

VI-2-11-2-20 アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））
の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	7
3.	耐震評価	8
3.1	評価対象断面	8
3.2	解析方法	10
3.2.1	構造部材	10
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	10
3.2.3	減衰定数	10
3.2.4	解析ケース	10
3.3	荷重及び荷重の組合せ	12
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	12
3.3.2	荷重	12
3.3.3	荷重の組合せ	13
3.4	入力地震動	14
3.5	解析モデル及び諸元	29
3.5.1	解析モデル	29
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	31
3.5.3	地盤の物性値	31
3.5.4	地下水位	31
3.6	評価対象部位	32
3.7	許容限界	33
3.7.1	セメント改良土	33
3.8	評価方法	34
3.8.1	セメント改良土	34
4.	耐震評価結果	35
4.1	セメント改良土	35

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防潮堤（盛土堤防）と一体であるアクセスルート（防潮堤（盛土堤防））（以下、「アクセスルート」という。）が上位クラス施設である防潮堤（盛土堤防）に対して、地震時に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

基準地震動 S_s に対して地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価を実施することで、アクセスルートが十分な構造強度を有することを確認する。

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

2. 基本方針

2.1 位置

防潮堤（盛土堤防）と一体であるアクセスルートを図2-1に示す。

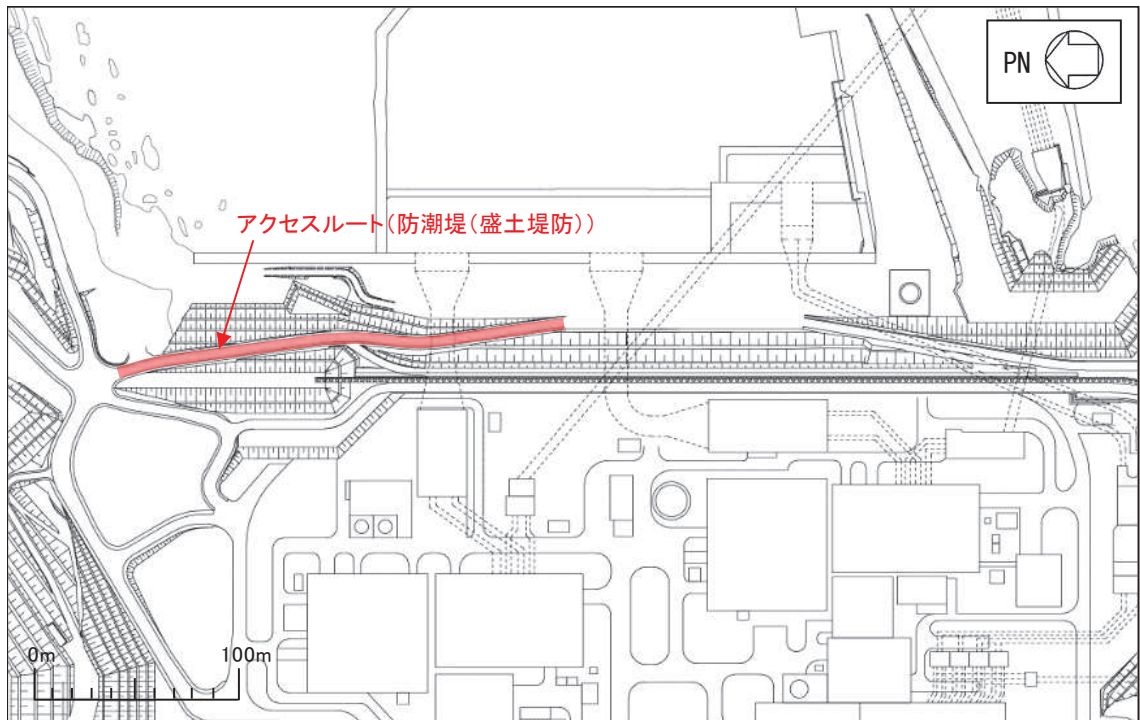


図2-1 アクセスルートの位置図

2.2 構造概要

アクセスルートは、防潮堤（盛土堤防）の海側に位置する幅約 6m の道路であり、防潮堤（盛土堤防）と一体構造である。

アクセスルートの構造図を図 2-2 に示す。

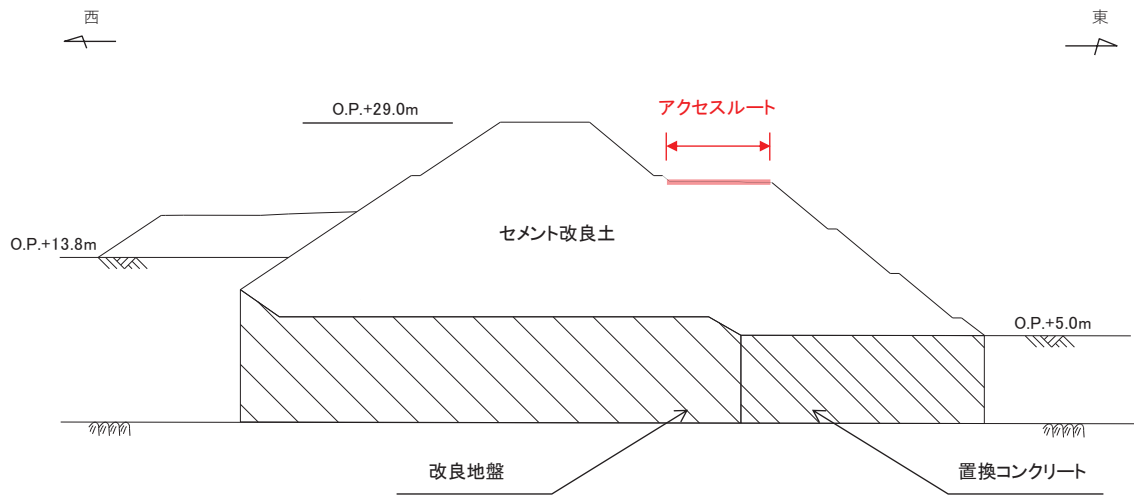


図 2-2 アクセスルートの構造図

2.3 評価方針

アクセスルートは、防潮堤（盛土堤防）と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響評価を行う。

アクセスルートの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

アクセスルートの波及的影響評価は、「3. 耐震評価」により得られた解析結果に基づき、表 2-1 のアクセスルートの評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の照査項目（すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

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

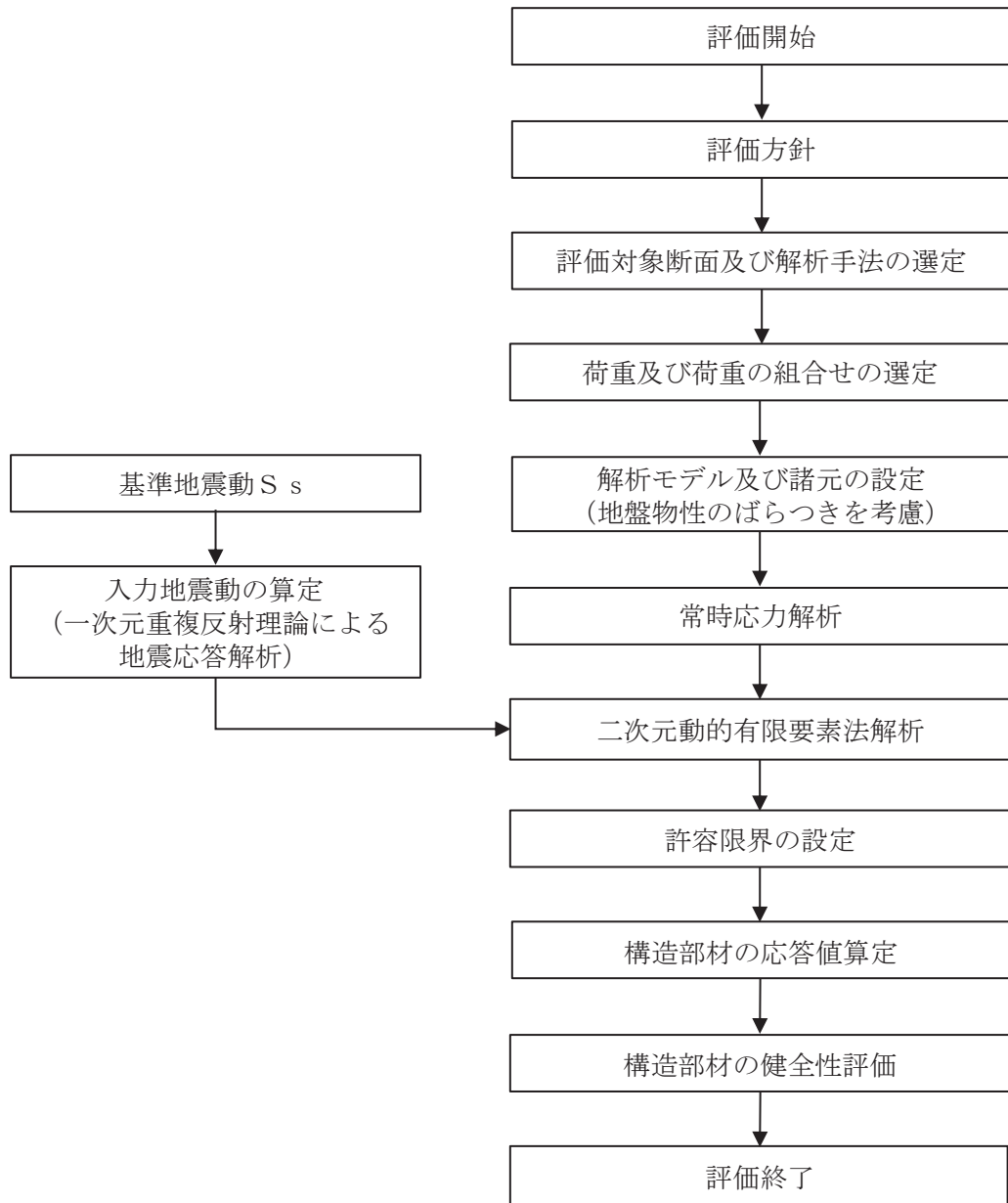


図 2-3 アクセスルートの耐震評価フロー

表 2-1 アクセスルートの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定）を確認	すべり安全率 1.2 以上

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成25年6月19日原管地発第1306196号) (以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。)
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

評価対象断面は、アクセスルートと一体である防潮堤（盛土堤防）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて、図3-1に示す断面位置とする。評価対象断面図を図3-2に示す。

A-A断面：セメント改良土が最も厚くなる箇所、 C_M 級岩盤上面が最も深く、盛土及び旧表土が厚く堆積する箇所（添付書類「VI-2-10-2-2-2 防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書」の評価対象断面と同一）。

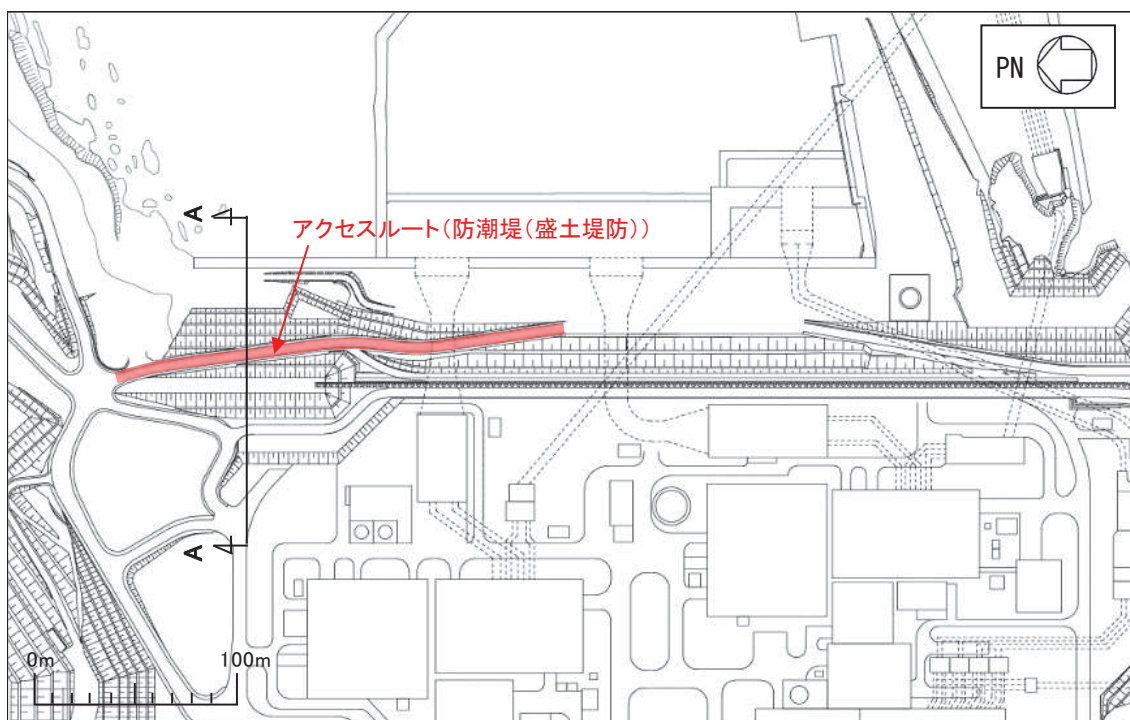


図3-1 アクセスルートの評価対象断面位置図

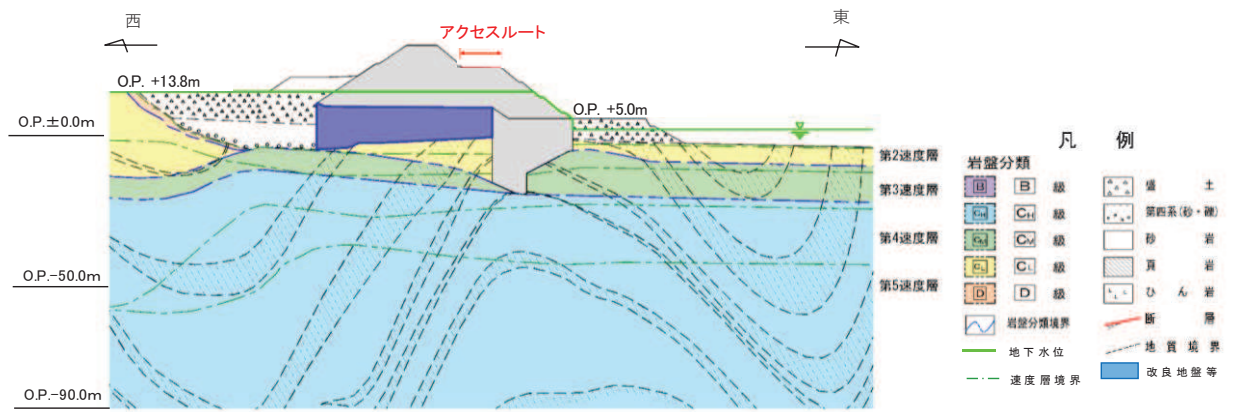


図3-2 評価対象断面図 (A-A断面)

3.2 解析方法

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

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析を行う。また、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

地震応答解析には、上位クラス施設である防潮堤（盛土堤防）と同様に、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3-2 に示すとおり、アクセスルートと一体である防潮堤（盛土堤防）の周辺には、主として旧表土、盛土、 D 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時にアクセスルートの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3-1 に示す。

表 3-1 解析ケース（アクセスルート）

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D 級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1σ	平均値

3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) とする。

3.2.4 解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、ケース①（基本ケース）を実施す

る。全ての基準地震動 S_s に対して実施したケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3-1 に示すケース②～③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 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
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*	○	基準地震動 S_s (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (13 波) を加えた全 20 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、すべり安全率及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。	
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - D 2$	++*	○		
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - D 3$	++*	○		
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - F 1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - F 2$	++*	○		
		-+*	○		
$S_s - F 3$	++*	○			
	-+*	○			
$S_s - N 1$	++*	○			
	-+*	○			

注記 * : 地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

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

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

アクセスルートの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風の影響を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

アクセスルートの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、防潮堤（盛土堤防）の自重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重(P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(5) 地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

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

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

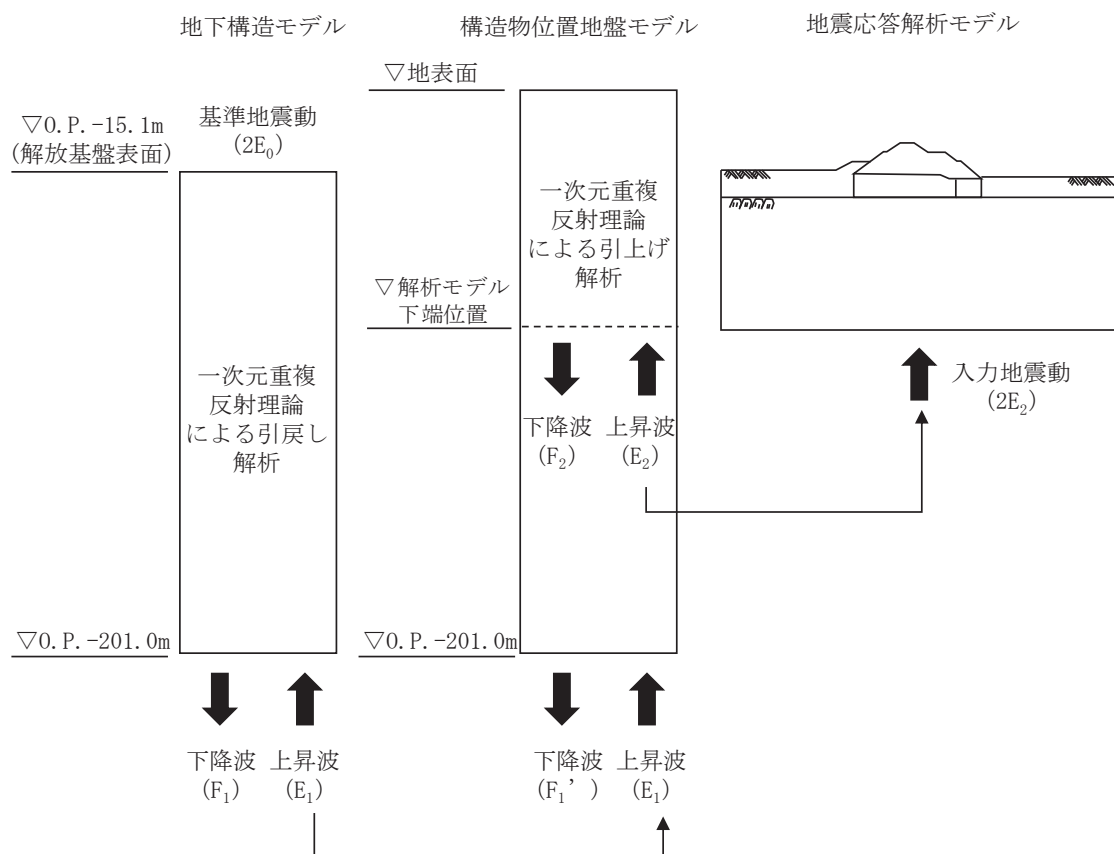
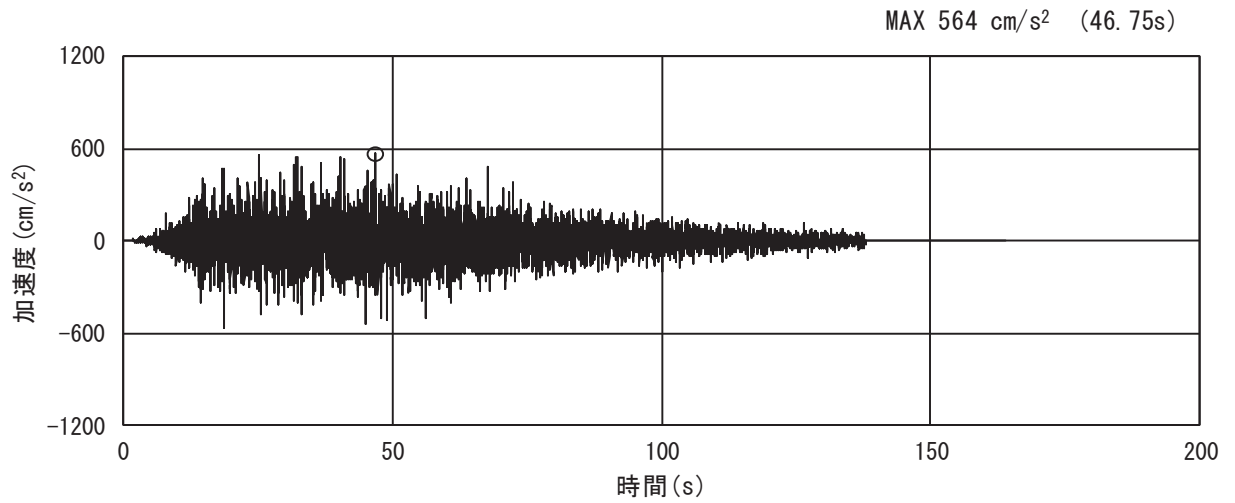
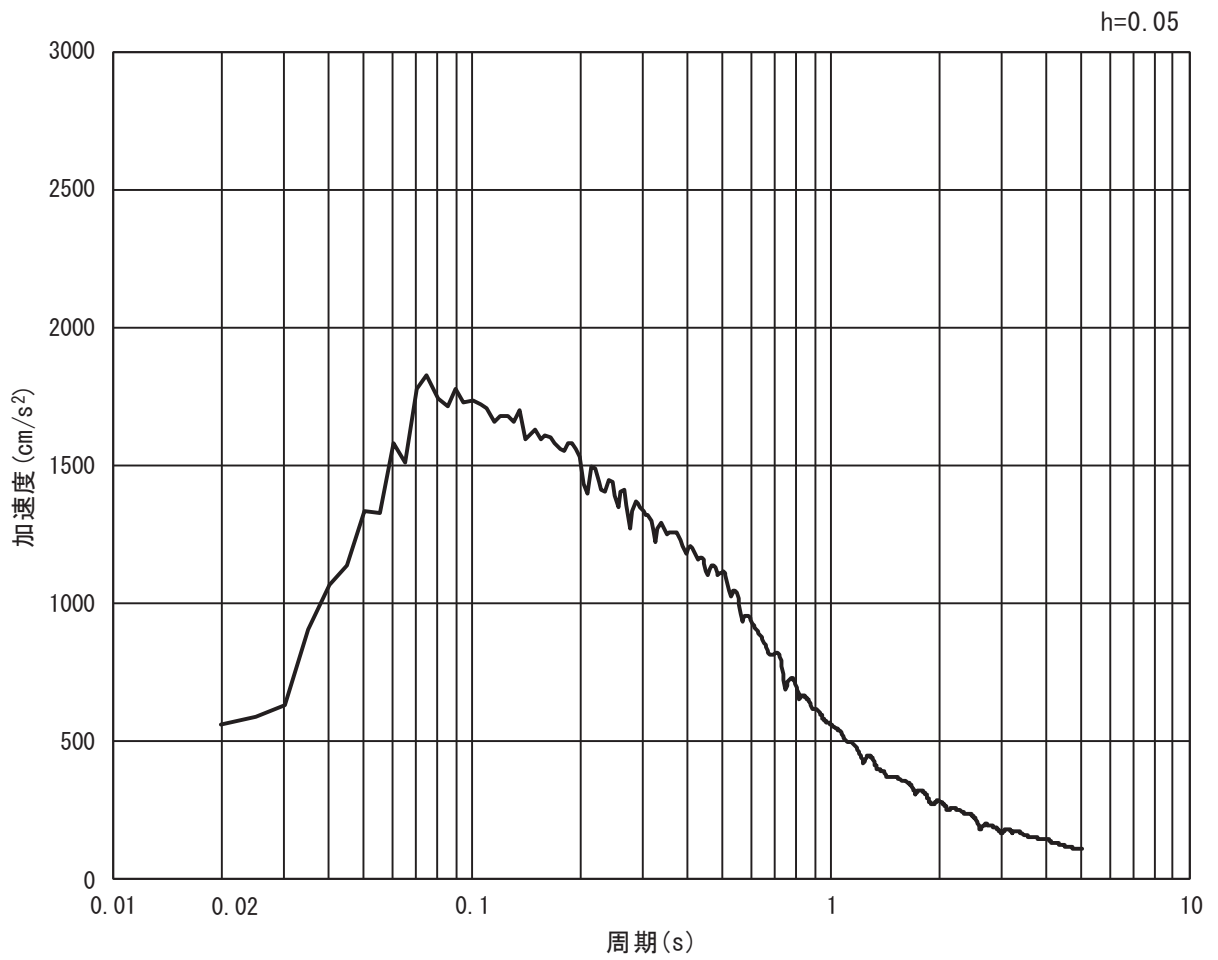


図 3-3 入力地震動算定の概念図

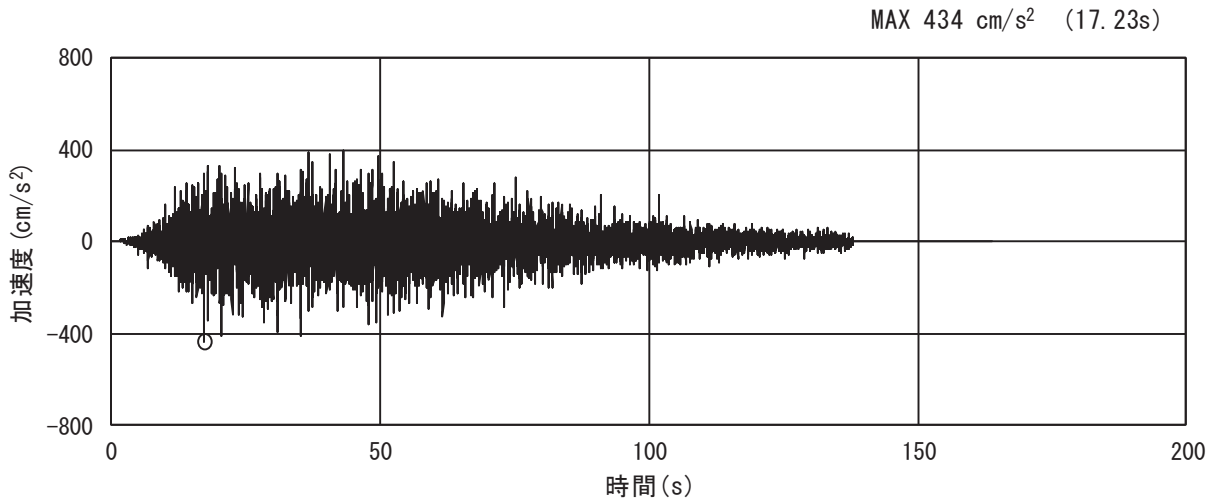


(a) 加速度時刻歴波形

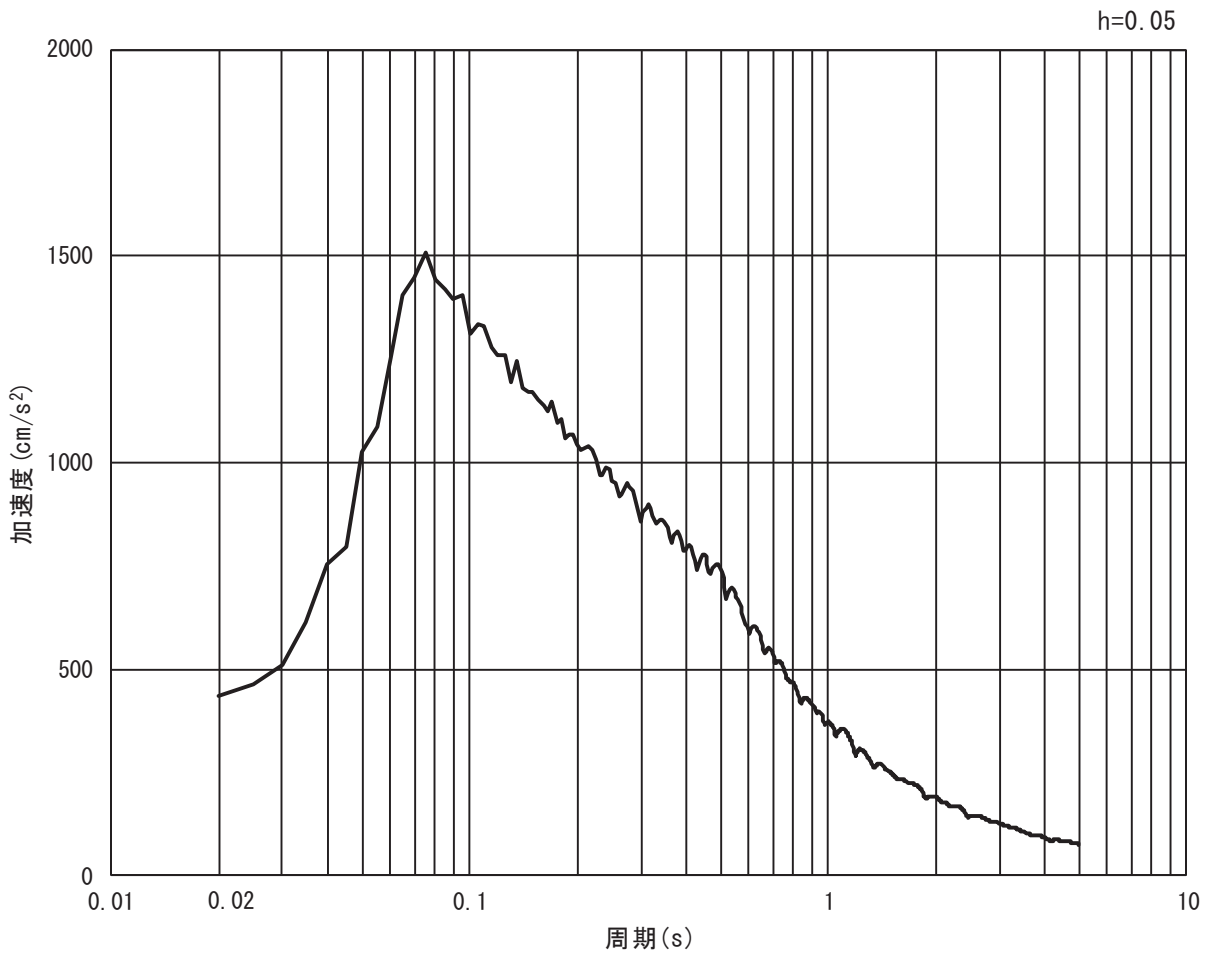


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 1)

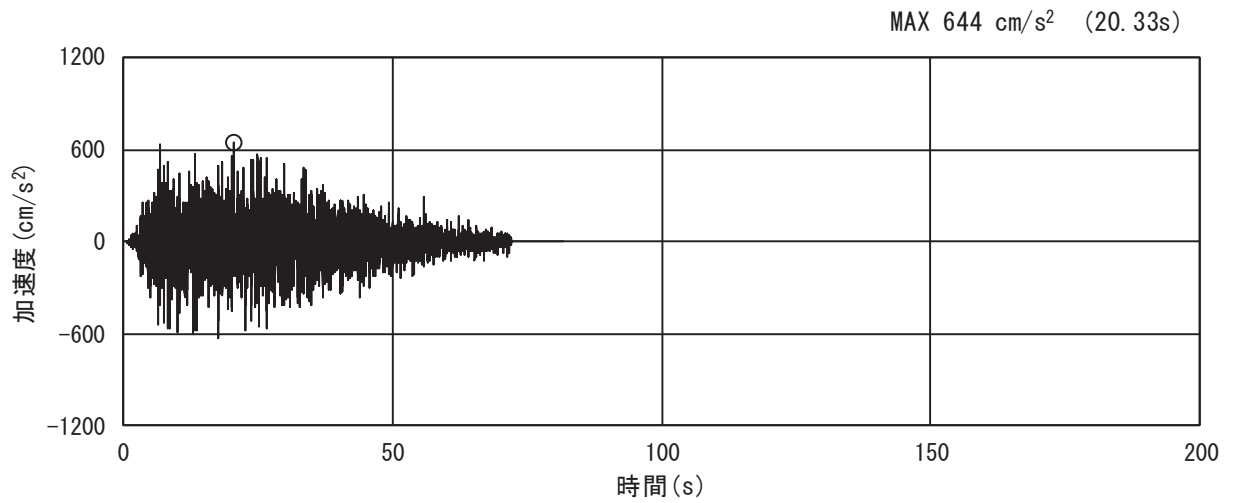


(a) 加速度時刻歴波形

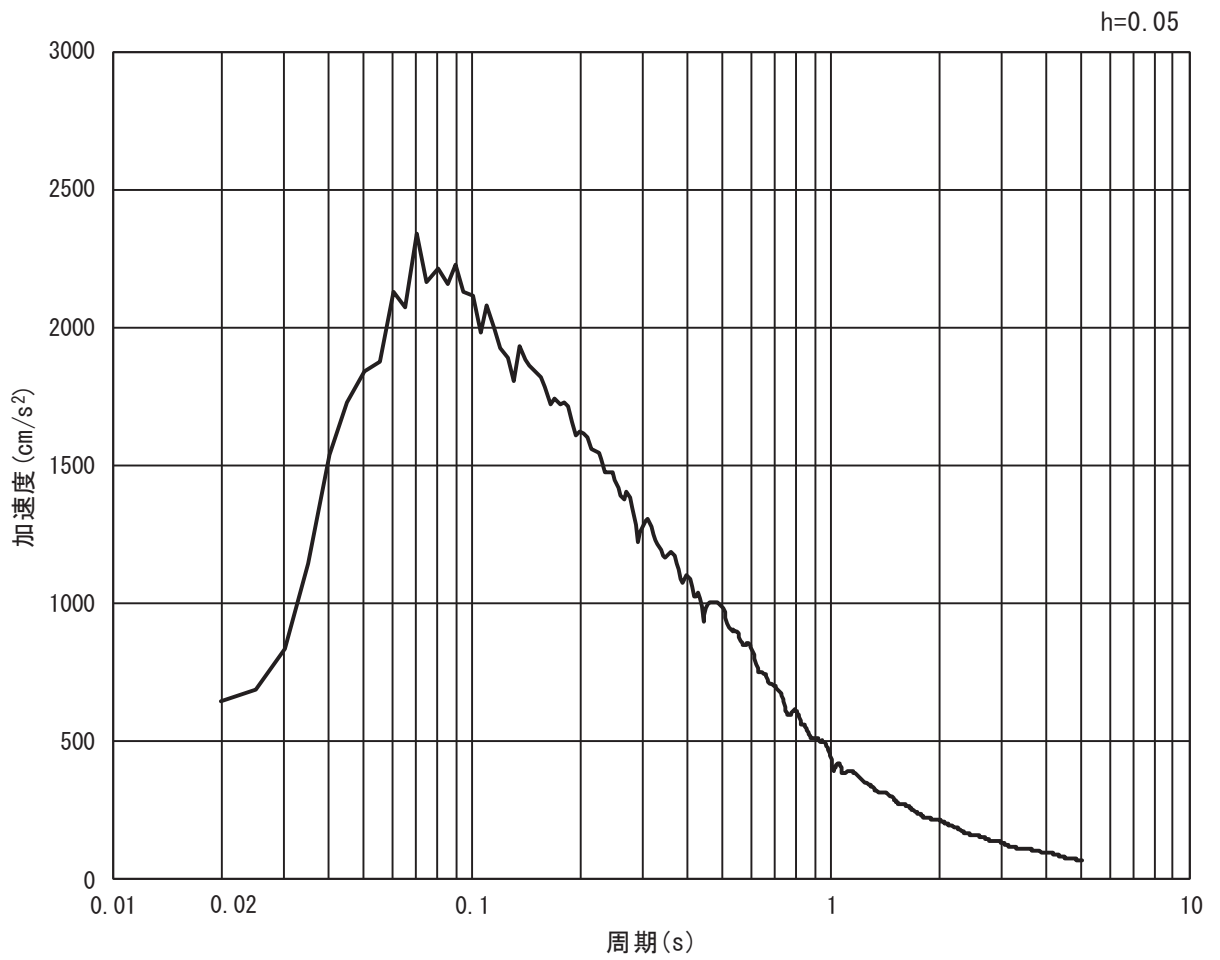


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - D 1)

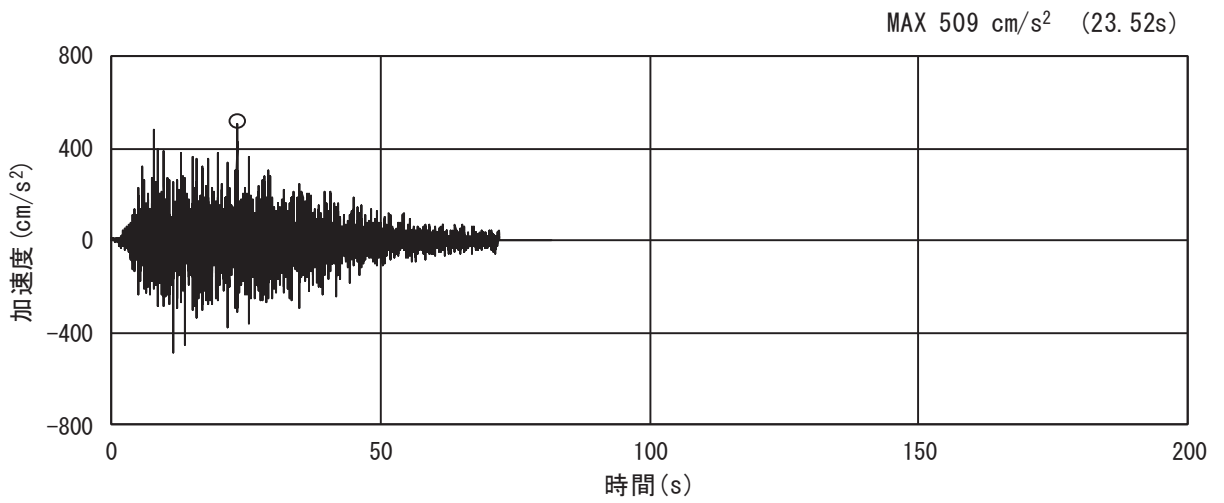


(a) 加速度時刻歴波形

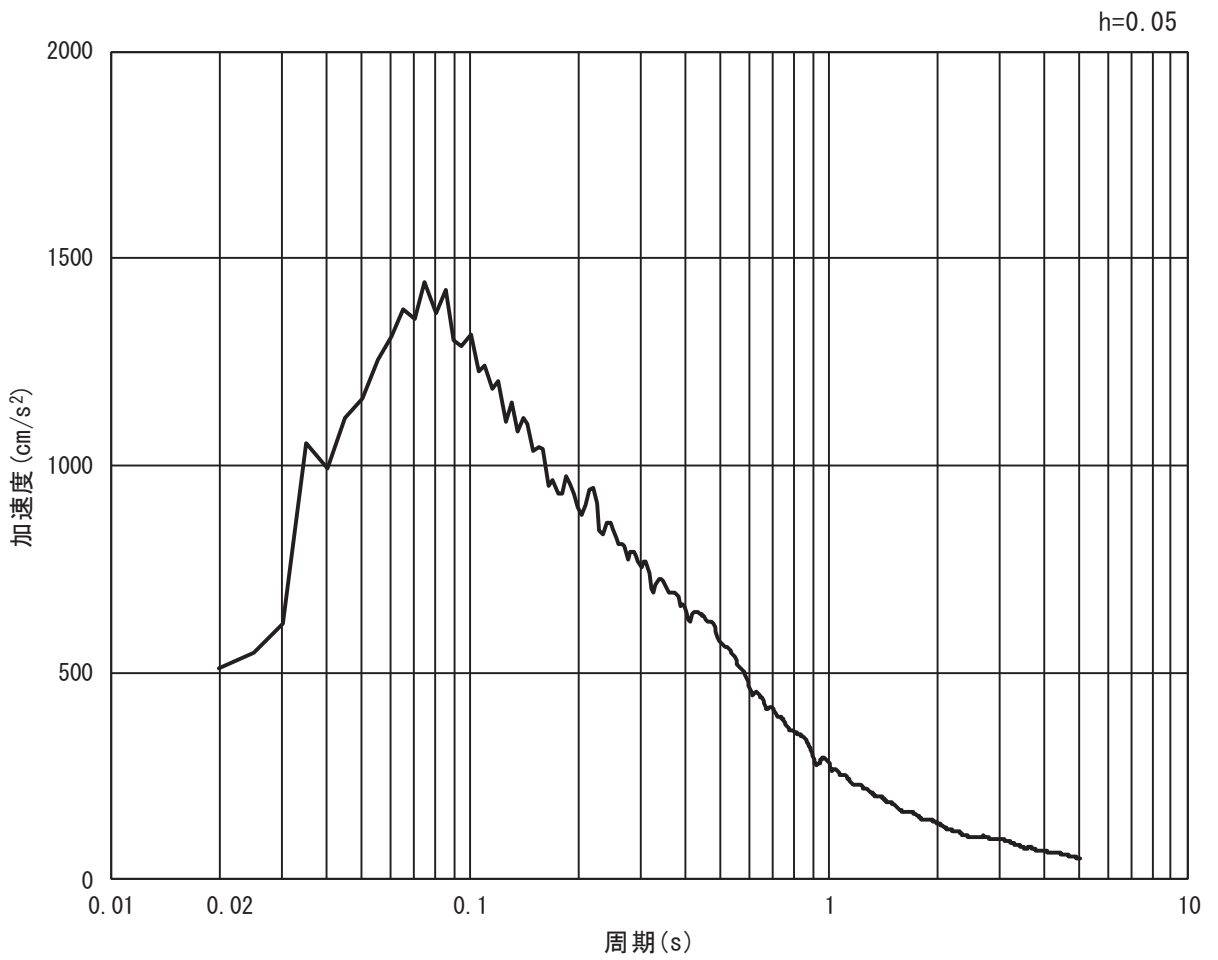


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 2)

