

V-2-10-2-4-3 取水槽水位計の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

取水槽水位計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。

以下、取水槽水位計を構成する検出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いること、バブラー管、アキュムレータ、ポンベラック及び管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。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 検出器

V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、取水槽水位計に用いる検出器の計算結果を本計算書に記載する。

(2) バブラー管

V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、取水槽水位計に使用するバブラー管の計算結果を本計算書に記載する。

(3) アキュムレータ

V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、取水槽水位計に空気を供給するアキュムレータの計算結果を本計算書に記載する。

(4) ポンベラック

V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、検出器に空気を供給するポンベラックの計算結果を本計算書に記載する。

(5) 管

V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、検出器に空気を供給する管の計算結果を本計算書に記載する。

本計算書は以下の構成で取水槽水位計の評価結果を示す。取水槽水位計構成図を図1-1に示す。

- (1) 検出器の耐震性についての計算書
- (2) バブラー管の耐震性についての計算書
- (3) アキュムレータの耐震性についての計算書
- (4) ポンベラックの耐震性についての計算書
- (5) 管の耐震性についての計算書

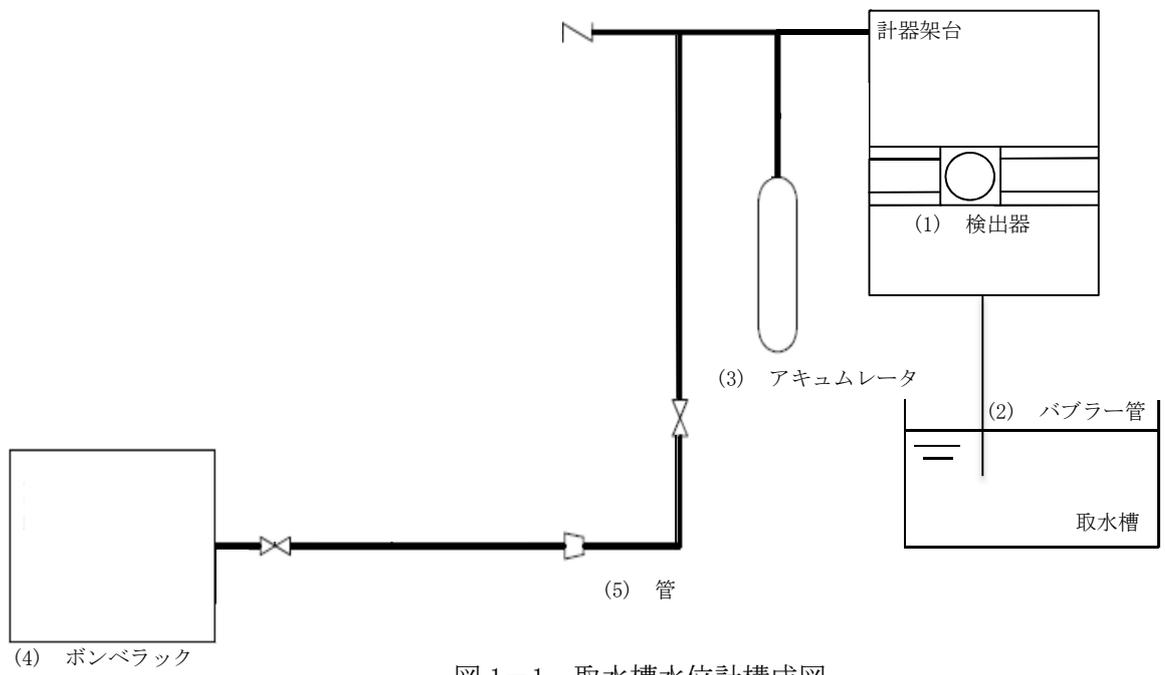


図 1-1 取水槽水位計構成図

(1) 検出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
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 計算精度と単位の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 基本方針	8
4.2 固有周期の確認方法	8
4.3 固有周期の確認結果	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	9
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
5.2.2 許容応力	9
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
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	16
5.6 応力の評価	16
5.6.1 ボルトの応力評価	16
6. 機能維持評価	17
6.1 電氣的機能維持評価方法	17
7. 評価結果	18
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、V-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、検出器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。

検出器は、設計基準対象施設においてはS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及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

検出器の構造計画を表 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>検出器は、検出器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器架台に固定される。 計器架台は、壁に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【検出器】</p> <p>計器架台</p> <p>正面</p> <p>800</p> <p>1500</p> <p>(正面方向)</p> <p>側面</p> <p>456</p> <p>基礎ボルト (メカニカルアンカ)</p> <p>検出器</p> <p>取付板取付ボルト</p> <p>取付板</p> <p>検出器取付ボルト</p> <p>壁</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

検出器の応力評価は、V-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」にて示す検出器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認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、検出器の機能維持評価は、V-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、「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。

検出器の耐震評価フローを図2-1に示す。

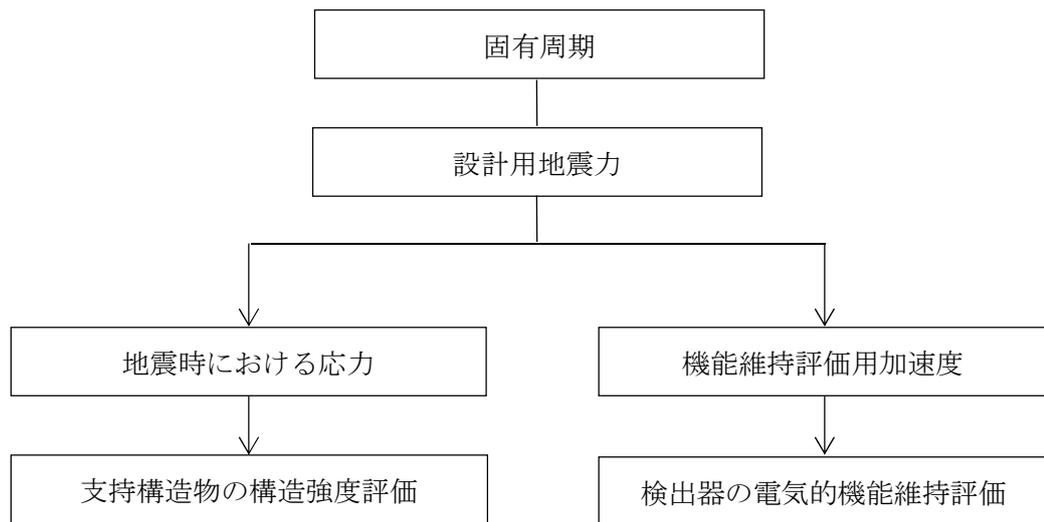


図2-1 検出器の耐震評価フロー

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。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	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本当たり)	N
F_{b2}	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本当たり)	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)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と下側ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
l_a	側面(左右)ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
l_b	上下ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
m	計器架台の質量	kg
n	ボルトの本数	—
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(鉛直方向転倒) (壁掛型)	—
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(水平方向転倒) (壁掛型)	—
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 (壁掛型)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型)	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
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と単位の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	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：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

検出器の耐震評価は「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評価を実施する。

検出器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

検出器の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。検出器の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 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 4-1 固有周期 (単位：s)

検出器 (H22-P814)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 検出器の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は検出器に対して、正面方向及び側面方向から作用するものとする。
- (3) 検出器は基礎ボルトで壁に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、計算モデルにおける正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 検出器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。
- (6) 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

検出器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 に示す。

5.2.2 許容応力

検出器の許容応力は、V-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

検出器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 5-3 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	検出器	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _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 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, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _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 5-3 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	40	215	400	—

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、V-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 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

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
検出器 (P41-LT-007A)	タービン建屋 T. M. S. L. 4. 900 (T. M. S. L. 12. 300*)			—	—	C _H =1. 60	C _V =1. 23

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

5.4.1.1 ボルトの計算方法

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。

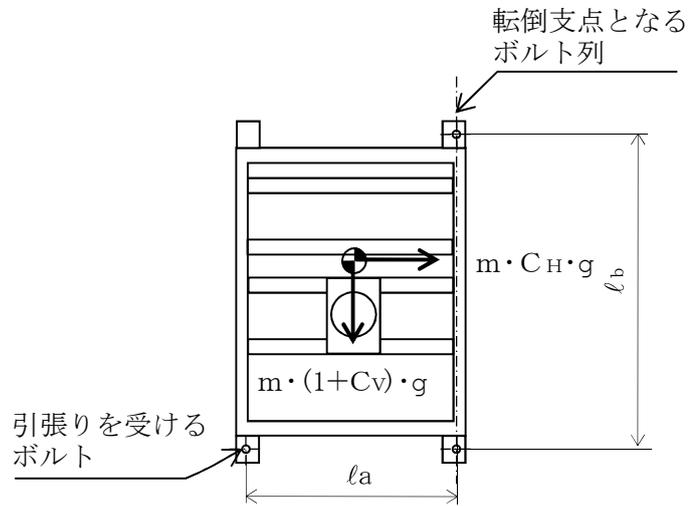
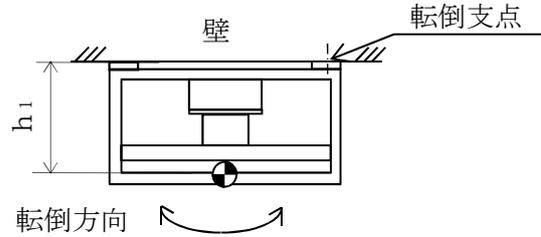


図 5-1 計算モデル (正面方向)

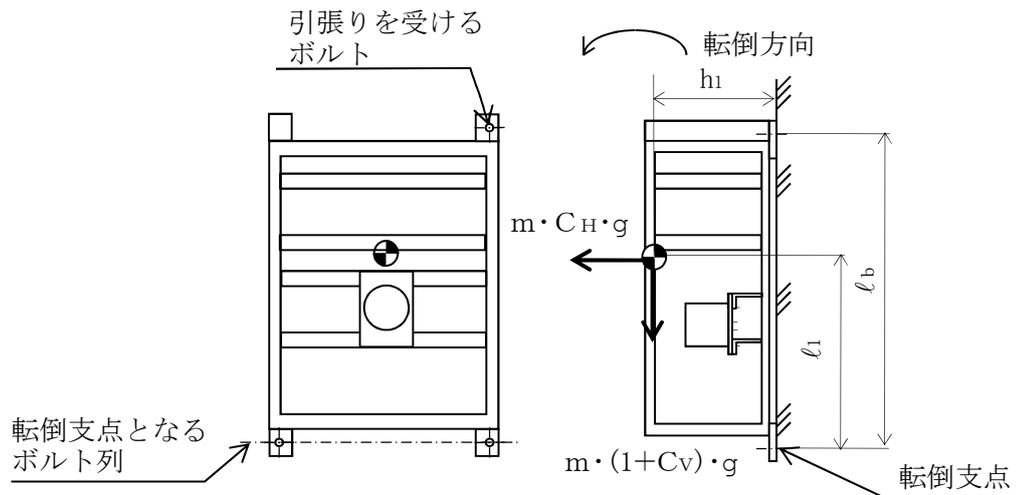


図 5-2 計算モデル (側面方向)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

計算モデル図5-1の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_1}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_1}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-2の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_1 + (1 + C_V) \cdot h_1}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

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、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【検出器 (P41-LT-007A) 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 ボルトの応力評価

5.4.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_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 電氣的機能維持評価方法

検出器の電氣的機能維持評価については以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はV-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。

検出器の機能確認済加速度は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

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
検出器 (P41-LT-007A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

検出器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。

【検出器 (P41-LT-007A) 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 _d 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
検出器 (P41-LT-007A)	S	タービン建屋 T. M. S. L. 4.900 (T. M. S. L. 12.300*)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =1.60	C _V =1.23	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 検出器

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	440	12 (M12)	113.1	3	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ _a * (mm)	ℓ _b * (mm)	n _{fV} *	n _{fH} *	F (MPa)	F* (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	854	750	1460	1	1	215	—	—	正面方向
	854	750	1460	1	1				

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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 _b		Q _b	
	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	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=22$	$f_{ts}=129^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=13$	$f_{sb}=99$

すべて許容応力以下である。

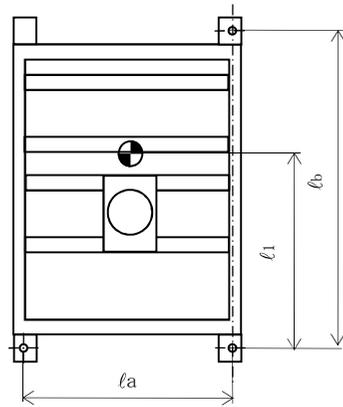
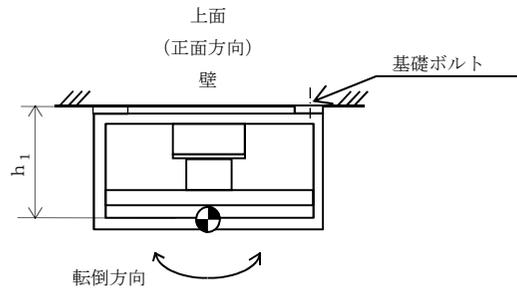
注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

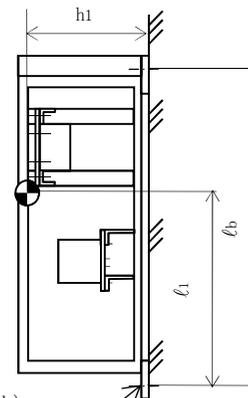
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
検出器 (P41-LT-007A)	水平方向	1.33	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.02	<input type="text"/>

注記*: 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

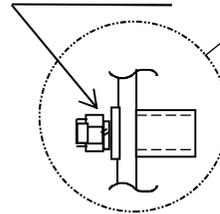
機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



側面
(側面方向)



基礎ボルト
(メカニカルアンカ)



(2) バブラー管の耐震性についての計算書

設計基準対象施設

目 次

1. バブラー管（管）	1
1.1 概要	1
1.2 概略系統図及び鳥瞰図	2
1.2.1 概略系統図	2
1.2.2 鳥瞰図	4
1.3 計算条件	6
1.3.1 計算方法	6
1.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
1.3.3 設計条件	8
1.3.4 材料及び許容応力	11
1.3.5 設計用地震力	12
1.4 解析結果及び評価	13
1.4.1 固有周期及び設計震度	13
1.4.2 評価結果	18
2. バブラー管（フランジ部）	21
2.1 概要	21
2.2 一般事項	21
2.2.1 構造計画	21
2.2.2 評価方針	23
2.2.3 適用規格・基準等	24
2.2.4 記号の説明	25
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	26
2.3 評価部位	27
2.4 固有周期	28
2.4.1 固有値解析方法	28
2.4.2 解析モデル及び諸元	28
2.4.3 固有値解析結果	30
2.5 構造強度評価	31
2.5.1 構造強度評価方法	31
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	31
2.5.3 設計用地震力	35
2.5.4 計算方法	36
2.5.5 計算条件	38
2.5.6 応力の評価	38
2.6 評価結果	39
2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	39

1. バブラー管（管）

1.1 概要

本計算書は、V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-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、管及び支持構造物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評価結果を解析モデル単位に記載する。また、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1.4.2.2に記載する。

(2) 支持構造物

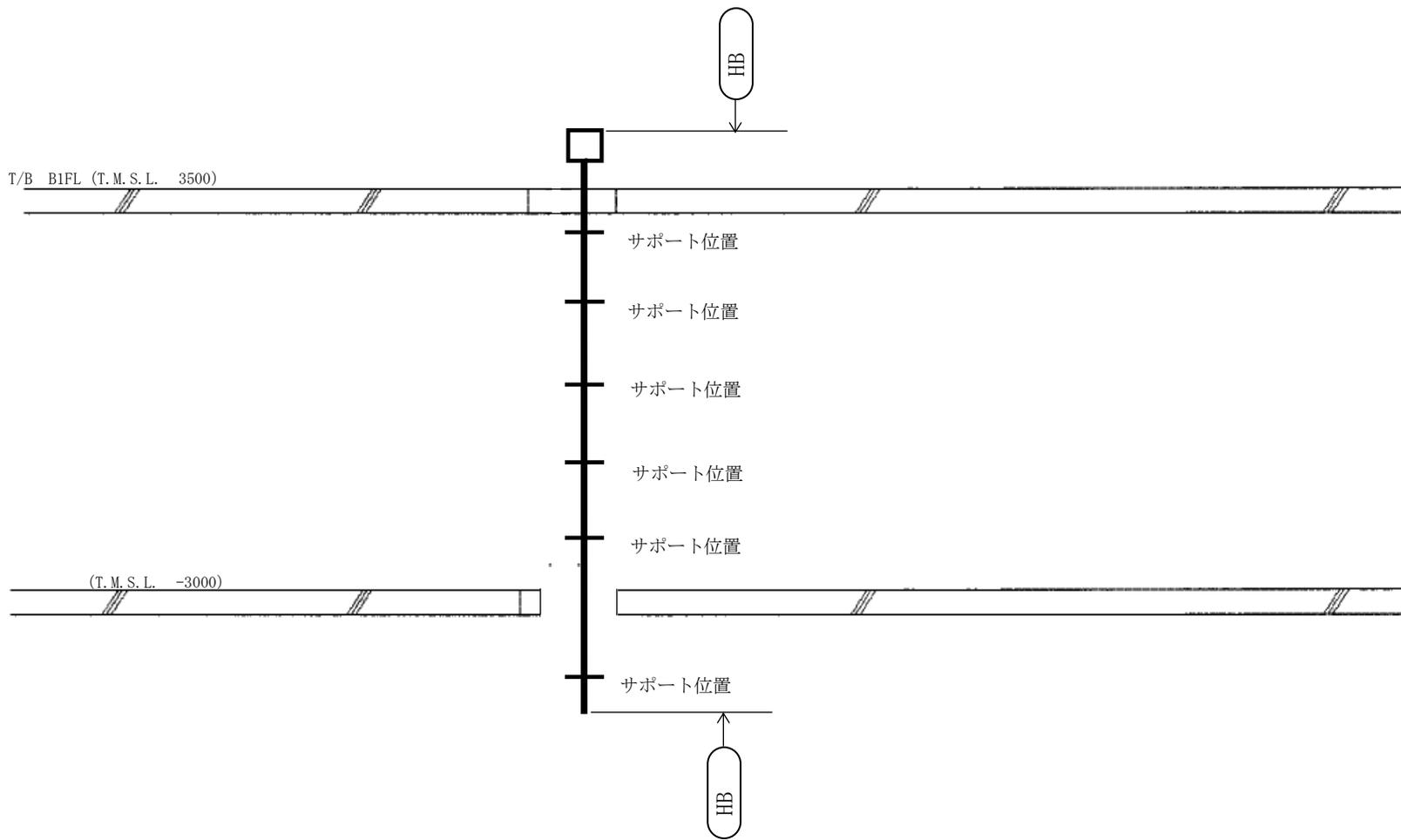
工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

1.2 概略系統図及び鳥瞰図

1.2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

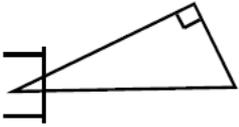
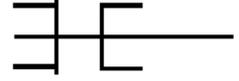
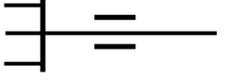
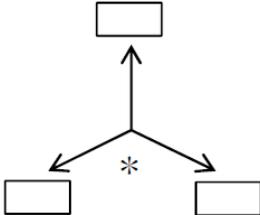
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

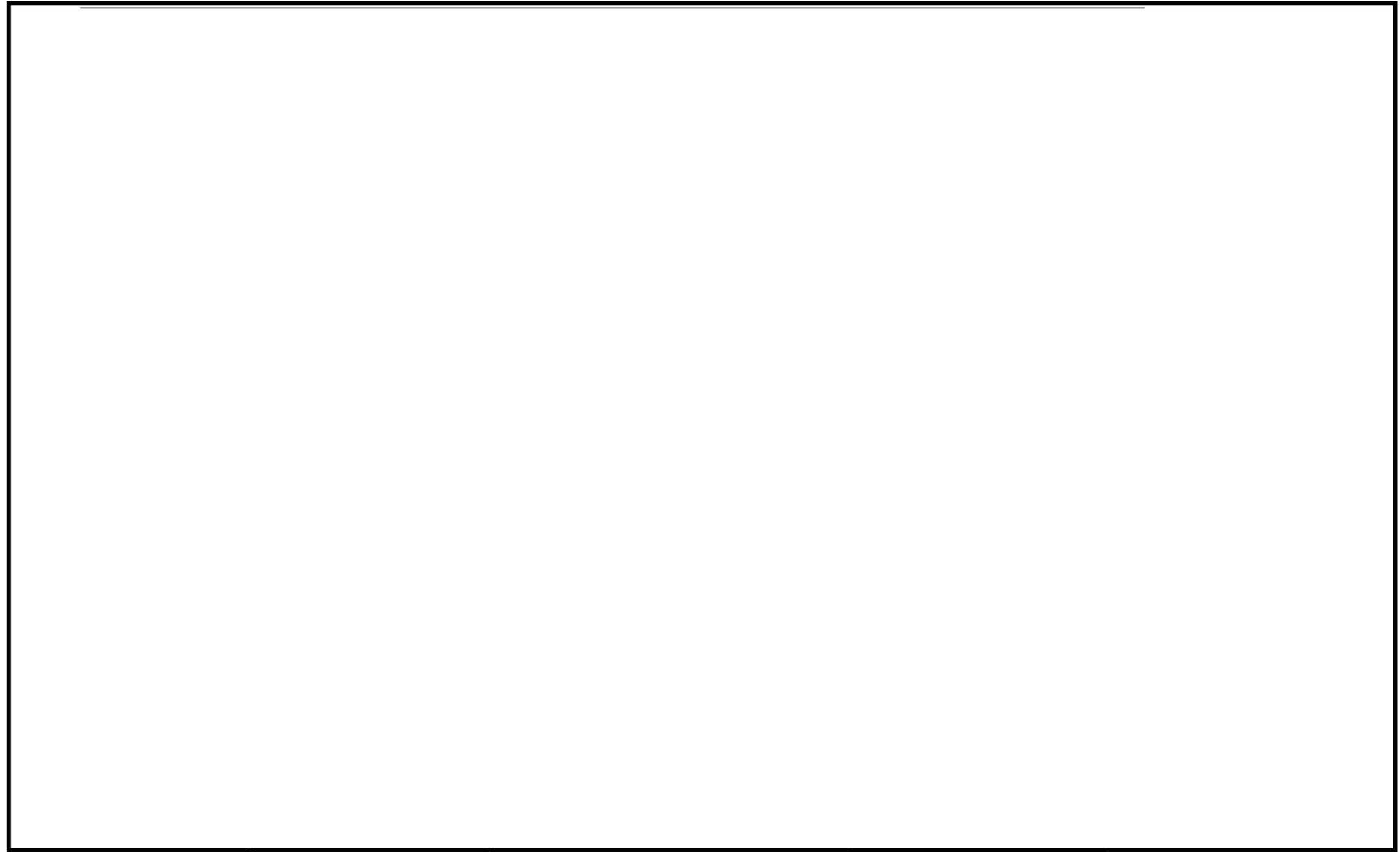


原子炉補機冷却海水系（取水槽水位計廻り）概略系統図

1.2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

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解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図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
	リジットハンガ
	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, 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。	



51

鳥瞰図

HB

1.3 計算条件

1.3.1 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、「H I S A P」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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

1.3.2 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*1 分類	設備 分類	機器等 の区分	耐震重要度 分類	荷重の組合せ*2	許容応力 状態
浸水防護施設	バブラー管	原子炉補機冷却海水系	DB	—	クラス3管	S	$I_L + S_s$	Ⅲ _A S
							$II_L + S_s$	

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

1.3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 HB

管番号	対応する評価点	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	1N~42, 101~103	0.20	66	21.7	3.0	SUS316	S	193667

フランジ部の質量

鳥瞰図 HB

質量	対応する評価点
	1N

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 HB

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
1N						
7						
11						
19						
27						
31						
40						

K7 ① V-2-10-2-4-3 (2) (設) R1

1.3.4 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
SUS316	66	—	191	496	129

1.3.5 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V-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V-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	建屋・構築物	標高	減衰定数(%)
HB	タービン建屋		

1.4 解析結果及び評価

1.4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 HB

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度* ²							
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：S_s地震動に基づく設計用最大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 HB

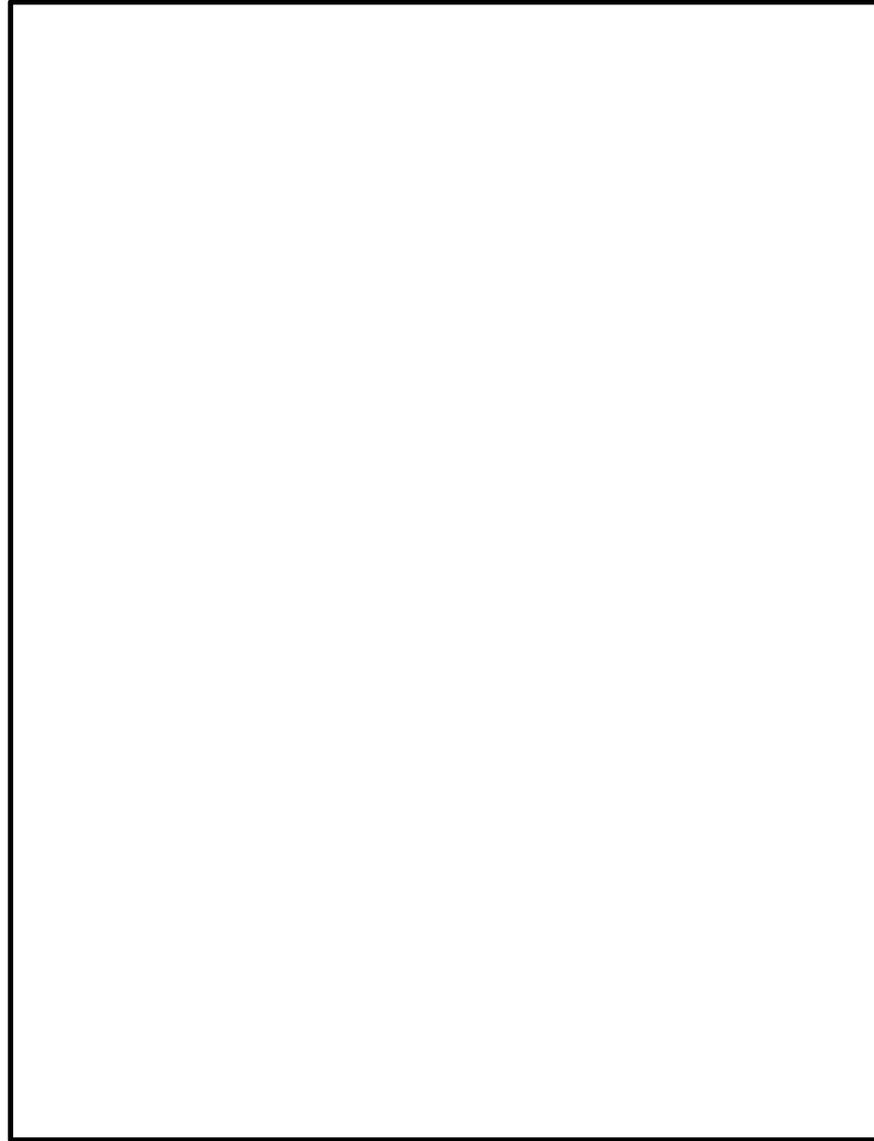
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

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

代表的振動モード

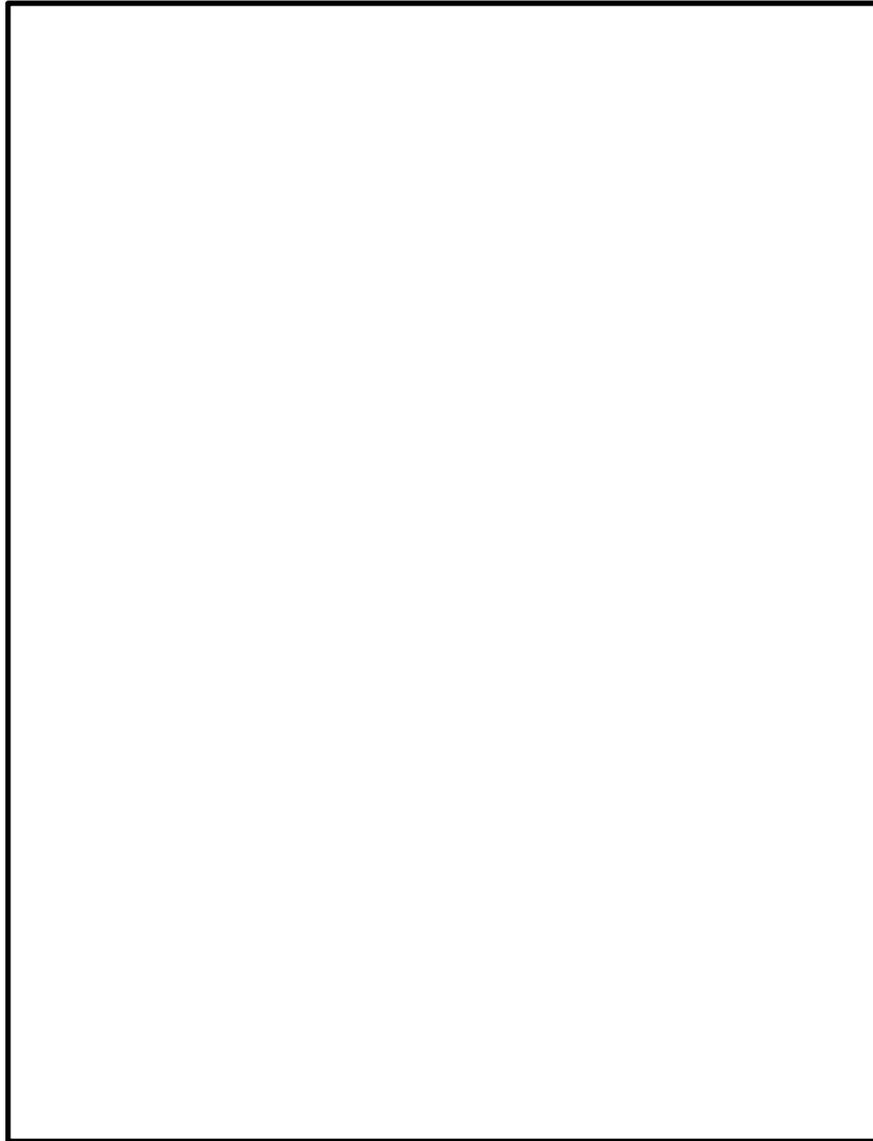
振動モード図は、2次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図	HB
-----	----

代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図	HB
-----	----

1.4.2 評価結果

1.4.2.1 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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{prm} (S_s)$	S_y^*	$S_n (S_s)$	$2S_y$	$U S_s$
HB	ⅢA S	32	$S_{prm} (S_s)$	28	191	—	—	—
	ⅢA S	32	$S_n (S_s)$	—	—	55	382	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2S_h$ のうち大きい方の値とする。

1.4.2.2 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)
—	—	—	—	—	—	—

19

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 _X	F _Y	F _Z	M _X	M _Y	M _Z			
RE-31	レストレイント	U ボルト	SUS316	66				—	—	—	組合せ	5	205

1.4.2.2 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、設計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 III A 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	HB	32	28	191	6.82	○	32	55	382	6.94	○	—	—	—

2. バブラー管（フランジ部）

2.1 概要

本計算書は、V-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、バブラー管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。

バブラー管は、設計基準対象施設においてはS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。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

バブラー管の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 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>バブラー管はフランジに固定され、フランジは取付床に固定された計器架台に取付ボルトで固定される。</p>	<p>検出配管</p>	<p>【バブラー管】</p> <p>上面</p> <p>側面</p> <p>取付ボルト</p> <p>フランジ</p> <p>計器架台</p> <p>貫通部止水処置 (鉄板)</p> <p>取付床</p> <p>9169</p> <p>バブラー管 (検出配管)</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2.2 評価方針

バブラー管の応力評価は、V-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、「2.2.1 構造計画」にて示すバブラー管の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 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、「2.5 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。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

バブラー管（フランジ部）の耐震評価フローを図2-2-1に示す。

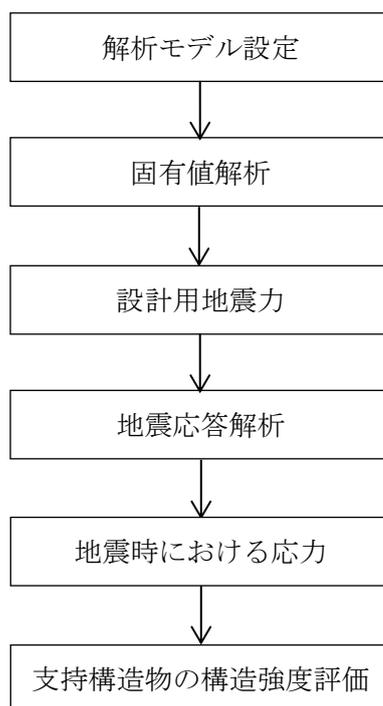


図2-2-1 バブラー管（フランジ部）の耐震評価フロー

2.2.3 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。

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

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	取付ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力	N
F_x	取付ボルトに作用する力 (x 方向)	N
F_y	取付ボルトに作用する力 (y 方向)	N
F_z	取付ボルトに作用する力 (z 方向)	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
l_1	M_x によって取付ボルトにせん断力が発生する場合の取付ボルトとフランジ中心との距離	mm
l_2	M_z によって取付ボルトにせん断力が発生する場合の取付ボルトとフランジ中心との距離	mm
M_x	取付ボルトに作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{m}$
M_y	取付ボルトに作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{m}$
M_z	取付ボルトに作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{m}$
n	取付ボルトの本数	—
n_x	M_x の引張力に耐えうる取付ボルトの本数	—
n_z	M_z の引張力に耐えうる取付ボルトの本数	—
Q_b	取付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
W	バブラー管の荷重	N
σ_b	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
π	円周率	—

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2-2 に示すとおりとする。

表 2-2-2 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
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント	N・m	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	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：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。

2.3 評価部位

バブラー管（フランジ部）の耐震評価は、「2.5.1 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取付ボルトについて実施する。バブラー管（フランジ部）の耐震評価部位については、表 2-2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

バブラー管（フランジ部）の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) バブラー管は、「2.4.2 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。

2.4.2 解析モデル及び諸元

バブラー管の解析モデルを図2-4-1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【バブラー管（フランジ部）の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) バブラー管の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) バブラー管の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、バブラー管フランジ部を完全拘束とする。なお、取付ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 計算機コードは、「H I S A P」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

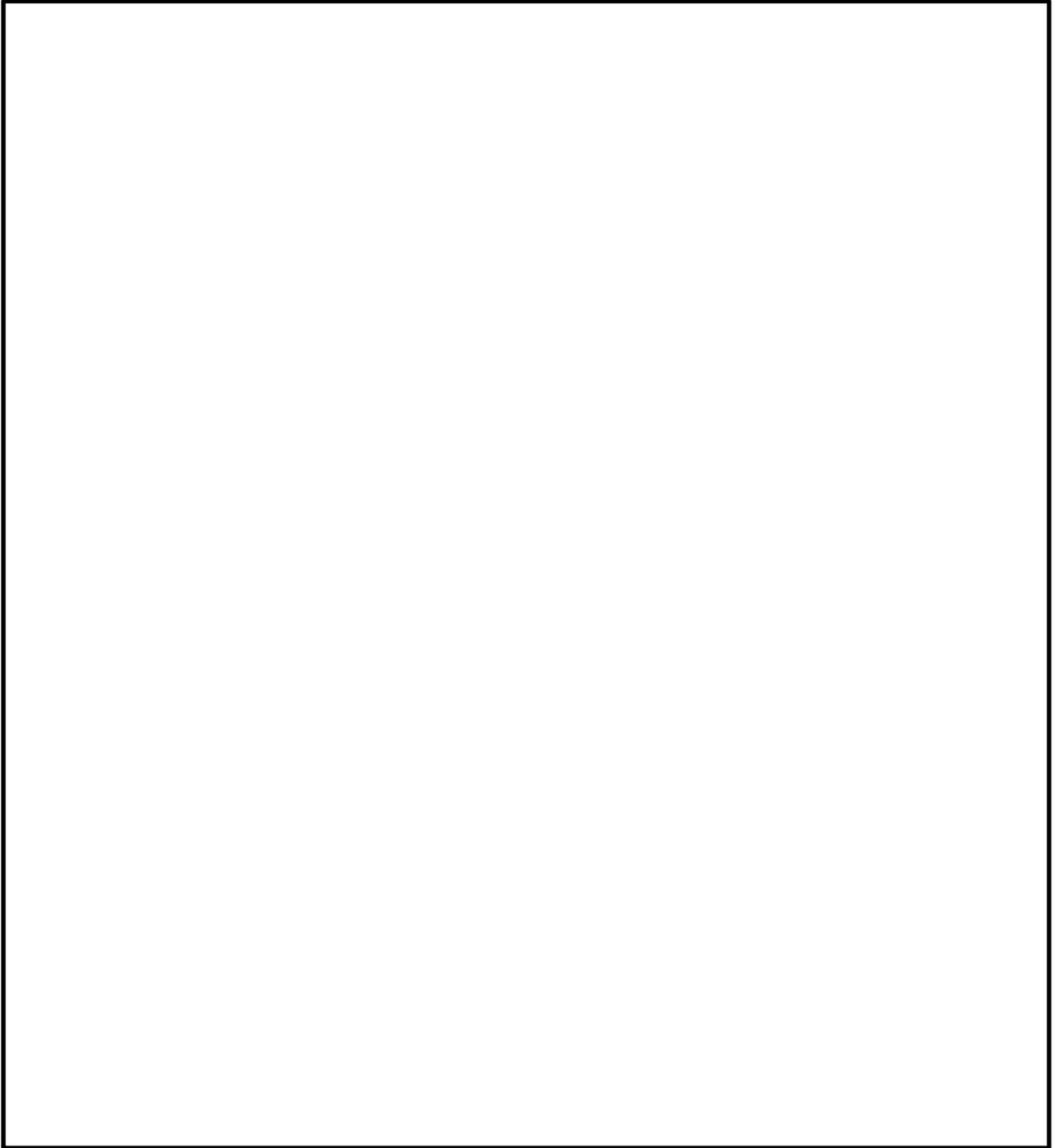


図 2-4-1 解析モデル

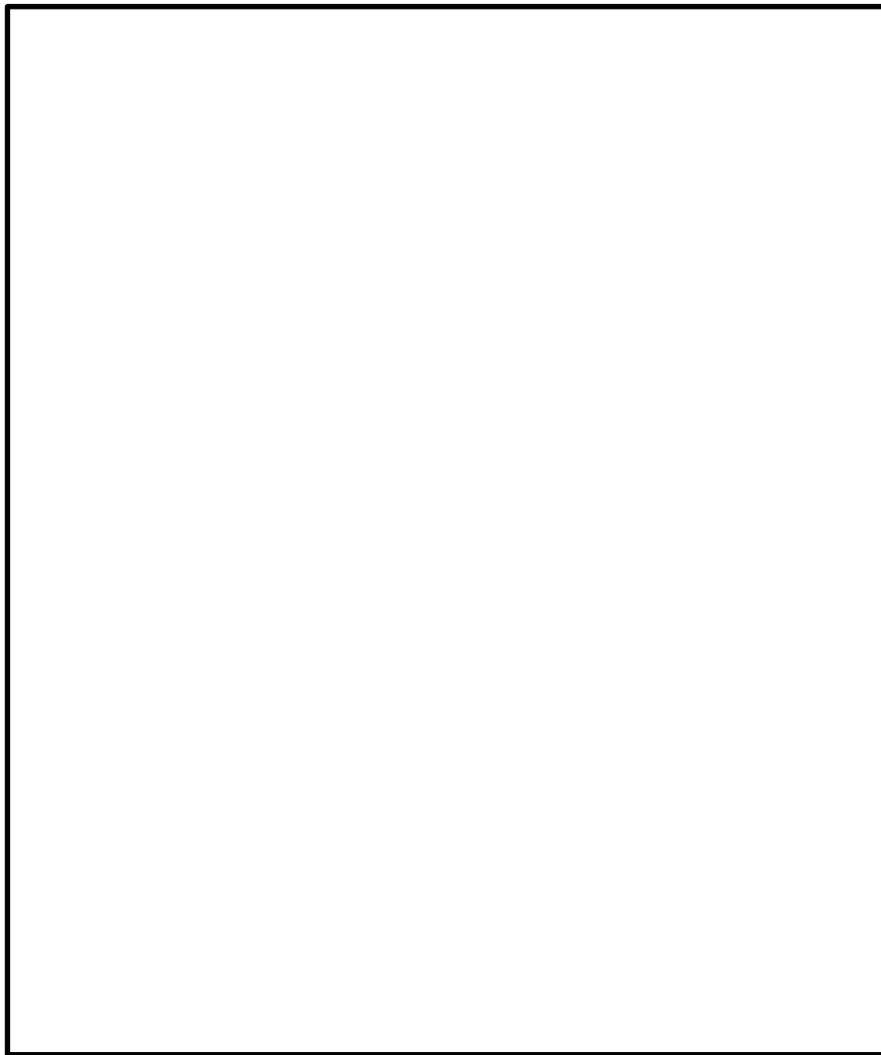
2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-4-1 に、振動モード図を図 2-4-2 に示す。

表 2-4-1 固有値解析結果

計器番号	モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向* 刺激係数
			X方向	Z方向	
バブラー管					

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



1次

2次

図 2-4-2 振動モード図

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力はバブラー管に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) バブラー管はフランジ部にて取付ボルトで計器架台に固定されており、固定端とする。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

バブラー管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 2-5-1 に示す。

2.5.2.2 許容応力

バブラー管の許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5-2 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

バブラー管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 2-5-3 に示す。

表 2-5-1 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	バブラー管 (フランジ部)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	ⅢA 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 2-5-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _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 2-5-3 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
取付ボルト	SUS304	最高使用温度	66	188	479	205

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-5-4 に示す。

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

表 2-5-4 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)		タービン建屋 T.M.S.L. 4.900					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *1			鉛直 : <input type="text"/> *1		
減衰定数 (%)		水平 : 0.5			鉛直 : 0.5		
地震力		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度*2		応答鉛直*2震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>		
2 次	<input type="text"/>	—	—	—			
3 次	<input type="text"/>	—	—	—			
動的地震力*3		—	—	—			
静的地震力		—	—	—			

注記*1 : 1 次固有周期について記載。

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

*3 : S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

三次元はりモデルによる個別解析からフランジ部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて評価する。

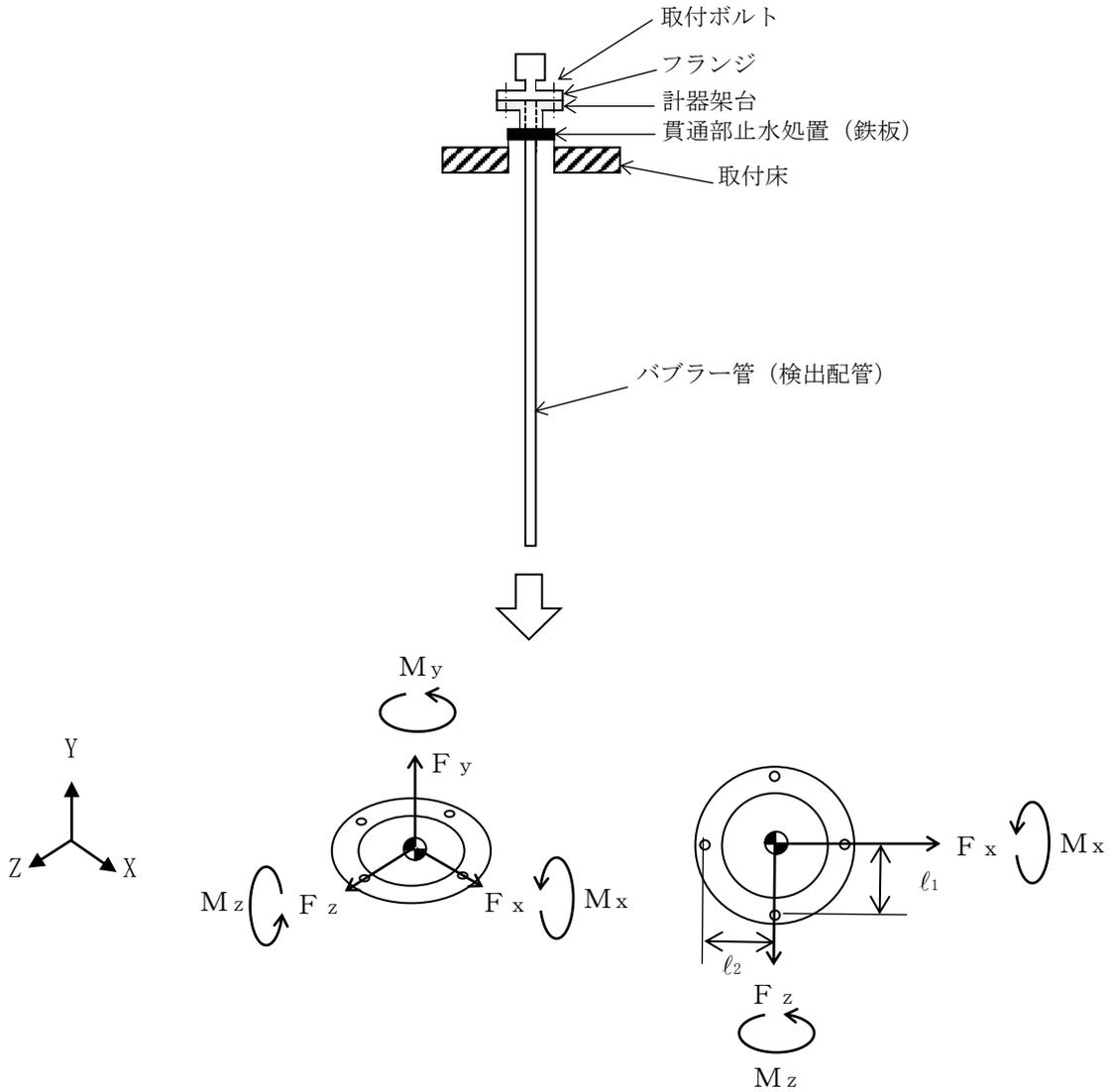


図2-5-1 計算モデル (フランジ部)

個別解析によって得られたフランジ部の評価点の最大反力とモーメントを表 2-5-5 に示す。

表2-5-5 フランジ部発生反力, モーメント

対象計器	反力 (N)			モーメント (N・m)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
バブラー管 (フランジ部)	[Redacted]					

(1) 引張応力

取付ボルト（1本当たり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（ F_b ）

$$F_b = \frac{F_y}{n} + \frac{M_x}{l_1 \cdot n_x} + \frac{M_z}{l_2 \cdot n_z} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

引張応力（ σ_b ）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（ Q_b ）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{n} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

せん断応力（ τ_b ）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【バブラー管（フランジ部）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。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 取付ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

バブラー管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。

【バブラー管（フランジ部）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 _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°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	
バブラー管 (フランジ部)	S	タービン建屋 T. M. S. L. 4. 900*1	□	□	—	—	□ 又は*2	□ 又は*2	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値。

1.2 機器要目

部材	W (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
取付ボルト	—	16 (M16)	201. 1	188	479	205

部材	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n	n _x	n _z	F (MPa)
取付ボルト	52. 5	52. 5	4	1	1	205

1.3 計算数値

1.3.1 取付ボルト部に作用する力

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	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	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
取付ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.2 取付ボルト部に作用するモーメント

(単位：N・m)

部材	M _x		M _y		M _z	
	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	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
取付ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.3 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	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
取付ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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
取付ボルト	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=0$	$f_{sb}=118$

すべて許容応力以下である。

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

1.5 その他の機器要目

(1) 支持点及び貫通部ばね定数

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
1N						
7						
11						
19						
27						
31						
40						

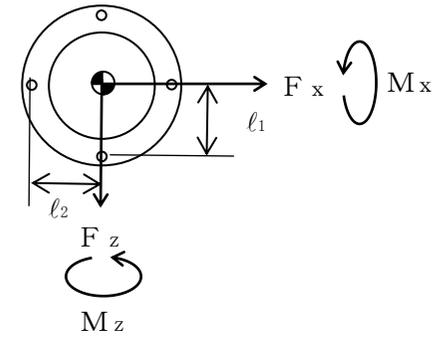
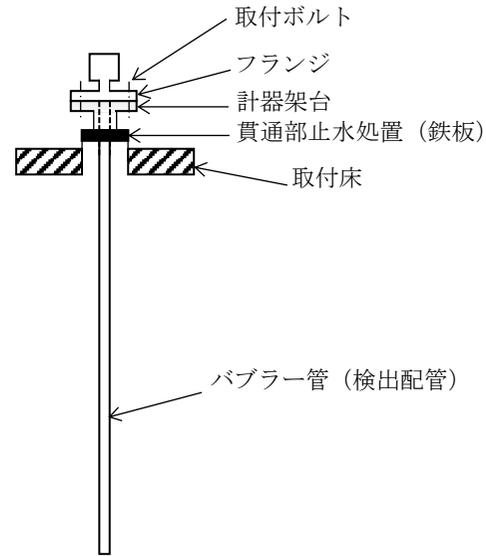
(2) 設計条件

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	103~42	21.7	3.0	SUS316

(3) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値	
縦弾性係数	E	MPa	193667	
管の質量	—		評価点	数値
ポアソン比	ν	—	0.3	
要素数	—	個	44	
節点数	—	個	45	

43



(3) アキュムレータ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	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.3 設計用地震力	18
5.4 計算方法	19
5.4.1 応力の計算方法	19
5.5 計算条件	26
5.6 応力の評価	26
5.6.1 胴の応力評価	26
5.6.2 脚の応力評価	26
6. 評価結果	27
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
7. 引用文献	31

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却海水系ポンプ室取水計測装置空気供給用アキュムレータ（以下「アキュムレータ」という。）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。

アキュムレータは、設計基準対象施設においてはS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 構造計画

アキュムレータの構造計画を表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>胴を 1 個の脚で支持し、脚を溶接で架台に据え付ける。</p>	<p>両端に平板を有する縦置円筒形容器</p>	<p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

アキュムレータの応力評価は、V-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」にて示すアキュムレータの部位を踏まえ「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。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

アキュムレータの耐震評価フローを図2-1に示す。

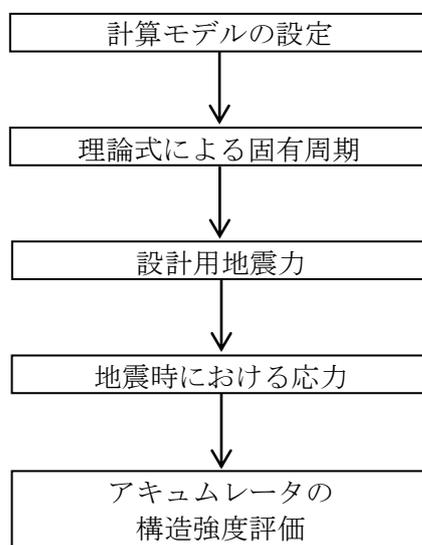


図2-1 アキュムレータの耐震評価フロー

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。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の鉛直方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の鉛直方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
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	—
$C_{\ell j}$	軸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_v	鉛直方向設計震度	—
C_1	脚の横方向幅の2分の1	mm
C_2	脚の鉛直方向幅の2分の1	mm
D_i	胴の内径	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_1	架台から脚の胴付け根部までの長さ	mm
h_2	架台から胴の中心までの長さ	mm
I_{sx}	脚の鉛直方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
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_a	ばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_b	ばね定数（胴の鉛直方向に鉛直力が作用する場合）	N/m
$K_{cj}, K_{\ell j}$	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）	—
M	運転時質量により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_c	胴の横方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_e	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$
m_o	容器の運転時質量	kg

記号	記号の説明	単位
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
P_c	脚の軸方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_r	最高使用圧力	MPa
r_m	脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	脚付け根部における胴の外半径	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
T_1	水平方向固有周期	s
T_2	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
Z_{sx}	脚の鉛直方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
π	円周率	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	鉛直方向と胴の横方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	鉛直方向と胴の横方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	鉛直方向と胴の横方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{1p}	鉛直方向と脚の軸方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1px}	鉛直方向と脚の軸方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1p\phi}$	鉛直方向と脚の軸方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2p}	鉛直方向と脚の軸方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{2c}	鉛直方向と胴の横方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	鉛直方向と胴の横方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	鉛直方向と胴の横方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2px}	鉛直方向と脚の軸方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2p\phi}$	鉛直方向と脚の軸方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	鉛直方向と胴の横方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{sp}	鉛直方向と脚の軸方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s2}	鉛直方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s3}	胴の横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	脚の軸方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x 1}$	内圧により胴に生じる周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}, \sigma_{x 2}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}, \sigma_{x 4}$	胴の横方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x 5}$	脚の軸方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 3}, \sigma_{2x 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 4}, \sigma_{2x 4}$	胴の横方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x 5}$	脚の軸方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_c	胴の横方向地震により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_d	運転時質量により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{de}	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	胴の横方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	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：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位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

アキュムレータの耐震評価は、「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胴板及び脚について評価を実施する。アキュムレータ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 固有周期の計算方法

アキュムレータの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. アキュムレータの質量は、重心に集中するものとする。
- b. アキュムレータは胴を1個の脚で支持し、脚は溶接で架台に据え付けているため、固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- d. アキュムレータの荷重状態及び胴板に生じるモーメントを図4-1及び図4-2に示す。

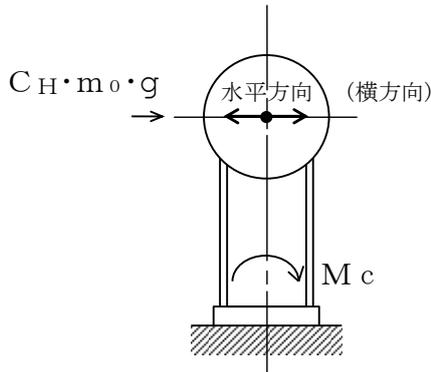


図4-1 水平方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント

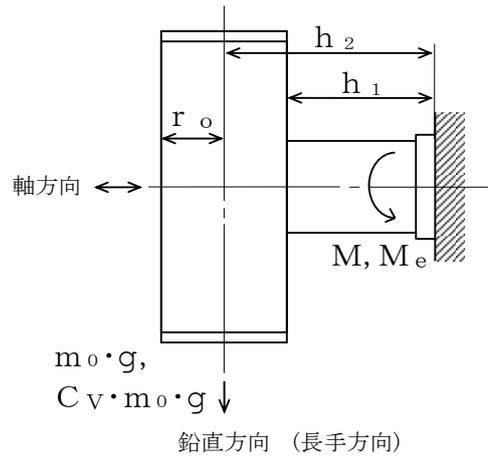


図4-2 鉛直方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント

- e. アキュムレータは、図4-3に示す一端固定の1質点系振動モデルとして考える。

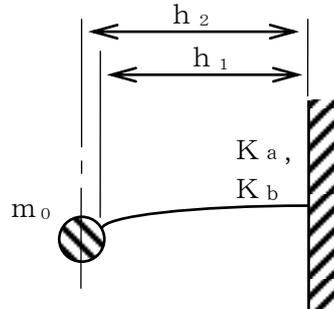


図4-3 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期 (胴の横方向)

図4-3における水平方向のばね定数は次式で求める。

$$K_a = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_a}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期（胴の長手方向）

図 4-3 における鉛直方向のばね定数は次式で求める。

$$K_b = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_b}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

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【アキュムレータ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0.05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)

水平方向	<input type="text"/>
鉛直方向	<input type="text"/>

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項 a. ～e. のほか、次の条件で計算する。

地震力はアキュムレータ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。

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

アキュムレータ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に示す。

5.2.2 許容応力

アキュムレータの許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2及び表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アキュムレータ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5-4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	取水槽水位計 （原子炉補機冷却海水系 ポンプ室取水水位計測装置 空気供給用アキュムレータ）	S	クラス3容器 [*]	$D + P_D + M_D + S_s$	ⅢA S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 許容応力 (クラス 2, 3 容器)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケ ル合金については上記値と 1.2・Sのうち大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 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・S _y 以下であれば疲労解析は不 要。	

注記*1：座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*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 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物)

許容応力状態	許容限界* (脚)
	一次応力
	組合せ
ⅢA S	$1.5 \cdot f_t$

注記* : 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 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SUS304TP	最高使用温度	66	126	188	479	—
脚	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、
V-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 5-5 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)		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

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

応力計算は、絶対値和を用いて行う。

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

(2) 運転時質量による脚付け根部の応力

運転時質量により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M = m_o \cdot g \cdot r_o \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

この曲げモーメントM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)より次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図5-1に示す。

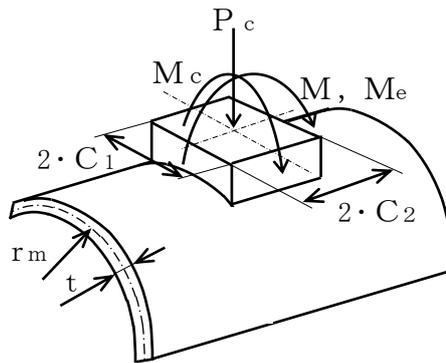


図5-1 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r m / t \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

$$\beta_1 = C_1 / r m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$\beta_2 = C_2 / r m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$r m = (D i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β 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応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 2} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

$$\sigma_{x 2} = \left\{ \frac{N_x}{M / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

また、運転時質量が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_d = \frac{m_o \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$$

(3) 鉛直方向地震による脚付け根部の応力

鉛直方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_e = C_v \cdot m_o \cdot g \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

曲げモーメント M_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図により値（以下*を付記するもの）を求めることにより (5.4.1.1.14) 式～ (5.4.1.1.17) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_e / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_e / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.15)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 3} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_e / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_e}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.16)$$

$$\sigma_{2x 3} = \left\{ \frac{M_x}{M_e / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_e}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は、(5.4.1.1.9) 式と同様である。

ただし、二次応力を求める場合は、更に K_{lj} を乗じた値とする。

また、鉛直方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{de} = \frac{C_v \cdot m_0 \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

(4) 胴の横方向地震による脚付け根部の応力

胴の横方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot r_o \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

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、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β 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(5.4.1.1.20)式～(5.4.1.1.23)式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 4} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

$$\sigma_{x 4} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 4} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

$$\sigma_{2x 4} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は、

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

また、二次応力を求める場合は、更に K_{cj} を乗じた値とする。

胴の横方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

(5) 脚の軸方向地震による脚付け根部の応力

脚の軸方向地震により脚付け根部に生じる反力は次式で求める。

$$P_c = C_H \cdot m_o \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

半径方向荷重 P_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β 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 (5.4.1.1.27) 式～ (5.4.1.1.30) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left(\frac{N_\phi}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.27)$$

$$\sigma_{x 5} = \left(\frac{N_x}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.28)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left(\frac{M_\phi}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left(\frac{M_x}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ここで、シェルパラメータ γ は(5.4.1.1.5)式と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} - 1 \right) \cdot (1 - K_{1j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$1/4 \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left(1 - \frac{4}{3} \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2} \right) \cdot (1 - K_{2j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

(6) 組合せ応力

(1)～(5)によって算出される脚付け根部に生じる胴の応力を以下のように組合せる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0x}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

ここで,

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

b. 一次応力

胴の横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de} + \tau_c)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

脚の軸方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1p} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1p\phi} + \sigma_{1px}) + \sqrt{(\sigma_{1p\phi} - \sigma_{1px})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

ここで,

$$\sigma_{1p\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{1px} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{胴の横方向地震時応力}(\sigma_{1c}), \text{脚の軸方向地震時応力}(\sigma_{1p}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.42)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

胴の横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot (\tau_{de} + \tau_c)^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.43)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{2x 3} + \sigma_{2x 4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.45)$$

脚の軸方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2p} = (\sigma_{2p\phi} + \sigma_{2px}) + \sqrt{(\sigma_{2p\phi} - \sigma_{2px})^2 + 4 \cdot \tau_{de}^2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.46)$$

ここで,

$$\sigma_{2p\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 5} \dots \dots \dots (5.4.1.1.47)$$

$$\sigma_{2px} = \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 3} + \sigma_{2x 5} \dots \dots \dots (5.4.1.1.48)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{胴の横方向地震時応力}(\sigma_{2c}), \text{脚の軸方向地震時応力}(\sigma_{2p}) \} \dots \dots \dots (5.4.1.1.49)$$

とする。

5.4.1.2 脚の応力

(1) 運転時質量による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g \cdot h_2}{Z_{sy}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s2} = \frac{C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot h_2}{Z_{sy}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s2} = \frac{C_v \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.4)$$

(3) 胴の横方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.5)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s4}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.6)$$

(4) 脚の軸方向地震による圧縮応力

$$\sigma_{s4} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_s} \dots \dots \dots (5.4.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

胴の横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2}$$

..... (5.4.1.2.8)

脚の軸方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sp} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2})^2}$$

..... (5.4.1.2.9)

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{胴の横方向地震時応力}(\sigma_{sc}), \text{脚の軸方向地震時応力}(\sigma_{sp}) \}$$

..... (5.4.1.2.10)

とする。

5.5 計算条件

胴及び脚の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【アキュムレータ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 胴の応力評価

5.4.1.1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	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。
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、疲労解析は不要とする。

5.6.2 脚の応力評価

5.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容応力 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	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

アキュムレータ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。

【アキュムレータ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 _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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			
アキュムレータ	S								0.86	66	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)
	297.9	10.3	126	250	100	100	4.720×10 ⁷	1.600×10 ⁷	4.720×10 ⁵	1.600×10 ⁵	6.353×10 ³	201000	77300

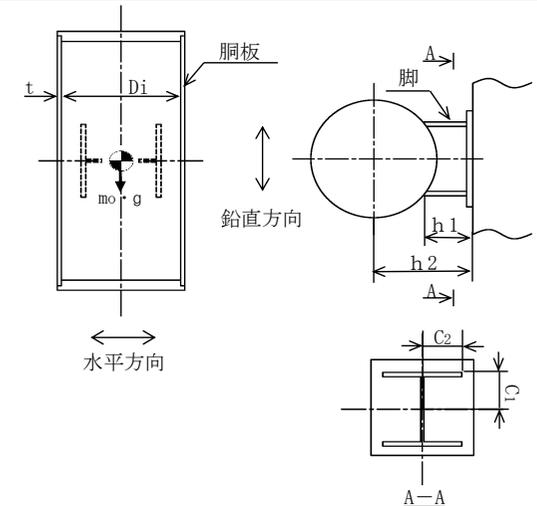
A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)	K ₁₁ *3	K ₁₂ *3	K ₂₁ *3	K ₂₂ *3	K _{ℓ1}	K _{ℓ2}	K _{c1}	K _{c2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{c1}	C _{c2}
4.287×10 ³	1.588×10 ³	3.207×10 ³	1.437×10 ³			—	—								

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)
188 *1	479 *1	126 *1	241 *2 (厚さ≦16mm)	394 *2	241

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。



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 13$	$\sigma_{x 1} = 7$
運転時質量による応力	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—
組合せ応力	—		$\sigma_0 = 13$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	胴の横方向		脚の軸方向		胴の横方向		脚の軸方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 13$	$\sigma_{x 1} = 7$	$\sigma_{\phi 1} = 13$	$\sigma_{x 1} = 7$
運転時質量による応力	引張り	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	$\sigma_{x 2} = 1$	$\sigma_{\phi 2} = 2$	$\sigma_{x 2} = 1$
	せん断	—		—		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$
鉛直方向地震による応力	引張り	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$
	せん断	—		—		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$
水平方向地震による応力	引張り	—	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 2$	$\sigma_{x 4} = 4$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x 5} = 2$
	せん断	—		—		$\tau_c = 1$		—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1c} = 18$		$\sigma_{1p} = 19$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
		胴の横方向		脚の軸方向		胴の横方向		脚の軸方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
鉛直方向地震による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$ $\sigma_{2\phi 3} = 3$	$\sigma_{x 3} = 1$ $\sigma_{2x 3} = 4$	$\sigma_{\phi 3} = 2$ $\sigma_{2\phi 3} = 3$	$\sigma_{x 3} = 1$ $\sigma_{2x 3} = 4$
	せん断	—		—		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$	
水平方向地震による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 2$ $\sigma_{2\phi 4} = 14$	$\sigma_{x 4} = 4$ $\sigma_{2x 4} = 7$	$\sigma_{\phi 5} = 2$ $\sigma_{2\phi 5} = 6$	$\sigma_{x 5} = 2$ $\sigma_{2x 5} = 4$
	せん断	—		—		$\tau_c = 1$		—	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2c} = 38$		$\sigma_{2p} = 23$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		胴の横方向	脚の軸方向	胴の横方向	脚の軸方向
		運転時質量による応力	曲げ	—	—
せん断	—		—	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 2$	$\sigma_{s2} = 2$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s3} = 1$	—
	圧縮	—	—	—	$\sigma_{s4} = 1$
	せん断	—	—	$\tau_{s3} = 2$	—
組合せ応力		—	—	$\sigma_{sc} = 6$	$\sigma_{sp} = 5$

30

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	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
胴板	SUS304TP	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 13$	$S_a = 188$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 19$	$S_a = 282$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 38$	$S_a = 377$
脚	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s = 6$	$f_t = 241$

すべて許容応力以下である。

7. 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 Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

(4) ボンベラッ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 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	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	13
4.5 設計用地震力	13
4.6 計算方法	14
4.6.1 ボンベラック（はり要素）	14
4.6.2 ボンベラック（シェル要素）	14
4.6.3 溶接部	14
4.7 計算条件	17
4.8 応力の評価	17
4.8.1 ボンベラックの応力評価	17
4.8.2 溶接部の応力評価	17
5. 評価結果	18
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却海水系空気ポンベラック（以下「ポンベラック」という。）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。

ポンベラックは、設計基準対象施設においてはS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 構造計画

ポンベラックの構造計画を表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>ボンベラックは、壁面に設定したアンカプレートに溶接にて固定する。</p>	<p>ボンベラックは、溶接にて組み立てたフレームにポンペを固定する構造である。</p>	<p>空気ボンベラック (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ボンベラックの応力評価は、V-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」にて示すボンベラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 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。

ボンベラックの耐震評価フローを図2-1に示す。



図 2-1 ボンベラックの耐震評価フロー

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。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_w	溶接部の有効断面積（1箇所当たり）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E_1	ボンベラックの縦弾性係数	MPa
E_2	ボンベラックの縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.2に定める値	MPa
F_w	取付面に対し前後方向に作用する最大せん断力	N
F_{w1}	取付面に対し平行方向に作用するせん断力	N
F_{w2}	取付面に対し前後方向に作用するせん断力（正面方向転倒）	N
F_{w3}	取付面に対し前後方向に作用するせん断力（側面方向転倒）	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
f_t	ボンベラックの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
L_w	溶接長（1箇所当たり）	mm
l_3	重心と下側溶接部間の距離	mm
l_4	上側溶接部と下側溶接部中心間の距離	mm
l_5	左側溶接部と右側溶接部中心間の距離	mm
m	ボンベ設備の質量	kg
n	溶接箇所数	—
n_{vw1}	鉛直方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受けるとして期待する溶接箇所数	—
n_{HW1}	水平方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受けるとして期待する溶接箇所数	—
S	溶接部の脚長	mm
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
T	温度条件	°C
ν	ポアソン比	—

記号	記号の説明	単位
σ	はり要素の組合せ応力	MPa
σ_a	はり要素の軸応力	MPa
σ_b	はり要素の曲げ応力	MPa
σ_x	シェル要素のX方向応力	MPa
σ_y	シェル要素のY方向応力	MPa
σ_s	シェル要素の組合せ応力	MPa
τ	はり要素のせん断応力	MPa
τ_w	溶接部に生じる最大せん断応力	MPa
τ_{w3}	取付面に対し平行方向に作用するせん断応力	MPa
τ_{w4}	取付面に対し前後方向に作用するせん断応力	MPa
τ_{xy}	シェル要素のせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	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：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 位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ボンベラックの耐震評価は、「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ボンベラック、アンカプレートへの溶接部について実施する。

ボンベラッ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. 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) 地震力は、ボンベラックに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、原則として、強度評価において組み合わせるものとする。なお、溶接部においては、作用する応力の算出において組み合わせるものとする。
- (2) 拘束条件として、ボンベラックは、溶接により X, Y, Z の 3 方向を固定として設定する。
- (3) ボンベ本体は、ボンベラックにプレート及びボルトにて固定され収納されており、解析上、断面性状を考慮したはり要素としてモデル化する。
- (4) 各ボンベから配管への接続管は、接続を容易にするためフレキシビリティを有した構造としており、地震時におけるボンベと配管の相対変位は微小であることから、地震時の変位を十分吸収できるものとする。
- (5) 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

ボンベラッ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

ボンベラックの許容応力は、V-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

ボンベラック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
その他発電 用原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	取水槽水位計 (原子炉補機冷 却海水系空気ボ ンベラック)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	III _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（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト以外)	
	一次応力	
	せん断	組合せ
III _A S	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$

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 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ボンベラック		周囲環境温度	40			—
		周囲環境温度	40			—
溶接部		周囲環境温度	40			—

4.3 解析モデル及び諸元

ボンベラックの解析モデルを図4-1に、解析モデルの諸元を表4-4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【ボンベラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ボンベラックは構成する鋼材をシェル要素及びはり要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件として、ボンベラックは、溶接によりX, Y, Zの3方向を固定として設定する。
- (3) ボンベ及びボンベラックの質量は、密度にて与えるものとする。
- (4) 解析コードは「ABAQUS」を使用し、固有値、ボンベラックの応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

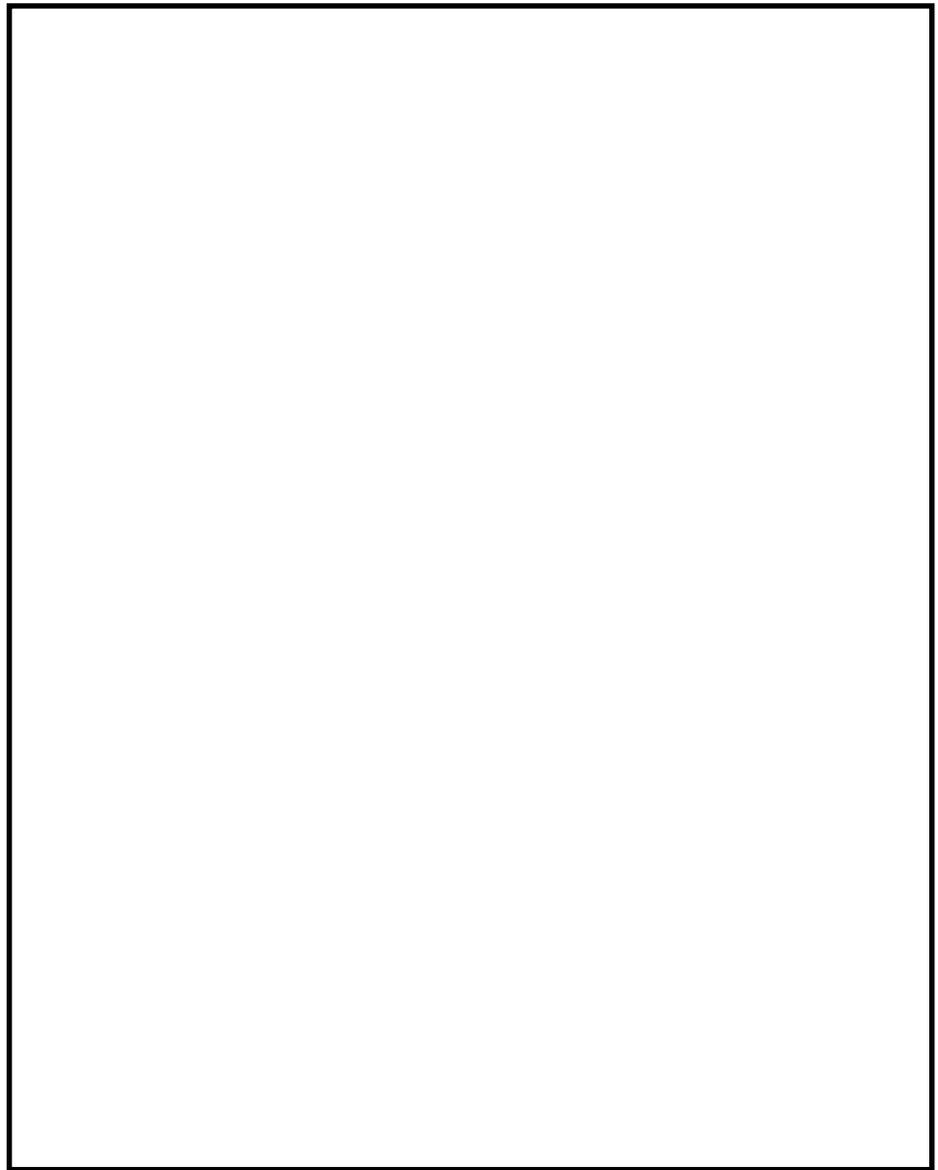


図4-1 解析モデル

表4-4 解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材質 (ボンベ)	—	—	マンガン鋼
材質 (ボンベラック)	—	—	
材質 (プレート)	—	—	
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	40
縦弾性係数 (ボンベ)	E	MPa	200667
縦弾性係数 (ボンベラック)	E	MPa	
縦弾性係数 (プレート)	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	0.3
質量 (ボンベ)	m	kg	
質量 (ボンベラック, プレート)	m	kg	
ボンベ数	—	本	2
要素数	—	個	19708
節点数	—	個	21334

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-5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4-5 固有周期

形状	モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
				水平方向		鉛直方向
				N S方向	E W方向	
ボンベ	1次	鉛直	0.044	—	—	—
ラック	3次	水平	0.025	—	—	—

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-6に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、V-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4-6 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)		弾性設計用地震力 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
	0.025	0.044	—	—	C _H =1.23	C _V =0.95

注記* : 基準床レベルを示す。

4.6 計算方法

4.6.1 ボンベラック（はり要素）

ボンベラックの応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X, Y）を考慮し、シェル要素及びはり要素による解析結果を用いる。ここで、はり要素の組合せ応力の算出式は下記による。

応力の種類	単位	応力算出式
組合せ応力	MPa	$\sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$

4.6.2 ボンベラック（シェル要素）

ボンベラックの応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X, Y）を考慮し、シェル要素及びはり要素による解析結果を用いる。ここで、シェル要素の組合せ応力の算出式は下記による。

応力の種類	単位	応力算出式
組合せ応力	MPa	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$

4.6.3 溶接部

(1) ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断力

ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断力は全溶接部で受けるものとして計算する。

$$F_{w1} = \sqrt{(m \cdot C_H \cdot g)^2 + (m \cdot (1 + C_V) \cdot g)^2} \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断応力（ τ_{w3} ）

$$\tau_{w3} = \frac{F_{w1}}{n \cdot A_w} \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

ここで、せん断を受ける溶接部の有効断面積 A_w は、

$$A_w = (S / \sqrt{2}) \times L_w \dots\dots\dots (4.6.3.3)$$

(2) ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断応力

溶接部に対する力は最も厳しい条件として、図 4-2 及び図 4-3 で最外列の溶接部を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計算する。

計算モデル図 4-2 に示す正面方向転倒の場合のせん断力 (F_{w2})

$$F_{w2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{vw1} \cdot l_4} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{HW1} \cdot l_5} \dots\dots\dots (4.6.3.4)$$

計算モデル図 4-3 に示す側面方向転倒の場合のせん断力 (F_{w3})

$$F_{w3} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot l_3 \cdot g}{n_{vw1} \cdot l_4} \dots\dots\dots (4.6.3.5)$$

ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断力

$$F_w = \text{M a x} (F_{w2}, F_{w3}) \dots\dots\dots (4.6.3.6)$$

ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断応力 (τ_{w4})

$$\tau_{w4} = \frac{F_w}{A_w} \dots\dots\dots (4.6.3.7)$$

(3) 溶接部の応力

$$\tau_w = \text{M a x} (\tau_{w3}, \tau_{w4}) \dots\dots\dots (4.6.3.8)$$

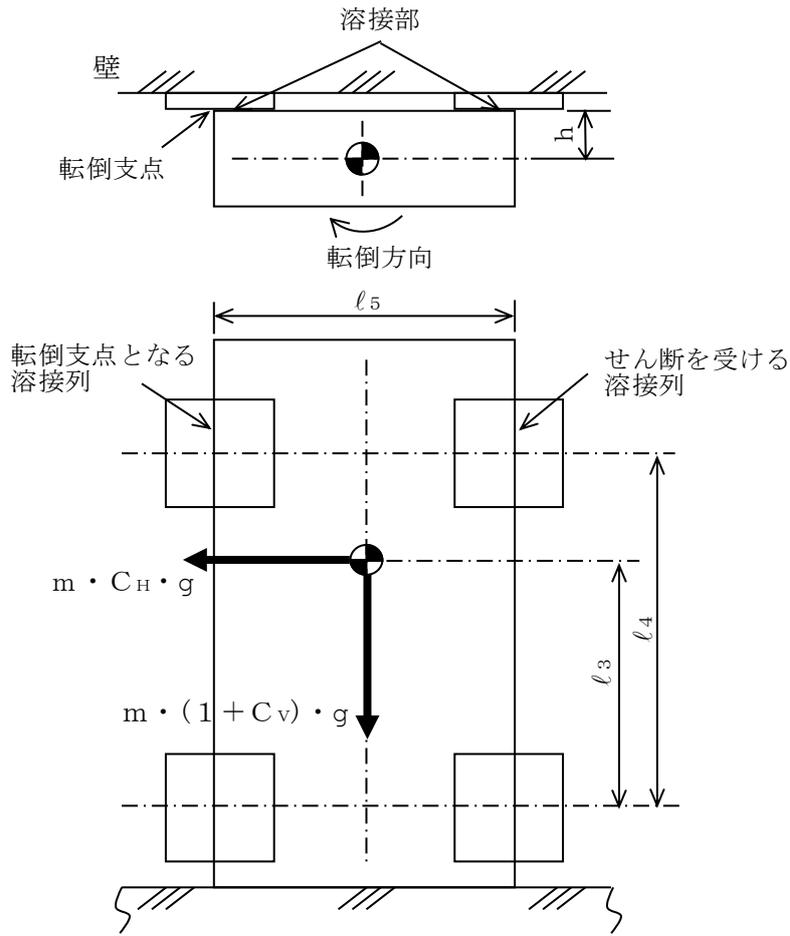


図4-2 計算モデル（正面方向転倒）

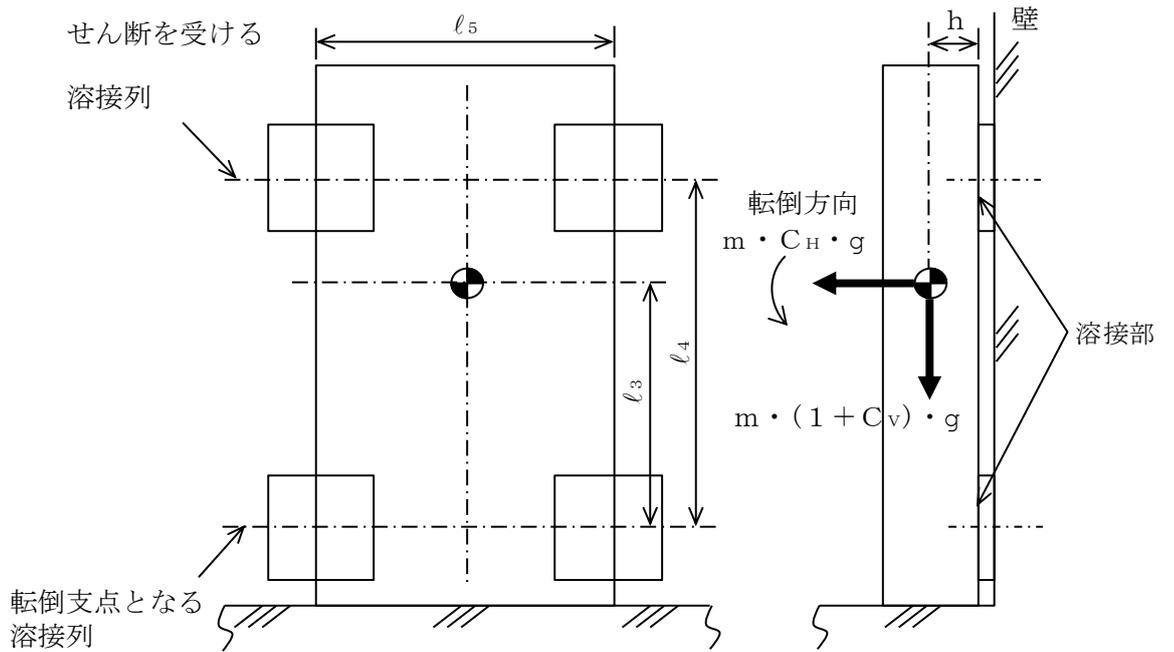


図4-3 計算モデル（側面方向転倒）

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（ボンベラック）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【ボンベラッ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。

4.8 応力の評価

4.8.1 ボンベラックの応力評価

4.6.1項及び4.6.2項で求めたボンベラックの組合せ応力が許容応力 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	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 溶接部の応力評価

4.6.3項で求めた溶接部のせん断応力が許容応力 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	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ボンベラッ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。

【ボンベラッ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 _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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		
ボンベラック	S		0.025	0.044	—	—	C _H =1.23	C _V =0.95	—	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	h (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	A _w (mm ²)	E ₁ (mm)	E ₂ (mm)	ν	n	n _{v w 1}		n _{H w 1}	
										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
			1500		763.7			0.3	4	—	2	—	2

19

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
ボンベラック				245
				245
溶接部				245

1.3 計算数値

1.3.1 取付面に対し平行方向に作用するせん断力 (単位：N)

部材	F _{w1}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	9.270×10 ³

1.4 結論

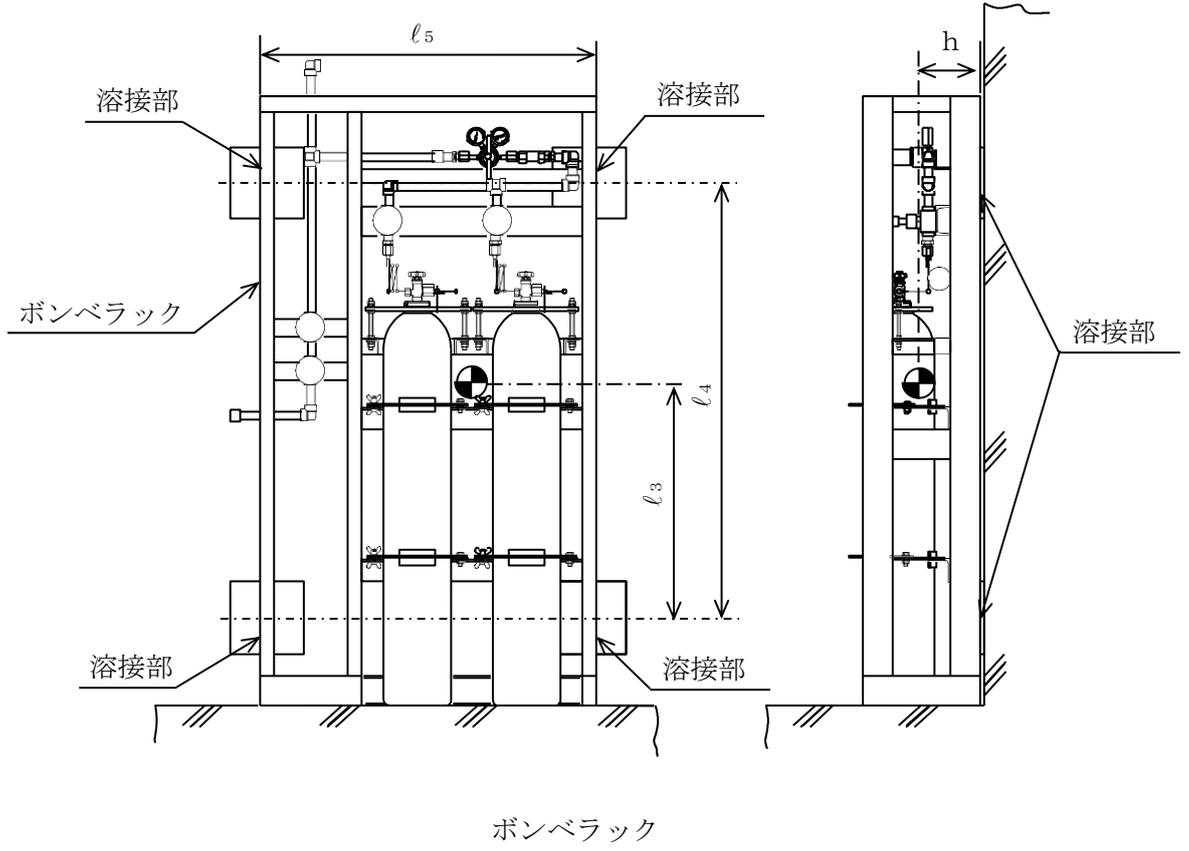
1.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	固有周期	卓越方向
1次	0.044	鉛直

1.4.2 応力及び許容荷重 (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
ボンベラック		組合せ	—	—	$\sigma_s = 79$	$f_t = 245$
溶接部		せん断	—	—	$\tau_w = 3$	$f_s = 141$

すべて許容応力以下である。



K7 ① V-2-10-2-4-3(5) R1

(5) 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	6
3.1	計算方法	6
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3	設計条件	8
3.4	材料及び許容応力	12
3.5	設計用地震力	13
4.	解析結果及び評価	14
4.1	固有周期及び設計震度	14
4.2	評価結果	19
4.2.1	管の応力評価結果	19
4.2.2	支持構造物評価結果	20
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	22

1. 概要

本計算書は、V-2-1-14 「計算書作成の方法 添付資料-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及び動的機能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評価結果を解析モデル単位に記載する。また、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

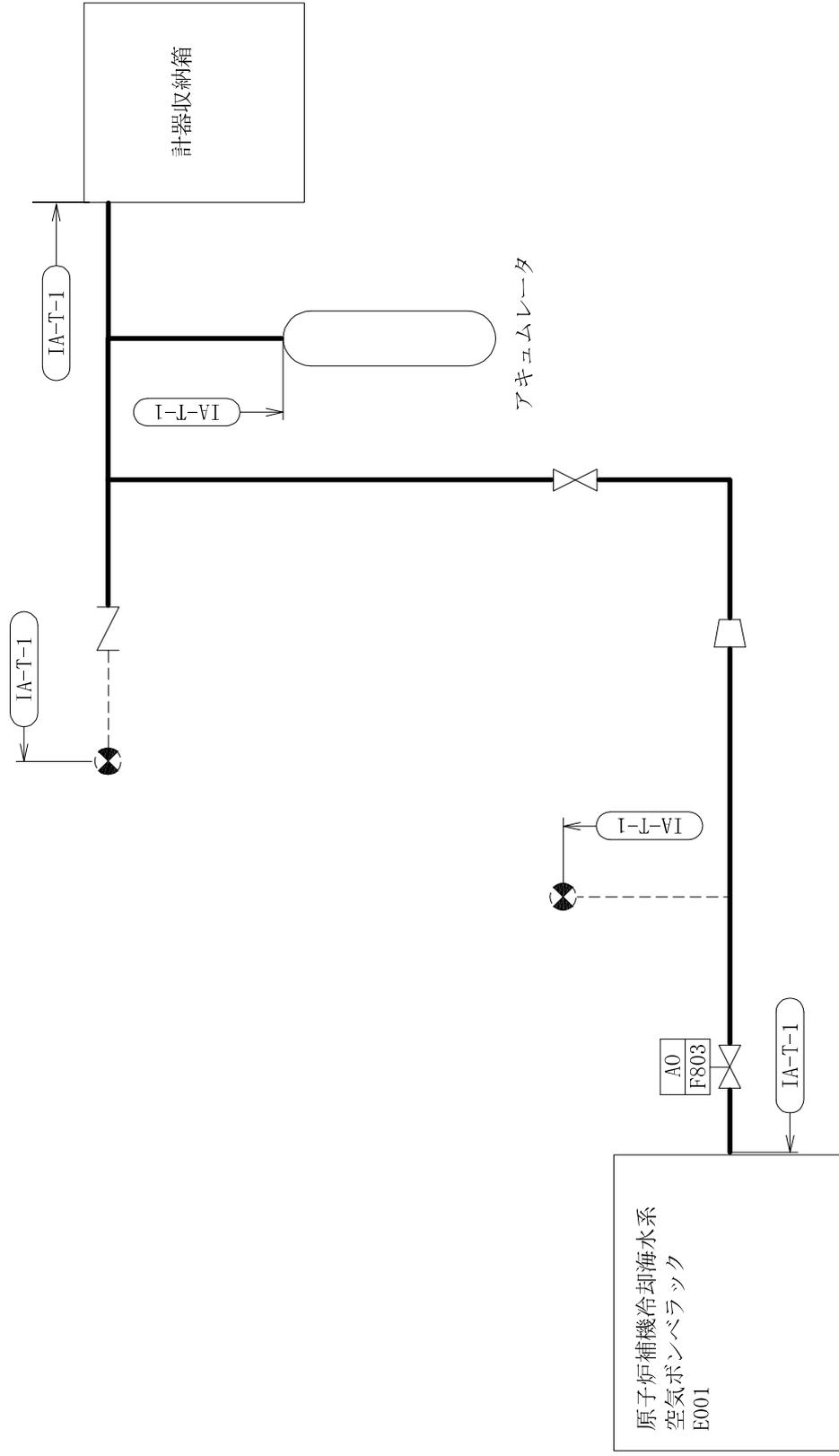
2.1 概略系統図

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

K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1

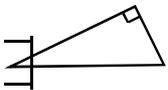
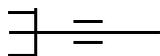
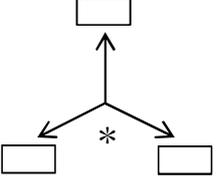
K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1



原子炉補機冷却海水系(取水位計測廻り)概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

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、本システム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、他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図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
	リジットハンガ
	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, □ 内に 変位量を記載する。)

注1：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1

K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1

5

鳥瞰図	IA-T-1
-----	--------

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、「H I S A P」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、別紙「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 ^{*1}	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2,3}	許容応力状態
浸水防護施設	取水槽水位計	原子炉補機冷却海水系	DB	—	クラス3管	S	I _L + S _s	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SA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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 IA-T-1

管番号	対応する評価点	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	1A~18, 12~23N 15~28, 29~57	0.86	66	21.7	2.8	SUS304TP	S	193667
2	58~66	0.86	66	27.2	2.9	SUS304TP	S	193667
3	71~85A	15.00	66	27.2	2.9	SUS304TP	S	193667

弁部の寸法

鳥瞰図 IA-T-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
18~19				28~29			
66~67				67~68			
68~69				69~70			
67~71							

K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1

弁部の質量

鳥瞰図 IA-T-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	18～19		28～29
	66, 71		67
	68		69

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 IA-T-1

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
1A						
6						
17						
23N						
30						
37						
41						
45						
50						
56						
63						
70						
72						
78						
81						
85A						

K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1

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
SUS304TP	66	—	188	—	126

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V-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
用いる。また、減衰定数はV-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	建屋・構築物	標高	減衰定数(%)
IA-T-1	タービン建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 IA-T-1

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度*2							
静的震度*3							

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：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*3：3.6C_I及び1.2C_V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 IA-T-1

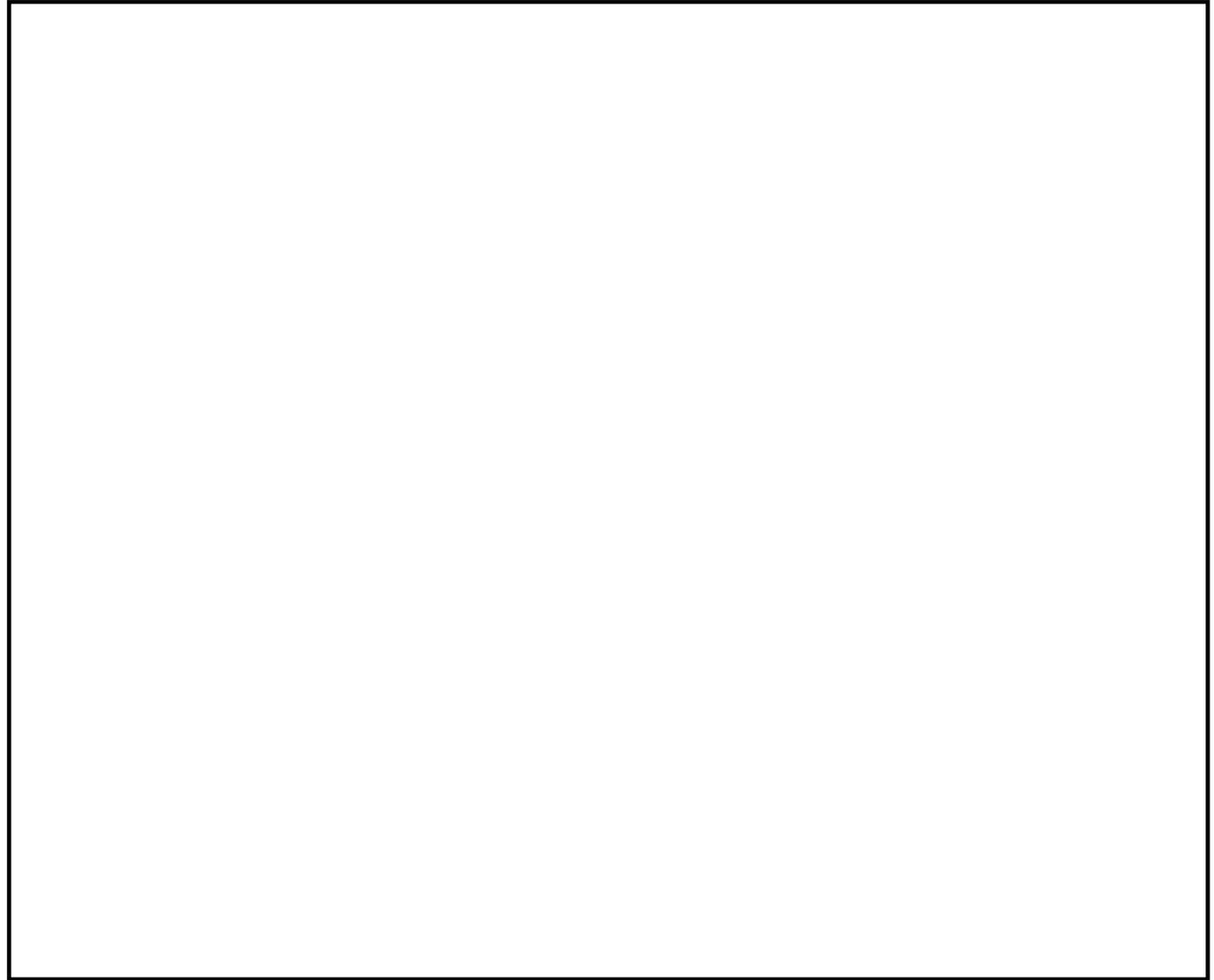
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

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

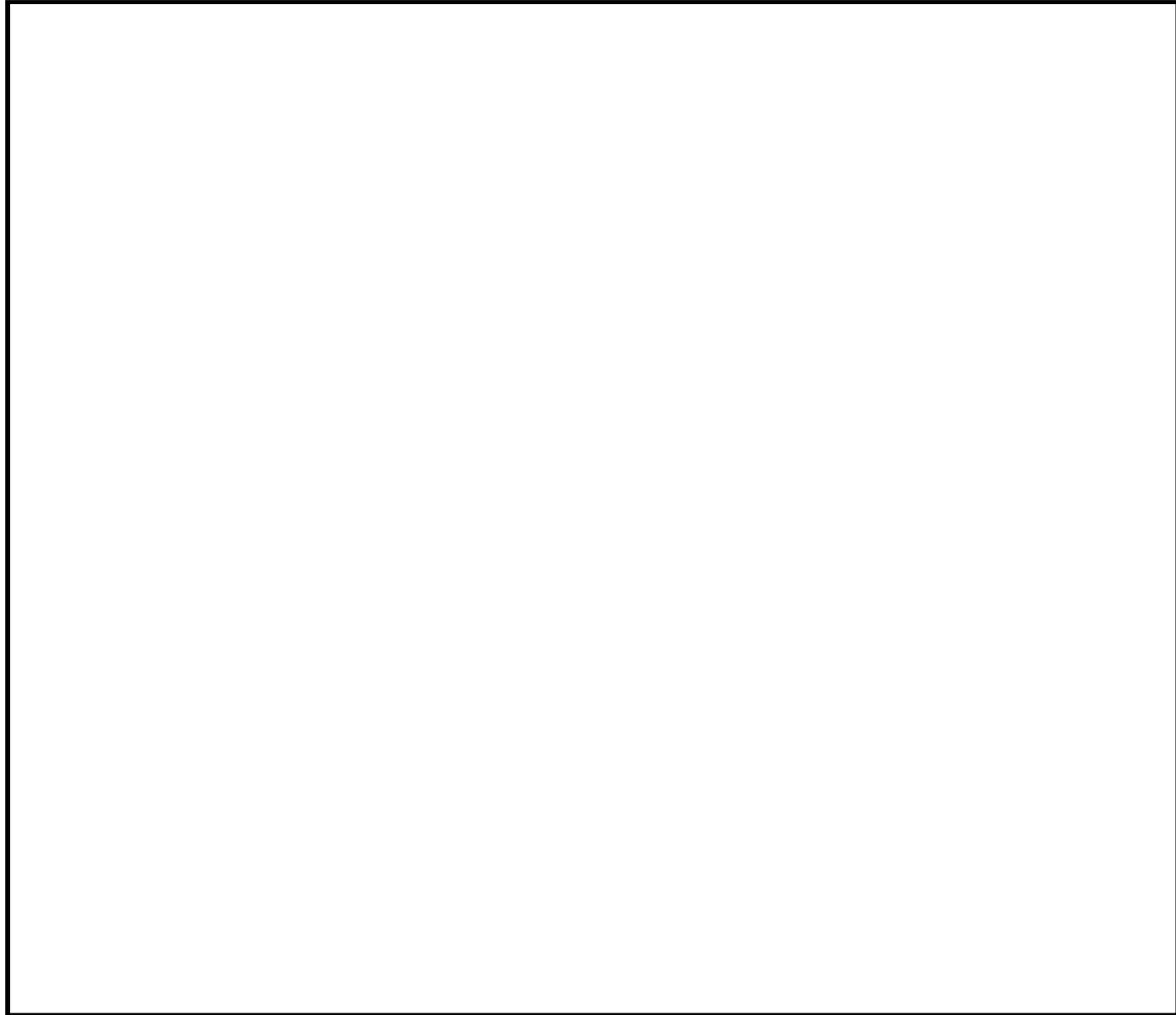
代表的振動モード図

振動モード図は、2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)



代表的振動モード図 (2次)



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	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{prm} (S_s)$	S_y^*	$S_n (S_s)$	$2S_y$	$U S_s$
IA-T-1	Ⅲ A S	65	$S_{prm} (S_s)$	154	188	—	—	—
	Ⅲ A S	35	$S_n (S_s)$	—	—	219	376	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 S_h$ のうち大きい方の値とする。

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 _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-IA-09	レストレイント	Uボルト	SS400	66	0	2	0.1	-	-	-	圧縮	19	169

K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1

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
—	—	—	—	—	—	—	—	—

K7 ① V-2-10-2-4-3(5) (設) R1E

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，設計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 III A 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	IA-T-1	65	154	188	1.22	○	35	219	376	1.71	○	—	—	—

V-2-10-2-4-4 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
-------------	---

1. 概要

津波監視カメラは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。

以下、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、津波監視カメラを構成する津波監視カメラ及び津波監視カメラ制御架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。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 津波監視カメラ

V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、津波の監視に用いる津波監視カメラの計算結果を本計算書に記載する。

(2) 津波監視カメラ制御架

V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、津波の監視に用いる津波監視カメラ制御架の計算結果を本計算書に記載する。

本計算書は以下の構成で津波監視カメラの評価結果を示す。

- (1) 津波監視カメラの耐震性についての計算書
- (2) 津波監視カメラ制御架の耐震性についての計算書

(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. 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. 固有周期	9
4.1 固有値解析方法	9
4.2 解析モデル及び諸元	9
4.3 固有値解析結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 評価結果	22
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	22

1. 概要

本計算書は、V-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、設計基準対象施設においてはS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および電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

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

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、カメラ架台に監視カメラ取付ボルトにより固定され、カメラ架台は取付ボルトにより7号機主排気筒支柱材に固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>【津波監視カメラ】</p> <p>(正面方向)</p> <p>280</p> <p>446</p> <p>監視カメラ</p> <p>カメラ架台</p> <p>(側面方向)</p> <p>2147</p> <p>1665</p> <p>監視カメラ取付ボルト</p> <p>カメラ架台</p> <p>取付ボルト</p> <p>7号主排気筒 支柱材</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

津波監視カメラの応力評価は、V-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」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」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、「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、津波監視カメラの機能維持評価は、V-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、「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。

津波監視カメラの耐震評価フローを図2-1に示す。

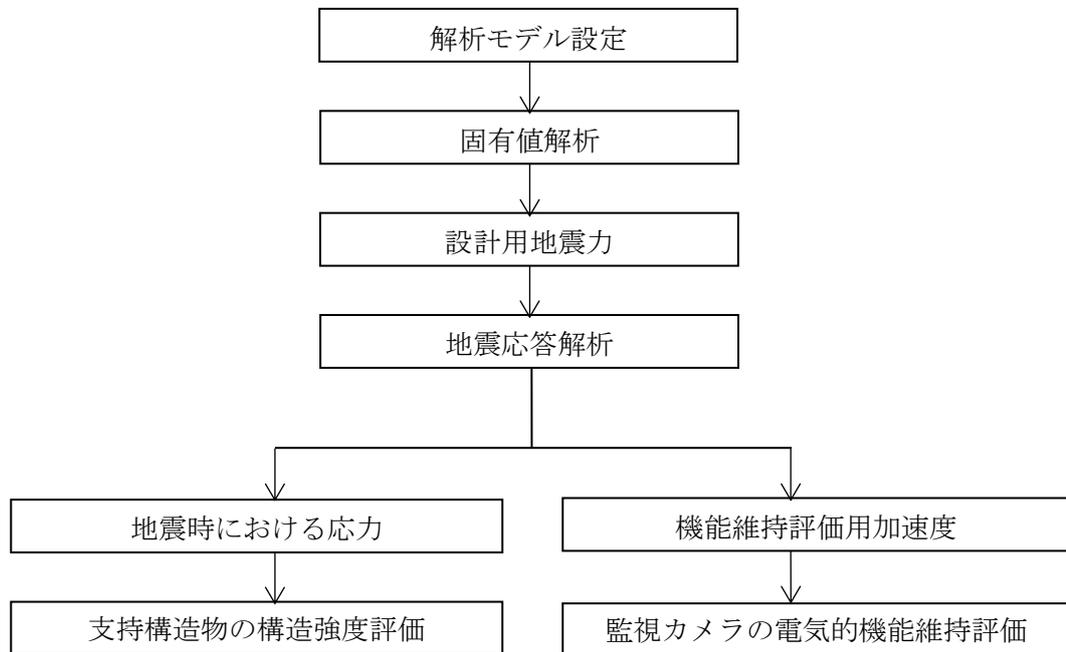


図2-1 津波監視カメラの耐震評価フロー

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。

- ・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)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・建築物荷重指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2015 改定)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
C f	風力係数	—
CH	水平方向設計震度	—
Cv	鉛直方向設計震度	—
d s	積雪の垂直堆積量	cm
F b	取付ボルトに作用する引張力	N
f s t	引張力を同時に受ける取付ボルトの許容せん断応力	N/mm ²
f s o	取付ボルトの短期許容せん断応力度	N/mm ²
f t s	引張力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	N/mm ²
f t o	取付ボルトの短期許容引張応力度	N/mm ²
N	基礎部に作用する引張力	kN
n	取付ボルトの本数	—
P1	カメラ架台固定荷重	kN/m
P2	カメラ本体固定荷重	kN
Q b	取付ボルトに作用するせん断力	kN
Q h b	基礎部に作用するせん断力 (Y方向)	kN
Q v b	基礎部に作用するせん断力 (Z方向)	kN
T o	取付ボルトの設計ボルト張力	kN
σ b	取付ボルトに作用する引張応力	N/mm ²
q	風荷重の速度圧	N/m ²
τ b	取付ボルトに作用するせん断応力	N/mm ²
ρ s	積雪の単位荷重	N/m ² /cm
θ	作用力の角度	°
σ t	鋼材に作用する引張応力	N/mm ²
σ b h	鋼材に作用する曲げ応力 (Y方向)	N/mm ²
σ b v	鋼材に作用する曲げ応力 (Z方向)	N/mm ²
τ h	鋼材に作用するせん断応力 (Y方向)	N/mm ²
τ v	鋼材に作用するせん断応力 (Z方向)	N/mm ²
A	鋼材の断面積	mm ²
A e	鋼材の引張軸力時有効断面積	mm ²
A h	鋼材のせん断有効断面積 (Y方向)	mm ²
A v	鋼材のせん断有効断面積 (Z方向)	mm ²
Z h	鋼材の断面係数 (Y方向)	mm ³
Z v	鋼材の断面係数 (Z方向)	mm ³

記号	記号の説明	単位
N_t	鋼材に作用する最大引張軸力	kN
M_h	鋼材に作用する最大曲げモーメント (Z軸周り)	kN・m
M_v	鋼材に作用する最大曲げモーメント (Y軸周り)	kN・m
Q_{hw}	鋼材に作用するせん断力 (Y方向)	kN
Q_{vw}	鋼材に作用するせん断力 (Z方向)	kN
f_t	鋼材の許容引張応力度	N/mm ²
f_b	鋼材の許容曲げ断応力度	N/mm ²
f_s	鋼材の許容せん断応力度	N/mm ²
E	縦弾性係数	N/mm ²
ν	ポアソン比	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	N/mm ²	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	N/mm ²	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：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

3. 評価部位

津波監視カメラの耐震評価は、「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取付ボルト、カメラ架台について実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 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) 津波監視カメラは、「4.2 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。

4.2 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【津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK1) の耐震性についての計算結果】、【津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK2) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 監視カメラの質量は、設置位置に質点質量として考慮する。
- (2) 拘束条件として、津波監視カメラ架台と主排気筒との接続位置の節点の並進方向及び図4-1に示す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。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 計算機プログラムは「NX 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。

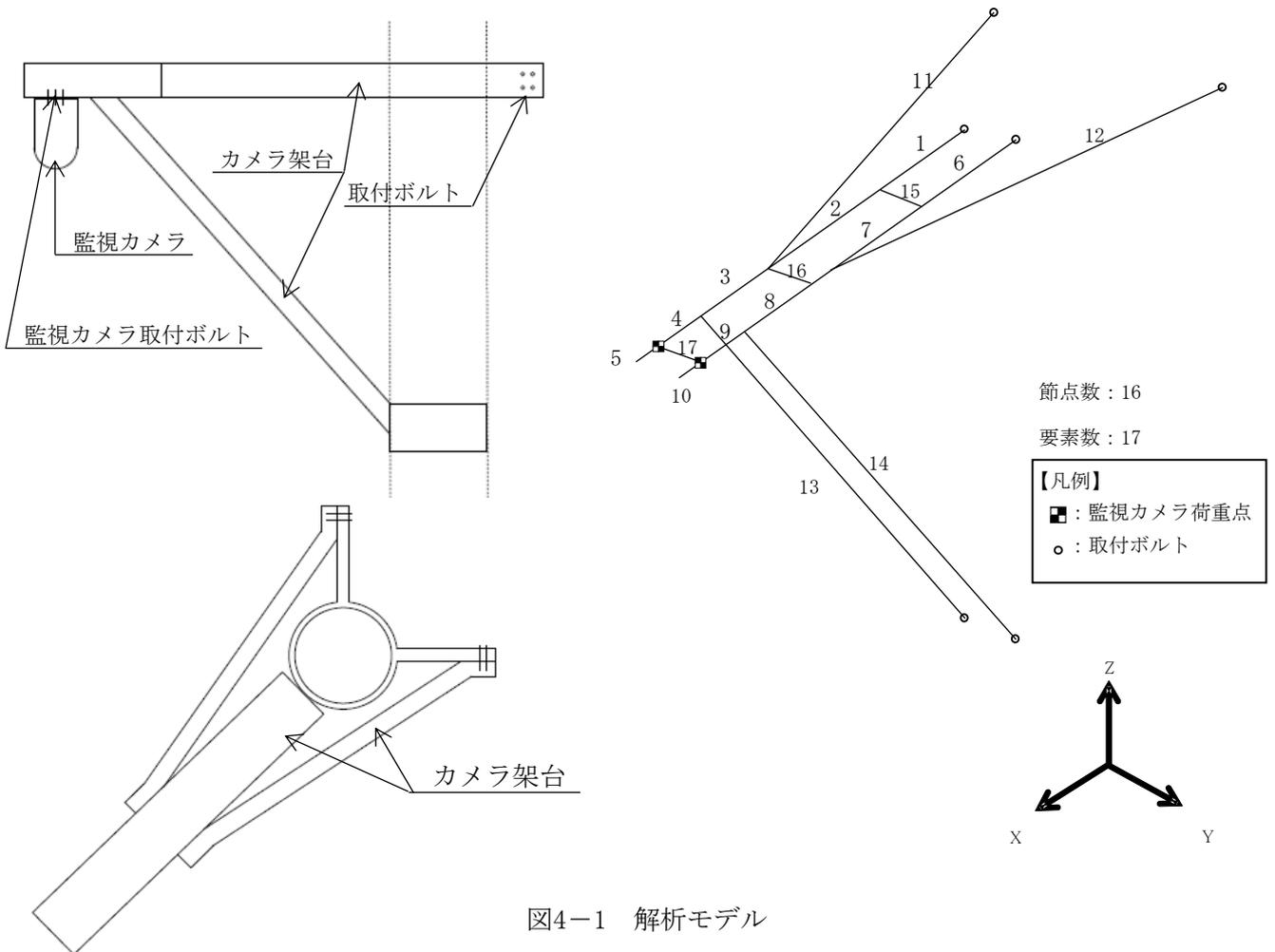


図4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 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 4-1 固有値解析結果

対象計器	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	
U51-ITV- No. STACK1	1次	水平	<input type="text"/>	—	—	—
U51-ITV- No. STACK2	1次	水平	<input type="text"/>	—	—	—

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(4)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。

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

津波監視カメラ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に示す。

なお、津波監視カメラはV-1-1-3-2-1「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保守的に風荷重を考慮する。

5.2.2 許容応力

津波監視カメラの許容応力は、V-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

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5-3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 _A 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 _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 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, *2} (ボルト等以外)			許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力			一次応力	
	引張り	せん断	曲げ	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	許容限界 (N/mm ²) *1		
		引張り	せん断	曲げ
取付ボルト	F8T	375*2	180*2	—
カメラ架台	SN490B	325*2	187*2	325*2

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：鋼構造設計規準・同解説「許容応力度設計法」に基づく値。

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、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

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 (U51-ITV- No. STACK1)	主排気筒 T. M. S. L. 76.660 (T. M. S. L. 80.000*)	□	0.05 以下	—	—	$C_H=6.89$	$C_V=1.82$
津波監視カメラ (U51-ITV- No. STACK2)	主排気筒 T. M. S. L. 76.660 (T. M. S. L. 80.000*)	□	0.05 以下	—	—	$C_H=6.89$	$C_V=1.82$

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

5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、三次元はりモデルによる個別解析から取付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。

取付ボルトに作用する引張力 F_b 及びせん断力 Q_b は次式より求める。

$$F_b = N \cdot \sin \theta + Q_{hb} \cdot \sin(90 - \theta) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$Q_b = \sqrt{(N \cdot \cos \theta + Q_{hb} \cdot \cos(90 - \theta))^2 + Q_{vb}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、 N 、 Q_{hb} 及び Q_{vb} は基礎部に作用する力であり解析により求まる。作用角度は図 5-1 に示す通りである。

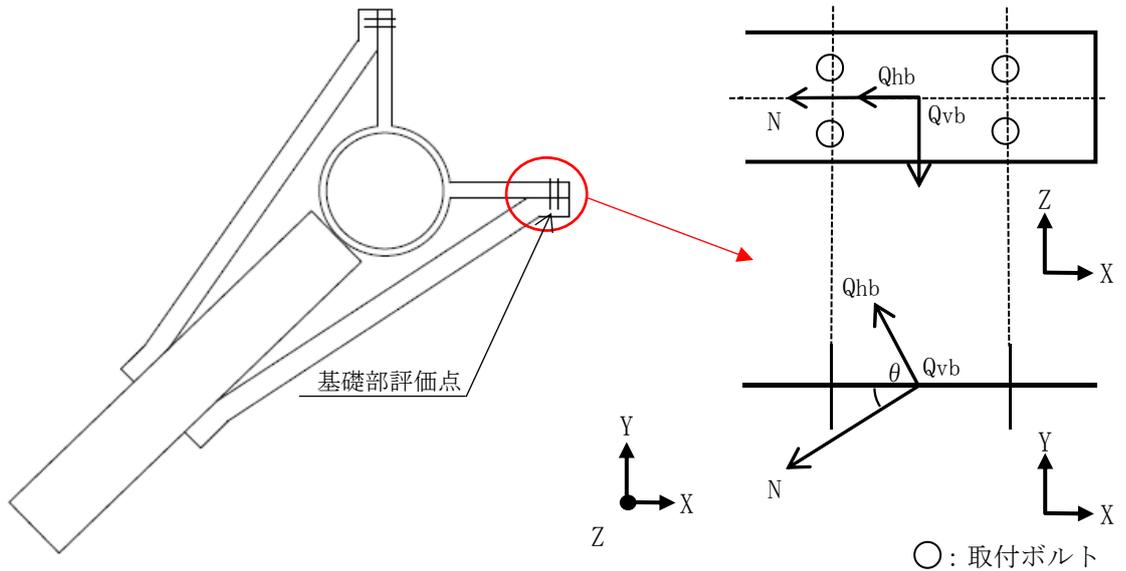


図 5-1 計算モデル (取付ボルト)

取付ボルトに作用する引張応力 σ_b 及びせん断応力 τ_b は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

(1) 引張応力

取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.5.1.1.5)$$

(2) せん断応力

取付ボルトのせん断応力 τ_b は鋼構造設計規準より求めた高力ボルトの許容せん断応力 f_{st} 以下であること。

$$f_{st} = f_{so} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_b \cdot A_b}{T_o}\right) \dots\dots\dots (5.5.1.1.6)$$

