力 (kN)  
 $R_s$  : 固定ボルトの支点反力 (せん断) (kN)  
 $N$  : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

### 5.1.5 計算条件

浸水防止蓋の応力評価に用いる入力値を表5-6に示す。

表5-6 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋 (スキンプレート)	$A_s$	$\text{mm}^2$	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積	16
	$\alpha$	—	平板のモーメントに関する係数	0.085
	$\beta$	—	平板のせん断に関する係数	0.55
	$l_x$	mm	浸水防止蓋の短辺長	1250
	$A$	$\text{m}^2$	浸水防止蓋の面積	1.86
	$Z$	$\text{mm}^3$	浸水防止蓋の断面係数	42.67
固定ボルト①	$R_n$	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)	13.2
	$R_m$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	5362
	$R_s$	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)	16.7
	$B$	mm	固定ボルトのボルト間隔	200
	$N$	本	照査箇所のボルト本数	4
固定ボルト②	$R_n$	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)	1.9
	$R_m$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	4558
	$R_s$	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)	33.9
	$B$	mm	固定ボルトのボルト間隔	200
	$N$	本	照査箇所のボルト本数	8

## 5.2 変形性評価方法

止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量の和が許容限界内に収まることを確認する。

浸水防止蓋の変位量は浸水防止蓋を支持する第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大変位量は材料物性の不確かさを考慮したものとして添付資料「V-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の算出結果を用いる。第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量は「5.2.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地盤応答解析方法」に示す方法により算出する。

### 5.2.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地盤応答解析方法

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析は添付書類「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設定する。地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法により、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（全応力解析）により行う。

構造部材については、線形はり要素と平面応力要素を用いる。

### 5.2.2 第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面

第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面は、図5-3に示すとおりNS断面及びEW断面の2断面とする。

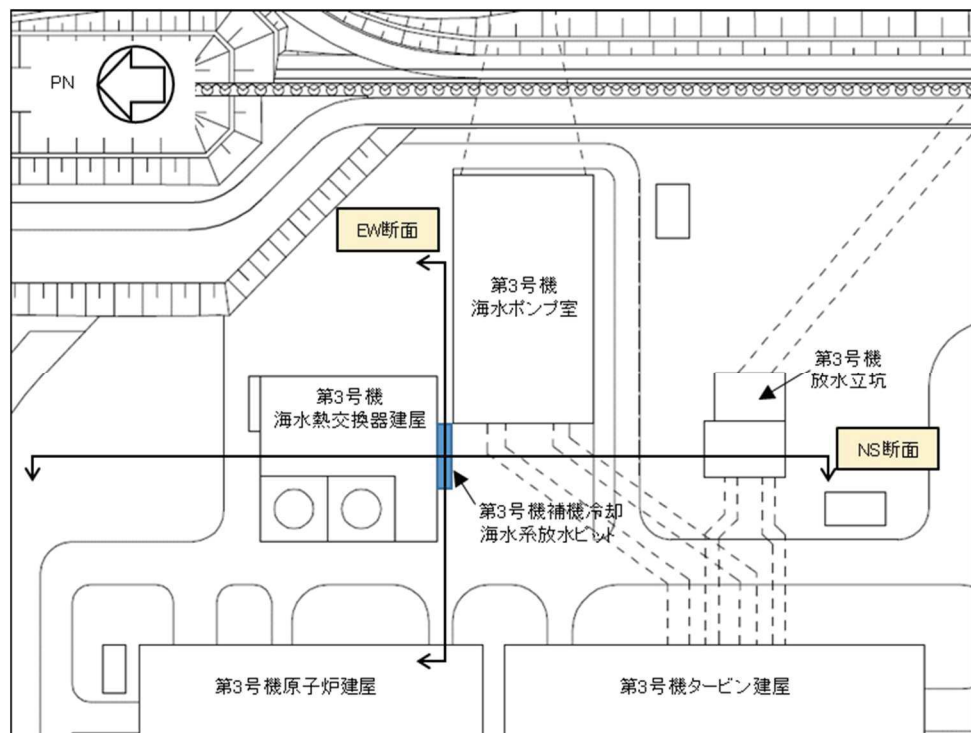


図5-3 第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面（断面位置図）（1/3）

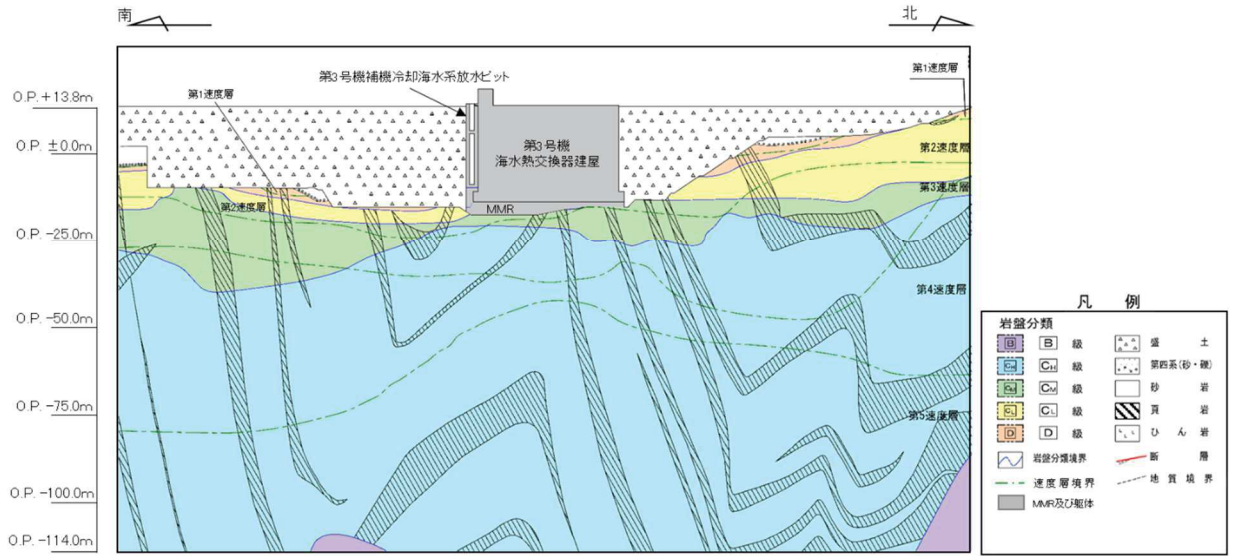


図 5-3 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面図 (NS 断面) (2/3)

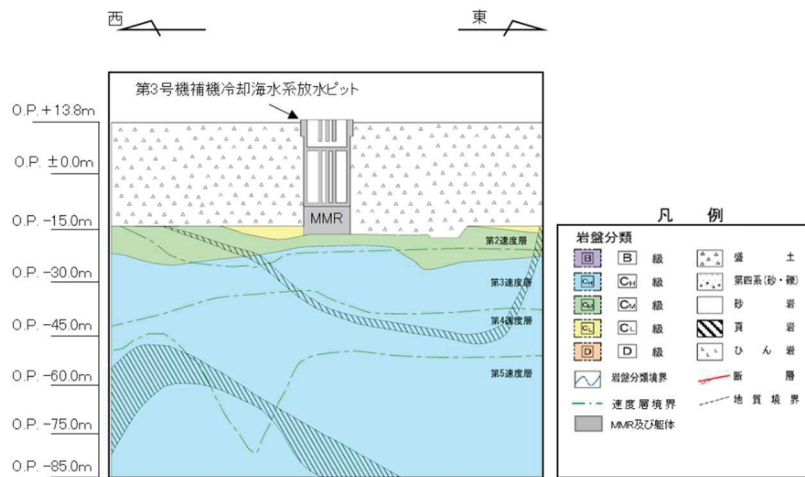


図 5-3 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面図 (EW 断面) (3/3)

### 5.2.3 許容限界

止水ジョイント部材の変形量の許容限界は、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。表 5-7 に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

表 5-7 止水ジョイント部材の変形量の許容限界

	許容限界 (mm)	
	開き方向	せん断方向
変形量	550	550

### 5.2.4 計算方法

止水ジョイント部材の地震時の評価について、NS 方向及び EW 方向ともに、地震荷重による最大相対変位量が許容限界以下であることを確認する。

変形性評価の評価対象部位について図 5-4 に示す。

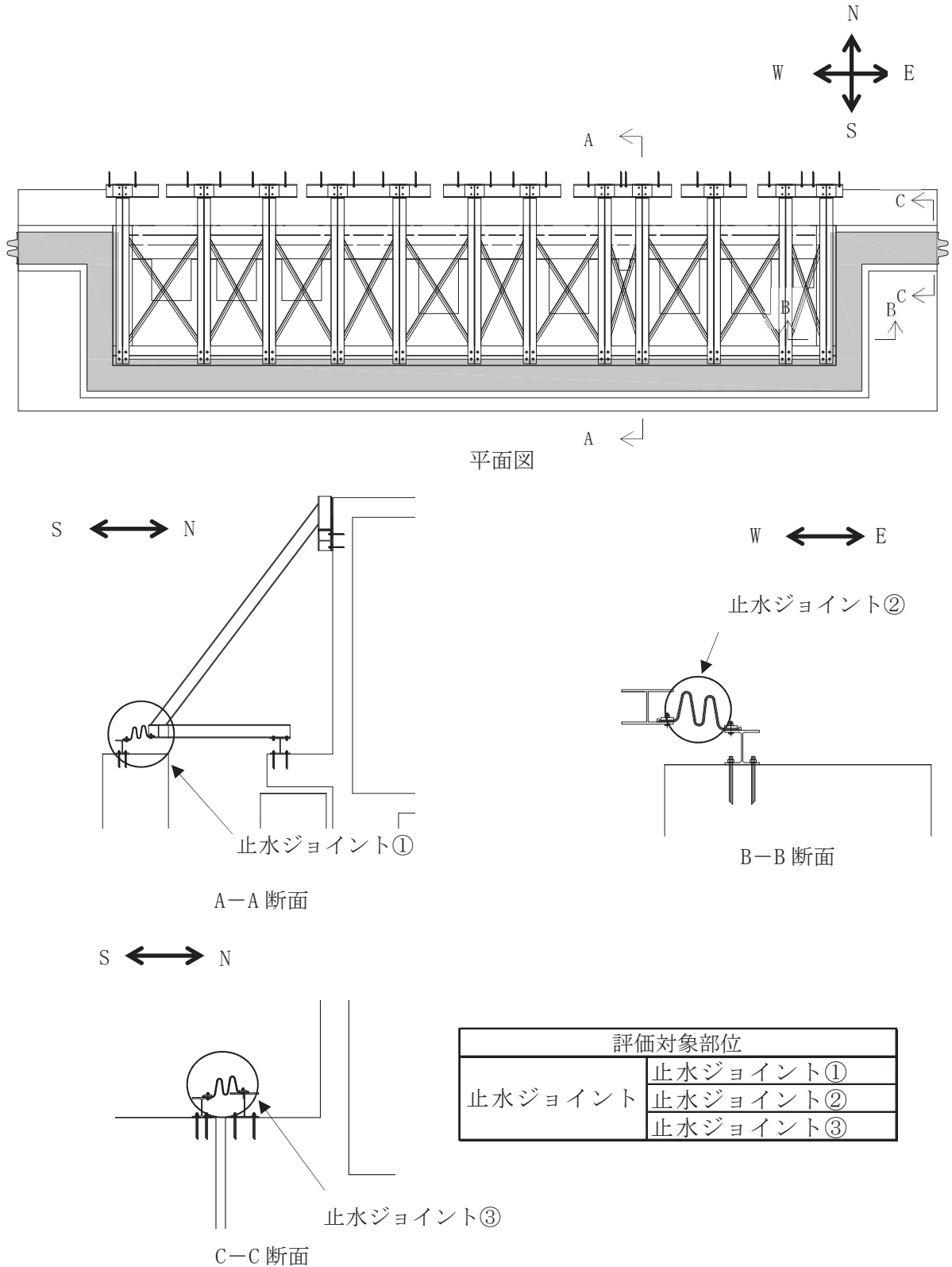


図 5-4 変形性評価の評価対象部位

## (1) 止水ジョイント①

- a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量
- $d_n$

$$d_n = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、 $d_n$  : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)  
 $d_{b_{NS}}$  : 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位  
 (N-S 方向) (mm)  
 $d_{p_{NS}}$  : 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位  
 (N-S 方向) (mm)

- b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量
- $d_s$

$$d_s = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、 $d_s$  : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)  
 $d_{b_{EW}}$  : 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位  
 (E-W 方向) (mm)  
 $d_{p_{EW}}$  : 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位  
 (E-W 方向) (mm)

## (2) 止水ジョイント②

- a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量
- $d_n$

$$d_n = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、 $d_n$  : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)  
 $d_{b_{EW}}$  : 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位  
 (E-W 方向) (mm)  
 $d_{p_{EW}}$  : 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位  
 (E-W 方向) (mm)

- b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量
- $d_s$

$$d_s = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、 $d_s$  : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)  
 $d_{b_{NS}}$  : 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位  
 (N-S 方向) (mm)  
 $d_{p_{NS}}$  : 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位  
 (N-S 方向) (mm)



## (3) 止水ジョイント③

- a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量
- $d_n$

$$d_n = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、 $d_n$  : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)  
 $d_{b_{NS}}$  : 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位  
 (N-S 方向) (mm)  
 $d_{p_{NS}}$  : 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位  
 (N-S 方向) (mm)

- b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量
- $d_s$

$$d_s = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、 $d_s$  : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)  
 $d_{b_{EW}}$  : 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位  
 (E-W 方向) (mm)  
 $d_{p_{EW}}$  : 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答  
 (E-W 方向) (mm)

6. 評価結果

浸水防止蓋の応力評価結果を表 6-1 に変形性評価結果を表 6-2 に示す。全ての部材において発生応力、応力度及び変形量が許容限界以下であることを確認した。

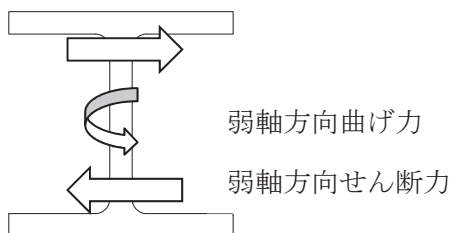
表 6-1 応力評価結果（浸水防止蓋）（1/4）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水防止蓋 (スキンプレート)	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0

表 6-1 応力評価結果（鋼製ブラケット 弱軸方向）（2/4）

評価対象部位		発生値（*弱軸方向） （応力度又は荷重）		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	39	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.20 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	40	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.20 < 1.0
主桁②	曲げ	41	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.20 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	42	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.21 < 1.0
斜材	曲げ	19	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	20	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
横桁	曲げ	27	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	28	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
ブレース材	軸力	5	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
縦桁	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	16	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0

\* H鋼の弱軸について

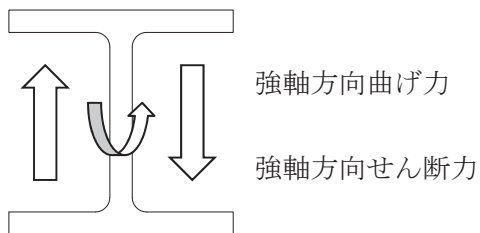


ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一様

表 6-1 応力評価結果（鋼製ブラケット 強軸方向）（3/4）

評価対象部位		発生値（*強軸方向） （応力度又は荷重）		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	8	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
主桁②	曲げ	7	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	9	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
斜材	曲げ	7	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	9	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
横桁	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ブレース材	軸力	5	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
縦桁	曲げ	14	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	10	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	23	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.12 < 1.0

注記\* : H鋼の強軸について



ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一樣

表 6-1 応力評価結果 固定ボルト (4/4)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
固定ボルト①	引張	16.7	kN	50.2	kN	0.34 < 1.0
	せん断	4.2	kN	35.1	kN	0.12 < 1.0
	組合せ	-		-		0.13 < 1.0
固定ボルト②	引張	6.0	kN	37.8	kN	0.16 < 1.0
	せん断	4.3	kN	18.4	kN	0.24 < 1.0
	組合せ	-		-		0.08 < 1.0

表 6-2 変形性評価結果

評価対象部位		地震時 最大変位量 (mm)		地震時 相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
		第3号機海水 熱交換器建屋	第3号機補機冷却 海水系放水ピット	評価用 変位量	
止水ジョイント ①	開き方向	12	66	78	550
	せん断方向	14	149	163	550
止水ジョイント ②	開き方向	14	149	163	550
	せん断方向	12	66	78	550
止水ジョイント ③	開き方向	12	66	78	550
	せん断方向	14	149	163	550

VI-2-10-2-8-5 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）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 .....	3
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
3.	評価対象部位及び評価対象設備.....	8
4.	固有値解析 .....	10
4.1	固有振動数の計算方法 .....	10
4.2	固有振動数の計算条件 .....	11
4.3	固有振動数の計算結果 .....	12
5.	構造強度評価 .....	13
5.1	構造強度評価方法 .....	13
5.2	荷重及び荷重の組合せ .....	13
5.3	許容限界 .....	15
5.4	設計用地震力 .....	16
5.5	評価方法 .....	17
5.6	評価条件 .....	25
6.	評価結果 .....	27

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No.1），（No.2）（以下、「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。



## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリアの床面に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

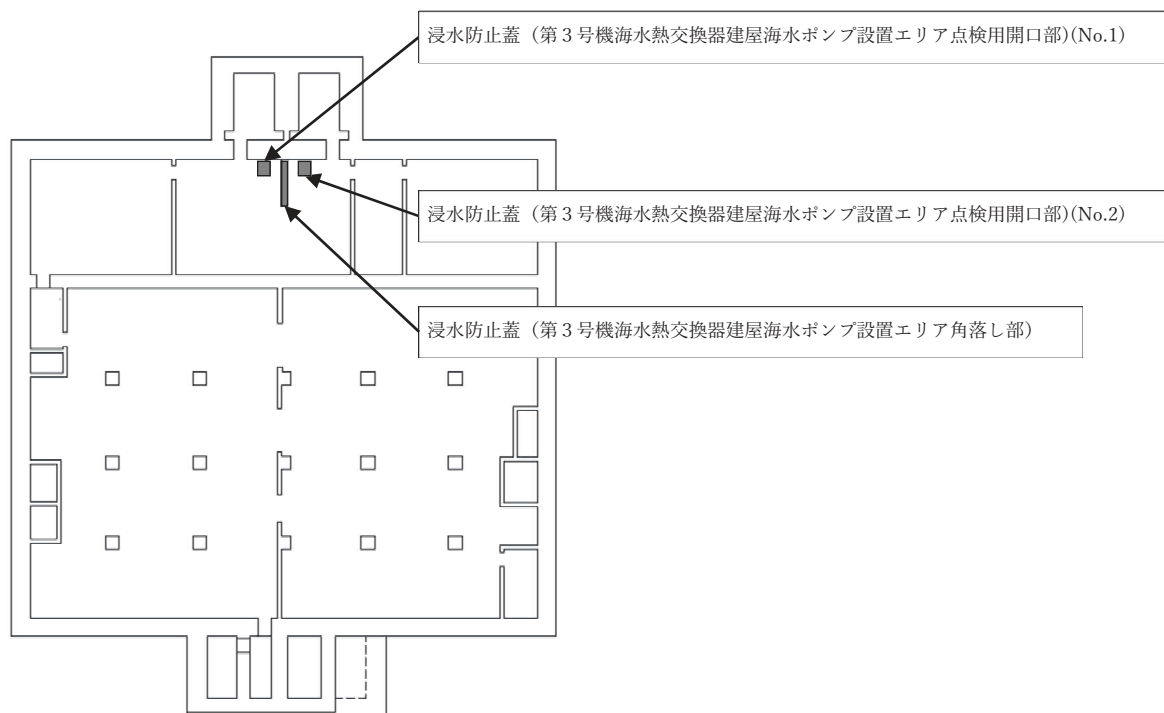



図2-1 浸水防止蓋の設置位置図  
(第3号機海水熱交換器建屋 地下中2階)

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形又は正方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼又は鋼板）を組合せた構造とする。

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	
		浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）
		浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

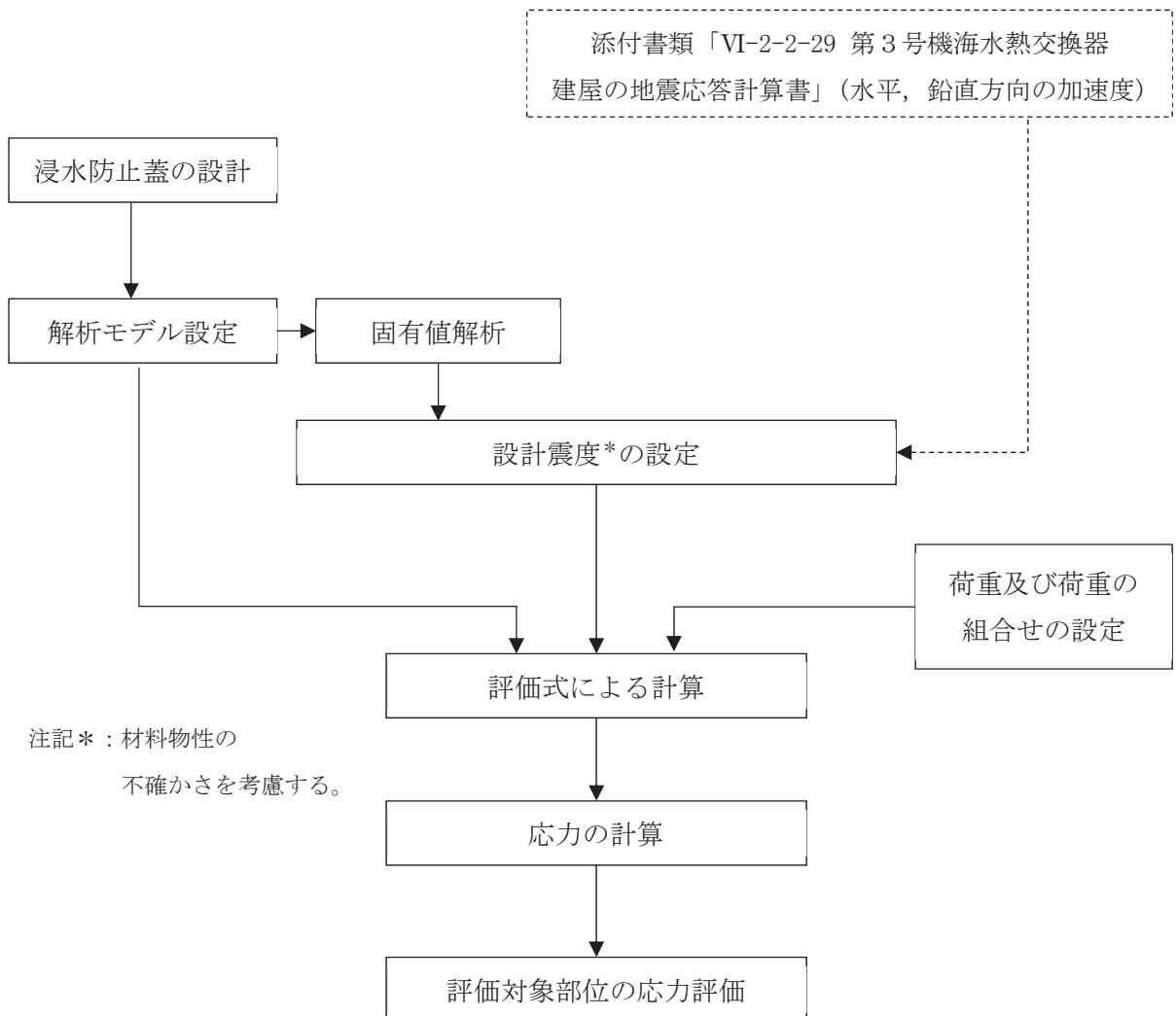


図 2-2 耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年改定）
- (3) 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）
- (4) 日本産業規格（JIS）
- (5) 機械工学便覧（日本機械学会，2005年改訂）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$S_s$	kN	基準地震動 $S_s$ による地震荷重
$k_H$	-	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
$k_V$	-	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
$G$	kN	固定荷重
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	$N/m^2$	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	$m^2$	浸水防止蓋の面積
$W_{s_s}$	$kN/m^2$	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s_s}'$	$kN/m$	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	$N/mm^2$	最大せん断応力度
$\sigma$	$N/mm^2$	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	$kN \cdot m$	最大曲げモーメント
$x$	$N/mm^2$	組合せ応力度
$A_s$	$mm^2$	せん断断面積
$Z$	$mm^3$	断面係数
$L_1$	mm	主桁の負担幅
$L_2$	mm	主桁全長
$L_3$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_4$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$\beta_1$	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数
$t$	mm	スキンプレートの厚さ

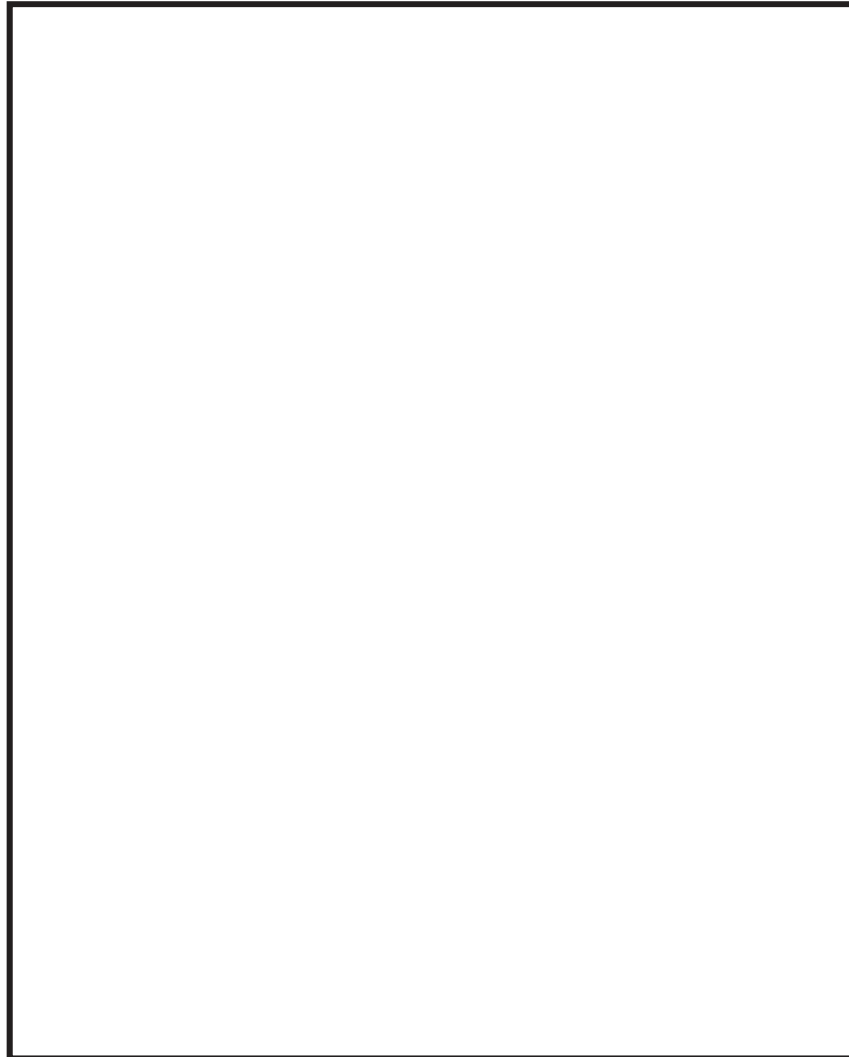
表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルト (2) の本数
$T_d$	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
$\tau_s$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
$T_s$	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力
$q_s$	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力
$A'$	mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) の有効断面積
$n_s$	本	固定ボルト (1) の本数

### 3. 評価対象部位及び評価対象設備

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。また、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)は構成部材の寸法、規格が等しく、評価結果が変わらないことから、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)を評価対象設備とする。

浸水防止蓋の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁及び固定ボルト（1）に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルト（2）を介して躯体に伝達されることから、浸水防止蓋の評価対象部位は、スキンプレート、主桁、固定ボルト（1）及び固定ボルト（2）とする。評価対象部位を図3-1に示す。



(a) 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）

図3-1 評価対象部位（1/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(b) 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No.1)，(No.2)

図3-1 評価対象部位 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

##### 4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに、固定ボルト (1) を介し、固定ボルト (2) にて浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端支持はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、主桁の全長とする。図 4-1 に解析モデル図を示す。

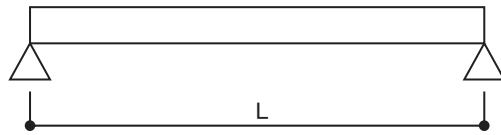


図 4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

##### 4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はり長さ
E	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

##### 4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2 \pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

#### 4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

設備名称	はり長さL (mm)	ヤング率E (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I (mm <sup>4</sup> )	質量分布m (kg/mm)
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	420	$1.93 \times 10^5$	$7.11 \times 10^5$	0.097
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア点検用開口 部) (No. 1), (No. 2)	1000	$1.93 \times 10^5$	$4.50 \times 10^6$	0.080

#### 4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の算出結果

設備名称	固有振動数(Hz)
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	335
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)	163

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位に生じる応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、 $G$  : 固定荷重 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

#### 5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

##### (1) 固定荷重 ( $G$ )

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

##### (2) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式により算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$W_s$  : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)

$d_s$  : 積雪高さ 43 (cm)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(3) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$k$  : 基準地震動  $S_s$  の設計震度

### 5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成するスキンプレート、主桁、固定ボルト（1）及び固定ボルト（2）の使用材料を表5-1に示す。

表5-1 使用材料

設備名称	評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	主桁	SUS304	C-80×40×5×5 (mm)
	固定ボルト（1）	SUS304	M16
	固定ボルト（2）	SUS304	M16
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)	スキンプレート	SUS304	t = 12 (mm)
	主桁	SUS304	PL-16×150 (mm)
	固定ボルト（1）	SUS304	M30
	固定ボルト（2）	SUS304	M16

#### 5.3.2 許容限界

##### (1) スキンプレート、主桁、固定ボルト（1）

鋼材の許容応力度は、「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）」を踏まえて表5-2の値とする。

表5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
	曲げ	引張	せん断
SUS304	205	205	118

注記：許容応力度を決定する場合の基準値Fは、日本産業規格（JIS）に基づく。

(2) 固定ボルト (2)

固定ボルト (2) の許容荷重は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」に記載した固定ボルト (2) に作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の許容荷重を表 5-3 に示す。

なお、固定ボルト (2) は躯体に埋め込まれていることから、固定ボルト (2) が引張力を受ける場合においては、固定ボルト (2) の降状により決まる許容荷重、付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、固定ボルト (2) がせん断力を受ける場合においては、固定ボルト (2) のせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の短期許容荷重

設備名称	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	SUS304	32.1	22.3
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)		32.1	22.5

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震地応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。浸水防止蓋耐震評価で用いる設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 $S_s$ の設計震度	
		水平 $k_H$	鉛直 $k_V$
第 3 号機海水熱交換器建屋 MB2F	0.P.2.0	1.87	1.11

## 5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する主桁、スキンプレート及び固定ボルト(1)に発生する応力度並びに固定ボルト(2)に発生する応力が、許容限界以下であることを確認する。

主桁とスキンプレートについては、箇所によって評価結果に差異が生じることから、図5-1及び図5-2にそれぞれ評価の対象とする主桁、スキンプレートを示す。また、図5-3に、固定ボルト(1)及び固定ボルト(2)の納まりを示す。

### 5.5.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図5-1に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

#### (1) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ による地震荷重(kN)

$G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重(kN)

$P_s$  : 積雪荷重(kN)

$k_v$  : 基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度

#### (2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s_s}'$

$$W_{s_s}' = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s_s}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

$G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重(kN)

$S_s$  : 基準地震動 $S_s$ による地震荷重(kN)

$P_s$  : 積雪荷重(kN)

$L_1$  : 主桁の負担幅(mm)

$A$  : 浸水防止蓋の面積( $m^2$ )

#### (3) 主桁に生じる最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁に生じる最大せん断応力度( $N/mm^2$ )

$Q$  : 主桁に生じる最大せん断力(kN)

$A_s$  : 主桁のせん断断面積( $mm^2$ )

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s_s}' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

$W_{s_s}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

$L_2$  : 主桁全長(mm)



- (4) 主桁に生じる最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = M \cdot 10^6 / Z$$

$\sigma$  : 主桁に生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 主桁に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで,  $M = 1/8 \cdot W_{ss}' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

$W_{ss}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁全長 (mm)

- (5) 主桁に生じる組合せ応力度

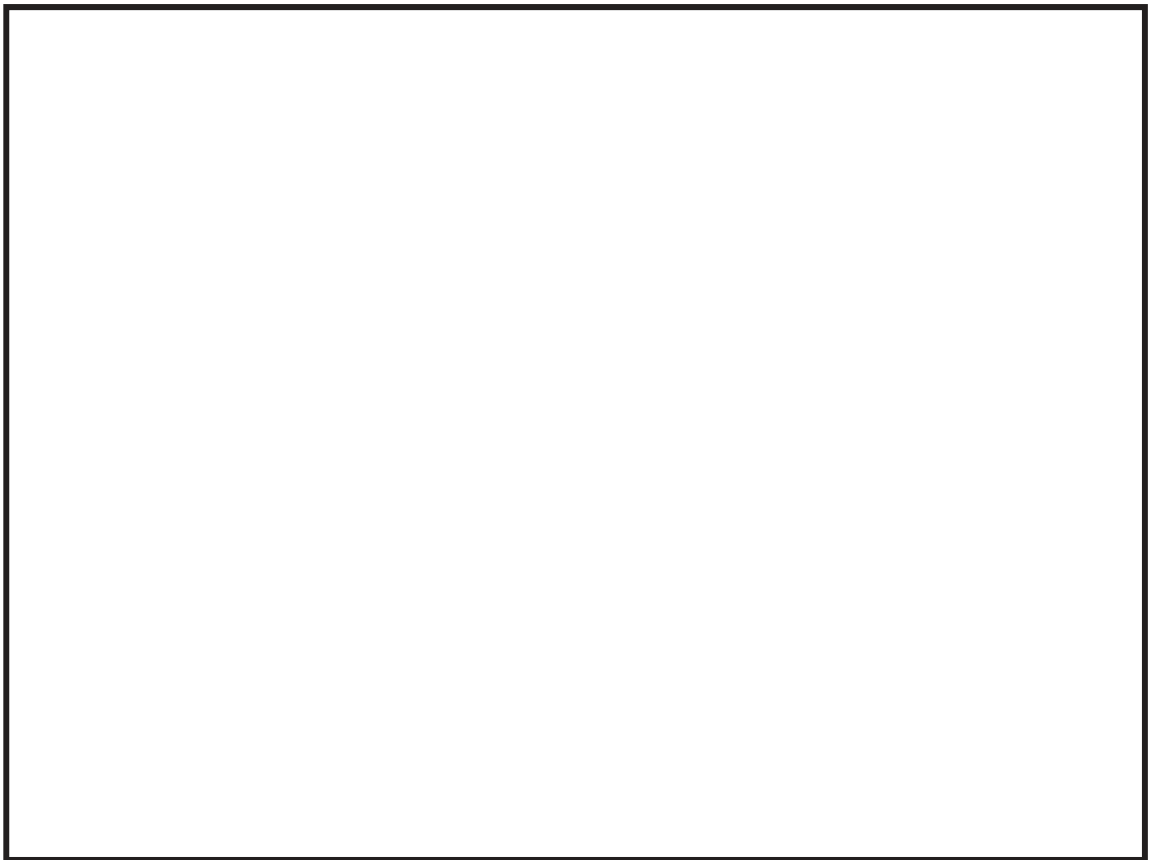
主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会, 2005年改定)」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

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

x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-1 評価の対象とする主桁

### 5.5.2 スキンプレート

図5-2に示す通り、スキンプレートが荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ による地震荷重(kN)

$G$  : スキンプレートの固定荷重(kN)

$P_s$  : スキンプレートに作用する積雪荷重(kN)

$k_v$  : 基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s_s}$

$$W_{s_s} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 $W_{s_s}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$G$  : スキンプレートの固定荷重(kN)

$S_s$  : 基準地震動 $S_s$ による地震荷重(kN)

$P_s$  : スキンプレートに作用する積雪荷重(kN)

$A$  : 浸水防止蓋の面積(m<sup>2</sup>)

(3) スキンプレートに生じる最大曲げ応力度 $\sigma$

スキンプレートに生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot W_{s_s} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに生じる最大曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$W_{s_s}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

$\beta_1$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数

$t$  : スキンプレートの厚さ(mm)

- (4) スキンプレートに生じる最大せん断応力度  $\tau$

$$\tau = W_{ss} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / \{2 \cdot (L_3 + L_4) \cdot t\}$$

ここで、 $\tau$  : スキンプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_3$  : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)

$L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)

$t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

- (5) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検討

スキンプレートに生じる曲げ応力度、せん断応力度を算定し、スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また、スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「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)」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

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

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 5.5.3 固定ボルト (1)

- (1) 基準地震動
- $S_s$
- による水平方向の地震荷重
- $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで,  $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_s$  : 浸水防止蓋に作用する積雪荷重 (kN)

$k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動
- $S_s$
- による鉛直方向の地震荷重
- $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで,  $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_s$  : 浸水防止蓋に作用する積雪荷重 (kN)

$k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
- $\sigma_t$

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで,  $T_s = S_s / n_s$

$\sigma_t$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$T_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)

$n_s$  : 固定ボルト (1) の本数 (本)

$A'$  : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (4) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
- $\tau_s$

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで,  $q_s = S_s / n_s$

$\tau_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$q_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)

$n_s$  : 固定ボルト (1) の本数 (本)

$A'$  : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

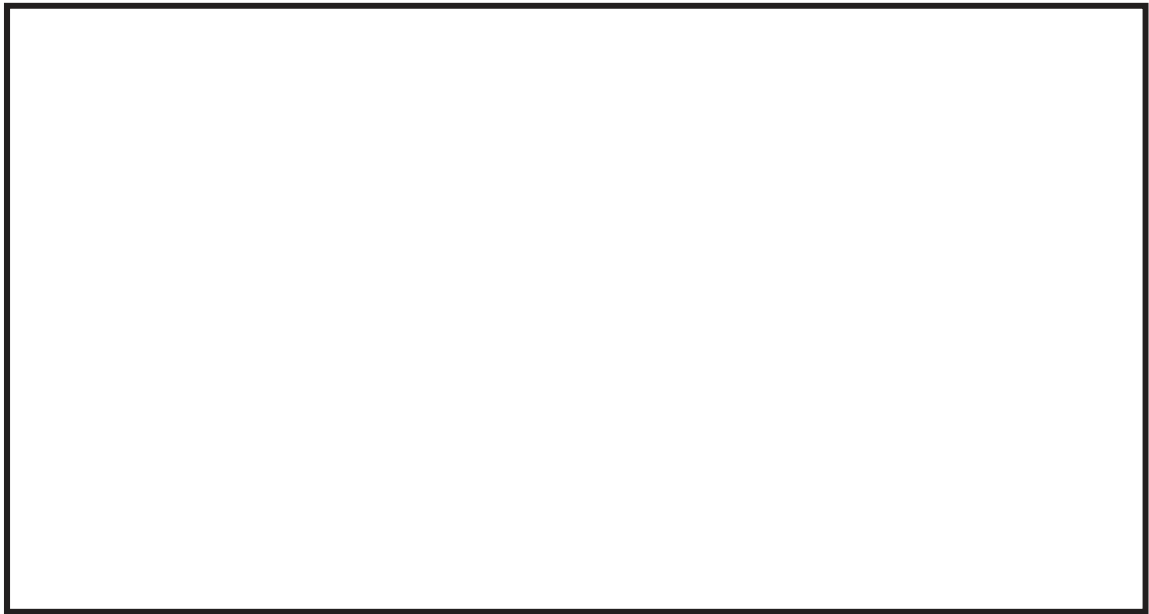


図 5-3 固定ボルト (1) 及び固定ボルト (2) の納まり

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 5.5.4 固定ボルト (2)

- (1) 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで,  $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_s$  : 浸水防止蓋に作用する積雪荷重 (kN)

$k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで,  $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_s$  : 浸水防止蓋に作用する積雪荷重 (kN)

$k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力  $T_d$

$$T_d = S_s / N$$

ここで,  $T_d$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)

$N$  : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (4) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力  $q$

$$q = S_s / N$$

ここで,  $q$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)

$N$  : 固定ボルト (2) の本数 (本)

## 5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 及び表 5-6 に示す。

表 5-5 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）  
の耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
主桁	G	N	主桁とスキンプレーットの固定荷重	3040
	P <sub>s</sub>	N	主桁に作用する積雪荷重	481
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.6
	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	500
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	420
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	せん断断面積	400
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	1.78×10 <sup>4</sup>
スキンプレー ト	G	N	スキンプレートと主桁の固定荷重	3040
	P <sub>s</sub>	N	スキンプレートに作用する積雪荷重	481
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.6
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	500
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	420
	β <sub>1</sub>	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
固定 ボルト(1)	n <sub>s</sub>	本	固定ボルト(1)の本数	36
	A'	mm <sup>2</sup>	固定ボルト(1)の有効断面積	157
	T <sub>s</sub>	N	固定ボルト(1)1本当りに作用する引張力	109
	q <sub>s</sub>	N	固定ボルト(1)1本当りに作用するせん断力	259
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	27
	T <sub>d</sub>	N	固定ボルト(2)1本当りに作用する引張力	226
	q	N	固定ボルト(2)1本当りに作用するせん断力	538



表 5-6 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No.1)  
の耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
主桁	G	N	主桁とスキンプレートの固定荷重	3138
	P <sub>s</sub>	N	主桁に作用する積雪荷重	301
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.0
	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	250
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	1000
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	せん断断面積	2400
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	6.00×10 <sup>4</sup>
スキンプレート	G	N	スキンプレートと主桁の固定荷重	3138
	P <sub>s</sub>	N	スキンプレートに作用する積雪荷重	301
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.0
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	250
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	200
	β <sub>1</sub>	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.5
固定 ボルト(1)	n <sub>s</sub>	本	固定ボルト(1)の本数	8
	A'	mm <sup>2</sup>	固定ボルト(1)の有効断面積	561
	T <sub>s</sub>	N	固定ボルト(1)1本当りに作用する引張力	478
	q <sub>s</sub>	N	固定ボルト(1)1本当りに作用するせん断力	1137
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	15
	T <sub>d</sub>	N	固定ボルト(2)1本当りに作用する引張力	400
	q	N	固定ボルト(2)1本当りに作用するせん断力	954

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 浸水防止蓋(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)  
の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
スキンプレート	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
固定ボルト (2)	引張	0.3	kN	32.1	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.6	kN	22.3	kN	0.03 < 1.0
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0

表 6-2 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)  
の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
スキンプレート	曲げ	1	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	2	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
固定ボルト (2)	引張	0.4	kN	32.1	kN	0.02 < 1.0
	せん断	1.0	kN	22.5	kN	0.05 < 1.0
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0

VI-2-10-2-8-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）  
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	3
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
3.	評価対象部位	8
4.	固有値解析	9
4.1	固有振動数の計算方法	9
4.2	固有振動数の計算条件	10
4.3	固有振動数の計算結果	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重及び荷重の組合せ	12
5.3	許容限界	13
5.4	設計用地震力	16
5.5	評価方法	16
5.6	評価条件	20
6.	評価結果	22

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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に基づき、浸水防護施設のうち地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No. 1）、（No. 2）及び地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は、浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

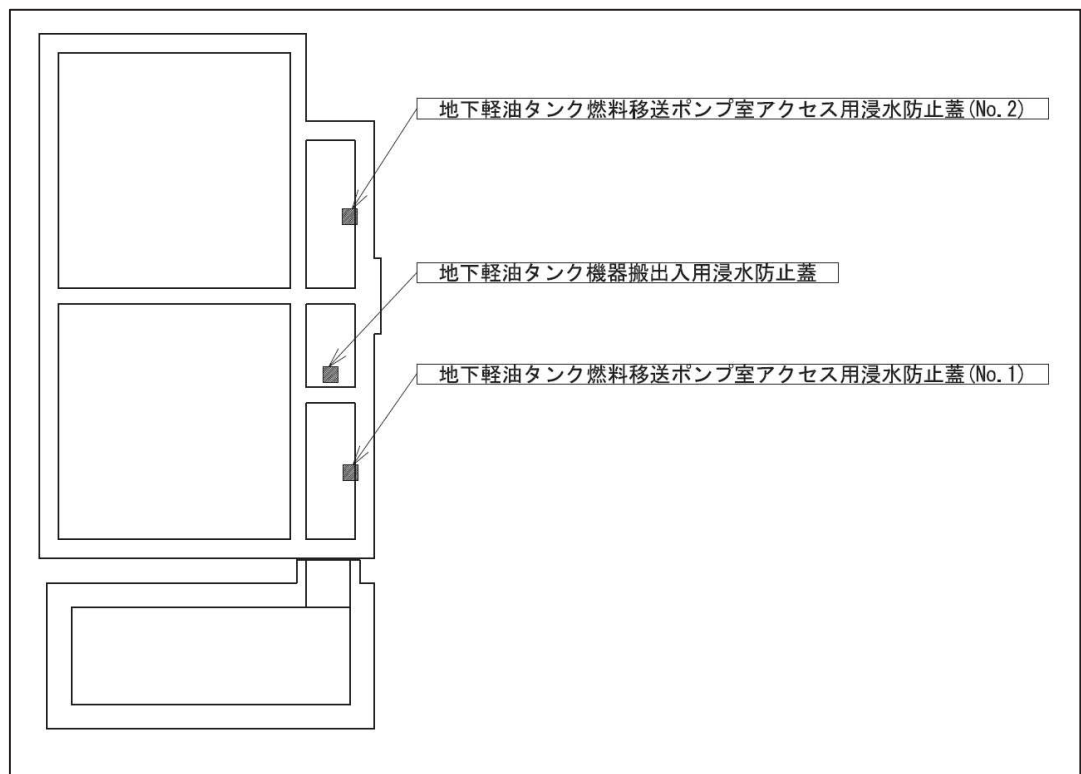


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図（軽油タンクエリア上部）

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトにて固定することで止水性を確保する構造とする。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	<div style="border: 2px solid black; height: 250px; margin-bottom: 20px;"></div> <p style="text-align: center;">地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1), (No. 2)</p> <div style="border: 2px solid black; height: 250px; margin-bottom: 20px;"></div> <p style="text-align: center;">地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す浸水防止蓋の構造を踏まえ「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

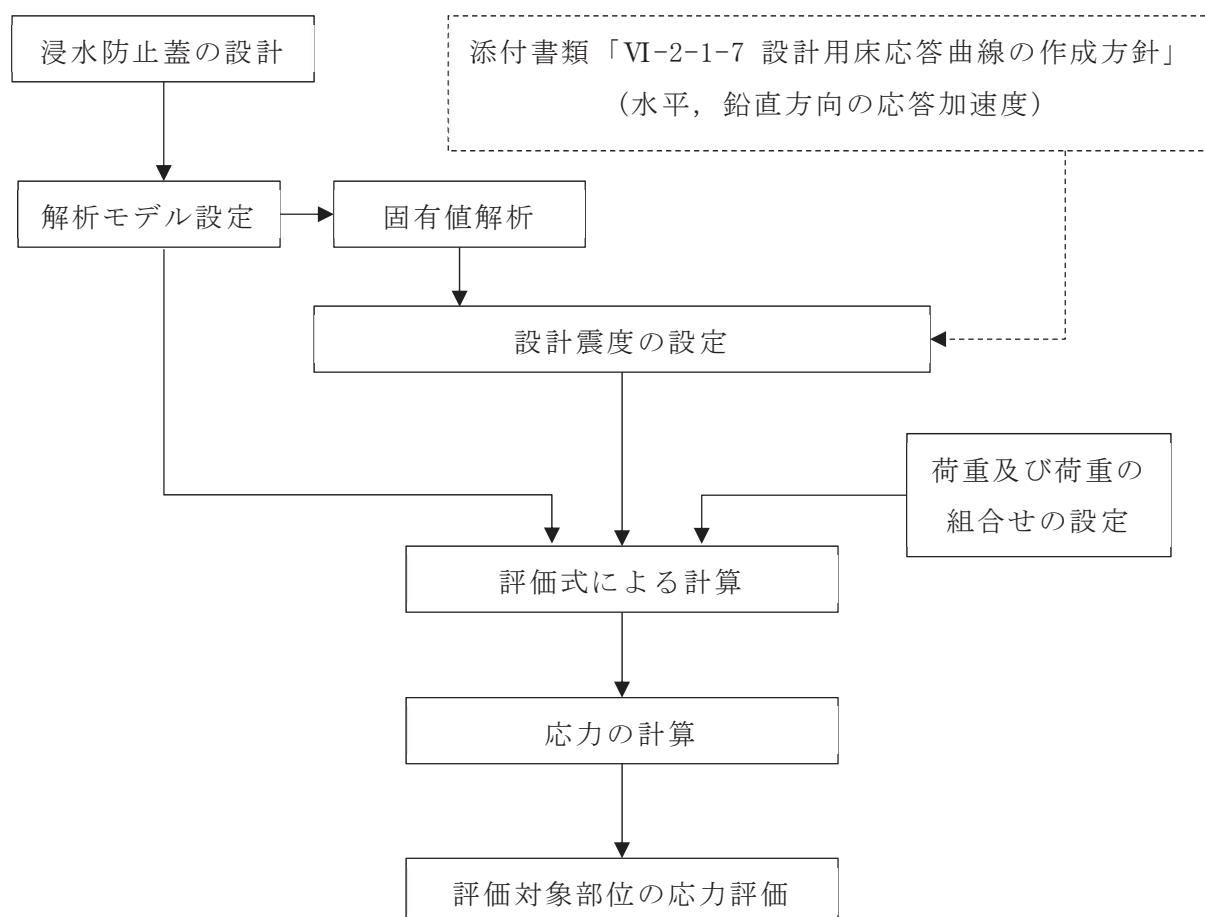


図 2-2 耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む) J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 (日本機械学会)) (以下, 設計・建設規格という。)
- (2) 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 (日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版 (日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 機械工学便覧 (日本機械学会)
- (6) 日本産業規格 (J I S)

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	浸水防止蓋の幅（長辺）
b	mm	浸水防止蓋の長さ（短辺）
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
t	mm	浸水防止蓋の厚さ
m	kg	浸水防止蓋を構成する部材の重量
D	N	固定荷重
P <sub>s</sub>	Pa	積雪荷重
F	MPa	許容応力算定用基準値 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.(b)に定める、S <sub>y</sub> 及び0.7・S <sub>u</sub> のいずれか小さい方の値とする。
f <sub>b</sub>	MPa	許容曲げ応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)に定める値とする。
f <sub>s</sub>	MPa	許容せん断応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(2)に定める値とする。
f <sub>t</sub>	MPa	許容引張応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値とする。
f <sub>t s</sub>	MPa	せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 8 に規定される材料の設計降伏点
S <sub>u</sub>	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 9 に規定される材料の設計引張強さ
C <sub>H</sub>	—	基準地震動 S <sub>s</sub> による水平方向の設計震度
C <sub>V</sub>	—	基準地震動 S <sub>s</sub> による鉛直方向の設計震度
K <sub>H s s</sub>	N	基準地震動 S <sub>s</sub> による水平方向の地震荷重
K <sub>V s s</sub>	N	基準地震動 S <sub>s</sub> による鉛直方向の地震荷重
A	mm <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
ω	Pa/cm	積雪の単位荷重
β <sub>2</sub>	—	浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数
σ <sub>b s s</sub>	MPa	浸水防止蓋に加わる曲げ応力
σ	MPa	浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力
τ <sub>s s</sub>	MPa	浸水防止蓋に加わるせん断応力
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
n	本	ボルトの本数

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$\tau_{kss}$	MPa	ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力
$f_{t0}$	MPa	ボルトに作用する許容引張応力 ( $f_t$ を 1.5 倍した値)

### 3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋に対して積雪及び地震（S s）による荷重が作用し、これらの荷重は鋼製の浸水防止蓋から浸水防止蓋を固定している鋼製の固定ボルトに伝達することから、主要構成部材である浸水防止蓋及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋の耐震評価における評価対象部位について図 3-1 及び図 3-2 に示す。



図 3-1 評価対象部位（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋  
(No. 1) , (No. 2))



図 3-2 評価対象部位（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

##### 4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、全周囲を固定ボルトにて固定された構造であることから、荷重がかかる浸水防止蓋は図 4-1 に示す周辺固定の長方形板モデルとする。

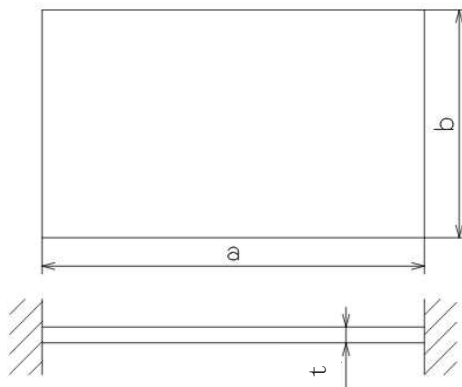


図 4-1 浸水防止蓋の概略モデル

##### 4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
T	s	固有周期
f	Hz	一次固有振動数
b	mm	浸水防止蓋の長さ（短辺）
t	mm	浸水防止蓋の厚さ
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
λ	—	振動数係数（板モデルの固有振動数算出）
E	MPa	縦弾性係数 設計・建設規格の付録材料図表 Part6 表 1 より温度を考慮して求めた値
ρ	kg/m <sup>3</sup>	材料の密度
ν	—	ポアソン比

#### 4.1.3 固有振動数の算出方法

固有周期 T 及び周辺固定の長方形板モデルの一次固有振動数 f は、「機械工学便覧（日本機械学会）」より、次式を用いて算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot b^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

#### 4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件 (1/2)

設備名称	材質	浸水防止蓋の厚さ t (mm)	浸水防止蓋の幅 a (mm)	浸水防止蓋の長さ b (mm)	振動数係数 $\lambda^{*1}$
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用浸水防止蓋 (No.1) , (No.2)	SUS304	16	$1.336 \times 10^3$	$1.070 \times 10^3$	2.74
地下軽油タンク 機器搬出入用浸水防止蓋	SUS304	16	$1.336 \times 10^3$	$1.030 \times 10^3$	2.74

表 4-2 固有振動数の計算条件 (2/2)

温度条件 <sup>*2</sup> (°C)	縦弾性係数 E (MPa)	重力加速度 g (m/s <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	材料の密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
40	$1.94 \times 10^5$	9.80665	0.3	$7.93 \times 10^3$

注記\*1：浸水防止蓋の振動数係数  $\lambda$  は、いずれも  $1 < a/b < 1.5$  のため、より小さな値として算出される  $a/b = 1.5$  の場合の定数  $\lambda = 2.74$  を用いた。

\*2：屋外設備としての環境条件を考慮する。

#### 4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1) , (No. 2)	90.03
地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	97.16



## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$D + S_s + P_s$$

ここで、D : 固定荷重

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重

$P_s$  : 積雪荷重

#### 5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

##### (1) 固定荷重 (D)

常時作用する固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮し、以下の式により算出する。

$$D = m \cdot g$$

ここで、D : 固定荷重 (N)

m : 浸水防止蓋を構成する部材の重量 (kg)

g : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

(2) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

地震荷重を以下の式より算出する。

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D + P_s \cdot A)$$

$$K_{V s s} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、 $K_{H s s}$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (N)

$K_{V s s}$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (N)

$C_H$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の設計震度

$C_V$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の設計震度

$D$  : 固定荷重 (N)

$P_s$  : 積雪荷重 (Pa)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 ( $\text{mm}^2$ )

(3) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付資料「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量を以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot \omega \cdot 43$$

ここで、 $P_s$  : 積雪荷重 (Pa)

$\omega$  : 積雪の単位荷重 (Pa/cm)

5.3 許容限界

許容限界は、添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する浸水防止蓋，固定ボルト①，固定ボルト②及び固定ボルト③の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋	SUS304	厚さ 16 mm
固定ボルト①②③	SUS304	M16

5.3.2 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している許容限界を踏まえ、設計・建設規格に準じた許容応力を用いる。なお、浸水防止蓋の浮き上がりによるボルトの引張が起こらないため、固定ボルトの発生応力においては引張を考慮しないことから、引張応力及び組合せ応力については許容限界を設定しない。

浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界を表 5-2 に、許容応力評価条件を表 5-3 に、許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。

表 5-2 浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界（許容応力）

許容応力 状態	許容限界* <sup>1</sup> (MPa)					
	浸水防止蓋			固定ボルト①②③		
	一次応力			一次応力		
	曲げ	せん断	組合せ* <sup>2</sup>	引張	せん断	組合せ* <sup>3</sup>
Ⅲ <sub>AS</sub> * <sup>4</sup>	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$f_{ts}$

注記\*<sup>1</sup>：曲げ及びせん断は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。組合せは、設計・建設規格による。

\*<sup>2</sup>：曲げとせん断の組合せである。

\*<sup>3</sup>：せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  は、次のいずれか小さい方の値から算出。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \tau_{kss}$$

$$f_{ts} = f_{t0}$$

\*<sup>4</sup>：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
浸水防止蓋	SUS304	40	205	520	205
固定ボルト①					
固定ボルト②					
固定ボルト③					

注記\*： $F = \text{Min} [S_y, 0.7 \cdot S_u]$  とする。

表 5-4 許容応力算出結果

許容応力 状態	評価対象 部位	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)	
		一次応力			一次応力	
		曲げ (MPa)	せん断 (MPa)	組合せ (MPa)	引張 (MPa)	せん断 (MPa)
Ⅲ <sub>A</sub> S	浸水防止蓋	204	117	204	—	—
	固定ボルト①	—	—	—	—	117
	固定ボルト②	—	—	—	—	117
	固定ボルト③	—	—	—	—	117

#### 5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す軽油タンク室（ポンプ室）における最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-5 設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度 $C_H^*$	鉛直方向設計震度 $C_V^*$
基準地震動 $S_s$	軽油タンク室（ポンプ室） O.P. 14.80	1.52	0.95

注記\*：「4. 固有値解析」より，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

#### 5.5 評価方法

浸水防止蓋，固定ボルト①，固定ボルト②及び固定ボルト③に発生する応力より算出する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

##### 5.5.1 浸水防止蓋

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に，浸水防止蓋に発生する曲げ応力及びせん断応力は，「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

##### (1) 最大曲げ応力

$$\sigma_{b s s} = \frac{\beta_2 \cdot \left( \frac{D + K_{V s s}}{A} + P_s \right) \cdot b^2}{t^2}$$

ここで， $\sigma_{b s s}$ ：浸水防止蓋に加わる曲げ応力(MPa)

$\beta_2$ ：浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数

D：浸水防止蓋の固定荷重(N)

$K_{V s s}$ ：基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重(N)

A：浸水防止蓋の面積(mm<sup>2</sup>)

$P_s$ ：積雪荷重(Pa)

b：浸水防止蓋の長さ（短辺）(mm)

t：浸水防止蓋の厚さ(mm)

(2) 最大せん断応力

$$\tau_{s s} = \frac{D + K_{V s s} + P_s \cdot A}{t \cdot (a + b) \cdot 2}$$

- ここで、 $\tau_{s s}$  : 浸水防止蓋に加わるせん断応力 (MPa)  
 $D$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)  
 $K_{V s s}$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (N)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (Pa)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $t$  : 浸水防止蓋の厚さ (mm)  
 $a$  : 浸水防止蓋の長さ (長辺) (mm)  
 $b$  : 浸水防止蓋の長さ (短辺) (mm)

(3) 組合せ応力評価

浸水防止蓋に発生する曲げ応力やせん断応力の組合せ応力を以下の式より算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{b s s}^2 + 3 \cdot \tau_{s s}^2} \quad *$$

注記\* : 設計・建設規格 SSB-3121.1

- ここで、 $\sigma$  : 浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力 (MPa)  
 $\sigma_{b s s}$  : 浸水防止蓋に加わる曲げ応力 (MPa)  
 $\tau_{s s}$  : 浸水防止蓋に加わるせん断応力 (MPa)

### 5.5.2 固定ボルト①

固定ボルト①に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋の水平方向荷重をすべての固定ボルト①で負担するものとして評価する。固定ボルト①のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_1 \cdot A_{b 1}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_1 + P_s \cdot A)$$

ここで、 $\tau_{k s s}$  : ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (N)

$C_H$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の設計震度

$D_1$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)

$P_s$  : 積雪荷重 (Pa)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 ( $\text{mm}^2$ )

$n_1$  : 固定ボルト①の本数 (本)

$A_{b 1}$  : 固定ボルト①の呼び径断面積 ( $\text{mm}^2$ )

### 5.5.3 固定ボルト②

固定ボルト②に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト②で負担するものとして評価する。固定ボルト②のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_2 \cdot A_{b 2}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_2 + P_s \cdot A)$$

ここで、 $\tau_{k s s}$  : ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (N)

$C_H$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の設計震度

$D_2$  : 浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの固定荷重 (N)

$P_s$  : 積雪荷重 (Pa)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 ( $\text{mm}^2$ )

$n_2$  : 固定ボルト②の本数 (本)

$A_{b 2}$  : 固定ボルト②の呼び径断面積 ( $\text{mm}^2$ )

#### 5.5.4 固定ボルト③

固定ボルト③に作用するせん断荷重は，浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト③で負担するものとして評価する。固定ボルト③のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_3 \cdot A_{b 3}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_3 + P_s \cdot A)$$

ここで， $\tau_{k s s}$  : ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (N)

$C_H$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の設計震度

$D_3$  : 浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重 (N)

$P_s$  : 積雪荷重 (Pa)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 ( $\text{mm}^2$ )

$n_3$  : 固定ボルト③の本数 (本)

$A_{b 3}$  : 固定ボルト③の呼び径断面積 ( $\text{mm}^2$ )



## 5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No. 1）  
（No. 2））の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋	D	N	浸水防止蓋の固定荷重	$3.040 \times 10^3$
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	$1.336 \times 10^3$
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	$1.070 \times 10^3$
	A	mm <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	$1.430 \times 10^6$
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D <sub>1</sub>	N	浸水防止蓋の固定荷重	$3.040 \times 10^3$
	n <sub>1</sub>	本	固定ボルト①の本数	8
	A <sub>b1</sub>	mm <sup>2</sup>	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D <sub>2</sub>	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	$4.590 \times 10^3$
	n <sub>2</sub>	本	固定ボルト②の本数	12
	A <sub>b2</sub>	mm <sup>2</sup>	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D <sub>3</sub>	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	$6.472 \times 10^3$
	n <sub>3</sub>	本	固定ボルト③の本数	16
	A <sub>b3</sub>	mm <sup>2</sup>	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

表 5-7 浸水防止蓋（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋	D	N	固定荷重	$2.550 \times 10^3$
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	$1.336 \times 10^3$
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	$1.070 \times 10^3$
	A	mm <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	$1.376 \times 10^6$
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D <sub>1</sub>	N	浸水防止蓋の固定荷重	$2.550 \times 10^3$
	n <sub>1</sub>	本	固定ボルト①の本数	8
	A <sub>b1</sub>	mm <sup>2</sup>	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D <sub>2</sub>	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	$4.295 \times 10^3$
	n <sub>2</sub>	本	固定ボルト②の本数	12
	A <sub>b2</sub>	mm <sup>2</sup>	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D <sub>3</sub>	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	$6.178 \times 10^3$
	n <sub>3</sub>	本	固定ボルト③の本数	16
	A <sub>b3</sub>	mm <sup>2</sup>	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。全ての部材において発生応力が許容応力以下であることを確認した。

表 6-1 耐震評価結果

評価対象部位		評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用 浸水防止蓋 (No. 1) , (No. 2)	浸水防止蓋	曲げ	10	204
		せん断	1	117
		組合せ*	11	204
	固定ボルト①	せん断	4	117
	固定ボルト②	せん断	4	117
	固定ボルト③	せん断	4	117
地下軽油タンク 機器搬出入用 浸水防止蓋	浸水防止蓋	曲げ	8	204
		せん断	1	117
		組合せ*	9	204
	固定ボルト①	せん断	3	117
	固定ボルト②	せん断	3	117
	固定ボルト③	せん断	4	117

注記\*：浸水防止蓋の組合せ応力値は曲げとせん断の組合せである。

VI-2-10-2-12 堰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	検討対象堰一覧	2
2.2	配置概要	3
2.3	構造計画	12
2.4	評価方針	14
2.5	適用基準	14
2.6	記号の説明	15
3.	固有振動数及び設計用地震力	17
3.1	固有振動数の計算方法	17
3.2	固有振動数の計算条件	18
3.3	固有振動数の計算結果	18
3.4	設計用地震力	18
4.	構造強度評価	20
4.1	評価対象部位及び評価対象設備	20
4.2	荷重及び荷重の組合せ	22
4.3	許容限界	23
4.4	評価方法	24
4.5	評価条件	31
5.	評価結果	32

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」に示すとおり、浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰（以下「堰」という。）が、主要設備リストにおける耐震重要度分類にて要求される地震力に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

堰は設計基準対象施設においては耐震Bクラス施設、耐震Cクラス施設及び耐震C-2クラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の各建屋の対象堰数を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象堰

設置建屋	対象堰数
原子炉建屋	33
制御建屋	5
タービン建屋	5
合計	43

## 2.2 配置概要

堰は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「4.1.3 浸水防止堰の設計方針」及び「4.1.4 管理区域外伝播防止水密扉及び管理区域外伝播防止堰の設計方針」に示すとおり、原子炉建屋、制御建屋及びタービン建屋に設置する。堰の設置位置及び堰の名称を図 2-1 に示す。

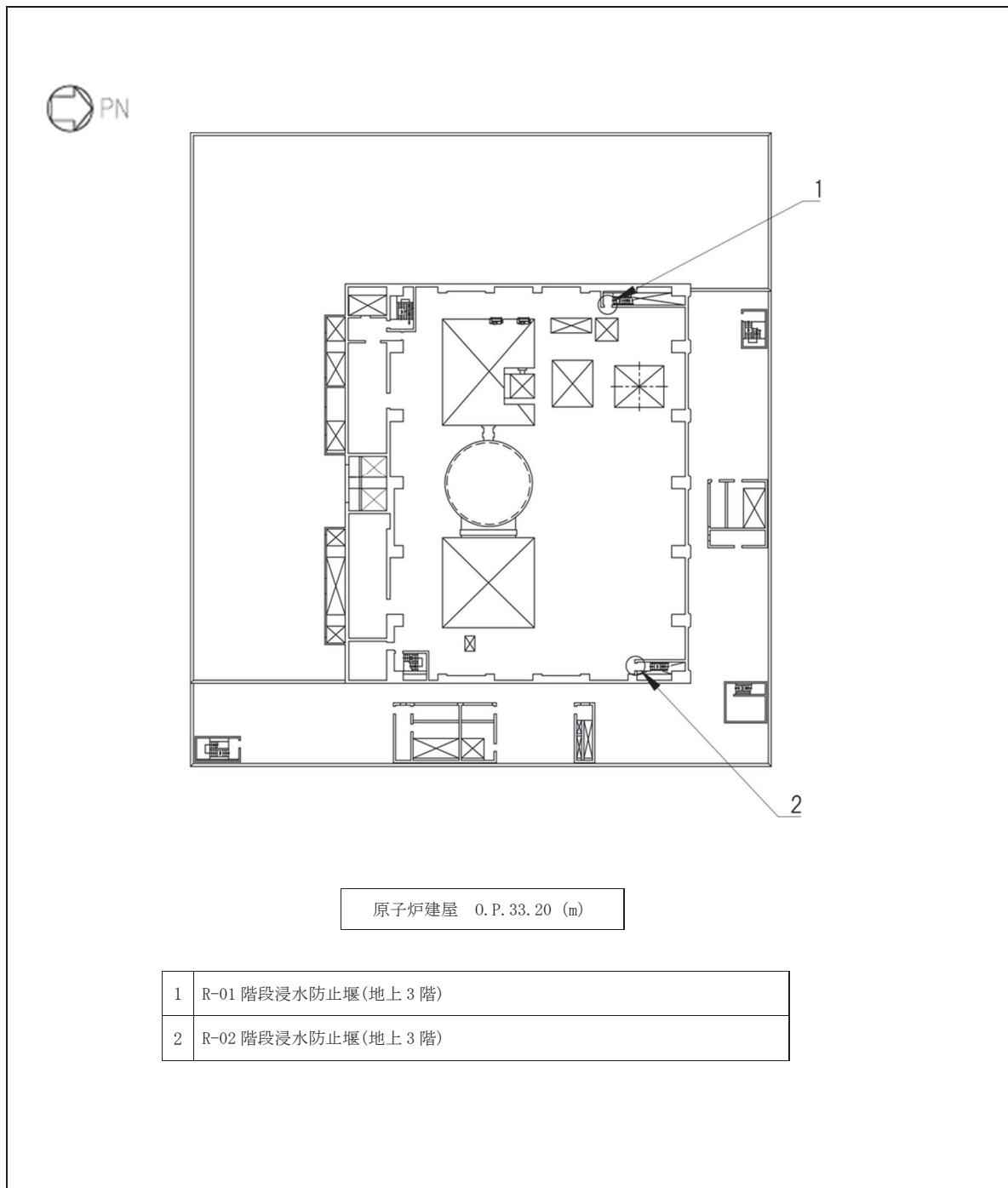


図 2-1 設置位置図 (1/9)



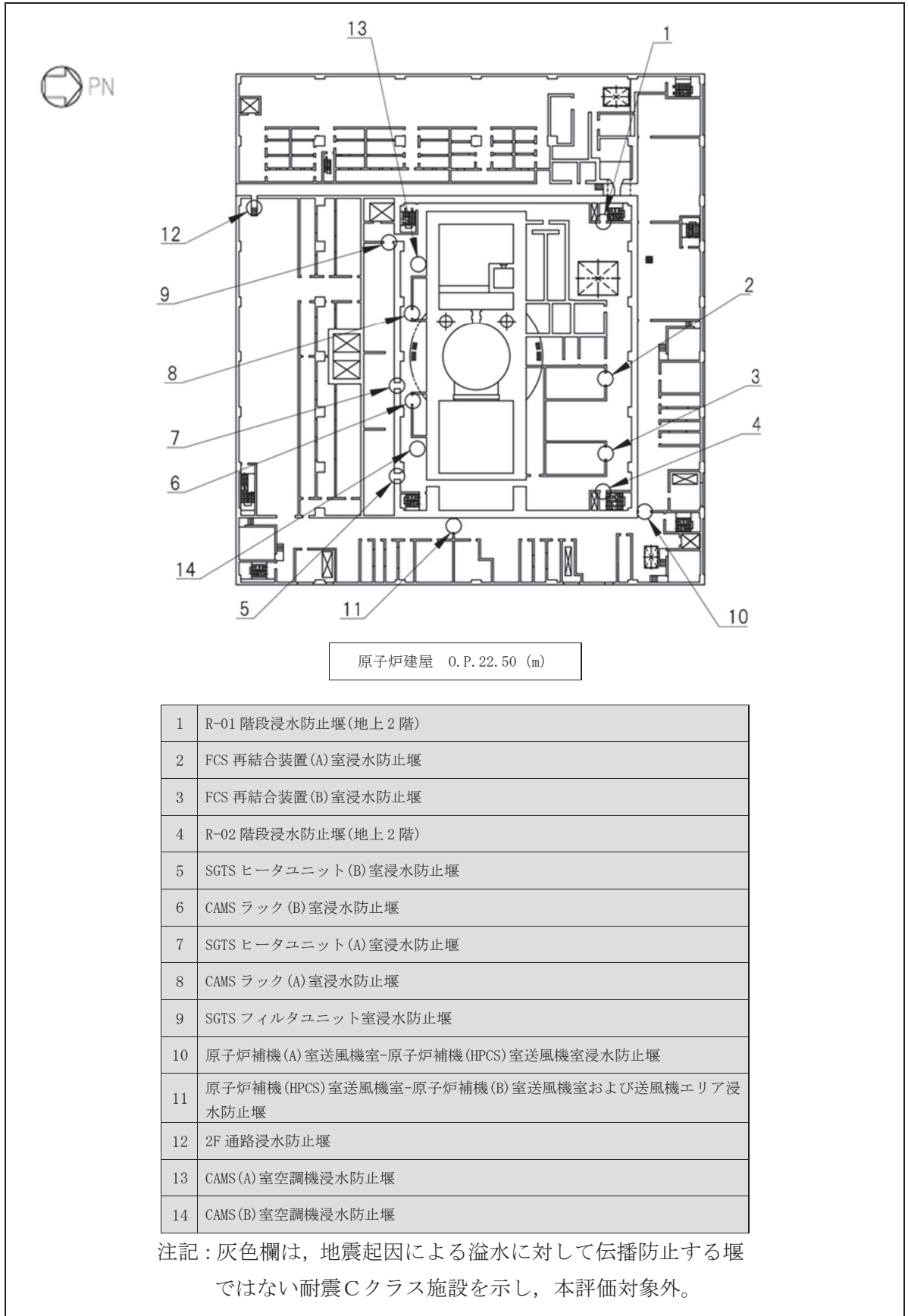
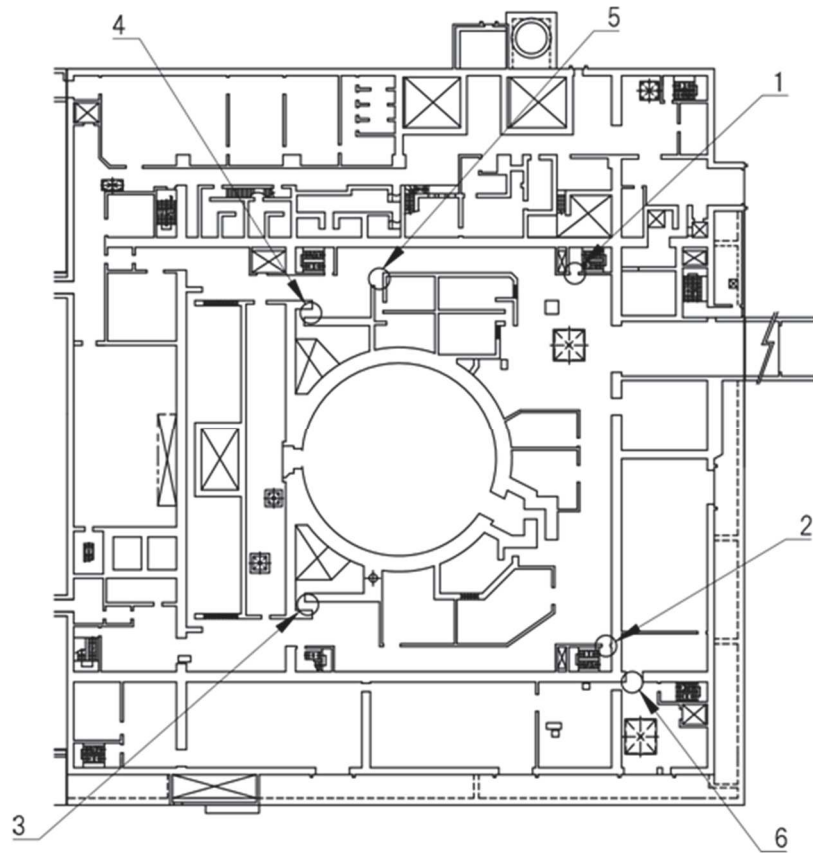


図 2-1 設置位置図 (2/9)



原子炉建屋 0. P. 15. 00 (m)

1	R-01 階段浸水防止堰(地上1階)
2	R-02 階段浸水防止堰(地上1階)
3	バルブ(B)室浸水防止堰
4	バルブ(A)室浸水防止堰
5	FPC ポンプ室浸水防止堰
6	区分Ⅰ・Ⅲ非常用D/G制御盤室浸水防止堰

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図 2-1 設置位置図 (3/9)

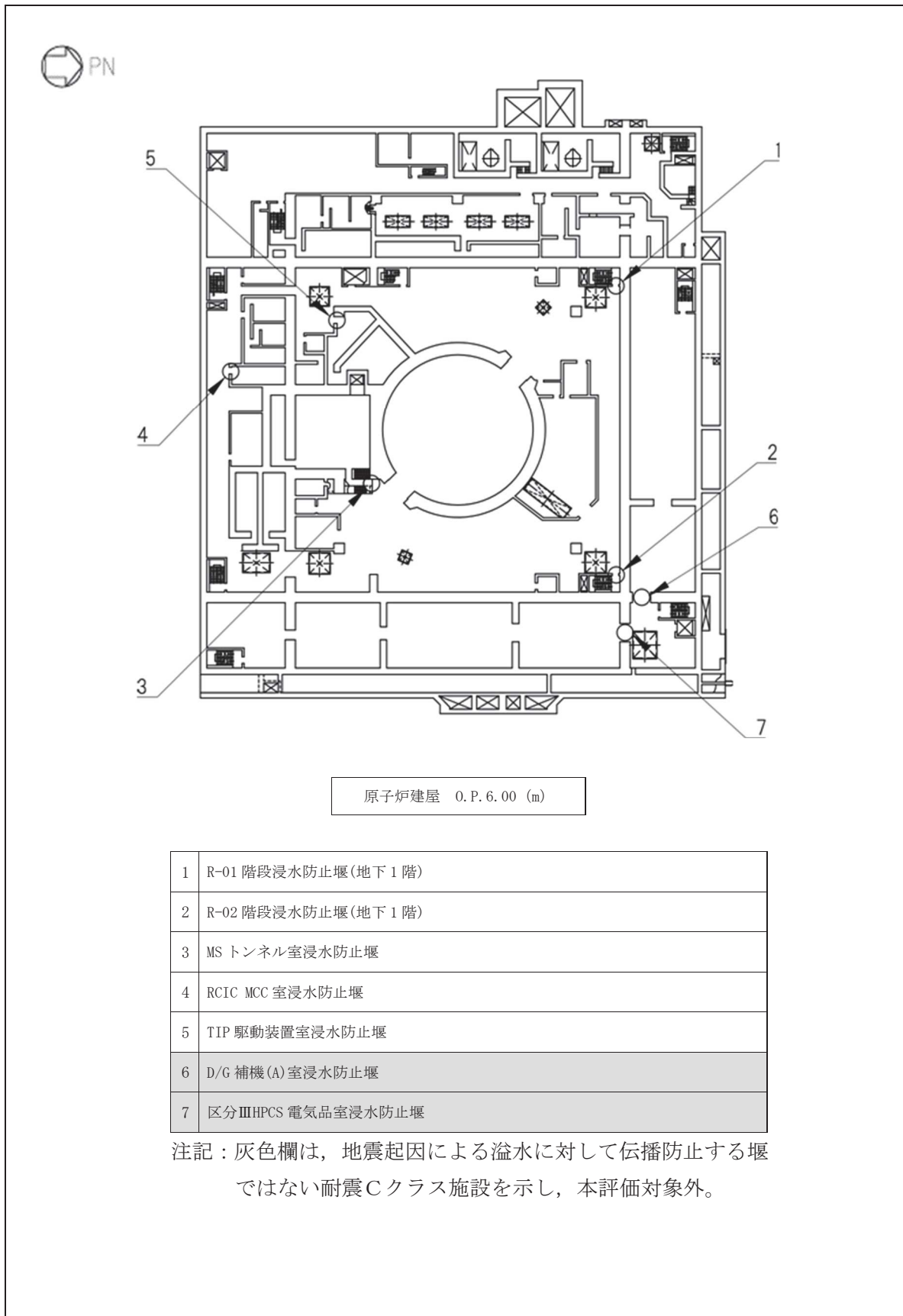


図 2-1 設置位置図 (4/9)

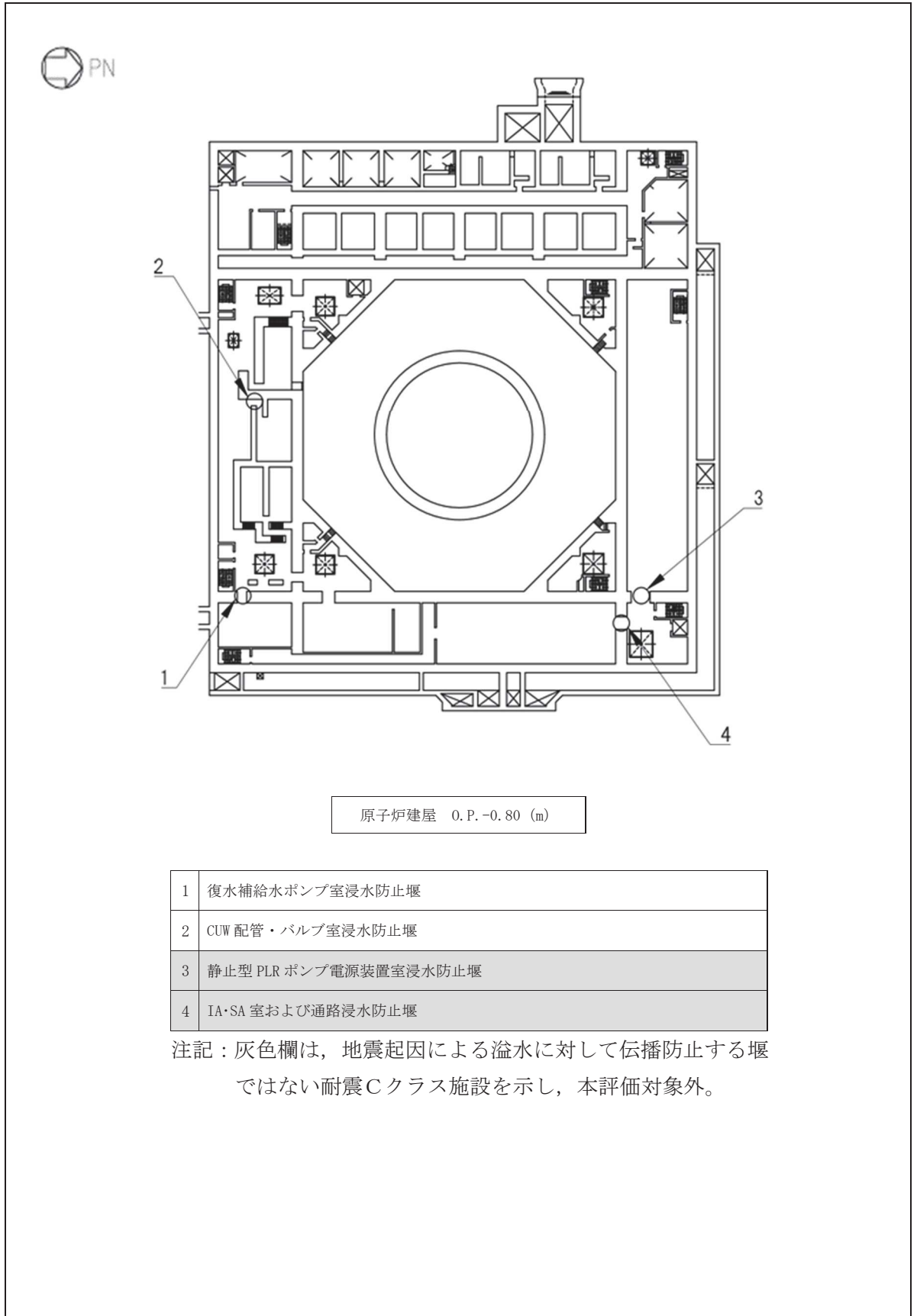
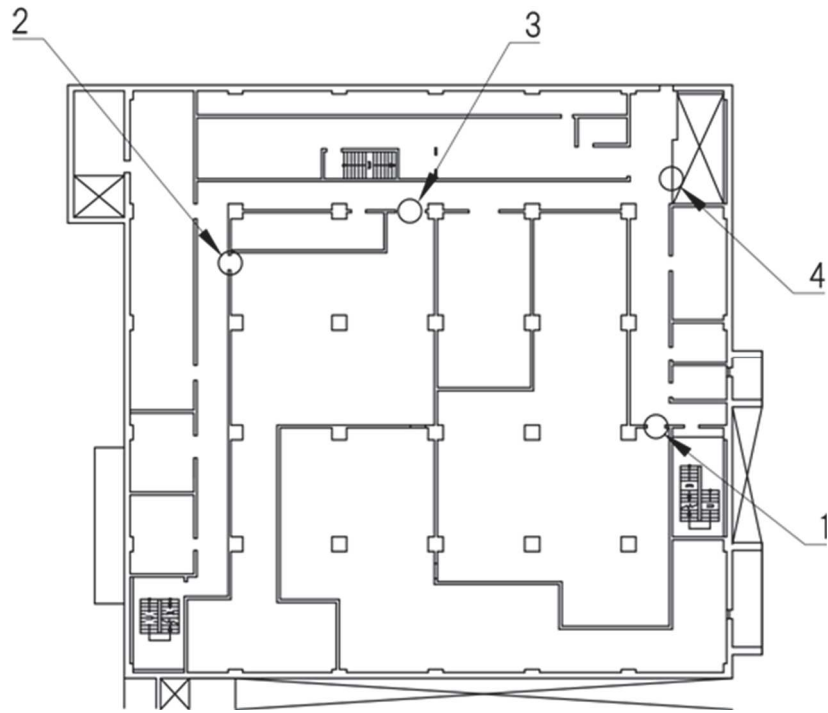


図 2-1 設置位置図 (5/9)

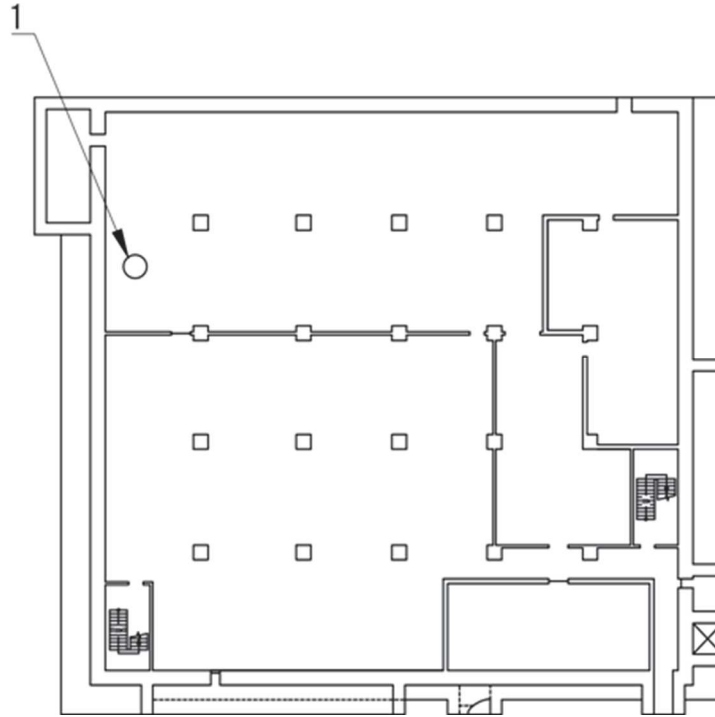


制御建屋 0.P.19.50 (m)

1	区分 I ケーブル処理室浸水防止堰
2	常用系ケーブル処理室浸水防止堰 (No. 2)
3	常用系ケーブル処理室浸水防止堰 (No. 1)
4	ハッチ上部スペース浸水防止堰

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図 2-1 設置位置図 (6/9)

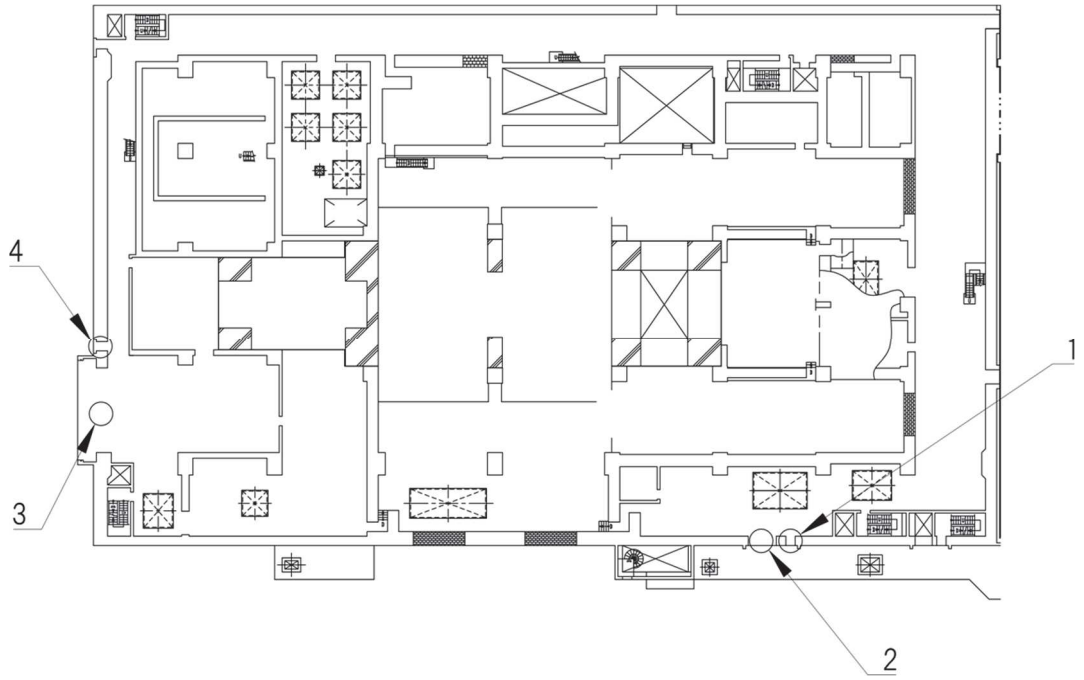


制御建屋 0.P.1.50 (m)

1	中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰
---	---------------------

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図2-1 設置位置図 (7/9)

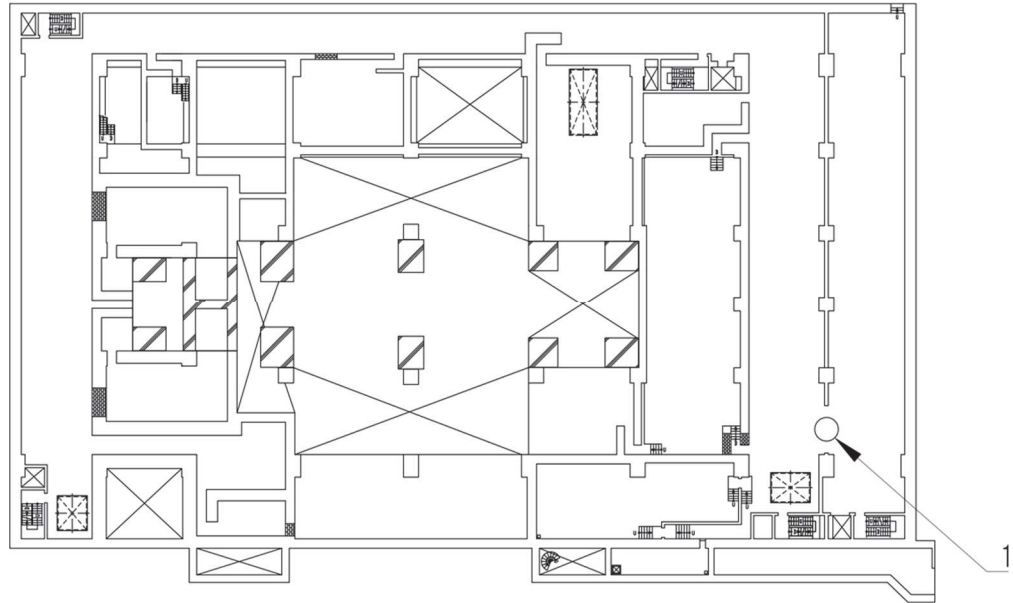


タービン建屋 0. P. 15. 00 (m)

1	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 3) *
2	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 4) *
3	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 2) *
4	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 1) *

注記\* : 地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Bクラス施設を示す。

図 2-1 設置位置図 (8/9)



タービン建屋 0.P.7.60 (m)

1	HNCW 冷凍機・ポンプ室管理区域外伝播防止堰*
---	--------------------------

注記\*：地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Bクラス施設を示す。

図2-1 設置位置図 (9/9)



### 2.3 構造計画

堰の構造は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。堰は、止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いる構造とする。

堰の構造計画を表 2-2 に、概略構造図を図 2-2 に示す。

表 2-2 堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いて構成する。	図 2-2

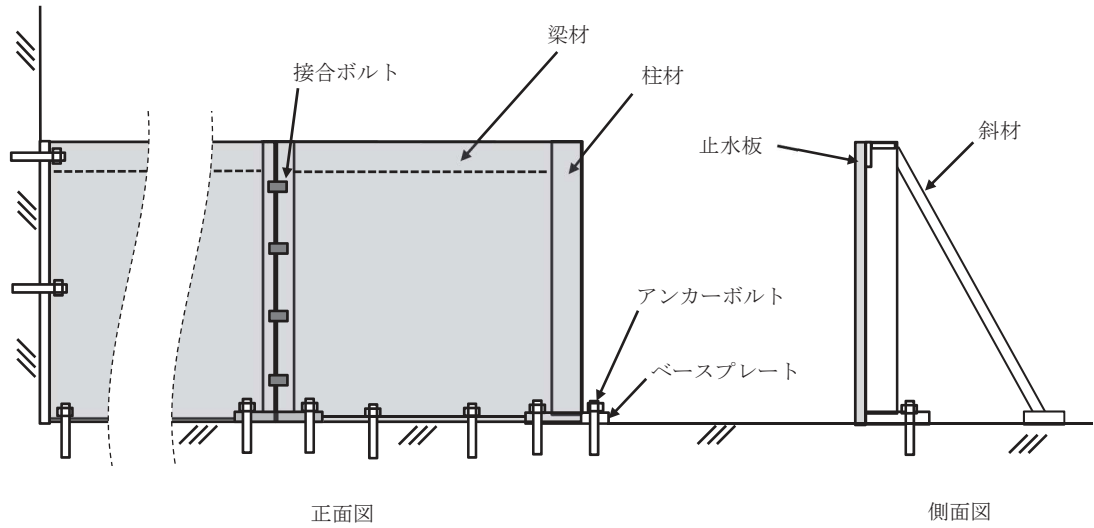


図 2-2 堰の概略構造図

## 2.4 評価方針

堰の耐震評価は、「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数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. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

堰の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

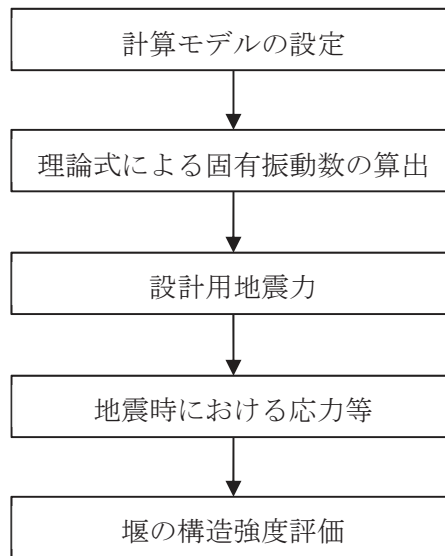


図 2-3 堰の耐震評価フロー

## 2.5 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 機械工学便覧 基礎編 α 3 材料力学（（社）日本機械学会，2005 年改訂）

## 2.6 記号の説明

堰の耐震評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$\rho_0$	kg/m <sup>3</sup>	止水板の密度
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$k_H$	—	水平方向の設計震度
H	mm	堰の高さ
$F_H$	N	設計用水平地震力
$P_w$	N/mm <sup>2</sup>	地震荷重による分布荷重
$\sigma_\rho$	N/mm <sup>2</sup>	止水板の曲げ応力度
$W_1$	N	堰の重量
t	mm	止水板の板厚
a	mm	止水板の短辺方向の長さ
$\beta$	—	長方形板の応力係数
$W_f'$	N/mm	梁材の単位長さ当りの水平荷重
$\sigma_f$	N/mm <sup>2</sup>	梁材の曲げ応力度
$M_f$	N・mm	$M_{f1}$ と $M_{f2}$ の大なる方
$M_{f1}$	N・mm	梁材の正側最大曲げモーメント
$M_{f2}$	N・mm	梁材の負側最大曲げモーメント
$\tau_f$	N/mm <sup>2</sup>	梁材のせん断応力度
$Q_f$	N	$Q_{f1}$ と $Q_{f2}$ の大なる方
$Q_{f1}$	N	梁材の正側最大せん断力
$Q_{f2}$	N	梁材の負側最大せん断力
$\sigma_{ef}$	N/mm <sup>2</sup>	梁材の組合せ応力度
$L_f'$	mm	梁材の長さ
$L'$	mm	アンカーボルトの間隔
$a'$	mm	アンカーボルトから梁材端部までの長さ
$Z_f$	mm <sup>3</sup>	梁材の断面係数
$A_f$	mm <sup>2</sup>	梁材のせん断断面積
$L_1'$	mm	柱材 1 本当りが負担する止水板の幅
$L_Y'$	mm	柱材の長さ
$W_Y'$	N/mm	柱材の単位長さ当りの水平荷重
$W_Y$	N	柱材の重量
$\sigma_Y$	N/mm <sup>2</sup>	柱材の曲げ応力度

表 2-3 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$M_Y$	N・mm	柱材の曲げモーメント
$\tau_Y$	N/mm <sup>2</sup>	柱材のせん断応力度
$Q_Y$	N	柱材のせん断力
$\sigma_{eY}$	N/mm <sup>2</sup>	柱材の組合せ応力度
$L_1'$	mm	柱材 1 本当たりが負担する止水板の幅
$Z_Y$	mm <sup>3</sup>	柱材の断面係数
$A_Y$	mm <sup>2</sup>	柱材のせん断断面積
$M_h$	N・mm	堰の脚部に作用する最大曲げモーメント
b	mm	鋼製板の折り曲げ部の幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
N	本	アンカーボルトの本数
T	N	アンカーボルトに生じる最大引張力
q	N	アンカーボルトに生じる最大せん断力
T <sub>a</sub>	N	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重
Q <sub>a</sub>	N	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重

### 3. 固有振動数及び設計用地震力

#### 3.1 固有振動数の計算方法

堰の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を求める。

##### 3.1.1 解析モデルの設定

各部部位の寸法や形状を踏まえ両端支持梁に単純化したモデルとする。堰の評価モデル図を図3-1に示す。

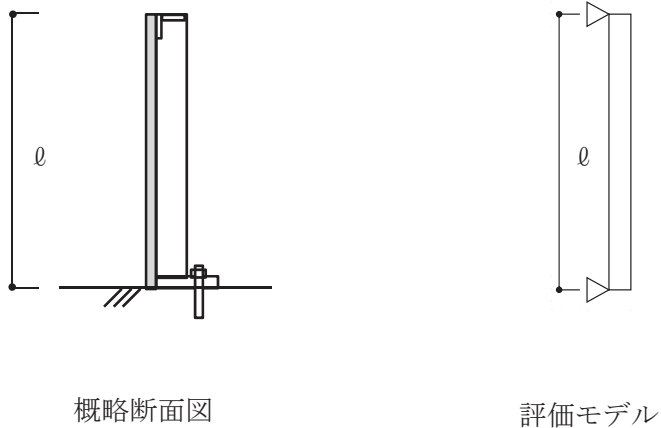


図3-1 堰の評価モデル図

##### 3.1.2 記号の説明

堰の固有振動数算出に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 堰の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
$l$	m	堰高さ
E	N/m <sup>2</sup>	ヤング率
I	m <sup>4</sup>	断面2次モーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量 (質量分布)

### 3.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数  $f$  を「機械工学便覧 基礎編 α3 材料力学（（社）日本機械学会，2005年改訂）」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

### 3.2 固有振動数の計算条件

堰の固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 堰の固有振動数の計算条件

堰高さ $\ell$ (m)	ヤング率 $E$ (N/m <sup>2</sup> )	断面 2 次 モーメント $I$ (m <sup>4</sup> )	質量分布 $m$ (kg/m)
0.45*	$2.05 \times 10^{11}$	$8.91 \times 10^{-9}$	23.3

注記\*：評価対象の堰の高さ

### 3.3 固有振動数の計算結果

堰の固有振動数の計算結果を表 3-3 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 3-3 堰の固有振動数の計算結果

固有振動数 (Hz)
68.66

### 3.4 設計用地震力

基準地震動  $S_s$  による設計用地震力は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性についての計算書」に基づく解析結果により設定する。

地震応答解析に基づいて算定された堰設置床の最大応答加速度から各堰の設計震度を設定する。また、堰は建物・構築物として評価する。

耐震 B クラスの施設に要求される地震荷重は地震荷重 ( $S_B$ ) であるが、保守的な評価となるように地震荷重 ( $S_s$ ) とする。

各堰の設置床の最大応答加速度から算出した設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 堰の設計震度

建屋	階	床高さ (O. P.)	水平震度*	鉛直震度
原子炉建屋	地上 3 階	33.20m	2.21	1.47
原子炉建屋	地上 1 階	15.00m	1.65	1.15
原子炉建屋	地下 1 階	6.00m	1.31	0.91
原子炉建屋	地下 3 階	-0.80m	1.11	0.73
タービン建屋	地上 1 階	15.00m	1.77	0.95
タービン建屋	地下 1 階	7.60m	1.39	0.75

注記\* : NS 方向及び EW 方向の最大値を用いる。



#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は、自重及び地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮して設定する。また、評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表して評価する。

堰の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、止水板、梁材及び柱材からアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトから躯体へ伝わることから、止水板、梁材、柱材及びアンカーボルトとする。

評価対象とする堰の選定結果を表 4-1 に示す。対象となる堰は高さがすべて同じであるため、柱スパンが最大でかつ震度が最大となるものを選定した。

表 4-1 評価対象とする堰の選定結果

設置建屋	設置床高さ (O. P.)	設備名称	評価対象 設備 (代表)
原子炉建屋 地上 3 階	33.20 m	R-01 階段浸水防止堰(地上 3 階)	
原子炉建屋 地上 3 階	33.20 m	R-02 階段浸水防止堰(地上 3 階)	○*
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	R-01 階段浸水防止堰(地上 1 階)	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	R-02 階段浸水防止堰(地上 1 階)	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	バルブ(B)室浸水防止堰	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	バルブ(A)室浸水防止堰	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	FPC ポンプ室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	R-01 階段浸水防止堰(地下 1 階)	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	R-02 階段浸水防止堰(地下 1 階)	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	MS トンネル室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	RCIC MCC 室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	TIP 駆動装置室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 2 階	-0.80 m	復水補給水ポンプ室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 2 階	-0.80 m	CUW 配管・バルブ室浸水防止堰	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 3)	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 4)	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 2)	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 1)	
タービン建屋 地下 1 階	7.60 m	HNCW 冷凍機・ポンプ室管理区域外伝播 防止堰	

注記\*：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

### 4.2.1 荷重の組み合わせ

堰の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 $G$  : 固定荷重 (kN)

$S_s$  : 地震荷重 (kN)

### 4.2.2 荷重

#### (1) 固定荷重 ( $G$ )

固定荷重として堰の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

#### (2) 地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重は、基準地震動 $S_s$ による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、 $S_s$  : 地震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$K$  : 設計震度

### 4.3 許容限界

許容限界は、「4.1 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定している評価対象部位ごとに機能損傷モードを考慮し、短期許容応力度又は短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

#### (1) 止水板，梁材，柱材

「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005年改定」に基づき算定した短期許容応力度を表4-2に示す。

表4-2 止水板，梁材，柱材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	組合せ* (N/mm <sup>2</sup> )
SS400	235	135	235

注記\*：短期許容引張応力度の値を示す。

#### (2) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説（社）日本建築学会，2010年改定」に基づき算出した短期許容荷重を表4-3に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重及び定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、せん断力を受ける場合においては、アンカーボルト母材のせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表4-3 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重 (N)	
	引張	せん断
SS400	19800	13900

#### 4.4 評価方法

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、堰の耐震評価は地震により生じる応力度及び荷重が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

##### (1) 応力算定

自重及び地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける止水板に生じる曲げ応力、梁材及び柱材に生じる曲げ応力及びせん断応力、アンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり、各荷重により生じる応力度及び応力を算定する。

堰に作用する力の概念図を図4-1～図4-4に示す。

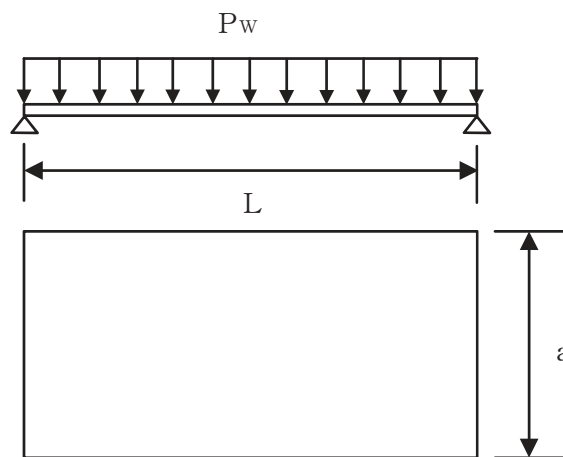


図4-1 止水板に作用する力の概念図

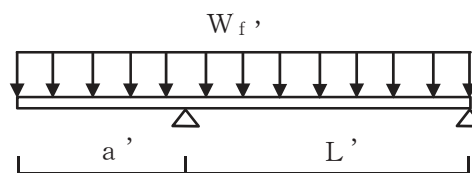


図4-2 梁材に作用する力の概念図

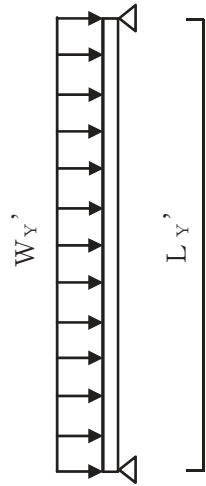


図 4-3 柱材に作用する力の概念図

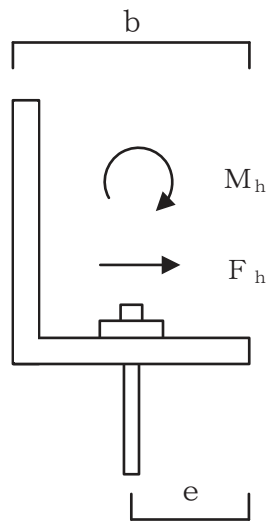


図 4-4 アンカーボルトに作用する力の概念図

(2) 断面検定

a. 止水板

(a) 地震荷重による分布荷重

単位面積当りの地震荷重による分布荷重は，次式より算出する。

$$P_w = \rho_0 \cdot g \cdot t \cdot k_H \cdot 10^{-9}$$

$P_w$  : 地震荷重による分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$\rho_0$  : 止水板の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$t$  : 止水板の板厚 (mm)

$k_H$  : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

止水板に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」に基づき次式より算出し，止水板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_\rho = \beta \cdot P_w \cdot a^2 / t^2$$

$\sigma_\rho$  : 止水板の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\beta$  : 長方形板の応力係数 ( $\beta = 0.4$ )

$P_w$  : 地震荷重による分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$a$  : 止水板の短辺方向の長さ (mm)

$t$  : 止水板の板厚 (mm)

b. 梁材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当りの地震時水平荷重は止水板と梁材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$W_f' = (\rho_0 \cdot t \cdot H \cdot g \cdot 10^{-9} + W_Y / L_f') \cdot k_H$$

$W_f'$  : 梁材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)

$\rho_0$  : 止水板の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$t$  : 止水板の板厚 (mm)

$H$  : 堰の高さ (mm)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$W_Y$  : 柱材の重量 (N)

$L_f'$  : 梁材の長さ (mm)  
 $k_H$  : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」に基づき次式より算出し, 梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\begin{aligned}\sigma_f &= M_f / Z_f \\ M_{f1} &= W_f' \cdot (L'^2 - a'^2) / 8 / L'^2 \\ M_{f2} &= W_f' \cdot a'^2 / 2\end{aligned}$$

$\sigma_f$  : 梁材の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $M_{f1}$  : 梁材の正側最大曲げモーメント (N・mm)  
 $M_{f2}$  : 梁材の負側最大曲げモーメント (N・mm)  
 $M_f$  :  $M_{f1}$  と  $M_{f2}$  の大なる方 (N・mm)  
 $Z_f$  : 梁材の断面係数 (mm<sup>3</sup>)  
 $W_f'$  : 梁材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)  
 $L'$  : アンカーボルトの間隔 (mm)  
 $a'$  : アンカーボルトから梁材端部までの長さ (mm)

(c) せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」に基づき次式より算出し, 梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\begin{aligned}\tau_f &= Q_f / A_f \\ Q_{f1} &= W_f' \cdot (L'^2 - a'^2) / 2 / L' \\ Q_{f2} &= W_f' \cdot (L' + a')^2 / 2 / L'\end{aligned}$$

$Q_f$  :  $Q_{f1}$  と  $Q_{f2}$  の大なる方 (N)  
 $\tau_f$  : 梁材のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $Q_{f1}$  : 梁材の正側最大せん断力 (N)  
 $Q_{f2}$  : 梁材の負側最大せん断力 (N)  
 $A_f$  : 梁材のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $W_f'$  : 梁材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)  
 $L'$  : アンカーボルトの間隔 (mm)  
 $a'$  : アンカーボルトから梁材端部までの長さ (mm)



## (d) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005年改定」に基づく次式により算定し，梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

$\sigma_{ef}$  : 梁材の組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_f$  : 梁材の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_f$  : 梁材のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## c. 柱材

## (a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当りの地震時水平荷重は止水板と柱材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$W_Y' = (W_Y / L_Y' + L_1' \cdot t \cdot \rho_0 \cdot g \cdot 10^{-9}) \cdot k_H$$

$W_Y'$  : 柱材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)

$W_Y$  : 柱材の重量 (N)

$L_Y'$  : 柱材の長さ (mm)

$L_1'$  : 柱材 1 本当りが負担する止水板の幅 (mm)

$t$  : 止水板の板厚 (mm)

$\rho_0$  : 止水板の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$k_H$  : 水平方向の設計震度

## (b) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧 基礎編 α3 材料力学（社）日本機械学会，2005年改訂」に基づき次式より算出し，柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = M_Y / Z_Y$$

$$M_Y = W_Y' \cdot L_Y'^2 / 2$$

$\sigma_Y$  : 柱材の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_Y$  : 柱材の曲げモーメント (N·mm)

$Z_Y$  : 柱材の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$W_Y'$  : 柱材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)

$L_Y'$  : 柱材の長さ (mm)

(c) せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」に基づき次式より算出し, 柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_Y = Q_Y / A_Y$$

$$Q_Y = W_Y' \cdot L_Y'$$

$\tau_Y$  : 柱材のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_Y$  : 柱材のせん断力 (N)

$A_Y$  : 柱材のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$W_Y'$  : 柱材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)

$L_Y'$  : 柱材の長さ (mm)

(d) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)」に基づく次式により算定し, 柱材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

$\sigma_{eY}$  : 柱材の組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_Y$  : 柱材の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_Y$  : 柱材のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

d. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルトに作用する引張力を算出し, アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T = M_h / ((b - e) \cdot N)$$

$$M_h = W_1 \cdot k_H \cdot H / 2$$

$T$  : アンカーボルトに作用する最大引張力 (N)

$M_h$  : 堰の脚部に作用する最大曲げモーメント (N・mm)

$b$  : 鋼製板の折り曲げ部の幅 (mm)

e : アンカーボルトの穴縁端距離 (mm)  
N : アンカーボルトの本数 (本)  
W<sub>1</sub> : 堰の重量 (N)  
k<sub>H</sub> : 水平方向の設計震度  
H : 堰の高さ (mm)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = F_H / N$$

$$F_H = W_1 \cdot k_H$$

q : アンカーボルトに作用する最大せん断力 (N)

F<sub>H</sub> : 設計用水平地震力 (N)

N : アンカーボルトの本数 (本)

W<sub>1</sub> : 堰の重量 (N)

k<sub>H</sub> : 水平方向の設計震度

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010年改定)」に基づく次式により算出し、1以下であることを確認する。

$$(T / T_a)^2 + (q / Q_a)^2 \leq 1$$

T : アンカーボルトに作用する最大引張力 (N)

T<sub>a</sub> : アンカーボルトの引張りに対する短期許容荷重 (N)

q : アンカーボルトに作用する最大せん断力 (N)

Q<sub>a</sub> : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (N)

#### 4.5 評価条件

堰の耐震評価に用いる入力値を表 4-4 に示す。

表 4-4 堰の耐震評価に用いる入力値

堰名称		R-02 階段浸水防止堰(地上 3 階)	
記号	単位	定義	数値
$\rho_0$	kg/m <sup>3</sup>	止水板の密度	7850
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度	9.80665
$k_H$	—	水平方向の設計震度	2.21
H	mm	堰の高さ	450
t	mm	止水板の板厚	6
a	mm	止水板の短辺方向の長さ	450
$\beta$	—	長方形板の応力係数	0.4
$L_f'$	mm	梁材の長さ	495
$L'$	mm	アンカーボルトの間隔	268
$a'$	mm	アンカーボルトから梁材端部までの長さ	95
$Z_f$	mm <sup>3</sup>	梁材の断面係数	3550
$A_f$	mm <sup>2</sup>	梁材のせん断断面積	295.6
$L_1'$	mm	柱材 1 本当りが負担する止水板の幅	495
$L_Y'$	mm	柱材の長さ	450
$Z_Y$	mm <sup>3</sup>	柱材の断面係数	3550
$A_Y$	mm <sup>2</sup>	柱材のせん断断面積	295.6
b	mm	鋼製板の折り曲げ部の幅	50
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	25
N	本	アンカーボルトの本数	4

5. 評価結果

堰の耐震評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界値を満足しており、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを確認した。

表 5-1 堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力度)		許容限界		検定値
止水板	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
梁材	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	135	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
柱材	曲げ	18	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	135	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	19	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
アンカーボルト	引張	1820	N	19800	N	0.10 < 1.0
	せん断	783	N	13900	N	0.02 < 1.0
	組合せ	0.01	-	1	-	0.01 < 1.0

VI-2-10-2-13 津波監視設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-10-2-13-1 津波監視カメラの耐震性についての計算書

VI-2-10-2-13-1 津波監視カメラの耐震性についての計算書



## 目次

1. 概要	1
2. 津波監視カメラ	2
2.1 一般事項	2
2.1.1 配置概要	2
2.1.2 構造計画	3
2.1.3 評価方針	5
2.1.4 適用基準	6
2.1.5 記号の説明	7
2.2 評価部位	8
2.3 固有周期	8
2.3.1 固有値解析方法	8
2.3.2 解析モデル及び諸元	8
2.3.3 固有値解析結果	11
2.4 構造強度評価	12
2.4.1 構造強度評価方法	12
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
2.4.3 設計用地震力	15
2.4.4 計算方法	17
2.4.5 計算条件	19
2.4.6 応力の評価	21
2.5 機能維持評価	22
2.5.1 電氣的機能維持評価方法	22
2.6 評価結果	23
2.6.1 基準地震動 $S_s$ に対する構造強度評価	23
2.6.2 基準地震動 $S_s$ に対する機能維持評価	28
3. 津波監視設備制御盤	29
3.1 一般事項	29
3.1.1 構造計画	29
3.2 固有周期	30
3.3 構造強度評価	31
3.3.1 荷重の組合せ及び許容応力	31
3.3.2 計算条件	31

3.4 機能維持評価.....	34
3.4.1 電氣的機能維持評価方法.....	34
3.5 評価結果.....	35
3.5.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	35

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、津波監視カメラが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。津波監視カメラは、カメラ本体、津波監視設備制御盤で構成される。本計算書は各構成機器それぞれの評価結果を示す。

津波監視カメラは、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。津波監視設備制御盤は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

なお、津波監視カメラの耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

## 2. 津波監視カメラ

### 2.1 一般事項

#### 2.1.1 配置概要

津波監視カメラの配置図を図 2-1 に示す。

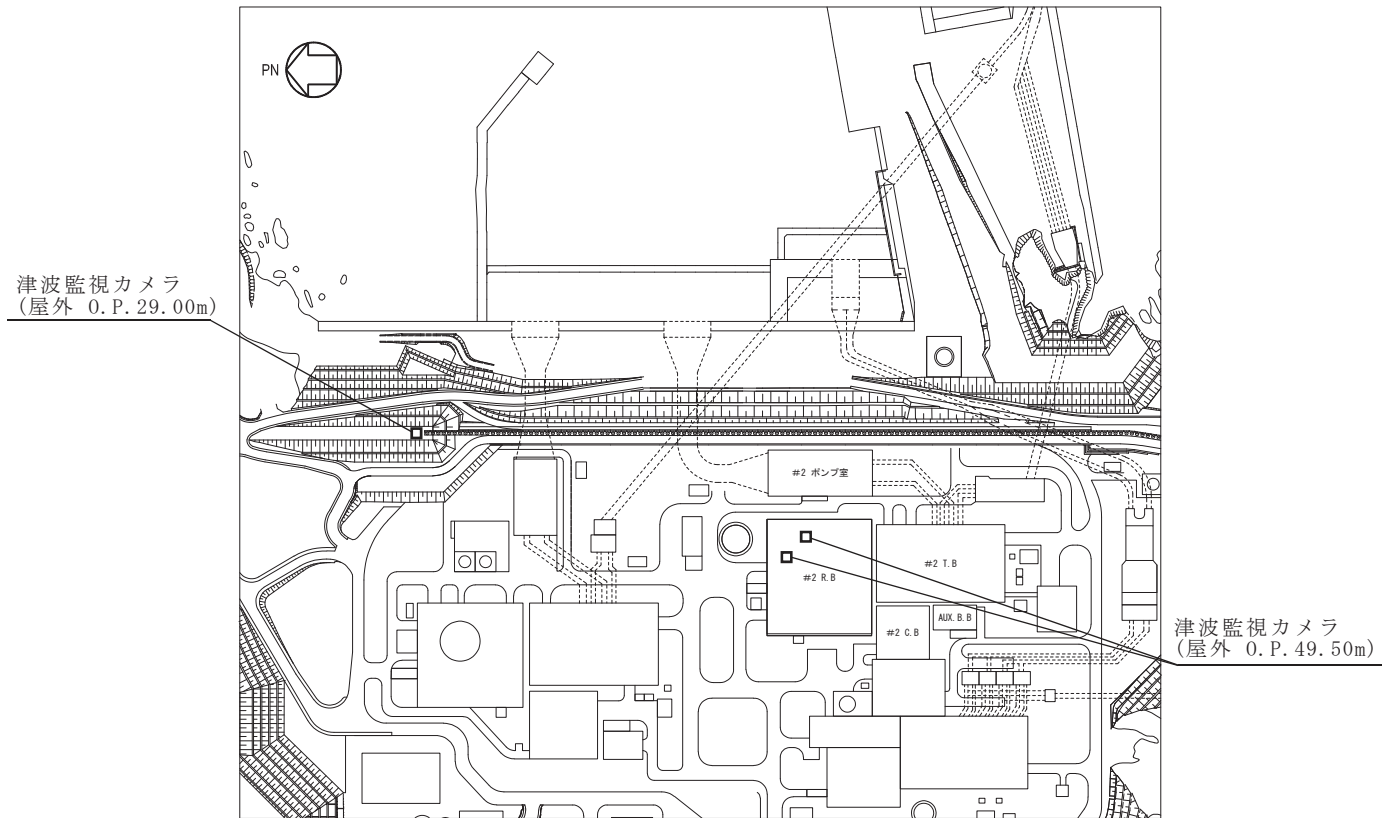


図 2-1 津波監視カメラ配置図

2.1.2 構造計画

(1) 原子炉建屋屋上に設置する津波監視カメラ

津波監視カメラの構造計画を表2-1に示す。

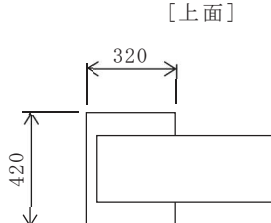
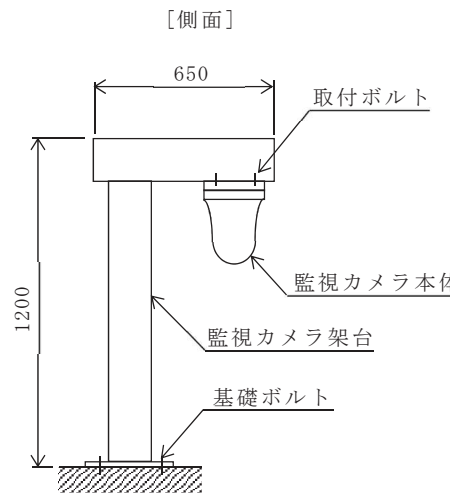
表2-1 構造計画 (原子炉建屋屋上 津波監視カメラ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
監視カメラは、カメラ取付ボルトにより監視カメラ架台に固定される。監視カメラ架台は原子炉建屋屋上の外壁に基礎ボルトで設置する。	監視カメラ	<p>【津波監視カメラ】</p> <p>[上面]</p> <p>[側面]</p> <p>[定着(基礎ボルト)部]</p> <p>[正面]</p> <p>(単位：mm)</p>

(2) 防潮堤に設置する津波監視カメラ

津波監視カメラの構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 構造計画 (防潮堤 津波監視カメラ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
監視カメラは、カメラ取付ボルトにより監視カメラ架台に固定される。監視カメラ架台は基礎部に基礎ボルトで設置する。	監視カメラ	<p>【津波監視カメラ】</p> <p>[上面]</p>  <p>[側面]</p>  <p>(単位：mm)</p>

### 2.1.3 評価方針

津波監視カメラの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1.2 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「2.2 評価部位」にて設定する箇所において、「2.3 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「2.4 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「2.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

津波監視カメラの耐震評価フローを図 2-2 に示す。

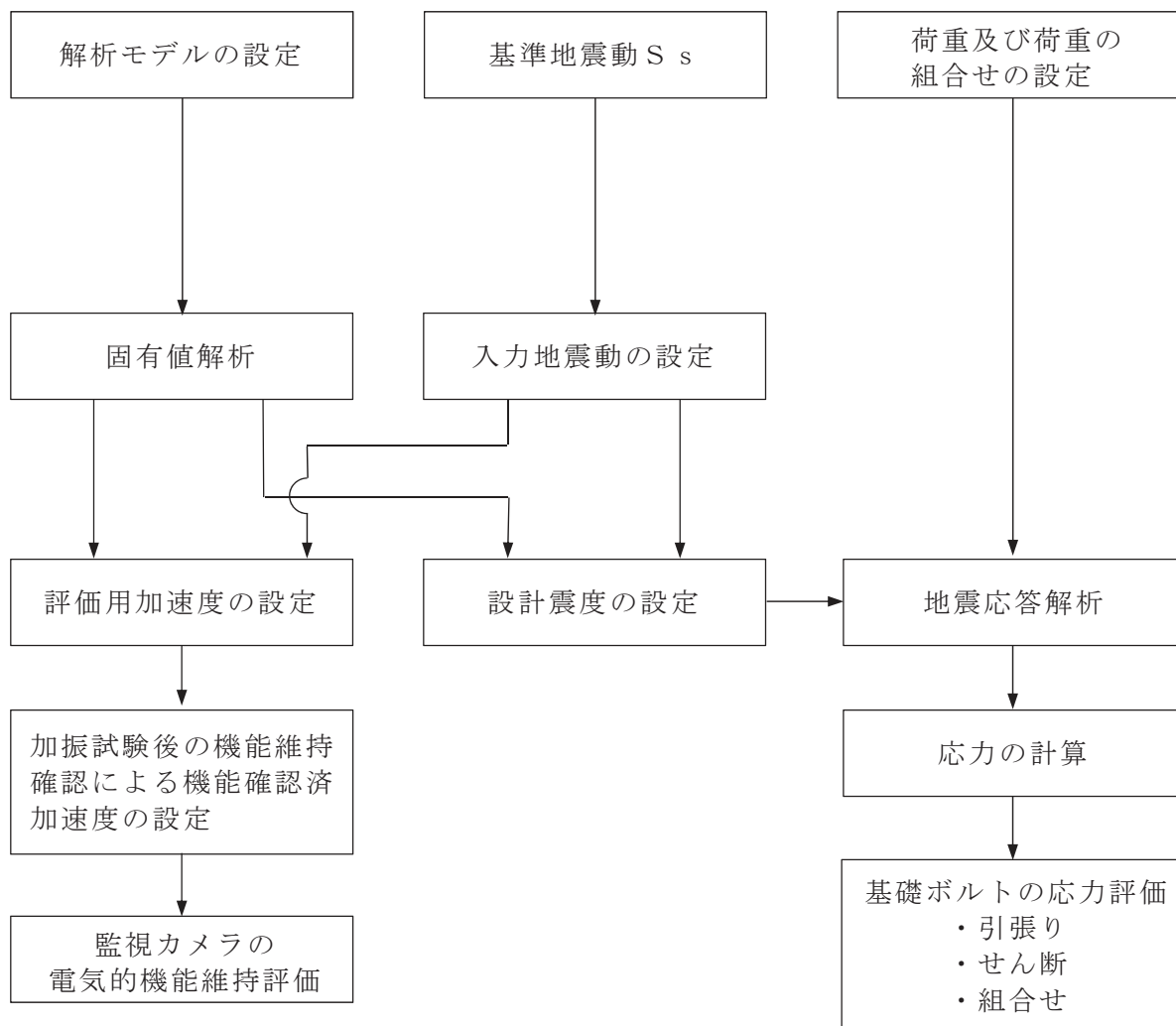


図 2-2 津波監視カメラの耐震評価フロー

#### 2.1.4 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 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。)
- (5) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—2005 ((社)日本建築学会)
- (6) 建築物荷重指針・同解説((社)日本建築学会, 2004 改定)



## 2.1.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_f$	風力係数	—
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	基礎ボルトの呼び径	mm
$d_s$	積雪の垂直堆積量	cm
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F_b$	基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
$f_{sb}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$L_{p1}$	基礎ボルト中心間距離*	mm
$L_{p2}$	基礎ボルト中心間距離*	mm
$N$	基礎部に作用する引張力	N
$m$	運転時質量	Kg
$M_X$	基礎部に作用するX軸まわりのモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_Y$	基礎部に作用するY軸まわりのモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_Z$	基礎部に作用するZ軸まわりのモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$n$	基礎ボルトの本数	—
$q$	風荷重の減速圧	$\text{N/m}^2$
$r$	ボルト中心から基礎部中心までの距離	mm
$Q_X$	基礎部に作用するせん断力 (X方向)	N
$Q_Y$	基礎部に作用するせん断力 (Y方向)	N
$Q_Z$	基礎部に作用するせん断力 (Z方向)	N
$Q_b$	基礎ボルトに作用するせん断力	N
$S_u$	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℃における値	MPa
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	基礎ボルトに作用する引張応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに作用するせん断応力	MPa
$\rho_s$	積雪の単位荷重	$\text{N/m}^2/\text{cm}$

注記\* :  $L_{p1} \leq L_{p2}$

## 2.2 評価部位

津波監視カメラの耐震評価は「2.4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表 2-1 及び表 2-2 の構造計画に示す。

## 2.3 固有周期

### 2.3.1 固有値解析方法

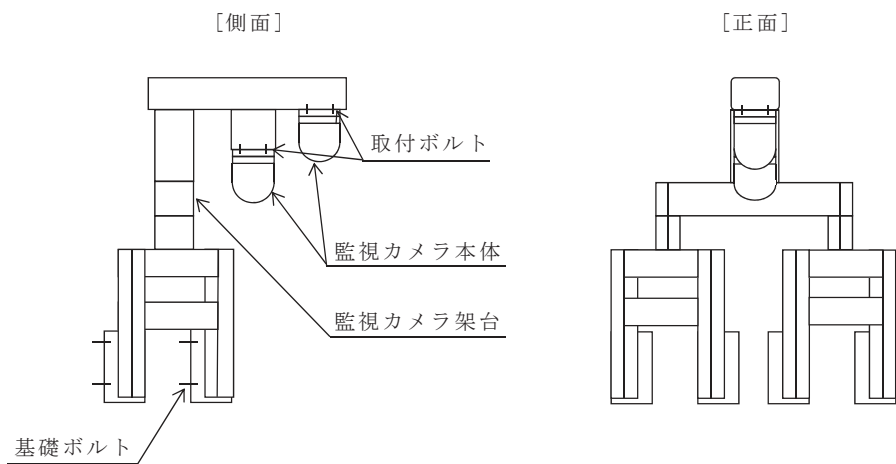
津波監視カメラの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 原子炉建屋屋上及び防潮堤設置の津波監視カメラは、「2.3.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

### 2.3.2 解析モデル及び諸元

津波監視カメラの解析モデルを図 2-3 及び図 2-4 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を「2.6 評価結果」の部材の機器要目に示す。

- (1) 原子炉建屋屋上設置の津波監視カメラ
  - a. 監視カメラの質量は、カメラ先端位置に質点質量として考慮する。
  - b. 拘束条件として、監視カメラ架台と原子炉建屋外壁との接続位置の節点の並進方向及び図 2-3 に示す X Y Z 軸周りの回転方向を拘束する。なお、取付ボルトは剛体として評価する。
  - c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
  - d. 計算機プログラムは「MSC NASTRAN」を使用する。  
なお、評価に用いる計算機プログラム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。



節点数：103  
要素数：111

**【凡例】**

- : 監視カメラ荷重点
- △ : 基礎ボルト

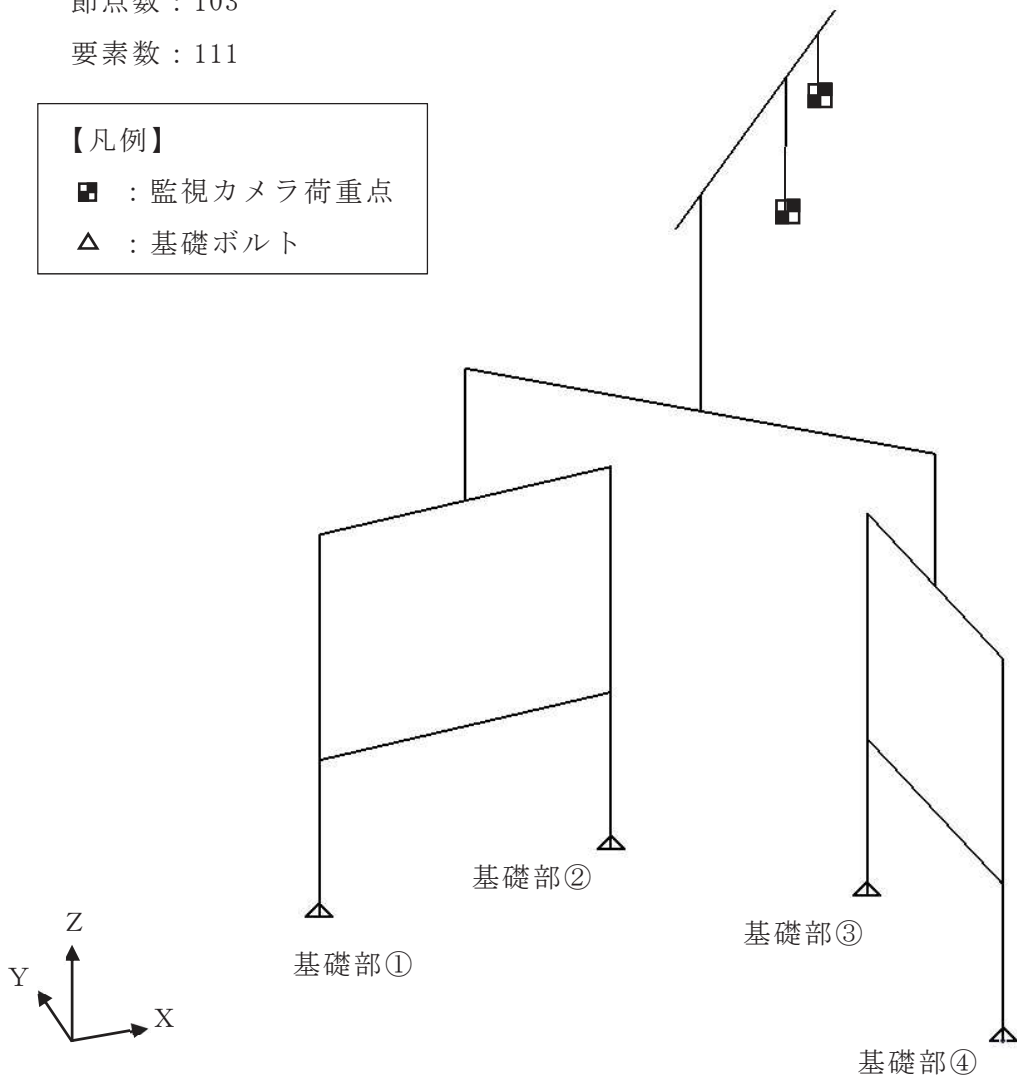


図 2-3 解析モデル（原子炉建屋屋上設置 監視カメラ）

(2) 防潮堤設置の津波監視カメラ

- a. 監視カメラの質量は、カメラ先端位置に質点質量として考慮する。
  - b. 拘束条件として、監視カメラ架台と防潮堤基礎部との接続位置の節点の並進方向及び図 2-4 に示す X Y Z 軸周りの回転方向を拘束する。なお、取付ボルトは剛体として評価する。
  - c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
  - d. 計算機プログラムは「MSC NASTRAN」を使用する。
- なお、評価に用いる計算機プログラム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。

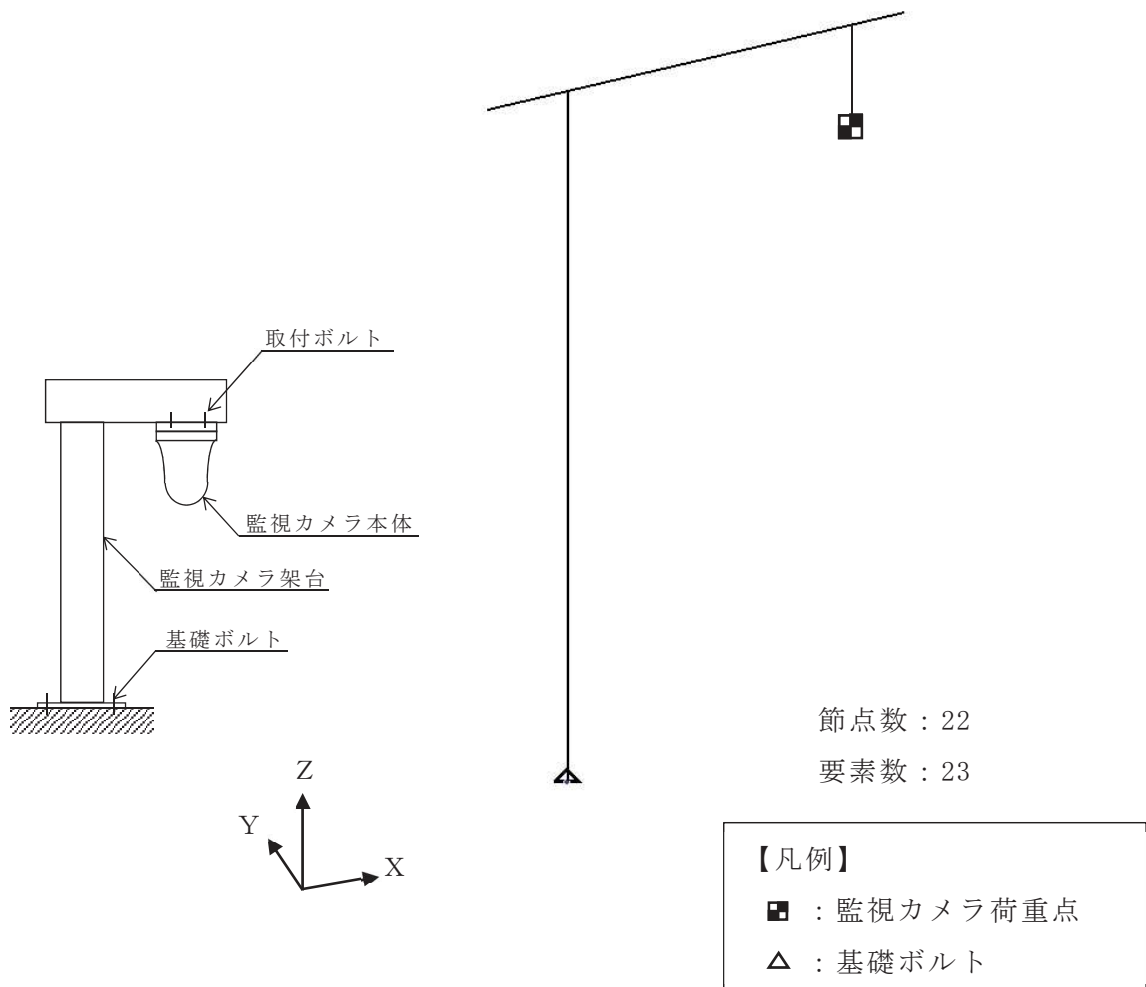


図 2-4 解析モデル（防潮堤設置 監視カメラ）

### 2.3.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-3 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 2-3 固有値解析結果

機器名称	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	
津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)	一次	水平	0.039	—	—	—
津波監視カメラ (防潮堤)	一次	水平	0.017	—	—	—

## 2.4 構造強度評価

### 2.4.1 構造強度評価方法

2.3.2(1)項 a.～d. 及び 2.3.2(2)項 a.～d. のほか，次の条件で計算する。

- (1) 地震力は津波監視カメラに対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

### 2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

- (1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

津波監視カメラの荷重及び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 2-4 に示す。

なお，津波監視カメラは，添付書類「VI-1-1-2-2-1 耐津波設計の基本方針」に基づき，自然条件として積雪荷重及び風荷重を考慮する。

- (2) 許容応力

津波監視カメラの許容応力は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

- (3) 使用材料の許容応力評価条件

津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうちの評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 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
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	- *	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ <sub>A</sub> S
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	津波監視カメラ	S	- *	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ <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を適用する。

表 2-5 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容応力*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 2-6 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境 温度				
基礎ボルト (原子炉建屋屋上)	SS400	周囲環境 温度	40	235	400	—
基礎ボルト (防潮堤)	SS400	周囲環境 温度	40	245	400	—



#### 2.4.3 設計用地震力

評価に用いる設計震度を表 2-7 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「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 2-7 設計用地震力

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
津波監視カメラ	原子炉建屋 O.P. 49.50	0.039	0.039	—	—	$C_H = 7.28$	$C_V = 2.09$
	防潮堤 O.P. 29.00	0.017	0.017	—	—	$C_H = 1.69$	$C_V = 1.21$

## 2.4.4 計算方法

## (1) 応力の計算方法

## a. 原子炉建屋設置の津波監視カメラ

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる個別解析から基礎ボルト部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

基礎ボルトに作用する引張力 $F_b$ は次式より求める。

<図 2-3 に示す基礎部①及び②の箇所>

$$F_b = \frac{N}{n} + \frac{M_x}{L_{p1} \cdot (n/2)} + \frac{M_z}{L_{p2} \cdot (n/2)} \dots\dots\dots (2. 1)$$

<図 2-3 に示す基礎部③及び④の箇所>

$$F_b = \frac{N}{n} + \frac{M_y}{L_{p1} \cdot (n/2)} + \frac{M_z}{L_{p2} \cdot (n/2)} \dots\dots\dots (2. 2)$$

基礎ボルトに作用するせん断力 $Q_b$ は次式より求める。

<図 2-3 に示す基礎部①及び②の箇所>

$$Q_b = \sqrt{Q_x^2 + Q_z^2} + \frac{M_y}{r} \dots\dots\dots (2. 3)$$

<図 2-3 に示す基礎部③及び④の箇所>

$$Q_b = \sqrt{Q_y^2 + Q_z^2} + \frac{M_x}{r} \dots\dots\dots (2. 4)$$

ここで、 $N$ 、 $Q_x$ 、 $Q_y$ 、 $M_x$ 、 $M_y$ 及び $M_z$ は基礎部に作用する力及びモーメントであり解析により求まる。

基礎ボルトに作用する引張応力 $\sigma_b$ 及びせん断応力 $\tau_b$ は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2. 5)$$

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (2. 6)$$

## b. 防潮堤設置の津波監視カメラ

基礎ボルトの応力は，三次元はりモデルによる個別解析から基礎ボルト部の内力を求めて，その結果を用いて手計算にて計算する。

基礎ボルトに作用する引張力  $F_b$  は次式より求める。

$$F_b = \frac{N}{n} + \frac{M_x}{L_{p2} \cdot (n/2)} + \frac{M_y}{L_{p1} \cdot (n/2)} \dots \dots \dots (2. 7)$$

基礎ボルトに作用するせん断力  $Q_b$  は次式より求める。

$$Q_b = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} + \frac{M_z}{r} \dots \dots \dots (2. 8)$$

ここで， $N$ ， $Q_x$ ， $Q_y$ ， $M_x$ ， $M_y$  及び  $M_z$  は基礎部に作用する力及びモーメントであり解析により求まる。

基礎ボルトに作用する引張応力  $\sigma_b$  及びせん断応力  $\tau_b$  は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (2. 9)$$

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (2. 10)$$

#### 2.4.5 計算条件

##### (1) 原子炉建屋屋上設置の監視カメラ

応力計算に用いる計算条件を表 2-8 に示す。

表 2-8 計算条件

項目	記号	単位	数値等
運転時質量	m	kg	1834
水平方向設計震度	$C_H$	—	7.28
鉛直方向設計震度	$C_V$	—	2.09
風荷重の減速圧	q	$N/m^2$	1610
風力係数	$C_f$	—	2.4
積雪の垂直堆積量	$d_s$	cm	43
積雪の単位荷重	$\rho_s$	$N/m^2/cm$	20
基礎ボルトの呼び径	d	mm	22
基礎ボルトの軸断面積	$A_b$	$mm^2$	380.1
基礎ボルトの本数	n	—	4
せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	$f_{sb}$	MPa	135
引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{to}$	MPa	176
引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{ts}$	MPa	144
ボルト中心間距離	$L_{p1}$	mm	400
ボルト中心間距離	$L_{p2}$	mm	400
ボルト中心から基礎部中心までの距離	r	mm	283

(2) 防潮堤設置の監視カメラ

応力計算に用いる数値を表 2-9 に示す。

表 2-9 計算条件

項目	記号	単位	数値等
運転時質量	m	kg	121
水平方向設計震度	$C_H$	—	1.69
鉛直方向設計震度	$C_V$	—	1.21
風荷重の減速圧	q	$N/m^2$	1340
風力係数	$C_f$	—	2.4
積雪の垂直堆積量	$d_s$	cm	43
積雪の単位荷重	$\rho_s$	$N/m^2/cm$	20
基礎ボルトの呼び径	d	mm	16
基礎ボルトの軸断面積	$A_b$	$mm^2$	201.1
基礎ボルトの本数	n	—	4
せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	$f_{sb}$	MPa	141
引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{to}$	MPa	183
引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{ts}$	MPa	183
ボルト中心間距離	$L_{p1}$	mm	220
ボルト中心間距離	$L_{p2}$	mm	320
ボルト中心から基礎部中心までの距離	r	mm	194

#### 2.4.6 応力の評価

基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (2.11)$$

せん断応力  $\tau_b$  は、せん断力のみを受ける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 $f_{to}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 2.5 機能維持評価

### 2.5.1 電氣的機能維持評価方法

津波監視カメラの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す地震応答解析で評価した加速度とし、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、カメラ本体単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-10 に示す。

表 2-10 機能確認済加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

評価部位	設置場所	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	原子炉建屋屋上	水平	
		鉛直	
	防潮堤	水平	
		鉛直	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



## 2.6 評価結果

津波監視カメラ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及び電氣的機能を有していることを確認した。

### 2.6.1 基準地震動 $S_s$ に対する構造強度評価

#### (1) 基礎ボルトの構造強度評価

基礎ボルトの構造強度評価の結果を表 2-11 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、基礎ボルトが構造健全性を有することを確認した。

表 2-11 構造強度評価結果

評価部位	設置場所	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト	原子炉建屋	引張り	$\sigma_b = 69$	$f_{ts} = 144^*$
	屋上	せん断	$\tau_b = 83$	$f_{st} = 135$
基礎ボルト	防潮堤	引張り	$\sigma_b = 29$	$f_{ts} = 183^*$
		せん断	$\tau_b = 7$	$f_{st} = 141$

注記\* :  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

(2) 解析モデルの諸元

解析モデルの諸元を表 2-12 及び表 2-13 に示す。

a. 原子炉建屋屋上設置の津波監視カメラ

表 2-12 解析モデルの諸元

項目	単位	入力値
材料	—	STKR400
縦弾性係数	MPa	$2.02 \times 10^5$
ポアソン比	—	0.3
要素数	個	111
節点数	個	103

b. 防潮堤設置の津波監視カメラ

表 2-13 解析モデルの諸元

項目	単位	入力値
材料	—	STKR400
縦弾性係数	MPa	$2.02 \times 10^5$
ポアソン比	—	0.3
要素数	個	23
節点数	個	22

(3) 部材の機器要目

部材の機器要目を表 2-14 及び表 2-15 に示す。

a. 原子炉建屋屋上設置の津波監視カメラ

表 2-14 (1) 部材の機器要目

機器名称		津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)				
対象要素		柱 (下段)	梁 (下段)	柱 (中段)	梁 (中段)	
材料		STKR400	STKR400	STKR400	STKR400	
断面形状		角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管	
寸法		mm	200×200×9	200×200×9	200×200×9	250×250×9
断面積	A	mm <sup>2</sup>	6.667×10 <sup>3</sup>	6.667×10 <sup>3</sup>	6.667×10 <sup>3</sup>	8.467×10 <sup>3</sup>
断面二次 モーメント	I <sub>x</sub>	mm <sup>4</sup>	3.99×10 <sup>7</sup>	3.99×10 <sup>7</sup>	3.99×10 <sup>7</sup>	8.09×10 <sup>7</sup>
	I <sub>y</sub>	mm <sup>4</sup>	3.99×10 <sup>7</sup>	3.99×10 <sup>7</sup>	3.99×10 <sup>7</sup>	8.09×10 <sup>7</sup>
ねじり定数	J	mm <sup>4</sup>	6.271×10 <sup>7</sup>	6.271×10 <sup>7</sup>	6.271×10 <sup>7</sup>	1.260×10 <sup>8</sup>
せん断面積	A <sub>x</sub>	mm <sup>2</sup>	2.628×10 <sup>3</sup>	2.628×10 <sup>3</sup>	2.628×10 <sup>3</sup>	3.528×10 <sup>3</sup>
	A <sub>y</sub>	mm <sup>2</sup>	2.628×10 <sup>3</sup>	2.628×10 <sup>3</sup>	2.628×10 <sup>3</sup>	3.528×10 <sup>3</sup>
断面係数	Z <sub>x</sub>	mm <sup>3</sup>	3.99×10 <sup>5</sup>	3.99×10 <sup>5</sup>	3.99×10 <sup>5</sup>	6.47×10 <sup>5</sup>
	Z <sub>y</sub>	mm <sup>3</sup>	3.99×10 <sup>5</sup>	3.99×10 <sup>5</sup>	3.99×10 <sup>5</sup>	6.47×10 <sup>5</sup>

表 2-14 (2) 部材の機器要目

機器名称			津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)			
対象要素			柱 (上段)	梁 (上段)	梁 (カメラ設置部)	カメラ台
材料			STKR400	STKR400	STKR400	STKR400
断面形状			角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管
寸法		mm	250×250×9	250×150×6	250×150×4.5	250×250×6
断面積	A	mm <sup>2</sup>	8.467×10 <sup>3</sup>	4.563×10 <sup>3</sup>	3.432×10 <sup>3</sup>	5.763×10 <sup>3</sup>
断面二次 モーメント	I <sub>x</sub>	mm <sup>4</sup>	8.09×10 <sup>7</sup>	3.89×10 <sup>7</sup>	2.949×10 <sup>7</sup>	5.67×10 <sup>7</sup>
	I <sub>y</sub>	mm <sup>4</sup>	8.09×10 <sup>7</sup>	1.77×10 <sup>7</sup>	1.353×10 <sup>7</sup>	5.67×10 <sup>7</sup>
ねじり定数	J	mm <sup>4</sup>	1.260×10 <sup>8</sup>	3.818×10 <sup>7</sup>	2.937×10 <sup>7</sup>	8.716×10 <sup>7</sup>
せん断面積	A <sub>x</sub>	mm <sup>2</sup>	3.528×10 <sup>3</sup>	1.368×10 <sup>3</sup>	1.107×10 <sup>3</sup>	2.568×10 <sup>3</sup>
	A <sub>y</sub>	mm <sup>2</sup>	3.528×10 <sup>3</sup>	2.568×10 <sup>3</sup>	2.007×10 <sup>3</sup>	2.568×10 <sup>3</sup>
断面係数	Z <sub>x</sub>	mm <sup>3</sup>	6.47×10 <sup>5</sup>	3.11×10 <sup>5</sup>	2.359×10 <sup>5</sup>	4.54×10 <sup>5</sup>
	Z <sub>y</sub>	mm <sup>3</sup>	6.47×10 <sup>5</sup>	2.36×10 <sup>5</sup>	1.804×10 <sup>5</sup>	4.54×10 <sup>5</sup>

b. 防潮堤設置の津波監視カメラ

表 2-15 部材の機器要目

機器名称			津波監視カメラ (防潮堤)		
対象要素			梁	梁 (カメラ設置部)	柱
材料			STKR400	STKR400	STKR400
断面形状			角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管
寸法		mm	250×150×6	250×150×4.5	250×150×9
断面積	A	mm <sup>2</sup>	4.563×10 <sup>3</sup>	3.432×10 <sup>3</sup>	6.667×10 <sup>3</sup>
断面二次 モーメント	I <sub>x</sub>	mm <sup>4</sup>	3.89×10 <sup>7</sup>	2.949×10 <sup>7</sup>	5.48×10 <sup>7</sup>
	I <sub>y</sub>	mm <sup>4</sup>	1.77×10 <sup>7</sup>	1.353×10 <sup>7</sup>	2.47×10 <sup>7</sup>
ねじり定数	J	mm <sup>4</sup>	3.818×10 <sup>7</sup>	2.937×10 <sup>7</sup>	5.441×10 <sup>7</sup>
せん断面積	A <sub>x</sub>	mm <sup>2</sup>	1.368×10 <sup>3</sup>	1.107×10 <sup>3</sup>	1.728×10 <sup>3</sup>
	A <sub>y</sub>	mm <sup>2</sup>	2.568×10 <sup>3</sup>	2.007×10 <sup>3</sup>	3.528×10 <sup>3</sup>
断面係数	Z <sub>x</sub>	mm <sup>3</sup>	3.11×10 <sup>5</sup>	2.359×10 <sup>5</sup>	4.38×10 <sup>5</sup>
	Z <sub>y</sub>	mm <sup>3</sup>	2.36×10 <sup>5</sup>	1.804×10 <sup>5</sup>	3.30×10 <sup>5</sup>

### 2.6.2 基準地震動 $S_s$ に対する機能維持評価

津波監視カメラ（カメラ本体）の電氣的機能維持評価の結果を表 2-16 に示す。機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度以下であることから、津波監視カメラ（カメラ本体）の電氣的機能維持を確認した。

表 2-16 電氣的機能維持評価 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

評価部位	設置場所	方向	機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	原子炉建屋 屋上	水平方向	6.07	
		鉛直方向	1.74	
	防潮堤	水平方向	1.41	
		鉛直方向	1.01	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 ( $1.0 \cdot ZPA$ ) はすべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 津波監視設備制御盤

3.1 一般事項

3.1.1 構造計画

津波監視設備制御盤の構造計画を表 3-1 に示す。津波監視設備制御盤は中央制御室の床面に設置する。

表 3-1 構造計画 津波監視設備制御盤

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
津波監視設備制御盤は、チャンネルベースに取付ボルトで固定され、チャンネルベースは床に基礎ボルトで設置する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組合せた自立閉鎖型の盤)	<p><b>【津波監視設備制御盤】</b></p> <p>(単位：mm)</p>

### 3.2 固有周期

津波監視設備制御盤の固有周期は、振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表3-2に示す。

表 3-2 固有周期（単位：s）

名称	方向	固有周期
津波監視設備制御盤	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下



### 3.3 構造強度評価

津波監視設備制御盤の構造は直立形であるため、構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

#### 3.3.1 荷重の組合せ及び許容応力

##### (1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

津波監視設備制御盤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として評価に用いるものを表 3-3 に示す。

##### (2) 許容応力

津波監視設備制御盤の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-4 のとおりとする。

##### (3) 使用材料の許容応力評価条件

津波監視設備制御盤の使用材料の許容応力のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

#### 3.3.2 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【津波監視設備制御盤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。

表 3-3 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
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視設備 制御盤	S	- *	$D + P_D + M_D + S_S$	Ⅲ <sub>A</sub> S
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	津波監視設備 制御盤	S	- *	$D + P_D + M_D + S_S$	Ⅲ <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を適用する。

表 3-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容応力 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 3-5 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)		$S_{y i}$ (MPa)	$S_{u i}$ (MPa)	$S_{y i}(R T)$ (MPa)
		基礎ボルト ( $i = 1$ )	SS400	周囲環境温度	40	235

### 3.4 機能維持評価

#### 3.4.1 電氣的機能維持評価方法

津波監視設備制御盤の電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

津波監視設備制御盤の機能確認済加速度には、津波監視設備制御盤の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-6 に示す。

表 3-6 機能確認済加速度

( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

評価部位	方向	機能確認済加速度
津波監視設備制御盤	水平	
	鉛直	

### 3.5 評価結果

#### 3.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

津波監視設備制御盤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及び電  
氣的機能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。

##### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【津波監視設備制御盤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)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
津波監視設備制御盤	S	制御建屋 O.P. 22.95*	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C <sub>H</sub> =2.78	C <sub>V</sub> =2.00	40

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

36

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *1
基礎ボルト (i=1)	1145	2450	0	920	20	314.2	16	4
			0	920				2

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	235	400	235	280	—	前後方向

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト ( $i=1$ )	—	$4.718 \times 10^4$	—	$3.122 \times 10^4$

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ( $i=1$ )	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 151$	$f_{ts1} = 176^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 7$	$f_{sb1} = 135$

注記\*：  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出  
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
津波監視設備 制御盤	水平方向	2.32	□
	鉛直方向	1.67	

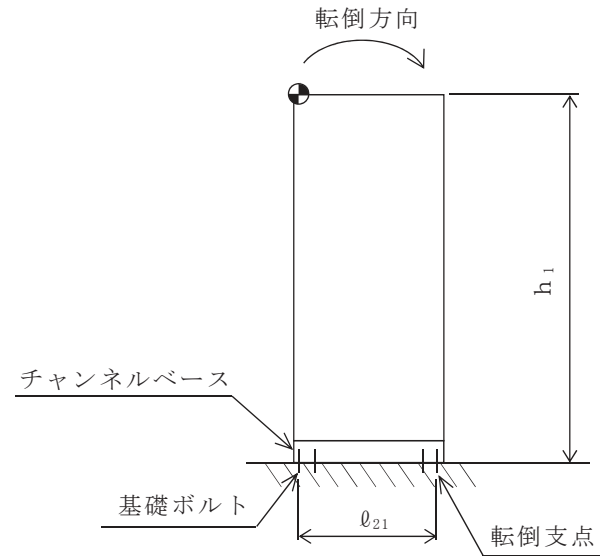
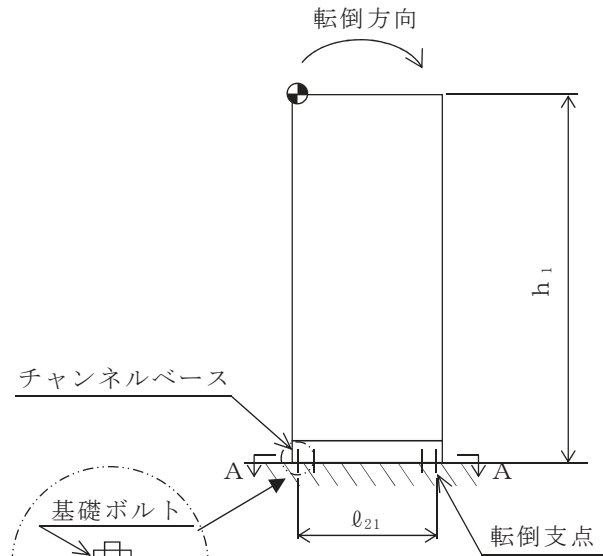
注記\*：基準地震動  $S_s$ により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 ( $1.0 \cdot ZPA$ ) はすべて機能確認済み加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

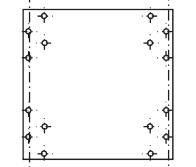
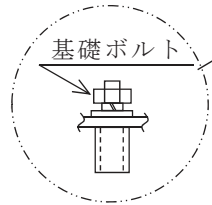
正面  
(左右方向)

側面  
(前後方向)



引張を受ける  
ボルト列

転倒支点となる  
ボルト列



[A - A 矢視図]



VI-2-10-3 補機駆動用燃料設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-10-3-1 補機駆動用燃料設備の耐震性についての計算結果

VI-2-10-3-1 補機駆動用燃料設備の耐震性についての計算結果

目 次

1. 概要 .....	1
2. 耐震評価条件整理 .....	1

1. 概要

本資料は、補機駆動用燃料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

補機駆動用燃料設備に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類，重大事故等対処設備の設備分類を整理した。結果を表 2-1 に示す。

補機駆動用燃料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

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*	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
その他発電用原子炉の附属施設	補機駆動用燃料設備	燃料設備	主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-3-2

注記\* : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

VI-2-10-5 緊急時対策所の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-10-5-1 緊急時対策所の耐震性についての計算結果



VI-2-10-5-1 緊急時対策所の耐震性についての計算結果

## 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、重大事故等対処施設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、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設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。また、表 2-1 に示す設備のうち、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がない施設の耐震計算は、工事計画の認可実績を示し、入力条件及び評価結果を示すことを基本とする。

なお、既設の設備における弾性設計用地震動  $S_d$  による耐震評価については、基準地震動  $S_s$  による評価結果が弾性設計用地震動  $S_d$  の許容限界を満足する場合、省略することとし、省略せず耐震評価を実施する場合は、静的地震力についても考慮することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の重要度分類	新規制基準施工前に許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	緊急時対策所	C (新規登録)	—	VI-2-2*2	その他	—	VI-2-2*2
	その他の緊急時対策所機能	衛星電話設備（固定型）	C	—	—	常設/緩和 常設/防止	—	VI-2-6-7*3
		無線連絡設備（固定型）	C	—	—	常設/緩和 常設/防止	—	VI-2-6-7*3
		安全パラメータ表示システム（SPDS）	C	—	—	常設/緩和	—	VI-2-6-7*3
		統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備	C	—	—	その他	—	VI-2-6-7*3

注記 \*1:「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、「その他」は、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: 建物・構築物の耐震評価は、添付書類「VI-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書」に記載する。

\*3: 計測制御設備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、添付書類「VI-2-6-7 その他の計測制御設備の耐震性についての計算書」に記載する。

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

## 目 次

- 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
- 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-2-11-1 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.....	3
3.1 耐震評価部位.....	3
3.1.1 不等沈下又は相対変位の観点.....	3
3.1.2 接続部の観点.....	4
3.1.3 建屋内施設の損傷，転倒，落下等の観点.....	4
3.1.4 建屋外施設の損傷，転倒，落下等の観点.....	5
3.2 地震応答解析.....	7
3.3 設計用地震動又は地震力.....	7
3.4 荷重の種類及び荷重の組合せ.....	7
3.5 許容限界.....	8
3.5.1 建物・構築物.....	8
3.5.2 機器・配管系.....	8
3.5.3 土木構造物.....	8
3.6 まとめ.....	8



## 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、添付書類「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、添付書類「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、添付書類「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

<p>建物・構築物</p>	<p>タービン建屋                  補助ボイラー建屋                  第1号機制御建屋                  制御建屋                  原子炉ウェルカバー                  第1号機排気筒</p>
<p>機器・配管系</p>	<p>原子炉しゃへい壁                  原子炉建屋クレーン                  燃料交換機                  制御棒貯蔵ハンガ                  制御棒貯蔵ラック                  CRD 自動交換機                  中央制御室天井照明                  ほう酸水注入系テストタンク                  耐火隔壁                  海水ポンプ室門型クレーン                  竜巻防護ネット</p>
<p>土木構造物</p>	<p>第1号機取水路                  第3号機取水路                  北側排水路                  アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））                  前面護岸</p>

### 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 を含む工事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

不等沈下による影響は、添付書類「VI-2-1-5 波及的影響に係る基本方針」の「4.1 不等沈下又は相対変位の観点」に示すように、不等沈下の観点で波及的影響を及ぼす下位クラス施設はない。

###### (2) 建屋間の相対変位による影響

###### a. タービン建屋

タービン建屋は、相対変位により原子炉建屋及び制御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、タービン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原子炉建屋及び制御建屋に影響がないことを確認する。

###### b. 補助ボイラー建屋

補助ボイラー建屋は、相対変位により制御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、補助ボイラー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制御建屋に影響がないことを確認する。

###### c. 第1号機制御建屋

第1号機制御建屋は、相対変位により制御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、第1号機制御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制御建屋に影響がないことを確認する。

###### d. 制御建屋

制御建屋は、上位クラス施設であるものの相対変位により原子炉建屋に衝突する可能性が否定できないことから、制御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原子炉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、添付書類「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、落下等の観点

#### (1) 施設の損傷、転倒、落下等による影響

##### a. 原子炉しゃへい壁

原子炉しゃへい壁は、損傷により原子炉圧力容器に衝突し、原子炉圧力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。

##### 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、使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、使用済燃料プール、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. 燃料交換機

燃料交換機は、本体及び吊荷の転倒又は落下により、使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、使用済燃料プール、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. 制御棒貯蔵ハンガ

制御棒貯蔵ハンガは、転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラックに衝突し、使用済燃料貯蔵ラ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。

##### e. 制御棒貯蔵ラック

制御棒貯蔵ラックは、転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラックに衝突し、使用済燃料貯蔵ラ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。

f. 原子炉ウェルカバー

原子炉ウェルカバーは，落下によりドライウェルに衝突し，ドライウェル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。

g. CRD 自動交換機

CRD 自動交換機は，落下により原子炉格納容器下部水位及び原子炉格納容器下部温度に衝突し，原子炉格納容器下部水位及び原子炉格納容器下部温度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. 中央制御室天井照明

中央制御室天井照明は，落下により原子炉制御盤等に衝突し，原子炉制御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。

i. ほう酸水注入系テストタンク

ほう酸水注入系テストタンクは，転倒によりほう酸水注入系ポンプ出口圧力に衝突し，ほう酸水注入系ポンプ出口圧力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。

j. 耐火隔壁

耐火隔壁は，転倒により中央制御室外原子炉停止装置盤等に衝突し，中央制御室外原子炉停止装置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。

3.1.4 建屋外施設の損傷，転倒，落下等の観点

(1) 施設の損傷，転倒，落下等による影響

a. 海水ポンプ室門型クレーン

海水ポンプ室門型クレーンは，転倒及び落下により原子炉補機冷却海水ポンプ等に衝突し，原子炉補機冷却海水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，支持部及び吊具の評価を実施する。

b. 竜巻防護ネット

竜巻防護ネットは、落下により原子炉補機冷却海水ポンプ等に衝突し、原子炉補機冷却海水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、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

c. 第1号機取水路

第1号機取水路は、損傷により防潮堤の支持機能に影響を及ぼす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。

d. 第3号機取水路

第3号機取水路は、損傷により防潮堤の支持機能に影響を及ぼす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. 北側排水路

北側排水路は、防潮堤内を横断しているため、その損傷により防潮堤の機能に影響を及ぼす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。

f. アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））

アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））は、防潮堤と一体の構造となっているため、その損傷により防潮堤の機能に影響を及ぼす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、安定性の評価を実施する。

g. タービン建屋

タービン建屋は、損傷により防潮壁等に衝突し、防潮壁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。

h. 補助ボイラー建屋

補助ボイラー建屋は、損傷により制御建屋に衝突し、制御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。

i. 第1号機制御建屋

第1号機制御建屋は、損傷により制御建屋に衝突し、制御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。

j. 第1号機排気筒

第1号排気筒は、損傷により排気筒に衝突し、排気筒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。

k. 前面護岸

前面護岸は、損傷により取水口及び貯留堰の取水機能に影響を及ぼす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、安定性の評価を実施する。

### 3.2 地震応答解析

地震応答解析については、添付書類「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、添付書類「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、添付書類「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、添付書類「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、添付書類「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、重大事故等対象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，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の風荷重及び積雪荷重の組合せの考え方にに基づき設定する。

### 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，添付書類「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，添付書類「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，せん断ひずみを許容限界とする。

せん断ひずみにおいては，J E A G 4 6 0 1 - 1987 に基づく終局点に対応するせん断ひずみ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，添付書類「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，添付書類「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，「鋼構造設計規準」に基づく短期許容応力度等を設定する。

#### 3.5.3 土木構造物

土木構造物については，添付書類「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，構造部材健全性については短期許容応力度又は終局耐力及び構造物の層間変形角，基礎地盤の支持性能については地盤の極限支持力度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



用いている記号は添付書類「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、添付書類「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 (1/7)

(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
タービン建屋	① (相対変位) ④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	①タービン建屋と原子炉建屋及び 制御建屋との離隔距離を適用す る。 ④ J E A G 4 6 0 1 -1987 に基づ く終局点に対応するせん断ひずみ を適用する。
					SA	
補助ボイラー建屋	① (相対変位) ④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	①補助ボイラー建屋と制御建屋と の離隔距離を適用する。 ④ J E A G 4 6 0 1 -1987 に基づ く終局点に対応するせん断ひずみ を適用する。
					SA	
第 1 号機制御建屋	① (相対変位) ④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	①第 1 号機制御建屋と制御建屋と の離隔距離を適用する。 ④ J E A G 4 6 0 1 -1987 に基づ く終局点に対応するせん断ひずみ を適用する。
					SA	
制御建屋	① (相対変位)	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	①制御建屋と原子炉建屋との離隔 距離を適用する。 ④ J E A G 4 6 0 1 -1987 に基づ く終局点に対応するせん断ひずみ を適用する。
					SA	

注記\* : 添付書類「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 (2/7)

(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
原子炉ウェルカバー	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基準・同解説」等に基づき、許容応力度を設定する。
					SA	
第 1 号機排気筒	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「鋼構造設計規準」に基づく弾性限強度を適用する。
					SA	

注記\*：添付書類「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 (3/7)

(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
原子炉しゃへい壁	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	
燃料交換機	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\*：添付書類「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 (4/7)

(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
制御棒貯蔵ハンガ	③	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	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 <sub>SAD</sub> + M <sub>SAD</sub> + S <sub>s</sub>	SA	
制御棒貯蔵ラック	③	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	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 <sub>SAD</sub> + M <sub>SAD</sub> + S <sub>s</sub>	SA	
CRD 自動交換機	③	主要構造部材 支持部	S <sub>s</sub>	D + P <sub>SAD</sub> + M <sub>SAD</sub> + S <sub>s</sub>	SA	「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。
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 <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub>	DB	「鋼構造設計規準」に基づく短期許容応力度を適用または、「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 <sub>SAD</sub> + M <sub>SAD</sub> + S <sub>s</sub>	SA	

注記\* : 添付書類「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 (5/7)

(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
ほう酸水注入系テ ストタンク	③	主要構造部材 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示すクラス3容器及びクラス3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。
耐火隔壁	③	主要構造部材 支持部	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。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
海水ポンプ室門型 クレーン	④	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\* : 添付書類「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 (6/7)

(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
竜巻防護ネット	④	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。 ゴム支承(ゴム体)については、「道路橋支承便覧」に基づき、許容限界を設定する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	

注記\* : 添付書類「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 (7/7)

(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
第 1 号機取水路	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」 に示す通水機能を維持するため構 造強度を確保することとし、曲げ については限界層間変形角、せん 断についてはせん断耐力を許容限 界とし、地盤の支持性能につい ては極限支持力度とする。
第 3 号機取水路	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	
北側排水路	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」 に示す通水機能を維持するため構 造強度を確保することとし、曲げ については許容応力度、せん断に ついては許容応力度を許容限界と する。
アクセスルート (防 潮堤 (盛土堤防))	④	セメント改良土	S s	G + P + S s	DB	「耐津波設計に係る工認審査ガイ ド」に基づき、すべり安全率 1.2 以 上を許容限界とする。
前面護岸	④	改良地盤 及びコンクリ ート置換工	S s	G + P + S s	DB	「基礎地盤及び周辺斜面の安定性 評価に係る審査ガイド」に基づき、 すべり安全率 1.2 以上を許容限界 とする。
					SA	

注記\* : 添付書類「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

## 目 次

- VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-4 補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-5 第1号機制御建屋の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-6 ほう酸水注入系テストタンクの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-7 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-8 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-10 原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-11 原子炉ウェルカバーの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-12 耐火隔壁の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-14 制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-16 前面護岸の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-17 第1号機取水路の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-18 第3号機取水路の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-20 アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-3 タービン建屋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 適用規格・基準等.....	12
3. 評価方法.....	13
3.1 評価対象部位及び評価方針.....	13
3.2 評価に用いる地震波.....	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	19
3.4 許容限界.....	20
3.5 解析方法.....	21
3.6 解析条件.....	34
3.7 評価方法.....	48
4. 評価結果.....	49
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果.....	49
4.2 相対変位による評価結果.....	50

## 1. 概要

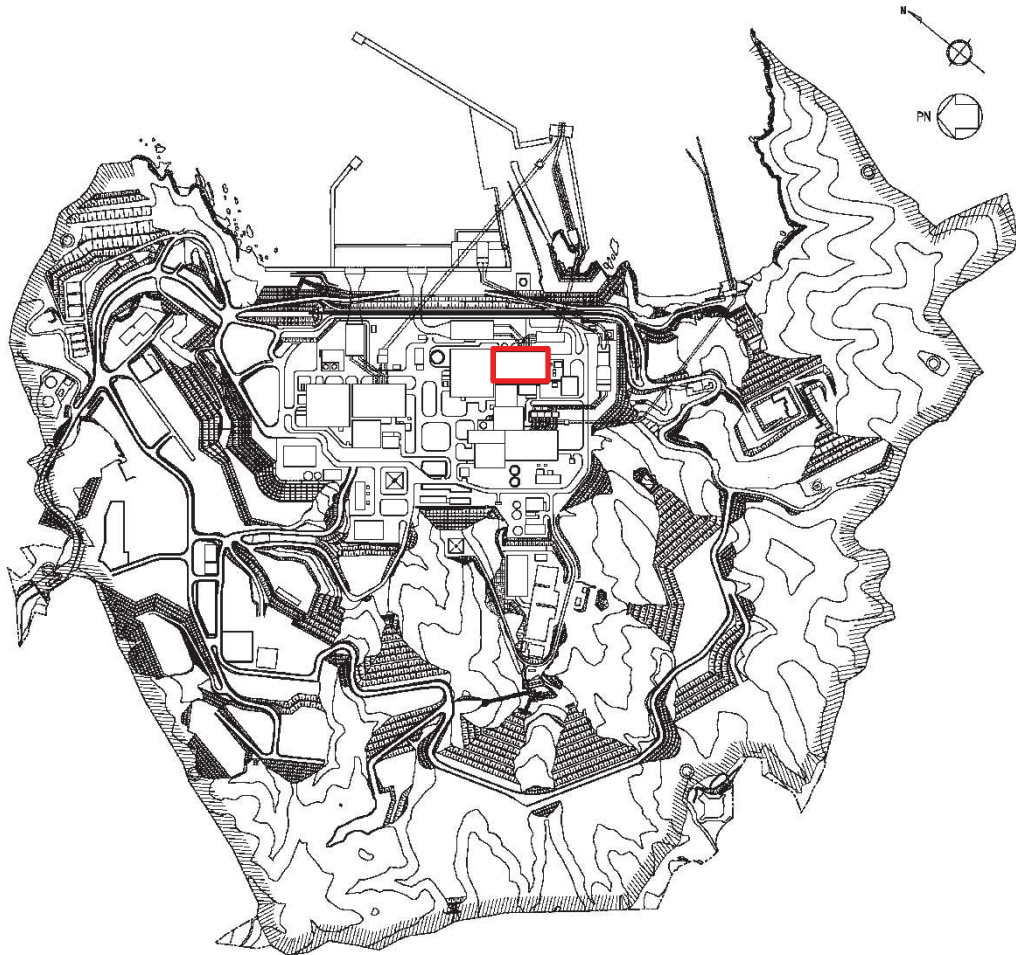
本資料は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、タービン建屋が原子炉建屋及び制御建屋に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価として、原子炉建屋及び制御建屋の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒、落下等による影響では、タービン建屋の構造物全体としての変形性能の評価を、建屋間の相対変位による影響では、原子炉建屋及び制御建屋への衝突の有無を確認する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

タービン建屋の設置位置を図 2-1 に示す。




 タービン建屋

図 2-1 タービン建屋の設置位置

## 2.2 構造概要

タービン建屋は、地下 2 階，地上 2 階建で，基礎底面からの高さは 49.5m であり，平面は下部で 96.0m(NS 方向)×57.7m(EW 方向)\*である。建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)である。

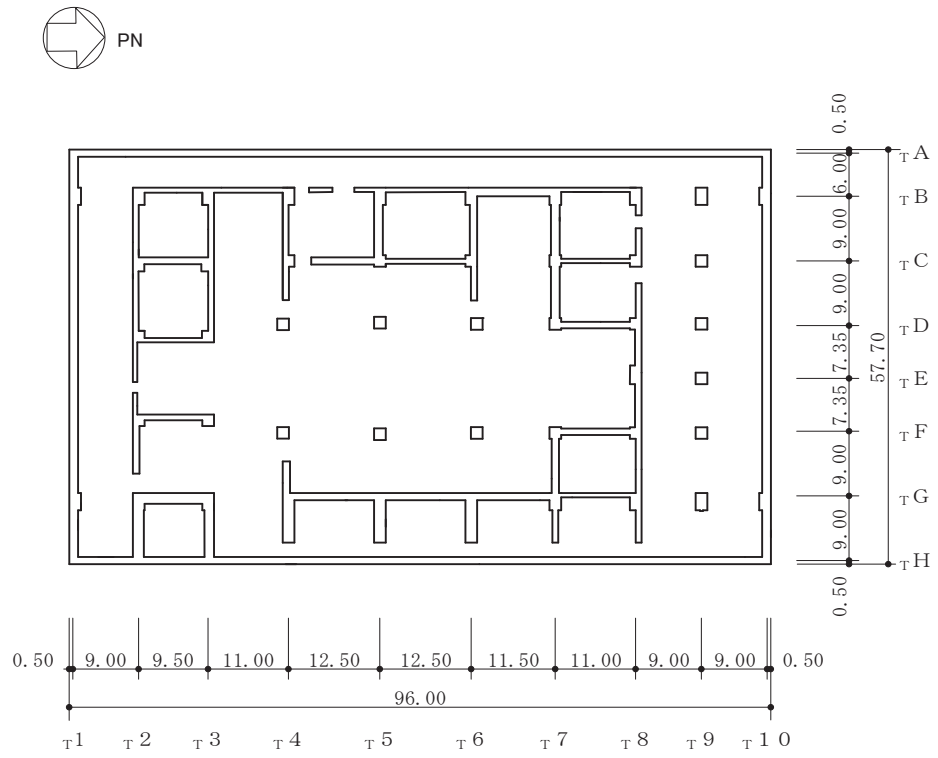
タービン建屋は外壁，内壁，フレーム部分ならびにタービン及び発電機据付のための架台(以下，「T/G ペデスタル」という。)より構成されている。これらは同一の基礎版上に設置されているが，T/G ペデスタルはその周囲に 50mm のギャップを設け，他の部分とは構造的に分離している。

タービン建屋の基礎は，厚さ 3.0m のべた基礎で，支持地盤である砂岩及び頁岩上に直接又はマンメイドロックを介して設置されている。

タービン建屋の主たる耐震要素は，外壁及び内壁で構成される耐震壁である。

タービン建屋の概略平面図を図 2-2 に，概略断面図を図 2-3 に，建屋配置図を図 2-4 に，タービン建屋と原子炉建屋のクリアランスを図 2-5 に，タービン建屋と制御建屋のクリアランスを図 2-6 に示す。

注記\* : 建屋寸法は壁外面押えとする。

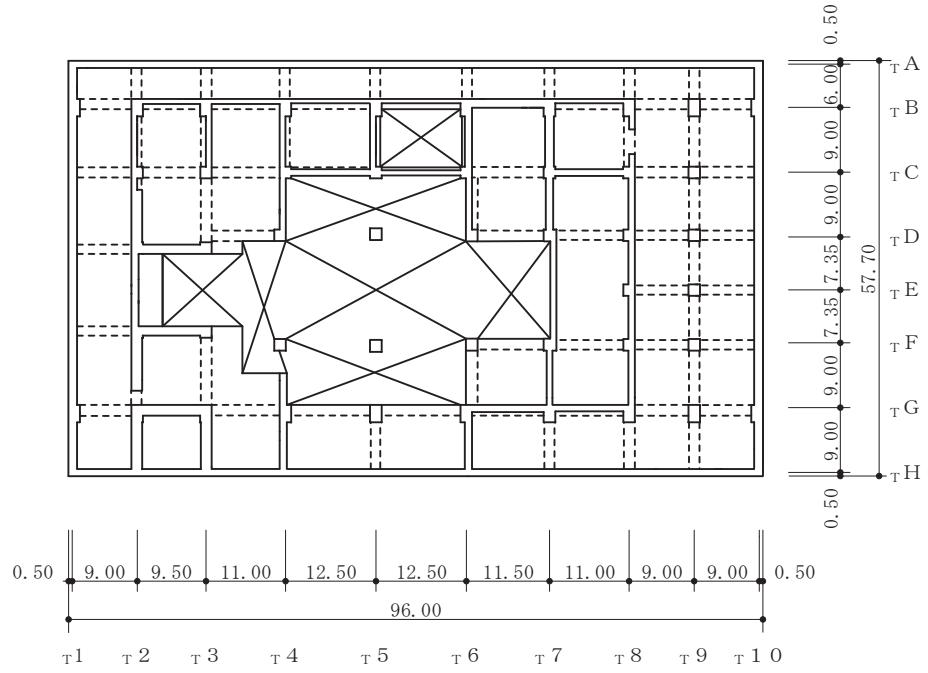


(単位 : m)

図 2-2(1) タービン建屋の概略平面図 (0.P. \*0.8m)

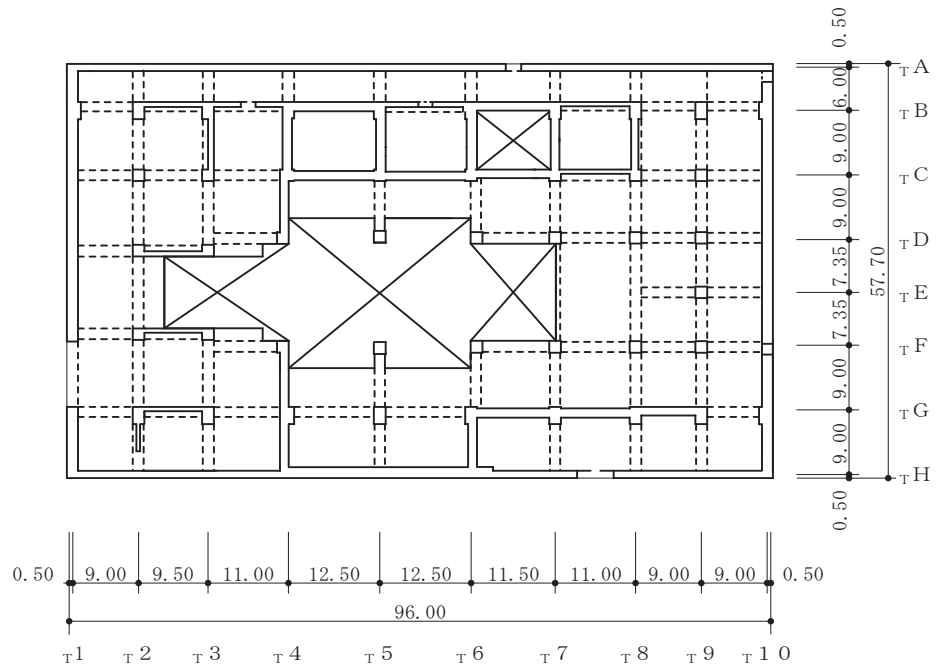
注記\* : 0.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。





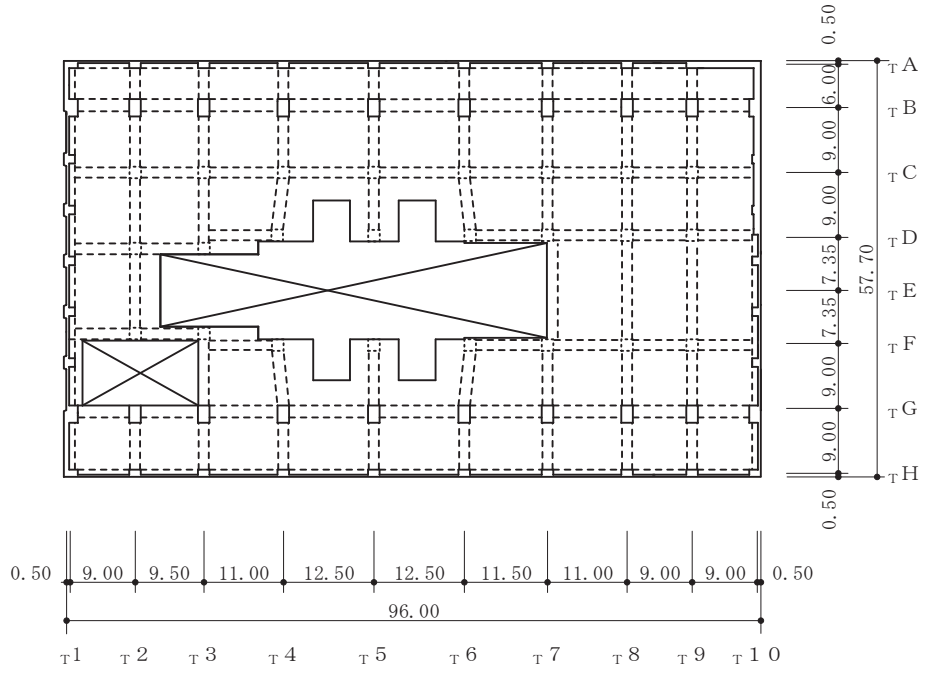
(単位 : m)

図 2-2(2) タービン建屋の概略平面図 (0. P. 7.6m)



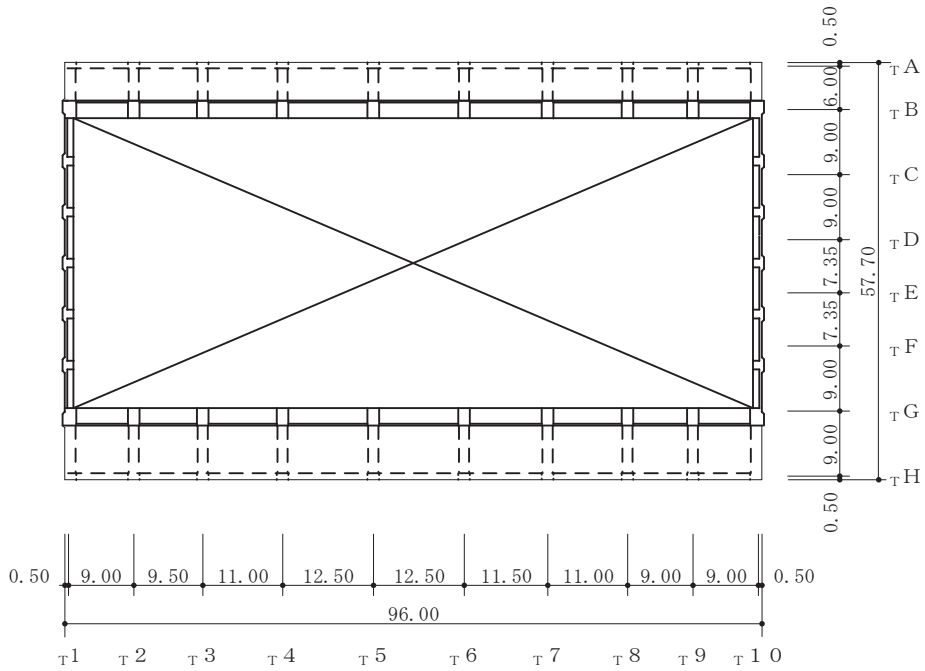
(単位 : m)

図 2-2(3) タービン建屋の概略平面図 (0. P. 15.0m)



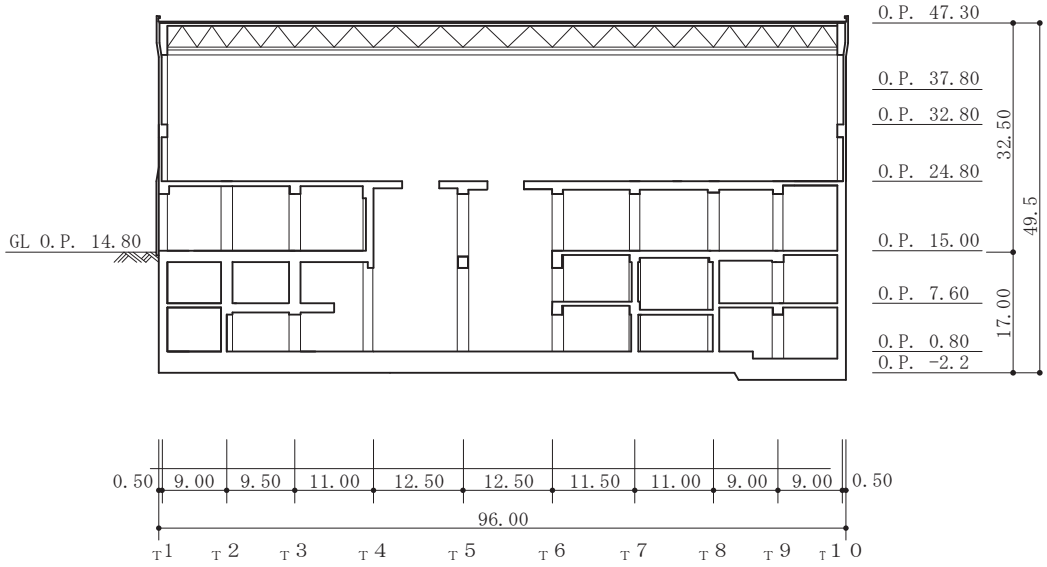
(単位 : m)

図 2-2(4) タービン建屋の概略平面図 (0.P. 24.8m)



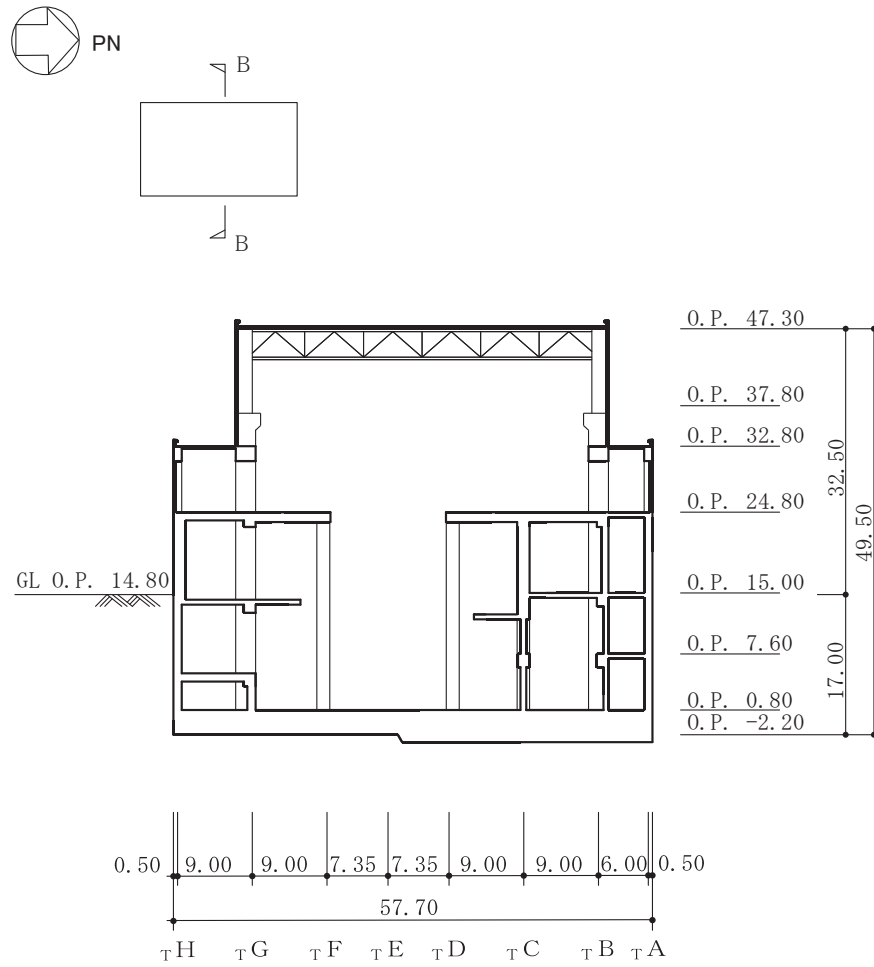
(単位 : m)

図 2-2(5) タービン建屋の概略平面図 (0.P. 32.8m)



(単位：m)

図 2-3(1) タービン建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)



(単位：m)

図 2-3(2) タービン建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

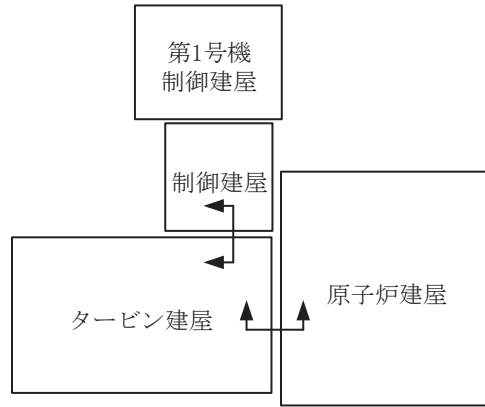


図 2-4 建屋配置図

O 2 ③ VI-2-11-2-3 R 0

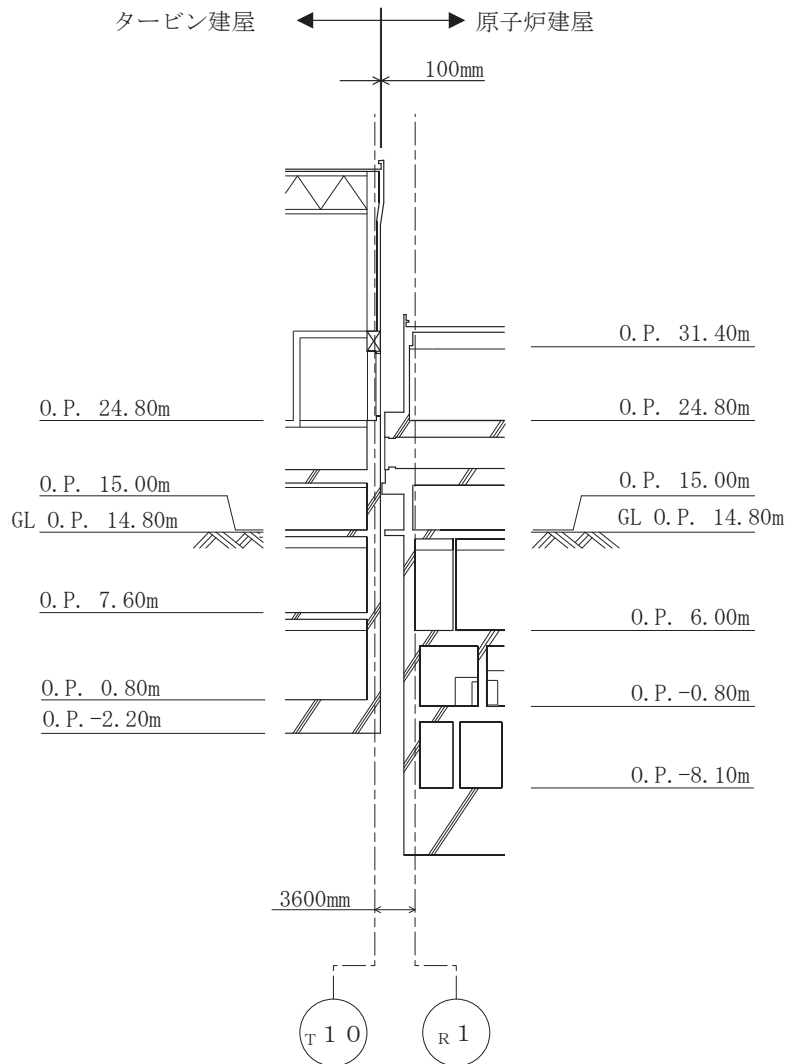


図 2-5 タービン建屋と原子炉建屋のクリアランス

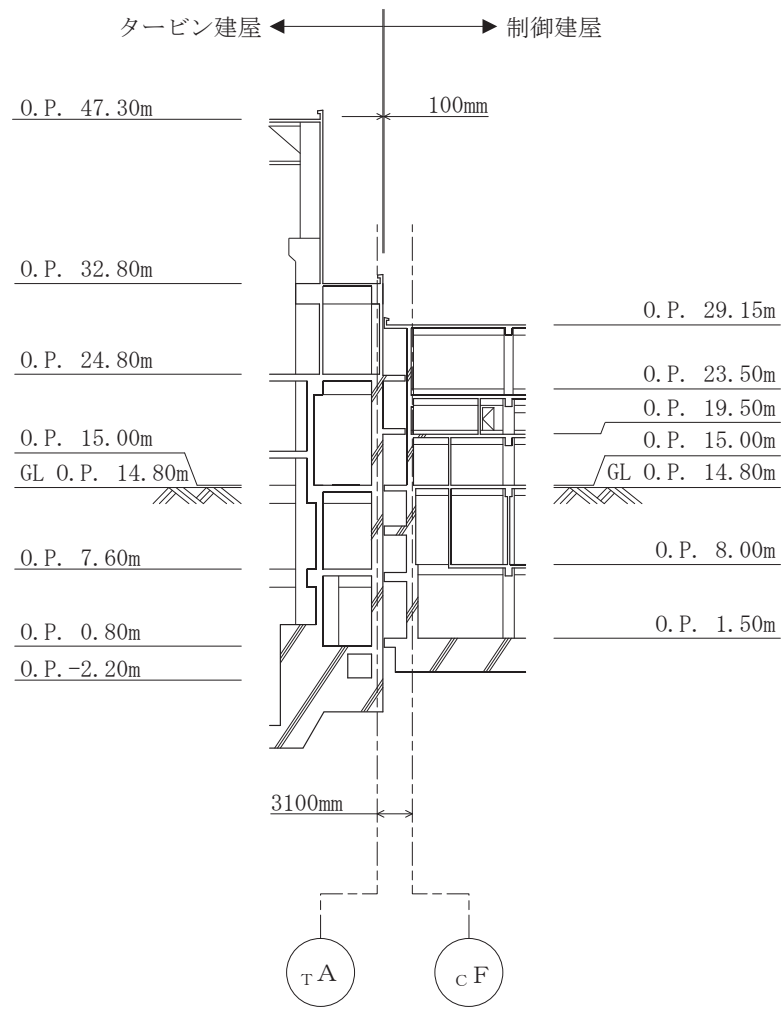


図 2-6 タービン建屋と制御建屋のクリアランス

### 2.3 評価方針

タービン建屋は、原子炉建屋及び制御建屋と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

タービン建屋の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動  $S_s$  に対する評価（以下「 $S_s$  地震時に対する評価」という。）を行うこととする。タービン建屋の波及的影響の評価は、添付書類「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、施設の損傷、転倒、落下等による影響では、構造物全体としての変形性能について行う。建屋間の相対変位による影響では、原子炉建屋及び制御建屋との相対変位による評価を行うことで、原子炉建屋及び制御建屋への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、タービン建屋の最大応答変位に加えて、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、タービン建屋は、その配置上、原子炉建屋と接触する可能性が高い NS 方向及び制御建屋と接触する可能性が高い EW 方向に対して波及的影響の評価を行う。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 $S_s$  地震時に対する評価を行う。ここでタービン建屋では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

## 2.4 適用規格・基準等

タービン建屋の波及的影響評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1988年改定）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）



### 3. 評価方法

#### 3.1 評価対象部位及び評価方針

タービン建屋の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋及び制御建屋との相対変位による評価では、タービン建屋とそれぞれの建屋の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建屋間のクリアランスの大小関係により、隣接する原子炉建屋及び制御建屋への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、タービン建屋とそれぞれの建屋の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 に波及的影響の評価フローを示す。

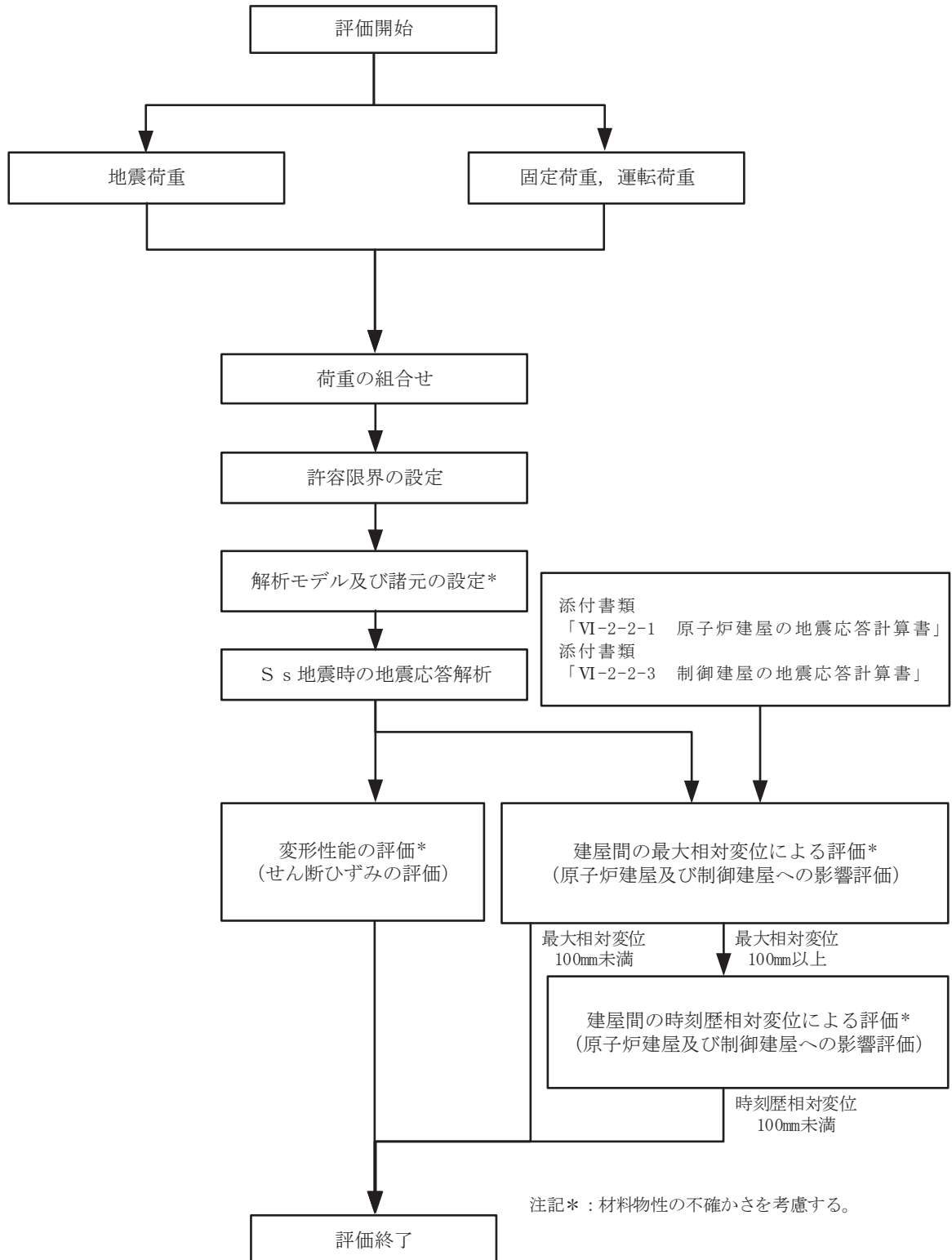
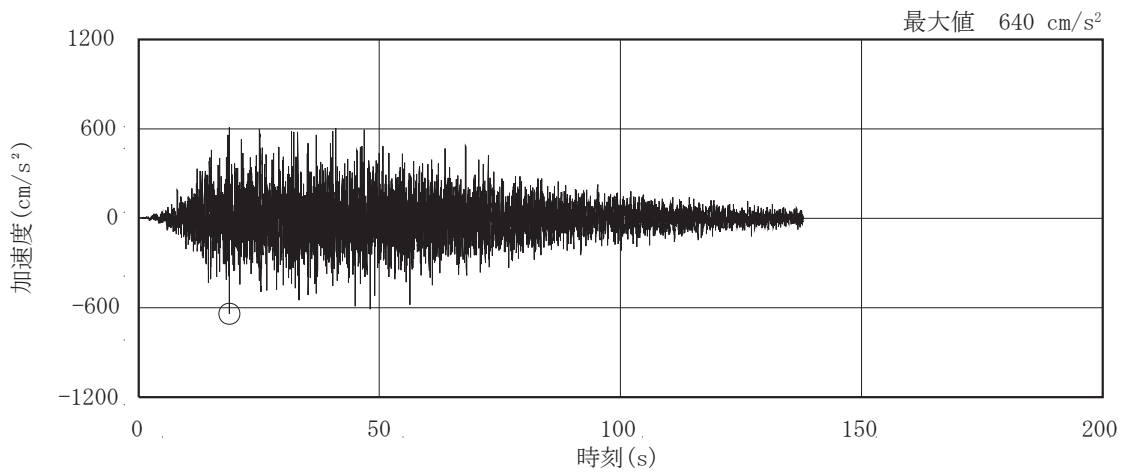


図 3-1 タービン建屋の波及的影響の評価フロー

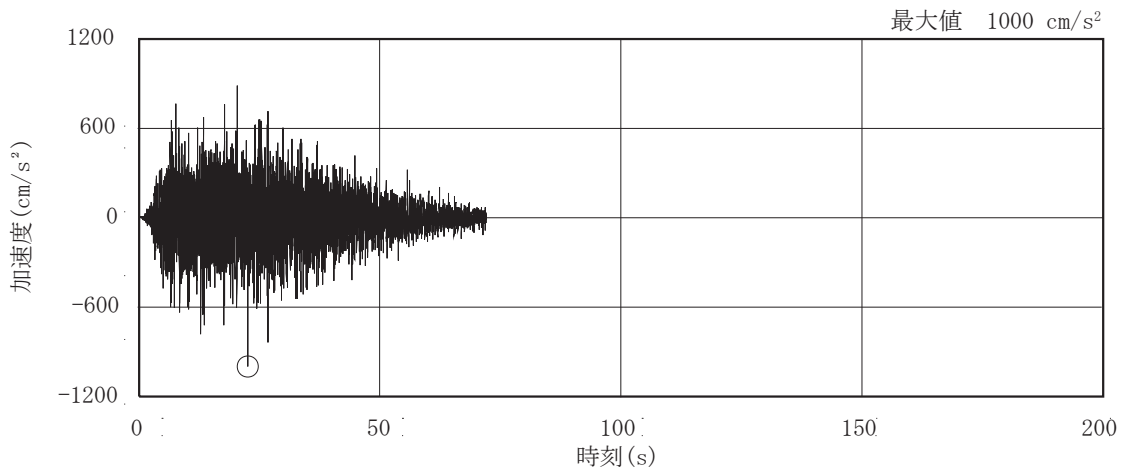
### 3.2 評価に用いる地震波

タービン建屋の地震応答解析に用いる地震波は，上位クラス施設である原子炉建屋及び制御建屋の評価に適用した添付書類「VI-2-1-2 基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち，基準地震動  $S_s$  とする。

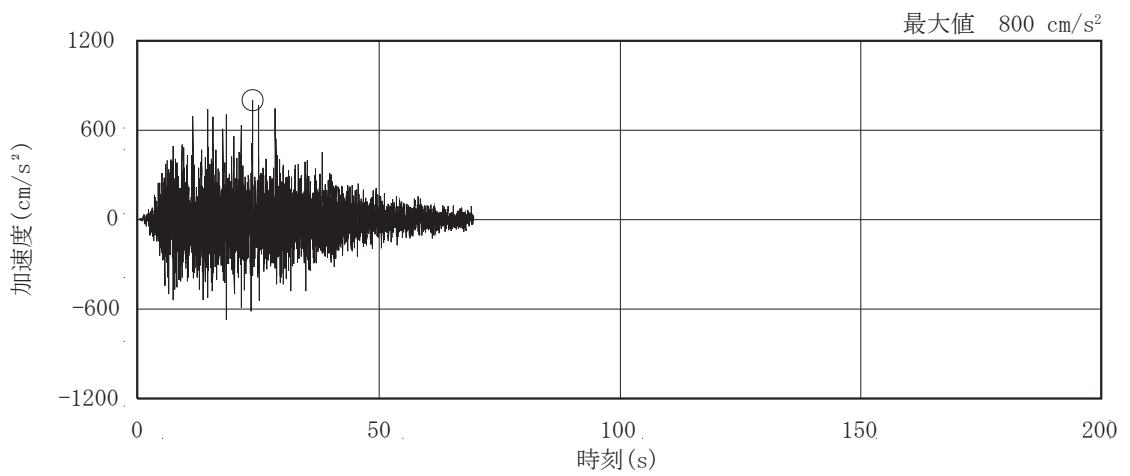
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを，図 3-2 及び図 3-3 に示す。



(a) S s - D 1

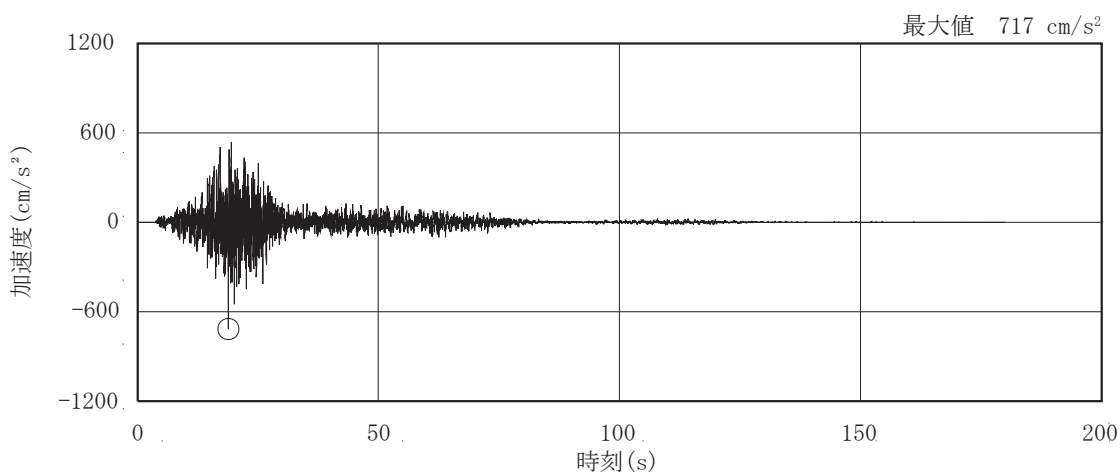


(b) S s - D 2

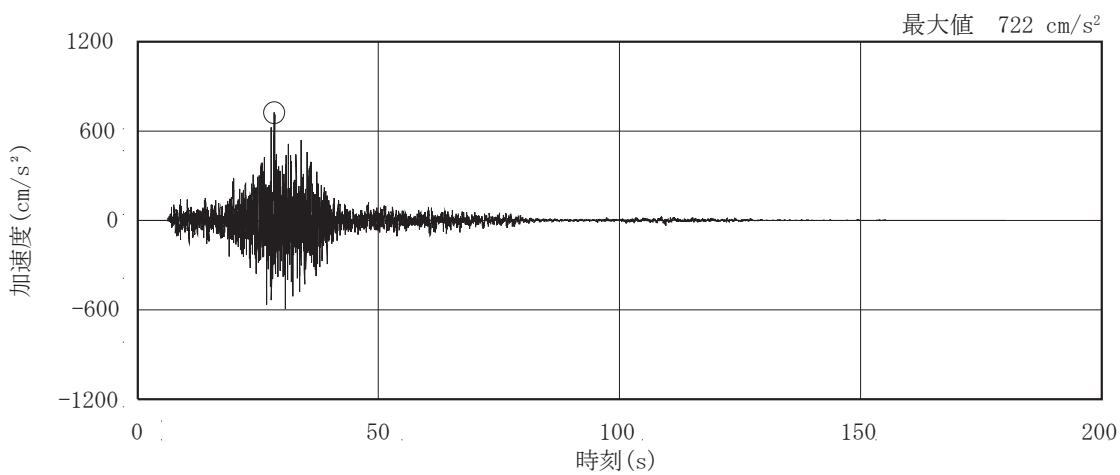


(c) S s - D 3

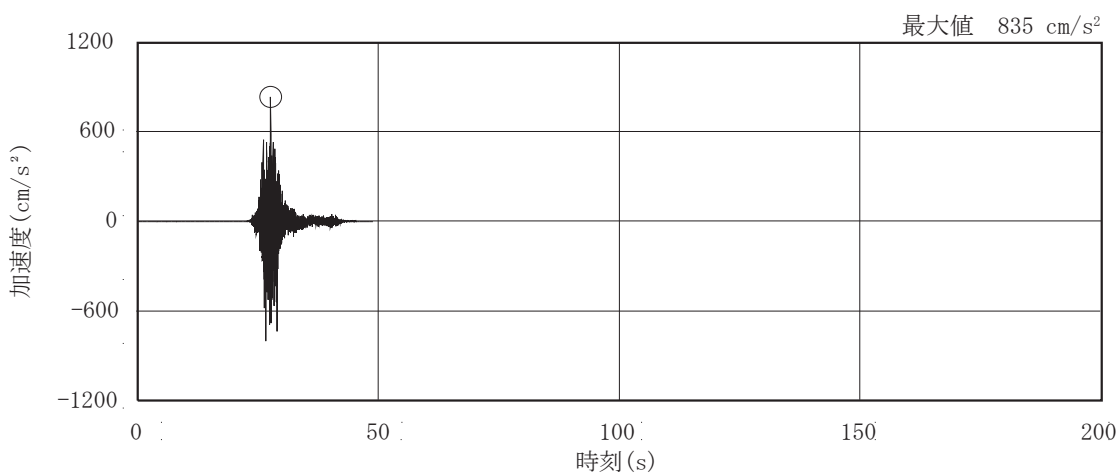
图 3-2(1) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

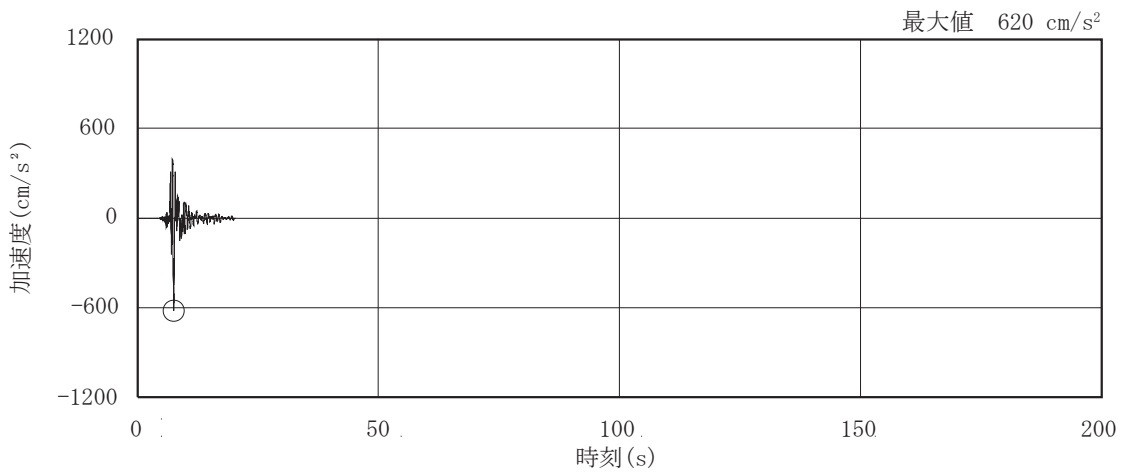


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

图 3-2(2) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (2/3)



(g) S<sub>s</sub> - N 1

図 3-2(3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S<sub>s</sub>, 水平方向) (3/3)

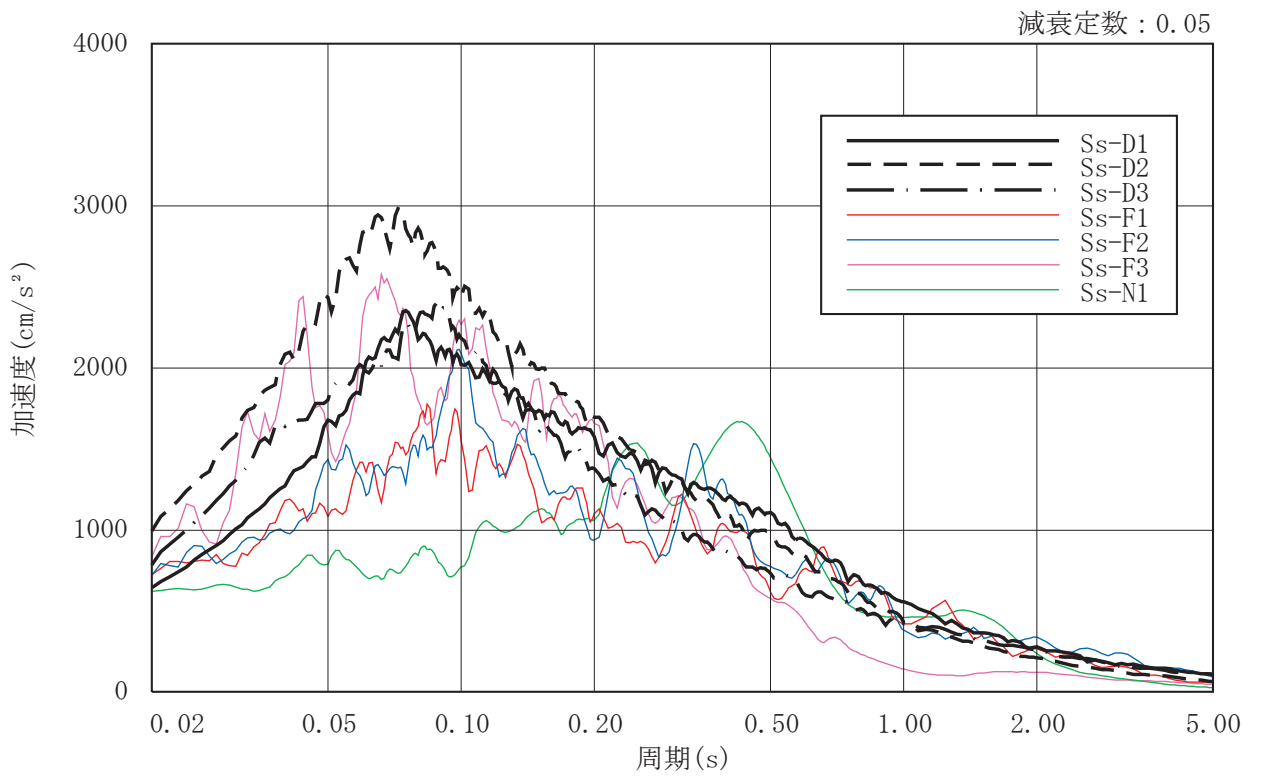


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S<sub>s</sub>, 水平方向)

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。その荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>s</sub>

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力

### 3.4 許容限界

タービン建屋の原子炉建屋及び制御建屋に対する波及的影響の評価における許容限界は添付書類「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」に記載の許容限界に基づき、表 3-2 及び表 3-3 のとおり設定する。

表 3-2 波及的影響の評価における許容限界  
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建屋 及び 制御建屋に 波及的影響を 及ぼさない	基準 地震動 S s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$
		タービン建屋 及び 原子炉建屋, タービン建屋 及び 制御建屋	建屋間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 100mm

表 3-3 波及的影響の評価における許容限界  
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建屋 及び 制御建屋に 波及的影響を 及ぼさない	基準 地震動 S s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$
		タービン建屋 及び 原子炉建屋, タービン建屋 及び 制御建屋	建屋間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 100mm



### 3.5 解析方法

#### 3.5.1 地震応答解析モデル

##### (1) 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部、せん断変形をするフレーム部及び面内せん断変形をする床スラブ部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。なお、接地率が65%を下回る場合には、誘発上下動を考慮する。

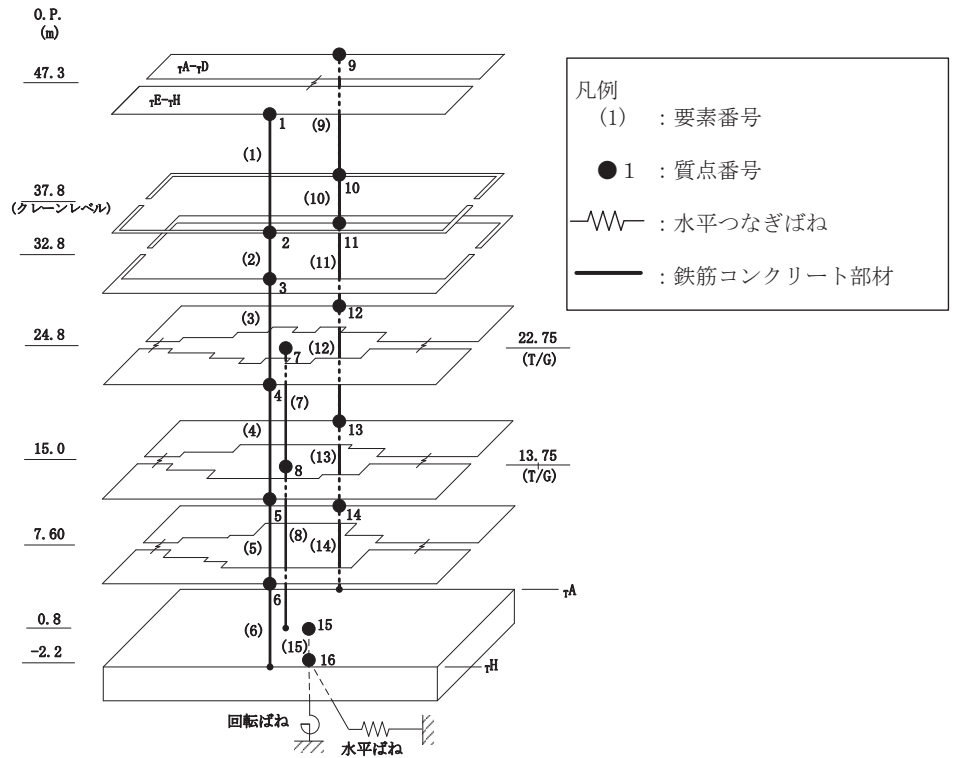
水平方向の地震応答解析モデル及び諸元を図3-4及び図3-5に示す。なお、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下については、観測記録や試験データなどから適切に地震応答解析モデルへ反映し、保守性を確認した上で適用する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を表3-4に示す。

##### (2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、水平方向の地震応答解析モデルにおいては水平ばね及び回転ばねで置換している。この水平ばね及び回転ばねは、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミッタンス理論に基づいて評価している。いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図3-6に示すようにばね定数として、実部の静的な値( $K_0$ )を、また、減衰係数( $C_0$ )として、建屋－地盤連成モデルの1次固有円振動数( $\omega_1$ )に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。このうち、回転ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤ばね定数及び減衰係数を表3-5に、地盤モデルの物性値を表3-6に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

### (3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動  $S_s$  から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面相当以深の地盤を一次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により 0.P.-200m の入射波を算定する。算定した 0.P.-200m の入射波を、表層地盤の非線形性を考慮した一次元地盤モデルに入力して逐次非線形解析を行い、建屋基礎底面での地盤の応答を評価して入力地震動とする。また、建屋基礎底面レベルにおける補正水平力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。表 3-6 に示す地盤モデルのうち表層地盤(0.P. 14.8m~0.P. 0m)には、地盤調査結果に基づき、初期せん断剛性  $G_0$ 、 $G/G_0-\gamma$  曲線及び  $h-\gamma$  曲線の非線形特性を設定した。 $G/G_0-\gamma$  曲線及び  $h-\gamma$  曲線の非線形特性を図 3-7 及び図 3-8 に示す。図 3-9 に地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を、設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置(0.P.-2.2m)における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-10 に示す。入力地震動の算定における一次元波動論に基づく評価には解析コード「SHAKE」を、逐次非線形解析による評価には解析コード「mflow」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



(a) モデル図

質量番号	質量重量(×10kN)
------	-------------

標高 O.P. (m)	建屋		
	rE-rH	T/G	rA-rD
47.3	1		9
	1942		1942
37.8	2		10
	1220		1220
32.8	3		11
	3713		4089
24.8	4	7	12
22.75 (T/G)	11060	7688	16545
15.0	5	8	13
13.75 (T/G)	13550	4982	17740
7.6	6		14
	12333		14234
0.8	15		
	36434		
-2.2	16		
	30430		

回転慣性重量\* =  $1.404 \times 10^9 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$

注記\* : 回転慣性重量は基礎下質点 (質点番号16) に集約している。

(b) 質点重量・回転慣性重量

図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向) (1/2)

要素番号
せん断断面積 (m <sup>2</sup> )
断面2次モーメント (×10 <sup>2</sup> m <sup>4</sup> )

標高 O.P. (m)	建屋			
	γE-γH	T/G	γA-γD	
47.3	(1)		(9)	
	24.0		24.0	
	324.4		324.4	
37.8	(2)		(10)	
	24.0		24.0	
	324.4		324.4	
32.8	(3)		(11)	
	32.6		39.8	
	477.1		699.8	
24.8 22.75 (T/G)	(4)		(7)	(12)
	132.2		21.43	196.6
	1366.0	∞	1905.5	
15.0 13.75 (T/G)	(5)	(8)	(13)	
	148.6	10.43	192.7	
	1589.7	∞	1932.9	
7.6	(6)		(14)	
	177.6		198.8	
	2031.4		2130.1	
0.8	(15)			
	5539.2			
	42541.1			

①耐震壁 (O.P. 24.8mより上部) (要素1~3, 9~11)

ヤング係数	E	7.94 × 10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数	G	3.41 × 10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比	ν	0.167
減衰定数	h	5%

②耐震壁 (O.P. 24.8mより下部) (要素4~6, 12~15)

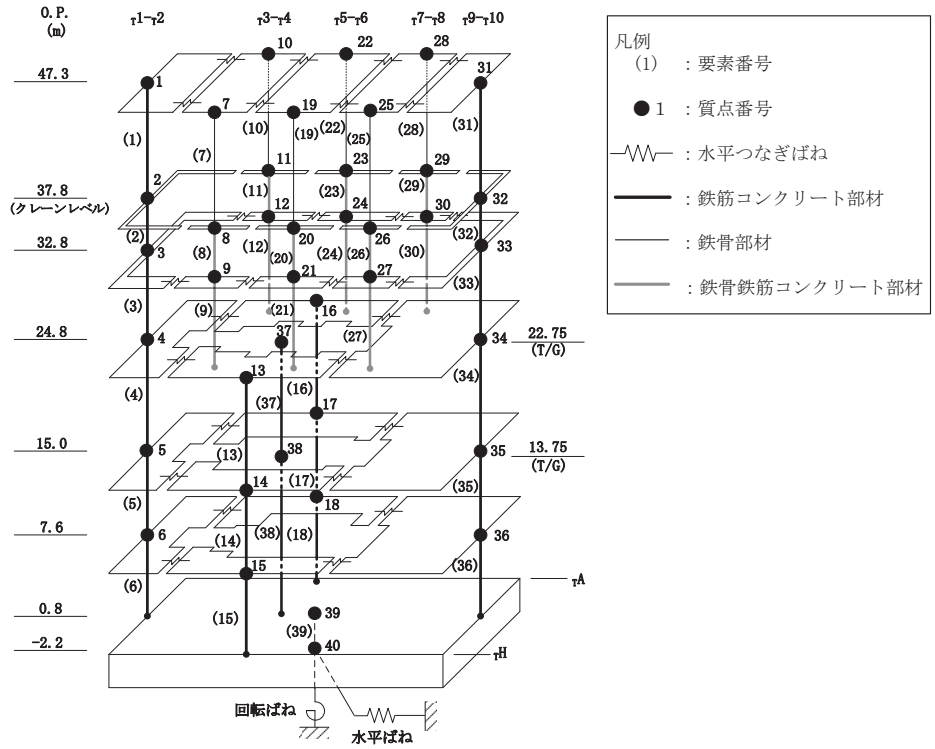
ヤング係数	E	9.27 × 10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数	G	3.98 × 10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比	ν	0.167
減衰定数	h	5%

③T/G架台 (要素7, 8)

ヤング係数	E	2.65 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数	G	1.14 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比	ν	0.167
減衰定数	h	5%

(c) せん断断面積・断面2次モーメント

図 3-4(2) 地震応答解析モデル (NS 方向) (2/2)



(a) モデル図

質点番号	
質点重量(×10kN)	

標高 O. P. (m)	建屋							
	r1-r2	r3-r4		r5-r6		r7-r8		r9-r10
47.3	1	7	10	19	22	25	28	31
	740	391	391	435	435	379	379	733
37.8	2	8	11	20	23	26	29	32
	835	184	184	182	182	162	162	548
32.8	3	9	12	21	24	27	30	33
	1417	698	672	761	732	705	787	2030
24.8	4	r3-r6 (TH側)		r3-r6 (TA側)		T/G	r7-r10	
	3993	13		16		37	34	
22.75(T/G)	6178							
15.0	5	14		17		38		35
13.75(T/G)	6	15		18		36		
	5621	5289		7306		4982		13074
7.6	6	15		18		36		
	5122	4405		5863		11177		
0.8	39							
	36434							
-2.2	40							
	30430							

回転慣性重量\* =  $5.251 \times 10^8 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$

注記\* : 回転慣性重量は基礎下質点(質点番号40)に集約している。

(b) 質点重量・回転慣性重量

図 3-5(1) 地震応答解析モデル (EW 方向) (1/2)

要素番号
せん断断面積 (m <sup>2</sup> )
断面2次モーメント (×10 <sup>2</sup> m <sup>4</sup> )

標高 O. P. (m)	建屋							
	τ1-τ2	τ3-τ4		τ5-τ6		τ7-τ8		τ9-τ10
47.3	(1)	(7)	(10)	(19)	(22)	(25)	(28)	(31)
	15.9	0.0216	0.0216	0.0216	0.0216	0.0216	0.0216	15.9
	75.2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	75.2
37.8	(2)	(8)	(11)	(20)	(23)	(26)	(29)	(32)
	15.9	0.895	0.895	0.895	0.895	0.895	0.895	15.9
	75.2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	75.2
32.8	(3)	(9)	(12)	(21)	(24)	(27)	(30)	(33)
	24.3	0.431	0.445	0.431	0.446	0.431	0.455	38.7
	132.8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	196.8
24.8 22.75 (T/G)	τ1-τ2	τ3-τ6 (TH側)		τ3-τ6 (TA側)		T/G	τ7-τ10	
	(4)	(13)		(16)		(37)	(34)	
	64.4	34.8		54.9		18.88	93.4	
15.0 13.75 (T/G)	(5)	(14)		(17)		(38)	(35)	
	278.6	15.83		24.25		∞	403.5	
	122.0	38.1		51.4		11.45	138.4	
511.6	14.03		25.43		638.2			
7.6	(6)	(15)		(18)		∞	(36)	
	113.0	56.7		60.7			146.6	
	516.0	18.91		34.93		762.1		
0.8	(39)							
	5539.2							
	15368.0							

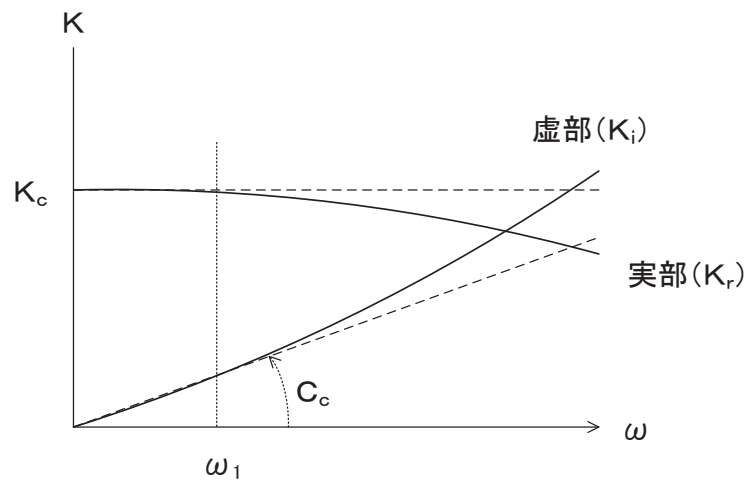
- ①耐震壁 (O. P. 24.8mより上部)  
(要素1~3, 8, 9, 11, 12, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 31~33)
- |         |   |   |
|---------|---|---|
| ヤング係数   | E | 9.27×10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| せん断弾性係数 | G | 3.98×10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| ポアソン比   | ν | 0.167                                     |
| 減衰定数    | h | 5%  |
- ②耐震壁 (O. P. 24.8mより下部)  
(要素4~6, 13~15, 16~18, 34~36)
- |         |   |   |
|---------|---|---|
| ヤング係数   | E | 1.06×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| せん断弾性係数 | G | 4.55×10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| ポアソン比   | ν | 0.167                                     |
| 減衰定数    | h | 5%  |
- ③T/G架台 (要素37, 38)
- |         |   |   |
|---------|---|---|
| ヤング係数   | E | 2.65×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| せん断弾性係数 | G | 1.14×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| ポアソン比   | ν | 0.167                                     |
| 減衰定数    | h | 5%  |
- ④鉄骨部 (要素7, 10, 19, 22, 25, 28)
- |         |   |   |
|---------|---|---|
| ヤング係数   | E | 2.05×10 <sup>5</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| せん断弾性係数 | G | 7.90×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |
| ポアソン比   | ν | 0.3                                       |
| 減衰定数    | h | 2%  |

(c) せん断断面積・断面2次モーメント

図 3-5(2) 地震応答解析モデル (EW 方向) (2/2)

表 3-4 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

方向	地上 2 階及びクレーン階 (O. P. 24. 8m より上部)	地下 2 階～地上 1 階 (O. P. 24. 8m より下部)
NS	0. 30	0. 35
EW	0. 35	0. 40



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数  $K_c$  で定数化

減衰係数：建屋—地盤連成系の 1 次固有円振動数  $\omega_1$  に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き  $C_c$  で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数

(a) NS 方向

地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
底面・水平	$1.578 \times 10^9$ (kN/m)	$1.920 \times 10^7$ (kN·s/m)
底面・回転	$3.717 \times 10^{12}$ (kN·m/rad)	$7.495 \times 10^9$ (kN·m·s/rad)

(b) EW 方向

地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
底面・水平	$1.685 \times 10^9$ (kN/m)	$2.195 \times 10^7$ (kN·s/m)
底面・回転	$1.778 \times 10^{12}$ (kN·m/rad)	$1.446 \times 10^9$ (kN·m·s/rad)

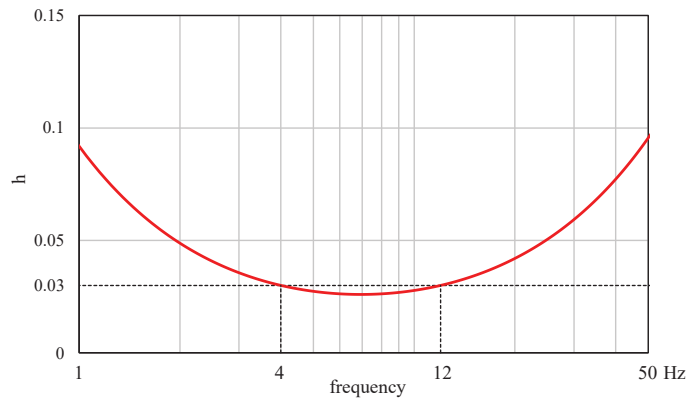


表 3-6 タービン建屋の地震応答解析に用いる地盤モデルの物性値

	地層レベル O.P. (m)	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	せん断波速度 $V_s$ (m/s)	減衰定数*2 h (%)
表層地盤	14.80	18.6	*1	3*3
	0.00	23.3	900*4	3
底面地盤	-2.20	23.8	1300	3
	-25.00	24.6	2150	3
	-80.00	25.0	2440	3
	-200.0	25.0	2440	3

注記\*1：O.P. 14.8m～O.P. 0m は，上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 $G_0$ を設定する。また，ひずみ依存による非線形特性を考慮する。地盤の応答解析においては10層に分割する。