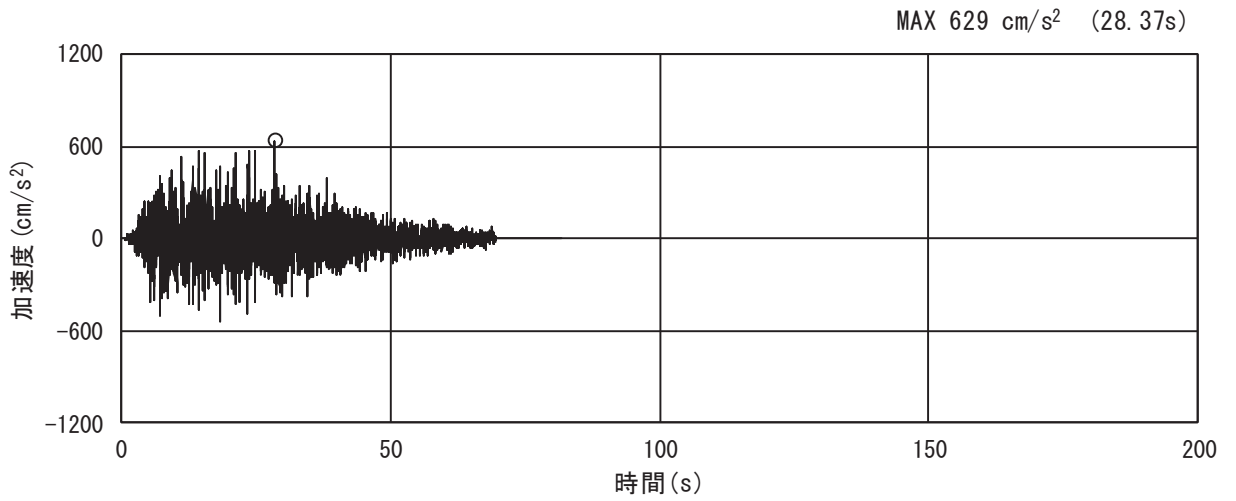


(a) 加速度時刻歴波形

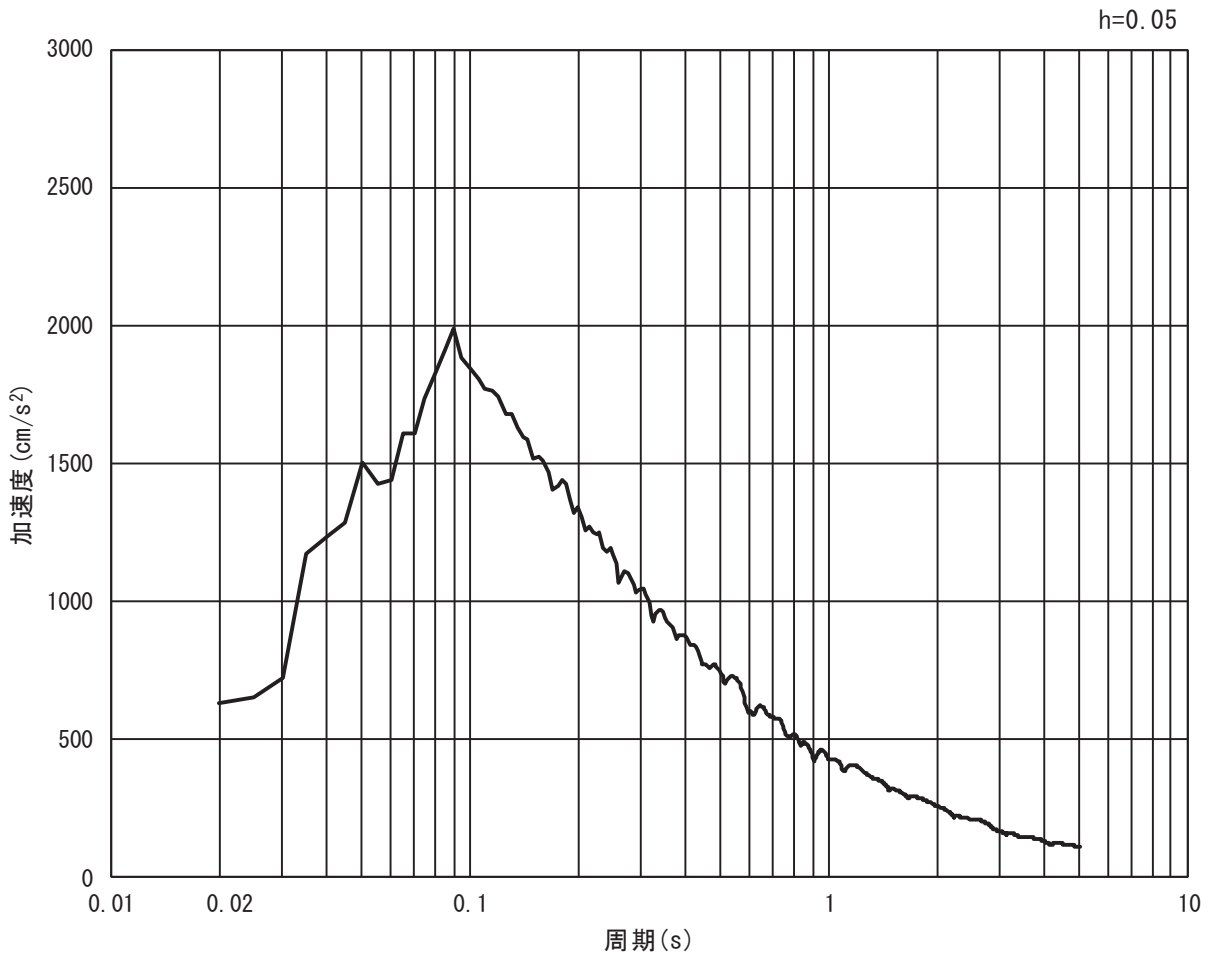


(b) 加速度応答スペクトル

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

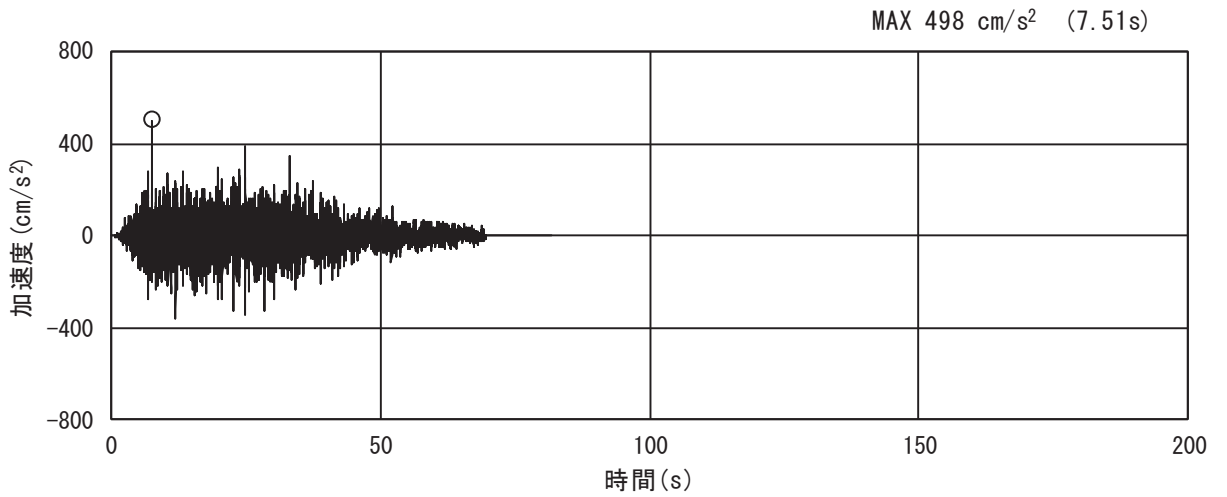


(a) 加速度時刻歴波形

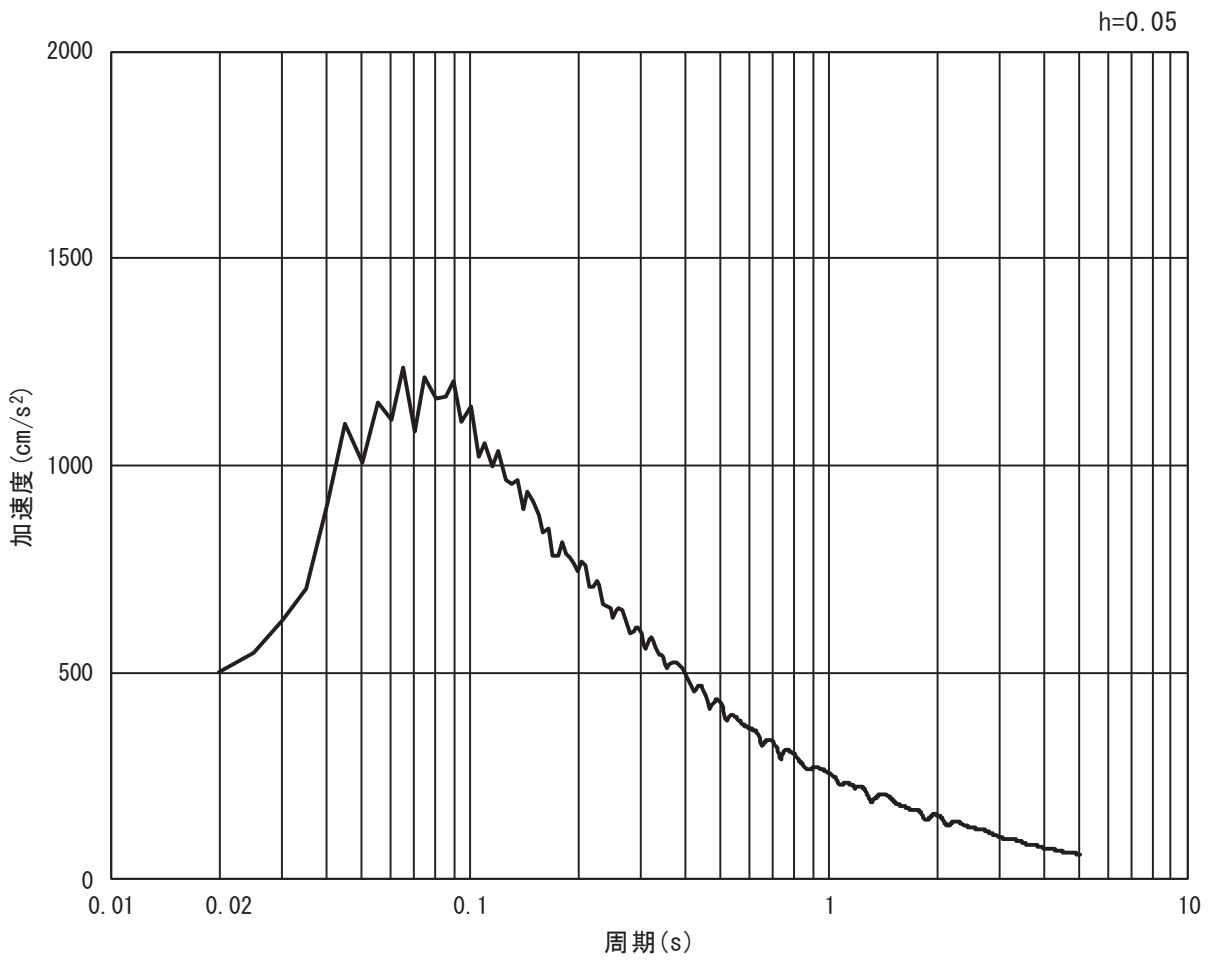


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 3)

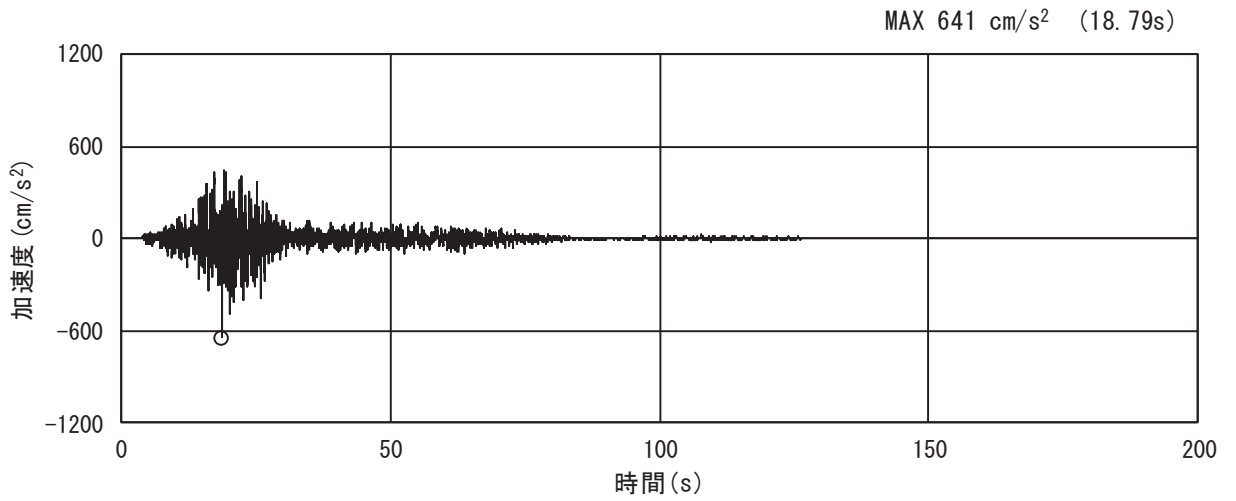


(a) 加速度時刻歴波形

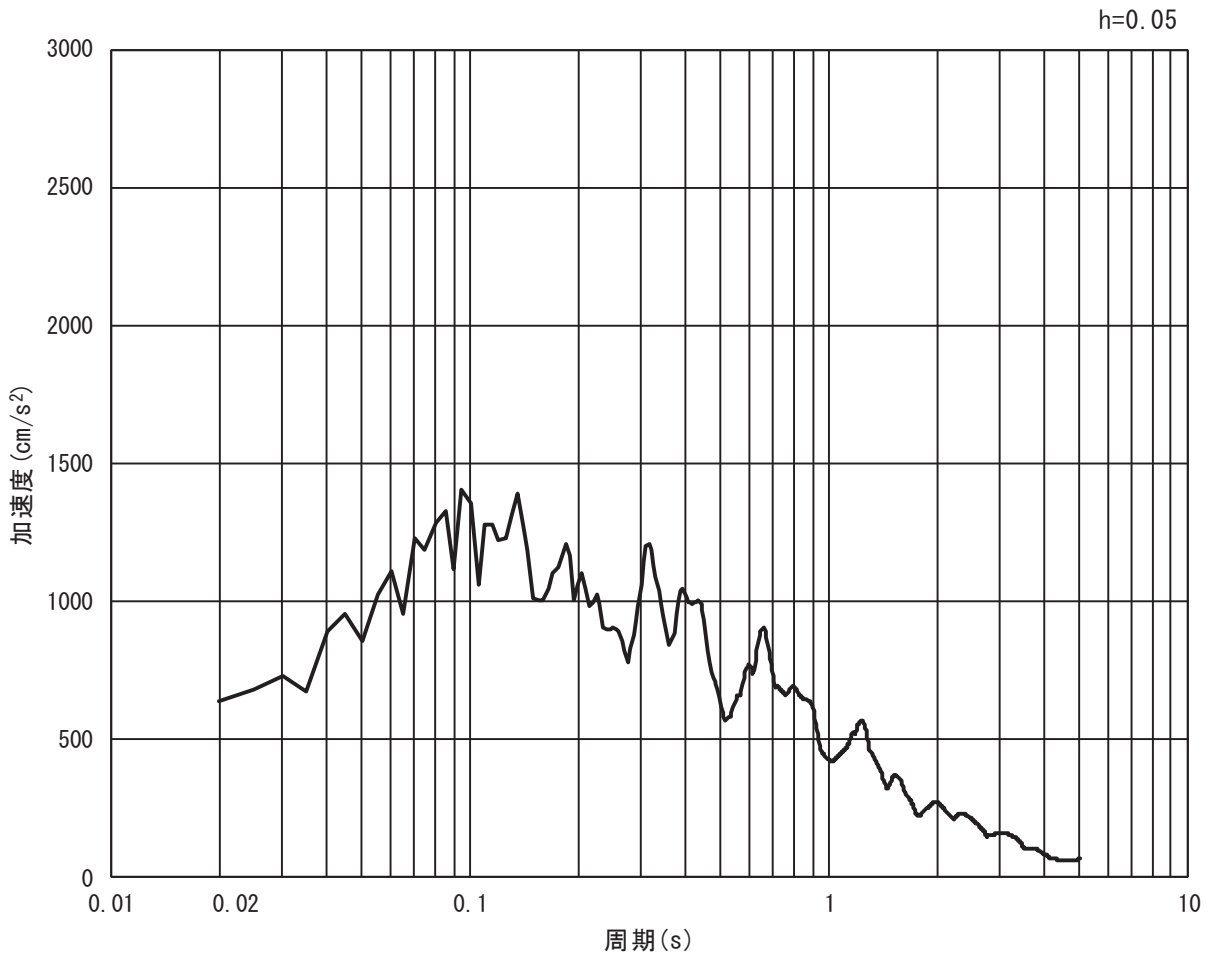


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - D 3)

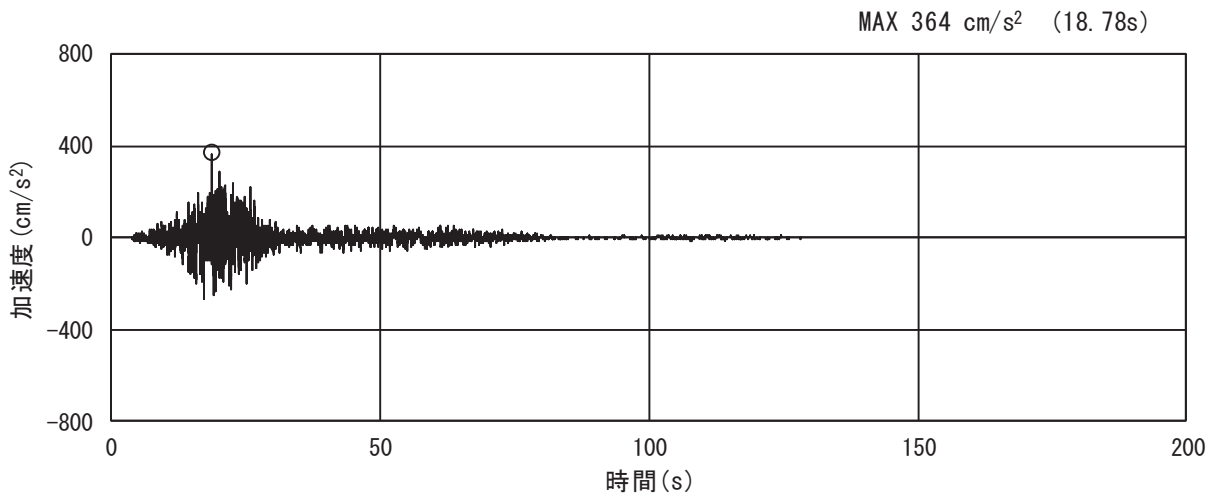


(a) 加速度時刻歴波形

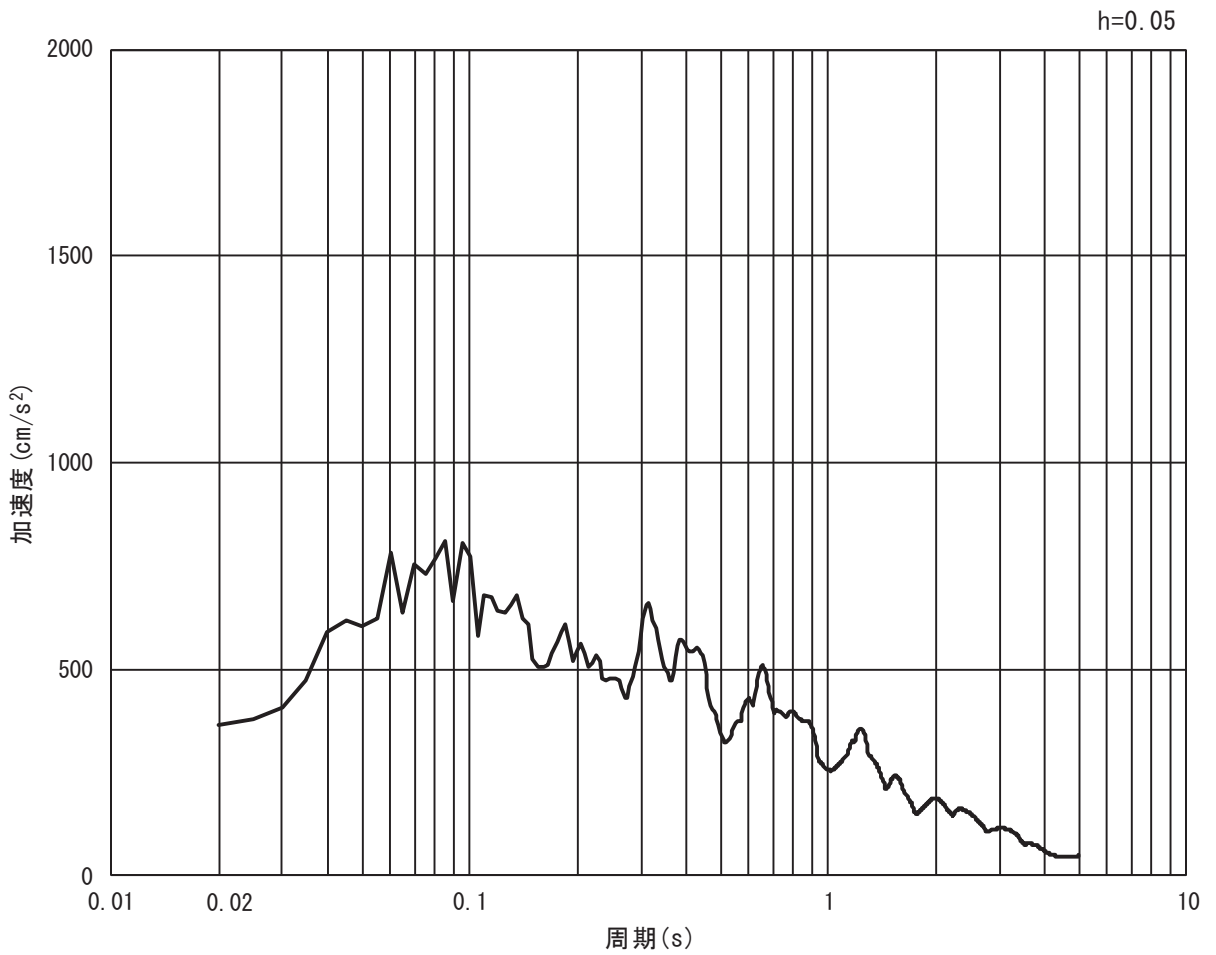


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 1)

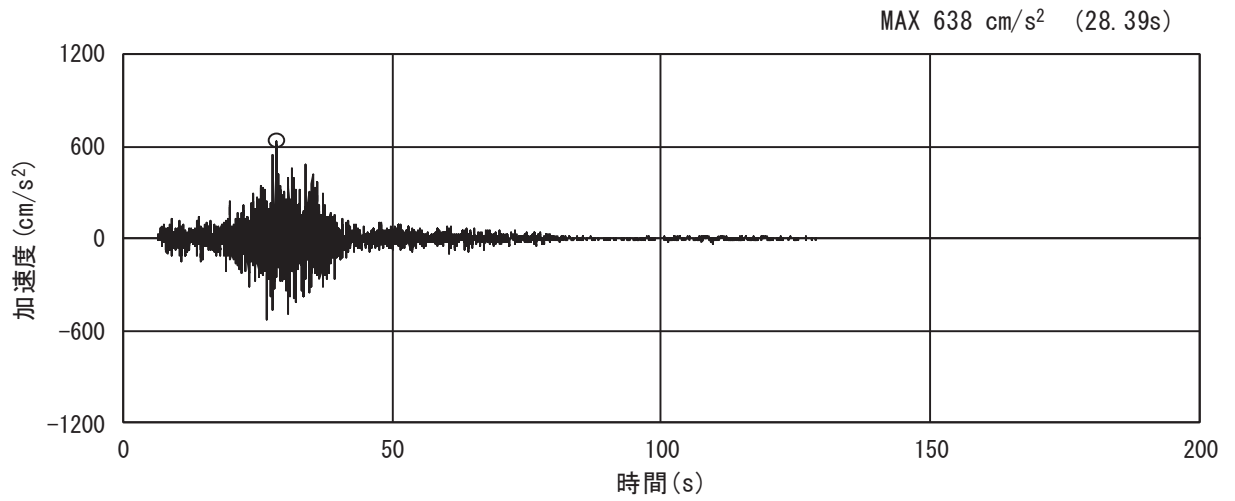


(a) 加速度時刻歴波形

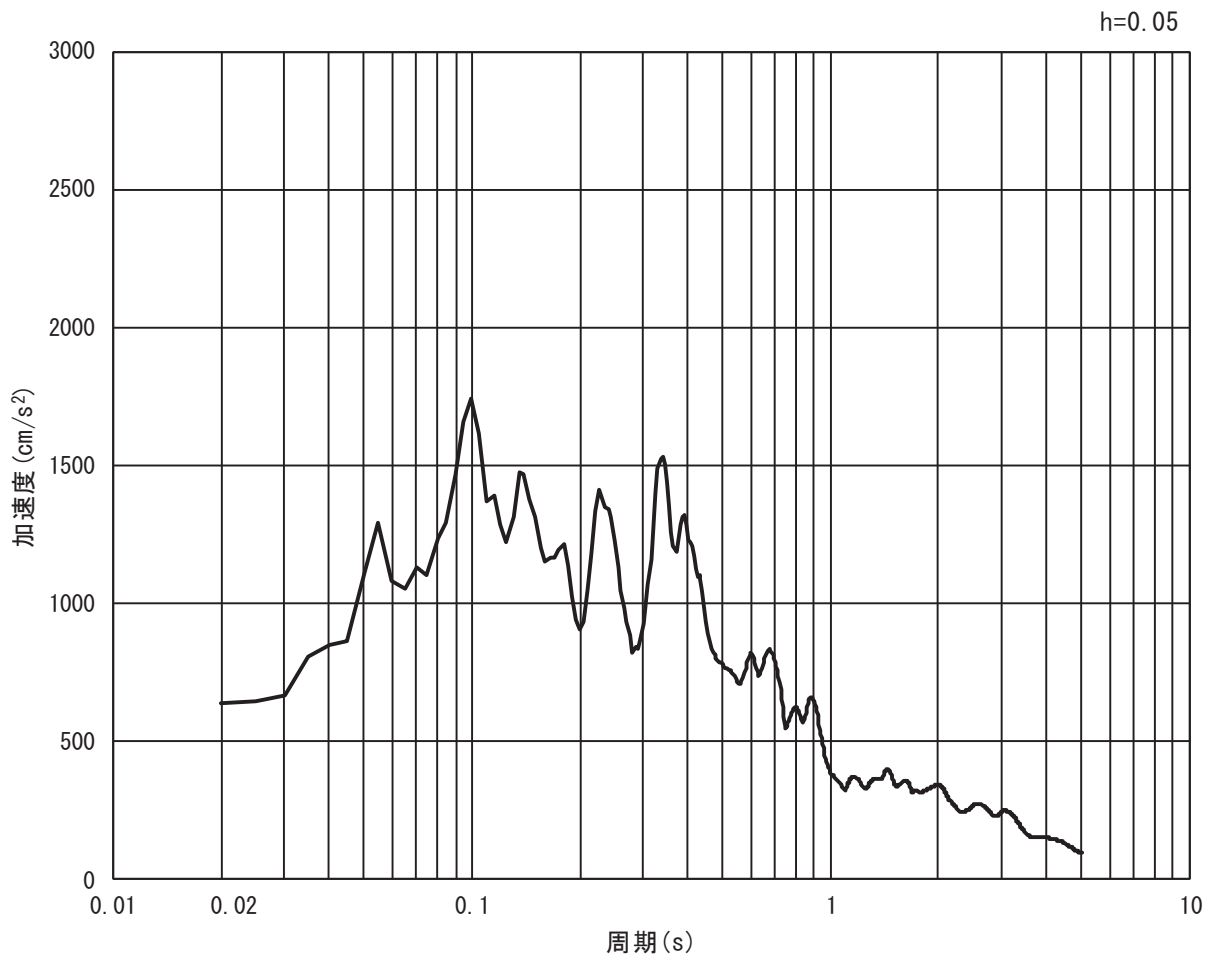


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - F 1)

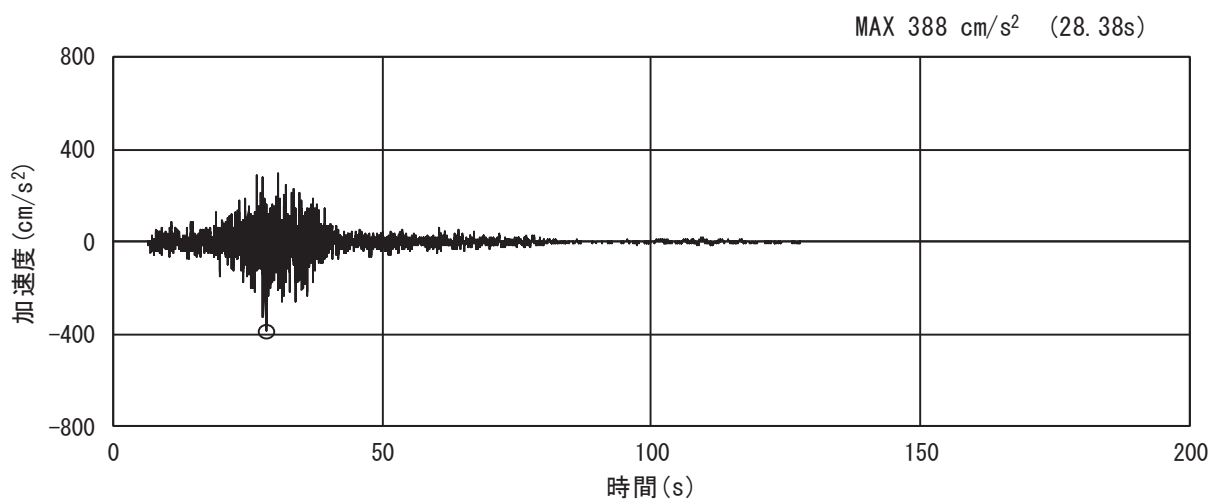


(a) 加速度時刻歴波形

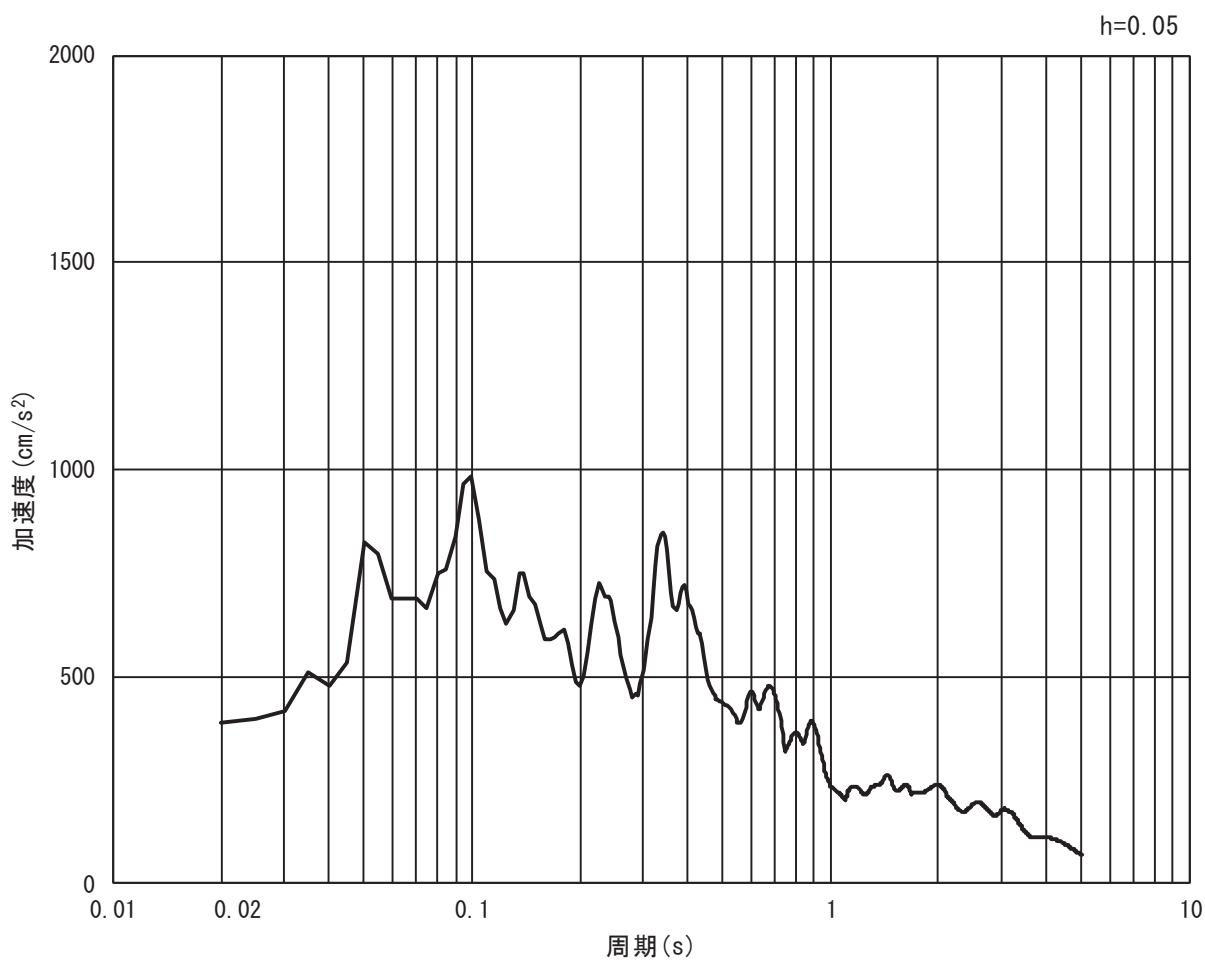


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 2)

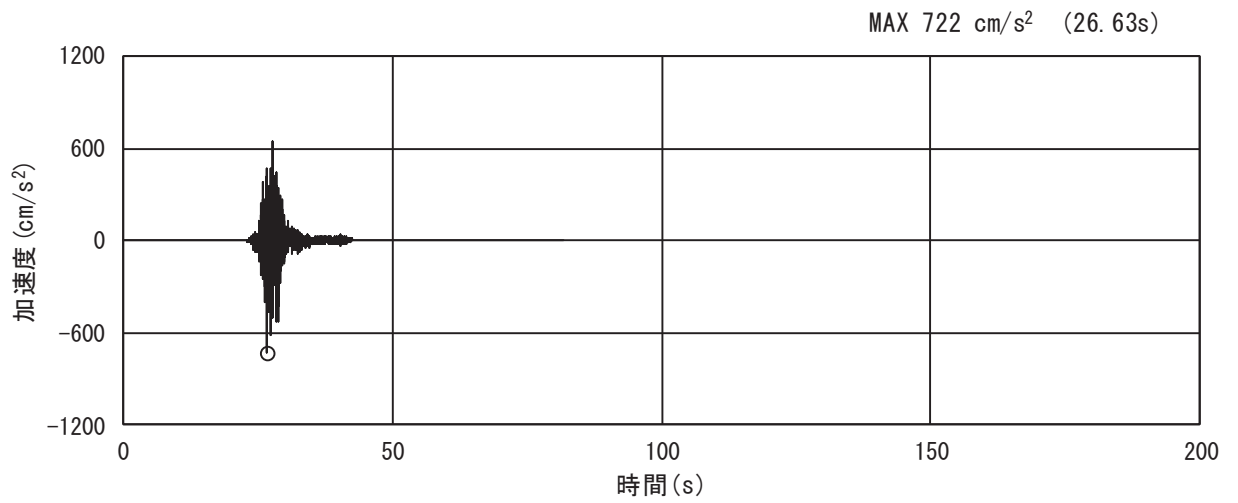


(a) 加速度時刻歴波形

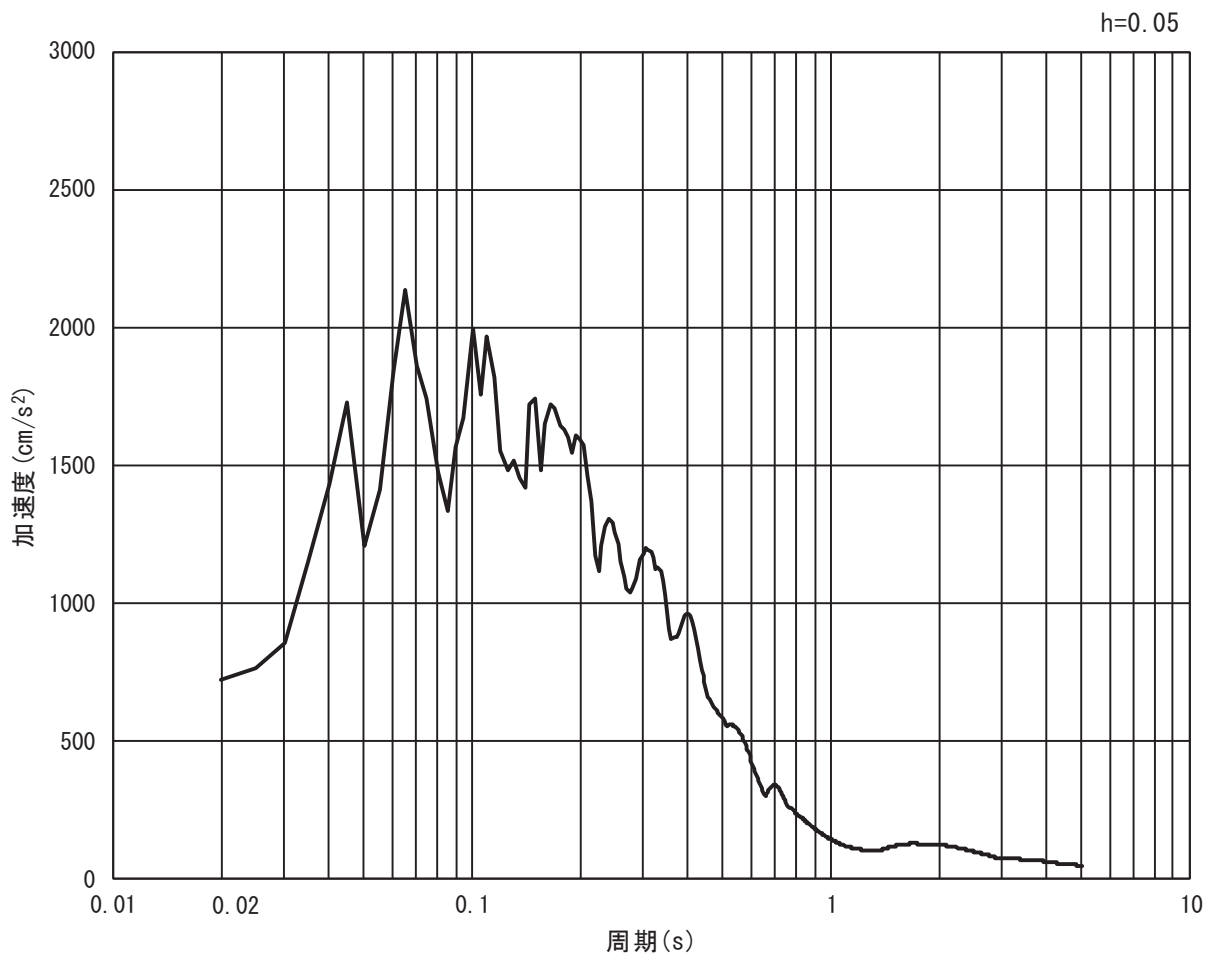


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - F 2)