5.4.1.2 カメラ架台の計算方法

カメラ架台は、三次元はりモデルによる個別解析からカメラ架台の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

カメラ架台に作用する力は図5-2に示す通りである。

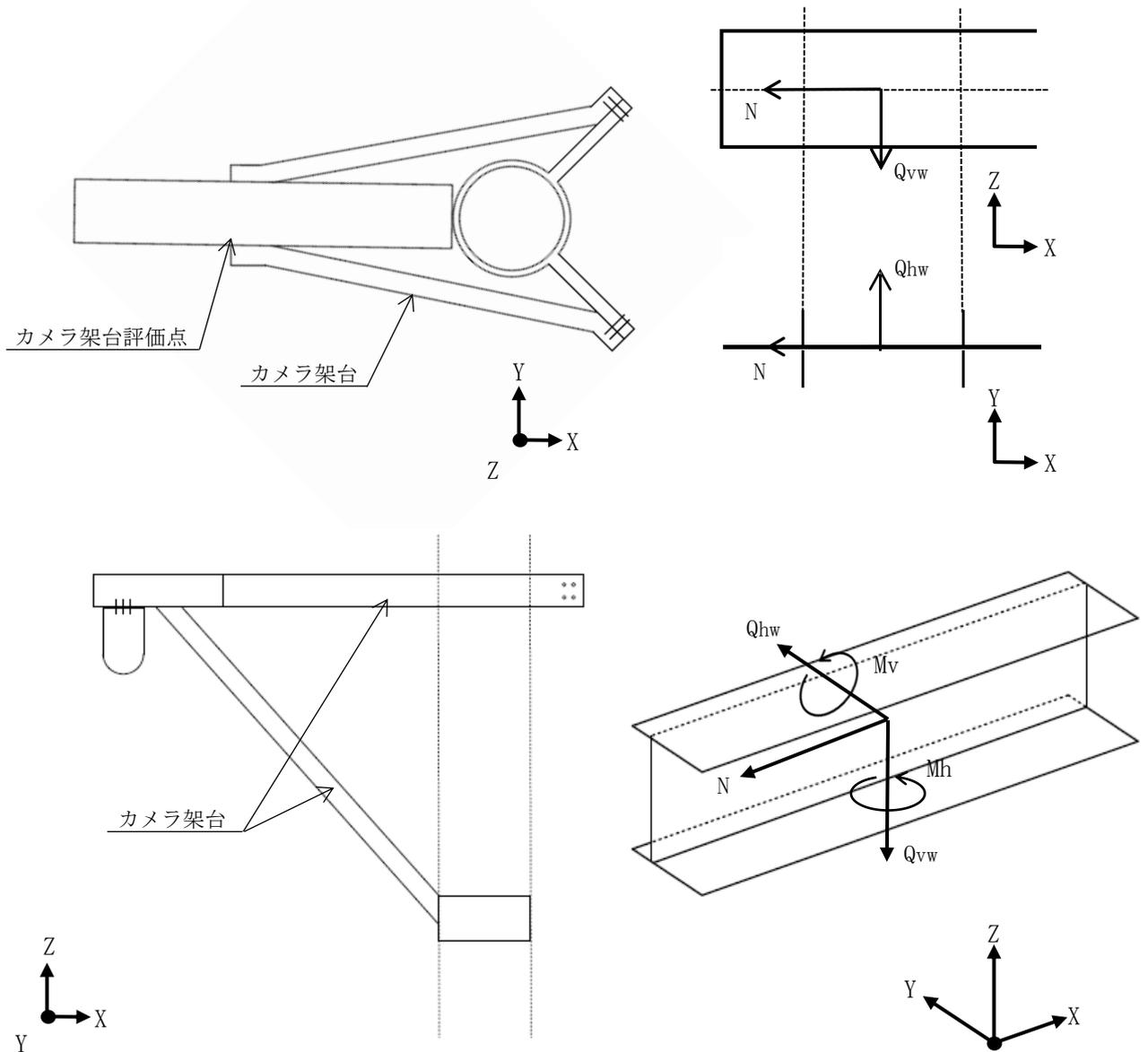


図5-2 計算モデル (カメラ架台)

カメラ架台に作用する引張応力 σ_t 、曲げ応力 σ_{bv} 、 σ_{bh} 及びせん断応力 τ_v 、 τ_h は次式より求める。

$$\sigma_t = \frac{N_t \cdot 10^3}{A_e} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$\sigma_{bv} = \frac{M_v \cdot 10^6}{Z_v} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

$$\sigma_{bh} = \frac{M_h \cdot 10^6}{Z_h} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

$$\tau_v = \frac{Q_{vw} \cdot 10^3}{A_v} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

$$\tau_h = \frac{Q_{hw} \cdot 10^3}{A_h} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ここで、 N_t 、 M_v 、 M_h 、 Q_{vw} 、 Q_{hw} はカメラ架台に作用する力であり解析により求まる。

(1) 引張り

カメラ架台の引張応力 σ_t は鋼構造設計規準より基づく下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.6)$$

(2) 曲げ

カメラ架台の曲げ応力 σ_{bv} 、 σ_{bh} は鋼構造設計規準より基づく下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_{bv}}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.7)$$

$$\frac{\sigma_{bh}}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.8)$$

(3) せん断

カメラ架台のせん断応力 τ_v 、 τ_h は鋼構造設計規準より基づく下式を満足すること。

$$\frac{\tau_v}{f_s} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.9)$$

$$\frac{\tau_h}{f_s} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.10)$$

(4) 組合せ

カメラ架台の組合せ応力は鋼構造設計規準より引張り、曲げ（Y軸）、曲げ（Z軸）を組合せて下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{bh} + \sigma_{bv}}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.11)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、表 5-5 に示す。

表 5-5 計算条件 (カメラ本体)

項目	記号	単位	数値等
カメラ架台固定荷重	P1	kN/m	0.25
カメラ本体固定荷重	P2	kN	0.50
水平方向設計震度	C _H	-	6.89
鉛直方向設計震度	C _V	-	1.82
風荷重の速度圧*	q	N/m ²	3360
風力係数	C _f	-	2.1
積雪の垂直堆積量	d _s	cm	115.4
積雪の単位荷重	ρ _s	N/m ² /cm	29.4
取付ボルトの軸断面積	A _b	mm ²	314
取付ボルトの本数	n	-	4
取付ボルトの短期許容引張応力度	f _{t o}	N/mm ²	375
取付ボルトの短期許容せん断応力度	f _{s o}	N/mm ²	180
取付ボルトの設計ボルト張力	T _o	kN	133
基礎部に作用する引張力	N	kN	108.3
基礎部に作用するせん断力 (Y 方向)	Q _{h b}	kN	3.62
基礎部に作用するせん断力 (Z 方向)	Q _{v b}	kN	2.11
作用力の角度	θ	°	35.2
鋼材の断面積	A	mm ²	2710
鋼材の引張軸力時有効断面積	A _e	mm ²	1652
鋼材のせん断有効断面積 (Z 方向)	A _v	mm ²	910
鋼材のせん断有効断面積 (Y 方向)	A _h	mm ²	1800
鋼材の断面係数 (Y 方向)	Z _h	mm ³	32006
鋼材の断面係数 (Z 方向)	Z _v	mm ³	134890
鋼材に作用する最大引張軸力	N _t	kN	108.83
鋼材に作用する最大曲げモーメント (Y 軸周り)	M _h	kN・m	3.58
鋼材に作用する最大曲げモーメント (Z 軸周り)	M _v	kN・m	0.83
鋼材に作用する最大せん断力 (Y 方向)	Q _{h w}	kN	10.09
鋼材に作用する最大せん断力 (Z 方向)	Q _{v w}	kN	4.17
鋼材の許容引張応力度	f _t	N/mm ²	325
鋼材の許容曲げ断応力度	f _b	N/mm ²	325
鋼材の許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	187

注記* : 設計基準風速 40.1m/s から算出した値。

6. 機能維持評価

6.1 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。

なお、機能維持評価用加速度はV-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」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。

津波監視カメラの機能確認済加速度は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

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

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK1)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK2)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

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気的機能を有していることを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する構造強度評価

a. 取付ボルトの構造強度評価

取付ボルトの構造強度評価の結果を表 7-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、取付ボルトが構造健全性を有することを確認した。

表 7-1 基準地震動 S_s に対する評価結果

評価部位	評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	検定比
取付ボルト	引張り	$\sigma_b = 52$	$f_{ts} = 375^*$	0.14
	せん断	$\tau_b = 73$	$f_{st} = 157$	0.47

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

b. カメラ架台の構造強度評価

カメラ架台の構造強度評価の結果を表 7-2 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、カメラ架台が構造健全性を有することを確認した。

表 7-2 基準地震動 S_s に対する評価結果

評価部位	応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	検定比	
カメラ架台	引張り	$\sigma_t = 66$	$f_t = 325$	0.21	
	曲げ	Y方向	$\sigma_{bh} = 112$	$f_b = 325$	0.35
		Z方向	$\sigma_{bv} = 7$	$f_b = 325$	0.02
	せん断	Y方向	$\tau_h = 6$	$f_s = 187$	0.03
		Z方向	$\tau_v = 5$	$f_s = 187$	0.03
	組合せ		$\sigma_t = 66$ $\sigma_{bh} + \sigma_{bv} = 119$	$f_t = 325$ $f_b = 325$	0.57*

注記* : 組合せの検定比 = $\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{bh} + \sigma_{bv}}{f_b}$

c. その他の機器要目

(1) カメラ架台の材料物性値

項目	記号	単位	入力値
材料	—	—	SN490B
縦弾性係数	E	N/mm ²	2.05×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	17
節点数	—	個	16

(2) カメラ架台の断面性状

要素番号	項目	単位	入力値
1~17	軸断面積	mm ²	2710
	せん断断面積 (Y方向)	mm ²	1800
	せん断断面積 (Z方向)	mm ²	910
	断面二次モーメント (Y軸周り)	mm ⁴	1.01×10^7
	断面二次モーメント (Z軸周り)	mm ⁴	1.76×10^6
	ねじり剛性	mm ⁴	6.60×10^4

(2) 基準地震動 S_s に対する機能維持評価

津波監視カメラの電氣的機能維持評価の結果を表 7-3 に示す。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から、津波監視カメラの電氣的機能維持を確認した。

表 7-3 電氣的機能維持評価 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK1)	水平方向	5.75	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.51	<input type="text"/>
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK2)	水平方向	5.75	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.51	<input type="text"/>

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・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

(2) 津波監視カメラ制御架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 固有周期の確認	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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、V-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、津波監視カメラ制御架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。

津波監視カメラ制御架は、設計基準対象施設においてはS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及び電気的機能維持評価を示す。

なお、津波監視カメラ制御架は、V-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形盤であるため、V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

津波監視カメラ制御架の構造計画を表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	
津波監視カメラ制御架は壁に基礎ボルトで設置する。	壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛閉鎖型の盤)	<p>【津波監視カメラ制御架】</p> <p>正面方向</p> <p>側面方向</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

津波監視カメラ制御架の固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤に対する振動試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表3-1に示す。

表3-1 固有周期 (単位：s)

津波監視カメラ制御架 (H11-P905)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

津波監視カメラ制御架の構造強度評価は、V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-9 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。

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

津波監視カメラ制御架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

津波監視カメラ制御架の許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

津波監視カメラ制御架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。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【津波監視カメラ制御架 (H11-P905) 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 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	浸水防護 施設	津波監視カメラ制御架	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	津波監視カメラ制御架	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _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（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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢA 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 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 (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	26	205	520	205

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

津波監視カメラ制御架の電氣的機能維持評価は、V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-9 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。

津波監視カメラ制御架に設置される器具の機能確認済加速度は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の正弦波加振試験において、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 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
津波監視カメラ制御架 (H11-P905)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

津波監視カメラ制御架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。

【津波監視カメラ制御架 (H11-P905) 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 _d 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
津波監視カメラ 制御架 (H11-P905)	S	コントロール建屋 T.M.S.L. 17.300 (T.M.S.L. 24.100*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =2.38	C _V =1.46	26

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
基礎ボルト (i=1)		380	16 (M16)	201.1	8	205	520	205

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	l _{3 i} * (mm)	n _{f v i} *	n _{f H i} *	F _i (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)	553	1120	540	2	4	205	—	—	側面方向
	553	1120	540	2	4				

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=123^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=94$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

11

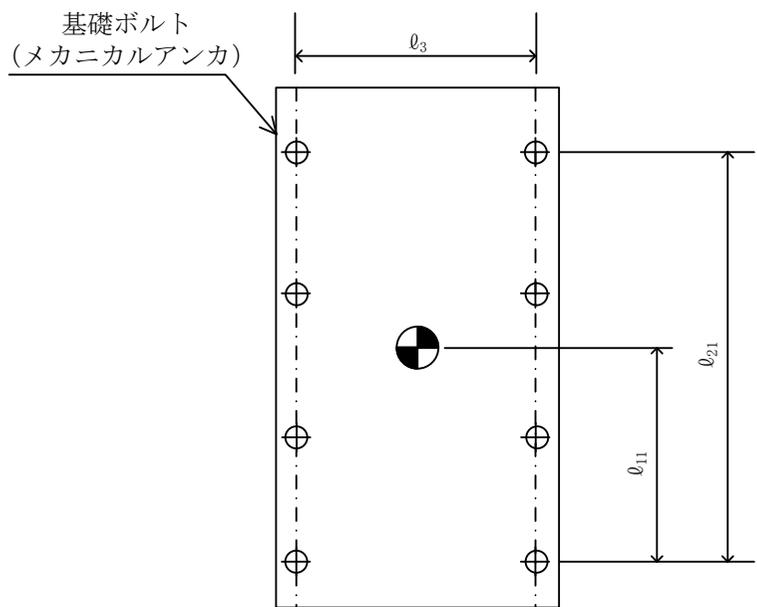
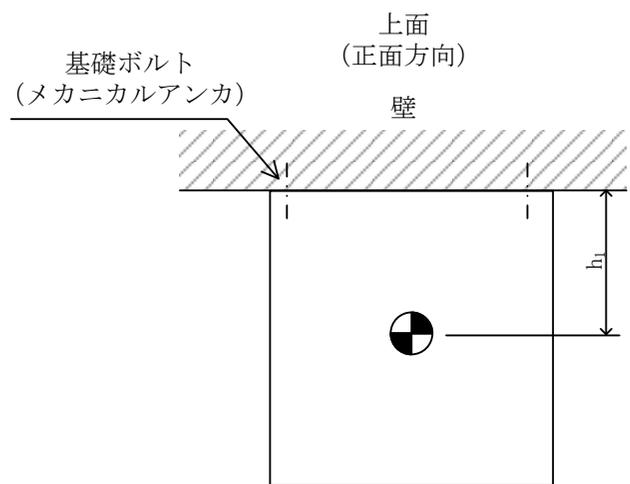
1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

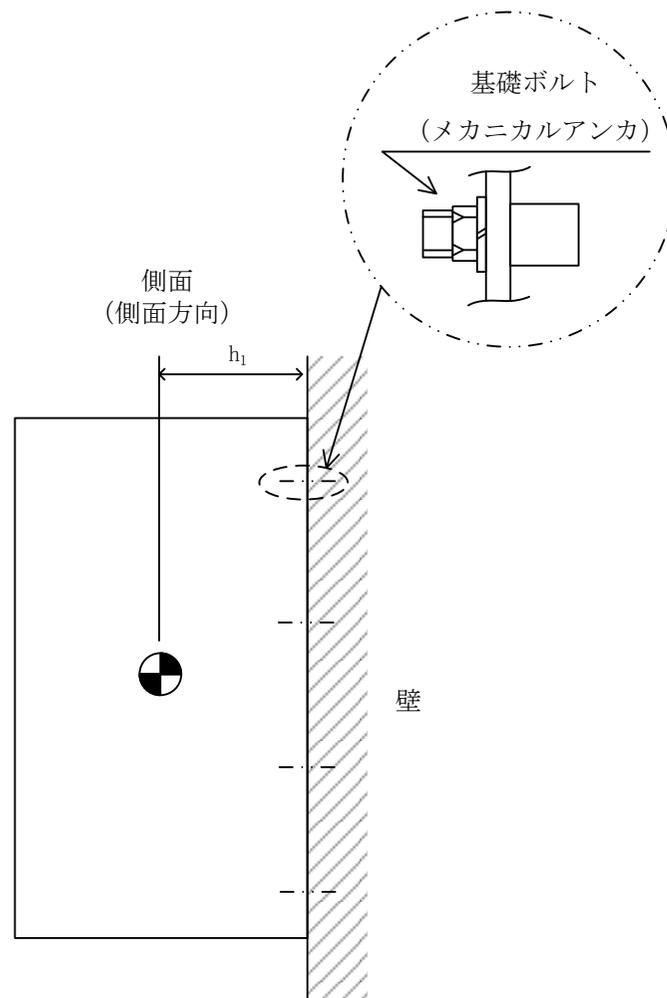
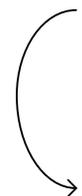
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
津波監視カメラ制御架 (H11-P905)	水平方向	1.98	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.23	<input type="text"/>

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・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



V-2-10-3 非常用取水設備の耐震性に関する説明書

V-2-10-3-1 取水設備の耐震性についての計算書

V-2-10-3-1-1 非常用取水設備の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本説明書は、非常用取水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

非常用取水設備に対して、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の差異の有無を整理した。結果を表1に示す。

非常用取水設備の耐震計算は表1に示す計算書に記載することとする。

表1 耐震評価条件整理一覧表(1/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震重要度 分類	新規制基準施行 前に認可された 実績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施 設との評価条件 の差異	耐震計算の 記載箇所	
非常用取水設備	取水設備	海水貯留堰（重大事故等時のみ6,7号機共用）	C	—*2	V-2-10-3-1-2	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-10-3-1-2
		海水貯留堰（6号機設備, 重大事故等時のみ6,7号機共用）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-10-3-1-3
		スクリーン室（重大事故等時のみ6,7号機共用）	C	有*3	V-2-10-3-1-4	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-10-3-1-4
		スクリーン室（6号機設備, 重大事故等時のみ6,7号機共用）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-10-3-1-5
		取水路（重大事故等時のみ6,7号機共用）	C	有*3	V-2-10-3-1-6	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-10-3-1-6
		取水路（6号機設備, 重大事故等時のみ6,7号機共用）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	V-2-10-3-1-7
		補機冷却用海水取水路	C	有*3	V-2-10-3-1-8	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	V-2-10-3-1-8

表1 耐震評価条件整理一覧表(2/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震重要度 分類	新規制基準施行 前に認可された 実績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施 設との評価条件 の差異	耐震計算の 記載箇所	
非常用 取水設備	取水 設備	補機冷却用海水取水槽(A)	C	—*2	V-2-10-3-1-9	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	V-2-10-3-1-9
		補機冷却用海水取水槽(B)	C	—*2	V-2-10-3-1-9	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	V-2-10-3-1-9
		補機冷却用海水取水槽(C)	C	—*2	V-2-10-3-1-9	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	V-2-10-3-1-9

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, 「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

*2 : 本工事計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外。

*3 : 地震応答解析は時刻歴応答解析にて実施。

V-2-10-3-1-2 海水貯留堰の耐震性についての計算書

V-2-10-3-1-2-1 海水貯留堰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	12
3.2.1 構造部材	12
3.2.2 地盤	13
3.2.3 減衰定数	14
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	18
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	48
3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値	48
3.5.4 地下水位	49
3.6 評価対象部位	49
3.6.1 構造部材の健全性評価	49
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	49
3.6.3 構造物の変形性評価	49
3.7 許容限界	49
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	49
3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	51
3.7.3 構造物の変形性に対する許容限界	51
3.8 評価方法	52
3.8.1 構造部材の健全性評価	52
3.8.2 基礎地盤の支持性能評価	67
3.8.3 構造物の変形性評価	67

4. 耐震評価結果	70
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	70
4.1.1 鋼管矢板の健全性評価	70
4.1.2 止水ゴム取付部鋼材	71
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	74
4.3 構造物の変形性に対する評価結果	75

1. 概要

本資料は、V-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、海水貯留堰が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

海水貯留堰に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

海水貯留堰の位置図を図2-1に示す。

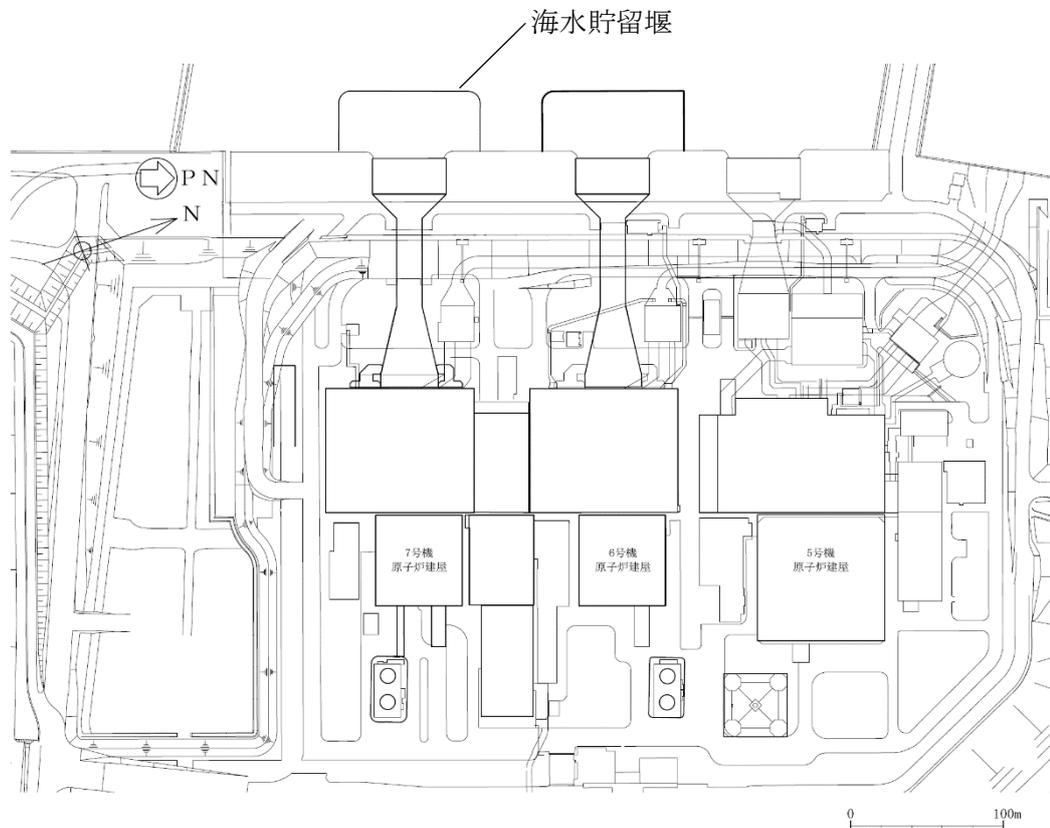


図2-1(1) 海水貯留堰の位置図（全体平面図）

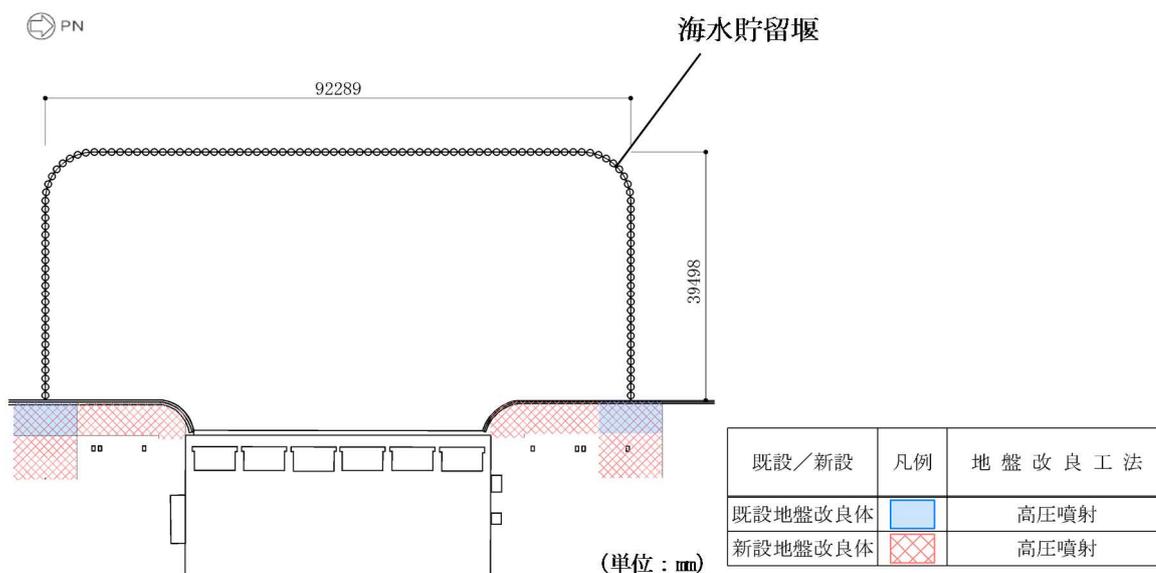


図2-1(2) 海水貯留堰の位置図（拡大図）

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R1

2.2 構造概要

海水貯留堰の平面図を図 2-2、標準図を図 2-3 に示す。

海水貯留堰は、その機能及び目的から海水貯留堰本体及び取水護岸接続部に区分され、このうち海水貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手、取水護岸接続部は止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材より構成される。また、鋼管矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。取水護岸は、海水貯留堰の間接支持構造物であり、前面鋼矢板より構成される。また、前面鋼矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。

鋼管矢板は、φ1100mm の炭素鋼鋼管であり、全 122 本の鋼管矢板を連続的に打設することにより堰形状を構成する。鋼管矢板は、下端を十分な支持性能を有する古安田層もしくは西山層に支持される。天端は、原子炉補機冷却海水ポンプの取水に必要な水量を確保するため、海底地盤レベル T. M. S. L. -5.5m に対して天端高さを T. M. S. L. -3.5m としており、約 2m の堰高さを有する。海水貯留堰の寸法は、約 92m×約 40m である。

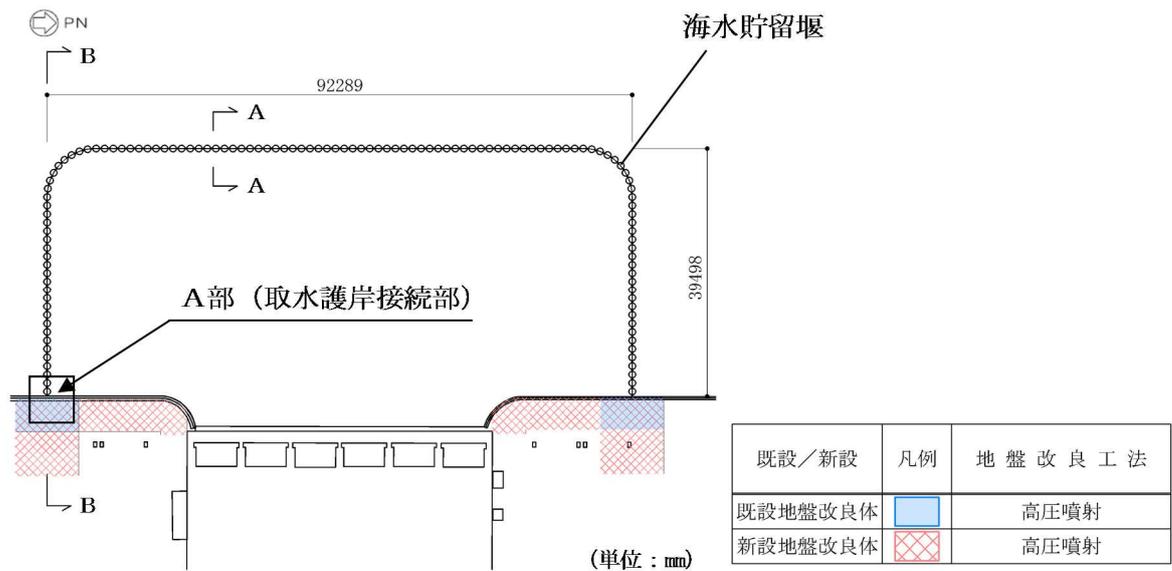


図 2-2(1) 海水貯留堰の平面図

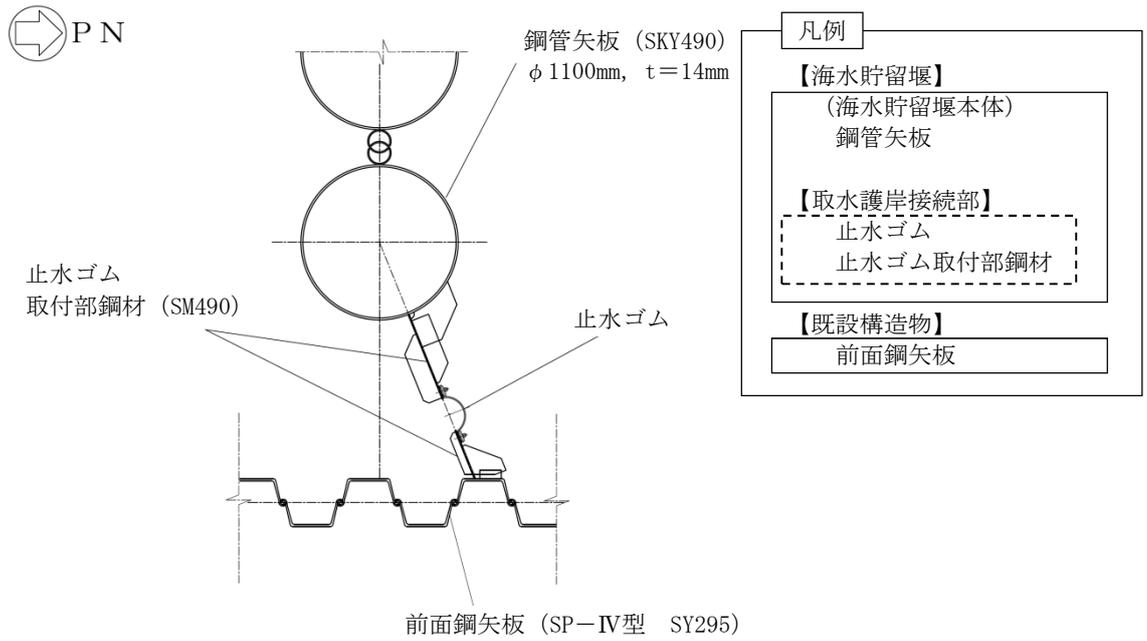
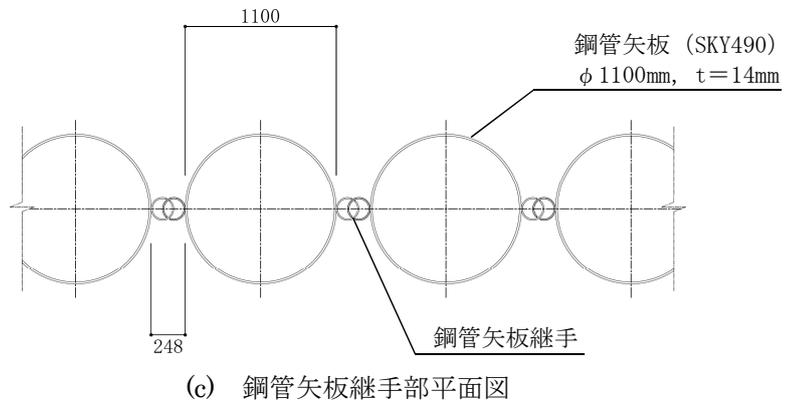
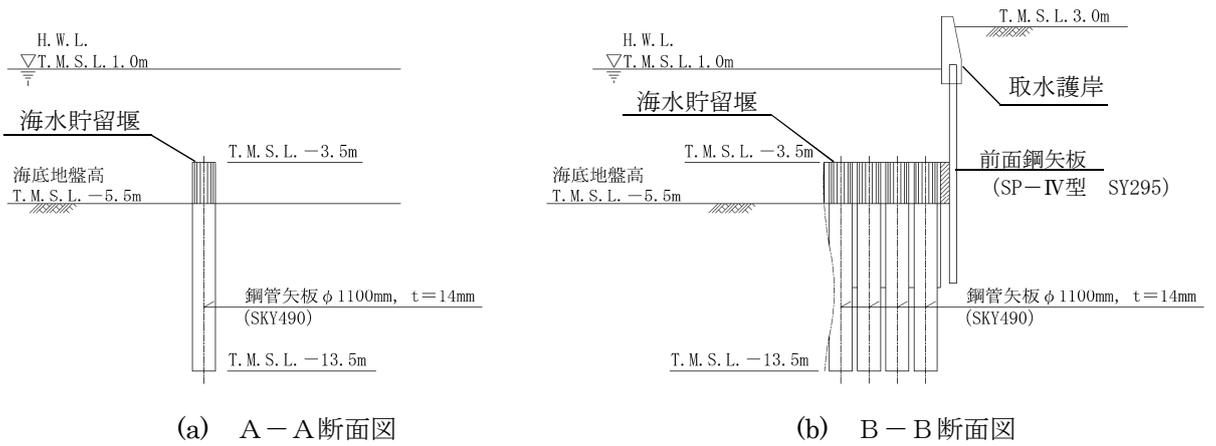


図 2-2 (2) 海水貯留堰の平面図 (A部拡大)



(単位 : mm)

図 2-3 海水貯留堰の標準図

2.3 評価方針

海水貯留堰は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

海水貯留堰の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1の海水貯留堰の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を行う。

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

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

構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の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。

構造部材の健全性評価については、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。

基礎地盤の支持性能評価においては、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰の耐震評価フローを図2-4に示す。

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

なお、海水貯留堰を構成する各鋼管矢板は、継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており、軸方向の断面係数は、法線直角方向と比べて大きいことから、明確な強軸断面方向である。したがって、強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さく、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 海水貯留堰の評価項目

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	鋼管矢板	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	曲げ軸力，せん断力に対する発生応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	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

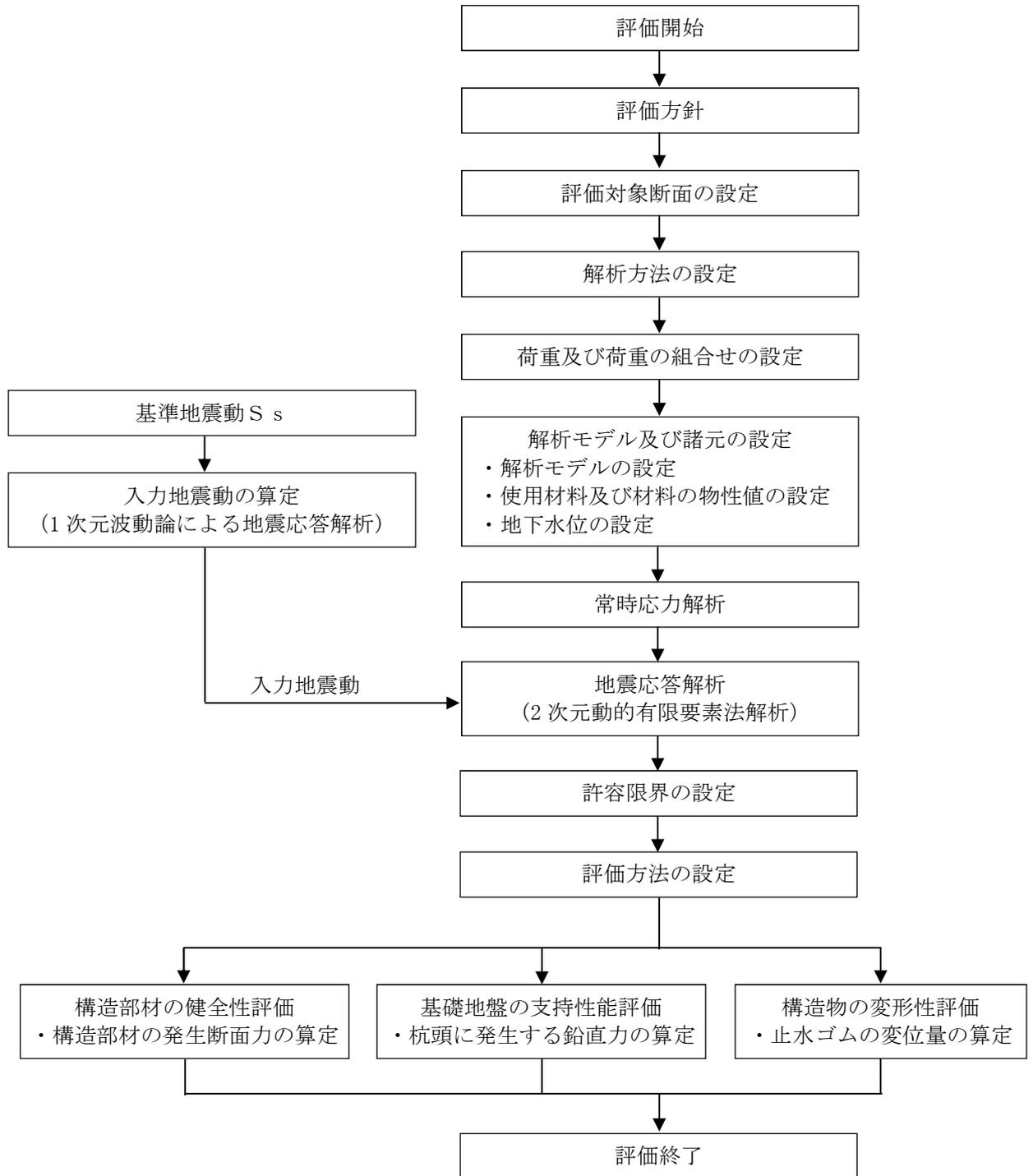


図 2-4 海水貯留堰の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- (1) 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）
- (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）
- (4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007版）
- (5) 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程
J E A C 4 6 1 6-2009（日本電気協会）
- (6) 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009年版）
- (7) 港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）
- (8) 鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会，平成12年3月）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

海水貯留堰は、取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり、取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは8mであり、西山層若しくは古安田層に直接設置される。

海水貯留堰の評価対象断面位置図を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は図3-1のA-A断面及びB-B断面とする。海水貯留堰の評価対象断面図を図3-2に示す。

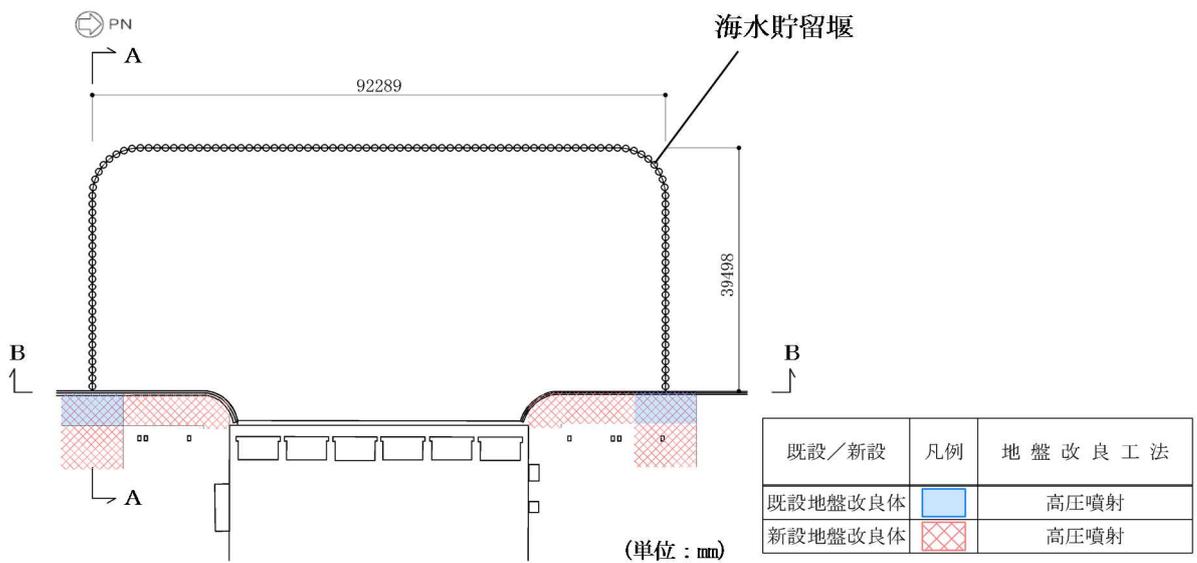


図3-1 海水貯留堰の評価対象断面位置図

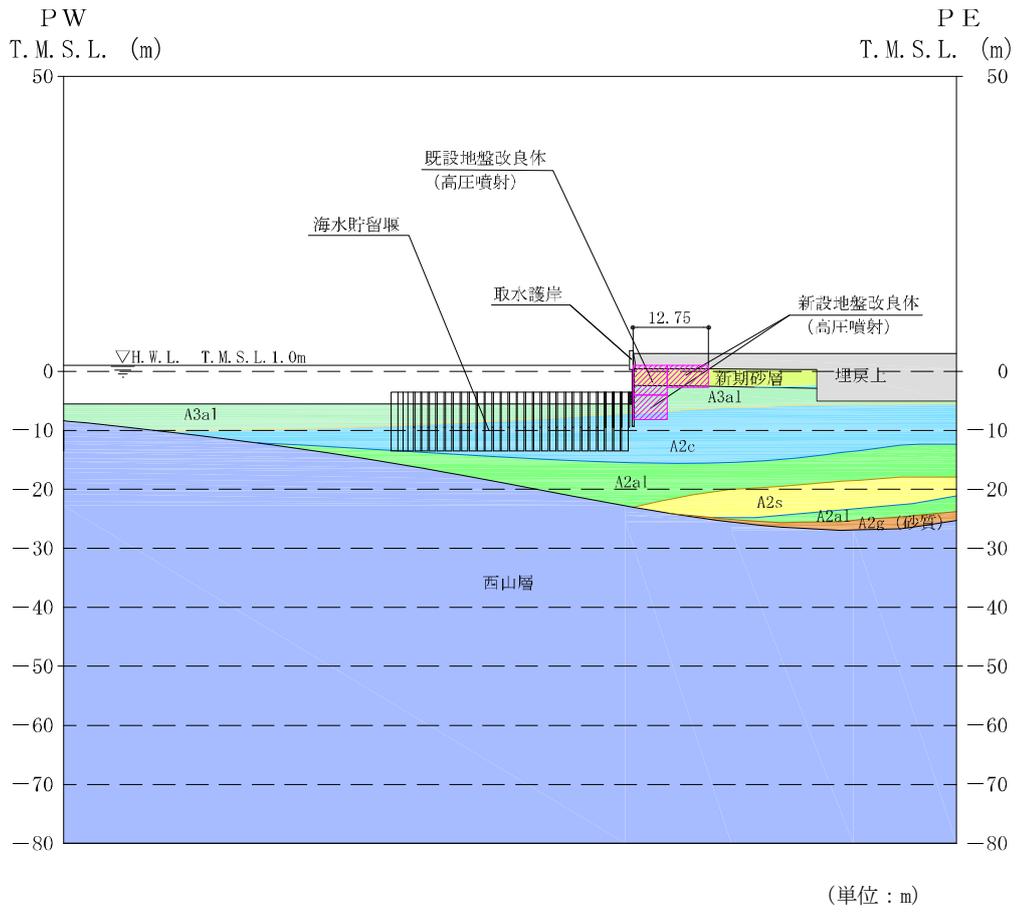
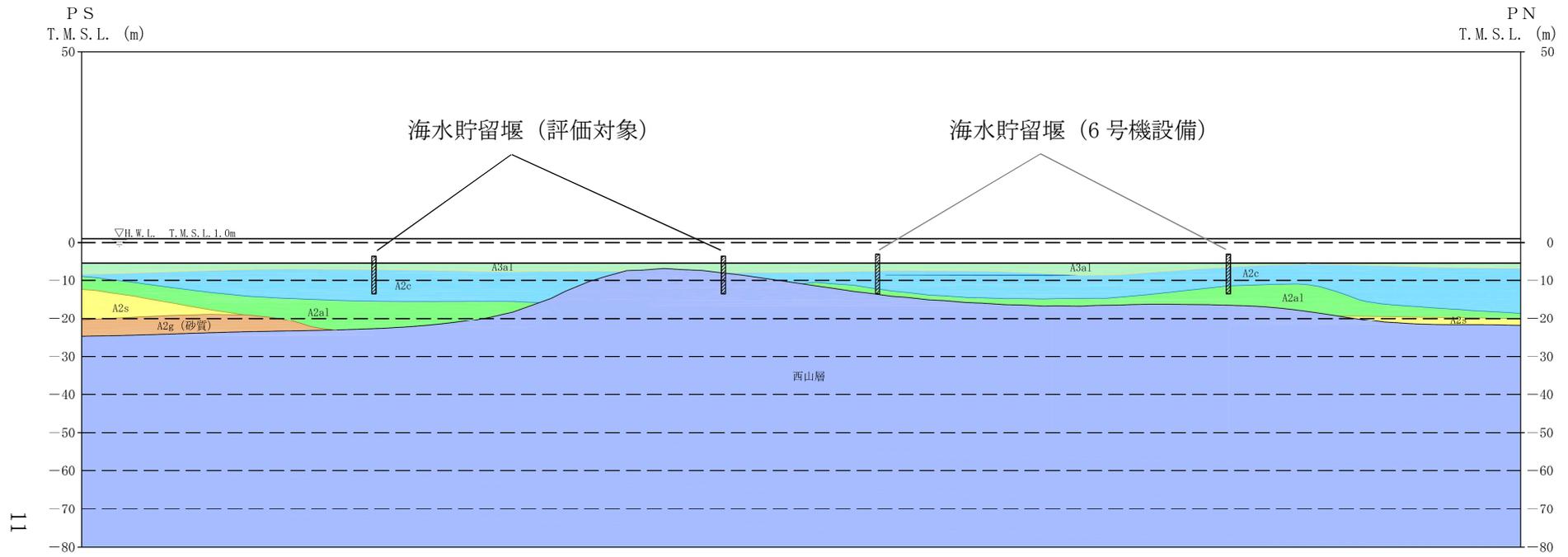


図 3-2 (1) 海水貯留堰の評価対象断面図 (A-A断面)



(単位：m)

図 3-2 (2) 海水貯留堰の評価対象断面図 (B-B断面)

3.2 解析方法

海水貯留堰の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針 2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる 2 次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。海水貯留堰を構成する鋼管矢板は、線形はり要素でモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤

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

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

表3-1 耐震評価における解析ケース

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

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

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

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

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

3.2.3 減衰定数

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

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

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

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-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

海水貯留堰の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

海中構造物であるため、積雪及び風による影響は考慮しない。

(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

海水貯留堰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) 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

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の耐震評価に用いる荷重の組合せを表 3-2 に、荷重作用図を図 3-3 及び図 3-4 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

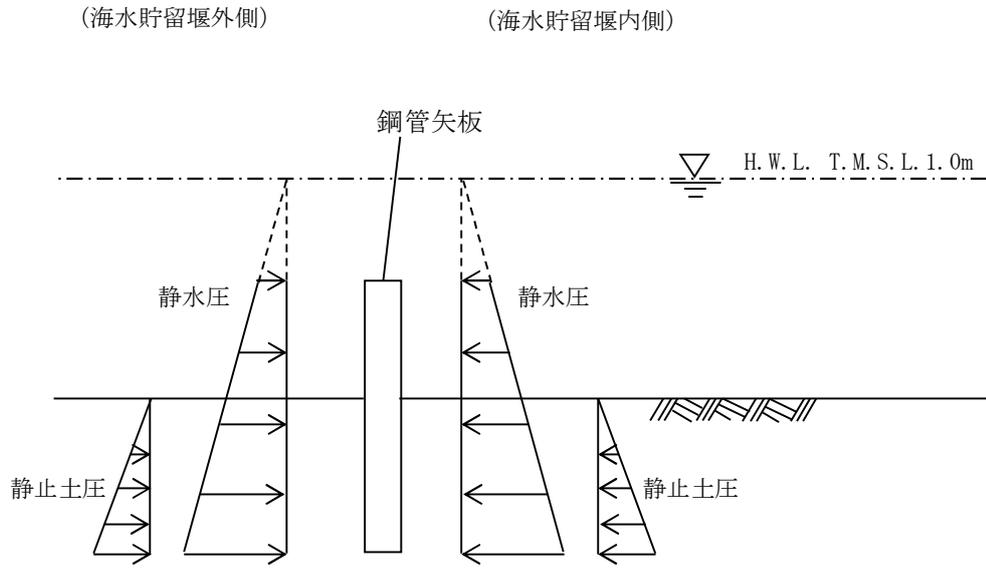


図 3-3 荷重作用図 (鋼管矢板 常時)

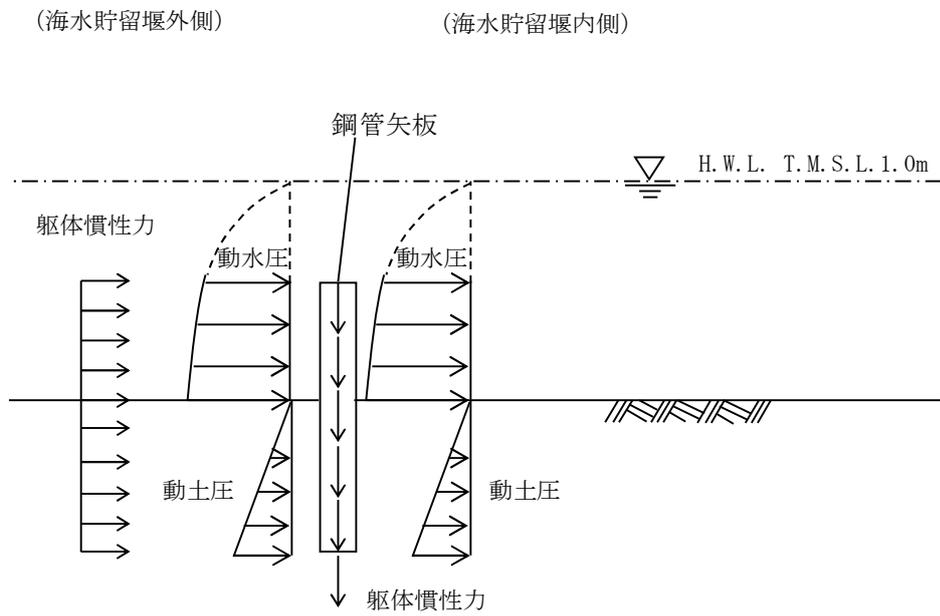


図 3-4 荷重作用図 (鋼管矢板 地震時)

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の耐震評価に用いる荷重の組合せを表 3-3 に、荷重作用図を図 3-5 に示す。

止水ゴムからの作用荷重を保守的に評価するために、止水ゴム作用力を作用荷重として考慮する。

慣性力及び動水圧については、「3.2.2 地盤」に示す解析ケース及び「3.4 入力地震動」に示す基準地震動 S_s を考慮した 2 次元有効応力解析から得られる最大加速度より、海水貯留堰（南側）は、水平震度 $k_h=0.95$ (S_s-1-+ ，解析ケース①：基本ケース)，海水貯留堰（北側）は、水平震度 $k_h=1.28$ (S_s-1-- ，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) を用いて算出する。

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)	$G + S_s$

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

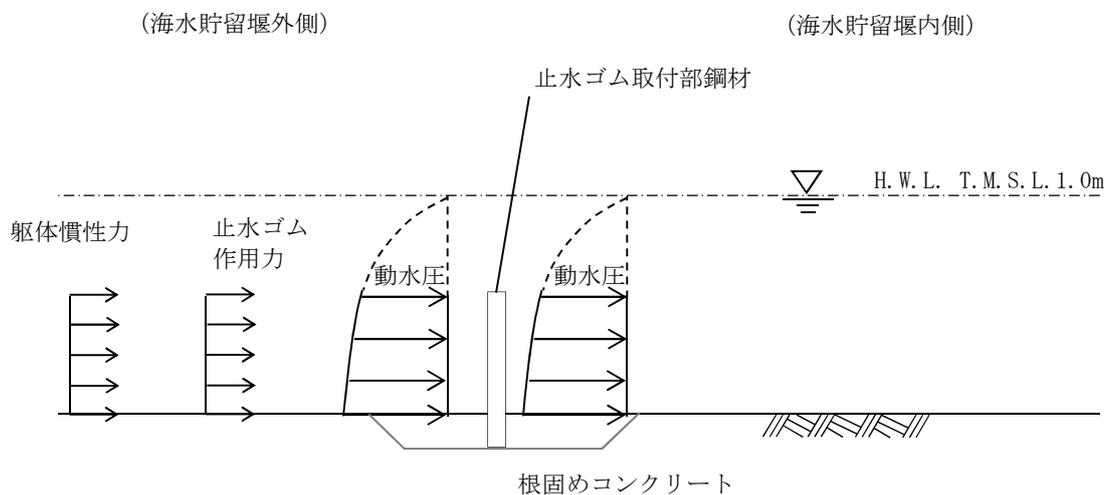


図 3-5 荷重作用図 (止水ゴム取付部鋼材 地震時)

3.4 入力地震動

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

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

入力地震動算定の概念図を図 3-6 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 3-7 に示す。入力地震動の算定には解析コード「SLOK」を使用する。

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

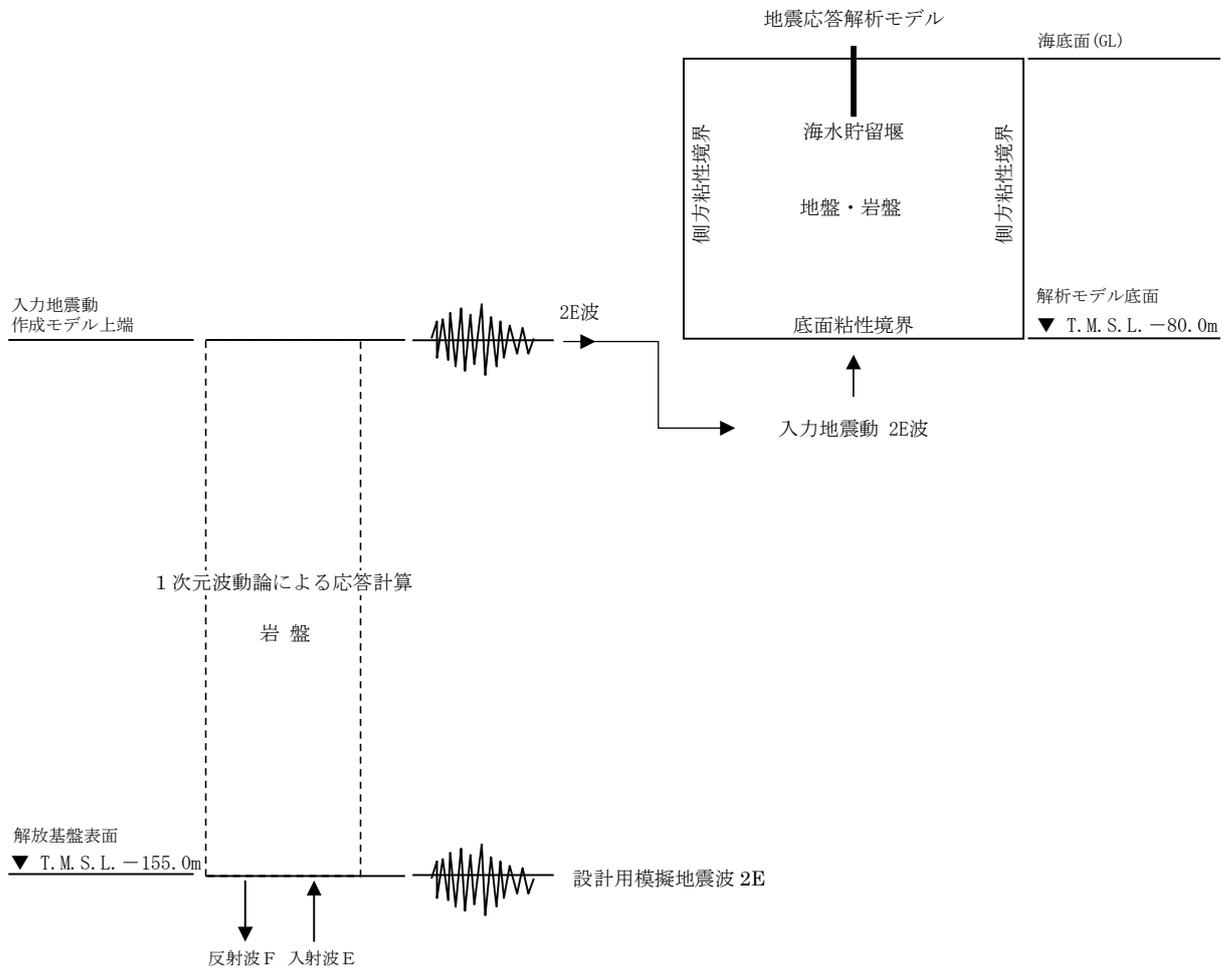
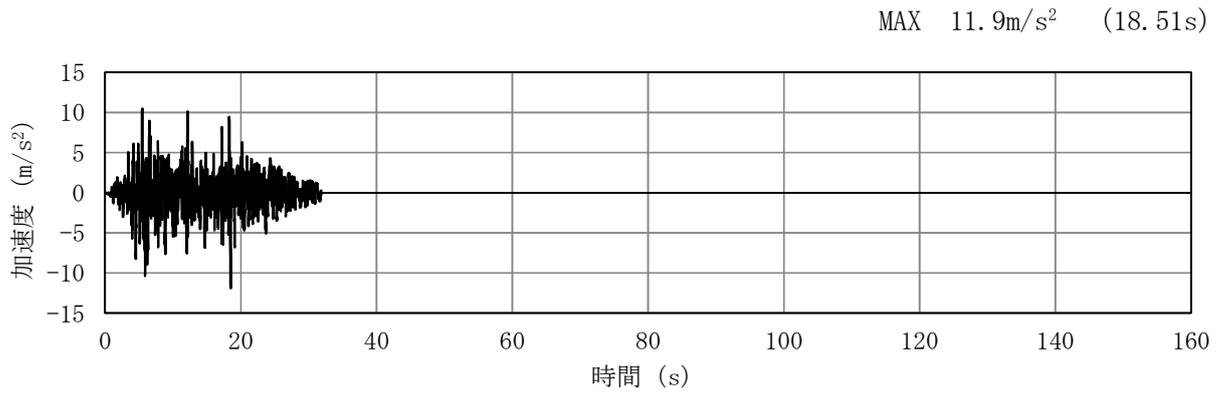
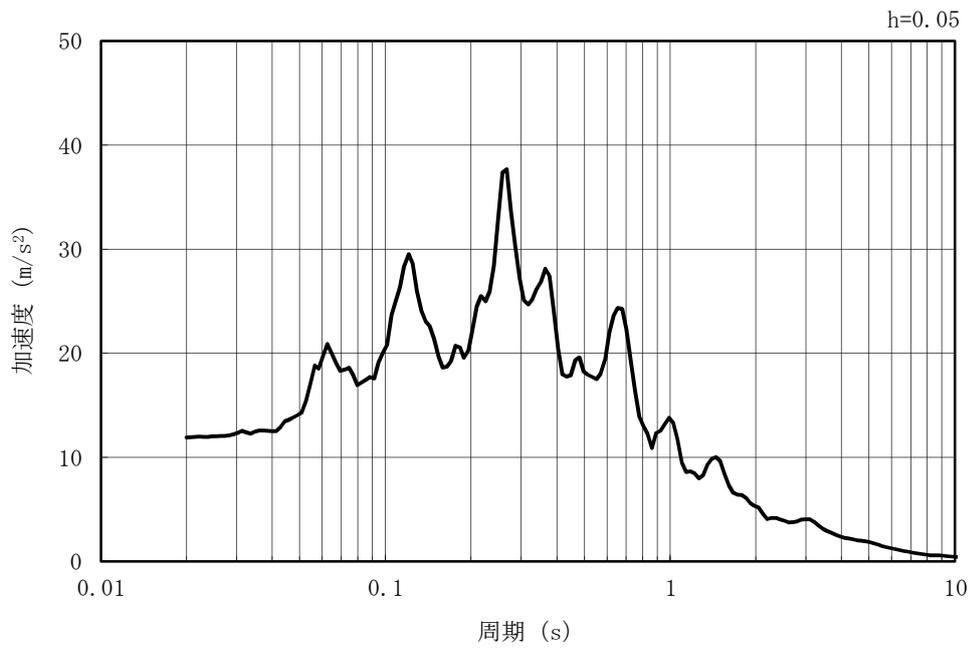


図 3-6 入力地震動算定の概念図



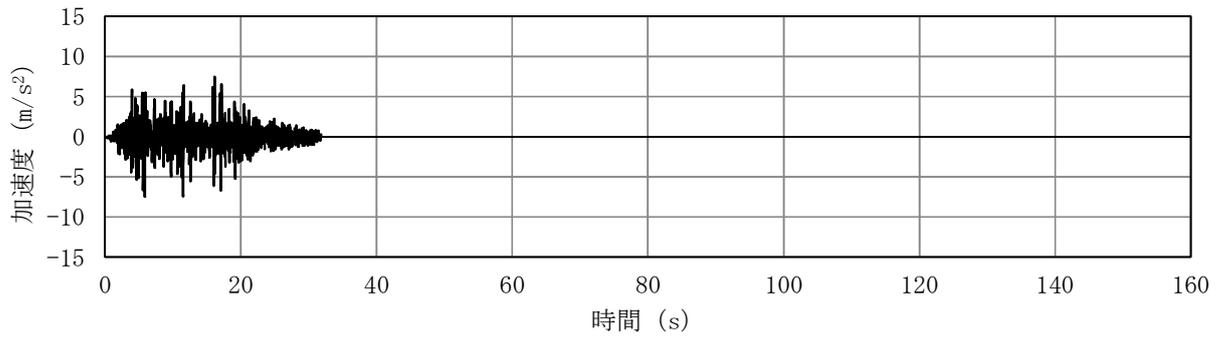
(a) 加速度時刻歴波形



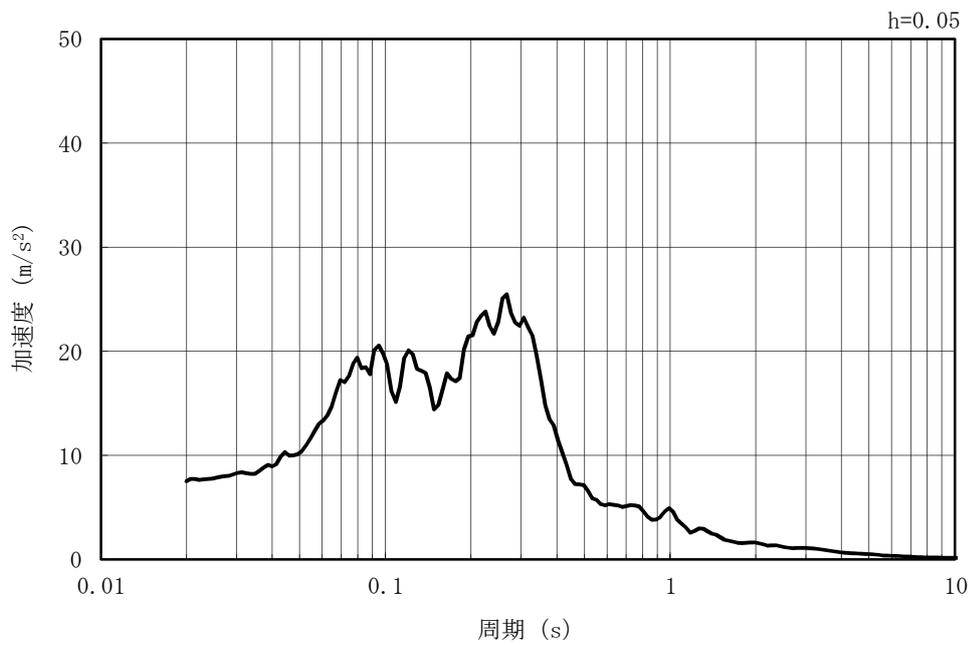
(b) 加速度応答スペクトル

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

MAX 7.49m/s² (5.88s)

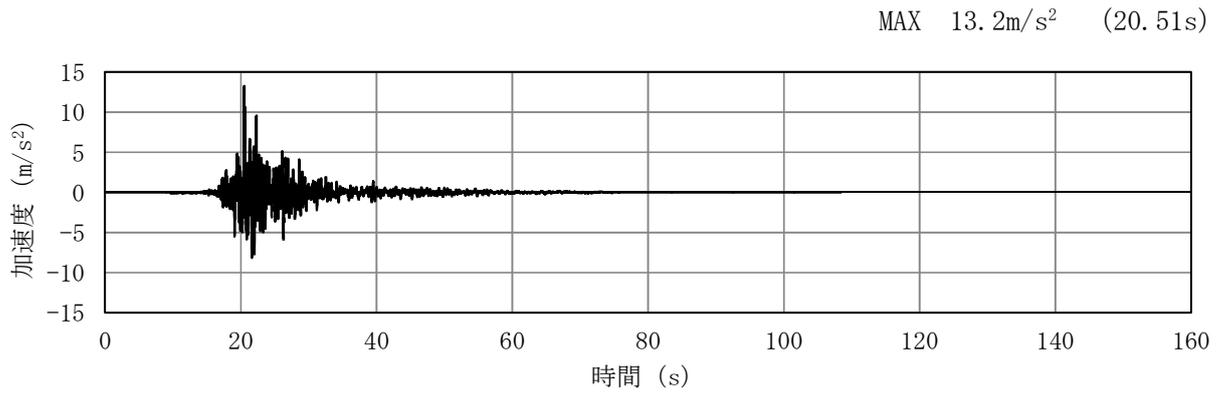


(a) 加速度時刻歴波形

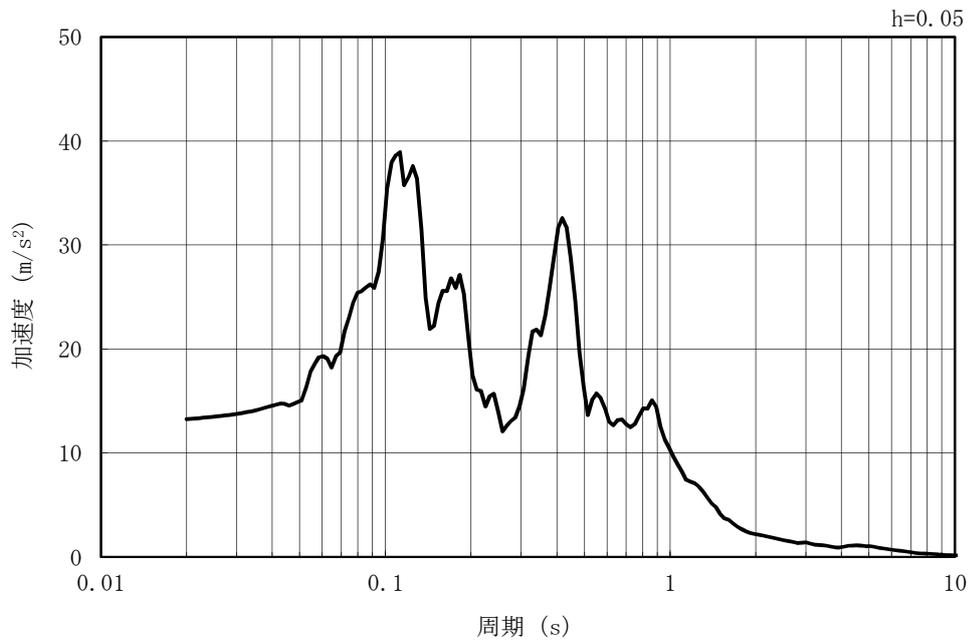


(b) 加速度応答スペクトル

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

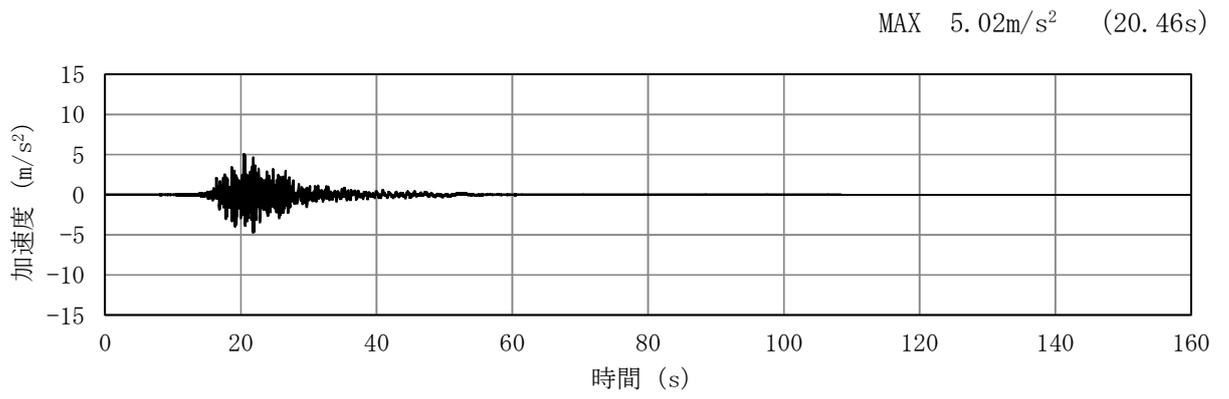


(a) 加速度時刻歴波形

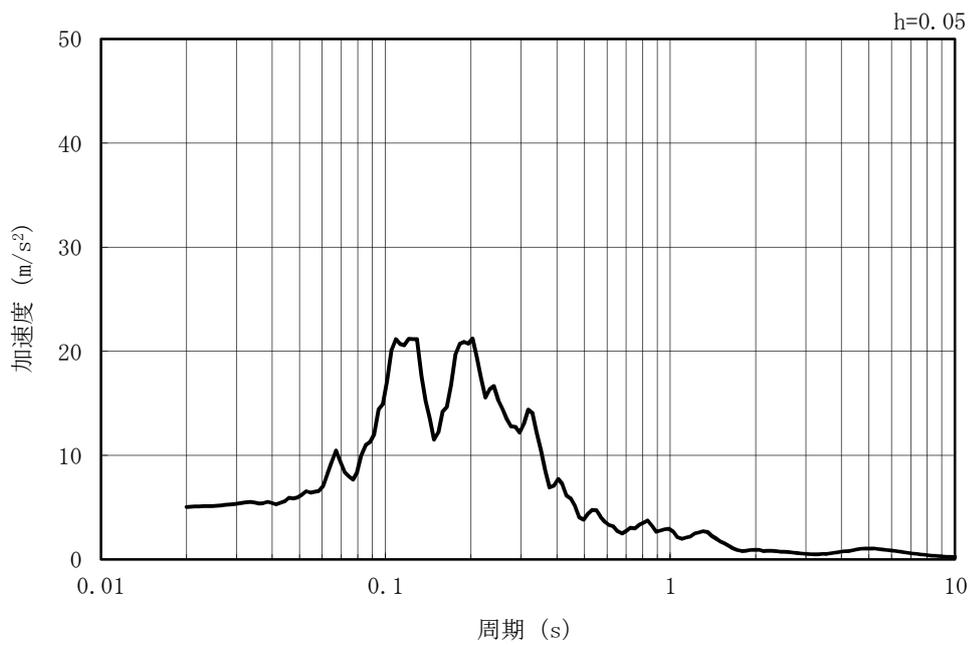


(b) 加速度応答スペクトル

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



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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

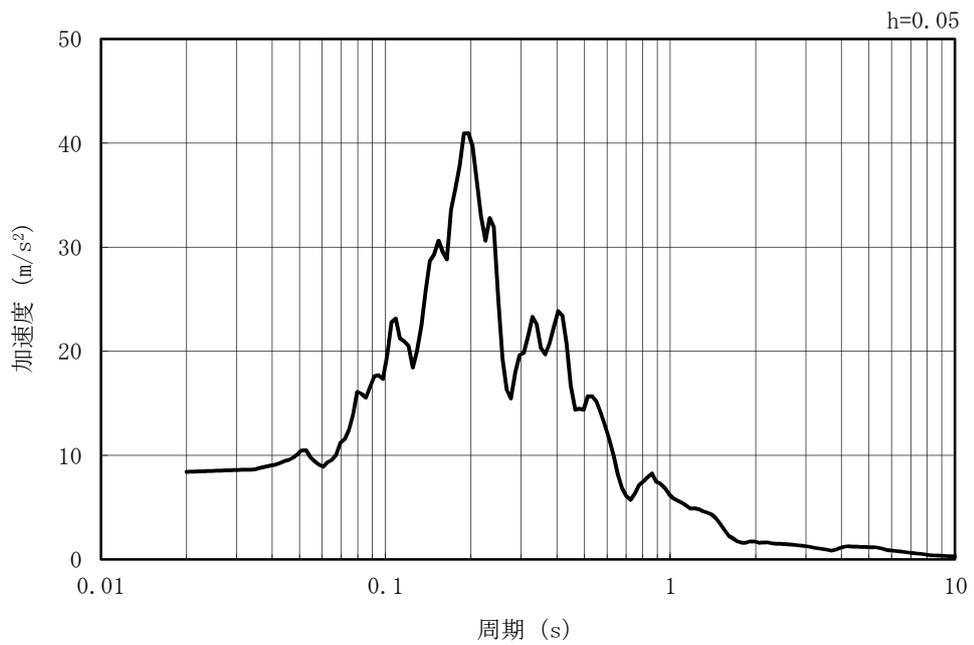
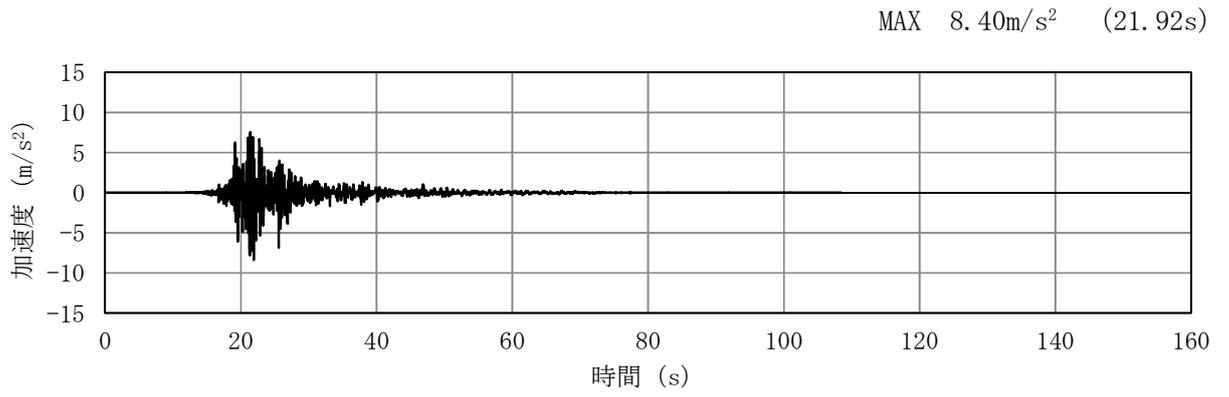
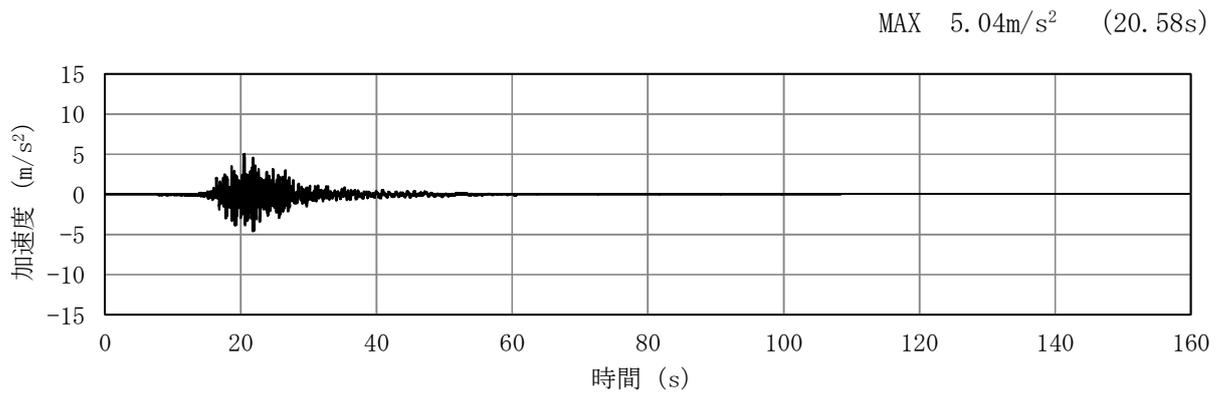
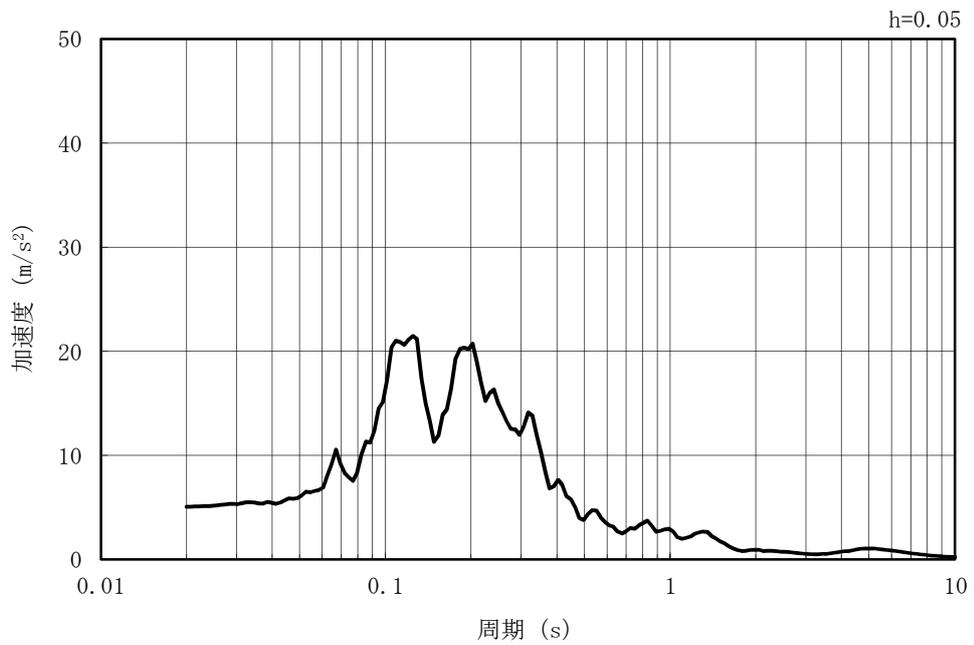


図 3-7 (5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2NS)

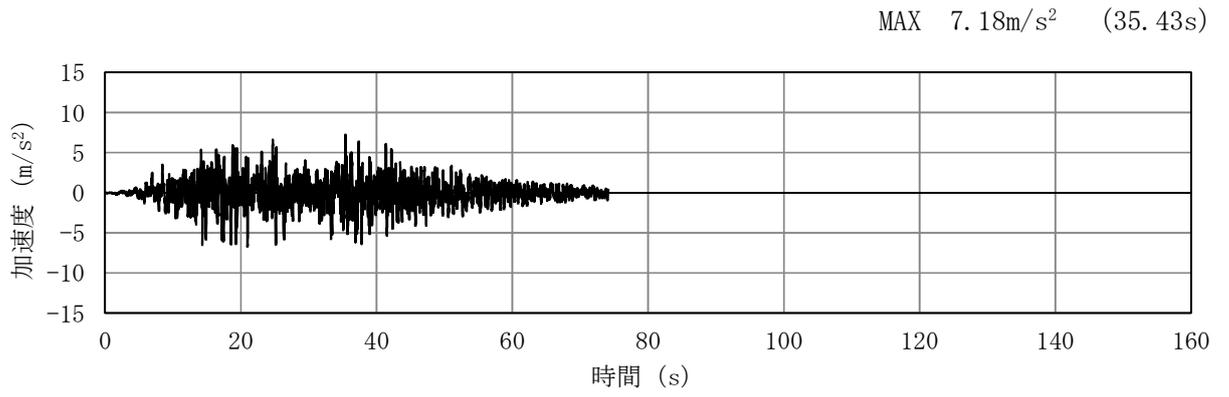


(a) 加速度時刻歴波形

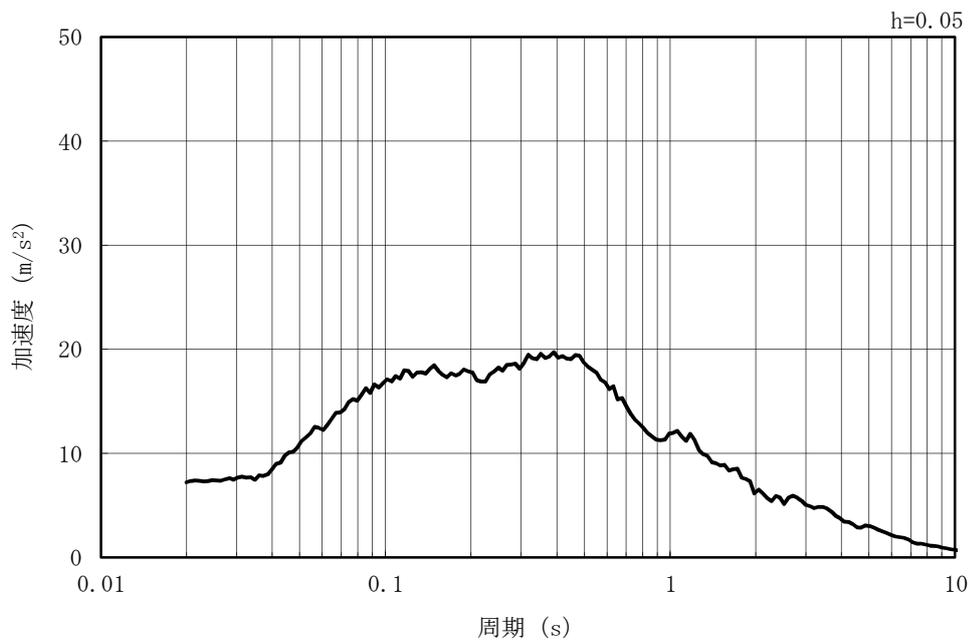


(b) 加速度応答スペクトル

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

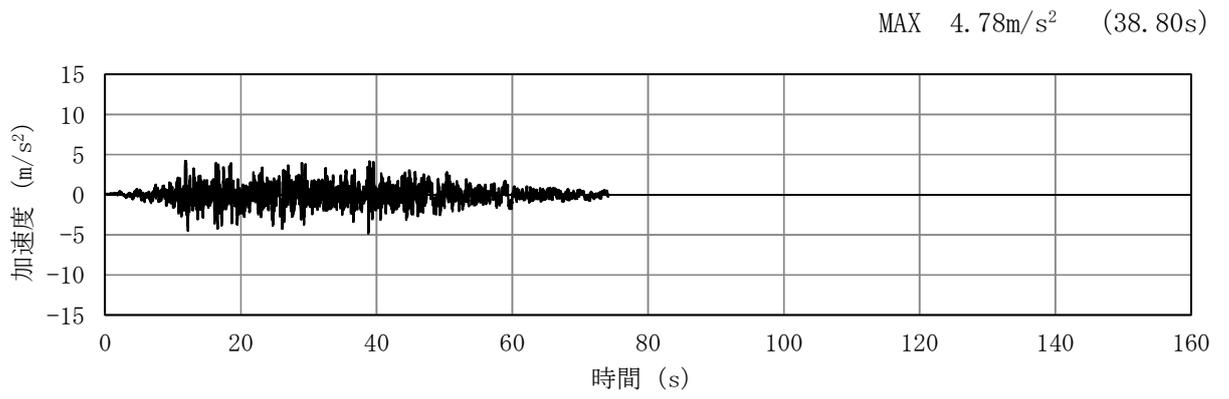


(a) 加速度時刻歴波形

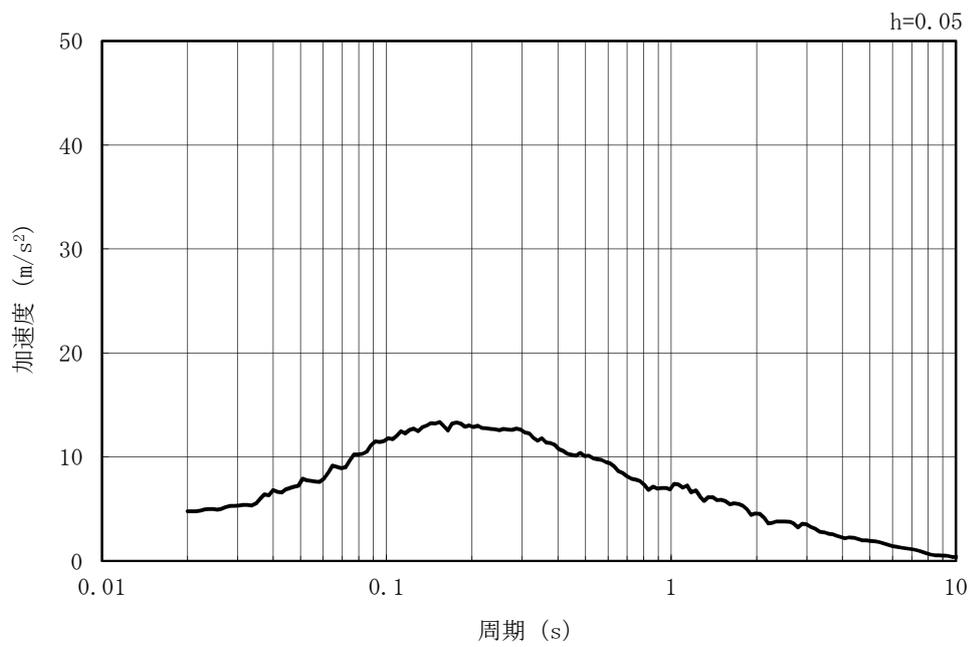


(b) 加速度応答スペクトル

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



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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

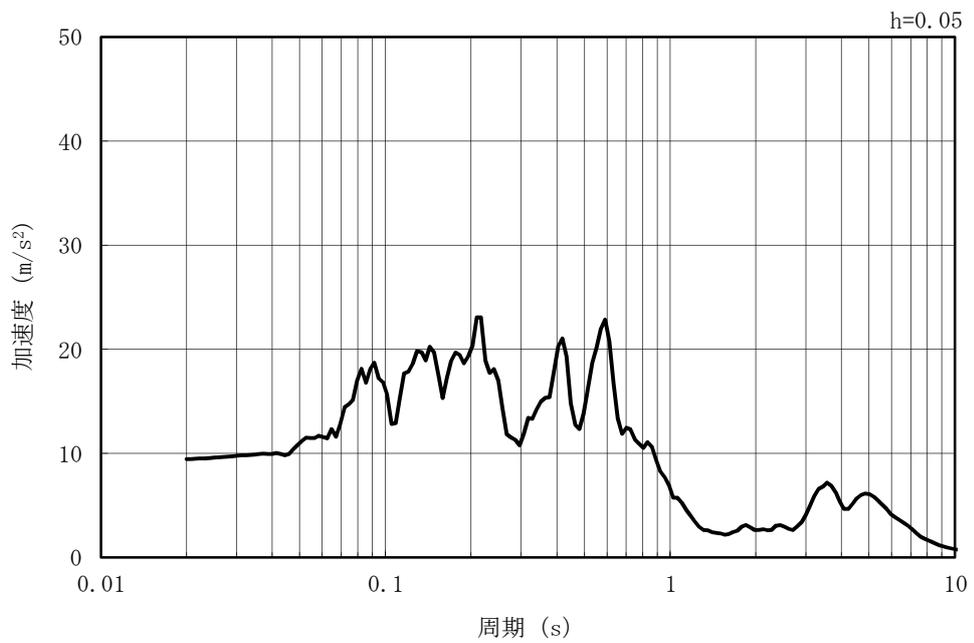
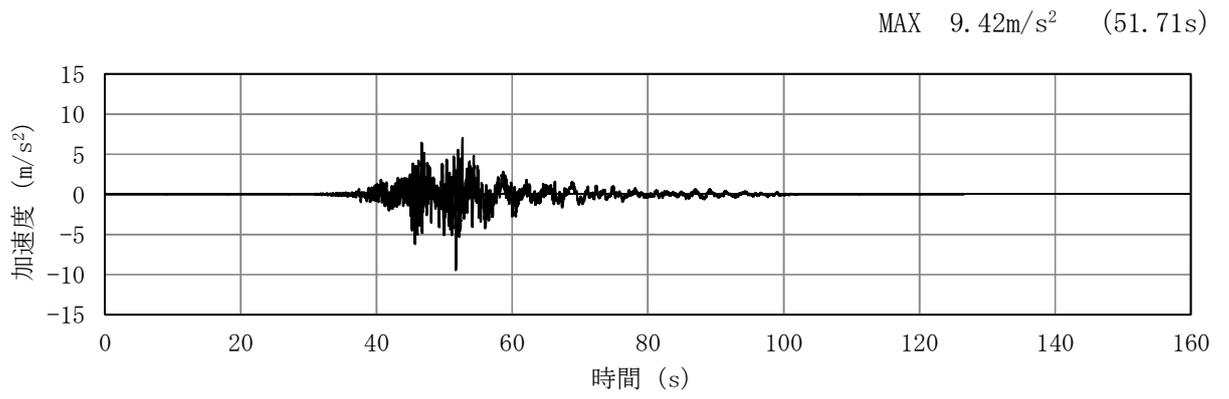
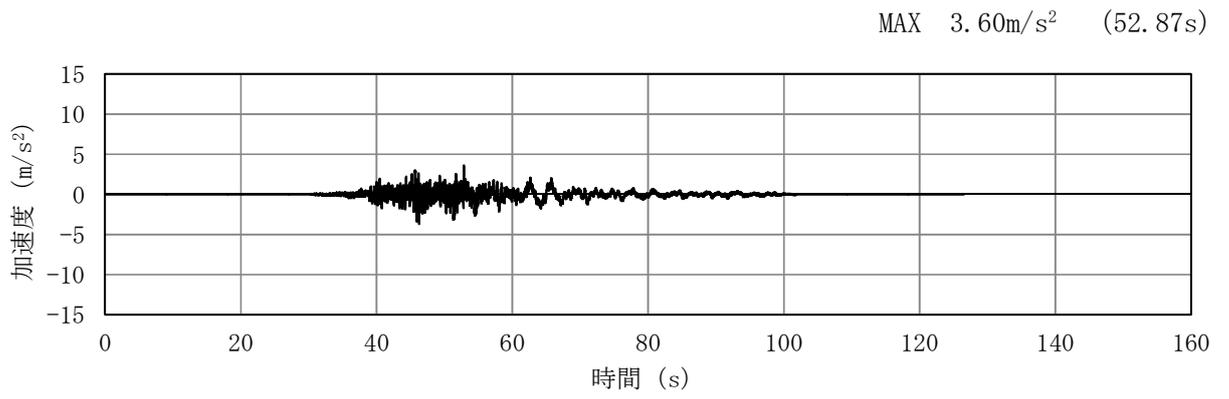
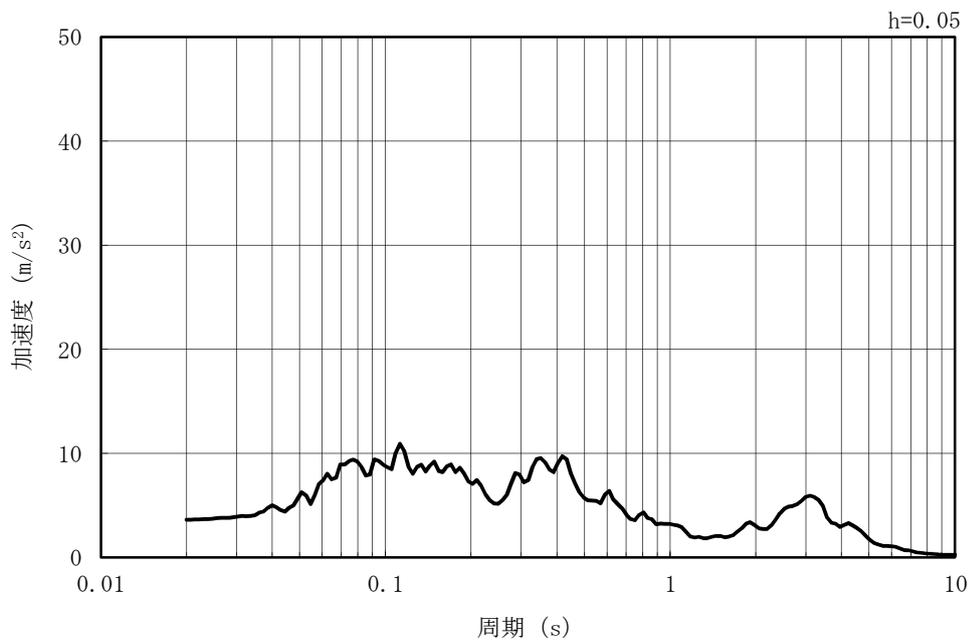


図 3-7 (9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-4EW)