\*2：O.P. 14.8m～O.P. 0m の表層地盤の1次振動数及び2次振動数を基準として，レーリー減衰を4Hzと12Hzで設定する。



\*3：ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

\*4：PS 検層結果と観測記録の分析より設定

O.P. 14.80m～O.P. 0m の表層地盤の初期せん断剛性 $G_0$ は，PS 検層結果により次式で設定する。

$$G_0 = 1787 \cdot \sigma_c^{0.84} \quad (3.1)$$

ここで，

$$\sigma_c = Z \cdot \rho_t \cdot 2/3 \text{ (MN/m}^2\text{)}$$

Z : 深度 (m)

$$\rho_t = 18.6 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

G/G<sub>0</sub>-γ 曲線は，原位置せん断試験結果による強度定数と拘束圧から求めたせん断強度 τ<sub>m</sub>と初期せん断剛性G<sub>0</sub>から，基準ひずみ γ<sub>m</sub>を算定し次式により求める。

$$G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m) \tag{3.2}$$

ここで，

$$\gamma_m = \tau_m / G_0$$

$$\tau_m = \tau_0 + \sigma_m \cdot \tan \phi \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\tau_0 = 0.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\phi = 33.9 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\sigma_{m,d} = 3/4 \cdot Z \cdot \rho_t \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

h-γ 曲線は，繰返し三軸試験結果に基づき次式により求める。

$$h = 0.183 \cdot \gamma / (\gamma + 0.000261) \tag{3.3}$$

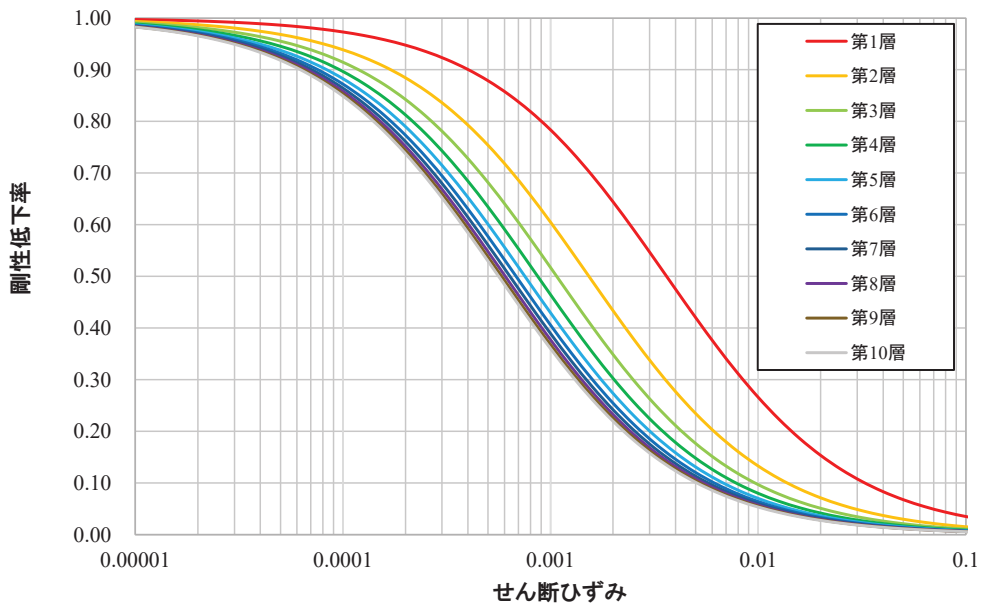


図 3-7 G/G<sub>0</sub>-γ 曲線

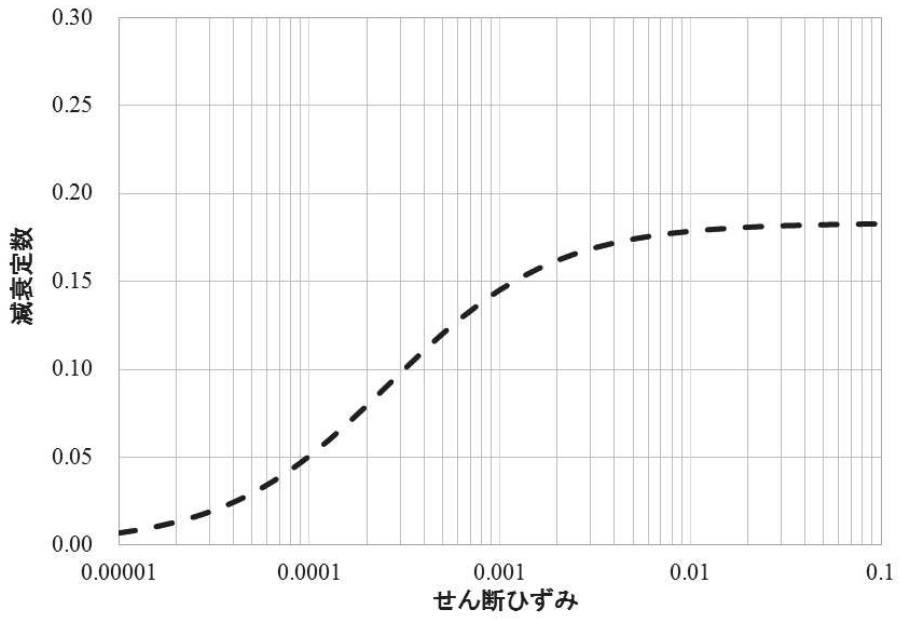


図 3-8 h- $\gamma$  曲線

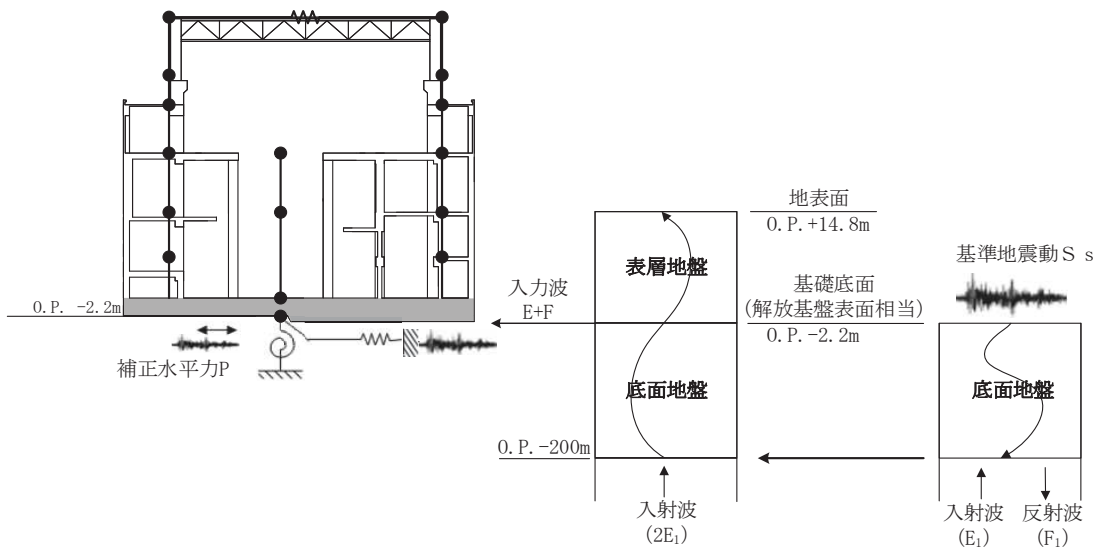


図 3-9 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

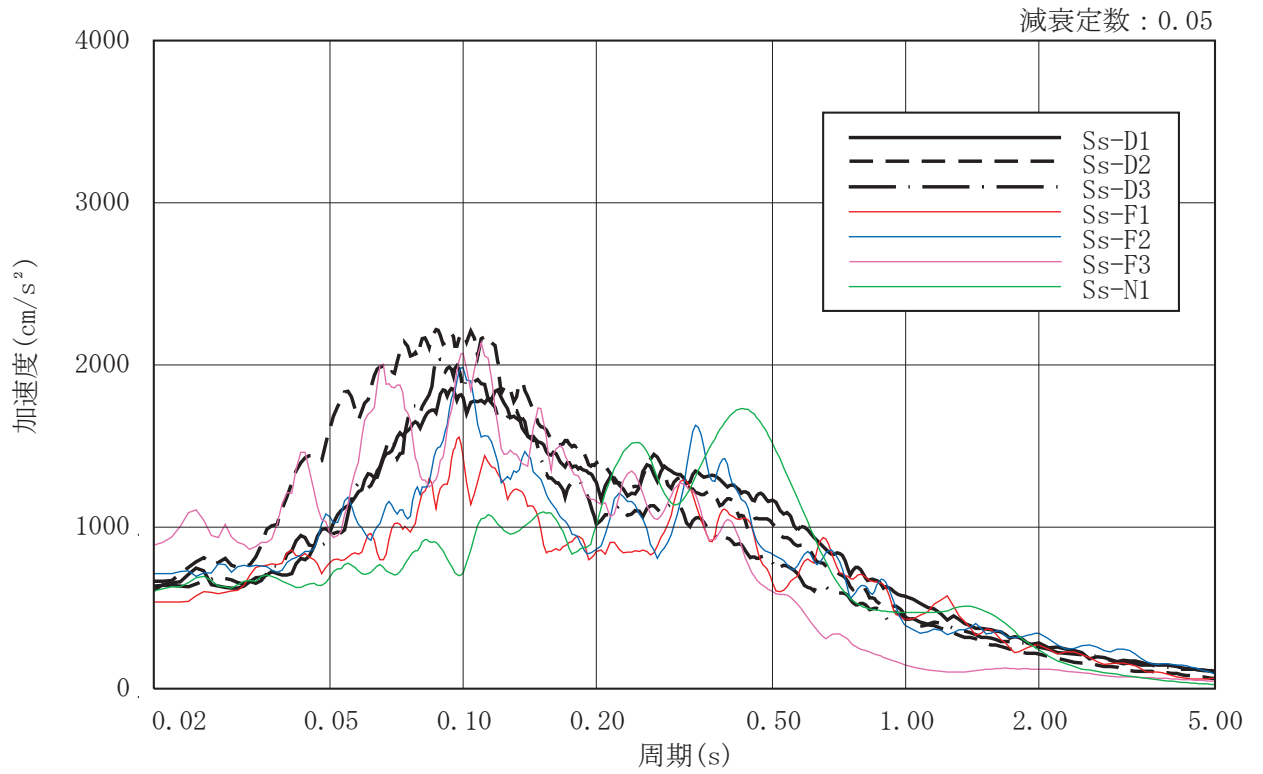


図 3-10 入力地震動の加速度応答スペクトル  
(基準地震動  $S_s$ , O.P. -2.2m)

### 3.5.2 解析方法

タービン建屋の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。

建物・構築物の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

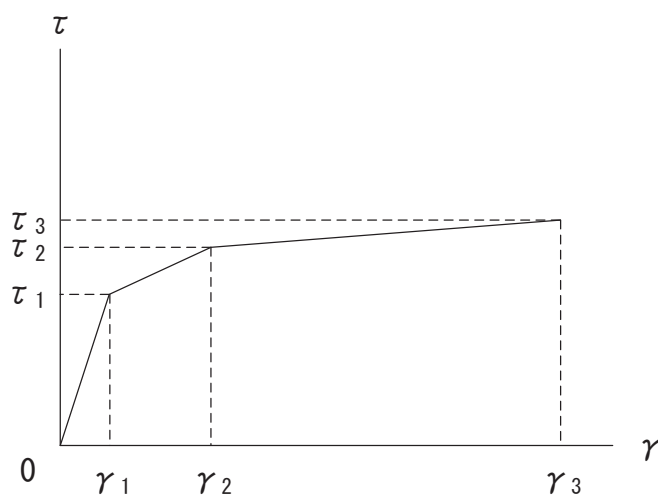
なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.6 解析条件

#### 3.6.1 建物・構築物の復元力特性

##### (1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$  関係）は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-11 に示す。

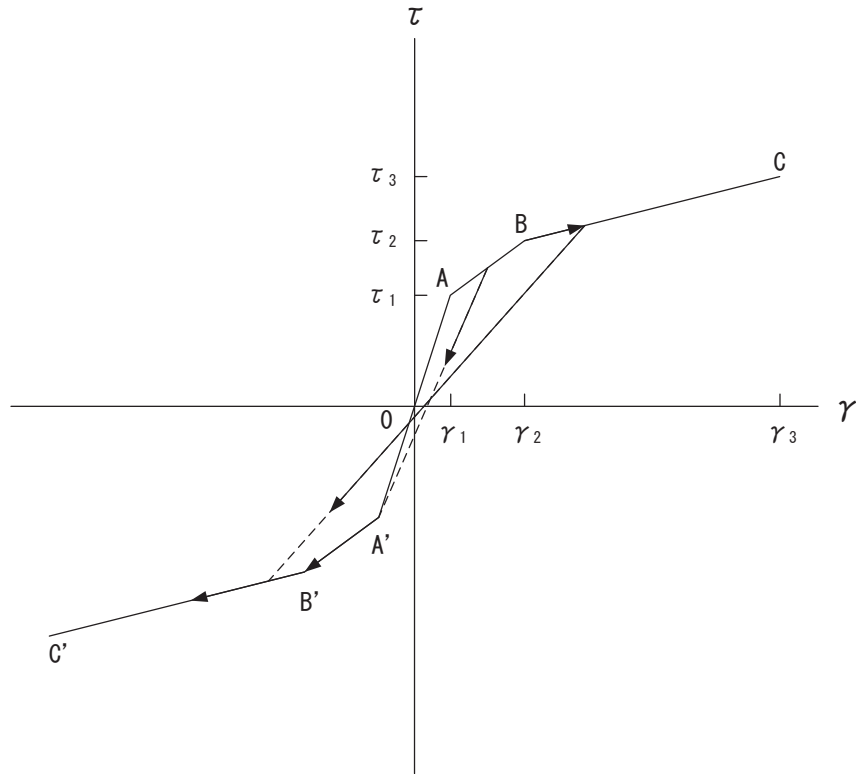


- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $=4 \times 10^{-3}$ )

図 3-11 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-12 に示す。

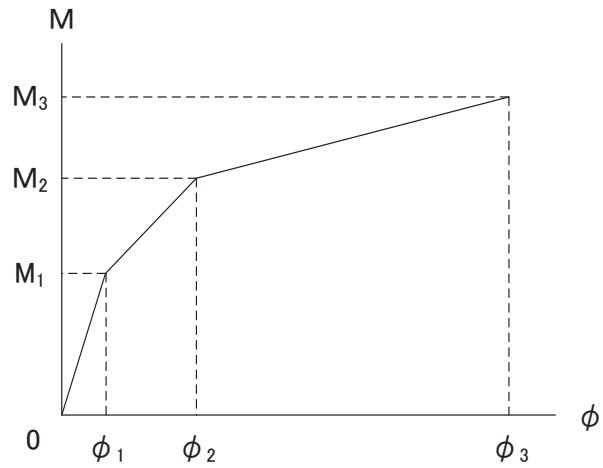


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-12 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-13 に示す。



$M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント

$M_3$  : 終局点の曲げモーメント

$\phi_1$  : 第 1 折点の曲率

$\phi_2$  : 第 2 折点の曲率

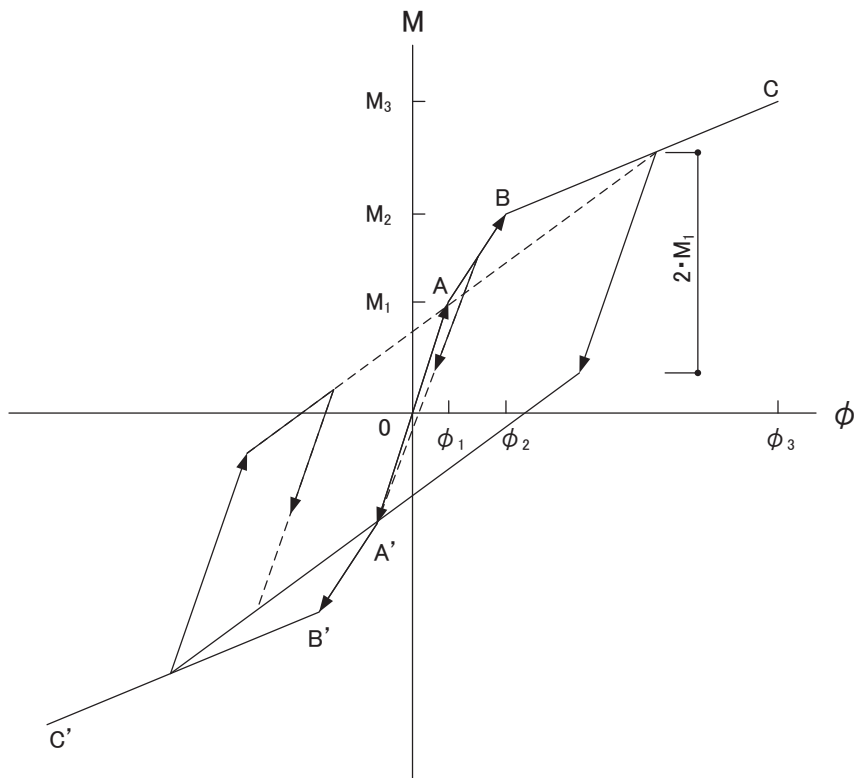
$\phi_3$  : 終局点の曲率

図 3-13 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係



(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-14 に示す。

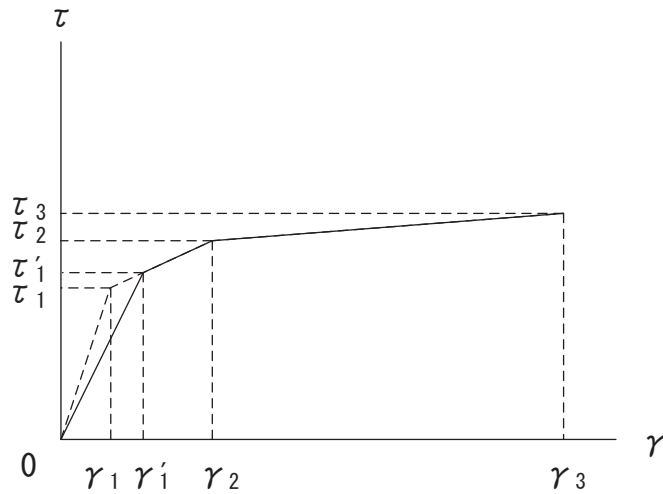


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から  $2 \cdot M_1$  を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を超えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点はスケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-14 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

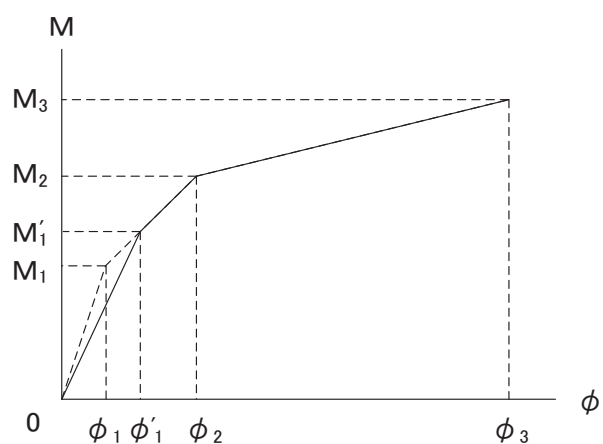
(5) 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定

設計基準強度により算定したスケルトンカーブに対して，地震観測記録に基づき評価した建屋剛性に整合するようにスケルトンカーブの初期剛性を補正する。剛性低下を考慮したスケルトンカーブの概念を図 3-15 及び図 3-16 に示す。



- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $=4 \times 10^{-3}$ )
- $\tau'_1$  : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断応力度
- $\gamma'_1$  : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断ひずみ
- 注 : 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの  $\tau'_1$  は及び  $\gamma'_1$  は J E A G 式とは対応しない

図 3-15 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係のスケルトンカーブの初期剛性の補正



$M_1$  : 第1折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第2折点の曲げモーメント

$M_3$  : 終局点の曲げモーメント

$\phi_1$  : 第1折点の曲率

$\phi_2$  : 第2折点の曲率

$\phi_3$  : 終局点の曲率

$M'_1$  : 初期剛性補正後の第1折点の曲げモーメント

$\phi'_1$  : 初期剛性補正後の第1折点の曲率

注 : 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの $M'_1$ 及び $\phi'_1$ はJ E A G式とは対応しない

図 3-16 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の  
スケルトンカーブの初期剛性の補正

(6) スケルトンカーブの諸数値

タービン建屋の各耐震壁について算出したせん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 3-7 及び表 3-8 に示す。

表 3-7(1) せん断力のスケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係)

NS 方向

$\tau$ E- $\tau$ H

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.80	—	5.77	0.822	—	4.00
37.8 ~ 32.8	3.47	—	6.49	1.02	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.76	—	5.86	0.810	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.95	—	5.07	0.740	—	4.00
15.0 ~ 7.6	3.11	—	5.57	0.780	—	4.00
7.6 ~ 0.8	3.30	—	5.36	0.828	—	4.00

$\tau$ A- $\tau$ D

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.80	—	5.77	0.822	—	4.00
37.8 ~ 32.8	3.47	—	6.49	1.02	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.73	—	5.81	0.799	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.88	—	4.60	0.723	—	4.00
15.0 ~ 7.6	3.13	—	5.24	0.787	—	4.00
7.6 ~ 0.8	3.31	—	5.26	0.831	—	4.00

表 3-7(2) せん断力のスケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係)

EW 方向

$\tau_{1-\tau 2}$

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.63	—	5.95	0.662	—	4.00
37.8 ~ 32.8	2.96	—	6.44	0.744	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.83	—	6.44	0.710	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.82	—	5.88	0.621	—	4.00
15.0 ~ 7.6	2.94	—	5.44	0.646	—	4.00
7.6 ~ 0.8	3.14	—	5.60	0.690	—	4.00

$\tau_{3-\tau 6}$  ( $\tau_H$  側)

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
24.8 ~ 15.0	2.79	—	3.85	0.613	—	4.00
15.0 ~ 7.6	3.10	—	3.86	0.681	—	4.00
7.6 ~ 0.8	3.19	—	3.62	0.700	—	4.00

$\tau_{3-\tau 6}$  ( $\tau_A$  側)

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
24.8 ~ 15.0	2.81	—	3.52	0.617	—	4.00
15.0 ~ 7.6	3.18	—	3.52	0.698	—	4.00
7.6 ~ 0.8	3.39	—	3.42	0.744	—	4.00

$\tau_{9-\tau 10}$

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.63	—	5.95	0.662	—	4.00
37.8 ~ 32.8	2.96	—	6.43	0.743	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.76	—	6.01	0.694	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.87	—	5.49	0.631	—	4.00
15.0 ~ 7.6	3.14	—	5.33	0.691	—	4.00
7.6 ~ 0.8	3.27	—	5.19	0.719	—	4.00

表 3-8(1) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M-φ 関係)

NS 方向

↑E-↑H

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
47.3 ~ 37.8	2.14	3.13	4.44	0.830	2.06	41.2
37.8 ~ 32.8	4.61	5.31	7.42	1.79	2.26	45.2
32.8 ~ 24.8	6.59	7.66	10.4	1.74	2.20	43.9
24.8 ~ 15.0	11.1	16.8	23.4	0.873	2.22	44.5
15.0 ~ 7.6	17.9	26.6	37.7	1.22	2.38	47.6
7.6 ~ 0.8	25.5	35.9	50.2	1.36	2.53	46.9

↑A-↑D

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
47.3 ~ 37.8	2.14	3.13	4.44	0.830	2.06	41.2
37.8 ~ 32.8	4.61	5.31	7.42	1.79	2.26	45.2
32.8 ~ 24.8	5.10	7.62	10.2	0.917	1.97	39.4
24.8 ~ 15.0	16.0	24.2	34.0	0.906	2.43	48.7
15.0 ~ 7.6	23.8	34.4	48.6	1.33	2.59	48.4
7.6 ~ 0.8	28.9	40.1	55.7	1.47	2.64	44.4

表 3-8(2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- $\phi$  関係)

EW 方向

$\tau 1-\tau 2$

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
47.3 ~ 37.8	0.772	1.27	1.82	1.11	4.38	87.6
37.8 ~ 32.8	1.11	1.88	2.65	1.59	4.64	92.8
32.8 ~ 24.8	2.43	3.57	5.19	1.98	3.69	73.8
24.8 ~ 15.0	3.03	5.22	7.92	1.03	3.55	71.1
15.0 ~ 7.6	7.00	12.0	18.0	1.29	3.70	74.1
7.6 ~ 0.8	8.11	13.0	19.1	1.48	3.77	75.4

$\tau 3-\tau 6$  ( $\tau H$  側)

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
24.8 ~ 15.0	0.485	0.578	0.806	2.90	12.2	244
15.0 ~ 7.6	0.653	0.837	1.09	4.40	15.2	305
7.6 ~ 0.8	1.09	1.43	1.83	5.46	16.6	331

$\tau 3-\tau 6$  ( $\tau A$  側)

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
24.8 ~ 15.0	0.915	1.10	1.44	3.56	13.9	277
15.0 ~ 7.6	1.05	1.45	2.00	3.90	11.9	239
7.6 ~ 0.8	1.58	2.20	2.94	4.28	11.2	224

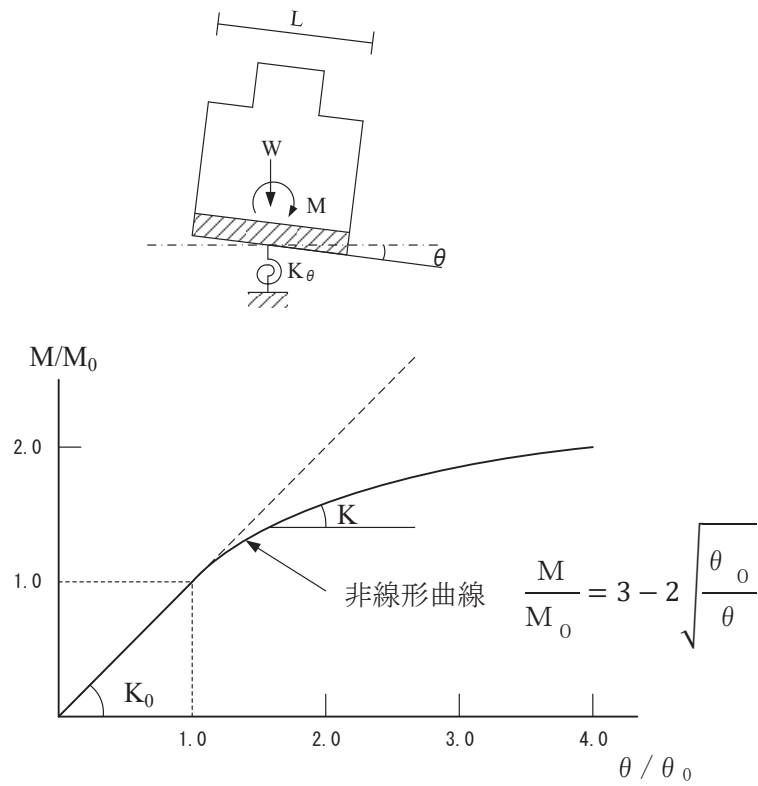
$\tau 9-\tau 10$

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
47.3 ~ 37.8	0.772	1.27	1.82	1.11	4.38	87.6
37.8 ~ 32.8	1.10	1.88	2.65	1.58	4.64	92.7
32.8 ~ 24.8	2.11	3.72	5.45	1.16	3.34	66.8
24.8 ~ 15.0	5.50	8.93	12.5	1.29	3.82	76.3
15.0 ~ 7.6	11.0	17.2	23.6	1.63	4.12	82.5
7.6 ~ 0.8	14.3	21.3	29.0	1.77	4.06	76.3

### 3.6.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-17 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は、図 3-17 の曲線で表され、減衰係数は、回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



- M : 転倒モーメント
- $M_0$  : 浮上り限界転倒モーメント (=  $W \cdot L / 6$ )
- $\theta$  : 回転角
- $\theta_0$  : 浮上り限界回転角
- $K_0$  : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)
- K : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)
- W : 建屋総重量
- L : 建屋基礎幅

図 3-17 回転ばねのモーメントー回転角の関係



### 3.6.3 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s$  のうち原子炉建屋及び制御建屋の評価で選定している  $S_s-D1$ 、 $S_s-D2$ 、 $S_s-D3$ 、 $S_s-F2$ 、 $S_s-F3$  及び  $S_s-N1$  に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、支持地盤のせん断波速度のばらつきは、変動係数  $\pm 7\%$  を考慮する。O.P. 14.8m から O.P. 0m の表層地盤上部は、非線形性を考慮しているため、せん断速度のばらつきは考慮せず、O.P. 0m から O.P. -2.2m の表層地盤下部は、地震観測記録のシミュレーション解析により評価した値に基づいて設定しているため、せん断波速度のばらつきは基本モデルのせん断波速度 900m/s を基準に、 $\pm 100\text{m/s}$  を考慮する。

建屋剛性の不確かさについて、基準地震動  $S_s$  入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動  $S_s$  について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。なお、終局耐力については、実機のコンクリート強度が設計基準強度より高い傾向にあり、終局耐力はその分高いほうに上振れすることが考えられるが、終局耐力の増加は建屋の変形を抑制する方向の評価となることから、これを考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 3-9 に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性を表 3-10 に示す。

表 3-9 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 S <sub>s</sub> (水平)	ケース 1 (基本ケース)	2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	設計基準強度を用い JEAG 式で評価	5%	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 + $\sigma$
	ケース 3				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 - $\sigma$
	ケース 4	基本ケースの 0.81 倍	同上	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900m/s	標準地盤
	ケース 5				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900+100m/s	標準地盤 + $\sigma$
	ケース 6				表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs900-100m/s	標準地盤 - $\sigma$

表 3-10 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性

	O. P. (m)	地盤のせん断波速度 $V_s$ (m/s)		
		基本ケース	+ $\sigma$ 相当	- $\sigma$ 相当
表層地盤	14.8	*	*	*
	0.0	900	1000	800
底面地盤	-2.2	1300	1390	1210
	-25.0	2150	2300	2000
	-80.0	2440	2610	2270
	-200.0	2440	2610	2270

注記\* : O. P. 14.8m~O. P. 0.0m は, 上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性  $G_0$  を設定する。また, ひずみ依存による非線形特性を考慮する。(詳細は表 3-6 に従う。)

### 3.7 評価方法

タービン建屋の波及的影響の評価は、基準地震動  $S_s$  における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

#### 3.7.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算出し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

#### 3.7.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示すタービン建屋の地震応答解析モデルによる解析結果と添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算出し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算出する際の基準点は、各建屋の基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下の質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算出する。

更に、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建屋の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

#### 4. 評価結果

##### 4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動  $S_s$  に対する最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (基本ケース) において、最大応答せん断ひずみは  $3.16 \times 10^{-3}$  (要素番号(3), EW 方向,  $S_s - D 2$ ) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で  $3.56 \times 10^{-3}$  (要素番号(3), EW 方向, ケース 5,  $S_s - D 2$ ) であり、いずれの場合においても許容限界 ( $4.00 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

表 4-1 建屋の最大応答せん断ひずみ

(単位:  $\times 10^{-3}$ )

ケース 方向	ケース 1 (基本ケース)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	許容限界
NS	2.52 ( $S_s - D 2$ )	2.61 ( $S_s - D 2$ )	2.43 ( $S_s - F 3$ )	2.85 ( $S_s - D 2$ )	2.89 ( $S_s - D 2$ )	2.80 ( $S_s - D 2$ )	4.00
EW	3.16 ( $S_s - D 2$ )	3.18 ( $S_s - D 2$ )	3.12 ( $S_s - D 2$ )	3.53 ( $S_s - D 2$ )	3.56 ( $S_s - D 2$ )	3.47 ( $S_s - D 2$ )	4.00

注: ( ) 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s - D 1$ ,  $S_s - D 2$ ,  $S_s - D 3$ ,  $S_s - F 2$ ,  $S_s - F 3$  及び  $S_s - N 1$  に対して実施。

#### 4.2 相対変位による評価結果

基準地震動  $S_s$  に対する建屋間の最大相対変位を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

その結果、ケース 1（基本ケース）において、最大相対変位は、NS 方向では原子炉建屋質点レベル O.P. 33.2m（タービン建屋質点レベル O.P. 32.8m）で 58.5mm（ $S_s - N1$ ）である。また、EW 方向では、制御建屋質点レベル O.P. 29.15m（タービン建屋質点レベル O.P. 32.8m～O.P. 24.8m）で 65.7mm（ $S_s - D2$ ）である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一の床レベルで、NS 方向は 71.9mm（ケース 5）で、EW 方向は 78.3mm（ケース 5）であり、いずれの場合においても許容限界（100mm）を超えないことを確認した。

表 4-2 タービン建屋と原子炉建屋の最大相対変位（NS 方向，絶対値和）

（単位：mm）

タービン建屋		原子炉建屋		ケース 1 (基本ケース)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	許容 限界
質点 番号	O.P. (m)	質点 番号	O.P. (m)							
3, 11	32.8	1, 8, 13, 20	33.2	58.5 ( $S_s - N1$ )	59.0 ( $S_s - N1$ )	57.7 ( $S_s - N1$ )	70.0 ( $S_s - D1$ )	71.9 ( $S_s - D1$ )	67.5 ( $S_s - D1$ )	100
4, 12	24.8	2, 9, 14, 21	22.5	40.1 ( $S_s - N1$ )	40.4 ( $S_s - N1$ )	39.6 ( $S_s - N1$ )	46.7 ( $S_s - N1$ )	47.5 ( $S_s - N1$ )	45.7 ( $S_s - N1$ )	
5, 13	15.0	3, 10, 15, 22	15.0	29.2 ( $S_s - N1$ )	29.4 ( $S_s - N1$ )	28.8 ( $S_s - N1$ )	33.0 ( $S_s - N1$ )	33.5 ( $S_s - N1$ )	32.3 ( $S_s - N1$ )	
6, 14	7.6	4, 11, 16, 23	6.0	17.4 ( $S_s - N1$ )	17.6 ( $S_s - N1$ )	17.3 ( $S_s - N1$ )	19.1 ( $S_s - N1$ )	19.3 ( $S_s - N1$ )	18.8 ( $S_s - N1$ )	

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s - D1$ ， $S_s - D2$ ， $S_s - D3$ ， $S_s - F2$ ， $S_s - F3$  及び  $S_s - N1$  に対して実施。

表 4-3 タービン建屋と制御建屋の最大相対変位 (EW 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

タービン建屋		制御建屋		ケース 1 (基本ケース)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	許容 限界
質点 番号	O.P. (m)	質点 番号	O.P. (m)							
*	29.15	1, 9, 10	29.15	65.7 (S s - D 2)	65.7 (S s - D 2)	65.5 (S s - D 2)	78.3 (S s - D 2)	78.3 (S s - D 2)	78.2 (S s - D 2)	100
16, 34	24.8	2, 11	22.95	42.0 (S s - D 2)	42.2 (S s - D 2)	41.9 (S s - D 2)	50.4 (S s - D 2)	50.3 (S s - D 2)	50.4 (S s - D 2)	
17, 35	15.0	4, 13	15.0	23.4 (S s - D 1)	23.2 (S s - D 1)	23.4 (S s - D 1)	29.0 (S s - N 1)	28.7 (S s - N 1)	29.3 (S s - N 1)	
18, 36	7.6	5, 14	8.0	9.9 (S s - D 2)	9.9 (S s - D 2)	10.0 (S s - D 2)	12.5 (S s - N 1)	12.4 (S s - N 1)	12.7 (S s - N 1)	

注 : ( ) 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 S s - D 1, S s - D 2, S s - D 3, S s - F 2, S s - F 3 及び S s - N 1 に対して実施。

注記\* : 制御建屋の質点番号 1, 9 及び 10 (O.P. 29.15m) の相対変位に加算するタービン建屋の相対変位は、タービン建屋の上下階の質点間 (O.P. 32.8m ~ 24.8m) で線形補間して算定する。

## VI-2-11-2-4 補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書



## 目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	2
2.3 評価方針.....	6
2.4 適用規格・基準等.....	7
3. 評価方法.....	8
3.1 評価対象部位及び評価方針.....	8
3.2 評価に用いる地震波.....	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	14
3.4 許容限界.....	15
3.5 解析方法.....	16
3.6 解析条件.....	20
3.7 評価方法.....	27
4. 評価結果.....	28
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果.....	28
4.2 相対変位による評価結果.....	29

1. 概要

本資料は、添付書類「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、補助ボイラー建屋が制御建屋に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、制御建屋の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒、落下等による影響では、補助ボイラー建屋の構造物全体としての変形性能の評価を、建屋間の相対変位による影響では、制御建屋への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

補助ボイラー建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

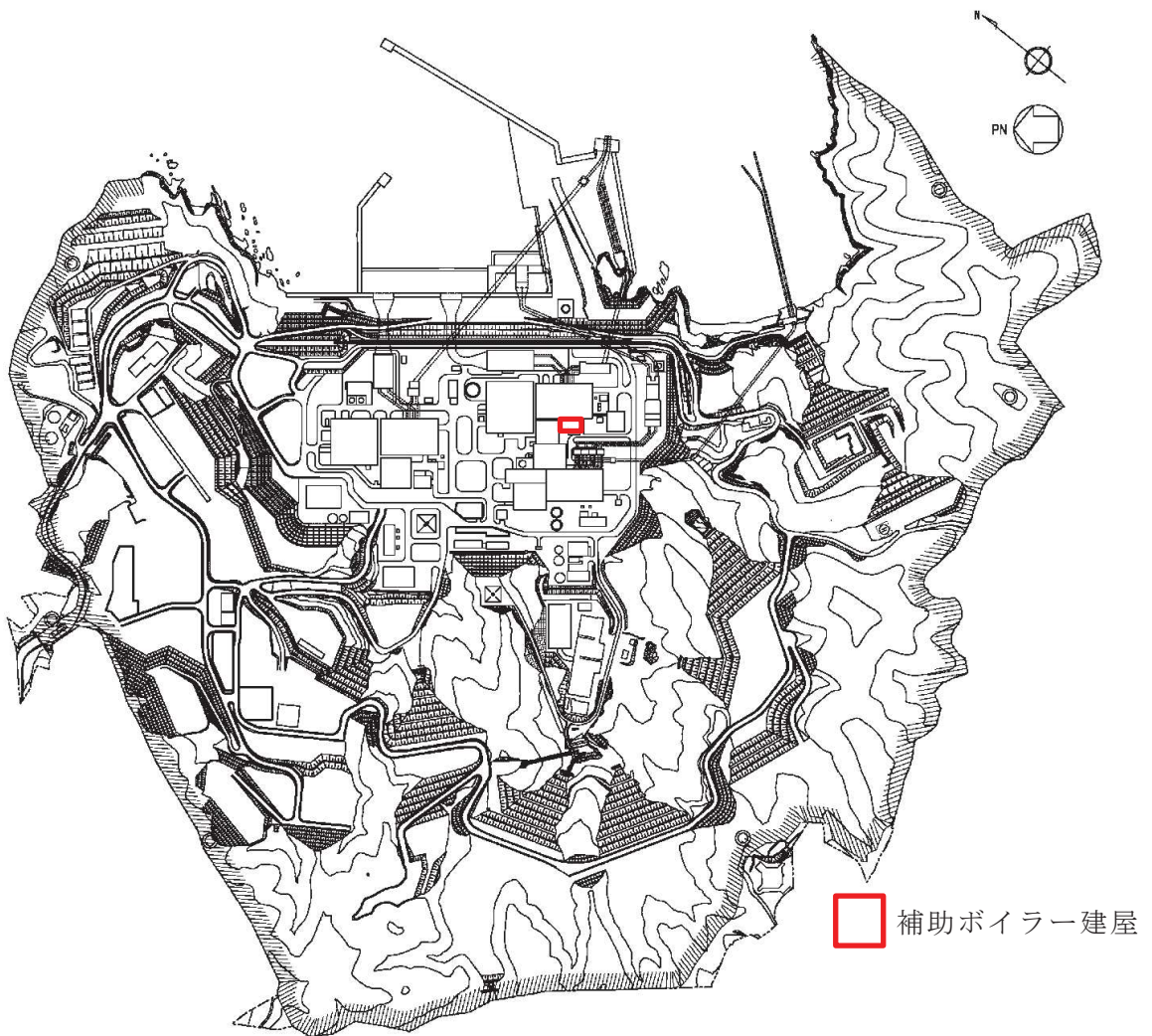


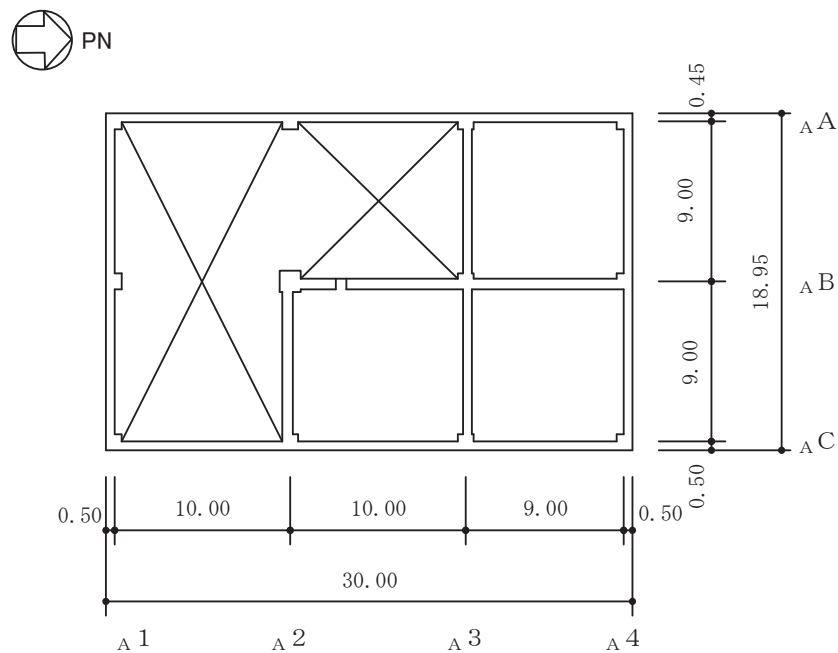
図 2-1 補助ボイラー建屋の設置位置

## 2.2 構造概要

補助ボイラー建屋は、地下1階、地上2階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）の建物である。平面は、30.0m(NS)×18.95m(EW)\*の矩形であり、地上高さは11.20mである。地震時水平荷重に対しては、建屋の主たる耐力要素である外壁（外周耐震壁）で負担する構造である。基礎は、井桁状布基礎とし、支持岩盤上に直接又はマンメイドロックを介して設置されている。

補助ボイラー建屋の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建屋配置図を図2-4に、補助ボイラー建屋と制御建屋のクリアランスを図2-5に示す。

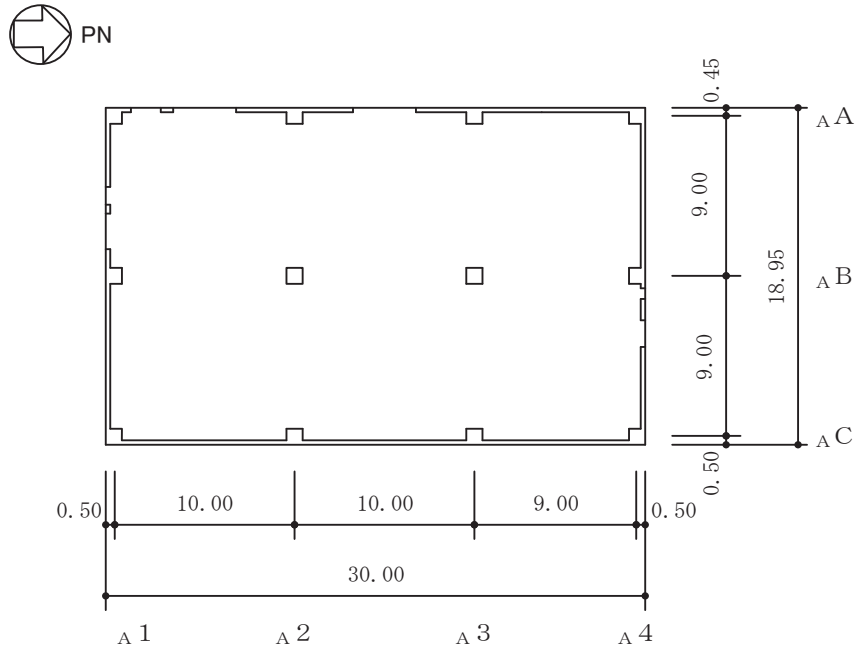
注記\*：建屋寸法は壁外面押えとする。



(単位：m)

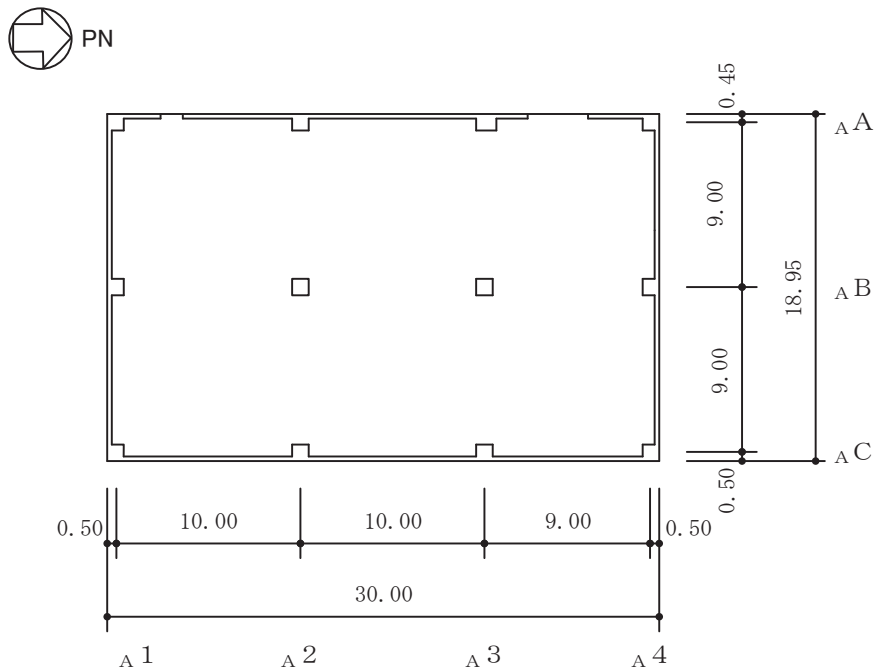
図2-2(1) 補助ボイラー建屋の概略平面図 (O.P.\*11.0m)

注記\*：O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74mである。



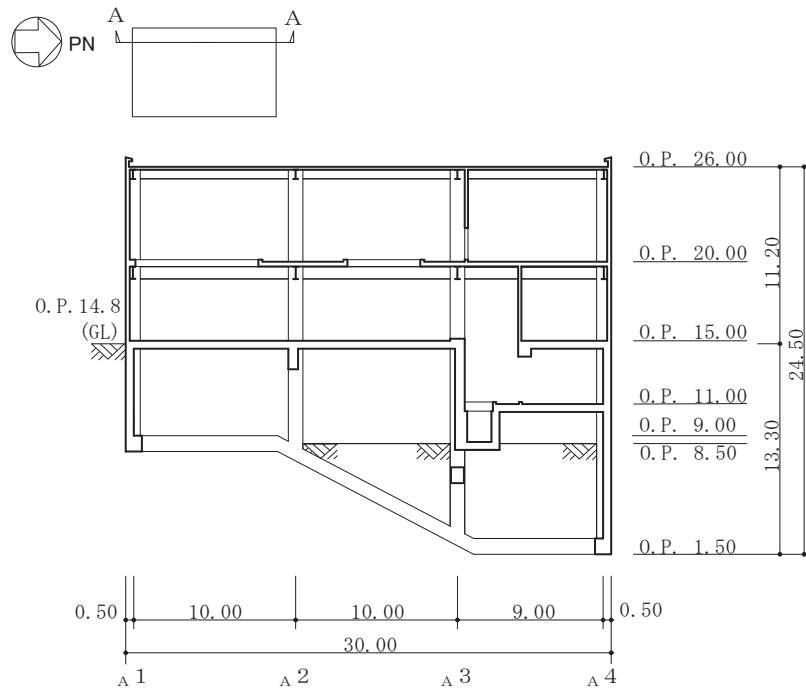
(単位：m)

図 2-2(2) 補助ボイラー建屋の概略平面図 (0. P. 15.0m)



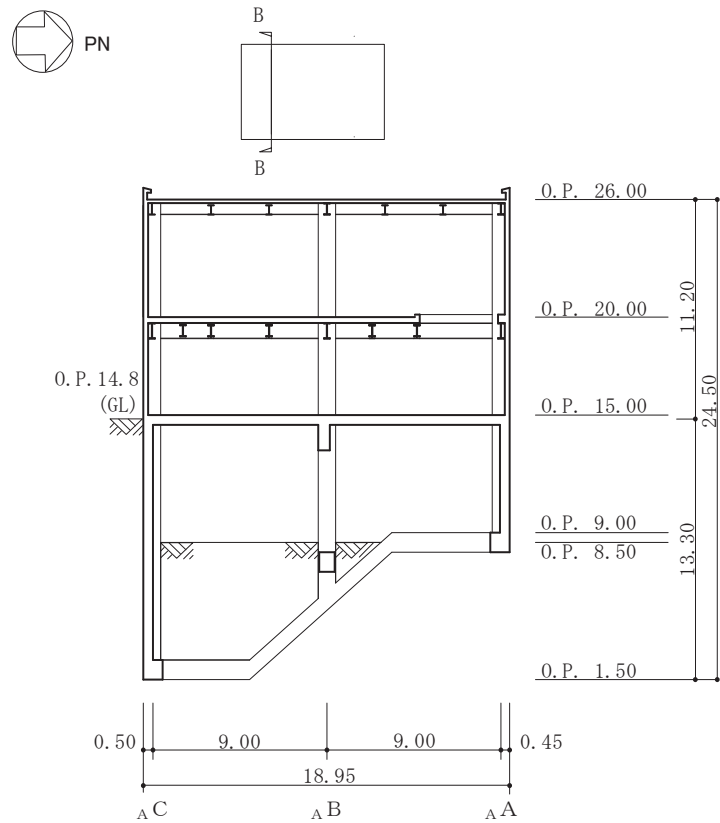
(単位：m)

図 2-2(3) 補助ボイラー建屋の概略平面図 (0. P. 20.0m)



(単位 : m)

図 2-3(1) 補助ボイラー建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



(単位 : m)

図 2-3(2) 補助ボイラー建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

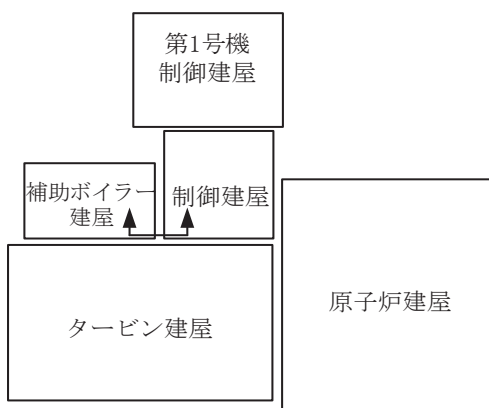


図 2-4 建屋配置図

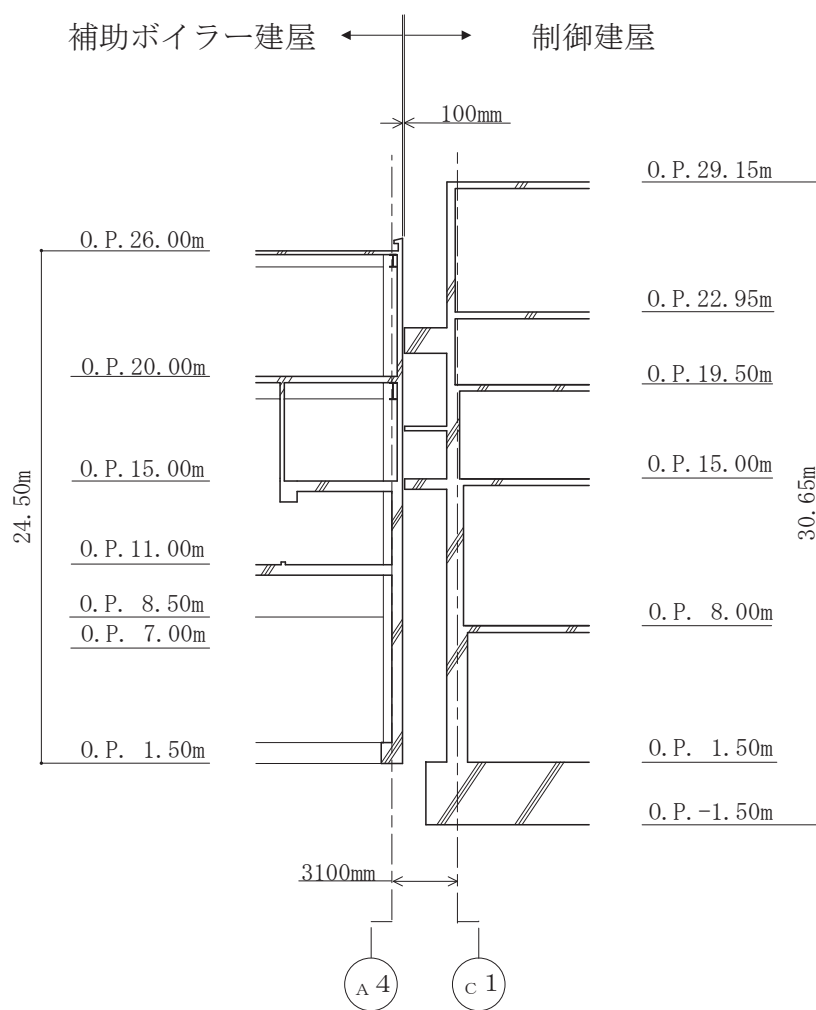


図 2-5 補助ボイラー建屋と制御建屋のクリアランス

### 2.3 評価方針

補助ボイラー建屋は、制御建屋と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

補助ボイラー建屋の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動  $S_s$  に対する評価（以下「 $S_s$  地震時に対する評価」という。）を行うこととする。補助ボイラー建屋の波及的影響の評価は、添付書類「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、施設の損傷、転倒、落下等による影響では、構造物全体としての変形性能について行う。建屋間の相対変位による影響では、制御建屋との相対変位による評価を行うことで、制御建屋への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、補助ボイラー建屋の最大応答変位に加えて、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、補助ボイラー建屋は、その配置上、制御建屋と接触する可能性が高い NS 方向に対して波及的影響の評価を行う。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 $S_s$  地震時に対する評価を行う。ここで補助ボイラー建屋では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

## 2.4 適用規格・基準等

補助ボイラー建屋の地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1988 改定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補  
-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気  
協会）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）



### 3. 評価方法

#### 3.1 評価対象部位及び評価方針

補助ボイラー建屋の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、許容限界を超えないことを確認する。

制御建屋との相対変位による評価では、両建屋の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建屋間のクリアランスの大小関係により、隣接する制御建屋への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、両建屋の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 に波及的影響の評価フローを示す。

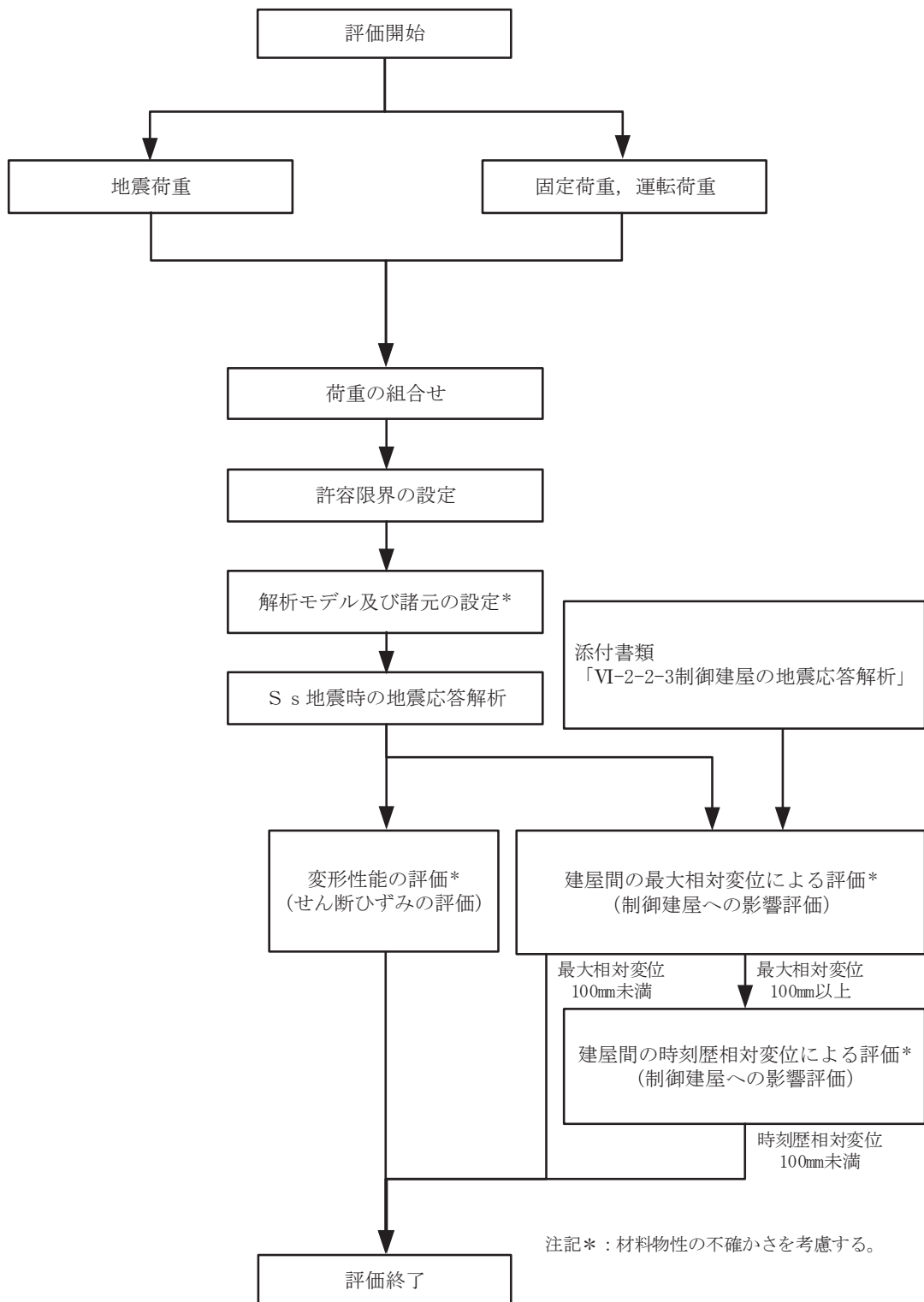
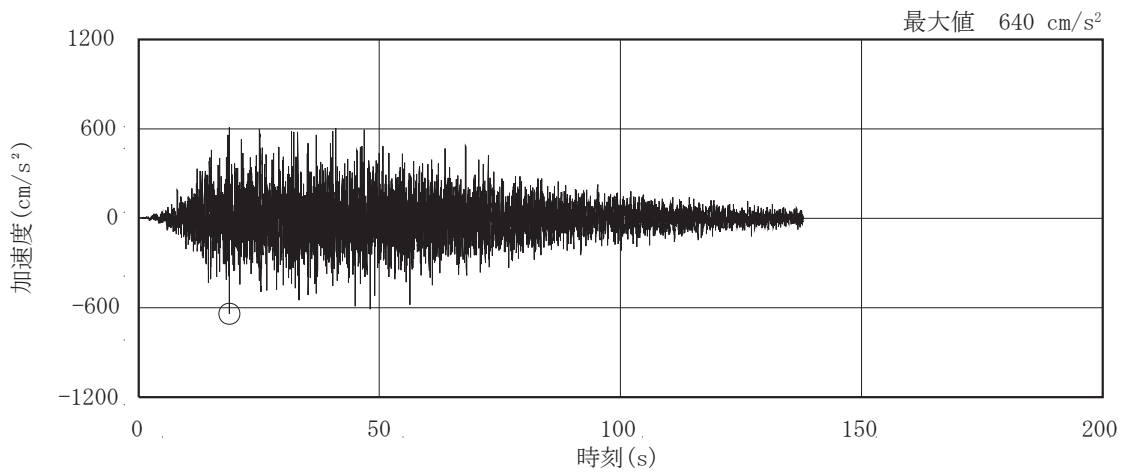


図 3-1 補助ボイラー建屋の波及的影響の評価フロー

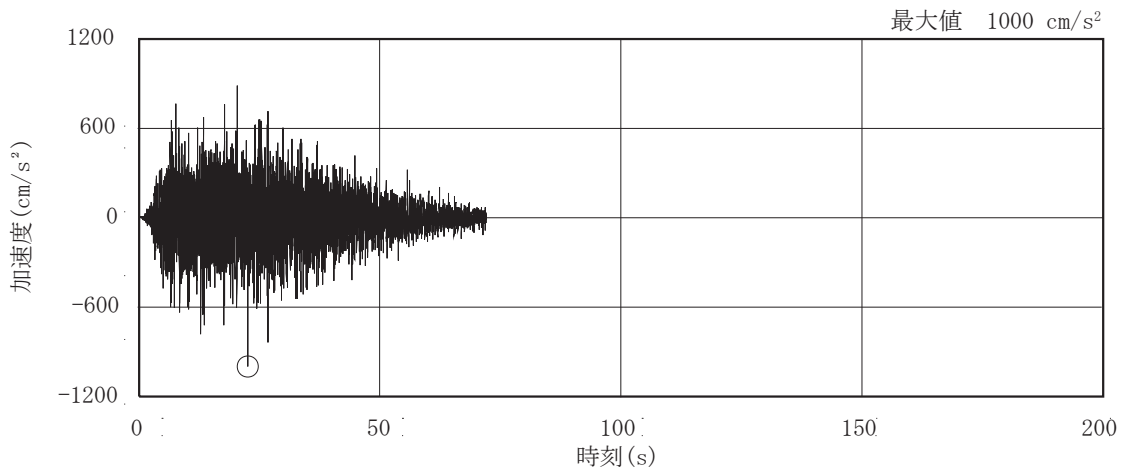
### 3.2 評価に用いる地震波

補助ボイラー建屋の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である制御建屋の評価に適用した添付書類「VI-2-1-2 基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動  $S_s$  とする。

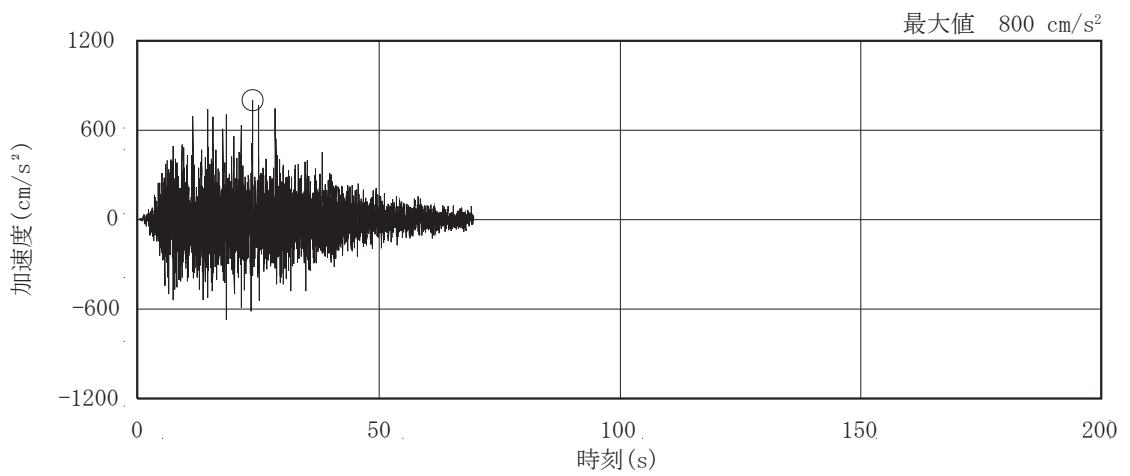
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図 3-2 及び図 3-3 に示す。



(a) S s - D 1

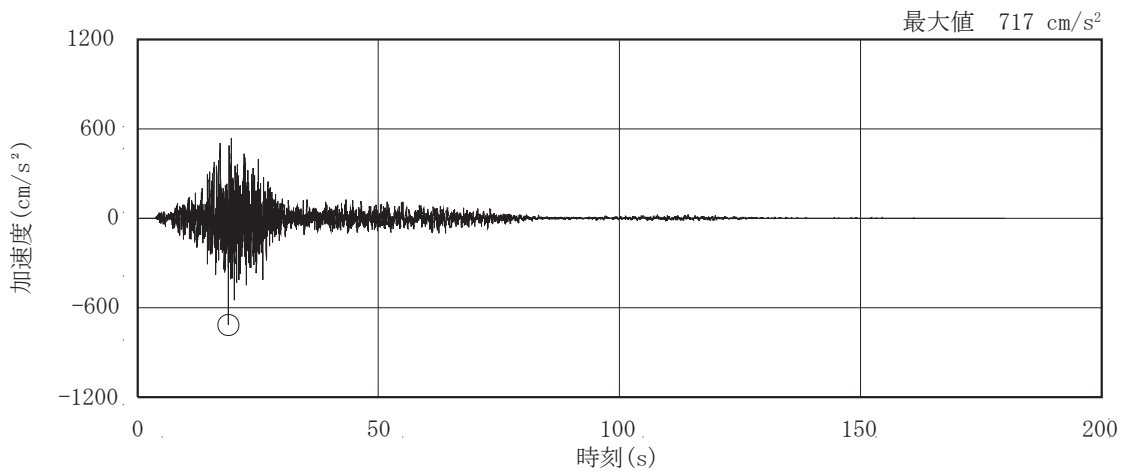


(b) S s - D 2

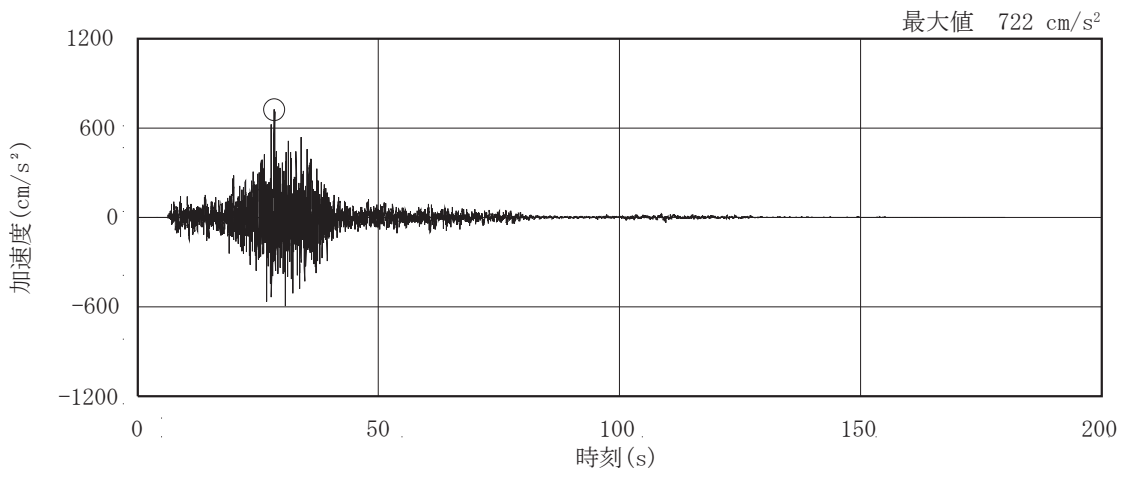


(c) S s - D 3

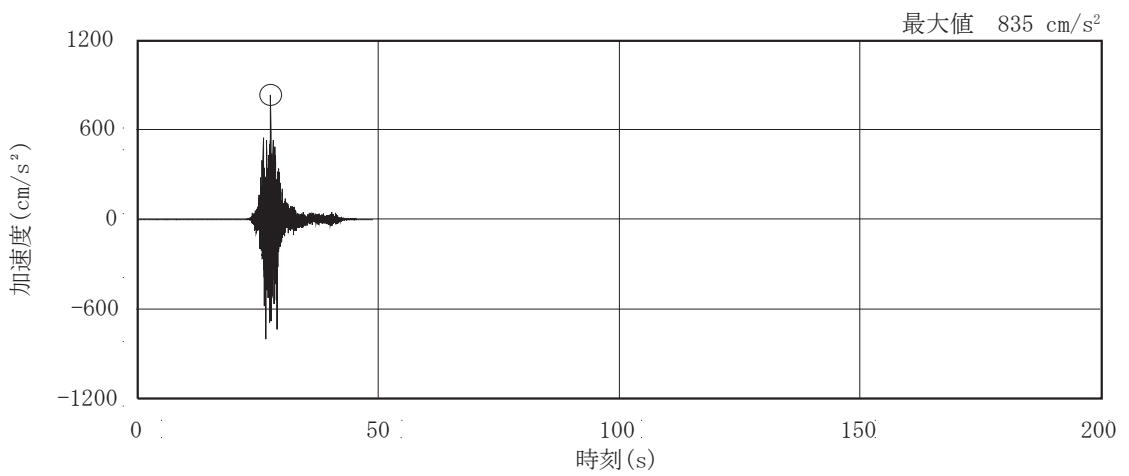
图 3-2(1) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

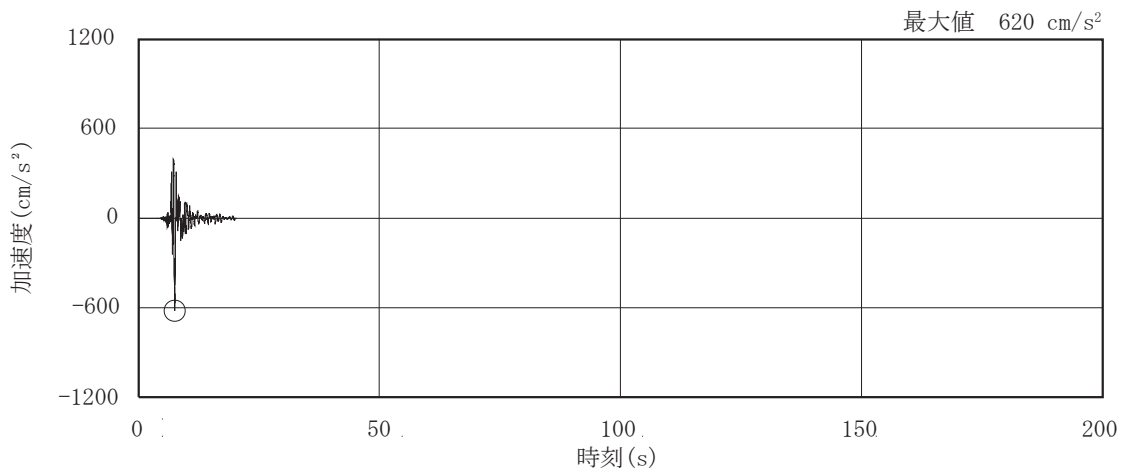


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

图 3-2(2) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (2/3)



(g) S s - N 1

図 3-2(3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (3/3)

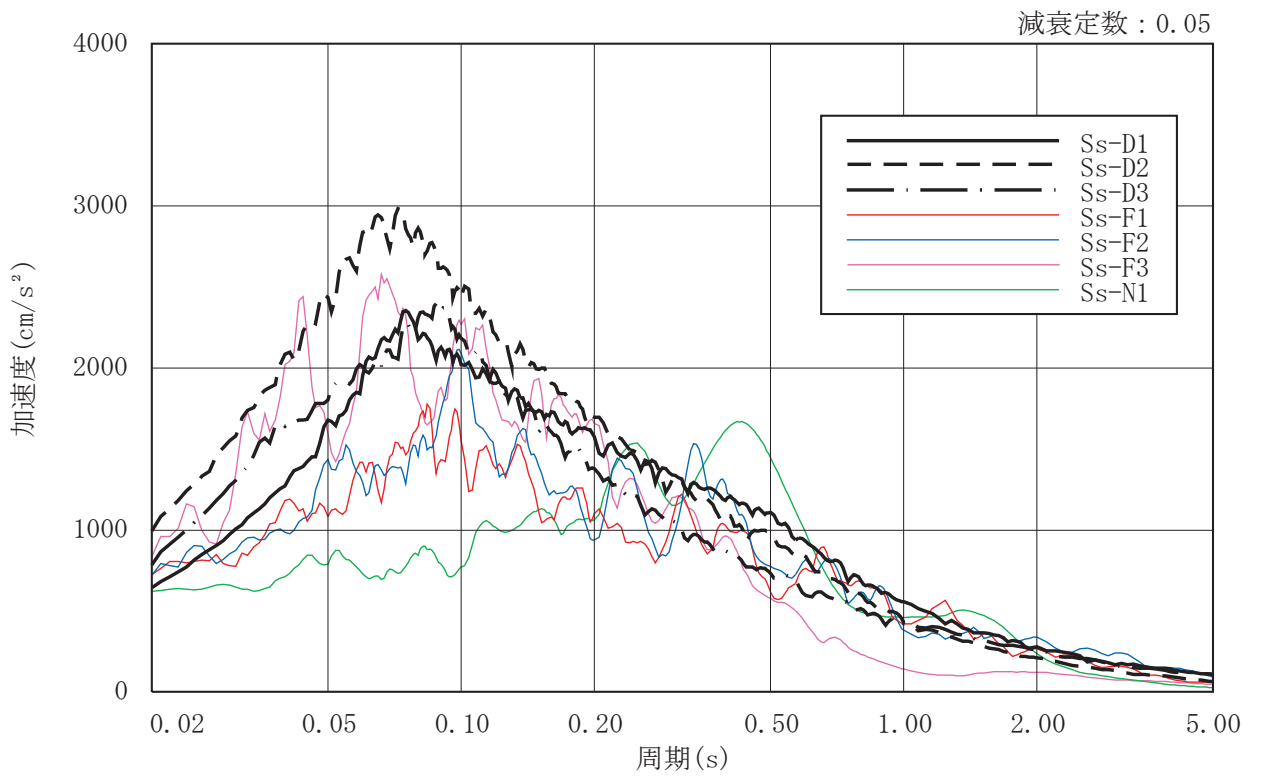


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s , 水平方向)

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。その荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>s</sub>

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力

### 3.4 許容限界

補助ボイラー建屋の制御建屋に対する波及的影響の評価における許容限界は添付書類「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」に記載の許容限界に基づき、表 3-2 及び表 3-3 のとおり設定する。

表 3-2 波及的影響の評価における許容限界  
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
制御建屋に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 $S_s$	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$
		補助ボイラー建屋及び制御建屋	建屋間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 100mm

表 3-3 波及的影響の評価における許容限界  
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
制御建屋に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 $S_s$	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$
		補助ボイラー建屋及び制御建屋	建屋間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 100mm



### 3.5 解析方法

#### 3.5.1 地震応答解析モデル

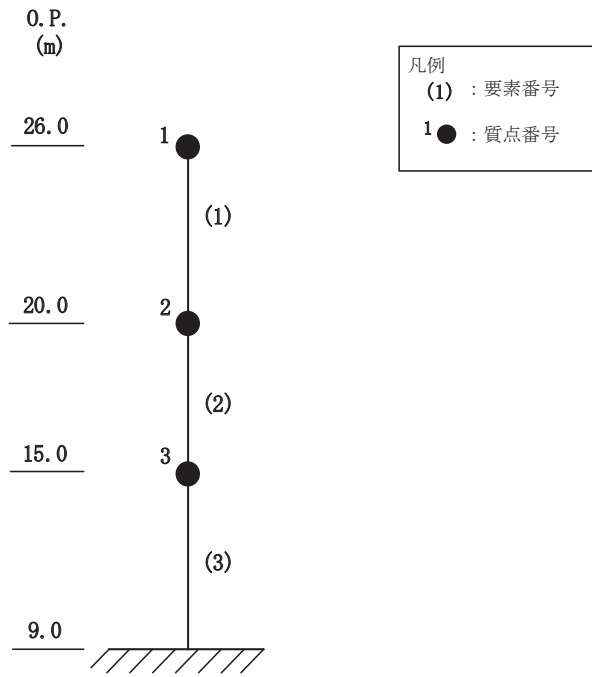
##### (1) 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部からなる O.P. 9.0m を固定点とする基礎固定の質点系モデルとする。

水平方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-4 に示す。

##### (2) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、「3.2 評価に用いる地震波」に示す基準地震動  $S_s$  とし、建屋基礎固定点に直接入力する。図 3-5 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。



質点 番号	質点重量 (×10kN)	回転慣性重量 (×10kN・m <sup>2</sup> )	要素 番号	せん断断面 (m <sup>2</sup> )	断面2次 モーメント (m <sup>4</sup> )	
		NS方向		NS方向	NS方向	
1	775	58124	(1)	13.88	2001.2	
2	1200	90104		(2)	12.84	1946.3
3	1414	106186		(3)	30.00	4094.0
—	—	—				

コンクリート部  
 ヤング係数 E  $2.26 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 せん断弾性係数 G  $0.97 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 ポアソン比  $\nu$  0.167  
 減衰定数 h 5%

(b) 質点重量・回転慣性重量・せん断断面積・断面2次モーメント

図 3-4 地震応答解析モデル (NS 方向)

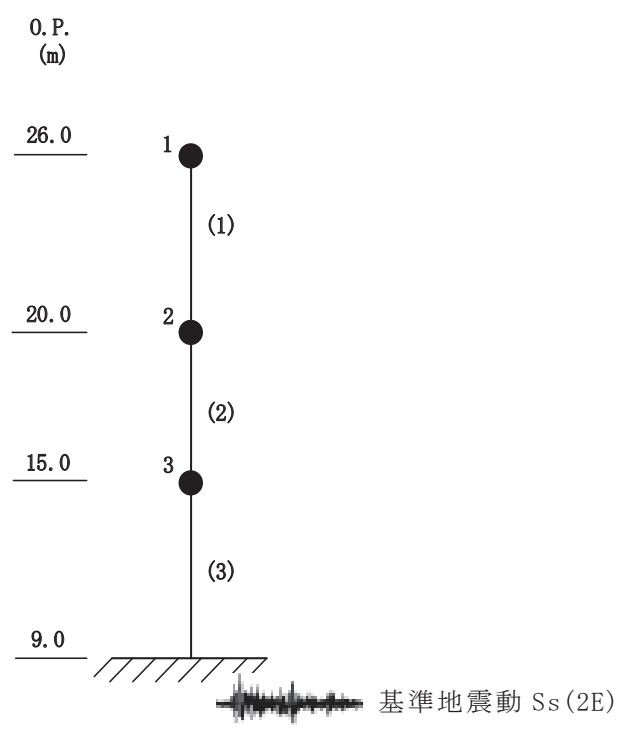


図 3-5 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（水平方向）

### 3.5.2 解析方法

補助ボイラー建屋の地震応答解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。

建物・構築物の地震応答解析は，添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき，時刻歴応答解析により実施する。

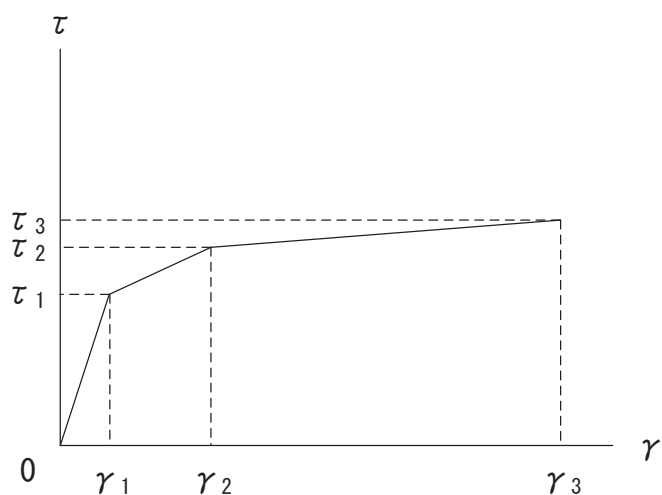
なお，地震応答解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.6 解析条件

#### 3.6.1 建物・構築物の復元力特性

##### (1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$  関係）は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-6 に示す。

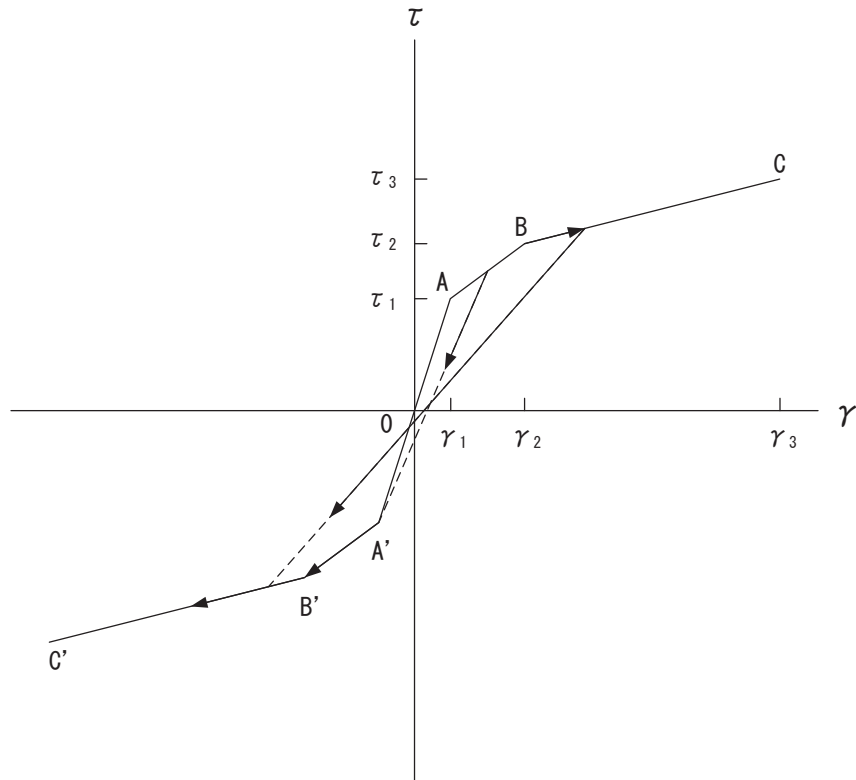


- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $=4 \times 10^{-3}$ )

図 3-6 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-7 に示す。

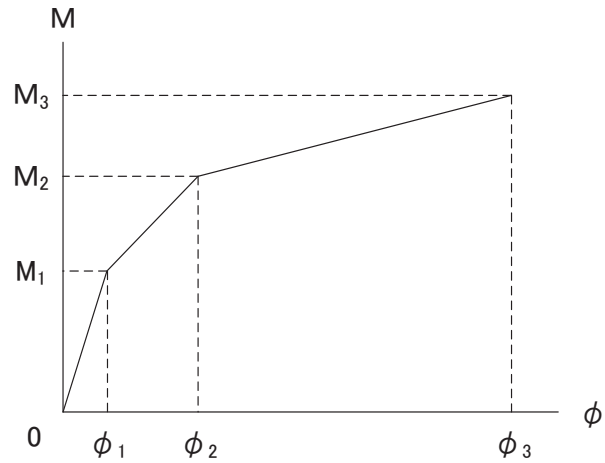


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-7 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-8 に示す。



$M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント

$M_3$  : 終局点の曲げモーメント

$\phi_1$  : 第 1 折点の曲率

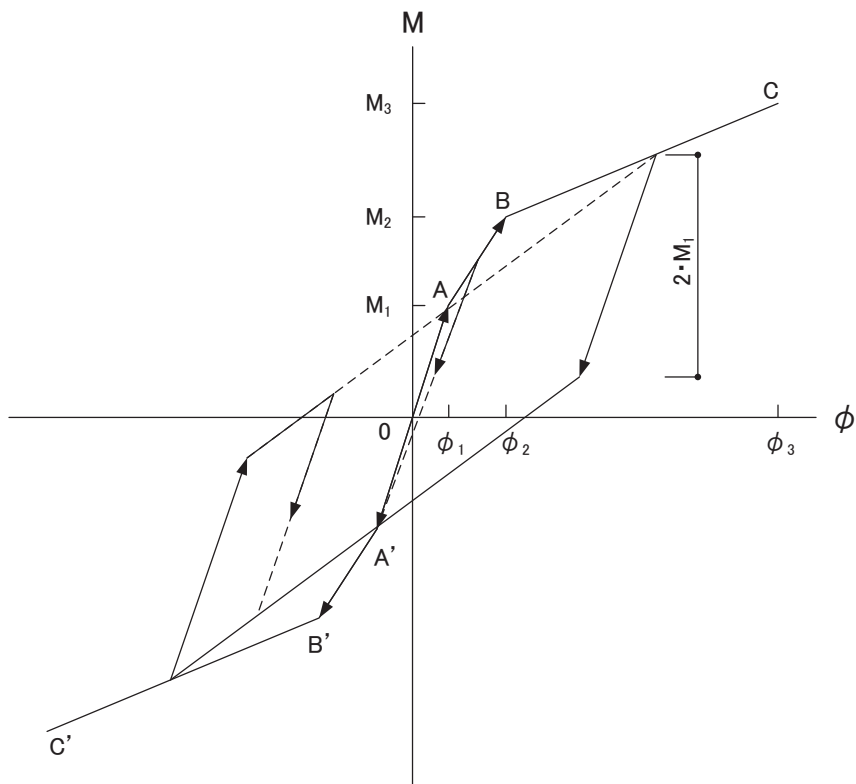
$\phi_2$  : 第 2 折点の曲率

$\phi_3$  : 終局点の曲率

図 3-8 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-9 に示す。



- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から  $2 \cdot M_1$  を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を超えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点はスケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-9 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性



(5) スケルトンカーブの諸数値

補助ボイラー建屋の各耐震壁について算出したせん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 3-4 及び表 3-5 に示す。

表 3-4 せん断力のスケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係)

NS 方向

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
26.00 ~ 20.00	1.64	2.22	4.71	0.169	0.508	4.00
20.00 ~ 15.00	1.84	2.48	4.74	0.189	0.567	4.00
15.00 ~ 9.00	1.81	2.44	4.57	0.187	0.560	4.00

表 3-5 曲げモーメントのスケルトンカーブ ( $M - \phi$  関係)

NS 方向

O. P. (m)	$M_1$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
26.00 ~ 20.00	0.285	0.393	0.539	0.631	6.43	129
20.00 ~ 15.00	0.327	0.519	0.665	0.745	6.68	134
15.00 ~ 9.00	0.703	1.10	1.48	0.762	6.82	136

### 3.6.2 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s$  のうち制御建屋の評価で選定している  $S_s - D 1$ 、 $S_s - D 2$ 、 $S_s - D 3$ 、 $S_s - F 3$  及び  $S_s - N 1$  に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、建屋剛性については、基準地震動  $S_s$  入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動  $S_s$  について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。なお、終局耐力については、実機のコンクリート強度が設計基準強度より高い傾向にあり、終局耐力はその分高いほうに上振れすることが考えられるが、終局耐力の増加は建屋の変形を抑制する方向の評価となることから、これを考慮しない。

地盤物性の不確かさについては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す通り、基礎固定モデルであり、入力地震動は建屋基礎固定点に直接入力することから、これを考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 3-6 に示す。

表 3-6 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名*	スケルトン曲線		建屋減衰
		初期剛性	終局耐力	
基準地震動 $S_s$ (NS 方向)	ケース 1 (基本ケース)	設計基準強度を用いて JEAG 式で評価	設計基準強度を用いて JEAG 式で評価	5%
	ケース 4	基本ケースの 0.38 倍	同上	同上

注記\* : ケース名は、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に合わせて、初期剛性の不確かさを考慮するケースを「ケース 4」としている。

### 3.7 評価方法

補助ボイラー建屋の波及的影響の評価は、基準地震動  $S_s$  における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

#### 3.7.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算出し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

#### 3.7.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示す補助ボイラー建屋の地震応答解析モデルによる解析結果と添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算出し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算出する際の基準点は、補助ボイラー建屋は基礎固定点、制御建屋は基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算出する。

更に、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建屋の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

なお、補助ボイラー建屋は基礎固定モデルのため、地盤物性の不確かさを考慮した制御建屋のケース 2, 3 はケース 1 に、制御建屋のケース 5, 6 はケース 4 に対応する。

#### 4. 評価結果

##### 4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動  $S_s$  に対する最大応答せん断ひずみ (NS 方向) を表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (基本ケース) において、最大応答せん断ひずみは  $1.16 \times 10^{-3}$  (要素番号(2),  $S_s - D 2$ ) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で  $1.21 \times 10^{-3}$  (要素番号(2), ケース 4,  $S_s - D 2$ ) であり、いずれの場合においても許容限界 ( $4.00 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

表 4-1 建屋の最大応答せん断ひずみ (NS 方向)

(単位:  $\times 10^{-3}$ )

方向 \ ケース	ケース 1 (基本ケース)	ケース 4	許容限界
NS	1.16 ( $S_s - D 2$ )	1.21 ( $S_s - D 2$ )	4.00

注: ( ) 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s - D 1$ ,  $S_s - D 2$ ,  $S_s - D 3$ ,  $S_s - F 3$  及び  $S_s - N 1$  に対して実施。

#### 4.2 相対変位による評価結果

基準地震動  $S_s$  に対する建屋間の最大相対変位 (NS 方向) を表 4-2 に示す。

その結果、ケース 1 (基本ケース) において、最大相対変位は、補助ボイラー建屋質点レベル 0. P. 26. 00m (制御建屋質点レベル 0. P. 29. 15~0. P. 22. 95m の中間レベル) で 33. 7mm ( $S_s - D 2$ ) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一の床レベルで 45. 2mm ( $S_s - D 2$ , ケース 6\*) であり、いずれの場合においても許容限界 (100mm) を超えないことを確認した。

注記\* : 制御建屋における材料物性の不確かさケースを示す。補助ボイラー建屋は基礎固定モデルのため、地盤物性の不確かさを考慮した制御建屋のケース 6 に対しては補助ボイラー建屋のケース 4 が対応する。よって最大相対変位はこれらの絶対値和とする。

表 4-2 補助ボイラー建屋と制御建屋の最大相対変位 (NS 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

補助ボイラー建屋		制御建屋		ケース 1 (基本ケース)	ケース 2* <sup>1</sup>	ケース 3* <sup>1</sup>	ケース 4	ケース 5* <sup>1</sup>	ケース 6* <sup>1</sup>	許容 限界
質点 番号	O. P. (m)	質点 番号	O. P. (m)							
1	26. 00	*2	26. 00	33. 7 ( $S_s - D 2$ )	33. 6 ( $S_s - D 2$ )	33. 8 ( $S_s - D 2$ )	45. 1 ( $S_s - D 2$ )	45. 1 ( $S_s - D 2$ )	45. 2 ( $S_s - D 2$ )	100
2	20. 00	3	19. 50	24. 6 ( $S_s - D 2$ )	24. 5 ( $S_s - D 2$ )	24. 7 ( $S_s - D 2$ )	31. 4 ( $S_s - D 2$ )	31. 3 ( $S_s - D 2$ )	31. 5 ( $S_s - D 2$ )	
3	15. 00	4	15. 00	13. 0 ( $S_s - D 1$ )	13. 0 ( $S_s - D 1$ )	13. 1 ( $S_s - D 2$ )	18. 8 ( $S_s - D 1$ )	18. 7 ( $S_s - D 1$ )	18. 9 ( $S_s - D 1$ )	

注 : ( ) 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s - D 1$ ,  $S_s - D 2$ ,  $S_s - D 3$ ,  $S_s - F 3$  及び  $S_s - N 1$  に対して実施。

注記\*1 : 補助ボイラー建屋は基礎固定モデルのため、地盤物性の不確かさを考慮した制御建屋のケース 2, 3 にはケース 1 が、制御建屋のケース 5, 6 にはケース 4 がそれぞれ対応する。よって最大相対変位はこれらの絶対値和とする。

\*2 : 補助ボイラー建屋の質点番号 1 (0. P. 26. 00m) の相対変位に加算する制御建屋の相対変位は、制御建屋の上下階の質点間 (0. P. 29. 15m~0. P. 22. 95m) で線形補間して算定する。

VI-2-11-2-5 第1号機制御建屋の耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	2
2.3 評価方針.....	11
3. 評価方法.....	13
3.1 評価対象部位及び評価方針.....	13
3.2 評価に用いる地震波.....	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	19
3.4 許容限界.....	20
3.5 解析方法.....	21
3.6 解析条件.....	27
3.7 評価方法.....	38
4. 評価結果.....	39
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果.....	39
4.2 相対変位による評価結果.....	40



1. 概要

本資料は、添付書類「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、第1号機制御建屋が制御建屋に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、制御建屋の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒、落下等による影響では、第1号機制御建屋の構造物全体としての変形性能の評価を、建屋間の相対変位による影響では、制御建屋への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

第1号機制御建屋の設置位置を図2-1に示す。

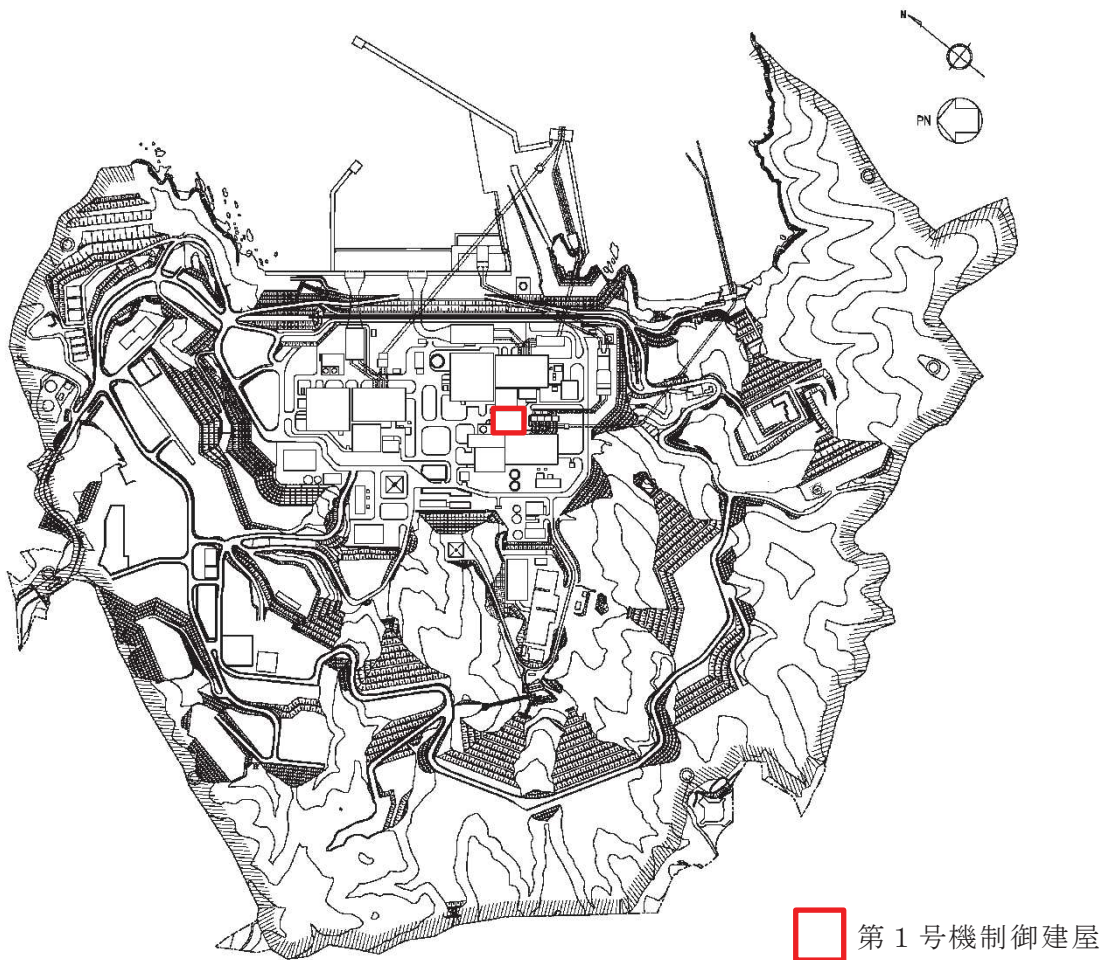


図2-1 第1号機制御建屋の設置位置

## 2.2 構造概要

第1号機制御建屋は、地下3階、地上3階で、基礎底面からの高さは約29.2m（地上部約14.4m、地下部14.8m）、平面は54.0m（NS）×41.0m（EW）\*である。

建屋の構造は鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）であり、その主たる耐震要素は耐震壁である。

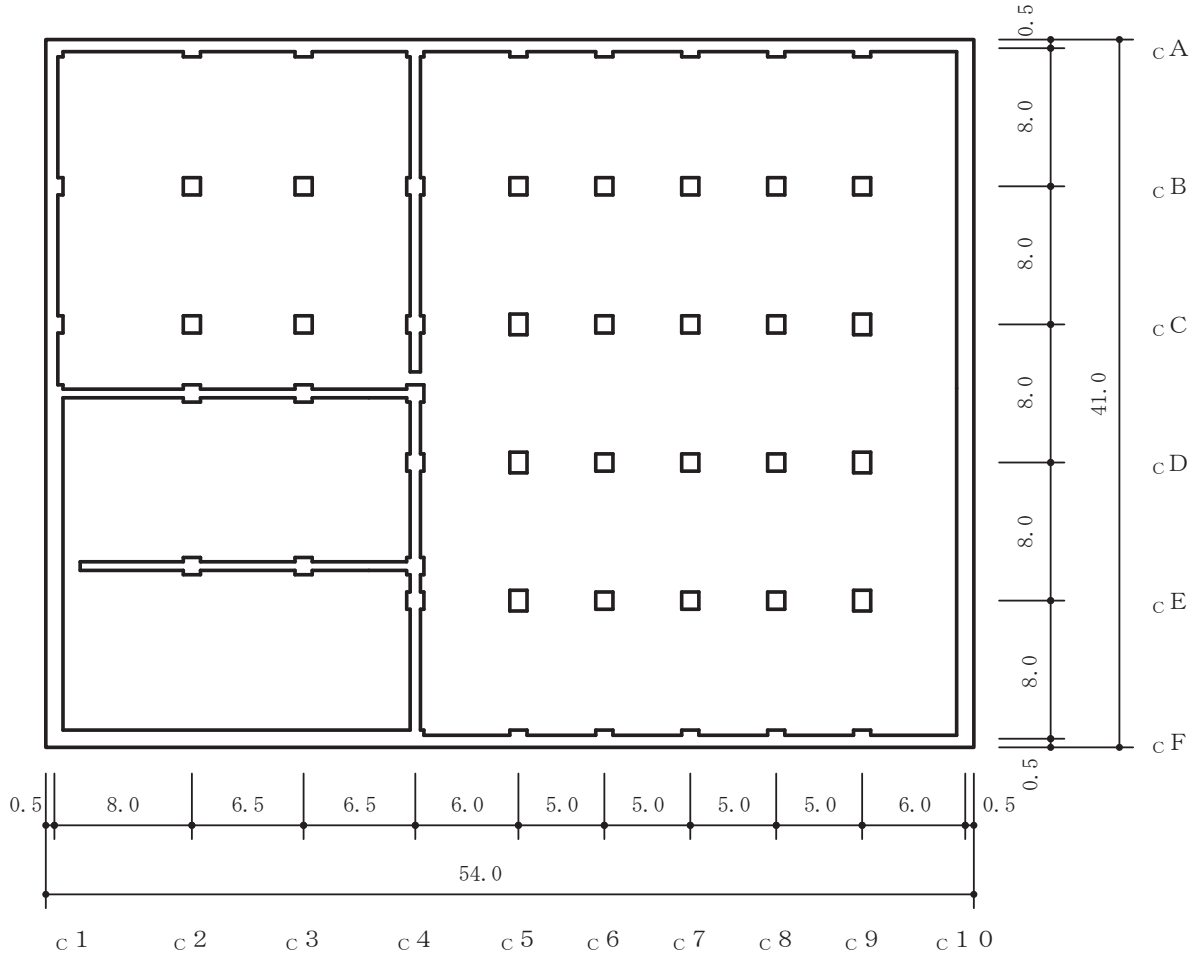
第1号機制御建屋の基礎は、厚さ1.5mのべた基礎で、支持地盤である岩盤上に直接又はマンメイドロックを介して設置されている。

第1号機制御建屋の概略平面図を図2-2に概略断面図を図2-3に、建屋配置図を図2-4に、第1号機制御建屋と制御建屋のクリアランスを図2-5に示す。

注記\*：建屋寸法は壁外面押えとする。



O 2 ③ VI-2-11-2-5 R 0

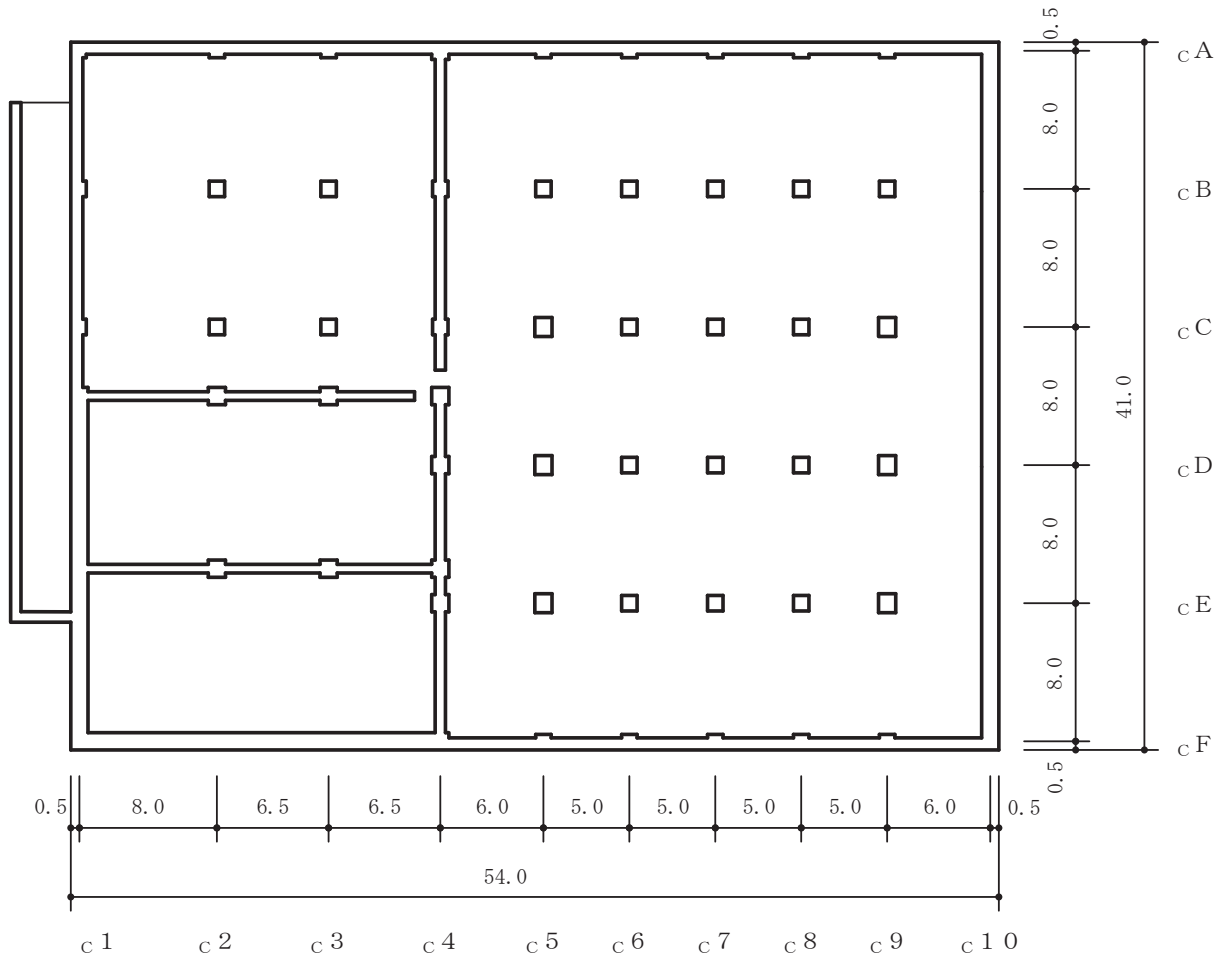


(単位：m)

図 2-2(1) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0.P. \*1.5m)

注記\* : 0.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

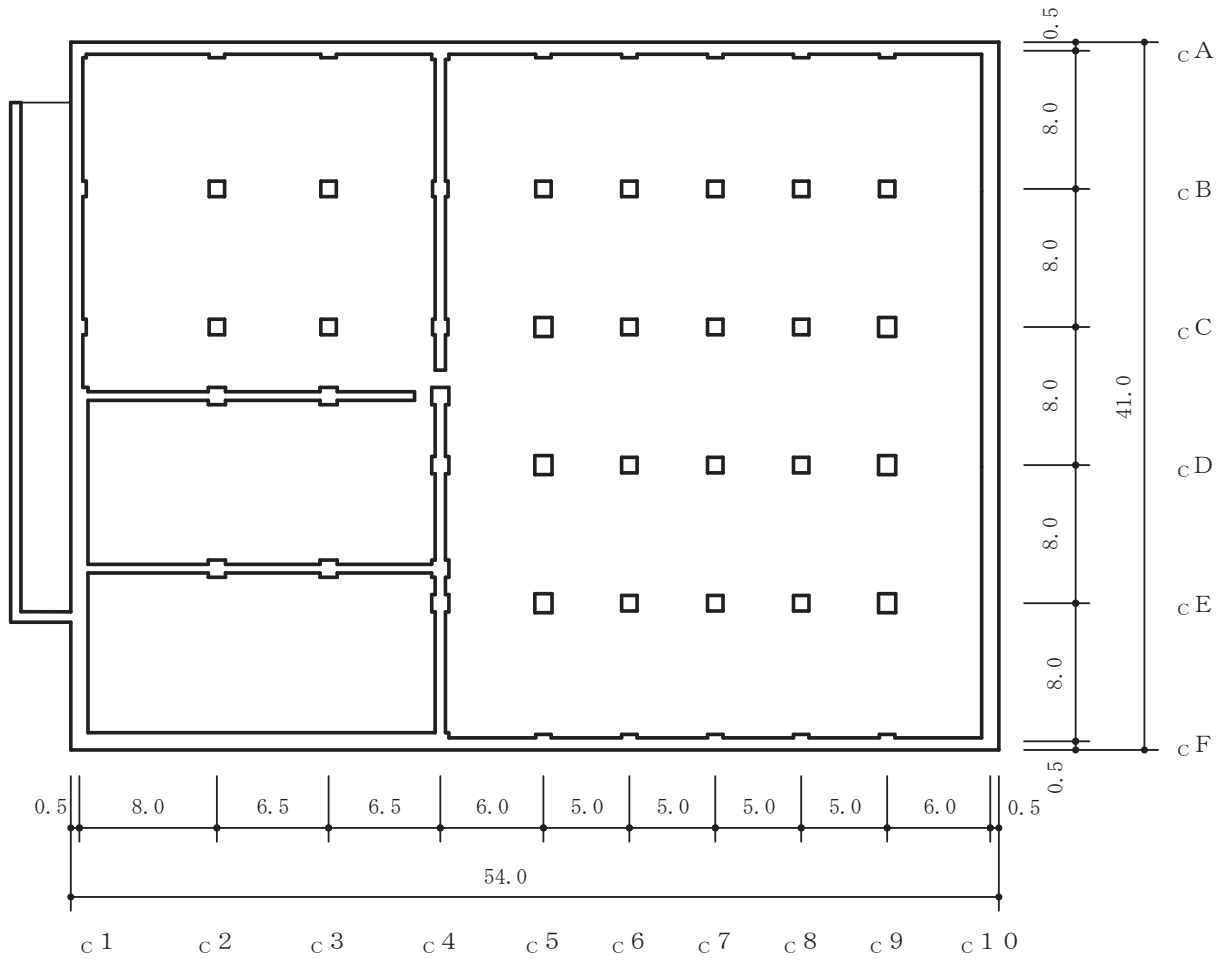
○ 2 ③ VI-2-11-2-5 R 0



(単位 : m)

図 2-2(2) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0. P. 5. 0m)

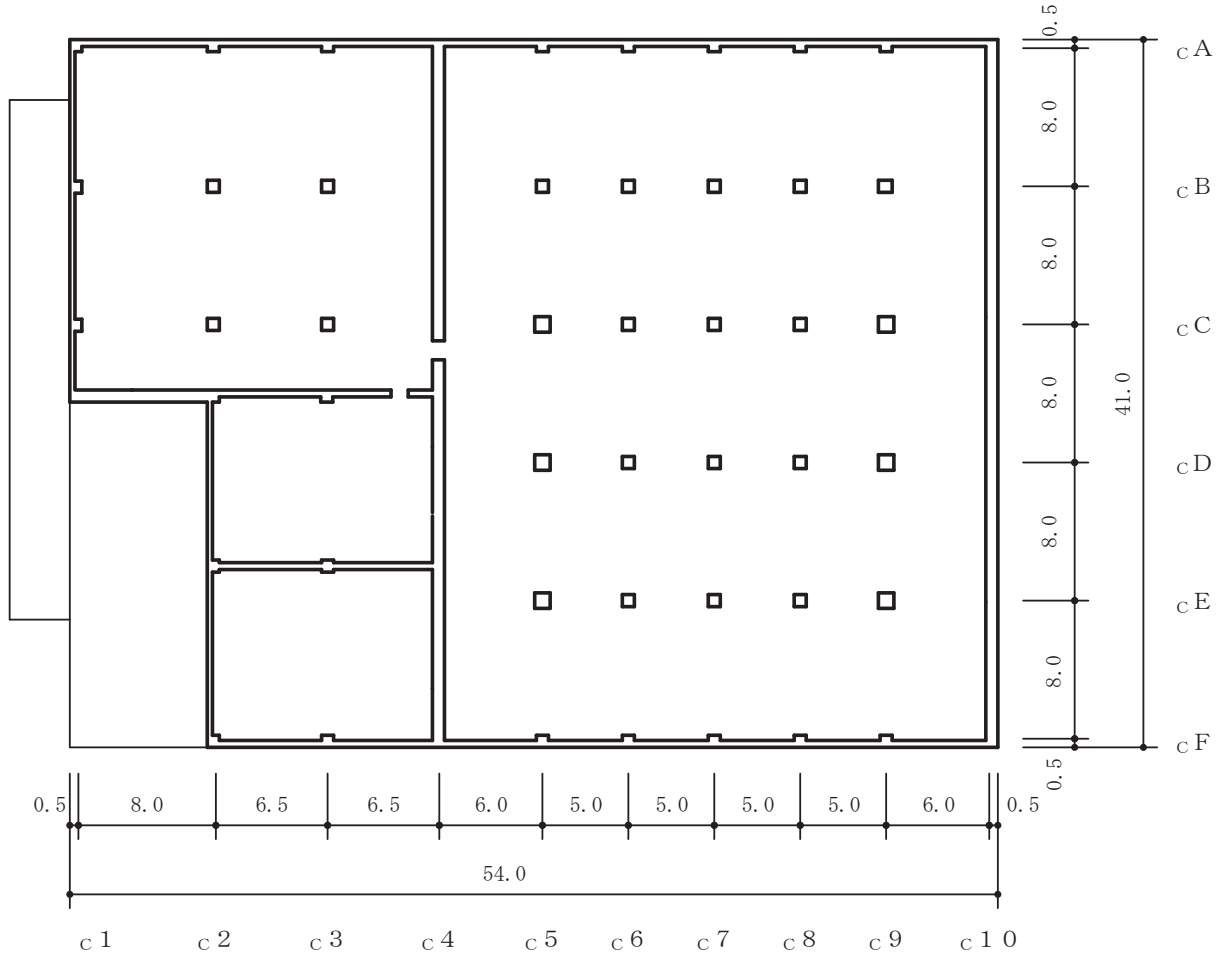
○ 2 ③ VI-2-11-2-5 R 0



(単位 : m)

図 2-2(3) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0.P. 10.5m)

○ 2 ③ VI-2-11-2-5 R 0

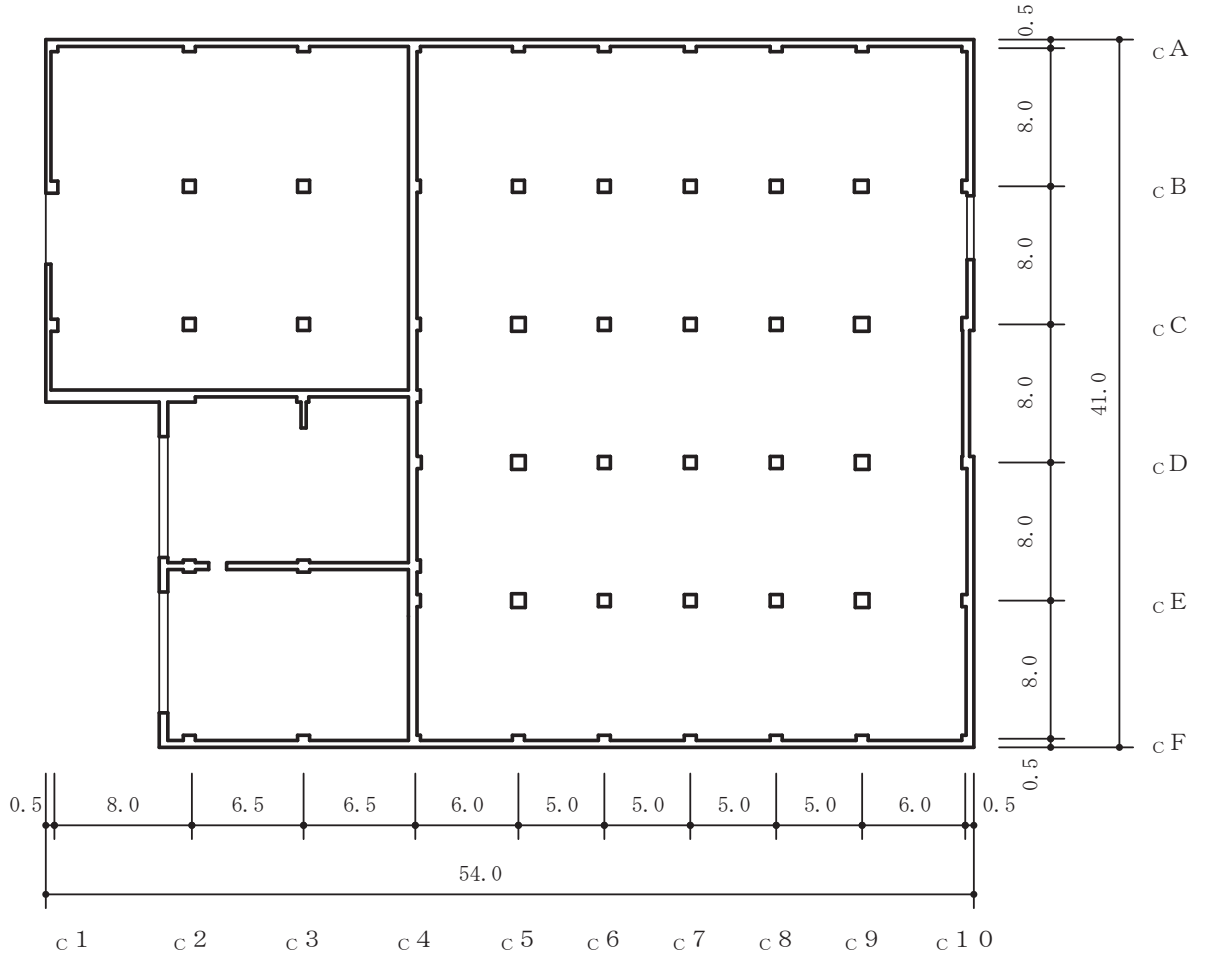


(単位：m)

図 2-2(4) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0.P. 15.0m)



O 2 ③ VI-2-11-2-5 R 0

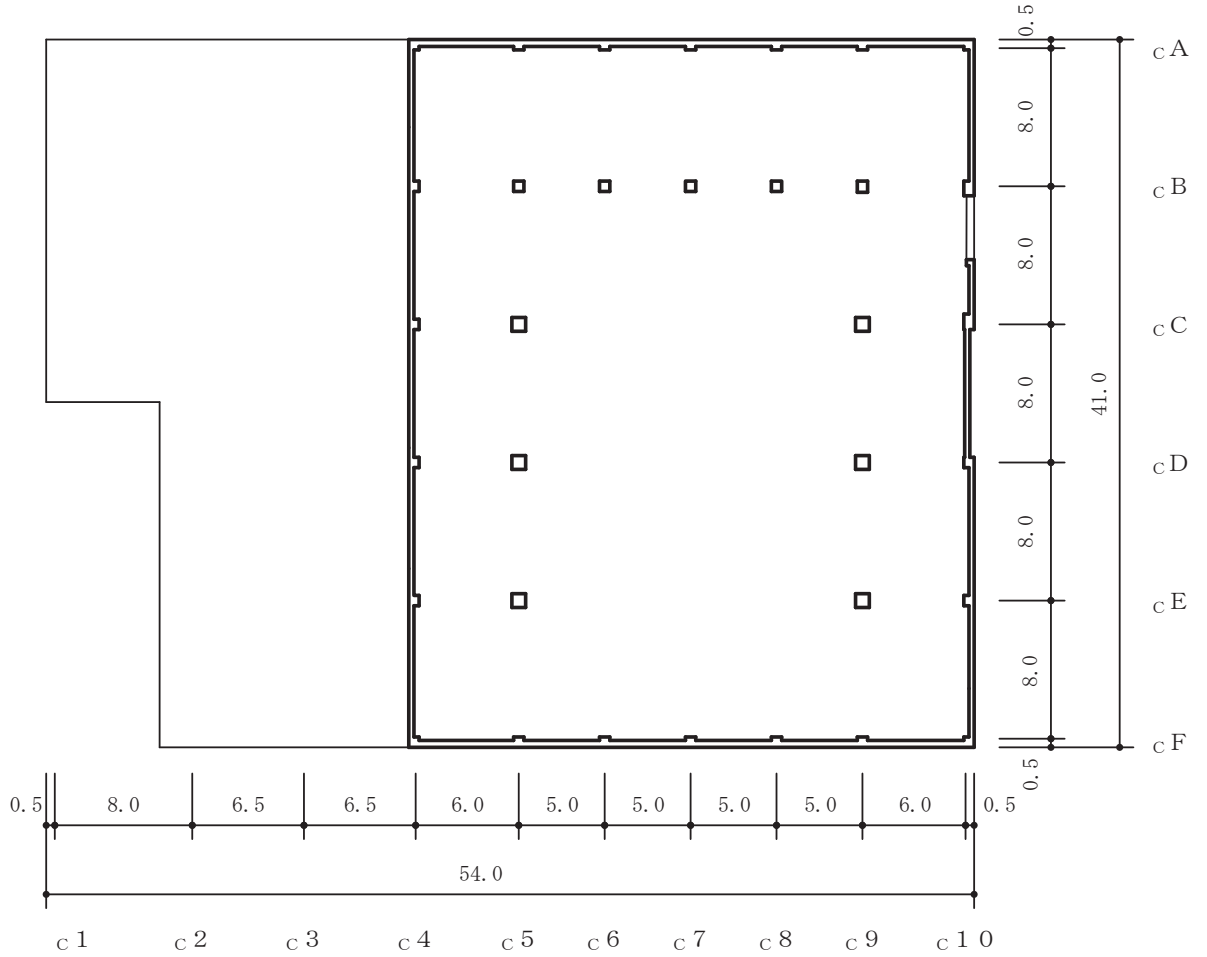


(単位 : m)

図 2-2(5) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0.P. 19.5m)



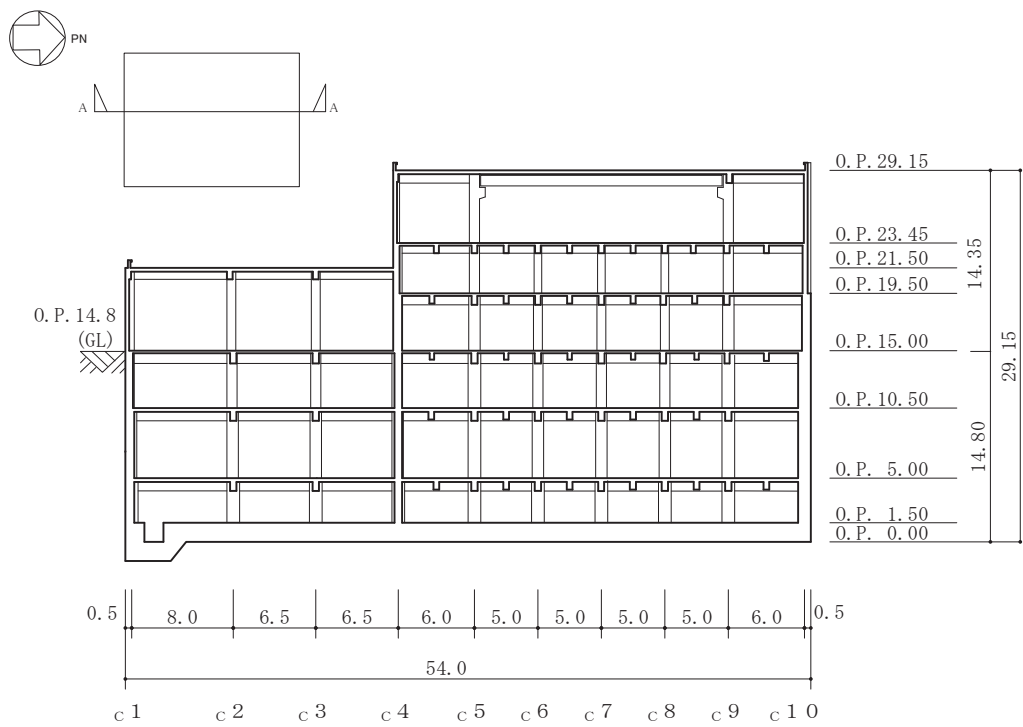
02 ③ VI-2-11-2-5 R0



(単位：m)

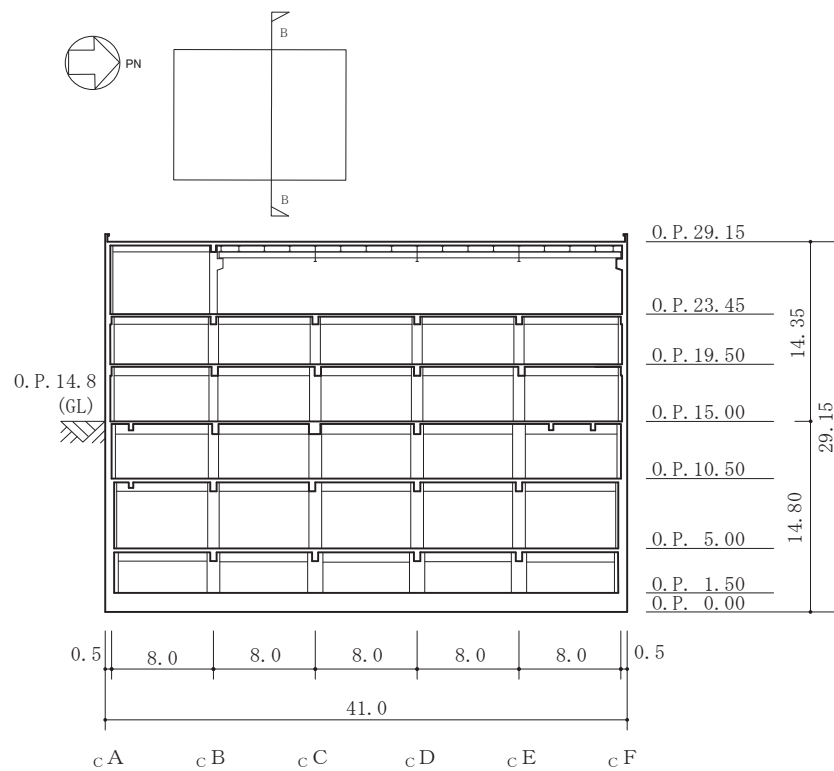
図 2-2(6) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0. P. 23. 45m)





(単位 : m)

図 2-3(1) 第 1 号機制御建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)



(単位 : m)

図 2-3(2) 第 1 号機制御建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

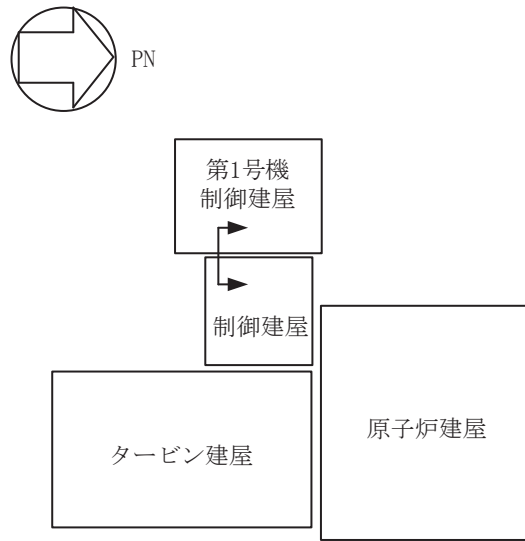


図 2-4 建屋配置図

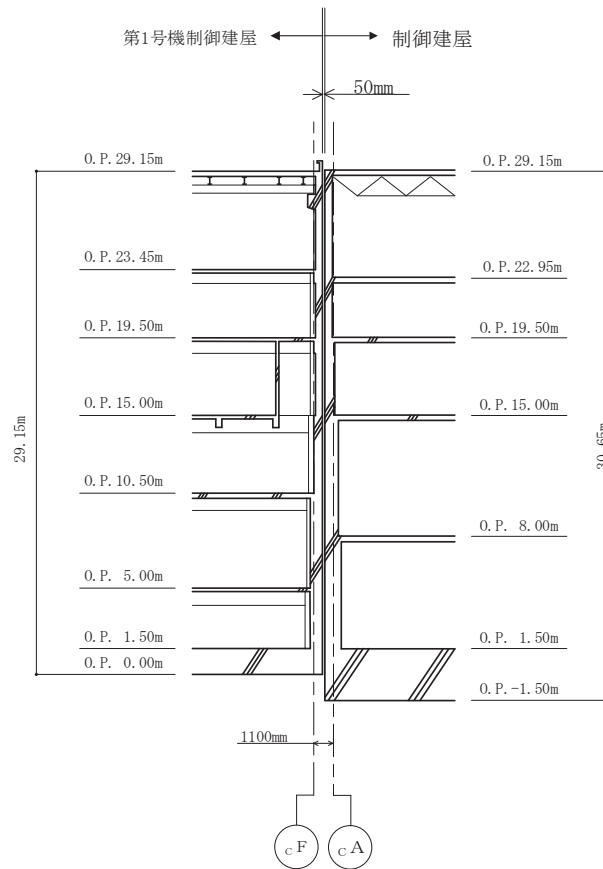


図 2-5 第 1 号機制御建屋と制御建屋のクリアランス

### 2.3 評価方針

第1号機制御建屋は、制御建屋と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

第1号機制御建屋の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 $S_s$ に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。第1号機制御建屋の波及的影響の評価は、添付書類「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、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒、落下等による影響では、構造物全体としての変形性能について行う。建屋間の相対変位による影響では、制御建屋との相対変位による評価を行うことで、制御建屋への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、第1号機制御建屋の最大応答変位及び添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、第1号機制御建屋は、その配置上、制御建屋と接触する可能性が高いEW方向に対して波及的影響の評価を行う。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 $S_s$ 地震時に対する評価を行う。ここで第1号機制御建屋では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

## 2.4 適用規格・基準等

第1号機制御建屋の波及的影響評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1979改定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）

### 3. 評価方法

#### 3.1 評価対象部位及び評価方針

第1号機制御建屋の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、許容限界を超えないことを確認する。

制御建屋との相対変位による評価では、両建屋の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建屋間のクリアランスの大小関係により、隣接する制御建屋への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、両建屋の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

図3-1に波及的影響の評価フローを示す。

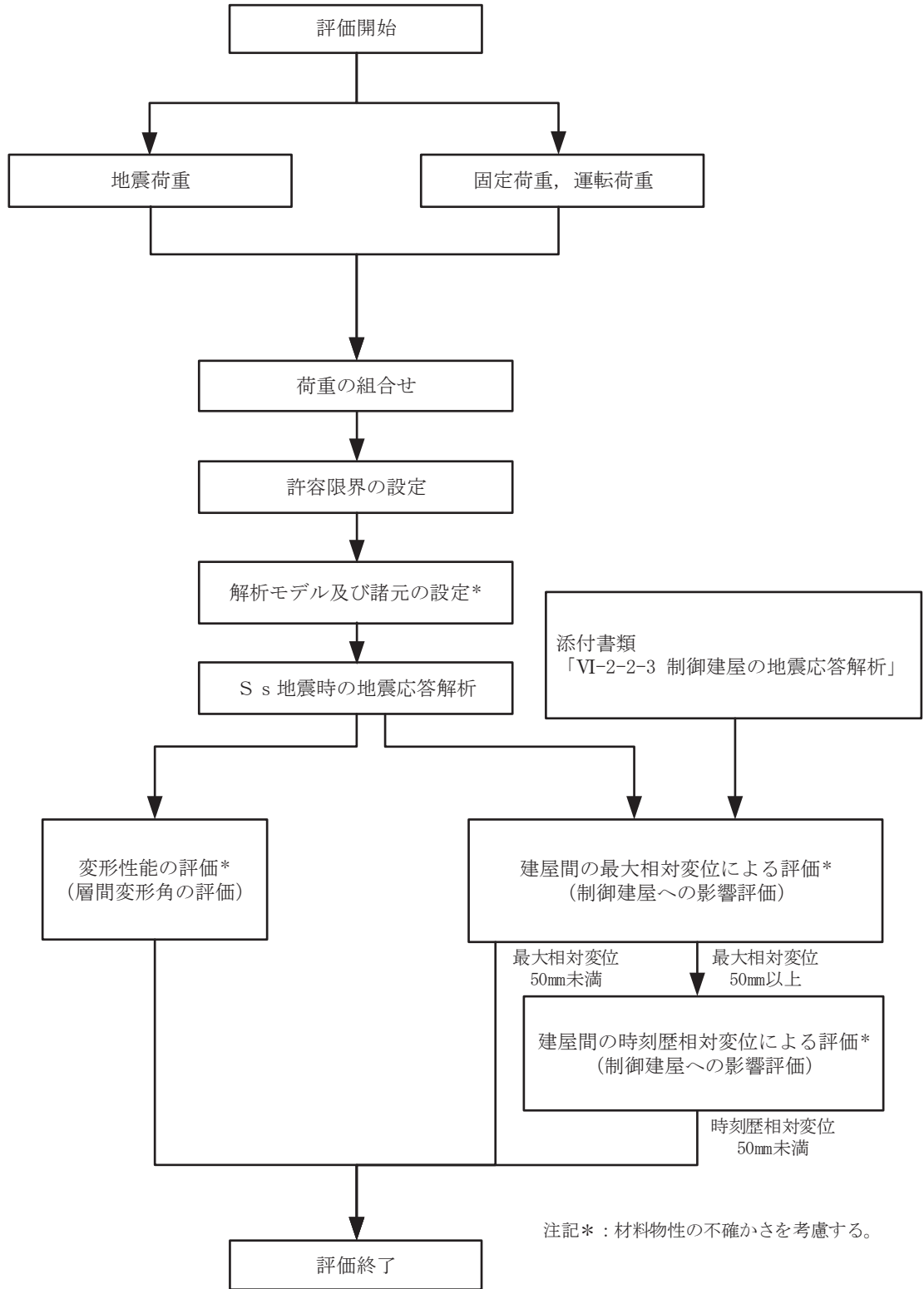
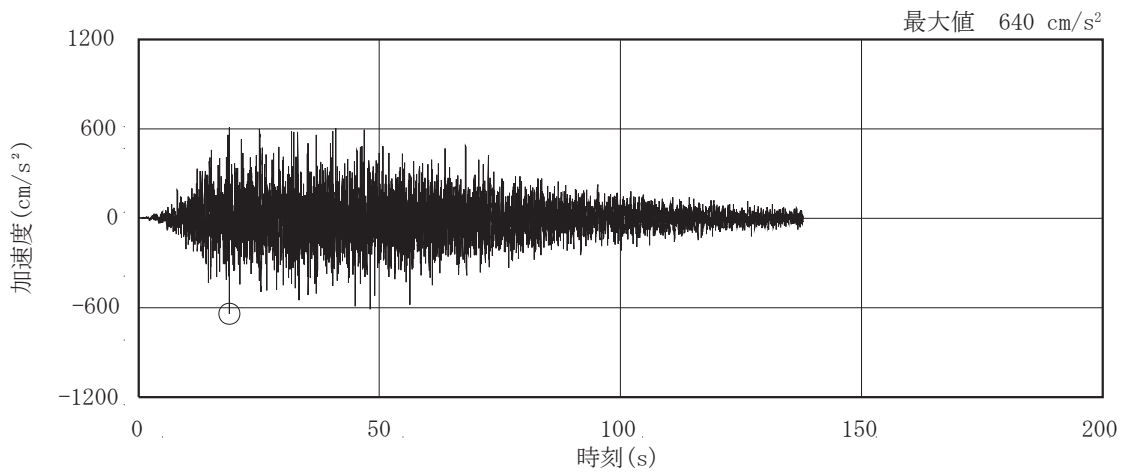


図 3-1 第 1 号機制御建屋の波及的影響の評価フロー

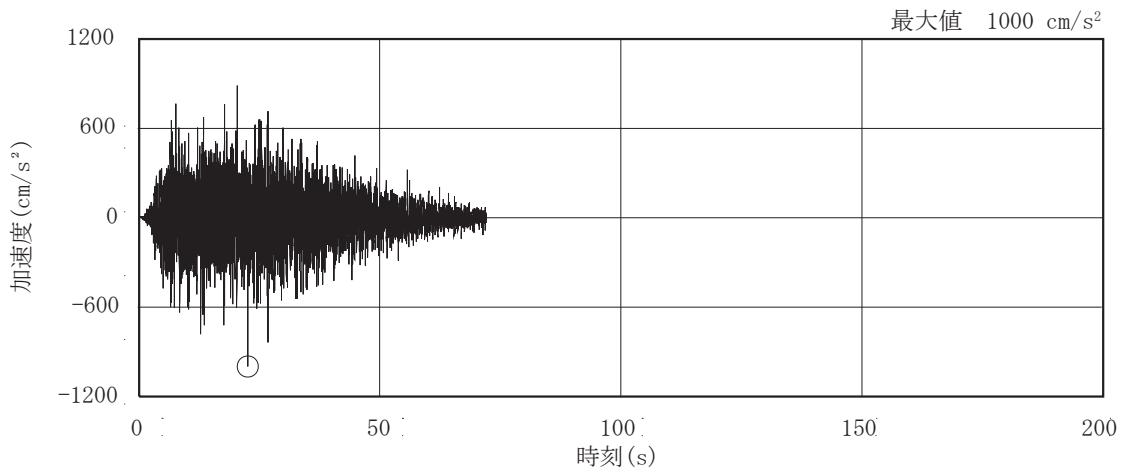
### 3.2 評価に用いる地震波

第1号機制御建屋の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である制御建屋の評価に適用した添付書類「VI-2-1-2 基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動  $S_s$  とする。

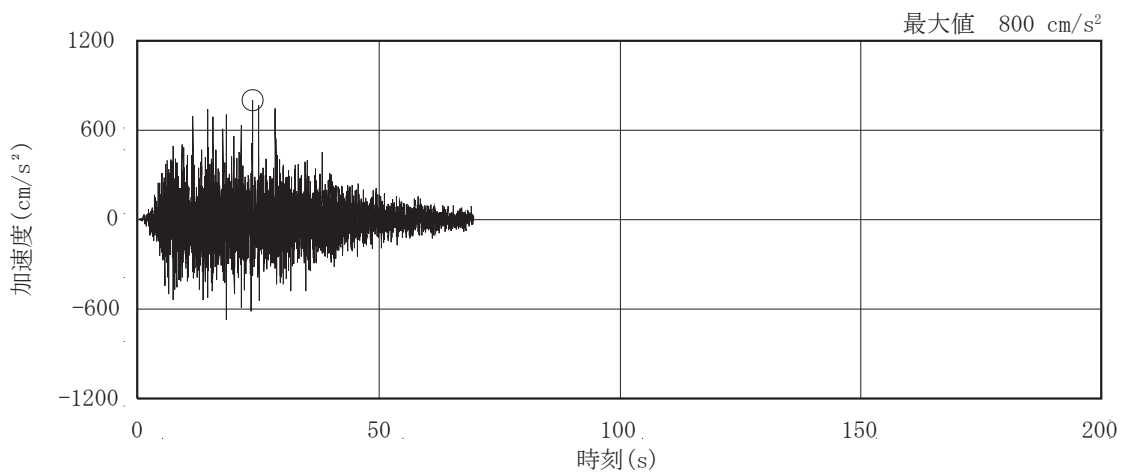
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-2及び図3-3に示す。



(a) S s - D 1



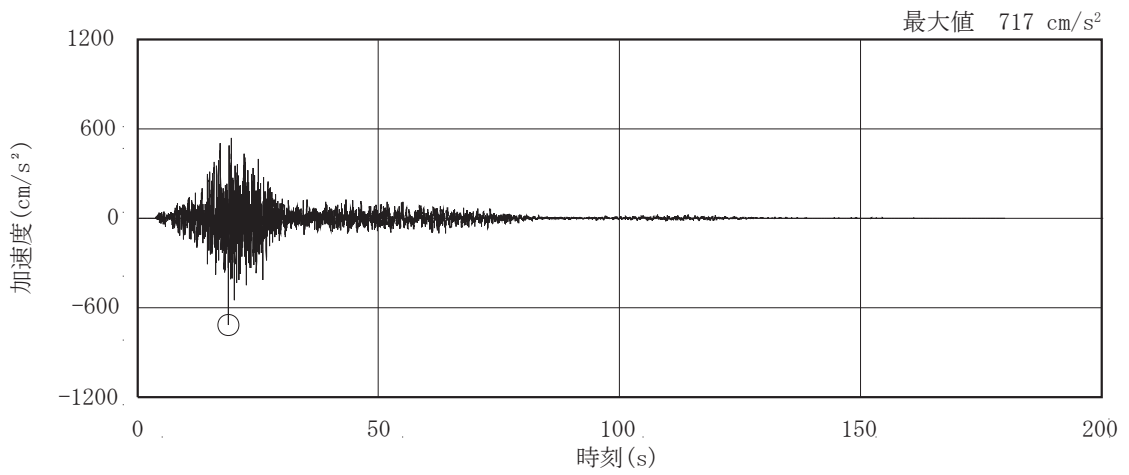
(b) S s - D 2



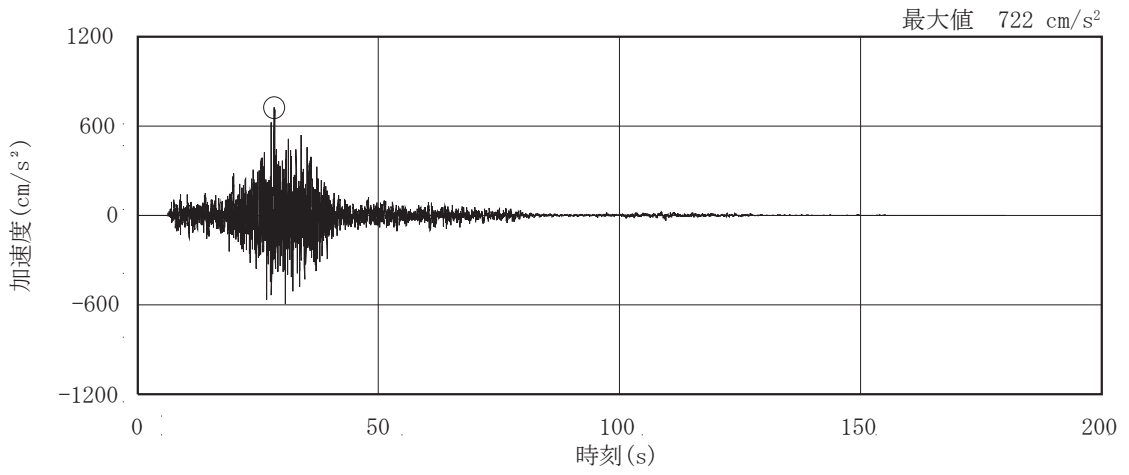
(c) S s - D 3

图 3-2(1) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (1/3)

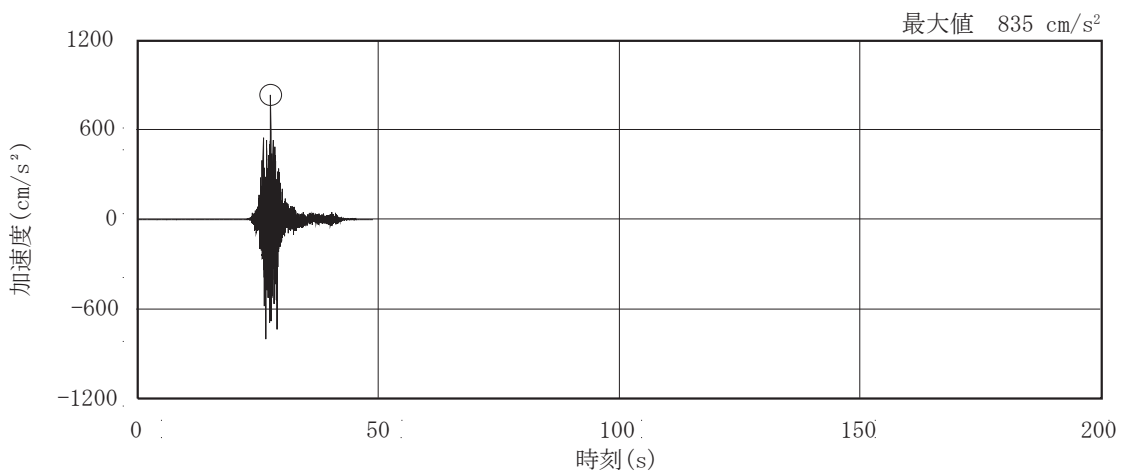




(d) S s - F 1

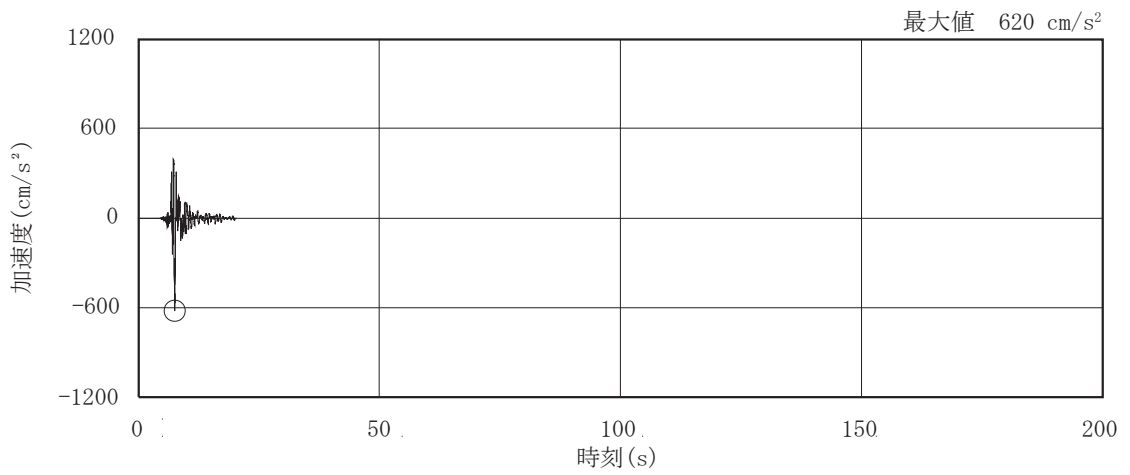


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

图 3-2(2) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (2/3)



(g) S s - N 1

図 3-2(3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (3/3)

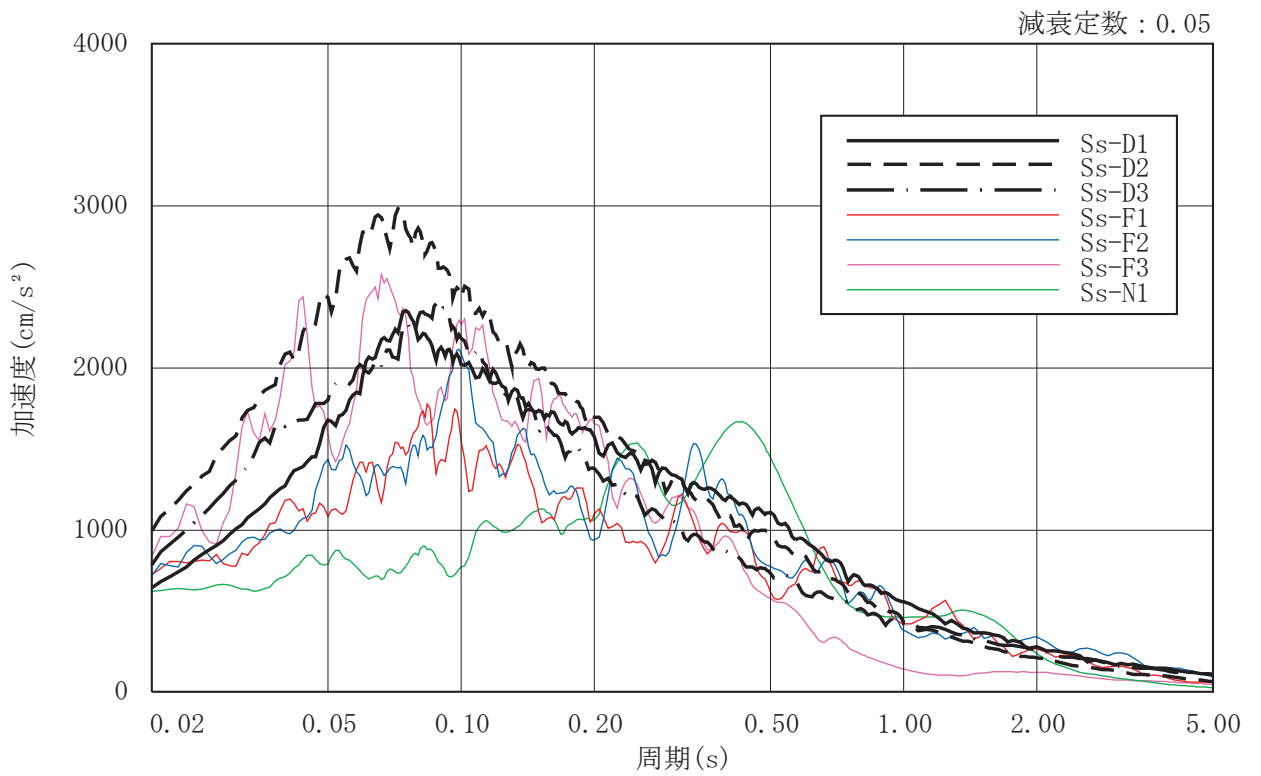


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s , 水平方向)

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。その荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>s</sub>

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力

### 3.4 許容限界

第1号機制御建屋の制御建屋に対する波及的影響の評価における許容限界は添付書類「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」に記載の許容限界に基づき、表3-2及び表3-3のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界  
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
制御建屋に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10 <sup>-3</sup>
		第1号機制御建屋及び制御建屋	建屋間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 50mm

表3-3 波及的影響の評価における許容限界  
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
制御建屋に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10 <sup>-3</sup>
		第1号機制御建屋及び制御建屋	建屋間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 50mm

### 3.5 解析方法

#### 3.5.1 地震応答解析モデル

##### (1) 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部及び面内せん断変形をする床スラブ部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。なお、接地率が65%を下回る場合には、誘発上下動を考慮する。

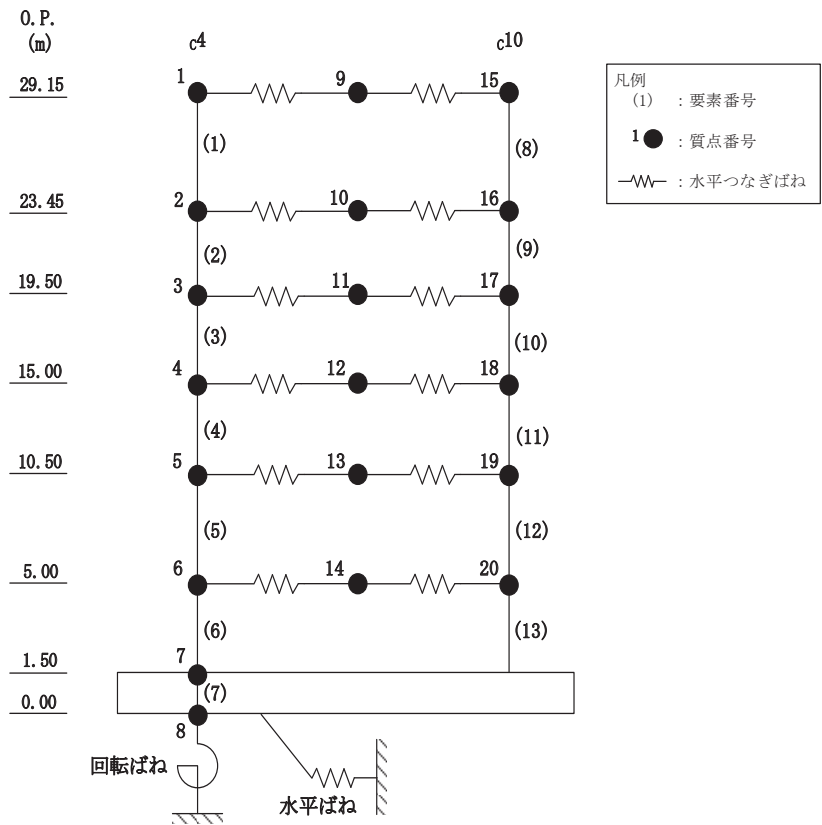
水平方向の地震応答解析モデル及び諸元を図3-4に示す。なお、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下については、観測記録や試験データなどから適切に地震応答解析モデルへ反映し、保守性を確認した上で適用する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を表3-4に示す。

##### (2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、水平方向の地震応答解析モデルにおいては水平ばね及び回転ばねで置換している。この水平ばね及び回転ばねは、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミッタンス理論に基づいて評価している。いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図3-5に示すようにばね定数として、実部の静的な値( $K_0$ )を、また、減衰係数( $C_0$ )として、建屋－地盤連成モデルの1次固有円振動数( $\omega_1$ )に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。このうち、回転ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。地盤ばね定数及び減衰係数を表3-5に、地盤モデルの等価地盤物性値を表3-6に示す。

##### (3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、「3.2 評価に用いる地震波」に示す基準地震動 $S_s$ とし、建屋基礎底面レベルに直接入力する。図3-6に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。



(a) モデル図

標高 O. P. (m)	建屋		
	c4		c10
29.15	1	9	15
	1043	368	1210
23.45	2	10	16
	790	997	833
19.50	3	11	17
	2194	1093	735
15.00	4	12	18
	3281	1200	896
10.50	5	13	19
	3555	1649	1216
5.00	6	14	20
	2503	1253	1045
1.50	7		
	6825		
0.00	8		
	3908		

回転慣性重量\* =  $5.28 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 / \text{rad}$

注記\* : 回転慣性重量は基礎下質点 (質点番号8) に集約している。

(b) 質点重量・回転慣性重量

図 3-4(1) 地震応答解析モデル (EW 方向) (1/2)

要素番号
せん断断面積 (m <sup>2</sup> )
断面2次モーメント (×10 <sup>2</sup> m <sup>4</sup> )

標高 O.P. (m)	建屋	
	c4	c10
29.15	(1)	(8)
	12.3	11.2
	37.3	36.6
23.45	(2)	(9)
	20.5	14.9
	64.4	41.6
19.50	(3)	(10)
	28.7	20.3
	73.3	50.9
15.00	(4)	(11)
	53.1	41.0
	197.0	88.2
10.50	(5)	(12)
	59.5	41.0
	235.0	100.1
5.00	(6)	(13)
	59.5	41.0
	235.0	100.1
1.50	(7)	
	2214.0	
	3101.5	

コンクリート部

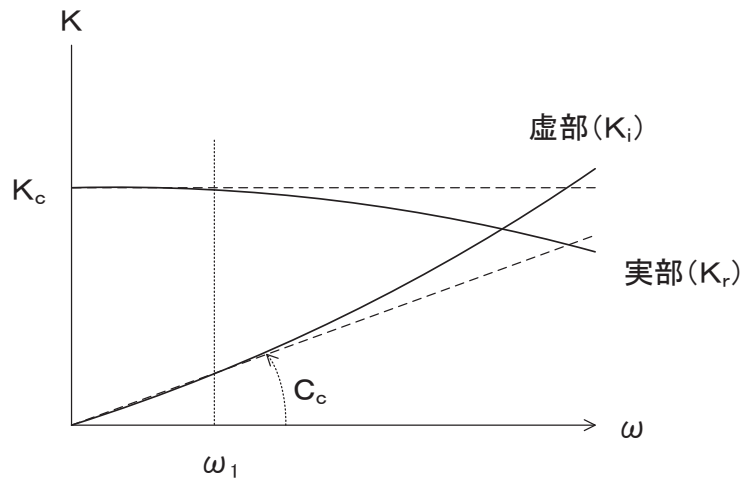
ヤング係数	E	9.27 × 10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数	G	3.97 × 10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比	ν	0.167
減衰定数	h	5%

(c) せん断断面積・断面2次モーメント

図3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向) (2/2)

表 3-4 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

方向	建屋全体
EW	0.45



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数  $K_c$  で定数化

減衰係数：建屋—地盤連成系の 1 次固有円振動数  $\omega_1$  に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き  $C_c$  で定数化

図 3-5 地盤ばねの定数化の概要



表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (EW 方向)

地盤ばね成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
底面・水平	$8.637 \times 10^8$ (kN/m)	$7.757 \times 10^6$ (kN・s/m)
底面・回転	$4.271 \times 10^{11}$ (kN・m/rad)	$2.712 \times 10^8$ (kN・m・s/rad)

表 3-6 地盤モデルの等価地盤物性値

せん断波速度 $V_s$ (m/s)	ポアソン比 $\nu$	せん断弾性係数 $G$ (N/mm <sup>2</sup> )
1620	0.390	$6.86 \times 10^3$

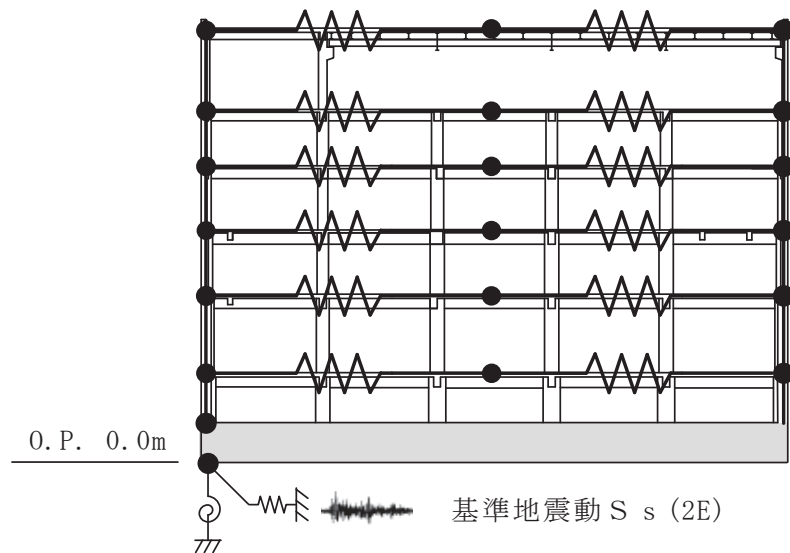


図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

### 3.5.2 解析方法

第1号機制御建屋の地震応答解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。

建物・構築物の地震応答解析は，添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき，時刻歴応答解析により実施する。

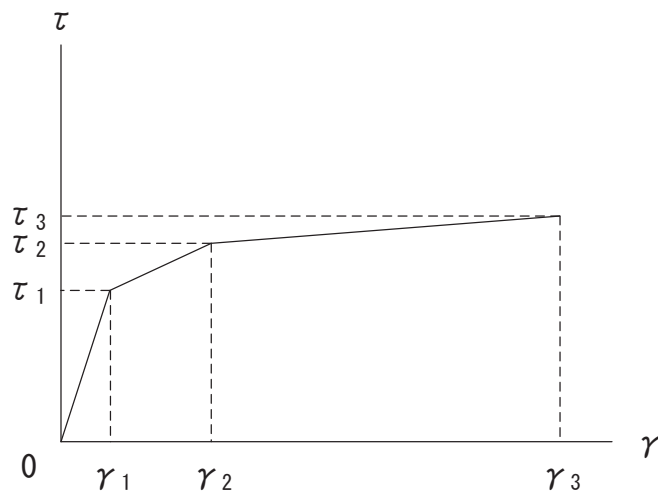
なお，地震応答解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.6 解析条件

#### 3.6.1 建物・構築物の復元力特性

##### (1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$  関係）は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-7 に示す。

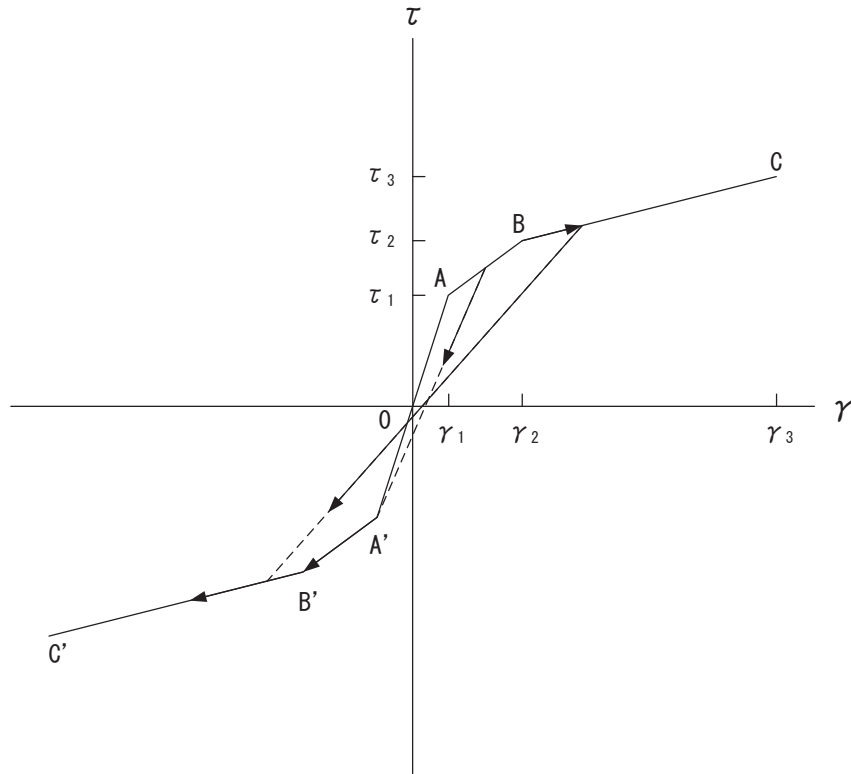


- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $=4 \times 10^{-3}$ )

図 3-7 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-8 に示す。

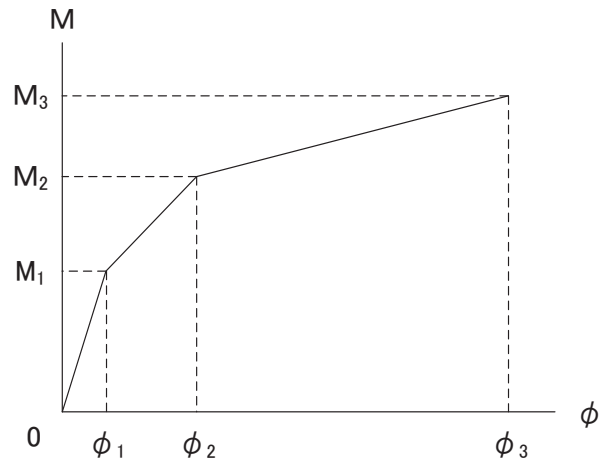


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-8 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-9 に示す。



$M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント

$M_3$  : 終局点の曲げモーメント

$\phi_1$  : 第 1 折点の曲率

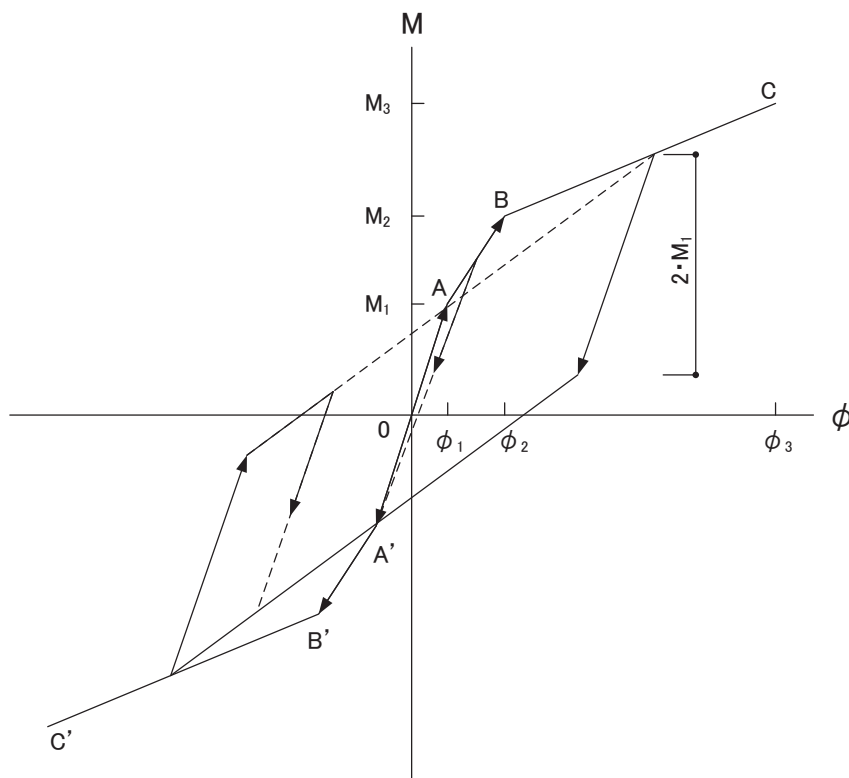
$\phi_2$  : 第 2 折点の曲率

$\phi_3$  : 終局点の曲率

図 3-9 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-10 に示す。

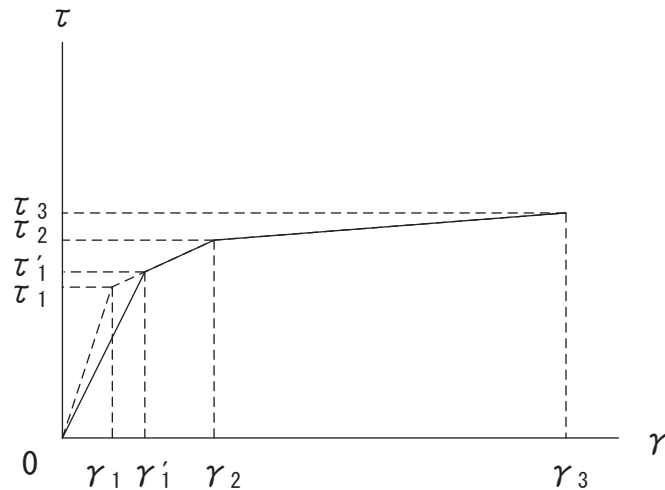


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から  $2 \cdot M_1$  を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を超えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点はスケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-10 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

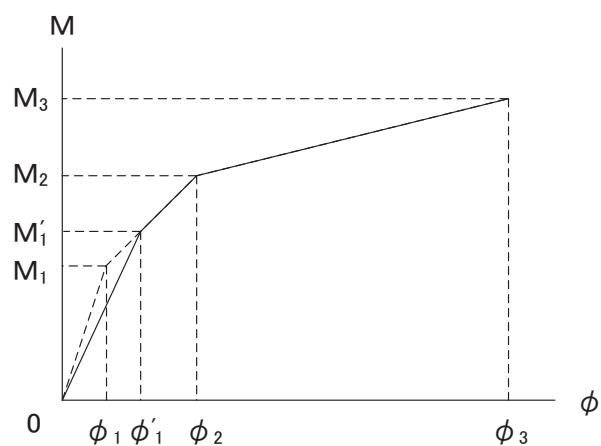
(5) 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定

設計基準強度により算定したスケルトンカーブに対して、地震観測記録に基づき評価した建屋剛性に整合するようにスケルトンカーブの初期剛性を補正する。剛性低下を考慮したスケルトンカーブの概念を図 3-11 及び図 3-12 に示す。



- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $=4 \times 10^{-3}$ )
- $\tau'_1$  : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断応力度
- $\gamma'_1$  : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断ひずみ
- 注 : 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの  $\tau'_1$  は及び  $\gamma'_1$  は J E A G 式とは対応しない。

図 3-11 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係のスケルトンカーブの初期剛性の補正



$M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント

$M_3$  : 終局点の曲げモーメント

$\phi_1$  : 第 1 折点の曲率

$\phi_2$  : 第 2 折点の曲率

$\phi_3$  : 終局点の曲率

$M'_1$  : 初期剛性補正後の第 1 折点の曲げモーメント

$\phi'_1$  : 初期剛性補正後の第 1 折点の曲率

注 : 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの  $M'_1$  及び  $\phi'_1$  は J E A G 式とは対応しない。

図 3-12 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の  
スケルトンカーブの初期剛性の補正



(6) スケルトンカーブの諸数値

制御建屋の各耐震壁について算出したせん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 3-7 及び表 3-8 に示す。

表 3-7 せん断力のスケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係)

EW 方向

c4

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15 ~ 23.45	2.11	-	5.23	0.532	-	4.00
23.45 ~ 19.50	2.23	-	5.00	0.563	-	4.00
19.50 ~ 15.00	2.25	-	5.22	0.565	-	4.00
15.00 ~ 10.50	2.29	-	5.29	0.576	-	4.00
10.50 ~ 5.00	2.38	-	5.95	0.600	-	4.00
5.00 ~ 1.50	2.47	-	5.95	0.622	-	4.00

c10

O. P. (m)	$\tau_1'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1'$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15 ~ 23.45	2.12	-	5.23	0.535	-	4.00
23.45 ~ 19.50	2.23	-	5.29	0.561	-	4.00
19.50 ~ 15.00	2.29	-	5.23	0.578	-	4.00
15.00 ~ 10.50	2.25	-	5.04	0.565	-	4.00
10.50 ~ 5.00	2.33	-	5.16	0.587	-	4.00
5.00 ~ 1.50	2.42	-	5.13	0.609	-	4.00

表 3-8 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M-φ 関係)

EW 方向

c4

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
29.15 ~ 23.45	0.461	0.787	1.13	1.33	4.93	98.6
23.45 ~ 19.50	0.833	1.42	2.01	1.40	4.95	99.1
19.50 ~ 15.00	1.05	1.88	2.79	1.55	5.17	103
15.00 ~ 10.50	2.69	4.70	6.80	1.47	4.99	99.7
10.50 ~ 5.00	3.64	6.27	9.20	1.67	5.08	102
5.00 ~ 1.50	3.91	6.54	9.49	1.80	5.12	102

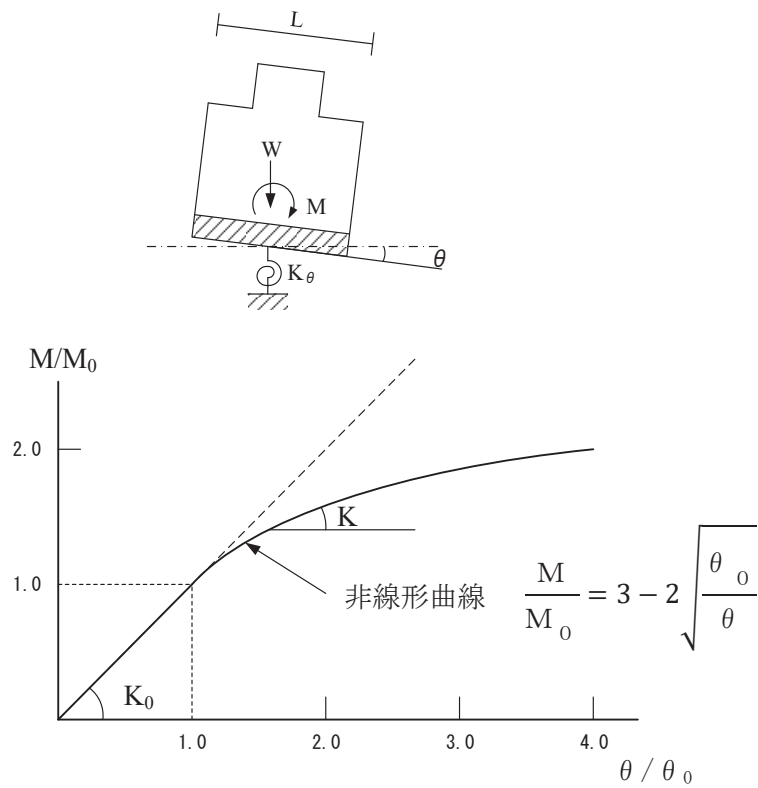
c10

O. P. (m)	$M_1'$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_2$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$M_3$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	$\phi_1'$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}/\text{m}$ )
29.15 ~ 23.45	0.434	0.725	1.03	1.28	4.87	97.4
23.45 ~ 19.50	0.574	1.01	1.44	1.49	5.05	101
19.50 ~ 15.00	0.699	1.24	1.75	1.48	5.05	101
15.00 ~ 10.50	1.26	2.17	3.14	1.54	5.15	103
10.50 ~ 5.00	1.60	2.73	3.91	1.72	5.22	104
5.00 ~ 1.50	1.72	2.86	4.05	1.86	5.28	106

### 3.6.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-13 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は、図 3-13 の曲線で表され、減衰係数は、回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



- M : 転倒モーメント
- $M_0$  : 浮上り限界転倒モーメント ( $=W \cdot L / 6$ )
- $\theta$  : 回転角
- $\theta_0$  : 浮上り限界回転角
- $K_0$  : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)
- K : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)
- W : 建屋総重量
- L : 建屋基礎幅

図 3-13 回転ばねのモーメントー回転角の関係

### 3.6.3 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s$  のうち制御建屋の評価で選定している  $S_s - D1$ 、 $S_s - D2$ 、 $S_s - D3$ 、 $S_s - F3$  及び  $S_s - N1$  に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、支持地盤のせん断波速度のばらつきは、変動係数±7%を考慮し、底面地盤ばねの算定に適用する。

建屋剛性の不確かさについて、水平方向については基準地震動  $S_s$  入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動  $S_s$  について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。なお、終局耐力については、実機のコンクリート強度が設計基準強度より高い傾向にあり、終局耐力はその分高いほうに上振れすることが考えられるが、終局耐力の増加は建屋の変形を抑制する方向の評価となることから、これを考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 3-10 に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性を表 3-11 に示す。

表 3-10 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトン曲線		建屋減衰	地盤物性
		初期剛性	終局耐力		底面地盤ばね
基準地震動 S <sub>s</sub> (EW 方向)	ケース 1 (基本ケース)	2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	設計基準強度を用い JEAG 式で評価	5%	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	標準地盤 + $\sigma$
	ケース 3				標準地盤 - $\sigma$
	ケース 4	基本ケースの 0.75 倍	同上	同上	標準地盤
	ケース 5				標準地盤 + $\sigma$
	ケース 6				標準地盤 - $\sigma$

表 3-11 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性

	等価地盤のせん断波速度 (m/s)	ポアソン比 $\nu$	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )
基本ケース	1620	0.390	6.86 × 10 <sup>3</sup>
+ $\sigma$ 相当	1730	0.390	7.86 × 10 <sup>3</sup>
- $\sigma$ 相当	1510	0.390	5.94 × 10 <sup>3</sup>

### 3.7 評価方法

第1号機制御建屋の波及的影響の評価は、基準地震動  $S_s$  における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

#### 3.7.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算出し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

#### 3.7.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示す第1号機制御建屋の地震応答解析モデルによる解析結果と添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算出し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算出する際の基準点は、各建屋の基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下の質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算出する。

更に、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建屋の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

#### 4. 評価結果

##### 4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動  $S_s$  に対する最大応答せん断ひずみ (EW 方向) を表 4-1 に示す。

その結果, ケース 1 (基本ケース) において, 最大応答せん断ひずみは  $1.79 \times 10^{-3}$  (要素番号(9),  $S_s - D 2$ ) である。また, 材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは, 最大で  $1.86 \times 10^{-3}$  (要素番号(9), ケース 5,  $S_s - D 2$ ) であり, いずれの場合においても許容限界 ( $4.00 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

表 4-1 建屋の最大応答せん断ひずみ (EW 方向)

(単位:  $\times 10^{-3}$ )

ケース 方向	ケース 1 (基本ケース)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	許容限界
EW	1.79 ( $S_s - D 2$ )	1.80 ( $S_s - D 2$ )	1.79 ( $S_s - D 2$ )	1.85 ( $S_s - D 2$ )	1.86 ( $S_s - D 2$ )	1.84 ( $S_s - D 2$ )	4.00

注: ( ) 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は, 基準地震動  $S_s - D 1$ ,  $S_s - D 2$ ,  $S_s - D 3$ ,  $S_s - F 3$  及び  $S_s - N 1$  に対して実施。

## 4.2 相対変位による評価結果

### 4.2.1 最大相対変位による評価結果

基準地震動  $S_s$  に対する建屋間の最大相対変位（EW 方向）を表 4-2 に示す。その結果、最大相対変位は、ケース 1~6 の制御建屋質点レベル O.P. 29.15m（第 1 号機制御建屋質点レベル O.P. 29.15m）とケース 4~6 の制御建屋質点レベル O.P. 22.95m（第 1 号機制御建屋質点レベル O.P. 23.45m）において許容限界を超える。

表 4-2 第 1 号機制御建屋と制御建屋の最大相対変位（基本ケース，EW 方向，絶対値和）  
（単位：mm）

第 1 号機 制御建屋		制御建屋		ケース 1 (基本ケース)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	許容 限界
質点 番号	O.P. (m)	質点 番号	O.P. (m)							
1, 9, 15	29.15	1, 9, 10	29.15	58.1 ( $S_s-D2$ )	57.8 ( $S_s-D2$ )	58.3 ( $S_s-D2$ )	67.9 ( $S_s-D1$ )	67.9 ( $S_s-D1$ )	68.0 ( $S_s-D1$ )	50
2, 10, 16	23.45	2, 11	22.95	48.4 ( $S_s-D2$ )	48.3 ( $S_s-D2$ )	48.5 ( $S_s-D2$ )	56.5 ( $S_s-N1$ )	56.2 ( $S_s-N1$ )	56.9 ( $S_s-N1$ )	
3, 11, 17	19.50	3, 12	19.50	37.1 ( $S_s-D2$ )	37.1 ( $S_s-D2$ )	37.5 ( $S_s-D1$ )	46.5 ( $S_s-N1$ )	46.2 ( $S_s-N1$ )	46.8 ( $S_s-N1$ )	
4, 12, 18	15.00	4, 13	15.00	24.2 ( $S_s-D1$ )	23.9 ( $S_s-D1$ )	24.4 ( $S_s-D1$ )	32.3 ( $S_s-N1$ )	32.0 ( $S_s-N1$ )	32.5 ( $S_s-N1$ )	

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動  $S_s-D1$ ， $S_s-D2$ ， $S_s-D3$ ， $S_s-F3$  及び  $S_s-N1$  に対して実施。



#### 4.2.2 時刻歴相対変位による評価結果

材料物性の不確かさを考慮した時刻歴相対変位の最大値は 16.3mm であり、基準地震動  $S_s$  時に相対変位が許容限界を超えないことを確認した。

材料物性の不確かさを考慮した  $S_s$  地震時において時刻歴相対変位が最大となる  $S_s - F_3$  を入力したときの O.P. 29.15m 位置での時刻歴相対変位を図 4-1 に示す。

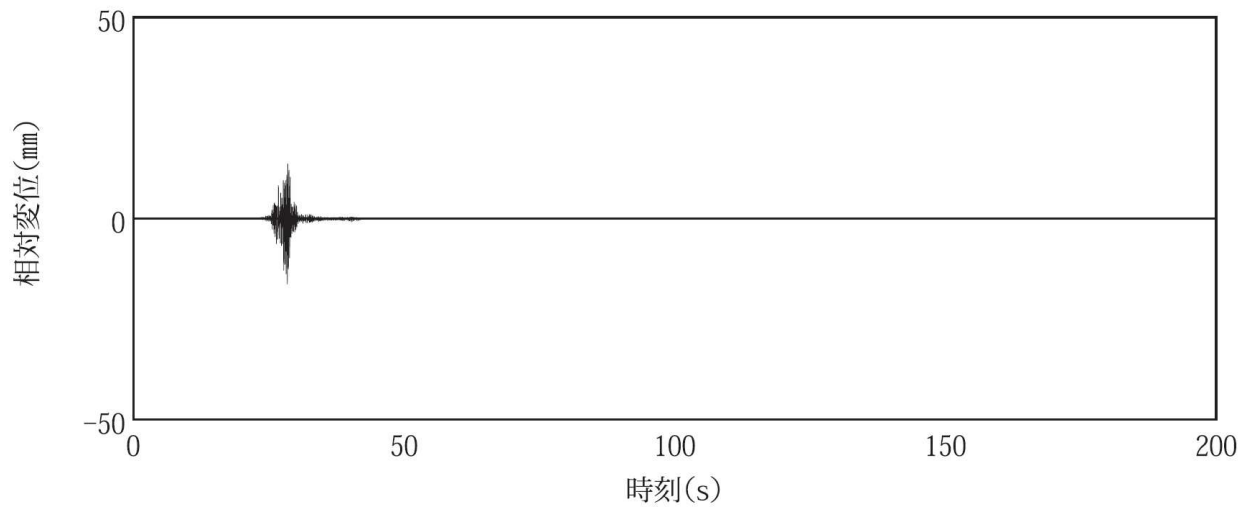


図 4-1 時刻歴相対変位 ( $S_s - F_3$ , O.P. 29.15m, ケース 3)

VI-2-11-2-6 ほう酸水注入系テストタンクの耐震性についての  
計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	3
2.4	適用規格・基準等	4
2.5	記号の説明	5
2.6	計算精度と数値の丸め方	13
3.	評価部位	14
4.	構造強度評価	14
4.1	構造強度評価方法	14
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	14
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	14
4.2.2	許容応力	14
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	14
4.3	固有周期	17
4.4	計算方法	23
4.4.1	応力の計算方法	23
4.5	計算条件	41
4.6	応力の評価	41
4.6.1	胴の応力評価	41
4.6.2	脚の応力評価	41
4.6.3	ボルトの応力評価	45
5.	評価結果	46
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	46
6.	引用文献	53

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備であるほう酸水注入系テストタンクが基準地震動  $S_s$  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、近傍に設置された上位クラス施設であるほう酸水注入系ポンプ出口圧力に対して、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

ほう酸水注入系テストタンクは原子炉建屋 2 階に設置される。ほう酸水注入系テストタンクは図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラスであるほう酸水注入系ポンプ出口圧力に隣接しており、転倒によりほう酸水注入系ポンプ出口圧力に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

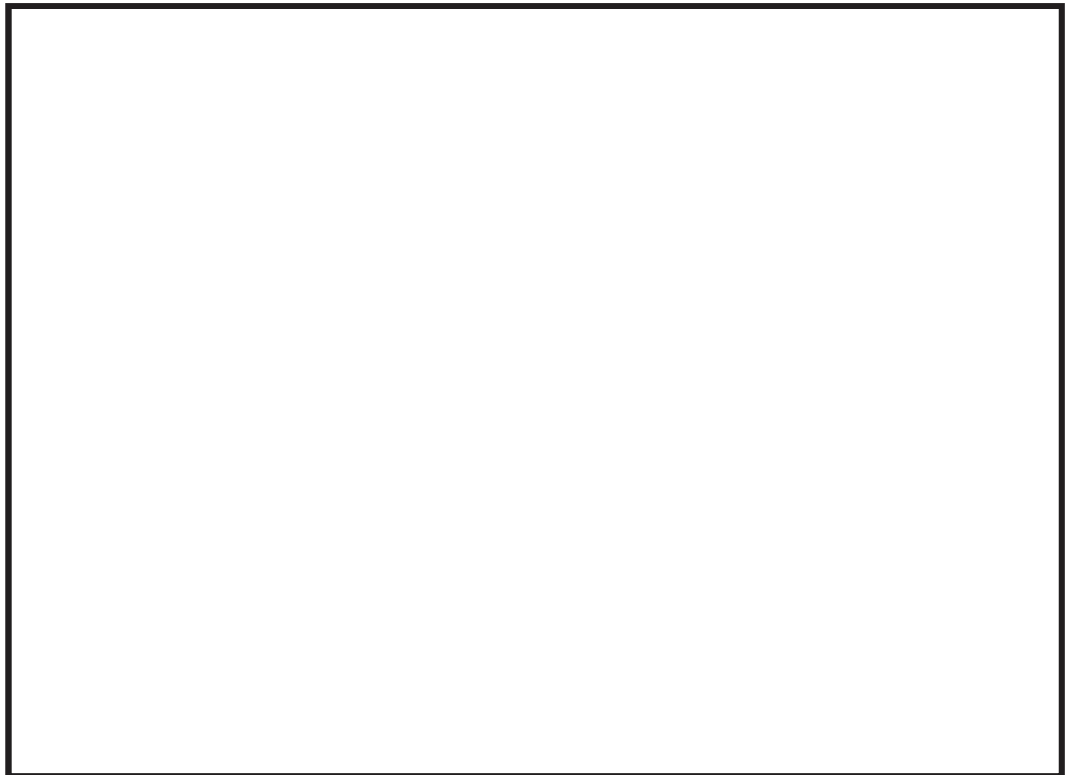


図 2-1 ほう酸水注入系テストタンクとほう酸水注入系ポンプ出口圧力の位置関係

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 構造計画

ほう酸水注入系テストタンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

構造の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を4個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで架台に据え付ける。</p>	<p>上面及び下面に平板を有するたて置円筒形</p>	<p>(単位 : mm)</p>

### 2.3 評価方針

ほう酸水注入系テストタンクの応力評価は、添付書類「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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示すほう酸水注入系テストタンクの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 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、「4.1 構造強度評価方法」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。

ほう酸水注入系テストタンクの耐震評価フローを図 2-2 に示す。

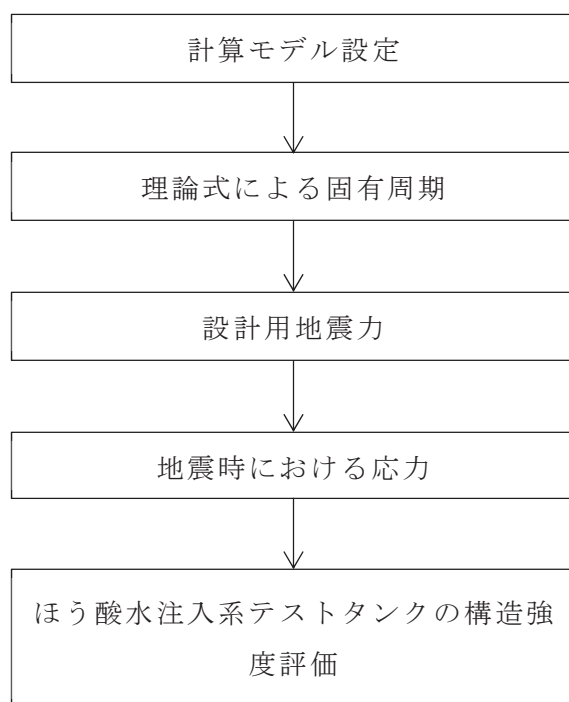


図 2-2 ほう酸水注入系テストタンクの耐震評価フロー

## 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。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 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
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$A_e$	胴の有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_f$	脚の圧縮フランジの断面積	$\text{mm}^2$
$A_s$	脚の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s1}$	脚の半径方向軸に対するせん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s2}$	脚の周方向軸に対するせん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{sf}$	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るT形断面の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{sr}$	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{st}$	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$a$	脚底板の半径方向幅	mm
$b$	脚底板の周方向幅	mm
$C$	脚の座屈曲げモーメントに対する修正係数	—
$C_1$	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
$C_2$	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
$C_{cj}$	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値） ( $j=1$ : 周方向応力, $j=2$ : 軸方向応力)	—
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$C_{lj}$	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値） ( $j=1$ : 周方向応力, $j=2$ : 軸方向応力)	—
$D_i$	胴の内径	mm
$d_1$	脚底板端面からボルト中心までの半径方向の距離	mm
$d_2$	脚底板端面からボルト中心までの周方向の距離	mm
$d_b$	ボルトの呼び径	mm
$E$	胴の縦弾性係数	MPa
$E_s$	脚の縦弾性係数	MPa
$e$	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$F_o$	振動モデル系における水平力	N
$F_b$	ボルトに作用する引張力	N
$F_v$	鉛直方向荷重	N
$f_{br}$	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力	MPa
$f_{bt}$	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力	MPa
$f_c$	脚の許容圧縮応力	MPa



記号	記号の説明	単位
$f_{sb}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_t$	脚の許容引張応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
$G$	胴のせん断弾性係数	MPa
$G_s$	脚のせん断弾性係数	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$H$	水頭	mm
$h$	脚断面のせい	mm
$I$	胴の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$i$	脚の弱軸についての断面二次半径	mm
$i_f$	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成る T 形断面のウェブ軸まわりの断面二次半径	mm
$I_{sf}$	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成る T 形断面のウェブ軸まわりの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_{sr}$	脚の半径方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_{st}$	脚の周方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$J_s$	脚のねじりモーメント係数	mm <sup>4</sup>
$K_{1j}, K_{2j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ( $j=1$ : 周方向応力, $j=2$ : 軸方向応力)	—
$K_c$	胴の脚付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
$K_H$	ばね定数 (水平方向)	N/m
$K_\ell$	胴の脚付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
$K_r$	胴の脚付け根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数 (引用文献(1)より得られる値)	—
$K_v$	ばね定数 (鉛直方向)	N/m
$k_c, k_\ell$	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
$\ell$	脚の長さ	mm
$\ell_c$	脚の中立軸間の距離	mm
$\ell_g$	基礎又は架台から容器重心までの距離	mm
$\ell_k$	脚の有効座屈長さ	mm
$M_1$	Z 方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_3$	Z 方向地震による胴の脚付け根部のねじりモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
$M_c$	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向モーメント	N・mm
$M_\theta$	運転時質量による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\theta 2}$	鉛直地震力による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{s 1}, M_{s 2}$	脚の上下両端に作用する曲げモーメント	N・mm
$M_x$	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm
$M_\phi$	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm
$M_{x 1}$	X方向地震により脚の底部に作用する合成モーメント	N・mm
$M_{z 1}$	Z方向地震により第1脚及び第3脚の底部に作用する合成モーメント	N・mm
$M_{z 2}$	Z方向地震により第2脚及び第4脚の底部に作用する合成モーメント	N・mm
$m_o$	容器の運転時質量	kg
$N_x$	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
$N_\phi$	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
$n$	脚1個当たりのボルトの本数	—
$n_1$	Z方向地震により第1脚及び第3脚の脚1個当たりの引張りを受けるボルトの本数	—
$n_2$	Z方向地震により第2脚及び第4脚の脚1個当たりの引張りを受けるボルトの本数	—
$P$	運転時質量による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
$P_1$	Z方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
$P_2$	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
$Q$	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向荷重	N
$R$	運転時質量による脚の軸力	N
$R_1$	Z方向地震により脚に作用する軸力	N
$R_2$	鉛直方向地震による脚に作用する軸力	N
$R_{x 1}$	X方向地震により脚に作用する軸力	N
$R_{z 1}$	Z方向地震により第1脚及び第3脚に作用する軸力	N
$R_{z 2}$	Z方向地震により第2脚及び第4脚に作用する軸力	N
$r_m$	胴の平均半径	mm
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_a$	胴の許容応力	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
$s$	ボルトと基礎又は架台の縦弾性係数比	—

記号	記号の説明	単位
$T_H$	水平方向の固有周期	s
$T_V$	鉛直方向の固有周期	s
$t$	胴板の厚さ	mm
$u$	脚の中心軸から胴板の厚さの中心までの距離	mm
$X_n$	基礎又は架台が圧縮力を受ける幅	mm
$Z_{sp}$	脚のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sr}$	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{st}$	脚の周方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$\beta, \beta_1, \beta_2$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
$\gamma$	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
$\delta_H$	水平力 $F_0$ による胴重心の水平方向変位量	mm
$\delta_V$	胴重心の鉛直方向変位量	mm
$\Delta_r$	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
$\Delta_{r1}$	水平力 $F_0$ による胴の半径方向局部変位量	mm
$\Delta_{x1}$	水平力 $F_0$ による第1脚上端の水平方向変位量	mm
$\Delta_{x3}$	水平力 $F_0$ による第2脚上端の水平方向変位量	mm
$\Delta_{y1}$	水平力 $F_0$ による第1脚の鉛直方向変位量	mm
$\Delta_{y2}$	鉛直方向荷重 $F_v$ による支持脚の鉛直方向変位量	mm
$\Delta_{y3}$	鉛直方向荷重 $F_v$ による胴の鉛直方向変位量	mm
$\Delta_{y4}$	運転時質量による胴付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量	mm
$\theta$	運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角	rad
$\theta_0$	水平力 $F_0$ による胴の中心軸の傾き角	rad
$\theta_1$	水平力 $F_0$ による第1脚の傾き角	rad
$\theta_1'$	水平力 $F_0$ による胴の第1脚付け根部における局部傾き角	rad
$\theta_3$	水平力 $F_0$ による第2脚の傾き角	rad
$\Lambda$	脚の限界細長比	—
$\lambda$	脚の有効細長比	—
$\nu$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\rho'$	液体の密度 (= 比重 $\times 10^{-6}$ )	kg/mm <sup>3</sup>
$\sigma_0$	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向の一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0x}$	胴の軸方向の一次一般膜応力	MPa
$\sigma_1$	胴の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_2$	胴の一次+二次応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{11}, \sigma_{12}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{13}, \sigma_{14}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{15}, \sigma_{16}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{21}, \sigma_{22}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
$\sigma_{23}, \sigma_{24}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
$\sigma_{25}, \sigma_{26}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次+二次応力	MPa
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1}, \sigma_{b2}$	Z方向地震によりボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b3}$	X方向地震によりボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_s$	脚の組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_{s1}, \sigma_{s2}$	運転時質量による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
$\sigma_{s3}, \sigma_{s4}$	鉛直方向地震による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5}, \sigma_{s6}, \sigma_{s7}$	Z方向地震による脚の圧縮並びに第1脚及び第2脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8}, \sigma_{s9}, \sigma_{s10}$	X方向地震による脚の圧縮並びに半径方向及び周方向の曲げ応力	MPa
$\sigma_{sc}$	脚の圧縮応力の和	MPa
$\sigma_{sr}$	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
$\sigma_{st}$	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
$\sigma_{sx}$	X方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	Z方向地震が作用した場合の第1脚及び第2脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	鉛直方向地震による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x2}$	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}, \sigma_{x4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{x5}$	水平方向地震が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{x7}$	鉛直方向地震による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x8}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x9}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 10},$ $\sigma_{x10}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 11},$ $\sigma_{x11}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 61},$ $\sigma_{x61},$ $\sigma_{\phi 62},$ $\sigma_{x62}$	Z方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 71},$ $\sigma_{x71},$ $\sigma_{\phi 72},$ $\sigma_{x72}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 81},$ $\sigma_{x81},$ $\sigma_{\phi 82},$ $\sigma_{x82}$	Z方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 91},$ $\sigma_{x91},$ $\sigma_{\phi 92},$ $\sigma_{x92}$	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 101},$ $\sigma_{x101},$ $\sigma_{\phi 102},$ $\sigma_{x102}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 111},$ $\sigma_{x111},$ $\sigma_{\phi 112},$ $\sigma_{x112}$	X方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{xx1},$ $\sigma_{xx2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xx3},$ $\sigma_{xx4}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1},$ $\sigma_{xz2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz3},$ $\sigma_{xz4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz5},$ $\sigma_{xz6}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{xz7},$ $\sigma_{xz8}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1},$ $\sigma_{\phi x2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x3},$ $\sigma_{\phi x4}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z1},$ $\sigma_{\phi z2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z3},$ $\sigma_{\phi z4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z5},$ $\sigma_{\phi z6}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z7},$ $\sigma_{\phi z8}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次+二次応力の和	MPa
$\tau_3$	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
$\tau_6$	X方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{b1}$	Z方向地震により第1脚及び第3脚のボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b2}$	Z方向地震により第2脚及び第4脚のボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b3}$	X方向地震によりボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{c1}$	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{c4}$	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\tau_{\theta 1}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 2}$	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 3}$	鉛直方向地震より胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\theta 5}$	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{s 1}$	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{s 2}$	鉛直方向地震による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{s 3,}$	Z方向地震による第1脚及び第2脚のせん断応力	MPa
$\tau_{s 4}$		
$\tau_{s 5}$	X方向地震による脚のせん断応力	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

本資料で表示する数値の丸め方は、表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 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
比重		—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</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>*2</sup>
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
角度		rad	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

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：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：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 位を切り捨て、整数位までの値とする。



### 3. 評価部位

ほう酸水注入系テストタンクの耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ほう酸水注入系テストタンクの転倒により、上位クラス設備が損傷することを防止するために、胴、脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。ほう酸水注入系テストタンク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. 構造強度評価

#### 4.1 構造強度評価方法

- (1) 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 容器の胴は 4 個の脚で支持され、脚はそれぞれボルトで架台に取り付ける。  
この架台については剛とみなす。
- (4) 胴を 4 個の脚で支持し、脚はボルトで架台に据え付けているため、固定端として評価する。
- (5) 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

ほう酸水注入系テストタンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

##### 4.2.2 許容応力

ほう酸水注入系テストタンクの許容応力は、添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2、表 4-3 のとおりとする。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ほう酸水注入系テストタンクの使用材料の許容応力評価のうち設計基準対象設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対処設備)

施設区分	機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	ほう酸水注入 設備		クラス3 容器*1	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_{AS}$

注記\*1：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 許容応力 (クラス2, クラス3 容器)

許容限界*1			
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次+ ピーク応力
$IV_{AS}$	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	一次+二次応力  *2 基準地震動 $S_s$ のみによる疲労解析を行い、疲労 累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値 が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要。

注記\*1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

\*2： $2 \cdot S_y$  を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 $S_m$  は  $2/3 \cdot S_y$  と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1 (ボルト等以外)	許容限界*1 (ボルト等)
	一次応力	一次応力
	引張り	引張り せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f t^*$	$1.5 \cdot f t^*$ $1.5 \cdot f s^*$

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。

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)
胴板	SUS304	最高使用温度	66	—	188	479	—
脚	SUS304	周囲環境温度	50	—	198	504	205
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

### 4.3 固有周期

#### (1) 計算モデル

本容器は、2.2項より脚下端の支持条件を組み合わせることで次の計算モデルができる。

##### a. 第1脚及び第2脚とも固定の場合

図4-1にa項の変形モードを示す。

#### (2) 固有周期

それぞれの脚及び胴について、荷重、モーメント及び変形の釣合い条件の方程式を作ることにより、以下のように固有周期を求める。

##### a. 水平方向の固有周期

第1脚及び第2脚とも固定の場合（図4-1参照）

水平力の釣合いより

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0 \quad \dots\dots\dots (4.3.1)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 \cdot (\ell_g - \ell) \quad \dots\dots\dots (4.3.2)$$

ただし、

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.3.3)$$

水平力  $F_0$  による第1脚の水平方向変位量、傾き角及び鉛直方向変位量は

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (4.3.4)$$

ここで、（図4-1参照）

$$u = \frac{\ell_c}{2} - r_m \quad \dots\dots\dots (4.3.5)$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (4.3.6)$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} \quad \dots\dots\dots (4.3.7)$$

水平力  $F_0$  による胴の半径方向局部変位量と局部傾き角は

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} \dots\dots\dots (4.3.8)$$

$$\theta_{1'} = \frac{K_\ell \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.3.9)$$

ここで、 $K_r$  及び  $K_\ell$  は引用文献 (1) に基づく胴の半径方向荷重による局部変位と長手方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり、シェルパラメータ  $\gamma$  及びアタッチメントパラメータ  $\beta$  は、以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \dots\dots\dots (4.3.10)$$

$$\gamma = r_m / t \dots\dots\dots (4.3.11)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \dots\dots\dots (4.3.12)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \dots\dots\dots (4.3.13)$$

$$\beta = k_\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.3.14)$$

水平力  $F_0$  による第2脚の傾き角（胴の中心軸の傾き角に同じ。）と水平方向変位量は

$$\theta_0 = \frac{-M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \dots\dots\dots (4.3.15)$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \dots\dots (4.3.16)$$

第1脚と胴の傾き角の釣合いより

$$\theta_1 + \theta_{1'} - \theta_0 = 0 \dots\dots\dots (4.3.17)$$

水平力  $F_0$  による第2脚のねじれ角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c) \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.3.18)$$

ここで、 $K_c$  は、引用文献 (1) に基づく胴の周方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり、シェルパラメータ  $\gamma$  及びアタッチメントパラメータ  $\beta$  は、(4.3.10) 式～(4.3.14) 式とする。ただし、(4.3.14) 式の  $k_\ell$  を  $k_c$ 、 $\beta_1$  を  $\beta_2$  及び  $\beta_2$  を  $\beta_1$  に置き換える。

脚と胴の水平方向変位量の釣合いより

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3 \dots\dots\dots (4.3.19)$$

さらに、鉛直方向の釣合いより

$$\Delta_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0 \dots\dots\dots (4.3.20)$$

(4.3.20) 式へ (4.3.6) 式, (4.3.7) 式及び (4.3.15) 式を代入して

$$\frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} - \frac{u \cdot (M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.3.21)$$

(4.3.17) 式へ (4.3.6) 式, (4.3.9) 式及び (4.3.15) 式を代入して

$$\frac{M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K \ell \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.3.22)$$

(4.3.18) 式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.3.23)$$

(4.3.19) 式へ (4.3.4) 式, (4.3.8) 式, (4.3.16) 式及び (4.3.18) 式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} - \frac{Q \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots (4.3.24)$$

以上より, 6変数  $P_1, Q, R_1, M_1, M_3$  及び  $M_c$  に対して (4.3.1) 式, (4.3.2) 式及び (4.3.21) 式～(4.3.24) 式を連立させ,  $\Delta_{x1}, \Delta_{r1}$  及び  $\theta_0$  を求める。

胴重心の変位量  $\delta_H$ , ばね定数  $K_H$  及び固有周期  $T_H$  は次式で求める。

$$\delta_H = \Delta_{x1} + \Delta_{r1} + (\ell_g - \ell) \cdot \theta_0 + \frac{(\ell_g - \ell)^3}{3 \cdot E \cdot I} \cdot F_0 + \frac{(\ell_g - \ell)}{G \cdot A_e} \cdot F_0 \quad \dots\dots\dots (4.3.25)$$

$$K_H = \frac{1000 \cdot F_0}{\delta_H} \quad \dots\dots\dots (4.3.26)$$

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (4.3.27)$$

ここで, 胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.3.28)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.3.29)$$

b. 鉛直方向の固有周期

鉛直方向荷重  $F_v$  による支持脚の鉛直方向変位量と胴の鉛直方向変位量は次式で求める。

$$\Delta_{y2} = \frac{F_v \cdot \ell}{4 \cdot A_s \cdot E_s} \quad \dots\dots\dots (4.3.30)$$

$$\Delta_{y3} = \frac{F_v \cdot (\ell_g - \ell)}{A \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.3.31)$$

ここで、

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.3.32)$$

運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位は次式で求める。

$$\Delta_{y4} = \theta \cdot u \quad \dots\dots\dots (4.3.33)$$

局部傾き角は脚下端の支持条件により、脚下端が固定の場合

$$\theta = \frac{K_\ell \cdot M_\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.3.34)$$

ここで、

$$M_\ell = \left\{ \left( \frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{F_v \cdot u \cdot \ell}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right\} \\ \cdot \left\{ \left( \frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left( \frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left( \frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \\ \dots\dots\dots (4.3.35)$$

以上により、胴重心の鉛直方向変位量  $\delta_v$ 、ばね定数  $K_v$  及び固有周期  $T_v$  は次式で求める。

$$\delta_v = \Delta_{y2} + \Delta_{y3} + \Delta_{y4} \quad \dots\dots\dots (4.3.36)$$

$$K_v = \frac{1000 \cdot F_v}{\delta_v} \quad \dots\dots\dots (4.3.37)$$

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{K_v}} \quad \dots\dots\dots (4.3.38)$$

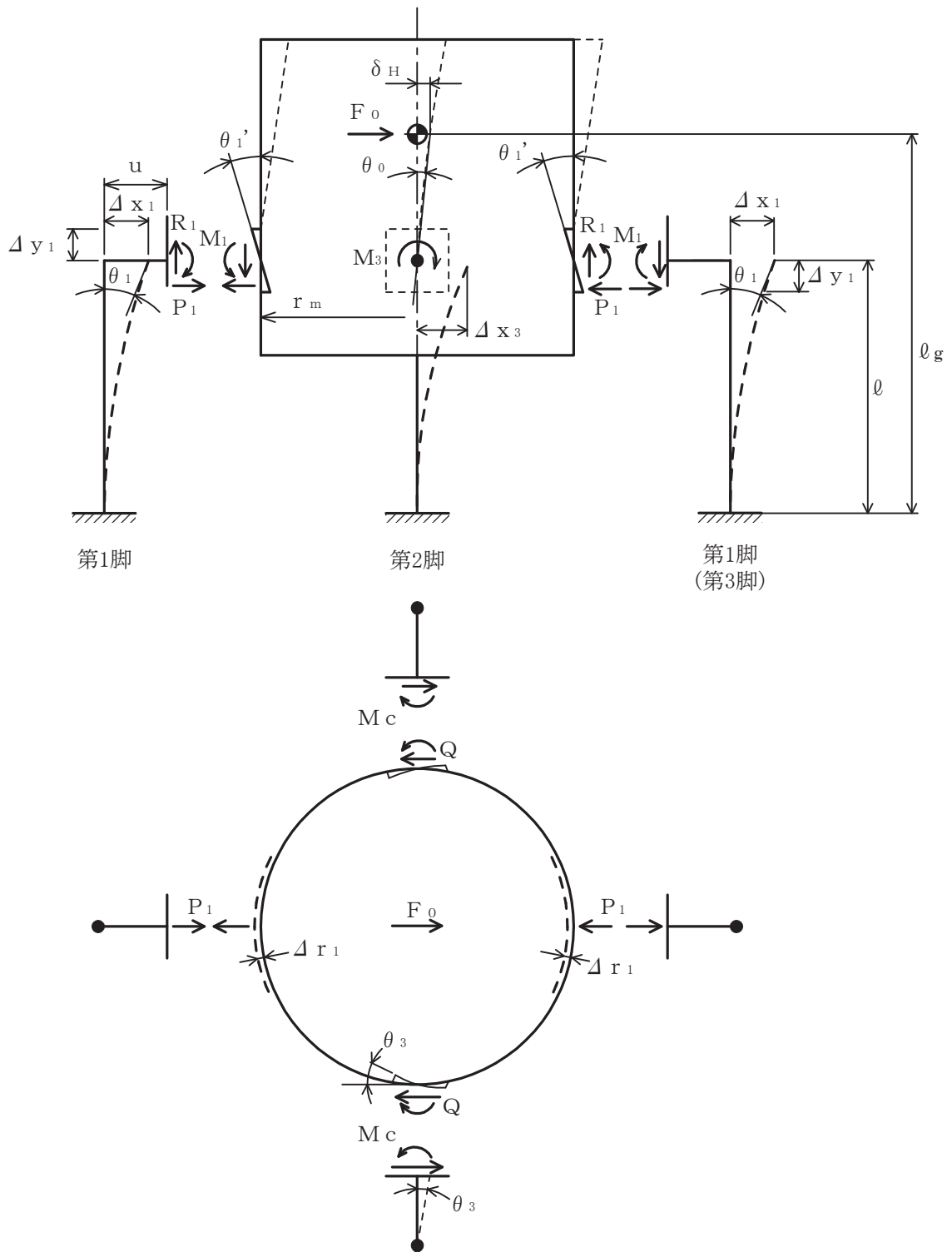


図 4-1 第 1 脚及び第 2 脚とも脚下端が固定されている場合の変形モード



(3) 固有周期の計算結果

計算の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。  
固有周期の計算結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 固有周期 (単位：s)

水平	
鉛直	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

応力計算において、絶対値和を用いる。

4.4.1.1 胴の応力

(1) 静水頭による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \dots\dots\dots (4.4.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 7} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.5)$$

(3) 運転時質量による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいから

$$\begin{aligned} \Delta_r &= \frac{-P \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M\ell) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E} \dots\dots\dots (4.4.1.1.6) \end{aligned}$$

また、脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しい

から

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{(R \cdot u - M\ell) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K\ell \cdot M\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.4.1.1.7) \end{aligned}$$

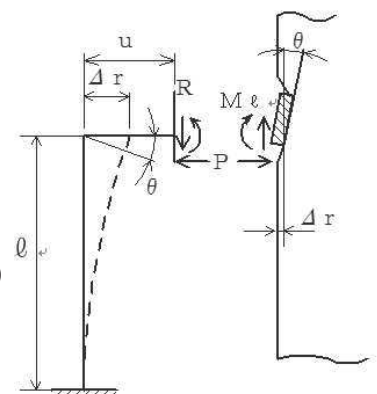


図 4-2 脚下端が固定されている場合の運転時質量による脚及び胴の変形

ここで、

$$R = \frac{m_o \cdot g}{4} \dots\dots\dots (4.4.1.1.8)$$

したがって、(4.4.1.1.8) 式を (4.4.1.1.6) 式及び (4.4.1.1.7) 式に代入した式を連立することにより、 $M_\ell$ を以下のように求める。

$$M_\ell = \left\{ \left( \frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{m_o \cdot g \cdot u \cdot \ell}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right\} \\ \left/ \left\{ \left( \frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left( \frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left( \frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \right. \\ \left. \dots\dots (4.4.1.1.9) \right.$$

P は (4.4.1.1.6) 式に (4.4.1.1.8) 式を代入して整理すると

$$P = \frac{\frac{m_o \cdot g}{4} \cdot u - M_\ell \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ \left/ \frac{\frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}{\dots\dots (4.4.1.1.10)} \right.$$

となる。

鉛直方向曲げモーメント $M_\ell$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータ $\gamma$ 及びアタッチメントパラメータ $\beta$ を以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.11)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.12)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.13)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.14)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.15)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ $\gamma$ 及びアタッチメントパラメータ $\beta$ によって引用文献(2)の図より値(以下\*を付記するもの)を求めることにより、次式で求める。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots (4.4.1.1.16)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots (4.4.1.1.17)$$

半径方向荷重 P により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 4} = \left( \frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left( \frac{P}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.4.1.1.18)$$

$$\sigma_{x 4} = \left( \frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left( \frac{P}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.4.1.1.19)$$

ここで、 $\gamma$  及び  $\beta$  は (4.4.1.1.11) 式 ~ (4.4.1.1.15) 式によるが、(4.4.1.1.15) 式を

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$  のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots (4.4.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$  のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots (4.4.1.1.21)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

に置き換える。

反力 R によるせん断応力は

$$\tau_{\theta 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.22)$$

(4) 水平方向地震による胴の曲げ応力

水平方向地震により胴に転倒モーメントが作用するため、脚が取り付く胴の円周上に以下の曲げ応力が発生する。

$$\sigma_{x5} = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (\ell_g - \ell) \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \dots (4.4.1.1.23)$$

(5) Z方向地震による胴の脚付け根部の応力

4.3項の固有周期計算において(4.3.1)式及び(4.3.2)式の水平力F<sub>o</sub>をC<sub>H</sub>・m<sub>o</sub>・gに置き換えて得られる数値を使用する。

a. 一次応力

半径方向荷重P<sub>1</sub>により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は(4.4.1.1.18)式及び(4.4.1.1.19)式と同様にして

$$\sigma_{\phi 61} = \left( \frac{N_\phi}{P_1 / r_m} \right)^* \cdot \left( \frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots (4.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{x61} = \left( \frac{N_x}{P_1 / r_m} \right)^* \cdot \left( \frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots (4.4.1.1.25)$$

鉛直方向曲げモーメントM<sub>1</sub>により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は(4.4.1.1.16)式及び(4.4.1.1.17)式と同様にして

$$\sigma_{\phi 71} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots (4.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x71} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots (4.4.1.1.27)$$

周方向曲げモーメントM<sub>c</sub>により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は(4.4.1.1.16)式及び(4.4.1.1.17)式と同様にして

$$\sigma_{\phi 81} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c1} \dots (4.4.1.1.28)$$

$$\sigma_{x81} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c2} \dots (4.4.1.1.29)$$

ここで、γ及びβは(4.4.1.1.11)式～(4.4.1.1.15)式によるが、(4.4.1.1.15)式を

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots (4.4.1.1.30)$$

ただし、β ≤ 0.5  
に置き換える。

周方向せん断力  $Q$  によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.31)$$

鉛直方向せん断力  $R_1$  によるせん断応力は

$$\tau_{c2} = \frac{R_1}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.32)$$

ねじりモーメント  $M_3$  により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.1.33)$$

ここで、 $C_1 > C_2$  のとき  $C_1$  を  $C_2$  に置き換える。(図4-3参照)

b. 二次応力

半径方向荷重  $P_1$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 62} = \left( \frac{M_\phi}{P_1} \right)^* \cdot \left( \frac{6 \cdot P_1}{t^2} \right) \dots\dots\dots (4.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{x 62} = \left( \frac{M_x}{P_1} \right)^* \cdot \left( \frac{6 \cdot P_1}{t^2} \right) \dots\dots\dots (4.4.1.1.35)$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 72} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{6 \cdot M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots (4.4.1.1.36)$$

$$\sigma_{x 72} = \left\{ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{6 \cdot M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots (4.4.1.1.37)$$

周方向曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 82} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots (4.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{x 82} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots (4.4.1.1.39)$$

(6) X方向地震による胴の脚付け根部の応力

a. 一次応力

半径方向荷重  $P_1$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 91} = \sigma_{\phi 61} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 91} = \sigma_{x 61} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.41)$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 101} = \sigma_{\phi 71} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 101} = \sigma_{x 71} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.43)$$

周方向曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 111} = \sigma_{\phi 81} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{x 111} = \sigma_{x 81} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.45)$$

周方向せん断力  $Q$  によるせん断応力は

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.46)$$

鉛直方向せん断力  $R_1$  によるせん断応力は

$$\tau_{l5} = \tau_{l2} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.47)$$

ねじりモーメント  $M_3$  により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.48)$$

b. 二次応力

半径方向荷重  $P_1$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.49)$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.50)$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.51)$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.52)$$

周方向曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.53)$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.54)$$

(7) 鉛直方向地震による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合の軸力，胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント及び半径方向荷重を以下のように求める。

$$R_2 = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{4} \dots\dots\dots (4.4.1.1.55)$$

$$M_{\ell 2} = \left\{ \left( \frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{R_2 \cdot u \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} \right\} \\ \left\{ \left( \frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left( \frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_{\ell}}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left( \frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \\ \dots\dots\dots (4.4.1.1.56)$$

$$P_2 = \frac{(R_2 \cdot u - M_{\ell 2}) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ \left\{ \left( \frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \dots\dots (4.4.1.1.57) \right.$$

a. 一次応力

鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell 2}$ により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 8} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell 2} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_{\ell 2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots (4.4.1.1.58)$$

$$\sigma_{x 8} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell 2} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{M_{\ell 2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots (4.4.1.1.59)$$

半径方向荷重 $P_2$ により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 9} = \left( \frac{N_{\phi}}{P_2 / r_m} \right)^* \cdot \left( \frac{P_2}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.4.1.1.60)$$

$$\sigma_{x 9} = \left( \frac{N_x}{P_2 / r_m} \right)^* \cdot \left( \frac{P_2}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.4.1.1.61)$$



b. 二次応力

鉛直方向曲げモーメント  $M_{\theta 2}$  により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 10} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\theta 2} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{6 \cdot M_{\theta 2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \quad \dots \quad (4.4.1.1.62)$$

$$\sigma_{x 10} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\theta 2} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left( \frac{6 \cdot M_{\theta 2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \quad \dots \quad (4.4.1.1.63)$$

半径方向荷重  $P_2$  により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 11} = \left( \frac{M_{\phi}}{P_2} \right)^* \cdot \left( \frac{6 \cdot P_2}{t^2} \right) \quad \dots \quad (4.4.1.1.64)$$

$$\sigma_{x 11} = \left( \frac{M_x}{P_2} \right)^* \cdot \left( \frac{6 \cdot P_2}{t^2} \right) \quad \dots \quad (4.4.1.1.65)$$

せん断応力は次による。

$$\tau_{\theta 3} = \frac{R_2}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (4.4.1.1.66)$$

(8) 組合せ応力

(1) ~ (7) によって求めた胴の脚付け根部に生じる応力を以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{周方向応力 } (\sigma_{0\phi}), \text{ 軸方向応力 } (\sigma_{0x}) \} \quad \dots \quad (4.4.1.1.67)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots \quad (4.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} \quad \dots \quad (4.4.1.1.69)$$

b. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

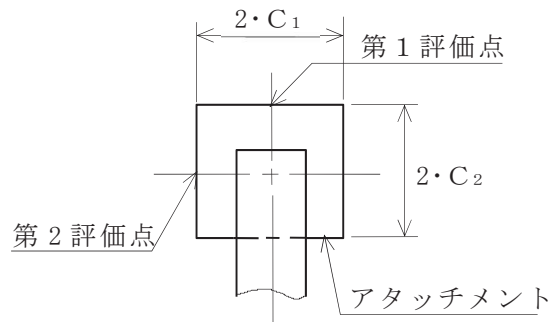


図4-3 胴の評価点

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.70)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x z 1} = & \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} \\ & + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.71) \end{aligned}$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.72)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.73)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.74)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{12} = & \frac{1}{2} \cdot \\ & \left\{ (\sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.75) \end{aligned}$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.76)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.77)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.78)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 81} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.79)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 81} \quad \dots\dots (4.4.1.1.80)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{14} = & \frac{1}{2} \cdot \\ & \left\{ (\sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_3 + \tau_{\ell 3})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.81) \end{aligned}$$

c. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 0 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \dots\dots\dots (4.4.1.1.82)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 0 1} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \dots\dots\dots (4.4.1.1.83)$$

$$\sigma_{1 5} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\} \dots\dots\dots (4.4.1.1.84)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 1 1} + \sigma_{\phi 9} \dots\dots (4.4.1.1.85)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 1 1} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \dots\dots\dots (4.4.1.1.86)$$

$$\sigma_{1 6} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\theta 1} + \tau_{\theta 5} + \tau_6 + \tau_{\theta 3})^2} \right\} \dots\dots\dots (4.4.1.1.87)$$

d. 胴の一次応力の最大値

ここで、b項及びc項により組み合わせた一次応力のうち最大のものを $\sigma_1$ とする。

$$\sigma_1 = \text{Max} (\sigma_{1 1}, \sigma_{1 2}, \sigma_{1 3}, \sigma_{1 4}, \sigma_{1 5}, \sigma_{1 6}) \dots\dots\dots (4.4.1.1.88)$$

e. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値

Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2} + \sigma_{\phi 7 1} + \sigma_{\phi 7 2} \dots\dots\dots (4.4.1.1.89)$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 6 2} + \sigma_{x 7 1} + \sigma_{x 7 2} \dots\dots\dots (4.4.1.1.90)$$

$$\sigma_{2 1} = \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \dots\dots\dots (4.4.1.1.91)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.92)$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.93)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 3})^2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.94)$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 7} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.95)$$

$$\sigma_{x z 7} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.96)$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4 \cdot (\tau_{c1} + \tau_3)^2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.97)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 81} + \sigma_{\phi 82} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.98)$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 82} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.99)$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4 \cdot (\tau_3 + \tau_{\ell 3})^2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.100)$$

f. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値

X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi x 3} = & \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} \\ & + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102} \\ & \dots\dots\dots (4.4.1.1.101) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{x x 3} = & \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} \\ & + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102} \\ & \dots\dots\dots (4.4.1.1.102) \end{aligned}$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.103)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112} + \dots \quad (4.4.1.1.104)$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112} + \dots \quad (4.4.1.1.105)$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{\theta 5} + \tau_{\theta 6} + \tau_{\theta 3})^2} + \dots \quad (4.4.1.1.106)$$

g. 胴の一次+二次応力の最大値

ここで、e項及びf項により組み合わせた一次応力のうち最大のものを $\sigma_2$ とする。

$$\sigma_2 = \text{Max} (\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}) + \dots \quad (4.4.1.1.107)$$

#### 4.4.1.2 脚の応力

脚にかかる荷重について計算する。

##### (1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s} \dots\dots\dots (4.4.1.2.1)$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\text{Max}(|R \cdot u - M_\ell - P \cdot \ell|, |R \cdot u - M_\ell|)}{Z_{st}} \dots\dots (4.4.1.2.2)$$

$$\tau_{s1} = \frac{P}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.3)$$

##### (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s3} = \frac{R_2}{A_s} \dots\dots\dots (4.4.1.2.4)$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\text{Max}(|R_2 \cdot u - M_{\ell 2} - P_2 \cdot \ell|, |R_2 \cdot u - M_{\ell 2}|)}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.5)$$

$$\tau_{s2} = \frac{P_2}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.6)$$

##### (3) Z方向地震による応力

第1脚については

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s} \dots\dots\dots (4.4.1.2.7)$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\text{Max}(|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \ell|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.8)$$

$$\tau_{s3} = \frac{P_1}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.9)$$

第2脚については

$$\sigma_{s7} = \frac{\text{Max}(|Q \cdot \ell - M_3|, |M_3|)}{Z_{sr}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.10)$$

$$\tau_{s4} = \frac{Q}{A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{Z_{sp}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.11)$$

(4) X方向地震による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s} \dots\dots\dots (4.4.1.2.12)$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\text{Max}(|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \varrho|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.13)$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\text{Max}(|Q \cdot \varrho - M_3|, |M_3|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.14)$$

$$\tau_{s5} = \frac{P_1}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{Q}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} \dots\dots\dots (4.4.1.2.15)$$

(5) 組合せ応力

脚の最大応力は次式で求める。

a. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

第1脚については

$$\sigma_{sz1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (4.4.1.2.16)$$

第2脚については

$$\sigma_{sz2} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s4})^2} \dots\dots\dots (4.4.1.2.17)$$

b. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s5})^2} \dots\dots\dots (4.4.1.2.18)$$

ここで、組み合わせた応力のうち最大のものを $\sigma_s$ とする。

$$\sigma_s = \text{Max}(\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}) \dots\dots\dots (4.4.1.2.19)$$

#### 4.4.1.3 ボルトの応力

基礎又は架台には鉛直荷重，水平方向のせん断力，鉛直軸まわりのねじりモーメント及び転倒モーメントが作用する。

(1) Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

a. 引張応力

脚底部に作用するモーメント及び鉛直荷重は，第1脚及び第3脚については脚下端が固定の場合

$$M_{z1} = \left| P_1 \cdot \ell + M_1 - R_1 \cdot u \right| + \left| (P - P_2) \cdot \ell + (M_\ell - M_{\ell 2}) - (R - R_2) \cdot u \right| \dots \quad (4.4.1.3.1)$$

$$R_{z1} = R - R_2 - R_1 \dots \dots \dots (4.4.1.3.2)$$

モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{z1} / R_{z1} \dots \dots \dots (4.4.1.3.3)$$

とする。

図4-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では，ボルトに引張力は作用しないため，引張力の評価は行わない。

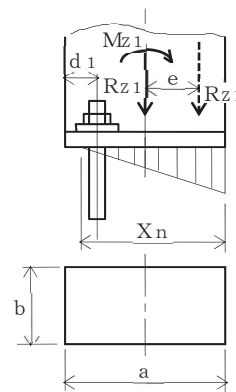


図 4-4

基礎又は架台部に作用する外荷重により生じる荷重の関係 (その1)

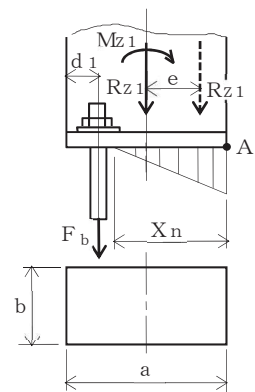


図 4-5

基礎又は架台部に作用する外荷重により生じる荷重の関係 (その2)

一方，鉛直荷重(軸力)  $R_{z1}$  が負になる場合に相当する  $e < 0$  のとき，ボルトに引張力が作用する。

また，図4-5のようにボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \dots \dots \dots (4.4.1.3.4)$$

のとき，ボルトに引張力が生じる。



このとき図4-5において、鉛直荷重の釣合い、A点まわりのモーメントの釣合い、ボルトの伸びと基礎又は架台の縮みの関係から中立軸の位置 $X_n$ は、

$$X_n^3 + 3 \cdot \left( e - \frac{a}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left( e + \frac{a}{2} - d_1 \right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.5)$$

より求めることができ、ボルトに生じる引張力は、

$$F_b = \frac{R_{z1} \cdot \left( e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.6)$$

となる。

したがって、ボルトに生じる引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.7)$$

第2脚及び第4脚のボルトについては、脚下端が固定の場合

$$M_{z2} = \sqrt{(Q \cdot \ell - M_3)^2 + \left\{ (P - P_2) \cdot \ell + (M_\ell - M_{\ell 2}) - (R - R_2) \cdot u \right\}^2} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.8)$$

$$R_{z2} = R - R_2 \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.9)$$

(4.4.1.3.3) 式の $M_{z1}$ を $M_{z2}$ 及び $R_{z1}$ を $R_{z2}$ に置き換え、(4.4.1.3.3) 式～(4.4.1.3.7) 式で得られたボルトの応力を $\sigma_{b2}$ とする。

ただし、上式中で $a$ を $b$ 、 $b$ を $a$ 、 $d_1$ を $d_2$ 及び $n_1$ を $n_2$ に置き換えた場合に得られるボルトの引張応力が、 $\sigma_{b2}$ より大きいときは、その値を $\sigma_{b2}$ とする。

b. せん断応力

第1脚及び第3脚のボルトについては

$$\tau_{b1} = \frac{P_1 + P + P_2}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.10)$$

第2脚及び第4脚のボルトについては

$$\tau_{b2} = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{n \cdot A_b} + \frac{Q \cdot u - M_c}{n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left( \frac{a - 2 \cdot d_1}{2} \right)^2 + \left( \frac{b - 2 \cdot d_2}{2} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.11)$$

- (2) X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合  
 a. 引張応力

脚底部に作用するモーメント及び鉛直荷重は、第1脚及び第4脚については、脚下端が固定の場合

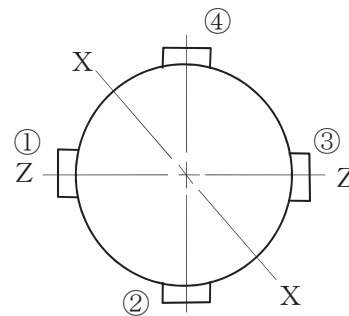


図 4-6 地震力の作用する方向

$$M_{x1} = \left[ \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (P_1 \cdot \ell + M_1 - R_1 \cdot u) \right\}^2 + \left\{ (P - P_2) \cdot \ell + (M\ell - M\ell_2) - (R - R_2) \cdot u \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (Q \cdot \ell - M_3) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots (4.4.1.3.12)$$

$$R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (4.4.1.3.13)$$

(4.4.1.3.3) 式の  $M_{z1}$  を  $M_{x1}$ 、 $R_{z1}$  を  $R_{x1}$  及び (4.4.1.3.6) 式の  $R_{z1}$  を  $R_{x1}$  に置き換え、(4.4.1.3.3) 式～(4.4.1.3.7) 式で得られたボルトの応力を  $\sigma_{b3}$  とする。

ただし、 $a$  を  $b$ 、 $b$  を  $a$ 、 $d_1$  を  $d_2$  及び  $n_1$  を  $n_2$  に置き換えた場合に得られるボルトの引張応力が  $\sigma_{b3}$  より大きいときはその値を  $\sigma_{b3}$  とする。

- b. せん断応力  
 第1脚～第4脚のボルトについては

$$\tau_{b3} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_1}{\sqrt{2}} + P + P_2\right)^2 + \left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)^2}}{n \cdot A_b} + \frac{Q \cdot u - M_c}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left(\frac{a - 2 \cdot d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2 \cdot d_2}{2}\right)^2}} \dots\dots\dots (4.4.1.3.14)$$

(3) ボルトに生じる最大応力

(1) 及び (2) より求められたボルトの応力のうち最大のものを  $\sigma_b$  及び  $\tau_b$  とする。

a. ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max}(\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}) \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.15)$$

b. ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max}(\tau_{b1}, \tau_{b2}, \tau_{b3}) \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.16)$$

#### 4.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ほう酸水注入系テストタンク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。

#### 4.6 応力の評価

##### 4.6.1 胴の応力評価

4.4.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力  $S_a$  以下であること。ただし、 $S_a$  は下表による。

応力の種類	許容応力 $S_a$
	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計引張強さ $S_u$ の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 $S_y$ の 2 倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。

##### 4.6.2 脚の応力評価

(1) 4.4.1.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力  $f_t$  以下であること。ただし、 $f_t$  は下表による。

	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 $f_t$	$1.5 \cdot \left( \frac{F^*}{1.5} \right)$

(2) 圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは次式を満足すること。(座屈の評価)

$$\frac{\sigma_{s r}}{f_{b r}} + \frac{\sigma_{s t}}{f_{b t}} + \frac{\sigma_{s c}}{f_c} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

a.  $f_c$  は次による。

$\lambda \leq \Lambda$  のとき

$$f_c = 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

$\lambda > \Lambda$  のとき

$$f_c = 1.5 \cdot 0.277 \cdot F \cdot \left( \frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

ここで、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.4)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_s}{0.6 \cdot F}} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.5)$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4.6.2.6)$$

$$i = \sqrt{\frac{\text{Min} ( I_{s t}, I_{s r} )}{A_s}} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.7)$$

$\ell_k$  は有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は  $1.2 \cdot \ell$  とする。

b.  $f_{b r}$ ,  $f_{b t}$  は次による。

(a) 脚が鋼管の場合

$$f_{b r} = f_{b t} = f_t \quad \dots\dots\dots (4.6.2.8)$$

(b) 脚が形鋼の場合で弱軸が半径方向軸の場合

イ. H形鋼

$$f_{b r} = f_t \quad \dots\dots\dots (4.6.2.9)$$

$f_{b t}$  は次の 2 つの式により計算した値のうちいずれか大きい値又は  $f_t$  のいずれか小さい方の値とする。

$$f_{b t} = \left( 1 - 0.4 \cdot \frac{\ell^2}{C \cdot \Lambda^2 \cdot i_f^2} \right) \cdot f_t \quad \dots\dots\dots (4.6.2.10)$$

$$f_{b t} = \left( \frac{0.433 \cdot E_s \cdot A_f}{\ell \cdot h} \right) \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (4.6.2.11)$$

ここで、 $i_f$ は脚の圧縮フランジとはりのせいの6分の1から成るT形断面のウェッブ軸まわりの断面二次半径で次式による。

$$i_f = \sqrt{\frac{I_{sf}}{A_{sf}}} \dots\dots\dots (4.6.2.12)$$

Cは次の計算式より計算した値又は2.3のうちいずれか小さい方の値とし、 $M_{s2}$ 及び $M_{s1}$ はそれぞれの脚の両端における強軸まわりの曲げモーメントとする。

この場合において $M_{s2}$ と $M_{s1}$ との比は1より小さいものとし、単曲率の場合を正に、複曲率の場合を負とする。

$$C = 1.75 - 1.05 \cdot \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right) + 0.3 \cdot \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right)^2 \dots\dots\dots (4.6.2.13)$$

脚が形鋼の場合で強軸が半径方向軸の場合(b)と同様にして求められた $f_{br}$ を $f_{bt}$ に、 $f_{bt}$ を $f_{br}$ に置き換える。

c. 応力の区分は次のようにする。

(a) Z方向地震が作用した場合の第1脚及び第3脚について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s5} \dots\dots\dots (4.6.2.14)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s6} \dots\dots\dots (4.6.2.15)$$

$$\sigma_{sr} = 0 \dots\dots\dots (4.6.2.16)$$

脚の強軸が半径方向に直角で、脚下端がその軸まわりに固定の場合、強軸まわりの曲げモーメント $M_{s1}$ 及び $M_{s2}$ は次の2つの式より計算し、 $M_{s2}$ の絶対値が $M_{s1}$ の絶対値より大きいときは $M_{s1}$ と $M_{s2}$ を置き換える。(以下同じ。)

$$M_{s1} = -(M\ell + M\ell_2 + M_1) + (R + R_2 + R_1) \cdot u \dots\dots (4.6.2.17)$$

$$M_{s2} = -(P + P_2 + P_1) \cdot \ell - (M\ell + M\ell_2 + M_1) + (R + R_2 + R_1) \cdot u \dots\dots (4.6.2.18)$$

脚の強軸が半径方向に直角で、脚下端がその軸まわりに単純支持の場合、Cは1.75とする。

(b) Z方向地震が作用した場合の第2脚及び第4脚について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} \dots\dots\dots (4.6.2.19)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} \dots\dots\dots (4.6.2.20)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7} \dots\dots\dots (4.6.2.21)$$

脚の強軸が半径方向で、脚下端がその軸まわりに固定の場合、強軸まわりの曲げモーメントは

$$M_{s1} = M_3 \dots\dots\dots (4.6.2.22)$$

$$M_{s2} = M_3 - Q \cdot \ell \dots\dots\dots (4.6.2.23)$$

脚の強軸が半径方向に直角で，脚下端がその軸まわりに固定の場合，強軸まわりの曲げモーメントは

$$M_{s1} = -(M_{\ell} + M_{\ell 2}) + (R + R_2) \cdot u \quad \dots\dots\dots (4.6.2.24)$$

$$M_{s2} = -(P + P_2) \cdot \ell - (M_{\ell} + M_{\ell 2}) + (R + R_2) \cdot u \quad \dots\dots (4.6.2.25)$$

脚下端が強軸まわりに単純支持の場合，Cは1.75とする。

(c) X方向地震が作用した場合について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.26)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.27)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.28)$$

脚の強軸が半径方向に直角で，脚下端がその軸まわりに固定の場合，強軸まわりの曲げモーメントは

$$M_{s1} = -(M_{\ell} + M_{\ell 2}) + (R + R_2) \cdot u + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-M_1 + R_1 \cdot u) \quad \dots\dots\dots (4.6.2.29)$$

$$M_{s2} = -(P + P_2) \cdot \ell - (M_{\ell} + M_{\ell 2}) + (R + R_2) \cdot u + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (-P_1 - M_1 + R_1 \cdot u) \quad \dots\dots (4.6.2.30)$$

脚の強軸が半径方向で脚下端がその軸まわりに固定の場合，強軸まわりの曲げモーメントは

$$M_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot M_3 \quad \dots\dots\dots (4.6.2.31)$$

$$M_{s2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (M_3 - Q \cdot \ell) \quad \dots\dots\dots (4.6.2.32)$$

脚下端が強軸まわりに単純支持の場合，Cは1.75とする。

4.6.3 ボルトの応力評価

4.4.1.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は次式により求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断力  $f_{sb}$  以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

ただし  $f_{to}$  及び  $f_{sb}$  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 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ほう酸水注入系テストタンク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。

【ほう酸水注入系ステンタノク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)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
ほう酸水注入系ステンタノク	C	原子炉建屋 O.P.22.50*	—	—	—	—	C <sub>H</sub> =2.12	C <sub>V</sub> =1.56	静水頭	66	50

注記\*：基準レベルを示す。

1.2 機器要目

m <sub>0</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	E (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	G (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)	φ (mm)	φ <sub>c</sub> (mm)	φ <sub>g</sub> (mm)	H (mm)	K <sub>c</sub>	K <sub>r</sub>		
	965	4.0	192000*1	193000*2	73700*1	74200*2	300	1031	760	1260.8	18788	2666		
C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>s f</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>s r</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>s t</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s f</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s r</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s t</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s 1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s 2</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>s p</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>s r</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>s t</sub> (mm <sup>3</sup> )
75	125	8.349×10 <sup>4</sup>	1.993×10 <sup>6</sup>	1.682×10 <sup>5</sup>	400	1.359×10 <sup>3</sup>	452	444.4	420	533.3	504	2.889×10 <sup>3</sup>	3.987×10 <sup>4</sup>	6.727×10 <sup>3</sup>

K <sub>1 1</sub> *3	K <sub>1 2</sub> *3	K <sub>2 1</sub> *3	K <sub>2 2</sub> *3	C <sub>θ 1</sub>	C <sub>θ 2</sub>	C <sub>c 1</sub>	C <sub>c 2</sub>

J <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )	h (mm)	s	n	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	a (mm)	b (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)
2.311×10 <sup>4</sup>	100	1	4	2	2	122	206	201.1 (M16)	25	25

S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (脚) (MPa)	S <sub>u</sub> (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
188*1	479*1	—	198*2	504*2	205*2	211*2 (40mm<径≦100mm)	394*2	253*2

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

\*3：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3. 計算数値  
 1.3.1 胴に生じる応力  
 (1) 一次一般膜応力

応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力 転倒モーメントによる応力	鉛直方向地震による応力		組合せ一次一般膜応力
			自重による応力	—		鉛直方向地震による応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	—	—	—	—	$\sigma_0=7$
軸方向	$\sigma_{x1}=0$	—	$\sigma_{x2}=1$	$\sigma_{x5}=4$	$\sigma_{x7}=2$	—	—	
せん断	—	—	—	—	—	—	—	

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力(鉛直方向地震時)	運動時質量による応力			水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力			組合せ一次応力		
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半徑方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半徑方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		半徑方向荷重による応力	
Z方向及UK鉛直方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{\phi 4}=1$	—	$\sigma_{\phi 61}=6$	$\sigma_{\phi 71}=7$	—	—	$\sigma_{\phi 8}=3$	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{11}=21$	
		軸方向	$\sigma_{x1}=0$	—	$\sigma_{x3}=2$	$\sigma_{x4}=1$	$\sigma_{x5}=4$	$\sigma_{x61}=6$	$\sigma_{x71}=5$	—	$\sigma_{x7}=2$	$\sigma_{x8}=2$	$\sigma_{x9}=1$		
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=1$	—	$\sigma_{\phi 61}=6$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 9}=1$		$\sigma_{12}=23$
		軸方向	$\sigma_{x1}=0$	—	—	$\sigma_{x4}=1$	$\sigma_{x5}=4$	$\sigma_{x61}=6$	—	—	$\sigma_{x7}=2$	—	$\sigma_{x9}=1$		
		せん断	—	—	$\tau_{\phi 1}=2$	—	—	$\tau_{\phi 2}=8$	—	—	—	$\tau_{\phi 3}=3$	—		
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=1$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{13}=29$	
		軸方向	$\sigma_{x1}=0$	—	$\sigma_{x3}=2$	$\sigma_{x4}=1$	—	—	—	—	$\sigma_{x7}=2$	$\sigma_{x8}=2$	$\sigma_{x9}=1$		
		せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{\phi 3}=12$	—	$\tau_{\phi 4}=10$	—	—	—		
	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=1$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=3$	$\sigma_{\phi 9}=1$		$\sigma_{14}=29$
		軸方向	$\sigma_{x1}=0$	—	—	$\sigma_{x4}=1$	—	—	—	—	$\sigma_{x7}=2$	—	$\sigma_{x9}=1$		
		せん断	—	—	$\tau_{\phi 1}=2$	—	—	—	—	—	—	—	—		
第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{\phi 4}=1$	—	$\sigma_{\phi 91}=4$	$\sigma_{\phi 101}=5$	—	—	—	$\sigma_{\phi 8}=3$	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{15}=32$	
	軸方向	$\sigma_{x1}=0$	—	$\sigma_{x3}=2$	$\sigma_{x4}=1$	$\sigma_{x5}=4$	$\sigma_{x91}=5$	$\sigma_{x101}=4$	—	$\sigma_{x7}=2$	$\sigma_{x8}=2$	$\sigma_{x9}=1$			
	せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{\phi 6}=8$	—	$\tau_{\phi 4}=7$	—	—	—			
第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	—	$\sigma_{\phi 4}=1$	—	$\sigma_{\phi 91}=4$	—	—	—	$\sigma_{\phi 111}=2$	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{16}=34$		
	軸方向	$\sigma_{x1}=0$	—	—	$\sigma_{x4}=1$	$\sigma_{x5}=4$	$\sigma_{x91}=5$	—	—	$\sigma_{x7}=2$	—	$\sigma_{x9}=1$			
	せん断	—	—	$\tau_{\phi 1}=2$	—	—	$\tau_{\phi 6}=8$	—	$\tau_{\phi 5}=5$	—	—	—			

(3) 地震動のみによる一次応力+二次応力 (単位: MPa)

地震の方向	評価点	水平方向地震による応力				鉛直方向地震による応力				組合せ一次応力						
		応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周半径方向荷重による応力								
Z方向及び鉛直方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 61}=6$	$\sigma_{\phi 62}=26$	$\sigma_{\phi 71}=7$	$\sigma_{\phi 72}=13$	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	$\sigma_{\phi 8}=3$	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{\phi 11}=2$	$\sigma_{21}=125$			
		軸方向	$\sigma_{x 61}=6$	$\sigma_{x 62}=14$	$\sigma_{x 71}=5$	$\sigma_{x 72}=13$	—	—	$\sigma_{x 7}=2$	$\sigma_{x 8}=2$	$\sigma_{x 9}=1$	$\sigma_{x 11}=1$				
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 61}=6$	$\sigma_{\phi 62}=26$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{\phi 11}=2$		$\sigma_{22}=83$		
		軸方向	$\sigma_{x 61}=6$	$\sigma_{x 62}=14$	—	—	—	—	$\sigma_{x 7}=2$	—	$\sigma_{x 9}=1$	$\sigma_{x 11}=1$				
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	第三評価点	第一脚側	周方向	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	$\sigma_{\phi 8}=3$	$\sigma_{\phi 9}=1$		$\sigma_{\phi 11}=2$	$\sigma_{23}=64$	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 7}=2$	$\sigma_{x 8}=2$	$\sigma_{x 9}=1$		$\sigma_{x 11}=1$		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—		
		第二脚側	周方向	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 9}=1$		$\sigma_{\phi 11}=2$		$\sigma_{24}=160$
			軸方向	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 7}=2$	—	$\sigma_{x 9}=1$		$\sigma_{x 11}=1$		
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—		
X方向及び鉛直方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 91}=4$	$\sigma_{\phi 92}=18$	$\sigma_{\phi 101}=5$	$\sigma_{\phi 102}=9$	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	$\sigma_{\phi 8}=3$	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{\phi 11}=2$	$\sigma_{25}=118$			
		軸方向	$\sigma_{x 91}=5$	$\sigma_{x 92}=10$	$\sigma_{x 101}=4$	$\sigma_{x 102}=9$	—	—	$\sigma_{x 7}=2$	$\sigma_{x 8}=2$	$\sigma_{x 9}=1$	$\sigma_{x 11}=1$				
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 91}=4$	$\sigma_{\phi 92}=18$	—	—	$\sigma_{\phi 111}=2$	$\sigma_{\phi 112}=48$	—	—	$\sigma_{\phi 9}=1$	$\sigma_{\phi 11}=2$		$\sigma_{26}=162$		
		軸方向	$\sigma_{x 91}=5$	$\sigma_{x 92}=10$	—	—	$\sigma_{x 111}=11$	$\sigma_{x 112}=20$	$\sigma_{x 7}=2$	—	$\sigma_{x 9}=1$	$\sigma_{x 11}=1$				
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力			組合せ応力
	圧縮	せん断	圧縮	せん断	圧縮	せん断	せん断	
Z方向及び鉛直方向	$\sigma_{S1}=3$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S5}=11$	$\tau_{S3}=2$	$\sigma_{S3}=4$	$\tau_{S2}=1$	$\sigma_{SZ1}=55$	
	$\sigma_{S2}=4$	$\tau_{S2}=4$	—	$\tau_{S4}=39$	$\sigma_{S4}=6$	$\tau_{S2}=1$	$\sigma_{SZ2}=90$	
X方向及び鉛直方向	$\sigma_{S1}=3$	$\tau_{S1}=0$	$\sigma_{S8}=8$	$\tau_{S5}=29$	$\sigma_{S3}=4$	$\tau_{S2}=1$	$\sigma_{SX}=90$	

1.3.3 基礎ポルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の方向	引張応力		せん断応力	
Z方向及び鉛直方向	第1脚側	$\sigma_{b1}=1$	$\tau_{b1}=2$	
	第2脚側	$\sigma_{b2}=51$	$\tau_{b2}=15$	
	第3脚側	$\sigma_{b1}=1$	$\tau_{b1}=2$	
	第4脚側	$\sigma_{b2}=51$	$\tau=15$	
X方向及び鉛直方向	第1脚側	$\sigma_{b4}=52$	$\tau_{b3}=11$	
	第2脚側	$\sigma_{b4}=52$	$\tau_{b3}=11$	
	第3脚側	$\sigma_{b4}=52$	$\tau_{b3}=11$	
	第4脚側	$\sigma_{b4}=52$	$\tau_{b3}=11$	

1.4. 結論  
1.4.1 固有周期

(単位：s)

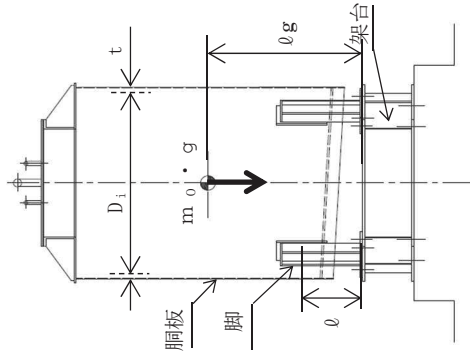
方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 7$	$S_a = 287$
		一次	$\sigma_1 = 34$	$S_a = 431$
		一次十二次	$\sigma_2 = 162$	$S_a = 377$
		組合せ	$\sigma_s = 90$	$f_t = 205$
脚	SUS304	圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\sigma_{s,r}}{f_{b,r}} + \frac{\sigma_{s,t}}{f_{b,t}} + \frac{\sigma_{s,c}}{f_c} \leq 1$	
		(座屈の評価)		
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 52$	$f_{t,s} = 190$
		せん断	$\tau_b = 15$	$f_{s,b} = 146$

すべて許容応力以下である。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 引用文献

- (1) Bijlaard, P.P : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplment, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al. : Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shell due to External Loadings, Welding Reserch Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.