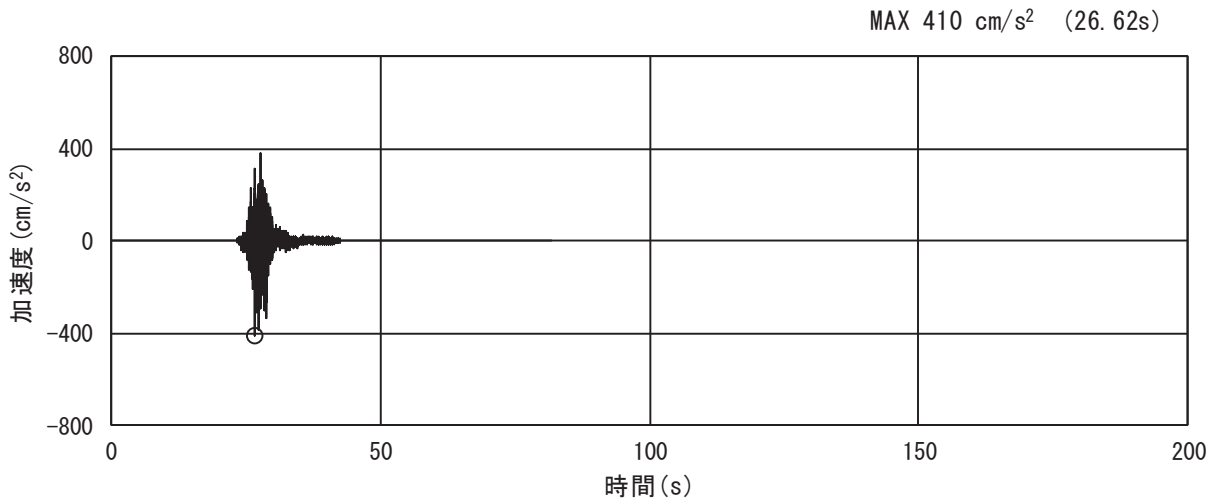


(a) 加速度時刻歴波形

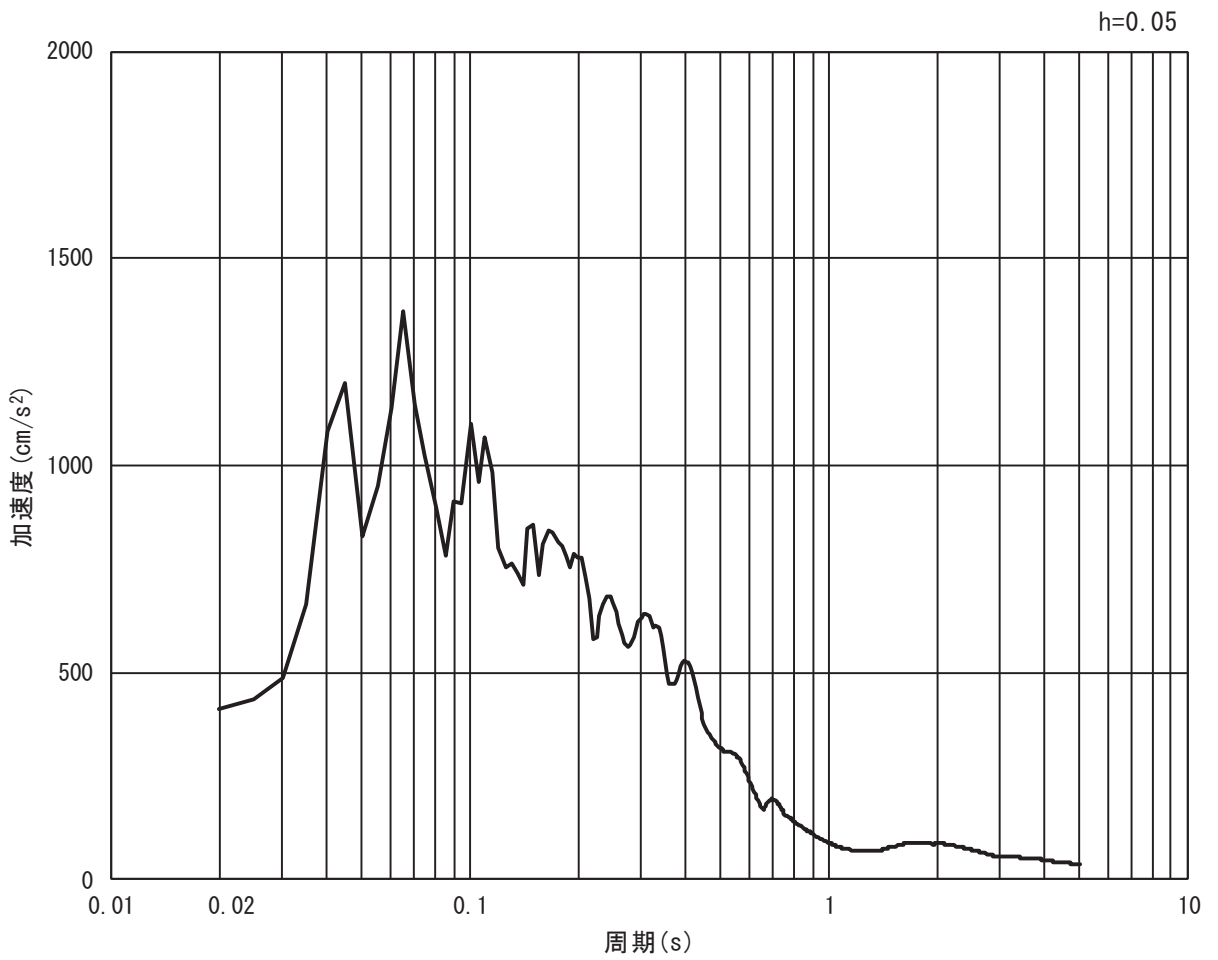


(b) 加速度応答スペクトル

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

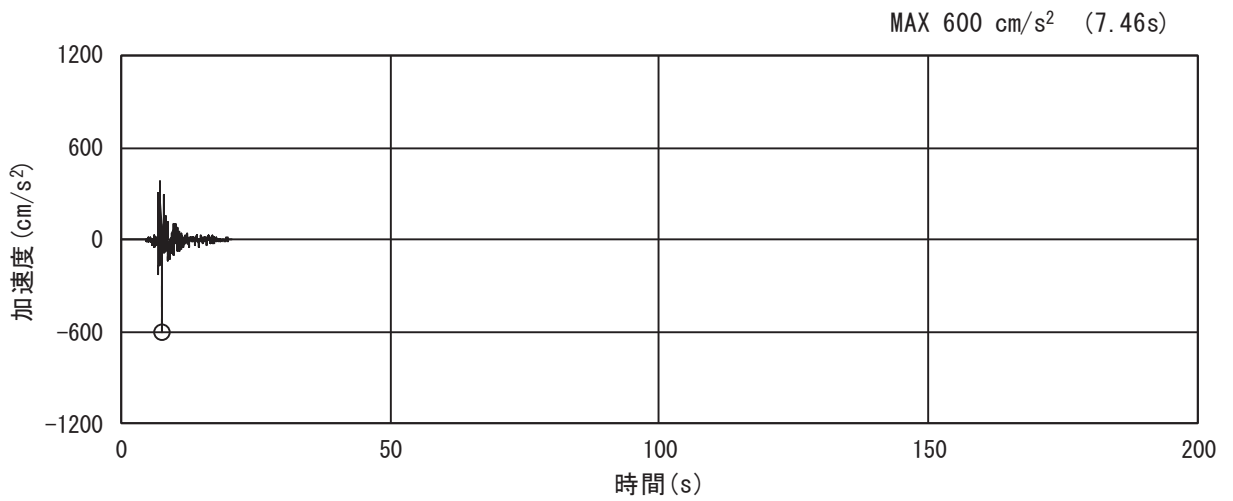


(a) 加速度時刻歴波形

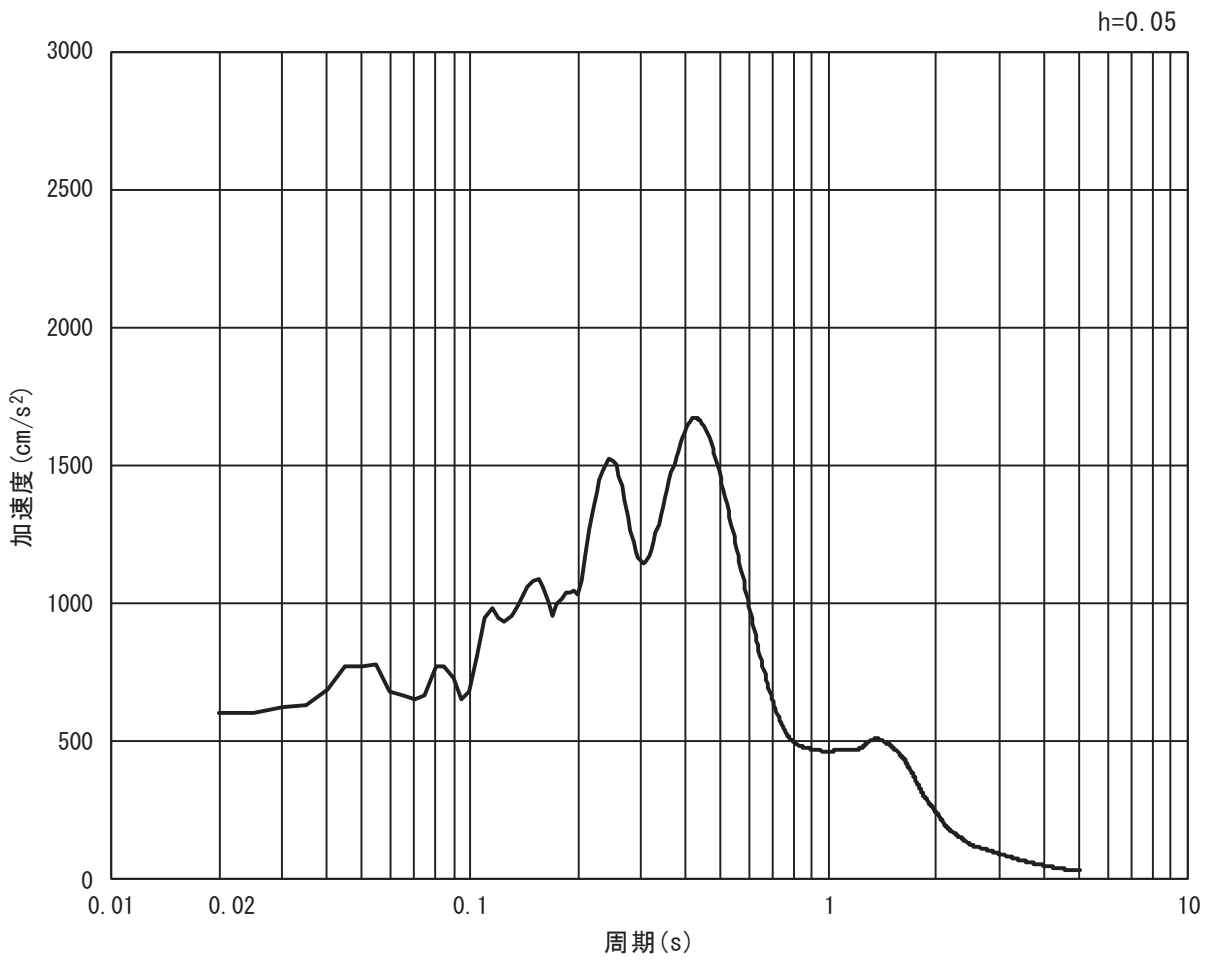


(b) 加速度応答スペクトル

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

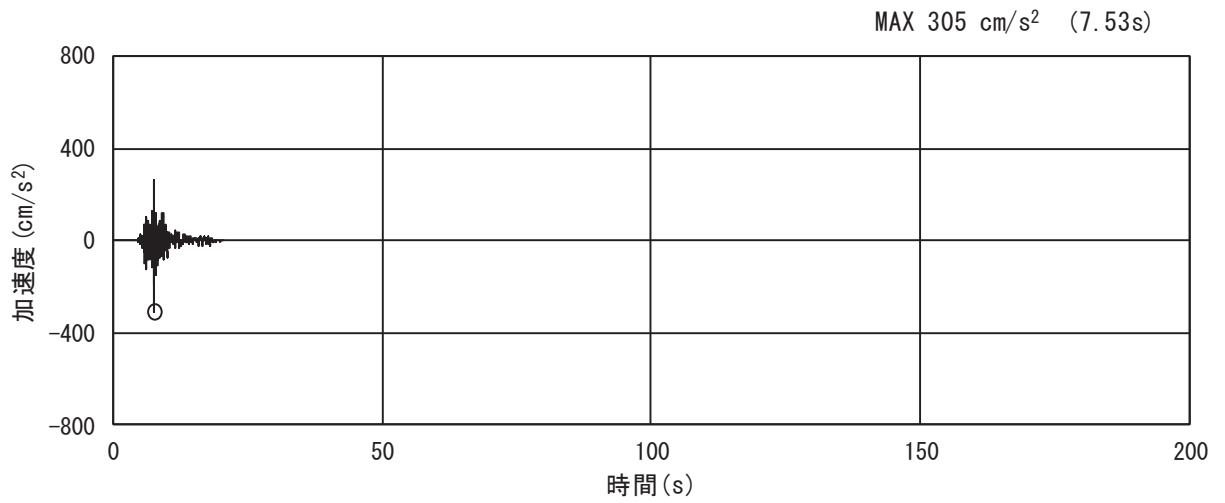


(a) 加速度時刻歴波形

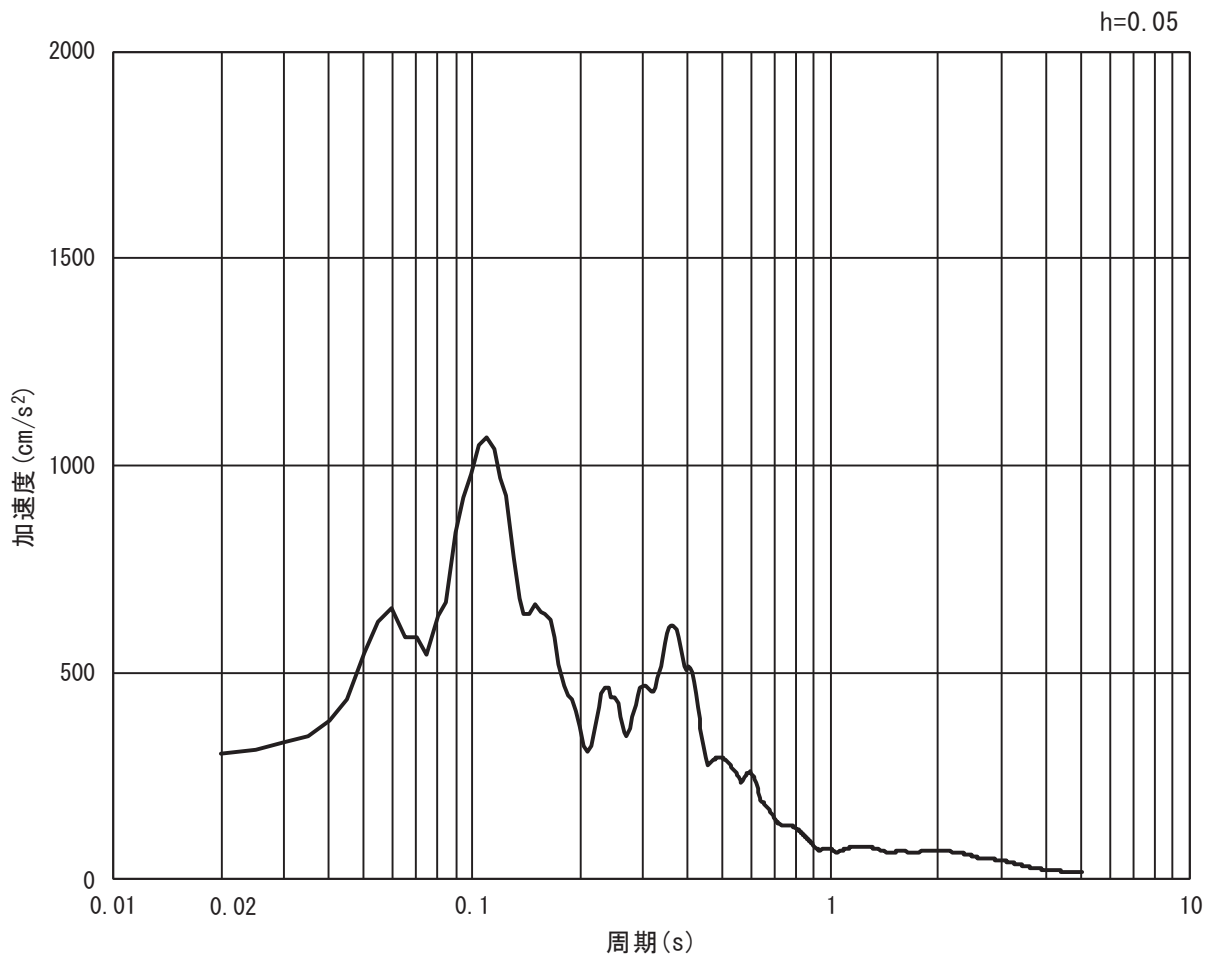


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - N 1)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

アクセスルートの地震応答解析モデルを図3-5に示す。

(1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

D₁級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D₂級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。また、地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

地震時の「セメント改良土と盛土」、「改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「セメント改良土と改良地盤」及び「改良地盤と置換コンクリート」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

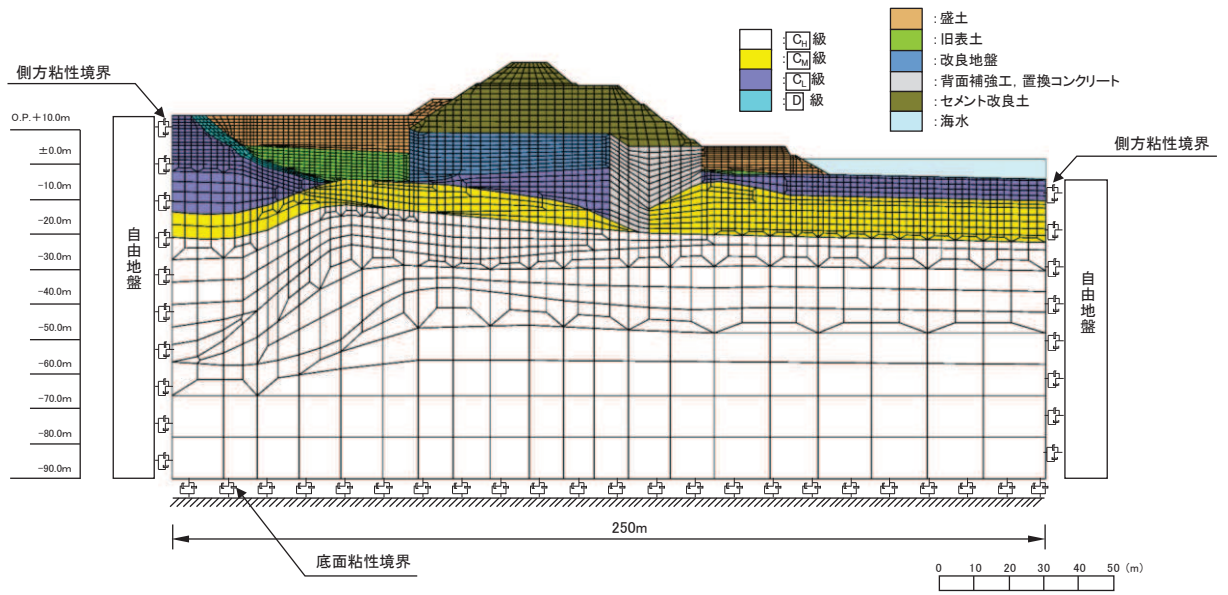


図3-5 アクセスルートの解析モデル (A-A断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。なお、セメント改良土の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

表 3-4 使用材料

材料	諸元
コンクリート (置換コンクリート)	設計基準強度 : 30 N/mm ²

表 3-5 材料の物性値

材料	単位 体積重量 (kN/m ³)	せん断 強度 (N/mm ²)	内部 摩擦角 (°)	引張 強度 (N/mm ²)	残留 強度 (N/mm ²)	ヤング 係数 (N/mm ²)	ポアソン 比
コンクリート (置換コンクリート)	22.5	6.00	-*	2.22	-*	2.80×10 ⁴	0.2

注記* : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

3.5.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

3.5.4 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 3-2 及び表 3-6 に示す。

表 3-6 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
アクセスルート	A-A 断面	防潮堤（盛土堤防）より山側で地表面，海側で O.P. +1.43m（朔望平均満潮位）に設定する。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、アクセスルートと一体である防潮堤（盛土堤防）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

(1) 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性に係る評価対象部位は、セメント改良土とする。

3.7 許容限界

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

3.7.1 セメント改良土

セメント改良土の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、表 3-7 に示すすべり安全率とする。

表 3-7 セメント改良土の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.8 評価方法

アクセスルートの耐震評価は、地震応答解析に基づき算定した発生応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

3.8.1 セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。

すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として時々刻々求め、最小すべり安全率のすべり線を選定する。想定すべり線は、セメント改良土の端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定する。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 -1σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

4. 耐震評価結果

4.1 セメント改良土

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 4-1 に、平均強度において最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4-1 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値 - 1σ 強度のすべり安全率を表 4-1 に併せて示す。

これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-1 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S _s -N1(++)	③	7.55	3.0
S _s -N1(++)	① (平均値 - 1σ 強度)	7.55	3.0

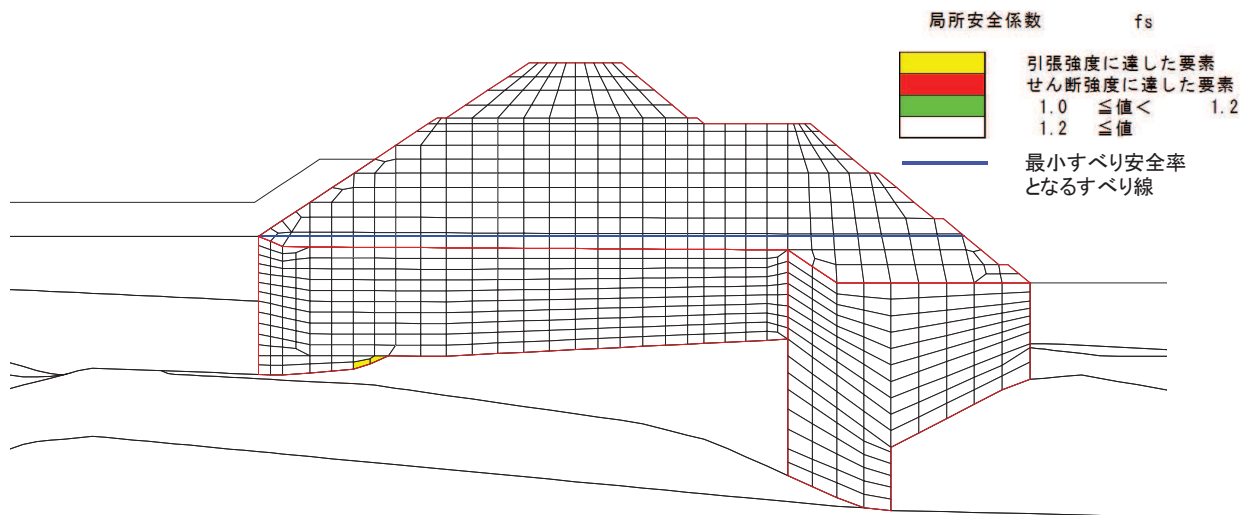


図 4-1 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面①, S_s-N1(++) , t=7.55s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 - 1σ）

VI-2-11-2-21 CRD 自動交換機の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	3
2.4	適用規格・基準等	4
2.5	記号の説明	5
2.6	計算精度と数値の丸め方	9
3.	評価部位	10
4.	地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	12
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	12
4.2.2	許容応力	12
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	12
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	18
4.5	設計用地震力	20
4.6	計算方法	24
4.6.1	CRD 自動交換機フレームの応力	24
4.6.2	旋回用レールの応力	25
4.6.3	固定用サポート(上部)の応力	28
4.6.4	固定用サポート(下部)の応力	32
4.7	計算条件	36
4.8	応力の評価	36
4.8.1	CRD 自動交換機フレーム, 旋回用レール, 固定用サポート(上部)及び固定用サポート(下部)の応力評価	36
4.8.2	固定用サポート(上部)及び固定用サポート(下部)取付ボルトの応力評価	37
5.	評価結果	38
5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	38

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である CRD 自動交換機（Cクラス施設）が上位クラス施設と同じ運転状態において基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である原子炉格納容器下部水位及び原子炉格納容器下部温度（重大事故等対処設備）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

CRD 自動交換機は原子炉本体の基礎（以下「RPV ペDESTAL」という。）内に設置される。CRD 自動交換機は、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉格納容器下部水位及び原子炉格納容器下部温度の直上に設置されていることから、落下により原子炉格納容器下部水位及び原子炉格納容器下部温度に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

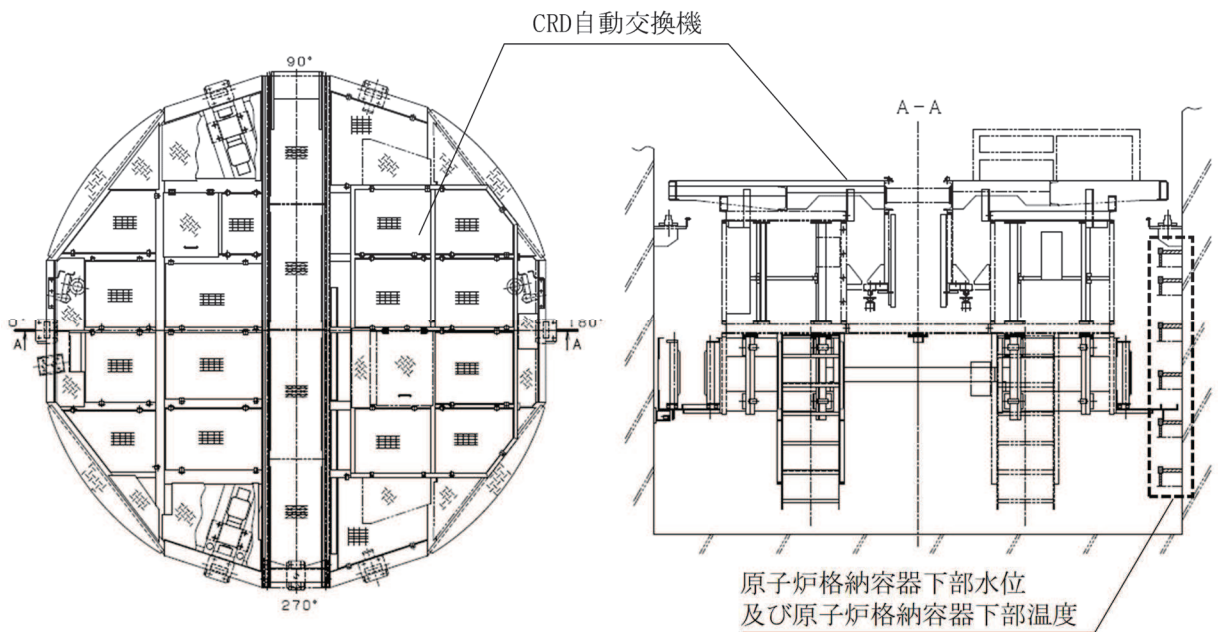
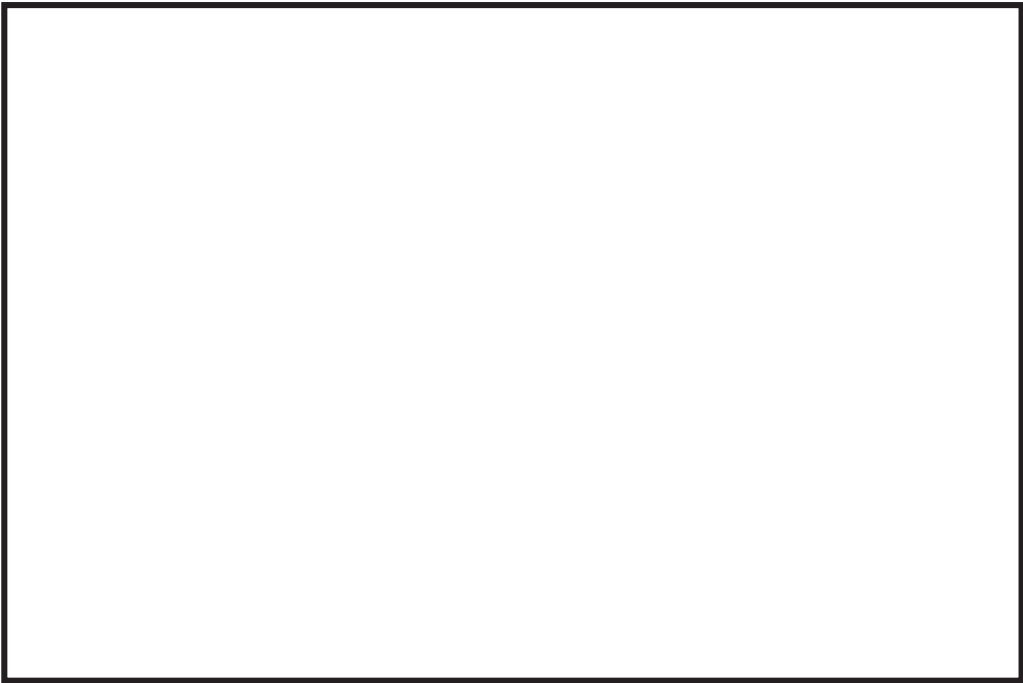


図 2-1 CRD 自動交換機と原子炉格納容器下部水位等の位置関係

2.2 構造計画

CRD自動交換機の構造計画を表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>CRD 自動交換機は CRD 自動交換機フレーム（プラットフォーム）の車輪を介して RPV ペDESTAL 壁面に設置された 旋回用レール上に設置されている。</p> <p>プラント運転中は CRD 自動交換機フレーム（プラットフォーム）及び CRD 自動交換機フレーム（作業架台）に設置した固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）により、RPV ペDESTAL 壁面に固定する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ CRD 自動交換機フレーム（プラットフォーム） ・ CRD 自動交換機フレーム（作業架台） 	

2.3 評価方針

CRD 自動交換機の応力評価は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した重大事故等対処設備と同じ運転状態における、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す CRD 自動交換機の部位を踏まえ「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基準地震動 S_s による応力等が許容限界内に収まることを、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

CRD 自動交換機の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

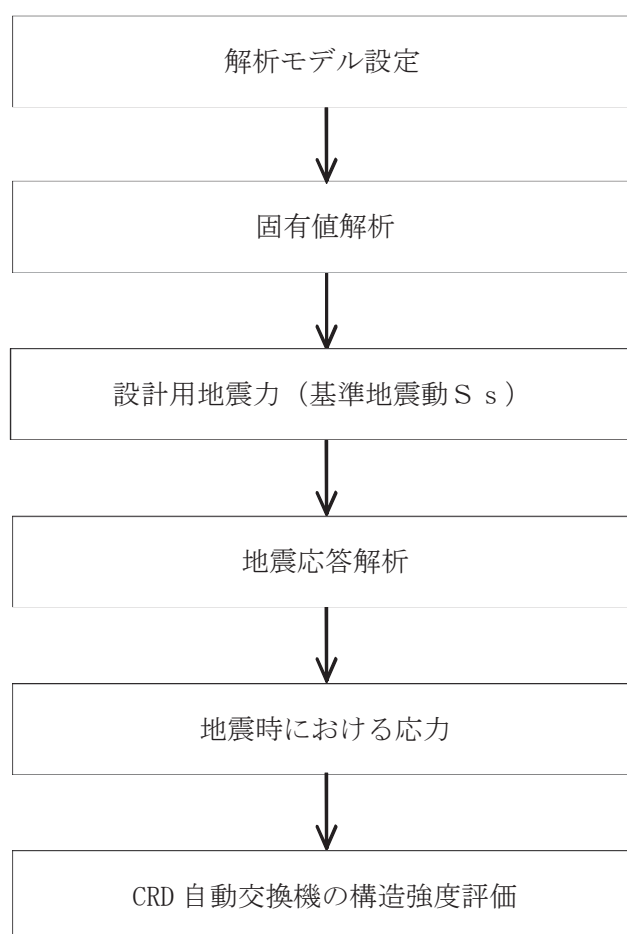


図 2-2 CRD 自動交換機の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・
補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下「設計・建設規格」という。)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	旋回用レールの断面積	mm^2
A_{ib}^{*1}	固定用サポート 取付ボルト断面積	mm^2
A_{is}^{*1}	固定用サポート 固定ピンの断面積	mm^2
d_{ib}^{*1}	固定用サポート 取付ボルト呼び径	mm
d_{is}^{*1}	固定用サポート 固定ピンの径	mm
E_1	CRD 自動交換機フレームの縦弾性係数 (SS400/STKR400)	MPa
E_2	CRD 自動交換機フレームの縦弾性係数 (SUS304/SUS630)	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
F_{1Sx}	固定用サポート (上部) X方向並進力	N
F_{1Sxj}	固定用サポート (上部) 各サポートのX方向並進力 ($j = 1 \sim 4$)	N
F_{1Sy}	固定用サポート (上部) Y方向並進力	N
F_{1Syj}	固定用サポート (上部) 各サポートのY方向並進力 ($j = 1 \sim 4$)	N
F_{1Sz}	固定用サポート (上部) Z方向並進力	N
F_{1SzjD}	固定用サポート (上部) 各サポートの下向きZ方向並進力 ($j = 1 \sim 4$)	N
F_{1SzjU}	固定用サポート (上部) 各サポートの上向きZ方向並進力 ($j = 1 \sim 4$)	N
F_{2Sx}	固定用サポート (下部) RPV ペDESTAL壁面側 X方向並進力	N
F_{2Sxj}	固定用サポート (下部) RPV ペDESTAL壁面側 各サポートのX方向並進力 ($j = 1 \sim 4$)	N
F_{2Sy}	固定用サポート (下部) RPV ペDESTAL壁面側 Y方向並進力	N
F_{2Syj}	固定用サポート (下部) RPV ペDESTAL壁面側 各サポートのY方向並進力 ($j = 1 \sim 4$)	N
F_{2Sz}	固定用サポート (下部) RPV ペDESTAL壁面側 Z方向並進力	N
F_{2SzjD}	固定用サポート (下部) RPV ペDESTAL壁面側 各サポートの下向きZ方向並進力 ($j = 1 \sim 4$)	N

記号	記号の説明	単位
$F_{2S_z j U}$	固定用サポート（下部） RPV ペDESTAL壁面側 各サポートの上向きZ方向並進力（ $j = 1 \sim 4$ ）	N
F_{3S_x}	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 X方向並進力	N
$F_{3S_x j}$	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 各サポートのX方向並進力（ $j = 1 \sim 4$ ）	N
F_{3S_y}	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 Y方向並進力	N
$F_{3S_y j}$	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 各サポートのY方向並進力（ $j = 1 \sim 4$ ）	N
F_{3S_z}	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 Z方向並進力	N
$F_{3S_z j D}$	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 各サポートの下向きZ方向並進力（ $j = 1 \sim 4$ ）	N
$F_{3S_z j U}$	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 各サポートの上向きZ方向並進力（ $j = 1 \sim 4$ ）	N
F_{V_j}	旋回用レールに加わる荷重（ $j = 1 \sim 6$ ）	N
F_{VL}	旋回用レールに加わる荷重の最大値	N
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
g	重力加速度（ $= 9.80665$ ）	m/s^2
i	断面二次半径	mm
I_1	旋回用レール評価断面の断面二次モーメント	mm^4
L_1	旋回用レールの支持間隔	mm
L_{i1}^{*1}	固定ピン中心軸から取付ボルトまでのY方向距離	mm
L_{i2}^{*1}	梁断面中心から取付ボルトまでのX方向距離	mm
L_k	座屈長さ	mm
M_1	旋回用レールに加わる最大曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{1S_y}	固定用サポート（上部） Y軸回りモーメント	$N \cdot mm$
$M_{1S_y j}$	固定用サポート（上部） 各サポートのY軸回りモーメント（ $j = 1 \sim 4$ ）	$N \cdot mm$
M_{1S_z}	固定用サポート（上部） Z軸回りモーメント	$N \cdot mm$
$M_{1S_z j}$	固定用サポート（上部） 各サポートのZ軸回りモーメント（ $j = 1 \sim 4$ ）	$N \cdot mm$
M_{2S_y}	固定用サポート（下部） RPV ペDESTAL壁面側 Y軸回りモーメント	$N \cdot mm$
$M_{2S_y j}$	固定用サポート（下部） RPV ペDESTAL壁面側 各サポートのY軸回りモーメント（ $j = 1 \sim 4$ ）	$N \cdot mm$

記号	記号の説明	単位
M_{2S_z}	固定用サポート（下部） RPV ペDESTAL壁面側 Z軸回りモーメント	N・mm
$M_{2S_z j}$	固定用サポート（下部） RPV ペDESTAL壁面側 各サポートのZ軸回りモーメント（j = 1~4）	N・mm
M_{3S_y}	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 Y軸回りモーメント	N・mm
$M_{3S_y j}$	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 各サポートのY軸回りモーメント（j = 1~4）	N・mm
M_{3S_z}	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 Z軸回りモーメント	N・mm
$M_{3S_z j}$	固定用サポート（下部） CRD 自動交換機側 各サポートのZ軸回りモーメント（j = 1~4）	N・mm
$n_{i_b}^{*1}$	固定用サポート 取付けボルト本数	—
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
y_1	補強型鋼下端から図心までの距離	mm
y_2	継目板上端から図心までの距離	mm
Z_1	旋回用レールの断面係数	mm ³
$Z_{i_S}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンの断面係数	mm ³
ν	CRD 自動交換機フレームのポアソン比	—
ν'	安全率	—
λ	有効細長比	—
Λ	限界細長比	—
σ_1	旋回用レールの曲げ応力	MPa
$\sigma_{b_{i_S}}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンの曲げ応力	MPa
$\sigma_{b_{i_S}y}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンの曲げ応力 $M_{i_S y}$ による成分	MPa
$\sigma_{b_{i_S}z}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンの曲げ応力 $M_{i_S z}$ による成分	MPa
σ_{c1}	旋回用レールの組合せ応力	MPa
σ_{cF}	CRD 自動交換機フレームの組合せ応力	MPa
$\sigma_{c_{i_S}}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンの圧縮応力	MPa
σ_F	CRD 自動交換機フレームの引張応力	MPa
$\sigma_{f_{a_{i_S}}}$	固定用サポート 固定ピンの組合せ応力	MPa
$\sigma_{i_b}^{*1}$	固定用サポート 取付ボルトの引張応力	MPa
$\sigma_{i_{bmy}}^{*1}$	固定用サポート 取付ボルトの引張応力 $M_{i_S y}$ による成分	MPa
$\sigma_{i_{bz}}^{*1}$	固定用サポート 取付ボルトの引張応力 $F_{i_S z}$ による成分	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_1	旋回用レールのせん断応力	MPa
τ_F	CRD 自動交換機フレームのせん断応力	MPa
$\tau_{i_b}^{*1}$	固定用サポート 取付ボルトのせん断応力	MPa
$\tau_{i_bmz}^{*1}$	固定用サポート 取付ボルトのせん断応力 M_{iSz} による成分	MPa
$\tau_{i_bx}^{*1}$	固定用サポート 取付ボルトのせん断応力 F_{iSx} による成分	MPa
$\tau_{i_by}^{*1}$	固定用サポート 取付ボルトのせん断応力 F_{iSy} による成分	MPa
$\tau_{i_S}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンのせん断応力	MPa
$\tau_{i_Sy}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンのせん断応力 F_{iSy} による成分	MPa
$\tau_{i_Sz}^{*1}$	固定用サポート 固定ピンのせん断応力 F_{iSz} による成分	MPa

注記*1: $i=1$ は固定用サポート (上部), $i=2$ は固定用サポート (下部) を示す。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*3}	四捨五入	小数点以下第1位 ^{*2}
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁 ^{*4}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位 ^{*5}

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

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

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

*4：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

CRD自動交換機の耐震評価は、「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、CRD自動交換機の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、CRD自動交換機フレーム（プラットホーム）、CRD自動交換機フレーム（作業架台）（以下「CRD自動交換機フレーム」という。）、旋回用レール、固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）について実施する。CRD自動交換機の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 構造概要図を図4-1に示す。また、固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）の配置図を図4-2に示す。
- (2) CRD自動交換機フレームは、鉛直方向下向きに対しては、旋回用レール上の車輪、固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）によって荷重を支持する。鉛直方向上向き及び水平方向に対しては、固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）によって荷重を支持する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) CRD自動交換機の評価は、スペクトルモーダル解析及び静解析を用いる。