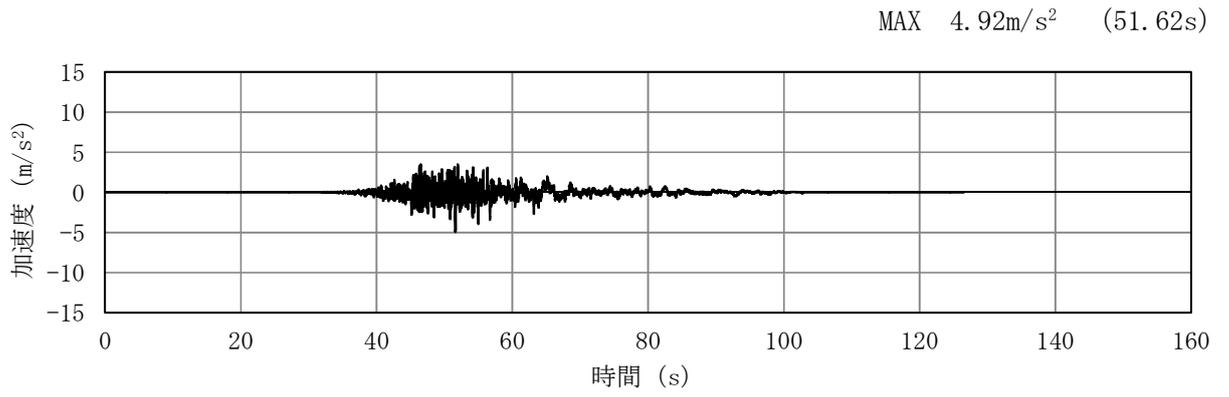


(a) 加速度時刻歴波形

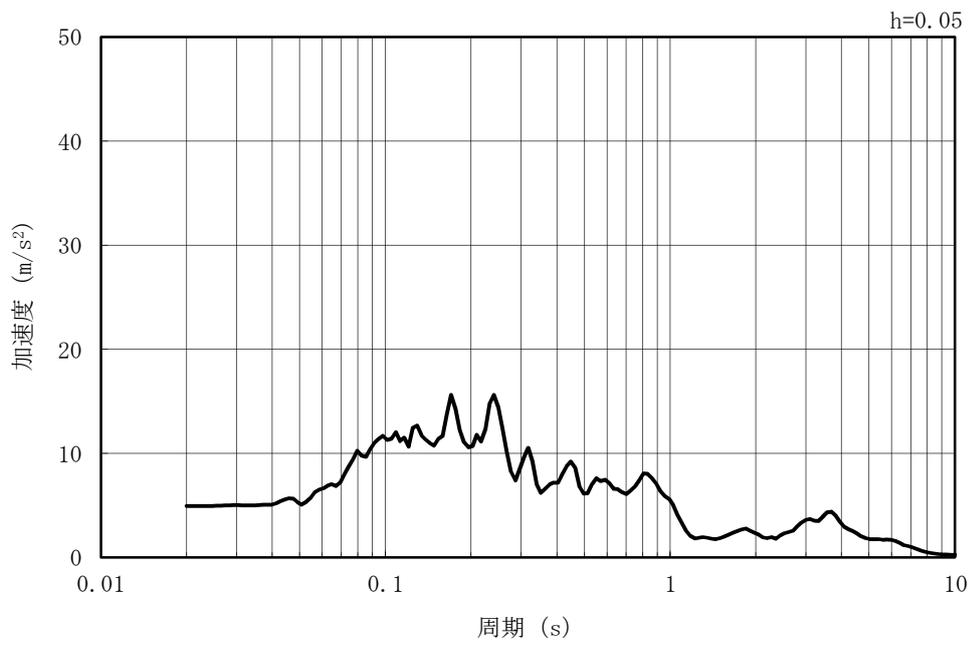


(b) 加速度応答スペクトル

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

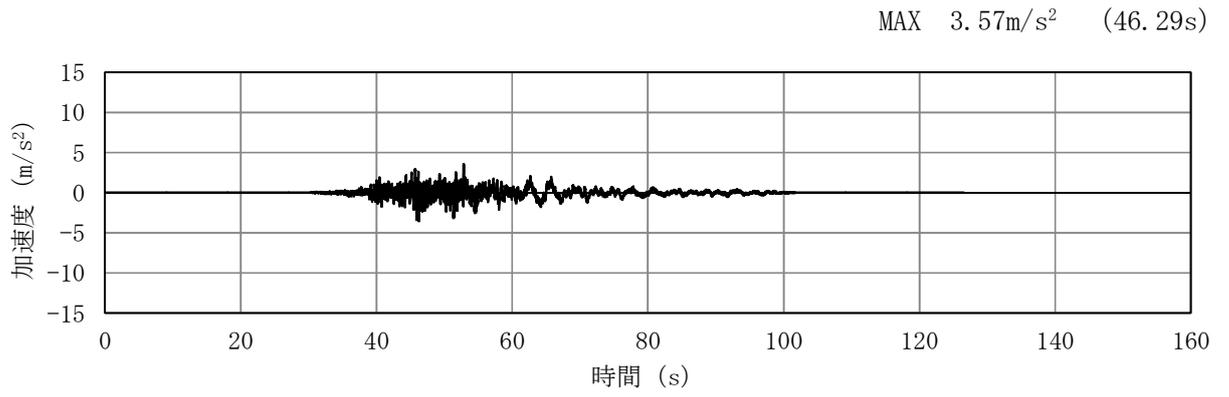


(a) 加速度時刻歴波形

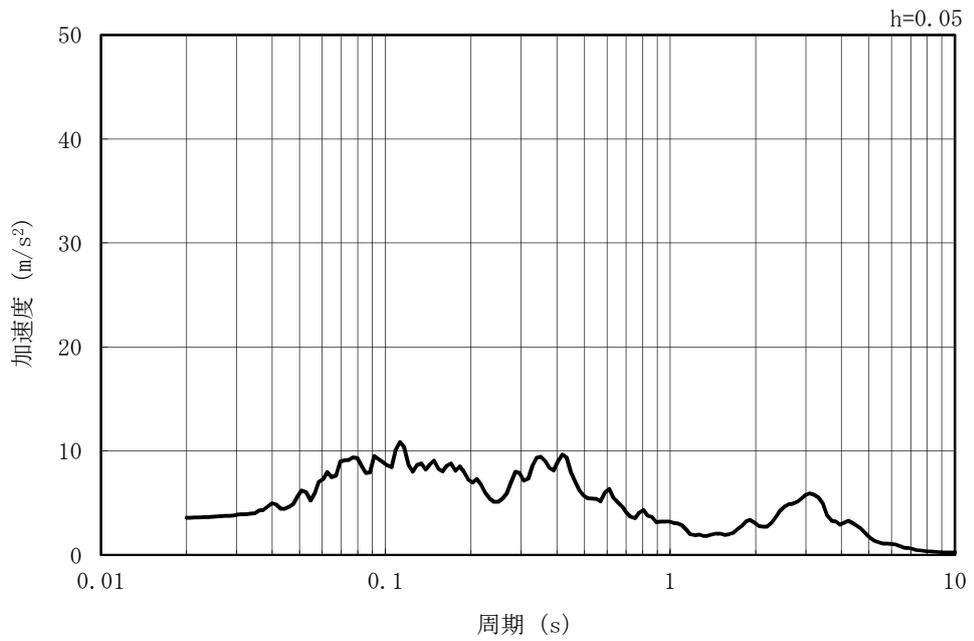


(b) 加速度応答スペクトル

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

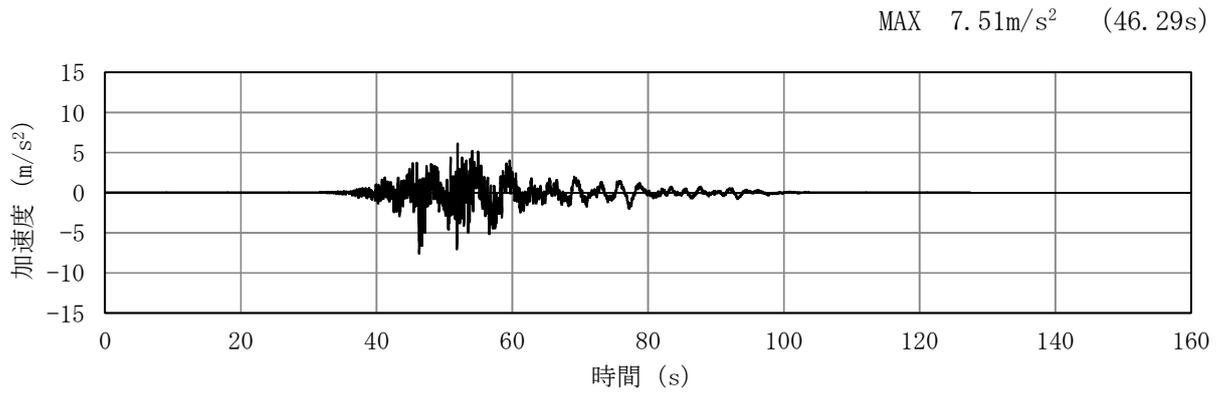


(a) 加速度時刻歴波形

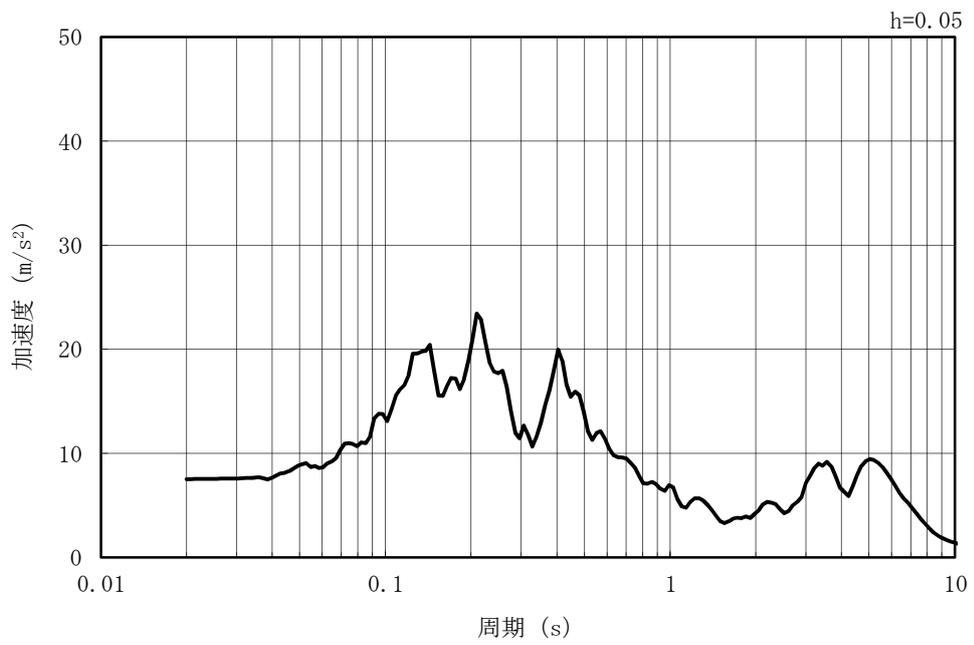


(b) 加速度応答スペクトル

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

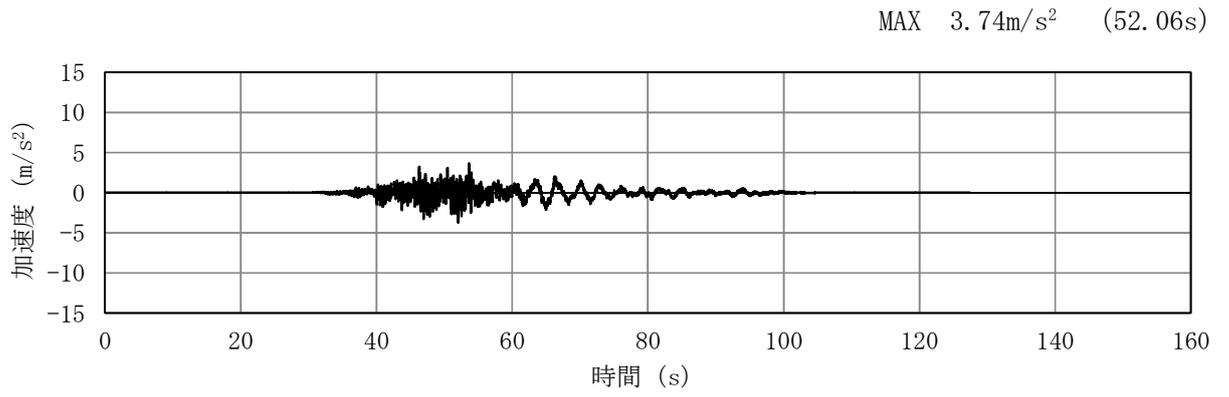


(a) 加速度時刻歴波形

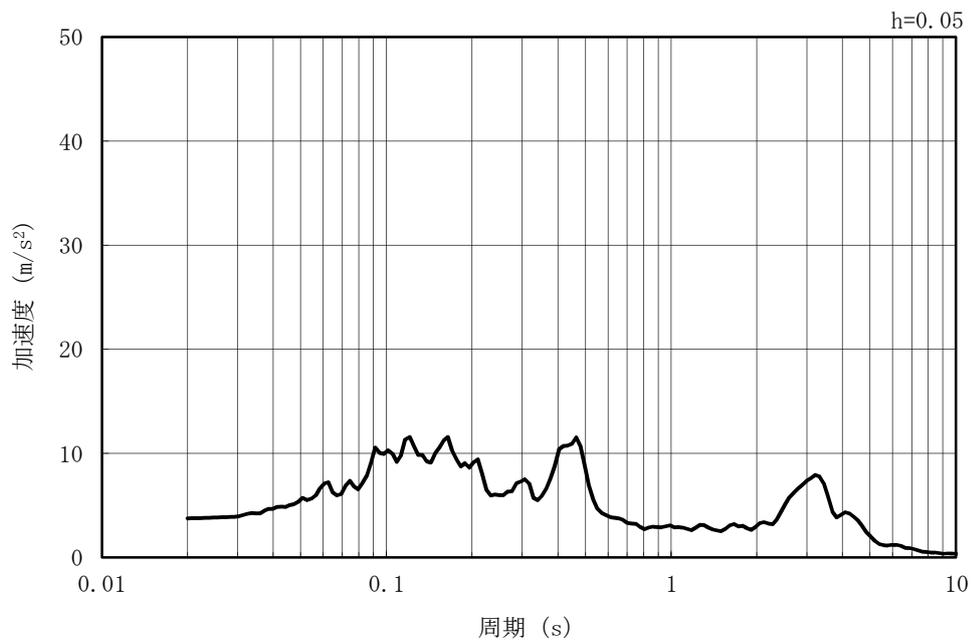


(b) 加速度応答スペクトル

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

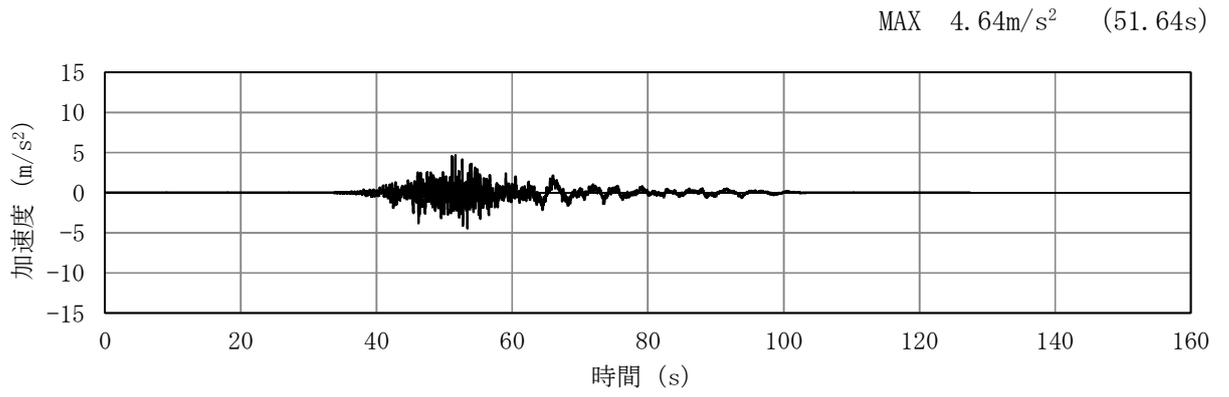


(a) 加速度時刻歴波形

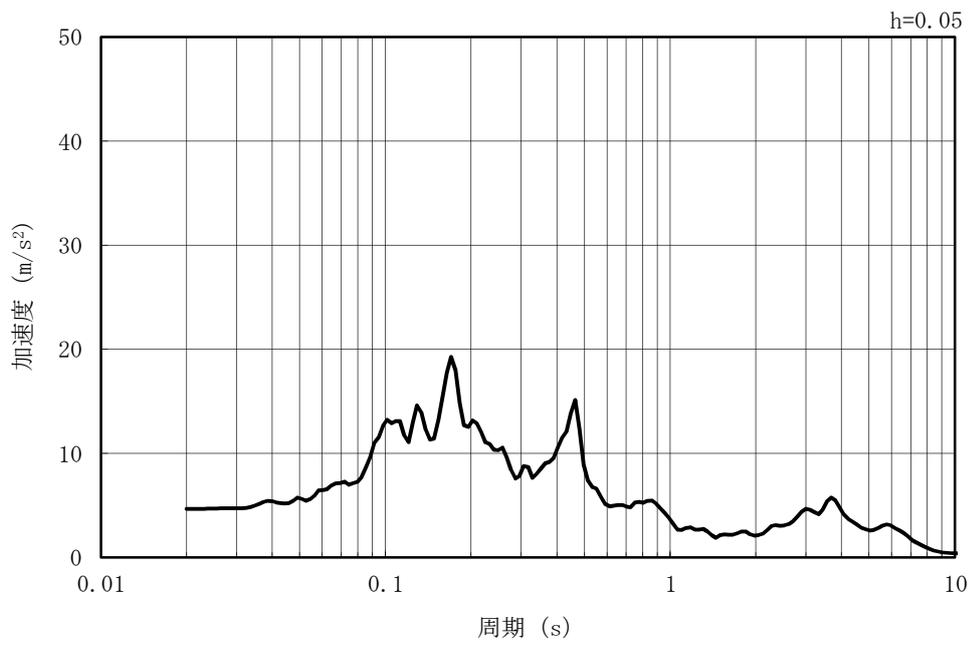


(b) 加速度応答スペクトル

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

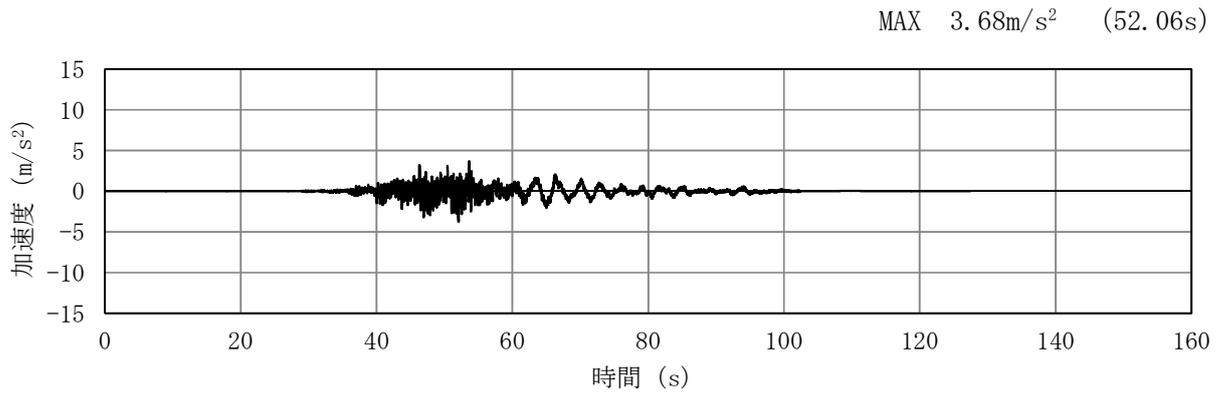


(a) 加速度時刻歴波形

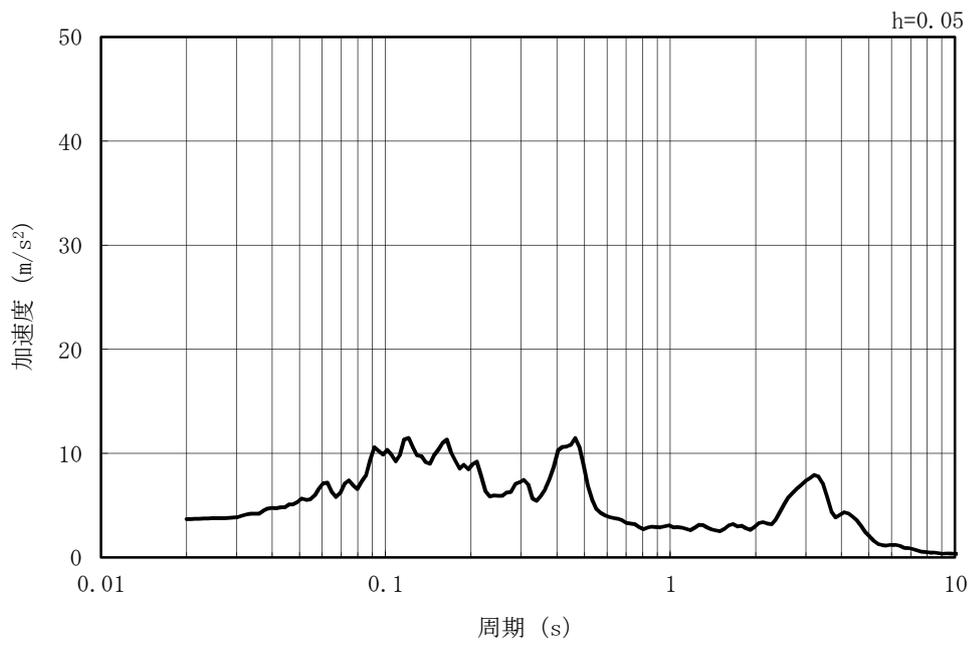


(b) 加速度応答スペクトル

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

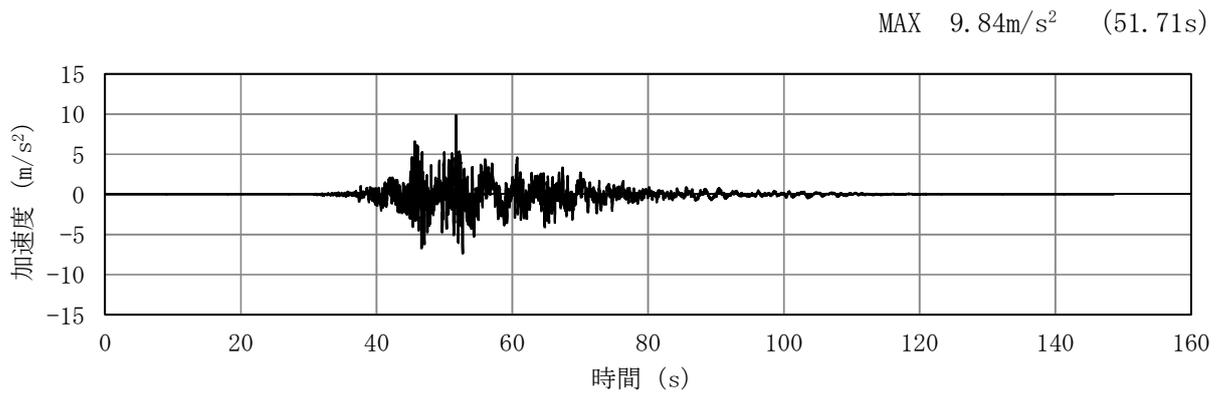


(a) 加速度時刻歴波形

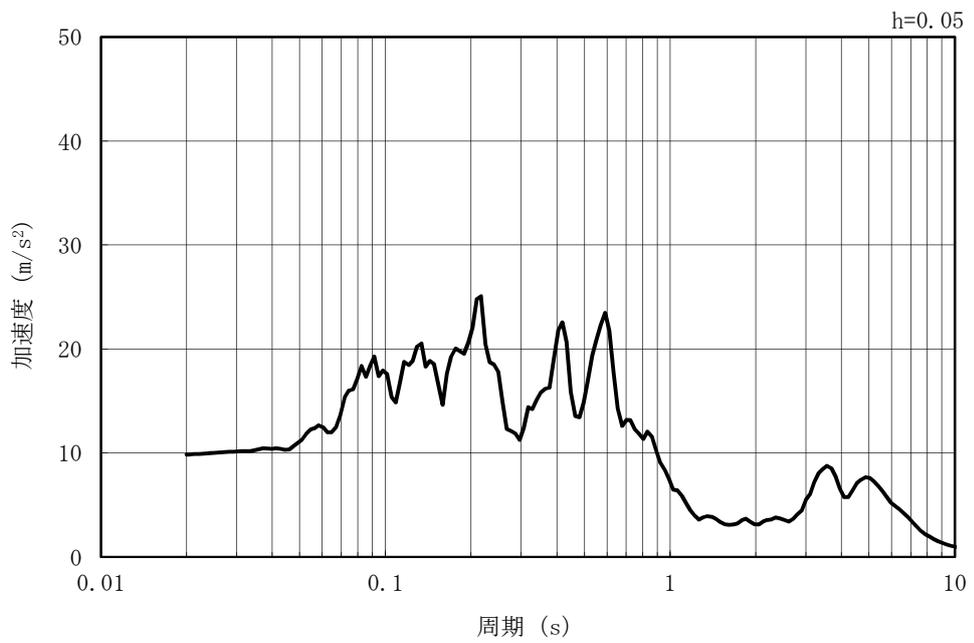


(b) 加速度応答スペクトル

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

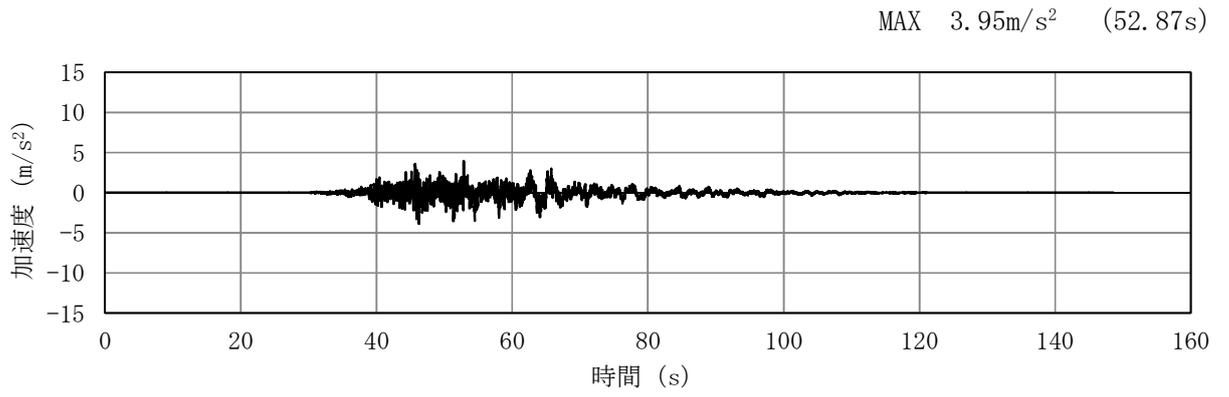


(a) 加速度時刻歴波形

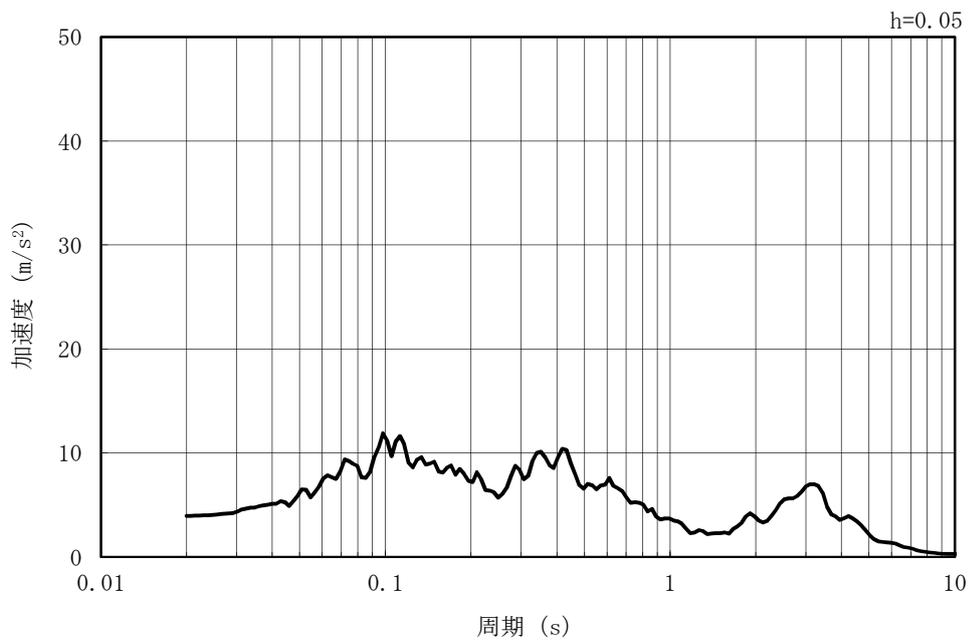


(b) 加速度応答スペクトル

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

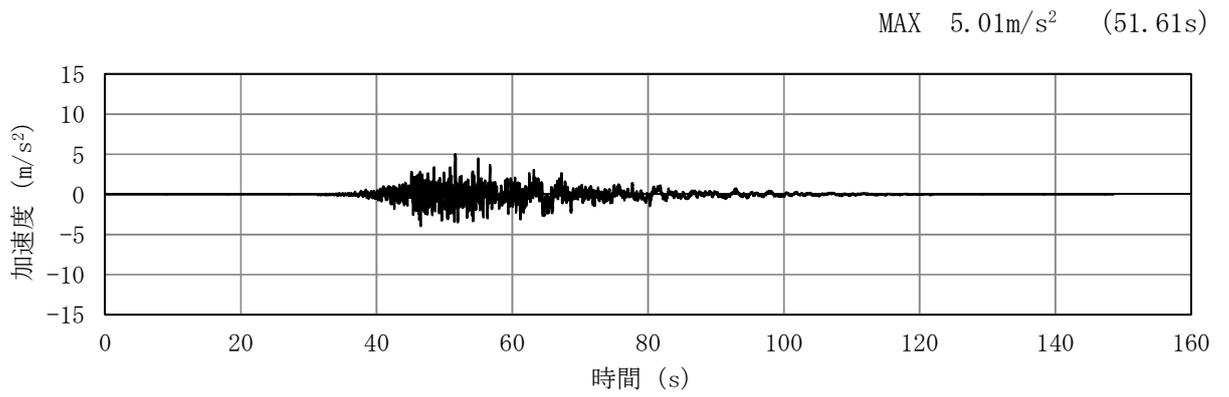


(a) 加速度時刻歴波形

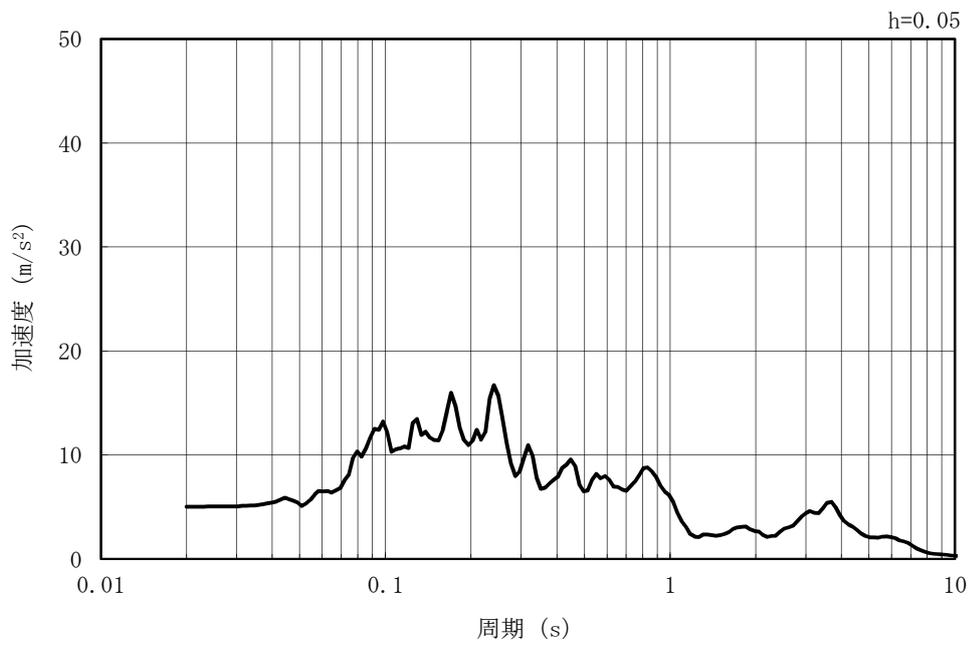


(b) 加速度応答スペクトル

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

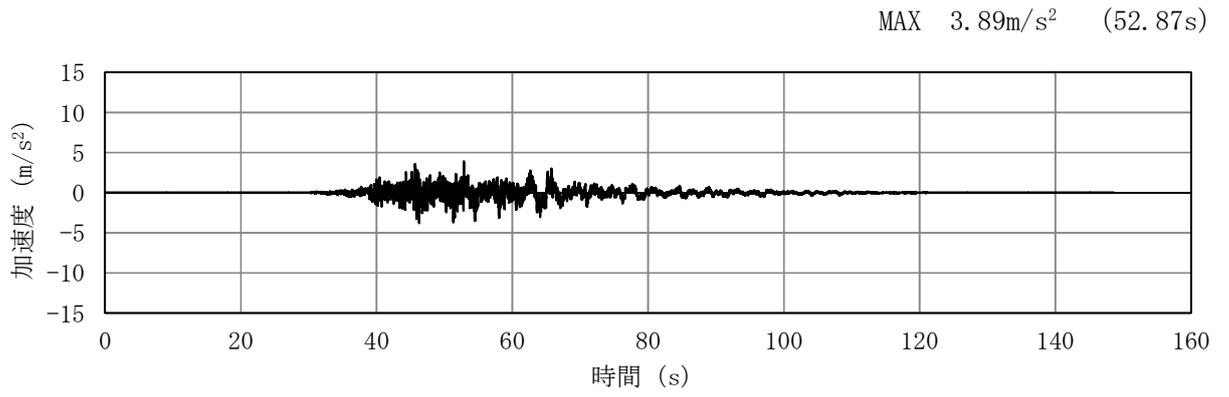


(a) 加速度時刻歴波形

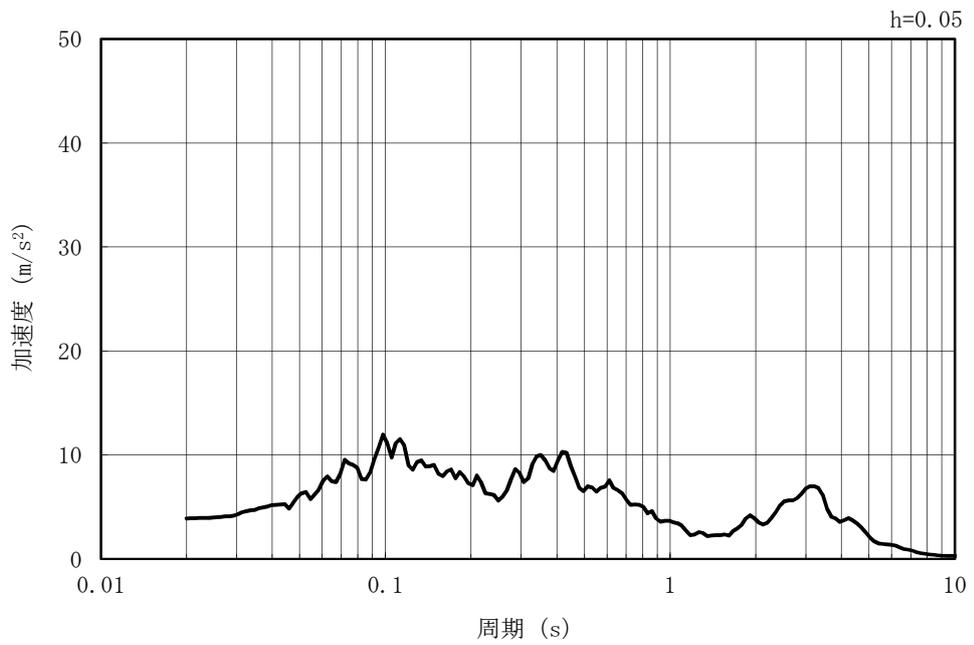


(b) 加速度応答スペクトル

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

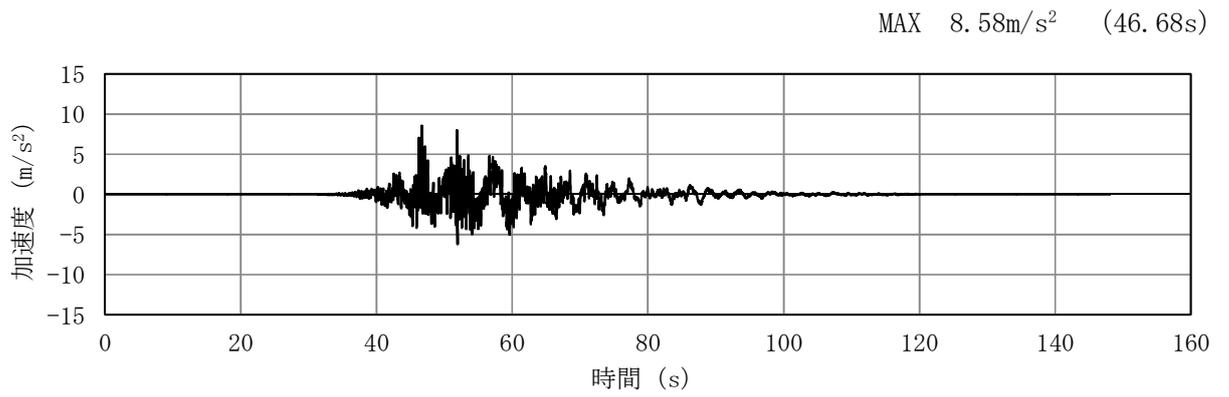


(a) 加速度時刻歴波形

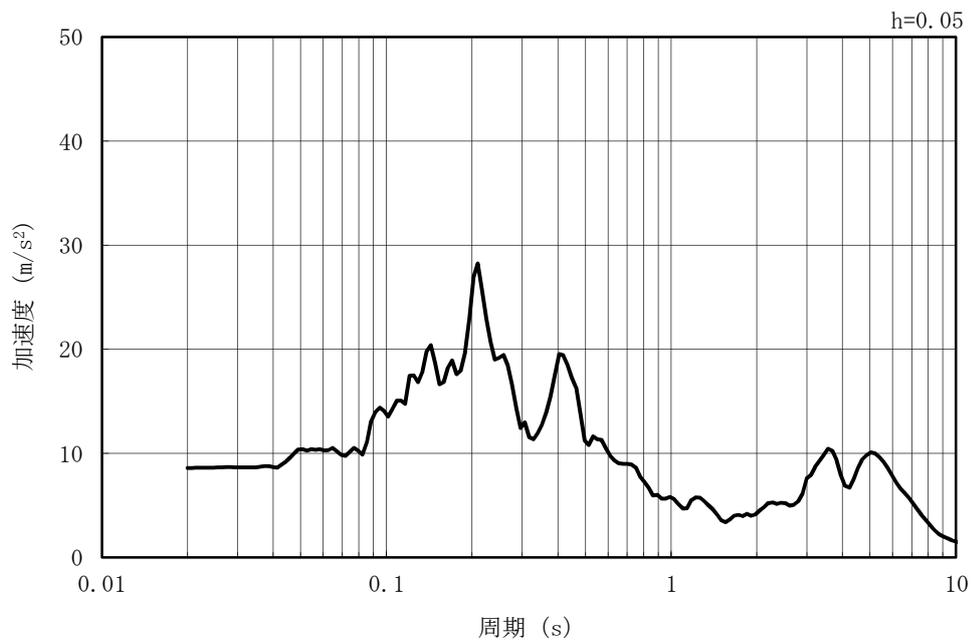


(b) 加速度応答スペクトル

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

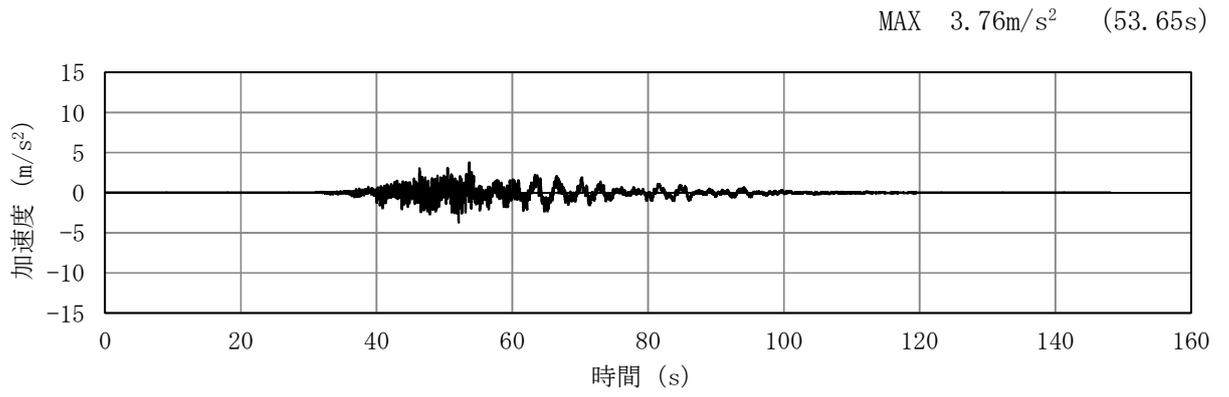


(a) 加速度時刻歴波形

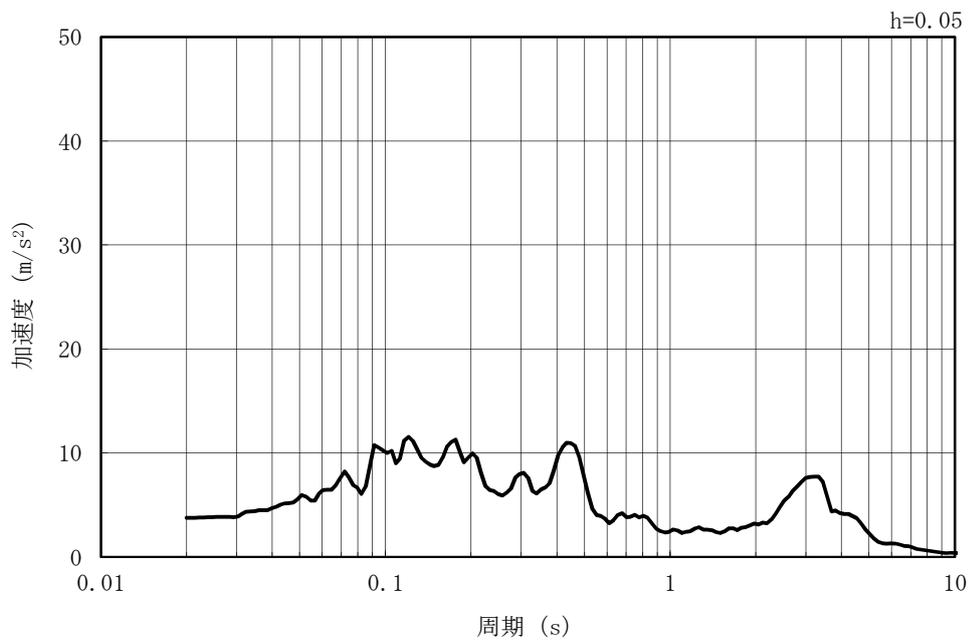


(b) 加速度応答スペクトル

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

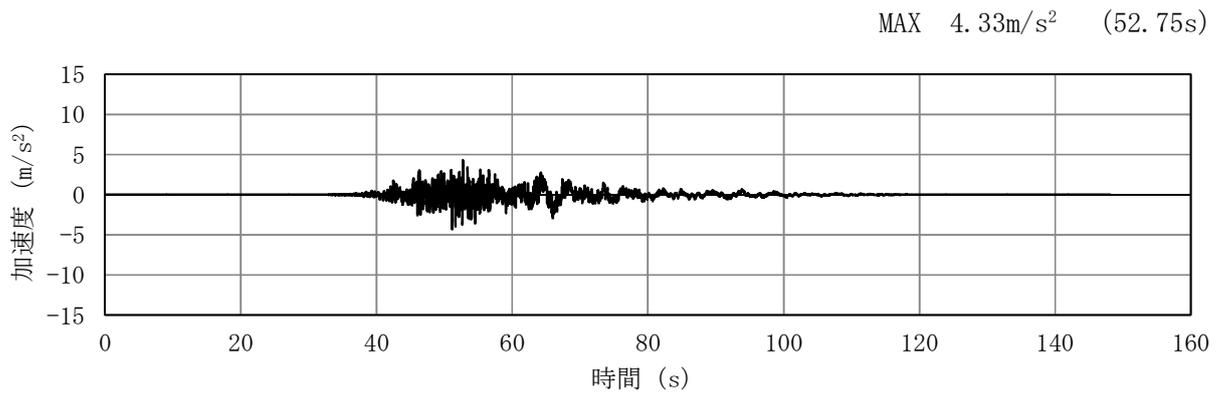


(a) 加速度時刻歴波形

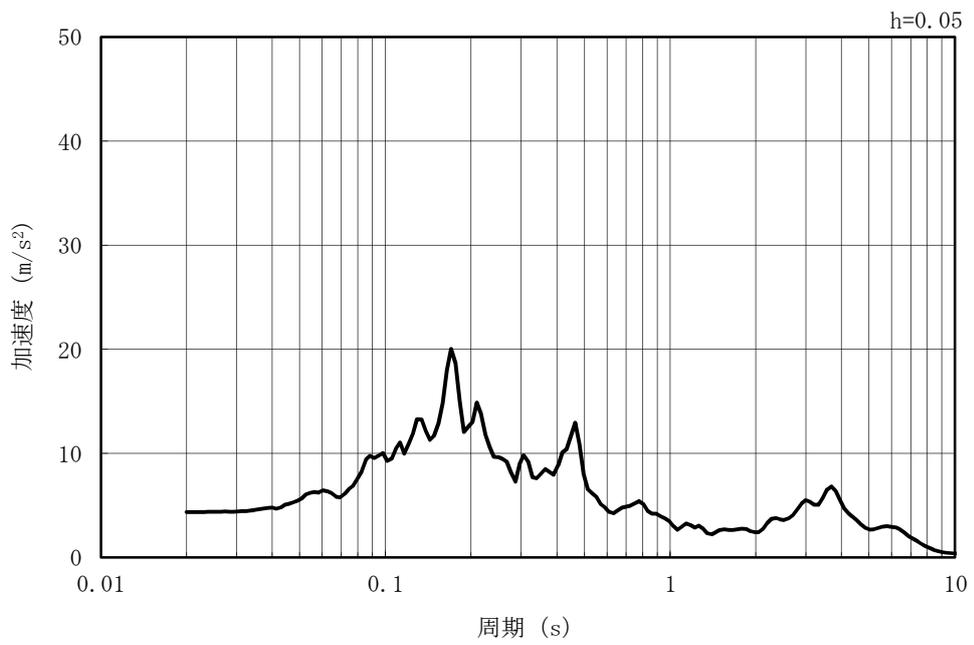


(b) 加速度応答スペクトル

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

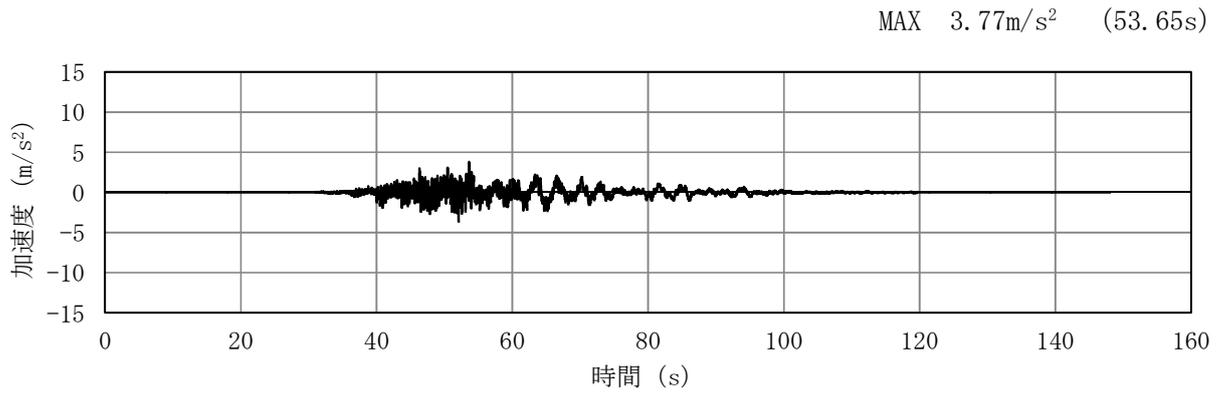


(a) 加速度時刻歴波形

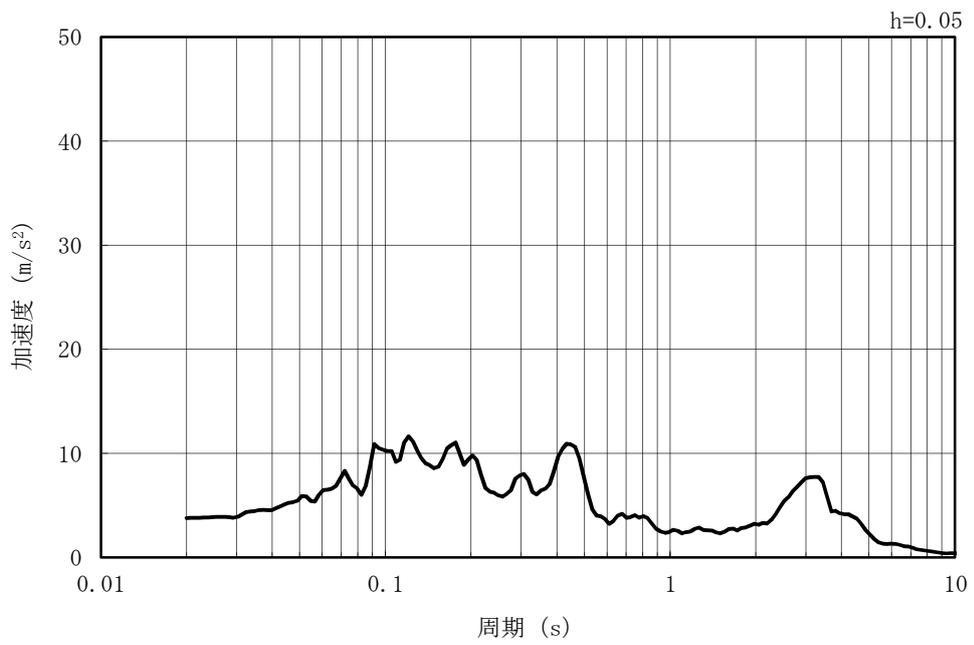


(b) 加速度応答スペクトル

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

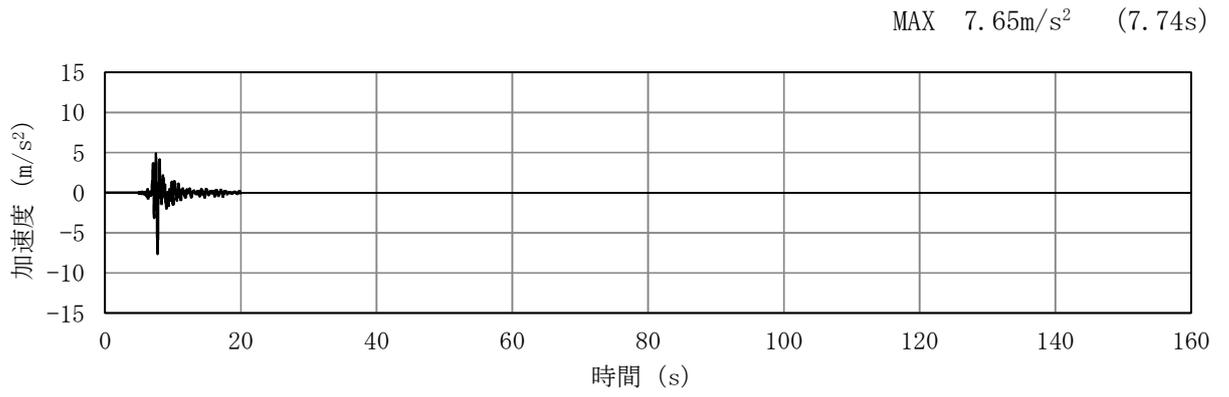


(a) 加速度時刻歴波形

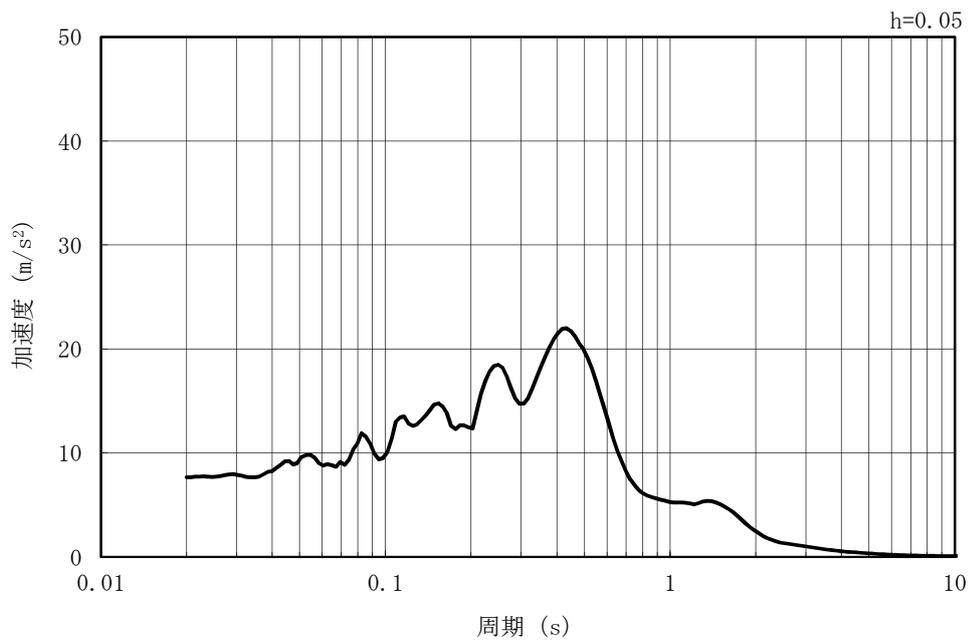


(b) 加速度応答スペクトル

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

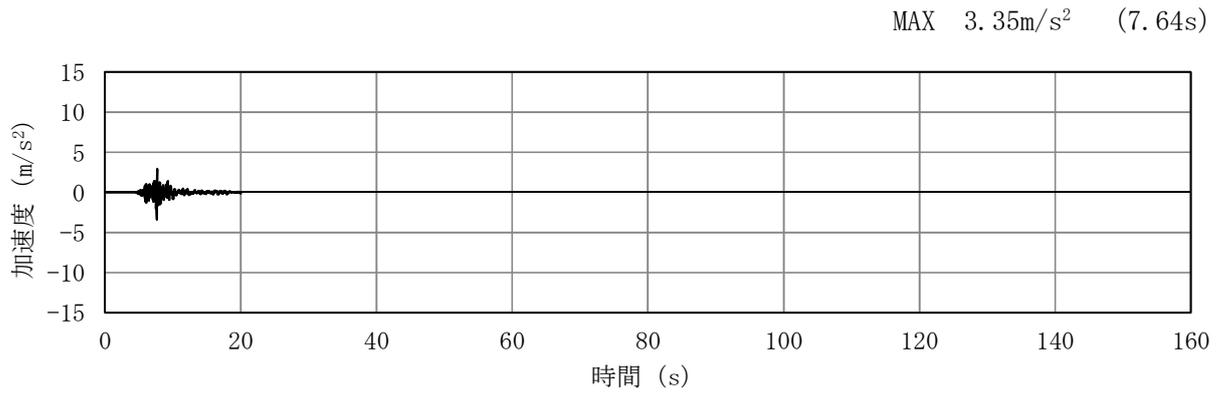


(a) 加速度時刻歴波形

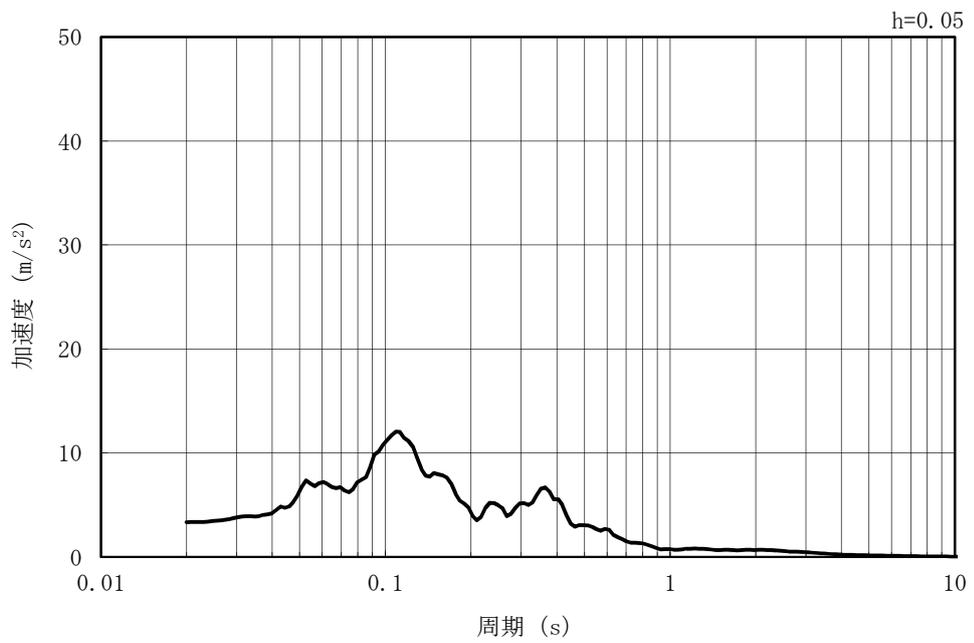


(b) 加速度応答スペクトル

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



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

海水貯留堰の地震応答解析モデルを図 3-8 に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

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

(5) 地盤改良体のモデル化

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

(6) ジョイント要素の設定

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

(7) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の 3 次元効果を 2 次元モデルで考慮するため、地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設定する。

(8) 杭先端ばねの設定

地震時の杭先端における地盤と杭の相互作用を考慮するため、杭先端と地盤間に杭先端ばねを設定する。

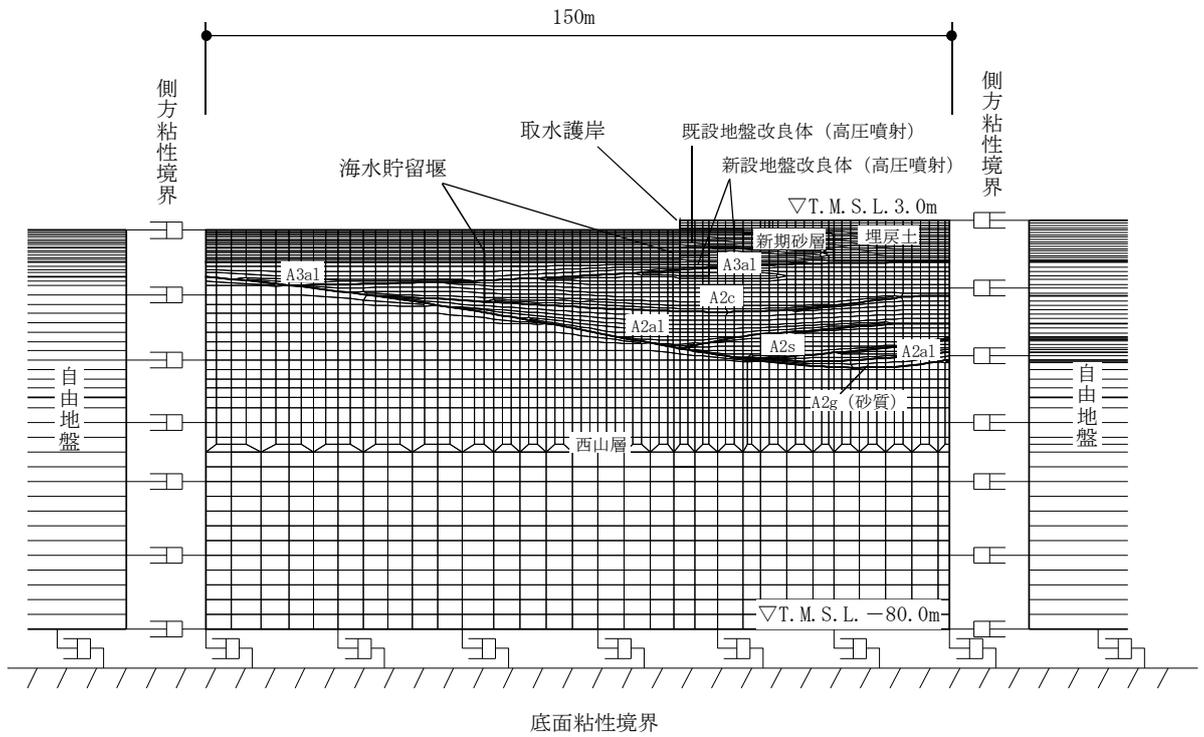


図 3-8 (1) 海水貯留堰の地震応答解析モデル (A-A断面)

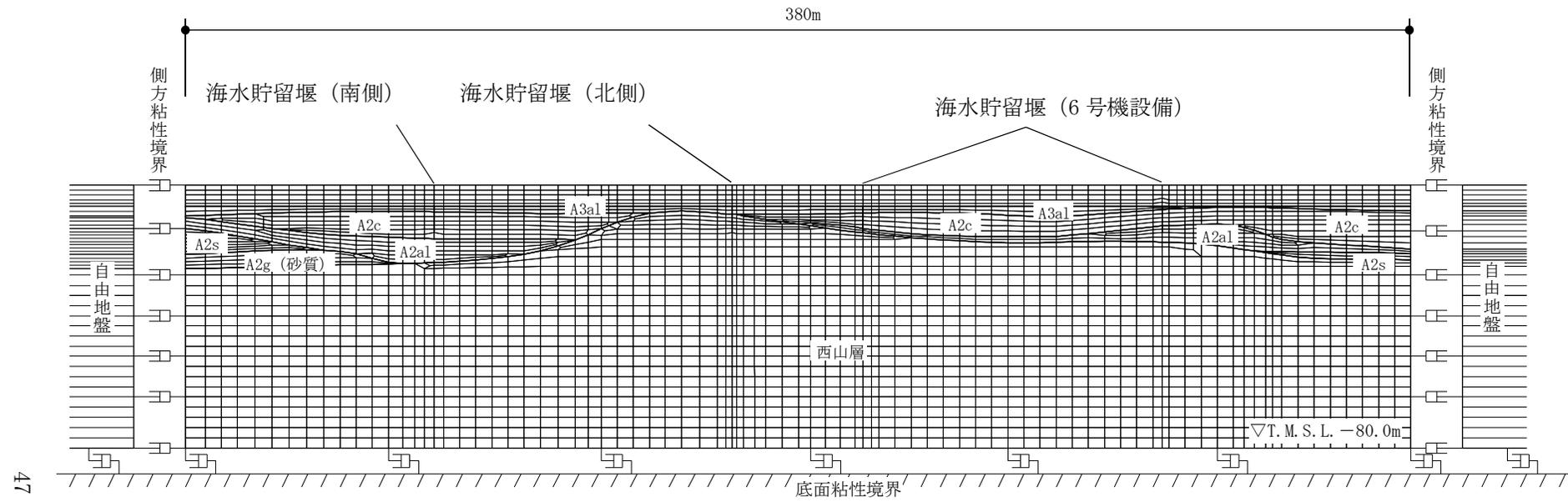


図 3-8 (2) 海水貯留堰の地震応答解析モデル (B-B断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる使用材料を表 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	腐食代	
鋼管矢板	$\phi 1100\text{mm}$ (SKY490), $t=14\text{mm}$	1.0mm	
前面鋼矢板	S P-IV型 (SY295), $t=15.5\text{mm}$	海側 (海底面以浅)	2.0mm
		海側 (海底面以深)	0.2mm
		陸側	0.2mm

表 3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
鋼管矢板	77.0	2.0×10^5	0.3
前面鋼矢板	77.0	2.0×10^5	0.3

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

地盤の解析用物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表 3-6 に示す。

表 3-6 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設/新設		種別 (地盤種別)	既設	新設地盤改良体	
			地盤改良体	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理特性	密度	ρ (g/cm^3)	1.77	1.94~1.96*	1.81
	間隙率	n	0.49	0.49	0.64
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ms} (kN/m^2)	1.78×10^6	5.54×10^5	5.18×10^5
	基準平均有効拘束圧	σ_{ms}' (kN/m^2)	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比	ν	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h_{max}	0.05	0.05	0.05
強度特性	粘着力	c (kN/m^2)	815	397	397

注記*：地盤改良体の配置に応じて設定。

3.5.4 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地表面(T.M.S.L. 3.0m)として設定する。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、海水貯留堰の構造上の特徴を踏まえて設定する。

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、鋼管矢板、止水ゴム取付部鋼材とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、鋼管矢板を支持する基礎地盤とする。

3.6.3 構造物の変形性評価

構造物の変形性評価に係る評価対象部位は、止水ゴムとする。

3.7 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の許容限界は、「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）」に基づき設定する。

鋼管矢板の許容限界を表3-7に示す。

表3-7 鋼管矢板の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
鋼管矢板 φ1100	SKY490	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度 τ_a	157

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の許容限界は、「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）」に基づき設定する。

止水ゴム取付部鋼材の許容限界を表 3-8 に示す。

また，止水ゴム取付部鋼材は，鋼管矢板及び前面鋼矢板に水中溶接にて設置する。止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）に対する許容限界は，「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）」、「鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会，平成 12 年 3 月）」及び「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版）」に基づき設定する。

止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-8 止水ゴム取付部鋼材の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	SM490	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度 τ_a	157

表 3-9 (1) 止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：鋼管矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材 (SM490) ／鋼管矢板 (SKY490)	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a (水中溶接部)	110

表 3-9 (2) 止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：前面鋼矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材 (SM490) ／前面鋼矢板 (SY295)	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a (水中溶接部)	105

3.7.2 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鉛直力に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「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）」より設定する極限支持力に、「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6-2009（日本電気協会）」に基づく安全率を考慮した終局鉛直支持力とする。

基礎地盤の許容限界を表3-10に示す。

表3-10 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

項目	許容限界 (kN)		
	A-A断面	B-B断面	
終局鉛直支持力	3280	南側	北側
		3960	18500

3.7.3 構造物の変形性に対する許容限界

止水ゴムに対する許容限界は、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。

止水ゴム変形量の許容限界を表3-11に示す。

表3-11 止水ゴム変形量の許容限界

項目	許容限界	
変形量	δ_x	9.5cm以上*
	δ_y	11.3cm以上*
	δ_z	12.2cm以上*

注記* :

3.8 評価方法

海水貯留堰の耐震評価は、地震応答解析により算定した全時刻歴の照査用応答値が、「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図3-9に、せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図3-10に示す。

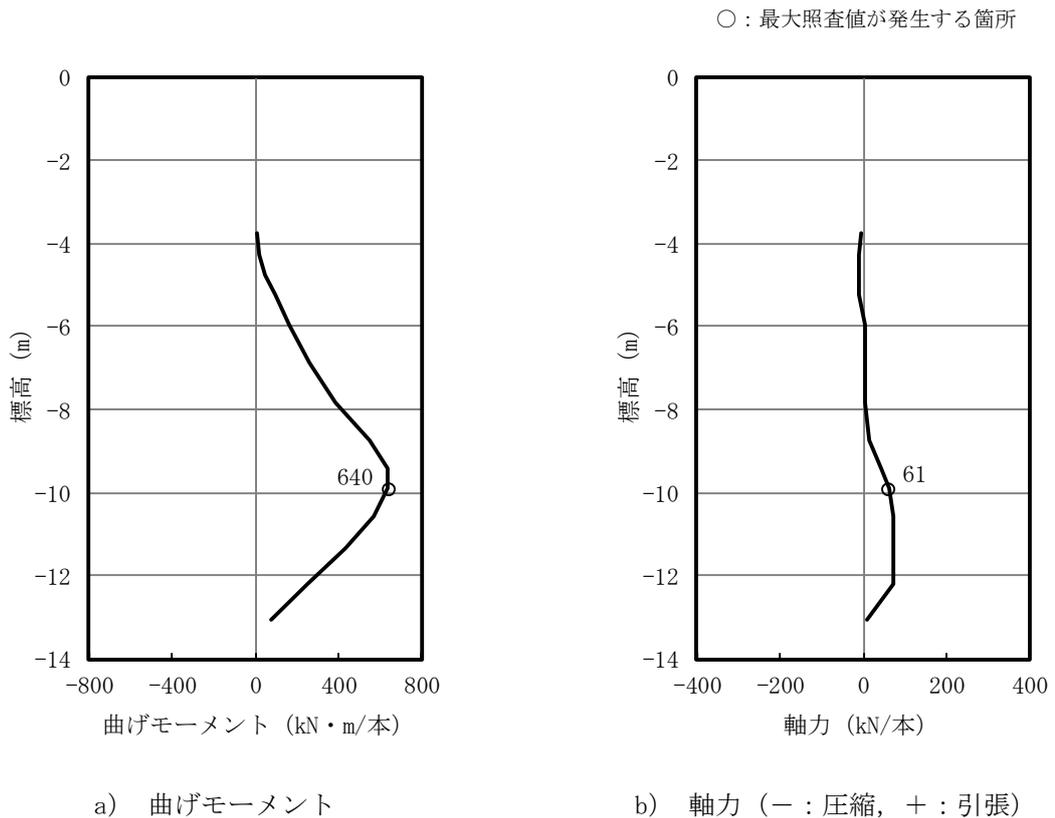


図3-9 (1) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(A-A断面 Ss-1++，t=18.66s)

(解析ケース③：地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

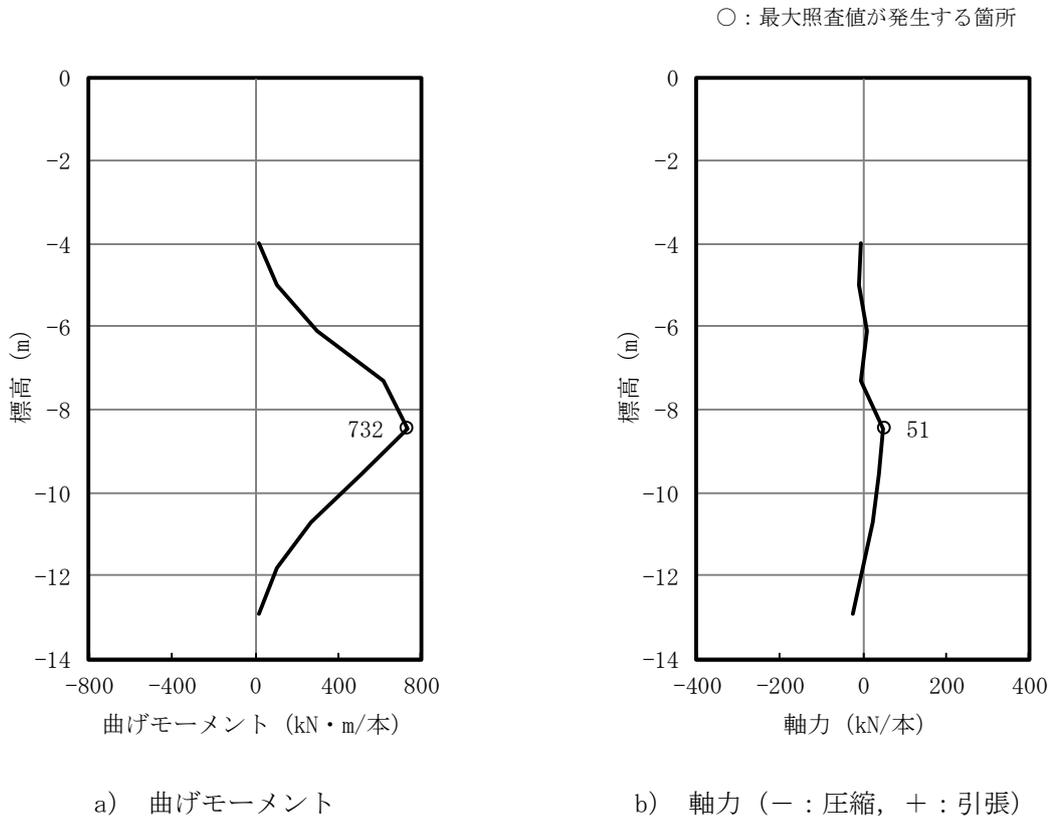


図 3-9 (2) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B断面 Ss-1-+, t=18.68s)
 (解析ケース③: 地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

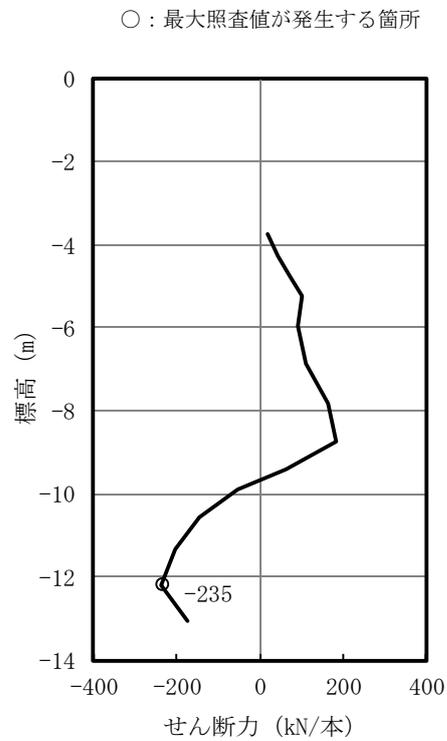


図 3-10 (1) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (A-A断面 Ss-1++，t=18.66s)
 (解析ケース③：地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

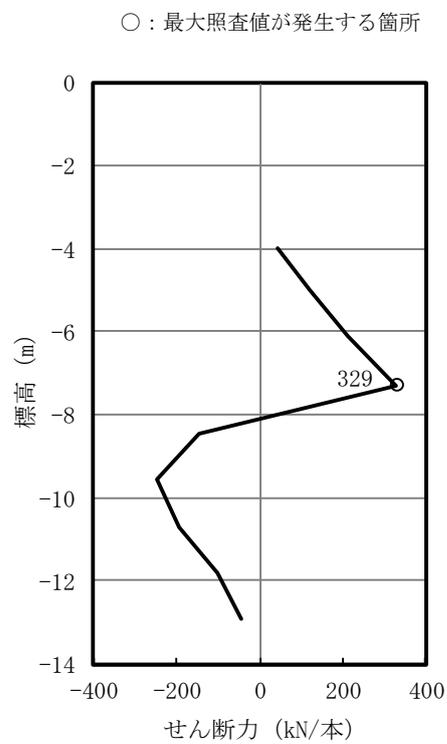


図 3-10 (2) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B 断面 Ss-1-+, t=18.68s)
 (解析ケース③：地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

(2) 止水ゴム取付部鋼材

a. 構造概要

止水ゴム取付部鋼材の照査対象は、構成部材であるスキンプレートとリブプレートに加えて、発生荷重を負担する前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部とする。

止水ゴム取付部鋼材に関する使用材料を表 3-12 に、海水貯留堰接続部の鳥瞰図を図 3-11 に示す。また、止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図を図 3-12 に、止水ゴムの仕様を表 3-13 に、止水ゴムの構造図を図 3-13 に示す。

表 3-12 使用材料

部位	材料	諸元
止水ゴム取付部鋼材	スキンプレート	t=9 mm* (SM490)
	リブプレート	t=14 mm* (SM490)

注記*：断面照査においては海水と接する面に対して 1 mm の腐食代を考慮する。

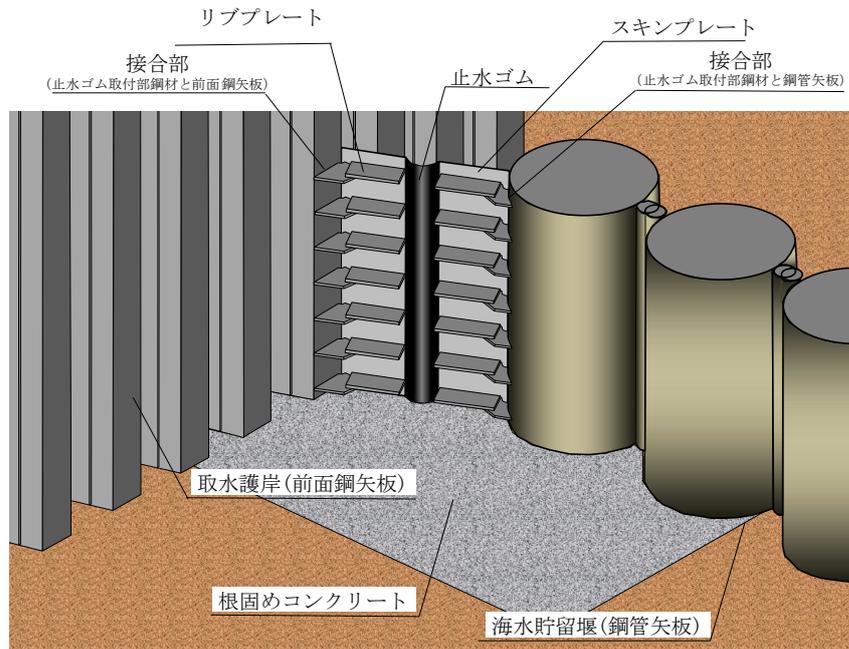


図 3-11 海水貯留堰接続部の鳥瞰図

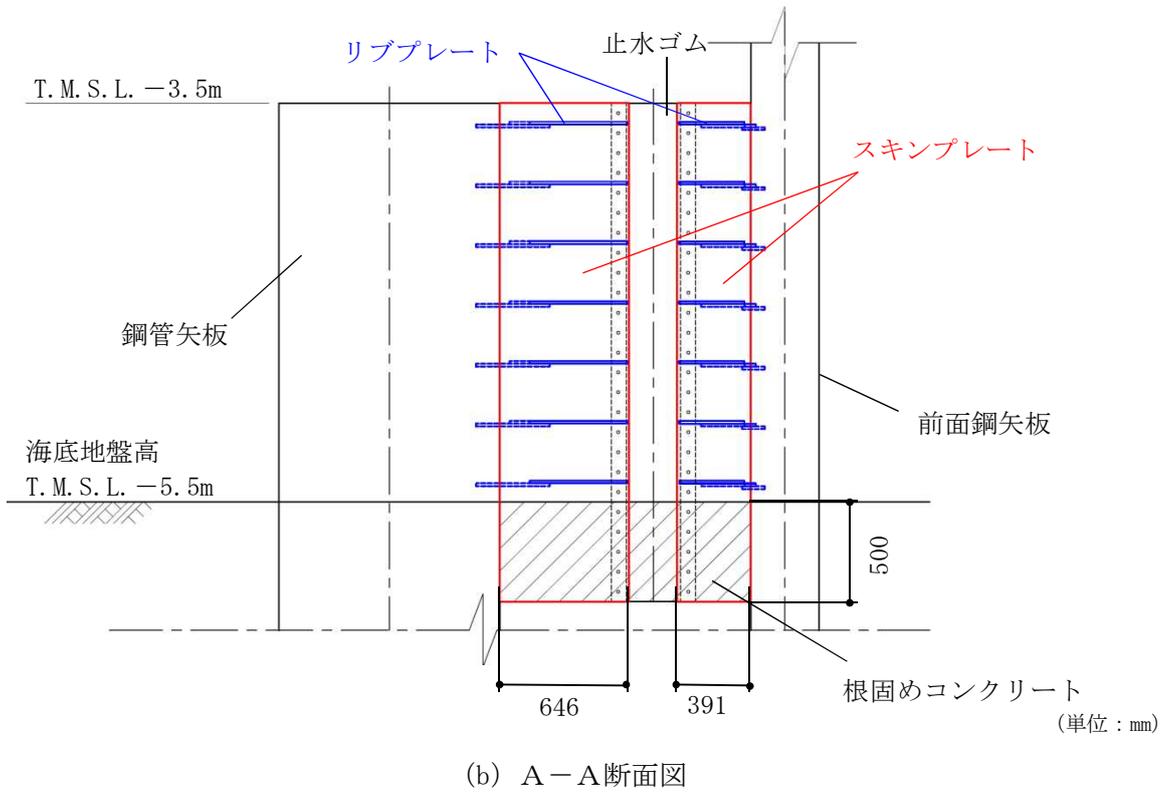
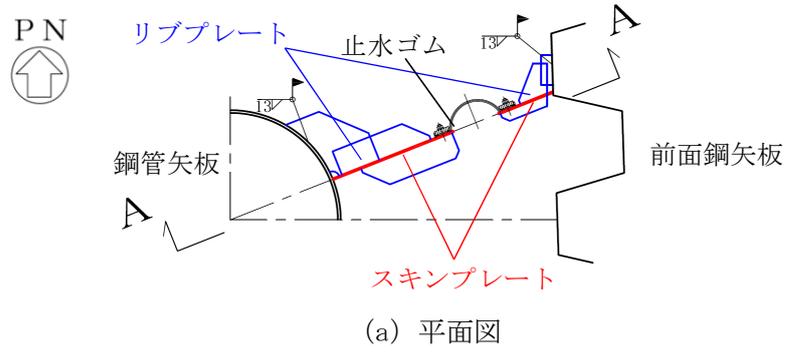
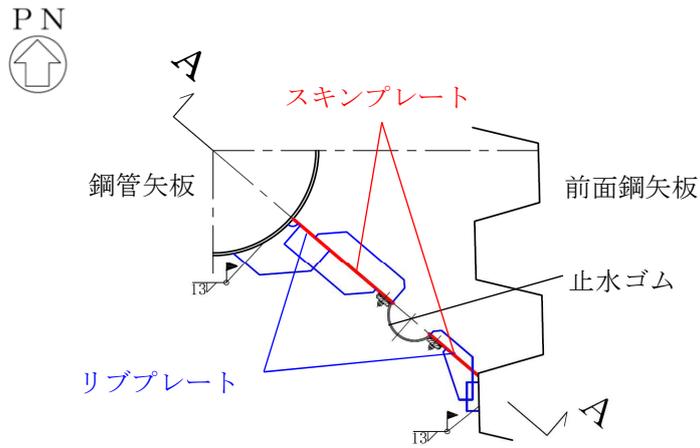
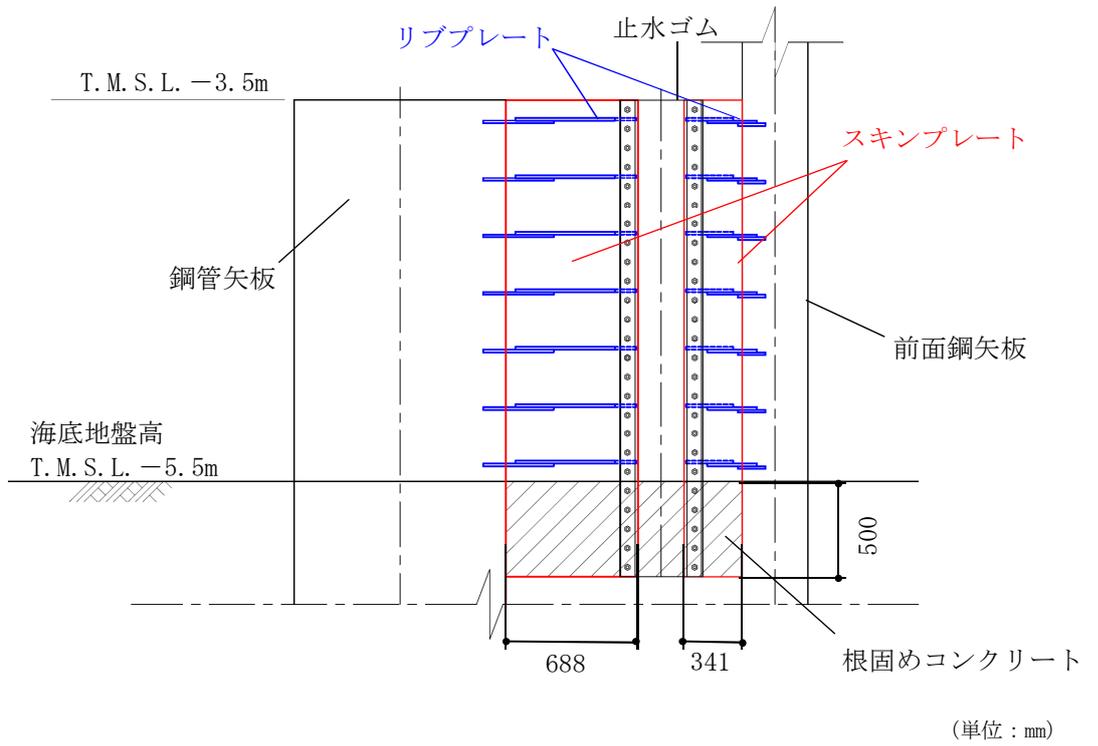


図 3-12 (1) 止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図 (南側)



(a) 平面図



(単位 : mm)

(b) A-A断面図

図 3-12 (2) 止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図 (北側)

表 3-13 止水ゴムの仕様

部位	材料	諸元
止水ゴム	クロロプレンゴム	t=10mm

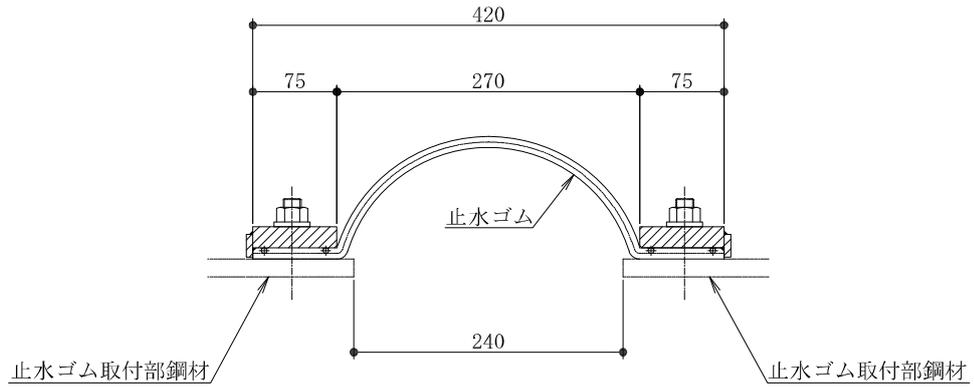


図 3-13 止水ゴムの構造図

b. 解析概要

地震時に発生する応答値は、ゴム作用力、基準地震動 S_s による慣性力及び動水圧を作用させた線形はり構造として解析を行う。

c. 止水ゴム取付部鋼材の解析方法

(a) スキンプレート

スキンプレートは、取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰鋼管矢板側に設置する。スキンプレートの照査については、設置間隔 300mm のリブプレートで支持された両端固定梁として行う。

イ. モデル化

スキンプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3-14、照査断面を図 3-15 に示す。

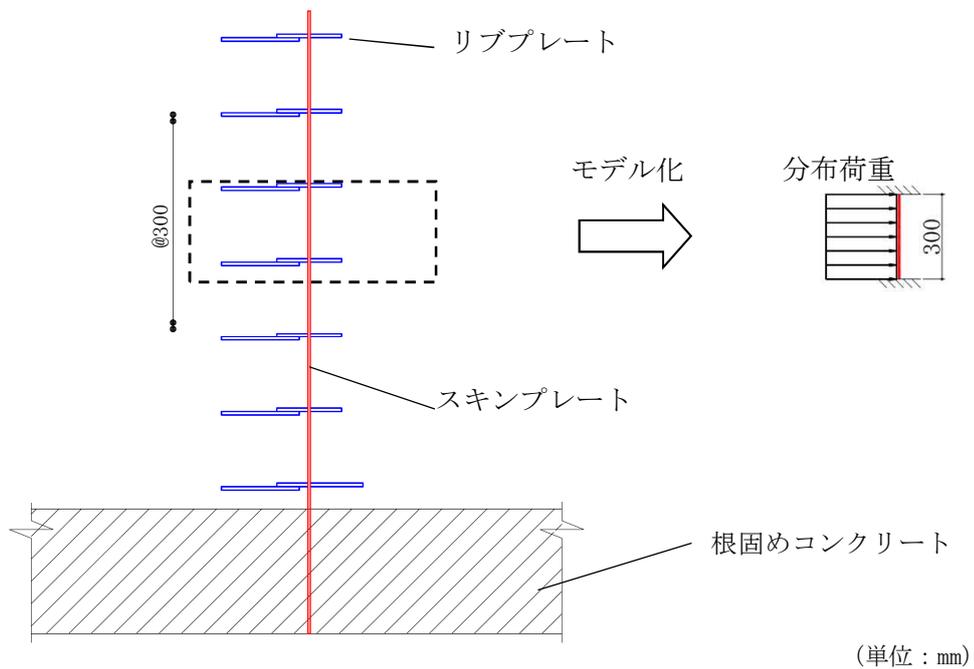
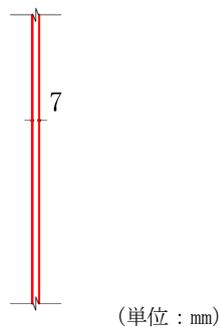


図 3-14 スキンプレート照査モデル図



注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3-15 スキンプレート照査断面

ロ. 断面照査方法

スキンプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot l \cdot L^2}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{q \cdot l \cdot L}{2}$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅=リブプレート間隔 (m)

l : スキンプレート奥行き (m)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

(b) リブプレート

リブプレートは、取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰鋼管矢板側に設置する。リブプレートの照査については、止水ゴム取付部鋼材のリブプレート断面変化箇所に対して行う。

イ. モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデルを図 3-16 に示す。また、照査断面を図 3-17 に示す。

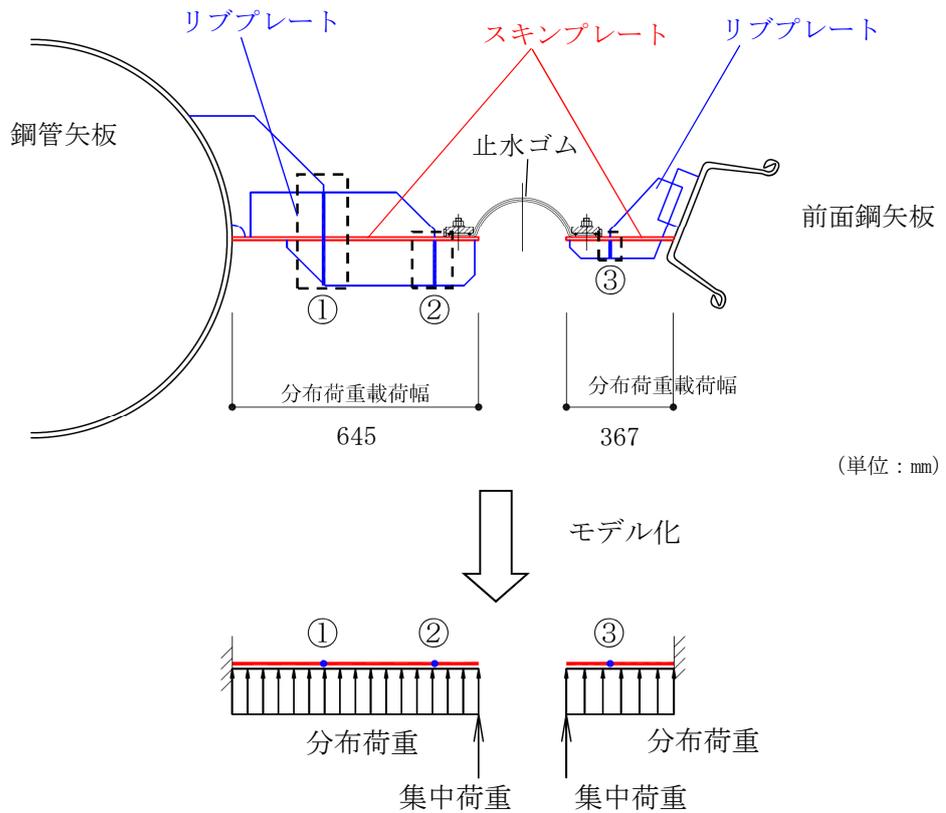
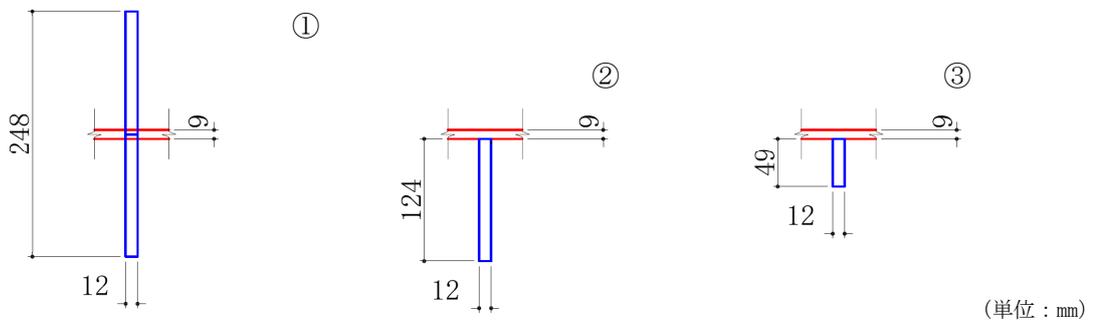


図 3-16 照査モデル図（リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板）



注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3-17 リブプレートの照査断面

ロ. 断面照査方法

リブプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{\max} = \frac{q \cdot L^2 \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$
$$S_{\max} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

ここに，

- M_{\max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)
 q : 分布荷重 (kN/m²)
 L : 分布荷重載荷幅=検討箇所でのリブプレート張り出し長 (m)
 l : リブプレート間隔 (m)
 P : 集中荷重 (kN/m)
 S_{\max} : 最大発生せん断力 (kN)

(c) 前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

止水ゴム取付部鋼材では、リブプレート部材と取水護岸前面鋼矢板及び海水貯留堰鋼管矢板との接合部において発生荷重を負担している。当該接合部は水中溶接により接合されるが、水中溶接部の許容限界については、「3.7 許容限界」にまとめる。

イ. モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデルを図 3-18 に示す。また、照査断面を図 3-19 に示す。

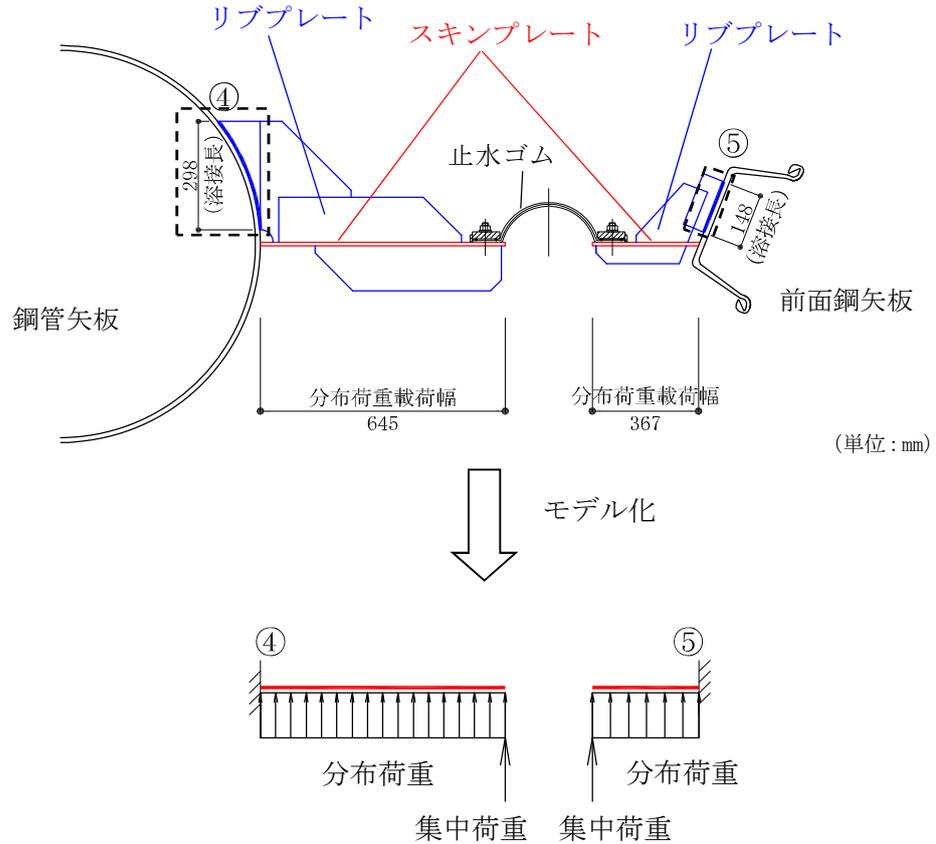
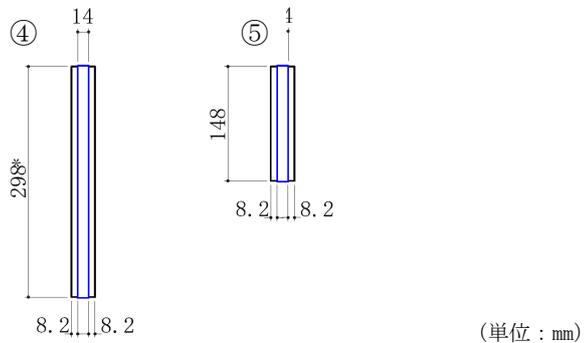


図 3-18 照査モデル図（リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板接合部）



注記*：④部は鋼管矢板の外形状に沿って溶接しているが、保守的にプレート幅を溶接長さとして扱う。

図 3-19 接合部の照査断面（照査断面寸法（溶接長）は腐食代を考慮）

ロ. 断面照査方法

リブプレートと取水護岸前面鋼矢板の接合部及びリブプレートと海水貯留堰鋼管矢板の接合部に発生する断面力算定式，部材の断面性能算出式を以下に記す。また，リブプレートと取水護岸前面鋼矢板の接合部は，発生せん断力に対して角度を有していることから，図3-20に示すように角度補正を行う。

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2 \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$

$$S_{max} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

リブプレートと前面鋼矢板接合部

$$S = S_{max} \cdot \cos \theta$$

$$N = S_{max} \cdot \sin \theta$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長 (m)

l : リブプレート間隔 (m)

P : 集中荷重 (kN/m)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

S : 最大発生せん断力に対する分力 (せん断力) (kN)

N : 最大発生せん断力に対する分力 (引張力) (kN)

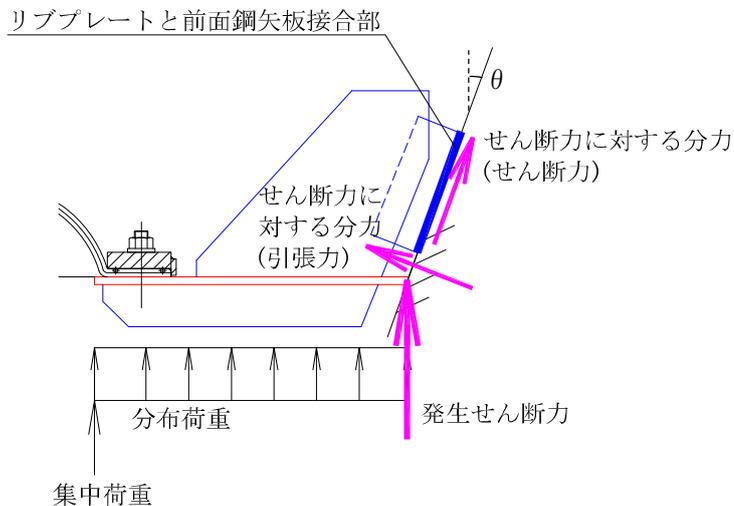


図3-20 リブプレートと前面鋼矢板接合部におけるせん断力の補正について

d. 評価方法

止水ゴム取付部鋼材の耐震評価は、曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.7 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。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで、

- σ : 曲げモーメント及び軸力より算定した応力 (N/mm²)
- M : 最大曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- N : 軸力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \cdot \frac{S}{A}$$

ここで、

- τ : せん断力より算定したせん断応力 (N/mm²)
- S : せん断力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)
- κ : せん断応力の分布係数 ($\kappa = 1.5$)

3.8.2 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、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

3.8.3 構造物の変形性評価

(1) 相対変位の考え方

止水ゴムの変形性評価に用いる地震時の構造物間の相対変位は、地震時の解析ケースで求められる最大変位の最大値とする。

なお、津波時及び重畳時の構造物間の相対変位に対する止水ゴムの変形性評価は、V-3-別添 3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」において実施するものとする。

(2) 評価方法

止水ゴムの変位量は、海水貯留堰（護岸近傍）と取水護岸間の水平（ δ_x ）及び鉛直方向（ δ_y ）と、海水貯留堰下端と海水貯留堰天端間の水平方向（ δ_z ）の相対変位とする。地震応答解析モデル（A-A断面）を図3-21に、変位方向の定義を図3-22から図3-24に示す。これら3方向の変位量が許容限界以下であることを確認する。地震時における変位量の評価は、各変位方向の最大値を用いて評価する。

δ_x : X方向の水平変位 (cm)

δ_y : Y方向の鉛直変位 (cm)

δ_z : Z方向の水平変位 (cm)

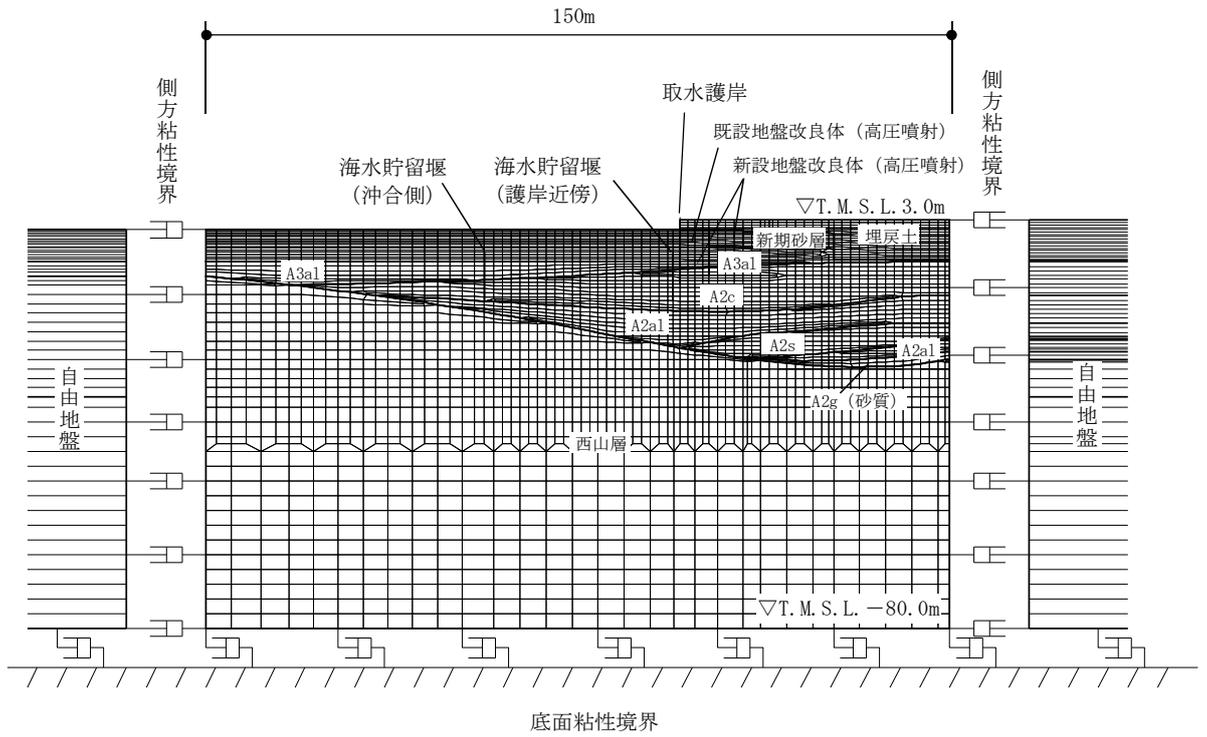


図 3-21 海水貯留堰の地震応答解析モデル (A-A断面)

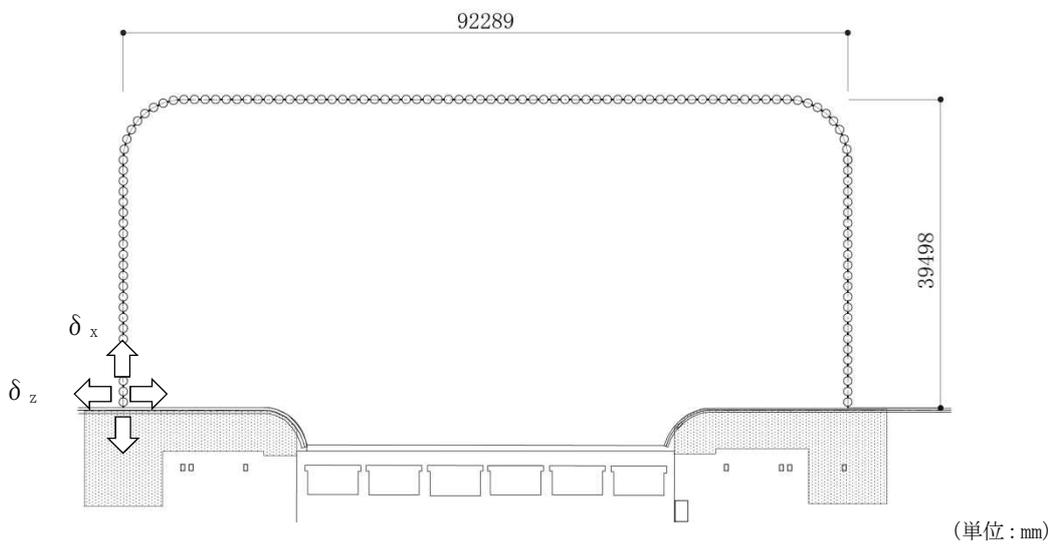


図 3-22 変位方向の定義 (δ_x , δ_z 平面図)

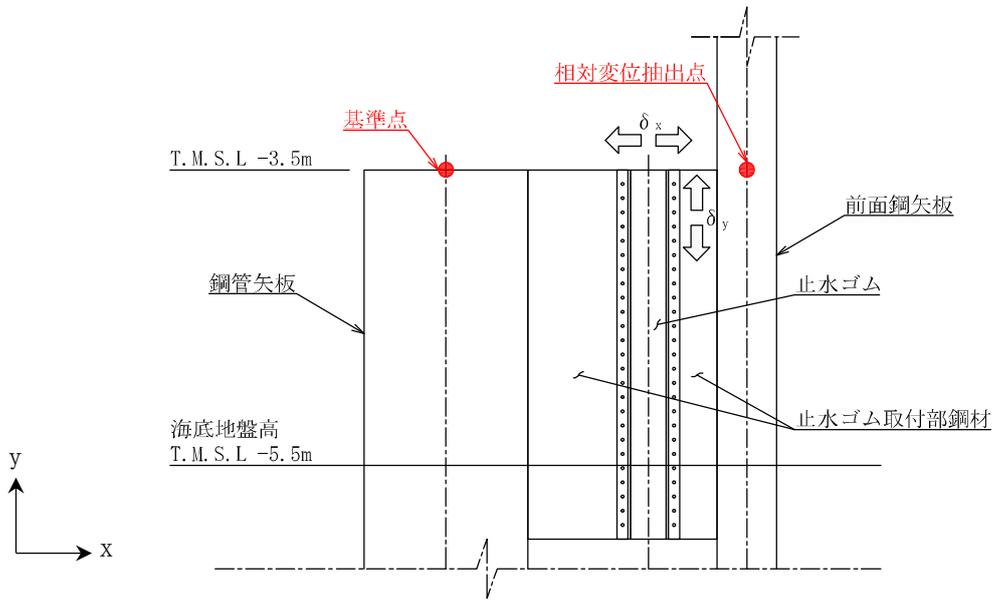


図 3-23 変位方向の定義 (δ_x , δ_y 断面図)

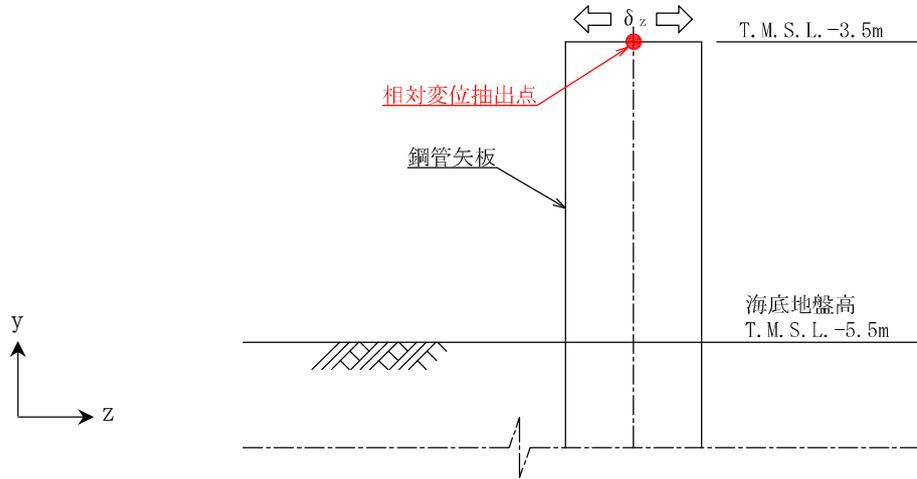


図 3-24 変位方向の定義 (δ_z 断面図)

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

4.1.1 鋼管矢板の健全性評価

鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-1 に、せん断力照査における最大照査値を表 4-2 にそれぞれ示す。鋼管矢板の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 (1) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1++	640	61	55.2	277	0.20

表 4-1 (2) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1-+	732	51	62.7	277	0.23

表 4-2 (1) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1++	235	11	157	0.08

表 4-2 (2) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1-+	329	15	157	0.10

4.1.2 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の作用断面力及び断面照査結果を表 4-3 から表 4-8 に示す。止水ゴム取付部鋼材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

(1) スキンプレート

表 4-3 作用する断面力

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
1.13	—	23

表 4-4 断面照査結果

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	139	277	0.51
せん断力	5	157	0.04

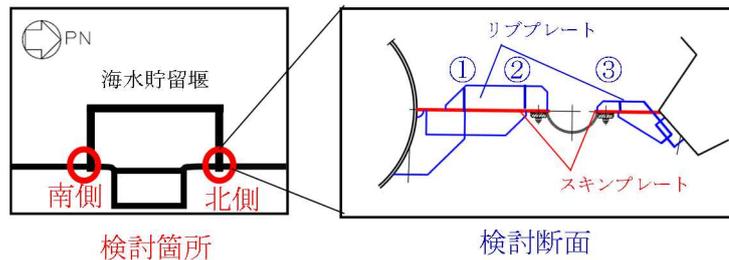
- (2) リブプレート（海水貯留堰（北側） 検討断面③）
 リブプレートの最大照査箇所は、海水貯留堰（北側）の検討断面③である。

表 4-5 作用する断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
北側	③	1.06	—	12

表 4-6 断面照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント	北側	③	221	277	0.80
せん断力	北側	③	31	157	0.20



照査対象箇所

(3) 前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

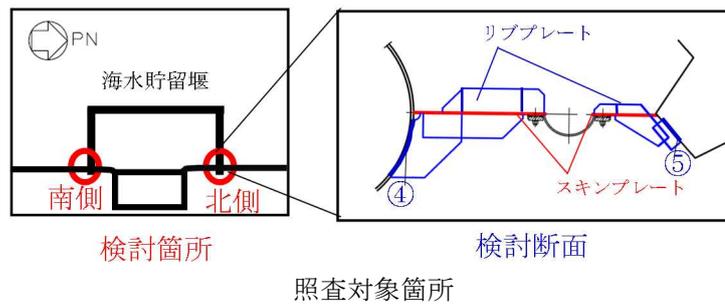
接合部における最大照査箇所は、曲げモーメント及び軸力に対する照査は海水貯留堰（北側）の検討断面⑤（リブプレートと取水護岸前面鋼矢板接合部）、せん断力に対する照査は海水貯留堰（北側）の検討断面④（リブプレートと鋼管矢板接合部）である。

表 4-7 作用する断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
北側	⑤	3.85	14	15
北側	④	14.9	—	38

表 4-8 断面照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント, 軸力	北側	⑤	70.3	105	0.67
せん断力	北側	④	12	110	0.11



4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持力に対する最大鉛直力と終局鉛直支持力の比較結果を表 4-9 に示す。
海水貯留堰の杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力以下であることを確認した。

表 4-9 (1) 基礎地盤の支持力に対する最大鉛直力と終局鉛直支持力の比較結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	最大鉛直力 (kN)	終局鉛直支持力 (kN)
①	Ss-1+-	21	3280

表 4-9 (2) 基礎地盤の支持力に対する最大鉛直力と終局鉛直支持力の比較結果 (B-B断面)

評価対象	解析 ケース	地震動	最大鉛直力 (kN)	終局鉛直支持力 (kN)
南側	①	Ss-1+-	20	3960
北側	①	Ss-1+-	19	18500

4.3 構造物の変形性に対する評価結果

止水ゴムの発生変形量（最大相対変位）と許容限界の比較結果を表 4-10 に示す。
 止水ゴムの発生変形量が許容限界以下であることを確認した。

表 4-10 止水ゴムの発生変形量（最大相対変位）と許容限界の比較結果

変位	解析 ケース	地震動	発生変形量 (最大相対変位) (cm)	許容限界* (cm)
δ_x	①	Ss-7	3.6	9.5 以上
δ_y	①	Ss-6	4.1	11.3 以上
δ_z	③	Ss-1-+	4.2	12.2 以上

注記* :

V-2-10-3-1-2-2 取水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	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 地盤	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	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	13
3.3.2 荷重	13
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	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 地盤及び地盤改良体の物性値	33
3.5.4 地下水位	34
3.6 評価対象部位	34
3.6.1 構造部材の健全性評価	34
3.6.2 構造物の変形性評価	34
3.7 許容限界	34
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	34
3.7.2 構造物の変形性に対する許容限界	34
3.8 評価方法	35
3.8.1 構造部材の健全性評価	35
3.8.2 構造物の変形性評価	37
4. 耐震評価結果	38
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	38
4.2 構造物の変形性に対する評価結果	38

1. 概要

本資料は、V-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、取水護岸が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

取水護岸に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び構造物の変形評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

取水護岸の位置図を図2-1に示す。

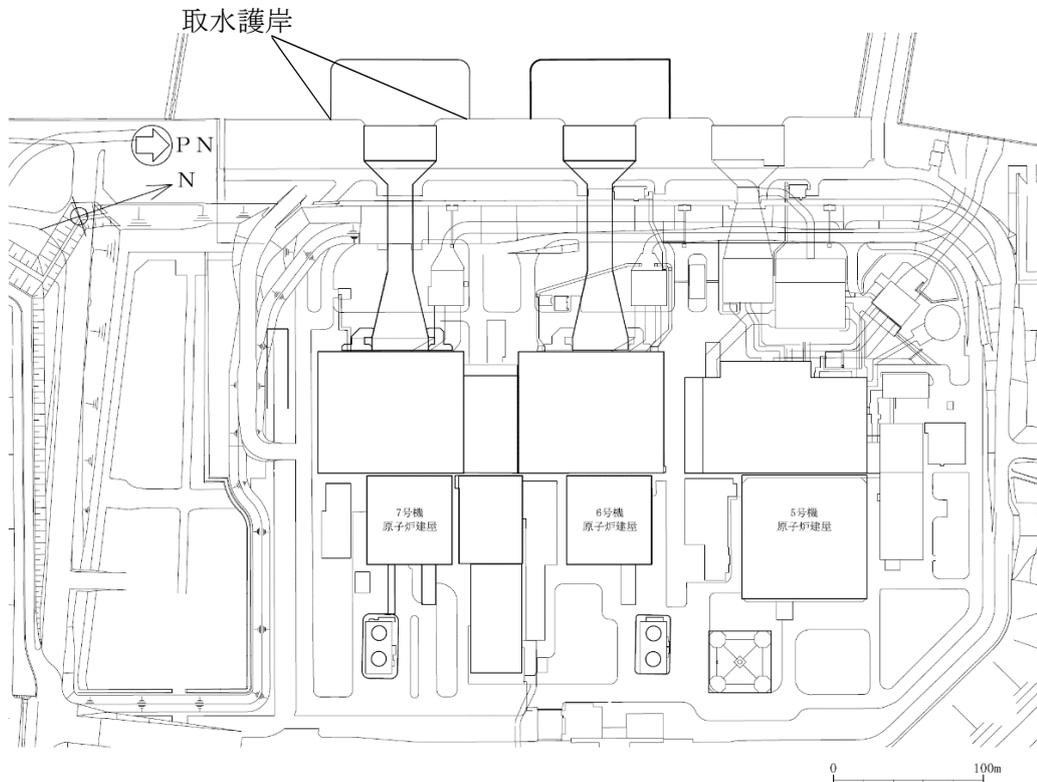


図2-1 (1) 取水護岸の位置図 (全体平面図)

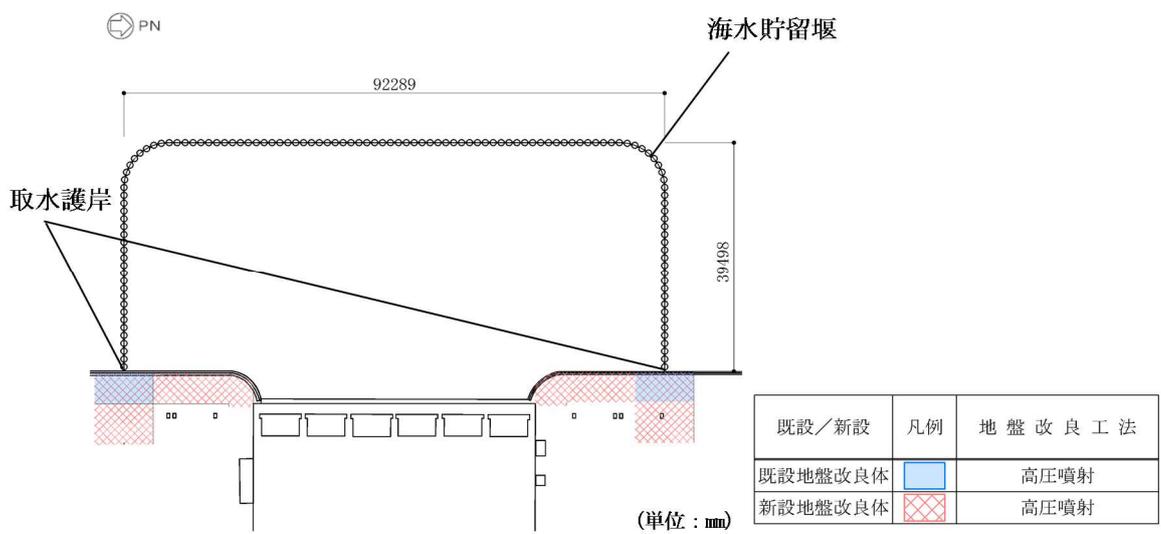


図2-1 (2) 取水護岸の位置図 (拡大図)

2.2 構造概要

取水護岸は、海水貯留堰の構成部材である取水護岸接続部のうち、止水ゴム取付部鋼材と接続する前面鋼矢板で構成される。前面鋼矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。

取水護岸の平面図を図 2-2 に、標準断面図を図 2-3 にそれぞれ示す。

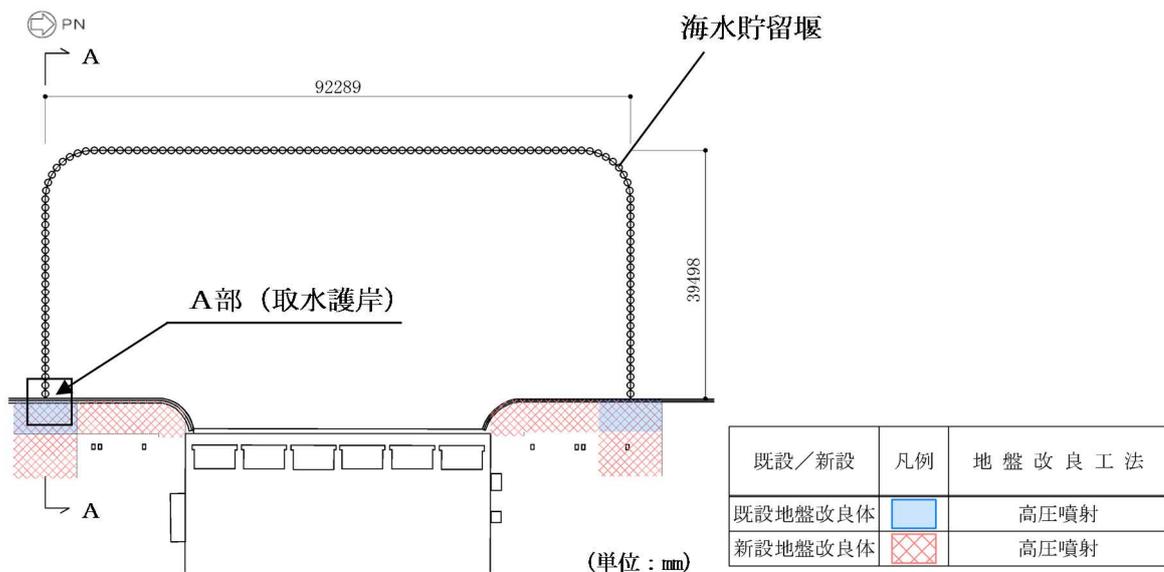


図 2-2 (1) 取水護岸の平面図

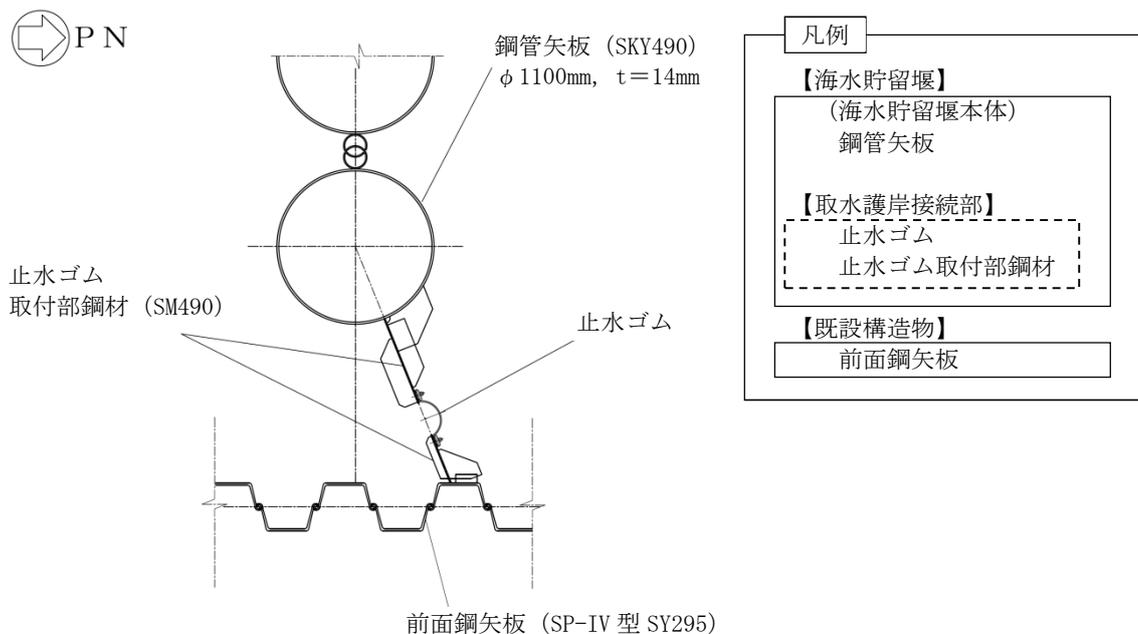


図 2-2 (2) 取水護岸の平面図 (A部拡大)

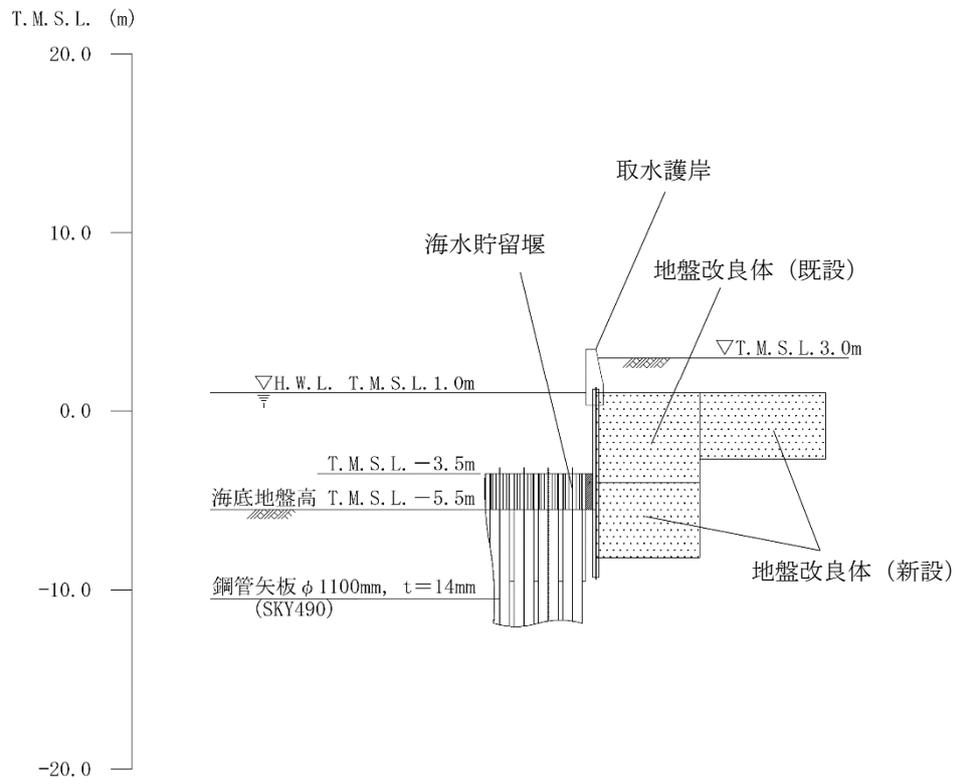


図 2-3 取水護岸の標準断面図 (A-A 断面)

2.3 評価方針

取水護岸は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物の間接支持構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物に分類される。

取水護岸の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

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

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

構造部材の健全性評価及び構造物の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。

構造部材の健全性評価については、前面鋼矢板に発生する曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。許容限界については、取水護岸がSクラス施設の間接支持構造物に分類されることから、全塑性モーメントによる確認が基本であるが、設計上の配慮として、降伏モーメントとする。

構造物の変形性評価については、前面鋼矢板及び海水貯留堰の変形量を算定し、海水貯留堰との離隔が確保されることを確認した許容限界以下であることを確認する。なお、海水貯留堰の変形量を考慮した止水ゴムの変形量についての照査は、V-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」及び、V-3-別添 3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」において実施する。

取水護岸の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

なお、取水護岸は、断面変化が無く直線状に設置される矢板構造物であり、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 取水護岸の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	前面鋼矢板	発生応力が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	前面鋼矢板	発生変形量が許容限界以下であることを確認	海水貯留堰との離隔が確保されることを確認した変形量

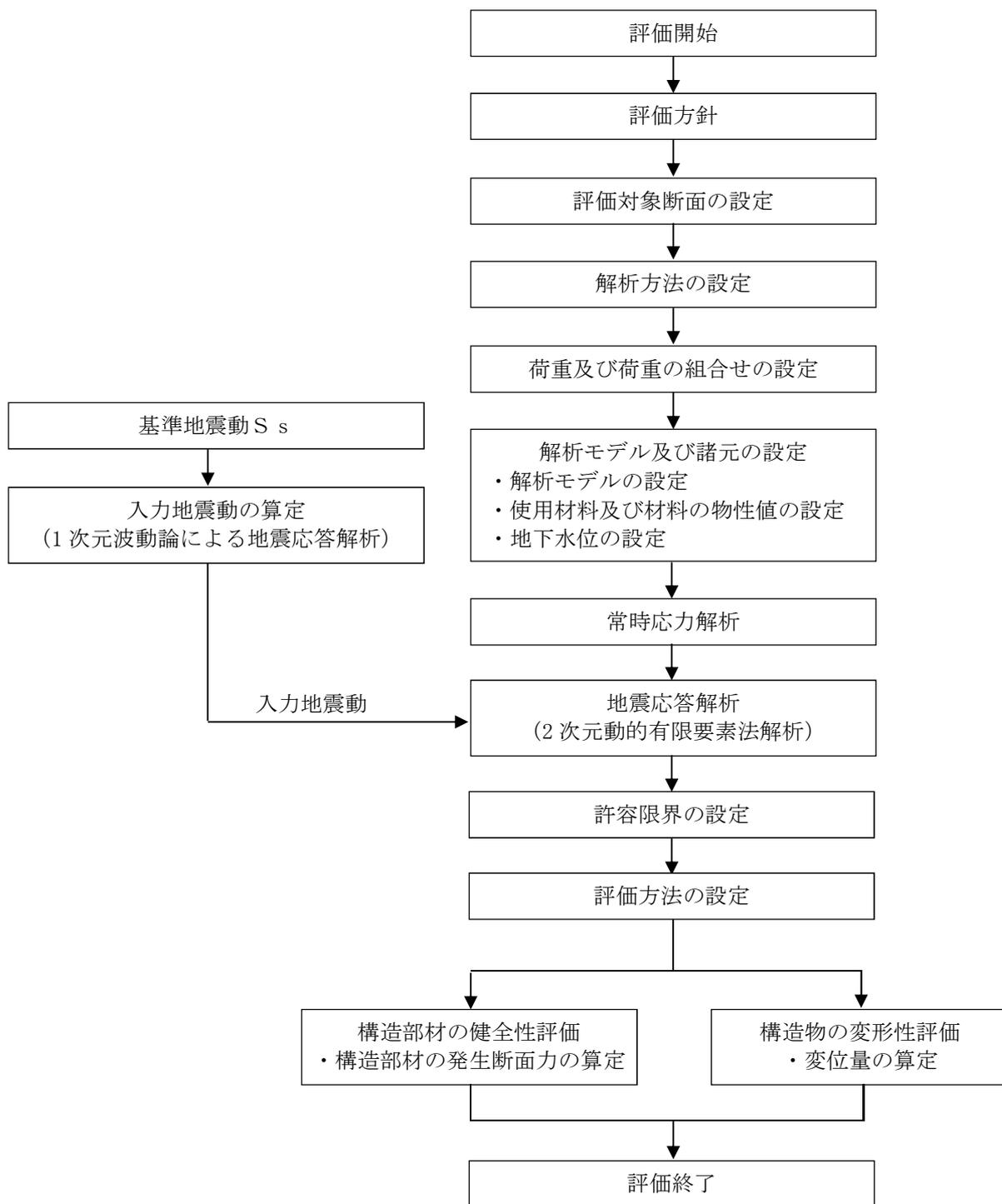


図 2-4 取水護岸の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- (1) 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)
- (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)
- (4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 版)
- (5) 港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- (6) 鋼矢板 Q & A (鋼管杭・鋼矢板技術協会 平成 29 年 3 月)
- (7) 鋼矢板 設計から施工まで (鋼管杭協会, 平成 12 年 3 月)

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

評価対象断面は、取水護岸が海水貯留堰の間接支持構造物であることから、V-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」と同様とし、海水貯留堰との接続部を通る断面であるA-A断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

取水護岸の評価対象断面位置図を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は図3-1のA-A断面とする。評価対象断面図を図3-2に示す。

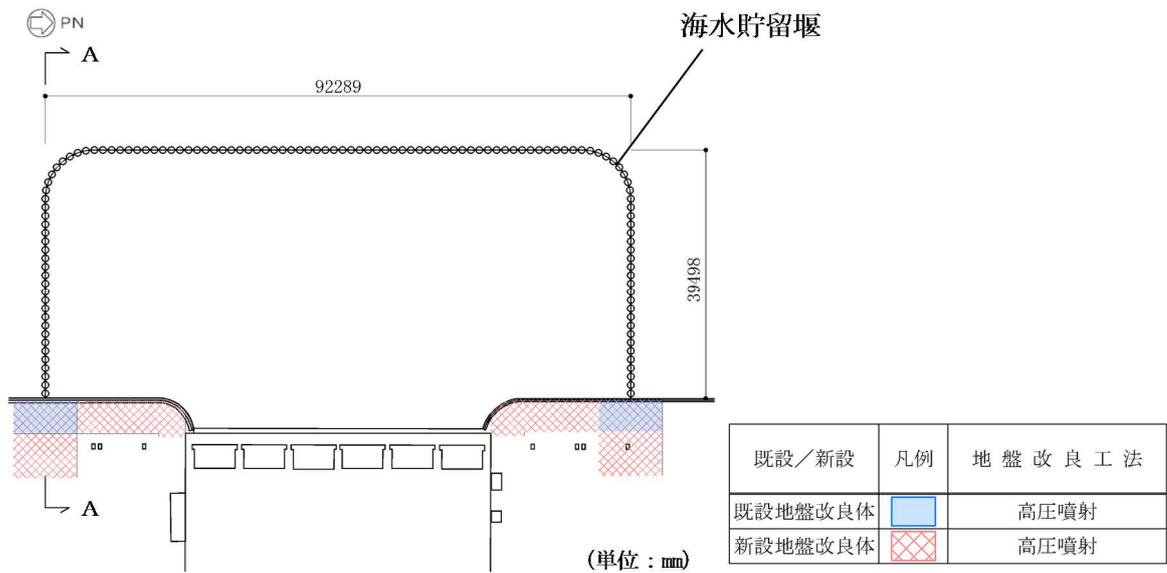


図3-1 取水護岸の評価対象断面位置図

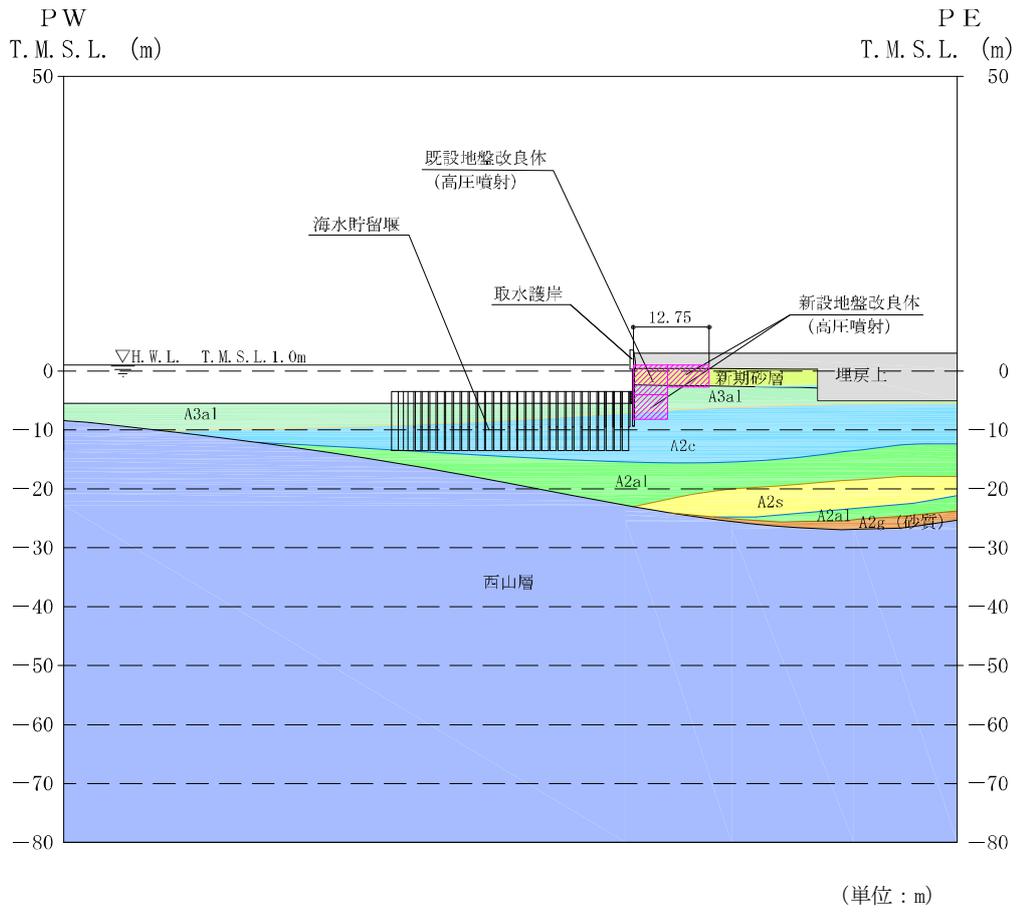


図 3-2 取水護岸の評価対象断面図 (A-A断面)