VI-2-11-2-7 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書

## まえがき

本書は、工事計画認可申請書に添付する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設のうち中央制御室天井照明の耐震計算について、説明するものである。

本書は、以下により構成される。

- (1) 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書
- (2) 排煙ダクトの耐震性についての計算書

(1) 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	3
2.4	適用基準	4
2.5	記号の説明	5
2.6	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1	荷重の組合せ	9
4.2.2	許容応力	9
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	9
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	15
4.5	設計用地震力	16
4.6	計算方法	18
4.7	計算条件	20
4.8	応力の評価	21
5.	評価結果	22
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	22
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	22

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、下位クラス設備である中央制御室天井照明が設計用地震動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施設である原子炉制御盤、原子炉補機制御盤等に対して、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

中央制御室天井照明は、図 2-1 の上位クラス配置図に示す上位クラス施設である原子炉制御盤及び原子炉補機制御盤等の上部に設置されており、落下時に原子炉制御盤、原子炉補機制御盤等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

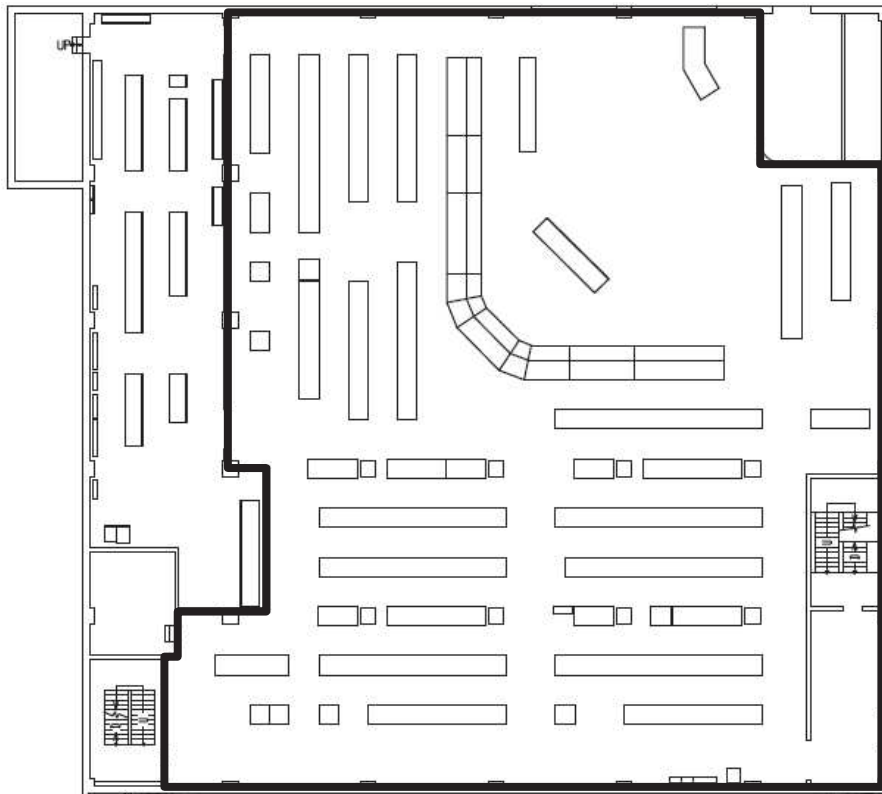


図 2-1 中央制御室内上位クラス施設配置図

2.2 構造計画

中央制御室天井照明の構造計画を表 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>中央制御室天井照明は吊具等を介して格子状鋼製フレームに接続されている。格子状鋼製フレームは、中央制御室天井スラブに埋め込まれたインサートから吊りボルト及びブレース材により吊られている。</p>	<p>吊りボルト、ブレース材（垂直補強）、ブレース材（斜め補強）、格子状鋼製フレーム及びレースウェイによる吊下げ型の照明装置。なお、本計算書では吊りボルト、ブレース材（垂直補強）、ブレース材（斜め補強）、格子状鋼製フレームを天井照明上部と呼び、レースウェイ、吊りボルト（照明支持材）及び照明器具を天井照明下部と呼ぶ。</p>	

### 2.3 評価方針

中央制御室天井照明の応力評価は、添付書類「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」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す中央制御室天井照明の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において「4.4 固有周期」に示す固有周期に基づく設計用地震力により応力等が許容限界内に収まることを、「4.6 計算方法」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。

天井照明下部は、中央制御室天井照明の構造上、固有周期の算出が困難なため、床応答曲線の最大応答加速度による応力計算を行う。

中央制御室天井照明の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

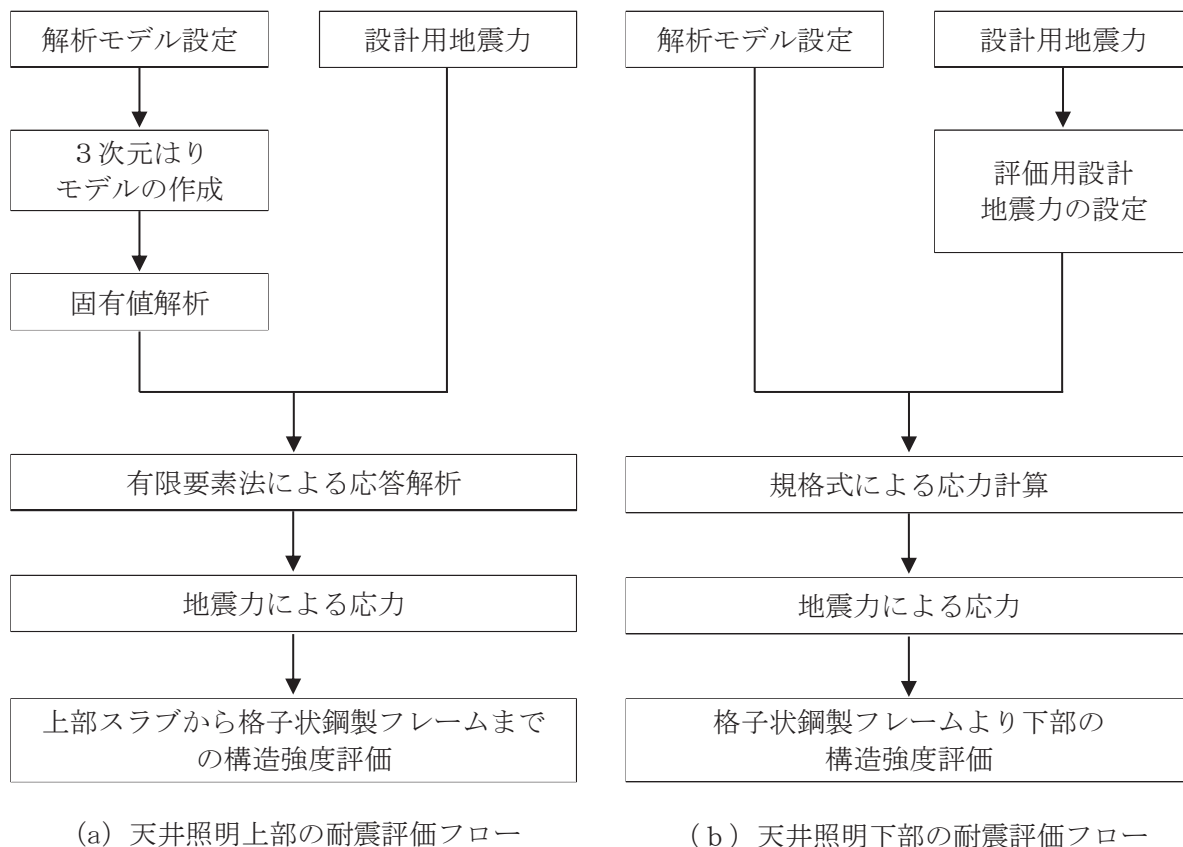


図 2-2 中央制御室天井照明の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用基準を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鋼構造設計規準 -許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 2005 年改定) (以下, 「S 規準」という。)
- ・建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説 (国土交通省, 2013 年制定)
- ・日本産業規格 (J I S)



## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s y</sub>	y軸方向のせん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s z</sub>	z軸方向のせん断断面積	mm <sup>2</sup>
E	縦弾性係数	N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	ポアソン比	—
C <sub>H1</sub>	天井照明上部の評価に用いる水平方向設計震度	—
C <sub>V1</sub>	天井照明上部の評価に用いる鉛直方向設計震度	—
C <sub>H2</sub>	天井照明下部の評価に用いる水平方向設計震度	—
C <sub>V2</sub>	天井照明下部の評価に用いる鉛直方向設計震度	—
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力度	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t</sub>	許容引張応力度	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>s</sub>	許容せん断応力度	N/mm <sup>2</sup>
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
M	曲げモーメント	N・mm
Q	せん断応力	N
T	引張応力	N
I <sub>y</sub>	水平方向の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	鉛直方向の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
J	ねじり剛性	mm <sup>4</sup>
Z <sub>p</sub>	極断面係数	mm <sup>3</sup>
Z <sub>y</sub>	y軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
Z <sub>z</sub>	z軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_c$	圧縮応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_t$	引張応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_b$	曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{bx}$	x軸まわりの曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{by}$	y軸まわりの曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\tau$	せん断応力度	N/mm <sup>2</sup>
F	鋼材の基準強度	N/mm <sup>2</sup>

記号	記号の説明	単位
$\lambda$	細長比	—
$\Lambda$	限界細長比	—

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

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
質量	kg	—	—	整数位
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
算出応力	N/mm <sup>2</sup>	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁
許容応力	N/mm <sup>2</sup>	有効数字 4 桁目	切捨て	有効数字 3 桁
検定値	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位

### 3. 評価部位

中央制御室天井照明は、吊りボルト、格子状鋼製フレーム、レースウェイ等を介して建屋躯体部から吊下げる構造となっている。よって、中央制御室天井照明が落下することにより、波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、吊構造を構成する部材を評価箇所として選定する。中央制御室天井照明の耐震評価部位を図 3-1 に示す。

#### (1) 天井照明上部の評価箇所

応力解析での評価対象部位は、図 3-1 の概略構造図に示す部材のうち格子状鋼製フレーム（上段及び下段）、ブレース材（垂直補強及び斜め補強）及び吊りボルトとする。

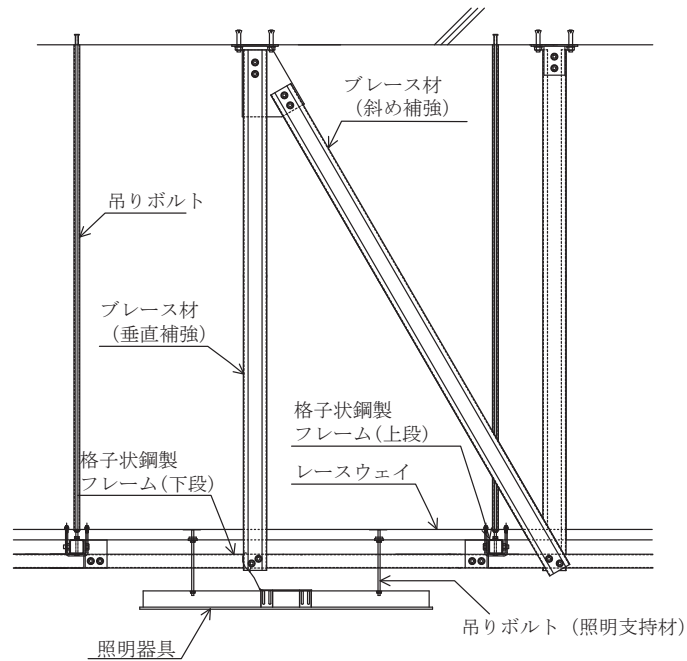


図 3-1 概略構造図

#### (2) 天井照明下部の評価箇所

天井照明下部の評価対象部位は、図 3-1 の概略構造図に示す部材のうち吊りボルト（照明支持材）及びレースウェイとする。

#### 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) 中央制御室天井照明は、原子炉建屋躯体天井面に格子状鋼製フレーム及び吊りボルトを介して設置されている。
- (2) 中央制御室天井照明の重量には、耐震評価部位である吊りボルト（照明支持材）及びレースウェイに加えて、照明器具等を考慮する。
- (3) 地震力は、固有値解析結果を踏まえて設定するものとする。
- (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

中央制御室天井照明の荷重の組合せ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

中央制御室天井照明の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室天井照明の鋼材の許容応力度を表 4-4 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ
その他	その他	中央制御室 天井照明	C	—*1	D + K s

注記\*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ（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
その他	その他	中央制御室 天井照明	—	—*2	D + K s

注記\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力

要求機能	機能設計上の性能目標	外力の状態	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
波及的影響防止	上位クラス施設に波及的な影響を及ぼさないこと	S s 地震時	天井照明上部 天井照明下部	部材に生じる応力が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	S 規準における短期許容応力度に基づく許容値

表 4-4 鋼材の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

鉄骨種類		F 値	短期	
			圧縮 引張 曲げ	せん断
SSC400	t ≤ 40	235	235	135
STKR400				
SWRM		205*	205	—
SGHC		205	205	118

注記\* : F 値が規定されていないため、「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説(国土交通省, 2013 年制定)」に記載されている値を準用する。

### 4.3 解析モデル及び諸元

中央制御室天井照明上部の解析モデルを図 4-1 に示す。中央制御室天井照明下部のうちレースウェイの解析モデルを図 4-2 に示す。

- (1) 解析モデルの諸元及び部材の断面性能を表 4-5 及び表 4-6 に示す。
- (2) 中央制御室天井照明上部の解析モデルは、各部材を表 4-7 に示す要素を用いてモデル化する。なお、モデル化は基本部材の軸心で行うものとする。
- (3) レースウェイの解析モデルは、最大スパンを対象に 2 連梁にてモデル化する。
- (4) 中央制御室天井照明上部の解析コードは「fappase」、中央制御室天井照明下部の解析コードは「KANSAS2」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5-63 計算機プログラム（解析コード）の概要・fappase」及び「VI-5-63 計算機プログラム（解析コード）の概要・KANSAS2」に示す。

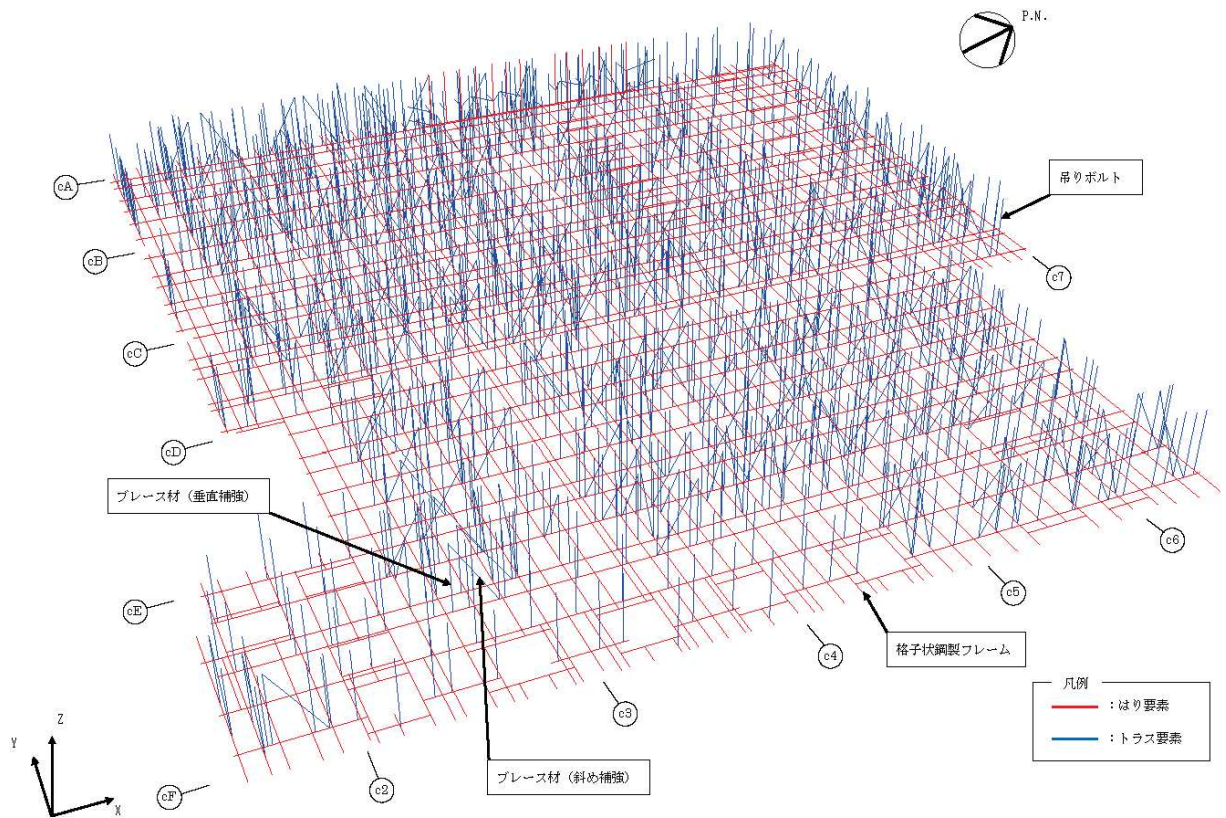


図 4-1 中央制御室天井照明上部の解析モデル



図 4-2 中央制御室天井照明下部レースウェイの解析モデル



表 4-5 解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	STKR400 SSC400 SWRM
縦弾性係数	E	N/mm <sup>2</sup>	205000
ポアソン比	$\nu$	—	0.3

表 4-6 断面性能

部位	断面積 A [mm <sup>2</sup> ]	せん断 断面積		断面二次 モーメント		断面係数		
		A <sub>sy</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>sz</sub> [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	Z <sub>y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	Z <sub>z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	Z <sub>p</sub> [mm <sup>3</sup> ]
ブレース材 (垂直補強)	700.7	—	—	—	—	—	—	—
ブレース材 (斜め補強)	700.7	—	—	—	—	—	—	—
格子状鋼製 フレーム	517.2	276	276	283000	283000	9440	9440	—
吊りボルト	49.1	—	—	—	—	—	—	—
レースウェイ	343.7	187.2	93.6	93300	73800	4530	3240	—

表 4-7 使用要素

部位	使用要素	使用材料	使用断面	備考
ブレース材 (垂直補強)	トラス要素	SSC400	C-100×50×20×3.2	
ブレース材 (斜め補強)	トラス要素	SSC400	C-100×50×20×3.2	
格子状鋼製 フレーム	はり要素	STKR400	□-60×60×2.3	
吊りボルト	トラス要素	SWRM	φ = 3/8"	

#### 4.4 固有周期

図 4-1 を用いて天井照明上部の固有値解析結果を表 4-8 に示す。固有周期は 0.05s 以下であり剛であることを確認した。

天井照明下部は，中央制御室天井照明の構造上，固有周期の算出が困難なため，床応答曲線の最大応答加速度による応力計算を行う。

表 4-8 固有値解析結果（天井照明上部）

次数	卓越方向	固有周期 (s)
1	水平	0.042
2	鉛直	0.042

#### 4.5 設計用地震力

##### (1) 天井照明上部

天井照明上部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、添付書類「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 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

建物・構築物	据付場所及び床面高さ (m)	減衰定数 (%)	基準地震動 $S_s$	
			水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
制御建屋	0. P. 29. 150 (0. P. 22. 950* <sup>1</sup> )	2. 0	$C_{H1}=4. 05$	$C_{V1}=2. 29$

注記\*1：基準床レベルを示す。

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

建物・構築物	据付場所及び床面高さ (m)	減衰定数 (%)	基準地震動 $S_s$	
			水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
制御建屋	0. P. 29. 150 (0. P. 22. 950* <sup>2</sup> )	2. 0	$C_{H1}=4. 05$	$C_{V1}=2. 29$

注記\*2：基準床レベルを示す。

(2) 天井照明下部

天井照明下部に用いる設計用地震力を表 4-11 及び表 4-12 に示す。格子状鋼製フレームより下部の天井照明は吊りボルトにて下部質量が吊り下がる構造となっており，固有周期の算出が困難なことから床応答曲線の最大応答加速度を評価用加速度として耐震評価を行う。

表 4-11 設計用地震力（設計基準対象施設）

建物・構築物	据付場所及び床面高さ (m)	減衰定数 (%)	基準地震動 $S_s$	
			水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
制御建屋	0. P. 29. 150 (0. P. 22. 950* <sup>1</sup> )	2. 0	$C_{H2}=26. 12$	$C_{V2}=14. 87$

注記\*1：基準床レベルを示す。

表 4-12 設計用地震力（重大事故等対処設備）

建物・構築物	据付場所及び床面高さ (m)	減衰定数 (%)	基準地震動 $S_s$	
			水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
制御建屋	0. P. 29. 150 (0. P. 22. 950* <sup>2</sup> )	2. 0	$C_{H2}=26. 12$	$C_{V2}=14. 87$

注記\*2：基準床レベルを示す。

#### 4.6 計算方法

S 規準に基づき、吊材及び下地鉄骨の断面に生じる軸力及び曲げモーメント並びにせん断応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認する。

##### (1) 圧縮応力に対する断面の評価方法

圧縮応力が生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる圧縮応力度が許容圧縮応力度を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1$$

ここで、

$\sigma_c$  : 圧縮応力度 (=  $N/A$ ) ( $N/mm^2$ )

$N$  : 圧縮応力 (N)

$A$  : 全断面積 ( $mm^2$ )

$f_c$  : 許容圧縮応力度 ( $N/mm^2$ )

##### (2) 引張応力に対する断面の評価方法

引張応力が生じる部材は、部材に生じる引張応力度が許容引張応力度を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} \leq 1$$

ここで、

$\sigma_t$  : 引張応力度 (=  $T/A$ ) ( $N/mm^2$ )

$T$  : 引張応力 (N)

$A$  : 断面積 ( $mm^2$ )

$f_t$  : 許容引張応力度 ( $N/mm^2$ )

## (3) 曲げモーメントに対する断面の評価方法

曲げモーメントが生じる部材は，座屈長を考慮し，部材に生じる最大曲げ応力度が終局強度に基づく曲げ応力度を超えないことを確認する。曲げ応力は，面内方向及び面外方向ともに考慮する。

$$\frac{\sigma_{bX}}{f_{bX}} + \frac{\sigma_{bY}}{f_{bY}} \leq 1$$

ここで，

$\sigma_{bX}$ ,  $\sigma_{bY}$  : X 軸まわり及び Y 軸まわりの曲げ応力度 (=  $M/Z$ ) ( $N/mm^2$ )

$M$  : 曲げモーメント ( $N \cdot mm$ )

$Z$  : 断面係数 ( $mm^3$ )

$f_{bX}$ ,  $f_{bY}$  : X 軸まわり及び Y 軸まわりの許容曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )

## (4) 曲げモーメント及びせん断応力の組合せ評価方法

曲げモーメント及びせん断応力が生じる部材は，部材に生じる組合せ応力度が許容引張応力度を超えないことを確認する。曲げ応力は，面内方向及び面外方向ともに考慮する。

$$\frac{\sqrt{(\sigma_{bX} + \sigma_{bY})^2 + 3\tau^2}}{f_t} \leq 1$$

ここで，

$\tau$  : せん断応力度 (=  $Q/As$ ) ( $N/mm^2$ )

$Q$  : せん断応力 ( $N$ )

$As$  : せん断断面積 ( $mm^2$ )

## (5) 引張応力，曲げモーメント及びせん断応力の組合せ評価方法

引張応力，曲げモーメント及びせん断応力が生じる部材は，座屈長を考慮し，部材に生じる組合せ応力度が許容引張応力度を超えないことを確認する。曲げ応力は，面内方向及び面外方向ともに考慮する。

$$\frac{\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{bX} + \sigma_{bY})^2 + 3\tau^2}}{f_t} \leq 1$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重は、以下の表 4-13 に示す。また、荷重条件は、常時と地震時増分を考慮した。常時は鉛直下方に重力加速度を作用させた状態とした。

表 4-13 各部品の質量一覧

項目	単位体積質量 及び 単位質量	設置数	重量 [N]	備考
部材自重	8637 kg/m <sup>3</sup>	—	—	
火災感知器	5.98 kg/箇所	34	1992	
自動火災報知設備 電線管	950 kg/本	1	9316	
天井下地	4.07 kg/m <sup>2</sup>	—	—	
天井仕上げ材	0.70 kg/m <sup>2</sup>	—	—	
照明機器	3.23 kg/m <sup>2</sup>	—	—	
その他付帯物	1.00 kg/m <sup>2</sup>	—	—	防災照明, スピーカー, PHS



#### 4.8 応力の評価

4.6 項で求めた各応力度が下表に示す許容引張応力度  $f_t$ 、許容曲げ応力度  $f_b$ 、許容せん断応力度  $f_s$  又は許容圧縮応力度  $f_c$  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	
許容引張応力度 $f_t$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	
許容曲げ応力度 $f_b$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	
許容せん断応力度 $f_s$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	
許容圧縮応力度 $f_c$	$\frac{(1-2/5(\lambda/\Lambda)^2) \times F \times 1.5}{3/2+2/3(\lambda/\Lambda)^2}$	$(\lambda \leq \Lambda)$
	$\frac{18/65 \times F \times 1.5}{(\lambda/\Lambda)^2}$	$(\lambda > \Lambda)$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室天井照明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【天井照明上部の耐震性についての計算結果】及び【天井照明下部の耐震性についての計算結果】に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

重大事故等対処設備としての荷重の組合せ及び許容応力は、設計基準対象施設としての荷重の組合せ及び許容応力と同様であるため、記載を省略する。

【天井照明上部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	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		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
天井照明上部	C	0. P. 29. 150 (0. P. 22. 950*)	0. 042	0. 042	C <sub>H1</sub> =4. 05	C <sub>V1</sub> =2. 29

注記\* : 基準床レベルを示す。

1.2 評価結果

項目	断面の評価結果			備考
ブレース材 (垂直補強)	応力度	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	23.0	
	許容応力度	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	75.5	細長比を考慮
	検定値	$\sigma_c / f_c$	0.31	
ブレース材 (斜め補強)	応力度	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	29.8	
	許容応力度	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	58.9	
	検定値	$\sigma_c / f_c$	0.51	
格子状鋼製 フレーム	応力度	$\sigma_{bX}$ (N/mm <sup>2</sup> )	10.1	
		$\sigma_{bY}$ (N/mm <sup>2</sup> )	84.4	
		$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.36	
		$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	20.7	
	許容応力度	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	
検定値	$\frac{\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{bX} + \sigma_{bY})^2 + 3\tau^2}}{f_t}$	0.44		
吊りボルト	応力度	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	7.24	
	許容応力度	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	19.5	細長比を考慮
	検定値	$\sigma_c / f_c$	0.38	

【天井照明下部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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
天井照明下部	C	0. P. 29. 150 (0. P. 22. 950*)	C <sub>H2</sub> =26. 12	C <sub>V2</sub> =14. 87

注記 \* : 基準床レベルを示す。

1.2 評価結果

項目	断面の評価結果			備考
レースウェイ	応力度	$\sigma_{bx}$ (N/mm <sup>2</sup> )	46. 3	
		$\sigma_{by}$ (N/mm <sup>2</sup> )	124	
		$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	17. 4	
	許容応力度	$f_{bx}$ (N/mm <sup>2</sup> )	205	
		$f_{by}$ (N/mm <sup>2</sup> )	192	
		$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	205	
	検定値	$\frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}}$	0. 87	
$\frac{\sqrt{(\sigma_{bx} + \sigma_{by})^2 + 3\tau^2}}{f_t}$		0. 85		
吊りボルト (照明支持材)	応力度	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	12. 9	
	許容応力度	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	205	
	検定値	$\sigma_t / f_t$	0. 07	

(2) 排煙ダクトの耐震性についての計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用基準	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	7
4.	固有振動数	8
4.1	固有振動数の計算方法	8
5.	構造強度評価	9
5.1	構造強度評価方法	9
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2	許容限界	10
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
5.3	設計用地震力	14
6.	評価結果	14
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	14
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	14
7.	支持構造物設計の基本方針	15
7.1	支持構造物の構造及び種類	15
7.2	支持構造物の耐震性確認	18

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、下位クラス設備である排煙ダクトが設計用地震動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施設である原子炉制御盤、原子炉補機制御盤等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

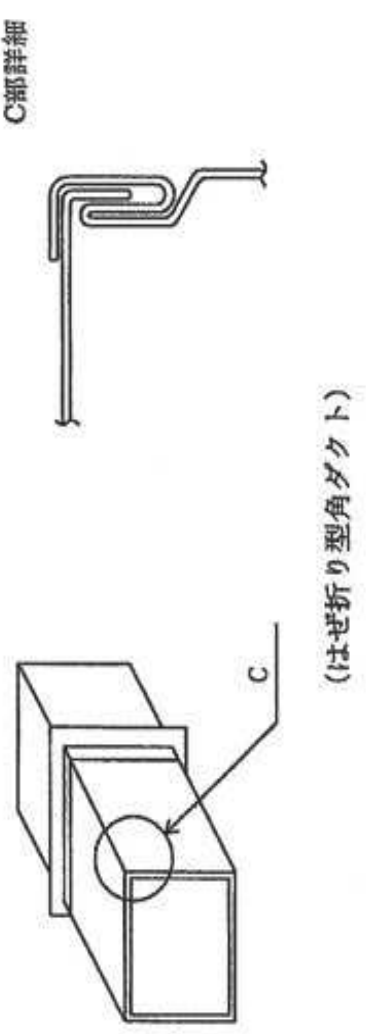
## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

排煙ダクトの構造計画を表 2-1 に示す。



表 2-1 構造計画

計画の概要		概要構造図
基礎・支持構造	主体構造	
支持構造物を介して 躯体へ支持されてい る。	矩形ダクト	 <p>C部詳細 (はぜ折り型角ダクト)</p>

## 2.2 評価方針

排煙ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに、許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

支持間隔の算定は、ダクトの固有振動数 ( $f_d$ ) が十分剛 (20Hz 以上) となるよう算定する手法とダクトの固有振動数に応じた地震力で算定する手法が有り、このうち前者を手法 1、後者を手法 2 と呼び、この 2 つの手法を用いて支持間隔を決定する。以上 2 つの手法による支持点間隔設定手順を図 2-1 に示す。こうして定められた手法 1 の支持間隔以内で支持することにより耐震性を確保する。配置状況により手法 1 の支持点間隔に収まらない場合は、手法 2 の支持間隔以内で支持することにより耐震性を確保する。直管部、曲管部、重量物の取付部の支持間隔に対する方針を以下に示す。

### (1) 直管部

直管部は、図 2-1 で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また、直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設ける。

### (2) 曲管部

曲管部は、直管部に比べ剛性及び強度が低下するが、図 2-1 で求まる支持間隔は、曲管部の縮小率を包絡する支持間隔としている。そのため、曲管部も、図 2-1 で求まる支持間隔以下で支持する。

### (3) 重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ、弁等の重量物を取り付く場合は、重量物自体又は近傍を支持するものとする。なお、近傍を支持する場合においては、図 2-1 で求まる支持間隔と、当該重量物を考慮した支持間隔を用いて、支持点を設計する。

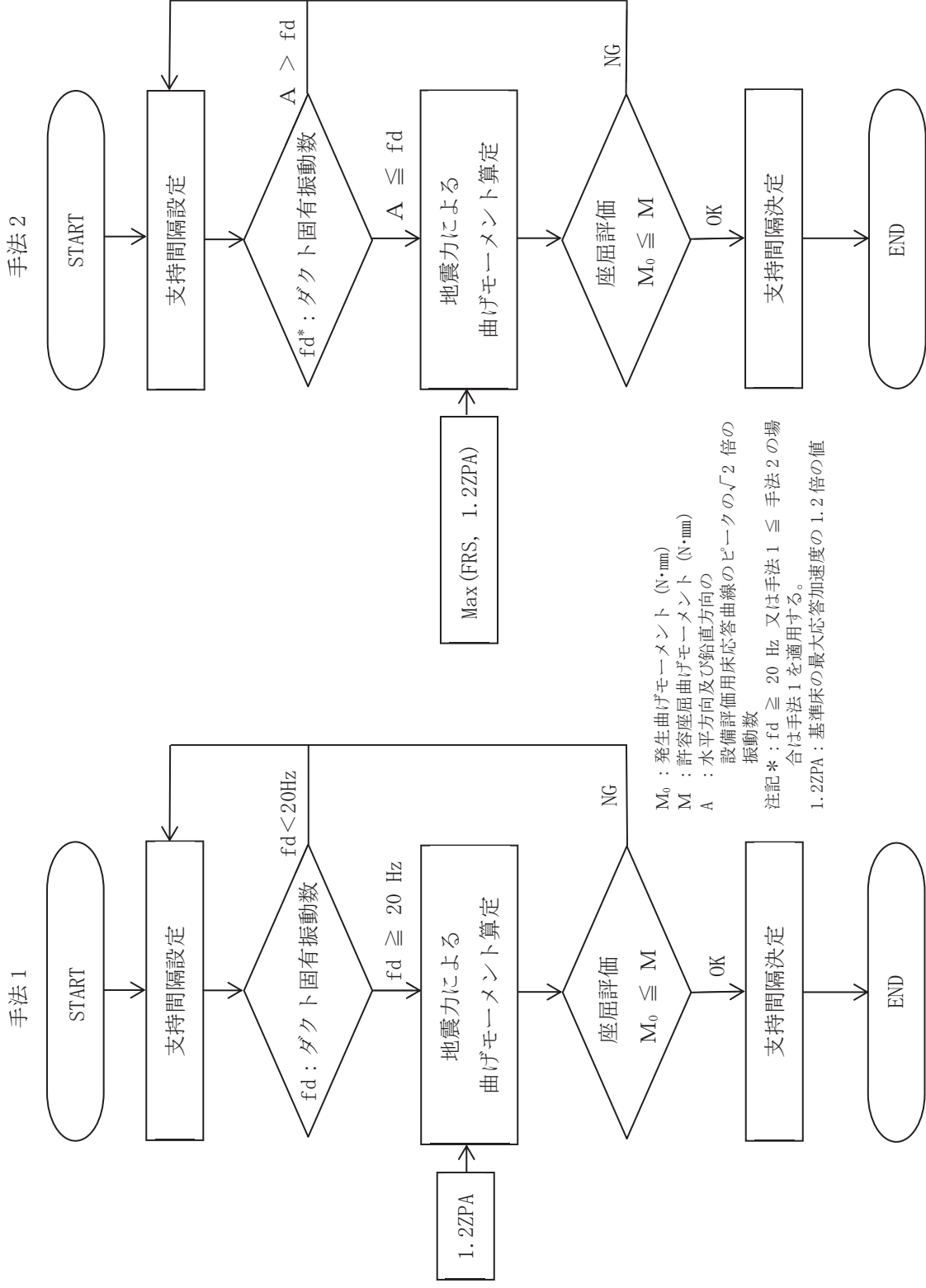


図 2-1 ダクト支持点間隔算出手順

### 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版含む。)) J S M E S N C 1 -2005/2007) (日本機械学会 2007年9月) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・ J I S G 3 3 0 2 (1994) 「溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」
- ・ J I S G 3 3 2 1 (2005) 「溶融 55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板及び鋼帯」

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
f	固有振動数	Hz
$\pi$	円周率	—
$l$	両端単純支持間隔	mm
E	縦弾性係数	N/mm <sup>2</sup>
g	重力加速度	mm/s <sup>2</sup>
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
W	ダクト単位長さ重量	N/mm
$\beta$	断面二次モーメントの安全係数* ( <input type="text"/> )	—
a	ダクト長辺寸法	mm
b	ダクト短辺寸法	mm
ae	ダクトフランジの有効幅	mm
be	ダクトウェブの有効幅	mm
t	ダクト板厚	mm
a/b	アスペクト比	—
M <sub>0</sub>	発生曲げモーメント	N・mm
$\alpha$	設計震度	—
M	許容座屈曲げモーメント	N・mm
S	座屈曲げモーメントの安全性* (= <input type="text"/> )	—
M <sub>T</sub>	座屈限界曲げモーメント	N・mm
$\lambda$	座屈限界曲げモーメントの補正係数*	—
$\nu$	ポアソン比 (=0.3)	—
$\sigma_y$	降伏点	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma$	座屈限界曲げモーメントの安全係数* (= <input type="text"/> )	—

注記\*：出典 共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」より、理論値と実験値の比率から定まる近似曲線を用いる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</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>*2</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</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の場合は、小数点以下表示とする。

\*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

ダクトの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ダクトについて評価を実施する。

4. 固有振動数

4.1 固有振動数の計算方法

(1) 計算モデル

ダクト系は、図 4-1 に示す両端を支持構造物で支持された両端単純支持はりにモデル化する。

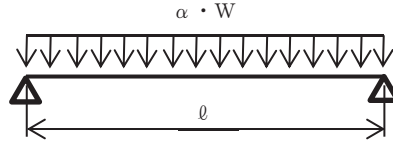


図 4-1 両端単純支持はり

(2) 固有振動数

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は、次式で与えられる。算出に用いる矩形ダクトの断面図を図 4-2 に示す。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、

$$I = \text{[Diagram of a rectangular duct cross-section]} \dots\dots\dots (4.2)$$

(4.1) 及び(4.2)式は共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」による。

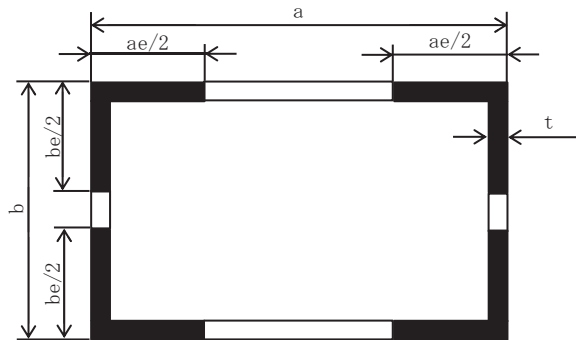


図 4-2 矩形ダクトの断面図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

矩形ダクトの座屈評価を示す。地震時、両端単純支持された矩形ダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、矩形ダクトの座屈による大変形を防ぐために矩形ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leq M \dots\dots\dots (5.2)$$

(5.1)、(5.2) 式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式で与えられる。

$$l = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで、

$$M = S \cdot M_T \dots\dots\dots (5.4)$$

$$M_T = \boxed{\phantom{\dots\dots\dots}} \dots\dots\dots (5.5)$$

$$I = \boxed{\phantom{\dots\dots\dots}} \dots\dots\dots (5.6)$$

(5.2)から(5.6)式は共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」による。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



## 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ダクト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 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

### 5.2.2 許容限界

ダクトの許容限界を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ダクトの許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 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	耐震設計上の 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	排煙ダクト	—	—*1	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_{AS}$

注記\*1：クラス4管の荷重の組合せ及び許容応力状態適用する。

表 5-2 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	排煙ダクト	—	—	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_{AS}$
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S^{*2}$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許 容限界を用い る。)

注記\*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」は「 $D + P_D + M_D + S_S$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容限界 (クラス 4 管)

許容応力状態	許容限界
IV <sub>A</sub> S	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスペン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは式(5.3) から(5.6)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。)

表 5-4 許容限界 (重大事故等クラス 2 管 (クラス 4 管))

許容応力状態	許容限界
IV <sub>A</sub> S	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスペン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは式(5.3) から(5.6)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。)
V <sub>A</sub> S	

表 5-5 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> <sup>*1</sup> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		最高使用温度	50				
ダクト	SGCC	最高使用温度	50	—	184	—	—

注記\*1：常温値から 10%減した値とする。

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対応設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> <sup>*2</sup> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		最高使用温度	50				
ダクト	SGCC	最高使用温度	50	—	184	—	—

注記\*2：常温値から 10%減した値とする。

### 5.3 設計用地震力

本計算書において評価に用いる静的震度及び基準地震動  $S_s$  による地震力は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。計算に考慮する設備評価用床応答曲線、及び添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を表 5-7 に示す。

表 5-7 計算に考慮する設備評価用床応答曲線

建物・構築物	据付場所及び床面高さ (m)	減衰定数 (%)	基準地震動 $S_s$	
			水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
制御建屋	0. P. 29. 150 (0. P. 22. 950*1)	2. 5	4. 05	2. 29

注記\*1：基準床レベルを示す。

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔は、「2.2 評価方針」に示す手法1又は手法2から定めており、設計基準対象施設としての各手法による支持間隔を表 6-1 に示す。この支持間隔以内で支持することにより、耐震性を確保する。

表 6-1 中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）  
(単位：mm)

ダクト種別*2	ダクト		板厚	手法1より定まる支持間隔	手法2より定まる支持間隔*3
	長辺	短辺		( $f_d \geq 20\text{Hz}$ )	( $f_d < 20\text{Hz}$ )
亜鉛鉄板はげ折り型角ダクト	400	300	0.8	□	□
	700	450	1.0		
	750	500	1.0		
	1000	500	1.0		
	1100	700	1.0		

注記\*2：すべて保温材有り。

\*3：算定した支持間隔が 20Hz 以上の場合は，“—” とする。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

重大事故等対処設備としての各手法による支持間隔は、設計基準対象施設としての支持間隔と同様であるため、記載を省略する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 7. 支持構造物設計の基本方針

### 7.1 支持構造物の構造及び種類

支持構造物は、形鋼を組み合わせた溶接構造を原則とし、その用途に応じて以下に大別する。

- (1) ダクト軸直角の2方向を拘束するもの
- (2) ダクト軸方向及び軸直角の3方向を拘束するもの

図7-1～図7-3に支持構造物の代表例を示す。

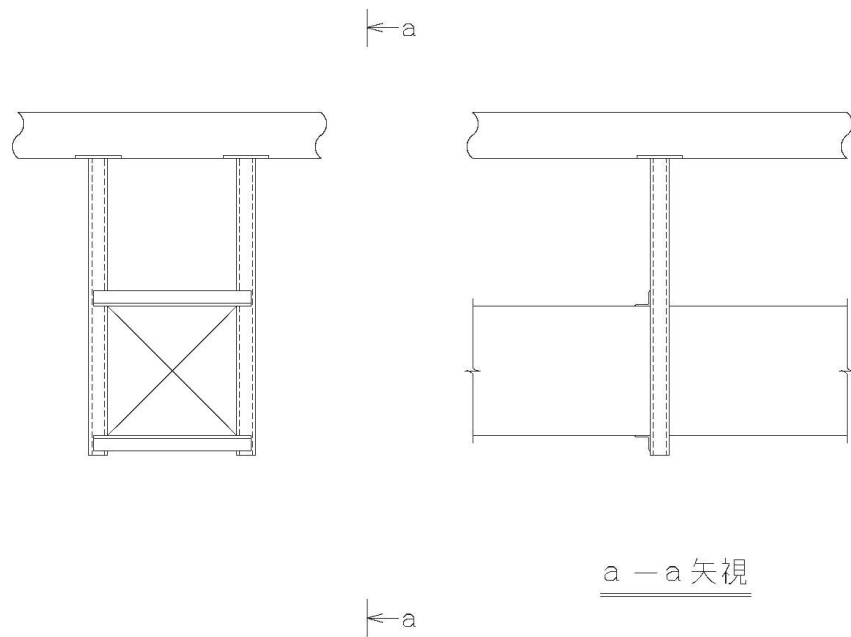


図7-1 2方向（軸直角方向）拘束の代表例

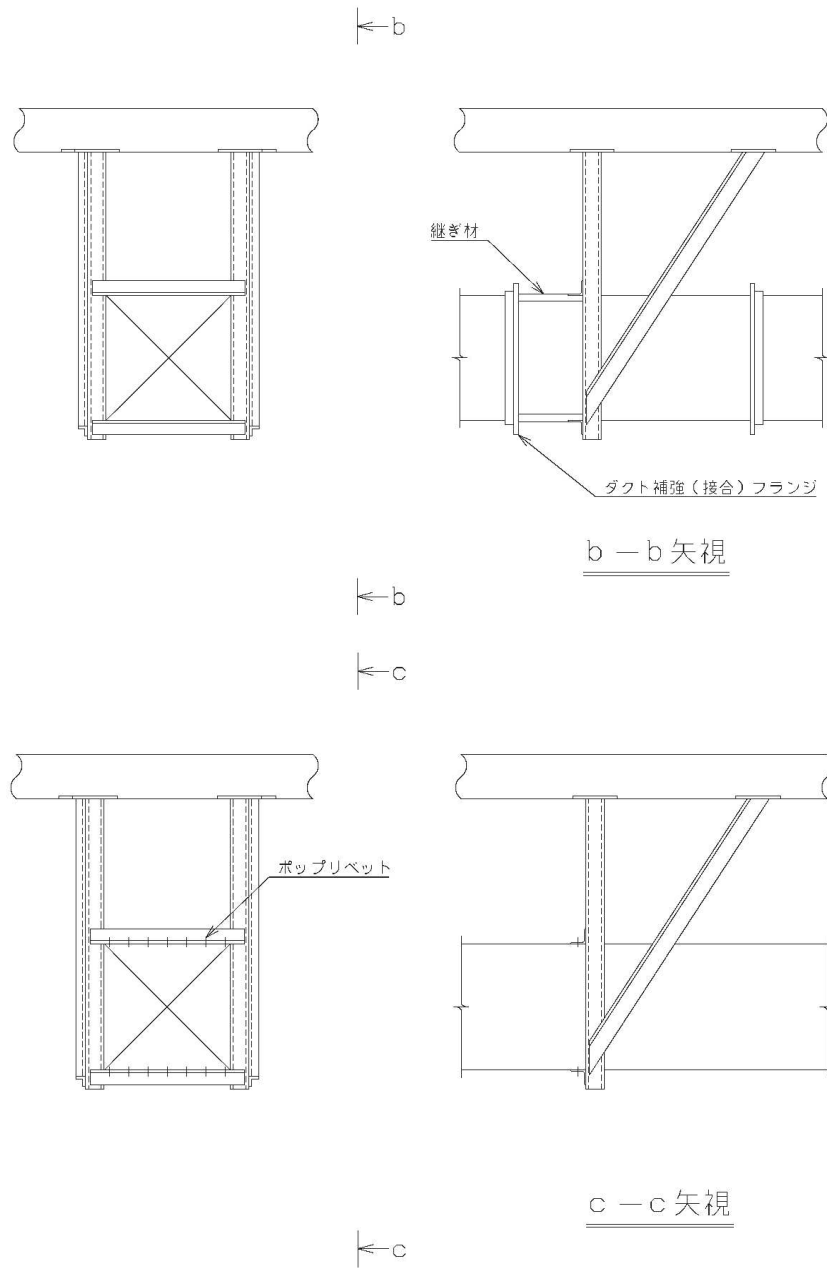


図 7-2 3 方向（軸方向及び軸直角方向）拘束の代表例

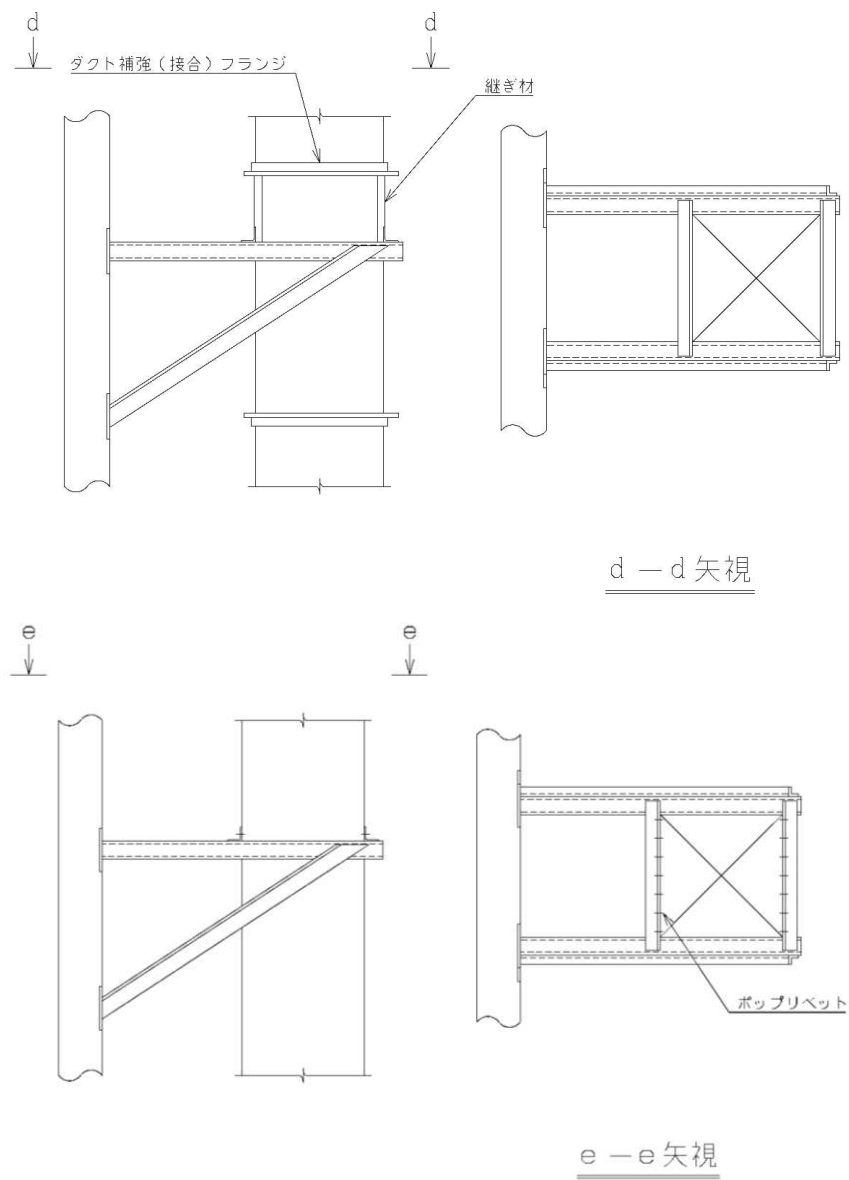


図 7-3 垂直ダクトの支持の代表例



## 7.2 支持構造物の耐震性確認

各支持構造物を，型式（R 2， R 3）ごとに分類し，そのうち型式ごとに最大の発生応力となる支持構造物を代表として，その耐震性の確認結果を表 7-1 に示す。

耐震性の確認には，解析コード「MSC NASTRAN」を使用する。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

表 7-1 ダクト支持構造物の耐震性確認結果

構造物	型式*	許容応力 状態	設計 温度	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
支持架構	R 2	IV <sub>AS</sub>	50℃	235	275
	R 3	IV <sub>AS</sub>	50℃	50	275

注記\*：「R 2」はダクト軸直角の 2 方向を拘束するもの，「R 3」はダクト軸方向及び軸直角の 3 方向を拘束するものを示す。

VI-2-11-2-8 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
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及び許容荷重評価条件	10
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	25
4.6.1 クレーン本体ガーダの応力の計算方法	25
4.6.2 脱線防止ラグの応力の計算方法	29
4.6.3 トロリストップの応力の計算方法	30
4.6.4 浮上り量の計算方法	32
4.6.5 吊具の荷重計算方法	32
4.7 計算条件	32
4.8 応力の評価	33
4.8.1 クレーン本体ガーダの応力評価	33
4.8.2 脱線防止ラグの応力評価	33
4.8.3 トロリストップの応力評価	33
4.8.4 浮上り量の評価	34
4.8.5 吊具の評価	34
5. 評価結果	35
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	35
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	35
6. 引用文献	35
付録1 時刻歴解析の保守性について	42

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である原子炉建屋クレーン（B クラス施設）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、下部に設置された上位クラス施設である使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、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

原子炉建屋クレーンは、原子炉建屋 O.P. 41.20m に設置される。原子炉建屋クレーンは、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された使用済燃料プール上に移動可能であることから、転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び使用済燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

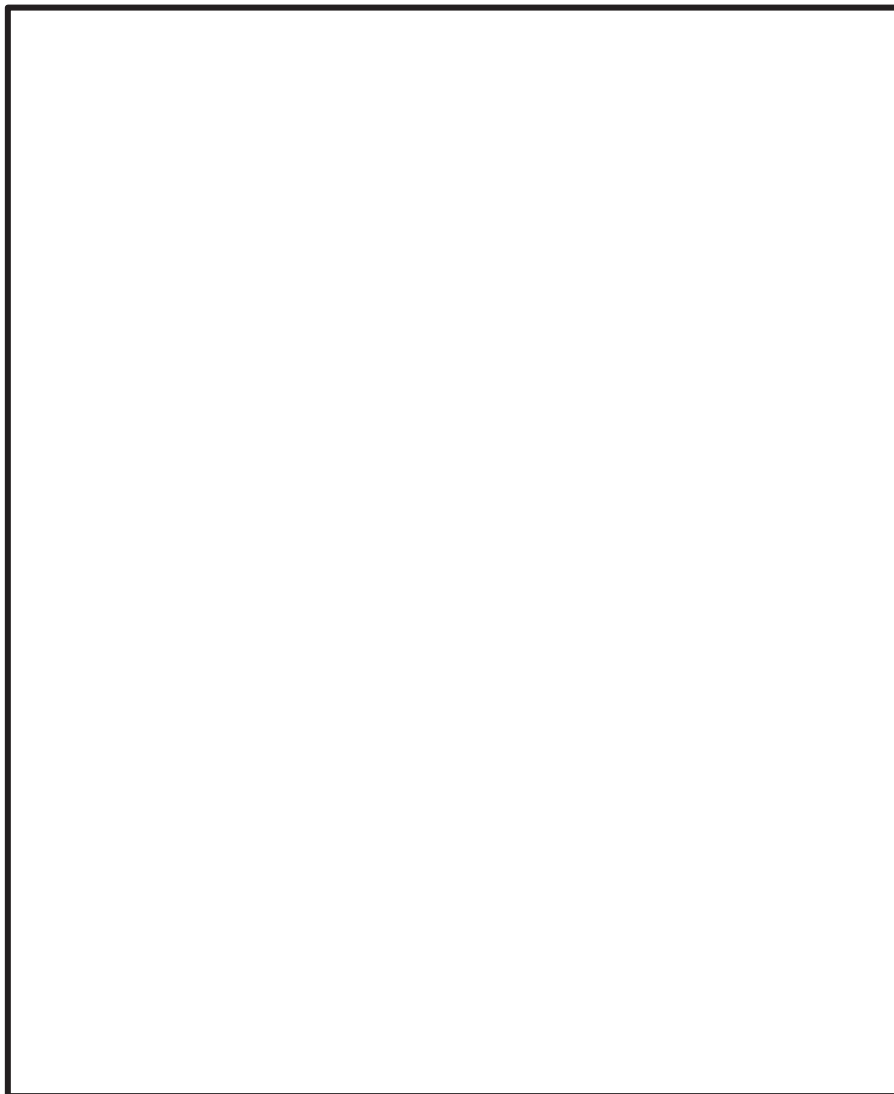


図 2-1 原子炉建屋クレーンの位置関係図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 構造計画

原子炉建屋クレーンの構造計画を表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	
原子炉建屋 0.P. 41.20mのランウェイガード上に設けた走行レール上をクレーン本体ガードが走行し、クレーン本体ガード上部の横行レール上をトロリが横行する。クレーン本体ガードは脱線防止ラグ、トロリはトロリストップパを走行部付近に備えており、各々浮上り代を設けた（鉛直方向の浮上りを拘束しない）構造である。また、吊荷はトロリに設置されたワイヤロープ及びフックを介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。	クレーン本体ガード トロリ	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

原子炉建屋クレーンの応力評価は、添付書類「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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す原子炉建屋クレーンの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」により算出した基準地震動 $S_s$ による荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.6 計算方法」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。

原子炉建屋クレーンの耐震評価フローを図 2-2 に示す。

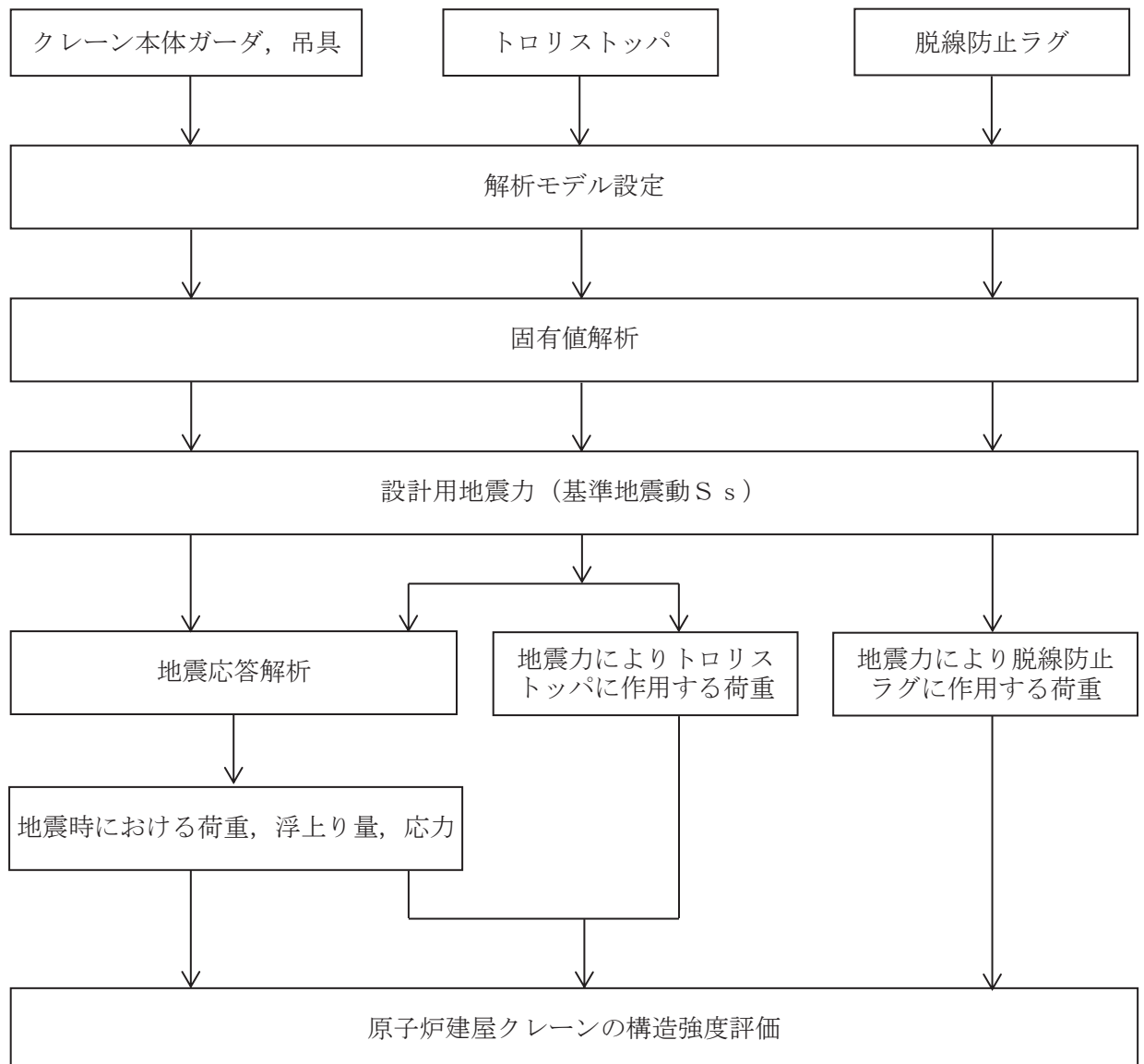


図 2-2 原子炉建屋クレーンの耐震評価フロー

## 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。

- (1) 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
- (2) 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 ・補一  
1984 (社) 日本電気協会
- (3) 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
- (4) 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。)
- (5) クレーン用フック規格 J C A S 1 6 0 0 -2017 (社) 日本クレーン協会

## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_1$	脱線防止ラグの断面積	$\text{mm}^2$
$A_2$	トロリストッパの断面積	$\text{mm}^2$
$A_3$	トロリストッパ根元部のせん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_V$	ガーダ端部の主桁及び補桁の断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度 (EW 方向)	—
$C_{H1}$	水平方向設計震度 (NS 方向)	—
$E_G$	クレーン本体ガーダの縦弾性係数	MPa
$E_W$	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
$F_1$	脱線防止ラグ 1 個あたりに作用する力	N
$F_2$	トロリストッパ 1 個あたりに作用する力	N
$f_{c1}$	脱線防止ラグの許容圧縮応力 ( $f_c^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{s1}$	ガーダ端部の許容せん断応力 ( $f_s^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{s2}$	トロリストッパ根元部の許容せん断応力 ( $f_s^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{t1}$	ガーダ中央部の許容引張応力 ( $f_t^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{c2}$	トロリストッパの許容圧縮応力 ( $f_c^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{t2}$	トロリストッパ根元部の許容引張応力 ( $f_t^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{t3}$	トロリストッパ根元部の許容組合せ応力 ( $f_t^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{w1}$	吊具 (ワイヤロープ) の許容荷重	N
$f_{w2}$	吊具 (フック) の許容荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$H_g$	クレーン本体ガーダの許容浮上り量	mm
$H_t$	トロリの許容浮上り量	mm
$h_g$	クレーン本体ガーダの浮上り量	mm
$h_t$	トロリの浮上り量	mm
$L$	トロリストッパ高さ	mm
$l_1$	脱線防止ラグ鉛直材の長さ	mm
$l_2$	脱線防止ラグ水平材の長さ	mm
$l_3$	トロリストッパ鉛直材の長さ	mm
$l_4$	トロリストッパ水平材の長さ	mm
$l_5$	トロリストッパ当たり面拡張部材の長さ	mm
$l_6$	トロリストッパ根元溶接部の長さ (短)	mm
$l_7$	トロリストッパ根元溶接部の長さ (長)	mm
$M_1$	トロリストッパ根元部の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_H$	ガーダ中央部の水平曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_V$	ガーダ中央部の鉛直曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$



記号	記号の説明	単位
$m_G$	クレーン本体ガーダ部全質量 (サドル, ロッカービームを含む。)	kg
$m_m$	主巻定格荷重 (質量)	kg
$m_t$	トロリ質量 (ワイヤロープ及びフック含む。)	kg
$P_w$	吊具 (ワイヤロープ及びフック) に加わる荷重	N
$Q$	ガーダ端部のせん断力	N
$S_u$	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
$t_1$	脱線防止ラグ鉛直材の板厚	mm
$t_2$	脱線防止ラグ水平材の板厚	mm
$t_3$	トロリストoppa鉛直材の板厚	mm
$t_4$	トロリストoppa水平材の板厚	mm
$t_5$	トロリストoppa当たり面拡張部材の板厚	mm
$t_6$	トロリストoppa根元溶接部の板厚	mm
$Z_1$	トロリストoppa根元部の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_x$	ガーダ中央部の X 軸に関する断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	ガーダ中央部の Y 軸に関する断面係数	mm <sup>3</sup>
$\nu$	ポアソン比	—
$\Sigma_m$	クレーン総質量 ( $m_t + m_G$ )	kg
$\sigma_{c1}$	脱線防止ラグの圧縮応力	MPa
$\sigma_{c2}$	トロリストoppaの圧縮応力	MPa
$\sigma_{Ht}$	$M_H$ によるガーダ中央部の曲げ (引張) 応力	MPa
$\sigma_t$	ガーダ中央部の曲げ (引張) 応力	MPa
$\sigma_{t1}$	トロリストoppa根元部の曲げ (引張) 応力	MPa
$\sigma_{t2}$	トロリストoppa根元部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{vt}$	$M_v$ によるガーダ中央部の曲げ (引張) 応力	MPa
$\tau$	ガーダ端部のせん断応力	MPa
$\tau_1$	トロリストoppa根元部のせん断応力	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字6桁以上を確保する。

本資料で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
設計震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</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>*2</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

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：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

原子炉建屋クレーンの耐震評価は、「4.1 地震応答解析および構造強度評価方法」に示す条件に基づき、クレーン及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、クレーン本体ガーダ、脱線防止ラグ、トロリストopp及び吊具（ワイヤロープ及びフック）について実施する。原子炉建屋クレーン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) 構造概要

図4-1に構造概要図を示す。

耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

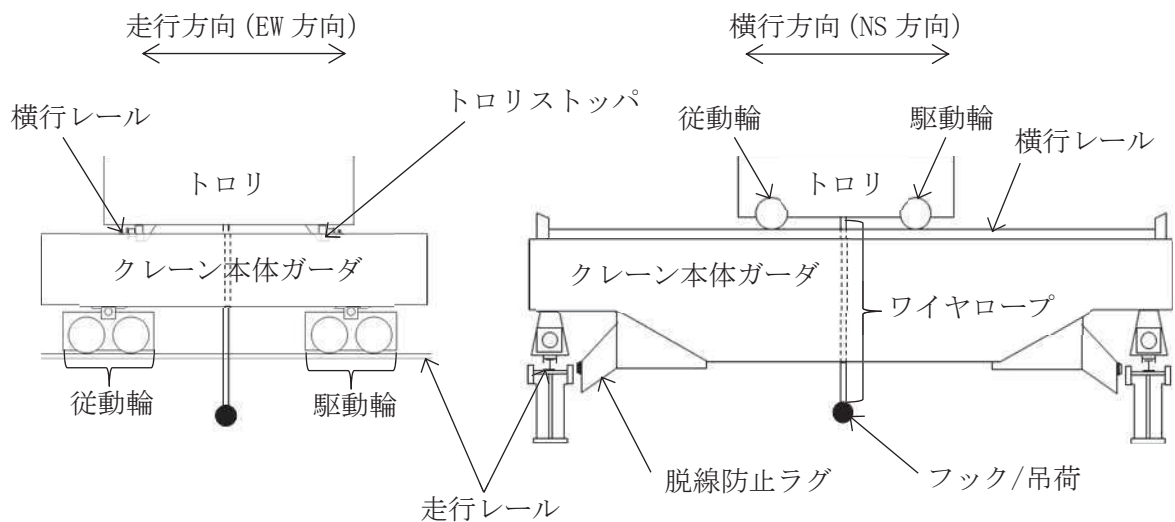


図4-1 構造概要図

###### (2) 走行方向 (EW方向) 水平力

- a. クレーンは、クレーン本体ガーダ及びクレーン本体ガーダを介してトロリが走行レール上に乗っている構造で建屋とは固定されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力が走行方向 (EW方向) に加えられた場合、すべりが生じる。このため、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- b. クレーンの走行車輪は8個であり、そのうちの4個は駆動輪、他の4個が従動輪である。
- c. 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。
- d. 従動輪は、回転部分が連結されていないため、駆動輪のみで水平力を受ける。
- e. トロリは、走行方向 (EW 方向) 水平力が横行レールに対して直角方向であり、トロリがトロリストoppaで拘束されているため、水平力がクレーン本体ガーダに作用する。

###### (3) 横行方向 (NS 方向) 水平力

###### a. クレーン本体ガーダ関係

横行方向 (NS 方向) は、走行レールに対して直角方向であり、クレーン本体ガーダが脱線防止ラグで拘束されているため、水平力がクレーン本体ガーダに作用する。

b. トロリ関係

- (a) トロリはクレーン本体ガーダ上の横行レール上に乗っている構造で、クレーン本体ガーダとは固定されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力がトロリに加えられた場合、すべりが生じる。このため、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) トロリの横行車輪は4個であり、そのうちの2個は駆動輪、他の2個は従動輪である。
- (c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。
- (d) トロリの従動輪は、回転部分が連結されていないので、駆動輪のみで水平力を受ける。

(4) 鉛直方向 (UD方向)

クレーン及びトロリは、レール上にあり、鉛直下向き方向には建屋により支持される。鉛直上向き方向には固定されていないため、鉛直方向 (UD 方向) には浮上りを考慮する。

(5) 評価ケース

表4-1に示す解析ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対しては、クレーンの運転状態と待機状態を想定しケース1~3について評価する。重大事故等対処設備としての条件に対しては、クレーンの待機状態を想定しケース3について評価する。

表4-1 評価ケース

評価対象		クレーン本体ガーダ, 浮上り量, 吊具		
		1	2	3
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●*	—	—
	端部	—	●*	○

●：吊荷有 ○：吊荷無

注記 \*：吊具については、落下評価も実施する。

(6) 地震力

地震力は、原子炉建屋クレーン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、「基準地震動 S s」を用いる。クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにクレーン本体ガーダ及びトロリの浮上り量については、時刻歴加速度波による評価を実施する。また、脱線防止ラグ、トロリストoppaについては、設計用地震力による評価を実施する。

## 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

原子炉建屋クレーン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 4-2 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

### 4.2.2 許容応力

原子炉建屋クレーンの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 に示す。

### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

原子炉建屋クレーンの使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重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 4-5 及び表 4-6 に、重大事故等対処設備に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-2 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
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	原子炉建屋 クレーン	B	—*	$D + P_D + M_D + S$	$IV_{AS}$

注記\* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 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
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	原子炉建屋 クレーン	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として、 $IV_{AS}$ の許容限 界を用いる。)

注記\* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-4 許容応力 (その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張り	せん断	圧縮
IV <sub>AS</sub>	1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *	1.5・f <sub>c</sub> *
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> として, IV <sub>AS</sub> の許容限界を用いる。)			

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 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	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)
クレーン本体 ガーダ	[Redacted]	最高使用温度	—	[Redacted]	[Redacted]	—
		脱線防止ラグ	50			—
トロリストツパ		最高使用温度	—			—

表 4-6 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料	温度条件 (°C)	定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ	[Redacted]	最高使用温度	1.226 × 10 <sup>6</sup>	12.03	1.475 × 10 <sup>7</sup>
フック		最高使用温度	1.226 × 10 <sup>6</sup>	12.91	1.583 × 10 <sup>7</sup>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



表 4-7 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部位	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)
クレーン本体 ガーダ	ガーダ 中央部 ガーダ 端部	最高使用温度	—	[Redacted]	[Redacted]	—
		最高使用温度	—			—
脱線防止ラグ		最高使用温度	—			
トロリストツパ		最高使用温度	—			—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 4.3 解析モデル及び諸元

原子炉建屋クレーンの解析モデルを図 4-3 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【原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) クレーンは、はり要素を用いた有限要素モデルとし、クレーンの質量としてクレーン本体ガード部、トロリ及び吊荷を考慮する。
- (2) 地震応答解析に用いる減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向ともに 2.0%を用いる。
- (3) クレーンと車輪部については、4.1(1)項にて示したクレーンの構造の特徴を踏まえて、解析の入力条件を以下のとおり設定する。

a. クレーンのすべりを考慮した水平力の設定

最大静止摩擦力以上の力が加われば、車輪がレール上をすべることを考慮した水平力を設定する。ここで、最大静止摩擦係数を  $\mu = 0.3$  とし、クレーン各構造部材に発生する水平力は、走行車輪の数と駆動輪の数との関係から以下に示す式から求める。

クレーン本体ガードの走行方向 (EW 方向) に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{4}{8} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

トロリの走行方向 (NS 方向) に作用する水平力

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

b. 浮上りによる衝突の減衰

クレーン及びトロリの浮上りによる衝突の減衰は、引用文献(1)の試験にて得られた反発係数  $e$  から換算した減衰比  $h$  として、 を用いる。反発係数  $e$  と減衰比  $h$  との関係式は次式に、関係図を図 4-2 に示す。

$$e = \exp\left(-\frac{h \pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

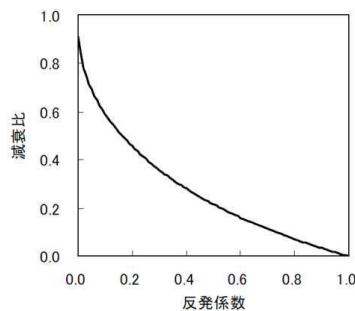


図4-2 反発係数と減衰比の関係

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- (4) 固有値解析及び地震応答解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

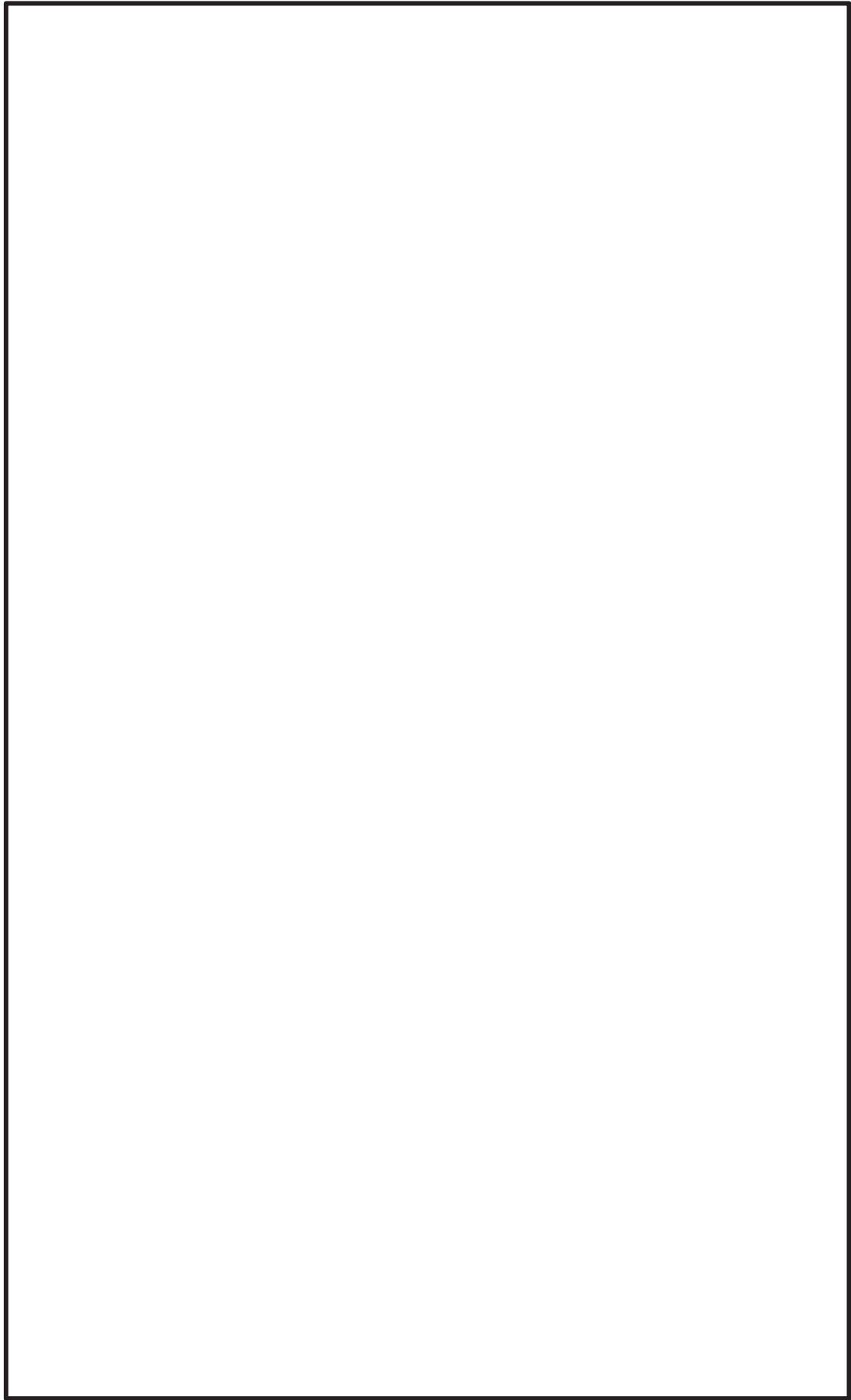


図4-3 原子炉建屋クレーン解析モデル（トロリ中央位置モデル）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4 固有周期

脱線防止ラグへの荷重算出に用いる設計震度を算定するために、クレーン横行方向（NS方向）が卓越する1次固有周期を求める。設計基準対象施設としての検討ケース時における固有周期を表4-8に、重大事故等対処設備としての検討ケース時における固有周期を表4-9に示す。また、振動モード図について図4-4及び図4-5示す。固有周期は、0.05s以下であり、剛であることを確認した。

表 4-8 設計基準対象施設の検討ケース時の固有周期

方向	固有周期 (s)
横行方向 (NS 方向)	T = <input type="text"/>

表 4-9 重大事故等対処設備の検討ケース時の固有周期

方向	固有周期 (s)
横行方向 (NS 方向)	T = <input type="text"/>



図 4-4 設計基準対象施設の検討ケース時の振動モード図



図 4-5 重大事故等対処設備の検討ケース時の振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

脱線防止ラグ及びトロリストッパの評価に用いる設計用地震力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、添付書類「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 4-10 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 <sub>s</sub>		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建屋 O. P. 41. 20 <sup>*1</sup>	— <sup>*2</sup>	□	— <sup>*2</sup>	<sup>*3, *4</sup> C <sub>H</sub> =0. 15	<sup>*5</sup> C <sub>H1</sub> =3. 43	— <sup>*6</sup>

注記\*1：基準床レベルを示す。

- \*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。
- \*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度
- \*4：トロリストッパの評価に適用する。
- \*5：脱線防止ラグの評価に適用する。
- \*6：鉛直方向の設計震度は使用しないため、「—」と記載する。

表 4-11 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 <sub>s</sub>		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建屋 O. P. 41. 20 <sup>*1</sup>	— <sup>*2</sup>	□	— <sup>*2</sup>	<sup>*3, *4</sup> C <sub>H</sub> =0. 15	<sup>*5</sup> C <sub>H1</sub> =3. 43	— <sup>*6</sup>

注記\*1：基準床レベルを示す。

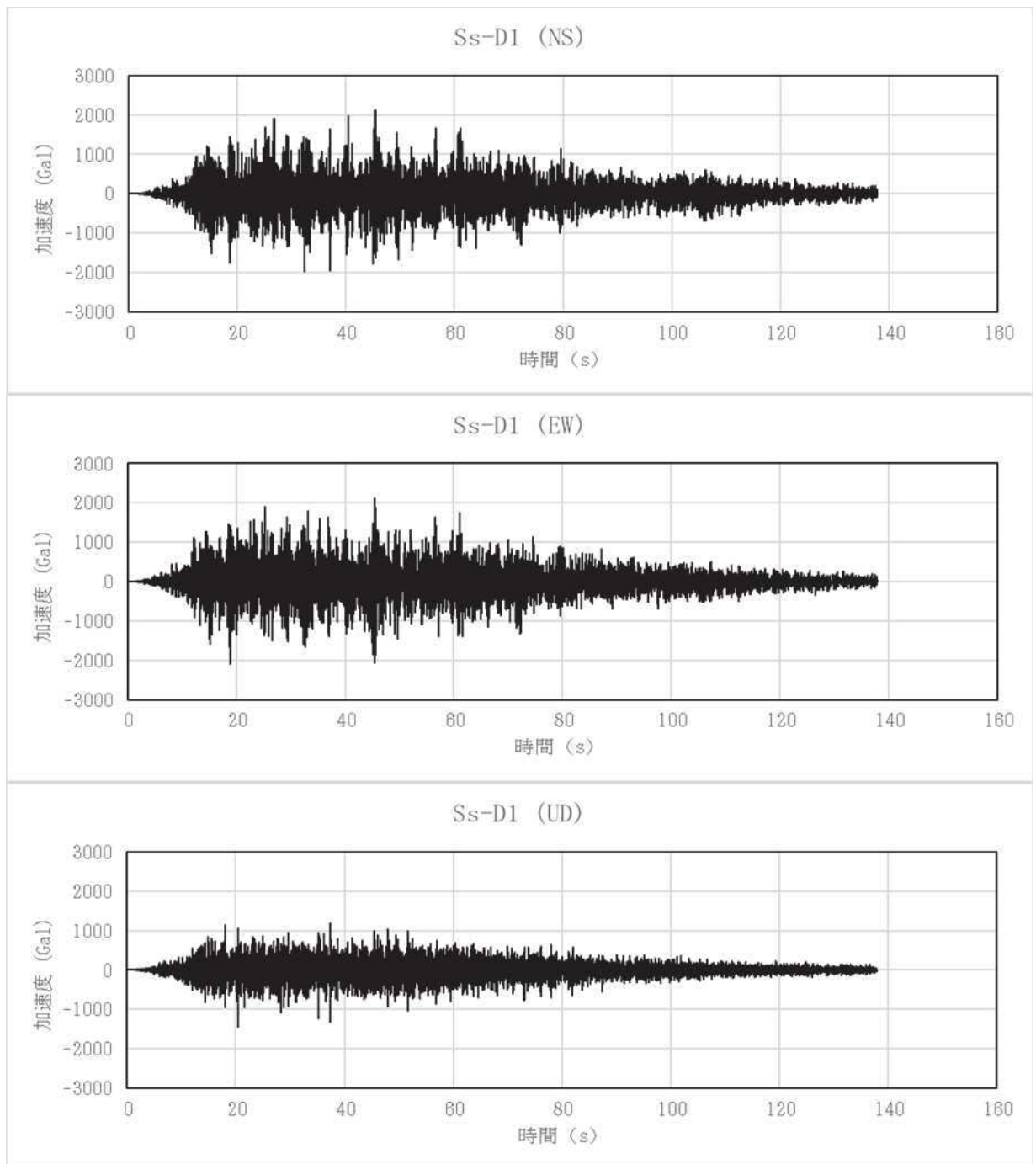
- \*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。
- \*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度
- \*4：トロリストッパの評価に適用する。
- \*5：脱線防止ラグの評価に適用する。
- \*6：鉛直方向の設計震度は使用しないため、「—」と記載する。

クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにクレーン本体ガーダ及びトロリの浮上り量に対する地震応答解析は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」で得られる原子炉建屋 O. P. 41. 20m の時刻歴加速度波を入力とし、水平 2 方向と鉛直方向地震力の同時入力により解析を実施する。時刻歴加速度波形を次頁以降の(1)～(5)に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

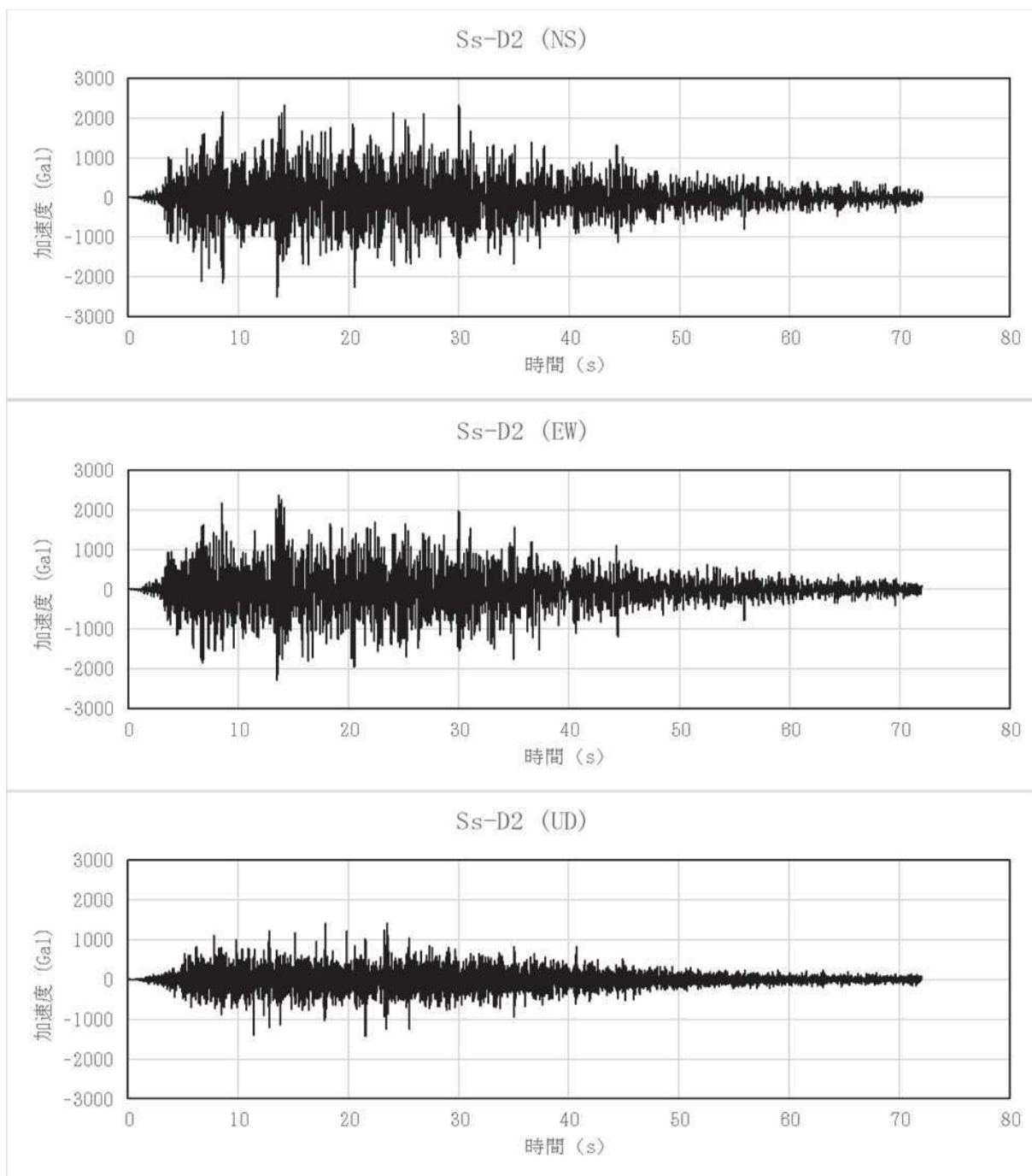
(1) 原子炉建屋の解析ケース：ケース1（基本ケース）

地震波：S s -D1



(2) 原子炉建屋の解析ケース：ケース1（基本ケース）

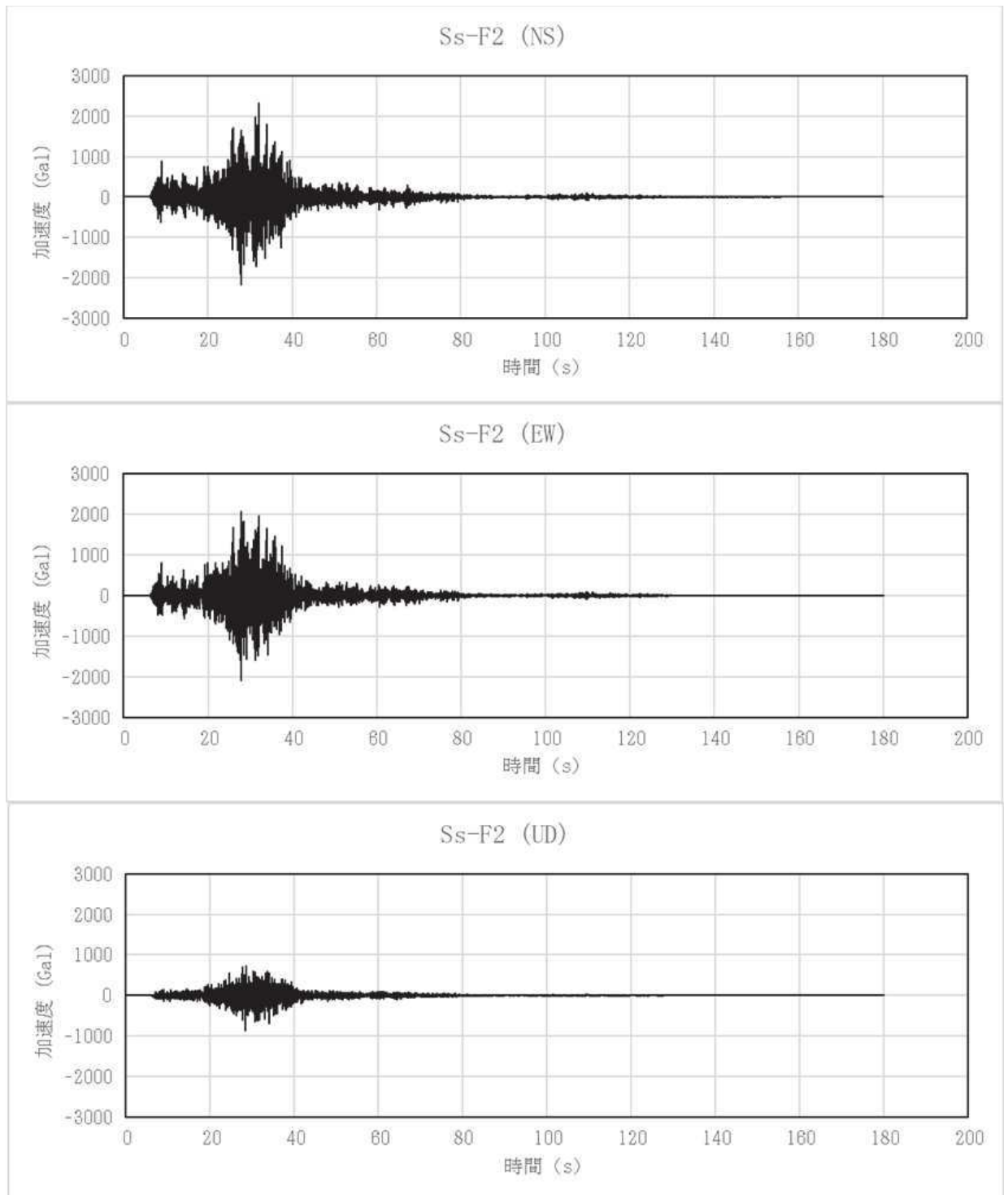
地震波：S<sub>s</sub>-D2



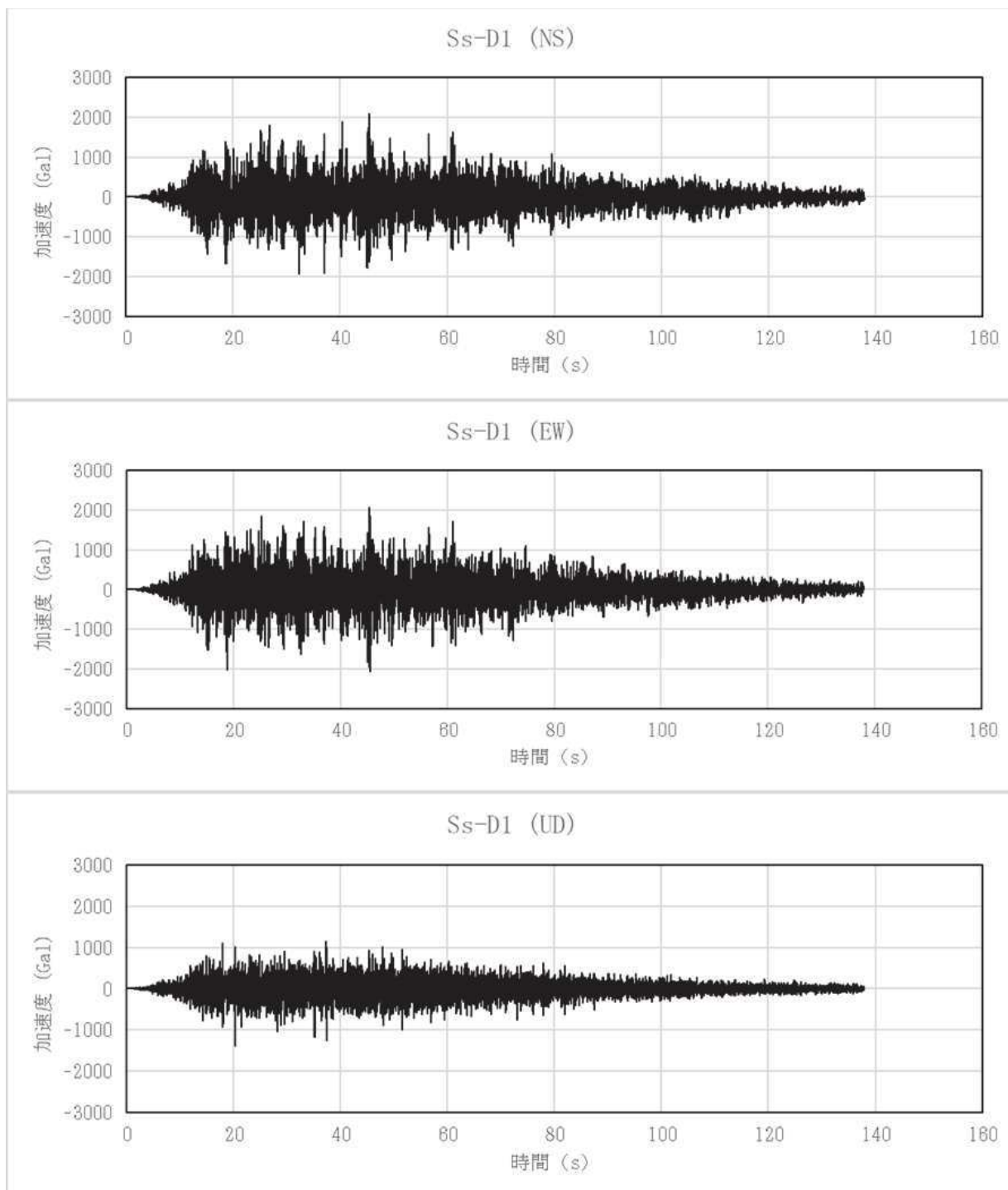


(3) 原子炉建屋の解析ケース：ケース1（基本ケース）

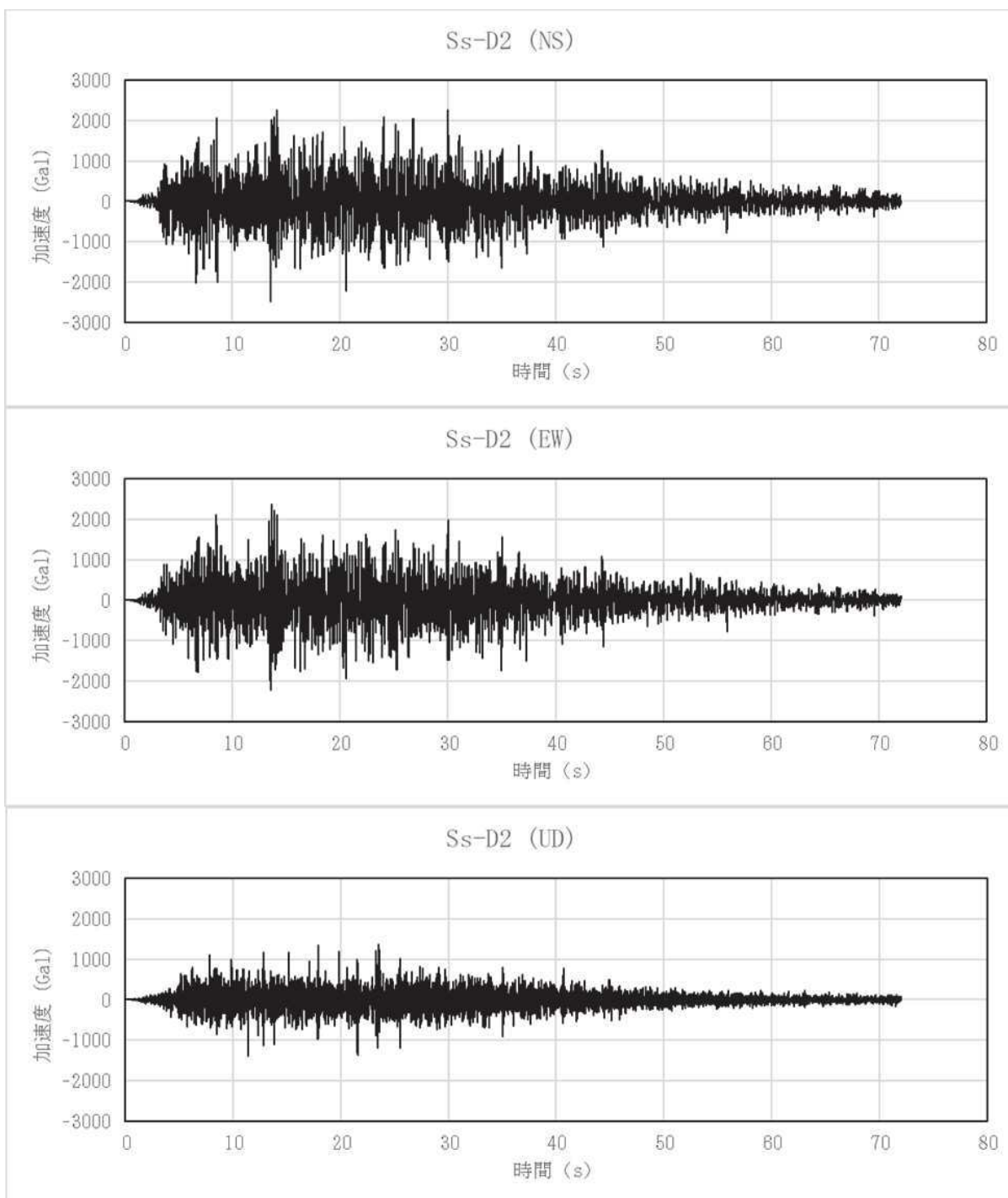
地震波：S<sub>s</sub>-F2



- (4) 原子炉建屋の解析ケース：ケース3（不確かさケース 地盤剛性- $\sigma$ ）  
地震波：S s -D1



- (5) 原子炉建屋の解析ケース：ケース3（不確かさケース 地盤剛性- $\sigma$ ）  
地震波：S s -D2



#### 4.6 計算方法


##### 4.6.1 クレーン本体ガードの応力の計算方法

###### (1) 設計荷重

クレーン本体ガードに加わる荷重を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。表 4-12 に解析モデルの概要を示す。

また、本評価の時刻歴解析には、付録 1 に示す時刻歴解析の保守性を考慮する。

表 4-12 解析モデルの概要

解析モデル			
構造物	クレーン本体ガード		
	トロリ		
	吊具	吊荷	
		ワイヤロープ	
車輪部	クレーン本体ガード車輪		
	トロリ車輪		
解析モデル図			図 4-3

## (2) 曲げ応力

クレーン本体ガーダに対する最大曲げ応力を図 4-6 を用いて計算する。

ガーダ中央部の鉛直曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： $\sigma_{Vt}$

$$\sigma_{Vt} = \frac{M_V}{Z_X} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

ガーダ中央部の水平曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： $\sigma_{Ht}$

$$\sigma_{Ht} = \frac{M_H}{Z_Y} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ガーダ中央部の曲げ（引張）応力： $\sigma_t$

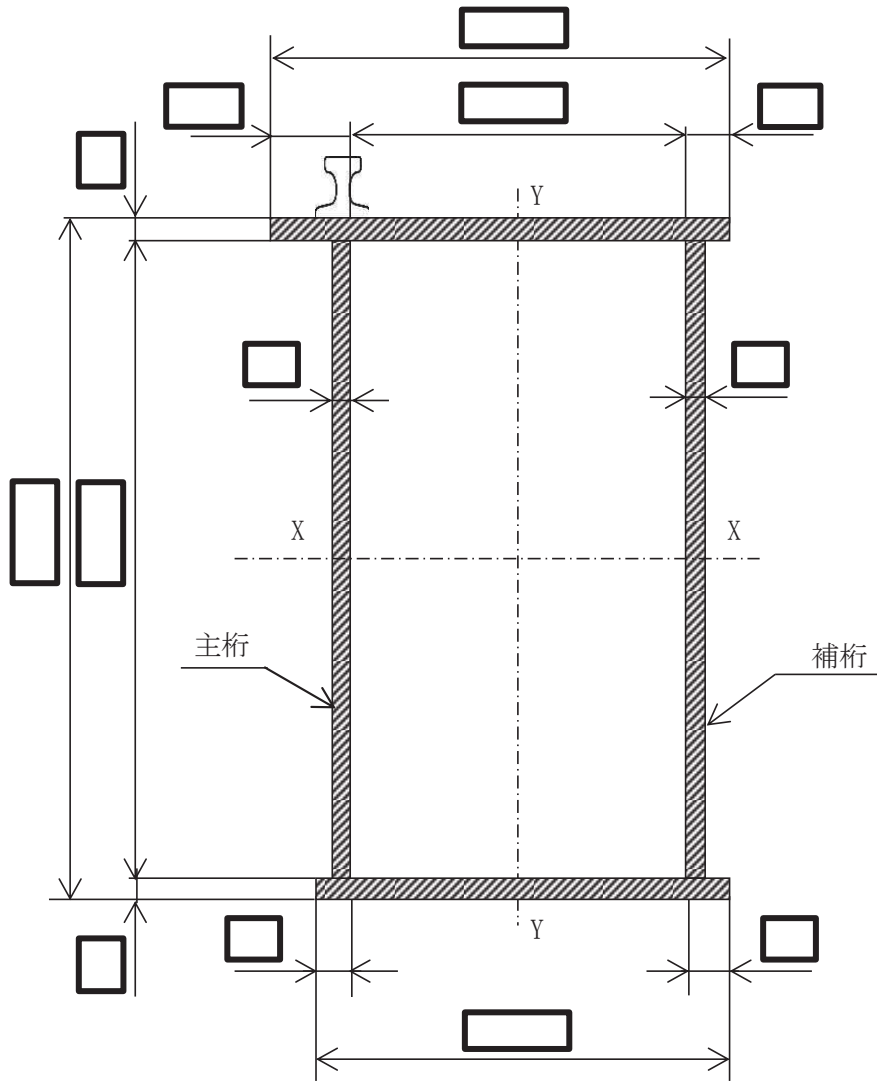
$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_{Vt}^2 + \sigma_{Ht}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

## (3) せん断応力

クレーン本体ガーダに対する最大のせん断応力を図 4-7 を用いて計算する。

ガーダ端部のせん断応力： $\tau$

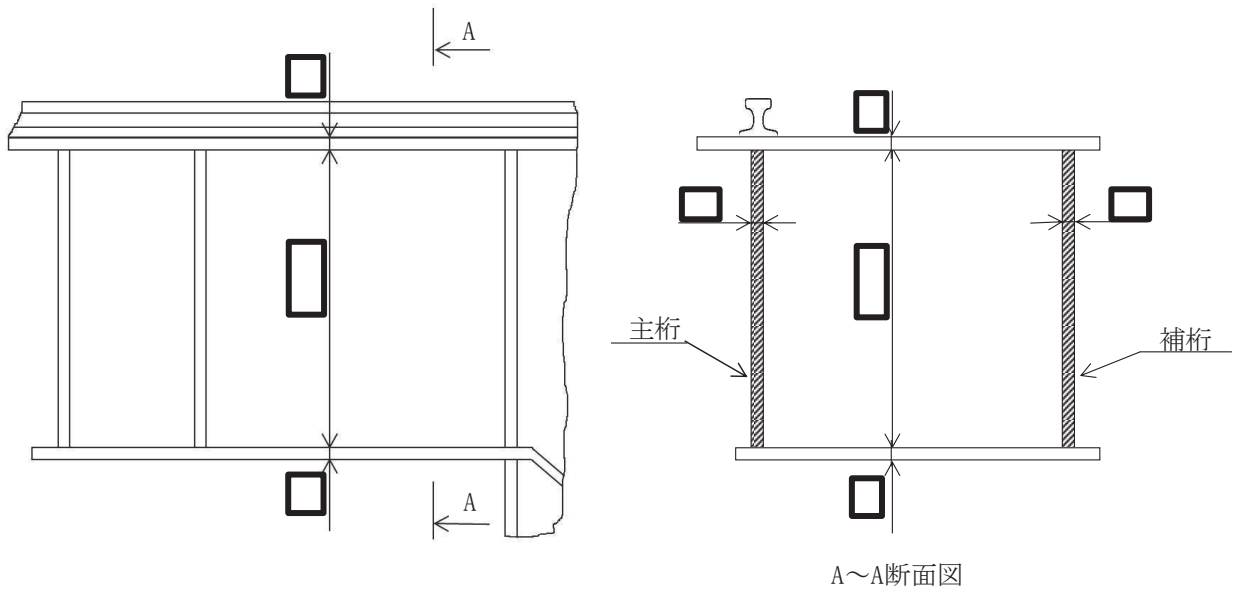
$$\tau = \frac{Q}{A_V} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-6 ガーダ中央部詳細 (単位：mm)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



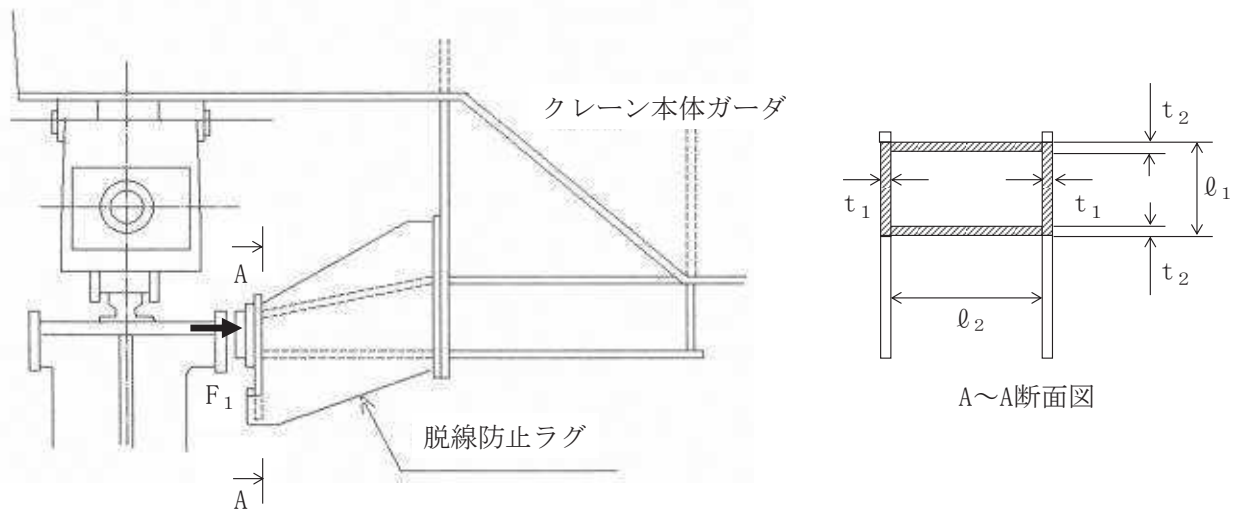
注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-7 ガーダ端部詳細 (単位：mm)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.2 脱線防止ラグの応力の計算方法

脱線防止ラグには、自重及び水平方向地震（NS 方向）によって水平力が作用する。図 4-8 に脱線防止ラグの構造概要図を示す。



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-8 脱線防止ラグの構造概要図

脱線防止ラグに生じる応力は、自重及び水平方向地震（NS 方向）による水平力を片側にある脱線防止ラグ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

脱線防止ラグ 1 個あたりに作用する力： $F_1$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \Sigma m \cdot g \cdot C_{H1} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

脱線防止ラグの断面積： $A_1$

$$A_1 = 2 \cdot (t_1 \cdot l_1 + t_2 \cdot l_2) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

脱線防止ラグの圧縮応力： $\sigma_{c1}$

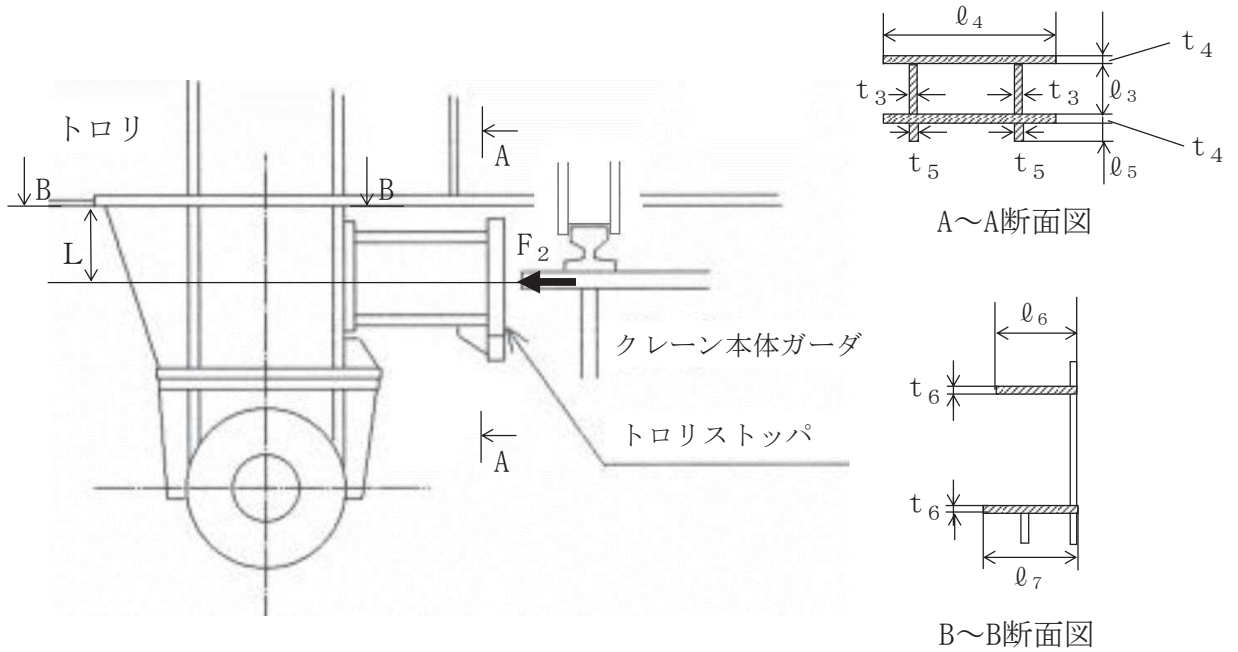
$$\sigma_{c1} = \frac{F_1}{A_1} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$



4.6.3 トロリストップの応力の計算方法

トロリストップには、自重及び水平方向地震（EW 方向）によって水平力が作用する。

図 4-9 にトロリストップの構造概要図を示す。



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-9 トロリストップの構造概要図

トロリストップに生じる応力は、自重及び水平方向地震（EW 方向）による水平力を片側にあるトロリストップ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

トロリストップ 1 個あたりに作用する力： $F_2$

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot m_t \cdot g \cdot C_H \quad \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

トロリストップの断面積： $A_2$

$$A_2 = 2 \cdot (t_3 \cdot l_3 + t_4 \cdot l_4 + t_5 \cdot l_5) \quad \dots \dots \dots (4.6.3.2)$$

トロリストップの圧縮応力： $\sigma_{c2}$

$$\sigma_{c2} = \frac{F_2}{A_2} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.3)$$

トロリストッパ根元部の曲げモーメント： $M_1$

$$M_1 = F_2 \cdot L \quad \dots\dots\dots (4.6.3.4)$$

トロリストッパ根元部の曲げ（引張）応力： $\sigma_{t1}$

$$\sigma_{t1} = \frac{M_1}{Z_1} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.5)$$

トロリストッパ根元部のせん断断面積： $A_3$

$$A_3 = t_6 \cdot (\ell_6 + \ell_7) \quad \dots\dots\dots (4.6.3.6)$$

トロリストッパ根元部のせん断応力： $\tau_1$

$$\tau_1 = \frac{F_2}{A_3} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.7)$$

トロリストッパ根元部の組合せ応力： $\sigma_{t2}$

$$\sigma_{t2} = \sqrt{\sigma_{t1}^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.8)$$

#### 4.6.4 浮上り量の計算方法

##### (1) クレーン本体ガードの浮上り量

クレーン本体ガードの浮上り量  $h_g$  を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

##### (2) トロリの浮上り量

トロリの浮上り量  $h_t$  を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

#### 4.6.5 吊具の荷重計算方法

吊具に加わる荷重  $P_w$  を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

ワイヤロープ及びフックの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷荷重を受ける部位は、巻上ドラム、ワイヤロープ、フック、シーブ及びエコライザ（平衡装置）で、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープ及びフックを評価対象とする。
- ・ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ及びフックブロック（動滑車）の回転により、自動的に荷重を吊合い状態に保つことから、評価では  掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。
- ・吊荷荷重算出の解析に当たっては、クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果よりワイヤロープの鉛直方向の荷重を抽出し、その最大値を用いるものとする。
- ・ワイヤロープは、引張方向に荷重が作用する場合のみ引張ばねとして作用するよう設定し、圧縮方向の荷重を受けない設定とする。このようなモデルにて時刻歴解析を実施することで、吊荷の浮上りを含めた挙動を模擬する。
- ・吊荷の質量は、クレーンの定格質量  とする。
- ・鉛直方向の荷重を考える場合において、ワイヤロープの長さを短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、衝撃荷重が大きくなる。したがって、ワイヤロープの長さは保守的に運用上限位置での長さを用いることとする。

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（クレーン本体ガード、吊具）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【原子炉建屋クレーン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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 クレーン本体ガーダの応力評価

4.6.1(2)項で求めたガーダ中央部の曲げ応力 $\sigma_t$ が、下記許容引張応力 $f_{t1}$ 以下であること。

4.6.1(3)項で求めたガーダ端部のせん断応力 $\tau$ が、下記許容せん断応力 $f_{s1}$ 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 $f_{t1}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s1}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 脱線防止ラグの応力評価

4.6.2項で求めた脱線防止ラグの圧縮応力 $\sigma_{c1}$ が、下記許容圧縮応力 $f_{c1}$ 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
許容圧縮応力 $f_{c1}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.3 トロリストップの応力評価

4.6.3項で求めたトロリストップの圧縮応力 $\sigma_{c2}$ 、曲げ応力 $\sigma_{t1}$ 、せん断応力 $\tau_1$ 及び組合せ応力 $\sigma_{t2}$ が、下記許容圧縮応力 $f_{c2}$ 、許容引張応力 $f_{t2}$ 、許容せん断応力 $f_{s2}$ 及び許容組合せ応力 $f_{t3}$ 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
許容圧縮応力 $f_{c2}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容引張応力 $f_{t2}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s2}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 $f_{t3}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

#### 4.8.4 浮上り量の評価

##### (1) クレーン本体ガーダの浮上り量の評価

4.6.4(1)項で求めたクレーン本体ガーダの浮上り量 $h_g$ が、図4-10に示す許容浮上り量 $H_g$ 以下であること。なお、 $H_g$ は脱線防止ラグがランウェイガーダに対して当たり面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

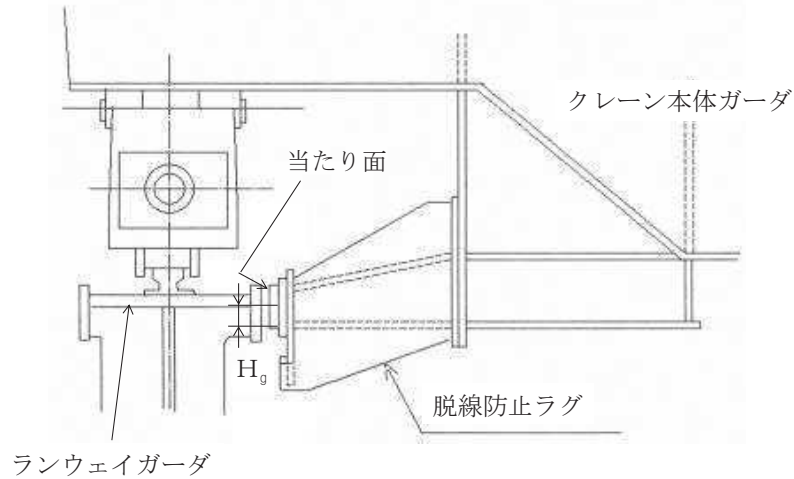


図4-10 許容浮上り量 $H_g$ の概要図

##### (2) トロリの浮上り量の評価

4.6.4(2)項で求めたトロリの浮上り量 $h_t$ が、図4-11に示す許容浮上り量 $H_t$ 以下であること。なお、 $H_t$ はトロリストoppaがクレーン本体ガーダに対して当たり面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

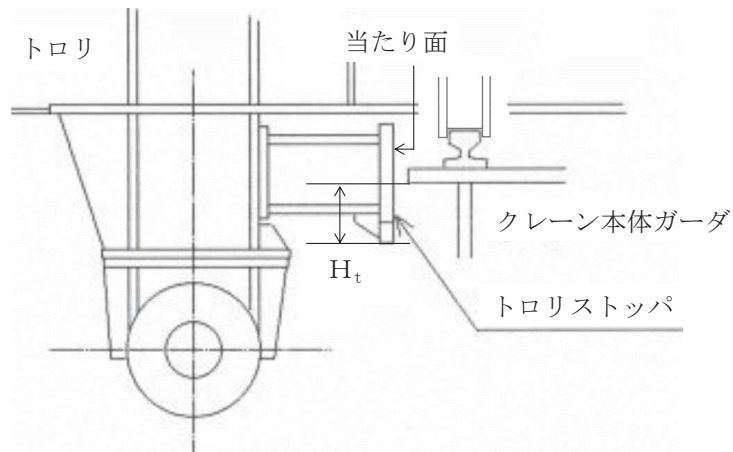


図4-11 許容浮上り量 $H_t$ の概要図

#### 4.8.5 吊具の評価

4.6.5項で求めた吊具の荷重 $P_w$ が、許容荷重 $f_{w1}$ 及び $f_{w2}$ 以下であること。

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建屋クレーン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、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

重大事故等時の状態を考慮した場合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、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。

## 6. 引用文献

- (1) 平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に関わる報告書 (08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)

【原子炉建屋クレーン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>			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建屋 クレーン	B	原子炉建屋 0. P. 41. 20*1	—	<input type="text"/>	—	*2, *3 C <sub>H</sub> = 0.15	*4 C <sub>H1</sub> = 3.43	—	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

\*3：トロリスツパの評価に適用する。

\*4：脱線防止ラグの評価に適用する。

1.2 機器要目

m <sub>G</sub> (kg)	m <sub>t</sub> (kg)	m <sub>m</sub> (kg)	Σ m <sub>m</sub> (kg)	M <sub>v</sub> (N・mm)	M <sub>H</sub> (N・mm)	M <sub>1</sub> (N・mm)	Q (N)	E <sub>G</sub> (MPa)	E <sub>w</sub> (MPa)	ν
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	ℓ <sub>5</sub> (mm)	ℓ <sub>6</sub> (mm)	ℓ <sub>7</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>3</sub> (mm)	t <sub>4</sub> (mm)	t <sub>5</sub> (mm)	t <sub>6</sub> (mm)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

L (mm)	A <sub>v</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>3</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：トロリの浮上りを考慮した長さ。

クレーン本体ガーダ				脱線防止ラグ				トロリスツパ				吊具	
ガーダ中央部		ガーダ端部		S <sub>y</sub> (MPa)	F* (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	F* (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	f <sub>w1</sub> (N)	f <sub>w2</sub> (N)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.475×10 <sup>7</sup>	1.583×10 <sup>7</sup>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 231$	$\tau = 42$

曲げ応力は、表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果  
せん断応力は、表 4-1 の評価ケース No. 2 の評価結果

1.3.2 脱線防止ラグに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
脱線防止ラグ	$\sigma_{c1} = 261$

圧縮応力は、表 4-1 の評価ケース No. 1～3 の評価結果

1.3.3 トロリストッパに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
トロリストッパ当たり面	$\sigma_{c2} = 3$

圧縮応力は、表 4-1 の評価ケース No. 1～3 の評価結果

(単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ根元部	$\sigma_{t1} = 24$	$\tau_1 = 9$	$\sigma_{t2} = 29$

曲げ応力、せん断応力、組合せ応力は、表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.3.4 浮上り量 (単位：mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 49$
トロリ	$h_t = 34$

クレーン本体ガーダの浮上り量は、表 4-1 の評価ケース No. 2 の評価結果  
トロリの浮上り量は、表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.3.5 吊荷荷重 (単位：N)

部材		算出荷重
吊具	ワイヤロープ	$P_w = 7.789 \times 10^6$
	フック	$P_w = 7.789 \times 10^6$

吊具の算出荷重は、表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果



#### 1.4 評価結果

##### 1.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部		曲げ	$\sigma_t = 231$	$f_{t1} = 336$
	端部		せん断	$\tau = 42$	$f_{s1} = 193$
脱線防止ラグ			圧縮	$\sigma_{c1} = 261$	$f_{c1} = 336$
トロリ ストッパ	当たり面		圧縮	$\sigma_{c2} = 3$	$f_{c2} = 275$
	根元部		曲げ	$\sigma_{t1} = 24$	$f_{t2} = 275$
			せん断	$\tau_1 = 9$	$f_{s2} = 158$
			組合せ	$\sigma_{t2} = 29$	$f_{t3} = 275$

すべて許容応力以下である。

##### 1.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 49$	$H_g = 62$
トロリ	$h_t = 34$	$H_t = 211$

すべて許容浮上り量以下である。

##### 1.4.3 吊具荷重

(単位：N)

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		吊荷荷重	$P_w = 7.789 \times 10^6$	$f_{w1} = 1.475 \times 10^7$
	フック		吊荷荷重	$P_w = 7.789 \times 10^6$	$f_{w2} = 1.583 \times 10^7$

すべて許容荷重以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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>			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建屋 クレーン	—	原子炉建屋 0.P.41.20*1	—	□	—	*2, *3 C <sub>H</sub> =0.15	*4 C <sub>H1</sub> =3.43	—	100

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

\*3：トロリスツパの評価に適用する。

\*4：脱線防止ラグの評価に適用する。

2.2 機器要目

m <sub>G</sub> (kg)	m <sub>t</sub> (kg)	Σ m (kg)	M <sub>V</sub> (N・mm)	M <sub>H</sub> (N・mm)	M <sub>1</sub> (N・mm)	Q (N)	E <sub>G</sub> (MPa)	E <sub>w</sub> (MPa)	γ
[Redacted]									

ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	ℓ <sub>5</sub> (mm)	ℓ <sub>6</sub> (mm)	ℓ <sub>7</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>3</sub> (mm)	t <sub>4</sub> (mm)	t <sub>5</sub> (mm)	t <sub>6</sub> (mm)
[Redacted]												

L (mm)	A <sub>V</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>3</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>X</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>Y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>Z</sub> (mm <sup>3</sup> )
[Redacted]							

注記\*：トロリの浮上りを考慮した長さ。

クレーン本体ガーダ				脱線防止ラグ				トロリスツパ							
ガーダ中央部		ガーダ端部		S <sub>y</sub> (MPa)		F* (MPa)		S <sub>y</sub> (MPa)		F* (MPa)		S <sub>u</sub> (MPa)		F* (MPa)	
S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	F* (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	F* (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	F* (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	F* (MPa)
[Redacted]															

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.3 計算数値

### 2.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 135$	$\tau = 30$

曲げ応力，せん断応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

### 2.3.2 脱線防止ラグに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
脱線防止ラグ	$\sigma_{c1} = 261$

圧縮応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

### 2.3.3 トロリストッパに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
トロリストッパ当たり面	$\sigma_{c2} = 3$

圧縮応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

(単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ根元部	$\sigma_{t1} = 22$	$\tau_1 = 9$	$\sigma_{t2} = 27$

曲げ応力，せん断応力，組合せ応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

### 2.3.4 浮上り量 (単位：mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 15$
トロリ	$h_t = 12$

クレーン本体ガーダ及びトロリの浮上り量は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.4 評価結果

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部		曲げ	$\sigma_t = 135$	$f_{t1} = 308$
	端部		せん断	$\tau = 30$	$f_{s1} = 177$
脱線防止ラグ			圧縮	$\sigma_{c1} = 261$	$f_{c1} = 308$
トロリ ストッパ	当たり面		圧縮	$\sigma_{c2} = 3$	$f_{c2} = 261$
	根元部		曲げ	$\sigma_{t1} = 22$	$f_{t2} = 261$
			せん断	$\tau_1 = 9$	$f_{s2} = 150$
			組合せ	$\sigma_{t2} = 27$	$f_{t3} = 261$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 15$	$H_g = 62$
トロリ	$h_t = 12$	$H_t = 211$

すべて許容浮上り量以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 付録1 時刻歴解析の保守性について

添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示すように、床応答加速度は建屋の固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いている。本評価では、設計用床応答曲線を用いない時刻歴解析手法を採用していることから、建屋の固有周期シフトに対する保守性を考慮する必要がある。

本評価では、上記の保守性の考慮として、固有周期シフトを考慮していない時刻歴加速度波による解析以外にASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadeningの規定をもとに時刻歴加速度波を時間軸方向に床応答曲線の拡幅分の考慮分として±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析で評価する。また、±10%シフトさせた応答スペクトルのピークにクレーンの固有周期が存在する場合は、ASMEの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。

VI-2-11-2-10 原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	1
2.3	評価方針	3
2.4	適用規格・基準等	3
2.5	記号の説明	4
3.	評価部位	5
4.	構造強度評価	6
4.1	構造強度評価方法	6
4.2	荷重の組合せ及び許容応力度	6
4.2.1	荷重の組合せ	6
4.2.2	許容応力度	6
4.3	設計用地震力	7
4.4	計算方法	8
4.5	計算条件	9
4.5.1	原子炉しゃへい壁の応力計算条件	9
4.6	応力の評価	9
5.	評価結果	9
5.1	設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての評価結果	9
6.	参照図書	9

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、下位クラス施設である原子炉しゃへい壁が基準地震動  $S_s$  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、隣接している上位クラス施設である原子炉圧力容器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。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。また、重大事故等時においても波及的影響を及ぼさないことを説明するため、重大事故等時を考慮した構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による原子炉しゃへい壁の評価は、平成元年6月8日付け元資庁第2015号にて認可された工事計画の添付書類（「6. 参照図書」の(1)、以下「既工認」という。）による。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

原子炉しゃへい壁は、原子炉本体の基礎の上部に設置される。原子炉しゃへい壁は、上位クラス施設である原子炉圧力容器の周辺に設置されており、転倒時に原子炉圧力容器に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

### 2.2 構造計画

原子炉しゃへい壁の構造計画を表 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>原子炉しゃへい壁は、原子炉本体の基礎に支持される。</p> <p>原子炉しゃへい壁の鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、原子炉本体の基礎、原子炉格納容器底部を介して原子炉建屋に伝達させる。</p>	<p>鋼板とコンクリートからなる構造物であり、主要構造は、内径 <input type="text"/> mm、壁厚 <input type="text"/> mm の円筒形構造物である。</p> <p>なお、モルタルは強度部材として考慮しない。</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

原子炉しゃへい壁の応力評価は、添付書類「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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す原子炉しゃへい壁の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 設計用地震力」に示す基準地震動  $S_s$  による荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.1 構造強度評価方法」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。

原子炉しゃへい壁の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

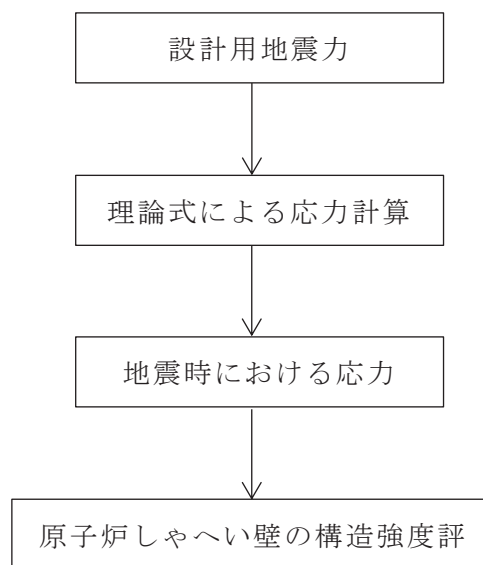


図 2-1 原子炉しゃへい壁の耐震評価フロー

### 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。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005改定)

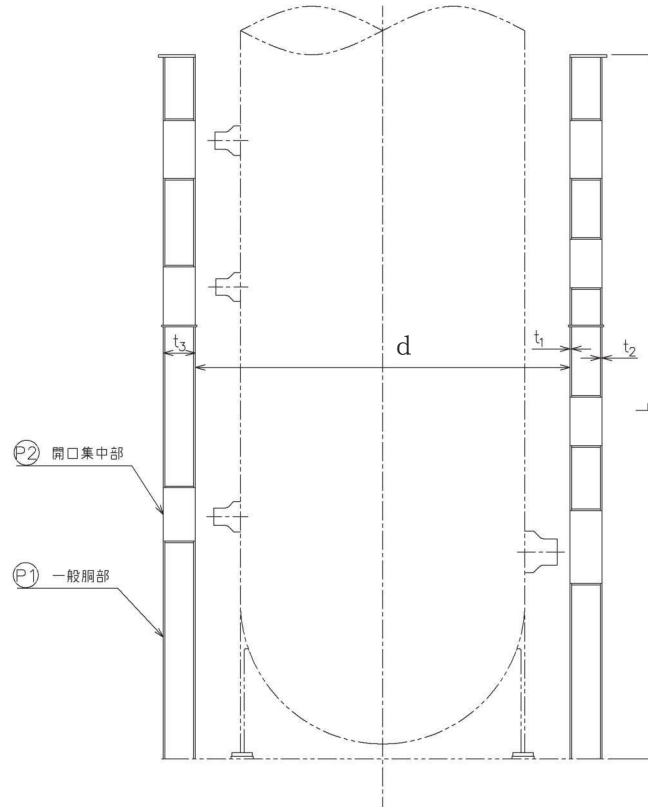
2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
d	内側円筒の内径	mm
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力度	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>s</sub>	許容せん断応力度	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t</sub>	許容引張応力度	N/mm <sup>2</sup>
F	許容応力度の基準値	N/mm <sup>2</sup>
M	モーメント	N・mm
Q	せん断力	N
t <sub>i</sub>	原子炉しゃへい壁各部の厚さ (i = 1, 2, 3)	mm
W	鉛直荷重	N
W <sub>D</sub>	死荷重	N
W <sub>L</sub>	活荷重	N
Z	断面係数	mm <sup>3</sup>
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
σ	組合せ応力度	N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>b</sub>	曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>c</sub>	圧縮応力度	N/mm <sup>2</sup>
τ	せん断応力度	N/mm <sup>2</sup>

### 3. 評価部位

原子炉しゃへい壁の耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる一般胴部及び開口集中部について実施する。

形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。



注： P1 及び P2 は応力評価点を示す。

$$\begin{aligned}
 d &= \boxed{\phantom{000}} & t_1 &= \boxed{\phantom{000}} \\
 L &= \boxed{\phantom{000}} & t_2 &= \boxed{\phantom{000}} \\
 & & t_3 &= \boxed{\phantom{000}}
 \end{aligned}$$

図 3-1 原子炉しゃへい壁の形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
外側円筒鋼板 (原子炉格納容器側)	SM41B	SM400B 相当
内側円筒鋼板 (原子炉圧力容器側)		

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力は、原子炉しゃへい壁に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 耐震計算は、原子炉しゃへい壁の自重、その他すべての付帯物の重量に加えて、地震荷重を考慮する。
- (3) 設計基準対象施設としての評価及び重大事故等時を考慮した評価において、設計用地震力及び許容応力度の値が変わらないことから、同一の条件で構造強度評価を行う。
- (4) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (5) 概略構造図を表 2-1 に示す。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力度

###### 4.2.1 荷重の組合せ

原子炉しゃへい壁の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

名称	荷重の組合せ
原子炉しゃへい壁	$D + P_D + M_D + S_s$
	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$

###### 4.2.2 許容応力度

原子炉しゃへい壁の許容応力度は、添付書類「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 4-2 のとおりとする。

表 4-2 許容応力度

材料	基準値 F	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			
		圧縮	曲げ	せん断	組合せ
SM41B*		$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$

注記\* : SM400B 相当。

#### 4.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-3 に示す。

原子炉しゃへい壁に加わる鉛直方向地震力及び水平方向地震力は、添付書類「VI-2-3-2 炉心, 原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた基準地震動  $S_s$  の応答値を用いる。

表 4-3 設計用地震力（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）

耐震重要度 分類	設備 区分	設置高さ (m)	応力評価点	基準地震動 $S_s$		
				鉛直荷重 W (N)	モーメント M (N・mm)	せん断力 Q (N)
B	生体遮蔽 装置	0. P. 7. 040	一般胴部			
			開口集中部			

#### 4.4 計算方法

原子炉しゃへい壁の応力評価点は、原子炉しゃへい壁を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-4 及び図 3-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、既工認に示すとおりである。

表 4-4 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	一般胴部
P2	開口集中部

#### 4.5 計算条件

##### 4.5.1 原子炉しゃへい壁の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉しゃへい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。

#### 4.6 応力の評価

「4.4 計算方法」で求めた応力度が許容応力度以下であること。

#### 5. 評価結果

##### 5.1 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉しゃへい壁各部の評価結果を【原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算結果】に示す。発生値は許容応力度を満足しており、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。

#### 6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第1回工事計画認可申請書  
IV-2-5-1「原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算書」



【原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設及び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	設置高さ (m)	応力評価点	基準地震動 S s		
				鉛直荷重 W (N)	モーメント M (N・mm)	せん断力 Q (N)
原子炉 しゃへい壁	B	0. P. 7. 040	一般胴部			
			開口集中部			

1.2 機器要目

W <sub>D</sub> (N)	W <sub>L</sub> (N)	d (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>3</sub> (mm)	F (N/mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )		I (mm <sup>4</sup> )
							一般胴部	開口集中部	
							一般胴部	開口集中部	

1.3 結論

評価対象設備	評価部位		応力分類	発生値		許容応力度
				N/mm <sup>2</sup>		
原子炉 しゃへい壁	P1	一般胴部	圧縮応力度	$\sigma_c$	29	
			曲げ応力度	$\sigma_b$	44	
			せん断応力度	$\tau$	21	
			組合せ応力度	$\sigma$	82	
	P2	開口集中部	圧縮応力度	$\sigma_c$	72	
			曲げ応力度	$\sigma_b$	69	
			せん断応力度	$\tau$	41	
			組合せ応力度	$\sigma$	158	

すべて許容応力度以下である。

注記\*：組合せ応力度は、鋼構造設計規準に従い短期応力に対する許容引張応力度 (1.5 f<sub>t</sub>) 以下であること。

VI-2-11-2-11 原子炉ウェルカバー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 .....	3
2.3 評価方針 .....	4
2.4 適用規格・基準等 .....	5
3. 評価部位 .....	6
4. 耐震評価 .....	7
4.1 評価概要 .....	7
4.2 荷重及び荷重の組合せ .....	7
4.2.1 荷重 .....	7
4.2.2 荷重の組合せ .....	8
4.3 評価基準値 .....	8
4.4 使用材料及び材料の許容応力度 .....	9
4.5 応力評価方法 .....	9
4.6 計算条件 .....	10
4.7 評価方法 .....	10
5. 評価結果 .....	11

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、下位クラス施設である原子炉ウエルカバーが基準地震動 $S_s$ 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、下部に設置された上位クラス施設であるドライウエルに対して、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

原子炉ウェルカバーは、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設であるドライウエルの上部に設置されており、落下時にドライウエルに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

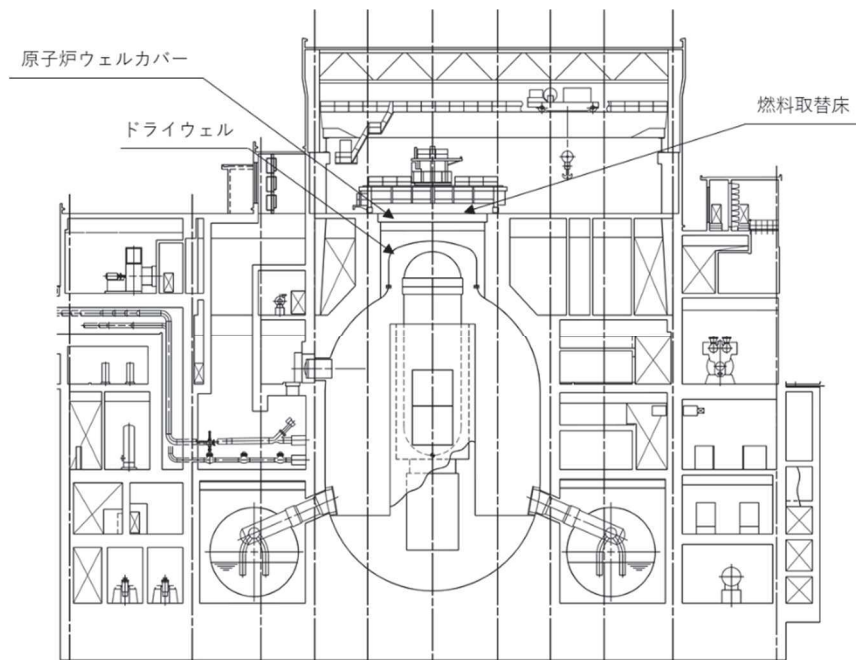


図 2-1 原子炉ウェルカバーとドライウエルの位置関係図

## 2.2 構造計画

図 2-2 に原子炉ウェルカバー概要図を示す。原子炉ウェルカバーは、ドライウェル直上の燃料取替床(0. P. 33. 20m)に設置された鉄筋コンクリート造の構造部である。

その大きさは、外径約 11.5m、厚さ 1.800m の円盤状となっており、クレーンでの取り外しを考慮して 5 分割で構成されている。

原子炉ウェルカバーは、円盤外周部が原子炉建屋の躯体に支持されている。

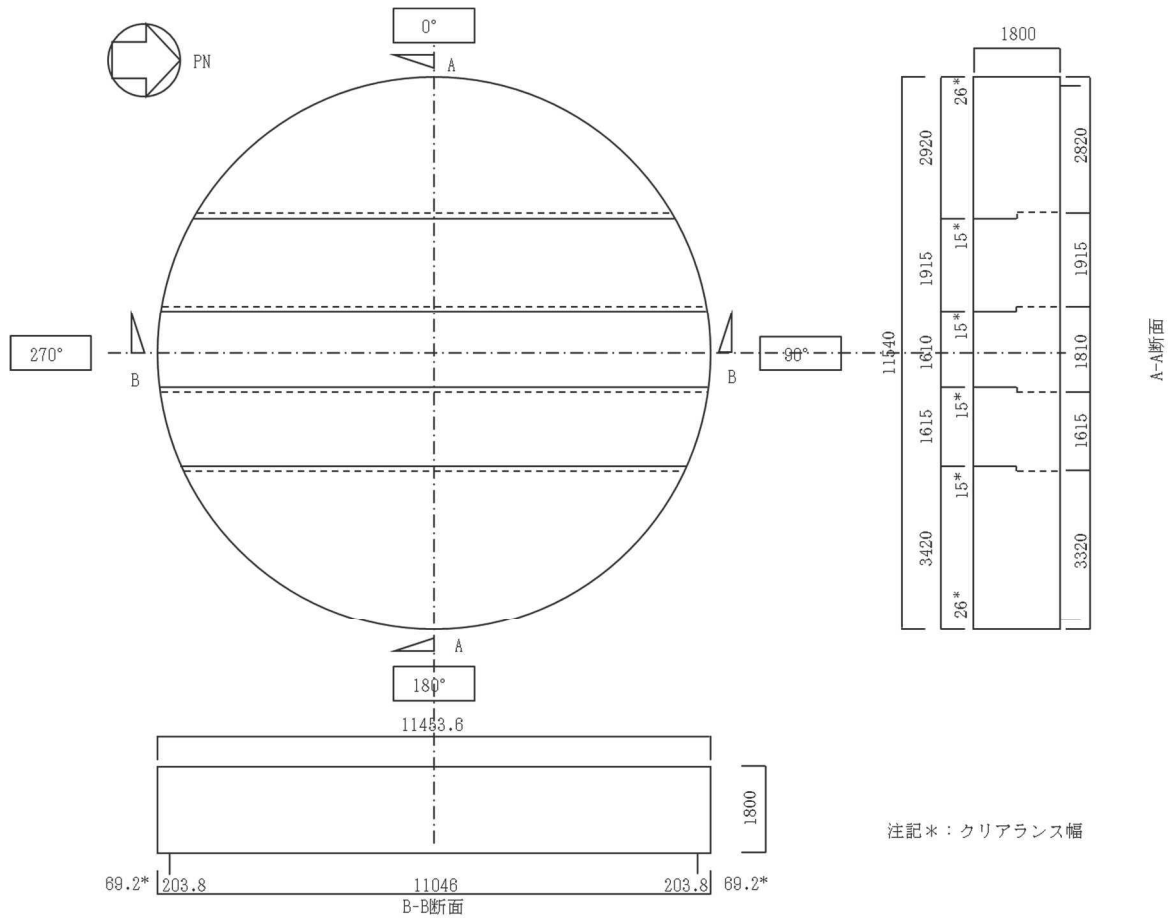


図 2-2 原子炉ウェルカバー概要図(単位 : mm)

### 2.3 評価方針

原子炉ウェルカバの応力評価は、添付書類「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」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す原子炉ウェルカバの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、応力が評価基準値内に収まることを、「4. 耐震評価」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。地震荷重の設定については、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」により算出された基準地震動  $S_s$  による結果を用いる。

原子炉ウェルカバの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

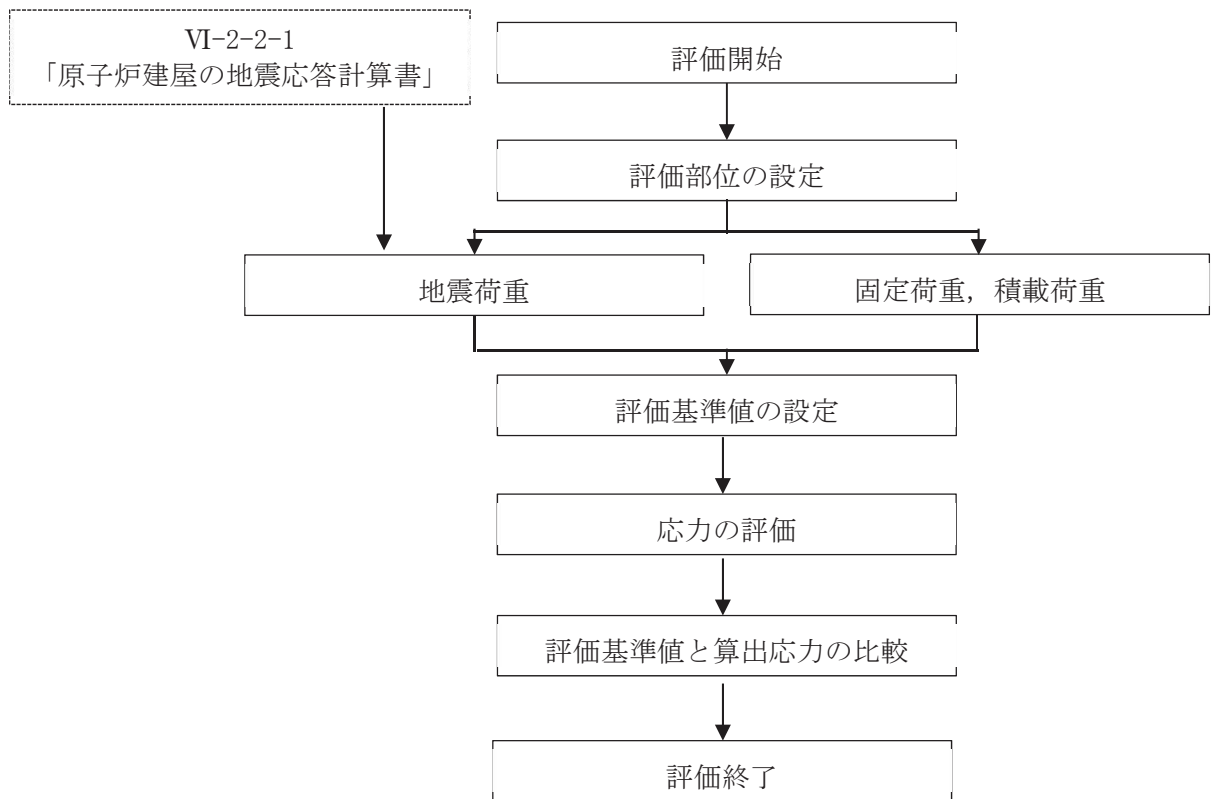


図 2-3 原子炉ウェルカバの耐震評価フロー



## 2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 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
- (2) 建築基準法・同施行令
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—(社)日本建築学会, 1999

### 3. 評価部位

原子炉ウェルカバーが落下することにより、波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、原子炉ウェルカバー本体及び原子炉建屋躯体の支持部(以下「支持部」という。)を評価部位として選定する。

評価部位を図 3-1 に示す。原子炉ウェルカバー本体は、原子炉建屋の躯体に端部で支持されているため、耐震評価は支持スパンが最も長い中央カバーについて評価を行う。

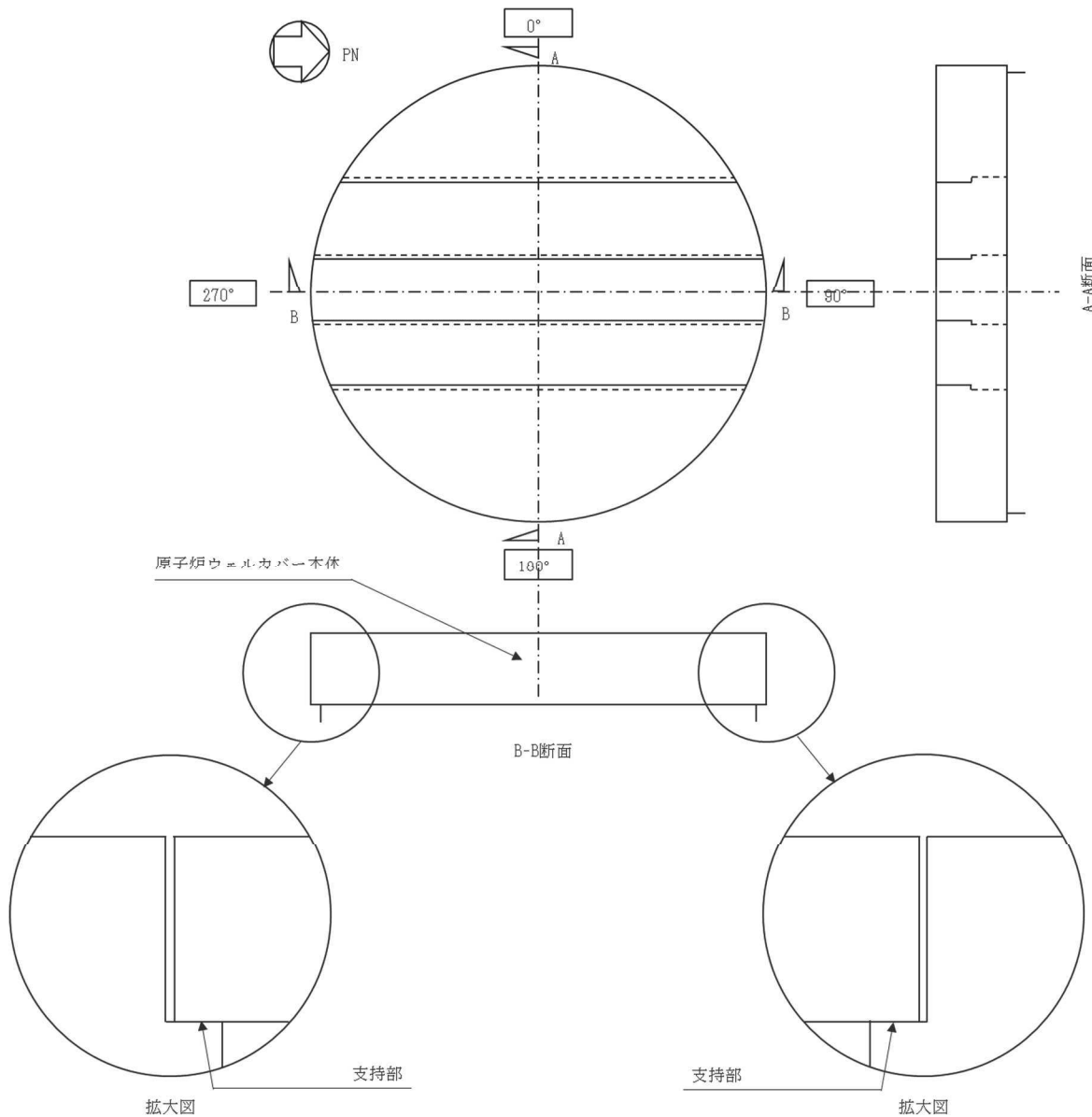


図 3-1 原子炉ウェルカバーの評価部位

#### 4. 耐震評価

##### 4.1 評価概要

原子炉ウェルカバー本体及び支持部に対する評価方法を表 4-1 に示す。

応力が評価基準値より小さいことを確認する。

表 4-1 評価方法

部位	応力	評価基準値
原子炉ウェルカバー 本体	曲げモーメント	許容曲げモーメント
	せん断力	許容せん断力
支持部	圧縮力	許容圧縮力

##### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

###### 4.2.1 荷重

耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

###### (1) 固定荷重(G)

固定荷重として、原子炉ウェルカバーの自重を考慮する。なお、原子炉ウェルカバー本体の単位体積重量は、鉄筋、コンクリート、鉄板型枠等を考慮して 24kN/m<sup>3</sup> とする。

###### (2) 積載荷重(P)

積載荷重として、1.81kN/m<sup>2</sup> を考慮する。

###### (3) 地震荷重(S<sub>s</sub>)

地震荷重として、基準地震動 S<sub>s</sub> に伴う慣性力を考慮する。鉛直方向の慣性力により原子炉ウェルカバー本体に作用する地震荷重が面外方向に作用するのに対し、水平方向の慣性力により原子炉ウェルカバー本体に作用する水平荷重は剛性の高い面内方向に作用する。また、水平方向の慣性力が作用した際に原子炉ウェルカバー本体を支持する領域は、鉛直方向の慣性力が作用した際に原子炉ウェルカバー本体を支持する領域より広いことから、鉛直方向の慣性力に対して検討を行う。

地震荷重は原子炉ウェルカバー本体の固定荷重と積載荷重の和に評価用鉛直震度 C<sub>v</sub> を乗じた下式により算出する。

$$S_s = (G + P) \cdot C_v$$

評価用鉛直震度 C<sub>v</sub> は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による基準地震動 S<sub>s</sub> の地震応答解析結果から算出された、原子炉ウェルカバー本体の設置レベルにおける最大応答鉛直加速度から設定する。最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度 C<sub>v</sub> を表 4-2 に示す。

表 4-2 最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度

	最大応答鉛直加速度 (m/s <sup>2</sup> )			評価用 鉛直震度 C <sub>v</sub>	
	ケース 1	ケース 2	ケース 3		
コンクリート 剛性	3.11 地震 シミュレーション	3.11 地震 シミュレーション	3.11 地震 シミュレーション	最大値	C <sub>v</sub>
地盤剛性	標準地盤	標準地盤 +σ	標準地盤 -σ		
算出結果	13.81	14.39	13.15	14.39	1.47

#### 4.2.2 荷重の組合せ

評価に用いる荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

荷重の組合せ
G + P + S <sub>s</sub>

#### 4.3 評価基準値

評価に用いる許容荷重を以下に示す。

原子炉ウェルカバー本体の許容曲げモーメントM<sub>a</sub>及び許容せん断力Q<sub>a</sub>は、下式により算出する。

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$Q_a = f_s \cdot B \cdot j$$

$$j = (7/8) \cdot d$$

ここで、

a<sub>t</sub> : 引張鉄筋量(m<sup>2</sup>)

f<sub>t</sub> : 鉄筋の許容引張応力度(短期)(N/mm<sup>2</sup>)

j : 曲げ材の応力中心距離(m)

f<sub>s</sub> : コンクリートの許容せん断応力度(短期)(N/mm<sup>2</sup>)

B : 原子炉ウェルカバー本体部材幅(m)

d : 曲げ材の有効せい(m)

支持部の許容圧縮力N<sub>a</sub>は下式により算出する。

$$N_a = f_c \cdot A_c$$

$$A_c = B \cdot \ell$$

ここで、

$f_c$  : コンクリートの許容圧縮応力度(短期) (N/mm<sup>2</sup>)

$A_c$  : 支持部水平投影面積(m<sup>2</sup>)

$l$  : かかり代(m)

#### 4.4 使用材料及び材料の許容応力度

コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度  $F_c$  は 32.4 N/mm<sup>2</sup> とする。鉄筋は SD35 (SD345 相当) を使用する。各使用材料の許容応力度を表 4-4 及び表 4-5 に示す。

表 4-4 コンクリートの許容応力度 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

普通コンクリート	設計基準強度 $F_c$	短期	
		圧縮 $f_c$	せん断 $f_s$
	32.4	21.6	1.22

表 4-5 鉄筋の許容応力度 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

鉄筋	材料種別	短期
		引張 $f_t$
	SD35 (SD345 相当)	345

#### 4.5 応力評価方法

原子炉ウェルカバー本体に生じる曲げモーメント  $M$  及びせん断力  $Q$  は、単純ばりとして下式により算出する。

$$M = (1/8) \cdot w \cdot L^2$$

$$Q = (1/2) \cdot w \cdot L$$

ここで、

$w$  : 評価用荷重 (kN/m)

$L$  : 支持スパン (m)

支持部には、原子炉ウェルカバー本体からの反力が圧縮力として作用する。支持部に作用する圧縮力  $N$  は、下式により算出する。

$$N = (1/2) \cdot w \cdot L$$

#### 4.6 計算条件

評価基準値及び応力の計算条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 評価基準値及び応力の計算条件

$a_t$ ( $\times 10^{-2} \text{ m}^2$ )	d (m)	B (m)	$\ell$ (m)	w (kN/m)	L (m)
1.0103	1.46	1.61	0.22	196.05	11.4536

#### 4.7 評価方法

「4.5 応力評価方法」で求めた曲げモーメントM, せん断力Q及び支持部に作用する圧縮力Nが「4.3 評価基準値」で求めた許容曲げモーメント $M_a$ , 許容せん断力 $Q_a$ 及び許容圧縮力 $N_a$ より小さいことを確認する。

## 5. 評価結果

原子炉ウェルカバールの耐震評価結果を表 5-1 に示す。各部の応力は評価基準値を満足しており、下部に設置された上位クラス施設であるドライウェルに対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 5-1 原子炉ウェルカバールの評価結果

部位	応力	算出応力	評価基準値
原子炉ウェルカバール 本体	曲げモーメント (kN・m)	3215	4465
	せん断力 (kN)	1123	2518
支持部	圧縮力 (kN)	1123	7537

VI-2-11-2-12 耐火隔壁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	3
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	計算精度の数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2	許容応力	9
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	9
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	14
4.4.1	耐火隔壁（制御盤）	14
4.5	設計用地震力	16
4.6	計算方法	17
4.6.1	フレーム部材の応力計算方法	17
4.6.2	基礎ボルトの計算方法	17
4.7	計算条件	18
4.8	応力の評価	18
4.8.1	フレーム部材の応力評価	18
4.8.2	基礎ボルトの応力評価	19
5.	評価結果	20
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	20

## 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、耐火隔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、上位クラス施設に対して、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

耐火隔壁は、制御建屋に設置する。耐火隔壁の設置位置を図 2-1 に示す。

本資料では、図 2-1 に示す耐火隔壁のうち、構造強度評価の評価部位である基礎ボルトとフレーム部材の裕度が最も厳しい部分を代表として耐震性について示す。

対象とした耐火隔壁は、表 2-1 に示すように、上位クラス施設である制御盤の間に設置されており、耐火隔壁（制御盤）の転倒に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

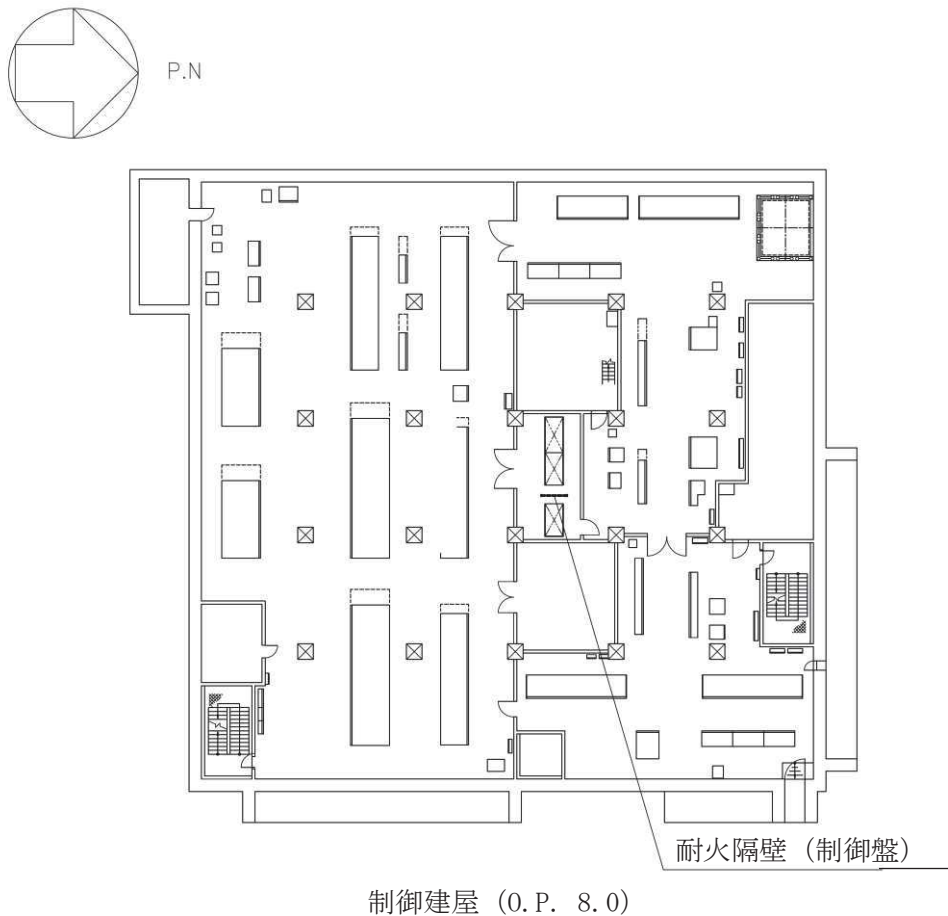


図 2-1 耐火隔壁（制御盤）の設置位置

2.2 構造計画

耐火隔壁（制御盤）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	
耐火隔壁（制御盤）は、基礎ボルトにより建屋躯体である床及び壁に固定される。	耐火隔壁（制御盤）を形成する耐火材は、鋼製のフレーム部材により支持し、鋼製のフレーム部材（支柱）は基礎ボルトにより建屋躯体である床及び壁に固定される。	

### 2.3 評価方針

耐火隔壁の応力評価は、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」にて示す耐火隔壁の部位を踏まえ、「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。

耐火隔壁の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

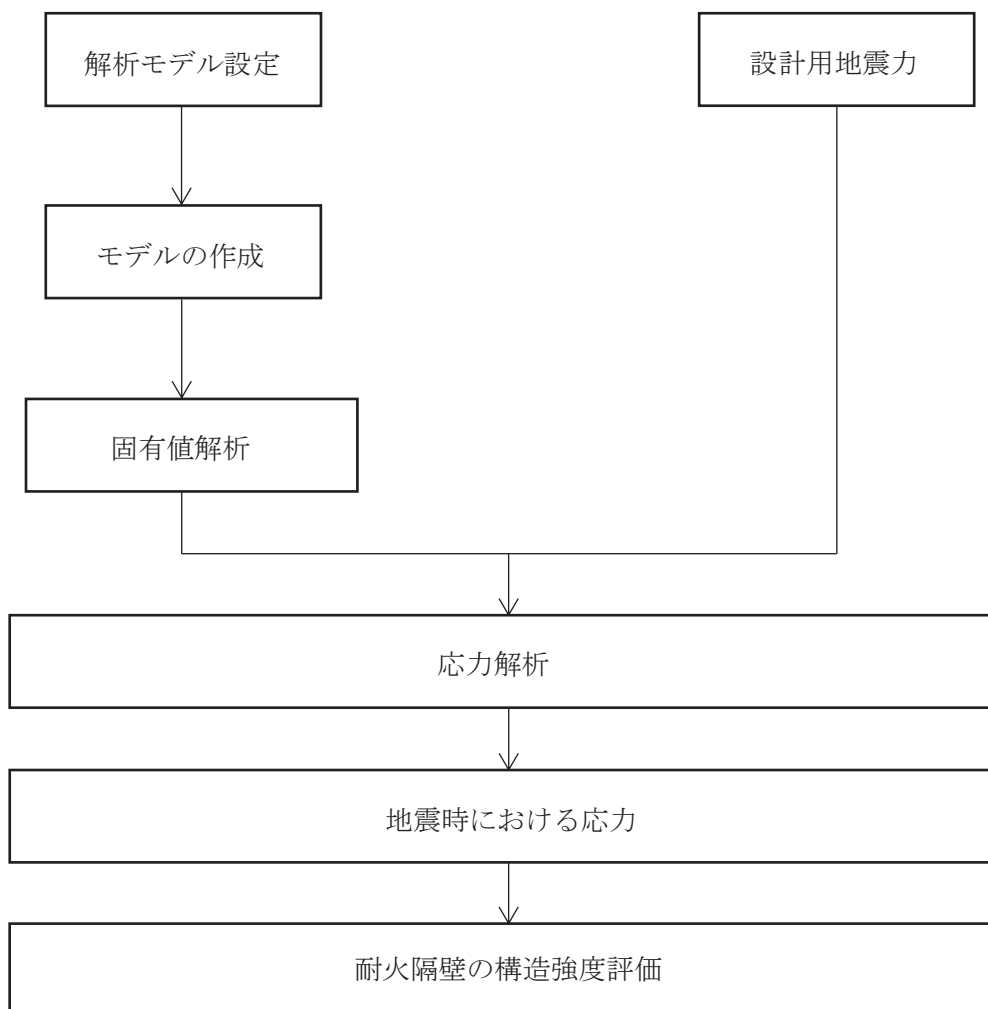


図 2-2 耐火隔壁の耐震評価フロー

#### 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 (2005年版 (2007年追補版を含む)) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・ 鋼構造設計基準 一許容応力度設計法一 (日本建築学会, 2005)
- ・ 日本産業規格 (J I S)

2.5 記号の説明

表 2-2 耐火隔壁の応力評価に用いる記号の定義 (1/2)

記号	記号の説明	単位
$A_{rea}$	$R_1$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_{s1}$	$R_2$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_{s2}$	$R_3$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$d$	ボルトの呼び径	mm
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$mm^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$E$	フレームの縦弾性係数	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
$\sigma_a$	フレームに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_b$	フレームに生じる曲げ応力	MPa
$\tau_s$	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\sigma_t$	フレームに生じる引張応力	MPa
$F_b$	基礎ボルトに作用する引張力(1本あたり)	N
$Q_b$	基礎ボルトに作用するせん断力	N
$\tau_{bs}$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{bt}$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$f_b$	許容曲げ応力	MPa
$f_s$	許容せん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	せん断応力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{to}$	ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{sb}$	ボルトの許容せん断応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$m/s^2$
$L$	基礎ボルト間の距離	mm

表 2-2 耐火隔壁の応力評価に用いる記号の定義 (2/2)

記号	記号の説明	単位
$M_1$	$R_1$ 軸廻りのモーメント	$N \cdot mm$
$M_2$	$R_2$ 軸廻りのモーメント	$N \cdot mm$
$M_3$	$R_3$ 軸廻りのモーメント	$N \cdot mm$
$n$	固定端 1 箇所あたりの基礎ボルトの本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
$R_1$	$R_1$ 軸方向の力	N
$R_2$	$R_2$ 軸方向の力	N
$R_3$	$R_3$ 軸方向の力	N
$S_u$	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
$Z_1$	$R_3$ 軸廻りのモーメント $M_3$ を受けるフレームの断面係数	$mm^3$
$Z_2$	$R_2$ 軸廻りのモーメント $M_2$ を受けるフレームの断面係数	$mm^3$
$Z_{p1}$	$R_2$ 軸方向の応力を組合せる時のモーメント $M_1$ を受けるねじり断面係数	$mm^3$
$Z_{p2}$	$R_3$ 軸方向の応力を組合せる時のモーメント $M_1$ を受けるねじり断面係数	$mm^3$



## 2.6 計算精度の数値の丸め方

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2-3に示すとおりとする。

表2-3 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
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
断面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
寸法	mm	公称寸法を採用		
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
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
降伏点	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
裕度	—	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位

### 3. 評価部位

耐火隔壁（制御盤）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、耐震評価上厳しくなるフレーム部材および基礎ボルトについて実施する。耐火隔壁（制御盤）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) 耐火隔壁（制御盤）を形成する耐火材は、鋼製のフレーム部材により支持し、鋼製のフレーム部材（支柱）は基礎ボルトにより建屋躯体である床及び壁に固定される。
- (2) 地震力は、耐火隔壁（制御盤）に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、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周期解析の結果、1次固有振動数が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

耐火隔壁（制御盤）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 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

耐火隔壁（制御盤）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 4-2 に示す。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

耐火隔壁（制御盤）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 4-3 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	耐火隔壁（制御盤）	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>AS</sub>

注記\*：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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, *3</sup> (ボルト以外)			許容限界* <sup>2</sup> (ボルト)	
	一次応力			一次応力	
	引張り	せん断	曲げ	引張り	せん断
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

\*2：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*3：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 (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)
		フレーム部材		周囲環境温度	40	—	245
基礎ボルト	周囲環境温度	40		—	215	400	—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

耐火隔壁（制御盤）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【耐火隔壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 耐火隔壁（制御盤）を構成するフレーム部材をはり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、ベースプレート固定基礎ボルト位置において完全拘束とする。
- (3) 計算機コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有周期及び荷重を求める。

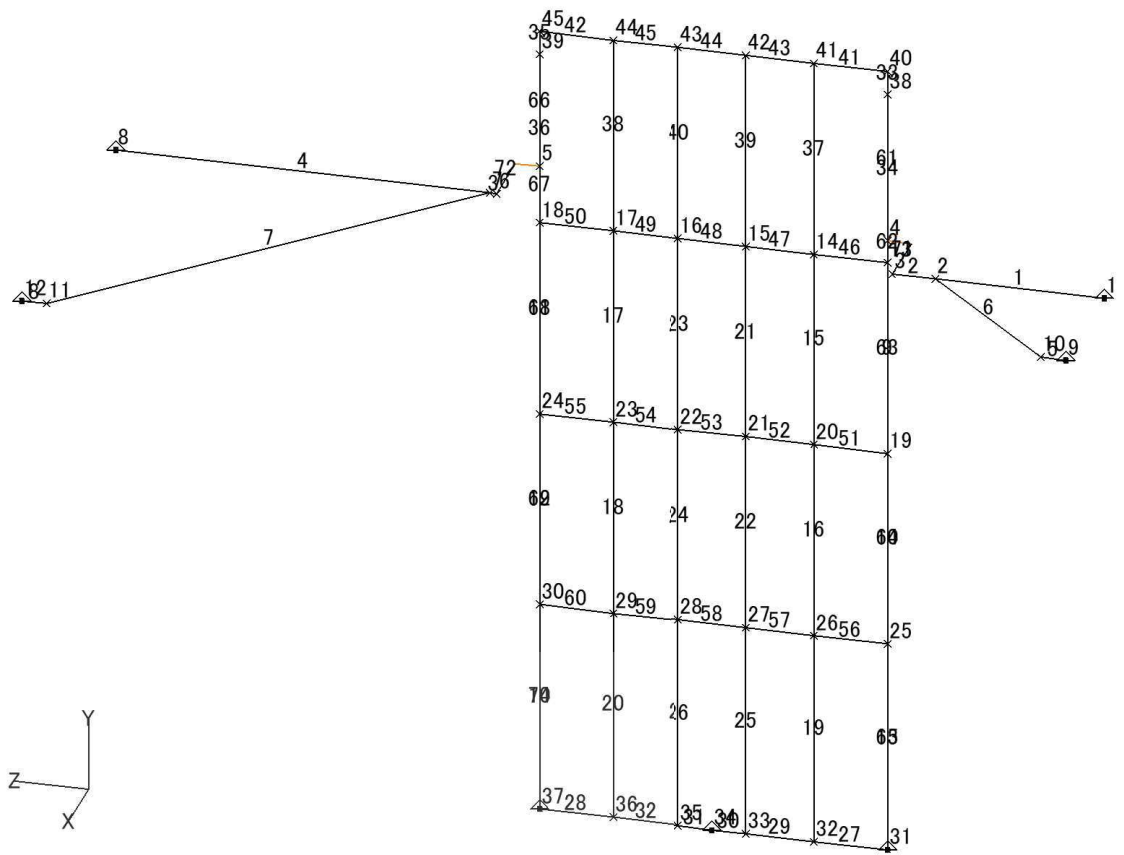


図 4-1 耐火隔壁（制御盤）解析モデル

#### 4.4 固有周期

##### 4.4.1 耐火隔壁（制御盤）

耐火隔壁（制御盤）の固有周期解析の結果を表 4-4 に示す。

表 4-4 固有周期解析結果

方向	固有周期 (s)
水平	
鉛直	

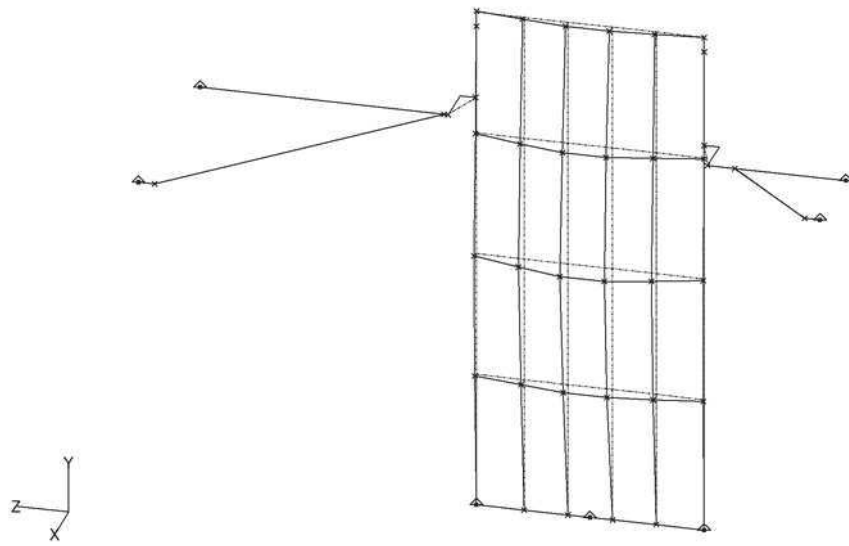


図 4-2 耐火隔壁（制御盤） 1次固有振動モード図（X方向）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

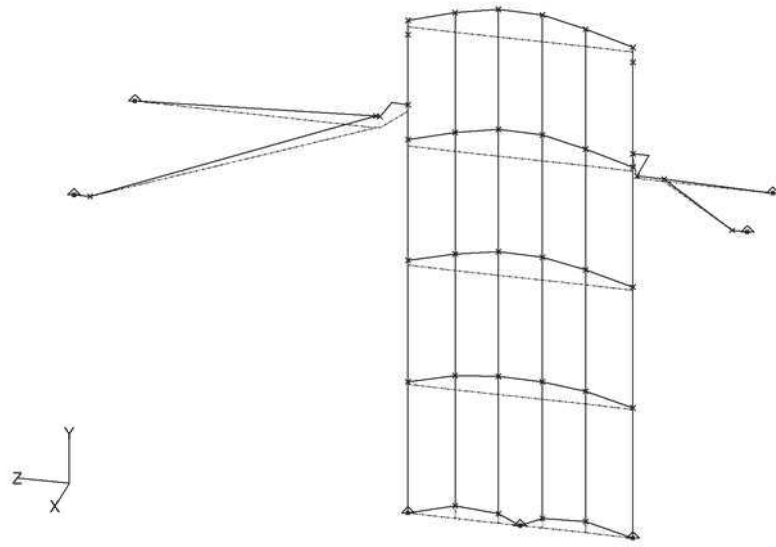


図 4-3 耐火隔壁（制御盤） 1次固有振動モード図（Y方向）

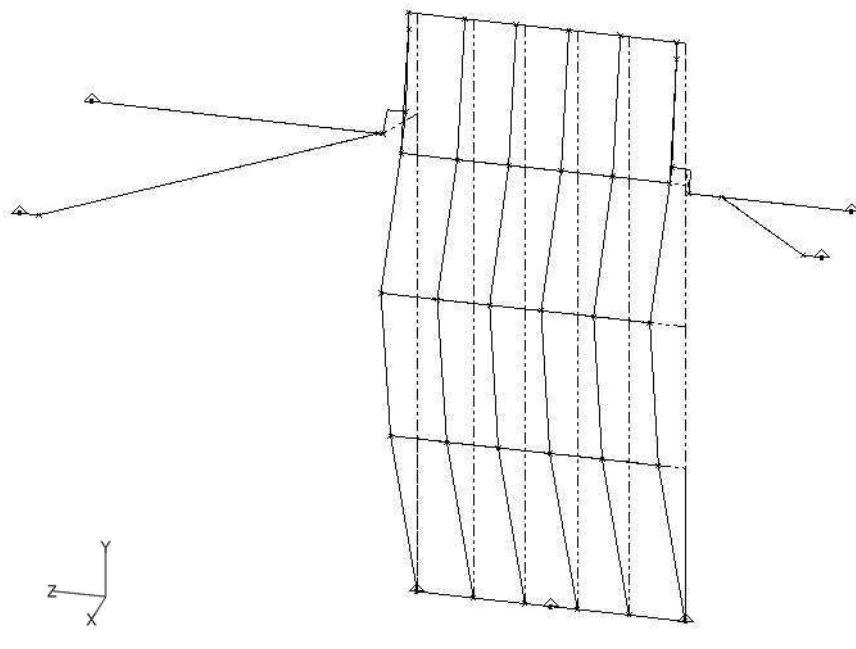


図 4-4 耐火隔壁（制御盤） 1次固有振動モード図（Z方向）



#### 4.5 設計用地震力

設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて示す耐火隔壁設置位置の上階における地震応答解析結果を用いる。地震応答解析に基づいて算定された最大応答加速度から設計震度を設定する。最大応答加速度から算出した基準地震動  $S_s$  による設計震度を表 4-5 に示す。

表 4-5 地震荷重の算出に用いる設計震度

設置場所及び床面高さ (m)		設計震度	
		水平方向	鉛直方向
制御建屋	O.P. 8.0	2.25*	1.39*

注記\*：耐火隔壁（制御盤）は基礎ボルトにより建屋躯体である床及び壁に固定されるため、設置床上階の設備評価用床応答曲線を用いる。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 フレーム部材の応力計算方法

モデルを用いて解析を行い、フレーム部材に生じる引張応力，せん断応力，曲げ応力ならびに組合せ応力が，許容応力以下となることを確認する。

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau_s^2}$$

### 4.6.2 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトに生じる引張応力，せん断応力並びに組合せ応力が，許容応力以下となることを確認する。

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

$$\tau_{bs} = \frac{Q_b}{n A_b}$$

#### 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【耐火隔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 フレーム部材の応力評価

4.6.1 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、許容組合せ応力は  $f_t$  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 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
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 $f_b$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

#### 4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_{bt}$  は許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{bs}, f_{to}]$$

せん断応力  $\tau$  はせん断力のみを受ける基礎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 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

耐火隔壁（制御盤）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により波及的影響を及ぼさないことを確認した。

#### (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。

【耐火隔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 $S_s$		周辺環境温度 (°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	
耐火隔壁 (制御盤)	C	制御建屋 O.P. 8.0* <sup>1</sup>			$C_H=2.25^{*2}$	$C_V=1.39^{*2}$	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：耐火隔壁（制御盤）は基礎ボルトにより建屋躯体である床及び壁に固定されるため、設置床上階の設備評価用床応答曲線を用いる。

1.2 機器要目

1.2.1 フレーム部材

部材	E (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)	$A_{rea}$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_1$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_2$ (mm <sup>3</sup> )	$A_{s1}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s2}$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_{p1}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p2}$ (mm <sup>3</sup> )

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2.2 基礎ボルト

部材	E (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	d (mm)	n	n <sub>f</sub>	L (mm)

1.3 計算数値

1.3.1 フレーム部材に作用する部材力

部材	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)	R <sub>3</sub> (N)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	M <sub>3</sub> (N・mm)

1.3.2 基礎ボルトに作用する発生力

部材	F <sub>b</sub> (N)	Q <sub>b</sub> (N)

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力
フレーム部材		引張	$\sigma_t = 5$	$f_t = 280$
		せん断	$\sigma_s = 9$	$f_s = 161$
		曲げ	$\sigma_b = 33$	$f_b = 280$
		組合せ (引張+曲げ+せん断)	41	280
基礎ボルト		引張	$\sigma_{bt} = 28$	$f_{ts} = 193$
		せん断	$\tau_{bs} = 31$	$f_{sb} = 148$

すべて許容応力以下である。



VI-2-11-2-14 制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	13
4.5 設計用地震力	14
4.6 計算方法	15
4.6.1 部材の応力	15
4.6.2 基礎ボルトの応力	16
4.7 計算条件	18
4.8 応力の評価	18
4.8.1 部材の応力評価	18
4.8.2 基礎ボルトの応力評価	18
5. 評価結果	19
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、添付書類「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」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である制御棒貯蔵ハンガが基準地震動  $S_s$  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、近傍に設置された上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックに対して、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

制御棒貯蔵ハンガは原子炉建屋の使用済燃料プール内に設置される。制御棒貯蔵ハンガは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された使用済燃料プール内に設置されていることから、転倒により使用済燃料貯蔵ラック及び使用済燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

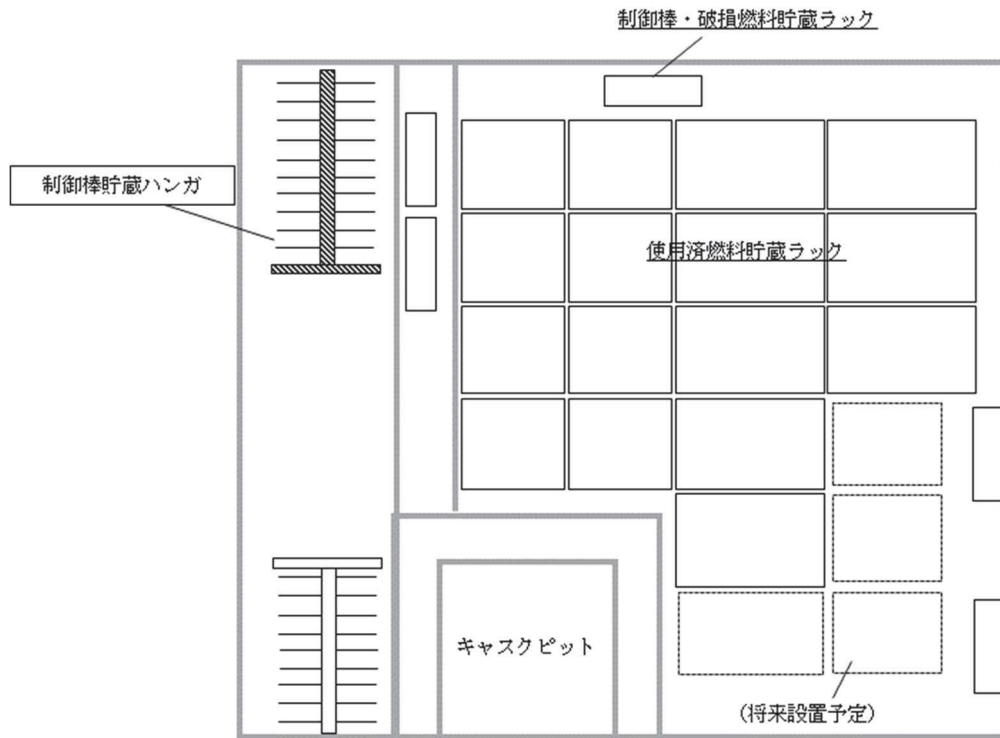


図2-1 制御棒貯蔵ハンガの位置関係図

2.2 構造計画

制御棒貯蔵ハンガの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p><b>基礎・支持構造</b></p> <p>制御棒貯蔵ハンガは、使用済燃料プールの底及び側壁に基礎ボルトを介して固定される。</p>	<p><b>主体構造</b></p> <p>吊り下げ式 (支持ビーム、ハンガ部及び制御棒の振れを防止する振れ止めで構成される溶接構造。)</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

制御棒貯蔵ハンガの応力評価は、添付書類「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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す制御棒貯蔵ハンガの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 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、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」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。

制御棒貯蔵ハンガの耐震評価フローを図2-2に示す。

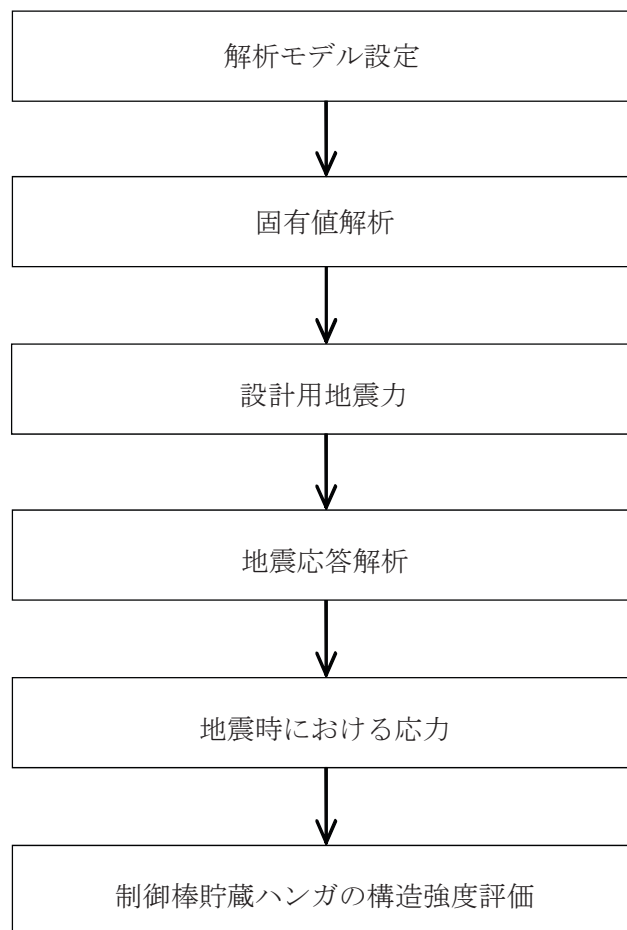


図2-2 制御棒貯蔵ハンガの耐震評価フロー

## 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。

- (1) 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)
- (2) 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 ・補一  
1984 ( (社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 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
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$A_x$	部材の断面積	$\text{mm}^2$
$A_y, A_z$	部材のせん断断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D$	死荷重	N
$E$	縦弾性係数	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131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
$F_x$	部材に働く引張力	N
$F_y, F_z$	部材に働くせん断力	N
$f_s$	部材の許容せん断応力	MPa
$f_{sb}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_t$	部材の許容引張応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$I_x, I_y, I_z$	部材の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4$	基礎ボルトの中心より板先端までの距離	mm
$M_D$	機械的荷重（設計基準対象施設）	N
$M_{SAD}$	機械的荷重（重大事故等対処設備）	N
$M_y, M_z$	部材に働く曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$m_h$	制御棒貯蔵ハンガの質量	kg
$N_m$	$M_y, M_z$ により生じる基礎ボルト1本当たりの最大引張応力	N
$n$	基礎ボルトの本数	—
$P_D$	最高使用圧力による荷重（設計基準対象施設）	N
$P_{SAD}$	設計圧力による荷重（重大事故等対処設備）	N
$S_u$	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
$Z_y, Z_z$	部材の断面係数	$\text{mm}^3$
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{fa}$	部材に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{ft}$	部材に生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_f$	部材に生じるせん断応力	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字6桁以上を確保する。

本資料で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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</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>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

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：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における設計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位を切り捨て、整数位までの値とする。



### 3. 評価部位

制御棒貯蔵ハンガの耐震評価は、「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、耐震評価上厳しくなるハンガ部、支持ビーム、振れ止め及び基礎ボルトについて実施する。制御棒貯蔵ハンガ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) 制御棒貯蔵ハンガは、原子炉建屋の使用済燃料プールの底部(0. P. 25. 20m)及び側壁(0. P. 29. 85m)に基礎ボルトで固定されるものとする。
- (2) 制御棒貯蔵ハンガの質量には、制御棒貯蔵ハンガ自身の質量のほか、制御棒貯蔵ハンガ部材の排除水質量\*を考慮する。
- (3) 地震力は、制御棒貯蔵ハンガ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。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 制御棒の貯蔵本数は、0本とする。

注記\*：排除水質量とは、水中の機器の形状により排除される機器周囲の流体の質量である。

## 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

制御棒貯蔵ハンガ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

制御棒貯蔵ハンガの許容応力は、添付書類「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

制御棒貯蔵ハンガ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
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒貯蔵 ハンガ	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_{AS}$

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
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒貯蔵 ハンガ	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容 限界を用いる。)

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-3 許容応力 (その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物)

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	
IV <sub>AS</sub>	引張	せん断	引張	せん断
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>AS</sub> (V <sub>AS</sub> としてIV <sub>AS</sub> の許容 限界を用いる。)	引張	せん断	引張	せん断
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
ハンガ部		最高使用温度	66		
支持ビーム		最高使用温度	66		
振れ止め		最高使用温度	66		
基礎ボルト		最高使用温度	66		

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
ハンガ部		最高使用温度	100		
支持ビーム		最高使用温度	100		
振れ止め		最高使用温度	100		
基礎ボルト		最高使用温度	100		

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.3 解析モデル及び諸元

制御棒貯蔵ハンガの解析モデルを図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【制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 制御棒貯蔵ハンガの解析モデルは、はり要素を用いた有限要素モデルとする。
- (2) 制御棒貯蔵ハンガは、使用済燃料プールの床及び側壁に基礎ボルトで固定されることから、拘束条件はフレームの壁及び床への取付部を固定とする。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (3) ハンガの質量にはハンガ自身の質量及びハンガ部材の排除水質量を考慮し、ハンガ部材の排除水質量は、節点に集中質量として与える。
- (4) 解析コードは、「NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付資料「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

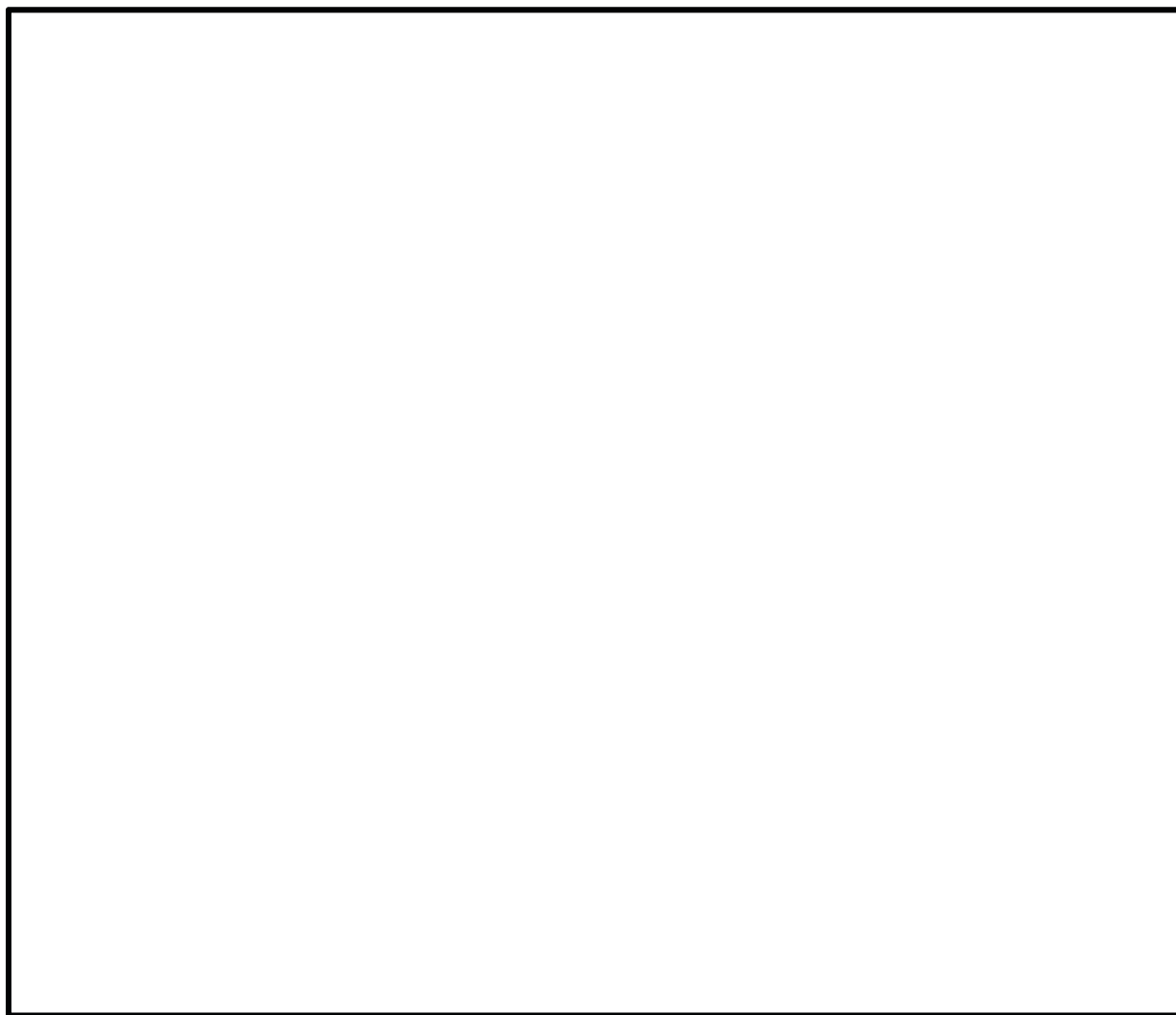


図4-1 制御棒貯蔵ハンガ解析モデル

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

#### 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 固有値解析結果

次数	卓越方向	固有周期 (s)
1次	水平方向	
2次	水平方向	
3次	鉛直方向	

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

#### 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、添付書類「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）

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
原子炉建屋 O.P. 33.20 <sup>*1</sup> O.P. 22.50 <sup>*2</sup> (O.P. 29.85)			$C_H=2.49$	$C_V=1.71$

注記\*1：上階の基準床レベルを示す。

\*2：下階の基準床レベルを示す。

表4-8 設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付け場所 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
原子炉建屋 O.P. 33.20 <sup>*1</sup> O.P. 22.50 <sup>*2</sup> (O.P. 29.85)			$C_H=2.49$	$C_V=1.71$

注記\*1：上階の基準床レベルを示す。

\*2：下階の基準床レベルを示す。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。



## 4.6 計算方法

### 4.6.1 部材の応力

応力計算は、図4-1の解析モデルにて、解析コード「NASTRAN」を使用して行い、本項に示す計算方法に従って引張応力、せん断応力及び組合せ応力を計算する。

解析コード内では、各部材の局所座標系及び引張力  $F_x$ 、せん断力  $F_y$ 、 $F_z$  及び曲げモーメント  $M_y$ 、 $M_z$  の働く向きを図4-2に示すように設定している。

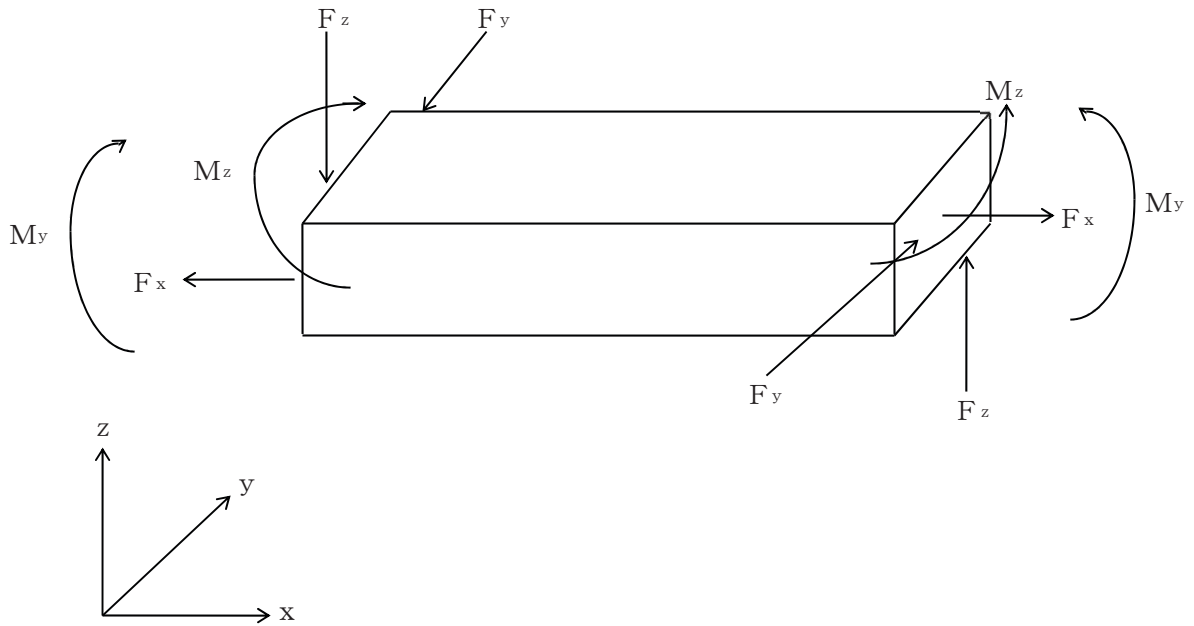


図4-2 部材の応力計算モデル

#### (1) せん断応力

せん断力  $F_y$ 、 $F_z$  により部材に生じるせん断応力  $\tau_f$  は(4.1)式より求める。

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_y}{A_y}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_z}\right)^2} \dots\dots\dots (4.1)$$

#### (2) 引張応力

引張力  $F_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ 、 $M_z$  により部材に生じる引張応力  $\sigma_{ft}$  は、(4.2)式より求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_x}{A_x} + \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (4.2)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力  $\sigma_{fa}$  は, (4.3)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \dots\dots\dots (4.3)$$

4.6.2 基礎ボルトの応力

応力計算は, 図4-1の解析モデルにて解析コード「NASTRAN」を使用して行い, 基礎ボルトに生じる引張力, せん断力及び曲げモーメントを求め, 本項に示す計算方法に従って計算する。

基礎ボルトの荷重状態を図4-3に示す。

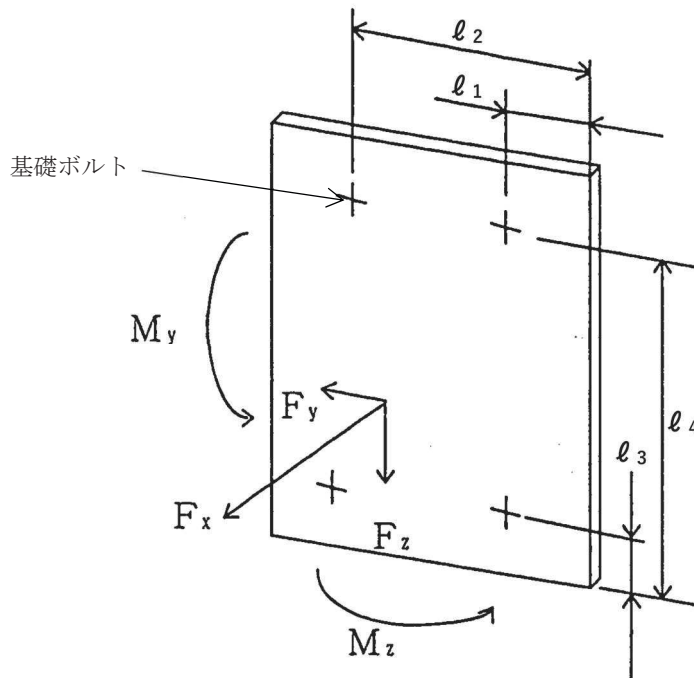


図4-3 基礎ボルトに作用する荷重の状態

(1) 引張応力

曲げモーメント  $M_y$ ,  $M_z$  により基礎ボルト1本に生じる最大引張力  $N_m$  及び引張力  $F_x$  より基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_b$  は, (4.4)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_m}{A_b} + \frac{F_x}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.4)$$

ここで,

$$N_m = \frac{l_4 \cdot M_y}{2 \cdot (l_3^2 + l_4^2)} + \frac{l_2 \cdot M_z}{2 \cdot (l_1^2 + l_2^2)} \dots\dots\dots (4.5)$$

(2) せん断応力

せん断力  $F_y$ ,  $F_z$  により基礎ボルトに生じるせん断応力  $\tau_b$  は (4.6) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6)$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（制御棒貯蔵ハンガ）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【制御棒貯蔵ハンガ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 部材の応力評価

4.6.1項で求めた部材の引張応力  $\sigma_{ft}$  及び組合せ応力  $\sigma_{fa}$  が、許容引張応力  $f_t$  以下であること。

また、4.6.1項で求めた部材のせん断応力  $\tau_f$  が、許容せん断応力  $f_s$  以下であること。

ただし、 $f_t$  及び  $f_s$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  が、次式よりもとめた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

また、4.6.2項で求めた基礎ボルトのせん断応力  $\tau_b$  が、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

かつ

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (4.8)$$

ただし、 $f_{to}$  及び  $f_{sb}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

制御棒貯蔵ハンガ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

制御棒貯蔵ハンガの重大事故等時の状態を考慮した場合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。

【制御棒貯蔵ハンガ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)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
制御棒貯蔵ハンガ	B	0. P. 33. 20* <sup>1</sup> 0. P. 22. 50* <sup>2</sup> (0. P. 29. 85)			C <sub>H</sub> =2. 49	C <sub>V</sub> =1. 71	66

注記\*1：上階の基準床レベルを示す。

\*2：下階の基準床レベルを示す。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

1.2 機器要目

1.2.1 固有周期の算出及び部材の応力評価に用いる要目

部材	材料	$A_x^*$ (mm <sup>2</sup> )	$A_y^*$ (mm <sup>2</sup> )	$A_z^*$ (mm <sup>2</sup> )	$I_x^*$ (mm <sup>4</sup> )	$I_y^*$ (mm <sup>4</sup> )	$I_z^*$ (mm <sup>4</sup> )	$Z_y^*$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_z^*$ (mm <sup>3</sup> )	E (MPa)
ハンガ部1		$2.240 \times 10^3$	$1.493 \times 10^3$	$1.493 \times 10^3$	$5.452 \times 10^5$	$9.147 \times 10^5$	$1.233 \times 10^6$	$2.613 \times 10^4$	$3.977 \times 10^4$	
ハンガ部2		$1.760 \times 10^3$	$1.173 \times 10^3$	$1.173 \times 10^3$	$3.826 \times 10^5$	$4.437 \times 10^5$	$9.686 \times 10^5$	$1.613 \times 10^4$	$3.124 \times 10^4$	
ハンガ部3		$4.340 \times 10^3$	$2.893 \times 10^3$	$2.893 \times 10^3$	$2.618 \times 10^6$	$1.772 \times 10^6$	$1.390 \times 10^6$	$5.063 \times 10^4$	$4.485 \times 10^4$	
支持ビーム1		$1.418 \times 10^4$	$4.650 \times 10^3$	$7.797 \times 10^3$	$9.806 \times 10^7$	$1.080 \times 10^8$	$4.680 \times 10^7$	$8.638 \times 10^5$	$6.240 \times 10^5$	
支持ビーム2		$8.123 \times 10^3$	$4.072 \times 10^3$	$4.072 \times 10^3$	$8.451 \times 10^7$	$4.226 \times 10^7$	$4.226 \times 10^7$	$3.907 \times 10^5$	$3.907 \times 10^5$	
支持ビーム3		$5.329 \times 10^3$	$2.674 \times 10^3$	$2.674 \times 10^3$	$3.184 \times 10^7$	$1.592 \times 10^7$	$1.592 \times 10^7$	$1.927 \times 10^5$	$1.927 \times 10^5$	
支持ビーム4		$2.041 \times 10^3$	$1.023 \times 10^3$	$1.023 \times 10^3$	$6.004 \times 10^6$	$3.002 \times 10^6$	$3.002 \times 10^6$	$5.253 \times 10^4$	$5.253 \times 10^4$	
振れ止め1		$1.800 \times 10^3$	$6.940 \times 10^2$	$8.733 \times 10^2$	$8.640 \times 10^4$	$2.572 \times 10^5$	$1.293 \times 10^6$	$1.029 \times 10^4$	$3.494 \times 10^4$	
振れ止め2		$6.000 \times 10^2$	$4.000 \times 10^2$	$4.000 \times 10^2$	$2.444 \times 10^4$	$7.200 \times 10^3$	$1.250 \times 10^5$	$1.200 \times 10^3$	$5.000 \times 10^3$	

注記\* :  $A_x, A_y, A_z, I_x, I_y, I_z, Z_y, Z_z$  は部材のNS方向をx軸とした局所座標系に従う。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F*
ハンガ部					
支持ビーム					
振れ止め					

1.2.2 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

部材	材料	m <sub>h</sub> (kg)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	n	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト			40	300	40	300	4	3.142×10 <sup>2</sup>

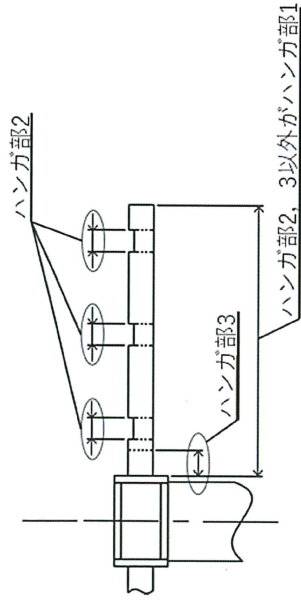
部材	材料	NS方向*				EW方向*				
		F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)	M <sub>z</sub> (N・mm)	F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)	M <sub>y</sub> (N・mm)	M <sub>z</sub> (N・mm)
基礎ボルト		6.287×10 <sup>3</sup>	1.473×10 <sup>3</sup>	5.365×10	2.727×10 <sup>4</sup>	7.545×10 <sup>5</sup>	2.916×10 <sup>4</sup>	4.798×10 <sup>3</sup>	2.940×10 <sup>6</sup>	1.606×10 <sup>5</sup>

注記\*：ハンガに対して作用する水平方向地震力の方向を示す。

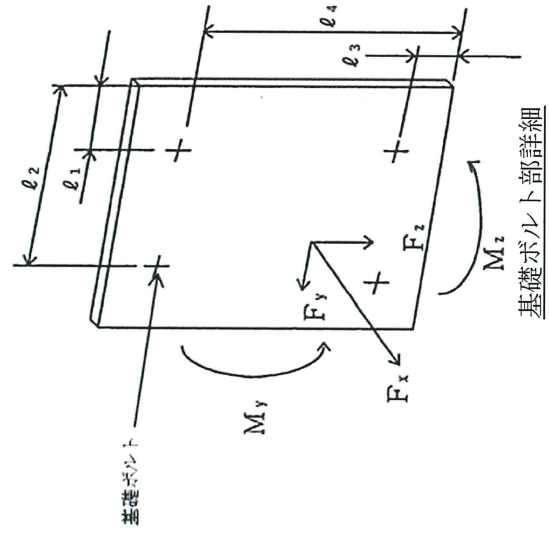
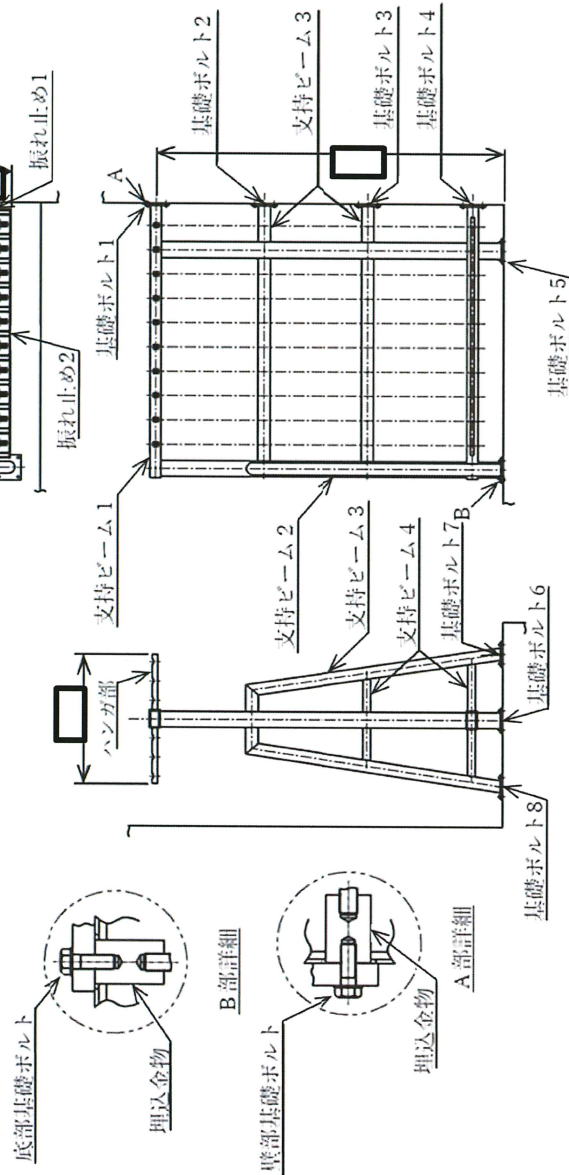
枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。



部材	材料	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
基礎ボルト				



ハンガ部詳細



基礎ボルト部詳細

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

### 1.3 計算数値

#### 1.3.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 $S_s$
ハンガ部1		引張 $\sigma_{ft}$	7
		せん断 $\tau_f$	1
		組合せ $\sigma_{fa}$	7
ハンガ部2		引張 $\sigma_{ft}$	9
		せん断 $\tau_f$	1
		組合せ $\sigma_{fa}$	9
ハンガ部3		引張 $\sigma_{ft}$	6
		せん断 $\tau_f$	1
		組合せ $\sigma_{fa}$	6
支持ビーム1		引張 $\sigma_{ft}$	22
		せん断 $\tau_f$	3
		組合せ $\sigma_{fa}$	22
支持ビーム2	引張 $\sigma_{ft}$	24	
	せん断 $\tau_f$	5	
	組合せ $\sigma_{fa}$	25	
支持ビーム3	引張 $\sigma_{ft}$	26	
	せん断 $\tau_f$	7	
	組合せ $\sigma_{fa}$	29	
支持ビーム4	引張 $\sigma_{ft}$	39	
	せん断 $\tau_f$	7	
	組合せ $\sigma_{fa}$	41	
振れ止め1	引張 $\sigma_{ft}$	24	
	せん断 $\tau_f$	1	
	組合せ $\sigma_{fa}$	24	
振れ止め2	引張 $\sigma_{ft}$	6	
	せん断 $\tau_f$	0	
	組合せ $\sigma_{fa}$	6	

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト1		引張 $\sigma_b$	92
		せん断 $\tau_b$	12
基礎ボルト2		引張 $\sigma_b$	20
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト3		引張 $\sigma_b$	16
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト4		引張 $\sigma_b$	21
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト5		引張 $\sigma_b$	37
		せん断 $\tau_b$	8
基礎ボルト6		引張 $\sigma_b$	60
		せん断 $\tau_b$	11
基礎ボルト7		引張 $\sigma_b$	40
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト8		引張 $\sigma_b$	40
		せん断 $\tau_b$	4

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

## 1.4 応力

### 1.4.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
ハンガ部2		引張	$\sigma_{ft}=9$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=1$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=9$	$f_t=205$
支持ビーム4		引張	$\sigma_{ft}=39$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=7$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=41$	$f_t=205$
振れ止め1		引張	$\sigma_{ft}=24$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=1$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=24$	$f_t=205$

すべて許容応力以下である。

### 1.4.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト1		引張	$\sigma_b=92$	$f_{ts}=455^*$
		せん断	$\tau_b=12$	$f_{sb}=350^*$

注記\*： $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

【制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
制御棒貯蔵ハンガ	—	0. P. 33. 20 <sup>*1</sup> 0. P. 22. 50 <sup>*2</sup> (0. P. 29. 85)			C <sub>H</sub> =2. 49	C <sub>V</sub> =1. 71	100

注記\*1：上階の基準床レベルを示す。

\*2：下階の基準床レベルを示す。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

2.2 機器要目

2.2.1 固有周期の算出及び部材の応力評価に用いる要目

部材	材料	$A_x^*$ (mm <sup>2</sup> )	$A_y^*$ (mm <sup>2</sup> )	$A_z^*$ (mm <sup>2</sup> )	$I_x^*$ (mm <sup>4</sup> )	$I_y^*$ (mm <sup>4</sup> )	$I_z^*$ (mm <sup>4</sup> )	$Z_y^*$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_z^*$ (mm <sup>3</sup> )	E (MPa)
ハンガ部1		$2.240 \times 10^3$	$1.493 \times 10^3$	$1.493 \times 10^3$	$5.452 \times 10^5$	$9.147 \times 10^5$	$1.233 \times 10^6$	$2.613 \times 10^4$	$3.977 \times 10^4$	
ハンガ部2		$1.760 \times 10^3$	$1.173 \times 10^3$	$1.173 \times 10^3$	$3.826 \times 10^5$	$4.437 \times 10^5$	$9.686 \times 10^5$	$1.613 \times 10^4$	$3.124 \times 10^4$	
ハンガ部3		$4.340 \times 10^3$	$2.893 \times 10^3$	$2.893 \times 10^3$	$2.618 \times 10^6$	$1.772 \times 10^6$	$1.390 \times 10^6$	$5.063 \times 10^4$	$4.485 \times 10^4$	
支持ビーム1		$1.418 \times 10^4$	$4.650 \times 10^3$	$7.797 \times 10^3$	$9.806 \times 10^7$	$1.080 \times 10^8$	$4.680 \times 10^7$	$8.638 \times 10^5$	$6.240 \times 10^5$	
支持ビーム2		$8.123 \times 10^3$	$4.072 \times 10^3$	$4.072 \times 10^3$	$8.451 \times 10^7$	$4.226 \times 10^7$	$4.226 \times 10^7$	$3.907 \times 10^5$	$3.907 \times 10^5$	
支持ビーム3		$5.329 \times 10^3$	$2.674 \times 10^3$	$2.674 \times 10^3$	$3.184 \times 10^7$	$1.592 \times 10^7$	$1.592 \times 10^7$	$1.927 \times 10^5$	$1.927 \times 10^5$	
支持ビーム4		$2.041 \times 10^3$	$1.023 \times 10^3$	$1.023 \times 10^3$	$6.004 \times 10^6$	$3.002 \times 10^6$	$3.002 \times 10^6$	$5.253 \times 10^4$	$5.253 \times 10^4$	
振れ止め1		$1.800 \times 10^3$	$6.940 \times 10^2$	$8.733 \times 10^2$	$8.640 \times 10^4$	$2.572 \times 10^5$	$1.293 \times 10^6$	$1.029 \times 10^4$	$3.494 \times 10^4$	
振れ止め2		$6.000 \times 10^2$	$4.000 \times 10^2$	$4.000 \times 10^2$	$2.444 \times 10^4$	$7.200 \times 10^3$	$1.250 \times 10^5$	$1.200 \times 10^3$	$5.000 \times 10^3$	

注記\* :  $A_x, A_y, A_z, I_x, I_y, I_z, Z_y, Z_z$  は部材のNS方向をx軸とした局所座標系に従う。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F*
ハンガ部					
支持ビーム					
振れ止め					

2.2.2 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

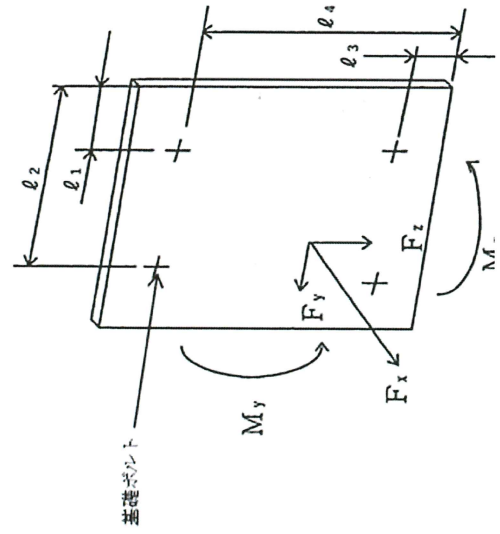
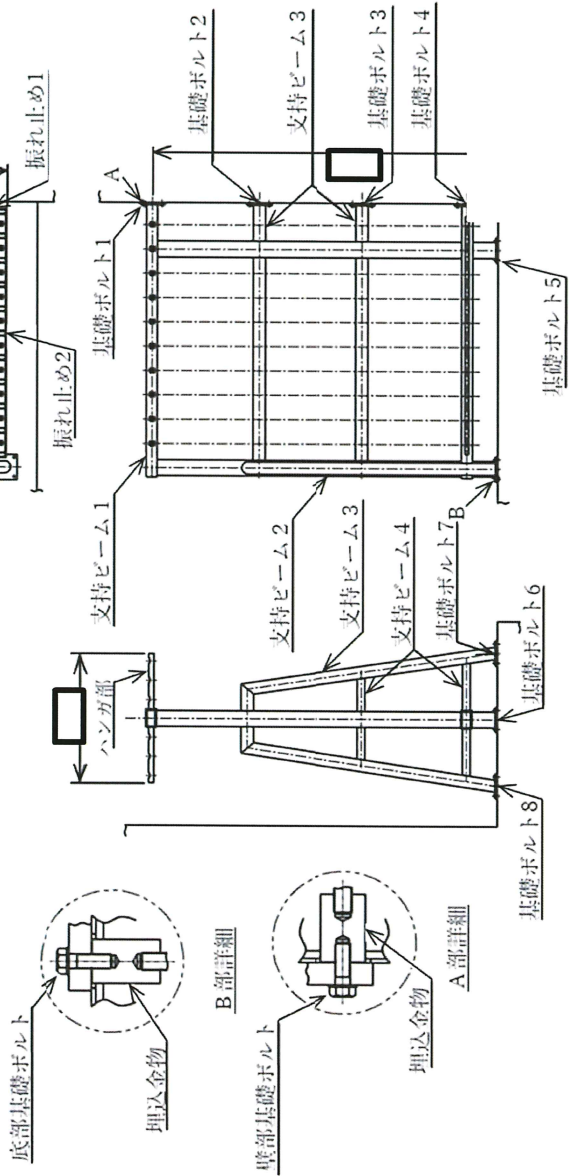
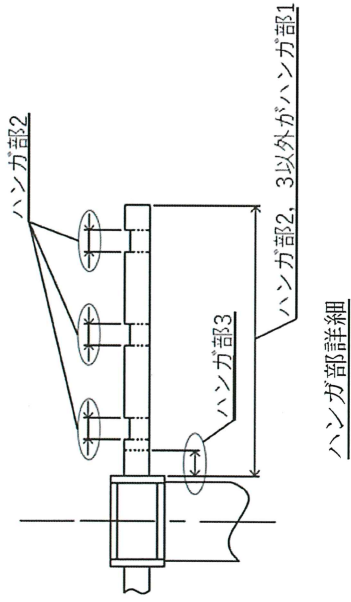
部材	材料	m <sub>h</sub> (kg)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	n	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト			40	300	40	300	4	3.142×10 <sup>2</sup>

部材	材料	NS方向*				EW方向*				
		F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)	M <sub>z</sub> (N・mm)	F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)	M <sub>y</sub> (N・mm)	M <sub>z</sub> (N・mm)
基礎ボルト		6.287×10 <sup>3</sup>	1.473×10 <sup>3</sup>	5.365×10	2.727×10 <sup>4</sup>	7.545×10 <sup>5</sup>	2.916×10 <sup>4</sup>	4.798×10 <sup>3</sup>	2.940×10 <sup>6</sup>	1.606×10 <sup>5</sup>

注記\*：ハンガに対して作用する水平方向地震力の方向を示す。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

部材	材料	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
基礎ボルト				



基礎ボルト部詳細

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。



## 2.3 計算数値

### 2.3.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 $S_s$
ハンガ部1		引張 $\sigma_{ft}$	7
		せん断 $\tau_f$	1
		組合せ $\sigma_{fa}$	7
ハンガ部2		引張 $\sigma_{ft}$	9
		せん断 $\tau_f$	1
		組合せ $\sigma_{fa}$	9
ハンガ部3		引張 $\sigma_{ft}$	6
		せん断 $\tau_f$	1
		組合せ $\sigma_{fa}$	6
支持ビーム1		引張 $\sigma_{ft}$	22
		せん断 $\tau_f$	3
		組合せ $\sigma_{fa}$	22
支持ビーム2		引張 $\sigma_{ft}$	24
		せん断 $\tau_f$	5
		組合せ $\sigma_{fa}$	25
支持ビーム3		引張 $\sigma_{ft}$	26
		せん断 $\tau_f$	7
		組合せ $\sigma_{fa}$	29
支持ビーム4		引張 $\sigma_{ft}$	39
		せん断 $\tau_f$	7
		組合せ $\sigma_{fa}$	41
振れ止め1		引張 $\sigma_{ft}$	24
		せん断 $\tau_f$	1
		組合せ $\sigma_{fa}$	24
振れ止め2		引張 $\sigma_{ft}$	6
		せん断 $\tau_f$	0
		組合せ $\sigma_{fa}$	6

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト1		引張 $\sigma_b$	92
		せん断 $\tau_b$	12
基礎ボルト2		引張 $\sigma_b$	20
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト3		引張 $\sigma_b$	16
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト4		引張 $\sigma_b$	21
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト5		引張 $\sigma_b$	37
		せん断 $\tau_b$	8
基礎ボルト6		引張 $\sigma_b$	60
		せん断 $\tau_b$	11
基礎ボルト7		引張 $\sigma_b$	40
		せん断 $\tau_b$	4
基礎ボルト8		引張 $\sigma_b$	40
		せん断 $\tau_b$	4

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

## 2.4 応力

### 2.4.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
ハンガ部2		引張	$\sigma_{ft}=9$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=1$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=9$	$f_t=205$
支持ビーム4		引張	$\sigma_{ft}=39$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=7$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=41$	$f_t=205$
振れ止め1		引張	$\sigma_{ft}=24$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=1$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=24$	$f_t=205$

すべて許容応力以下である。

### 2.4.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト1		引張	$\sigma_b=92$	$f_{ts}=444^*$
		せん断	$\tau_b=12$	$f_{sb}=341$

注記\*： $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

枠囲みの部分は商業機密の観点から公開できません。

VI-2-11-2-16 前面護岸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	5
2.4 適用基準	8
3. 耐震評価	9
3.1 評価対象断面	9
3.2 解析方法	11
3.2.1 地盤物性のばらつき	11
3.2.2 減衰定数	12
3.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定	13
3.3 荷重及び荷重の組合せ	14
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	14
3.3.2 荷重	14
3.3.3 荷重の組合せ	15
3.4 入力地震動	16
3.5 解析モデル及び諸元	31
3.5.1 解析モデル	31
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	33
3.5.3 地盤の物性値	33
3.5.4 地下水位	33
3.6 許容限界	35
3.6.1 改良地盤	35
3.6.2 置換工	35
3.7 評価方法	36
3.7.1 改良地盤の健全性評価	36
3.7.2 置換工の健全性評価	36
4. 耐震評価結果	37
4.1 改良地盤	37
4.2 置換工	38

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、前面護岸が、上位クラス施設である取水口及び貯留堰（以下「取水口」という。）の近傍に位置していることから、上位クラス施設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。

波及的影響の評価は、上位クラス施設の機能が保持されることを確認するために、前面護岸を対象に、取水口の設計に適用する基準地震動 $S_s$ に対する耐震評価により行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

前面護岸の位置を図 2-1 に示す。

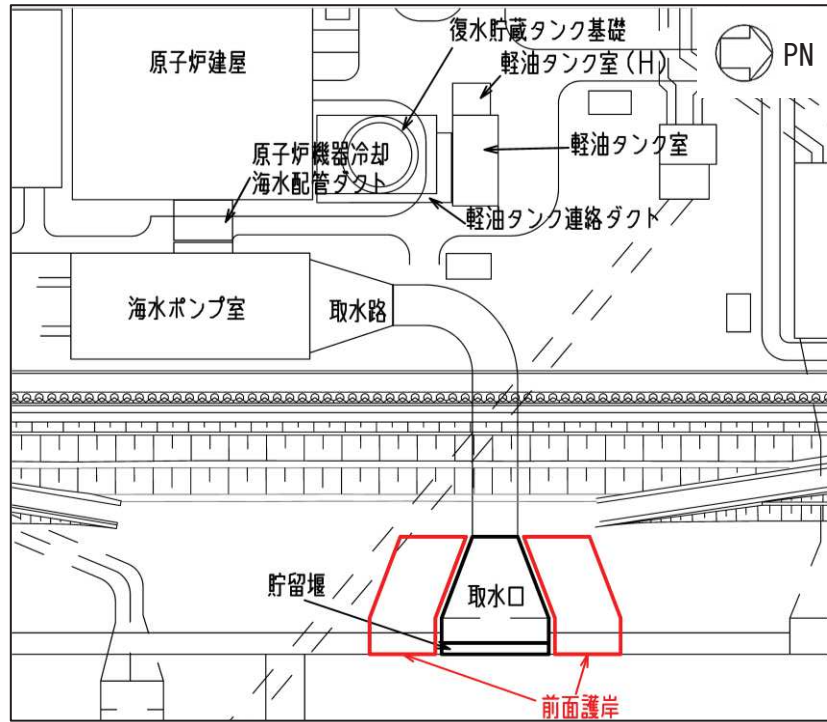


図 2-1 前面護岸の位置図

## 2.2 構造概要

前面護岸の平面図を図 2-2 に、縦断図を図 2-3 に、断面図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。

前面護岸はタイロッド式矢板護岸であるが、取水口の側面（護岸背面）に改良地盤及びコンクリート置換工（以下「置換工」という。）が配置されている。改良地盤は、延長 37.80m（東西）、幅 21.00m（南北）、高さ 12.08m～14.55m であり、置換工は、延長 11.50m（東西）、幅 18.00m（南北）、高さ 7.16m（取水口北側）、7.47m（取水口南側）である。改良地盤は十分な支持性能を有する岩盤に支持され、置換工は改良地盤を介して岩盤に支持されている。

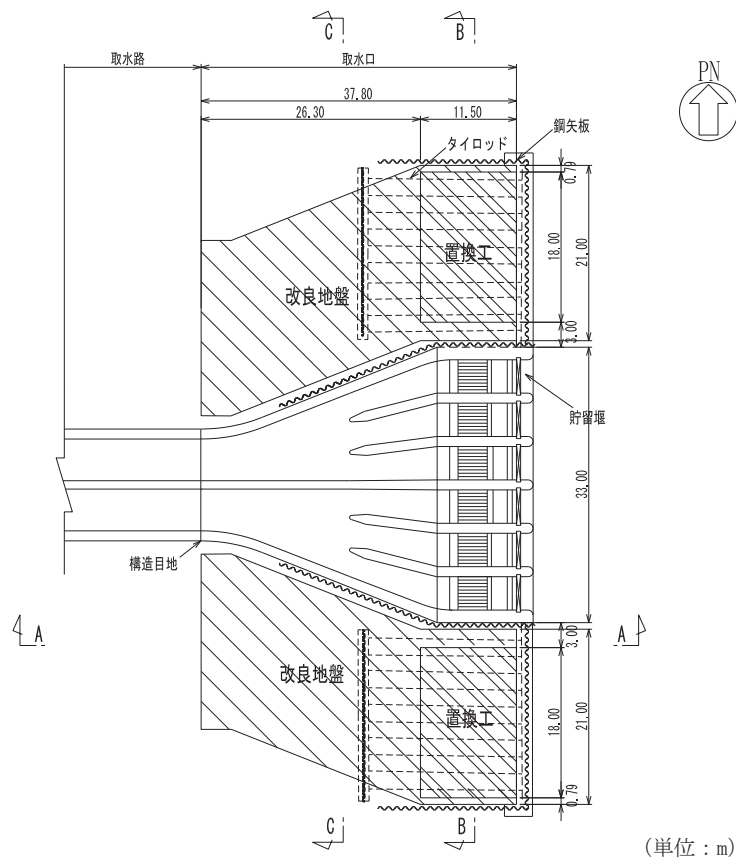


図 2-2 前面護岸平面図

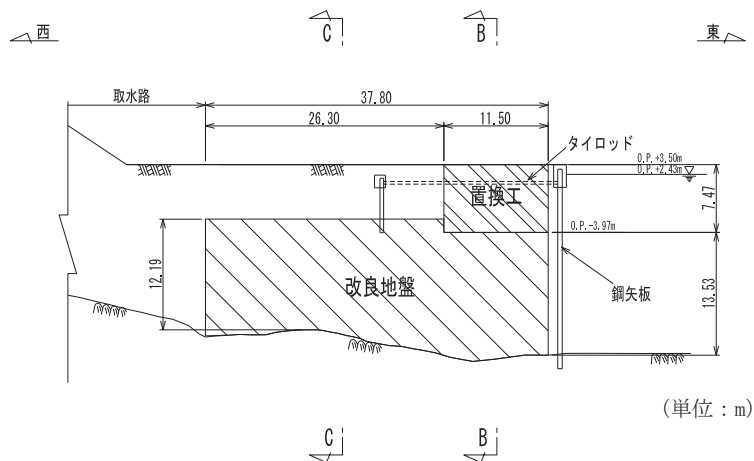


図 2-3 前面護岸縦断図 (A-A 断面)



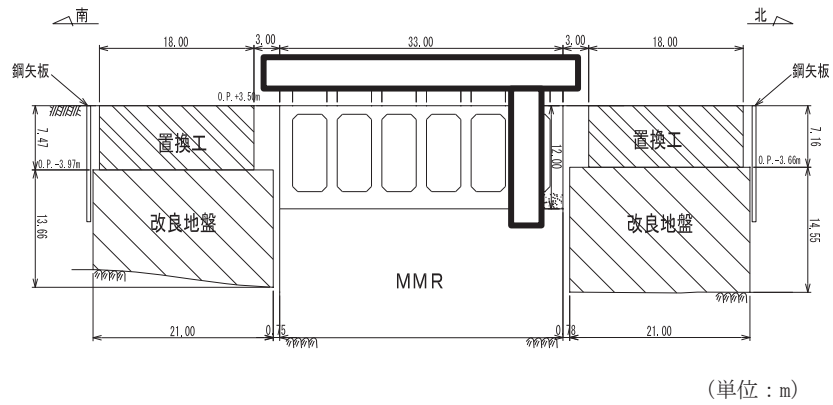


図 2-4 前面護岸断面図 (B-B 断面)

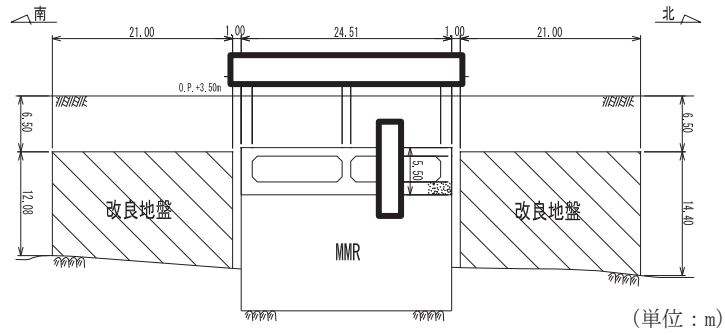


図 2-5 前面護岸断面図 (C-C 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

前面護岸は、取水口と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響評価を行う。

前面護岸の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

前面護岸の波及的影響評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 の前面護岸の評価項目に示すとおり、前面護岸背面に位置する改良地盤及び置換工の健全性評価を行う。

ここで、前面護岸は、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、波及的影響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。

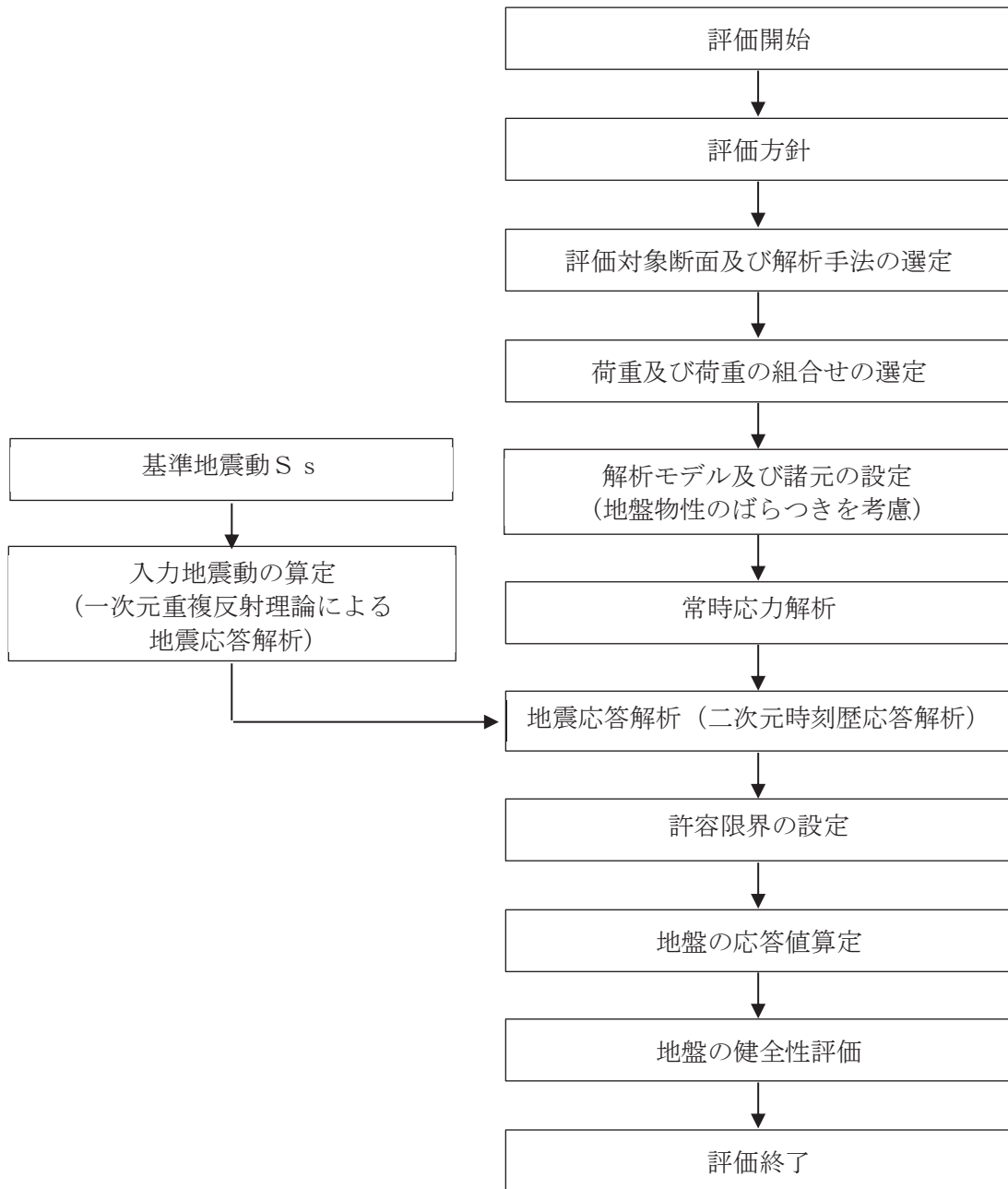


図 2-6 前面護岸の耐震評価フロー

表 2-1 前面護岸の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
地盤の安定性を有すること	地盤の健全性	改良地盤	すべり破壊しないことを確認	すべり安全率 1.2
		置換工	すべり破壊しないことを確認	すべり安全率 1.2

## 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）
- 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年6月制定）
- コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編]（土木学会，2013年制定）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会）