図4-1 構造概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

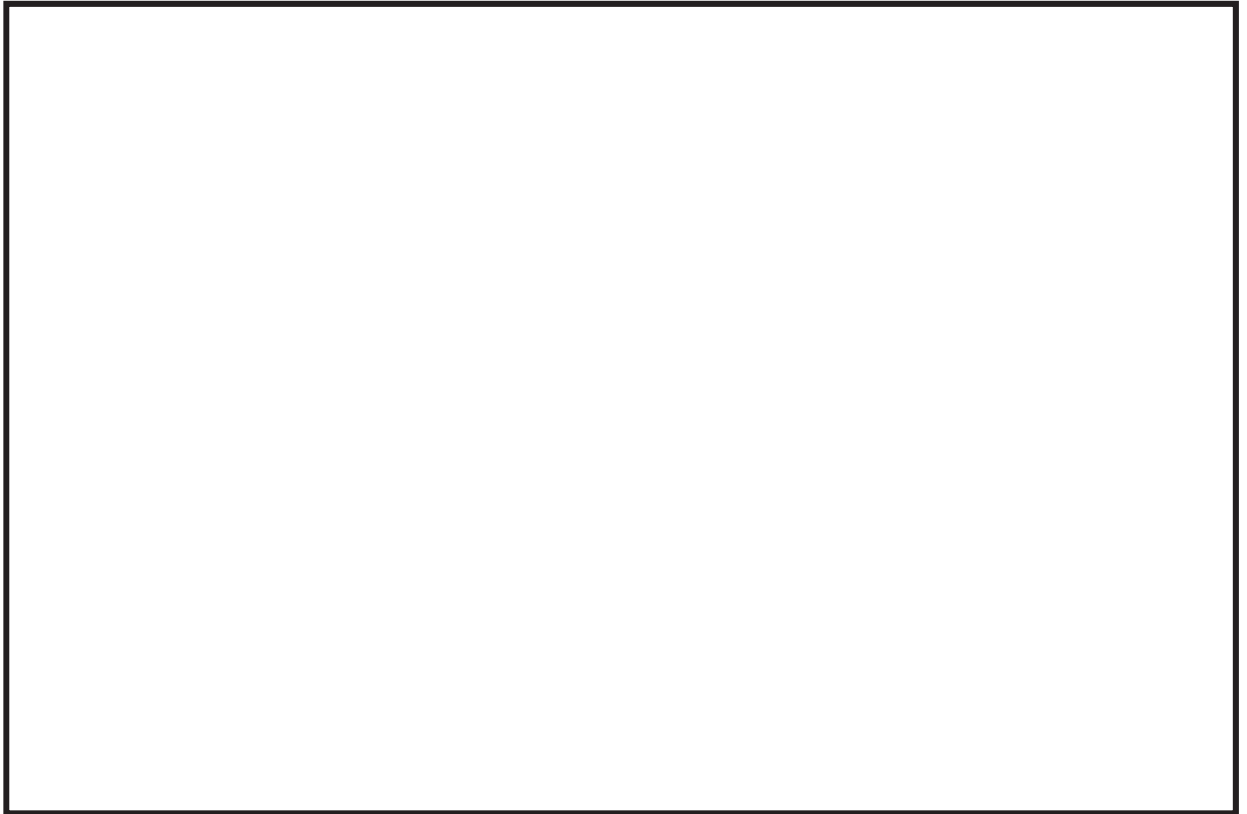


図 4-2(a) 固定用サポート（上部）配置図

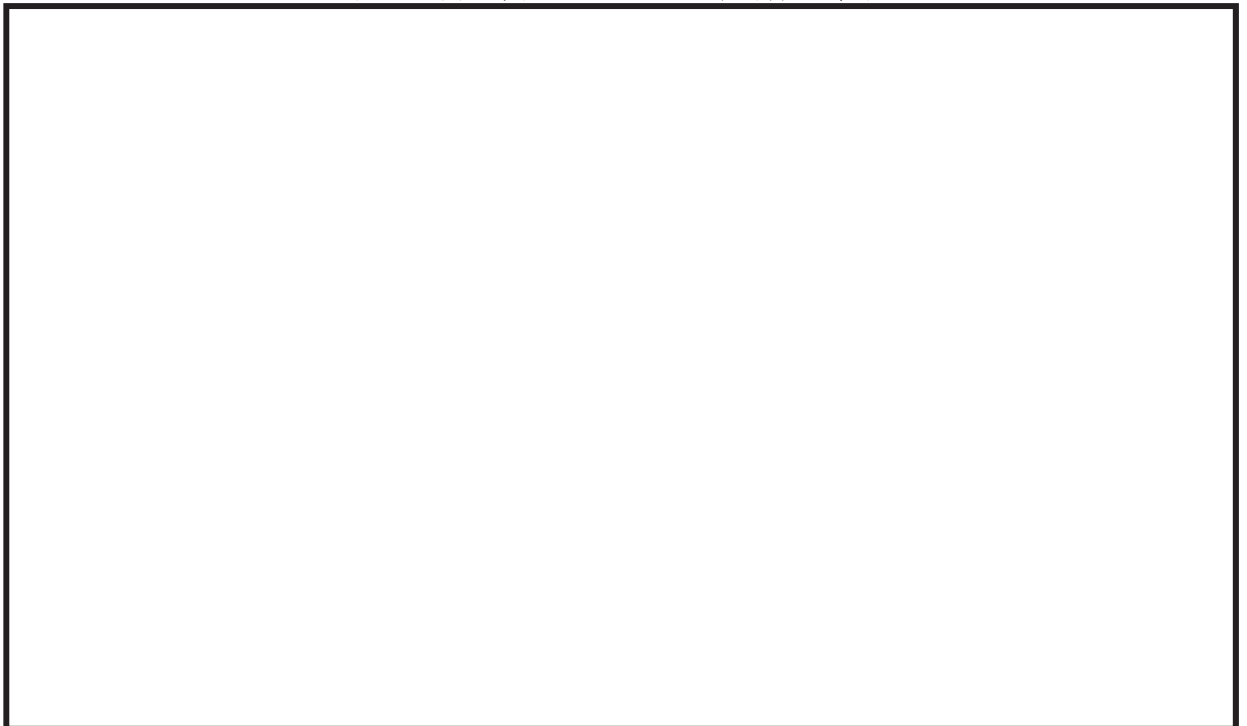


図 4-2(b) 固定用サポート（下部）配置図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 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

CRD自動交換機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

CRD自動交換機の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

CRD自動交換機の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	CRD 自動交換機	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として、 IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-2 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)					許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力					一次応力	
	引張り	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張り	せん断
V _{AS} (V _{AS} として、IV _{AS} の許容限界を用いる。)	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _c [*]	1.5・f _b [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・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（重大事故等対処設備）

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
CRD 自動交換機フレーム			周囲環境温度	200	—	193	373	—
			周囲環境温度	200	—	185	373	—
			周囲環境温度	200	—	169	373	—
			周囲環境温度	200	—	144	402	205
旋回用レール			周囲環境温度	200	—	185	373	—
固定用 サポート (上部)	固定ピン		周囲環境温度	200	—	621	826	—
	取付 ボルト		周囲環境温度	200	—	628	847	—
固定用 サポート (下部)	固定ピン		周囲環境温度	200	—	621	826	—
	取付 ボルト		周囲環境温度	200	—	628	847	—

注記* : のうち、最小の値を記載

4.3 解析モデル及び諸元

CRD 自動交換機の解析モデルを図 4-3 に、解析モデルの概要を以下に示す。

また、機器諸元を本計算書の【CRD 自動交換機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) CRD自動交換機の耐震計算に用いる解析モデルは、はり要素を用いたFEMモデルとする。
- (2) CRD自動交換機の質量としてCRD自動交換機フレーム、固定用サポート（上部）、固定用サポート（下部）及びその他の搭載機器を考慮する。
- (3) 旋回用レール、固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）は剛なRPVペDESTAL壁に支持されているものとする。
- (4) 鉛直方向下向き荷重は、旋回用レール上の車輪、固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）で、上向き荷重及び水平荷重は固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）で支持されるため、各々を考慮したモデルとする。
- (5) 地震荷重をCRD自動交換機に入力する際の境界条件として、図4-2に示す固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）の取付位置において鉛直方向及び水平方向を拘束する。自重による静解析を実施する場合、固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）に加え、旋回用レール上の車輪位置において鉛直方向を拘束する。
- (6) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有周期及び荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付資料「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

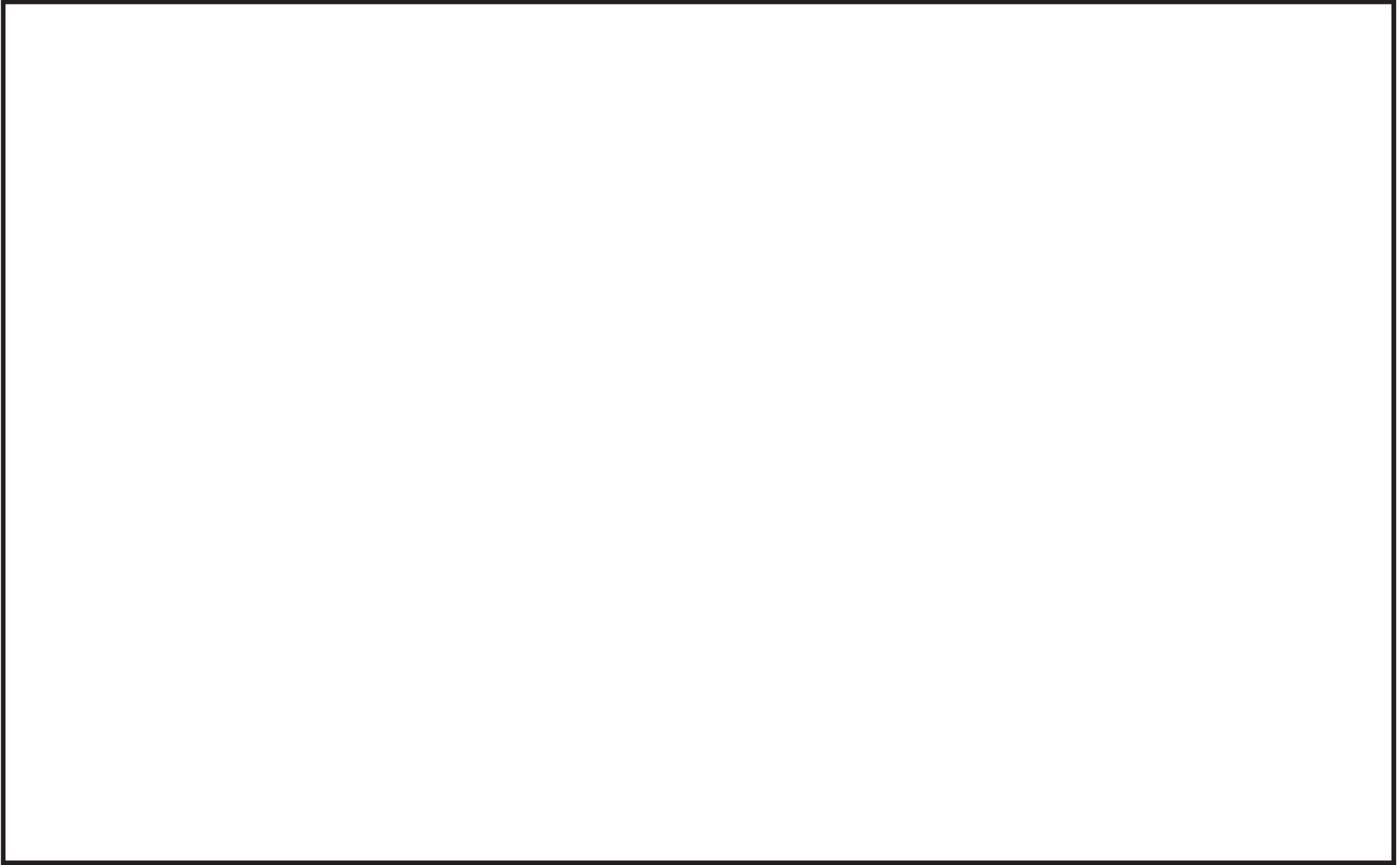


図4-3 CRD自動交換機解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-4に示す。また、振動モード図を図4-4に示す。

表4-4 固有値解析結果

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			NS 方向	EW 方向	
1次	水平(NS)方向				
2次	水平(NS)方向				
3次	水平(EW)方向				
4次	水平(NS)方向				
5次	水平(EW)方向				
6次	鉛直方向				
7次	鉛直方向				
8次	鉛直方向				
9次	鉛直方向				
10次	水平(EW)方向				
11次	鉛直方向				
12次	鉛直方向				
13次	鉛直方向				
14次	鉛直方向				
15次	水平(NS)方向				
16次	水平(NS)方向				
17次	水平(NS)方向				
18次	水平(NS)方向				
19次	水平(NS)方向				
20次	鉛直方向				
21次	鉛直方向				
22次	鉛直方向				
23次	水平(NS)方向				

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 4-4(1) 8 次固有周期 振動モード図 (鉛直方向卓越モード)



図 4-4(2) 16 次固有周期 振動モード図 (水平 (NS) 方向卓越モード)



図 4-4(3) 3 次固有周期 振動モード図 (水平 (EW) 方向卓越モード)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-5に示す。基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した設計用床応答曲線（図4-5、図4-6及び図4-7）より求める。減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-5 設計用地震力

据付場所及び床面高さ(m)		RPV ペデスタル O.P. 1.150 ^{*1}		
減衰定数(%)		水平：2.0 鉛直：2.0		
地震力		基準地震動 S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*2}		応答鉛直震度 ^{*2}
		NS 方向	EW 方向	
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				
16次				
17次				
18次				
19次				
20次				
21次				
22次				
23次				
動的地震力 ^{*3}		1.38	1.38	0.7

注記*1：基準床レベルを示す。

*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求めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

構造物名：RPV ペDESTAL

標高：0.P. 1.150m

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s

—— 水平 (NS) 方向

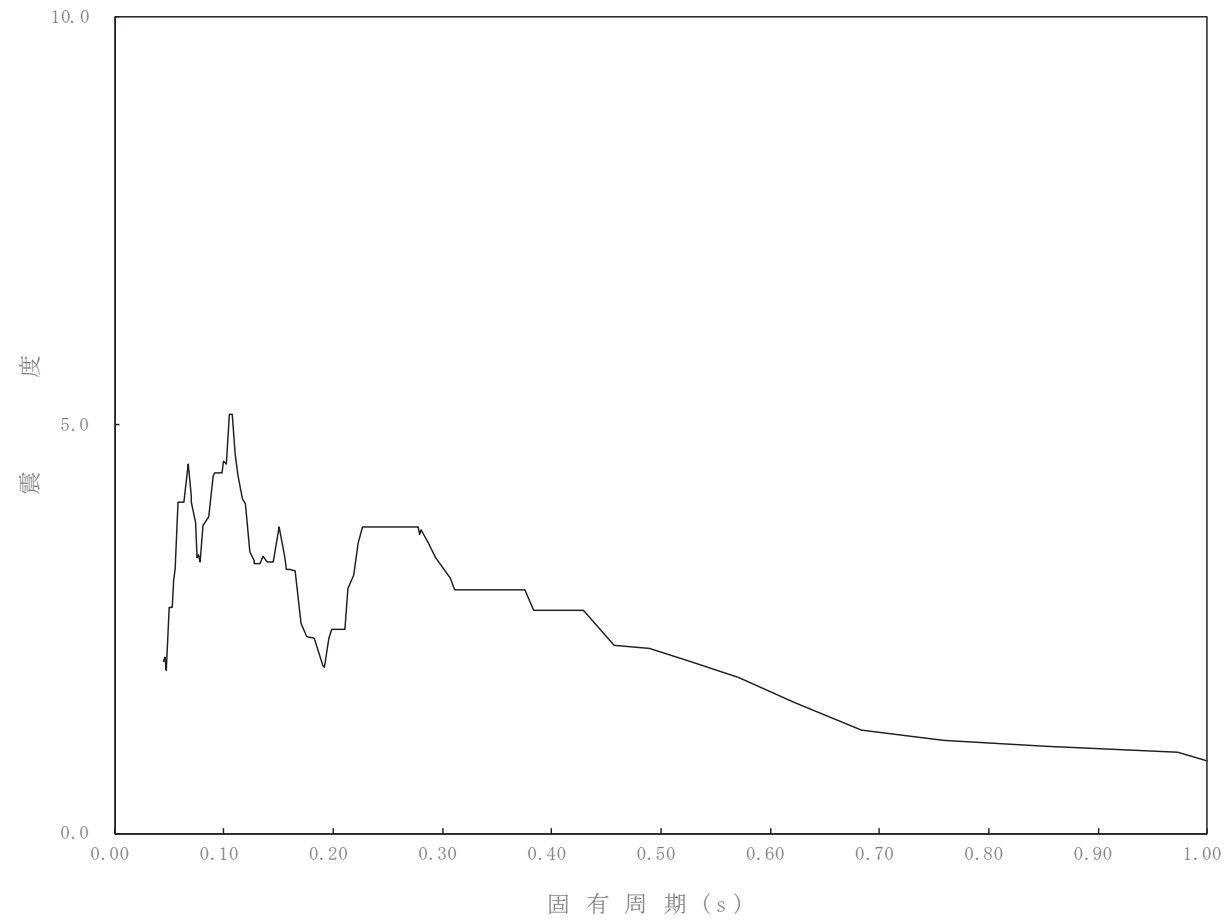


図 4-5 設計用床応答曲線 (水平 (NS) 方向)

構造物名：RPV ペDESTAL

標高：0.P. 1.150m

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s

—— 水平 (EW) 方向

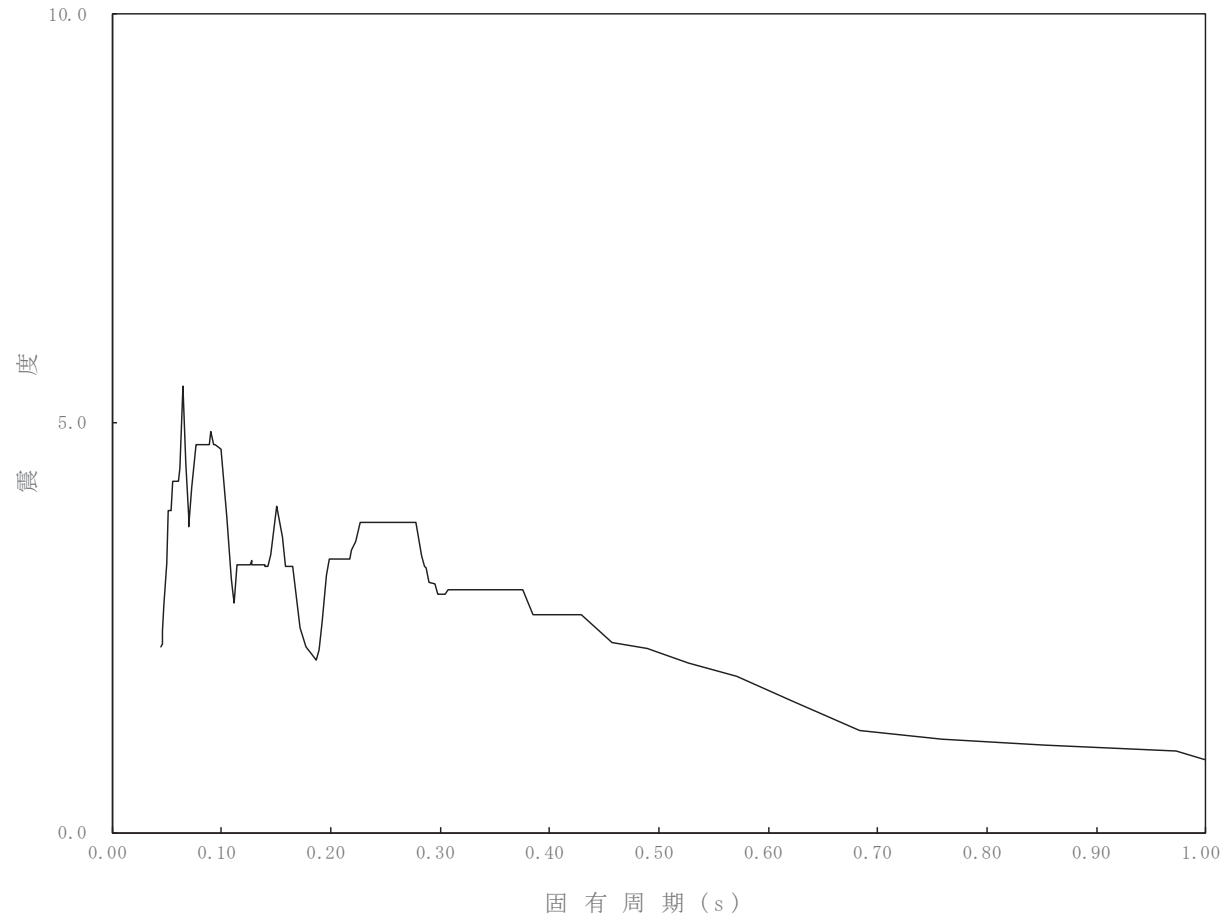


図 4-6 設計用床応答曲線 (水平 (EW) 方向)

構造物名：RPV ペDESTAL

標高：0.P. 1.150m

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s

—— 鉛直方向

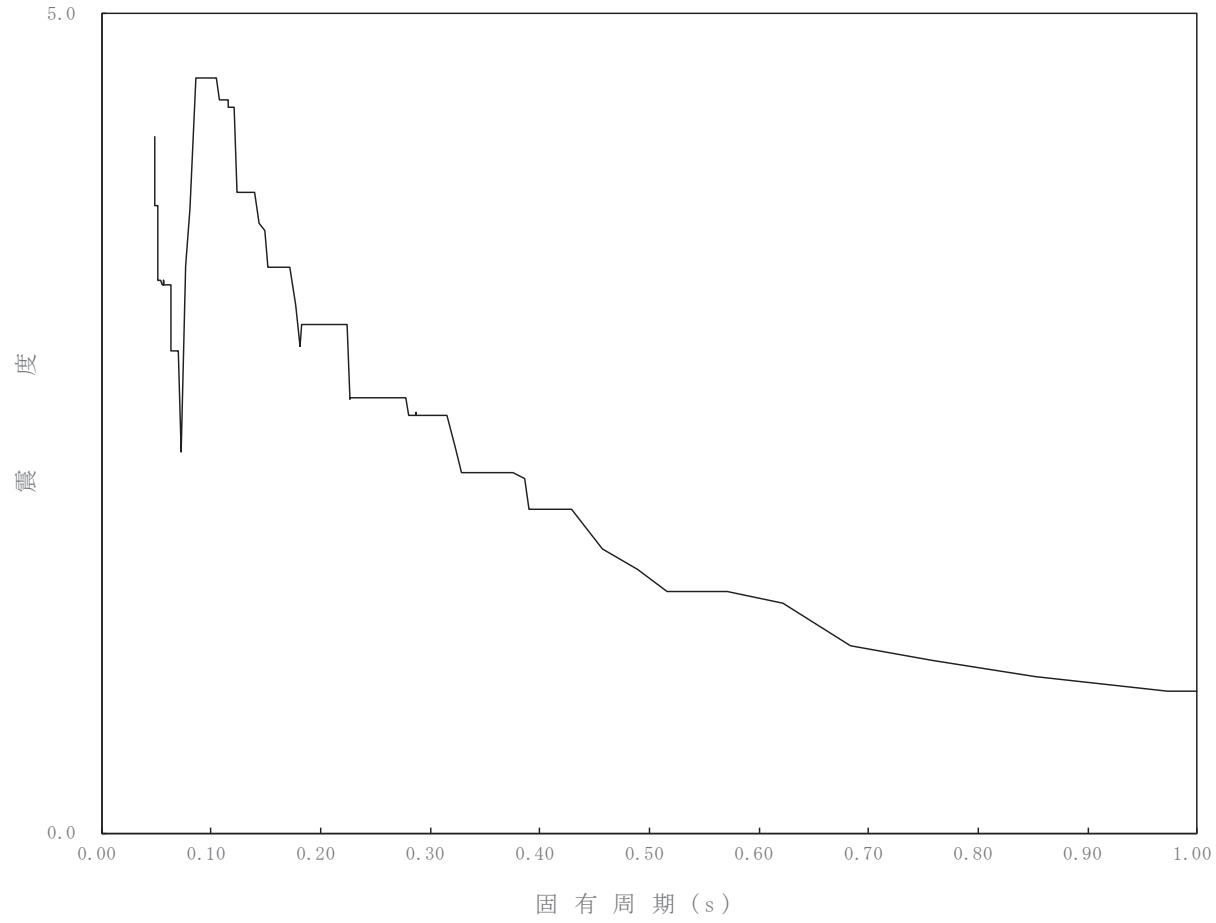


図 4-7 設計用床応答曲線 (鉛直方向)

4.6 計算方法

4.6.1 CRD 自動交換機フレームの応力

(1) 計算方法

CRD 自動交換機フレームに発生する応力は、スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。各フレームの応力は図 4-3 の計算モデルにおいて、解析コード「MSC NASTRAN」を使用し計算する。

CRD 自動交換機フレームの評価断面図（最小裕度部材）を図 4-8 に示す。

a. CRD 自動交換機フレームの応力

(a) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{cF} = \sqrt{\sigma_F^2 + 3 \cdot \tau_F^2} \dots \dots \dots (4.6.1.1)$$



図 4-8 CRD 自動交換機フレーム評価断面図（図 4-3 (a) 部）

4.6.2 旋回用レールの応力

(1) 計算方法

旋回用レールに加わる荷重 ($F_{v1} \sim F_{v6}$) は、スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

旋回用レールの応力を図 4-9, 図 4-10 及び図 4-11 を用いて計算する。図 4-9 に示すように、補強型鋼の上に円周上に敷設された旋回用レールは、等間隔に配置されたレールサポートにより支持されている。本評価では保守的に、梁の長さをレールサポート 1 スパンあたりの旋回用レールの円弧長に設定した支持間隔 (L_1) とし、レールに発生する曲げモーメントが大きくなるよう両端支持とした上で、旋回用レールに加わる荷重 ($F_{v1} \sim F_{v6}$) の最大値がレールサポート間の中央に負荷されることとする。図 4-10 に示すように、旋回用レールの支持間隔を L_1 とし、 $F_{v1} \sim F_{v6}$ の最大値を用いて、集中荷重が作用するものとする。

旋回用レールに作用する鉛直荷重

$$F_{vL} = \text{Max} (F_{v1} \sim F_{v6}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

なお、旋回用レールは全周に渡り剛な梁の上に乗って固定されているが、図 4-11 に示すように、一部、レール継目位置において断面が小さくなる。従って、レール継目位置での断面にて評価を行う。

a. 曲げ応力

旋回用レールに作用する曲げモーメントは次式となる。

$$M_1 = F_{vL} \cdot \frac{L_1}{4} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

評価断面の断面係数 Z_1 は図 4-11 に示す図心までの距離 y_1 , y_2 及び断面 2 次モーメント I_1 を用いて以下のように算出する。

$$Z_1 = \min \left(\frac{I_1}{y_1}, \frac{I_1}{y_2} \right) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{Z_1} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.4)$$

b. せん断応力

せん断力を受ける旋回用レールの断面積を A_1 とすると、せん断応力は次式となる。

$$\tau_1 = \frac{F_{vL}}{A_1} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

c. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \dots \dots \dots (4.6.2.6)$$

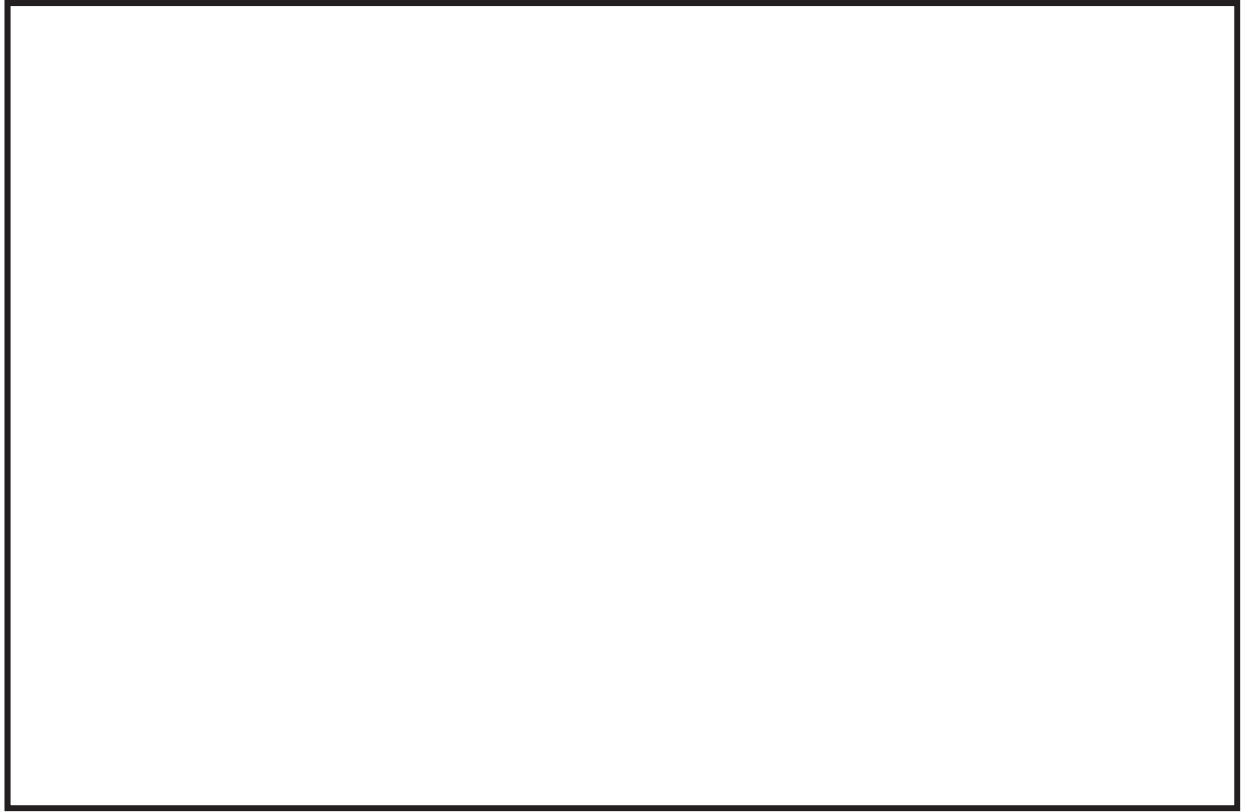


図 4-9 旋回用レール及びレールサポート配置

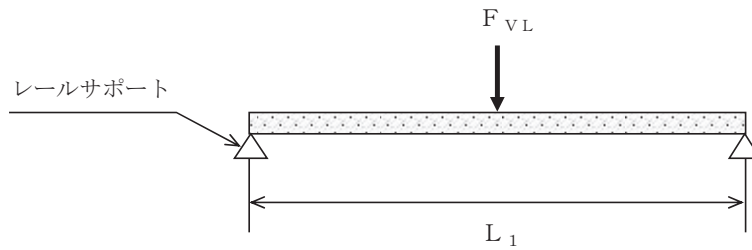


図 4-10 旋回用レール評価モデル

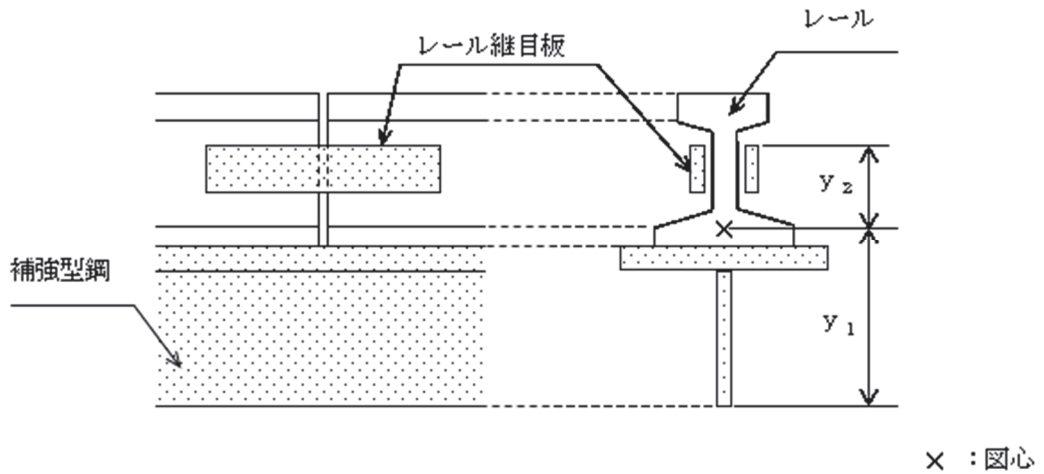


図 4-11 旋回用レール評価断面詳細

4.6.3 固定用サポート(上部)の応力

(1) 計算方法

固定用サポート(上部)に発生する並進力及びモーメントはスペクトルモーダル解析及び静解析により求める。固定用サポート(上部)4か所に発生する並進力を $F_{1Sx1} \sim F_{1Sx4}$, $F_{1Sy1} \sim F_{1Sy4}$, $F_{1Sz1U} \sim F_{1Sz4U}$ 及び $F_{1Sz1D} \sim F_{1Sz4D}$ とし、モーメントを $M_{1Sy1} \sim M_{1Sy4}$ 及び $M_{1Sz1} \sim M_{1Sz4}$ とする。

以下の式において、各サポートに発生する並進力及びモーメントを、 F_{1Sx} , F_{1Sy} , F_{1Sz} , M_{1Sy} 及び M_{1Sz} に代入し、それぞれのサポートに対する応力を算出する。なお、鉛直方向並進力 F_{1Sz} は上向きと下向きで値が異なるため、計算結果が厳しくなる方を採用する。

a. 固定用サポート(上部)固定ピンの応力

固定ピンの応力を図4-12を用いて計算する。

(a) 圧縮応力

圧縮力を受ける固定ピンの断面積は次式となる。

$$A_{1S} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1S}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

並進力 F_{1Sx} による圧縮応力は次式となる。

$$\sigma_{c1-S} = \frac{F_{1Sx}}{A_{1S}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.2)$$

(b) 曲げ応力

曲げ応力が発生する固定ピンの断面係数は次式となる。

$$Z_{1S} = \frac{\pi}{32} \cdot d_{1S}^3 \quad \dots \dots \dots (4.6.3.3)$$

モーメント M_{1Sy} 及び M_{1Sz} による曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{b1-Smy} = \frac{M_{1Sy}}{Z_{1S}}, \quad \sigma_{b1-Smz} = \frac{M_{1Sz}}{Z_{1S}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.4)$$

固定ピンに発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{b1-S} = \sigma_{b1-Smy} + \sigma_{b1-Smz} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.5)$$

(c) せん断応力

並進力 F_{1Sy} 及び F_{1Sz} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1-Sy} = \frac{F_{1Sy}}{A_{1S}}, \quad \tau_{1-Sz} = \frac{F_{1Sz}}{A_{1S}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.6)$$

固定ピンに発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1-S} = \sqrt{\tau_{1-Sy}^2 + \tau_{1-Sz}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.7)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{fa1-S} = \sqrt{\sigma_{b1-S}^2 + 3 \cdot \tau_{1-S}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.8)$$



図 4-12 固定用サポート（上部）固定ピン

b. 固定用サポート（上部）取付ボルトの応力

取付ボルトの応力を図 4-13 を用いて計算する。

(a) 取付ボルトの引張応力

引張力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{1b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1b}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.3.9)$$

並進力 F_{1Sz} は、取付ボルト n_{1b} 本で受けるものとし、ボルト 1 本にかかる引張応力は、次式となる。

$$\sigma_{1-bz} = \frac{F_{1Sz}}{n_{1b} \cdot A_{1b}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.10)$$

また、モーメント M_{1Sy} による引張応力は、次式となる。

$$\sigma_{1-by} = \frac{M_{1Sy}}{n_{1b} \cdot L_{12} \cdot A_{1b}} \dots \dots \dots (4.6.3.11)$$

従って、ボルト1本にかかる引張応力は次式となる。

$$\sigma_{1-b} = \sigma_{1-bz} + \sigma_{1-by} \dots \dots \dots (4.6.3.12)$$

(b) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト1本の断面積は次式となる。

$$A_{1b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1b}^2 \dots \dots \dots (4.6.3.13)$$

並進力 F_{1Sx} 及び F_{1Sy} は、取付ボルト n_{1b} 本で受けるものとし、ボルト1本にかかるせん断応力は、次式となる。

$$\tau_{1-bx} = \frac{F_{1Sx}}{A_{1b} \cdot n_{1b}}, \quad \tau_{1-by} = \frac{F_{1Sy}}{A_{1b} \cdot n_{1b}} \dots \dots \dots (4.6.3.14)$$

また、モーメント M_{1Sz} によるせん断応力は、次式となる。

$$\tau_{1-bmz} = \frac{M_{1Sz}}{A_{1b} \cdot n_{1b} \cdot L_{11}} \dots \dots \dots (4.6.3.15)$$

従って、ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1-b} = \sqrt{(\tau_{1-bx} + \tau_{1-bmz})^2 + \tau_{1-by}^2} \dots \dots \dots (4.6.3.16)$$

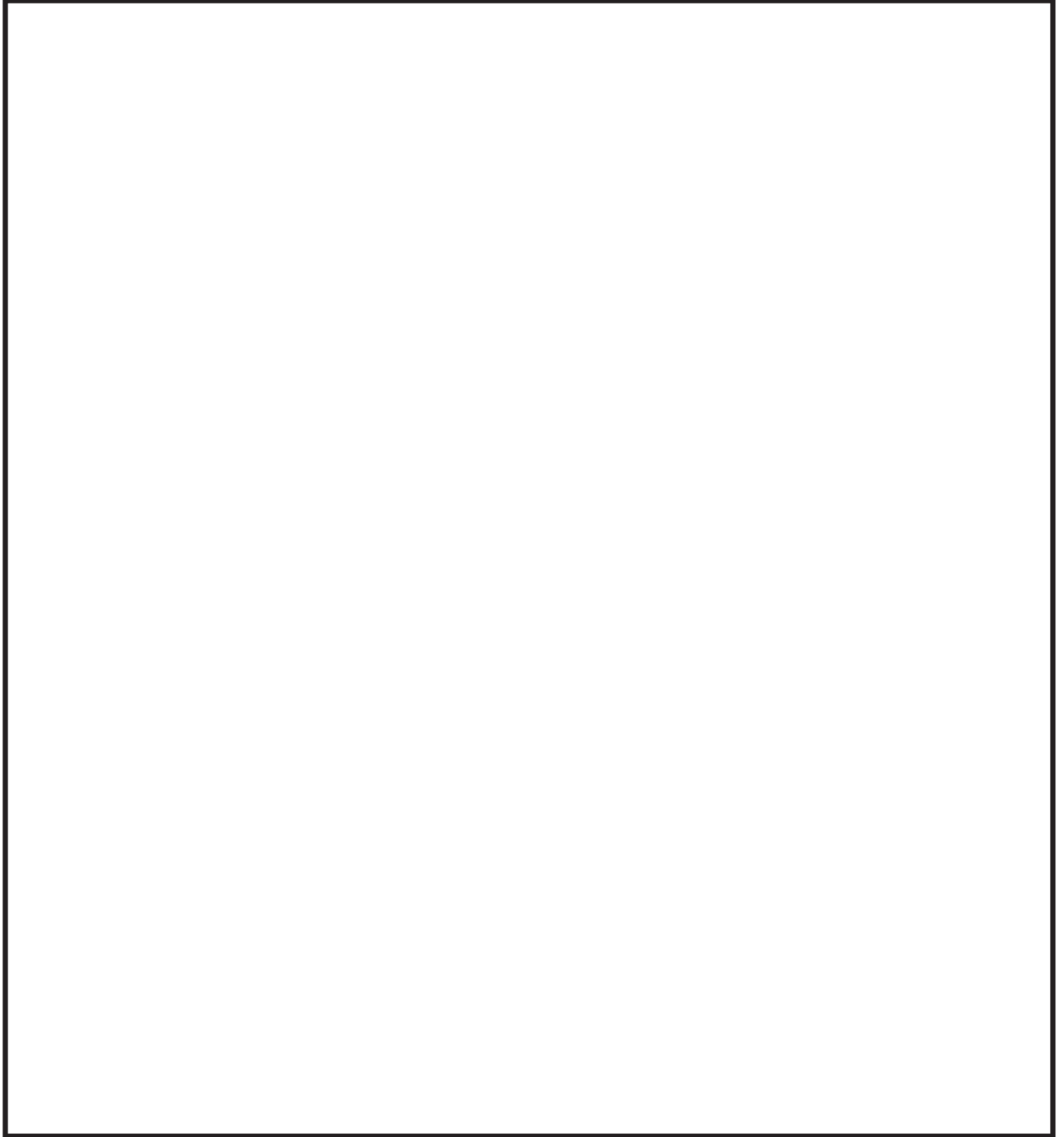


図 4-13 固定用サポート（上部）取付ボルト

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.4 固定用サポート(下部)の応力

(1) 計算方法

固定用サポート(下部)に発生する並進力及びモーメントはスペクトルモーダル解析及び静解析により求める。固定用サポート(下部)4か所のRPVペデスタル壁面側端部に発生する並進力を $F_{2Sx1} \sim F_{2Sx4}$, $F_{2Sy1} \sim F_{2Sy4}$, $F_{2Sz1U} \sim F_{2Sz4U}$ 及び $F_{2Sz1D} \sim F_{2Sz4D}$ とし、モーメントを $M_{2Sy1} \sim M_{2Sy4}$ 及び $M_{2Sz1} \sim M_{2Sz4}$ とする。また、CR2自動交換機側端部に発生する並進力を $F_{3Sx1} \sim F_{3Sx4}$, $F_{3Sy1} \sim F_{3Sy4}$, $F_{3Sz1U} \sim F_{3Sz4U}$ 及び $F_{3Sz1D} \sim F_{3Sz4D}$ とし、モーメントを $M_{3Sy1} \sim M_{3Sy4}$ 及び $M_{3Sz1} \sim M_{3Sz4}$ とする。