3.2 解析方法

取水護岸の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針 2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる 2 次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。構造部材については、線形はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤

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

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

表3-1 耐震評価における解析ケース

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

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

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

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

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

3.2.3 減衰定数

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

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げモーメントに対する照査について、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい照査値の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。なお、解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-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

取水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

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風による影響は考慮しない。

(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

取水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、躯体自重を考慮する。

(2) 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3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

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

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

入力地震動算定の概念図を図 3-3 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 3-4 に示す。入力地震動の算定には解析コード「S L O K」を使用する。

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

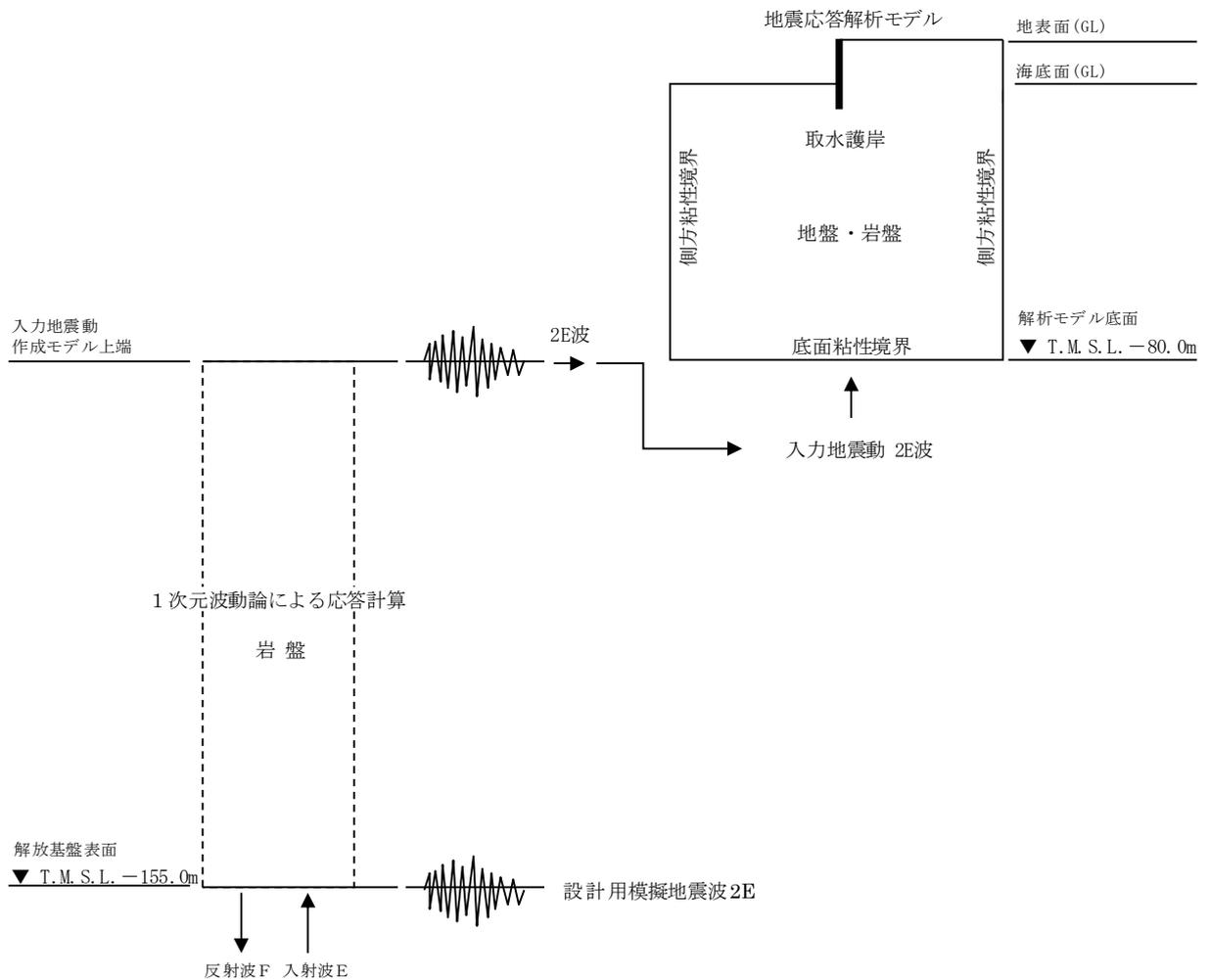
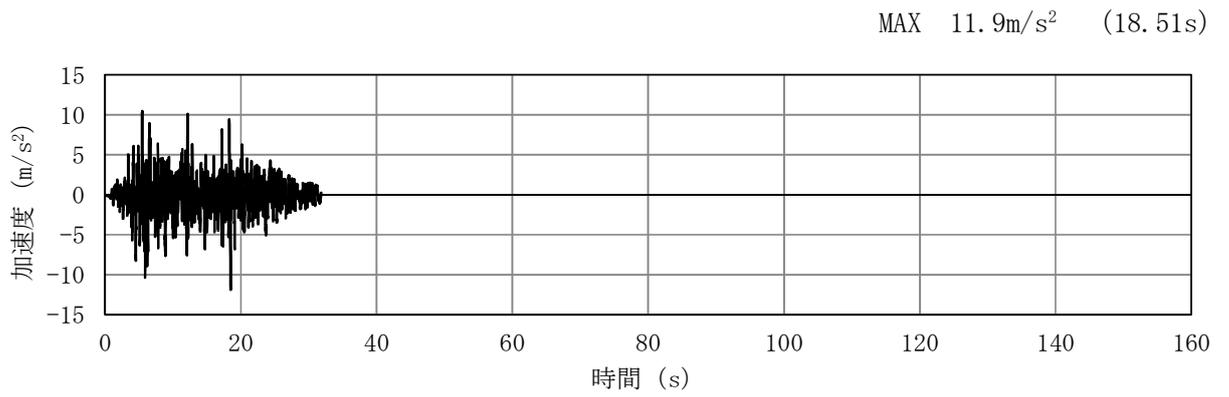
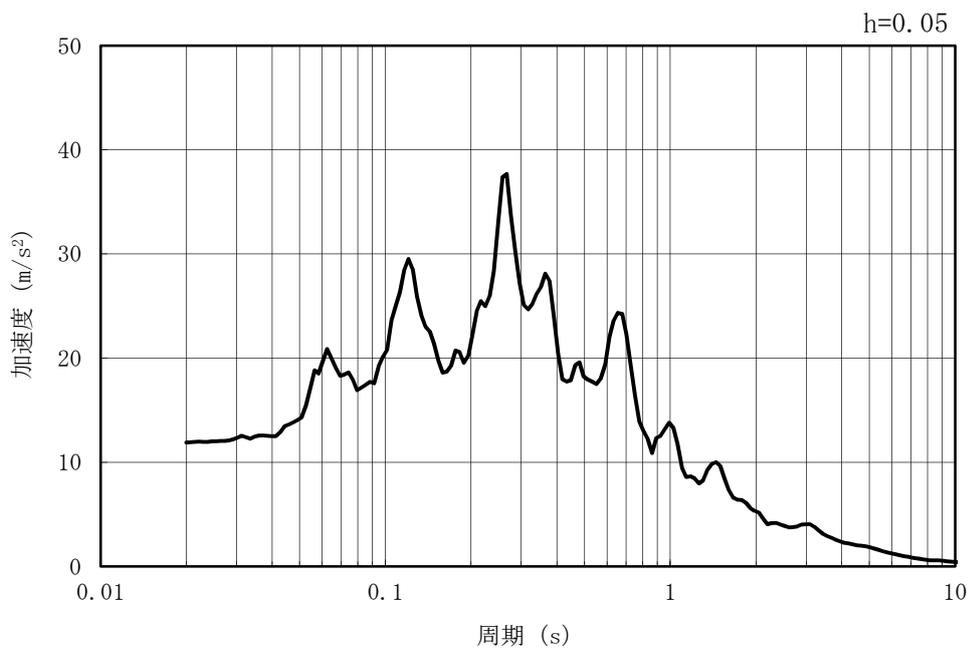


図 3-3 入力地震動算定の概念図

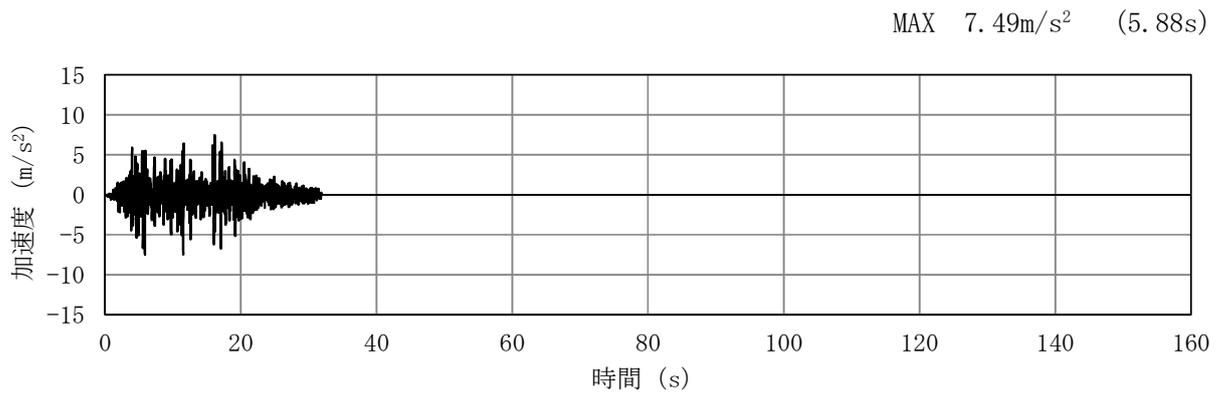


(a) 加速度時刻歴波形

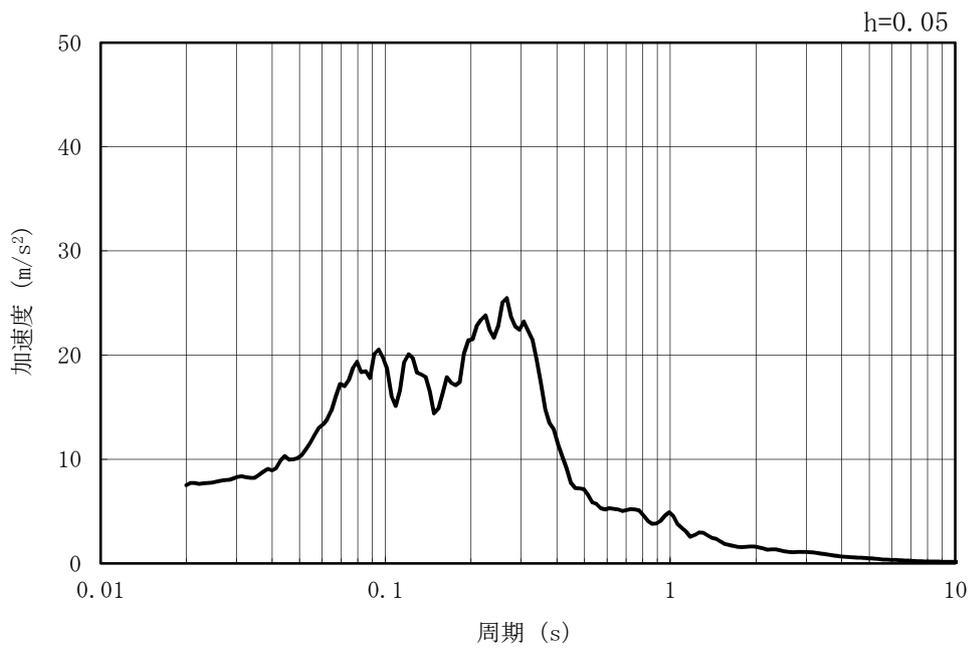


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-1)

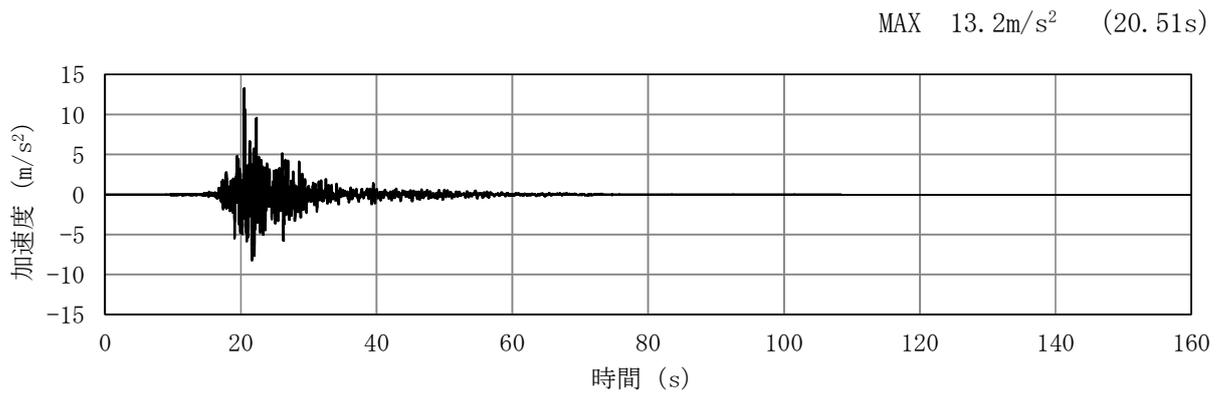


(a) 加速度時刻歴波形

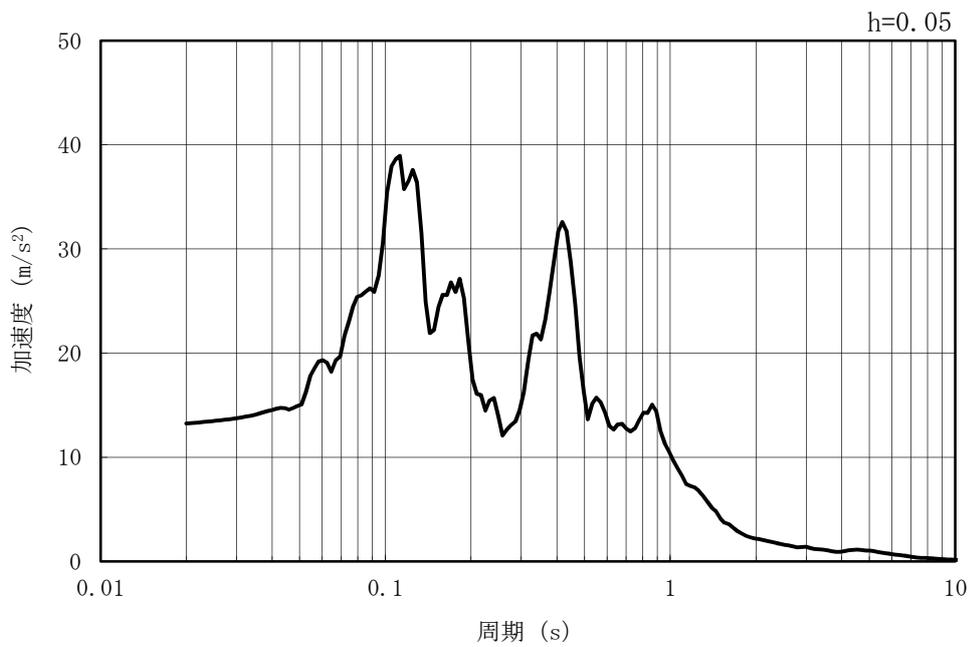


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-1)

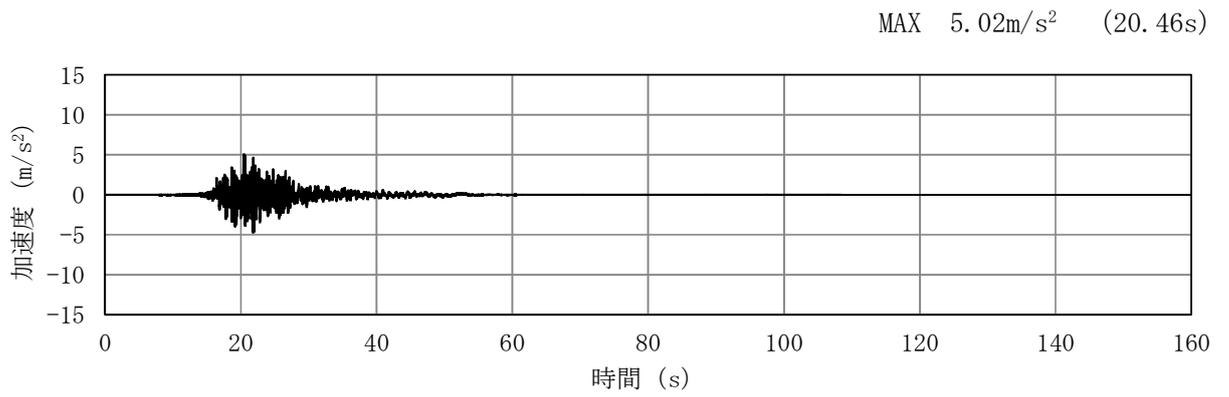


(a) 加速度時刻歴波形

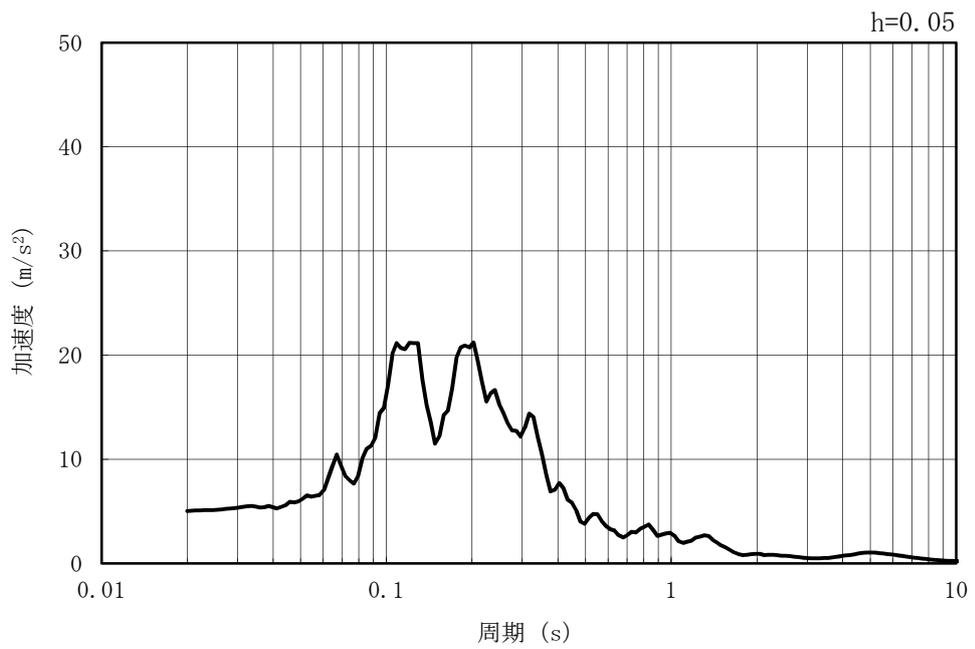


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-2EW)

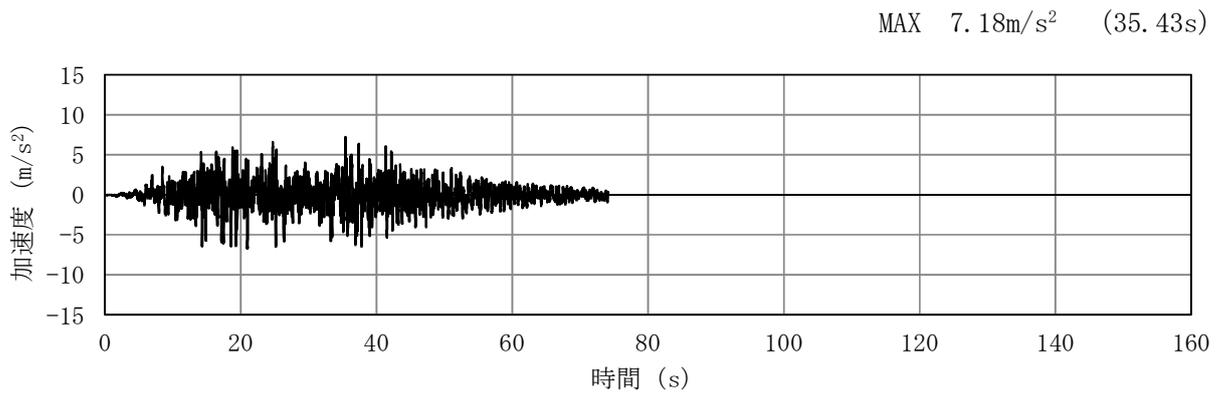


(a) 加速度時刻歴波形

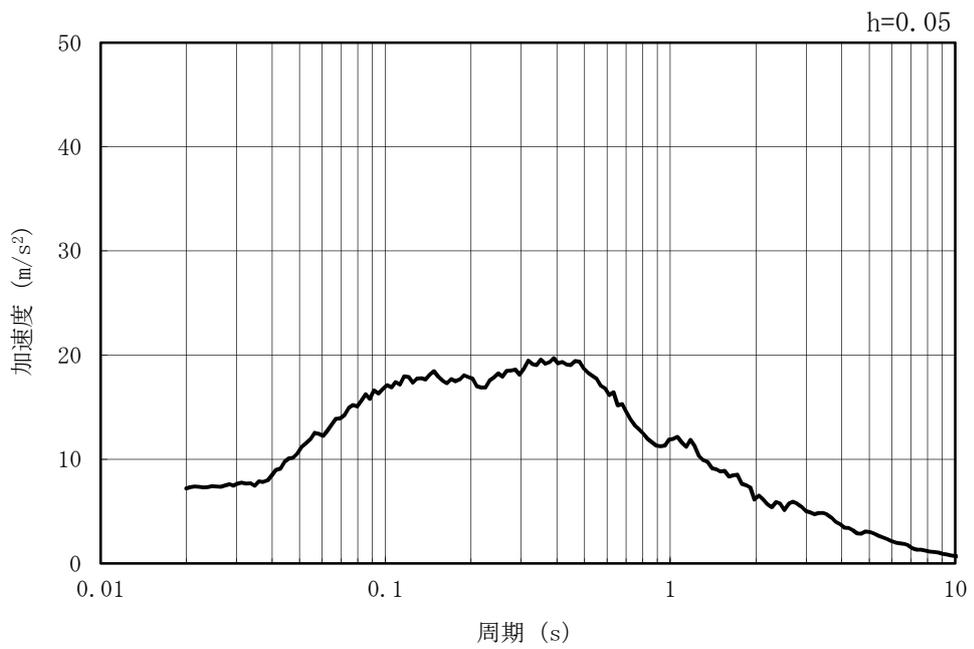


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-2EW)

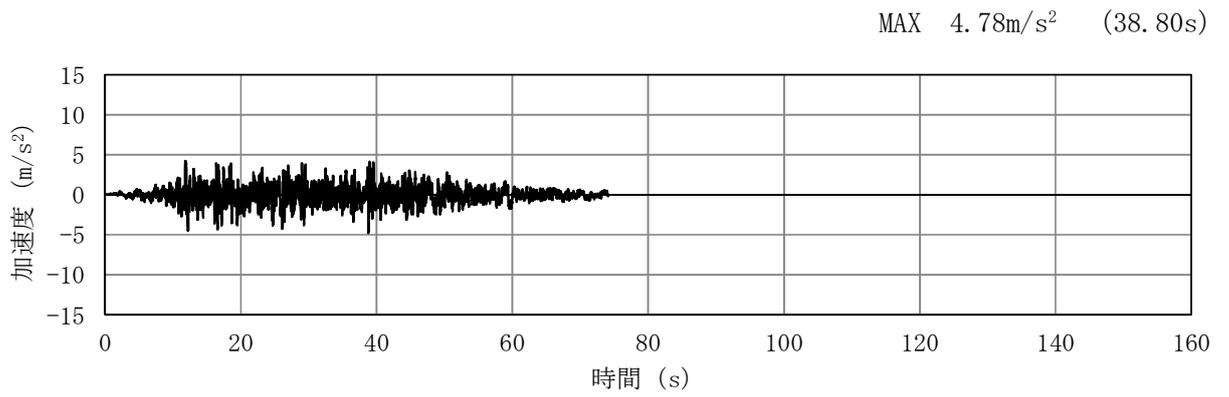


(a) 加速度時刻歴波形

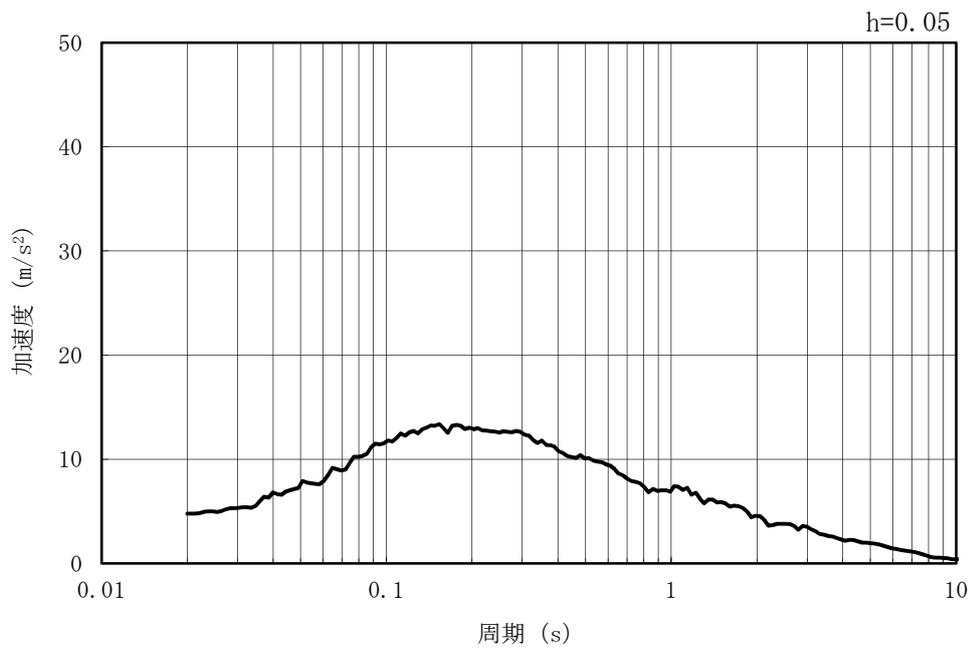


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-3)

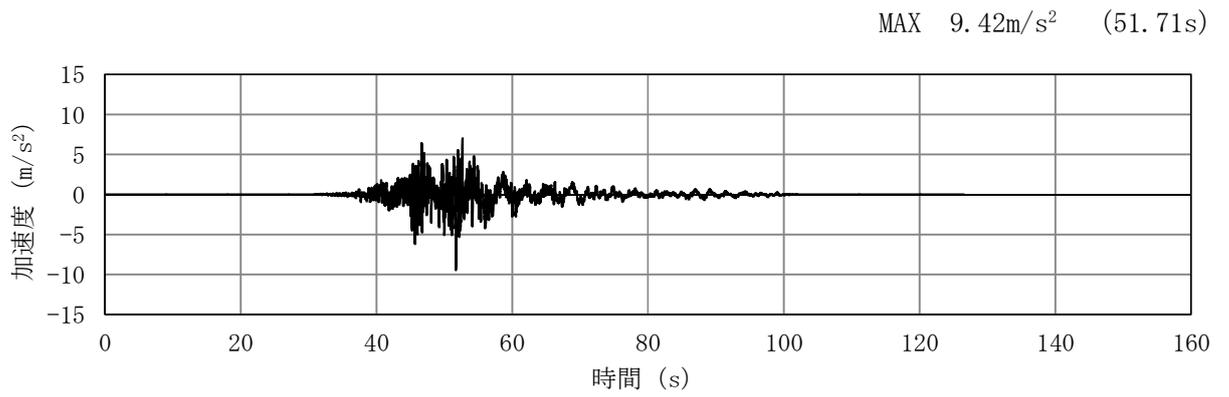


(a) 加速度時刻歴波形

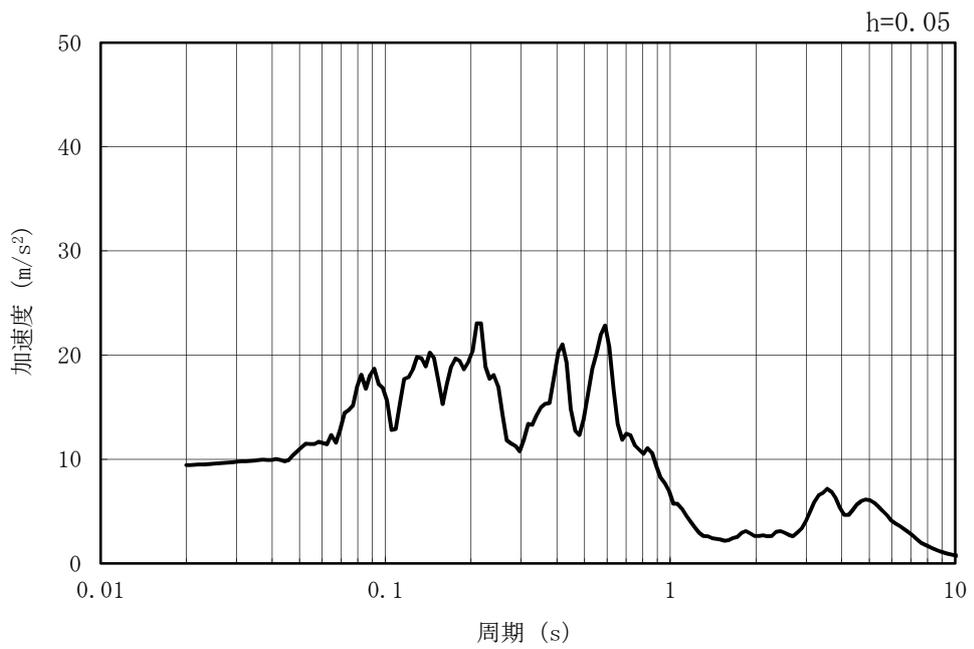


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-3)

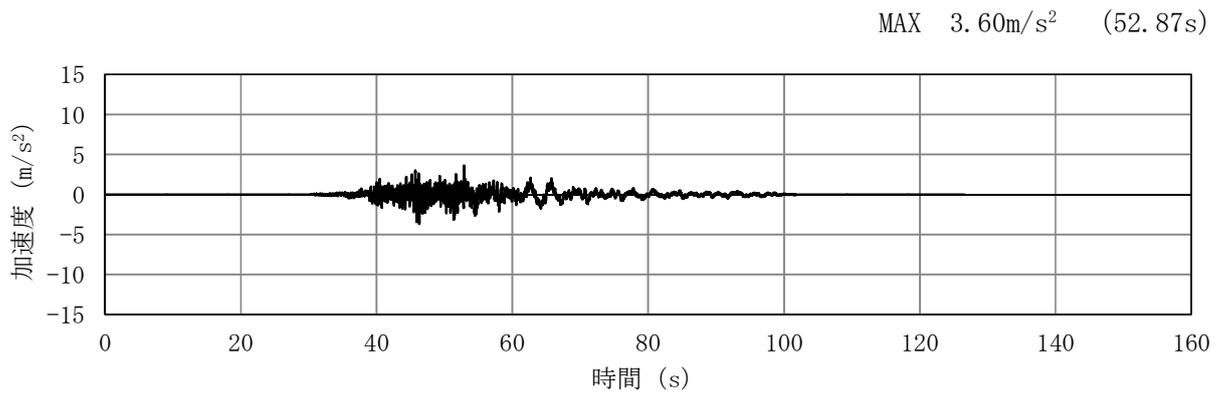


(a) 加速度時刻歴波形

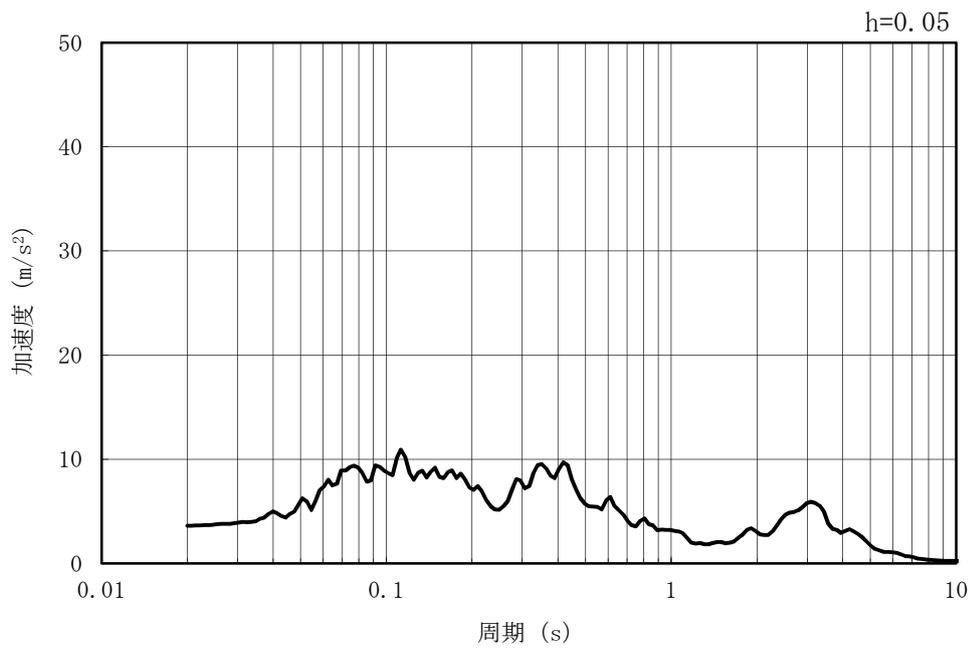


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-4EW)

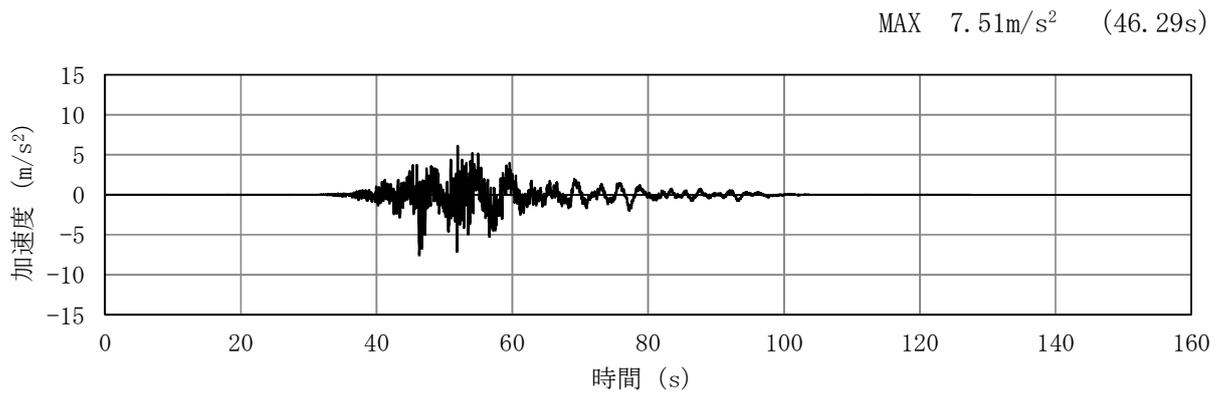


(a) 加速度時刻歴波形

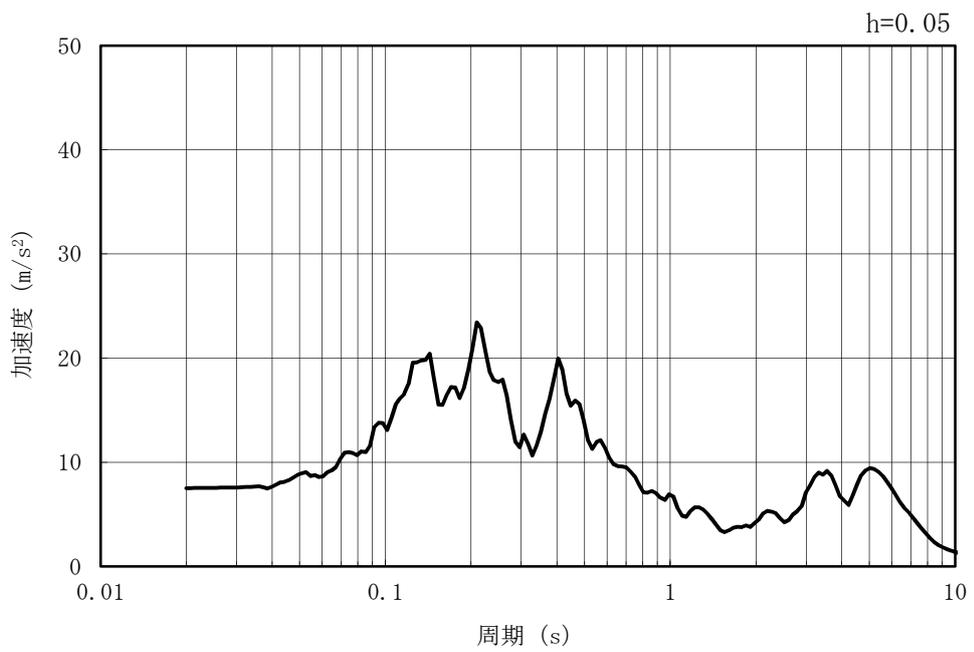


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-4EW)

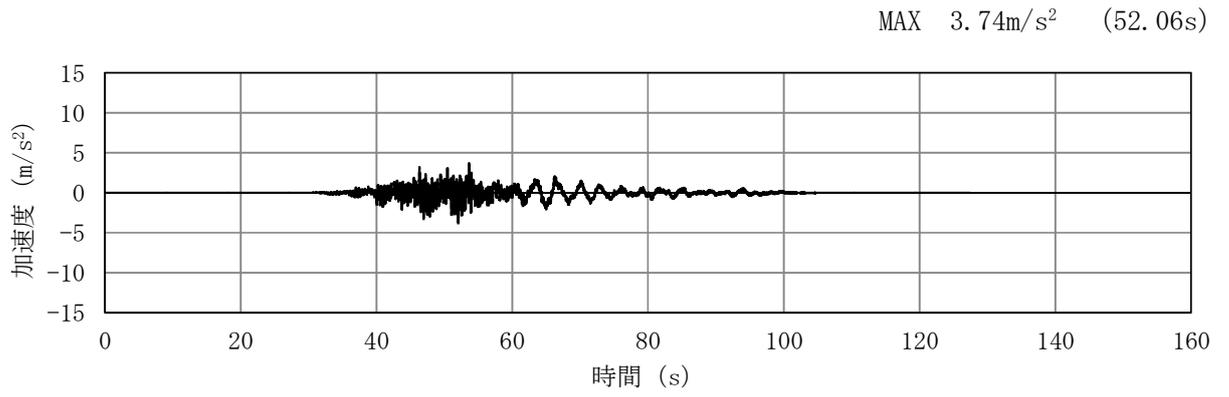


(a) 加速度時刻歴波形

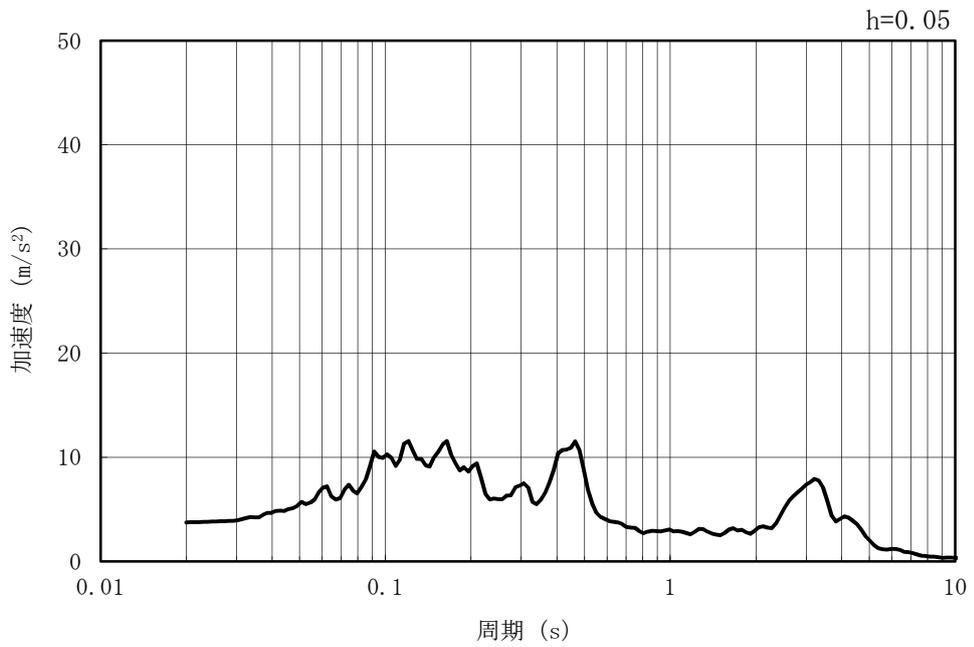


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-5EW)

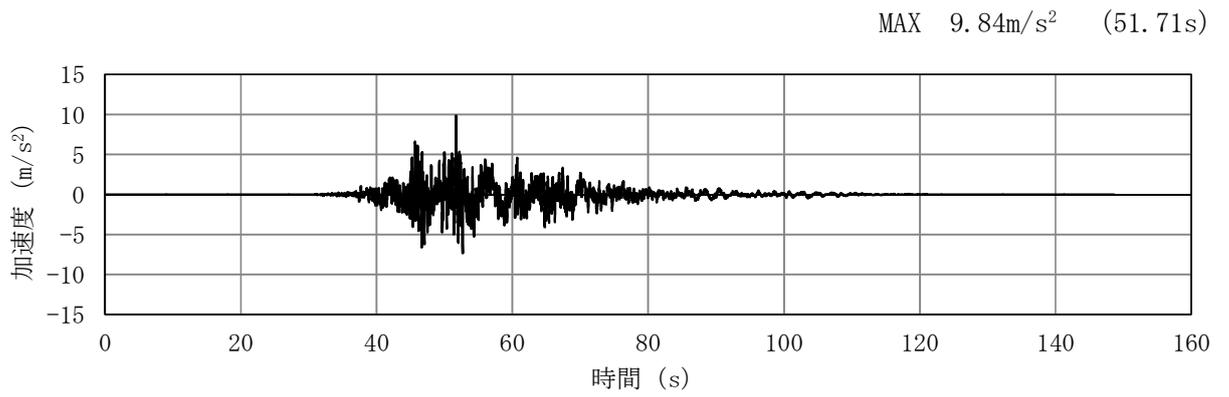


(a) 加速度時刻歴波形

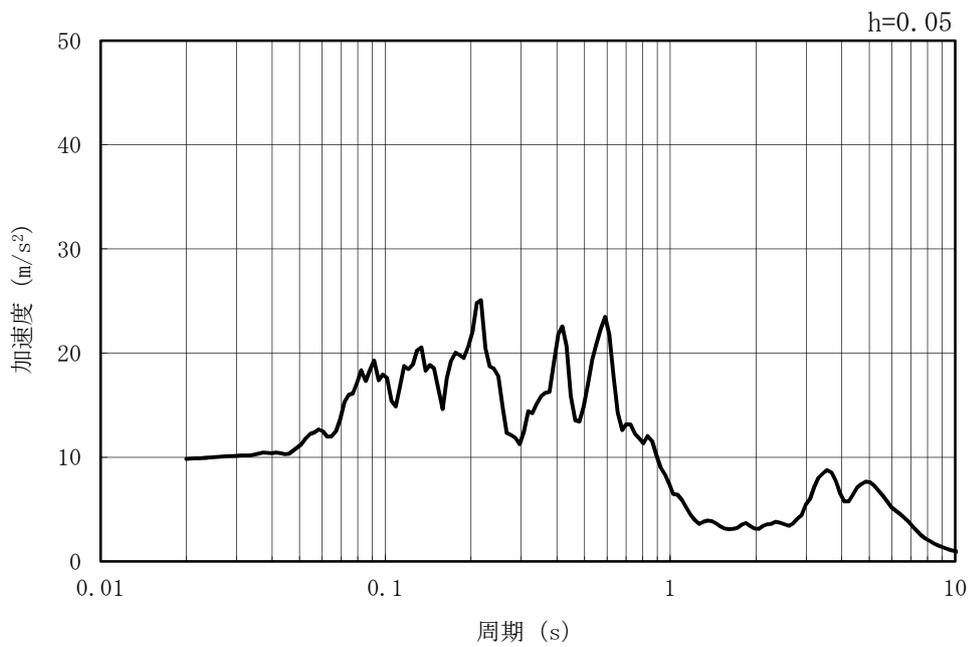


(b) 加速度応答スペクトル

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：Ss-5EW)

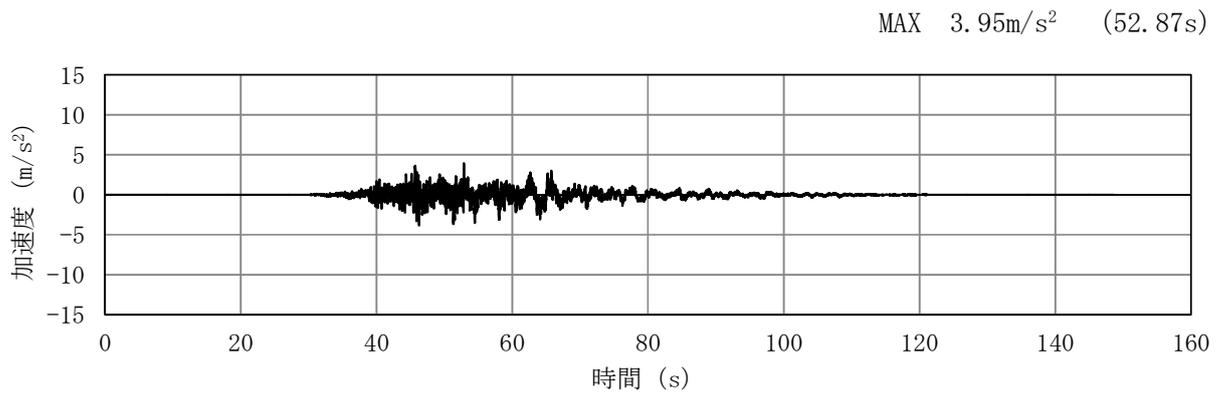


(a) 加速度時刻歴波形

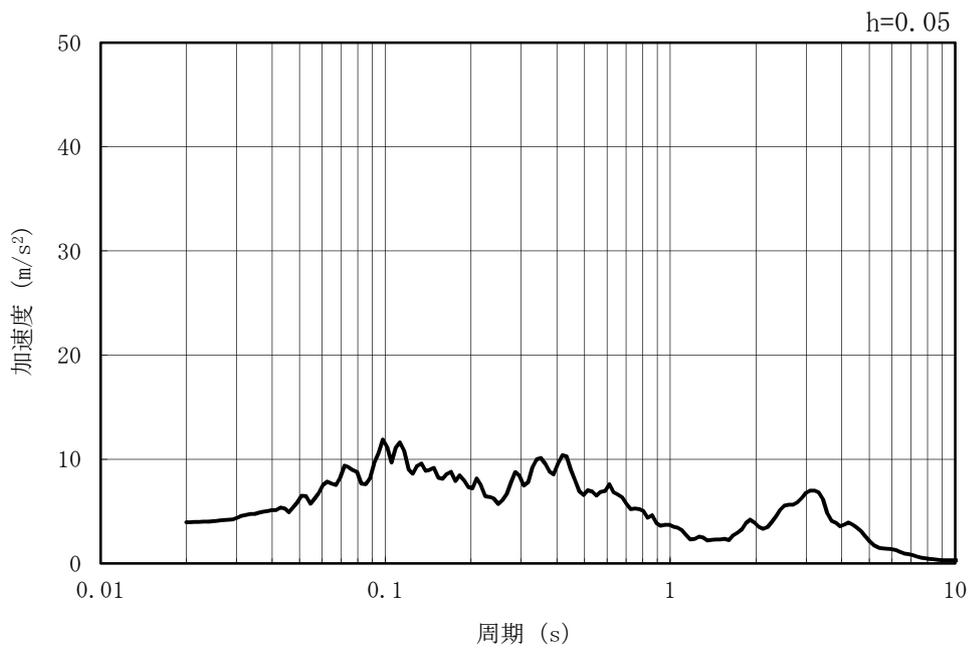


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-6EW)

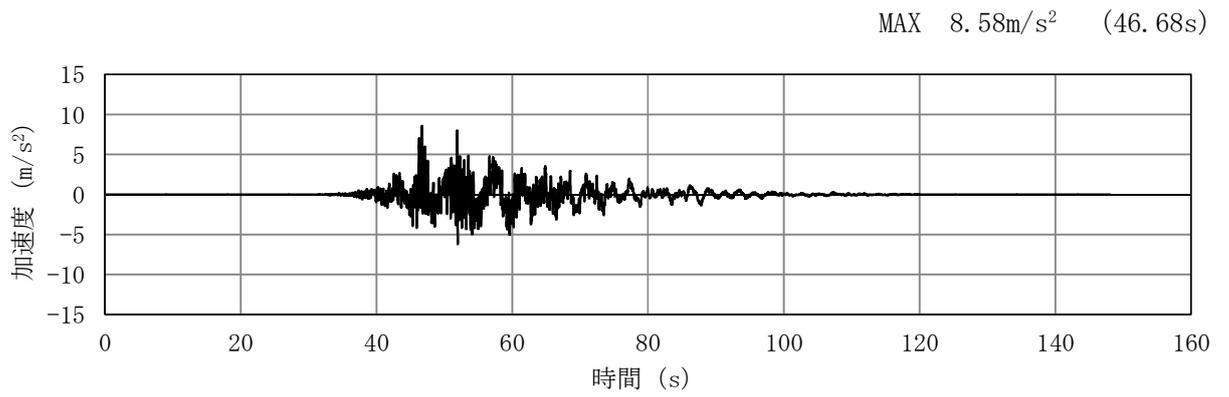


(a) 加速度時刻歴波形

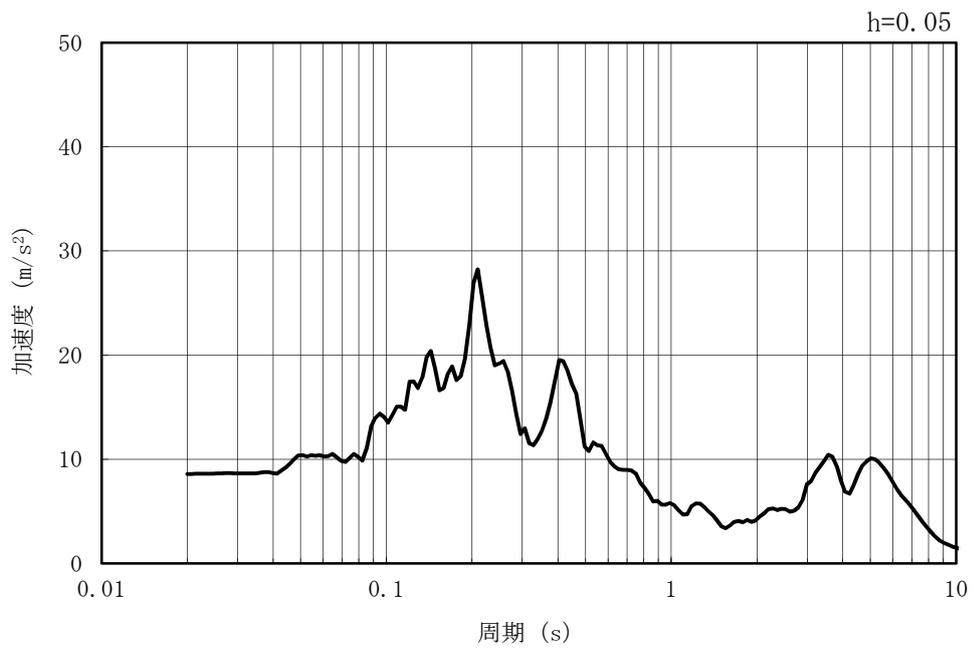


(b) 加速度応答スペクトル

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：Ss-6EW)

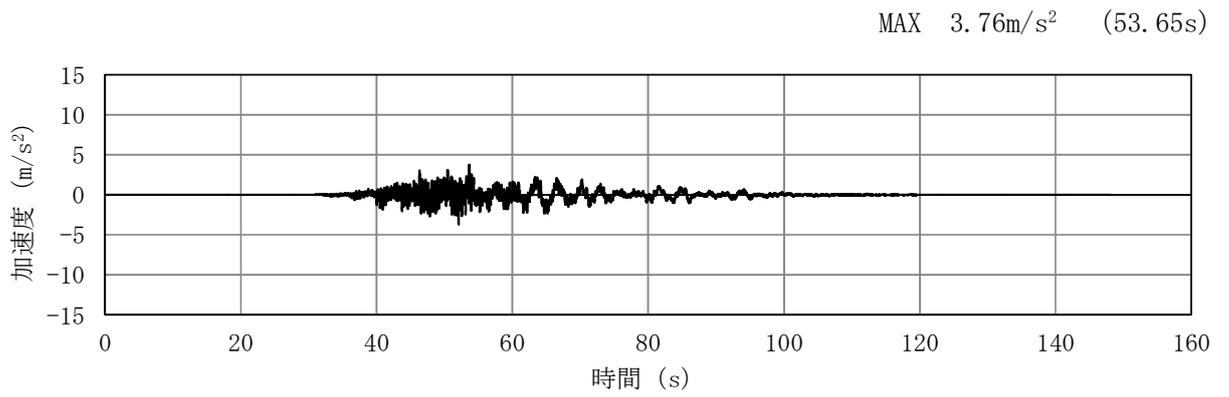


(a) 加速度時刻歴波形

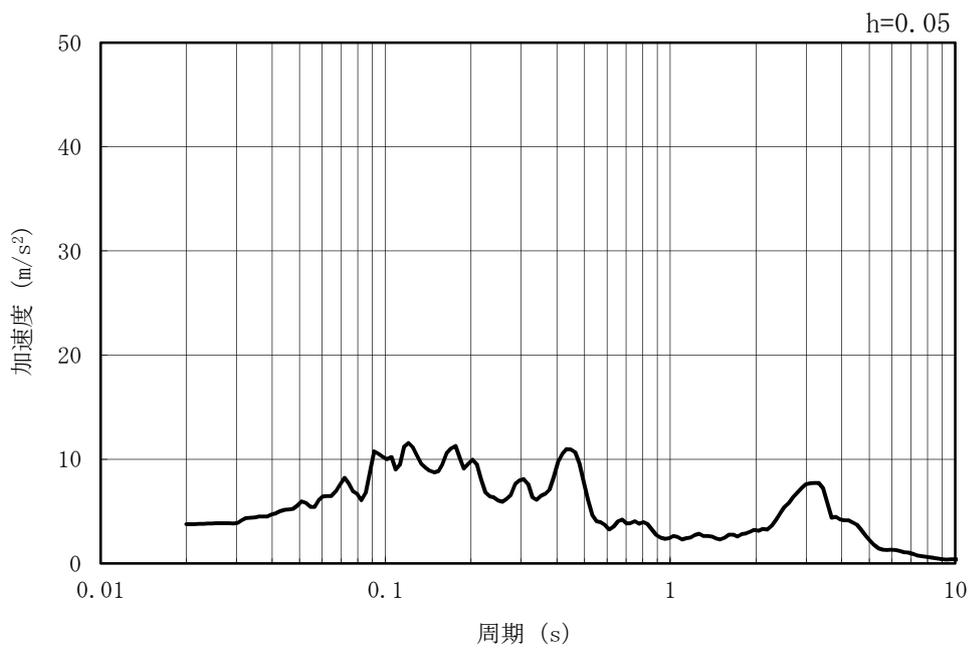


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-7EW)

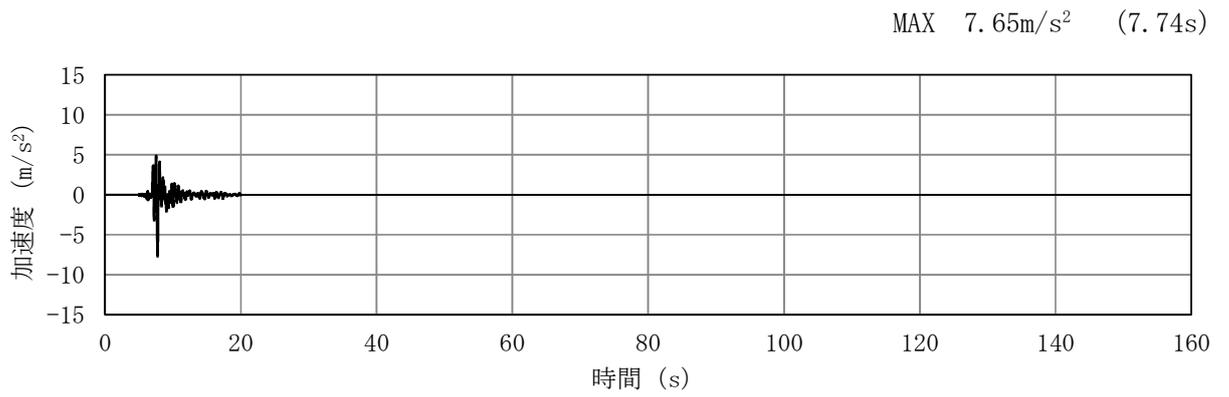


(a) 加速度時刻歴波形

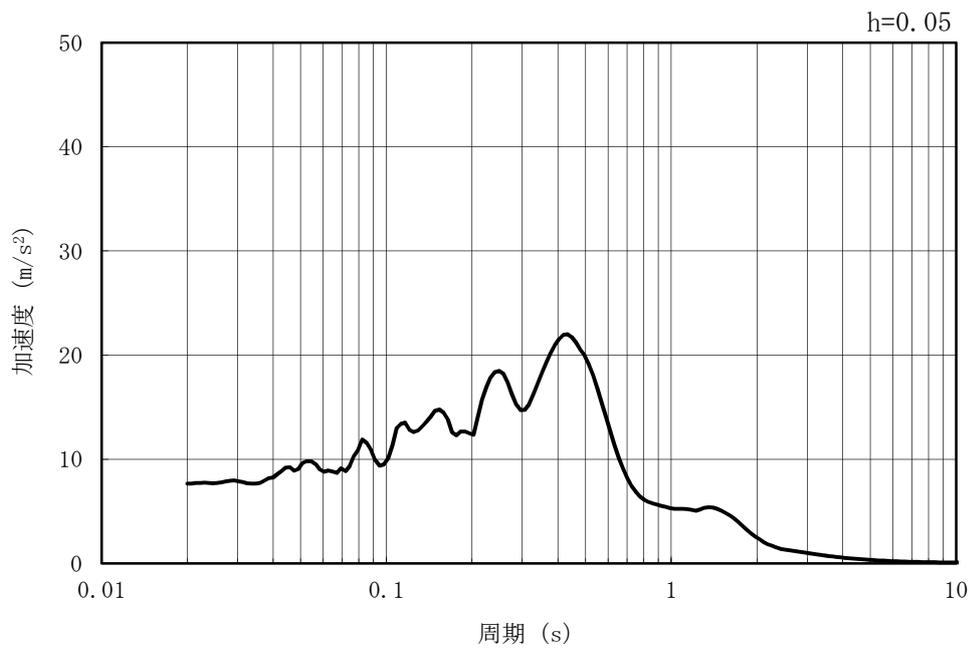


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-7EW)

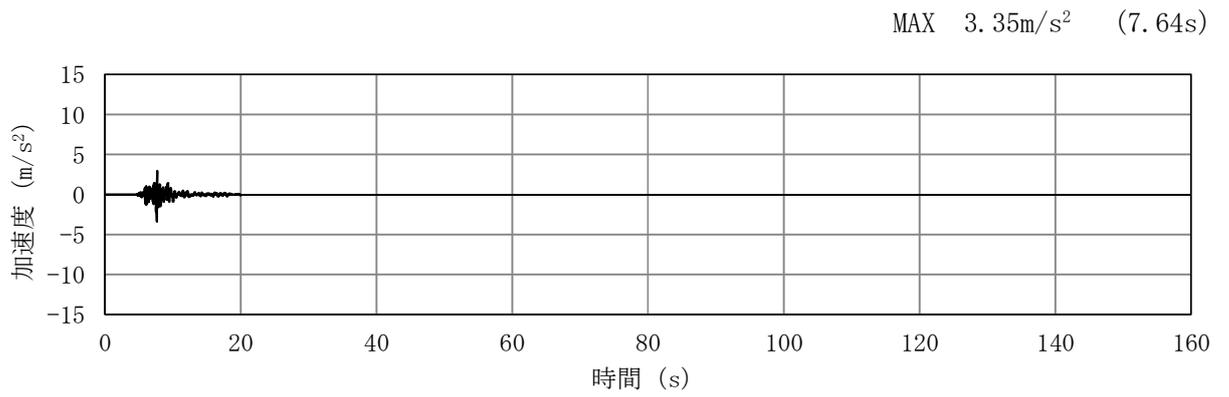


(a) 加速度時刻歴波形

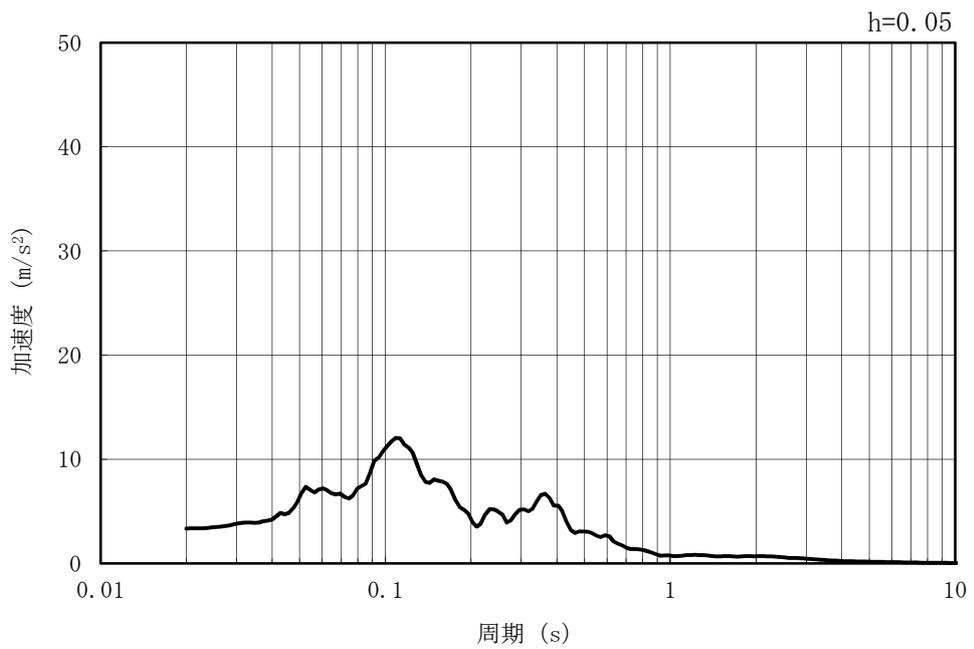


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平方向 : Ss-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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
(鉛直方向 : Ss-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水護岸の地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

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

(5) 地盤改良体のモデル化

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

(6) ジョイント要素の設定

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

(7) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の 3 次元効果を 2 次元モデルで考慮するため、地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設定する。

(8) 杭先端ばねの設定

地震時の杭先端における地盤と杭の相互作用を考慮するため、杭先端と地盤間に杭先端ばねを設定する。

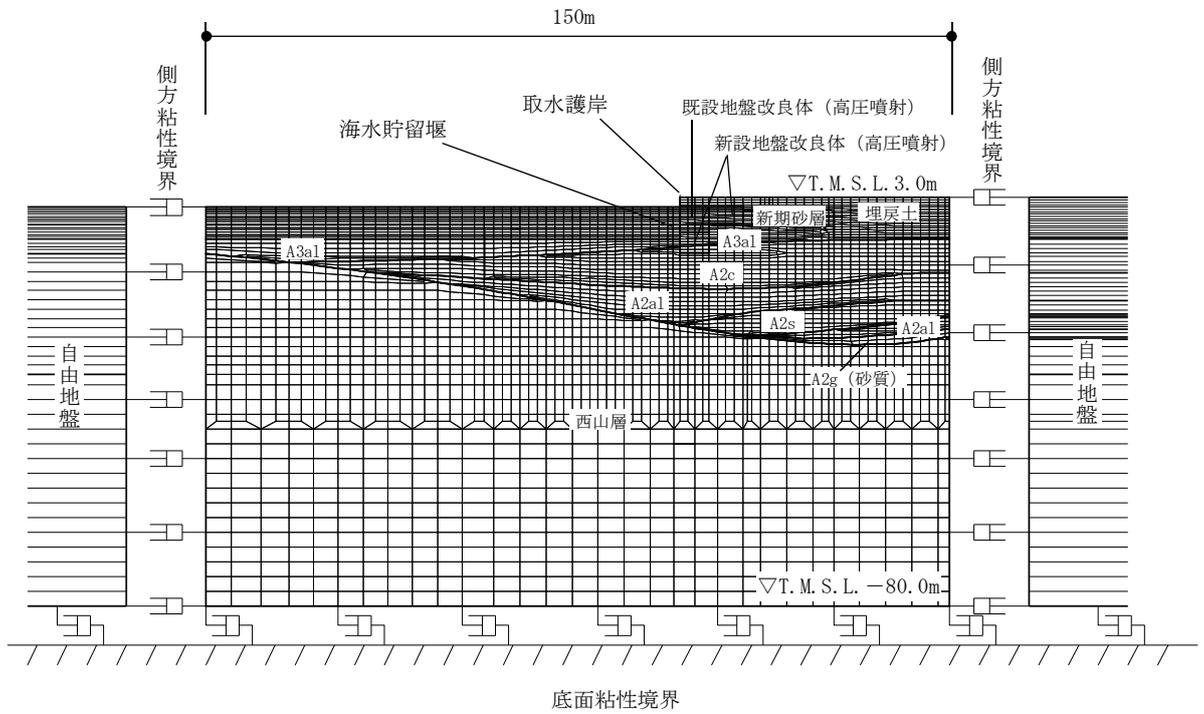


図 3-5 取水護岸の地震応答解析モデル (A-A断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる使用材料を表 3-3 に、材料の物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 使用材料

材料	諸元	腐食代	
		海側（海底面以浅）	2.0mm
前面鋼矢板	S P -IV型 (SY295), t=15.5mm	海側（海底面以深）	0.2mm
		陸側	0.2mm
		1.0mm	
鋼管矢板	φ 1100mm (SKY490), t=14mm	1.0mm	

表 3-4 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
前面鋼矢板	77.0	2.0×10 ⁵	0.3
鋼管矢板	77.0	2.0×10 ⁵	0.3

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

地盤の解析用物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設/新設		既設 地盤改良体	新設地盤改良体	
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.77	1.94~1.96*	1.81
	間隙率 n	0.49	0.49	0.64
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	1.78×10 ⁶	5.54×10 ⁵	5.18×10 ⁵
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.05	0.05	0.05
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	815	397	397

注記*：地盤改良体の配置に応じて設定。

3.5.4 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地表面(T. M. S. L. 3.0m)として設定する。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、取水護岸の構造上の特徴を踏まえて設定する。

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、前面鋼矢板とする。

3.6.2 構造物の変形性評価

構造物の変形性評価に係る評価対象部位は、前面鋼矢板とする。

3.7 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

前面鋼矢板の許容限界は、「鋼矢板Q&A（鋼管杭・鋼矢板技術協会 平成29年3月）」及び「鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会 平成12年3月）」に基づき設定する。許容限界を表3-6に示す。

表3-6 前面鋼矢板の許容限界

項目	対象	許容限界 (kN・m)
降伏モーメント M_y	海底面以浅	555
	海底面以深	649

3.7.2 構造物の変形性に対する許容限界

変形量の許容限界は、取水護岸と海水貯留堰との離隔が確保されることを確認した変形量とする。前面鋼矢板の変形量の許容限界を表3-7に示す。

表3-7 前面鋼矢板の変形量の許容限界

項目	許容限界 (cm)
変形量（海水貯留堰との離隔を確保できる相対変位量）	24.0

3.8 評価方法

取水護岸の耐震評価は、地震応答解析により算定した全時刻歴の照査用応答値が、「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

前面鋼矢板の曲げモーメントに対する照査については、地震応答解析により算定した曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。

曲げモーメント照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図3-6に示す。

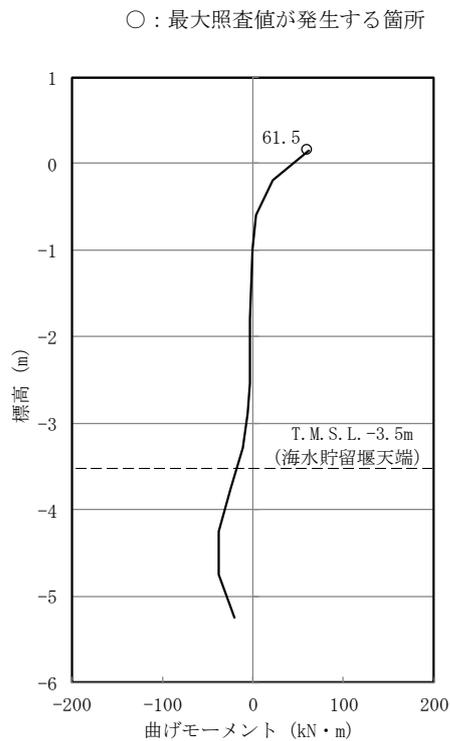


図3-6 (1) 前面鋼矢板(海底面以浅)の曲げモーメント照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(Ss-1+-, t=5.38s)

(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)

○ : 最大照査値が発生する箇所

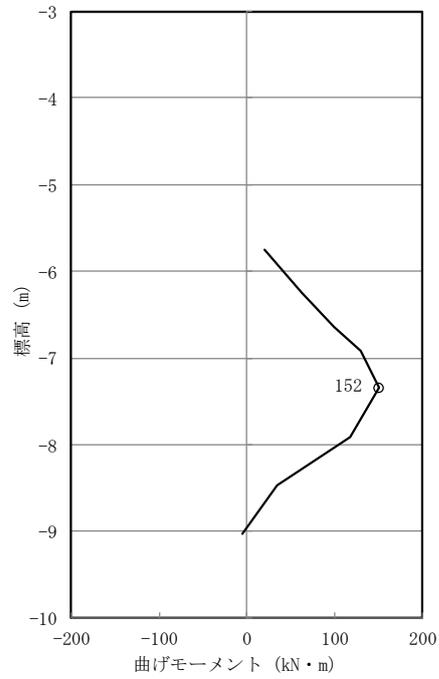


図 3-6 (2) 前面鋼矢板(海底面以深)の曲げモーメント照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(Ss-1+-, t=5.43s)

(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)

3.8.2 構造物の変形性評価

(1) 相対変位の考え方

構造物の変形性評価に用いる相対変位は、地震時における相対変位の最大値とする。

(2) 評価方法

変位方向の定義を示した図 3-7 のうち、取水護岸と海水貯留堰の水平方向の相対変位量 $\delta_x (+)$ が許容限界以下であることを確認する。

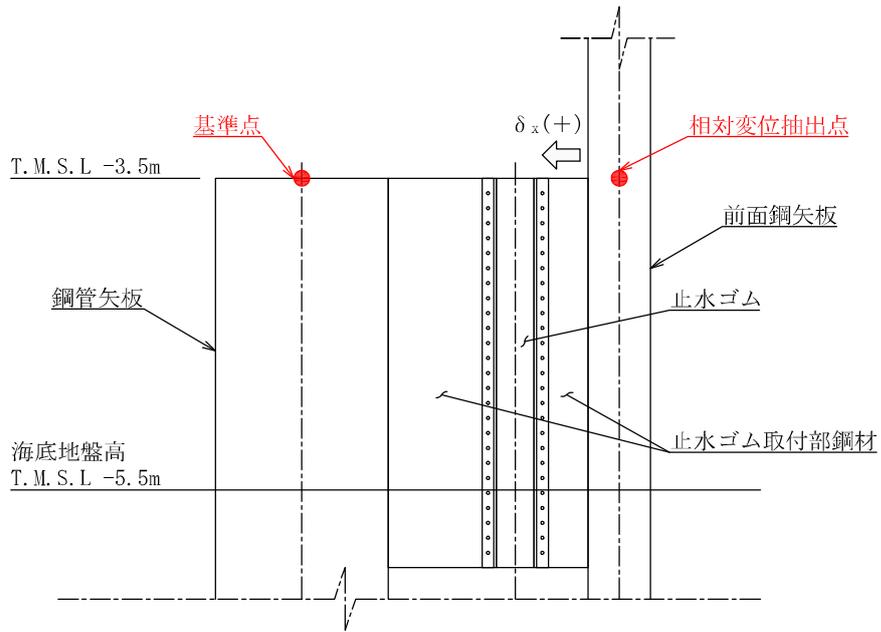


図 3-7 変位方向の定義

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

前面鋼矢板の曲げモーメント照査における最大照査値を表 4-1 に示す。前面鋼矢板に発生する曲げモーメントは許容限界以下であり、照査値に大きく余裕があることを確認した。

表 4-1 前面鋼矢板の曲げモーメント照査における最大照査値

対象	解析 ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m)	降伏モーメント (kN・m)	照査値
海底面以浅	③	Ss-1+-	61.5	555	0.12
海底面以深	③	Ss-1+-	152	649	0.24

4.2 構造物の変形性に対する評価結果

構造物の変形性評価結果を表 4-2 に示す。取水護岸と海水貯留堰との最大水平相対変位が許容限界以下であることを確認した。

表 4-2 変形性評価結果

解析 ケース	地震動	最大水平相対変位 (cm)	許容限界値 (cm)
①	Ss-7	3.6	24.0

V-2-10-3-1-3 海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書

V-2-10-3-1-3-1 海水貯留堰（6号機設備）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	6
2.4 適用基準	9
3. 耐震評価	10
3.1 評価対象断面	10
3.2 解析方法	13
3.2.1 構造部材	13
3.2.2 地盤	14
3.2.3 減衰定数	15
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	16
3.3.2 荷重	16
3.3.3 荷重の組合せ	16
3.4 入力地震動	19
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	49
3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値	49
3.5.4 地下水位	50
3.6 評価対象部位	50
3.6.1 構造部材の健全性評価	50
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	50
3.6.3 構造物の変形性評価	50
3.7 許容限界	50
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	50
3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	52
3.7.3 構造物の変形性に対する許容限界	52
3.8 評価方法	53
3.8.1 構造部材の健全性評価	53
3.8.2 基礎地盤の支持性能評価	68
3.8.3 構造物の変形性評価	68

4. 耐震評価結果	71
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	71
4.1.1 鋼管矢板の健全性評価	71
4.1.1 止水ゴム取付部鋼材	72
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	75
4.3 構造物の変形性に対する評価結果	76

1. 概要

本資料は、V-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、海水貯留堰（6号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

海水貯留堰（6号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

海水貯留堰（6号機設備）の位置図を図2-1に示す。

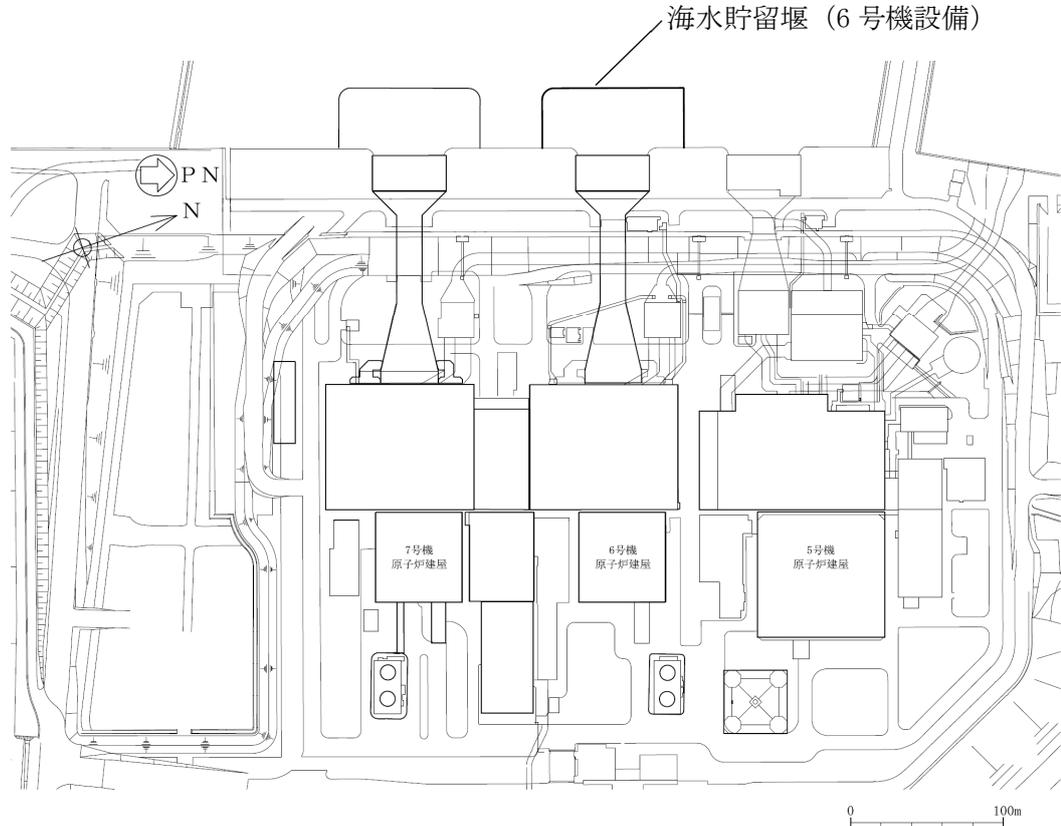


図2-1 (1) 海水貯留堰（6号機設備）の位置図（全体平面図）

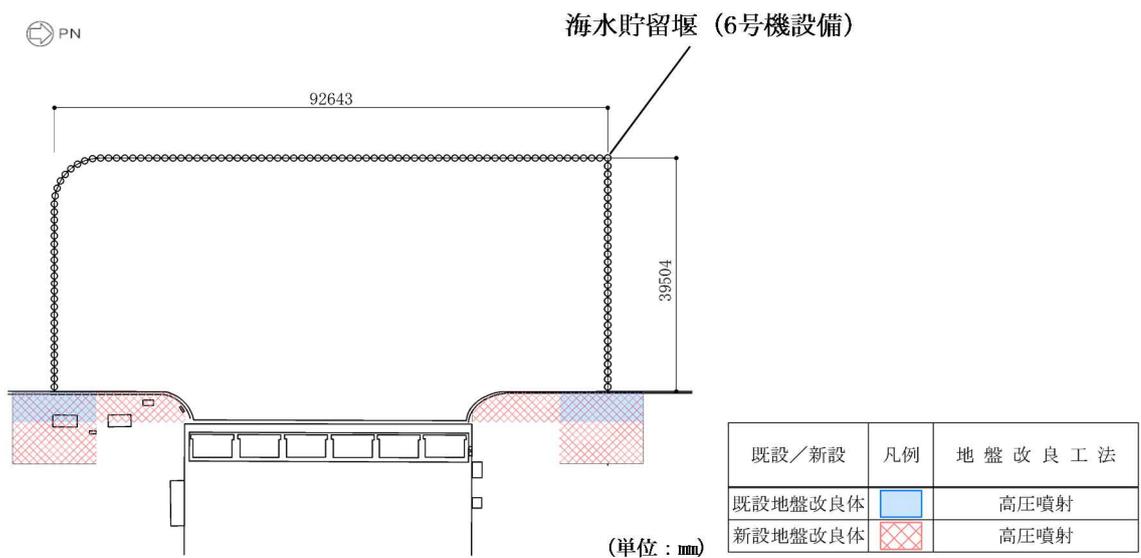


図2-1 (2) 海水貯留堰（6号機設備）の位置図（拡大図）

2.2 構造概要

海水貯留堰（6号機設備）の平面図を図2-2、標準図を図2-3に示す。

海水貯留堰（6号機設備）は、その機能及び目的から海水貯留堰（6号機設備）本体及び取水護岸（6号機設備）接続部に区分され、このうち海水貯留堰（6号機設備）本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手、取水護岸（6号機設備）接続部は止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材より構成される。また、鋼管矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。取水護岸（6号機設備）は、海水貯留堰（6号機設備）の間接支持構造物であり、前面鋼矢板より構成される。また、前面鋼矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。

鋼管矢板は、φ1100mmの炭素鋼鋼管であり、全125本の鋼管矢板を連続的に打設することにより堰形状を構成する。鋼管矢板は、下端を十分な支持性能を有する古安田層もしくは西山層に支持される。天端は、原子炉補機冷却海水ポンプの取水に必要な水量を確保するため、海底地盤レベルT.M.S.L. -5.5mに対して天端高さをT.M.S.L. -3.5m及びT.M.S.L. -3.0mとしており、約2m及び約2.5mの堰高さを有する。海水貯留堰（6号機設備）の寸法は、約92m×約40mである。

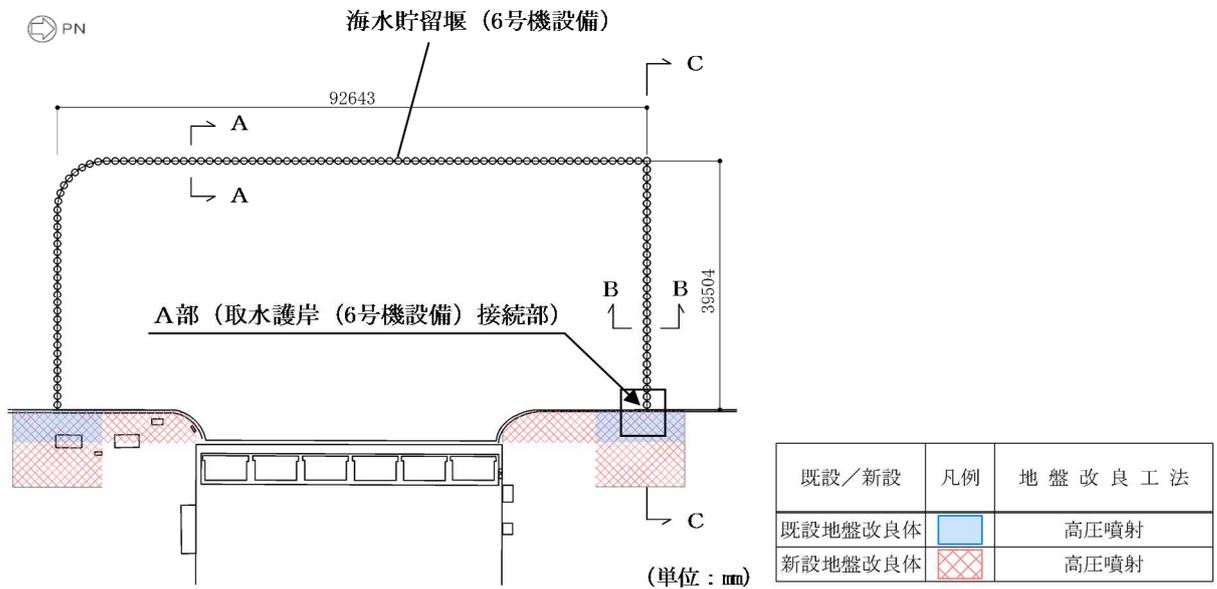
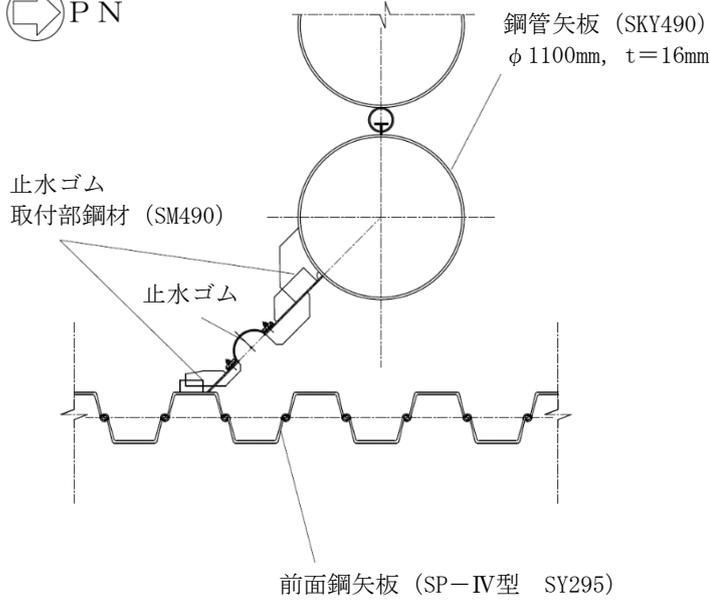
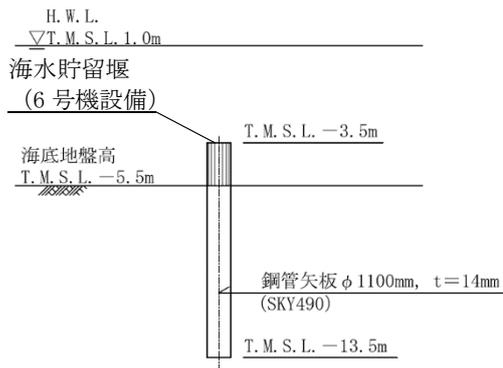


図2-2 (1) 海水貯留堰（6号機設備）の平面図

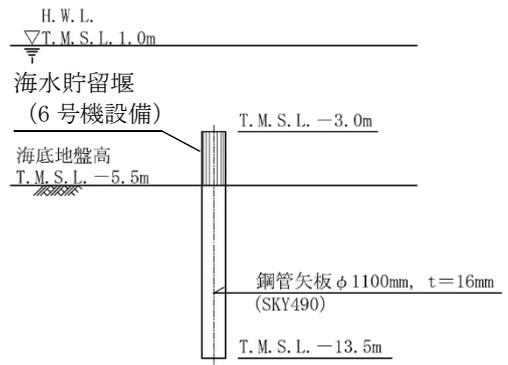


凡例
【海水貯留堰 (6号機設備)】 (海水貯留堰 (6号機設備) 本体) 鋼管矢板
【取水護岸 (6号機設備) 接続部】 止水ゴム 止水ゴム取付部鋼材
【既設構造物】 前面鋼矢板

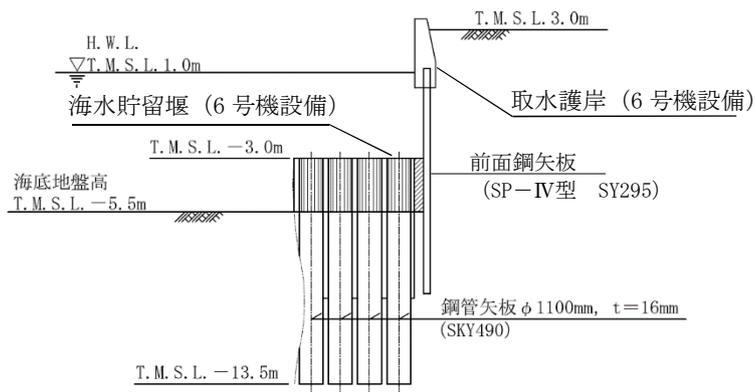
図 2-2 (2) 海水貯留堰 (6号機設備) の平面図 (A部拡大)



(a) A-A断面図

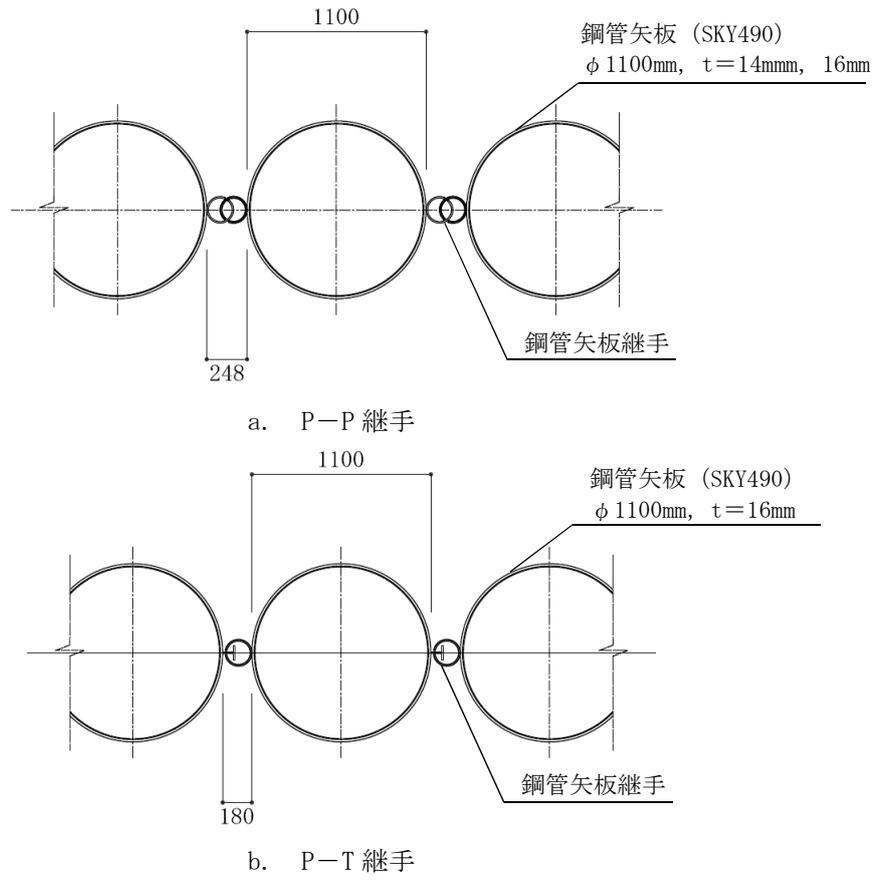


(b) B-B断面図



(c) C-C断面図

図 2-3 (1) 海水貯留堰 (6号機設備) の標準図



(単位 : mm)

(d) 鋼管矢板継手部平面図

図 2-3 (2) 海水貯留堰 (6号機設備) の標準図

2.3 評価方針

海水貯留堰（6号機設備）は、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

海水貯留堰（6号機設備）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設の評価として、表2-1の海水貯留堰（6号機設備）の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を行う。

海水貯留堰（6号機設備）の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

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

構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の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。

構造部材の健全性評価については、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。

基礎地盤の支持性能評価においては、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰（6号機設備）の耐震評価フローを図2-4に示す。

なお、海水貯留堰（6号機設備）を構成する各鋼管矢板は、継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており、軸方向の断面係数は、法線直角方向と比べて大きいことから、明確な強軸断面方向である。したがって、強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さく、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 海水貯留堰（6号機設備）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	鋼管矢板	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	曲げ軸力，せん断力に対する発生応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	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

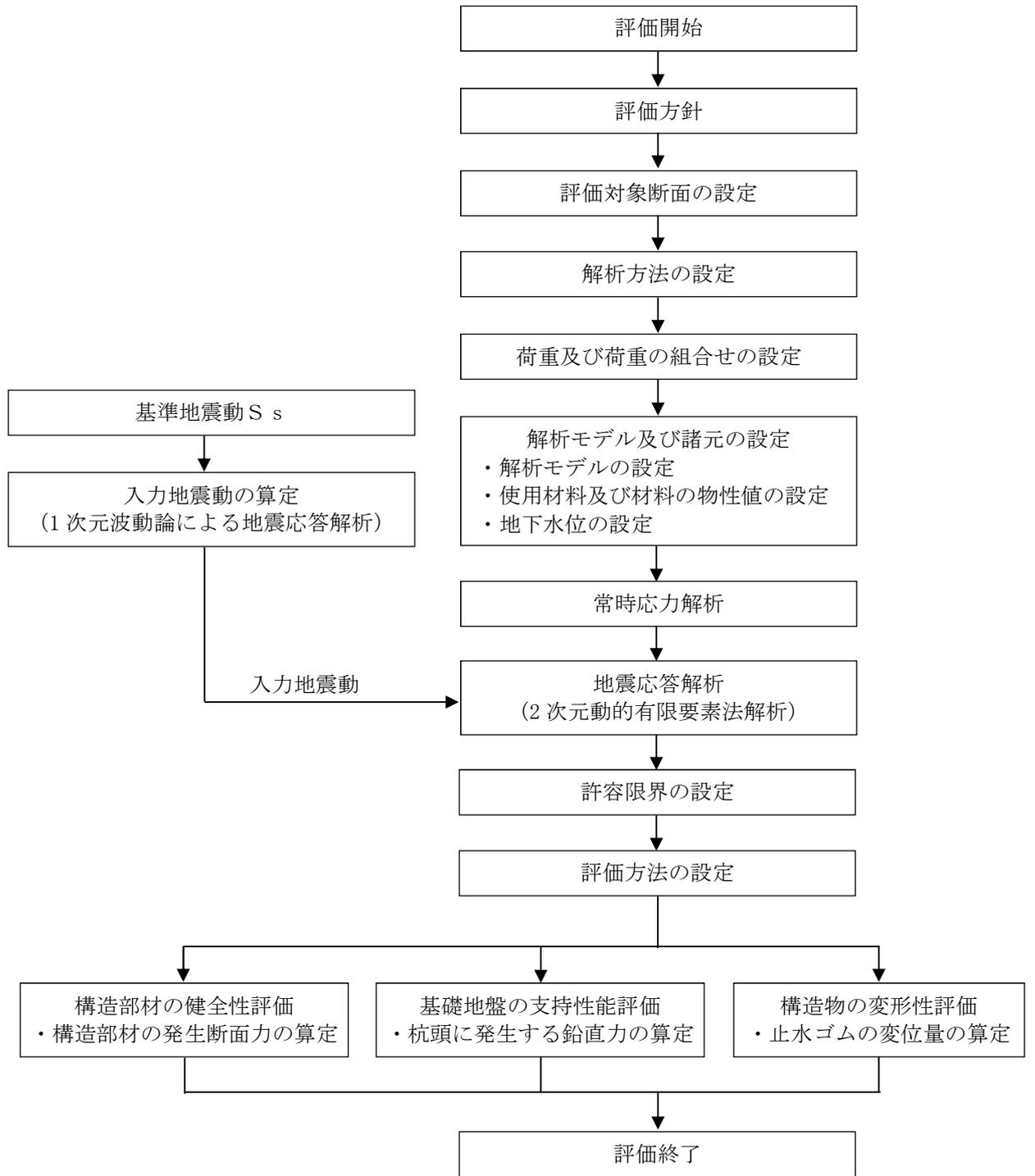


図 2-4 海水貯留堰（6号機設備）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- (1) 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)
- (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)
- (4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 版)
- (5) 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程
J E A C 4 6 1 6-2009 (日本電気協会)
- (6) 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル (沿岸技術研究センター, 2009 年版)
- (7) 港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- (8) 鋼矢板 設計から施工まで (鋼管杭協会, 平成 12 年 3 月)

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

海水貯留堰（6号機設備）は、取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり、取水護岸（6号機設備）に接続している。鋼管矢板の根入れは8mであり、西山層若しくは古安田層に直接設置される。

海水貯留堰（6号機設備）の評価対象断面位置図を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は図3-1のA-A断面及びB-B断面とする。海水貯留堰（6号機設備）の評価対象断面図を図3-2に示す。

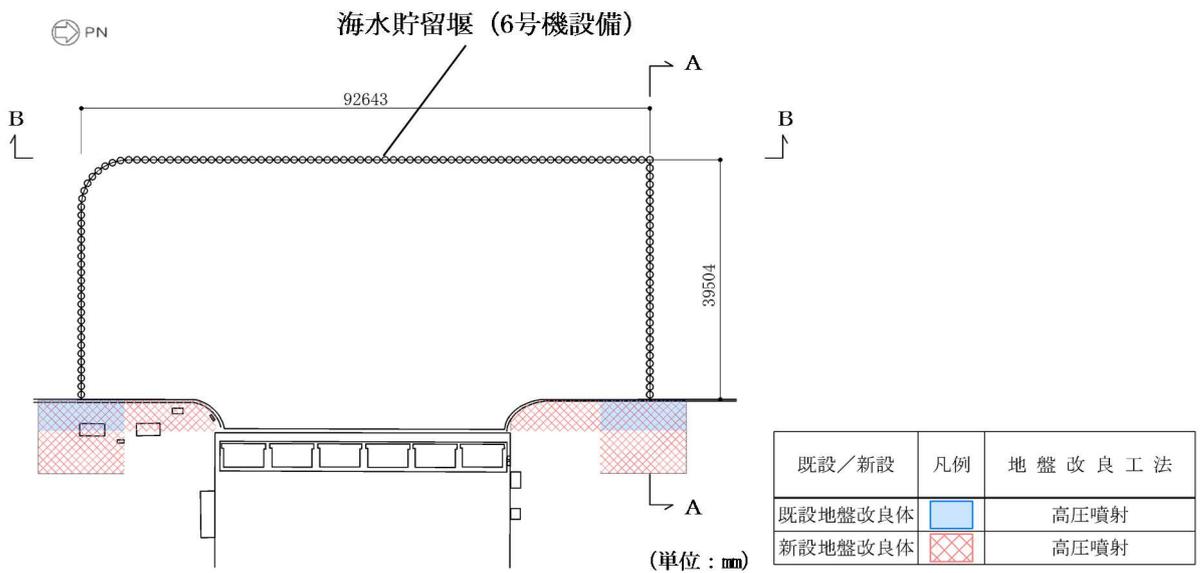


図3-1 海水貯留堰（6号機設備）の評価対象断面位置図

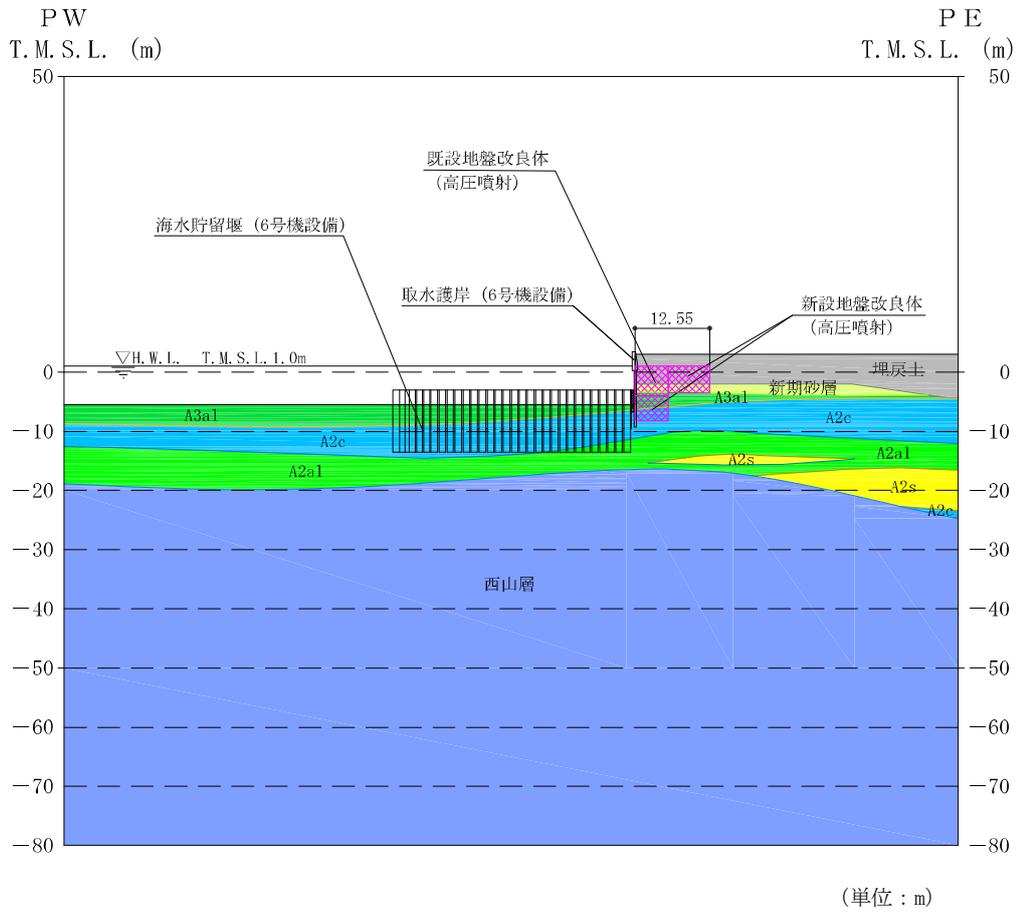


図 3-2 (1) 海水貯留堰 (6号機設備) の評価対象断面図 (A-A断面)

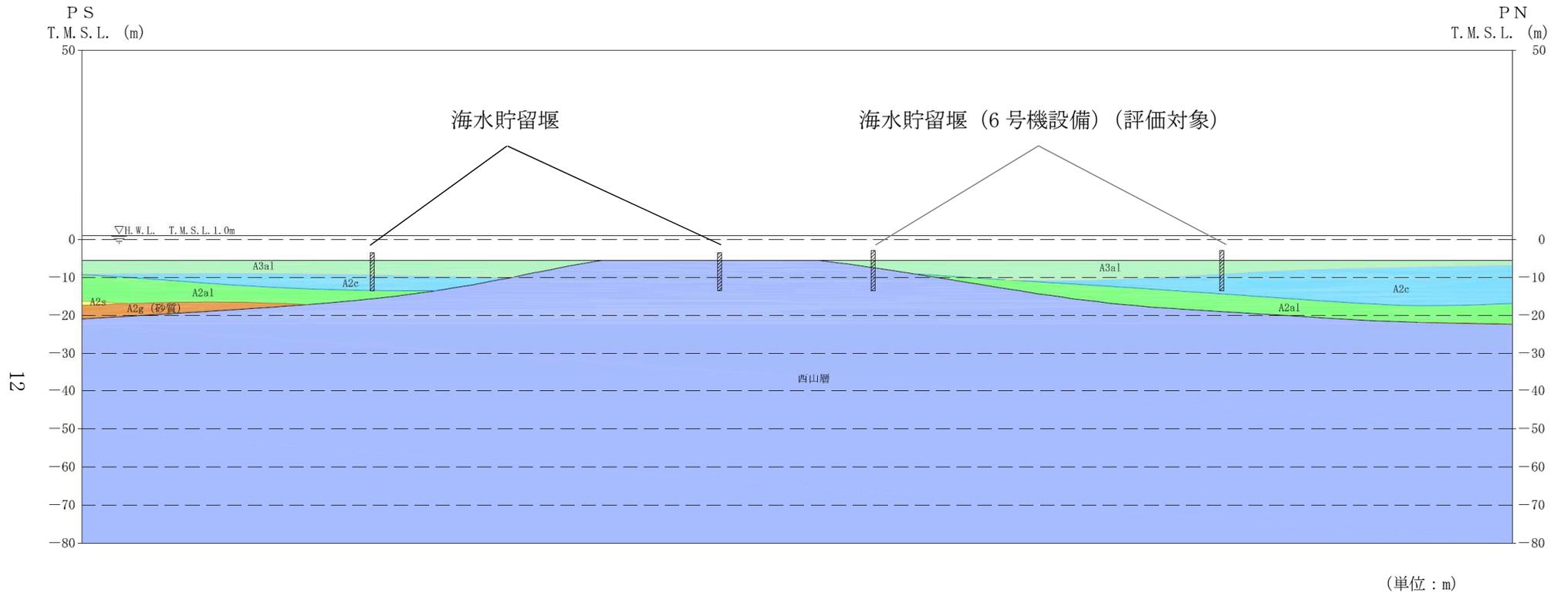


図 3-2 (2) 海水貯留堰 (6 号機設備) の評価対象断面図 (B-B 断面)

3.2 解析方法

海水貯留堰（6号機設備）の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針 2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。海水貯留堰（6号機設備）を構成する鋼管矢板は、線形はり要素でモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤

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

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

表 3-1 耐震評価における解析ケース

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

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

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

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

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

3.2.3 減衰定数

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

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

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

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-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

海水貯留堰（6号機設備）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

海中構造物であるため、積雪及び風による影響は考慮しない。

(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

海水貯留堰（6号機設備）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) 地震荷重（S s）

基地震動 S s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の耐震評価に用いる荷重の組合せを表 3-2 に、荷重作用図を図 3-3 および図 3-4 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（S s）	G + S s

G : 固定荷重

S s : 地震荷重

(海水貯留堰外側)

(海水貯留堰内側)

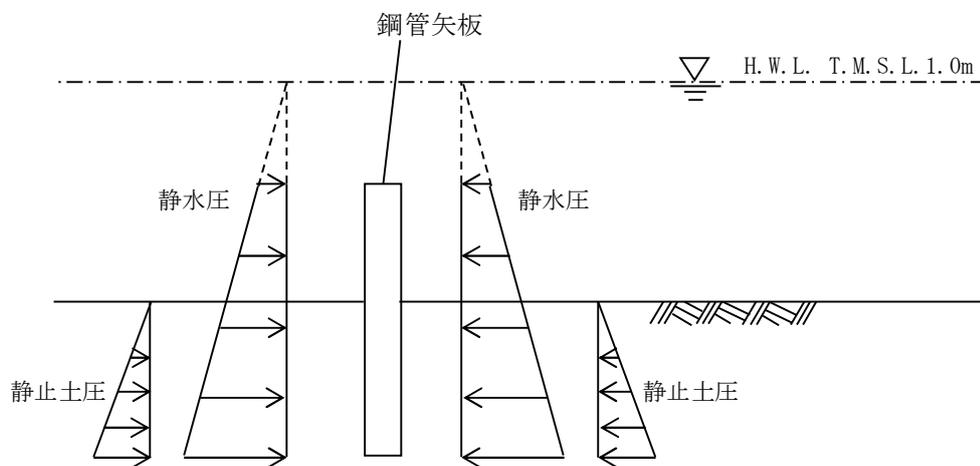


図 3-3 荷重作用図 (鋼管矢板 常時)

(海水貯留堰外側)

(海水貯留堰内側)

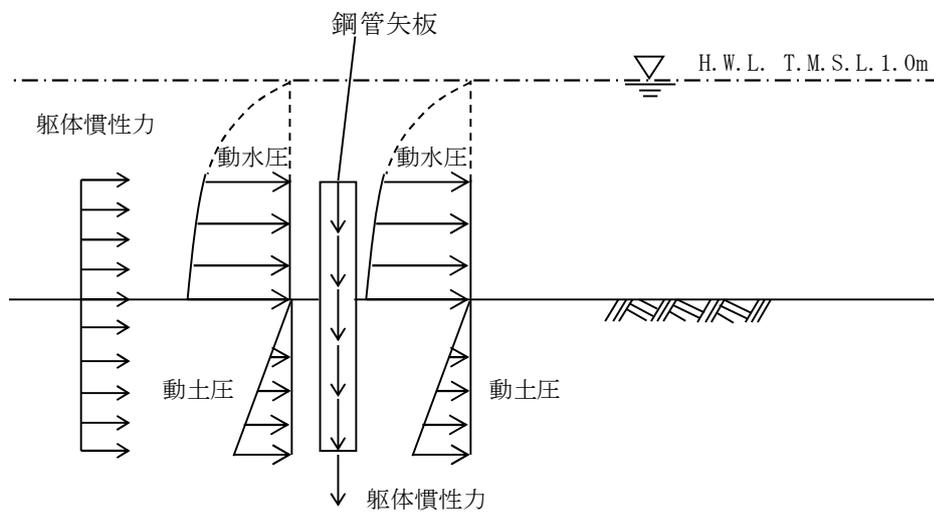


図 3-4 荷重作用図 (鋼管矢板 地震時)

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の耐震評価に用いる荷重の組合せを表 3-3 に、荷重作用図を図 3-5 に示す。

止水ゴムからの作用荷重を保守的に評価するために、止水ゴム作用力を作用荷重として考慮する。

慣性力及び動水圧については、「3.2.2 地盤」に示す解析ケース及び「3.4 入力地震動」に示す基準地震動 S_s を考慮した 2 次元有効応力解析から得られる最大加速度より、海水貯留堰 (6 号機設備) (南側) は水平震度 $k_h=1.12$ (S_s-1++ , 解析ケース③: 地盤物性値のばらつき (-1σ)) を考慮した解析ケース, 海水貯留堰 (6 号機設備) (北側) は水平震度 $k_h=1.08$ (S_s-1++ , 解析ケース③: 地盤物性値のばらつき (-1σ)) を考慮した解析ケース) を用いて算出する。

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)	$G + S_s$

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

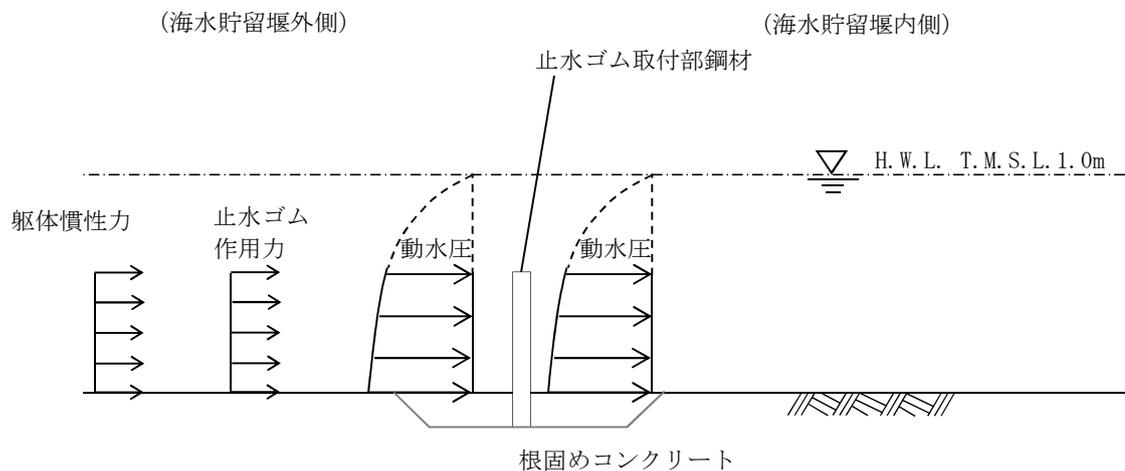


図 3-5 荷重作用図 (止水ゴム取付部鋼材 地震時)

3.4 入力地震動

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

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

入力地震動算定の概念図を図 3-6 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 3-7 に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SLOK」を使用する。