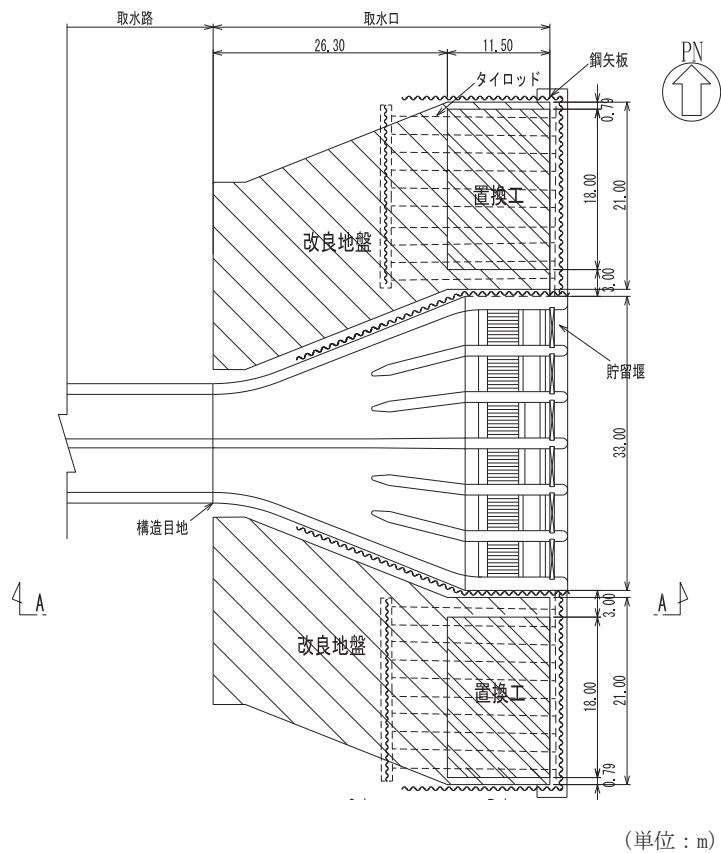
### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

改良地盤及び置換工のすべり破壊に伴う取水口の取水機能に対する波及的影響を検討する観点から、評価対象断面は前面護岸の汀線直交方向である東西方向から選定する。

取水口の北側と南側では改良地盤及び置換工の延長（東西）、幅（南北）は同等であるが、高さに若干違いがある。置換工は、取水口の南側の方が高く、南側の改良地盤は、取水口に近い側が高くなっており、高い方がすべり安定性に対し厳しくなることから、評価対象断面は図 3-1 に示す A-A 断面とする。

評価対象地質断面図を図 3-2 に示す。



(単位：m)

図 3-1 前面護岸の評価対象断面位置図

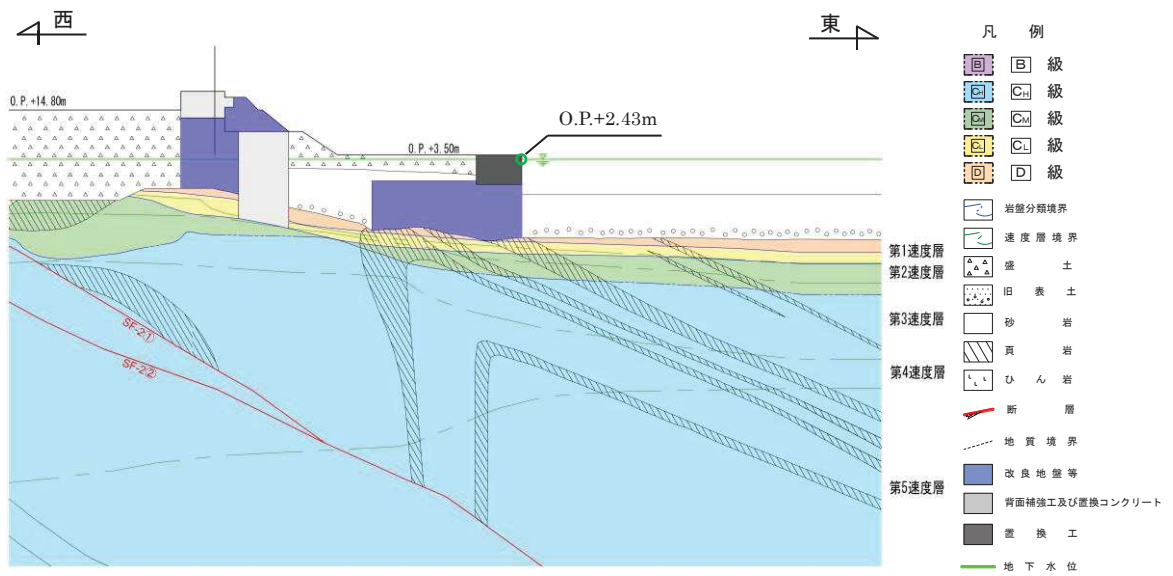


図3-2 前面護岸 評価対象地質断面図 (A-A断面)

### 3.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「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」に示す解析手法及び解析モデルを踏まえて設定する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、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より行う。改良地盤及び置換工のすべり安定性は、周辺の盛土・旧表土から作用する土圧による影響が支配的であることを考慮し、解析手法は、土圧の影響が大きく評価される全応力解析とする。

地盤については、ひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。地震応答解析については、解析コード「Soil Plus Ver.2015 Build3」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 地盤物性のばらつき

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

図 3-2 に示すとおり前面護岸には、旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布している。これらの地盤のせん断変形が地震時に前面護岸の健全性に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の初期せん断弾性係数のばらつきについて影響を確認する。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤、セメント改良土、改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	$C_1$ 級岩盤、 $C_M$ 級岩盤、 $C_H$ 級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値+ $1\sigma$	平均値
ケース③	平均値- $1\sigma$	平均値



### 3.2.2 減衰定数

減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した  $\alpha$ 、 $\beta$  を表 3-2 に示す。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[c] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

$\alpha$ 、 $\beta$  : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$ 、 $\beta$  の設定結果

評価対象断面	$\alpha$	$\beta$
東西方向	$5.86 \times 10^{-1}$	$5.12 \times 10^{-4}$

### 3.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、すべての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、すべり安全率に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1 $\sigma$		平均値-1 $\sigma$	
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*	○	基準地震動 $S_s$ (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波), 鉛直動の位相反転を考慮した地震動 (3 波) 及び水平動・鉛直動の位相反転を考慮した地震動 (3 波) を加えた全 20 波より照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、すべり安全率に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②~③を実施する。			
		-+*	○				
		+ -*	○				
		--*	○				
	$S_s - D 2$	++*	○				
		-+*	○				
		+ -*	○				
		--*	○				
	$S_s - D 3$	++*	○				
		-+*	○				
		+ -*	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - F 3$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				

注記 \* : 耐震評価にあたっては、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 原子力土木委員会, 2005 年 6 月) (以下「土木学会マニュアル」という。) に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++ の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

前面護岸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

積雪を考慮する。改良地盤及び置換工は埋設されているため風の影響は考慮しない。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、風の影響を考慮する。

##### (4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.3.2 荷重

前面護岸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、前面護岸（改良地盤及び置換工）の自重を考慮する。

##### (2) 積載荷重（P）

積載荷重として、積雪荷重  $P_s$  を含めて地表面に  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

##### (3) 積雪荷重（ $P_s$ ）

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である  $43\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第  $86$  条第  $2$  項により、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重（ $S_s$ ）

基準地震動  $S_s$  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 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$  を地表面に考慮)

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )

### 3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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  $S_s$  を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4～図 3-17 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「Ark Quake Ver. 3.10」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

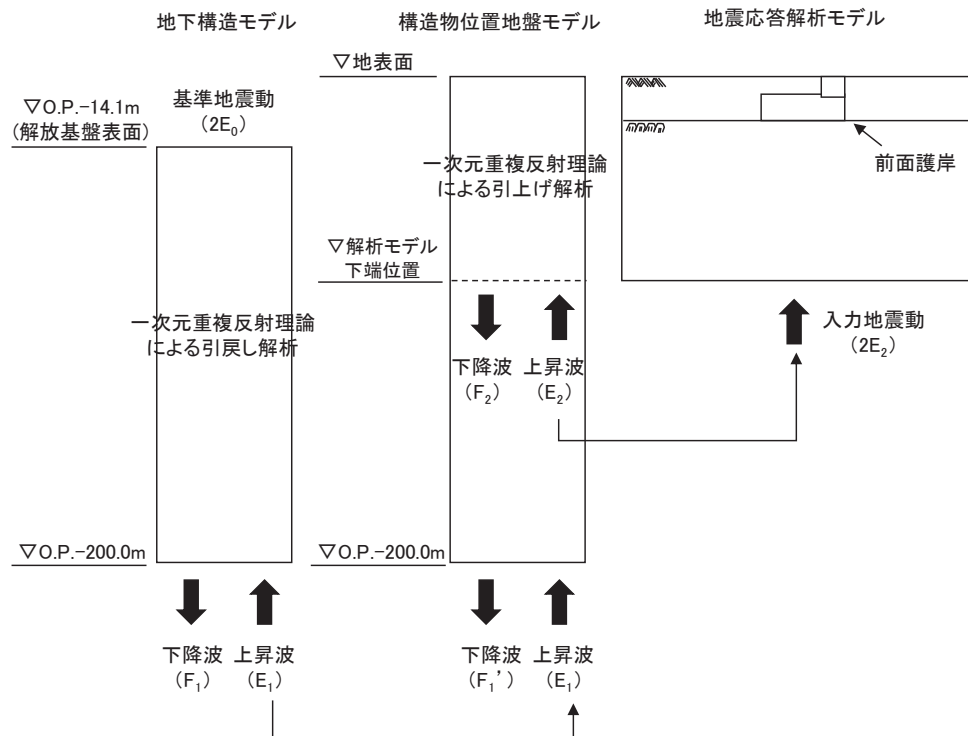
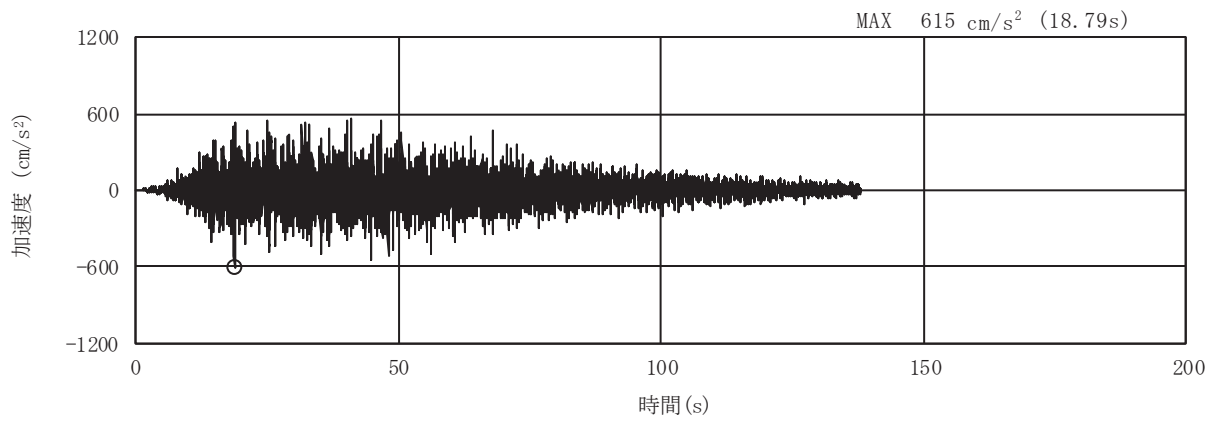
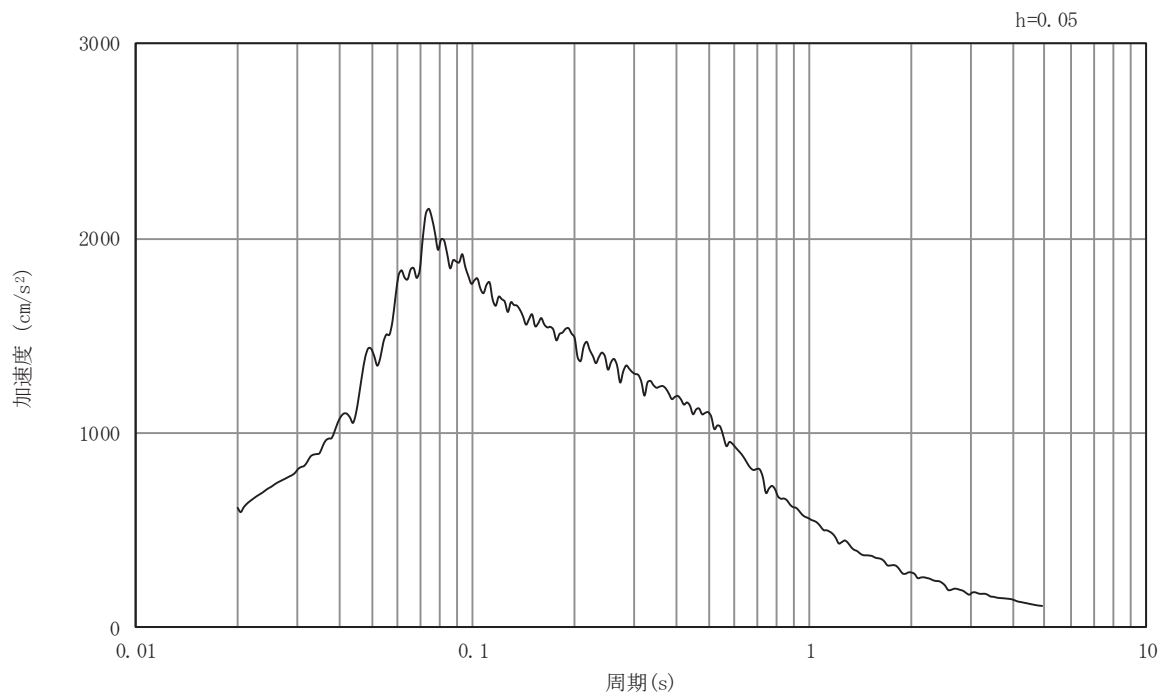


図 3-3 入力地震動算定の概念図

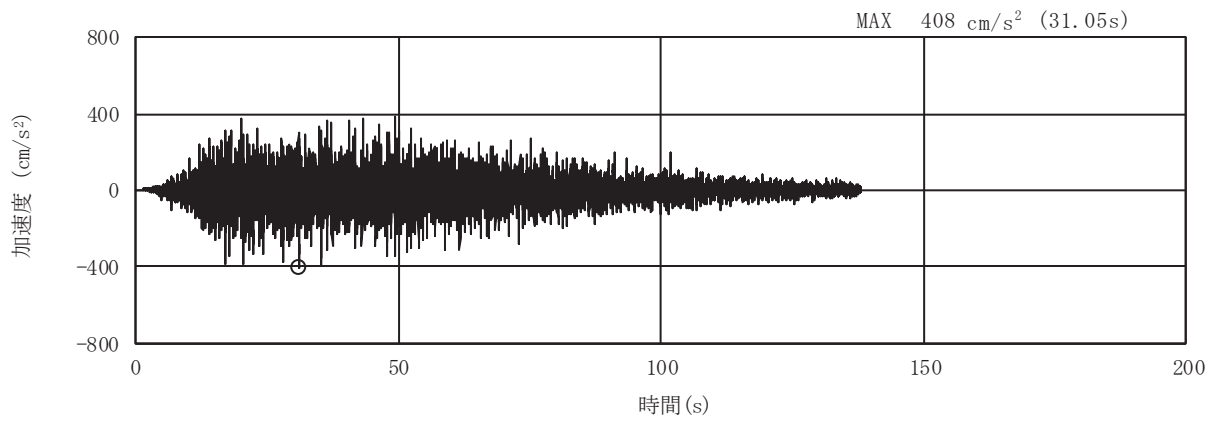


(a) 加速度時刻歴波形

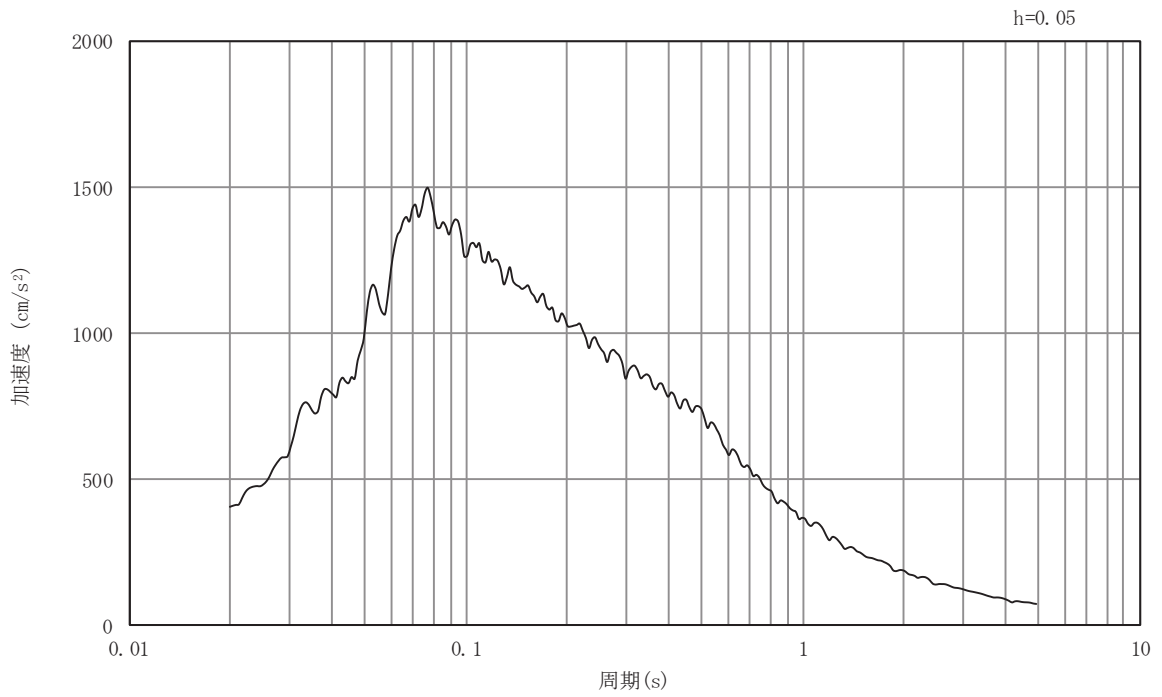


(b) 加速度応答スペクトル

図3-4 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  
(水平成分：S s - D 1)

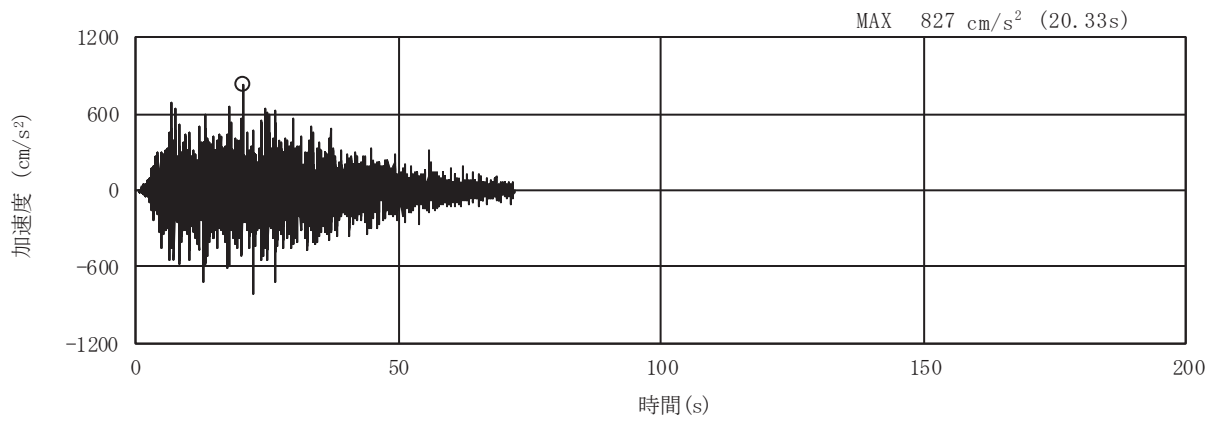


(a) 加速度時刻歴波形

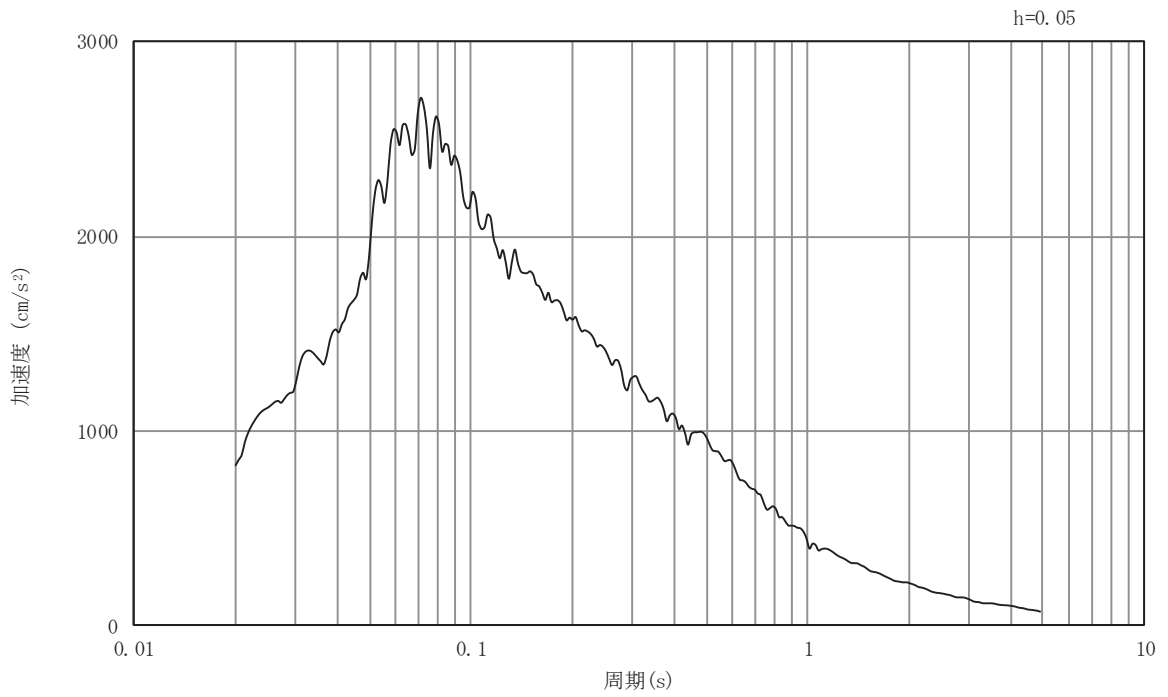


(b) 加速度応答スペクトル

図3-5 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  
(鉛直成分：S s - D 1)



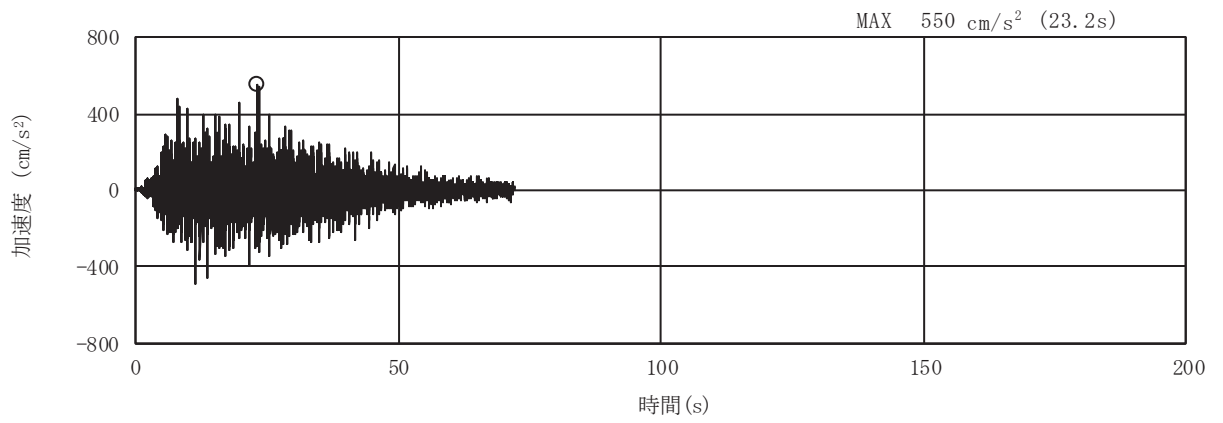
(a) 加速度時刻歴波形



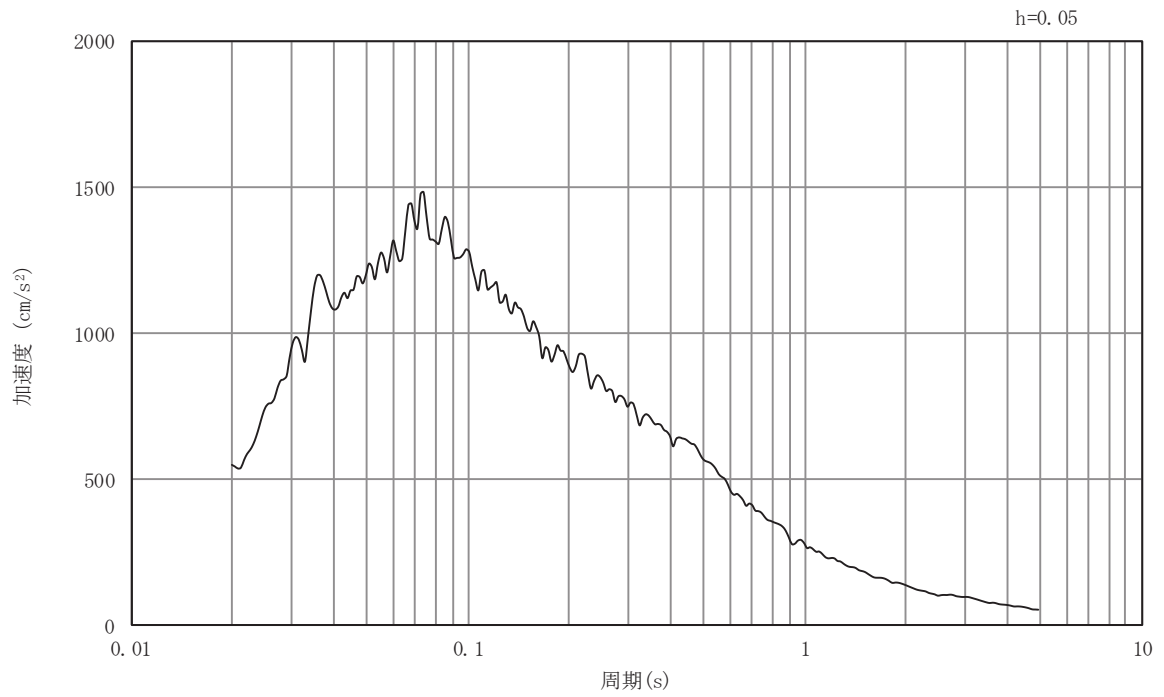
(b) 加速度応答スペクトル

図3-6 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  
(水平成分：S s - D 2)



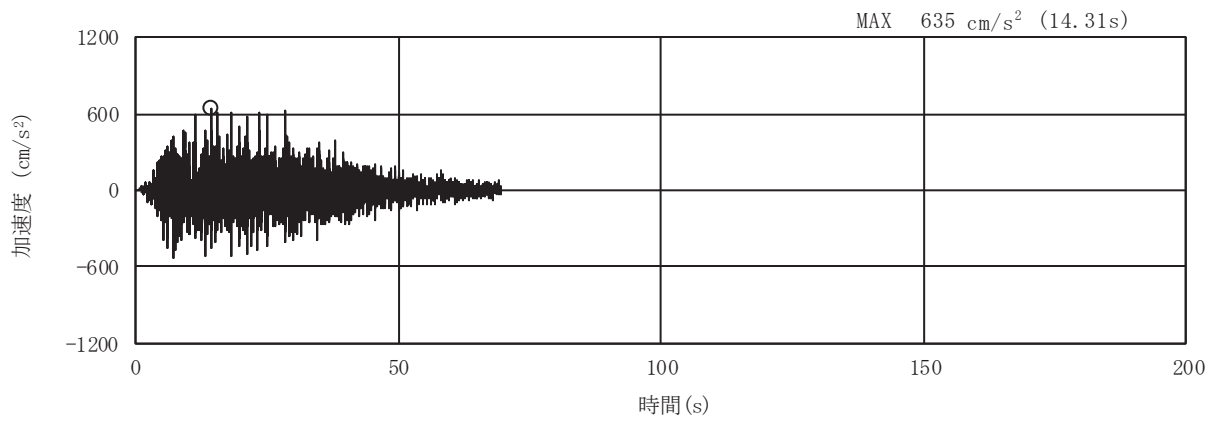


(a) 加速度時刻歴波形

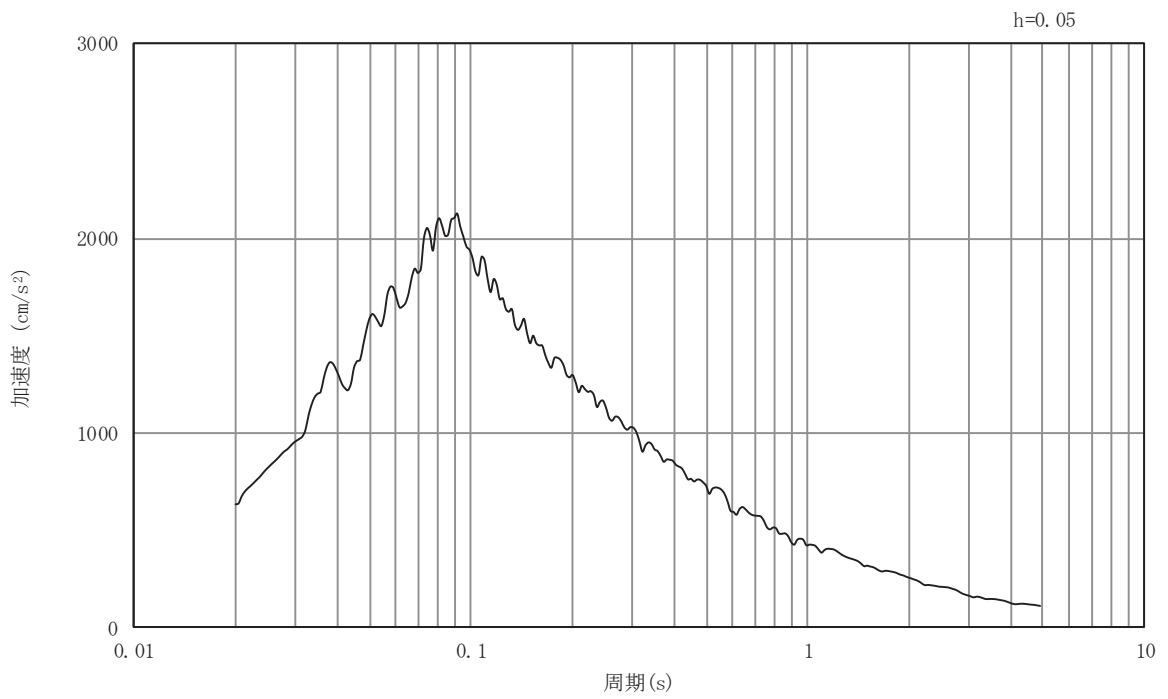


(b) 加速度応答スペクトル

図3-7 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  
(鉛直成分：S s - D 2)

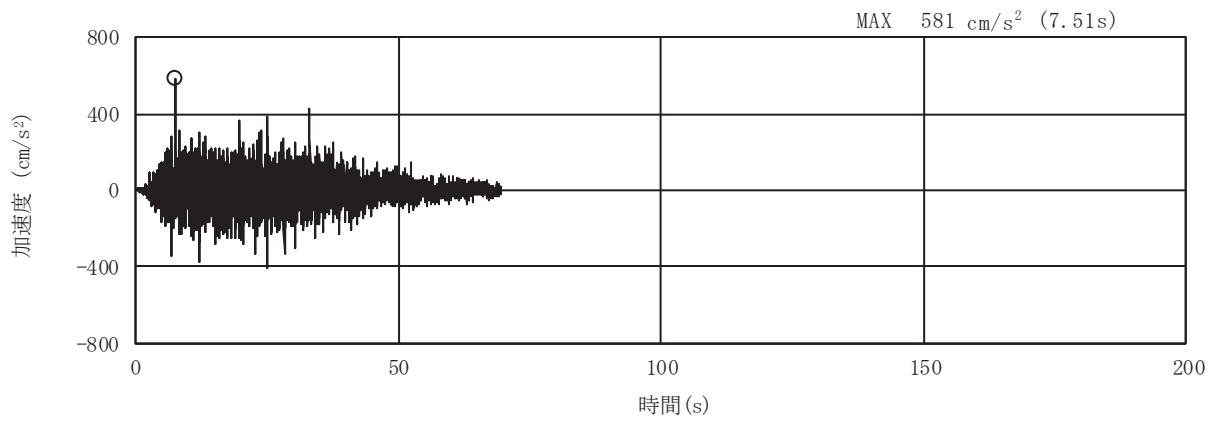


(a) 加速度時刻歴波形

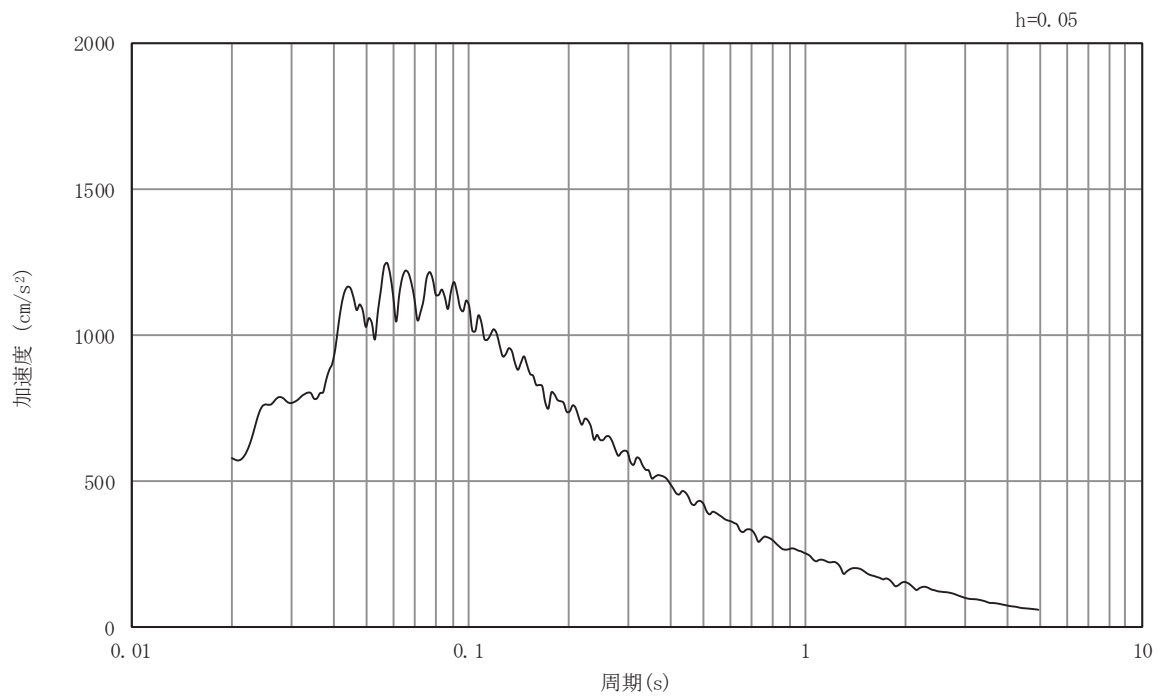


(b) 加速度応答スペクトル

図3-8 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  
(水平成分：S s - D 3)

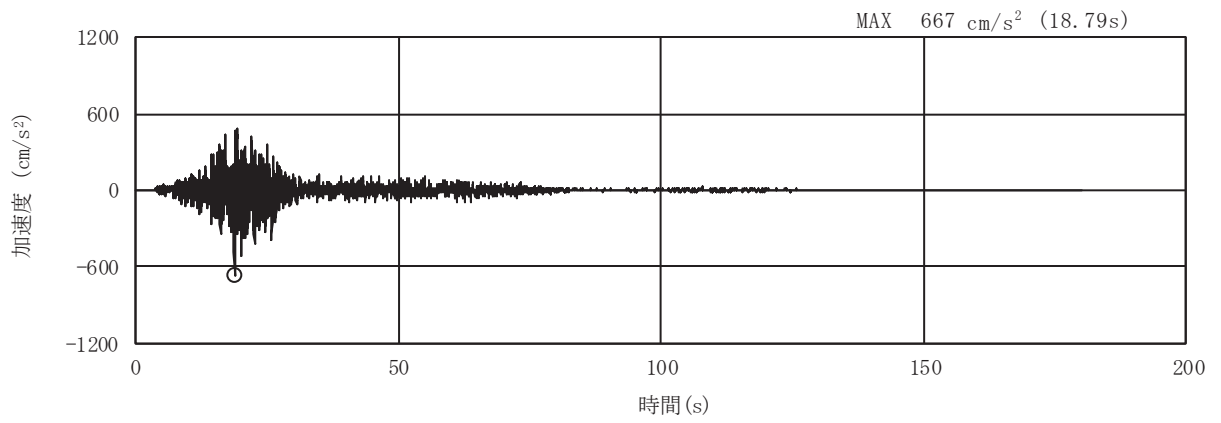


(a) 加速度時刻歴波形

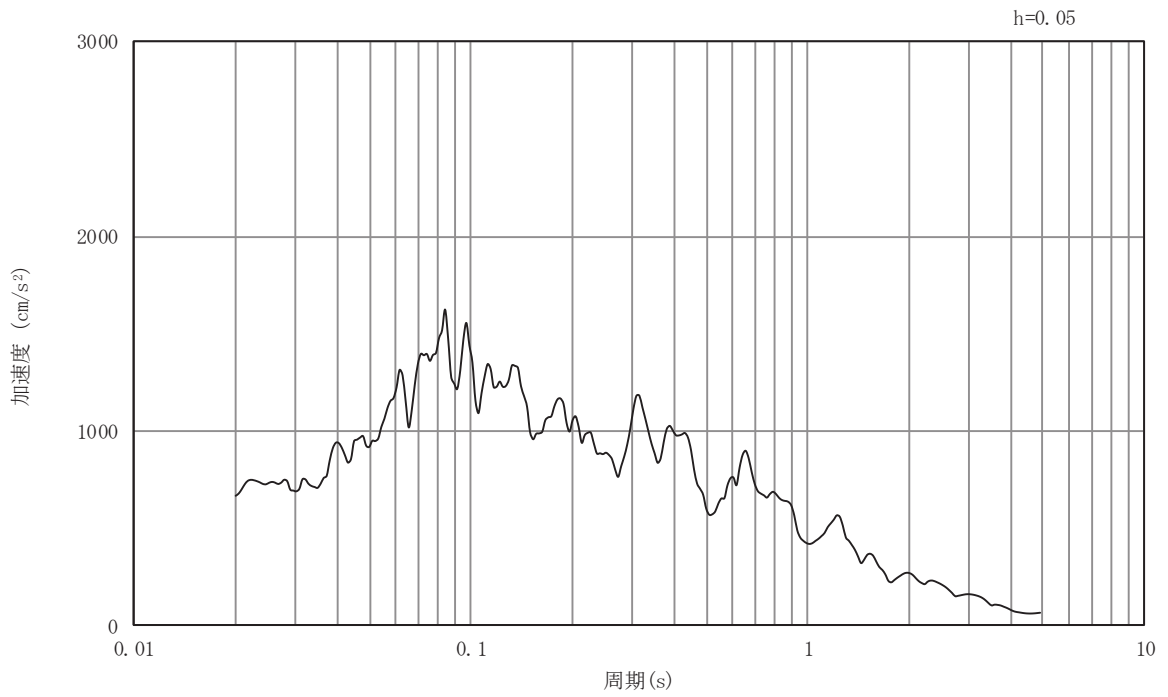


(b) 加速度応答スペクトル

図3-9 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  
(鉛直成分：S s - D 3)

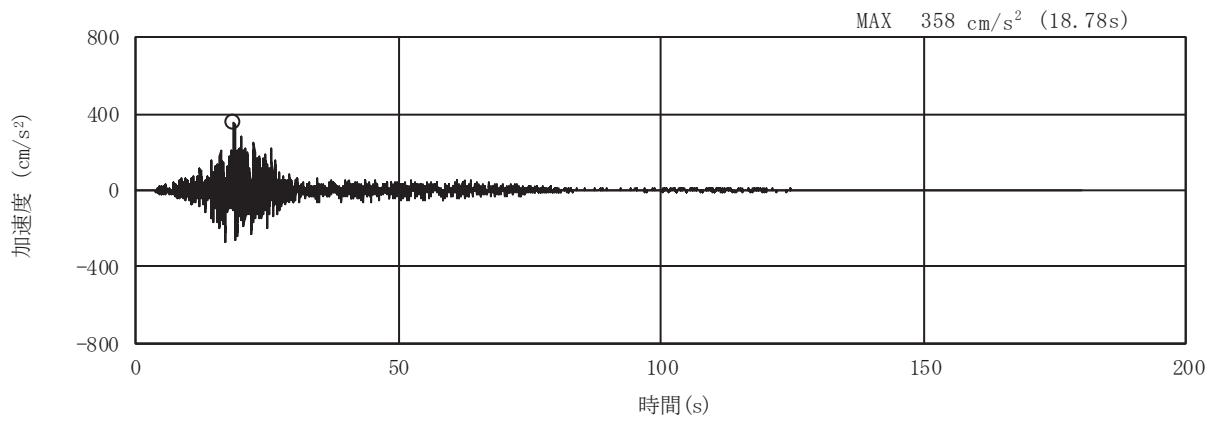


(a) 加速度時刻歴波形

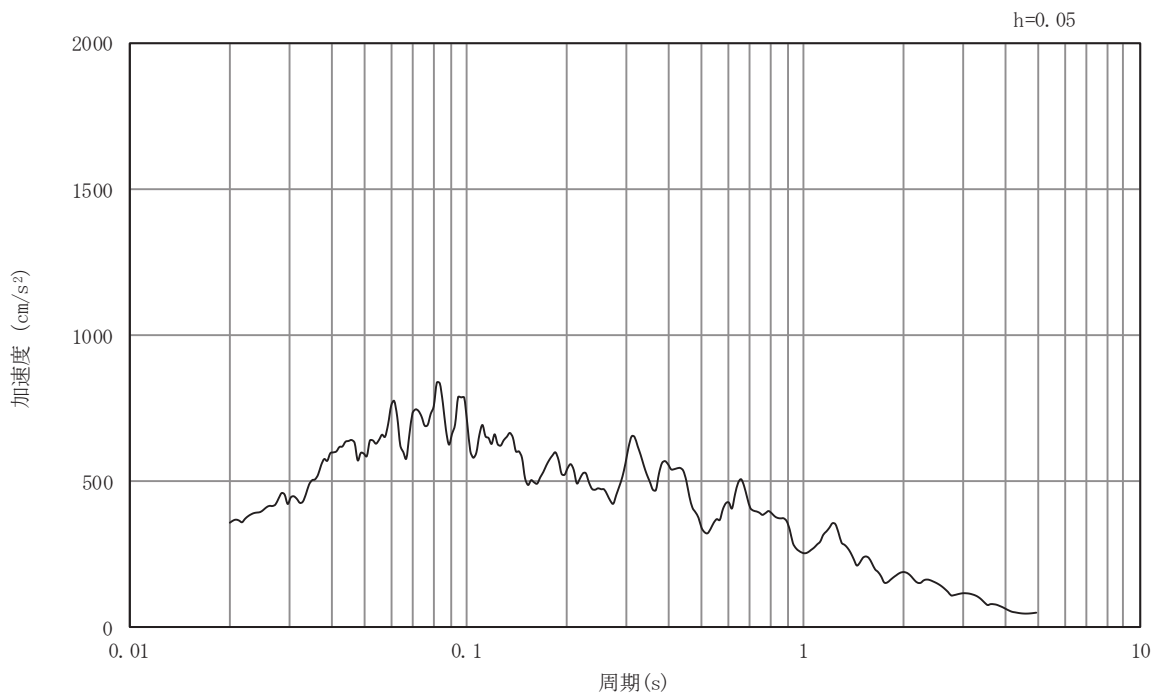


(b) 加速度応答スペクトル

図3-10 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  
(水平成分：S s - F 1)

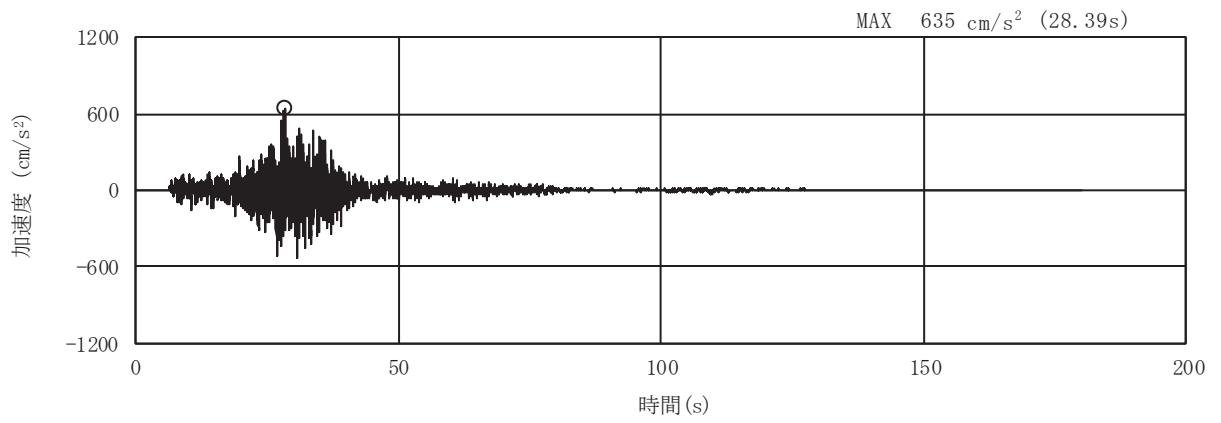


(a) 加速度時刻歴波形

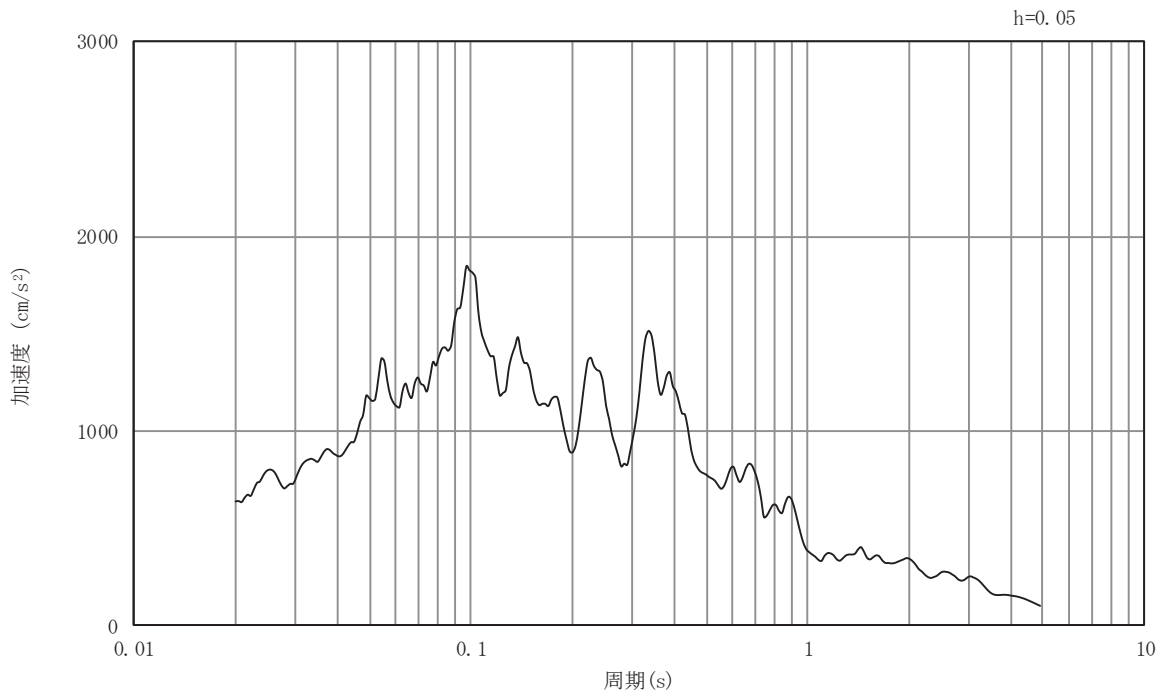


(b) 加速度応答スペクトル

図3-11 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  
(鉛直成分：S s - F 1)

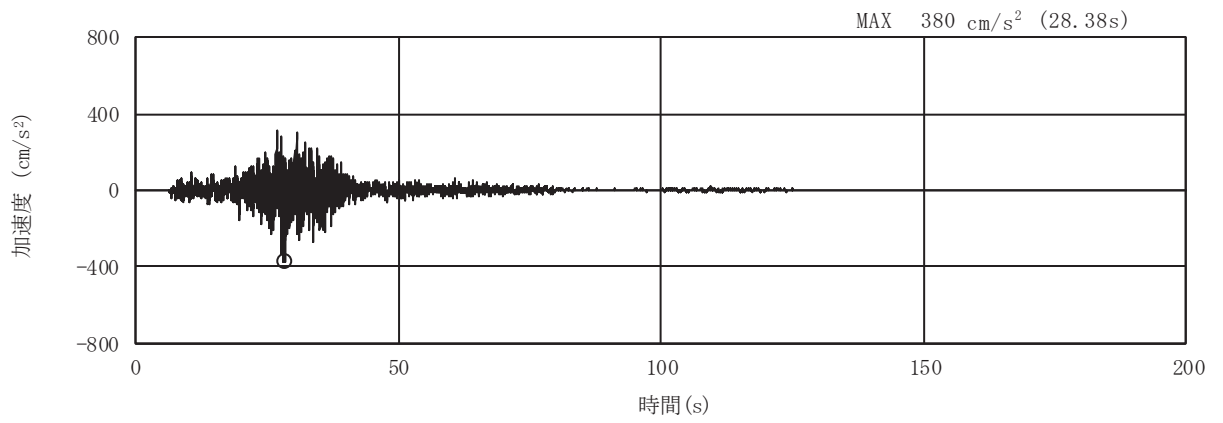


(a) 加速度時刻歴波形

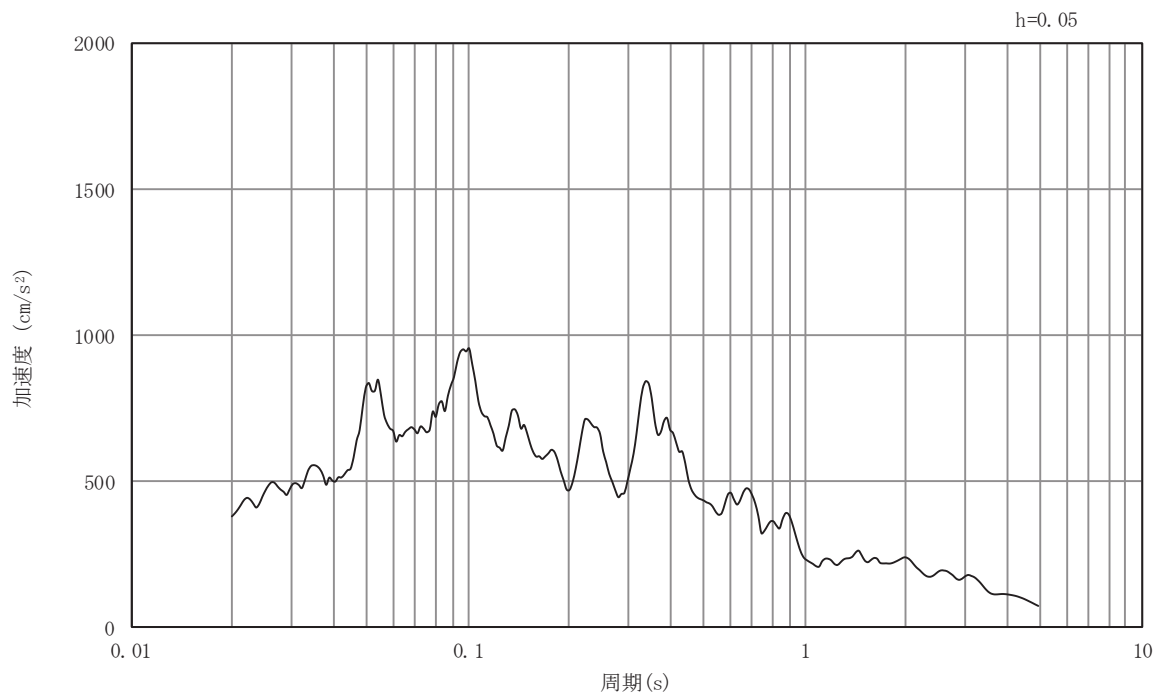


(b) 加速度応答スペクトル

図3-12 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  
(水平成分：S s - F 2)

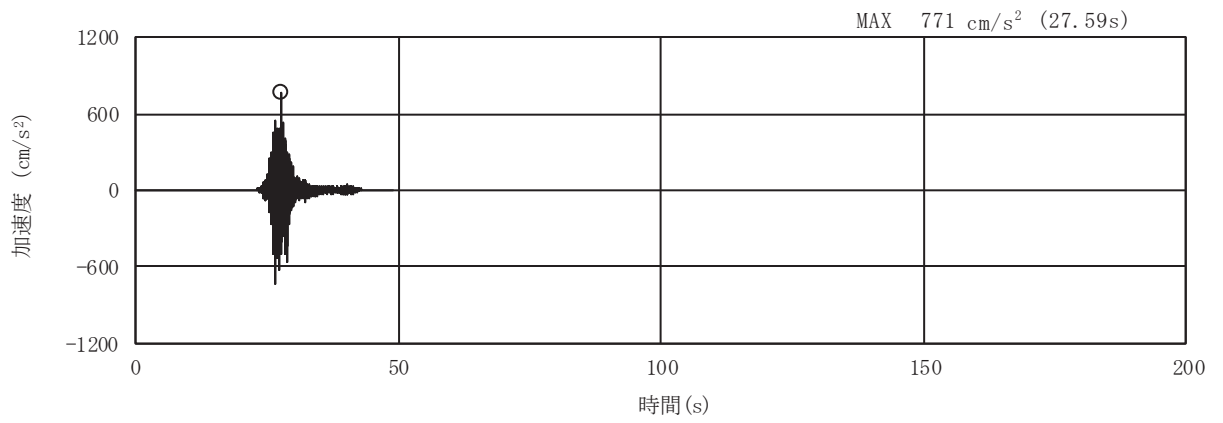


(a) 加速度時刻歴波形

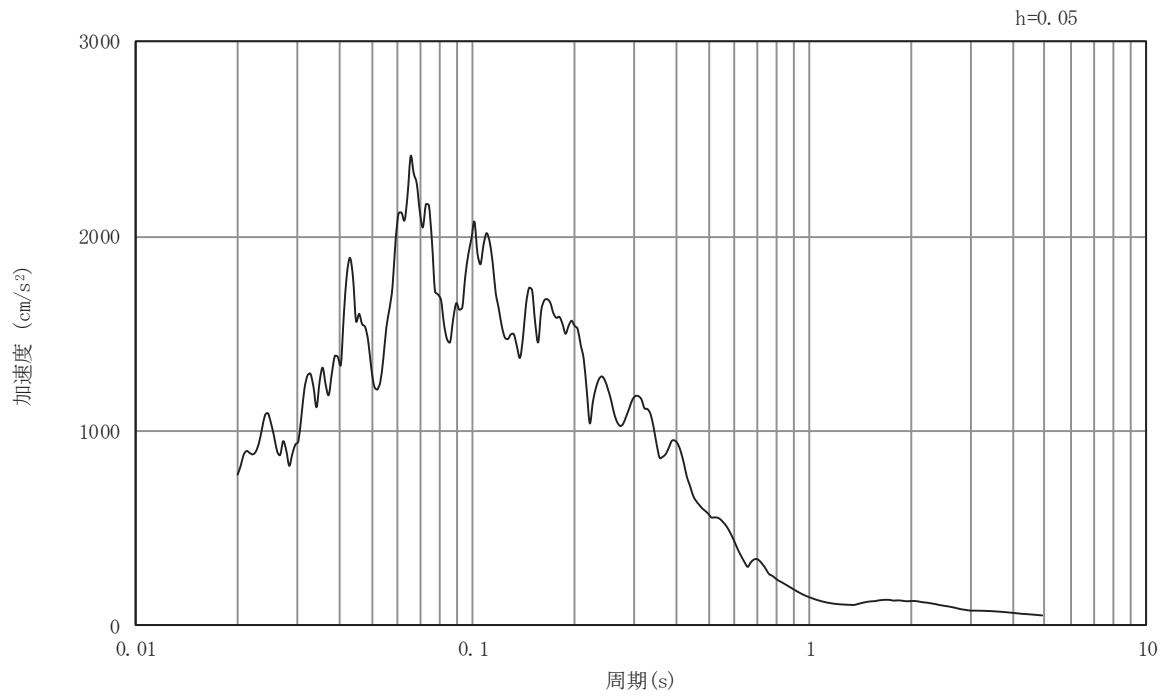


(b) 加速度応答スペクトル

図3-13 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  
(鉛直成分：S s - F 2)



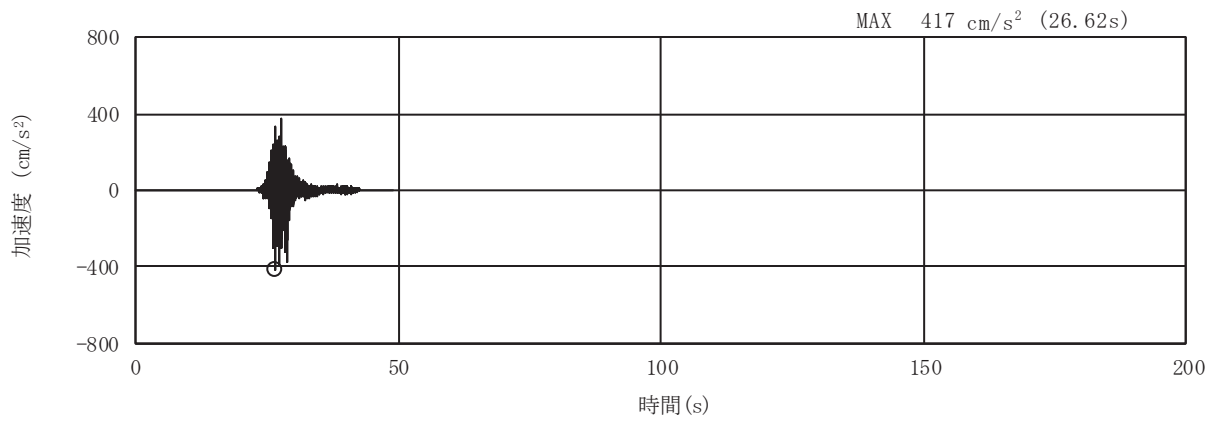
(a) 加速度時刻歴波形



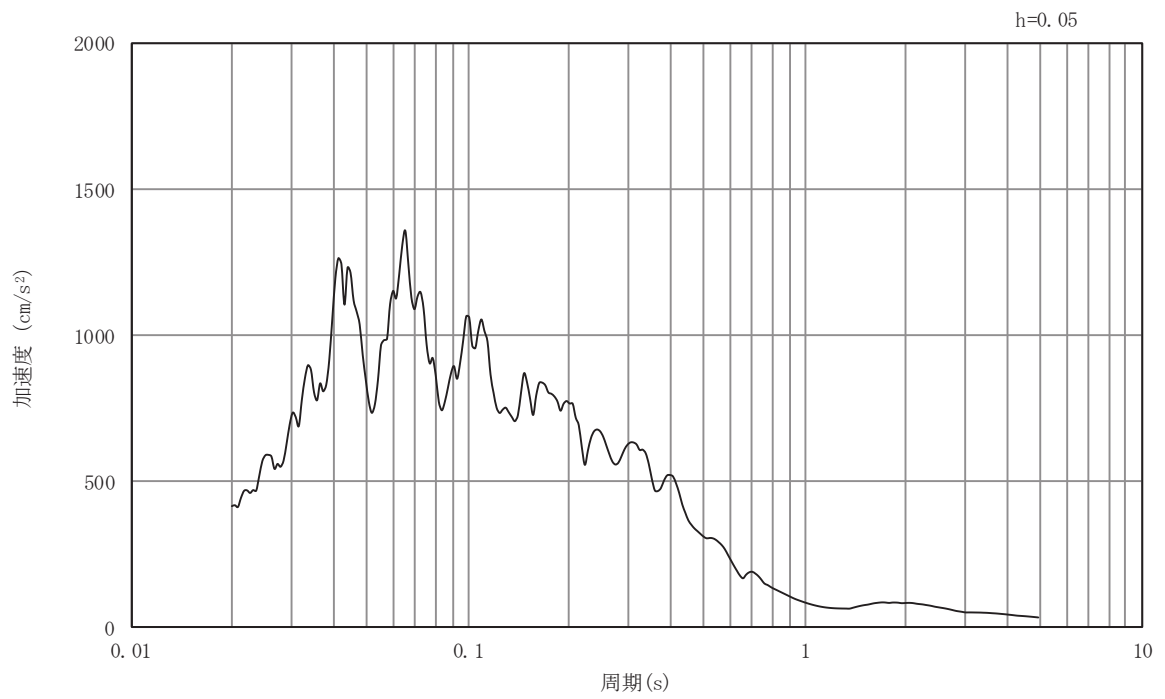
(b) 加速度応答スペクトル

図3-14 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  
(水平成分：S s - F 3)



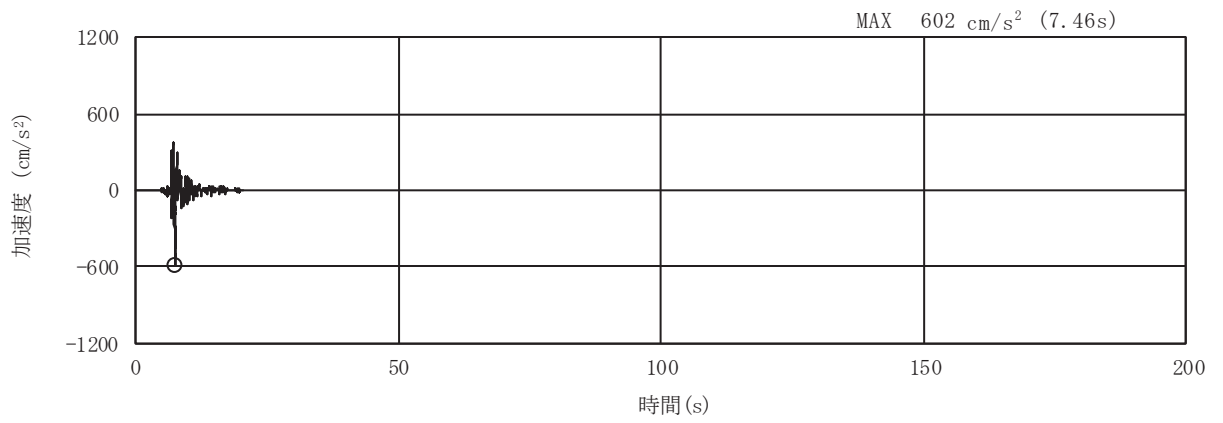


(a) 加速度時刻歴波形

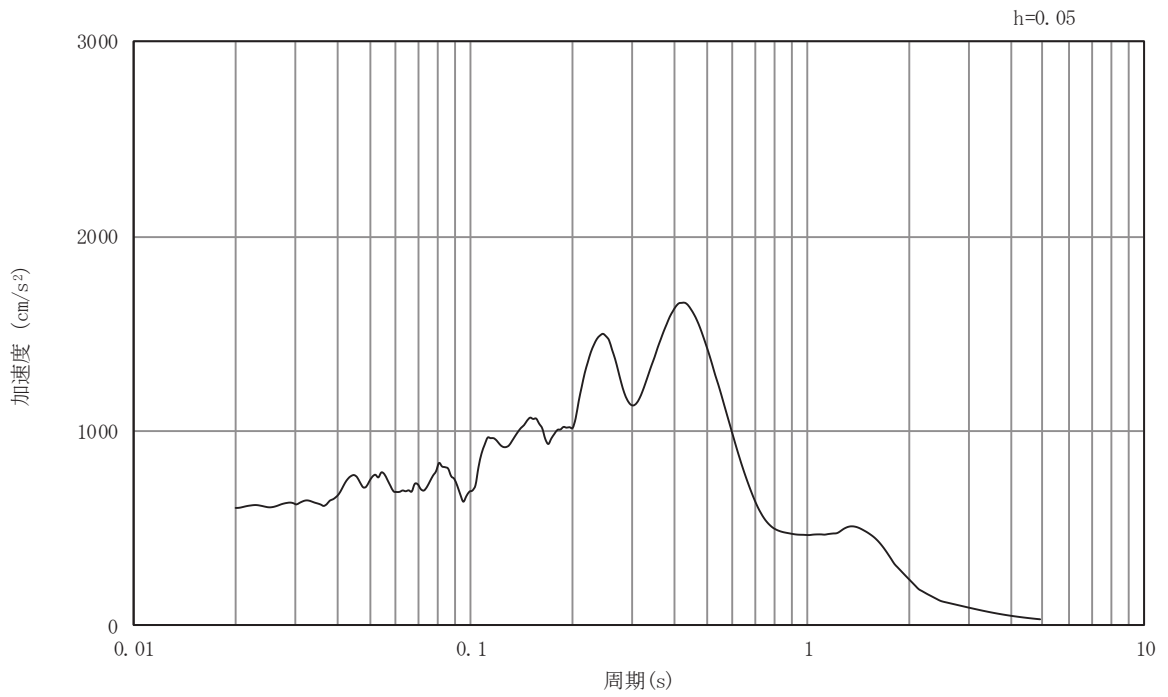


(b) 加速度応答スペクトル

図3-15 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  
(鉛直成分：S s - F 3)

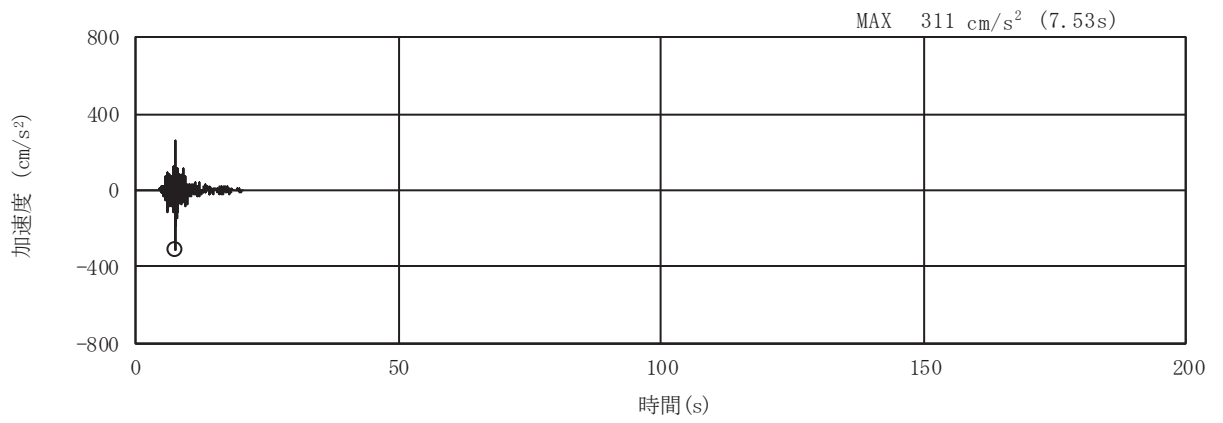


(a) 加速度時刻歴波形

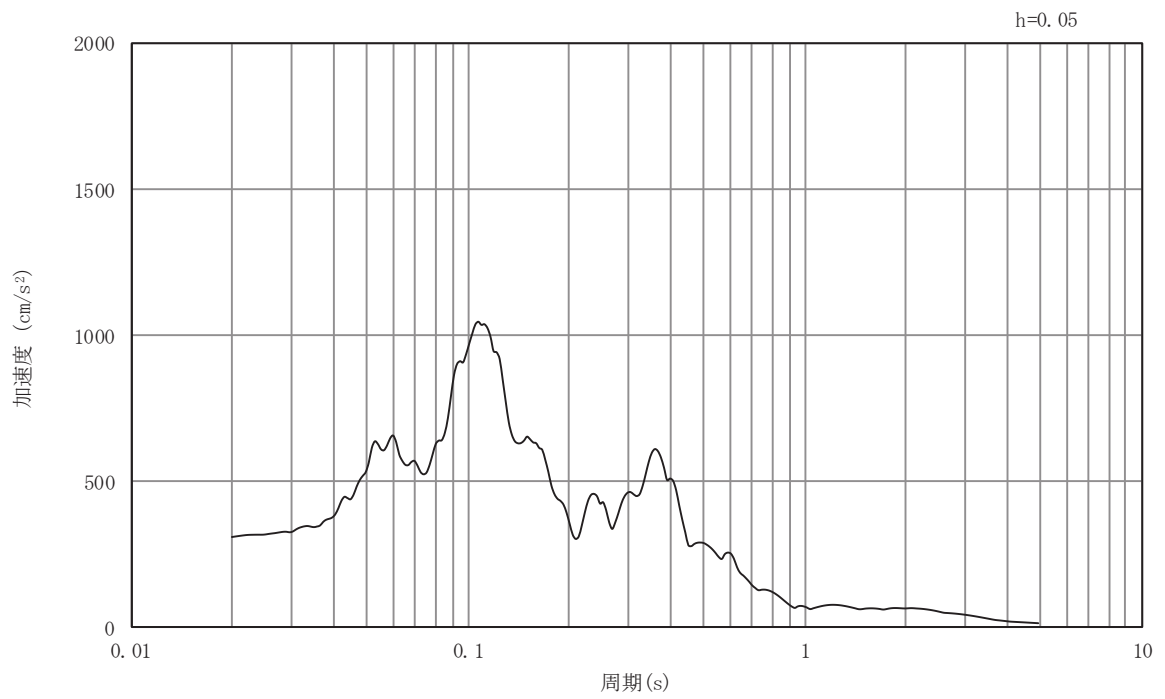


(b) 加速度応答スペクトル

図3-16 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  
(水平成分：S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図3-17 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  
(鉛直成分：S s - N 1)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

前面護岸の地震応答解析モデルを図 3-18 に示す。

##### (1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、斜面や防潮堤を含む十分に広い領域とする。

##### (2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、鋼管杭は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

前面護岸のうち、タイロッド式矢板護岸の鋼矢板及びタイロッドは、すべり安定性に対し安全側の評価となるようモデル化しない。

##### (4) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土及びD<sub>2</sub>級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

##### (5) ジョイントのモデル化

地震時の「旧表土及び岩盤と改良地盤」及び「旧表土、盛土及び改良地盤と置換工」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。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、ジョイント要素を設定する。

##### (6) 海水のモデル化

海水は、海底面への付加質量として考慮する。

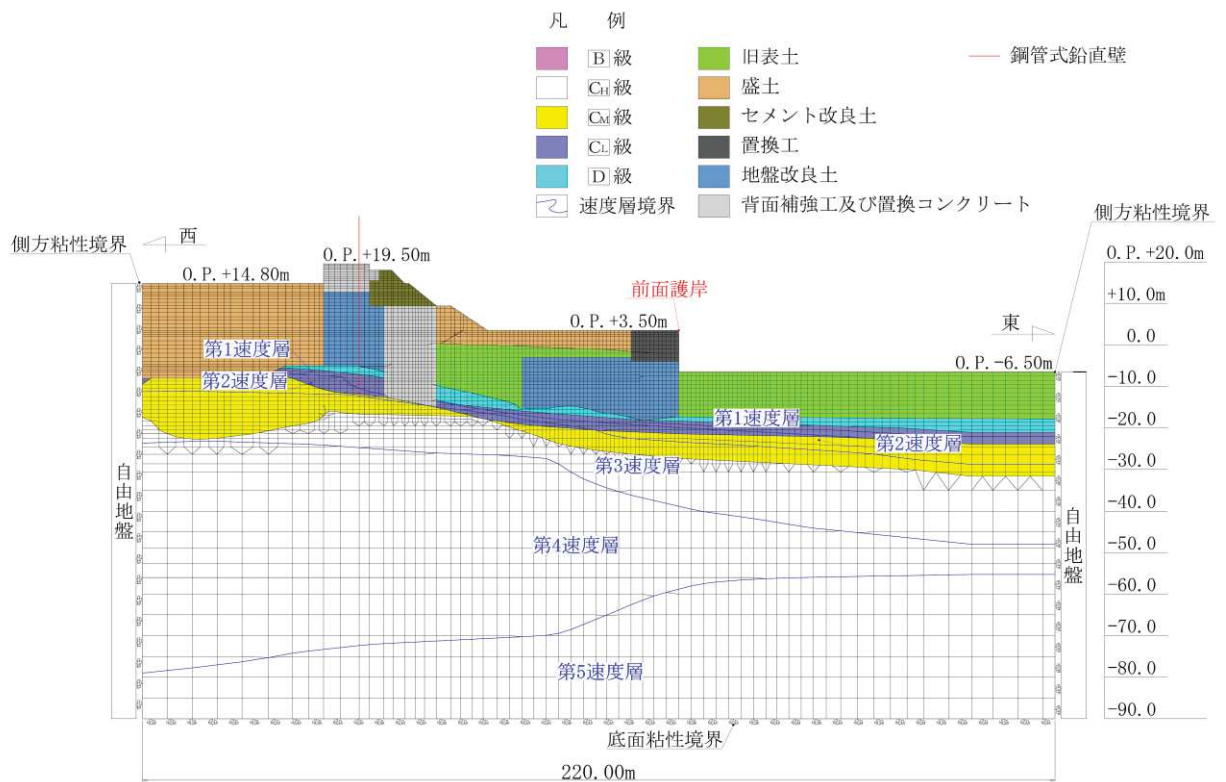


図 3-18 前面護岸の地震応答解析モデル図 (A-A 断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

置換工の使用材料を表3-5に、材料の物性値を表3-6に示す。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の材料の物性値は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」にて設定している物性値を用いる。

表3-5 使用材料

材料	仕様
置換工（コンクリート）	設計基準強度 24.0N/mm <sup>2</sup>

表3-6 材料の物性値

材料	項目	材料諸元
置換工 （コンクリート）	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.50×10 <sup>4</sup>
	ポアソン比	0.2

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「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。

### 3.5.4 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表3-7及び図3-19に示す。

表3-7 設計用地下水位

評価対象	設計用地下水位
前面護岸	0. P. +2.43m (朔望平均満潮位)

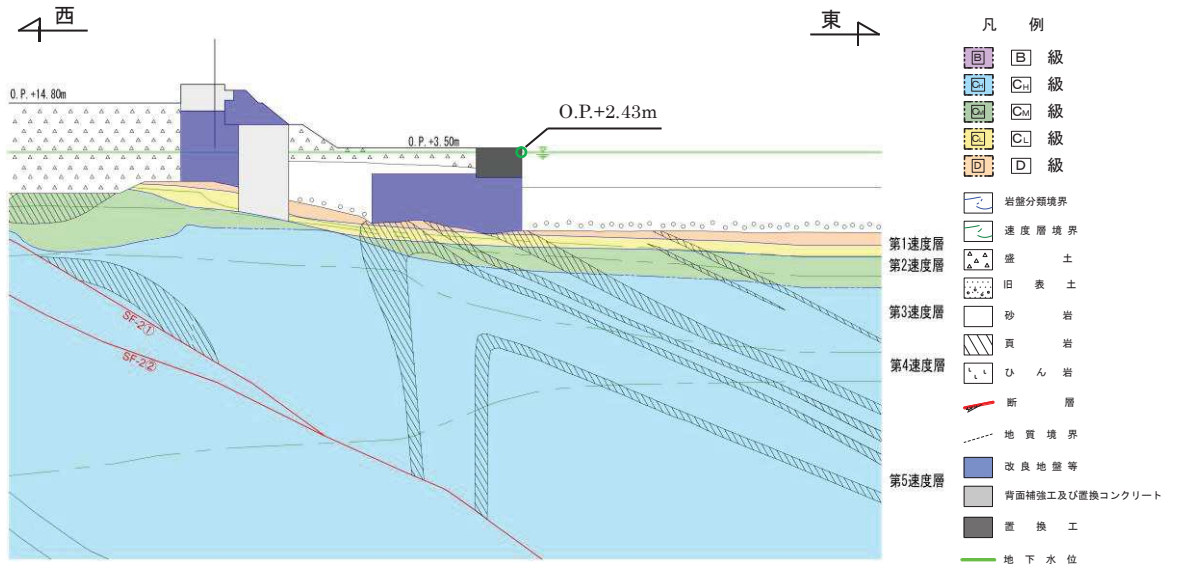


図 3-19 設計用地下水位

### 3.6 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.6.1 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づき、表3-8に示すすべり安全率とする。

表3-8 改良地盤の健全性に対する許容限界

確認項目	許容限界	
地盤の安定性を有すること	すべり安全率	1.2

#### 3.6.2 置換工

置換工の許容限界は、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づき、表3-9に示すすべり安全率とする。

表3-9 置換工の健全性に対する許容限界

確認項目	許容限界	
地盤の安定性を有すること	すべり安全率	1.2



### 3.7 評価方法

前面護岸の耐震評価は、地震応答解析に基づき算定した最小すべり安全率が「3.6 許容限界」で設定した許容限界以上であることを確認する。

#### 3.7.1 改良地盤の健全性評価

改良地盤の健全性評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が許容限界以上であることを確認する。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値-1 $\sigma$  強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

#### 3.7.2 置換工の健全性評価

置換工の健全性評価は、置換工を通るすべり線のすべり安全率が許容限界以上であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 改良地盤

改良地盤の最小すべり安全率を表 4-1 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4-1 に示す。

また、強度特性のばらつきを考慮した評価として、ケース①（基本ケース）において、地盤強度を  $-1\sigma$  低減させたケースの最小すべり安全率を表 4-1 に示す。

これらの結果から、改良地盤の最小すべり安全率が、改良地盤の健全性に対する許容限界以上であることを確認した。

表 4-1 改良地盤の最小すべり安全率

地震動	解析ケース	最小すべり安全率
S s -N 1 (++)	③	4.3
S s -N 1 (++)	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	3.7

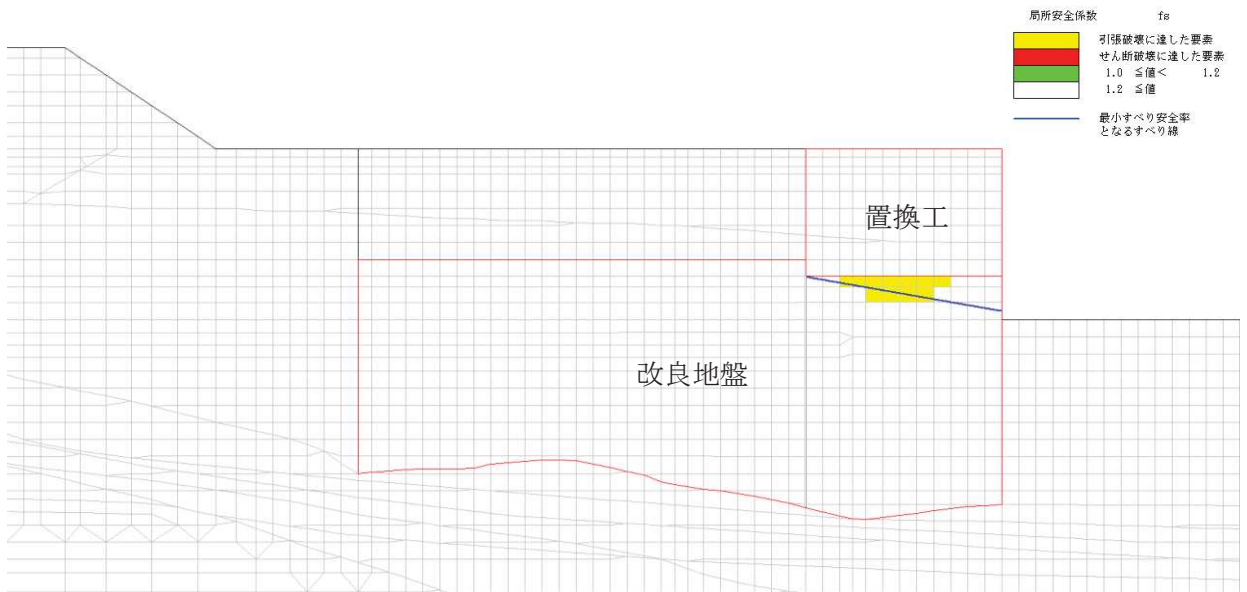


図 4-1 改良地盤の最小すべり安全率発生時刻における局所安全係数分布  
(解析ケース③, S s -N 1 (++))

#### 4.2 置換工

置換工の最小すべり安全率を表 4-2 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4-2 に示す。

これらの結果から、置換工の最小すべり安全率が、置換工の健全性に対する許容限界以上であることを確認した。

表 4-2 置換工の最小すべり安全率

地震動	解析ケース	最小すべり安全率
S <sub>s</sub> -N1 (++)	①	18.8

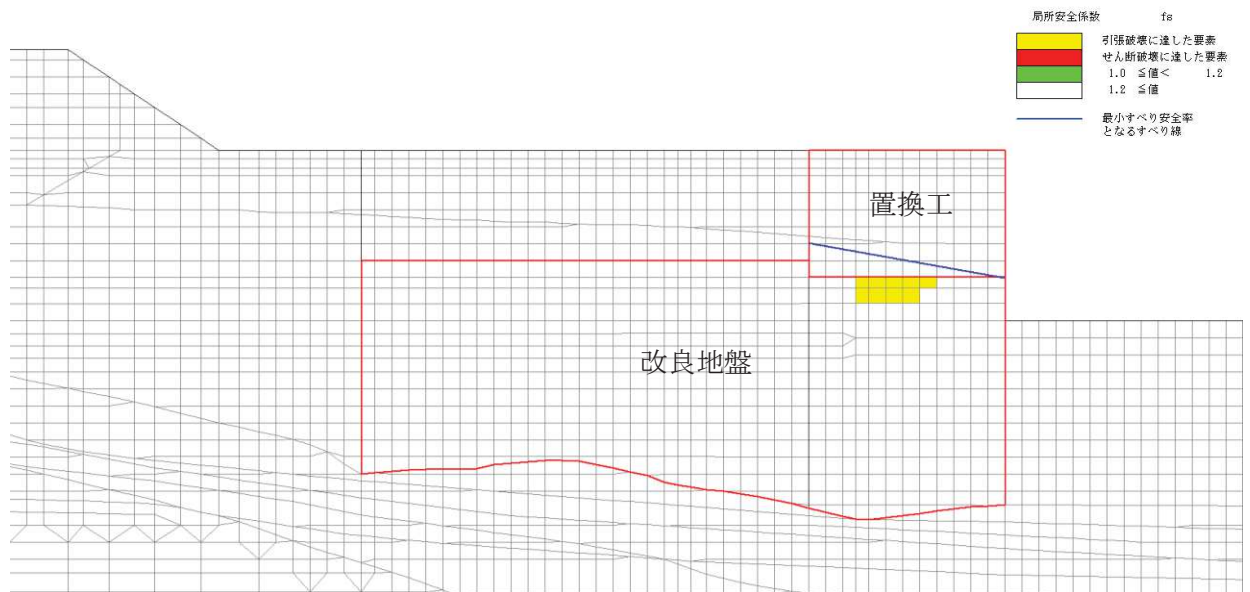


図 4-2 置換工の最小すべり安全率発生時刻における局所安全係数分布  
(解析ケース①, S<sub>s</sub>-N1 (++))

VI-2-11-2-17 第1号機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	5
2.4	適用基準	8
3.	耐震評価	9
3.1	評価対象断面	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	13
3.2.3	減衰定数	13
3.2.4	解析ケース	13
3.3	荷重及び荷重の組合せ	15
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	15
3.3.2	荷重	15
3.3.3	荷重の組合せ	16
3.4	入力地震動	17
3.4.1	A-A断面	18
3.4.2	B-B断面	32
3.5	解析モデル及び諸元	46
3.5.1	解析モデル	46
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	48
3.5.3	地盤の物性値	49
3.5.4	地下水位	49
3.6	許容限界	50
3.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	50
3.6.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	50
3.7	評価方法	51
3.7.1	構造部材の健全性評価	51
3.7.2	基礎地盤の支持性能評価	56
4.	耐震評価結果	57
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	57
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	59

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、第1号機取水路が、上位クラス施設である防潮堤（鋼管式鉛直壁）の地中部に位置していることから、上位クラス施設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。

波及的影響の評価は、上位クラス施設の機能が保持されることを確認するために、下位クラス施設である第1号機取水路を対象に、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計に適用する基準地震動 $S_s$ を用いた地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、第1号機取水路が十分な構造強度を有することを確認する。

なお、第1号機取水路の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

第1号機取水路の位置を図2-1に、波及的影響評価の対象区間を図2-2示す。

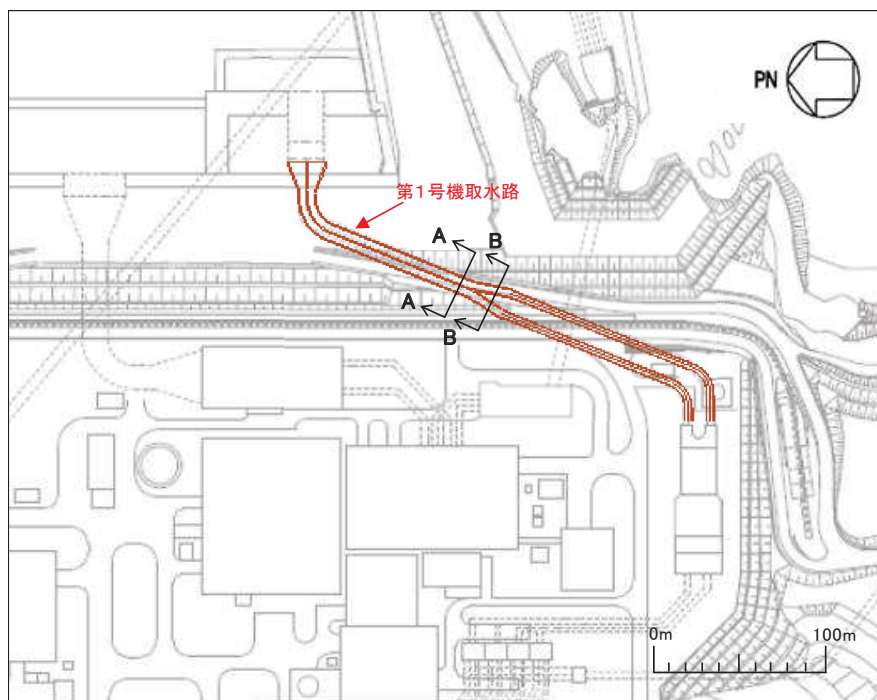


図2-1 第1号機取水路の位置図

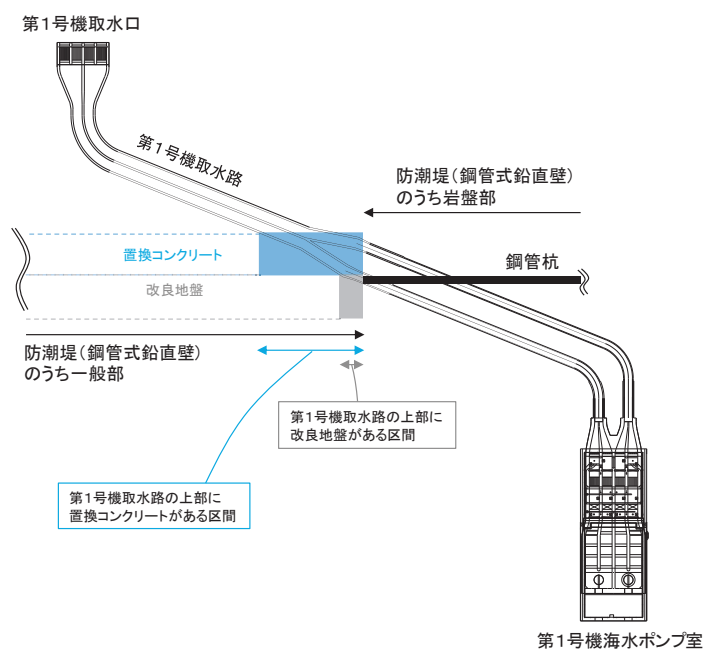


図2-2 第1号機取水路の波及的影響評価の対象区間

## 2.2 構造概要

第1号機取水路の平面図を図2-1、断面図を図2-3に、概略配筋図を図2-4に示す。

第1号機取水路は、第1号機取水口と第1号機海水ポンプ室を結ぶ、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長約151m、内空幅 [ ]、内空高さ [ ] の一連又は二連ボックスカルバート部と、延長約126m～138m、内径 [ ] のトンネル部より構成され、延長方向に断面の変化が少ない線状構造物である。

また、第1号機取水路は、直接又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

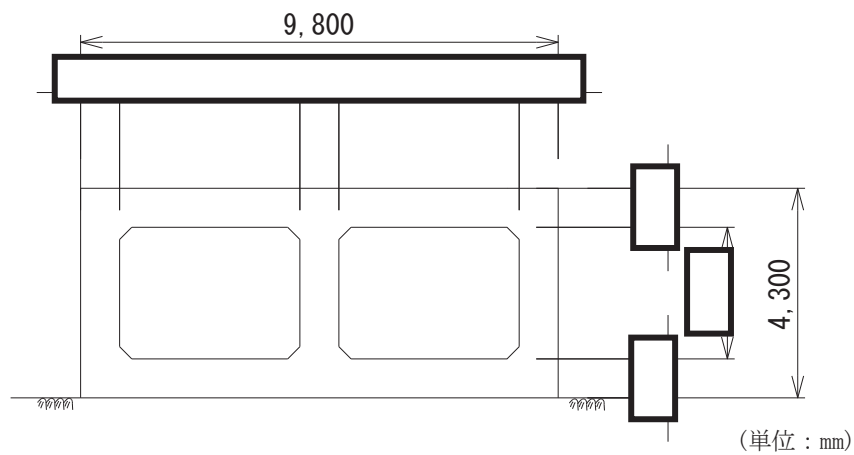


図2-3(1) 第1号機取水路の断面図 (A-A断面)

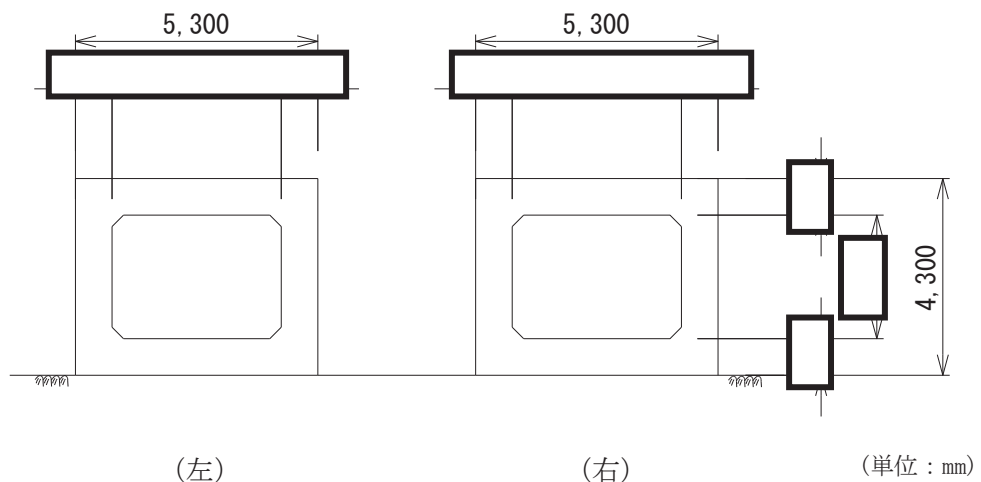


図2-3(2) 第1号機取水路の断面図 (B-B断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



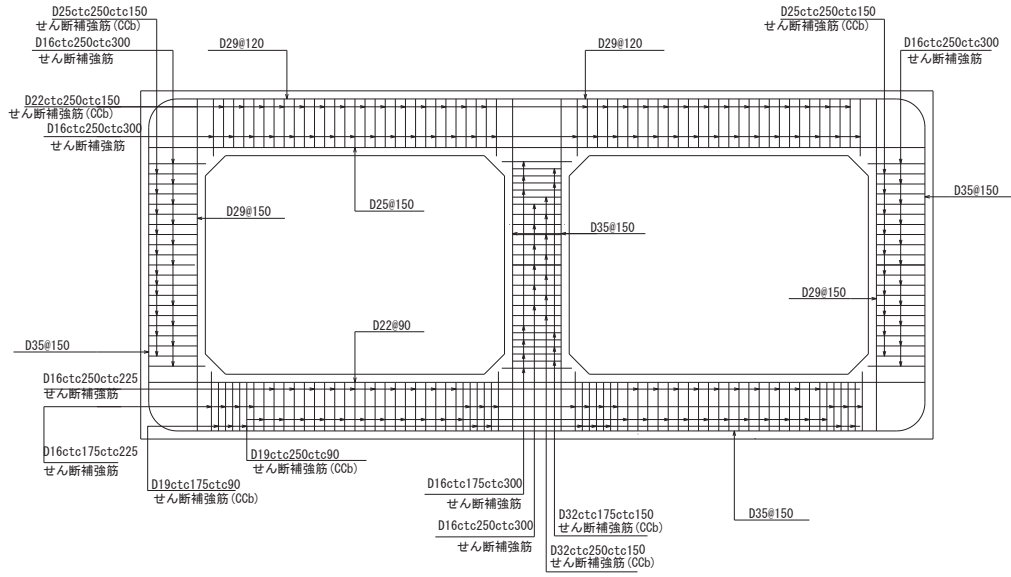


図 2-4(1) 第 1 号機取水路の概略配筋図 (A-A 断面)

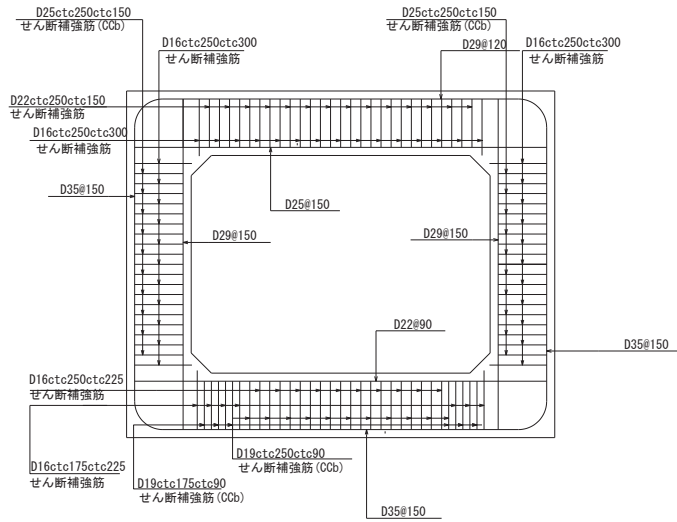


図 2-4(2) 第 1 号機取水路の概略配筋図 (B-B 断面)

### 2.3 評価方針

第1号機取水路は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響評価を行う。

第1号機取水路の耐震評価フローを図2-5に示す。

第1号機取水路の波及的影響評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表2-1の第1号機取水路の評価項目に示すとおり、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。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の層間変形角が許容限界以下であることを確認する。せん断破壊に対しては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おいては、地震応答解析より得られた基礎地盤の接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界以下であることを確認する。

ここで、第1号機取水路は、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、波及的影響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。

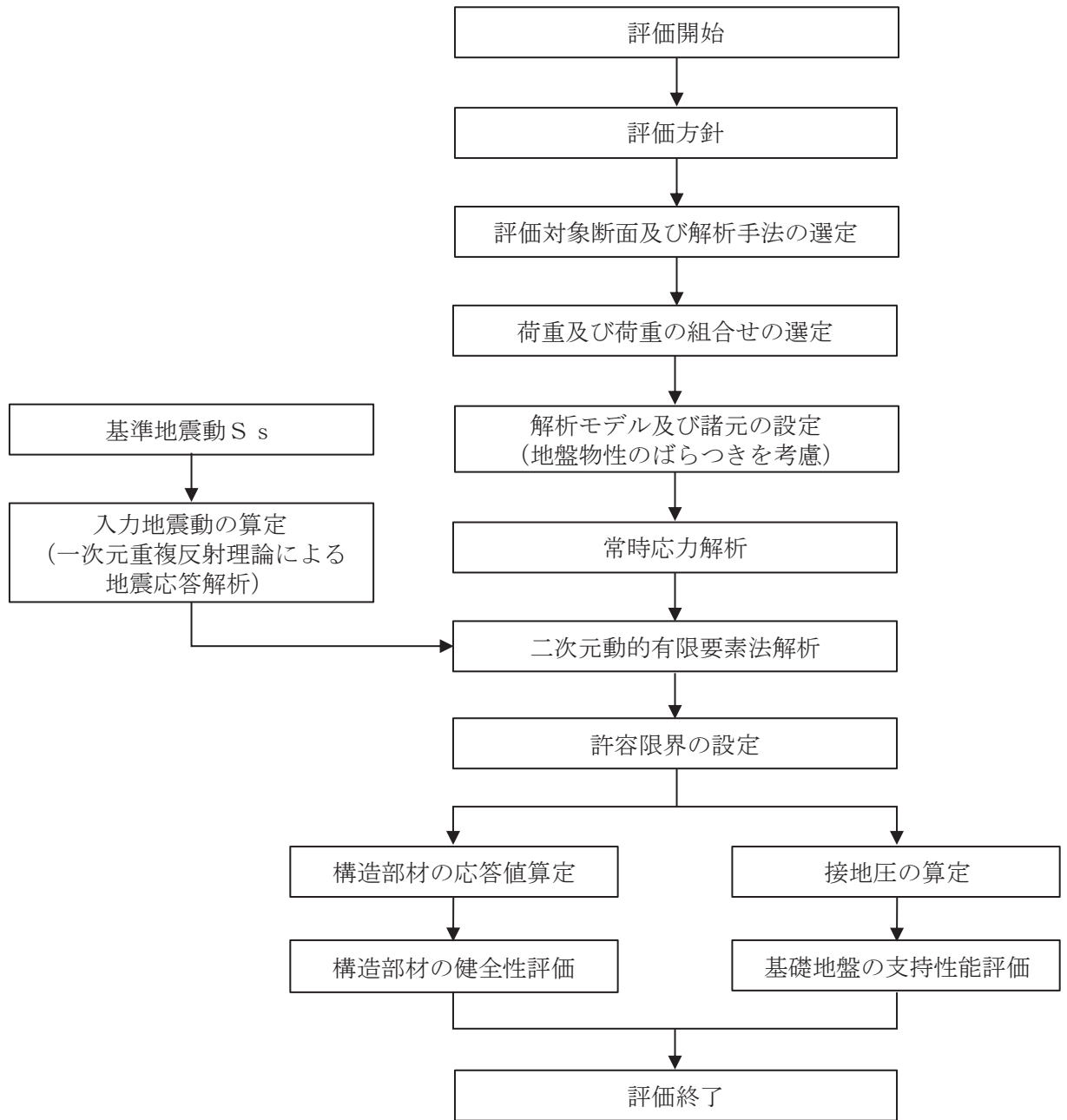


図 2-5 第 1 号機取水路の耐震評価フロー

表 2-1 第 1 号機取水路の評価項目

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	層間変形角及びせん 断力が許容限界以下 であることを確認	曲げ軸力	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の 支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地 圧）が許容限界以下 であることを確認	極限支持力*	

注記 \* : 妥当な安全余裕を考慮する。

## 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)
- ・ 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 原子力土木委員会, 2005 年 6 月) (以下「土木学会マニュアル」という。)
- ・ 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. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

第1号機取水路の評価対象断面位置を図3-1に示す。第1号機取水路のうち、防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部を横断する範囲の一連ボックスカルバート及び二連ボックスカルバートから、評価対象断面を選定する。

評価対象断面は、第1号機取水路の弱軸方向である、第1号機取水路の直交断面を基本として考えるが、地震時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）が汀線直交方向に応答が大きくなる構造であることを踏まえ、汀線直交方向の断面を選定する。

第1号機取水路の評価対象断面図を図3-2及び図3-3に示す。

A-A断面：二連のボックスカルバート区間のうち、上部の置換コンクリートの高さが高く、置換コンクリートから第1号機取水路に与える荷重が大きくなることが想定される断面。

B-B断面：一連のボックスカルバート区間のうち、置換コンクリート及び改良地盤直下を横断し、かつ置換コンクリート及び改良地盤の高さが高く、置換コンクリート及び改良地盤から第1号機取水路に与える荷重が大きくなることが想定される断面。

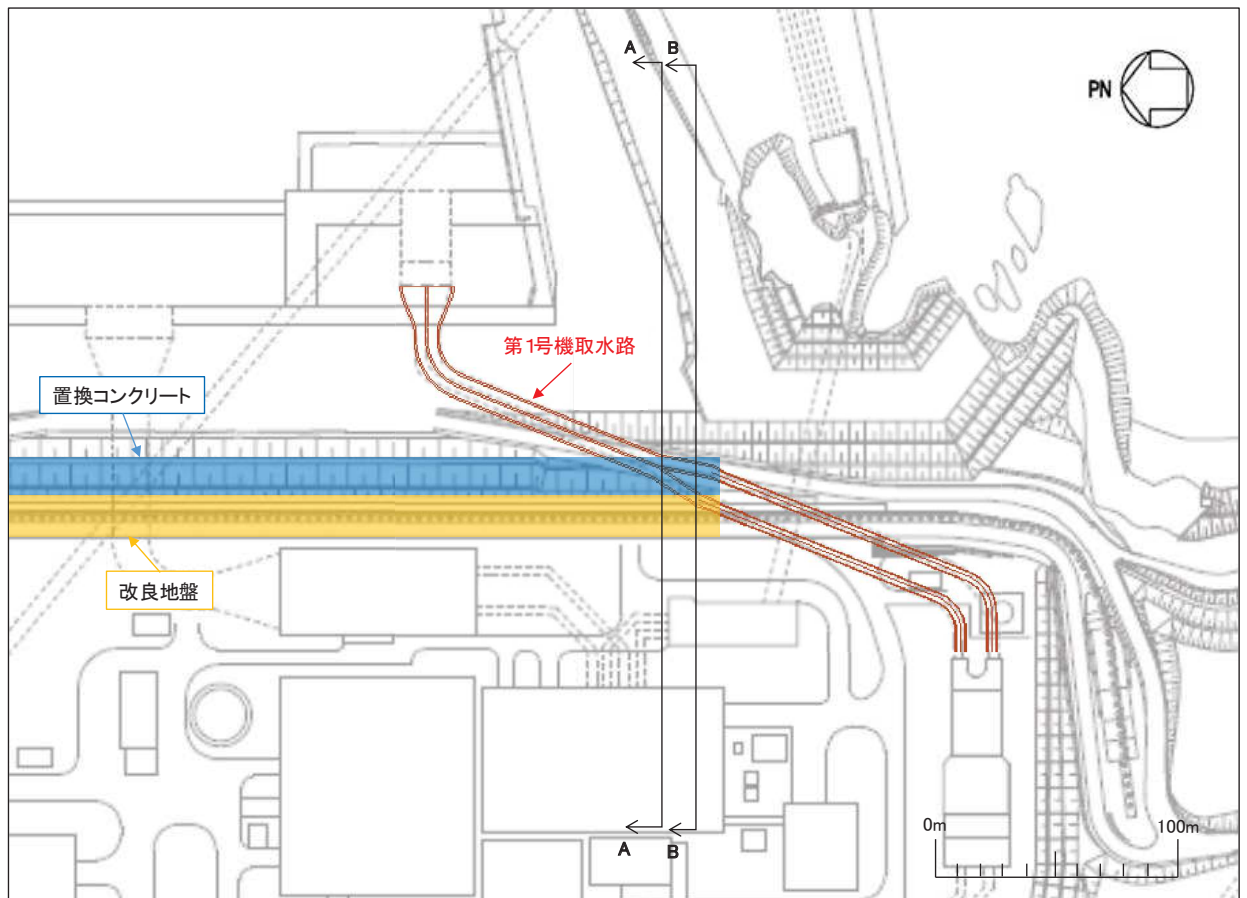


図3-1 第1号機取水路の評価対象断面位置図

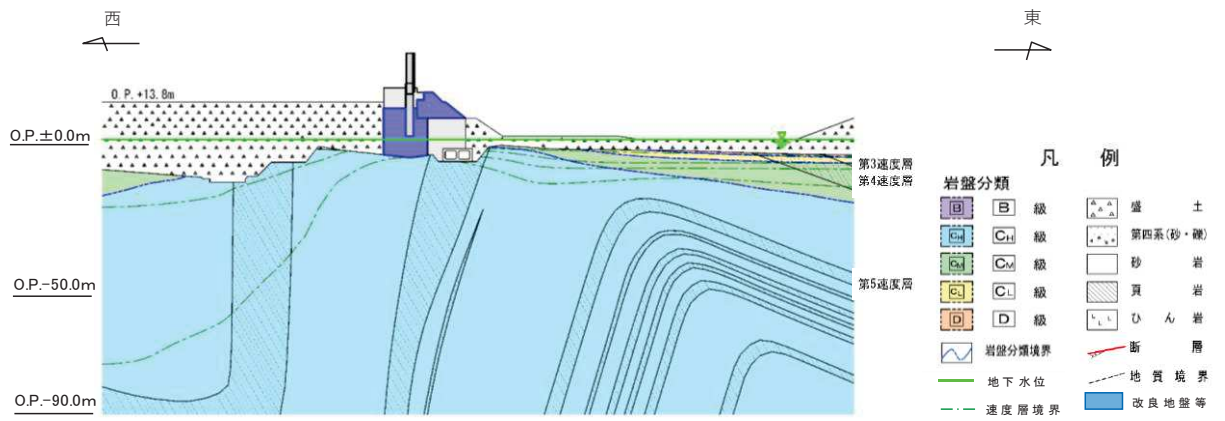


图 3-2 評価対象断面図 (A-A 断面)

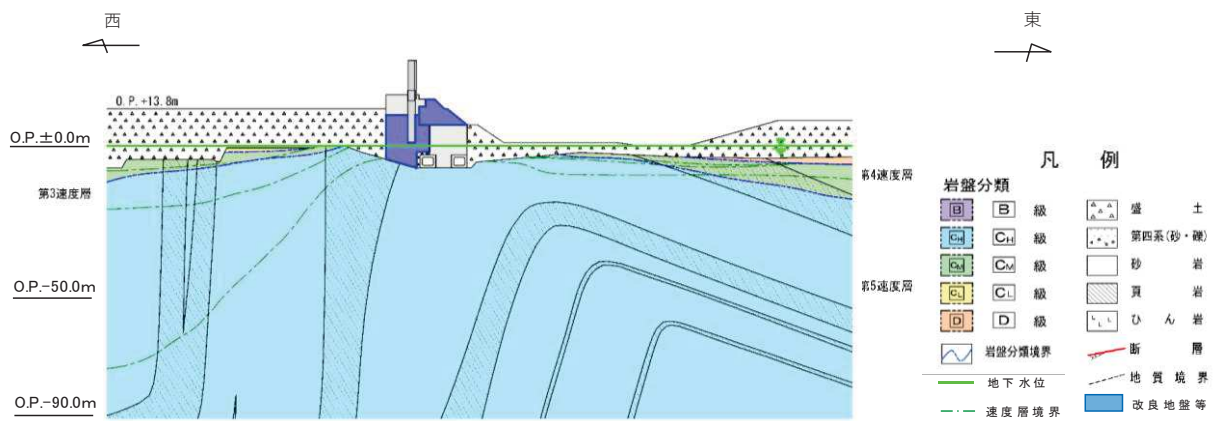


图 3-3 評価対象断面図 (B-B 断面)

O 2 ③ VI-2-11-2-17 R 0

### 3.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「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二次元動的有限要素法により、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を行う。また、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

構造部材については、非線形はり要素を用いることとし、構造部材の非線形性については、鉄筋コンクリートの  $M-\phi$  関係を適切にモデル化する。

また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。地震応答解析には、上位クラス施設である防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部と同様に、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 構造部材

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素でモデル化することとし、図 3-4 に示す  $M-\phi$  関係のトリリニアモデルとする。また、履歴特性は、図 3-5 に示すとおり修正武田モデルを適用する。また、コンクリートの応力-ひずみ関係及び鉄筋の応力-ひずみ関係には、それぞれ図 3-6 及び図 3-7 に示す非線形性を考慮する。

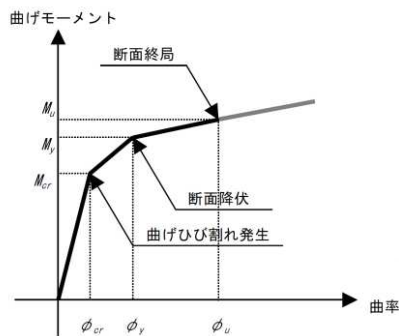


図 3-4 鉄筋コンクリート部材の  $M-\phi$  関係  
(土木学会マニュアルより引用)



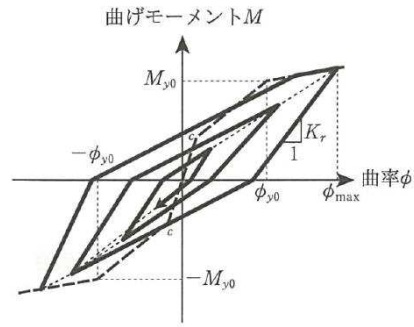


図 3-5 鉄筋コンクリート部材の履歴特性（修正武田モデル）  
 （道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成 14 年 3 月）より引用）

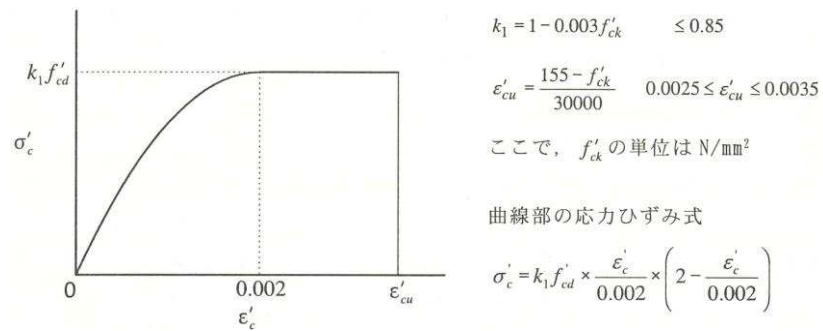


図 3-6 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）  
 （コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002 年制定）より引用）

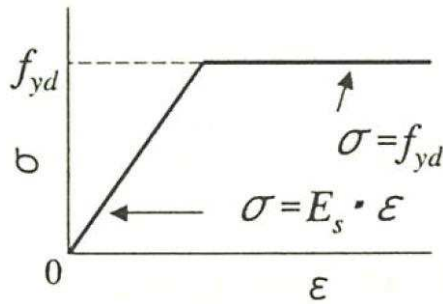


図 3-7 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）  
 （コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002 年制定）より引用）

### 3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3-2 及び図 3-3 に示すとおり，第 1 号機取水路の周辺には，主として盛土，セメント改良土及び改良地盤といった，動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており，これらの地盤のせん断変形が地震時に第 1 号機取水路の応答に影響を与えると判断されることから，これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3-1 に示す。

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため，材料物性のばらつきと併せて表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

初期せん断弾性係数の標準偏差  $\sigma$  を用いて設定した解析ケース②～③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。

また，材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより，材料物性のばらつきの影響を考慮する。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土，盛土，D級岩盤， セメント改良土，改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	C <sub>L</sub> 級岩盤，C <sub>M</sub> 級岩盤， C <sub>H</sub> 級岩盤，B級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 $\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記 \* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

### 3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし，剛性比例型減衰 ( $\alpha=0$ ,  $\beta=0.002$ ) とする。

### 3.2.4 解析ケース

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。解析ケース①において，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して，最も厳しい地震動を用いて，表 3-1 に示す解析ケース②～④を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		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	材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度
地盤物性		平均値	平均値+1σ	平均値-1σ	平均値
地震動 (位相)	S <sub>s</sub> -D1	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -D2	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -D3	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F1	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F2	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F3	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -N1	++*	○		
		-+*	○		

基準地震動 S<sub>s</sub> (7 波) 及び水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②~④を実施する。照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②~④を実施する。

注記 \* : 耐震評価に当たっては、「土木学会マニュアル」に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++ の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

第1号機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

積雪の影響を考慮する。風の影響については、埋設構造物であるため、風の影響を受けないが、防潮堤（鋼管式鉛直壁）が上部に設置されることも踏まえ、防潮堤（鋼管式鉛直壁）に風の影響を考慮する。

##### (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

第1号機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、積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$ を考慮する。

##### (3) 積雪荷重( $P_s$ )

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 風荷重( $P_k$ )

風荷重については、設計基準風速を $30\text{m/s}$ とし、建築基準法に基づき算定する。

(5) 地震荷重( $S_s$ )

基準地震動 $S_s$ 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 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 $P_s$ を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$P_k$  : 風荷重

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動 $S_s$ )

### 3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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  $S_s$  を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 3-8 に入力地震動算定の概念図を、図 3-9 及び図 3-10 に各断面の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「SHAKE Ver 1.6」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

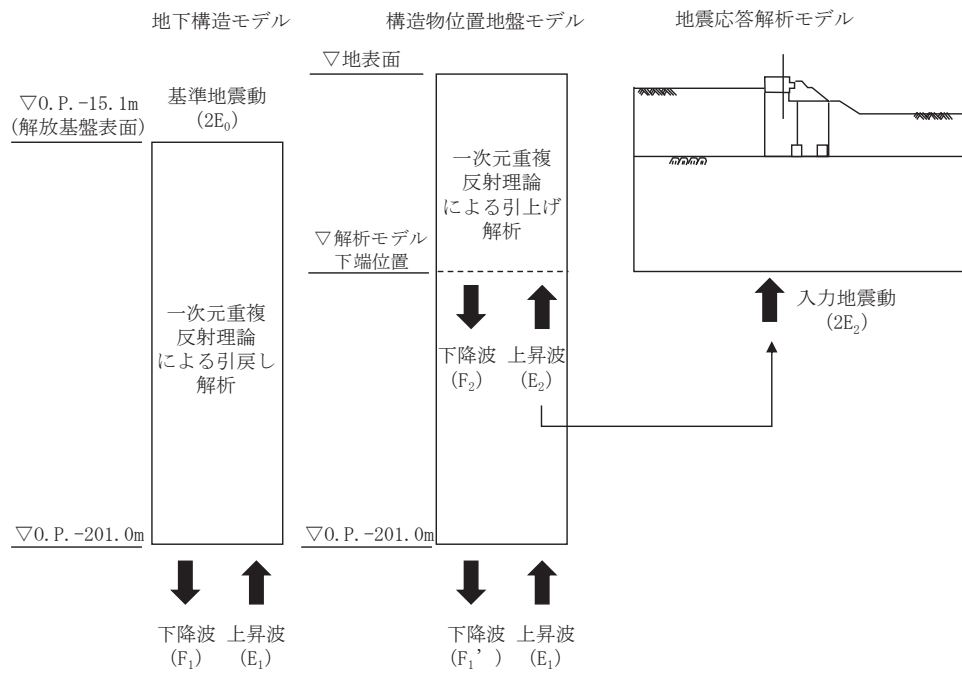
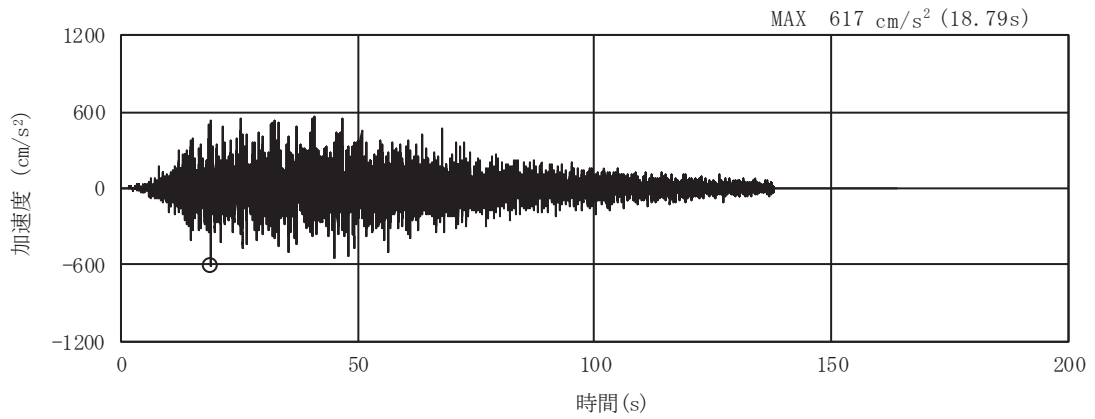
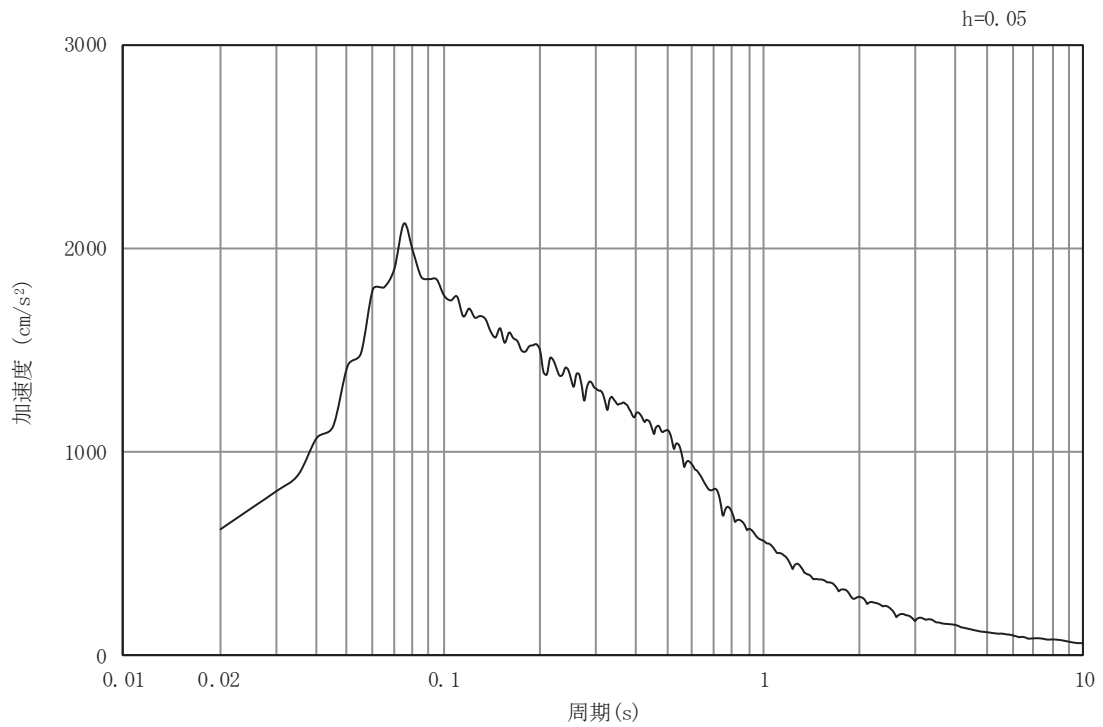


図 3-8 入力地震動算定の概念図

3.4.1 A-A 断面

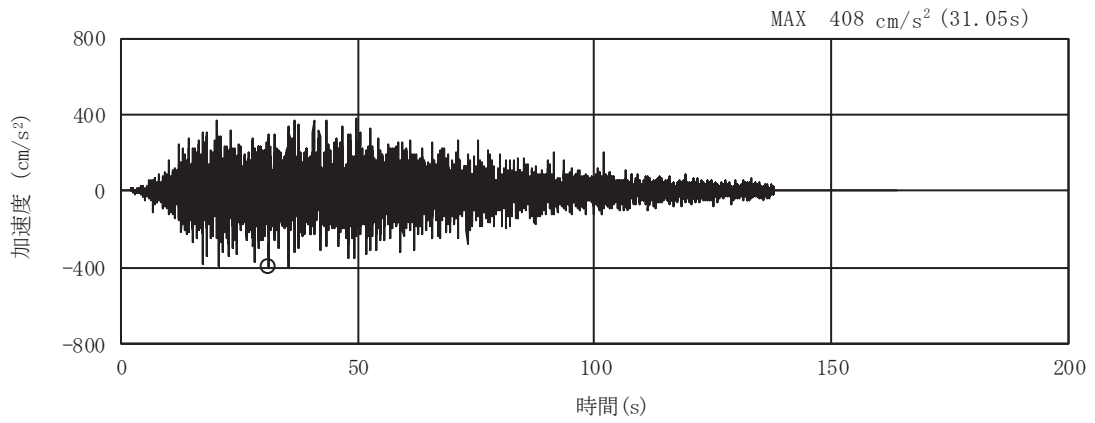


(a) 加速度時刻歴波形

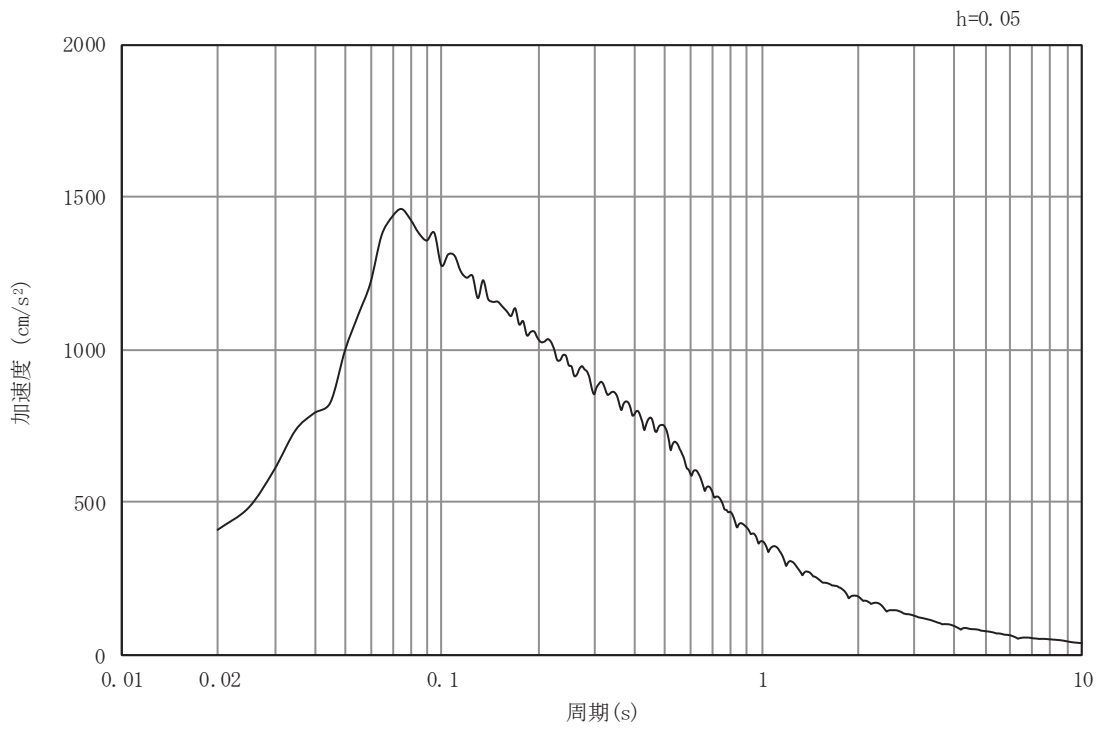


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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: S s - D 1)



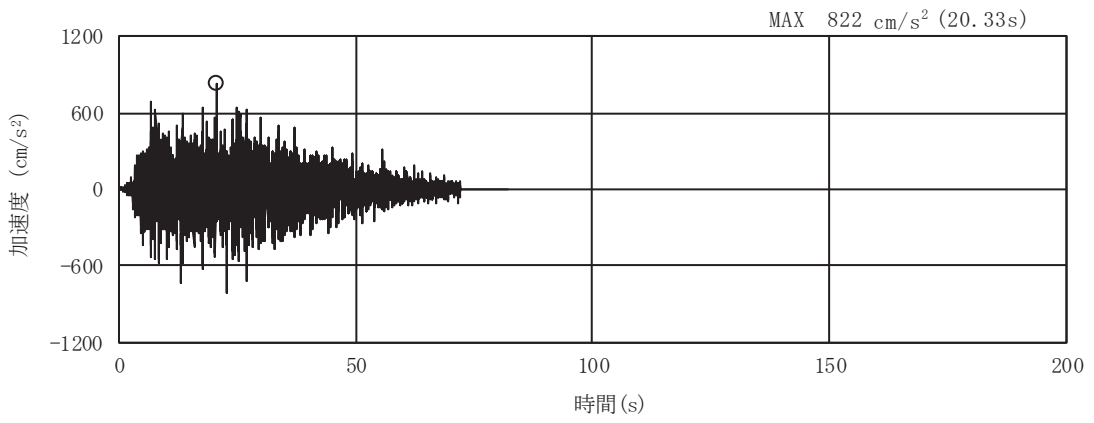
(a) 加速度時刻歴波形



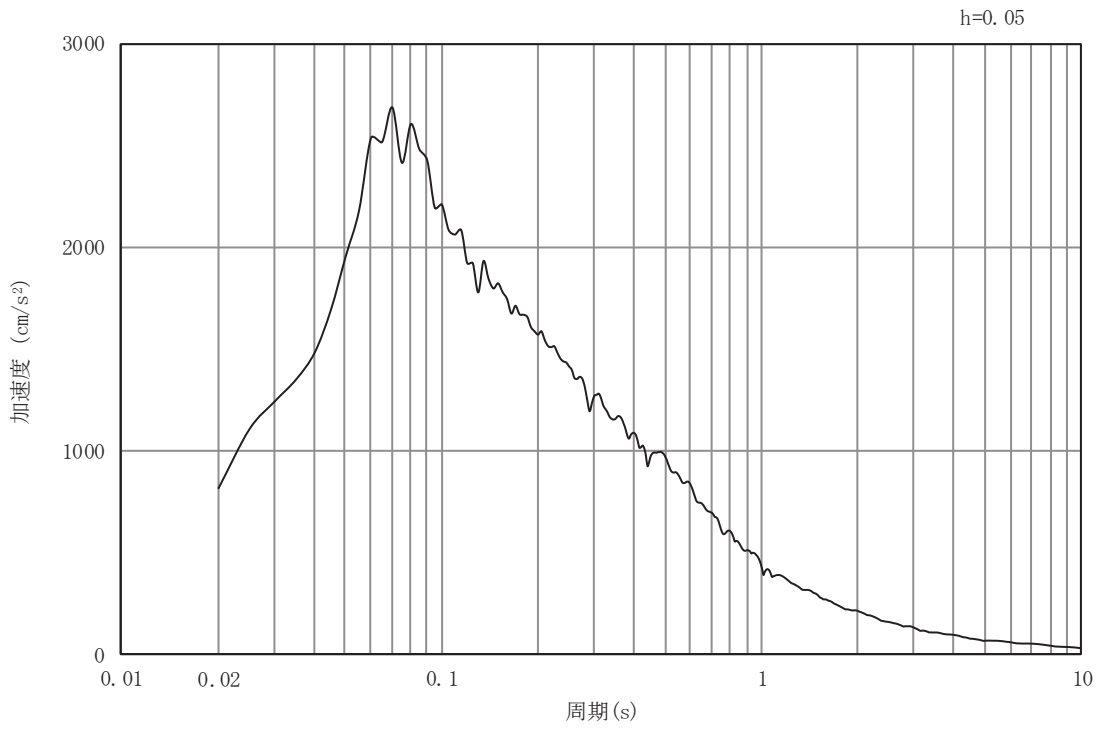
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - D 1)



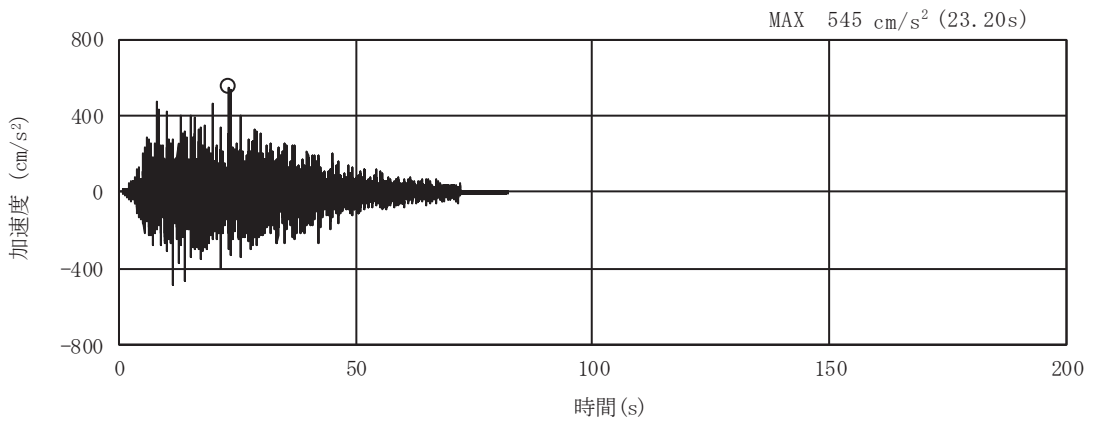


(a) 加速度時刻歴波形

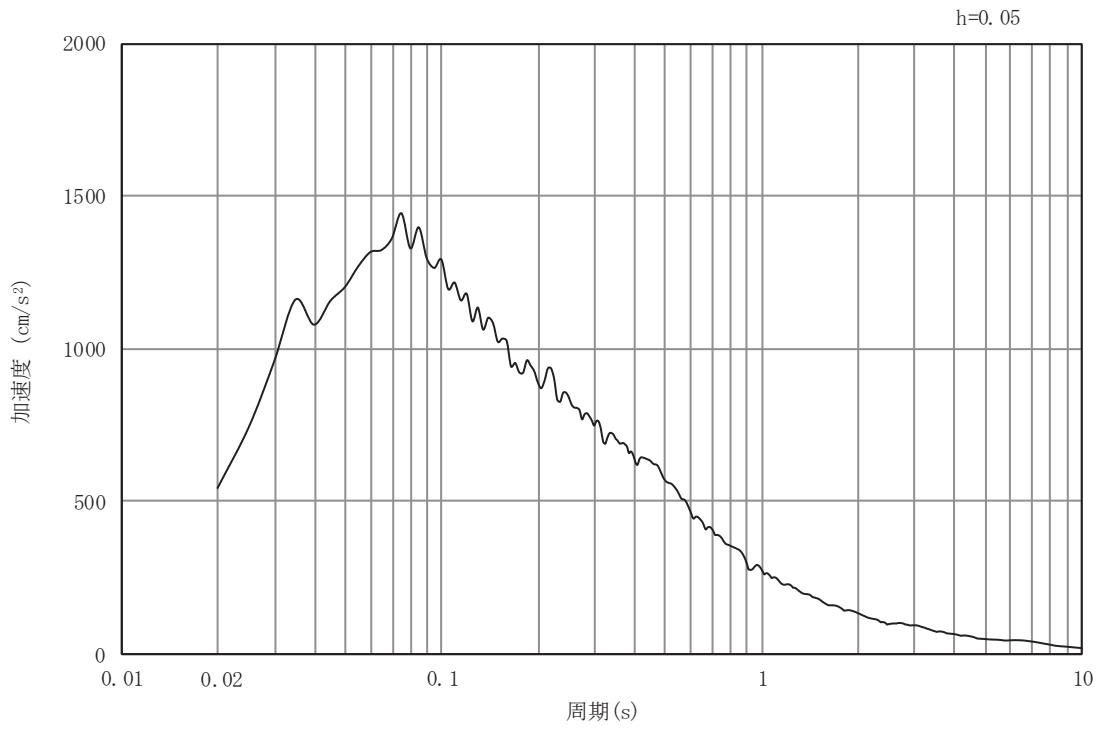


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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 : S s - D 2)

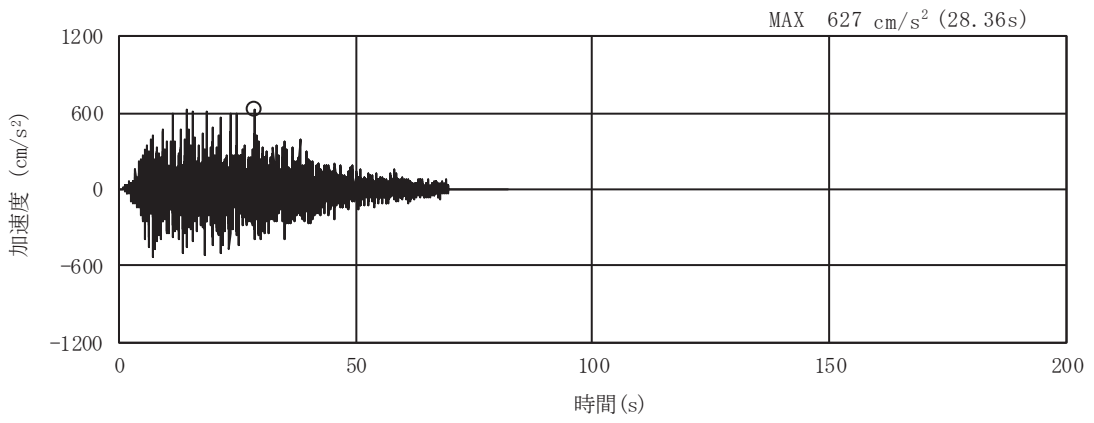


(a) 加速度時刻歴波形

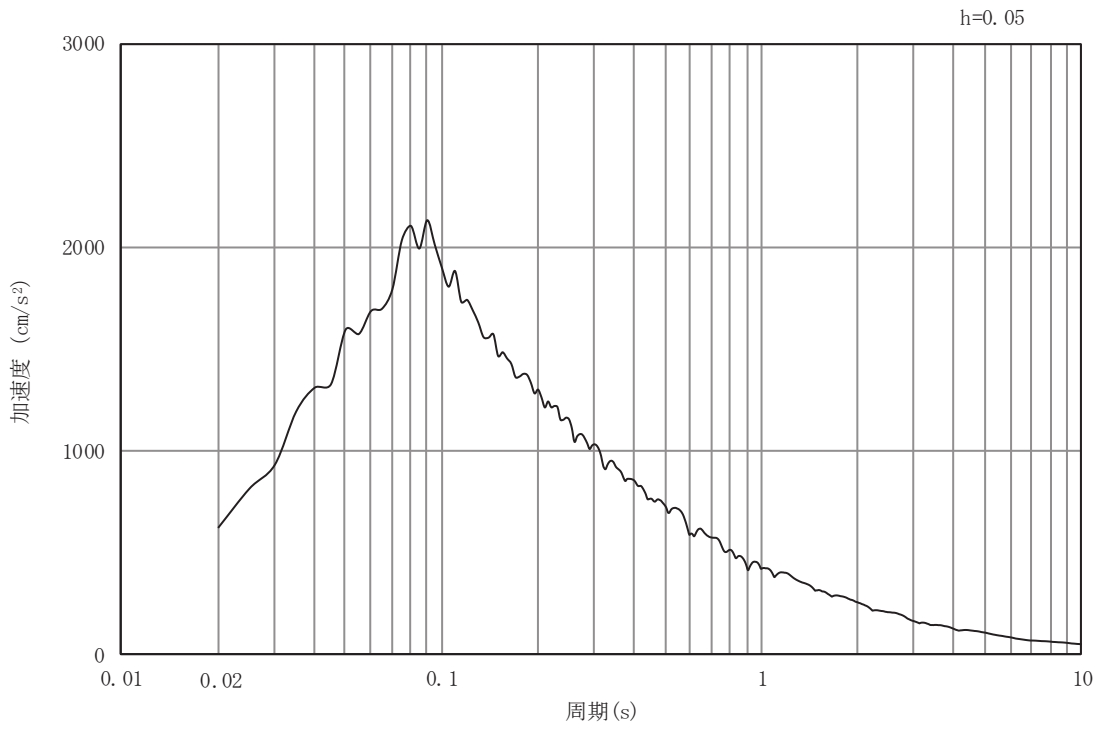


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - D 2)

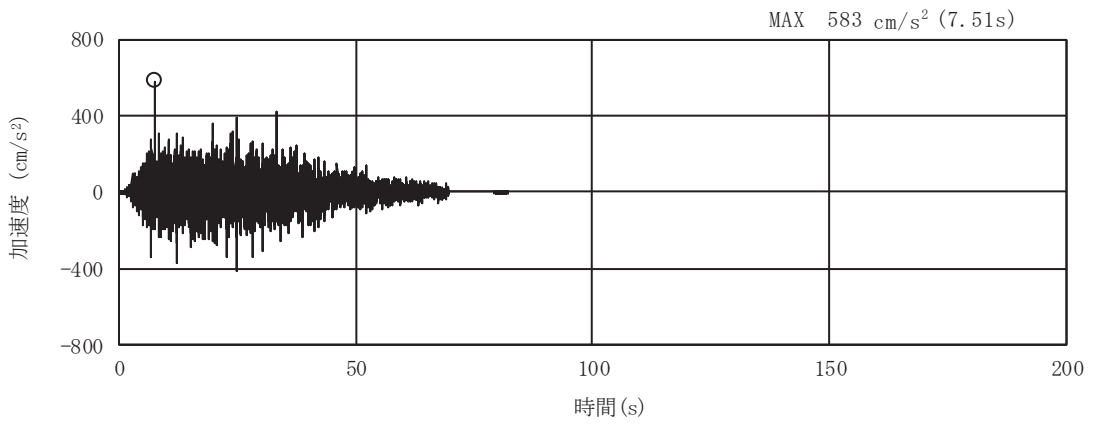


(a) 加速度時刻歴波形

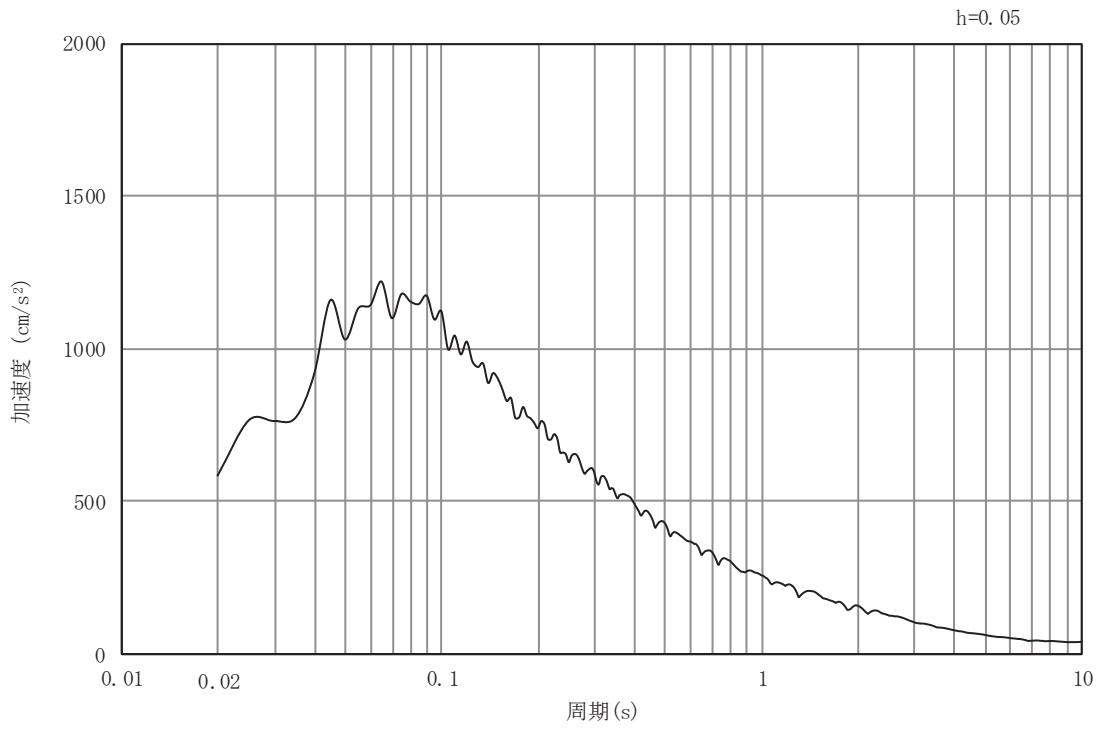


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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 : S s - D 3)

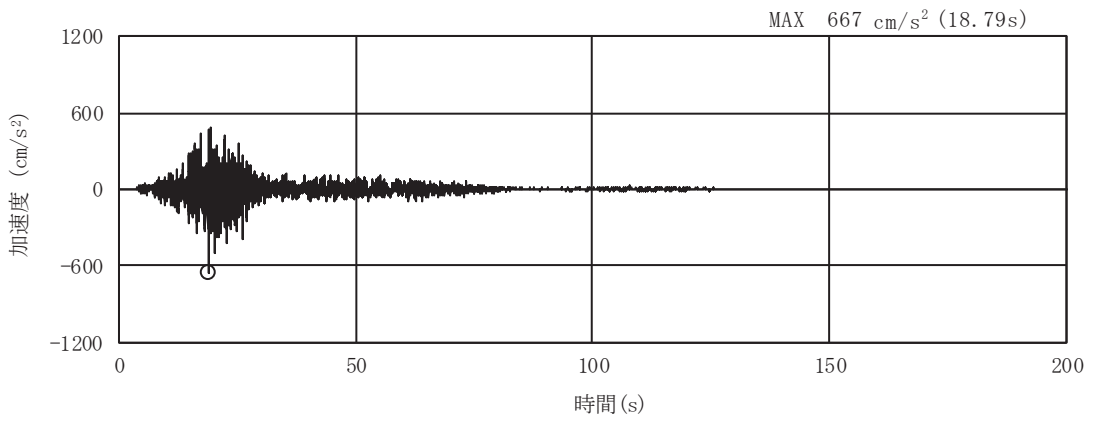


(a) 加速度時刻歴波形

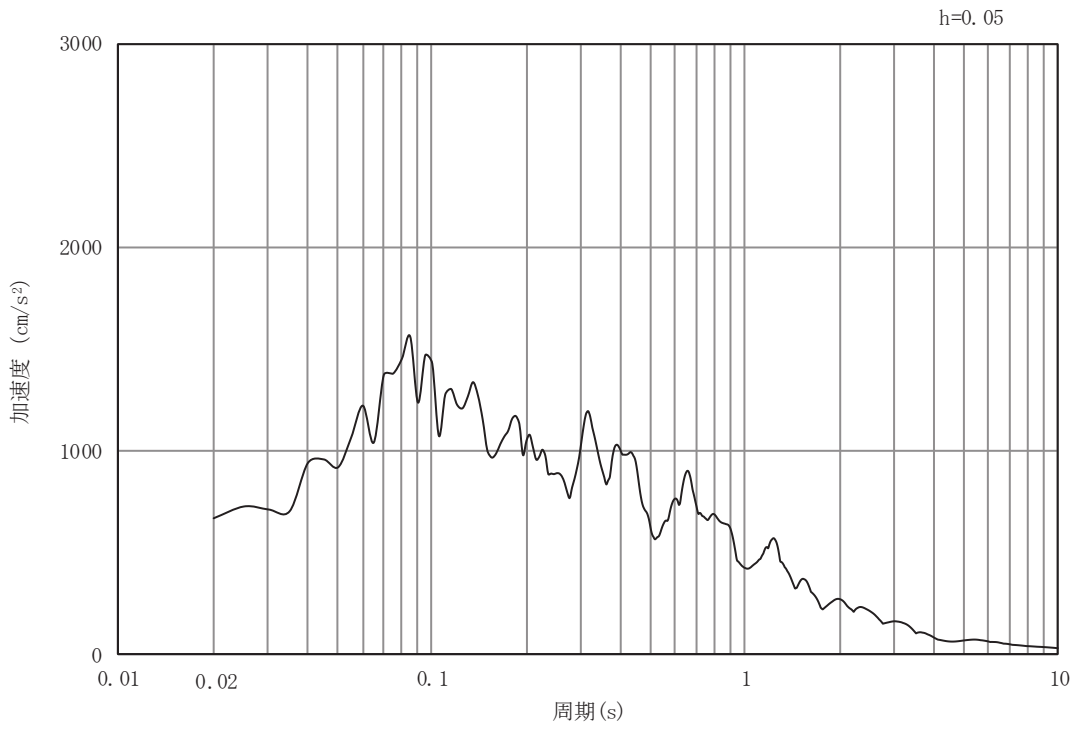


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - D 3)

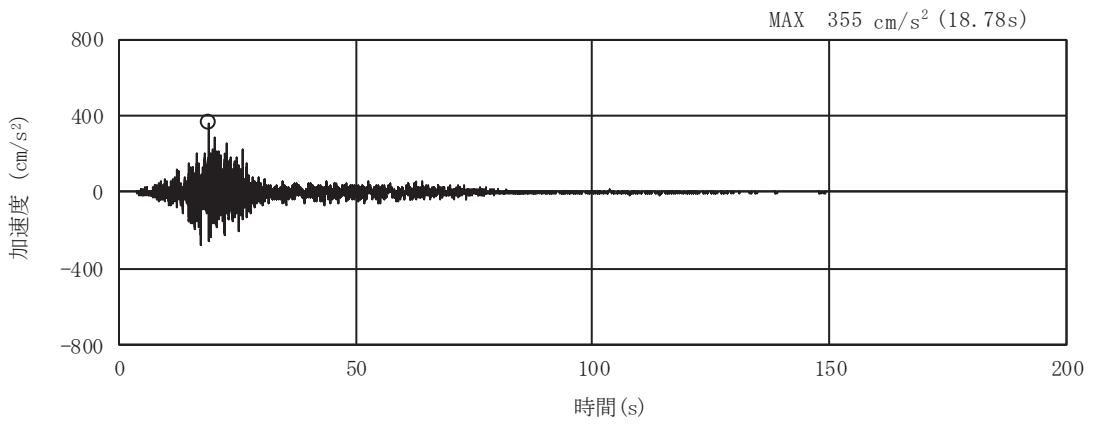


(a) 加速度時刻歴波形

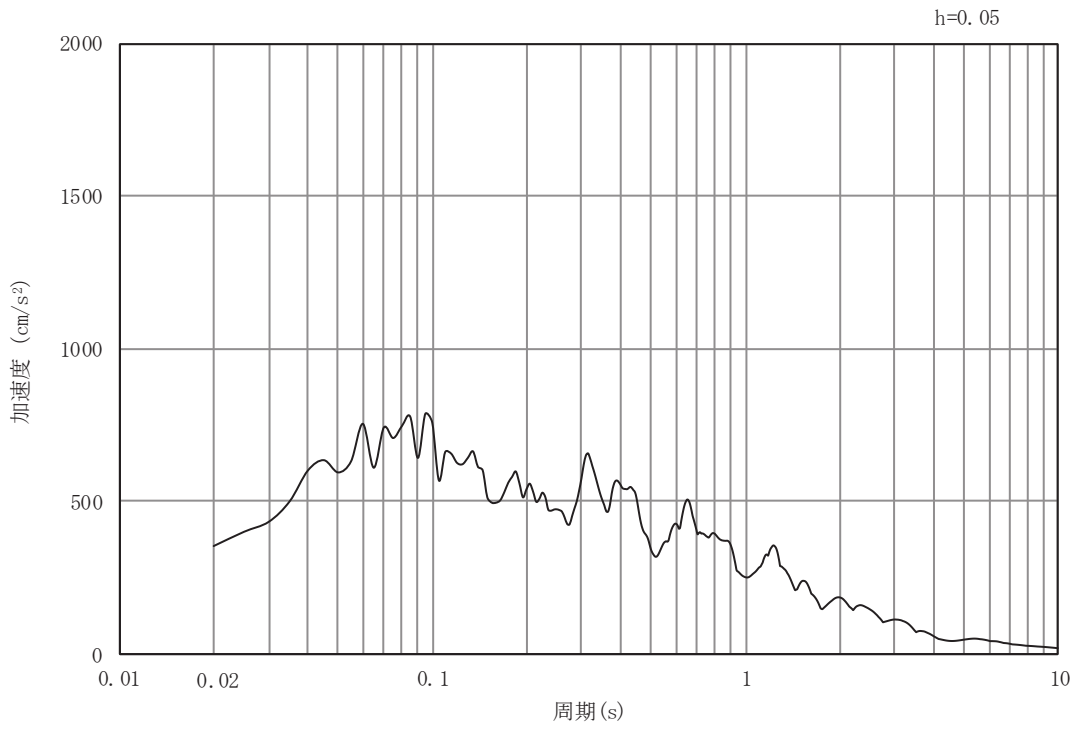


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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 : S s - F 1)

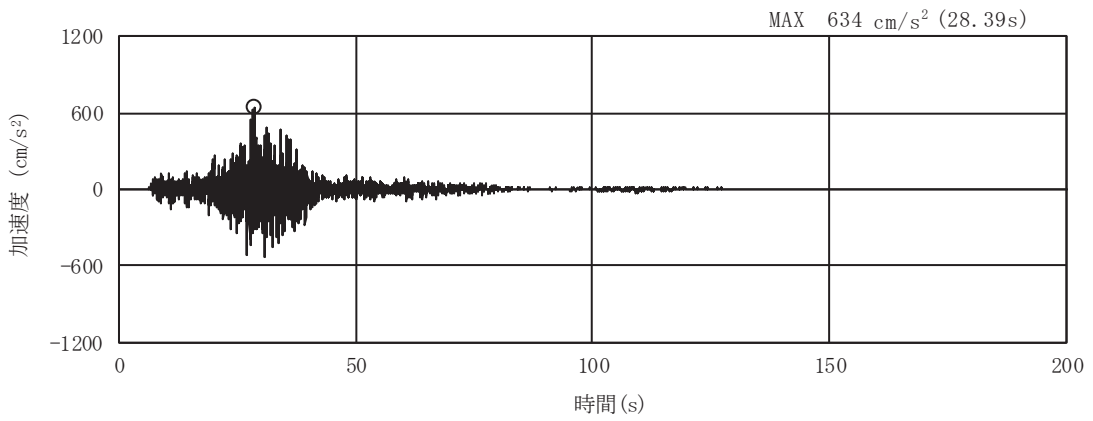


(a) 加速度時刻歴波形

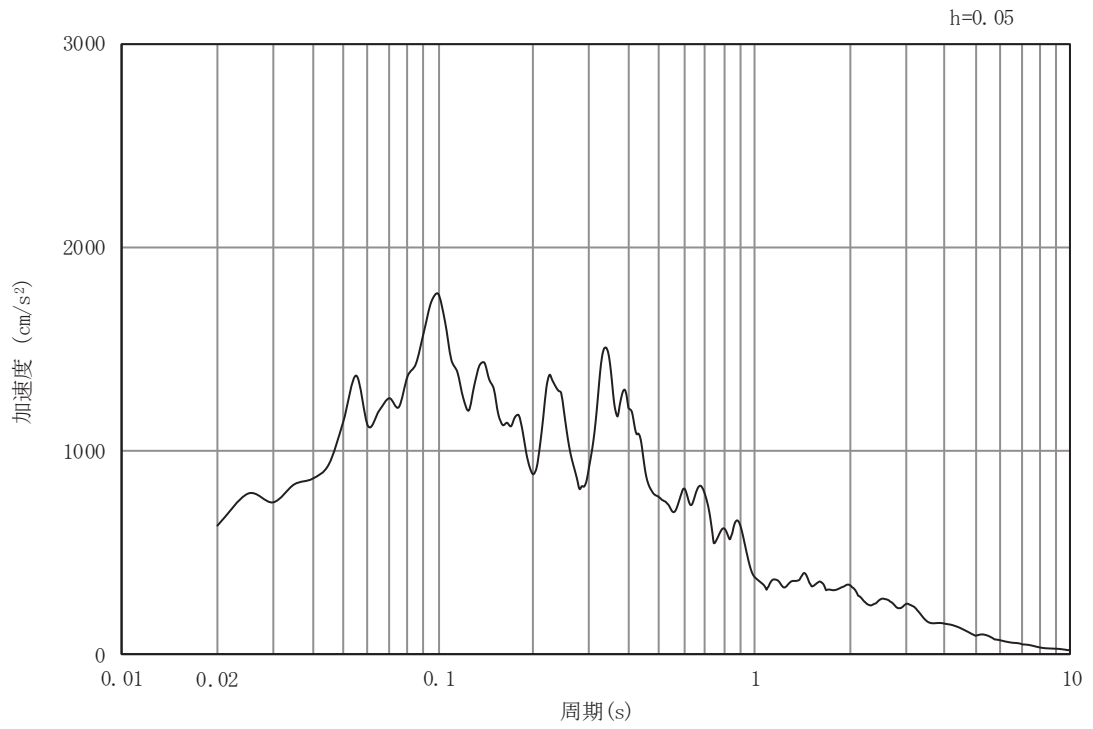


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - F 1)

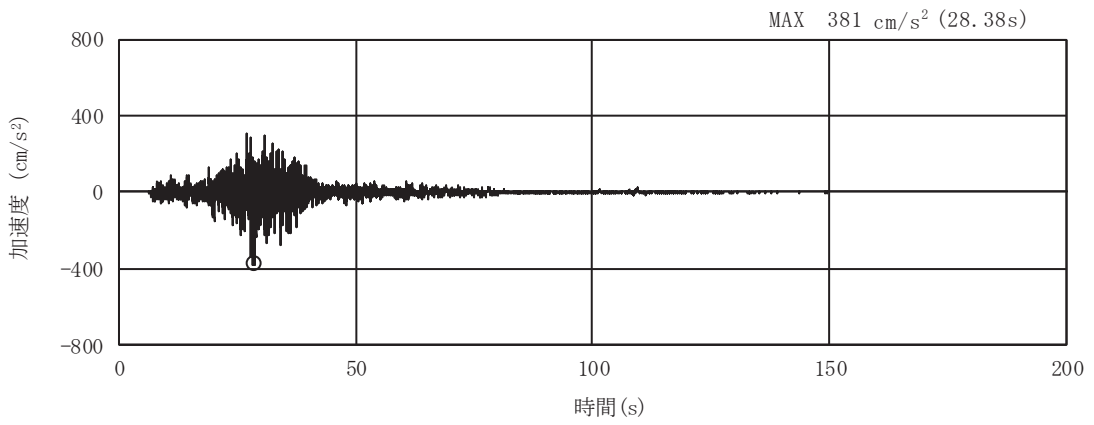


(a) 加速度時刻歴波形

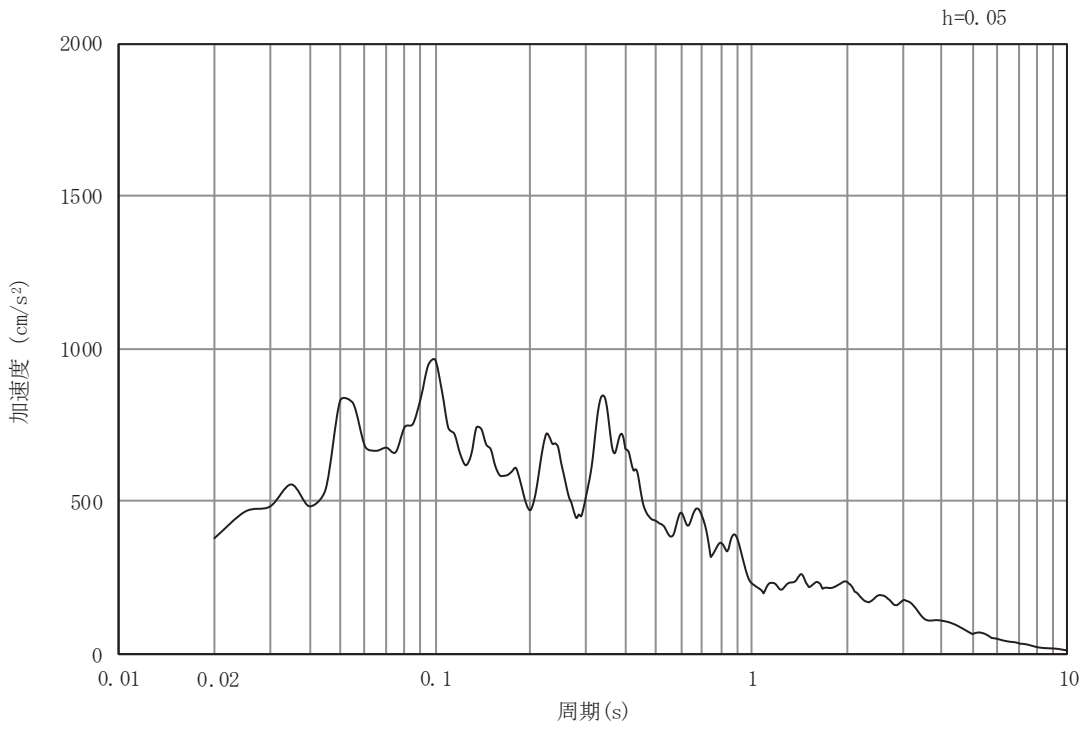


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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 : S s - F 2)



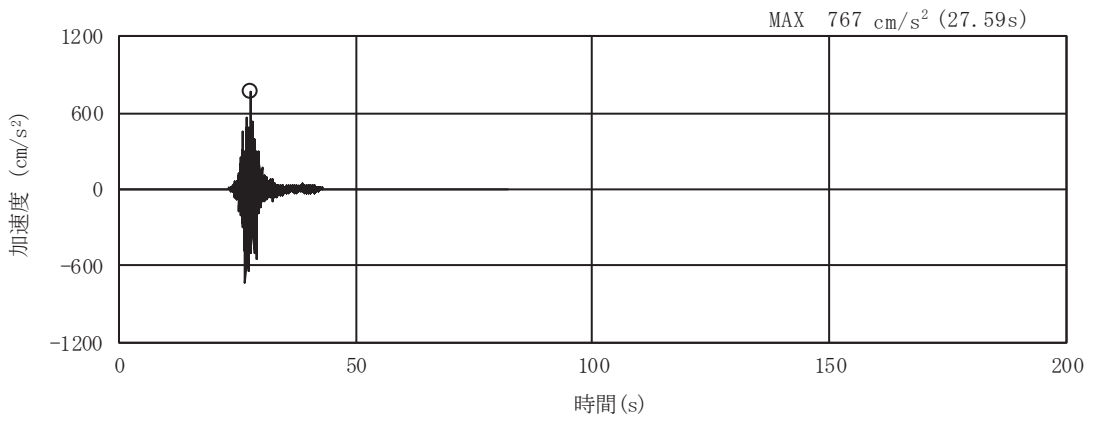
(a) 加速度時刻歴波形



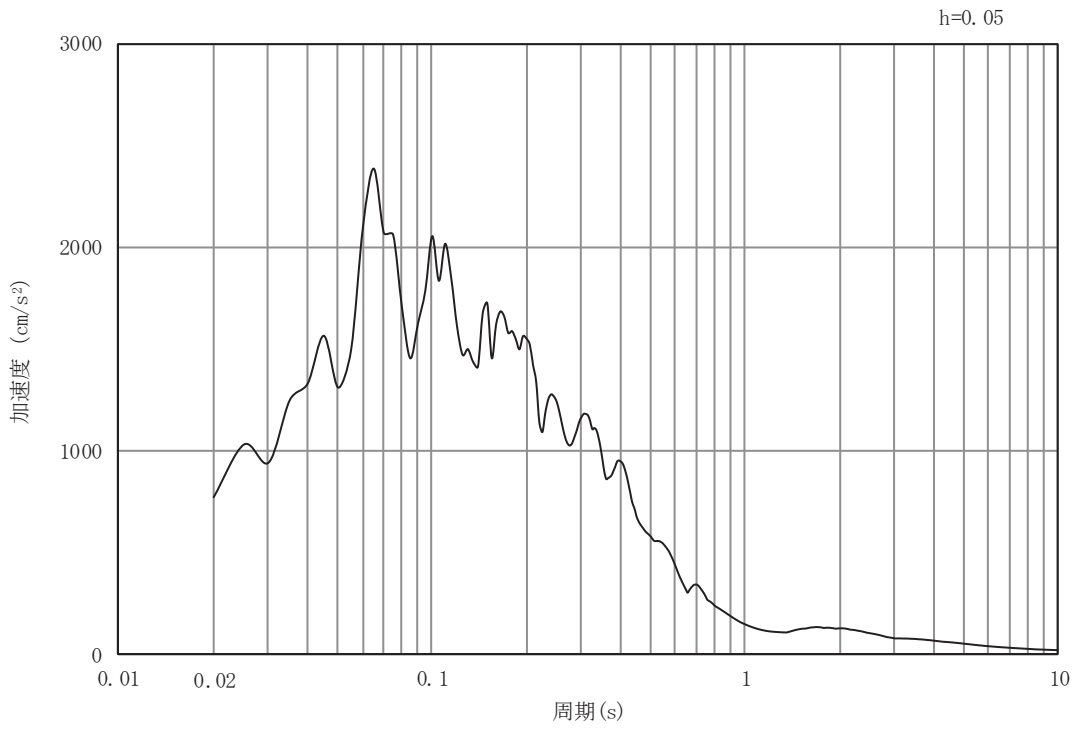
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - F 2)



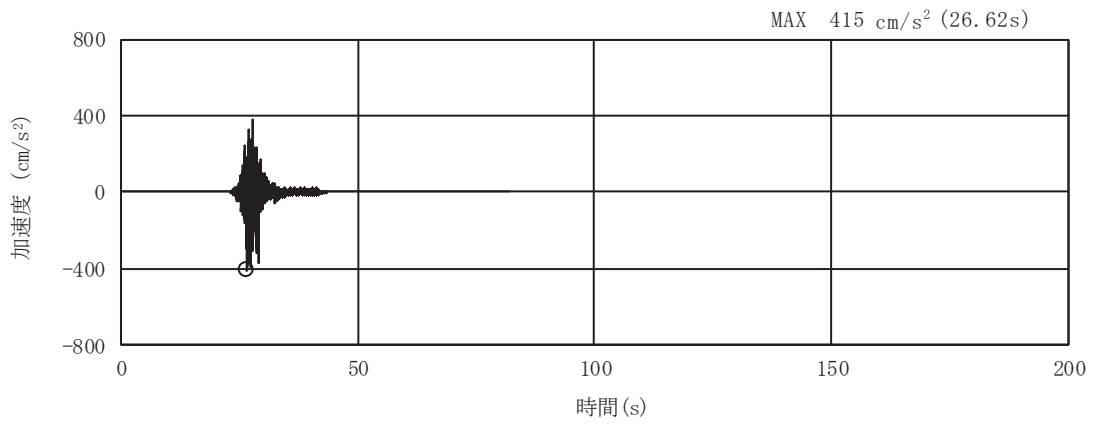


(a) 加速度時刻歴波形

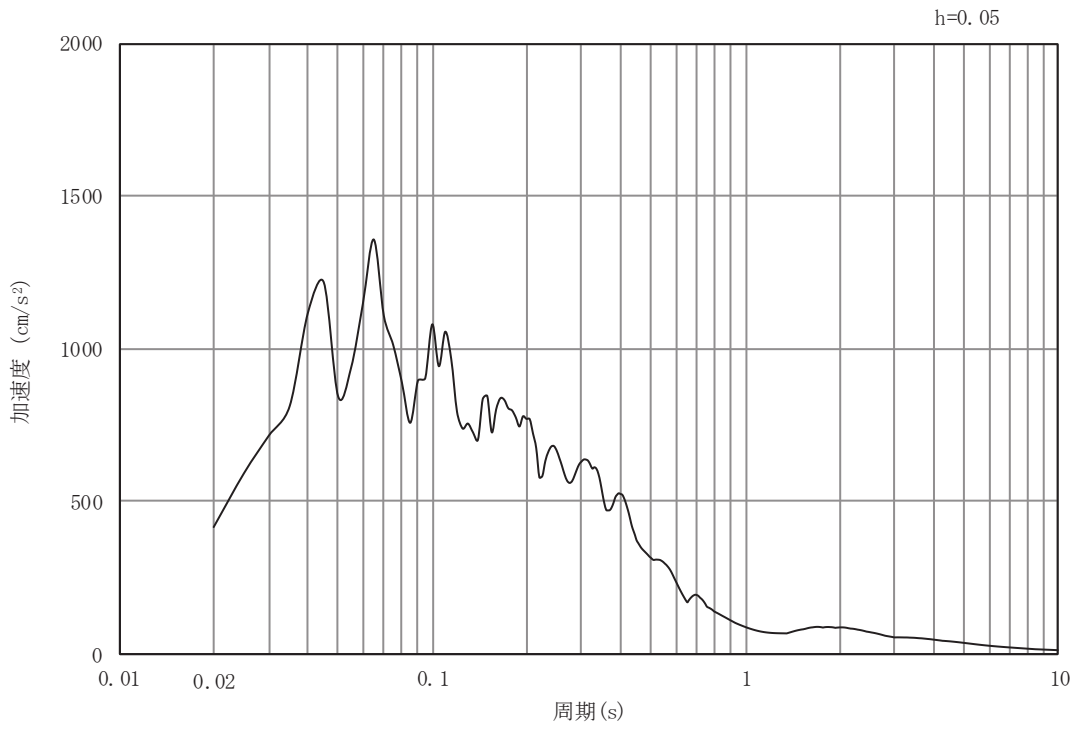


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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 : S s - F 3)

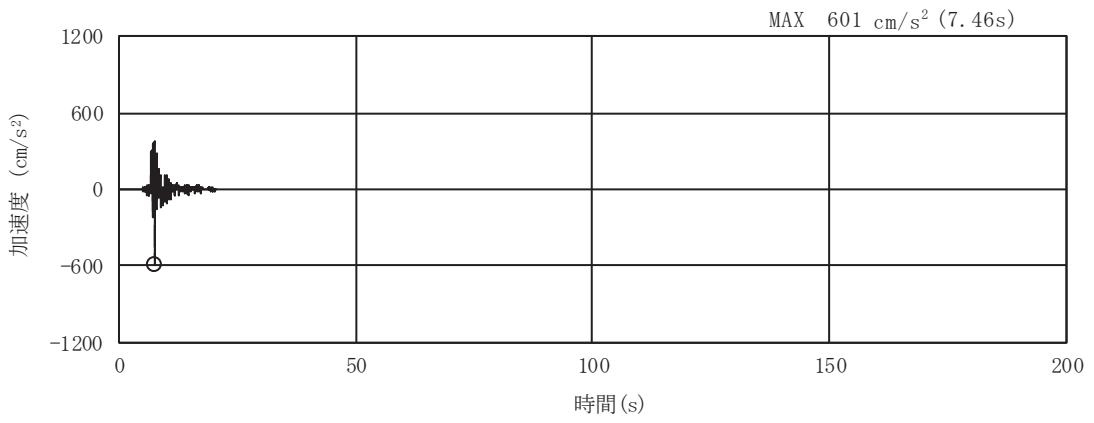


(a) 加速度時刻歴波形

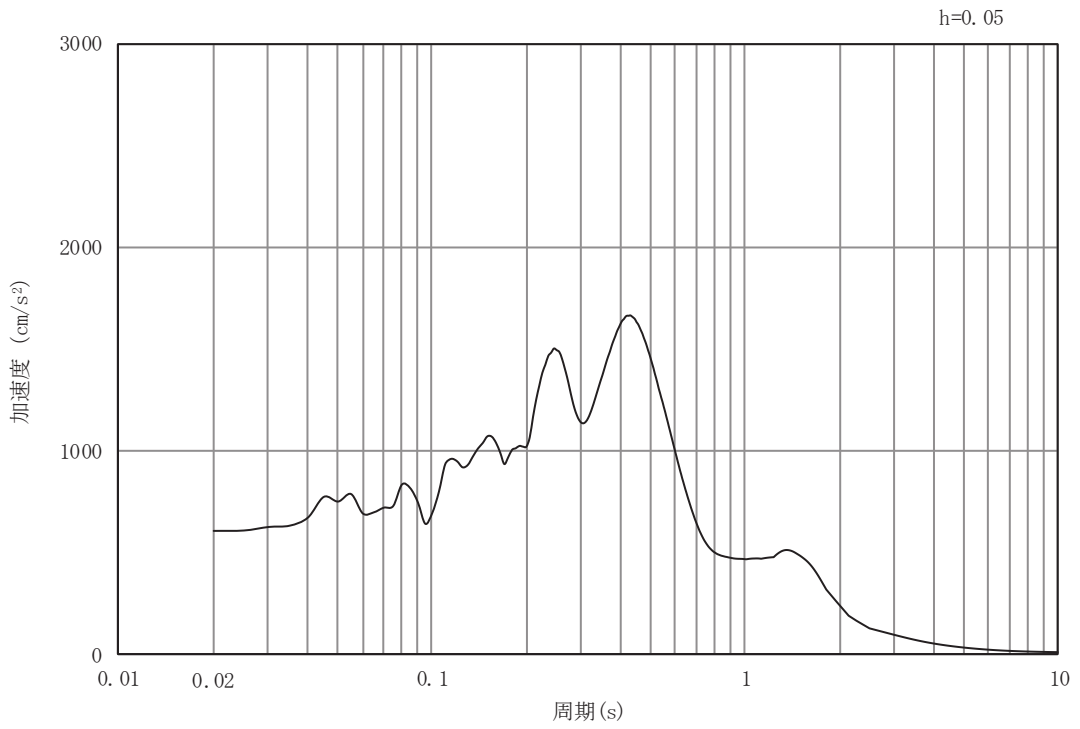


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - F 3)

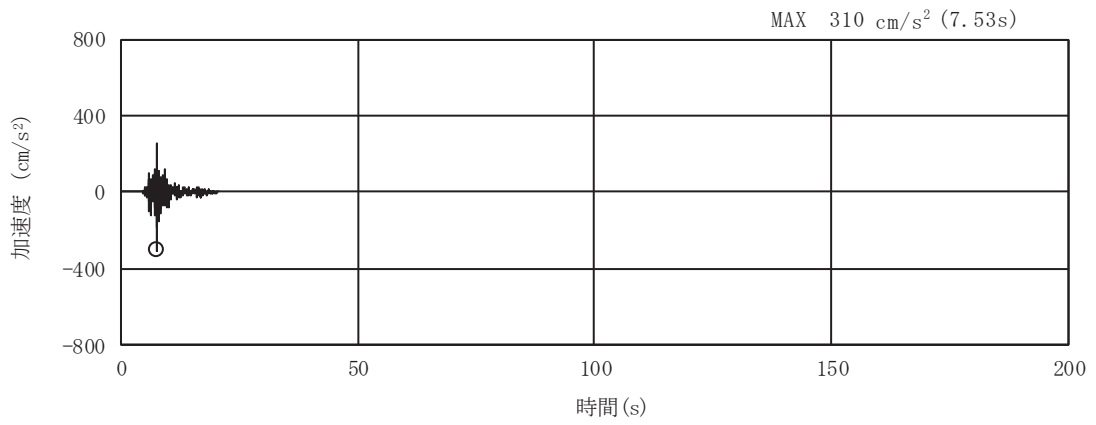


(a) 加速度時刻歴波形

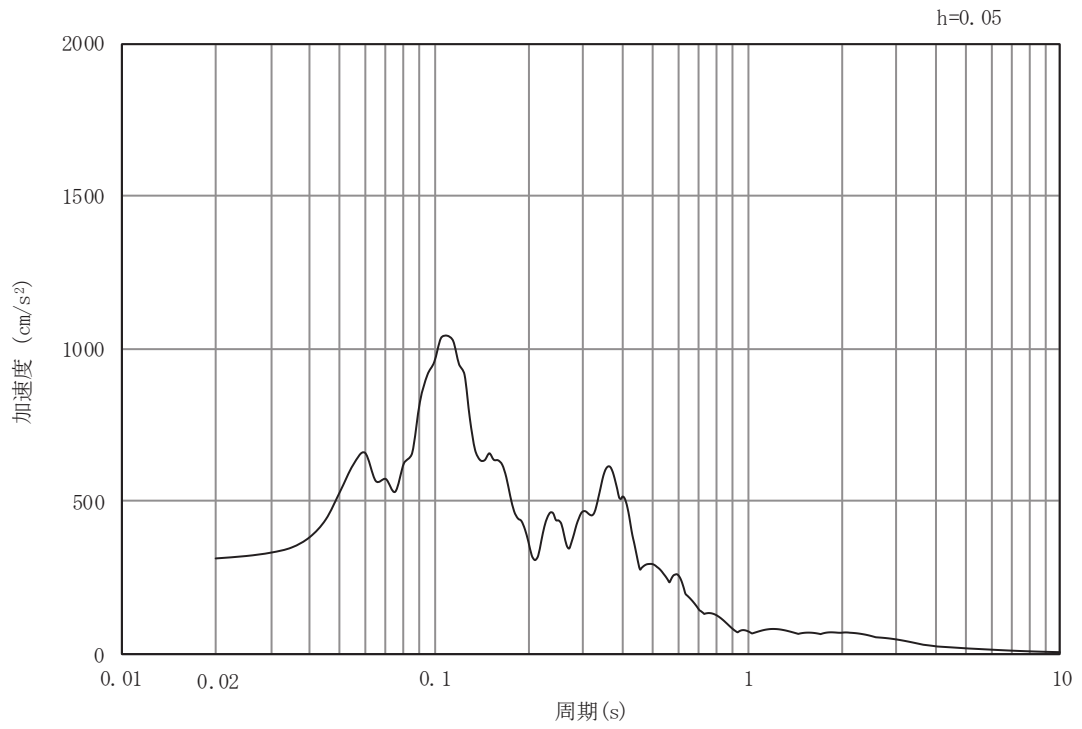


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - N 1)



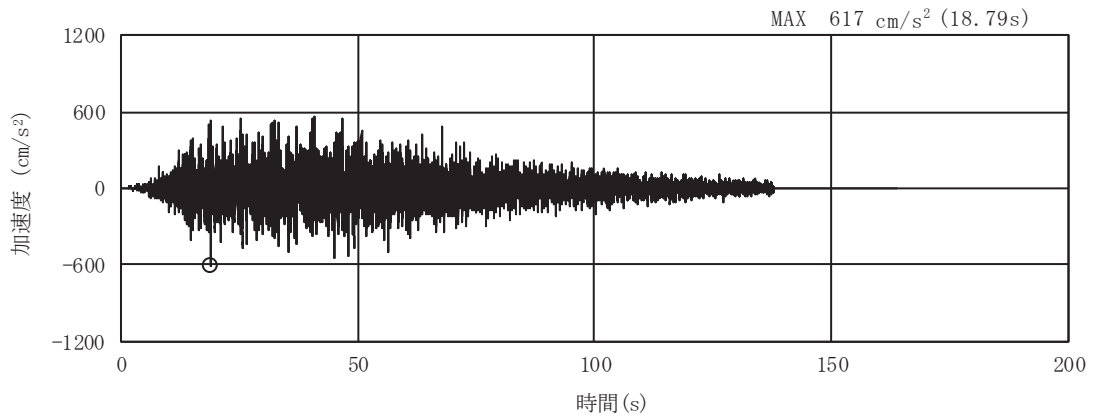
(a) 加速度時刻歴波形



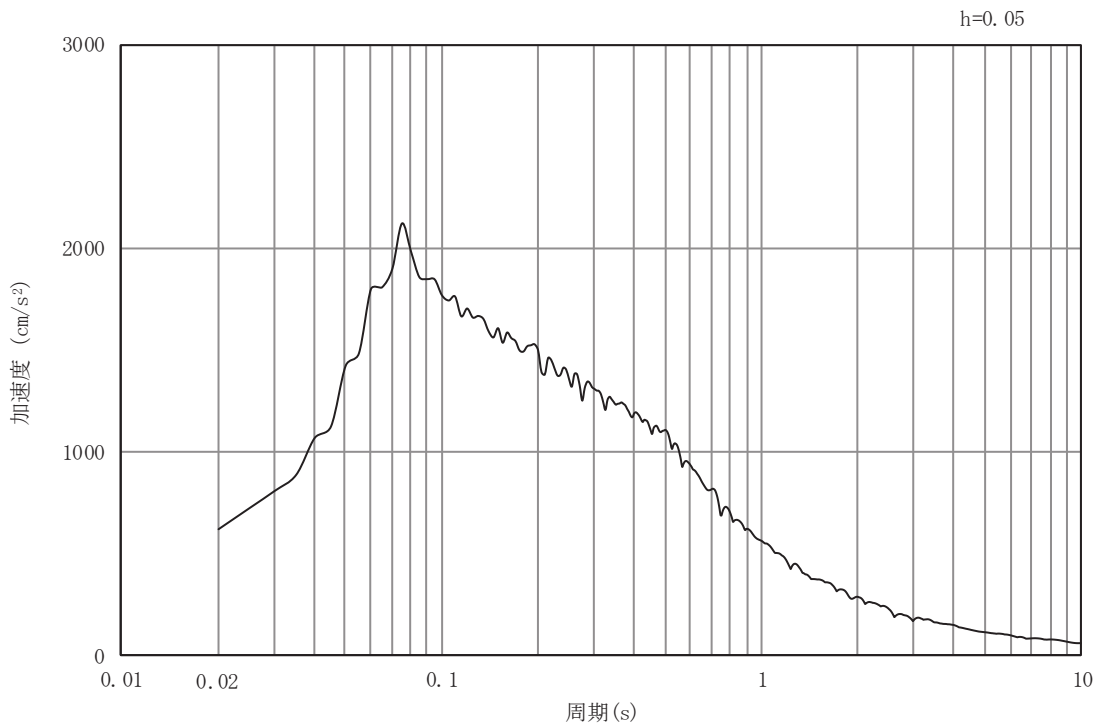
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9(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：S s - N 1)

3.4.2 B-B断面

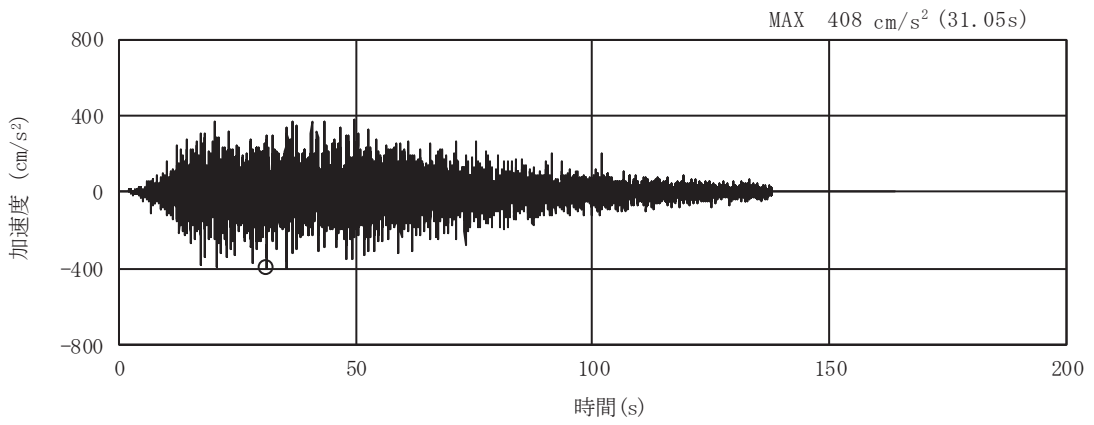


(a) 加速度時刻歴波形

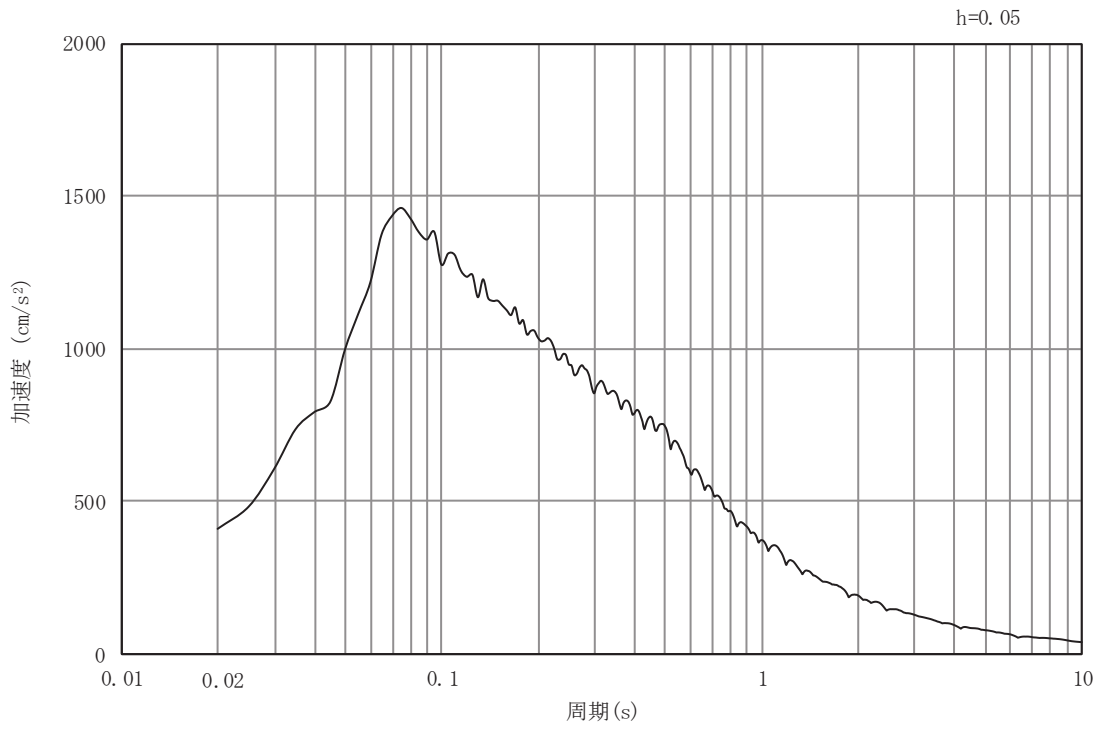


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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: S s - D 1)

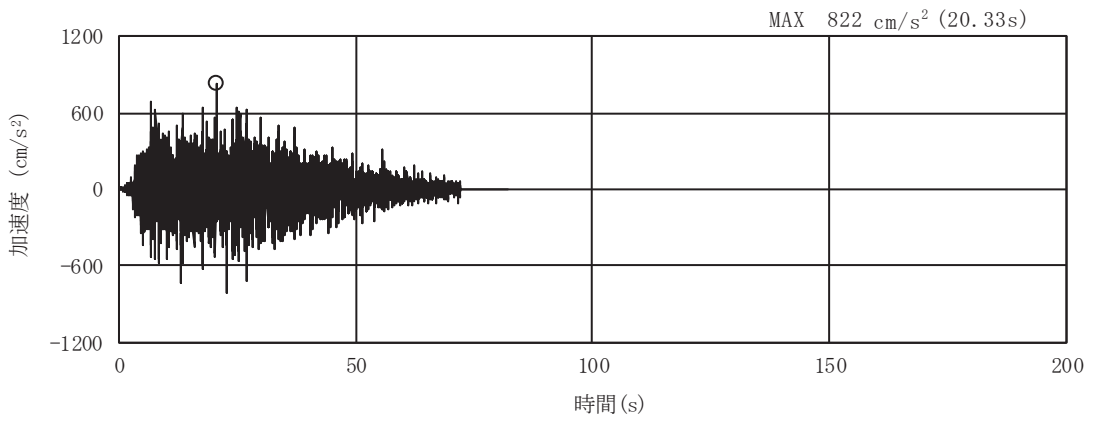


(a) 加速度時刻歴波形

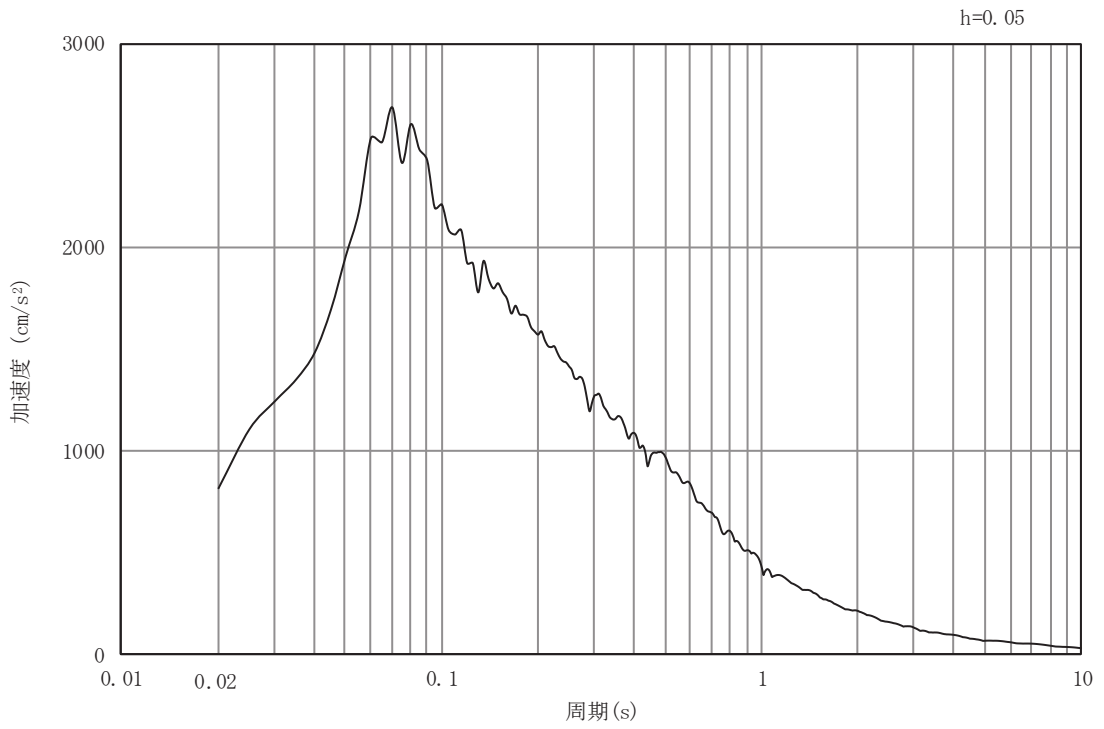


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - D 1)

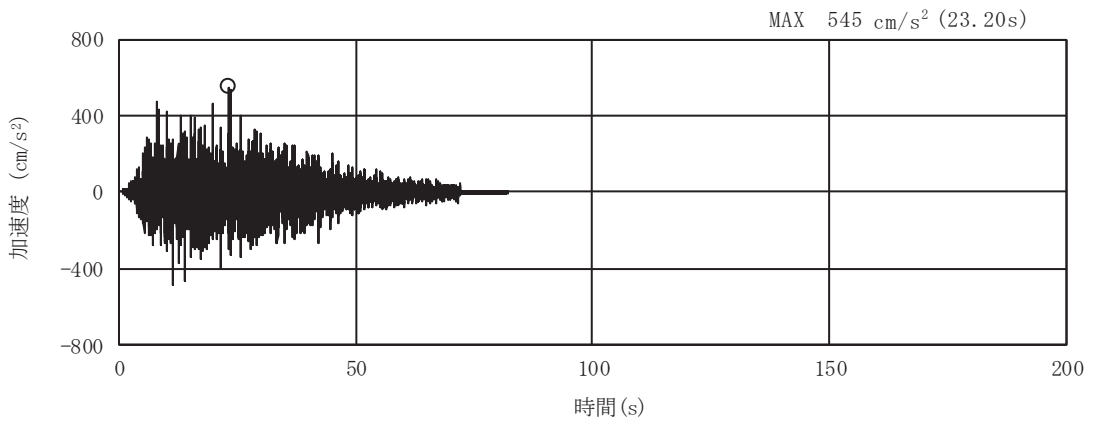


(a) 加速度時刻歴波形

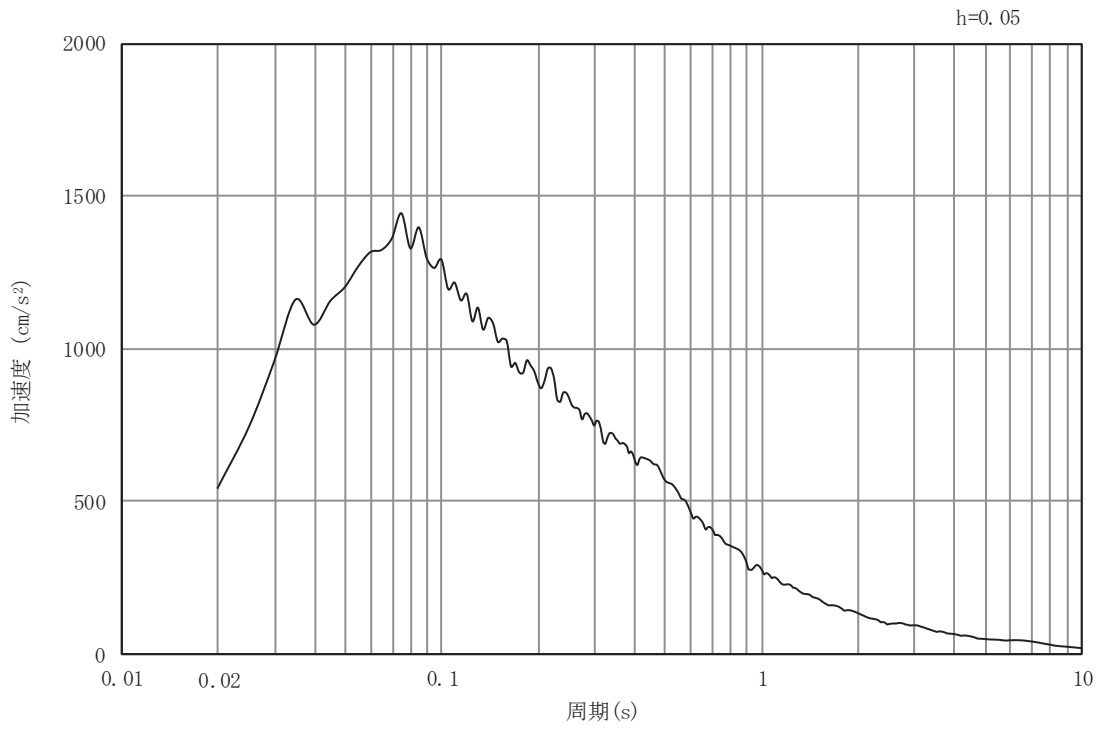


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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 : S s - D 2)



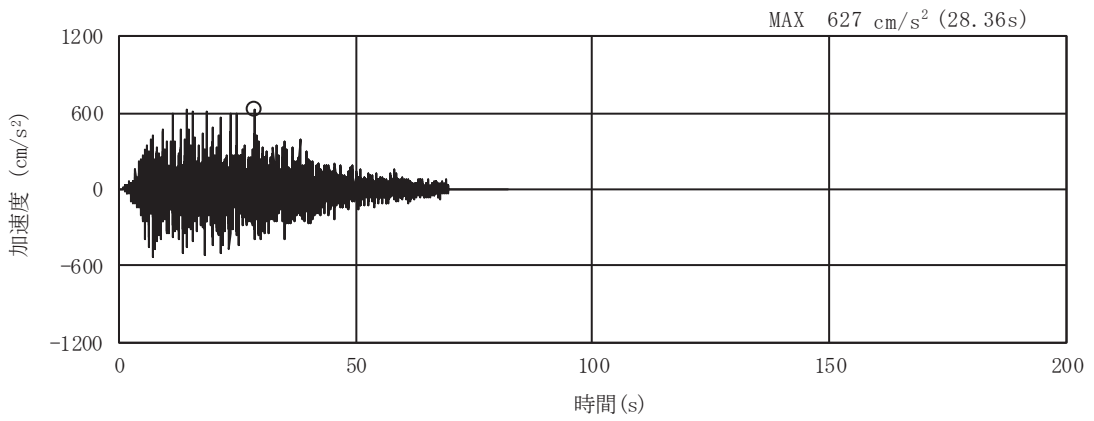
(a) 加速度時刻歴波形



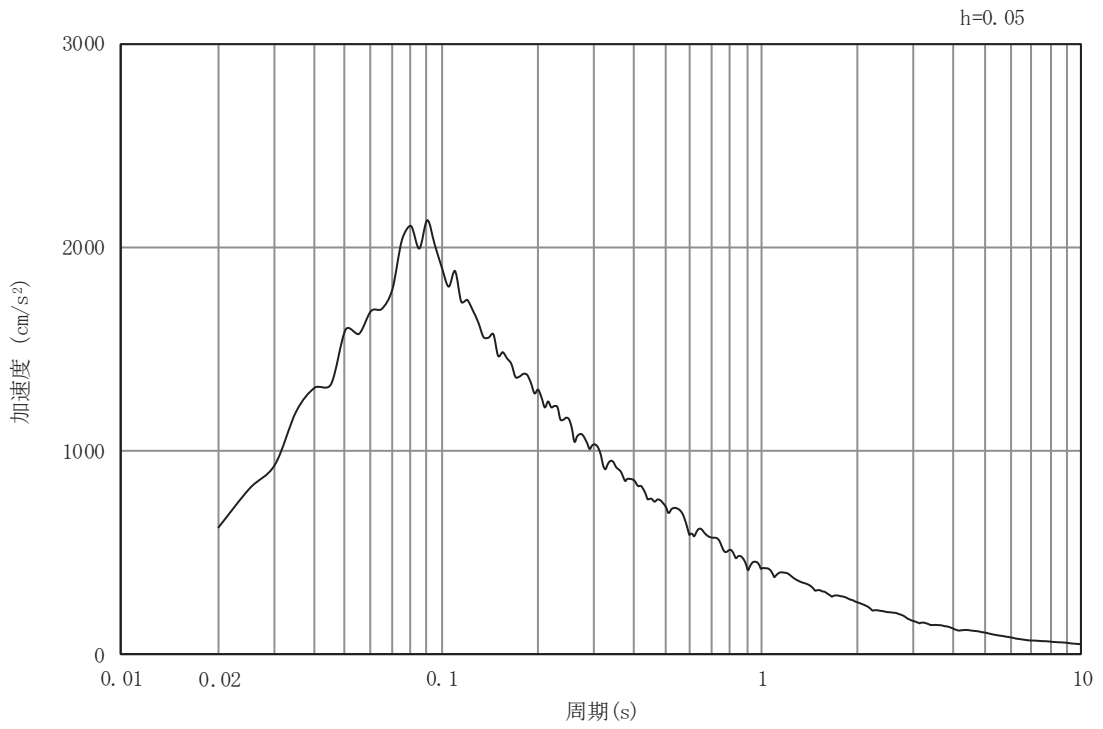
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - D 2)



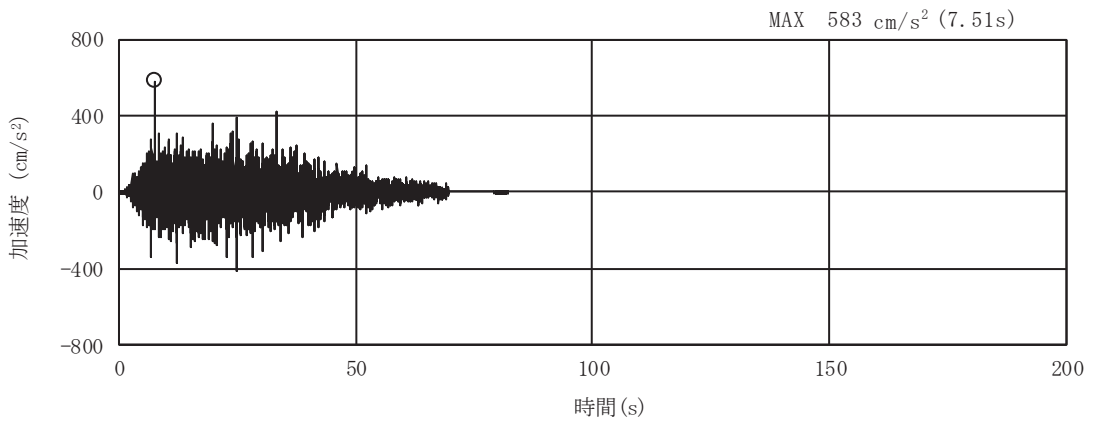


(a) 加速度時刻歴波形

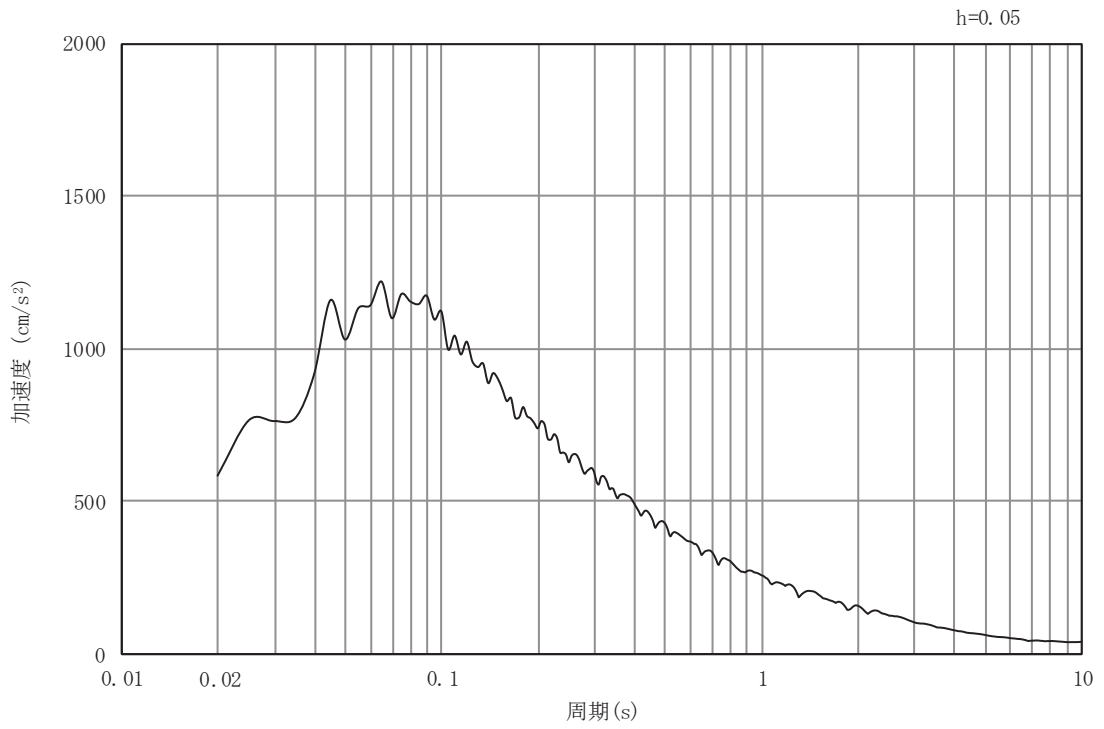


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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 : S s - D 3)

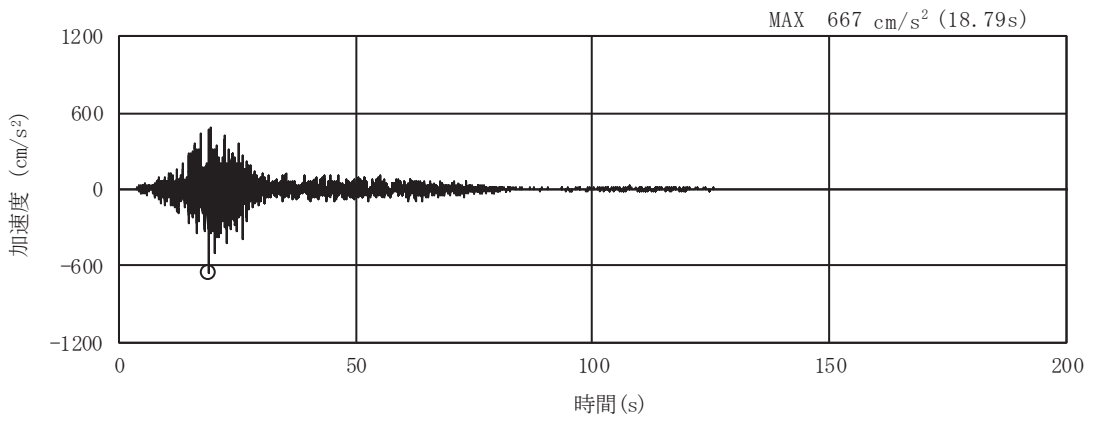


(a) 加速度時刻歴波形

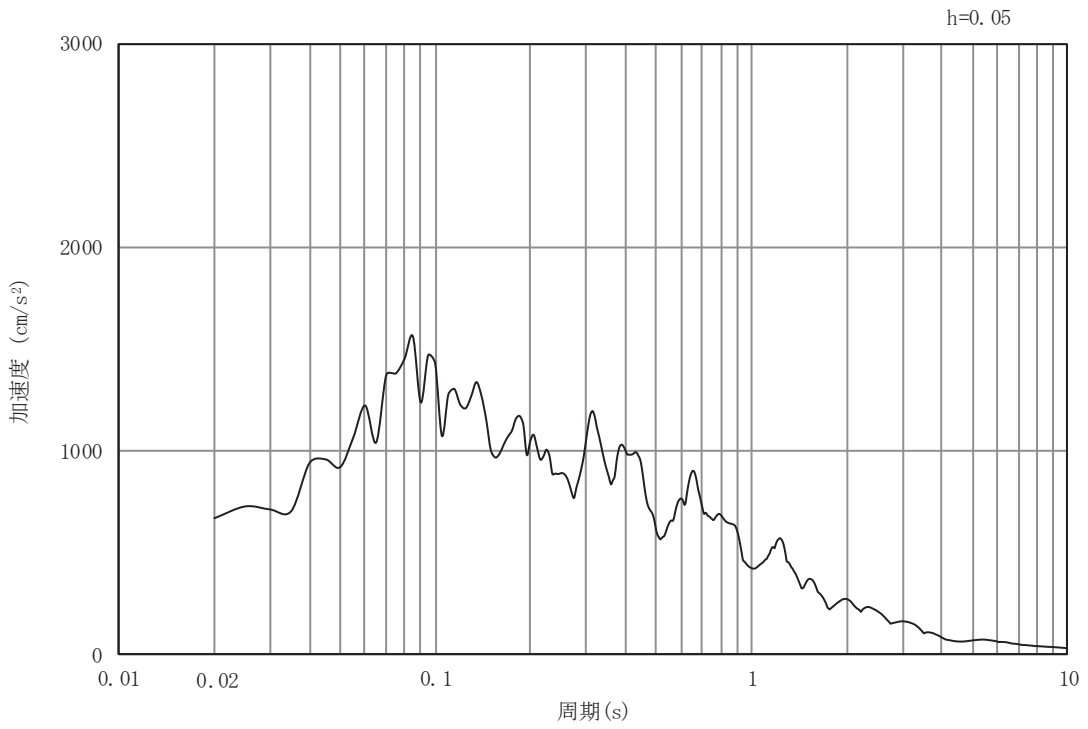


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - D 3)

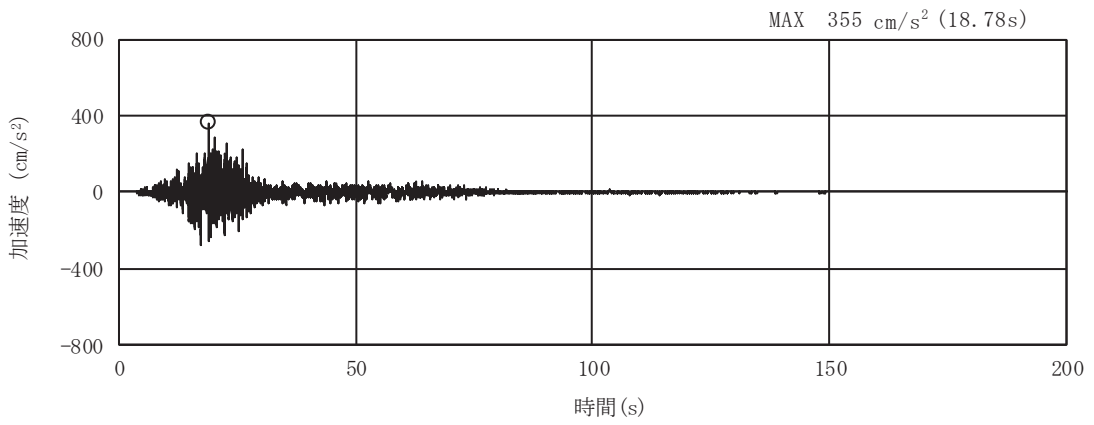


(a) 加速度時刻歴波形

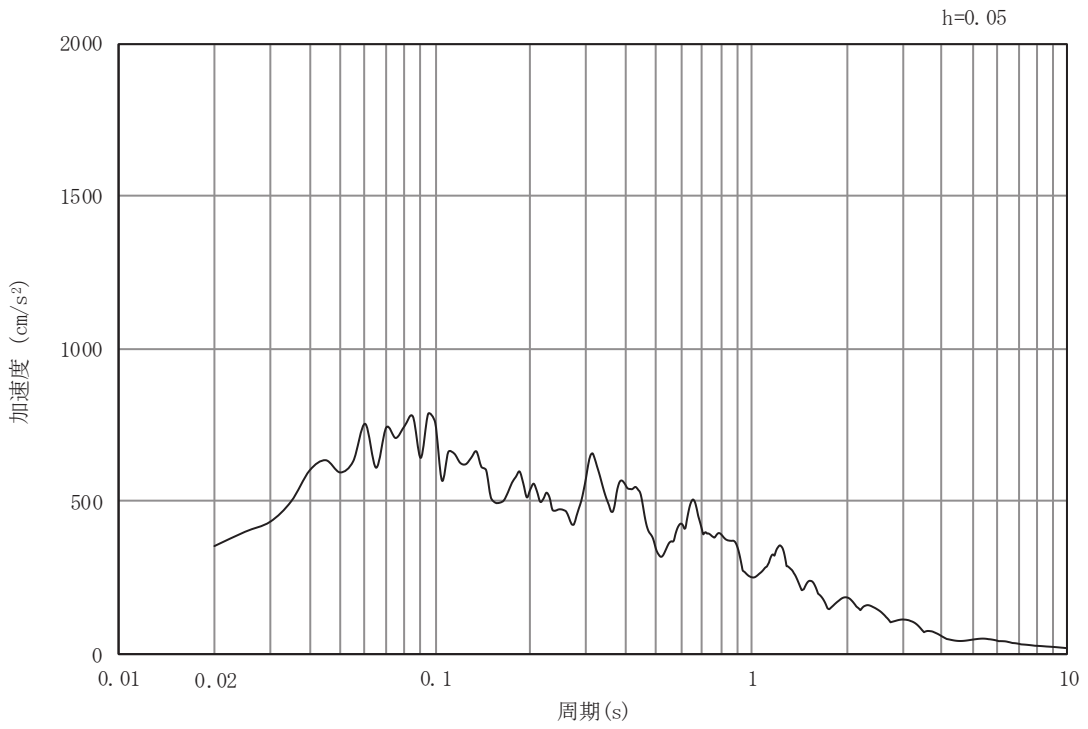


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - F 1)

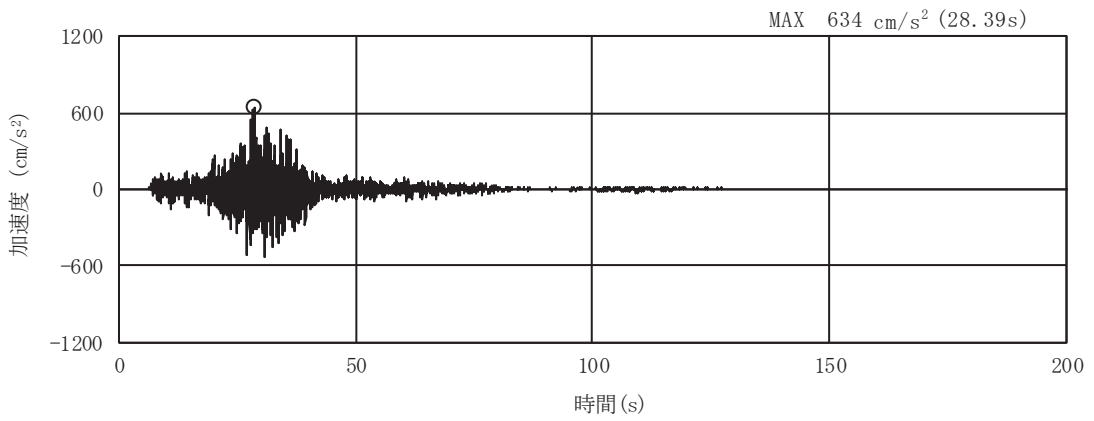


(a) 加速度時刻歴波形

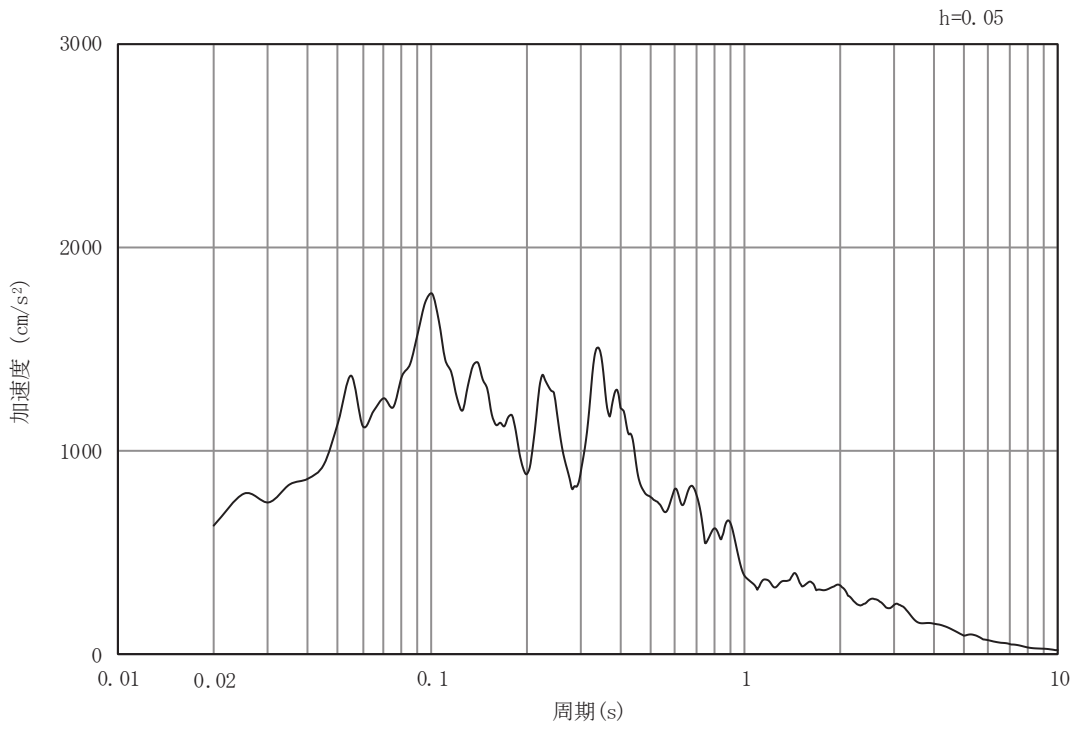


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - F 1)

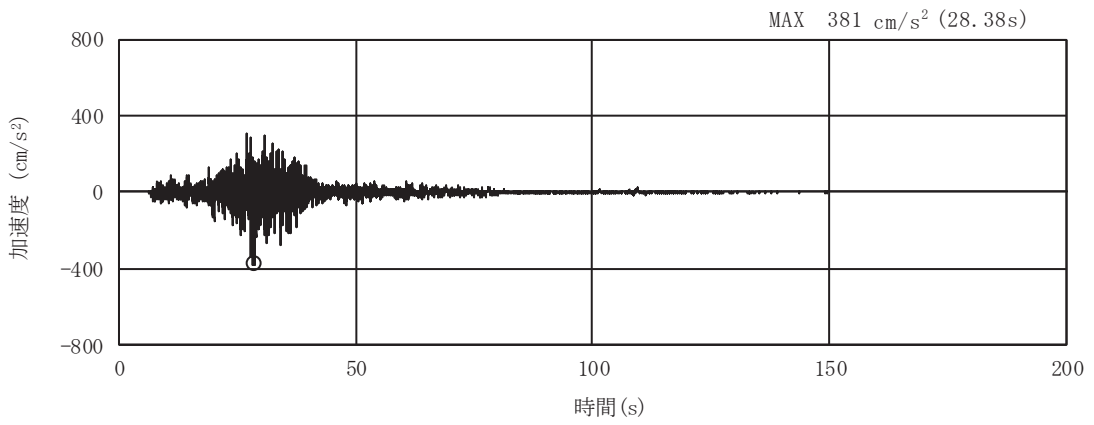


(a) 加速度時刻歴波形

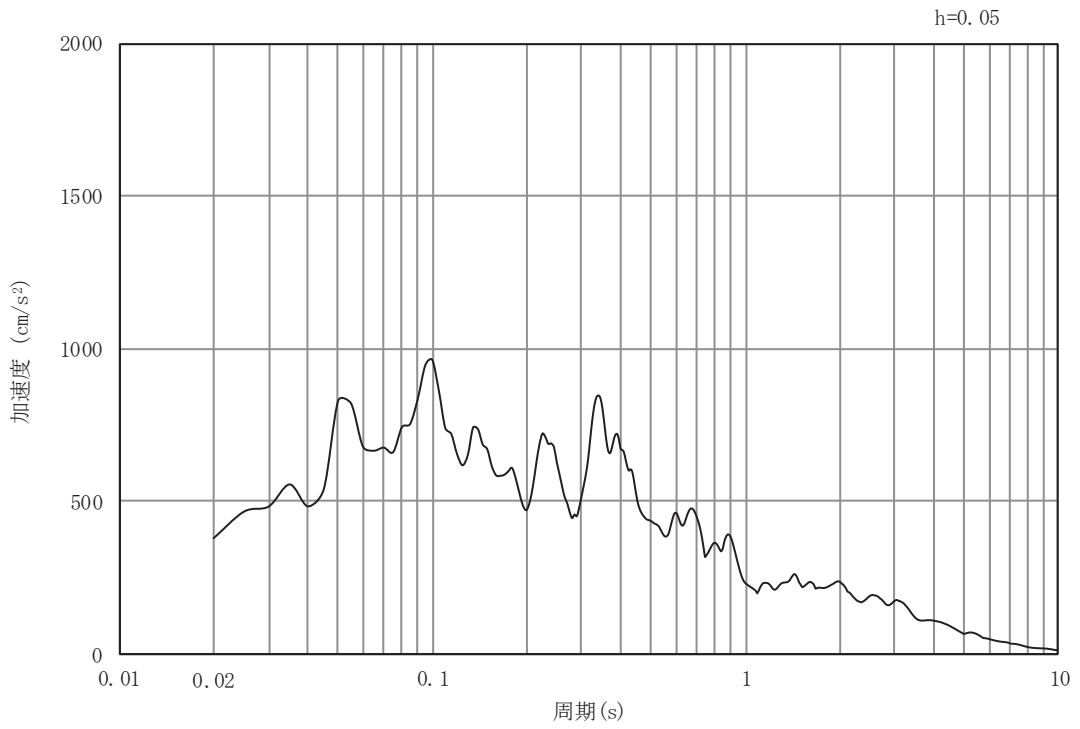


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - F 2)

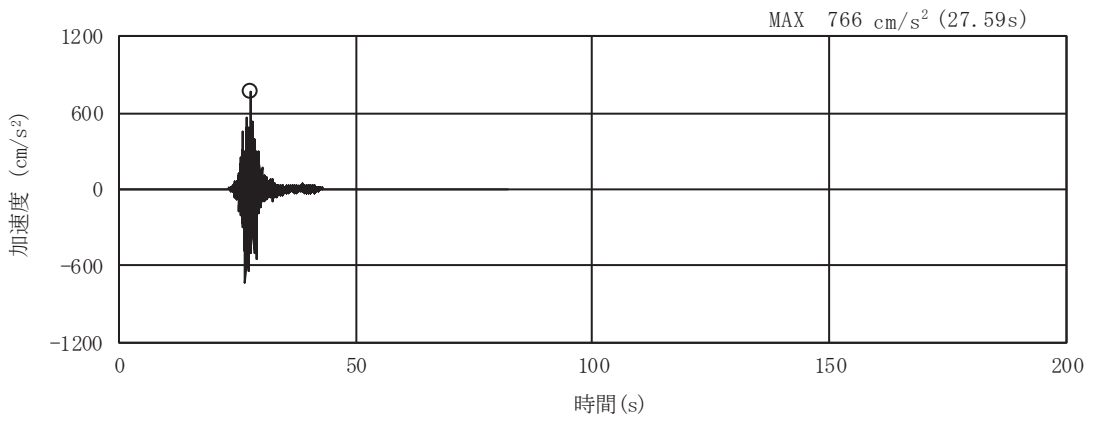


(a) 加速度時刻歴波形

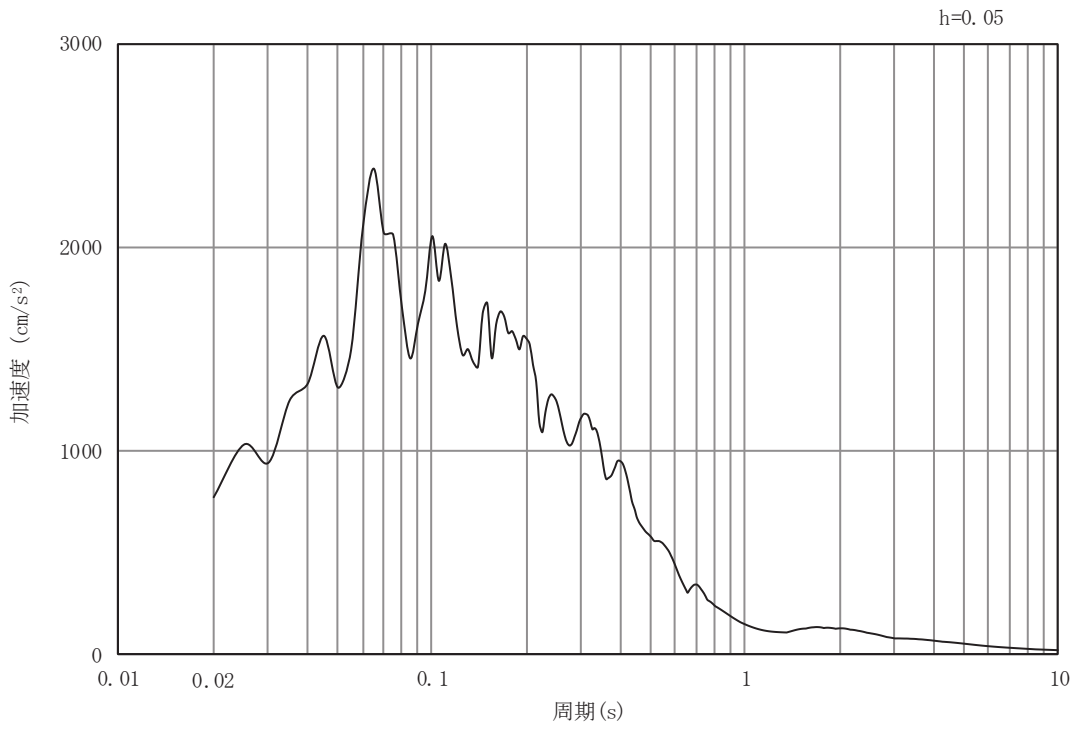


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - F 2)

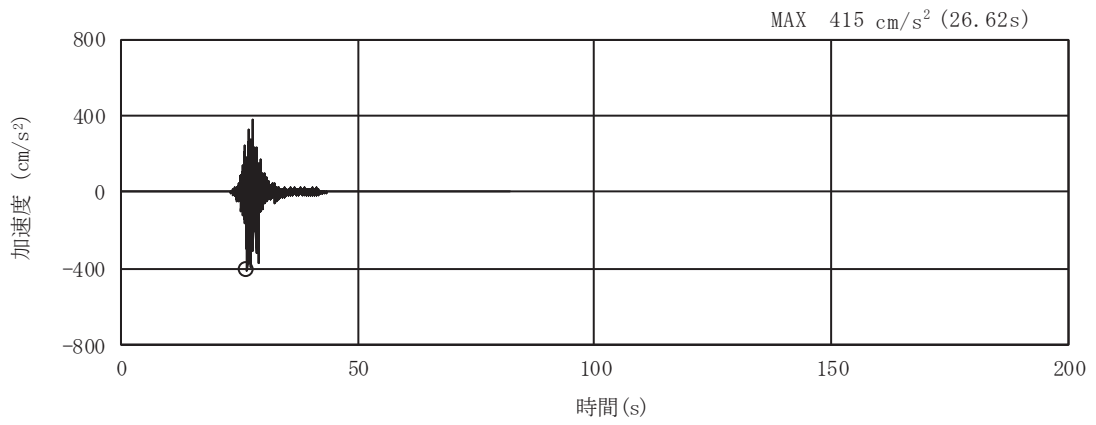


(a) 加速度時刻歴波形

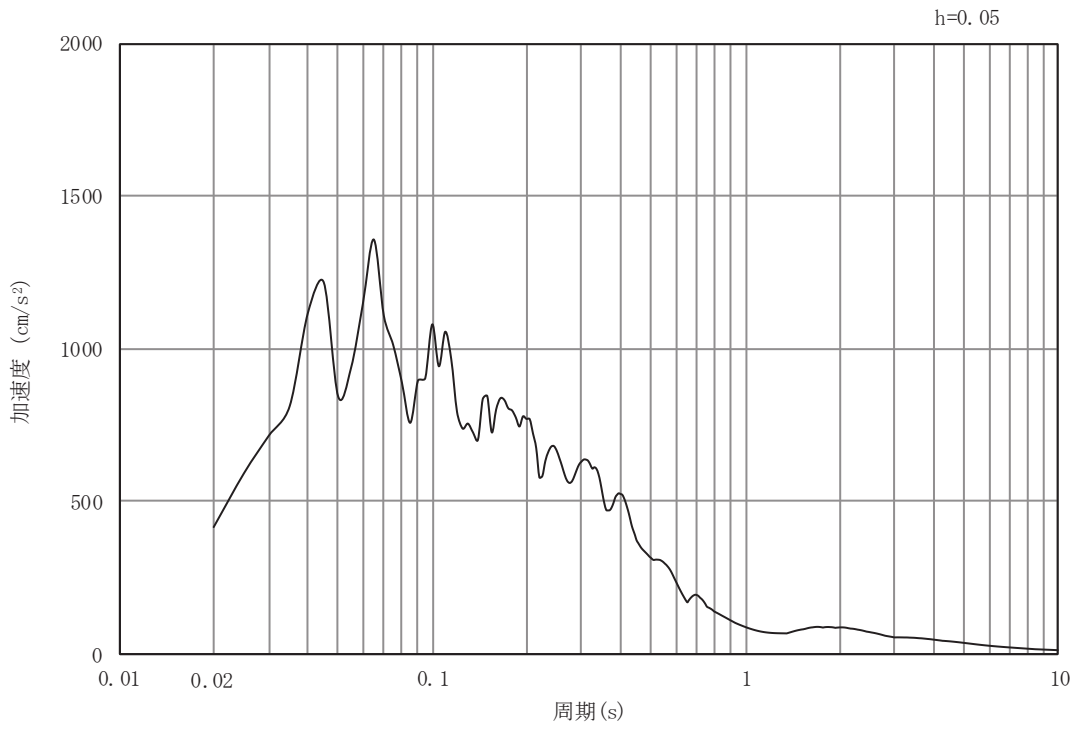


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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 : S s - F 3)



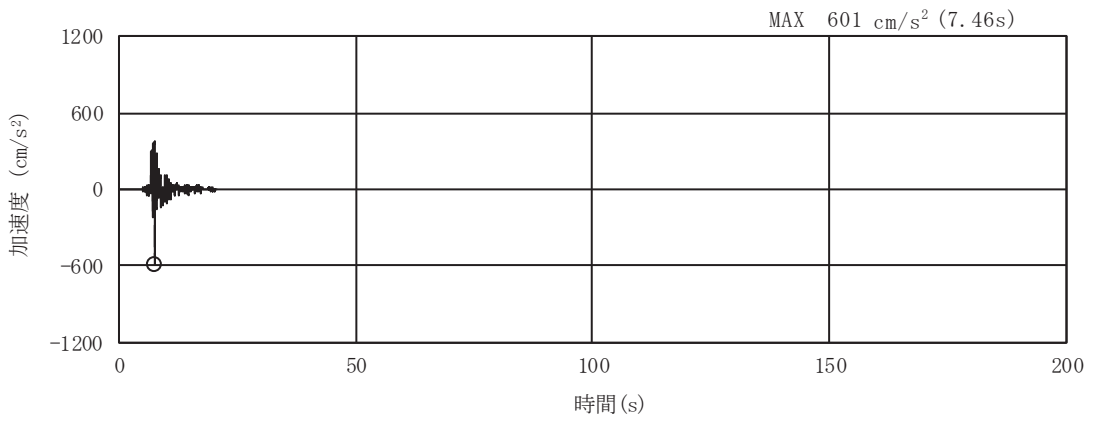
(a) 加速度時刻歴波形



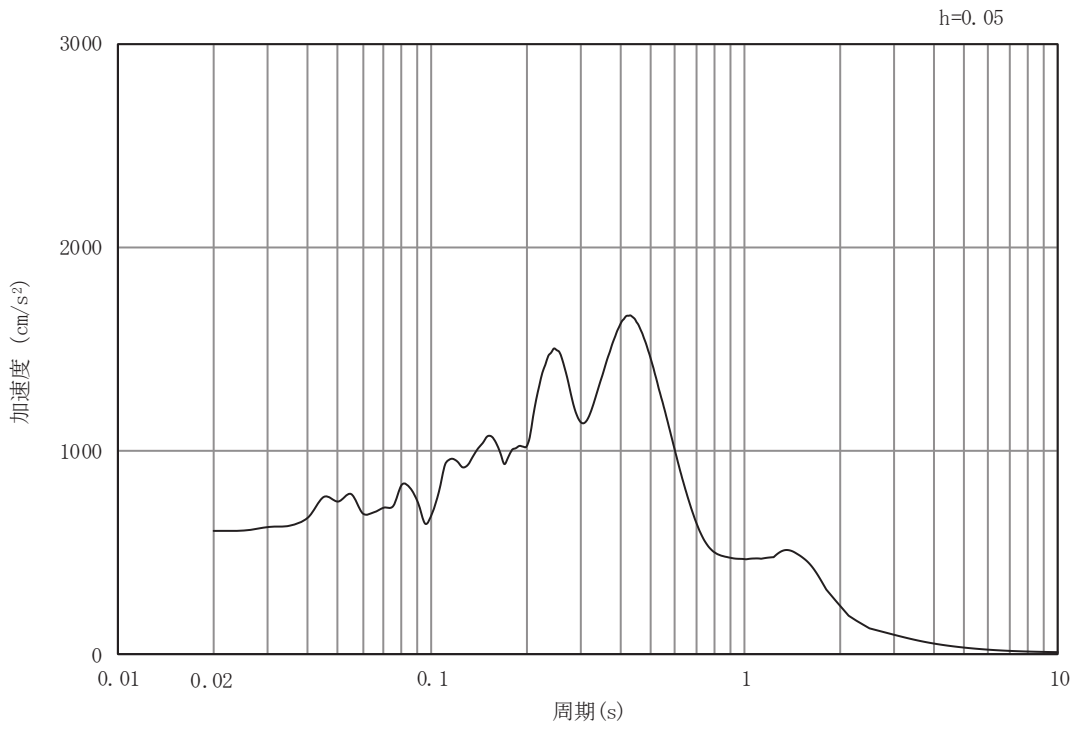
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - F 3)



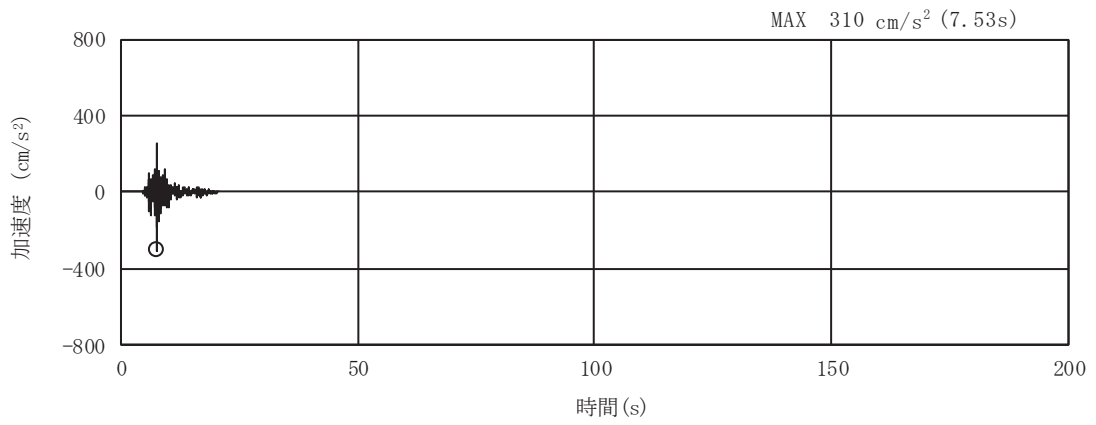


(a) 加速度時刻歴波形

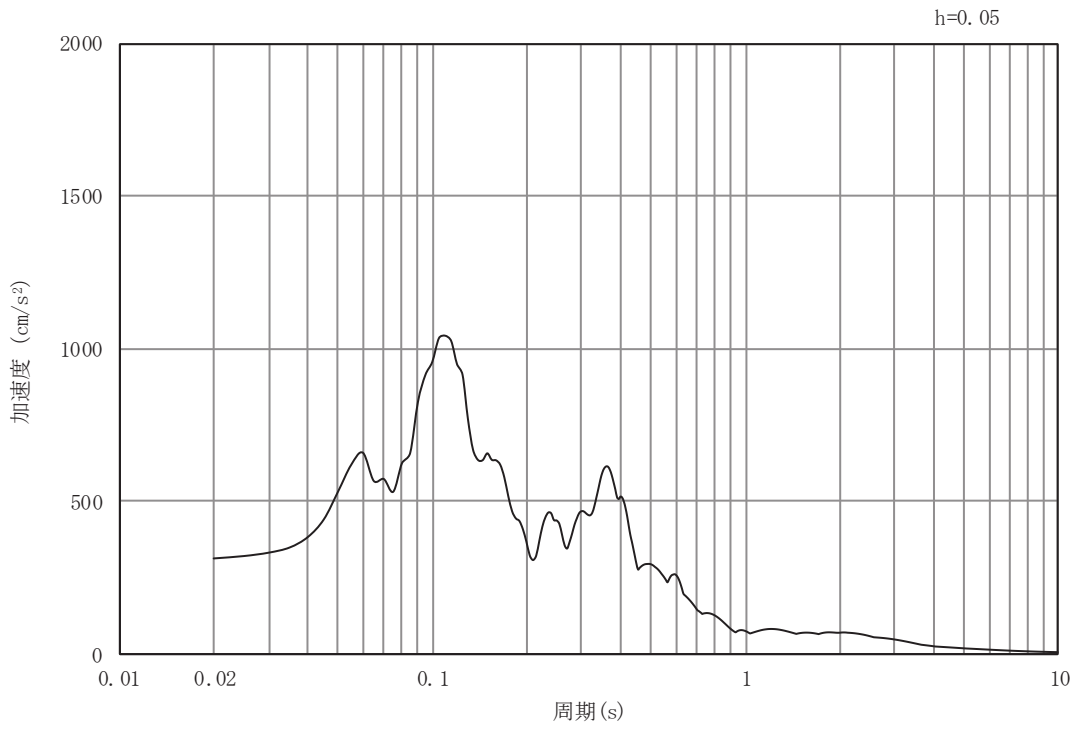


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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 : S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10(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：S s - N 1)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

第1号機取水路の地震応答解析モデルを図3-11及び図3-12に示す。

##### (1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

構造部材については、非線形はり要素によりモデル化する。なお、構造部材である第1号機取水路は図3-1に示すとおり評価対象断面に対して斜めに位置しており、側壁及び隔壁が実際の部材厚よりも厚くなるが、モデル化に当たっては第1号機取水路を直交する際の部材厚を考慮する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）について、鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は、線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D<sub>2</sub>級岩盤、改良地盤、セメント改良土及び盛土・旧表土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。また、地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、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) ジョイント要素の設定

地震時の「背面補強工と盛土」、「改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「改良地盤とセメント改良土」、「背面補強工とセメント改良土」、「改良地盤と置換コンクリート」、「構造物（第1号機取水路）と盛土」及び「構造物（第1号機取水路）と置換コンクリート」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。

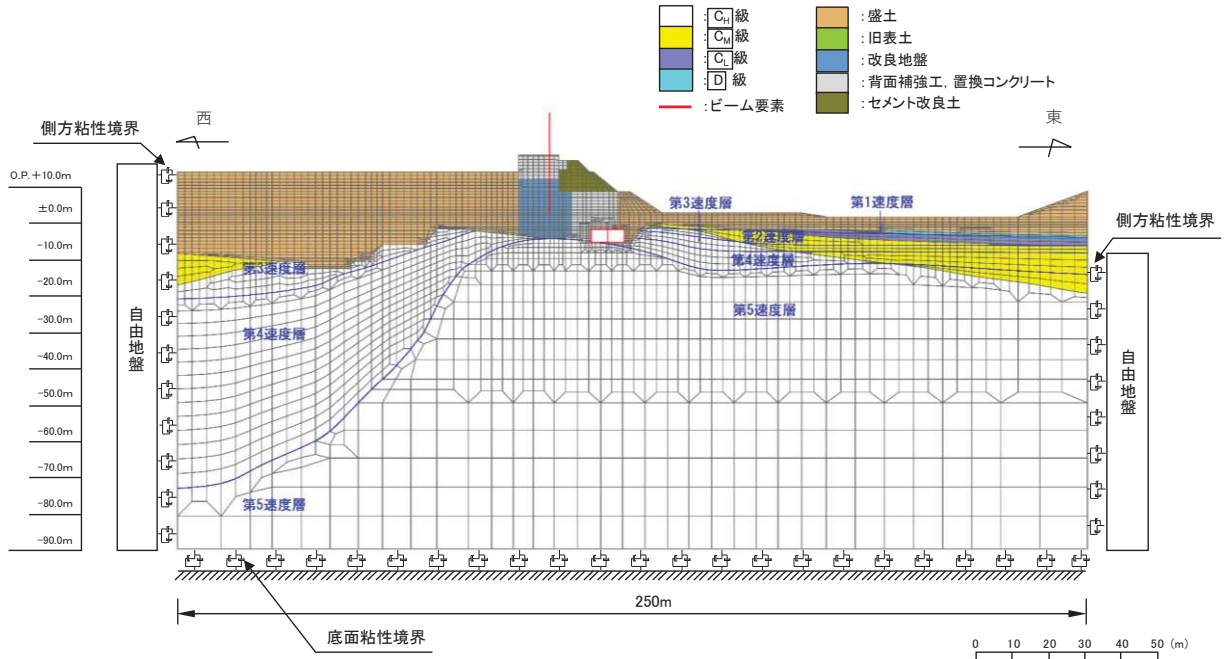


図 3-11 第 1 号機取水路の解析モデル (A-A 断面)