以下の式において、各サポートに発生する並進力及びモーメントを F_{2Sx} , F_{2Sy} , F_{2Sz} , M_{2Sy} , M_{2Sz} , F_{3Sx} , F_{3Sy} , F_{3Sz} , M_{3Sy} 及び M_{3Sz} に代入し、それぞれのサポートに対する応力を算出する。なお、鉛直方向並進力は上向きと下向きで値が異なるため、計算結果が厳しくなる方を採用する。

a. 固定用サポート(下部)固定ピンの応力

固定ピンの応力を図4-14を用いて計算する。

(a) 圧縮応力

圧縮力を受ける固定ピンの断面積は次式となる。

$$A_{2S} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{2S}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.4.1)$$

並進力 F_{2Sx} による圧縮応力は次式となる。

$$\sigma_{c2S} = \frac{F_{2Sx}}{A_{2S}} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.2)$$

(b) 曲げ応力

曲げ応力が発生する固定ピンの断面係数は次式となる。

$$Z_{2S} = \frac{\pi}{32} \cdot d_{2S}^3 \quad \dots \dots \dots (4.6.4.3)$$

モーメント M_{2Sy} 及び M_{2Sz} による曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{b2Smy} = \frac{M_{2Sy}}{Z_{2S}}, \quad \sigma_{b2Smz} = \frac{M_{2Sz}}{Z_{2S}} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.4)$$

固定ピンに発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{b2S} = \sigma_{b2Smy} + \sigma_{b2Smz} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.5)$$

(c) せん断応力

並進力 F_{2Sy} 及び F_{2Sz} によるせん断げ応力は次式となる。

$$\tau_{2Sy} = \frac{F_{2Sy}}{A_{2S}}, \quad \tau_{2Sz} = \frac{F_{2Sz}}{A_{2S}} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.6)$$

固定ピンに発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2S} = \sqrt{\tau_{2Sy}^2 + \tau_{2Sz}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.7)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{fa2S} = \sqrt{\sigma_{b2S}^2 + 3 \cdot \tau_{2S}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.8)$$



図 4-14 固定用サポート（下部）固定ピン

b. 固定用サポート（下部）取付ボルトの応力

取付ボルトの応力を図 4-15 を用いて計算する。

(a) 取付ボルトの引張応力

引張力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{2b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{2b}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.4.9)$$

並進力 F_{3Sz} は、取付ボルト n_{2b} 本で受けるものとし、ボルト 1 本にかかる引張応力は、次式となる。

$$\sigma_{2bz} = \frac{F_{3Sz}}{n_{2b} \cdot A_{2b}} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.10)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

また、モーメント M_{3Sy} による引張応力は、次式となる。

$$\sigma_{2-by} = \frac{M_{3Sy}}{n_{2b} \cdot L_{22} \cdot A_{2b}} \quad \dots \quad (4.6.4.11)$$

従って、ボルト1本にかかる引張応力は次式となる。

$$\sigma_{2-b} = \sigma_{2-bz} + \sigma_{2-by} \quad \dots \quad (4.6.4.12)$$

(b) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト1本の断面積は次式となる。

$$A_{2b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{2b}^2 \quad \dots \quad (4.6.4.13)$$

並進力 F_{3Sx} 及び F_{3Sy} は、取付ボルト n_{2b} 本で受けるものとし、ボルト1本にかかるせん断応力は、次式となる。

$$\tau_{2-bx} = \frac{F_{3Sx}}{A_{2b} \cdot n_{2b}}, \quad \tau_{2-by} = \frac{F_{3Sy}}{A_{2b} \cdot n_{2b}} \quad \dots \quad (4.6.4.14)$$

また、モーメント M_{3Sz} によるせん断応力は、次式となる。

$$\tau_{2-bmz} = \frac{M_{3Sz}}{A_{2b} \cdot n_{2b} \cdot L_{21}} \quad \dots \quad (4.6.4.15)$$

従って、ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2-b} = \sqrt{(\tau_{2-bx} + \tau_{2-bmz})^2 + \tau_{2-by}^2} \quad \dots \quad (4.6.4.16)$$

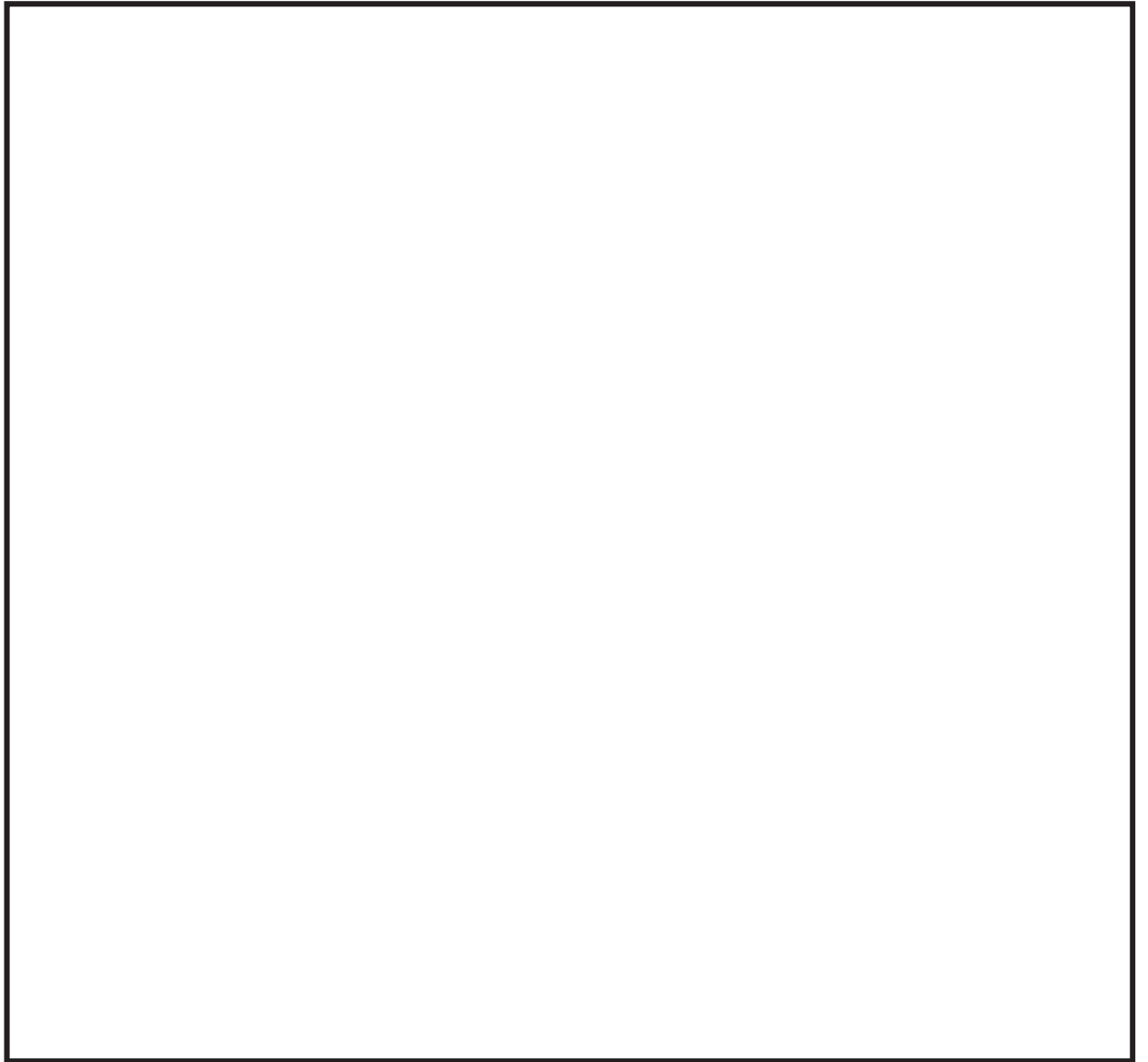


図 4-15 固定用サポート（下部）取付ボルト

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重は、本計算書の【CRD 自動交換機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 CRD 自動交換機フレーム，旋回用レール，固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）の応力評価

4.6.1 項，4.6.2 項，4.6.3 項及び4.6.4 項で求めた CRD 自動交換機フレーム，旋回用レール，固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）の各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は f_t 以下であること。

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

ただし，

$$\lambda = \frac{L_k}{i} \dots \dots \dots (4.8.1.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_2}{0.6 \cdot F^*}} \dots \dots \dots (4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots \dots \dots (4.8.1.3)$$

4.8.2 固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）取付ボルトの応力評価

4.6.3 項及び 4.6.4 項で求めた固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）取付ボルトの引張応力は、下記より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

ただし、 f_{t0} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_{i-b}, f_{t0}] \quad \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

取付ボルトに発生するせん断応力 τ_{i-b} はせん断力のみを受ける取付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。

f_{t0}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

CRD 自動交換機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【CRD 自動交換機の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S _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	
CRD 自動交換機	—	RPV ペDESTAL O.P. 1.150* ¹	0.061	0.090	C _H =1.38 又は*2	C _V =0.7 又は*2	200

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より得られる値。

1.2 機器要目

E_1 (MPa)	E_2 (MPa)
1.91×10^5	1.83×10^5

ν (-)
0.3

n_{1b} (-)	n_{2b} (-)	Z_{1S} (mm ³)	Z_{2S} (mm ³)

L_k (mm)	i (mm)

A_{1S} (mm ²)	A_{1b} (mm ²)	A_{2S} (mm ²)	A_{2b} (mm ²)	d_{1S} (mm)	d_{1b} (mm)	d_{2S} (mm)	d_{2b} (mm)	L_{11} (mm)	L_{12} (mm)	L_{21} (mm)	L_{22} (mm)

L_1 (mm)	A_1 (mm ²)	y_1 (mm)	y_2 (mm)	I_1 (mm ⁴)	Z_1 (mm ³)

40

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

CRD 自動交換機フレーム		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
185	373	222

注記* 1 : 最大応力発生部材

旋回用レール		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
185	373	222

注記* 1 : 最大応力発生部材

41

固定用サポート (上部)						固定用サポート (下部)					
固定ピン			取付ボルト			固定ピン			取付ボルト		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
621	826	578	628	847	592	621	826	578	628	847	592

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

F_{1Sx1} (N)	F_{1Sx2} (N)	F_{1Sx3} (N)	F_{1Sx4} (N)	F_{1Sy1} (N)	F_{1Sy2} (N)	F_{1Sy3} (N)	F_{1Sy4} (N)	F_{1Sz1U} (N)	F_{1Sz2U} (N)	F_{1Sz3U} (N)	F_{1Sz4U} (N)

F_{1Sz1D} (N)	F_{1Sz2D} (N)	F_{1Sz3D} (N)	F_{1Sz4D} (N)	F_{2Sx1} (N)	F_{2Sx2} (N)	F_{2Sx3} (N)	F_{2Sx4} (N)	F_{2Sy1} (N)	F_{2Sy2} (N)	F_{2Sy3} (N)	F_{2Sy4} (N)

F_{2Sz1U} (N)	F_{2Sz2U} (N)	F_{2Sz3U} (N)	F_{2Sz4U} (N)	F_{2Sz1D} (N)	F_{2Sz2D} (N)	F_{2Sz3D} (N)	F_{2Sz4D} (N)	M_{1Sy1} (N・mm)	M_{1Sy2} (N・mm)	M_{1Sy3} (N・mm)	M_{1Sy4} (N・mm)

M_{1Sz1} (N・mm)	M_{1Sz2} (N・mm)	M_{1Sz3} (N・mm)	M_{1Sz4} (N・mm)	M_{2Sy1} (N・mm)	M_{2Sy2} (N・mm)	M_{2Sy3} (N・mm)	M_{2Sy4} (N・mm)	M_{2Sz1} (N・mm)	M_{2Sz2} (N・mm)	M_{2Sz3} (N・mm)	M_{2Sz4} (N・mm)

F_{3Sx1} (N)	F_{3Sx2} (N)	F_{3Sx3} (N)	F_{3Sx4} (N)	F_{3Sy1} (N)	F_{3Sy2} (N)	F_{3Sy3} (N)	F_{3Sy4} (N)	F_{3Sz1U} (N)	F_{3Sz2U} (N)	F_{3Sz3U} (N)	F_{3Sz4U} (N)

42

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

F_{3Sz1D} (N)	F_{3Sz2D} (N)	F_{3Sz3D} (N)	F_{3Sz4D} (N)	M_{3Sy1} (N・mm)	M_{3Sy2} (N・mm)	M_{3Sy3} (N・mm)	M_{3Sy4} (N・mm)	M_{3Sz1} (N・mm)	M_{3Sz2} (N・mm)	M_{3Sz3} (N・mm)	M_{3Sz4} (N・mm)

F_{VL} (N)	M_1 (N・mm)

1.4 結論

(単位:MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
CRD 自動交換機フレーム			引張り	$\sigma_F = 174$	$f_t = 222$
			せん断	$\tau_F = 4$	$f_s = 128$
			組合せ	$\sigma_{cF} = 175$	$f_t = 222$
旋回用レール			曲げ	$\sigma_1 = 64$	$f_b = 222$
			せん断	$\tau_1 = 5$	$f_s = 128$
			組合せ	$\sigma_{c1} = 65$	$f_t = 222$
固定用サポート(上部)	固定ピン		圧縮	$\sigma_{c1_S} = 3$	$f_c = 541$
			曲げ	$\sigma_{b1_S} = 278$	$f_b = 578$
			せん断	$\tau_{1_S} = 7$	$f_s = 333$
			組合せ	$\sigma_{fa1_S} = 279$	$f_t = 578$
固定用サポート(下部)	取付ボルト		引張り	$\sigma_{1_b} = 350$	$f_{ts} = 444^*$
			せん断	$\tau_{1_b} = 47$	$f_{sb} = 342$
		圧縮	$\sigma_{c2_S} = 2$	$f_c = 541$	
		曲げ	$\sigma_{b2_S} = 280$	$f_b = 578$	
固定用サポート(下部)	固定ピン	せん断	$\tau_{2_S} = 5$	$f_s = 333$	
		組合せ	$\sigma_{fa2_S} = 281$	$f_t = 578$	
		引張り	$\sigma_{2_b} = 63$	$f_{ts} = 444^*$	
		せん断	$\tau_{2_b} = 102$	$f_{sb} = 342^*$	

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

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-22 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	6
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格・基準等	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期の評価	13
4.1 鋼製ブラケット	13
4.2 L型擁壁	15
4.3 防護柵	17
4.4 歩廊支持材	18
4.5 手摺	19
5. 耐震評価	21
5.1 荷重及び荷重の組合せ	21
5.2 設計用地震力	22
5.3 使用材料	33
5.4 許容限界	34
5.5 評価方法	45
6. 評価結果	72
6.1 鋼製ブラケット	73
6.2 L型擁壁	76
6.3 防護柵	78
6.4 点検通路	79

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））（以下、「防護設備」という。）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することにより、近傍に設置された上位クラス施設である防潮堤，防潮壁，浸水防止壁及び海水ポンプ室に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

防護設備は、図 2-1 の配置図及び図 2-2 の概要図に示すように、上位クラス施設である防潮堤と一体の構造であり、防潮壁等の上部又は近傍に位置していることから損傷又は落下により防潮堤等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

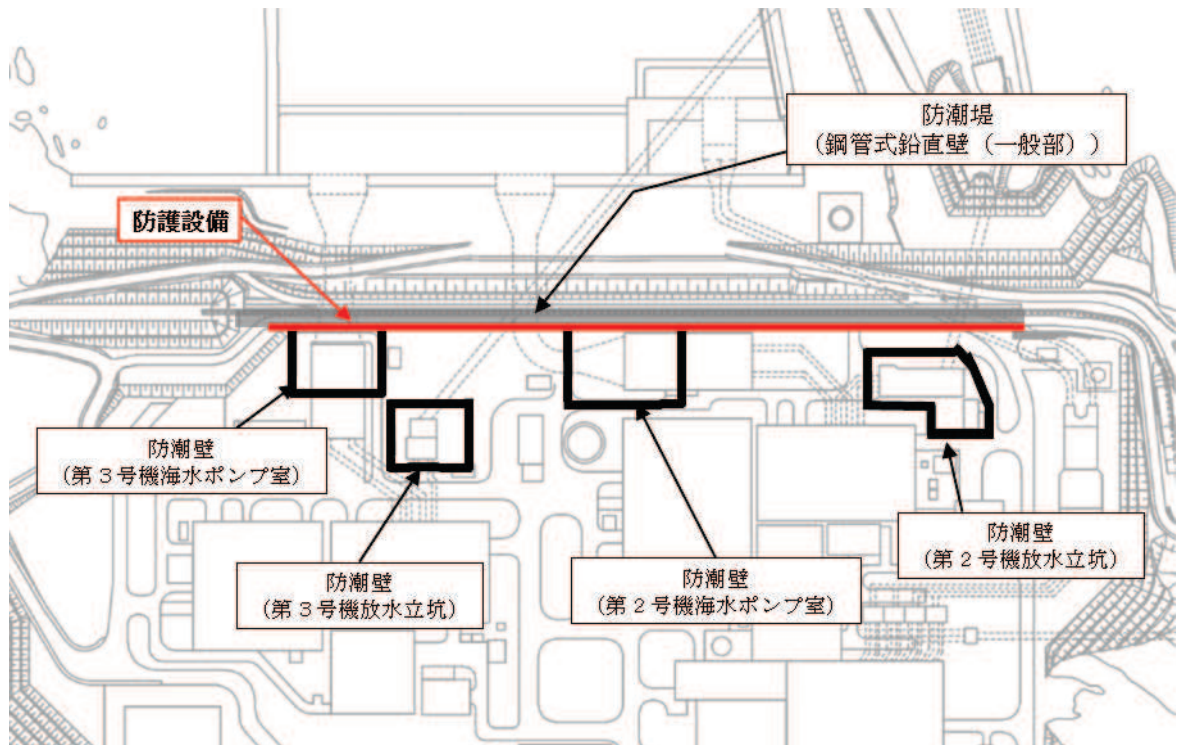
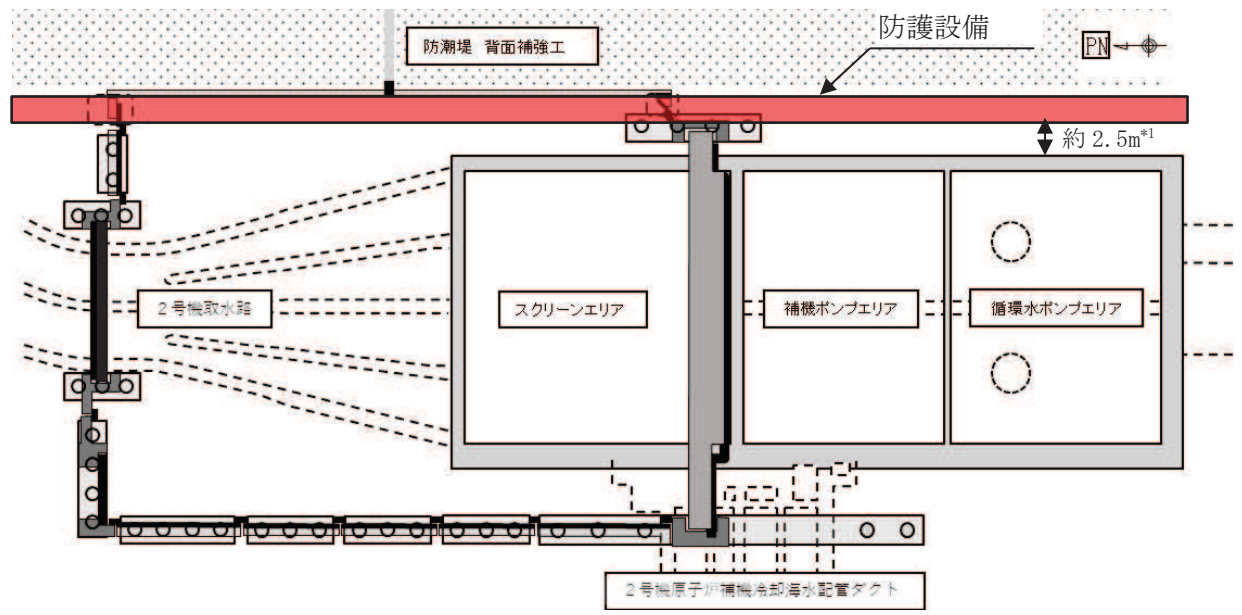
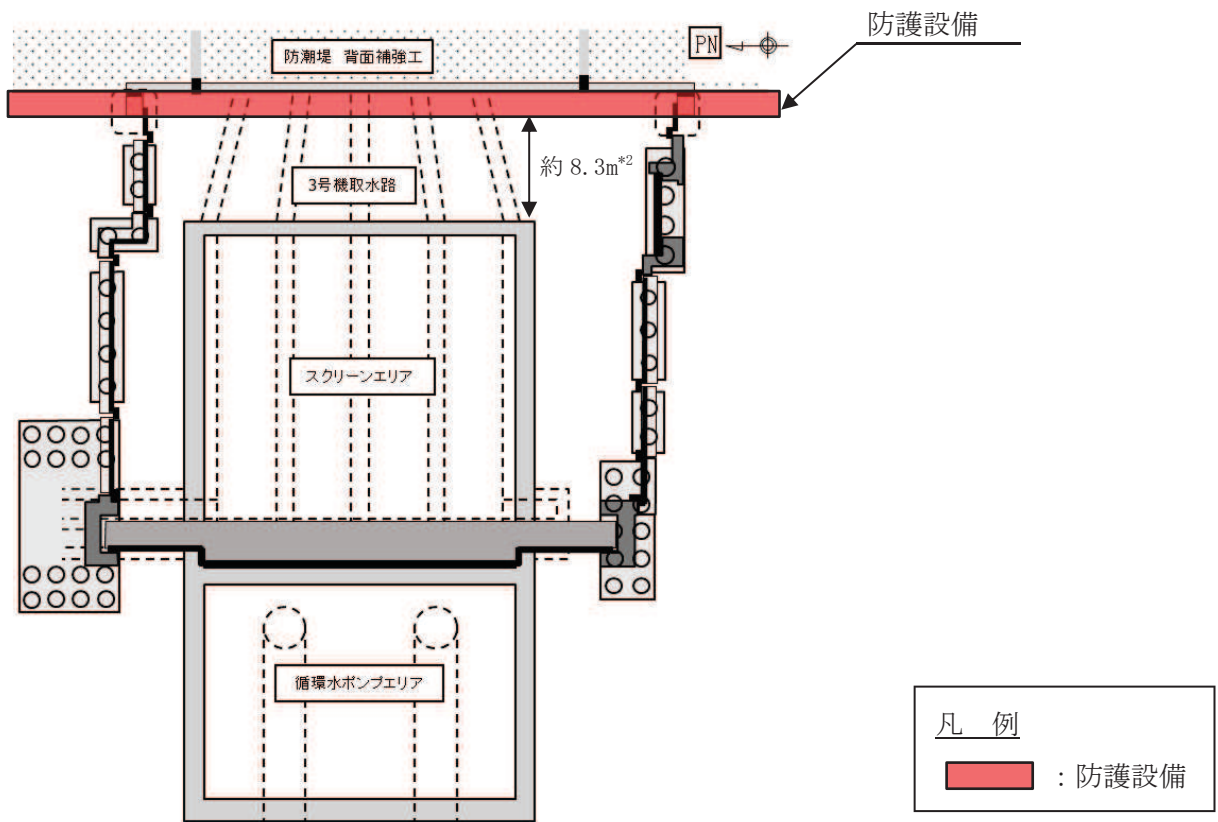


図 2-1 防潮堤に設置される防護設備の配置図



海水ポンプ室周辺



第3号機海水ポンプ室周辺

注記*1：点検通路と海水ポンプ室の水平距離

*2：点検通路と第3号機海水ポンプ室の水平距離

図 2-2(1) 防護設備の概要図 (平面図)

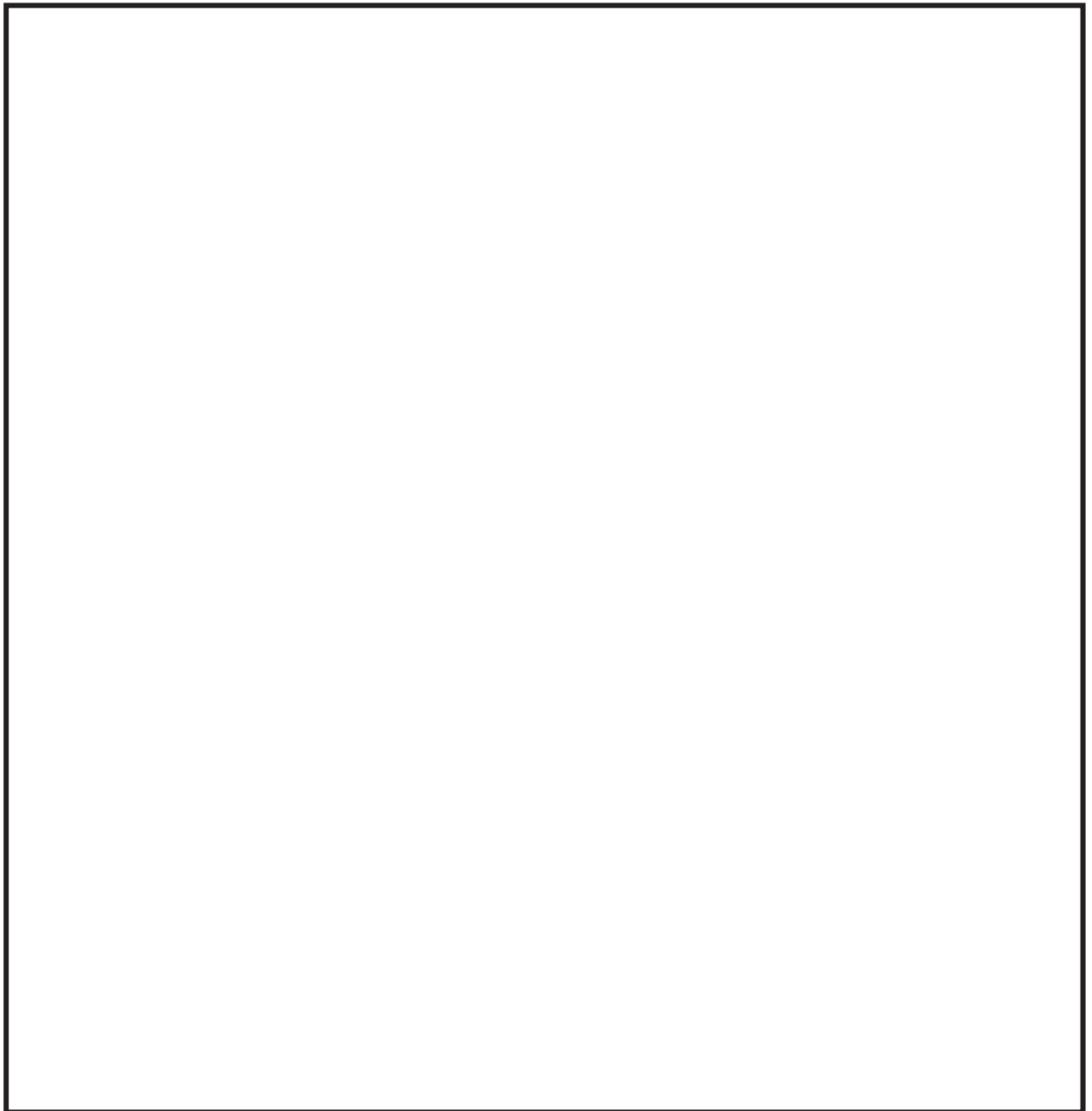


図 2-2(2) 防護設備の概要図 (海水ポンプ室付近断面図)

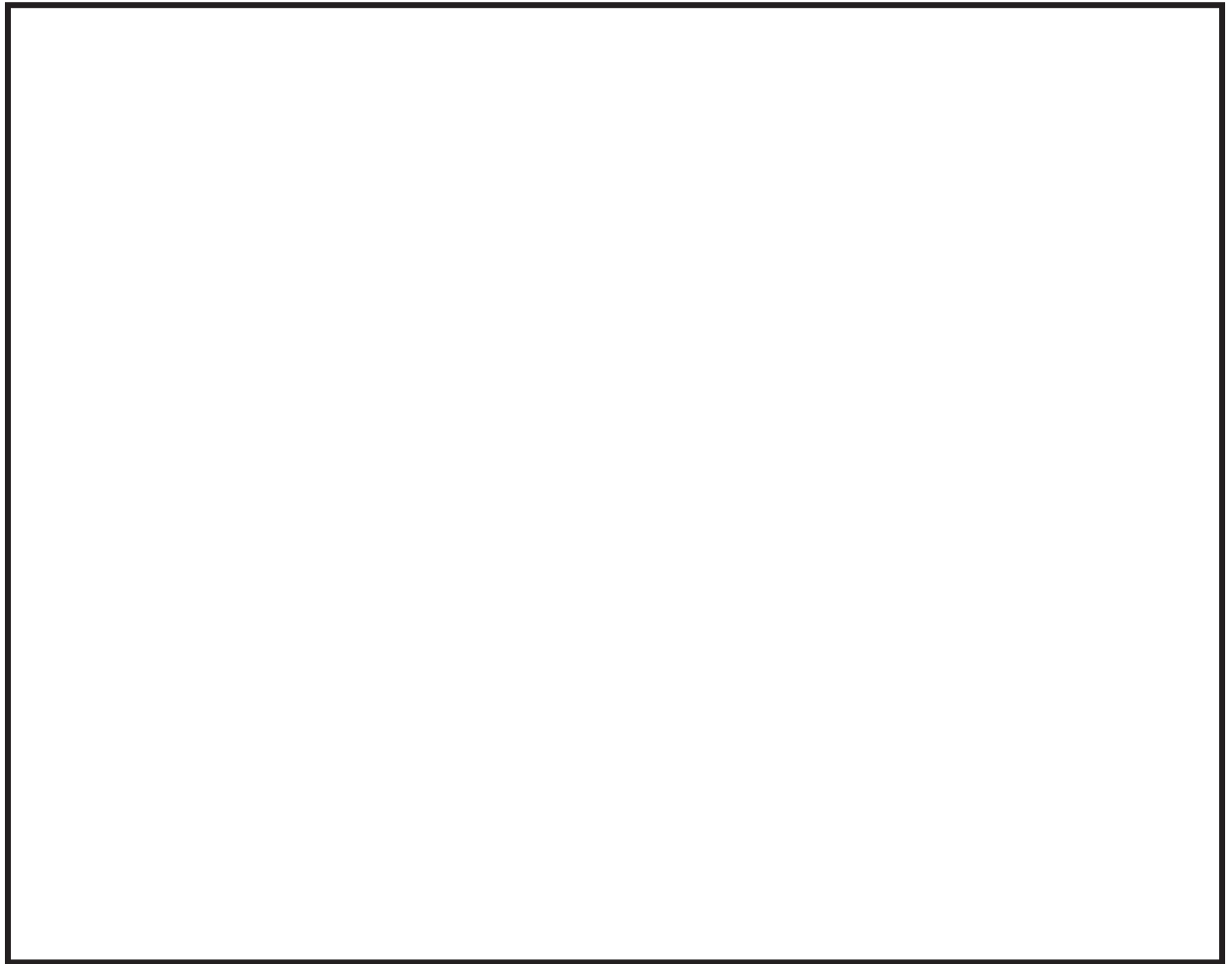


図 2-2(3) 防護設備の概要図 (L型擁壁配筋概要)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.2 構造計画

図 2-3 に防護設備の概要図を示す。防護設備の構造は、図 2-3 に示すとおり、防護柵はL型擁壁の天端に設置し、点検通路はL型擁壁の側部にアンカーボルトにより固定している。点検通路の端部には手摺支柱をボルト固定している。

L型擁壁は鋼製ブラケット2基により支持する構造としており、鋼製ブラケットに設置するスタッドジベル及び補強ボルトにより一体化している。補強ボルトは最大引張力が作用するスタッドジベル（1列目（陸側））を補強する目的で設置する。鋼製ブラケットは防潮堤背面補強工にアンカーボルトにより固定している。



図 2-3(1) 防護設備の概要図（断面図）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

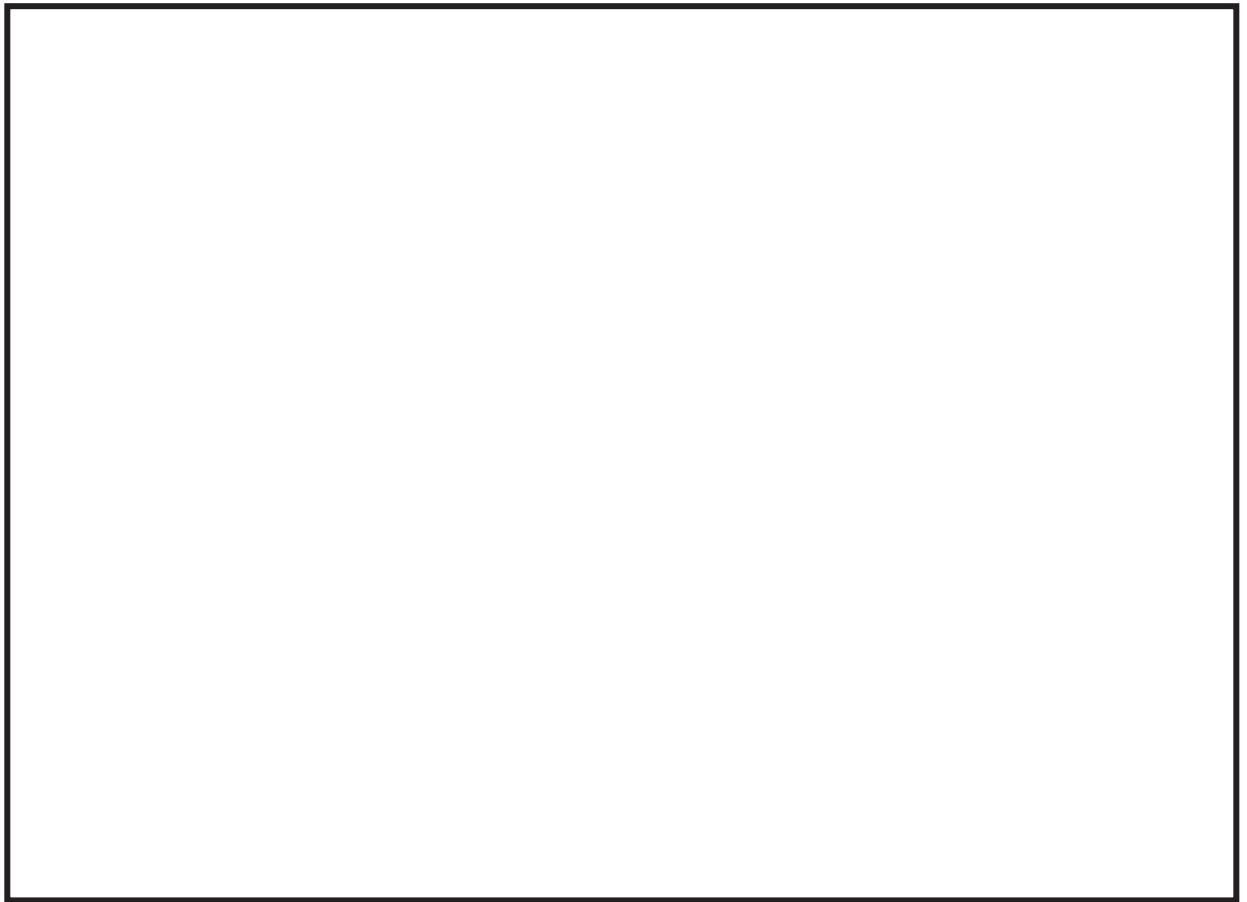


図 2-3(2) 防護設備の概要図 (A-A 断面図)



図 2-3(3) 防護設備の概要図 (B-B 断面図)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.3 評価方針

防護設備の応力評価は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す防護設備の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、発生応力又は発生荷重が許容限界内に収まることを、「5. 耐震評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。地震荷重の設定については、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書」に示す防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工の地震応答解析結果を用いて設定する。

防護設備の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

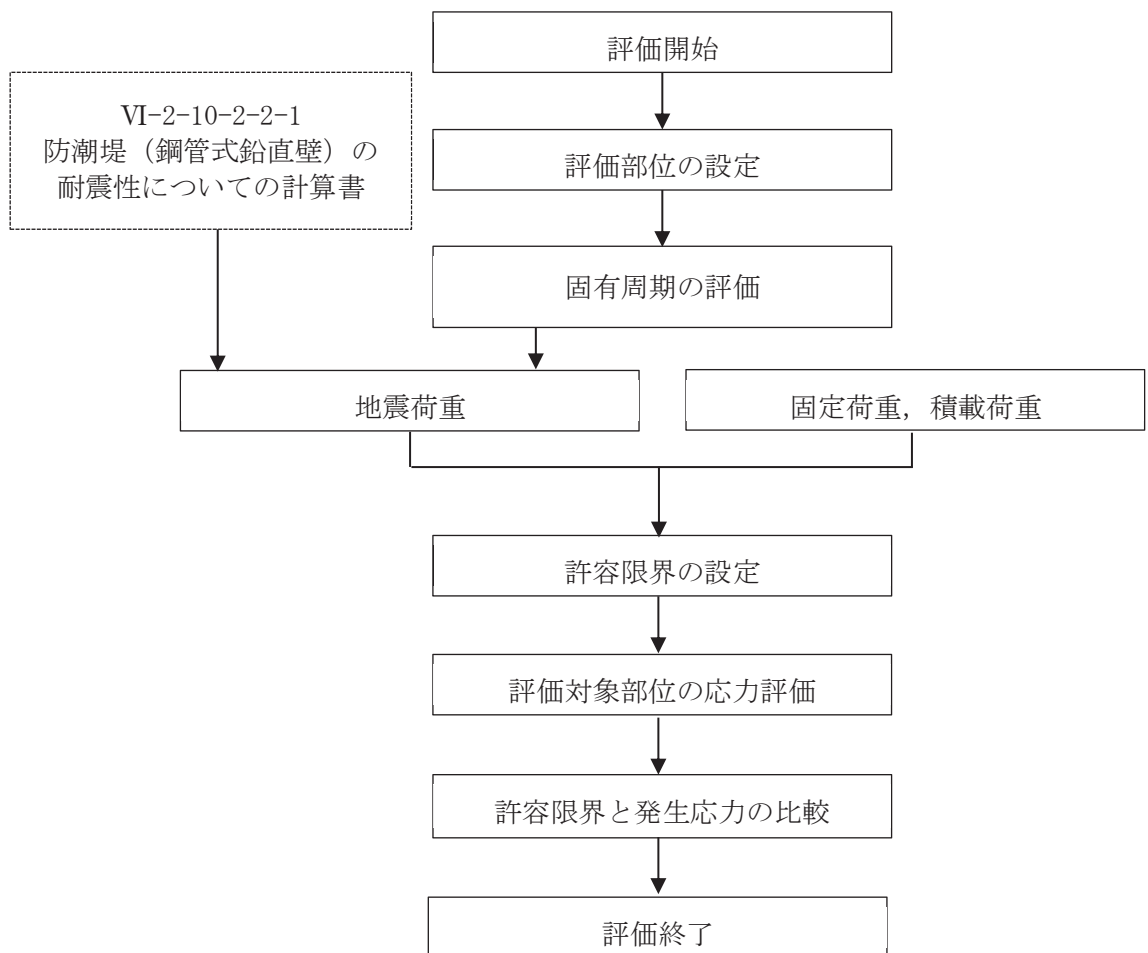


図 2-4 防護設備の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- (4) 建築資料研究社 2006 年 基本建築基準法関係法令集
- (5) 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- (6) 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- (7) 日本建築学会 2019 年 鋼構造許容応力度設計規準
- (8) 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説

3. 評価部位

防護設備が損傷又は落下することにより、波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、防護設備の構造及び荷重伝達を考慮し、鋼製ブラケット、L型擁壁、防護柵及び点検通路の評価を実施する。

各評価箇所の評価部位を表 3-1、図 3-1～図 3-4 に示す。

表 3-1 評価対象部位

評価箇所	評価部位
鋼製ブラケット	鋼製ブラケット本体
	アンカーボルト
	スタッドジベル
	補強ボルト
L型擁壁	側壁
	底版
防護柵	主柱
点検通路	歩廊支持材
	歩廊支持材の アンカーボルト
	手摺支柱
	手摺支柱の 固定ボルト