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

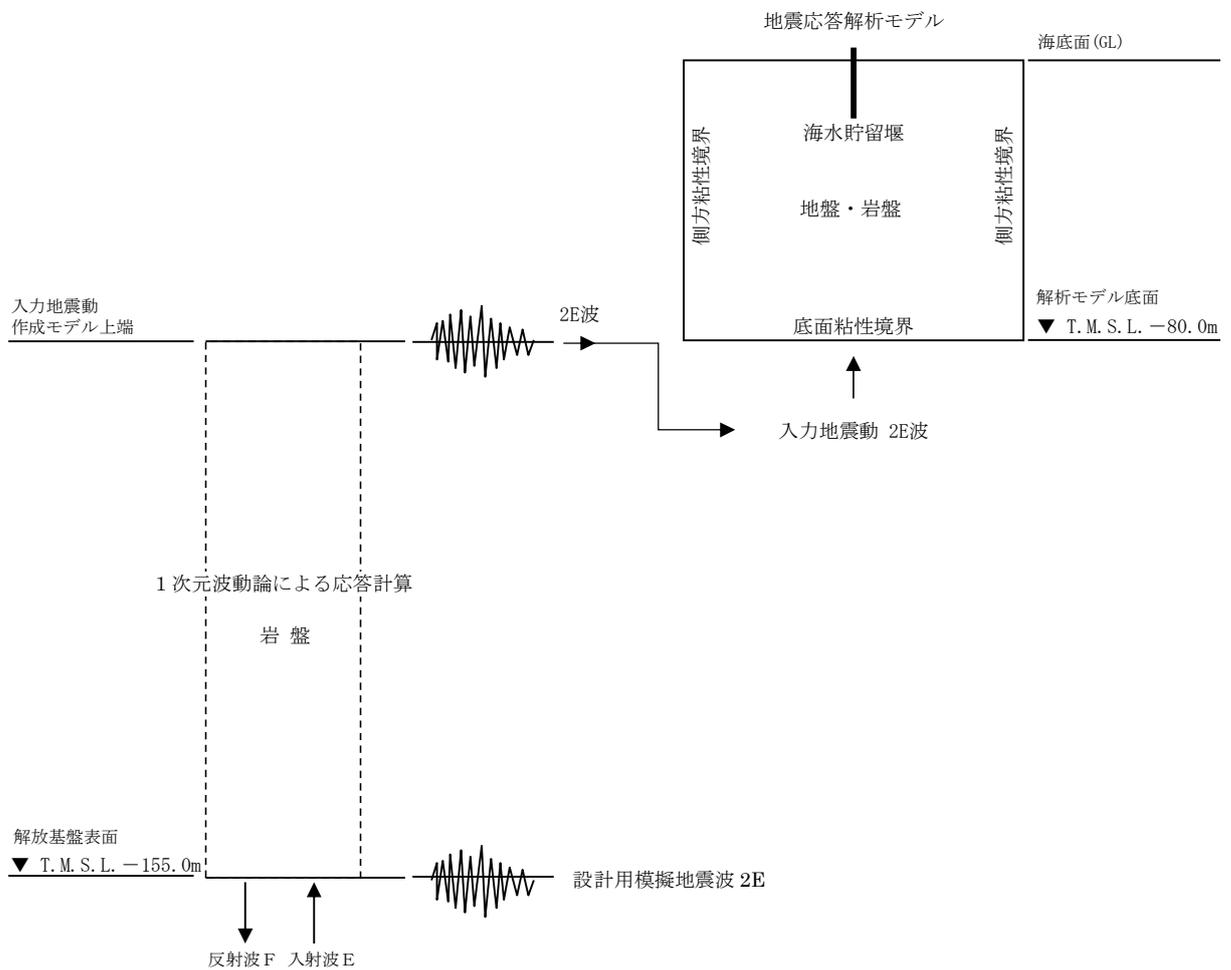
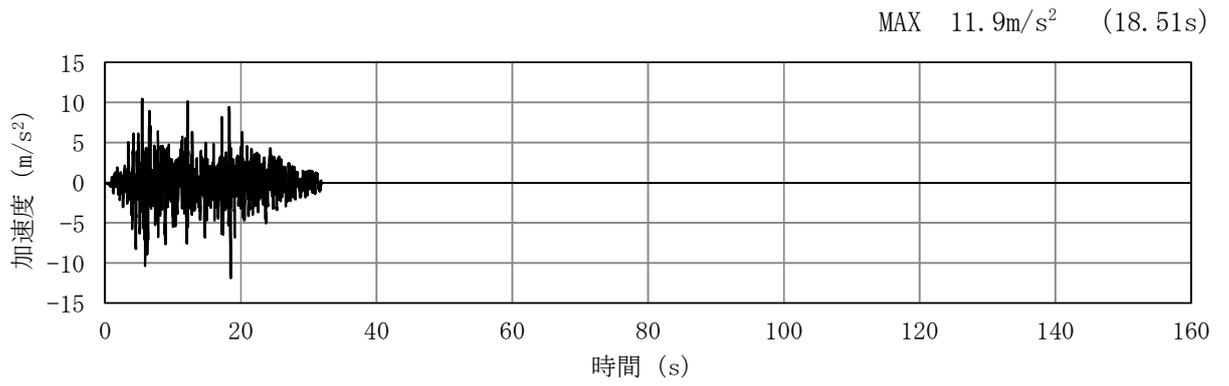
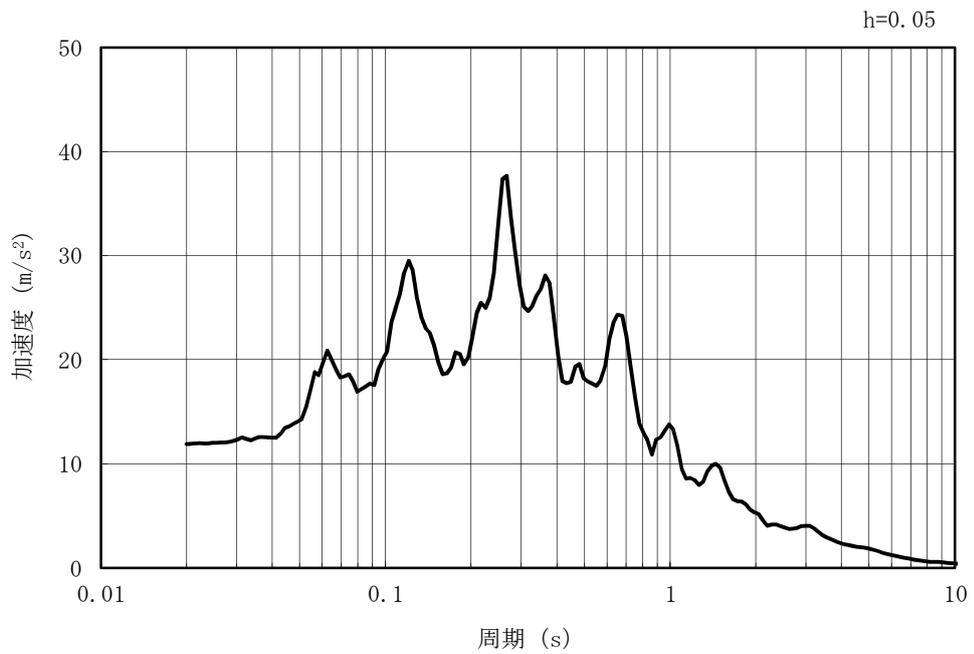


図 3-6 入力地震動算定の概念図

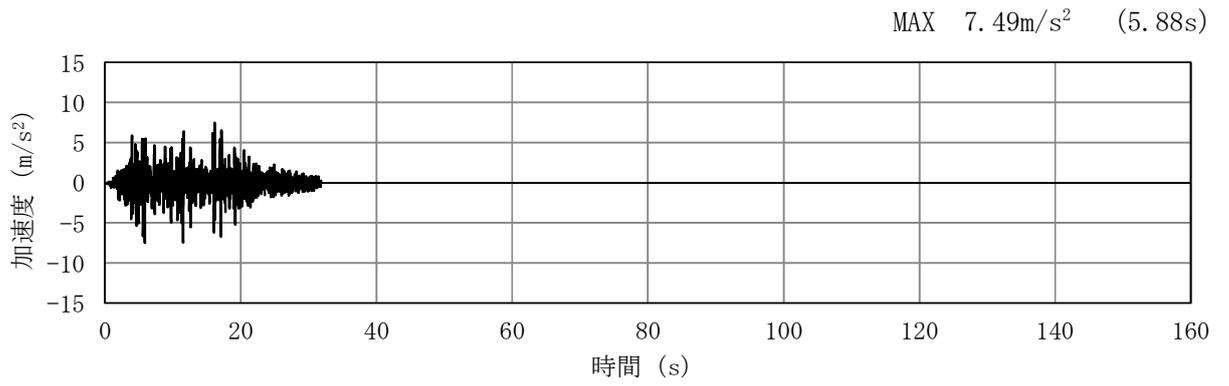


(a) 加速度時刻歴波形

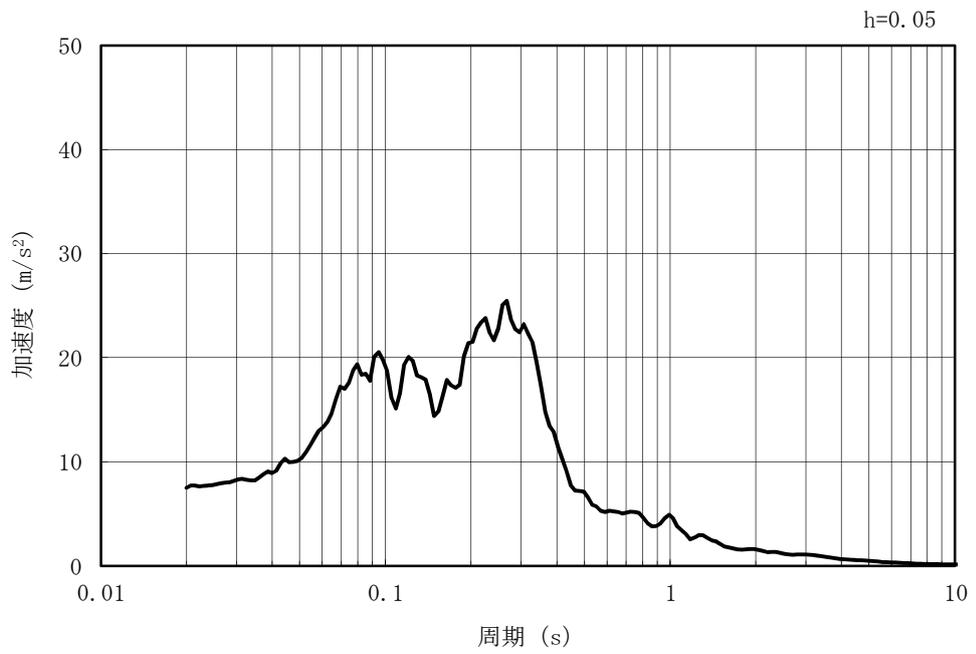


(b) 加速度応答スペクトル

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

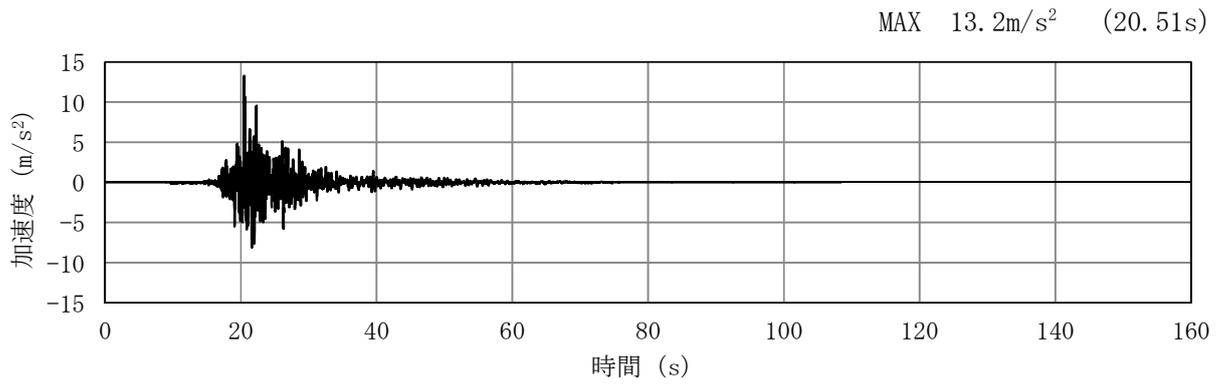


(a) 加速度時刻歴波形

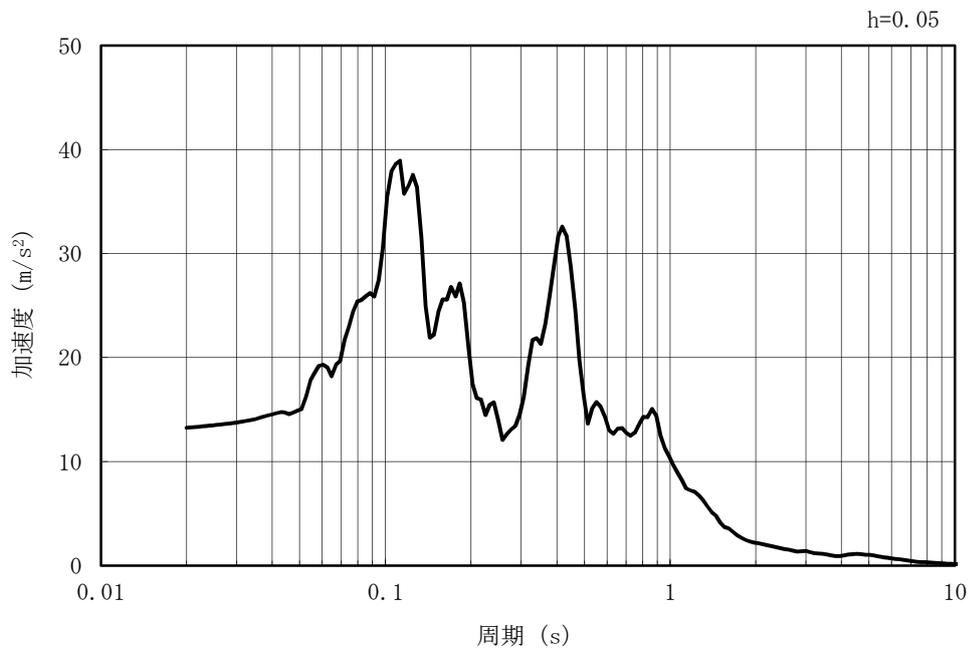


(b) 加速度応答スペクトル

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

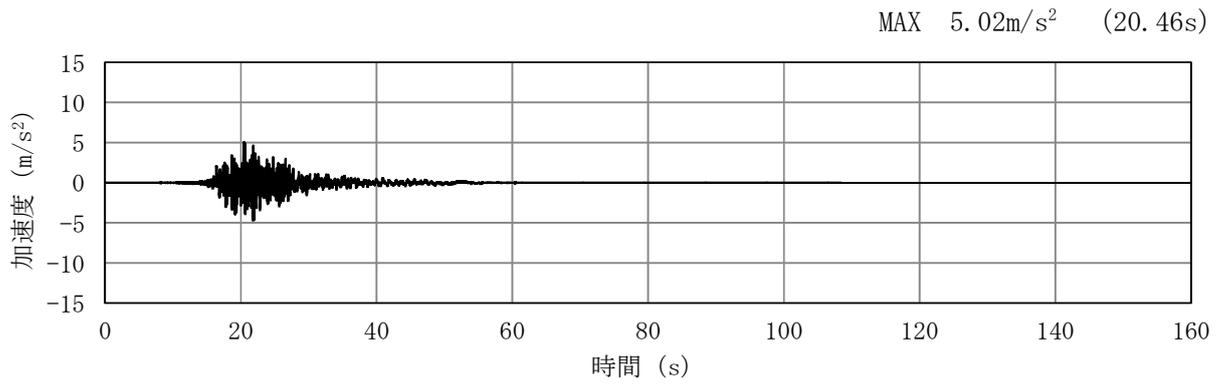


(a) 加速度時刻歴波形

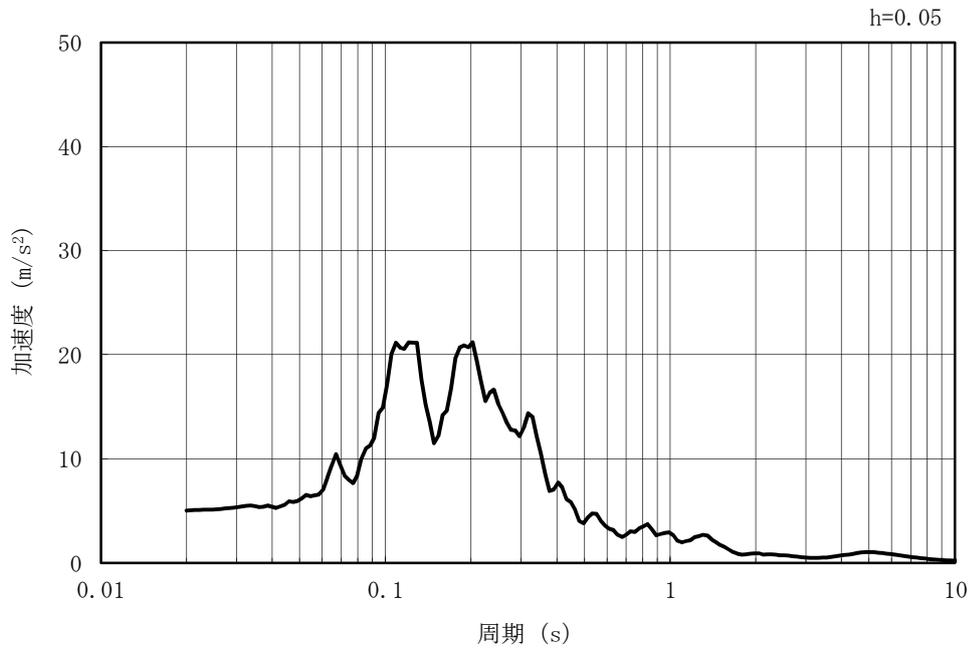


(b) 加速度応答スペクトル

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

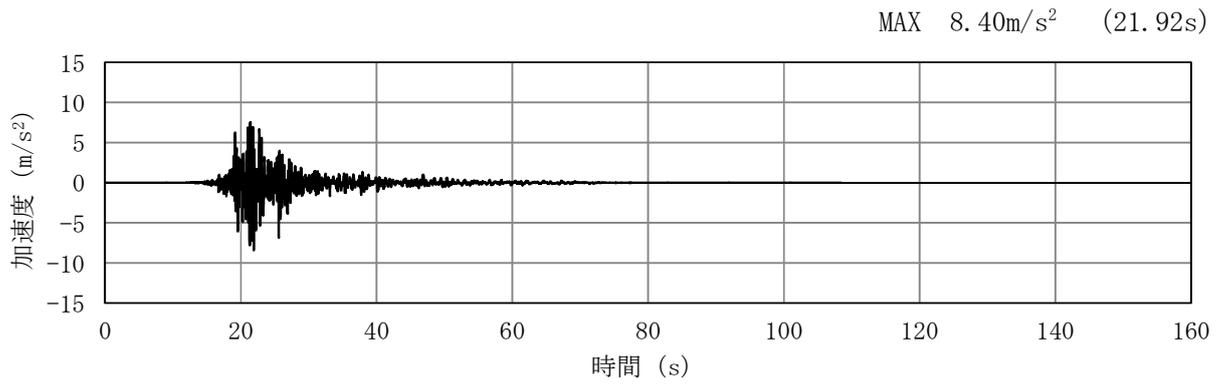


(a) 加速度時刻歴波形

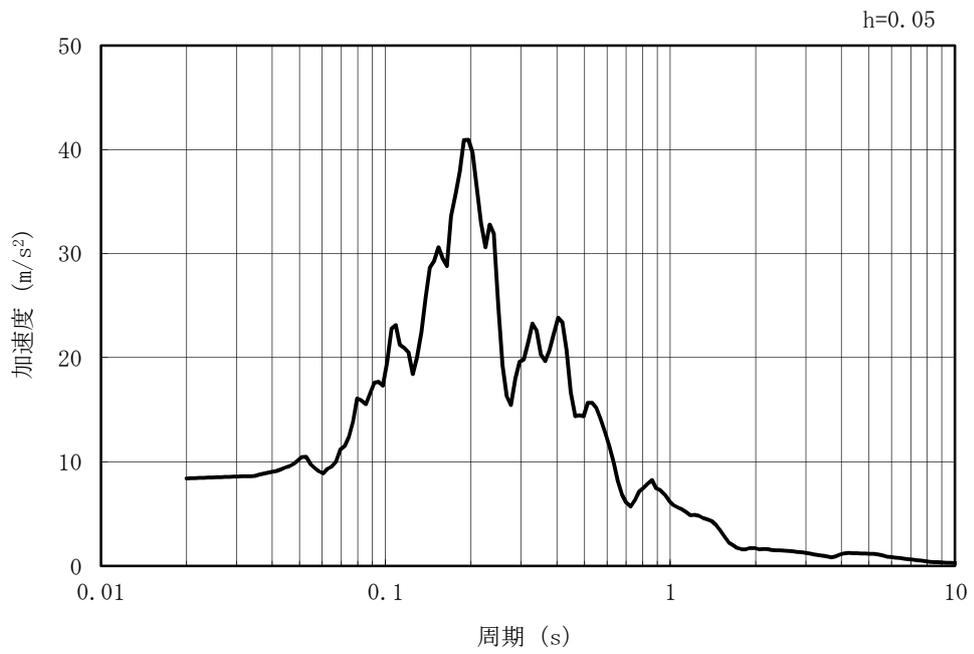


(b) 加速度応答スペクトル

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

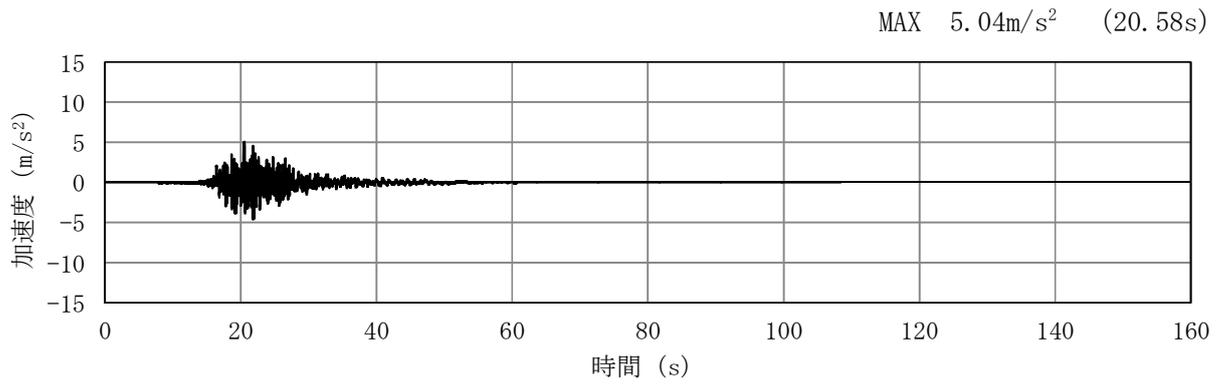


(a) 加速度時刻歴波形

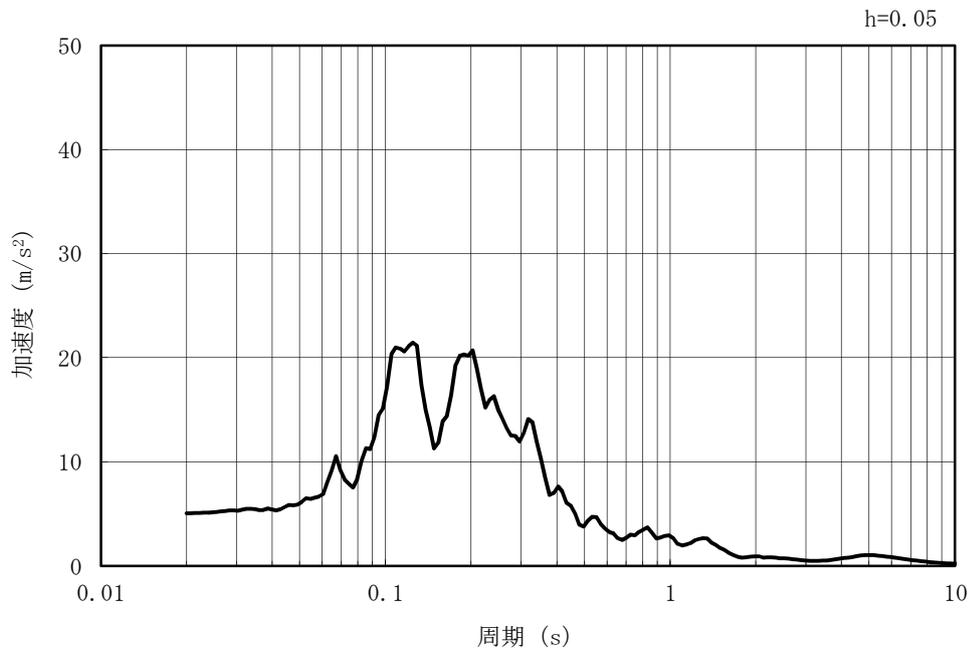


(b) 加速度応答スペクトル

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

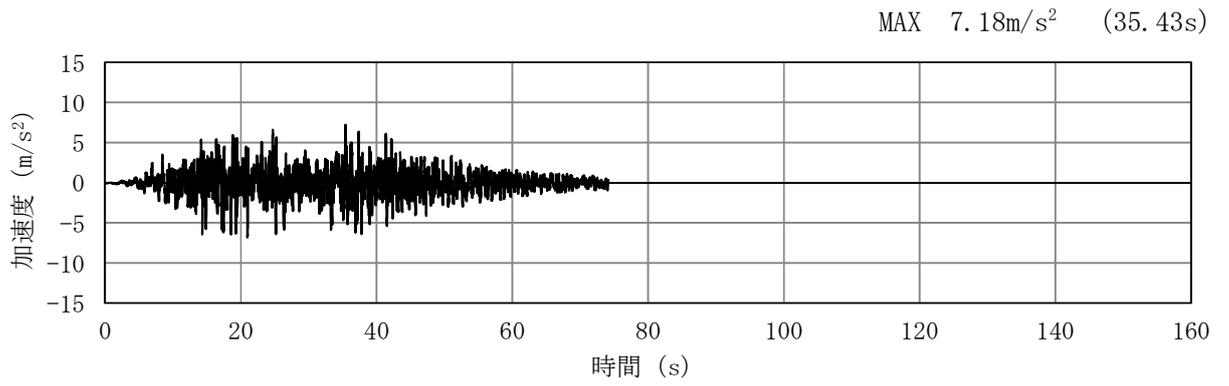


(a) 加速度時刻歴波形

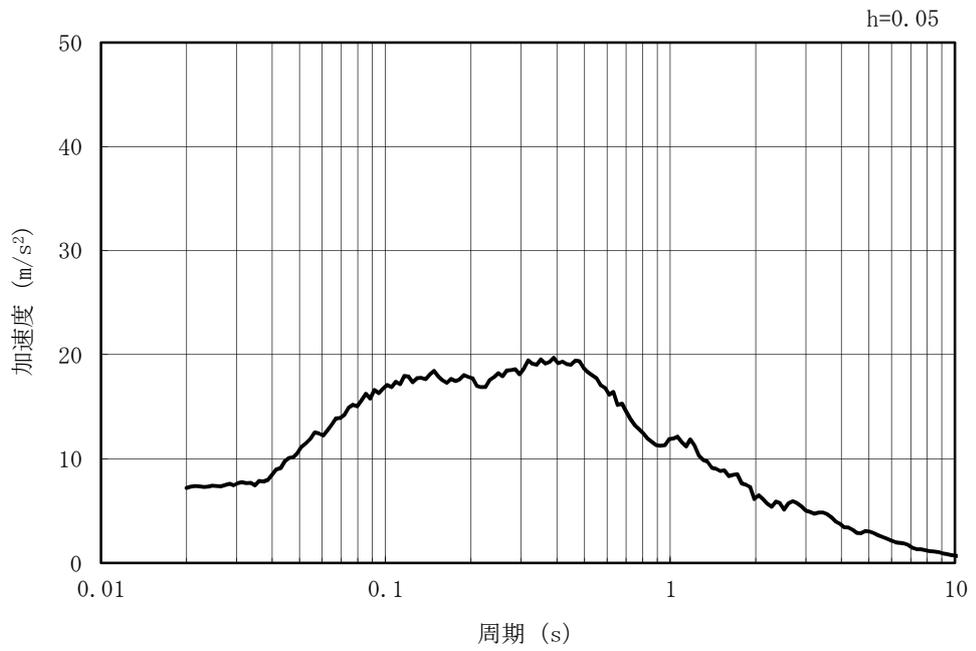


(b) 加速度応答スペクトル

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

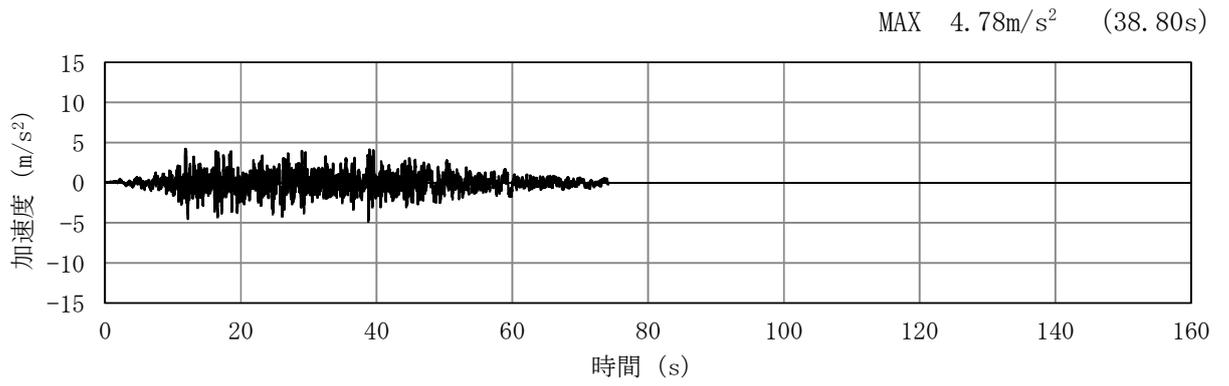


(a) 加速度時刻歴波形

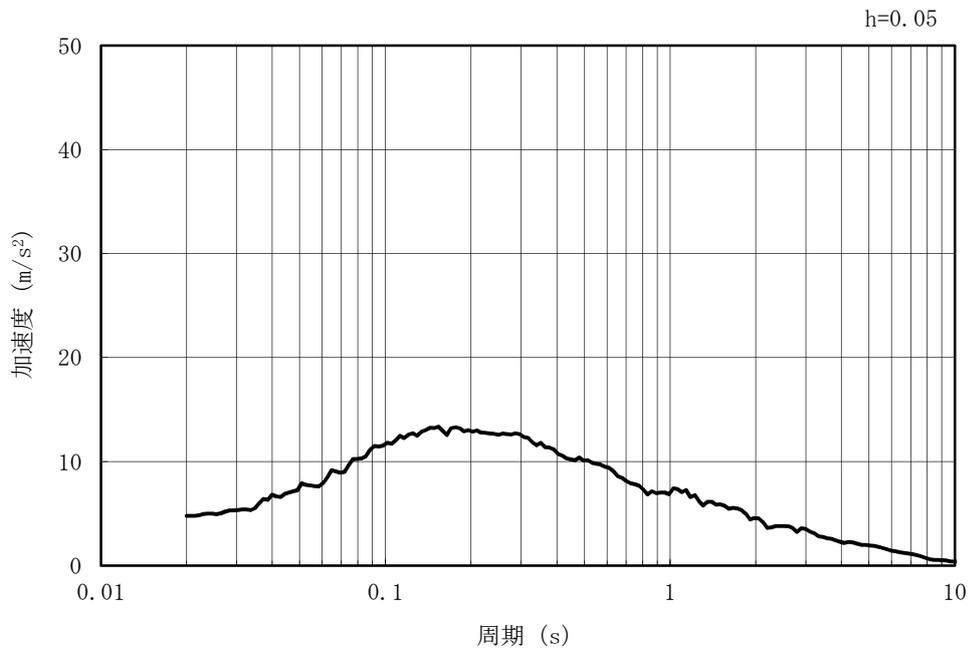


(b) 加速度応答スペクトル

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

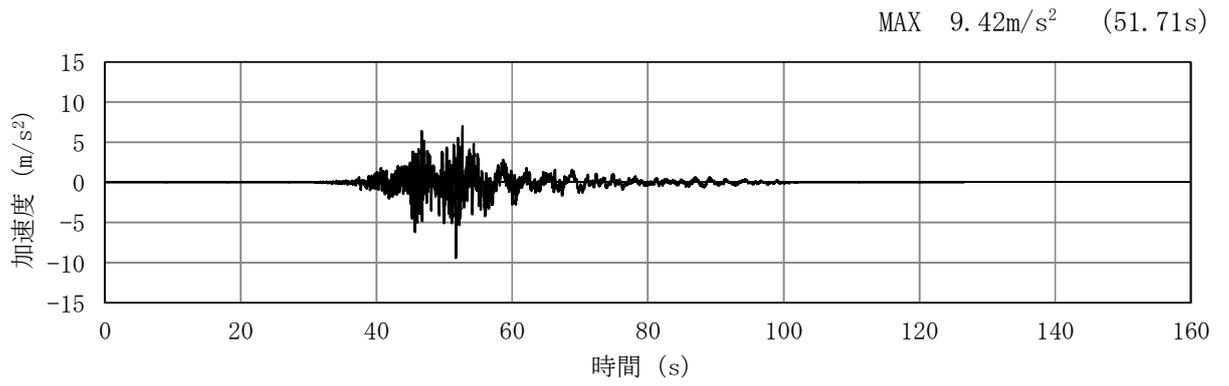


(a) 加速度時刻歴波形

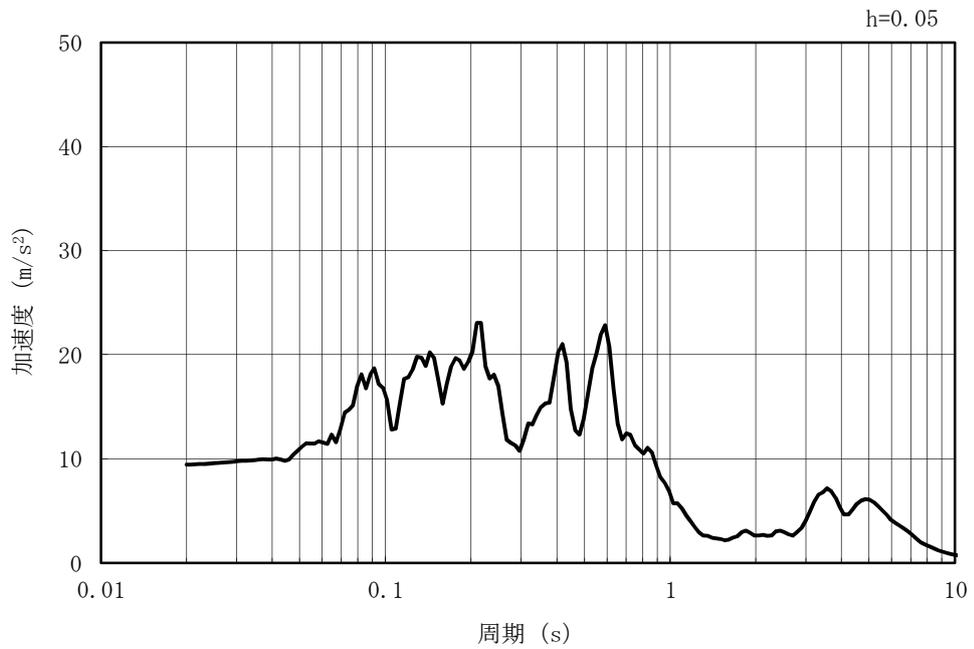


(b) 加速度応答スペクトル

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

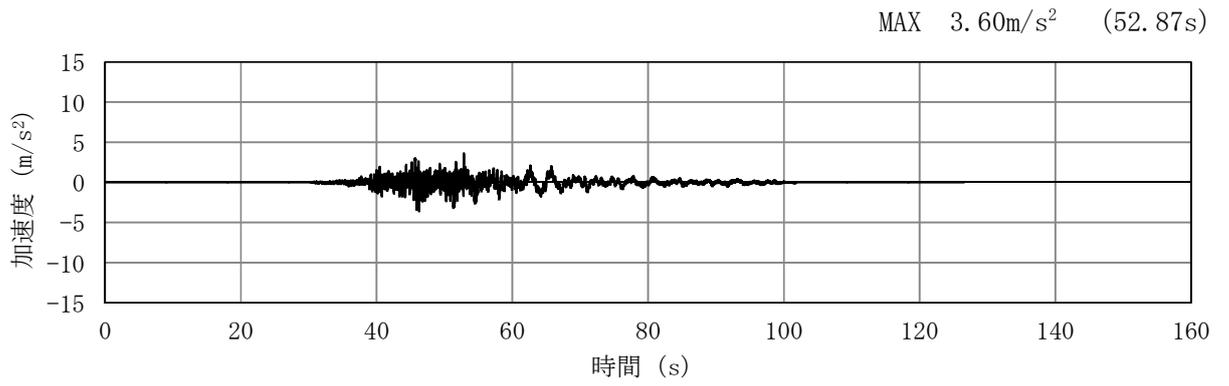


(a) 加速度時刻歴波形

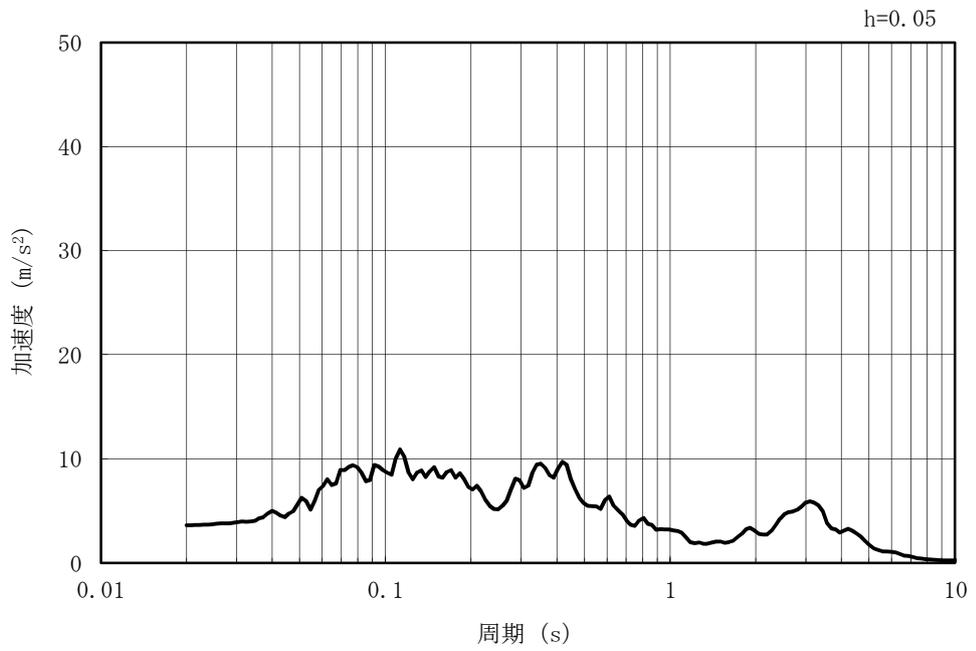


(b) 加速度応答スペクトル

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

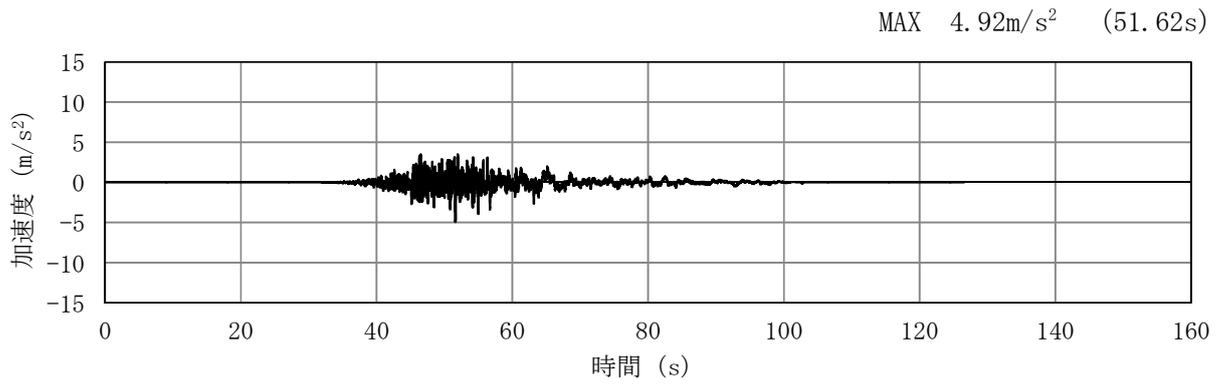


(a) 加速度時刻歴波形

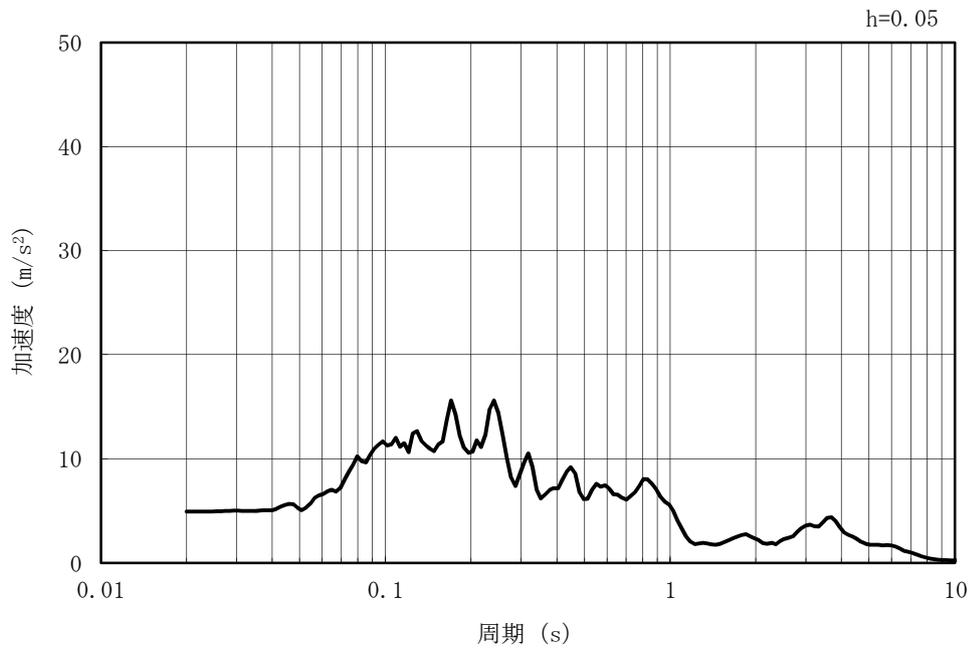


(b) 加速度応答スペクトル

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

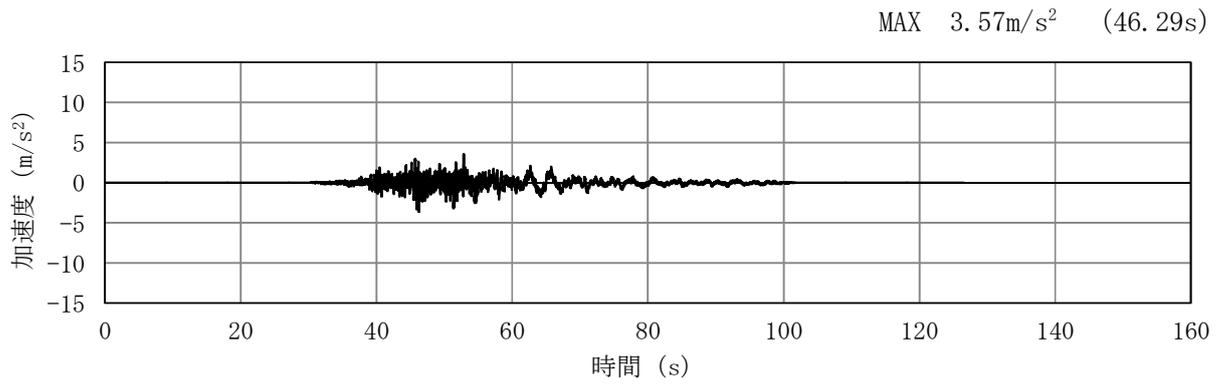


(a) 加速度時刻歴波形

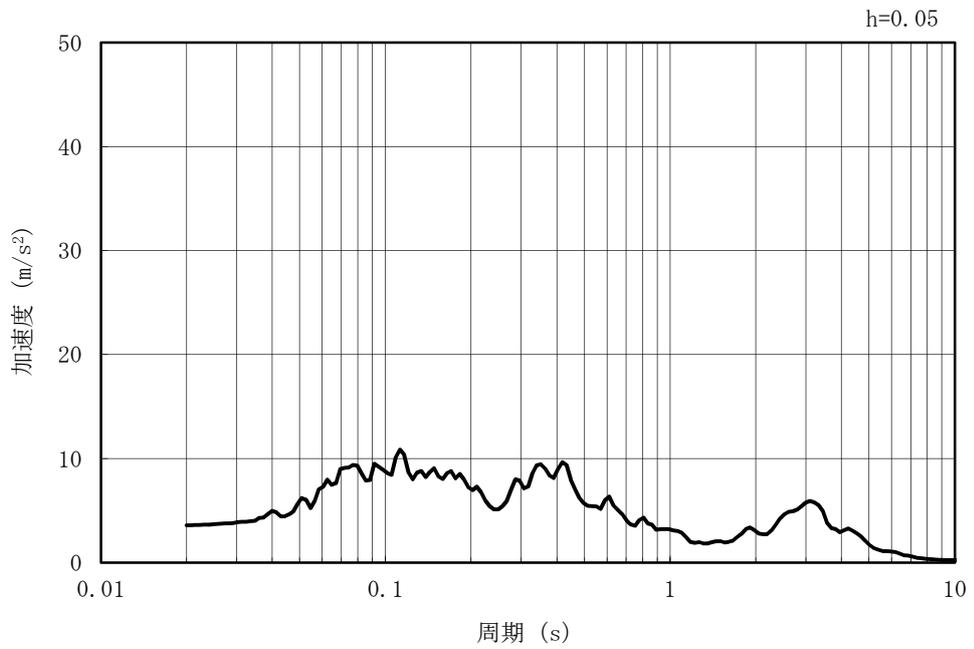


(b) 加速度応答スペクトル

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

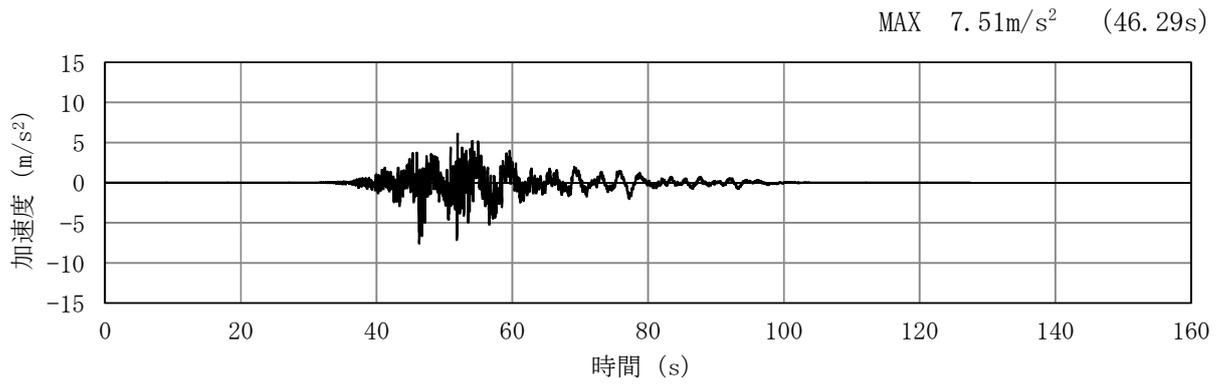


(a) 加速度時刻歴波形

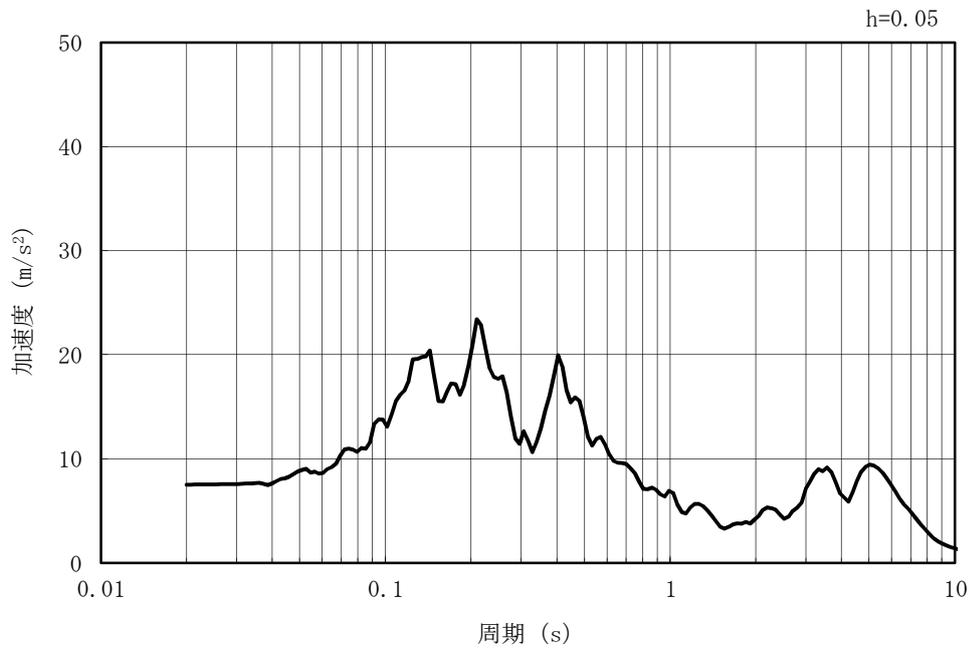


(b) 加速度応答スペクトル

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

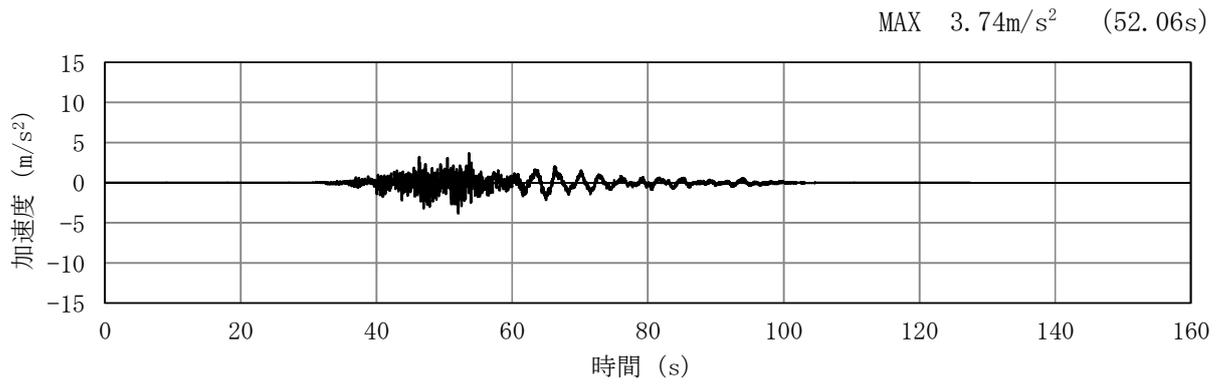


(a) 加速度時刻歴波形

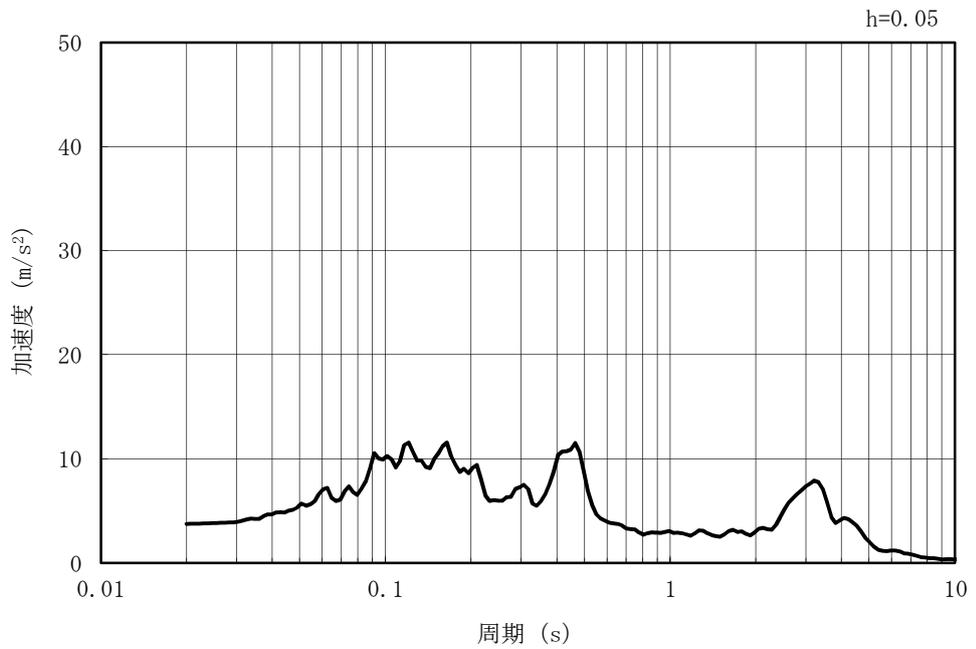


(b) 加速度応答スペクトル

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

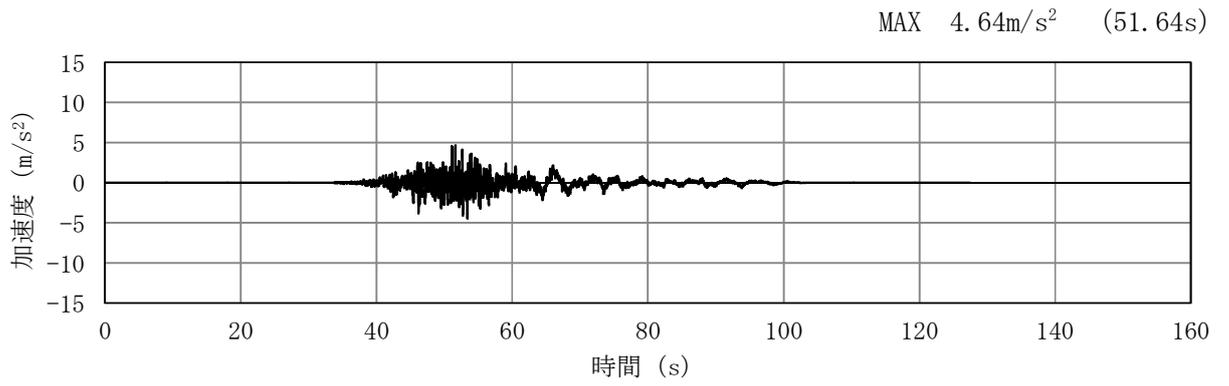


(a) 加速度時刻歴波形

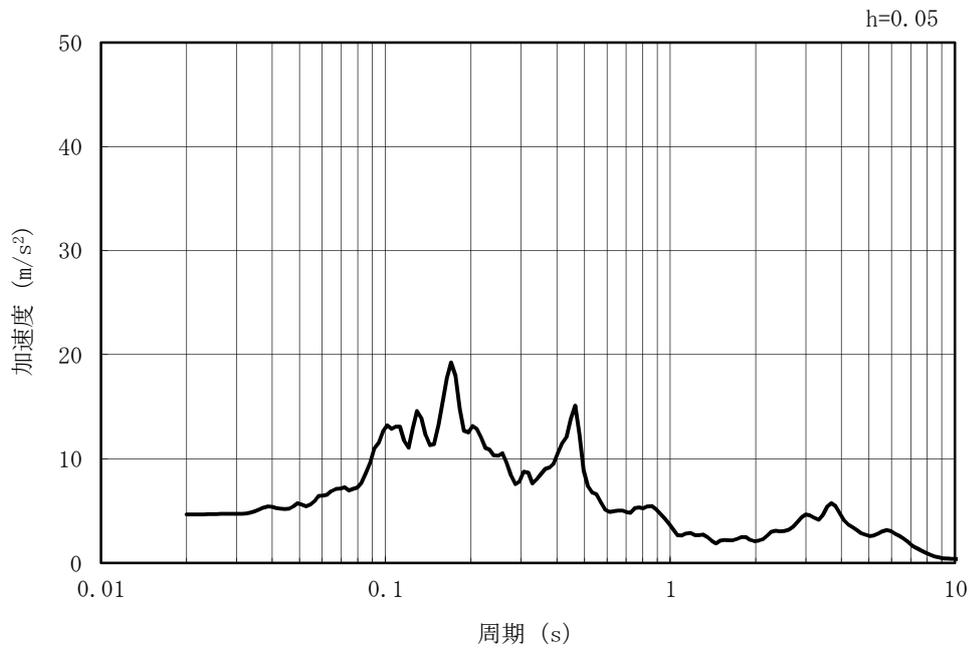


(b) 加速度応答スペクトル

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



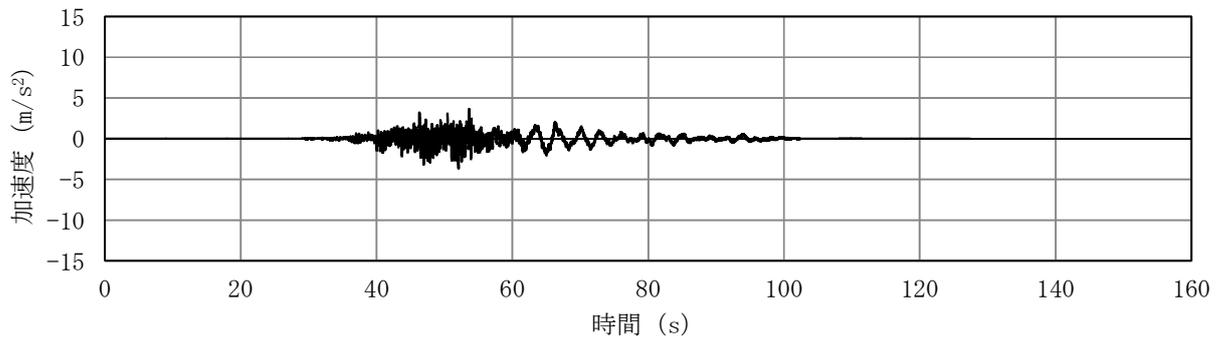
(a) 加速度時刻歴波形



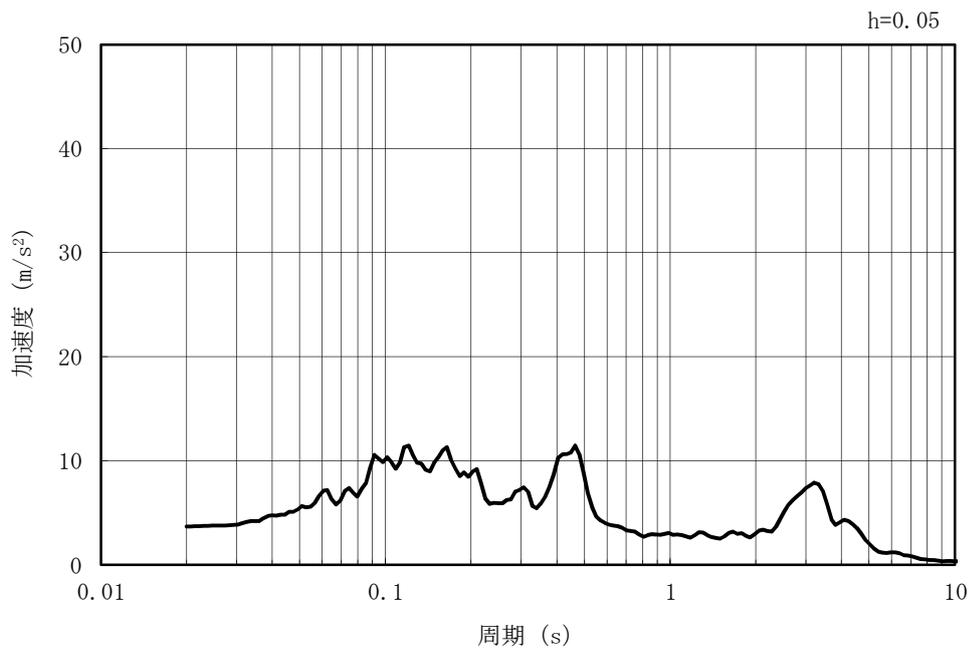
(b) 加速度応答スペクトル

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

MAX 3.68m/s² (52.06s)



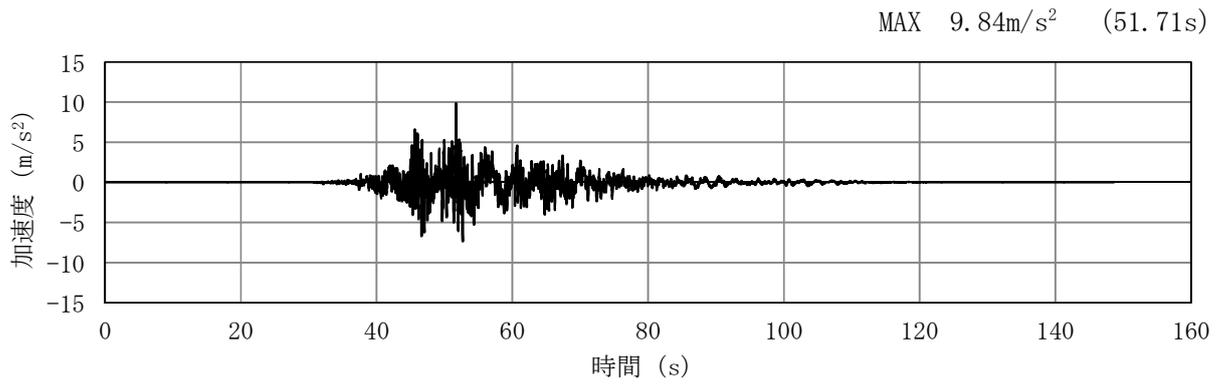
(a) 加速度時刻歴波形



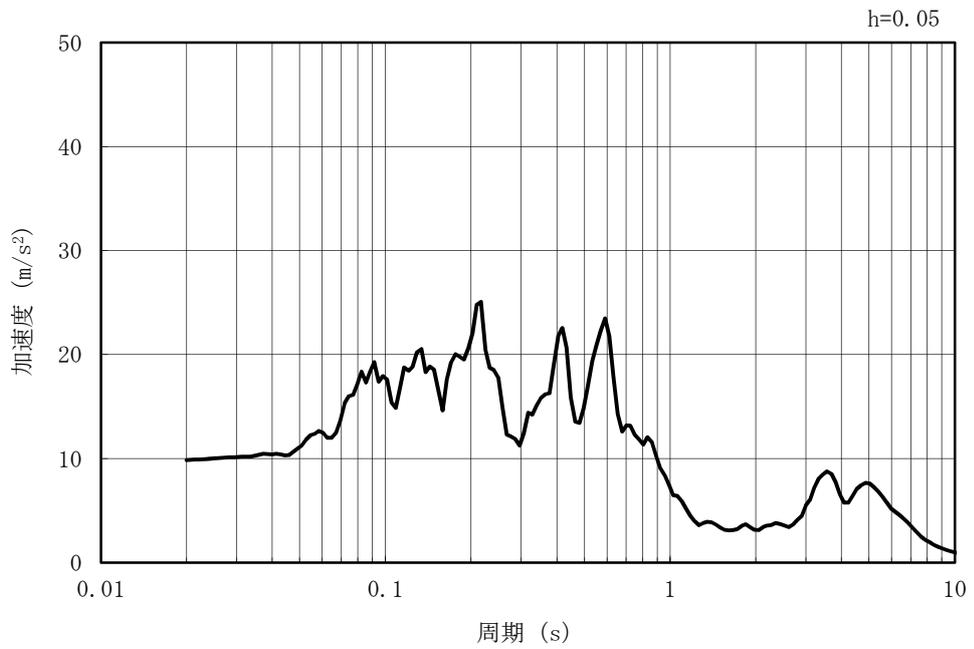
(b) 加速度応答スペクトル

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

K7 ① V-2-10-3-1-3-1 R1

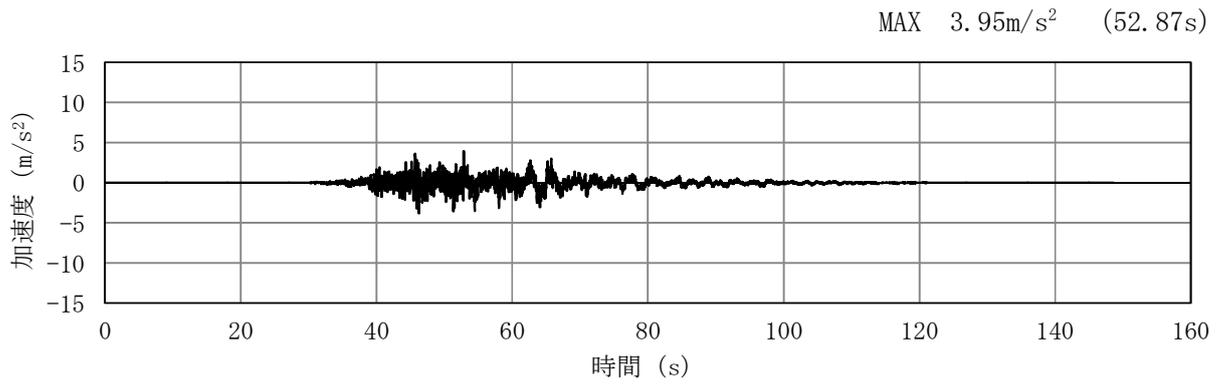


(a) 加速度時刻歴波形

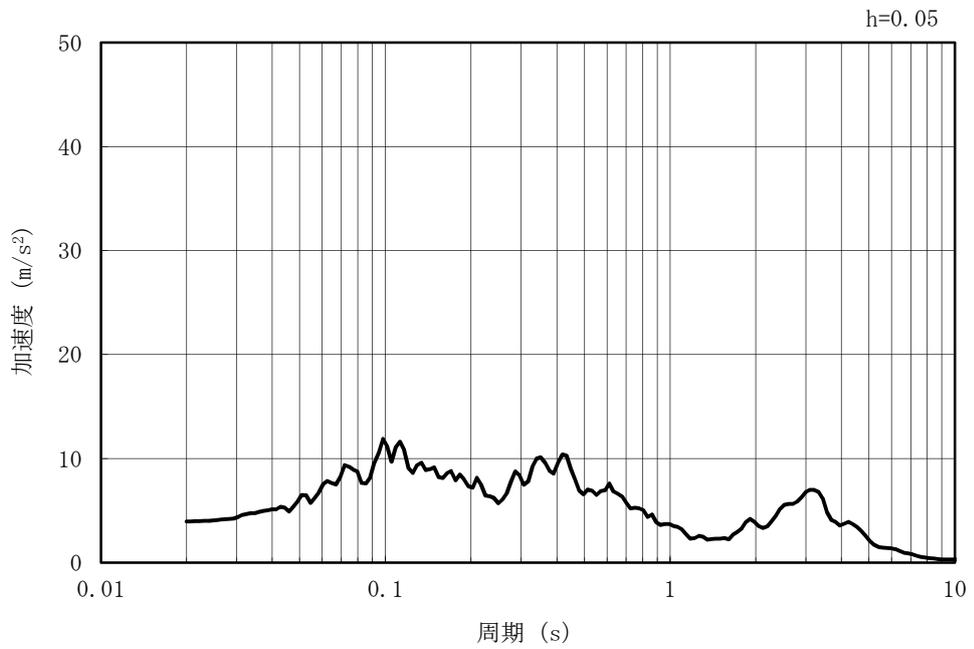


(b) 加速度応答スペクトル

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

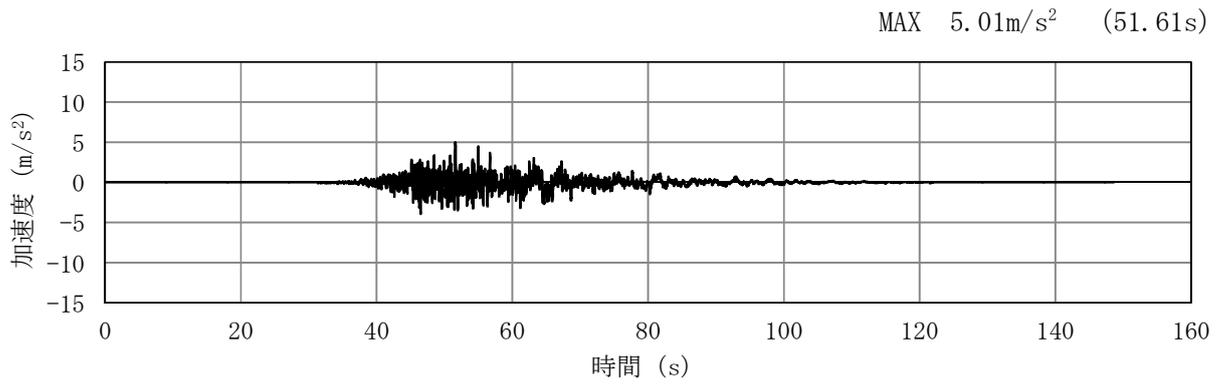


(a) 加速度時刻歴波形

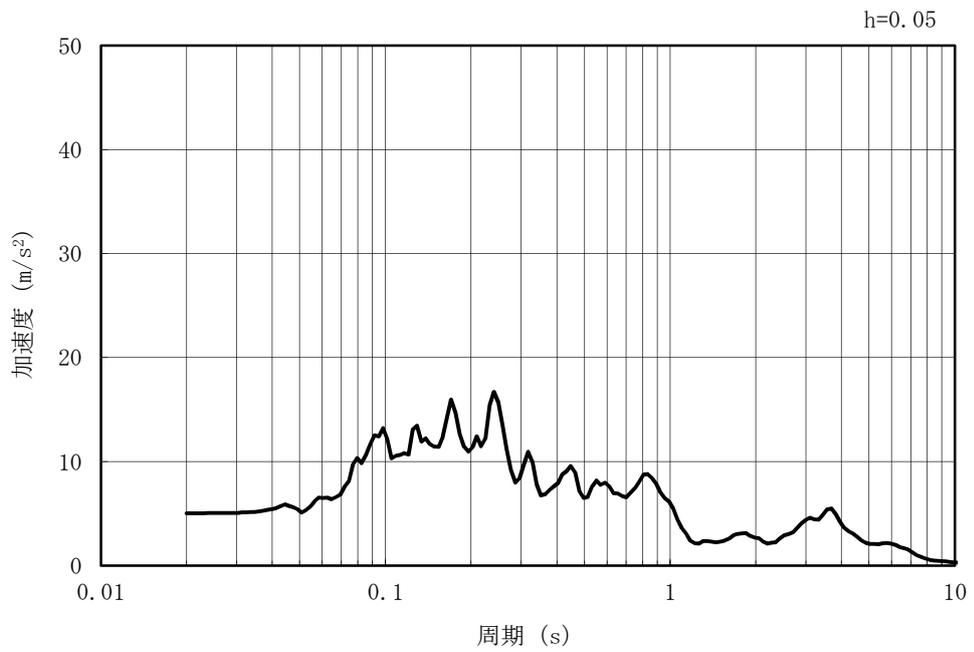


(b) 加速度応答スペクトル

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

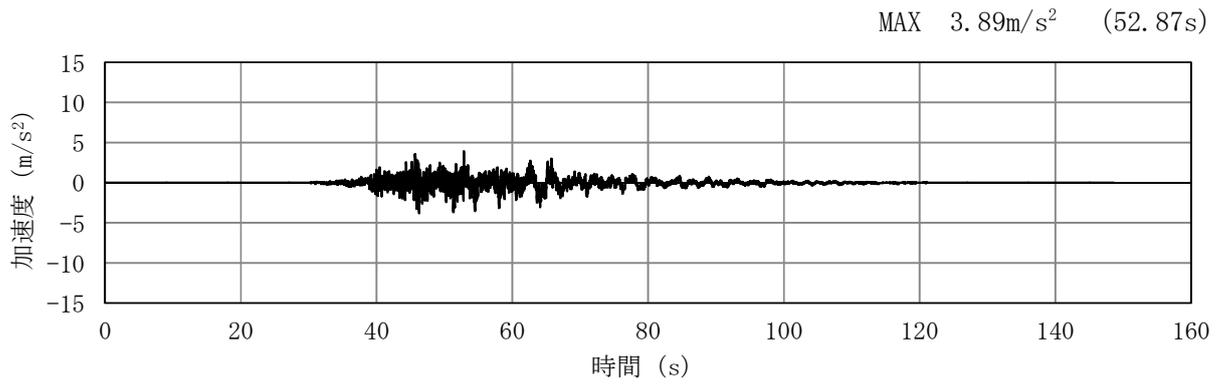


(a) 加速度時刻歴波形

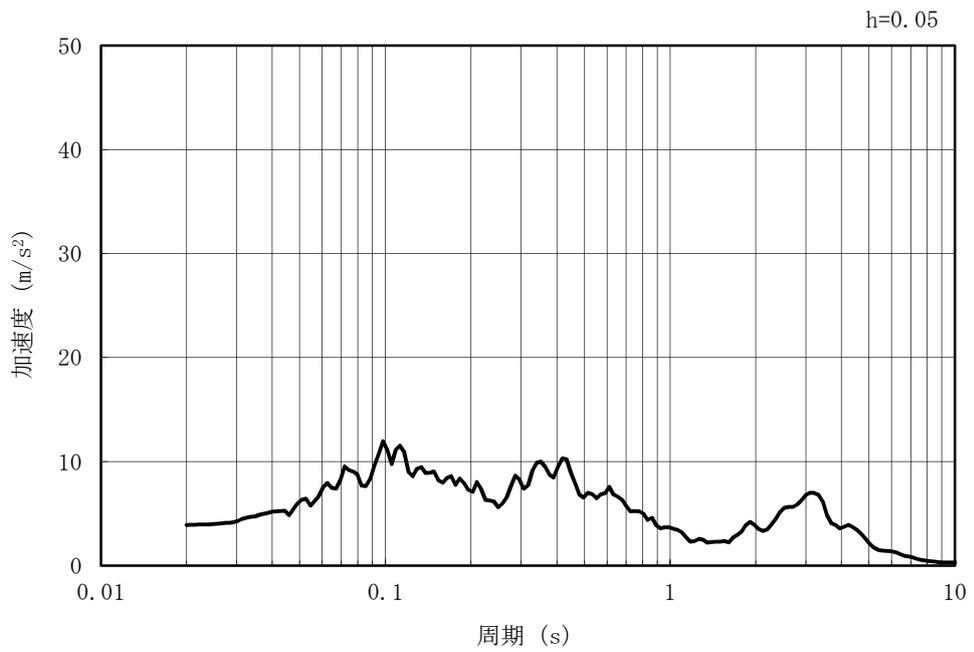


(b) 加速度応答スペクトル

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

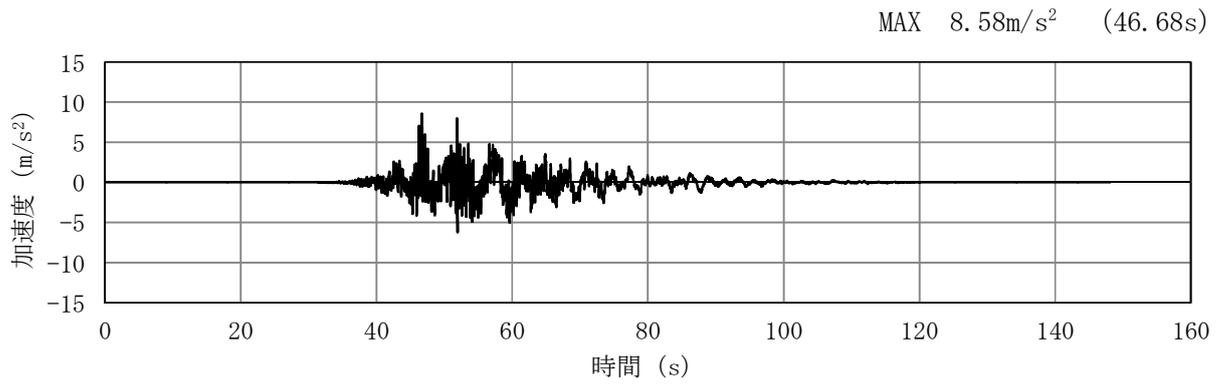


(a) 加速度時刻歴波形

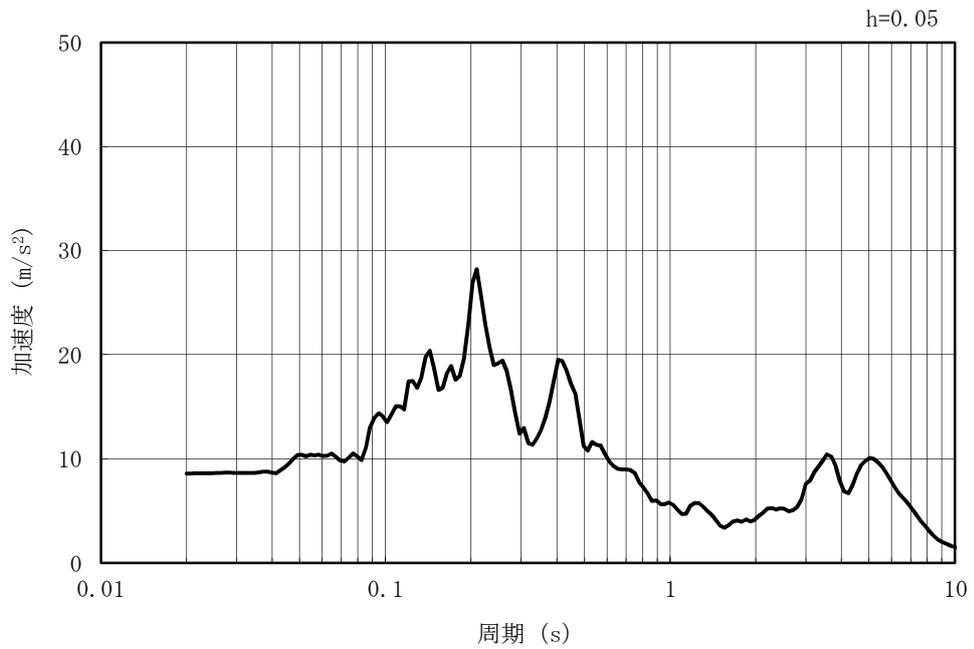


(b) 加速度応答スペクトル

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

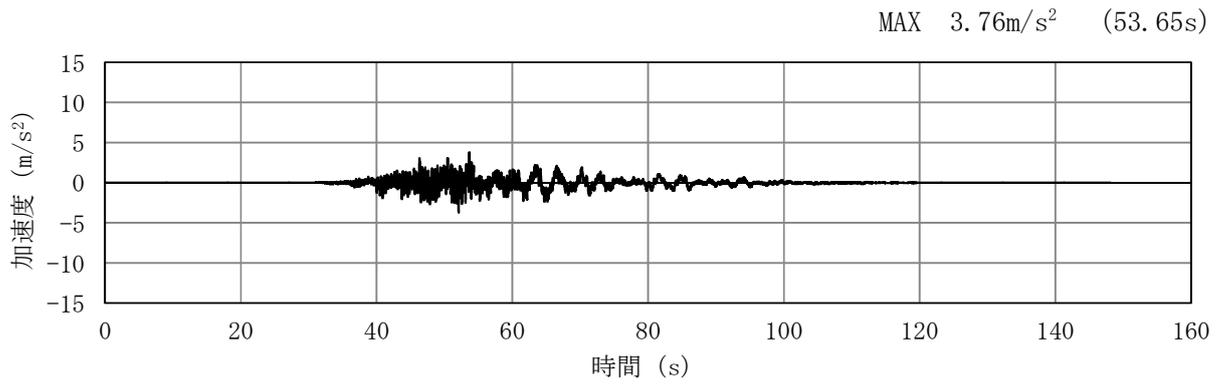


(a) 加速度時刻歴波形

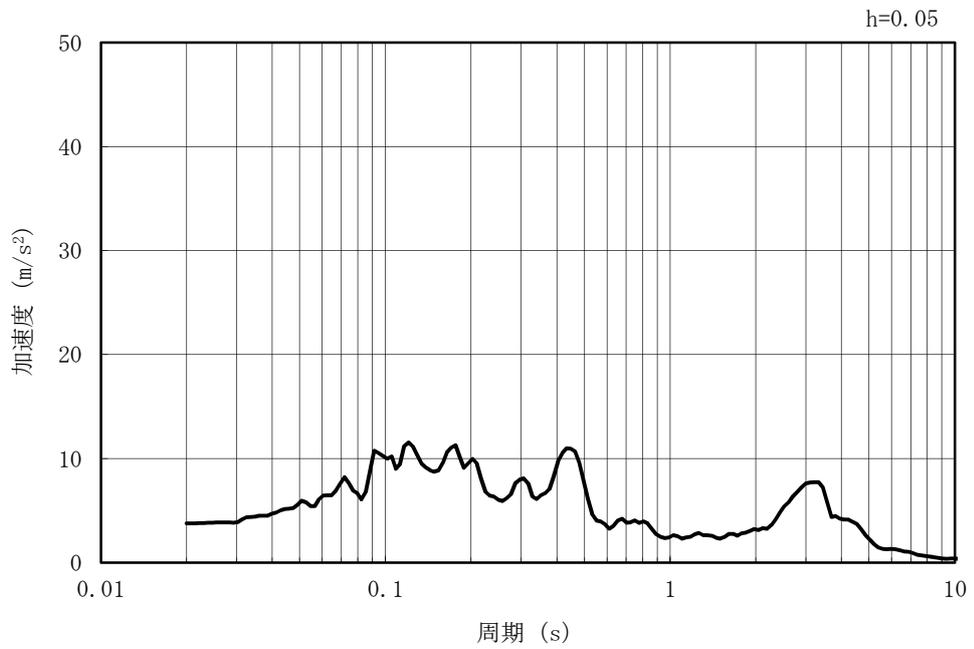


(b) 加速度応答スペクトル

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

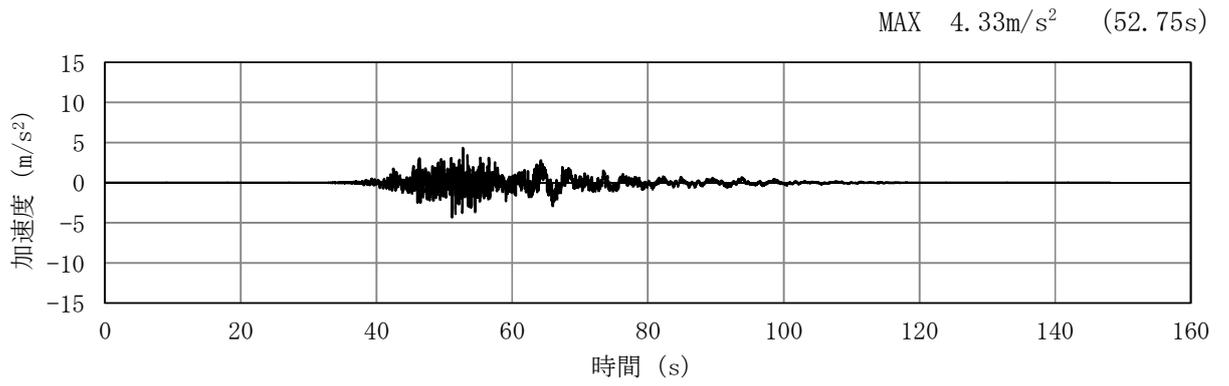


(a) 加速度時刻歴波形

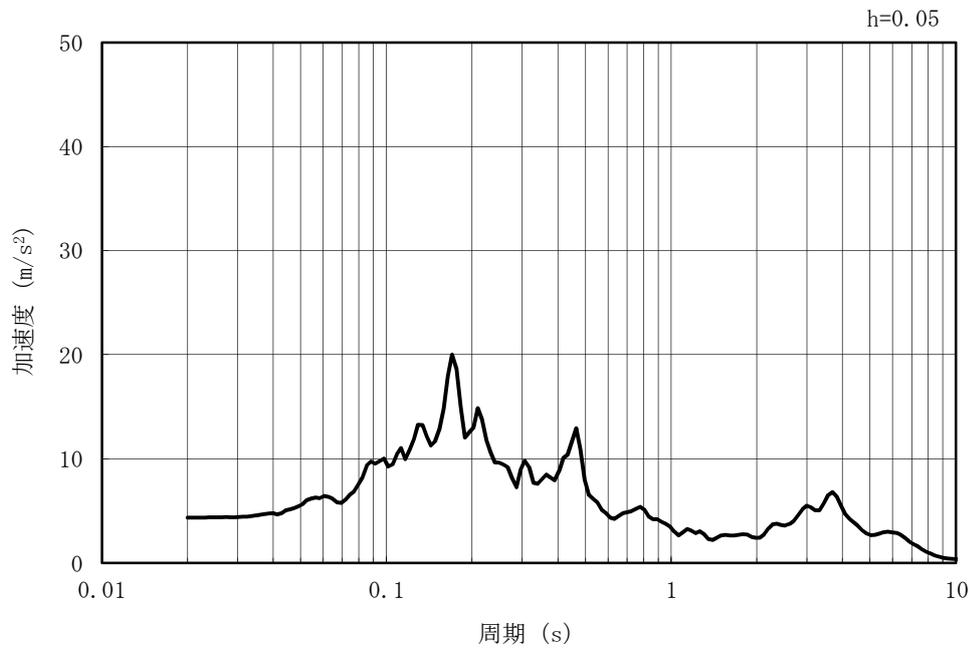


(b) 加速度応答スペクトル

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

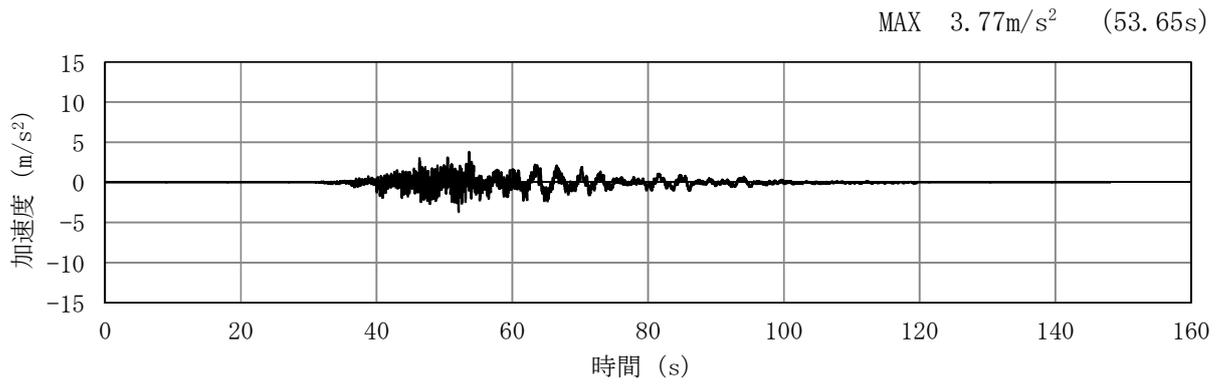


(a) 加速度時刻歴波形

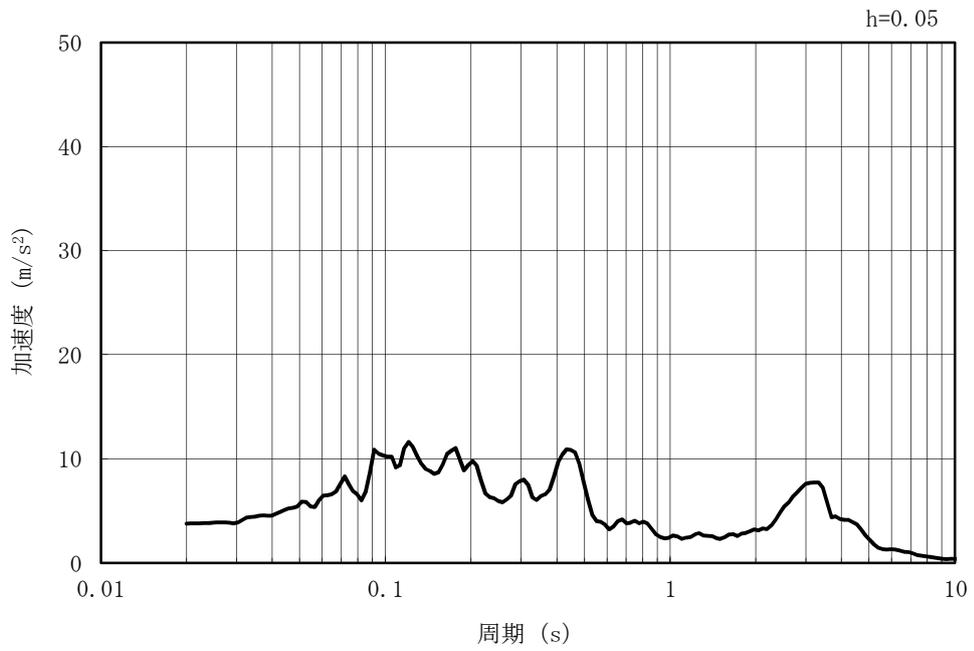


(b) 加速度応答スペクトル

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

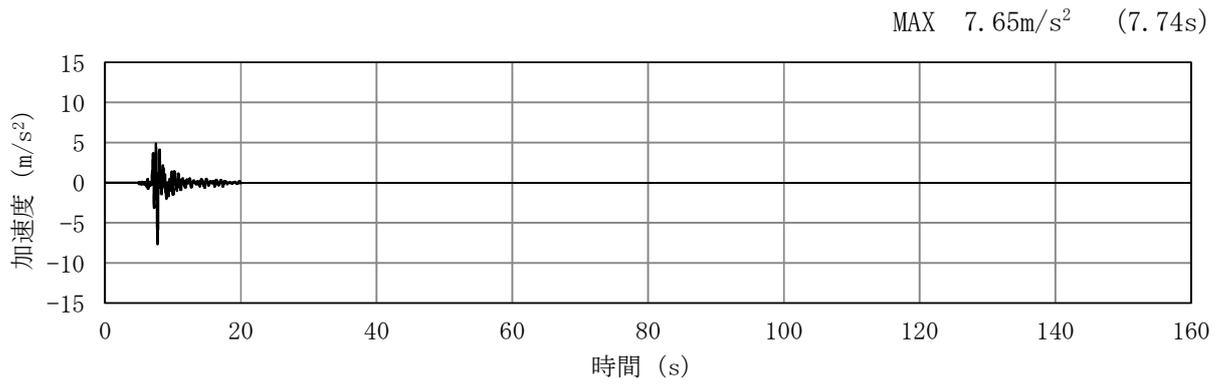


(a) 加速度時刻歴波形

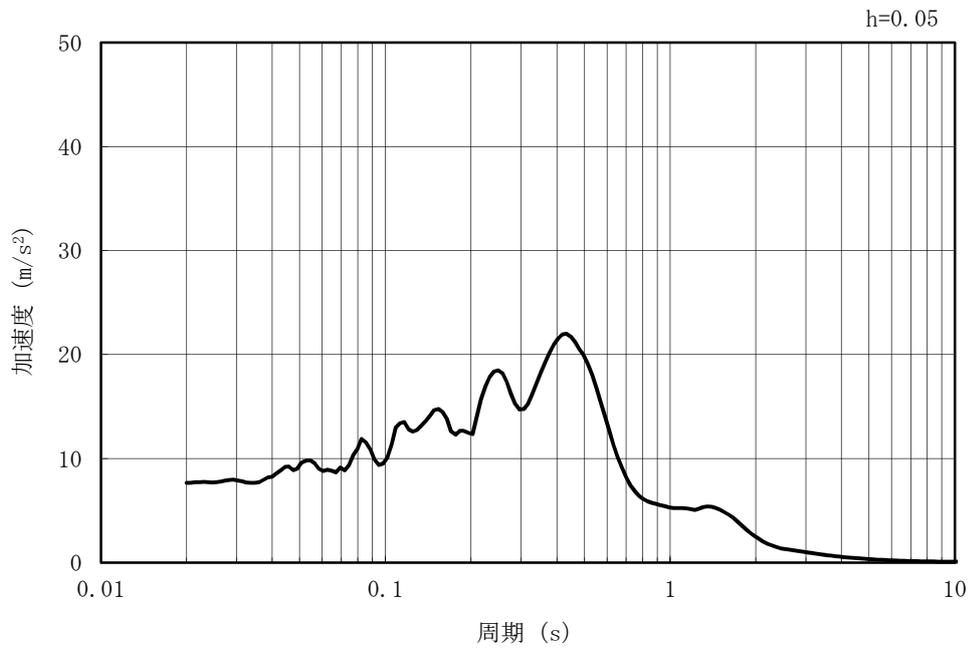


(b) 加速度応答スペクトル

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

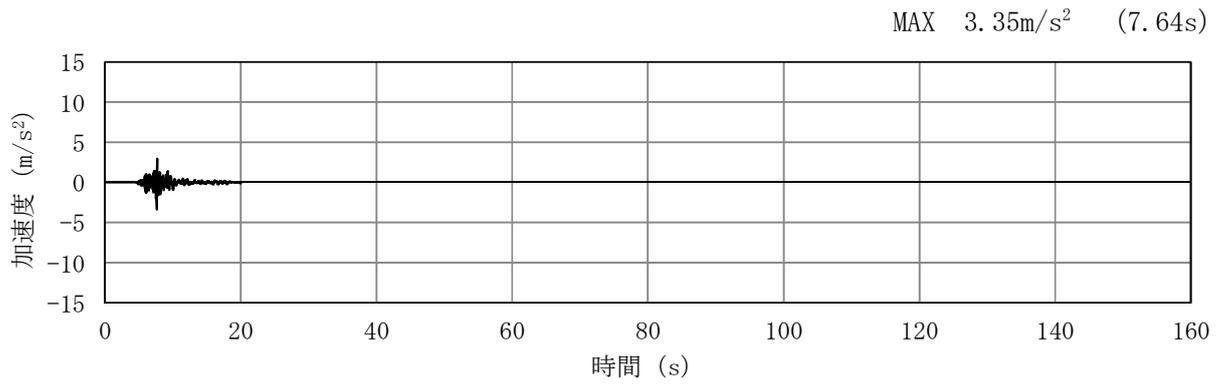


(a) 加速度時刻歴波形

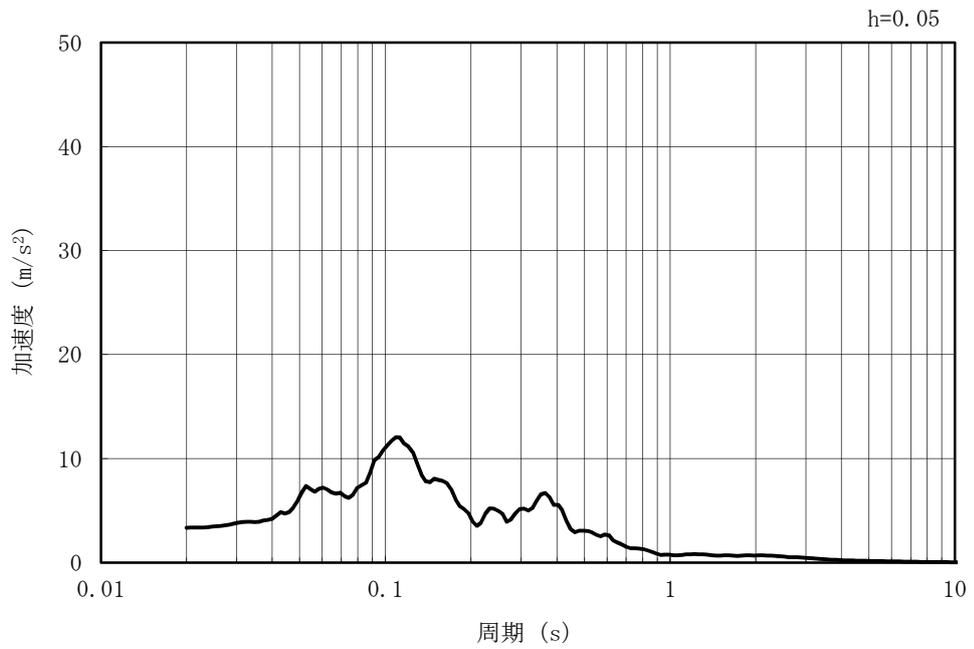


(b) 加速度応答スペクトル

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



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

海水貯留堰（6号機設備）の地震応答解析モデルを図3-8に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

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

(5) 地盤改良体のモデル化

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

(6) ジョイント要素の設定

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

(7) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の3次元効果を2次元モデルで考慮するため、地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設定する。

(8) 杭先端ばねの設定

地震時の杭先端における地盤と杭の相互作用を考慮するため、杭先端と地盤間に杭先端ばねを設定する。

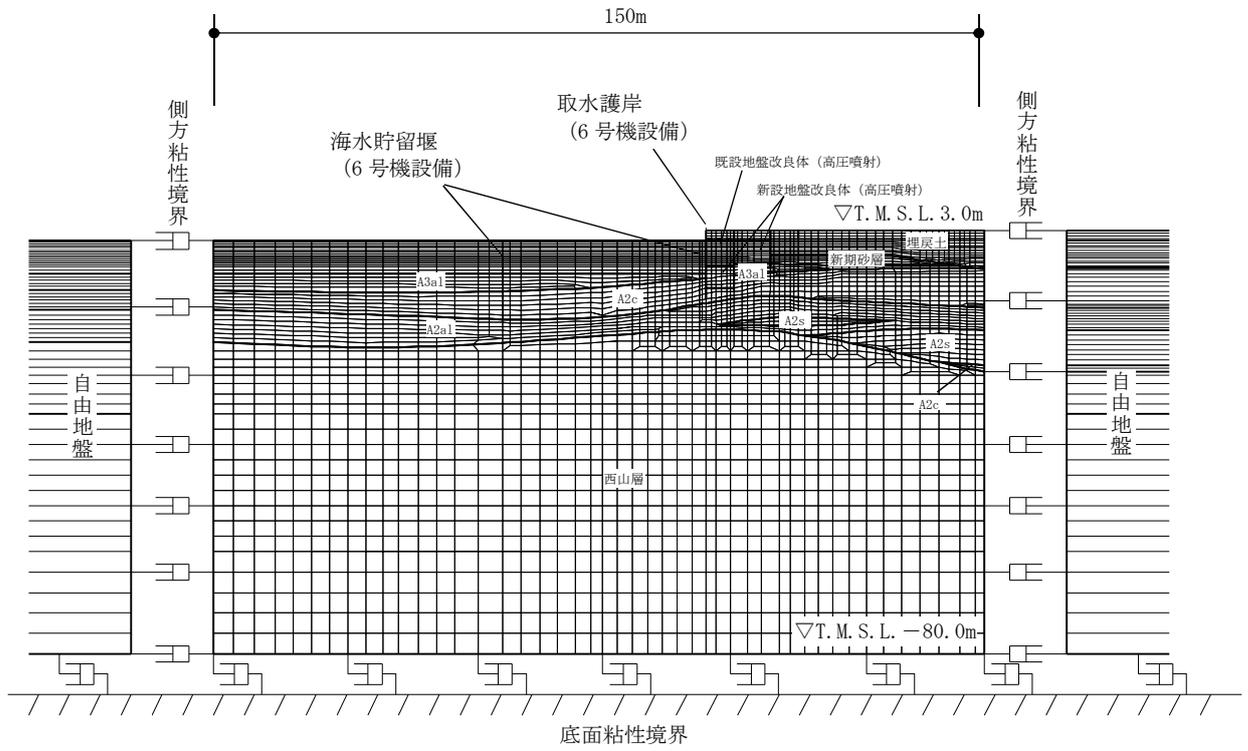


図 3-8 (1) 海水貯留堰 (6号機設備) の地震応答解析モデル (A-A断面)

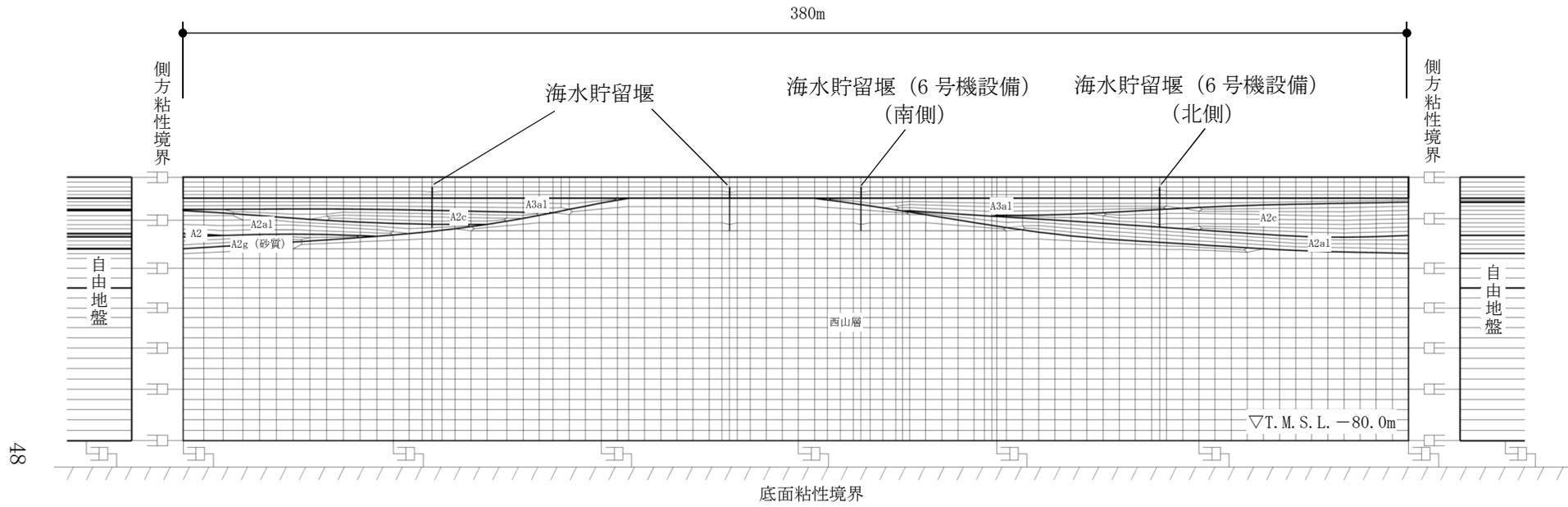


図3-8 (2) 海水貯留堰 (6号機設備) の地震応答解析モデル (B-B断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる使用材料を表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	腐食代	
鋼管矢板	φ1100mm (SKY490), t=14mm, 16mm	1.0mm	
前面鋼矢板	S P-IV型 (SY295), t=15.5mm	海側 (海底面以浅)	2.0mm
		海側 (海底面以深)	0.2mm
		陸側	0.2mm

表3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼管矢板	77.0	2.0×10 ⁵	0.3
前面鋼矢板	77.0	2.0×10 ⁵	0.3

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

地盤の解析用物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表3-6に示す。

表3-6 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設/新設		既設 地盤改良体		新設地盤改良体	
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.77	1.94~1.96*	1.81	
	間隙率 n	0.49	0.49	0.64	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	1.78×10 ⁶	5.54×10 ⁵	5.18×10 ⁵	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0	
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.05	0.05	0.05	
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	815	397	397	

注記*：地盤改良体の配置に応じて設定。

3.5.4 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地表面(T.M.S.L. 3.0m)として設定する。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、海水貯留堰（6号機設備）の構造上の特徴を踏まえて設定する。

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、鋼管矢板、止水ゴム取付部鋼材とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、鋼管矢板を支持する基礎地盤とする。

3.6.3 構造物の変形性評価

構造物の変形性評価に係る評価対象部位は、止水ゴムとする。

3.7 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の許容限界は、「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）」に基づき設定する。

鋼管矢板の許容限界を表3-7に示す。

表3-7 鋼管矢板の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
鋼管矢板 φ1100	SKY490	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度 τ_a	157

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の許容限界は、「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）」に基づき設定する。

止水ゴム取付部鋼材の許容限界を表3-8に示す。

また，止水ゴム取付部鋼材は，鋼管矢板及び前面鋼矢板に水中溶接にて設置する。止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）に対する許容限界は，「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）」，「鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会，平成12年3月）」及び「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009年版）」に基づき設定する。

止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界を表3-9に示す。

表3-8 止水ゴム取付部鋼材の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	SM490	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度 τ_a	157

表3-9 (1) 止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：鋼管矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材 (SM490) ／鋼管矢板 (SKY490)	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a (水中溶接部)	110

表3-9 (2) 止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：前面鋼矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材 (SM490) ／前面鋼矢板 (SY295)	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a (水中溶接部)	105

3.7.2 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鉛直力に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「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）」より設定する極限支持力に、「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6-2009（日本電気協会）」に基づく安全率を考慮した終局鉛直支持力とする。

基礎地盤の許容限界を表3-10に示す。

表3-10 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

項目	許容限界 (kN)		
	A-A断面	B-B断面	
終局鉛直支持力	3380	南側	北側
		19800	3370

3.7.3 構造物の変形性に対する許容限界

止水ゴムに対する許容限界は、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。

止水ゴム変形量の許容限界を表3-11に示す。

表3-11 止水ゴム変形量の許容限界

項目	許容限界	
変形量	δ_x	9.5cm以上*
	δ_y	11.3cm以上*
	δ_z	12.2cm以上*

注記*：



3.8 評価方法

海水貯留堰（6号機設備）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、「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図3-9に、せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図3-10に示す。

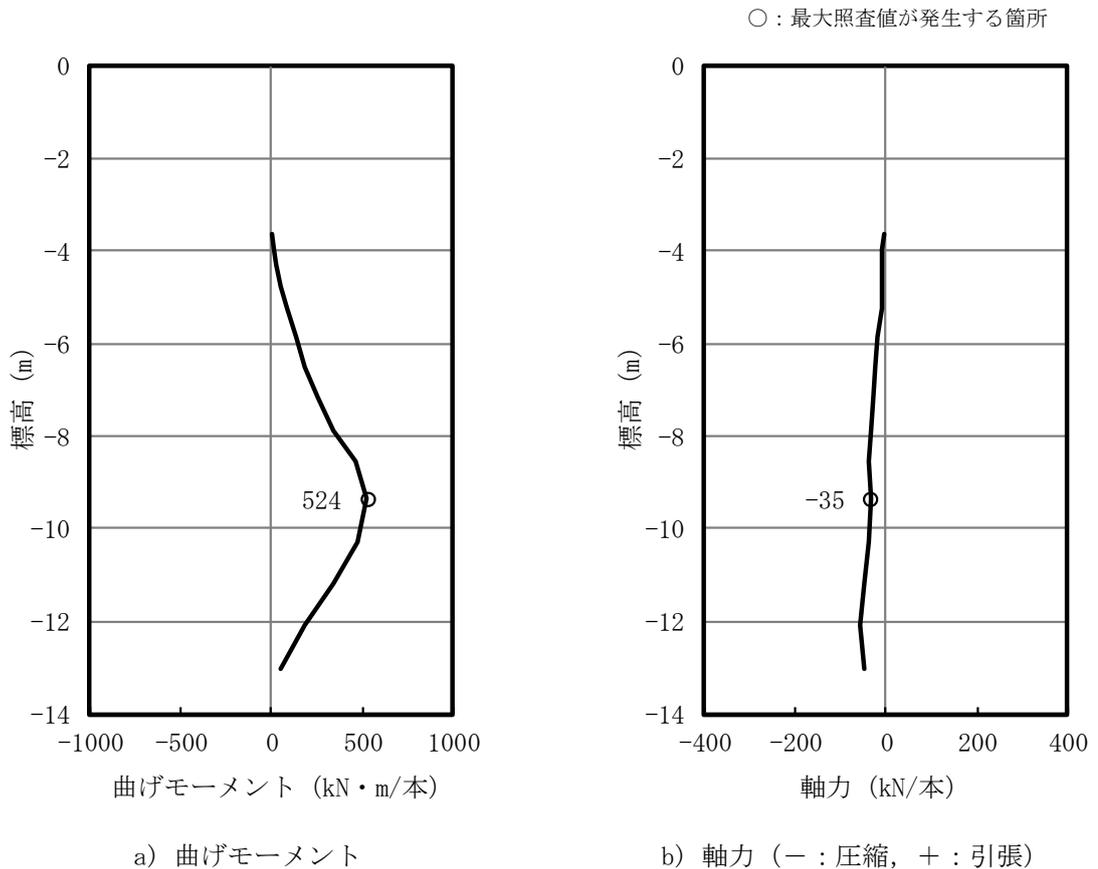


図 3-9 (1) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(A-A断面 Ss-2, t=22.61 s)

(解析ケース③：地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

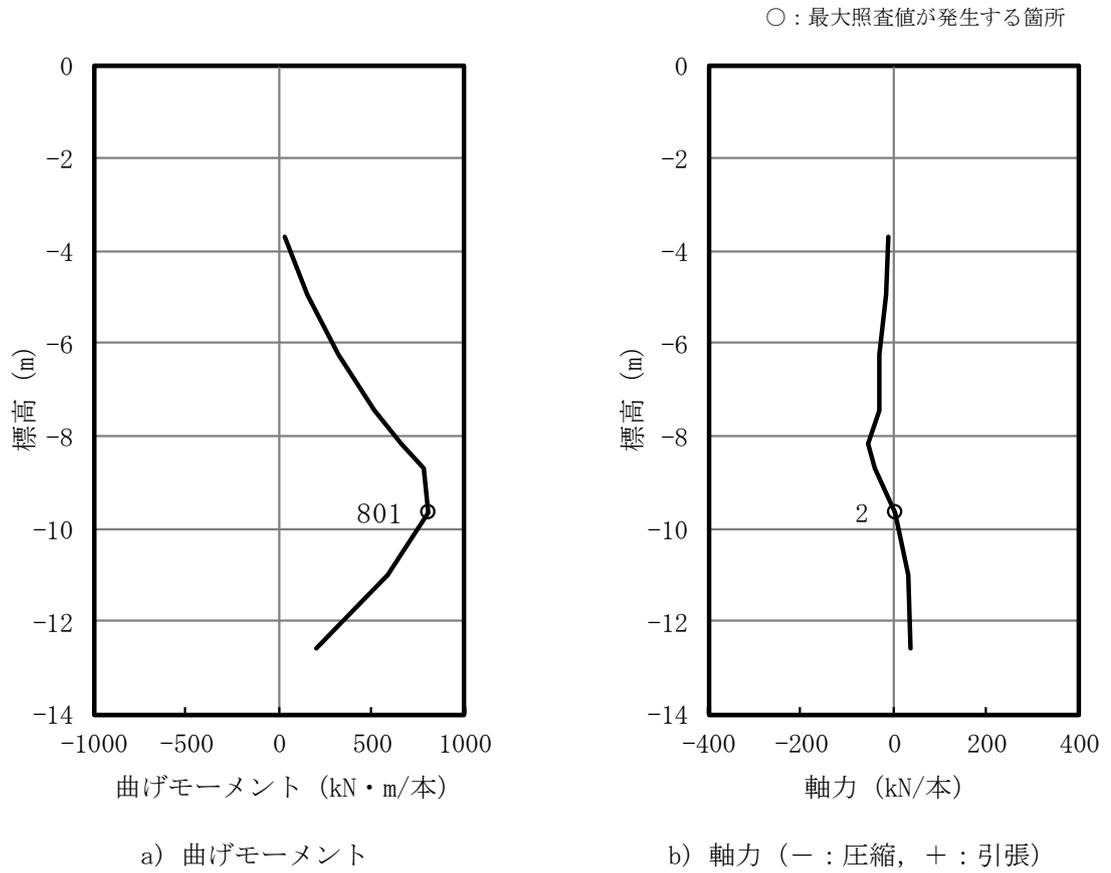


図 3-9 (2) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B断面 Ss-1++, t=5.87 s)
 (解析ケース③ : 地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

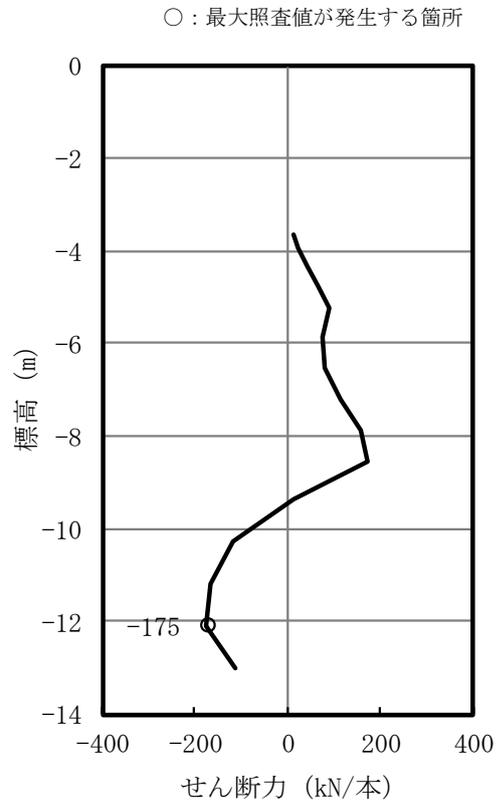


図 3-10 (1) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (A-A断面 Ss-2, $t=22.62$ s)
 (解析ケース③: 地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

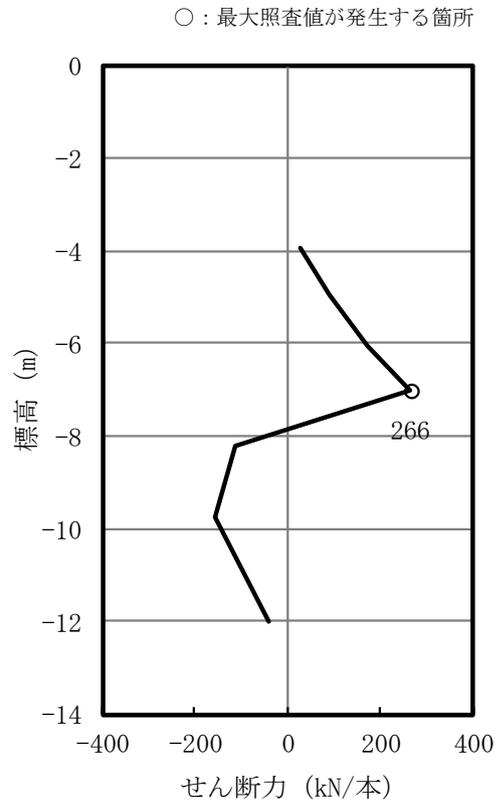


図 3-10 (2) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B断面 S_s-1++, t=5.67 s)
 (解析ケース③：地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

(2) 止水ゴム取付部鋼材

a. 構造概要

止水ゴム取付部鋼材の照査対象は、構成部材であるスキンプレートとリブプレートに加えて、発生荷重を負担する前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部とする。

止水ゴム取付部鋼材に関する使用材料を表 3-12 に、海水貯留堰接続部の鳥瞰図を図 3-11 に示す。また、止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図を図 3-12 に、止水ゴムの仕様を表 3-13 に、止水ゴムの構造図を図 3-13 に示す。

表 3-12 使用材料

部位	材料	諸元
止水ゴム取付部鋼材	スキンプレート	t=9 mm* (SM490)
	リブプレート	t=14 mm* (SM490)