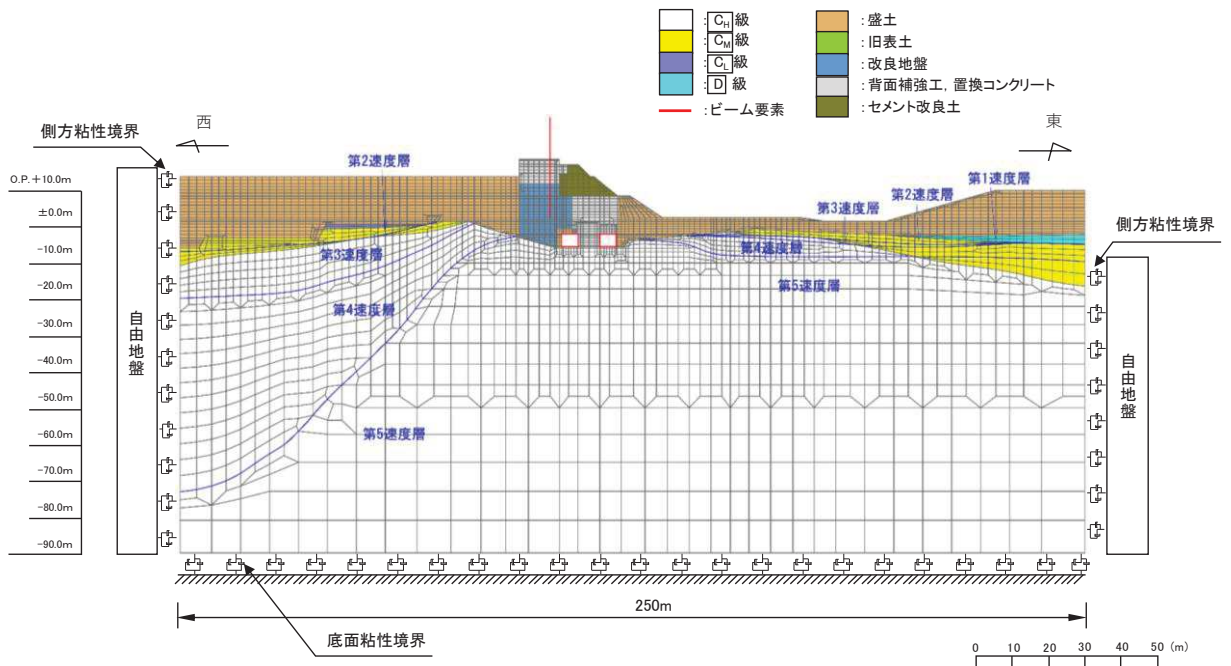


図 3-12 第 1 号機取水路の解析モデル (B-B 断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表3-4に、材料の物性値を表3-5に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「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。

表3-4 使用材料

材料	諸元
鉄筋	SD345
コンクリート（構造部材）	設計基準強度 20.5N/mm <sup>2</sup>
コンクリート（背面補強工）	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>
コンクリート（置換コンクリート）	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>
鋼管杭	SM570, SKK490

表3-5 材料の物性値

材料	項目		材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )		24.0	
鉄筋	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )		2.00×10 <sup>5</sup>	
コンクリート (構造部材)	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	実強度*	3.43×10 <sup>4</sup>	解析ケース④
		設計基準強度	2.33×10 <sup>4</sup>	解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比		0.2	
コンクリート (背面補強工)	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )		24.0	
	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )		2.80×10 <sup>4</sup>	
	ポアソン比		0.2	
コンクリート (置換コンクリート)	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )		22.5	
	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )		2.80×10 <sup>4</sup>	
	ポアソン比		0.2	
鋼管杭 (SM570, SKK490)	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )		77.0	
	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )		2.00×10 <sup>5</sup>	
	ポアソン比		0.3	

注記\*：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「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。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

### 3.5.4 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を表 3-6、図 3-2 及び図 3-3 に示す。

表 3-6 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
第 1 号機取水路	A-A 断面	0. P. +1. 43m (朔望平均満潮位)
	B-B 断面	0. P. +1. 43m (朔望平均満潮位)

### 3.6 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界

##### (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

躯体の曲げ軸力に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、限界層間変形角（層間変形角  $1/100$ ）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、土木学会マニュアルで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おり、層間変形角  $1/100$  の状態は、かぶりコンクリートが剥落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等が確保できるとして設定されたものである。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界層間変形角	$1/100$

##### (2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。

#### 3.6.2 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接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の支持力に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	狐崎部層	13.7

### 3.7 評価方法

第 1 号機取水路の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.6 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

#### 3.7.1 構造部材の健全性評価

構造強度を有することの確認については、鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査において、地震応答解析により算定した層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動での層間変形角の時刻歴波形を図 3-13 及び図 3-14 に、せん断破壊に対する最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-15 及び図 3-16 に示す。

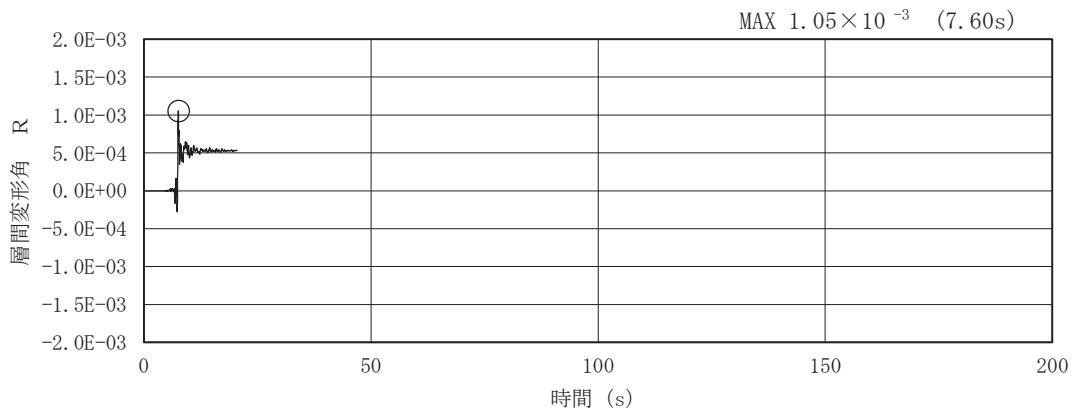


図 3-13 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の層間変形角時刻歴波形  
(A-A 断面, S s - N 1 (++) )

(解析ケース③：地盤物性のばらつき ( $-1\sigma$ ) を考慮した解析ケース)

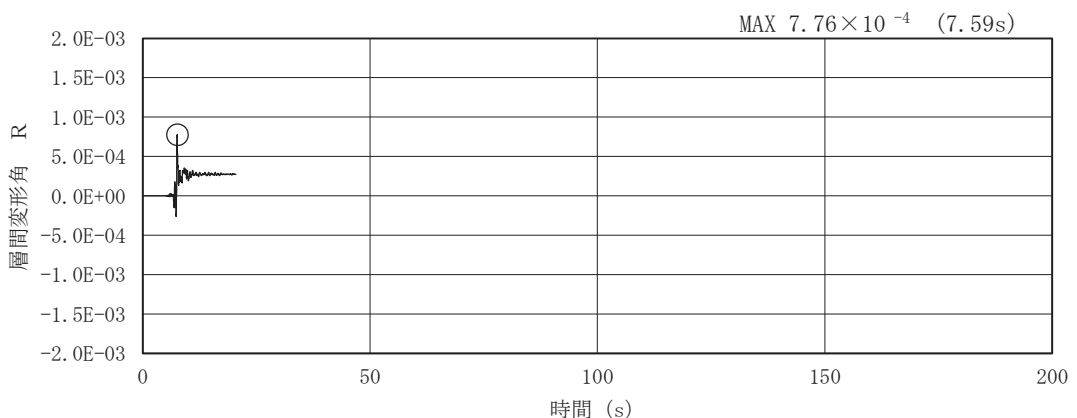


図 3-14(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の層間変形角時刻歴波形  
(B-B 断面 (右), S s - N 1 (++) )

(解析ケース③：地盤物性のばらつき ( $-1\sigma$ ) を考慮した解析ケース)



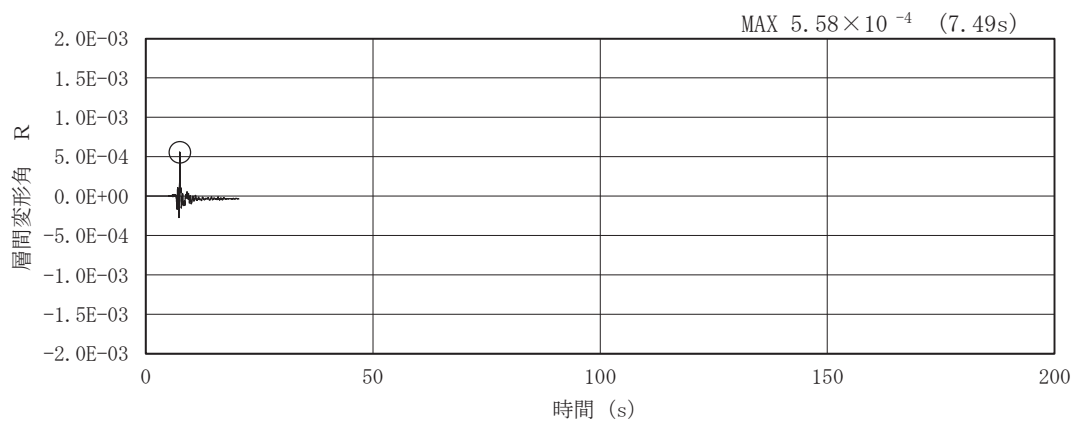
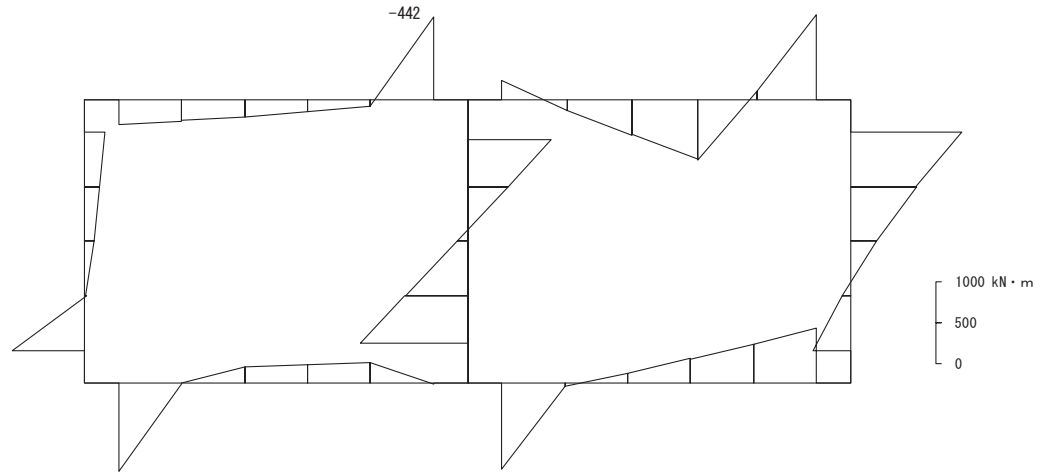
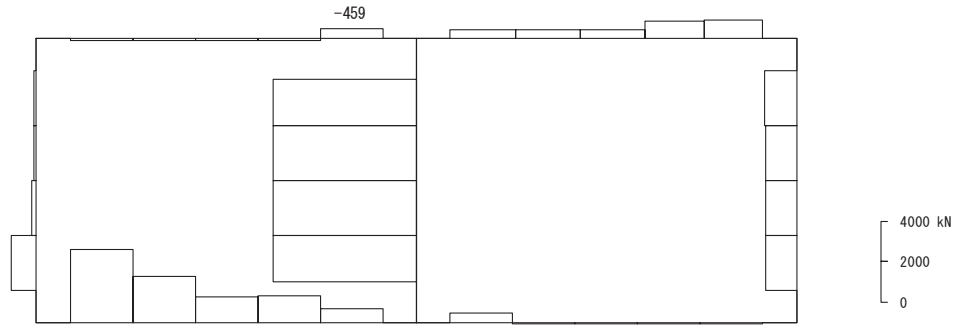


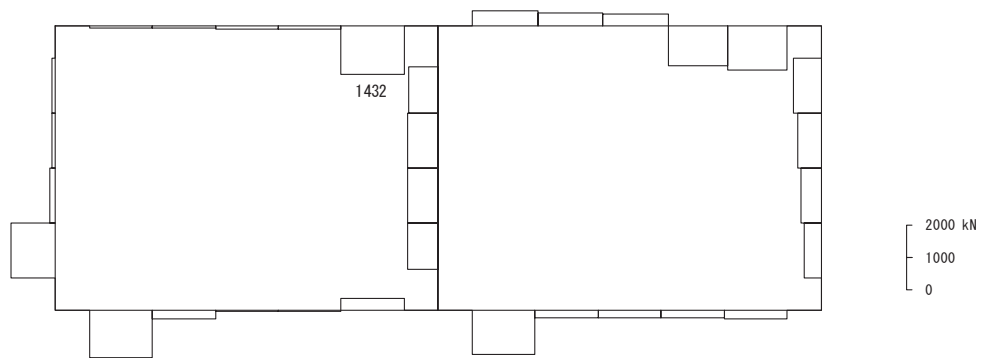
図 3-14(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の層間変形角時刻歴波形  
 (B-B 断面 (左) , S s - N 1 (++) )  
 (解析ケース① : 基本ケース)



数値：評価位置における断面力  
(a) 曲げモーメント (kN・m)

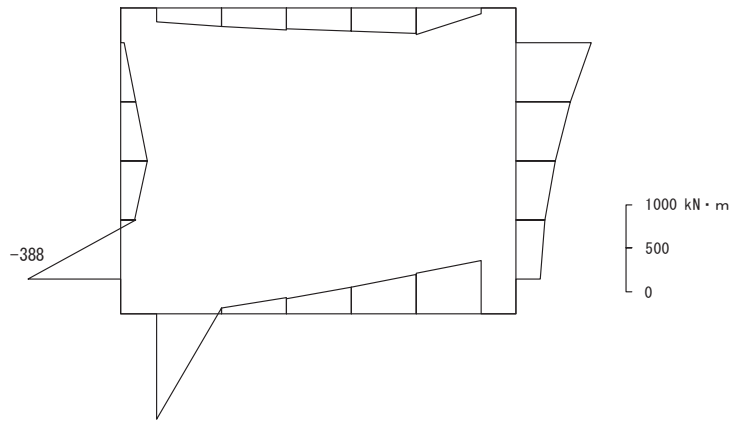


数値：評価位置における断面力  
(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)

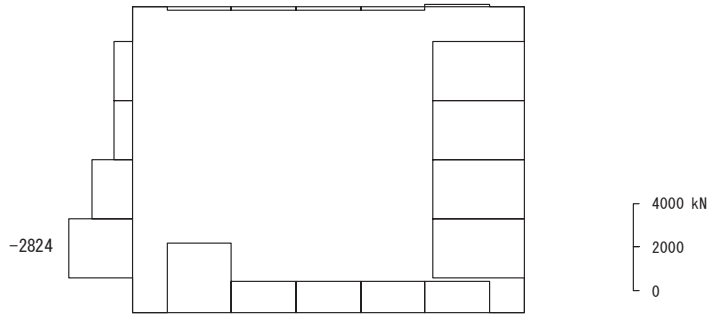


数値：評価位置における断面力  
(c) せん断力 (kN)

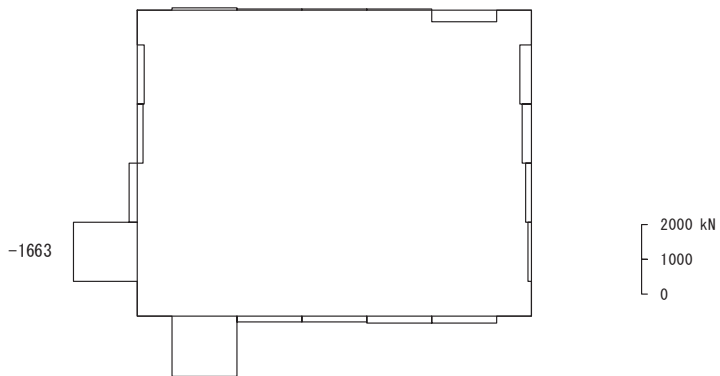
図 3-15 せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力  
(A-A 断面, S s - N 1 (++) , t = 7.60s)  
(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



数值：評価位置における断面力  
 (a) 曲げモーメント (kN・m)

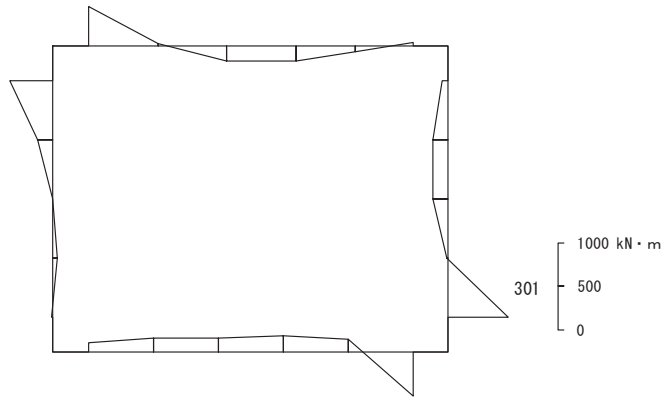


数值：評価位置における断面力  
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)

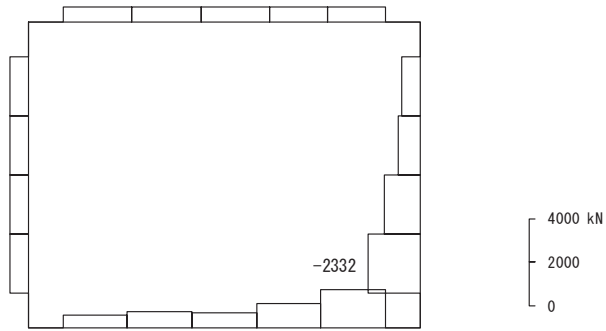


数值：評価位置における断面力  
 (c) せん断力 (kN)

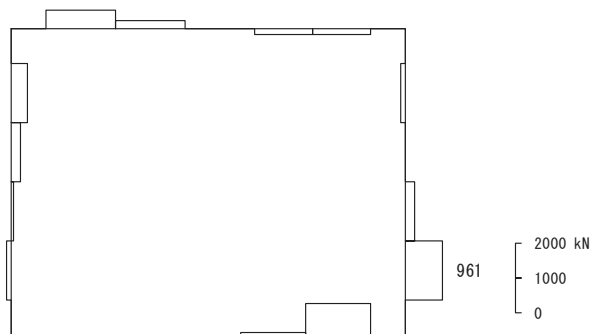
図 3-16(1) せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力  
 (B-B 断面 (右),  $S_s - N 1$  (++) ,  $t = 7.60s$ )  
 (解析ケース④：材料物性のばらつき (実強度) を考慮した解析ケース)



数值：評価位置における断面力  
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力  
 (b) 軸力 (kN) (+：引張, -：圧縮)



数值：評価位置における断面力  
 (c) せん断力 (kN)

図 3-16(2) せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力  
 (B-B 断面 (左), S s - F 2 (-+), t = 26.85s)  
 (解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

### 3.7.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、構造部材を支持する基礎地盤に発生する接地圧が許容限界以下であることを確認する。

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 4-1 及び表 4-2 に、せん断破壊に対する照査における各評価位置での最大照査値を表 4-3 及び表 4-4 に示す。また、第 1 号機取水路の評価位置を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

第 1 号機取水路の照査用層間変形角及びせん断力が、構造部材の許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (A-A 断面)

地震動	解析 ケース	照査用層間変形角* $R_d$	限界層間変形角 $R_u$	照査値 $R_d/R_u$
S s - N 1 (++)	③	$1.27 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-2}$	0.13

注記 \* : 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

表 4-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (B-B 断面)

評価位置	地震動	解析 ケース	照査用層間変形角* $R_d$	限界層間変形角 $R_u$	照査値 $R_d/R_u$
右	S s - N 1 (++)	③	$9.32 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-2}$	0.10
左	S s - N 1 (++)	①	$6.71 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-2}$	0.07

注記 \* : 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

表 4-3 せん断破壊に対する最大照査値 (A-A 断面)

評価位置	地震動	解析 ケース	照査用せん断力* $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版 4	S s - N 1 (++)	③	1504	2130	0.71
側壁 1	S s - N 1 (++)	④	1407	2729	0.52
隔壁 3	S s - N 1 (++)	③	975	3710	0.27
底版 6	S s - N 1 (++)	④	1536	3746	0.42

注記 \* : 照査用せん断力  $V_d$  = 発生せん断力  $V$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

表 4-4 せん断破壊に対する最大照査値 (B-B 断面)

評価位置		地震動	解析 ケース	照査用せん断力* $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{y_d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y_d}$
右	頂版 ③	$S_s - F_2 (-+)$	④	458	2071	0.23
	側壁 ①	$S_s - N_1 (++)$	④	1747	2832	0.62
	底版 ④	$S_s - N_1 (++)$	④	1739	3716	0.47
左	頂版 ⑦	$S_s - F_2 (-+)$	①	666	2217	0.31
	側壁 ⑥	$S_s - F_2 (-+)$	③	1010	2842	0.36
	底版 ⑧	$S_s - F_2 (-+)$	④	1036	3787	0.28

注記 \* : 照査用せん断力  $V_d =$  発生せん断力  $V \times$  構造解析係数  $\gamma_a$

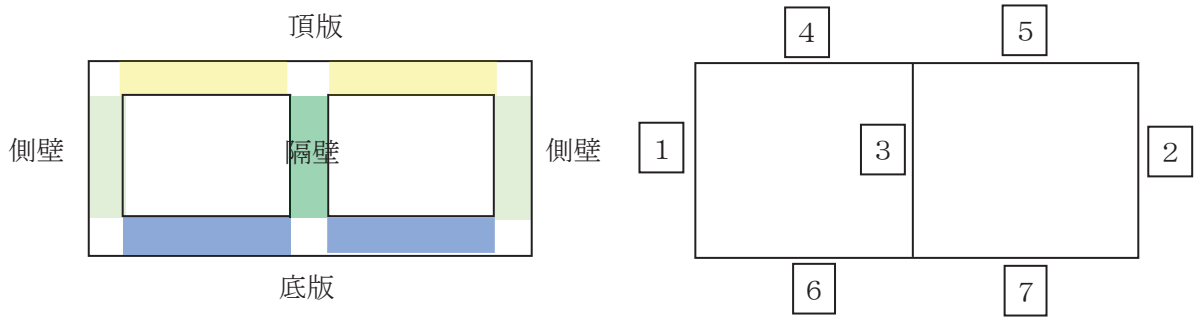


図 4-1 A-A 断面評価位置

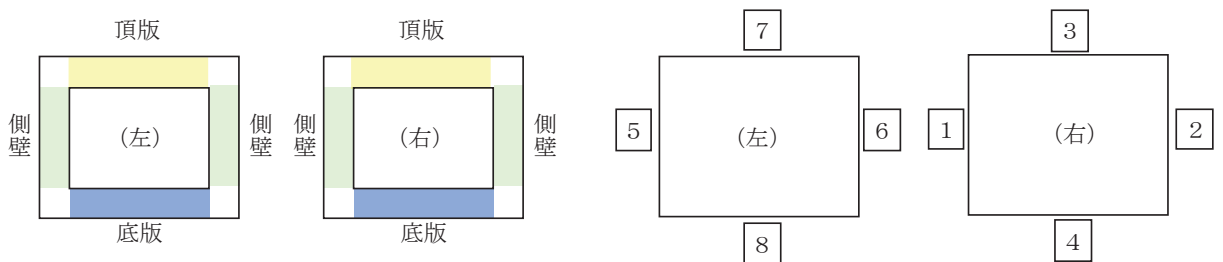


図 4-2 B-B 断面評価位置

#### 4.2 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評価結果を表 4-5 及び表 4-6 に、最大接地圧分布図を図 4-3 及び図 4-4 に示す。

第 1 号機取水路の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-5 基礎地盤の支持性能評価結果 (A-A 断面)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a / R_{ua}$
S s - D 2 (-+)	①	6.3	13.7	0.46

表 4-6 基礎地盤の支持性能評価結果 (B-B 断面)

評価位置	地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a / R_{ua}$
右	S s - N 1 (++)	③	10.7	13.7	0.79
左	S s - D 2 (++)	①	4.4	13.7	0.33

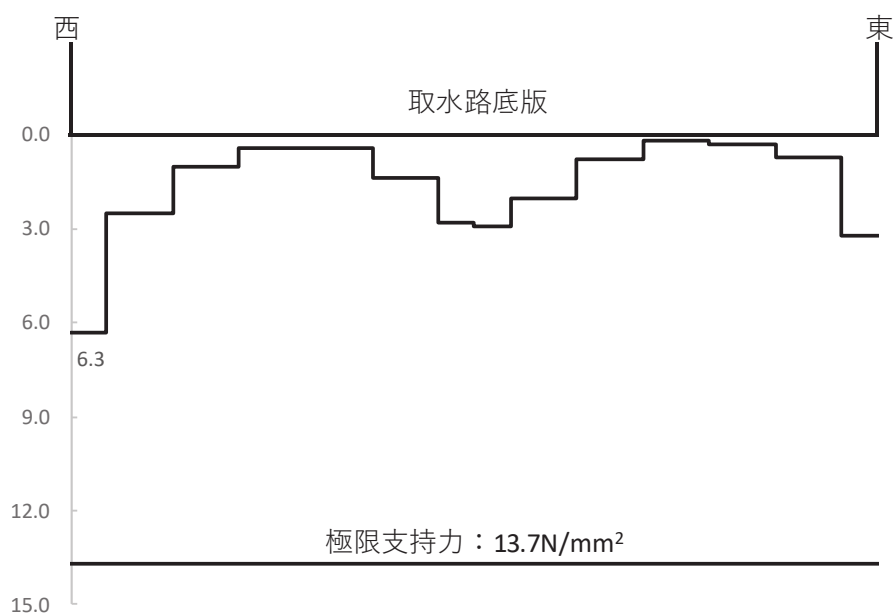


図4-3 第 1 号機取水路の基礎地盤の最大接地圧分布図 (A-A断面)  
(解析ケース①, S s - D 2 (-+))



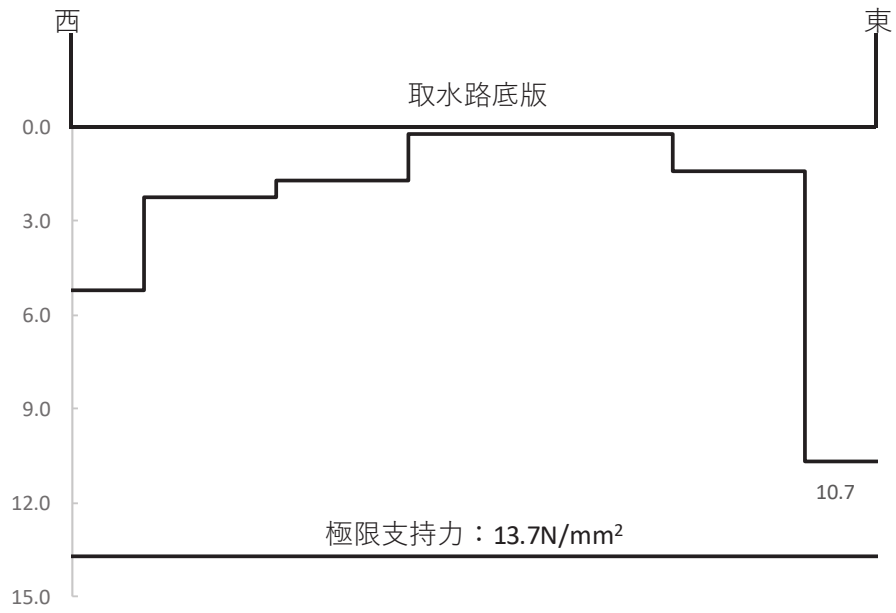


図4-4(1) 第1号機取水路の基礎地盤の最大接地圧分布図 (B-B断面：右)  
(解析ケース③,  $S_s - N1$  (++) )

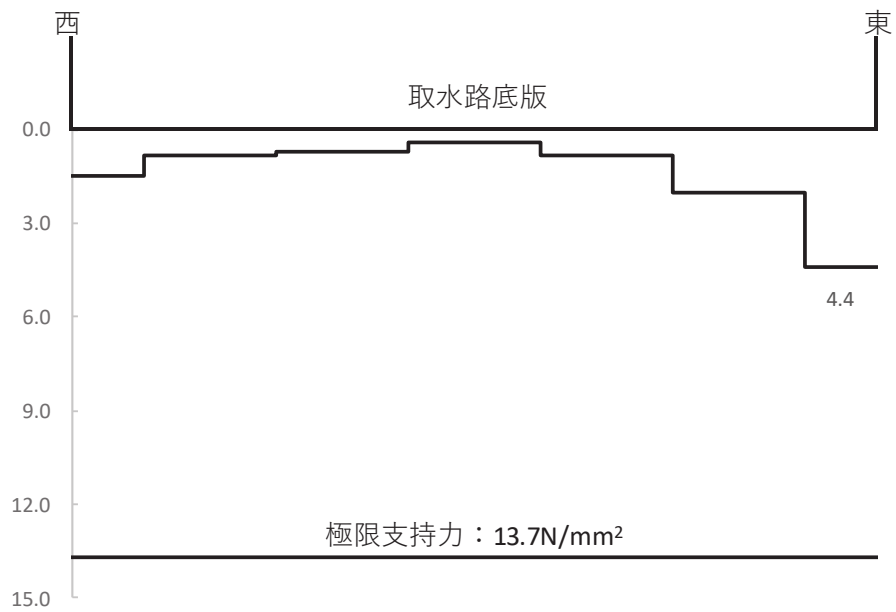


図4-4(2) 第1号機取水路の基礎地盤の最大接地圧分布図 (B-B断面：左)  
(解析ケース①,  $S_s - D2$  (++) )

VI-2-11-2-18 第3号機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	5
2.4	適用基準	8
3.	耐震評価	9
3.1	評価対象断面	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	13
3.2.3	減衰定数	13
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	14
3.3	荷重及び荷重の組合せ	15
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	15
3.3.2	荷重	15
3.3.3	荷重の組合せ	15
3.4	入力地震動	16
3.5	解析モデル及び諸元	31
3.5.1	解析モデル	31
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	33
3.5.3	地盤の物性値	33
3.5.4	地下水位	34
3.6	許容限界	35
3.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	35
3.6.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	36
3.7	評価方法	37
3.7.1	構造部材の健全性評価	37
3.7.2	基礎地盤の支持性能評価	39
4.	耐震評価結果	40
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	40
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	41
4.2.1	基礎地盤（牧の浜部層）	41
4.2.2	MMR（既設）	42

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、第3号機取水路が、上位クラス施設である防潮堤（鋼管式鉛直壁）の地中部に位置していることから、上位クラス施設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。

波及的影響の評価は、上位クラス施設の機能が保持されることを確認するために、下位クラス施設である第3号機取水路を対象に、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計に適用する基準地震動 $S_s$ を用いた地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、第3号機取水路が十分な構造強度を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

第3号機取水路の位置を図2-1に示す。

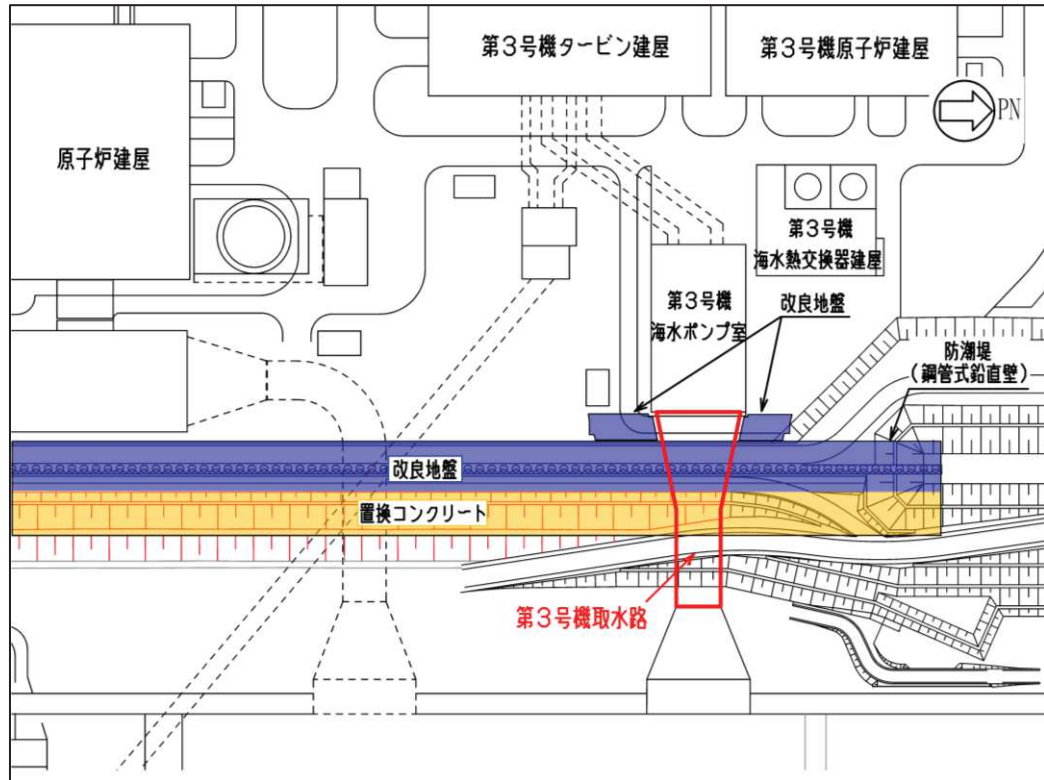


図2-1 第3号機取水路の位置図

## 2.2 構造概要

第3号機取水路の平面図を図2-2に、断面図を図2-3及び図2-4に、概略配筋図を図2-5に示す。

第3号機取水路は、第3号機取水口と第3号機海水ポンプ室を結ぶ、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長27.39m、内空幅[ ]、内空高さ[ ]の二連ボックスカルバート構造の標準部と、延長32.42m、内空幅[ ]、内空高さ[ ]の四連ボックスカルバート構造の漸拡部より構成され、標準部は延長方向に断面の変化が少なく、漸拡部は断面が延長方向に異なる線状構造物である。

また、第3号機取水路は、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

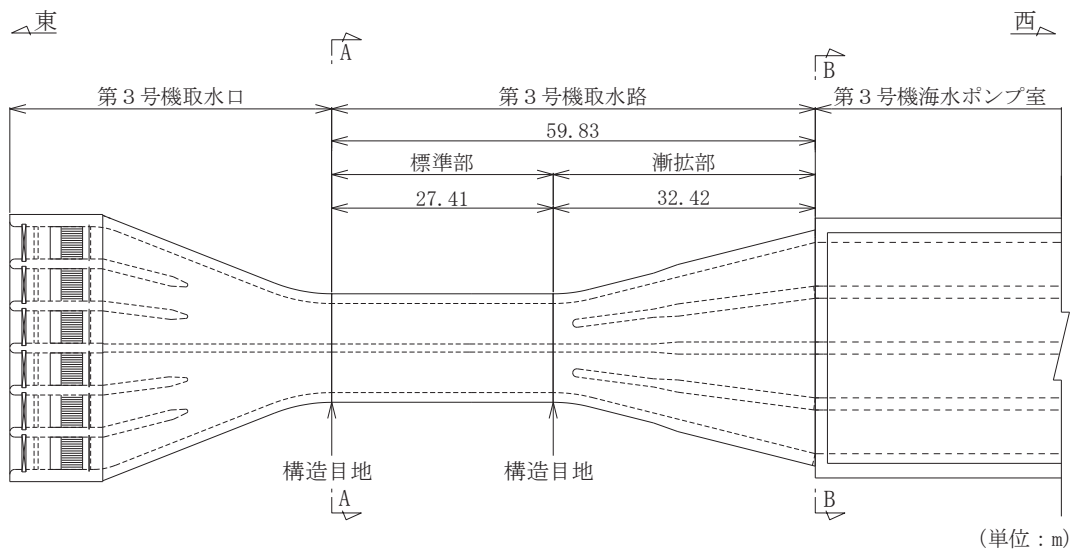


図2-2 第3号機取水路平面図

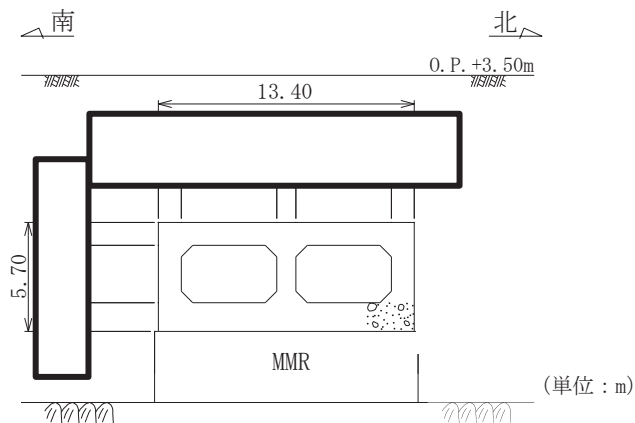


図2-3 第3号機取水路断面図（A-A断面）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

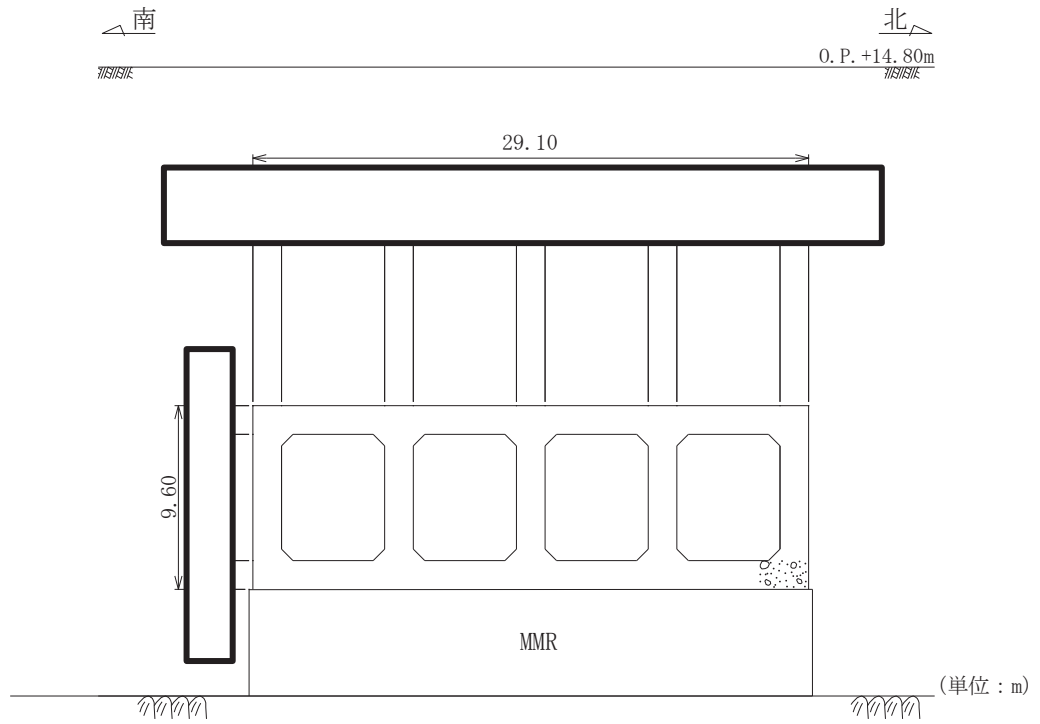


図 2-4 第 3 号機取水路断面図 (B-B 断面)

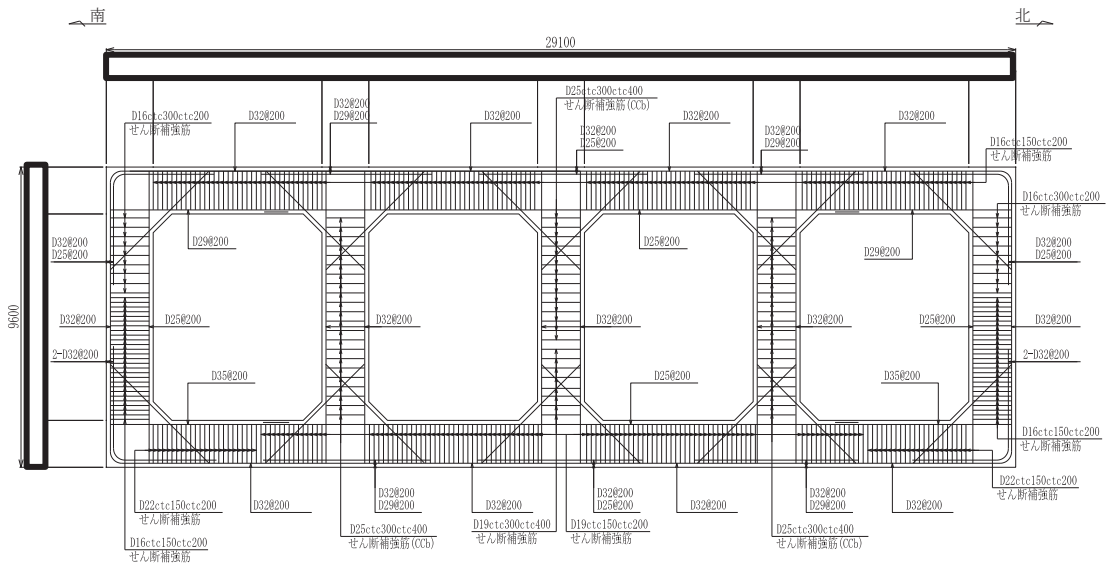


図 2-5 第 3 号機取水路概略配筋図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

第3号機取水路は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響評価を行う。

第3号機取水路の耐震評価フローを図2-6に示す。

第3号機取水路の波及的影響評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表2-1の第3号機取水路の評価項目に示すとおり、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。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の照査用層間変形角が許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、地震応答解析より得られた基礎地盤の接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

ここで、第3号機取水路は、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、波及的影響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。



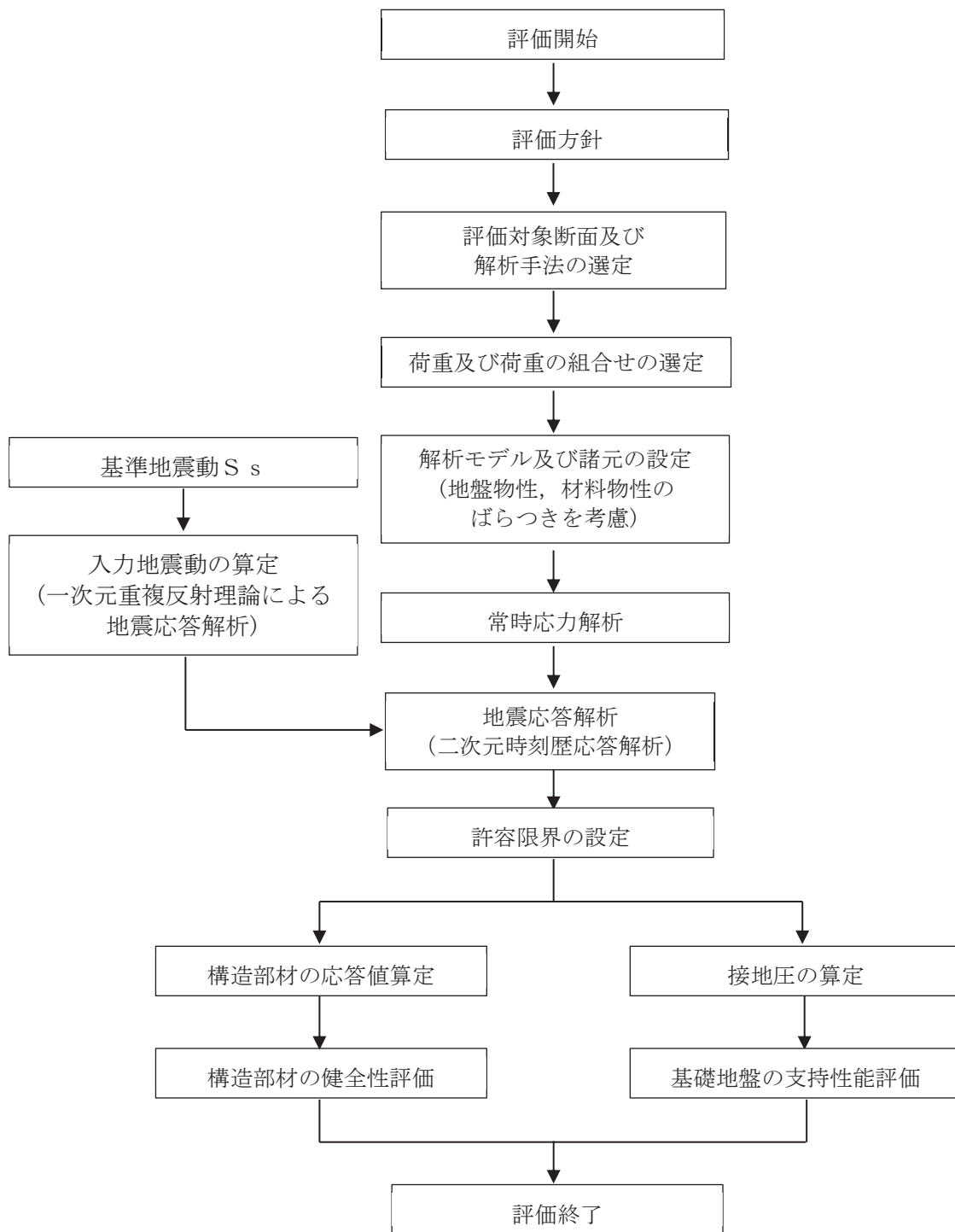


図 2-6 第 3 号機取水路の耐震評価フロー

表 2-1 第 3 号機取水路の評価項目

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	照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力*	
		MMR		MMR の支圧強度*	

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。

## 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，2017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）
- ・ 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）
- ・ 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 原子力土木委員会，2005年6月）
- ・ 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. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

第3号機取水路の評価対象断面位置を図3-1に示す。第3号機取水路のうち、防潮堤（鋼管式鉛直壁）を横断する範囲の二連ボックスカルバート構造である標準部及び四連ボックスカルバート構造である漸拡部から、評価対象断面を選定する。

このうち、漸拡部と第3号機海水ポンプ室の接続部における断面は、内空幅及び内空高さが最も大きい断面であること、また、両側面のみ地盤改良がされており、防潮堤直下に比べ土圧低減効果は小さいことから、耐震評価上最も厳しい断面である。また、当該断面は、防潮堤の直下を横断する断面ではないものの、漸拡部は、水路途中に構造目地がない一体構造であることを考慮し、保守的な評価として、第3号機海水ポンプ室との接続部（A-A断面）を評価対象断面として選定する。

評価対象地質断面図を図3-2に示す。

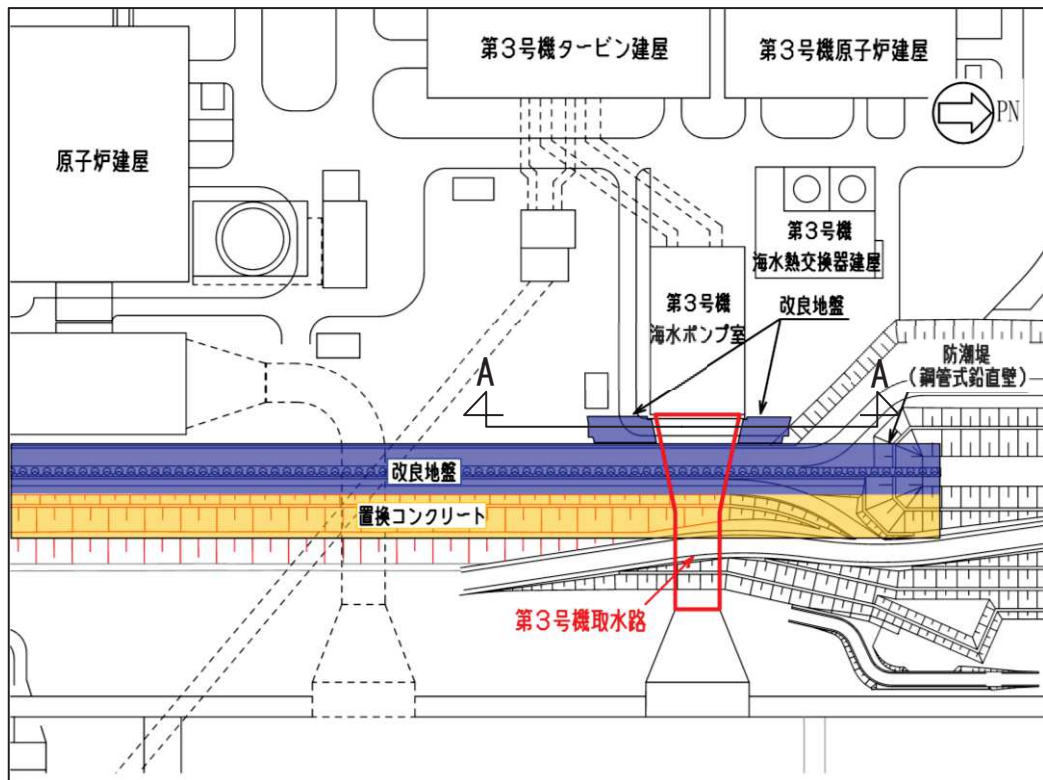


図3-1 第3号機取水路の評価対象断面位置図

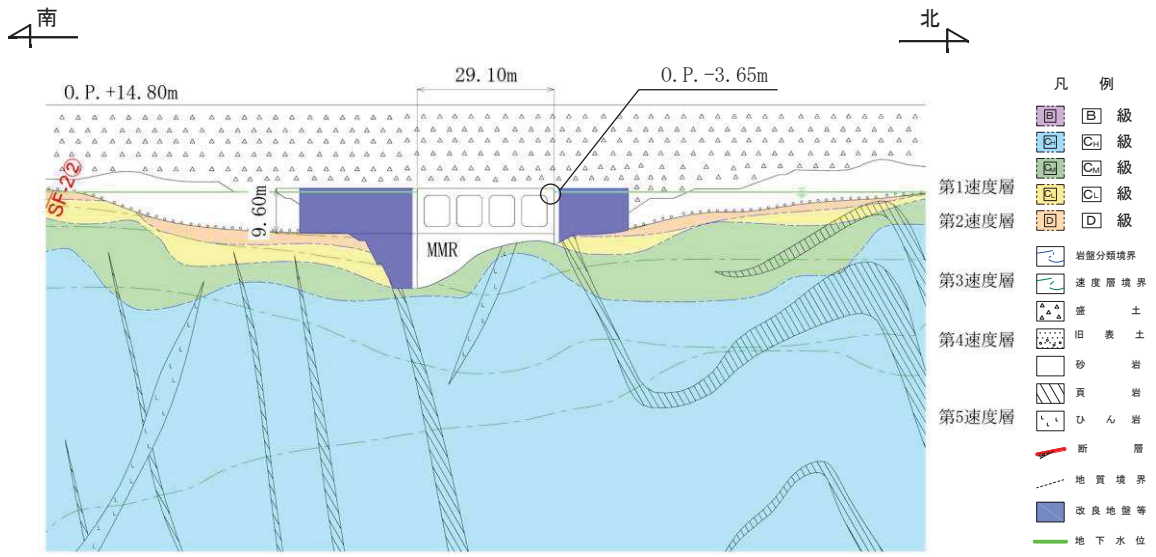


図 3-2 評価対象地質断面図 (A-A 断面)

### 3.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「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二次元有限要素法により、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（有効応力解析）を行う。

構造部材については、非線形はり要素を用いることとし、構造部材の非線形性については、鉄筋コンクリートの  $M-\phi$  関係を適切にモデル化する。

また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。地震応答解析には、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 構造部材

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素でモデル化することとし、図 3-3 に示す  $M-\phi$  関係のトリリニアモデルとする。また、履歴特性は、図 3-4 に示すとおり修正武田モデルを適用する。また、コンクリートの応力-ひずみ関係及び鉄筋の応力-ひずみ関係には、それぞれ図 3-5 及び図 3-6 に示す非線形特性を考慮する。

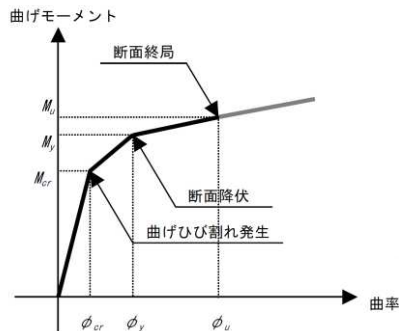


図 3-3 鉄筋コンクリート部材の  $M-\phi$  関係

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル  
(土木学会 原子力土木委員会, 2005年6月) より引用)

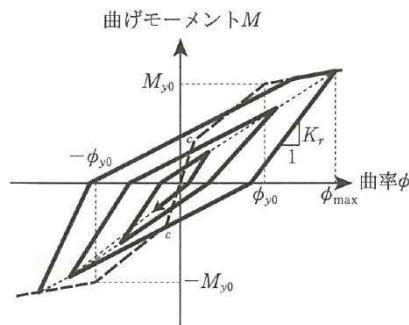


図 3-4 鉄筋コンクリート部材の履歴特性（修正武田モデル）

(道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成14年3月）より引用)

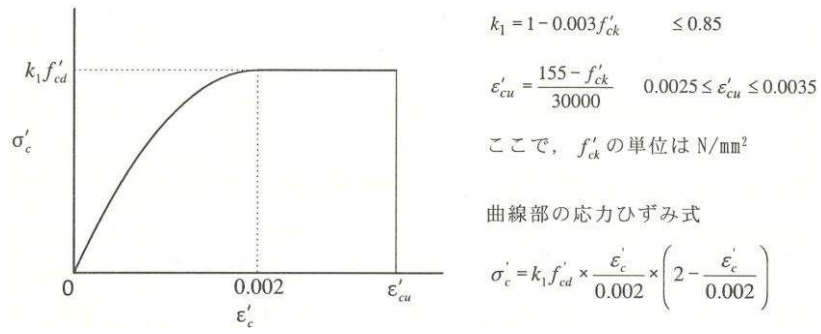


図 3-5 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）  
 （コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）より引用）

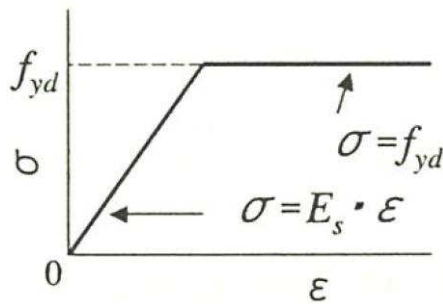


図 3-6 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）  
 （コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）より引用）

### 3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤物性及び材料物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

第 3 号機取水路は、MMR を介して岩盤上に設置され、周囲には、旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布している。これらの地盤のせん断変形が地震時に第 3 号機取水路の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

初期せん断弾性係数の標準偏差 $\sigma$ を用いて設定した解析ケース②及び③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。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 解析ケース」に示す。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, $D$ 級岩盤, 改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	$C_L$ 級岩盤, $C_M$ 級岩盤, $C_H$ 級岩盤, $B$ 級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 $\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記\*: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

### 3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ( $\alpha=0$ ,  $\beta=0.002$ ) とする。



### 3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、すべての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②～④を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - D 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - D 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 1$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - N 1$	++*1	○		
		-+*1	○		

基準地震動  $S_s$  (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース①（基本ケース）の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②～④を実施する。

すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。

注記\*1：耐震評価にあたっては、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 原子力土木委員会，2005 年 6 月）（以下「土木学会マニュアル」という。）に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

\*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

第3号機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

積雪の影響を考慮する。埋設構造物であるため、風の影響は考慮しない。

(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

第3号機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、積雪荷重  $P_s$  を含めて地表面に  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

(3) 積雪荷重( $P_s$ )

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重( $S_s$ )

基準地震動  $S_s$  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3-3に示す。

表3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$  を地表面に考慮)

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )

### 3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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  $S_s$  を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-7 に入力地震動算定の概念図を、図 3-8～図 3-21 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「Ark Quake Ver3.10」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

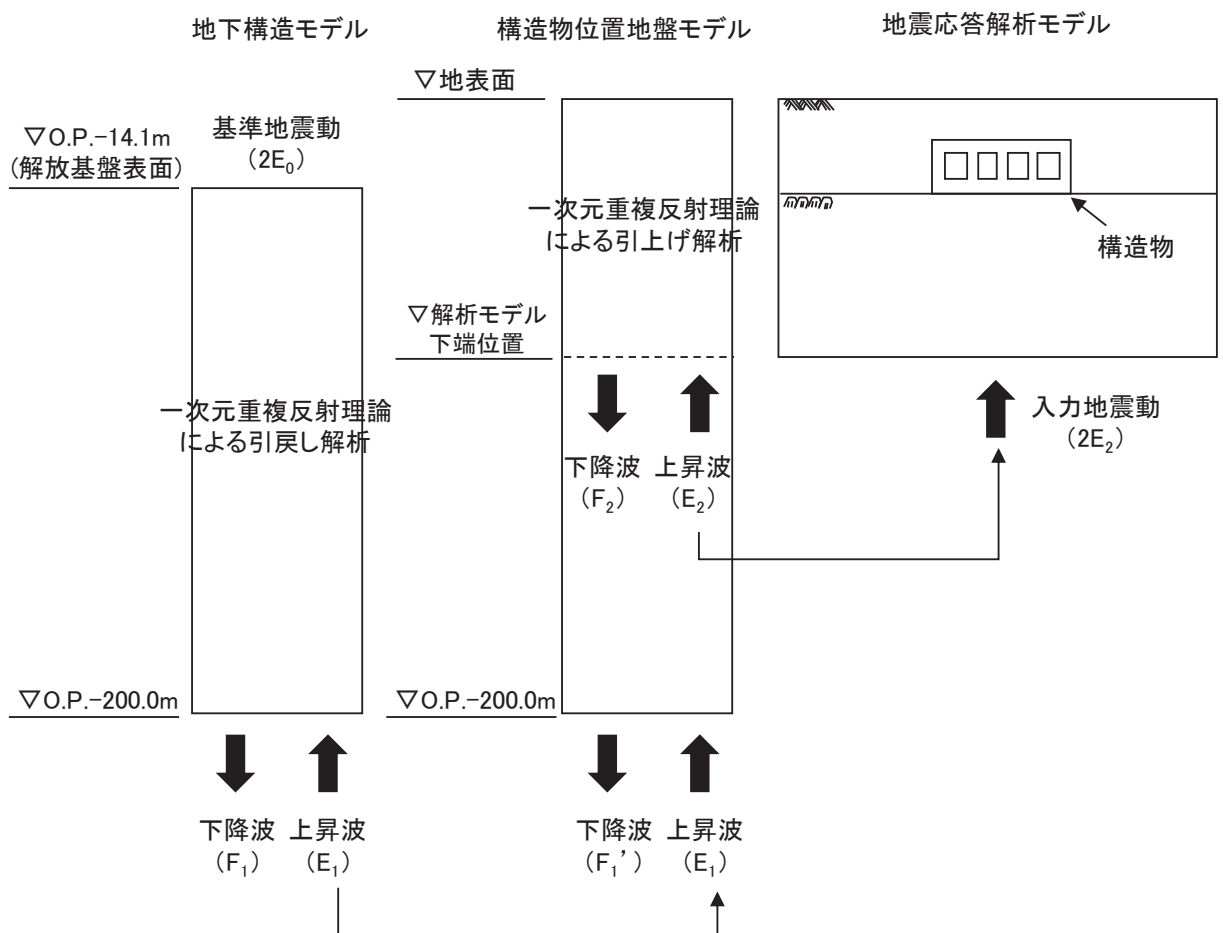
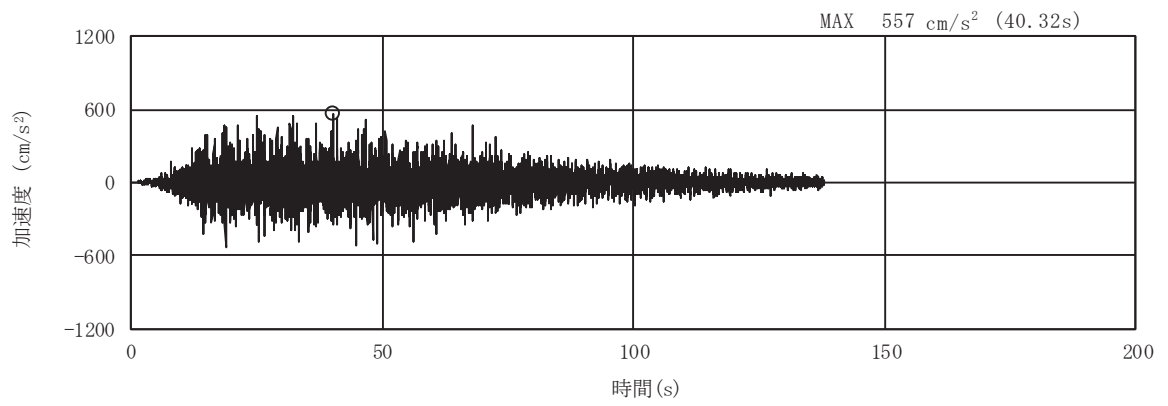
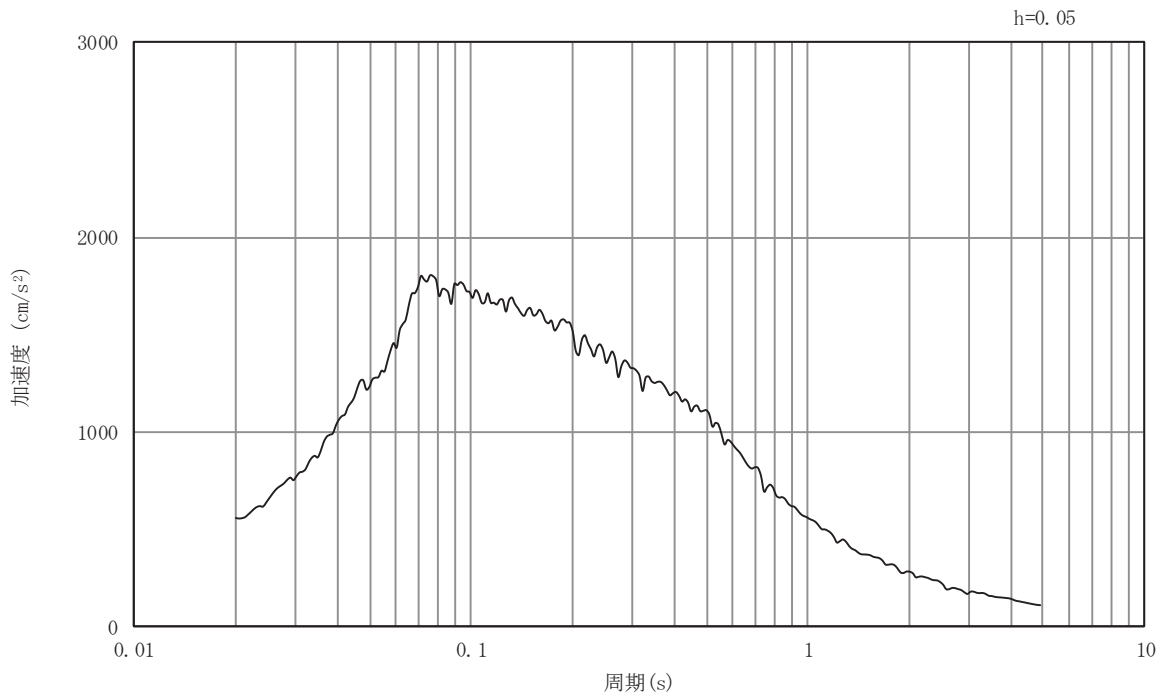


図 3-7 入力地震動算定の概念図

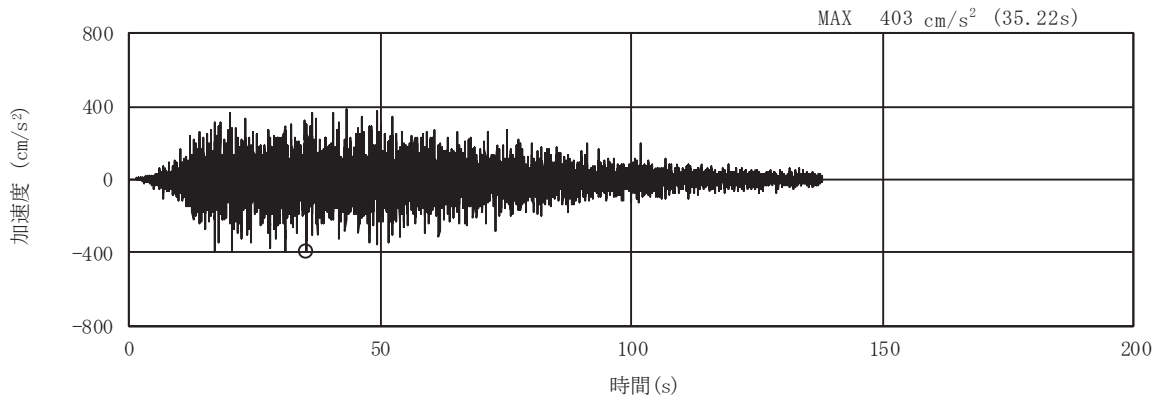


(a) 加速度時刻歴波形

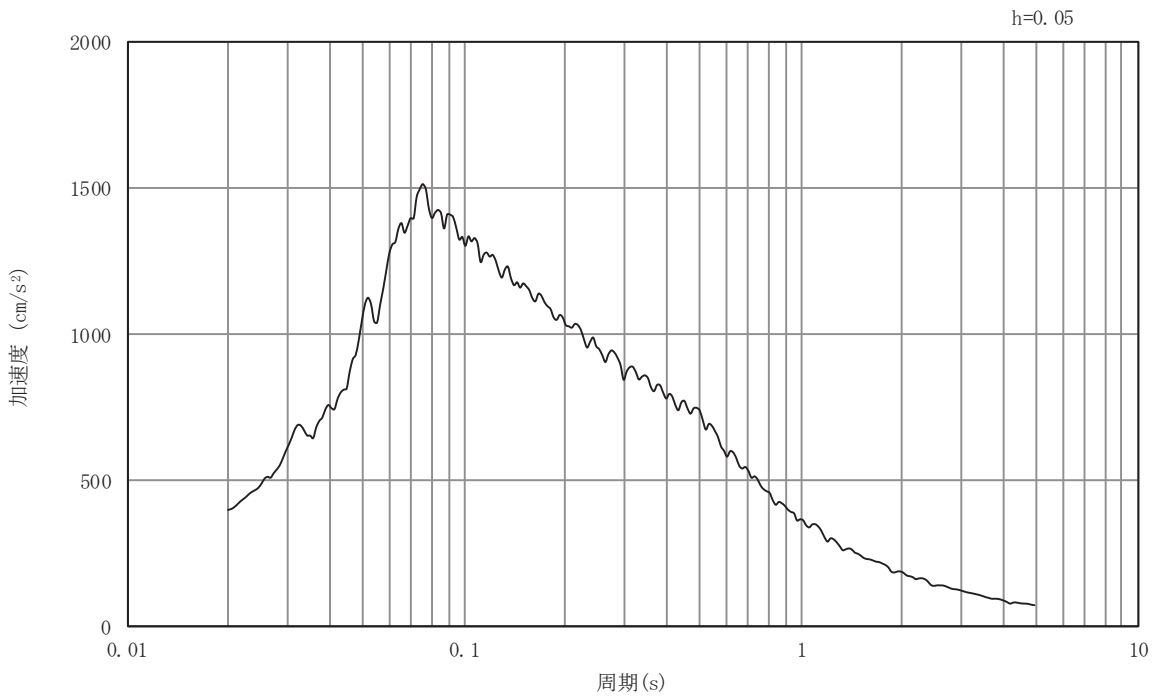


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 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  
(水平方向：S s - D 1)

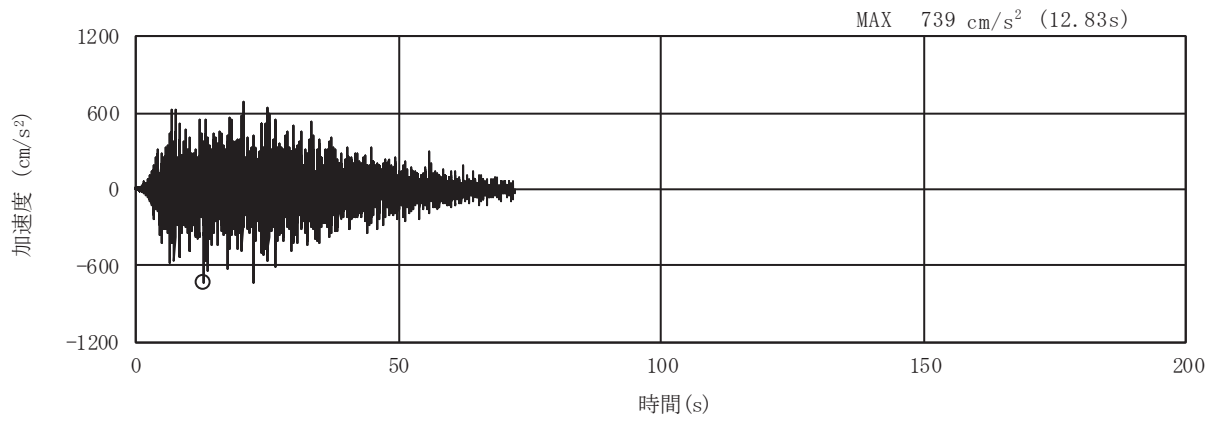


(a) 加速度時刻歴波形

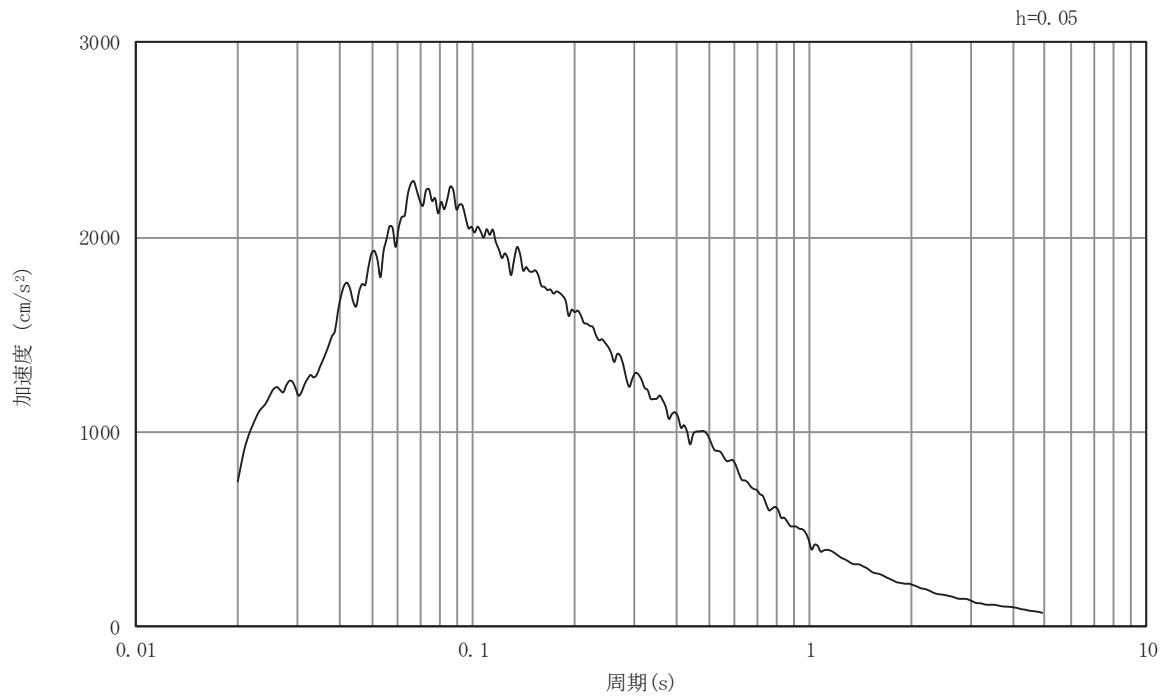


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 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  
(鉛直方向：S s - D 1)

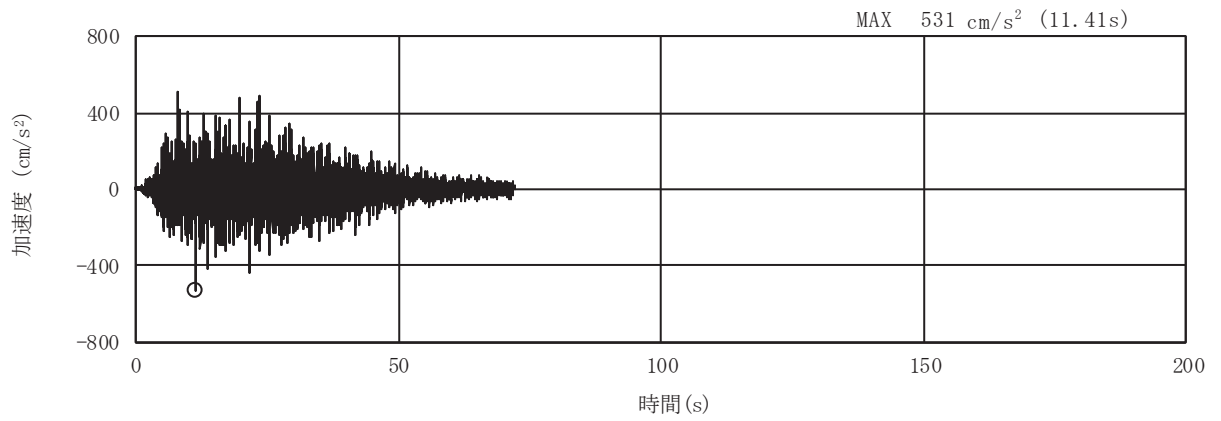


(a) 加速度時刻歴波形

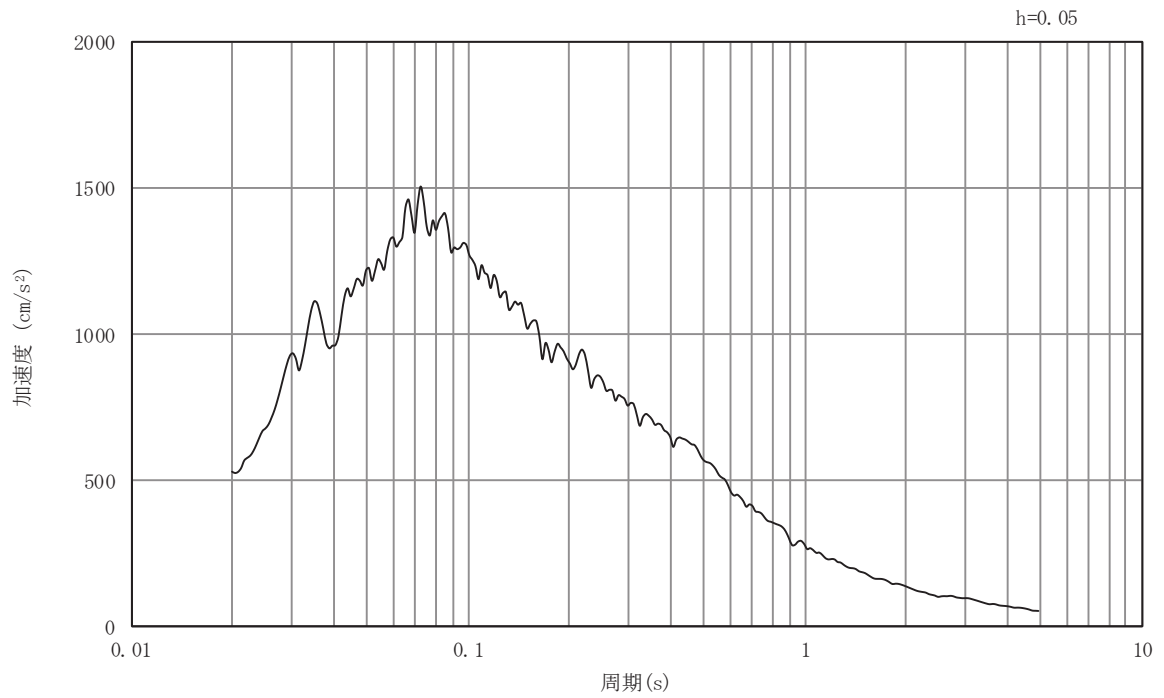


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 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  
(水平方向：S s - D 2)

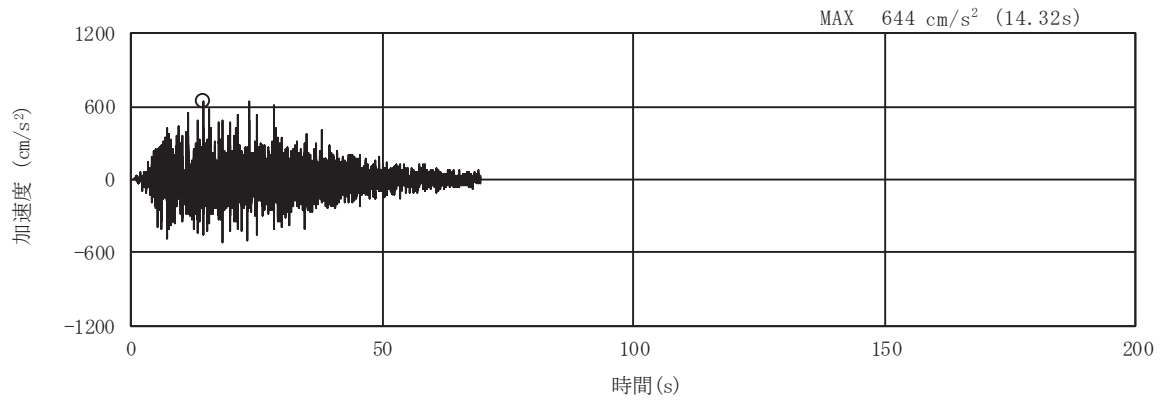


(a) 加速度時刻歴波形

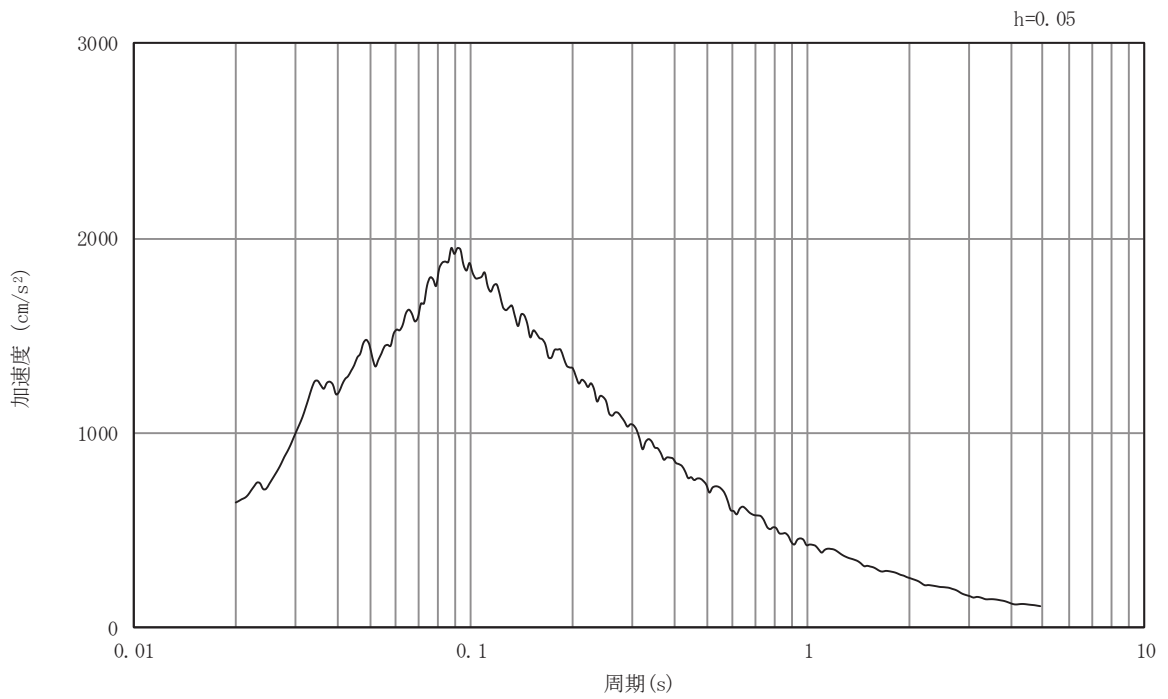


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 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  
(鉛直方向：S s - D 2)



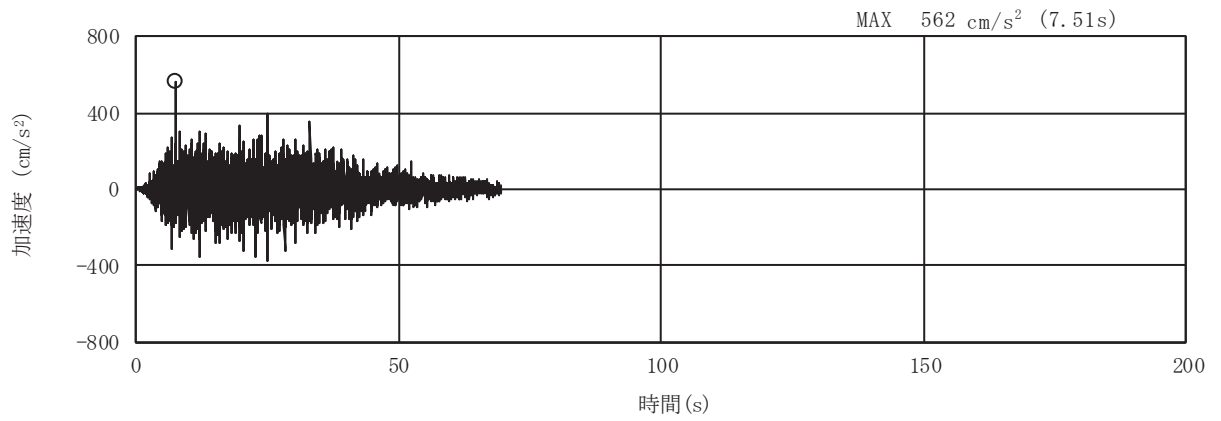
(a) 加速度時刻歴波形



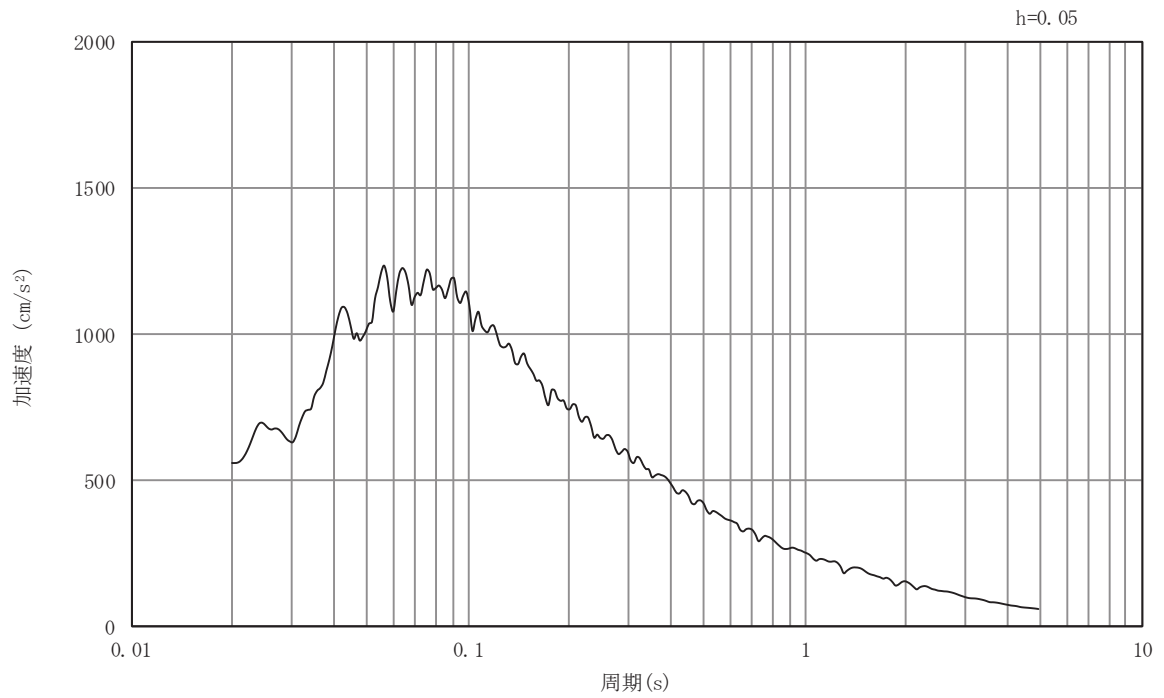
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 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  
(水平方向: S s - D 3)



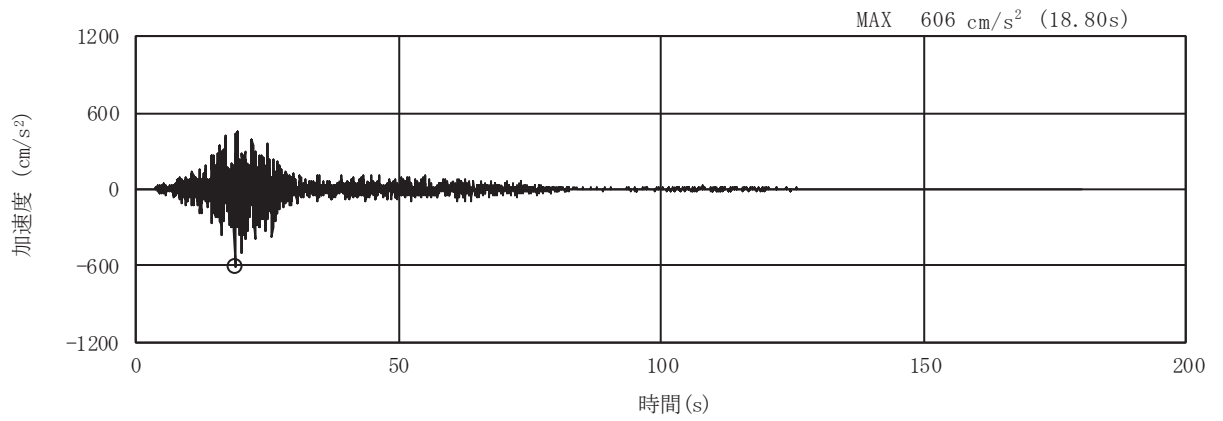


(a) 加速度時刻歴波形

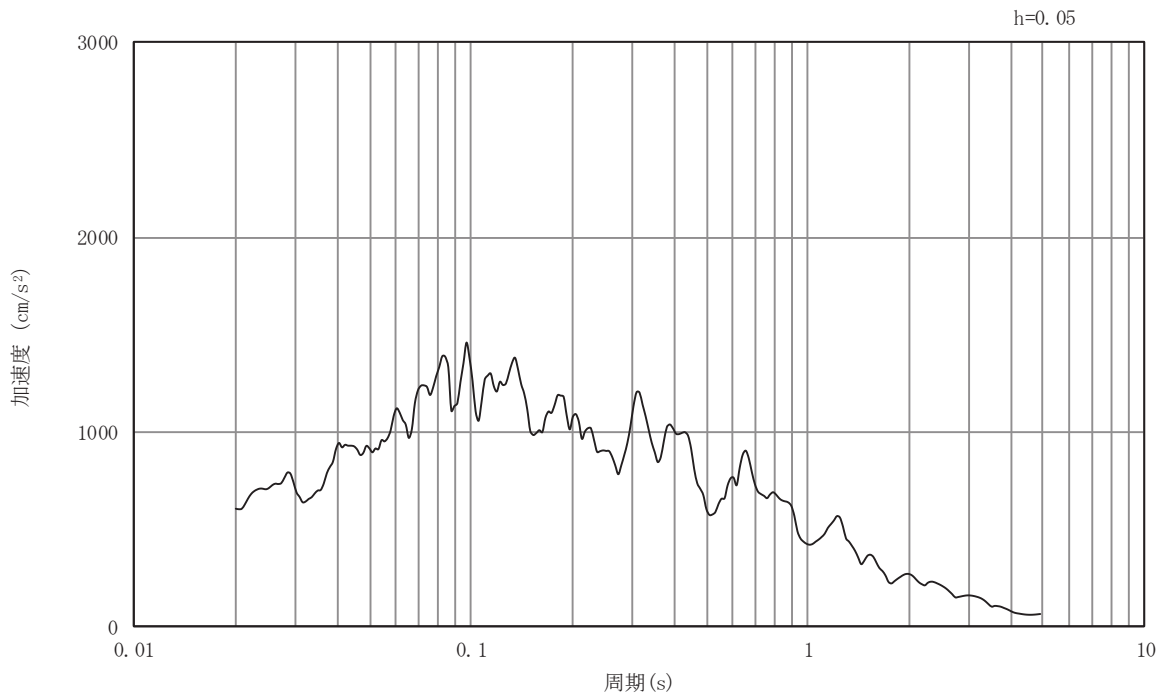


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 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  
(鉛直方向：S s - D 3)

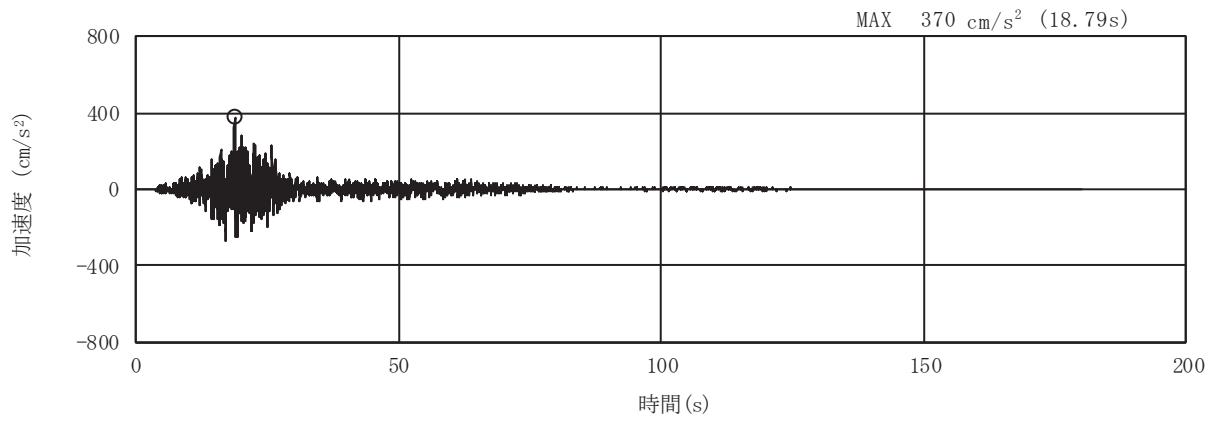


(a) 加速度時刻歴波形

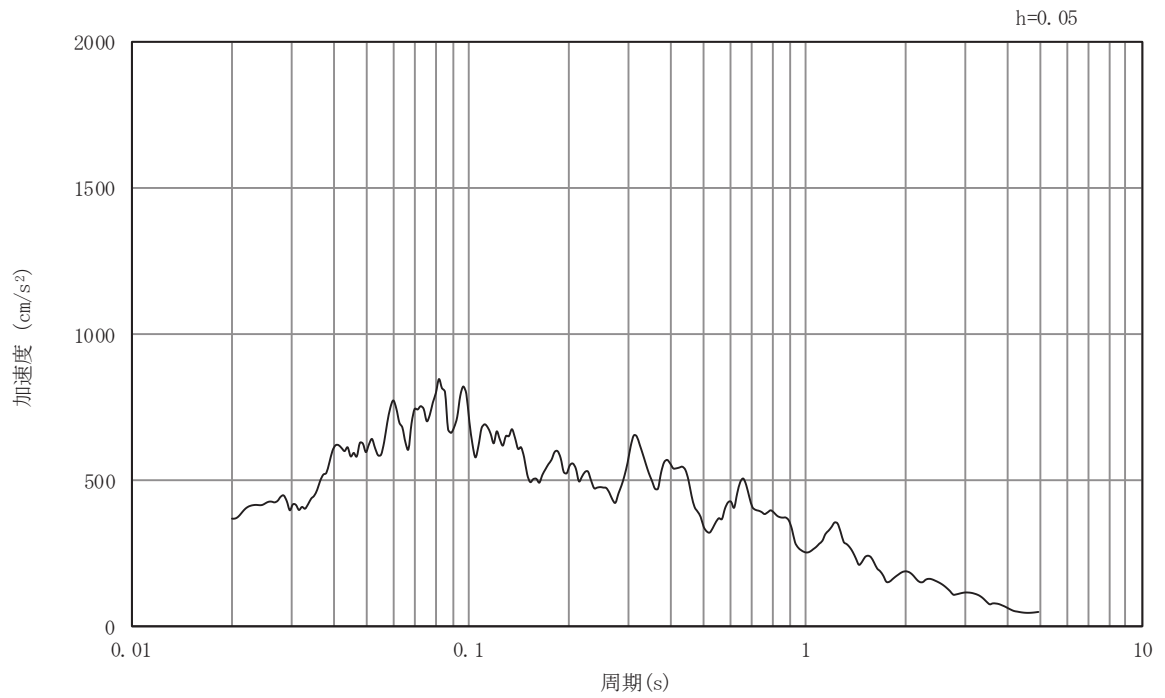


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 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  
(水平方向：S s - F 1)

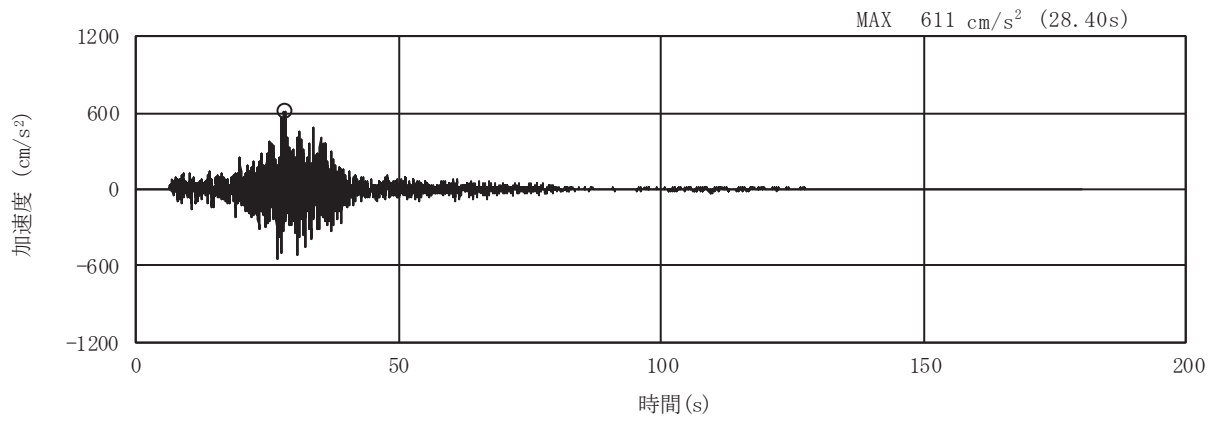


(a) 加速度時刻歴波形

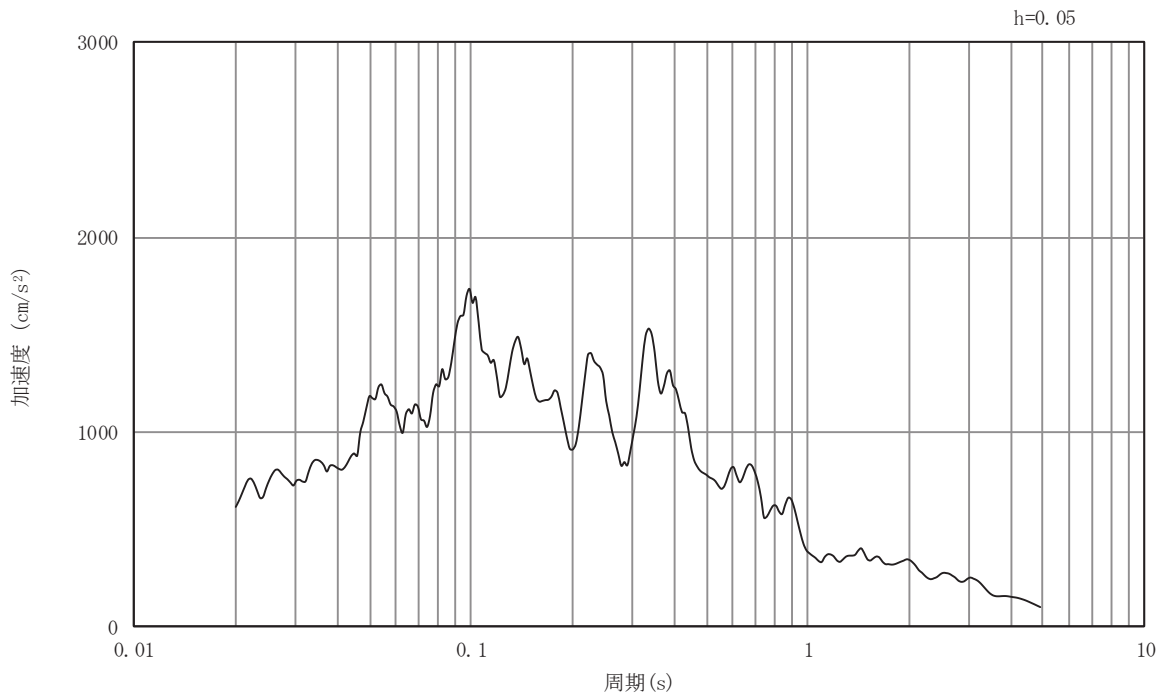


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 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  
(鉛直方向：S s - F 1)

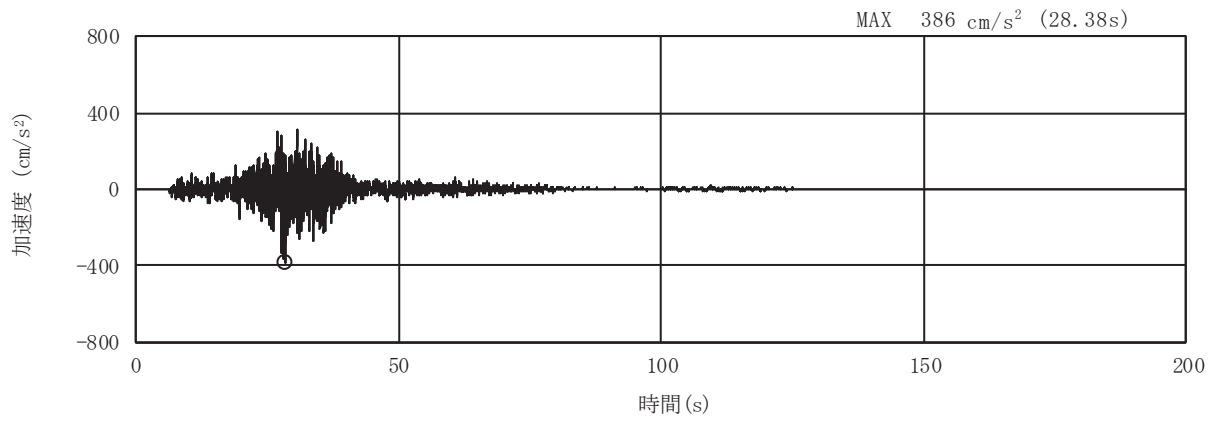


(a) 加速度時刻歴波形

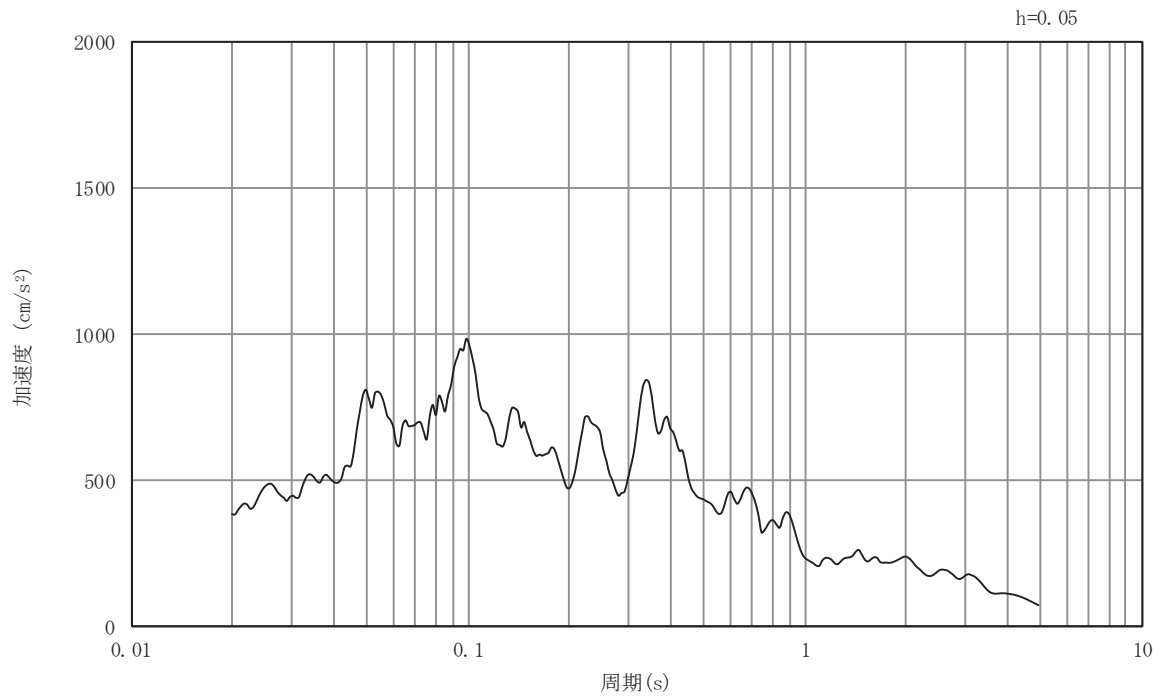


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 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  
(水平方向：S s - F 2)

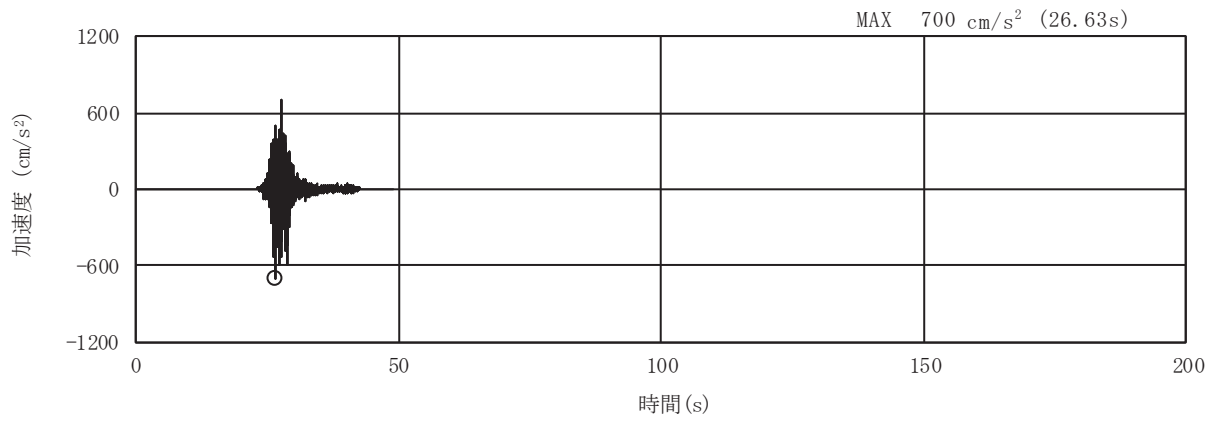


(a) 加速度時刻歴波形

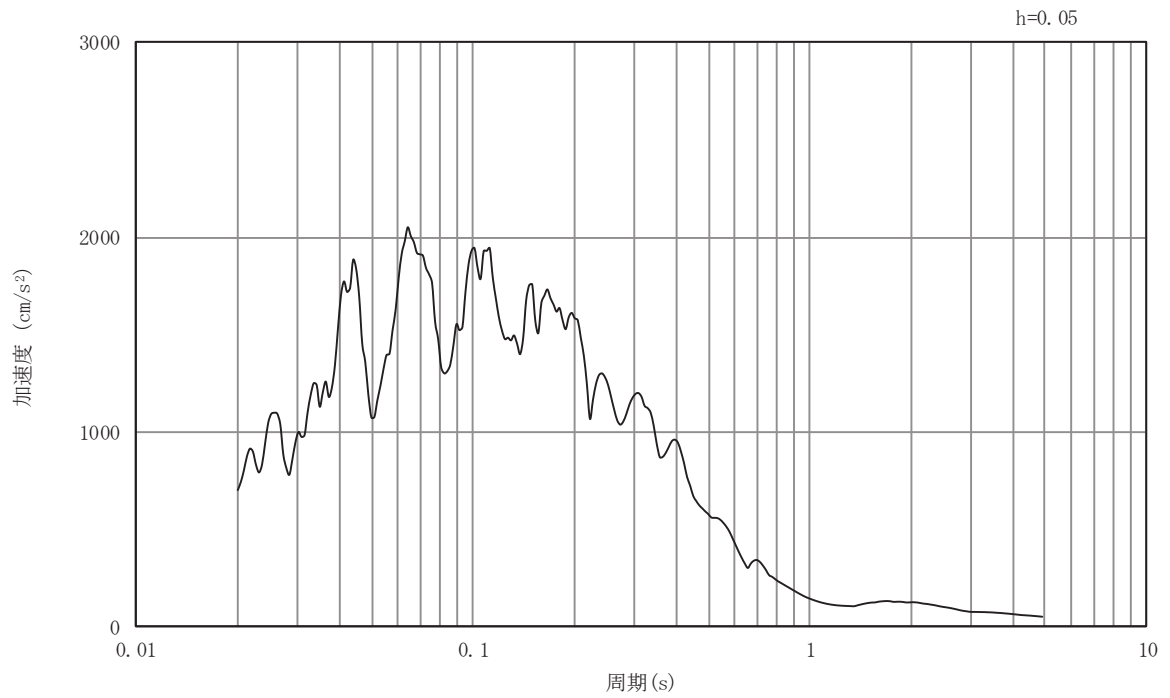


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 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  
(鉛直方向：S s - F 2)

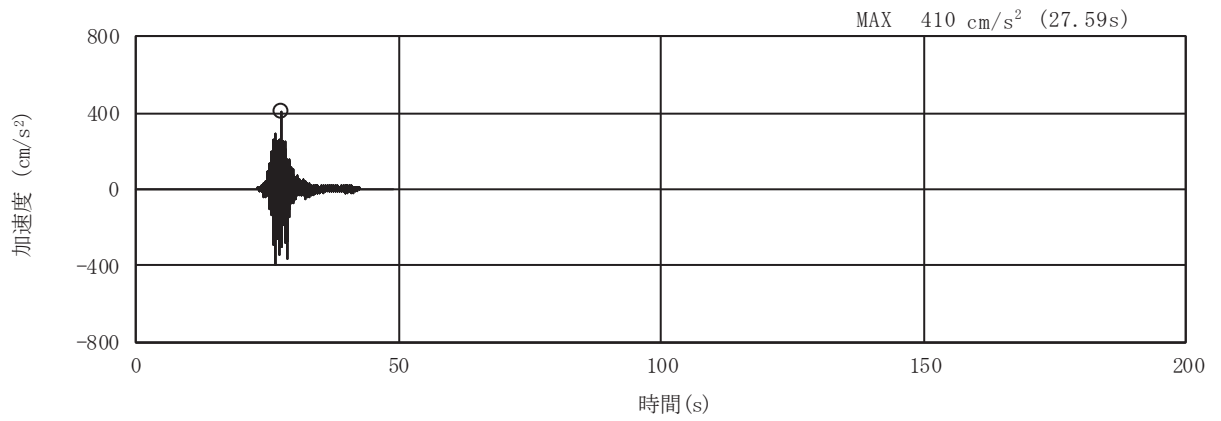


(a) 加速度時刻歴波形

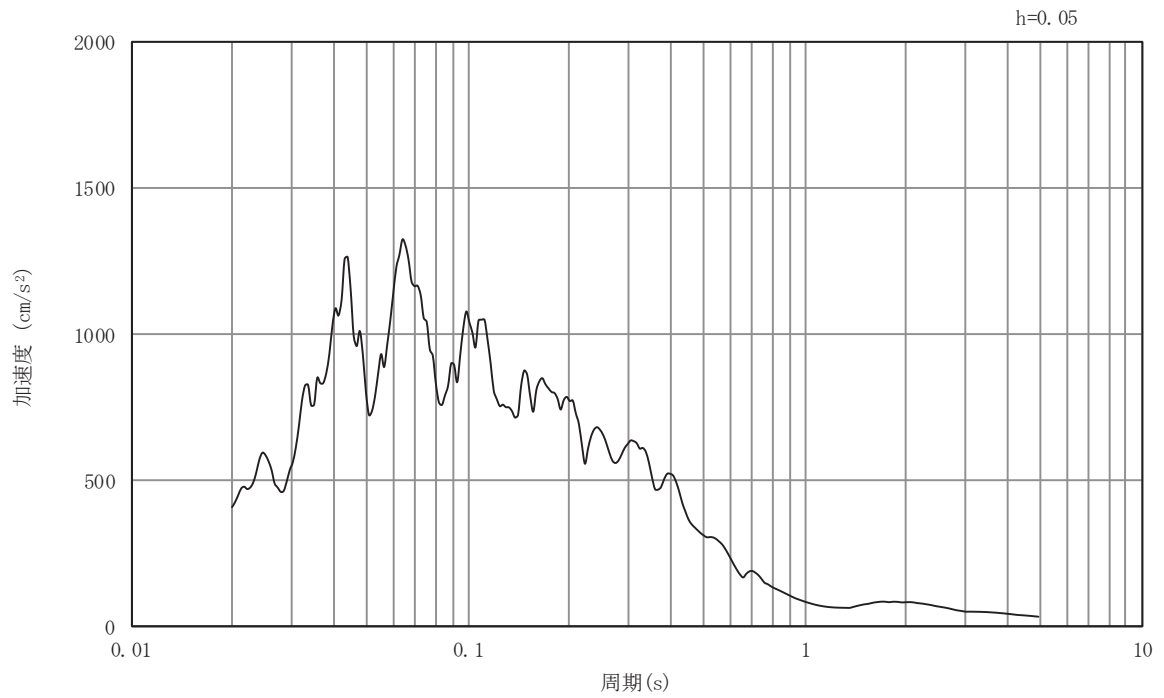


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 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  
(水平方向 : S s - F 3)

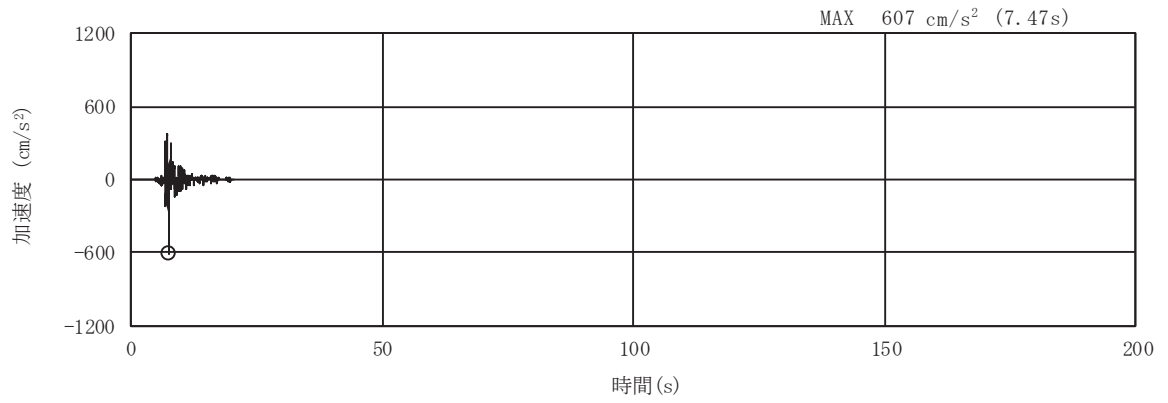


(a) 加速度時刻歴波形

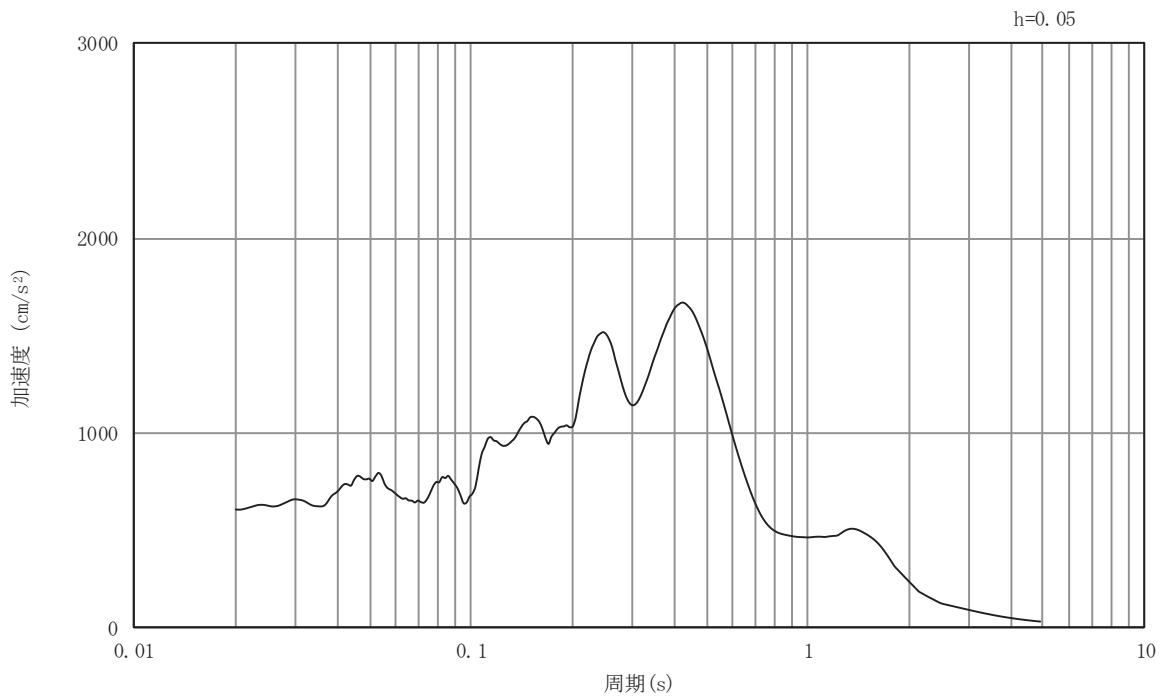


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 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  
(鉛直方向：S s - F 3)



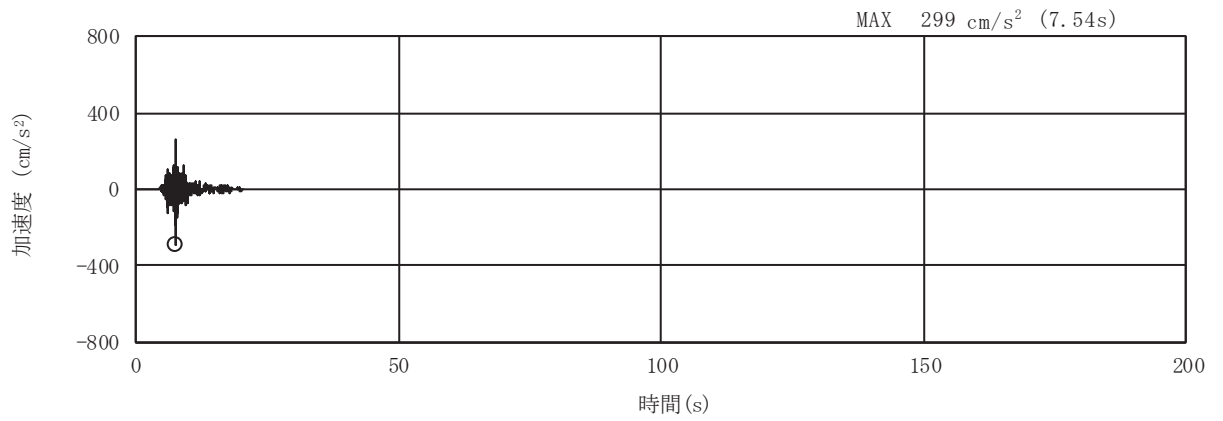
(a) 加速度時刻歴波形



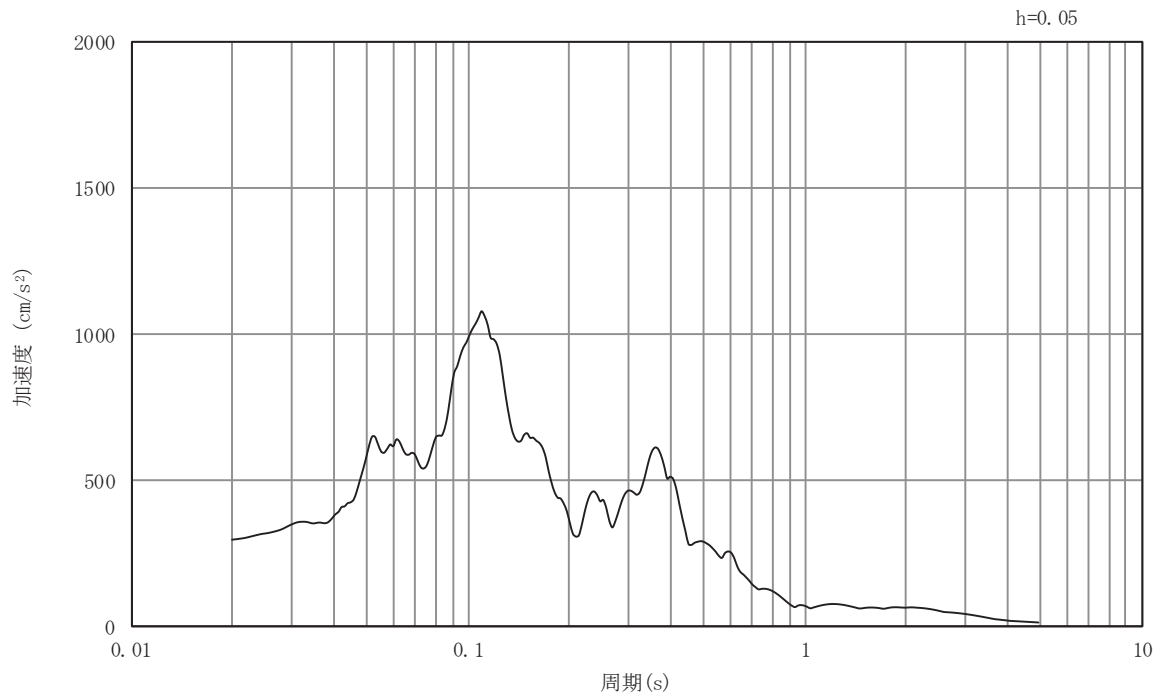
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 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  
(水平方向 : S s - N 1)





(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 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  
(鉛直方向：S s - N 1)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

第3号機取水路の地震応答解析モデルを図3-22に示す。

##### (1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

##### (2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、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、非線形はり要素によりモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土、旧表土及びD<sub>2</sub>級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。また、地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、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) ジョイントのモデル化

地震時の「MMR と構造物」，「盛土及び岩盤と MMR」，「盛土と構造物」及び「旧表土，盛土及び岩盤と改良地盤」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。

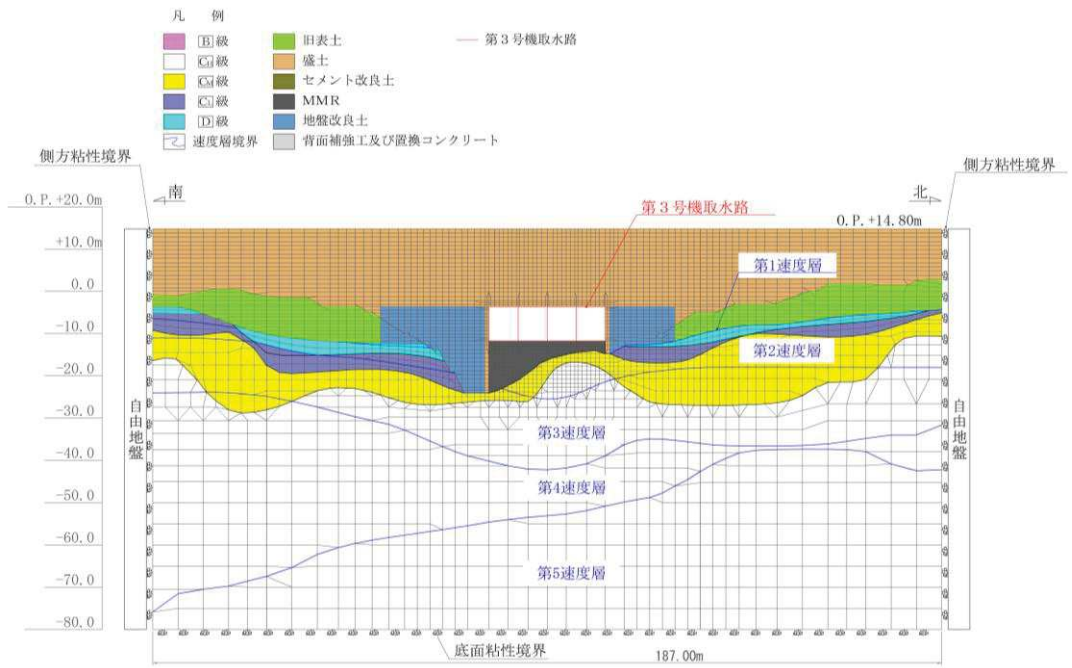


図 3-22 第 3 号機取水路の地震応答解析モデル図

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

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

表 3-5 材料の物性値

材料	項目		材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )		24.0	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	実強度*	3.16×10 <sup>4</sup>	解析ケース④
		設計基準強度	2.48×10 <sup>4</sup>	解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比		0.2	

注記\*：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「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。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

### 3.5.4 地下水位

設計用地下水位は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表3-6及び図3-23に示す。

表3-6 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
第3号機取水路	O. P. -3.65m

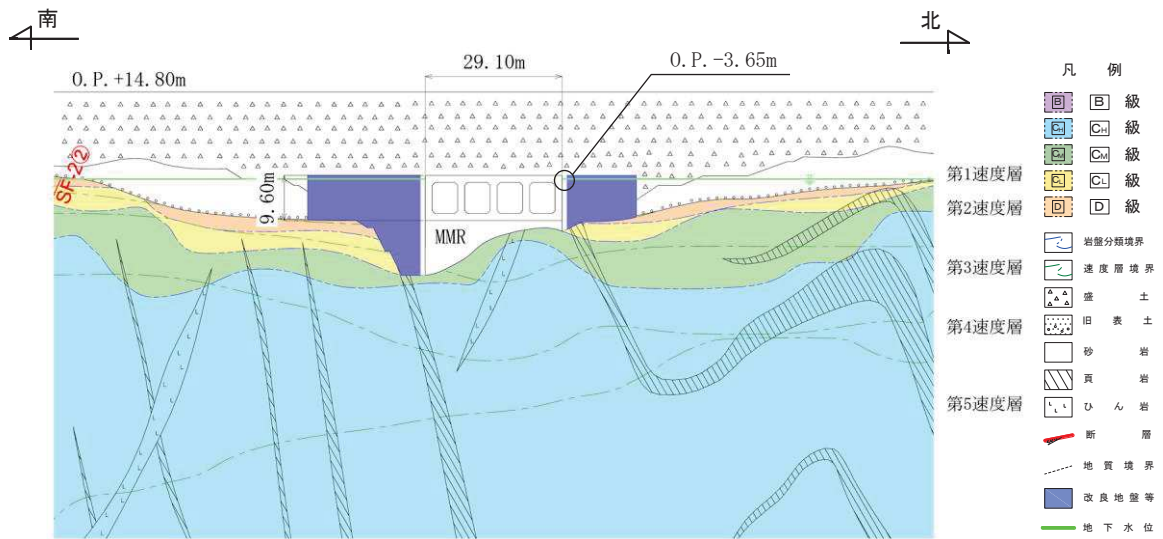


図3-23 設計用地下水位

### 3.6 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界

##### (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、土木学会マニュアルで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おり、層間変形角 1/100 の状態は、かぶりコンクリートが剥落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等が確保できるとして設定されたものである。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 第 3 号機取水路の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界層間変形角	1/100

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤（牧の浜部層）

基礎地盤（牧の浜部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤（牧の浜部層）の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	牧の浜部層	11.4

(2) MMR（既設）

MMR（既設）に発生する接地圧に対する許容限界は、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）に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（既設）の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9 MMR（既設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（既設）	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
支圧強度	コンクリート ( $f'_{ck} = 15.6 \text{ N/mm}^2$ )	$f'_a = 15.6$

### 3.7 評価方法

第 3 号機取水路の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.6 許容限界」において設定した許容限界を下回ることを確認する。

#### 3.7.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価については、鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査において、地震応答解析により算定した照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動での層間変形角の時刻歴波形を図 3-24 に、せん断破壊に対する最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-25 に示す。

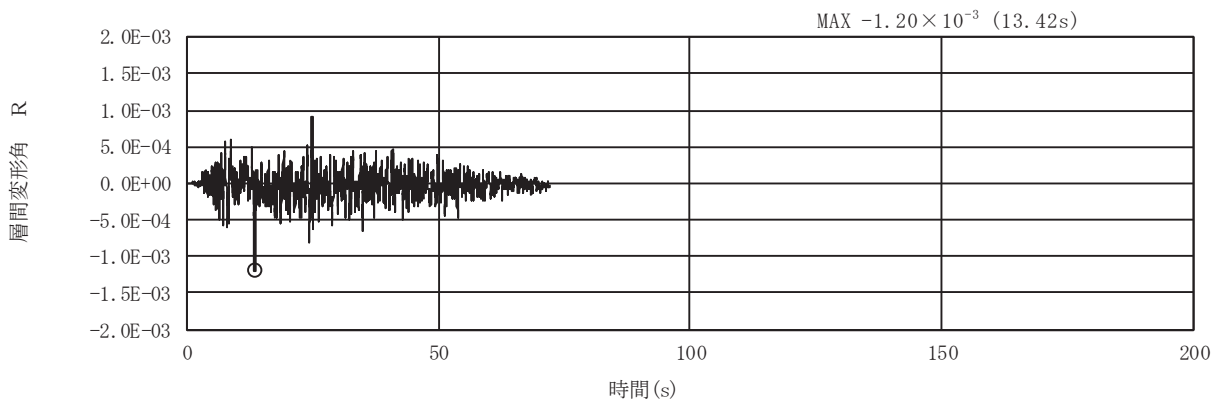
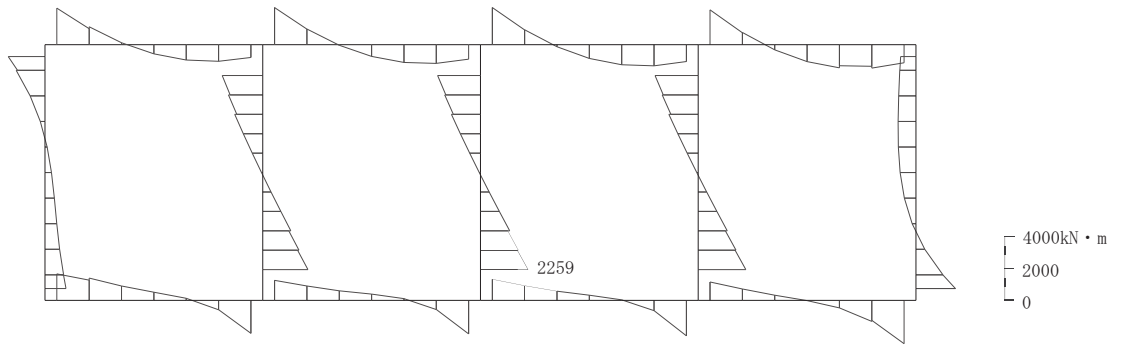
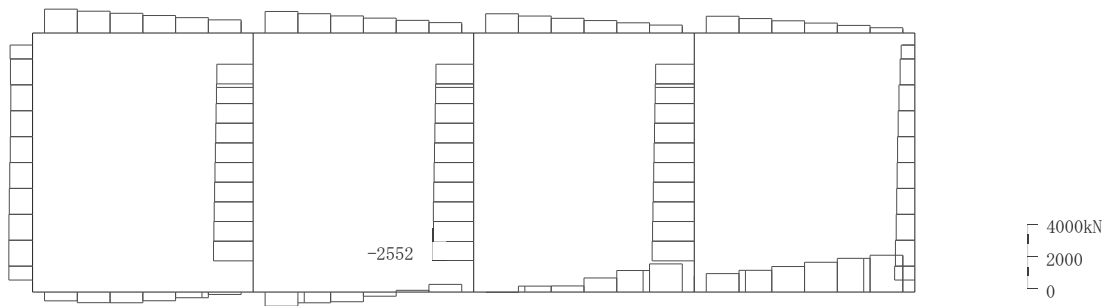


図 3-24 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における層間変形角の時刻歴波形  
(解析ケース③, S s - D 2 (++) )

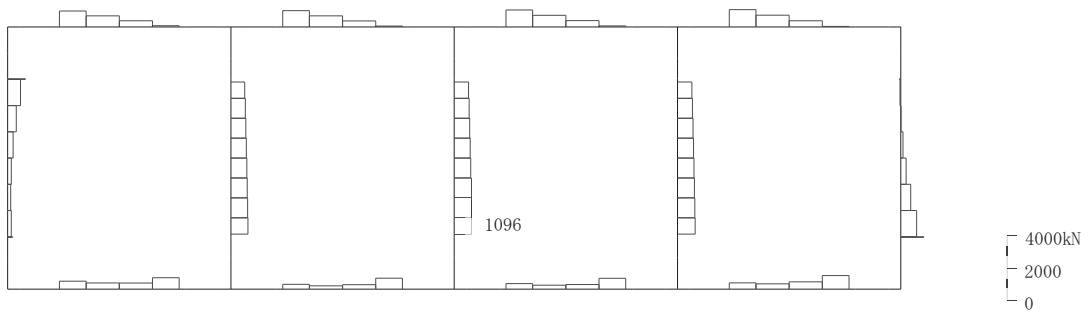




曲げモーメント (kN・m)



軸力(kN) (-圧縮, +引張)



せん断力 (kN)

図 3-25 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図  
(隔壁, 解析ケース④, S s - D 2 (++) )

### 3.7.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、構造部材を支持する基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-2 に示す。

第 3 号機取水路の照査用層間変形角及び照査用せん断力が、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* $R_d$	限界層間変形角 $R_u$	照査値 $R_d/R_u$
③	S s - D 2 (++)	$1.45 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-2}$	0.15

注記\*：照査用層間変形角  $R_d =$  最大層間変形角  $R \times$  構造解析係数  $\gamma_a$

表 4-2 せん断破壊に対する最大照査値

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*3 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版	4	①	S s - D 1 (++)	1415	3123	0.46
側壁	9	①	S s - D 1 (++)	1469	1964	0.75
隔壁	7	④	S s - D 2 (++)	1151	1351	0.86
底版	10	④	S s - D 2 (++)	1004	3758	0.27

注記\*1：評価位置は図 4-1 に示す。

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

\*3：せん断耐力式によるせん断耐力

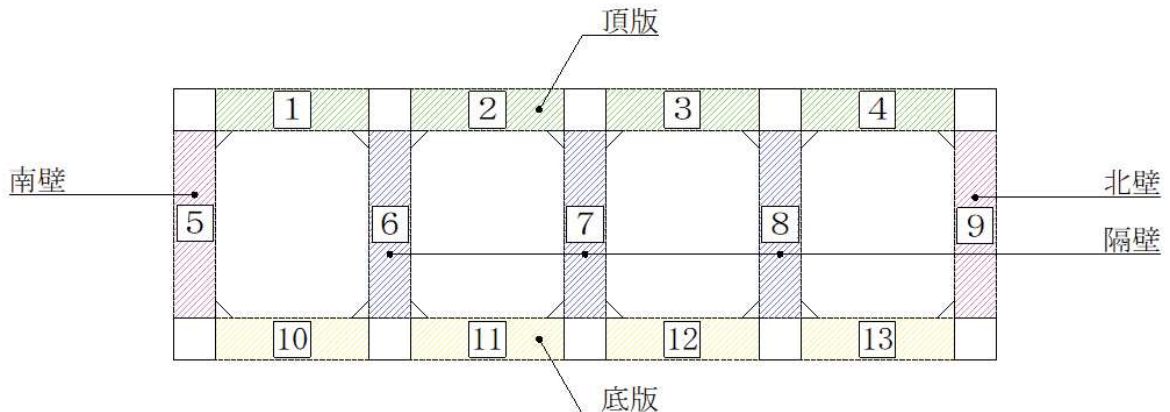


図 4-1 評価位置図

## 4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

### 4.2.1 基礎地盤（牧の浜部層）

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 4-3 に示す。また、最大接地圧分布図を図 4-2 に示す。

第 3 号機取水路の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力を下回ることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 $R_d$ ( $N/mm^2$ )	極限支持力 $R_u$ ( $N/mm^2$ )	照査値 $R_d/R_u$
③	S s - D 2 (++)	2.8	11.4	0.25

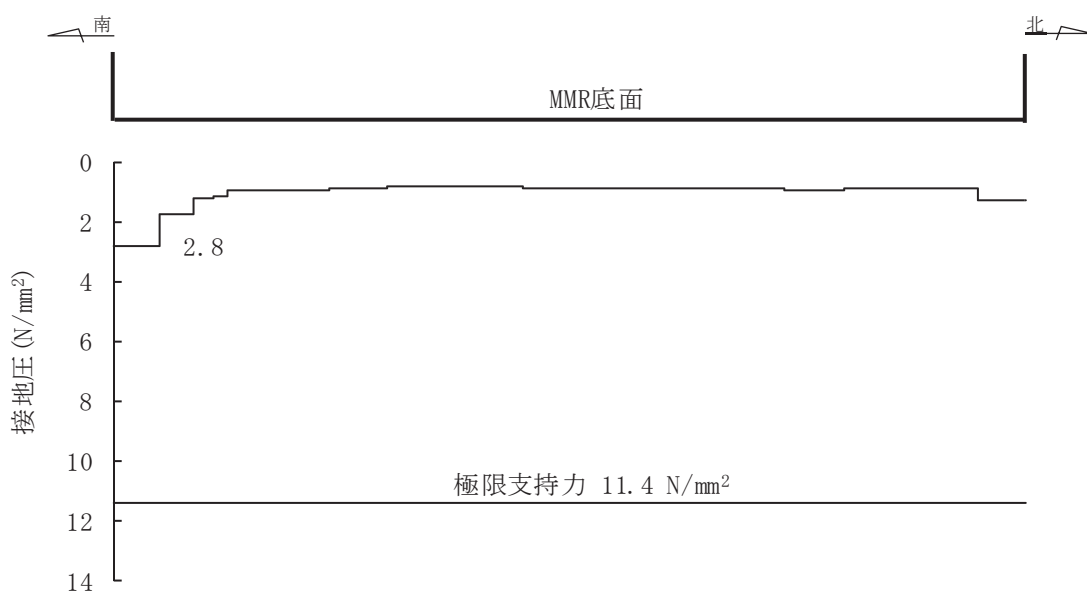


図 4-2 基礎地盤の最大接地圧分布図  
(解析ケース③, S s - D 2 (++) )

#### 4.2.2 MMR（既設）

MMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表4-4に示す。また、最大接地圧分布図を図4-3に示す。

第3号機取水路のMMR（既設）に発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表4-4 MMR（既設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 $f'_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d/f'_a$
③	S <sub>s</sub> -D2 (++)	3.1	15.6	0.20

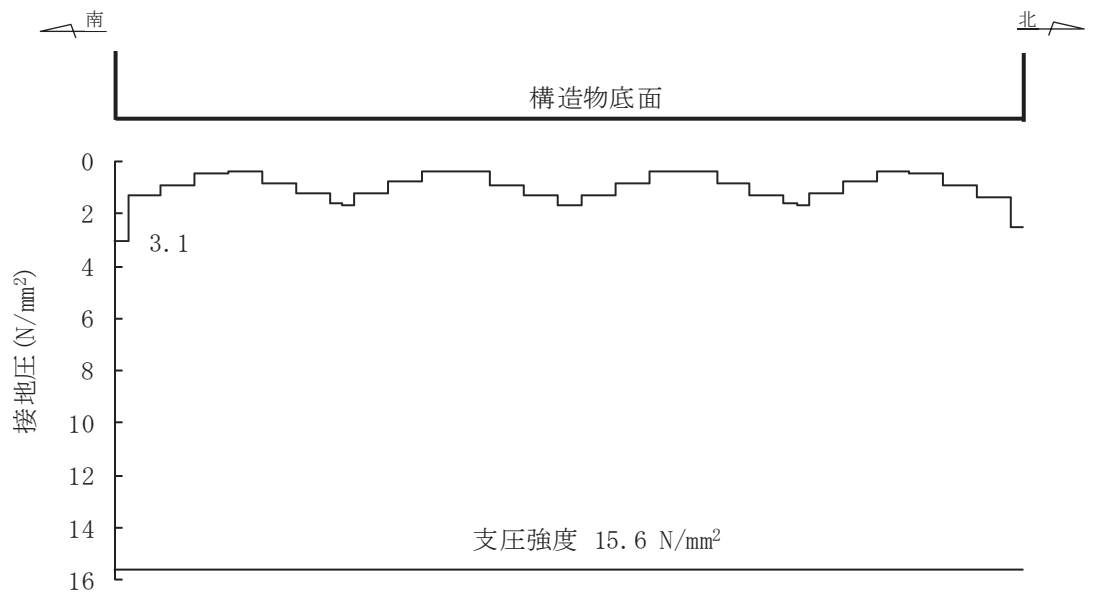


図4-3 MMR（既設）の最大接地圧分布図  
(解析ケース③, S<sub>s</sub>-D2 (++) )

VI-2-11-2-19 北側排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	5
2.4	適用基準	8
3.	耐震評価	9
3.1	評価対象断面	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	11
3.2.3	減衰定数	12
3.2.4	解析ケース	12
3.3	荷重及び荷重の組合せ	14
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	14
3.3.2	荷重	14
3.3.3	荷重の組合せ	15
3.4	入力地震動	16
3.5	解析モデル及び諸元	31
3.5.1	解析モデル	31
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	33
3.5.3	地盤の物性値	34
3.5.4	地下水位	34
3.6	許容限界	35
3.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	35
3.7	評価方法	36
3.7.1	構造部材の健全性評価	36
4.	耐震評価結果	39
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	39

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、北側排水路が、上位クラス施設である防潮堤（盛土堤防）内を横断していることから、上位クラス施設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。

波及的影響の評価は、上位クラス施設の機能が保持されることを確認するために、下位クラス施設である北側排水路を対象に、防潮堤（盛土堤防）の設計に適用する基準地震動 $S_s$ を用いた地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価を実施することで、北側排水路が十分な構造強度を有することを確認する。

なお、北側排水路の耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。



## 2. 基本方針

### 2.1 位置

北側排水路の位置を図 2-1 に、波及的影響評価の対象区間を図 2-2 に示す。

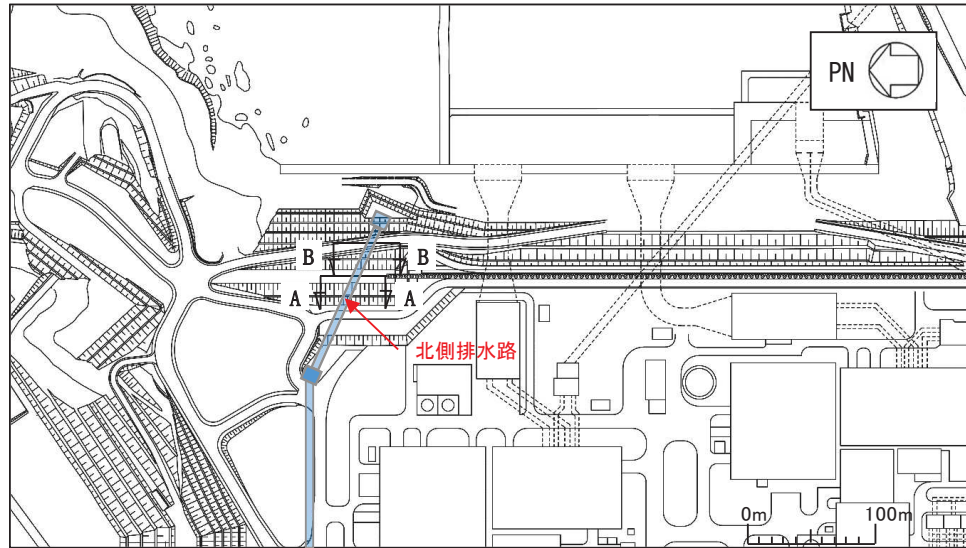


図 2-1 北側排水路の位置図

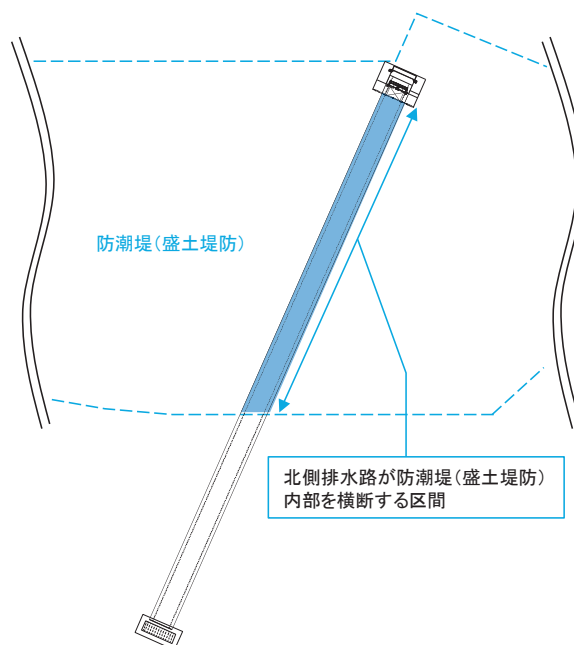


図 2-2 北側排水路の波及的影響評価の対象区間

## 2.2 構造概要

北側排水路の平面図を図 2-1 に、断面図を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4 に示す。

北側排水路は、延長約 115m、内空幅約 3.5m、内空高さ約 2.5m のプレキャスト鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、防潮堤（盛土堤防）の内部を横断している。

また、防潮堤（盛土堤防）は、改良地盤を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

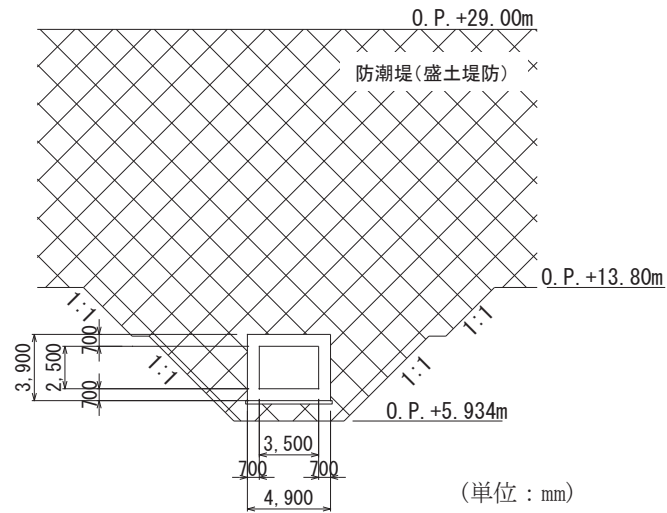


図 2-3(1) 北側排水路の断面図 (A-A 断面)

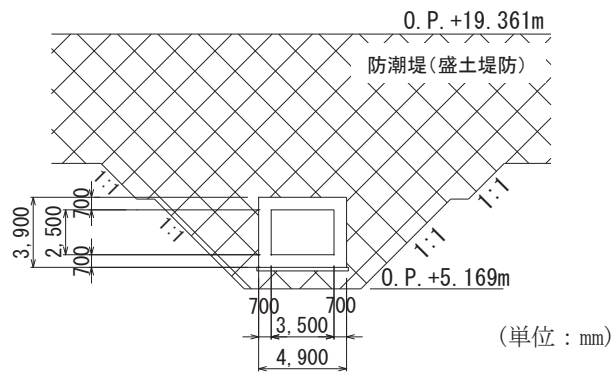


図 2-3(2) 北側排水路の断面図 (B-B 断面)

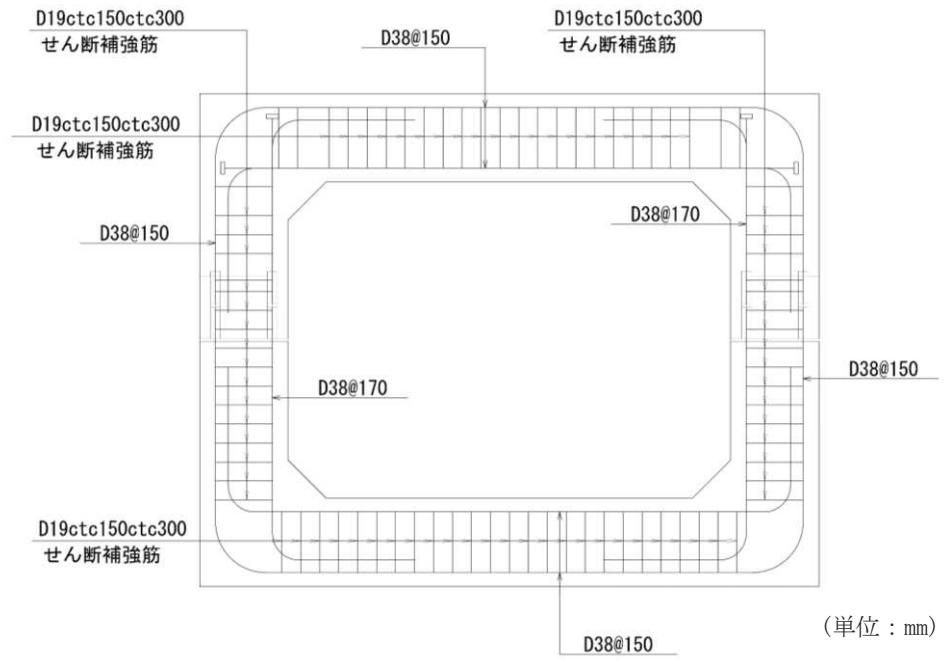


図 2-4 北側排水路の概略配筋図 (A-A 断面, B-B 断面共通)

### 2.3 評価方針

北側排水路は、防潮堤（盛土堤防）と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響評価を行う。

北側排水路の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

北側排水路の波及的影響評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 の北側排水路の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。せん断破壊に対してはせん断力が許容限界以下であることを確認する。

ここで、北側排水路は、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、波及的影響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。

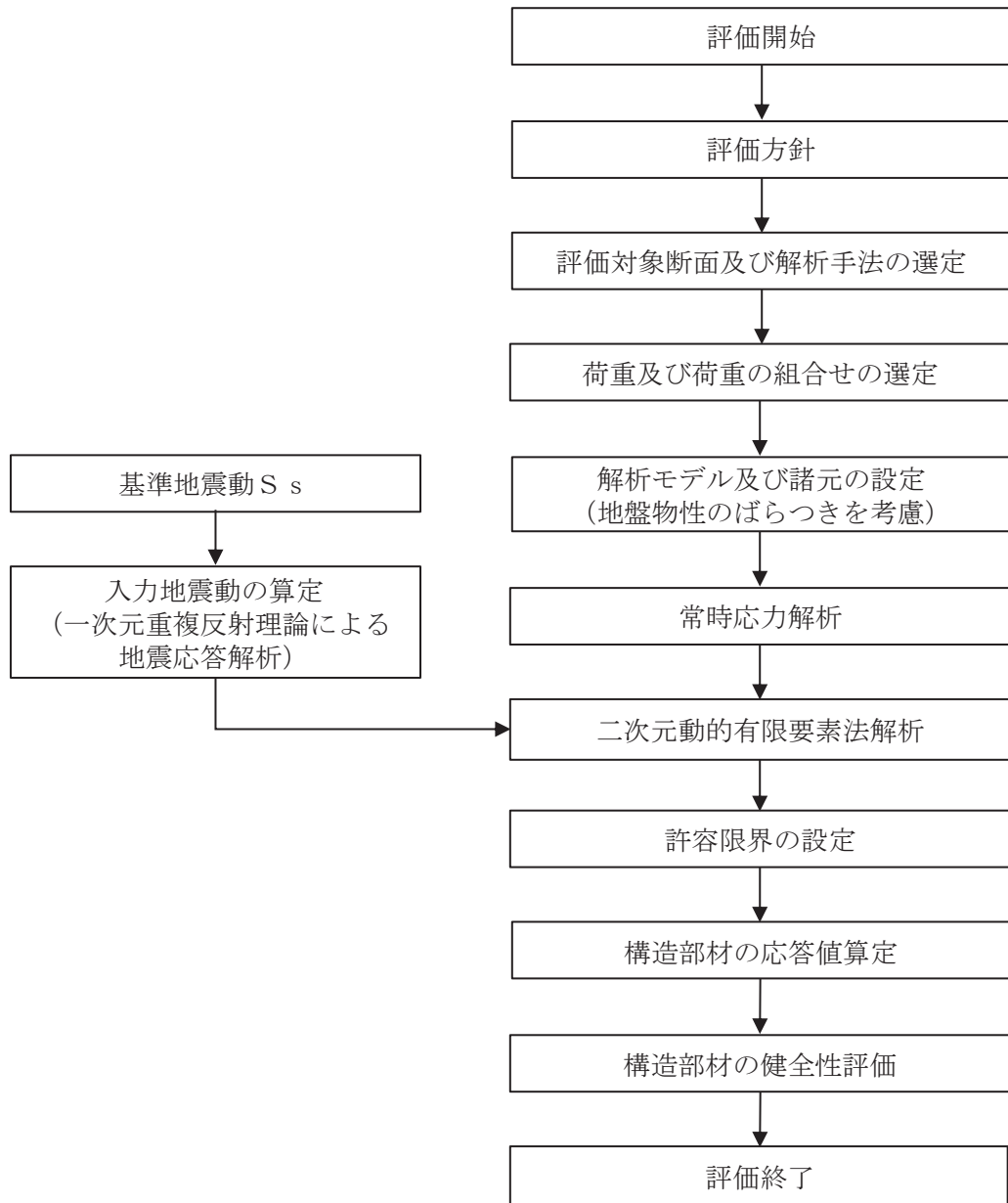


図 2-5 北側排水路の耐震評価フロー

表 2-1 北側排水路の評価項目

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	発生する応力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容せん断力

## 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）
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年6月制定）（以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。）
- ・ 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 原子力土木委員会，2005年6月）（以下「土木学会マニュアル」という。）
- ・ 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. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

北側排水路の評価対象断面位置を図 3-1 に示す。北側排水路のうち、防潮堤（盛土堤防）を横断する範囲で土被り厚さが最も大きく耐震評価上最も厳しい断面（A-A 断面）を、評価対象断面として選定する。

評価対象断面は、北側排水路の弱軸方向である、北側排水路の直交断面を基本として考えるが、防潮堤（盛土堤防）と防潮堤（鋼管式鉛直壁）の境界部にセメント改良土の斜面を有する防潮堤の構造を踏まえ、汀線平行方向（防潮堤縦断方向）の断面を選定する。

北側排水路の評価対象断面図を図 3-2 に示す。

A-A 断面：防潮堤（盛土堤防）を横断する範囲で土被り厚さが最も大きく耐震評価上最も厳しい断面。

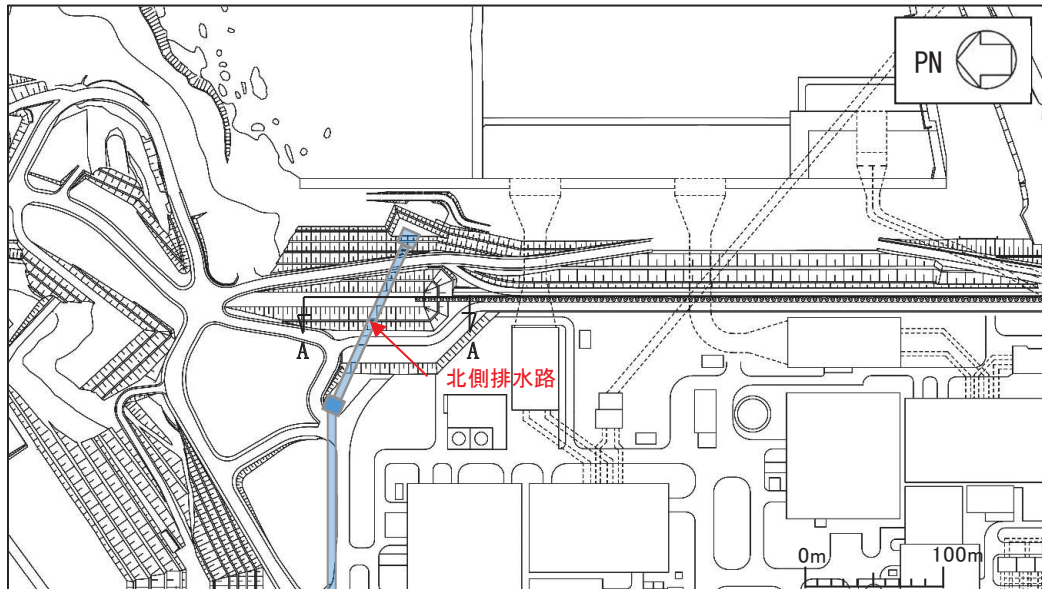


図 3-1 北側排水路の評価対象断面位置図



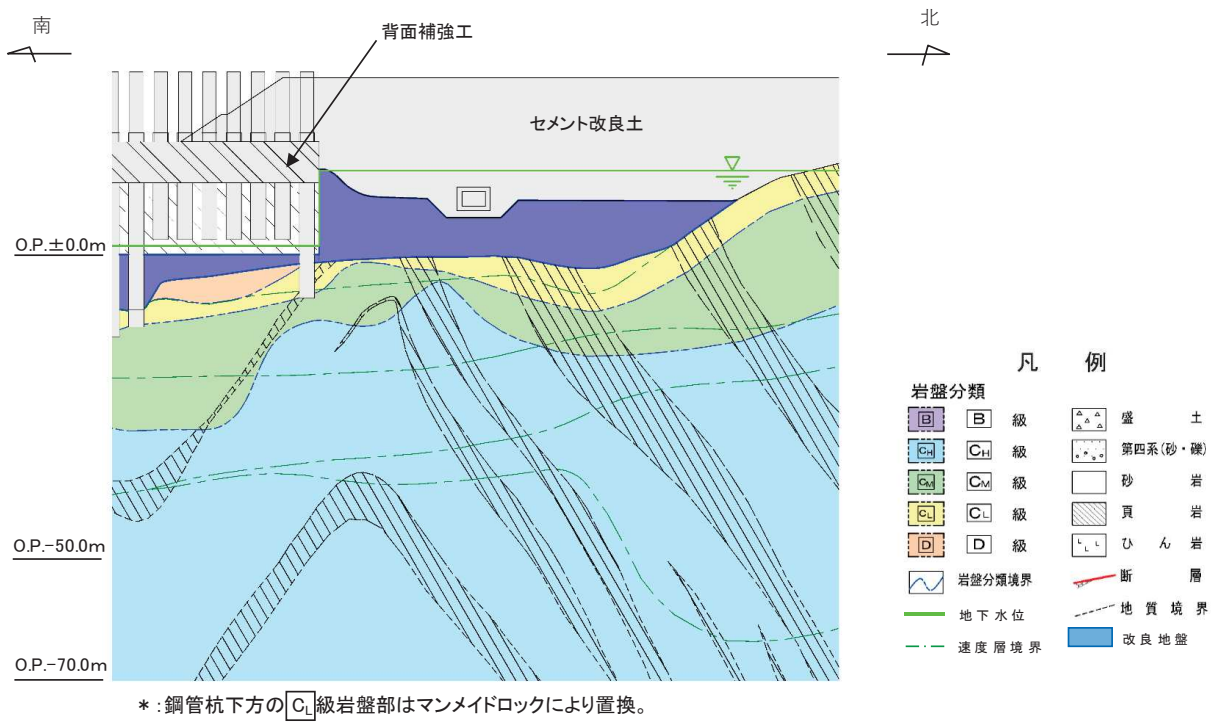


図 3-2 北側排水路の評価対象断面図 (A-A 断面)

### 3.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「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二次元動的有限要素法により、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を行う。

構造部材については、線形はり要素を用いる。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）について、鋼管杭は線形はり要素、背面補強工は線形平面ひずみ要素でモデル化する。防潮堤（盛土堤防）について、セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。地震応答解析には、上位クラス施設である防潮堤（盛土堤防）と同様に、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 構造部材

鉄筋コンクリート部材は線形はり要素でモデル化する。

#### 3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3-2 に示すとおり、北側排水路の周辺には、主としてセメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に北側排水路の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3-1 に示す。

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、材料物性のばらつきと併せて表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

初期せん断弾性係数の標準偏差  $\sigma$  を用いて設定した解析ケース①～③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。

表 3-1 解析ケース（北側排水路）

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	C <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 級岩盤, B級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値

### 3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし, 剛性比例型減衰 ( $\alpha=0$ ,  $\beta=0.002$ ) とする。

### 3.2.4 解析ケース

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。解析ケース①において, 曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して, 最も厳しい地震動を用いて表 3-1 に示す解析ケース②~③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		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
地盤物性		平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地震動 (位相)	S <sub>s</sub> -D1	++*	○	基準地震動 S <sub>s</sub> (7 波) 及び水平 動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を 行ったケース① (基本ケース) の 結果から、曲げ・軸力系の破壊及 びせん断破壊の照査項目ごとに照 査値が 0.5 以上となる照査項目に 対して、最も厳しい地震動を用い てケース②~③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合 は、照査値が最も厳しくなる地震 動を用いてケース②~③を実施す る。
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -D2	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -D3	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -F1	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -F2	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -F3	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -N1	++*	○	
		-+*	○	

注記 \* : 耐震評価に当たっては、「土木学会マニュアル」に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++ の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

北側排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

積雪の影響を考慮する。風の影響については、埋設構造物であるため、風の影響を受けないことから考慮しない。

##### (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

北側排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、積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$ を考慮する。

##### (3) 積雪荷重( $P_s$ )

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重( $S_s$ )

基準地震動 $S_s$ 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 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )

### 3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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  $S_s$  を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4 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「SHAKE Ver 1.6」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

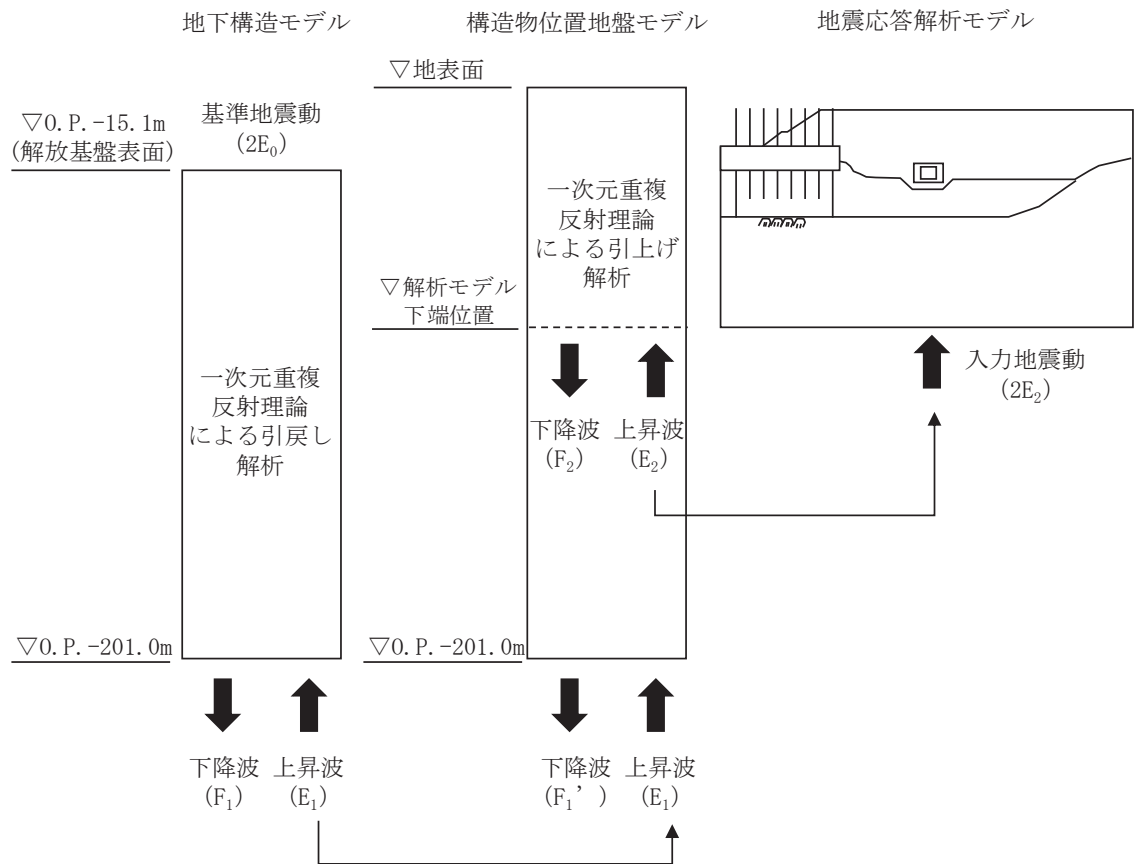
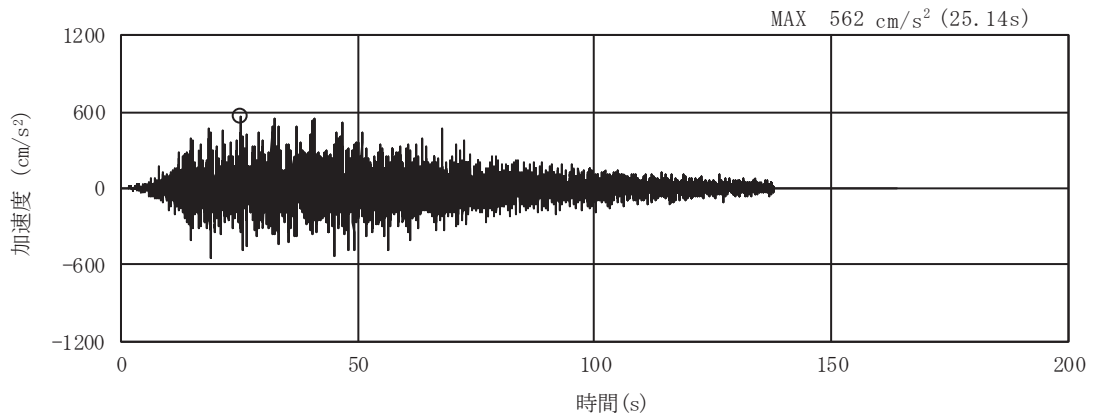
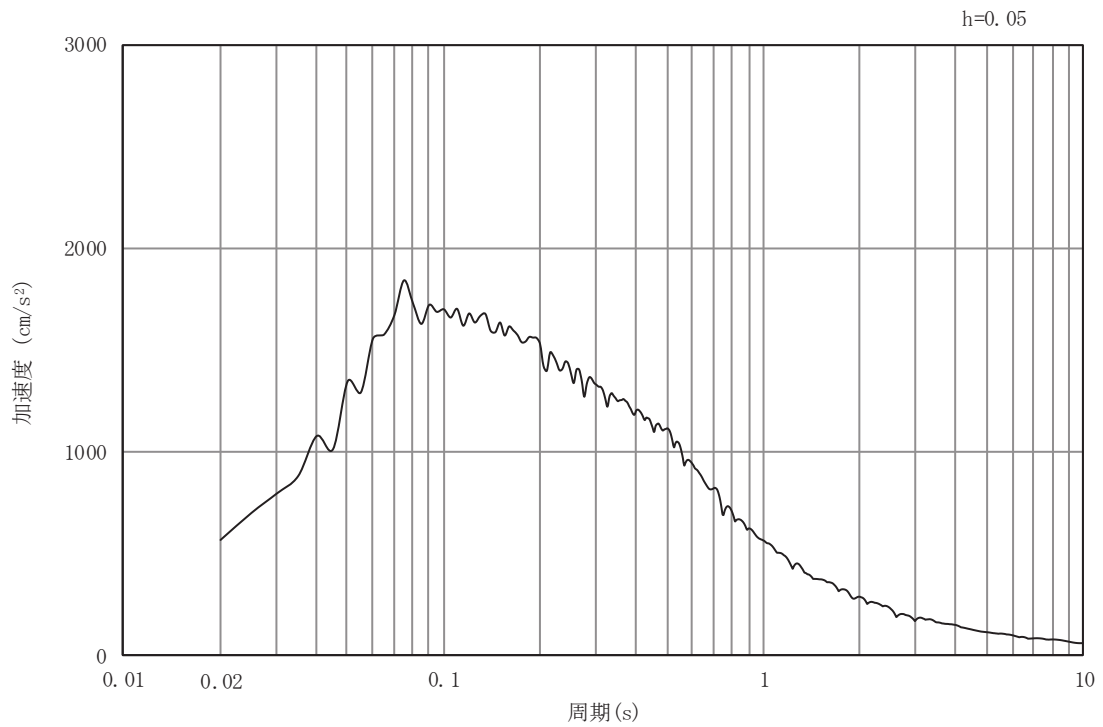


図 3-3 入力地震動算定の概念図

(1) A-A 断面



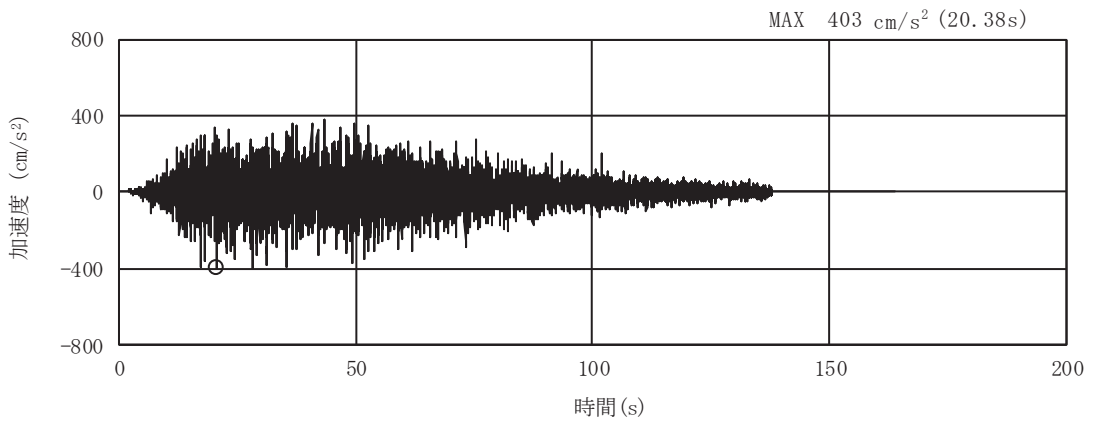
(a) 加速度時刻歴波形



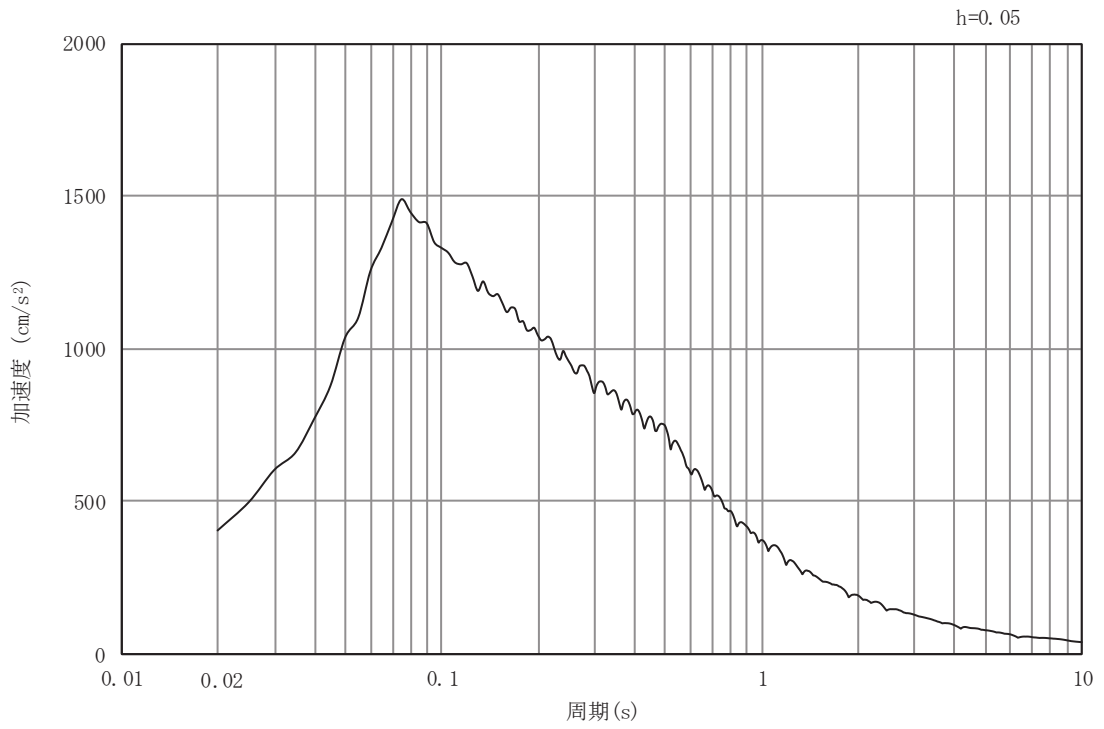
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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: S s - D 1)



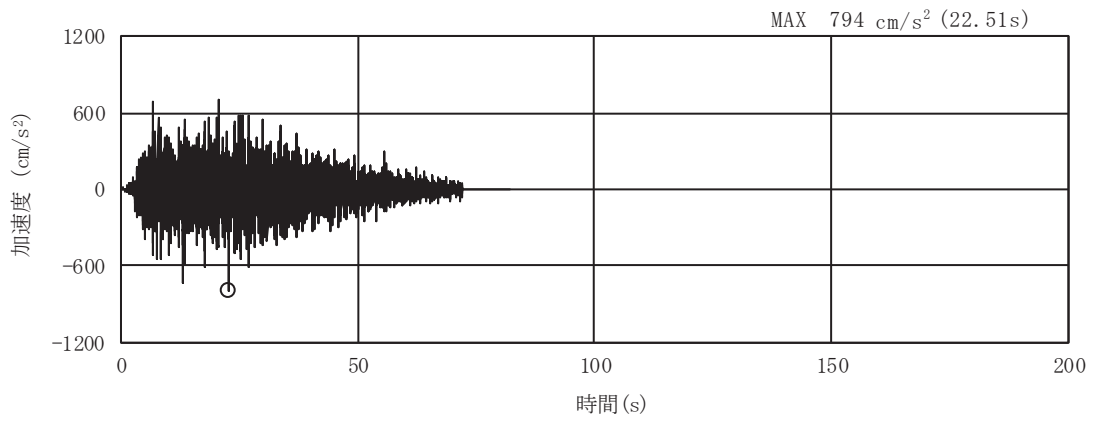


(a) 加速度時刻歴波形

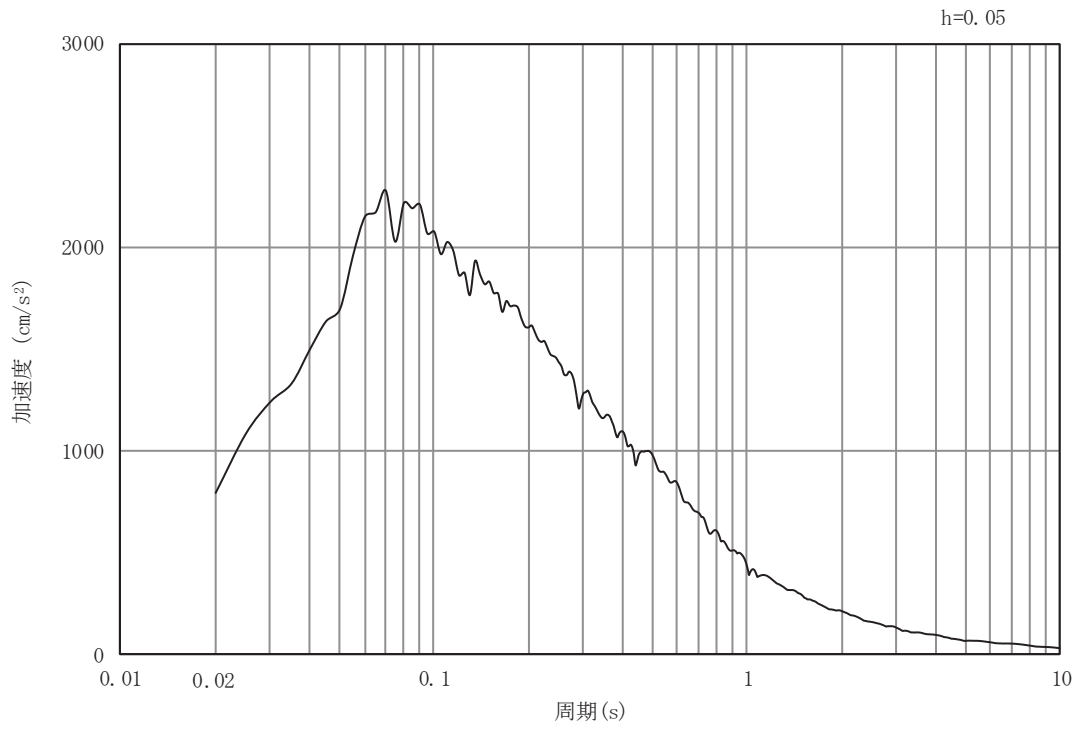


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - D 1)

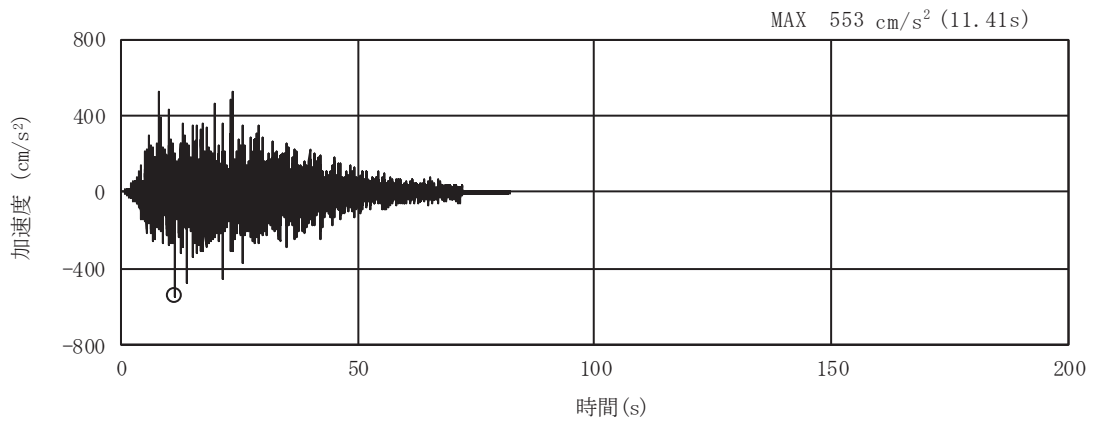


(a) 加速度時刻歴波形

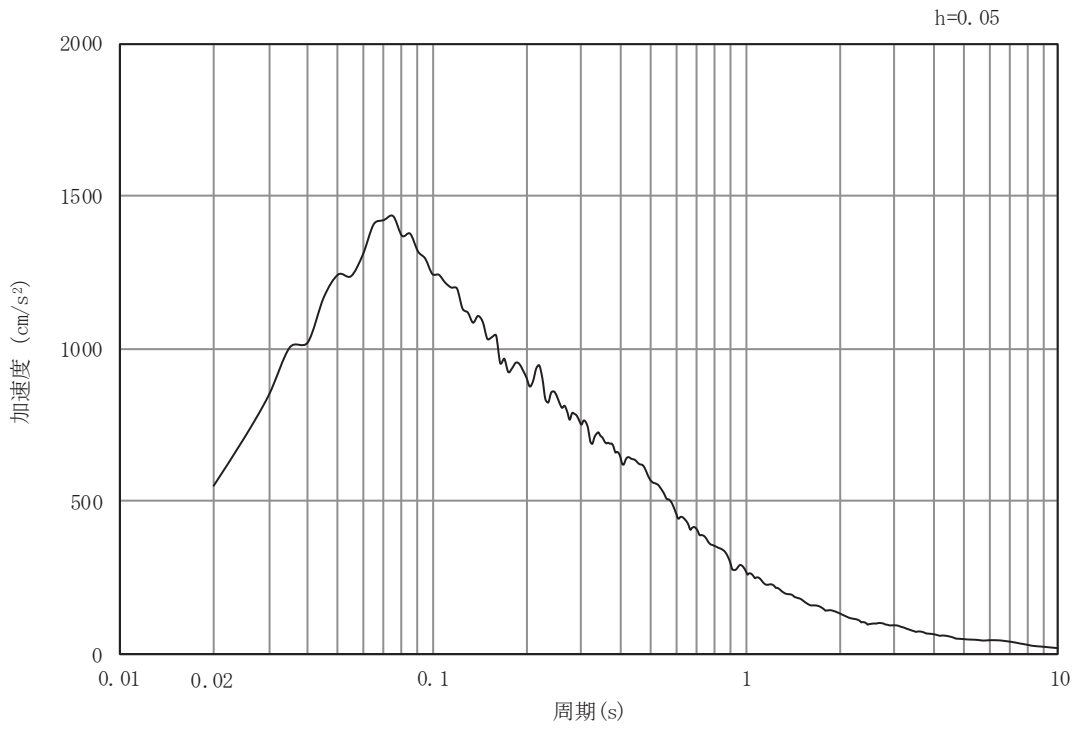


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - D 2)

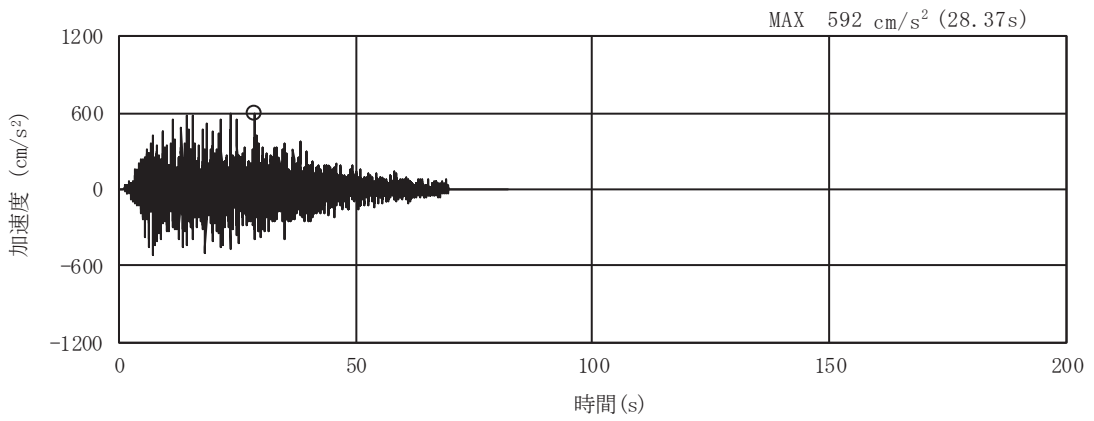


(a) 加速度時刻歴波形

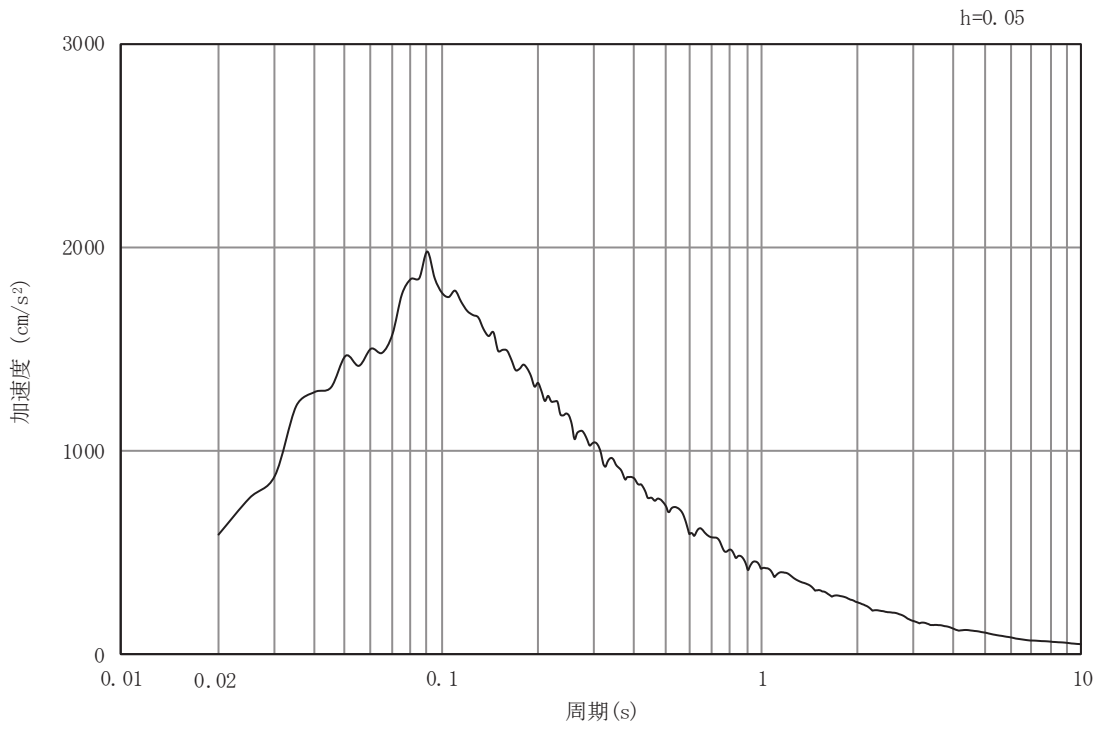


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - D 2)

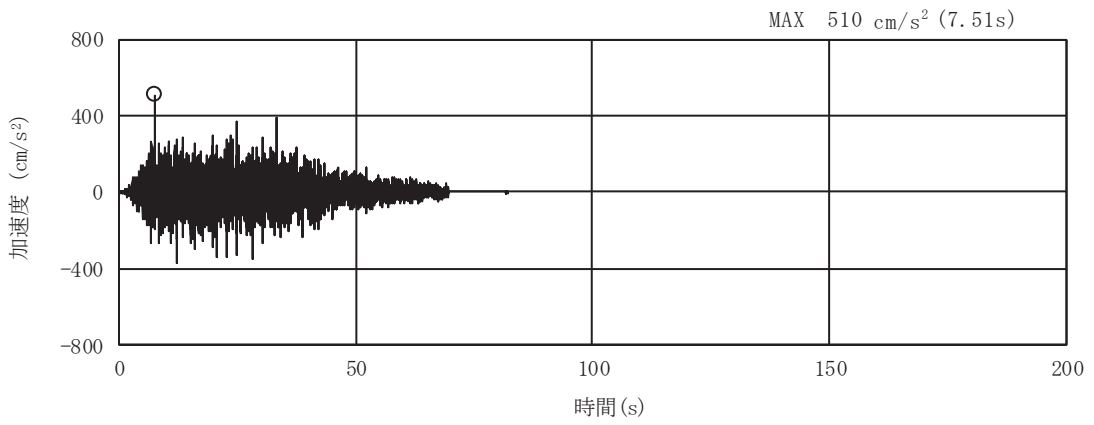


(a) 加速度時刻歴波形

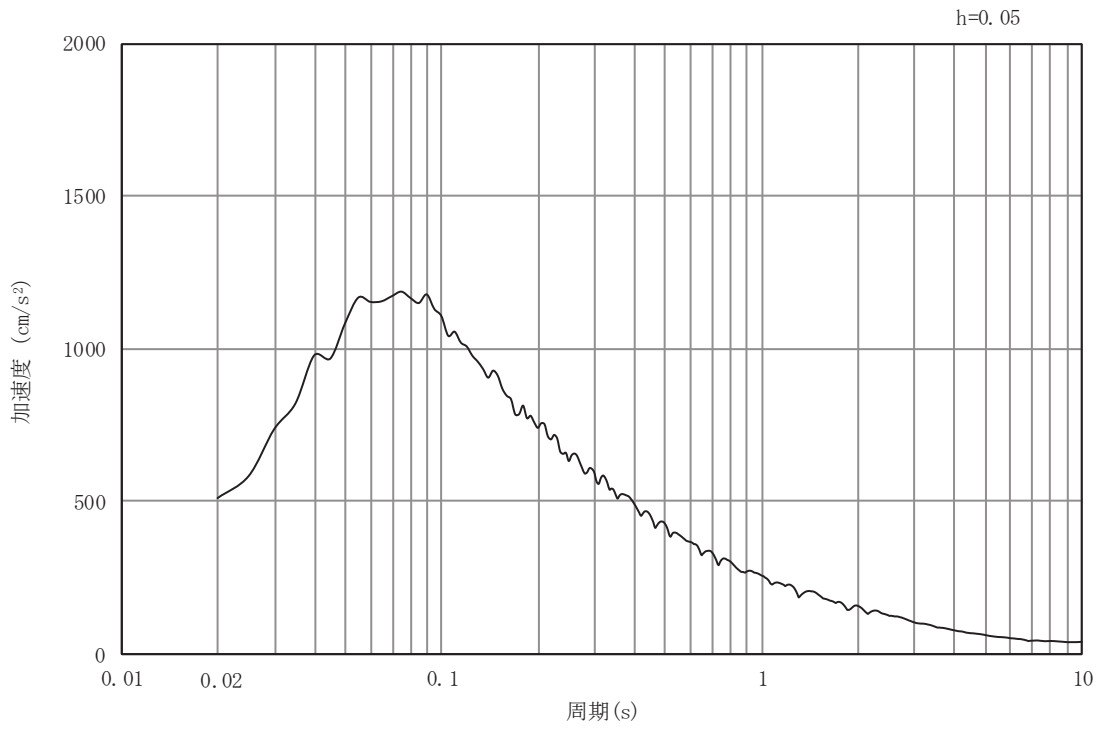


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - D 3)

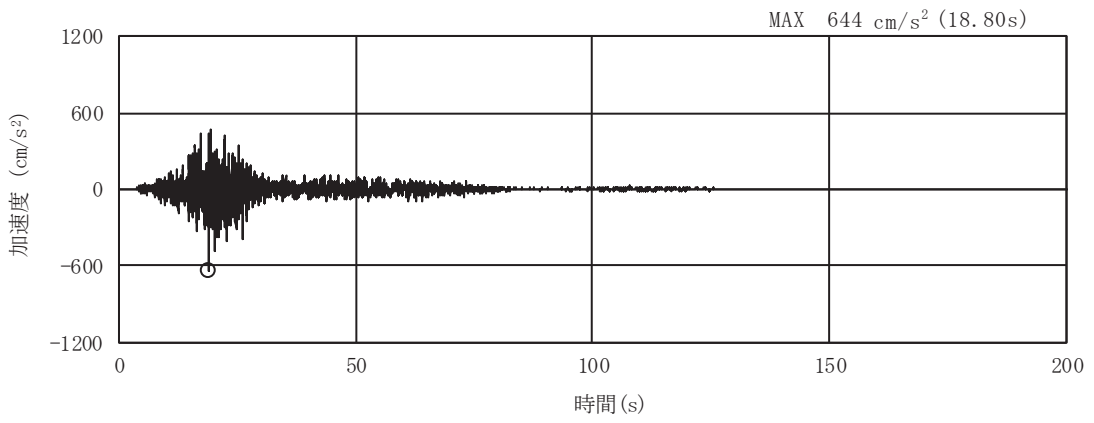


(a) 加速度時刻歴波形

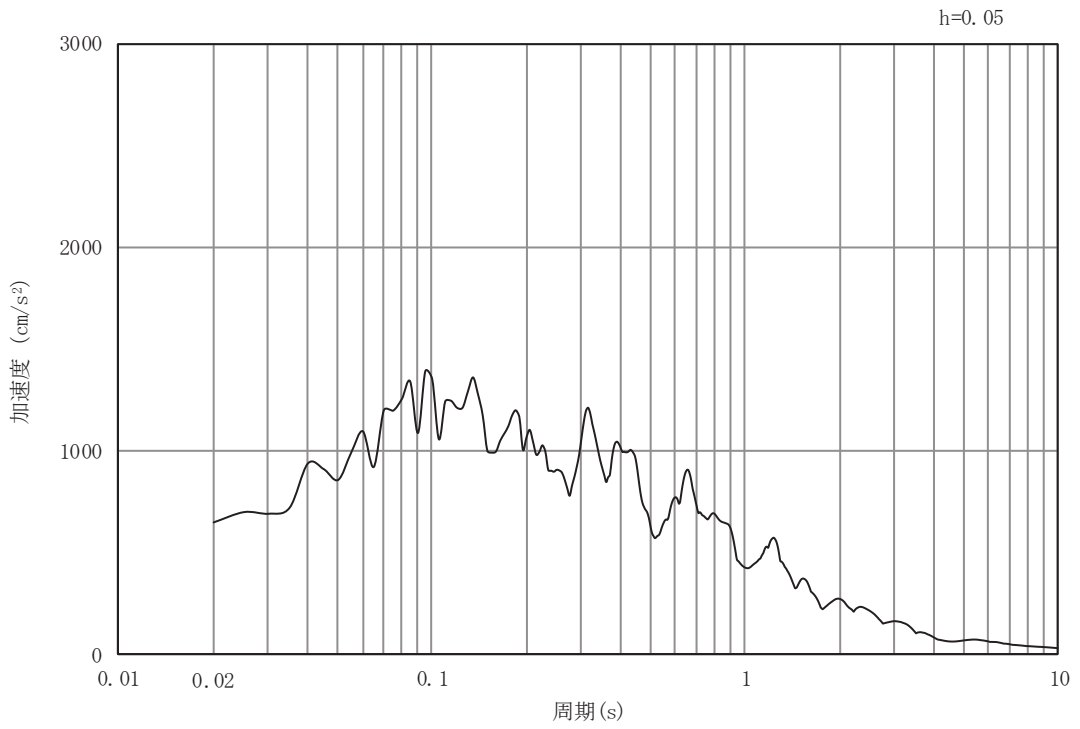


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - D 3)

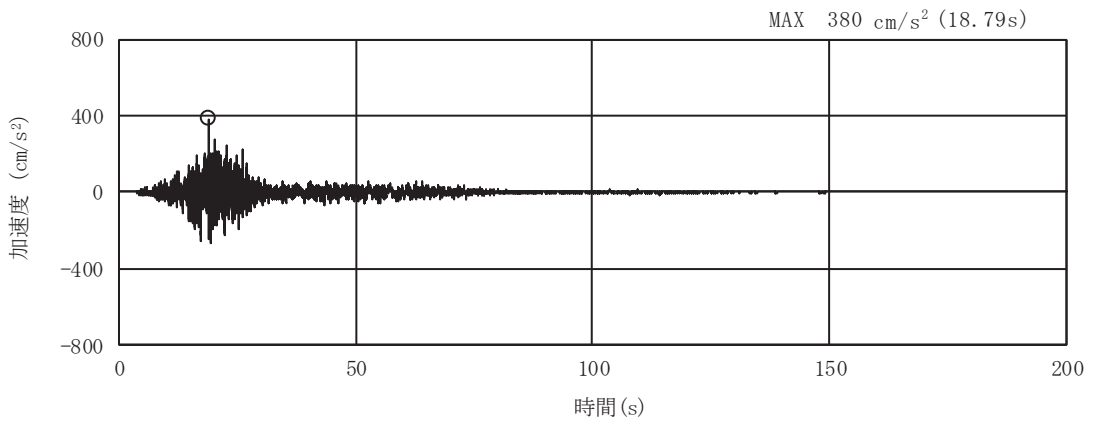


(a) 加速度時刻歴波形

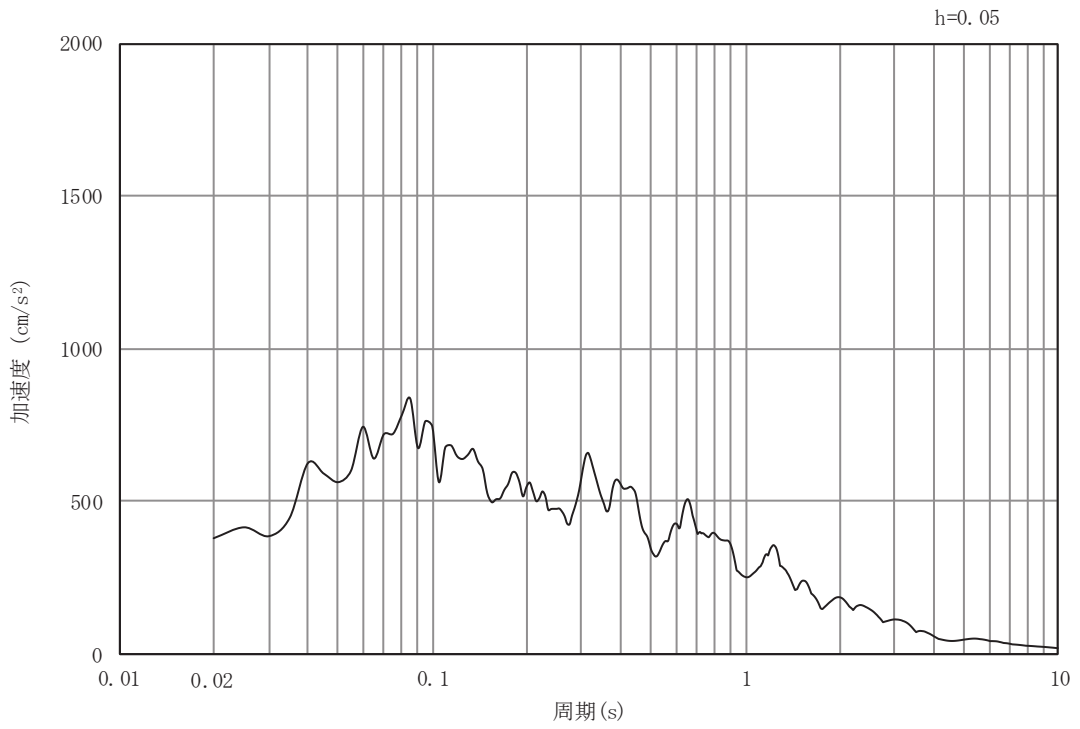


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 1)

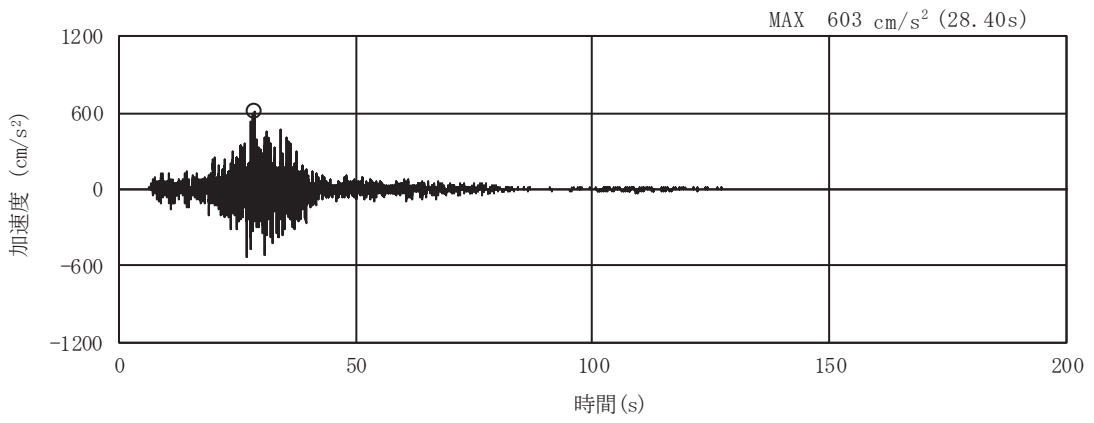


(a) 加速度時刻歴波形

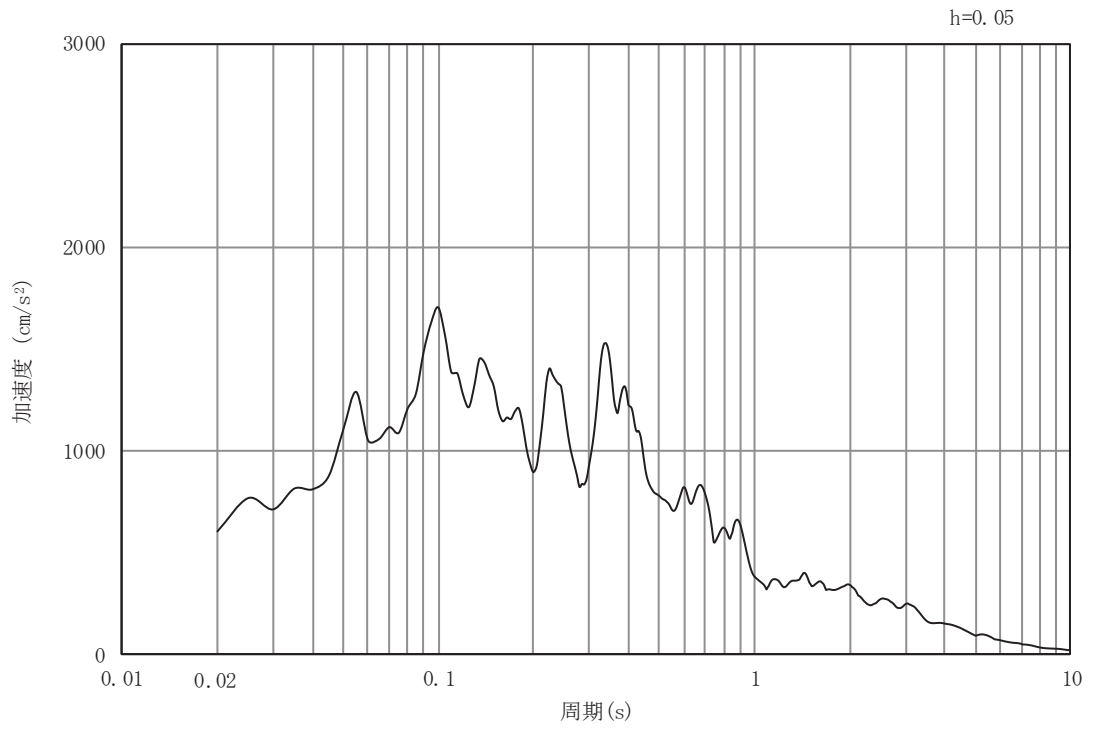


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - F 1)



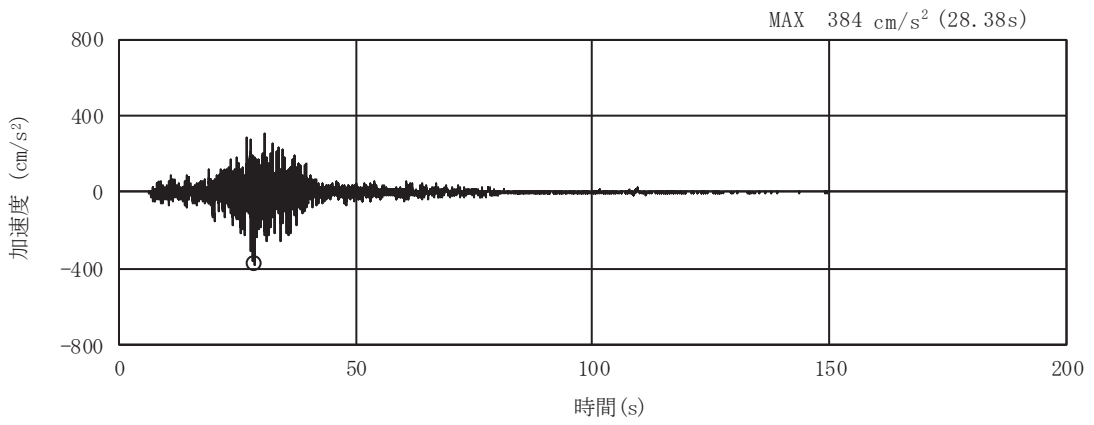
(a) 加速度時刻歴波形



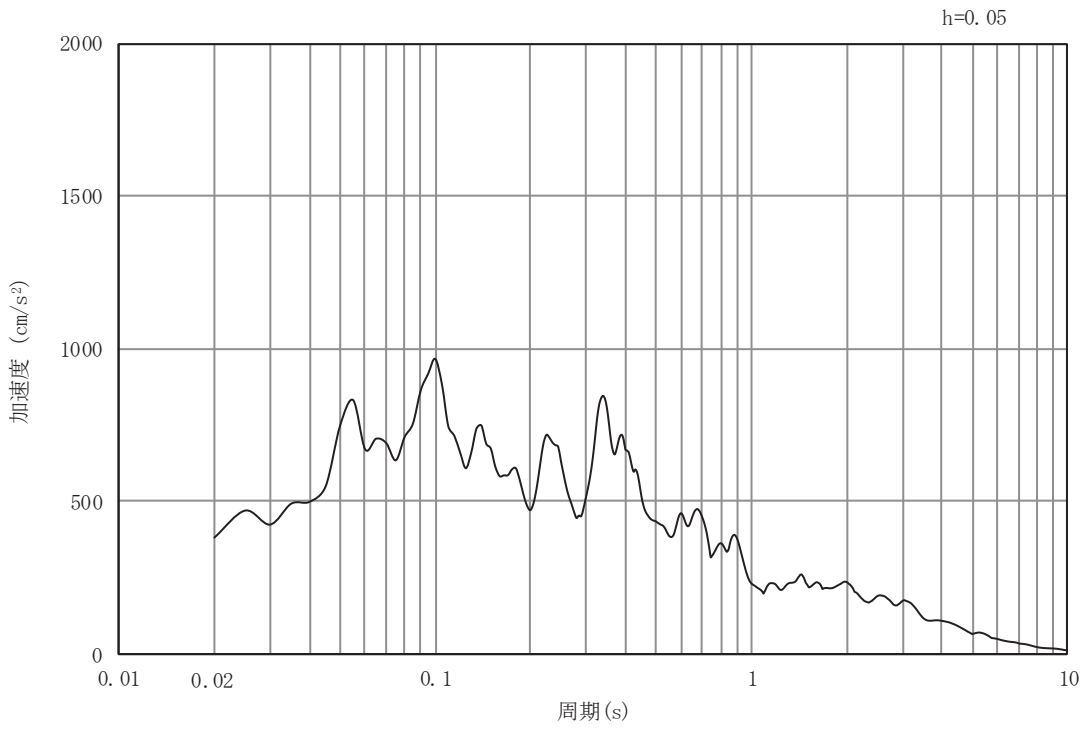
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 2)



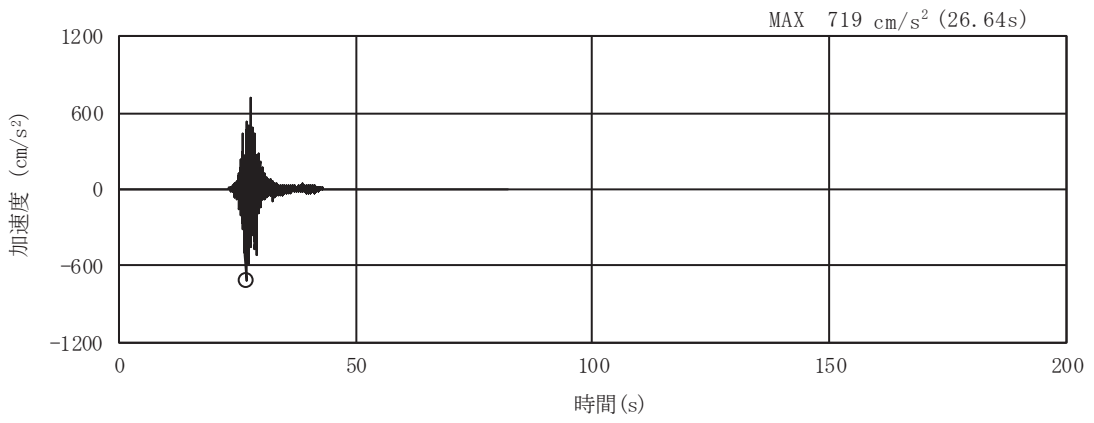


(a) 加速度時刻歴波形

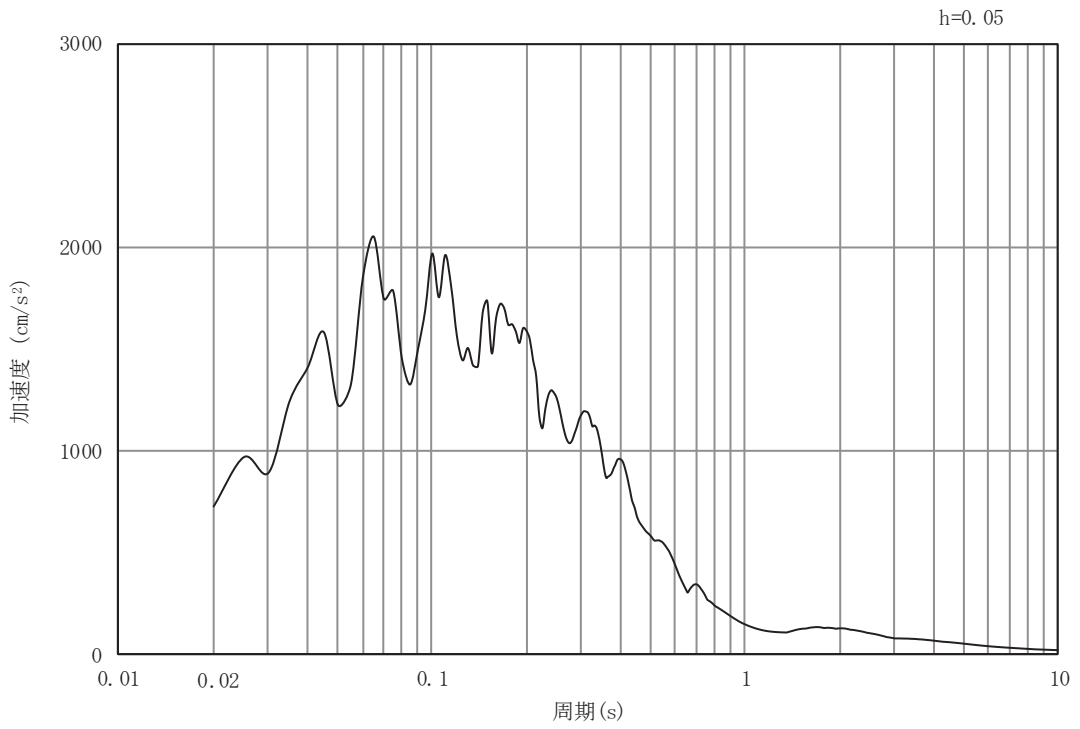


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - F 2)

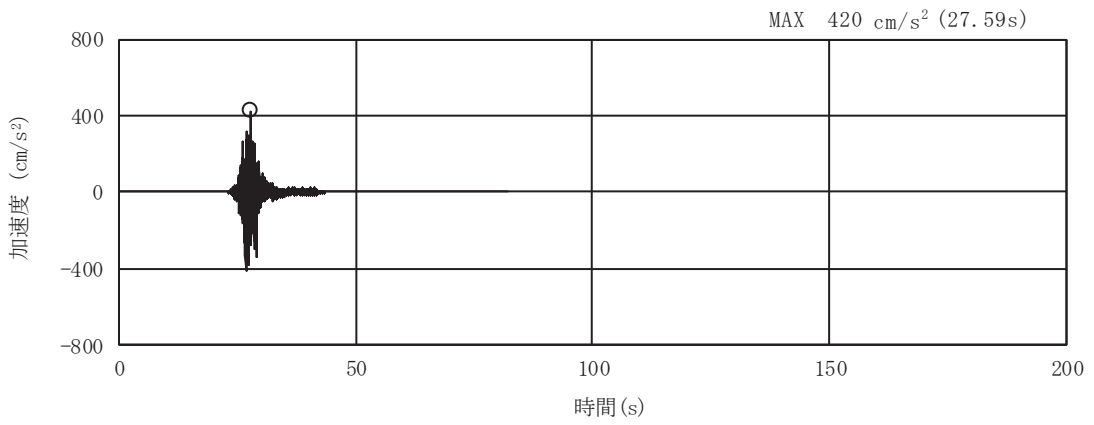


(a) 加速度時刻歴波形

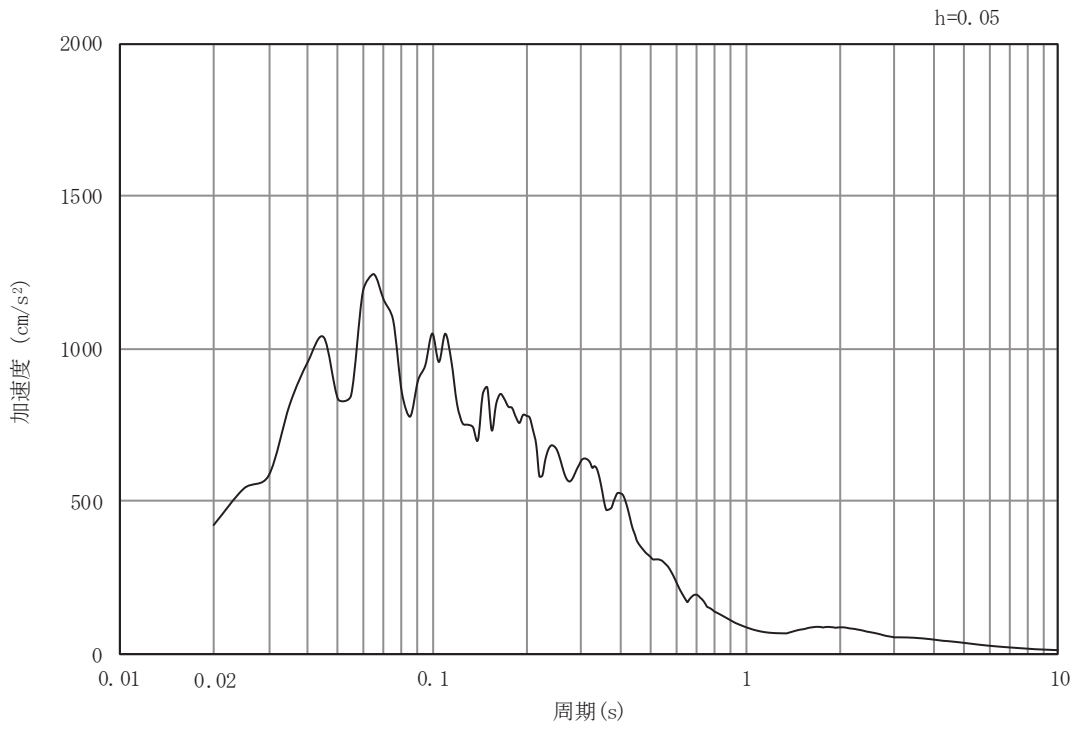


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 3)

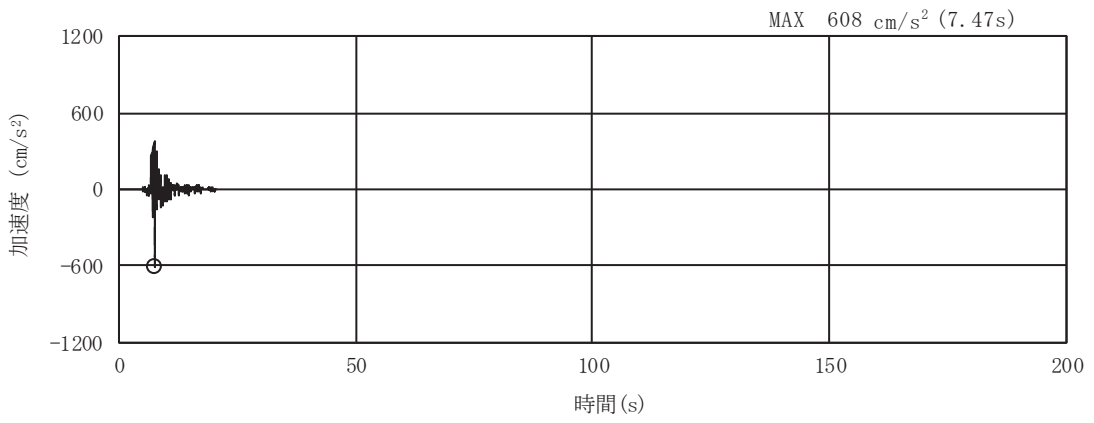


(a) 加速度時刻歴波形

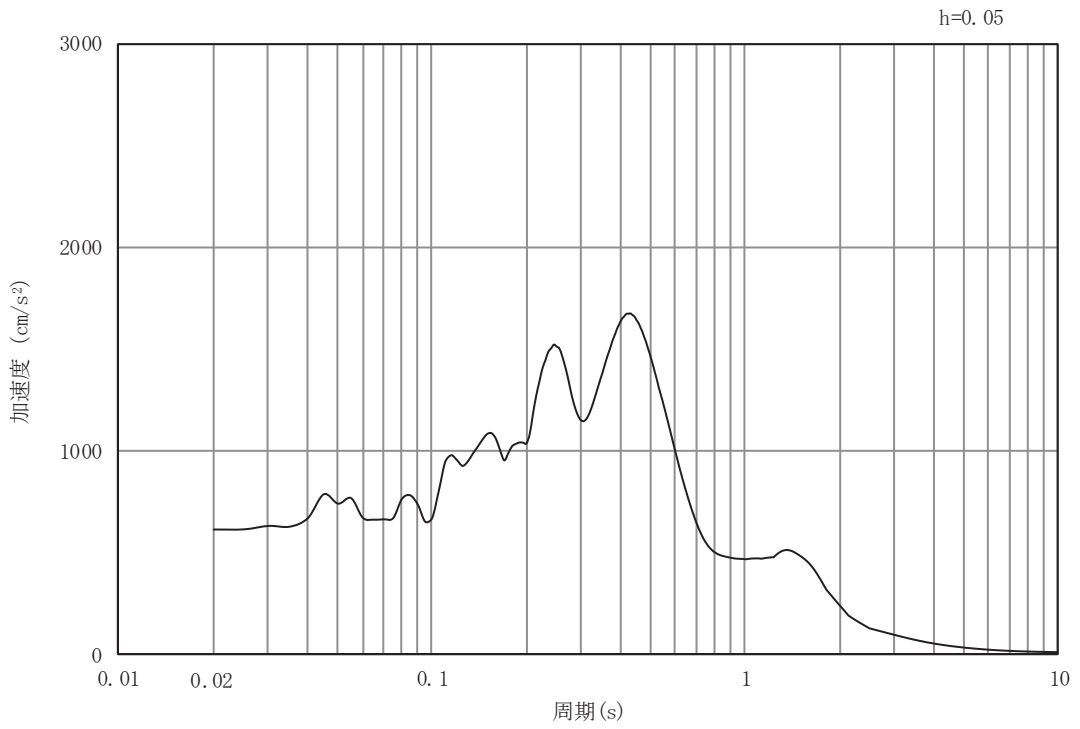


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - F 3)

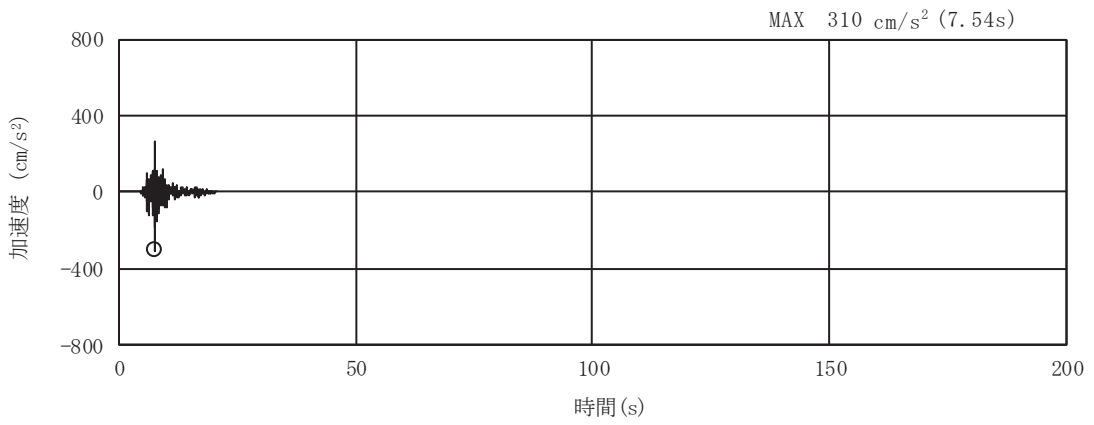


(a) 加速度時刻歴波形

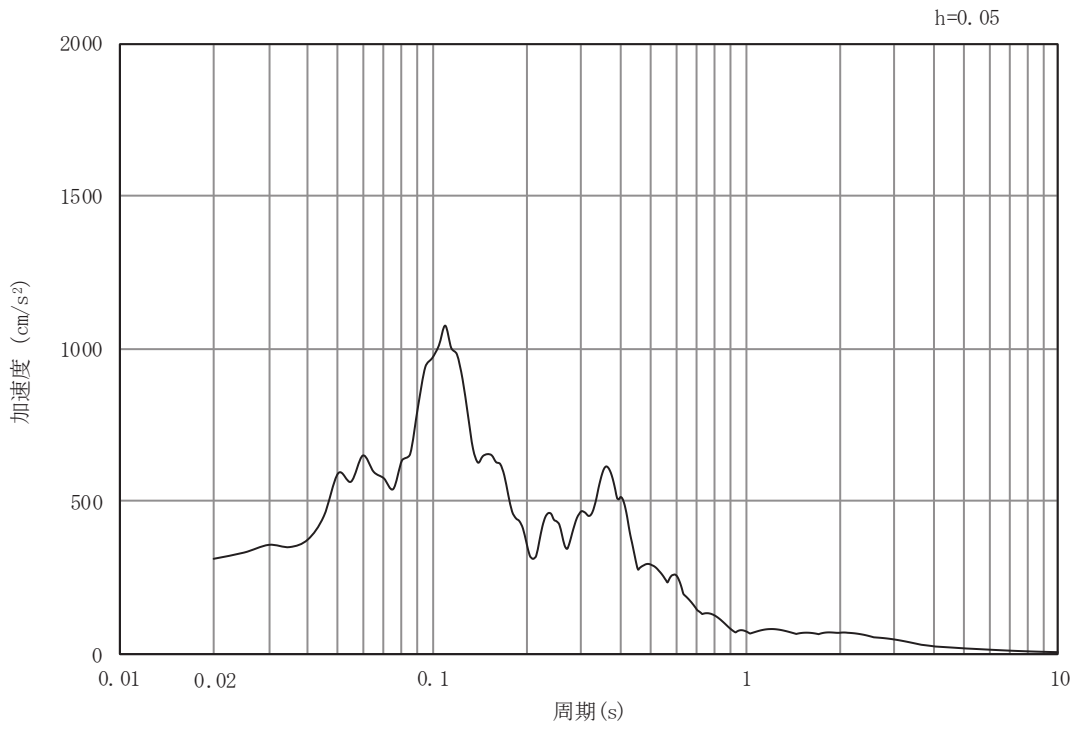


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - N 1)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

北側排水路の地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

##### (1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

構造部材については、線形はり要素によりモデル化する。なお、構造部材である北側排水路は図 3-1 に示すとおり評価対象断面に対して斜めに位置しており、側壁が実際の部材厚よりも厚くなることから、モデル化に当たっては北側排水路を直交する際の部材厚を考慮する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）について、鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）、背面補強工は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化し、防潮堤（盛土堤防）について、セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D<sub>2</sub>級岩盤、改良地盤は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の「背面補強工と背面補強工」、「改良地盤と岩盤」、「改良地盤と背面補強工側面」、「セメント改良土と背面補強工側面」、「セメント改良土と改良地盤」、「セメント改良土と岩盤」及び「構造物（北側排水路）とセメント改良土」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。

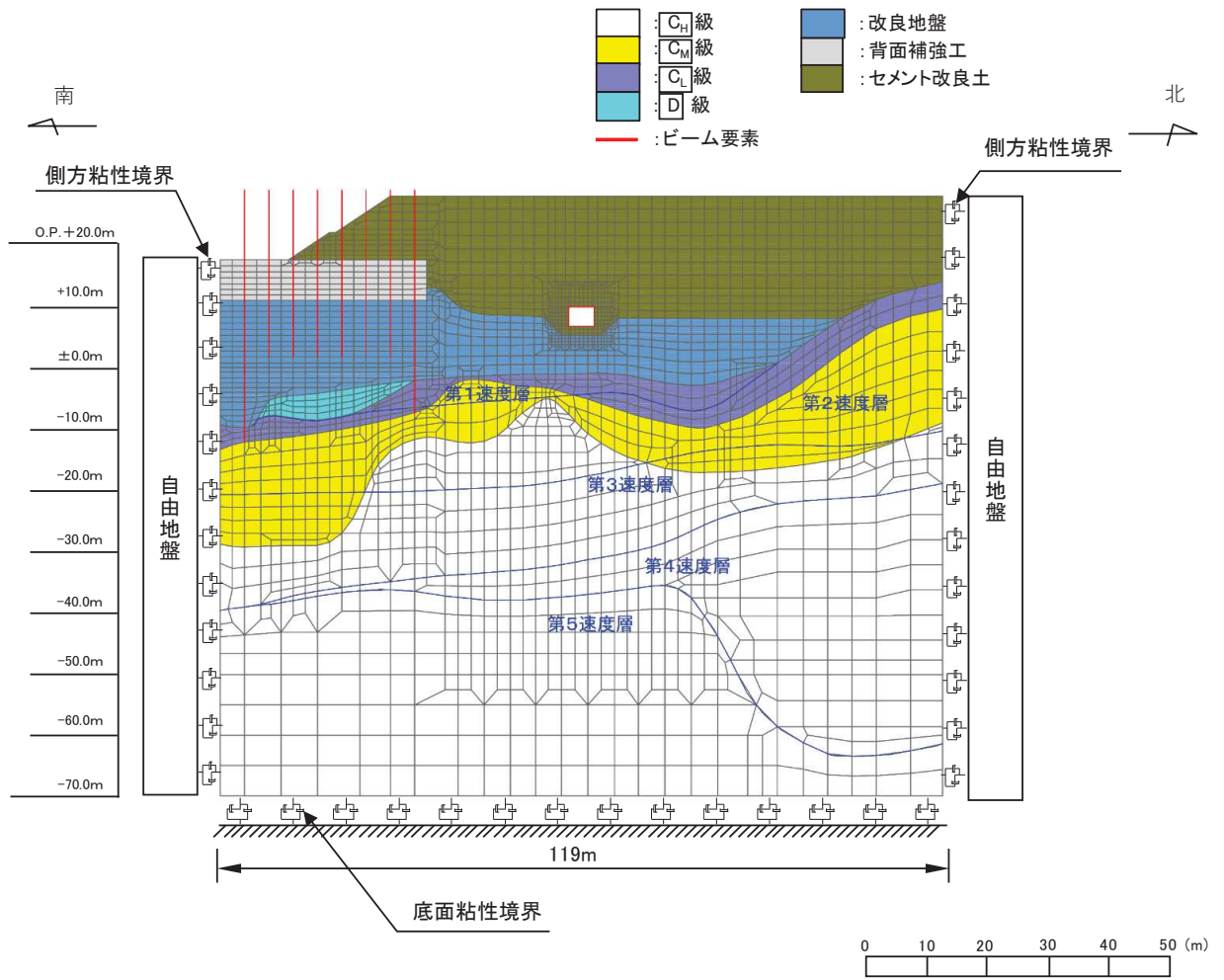


図 3-5 北側排水路の解析モデル (A-A 断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「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。

表 3-4 使用材料

材料	諸元
鉄筋	SD345 (せん断補強筋) SD390 (主筋)
コンクリート (構造部材)	設計基準強度 40N/mm <sup>2</sup>
コンクリート (背面補強工)	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>
鋼管杭	SM570, SKK490

表 3-5 材料の物性値

材料	項目	材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	24.0	
鉄筋	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.00×10 <sup>5</sup>	
コンクリート (構造部材)	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	3.10×10 <sup>4</sup>	解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比	0.2	
コンクリート (背面補強工)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	24.0	
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.80×10 <sup>4</sup>	
	ポアソン比	0.2	
鋼管杭 (SM570, SKK490)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	77.0	
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.00×10 <sup>5</sup>	
	ポアソン比	0.3	



### 3.5.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「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。

### 3.5.4 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 3-2 及び表 3-6 に示す。

表 3-6 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
北側排水路	A-A 断面	防潮堤（鋼管式鉛直壁）部分は O.P. +1.43m（朔望平均満潮位），防潮堤（盛土堤防）は O.P. +13.8m に設定する。

### 3.6 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界

##### (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度を限界値とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 3-7 及び表 3-8 に示す。

表 3-7 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
$f'_{ck}=40.0$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma'_{ca}$	14.0	21.0
	許容せん断応力度 $\tau_{a1}$	0.55	0.825

注記\*：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）により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 3-8 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
SD345	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294
SD390	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	206	309

注記\*：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）により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

##### (2) せん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は、短期許容応力度を限界値とする。表 3-7 及び表 3-8 に示すコンクリート及び鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

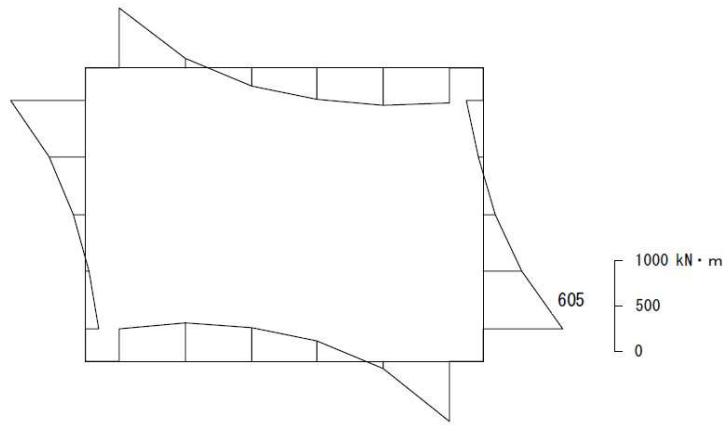
### 3.7 評価方法

北側排水路の耐震評価は，地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.6 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

#### 3.7.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査について，地震応答解析により算定した照査用応答値が，許容限界以下であることを確認する。

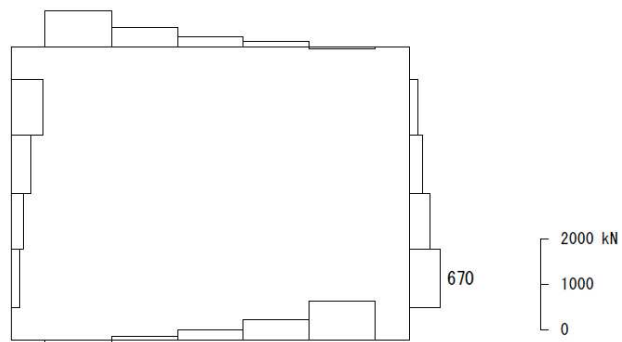
曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-6 に，せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図 3-7 に示す。



数值：評価位置における断面力  
 (a) 曲げモーメント (kN・m)

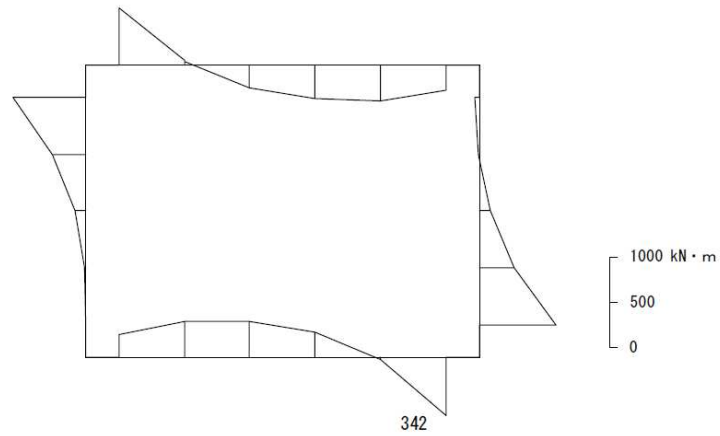


数值：評価位置における断面力  
 (b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)

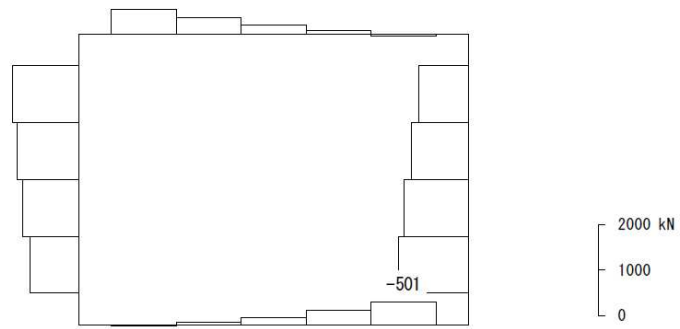


数值：評価位置における断面力  
 (c) せん断力 (kN)

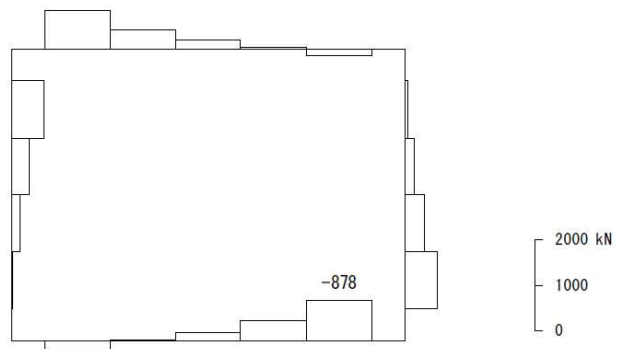
図 3-6 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力  
 (A-A 断面，S s - D 2 (-+)，t=13.56s)  
 (解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



数值：評価位置における断面力  
(a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力  
(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数值：評価位置における断面力  
(c) せん断力 (kN)

図 3-7 せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力  
(A-A 断面, S s - D 2 (-+), t=8.47s)  
(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 4-1 及び表 4-2 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値を表 4-3 に示す。また、北側排水路の評価位置図を図 4-1 に示す。

北側排水路の発生応力度及びせん断力が、構造部材の許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (A-A 断面)

評価位置	地震動	解析 ケース	発生断面力		発生 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca}$	
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)				
頂版	③	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	-413	-700	5.2	21	0.25
側壁	②	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	605	-1367	8.4	21	0.40
底版	④	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	391	-746	4.9	21	0.24

表 4-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (A-A 断面)

評価位置	地震動	解析 ケース	発生断面力		発生 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$	
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)				
頂版	③	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	404	180	118	309	0.39
側壁	②	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	604	-1344	84	309	0.28
底版	④	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	-391	194	115	309	0.38

表 4-3 せん断破壊に対する照査における最大照査値 (A-A 断面)

評価位置	地震動	解析 ケース	発生せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>	
頂版	③	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	830	1171	0.71
側壁	②	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	724	1141	0.64
底版	④	S <sub>s</sub> -D2(-+)	③	879	1171	0.76

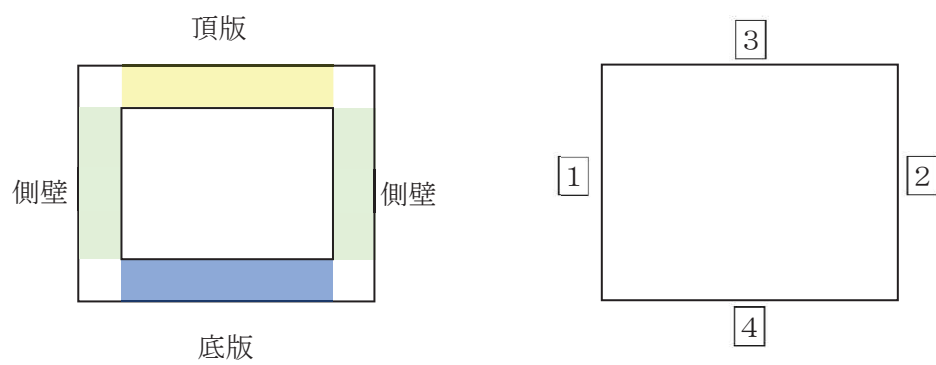


图 4-1 評估位置

VI-2-11-2-20 アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））  
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	4
2.4	適用基準	7
3.	耐震評価	8
3.1	評価対象断面	8
3.2	解析方法	10
3.2.1	構造部材	10
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	10
3.2.3	減衰定数	10
3.2.4	解析ケース	10
3.3	荷重及び荷重の組合せ	12
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	12
3.3.2	荷重	12
3.3.3	荷重の組合せ	13
3.4	入力地震動	14
3.5	解析モデル及び諸元	29
3.5.1	解析モデル	29
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	31
3.5.3	地盤の物性値	31
3.5.4	地下水位	31
3.6	評価対象部位	32
3.7	許容限界	33
3.7.1	セメント改良土	33
3.8	評価方法	34
3.8.1	セメント改良土	34
4.	耐震評価結果	35
4.1	セメント改良土	35

## 1. 概要

本資料は、添付書類「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、防潮堤（盛土堤防）と一体であるアクセスルート（防潮堤（盛土堤防））（以下、「アクセスルート」という。）が上位クラス施設である防潮堤（盛土堤防）に対して、地震時に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

基準地震動 $S_s$ に対して地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価を実施することで、アクセスルートが十分な構造強度を有することを確認する。