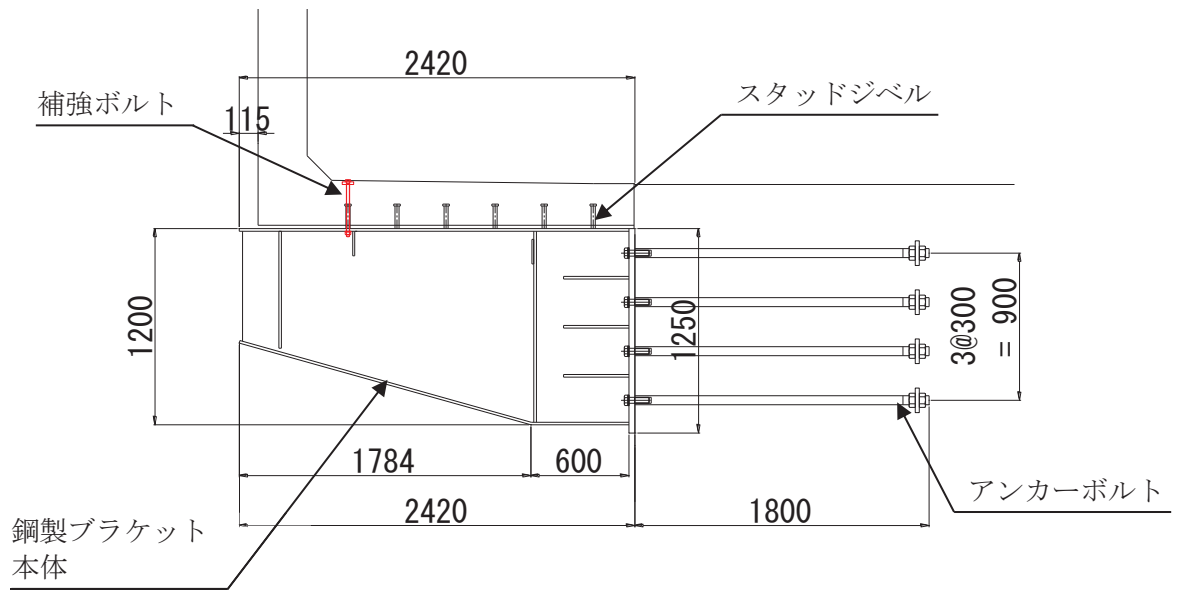


図 3-1 鋼製ブラケットの評価部位

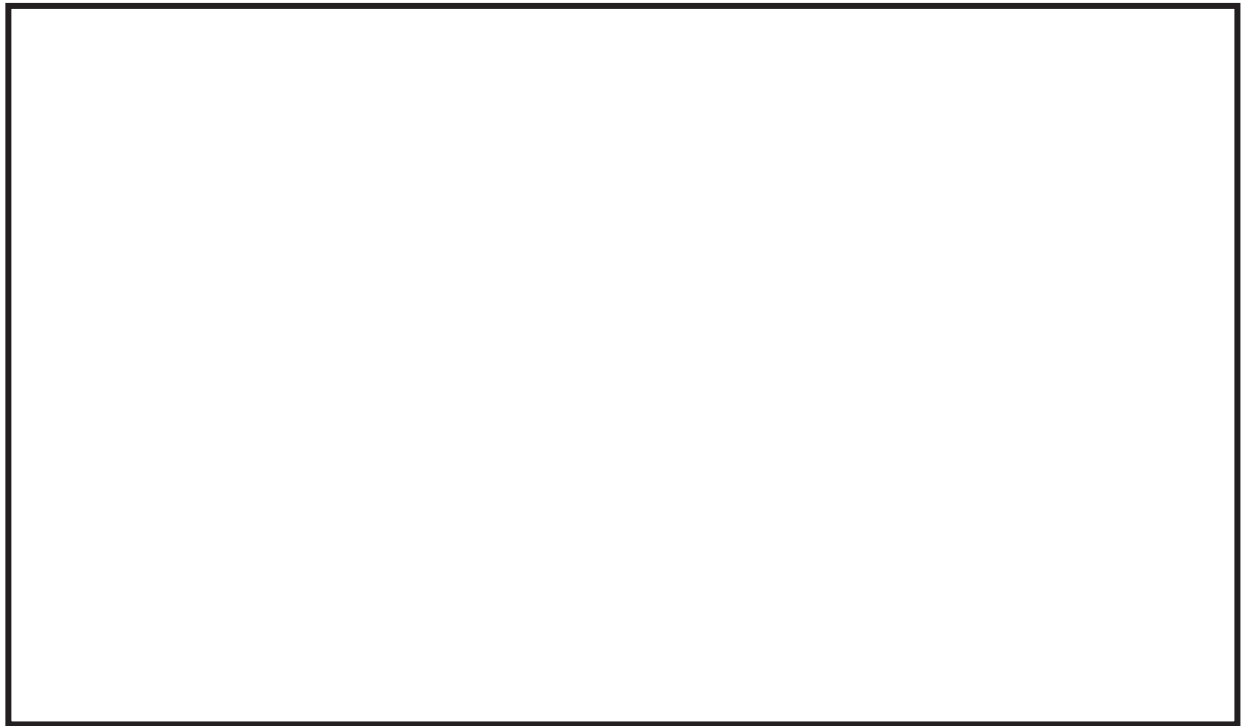


図 3-2 L型擁壁の評価部位

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



図 3-3 防護柵の評価部位

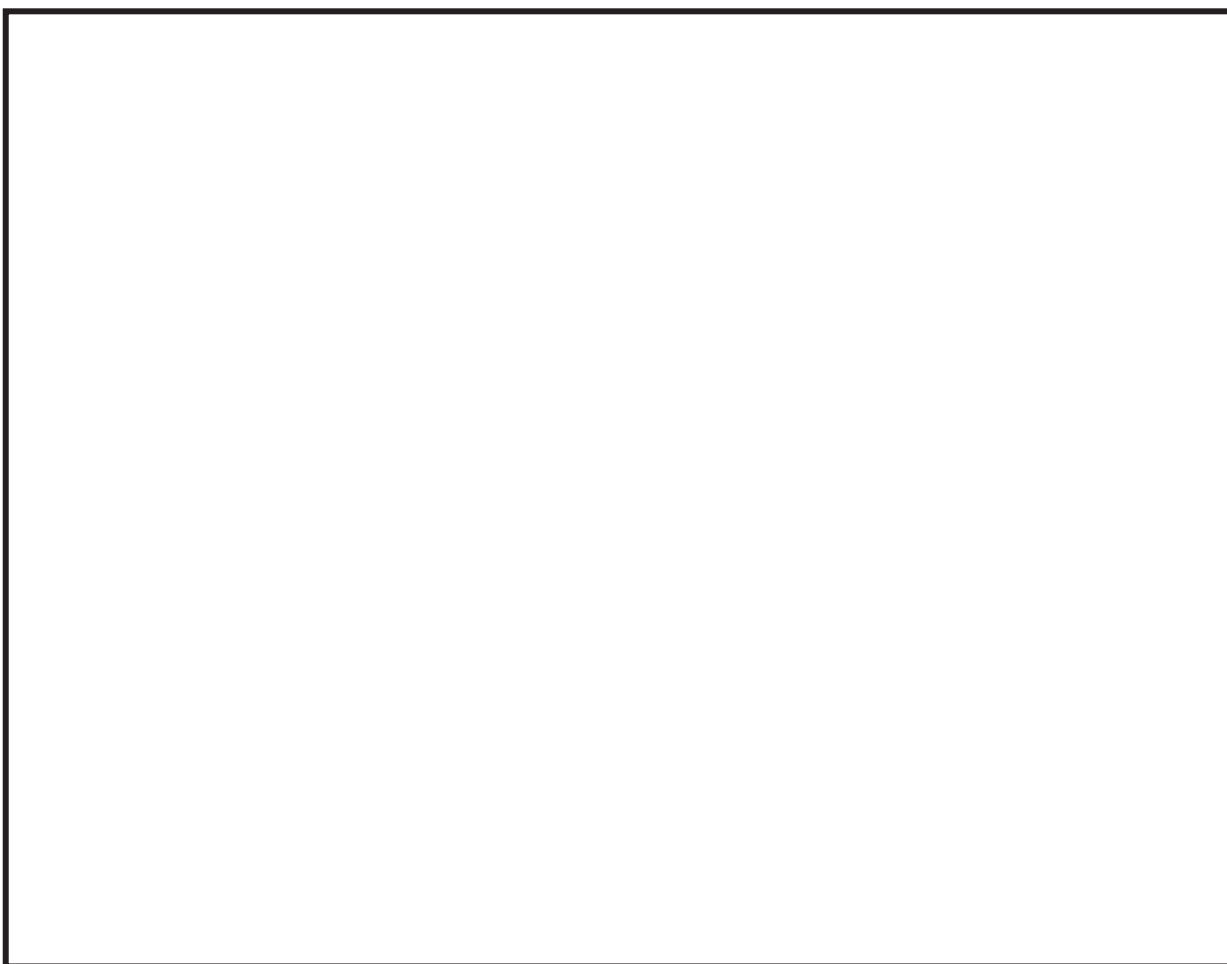


図 3-4 点検通路の評価部位

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4. 固有周期の評価

固有周期の評価は各部位が支持している重量を考慮した上で、部位ごと（鋼製ブラケット、L型擁壁、防護柵、歩廊支持材及び手摺）に分けて評価する。

4.1 鋼製ブラケット

(1) 解析モデル

鋼製ブラケットはアンカーボルトによって背面補強工に固定されており、基部を支点とする片持ばりでモデル化する。

(2) 固有周期の計算

「構造力学公式集(1986年) 土木学会」より、集中質量をもつ片持ばりの一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I}{\rho A L^4 (\mu + 0.23)}}$$

$$\mu = \frac{m}{\rho A L}$$

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表4-1に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
E	弾性係数	200000	N/mm ²
L	長さ	2420	mm
I	断面二次モーメント	4928434176	mm ⁴
ρ	密度 (負担する分布荷重を換算)	79583.5	kg/m ³
A	断面積	26688	mm ²
m	自由端が負担する質量	4670.3	kg

(4) 評価結果

評価結果を表4-2に示す。固有周期は0.05s以下であることから、剛構造である。

表 4-2 固有周期の計算結果

	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
鋼製ブラケット	30.1	0.033

4.2 L型擁壁

(1) 解析モデル

L型擁壁は鋼製ブラケットに底版が固定されており，L型擁壁の側壁を側壁の基部を支点とする片持ばりでモデル化し，固有周期を確認する。

(2) 固有周期の計算

「構造力学公式集(1986年) 土木学会」より，集中質量をもつ片持ばりの一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot I}{\rho A L^4 (\mu + 0.23)}}$$

$$\mu = \frac{m}{\rho A L}$$

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表 4-3 に示す。

表 4-3 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
E	弾性係数	31000	N/mm ²
L	長さ		mm
I	断面二次モーメント	2250000000	mm ⁴
ρ	密度	2498.3	kg/m ³
A	断面積		mm ²
m	自由端が負担する質量	260.0	kg

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(4) 評価結果

評価結果を表 4-4 に示す。

固有周期が 0.046 s と剛構造の判定閾値である 0.05s 付近であることを踏まえ、設計用床応答曲線を基に固有周期を考慮した最大応答加速度を算定する。

表 4-4 固有周期の計算結果

	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
L型擁壁	21.8	0.046

4.3 防護柵

(1) 解析モデル

防護柵はL型擁壁に固定されており、支柱を、基部を支点とする片持ばりでモデル化する。

(2) 固有周期の計算

「構造力学公式集(1986年) 土木学会」より、片持ばりの一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho A}}$$

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表 4-5 に示す。

表 4-5 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
λ	係数	1.8751	—
E	弾性係数	200000	N/mm ²
L	長さ		mm
I	断面二次モーメント		mm ⁴
ρ	密度 (負担する分布荷重を換算)		kg/m ³
A	断面積		mm ²

(4) 評価結果

評価結果を表 4-6 に示す。固有周期は 0.05s を超えることから、設計用床応答曲線を基に固有周期を考慮した最大応答加速度を算定する。

表 4-6 固有周期の計算結果

	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
防護柵	4.6	0.216

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.4 歩廊支持材

(1) 解析モデル

歩廊支持材はL型擁壁に固定されており，基部を支点とする片持ばりでモデル化する。

(2) 固有周期の計算

「構造力学公式集(1986年) 土木学会」より，片持ばりの一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho A}}$$

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表 4-7 に示す。

表 4-7 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
λ	係数	1.8751	—
E	弾性係数	200000	N/mm ²
L	長さ	1320	mm
I	断面二次モーメント	16200000	mm ⁴
ρ	密度 (負担する分布荷重を換算)	64361.9	kg/m ³
A	断面積	3965	mm ²

(4) 評価結果

評価結果を表 4-8 に示す。固有周期は 0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4-8 固有周期の計算結果

	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
歩廊支持材	36.2	0.028

4.5 手摺

(1) 解析モデル

手摺は歩廊支持材に固定されており、手摺支柱を、基部を支点とする片持ばりでモデル化する。

(2) 固有周期の計算

「構造力学公式集(1986年) 土木学会」より、片持ばりの一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho A}}$$

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表 4-9 に示す。

表 4-9 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
λ	係数	1.8751	—
E	弾性係数	200000	N/mm ²
L	長さ	1280	mm
I	断面二次モーメント	294000	mm ⁴
ρ	密度 (負担する分布荷重を換算)	23590.3	kg/m ³
A	断面積	752.7	mm ²

(4) 評価結果

評価結果を表 4-10 に示す。固有周期は 0.05s を超えることから、設計用床応答曲線を基に固有周期を考慮した最大応答加速度を算定する。

表 4-10 固有周期の計算結果

	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
手摺	19.7	0.051

5. 耐震評価

5.1 荷重及び荷重の組合せ

5.1.1 荷重

耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、防護設備の自重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重を含めて 9.8kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重(P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

なお、L型擁壁及び鋼製ブラケットは、地震荷重に比べて風荷重の影響が小さいため、地震荷重に余裕を含むことで考慮する。

(5) 地震荷重(S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。

5.1.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

荷重の組合せ
$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (点検通路を除く)

P_k : 風荷重 (防護柵及び点検通路手摺で考慮)

S_s : 地震荷重

5.2 設計用地震力

設計用地震力は、防潮堤背面補強工部の評価断面（弱軸方向である防潮堤横断方向）の応答加速度に基づき設定する。応答加速度は、「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書」に示す、断面①～断面③の二次元有限要素法解析に基づき算出する。地震応答解析の実施箇所を図5-1に、解析モデルを図5-2に、応答加速度抽出位置を図5-3に示す。

解析ケースを表5-2に示す。全ての基準地震動 S_s に対して、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動 S_s に対して実施した解析ケース①において、最大応答加速度となる地震動及び断面を用いて解析ケース②及びケース③を実施する。解析コードは「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。

設計震度の設定に当たって、前述のとおり、各位置での地震力を包含する設計用地震力を用いて評価を代表させるために、各断面（防潮堤（鋼管式鉛直壁）断面①～断面③）における背面補強工敷地側天端の応答加速度を包含する設計震度を設定する。

地震応答解析の結果を表5-3に、断面②の包絡スペクトルを図5-4に示す。

固有周期が0.05sを超えることを確認した手摺及び防護柵については、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の算定方針」に基づき作成した設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度を算定する。基準地震動 S_s を包絡するよう作成した設計用床応答曲線を図5-5に示す。

L型擁壁の側壁については、固有周期が0.046sと剛構造の判定閾値である0.05s付近であることを踏まえ、「5.5.2 L型擁壁の評価」に示す汀線直角方向の照査には設計用床応答曲線を基に固有周期を考慮した最大応答加速度を算定する。汀線方向の照査については鋼製ブラケットと一体構造であることから、鋼製ブラケットと同じ設計震度を設定する。

設定した設計震度を表5-4に示す。

なお、防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の設置範囲は、断面⑤（防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部）も含まれるが、図5-6に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭の背面補強工交差部（O.P.+18.5m）において、断面⑤は、断面①～断面③と比較し、最大水平震度が有意に小さい（断面①～断面③が最大水平震度1.0～1.5に対し、断面⑤は最大水平震度1.0以下）。

設計用地震力算定のための応答加速度抽出位置は、背面補強工の同じ標高であることも踏まえ、断面⑤の応答加速度は断面①～③に包絡されると判断し、応答加速度抽出の対象外とする。

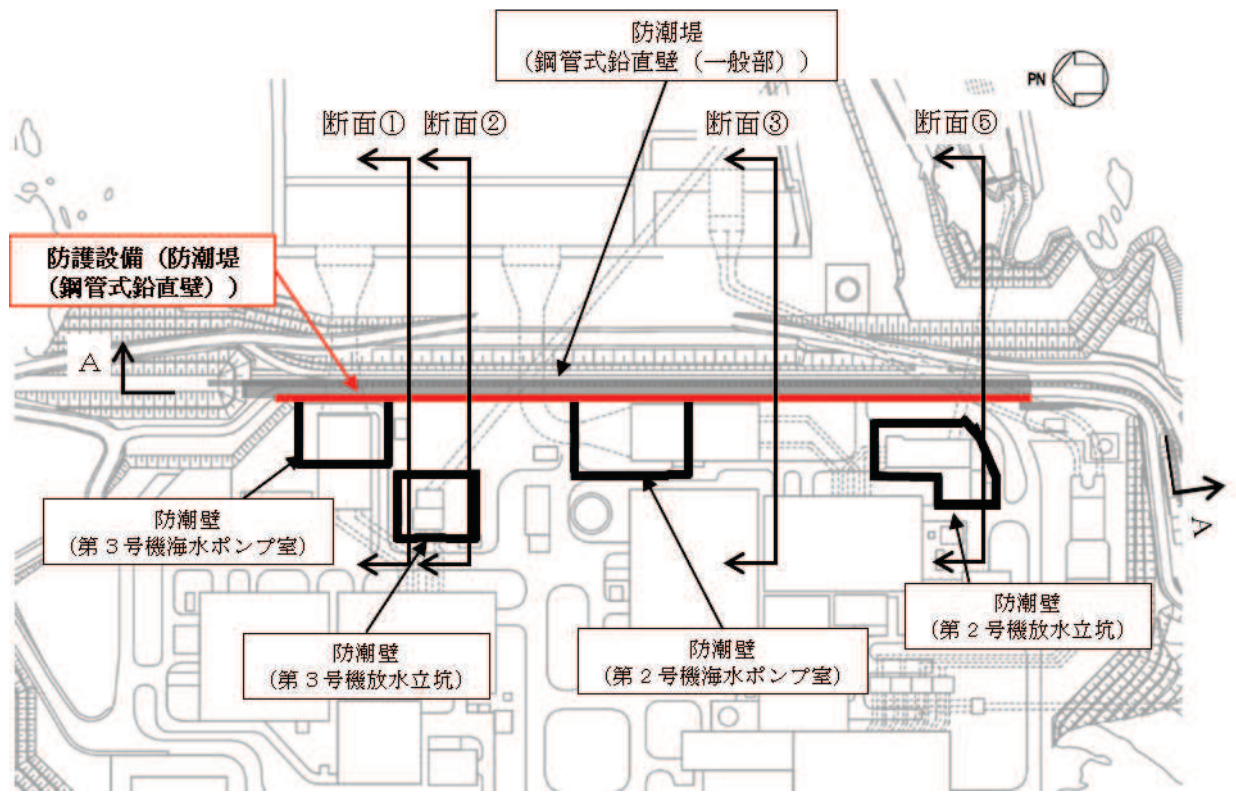


図 5-1(1) 地震応答解析の実施位置 (平面図)

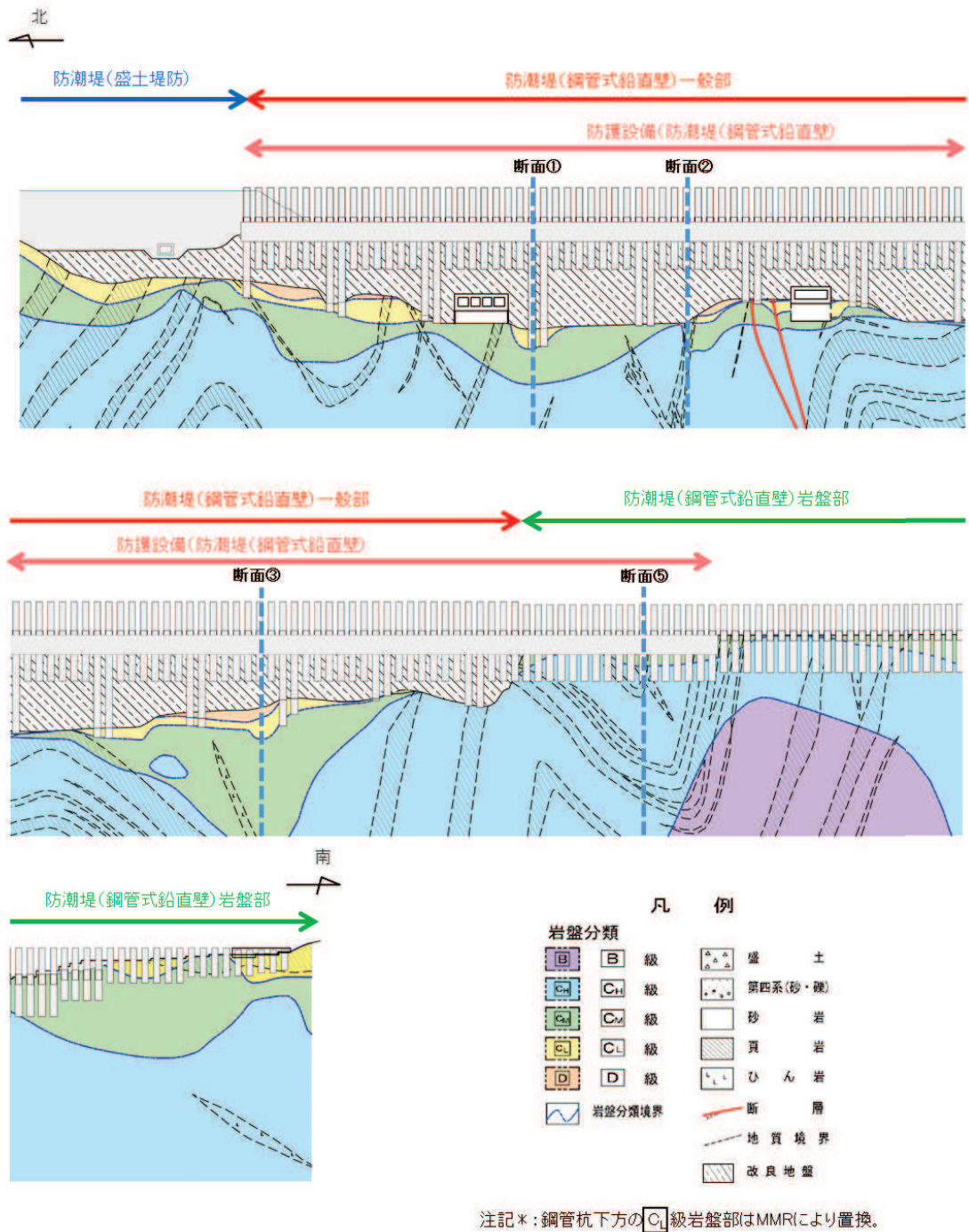


図 5-1(2) 地震応答解析の実施位置 (A-A断面図)

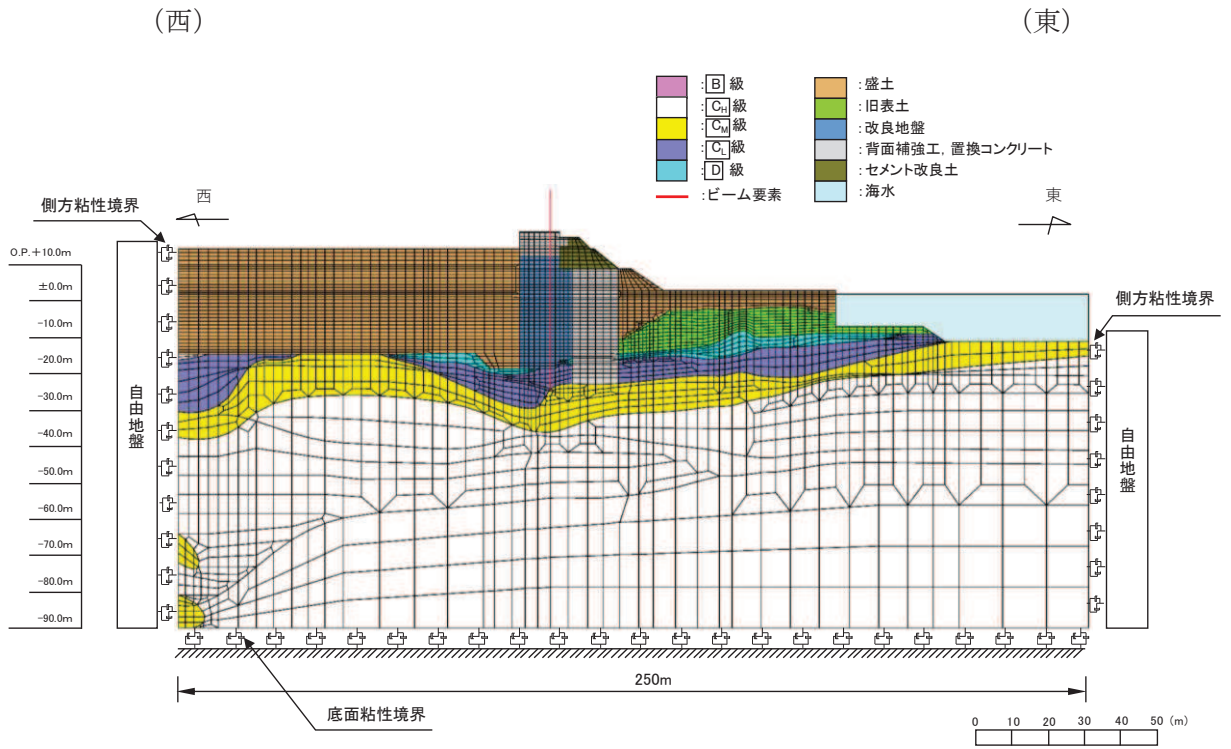


図 5-2(1) 解析モデル (防潮堤 (鋼管式鉛直壁) 断面①)

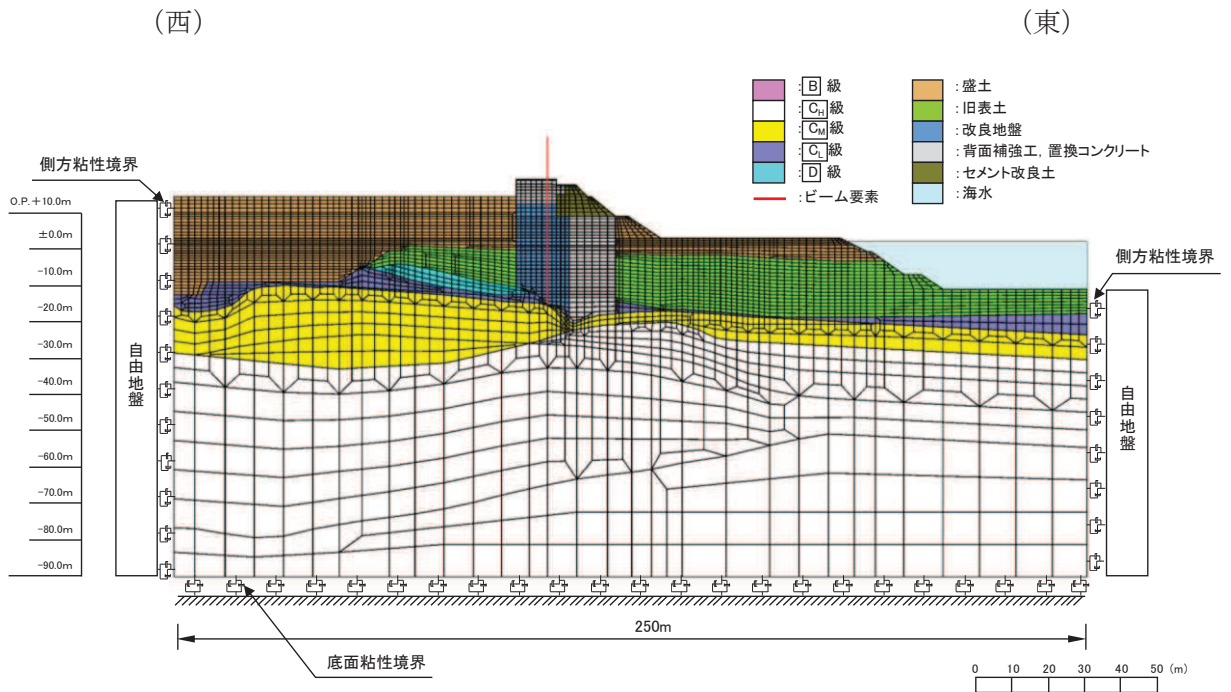


図 5-2(2) 解析モデル (防潮堤 (鋼管式鉛直壁) 断面②)

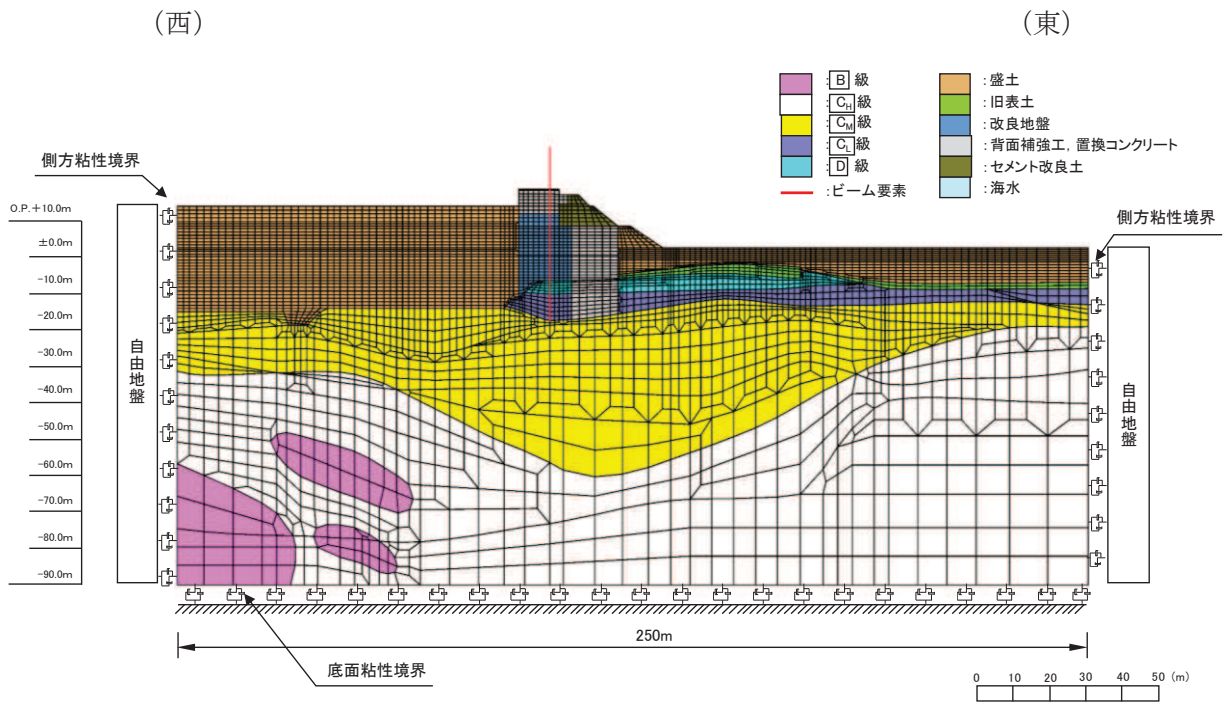


図 5-2(3) 解析モデル (防潮堤 (鋼管式鉛直壁) 断面③)

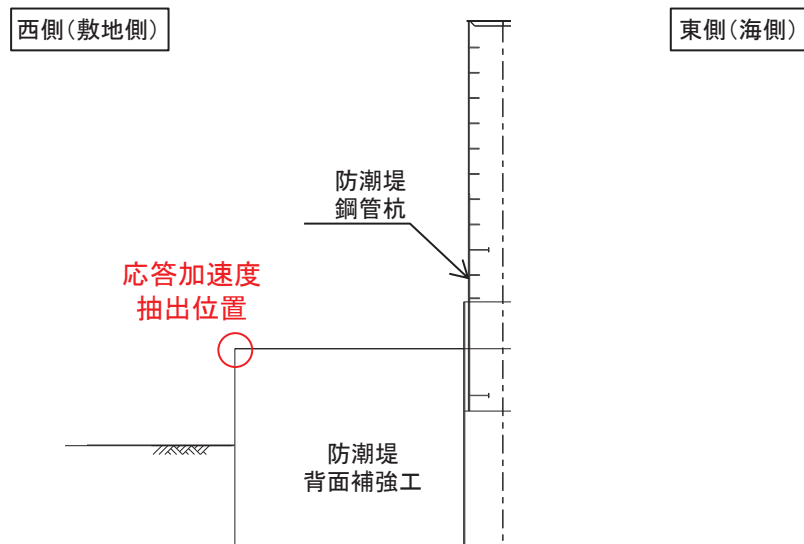


図 5-3 応答加速度の抽出位置

表 5-2 解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動 (位相)	S _s -D 1	++* ¹	○	基準地震動 S _s (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (13 波) を加えた全 20 波により照査を行ったケース①(基本ケース)の結果から、最大応答加速度となる地震動及び断面を用いてケース②~ケース③を実施する。
		-+* ¹	○	
		+-* ¹	○	
		--* ¹	○	
	S _s -D 2	++* ¹	○	
		-+* ¹	○	
		+-* ¹	○	
		--* ¹	○	
	S _s -D 3	++* ¹	○	
		-+* ¹	○	
		+-* ¹	○	
		--* ¹	○	
	S _s -F 1	++* ¹	○	
		-+* ¹	○	
	S _s -F 2	++* ¹	○	
		-+* ¹	○	
	S _s -F 3	++* ¹	○	
		-+* ¹	○	
	S _s -N 1	++* ¹	○	
		-+* ¹	○	

注記 *1: 地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

表 5-3 各断面における地震応答解析結果

断面位置		最大応答加速度 (地震時)	
		水平 (cm/s^2)	鉛直 (cm/s^2)
ケース①	断面①	1465 ($S_s - F 2 (+ +)$)	1491 ($S_s - D 2 (- -)$)
	断面②	1605 ($S_s - F 2 (+ +)$)	1545 ($S_s - D 2 (- +)$)
	断面③	1509 ($S_s - F 2 (+ +)$)	1317 ($S_s - D 2 (- +)$)
ケース②	断面②	1253 ($S_s - F 2 (+ +)$)	1456 ($S_s - D 2 (- +)$)
ケース③	断面②	1657 ($S_s - F 2 (+ +)$)	1629 ($S_s - D 2 (- +)$)

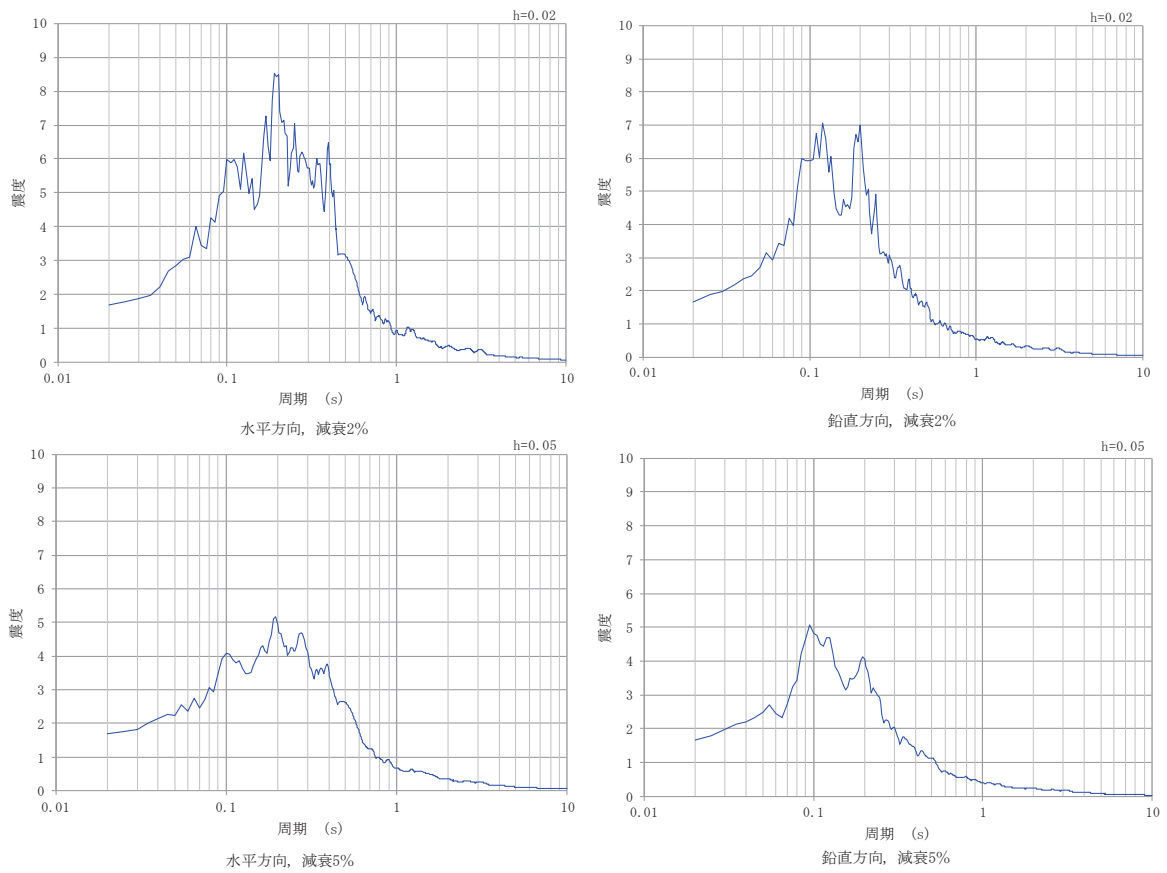


図 5-4 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) 断面②の包絡スペクトル

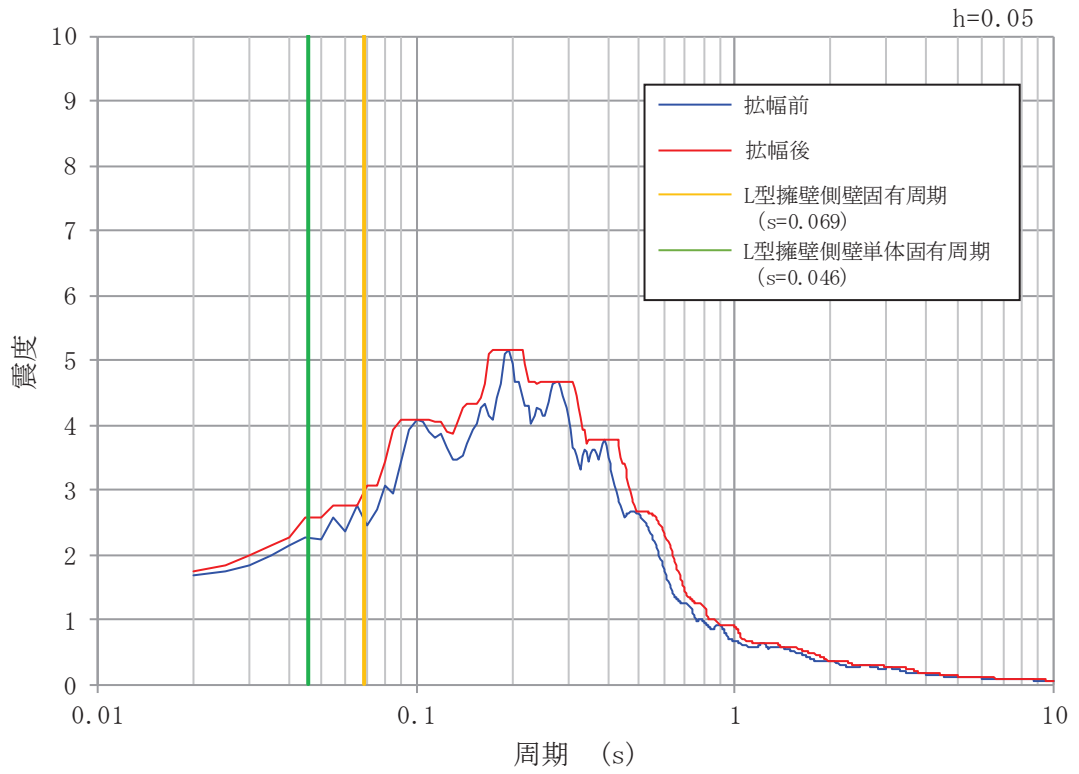


図 5-5(1) 設計用床応答曲線（水平方向，減衰 5%）

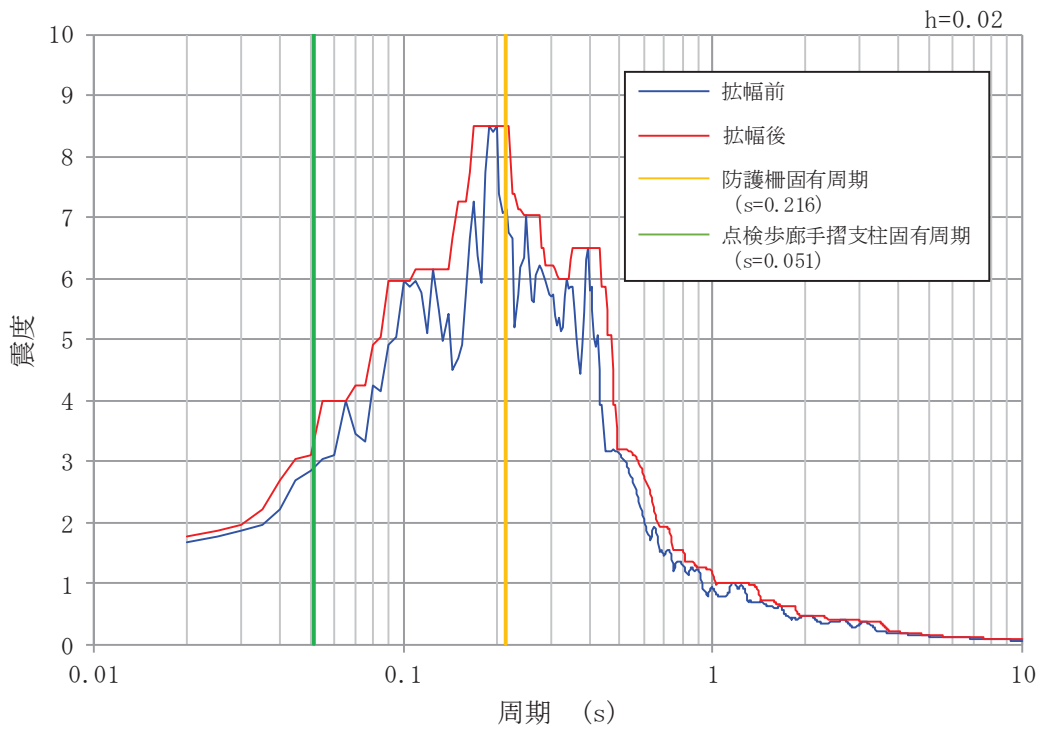


図 5-5(2) 設計用床応答曲線（水平方向，減衰 2%）

表 5-4(1) 設計震度（鋼製ブラケット，L型擁壁（汀線方向の照査時）及び歩廊支持材）

部位	地震動	解析ケース	設置場所及び 床面高さ (m)	設計震度 (最大応答加速度 (cm/s ²))	
鋼製ブラケット，L型 擁壁（汀線 方向の照査 時）及び歩 廊支持材	S s - F 2 (++)	③	防護設備（防潮堤（鋼 管式鉛直壁） O.P. +18.5 （背面補強工天端部）	水平方向 K _H	2.0* ¹ (1657)
	S s - D 2 (-+)	③		鉛直方向 K _V	2.0* ¹ (1629)