注記*：断面照査においては海水と接する面に対して1mmの腐食代を考慮する。

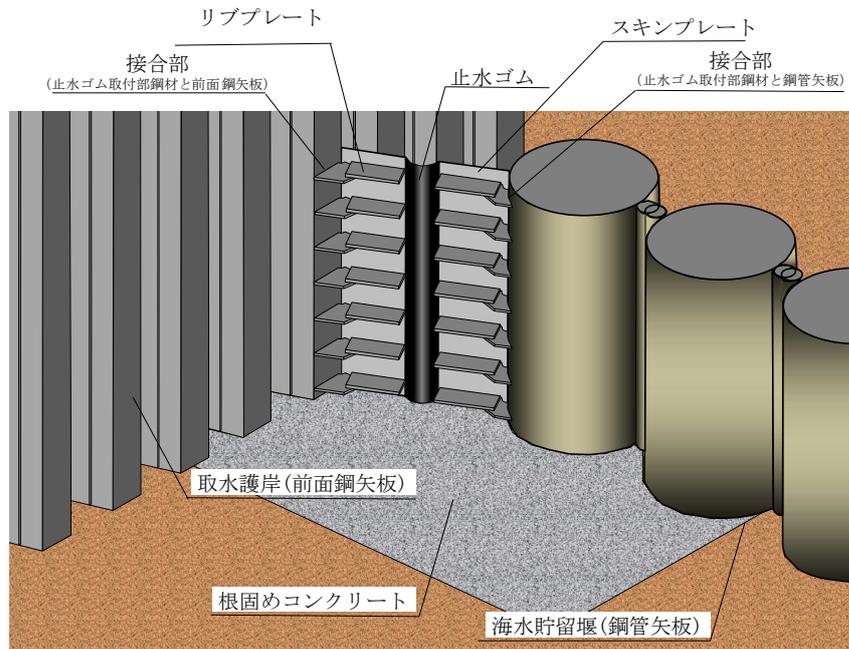
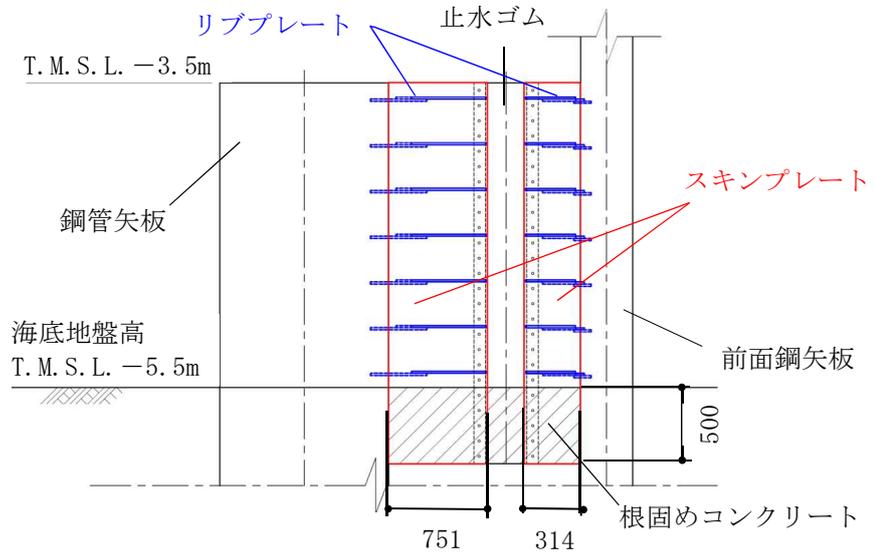
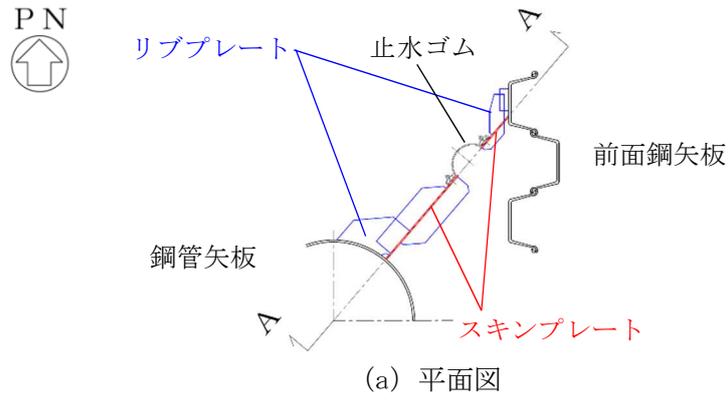
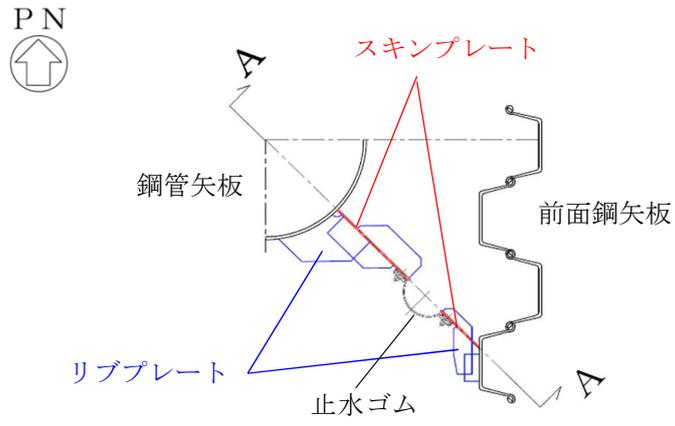


図 3-11 海水貯留堰接続部の鳥瞰図

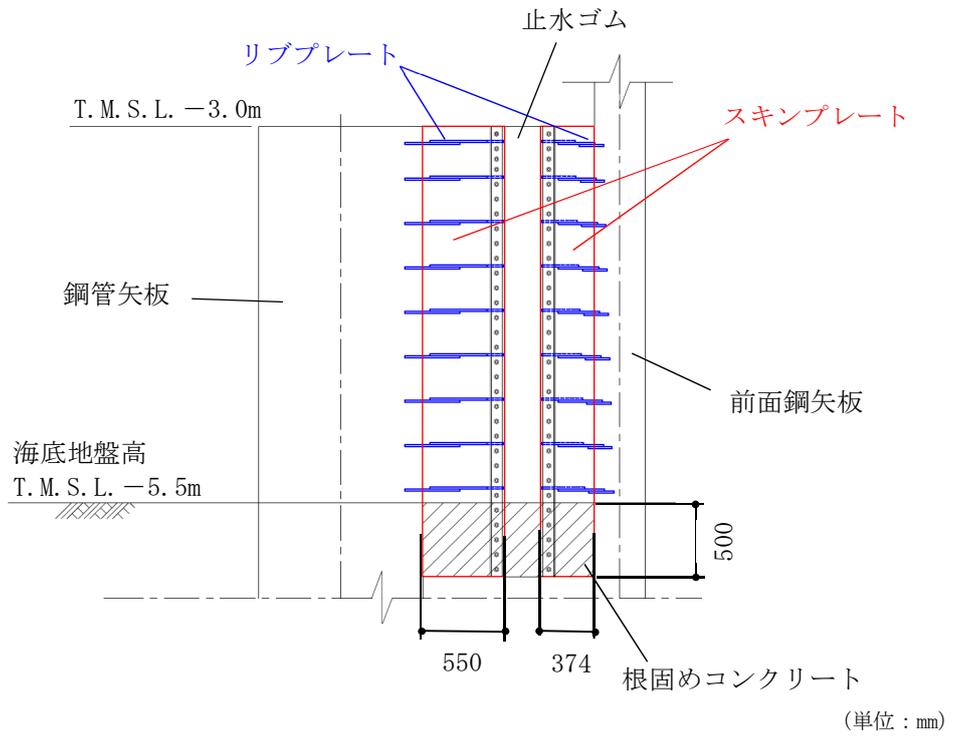


(単位：mm)

図 3-12 (1) 止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図 (南側)



(a) 平面図

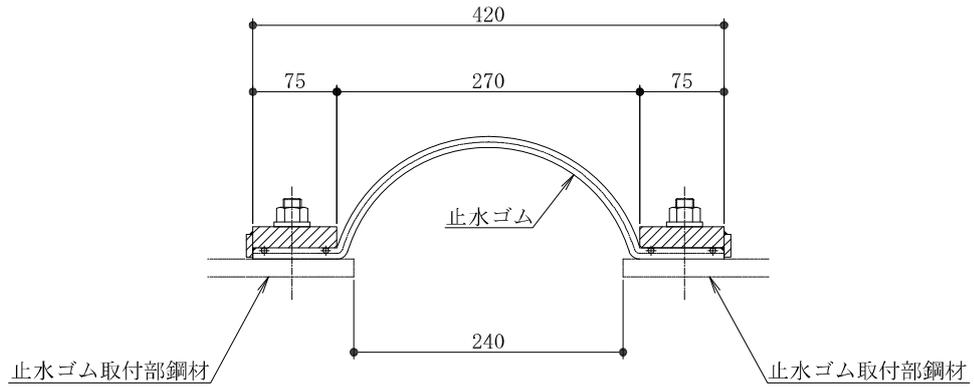


(b) A-A断面図

図 3-12 (2) 止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図 (北側)

表 3-13 止水ゴムの仕様

部位	材料	諸元
止水ゴム	クロロプレンゴム	t=10mm



(単位 : mm)

図 3-13 止水ゴムの構造図

b. 解析概要

地震時に発生する応答値は、ゴム作用力、基準地震動 S_s による慣性力及び動水圧を作用させた線形はり構造として解析を行う。

c. 止水ゴム取付部鋼材の解析方法

(a) スキンプレート

スキンプレートは、取水護岸（6号機設備）前面鋼矢板側と海水貯留堰（6号機設備）鋼管矢板側に設置する。スキンプレートの照査については、設置間隔 300mm のリブプレートで支持された両端固定梁として行う。

イ. モデル化

スキンプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3-14、照査断面を図 3-15 に示す。

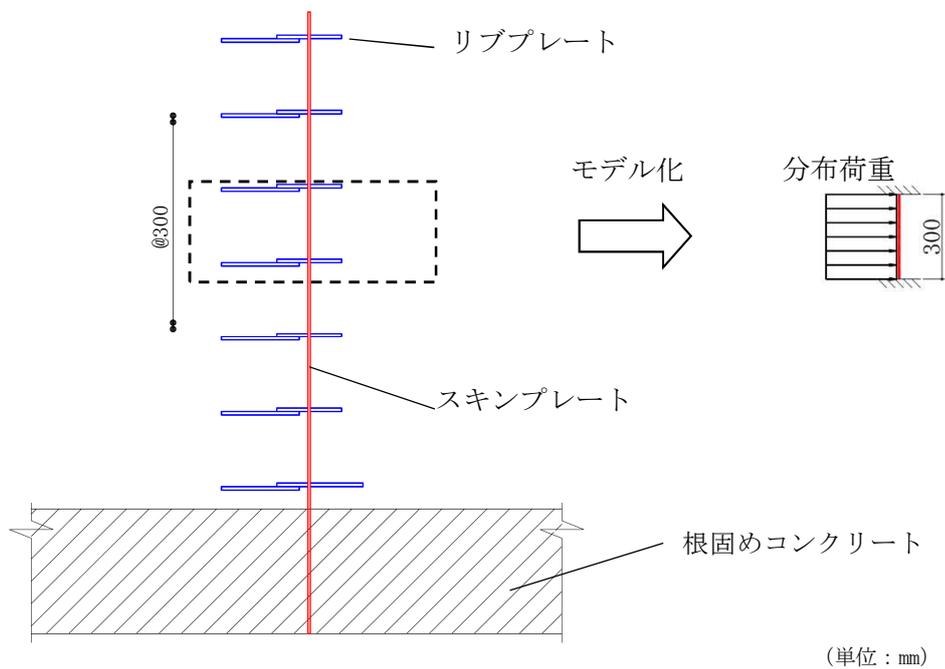
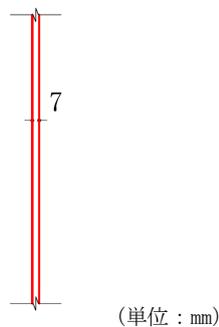


図 3-14 スキンプレート照査モデル図



注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3-15 スキンプレート照査断面

ロ. 断面照査方法

スキンプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot l \cdot L^2}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{q \cdot l \cdot L}{2}$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート間隔 (m)

l : スキンプレート奥行き (m)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

(b) リブプレート

リブプレートは、取水護岸（6号機設備）前面鋼矢板側と海水貯留堰（6号機設備）鋼管矢板側に設置する。リブプレートの照査については、止水ゴム取付部鋼材のリブプレート断面変化箇所に対して行う。

イ. モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデルを図 3-16 に示す。また、照査断面を図 3-17 に示す。

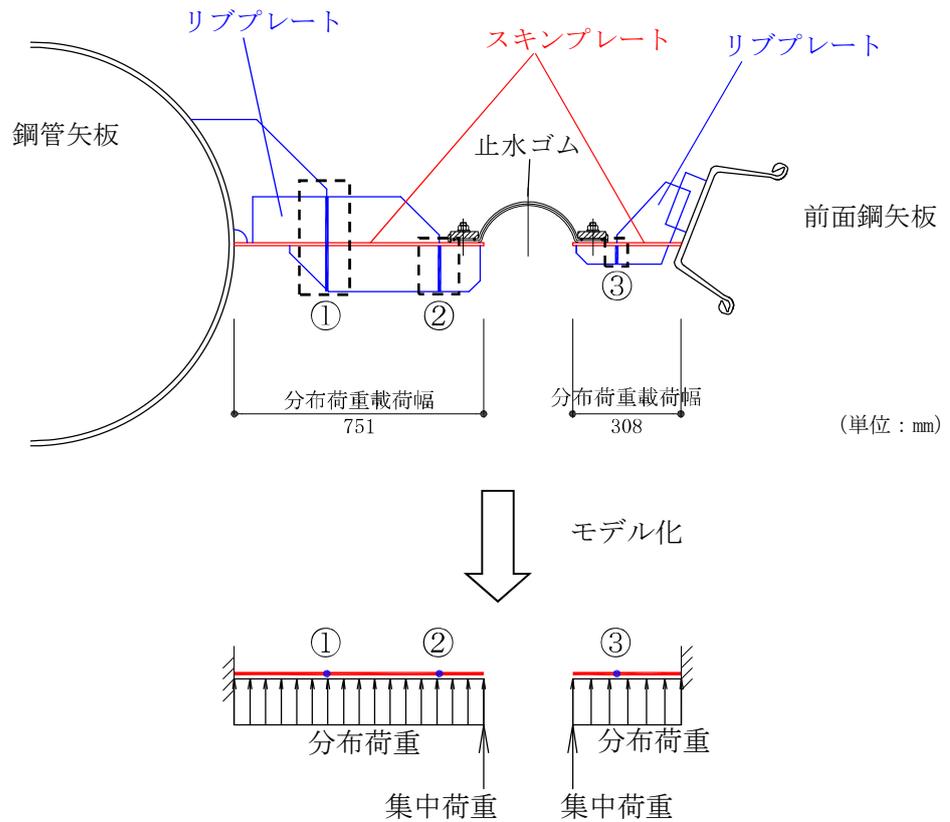
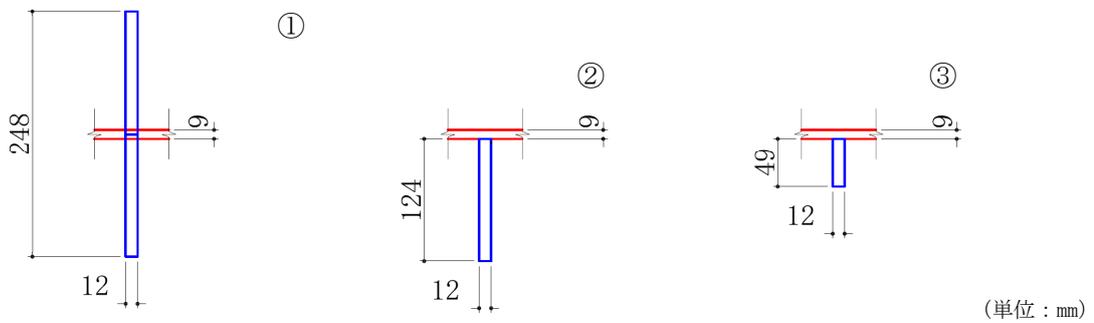


図 3-16 照査モデル図（リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板）



注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3-17 リブプレートの照査断面

ロ. 断面照査方法

リブプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot L^2 \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$

$$S_{\text{max}} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅=検討箇所でのリブプレート張り出し長 (m)

l : リブプレート間隔 (m)

P : 集中荷重 (kN/m)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

(c) 前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

止水ゴム取付部鋼材では、リブプレート部材と取水護岸（6号機設備）前面鋼矢板及び海水貯留堰（6号機設備）鋼管矢板との接合部において発生荷重を負担している。当該接合部は水中溶接により接合されるが、水中溶接部の許容限界については、「3.7 許容限界」にまとめる。

イ. モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデルを図3-18に示す。また、照査断面を図3-19に示す。

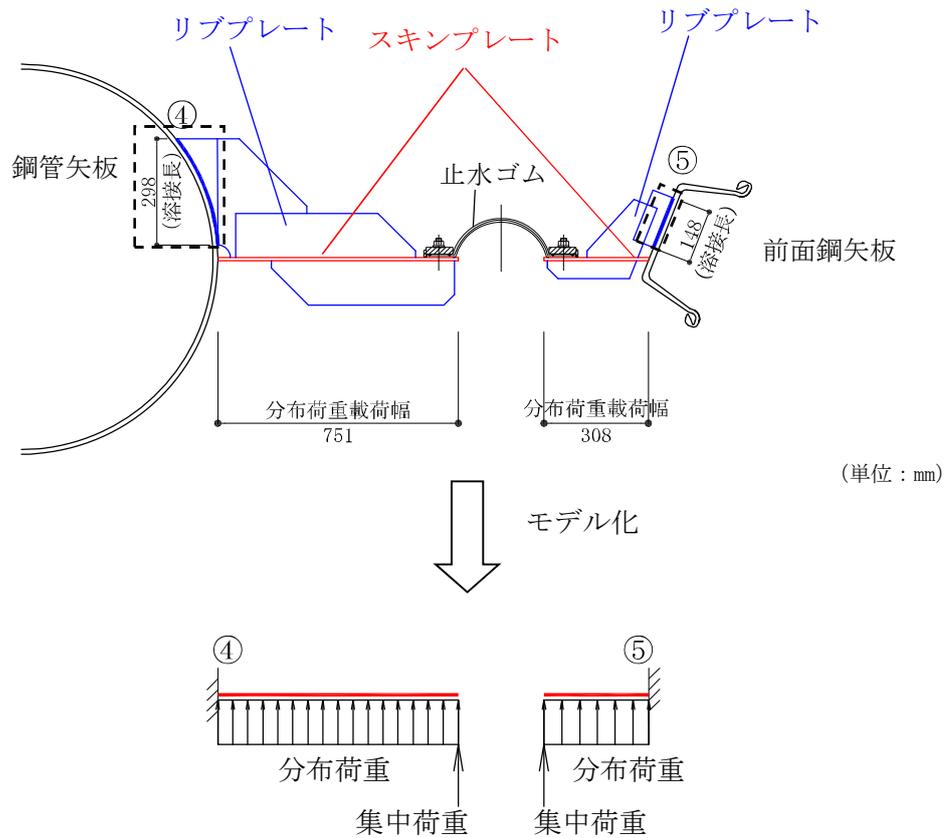
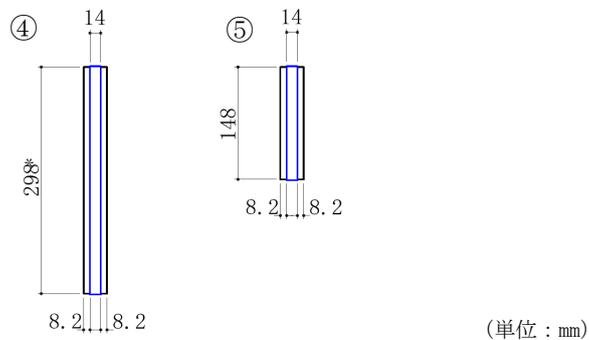


図3-18 照査モデル図（リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板接合部）



注記*：④部は鋼管矢板の外表面形状に沿って溶接しているが、保守的にプレート幅を溶接長さとして扱う。

図3-19 接合部の照査断面（照査断面寸法（溶接長）は腐食代を考慮）

ロ. 断面照査方法

リブプレートと取水護岸（6号機設備）前面鋼矢板の接合部及びリブプレートと海水貯留堰（6号機設備）鋼管矢板の接合部に発生する断面力算定式，部材の断面性能算出式を以下に記す。また，リブプレートと取水護岸（6号機設備）前面鋼矢板の接合部は，発生せん断力に対して角度を有していることから，図 3-20 に示すように角度補正を行う。

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2 \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$

$$S_{max} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

リブプレートと前面鋼矢板接合部

$$S = S_{max} \cdot \cos \theta$$

$$N = S_{max} \cdot \sin \theta$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長 (m)

l : リブプレート間隔 (m)

P : 集中荷重 (kN/m)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

S : 最大発生せん断力に対する分力（せん断力）(kN)

N : 最大発生せん断力に対する分力（引張力）(kN)

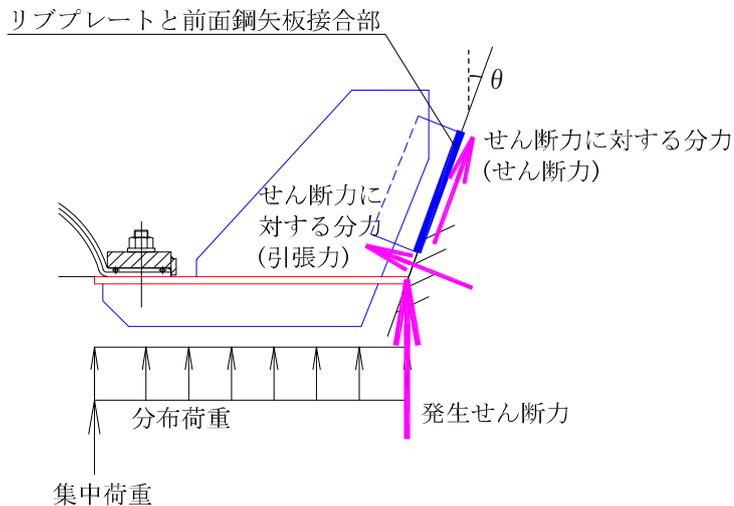


図 3-20 リブプレートと前面鋼矢板接合部におけるせん断力の補正について

d. 評価方法

止水ゴム取付部鋼材の耐震評価は、曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.7 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。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで、

- σ : 曲げモーメント及び軸力より算定した応力 (N/mm²)
- M : 最大曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- N : 軸力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \cdot \frac{S}{A}$$

ここで、

- τ : せん断力より算定したせん断応力 (N/mm²)
- S : せん断力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)
- κ : せん断応力の分布係数 ($\kappa = 1.5$)

3.8.2 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、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

3.8.3 構造物の変形性評価

(1) 相対変位の考え方

止水ゴムの変形性評価に用いる地震時の構造物間の相対変位は、地震時の解析ケースで求められる最大変位の最大値とする。

なお、津波時及び重畳時の構造物間の相対変位に対する止水ゴムの変形性評価は、V-3-別添 3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」において実施するものとする。

(2) 評価方法

止水ゴムの変位量は、海水貯留堰（6号機設備）（護岸近傍）と取水護岸（6号機設備）間の水平（ δ_x ）及び鉛直方向（ δ_y ）と、海水貯留堰（6号機設備）下端と海水貯留堰（6号機設備）天端間の水平方向（ δ_z ）の相対変位とする。地震応答解析モデル（A-A断面）を図3-21に、変位方向の定義を図3-22から図3-24に示す。これら3方向の変位量が許容限界以下であることを確認する。地震時における変位量の評価は、各変位方向の最大値を用いて評価する。

δ_x : X方向の水平変位 (cm)

δ_y : Y方向の鉛直変位 (cm)

δ_z : Z方向の水平変位 (cm)

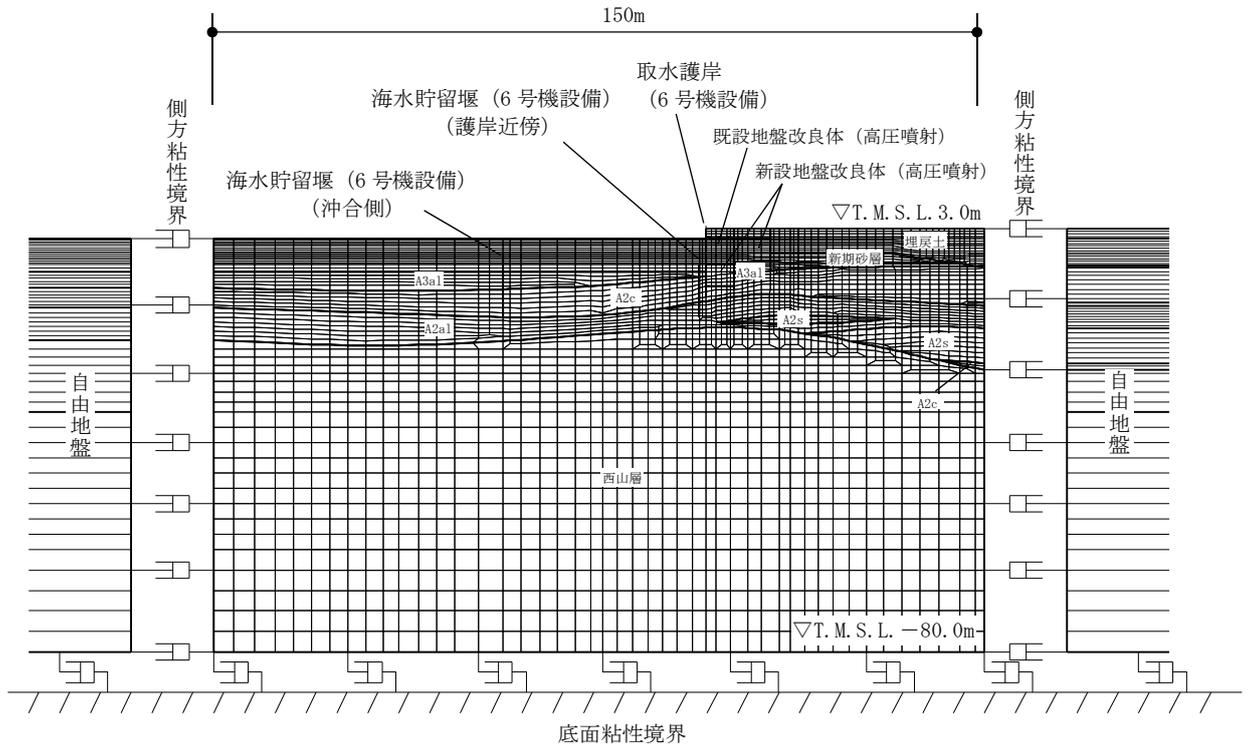


図 3-21 海水貯留堰 (6号機設備) の地震応答解析モデル

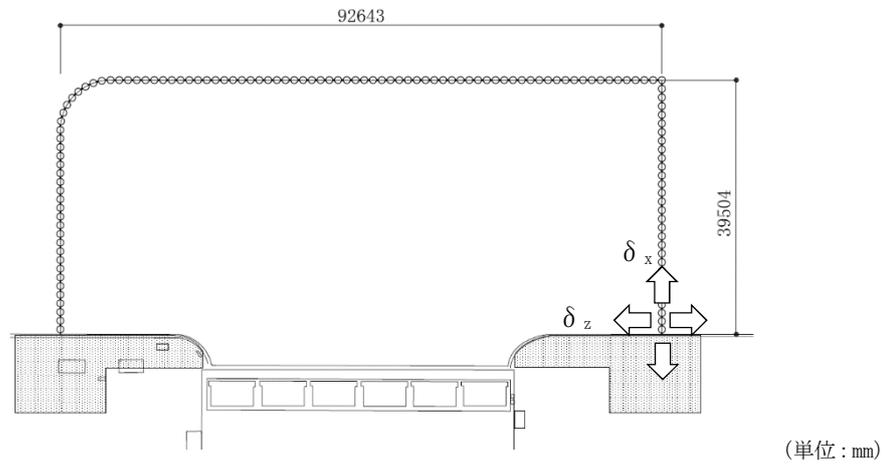


図 3-22 変位方向の定義 (δ_x , δ_z 平面図)

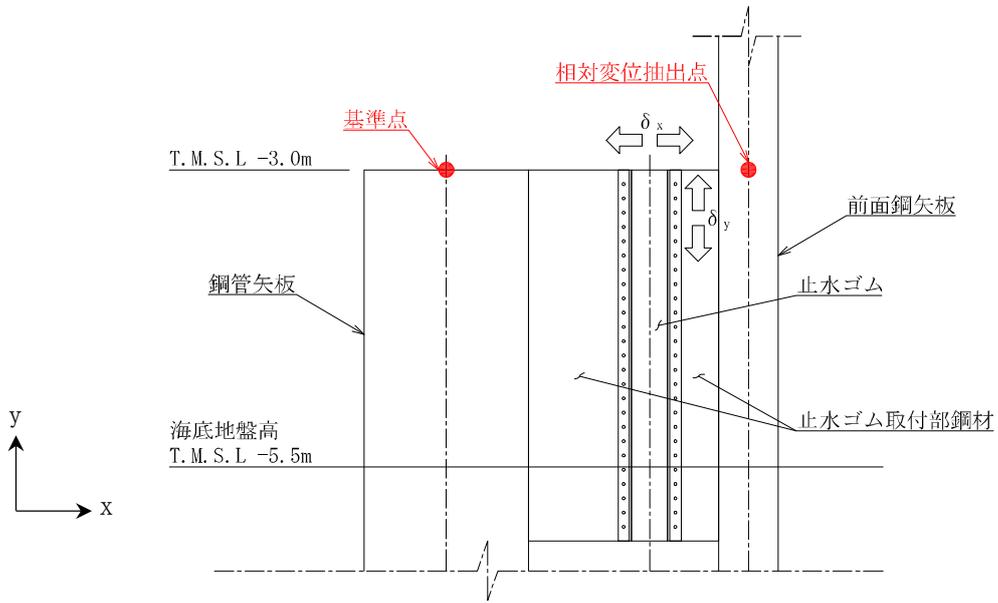


図 3-23 変位方向の定義 (δ_x , δ_y 断面図)

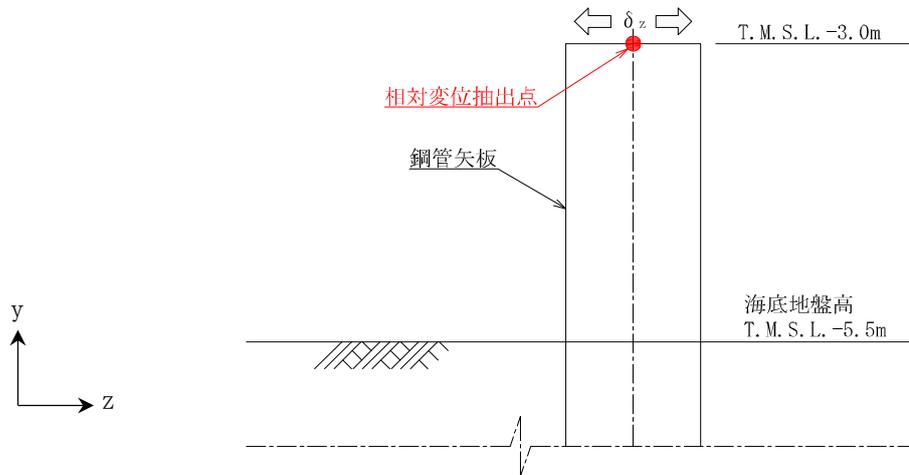


図 3-24 変位方向の定義 (δ_z 断面図)

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

4.1.1 鋼管矢板の健全性評価

鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-1 に、せん断力照査における最大照査値を表 4-2 にそれぞれ示す。鋼管矢板の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 (1) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-2	524	35	44.9	277	0.17

表 4-1 (2) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1++	801	2	59.0	277	0.22

表 4-2 (1) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-2	175	8	157	0.06

表 4-2 (2) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1++	266	13	157	0.09

4.1.1 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の作用断面力及び断面照査結果を表 4-3 から表 4-8 に示す。止水ゴム取付部鋼材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

(1) スキンプレート

表 4-3 作用する断面力

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
0.981	—	20

表 4-4 断面照査結果

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	121	277	0.44
せん断力	5	157	0.04

(2) リブプレート（海水貯留堰（6号機設備）（南側） 検討断面③）

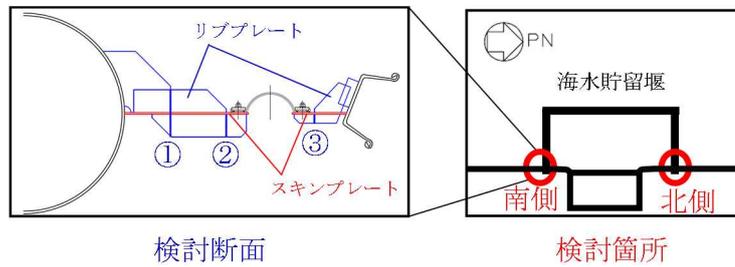
リブプレートの最大照査箇所は、海水貯留堰（6号機設備）（南側）の検討断面③である。

表 4-5 作用する断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
南側	③	0.998	—	11

表 4-6 断面照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント	南側	③	208	277	0.76
せん断力	南側	③	29	157	0.19



検討断面

検討箇所

照査対象箇所

(3) 前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

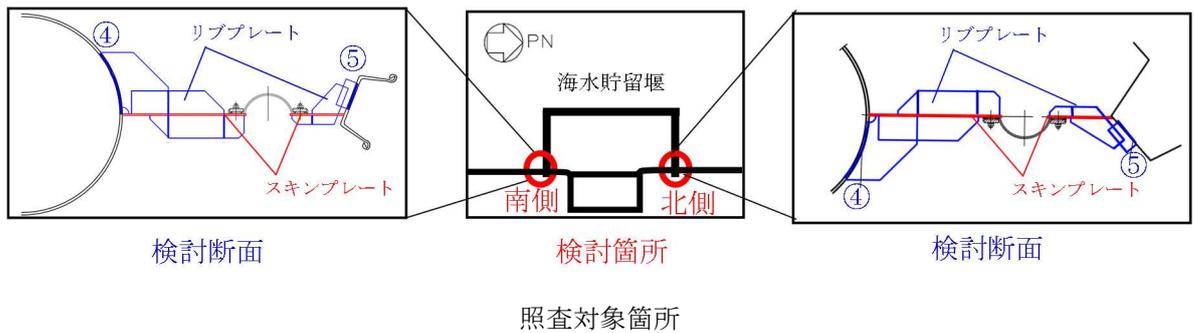
接合部における最大照査箇所は、曲げモーメント及び軸力に対する照査は海水貯留堰（6号機設備）（北側）の検討断面⑤（リブプレートと前面鋼矢板接合部）、せん断力に対する照査は海水貯留堰（6号機設備）（南側）の検討断面④（リブプレートと鋼管矢板接合部）である。

表 4-7 作用する断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
北側	⑤	4.45	13	15
南側	④	15.6	—	36

表 4-8 断面照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント, 軸力	北側	⑤	79.7	105	0.76
せん断力	南側	④	12	110	0.11



4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持力に対する最大鉛直力と終局鉛直支持力の比較結果を表4-9に示す。

海水貯留堰（6号機設備）の杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力以下であることを確認した。

表4-9(1) 基礎地盤の支持力に対する最大鉛直力と終局鉛直支持力の比較結果（A-A断面）

解析 ケース	地震動	最大鉛直力 (kN)	終局鉛直支持力 (kN)
①	Ss-1+-	20	3380

表4-9(2) 基礎地盤の支持力に対する最大鉛直力と終局鉛直支持力の比較結果（B-B断面）

評価対象	解析 ケース	地震動	最大鉛直力 (kN)	終局鉛直支持力 (kN)
南側	①	Ss-1--	19	19800
北側	①	Ss-1--	23	3370

4.3 構造物の変形性に対する評価結果

止水ゴムの発生変形量（最大相対変位）と許容限界の比較結果を表4-10に示す。

止水ゴムの発生変形量が許容限界以下であることを確認した。

表4-10 止水ゴムの発生変形量（最大相対変位）と許容限界の比較結果

変位	解析 ケース	地震動	発生変形量 (最大相対変位) (cm)	許容限界* (cm)
δ_x	①	Ss-7	6.9	9.5以上
δ_y	①	Ss-5	8.1	11.3以上
δ_z	③	Ss-1++	10.7	12.2以上

注記* :

V-2-10-3-1-3-2 取水護岸（6号機設備）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	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 地盤	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	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	13
3.3.2 荷重	13
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	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 地盤及び地盤改良体の物性値	33
3.5.4 地下水位	34
3.6 評価対象部位	34
3.6.1 構造部材の健全性評価	34
3.6.2 構造物の変形性評価	34
3.7 許容限界	34
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	34
3.7.2 構造物の変形性に対する許容限界	34
3.8 評価方法	35
3.8.1 構造部材の健全性評価	35
3.8.2 構造物の変形性評価	37
4. 耐震評価結果	38
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	38
4.2 構造物の変形性に対する評価結果	38

1. 概要

本資料は、V-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、取水護岸（6号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

取水護岸（6号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び構造物の変形評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

取水護岸（6号機設備）の位置図を図2-1に示す。

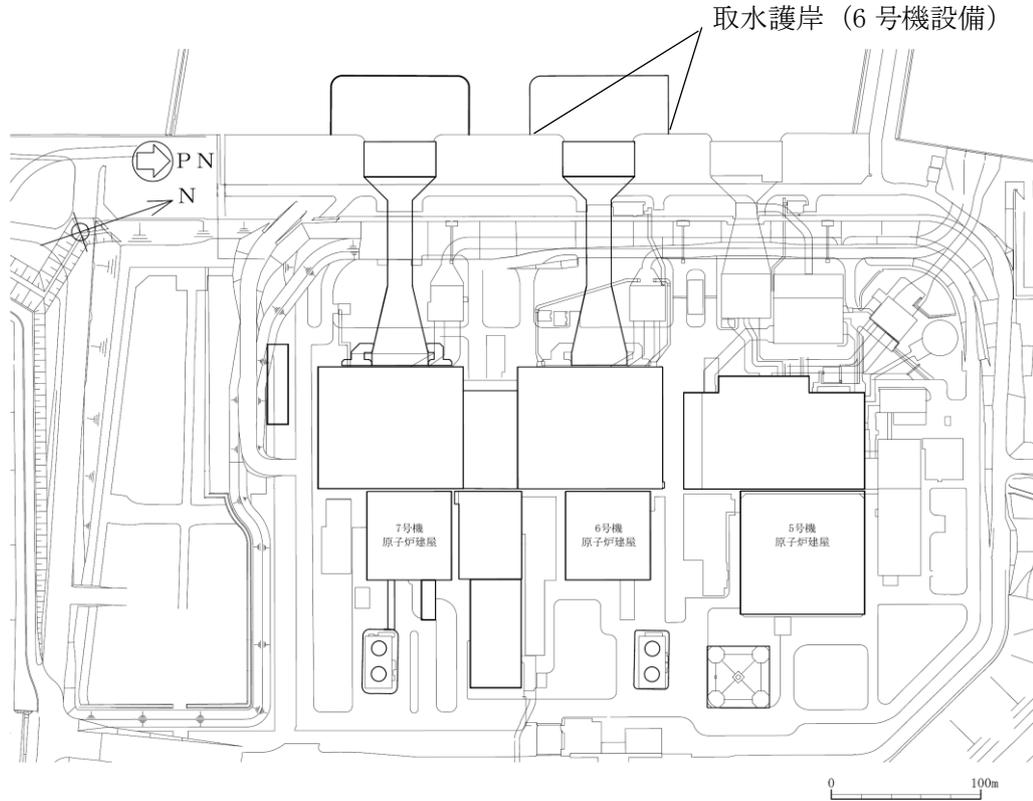


図2-1 (1) 取水護岸（6号機設備）の位置図（全体平面図）

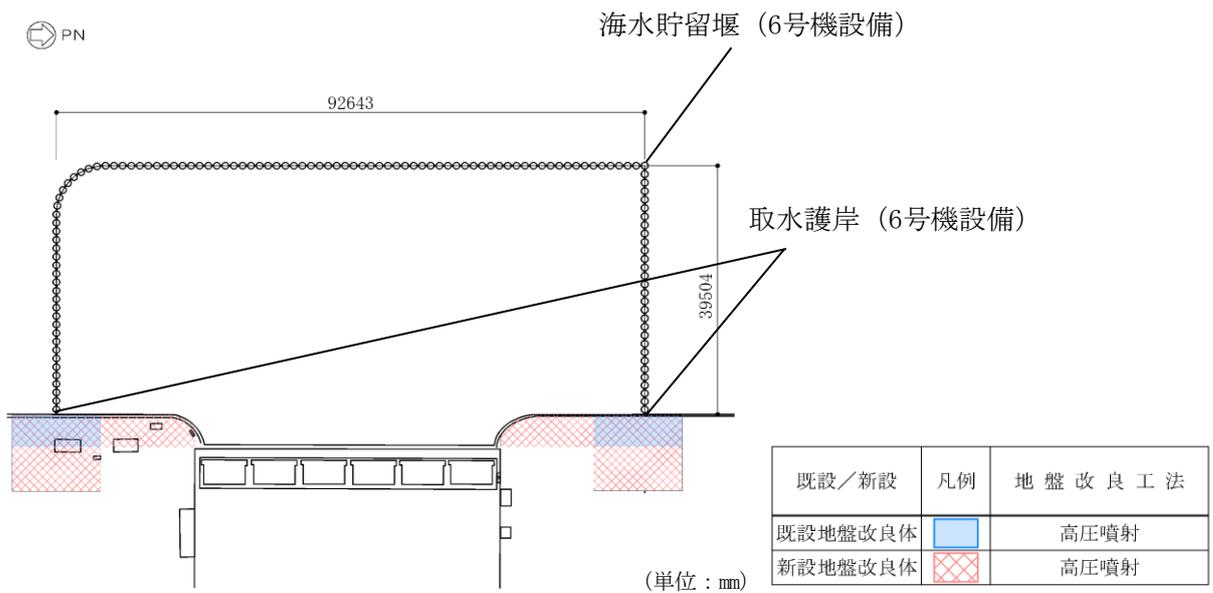


図2-1 (2) 取水護岸（6号機設備）の位置図（拡大図）

2.2 構造概要

取水護岸（6号機設備）は、海水貯留堰（6号機設備）の構成部材である取水護岸（6号機設備）接続部のうち、止水ゴム取付部鋼材と接続する前面鋼矢板で構成される。前面鋼矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。

取水護岸（6号機設備）の平面図を図2-2に、標準断面図を図2-3にそれぞれ示す。

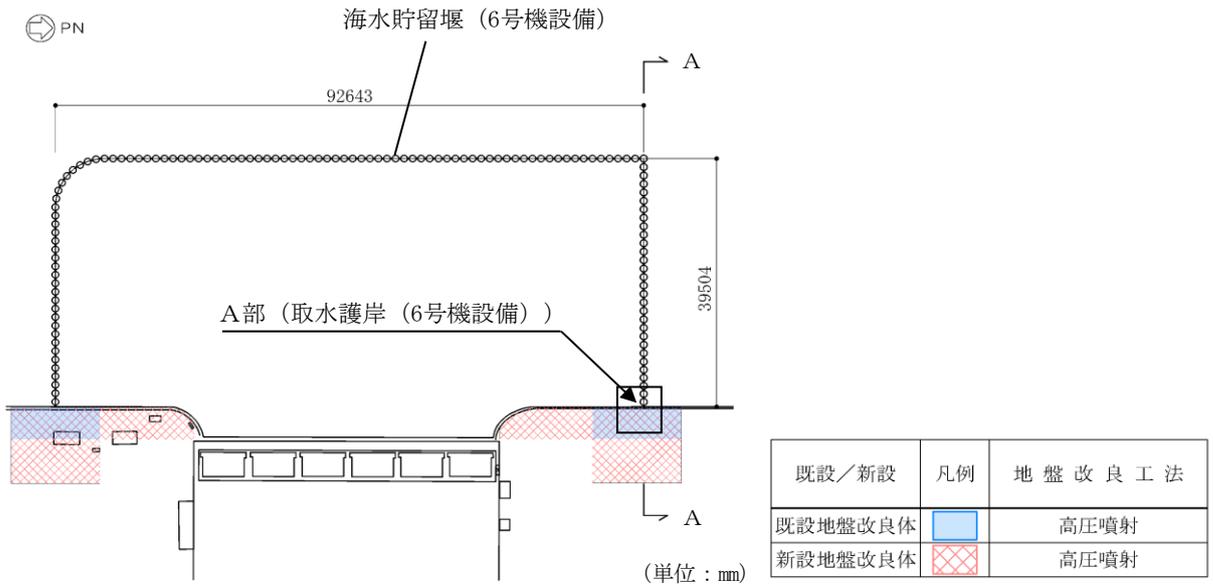


図2-2 (1) 取水護岸（6号機設備）の平面図

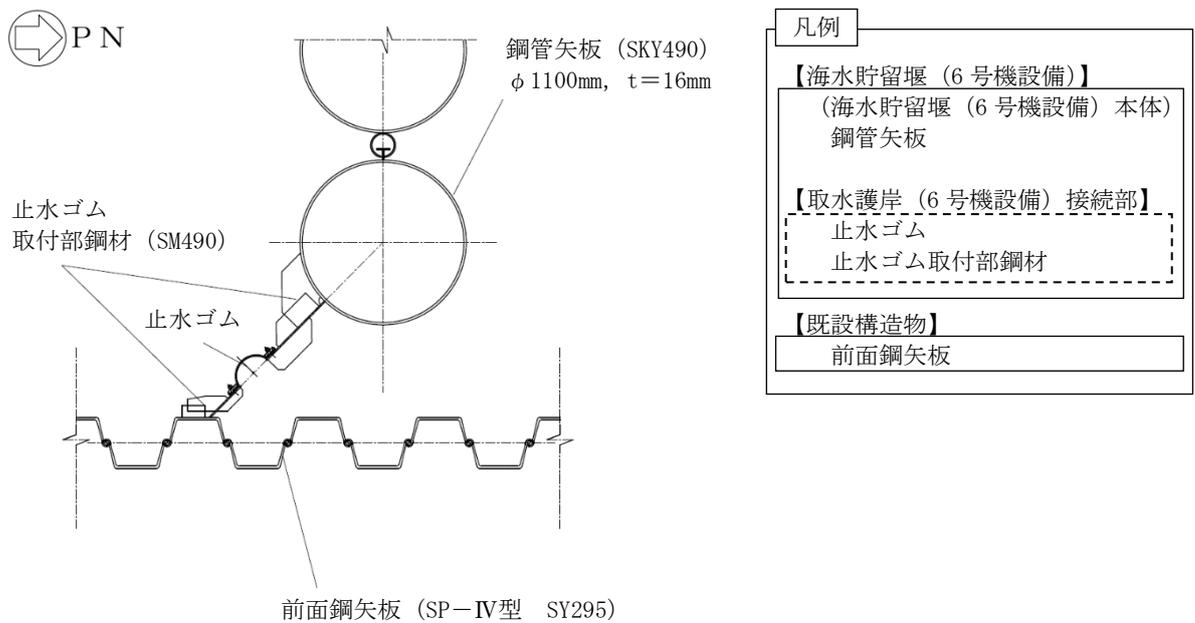


図2-2 (2) 取水護岸（6号機設備）の平面図（A部拡大）

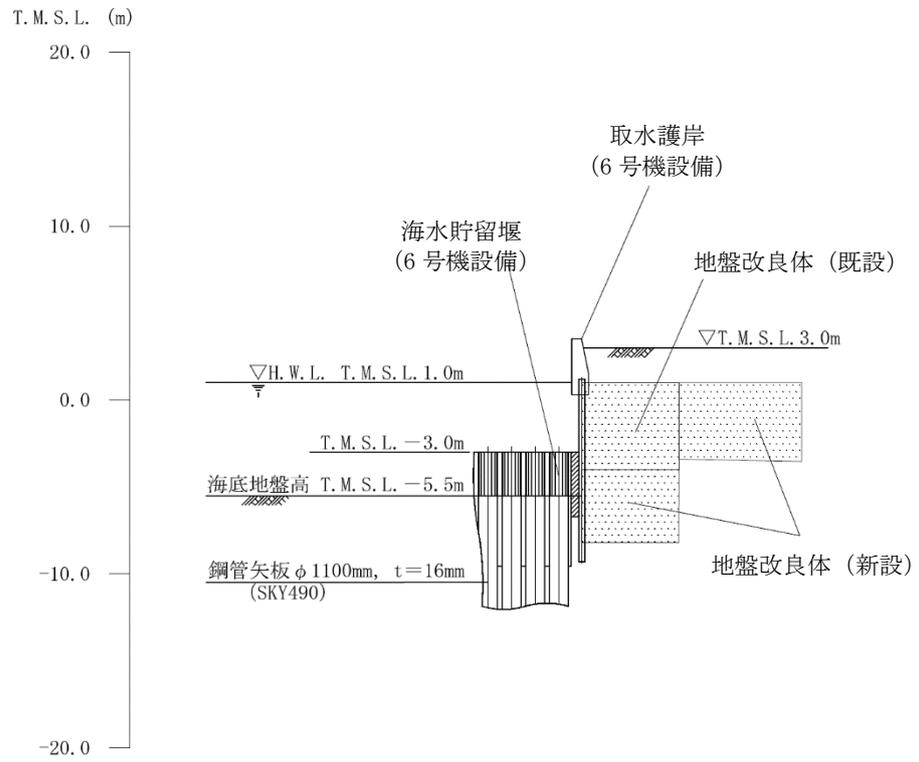


図 2-3 取水護岸 (6号機設備) の標準断面図 (A-A断面)

2.3 評価方針

取水護岸（6号機設備）は、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物に分類される。

取水護岸（6号機設備）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

取水護岸（6号機設備）の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

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

構造部材の健全性評価及び構造物の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。

構造部材の健全性評価については、前面鋼矢板に発生する曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。許容限界については、取水護岸（6号機設備）が常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物に分類されることから、全塑性モーメントによる確認が基本であるが、設計上の配慮として、降伏モーメントとする。

構造物の変形性評価については、前面鋼矢板及び海水貯留堰（6号機設備）の変形量を算定し、海水貯留堰（6号機設備）との離隔が確保されることを確認した許容限界以下であることを確認する。なお、海水貯留堰（6号機設備）の変形量を考慮した止水ゴムの変形量についての照査は、V-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」及び、V-3-別添3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」において実施する。

取水護岸（6号機設備）の耐震評価フローを図2-4に示す。

なお、取水護岸（6号機設備）は、断面変化が無く直線状に設置される矢板構造物であり、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表2-1 取水護岸（6号機設備）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	前面鋼矢板	発生応力が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	前面鋼矢板	発生変形量が許容限界以下であることを確認	海水貯留堰（6号機設備）との離隔が確保されることを確認した変形量

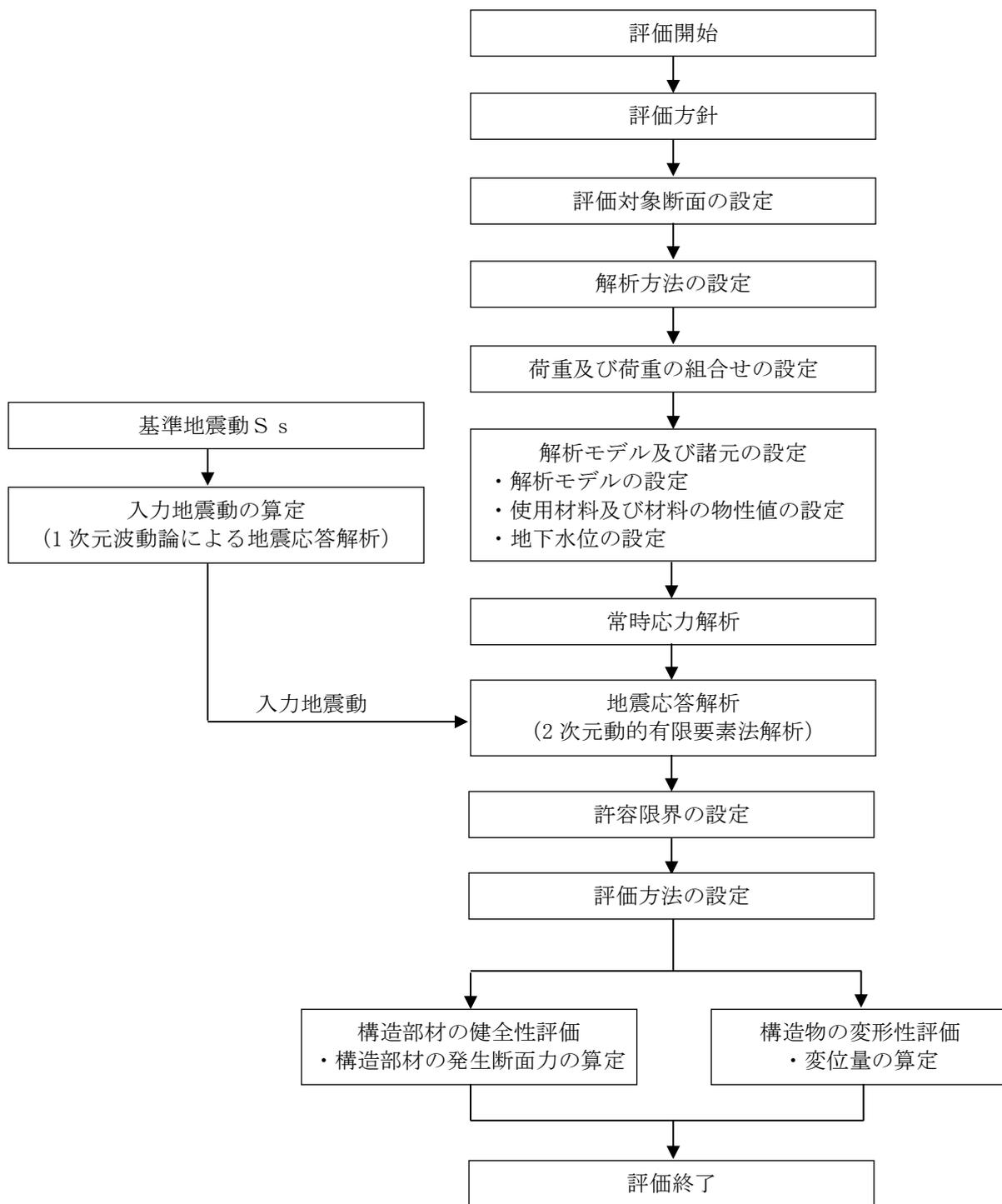


図 2-4 取水護岸 (6 号機設備) の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- (1) 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）
- (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）
- (4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007版）
- (5) 港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）
- (6) 鋼矢板Q&A（鋼管杭・鋼矢板技術協会 平成29年3月）
- (7) 鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会，平成12年3月）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

評価対象断面は、取水護岸（6号機設備）が海水貯留堰（6号機設備）の間接支持構造物であることから、V-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」と同様とし、海水貯留堰（6号機設備）との接続部を通る断面であるA-A断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

取水護岸（6号機設備）の評価対象断面位置を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は図3-1のA-A断面とする。評価対象断面図を図3-2に示す。

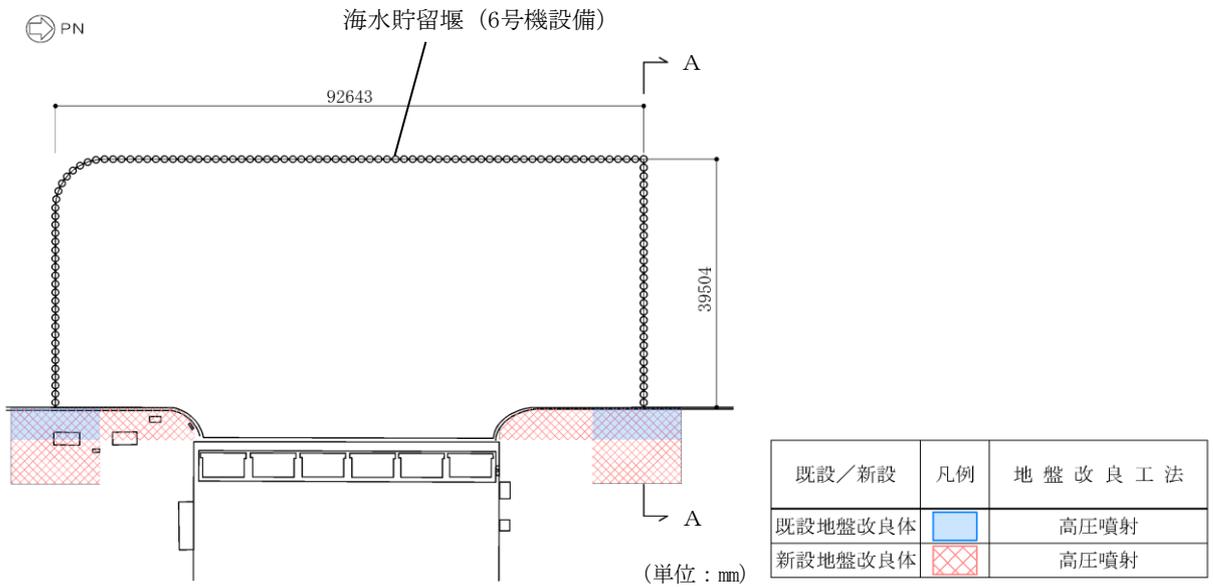


図3-1 取水護岸（6号機設備）の評価対象断面位置図

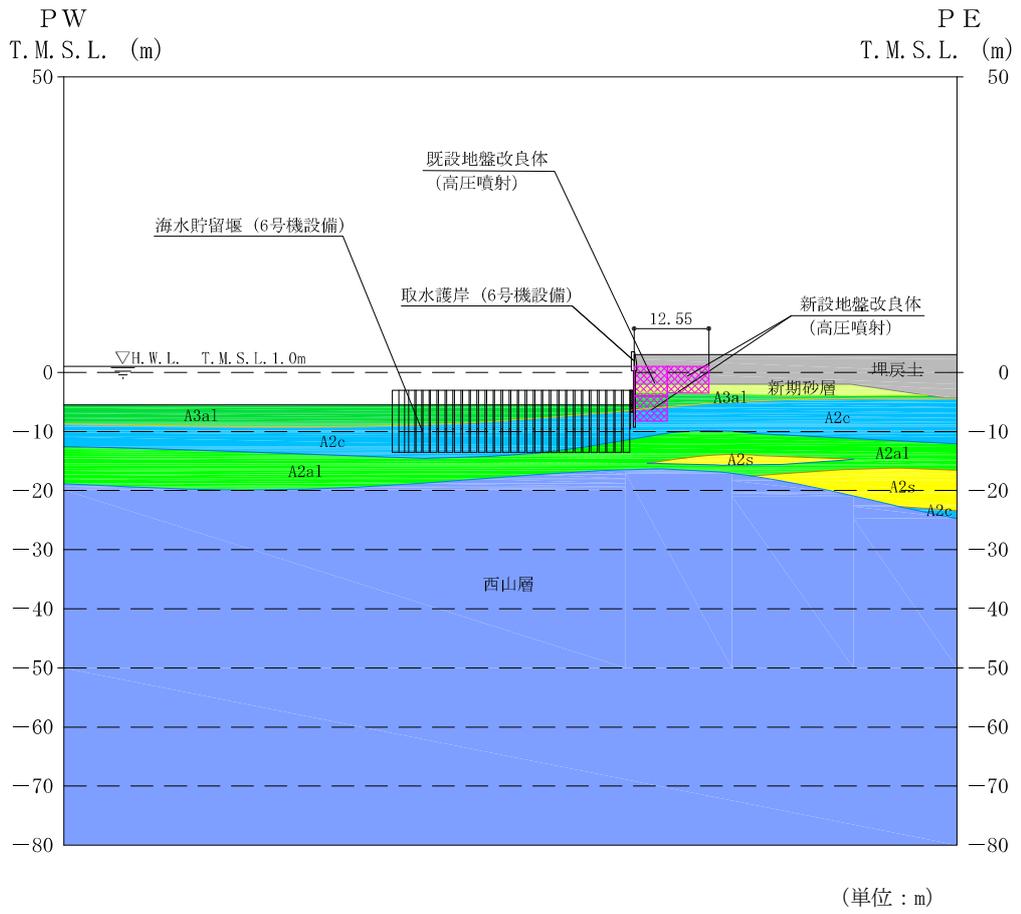


図 3-2 取水護岸 (6号機設備) の評価対象断面図 (A-A断面)

3.2 解析方法

取水護岸（6号機設備）の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針 2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。構造部材については、線形はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤

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

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

表 3-1 耐震評価における解析ケース

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

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

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

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

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

3.2.3 減衰定数

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

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げモーメントに対する照査について、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい照査値の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。なお、解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-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

取水護岸（6号機設備）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風による影響は考慮しない。

(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

取水護岸（6号機設備）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) 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3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（S _s ）	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

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

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

入力地震動算定の概念図を図 3-3 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 3-4 に示す。入力地震動の算定には解析コード「SLOK」を使用する。

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

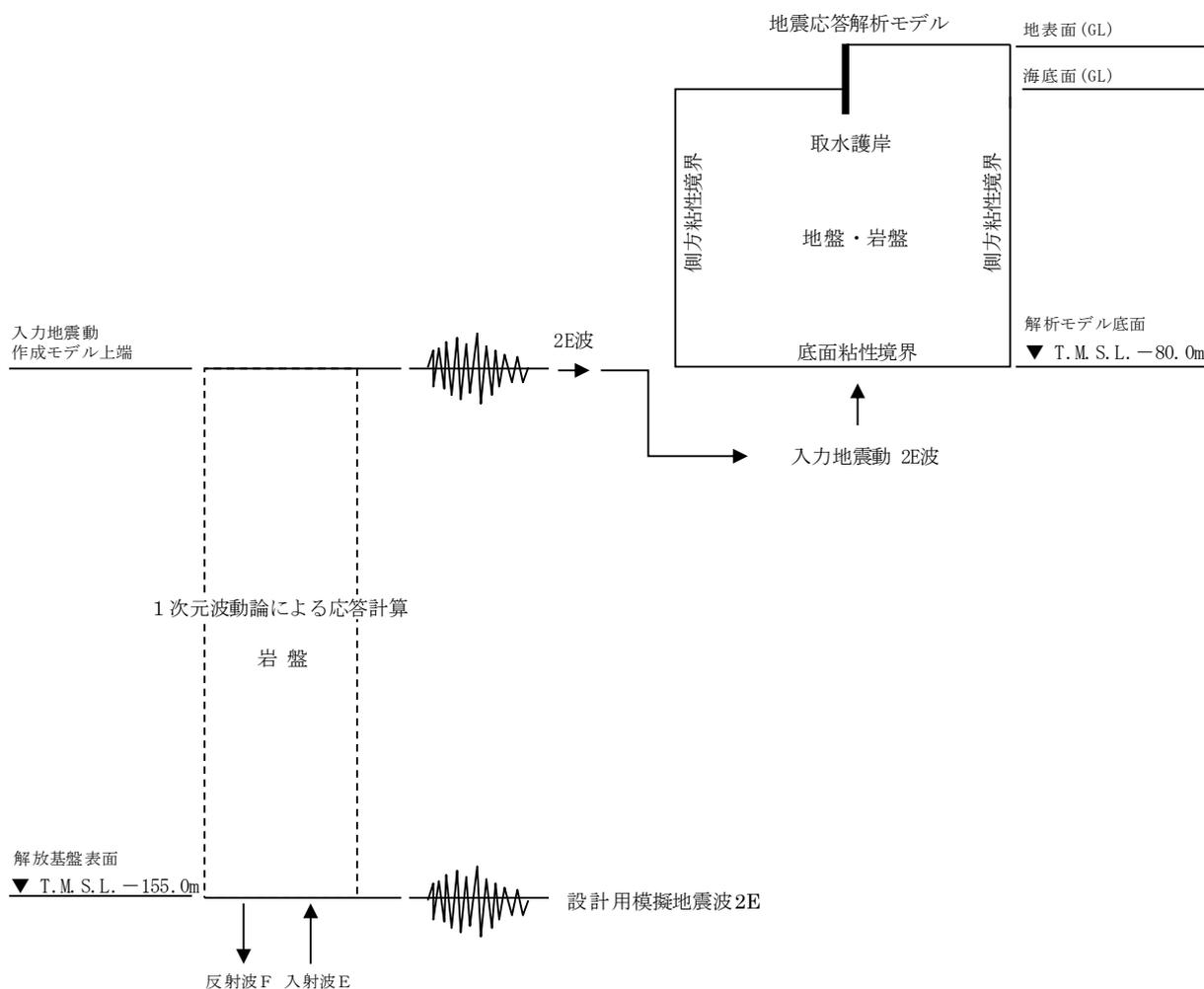
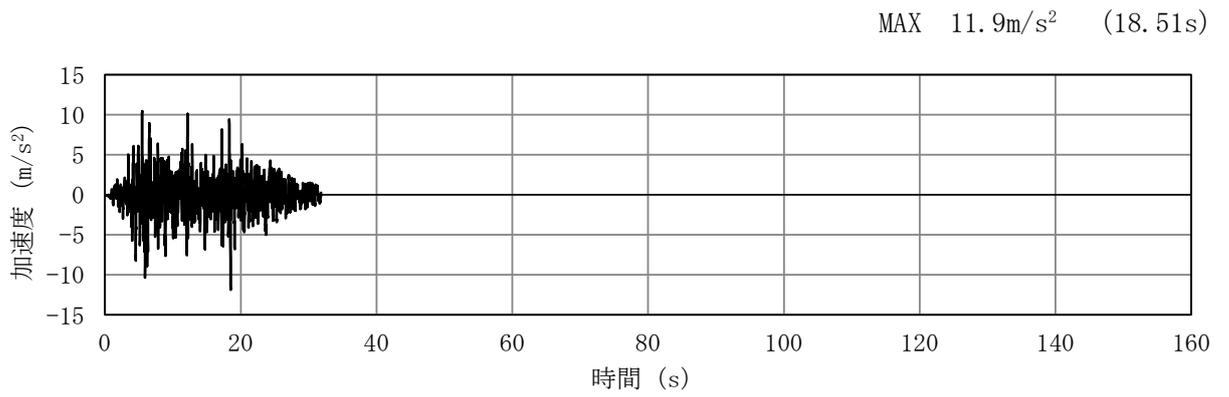
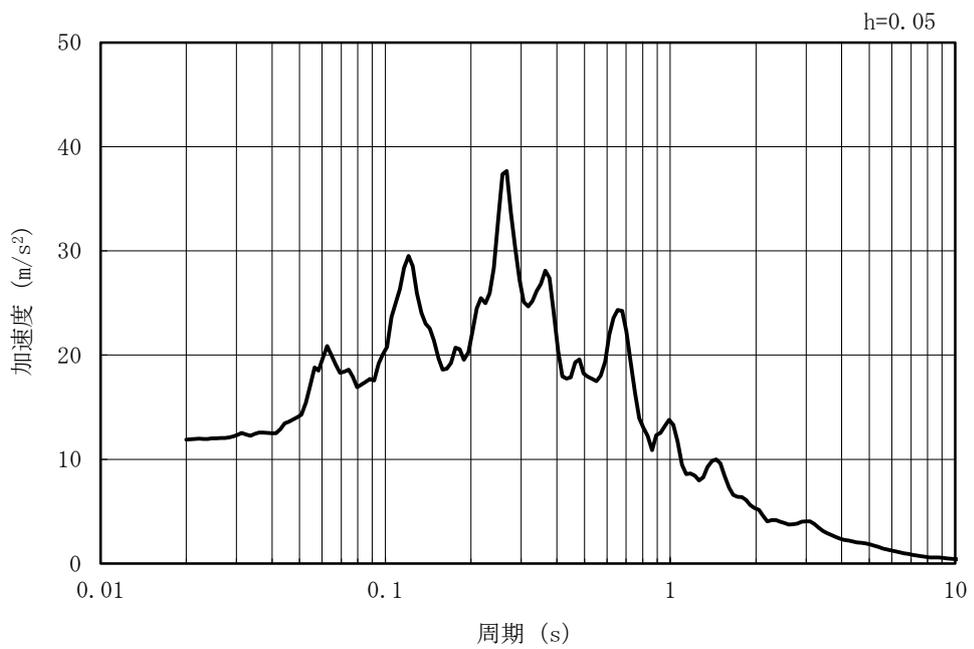


図 3-3 入力地震動算定の概念図

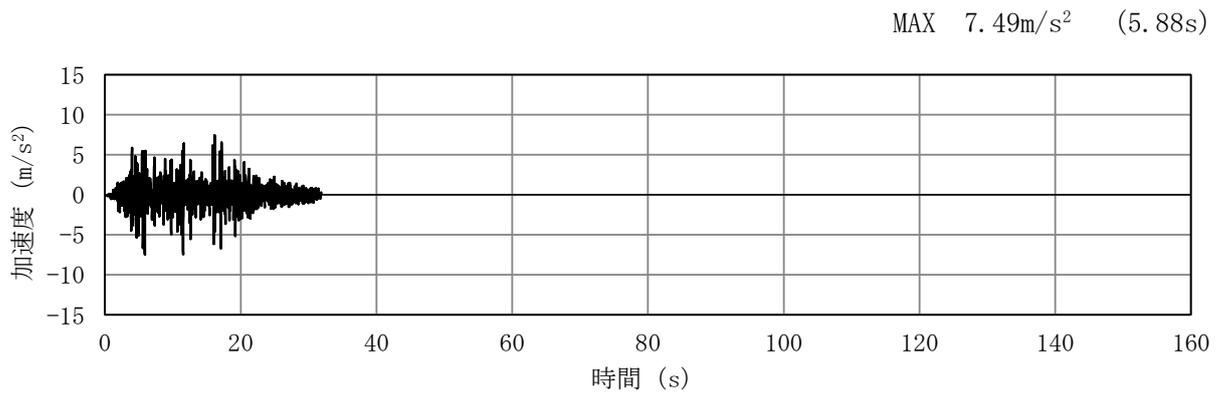


(a) 加速度時刻歴波形

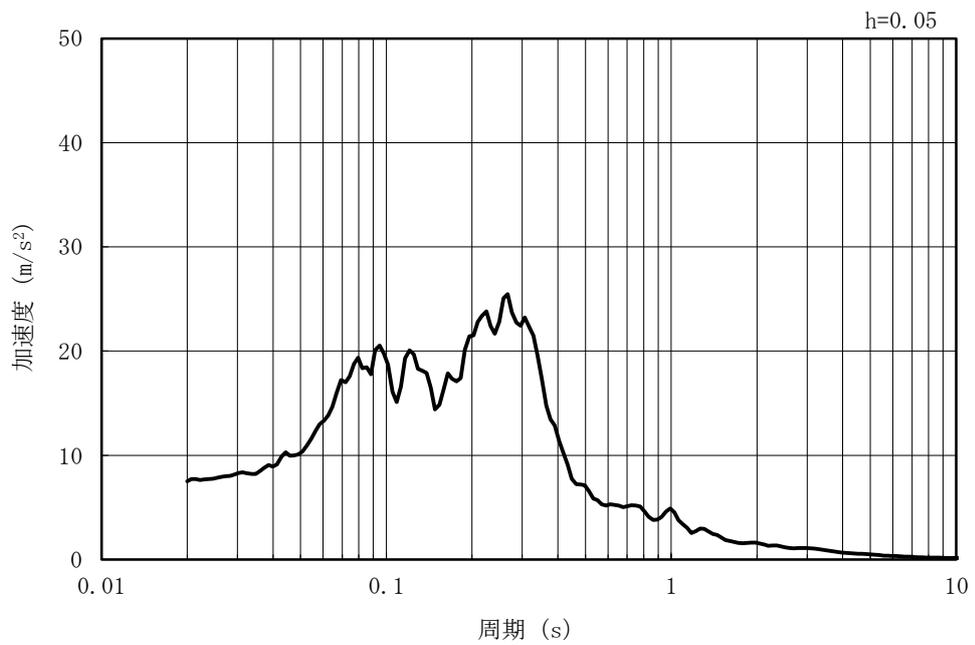


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-1)

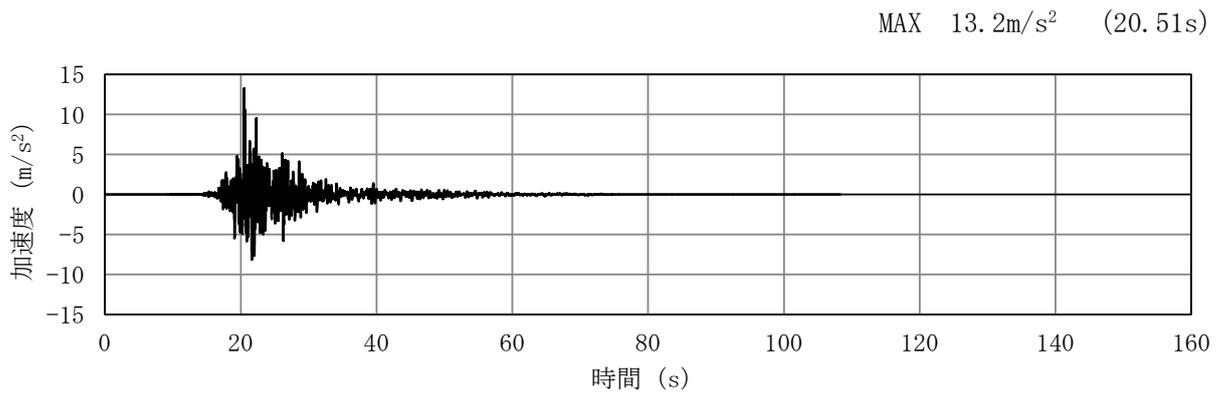


(a) 加速度時刻歴波形

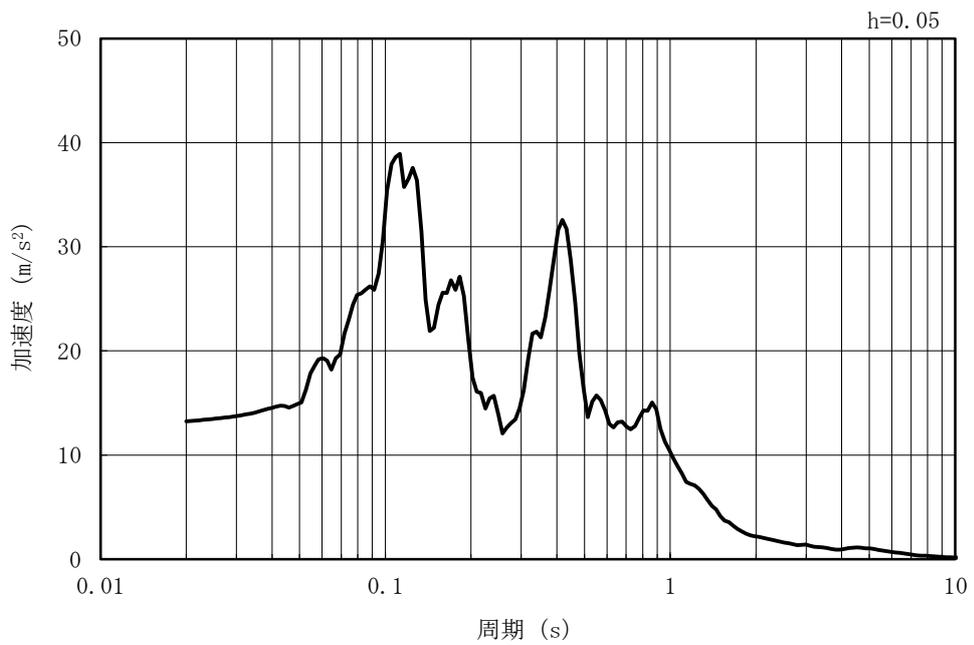


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-1)

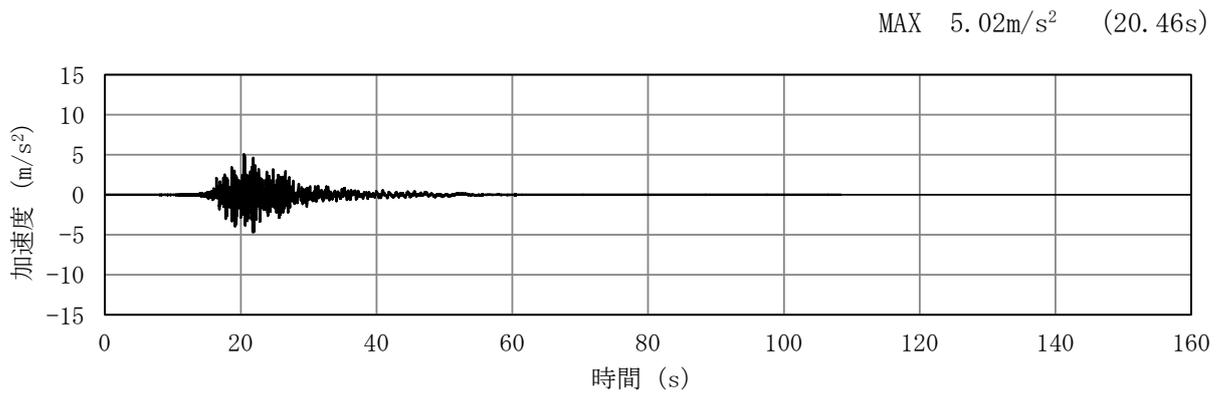


(a) 加速度時刻歴波形

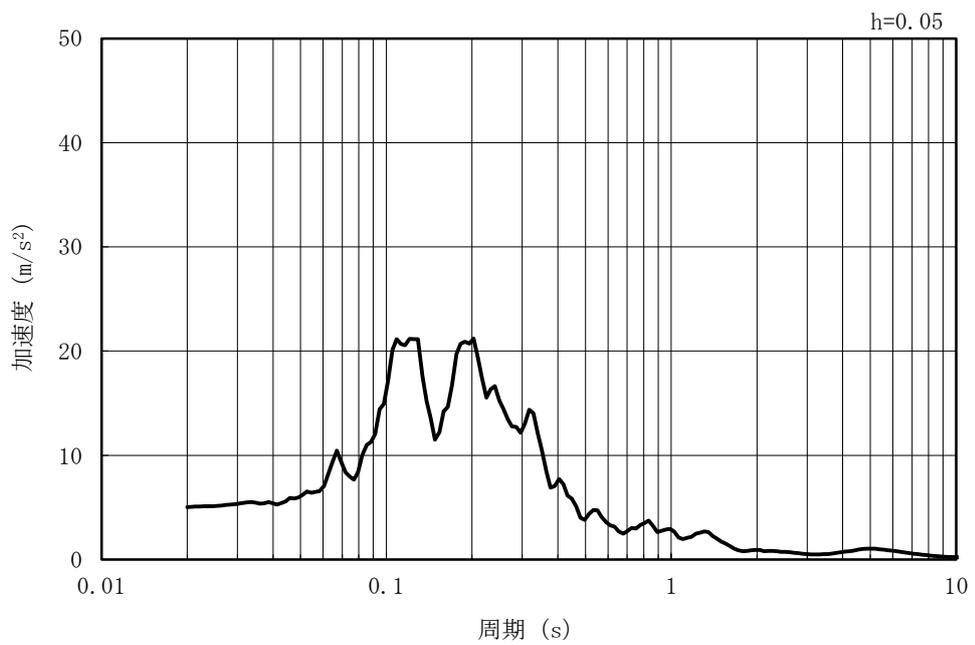


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-2EW)

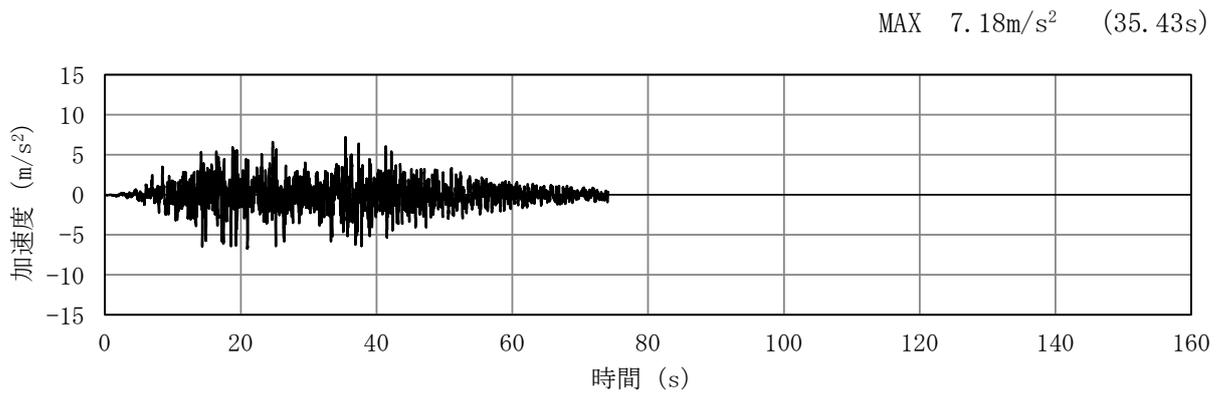


(a) 加速度時刻歴波形

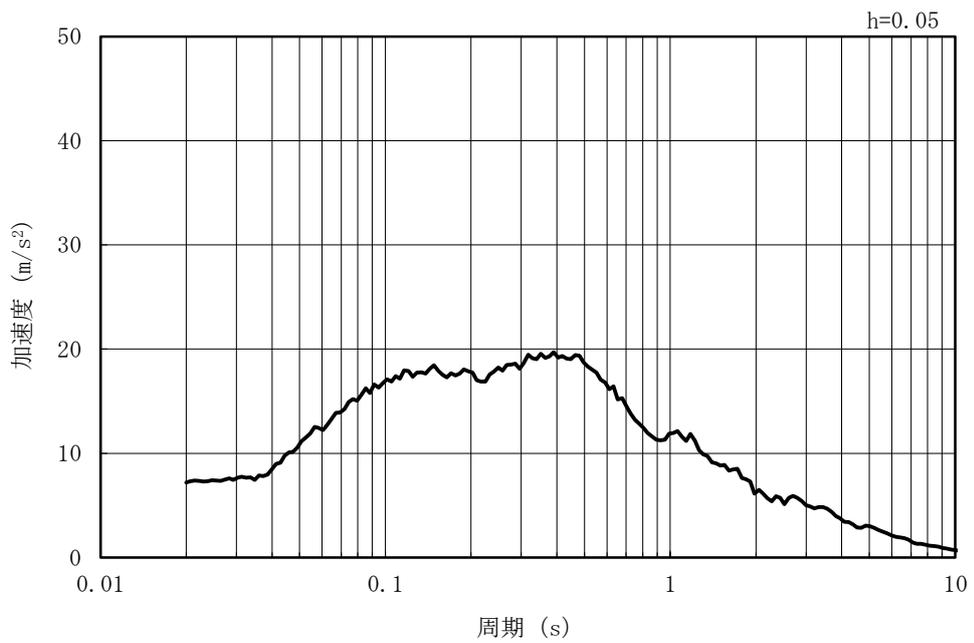


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-2EW)

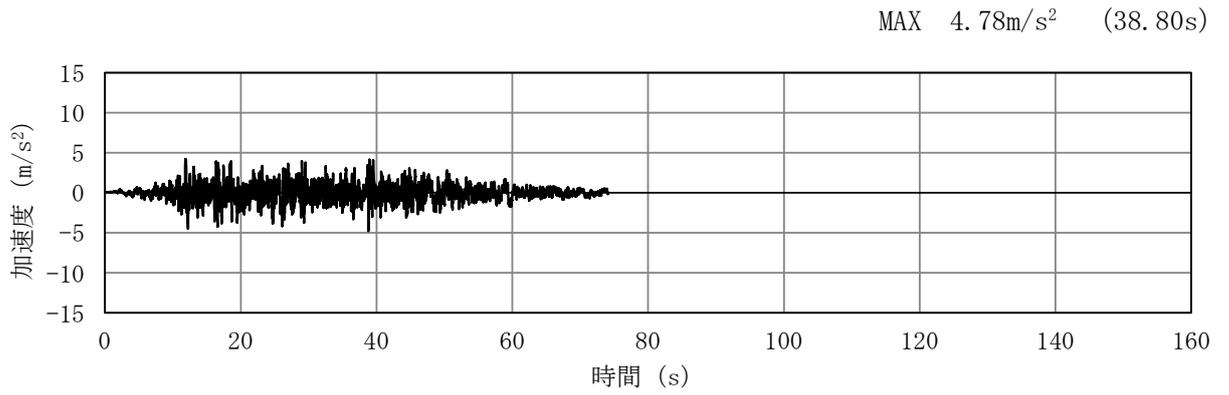


(a) 加速度時刻歴波形

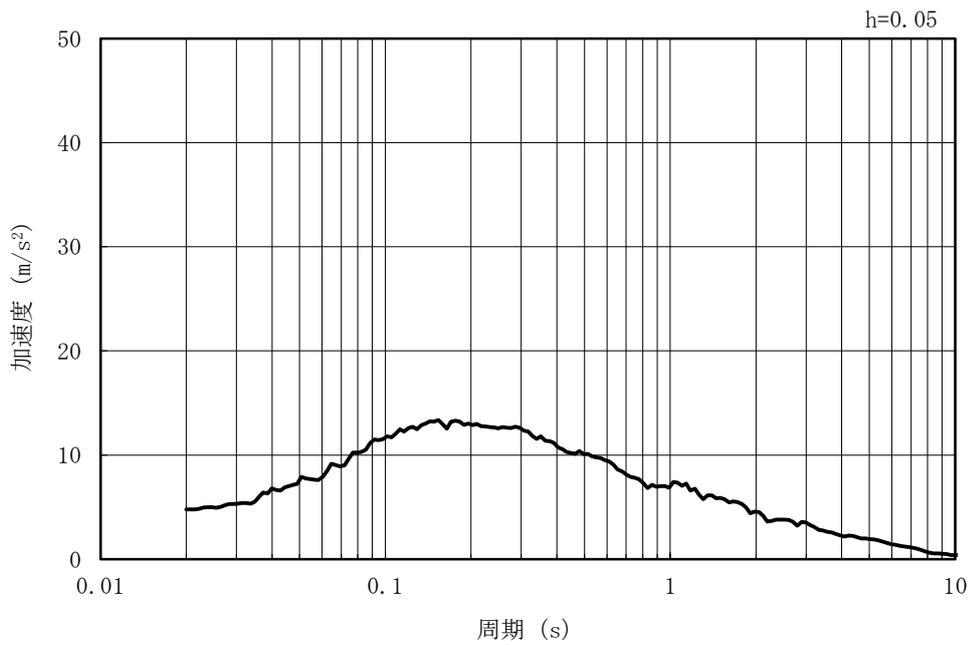


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-3)

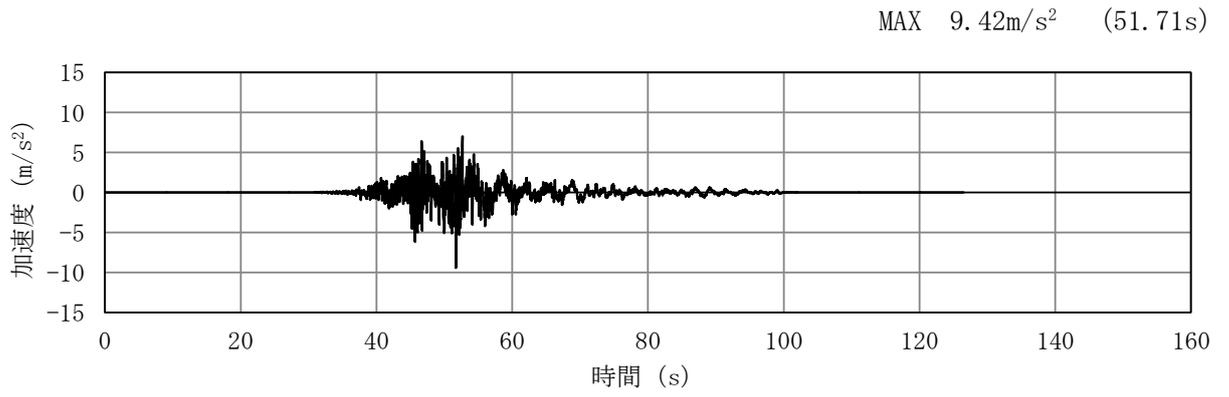


(a) 加速度時刻歴波形

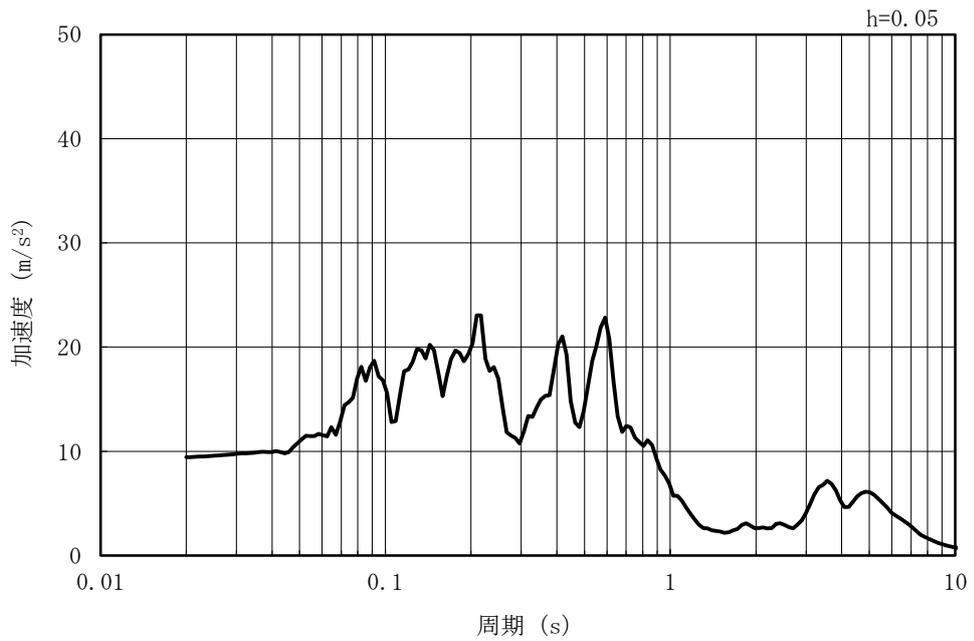


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-3)

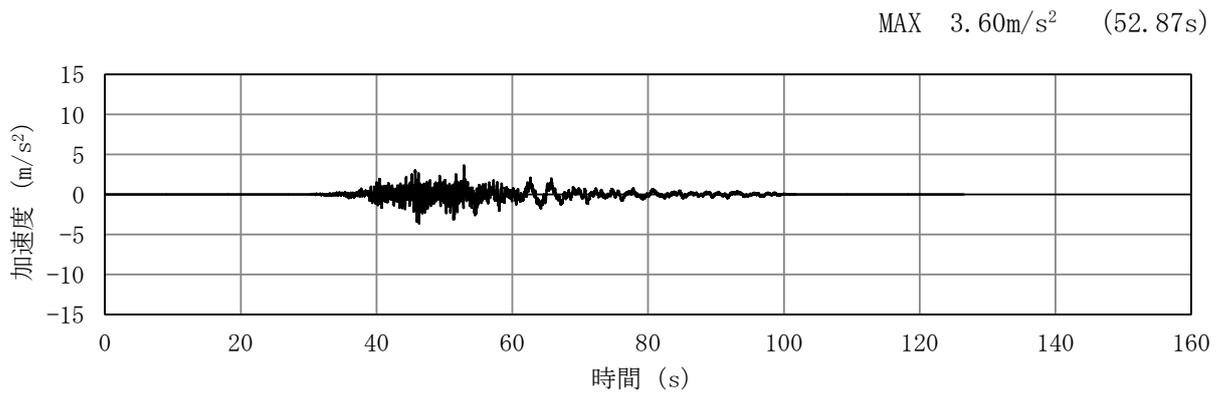


(a) 加速度時刻歴波形

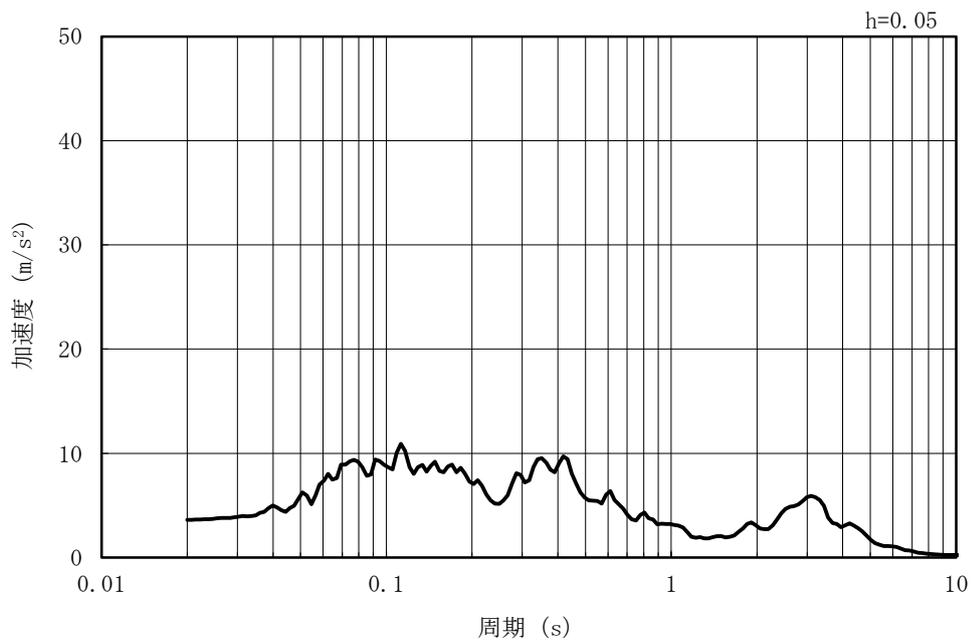


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-4EW)

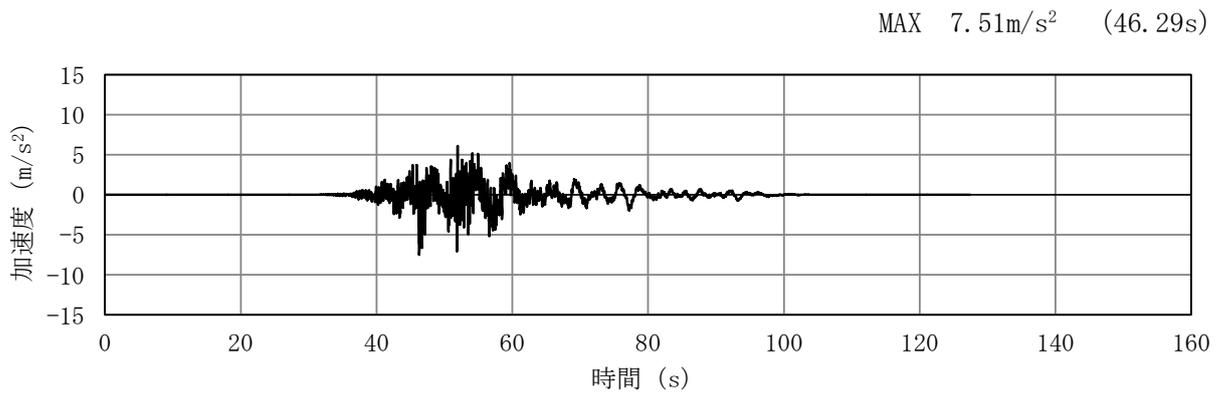


(a) 加速度時刻歴波形

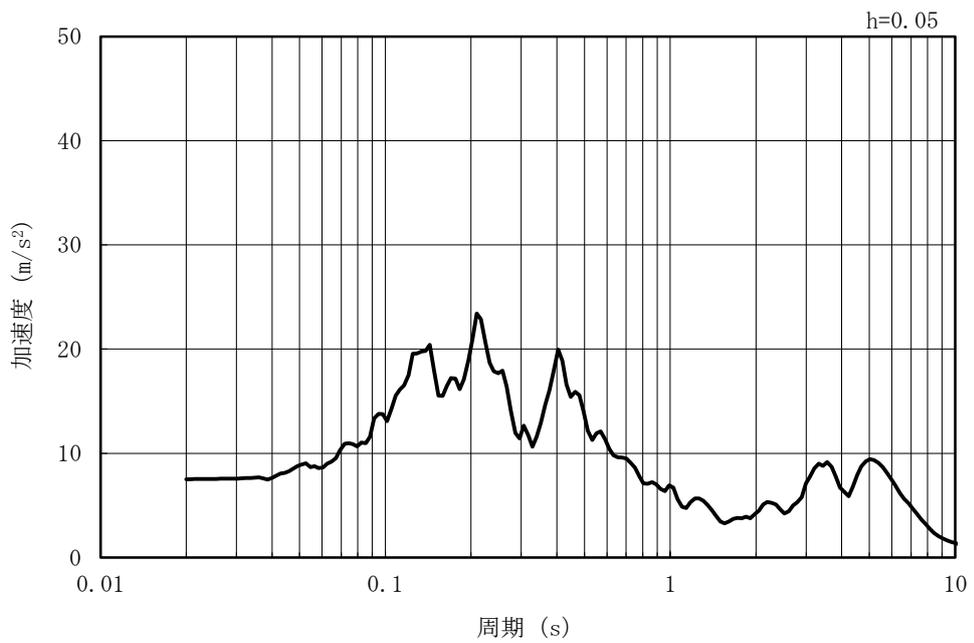


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-4EW)

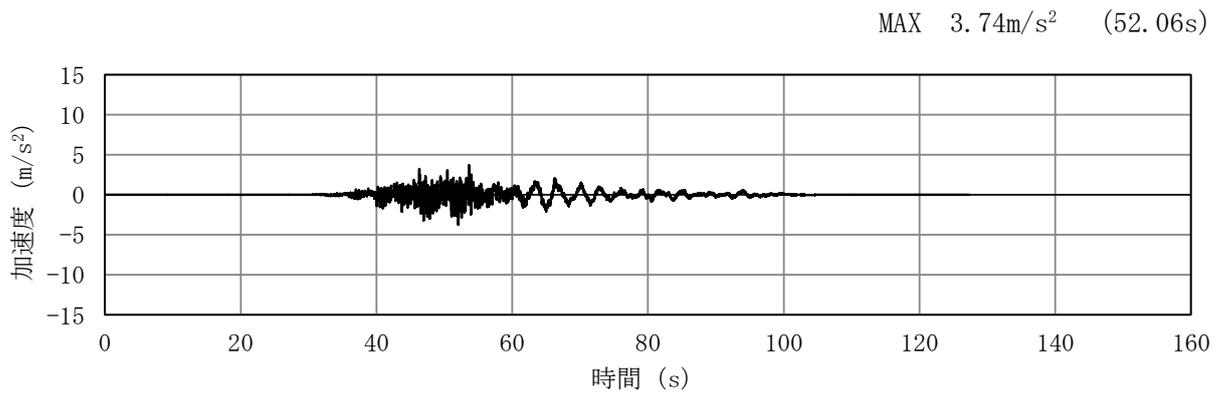


(a) 加速度時刻歴波形

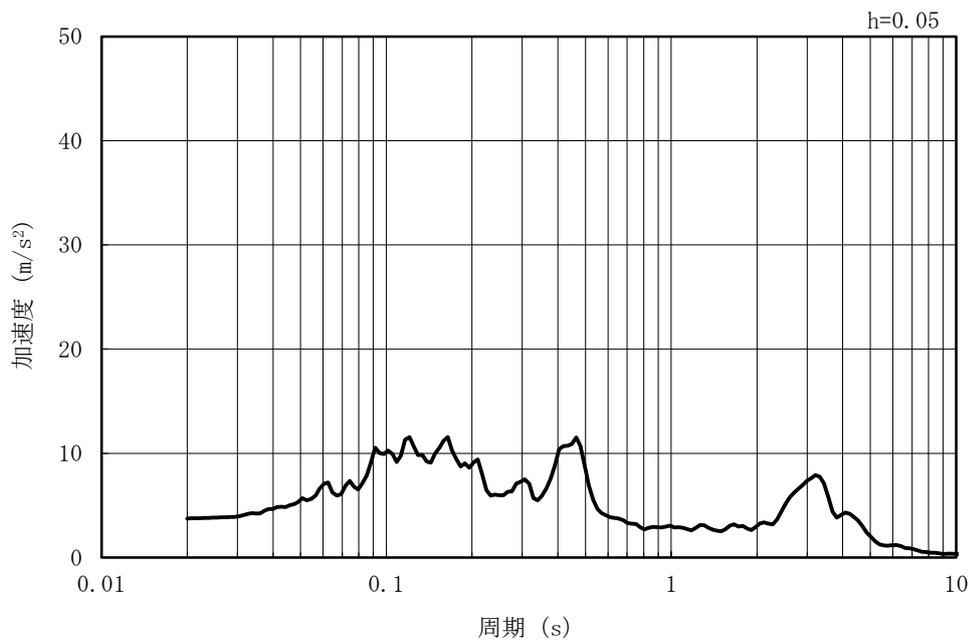


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-5EW)

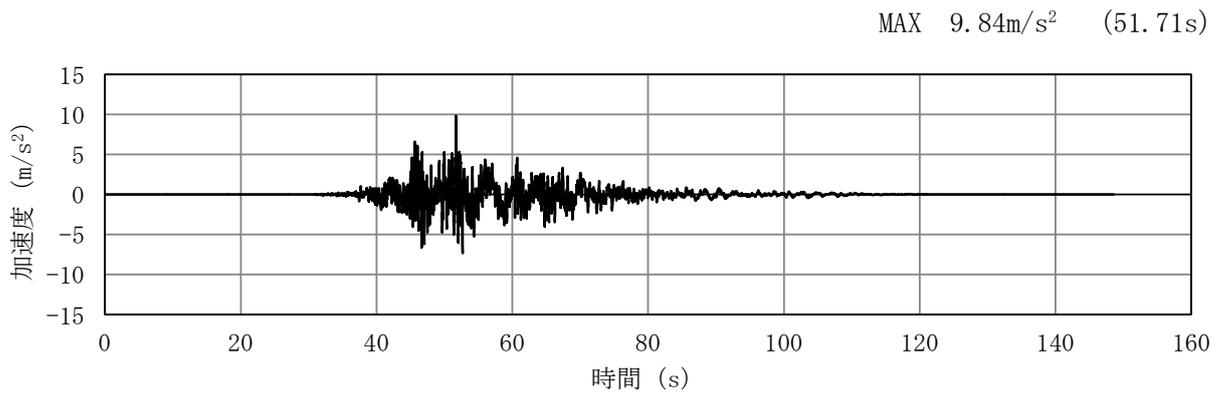


(a) 加速度時刻歴波形

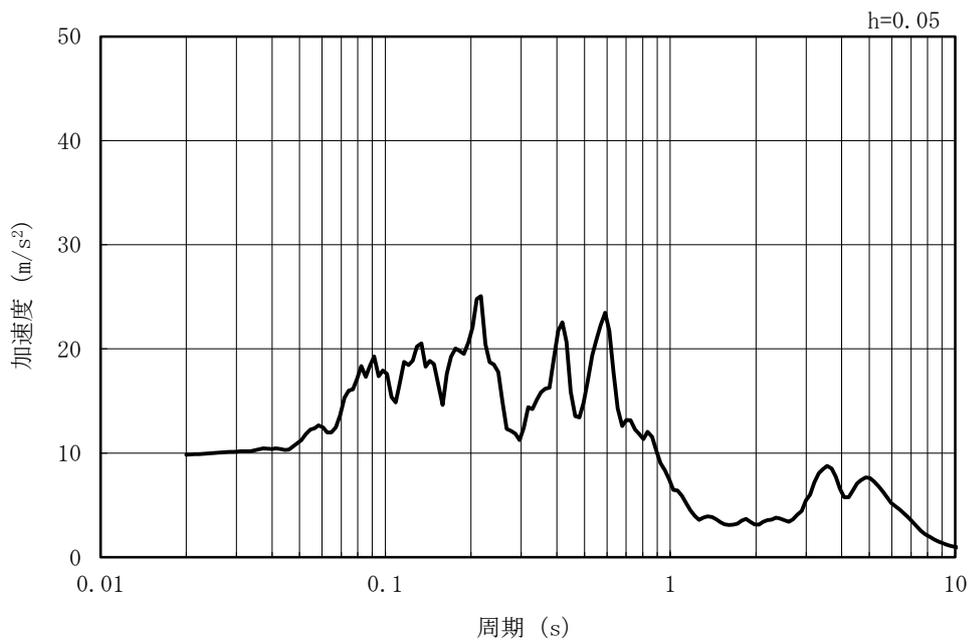


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-5EW)

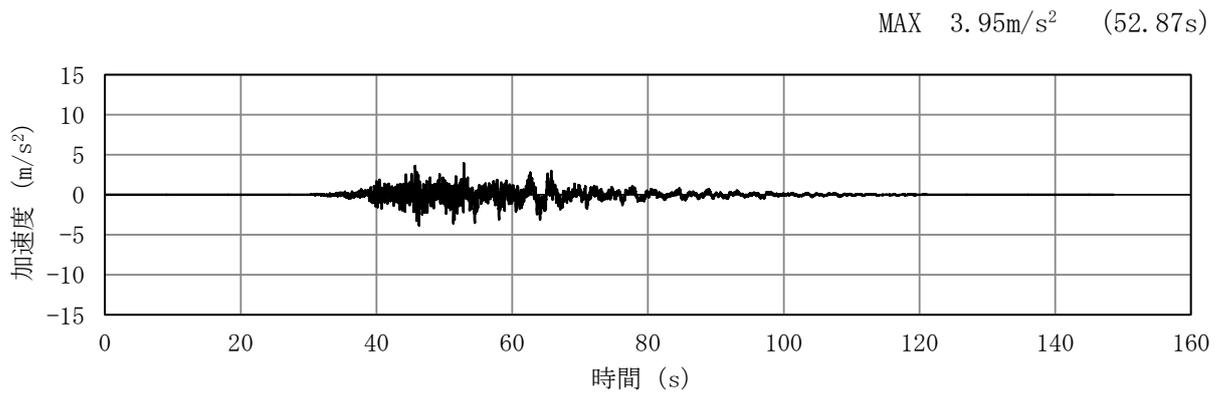


(a) 加速度時刻歴波形

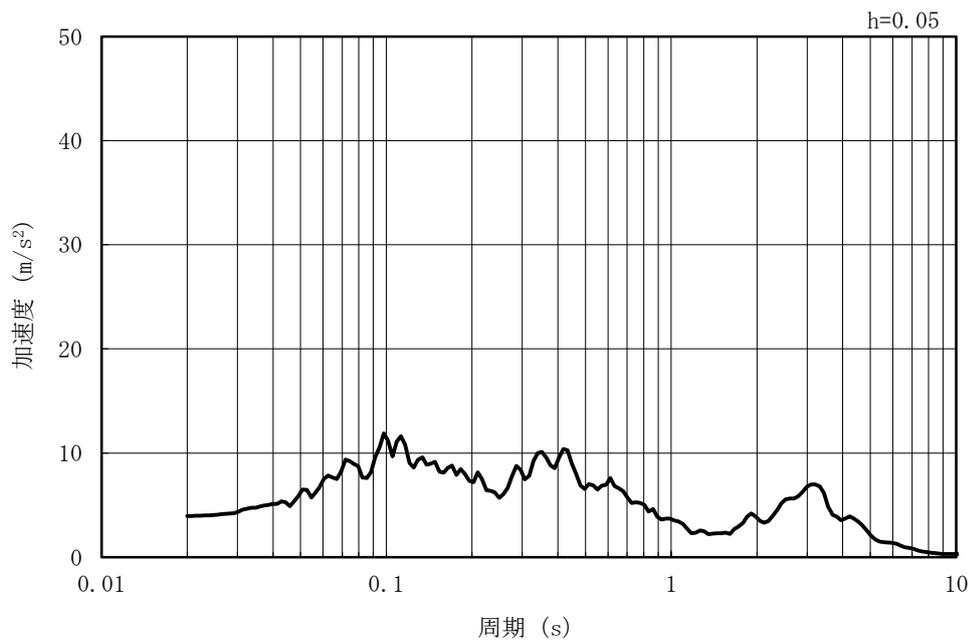


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-6EW)

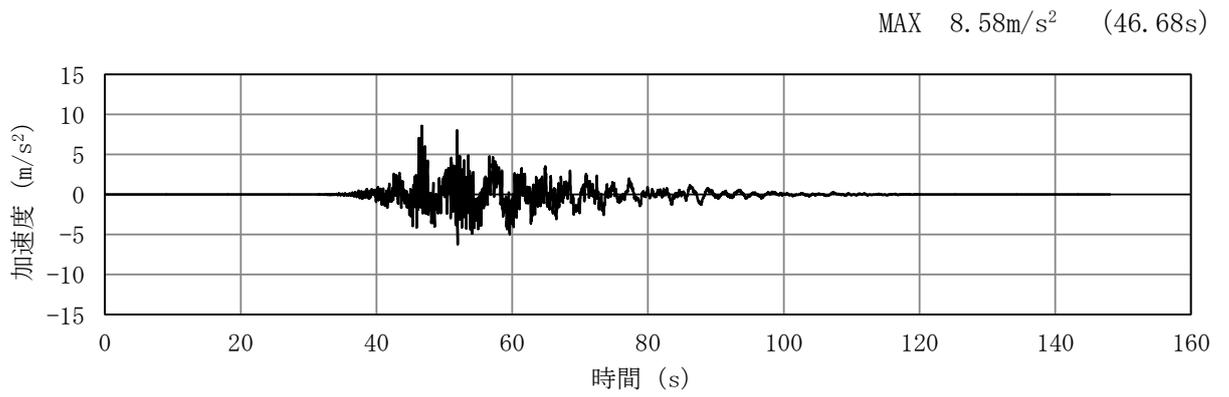


(a) 加速度時刻歴波形

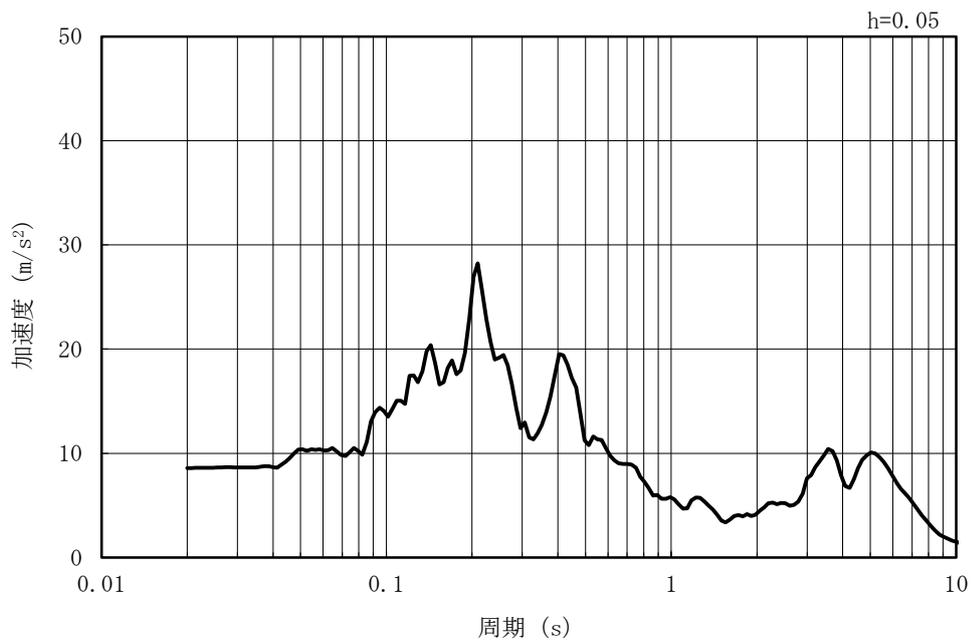


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-6EW)

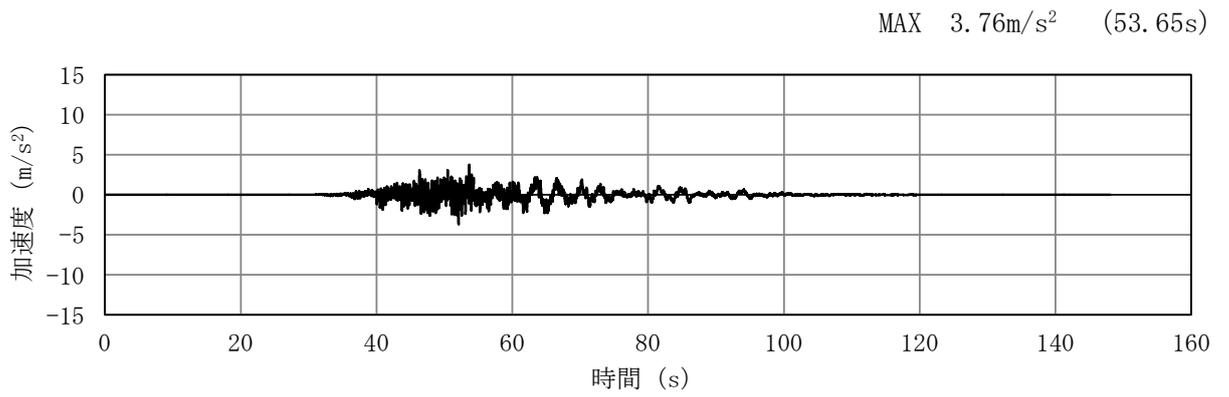


(a) 加速度時刻歴波形

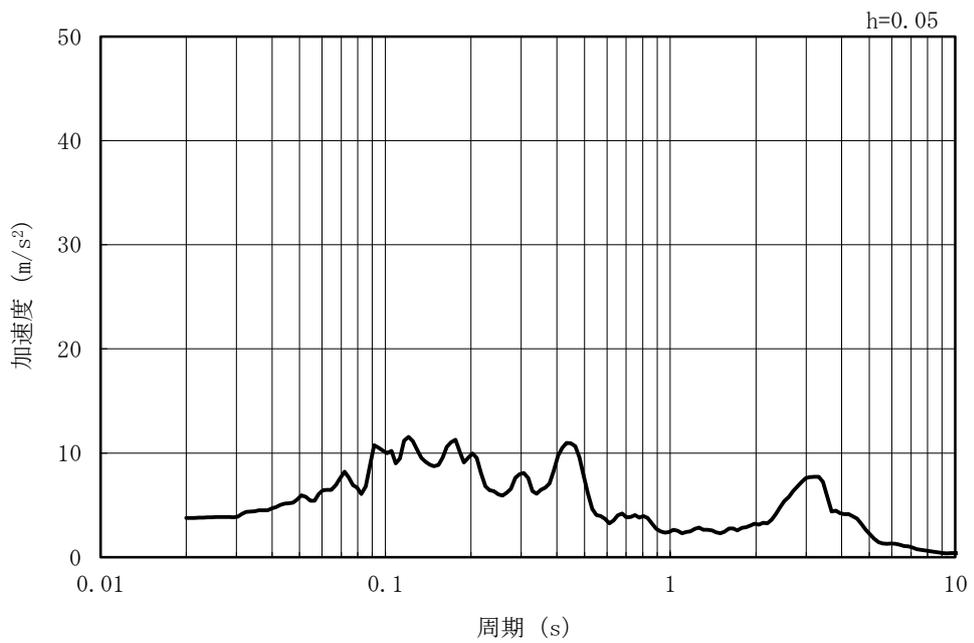


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-7EW)