なお、アクセスルートの耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

防潮堤（盛土堤防）と一体であるアクセスルートを図2-1に示す。

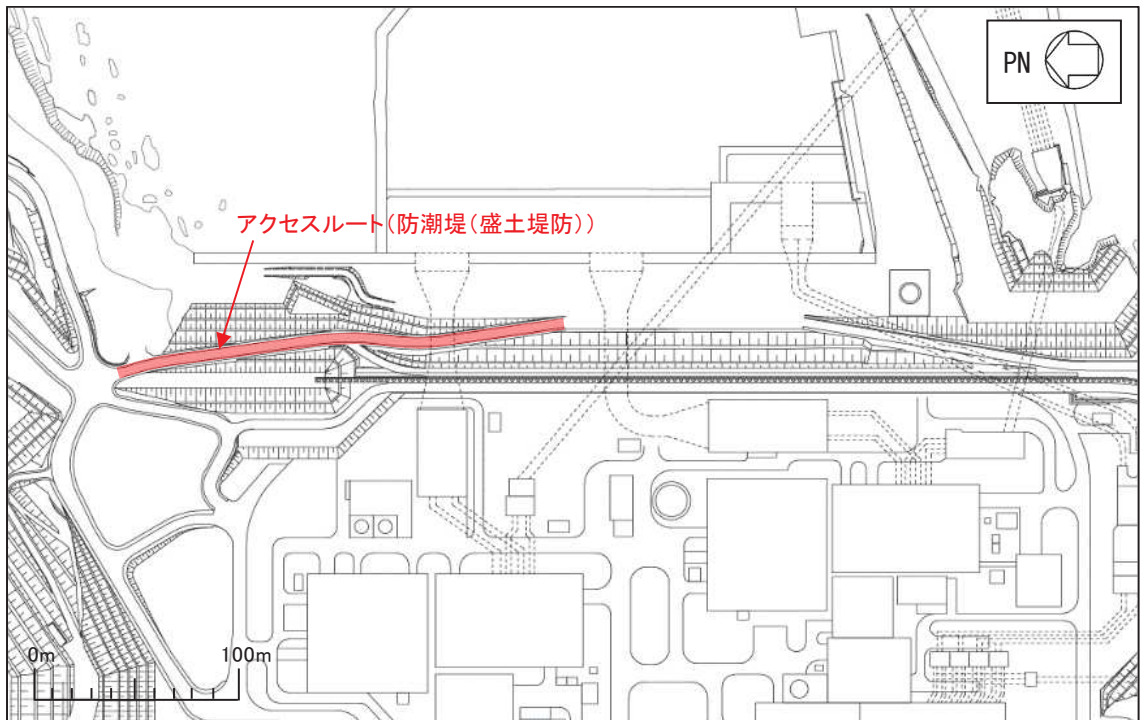


図2-1 アクセスルートの位置図

## 2.2 構造概要

アクセスルートは、防潮堤（盛土堤防）の海側に位置する幅約 6m の道路であり、防潮堤（盛土堤防）と一体構造である。

アクセスルートの構造図を図 2-2 に示す。

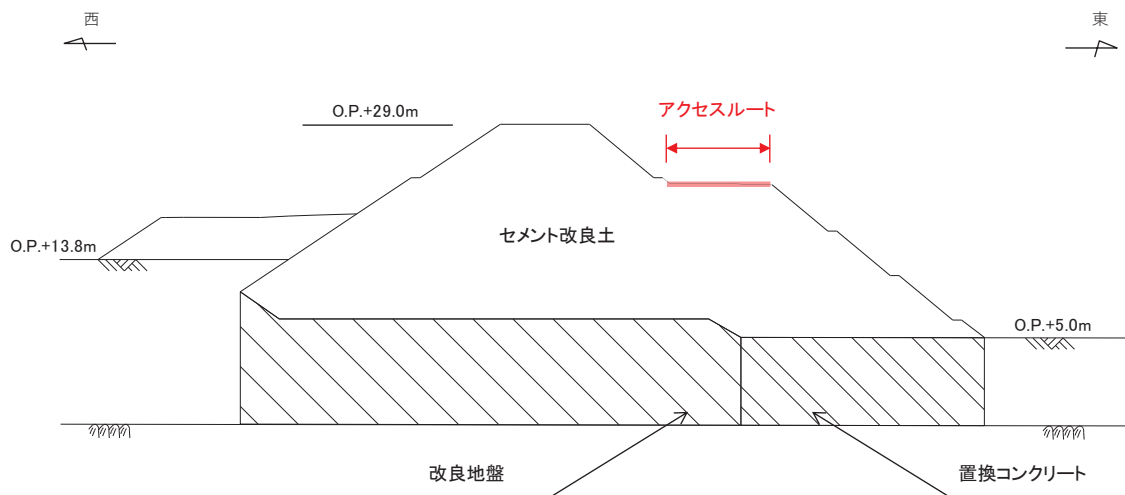


図 2-2 アクセスルートの構造図

### 2.3 評価方針

アクセスルートは、防潮堤（盛土堤防）と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響評価を行う。

アクセスルートの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

アクセスルートの波及的影響評価は、「3. 耐震評価」により得られた解析結果に基づき、表 2-1 のアクセスルートの評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の照査項目（すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

ここで、アクセスルートは、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、波及的影響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。

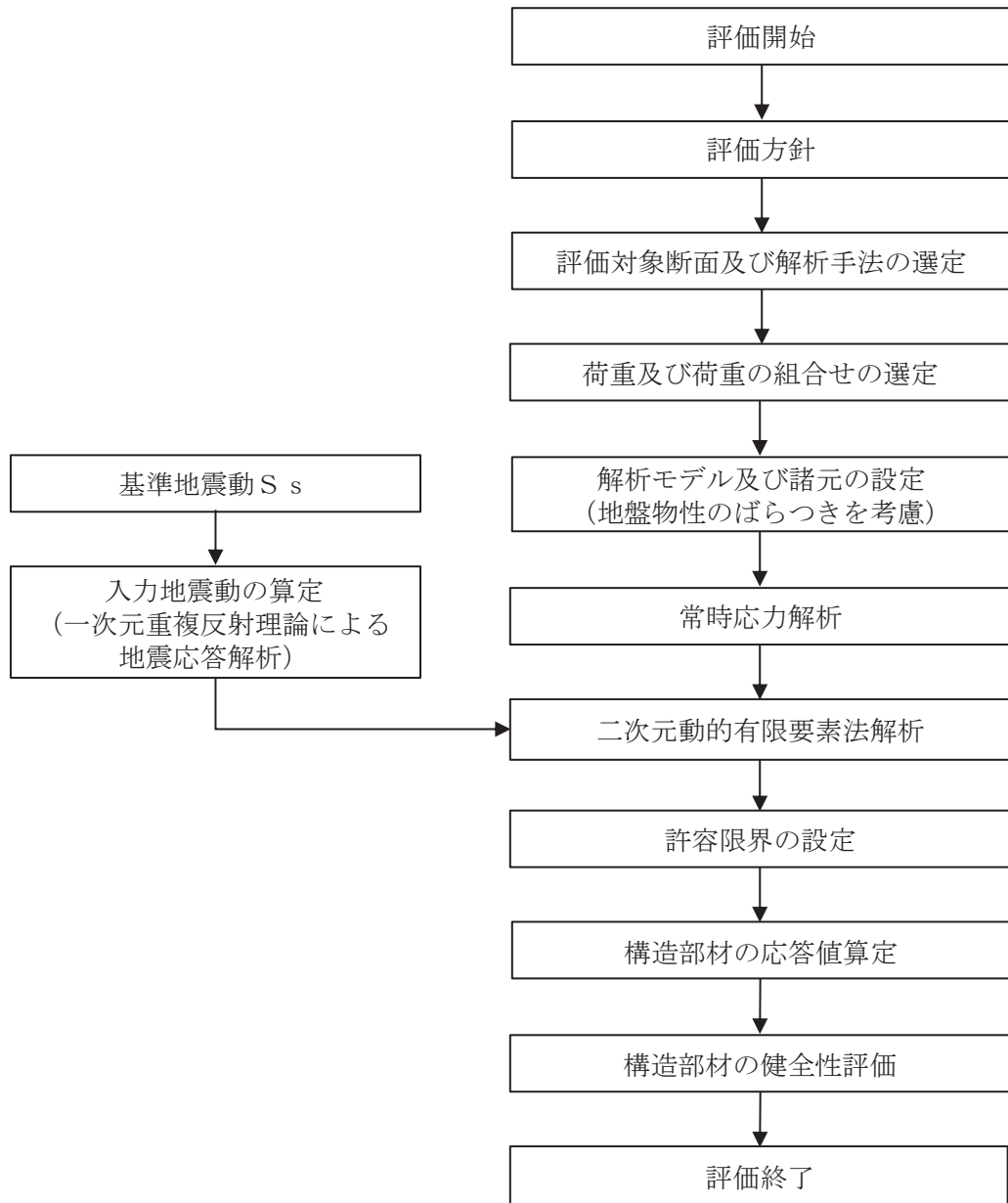


図 2-3 アクセスルートの耐震評価フロー

表 2-1 アクセスルートの評価項目

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	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定）を確認	すべり安全率 1.2 以上

## 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）
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年6月制定）（以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。）
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（日本電気協会）



### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

評価対象断面は、アクセスルートと一体である防潮堤（盛土堤防）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて、図3-1に示す断面位置とする。評価対象断面図を図3-2に示す。

A-A断面：セメント改良土が最も厚くなる箇所、 $C_M$ 級岩盤上面が最も深く、盛土及び旧表土が厚く堆積する箇所（添付書類「VI-2-10-2-2-2 防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書」の評価対象断面と同一）。

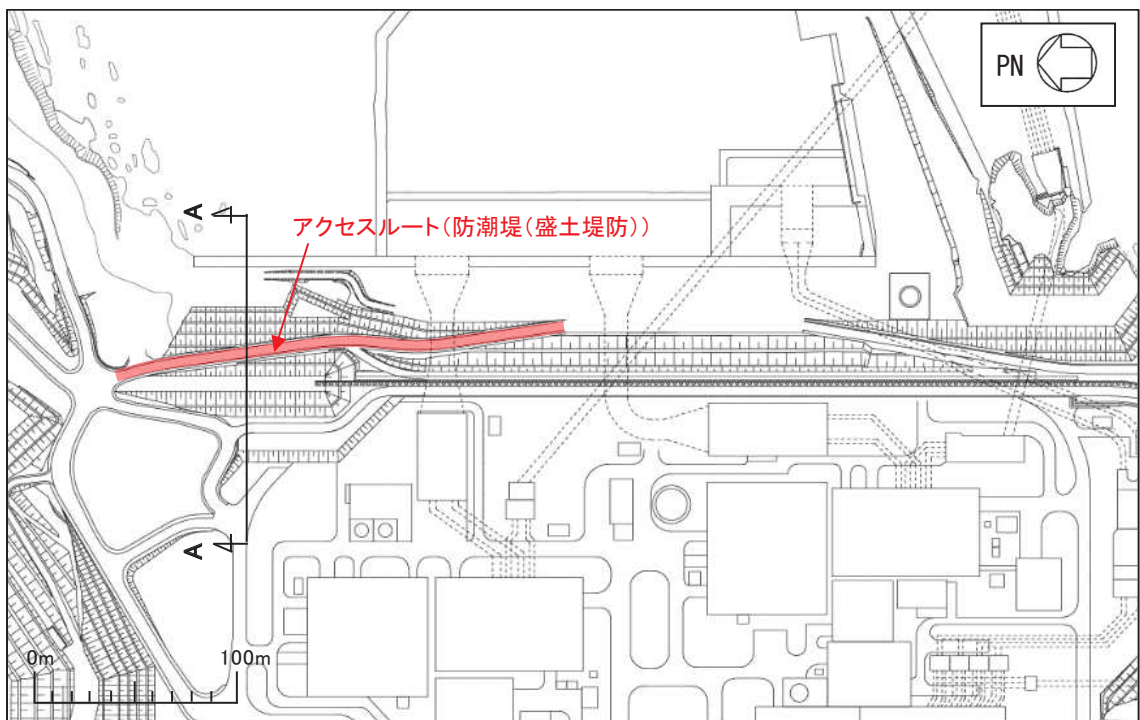


図3-1 アクセスルートの評価対象断面位置図

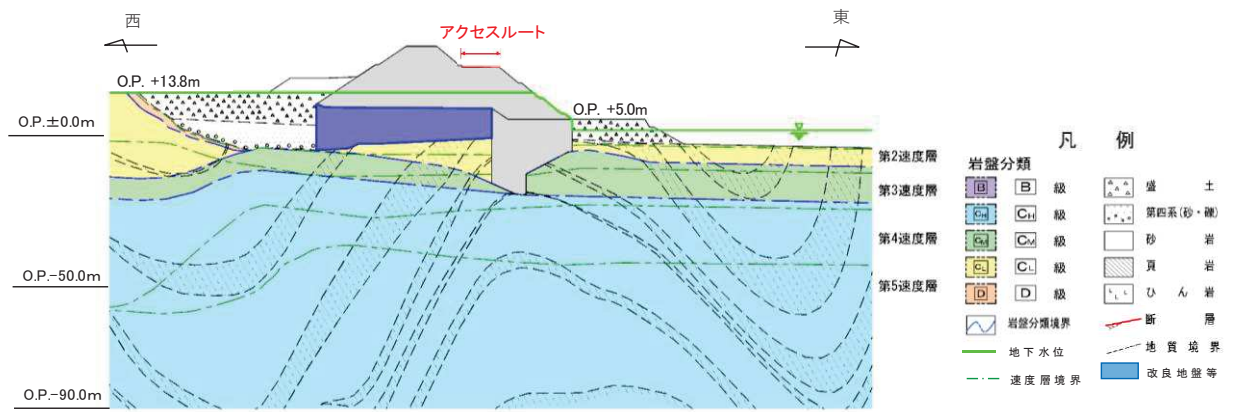


図 3-2 評価対象断面図 (A-A 断面)

### 3.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「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二次元動的有限要素法により、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を行う。また、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

地震応答解析には、上位クラス施設である防潮堤（盛土堤防）と同様に、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 構造部材

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

#### 3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3-2 に示すとおり、アクセスルートと一体である防潮堤（盛土堤防）の周辺には、主として旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時にアクセスルートの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3-1 に示す。

表 3-1 解析ケース（アクセスルート）

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, $D$ 級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	$C_L$ 級岩盤, $C_M$ 級岩盤, $C_H$ 級岩盤, $B$ 級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + $1\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - $1\sigma$	平均値

#### 3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ( $\alpha=0$ ,  $\beta=0.002$ ) とする。

#### 3.2.4 解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動  $S_s$  に対し、ケース①（基本ケース）を実施す

る。全ての基準地震動  $S_s$  に対して実施したケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3-1 に示すケース②～③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*	○	基準地震動 $S_s$ (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (13 波) を加えた全 20 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、すべり安全率及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。	
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - D 2$	++*	○		
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - D 3$	++*	○		
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - F 1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - F 2$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - F 3$	++*	○		
		-+*	○		
$S_s - N 1$	++*	○			
	-+*	○			

注記 \* : 地震動の位相について (++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

アクセスルート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

積雪及び風の影響を考慮する。

##### (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

アクセスルート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、防潮堤（盛土堤防）の自重を考慮する。

##### (2) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$ を考慮する。

##### (3) 積雪荷重( $P_s$ )

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 風荷重( $P_k$ )

風荷重については、設計基準風速を $30\text{m/s}$ とし、建築基準法に基づき算定する。

##### (5) 地震荷重( $S_s$ )

基準地震動 $S_s$ 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 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$P_k$  : 風荷重

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )

### 3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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  $S_s$  を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4 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「SHAKE Ver 1.6」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

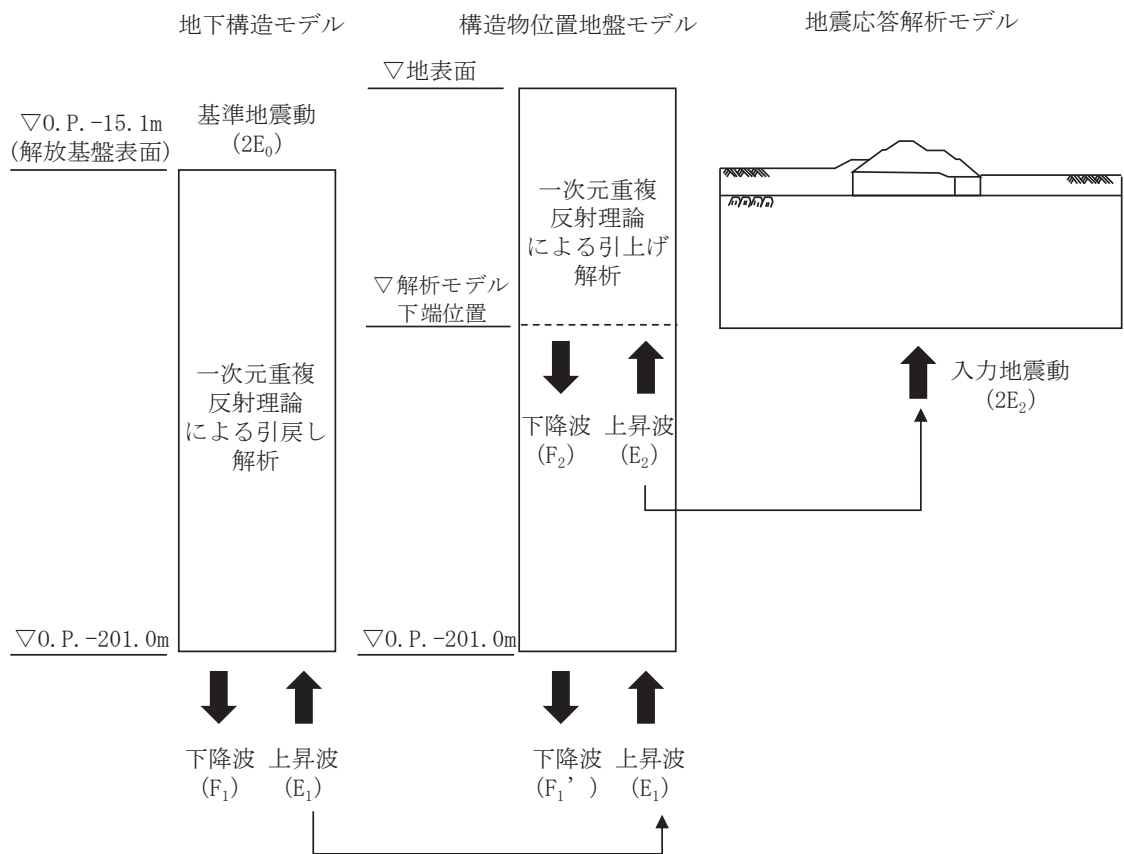
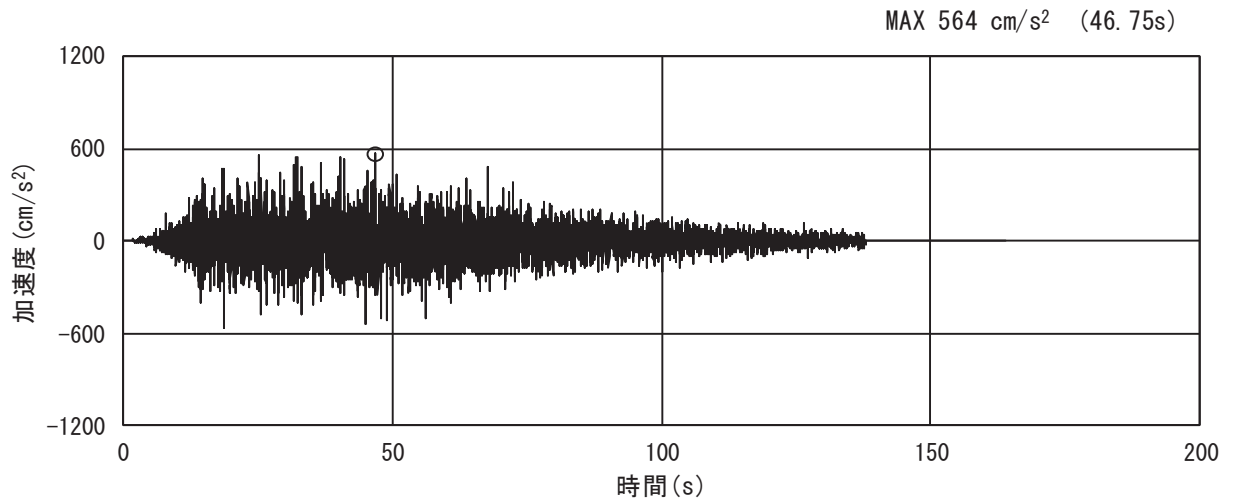
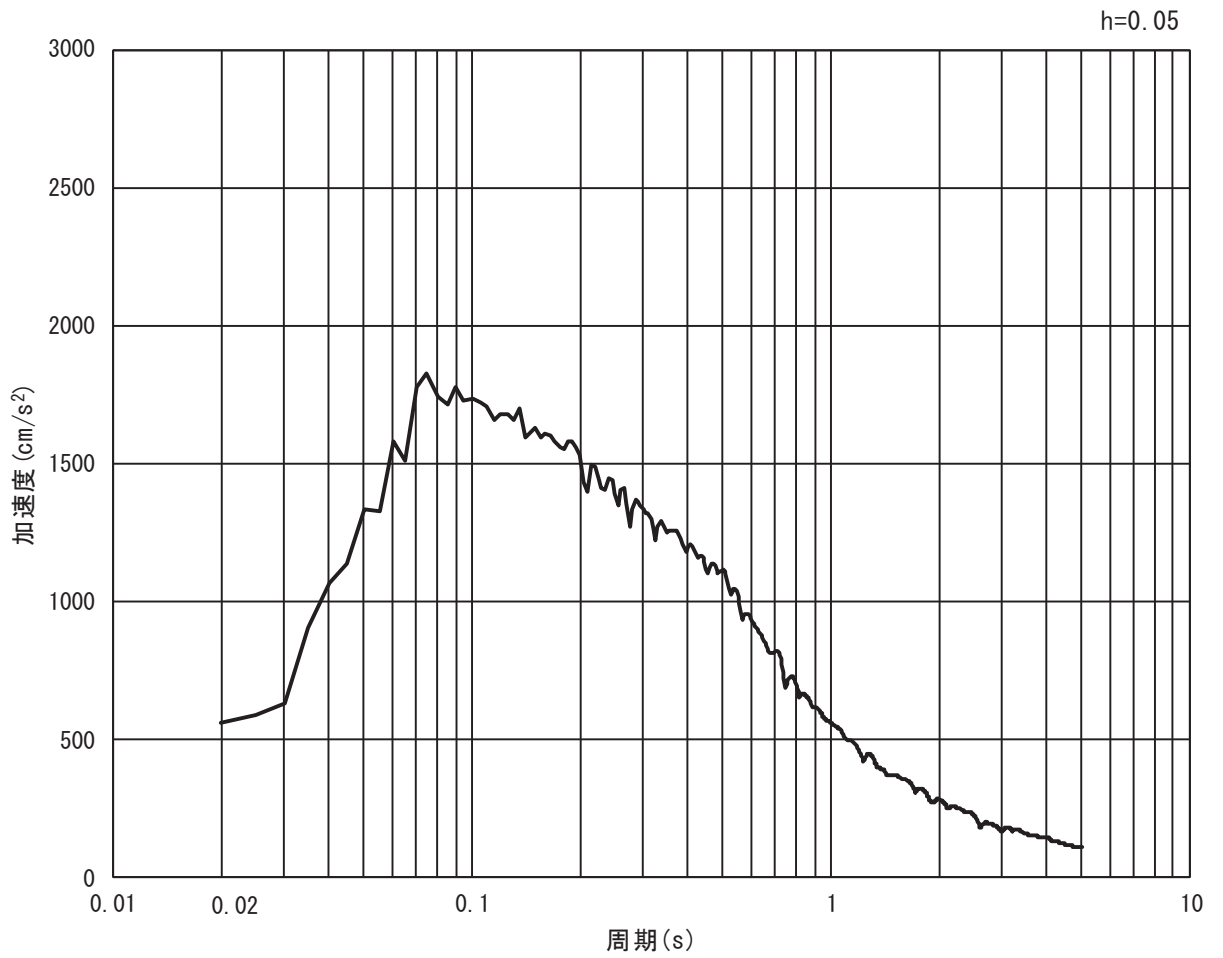


図 3-3 入力地震動算定の概念図



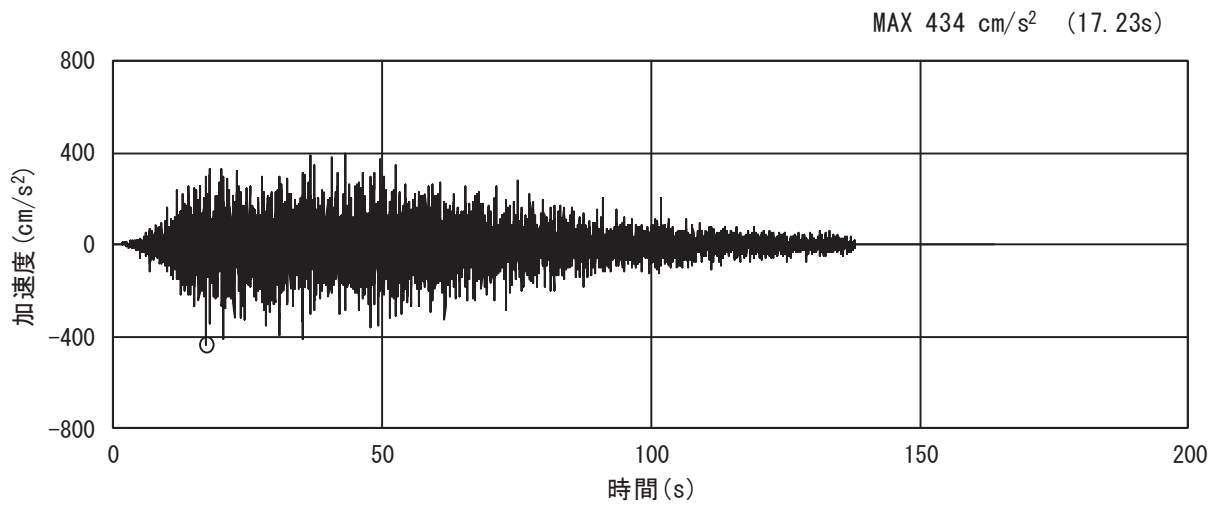
(a) 加速度時刻歴波形



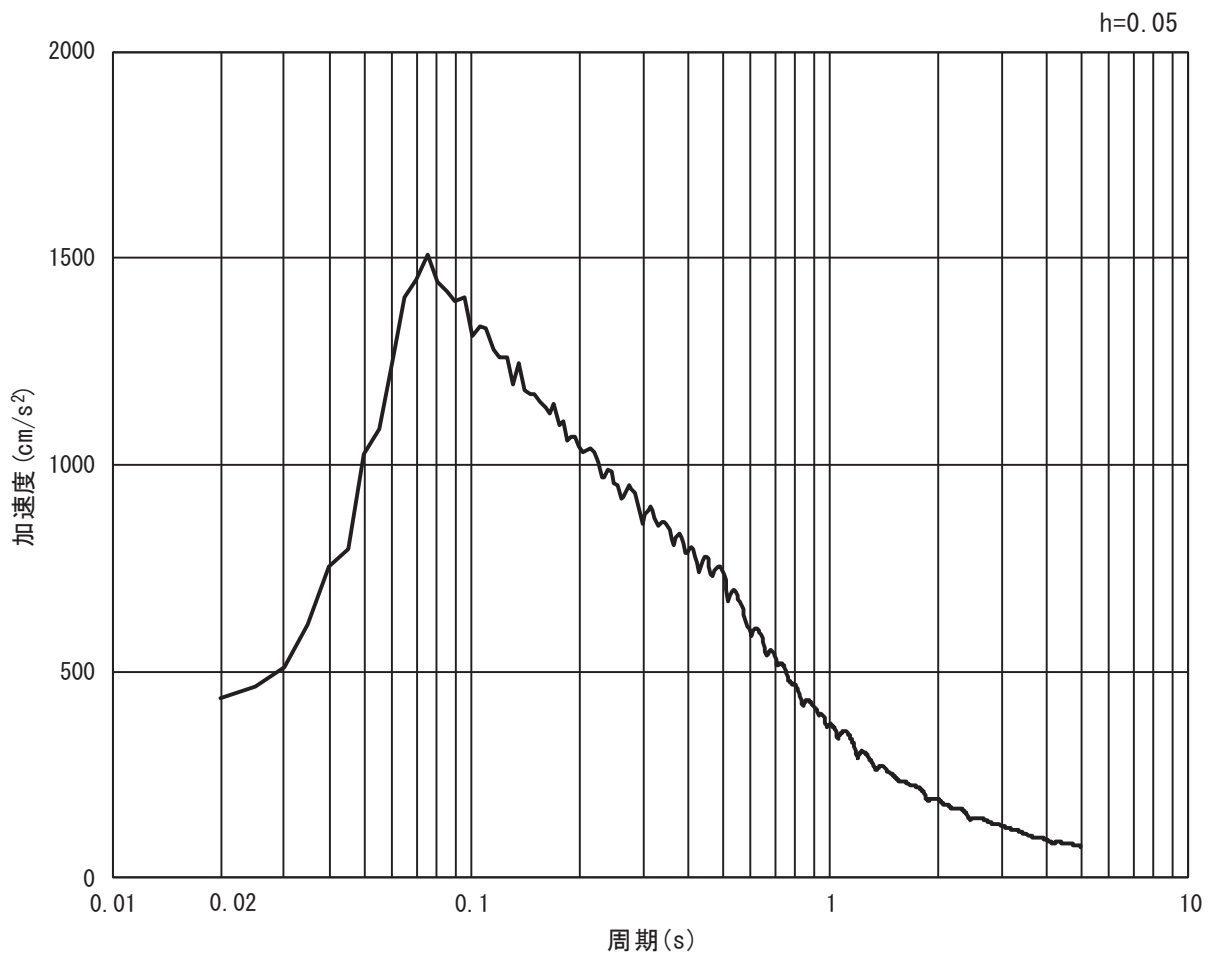
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - D 1)



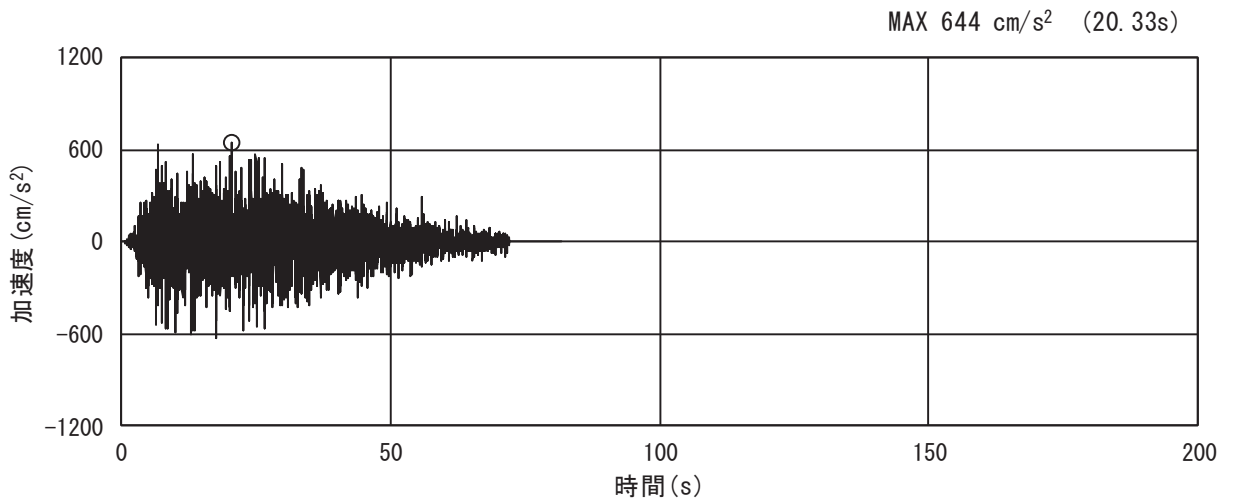


(a) 加速度時刻歴波形

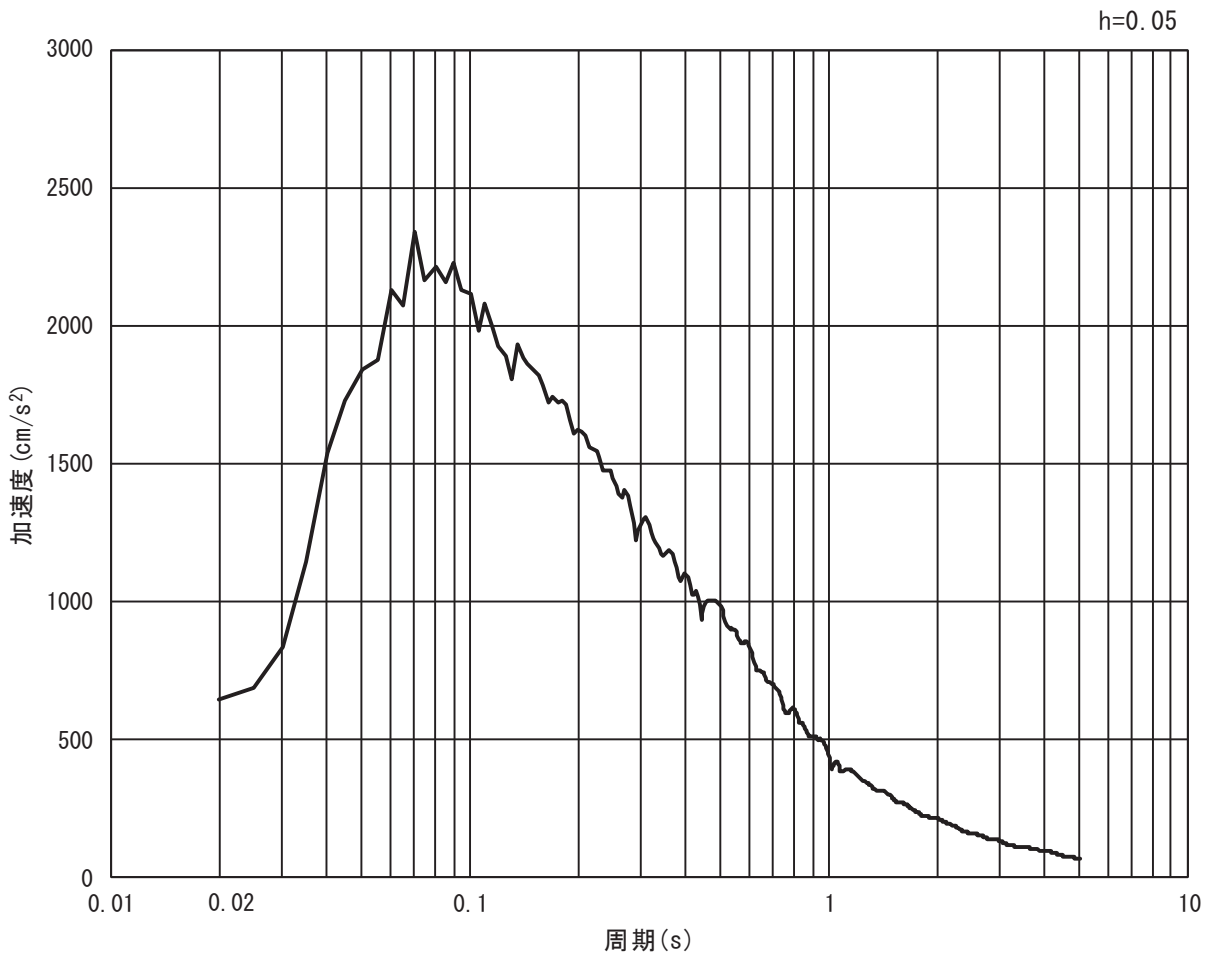


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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：S s - D 1)

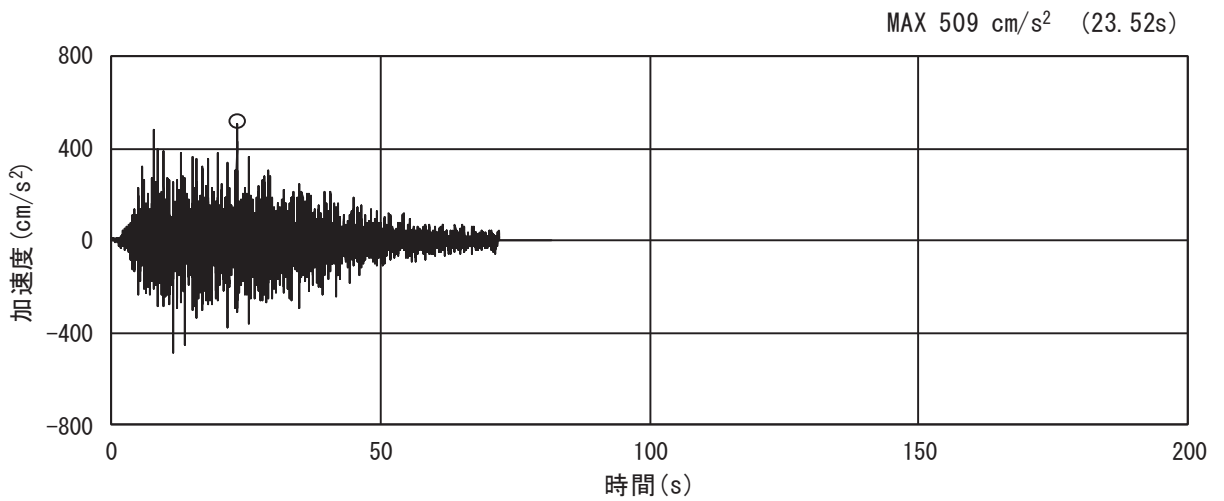


(a) 加速度時刻歴波形

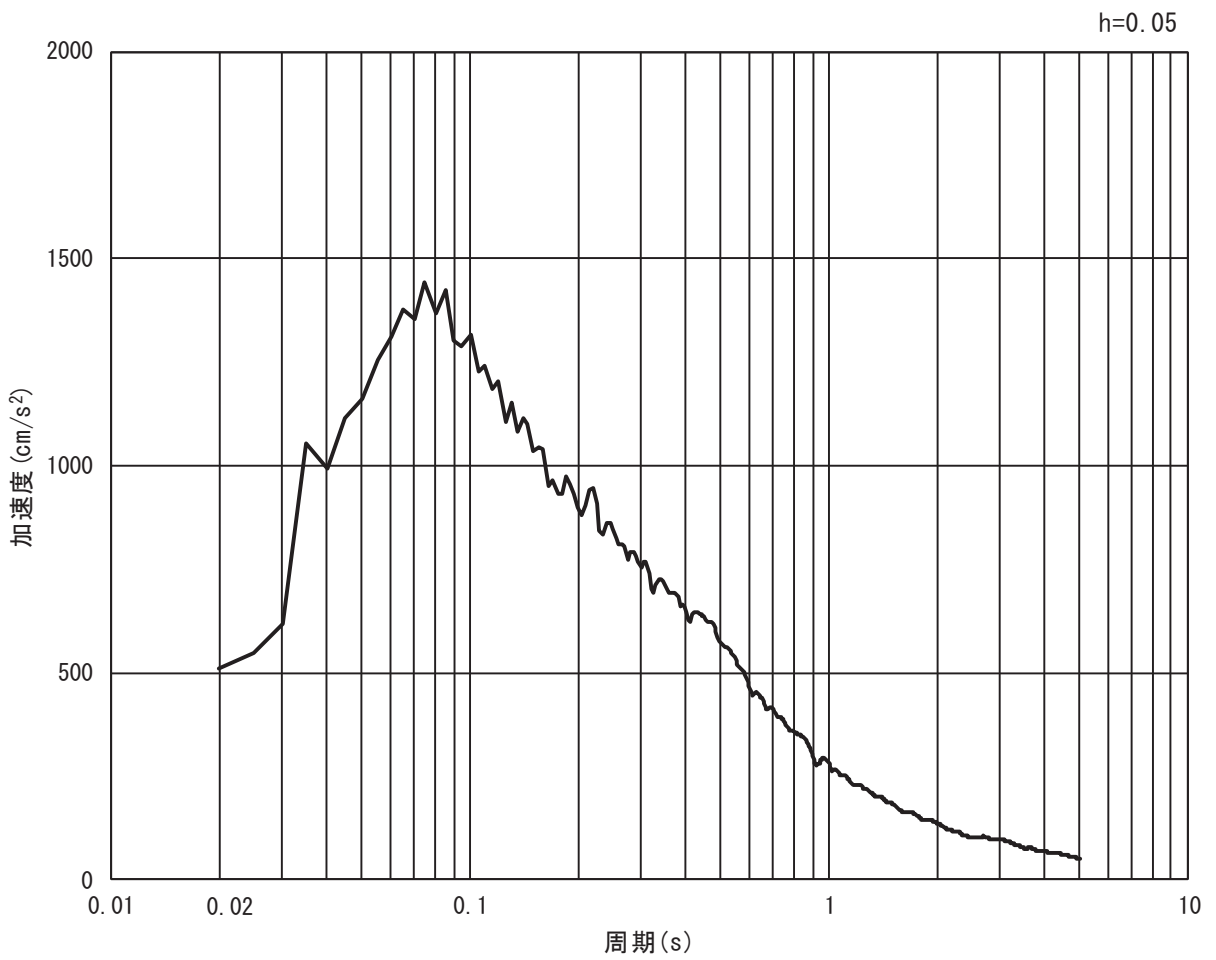


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - D 2)

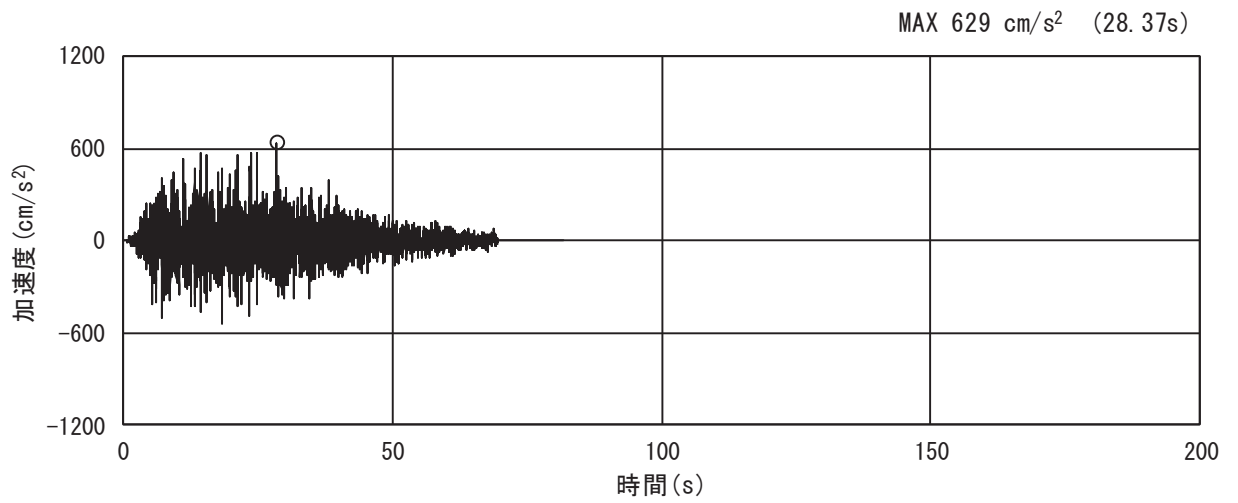


(a) 加速度時刻歴波形

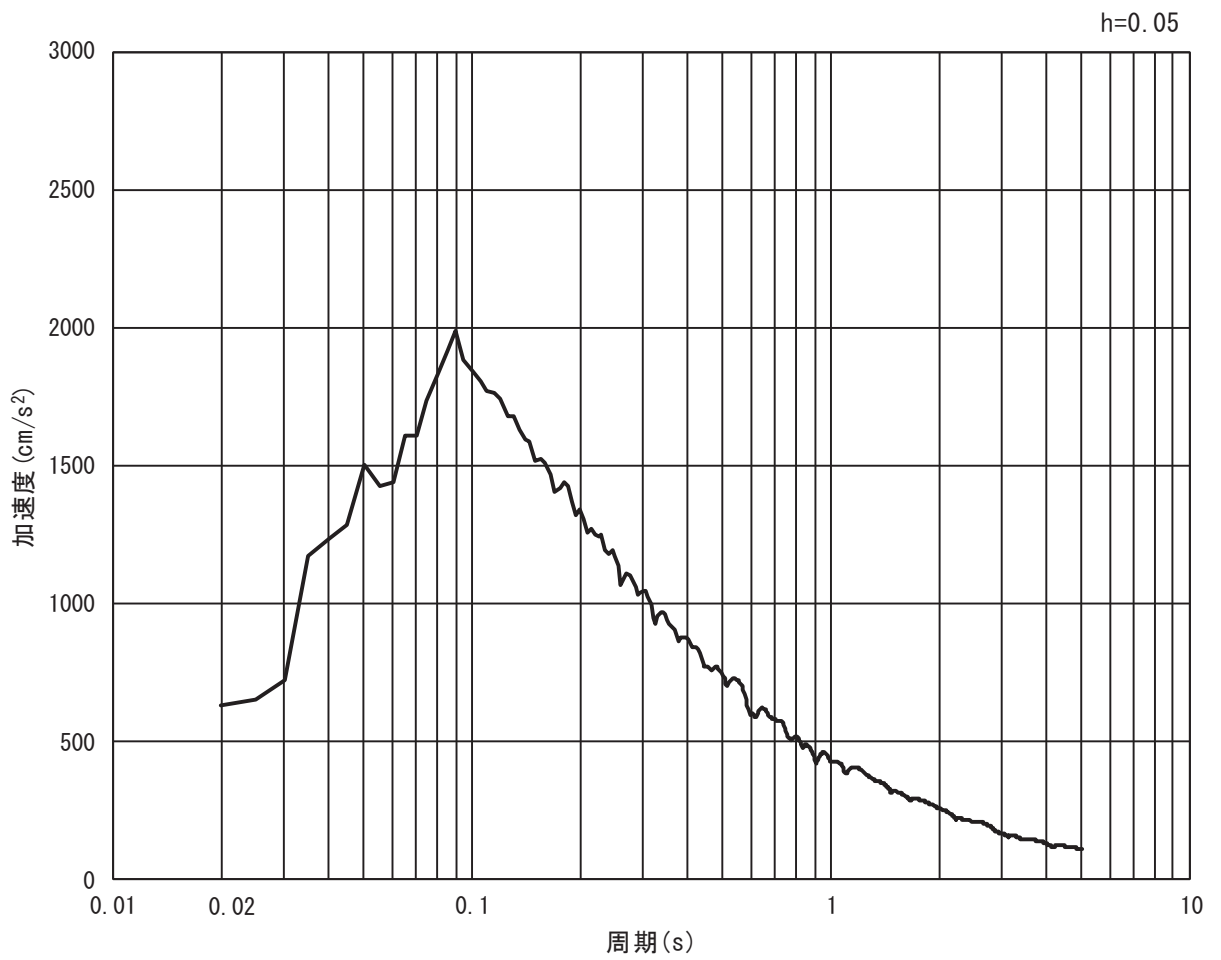


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - D 2)

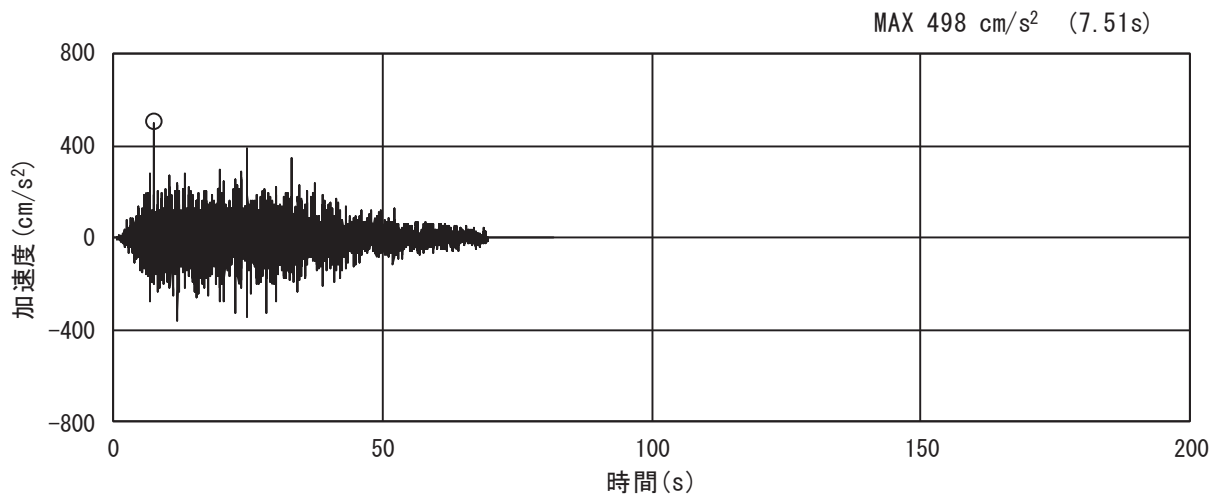


(a) 加速度時刻歴波形

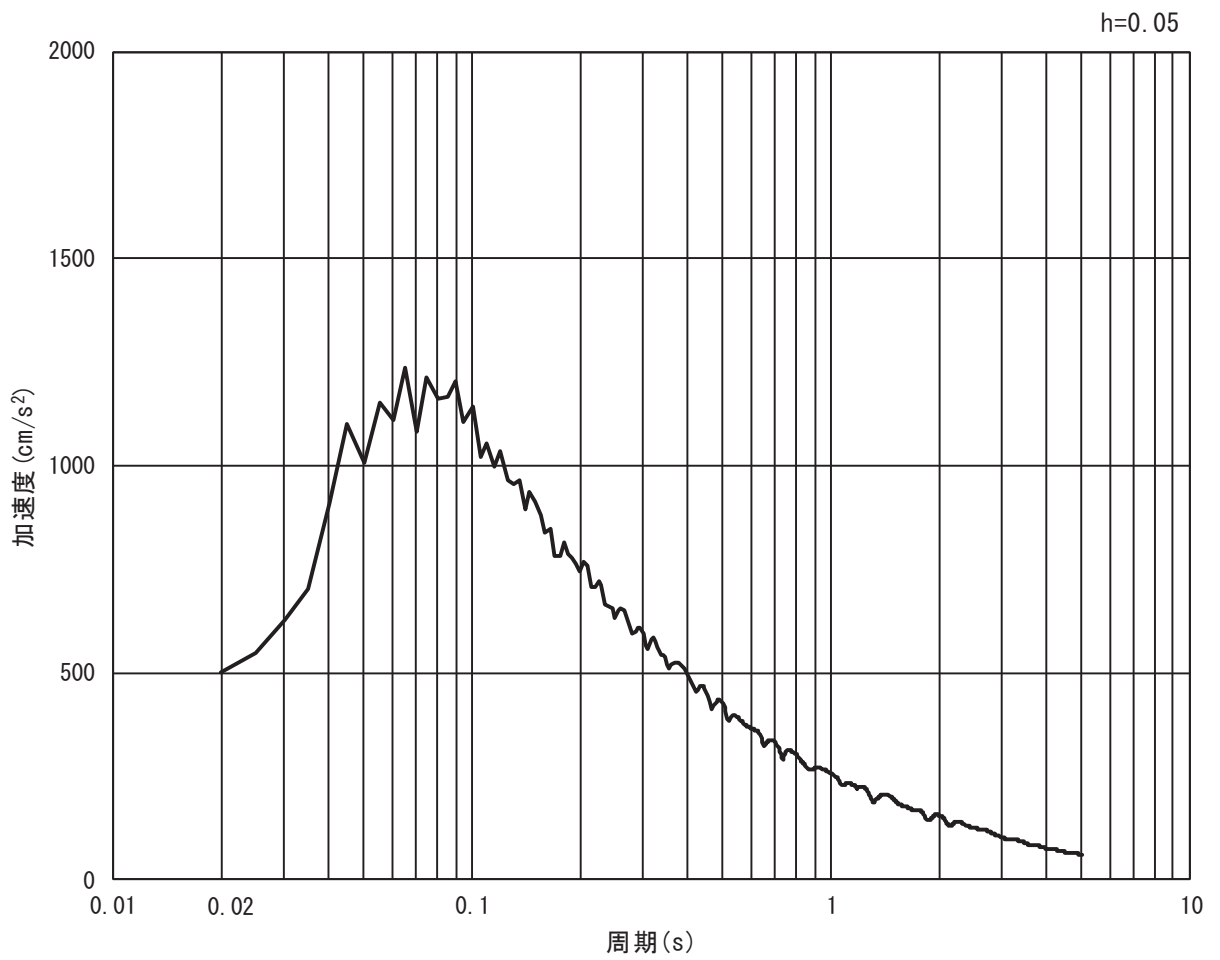


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - D 3)

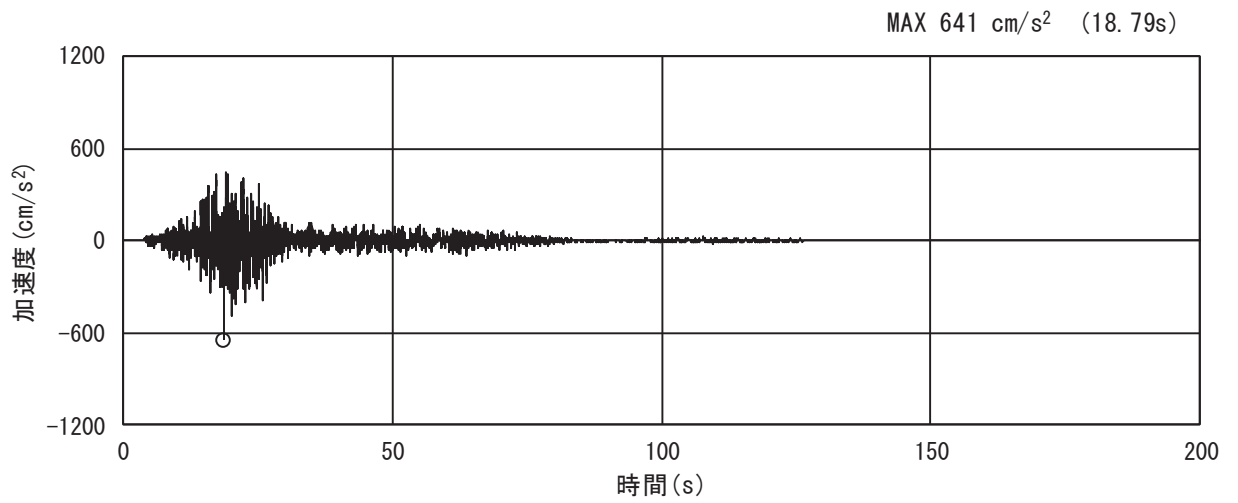


(a) 加速度時刻歴波形

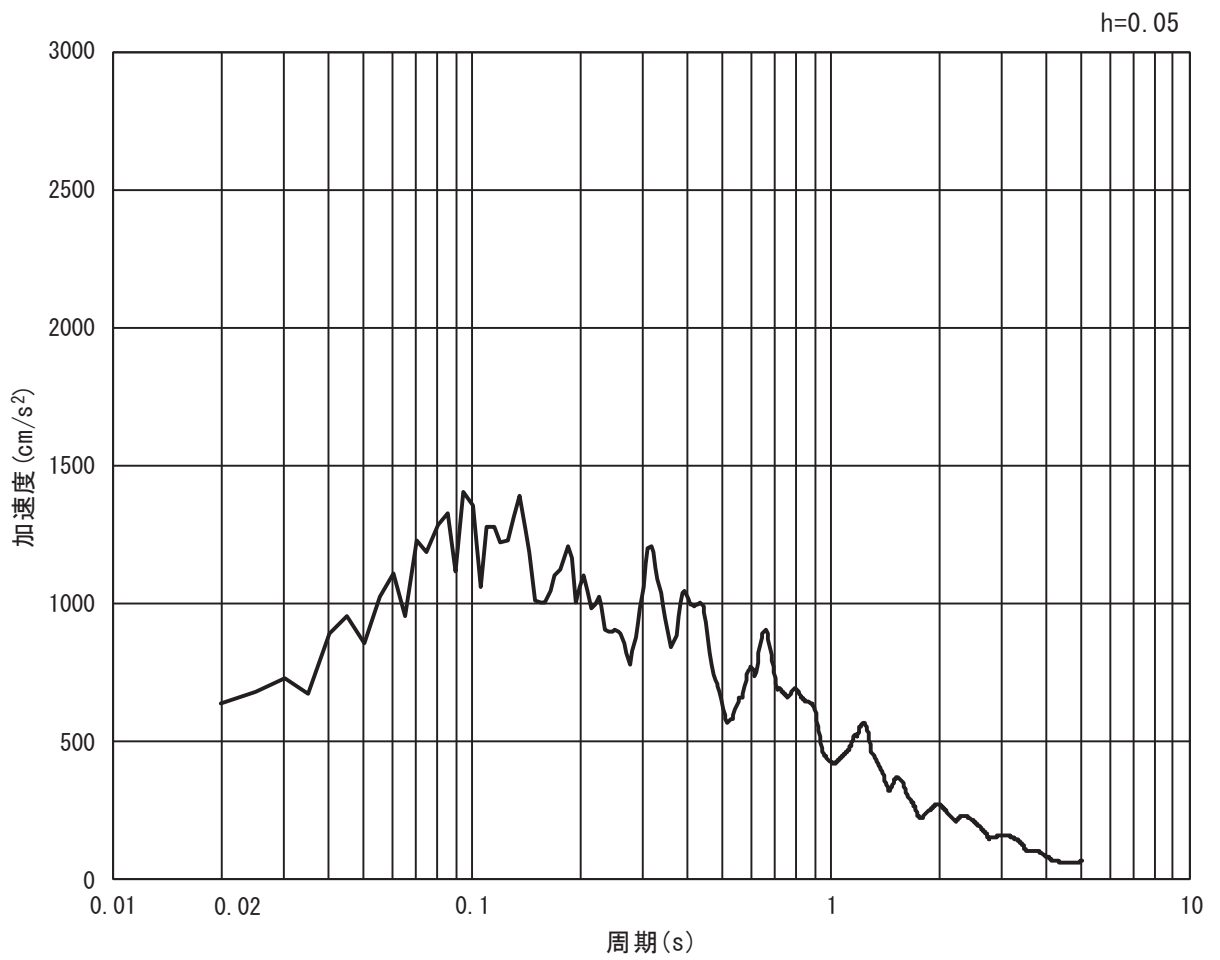


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - D 3)

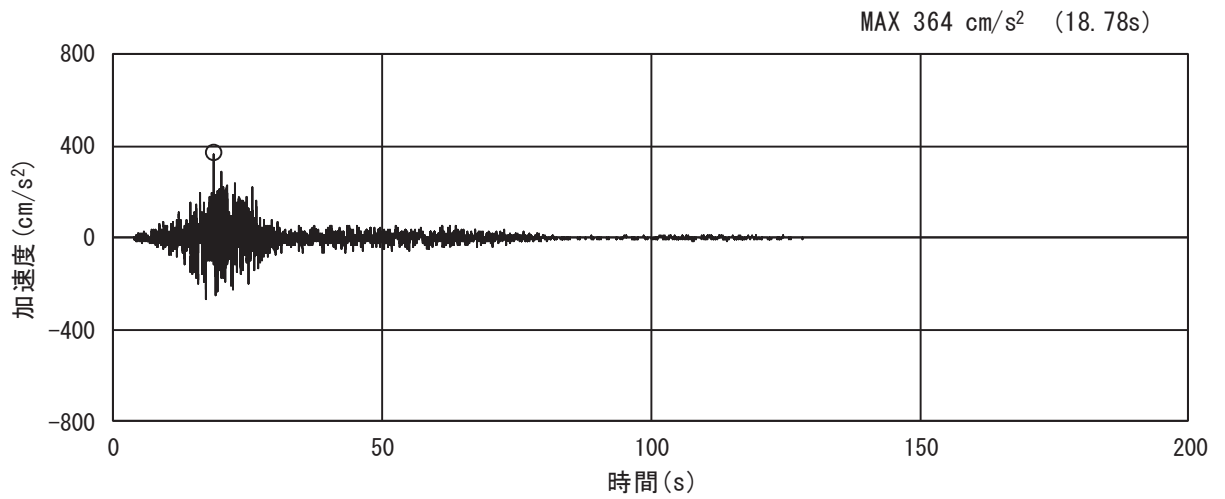


(a) 加速度時刻歴波形

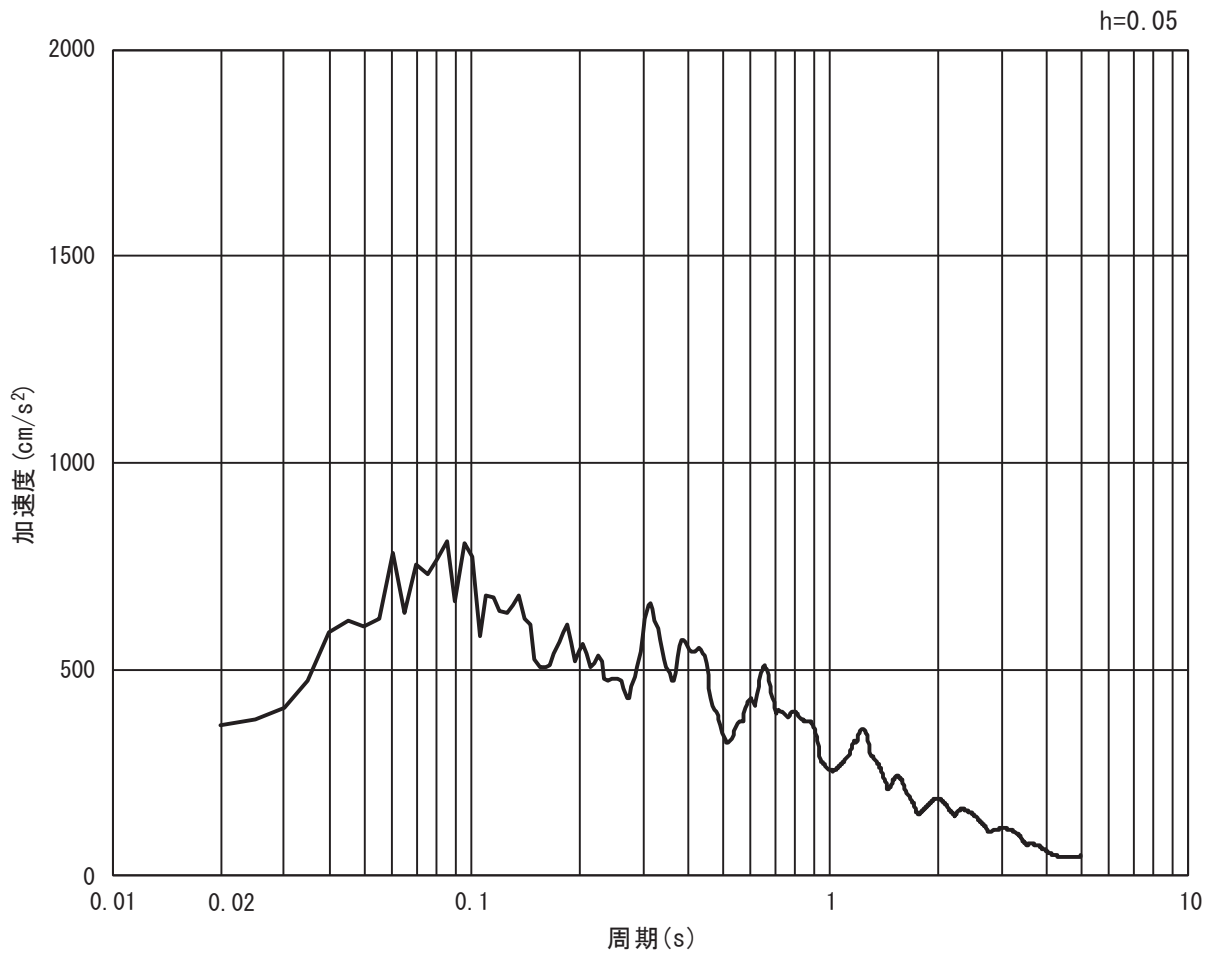


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 1)

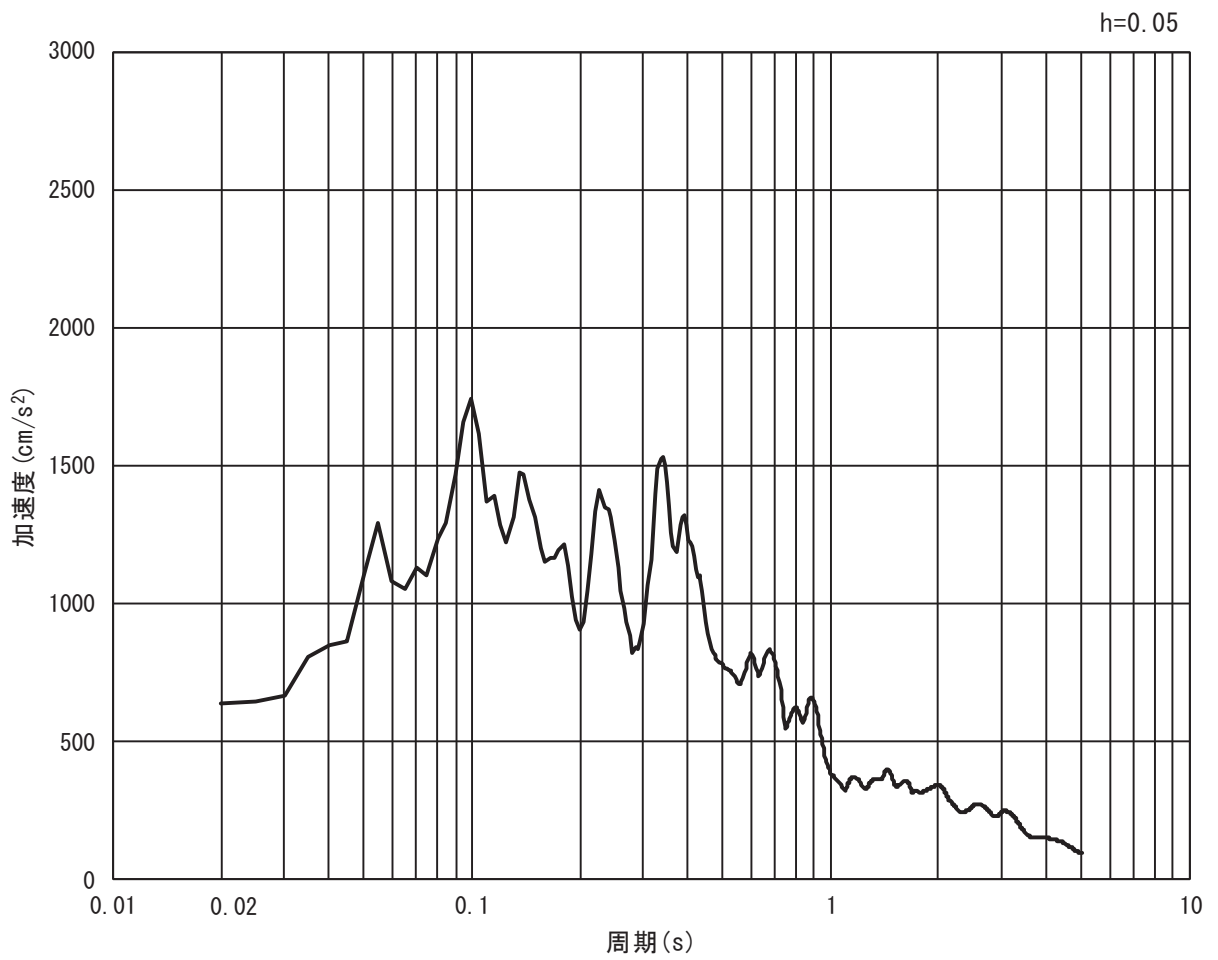
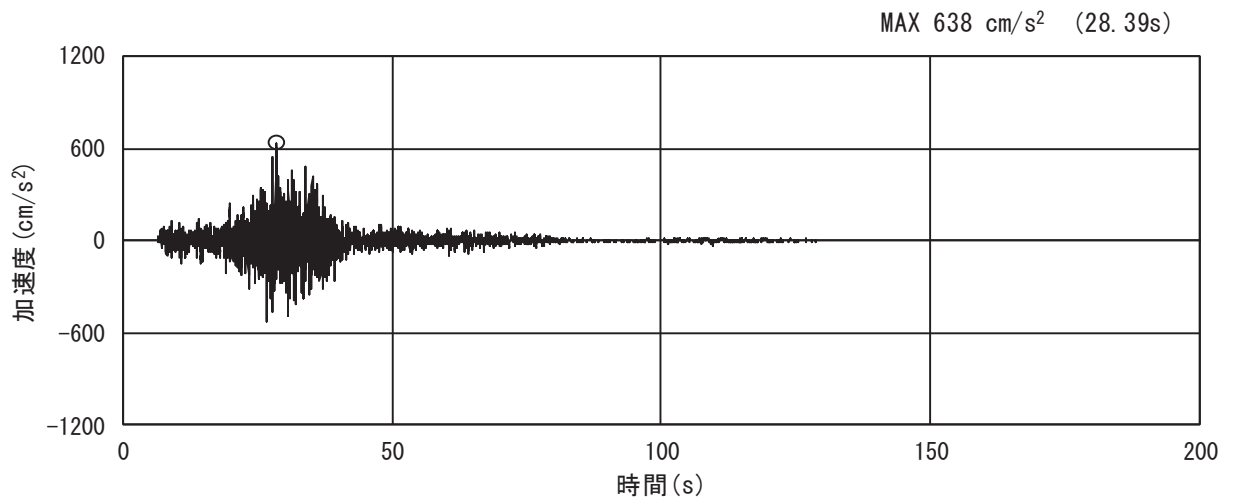
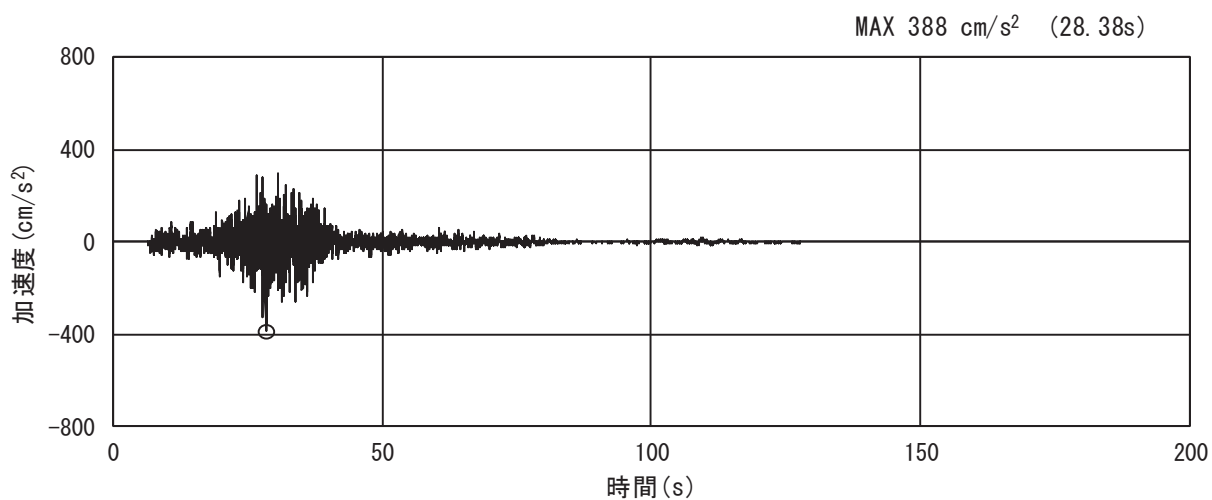
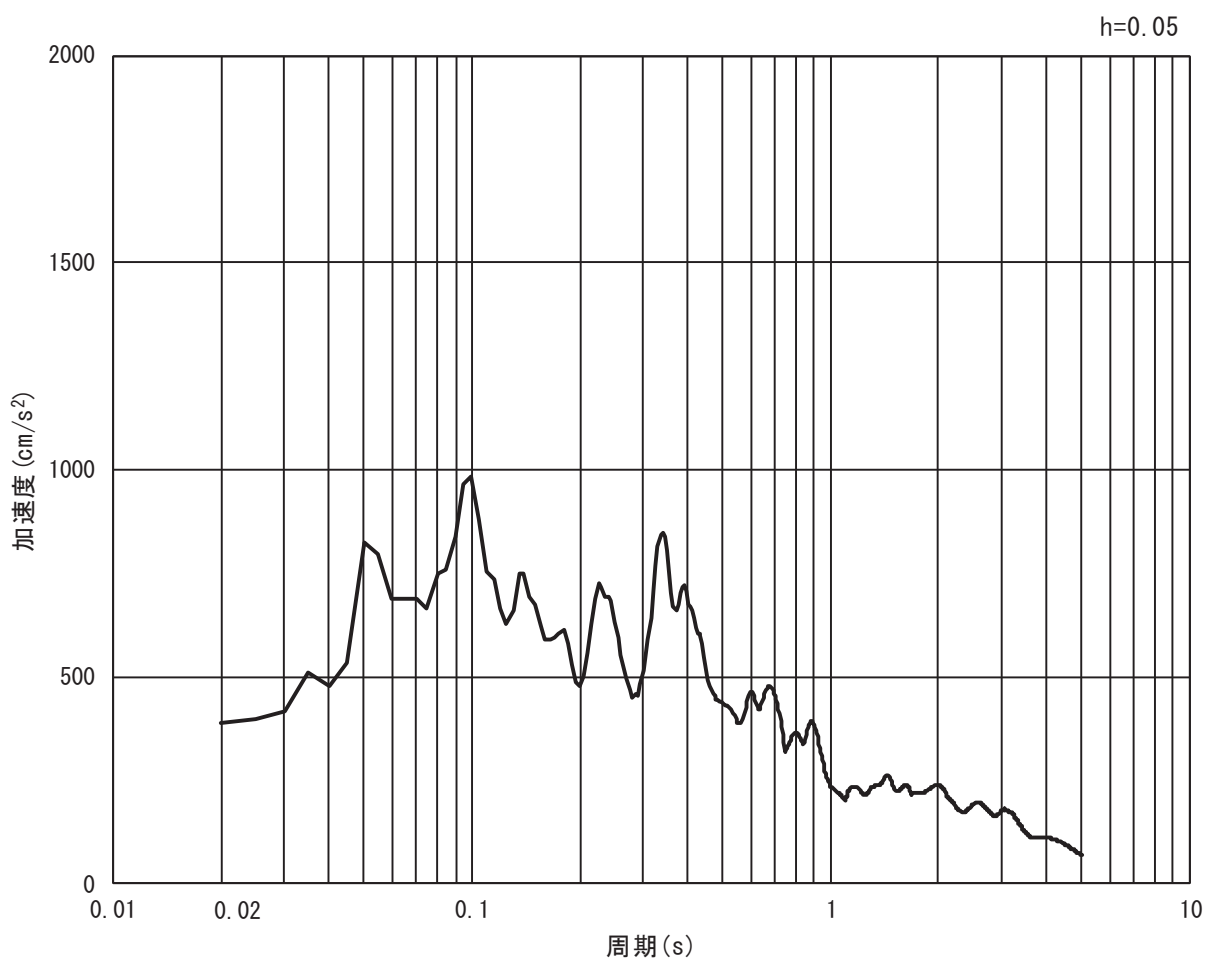


図 3-4(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 2)



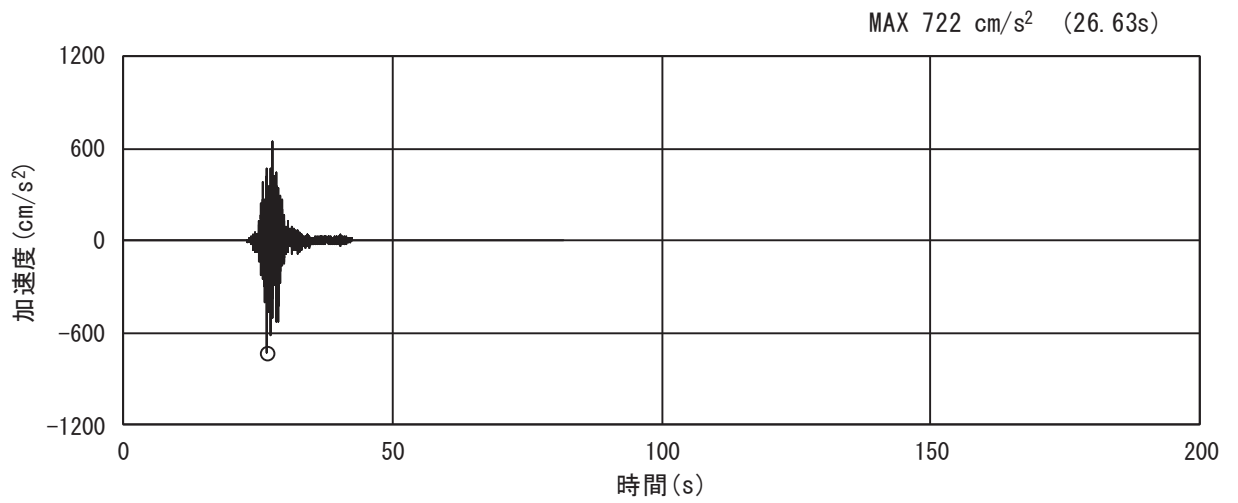


(a) 加速度時刻歴波形

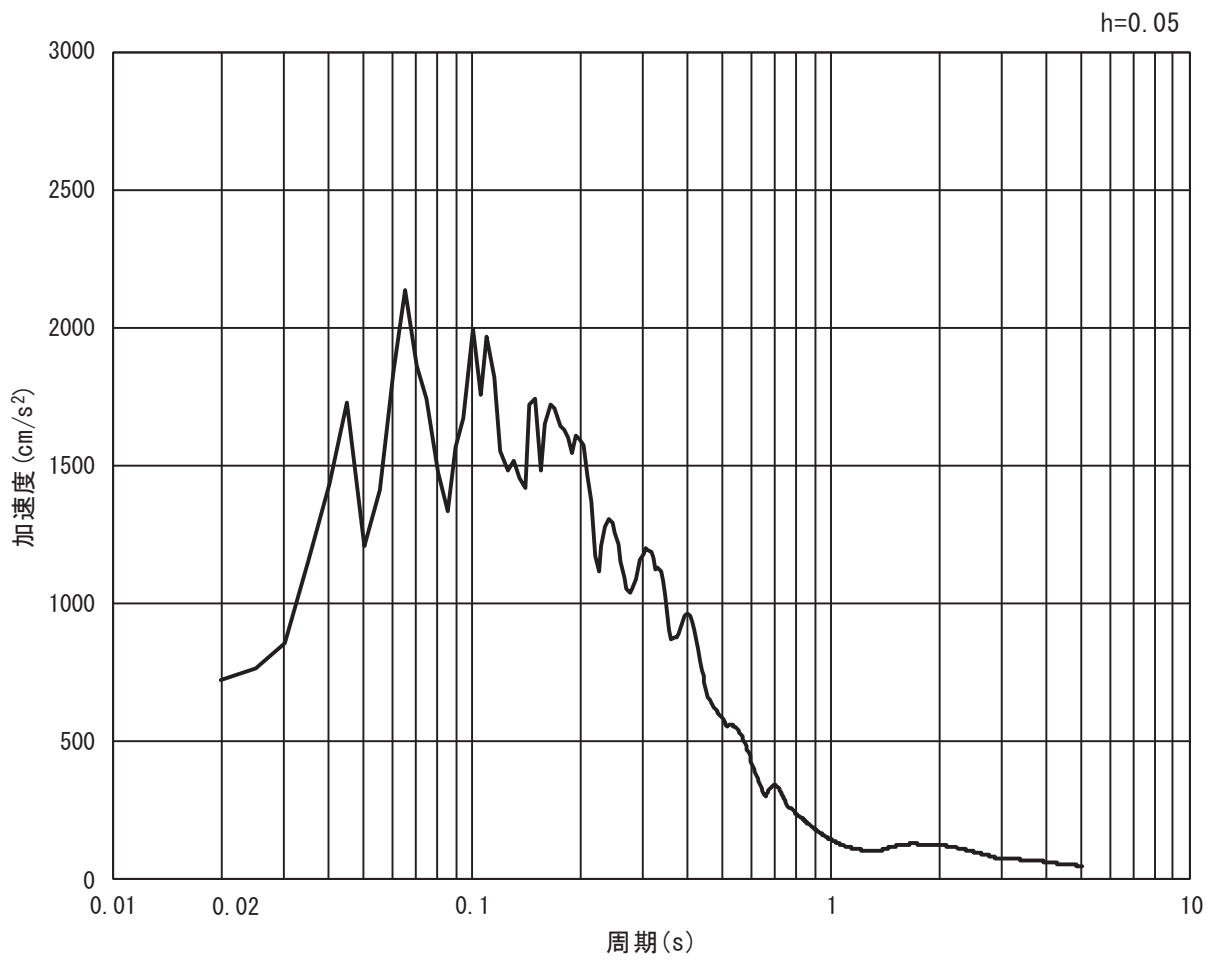


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 2)

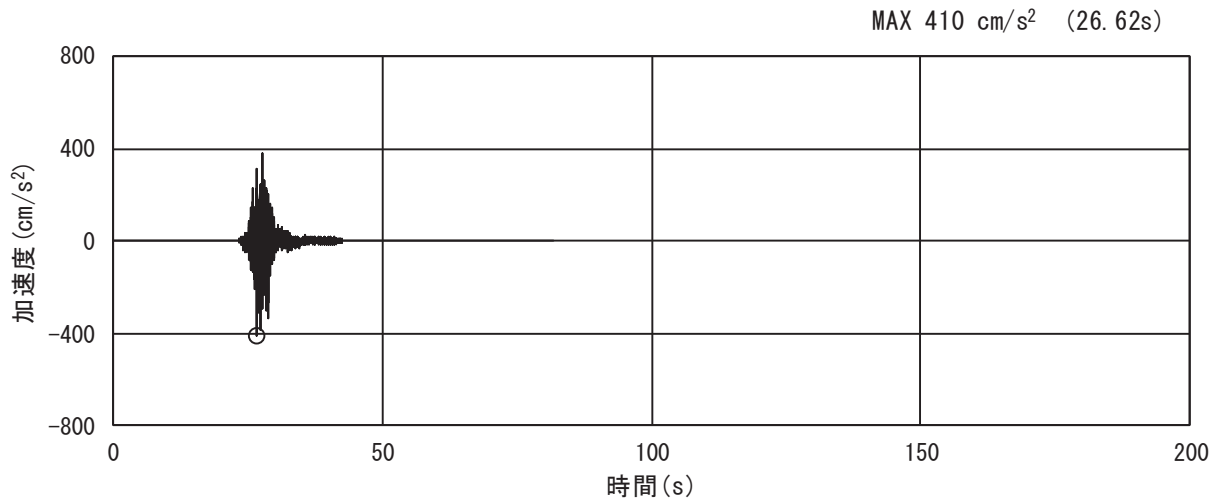


(a) 加速度時刻歴波形

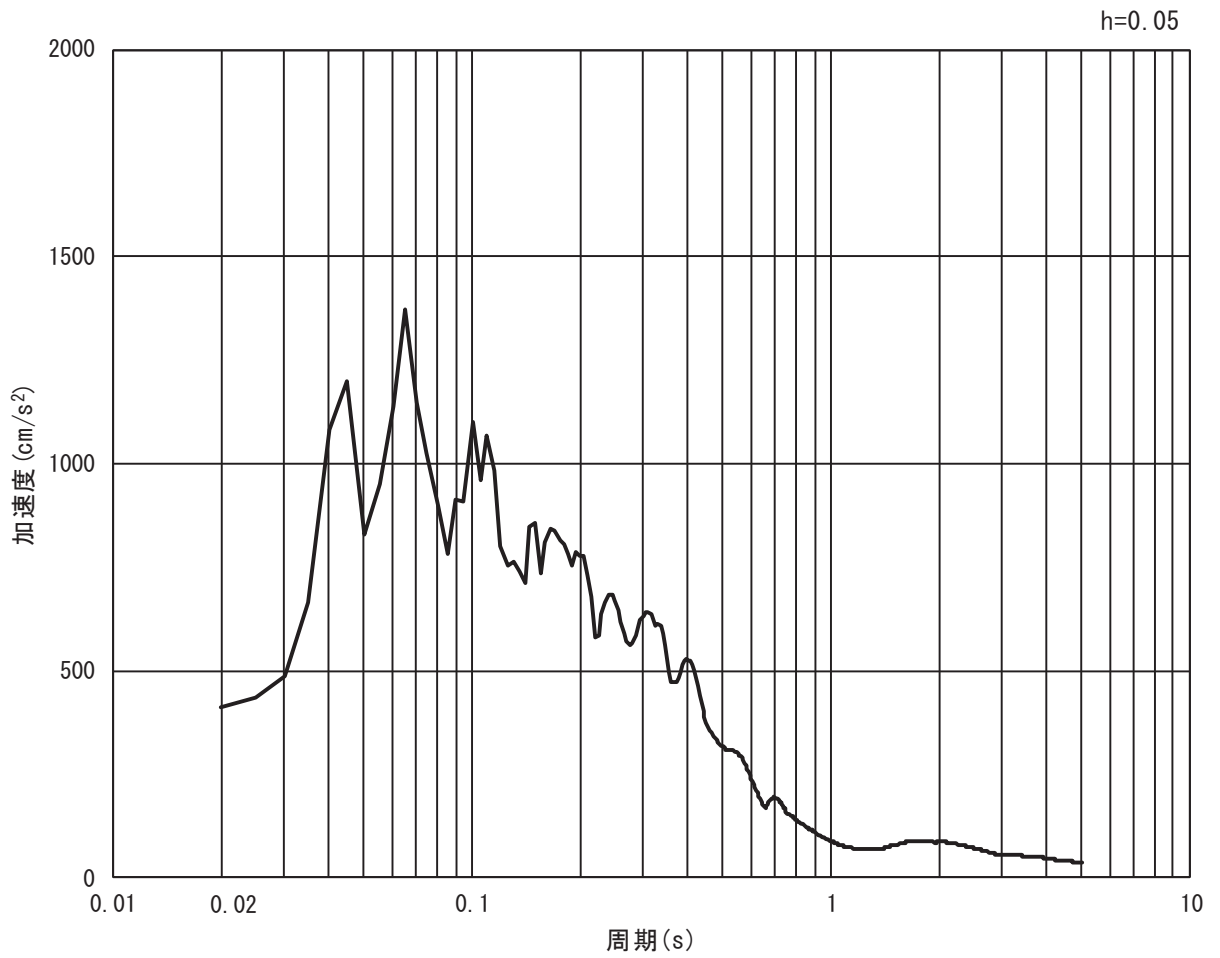


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 3)

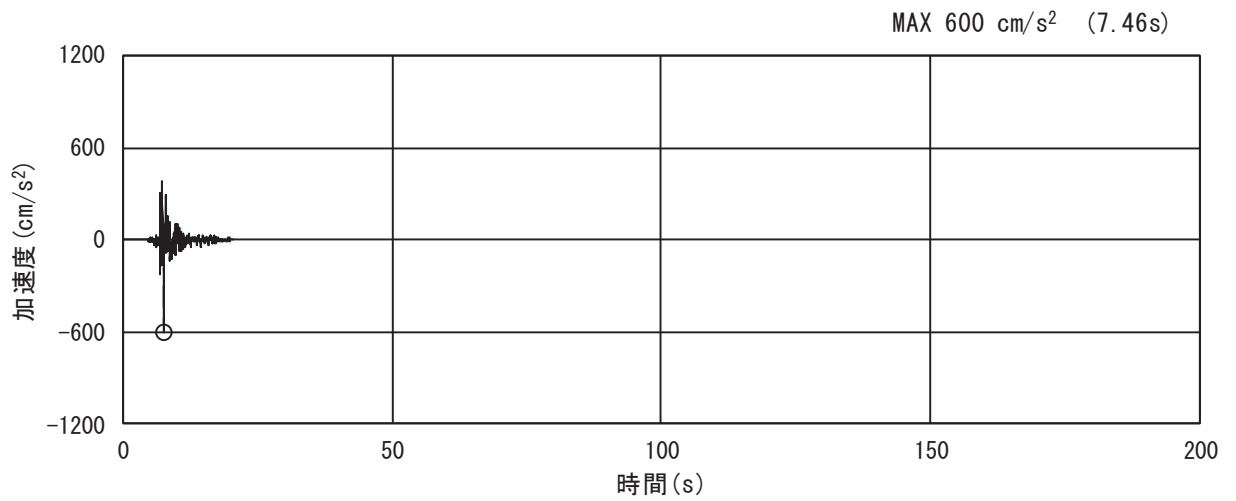


(a) 加速度時刻歴波形

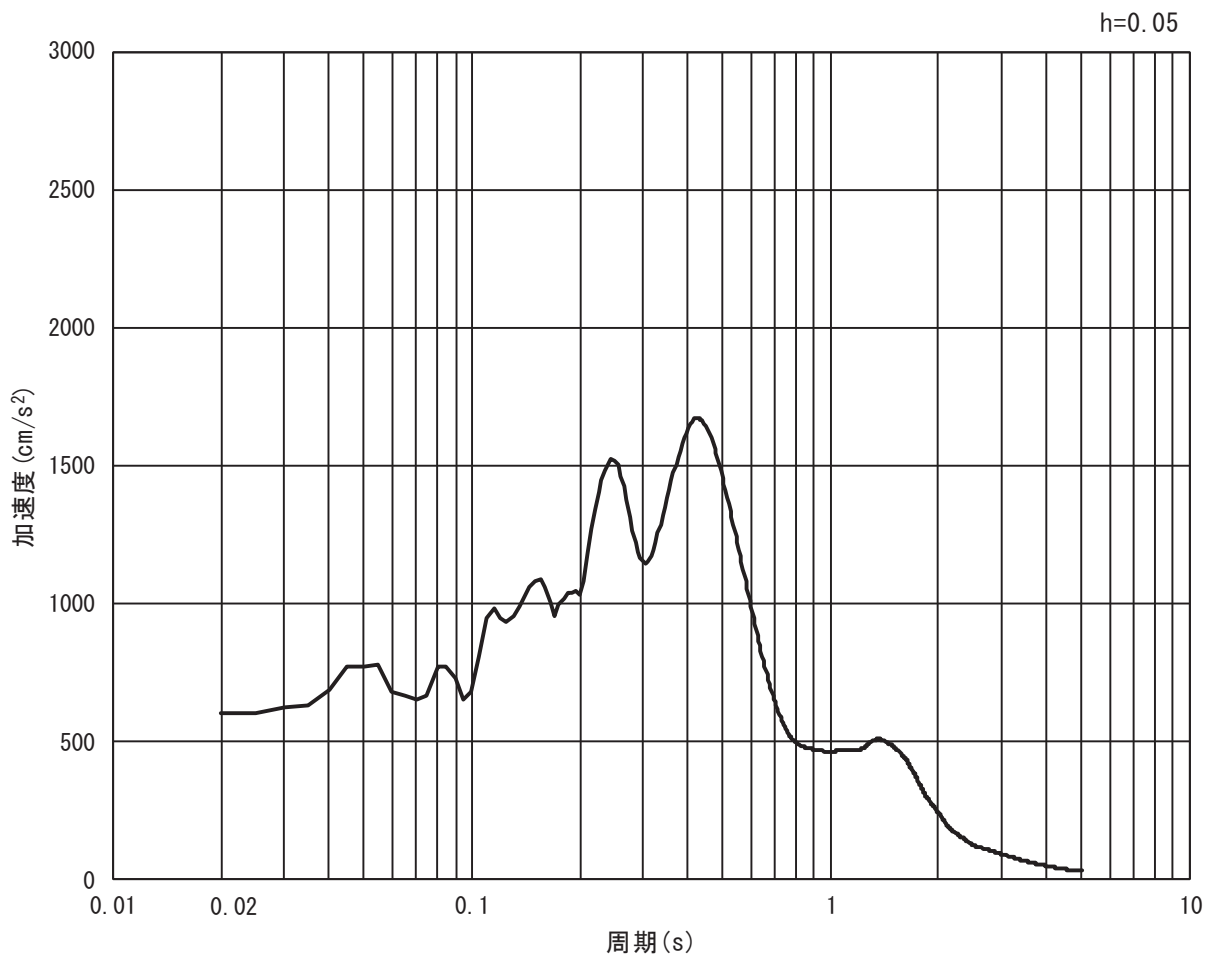


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - F 3)

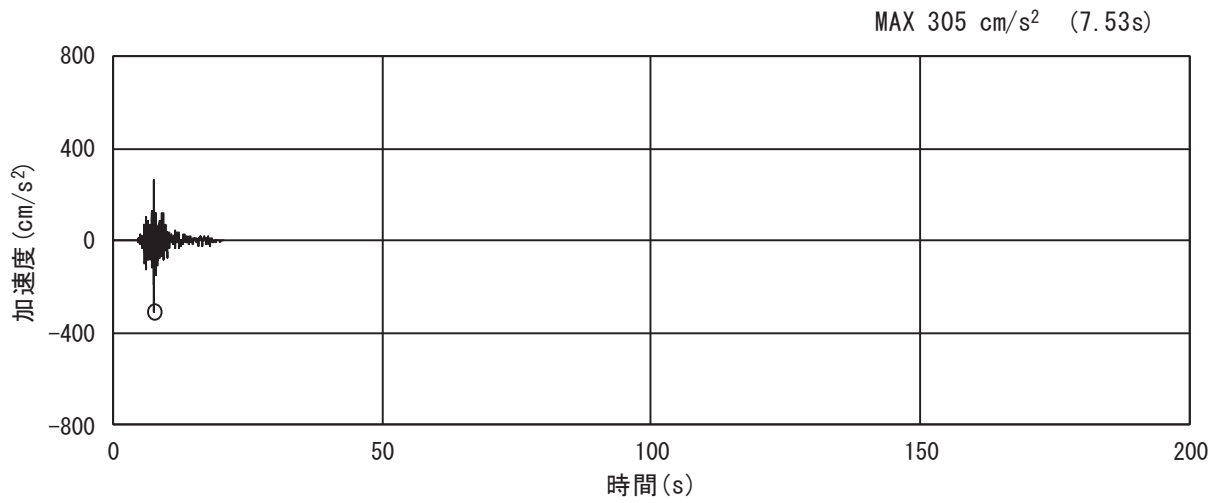


(a) 加速度時刻歴波形

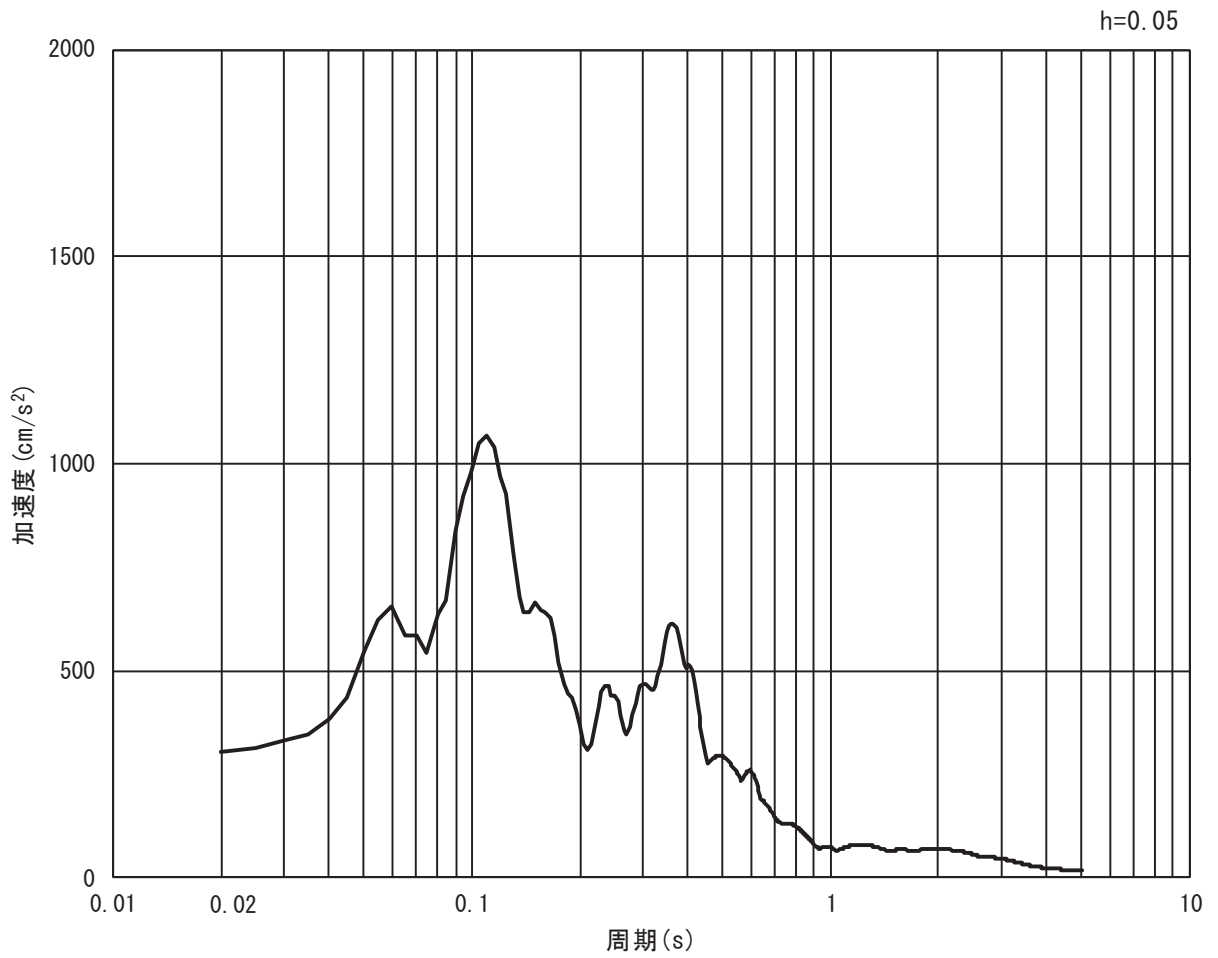


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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 : S s - N 1)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

アクセスルートの地震応答解析モデルを図3-5に示す。

##### (1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D<sub>2</sub>級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。また、地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、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) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。

##### (6) ジョイント要素の設定

地震時の「セメント改良土と盛土」、「改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「セメント改良土と改良地盤」及び「改良地盤と置換コンクリート」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。

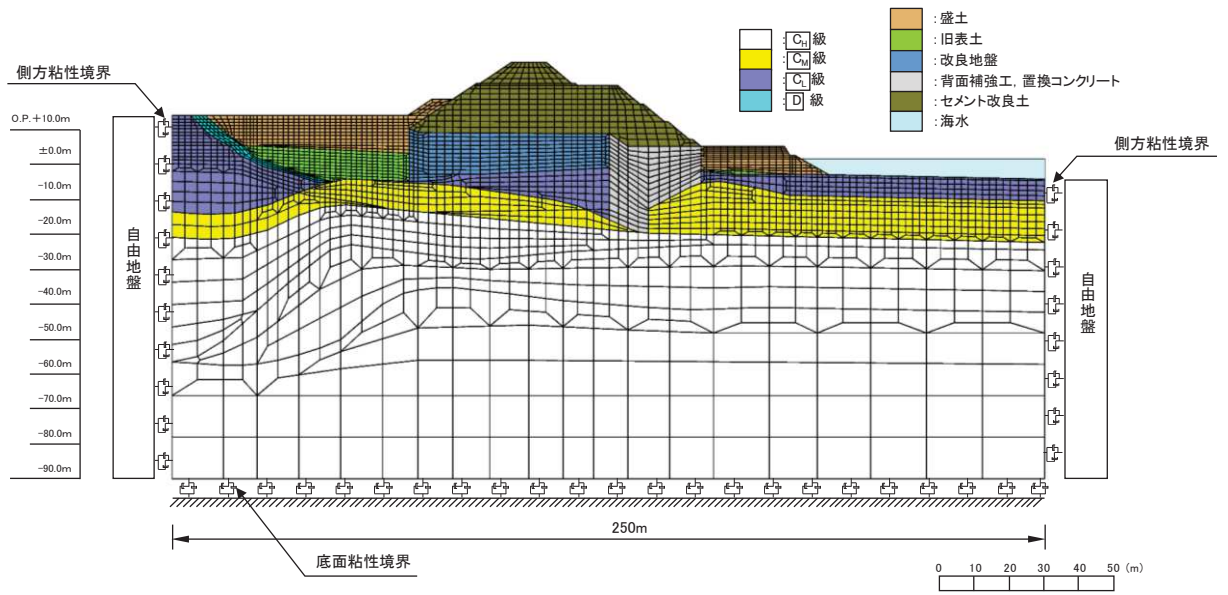


図 3-5 アクセスルートの解析モデル (A-A 断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表3-4に、材料の物性値を表3-5に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「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。

表3-4 使用材料

材料	諸元
コンクリート (置換コンクリート)	設計基準強度 : 30 N/mm <sup>2</sup>

表3-5 材料の物性値

材料	単位 体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	せん断 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	内部 摩擦角 (°)	引張 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	残留 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング 係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン 比
コンクリート (置換コンクリート)	22.5	6.00	-*	2.22	-*	2.80×10 <sup>4</sup>	0.2

注記 \* : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「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。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

### 3.5.4 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図3-2及び表3-6に示す。

表3-6 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
アクセスルート	A-A断面	防潮堤（盛土堤防）より山側で地表面、海側で O.P. +1.43m（朔望平均満潮位）に設定する。



### 3.6 評価対象部位

評価対象部位は、アクセスルートと一体である防潮堤（盛土堤防）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

#### (1) 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性に係る評価対象部位は、セメント改良土とする。

### 3.7 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.7.1 セメント改良土

セメント改良土の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、表 3-7 に示すすべり安全率とする。

表 3-7 セメント改良土の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

### 3.8 評価方法

アクセスルートの耐震評価は、地震応答解析に基づき算定した発生応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

#### 3.8.1 セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 セメント改良土

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 4-1 に、平均強度において最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4-1 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値 - 1 $\sigma$  強度のすべり安全率を表 4-1 に併せて示す。

これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-1 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S <sub>s</sub> -N1(++)	③	7.55	3.0
S <sub>s</sub> -N1(++)	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	7.55	3.0

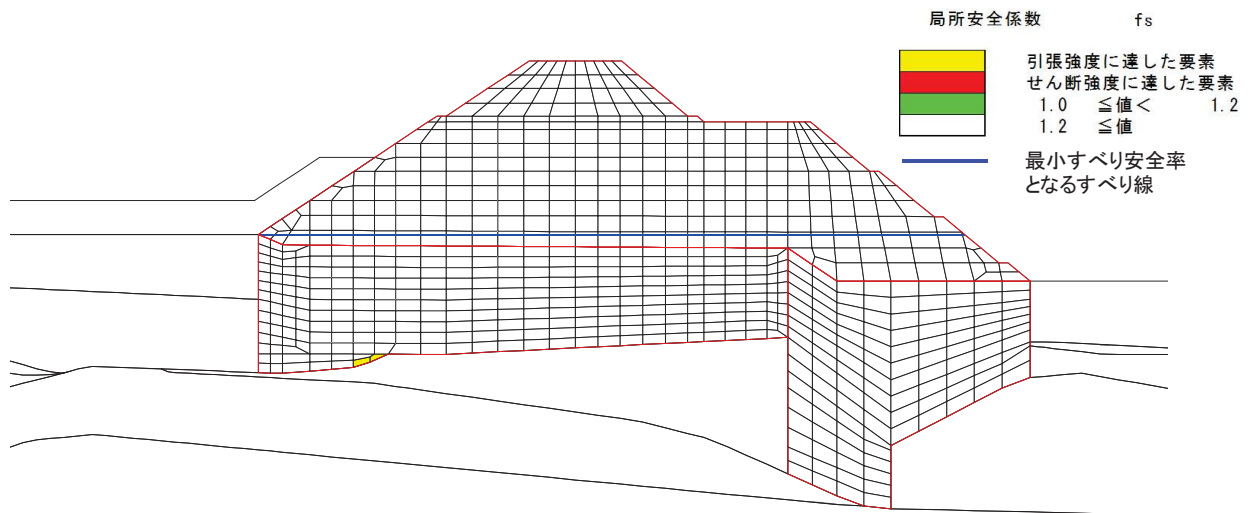


図 4-1 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
（断面①, S<sub>s</sub>-N1(++) , t=7.55s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 - 1 $\sigma$ ）

VI-2-13 地下水位低下設備の耐震性についての計算書

## 目 次

- VI-2-13-1 地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書
- VI-2-13-2 地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書
- VI-2-13-3 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書
- VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書
- VI-2-13-5 地下水位低下設備揚水ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-13-6 地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書
- VI-2-13-7 地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書
- VI-2-13-8 地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書
- VI-2-13-9 地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書

VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書

## 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	解析方針	6
2.4	適用基準	8
3.	解析方法	9
3.1	評価対象断面及び解析手法の選定	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	11
3.2.3	減衰定数	12
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	13
3.3	荷重及び荷重の組合せ	14
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	14
3.3.2	荷重	14
3.3.3	荷重の組合せ	15
3.4	入力地震動	16
3.5	解析モデル及び諸元	45
3.5.1	解析モデル	45
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	47
3.5.3	地盤の物性値	47
3.5.4	地下水位	47
4.	解析結果	49
4.1	No.1 揚水井戸	49
4.2	No.2 揚水井戸	77



## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき実施する地下水位低下設備のうち揚水井戸の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、揚水井戸内に設置する機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行うものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

地下水位低下設備のうち揚水井戸の設置位置を図2-1に示す。

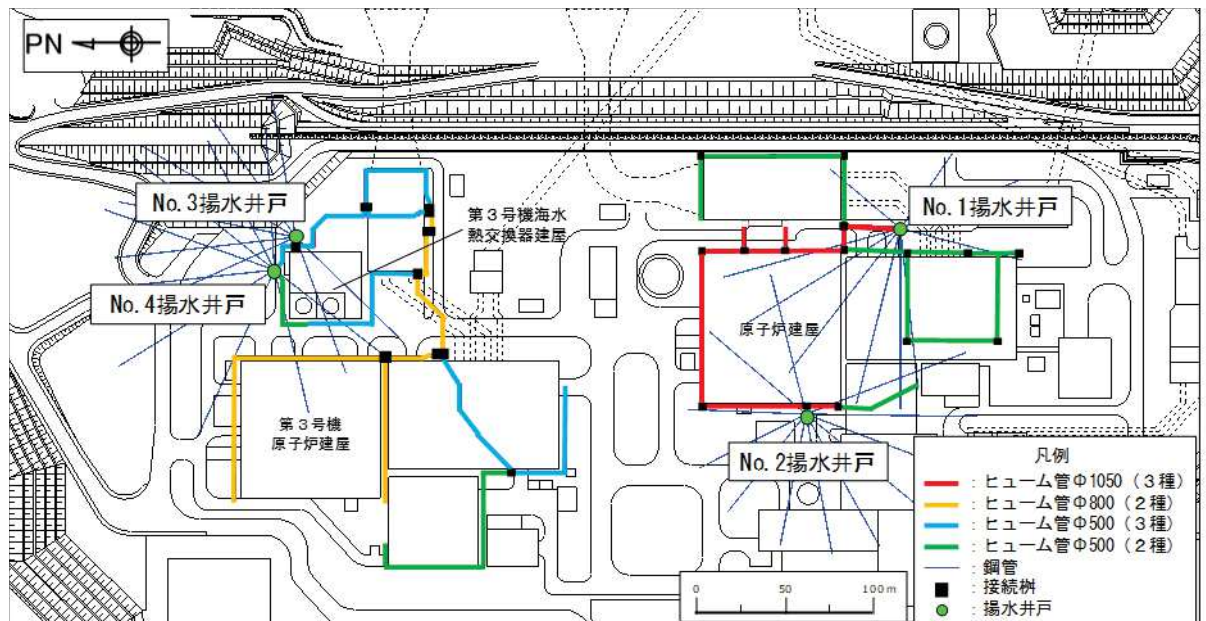


図2-1 揚水井戸の設置位置

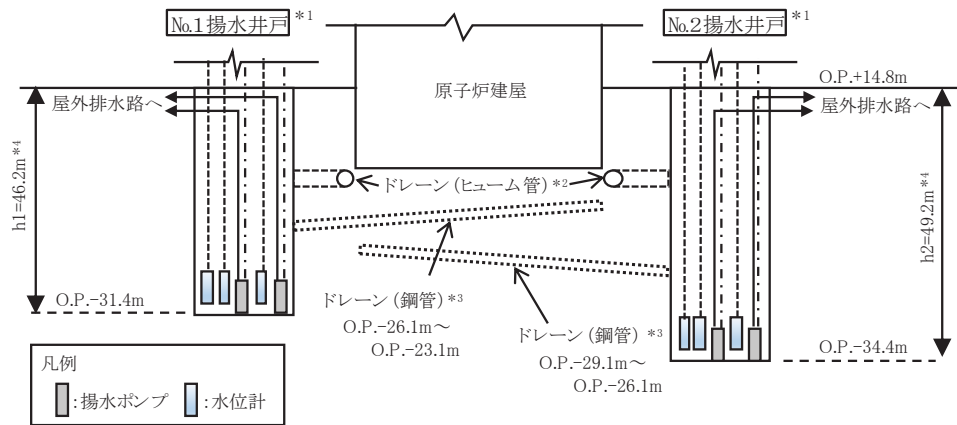
## 2.2 構造概要

揚水井戸は鉄筋コンクリート造の集水ピットと鋼製の排水シャフトにより構成された円筒状の地中構造物であり、排水シャフトと集水ピットはアンカーボルトにより接合する。集水ピットは岩盤中に設置し、排水シャフトは岩盤及び盛土中に設置する。

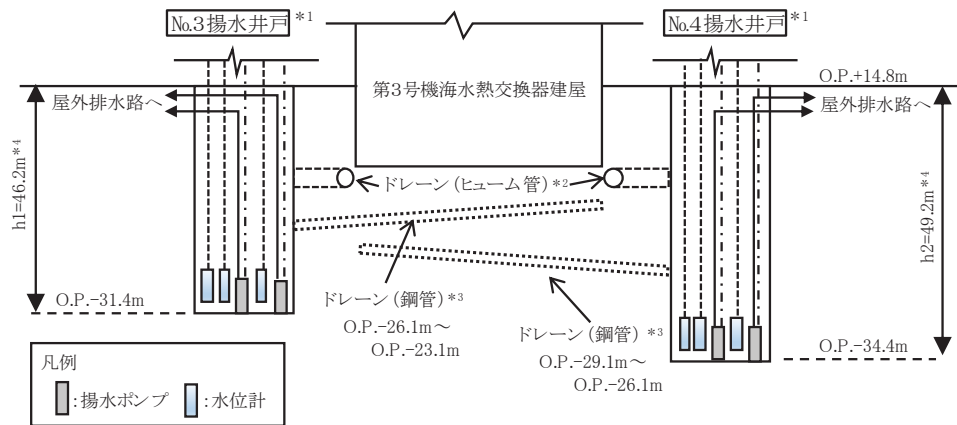
集水ピット及び排水シャフトは、保守管理・運用に配慮し内径 4mとする。揚水井戸の高さは地下水を集水するため岩盤内に設置する鋼管の深度に応じて  $h_1=46.2\text{m}$ 、 $h_2=49.2\text{m}$  の 2 種類があり、原子炉建屋周辺と第 3 号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに設置する。

地下水位低下設備の構成概要を図 2-2 に示す。また、揚水井戸の構造概要について、原子炉建屋周辺の揚水井戸 (No. 1 揚水井戸及び No. 2 揚水井戸) を代表して図 2-3 に示す。

なお、揚水井戸に接続されるドレーン (ヒューム管、鋼管) 及び接続桝の詳細については「VI-2-13-1 地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書」、 「VI-2-13-2 地下水位低下設備接続桝の耐震性についての計算書」に示す。



(1) 原子炉建屋周辺



(2) 第 3 号機海水熱交換機建屋周辺

注記\* 1 : 揚水井戸及び揚水井戸に内包する揚水ポンプ、水位計は新設する。

\* 2 : ヒューム管 (接続桝を含む) は揚水井戸との接続部分は新設する。

\* 3 : 鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。

\* 4 :  $h_1$  及び  $h_2$  は、GL より集水ピット底面までの高さを表す。

図 2-2 地下水位低下設備の構成概要

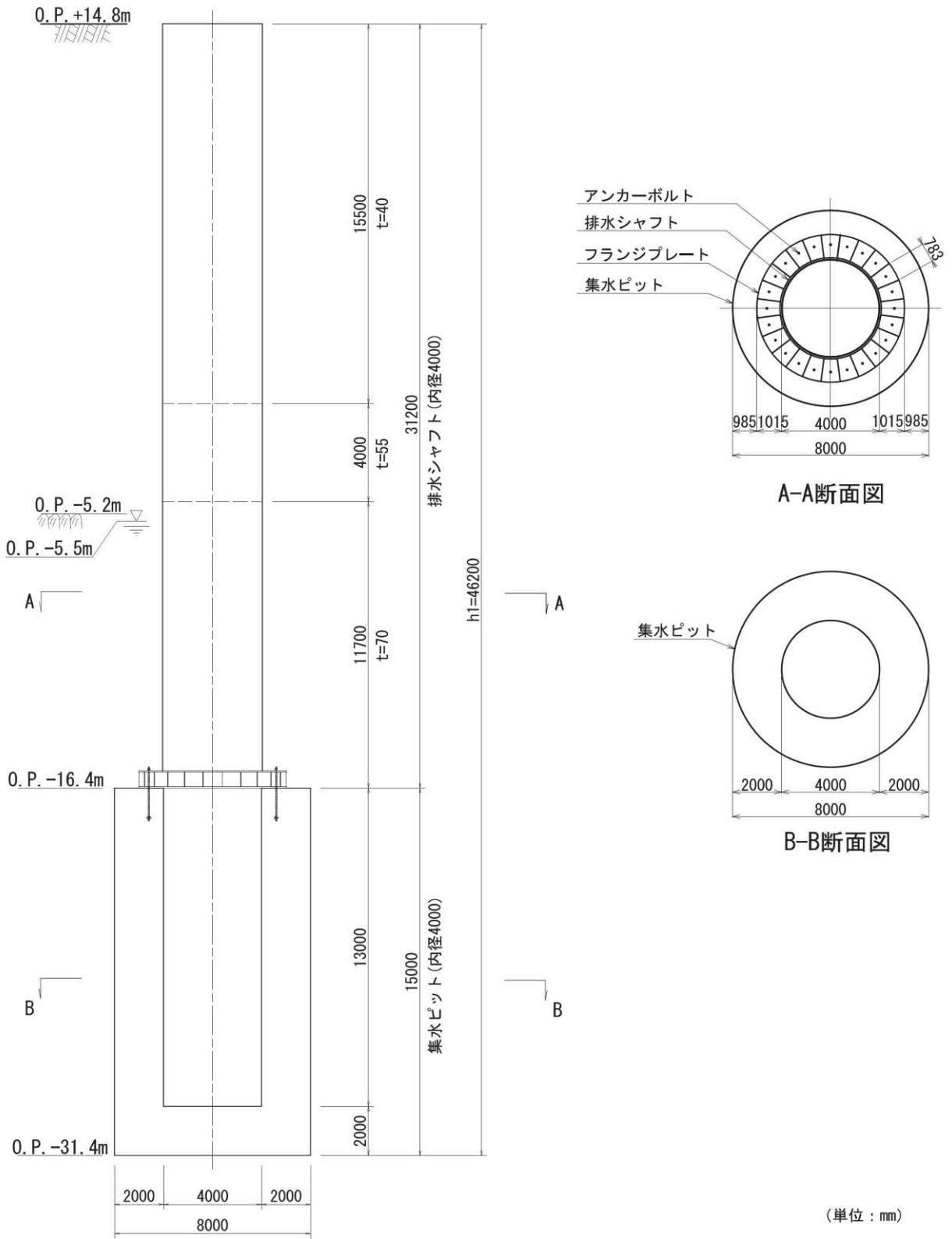


図 2-3(1) No.1 揚水井戸 構造図

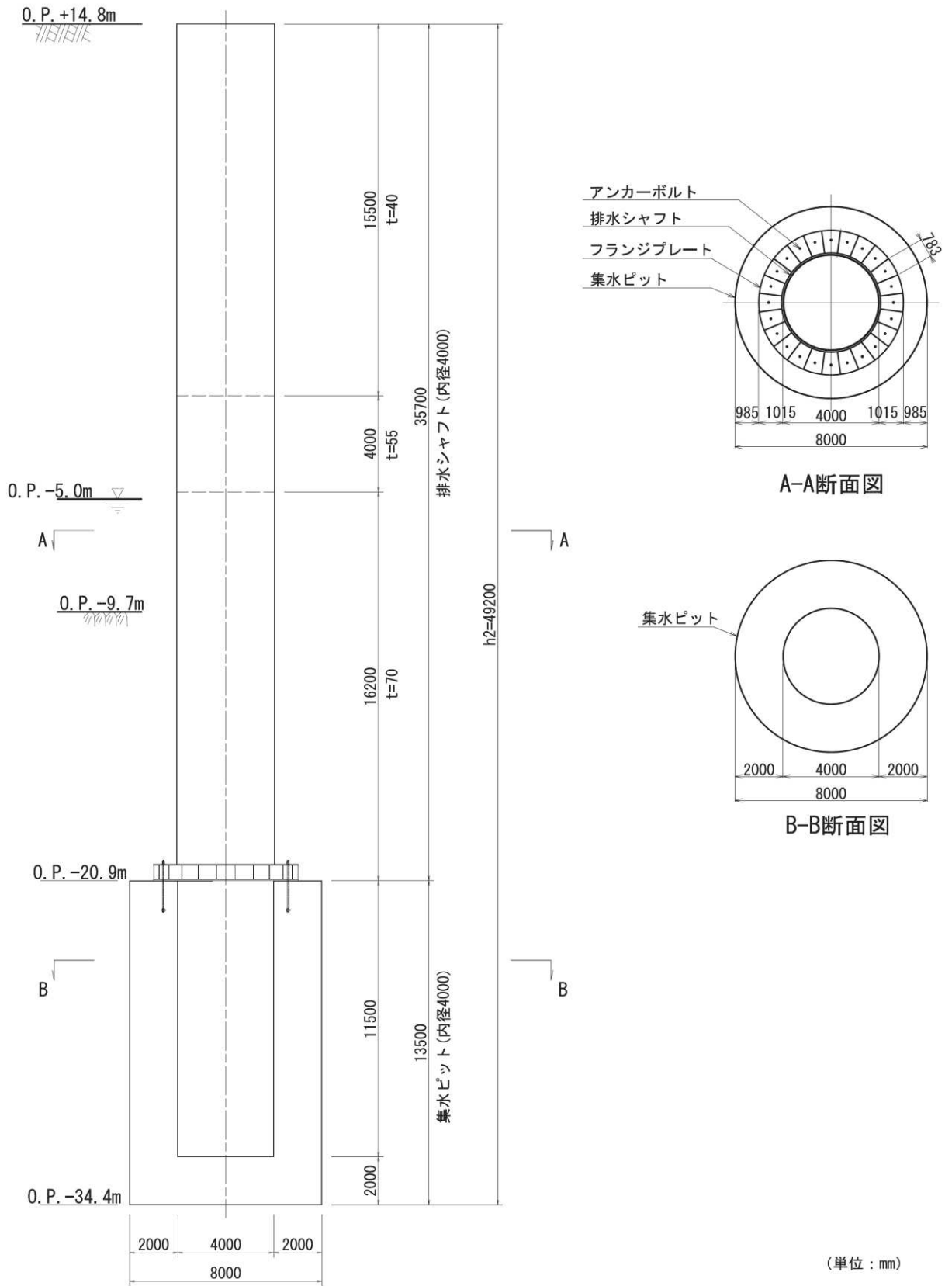


図 2-3(2) No.2 揚水井戸 構造図

### 2.3 解析方針

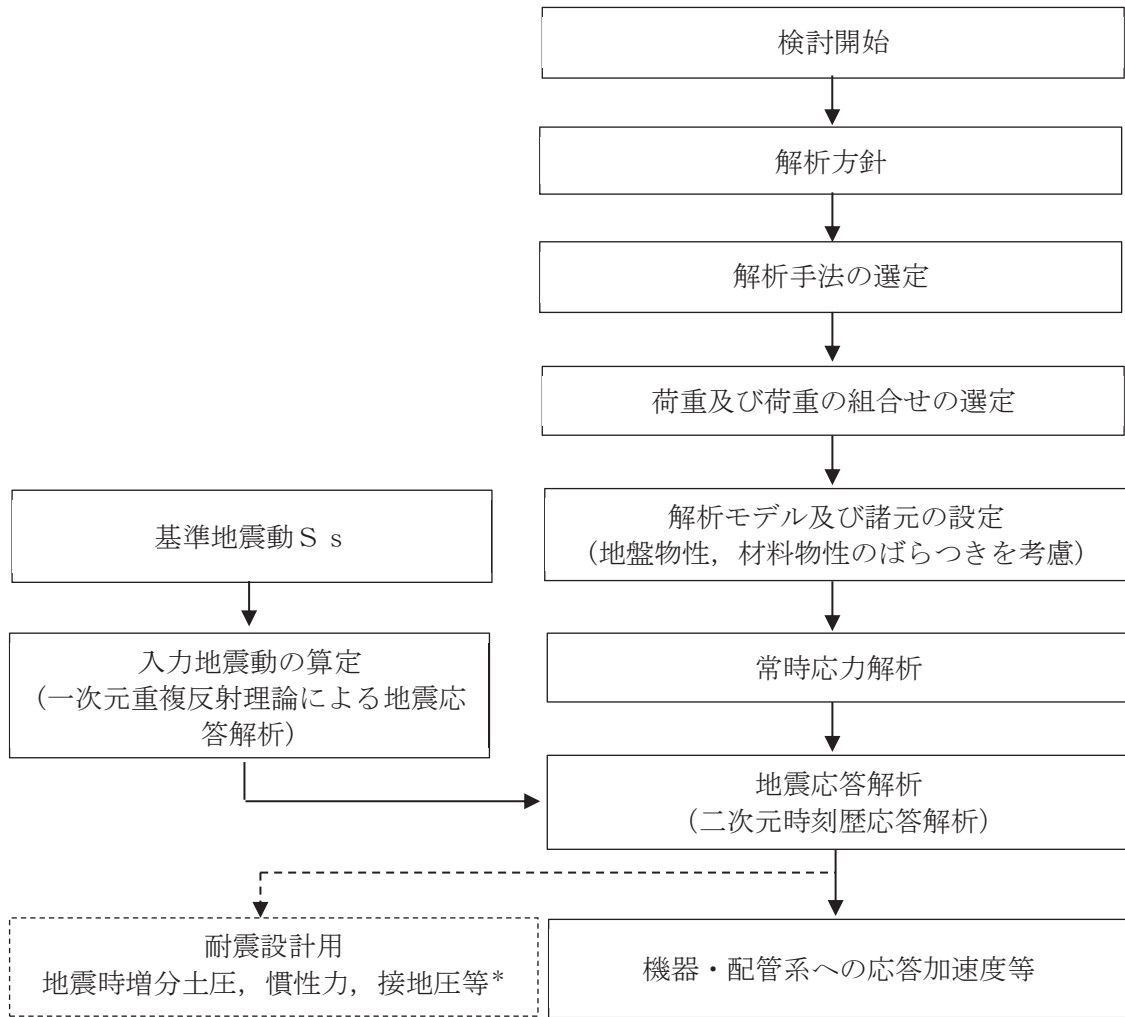
揚水井戸は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 $S_s$ に対して地震応答解析を実施する。

図2-4に揚水井戸の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 評価対象断面及び解析手法の選定」に示す断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による二次元有限要素法による時刻歴応答解析により行い、地盤物性及び材料物性のばらつきを適切に考慮する。

二次元有限要素法による時刻歴応答解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

なお、本書における地震応答解析による加速度応答は、機器・配管系の耐震評価に用いるものであり、揚水井戸の耐震計算に用いる地震応答解析結果については、「VI-2-13-3 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」に記載している。



注記\* : 詳細については「VI-2-13-3 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」に記載

図 2-4 揚水井戸の地震応答解析フロー

## 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）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・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（2005年6月 土木学会 原子力土木委員会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会）



### 3. 解析方法

#### 3.1 評価対象断面及び解析手法の選定

揚水井戸は多重性を考慮し、原子炉建屋周辺と第3号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに、岩盤内に設置する鋼管の深度に応じて、高さ  $h_1=46.2\text{m}$  と  $h_2=49.2\text{m}$  の2つの揚水井戸を設置する。

各建屋周辺に設置する揚水井戸の高さの組合せ (No. 1, 2 揚水井戸と No. 3, 4 揚水井戸) は同様であることを踏まえ、高さ  $h_1$ ,  $h_2$  の揚水井戸をそれぞれ評価するため、ここでは原子炉建屋周辺のNo.1 及びNo.2 揚水井戸を評価対象に選定する。また、評価対象断面は周囲の建屋配置状況を踏まえ NS 方向の断面とする。

評価対象断面位置を図 3-1 に、評価対象断面を図 3-2 に示す。

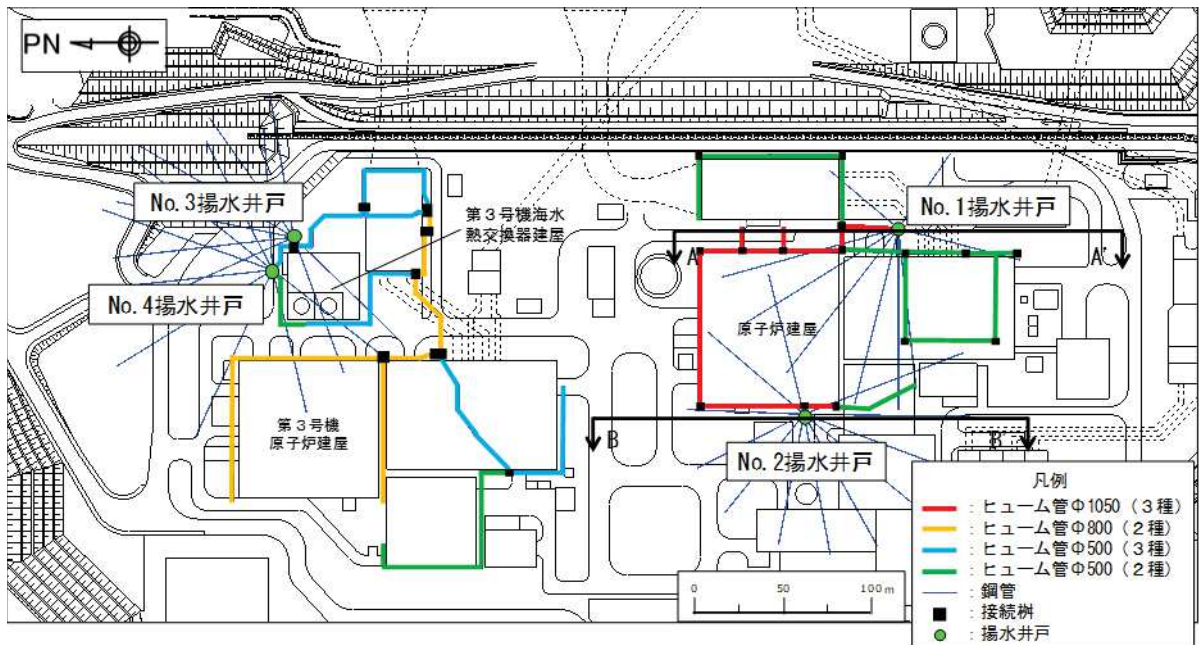


図 3-1 評価対象断面位置図

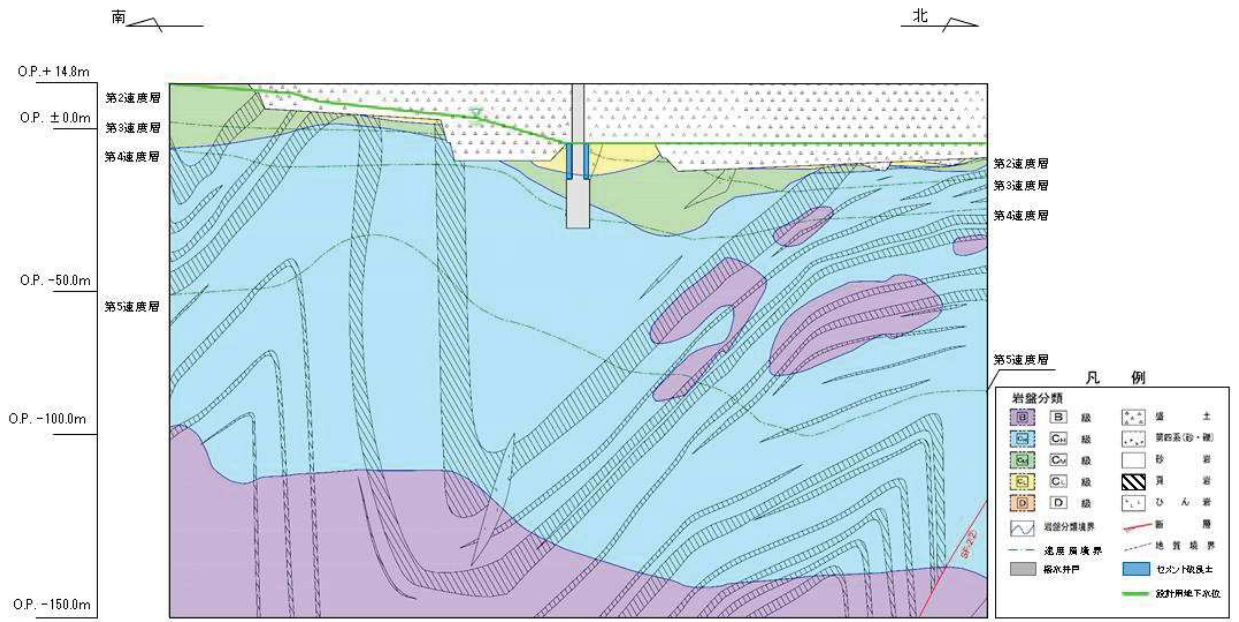


図 3-2(1) No.1 揚水井戸 評価対象断面図 (A'-A断面)

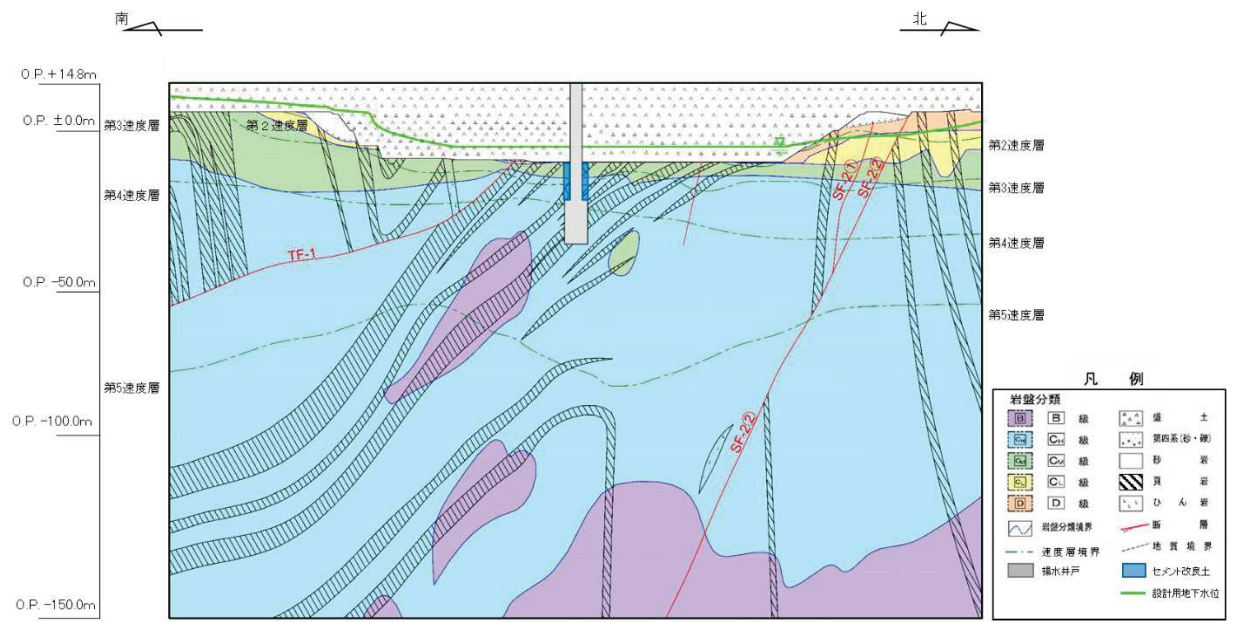


図 3-2(2) No.2 揚水井戸 評価対象断面図 (B'-B断面)

### 3.2 解析方法

揚水井戸の地震応答解析は、添付書類「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二次元有限要素法により、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より行う。

解析方法は、地下水位が岩盤表面以下となる No.1 揚水井戸は全応力解析とし、地下水位が盛土内となる No.2 揚水井戸は地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。解析方法の詳細については、「VI-2-13-3 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」に示す。

有効応力解析には解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」、全応力解析には解析コード「SLAP ver6.65」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 構造部材

構造物は線形はり要素にてモデル化し、水平方向には、構造物の幅に応じた仮想剛梁を設置する。

#### 3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤物性及び材料物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

揚水井戸のうち集水ピットは岩盤中、排水シャフトは岩盤及び盛土中に設置され、地震時応答は周辺地盤との動的相互作用による。そのため、揚水井戸周辺に存在する盛土及び各種岩盤の初期せん断弾性係数について、標準偏差  $\sigma$  を用いて設定した解析ケース②及び③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。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

表 3-1 地盤物性及び材料物性のばらつき考慮ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	C <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 級岩盤, B級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース①	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 $\sigma$	平均値 + 1 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度	平均値	平均値

### 3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した  $\alpha$ 、 $\beta$  を表 3-2 に示す。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[c] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

$\alpha$ 、 $\beta$  : 係数

表 3-2 No.1 揚水井戸（全応力解析）Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$ 、 $\beta$

$\alpha$	$\beta$
$2.490 \times 10^{-1}$	$1.205 \times 10^{-3}$

### 3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、表 3-1 に示す解析ケース①～④を実施する。機器・配管系の応答加速度及び応答変位抽出における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 機器・配管系の応答加速度及び応答変位抽出における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$	平均値
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度
地震動 (位相)	S s - D 1	++	○	○	○	○
	S s - D 2	++	○	○	○	○
	S s - D 3	++	○	○	○	○
	S s - F 1	++	○	○	○	○
	S s - F 2	++	○	○	○	○
	S s - F 3	++	○	○	○	○
	S s - N 1	++	○	○	○	○

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

揚水井戸の地震応答解折において、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

積雪の影響を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

##### (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

揚水井戸の地震応答解折において、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、機器・配管荷重を考慮する。

##### (2) 積載荷重(P)

積載荷重として積雪荷重を含めて地表面に  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

##### (3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重(S<sub>s</sub>)

地震力は、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 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$  を地表面に考慮)

$S_s$  : 地震荷重



### 3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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  $S_s$  を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」とする。

入力地震動算定の概念図を図 3-3 に示す。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図 3-4 に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver1.6」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

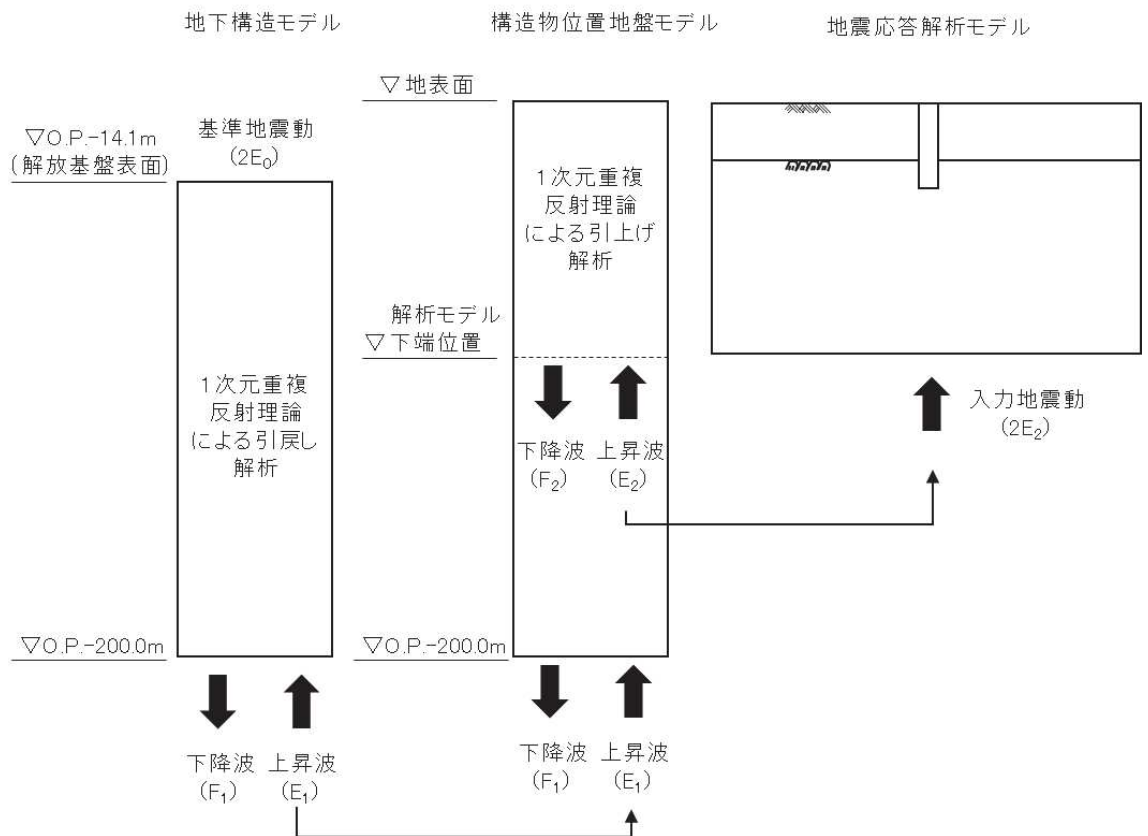
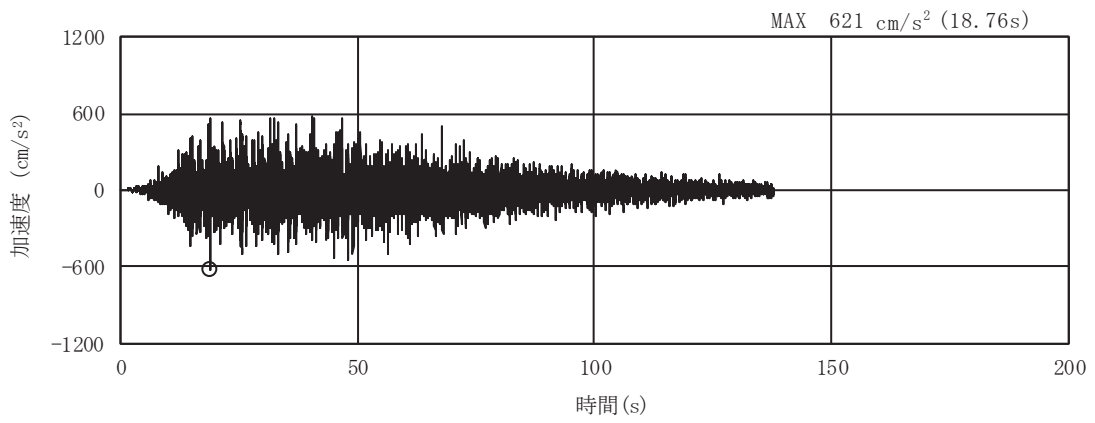
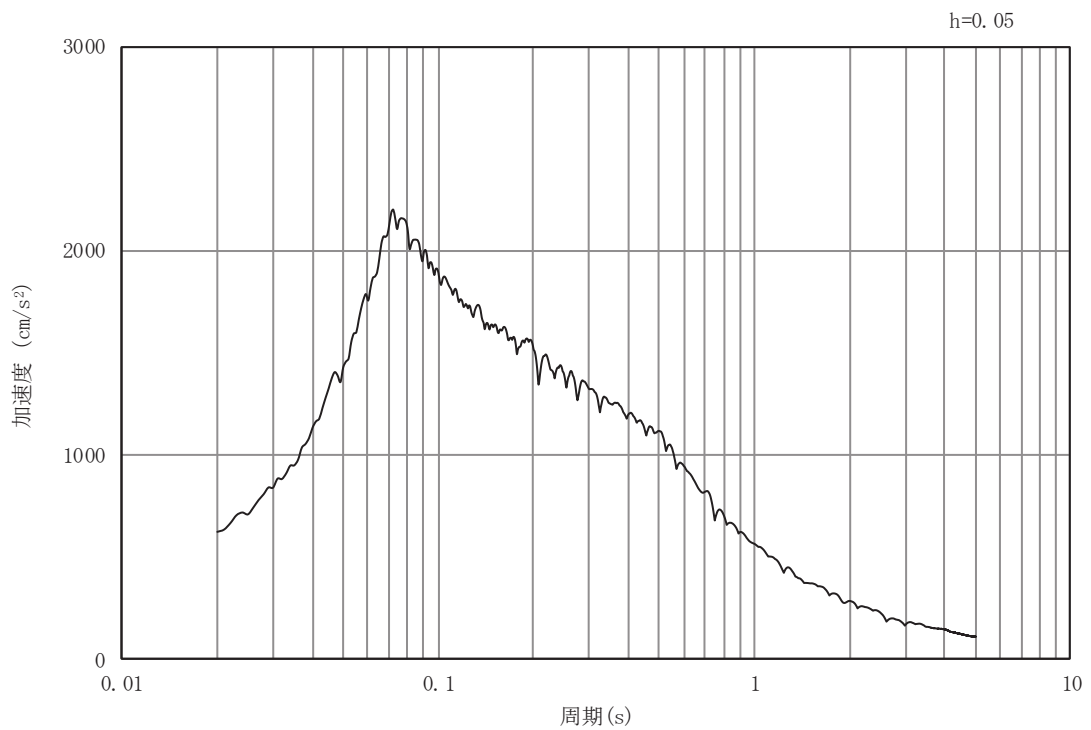


図 3-3 入力地震動算定の概念図



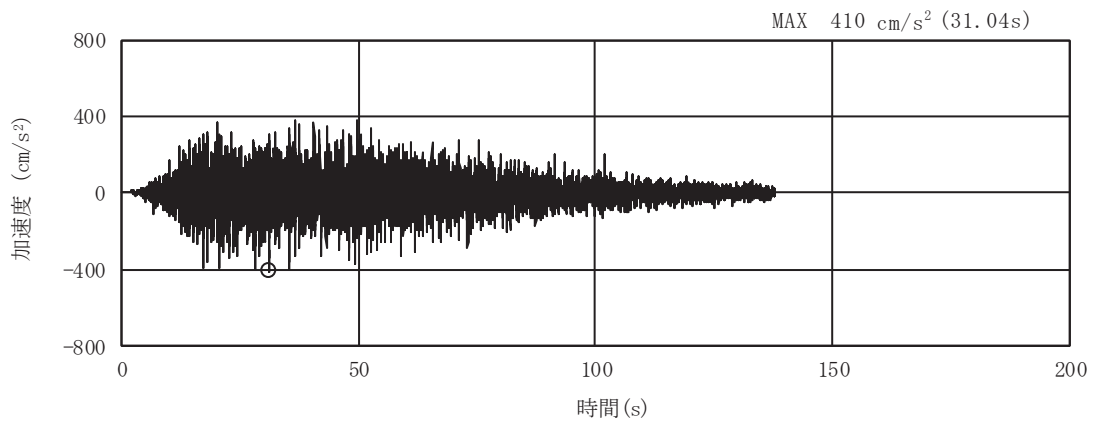


(a) 加速度時刻歴波形

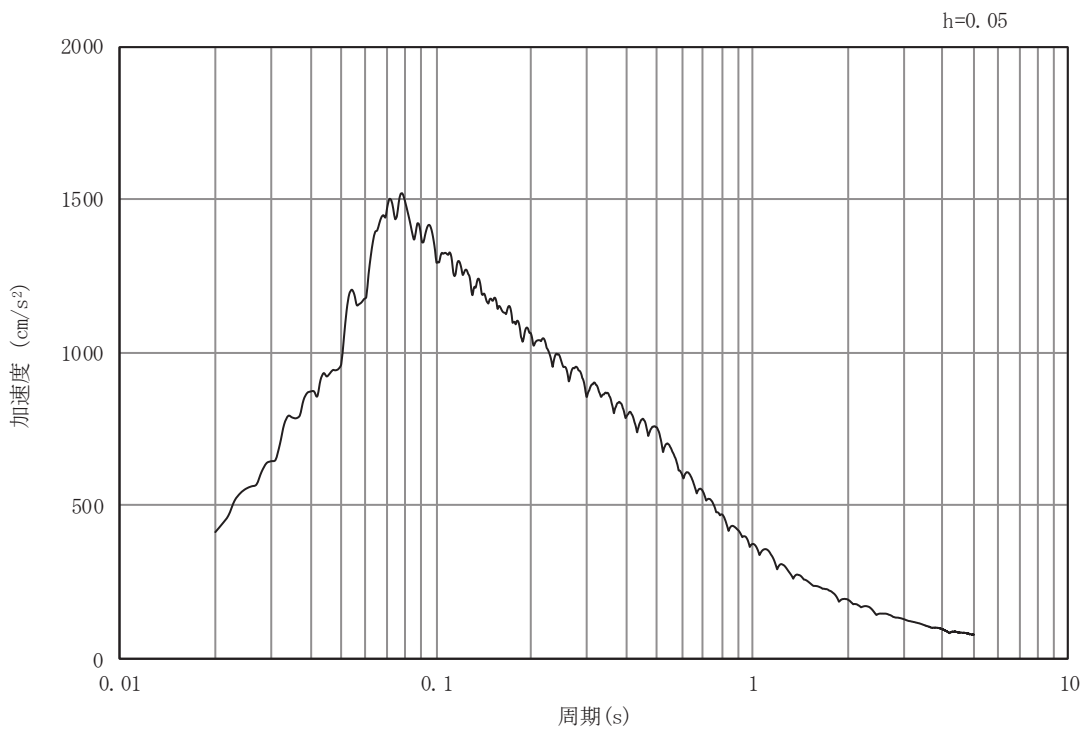


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分: S s - D 1), No.1 揚水井戸

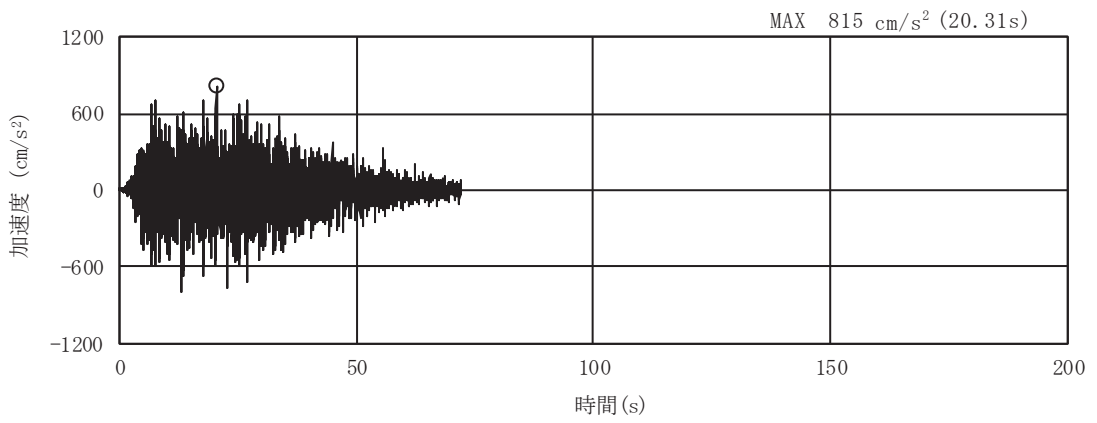


(a) 加速度時刻歴波形

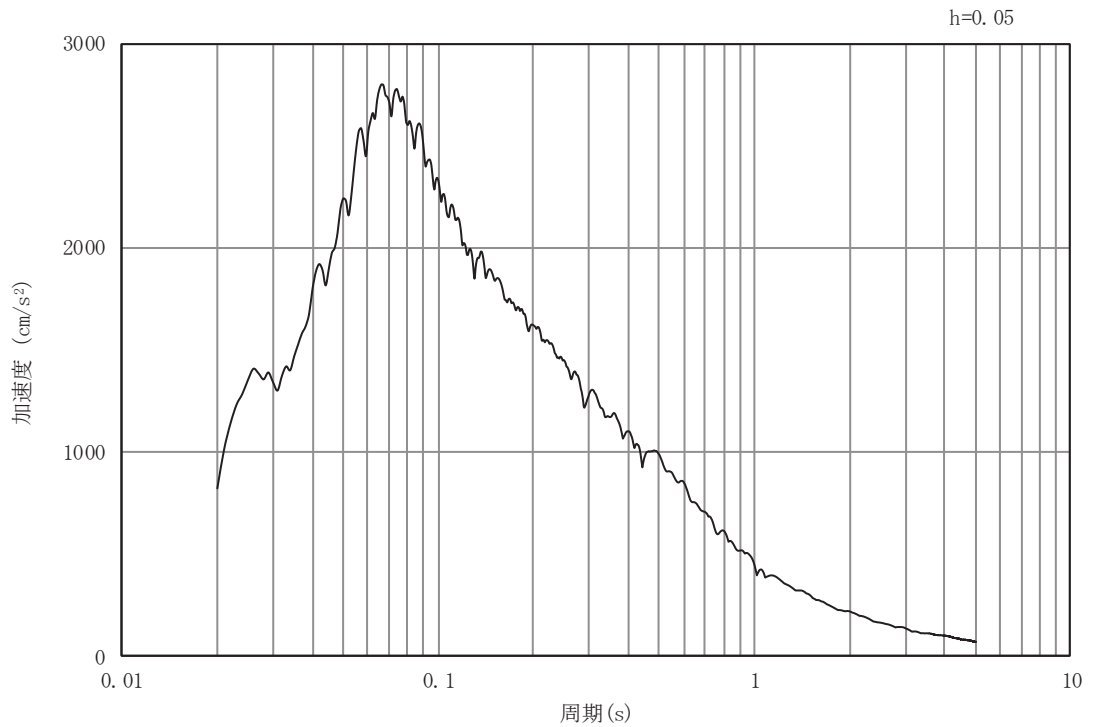


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - D 1), No.1 揚水井戸

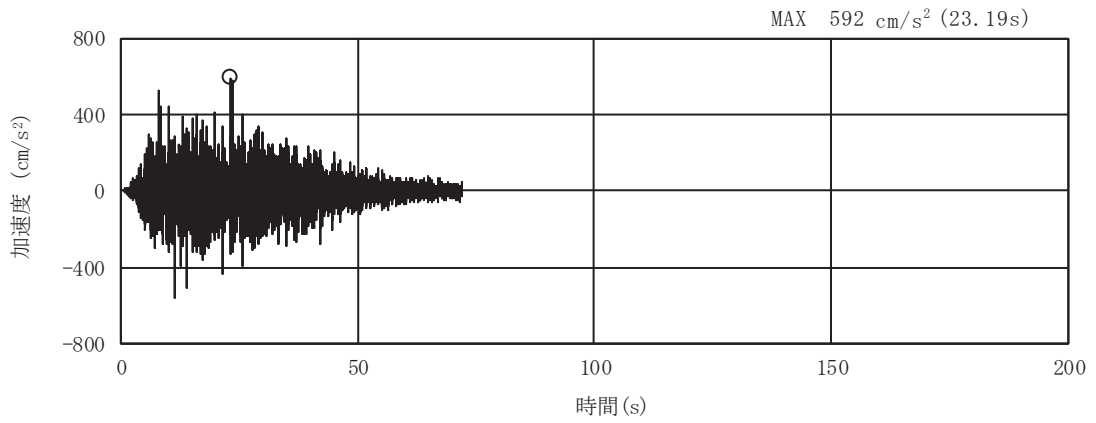


(a) 加速度時刻歴波形

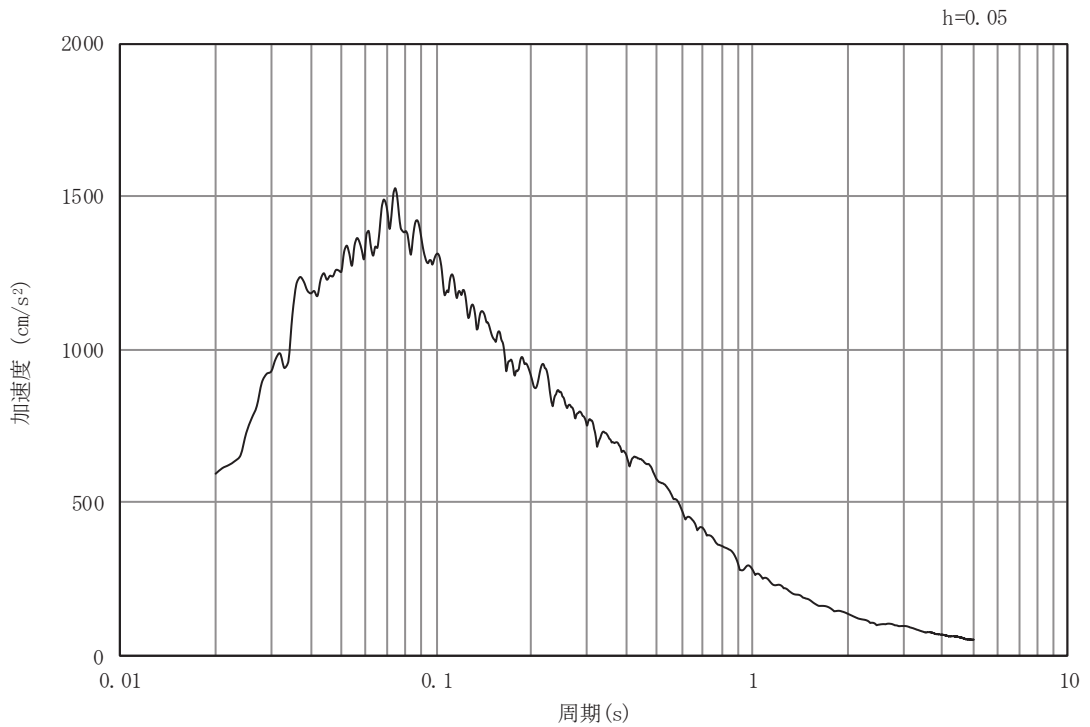


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - D 2), No.1 揚水井戸

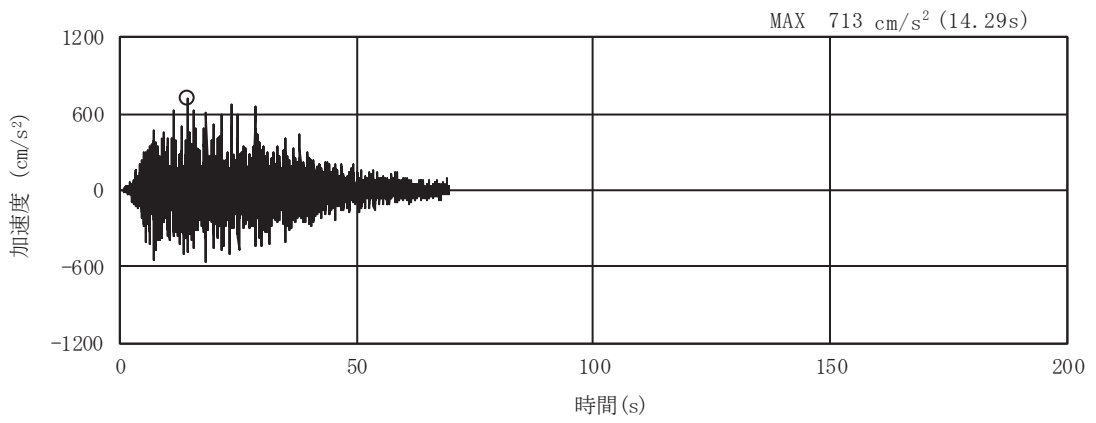


(a) 加速度時刻歴波形

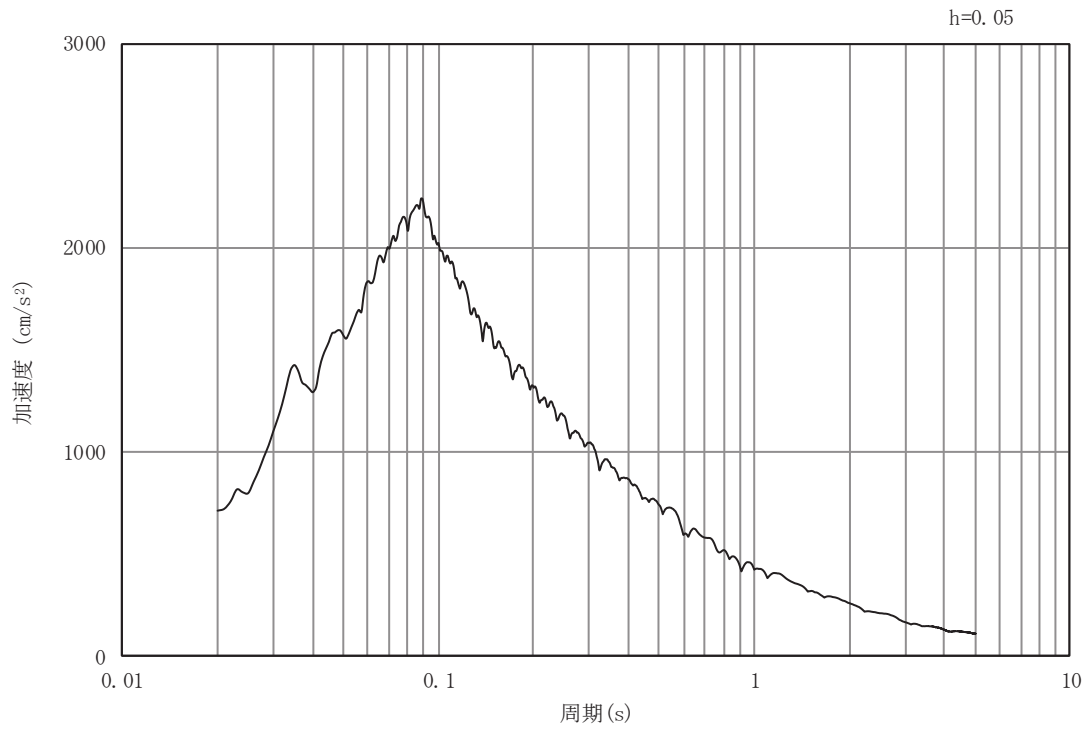


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - D 2), No.1 揚水井戸

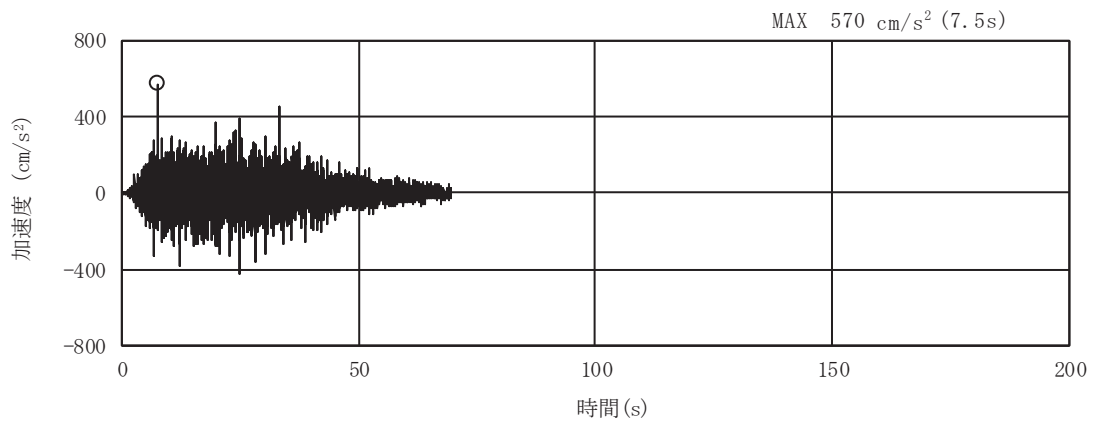


(a) 加速度時刻歴波形

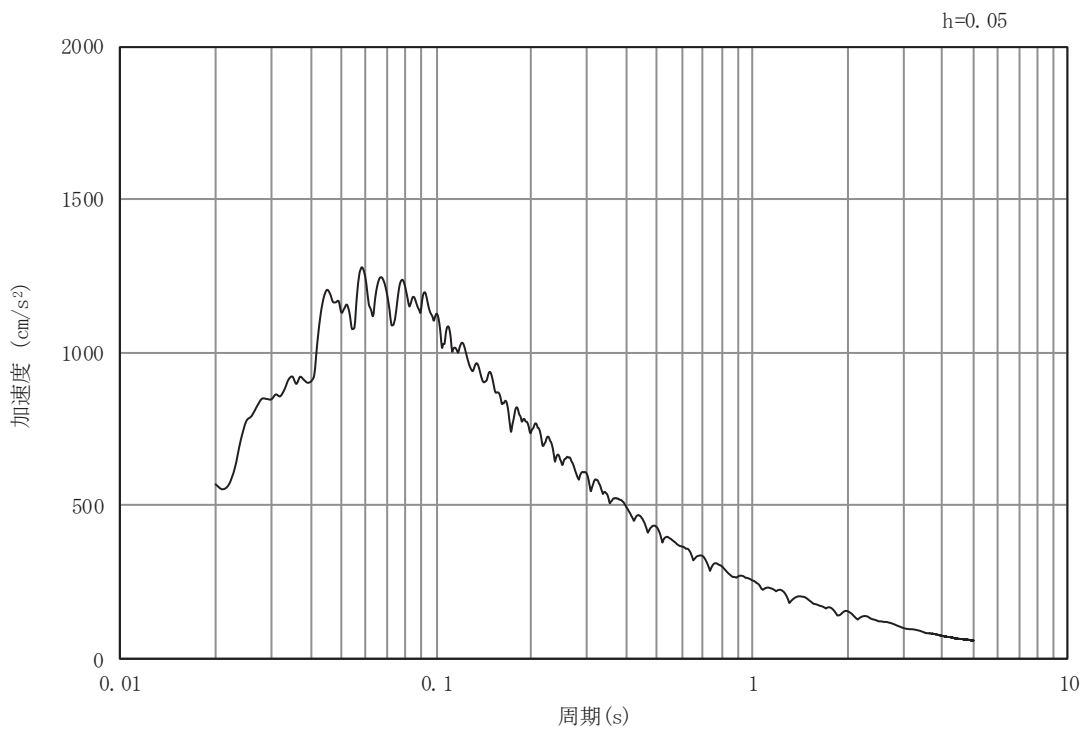


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - D 3), No.1 揚水井戸

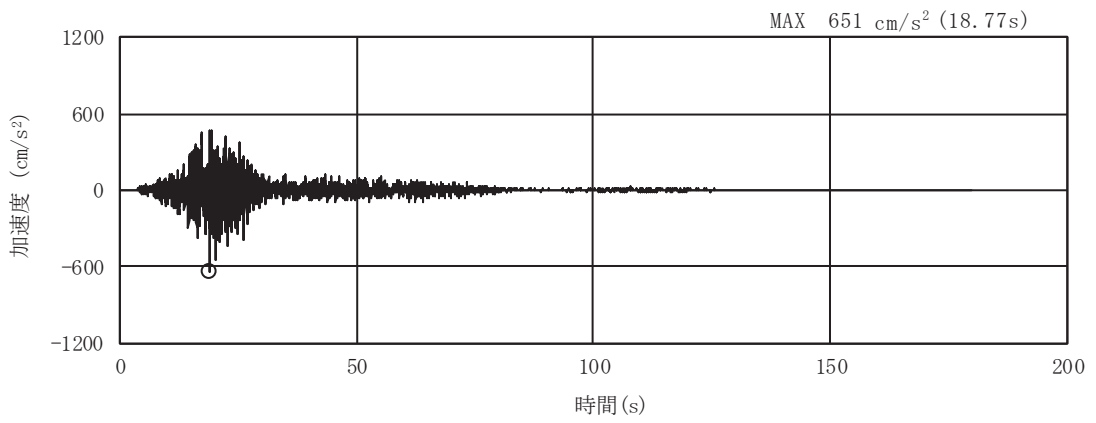


(a) 加速度時刻歴波形

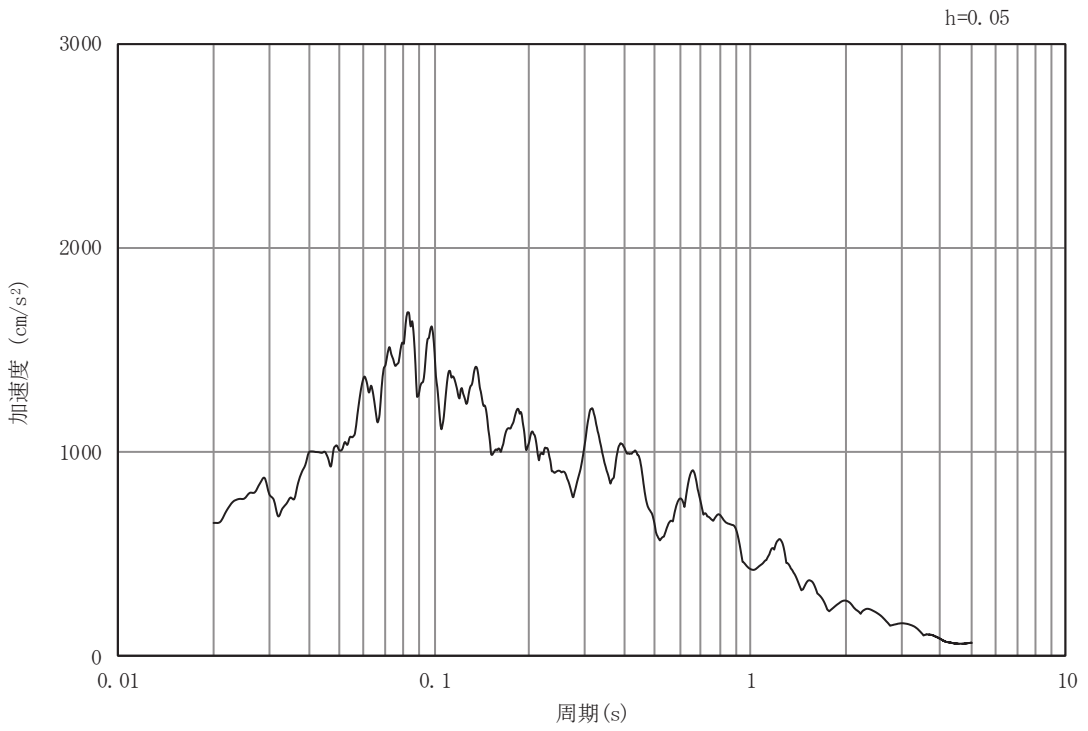


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - D 3), No.1 揚水井戸

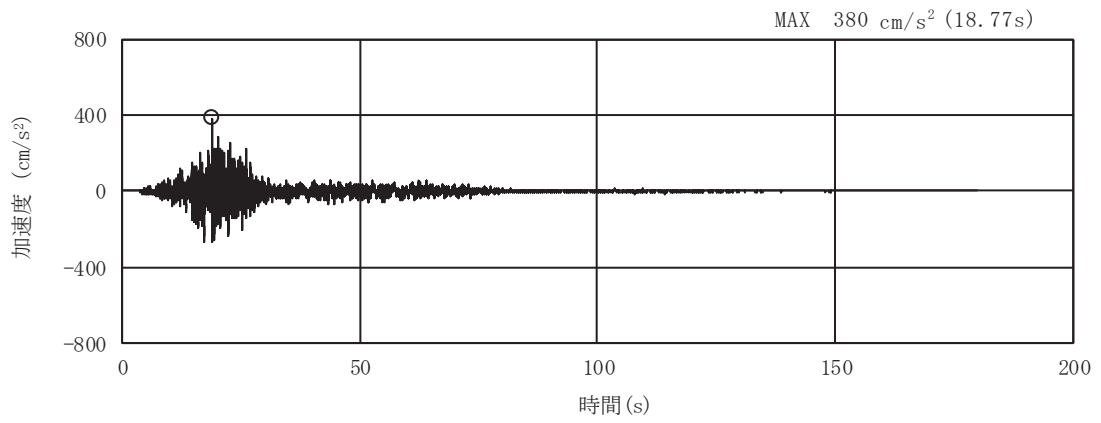


(a) 加速度時刻歴波形

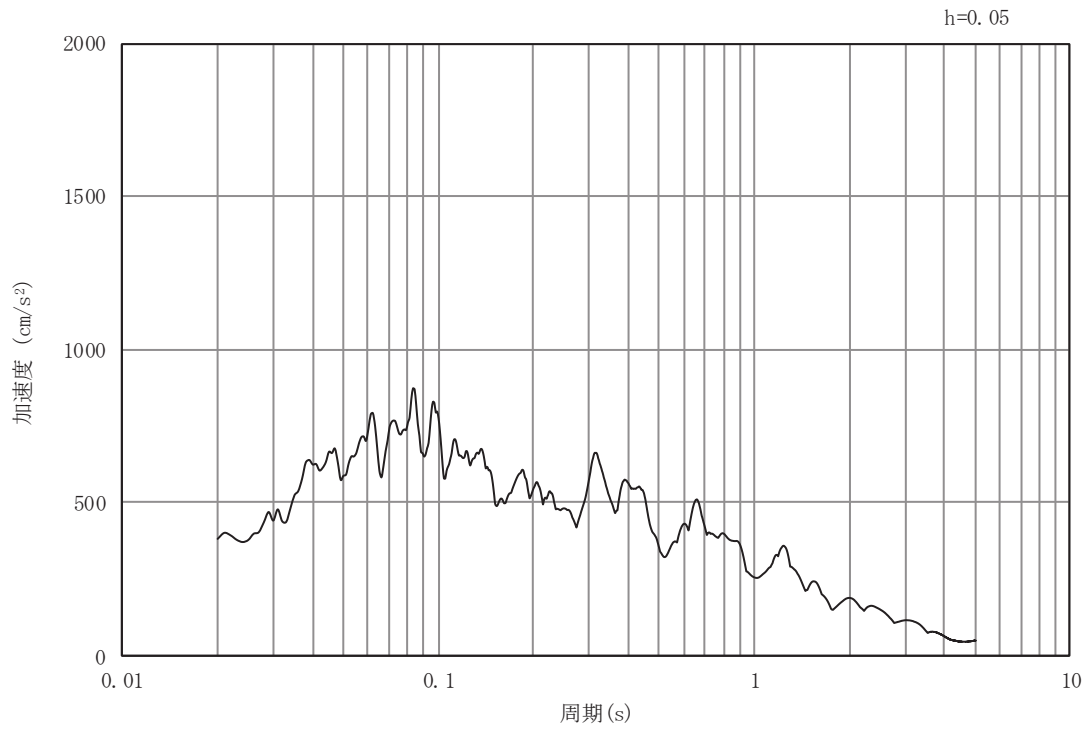


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - F 1), No.1 揚水井戸



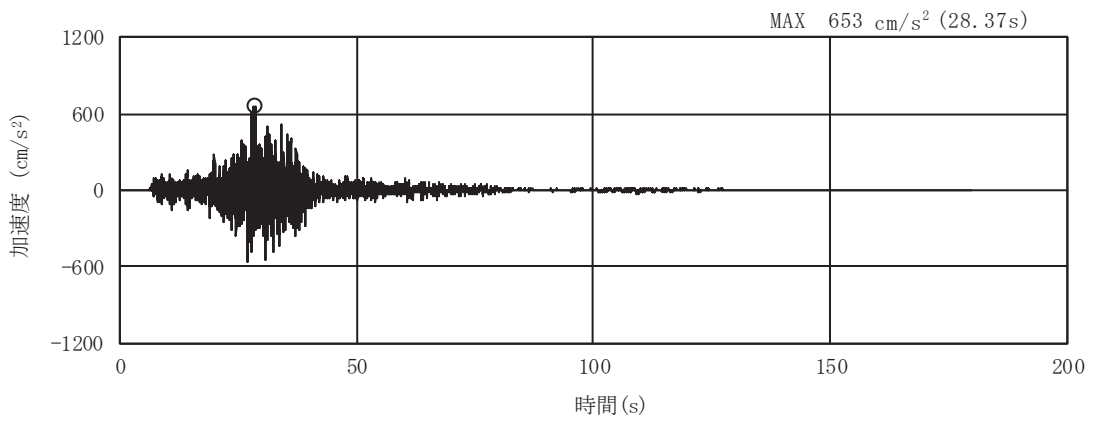
(a) 加速度時刻歴波形



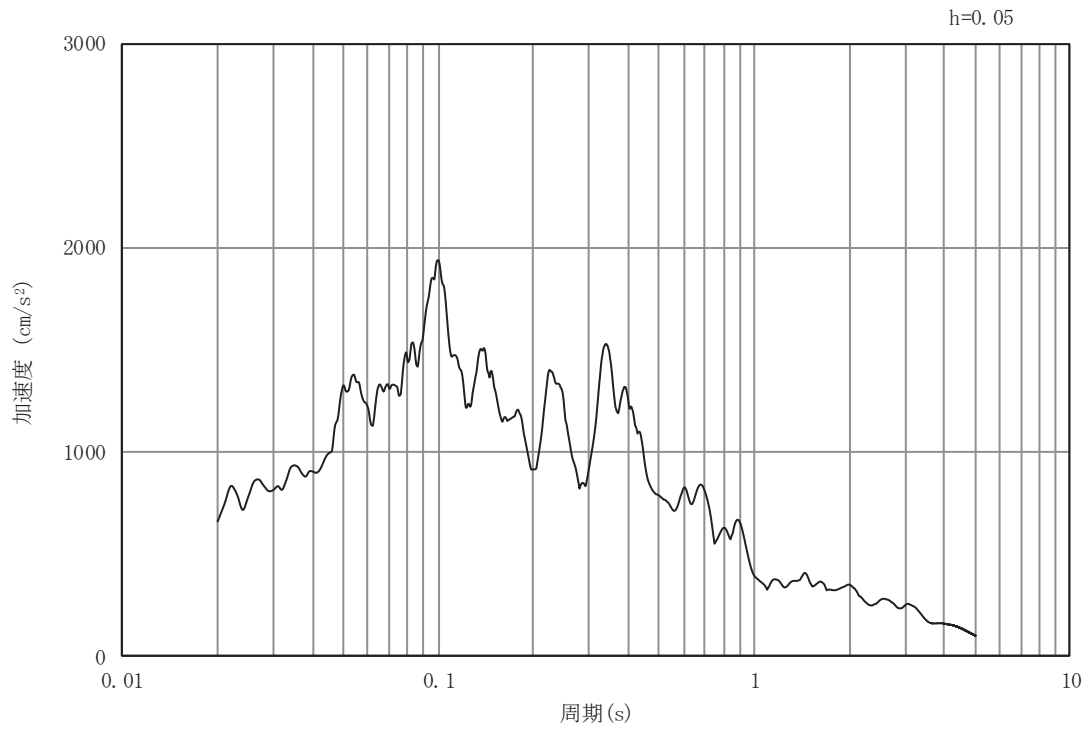
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - F 1), No.1 揚水井戸



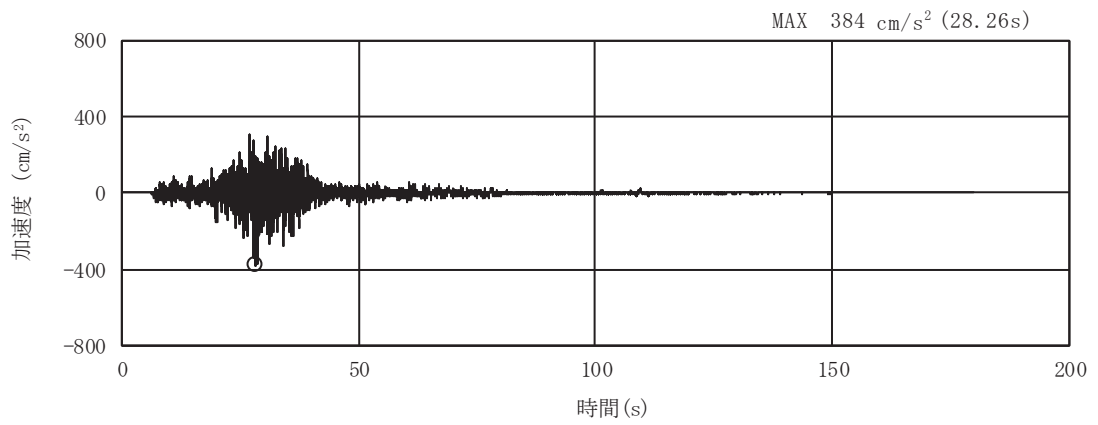


(a) 加速度時刻歴波形

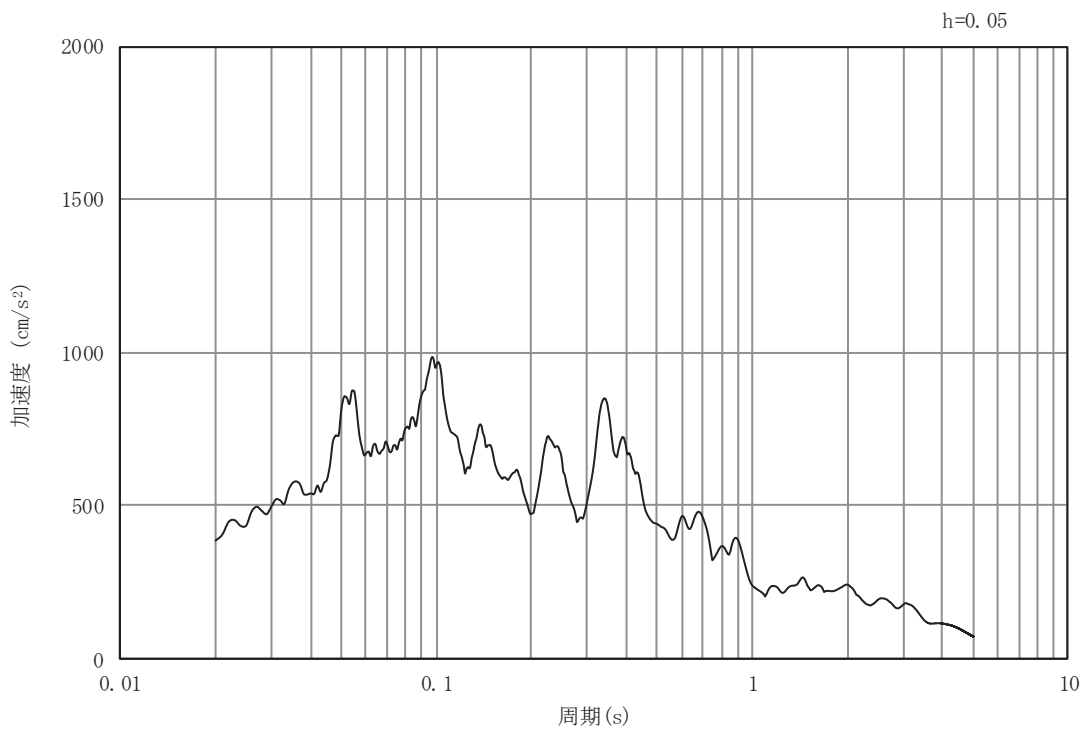


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - F 2), No.1 揚水井戸

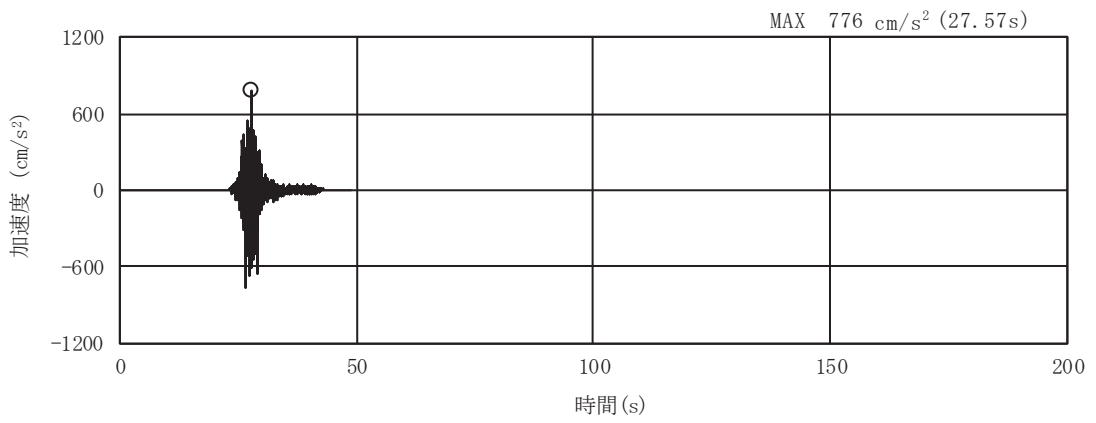


(a) 加速度時刻歴波形

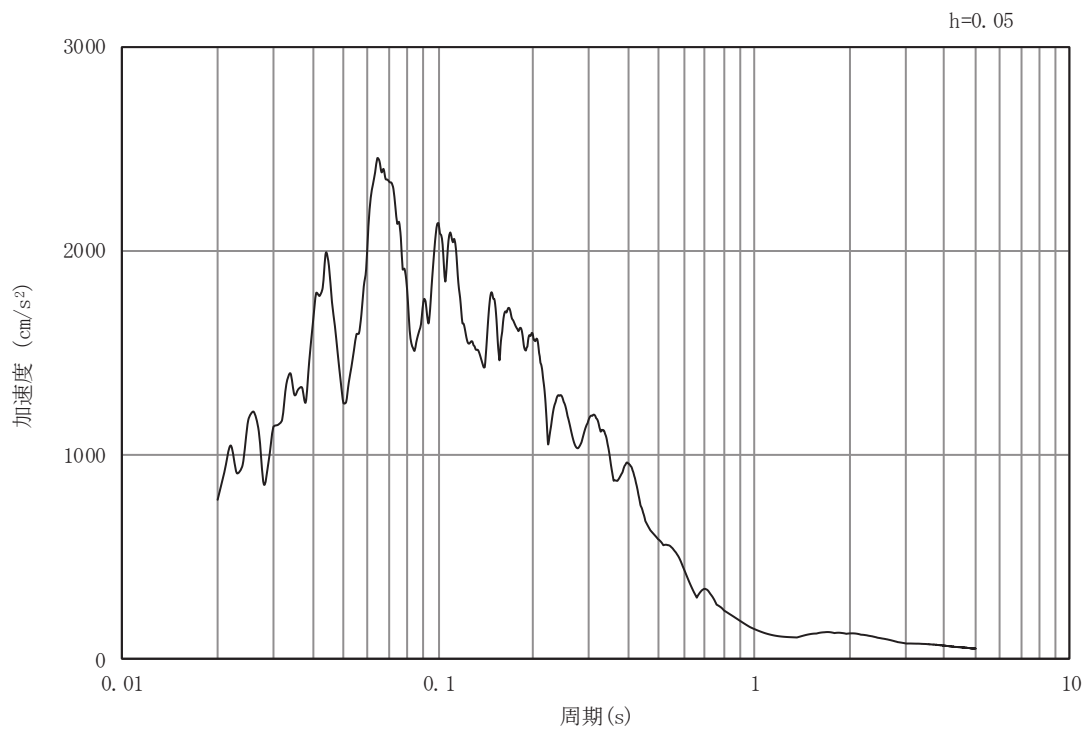


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - F 2), No.1 揚水井戸

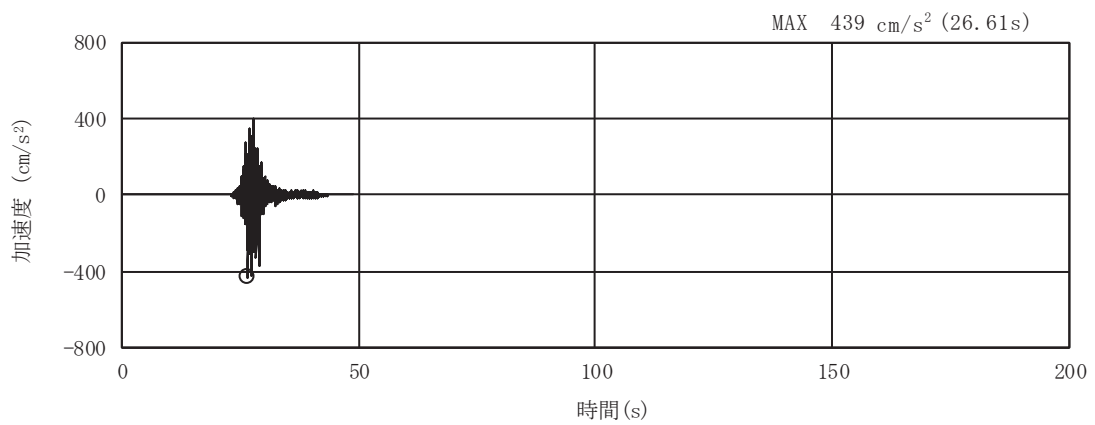


(a) 加速度時刻歴波形

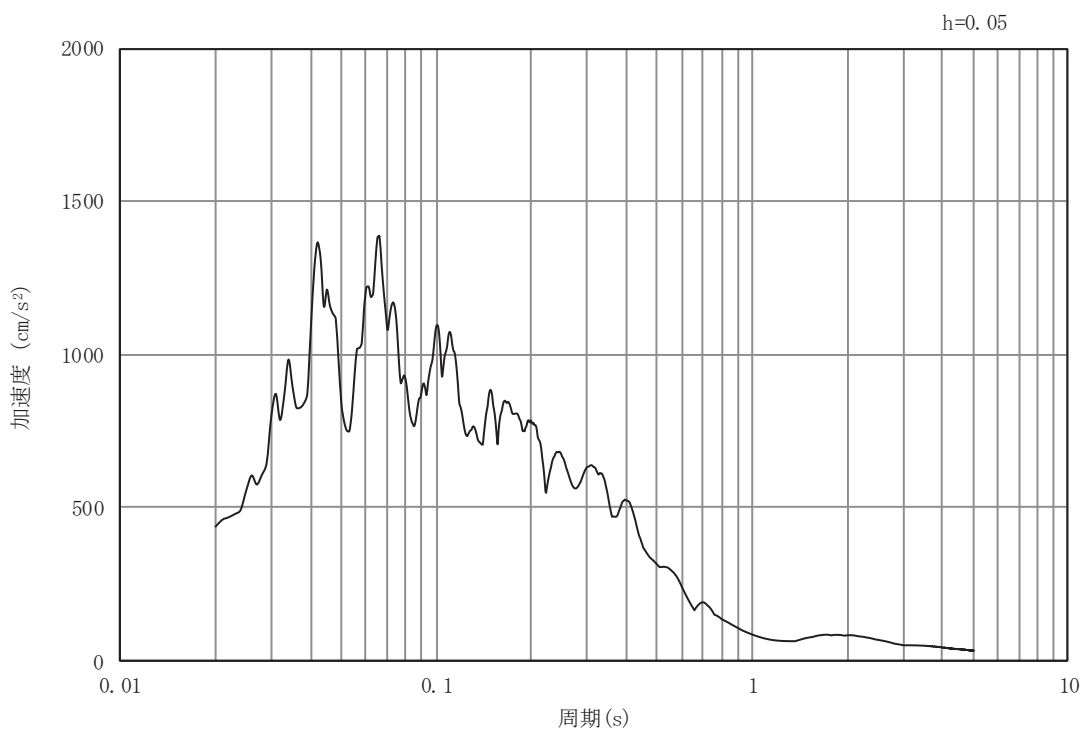


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - F 3), No.1 揚水井戸

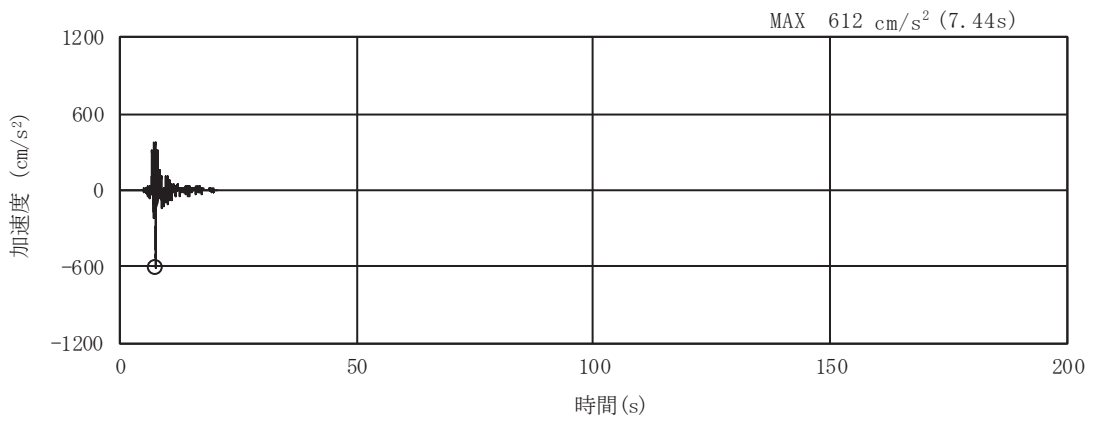


(a) 加速度時刻歴波形

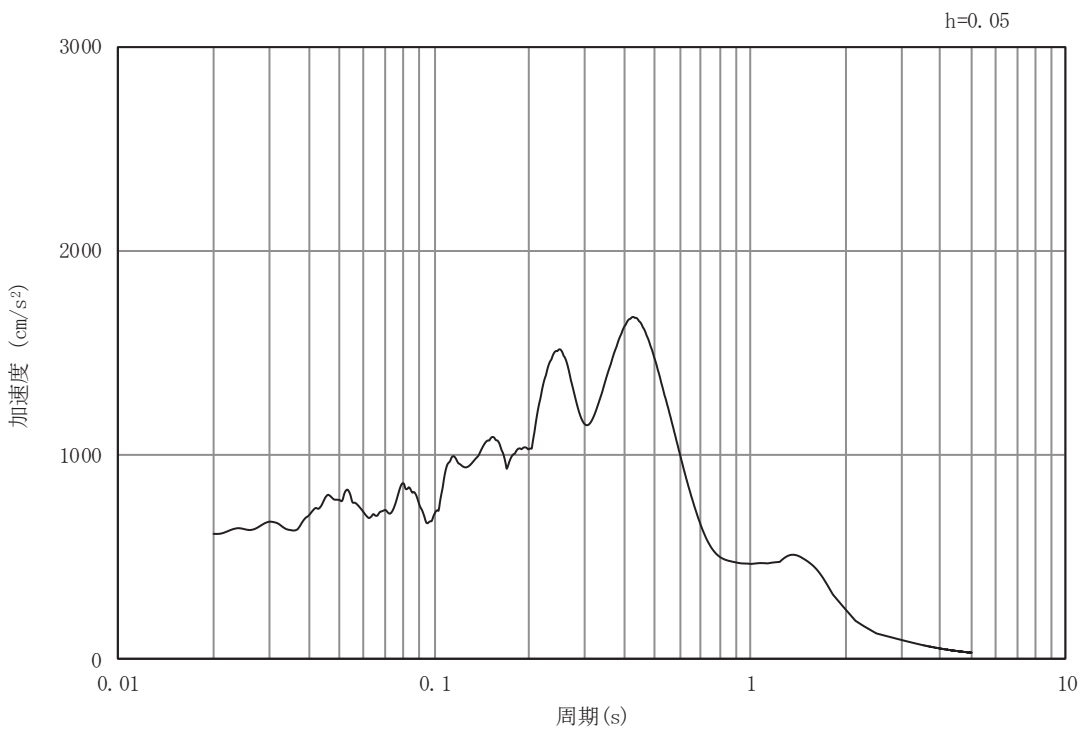


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - F 3), No.1 揚水井戸

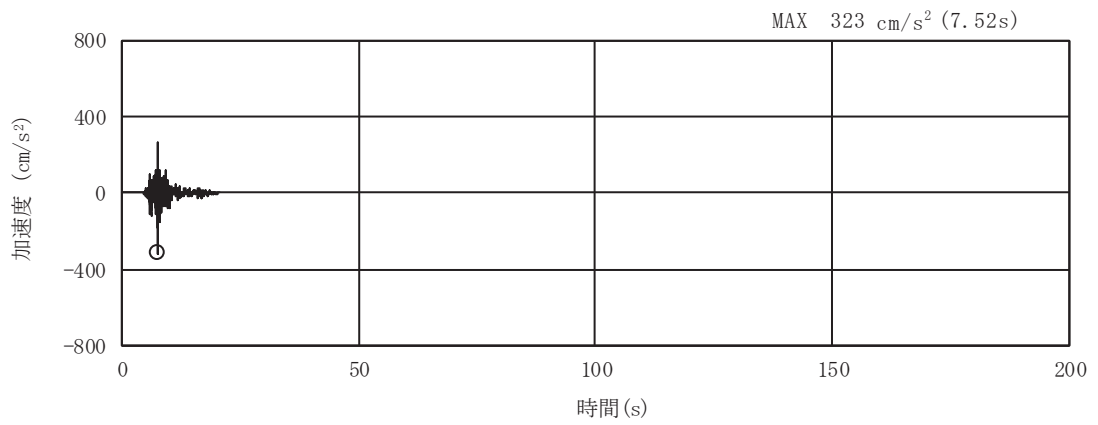


(a) 加速度時刻歴波形

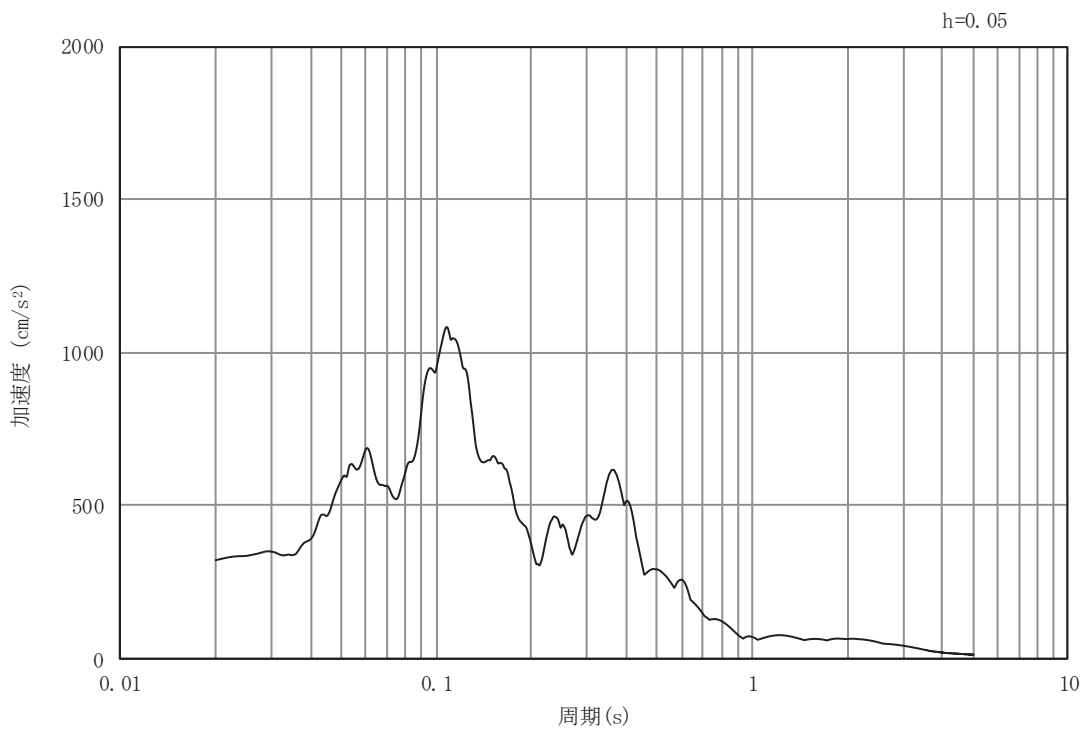


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - N 1), No.1 揚水井戸

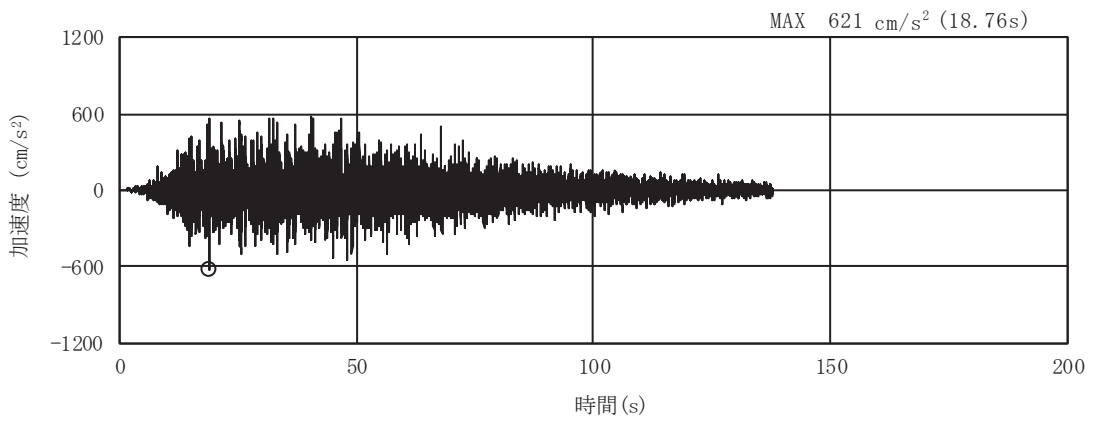


(a) 加速度時刻歴波形

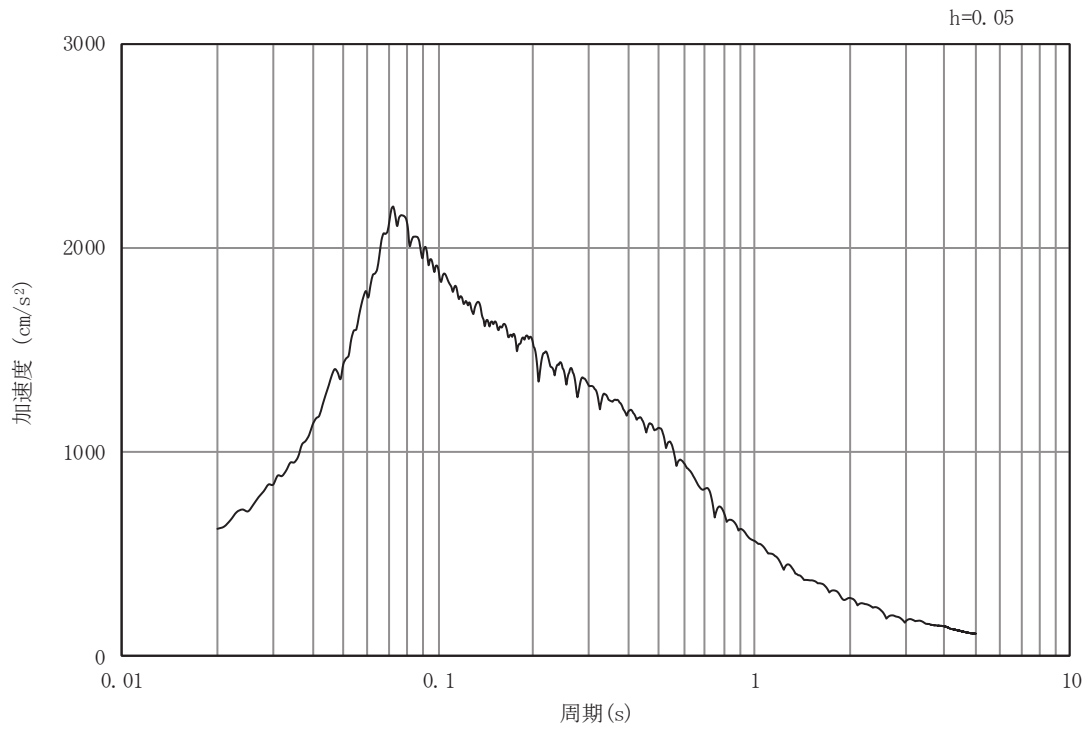


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - N 1), No.1 揚水井戸

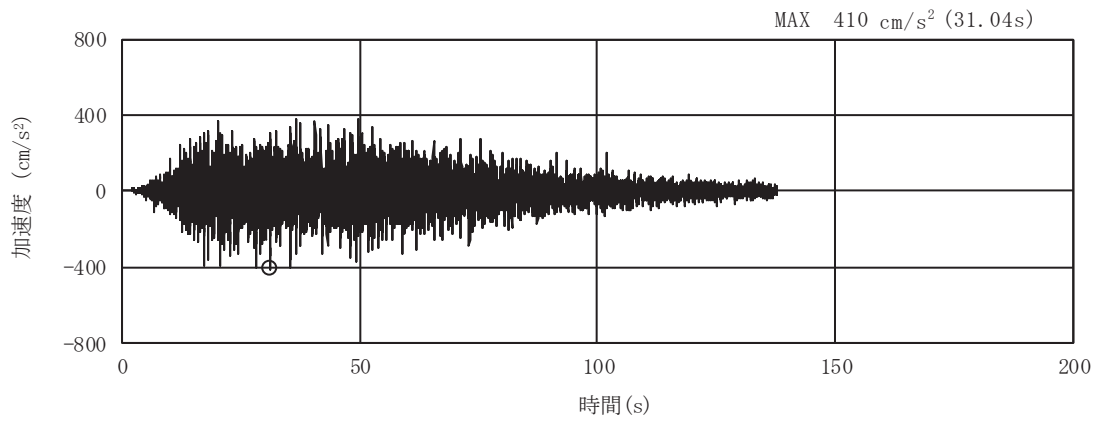


(a) 加速度時刻歴波形

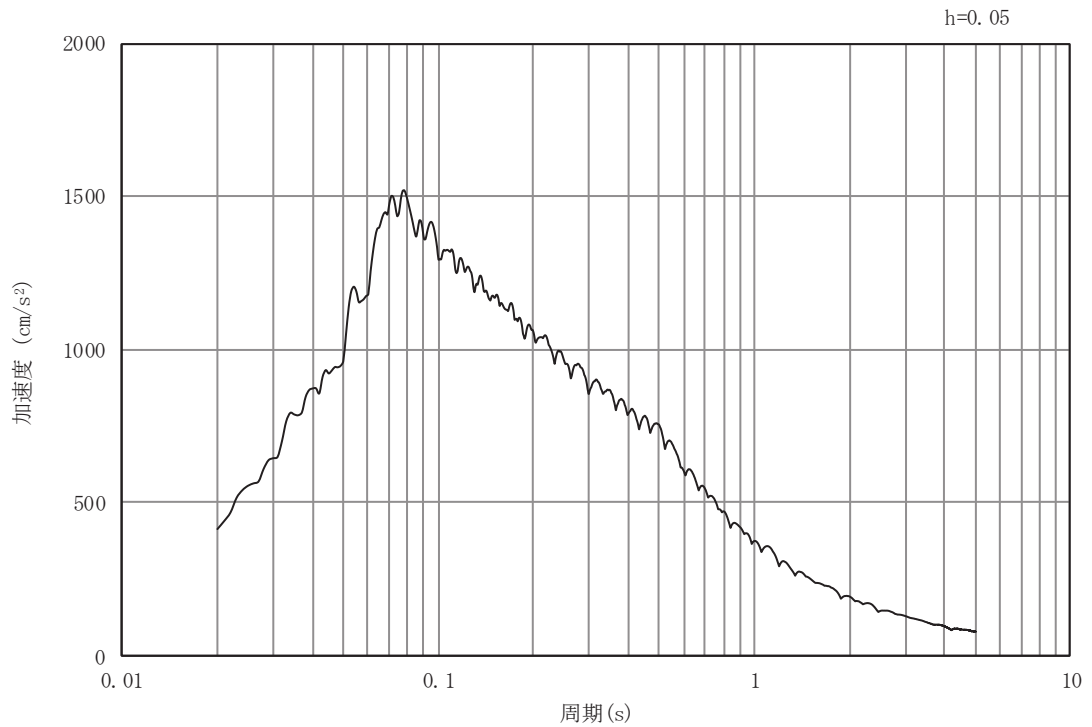


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分: S s - D 1), No.2 揚水井戸



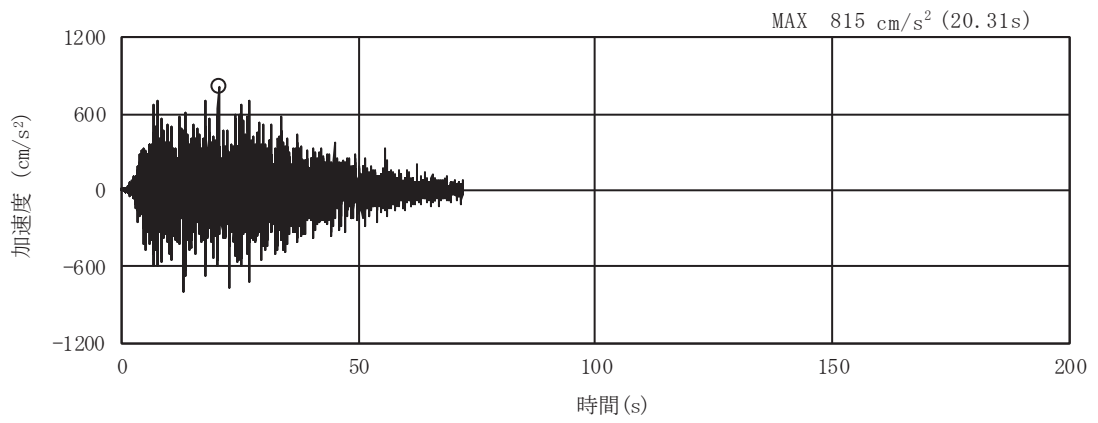
(a) 加速度時刻歴波形



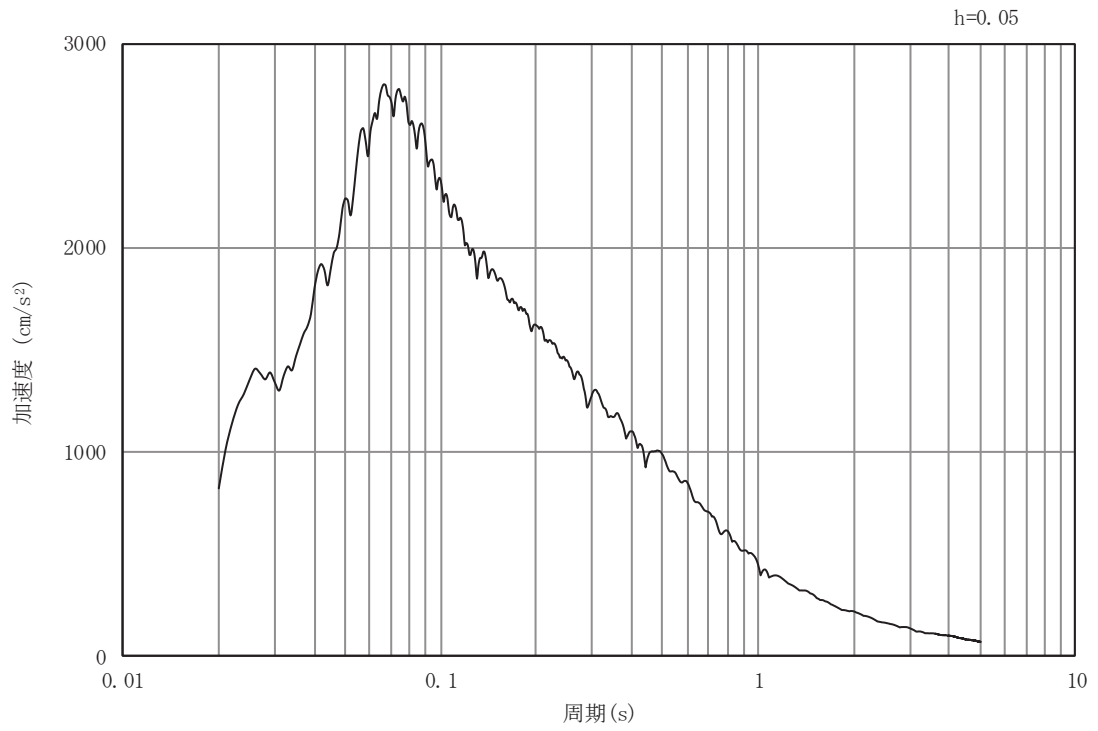
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - D 1), No.2 揚水井戸



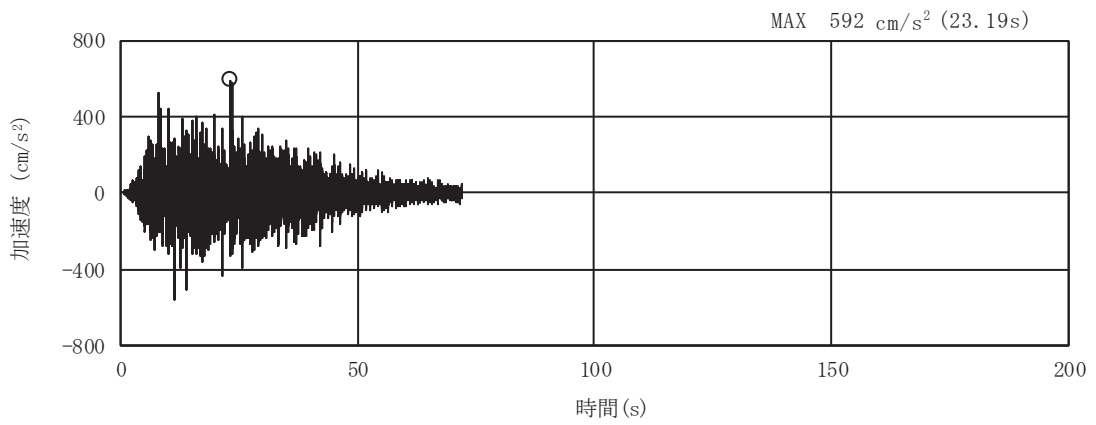


(a) 加速度時刻歴波形

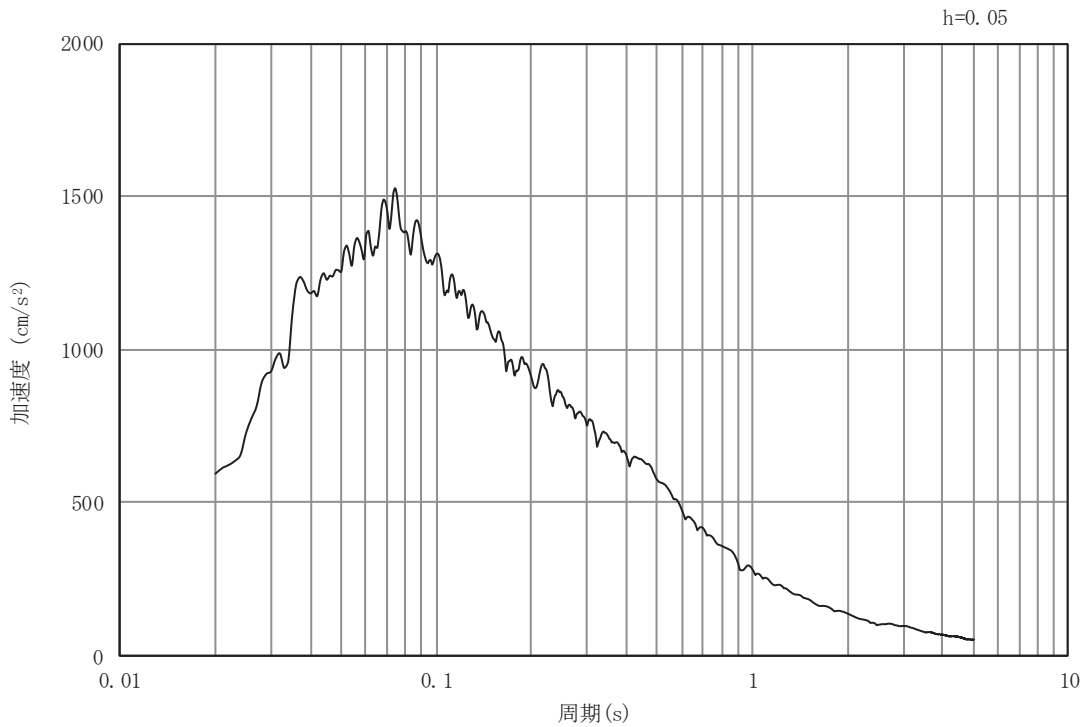


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - D 2), No.2 揚水井戸

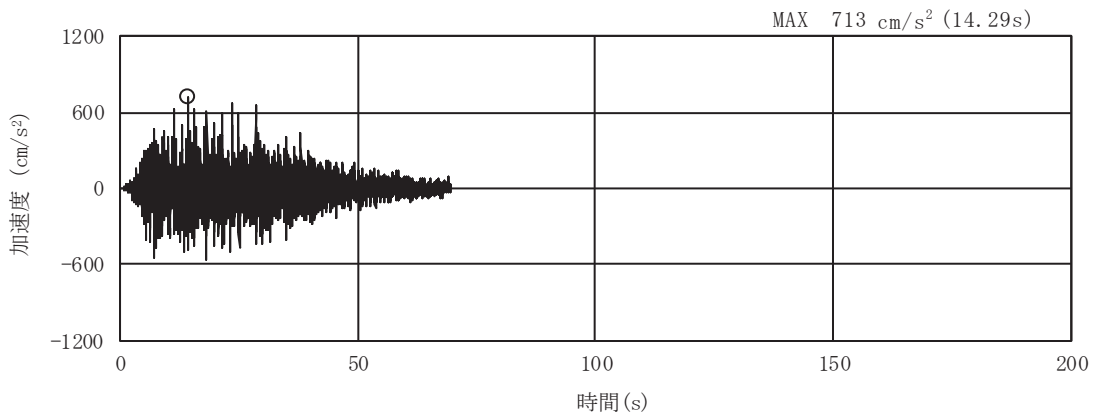


(a) 加速度時刻歴波形

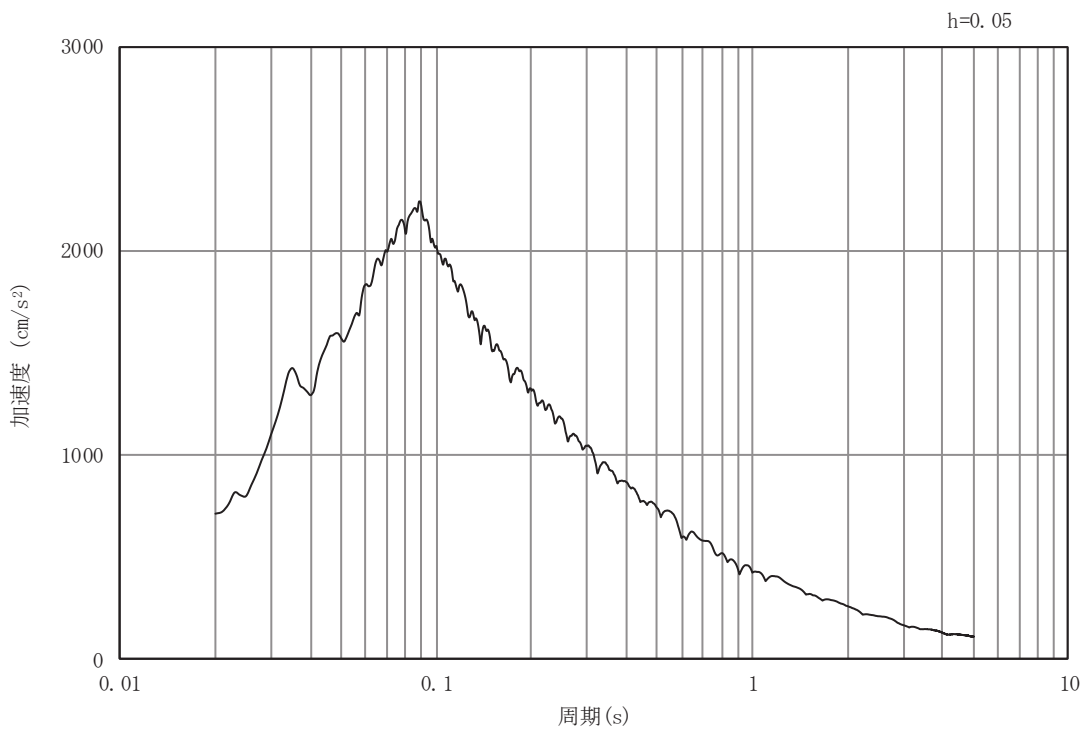


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - D 2), No.2 揚水井戸

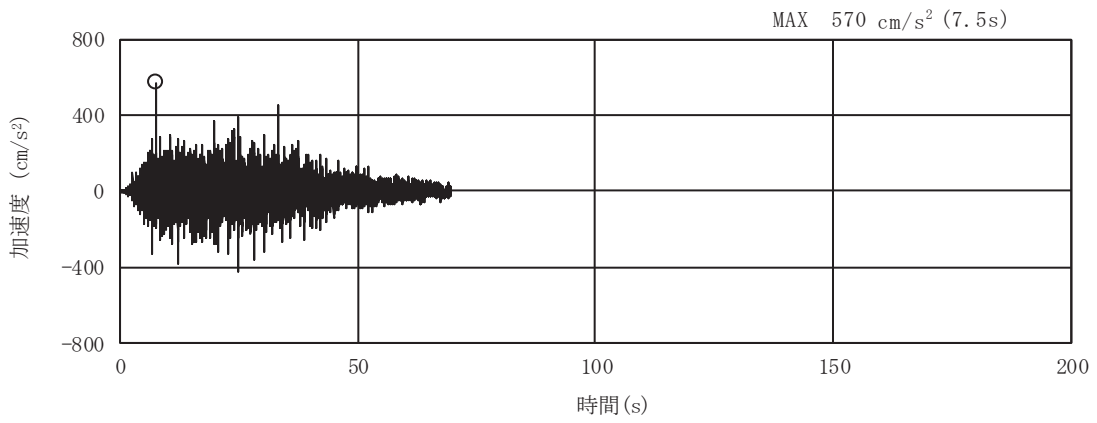


(a) 加速度時刻歴波形

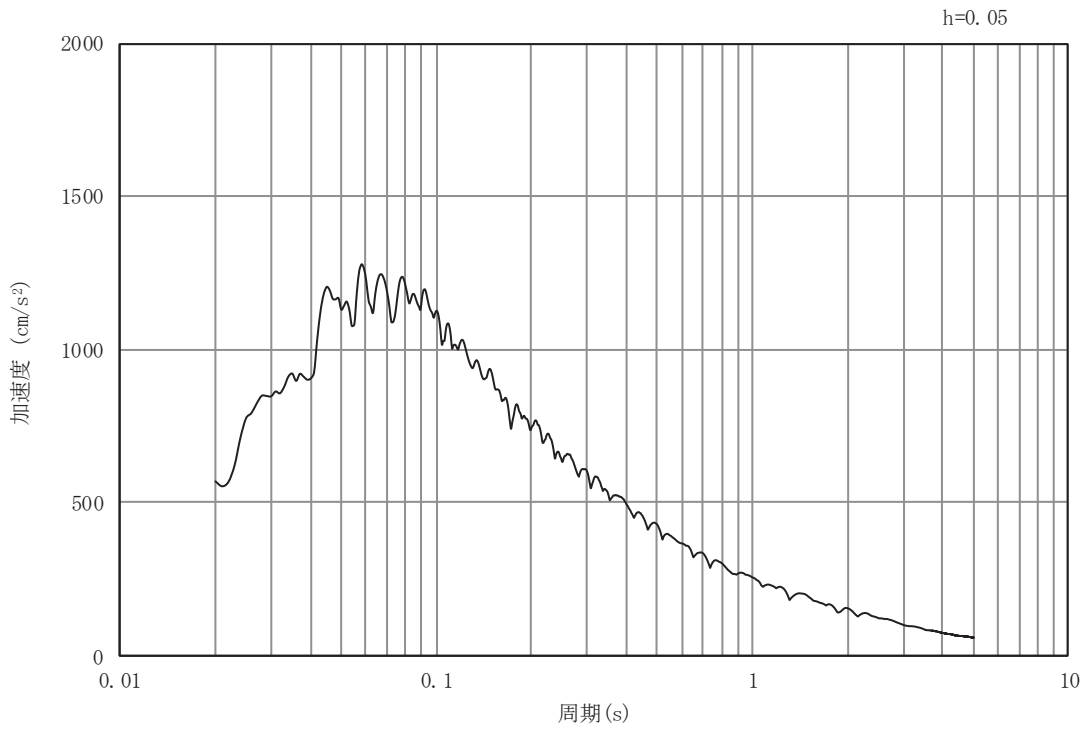


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分: S s - D 3), No.2 揚水井戸

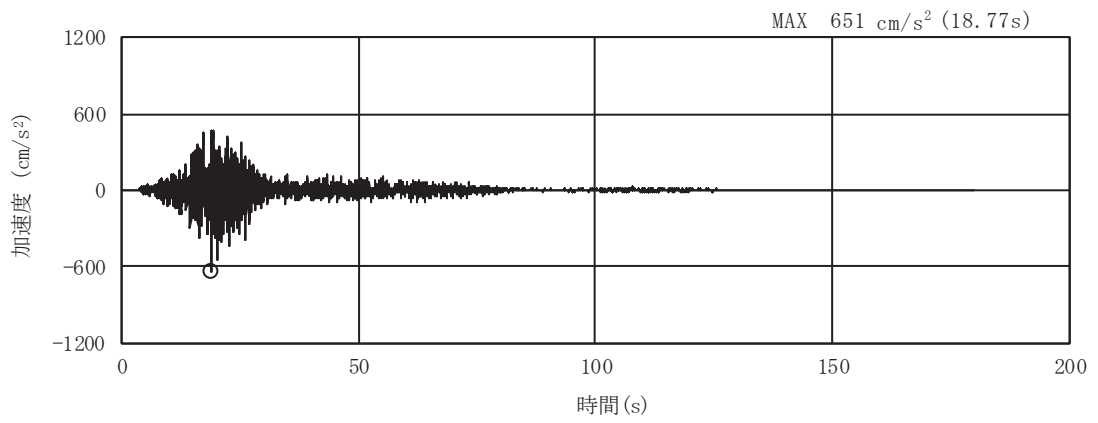


(a) 加速度時刻歴波形

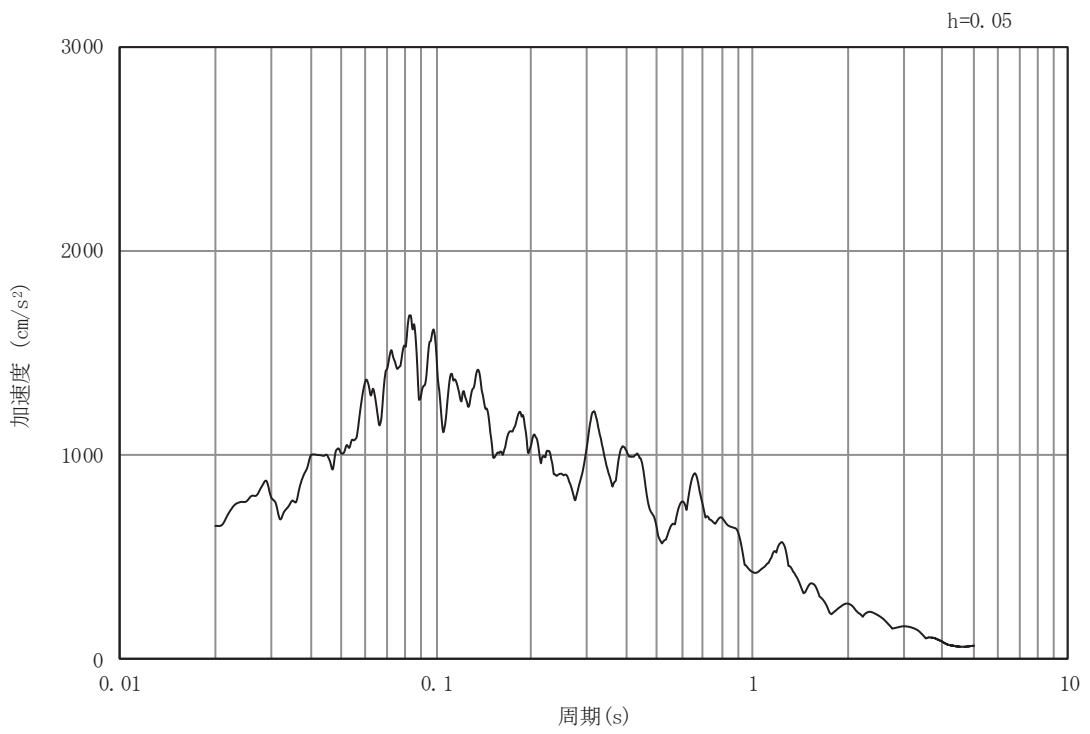


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - D 3), No.2 揚水井戸

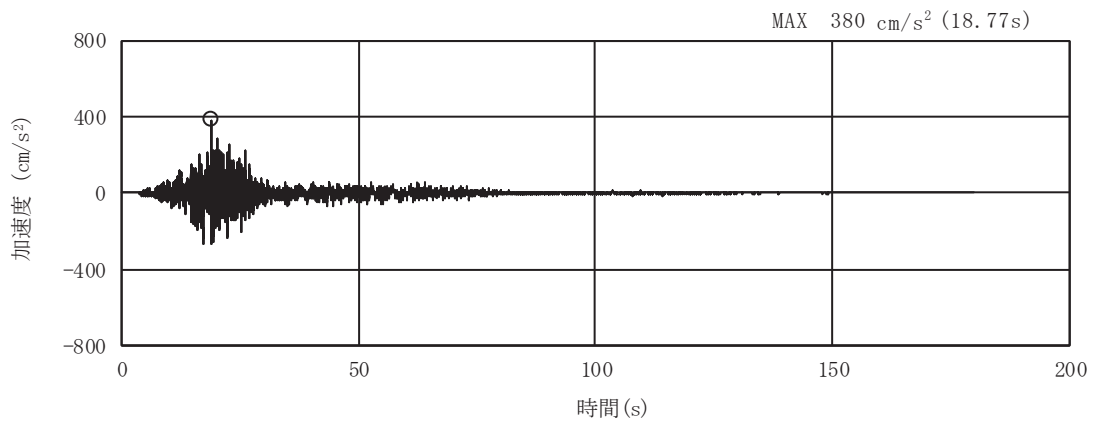


(a) 加速度時刻歴波形

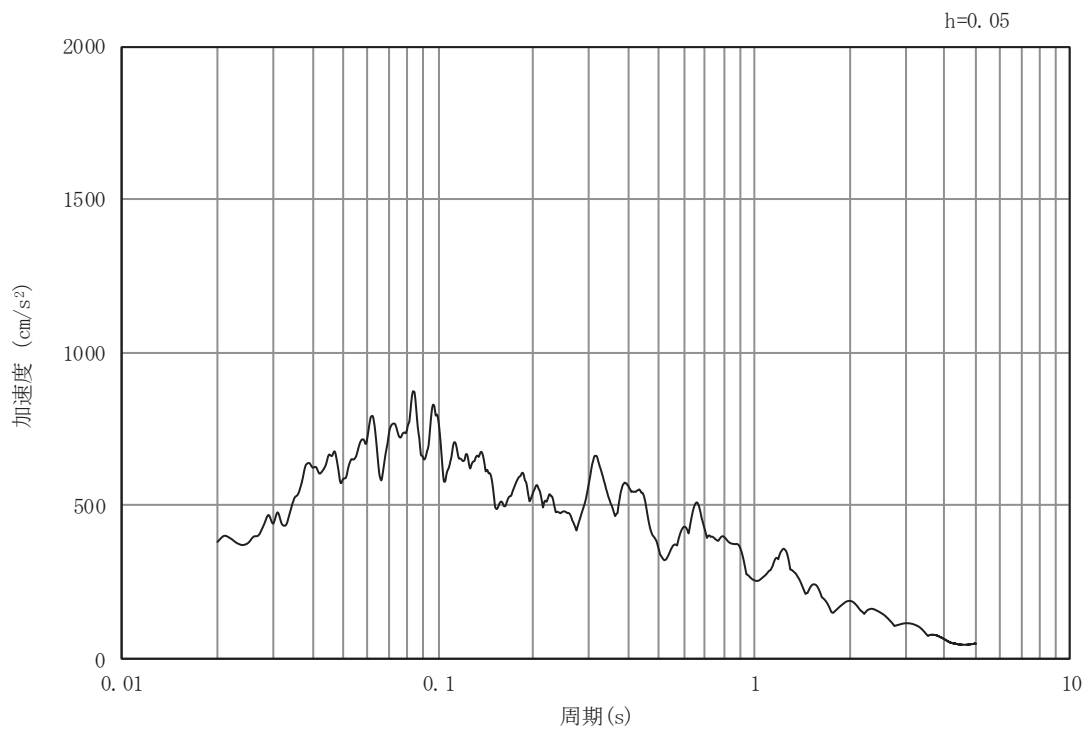


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分: S s - F 1), No.2 揚水井戸

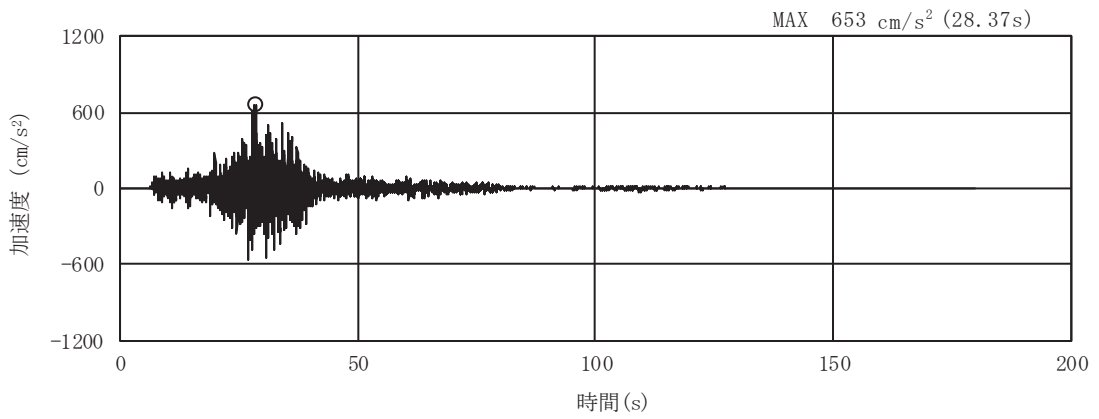


(a) 加速度時刻歴波形

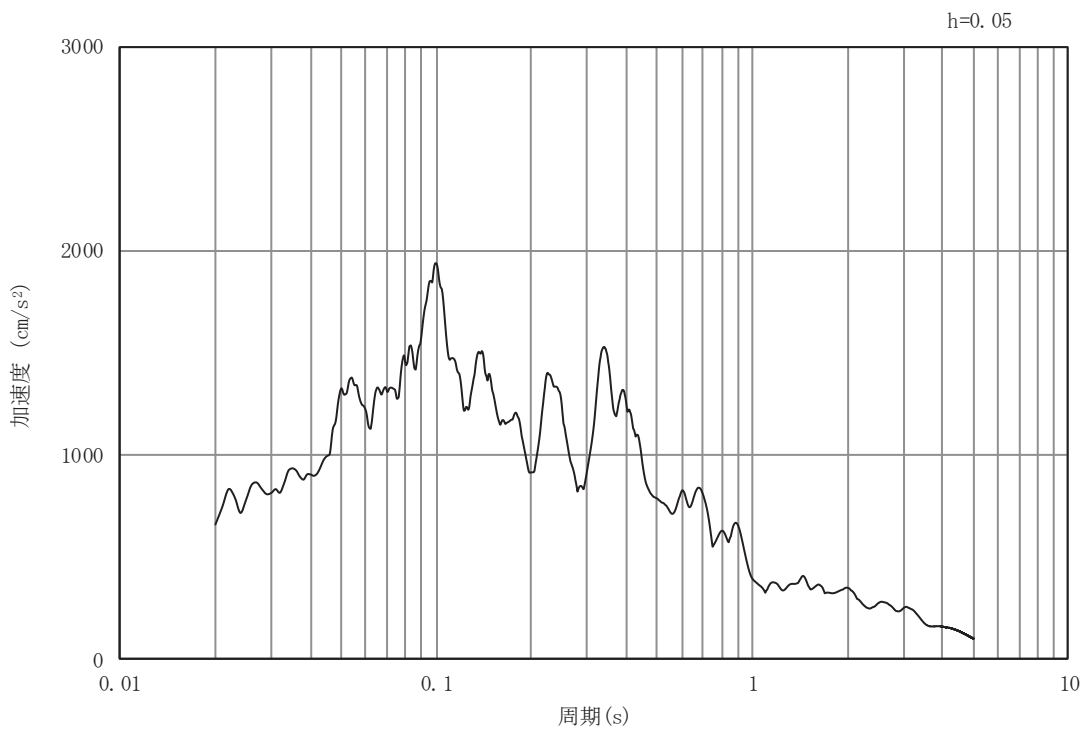


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - F 1), No.2 揚水井戸

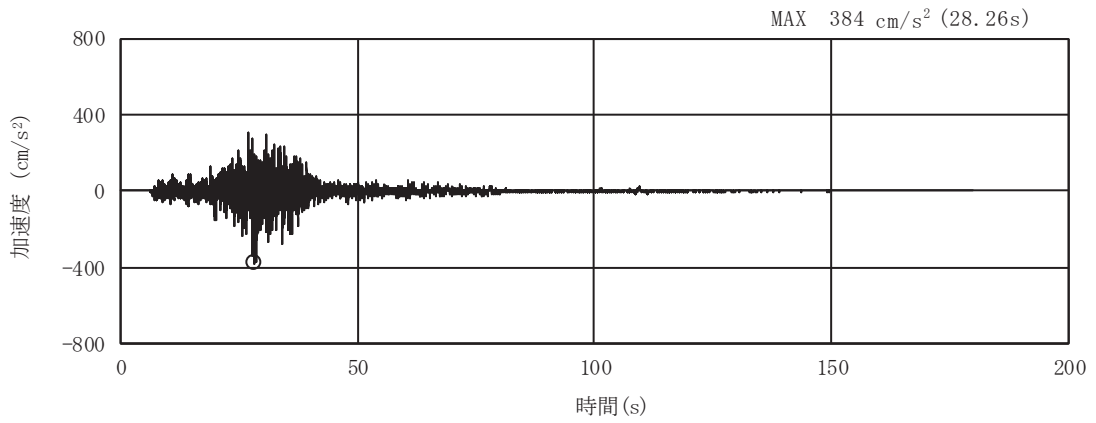


(a) 加速度時刻歴波形

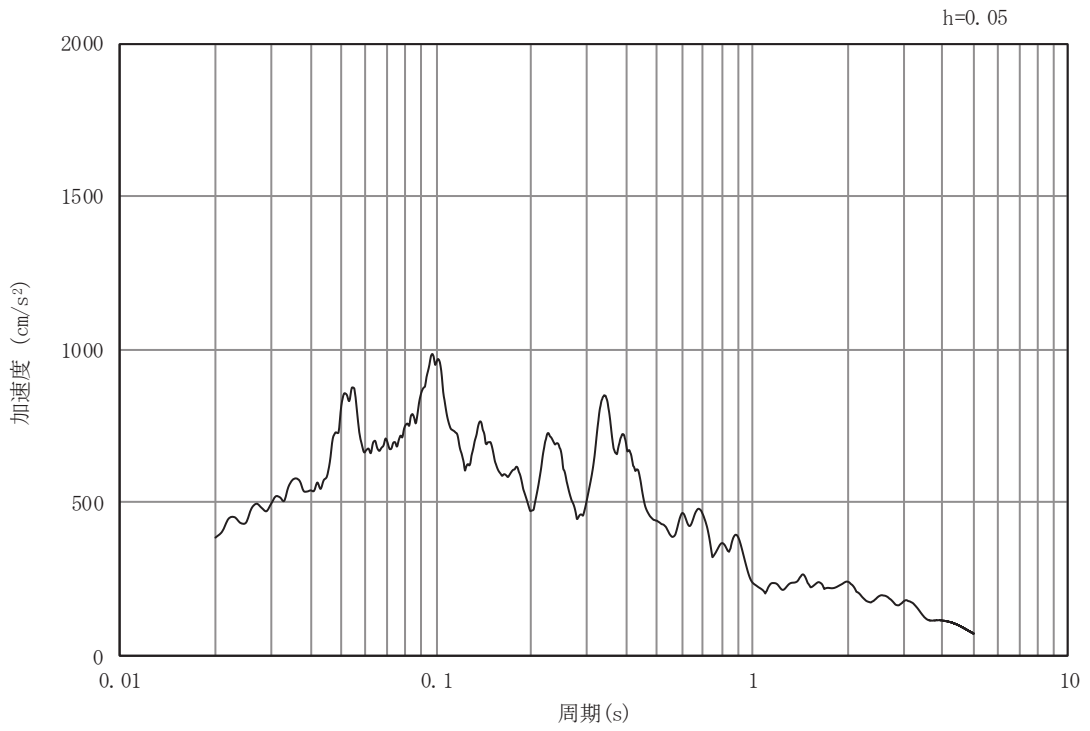


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分：S s - F 2), No.2 揚水井戸



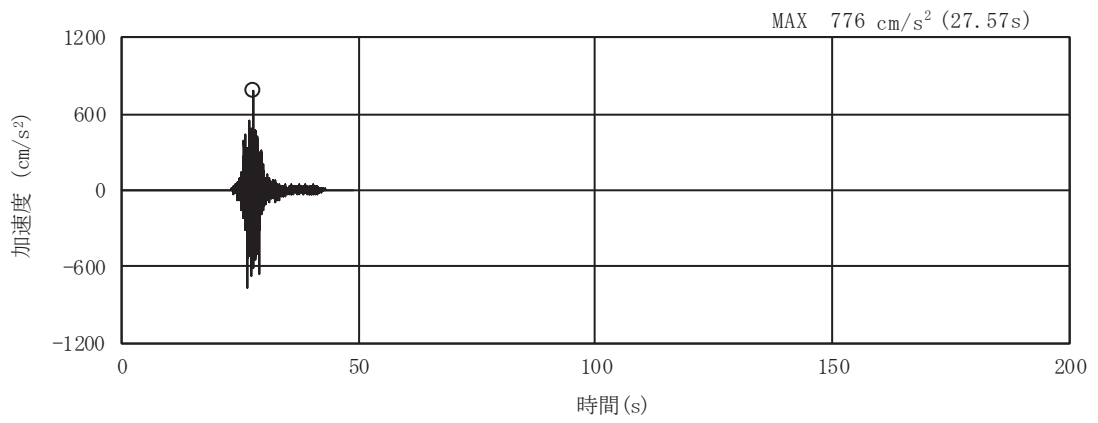
(a) 加速度時刻歴波形



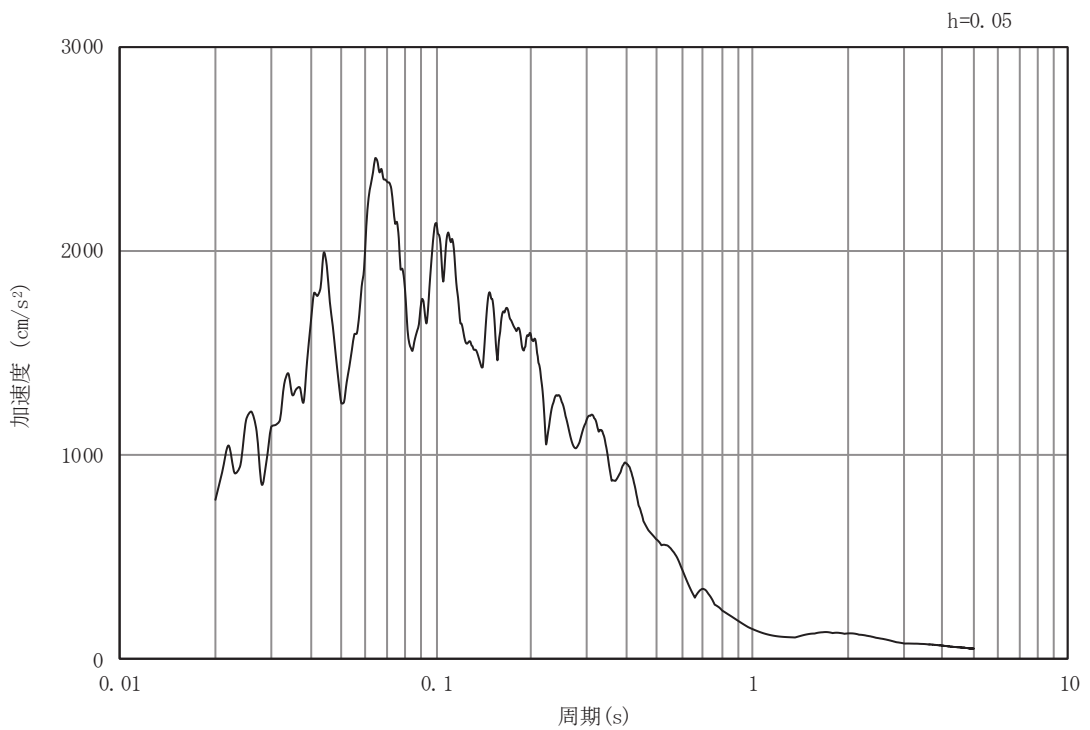
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - F 2), No.2 揚水井戸