注記*1：「4. 固有周期の評価」より，鋼製ブラケット及び歩廊支持材の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため，設置部の最大応答加速度を考慮した設計震度（最大応答加速度 /980.665cm/s²）を設定した。

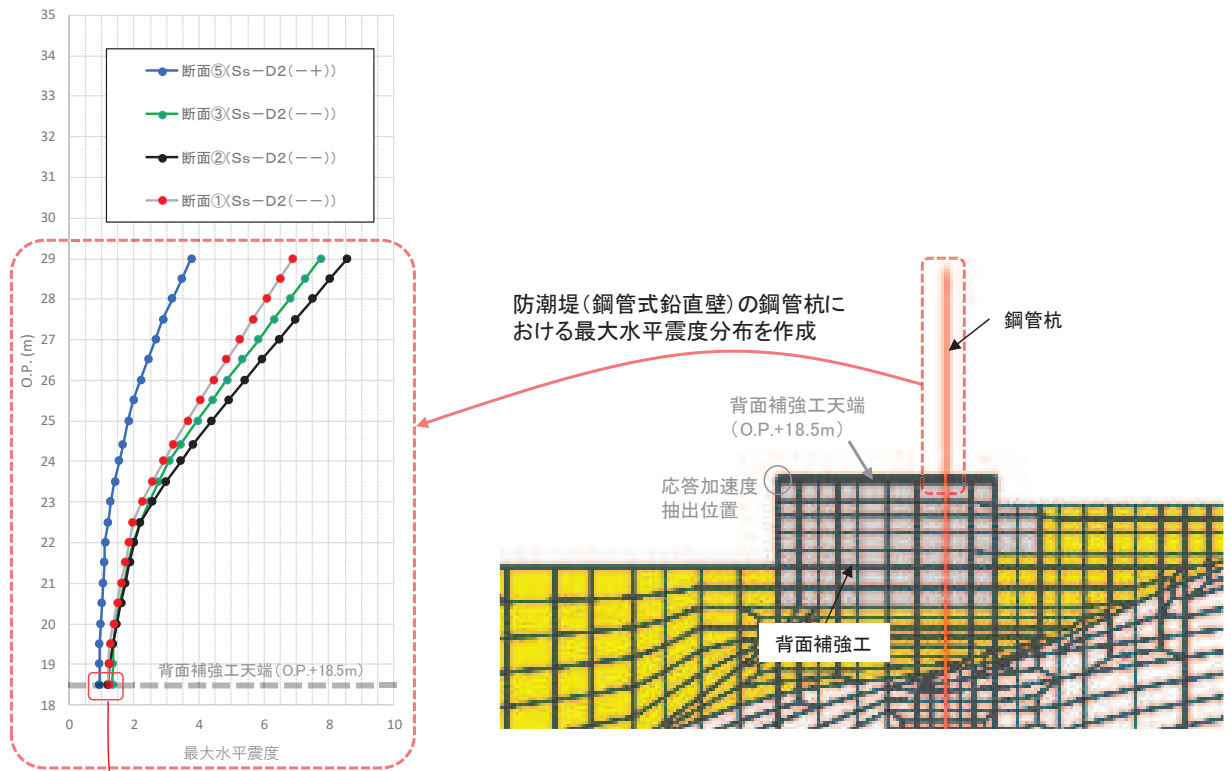
表 5-4(2) 設計震度 (L型擁壁 (汀線直角方向の照査時), 防護柵, 手摺)

部位	設置場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	設計震度 (最大応答加速度 (cm/s ²))	
			水平方向 K _H	
L型擁壁	0. P. +18. 50 (L型擁壁側壁下端)	0. 046	水平方向 K _H	3. 2 ^{*2} (2516)
防護柵	0. P. +21. 02 (防護柵下端)	0. 216	水平方向 K _H	9. 0 ^{*3} (8327)
手摺	0. P. +20. 84 (手摺支柱下端)	0. 051	水平方向 K _H	4. 0 ^{*3} (3211)

注記* 2 : 防護柵及び点検通路のうち手摺はその固有周期が比較的長いですが, 設置されているL型擁壁との重量比はどちらも1:100程度と小さいため, 防護柵及び手摺の振動の影響がL型擁壁の振動に与える影響は小さいと判断される。

ここでは, 防護柵及び点検通路の振動の影響を保守的に考慮することとし, それぞれの設定震度分重量を割り増しして固有周期 (0. 069s) を算出した上で, その固有周期から求められる震度に裕度を考慮して設計震度 3. 2 と設定する。

注記* 3 : 「4. 固有周期の評価」より, 防護柵及び手摺の固有周期が 0. 05s を超えることを確認したため, 設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度を算定する。



防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭と背面補強工交差部（O.P.+18.5m）において、断面⑤は、断面①～断面③と比較し、最大水平震度が有意に小さい（断面①～断面③が最大水平震度1.0～1.5に対し、断面⑤は最大水平震度1.0以下）。
 設計用地震力算定のための応答加速度抽出位置は、背面補強工の同じ標高であることも踏まえ、断面⑤の応答加速度は断面①～③に包絡されると判断した。

図 5-6 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭の最大震度分布

5.3 使用材料

防護設備を構成する各部材の使用材料を表 5-5 に示す。

表 5-5 防護設備を構成する各部材の使用材料

評価対象部位		材質・材料・区分	仕様
鋼製ブラケット	鋼製ブラケット本体	SM400	BH-1200×250×16×16
	アンカーボルト	強度区分 8.8	六角ボルト, M36
		S35CN	丸鋼, φ 55
	スタッドジベル	キルド鋼	φ 25×150
	補強ボルト	強度区分 8.8	M20
L型擁壁	側壁	コンクリート	$f'_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$
		鉄筋	SD345
	底版	コンクリート	$f'_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$
		鉄筋	SD345
防護柵	主柱	STK400	
点検通路	歩廊支持材	SS400	H-150×150
	歩廊支持材の アンカーボルト	強度区分 4.6	M12
	手摺支柱	SS400	L-65×65×6
	手摺支柱の 固定ボルト	強度区分 4.6	M16

5.4 許容限界

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

防護設備が設置されている防潮堤背面補強工は土木構造物に適用されている基準により設計していることから、同様の規格・基準を用いて許容限界を設定する。ただし、上記規格・基準に無い項目については、類似する部材の設計に用いられている日本建築学会等の規格・基準を用いて設定する。

(1) 鋼製ブラケット

a. 鋼製ブラケット本体

鋼材の許容限界は「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」を踏まえて表 5-6 の値とする。

表 5-6 鋼製ブラケット本体の短期許容応力度

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM400	210	120

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

アンカーボルトは躯体に埋め込まれていることから、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重 (P_{a1})、コンクリートのコーン状破壊により決まる許容荷重 (P_{a2}) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容荷重 (q_{a1})、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重 (q_{a2}) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 (q_{a3}) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

アンカーボルトは六角ボルトと丸鋼を接合する構造となっていることから、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重 (P_{a1}) の算出に当たっては、六角ボルト及びアンカーボルト丸鋼ねじ切り部の短期許容荷重のうち、いずれか小さい値を採用することとする。アンカーボルトの詳細図を図 5-7 に示す。

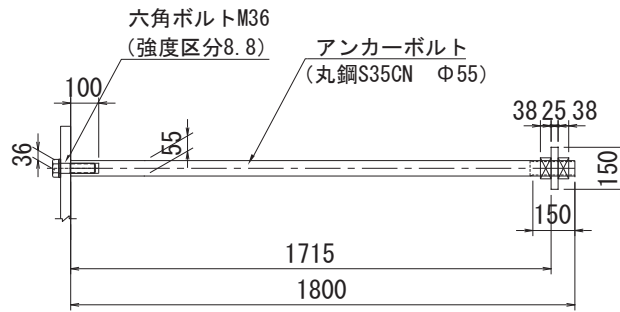


図 5-7 アンカーボルト詳細図

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容荷重の設定に用いる入力値を表 5-7 に、許容荷重を表 5-8 に示す。

引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$P_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_c$$

ここで、 P_{a1} : アンカーボルトの降伏により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

P_{a2} : 定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

Φ_1 : 低減係数 (短期荷重用)

Φ_2 : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$: アンカーボルトの引張強度 ($= s \sigma_y$) (N/mm²)

s_{ca} : アンカーボルトの断面積 (mm²)

$c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの

引張強度 (N/mm²) ($= 0.31 \sqrt{F_c}$)

A_c : 有効投影面積 (mm²)

せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

- ここで、
- q_{a1} : アンカーボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)
 - q_{a2} : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合のアンカーボルト1本当たりの許容せん断力 (N)
 - q_{a3} : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合のアンカーボルト1本当たりの許容せん断力 (N)
 - Φ_1 : 低減係数 (短期荷重用)
 - Φ_2 : 低減係数 (短期荷重用)
 - $s \sigma_{qa}$: アンカーボルトのせん断強度 ($=0.7 \cdot s \sigma_y$) (N/mm²)
 - $s c a$: アンカーボルトの断面積 (mm²)
 - $c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度 (N/mm²)
($=0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$)
 - $c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm²) ($=0.31 \sqrt{F_c}$)
 - A_{qc} : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)

表 5-7 アンカーボルトの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
Φ_1	—	低減係数（短期荷重用）	1.0
Φ_2	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm ²	六角ボルトの許容引張応力度	660
${}_s\sigma_y$	N/mm ²	六角ボルトの規格降伏点強度	660
${}_s c a$	mm ²	六角ボルトの断面積	816.7
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm ²	アンカーボルトの許容引張応力度	305
${}_s c a$	mm ²	タップ部の断面積	1559.1
${}_c\sigma_t$	N/mm ²	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.70
A_c	mm ²	有効投影面積	1047528
d_a	mm	アンカーボルトの径	36
${}_s\sigma_{qa}$	N/mm ²	アンカーボルトのせん断応力度	213.5
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm ²	コンクリートの支圧強度	446.7
A_{qc}	mm ²	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	277088

表 5-8 地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの短期許容荷重

短期許容荷重 (kN)			
引張			
P_{a1} (固定ボルト部)	P_{a1} (丸鋼ねじ切り部)	P_{a2}	設定値
539.0	475.5	1185.8	475.5

短期許容荷重 (kN)			
せん断			
q_{a1}	q_{a2}	q_{a3}	設定値
174.4	243.2	313.7	174.4

c. スタッドジベル

(a). せん断力を受ける場合

スタッドジベルの許容限界は「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」を踏まえて表 5-9 の値とする。

スタッドジベルの許容せん断力 Q_a は以下の通り算出される。

$$Q_a = 9.4 \times d^2 \times \sqrt{\sigma_{ck}} = 37156.7$$

ここで Q_a : スタッドジベルの許容せん断力 (N/本)

d : スタッド径 (mm)

σ_{ck} : コンクリート強度 (N/mm²)

表 5-9 スタッドジベルの許容限界

スタッド径 d (mm)	コンクリート強度 σ_{ck} (N/mm ²)	許容せん断力 Q_a (kN/本)
25	40	37.1

(b). 引張力を受ける場合

引張力を受ける場合のスタッドジベルの許容限界は「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

スタッドジベルは躯体に埋め込まれていることから、スタッドジベルが引張力を受ける場合においては、スタッドジベルの降伏により決まる許容荷重 (P_{a1})、コンクリートのコーン状破壊により決まる許容荷重 (P_{a2}) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

なお、スタッドジベルは 1 箇所当たり 2 本設置されることから、評価においては 1 箇所当たりで評価を行う。

地震荷重を考慮する場合のスタッドジベルの許容荷重の設定に用いる入力値を表 5-10 に、許容荷重を表 5-11 に示す。

$$P_{a1} = \phi_1 \times c \sigma_{pa} \times s_{ca}$$

$$P_{a2} = \phi_2 \times c \sigma_t \times A_c$$

P_{a1} : スタッドジベルの降伏により決まる場合のスタッドジベル 1 箇所当たりの許容引張力 (kN)

P_{a2} : 定着した躯体のコーン状破壊により決まるスタッドジベル 1 箇所当たりの許容引張力 (kN)

ϕ_1 : 低減係数

ϕ_2 : 低減係数

$c\sigma_{pa}$: スタッドジベル引張強度 (kN/mm²)

$c\sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度 (kN/mm²)

sca : スタッドジベルの断面積 (mm²)

A_c : 有効投影断面積 (mm²)

P_a : スタッドジベル 1 箇所当たりの許容引張力 (kN)

表 5-10 スタッドジベルの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ϕ_1	—	低減係数 (短期荷重用)	1.0
ϕ_2	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
$s\sigma_{pa}$	N/mm ²	スタッドジベル引張強度	235
$c\sigma_t$	N/mm ²	コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度	1.96
sca	mm ²	スタッドジベルの断面積	981.7
A_c	mm ²	有効投影断面積	92623

表 5-11 地震荷重を考慮する場合のスタッドジベルの短期許容荷重

短期許容荷重 (kN)		
引張		
P_{a1}	P_{a2}	P_a
230.7	121.1	121.1

d. 補強ボルト

補強ボルトは作用する引張力及びせん断力も負担するが、評価では保守的にせん断力はスタッドジベルのみで負担すると仮定し、引張力に対して評価する。

補強ボルトの許容限界は「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」を踏まえて表 5-12 の値とする。

表 5-12 補強ボルトの短期許容応力度

対象	材質	有効断面積 (mm ²)	許容引張応力度* (N/mm ²)	許容引張力 (kN)
補強ボルト	強度区分 8.8	245	540	132.3

注記* : 短期許容応力度は、許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

(2) L型擁壁

L型擁壁の評価に用いる許容限界は、「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に基づき、設定する短期許容応力度とする。

L型擁壁の許容限界を表 5-13 に示す。

表 5-13(1) L型擁壁の許容限界 (曲げ軸力系の破壊)

材料	許容応力度 (N/mm ²)	短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck}=40$ N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	14
鉄筋 (SD345)	許容引張応力度 σ_{sa}	196
		294

注記* : 短期許容応力度は、許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 5-13(2) L型擁壁の許容限界 (せん断破壊)

項目	許容応力度 (N/mm ²)	短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck}=40$ N/mm ²)	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.55
		0.825

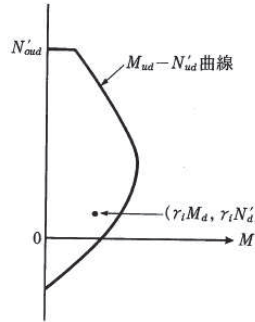
注記* : 短期許容応力度は、許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

短期許容応力度による照査を満足しない場合の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] に基づく圧縮耐力及び曲げ耐力とする。圧縮耐力と曲げ耐力の関係を図 5-8 に示す。

また、設計断面耐力は、以下の仮定に基づき行うものとする。

- (1) 維ひずみは、断面の中立軸からの距離に比例する。
- (2) コンクリートの引張応力は無視する。

コンクリートおよび鋼材の応力-ひずみ曲線は図 5-9 に従う。



解説 図 6.2.1 軸方向耐力と曲げ耐力の関係

図 5-8 圧縮耐力と曲げ耐力の関係

(土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 抜粋)

圧縮耐力の上限値 N'_{oud} は、下式により算定する。

$$N'_{oud} = (k_1 f'_{cd} A_c + f'_{yd} A_{st}) / \gamma_b$$

ここに、

k_1 : 強度の低減係数 ($=1-0.003f'_{ck} \leq 0.85$)

f'_{ck} : コンクリート強度の特性値

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度

A_c : コンクリートの断面積

f'_{yd} : 軸方向鉄筋の設計圧縮降伏強度

A_{st} : 軸方向鉄筋の全断面積

γ_b : 部材係数 ($=1.3$)

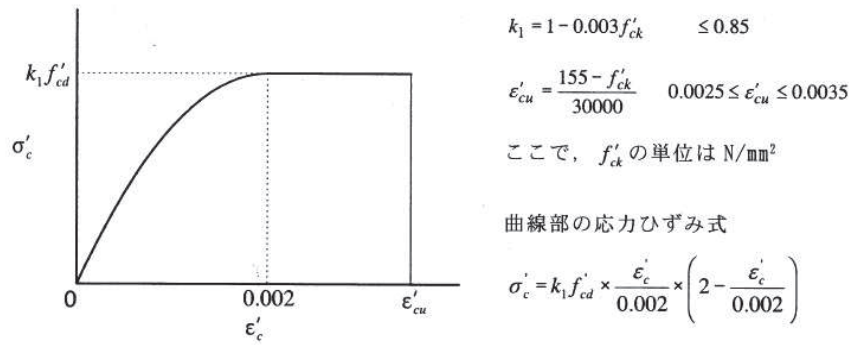


図 3.2.1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

適用したモデル

(コンクリート)

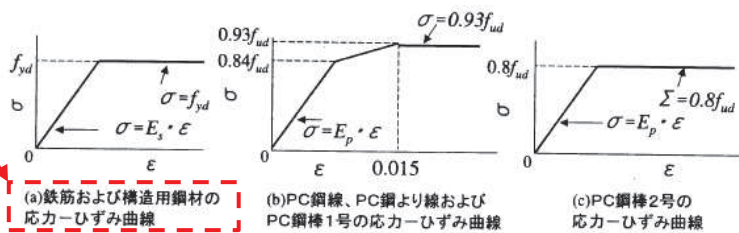


図 3.3.1 鋼材のモデル化された応力-ひずみ曲線

(鋼材)

図 5-9 コンクリートおよび鋼材の応力-ひずみ曲線

(土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 抜粋)

なお、部材断面のひずみがすべて圧縮となる場合以外は、コンクリートの圧縮応力度の分布を図 5-10 に示す長方形圧縮応力度の分布（等価応力ブロック）と仮定する。

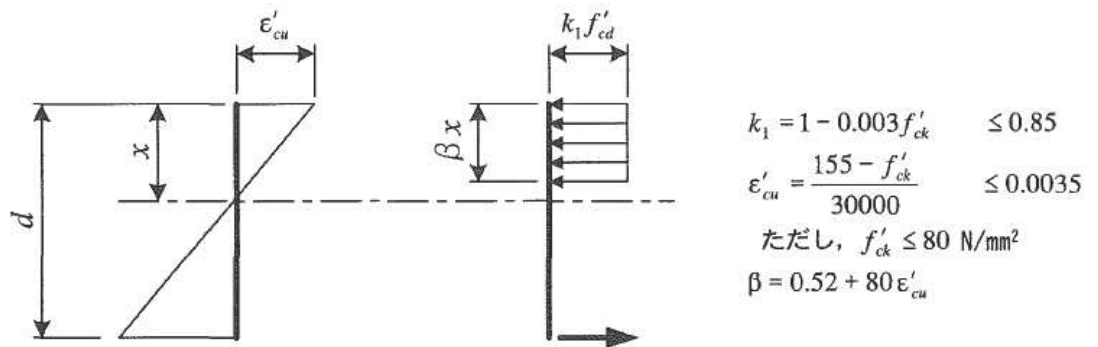


図 6.2.1 等価応力ブロック

図 5-10 等価応力ブロック

(「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」 抜粋)

(3) 防護柵

防護柵については、重量物を支持しておらず、防護柵自体が基準地震動 S_s の地震力が作用した際に破断し落下することにより上位クラス施設に波及的影響を及ぼすことが考えられる。このため、支柱に大きな変形が生じ耐力が低下する前の変形量を許容限界とする。

「日本建築センター 時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」において、倒壊、崩壊限界の評価判定クライテリアが部材の塑性率 4 以下とされていることを参照し、支柱の変形量の許容限界の指標として、許容塑性率を 4 と設定する。

また、松田ら^{*1}によると、支柱と類似する鋼管杭について実験を行い、塑性率が 4 程度までは直ちに耐力低下につながらないことが示されている（図 5-11）。

防護柵の許容塑性率を表 5-14 に示す。

注記*1：高レベル地震動履歴を受けた鋼管杭の圧縮耐力について（松田ら，1999）

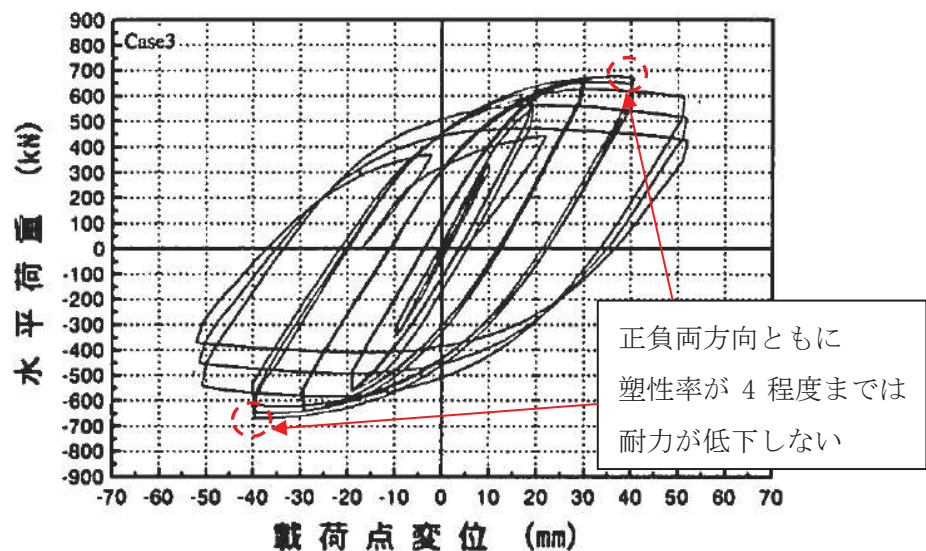


図 5-11 鋼管杭（コンクリート中詰めなし）の水平荷重と載荷点変位の関係

表 5-14 防護柵の許容塑性率

対象	材質	許容塑性率
支柱	STK400	4

せん断力に対する許容限界は、「基本建築基準法関係法令集 建築資料研究社 2006 年版」及び「日本建築学会 2019 年 鋼構造許容応力度設計規準」に基づき設定する。

防護柵のせん断力に対する短期許容応力度を表 5-15 に示す。

表 5-15 防護柵のせん断力に対する短期許容応力度

対象	材質	許容せん断応力度* (N/mm ²)
主柱	STK400	135

注記*：短期許容応力度は，許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

(4) 点検通路

点検通路の許容限界は、「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき設定する。

点検通路の短期許容応力度を表 5-16 に示す。

表 5-16 点検通路の短期許容応力度

対象	材質	許容曲げ引張応力度* (N/mm ²)	許容せん断応力度* (N/mm ²)
歩廊支持材	SS400	210	120
手摺支柱	SS400	210	120
アンカーボルト 固定ボルト	強度区分 4.6	210	135

注記*：短期許容応力度は，許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

5.5 評価方法

防護設備を構成する鋼製ブラケット、L型擁壁、防護柵及び点検通路に発生する応力により算出する応力度が、各設備の許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 鋼製ブラケット

(1) 鋼製ブラケット

鋼製ブラケットは、図 5-12 に示すとおり、アンカーボルト（8 本：2 本×4 列）により防潮堤背面補強工に固定されている。また、L型擁壁とはスタッドジベル（12 本：2 本×6 列）により一体化している。

鋼製ブラケットの評価は構造や荷重の伝達を考慮し、鋼製ブラケット本体、アンカーボルト及びスタッドジベルについて基準地震動 S_s に対する耐震評価を行う。

鋼製ブラケット本体の設計は図 5-13 に示すとおり背面補強工を固定端とした片持ち梁モデルに鋼製ブラケット本体に作用する各荷重を載荷し、算出した断面力により照査を行う。

照査箇所は最も断面力が大きくなる鋼製ブラケット基部とする。検討ケースは汀線直角方向に地震時の水平力を考慮するケース（荷重ケース①）と汀線方向に地震時の水平力を考慮するケース（荷重ケース②）を行う。

荷重の組合せは表 5-17 のとおり、組合せ係数法（1.0 : 0.4）により評価する。

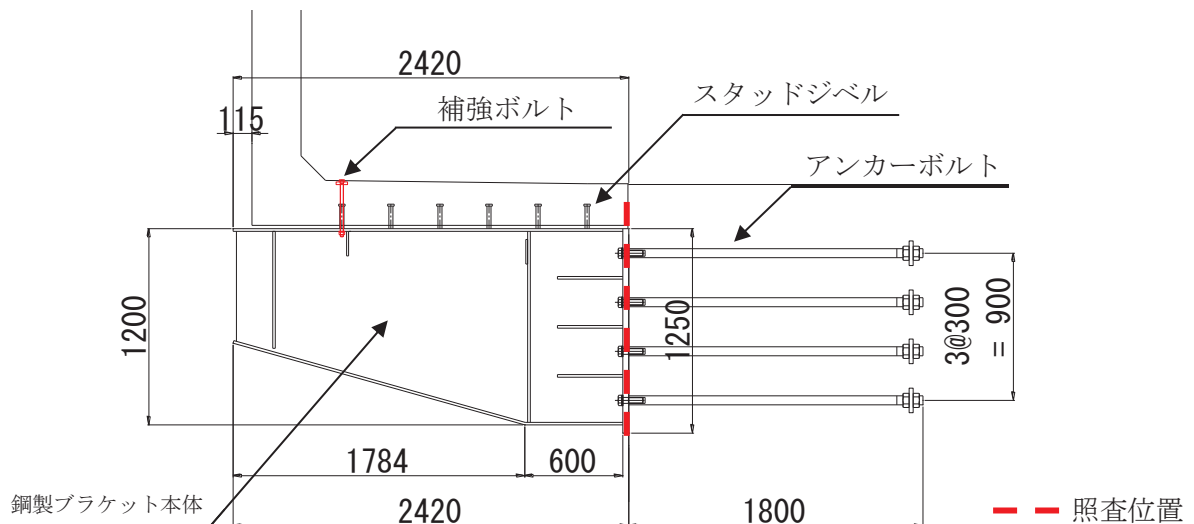


図 5-12 鋼製ブラケット断面図

汀線直角方向に地震時の水平力を考慮するケース

汀線方向に地震時の水平力を考慮するケース

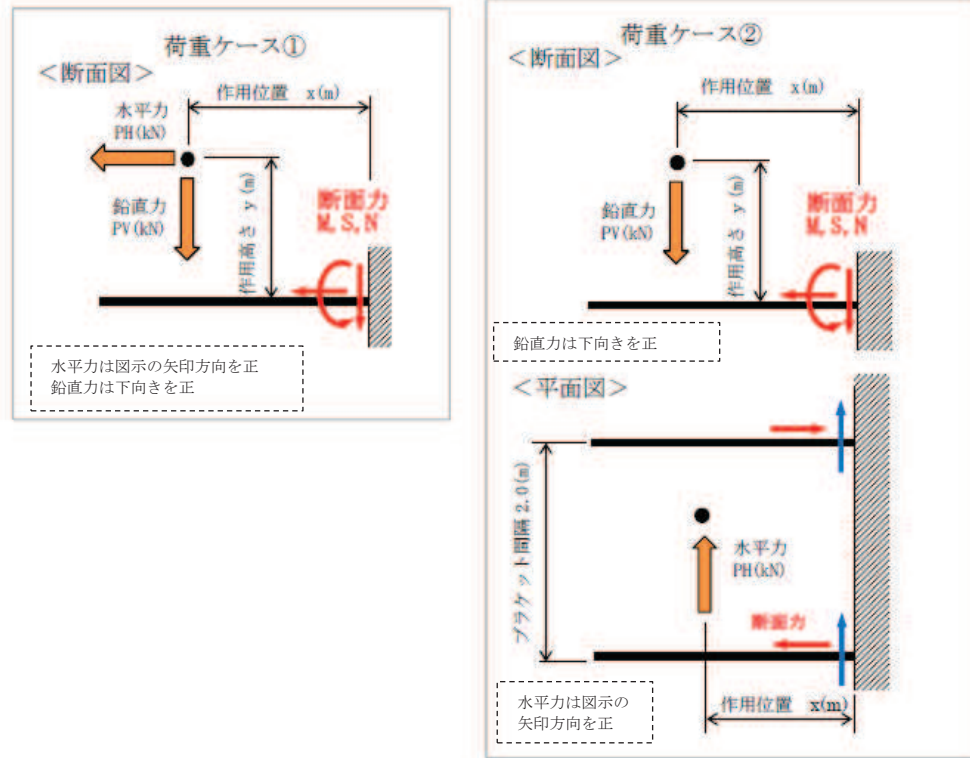


図 5-13 検討ケース

表 5-17 組合せ係数法による荷重ケース

荷重ケース		自重	積載荷重 (積雪荷重等)	地震荷重	
				水平	鉛直
組合せ (1)	荷重ケース① (汀線直角方向)	○	9.8kN/m ²	1.0kh	0.4kv
	荷重ケース② (汀線方向)	○	9.8kN/m ²	1.0kh	0.4kv
組合せ (2)	荷重ケース① (汀線直角方向)	○	9.8kN/m ²	0.4kh	1.0kv
	荷重ケース② (汀線方向)	○	9.8kN/m ²	0.4kh	1.0kv

a. 荷重ケース①（汀線直角方向）の断面力の算定方法

荷重ケース①の断面力算定の概要図を図 5-14 に示す。

断面力が最大となる基部の評価を実施するため、鋼製ブラケットの図心位置を荷重作用点とした片持ち梁としてモデル化する。

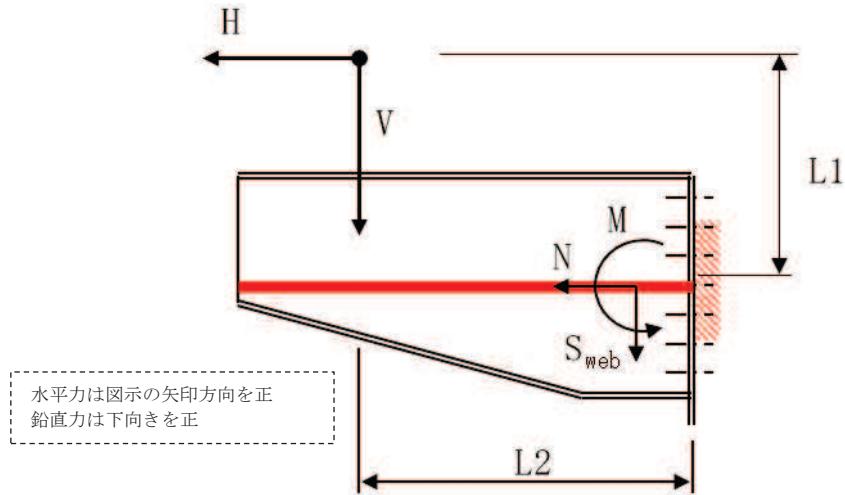


図 5-14 断面力算定概要図（荷重ケース①）

(a) ブラケット基部に発生する最大せん断応力度 τ

$$\tau_{web} = S_{web} / A_{web}$$

τ_{web} : ブラケット基部に発生する最大せん断応力度 (kN/mm²)

S_{web} : ブラケット基部に作用する最大せん断力 (kN)

A_{web} : ブラケット基部のせん断断面積 (mm²)

(b) ブラケット基部に発生する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = N / A + M / Z$$

N : ブラケット基部に作用する最大軸力 (kN)

A : ブラケット基部の軸断面積 (mm²)

M : ブラケット基部に作用する曲げモーメント (kN・m)

Z : ブラケット基部の断面係数 (mm³)

ここで, $M = H \cdot L1 + V \cdot L2$

H : 水平荷重 (kN)

$L1$: 作用位置までの距離 (m)

V : 鉛直荷重 (kN)

$L2$: 作用位置までの距離 (m)

b. 荷重ケース②（汀線方向）の断面力の算定方法

荷重ケース②の断面力の概要図を図 5-15 に示す。

断面力が最大となる基部の評価を実施するため、鋼製ブラケットの図心位置を荷重作用点とした片持ち梁としてモデル化する。

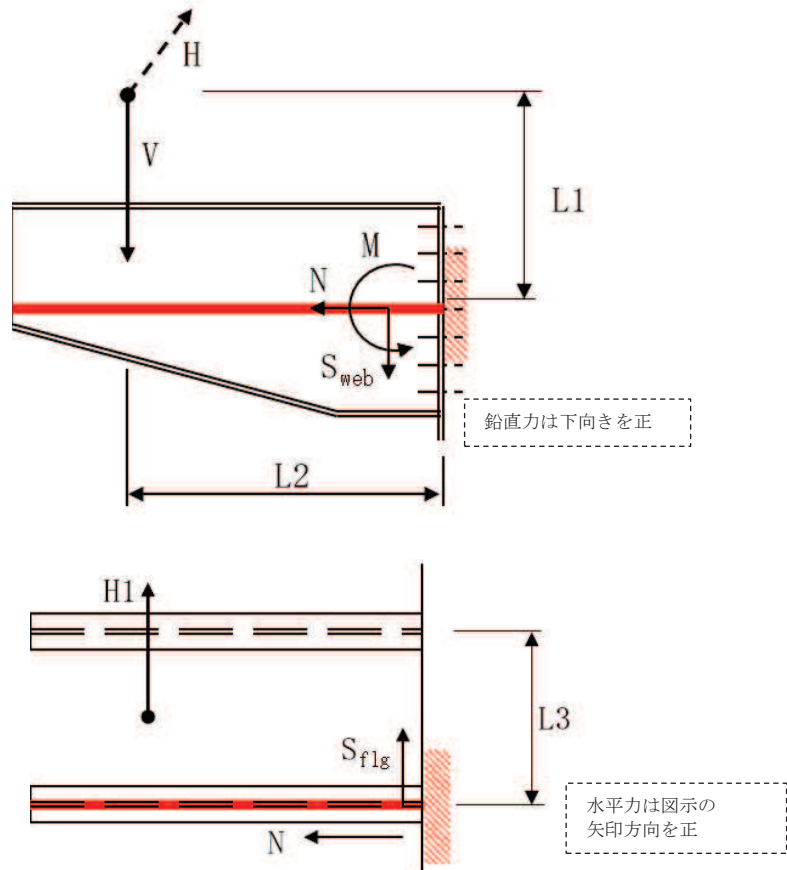


図 5-15 断面力算定概要図（荷重ケース②）

(a) ブラケット基部に発生する鉛直方向最大せん断応力度 τ_{web}

$$\tau_{web} = S_{web} / A_{web}$$

τ_{web} : ブラケット基部に発生する最大せん断応力度 (N/mm²)

S_{web} : ブラケット基部に作用する最大せん断力 (kN)

A_{web} : ブラケット基部のせん断断面積 (mm²)

(b) ブラケット基部に発生する水平方向最大せん断応力度 τ_{flg}

$$\tau_{flg} = S_{flg} / A_{flg}$$

τ_{flg} : ブラケット基部に発生する最大せん断応力度 (N/mm²)

S_{flg} : ブラケット基部に作用する最大せん断力 (kN)

A_{flg} : ブラケット基部のせん断断面積 (mm²)

(c) ブラケット基部に発生する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = N/A + M/Z$$

N : ブラケット基部に作用する最大軸力 (N/mm)

A : ブラケット基部の軸断面積 (mm²)

M : ブラケット基部に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : ブラケット基部の断面係数 (mm³)

ここで, $N = 2 \cdot H \cdot L2 / L3$

$$M = V \cdot L2$$

H : 水平荷重 (kN)

L2 : 作用位置までの距離 (m)

L3 : ブラケット間隔 (m)

V : 鉛直荷重 (kN)

(2) アンカーボルト

アンカーボルトは「日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説」に準じて照査を行う。

鋼製ブラケットの耐震評価において得られる曲げモーメント、軸力（引張力）及びせん断力によりアンカーボルト1本当たりに作用する引張力及びせん断力を算出し、許容限界以下であることを確認する。なお、軸力の照査においては曲げモーメントによって生じる軸力を考慮するものとする。

アンカーボルトの概要図を図5-16に示す。

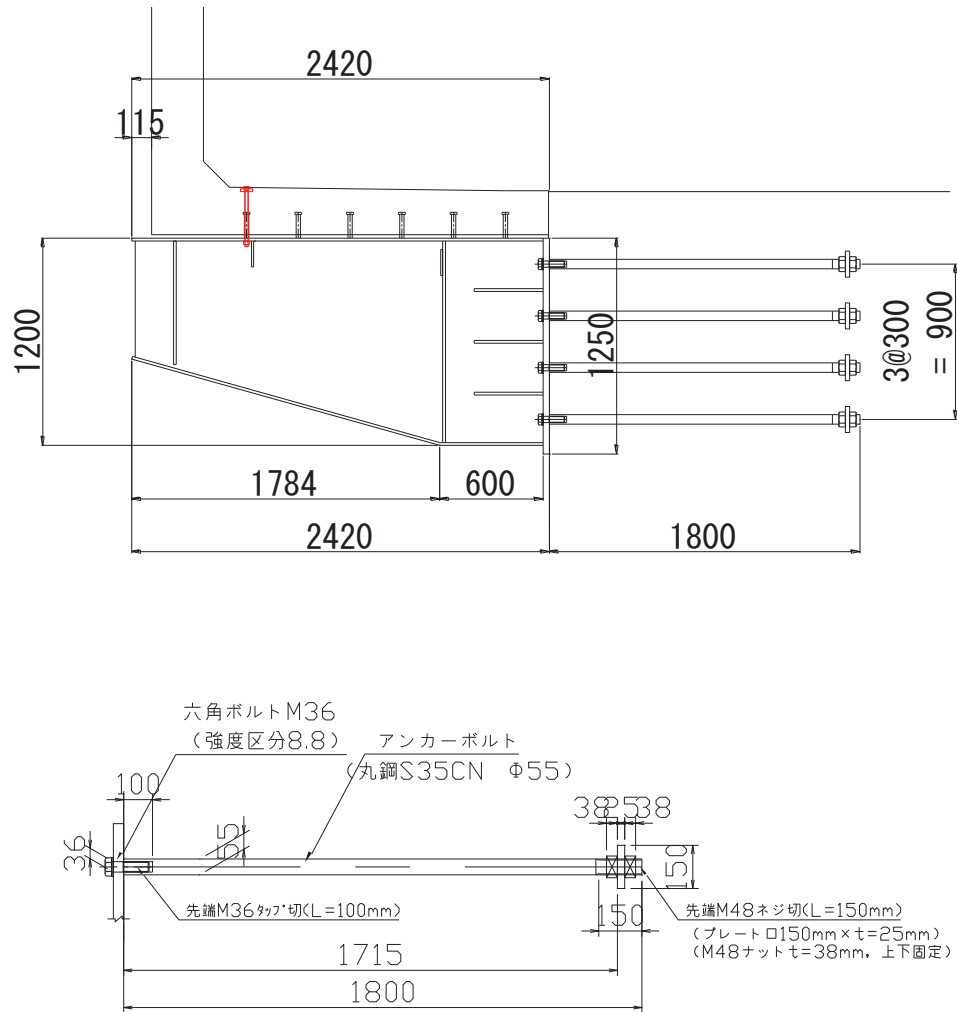


図5-16 アンカーボルト概要図

a. 荷重ケース①（汀線直角方向）

(a) アンカーボルトに作用するせん断力 S_a

$$S_a = S / n$$

S_a : アンカーボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (kN)

S : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

(b) アンカーボルトに作用する引張力 P

$$P = N / n + P_3$$

P : 固定ボルト 1 本あたりに作用する引張力 (kN)