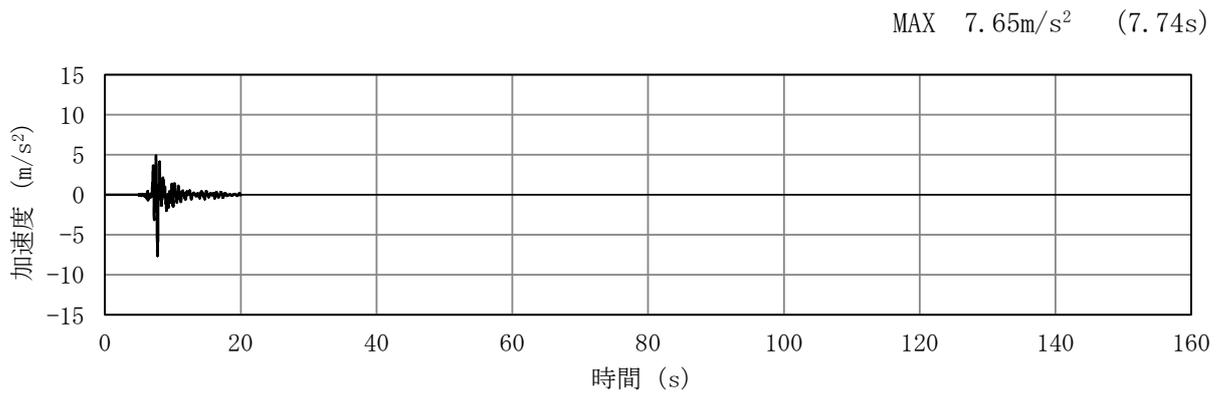


(a) 加速度時刻歴波形

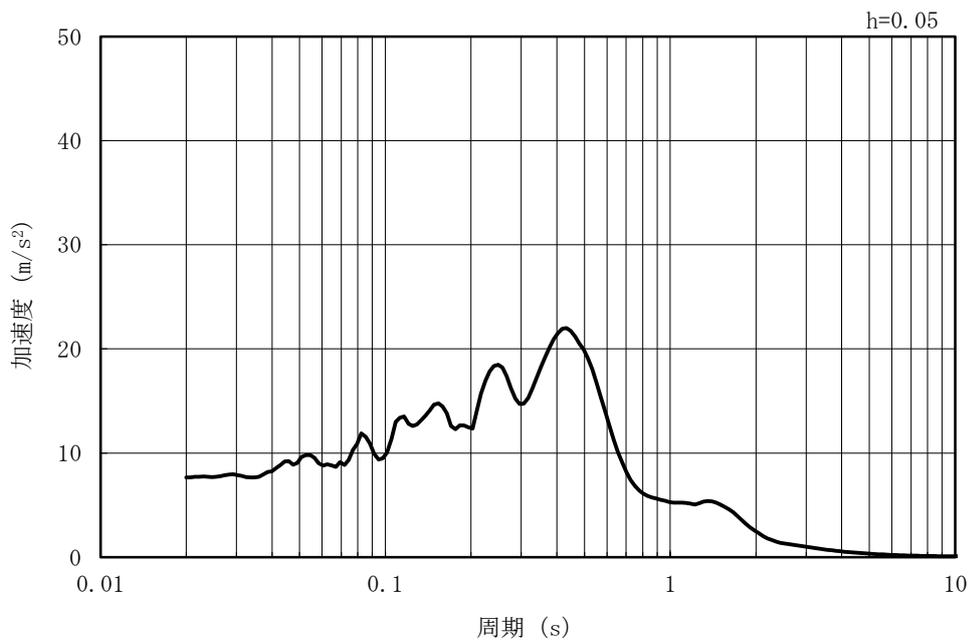


(b) 加速度応答スペクトル

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 : Ss-7EW)

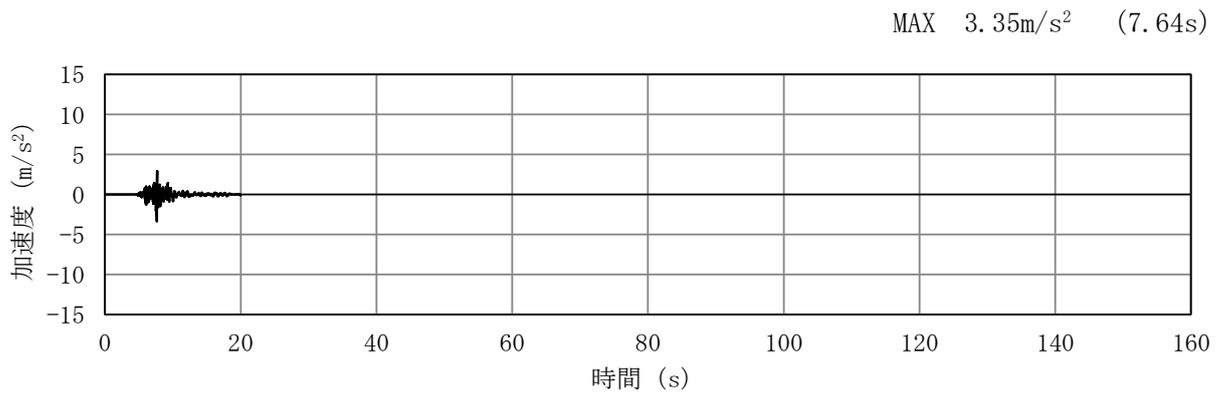


(a) 加速度時刻歴波形

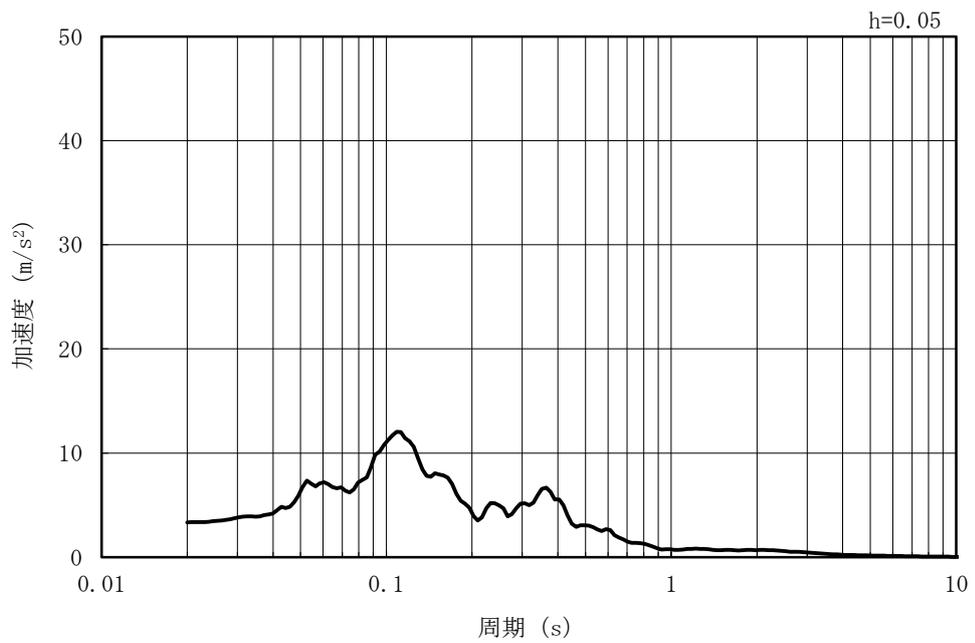


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平方向 : Ss-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (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
(鉛直方向 : Ss-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水護岸（6号機設備）の地震応答解析モデルを図3-5に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

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

(5) 地盤改良体のモデル化

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

(6) ジョイント要素の設定

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

(7) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の3次元効果を2次元モデルで考慮するため、地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設定する。

(8) 杭先端ばねの設定

地震時の杭先端における地盤と杭の相互作用を考慮するため、杭先端と地盤間に杭先端ばねを設定する。

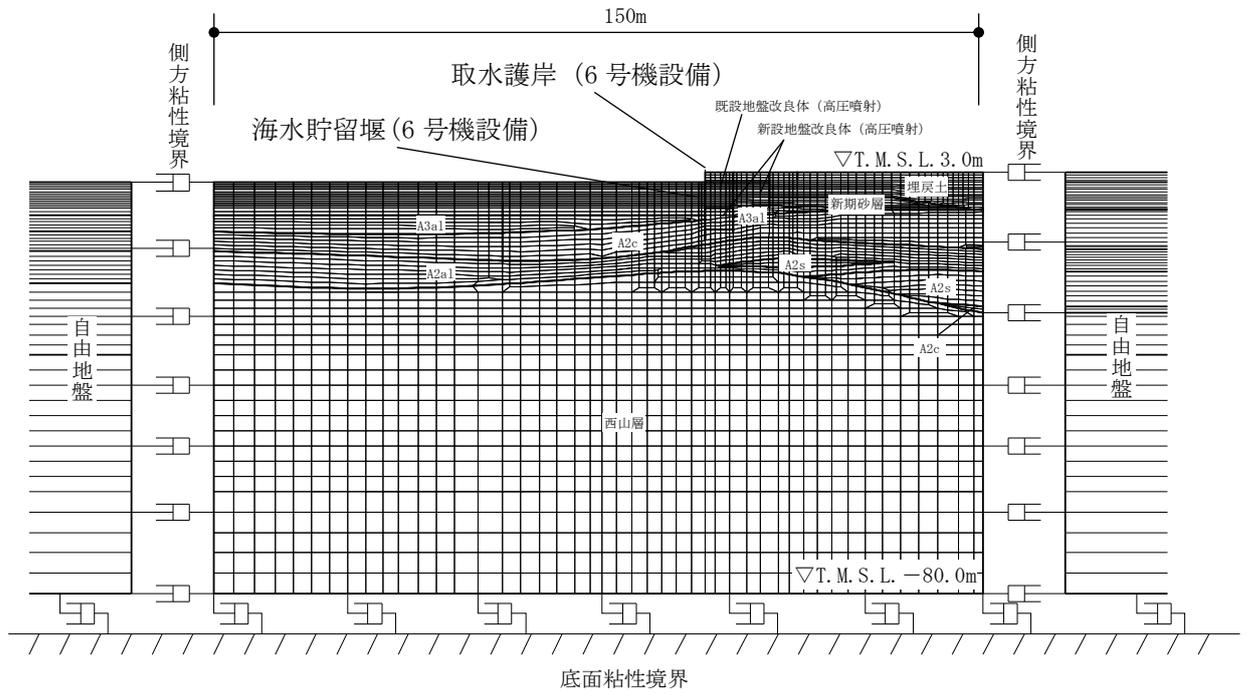


図 3-5 取水護岸 (6号機設備) の地震応答解析モデル (A-A断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる使用材料を表3-3に、材料の物性値を表3-4に示す。

表3-3 使用材料

材料	諸元	腐食代	
		海側（海底面以浅）	2.0mm
前面鋼矢板	S P -IV型（SY295），t=15.5mm	海側（海底面以深）	0.2mm
		陸側	0.2mm
鋼管矢板		φ1100mm（SKY490），t=14mm，16mm	1.0mm

表3-4 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
前面鋼矢板	77.0	2.0×10 ⁵	0.3
鋼管矢板	77.0	2.0×10 ⁵	0.3

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

地盤の解析用物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表3-5に示す。

表3-5 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設/新設		既設 地盤改良体	新設地盤改良体	
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.77	1.94~1.96*	1.81
	間隙率 n	0.49	0.49	0.64
変形特性	動せん断弾性係数 G _m (kN/m ²)	1.78×10 ⁶	5.54×10 ⁵	5.18×10 ⁵
	基準平均有効拘束圧 σ _{ma} ' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h _{max}	0.05	0.05	0.05
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	815	397	397

注記*：地盤改良体の配置に応じて設定。

3.5.4 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地表面(T.M.S.L. 3.0m)として設定する。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、取水護岸（6号機設備）の構造上の特徴を踏まえて設定する。

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、前面鋼矢板とする。

3.6.2 構造物の変形性評価

構造物の変形性評価に係る評価対象部位は、前面鋼矢板とする。

3.7 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

前面鋼矢板の許容限界は、「鋼矢板Q&A（鋼管杭・鋼矢板技術協会 平成29年3月）」及び「鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会 平成12年3月）」に基づき設定する。許容限界を表3-6に示す。

表3-6 前面鋼矢板の許容限界

項目	対象	許容限界 (kN・m)
降伏モーメント M_y	海底面以浅	555
	海底面以深	649

3.7.2 構造物の変形性に対する許容限界

変形量の許容限界は、取水護岸（6号機設備）と海水貯留堰（6号機設備）との離隔が確保されることを確認した変形量とする。前面鋼矢板の変形量の許容限界を表3-7に示す。

表3-7 前面鋼矢板の変形量の許容限界

項目	許容限界 (cm)
変形量（海水貯留堰（6号機設備）との離隔を確保できる相対変位量）	24.0

3.8 評価方法

取水護岸（6号機設備）の耐震評価は、地震応答解析により算定した全時刻歴の照査用応答値が、「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

前面鋼矢板の曲げモーメントに対する照査については、地震応答解析により算定した曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。

曲げモーメント照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図3-6に示す。

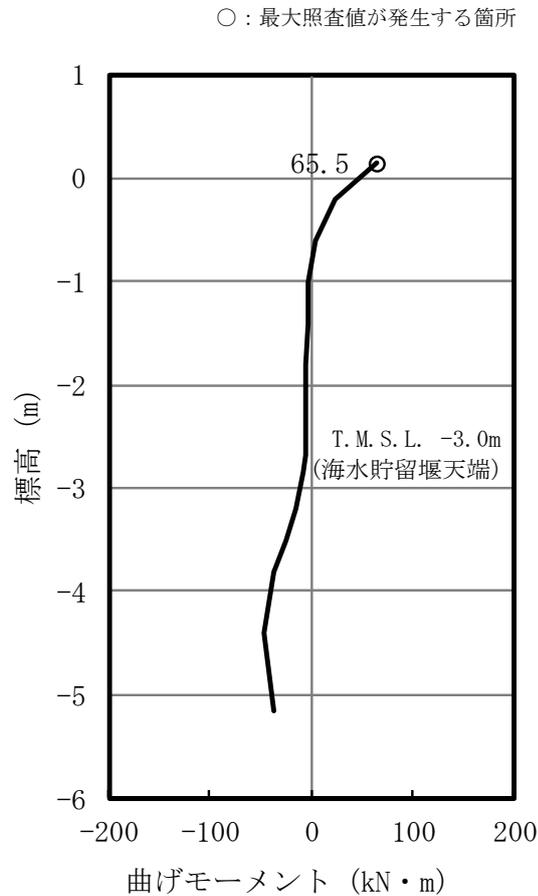


図3-6 (1) 前面鋼矢板(海底面以浅)の曲げモーメント照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(Ss-1++, t=5.86 s)

(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)

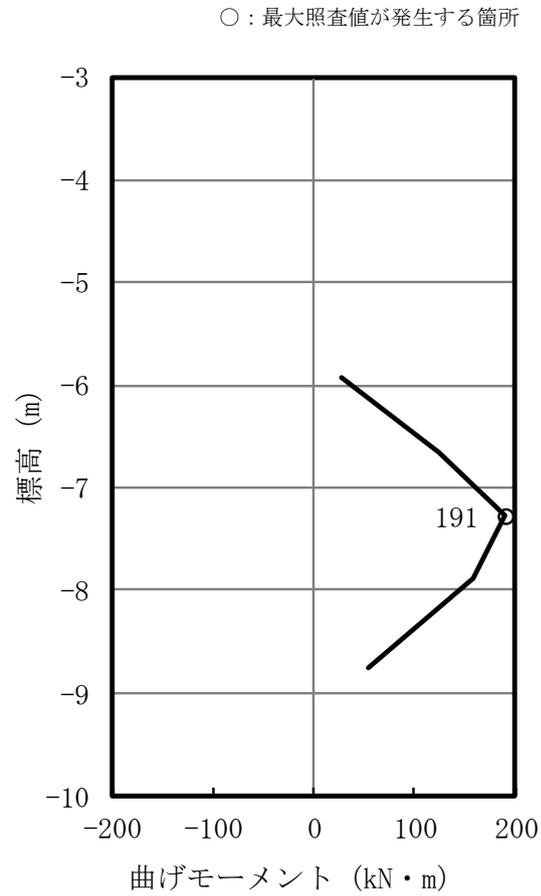


図 3-6 (2) 前面鋼矢板(海底面以深)の曲げモーメント照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(Ss-1++, t=5.88 s)

(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)

3.8.2 構造物の変形性評価

(1) 相対変位の考え方

構造物の変形性評価に用いる相対変位は、地震時における相対変位の最大値とする。

(2) 評価方法

変位方向の定義を示した図 3-7 のうち、取水護岸（6 号機設備）と海水貯留堰（6 号機設備）の水平方向の相対変位 $\delta_x (+)$ が許容限界以下であることを確認する。

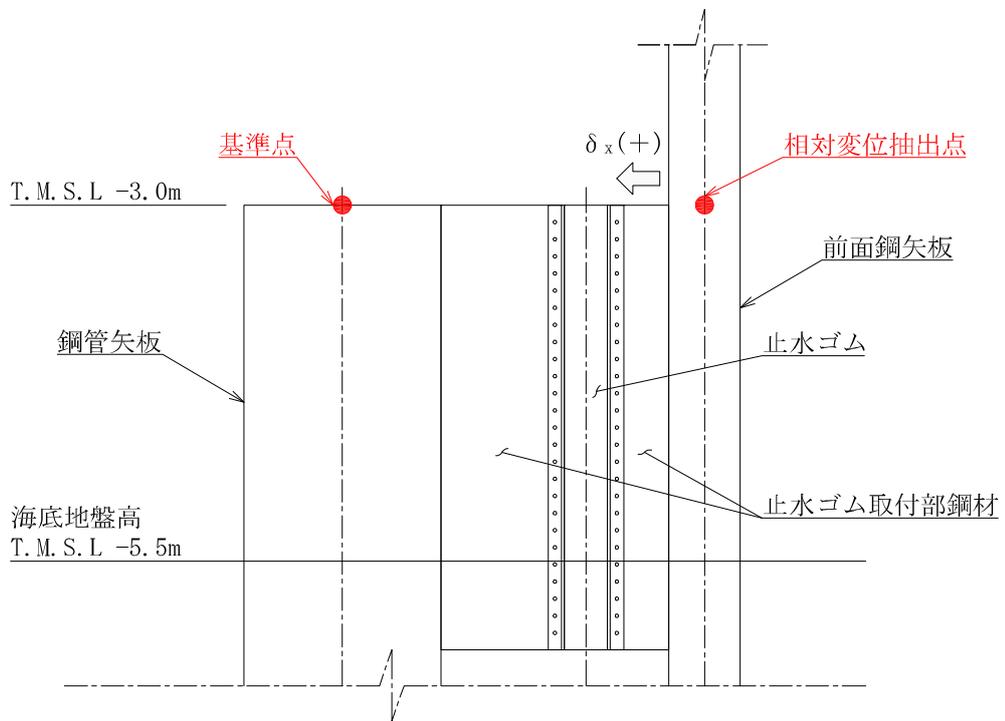


図 3-7 変位方向の定義

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

前面鋼矢板の曲げモーメント照査における最大照査値を表 4-1 に示す。前面鋼矢板に発生する曲げモーメントは許容限界以下であり、照査値に大きく余裕があることを確認した。

表 4-1 前面鋼矢板の曲げモーメント照査における最大照査値

対象	解析 ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m)	降伏モーメント (kN・m)	照査値
海底面以浅	③	Ss-1++	65.5	555	0.12
海底面以深	③	Ss-1++	191	649	0.30

4.2 構造物の変形性に対する評価結果

構造物の変形性評価結果を表 4-2 に示す。取水護岸（6号機設備）と海水貯留堰（6号機設備）との最大水平相対変位は許容限界以下であることを確認した。

表 4-2 変形性評価結果

解析 ケース	地震動	最大水平相対変位 (cm)	許容限界値 (cm)
①	Ss-7	6.9	24.0

V-2-10-3-1-4 スクリーン室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	6
2.4 適用基準	9
3. 耐震評価	10
3.1 評価対象断面	10
3.2 解析方法	12
3.2.1 構造部材	12
3.2.2 地盤	14
3.2.3 減衰定数	15
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	16
3.3.2 荷重	16
3.3.3 荷重の組合せ	16
3.4 入力地震動	17
3.5 解析モデル及び諸元	34
3.5.1 解析モデル	34
3.5.2 使用材料及び材料物性値	36
3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値	36
3.6 許容限界	37
3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界	37
3.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	37
3.7 評価方法	38
3.7.1 構造部材の健全性評価	38
3.7.2 基礎地盤の支持性能評価	40
4. 耐震評価結果	41
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	41
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	43

1. 概要

本資料は、V-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、スクリーン室が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

スクリーン室に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

スクリーン室の位置図を図2-1に示す。

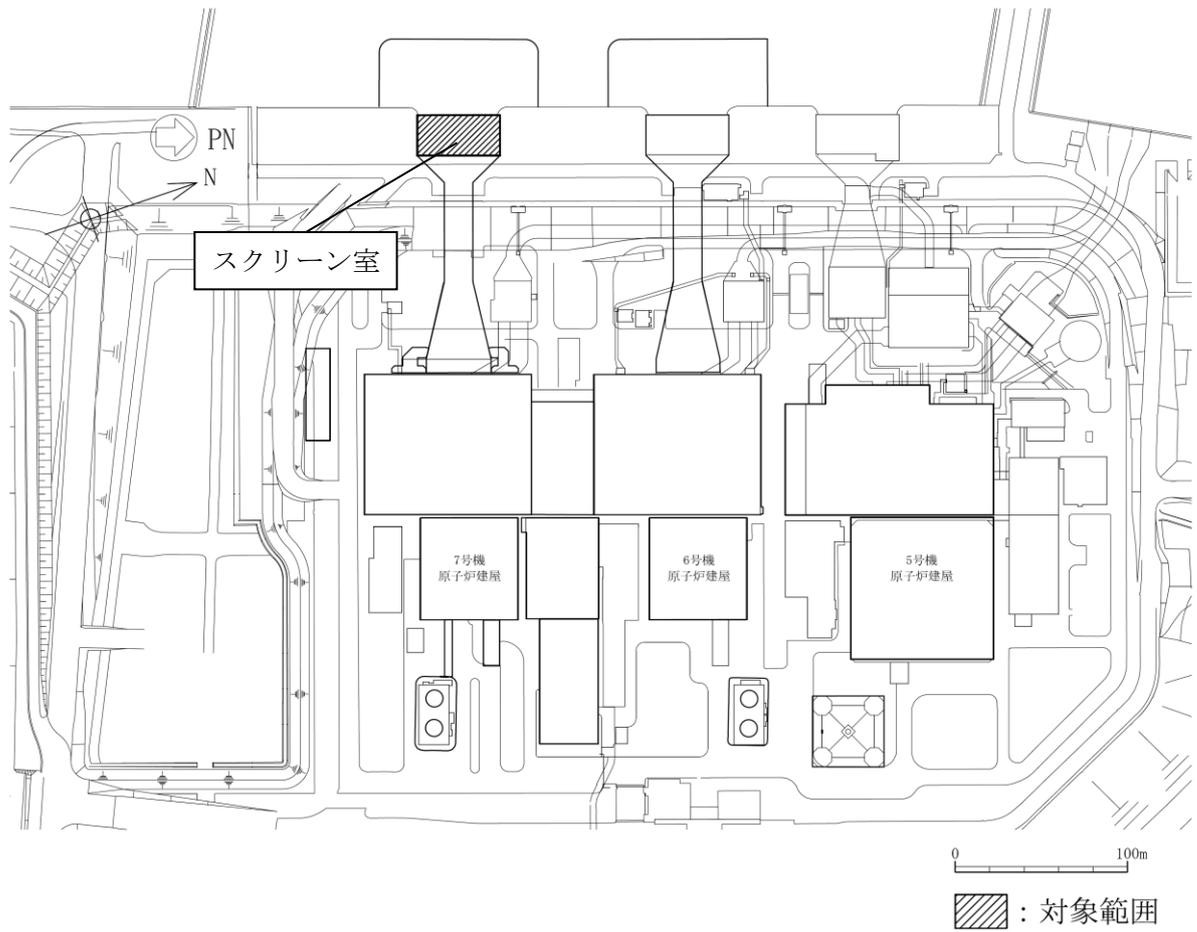


図2-1 スクリーン室の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

スクリーン室の平面図を図 2-2、断面図を図 2-3、概略配筋図を図 2-4 に示す。

スクリーン室は、非常時における海水の通水機能を求められる延長約 23m の鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり、取水方向に内空寸法が一樣で、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在する。スクリーン室は、十分な支持性能を有する古安田層*に支持される。

注記* : 本資料では、安田層下部層の MIS10~MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物を「古安田層」と仮称する。

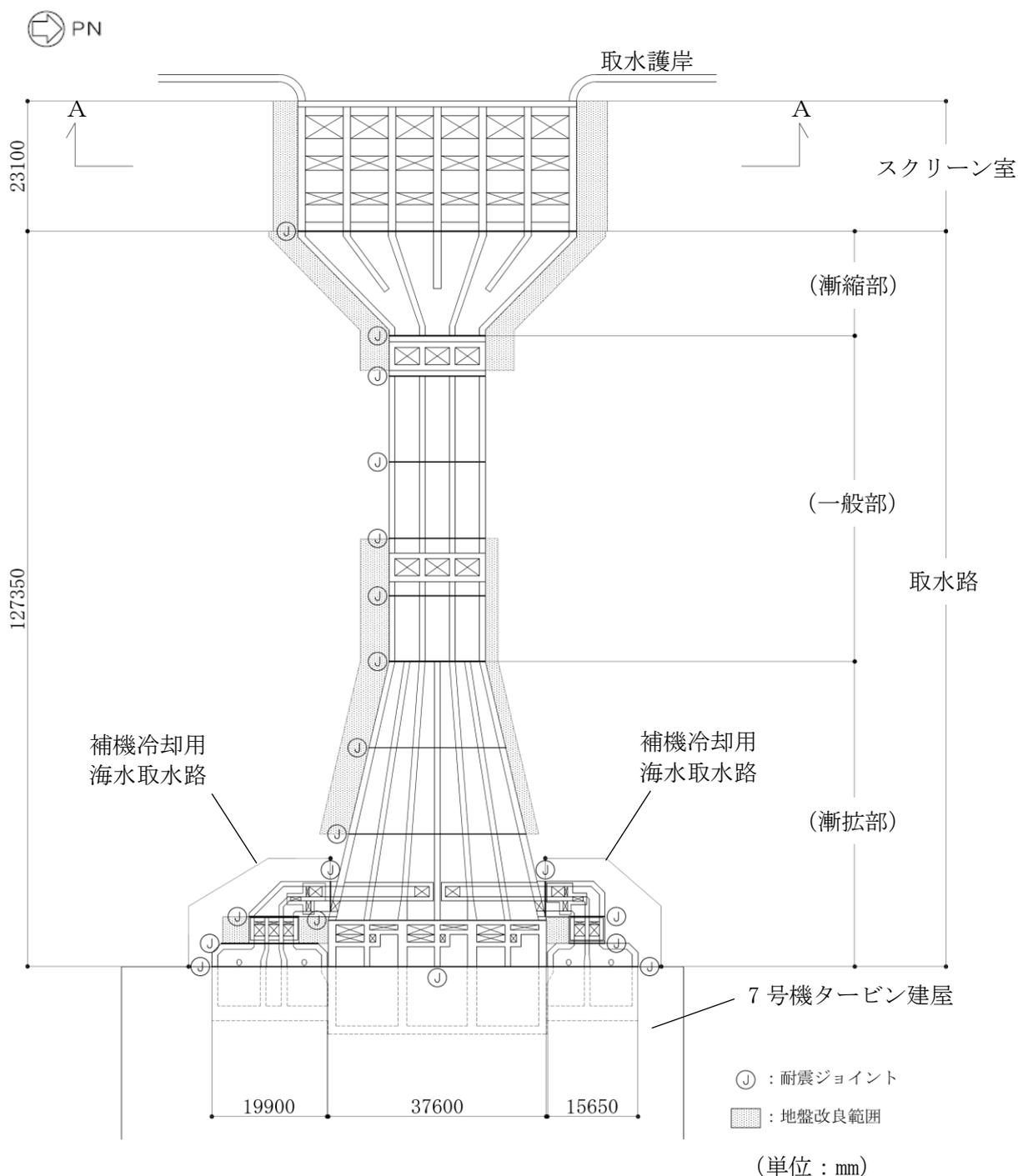
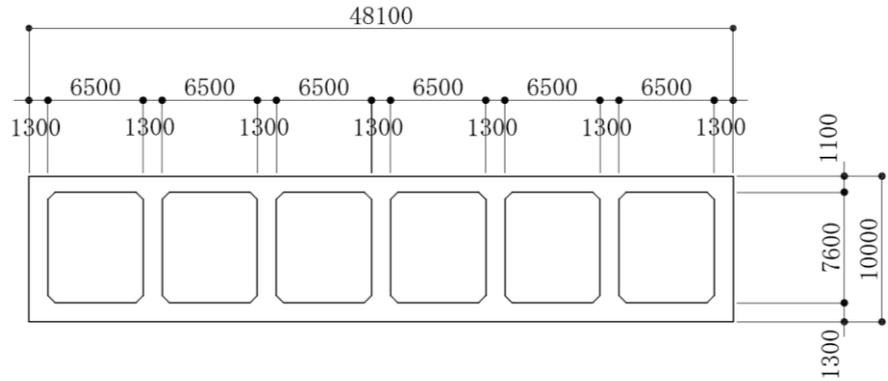
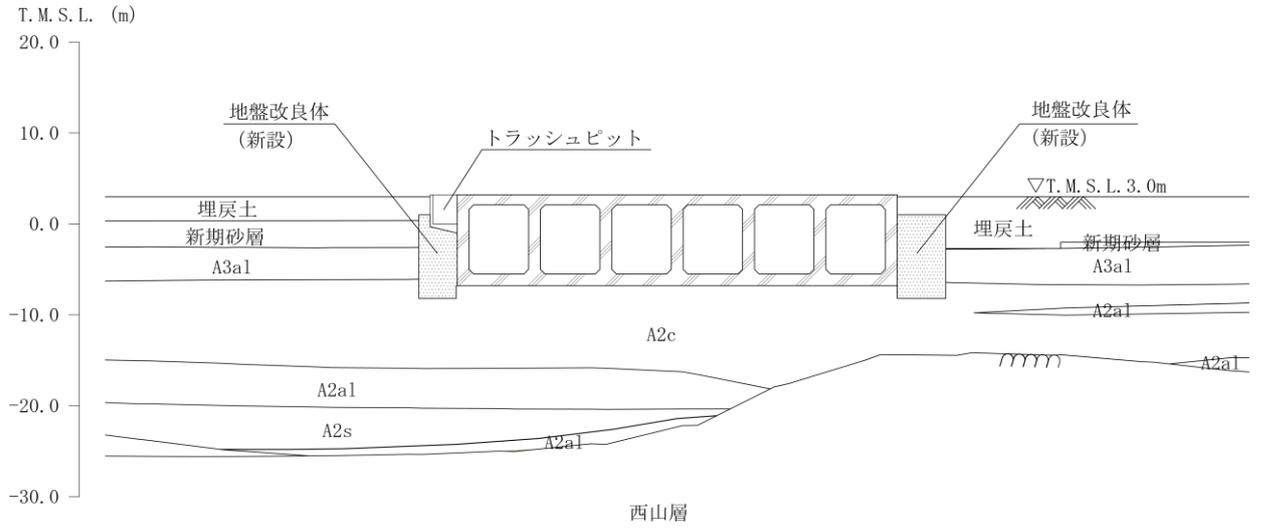


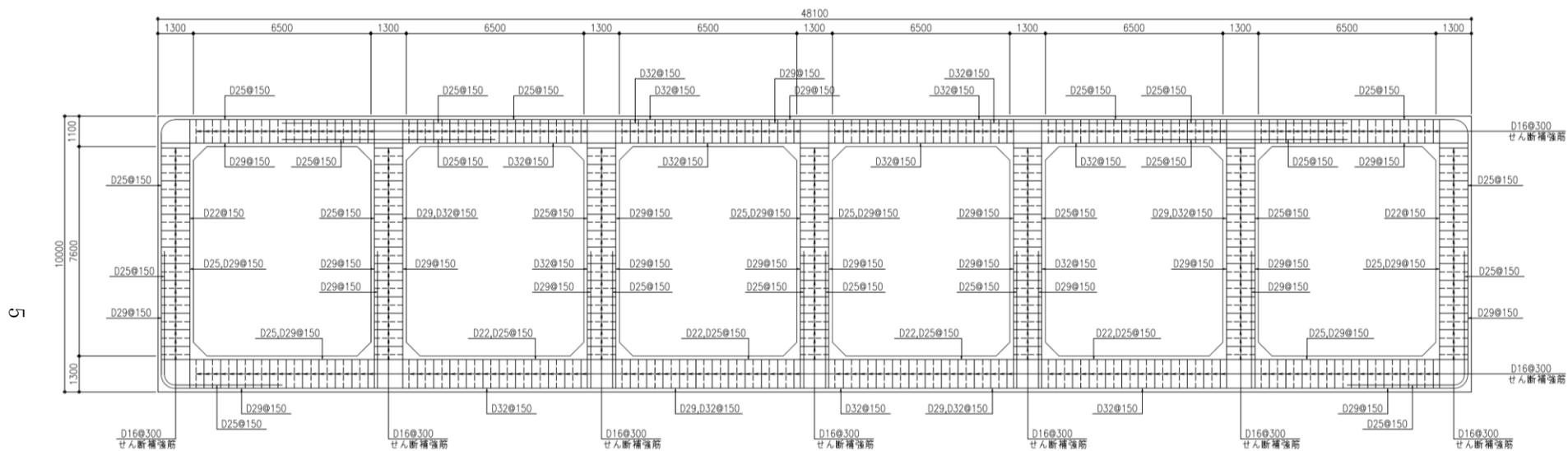
図 2-2 スクリーン室の平面図



(単位：mm)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-3 スクリーン室の断面図



(単位：mm)

図 2-4 スクリーン室の概略配筋図

2.3 評価方針

スクリーン室は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

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

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

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

構造部材の健全性評価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、構造部材に生じる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。

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

スクリーン室の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

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

表 2-1 スクリーン室の評価項目

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	鉛直力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。

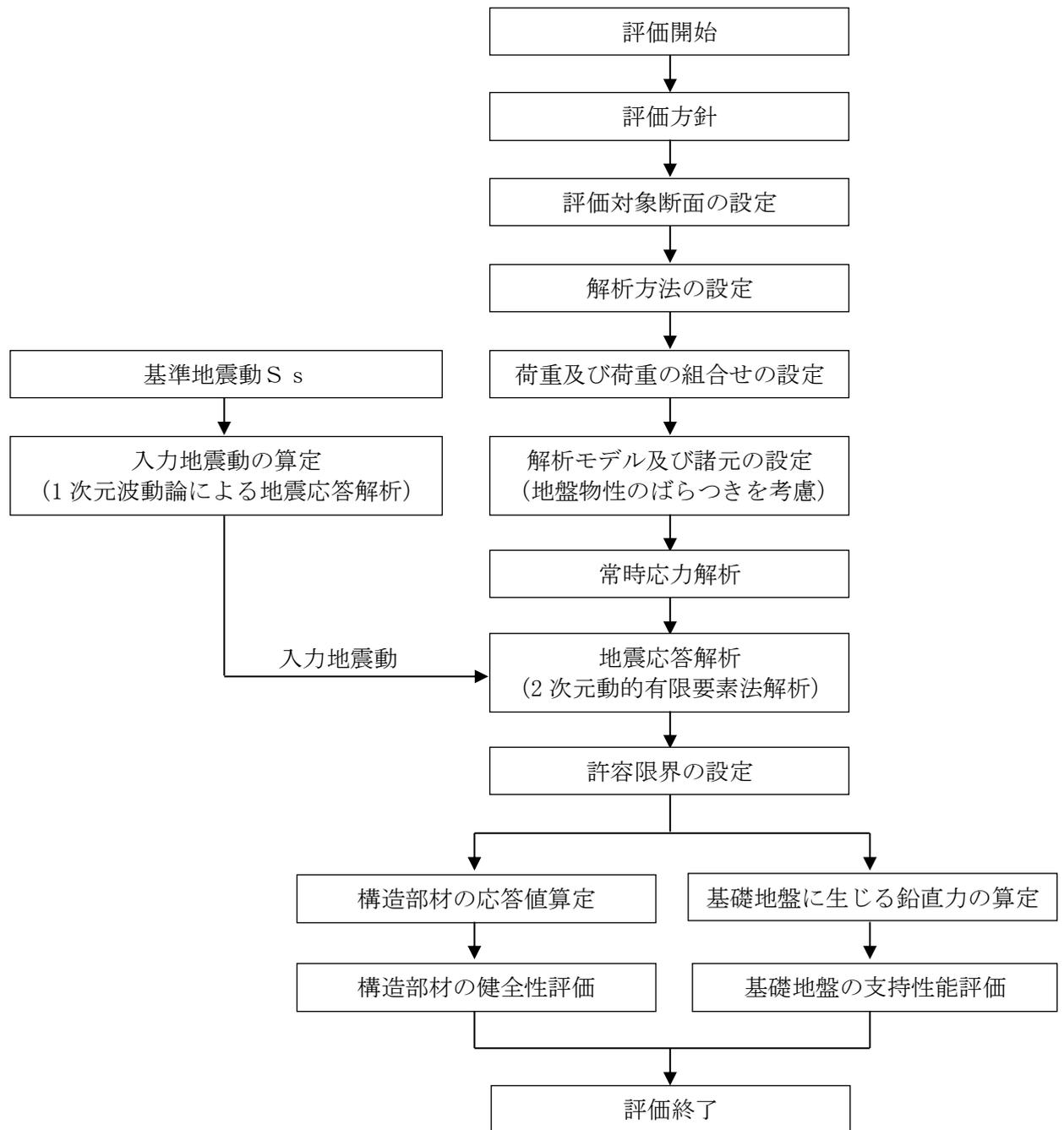


図 2-5 スクリーン室の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

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

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

スクリーン室の評価対象断面位置を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図3-1のA-A断面とする。

評価対象断面図を図3-2に示す。

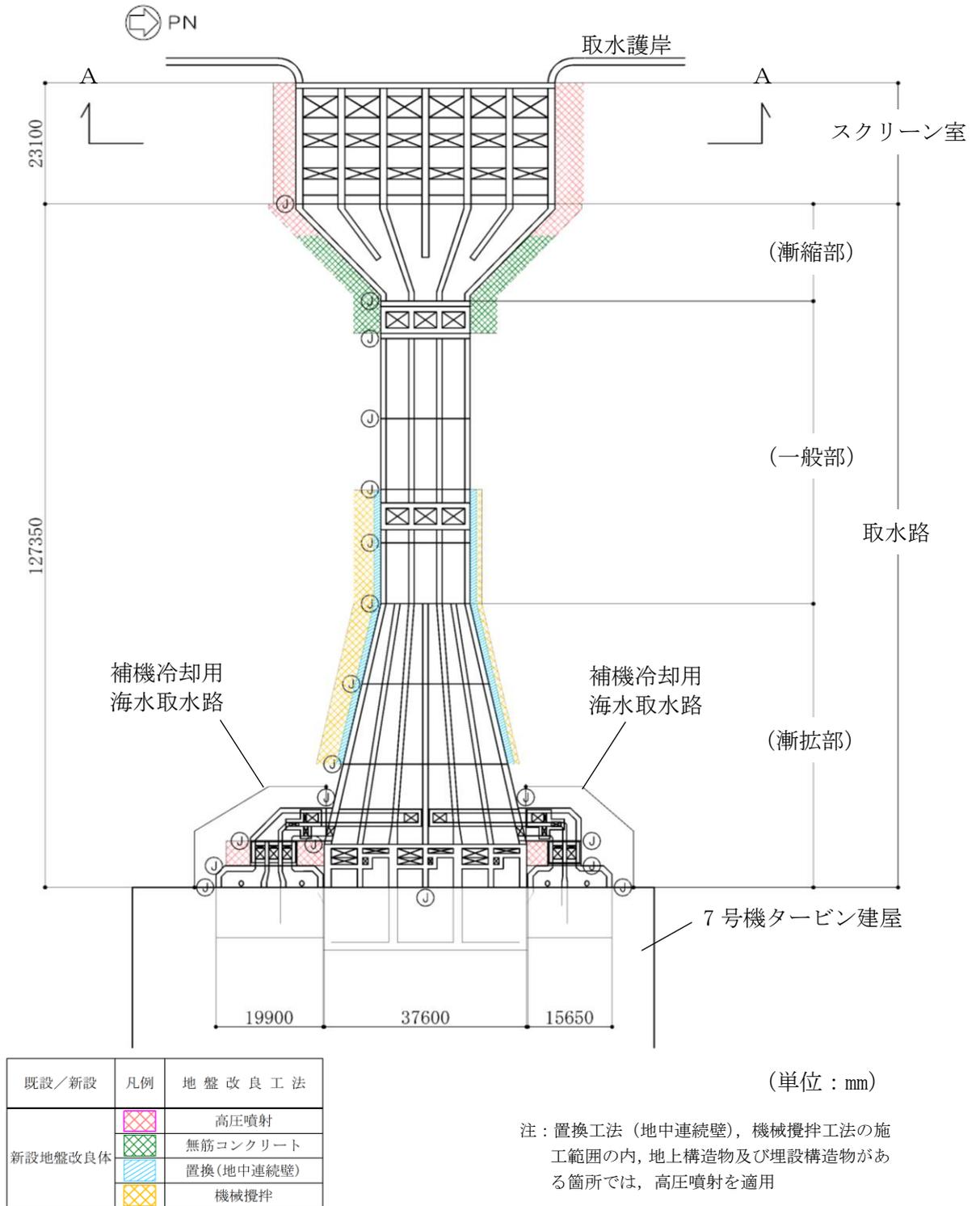


図3-1 スクリーン室の評価対象断面位置図

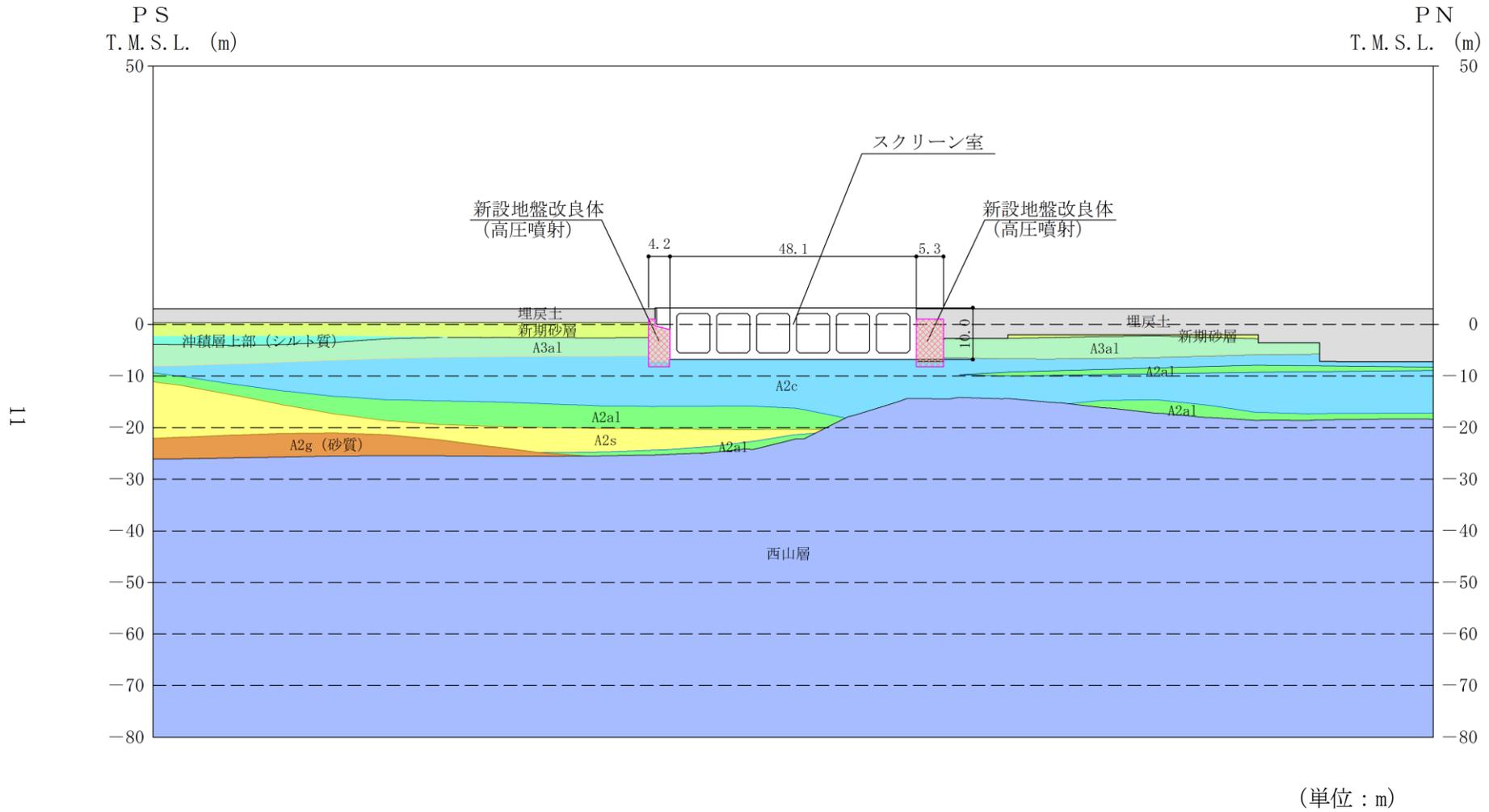


図 3-2 スクリーン室の評価対象断面図 (A-A断面)

3.2 解析方法

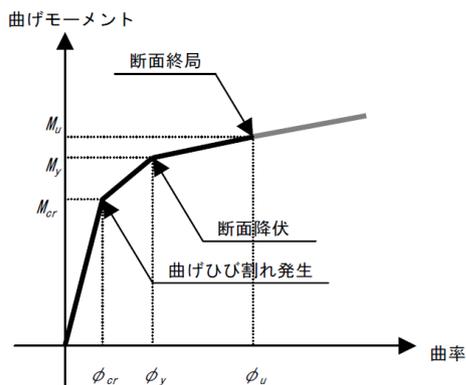
スクリーン室の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

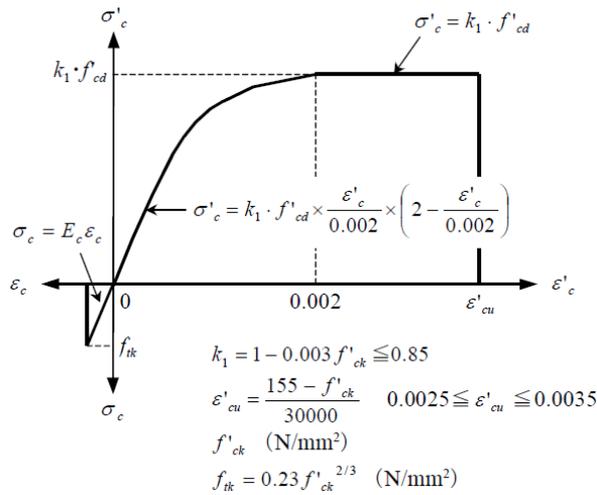
3.2.1 構造部材

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



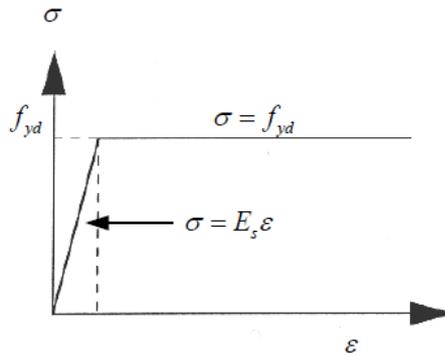
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用）

図3-3 鉄筋コンクリート部材の $M-\phi$ 関係



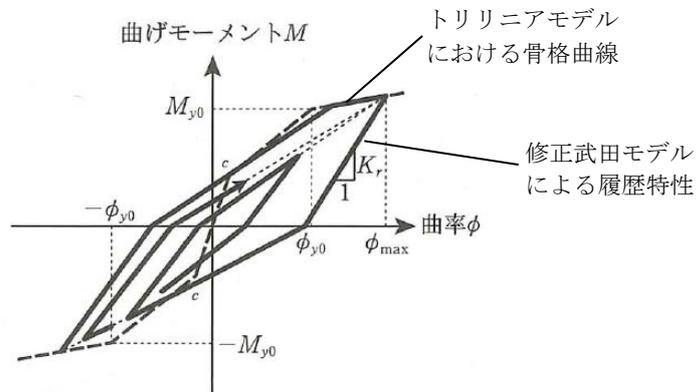
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

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



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

図 3-4 (2) 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)



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

図 3-5 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

3.2.2 地盤

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

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

表 3-1 耐震評価における解析ケース

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

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

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

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

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

3.2.3 減衰定数

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

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

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

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-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

スクリーン室の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。

(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

スクリーン室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、機器荷重、土圧及び水圧による荷重並びに積雪荷重を考慮する。

(3) 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3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

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

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

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

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

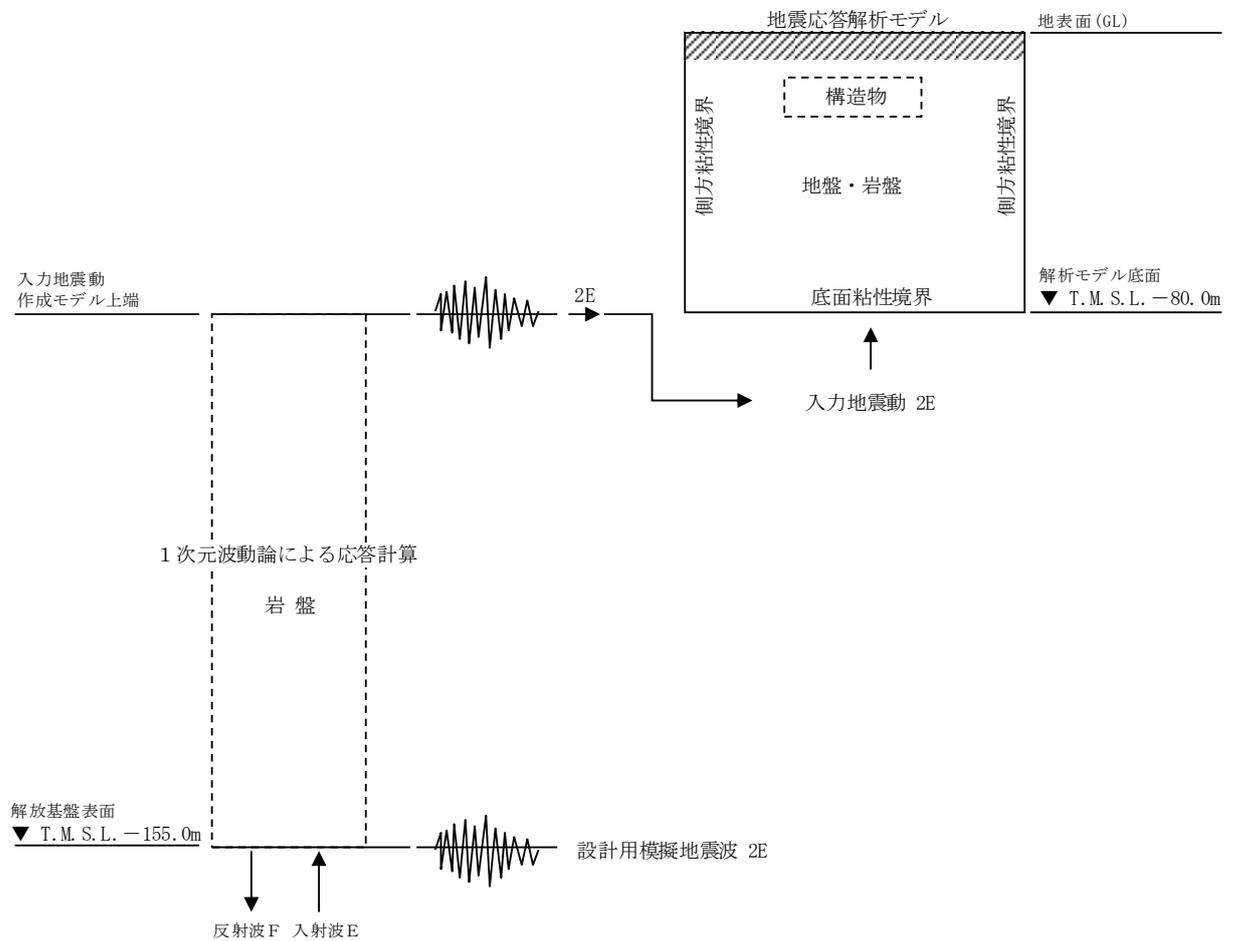
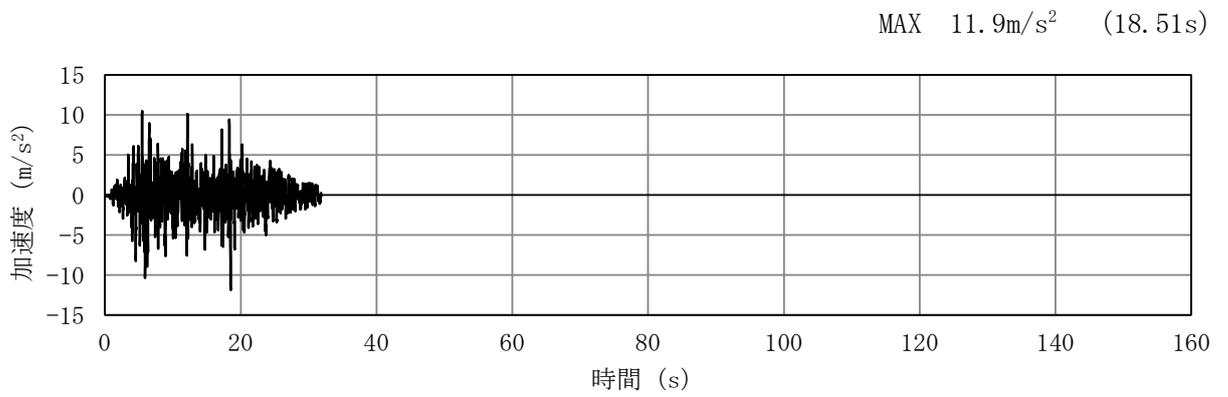
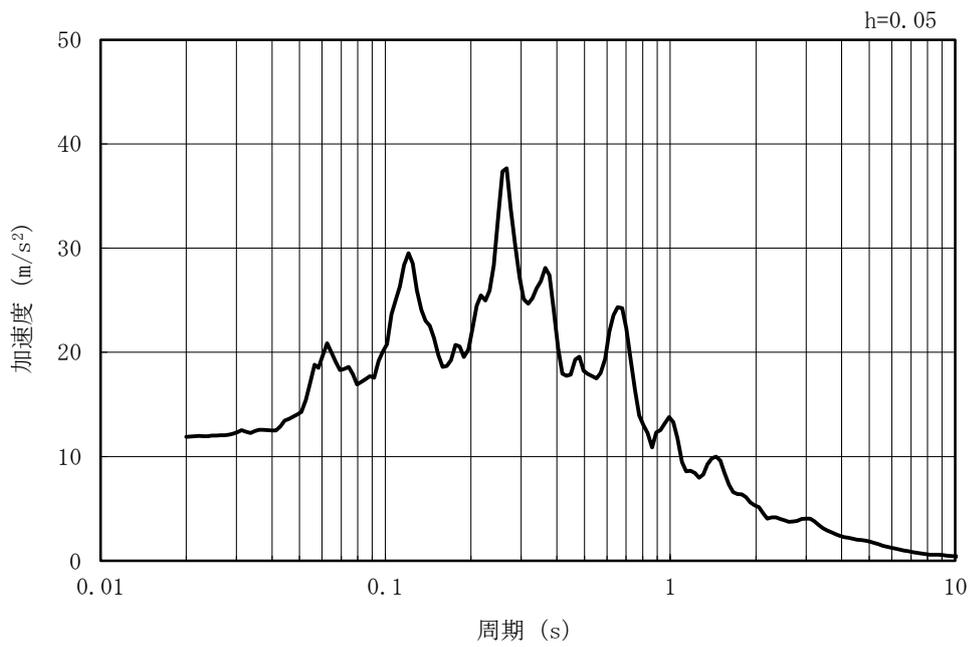


図3-6 入力地震動算定の概念図

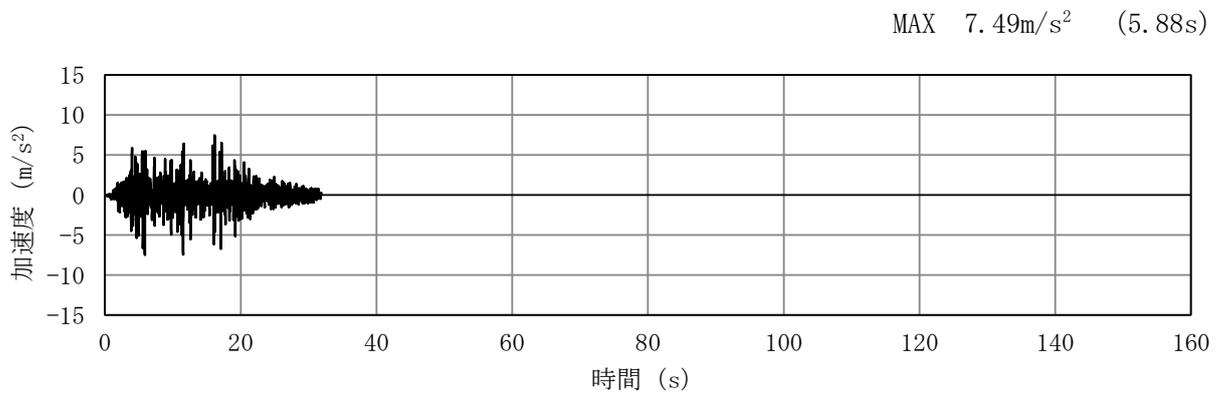


(a) 加速度時刻歴波形

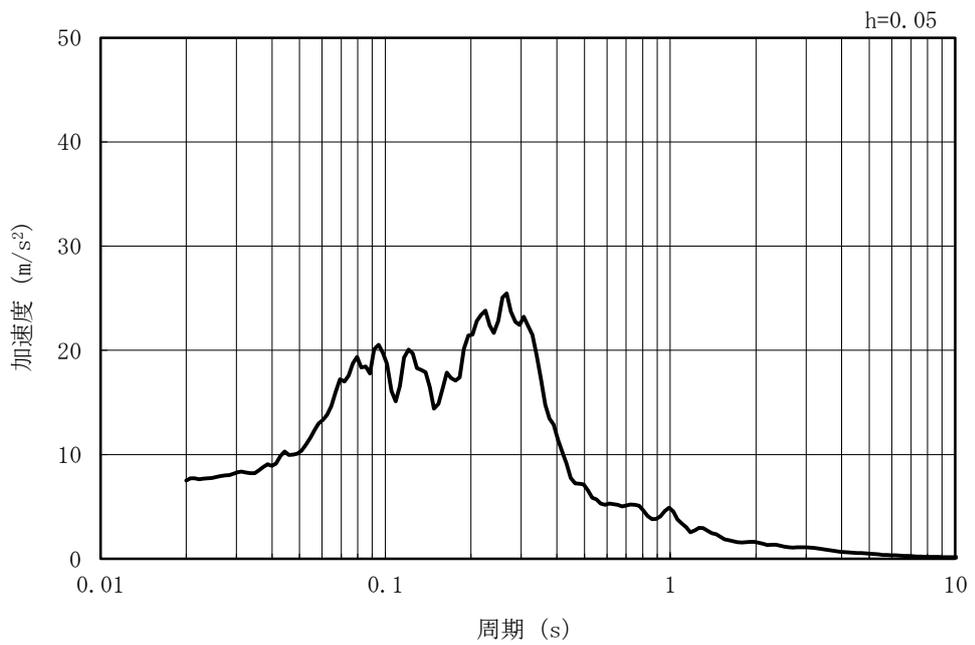


(b) 加速度応答スペクトル

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

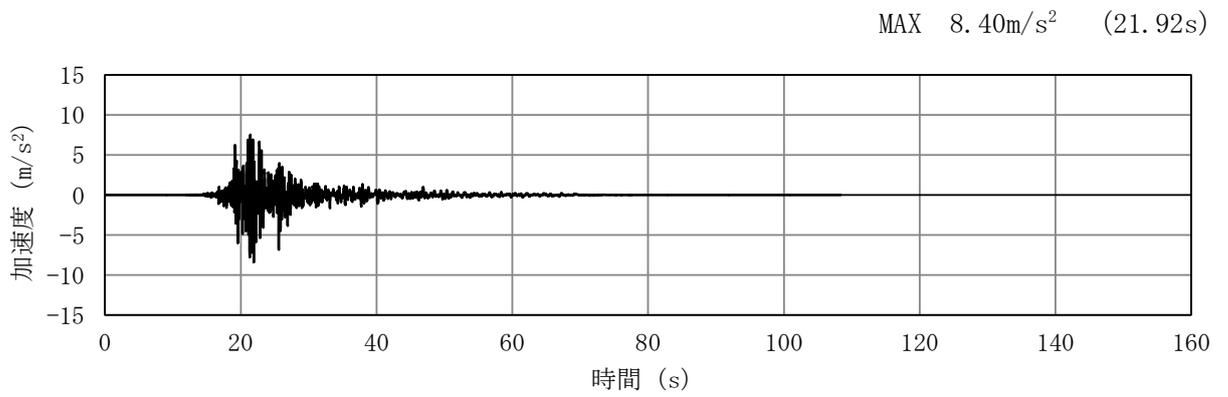


(a) 加速度時刻歴波形

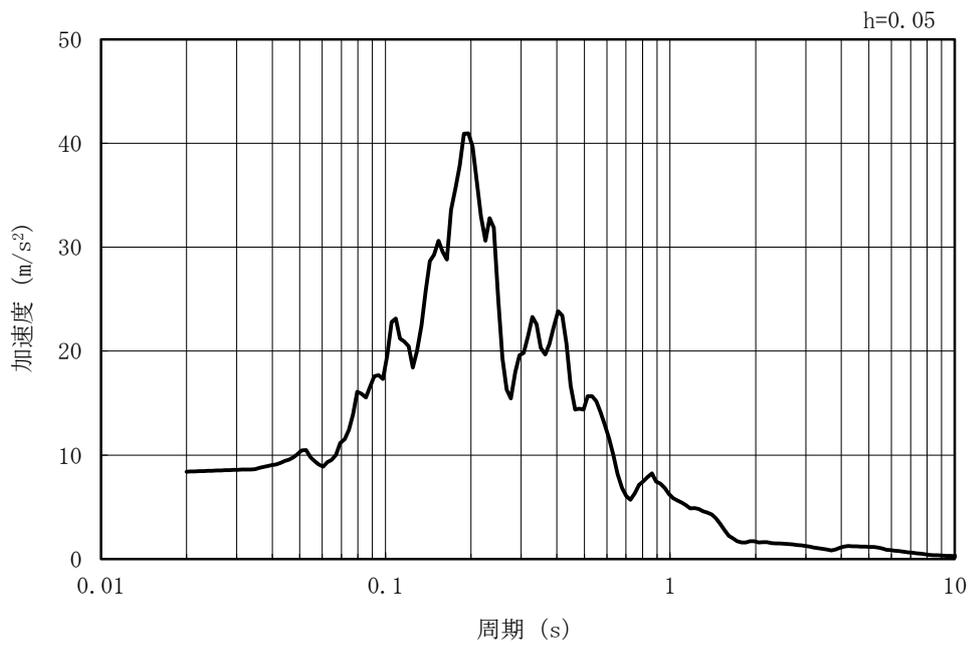


(b) 加速度応答スペクトル

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

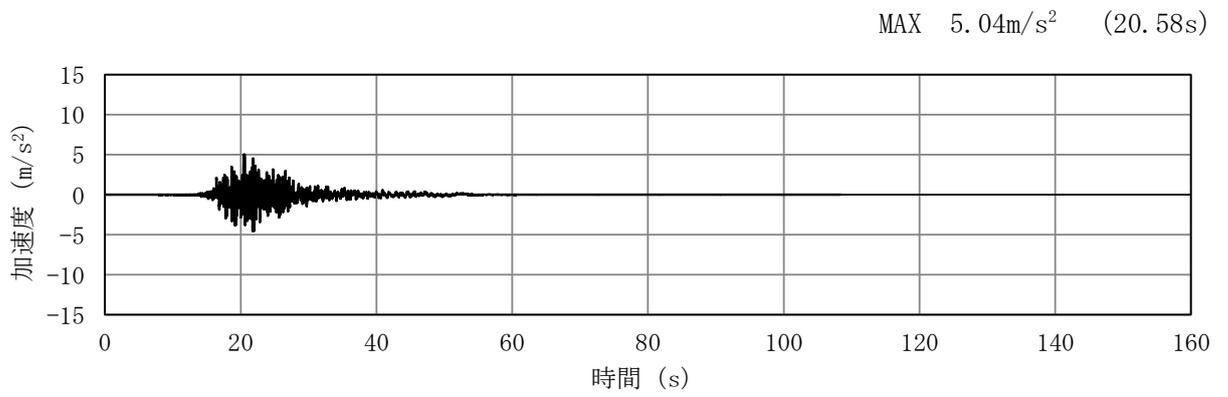


(a) 加速度時刻歴波形

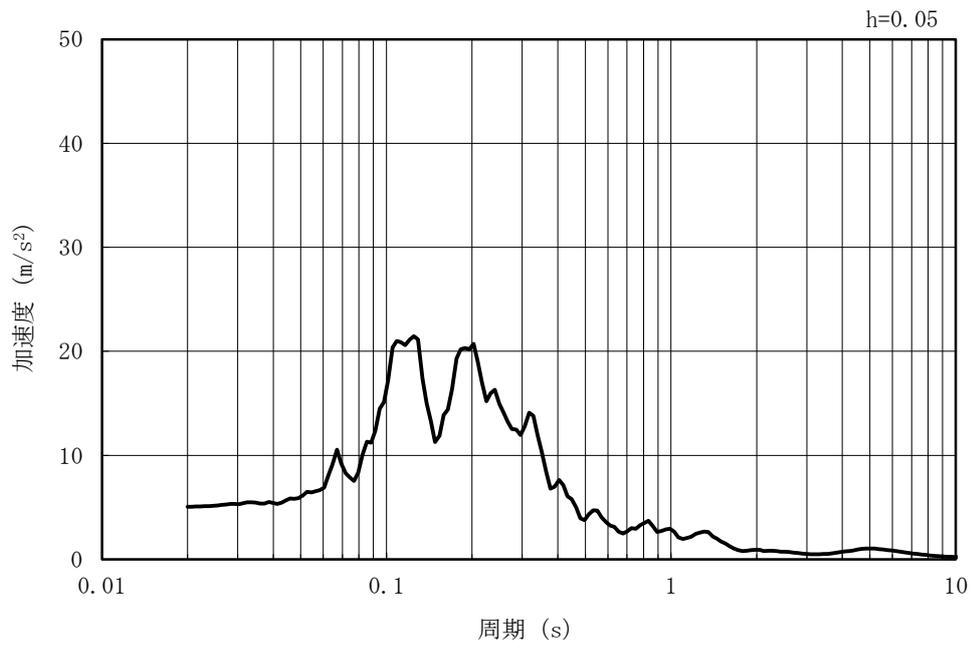


(b) 加速度応答スペクトル

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

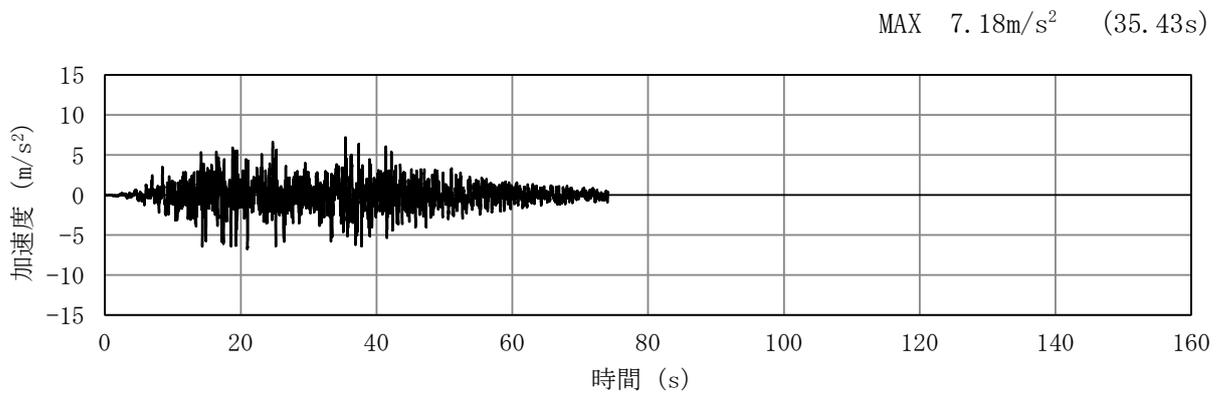


(a) 加速度時刻歴波形

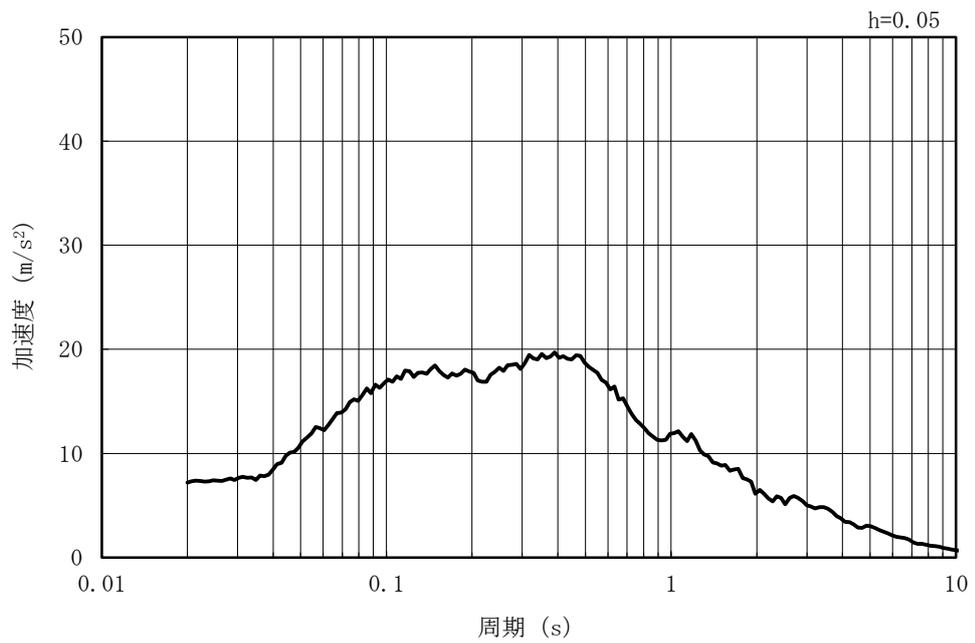


(b) 加速度応答スペクトル

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

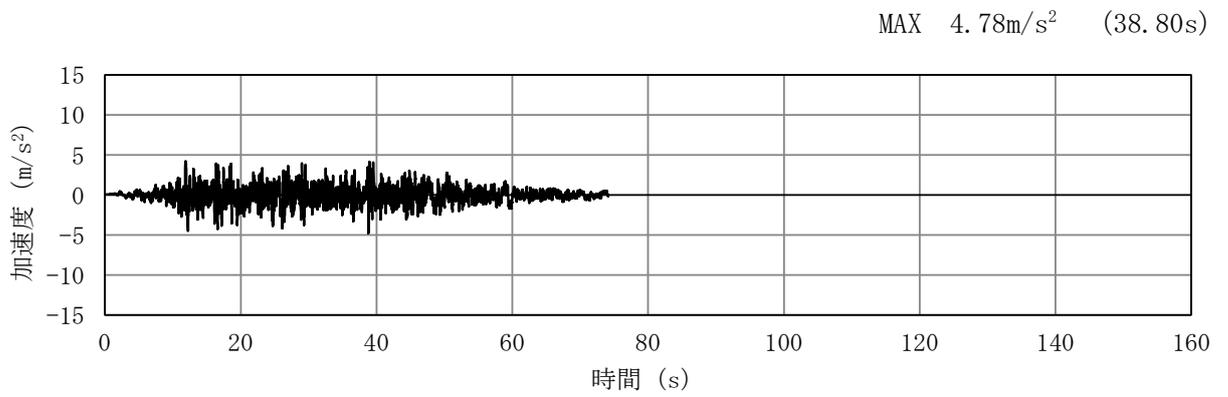


(a) 加速度時刻歴波形

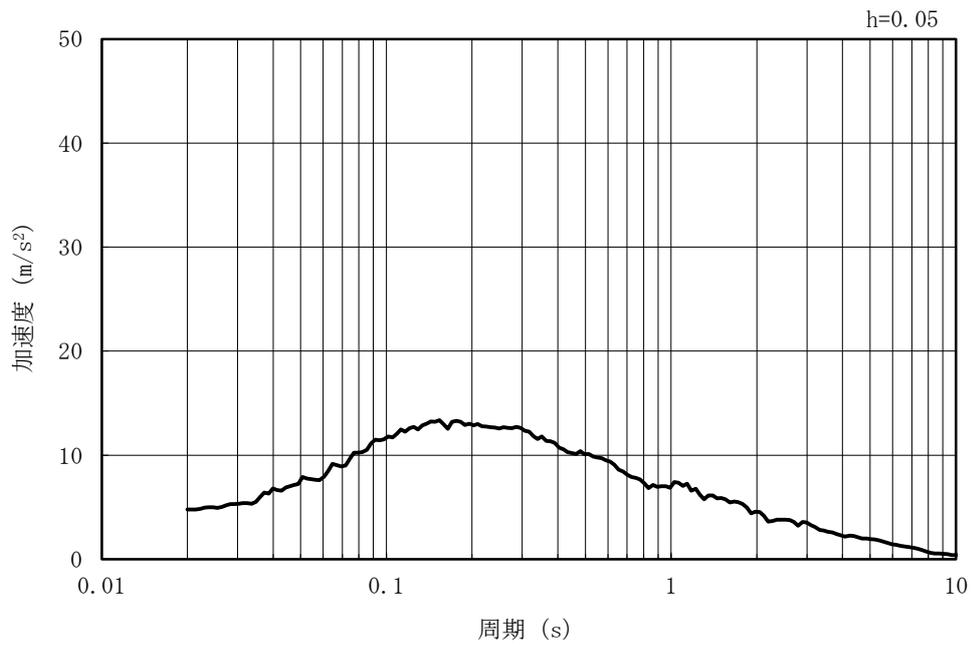


(b) 加速度応答スペクトル

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

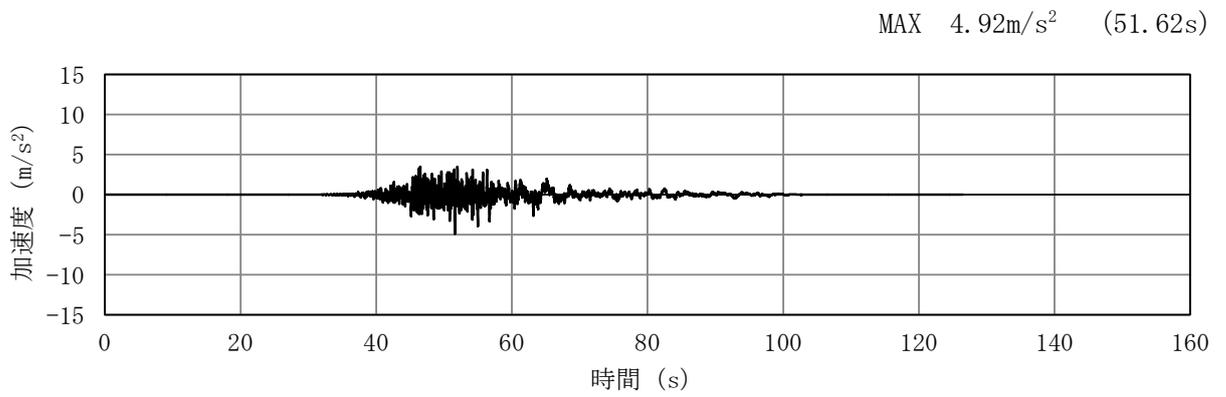


(a) 加速度時刻歴波形

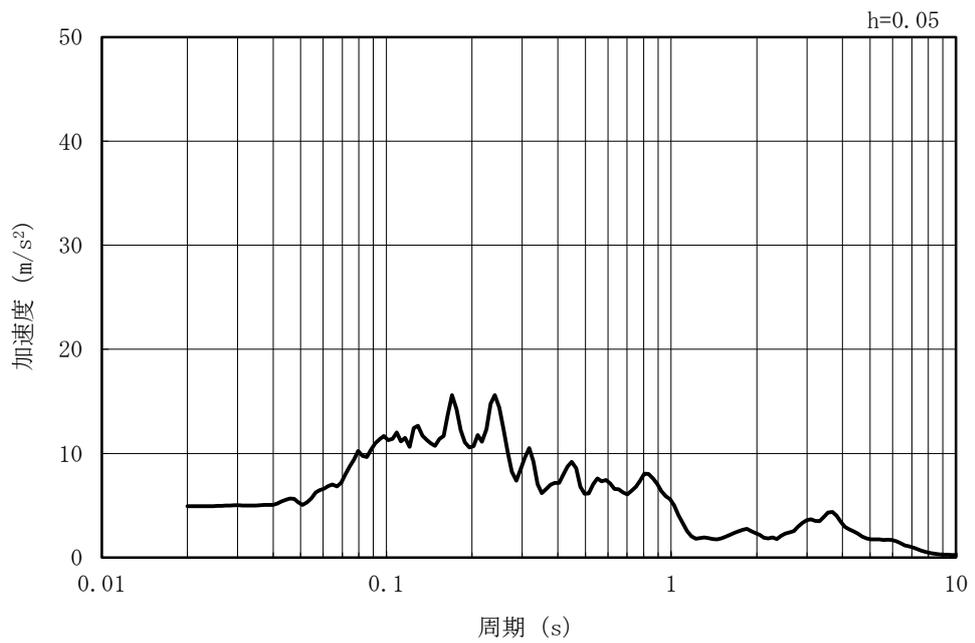


(b) 加速度応答スペクトル

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

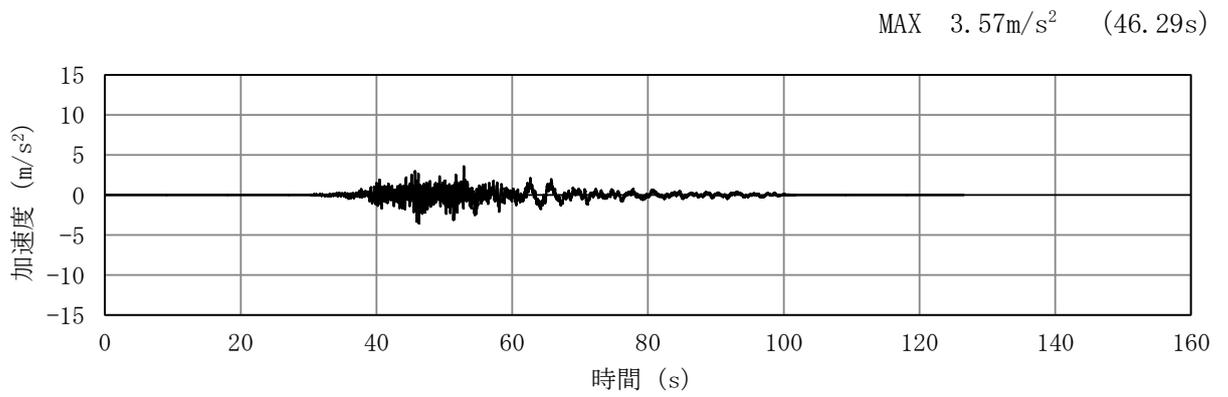


(a) 加速度時刻歴波形

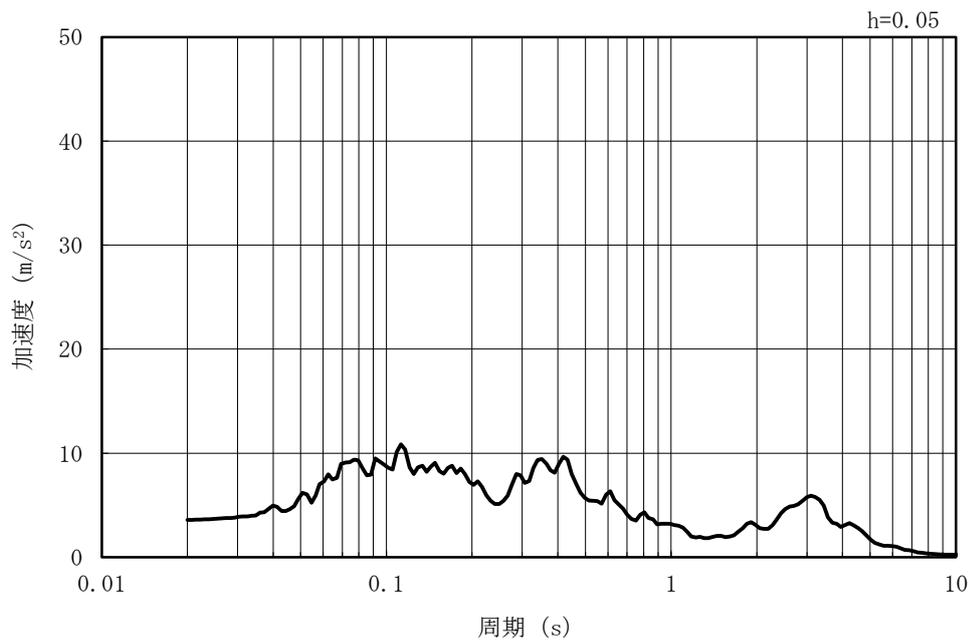


(b) 加速度応答スペクトル

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

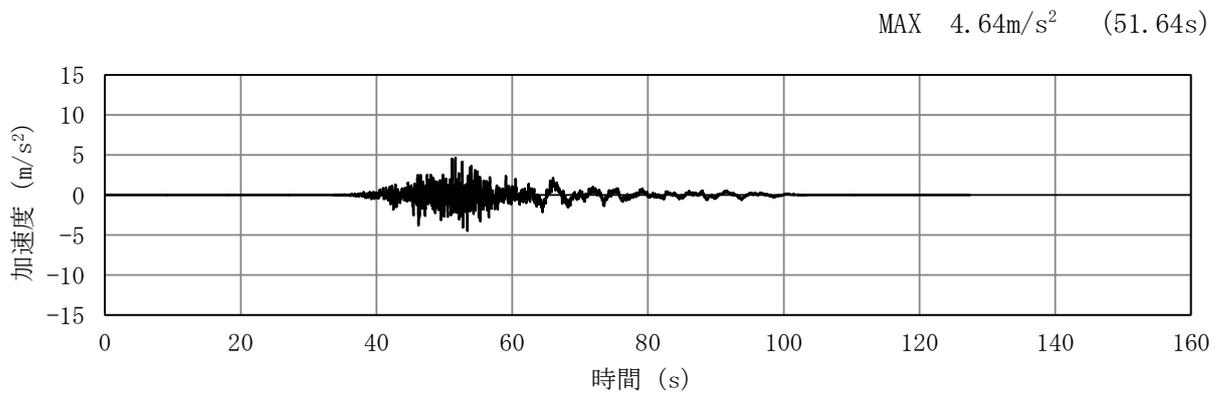


(a) 加速度時刻歴波形

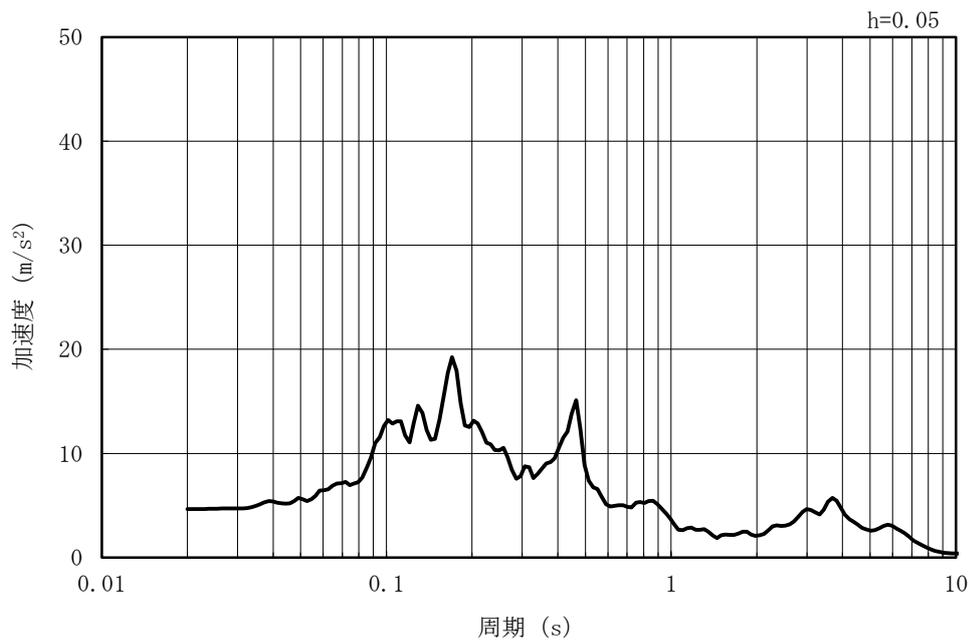


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4NS)

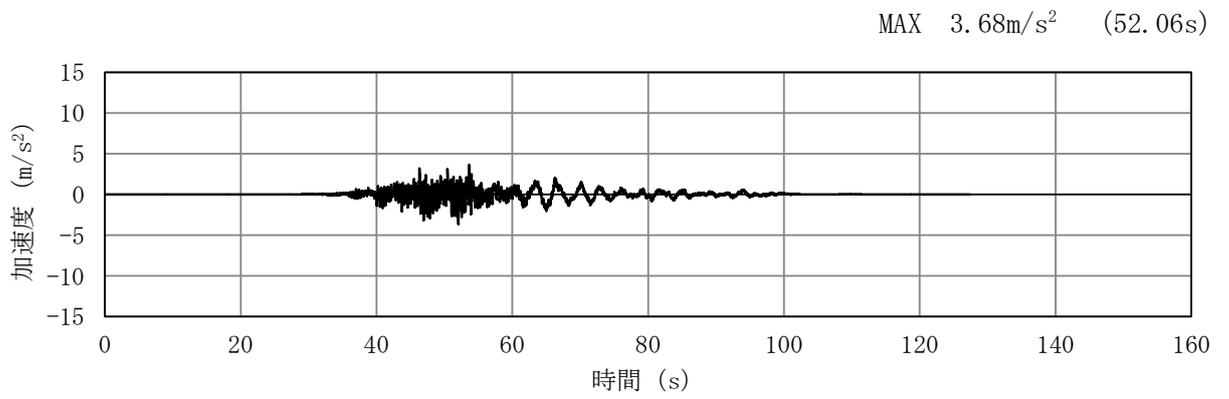


(a) 加速度時刻歴波形

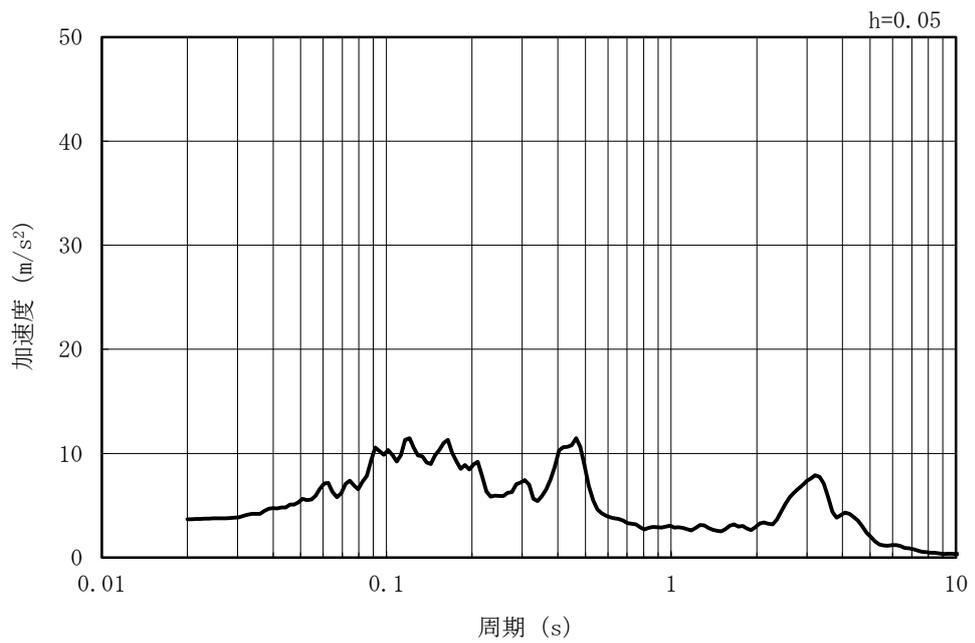


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5NS)

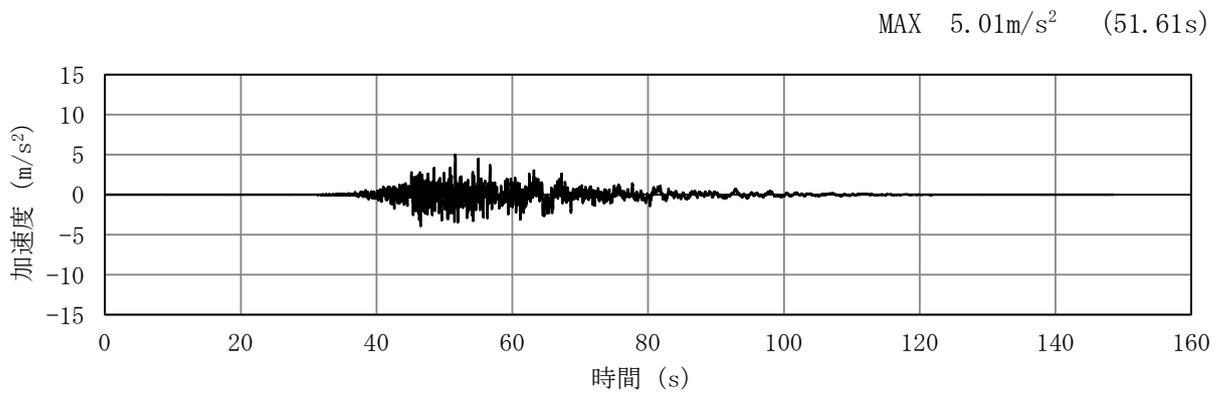


(a) 加速度時刻歴波形

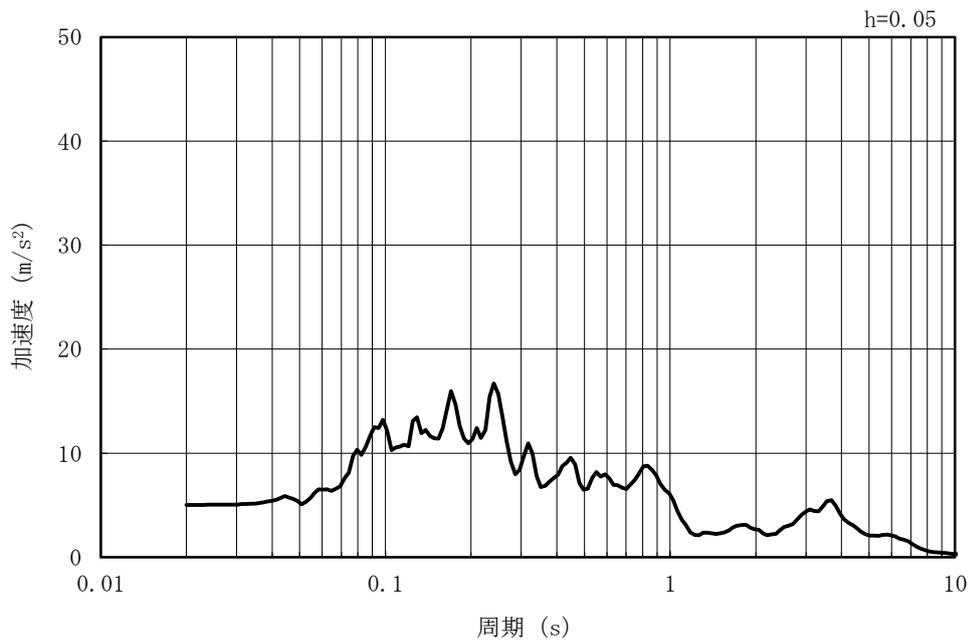


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-5NS)

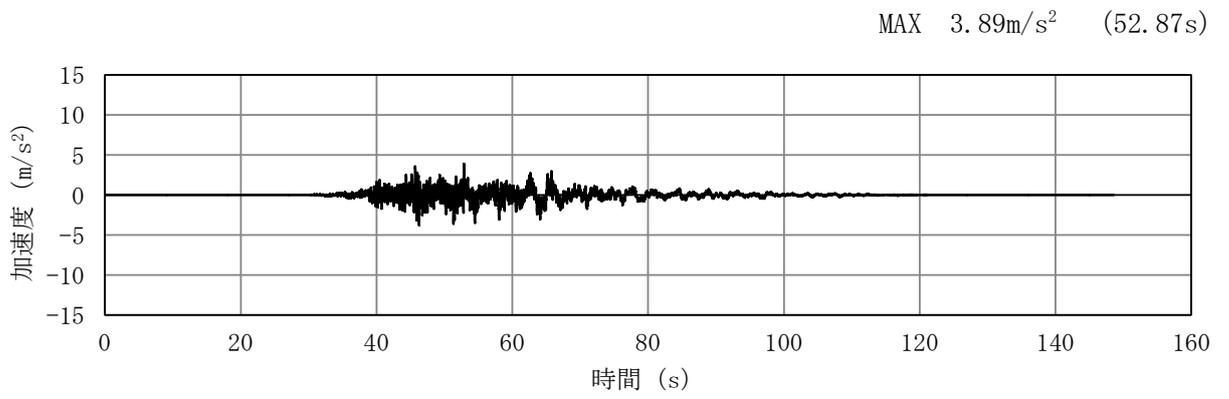


(a) 加速度時刻歴波形

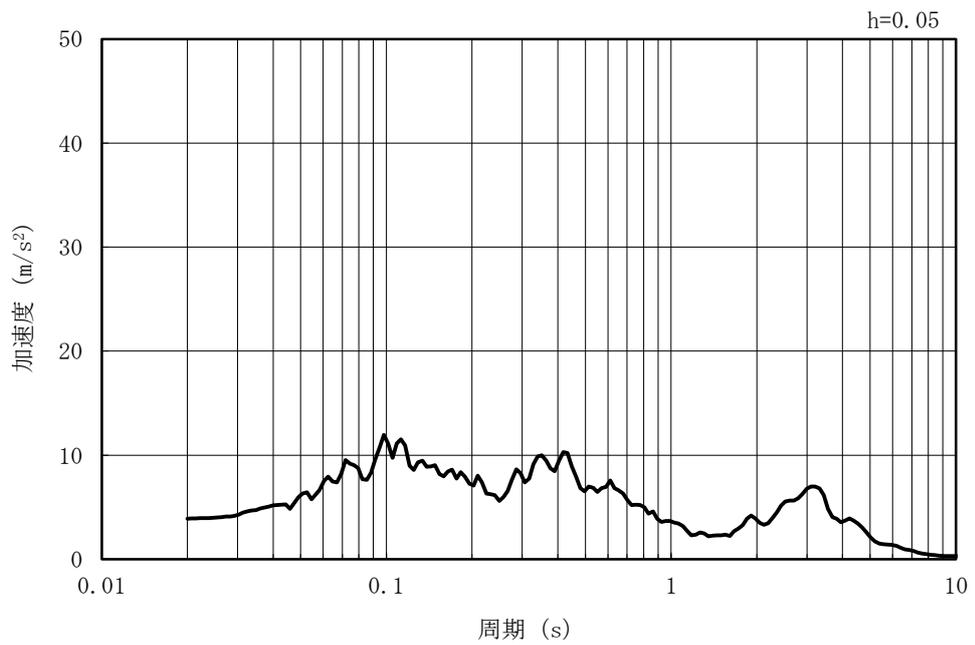


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6NS)

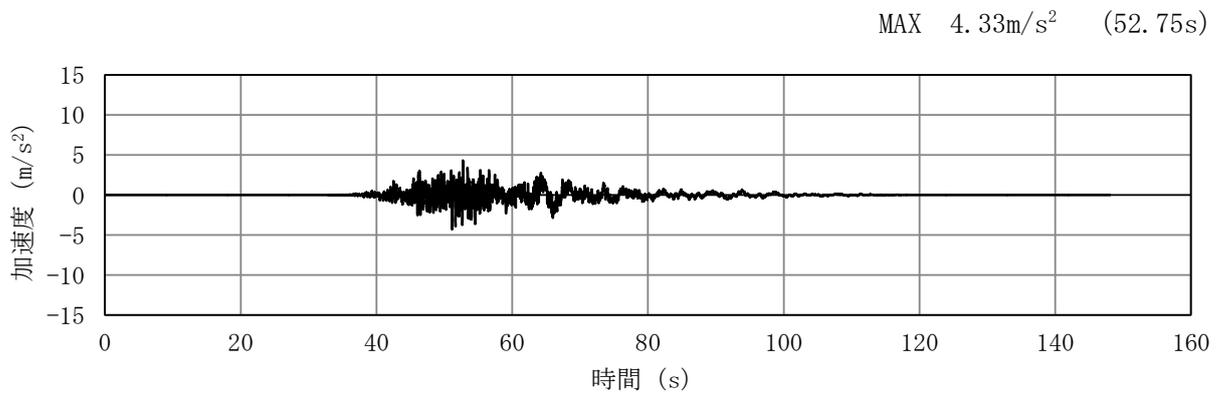


(a) 加速度時刻歴波形

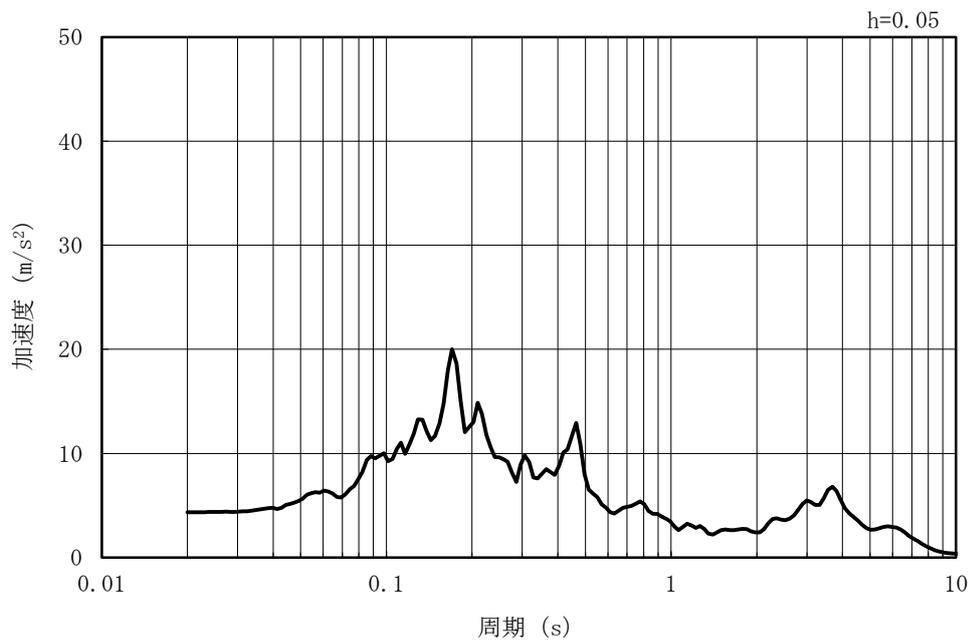


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6NS)

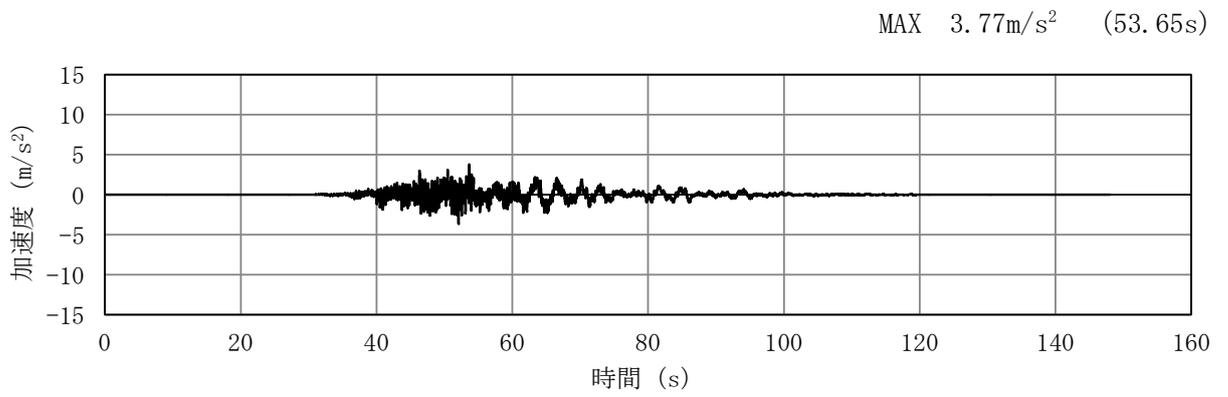


(a) 加速度時刻歴波形

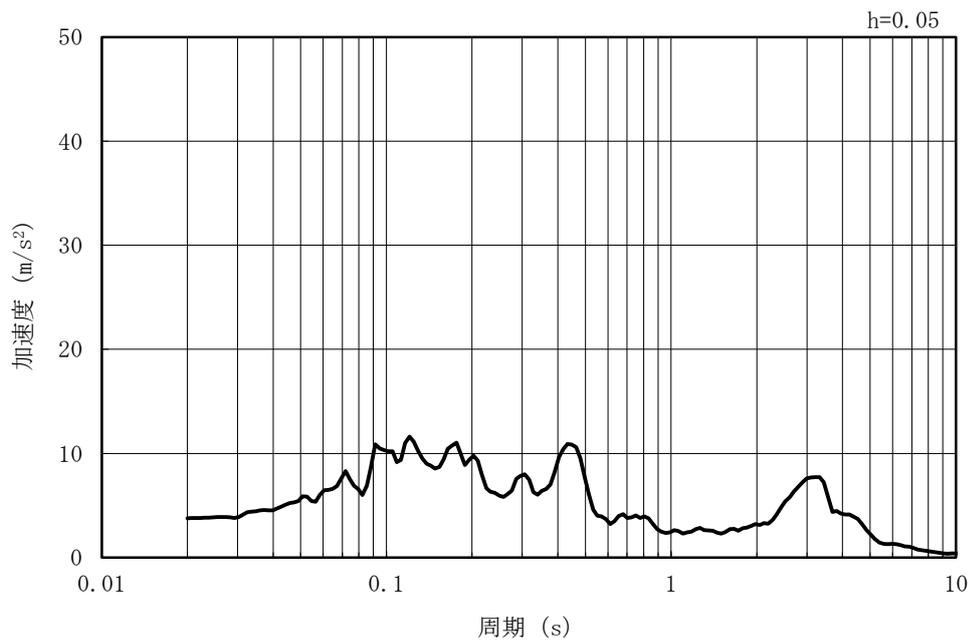


(b) 加速度応答スペクトル

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

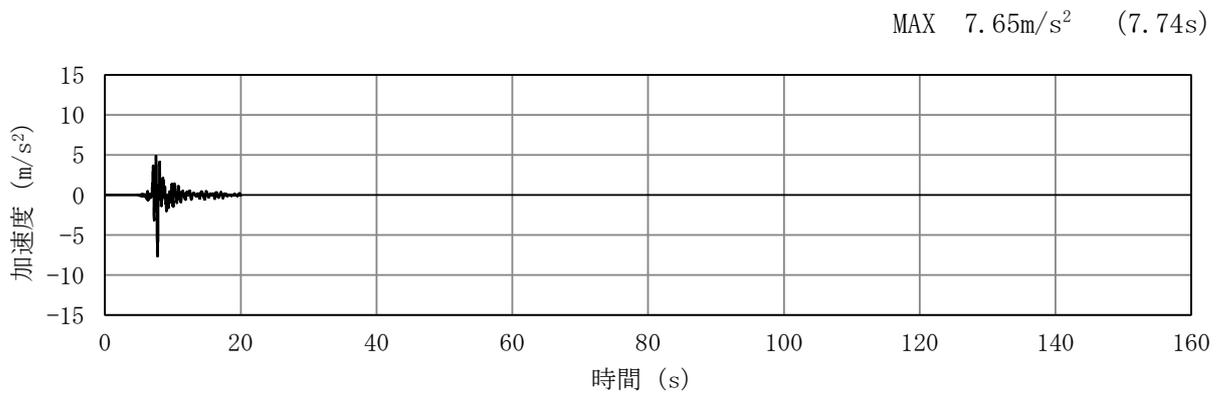


(a) 加速度時刻歴波形

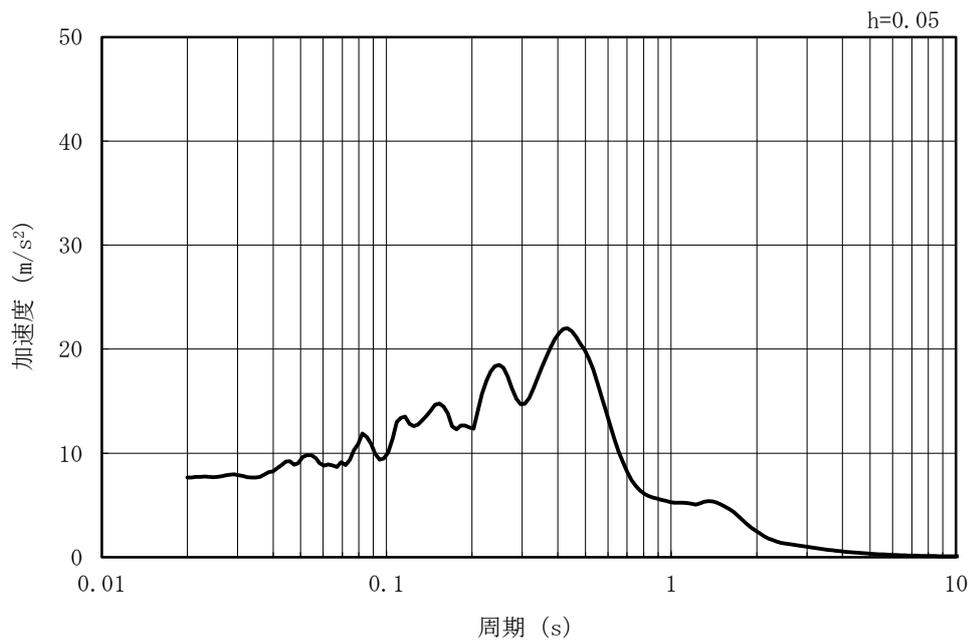


(b) 加速度応答スペクトル

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

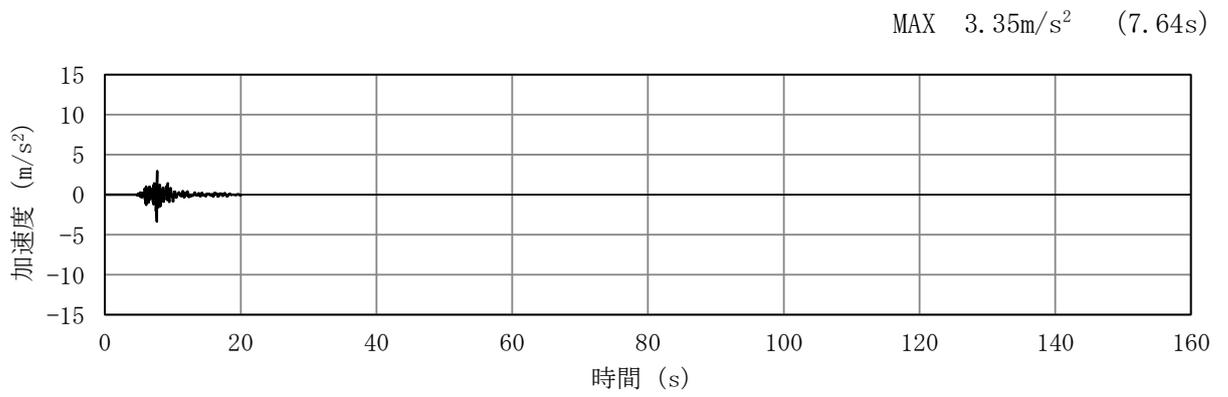


(a) 加速度時刻歴波形

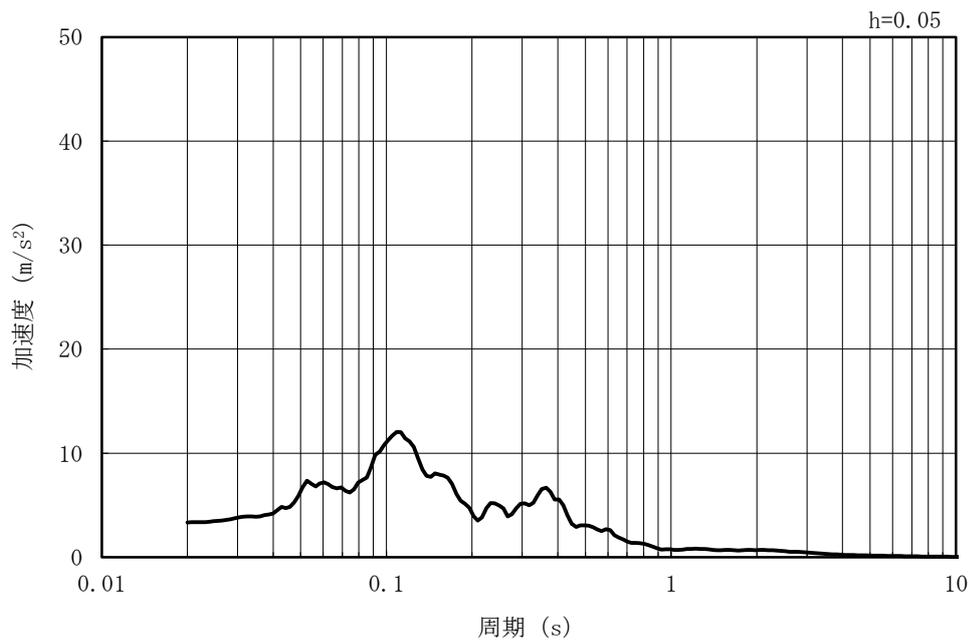


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

スクリーン室の地震応答解析モデルを図3-8に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

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

(5) 地盤改良体のモデル化

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

(6) ジョイント要素の設定

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

(7) 水位条件

スクリーン室の内水位は、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対し、保守性を考慮し、T.M.S.L. 1.0m とする。

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、T.M.S.L. 3.0m に設定する。

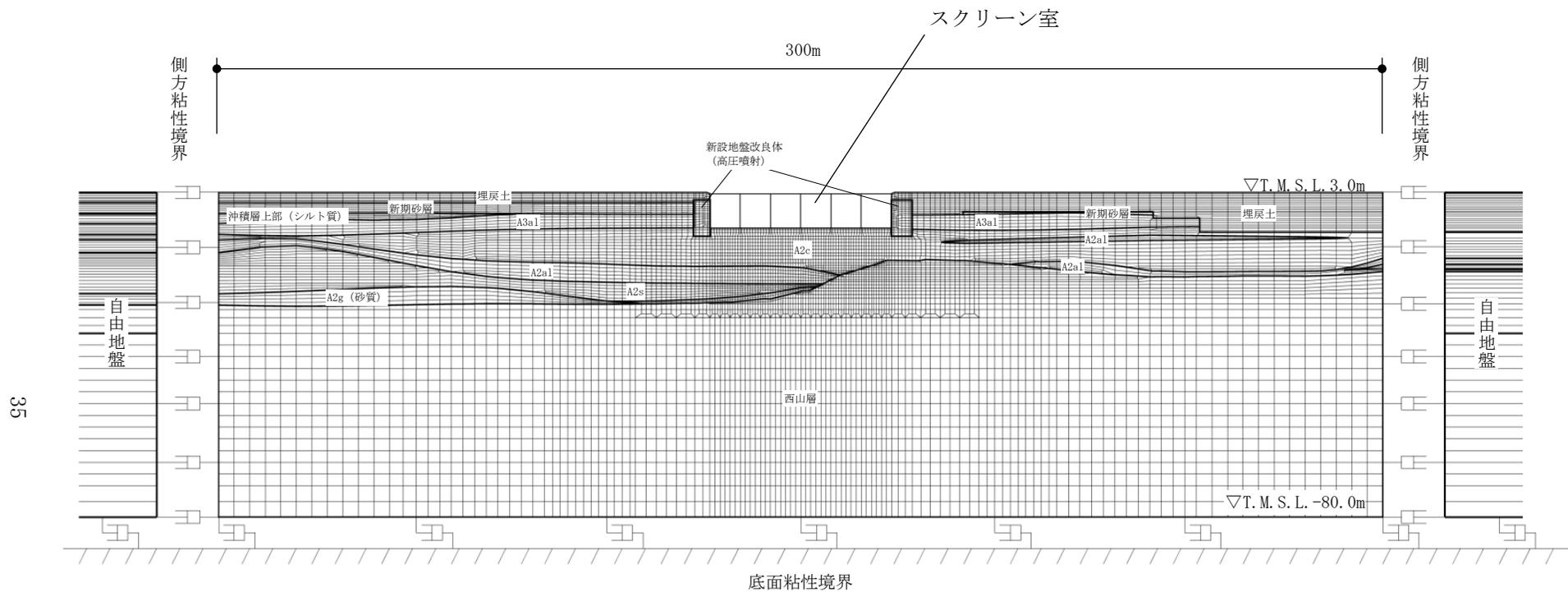


図3-8 スクリーン室の地震応答解析モデル (A-A断面)

3.5.2 使用材料及び材料物性値

構造物の使用材料を表 3-3、材料物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 使用材料

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

表 3-4 材料物性値

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

注記* : 建設時の設計値に基づく。

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

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

表 3-5 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設/新設		新設地盤改良体
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94
	間隙率 n	0.49
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	6.98×10 ⁵
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0
	ポアソン比 ν	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	500

3.6 許容限界

許容限界は、V-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) 曲げ軸力に対する許容限界

曲げ軸力に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

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

層間変形角 1/100 の状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

(2) せん断力に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式、ディープビーム式、又は材料非線形解析で求まるせん断耐力を許容限界とする。材料非線形解析によるせん断耐力は、解析コード「WC OMD-S J」により算定する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

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鉛直力に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、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）の直接基礎より設定する。

3.7 評価方法

スクリーン室の耐震評価は、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」に示す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照査及びせん断力照査に対して、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。

曲げ軸力照査において照査値が最大となる地震動及び解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形を図3-9、せん断力照査において照査値が最大となる地震動、解析ケース及び評価時刻での断面力分布を図3-10に示す。