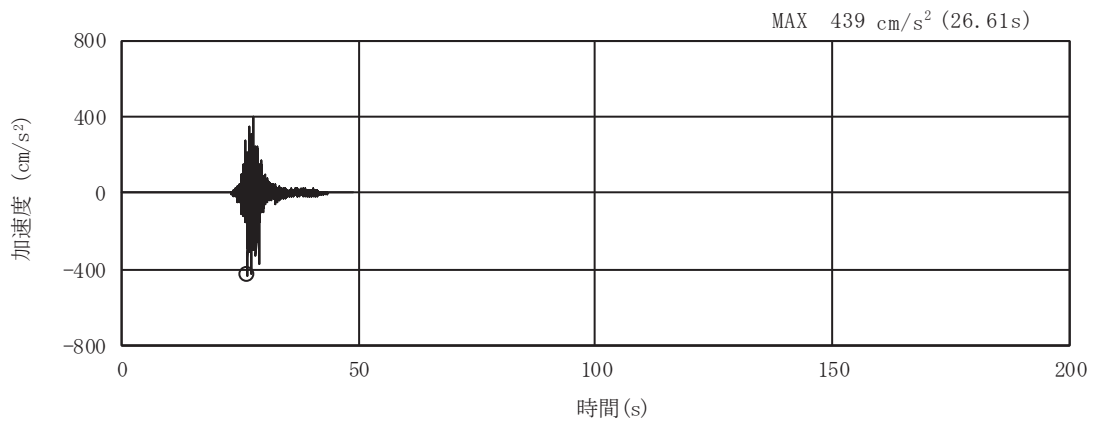


(a) 加速度時刻歴波形

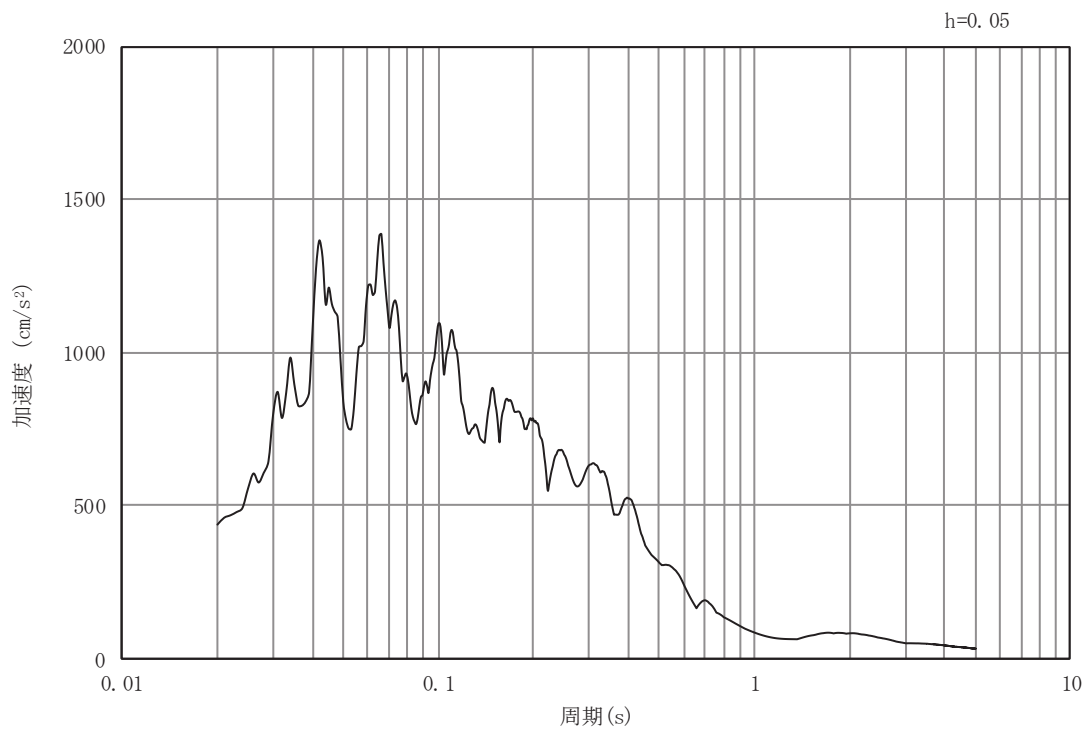


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(水平成分: S s - F 3), No.2 揚水井戸

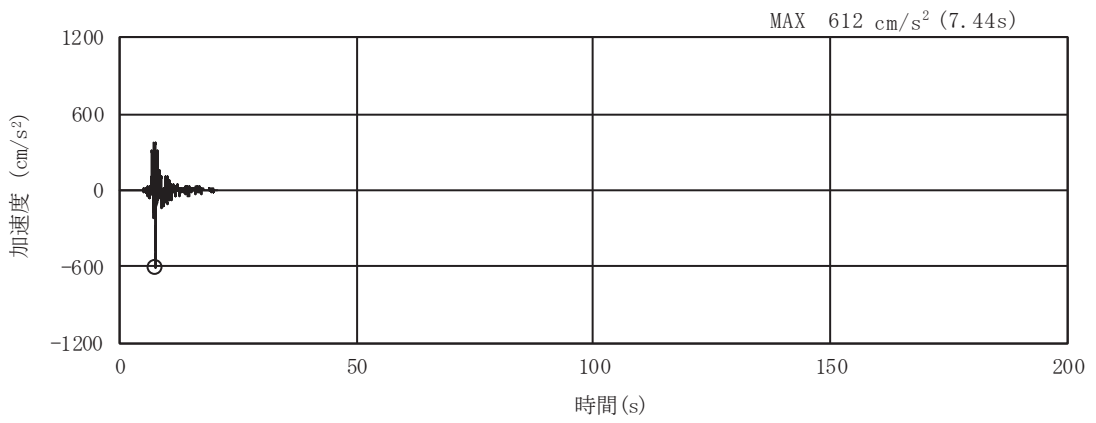


(a) 加速度時刻歴波形

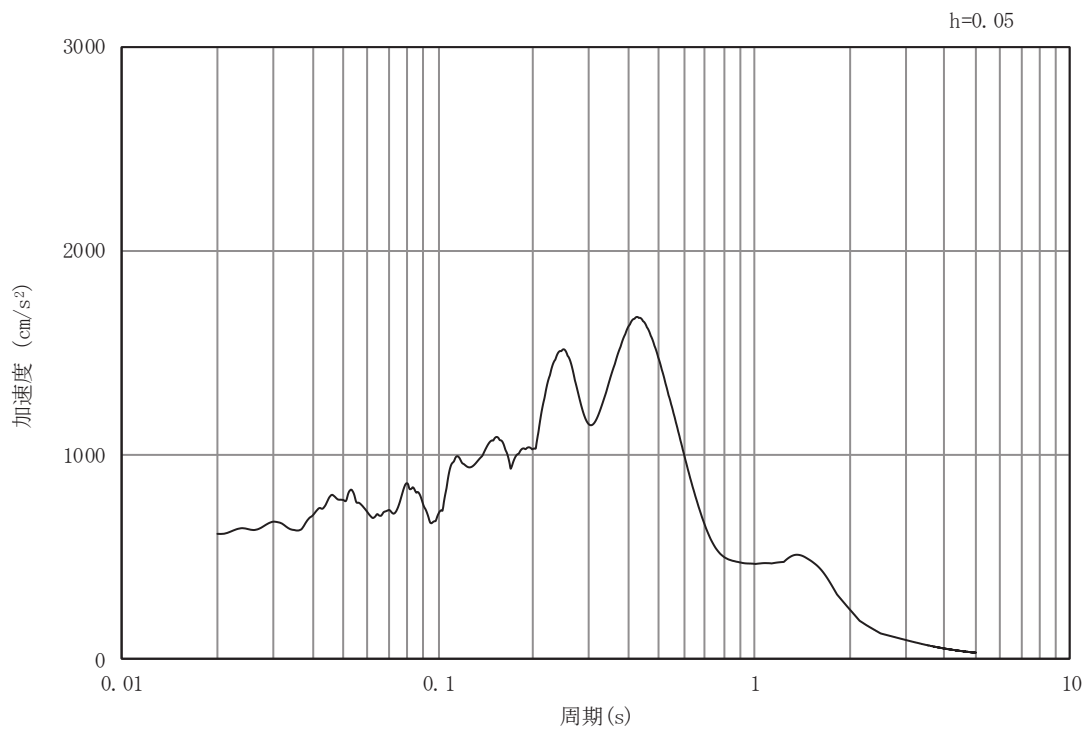


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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  
(鉛直成分：S s - F 3), No.2 揚水井戸

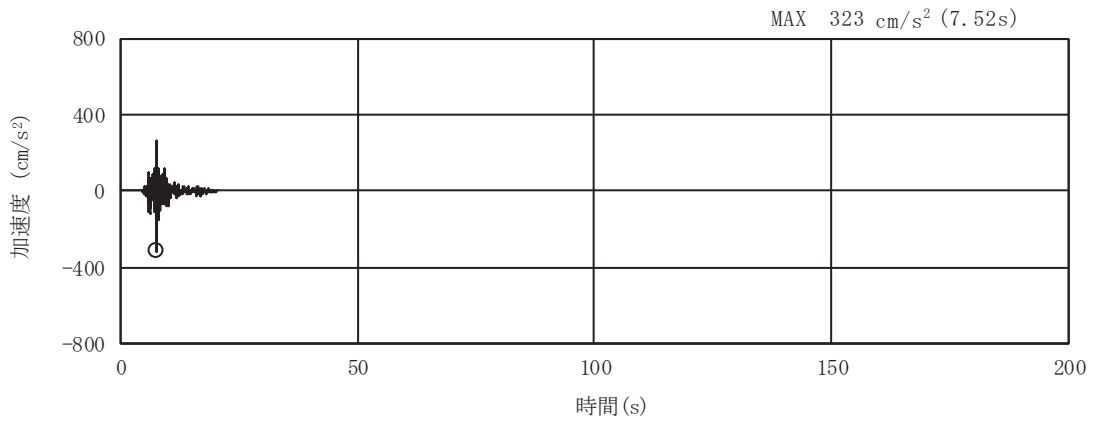


(a) 加速度時刻歴波形

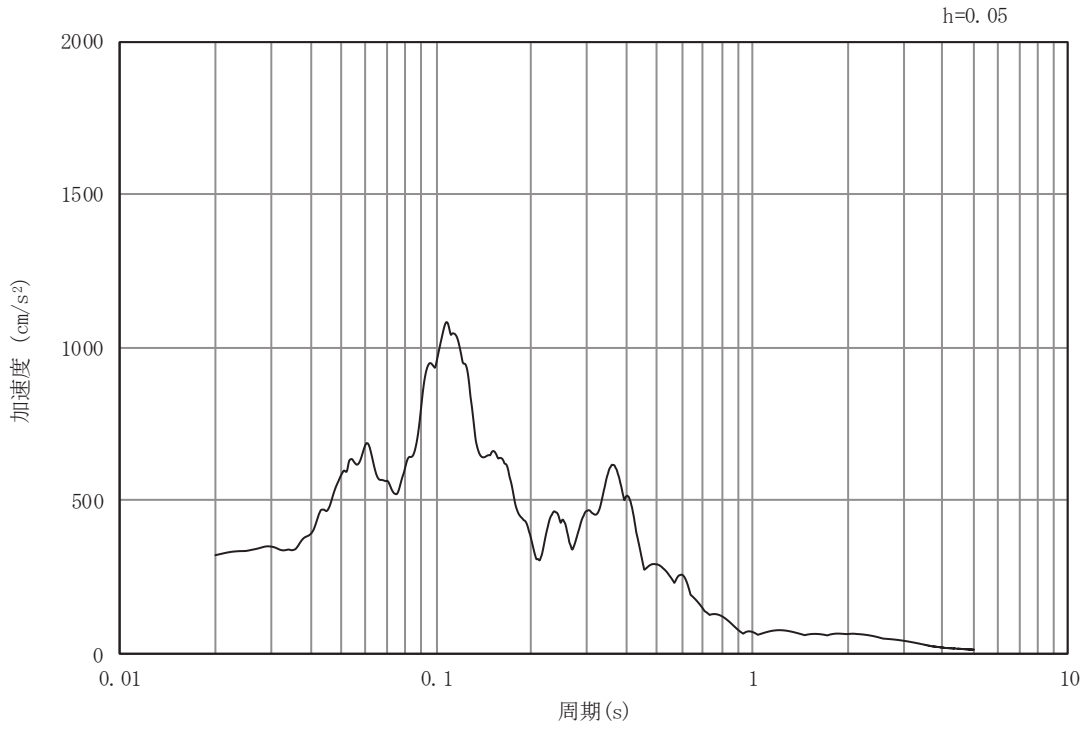


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (27) 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  
(水平成分: S s - N 1), No.2 揚水井戸



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (28) 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  
(鉛直成分：S s - N 1), No.2 揚水井戸

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

##### (1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

構造物は線形はり要素にてモデル化し、水平方向には構造物の幅に応じた仮想剛梁を設置する。

##### (4) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。なお、D級岩盤，セメント改良土及び盛土・旧表土は，地盤の非線形性を考慮するためマルチスプリング要素でモデル化する。また，有効応力解析においては地下水位以深の盛土・旧表土には，液状化パラメータを設定することで，地震時の有効応力の変化に応じた非線形性を考慮する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」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。

解析モデルを図 3-5 に示す。

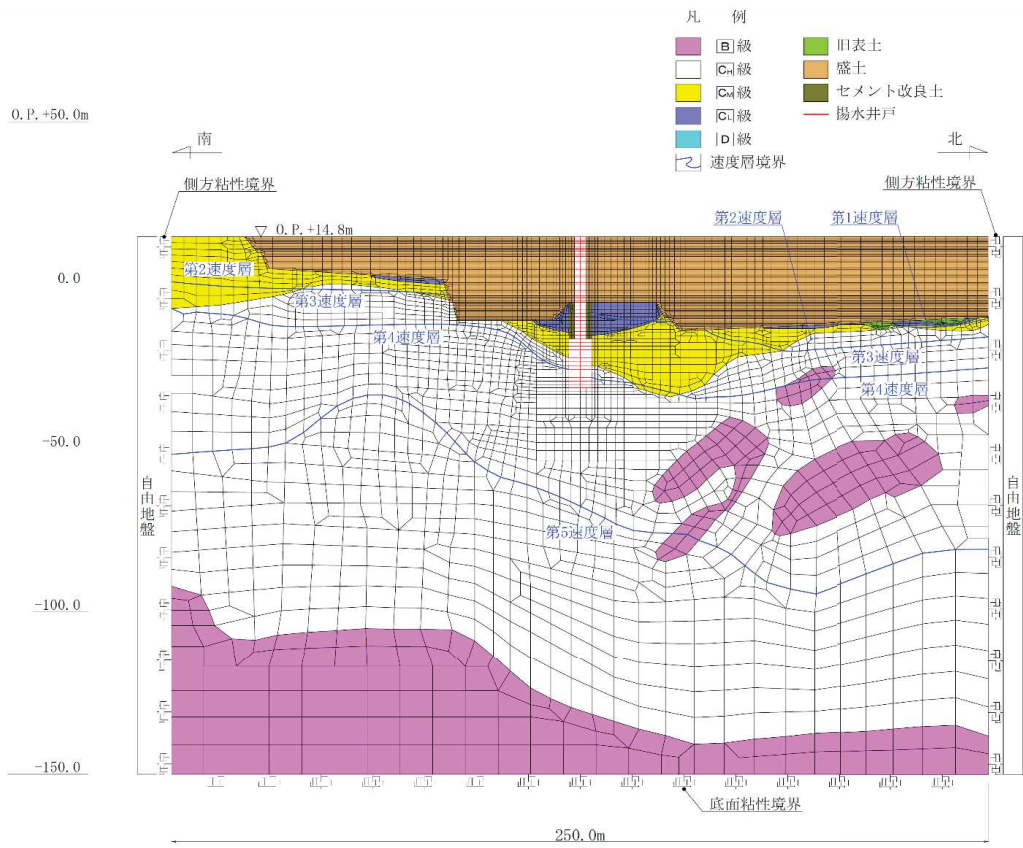


図 3-5(1) No.1 揚水井戸の解析モデル

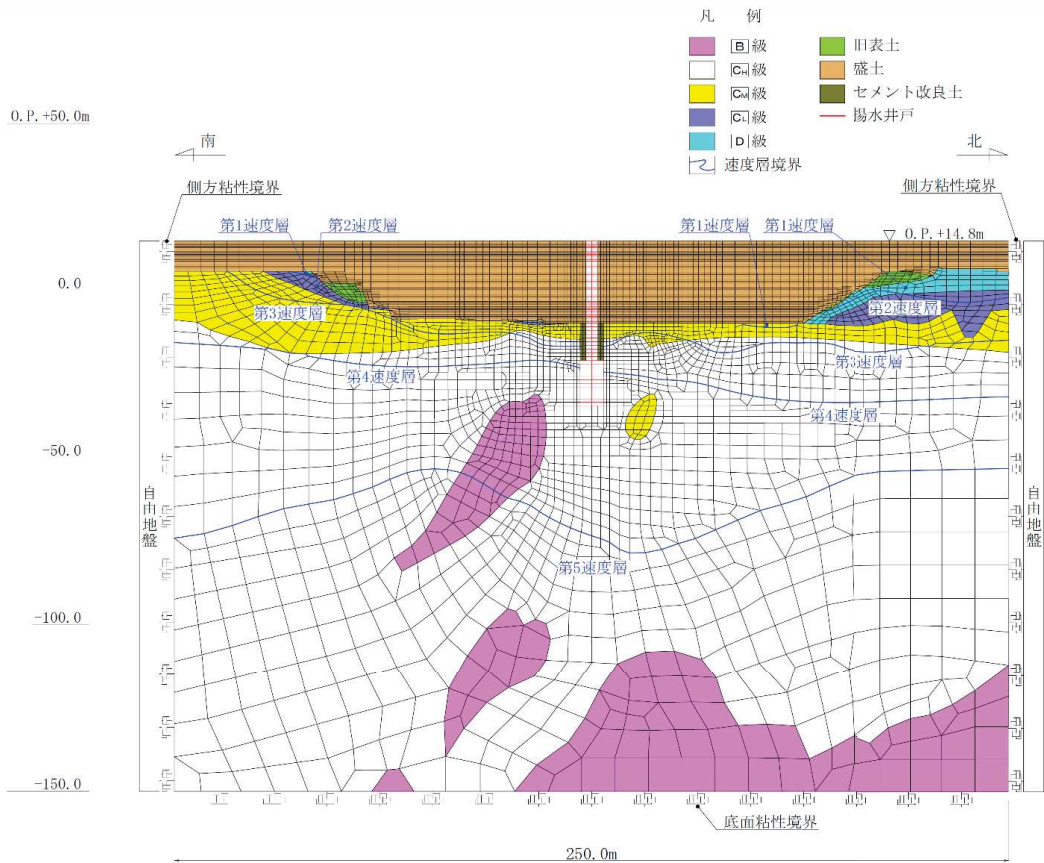


図 3-5(2) No.2 揚水井戸の解析モデル

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 使用材料及び材料の物性値

部材	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
集水ピット	鉄筋コンクリート	設計基準強度 f' <sub>ck</sub> : 30N/mm <sup>2</sup>	24.0	2.8×10 <sup>4</sup>	0.2
排水シャフト	鋼材	SM570	77.0	2.0×10 <sup>5</sup>	0.3

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「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。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地における代表性及び網羅性を踏まえ、下限値として設定する。

### 3.5.4 地下水位

地下水位については、図 3-6 に示す設計用地下水位とする。

表 3-6 に設計用地下水位を示す。

表 3-6 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
No.1 揚水井戸	A-A' 断面	O. P. +14.8m～ O. P. -5.5m
No.2 揚水井戸	B-B' 断面	O. P. +10.5m～ O. P. -5.0m



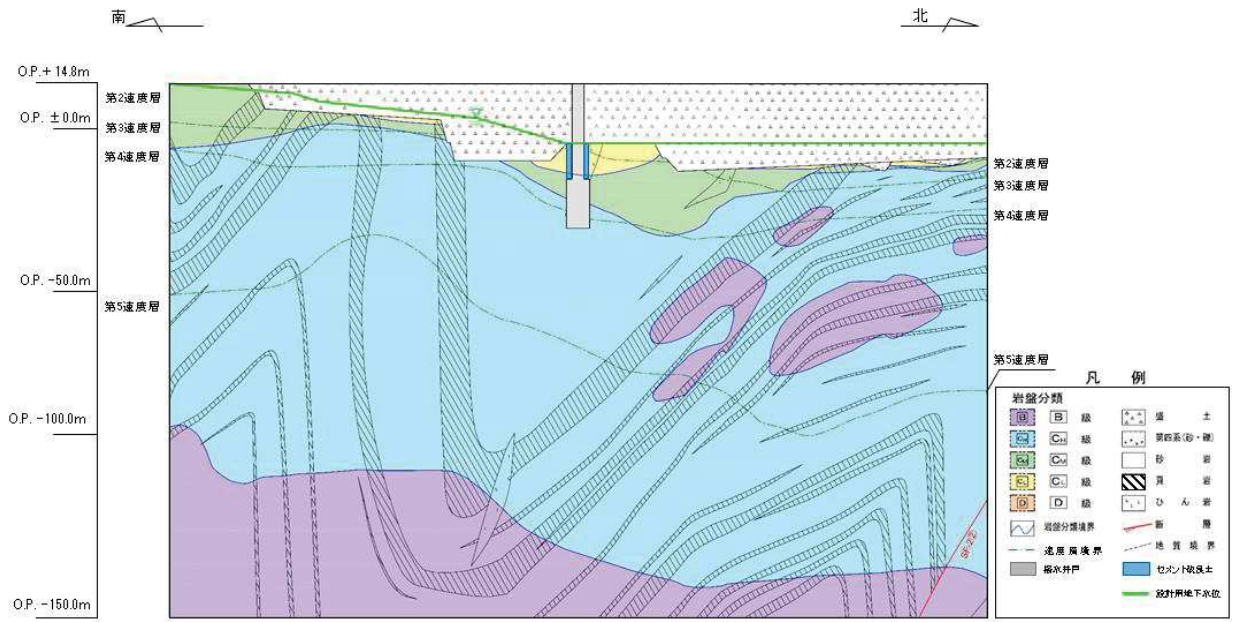


図 3-6(1) 設計用地下水位 (No.1 揚水井戸)

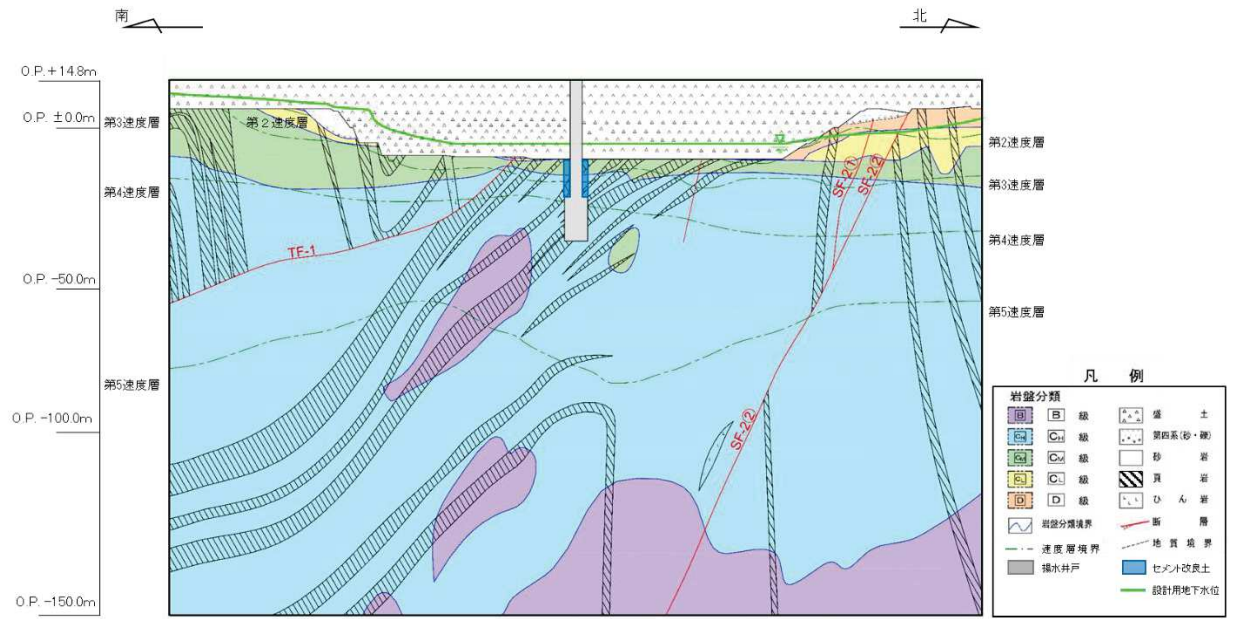


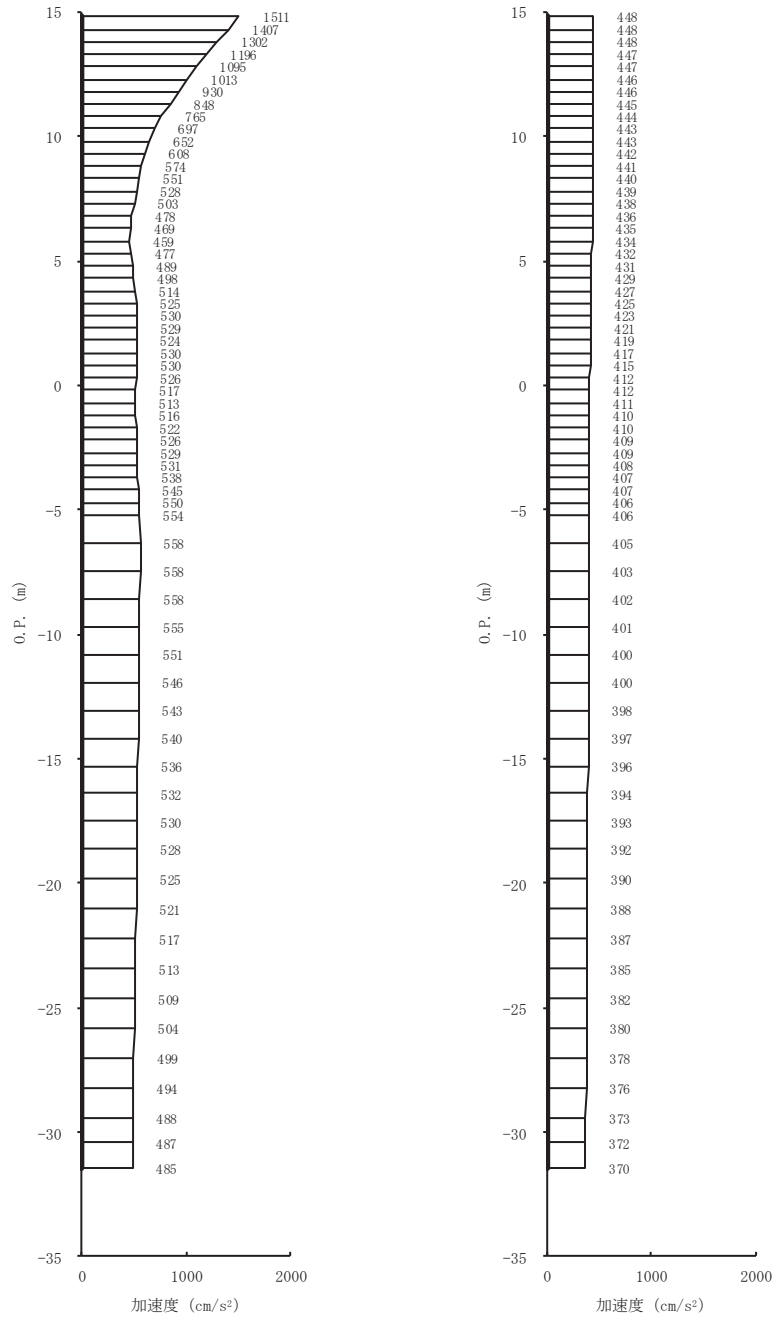
図 3-6(2) 設計用地下水位 (No.2 揚水井戸)



4. 解析結果

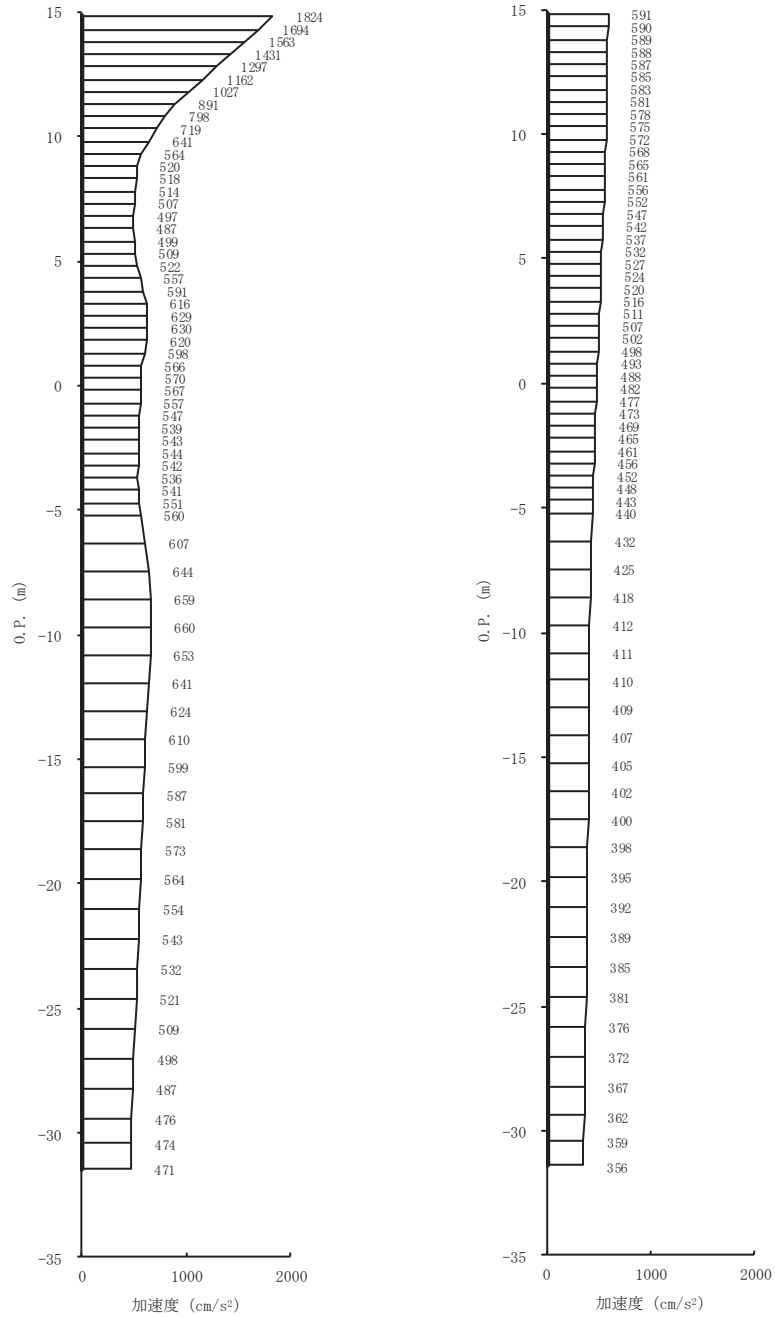
4.1 No.1 揚水井戸

解析結果のうち、解析ケース①～④についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-1 に示す。

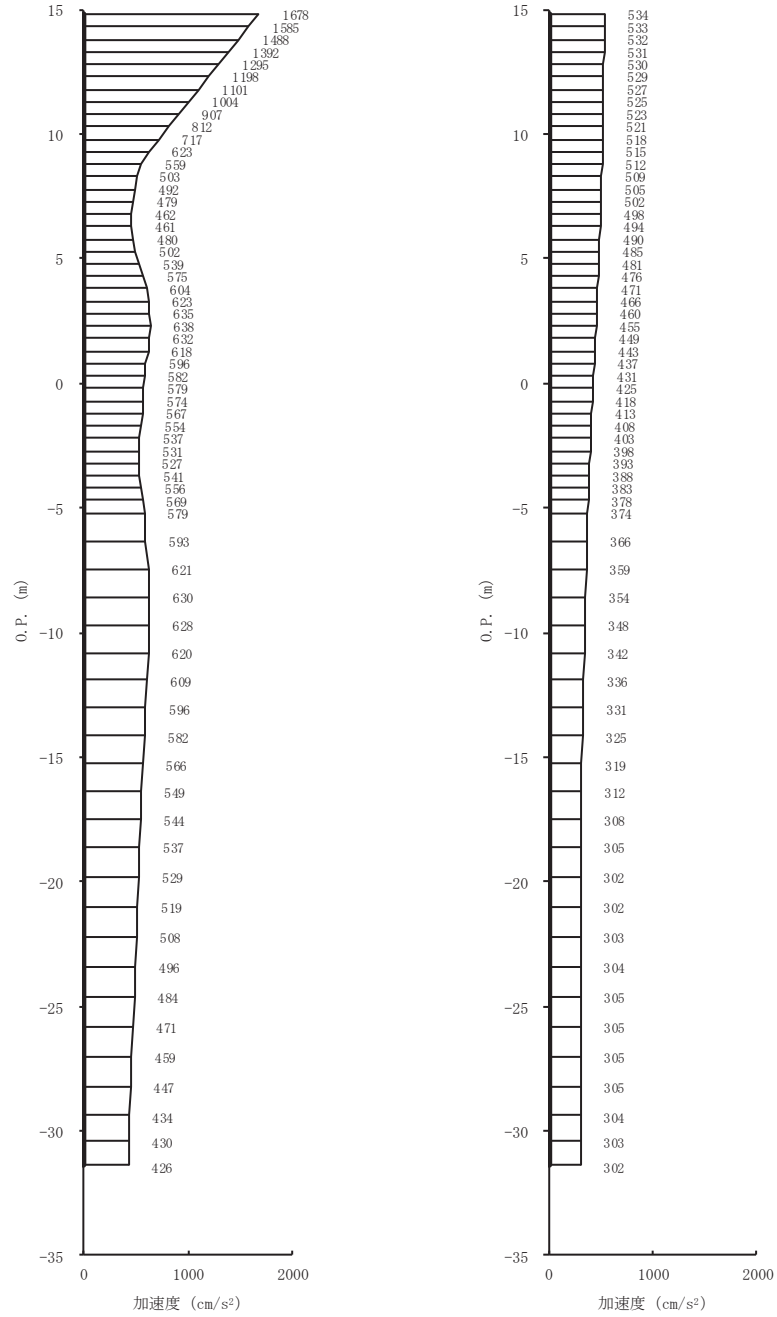


(a)  $S_s - D 1 (+ +)$  水平 (b)  $S_s - D 1 (+ +)$  鉛直

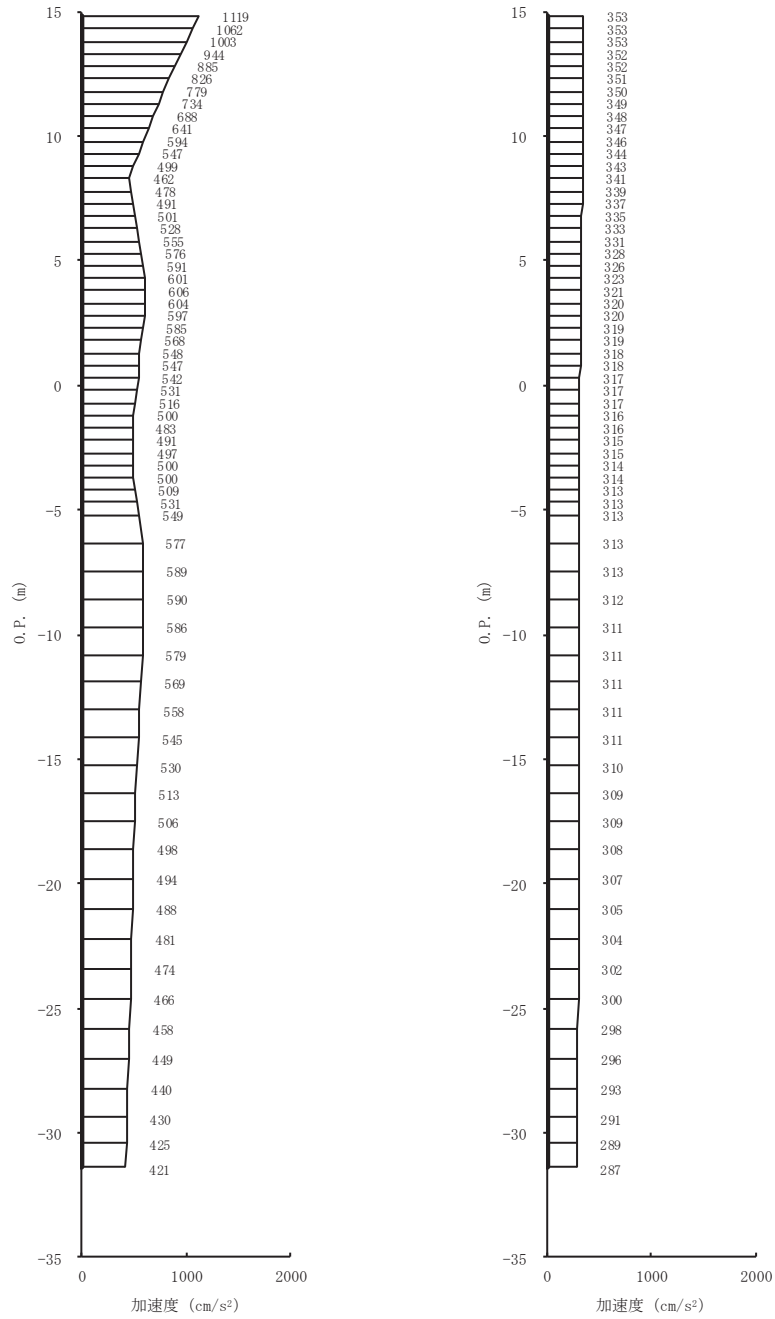
図 4-1(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

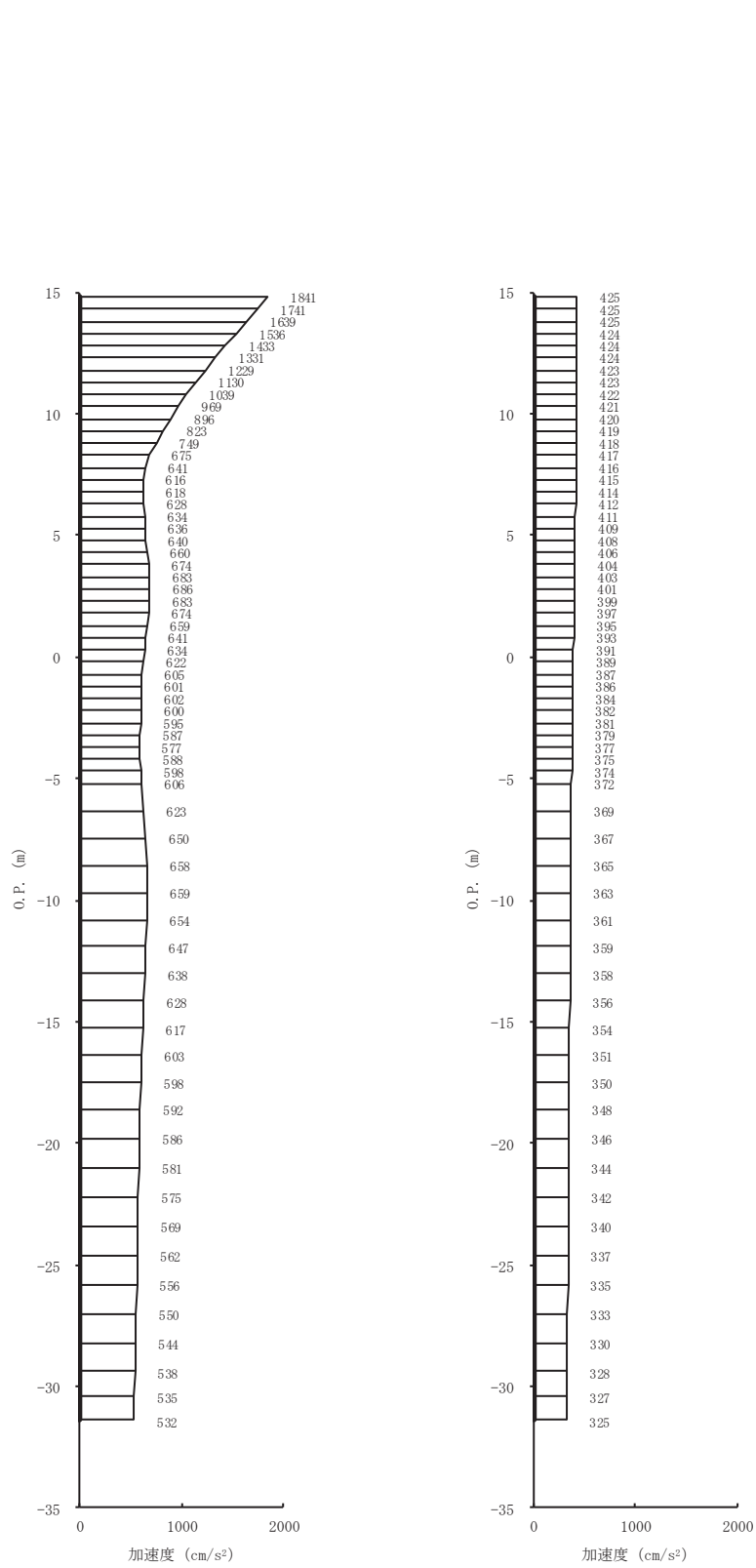


(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No.1 揚水井戸, 解析ケース①)



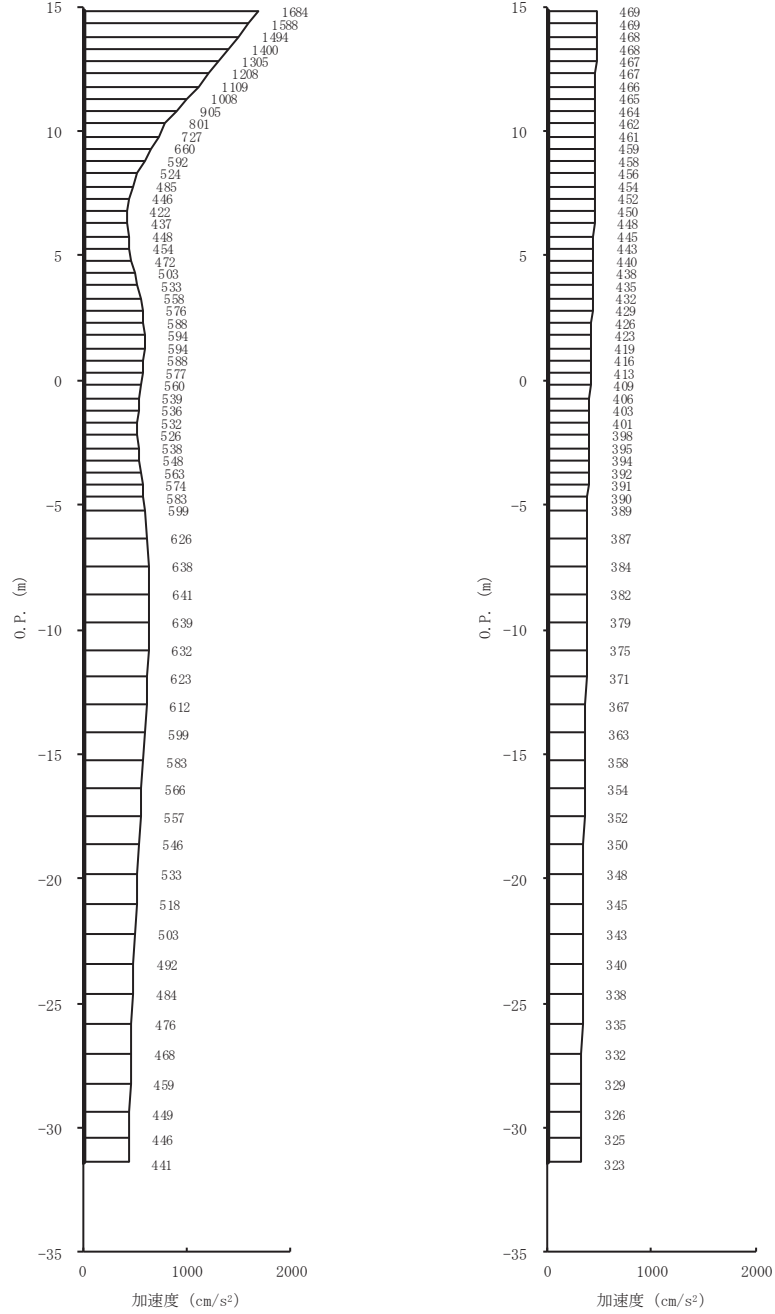
(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-1(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

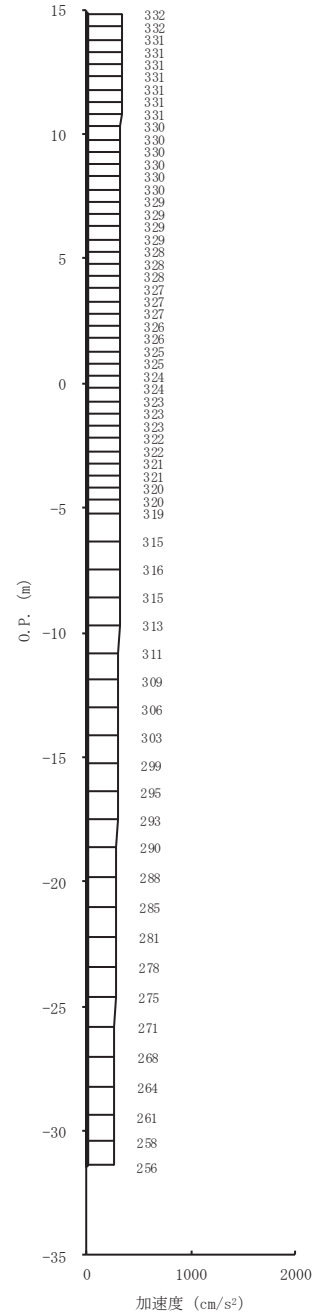
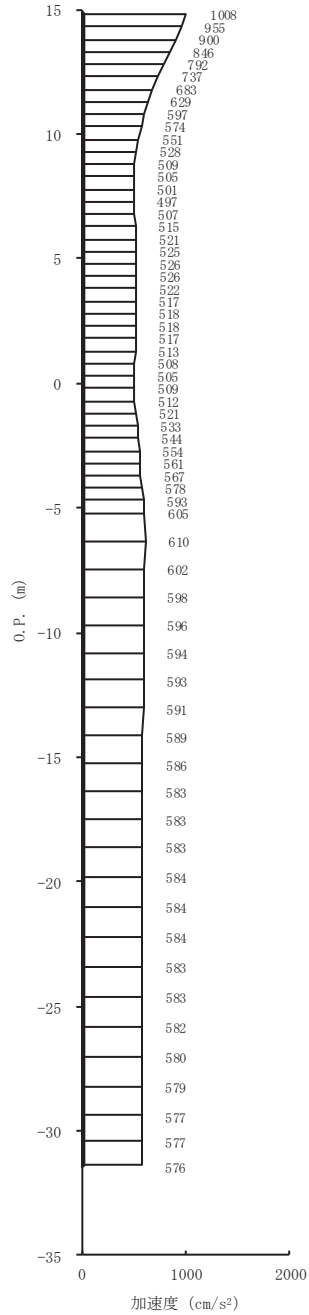


(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直

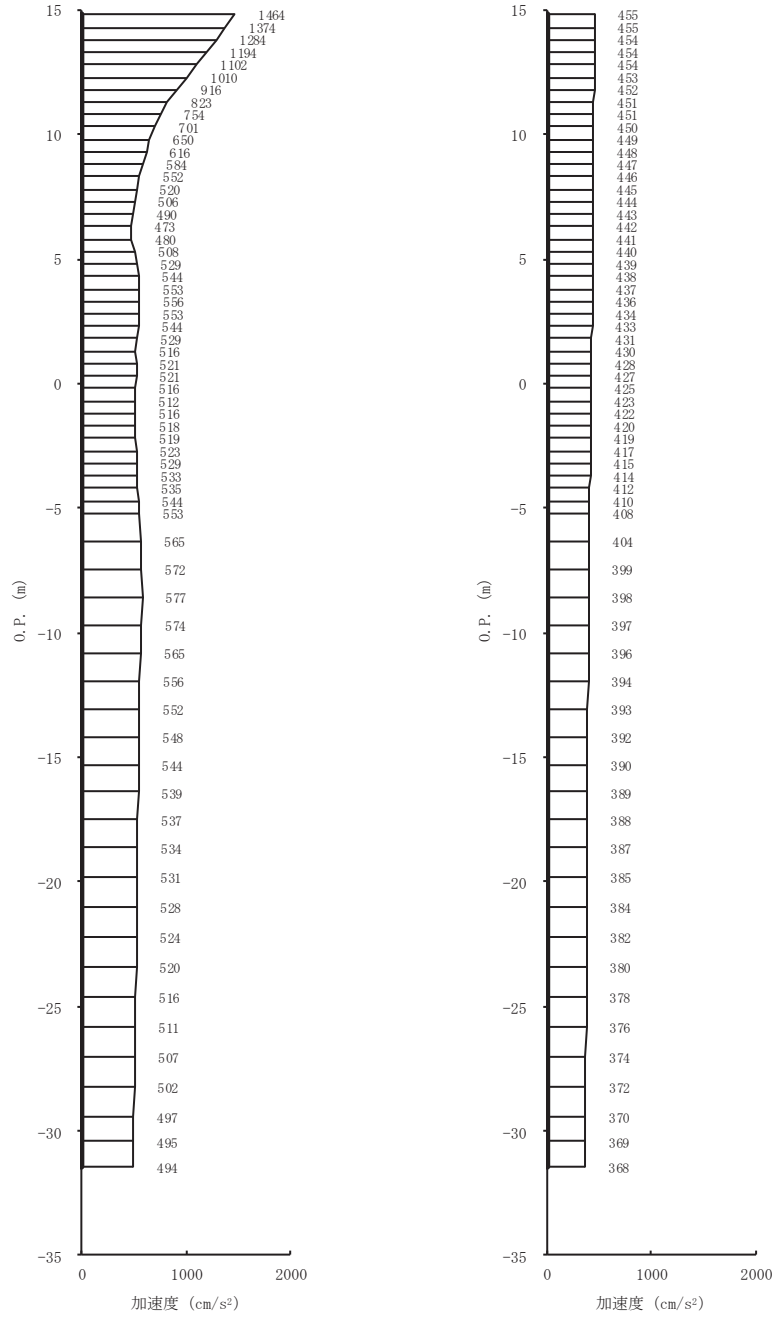
図 4-1(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No.1 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

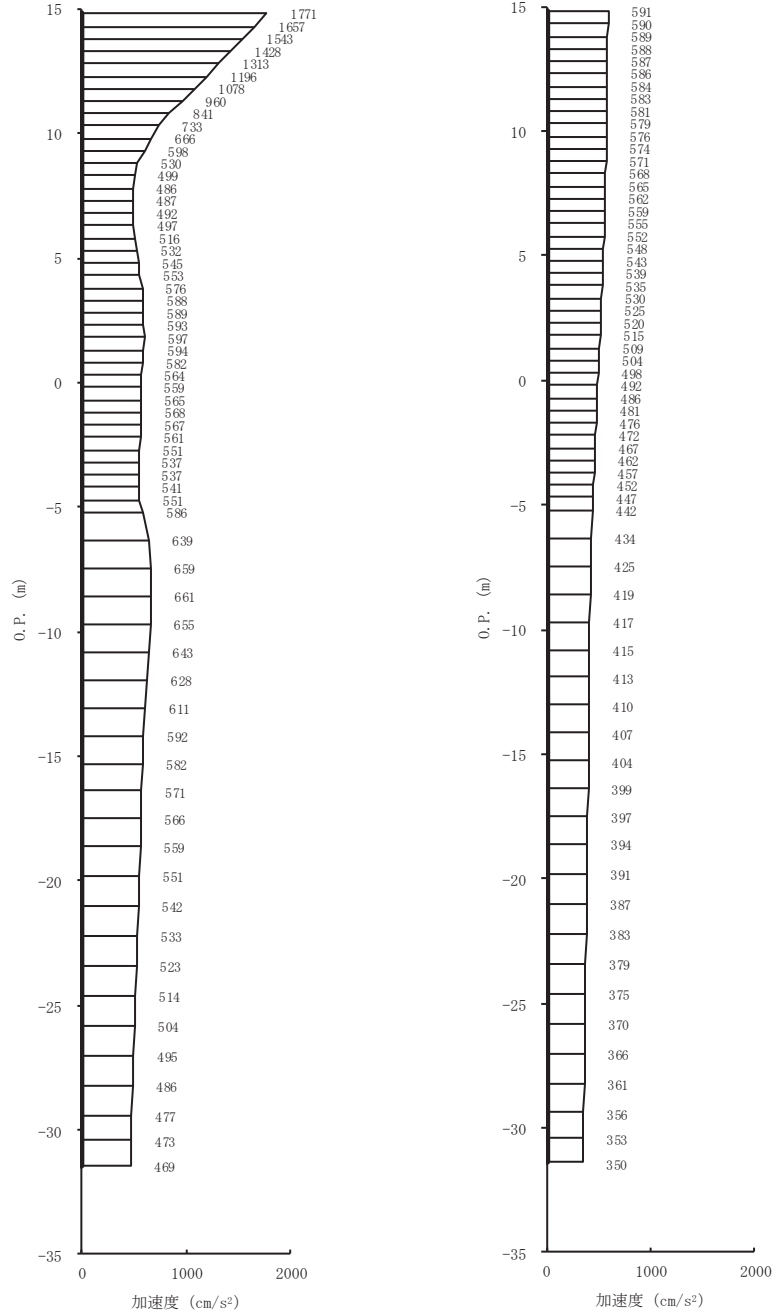


(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

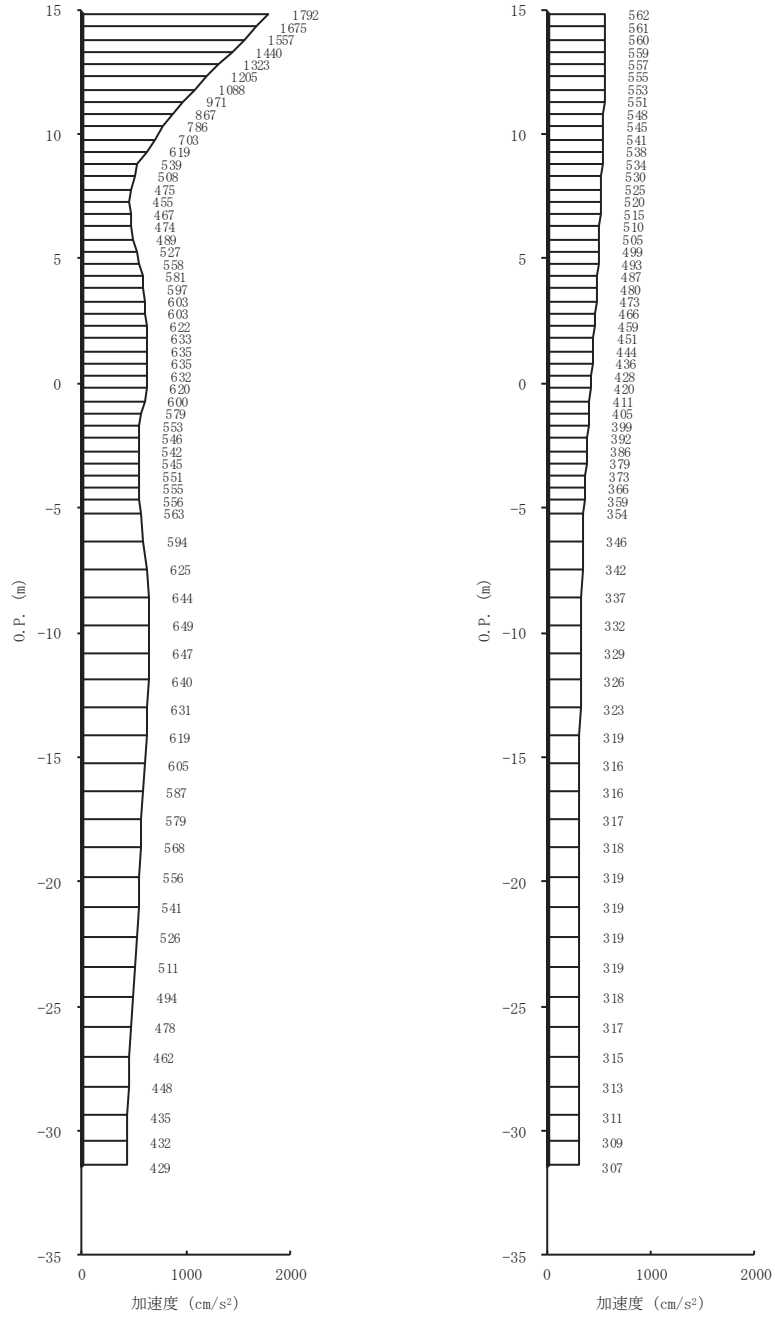


(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



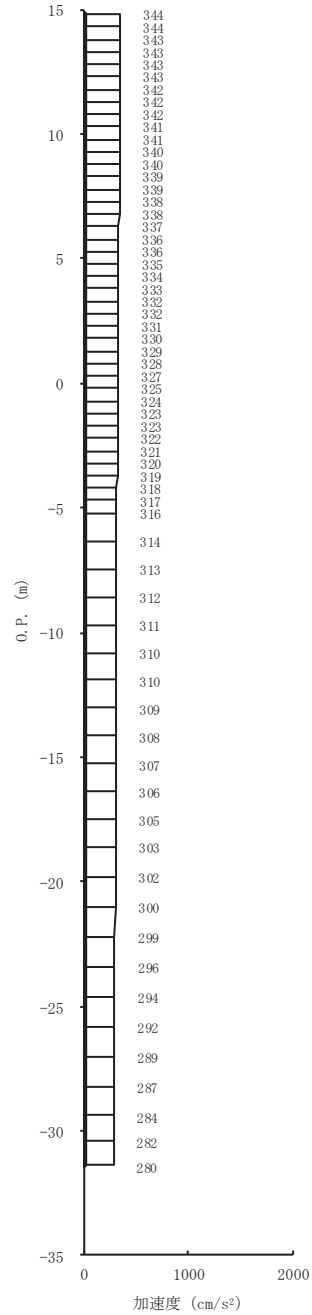
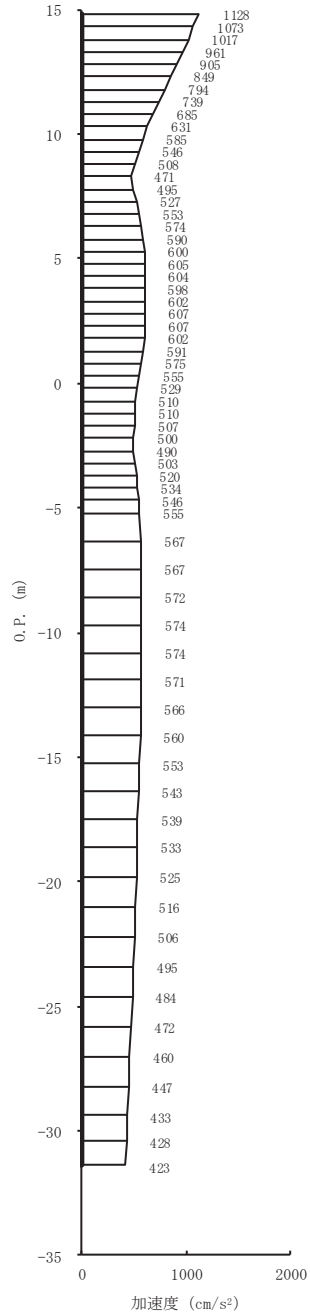


(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



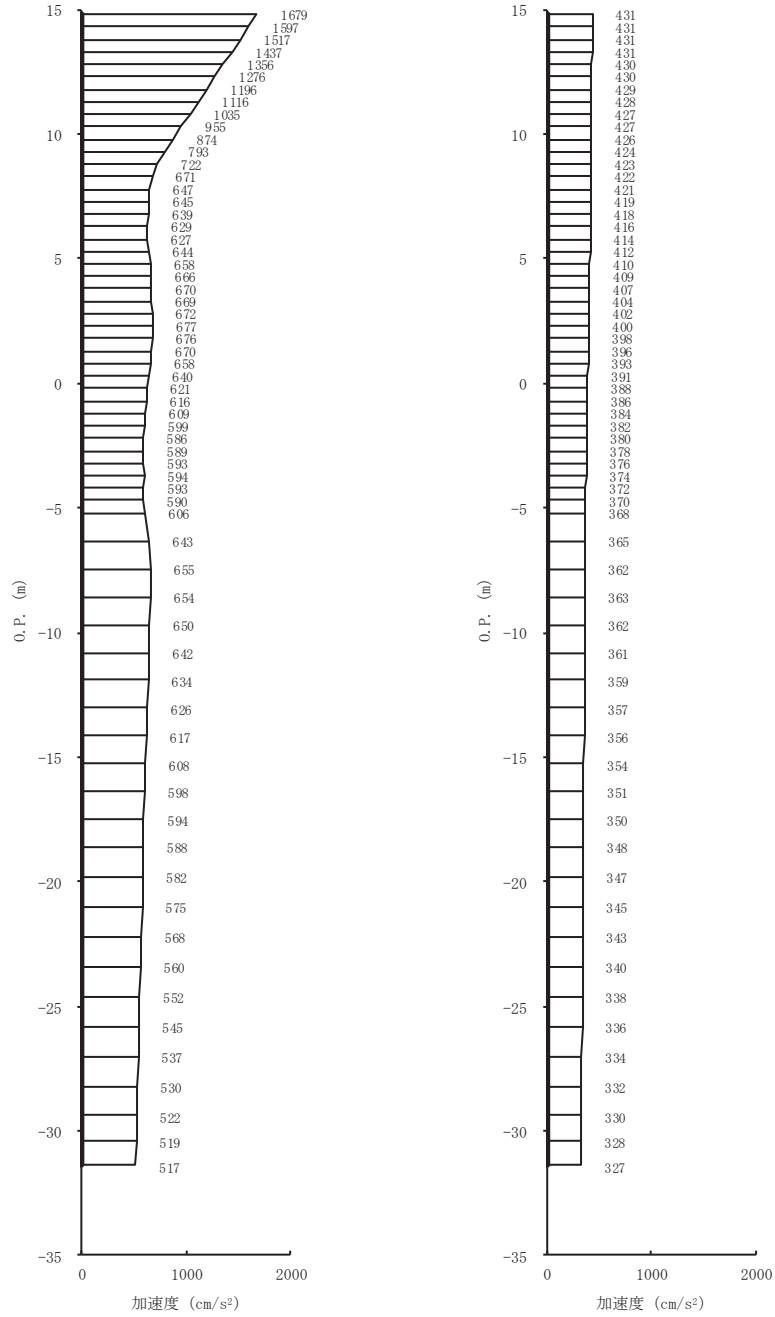
(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直

図 4-1(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



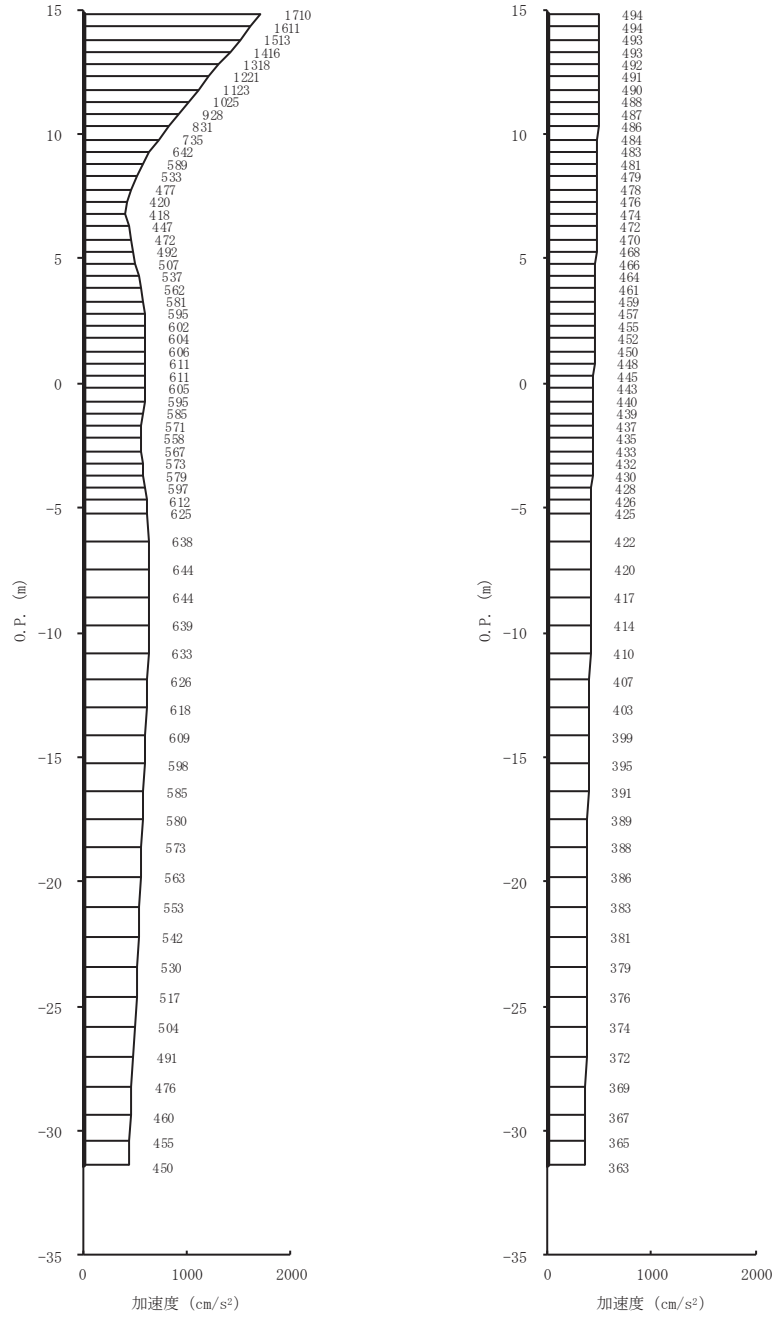
(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-1(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



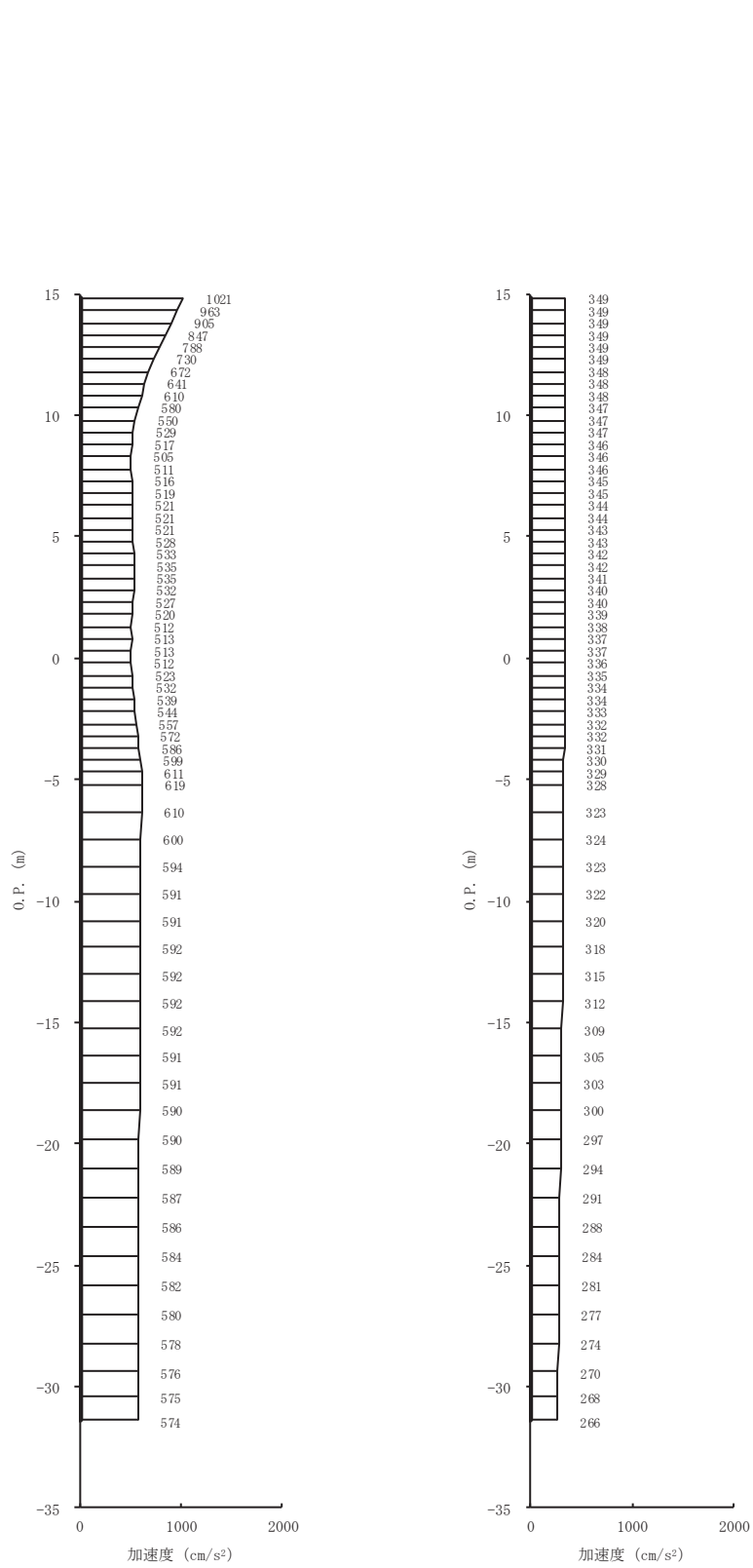
(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直

図 4-1(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



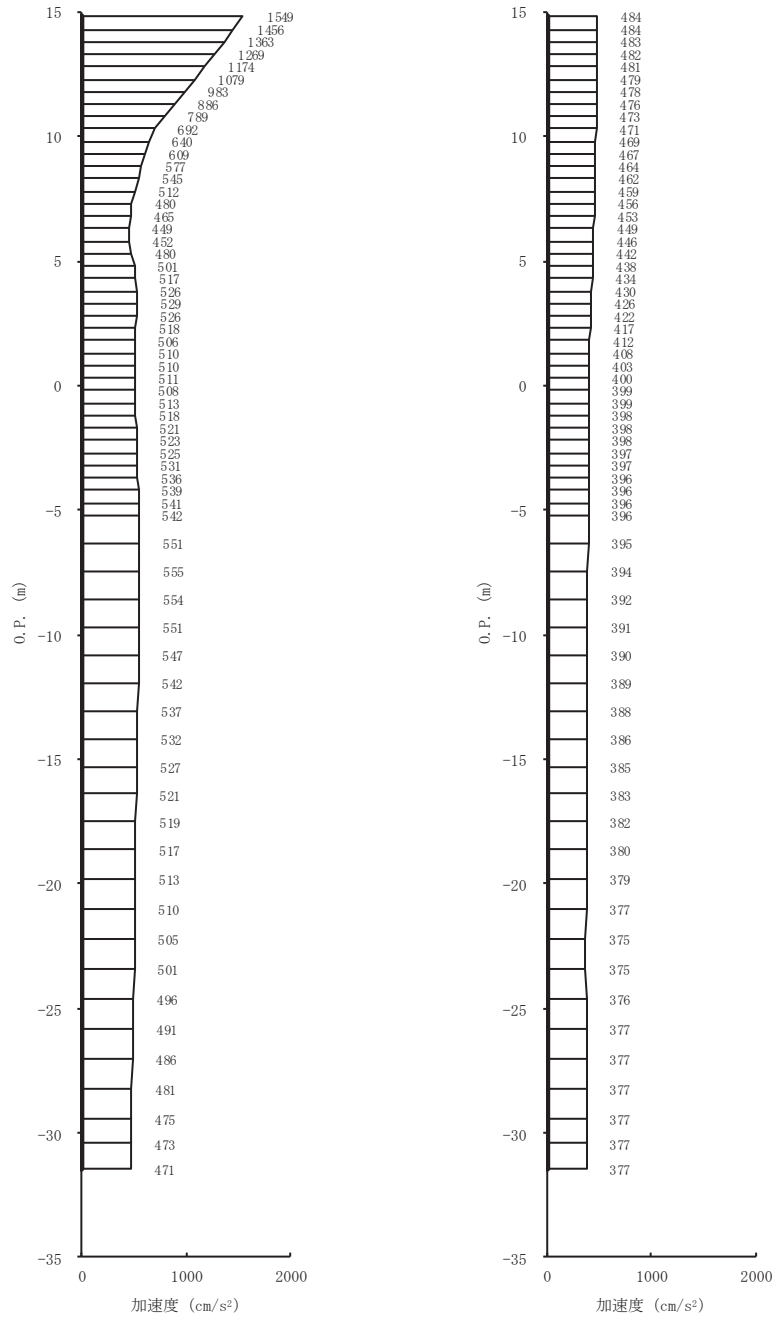
(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直

図 4-1(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



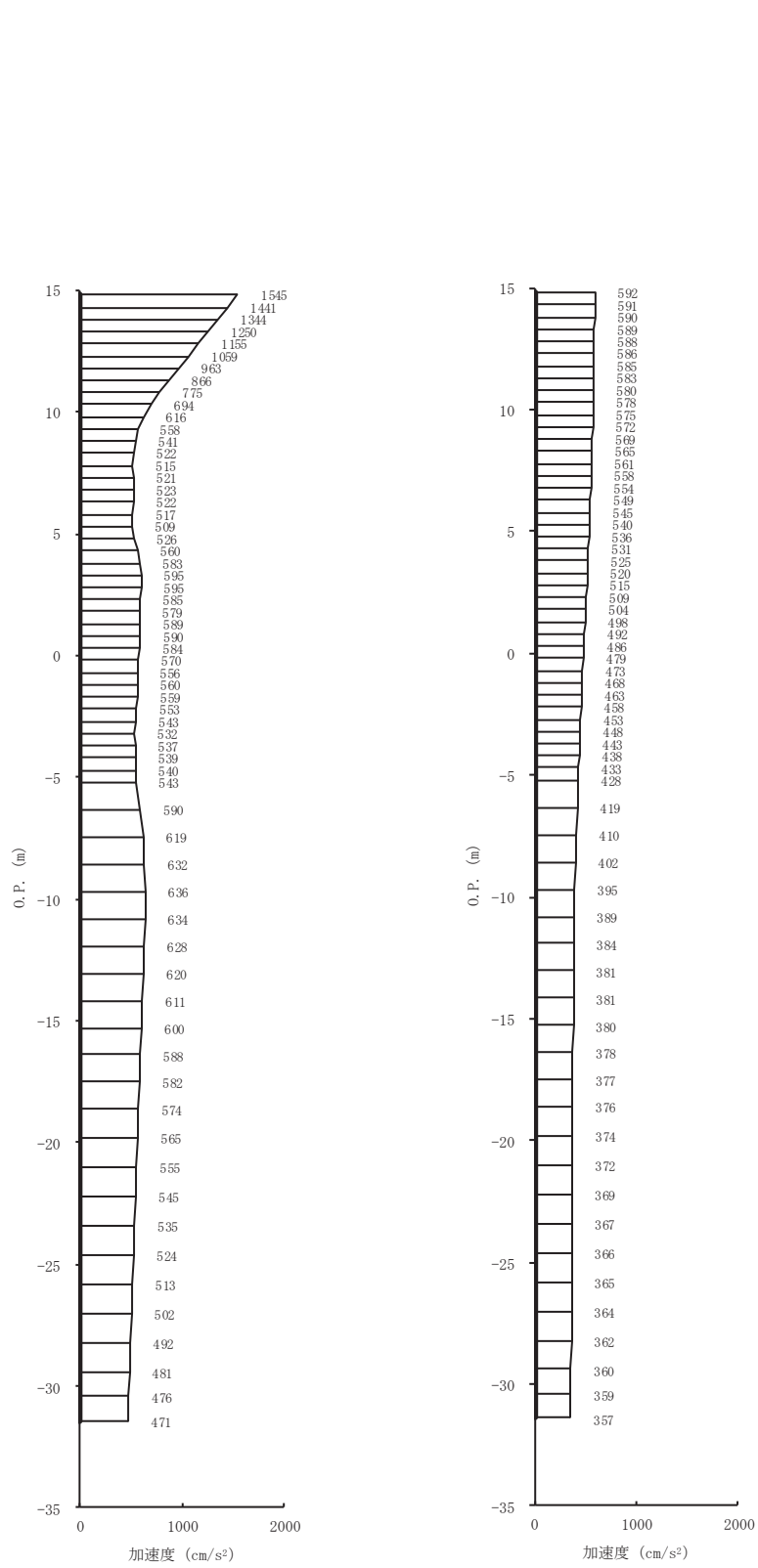
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-1(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直

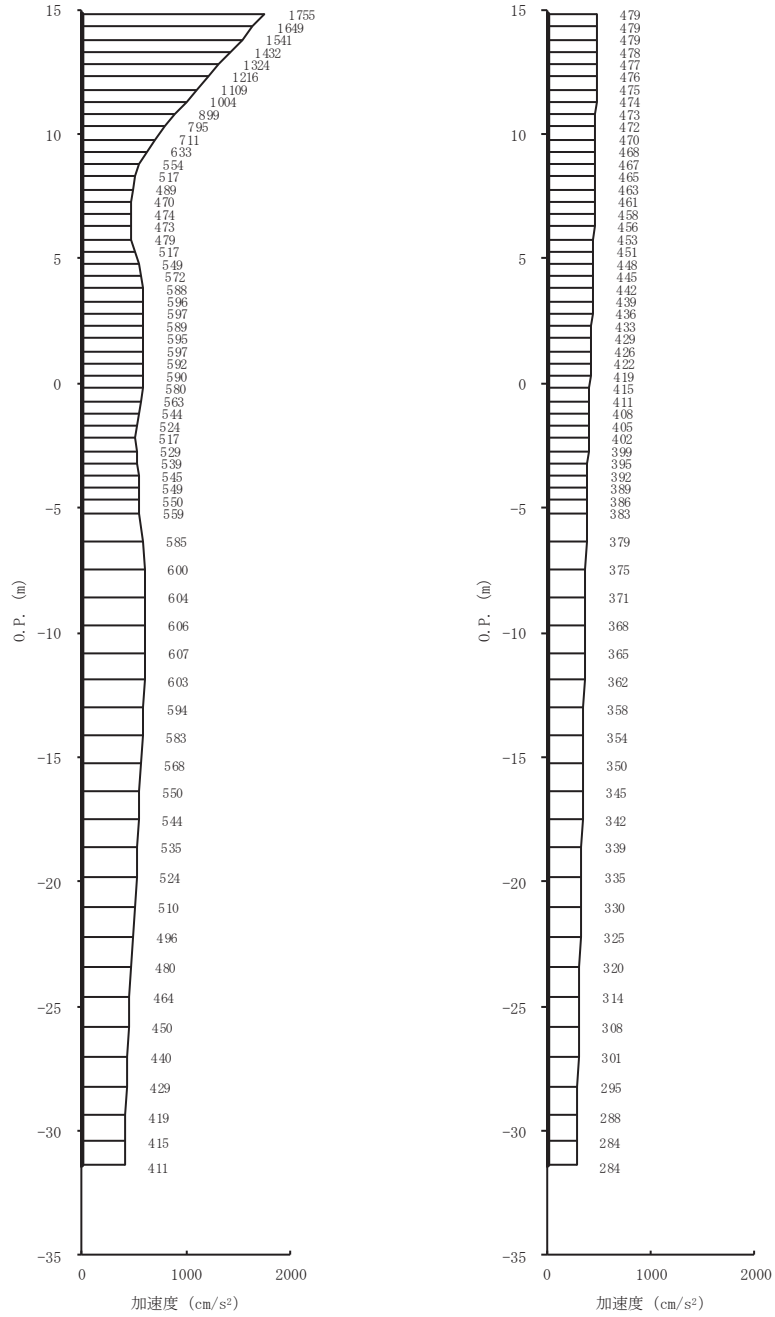
図 4-1(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



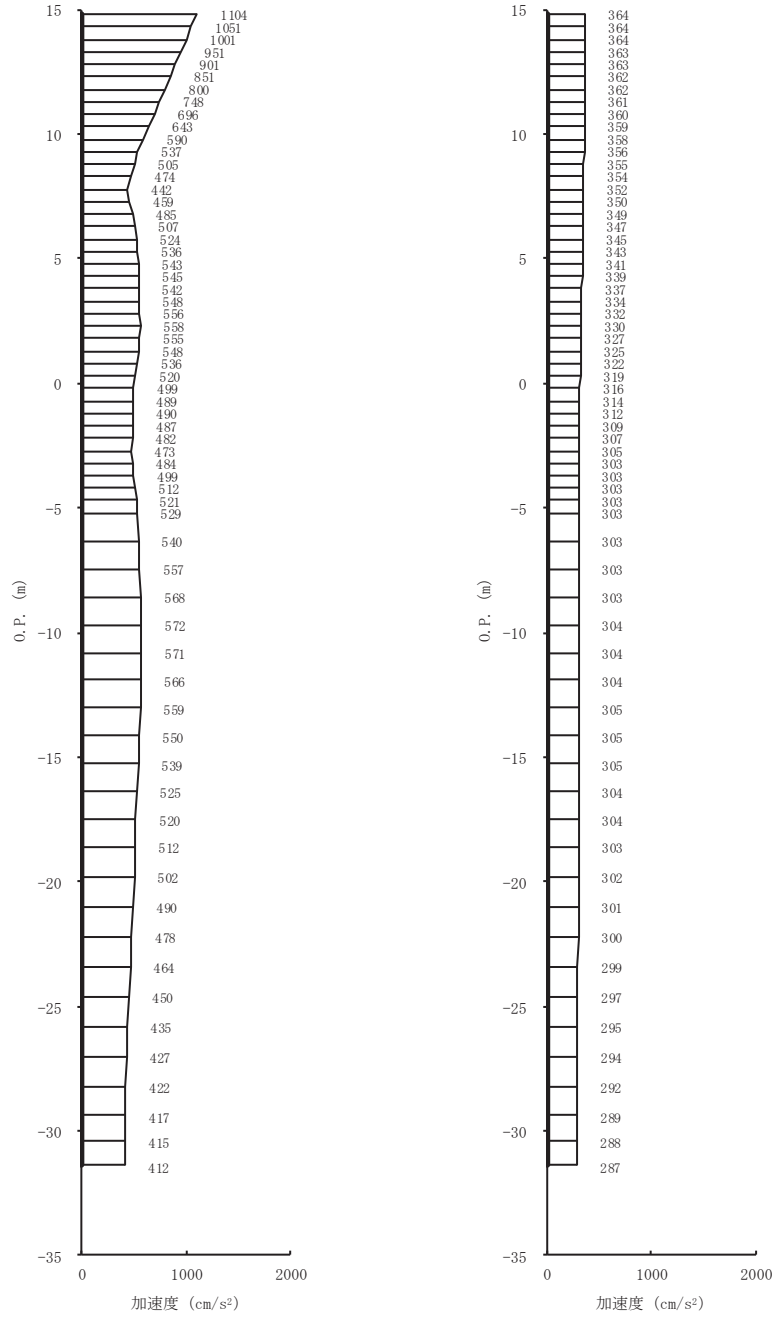
(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直

図 4-1(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



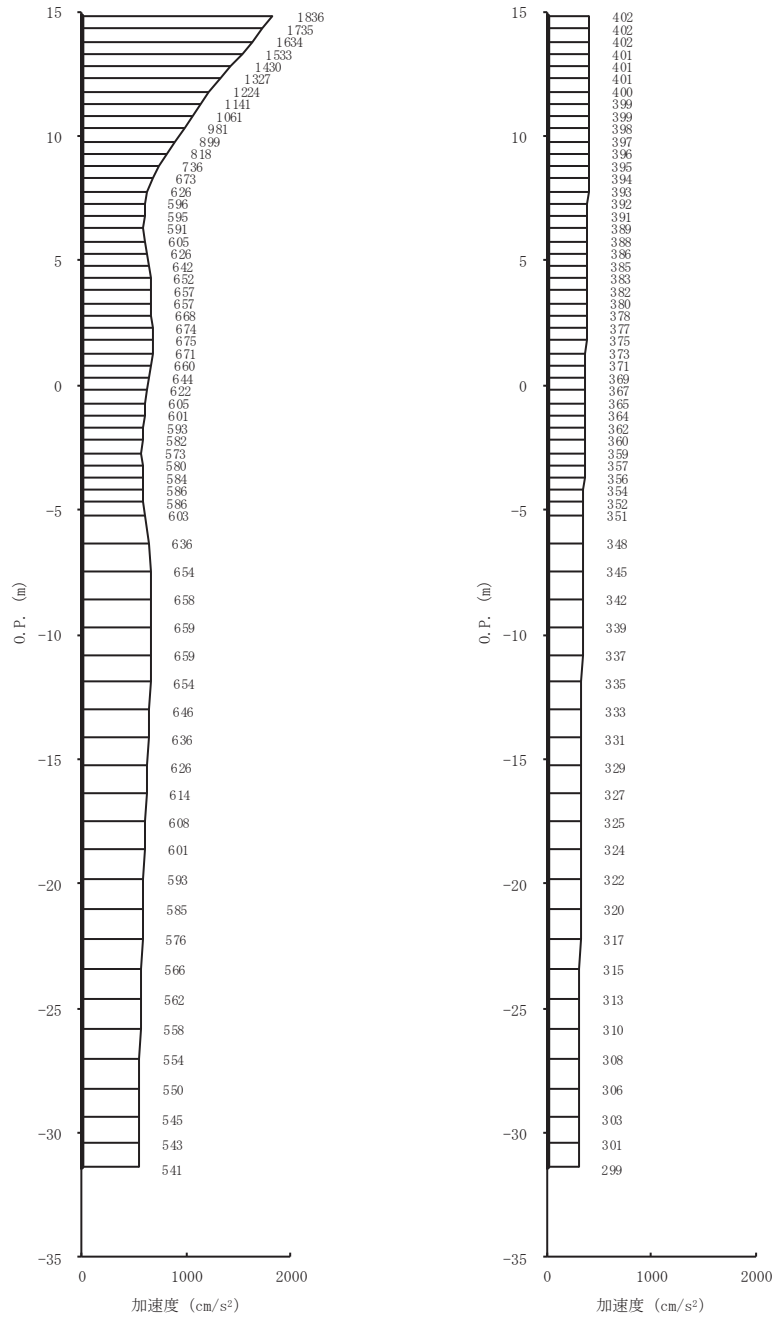


(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



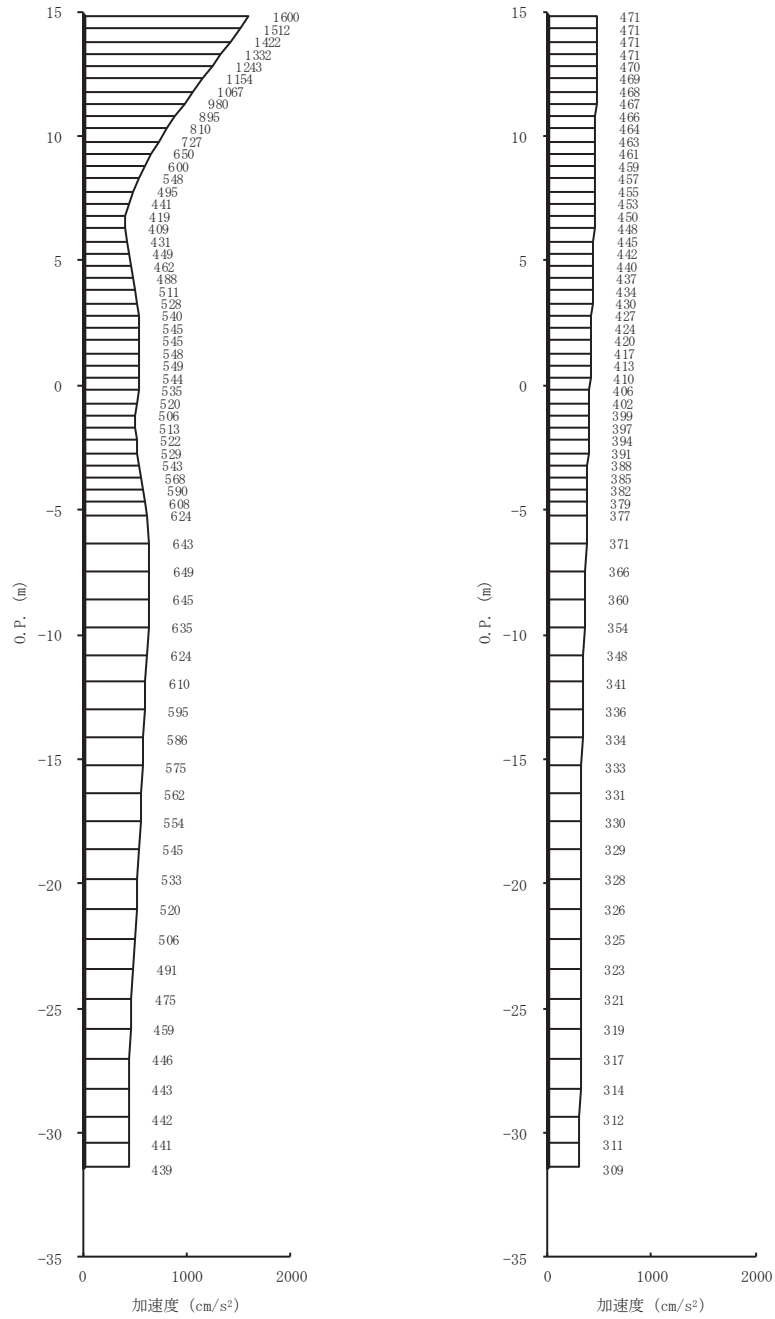
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-1(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



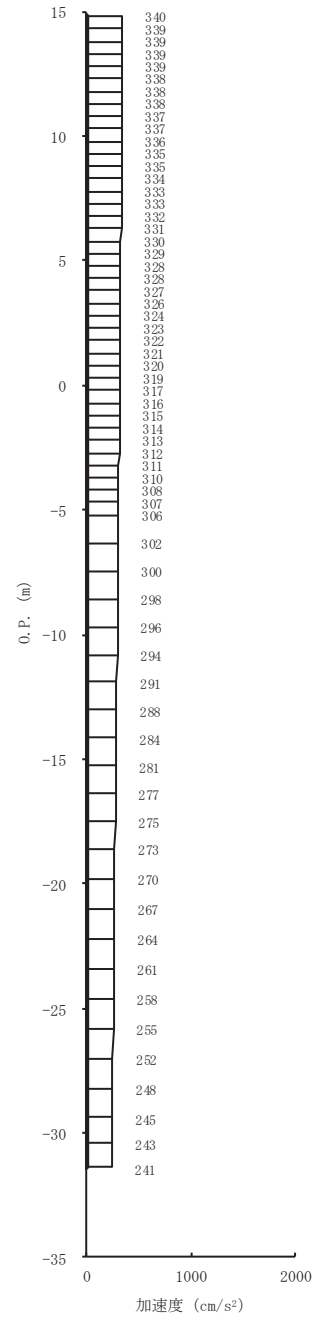
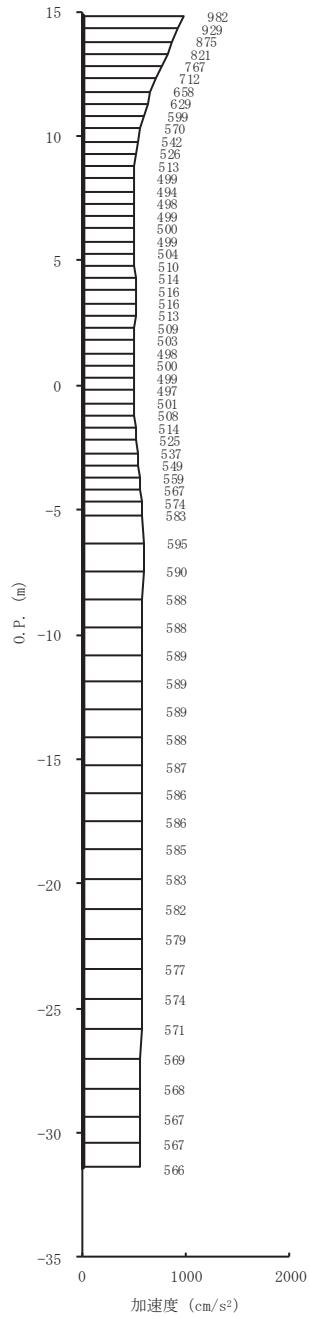
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直

図 4-1(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



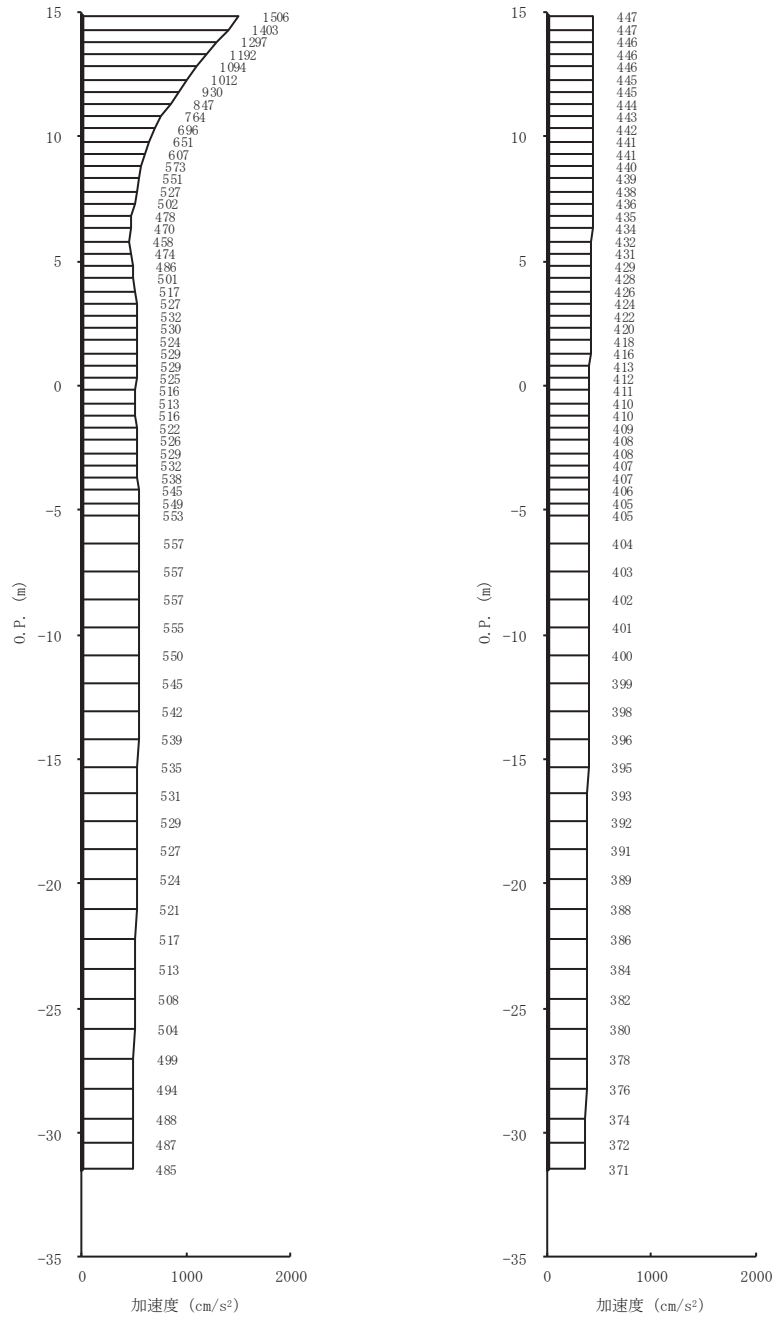
(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直

図 4-1(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)

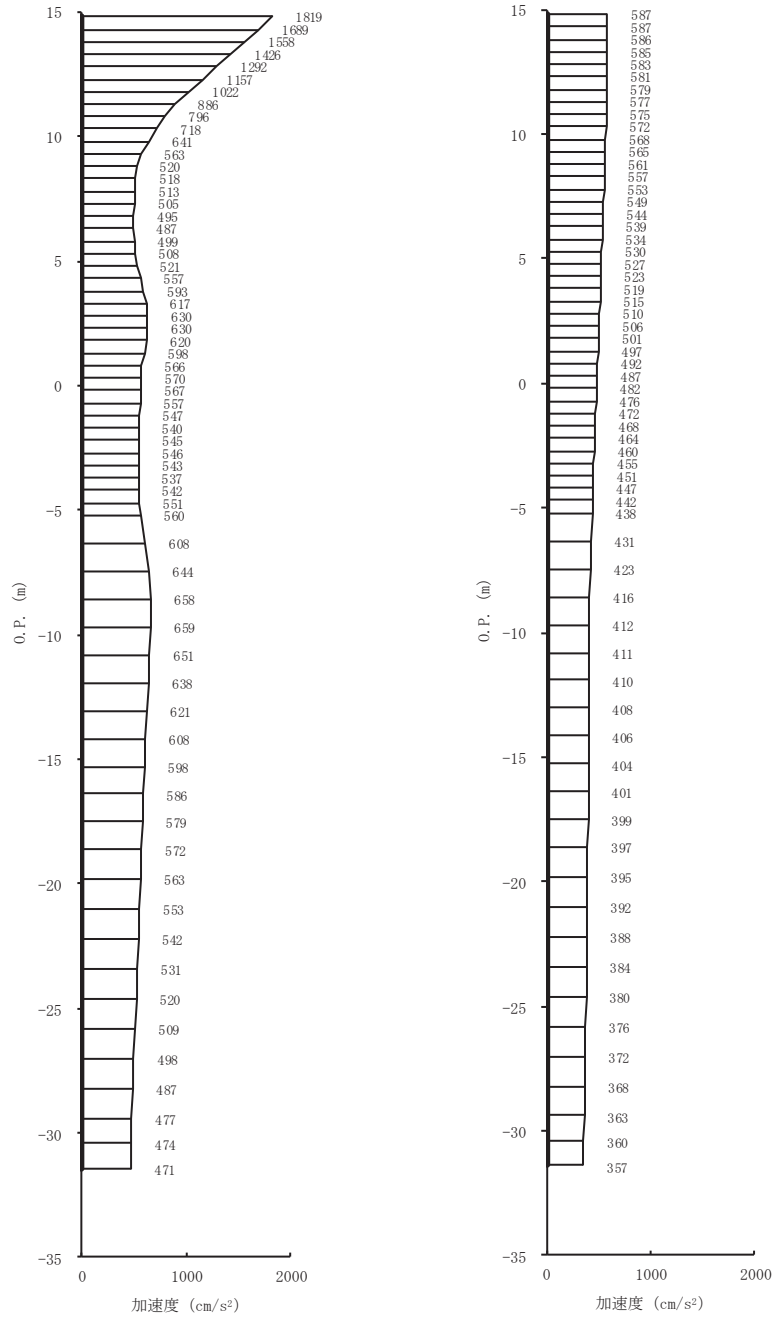


(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直

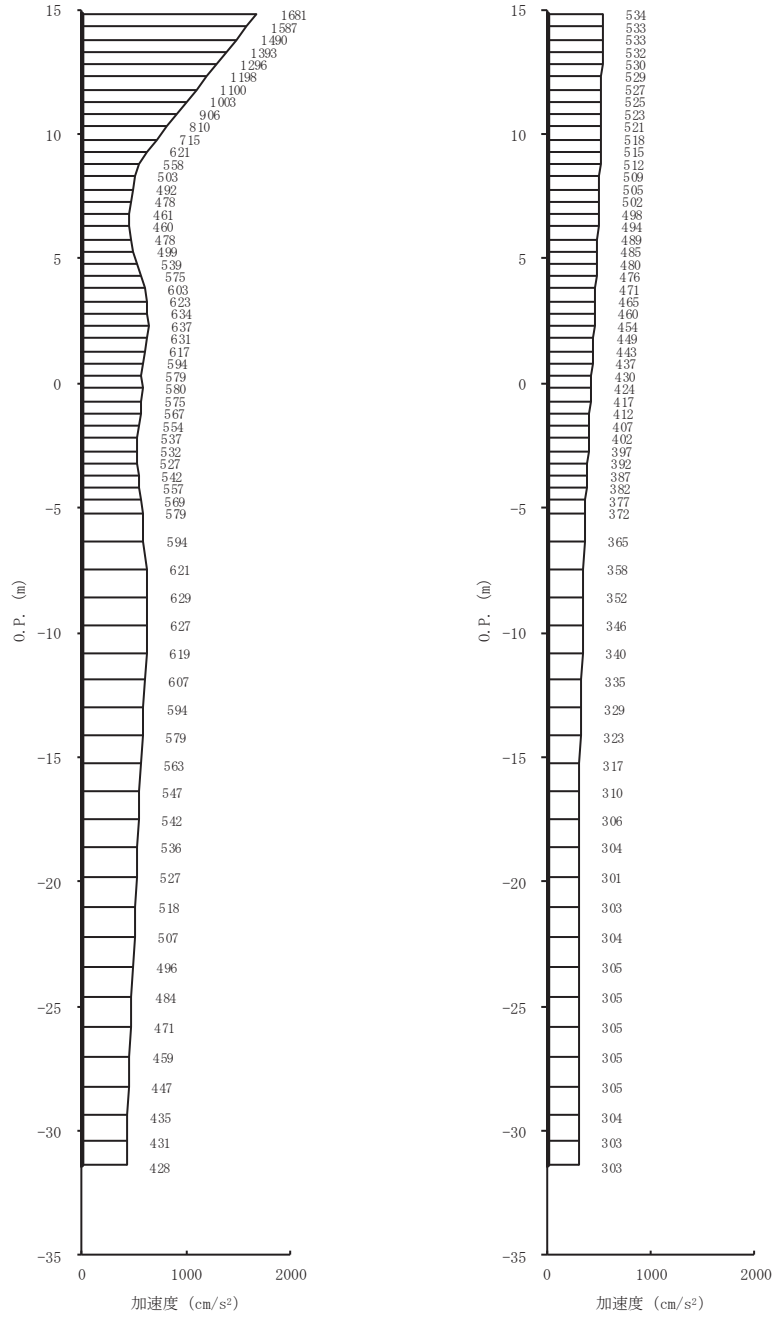
図 4-1(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

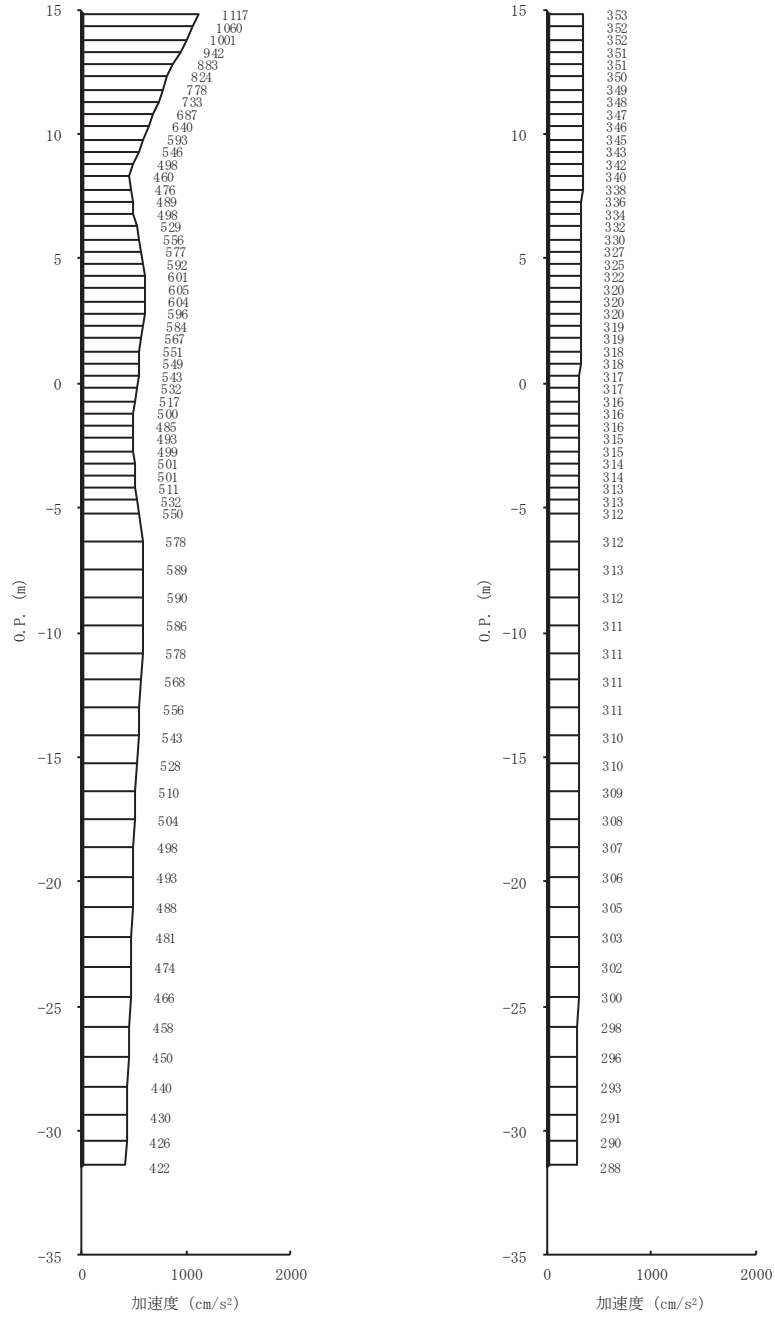


(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)





(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-1(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

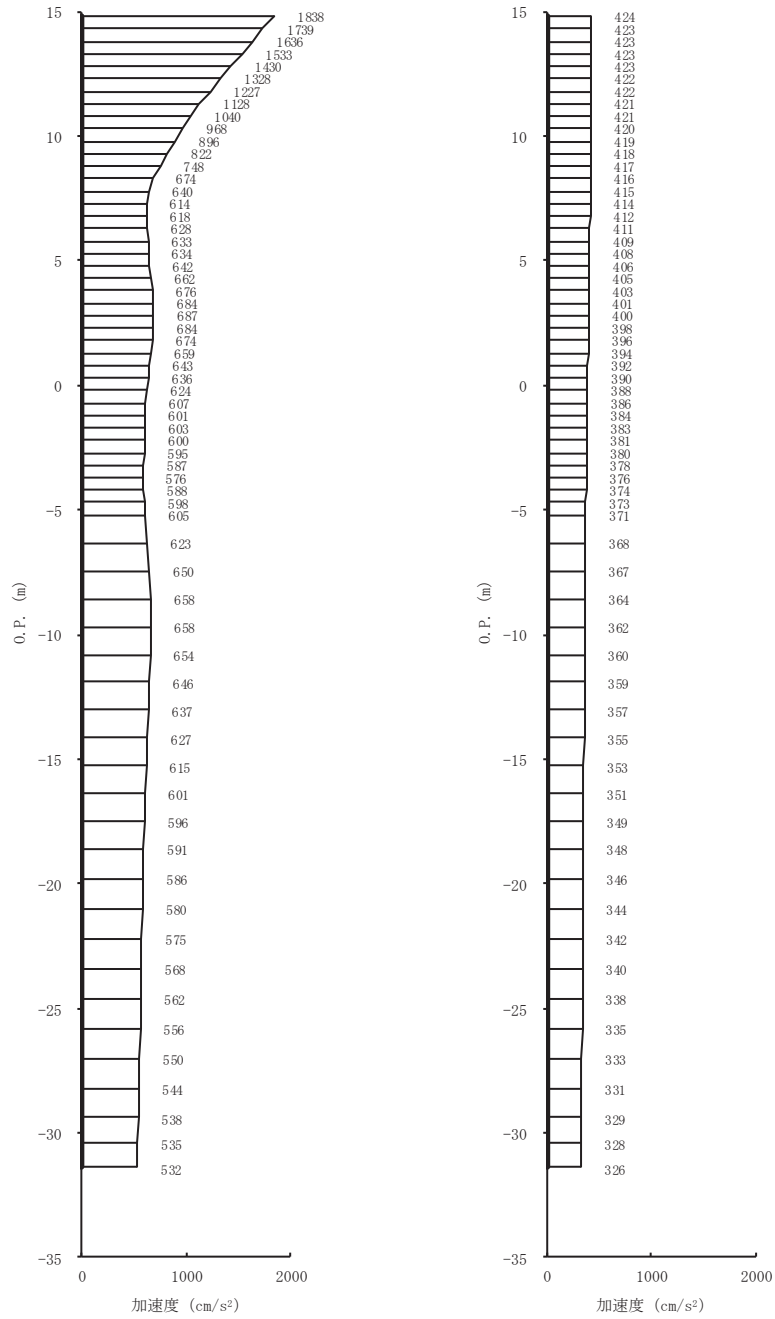
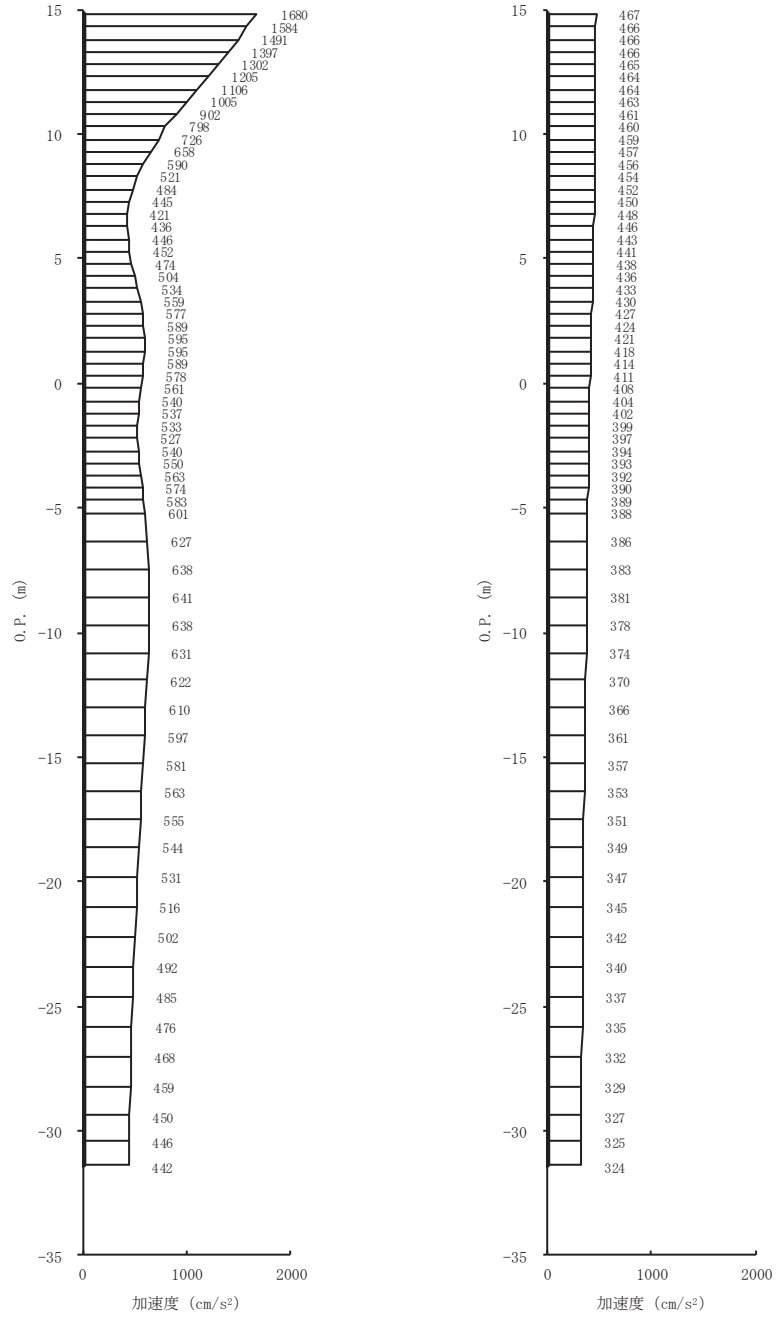
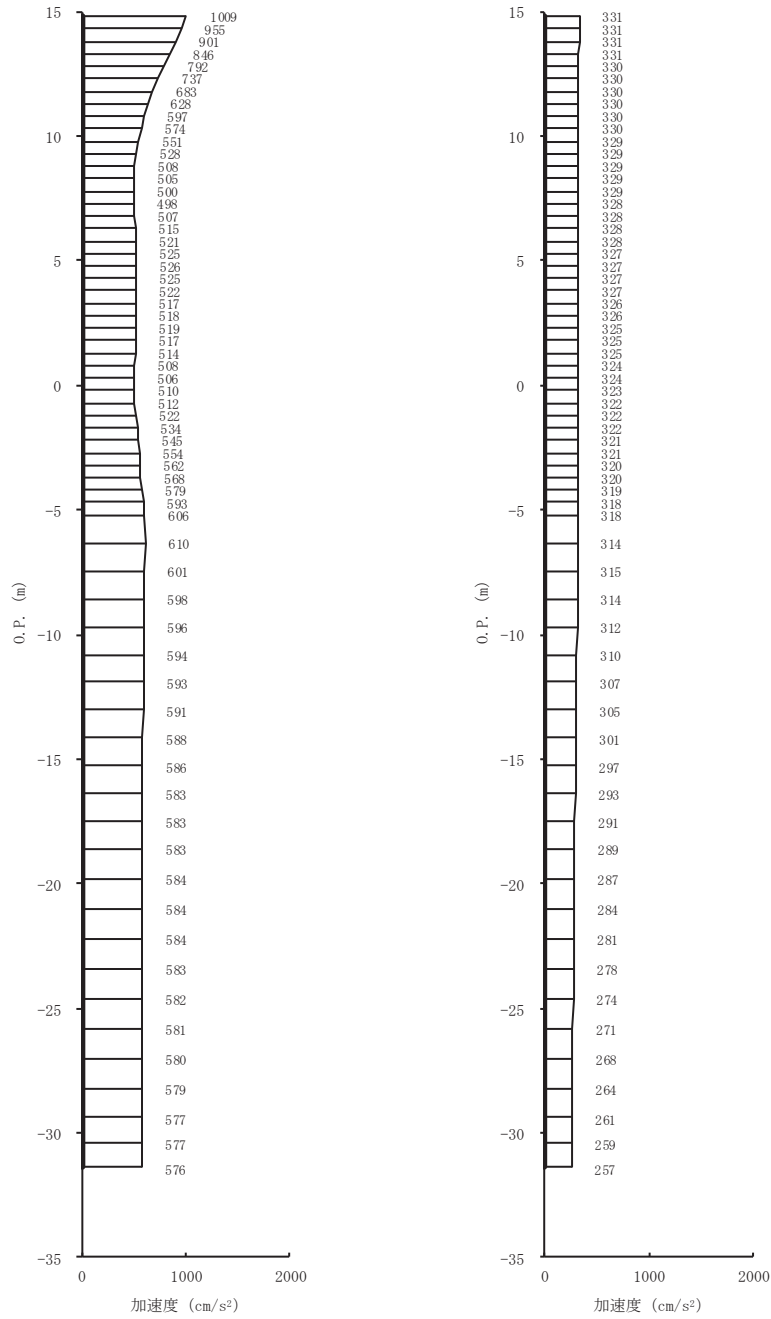


図 4-1(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

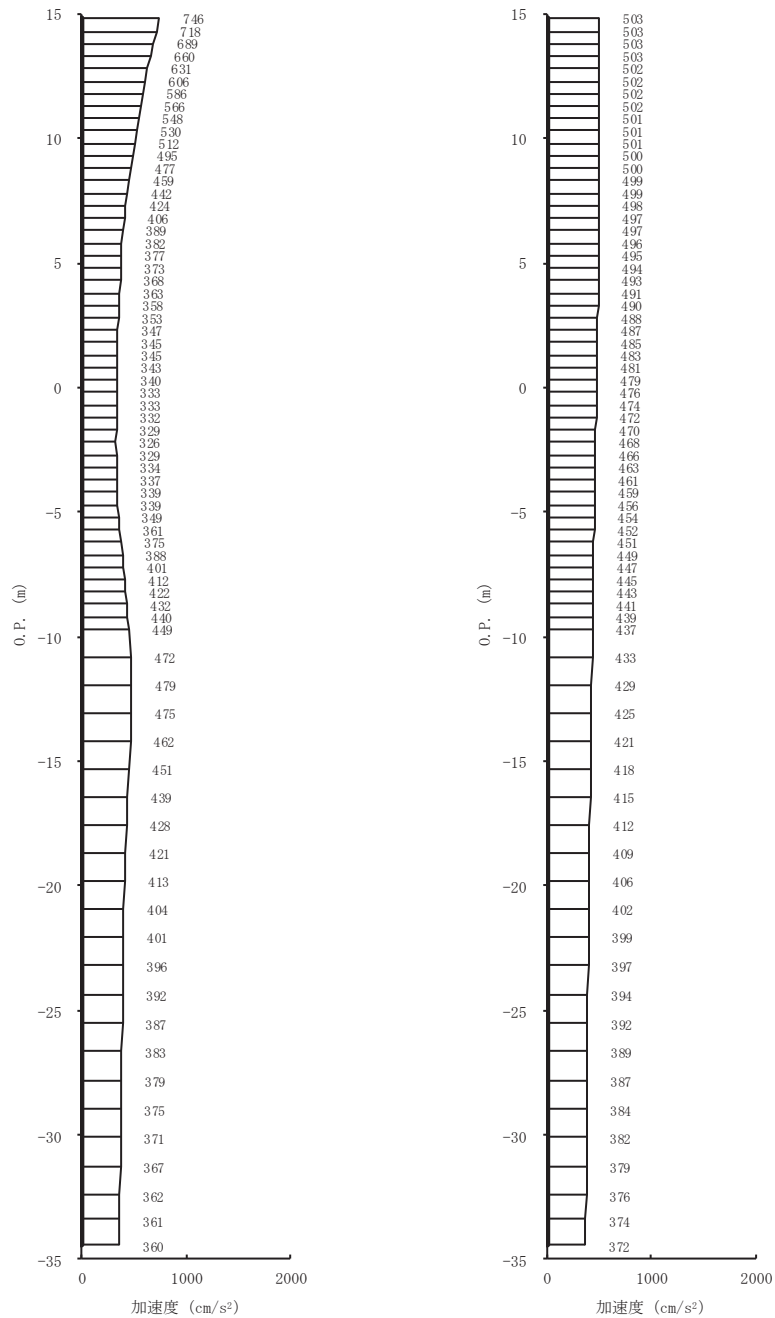


(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-1(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

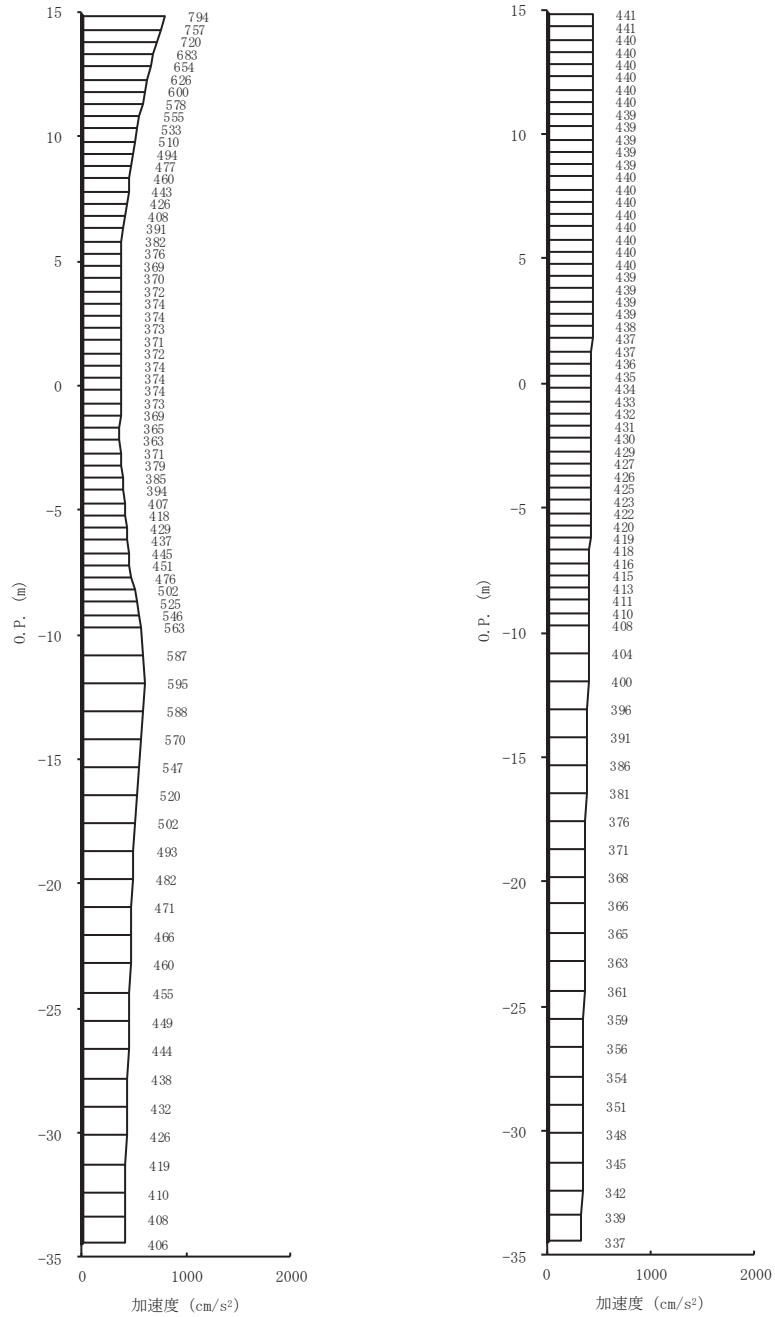
#### 4.2 No.2 揚水井戸

解析結果のうち、解析ケース①～④についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-2 に示す。

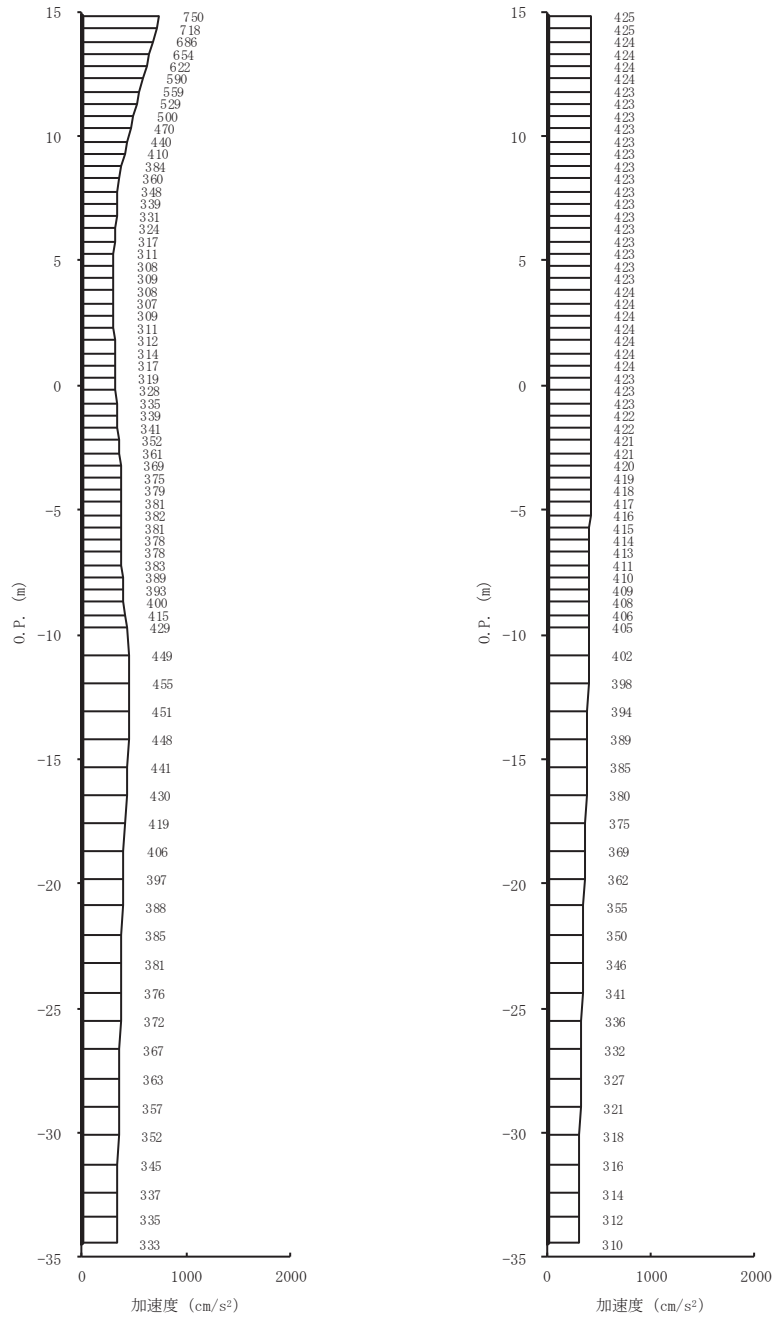


(a)  $S_s - D1$  (++) 水平 (b)  $S_s - D1$  (++) 鉛直

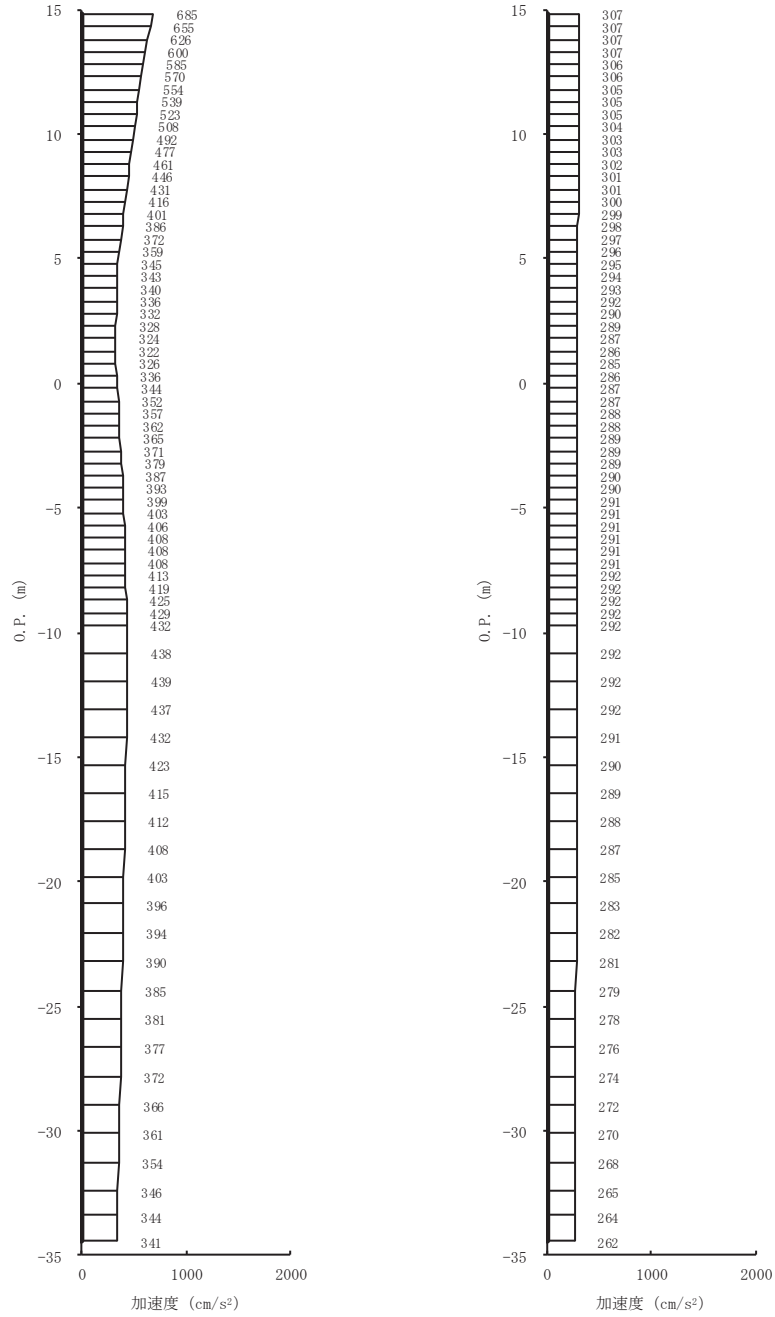
図 4-2(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-2(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)

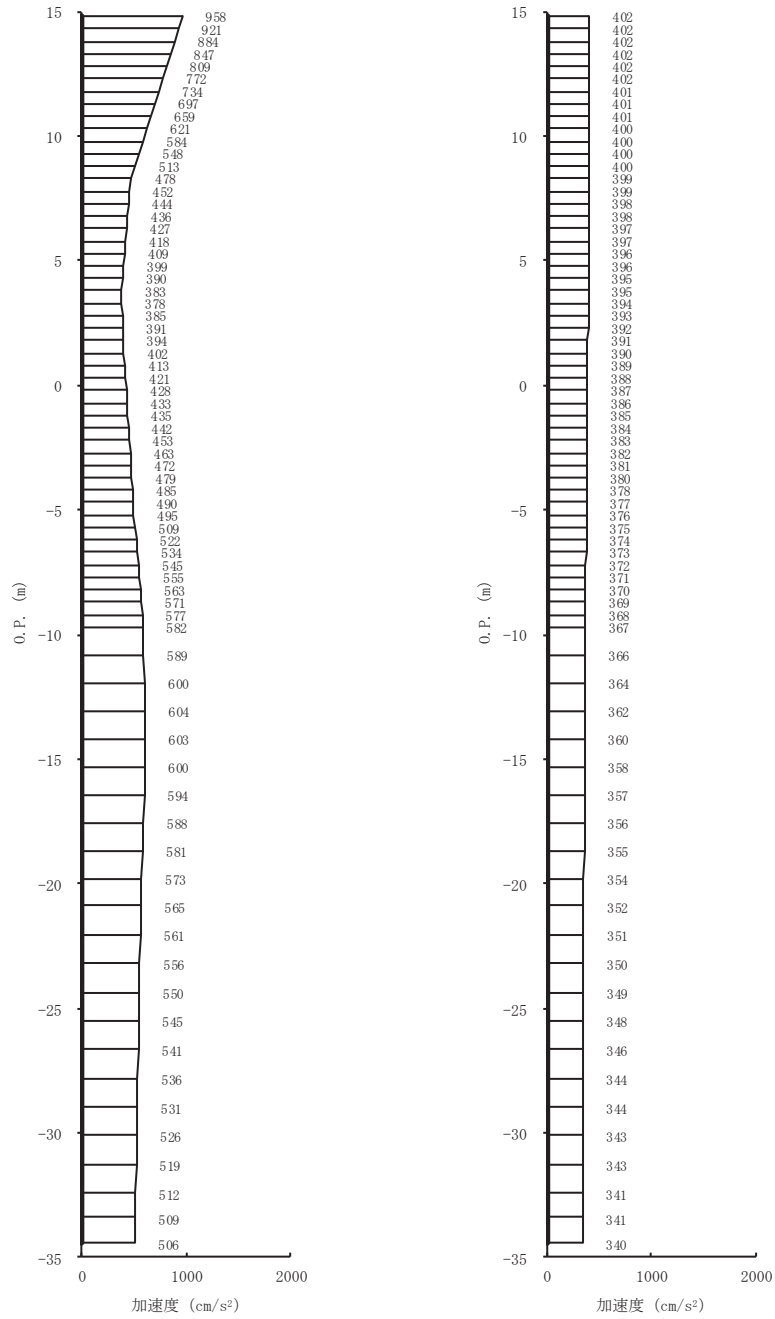


(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-2(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)

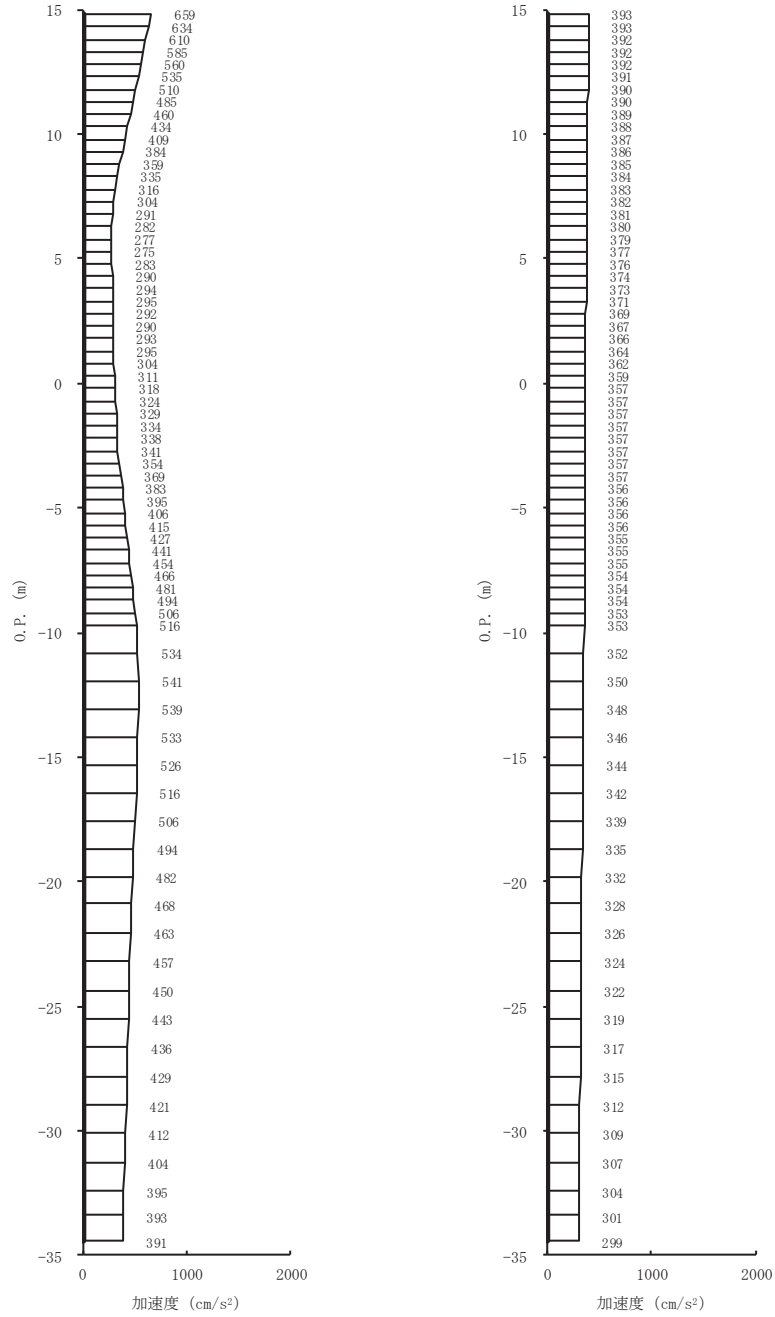


(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-2(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)

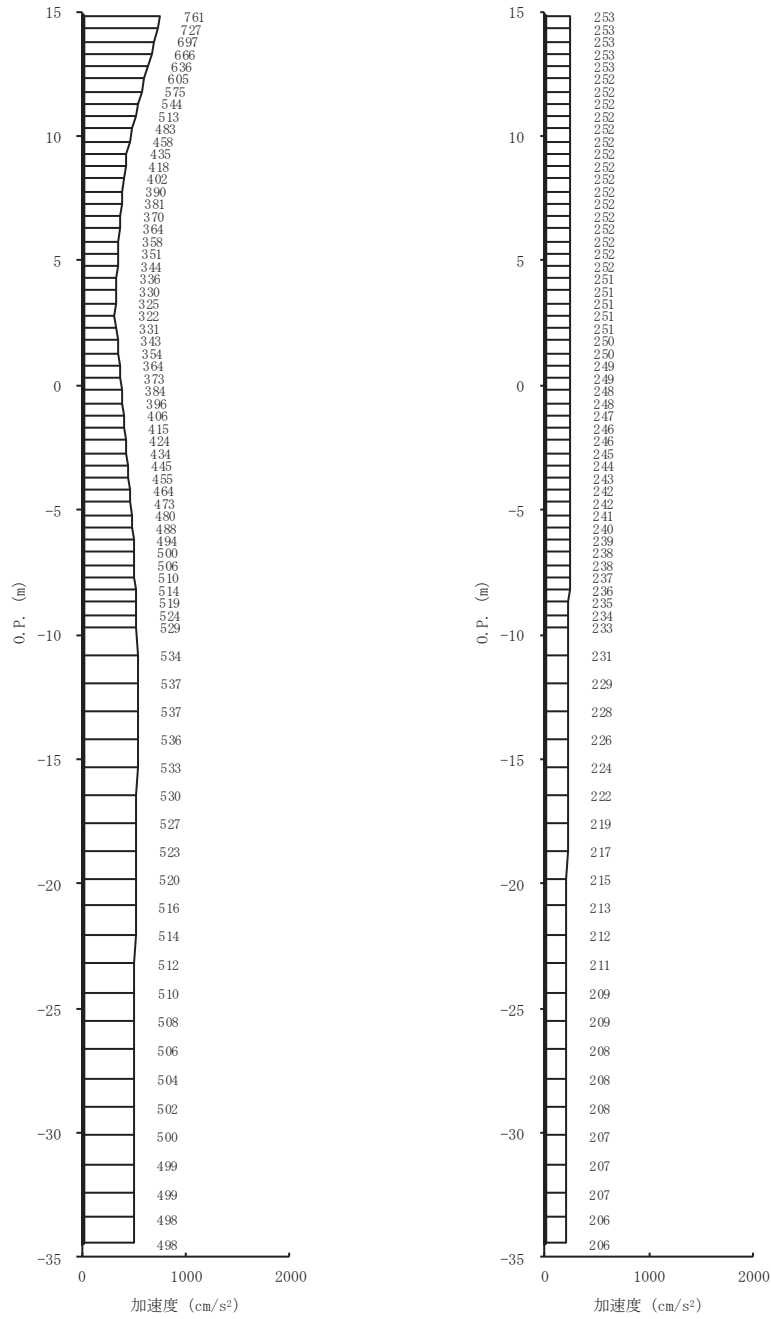




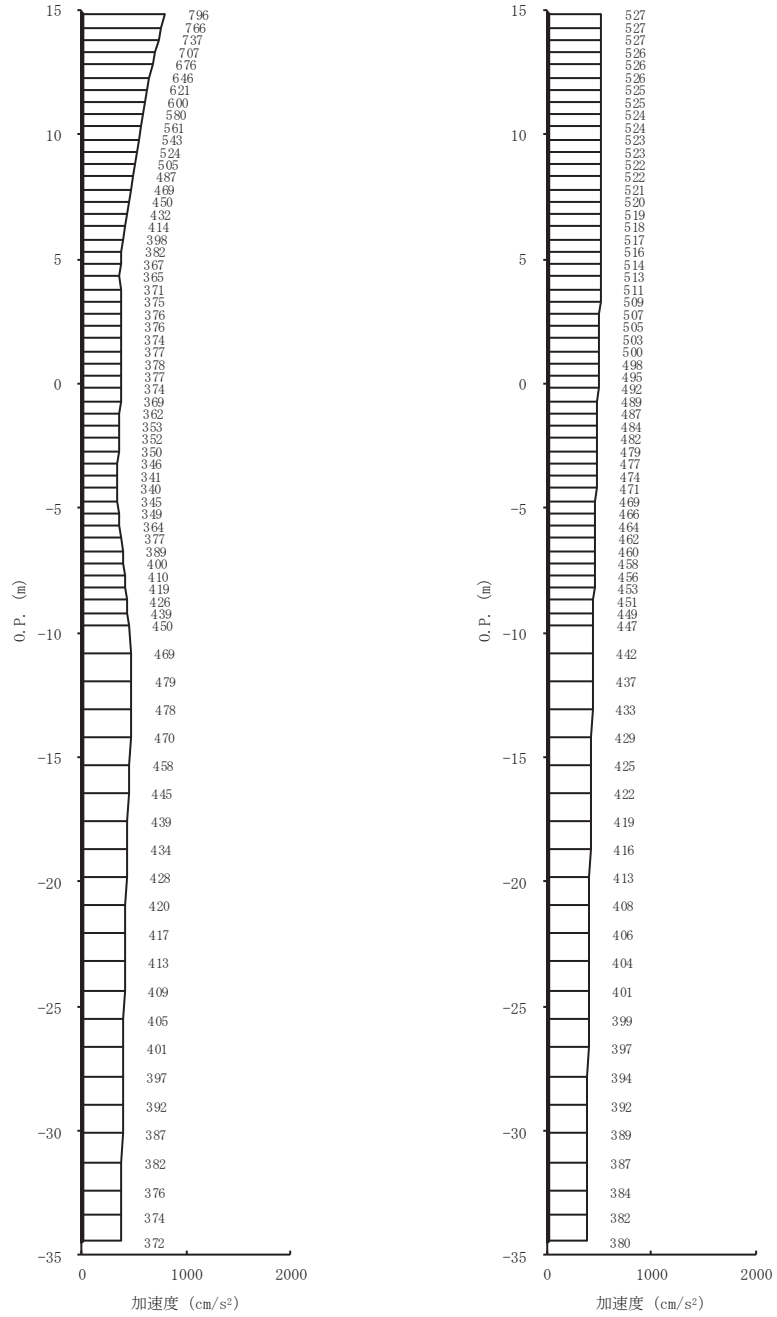
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-2(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



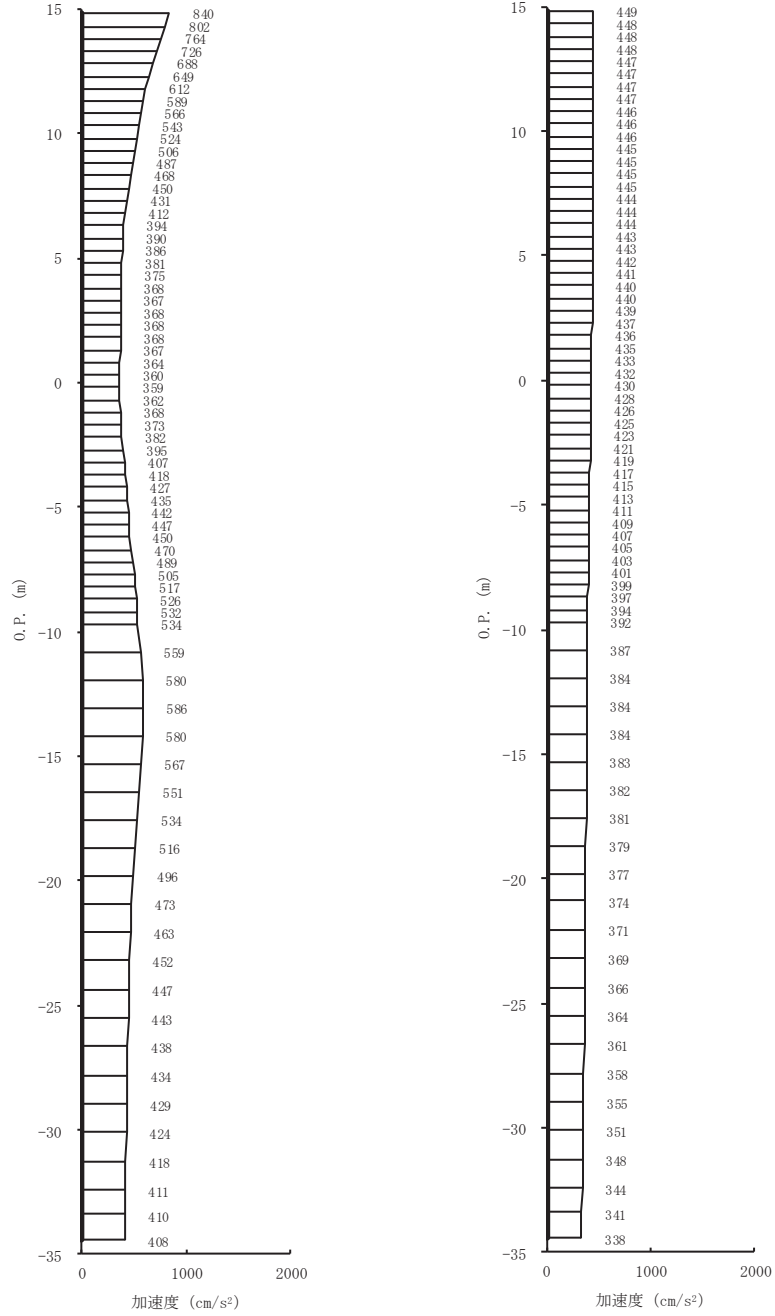
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-2(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



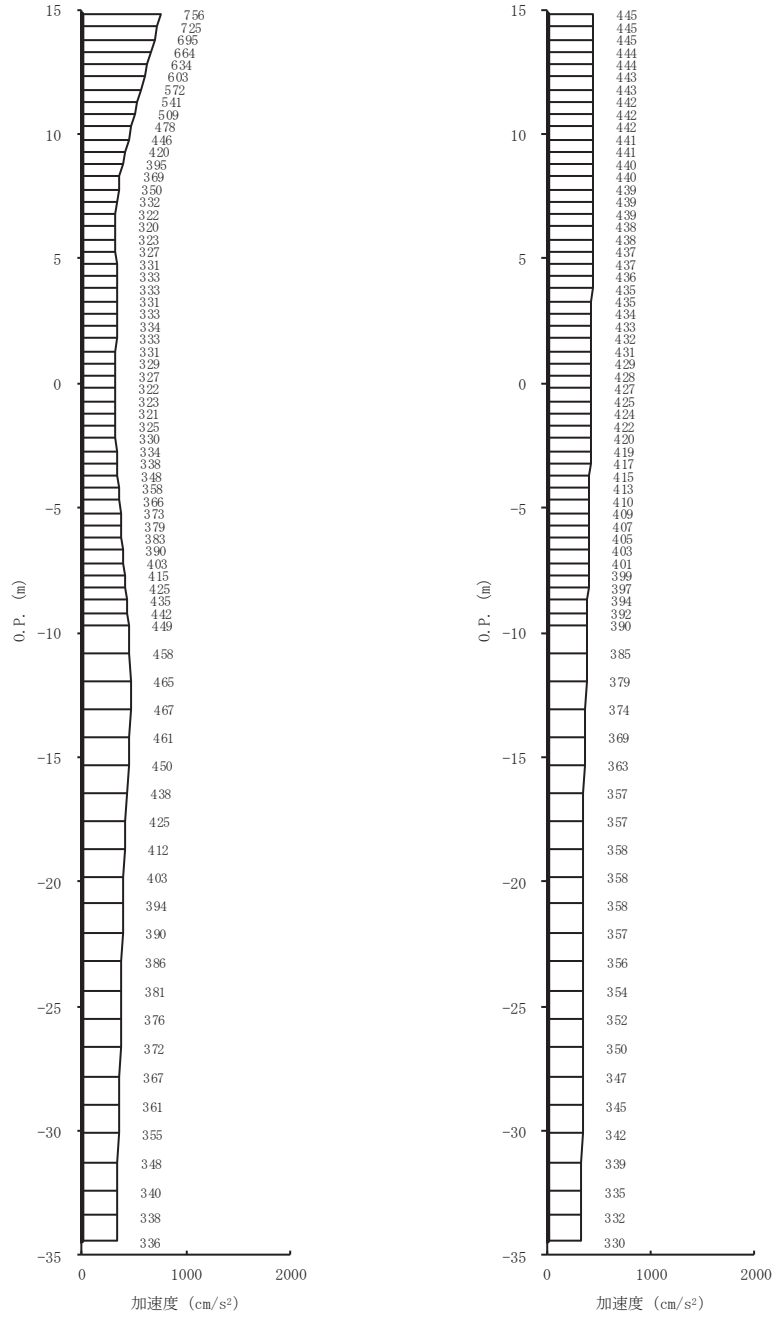
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-2(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 1 (++) 水平      (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-2(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No.2 揚水井戸, 解析ケース②)

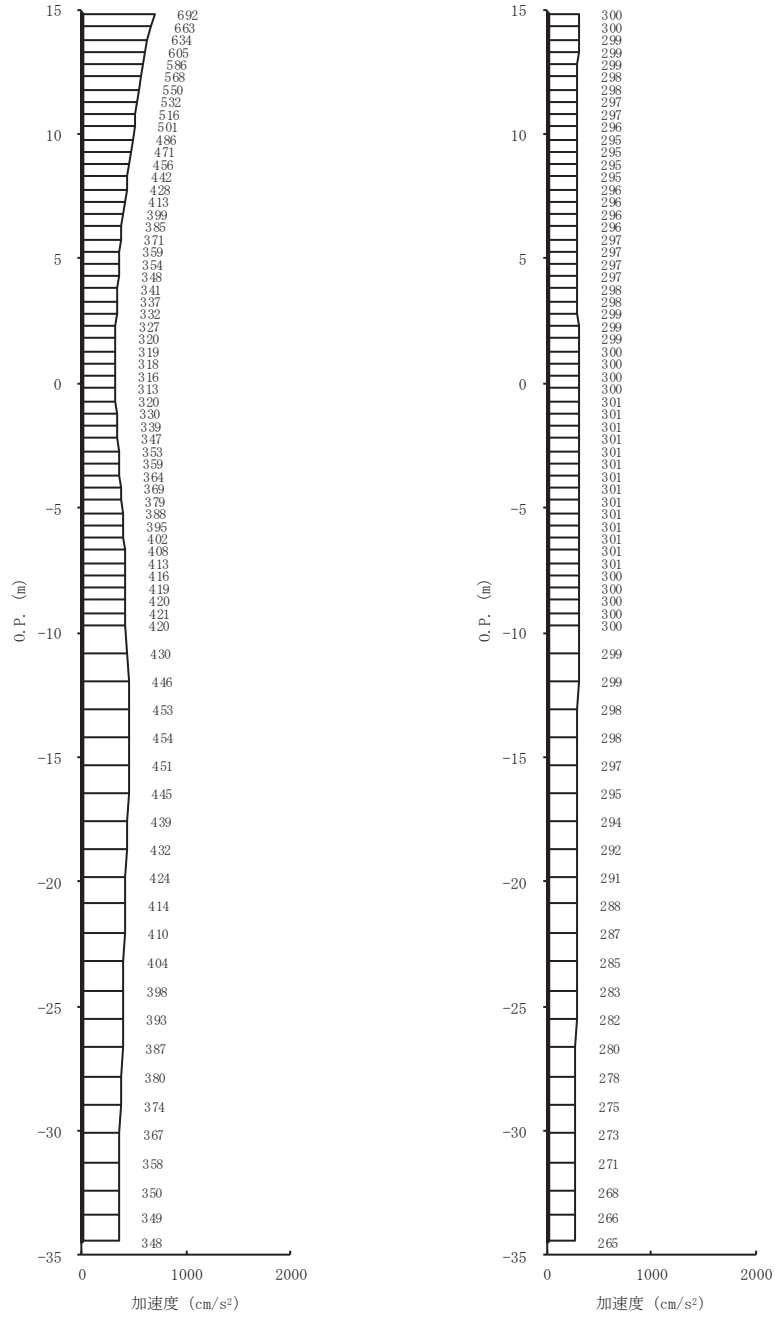


(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-2(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



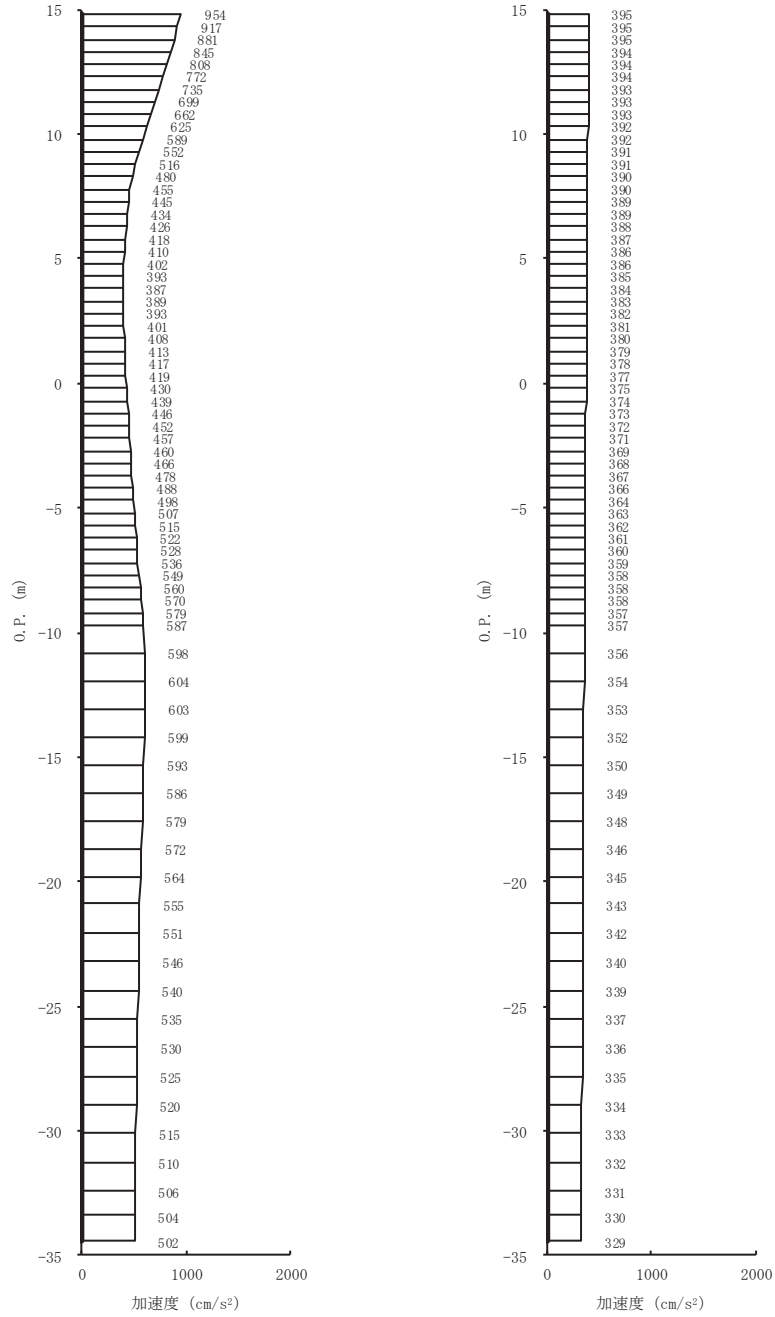
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直

図 4-2(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



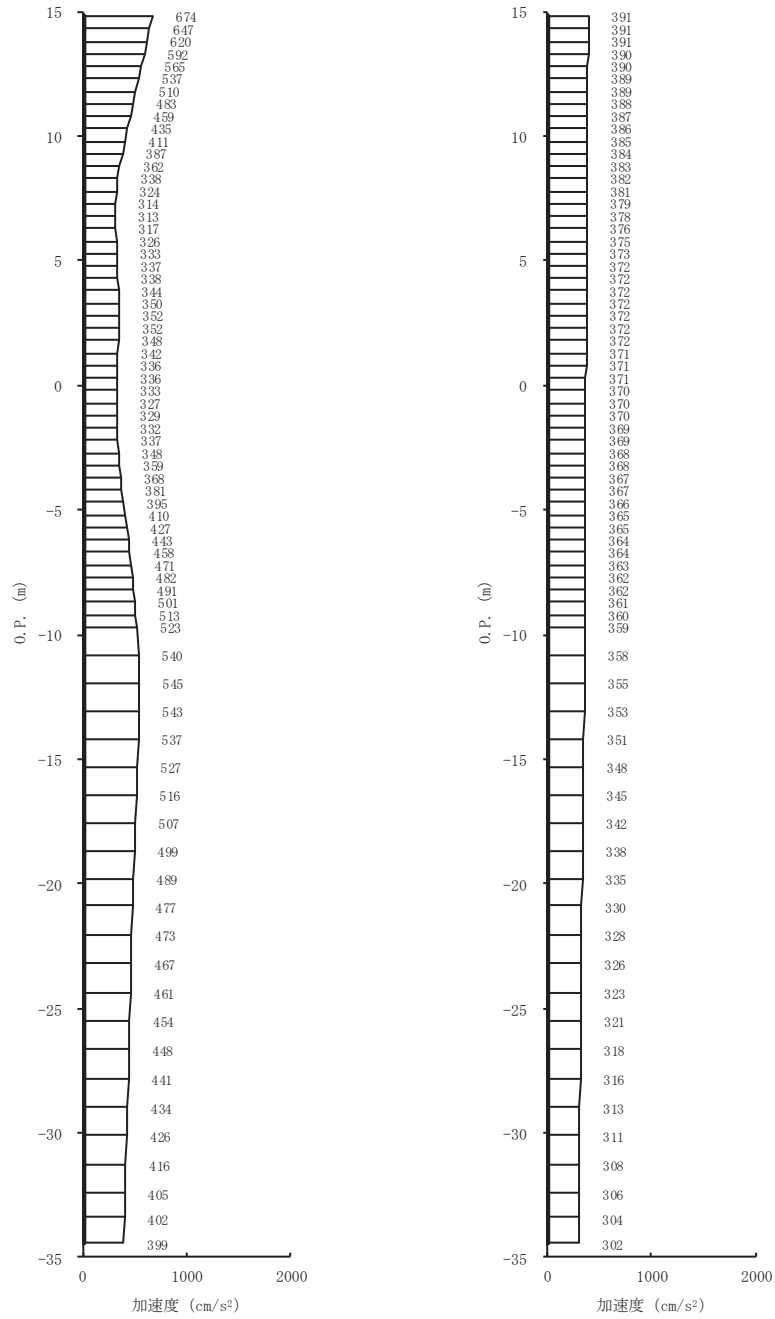
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-2(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



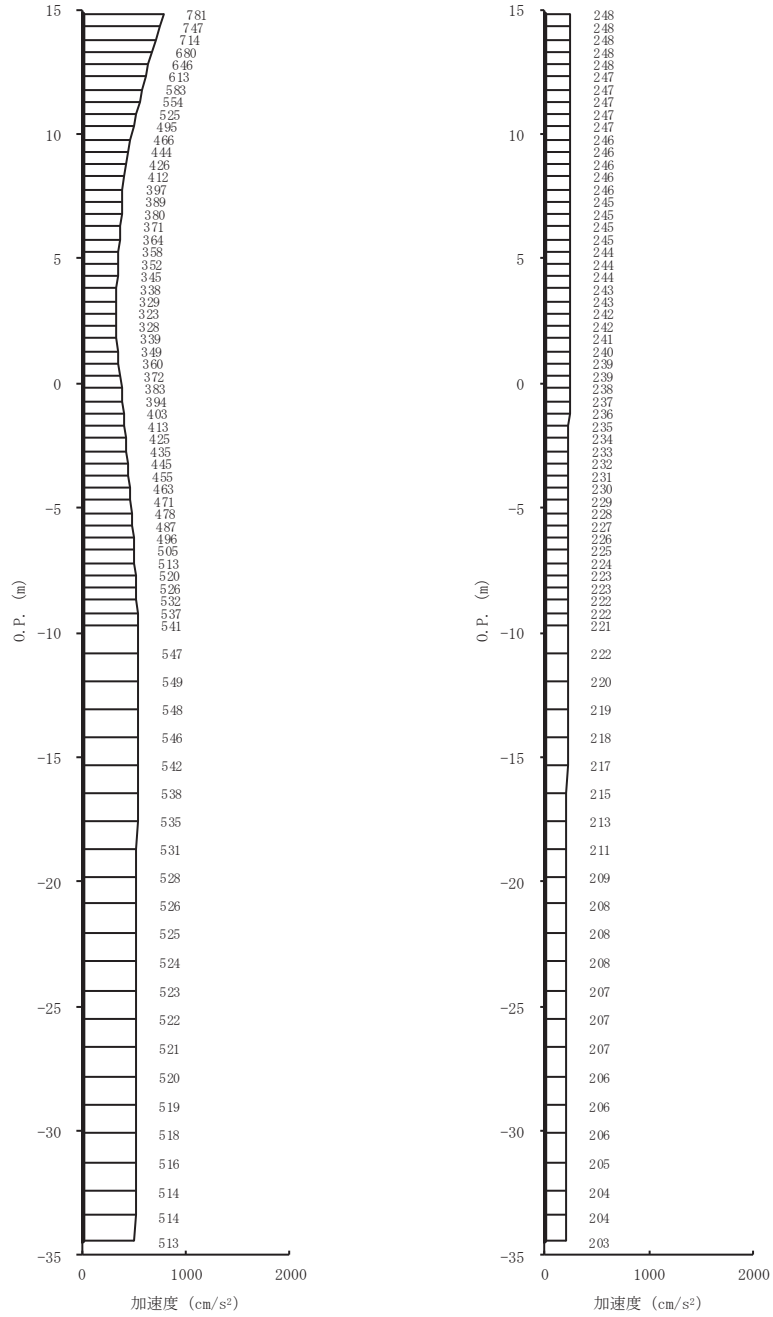
(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-2(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)





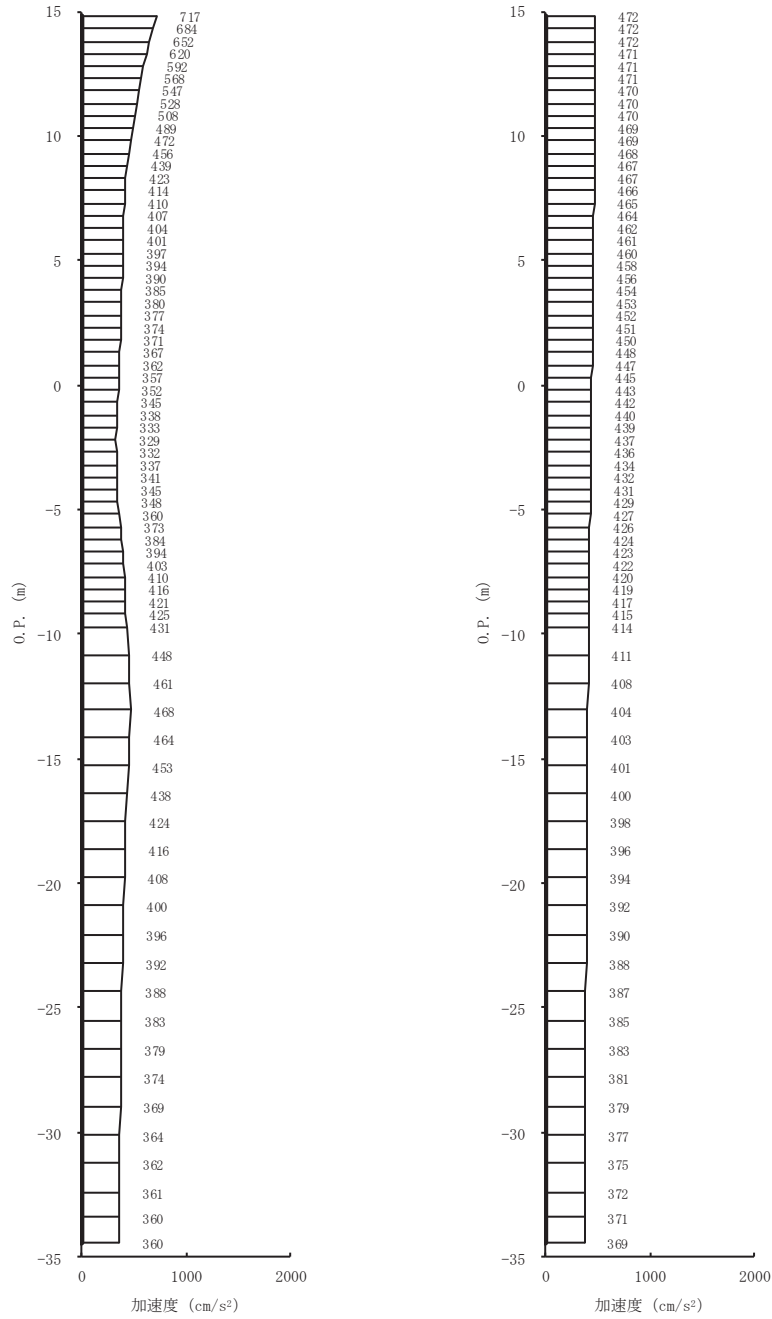
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直

図 4-2(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)

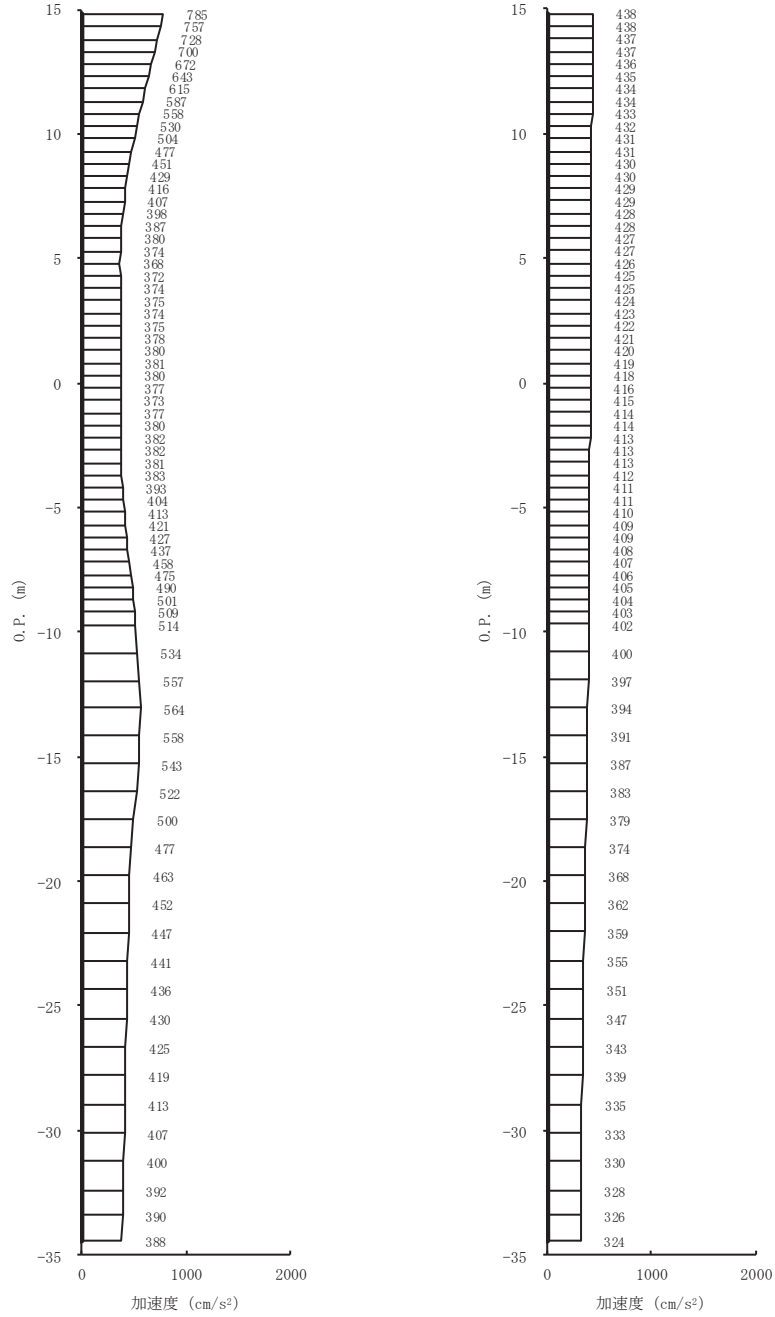


(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-2(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)

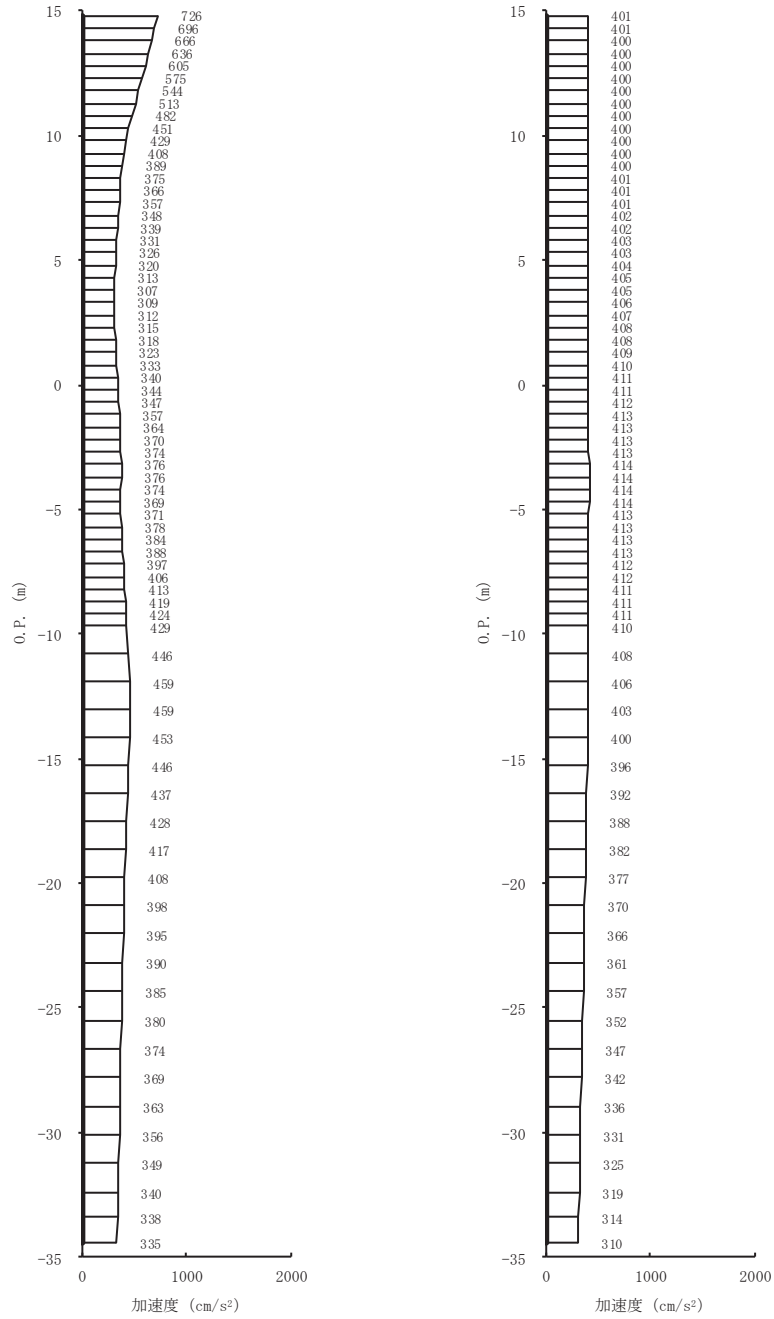


(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-2(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)

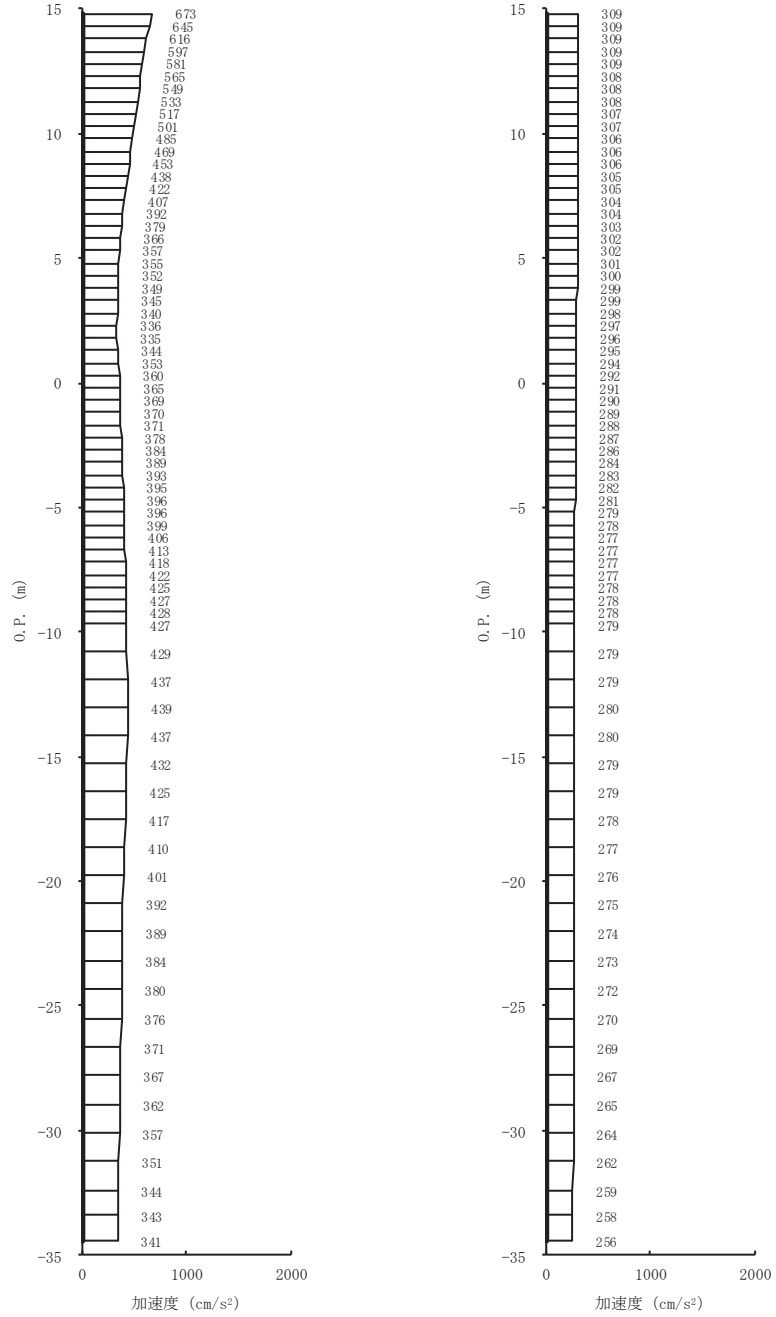


(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直

図 4-2(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)

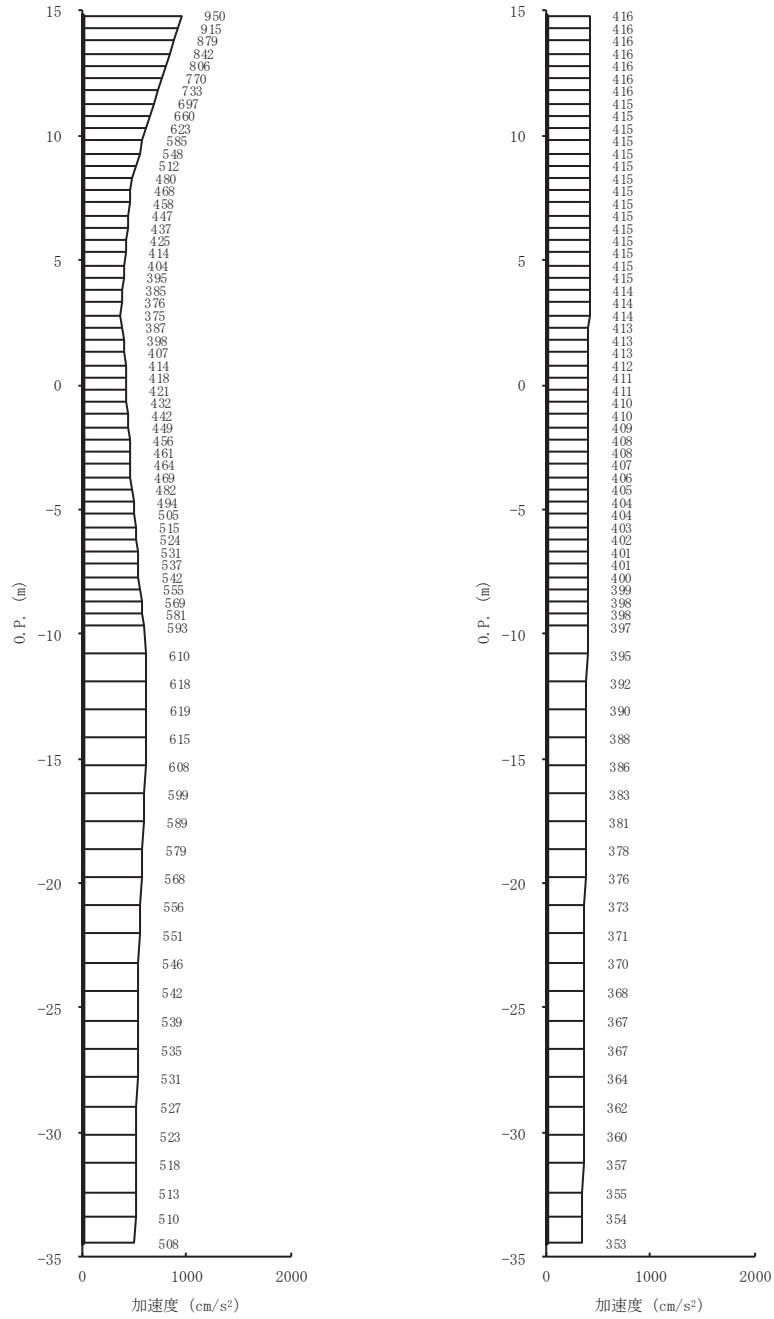


(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-2(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



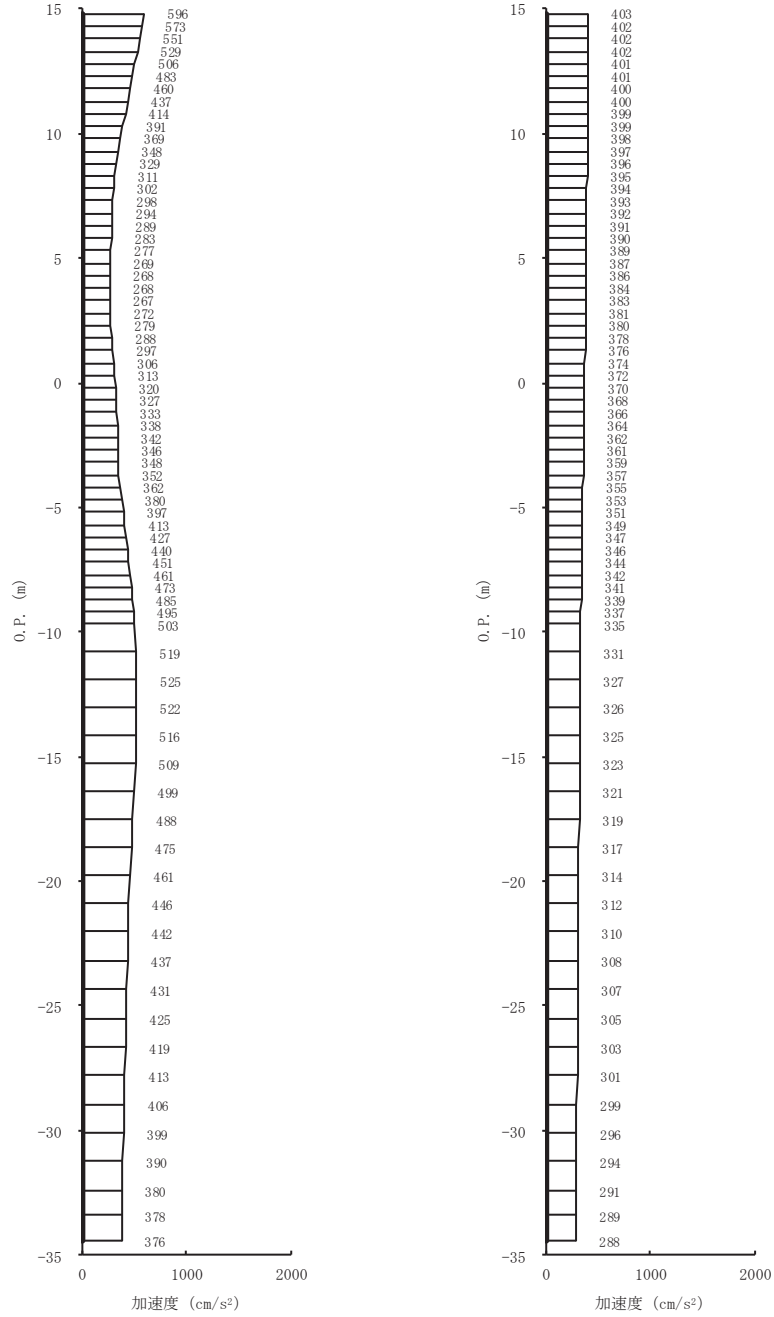
(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-2(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直

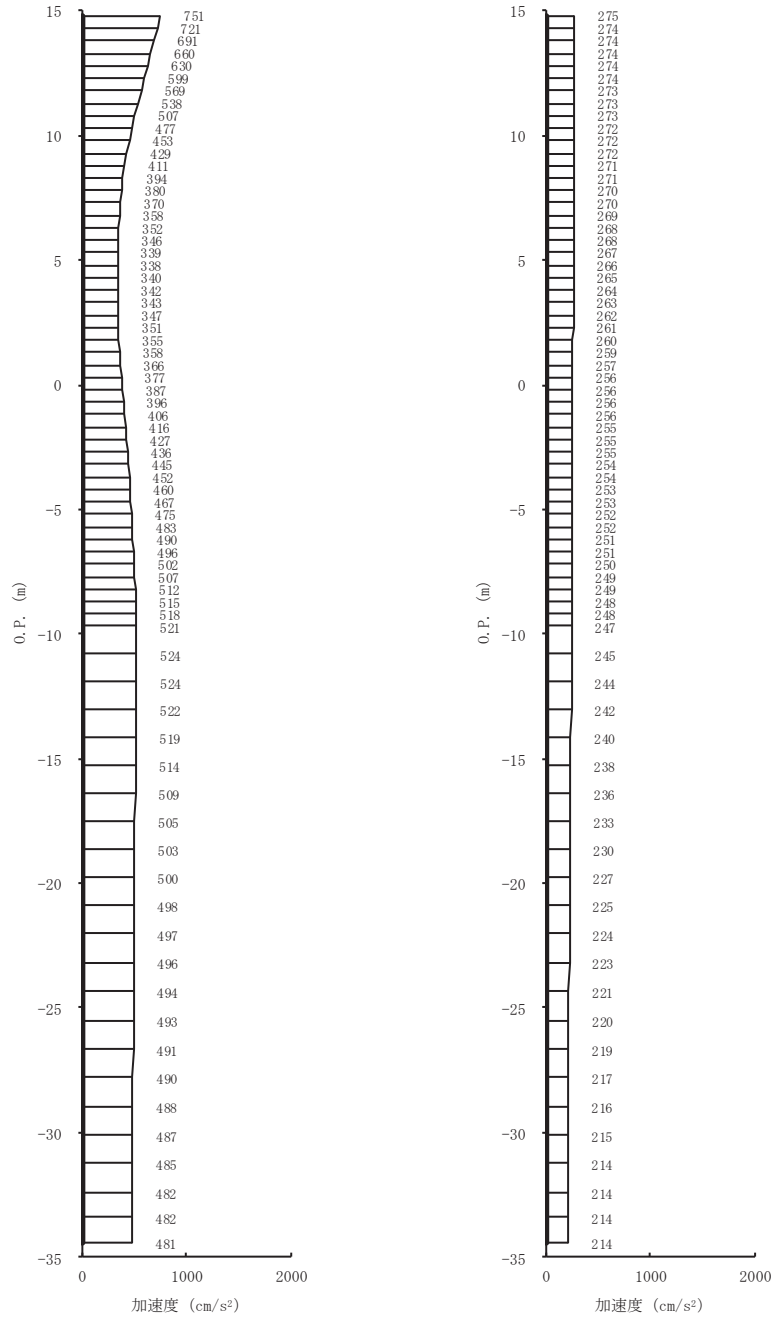
図 4-2(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直

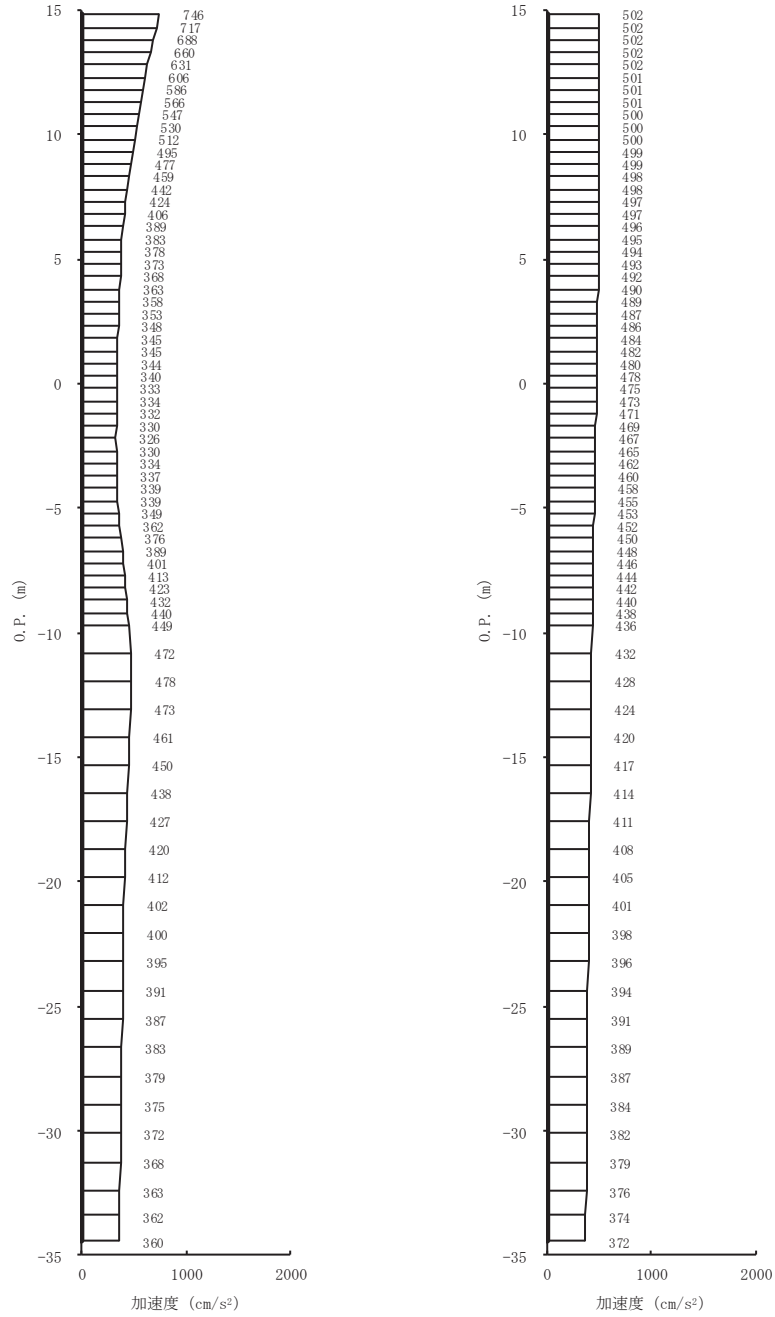
図 4-2(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)





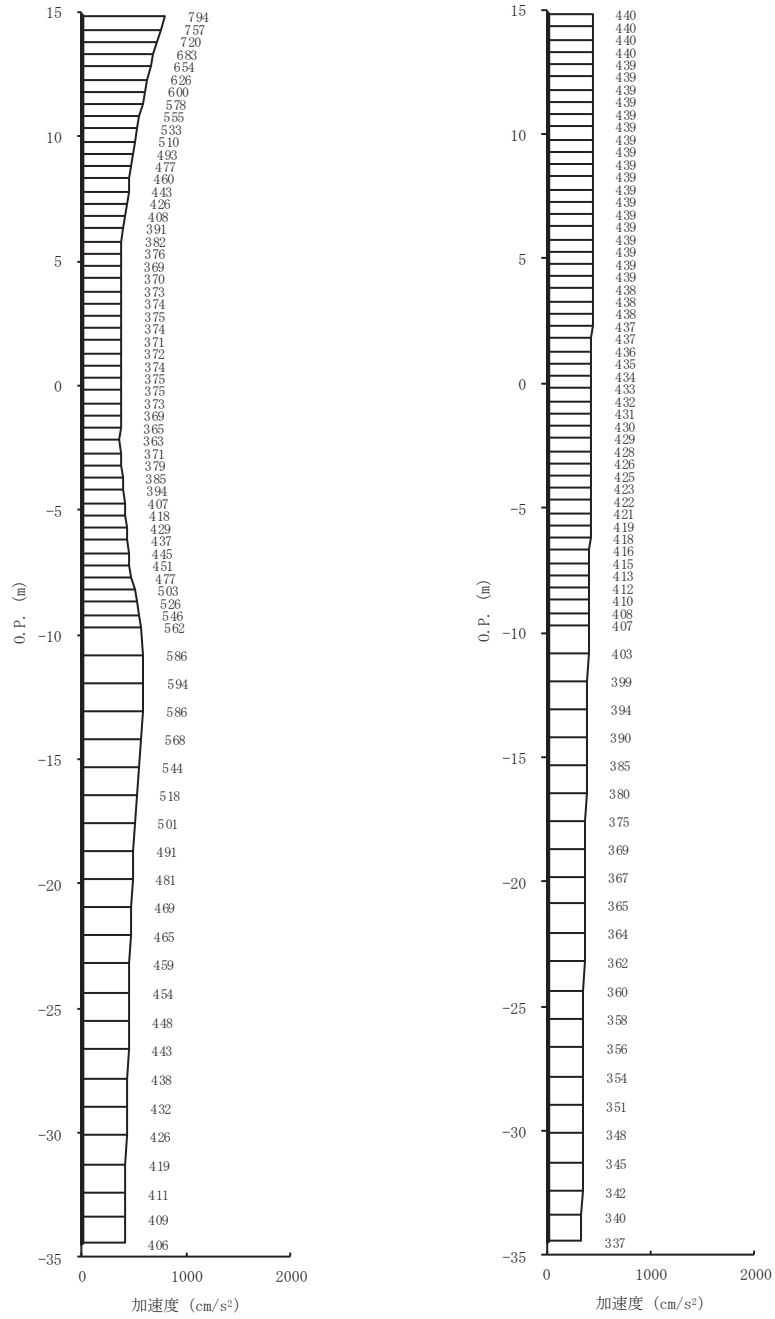
(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-2(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



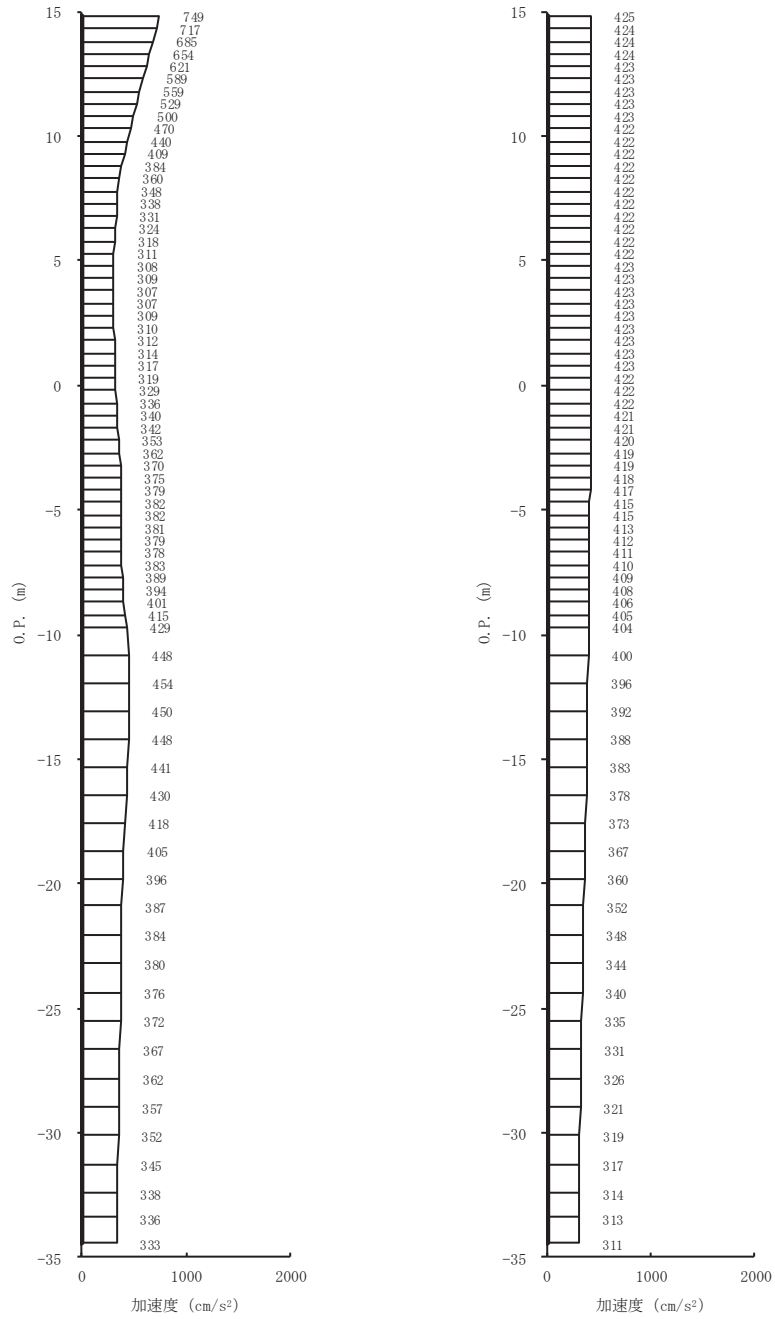
(a) S s - D 1 (++) 水平      (b) S s - D 1 (++) 鉛直

図 4-2(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

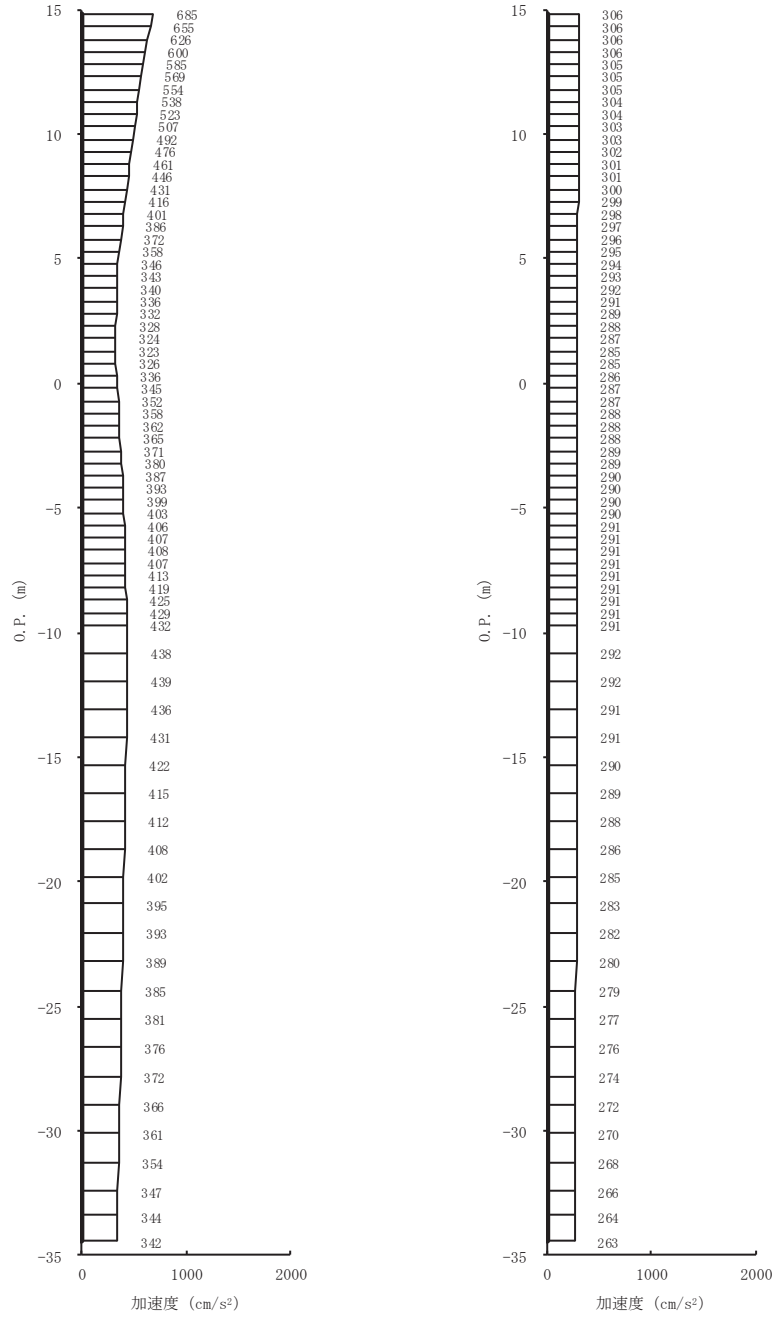


(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直

図 4-2(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

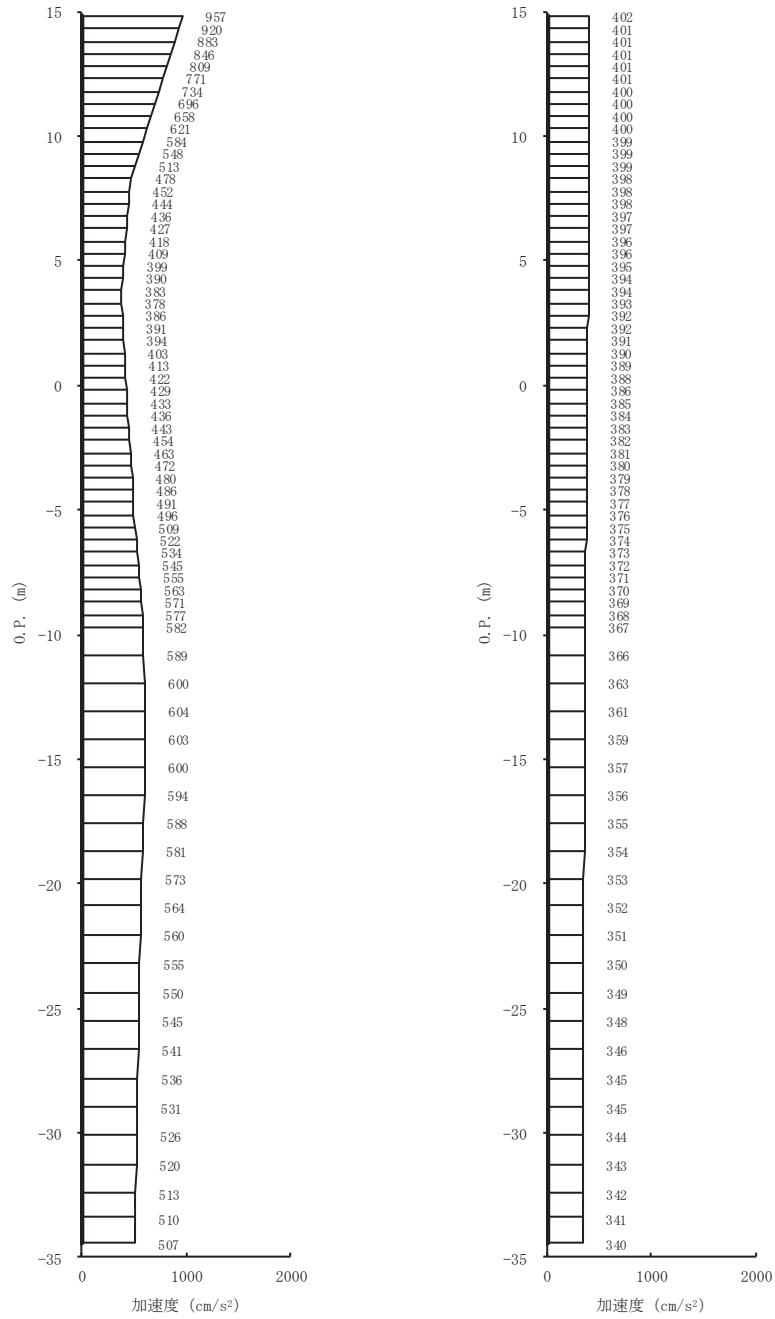


(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-2(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

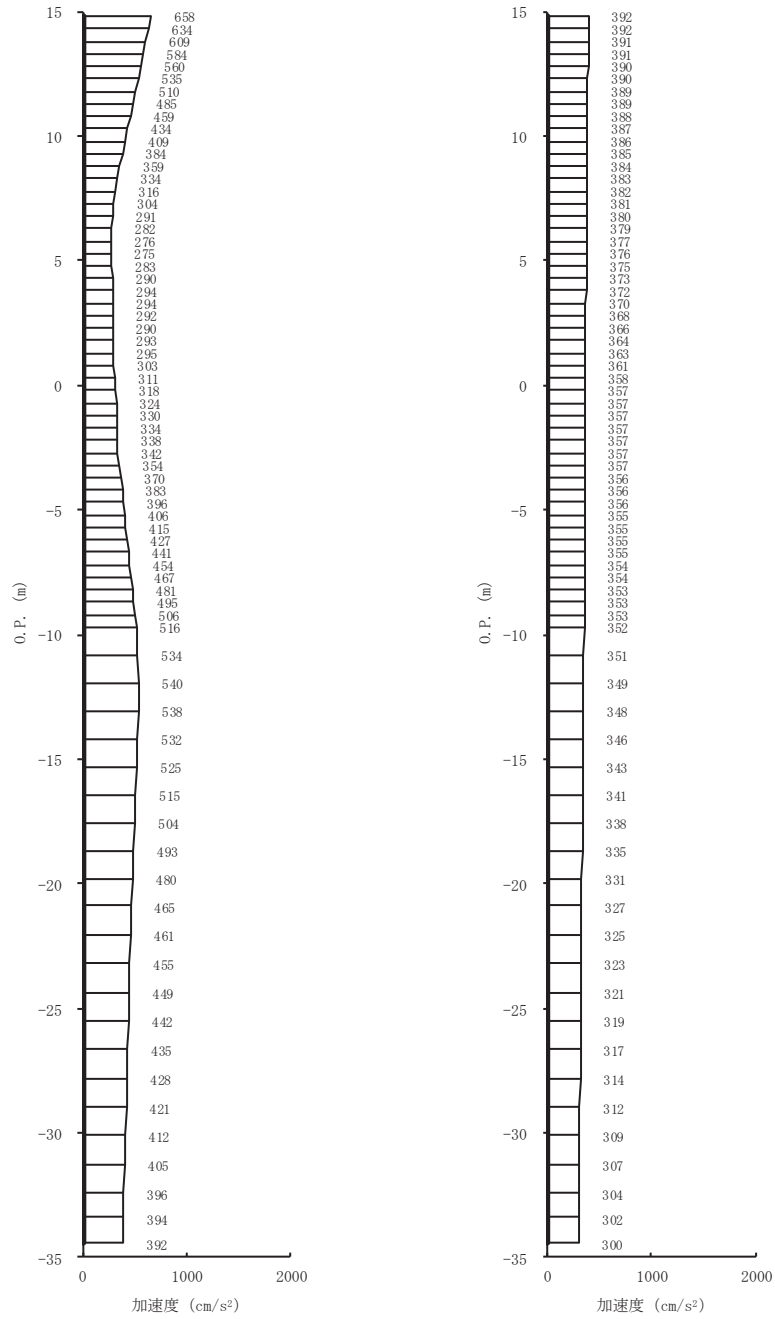


(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-2(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

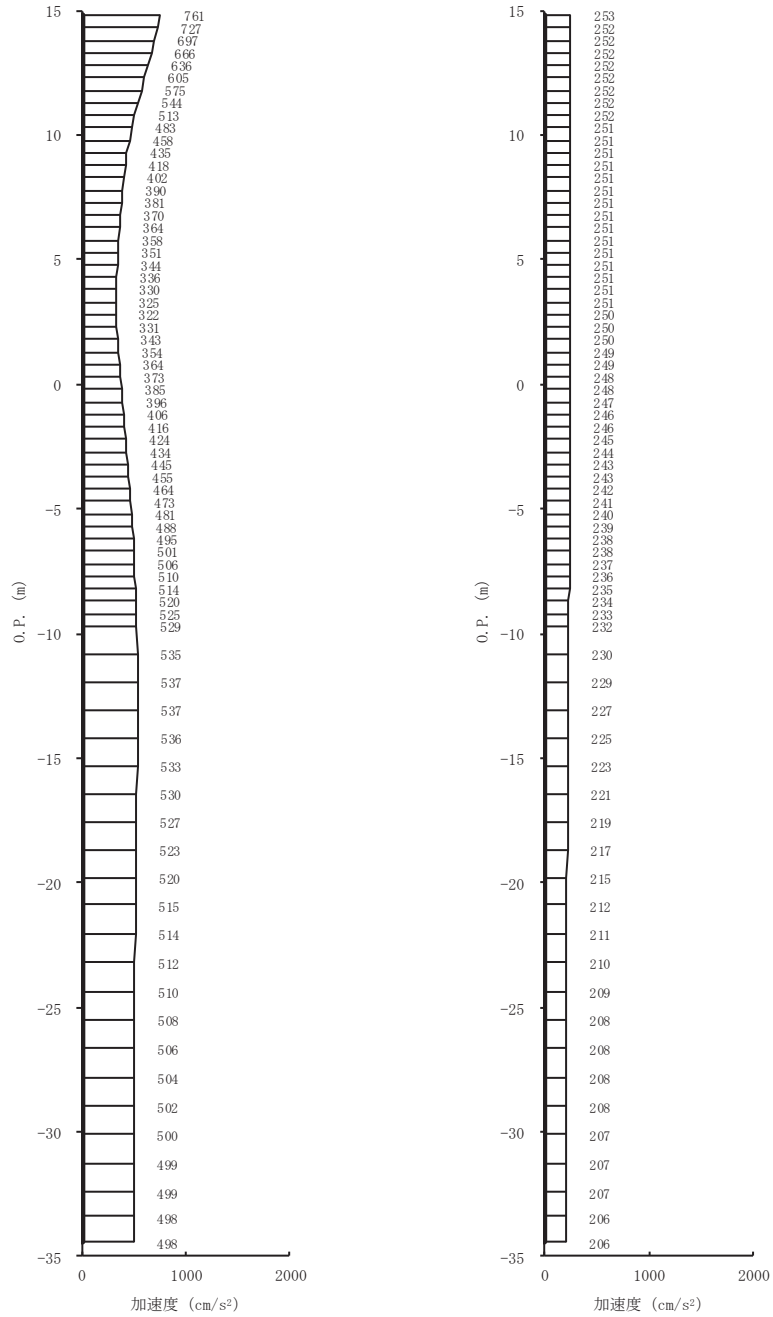


(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-2(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直

図 4-2(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-2(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



VI-2-13-5 地下水位低下設備揚水ポンプの耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の測定方法	7
4.3 固有周期の測定結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2 許容応力	8
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
5.3 設計用地震力	11
5.4 計算方法	12
5.4.1 応力の計算方法	12
5.5 計算条件	14
5.6 応力の評価	14
6. 機能維持評価	15
6.1 動的機能維持評価方法	15
7. 評価結果	15

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、地下水位低下設備揚水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認するものである。

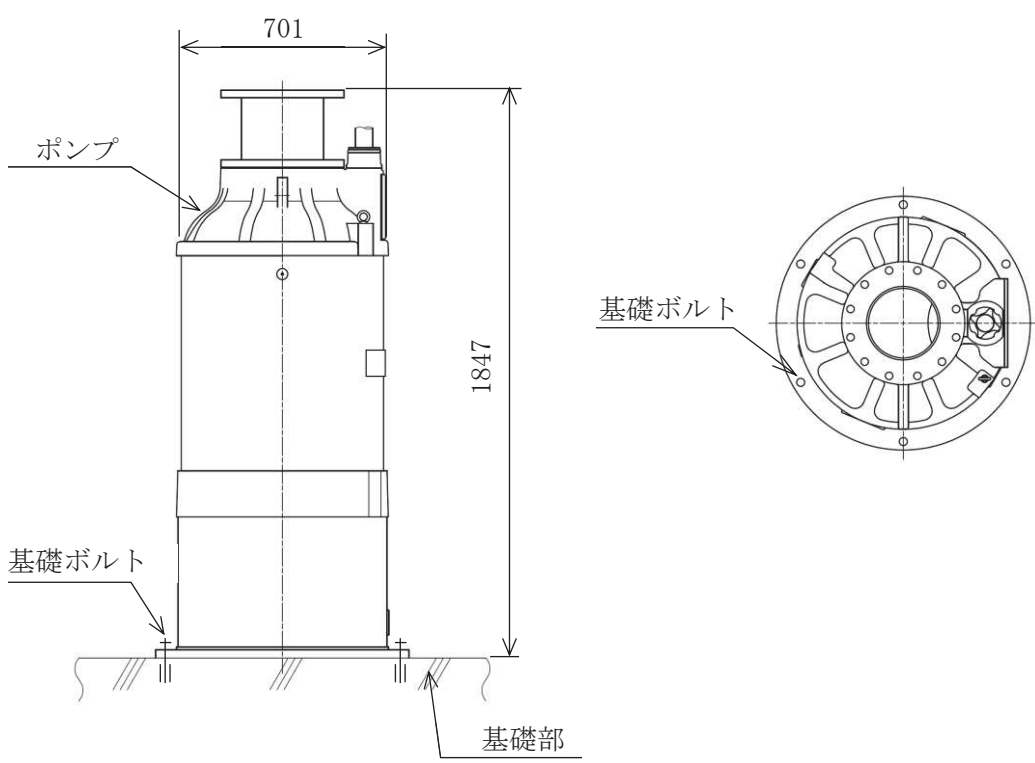
地下水位低下設備の評価においては、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち、「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建屋・構築物」に基づき、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

地下水位低下設備揚水ポンプの構造計画を表 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>ポンプは、基礎ボルトで床面に固定する。</p>	<p>水中ポンプ</p>	 <p>(単位 : mm)</p>

## 2.2 評価方針

地下水位低下設備揚水ポンプの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す地下水位低下設備揚水ポンプの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて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、「5. 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。また、地下水位低下設備揚水ポンプの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

地下水位低下設備揚水ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

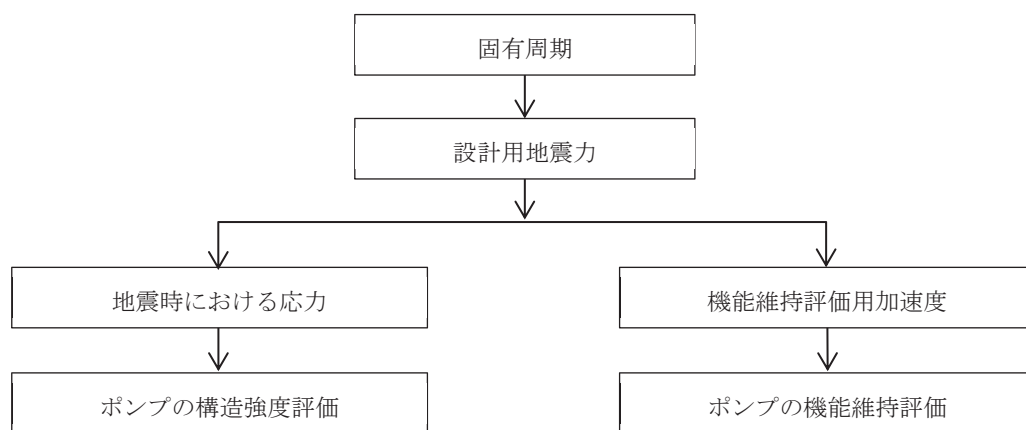


図 2-1 地下水位低下設備揚水ポンプの耐震評価フロー

### 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 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。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_P$	ポンプ振動による震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D$	ボルトのピッチ円直径	mm
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
$f_{sb}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$H_P$	予想最大両振幅	$\mu\text{m}$
$h$	据付面から重心までの距離	mm
$m$	運転時質量	kg
$N$	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
$n$	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ボルトの本数	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$S_u$	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
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 に示すとおりである。

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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</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>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</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の場合は、小数点以下表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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 位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

地下水位低下設備揚水ポンプの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

地下水低下設備揚水ポンプ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. 固有周期

##### 4.1 基本方針

地下水位低下設備揚水ポンプの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

##### 4.2 固有周期の測定方法

振動試験装置により固有周期を測定する。地下水位低下設備揚水ポンプの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

##### 4.3 固有周期の測定結果

固有周期の測定結果を表 4-1 に示す。測定の結果、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 4-1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平	0.05 以下
鉛直	0.05 以下

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

- (1) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 円形配置である基礎ボルトに対する引張応力は、最も厳しい条件として、支点から最も離れたボルトについて計算する。
- (4) 設計用地震力は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に基づき設定する。

なお、地下水位低下設備揚水ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の1.2倍の値を用いて評価する。

- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

地下水位低下設備揚水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態の評価に用いるものを表5-1に示す。

#### 5.2.2 許容応力

地下水位低下設備揚水ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

地下水位低下設備揚水ポンプの使用材料の許容応力の評価に用いるものを表5-3に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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
施設共通 (地震)	地下水位低下 設備	地下水位低下設備 揚水ポンプ	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_{AS}$

注記 \* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_{AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 5-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SUS316L	周囲環境温度	40	175	480	—

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
地下水位低下 設備揚水井戸 No. 1, 3 : O.P. -29.40* No. 2, 4 : O.P. -32.40*	0.05 以下	0.05 以下	—	—	$C_H=0.71$	$C_V=0.47$

注記\* : 基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による引張応力とせん断応力について計算する。図 5-1 に計算モデルを示す。

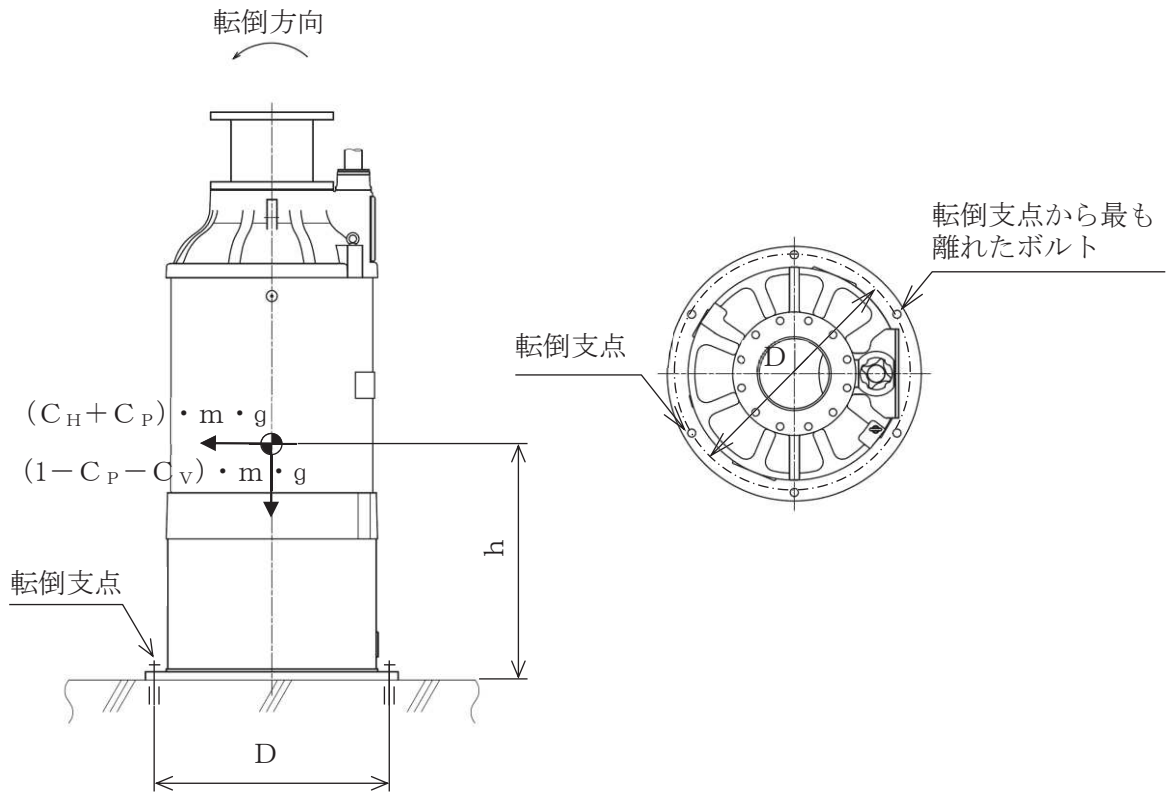


図 5-1 計算モデル

(1) 引張応力

円形配置である基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 で転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力  $F_b$

$$F_b = \frac{(C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_P - C_V) \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

また、 $C_P$ はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

基礎ボルトに作用する引張応力  $\sigma_b$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ただし、 $F_b$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。  
なお、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力  $Q_b$

$$Q_b = m \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

5.5 計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【地下水位低下設備揚水ポンプ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。

5.6 応力の評価

5.4.1節で求めたボルトの引張応力  $\sigma_b$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.4.1.7)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける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 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



## 6. 機能維持評価

### 6.1 動的機能維持評価方法

地下水位低下設備揚水ポンプの動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に基づき設定する。

地下水位低下設備揚水ポンプの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、振動試験（加振試験）により動的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
地下水位低下設備揚水ポンプ	水平	2.50
	鉛直	1.00

## 7. 評価結果

地下水位低下設備揚水ポンプ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及び動的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【地下水位低下設備揚水ポンプの耐震性についての計算結果】

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)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ポンプ振動 による震度	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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
地下水位低下設備 揚水ポンプ	C	地下水位低下設備 揚水井戸 No. 1, 3 : O. P. -29. 40* No. 2, 4 : O. P. -32. 40*	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C <sub>H</sub> =0. 71	C <sub>V</sub> =0. 47	C <sub>P</sub> =0. 18	—	40

注記\* : 基準床レベルを示す。

2 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	D (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>f</sub>
基礎ボルト	1500	800	770	24 (M24)	452. 4	6	6

部 材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向		H <sub>P</sub> (μm)	N (rpm)
					弾性設計用 地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>		
基礎ボルト	175*	480*	—	210	—	水平	34	3000

注記 \* : 周囲環境温度で算出

3 計算数値

3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	—	4.901×10 <sup>3</sup>	—	1.309×10 <sup>4</sup>

4 結論

4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS316L	引張り	—	—	σ <sub>b</sub> =11	f <sub>t s</sub> =157*
		せん断	—	—	τ <sub>b</sub> =5	f <sub>s b</sub> =121

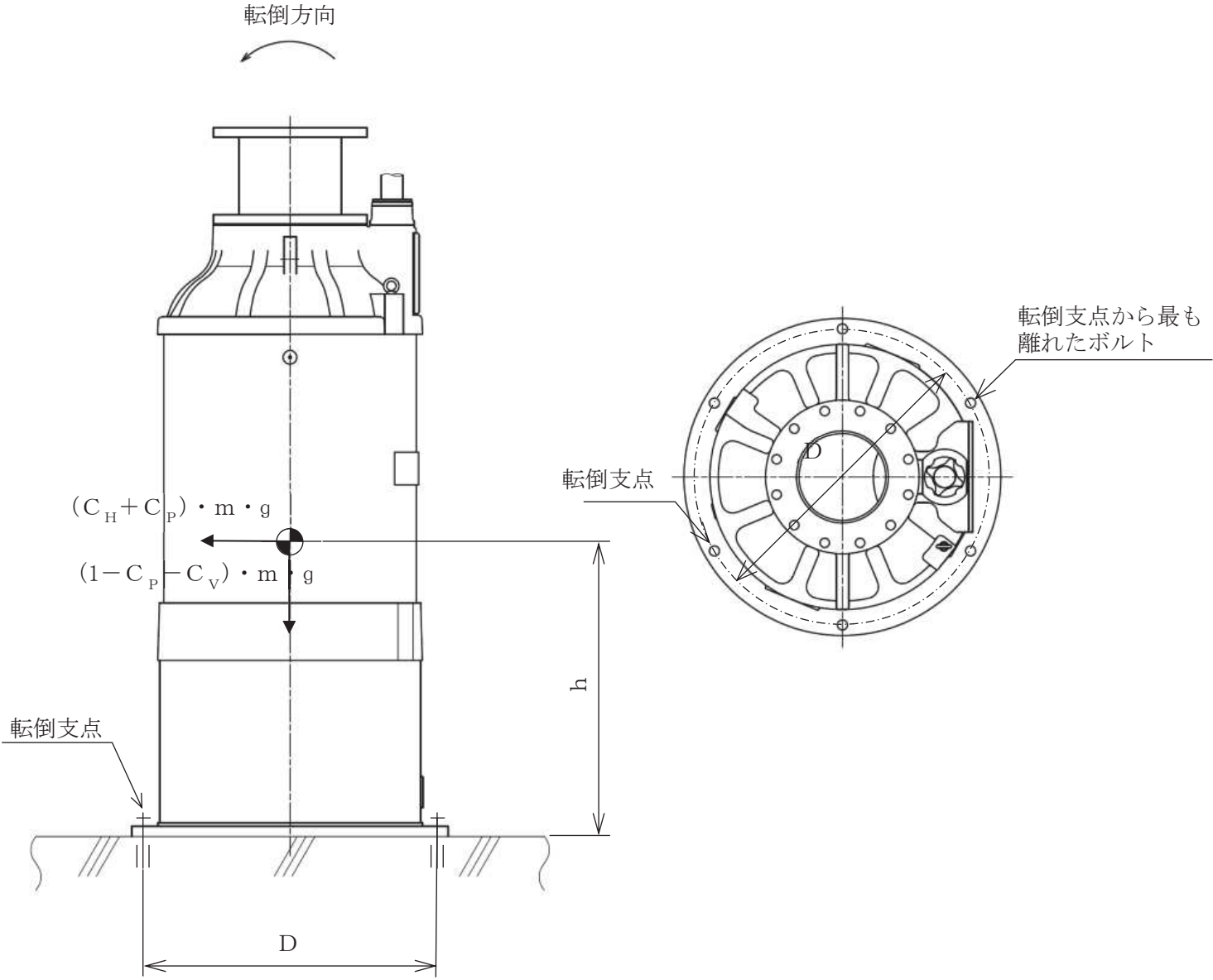
注記\* : f<sub>t s</sub> = Min[1.4 · f<sub>t o</sub> - 1.6 · τ<sub>b</sub>, f<sub>t o</sub>]

すべて許容応力以下である。

4.2 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
地下水位低下設備 揚水ポンプ	水平方向	0.59	2.50
	鉛直方向	0.40	1.00

評価用加速度 (1.0 ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-13-6 地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書

## 設計基準対象施設

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	26
4.1 固有周期及び設計震度	26
4.2 評価結果	36
4.2.1 管の応力評価結果	36
4.2.2 支持構造物評価結果	37
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	38
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	39

## 1. 概 要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、管、支持構造物及び弁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説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁




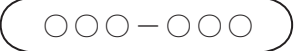

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

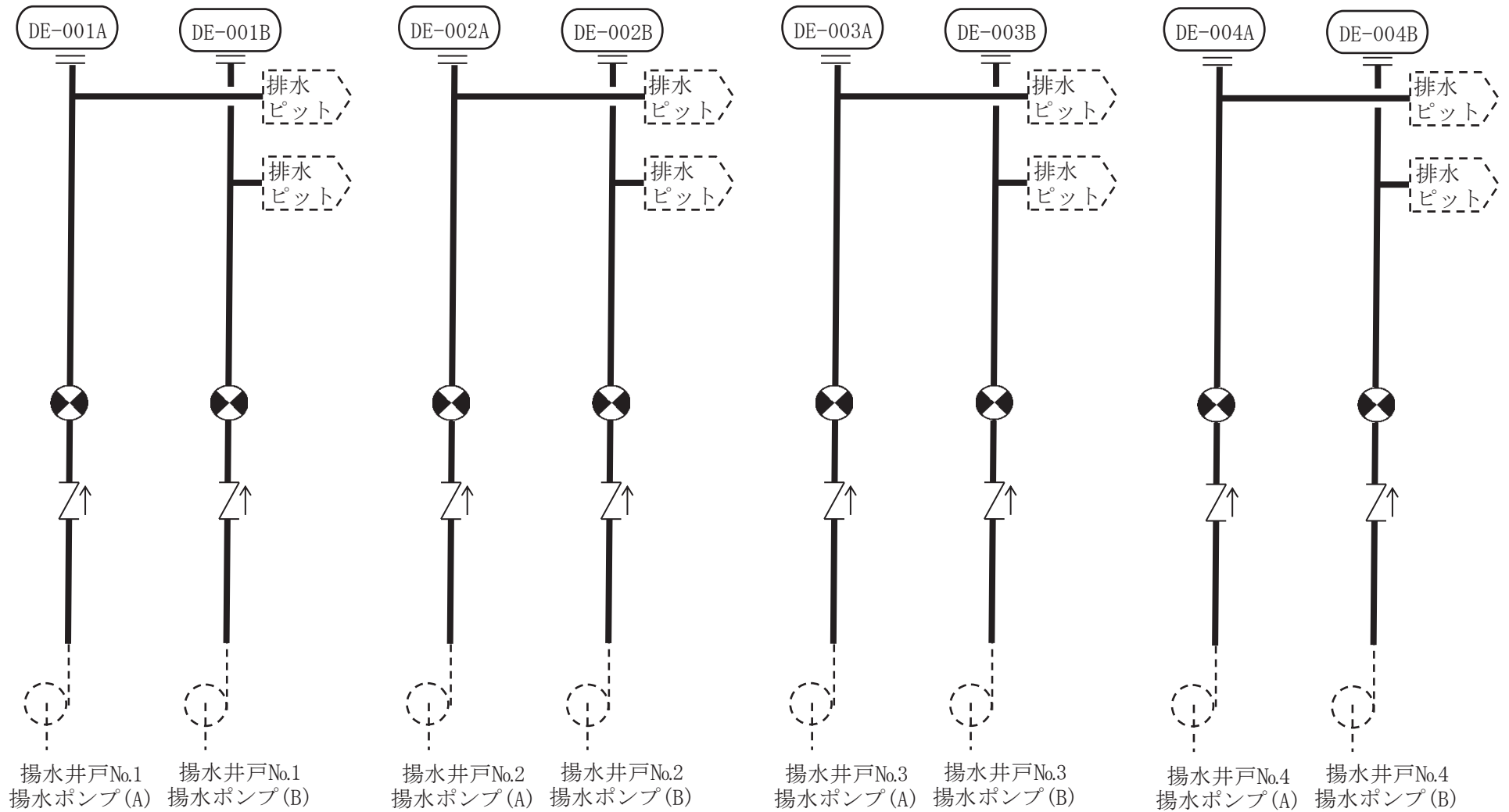


## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

### 2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
 	鳥瞰図番号  アンカ


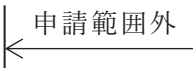
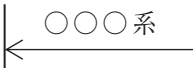


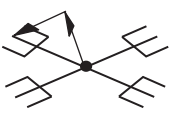
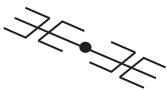

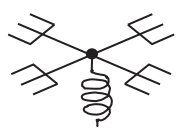
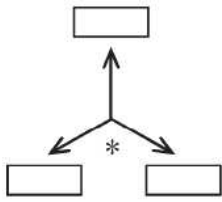


3

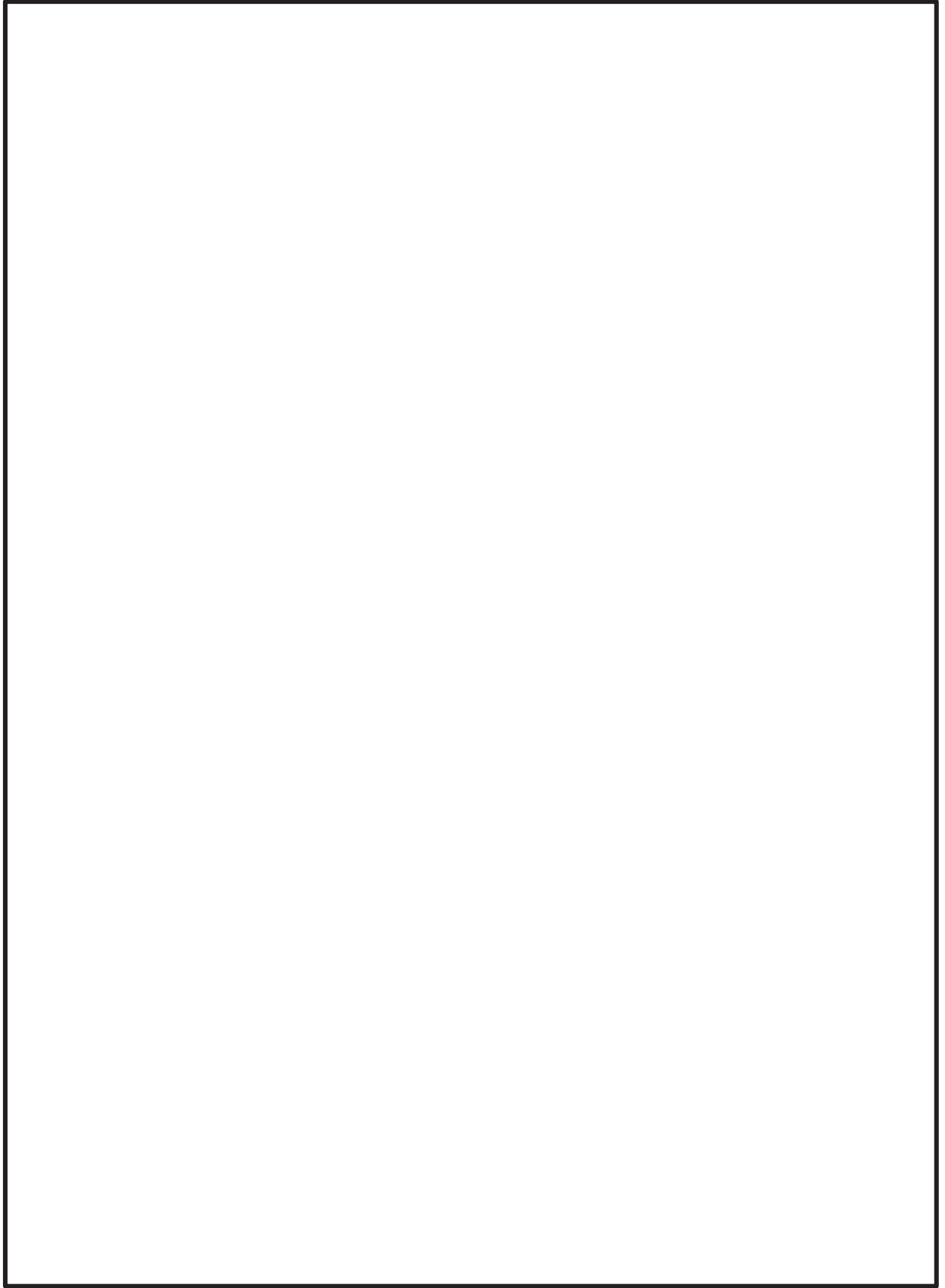
地下水位低下設備系統概略系統図

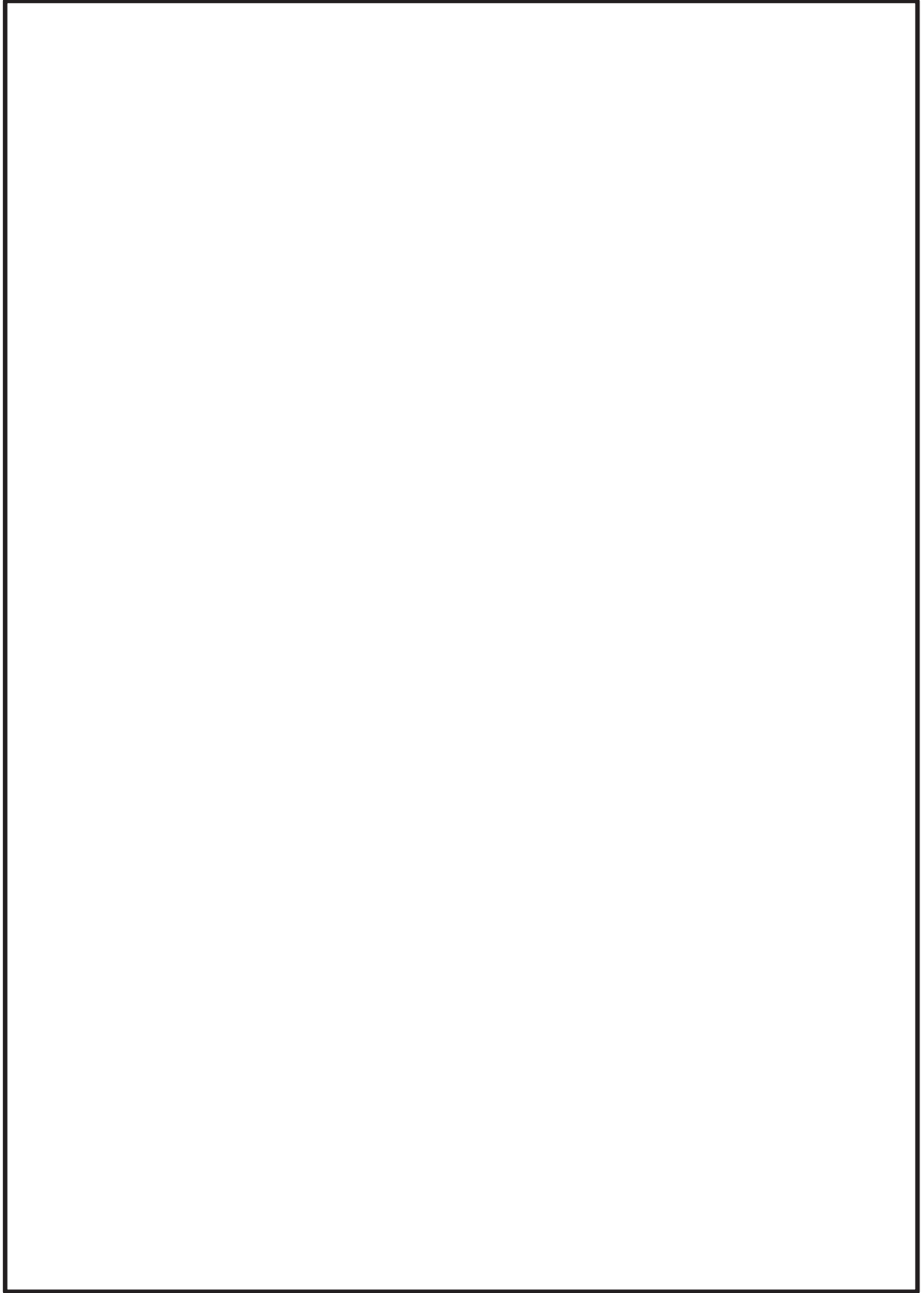
2.2 鳥瞰図

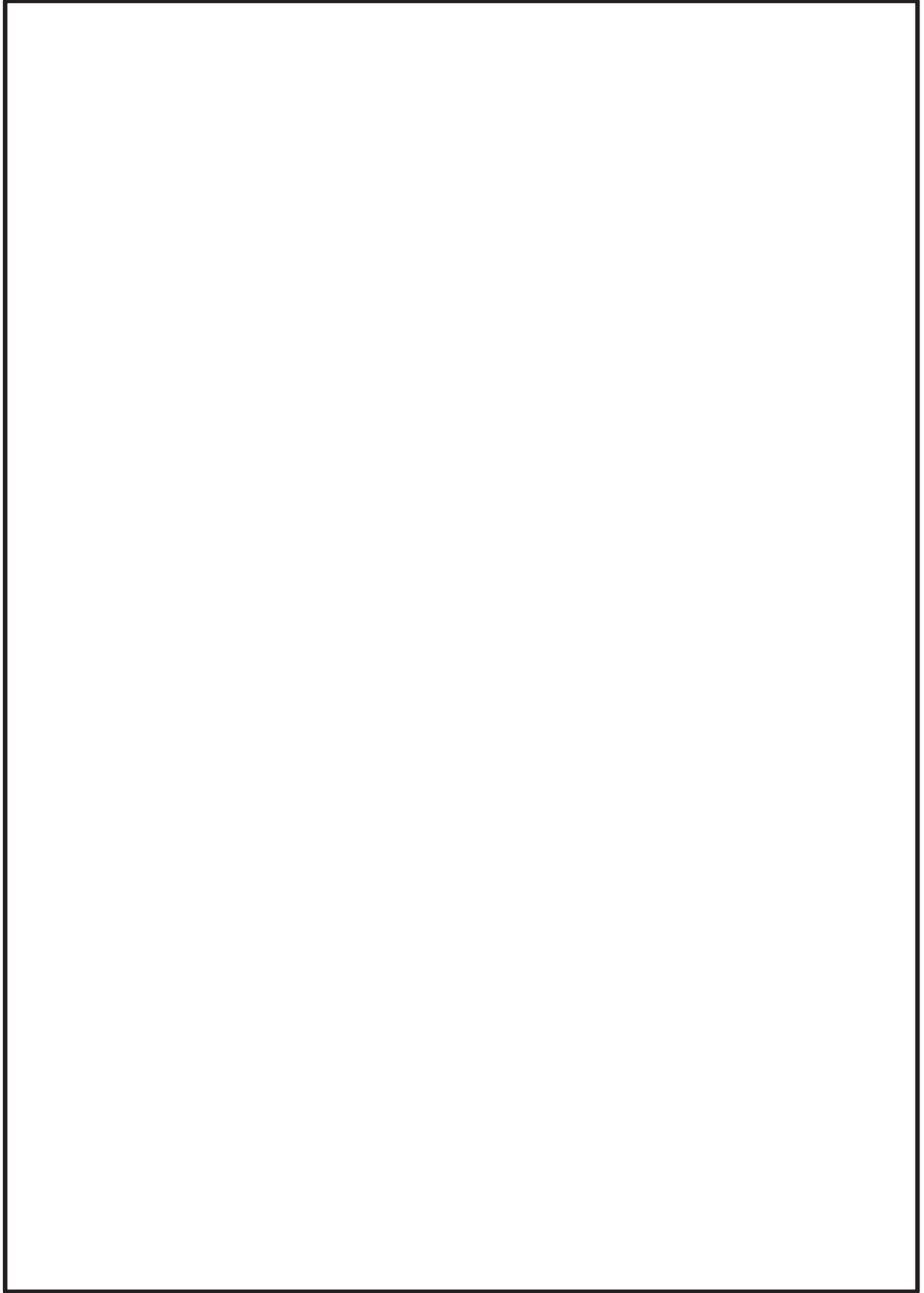
鳥瞰図記号凡例

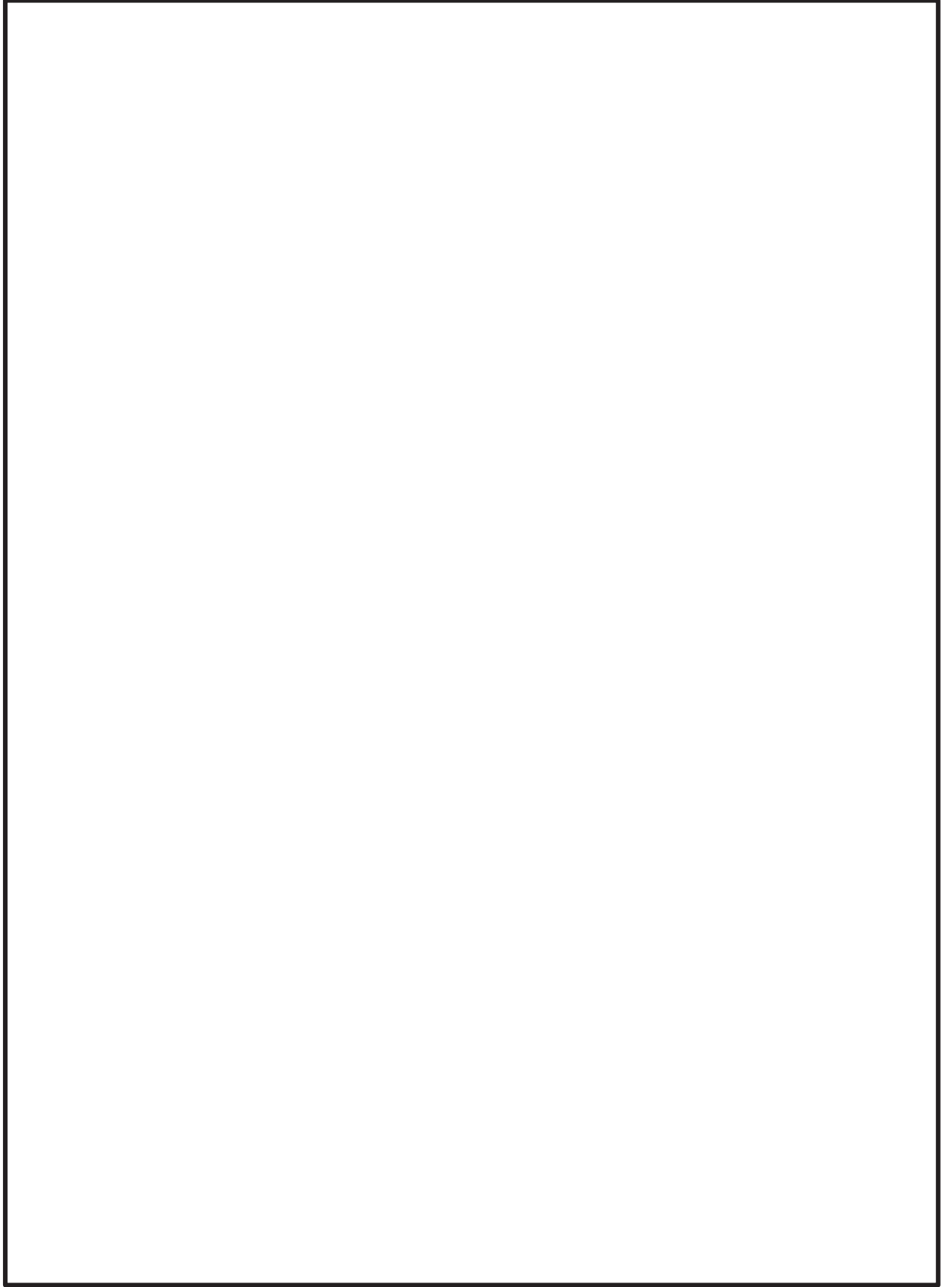
記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また， <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。)

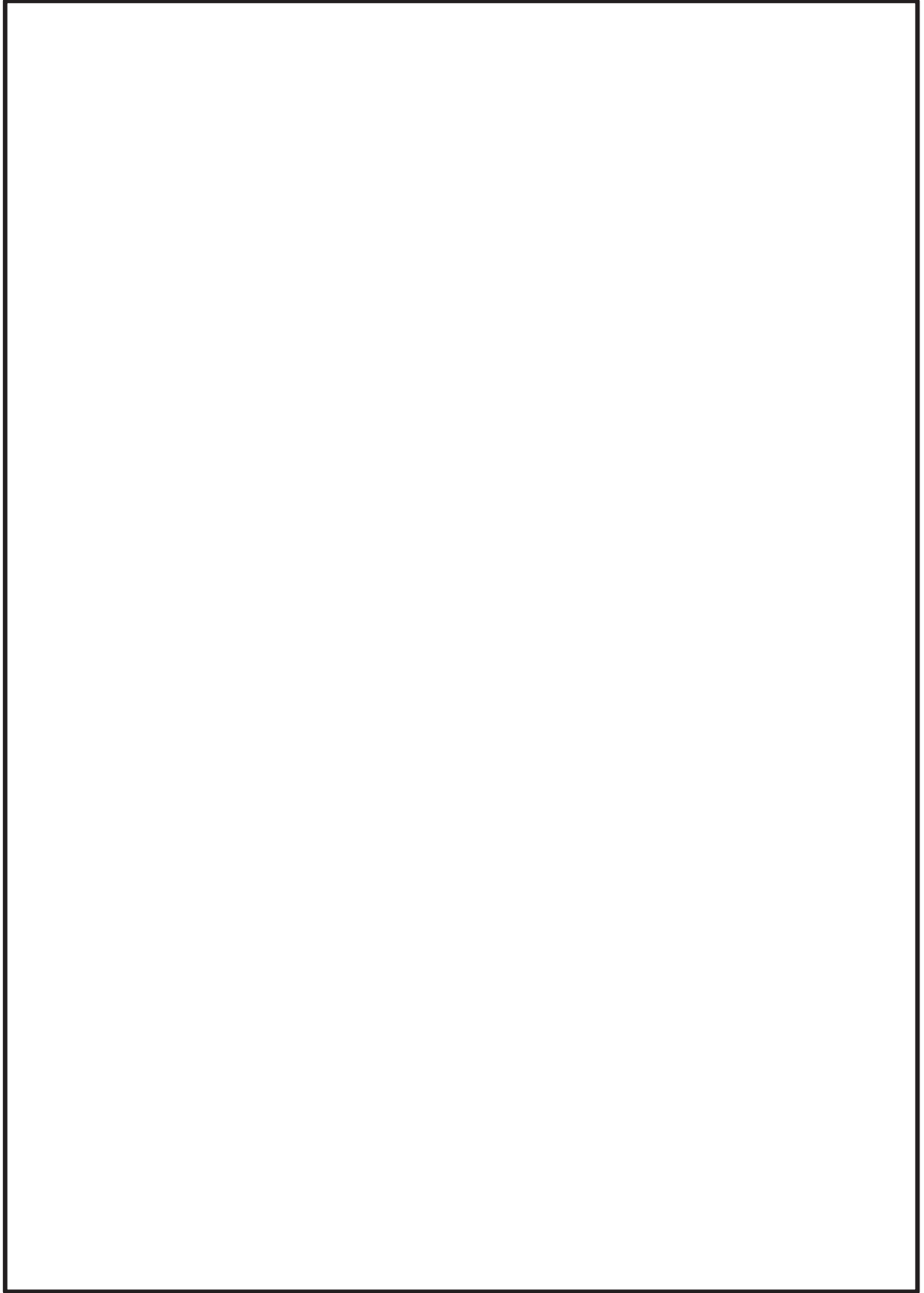
注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



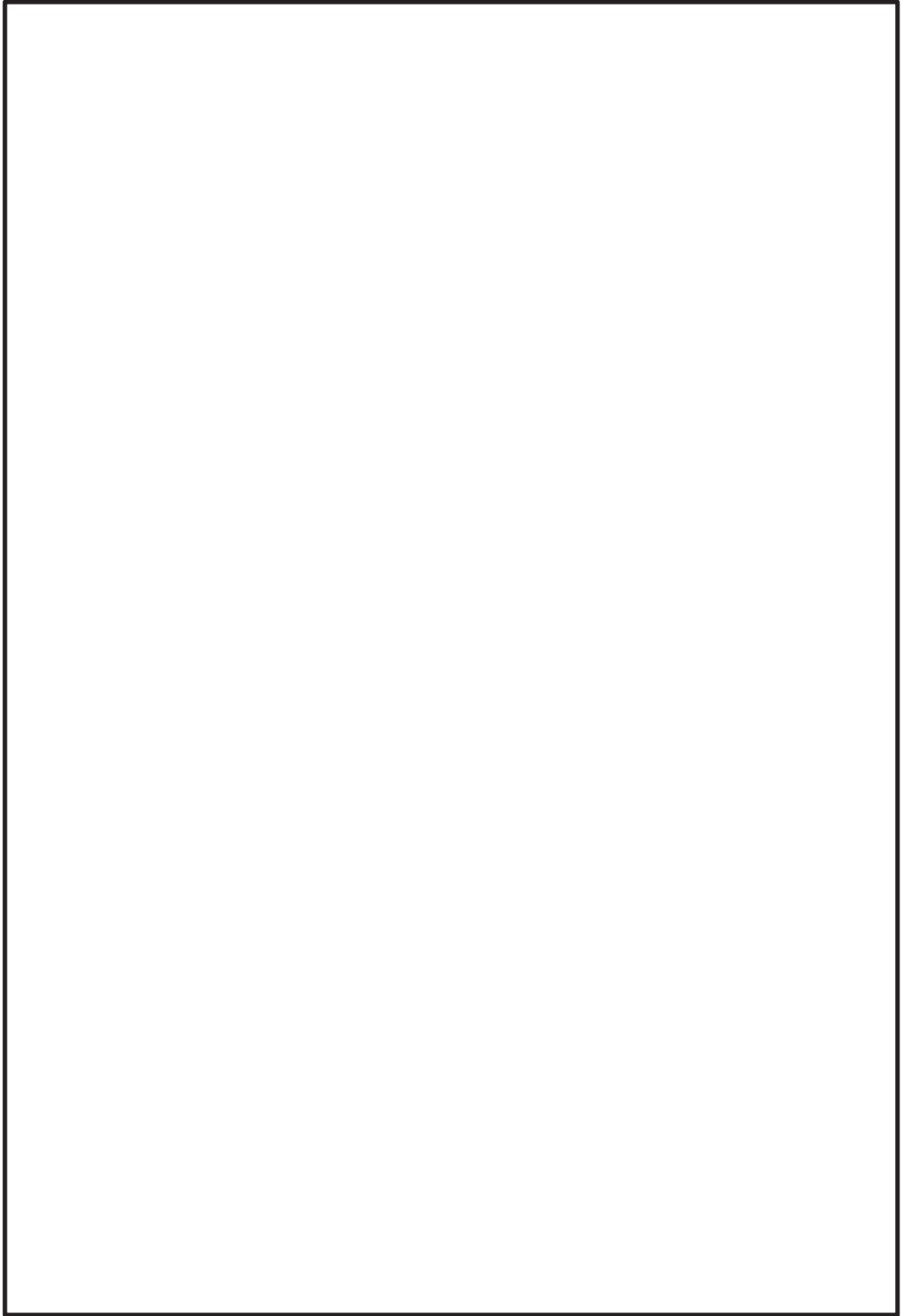












### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「MSAP(配管)」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 <sup>*1</sup>	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*2,3</sup>	許容応力状態
施設共通 (地震)	地下水位 低下設備	—	D B	—	— <sup>*4</sup>	C	I <sub>L</sub> + S <sub>s</sub> II <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	IV <sub>AS</sub>

注記 \*1: D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

\*2: 運転状態の添字Lは荷重が作用している状態を示す。

\*3: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*4: クラス3相当として評価する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 DE-001A

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000
2	0.98	40	267.4	9.3	FCD450	C	169000
3	0.00	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000

鳥 瞰 図 DE-002A

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000
2	0.98	40	267.4	9.3	FCD450	C	169000
3	0.00	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 DE-001A

管名称	対応する評価点
1	1001, 501, 3, 516, 6, 502, 311, 312, 801, 600, 503, 601, 7, 9, 504 10, 12, 602, 505, 802, 603, 506, 803, 604, 605, 606, 507, 804, 607, 608 609, 508, 805, 610, 611, 612, 509, 806, 613, 807, 614, 615, 510, 808, 616 617, 618, 511, 809, 619, 620, 621, 512, 810, 622, 623, 624, 625, 513
2	311, 901, 312
3	513, 811, 412, 411, 413, 514, 414, 515, 13

配管の質量(付加質量含む)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1001		802		509		810	
501		603		806		622	
3		506		613		623	
516		803		807		624	
6		604		614		625	
502		605		615		513	
801		606		510		811	
600		507		808		412	
503		804		616		411	
601		607		617		413	
7		608		618		514	
9		609		511		414	
504		508		809		515	
10		805		619		13	
12		610		620			
602		611		621			
505		612		512			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
311	
901	
312	

弁部の寸法を下表に示す。

弁No.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	901	267.4	9.3	562.8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 DE-002A

管名称	対応する評価点
1	1003, 501, 3, 516, 6, 502, 311, 312, 801, 600, 503, 601, 7, 9, 504 10, 12, 602, 505, 802, 603, 604, 605, 606, 506, 803, 607, 608, 609, 507 804, 610, 611, 612, 508, 805, 613, 614, 615, 509, 806, 616, 807, 617, 618 510, 808, 619, 620, 621, 511, 809, 622, 623, 624, 512, 810, 625, 626, 627 628, 513
2	311, 901, 312
3	513, 811, 412, 411, 413, 514, 414, 515, 13

配管の質量(付加質量含む)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1003		802		613		623	
501		603		614		624	
3		604		615		512	
516		605		509		810	
6		606		806		625	
502		506		616		626	
801		803		807		627	
600		607		617		628	
503		608		618		513	
601		609		510		811	
7		507		808		412	
9		804		619		411	
504		610		620		413	
10		611		621		514	
12		612		511		414	
602		508		809		515	
505		805		622		13	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
311	
901	
312	

弁部の寸法を下表に示す。

弁No.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	901	267.4	9.3	562.8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 DE-001A

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1001						
801						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 802 **						
** 802 **						
** 803 **						
** 803 **						
** 804 **						
** 804 **						
** 805 **						
** 805 **						

\*\* 印は斜め拘束を示しばね定数をXに示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 806 **						
** 806 **						
807						
** 808 **						
** 808 **						
** 809 **						
** 809 **						
** 810 **						
** 810 **						
** 811 **						
** 811 **						

\*\* 印は斜め拘束を示しばね定数をXに示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 DE-002A

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1003						
801						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 802 **						
** 802 **						
** 803 **						
** 803 **						
** 804 **						
** 804 **						
** 805 **						
** 805 **						

\*\* 印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 806 **						
** 806 **						
807						
** 808 **						
** 808 **						
** 809 **						
** 809 **						
** 810 **						
** 810 **						
** 811 **						
** 811 **						

\*\* 印は斜め拘束を示しばね定数をXに示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
STPT370-S	40	—	215	370	—
FCD450	40	—	294	441	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「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。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
DE-001A DE-002A	No.1 揚水井戸	14.80	0.5
		9.80	
		-0.20	
		-9.68	
		-19.80	
		-24.60	
		-27.00	
	-29.40		
	No.2 揚水井戸	14.80	0.5
		9.80	
		-0.20	
		-9.70	
		-19.78	
		-27.80	
-30.10			
-32.40			

設計用床応答曲線

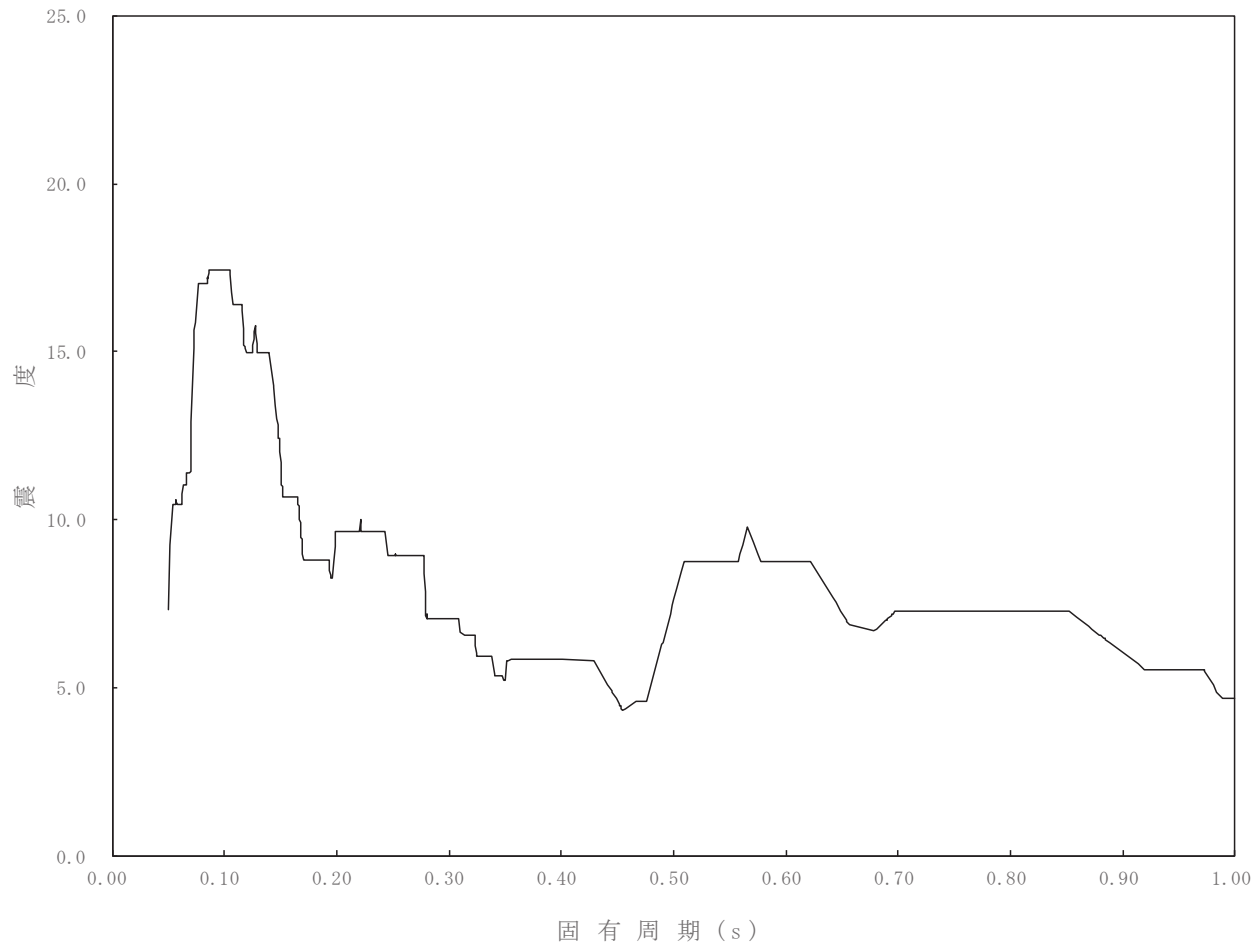
構造物名：揚水井戸

標高：O.P. -32.40~14.80m 包絡

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動 S s

—— 水平方向



設計用床応答曲線 (水平方向)

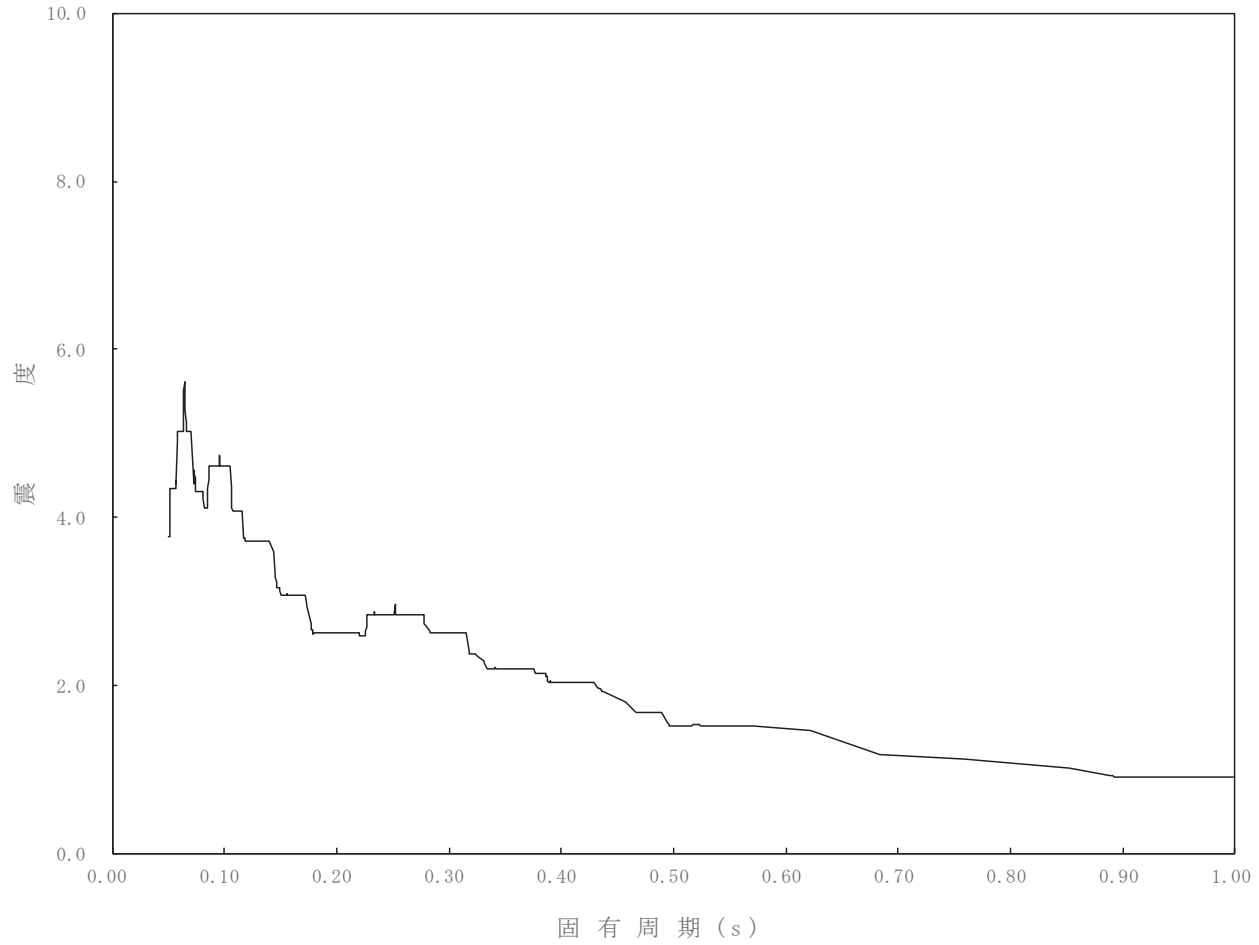
構造物名：揚水井戸

標高：0.P. -32.40~14.80m 包絡

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動 S s

—— 鉛直方向



設計用床応答曲線（鉛直方向）



4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 DE-001A

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	17.43	17.43	4.61
2次	0.054	10.47	10.47	4.34
3次	0.052	9.26	9.26	4.34
4次*2	0.037	—	—	—
動的震度*3		2.26	2.26	0.73
静的震度		—	—	—

注記\*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

鳥 瞰 図 DE-002A

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.102	17.43	17.43	4.61
2次	0.054	10.47	10.47	4.34
3次	0.052	9.27	9.27	4.34
4次*2	0.039	—	—	—
動的震度*3		2.26	2.26	0.73
静的震度		—	—	—

注記\*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 DE-001A

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	0.009	-1.350	0.000
2次	0.054	0.591	0.010	-0.290
3次	0.052	-0.010	0.806	0.000

注記\*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

8

鳥 瞰 図 DE-002A

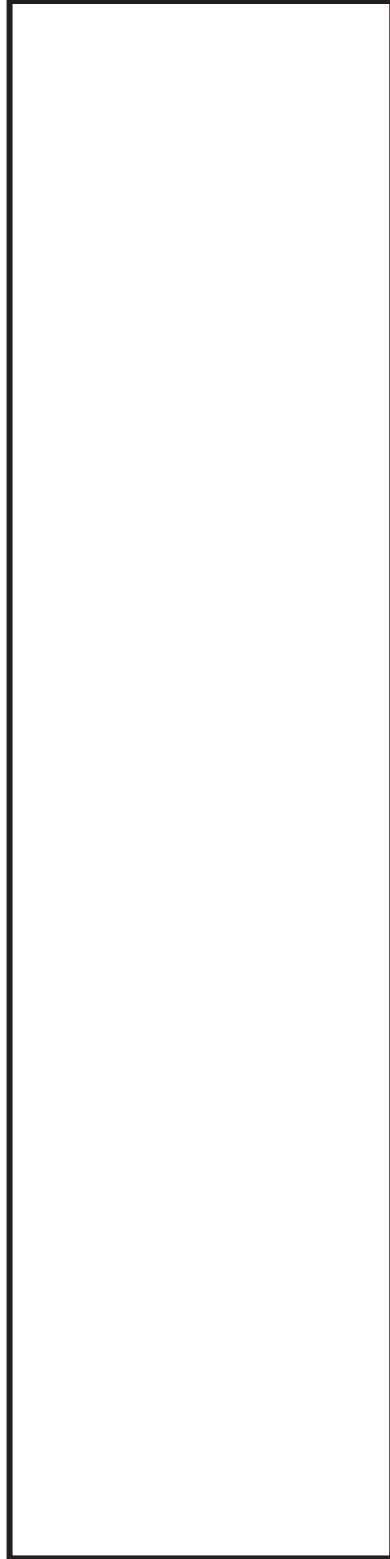
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.102	0.017	-1.359	0.000
2次	0.054	0.590	0.015	-0.312
3次	0.052	0.016	-0.804	0.000

注記\*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）

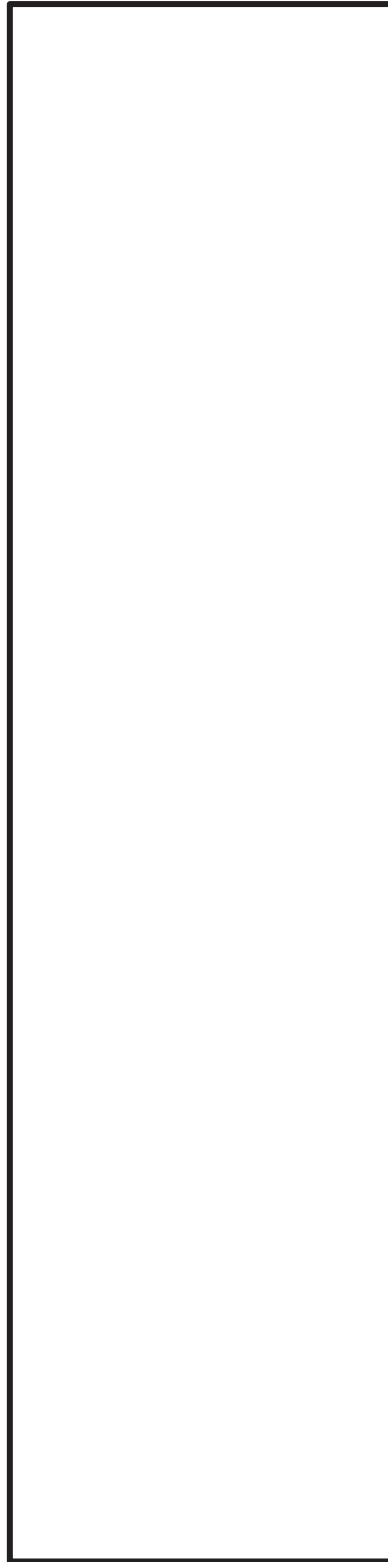


02 ③ VI-2-13-6(設) R0

鳥瞰図

DE-001A

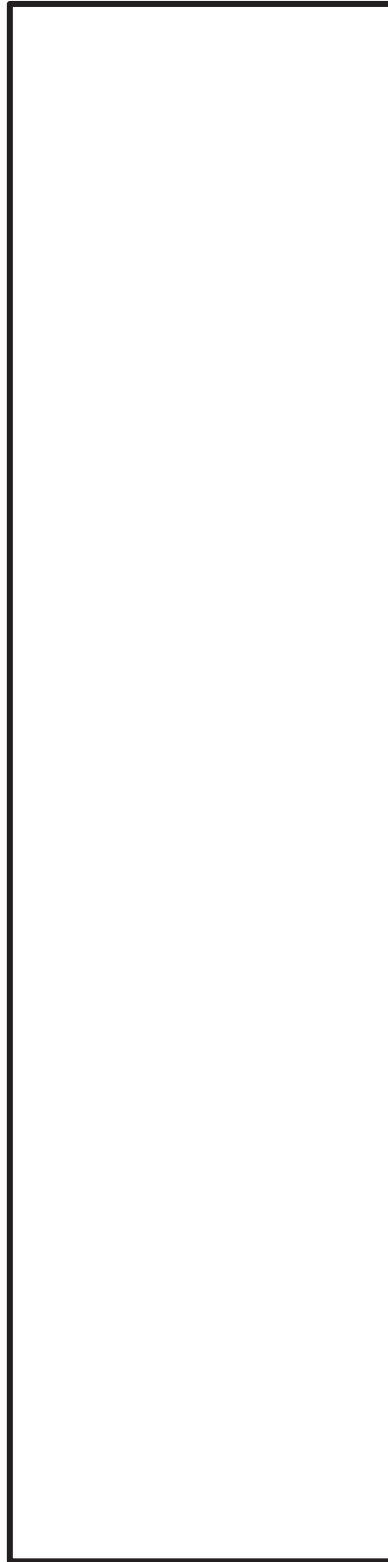
代表的振動モード図（2次）



02 ③ VI-2-13-6(設) R0

鳥瞰図	DE-001A
-----	---------

代表的振動モード図（3次）

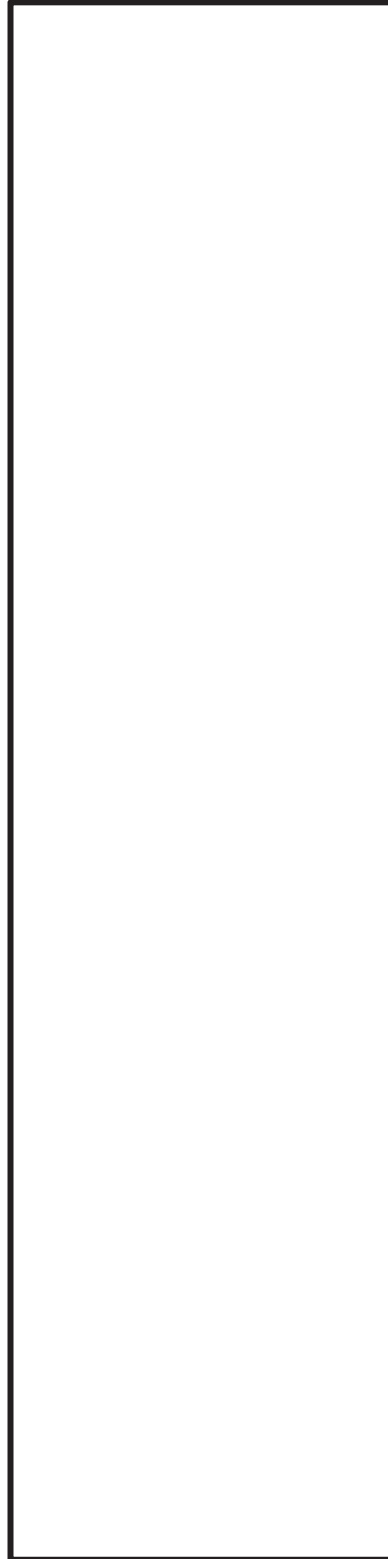


02 ③ VI-2-13-6(設) R0

鳥瞰図

DE-001A

代表的振動モード図（1次）



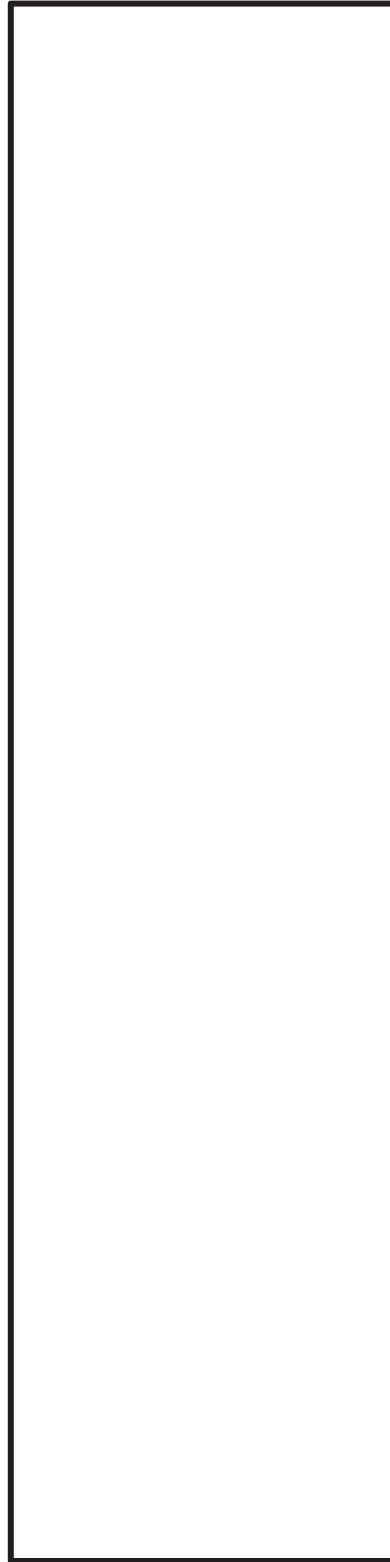
02 ③ VI-2-13-6(設) R0

鳥瞰図

DE-002A



代表的振動モード図（2次）

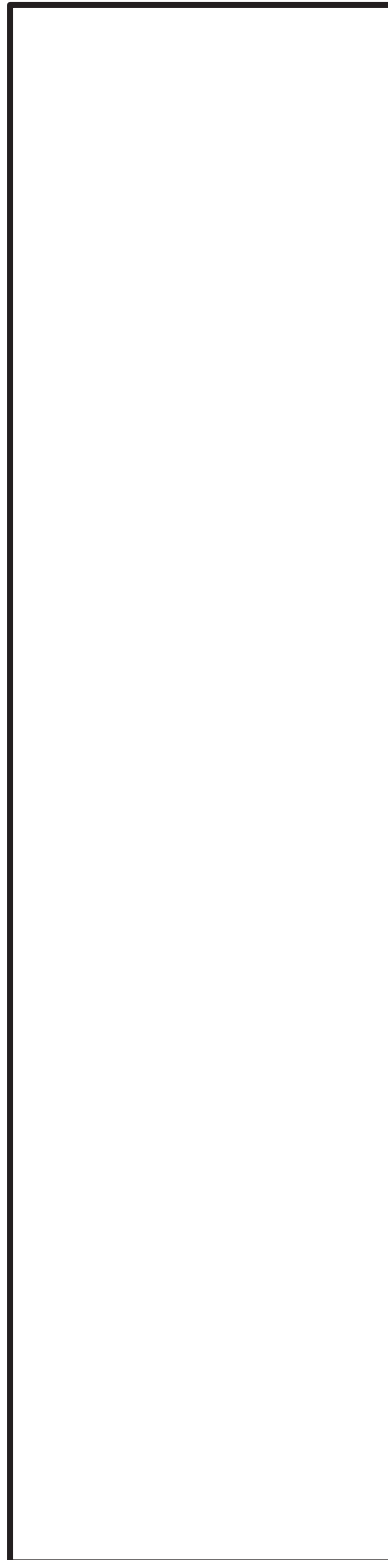


02 ③ VI-2-13-6(設) R0

鳥瞰図

DE-002A

代表的振動モード図（3次）



02 ③ VI-2-13-6(設) R0

鳥瞰図

DE-002A

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0 . 9 S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 ・ S y	疲労累積係数 U S s
DE-001A	IV <sub>A</sub> S	624	S p r m ( S s )	77	333	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	510	S n ( S s )	—	—	227	430	—

38

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0 . 9 S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 ・ S y	疲労累積係数 U S s
DE-002A	IV <sub>A</sub> S	627	S p r m ( S s )	77	333	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	508	S n ( S s )	—	—	149	430	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
DE-004A-6R	レストレイント	Uボルト	SS400	40	52	52	—	—	—	—	組合せ	155	294
DE-002A-7R	レストレイント	ラグ	SS400	40	—	—	28	—	—	—	組合せ	40	124
DE-003A-1A	アンカ	ラグ	STPT370	40	52	26	25	14	13	20	組合せ	85	124

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス 2 以下の管）

No.	配管モデル	許容応力状態 IV <sub>A</sub> S												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	DE-001A	624	77	333	4.32	—	510	227	430	1.89	○	—	—	—
2	DE-001B	512	56	333	5.94	—	509	176	430	2.44	—	—	—	—
3	DE-002A	627	77	333	4.32	○	508	149	430	2.88	—	—	—	—
4	DE-002B	512	56	333	5.94	—	507	171	430	2.51	—	—	—	—
5	DE-003A	624	77	333	4.32	—	510	227	430	1.89	—	—	—	—
6	DE-003B	512	56	333	5.94	—	509	176	430	2.44	—	—	—	—
7	DE-004A	627	77	333	4.32	—	508	149	430	2.88	—	—	—	—
8	DE-004B	512	56	333	5.94	—	507	171	430	2.51	—	—	—	—

VI-2-13-7 地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	6
4.	固有周期	7
4.1	固有周期の計算方法	7
4.2	固有周期の計算条件	9
4.3	固有周期の計算結果	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2	許容応力	10
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
5.3	設計用地震力	13
5.4	計算方法	14
5.4.1	応力の計算方法	14
5.5	計算条件	18
5.5.1	溶接部の応力計算条件	18
5.6	応力の評価	18
5.6.1	溶接部の応力評価	18
6.	機能維持評価	19
6.1	電氣的機能維持評価方法	19
7.	評価結果	20



## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、地下水位低下設備水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

地下水位低下設備水位計は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」に基づき、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

地下水位低下設備水位計の構造計画を表 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>水位計は、取付ボルトにより水位計架台に固定される。</p> <p>水位計架台は、壁面の埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>圧力式水位検出器</p>	<p>【地下水位低下設備水位計】</p> <p>正面（水平方向）</p> <p>側面（鉛直方向）</p> <p>水位計架台</p> <p>埋込金物</p> <p>154</p> <p>300</p> <p>溶接</p> <p>水位計</p> <p>取付ボルト</p> <p>(単位: mm)</p>

## 2.2 評価方針

地下水位低下設備水位計の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す地下水位低下設備水位計の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて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、「5. 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。また、地下水位低下設備水位計の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能維持確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

地下水位低下設備水位計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

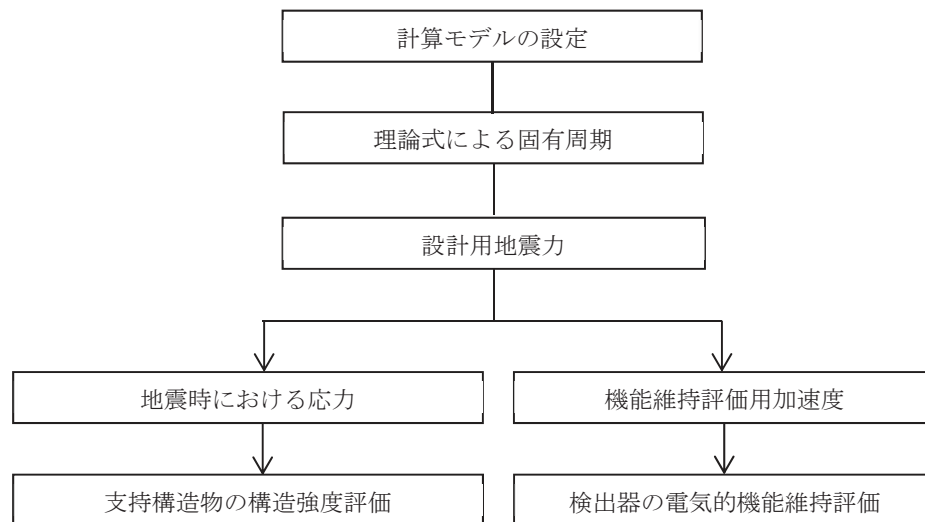


図 2-1 地下水位低下設備水位計の耐震評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 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。)
- (5) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$a$	溶接部の有効のど厚	mm
$A_s$	水位計架台の最小有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$E$	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 に定める値	MPa
$G$	せん断弾性係数	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$h$	水位計架台の取付面から重心までの距離	mm
$I_y$	水位計架台の水平方向軸(左右方向)に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_z$	水位計架台の鉛直方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$K_H$	水平方向(左右方向)に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数	N/m
$K_V$	鉛直方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数	N/m
$l$	水位計架台の高さ	mm
$l_a$	水位計架台の幅	mm
$l'$	溶接部1か所あたりの有効長さ	mm
$m$	水位計及び水位計架台の質量	kg
$n$	溶接部の個所数	—
$Q_s$	溶接部に作用するせん断力	N
$Q_{s1}$	水平方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
$Q_{s2}$	鉛直方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
$S$	溶接部1か所あたりの有効断面積	mm <sup>2</sup>
$S_u$	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
$s$	溶接部の脚長	mm
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$t$	水位計架台の板厚	mm
$Z_x$	溶接部1か所あたりの有効ねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	溶接部1か所あたりの水平方向軸(左右方向)に対する有効断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	溶接部1か所あたりの鉛直方向軸に対する有効断面係数	mm <sup>3</sup>
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	溶接部に作用する組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	溶接部に作用する引張応力	MPa
$\sigma_{xz}$	鉛直方向地震及び水位計架台の取付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張応力	MPa
$\sigma_{yz}$	鉛直方向地震及び水位計架台の取付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張応力	MPa
$\tau_s$	溶接部に作用するせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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に示すとおりである。

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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</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の場合は、小数点以下表示とする。

\*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

地下水位低下設備水位計の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる水位計架台と埋込金物間の溶接部について実施する。地下水位低下設備水位計の耐震評価部位については、表2-1の構造計画に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

地下水位低下設備水位計が設置される，水位計架台の固有周期の計算方法を以下に示す。

###### (1) 計算モデル

- a. 水位計架台の質量は，重心に集中するものとする。
- b. 水位計架台は溶接で壁面の埋込金物に固定されており，固定端とする。
- c. 水位計架台をはりと考え，変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- e. 水位計架台を図 4-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとし，その断面形状は，水位計架台の重量を負担する前後方向に位置する 2 枚の板を合わせたものとして考える。

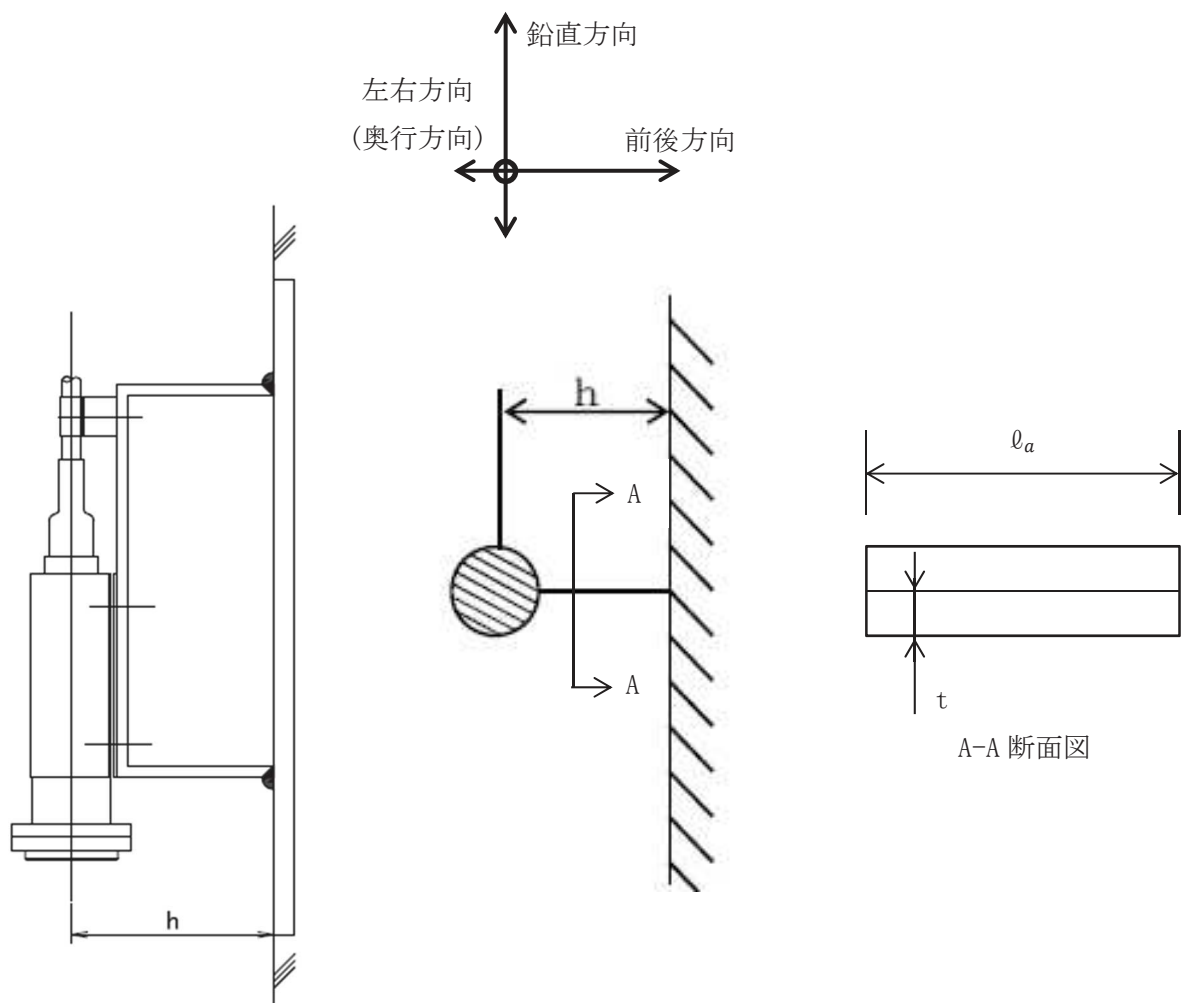


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期（前後方向，左右方向）

- a. 前後方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。
- b. 左右方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数 $K_H$ は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I_z} + \frac{h}{G \cdot A_S}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって，左右方向に対する固有周期 $T_H$ は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数 $K_V$ は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I_y} + \frac{h}{G \cdot A_S}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって，鉛直方向に対する固有周期 $T_V$ は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$



#### 4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

#### 4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05s 以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平方向	鉛直方向
0.001	0.013

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1 項(1)a.～e.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は水位計架台に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 設計用地震力は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に基づき設定する。なお、水平方向及び鉛直方向それぞれ、各揚水井戸における設計震度が大きい方を設定する。
- (3) 転倒方向は、表 2-1 構造計画における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方(許容値/発生値の小さい方をいう。)を記載する。
- (4) 水位計架台の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

地下水位低下設備水位計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち評価に用いるものを表 5-1 に示す。

#### 5.2.2 許容応力

地下水位低下設備水位計の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

地下水位低下設備水位計の使用材料の許容応力評価条件のうち評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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
施設共通 (地震)	地下水位低下 設備	地下水位低下設備 水位計	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$IV_{AS}$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1 (溶接部)
	一次応力
	せん断
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：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 5-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		溶接部	SUS316L	周囲環境温度	40	175

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
地下水位低下設備 揚水井戸 No. 1, No. 3 : O.P. -27.00* (O.P. -29.40)  No. 2, No. 4 : O.P. -30.10* (O.P. -32.40)	0.001	0.013	—	—	$C_H=0.72$	$C_V=0.48$

注記\* : 基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。図 5-1 に計算モデルを示す。

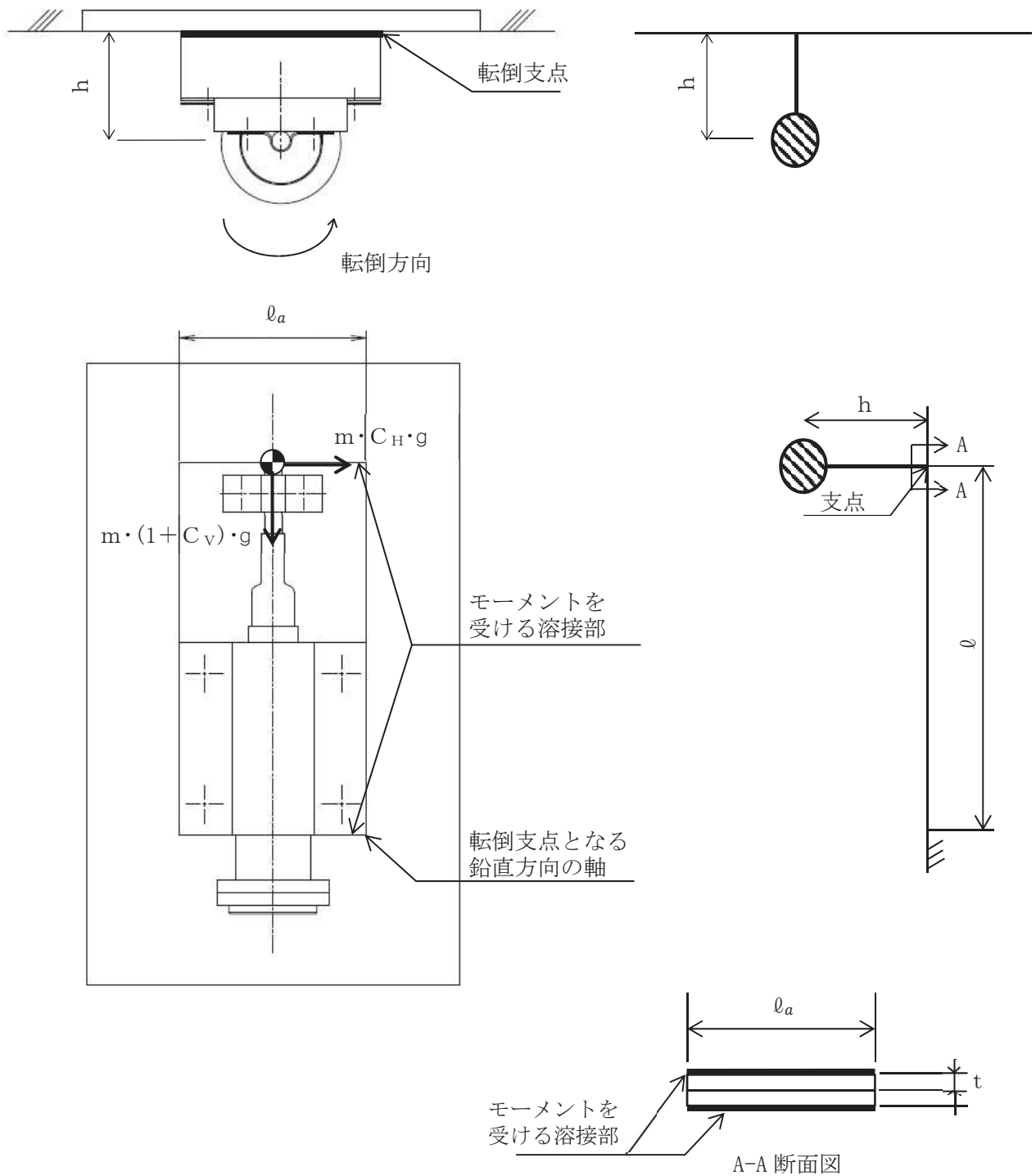


図 5-1(1) 計算モデル(水平方向転倒の場合)

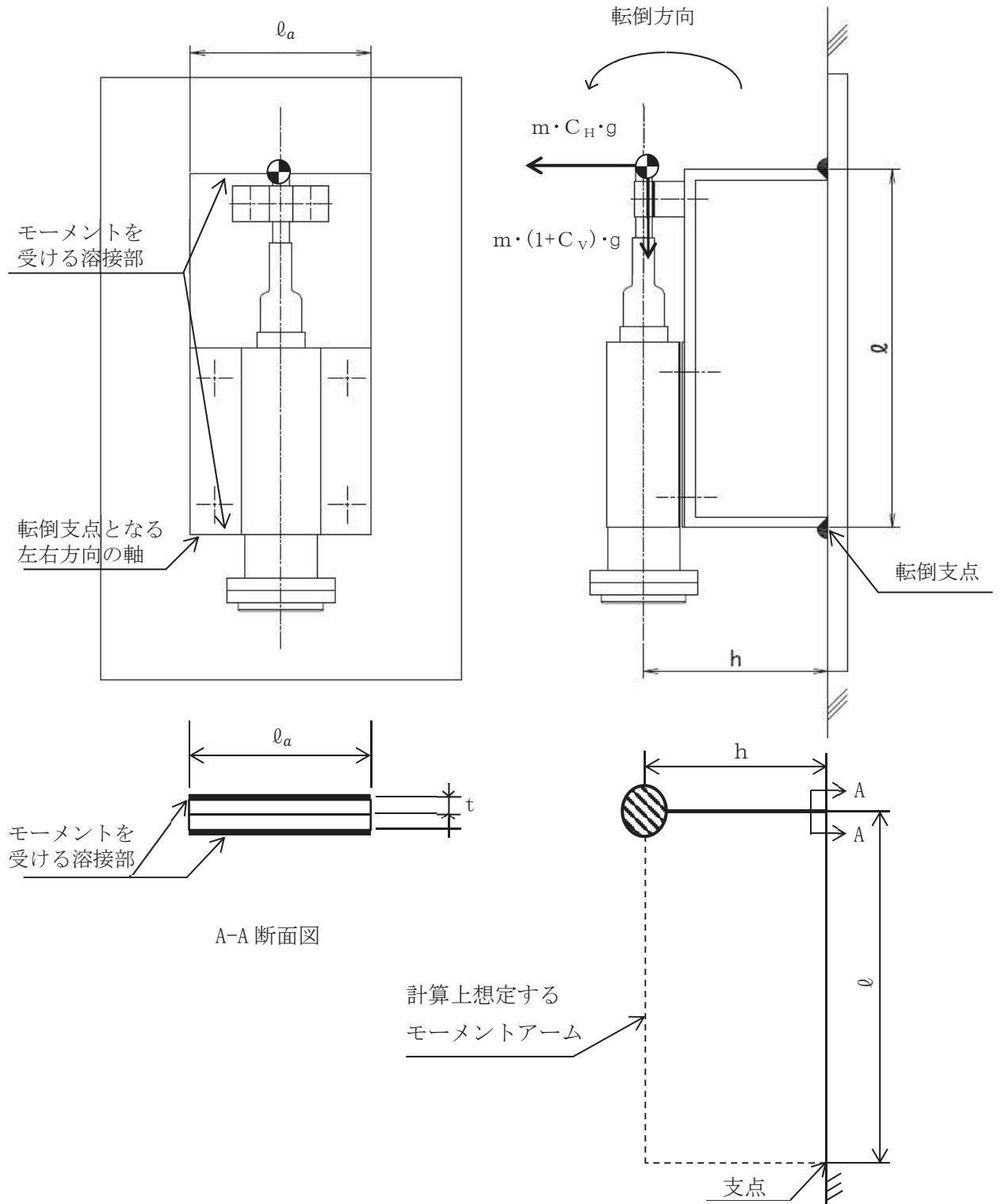


図 5-1(2) 計算モデル (鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

溶接部に対する引張応力は、最も厳しい条件として、図 5-1 に示す位置における水位計架台を支点とする転倒と考え、これを溶接部全体で受けるものとして計算する。

計算モデル図 5-1(1) の場合の引張応力

$$\sigma_{yz} = m \cdot g \cdot \left\{ \frac{C_H \cdot h}{n \cdot Z_z} + \frac{(1+C_V) \cdot h}{n \cdot Z_y} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

計算モデル図 5-1(2) の場合の引張応力

$$\sigma_{xz} = m \cdot g \cdot \left\{ \frac{C_H}{n \cdot S} + \frac{C_H \cdot \ell + (1+C_V) \cdot h}{n \cdot Z_y} \right\} \dots\dots\dots (5.4.2)$$

溶接部に作用する引張応力  $\sigma_t$

$$\sigma_t = \text{Max} \{ \sigma_{xz}, \sigma_{yz} \} \dots\dots\dots (5.4.3)$$

ここで溶接部 1 箇所あたりの有効断面積  $S$ 、溶接部の有効のど厚  $a$ 、溶接部の 1 か所当たりの有効長さ  $\ell'$  及び水平又は鉛直方向軸に対する有効断面係数  $Z_y$  および  $Z_z$  は、次式により求める。

$$S = a \cdot \ell' \dots\dots\dots (5.4.4)$$

$$a = 0.7 s \dots\dots\dots (5.4.5)$$

$$\ell' = \ell_a - 2s \dots\dots\dots (5.4.6)$$

$$Z_y = \frac{a^2 \cdot \ell'}{6} \dots\dots\dots (5.4.7)$$

$$Z_z = \frac{a \cdot \ell'^2}{6} \dots\dots\dots (5.4.8)$$



(2) せん断応力

溶接部に対するせん断力は、これを溶接部全体で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{s1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.9)$$

$$Q_{s2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.10)$$

$$Q_s = \sqrt{Q_{s1}^2 + Q_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.11)$$

せん断応力  $\tau_s$

$$\tau_s = \frac{Q_s}{n \cdot S} + \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot \ell}{n \cdot Z_x} \dots\dots\dots (5.4.12)$$

ここで溶接部の有効ねじり断面係数  $Z_x$  は次式により求める。

$$Z_x = \frac{a^3 \cdot \ell'}{3a} \dots\dots\dots (5.4.13)$$

(3) 組合せ応力

溶接部に作用する組合せ応力  $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \tau_s^2} \dots\dots\dots (5.4.14)$$

## 5.5 計算条件

### 5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【地下水位低下設備水位計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。

## 5.6 応力の評価

### 5.6.1 溶接部の応力評価

5.4 項で求めた溶接部に作用する組合せ応力  $\sigma$  は、許容せん断応力  $f_s$  以下であること。ただし、 $f_s$  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
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 機能維持評価

### 6.1 電氣的機能維持評価方法

地下水位低下設備水位計の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に基づき、基準地震動 $S_s$ により定まる応答加速度を設定する。

地下水位低下設備水位計の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

評価部位	方向	機能確認済加速度
地下水位低下設備水位計	水平方向	
	鉛直方向	

## 7. 評価結果

地下水位低下設備水位計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及び電氣的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		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	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
地下水位低下設備水位計	C	地下水位低下設備揚水井戸 No. 1, 3 : O. P. -27. 00* (O. P. -29. 40) No. 2, 4 : O. P. -30. 10* (O. P. -32. 40)	0. 001	0. 013	—	—	C <sub>H</sub> =0. 72	C <sub>V</sub> =0. 48	40

注記\* : 基準床レベルを示す。

2. 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	t (mm)	ℓ <sub>a</sub> (mm)	ℓ (mm)	S (mm <sup>2</sup> )	n	s (mm)	a (mm)	ℓ' (mm)	Z <sub>x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )
溶接部	13	154	9	150	300	831. 6	2	9	6. 3	132	1. 746×10 <sup>3</sup>	873. 2	1. 830×10 <sup>4</sup>

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
溶接部	175	480	-	210	-	水平及び鉛直

E (MPa)	G (MPa)	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
1. 937×10 <sup>5</sup>	7. 449×10 <sup>4</sup>	1. 823×10 <sup>4</sup>	5. 063×10 <sup>6</sup>	2. 700×10 <sup>3</sup>

3. 結論

3.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.001
鉛直方向	0.013

3.2 溶接部に作用する組合せ応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	SUS316L	組合せ	-	-	$\sigma = 34$	$f_s = 121$

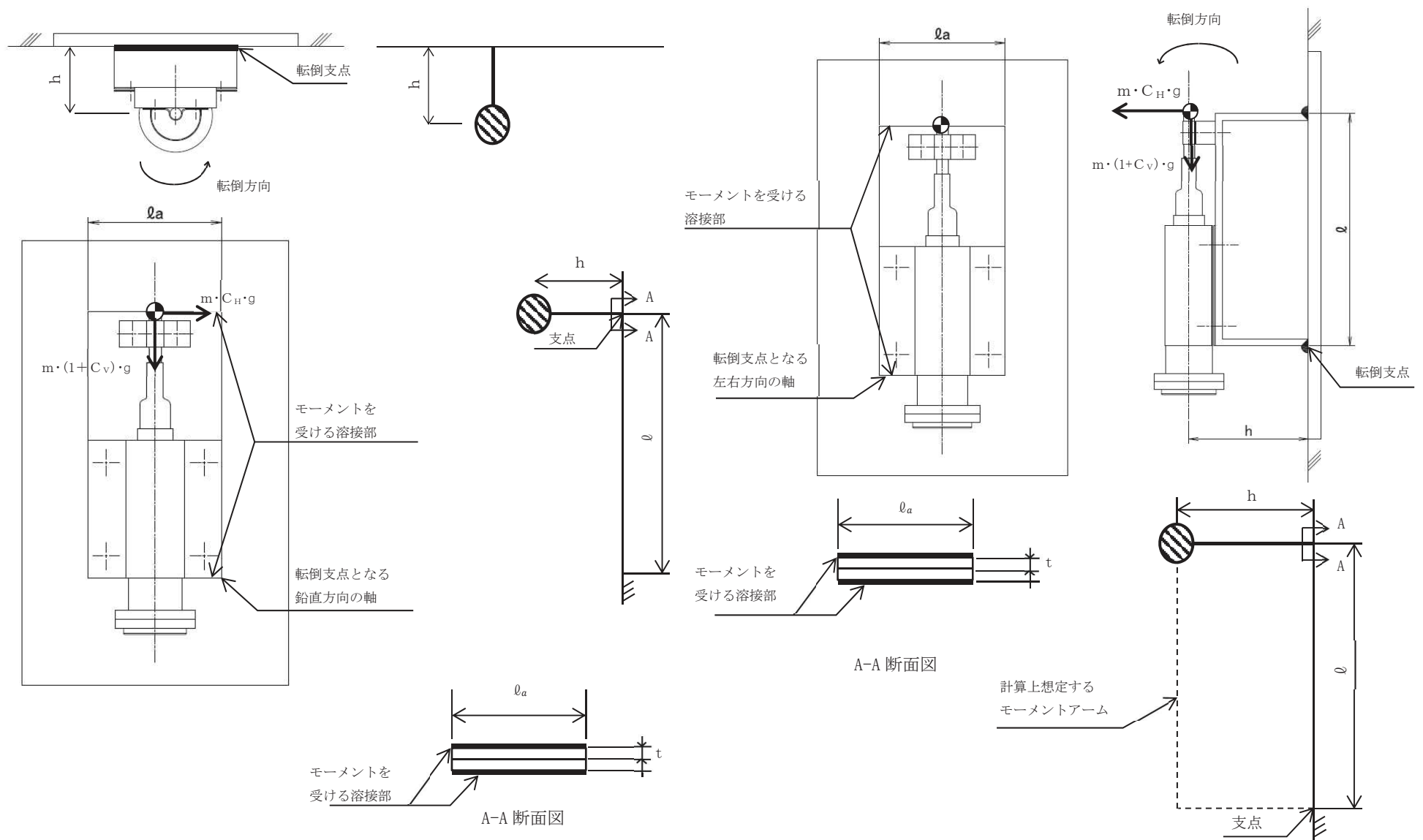
すべて許容応力以下である。

3.3 電氣的機能維持の評価結果 ( $\times 9.8m/s^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
地下水位低下設備 水位計	水平方向	0.60	
	鉛直方向	0.40	

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



正面 (水平方向転倒)

側面 (鉛直方向転倒)

VI-2-13-8 地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書



## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2	許容応力	8
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	14
4.5	設計用地震力	15
4.6	計算方法	16
4.6.1	応力の計算方法	16
4.7	計算条件	18
4.8	応力の評価	18
4.8.1	器具取付板、盤取付板及び据付架台の応力評価	18
4.8.2	フレームの応力評価	19
4.8.3	盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	20
5.	機能維持評価	21
5.1	電氣的機能維持評価方法	21
6.	評価結果	22

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、地下水位低下設備制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

地下水位低下設備制御盤は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」に基づき、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

なお、構造強度評価については、地下水位低下設備制御盤の設置位置のうち、最も設計用地震力が大きくなる設置位置に設定した上で、地下水位低下設備制御盤に作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
地下水位低下設備監視制御盤(A)	4. 地震応答解析及び構造強度評価	表 2-1 構造計画
地下水位低下設備監視制御盤(B)		
地下水位低下設備現場制御盤(A)		
地下水位低下設備現場制御盤(B) (代表)		

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

地下水位低下設備現場制御盤(B)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>器具は、ボルトにて器具取付板に固定する。器具取付板は、ボルトにてフレームに固定する。フレームは、溶接にて盤取付板に固定する。盤取付板は、盤取付ボルトにて据付架台に固定する。据付架台は、基礎ボルトにて壁面に据え付ける。</p>	<p>壁掛型</p>	<p>【地下水位低下設備現場制御盤(B)】</p>

## 2.2 評価方針

地下水位低下設備制御盤の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す地下水位低下設備制御盤の部位を踏まえ「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。

また、地下水位低下設備制御盤の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能維持確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

地下水位低下設備制御盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

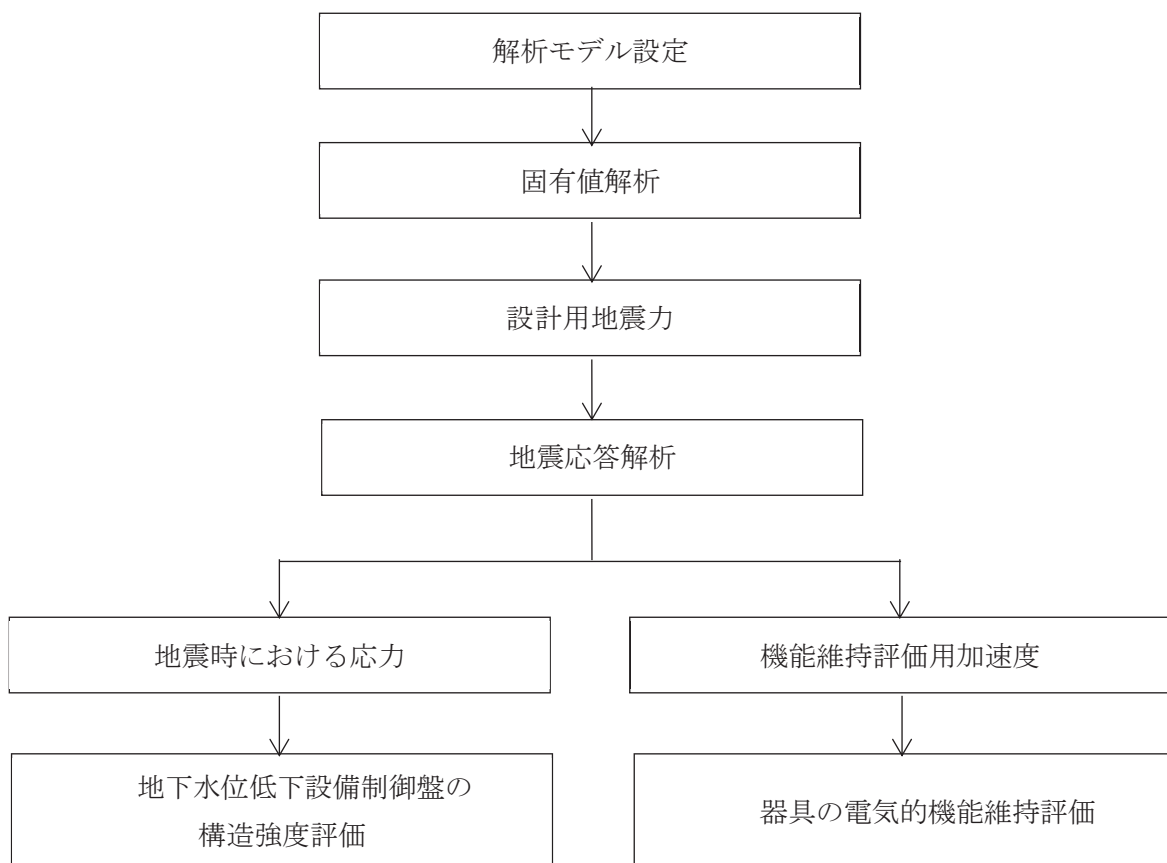


図 2-1 地下水位低下設備制御盤の耐震評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 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。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	フレームの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	フレームの有効せん断断面積 (y 方向)	mm <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	フレームの有効せん断断面積 (z 方向)	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 <sub>o</sub>	ボルトの呼び径	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>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用する引張力	N
F <sub>x</sub>	フレームまたは盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸力 (x 方向)	N
F <sub>y</sub>	フレームまたは盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (y 方向)	N
F <sub>z</sub>	フレームまたは盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (z 方向)	N
f <sub>b</sub>	フレームの許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	フレームの許容圧縮応力	MPa
f <sub>s</sub>	フレーム又はボルト等の許容せん断応力	MPa
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断 応力	MPa
f <sub>t</sub>	フレーム又はボルト等の許容引張応力	MPa
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎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盤取付ボルト及び基礎ボルトの 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>x</sub>	フレームのねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M <sub>y</sub>	フレームの曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M <sub>z</sub>	フレームの曲げモーメント (z 軸)	N・mm
m	解析モデル質量	kg
Q <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用するせん断力	N
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> (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

記号	記号の説明	単位
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
$Z_p$	フレームのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	フレームの断面係数（y 軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	フレームの断面係数（z 軸）	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	フレームの限界細長比	—
$\lambda$	フレームの有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	器具取付板，盤取付板及び据付架台に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_b$	フレームに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	フレームに生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{fc}$	フレームに生じる組合せ応力（圧縮＋曲げ）	—
$\sigma_{ft}$	フレームに生じる組合せ応力（引張り＋曲げ）	—
$\sigma_t$	フレームに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{tb}$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_x, \sigma_y$	器具取付板，盤取付板及び据付架台に生じる膜＋曲げ応力	MPa
$\tau$	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{xy}$	器具取付板，盤取付板及び据付架台に生じるせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

本資料で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* <sup>4</sup>
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 位を切り捨て、整数位までの値とする。



### 3. 評価部位

地下水位低下設備制御盤の耐震評価は、「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、耐震評価上厳しくなるフレーム、器具取付板、盤取付板、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。なお、地下水位低下設備制御盤は、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム、器具取付板、盤取付板、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば電氣的機能を維持できるため、フレーム、器具取付板、盤取付板、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。地下水位低下設備制御盤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) 地下水位低下設備制御盤は、十分剛な壁に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 地下水位低下設備制御盤の質量には、盤自身の質量のほか、据付架台の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、地下水位低下設備制御盤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。
- (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

地下水位低下設備制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち評価に用いるものを表 4-1 に示す。

##### 4.2.2 許容応力

地下水位低下設備制御盤の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

##### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

地下水位低下設備制御盤の使用材料の許容応力評価条件のうち評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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
施設共通 (地震)	地下水位低 下設備	地下水位低下設 備制御盤	C	— *	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_{AS}$

注記\* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 許容応力

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 4-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
フレーム		周囲環境温度	40	245	400	—
器具取付板						
盤取付板						
据付架台						
盤取付ボルト						
基礎ボルト				215	400	—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

地下水位低下設備制御盤の解析モデルを図 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【地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 地下水位低下設備制御盤の [ ]  
[ ] でモデル化した F E M モデルを用いる。
- (2) 取付器具は、 [ ] として付加する。
- (3) 拘束条件として、基礎部の [ ] を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 解析コードは「MSC 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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

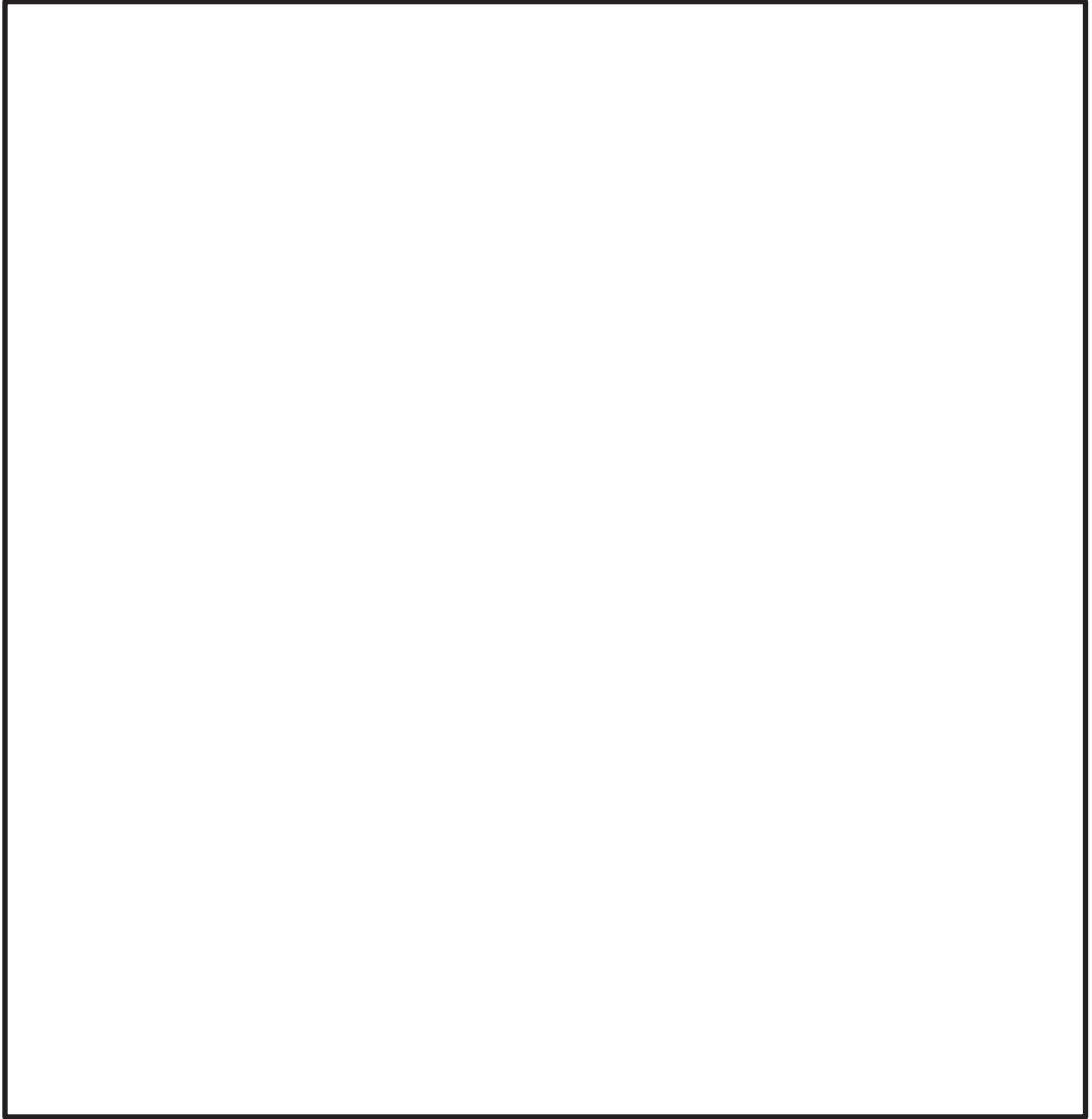


図 4-1 地下水位低下設備制御盤の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に示す。1 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 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	固有周期 (s)	卓越方向	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1 次	0.026	水平方向	—	—	—

#### 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、添付書類「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 4-5 設計用地震力

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御建屋 O.P. 29.15* <sup>1</sup> (O.P. 22.95)	0.026	0.05 以下* <sup>2</sup>	—	—	$C_H = 4.05$	$C_V = 2.29$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有値解析により 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。



## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### 4.6.1.1 器具取付板，盤取付板及び据付架台の応力

解析による計算で得られる器具取付板，盤取付板及び据付架台部分の   の応力成分を用いて，最大の組合せ応力を次のように求める。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

#### 4.6.1.2 フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力  $F_x$ ，せん断力  $F_y$ ， $F_z$ ，ねじりモーメント  $M_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ ， $M_z$  より各応力を次のように求める。

(1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \frac{|F_y|}{A_y} + \frac{|F_z|}{A_z} + \frac{|M_x|}{Z_p} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

(4) 組合せ応力（引張り＋曲げ）

$$\sigma_{ft} = \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

(5) 組合せ応力（圧縮＋曲げ）

$$\sigma_{fc} = \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6.1.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力

盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる軸力 $F_x$ 、せん断力 $F_y$ 、 $F_z$ から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t b} = \frac{F_x}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

##### (2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は、(4.6.1.3.2)式による。

#### 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【地下水位低下設備制御盤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 器具取付板，盤取付板及び据付架台の応力評価

4.6.1.1 項で求めた応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は  $f_t$  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 フレームの応力評価

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、許容組合せ応力は 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 $f_c$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
	$0.277 \cdot F^* \cdot \left( \frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
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、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.2.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.2.3)$$

4.8.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3 項で求めた盤取付ボルト及び基礎ボルトの引張応力は，次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし， $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎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 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

地下水位低下設備制御盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

地下水位低下設備制御盤に設置される器具の機能維持加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

評価部位	方向	機能確認済加速度
地下水位低下設備現場制御盤(B)	水平方向	
	鉛直方向	

## 6. 評価結果

地下水位低下設備制御盤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及び電氣的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算結果】

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)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
地下水位低下設備 現場制御盤(B)	C	制御建屋 O.P. 29.15* <sup>1</sup> (O.P. 22.95)	0.026	0.05 以下* <sup>2</sup>	—	—	C <sub>H</sub> =4.05	C <sub>V</sub> =2.29	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

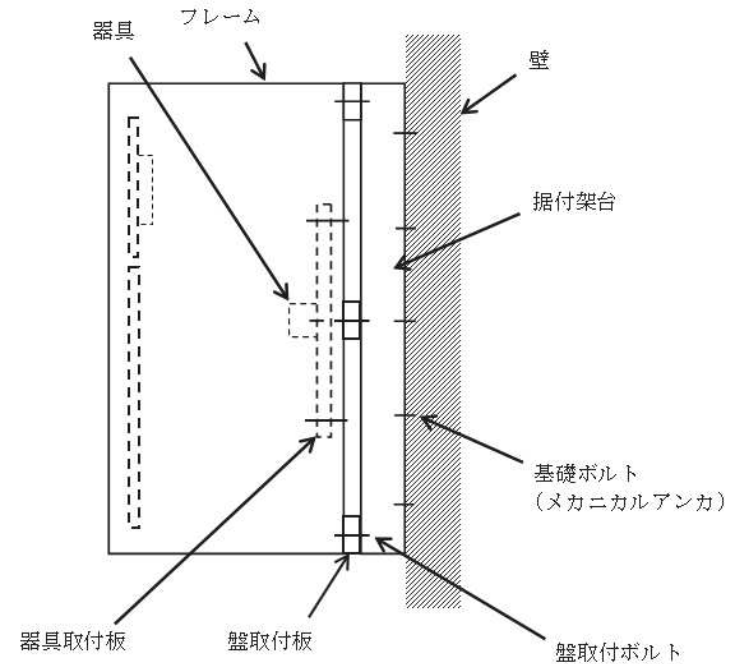
\*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2. 機器要目

m (kg)	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )

注記\*：基礎ボルト

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
フレーム		245 (厚さ, 径 ≤ 16mm)	400	280
器具取付板				
盤取付板				
据付架台				
盤取付ボルト				
基礎ボルト	215 (径 > 40 mm)	400	258	



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



材料	E (MPa)	$\nu'$	$\ell_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$

	要素番号
材料	
A (mm <sup>2</sup> )	
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	
Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )	

3. 計算数値

3.1 フレームの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	2.696×10 <sup>3</sup>	—	3.638×10 <sup>3</sup>
		—	1.332×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	904.2	—	—	—	—
		—	3.677×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	3.669×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.2 フレームのモーメント

(単位：N・mm)

要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	3.492×10 <sup>4</sup>	—	—	—	—
		—	—	—	3.362×10 <sup>4</sup>	—	6.355×10 <sup>4</sup>
		—	—	—	3.540×10 <sup>4</sup>	—	6.406×10 <sup>4</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.3 盤取付ボルトの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	2.995×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	—	—	4.857×10 <sup>3</sup>	—	1.931×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 盤取付ボルトに作用する力 (単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	2.995×10 <sup>3</sup>	—	—
		—	—	—	5.227×10 <sup>3</sup>

3.5 基礎ボルトの荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	6.001×10 <sup>3</sup>	—	199.7
		—	3.641×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.6 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	6.005×10 <sup>3</sup>
		—	3.641×10 <sup>3</sup>	—	—

4. 結論

4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.026
鉛直方向	0.05 以下

4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
フレーム		引張り			—	—	$\sigma_t = 22$	$f_t = 280$	
		圧縮			—	—	$\sigma_c = 22^{*1}$	$f_c = 45$	
		せん断			—	—	$\tau = 53$	$f_s = 161$	
		曲げ			—	—	$\sigma_b = 151$	$f_b = 280$	
		組合せ			引張り+曲げ	—	—	$\sigma_{ft} = 0.56^{*2}$	1 <sup>*2</sup>
					圧縮+曲げ	—	—	$\sigma_{fc} = 0.70^{*2}$	
器具取付板 盤取付板 据付架台		組合せ			—	—	$\sigma = 155$	$f_t = 280$	
盤取付ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 39$	$f_{to} = 210$	
		せん断			—	—	$\tau_b = 67$	$f_{sb} = 161$	
		組合せ			—	—	$\sigma_{tb} = 39$	$f_{ts} = 186^{*3}$	
基礎ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 33$	$f_{to} = 193$	
		せん断			—	—	$\tau_b = 53$	$f_{sb} = 148$	
		組合せ			—	—	$\sigma_{tb} = 33$	$f_{ts} = 185^{*3}$	

注記\*1：絶対値を記載

\*2：単位無し

\*3： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ にて算出  
すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 電氣的機能維持の評価結果

( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
地下水位低下設備 現場制御盤(B)	水平方向	3.37	
	鉛直方向	1.91	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-2-13-9 地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2	許容応力	8
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	14
4.5	設計用地震力	15
4.6	計算方法	16
4.6.1	応力の計算方法	16
4.7	計算条件	18
4.8	応力の評価	18
4.8.1	器具取付板、筐体及び据付架台の応力評価	18
4.8.2	フレームの応力評価	18
4.8.3	盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	19
5.	機能維持評価	20
5.1	電氣的機能維持評価方法	20
6.	評価結果	21

1. 概要

本計算書は、添付書類「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、地下水位低下設備電源盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

地下水位低下設備電源盤は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」に基づき、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

なお、構造強度評価については、地下水位低下設備電源盤の設置位置のうち、最も設計用地震力が大きくなる設置位置に設定した上で、地下水位低下設備電源盤に作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
地下水位低下設備電源盤(A) 地下水位低下設備電源盤(B) (代表)	4. 地震応答解析及び 構造強度評価	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

地下水位低下設備電源盤(B)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>器具は、ボルトにて器具取付板に固定する。器具取付板は、ボルトにてフレームに固定する。フレームは、盤取付ボルトにて据付架台に固定する。据付架台は、基礎ボルトにて床面に据え付ける。</p>	<p>自立型</p>	<p>【地下水位低下設備電源盤(B)】</p> <p>Labels in diagram: フレーム, 器具, 筐体, 盤取付ボルト, 据付架台, 基礎ボルト, 床, 器具取付板.</p>

## 2.2 評価方針

地下水位低下設備電源盤の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す地下水位低下設備電源盤の部位を踏まえ「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。

また、地下水位低下設備電源盤の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

地下水位低下設備電源盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

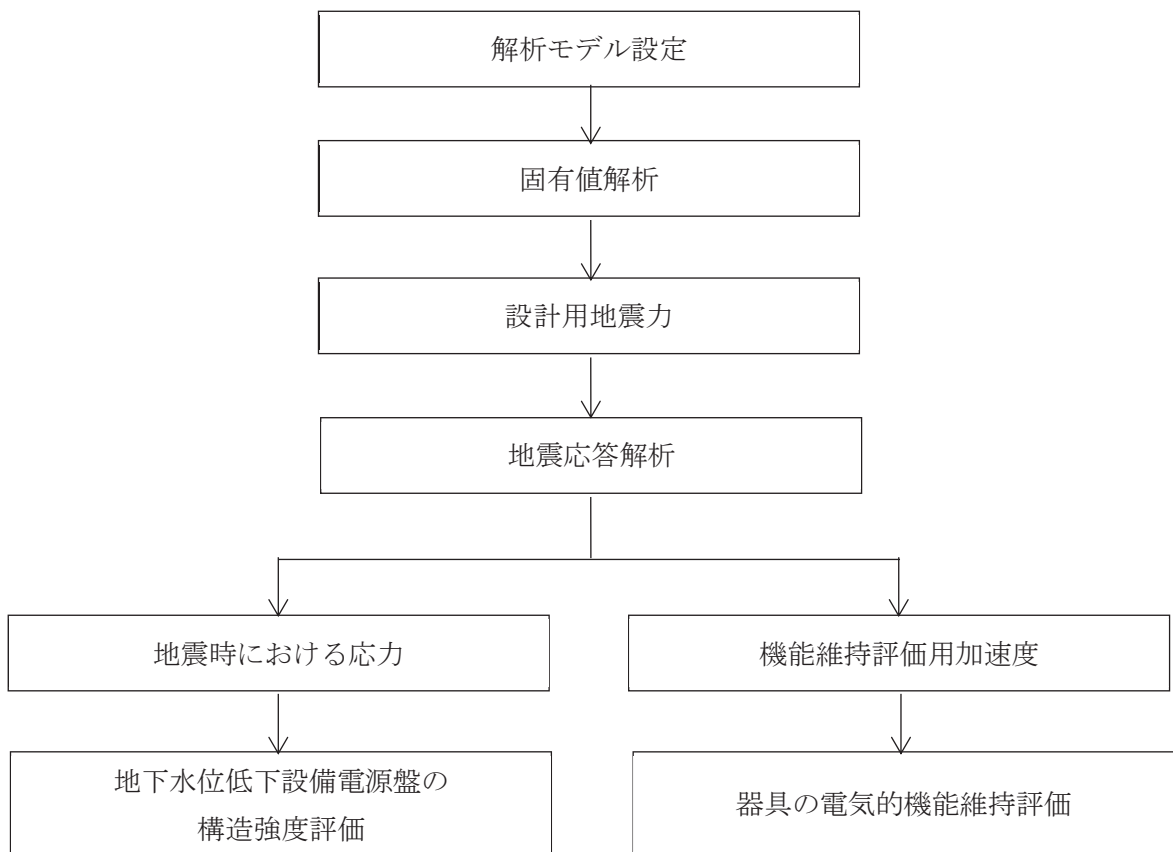


図 2-1 地下水位低下設備電源盤の耐震評価フロー

### 2.3 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。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 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。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	フレームの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	フレームの有効せん断断面積 (y 方向)	mm <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	フレームの有効せん断断面積 (z 方向)	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 <sub>o</sub>	ボルトの呼び径	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>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用する引張力	N
F <sub>x</sub>	フレーム又は盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸力 (x 方向)	N
F <sub>y</sub>	フレーム又は盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (y 方向)	N
F <sub>z</sub>	フレーム又は盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (z 方向)	N
f <sub>b</sub>	フレームの許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	フレームの許容圧縮応力	MPa
f <sub>s</sub>	フレーム又はボルト等の許容せん断応力	MPa
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f <sub>t</sub>	フレーム又はボルト等の許容引張応力	MPa
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎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盤取付ボルト及び基礎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>x</sub>	フレームのねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M <sub>y</sub>	フレームの曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M <sub>z</sub>	フレームの曲げモーメント (z 軸)	N・mm
m	解析モデル質量	kg
Q <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用するせん断力	N
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

記号	記号の説明	単位
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
$Z_p$	フレームのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	フレームの断面係数（y 軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	フレームの断面係数（z 軸）	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	フレームの限界細長比	—
$\lambda$	フレームの有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	器具取付板，筐体及び据付架台に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_b$	フレームに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	フレームに生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{fc}$	フレームに生じる組合せ応力（圧縮+曲げ）	—
$\sigma_{ft}$	フレームに生じる組合せ応力（引張り+曲げ）	—
$\sigma_t$	フレームに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{tb}$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_x, \sigma_y$	器具取付板，筐体及び据付架台に生じる膜+曲げ応力	MPa
$\tau$	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{xy}$	器具取付板，筐体及び据付架台に生じるせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

本資料で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 <sup>*4</sup>
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 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

地下水位低下設備電源盤の耐震評価は、「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、耐震評価上厳しくなるフレーム、器具取付板、筐体、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。なお、地下水位低下設備電源盤は、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム、器具取付板、筐体、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば電氣的機能を維持できるため、フレーム、器具取付板、筐体、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。地下水位低下設備電源盤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) 地下水位低下設備電源盤は、十分剛な床に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 地下水位低下設備電源盤の質量には、盤自身の質量のほか、据付架台質量を考慮する。
- (3) 地震力は、地下水位低下設備電源盤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。
- (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

地下水位低下設備電源盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち評価に用いるものを表 4-1 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

地下水位低下設備電源盤の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

地下水位低下設備電源盤の使用材料の許容応力評価条件のうち評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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
施設共通 (地震)	地下水位低 下設備	地下水位低下設備 電源盤	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を適用する。



表 4-2 許容応力

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>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 4-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
フレーム		周囲環境温度	40	245	400	—
器具取付板, 筐体				245	400	—
据付架台				235	400	—
盤取付ボルト				215	400	—
基礎ボルト						

#### 4.3 解析モデル及び諸元

地下水位低下設備電源盤の解析モデルを図 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【地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 地下水位低下設備電源盤の [ ]  
[ ] でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 取付器具は、 [ ] として付加する。
- (3) 拘束条件として、基礎部の [ ] を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 解析コードは「MSC 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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

[ ] 枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

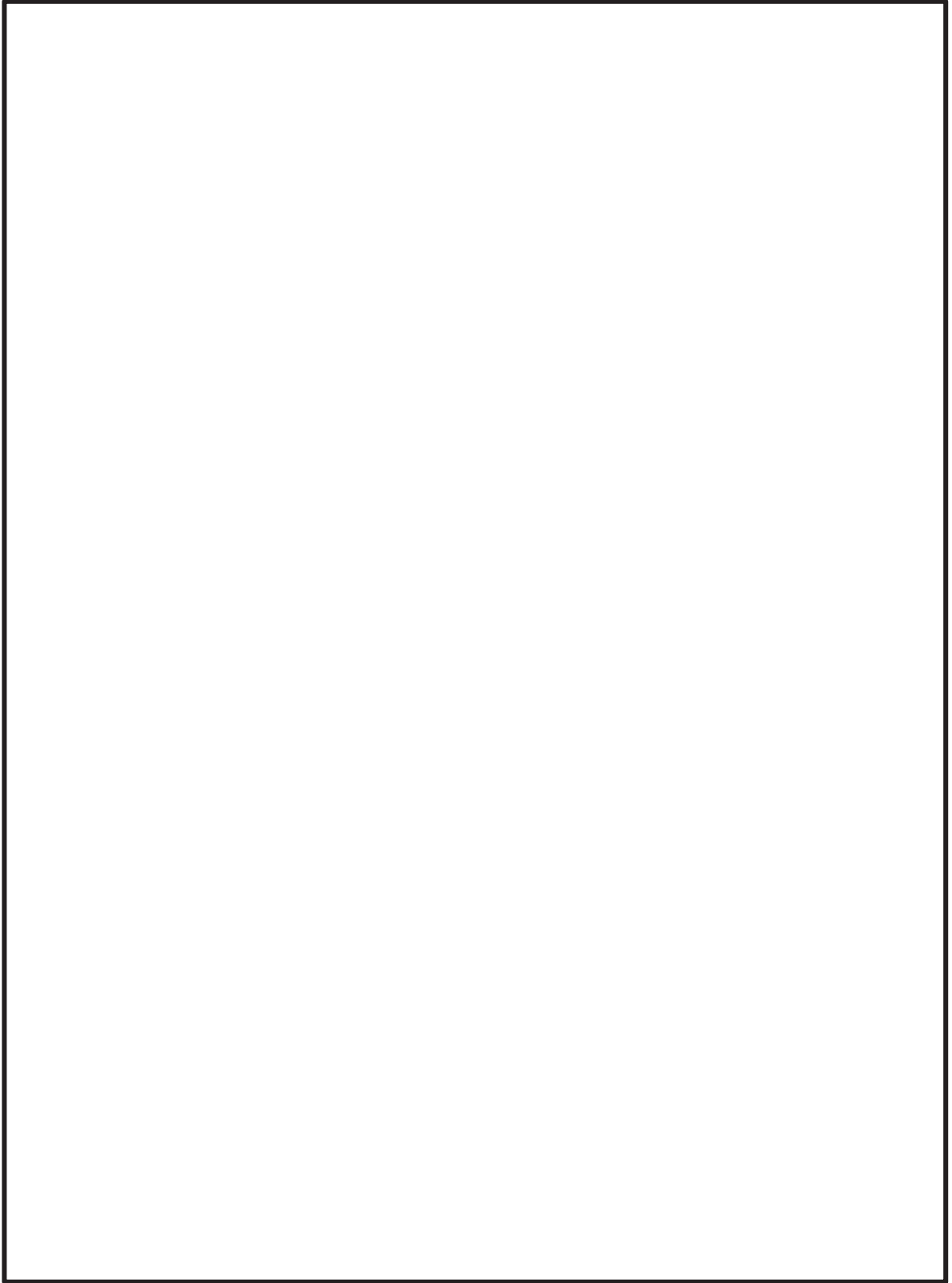


図 4-1 地下水位低下設備電源盤の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に示す。1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が，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	固有周期 (s)	卓越方向	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1 次	0.045	水平方向	—	—	—

#### 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、添付書類「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 4-5 設計用地震力

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 15.00*	0.045	0.05 以下*2	—	—	$C_H = 1.97$	$C_V = 1.37$

注記\*1：基準床レベルを示す

\*2：固有値解析により、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### 4.6.1.1 器具取付板，筐体及び据付架台の応力

解析による計算で得られる器具取付板，筐体及び据付架台部分の  の応力成分を用いて，最大の組合せ応力を次のように求める。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

#### 4.6.1.2 フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力  $F_x$ ，せん断力  $F_y$ ， $F_z$ ，ねじりモーメント  $M_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ ， $M_z$  より各応力を次のように求める。

(1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \frac{|F_y|}{A_y} + \frac{|F_z|}{A_z} + \frac{|M_x|}{Z_p} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

(4) 組合せ応力（引張り＋曲げ）

$$\sigma_{ft} = \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

(5) 組合せ応力（圧縮＋曲げ）

$$\sigma_{fc} = \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6.1.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力

盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる軸力 $F_x$ 、せん断力 $F_y$ 、 $F_z$ から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_x}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

##### (2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は、(4.6.1.3.2)式による。



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【地下水位低下設備電源盤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 器具取付板、筐体及び据付架台の応力評価

4.6.1.1 項で求めた応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は  $f_t$  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 フレームの応力評価

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、許容組合せ応力は応力比が 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 $f_c$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
	$0.277 \cdot F^* \cdot \left( \frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
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、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.2.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (4.8.2.3)$$

4.8.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3 項で求めた盤取付ボルト及び基礎ボルトの引張応力は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎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 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

地下水位低下設備電源盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

地下水位低下設備電源盤に設置される器具の機能維持加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

評価部位	方向	機能確認済加速度
地下水位低下設備電源盤(B)	水平方向	
	鉛直方向	

## 6. 評価結果

地下水位低下設備電源盤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及び電氣的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算結果】

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)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
地下水位低下設備 電源盤(B)	C	原子炉建屋 O.P. 15.00* <sup>1</sup>	0.045	0.05 以下* <sup>2</sup>	—	—	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

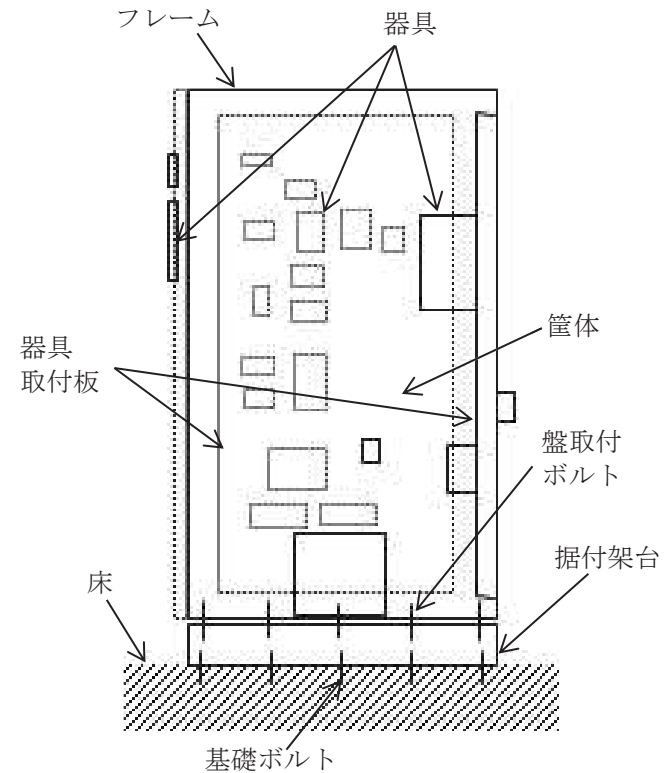
\*2：固有値解析より、0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2. 機器要目

m (kg)	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )

注記\*：基礎ボルト

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
フレーム		245 (厚さ ≤ 16mm)	400	280
器具取付板, 筐体				
据付架台		235 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	400	280
盤取付ボルト		215 (径 > 40mm)	400	258
基礎ボルト		215 (径 > 40mm)	400	258



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

材料	E (MPa)	$\nu'$	$\varrho_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$

		要素番号
材料		
A (mm <sup>2</sup> )		
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )		
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )		
Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )		

3. 計算数値

3.1 フレームの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	1.333×10 <sup>4</sup>	—	—	—	—
		—	9.643×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	—	—	4.096×10 <sup>3</sup>	—	2.995×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.2 フレームのモーメント

(単位：N・mm)

要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	9.908×10 <sup>4</sup>	—	3.541×10 <sup>5</sup>
		—	—	—	—	—	—
		—	1.002×10 <sup>5</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.3 盤取付ボルトの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	3.704×10 <sup>3</sup>	—	4.015×10 <sup>3</sup>
		—	8.691×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.4 盤取付ボルトに作用する力

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	5.463×10 <sup>3</sup>
		—	8.691×10 <sup>3</sup>	—	—

3.5 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	5.531×10 <sup>3</sup>	—	372.8
		—	1.120×10 <sup>4</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.6 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	5.544×10 <sup>3</sup>
		—	1.120×10 <sup>4</sup>	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



4. 結論

4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.045
鉛直方向	0.05 以下

4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
フレーム		引張り			—	—	$\sigma_t = 17$	$f_t = 280$	
		圧縮			—	—	$\sigma_c = 24^{*1}$	$f_c = 99$	
		せん断			—	—	$\tau = 113$	$f_s = 161$	
		曲げ			—	—	$\sigma_b = 128$	$f_b = 280$	
		組合せ			引張り+曲げ	—	—	$\sigma_{ft} = 0.49^{*2}$	1 <sup>*2</sup>
					圧縮+曲げ	—		$\sigma_{fc} = 0.61^{*2}$	
器具取付板, 筐体		組合せ			—	—	$\sigma = 58$	$f_t = 280$	
据付架台									
盤取付ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 44$	$f_{ts} = 193^{*3}$	
		せん断			—	—	$\tau_b = 28$	$f_{sb} = 148$	
		組合せ			—	—	$\sigma_{tb} = 44$	$f_{ts} = 193^{*3}$	
基礎ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 56$	$f_{ts} = 193^{*3}$	
		せん断			—	—	$\tau_b = 28$	$f_{sb} = 148$	
		組合せ			—	—	$\sigma_{tb} = 56$	$f_{ts} = 193^{*3}$	

注記\*1：絶対値を記載

\*2：単位なし

\*3： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ にて算出

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 電氣的機能の評価結果

( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
地下水位低下設備 電源盤	水平方向	1.65	□
	鉛直方向	1.15	

注記\*：基準地震動 S s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## VI-2-別添1 火災防護設備の耐震性についての計算書

## 目次

- VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針
- VI-2-別添 1-2 火災感知器の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-3 火災受信機盤の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-4 ガスボンベ設備の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-5 選択弁の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-6 制御盤の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-7 消火配管の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-8 火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

## VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 評価方針	2
2.2 評価対象設備	2
2.3 適用規格・基準等	15
2.4 記号の説明	16
2.5 計算精度と数値の丸め方	28
3. 評価部位	34
4. 固有周期	37
5. 構造強度評価	37
5.1 構造強度評価方法	37
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	39
5.3 設計用地震力	43
5.4 計算方法	44
6. 機能維持評価	62
6.1 火災感知器	62
6.2 火災受信機盤	62
6.3 ガスボンベ設備	62
6.4 選択弁	63
6.5 制御盤	63

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 11 条及び第 52 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」が適合することを要求している「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」（平成 25 年 6 月 19 日制定）（以下「火災防護に係る審査基準」という。）に適合する設計とするため、添付書類「VI-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」（以下「VI-1-1-7」という。）に示す火災感知設備及び消火設備が、火災防護上重要な機器等の耐震クラス及び重大事故等対処施設の区分に応じた地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

火災防護設備の計算結果は、添付書類「VI-2-別添1-2 火災感知器の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-3 火災受信機盤の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-4 ガスボンベ設備の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-5 選択弁の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-6 制御盤の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-別添1-7 消火配管の耐震性についての計算書」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果を、添付書類「VI-2-別添1-8 火災防護設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

応力評価は、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「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が許容限界内に収まることを、「5. 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。また、機能維持評価は地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

耐震評価フローを図 2-1 に示す。

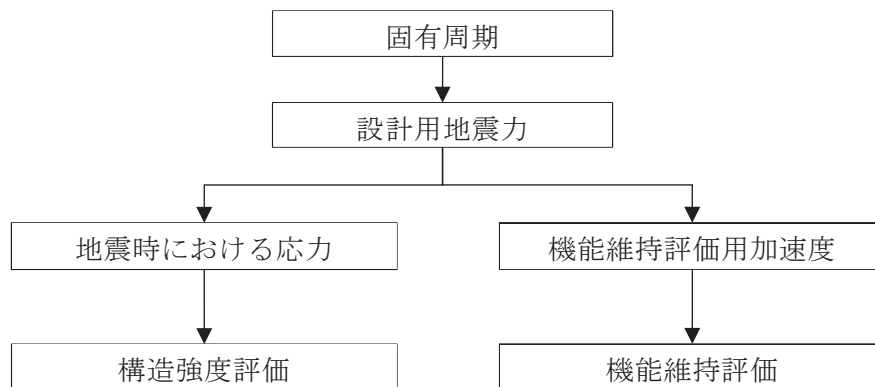


図 2-1 耐震評価フロー

### 2.2 評価対象設備

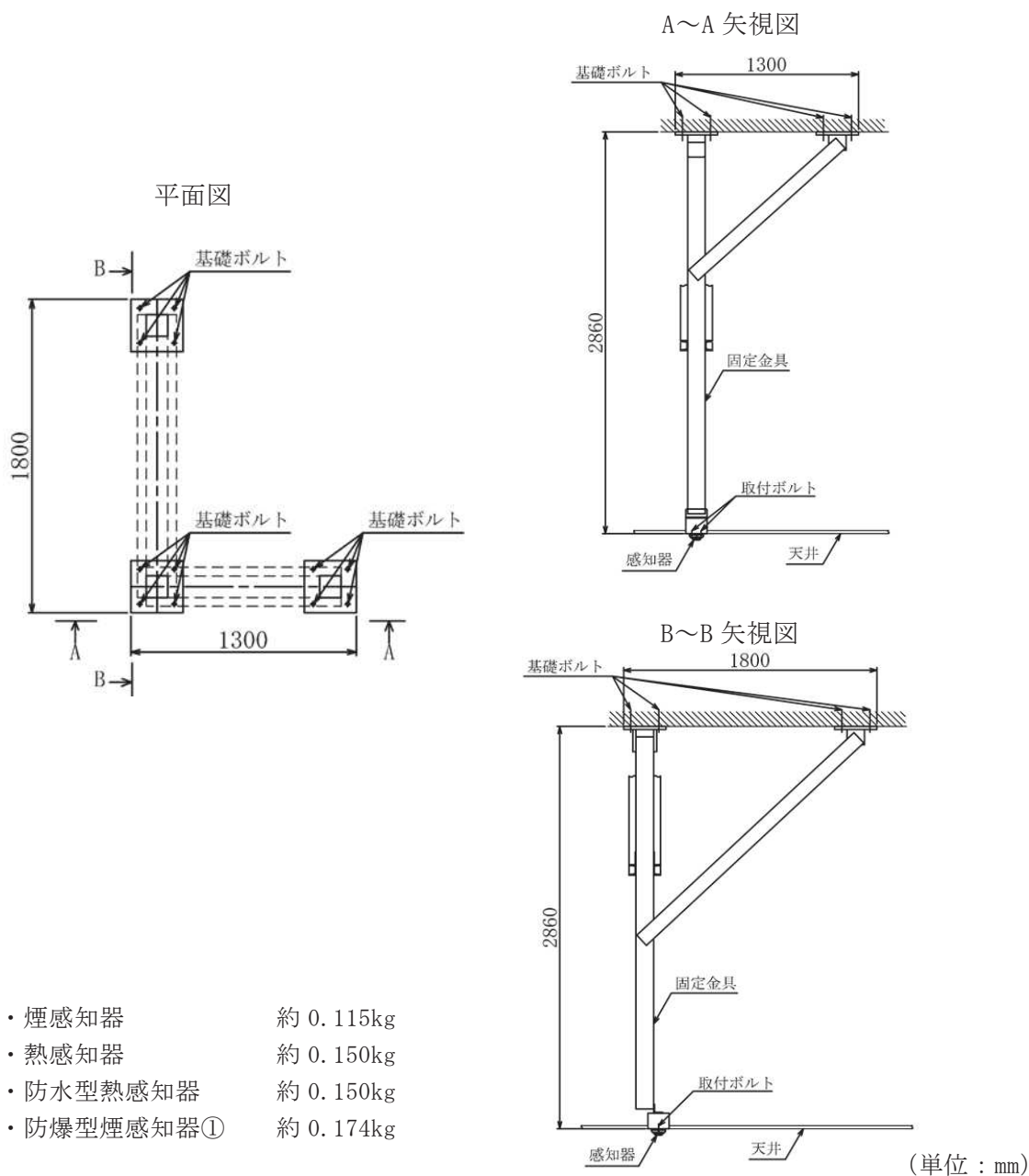
評価対象設備は、添付書類VI-1-1-7のうち「5.1 火災感知設備について」に示す火災感知設備のうち火災感知器及び火災受信機盤並びに添付書類VI-1-1-7のうち「5.2 消火設備について」に示す消火設備のうちガスボンベ設備、選択弁、制御盤及び消火配管を対象とする。

火災感知設備の構造計画を表2-1及び表2-2に、消火設備の構造計画を表2-3から表2-6に示す。



表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(1/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・煙感知器</li> <li>・熱感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul>	各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・煙感知器</li> <li>・熱感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul> (天井取付形)	図 2-2



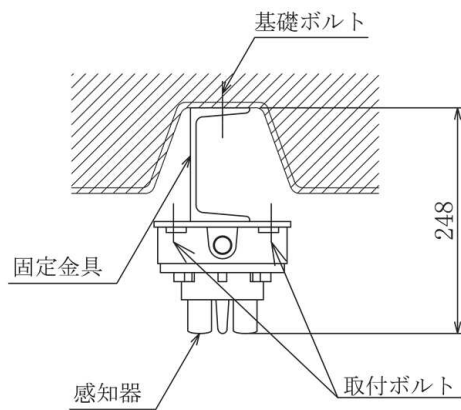
注：図の感知器は、質量のより大きい防爆型煙感知器①とする。

図 2-2 火災感知器（煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①）の概要図

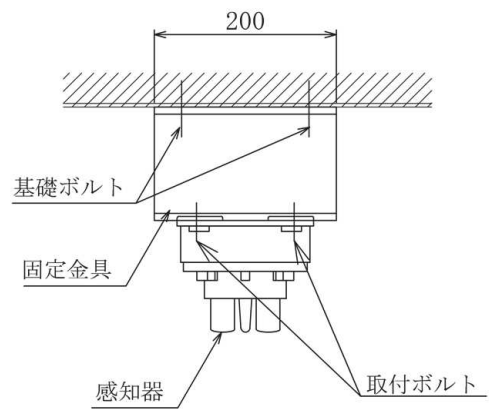
表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(2/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器②</li> </ul>	各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器② (天井取付形)</li> </ul>	図 2-3

正面図



側面図



- ・ 防爆型熱感知器 約 1.50kg (評価用震度 7.28)
  - ・ 防爆型煙感知器② 約 3.00kg (評価用震度 3.34)
- (単位：mm)

注：図の感知器は、設置箇所の評価用震度が大きい防爆型熱感知器とする。

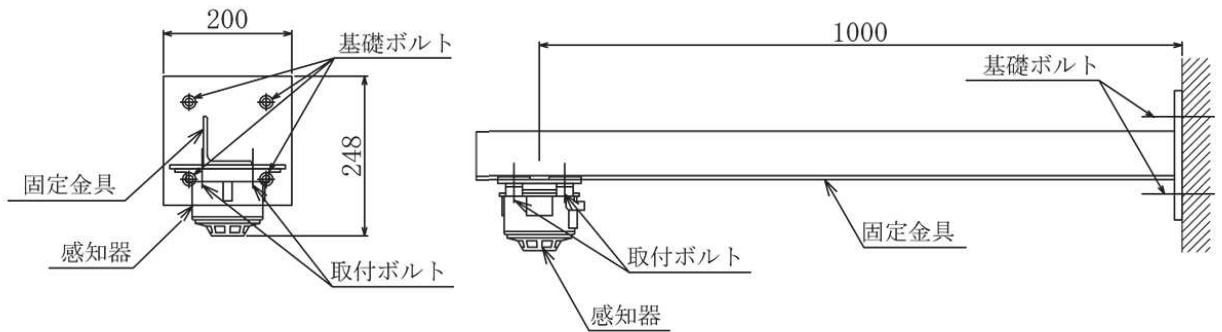
図 2-3 火災感知器（防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②）の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(3/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
防湿型煙感知器	火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。	防湿型煙感知器 (壁掛形)	図 2-4

正面図

側面図



防湿型煙感知器 約 1.00kg

(単位：mm)

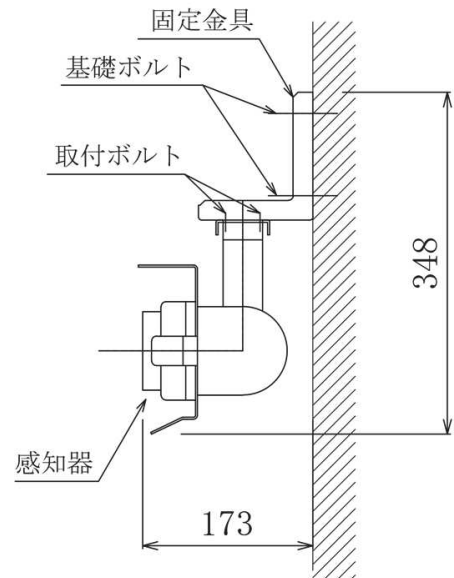
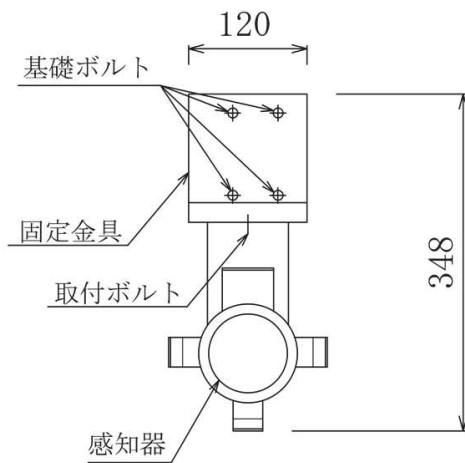
図 2-4 火災感知器（防湿型煙感知器）の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(4/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
炎感知器	火災感知器は，取付ボルトにて固定金具に取付け，固定金具を基礎ボルトにより，建屋躯体に据え付ける。	炎感知器 (壁掛形)	図 2-5

正面図

側面図



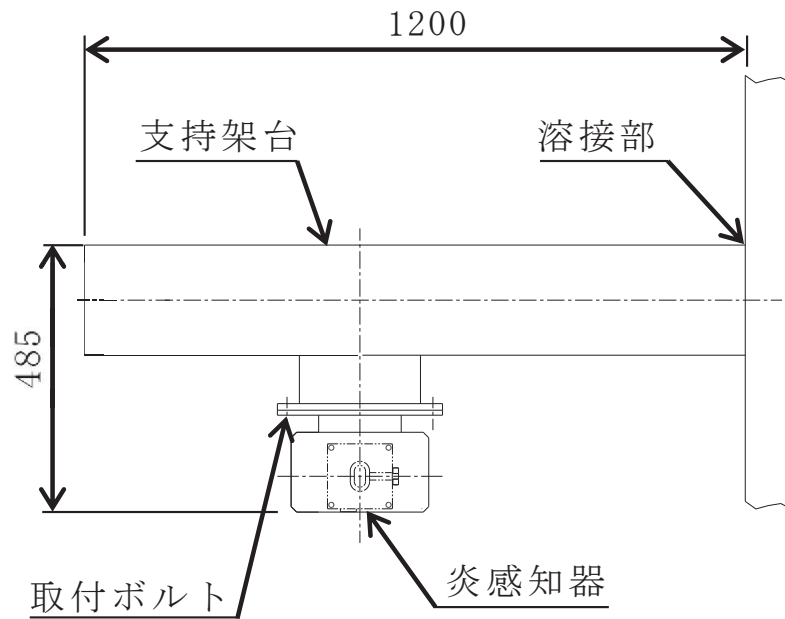
炎感知器 約 0.185kg

(単位：mm)

図 2-5 火災感知器（炎感知器）の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(5/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
屋外仕様 炎感知器	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋壁の躯体に据付ける。	屋外仕様 炎感知器 (壁掛形)	図 2-6



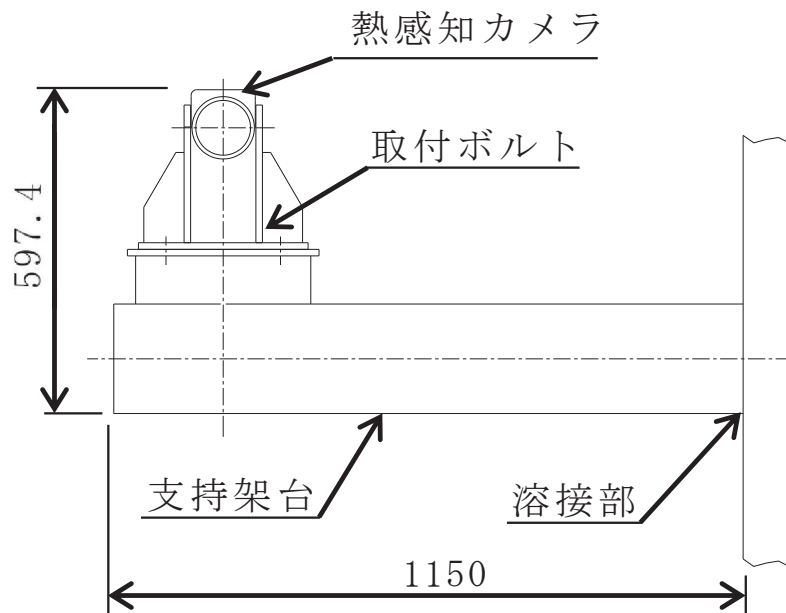
屋外仕様炎感知器 約 1.3kg

(単位：mm)

図 2-6 火災感知器（屋外仕様炎感知器）の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(6/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
熱感知カメラ	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋壁の躯体に据付ける。	熱感知カメラ (壁掛形)	図 2-7



熱感知カメラ 約 5.4kg

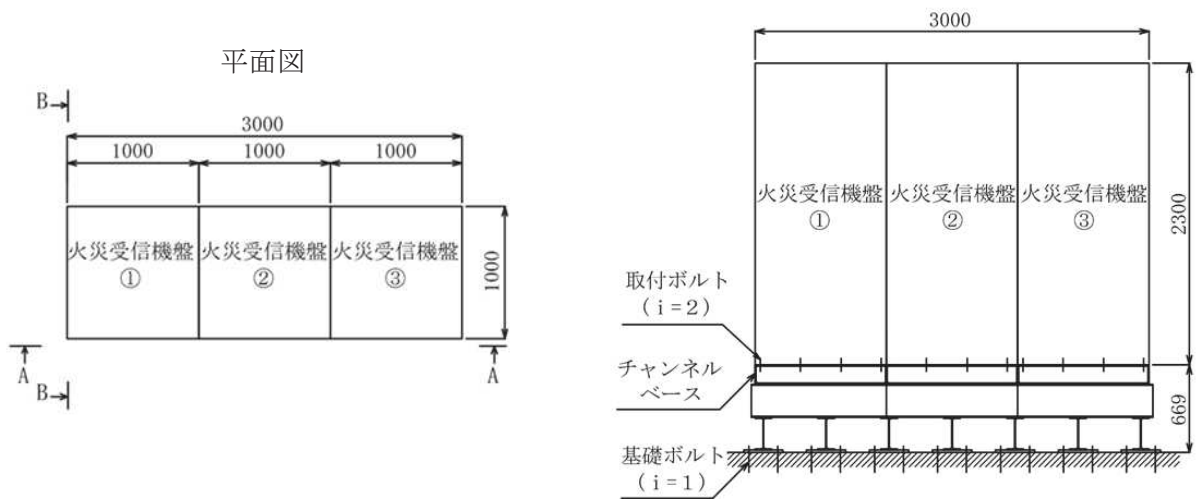
(単位：mm)

図 2-7 火災感知器（熱感知カメラ）の概要図

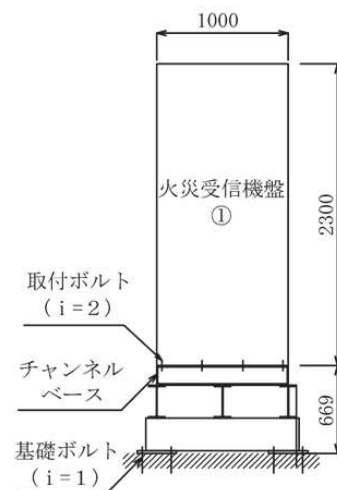
表 2-2 火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤	火災受信機盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに取り付け、チャンネルベースを基礎ボルトにより、建屋躯体に固定する。	火災受信機盤 (垂直自立型)	図 2-8

A~A 矢視図



B~B 矢視図



- ・ 火災受信機盤①
- ・ 火災受信機盤②
- ・ 火災受信機盤③



(単位：mm)

図 2-8 火災受信機盤の概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-3 火災防護設備のうちガスボンベ設備の構造計画 (1/2)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ガスボンベ設備 (ハロンガス消 火設備)	容器弁はガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベはボンベラックに固定し、基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	ガスボンベ及び容器弁(直立型)	図 2-9



図2-9 ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備) の概要図



表 2-3 火災防護設備のうちガスボンベ設備の構造計画 (2/2)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ 消火設備)	容器弁はガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは、ボンベラックに固定し、基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	ガスボンベ及び容器弁(直立型)	図 2-10

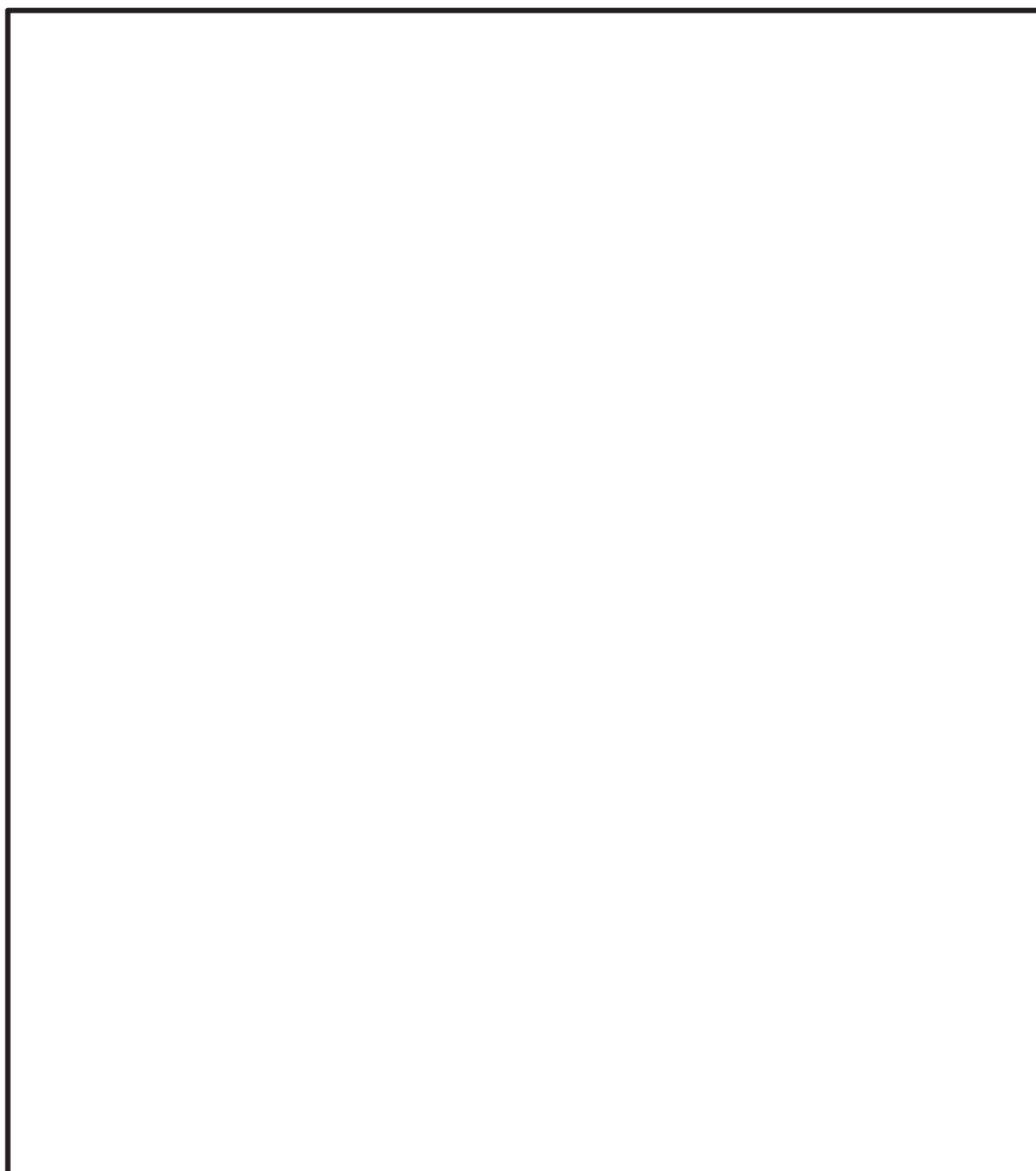
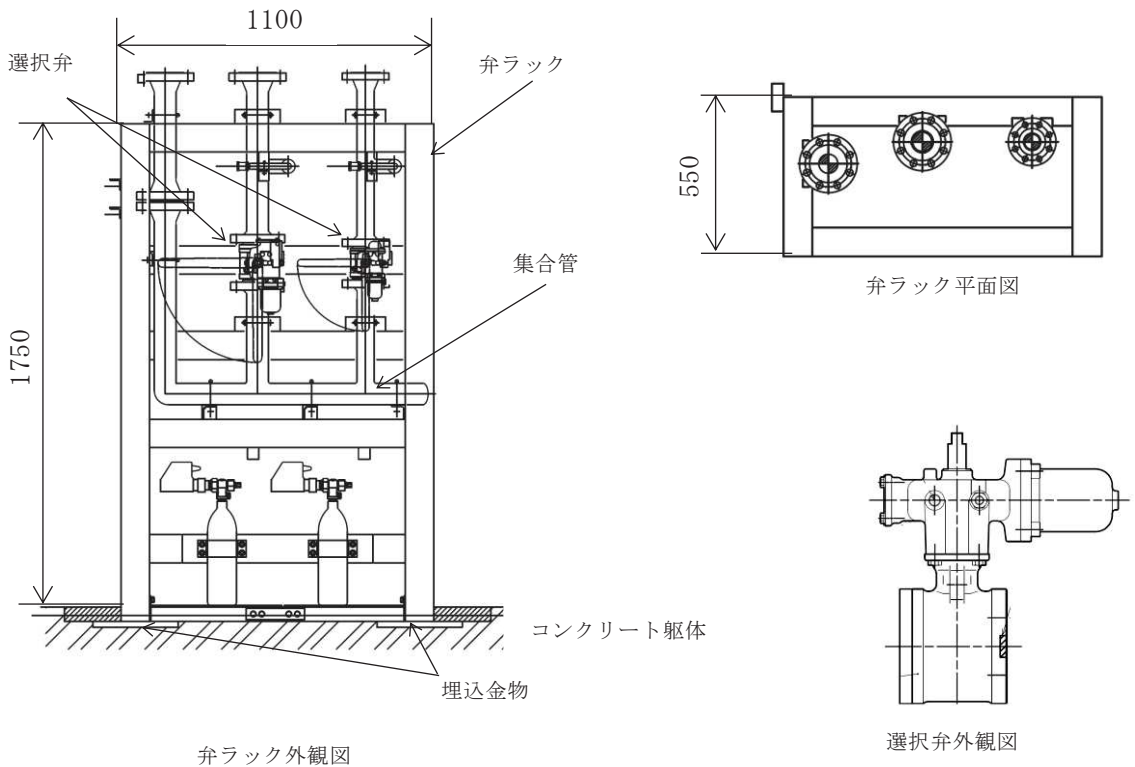


図2-10 ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備) の概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4 火災防護設備のうち選択弁の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
選択弁	選択弁は集合管に取り付けて固定する。集合管は弁ラックに固定し、埋込金物により弁ラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	選択弁， 集合管 及び弁ラック	図 2-11



(単位：mm)

図2-11 選択弁の概要図

表 2-5 火災防護設備のうち制御盤の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
制御盤	制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。 チャンネルベースは基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	制御盤 (壁掛型)	図 2-12

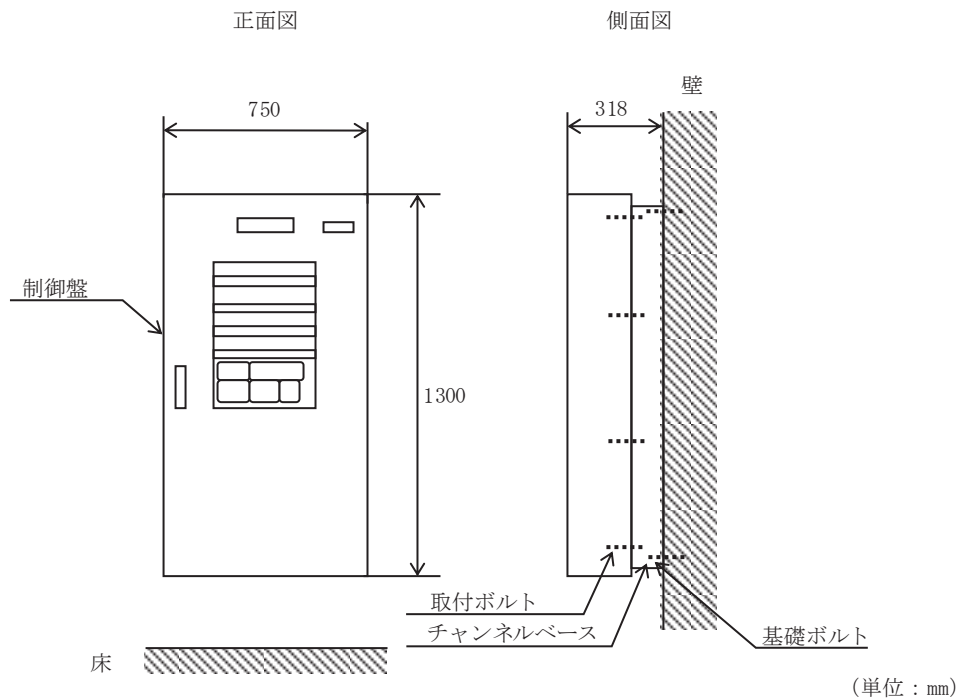


図2-12 制御盤の概要図

表 2-6 火災防護設備のうち消火配管の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
消火配管 (ケーブルトレイ消火設備)	消火配管はケーブルトレイ外において、配管の自在性を活かすために、UボルトやUバンド等にて支持することなくパンチングトレイ内に設置する。	消火配管	図 2-13

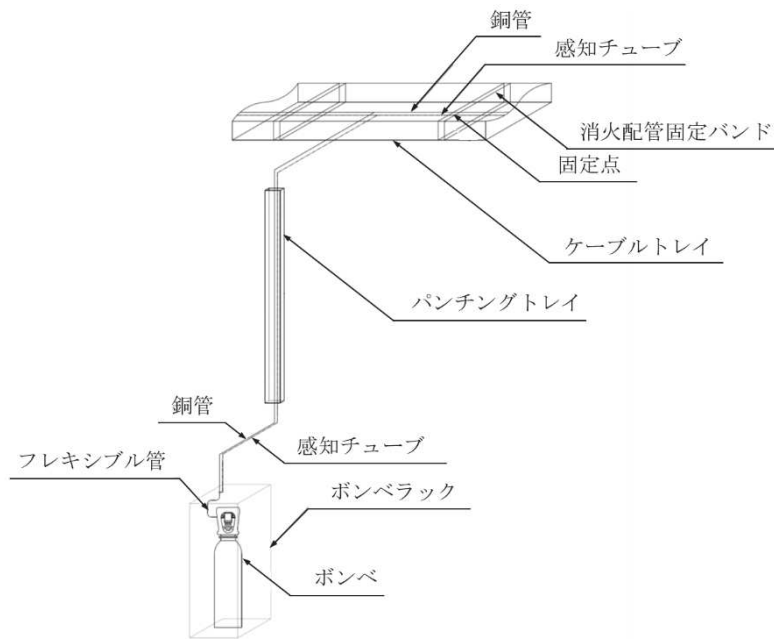


図 2-13 消火配管（ケーブルトレイ消火設備）の概要図

### 2.3 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。

- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む）） J S M E S N C 1 - 2005/2007（日本機械学会）
- ・ 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）
- ・ 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（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（日本電気協会）
- ・ 鋼構造設計基準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）

## 2.4 記号の説明

表2-7 煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の応力評価に用いる  
記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_1$	取付面から重心までの距離	mm
$\ell_1$	重心とボルト間の水平方向距離	mm
$\ell_2$	重心とボルト間の水平方向距離 ( $\ell_1 \leq \ell_2$ )	mm
$m$	機器の重量	kg
$n$	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ボルトの本数	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8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
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$f_{t_o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{s_b}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t_s}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力	MPa

表2-8 防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$F_{b1}$	短辺方向の水平方向地震力によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$F_{b2}$	長辺方向の水平方向地震力によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_1$	取付面から重心までの距離	mm
$\ell_1$	重心とボルト又は部材端間の水平方向距離	mm
$\ell_2$	重心とボルト又は部材端間の水平方向距離 ( $\ell_1 \leq \ell_2$ )	mm
$m$	機器の重量	kg
$n$	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ボルトの本数	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8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
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$f_{t_o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{s_b}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t_s}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力	MPa

表2-9 防湿型煙感知器の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$F_{b1}$	鉛直方向地震及び壁取付面に対し左右方向の水平方向地震力によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$F_{b2}$	鉛直方向地震及び壁取付面に対し前後方向の水平方向地震力によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_1$	取付面から重心までの距離	mm
$l_1$	重心と転倒支点間の鉛直方向距離	mm
$l_2$	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
$l_3$	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
$m$	機器の重量	kg
$n$	ボルトの本数	—
$n_{fH}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向)	—
$n_{fV}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向)	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$Q_{b1}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{b2}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8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
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$f_{t0}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{sb}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力	MPa



表2-10 炎感知器の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$F_{b1}$	鉛直方向地震及び壁取付面に対し左右方向の水平方向地震力によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$F_{b2}$	鉛直方向地震及び壁取付面に対し前後方向の水平方向地震力によりボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_1$	取付面から重心までの距離	mm
$l_1$	重心と転倒支点間の鉛直方向距離	mm
$l_2$	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
$l_3$	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
$m$	機器の重量	kg
$n$	ボルトの本数	—
$n_{fH}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向)	—
$n_{fV}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向)	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$Q_{b1}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{b2}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8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
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$f_{t0}$	引張力のみを受けるとするボルトの許容引張応力	MPa
$f_{sb}$	せん断力のみを受けるとするボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を受けるとするボルトの許容引張応力	MPa

表2-11 屋外仕様炎感知器及び熱感知カメラの応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$l_1$	取付面から重心までの距離	mm
$l_2$	取付部材芯から重心までの距離	mm
$S$	溶接脚長	mm
$a$	溶接部の有効のど厚	mm
$b_w$	溶接の有効長さ (Y方向)	mm
$h_w$	溶接の有効長さ (Z方向)	mm
$m$	機器の重量	kg
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$A_w$	溶接部の有効断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{s w Y}$	前後方向 (Y方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{s w Z}$	鉛直方向 (Z方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$Z_{w Y}$	溶接断面積における前後方向 (Y方向) 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{w Z}$	溶接断面積における鉛直方向 (Z方向) 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_t$	軸力により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{b Y 1}$	Y軸まわりの曲げモーメント (左右方向 (X方向) 地震時) により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{b Y 2}$	Y軸まわりの曲げモーメント (前後方向 (Y方向) 地震時) により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{b Z 2}$	Z軸まわりの曲げモーメント (前後方向 (Y方向) 地震時) により生じるせん断応力	MPa
$\tau_Y$	Y方向のせん断力により生じるせん断応力	MPa
$\tau_Z$	Z方向のせん断力により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_1$	組合せせん断応力 (左右方向 (X方向) 地震時)	MPa
$\sigma_2$	組合せせん断応力 (前後方向 (Y方向) 地震時)	MPa
$\sigma$	最大組合せせん断応力	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1に定める値	MPa
$f_s$	溶接部の許容せん断応力	MPa

表2-12 火災受信機盤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	垂直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力 (1本当たり) * <sup>1</sup>	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	取付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$\ell_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離 (垂直自立型) * <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$\ell_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離 (垂直自立型) * <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$m_i$	盤の質量* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (垂直自立型) * <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値* <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値* <sup>1</sup>	N
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $\ell_{1i}$ ,  $\ell_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 取付ボルト

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : 取付面

\*3:  $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

表2-13 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$Q_b$	基礎ボルトのせん断力	N
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3及びSSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	基礎ボルトの引張力	N
$F_x$	軸力	N
$F_y$	せん断力(Y軸方向)	N
$F_z$	せん断力(Z軸方向)	N
$M_x$	ねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_y$	曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$Z_x$	ねじり断面係数	$\text{mm}^3$
$Z_y$	断面係数	$\text{mm}^3$
$A$	軸方向断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s_y}$	ラック部材の有効せん断断面積(Y軸方向)	$\text{mm}^2$
$A_{s_z}$	ラック部材の有効せん断断面積(Z軸方向)	$\text{mm}^2$
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8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
$\sigma$	ラックの組合せ応力	MPa
$\sigma_a$	ラックの軸応力	MPa
$\sigma_b$	ラックの曲げ応力	MPa
$\sigma_{bt}$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau$	ラックのせん断応力	MPa
$\tau_y$	ラックのせん断応力(Y軸方向)	MPa
$\tau_z$	ラックのせん断応力(Z軸方向)	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに発生するせん断応力	MPa
$\tau_t$	ねじりモーメントに生じるせん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力	MPa
$f_{t_o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{s_b}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t_s}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力	MPa

表2-14 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$F_{b1}$	ボルトに作用する長辺方向の引張力（1本当たり）	N
$F_{b2}$	ボルトに作用する短辺方向の引張力（1本当たり）	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$h$	取付面から重心までの距離	mm
$\ell_1$	重心と左側ボルト又は右側ボルト間の水平方向距離のうち、短い側の距離	mm
$\ell_2$	重心と左側ボルト又は右側ボルト間の水平方向距離のうち、長い側の距離	mm
$m$	運転時質量	kg
$n$	ボルトの総本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
$Q_b$	ボルトに生じるせん断力	N
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bt}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力 SSB-3131により規定される値	MPa
$f_s$	許容せん断応力 SSB-3131により規定される値	MPa
$f_{t^*}$	$f_t$ , $f_s$ を算出する際に, $S_y$ を $1.2S_y$ と読み替えて算出した値	MPa
$f_{ts}$	せん断力を同時に受けるボルトの許容引張力	MPa
$f_{t0}$	設計・建設規格 SSB-3131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
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

表2-15 選択弁の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{r e a}$	$R_1$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_1$	$R_2$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_2$	$R_3$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_w$	固定端溶接部の断面積	$mm^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$E$	フレームの縦弾性係数	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1 に定める値	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$m/s^2$
$M_1$	$R_1$ 軸廻りのモーメント (フレーム部)	$N \cdot mm$
$M_2$	$R_2$ 軸廻りのモーメント (フレーム部)	$N \cdot mm$
$M_3$	$R_3$ 軸廻りのモーメント (フレーム部)	$N \cdot mm$
$R_1$	$R_1$ 軸方向の力 (フレーム部)	N
$R_2$	$R_2$ 軸方向の力 (フレーム部)	N
$R_3$	$R_3$ 軸方向の力 (フレーム部)	N
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 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
$Z_1$	$R_3$ 軸廻りのモーメント $M_3$ を受けるフレームの断面係数	$mm^3$
$Z_2$	$R_2$ 軸廻りのモーメント $M_2$ を受けるフレームの断面係数	$mm^3$
$Z_{p1}$	$R_2$ 軸方向の応力を組合せる時のモーメント $M_1$ を受けるねじり断面係数	$mm^3$
$Z_{p2}$	$R_3$ 軸方向の応力を組合せる時のモーメント $M_1$ を受けるねじり断面係数	$mm^3$
$Z_{pw}$	溶接部のねじり断面係数	$mm^3$
$Z_w$	固定端溶接部の断面係数	$mm^3$
$\sigma_a$	フレームに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	フレームに生じる引張応力	MPa
$\sigma_b$	フレームに生じる曲げ応力	MPa
$\tau_s$	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{sa}$	固定端溶接部に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{st}$	固定端溶接部に生じる軸応力	MPa
$\tau_{ss}$	固定端溶接部に生じるせん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力	MPa
$f_b$	許容曲げ応力	MPa
$f_s$	許容せん断応力	MPa

表2-16 制御盤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * <sup>1</sup>	N
$F_{b1i}$	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$F_{b2i}$	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	据付面又は取付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$\ell_{1i}$	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛型) * <sup>1</sup>	mm
$\ell_{2i}$	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛型) * <sup>1</sup>	mm
$\ell_{3i}$	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 (壁掛型) * <sup>1</sup>	mm
$m_i$	運転時重量* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fvi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向) (壁掛型) * <sup>1</sup>	—
$n_{fHi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向) (壁掛型) * <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$Q_{b1i}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$Q_{b2i}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}(RT)$	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* <sup>1</sup>	MPa
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $F_{b1i}$ ,  $F_{b2i}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  
 $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $l_{3i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fVi}$ ,  $n_{fHi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $Q_{b1i}$ ,  
 $Q_{b2i}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{yi}(RT)$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は,  
以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 取付ボルト

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : 取付面



表2-17 消火配管の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$S_m$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表1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
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値	MPa
$S_h$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表5に定める値	MPa
$S_{p r m}$	一次応力	MPa
$S_n$	一次+二次応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

表示する数値の丸め方は表 2-18 から表 2-23 に示すとおりである。

表 2-18 火災感知器の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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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 位を切り捨て、整数位までの値とする。

表 2-19 火災受信機盤の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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：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 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-20 ガスボンベ設備の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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：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 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-21 選択弁の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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：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 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-22 制御盤の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
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</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>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：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 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-23 消火配管の表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
計算条件	圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位* <sup>1</sup>
	温度	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	厚さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	縦弾性係数	MPa	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	方向余弦	—	小数点以下第 5 位	四捨五入	小数点以下第 4 位
	許容応力* <sup>2</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
	減衰定数	%	—	—	小数点以下第 1 位
解析結果 及び条件	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
	刺激係数	—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
	計算応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
	許容応力* <sup>2</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
	計算荷重	kN	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
	許容荷重	kN	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
	疲労累積係数	—	小数点以下第 5 位	切上げ	小数点以下第 4 位
	機能維持評価 用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
	機能確認済加 速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

注記\*1：必要に応じて小数点第 3 位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

\*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

火災防護設備の耐震評価は、「5. 構造強度評価」に示す条件に基づき、以下について評価を実施する。

#### (1) 火災感知器

##### a. 基礎ボルト及び溶接部

火災感知器は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルト等で固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災感知器は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、火災感知器を固定する火災感知器の基礎ボルト及び溶接部の許容限界は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

#### (2) 火災受信機盤

##### a. 基礎ボルト及び取付ボルト

火災受信機盤は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災受信機盤は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、火災受信機盤を固定する火災受信機盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。



### (3) ガスボンベ設備

#### a. ボンベラック及び基礎ボルト

ガスボンベ設備は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

ガスボンベ設備は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、ガスボンベ設備の構成品であるボンベラック及び基礎ボルトの許容限界は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

### (4) 選択弁

#### a. 弁ラック及び溶接部

選択弁は、耐震性を有する緊急用電気品建屋等に埋込金物で固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

選択弁は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、選択弁の構成品である弁ラック及び溶接部の許容限界は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

### (5) 制御盤

#### a. 基礎ボルト及び取付ボルト

制御盤は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

制御盤は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、制御盤を固定する制御盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基

準地震動 $S_s$ による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(6) 消火配管

a. 管及び支持構造物

消火配管（ケーブルトレイ消火設備を除く。）は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し、主要な構造部材が、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、基準地震動 $S_s$ による地震力に対し、消火配管が塑性ひずみを生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

消火配管のうちケーブルトレイ消火設備は、ケーブルトレイ外において、配管の自在性を活かすため、消火配管をUボルトやUバンド等にて支持することなく、パンチングトレイ内に設置することで基準地震動 $S_s$ による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

#### 4. 固有周期

火災感知設備及び消火設備の固有周期は、振動試験、3次元多質点系はりモデル又は、はり・シェルモデルによる解析より求める。

#### 5. 構造強度評価

##### 5.1 構造強度評価方法

###### 5.1.1 火災感知器

- (1) 火災感知器の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は火災感知器に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 火災感知器は基礎ボルト又は溶接により固定されており、固定端とする。
- (4) 天井取付型の火災感知器については、図5-1及び図5-2における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。壁掛型の火災感知器については図5-3から図5-6における左右方向及び前後方向\*について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 重心位置については、転倒方向を考慮して、実機での重心位置又は計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記\*：壁掛型の火災感知器の転倒方向は、火災感知器を正面より見て左右に転倒する場合を左右方向、前方に転倒する場合を前後方向転倒という。

###### 5.1.2 火災受信機盤

火災受信機盤の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

###### 5.1.3 ガスボンベ設備

###### 5.1.3.1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）

- (1) ボンベラックについては、3次元多質点系はりモデル又は、はり・シェルモデルによる固有値解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。
- (2) ガスボンベはボンベラックに固定され、ボンベラックは、基礎ボルトにより建屋躯体である床に固定される。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として1.2ZPAの加速度による静的解析を行い、20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 5.1.3.2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）

- (1) 1 質点系モデルとし、設備の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) ガスボンベはボンベラックに固定され、ボンベラックは、基礎ボルトにより建屋躯体である床に固定される。
- (3) ガスボンベ設備については、図5-7における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 5.1.4 選択弁

- (1) 弁ラックについては、3次元多質点系はりモデルによる固有値解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。
- (2) 選択弁は、集合管に固定され、弁ラックは、埋込金物により建屋躯体である床に固定される。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として1.2ZPAの加速度による静的解析を行い、20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 5.1.5 制御盤

制御盤の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

#### 5.1.6 消火配管

- (1) 消火配管及び支持構造物の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。
- (2) ケーブルトレイ消火設備の消火配管については、消火配管の自在性を活かした設置方法であり、解析による評価が困難であることから、加振試験を行い、加振試験後の外観検査及び気密試験による健全性の確認及び、設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較により、耐震評価を実施する。

耐震評価に用いる設置位置での加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とし、評価対象フロアは各消火配管の中で最上階に設置されたフロアを対象とするが、消火配管は建屋壁に支持されていることから、評価対象フロアより大きい上階の応答加速度を適用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の種類

荷重は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す荷重を用いる。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、火災起因の荷重は発生しないため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す、機器、配管系の荷重の組合せを用いる。

評価対象部位ごとの荷重の組合せを表 5-1 に示す。

5.2.3 許容応力

許容限界は、添付書類VI-1-1-7のうち「5.1 火災感知設備について」及び「5.2 消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標に従い、評価対象部位ごとに設定する。

各評価項目の許容限界を表5-2から表5-8に示す。

5.2.4 ボルトの許容引張応力

ボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  を次式に示す。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.2.4.1)$$

許容引張応力  $f_{to}$  は下表による。

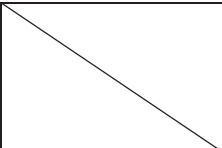
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 $S_s$ による荷重との組み合わせの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$

表5-1 設備ごとの荷重の組合せ及び許容応力状態

施設分類	設備	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
DB	火災感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	火災受信機盤	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	ガスボンベ設備	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	選択弁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	制御盤	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	消火配管	C	クラス3管	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せで許容応力を適用する。

表5-2 火災感知器の許容限界

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

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

\*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5-3 火災受信機盤の許容限界

許容応力状態	許容限界* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張 <sup>(注3)</sup>	せん断 <sup>(注3)</sup>
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

\*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5-4 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (部材)	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (基礎ボルト)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

\*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5-5 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (基礎ボルト)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

\*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5-6 選択弁の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (部材)	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (溶接部)
	一次応力	一次応力
	組合せ	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s$

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

\*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5-7 制御盤の許容限界

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

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

\*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5-8 消火配管の許容限界

許容応力状態	許容限界		
	一時応力 (曲げ応力含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IV <sub>A</sub> S	$0.9 \cdot S_u$	S <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析*を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は行わない。	

注記\*： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし，S<sub>m</sub>は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。



### 5.3 設計用地震力

地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく地震力又はそれを上回る地震力を設定する。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 火災感知器の計算方法

#### 5.4.1.1 煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①

基礎ボルトの応力は，地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-1に示す。

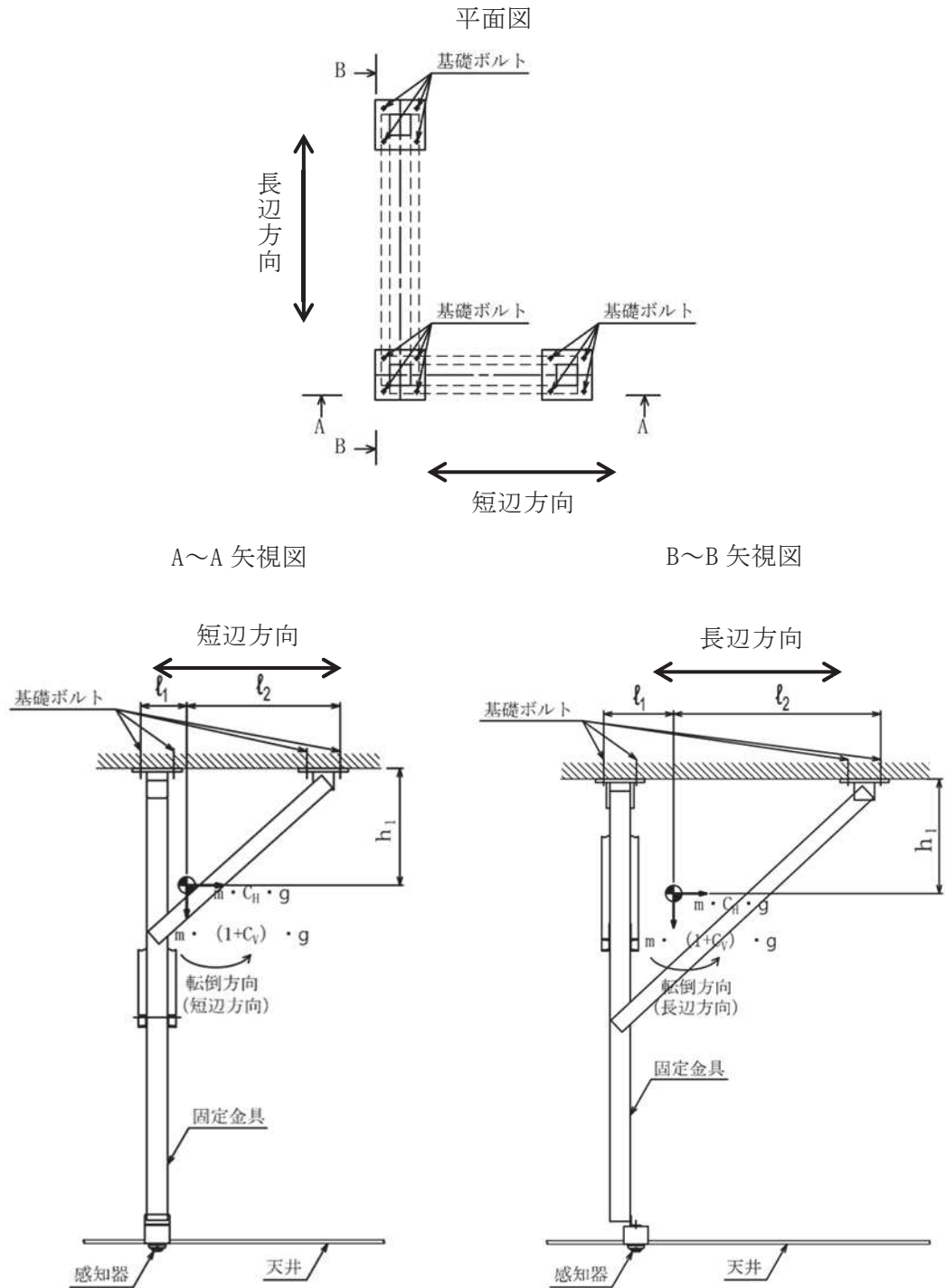


図 5-1 煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-1 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot h_1 \cdot g + (1 + C_V) \cdot m \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②

基礎ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-2に示す。

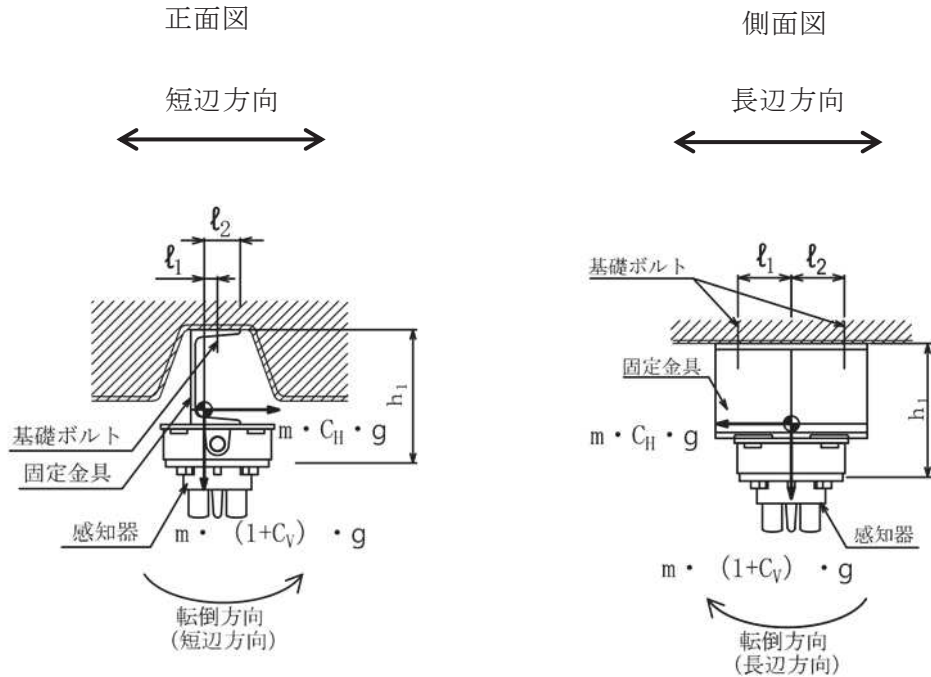


図 5-2 防爆型熱感知器，防爆型煙感知器②の計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-2で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m \cdot h_1 \cdot g + (1 + C_V) \cdot m \cdot l_2 \cdot g}{n_f \cdot (l_2 - l_1)} \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

$$F_{b2} = \frac{C_H \cdot m \cdot h_1 \cdot g + (1 + C_V) \cdot m \cdot l_2 \cdot g}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

$$F_b = \text{Max} ( F_{b1}, F_{b2} ) \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

### 5.4.1.3 防湿型煙感知器

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-3に示す。

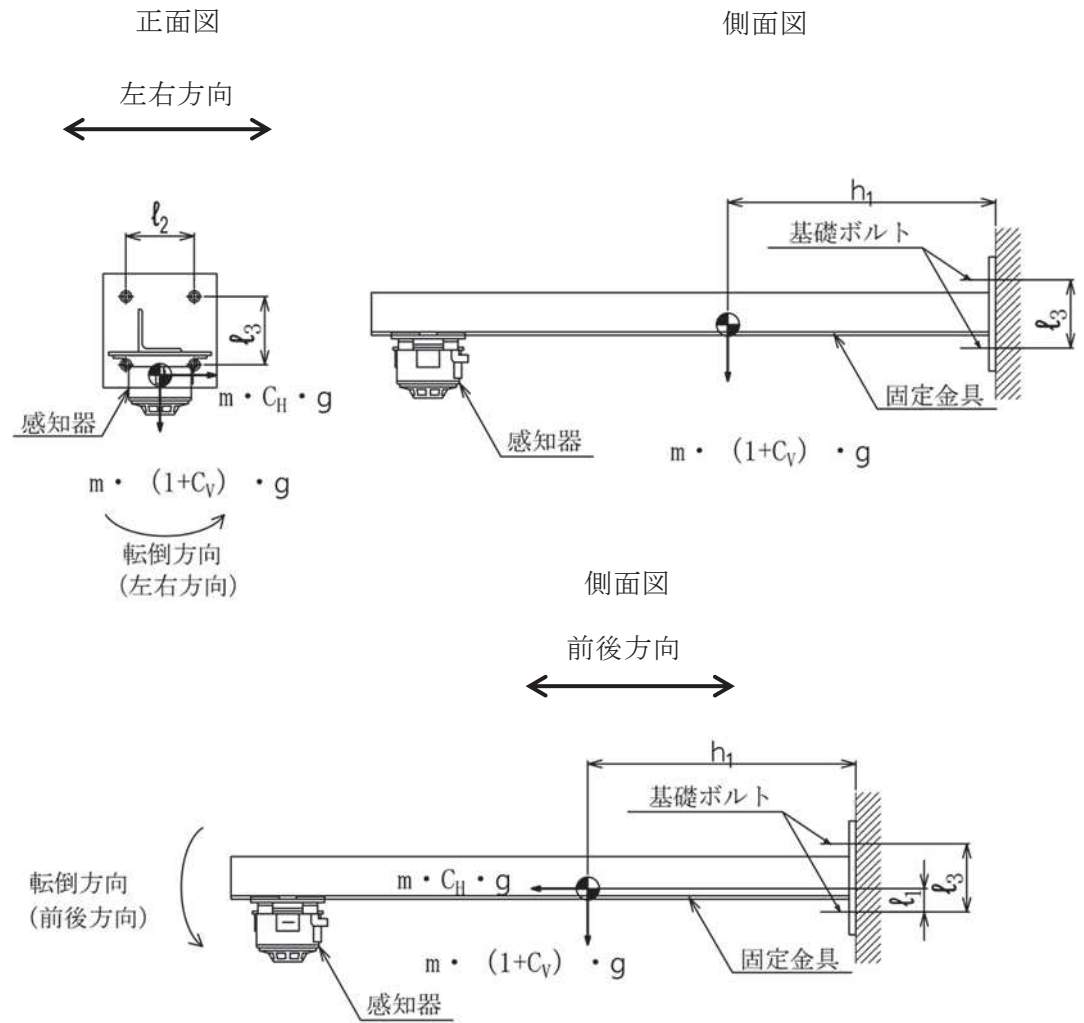


図 5-3 防湿型煙感知器の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-3 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m \cdot h_1 \cdot g}{n_f \cdot \ell_2} + \frac{(1+C_V) \cdot m \cdot h_1 \cdot g}{n_f \cdot \ell_3} \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

$$F_{b2} = \frac{C_H \cdot m \cdot \ell_1 \cdot g + (1+C_V) \cdot m \cdot h_1 \cdot g}{n_f \cdot \ell_3} \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.3.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.3.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.3.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.3.9)$$

5.4.1.4 炎感知器

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-4に示す。

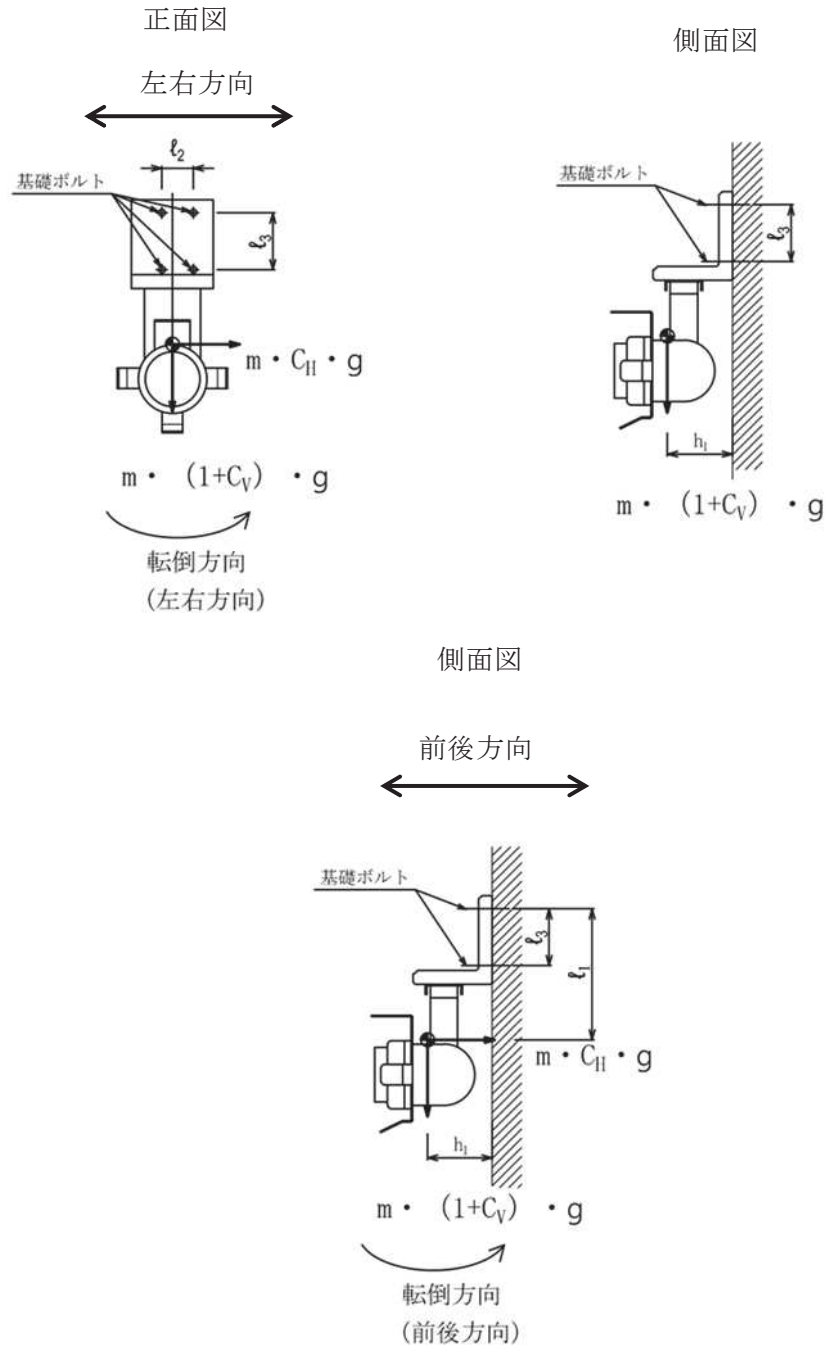


図 5-4 炎感知器の計算モデル



(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-4 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m \cdot h_1 \cdot g}{n_f \cdot \ell_2} + \frac{(1+C_V) \cdot m \cdot h_1 \cdot g}{n_f \cdot \ell_3} \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

$$F_{b2} = \frac{C_H \cdot m \cdot \ell_1 \cdot g + (1+C_V) \cdot m \cdot h_1 \cdot g}{n_f \cdot \ell_3} \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_H) \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.4.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.4.9)$$

5.4.1.5 屋外仕様炎感知器及び熱感知カメラ

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じるせん断力について計算する。計算モデルを図5-5及び図5-6に示す。

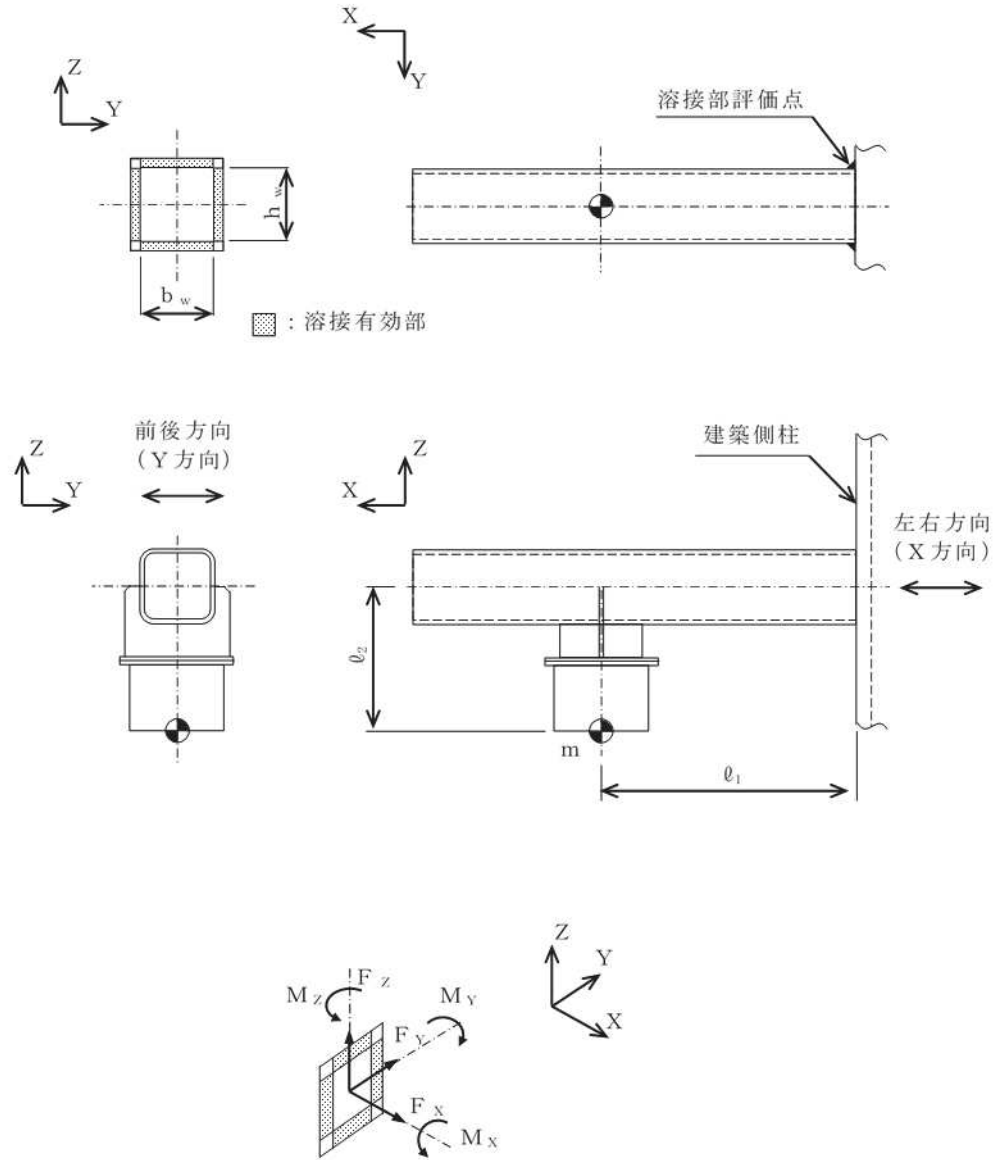


図5-5 屋外仕様炎感知器 計算モデル

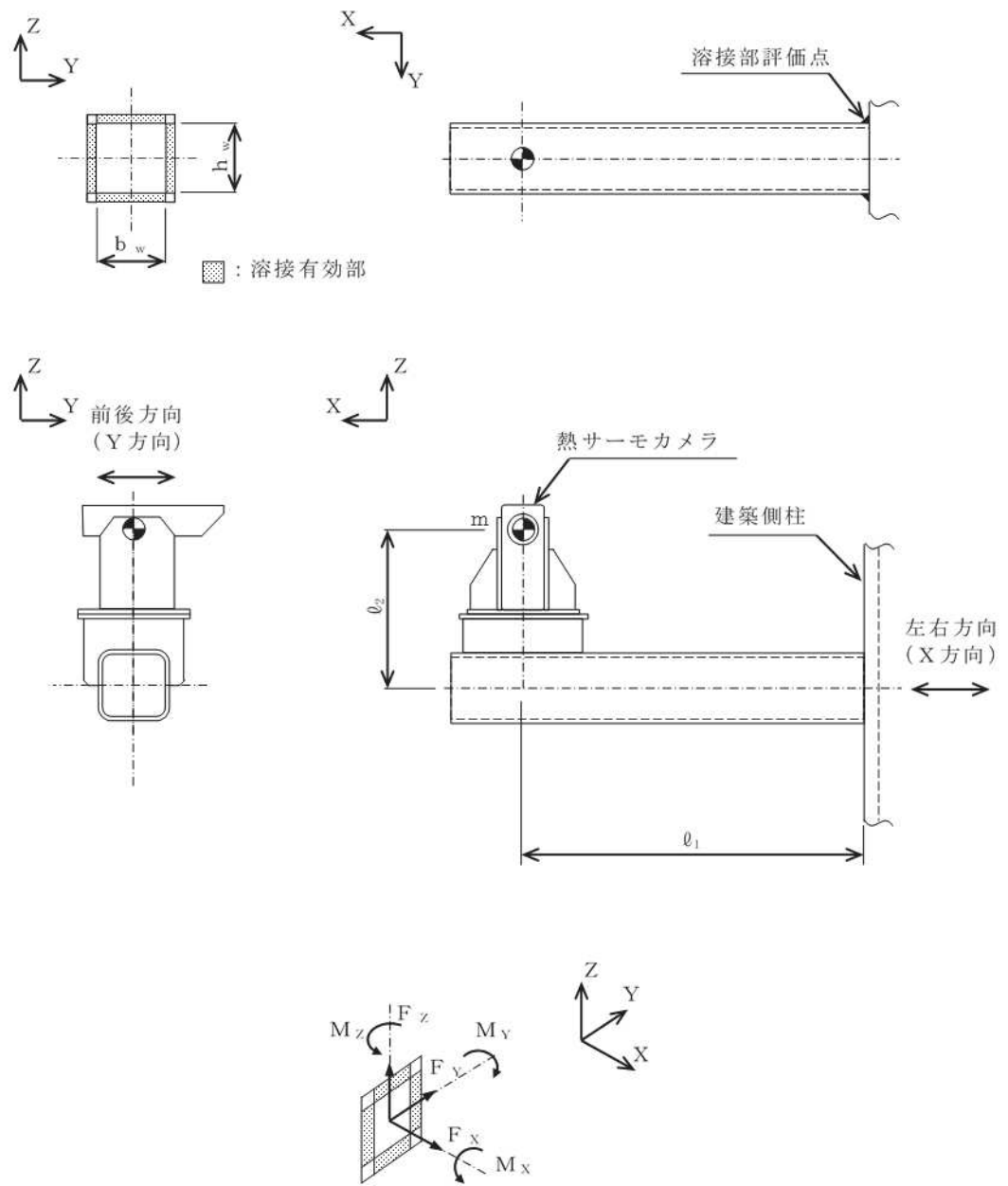


図5-6 熱感知カメラ 計算モデル

(1) せん断応力

a. 軸力により生じるせん断応力

(a) 左右方向 (X方向) 地震時

$$\sigma_t = \frac{m \cdot C_H \cdot g}{A_w} \dots \dots \dots (5.4.1.5.1)$$

ここで、 $A_w$ は次式により求める。

$$A_w = 2a \cdot (b_w + h_w) \dots \dots \dots (5.4.1.5.2)$$

ただし、 $b_w$ 、 $h_w$ は各溶接部における溶接長さを示し、溶接部の有効のど厚  $a$  は、次式により求める。

$$a = 0.7S \dots \dots \dots (5.4.1.5.3)$$

なお、前後方向 (Y方向) 地震時は部材に軸力が発生しないため考慮しない。

b. せん断力により生じるせん断応力

部材に発生するせん断力により生じるせん断応力は、各方向の有効せん断断面積で受けるものとして計算する。

(a) 左右方向 (X方向) 地震時

$$\tau_z = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot g}{A_{swz}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.4)$$

ここで、 $A_{swz}$ は次式により求める。

$$A_{swz} = 2 \cdot a \cdot h_w \dots \dots \dots (5.4.1.5.5)$$

(b) 前後方向 (Y方向) 地震時

$$\tau_y = \frac{m \cdot C_H \cdot g}{A_{swy}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.6)$$

ここで、 $A_{swy}$ は次式により求める。

$$A_{swy} = 2 \cdot a \cdot b_w \dots \dots \dots (5.4.1.5.7)$$

なお、 $1 + C_V < C_H$ より、前後方向 (Y方向) 地震時でのZ方向のせん断力は、Y方向のせん断力に比べて小さいので、Z方向のせん断力を考慮しない。

c. 曲げモーメントにより生じるせん断応力

部材に発生するY軸、Z軸まわりの曲げモーメントにより生じるせん断応力は、次式により求める。

(a) 左右方向 (X方向) 地震時

$$\sigma_{by1} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot \ell_2 + m \cdot (1 + C_V) \cdot g \cdot \ell_1}{Z_{wy}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.8)$$

(b) 前後方向 (Y方向) 地震時

$$\sigma_{bY2} = \frac{m \cdot (1 + C_v) \cdot g \cdot \ell_1}{Z_{wY}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.9)$$

$$\sigma_{bZ2} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot \ell_1}{Z_{wZ}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.10)$$

d. 組合せせん断応力

組合せせん断応力は、次式により求める。

(a) 左右方向 (X方向) 地震時

$$\sigma_1 = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_{bY1})^2 + \tau_z^2} \dots \dots \dots (5.4.1.5.11)$$

(b) 前後方向 (Y方向) 地震時

$$\sigma_2 = \sqrt{(\sigma_{bY2} + \sigma_{bZ2})^2 + \tau_y^2} \dots \dots \dots (5.4.1.5.12)$$

従って、最大せん断応力は次式により求める。

$$\sigma = \text{Max}(\sigma_1, \sigma_2) \dots \dots \dots (5.4.1.5.13)$$

#### 5.4.2 火災受信機盤の計算方法

火災受信機盤の計算方法は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

なお、火災受信機盤は火災受信機盤①、火災受信機盤②及び火災受信機盤③の3面で構成されており、基礎ボルトの評価においてはチャンネルベースの構造上、基礎ボルトには3面全ての荷重が作用することから、評価上は3面を1面の盤として仮定して基礎ボルトの構造強度評価を実施する。

### 5.4.3 ガスボンベ設備の計算方法

#### 5.4.3.1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）

ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）については、3次元FEMモデルによる固有値解析結果から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また、「2.2 評価対象設備」の表2-3に示すとおり、ボンベをラックに固定し、ラックを基礎ボルトにより据え付けるため、ラック及び基礎ボルト、それぞれに対し構造強度評価を実施する。

#### (1) ボンベラックの構造強度評価

##### a. ボンベラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めたボンベラック部材の引張応力、曲げ応力及びせん断応力を用いて、以下の式によりボンベラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_a = \frac{F_x}{A} \dots \dots \dots (5.4.3.1.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} \dots \dots \dots (5.4.3.1.2)$$

せん断応力

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_{s_y}} \dots \dots \dots (5.4.3.1.3)$$

$$\tau_z = \frac{F_z}{A_{s_z}} \dots \dots \dots (5.4.3.1.4)$$

$$\tau = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2} \dots \dots \dots (5.4.3.1.5)$$

ねじり応力

$$\tau_t = \frac{M_x}{Z_x} \dots \dots \dots (5.4.3.1.6)$$

ボンベラックの組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3(\tau + \tau_t)^2} \dots \dots \dots (5.4.3.1.7)$$

(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b} \cdot \dots \dots \dots (5.4.3.1.8)$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \cdot \dots \dots \dots (5.4.3.1.9)$$



5.4.3.2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）

ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）については、「2.2 評価対象設備」の表2-4に示すとおり、基礎ボルトにより据え付けるため、基礎ボルトに対し構造強度評価を実施する。

また、基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

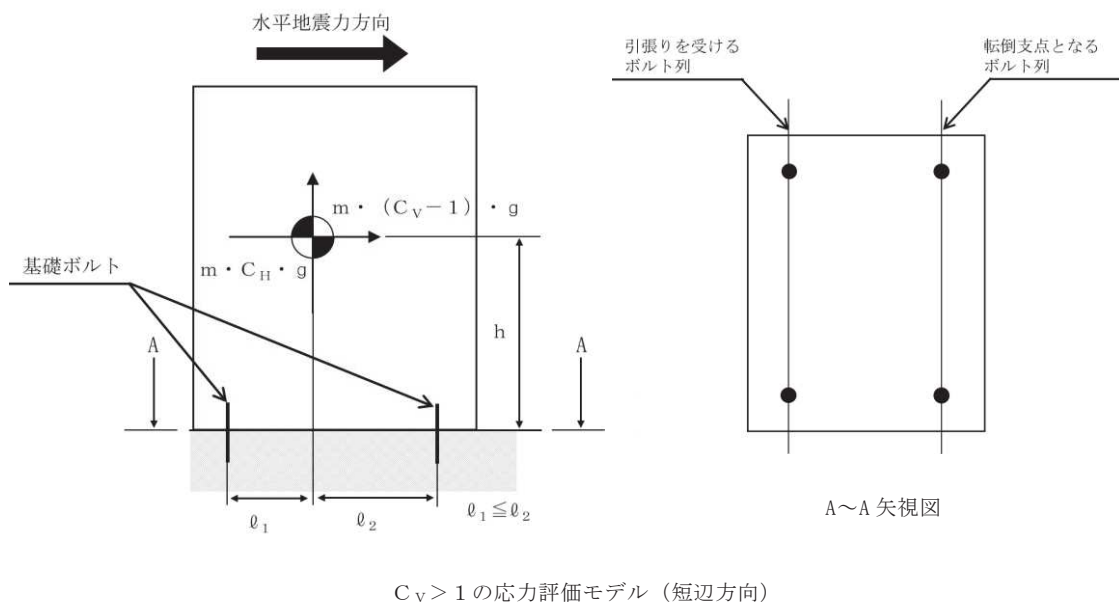


図 5-7 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備） 計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに発生する引張応力は、片側のボルトを支点とし、この支点から最も離れた位置にあるボルトで受けるものとして以下の式を用いて計算する。

引張力 (ただし  $C_V > 1$ )

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots \dots \dots (5.4.3.2.1)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots \dots \dots (5.4.3.2.2)$$

$$F_b = \text{M a x} (F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots (5.4.3.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.3.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.3.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.4.3.2.6)$$

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.3.2.7)$$

#### 5.4.4 選択弁の計算方法

選択弁については、3次元FEMモデルによる固有値解析結果から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。また、「2.2 評価対象設備」の表2-4に示すとおり、選択弁を弁ラックに固定し、弁ラックを埋込金物により据え付けるため、ラック及び埋込金物、それぞれに対し構造強度評価を実施する。

##### (1) 弁ラックの構造強度評価

弁ラックの軸応力、曲げ応力及びせん断応力を用いて、以下の式によりラックの組合せ応力を算出する。

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau_s^2 \dots \dots \dots} \quad (5.4.4.1)$$

##### (2) 溶接部の強度評価

固定端反力の応力を合成し溶接部のせん断力を算出する。

$$\sigma_{sa} = \sqrt{\sigma_{st}^2 + \tau_{ss}^2 \dots \dots \dots} \quad (5.4.4.2)$$

#### 5.4.5 制御盤の計算方法

制御盤の計算方法は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

#### 5.4.6 消火配管の計算方法

消火配管の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。(ケーブルトレイ消火設備の消火配管については、消火配管の自在性を活かした設置方法であり、解析による評価が困難であるため加振試験により耐震評価を行う。)

## 6. 機能維持評価

火災感知設備及び消火設備は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能及び電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

### 6.1 火災感知器

火災感知器は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

### 6.2 火災受信機盤

火災受信機盤は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

### 6.3 ガスボンベ設備

ガスボンベ設備のうち容器弁は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

#### 6.4 選択弁

選択弁は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

#### 6.5 制御盤

制御盤は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

VI-2-別添 1-2 火災感知器の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	11
3.1 解析方法	11
3.2 固有値解析結果	11
3.3 設計用地震力	11
4. 構造強度評価	12
4.1 構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
5. 機能維持評価	16
5.1 電氣的機能維持評価方法	16
6. 評価結果	17

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、火災感知器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に感知する機能を保持することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

火災感知器の構造計画を表2-1に示す。

また、火災感知器における基礎ボルトの構造強度評価モデルの諸元を表2-2から表2-7に示す。

なお、火災感知器は、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件及び炎が生じる前に発煙する等の予想される火災の性質を考慮して選定された種類の火災感知器を発電所全体にわたって広範囲に設置する。



表2-1 構造計画 (1/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱感知器</li> <li>・煙感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul>	<p>各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱感知器</li> <li>・煙感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul> <p>(天井取付形)</p>	<p>平面図</p> <p>A~A 矢視図</p> <p>B~B 矢視図 (単位: mm)</p>

表2-1 構造計画 (2/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器②</li> </ul>	<p>各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器②</li> </ul> <p>(天井取付形)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図 (単位：mm)</p>
防湿型煙感知器	<p>火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<p>防湿型煙感知器</p> <p>(壁掛型)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図 (単位：mm)</p>

表2-1 構造計画 (3/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
炎感知器	<p>火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<p>炎感知器 (壁掛型)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位 : mm)</p>

表2-1 構造計画 (4/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
屋外仕様 炎感知器	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋壁の躯体に据え付ける。	屋外仕様 炎感知器  (壁掛型)	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>
熱感知カメラ	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋壁の躯体に据え付ける。	熱感知カメラ  (壁掛型)	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

表2-2 煙感知器, 熱感知器, 防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の  
構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	$A_b$	$\text{mm}^2$	
ボルトの呼び径	$d$	$\text{mm}$	
重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
取付面から重心までの距離	$h_1$	$\text{mm}$	
重心とボルト間の水平方向距離	$\ell_1$	$\text{mm}$	
重心とボルト間の水平方向距離 ( $\ell_1 \leq \ell_2$ )	$\ell_2$	$\text{mm}$	
機器の質量	$m$	$\text{kg}$	
ボルトの本数	$n$	—	12
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_f$	—	2

表2-3 防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	$A_b$	$\text{mm}^2$	
ボルトの呼び径	$d$	$\text{mm}$	
重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
取付面から重心までの距離	$h_1$	$\text{mm}$	
重心とボルト間の水平方向距離	$\ell_1$	$\text{mm}$	
重心とボルト間の水平方向距離 ( $\ell_1 \leq \ell_2$ )	$\ell_2$	$\text{mm}$	
機器の質量	$m$	$\text{kg}$	
ボルトの本数	$n$	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_f$	—	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-4 防湿型煙感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	$A_b$	$\text{mm}^2$	
ボルトの呼び径	$d$	$\text{mm}$	
重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
取付面から重心までの距離	$h_1$	$\text{mm}$	
重心と転倒支点間の鉛直方向距離	$l_1$	$\text{mm}$	
左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	$l_2$	$\text{mm}$	
上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	$l_3$	$\text{mm}$	
機器の質量	$m$	$\text{kg}$	
ボルトの本数	$n$	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向)	$n_{fH}$	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向)	$n_{fV}$	—	2

表2-5 炎感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	$A_b$	$\text{mm}^2$	
ボルトの呼び径	$d$	$\text{mm}$	
重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
取付面から重心までの距離	$h_1$	$\text{mm}$	
重心と転倒支点間の鉛直方向距離	$l_1$	$\text{mm}$	
左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	$l_2$	$\text{mm}$	
上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	$l_3$	$\text{mm}$	
機器の質量	$m$	$\text{kg}$	
ボルトの本数	$n$	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向)	$n_{fH}$	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向)	$n_{fV}$	—	2

表2-6 屋外仕様炎感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
機器の質量	m	kg	
重力加速度	g	m/s <sup>2</sup>	9.80665
取付面から重心までの距離	$l_1$	mm	
取付部材芯から重心までの距離	$l_2$	mm	
溶接脚長	S	mm	
溶接部の有効のど厚	a	mm	
溶接の有効長さ (Y方向)	$b_w$	mm	
溶接の有効長さ (Z方向)	$h_w$	mm	
溶接部の有効断面積	$A_w$	mm <sup>2</sup>	
左右方向 (Y方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swY}$	mm <sup>2</sup>	
鉛直方向 (Z方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swZ}$	mm <sup>2</sup>	
溶接断面積における左右方向 (Y方向) 軸まわりの断面係数	$Z_{wY}$	mm <sup>3</sup>	
溶接断面積における鉛直方向 (Z方向) 軸まわりの断面係数	$Z_{wZ}$	mm <sup>3</sup>	

O 2 ③ VI-2-別添 1-2 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



表2-7 熱感知カメラの構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
機器の質量	m	kg	
重力加速度	g	m/s <sup>2</sup>	9.80665
取付面から重心までの距離	$l_1$	mm	
取付部材芯から重心までの距離	$l_2$	mm	
溶接脚長	S	mm	
溶接部の有効のど厚	a	mm	
溶接の有効長さ (Y方向)	$b_w$	mm	
溶接の有効長さ (Z方向)	$h_w$	mm	
溶接部の有効断面積	$A_w$	mm <sup>2</sup>	
左右方向 (Y方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swY}$	mm <sup>2</sup>	
鉛直方向 (Z方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swZ}$	mm <sup>2</sup>	
溶接断面積における左右方向 (Y方向) 軸まわりの断面係数	$Z_{wY}$	mm <sup>3</sup>	
溶接断面積における鉛直方向 (Z方向) 軸まわりの断面係数	$Z_{wZ}$	mm <sup>3</sup>	

O 2 ③ VI-2-別添 1-2 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 固有周期

#### 3.1 解析方法

火災感知器の固有周期は、添付書類「別添1-1 4. 固有周期」に示す算出方法に基づき、正弦波掃引試験により算出する。

#### 3.2 固有値解析結果

火災感知器の固有値解析結果を表3-1に示す。

表3-1により、火災感知器の固有周期は、0.05 s 以下であり剛であることを確認した。

表3-1 固有値解析結果 (単位：s)

機器名称		方向	固有周期
火災感知器	熱感知器 煙感知器	水平	0.050以下
	防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	鉛直	0.050以下
	防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	防湿型煙感知器	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	炎感知器	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	屋外仕様炎感知器	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	熱感知カメラ	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下

#### 3.3 設計用地震力

火災感知器の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「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。

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

火災感知器は、添付書類「別添1-1 5. 構造強度評価」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1 5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、火災感知器の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

###### 4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

火災感知器の基礎ボルト及び溶接部における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

火災感知器における基礎ボルト及び溶接部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（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
その他発電 用原子炉の 附属施設	火災防護設備	熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	C	— *	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
		防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	C	— *	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
		防湿型煙感知器	C	— *	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
		炎感知器	C	— *	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
		屋外仕様炎感知器	C	— *	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
		熱感知カメラ	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 許容応力（その他の支持構造物）

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

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4-3 許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_U$ (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	40 (周囲環境温度)	215	400	—	258
溶接部	STKR400	40 (周囲環境温度)	245	400	245	—

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

火災感知器は、添付書類「別添 1-1 6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において電氣的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 6. 評価結果

火災感知器の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、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及び電氣的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。



【火災感知器の耐震性についての計算結果】

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	設置場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		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	
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	C	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	0.050以下*3	0.050以下*3	7.28	2.09	40
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	C	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	0.050以下*3	0.050以下*3	7.28	2.09	40
防湿型煙感知器	C	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	0.050以下*3	0.050以下*3	7.28	2.09	40
炎感知器	C	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	0.050以下*3	0.050以下*3	7.28	2.09	40
屋外仕様炎感知器	C	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	0.050以下*3	0.050以下*3	3.32	0.99	40
熱感知カメラ	C	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	0.050以下*3	0.050以下*3	3.32	0.99	40

注記 \*1：最も設計震度が大きい階の設備評価用床応答曲線を用いる。

\*2：建屋壁に固定しているため、設置フロア上階の設備評価用床応答曲線を用いる。

\*3：固有値解析により 0.050 秒以下であり、剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルトの機器要目

機器名称	部材	m (kg)	$h_1$ (mm)	$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	$l_3$ (mm)	d (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	n	$n_f$
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	基礎ボルト								12	2
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト								2	2
防湿型煙感知器	基礎ボルト								4	2
炎感知器	基礎ボルト								4	2

部材	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
基礎ボルト	215	400	258

1.2.2 溶接部の機器要目

機器名称	部材	m (mm)	$\ell_1$ (mm)	$\ell_2$ (mm)	S (mm)	a (mm)	$b_w$ (mm)	$h_w$ (mm)	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )
屋外仕様炎感知器	溶接部								
熱感知カメラ	溶接部								

機器名称	部材	$A_{swY}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{swZ}$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_{wY}$ (mm <sup>3</sup> )	$A_{wZ}$ (mm <sup>3</sup> )
屋外仕様炎感知器	溶接部				
熱感知カメラ	溶接部				

部材	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)
溶接部	245	400	245

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(単位：N)

機器名称	部材	$F_b$	$Q_b$
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	基礎ボルト		
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト		
防湿型煙感知器	基礎ボルト		
炎感知器	基礎ボルト		

(2) 溶接部に作用する応力

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

機器名称	部材	$\sigma_1$	$\sigma_2$
屋外仕様炎感知器	溶接部	9	12
熱感知カメラ	溶接部	11	15

1.4 構造強度評価結果

1.4.1 構造強度評価結果

(単位 : MPa)

機器名称	部材	材料	応力分類	発生応力	許容応力
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 29$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 148$
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 8$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 148$
防湿型煙感知器	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 25$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 148$
炎感知器	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 148$
屋外仕様炎感知器	溶接部	STKR400	せん断	$\sigma = 12$	$f_s = 141$
熱感知カメラ	溶接部	STKR400	せん断	$\sigma = 15$	$f_s = 141$

注記 \* :  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$  より採用

発生応力はすべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

機器名称	据え付け場所及び 床面高さ (m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度	機能確認済加速度
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	10.00	1.74	5.00
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	10.00	1.74	5.00
防湿型煙感知器	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	11.00	1.74	6.00
炎感知器	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	9.00	1.74	5.00
屋外仕様感知器	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	2.77	7.74	0.82	2.55
熱感知カメラ	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	2.77	10.21	0.82	8.60

注記 \*1：最も設計震度が大きい階の設備評価用床応答曲線を用いる。

\*2：建屋壁に固定しているため、設置フロア上階の設備評価用床応答曲線を用いる。

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-別添 1-3 火災受信機盤の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 解析方法	3
3.2 固有値解析結果	3
3.3 設計用地震力	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7



## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、火災受信機盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に感知する機能を保持することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

火災受信機盤の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤	火災受信機盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに取り付け、チャンネルベースを基礎ボルトにより、建屋躯体に固定する。	火災受信機盤 (垂直自立型)	<p>平面図</p> <p>A～A 矢視図</p> <p>B～B 矢視図</p> <p>(単位：mm)</p>

### 3. 固有周期

#### 3.1 解析方法

火災受信機盤の固有周期は、添付書類「別添1-1 4.固有周期」に示す算出方法に基づき、正弦波掃引試験により算出する。

#### 3.2 固有値解析結果

固有値解析結果を表3-1に示す。試験の結果、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3-1 固有値解析結果 (単位：s)

方向	固有周期
水平	0.050以下
鉛直	0.050以下

#### 3.3 設計用地震力

火災受信機盤は、構造強度評価計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」の最大応答加速度を用いる。

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

添付書類「別添1-1 5.2 構造強度評価」に示す評価方針に従い，構造強度評価を実施する。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「別添1-1 3.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は，火災受信機盤の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

###### 4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

基礎ボルト及び取付ボルトにおける許容応力は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，表4-2に示す。

また，基礎ボルト及び取付ボルト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 (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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	火災受信機盤	C	-*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_{AS}$

注記\* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 (ボルト等) *1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_{AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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4-3 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)	$S_{y_i}$ (MPa)	$S_{U_i}$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)
基礎ボルト ( $i = 1$ )	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	40 (周囲環境温度)	215	400	258
取付ボルト ( $i = 2$ )	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	40 (周囲環境温度)	235	400	280

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

火災受信機盤は、添付書類「別添 1-1 5.3 機能維持評価」に示す評価方法に従い、機能維持評価を実施する。

機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 6. 評価結果

火災受信機盤の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、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及び電気的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災受信機盤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	設置場所及び床面高さ(m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は設計震度		基準地震動 S <sub>s</sub> <sup>*2</sup>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	水平方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
火災受信機盤	C	制御建屋 (O.P. 22.95 <sup>*1</sup> )	0.050以下	0.050以下	—	—	C <sub>H1</sub> =2.78	C <sub>V1</sub> =2.00	40
							C <sub>H2</sub> =2.89 <sup>*3</sup>	C <sub>V2</sub> =2.03 <sup>*3</sup>	

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：上段は基礎ボルトの設計震度を示し，下段は取付ボルトの設計震度を示す。

\*3：上下階の震度を用いた線形補完後の設計震度を示す。



1.2 機器要目

部材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$\ell_{1i}^*$ (mm)	$\ell_{2i}^*$ (mm)	$d_i$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{fi}^*$
基礎ボルト ( $i=1$ )			150	1070	16 (M16)	201.1	84	14
			87	3009				6
取付ボルト ( $i=2$ )			0	920	16 (M16)	201.1	12	4
			0	920				4

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)	転倒方向	
				弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト ( $i=1$ )	215 (40mm < 径 ≤ 100 mm)	400	258	—	長辺方向
取付ボルト ( $i=2$ )	235 (16mm < 径 ≤ 40 mm)	400	280	—	長辺方向

注記\* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	—	2.010×10 <sup>4</sup>	—	9.217×10 <sup>4</sup>
取付ボルト (i=2)	—	1.682×10 <sup>4</sup>	—	2.355×10 <sup>4</sup>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	σ <sub>b1</sub> =100	f <sub>ts1</sub> =193*
		せん断	—	—	τ <sub>b1</sub> =6	f <sub>tb1</sub> =148
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	σ <sub>b2</sub> =84	f <sub>ts1</sub> =210*
		せん断	—	—	τ <sub>b2</sub> =10	f <sub>tb2</sub> =161

すべて許容応力以下である。

注記\* : f<sub>ts</sub>=Min[1.4・f<sub>to</sub>-1.6・τ<sub>bi</sub>, f<sub>toi</sub>]より算定

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

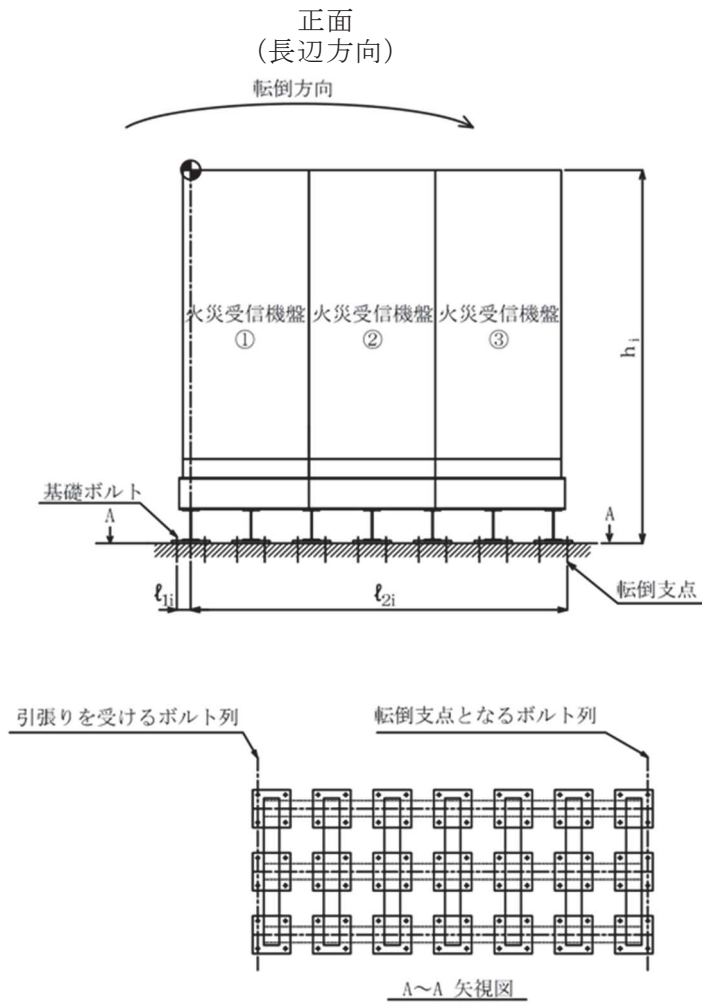
(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能維持確認済加速度
火災受信機盤	水平方向	2.41	5.00
	鉛直方向	1.70	3.00

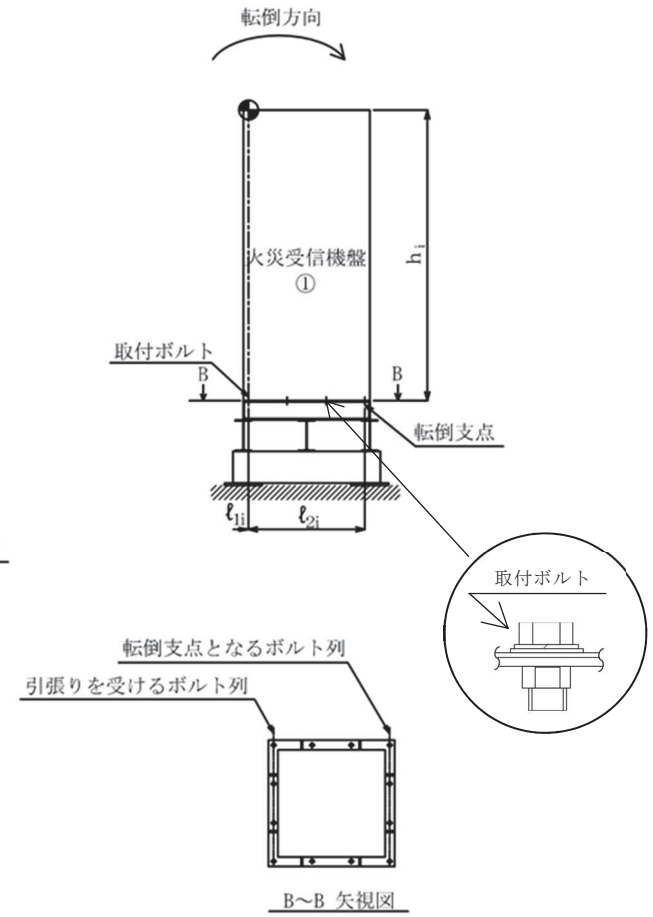
注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

基礎ボルト (  $i = 1$  )



取付ボルト (  $i = 2$  )



VI-2-別添 1-4 ガスボンベ設備の耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	4
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	10
3.5 設計用地震力	13
4. 機能維持評価	14
4.1 動的機能維持評価方法	14
5. 評価結果	15

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、ガスボンベ設備が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を保持することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ガスボンベ設備の構造計画を表2-1、表2-2に、ガスボンベ設備及び容器弁の外観図を図2-1、図2-2に示す。

また、ガスボンベ設備は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、爆発等の二次的影響を受けず、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないように設置する。

表2-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。 ガスボンベはボンベラックに固定し，基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	ガスボンベ及び 容器弁 （直立型）	図 2-1



図2-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）外観図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



表2-2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。                      ガスボンベはボンベラックに固定し，基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。</p>	<p>ガスボンベ及び                      容器弁                      （直立型）</p>	<p>図 2-2</p>

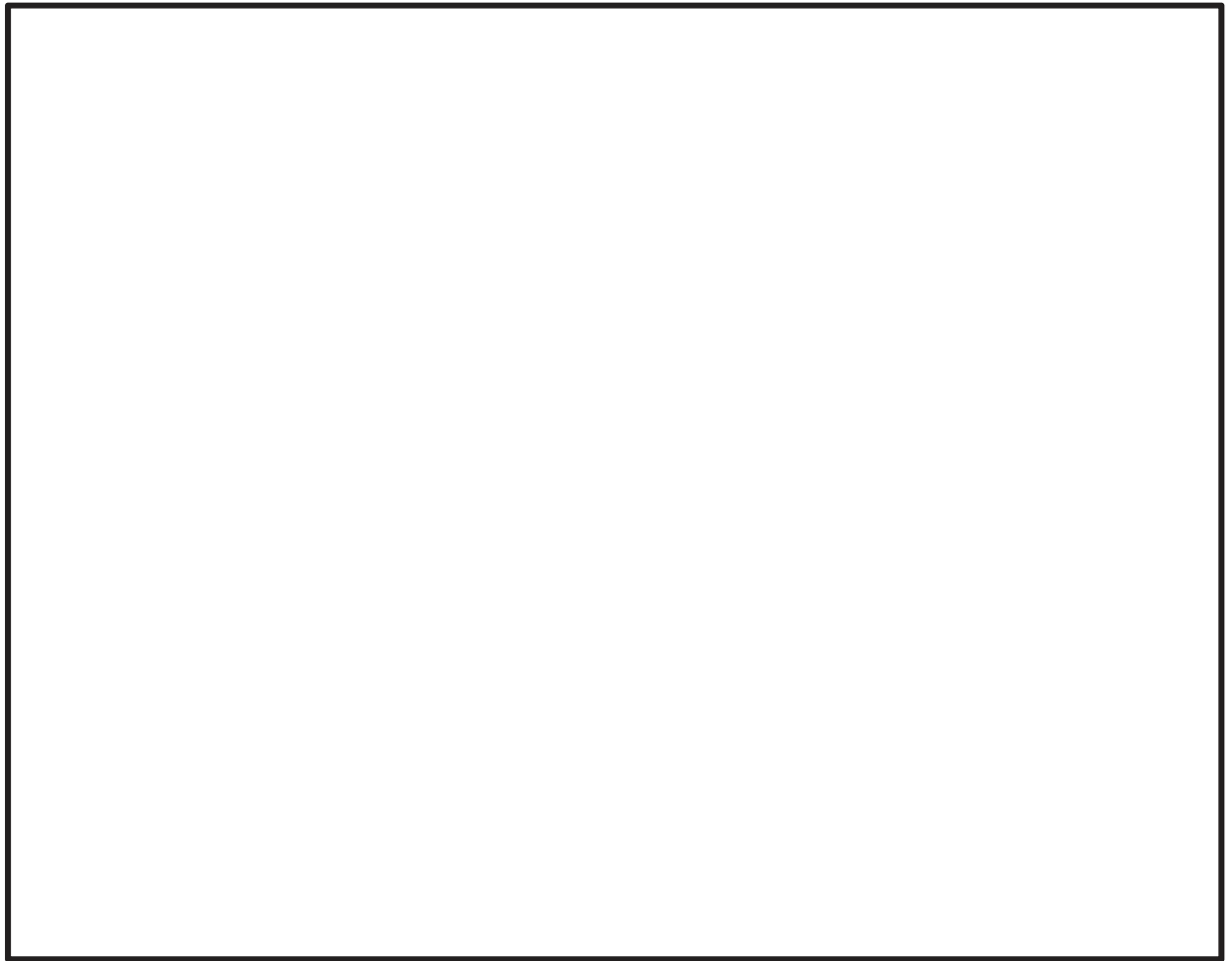


図2-2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）外観図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 固有値解析及び構造強度評価

ガスボンベ設備の固有周期及び構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「4. 固有周期」及び「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に基づき、3次元FEMモデルによる解析及び正弦波掃引試験により固有周期及び構造強度を評価する。

#### 3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

##### 3.1.1 固有値解析方法

###### (1) ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）

###### ① ボンベラックの解析方法

対象部位であるボンベラックについて、3次元FEMモデルによる解析を実施する。

###### ② 容器弁の解析方法

容器弁は、正弦波掃引試験を実施する。

###### (2) ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）

###### ① ボンベラックの解析方法

対象部位であるボンベラックについて、正弦波掃引試験を実施する。

###### ② 容器弁の解析方法

容器弁は、正弦波掃引試験を実施する。

##### 3.1.2 構造強度評価方法

ガスボンベ設備の構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

#### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、ガスボンベ設備の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表3-1に示す。

#### 3.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

ガスボンベ設備における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-2, 表3-3に示す。また、ガスボンベ設備におけるボンベラック及び基礎ボルトの許容応力評価条件を表3-4, 表3-5に示す。

表3-1 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
その他の発電用原 子炉の附属施設	火災防護設備	ガスボンベ設備	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 3-2 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (部材)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	組合せ	引張り	せん断	
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>		1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>

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3-3 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>

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3-4 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
ボンベラック	STKR400	40 (周囲環境温度)	245	400	280
	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280
	SNB7	40 (周囲環境温度)	725	860	602
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

∞

表3-5 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

### 3.3 解析モデル及び諸元

「3.1.1 固有値解析方法」に示すガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の解析モデルを図3-1に、解析モデルの諸元を表3-6に、ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の外観図を図2-1に示す。なお、解析コードについては、「MSC NASTRAN」を使用し、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、添付書類「VI-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

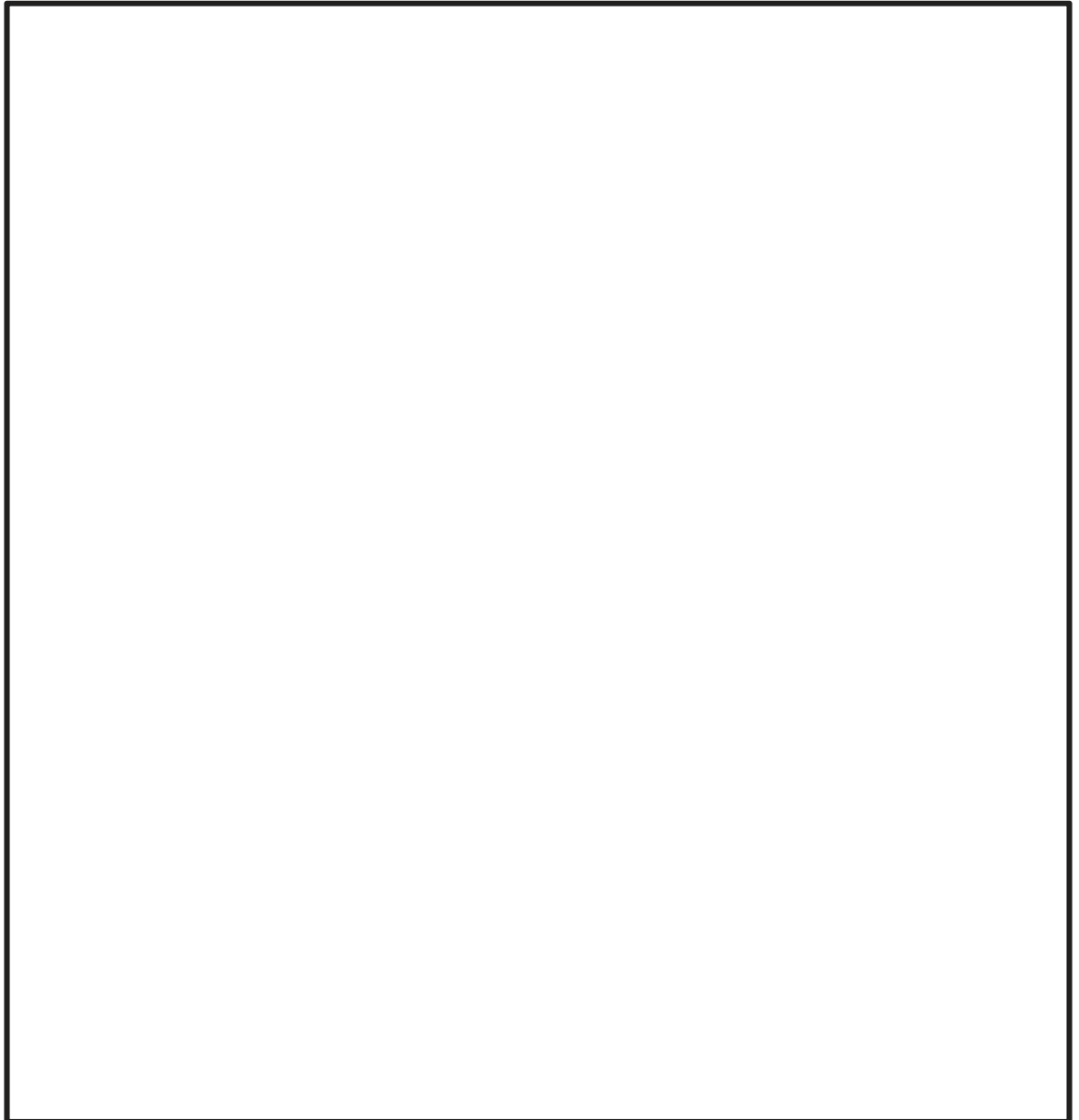


図 3-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6 解析モデルの諸元

	材料	諸元 (数値)	縦弾性 係数 (MPa)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )	
					強軸	弱軸
ボンベ ラック	STKR400		$2.02 \times 10^5$	$1.217 \times 10^3$	$9.860 \times 10^5$	$9.860 \times 10^5$
	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.190 \times 10^3$	$1.880 \times 10^6$	$2.600 \times 10^5$
	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.953 \times 10^3$	$2.184 \times 10^6$	$1.091 \times 10^6$
	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.270 \times 10^3$	$6.440 \times 10^5$	$6.440 \times 10^5$
	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.044 \times 10^3$	$5.787 \times 10^5$	$2.054 \times 10^5$
	SNB7		$2.01 \times 10^5$	150.3	$1.798 \times 10^3$	$1.798 \times 10^3$
基礎ボルト	SS400		—	—	—	—
温度条件 (°C)	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	2095	—	—	—	—
ポアソン比	—	0.3	—	—	—	—

### 3.4 固有周期

ガスボンベ設備の固有値解析結果を「3.4.1 ガスボンベ設備」に、ガスボンベ設備の容器弁の固有値解析結果を「3.4.2 容器弁」に示す。

#### 3.4.1 ガスボンベ設備

ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の固有値解析結果を表3-7に、振動モード図を図3-2に示す。ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の固有値解析結果を表3-8に示す。固有周期は0.050s以下であり剛であることを確認した。

#### 3.4.2 容器弁

容器弁（ハロンガス消火設備）の固有値解析結果を表3-9、容器弁（ケーブルトレイ消火設備）の固有値解析結果を表3-10に示す。固有周期は0.050s以下であり剛であることを確認した。



表3-7 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期 (s)
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	水平	
	鉛直	

表3-8 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の固有周期

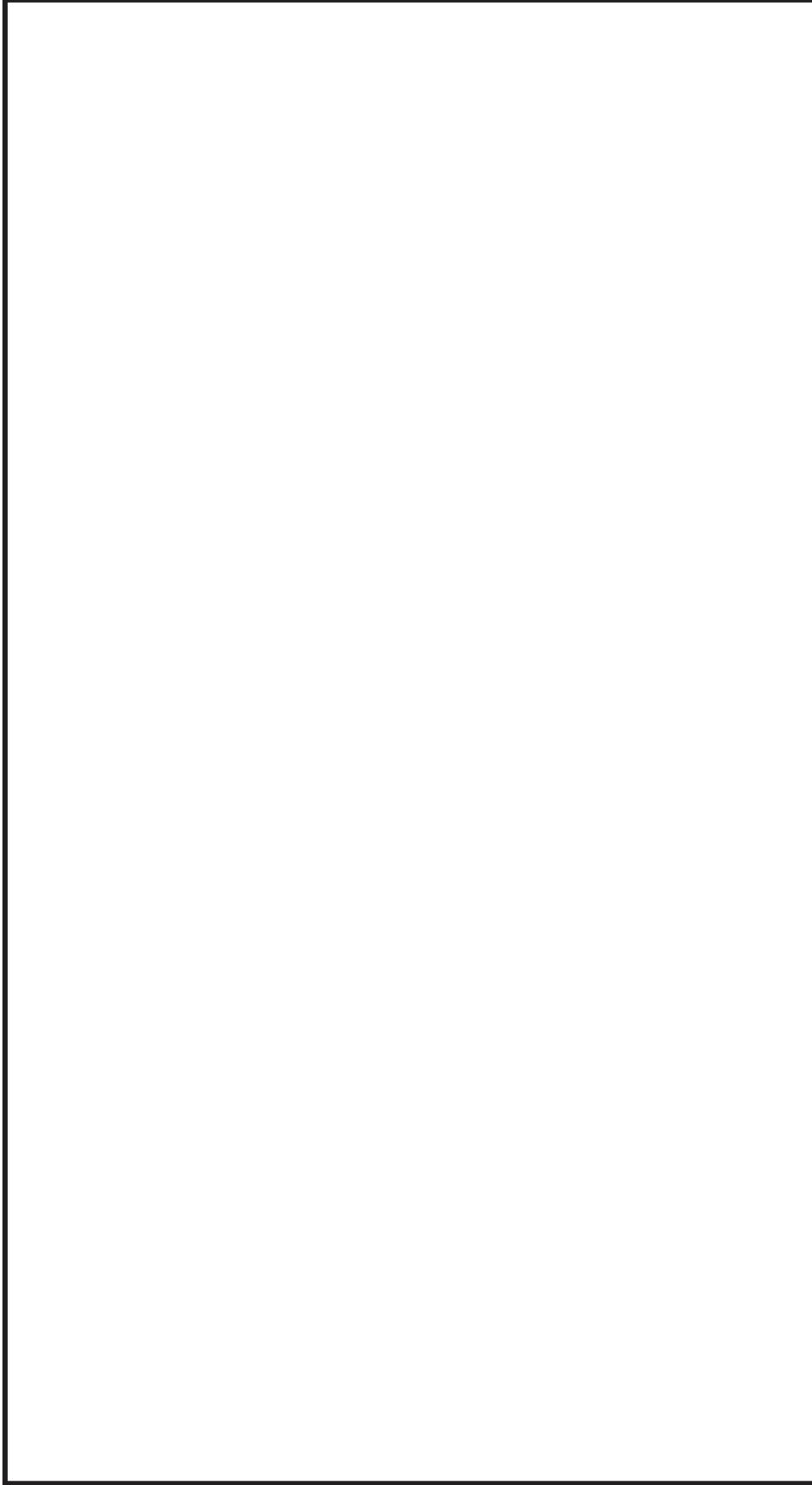
機器名称	方向	固有周期 (s)
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

表3-9 容器弁（ハロンガス消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期 (s)
容器弁 (ハロンガス消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

表3-10 容器弁（ケーブルトレイ消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期 (s)
容器弁 (ケーブルトレイ消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.5 設計用地震力

ガスボンベ設備の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 動的機能維持評価方法

ガスボンベ設備は、添付書類「別添1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 5. 評価結果

ガスボンベ設備の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、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及び動的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）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	設置場所及び床面 高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	C	原子炉建屋 0.P. 22.50*1			2.12	1.56	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

1.2 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	F <sub>b</sub> (N)	Q <sub>b</sub> (N)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト	1.416×10 <sup>4</sup>	1.494×10 <sup>4</sup>	201.1

1.3 結論

1.3.1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

1.3.2 構造強度評価結果 (単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	計算応力	許容応力
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	ボンベラック	STKR400	組合せ応力		$f_t = 280$
	基礎ボルト	SS400	引張応力		$f_{ts} = 210^*$
			せん断応力		$f_{sb} = 161$

注記 \* :  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出  
発生応力はすべて許容応力以下である。

1.3.3 動的機能維持評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		評価用加速度*	機能確認済加速度	評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	原子炉建屋 O.P. 22.50	1.77	10.00	1.30	5.00

注記\* : 基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。  
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）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	設置場所及び床面 高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	C	原子炉建屋 O.P. 23.60* <sup>1</sup>	0.050以下	0.050以下	C <sub>H</sub> =2.65* <sup>2</sup>	C <sub>V</sub> =1.77* <sup>2</sup>	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：建屋中間階に設置されるため、設置床上階の設備評価用床応答曲線を用いる。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ <sub>1</sub> * (mm)	ℓ <sub>2</sub> * (mm)	d (mm)	n	n <sub>f</sub> * (mm)
基礎ボルト							

注記\*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	F <sub>b</sub> (N)	Q <sub>b</sub> (N)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト	4.694 × 10 <sup>3</sup>	5.276 × 10 <sup>3</sup>	201.1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

水平方向	0.050以下
鉛直方向	0.050以下

1.4.2 構造強度評価結果 (単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	計算応力	許容応力
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	基礎ボルト	SS400	引張応力		$f_{ts} = 210^*$
			せん断応力		$f_{sb} = 161$

注記 \* :  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

発生応力はすべて許容応力以下である。

1.4.3 動的機能維持評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

機器名称	据付場所及び 床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		評価用加速度*	機能確認済加速度	評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	原子炉建屋 O.P. 23.60	2.21		1.47	

注記\* : 基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-別添 1-5 選択弁の耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
3.3 解析モデル及び諸元	6
3.4 固有周期	7
3.5 設計用地震力	9
4. 機能維持評価	10
4.1 動的機能維持評価方法	10
5. 評価結果	11

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、選択弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を保持することを確認するものである。

## 2. 一般事項

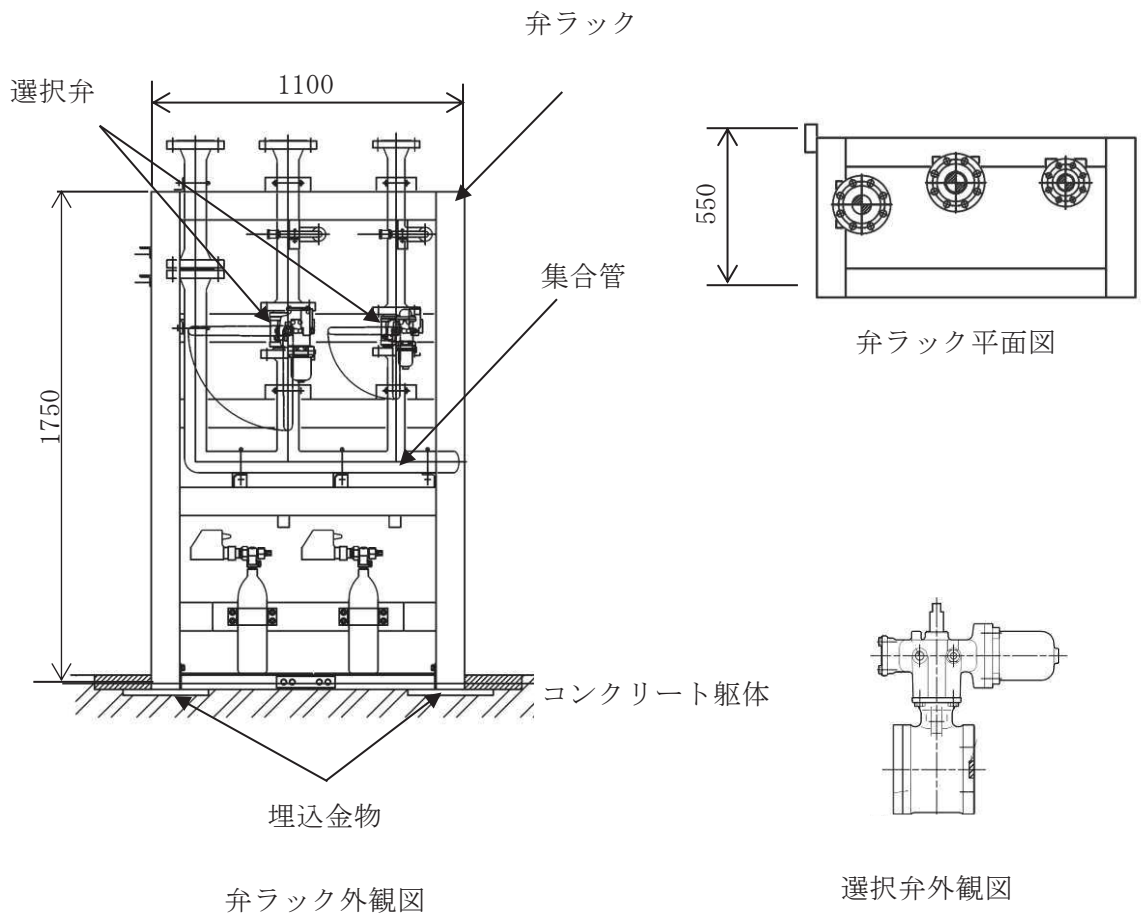
### 2.1 構造計画

弁ラック及び選択弁の構造計画を表2-1に示す。

また、弁ラック及び選択弁は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、爆発等の二次的影響を受けず、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないように設置する。

表2-1 選択弁の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
選択弁は集合管に取り付けて固定する。集合管は弁ラックに固定し、埋込金物により弁ラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	選択弁 集合管 弁ラック	図 2-1



(単位 : mm)

図 2-1 選択弁 概要図

### 3. 固有値解析及び構造強度評価

選択弁の固有周期及び構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「4.固有周期」及び「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に基づき、3次元FEMモデルによる解析及び正弦波掃引試験により固有周期及び構造強度を評価する。

#### 3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

##### 3.1.1 固有値解析方法

###### ① 弁ラックの解析方法

対象部位である弁ラックについて、3次元FEMモデルによる解析を実施する。

###### ② 選択弁の解析方法

選択弁は、正弦波掃引試験を実施する。

##### 3.1.2 構造強度評価方法

弁ラックの構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

#### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、選択弁の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表3-1 に示す。

#### 3.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

選択弁における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-2に示す。また、弁ラック及び溶接部の許容応力評価条件を表3-3に示す。

表3-1 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
その他の発電用原 子炉の附属施設	火災防護設備	選択弁	C	- *1	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_{AS}$

注記 \*1：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3-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（部材） *1, *2	許容限界（溶接部） *1, *2
	一次応力	一次応力
	組合せ	せん断
$IV_{AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s$

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3-3 許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象 部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
弁ラック		40 (周囲環境温度)	245	400	—	280
溶接部		40 (周囲環境温度)	245	400	245	—



### 3.3 解析モデル及び諸元

弁ラックの解析モデルを図3-1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【選択弁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 弁ラックを構成するフレーム部材をはり要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 拘束条件は、ベースプレート溶接部位置において完全拘束とする。
- (3) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。

解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要・NX NASTRAN」に示す。

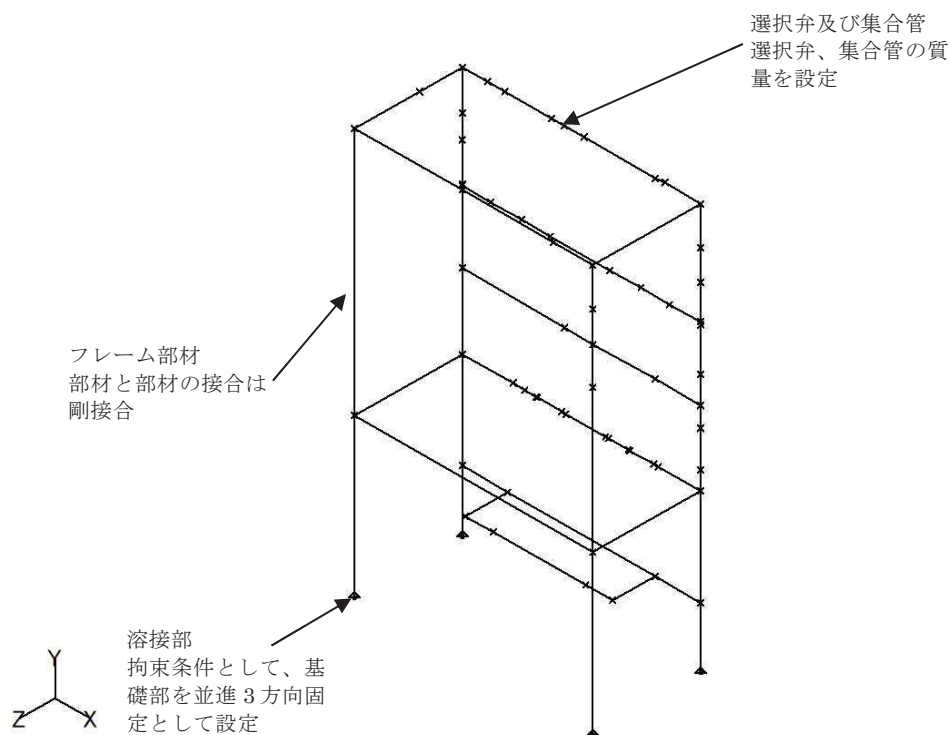


図 3-1 解析モデル

### 3.4 固有周期

弁ラックの固有値解析結果を「3.4.1 弁ラック」に、選択弁の加振試験結果を「3.4.2 選択弁」に示す。

#### 3.4.1 弁ラック

弁ラックの固有値解析結果を表3-4に、振動モード図を図3-2に示す。固有周期は0.050s以下であり剛であることを確認した。

#### 3.4.2 選択弁

選択弁の加振試験結果を表3-5に示す。表3-5より、選択弁は剛であることを確認した。

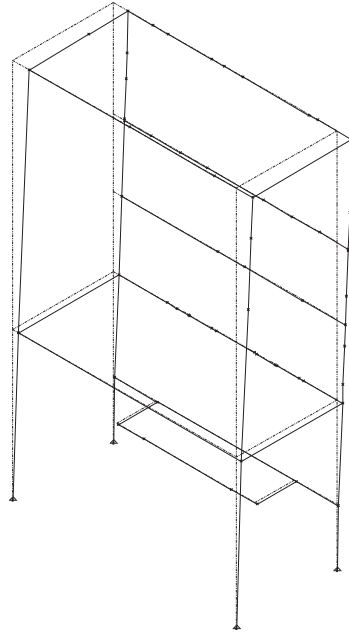
表3-4 弁ラックの固有周期 (単位：s)

機器名称	方向	固有周期
弁ラック	水平	
	鉛直	

表3-5 選択弁の固有周期 (単位：s)

機器名称	方向	固有周期
選択弁	水平	
	鉛直	

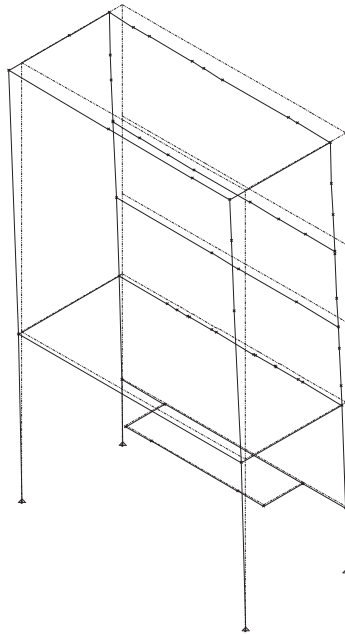
鉛直方向  
短辺方向 z x 長辺方向



(a) 長辺方向モード



鉛直方向  
短辺方向 z x 長辺方向



(b) 短辺方向モード



図3-2 振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.5 設計用地震力

弁ラックの耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 動的機能維持評価方法

選択弁は、添付書類「別添1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 5. 評価結果

弁ラック及び選択弁の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、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及び動的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【選択弁の耐震性についての計算結果】

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	設置場所及び床面 高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$		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	
弁ラック	C	緊急用電気品建屋 O.P. 56.40*1			0.84	0.68	40

注記\*1：基準床レベルを示す

1.2 機器要目

1.2.1 弁ラック

部材	E (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)	$A_{rea}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_1$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_2$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p1}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p2}$ (mm <sup>3</sup> )

1.2.2 溶接部

部材	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_w$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{pw}$ (mm <sup>3</sup> )

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 弁ラックに作用する部材力

部材	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)	R <sub>3</sub> (N)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	M <sub>3</sub> (N・mm)

1.3.2 溶接部に作用する発生力

部材	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)	R <sub>3</sub> (N)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	M <sub>3</sub> (N・mm)



1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	算出応力	許容応力
選択弁	弁ラック		組合せ応力	$\sigma_a = 17$	$f_t = 280$
	溶接部		せん断応力	$\sigma_{sa} = 21$	$f_s = 141$

発生応力はすべて許容応力以下である。

1.4.3 動的機能維持評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

機器名称	据付場所及び 床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		評価用加速度*	機能確認済加速度	評価用加速度*	機能確認済加速度
選択弁	緊急用 電気品建屋 O.P. 56.40	0.70	5.00	0.57	3.00

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-別添 1-6 制御盤の耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	2
3.1 固有周期の確認方法	2
3.2 固有周期の確認結果	2
3.3 設計用地震力	2
4. 構造強度評価	2
4.1 構造強度評価方法	2
4.2 荷重の組合せ及び許容応力評価条件	2
5. 機能維持評価	4
5.1 電氣的機能維持評価方法	4
6. 評価結果	5

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を保持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御盤の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 制御盤の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。</p>	<p>制御盤 (壁掛型)</p>	

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の確認方法

制御盤の固有周期は、添付書類「別添1-1」の「4. 固有周期」に示す算出方法に基づき、正弦波掃引試験により算出する。

#### 3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表3-1に示す。測定の結果、固有周期は0.050秒以下であり、剛であることを確認した。

表3-1 制御盤の固有周期（単位：s）

方向	固有周期
水平	0.050以下
鉛直	0.050以下

#### 3.3 設計用地震力

制御盤の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

### 4. 構造強度評価

#### 4.1 構造強度評価方法

制御盤は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

#### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力評価条件

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

##### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、制御盤の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

##### 4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

制御盤の基礎ボルト及び取付ボルトにおける許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

また、基礎ボルト及び取付ボルト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（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
その他の発電用原 子炉の附属施設	火災防護設備	制御盤	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 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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4-3 許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象 部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280
取付ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

制御盤は、添付書類「別添1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において電氣的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 6. 評価結果

制御盤の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、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及び電氣的機能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。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。



【制御盤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	設置場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は設計震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
制御盤	C	制御建屋 (O.P. 19.50 <sup>*1</sup> )	0.050 以下	0.050 以下	—	—	C <sub>H</sub> =2.78 <sup>*2</sup>	C <sub>V</sub> =2.00 <sup>*2</sup>	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：制御盤は壁掛型のため、設置床上階の設備評価用床応答曲線を用いる。

9

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> (mm)	ℓ <sub>2i</sub> (mm)	ℓ <sub>3i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fvi</sub>	n <sub>fhi</sub>
基礎ボルト (i=1)	166	318	1247	1194	550	16 (M16)	201.1	6	3	2
取付ボルト (i=2)	110	235	1245	1190	646	12 (M12)	113.1	12	3	4

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	245 (径 ≤ 16mm)	400	—	280	—	側面方向
取付ボルト (i=2)	245 (径 ≤ 16mm)	400	—	280	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{b i}$		$Q_{b i}$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト ( i =1)	—	$2.009 \times 10^3$	—	$6.658 \times 10^3$
取付ボルト ( i =2)	—	$1.259 \times 10^3$	—	$4.412 \times 10^3$

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力分類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ( i =1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=10$	$f_{t s1}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{s b1}=161$
取付ボルト ( i =2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=12$	$f_{t s2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{s b2}=161$

注記 \* :  $f_{t s i} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i}]$ より算出

発生応力はすべて許容応力以下である。

1.4.2 電気の機能維持評価結果

(単位：×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
制御盤	水平方向	2.32	5.00
	鉛直方向	1.67	3.00

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