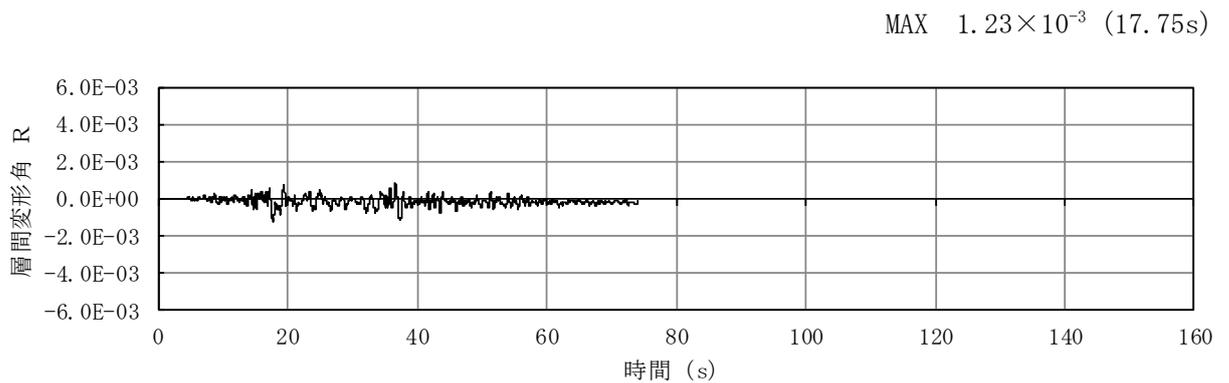
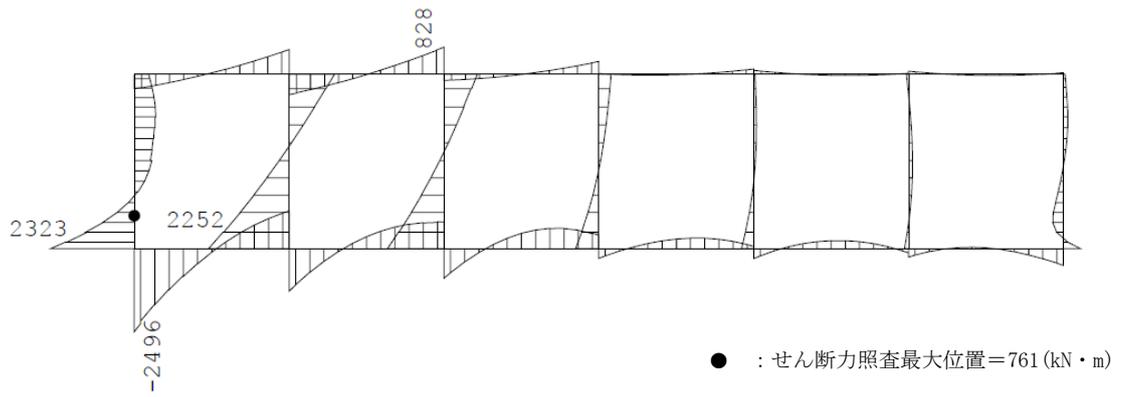
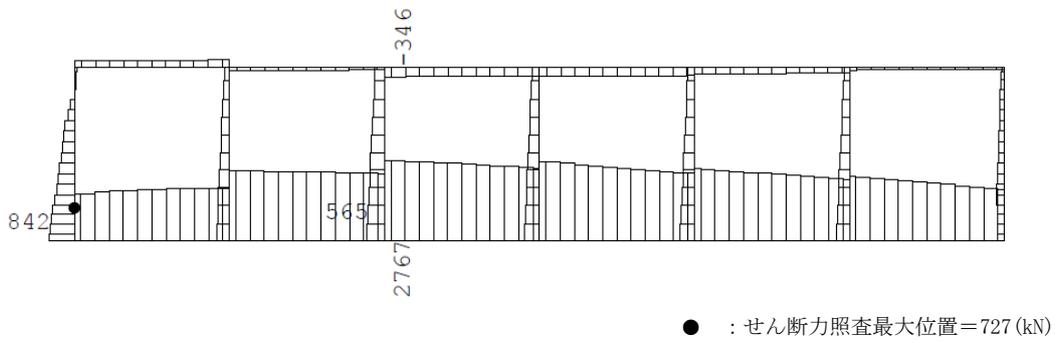


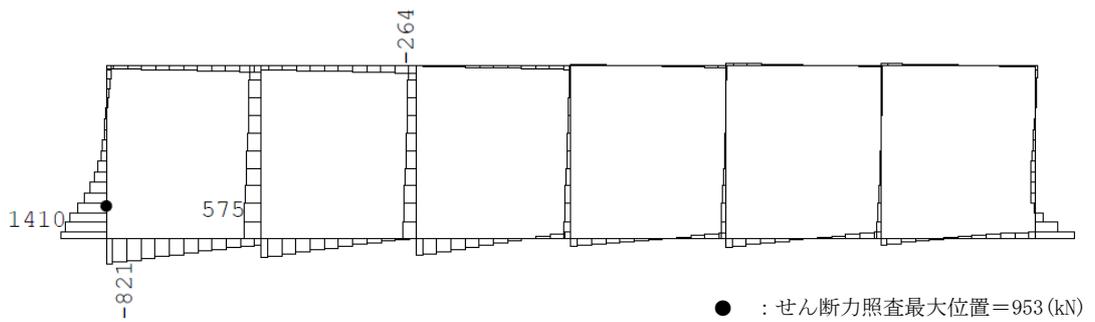
図3-9 層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース①, Ss-3--)



曲げモーメント (kN・m)



軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



せん断力 (kN)

数値 : 各評価位置の最大断面力

図 3-10 A-A断面 (側壁) のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
(解析ケース③, Ss-3+, t=37.45s)

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、基礎地盤に発生する鉛直力が極限支持力に基づく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

構造部材の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-1、せん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 4-2 に示す。

スクリーン室の構造部材の照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

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
①	Ss-3--	1.48×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.15

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 γ_a

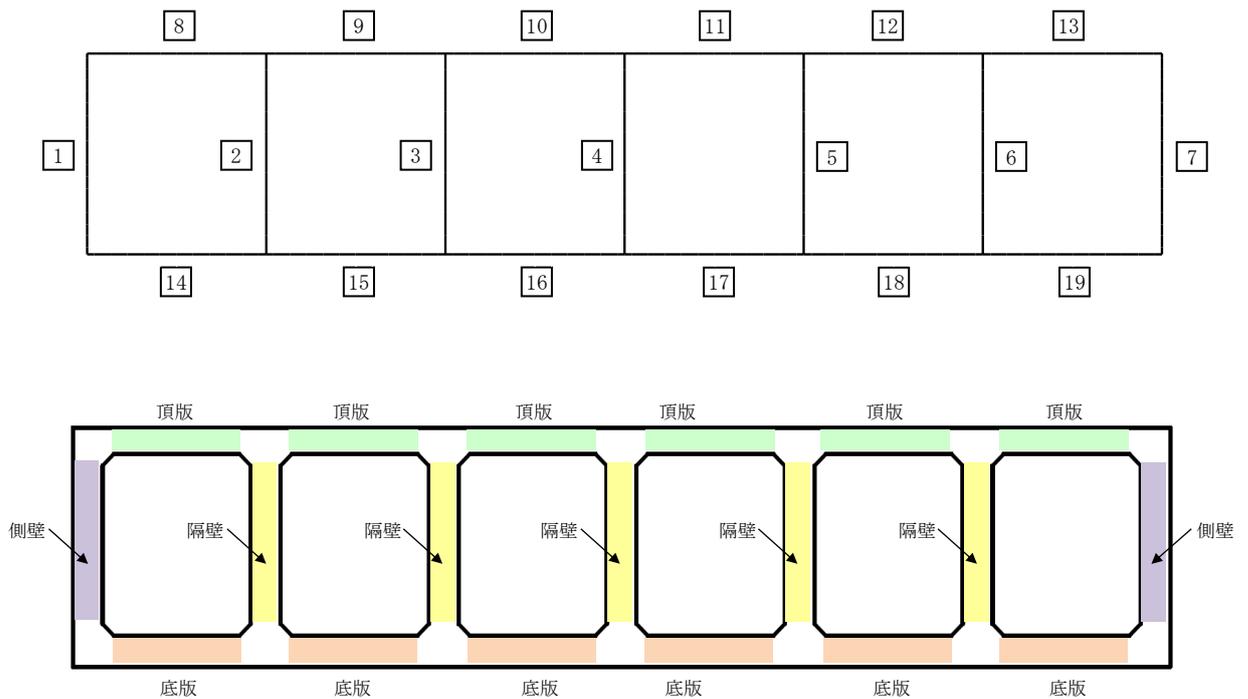
表 4-2 セン断力照査における各評価位置での最大照査値（A-A断面）

評価位置		解析 ケース	地震動	照査用せん断力* ¹ V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	9	③	Ss-3++	263	379	0.70
側壁	1	③	Ss-3++	1368* ²	4197* ²	0.33* ²
隔壁	4	①	Ss-3-+	649	1096	0.60
底版	16	①	Ss-3-+	603	1150	0.53

注記*1：照査用せん断力 V_d ＝発生せん断力 V ×構造解析係数 γ_a

*2：材料非線形解析を用いた方法による数値

評価位置は下図に示す。



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照査結果を表 4-3 に示す。

スクリーン室の基礎地盤に発生する最大鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能照査結果

解析 ケース	地震動	最大鉛直力 V (kN)	極限支持力 Q _u (kN)	照査値 V / Q _u
⑤	Ss-3++	2440	57500	0.05

V-2-10-3-1-5 スクリーン室（6号機設備）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	6
2.4 適用基準	9
3. 耐震評価	10
3.1 評価対象断面	10
3.2 解析方法	12
3.2.1 構造部材	12
3.2.2 地盤	14
3.2.3 減衰定数	15
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	16
3.3.2 荷重	16
3.3.3 荷重の組合せ	16
3.4 入力地震動	17
3.5 解析モデル及び諸元	34
3.5.1 解析モデル	34
3.5.2 使用材料及び材料物性値	36
3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値	36
3.6 許容限界	37
3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界	37
3.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	37
3.7 評価方法	38
3.7.1 構造部材の健全性評価	38
3.7.2 基礎地盤の支持性能評価	40
4. 耐震評価結果	41
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	41
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	43

1. 概要

本資料は、V-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、スクリーン室（6号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

スクリーン室（6号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

スクリーン室（6号機設備）の位置図を図2-1に示す。

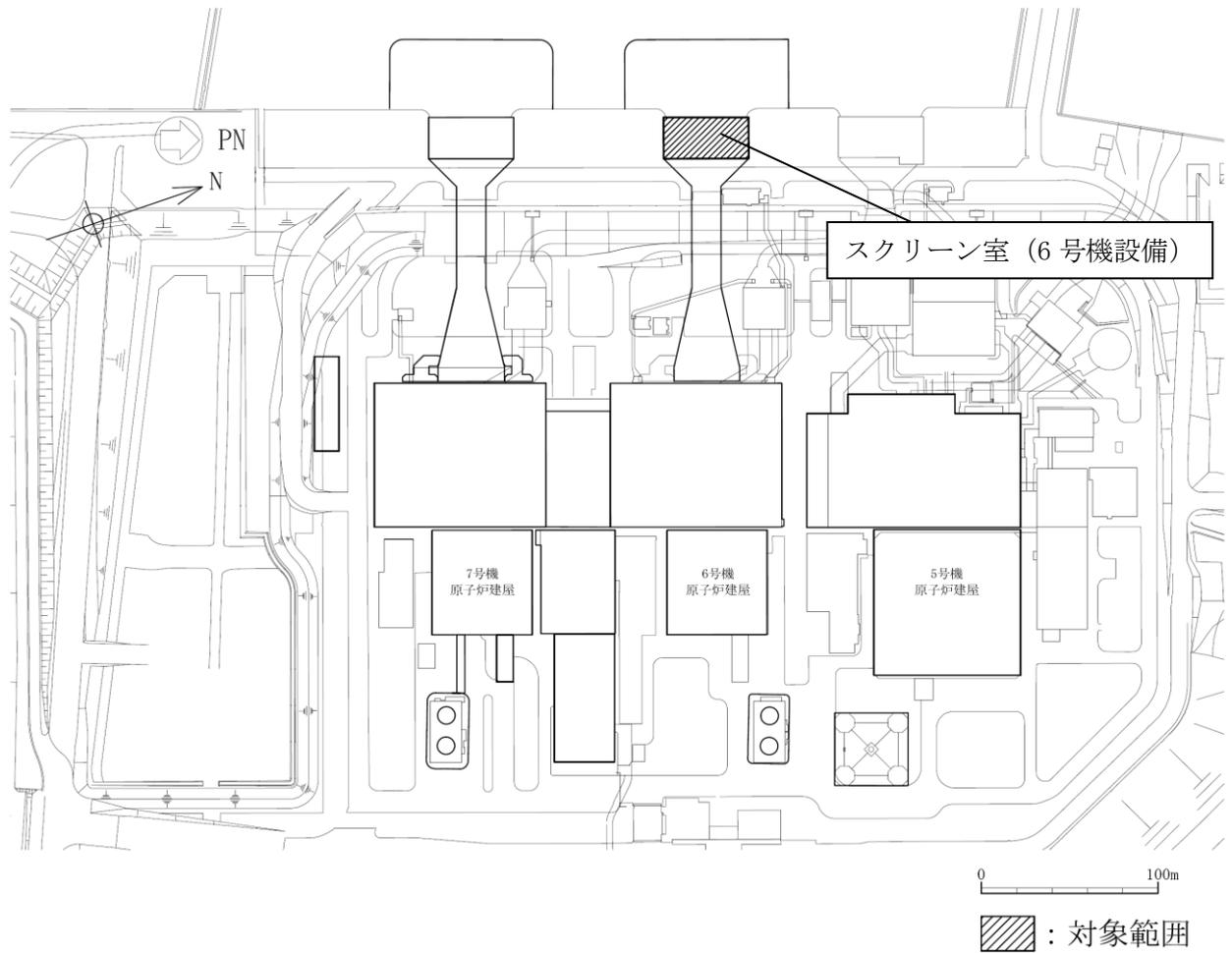


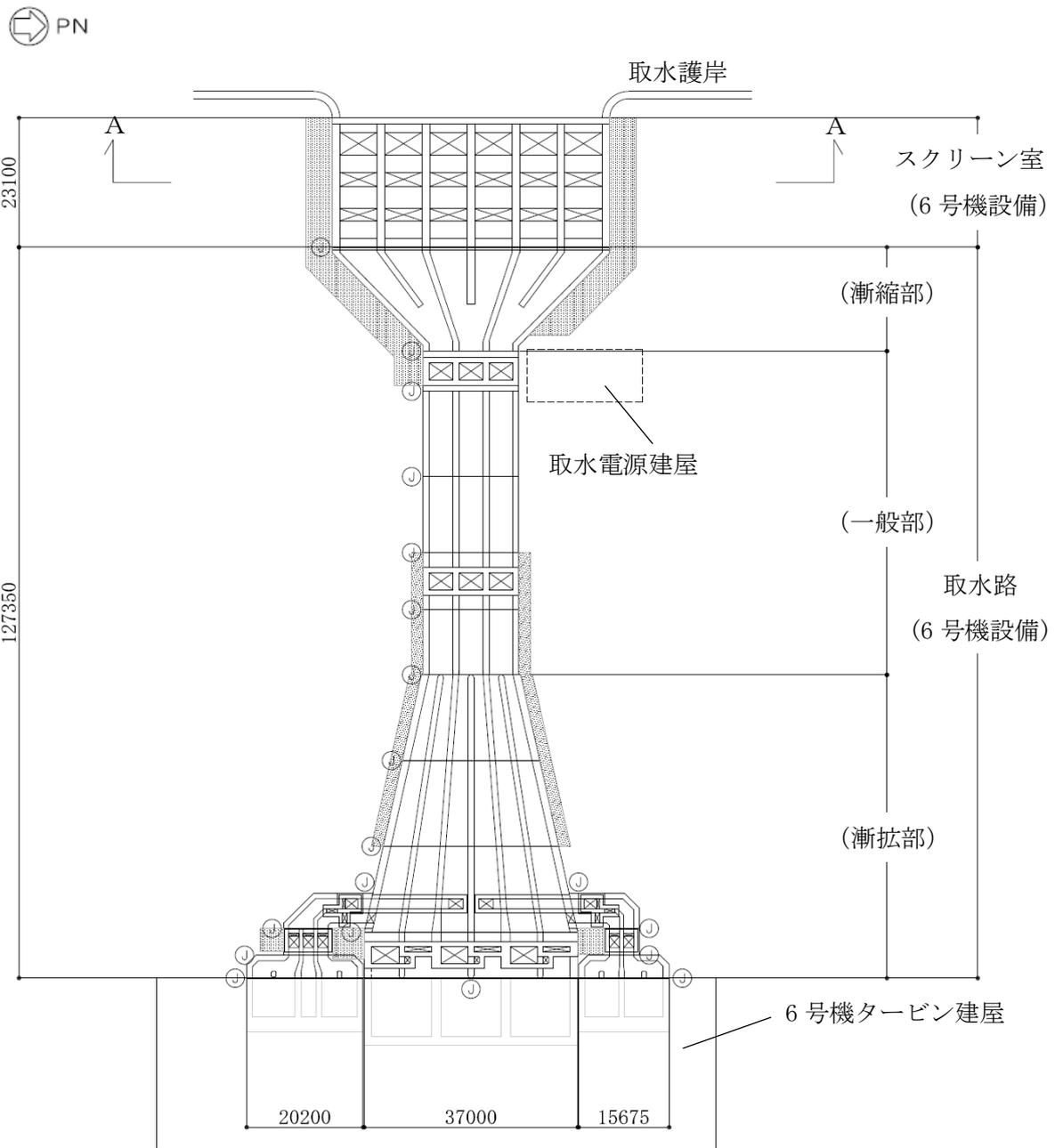
図2-1 スクリーン室（6号機設備）の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

スクリーン室（6号機設備）の平面図を図2-2、断面図を図2-3、概略配筋図を図2-4に示す。

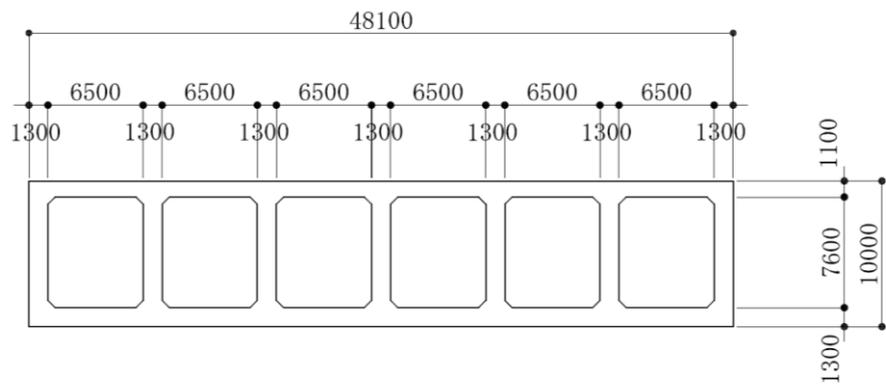
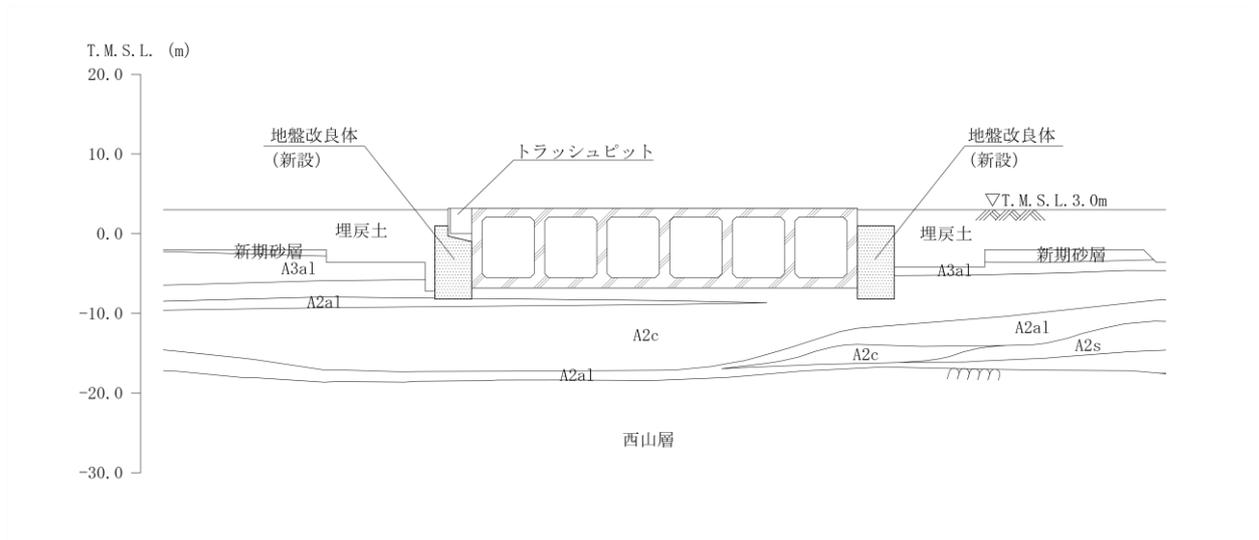
スクリーン室（6号機設備）は、非常時における海水の通水機能を求められる延長約23mの鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり、取水方向に内空寸法が一樣で、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在する。スクリーン室（6号機設備）は、十分な支持性能を有する古安田層*に支持される。

注記*：本資料では、安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物を「古安田層」と仮称する。



(単位：mm)

図2-2 スクリーン室（6号機設備）の平面図

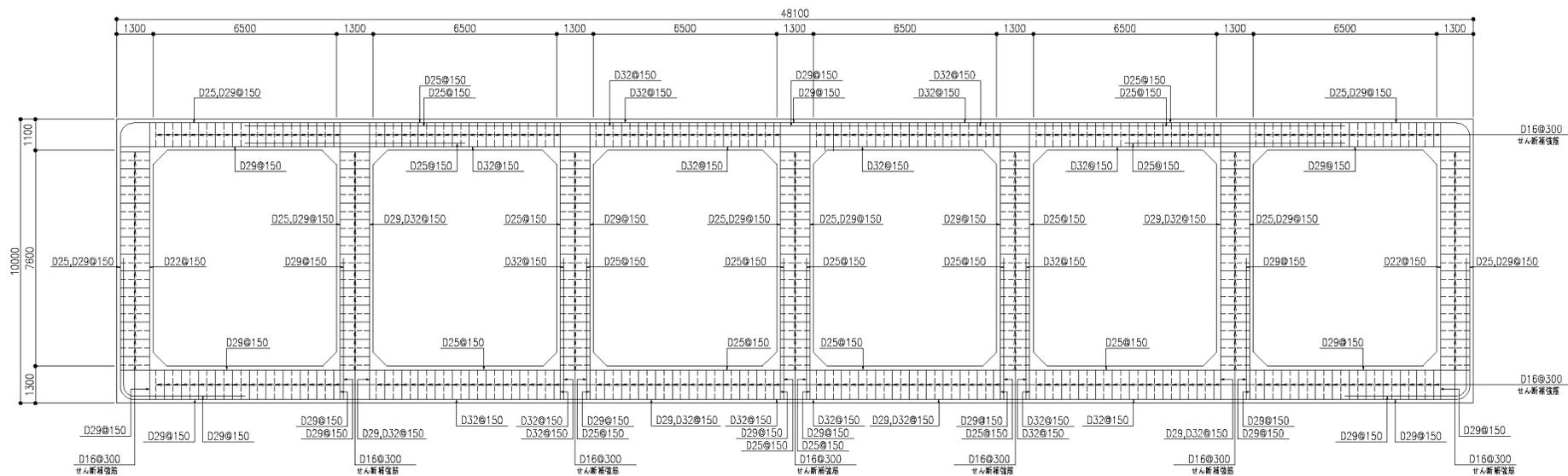


(単位：mm)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-3 スクリーン室（6号機設備）の断面図

5



(単位：mm)

図 2-4 スクリーン室 (6号機設備) の概略配筋図

2.3 評価方針

スクリーン室（6号機設備）は、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

スクリーン室（6号機設備）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

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

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

構造部材の健全性評価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、構造部材に生じる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。

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

スクリーン室（6号機設備）の耐震評価フローを図2-5に示す。

表 2-1 スクリーン室 (6号機設備) 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	鉛直力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。

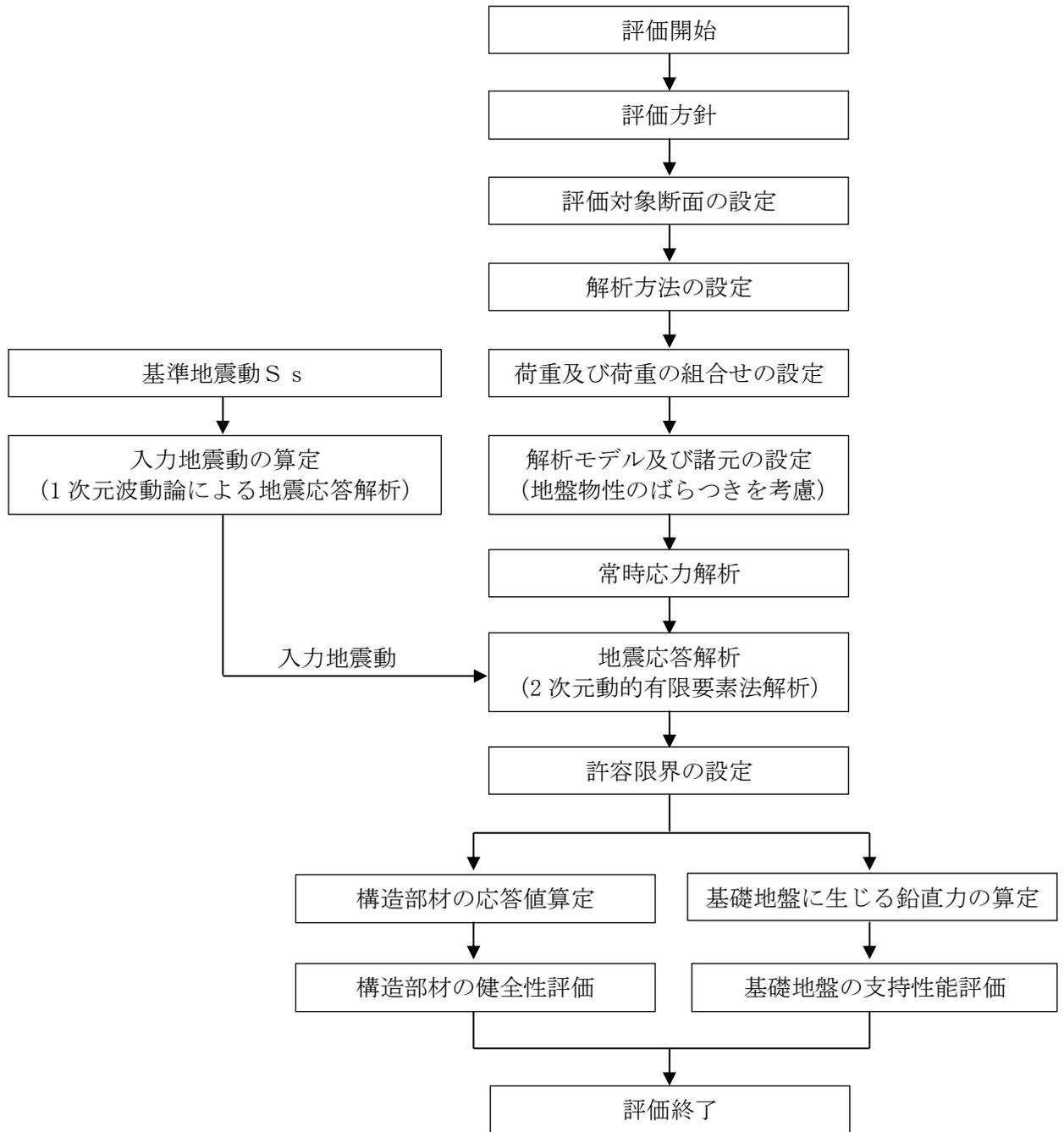


図 2-5 スクリーン室 (6号機設備) の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

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

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

スクリーン室（6号機設備）の評価対象断面位置を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図3-1のA-A断面とする。

評価対象断面図を図3-2に示す。

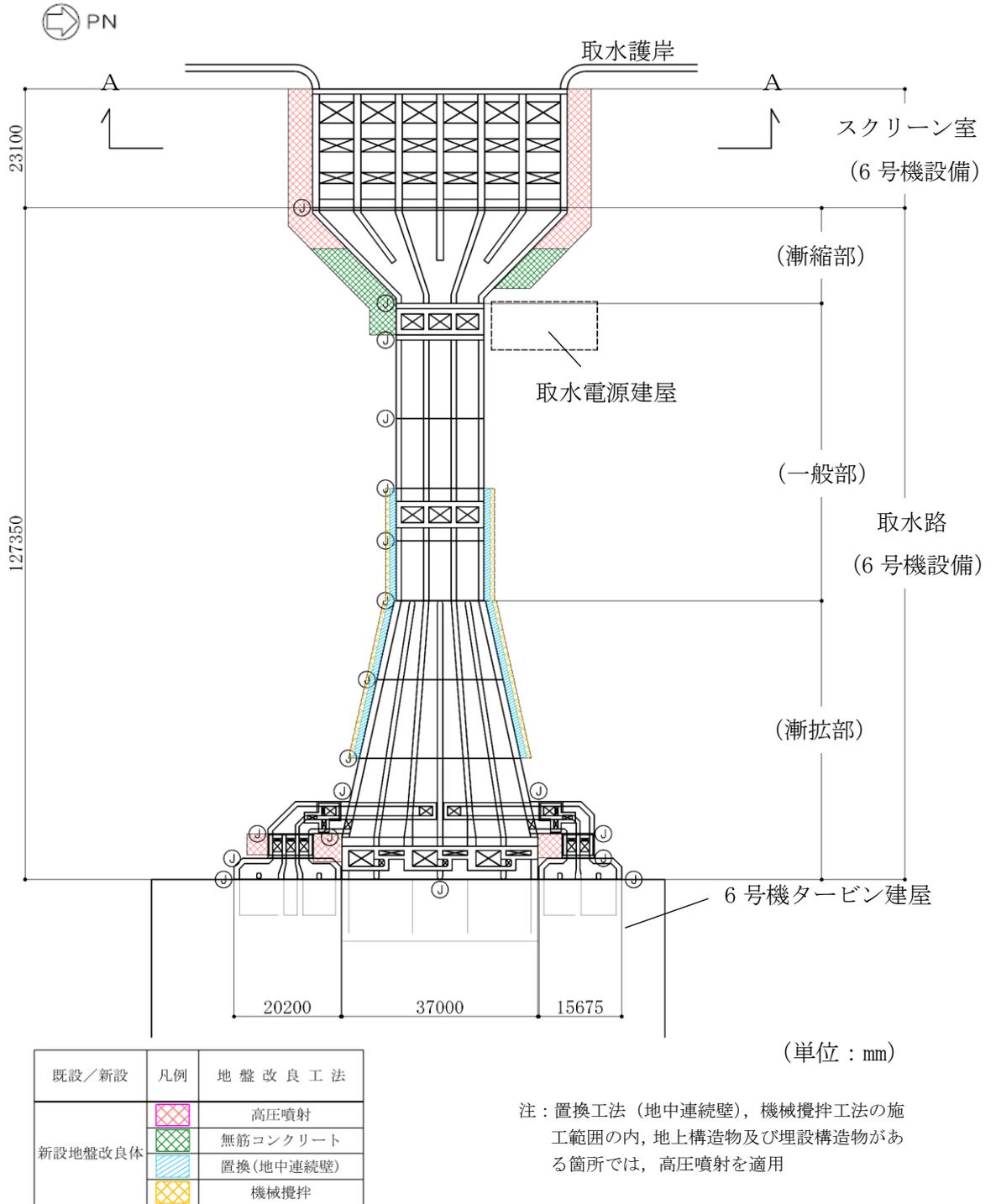
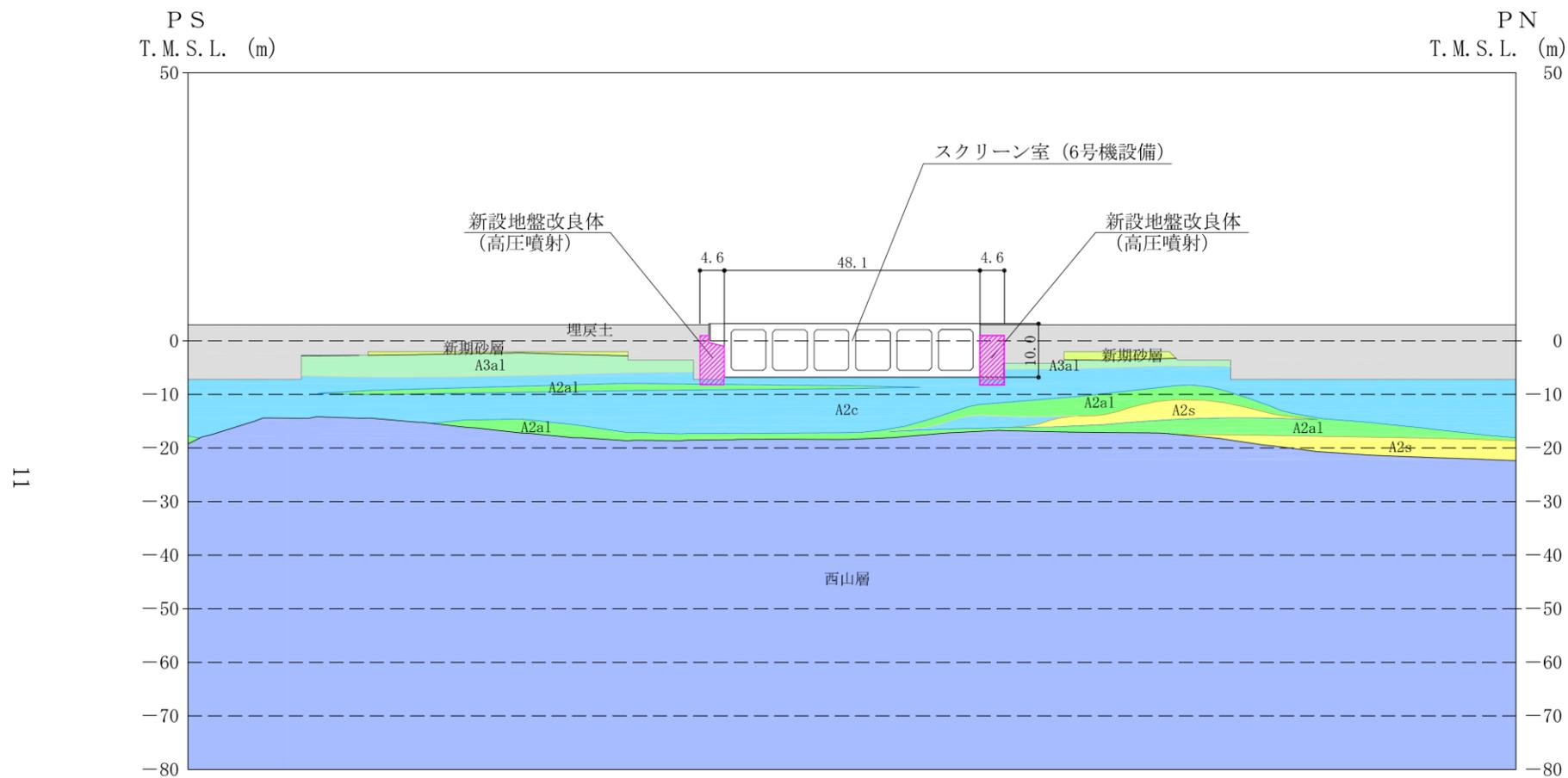


図3-1 スクリーン室（6号機設備）の評価対象断面位置図



(単位：m)

図 3-2 スクリーン室 (6号機設備) の評価対象断面図 (A-A断面)

3.2 解析方法

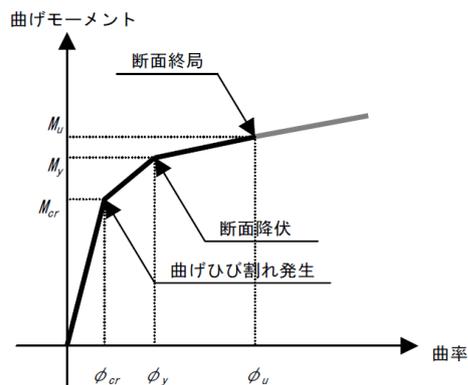
スクリーン室（6号機設備）の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

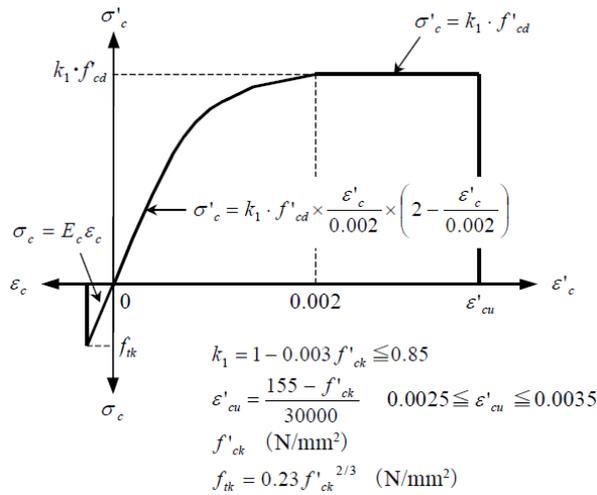
3.2.1 構造部材

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



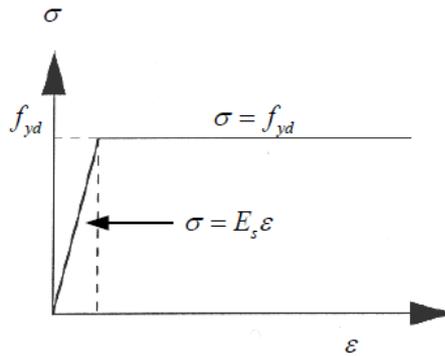
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用）

図3-3 鉄筋コンクリート部材の $M-\phi$ 関係



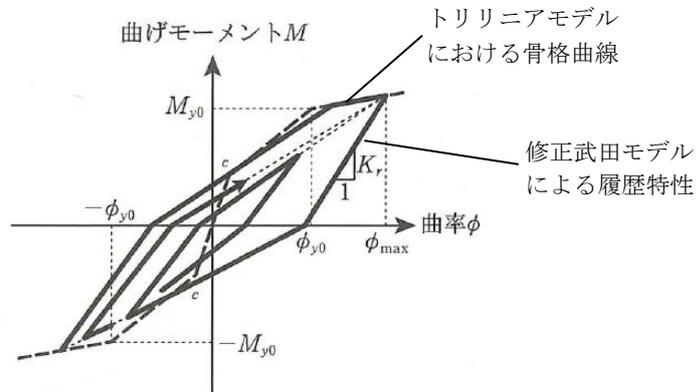
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

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



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

図 3-4 (2) 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)



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

図 3-5 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

3.2.2 地盤

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

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

表 3-1 耐震評価における解析ケース

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

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

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

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

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

3.2.3 減衰定数

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

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

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

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-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

スクリーン室（6号機設備）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。

(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

スクリーン室（6号機設備）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、機器荷重、土圧及び水圧による荷重並びに積雪荷重を考慮する。

(3) 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3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（S _s ）	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

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

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

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

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

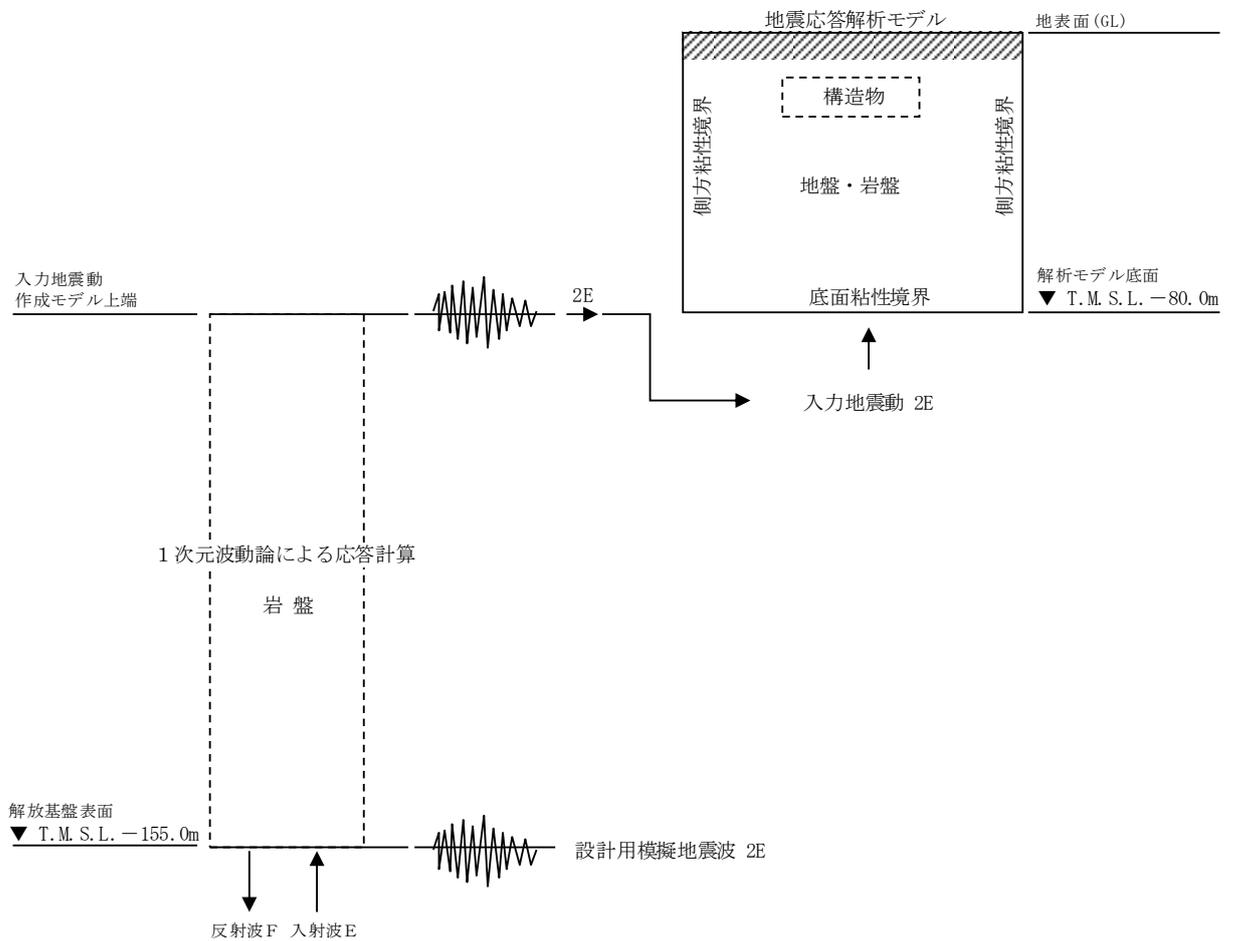
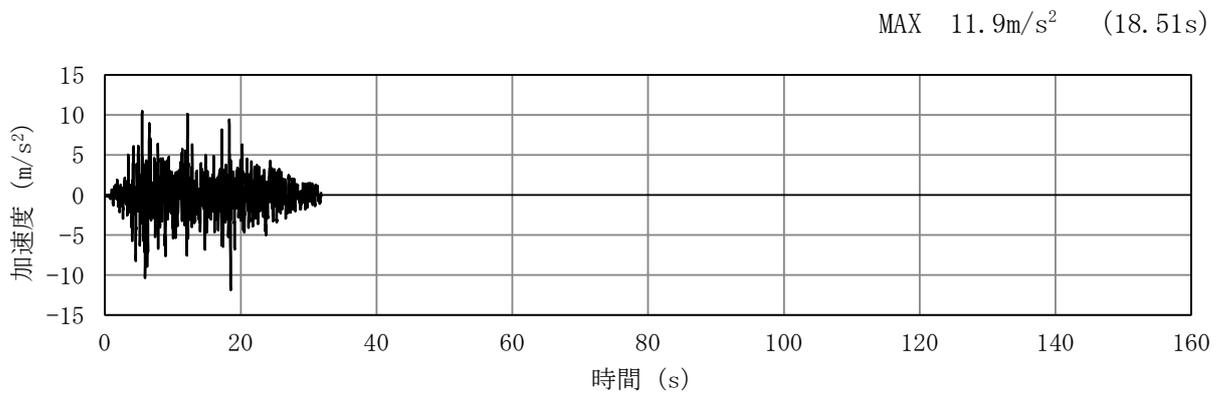
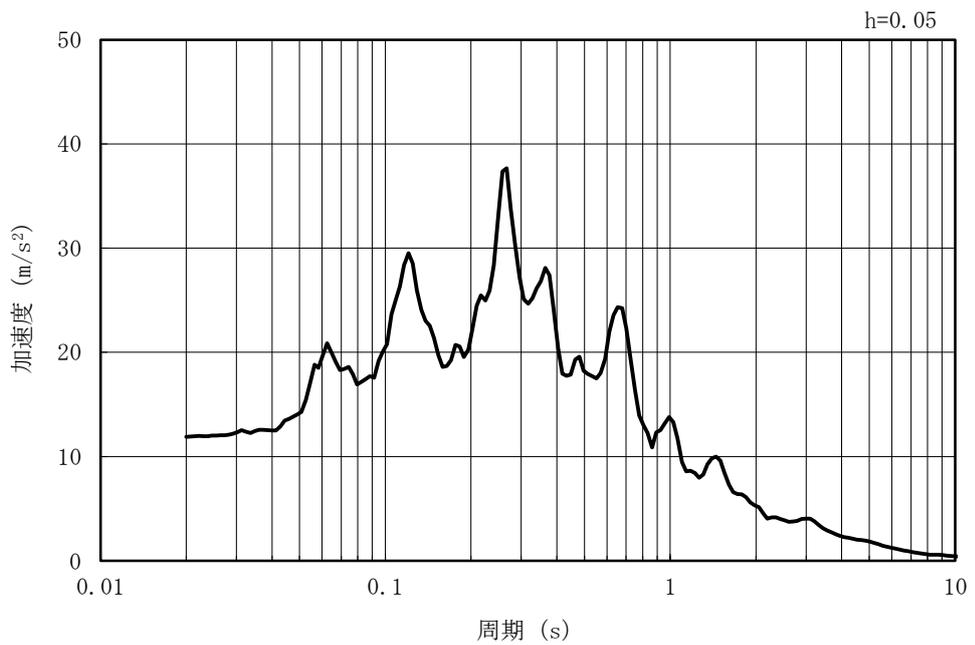


図 3-6 入力地震動算定の概念図

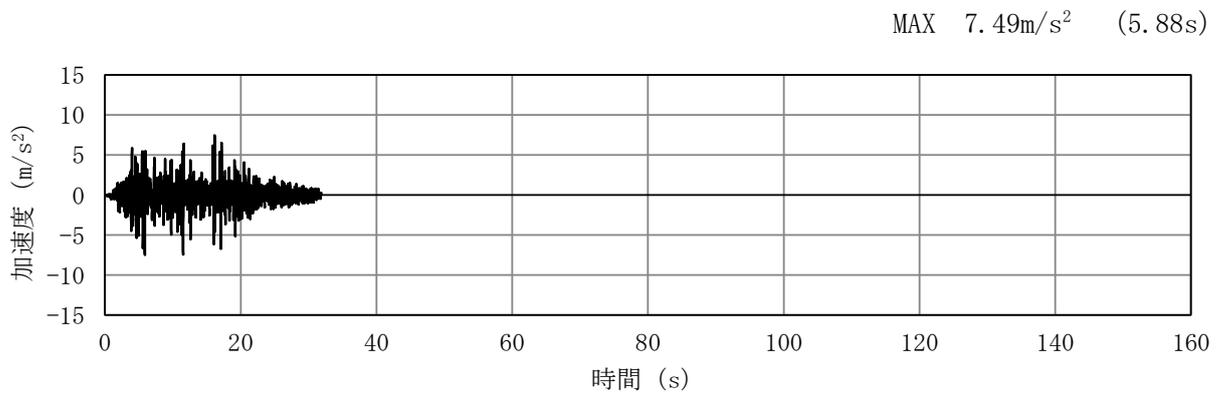


(a) 加速度時刻歴波形

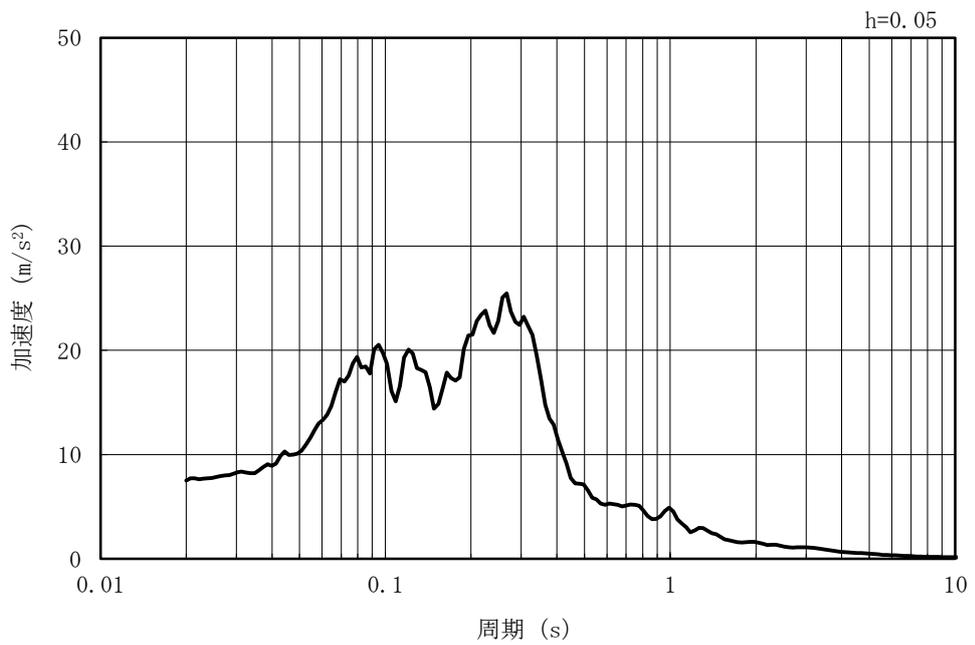


(b) 加速度応答スペクトル

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

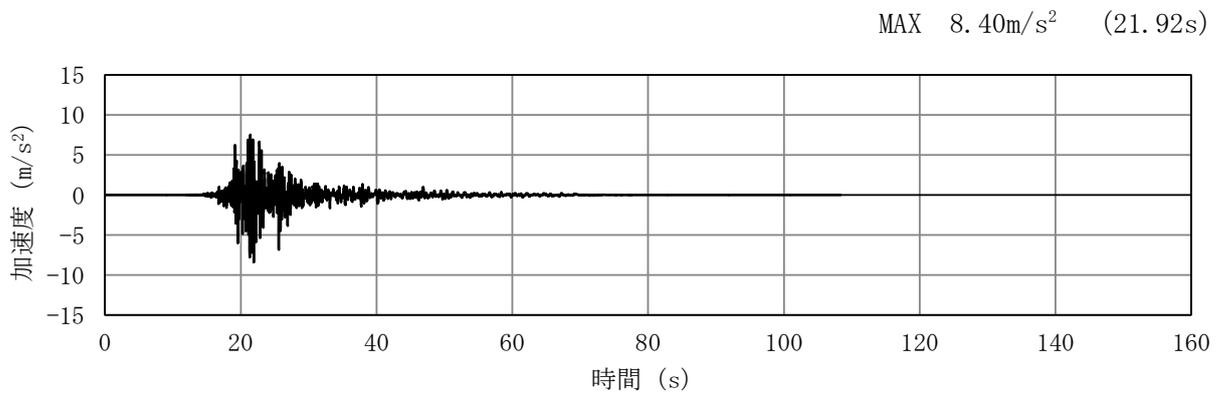


(a) 加速度時刻歴波形

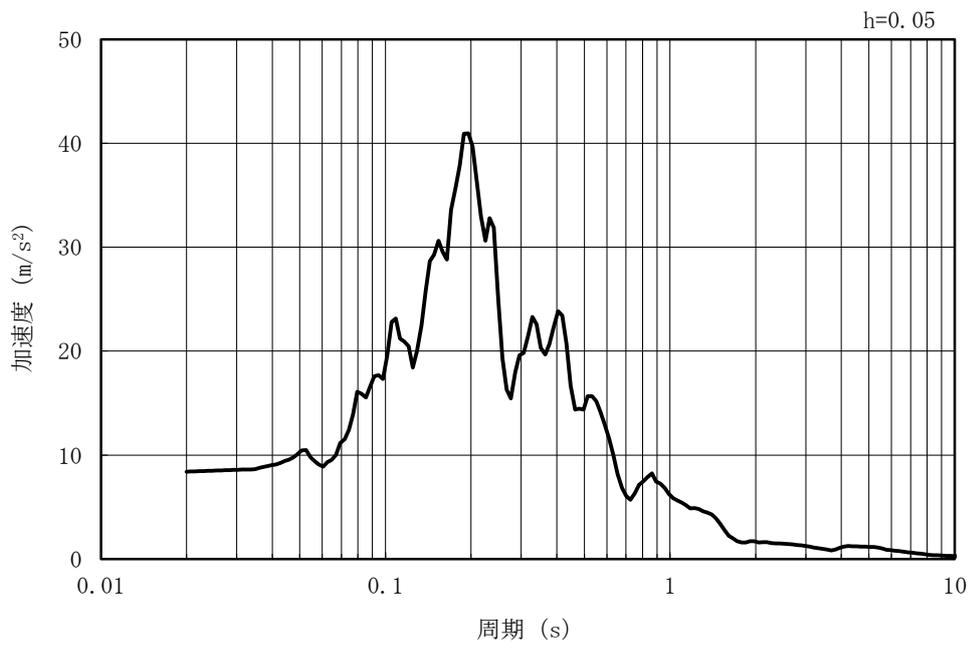


(b) 加速度応答スペクトル

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

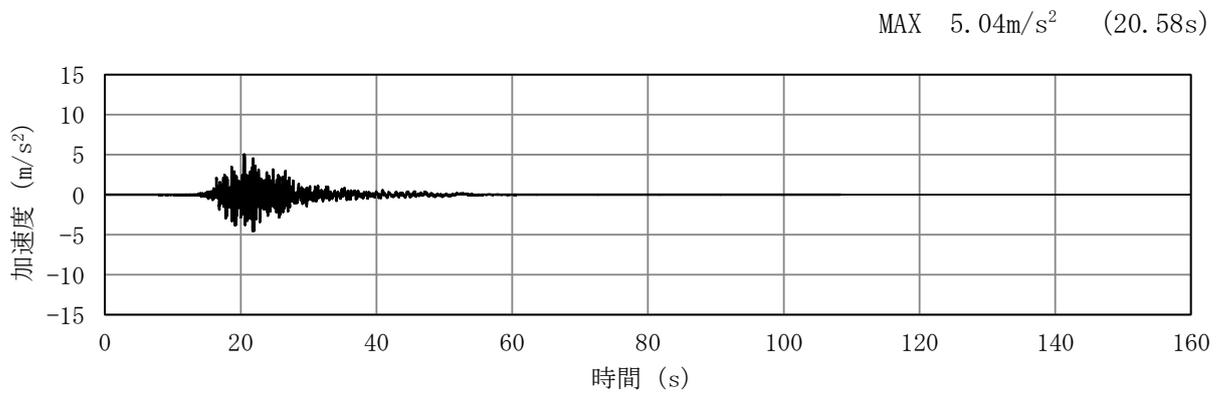


(a) 加速度時刻歴波形

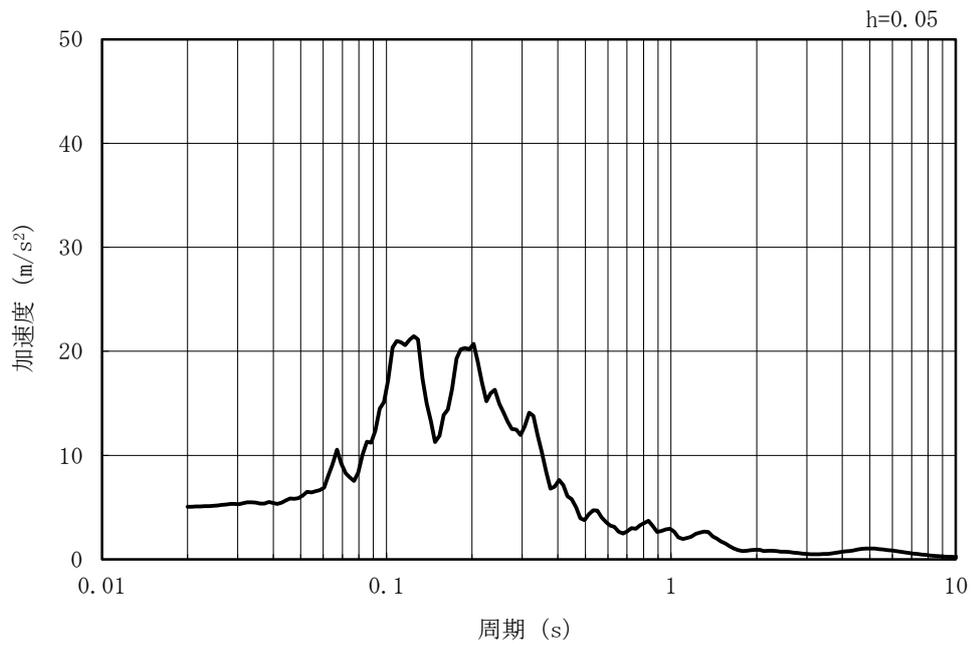


(b) 加速度応答スペクトル

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

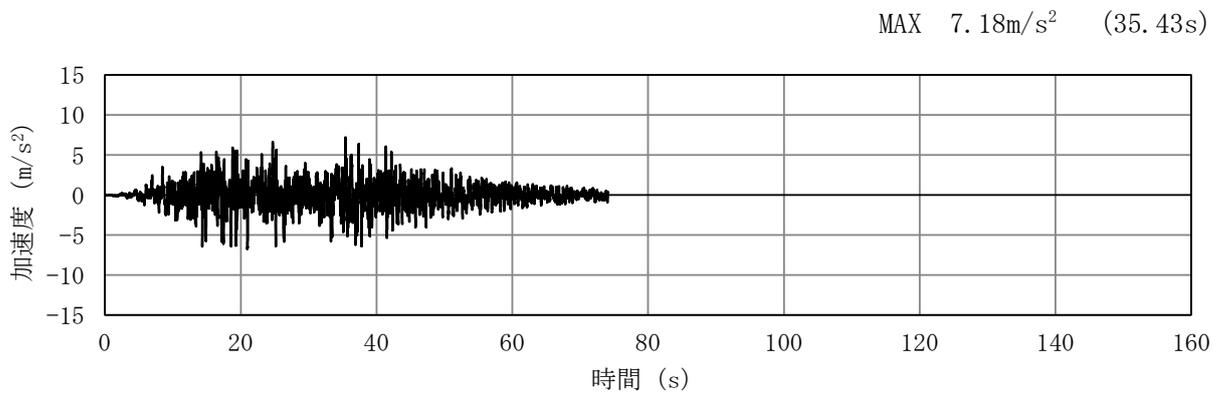


(a) 加速度時刻歴波形

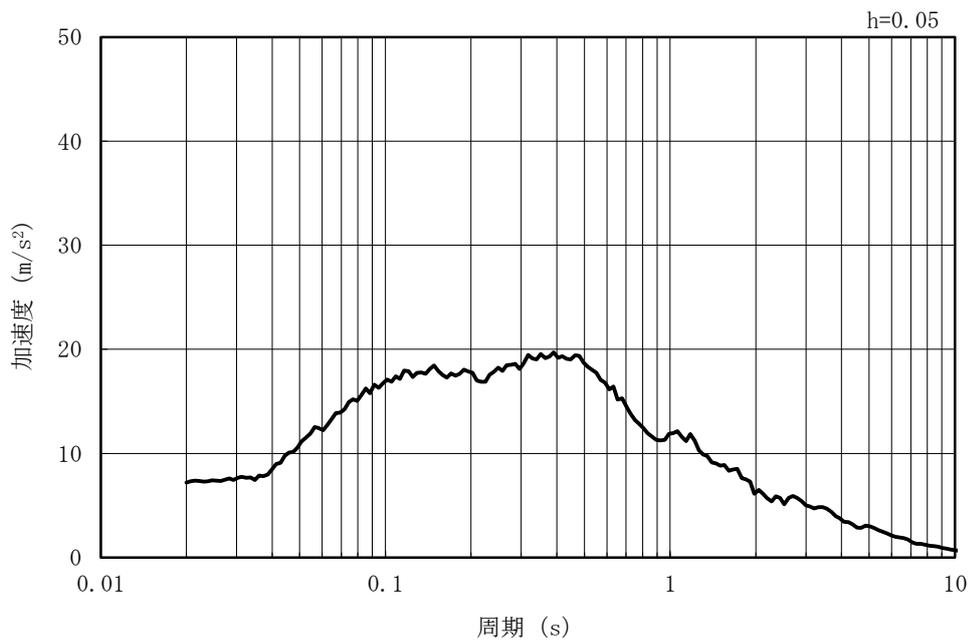


(b) 加速度応答スペクトル

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

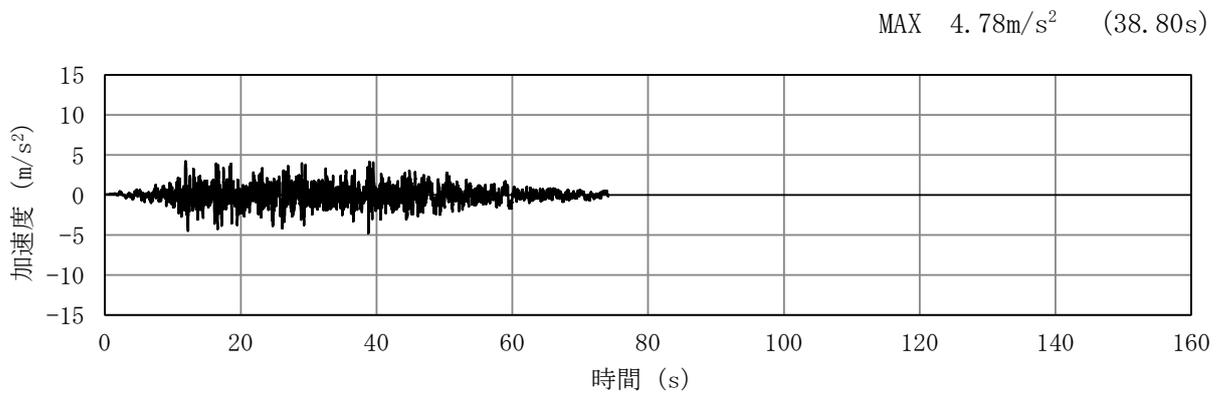


(a) 加速度時刻歴波形

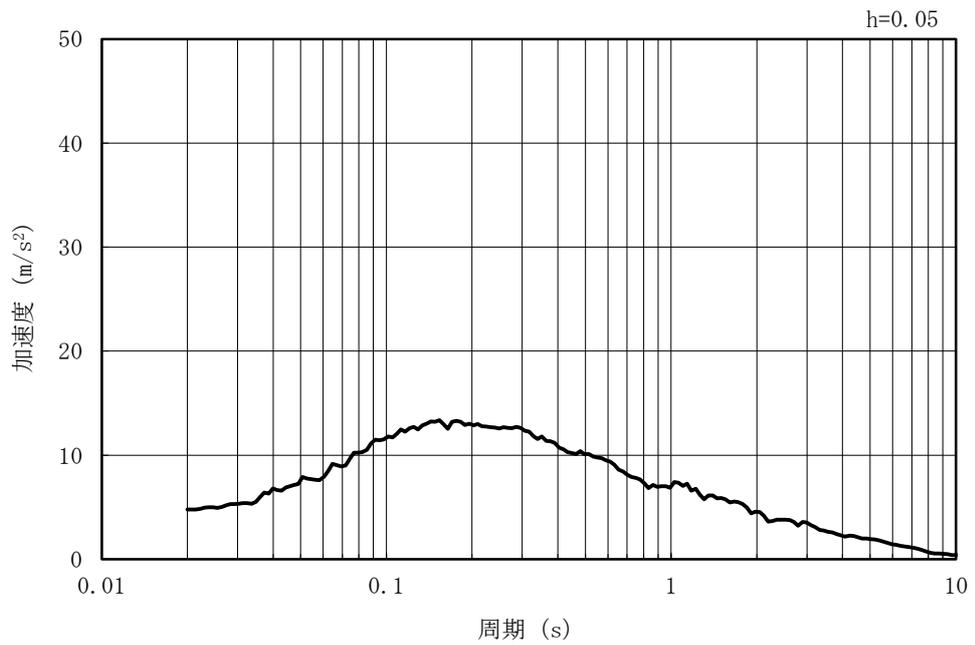


(b) 加速度応答スペクトル

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

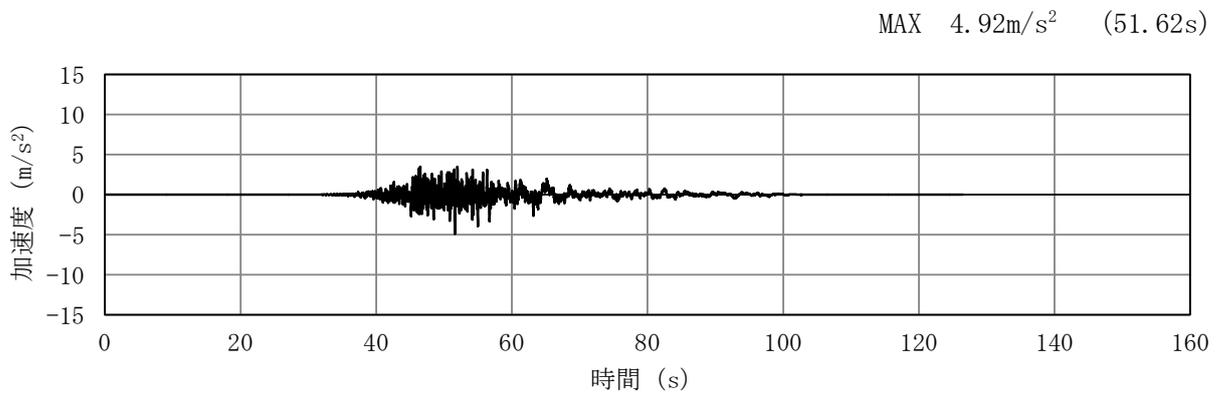


(a) 加速度時刻歴波形

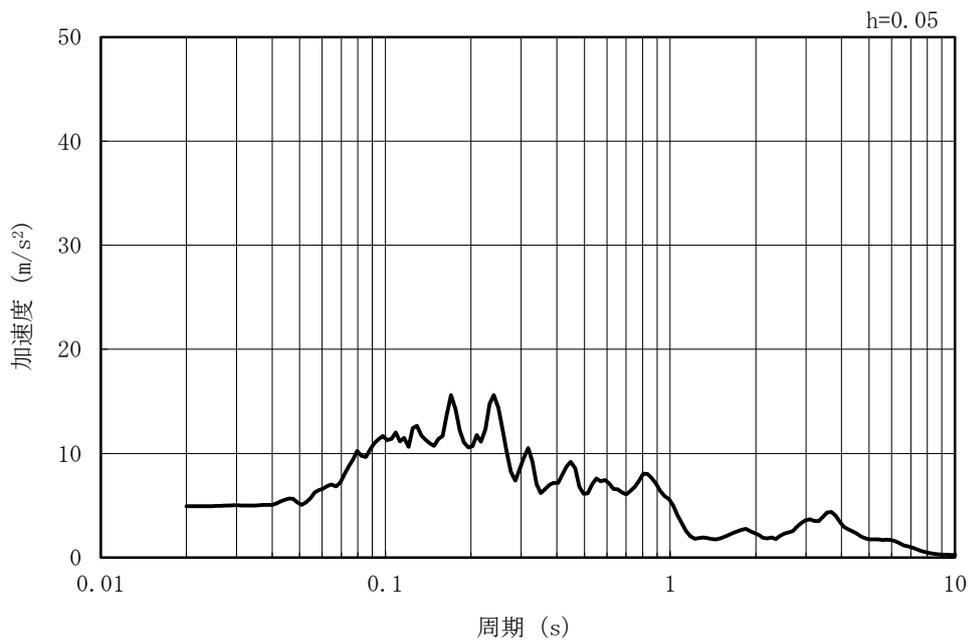


(b) 加速度応答スペクトル

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

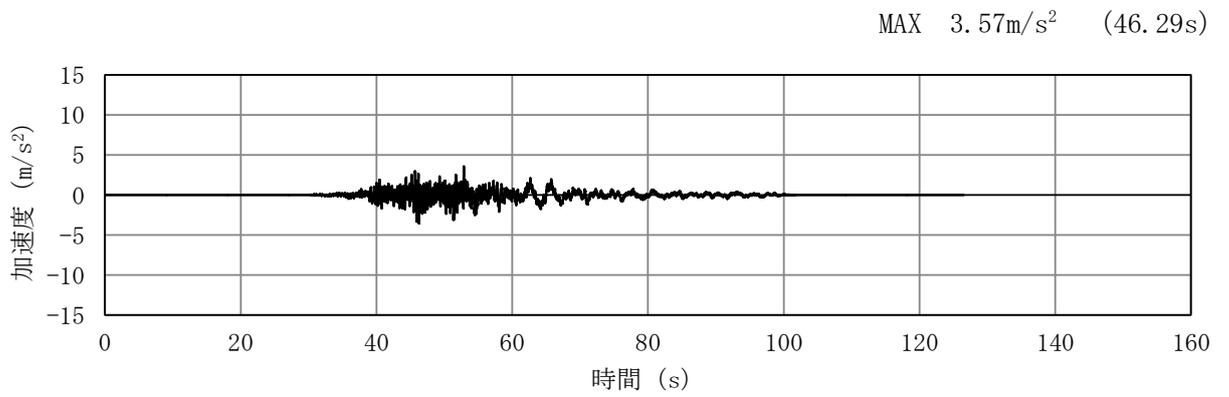


(a) 加速度時刻歴波形

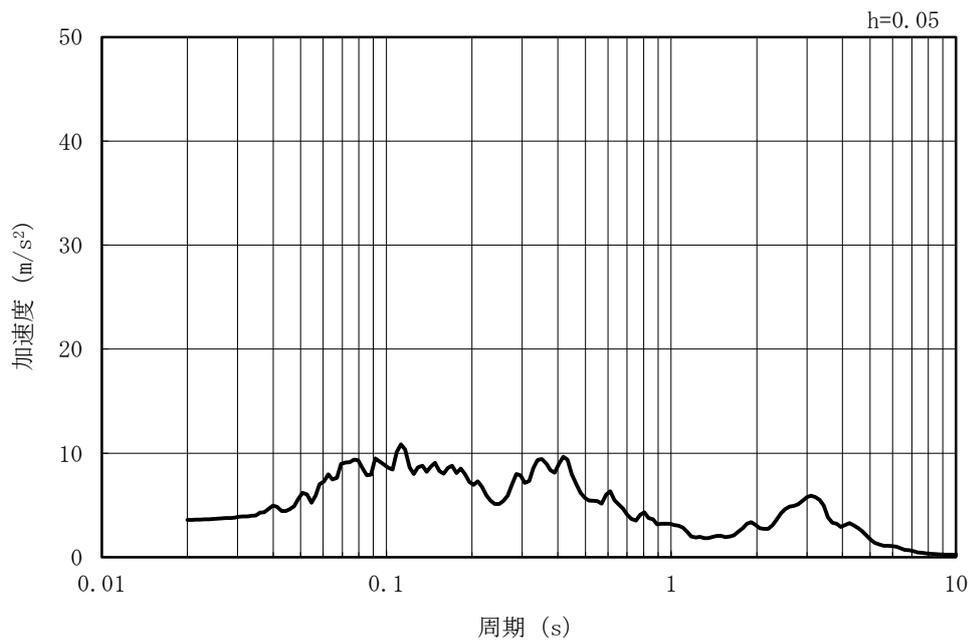


(b) 加速度応答スペクトル

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

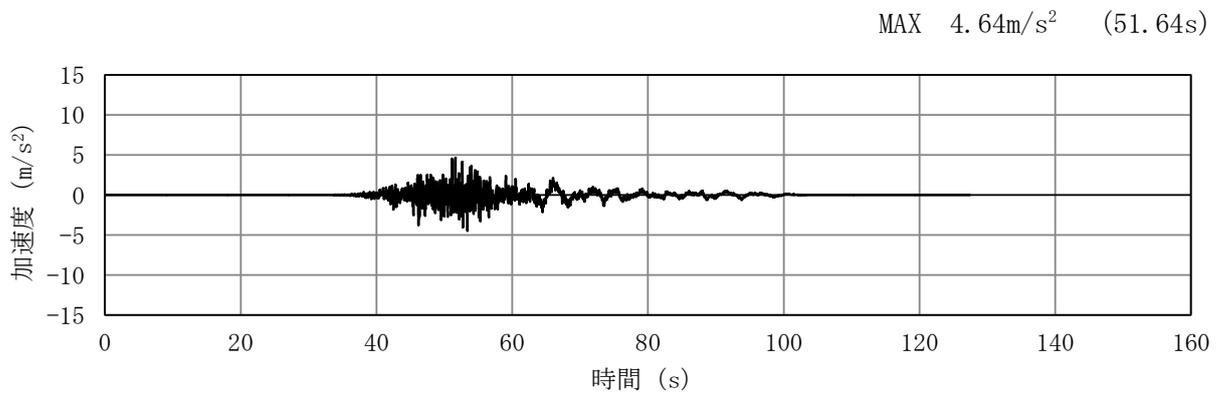


(a) 加速度時刻歴波形

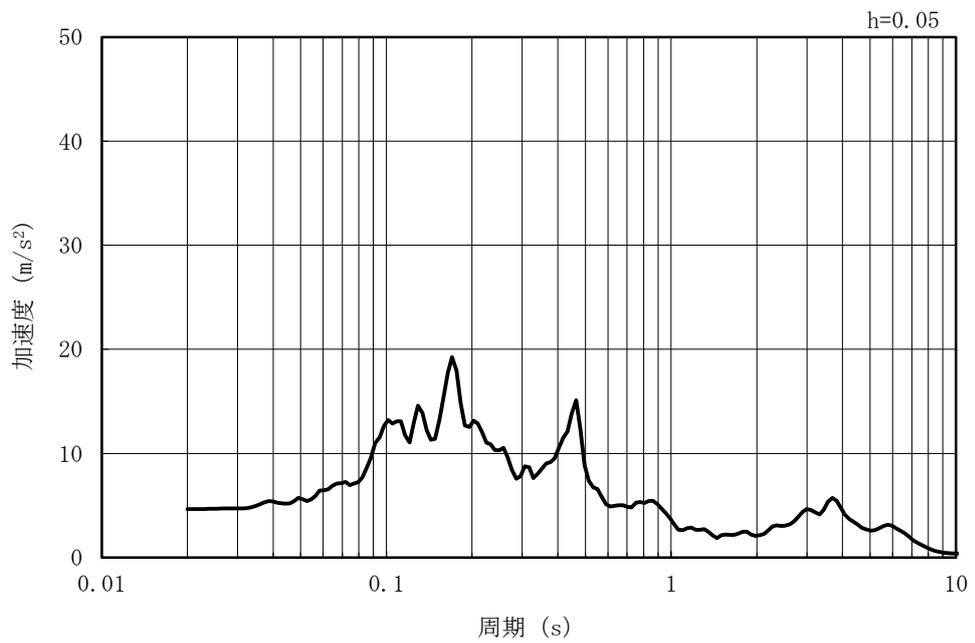


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4NS)

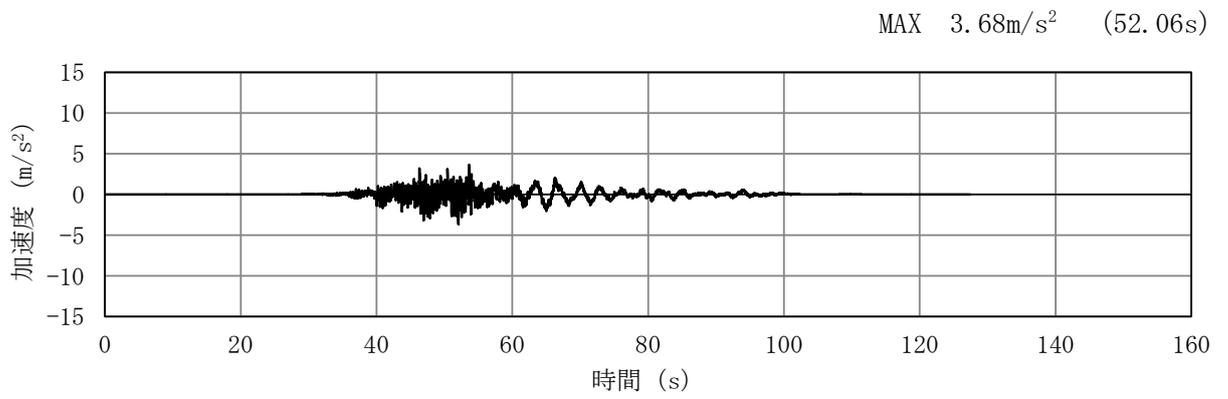


(a) 加速度時刻歴波形

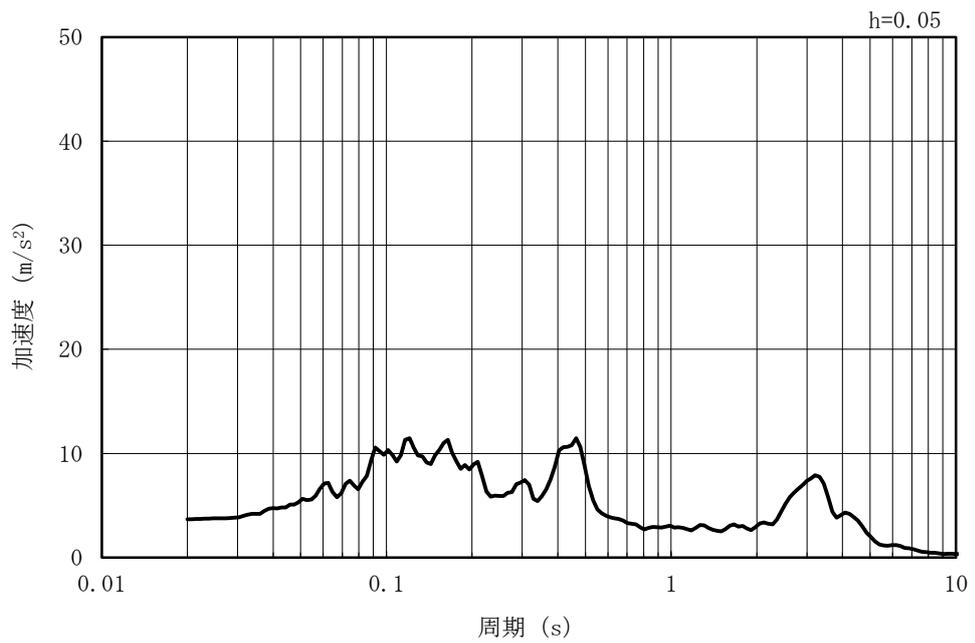


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5NS)

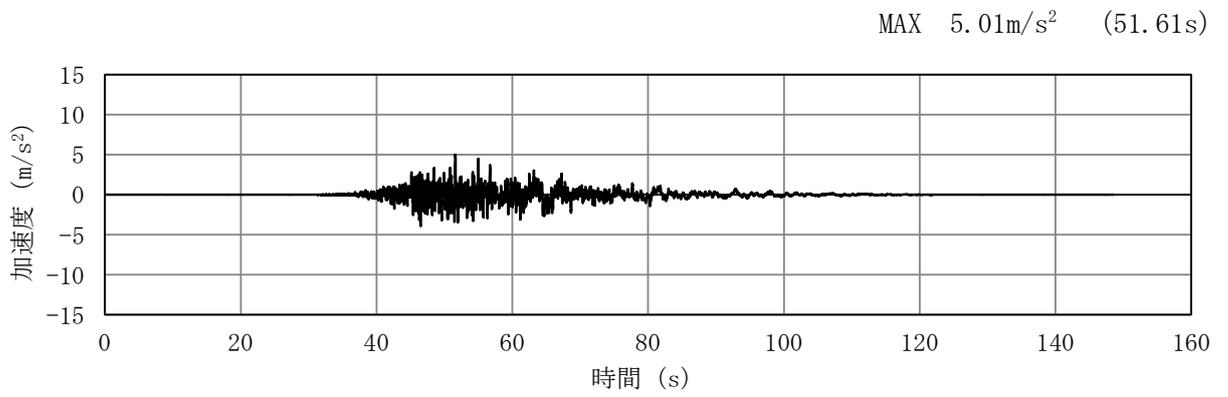


(a) 加速度時刻歴波形

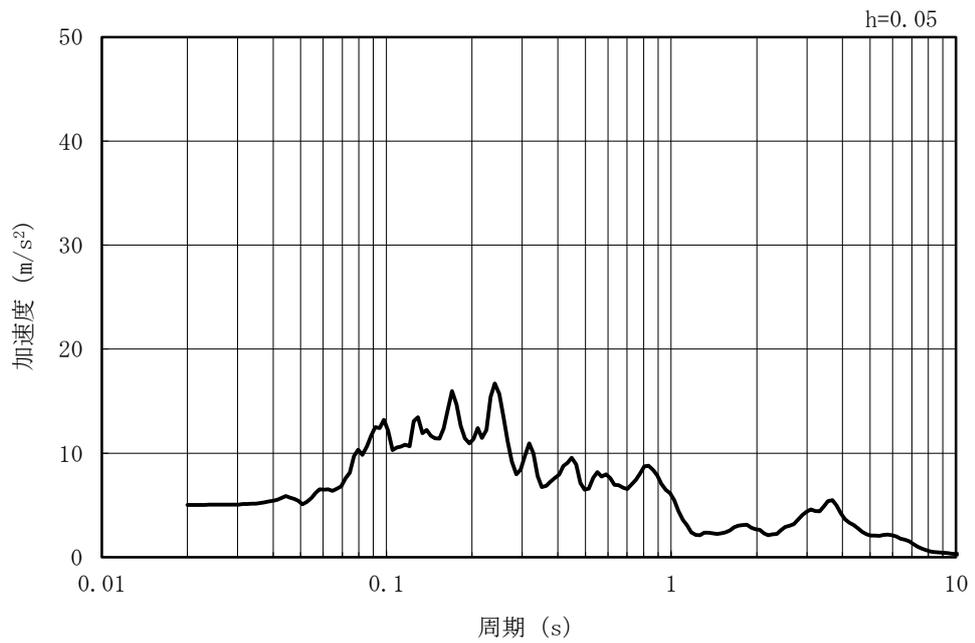


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-5NS)

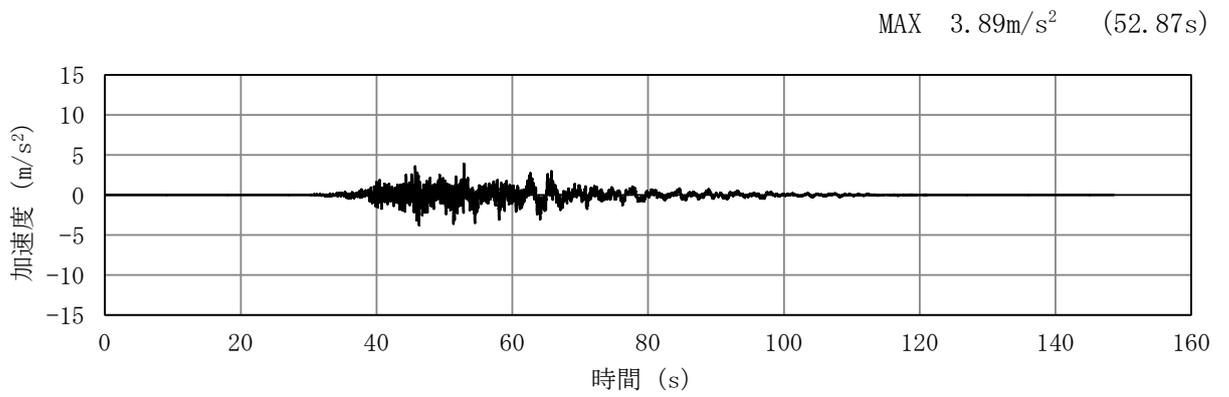


(a) 加速度時刻歴波形

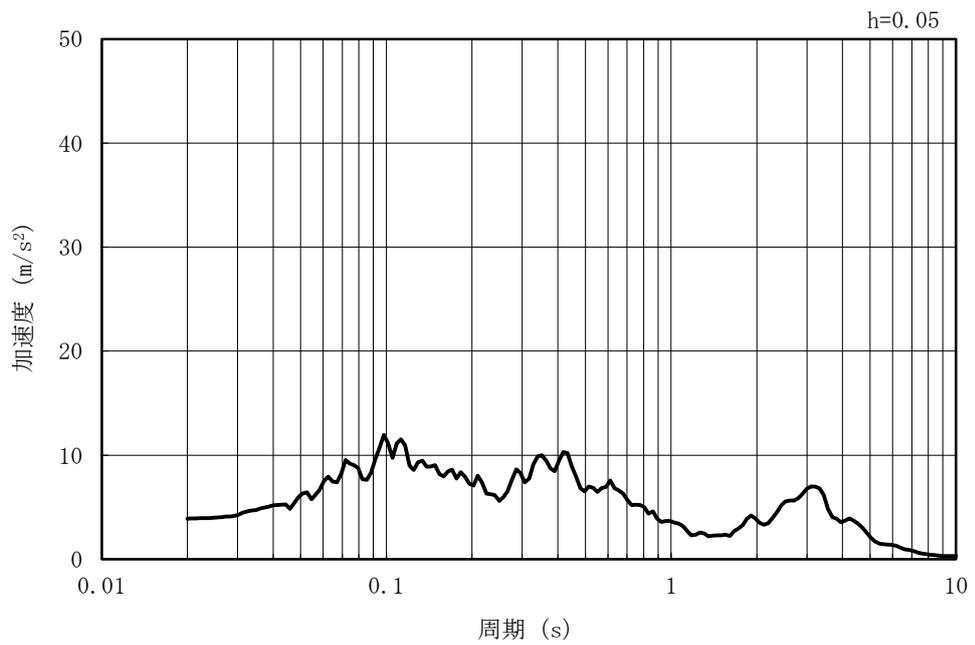


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6NS)

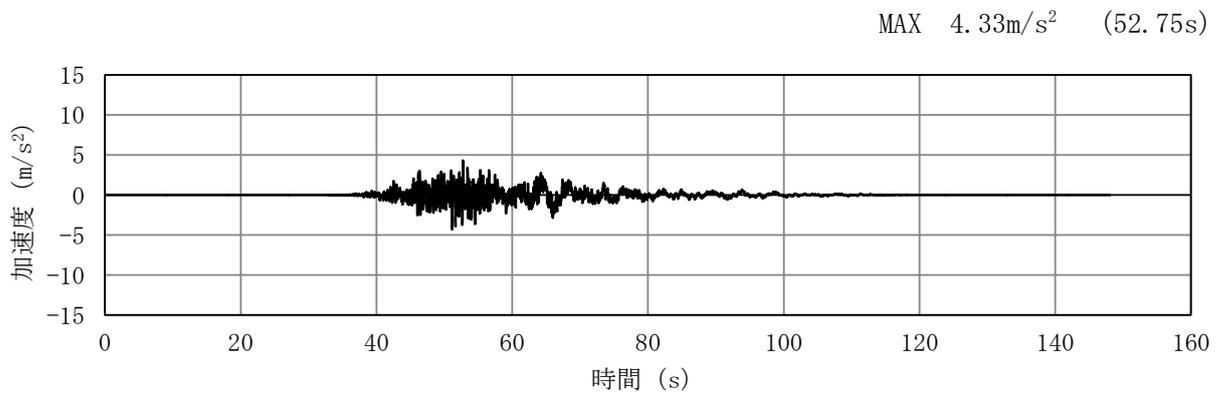


(a) 加速度時刻歴波形

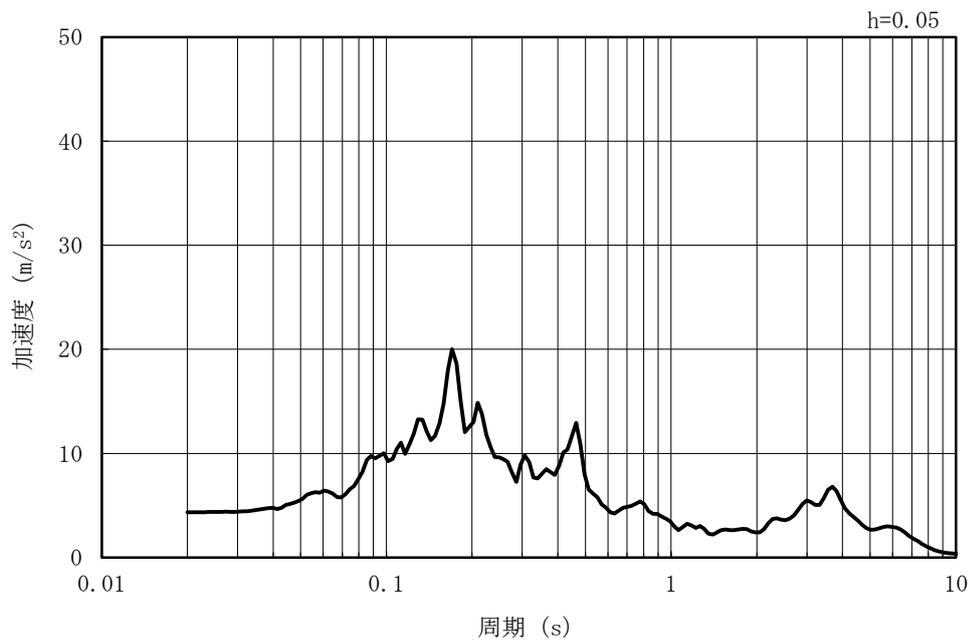


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6NS)

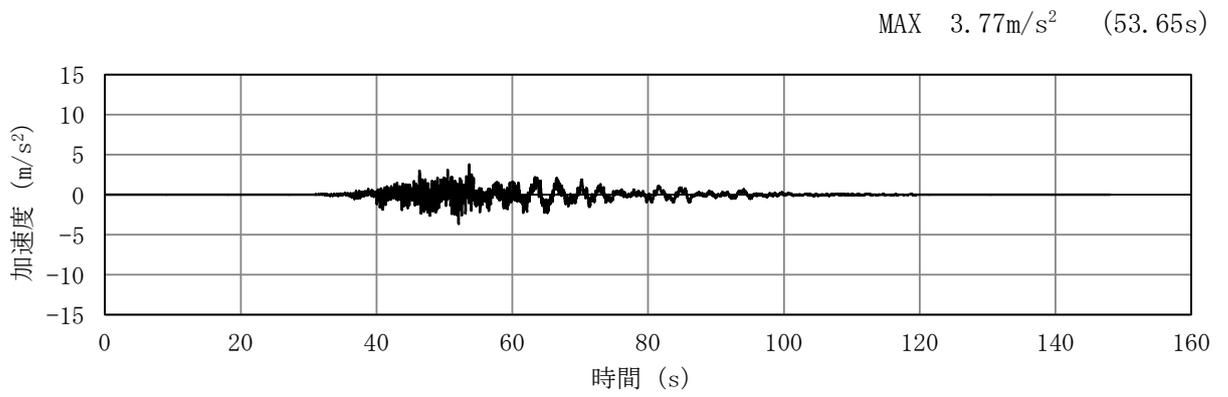


(a) 加速度時刻歴波形

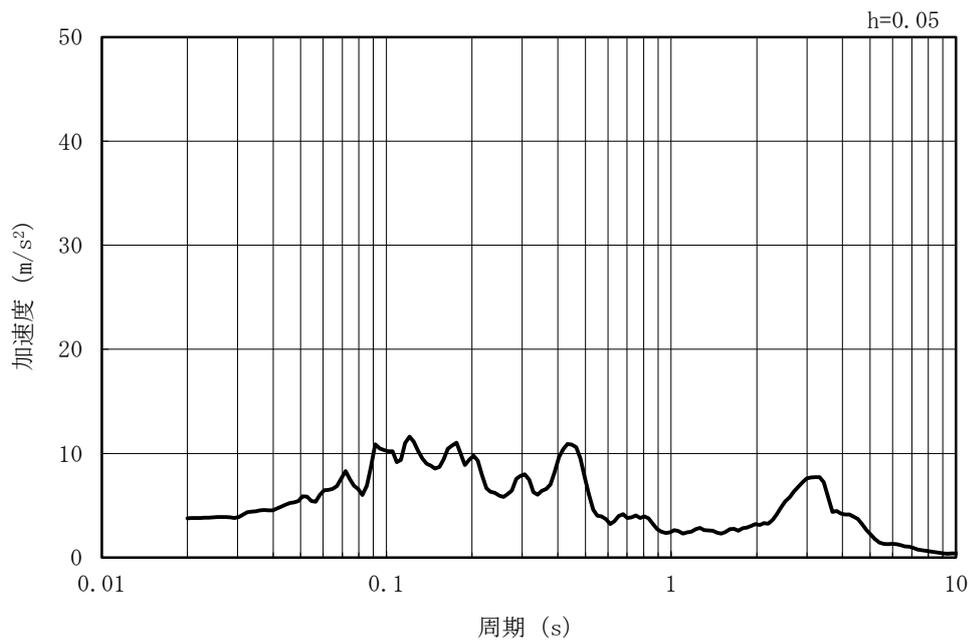


(b) 加速度応答スペクトル

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

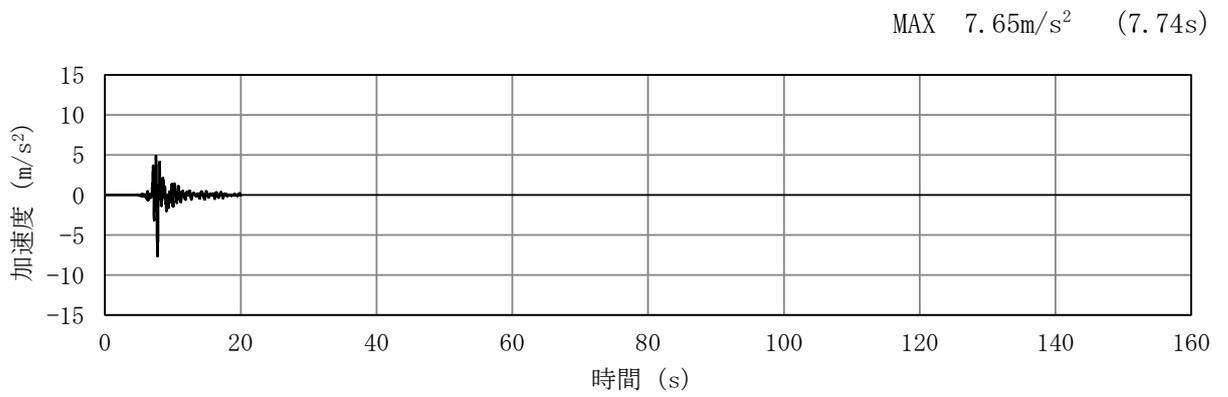


(a) 加速度時刻歴波形

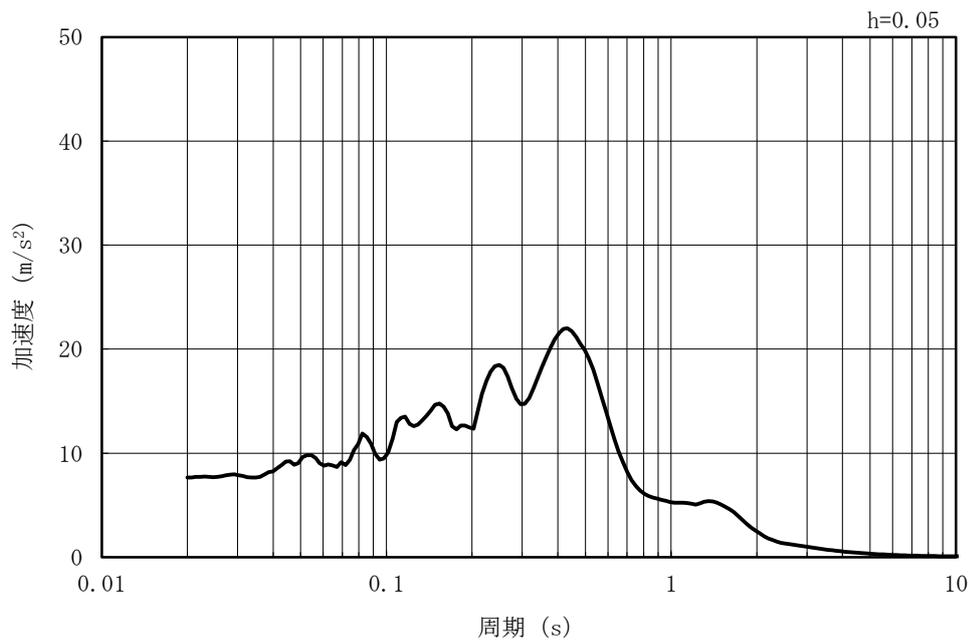


(b) 加速度応答スペクトル

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

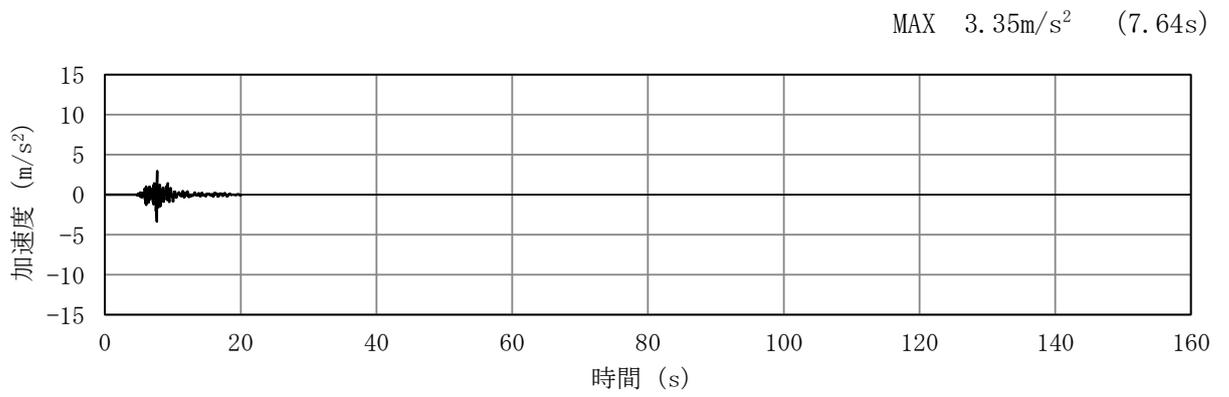


(a) 加速度時刻歴波形

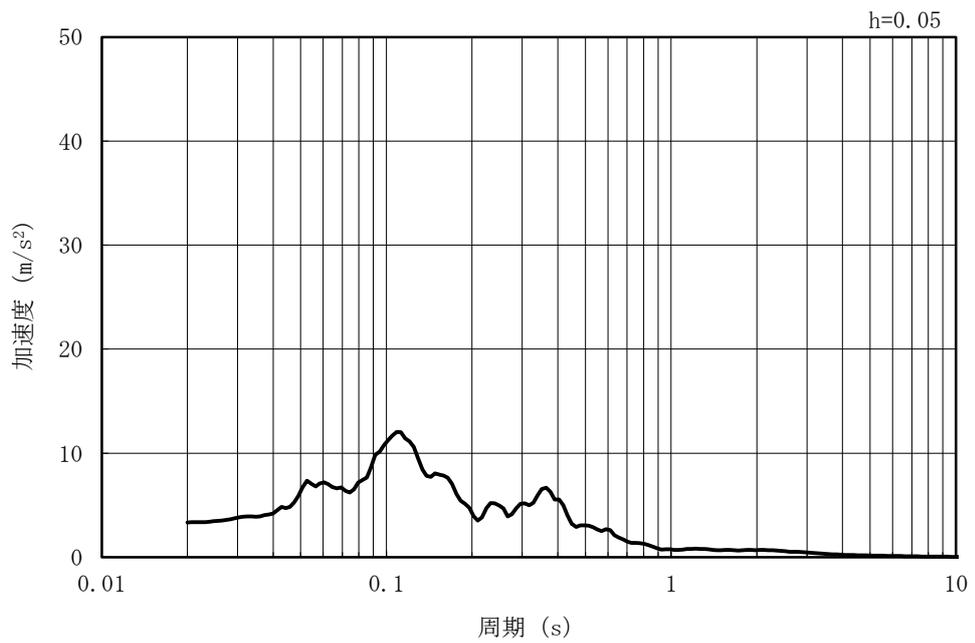


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

スクリーン室（6号機設備）の地震応答解析モデルを図3-8に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

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

(5) 地盤改良体のモデル化

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

(6) ジョイント要素の設定

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

(7) 水位条件

スクリーン室（6号機設備）の内水位は、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対し、保守性を考慮し、T.M.S.L. 1.0m とする。

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、T.M.S.L. 3.0m に設定する。

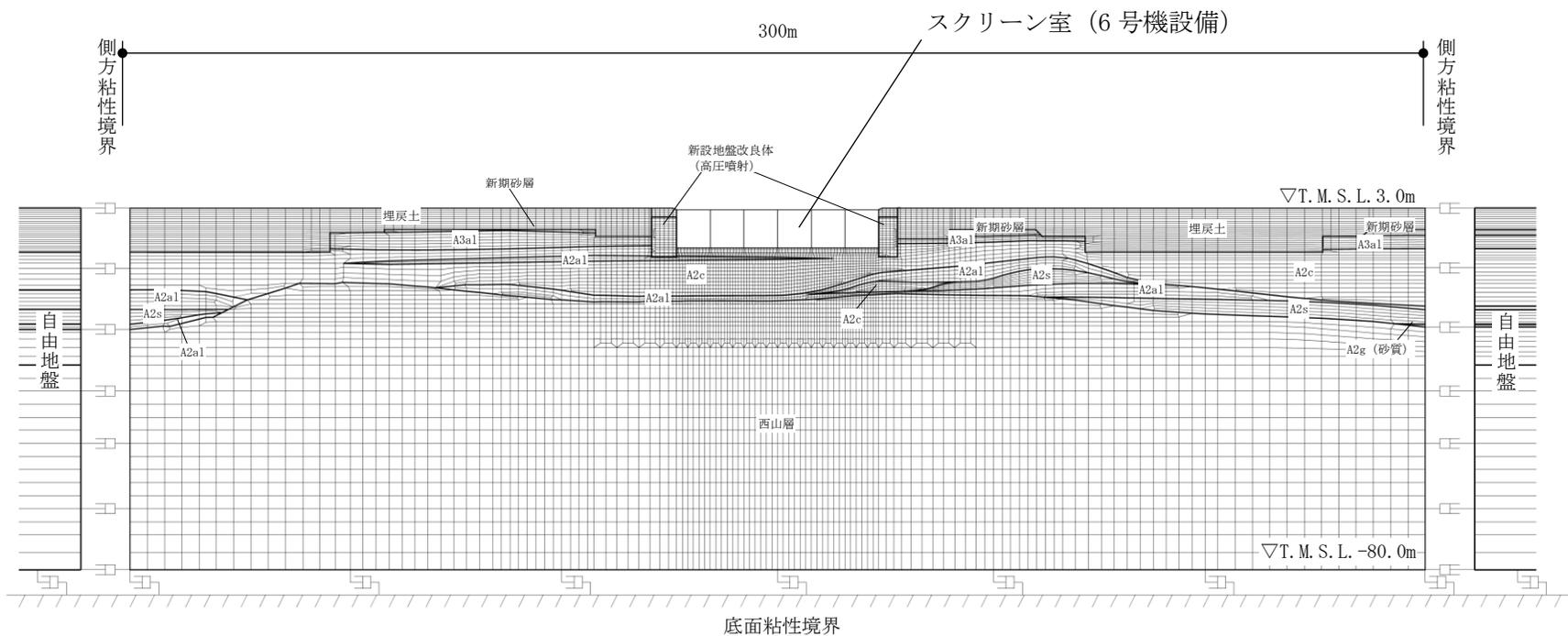


図 3-8 スクリーン室 (6号機設備) の地震応答解析モデル (A-A断面)

3.5.2 使用材料及び材料物性値

構造物の使用材料を表 3-3、材料物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 使用材料

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

表 3-4 材料物性値

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

注記* : 建設時の設計値に基づく。

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

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

表 3-5 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設/新設		新設地盤改良体
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94
	間隙率 n	0.49
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	6.98×10 ⁵
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0
	ポアソン比 ν	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	500

3.6 許容限界

許容限界は、V-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) 曲げ軸力に対する許容限界

曲げ軸力に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

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

層間変形角 1/100 の状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

(2) せん断力に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式又はディーブビューム式で求まるせん断耐力を許容限界とする。

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鉛直力に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、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）の直接基礎より設定する。

3.7 評価方法

スクリーン室(6号機設備)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」に示す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照査及びせん断力照査に対して、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以下であることを確認する。

曲げ軸力照査において照査値が最大となる地震動及び解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形を図3-9、せん断力照査において照査値が最大となる地震動、解析ケース及び評価時刻での断面力分布を図3-10に示す。

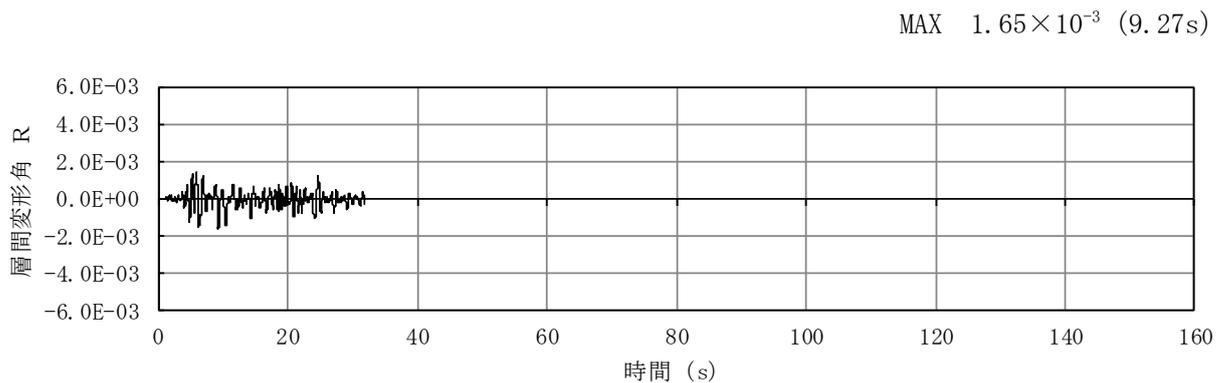
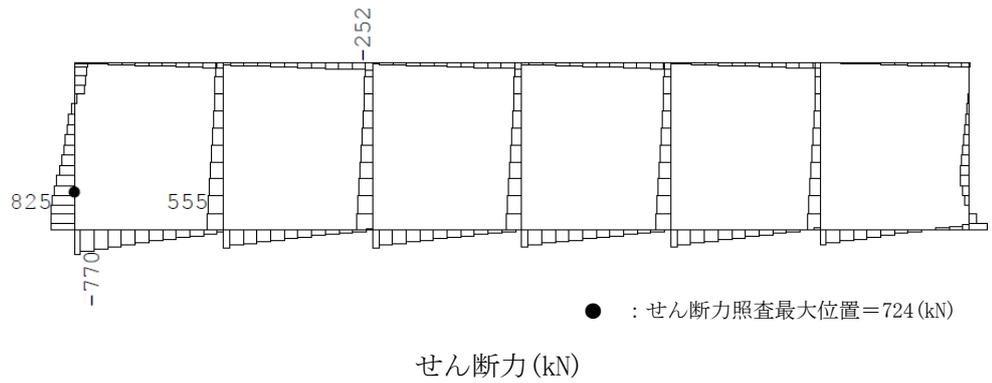
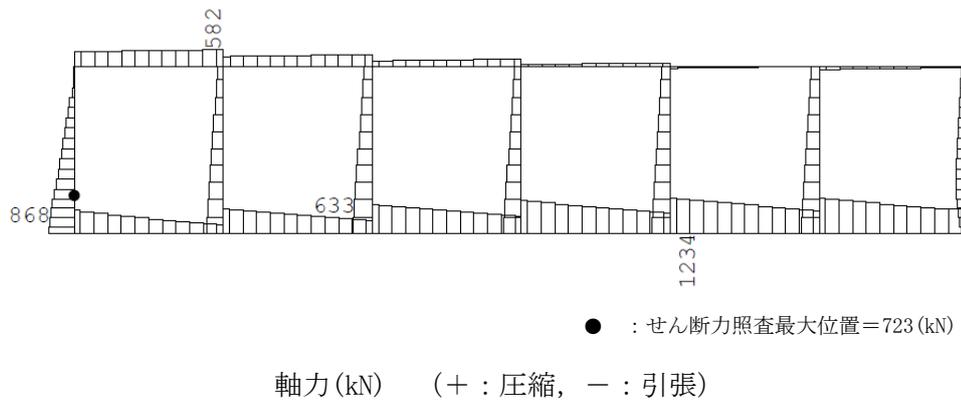
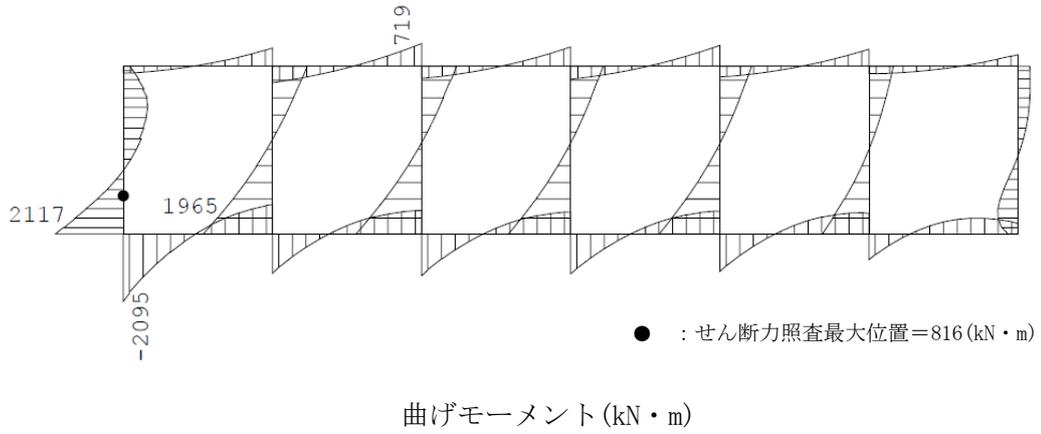


図3-9 層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース①, Ss-1-+)



数値 : 各評価位置の最大断面力

図 3-10 A-A断面 (側壁) のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
(解析ケース②, Ss-1—+, t=5.83s)

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、基礎地盤に発生する鉛直力が極限支持力に基づく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

構造部材の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-1、せん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 4-2 に示す。

スクリーン室（6 号機設備）の構造部材の照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ軸力照査における最大照査値（A-A断面）

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
①	Ss-1-+	1.99×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.20

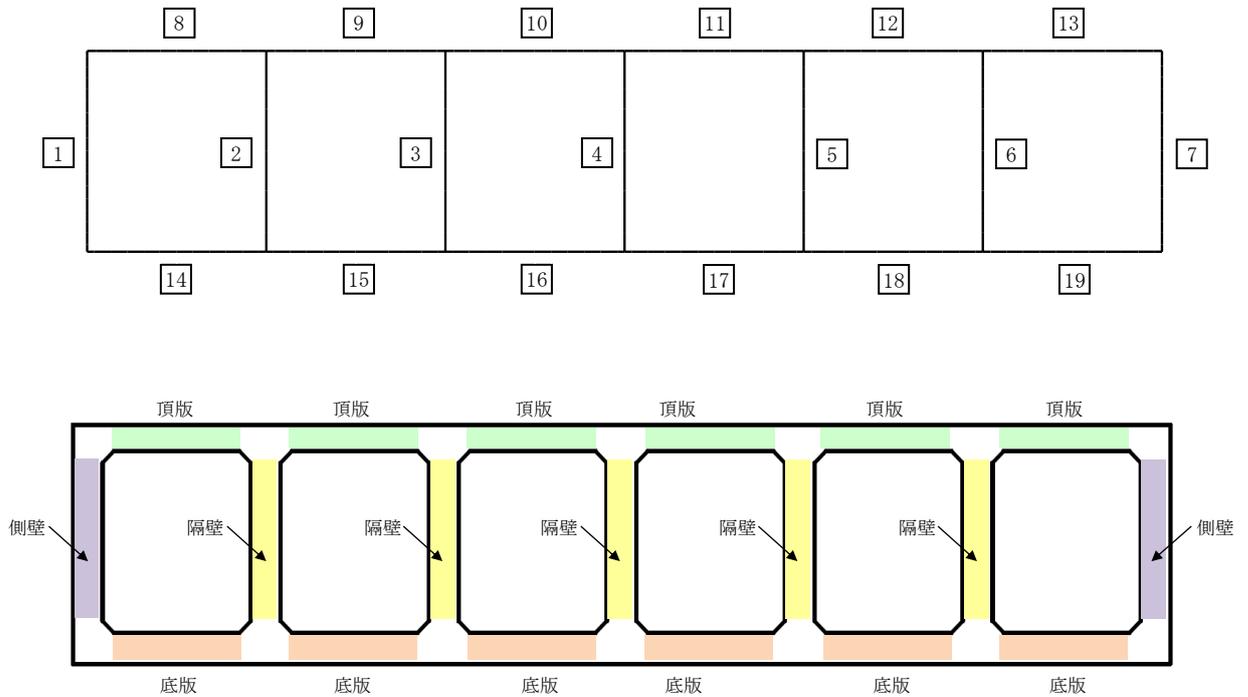
注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

表 4-2 セン断力照査における各評価位置での最大照査値（A-A断面）

評価位置		解析 ケース	地震動	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	10	③	Ss-1-+	225	431	0.53
側壁	1	②	Ss-1-+	761	1332	0.58
隔壁	4	③	Ss-1-+	617	1100	0.57
底版	14	⑤	Ss-1-+	636	1303	0.49

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

評価位置は下図に示す。



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照査結果を表 4-3 に示す。

スクリーン室（6 号機設備）の基礎地盤に発生する最大鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能照査結果

解析 ケース	地震動	最大鉛直力 V (kN)	極限支持力 Q _u (kN)	照査値 V / Q _u
①	Ss-1+-	2760	94500	0.03