N : ブラケット基部に作用する最大軸力 (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

P_3 : 曲げモーメントによって生じるアンカー軸力 (kN)

b. 荷重ケース②（汀線方向）

(a) アンカーボルトに作用するせん断力 S_a

$$\text{ここで, } S_a = \sqrt{S_{\text{web}}^2 + S_{\text{flg}}^2} / n$$

S_{web} : 鉛直方向のせん断力 (kN)

S_{flg} : 水平方向のせん断力 (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

(b) アンカーボルトに作用する引張力 P

$$P = N / n + P_3$$

P : 固定ボルト 1 本あたりに作用する引張力 (kN)

N : ブラケット基部に作用する最大軸力 (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

P_3 : 曲げモーメントによって生じるアンカー軸力 (kN)

(3) スタッドジベル

図5-17に示すとおり、鋼製ブラケットとL型擁壁はスタッドジベル（12本）と補強ボルト（2本）により一体化を図っている。スタッドジベルのせん断に対する評価は「日本道路協会 平成24年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に、引抜きに対する評価は「日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説」に準じて設計を行う。

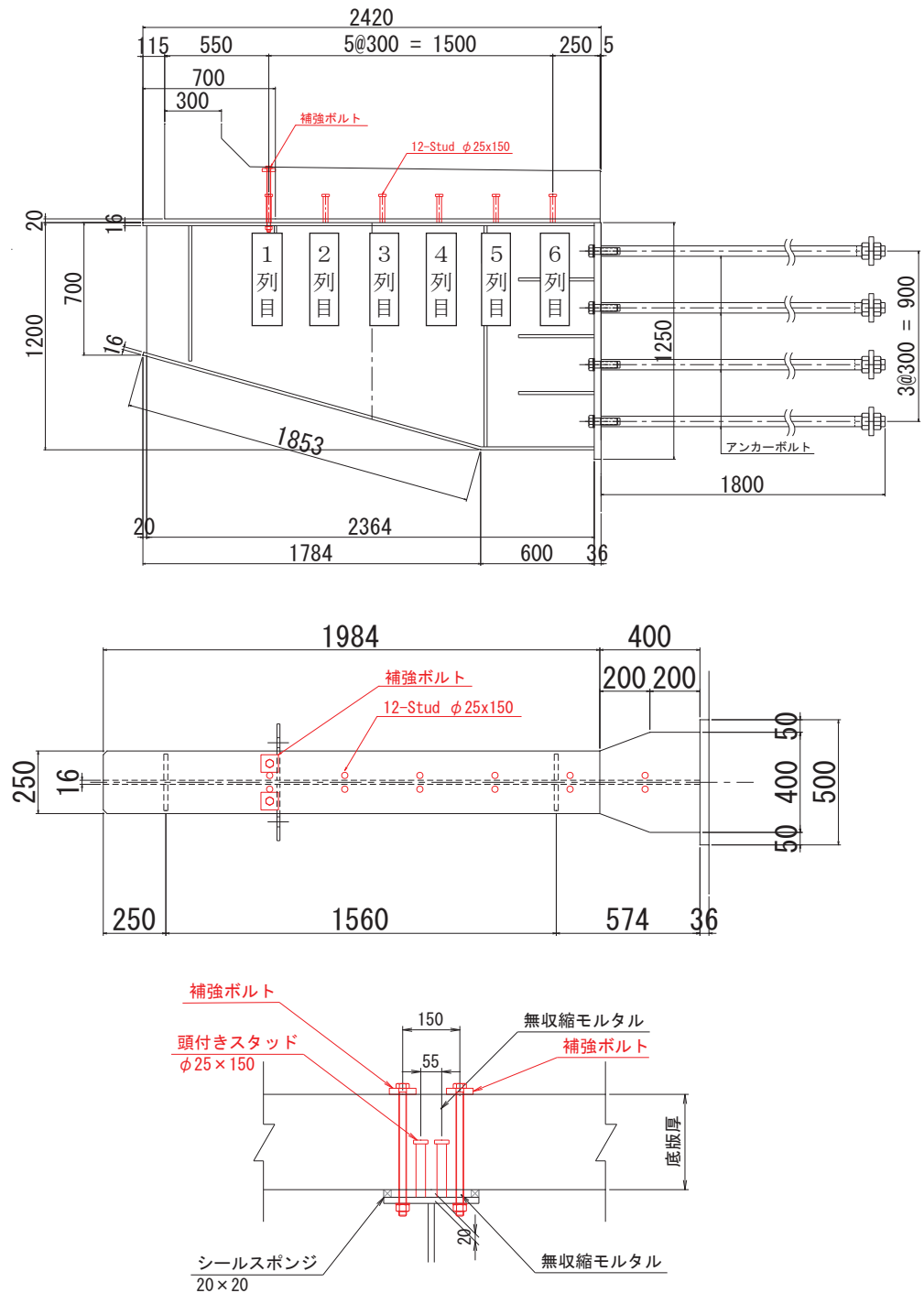


図 5-17 スタッドジベル及び補強ボルト概要図

a. せん断に対する評価方法

せん断に対する評価については「(1) 鋼製ブラケット」に示す評価において算出される各ケースの地震時水平力を用いてスタッドジベル1本あたりに作用する最大せん断力を算出し、許容限界以下であることを確認する。

スタッドジベル1本あたりに作用する最大せん断力 S_a

$$S_a = H / n$$

S_a : スタッドジベル1本あたりに作用する最大せん断力 (kN)

H : ブラケットに作用する地震時水平力 (kN)

n : スタッドジベルの本数 (本)

b. 引抜きに対する評価方法

引抜きに対する照査については、「5.4.2 L型擁壁の評価方法」におけるフレーム解析で得られるばね反力を用いてスタッドジベル1箇所当たりの最大引張力を算出し、スタッドジベルの降伏及びL型擁壁底版のコーン状破壊に対して許容限界以下であることを確認する。

なお、スタッドジベルは1箇所当たり2本設置されることから、評価においては1箇所当たりで評価を行う。

$$P \leq P_a$$

P : スタッドジベル1箇所当たりに作用する引張力 (kN)

P_a : スタッドジベル1箇所当たりの許容引張力 (kN)

(3) 補強ボルト

図 5-17 に示すとおり、補強ボルトは最大引張力が作用するスタッドジベル（1列目（陸側））を補強する目的で設置する。補強ボルトの引抜きに対する照査については、「5.4.2 L型擁壁の評価方法」におけるフレーム解析で得られるばね反力を用いて最大引張力を算出し、補強ボルトの許容限界以下であることを確認する。

なお、補強ボルトの設置箇所の引抜きに対する照査については、スタッドジベルは考慮せず補強ボルトのみで評価を行う。また、補強ボルトは1箇所当たり2本設置されることから、評価においては1本あたりで評価を行う。

$$P / 2 \leq P_a$$

P : 補強ボルト1箇所当たり（補強ボルト2本あたり）に作用する引張力 (kN)

P_a : 補強ボルト1本当たりの許容引張力 (kN)

5.5.2 L型擁壁の評価方法

L型擁壁の設計はL型擁壁1基(4m)が鋼製ブラケット2箇所により固定されている構造を踏まえ、汀線直角方向及び汀線方向のフレーム解析により地震時の断面力を算出する。図5-18に汀線直角方向のモデルを、図5-19に汀線方向のモデルを示す。

汀線方向モデルについては、L型擁壁が2基の鋼製ブラケットにより固定されていることから2点を支持点としたモデルにより解析を行う。

フレーム解析には解析コード「FRAME マネージャ Ver6.0.2」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

汀線直角方向の評価に用いる設計震度はL型擁壁側壁の地震動の増幅を考慮するため、「5.2 設計用地震力」に示す設計震度を用いる。汀線方向についてはL型擁壁底版の照査であり、底版は剛構造である鋼製ブラケットと一体構造であることを踏まえ、鋼製ブラケットと同じ設計震度とする(表5-18)。

地震方向は水平、鉛直とも2方向を考慮し、荷重の組合せは組合せ係数法(1.0:0.4)により評価する。検討ケースを表5-19に示す。

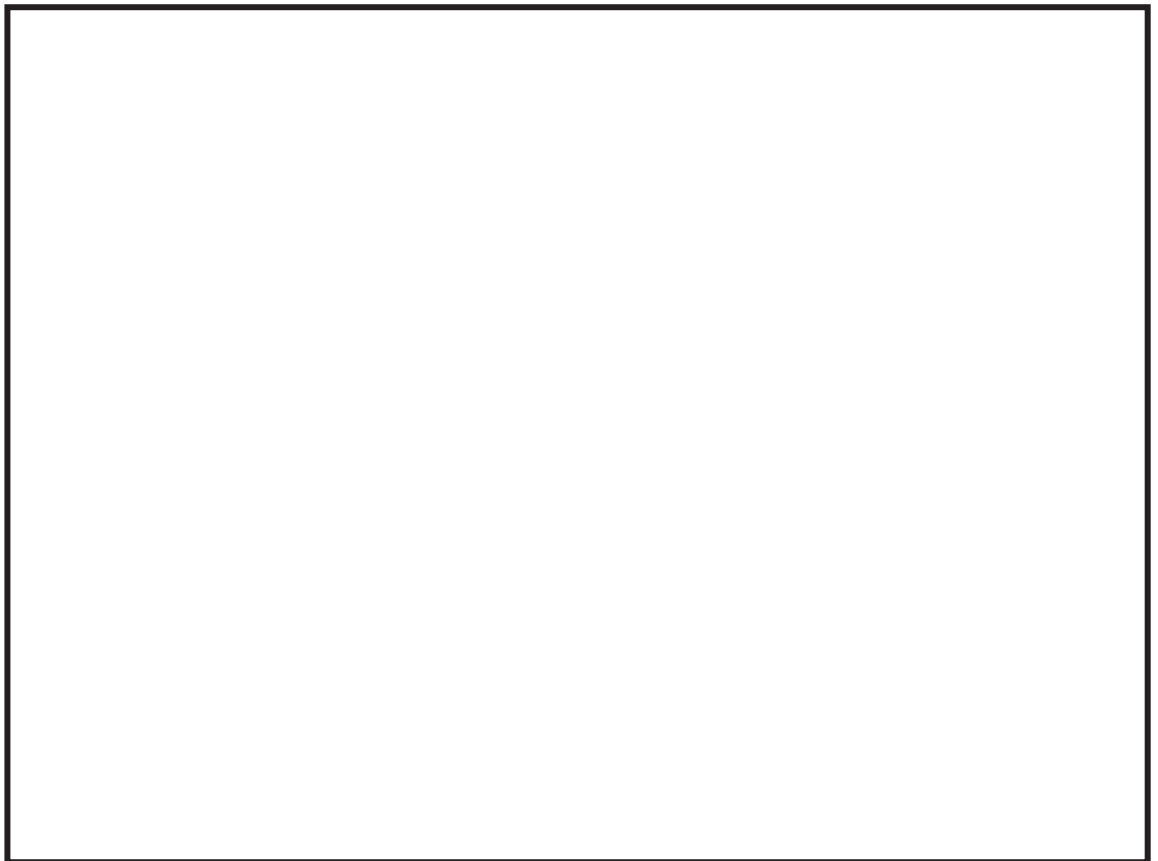


図5-18 汀線直角方向のモデル

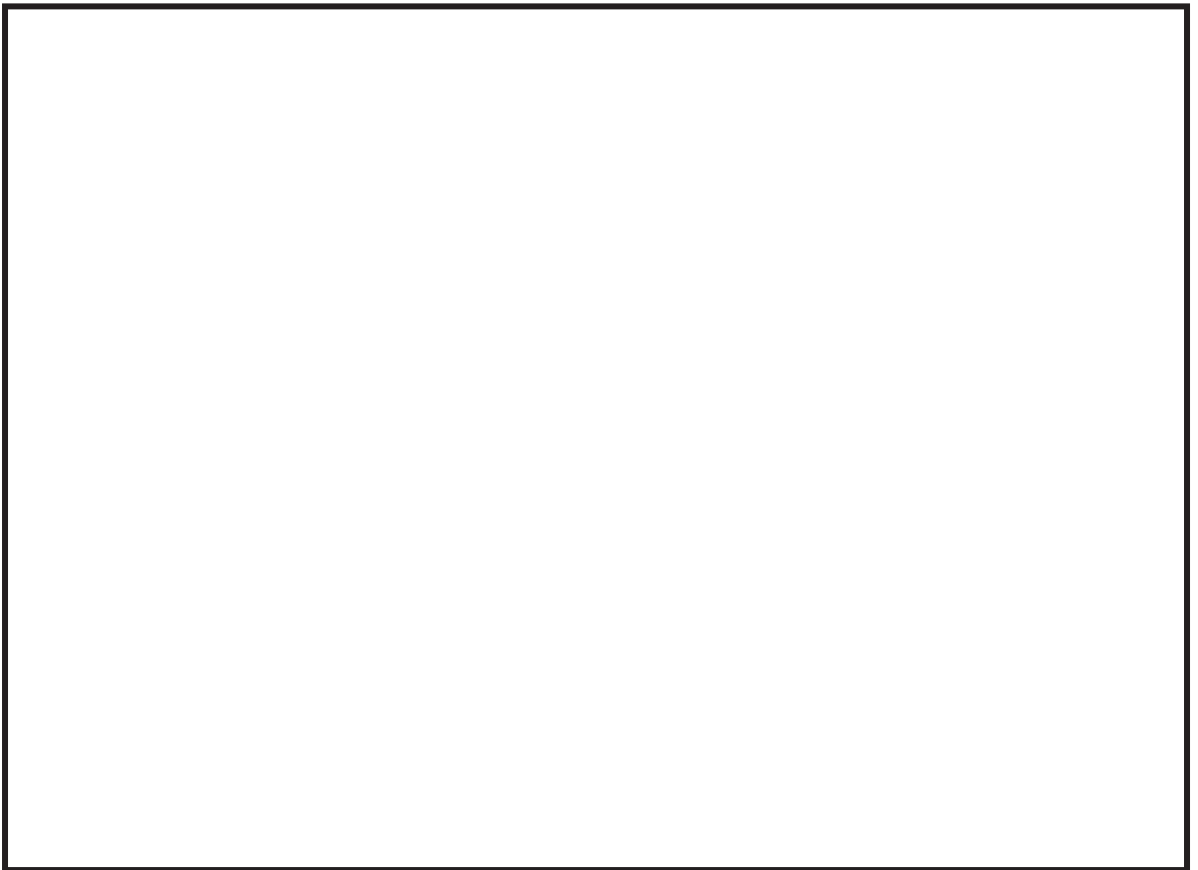


図 5-19 汀線方向のモデル

表 5-18 設計震度

汀線直角方向の設計震度	水平 3.2, 鉛直 2.0
汀線方向の設計震度	水平 2.0, 鉛直 2.0

表 5-19 検討ケース (汀線直角方向, 汀線方向共通)

ケースA	水平 1.0←+鉛直 0.4↑
ケースB	水平 1.0←+鉛直 0.4↓
ケースC	水平 1.0→+鉛直 0.4↑
ケースD	水平 1.0→+鉛直 0.4↓
ケースE	水平 0.4←+鉛直 1.0↑
ケースF	水平 0.4←+鉛直 1.0↓
ケースG	水平 0.4→+鉛直 1.0↑
ケースH	水平 0.4→+鉛直 1.0↓

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(1) 曲げ・軸力に対する評価方法

フレーム解析で得られた断面力からコンクリートの曲げ圧縮応力及び鉄筋の引張応力を算出し、許容限界以下であることを確認する。応力度算定は、解析コード「RC 断面計算 Ver8.0.7」を使用する。

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

a. コンクリート

$$\sigma_c \leq \sigma_{c a}$$

ここで、 σ_c : コンクリートの発生曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c a}$: コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

b. 鉄筋

$$\sigma_s \leq \sigma_{s a}$$

ここで、 σ_s : 鉄筋の発生曲げ引張応力度 (N/mm²)

$\sigma_{s a}$: 鉄筋の許容曲げ引張応力度 (N/mm²)

(3) せん断力に対する評価方法

せん断応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{b_w \cdot z} \quad \left(z = \frac{d}{1.15} \right)$$

$$\tau \leq \tau_{a 1}$$

ここで、 $\tau_{a 1}$: 許容せん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (N)

b_w : 単位幅 (mm)

d : 有効高さ (mm)

z : 圧縮合力の作用点から引張鉄筋断面の図心までの距離 (mm)

5.5.3 防護柵の評価方法

防護柵の設計は主柱の基部を固定端とした片持ち梁としてモデル化し，地震時慣性力と風荷重による断面力を算出し，断面照査を行う。

(1) 地震時慣性力による主柱基部の断面力の算出

自重及び地震時慣性力を等分布荷重として作用させる。慣性力による荷重の概念図を図5-20に示す。

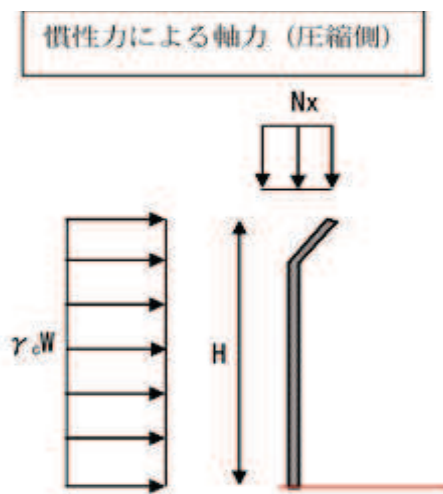


図 5-20 慣性力による荷重の概念図

a. 慣性力による主柱基部曲げモーメント

$$M_x = \frac{k_h \gamma_c W H^2}{2}$$

M_x : 主柱基部曲げモーメント (kN・m)

k_h : 設計水平震度

γ_c : 自重 (kN/m)

W : 負担幅 (m)

H : 主柱高さ (m)

b. 慣性力による主柱基部軸力

$$N_x = k_v \gamma_c W H$$

N_x : 主柱基部軸力 (kN)

k_v : 設計鉛直震度

慣性力による主柱基部せん断力

$$S_x = k_h \gamma_c W H$$

S_x : 主柱基部せん断力 (kN)

(2) 風荷重による支柱基部の断面力

風荷重による支柱基部の断面力を算出するための風荷重の算出方法を以下に示す。係数等は「日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説」に基づき設定する。

$$P_k = C_f \times q \times A_k$$

P_k : 風荷重 (kN)

C_f : 風力係数

q : 速度圧 (kN/m²)

A_k : 受風面積 (m²)

$$q = 0.6E \cdot V_0^2$$

$$E = E_r^2 \cdot G_f$$

$$E_r = 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (\text{H が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

$$E_r = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (\text{H が } Z_b \text{ を超える場合})$$

ここで、 E : 速度圧の高さ方向の分布を示す係数

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を示す係数 (表 5-20)

V_0 : 基準風速 (m/s)

G_f : ガスト影響係数

H : 建築物の高さと軒の高さとの平均 (m)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じた係数

表 5-20 平均風速の高さ方向の分布を示す係数 E_r
(建設省告示第 1 4 5 4 号)

HがZb以下の場合		$E_r=1.7(Z_b/Z_G)^\alpha$		
HがZbを超える場合		$E_r=1.7(H/Z_G)^\alpha$		
この表において、 E_r 、 Z_b 、 Z_G 、 α 及びHは、それぞれ次の数値を表すものとする。				
E_r 平均風速の高さ方向の分布を表す係数				
Z_b 、 Z_G 及び α 地表面粗度区分に応じて次の表に掲げる数値				
	地表面粗度区分	Z_b (単位 m)	Z_G (単位 m)	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域	5	250	0.10
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分 I の区域以外の区域(建築物の高さが13m以下の場合を除く。)又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分IVの区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線(対岸までの距離が1,500m以上のものに限る。以下同じ。)までの距離が500m以内の地域(ただし、建築物の高さが13m以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が200mを超え、かつ、建築物の高さが31m以下である場合を除く。)	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又はIV以外の区域	5	450	0.20
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27
H 建築物の高さと軒の高さとの平均(単位 m)				

防護柵は、菱形金網とそれ以外の部材でそれぞれの風荷重を求める。両者に共通して使用する数値を表 5-21 に示す。また、充実率と風力係数の関係を表 5-22 に示す。

表 5-21 防護柵の風荷重算出に用いる値

設計基準風速	V_0	30.0	m/s
ガスト影響係数	G_f	1.0 *	-
建築物の高さ	H		m
地表面の粗度区分による係数	α	0.2	-
地表面の粗度区分による係数	Z_b	5	m
地表面の粗度区分による係数	Z_G	450	m

注記*：地震と風荷重の継続時間がともに短く、同時に発生する確率が低いことを踏まえ 1.0 とする

表 5-22 地上に建つフェンスの風力係数 C_f *

充実率 ϕ	風力係数 C_f
0.0	1.2
0.2	1.5
0.6	1.7
≥ 0.9	1.2

注記*：「日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説」参照

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

a. 菱形金網に作用する風荷重 P_{k1}

菱形金網の充実率を表 5-23 に示す。表 5-22 より風力係数は 1.38 と求めることができる。

表 5-23 菱形金網の充実率

--	--

$$H \geq Z_b$$

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$E_r = 1.7 \times (H/Z_G)^\alpha$$

E_r	
-------	--

E : 速度圧の高さ方向の分布を表す係数

$$E = E_r^2 \times G_f$$

E	
-----	--

q : 速度圧

$$q = 0.6 \times E \times V_0^2$$

q		kN/m^2
-----	--	-----------------

C_f : 風力係数 (菱形金物)

C_f	1.38
-------	------

P_{k1} : 風荷重

$$P_{k1} = C_f \times q$$

P_{k1}		kN/m^2
----------	--	-----------------

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

b. 菱形金網以外に作用する風荷重 P_{k2}

菱形金網以外は充実率 1.0 と考えることができるため、表 5-22 より風力係数は 1.2 とする。

$$H \geq Z_b$$

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$E_r = 1.7 \times (H/Z_G)^\alpha$$

E_r	
-------	--

E : 速度圧の高さ方向の分布を表す係数

$$E = E_r^2 \times G_f$$

E	
-----	--

q : 速度圧

$$q = 0.6 \times E \times V_0^2$$

q		kN/m ²
-----	--	-------------------

C_f : 風力係数 (菱形金物以外)

C_f	1.20
-------	------

P_{k2} : 風荷重

$$P_{k2} = C_f \times q$$

P_{k2}		kN/m ²
----------	--	-------------------

c. 風荷重による支柱基部の断面力の算定

菱形金網に作用する風荷重 P_{k1} ，菱形金網以外に作用する風荷重 P_{k2} を用いて支柱基部の曲げモーメントとせん断力を算出する。風荷重の载荷概要図を図 5-21 に示す。

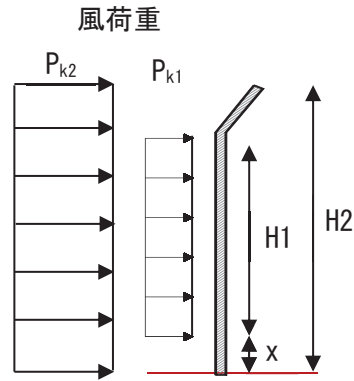


図 5-21 風荷重の载荷概要図

基部曲げモーメント

$$M_p = P_{k1} \cdot \phi \cdot A1 \cdot \left(x + \frac{H1}{2} \right) + P_{k2} \cdot A2 \cdot \frac{H2}{2}$$

基部せん断力

$$S_p = P_{k1} \cdot \phi \cdot A1 + P_{k2} \cdot A2$$

ここで， P_{k1} ：金網風荷重 (kN/mm²)

ϕ ：充実率

$A1$ ：金網負担面積 (mm²)

x ：L型擁壁の天端から菱形金網の下端までの距離 (mm)

$H1$ ：金網高さ (mm)

P_{k2} ：金網以外の風荷重 (kN/mm²)

$A2$ ：金網以外の負担面積 (mm²)

$H2$ ：支柱高さ (mm)

(3) 評価方法

防護柵の照査は曲げモーメント及び軸力に対する評価については「日本道路協会 平成24年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編」に基づき塑性率を算出し照査を行う。せん断力に対する評価については「基本建築基準法関係法令集 建築資料研究社 2006年版」及び「日本建築学会 2019年 鋼構造許容応力度設計規準」に基づく許容せん断応力度を許容限界とし、算出したせん断力が許容限界を超えないことを確認する。

a. 曲げモーメント及び軸力に対する評価

$$\text{塑性率} = \frac{M_1}{M_p} \leq \text{許容塑性率}$$

$$M_p = M_{p0} \cdot \cos\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{2}\right)$$

$$\alpha = \frac{N}{N0}$$

$$N0 = \sigma_y \cdot A / 1000$$

$$M_{p0} = Z_p \cdot \sigma_y$$

$$Z_p = \frac{4}{3} \cdot r^3 \left\{ 1 - \left(\frac{1-t}{r}\right)^3 \right\}$$

ここで、 M_1 : 防護柵支柱基部の曲げモーメント (kN・m)

M_p : 全塑性モーメント (kN・m)

M_{p0} : 軸力0の場合の全塑性モーメント (kN・m)

α : 軸力比

N : 作用軸力 (kN)

$N0$: モーメント0の場合の降伏軸力 (kN)

σ_y : 降伏点 (N/mm²)

Z_p : 塑性断面係数 (mm³)

r : 鋼管外径 (mm)

t : 板厚 (mm)

A : 断面積 (mm²)

b. せん断力に対する評価

$$\tau_1 = \frac{V_1}{A'_1}$$

$$\tau_1 \leq \tau_{1a}$$

ここで、 τ_1 : 防護柵支柱の発生せん断応力度 (N/mm²)

V_1 : 防護柵支柱のせん断力 (N)

A'_1 : 防護柵支柱のせん断抵抗断面積 (mm²) (= $A_1/2$)

τ_{1a} : 防護柵支柱の短期許容せん断応力度 (N/mm²)

5.5.4 点検通路の評価方法

点検通路は図 5-22 に示すとおり、歩廊支持材、歩廊桁、床材（グレーチング）及び手摺で構成されており、L型擁壁の側部に歩廊支持材（H-150×150）を溶接したベースプレートを用いて固定している。また、手摺は歩廊桁にボルト固定されている。

点検通路の設計は、構造及び荷重の伝達を考慮し、歩廊支持材について、背面補強工側面を固定端とした片持ち梁モデルに地震時荷重を載荷し断面力照査を行う。また、歩廊支持材を固定しているアンカーボルトについて引張応力度を算出し照査を行う。

手摺支柱は歩廊桁を固定端とした片持ち梁モデルに地震時荷重及び風荷重を載荷し算出した断面力により照査を行う。また、手摺支柱を固定している固定ボルトについて引張応力度を算出し照査を行う。

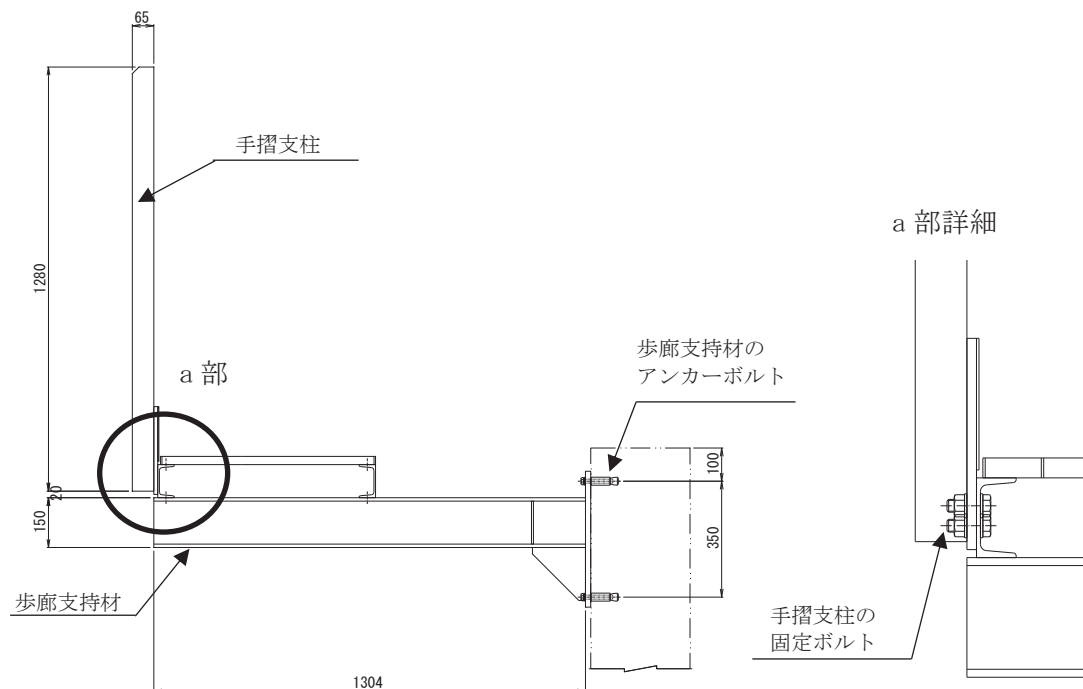


図 5-22 点検通路概要図

(1) 歩廊支持材の断面力の算出

a. 引張応力度 (σ) の算出

$$\sigma = M / Z_x$$

σ : 引張応力度 (N/mm²)

M : 歩廊支持材に作用するモーメント (N・mm)

Z_x : 歩廊支持材の断面係数 (mm³)

b. せん断応力度 (τ) の算出

$$\tau = S / A_w$$

τ : せん断応力度 (τ) (N/mm²)

S : 歩廊支持材に作用するせん断力 (N)

A_w : ウェブの断面積 (mm²)

(2) 手摺支柱の断面力の算出

a. 地震時の断面力

(a) 慣性力による基部曲げモーメント

$$M_x = \Sigma (k_h \cdot P_n \cdot W \cdot x_n)$$

M_x : 慣性力による曲げモーメント (kN・m)

k_h : 設計水平震度

P_n : 各部材の自重 (kN/m)

W : 負担幅 (m)

x_n : 基部から各部材の重心までの距離 (m)

(b) 慣性力による基部軸力

$$N_x = \Sigma (k_v \cdot P_n \cdot W)$$

N_x : 鉛直方向慣性力 (kN)

k_v : 設計鉛直震度

(c) 慣性力による基部せん断力

$$S_x = \Sigma (k_h \cdot P_n \cdot W)$$

S_x : 慣性力によるせん断力 (kN)

b. 風荷重による断面力

風荷重による手摺支柱の断面力を算出するための風荷重の算出方法を以下に示す。係数等は「日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説」に基づき設定する。

$$P_k = C_f \times q \times A_k$$

P_k : 風荷重 (kN)

C_f : 風力係数

q : 速度圧 (kN/m²)

A_k : 受風面積 (m²)

$$q = 0.6 \times E \cdot V_0^2$$

$$E = E_r^2 \cdot G_f$$

$$E_r = 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

$$E_r = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

ここで、 E : 速度圧の高さ方向の分布を示す係数

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を示す係数 (表 5-24)

V_0 : 基準風速 (m/s)

G_f : ガスト影響係数

H : 建築物の高さと軒の高さとの平均 (m)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じた係数

表 5-24 平均風速の高さ方向の分布を示す係数 E_r
(建設省告示第 1 4 5 4 号)

HがZb以下の場合		$E_r=1.7(Z_b/Z_G)^\alpha$		
HがZbを超える場合		$E_r=1.7(H/Z_G)^\alpha$		
この表において、 E_r 、 Z_b 、 Z_G 、 α 及びHは、それぞれ次の数値を表すものとする。				
E_r 平均風速の高さ方向の分布を表す係数				
Z_b 、 Z_G 及び α 地表面粗度区分に応じて次の表に掲げる数値				
地表面粗度区分		Z_b (単位 m)	Z_G (単位 m)	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域	5	250	0.10
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分 I の区域以外の区域(建築物の高さが13m以下の場合を除く。)又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分IVの区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線(対岸までの距離が1,500m以上のものに限る。以下同じ。)までの距離が500m以内の地域(ただし、建築物の高さが13m以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が200mを超え、かつ、建築物の高さが31m以下である場合を除く。)	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又はIV以外の区域	5	450	0.20
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27
H 建築物の高さと軒の高さとの平均(単位 m)				

手摺支柱の風荷重算出に用いる値を表 5-25 に示す。

表 5-25 手摺支柱の風荷重算出に用いる値

設計基準風速	V_0	30.0	m/s
ガスト影響係数	G_f	1.0 *	-
建築物の高さ	H	8.320	m
地表面の粗度区分 による係数	α	0.2	-
地表面の粗度区分 による係数	Z_b	5	m
地表面の粗度区分 による係数	Z_G	450	m
風力係数	C_f	1.20	-

注記*：地震と風荷重の継続時間がともに短く、同時に発生する確率が低いことを踏まえ 1.0 とする

(a) 手摺支柱に作用する風荷重 P_k

$$H \geq Z_b$$

E_r ：平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$E_r = 1.7 \times (H/Z_G)^\alpha$$

E_r	0.765
-------	-------

E：速度圧の高さ方向の分布を表す係数

$$E = E_r^2 \times G_f$$

E	0.586
---	-------

q：速度圧

$$q = 0.6 \times E \times V_0^2$$

q	0.316	kN/m ²
---	-------	-------------------

P_k ：風荷重

$$P_k = C_f \times q$$

P_k	0.38	kN/m ²
-------	------	-------------------

(b) 風荷重による手摺支柱基部の断面の算定

風荷重を用いて手摺支柱基部の曲げモーメントとせん断力を算出する。手摺支柱荷重の概要図を図 5-23 に示す。

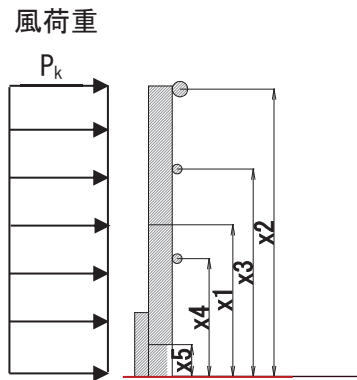


図 5-23 手摺支柱荷重 概要図

風荷重による基部モーメント

$$M_p = P_k \cdot (x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2 + x_3 \cdot A_3 + x_4 \cdot A_4 + x_5 \cdot A_5)$$

風荷重による基部せん断力

$$S_p = P_k \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5)$$

ここで, P_k : 風荷重 (kN/mm²)

A_n : 各部材の受風面積 (m²)

x_n : L型擁壁天端から各部材の中心までの距離 (mm)

(3) 評価方法

手摺の照査は許容応力度法により行い、照査は曲げ応力度照査とせん断応力度照査を実施する。

a. 曲げ応力度照査

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{Z_2} + \frac{N_2}{A_2}$$

$$\sigma_2 \leq \sigma_{2a}$$

ここで、 σ_2 :手摺支柱の発生曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

M_2 :手摺支柱の曲げモーメント (N・m)

Z_2 :手摺支柱の断面係数 (mm³)

N_2 :手摺支柱の軸力 (N)

A_2 :手摺支柱の断面積 (mm²)

σ_{2a} :手摺支柱の短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

b. せん断応力度照査

$$\tau_2 = \frac{V_2}{A'_2}$$

$$\tau_2 \leq \tau_{2a}$$

ここで、 τ_2 :手摺支柱の発生せん断応力度 (N/mm²)

V_2 :手摺支柱のせん断力 (N)

A'_2 :手摺支柱のせん断抵抗断面積 (mm²)

τ_{2a} :手摺支柱の短期許容せん断応力度 (N/mm²)

6. 評価結果

防護設備の各評価部位の発生断面力及び発生荷重は許容限界を下回っており、近傍に設置された上位クラス施設である防潮堤等に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

6.1 鋼製ブラケット

6.1.1 鋼製ブラケット本体

鋼製ブラケット本体の照査結果を表 6-1 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-1 鋼製ブラケット本体

評価部位	評価項目	荷重 ケース	発生 応力度 (a) (N/mm ²)	許容限界 (b) (N/mm ²)	照査値 (a / b)
鋼製ブラケット本体	曲げ + 軸力	荷重ケース① 1.0H+0.4V	85	210	0.41
		荷重ケース② 1.0H+0.4V	51	210	0.25
		荷重ケース① 0.4H+1.0V	82	210	0.40
		荷重ケース② 0.4H+1.0V	69	210	0.33
	せん断力	荷重ケース① 1.0H+0.4V	12	120	0.10
		荷重ケース② 1.0H+0.4V	31* ¹	120	0.26
			12* ²	120	0.10
		荷重ケース① 0.4H+1.0V	20	120	0.17
		荷重ケース② 0.4H+1.0V	13* ¹	120	0.11
			20* ²	120	0.17

注記*1 ウェブのせん断応力

*2 フランジのせん断応力

6.1.2 アンカーボルト

アンカーボルトの照査結果を表 6-2 に示す。

発生荷重が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-2(1) アンカーボルトの照査結果 (引張)

ケース	引張力 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
荷重ケース① 1.0H+0.4V	339.4	475.5	0.72
荷重ケース② 1.0H+0.4V	198.2	475.5	0.42
荷重ケース① 0.4H+1.0V	332.2	475.5	0.70
荷重ケース② 0.4H+1.0V	275.7	475.5	0.58

表 6-2(2) アンカーボルトの照査結果 (せん断)

ケース	せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
荷重ケース① 1.0H+0.4V	27.2	174.4	0.16
荷重ケース② 1.0H+0.4V	40.6	174.4	0.24
荷重ケース① 0.4H+1.0V	45.2	174.4	0.26
荷重ケース② 0.4H+1.0V	46.8	174.4	0.27

6.1.3 スタッドジベル

スタッドジベルの照査結果を表 6-3 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-3(1) スタッドジベルの照査結果 (引張)

ケース	1 箇所あたりに作用する 最大引張力 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
ケース A	59.7	121.1	0.50

表 6-3(2) スタッドジベルの照査結果 (せん断)

ケース	1 本あたりに作用する 最大せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
荷重ケース①	32.2	37.1	0.87

6.1.4 補強ボルト

補強ボルトの照査結果を表 6-4 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-4 補強ボルトの照査結果 (引張)

ケース	1 本あたりに作用する 最大引張力 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
ケース C	93.5	132.3	0.71

6.2 L型擁壁

6.2.1 汀線直角方向の評価結果

汀線直角方向の照査結果を表 6-5 に示す。

発生応力度が構造部材の許容限界以下であることを確認した。

表 6-5(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

評価箇所	ケース	発生断面力		圧縮 耐力 N_{oud} (kN)	曲げ 耐力 M_{ud}^* (kN)	照査値	
		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			圧縮 N/N_{oud}	曲げ M/M_{ud}
側壁	C	190.6	-8.5	13743.8	250.8	0.01	0.76
底版	C	206.4	-152.0	12025.6	213.4	0.02	0.97

注記*：終局状態時の荷重の釣り合いから、照査断面力比 M/N が等しくなる中立軸位置を計算し、曲げ耐力 M_{ud} を算出。

表 6-5(2) L型擁壁汀線直角方向の照査結果（せん断）

評価箇所	ケース	発生応力 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)	照査値
側壁	A, B, C, D	0.33	0.825	0.41
底版	B	0.68	0.825	0.83

6.2.2 汀線方向の評価結果

汀線方向の照査結果を表 6-6 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-6(1) L型擁壁汀線方向の照査結果（曲げ軸力系_コンクリート）

評価箇所	ケース	発生応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
底版（上側）	ケース B	10.7	21.0	0.51
底版（下側）	ケース A, C	6.7	21.0	0.32

表 6-6(2) L型擁壁汀線方向の照査結果（曲げ軸力系_鉄筋）

評価箇所	ケース	発生応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
底版（上側）	ケース B	201	294	0.69
底版（下側）	ケース A, C	152	294	0.52

表 6-6(3) L型擁壁汀線方向の照査結果（せん断）

評価箇所	ケース	発生応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
底版	ケース B, D	0.72	0.825	0.87

6.3 防護柵

防護柵の照査結果を表 6-7 に示す。

防護柵支柱の変形量は、塑性率で評価したときの許容塑性率に対して十分な裕度があり、耐力低下に至らない領域であることを確認した。

また、せん断照査についても許容限界に対して十分な裕度があることを確認した。

表 6-7(1) 防護柵の照査結果 (変形量)

曲げモーメント (M_1) (kN・m)	全塑性モーメント (M_p) (kN・m)	塑性率 (a)	許容塑性率 (b)	照査値 (a / b)
3.84	1.83	2.1	4.0	0.53

表 6-7(2) 防護柵の照査結果 (せん断)

評価項目	発生 応力度 (a) (N/mm ²)	許容限界 (b) (N/mm ²)	照査値 (a / b)
せん断応力度	14.4	135	0.11

6.4 点検通路

6.4.1 歩廊支持材

歩廊支持材の照査結果を表 6-8 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-8 歩廊支持材の照査結果

評価項目	発生 応力度 (a) (N/mm ²)	許容限界 (b) (N/mm ²)	照査値 (a / b)
曲げ応力度	34	210	0.17
せん断応力度	10.9	120	0.10

6.4.2 歩廊支持材のアンカーボルト

歩廊支持材のアンカーボルトの照査結果を表 6-9 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-9 歩廊支持材のアンカーボルトの照査結果

評価項目	発生 応力度 (a) (N/mm ²)	許容限界 (b) (N/mm ²)	照査値 (a / b)
引張応力度	122	210	0.59

6.4.3 手摺支柱

手摺支柱の照査結果を表 6-10 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-10 手摺支柱の照査結果

評価項目	発生 応力度 (a) (N/mm ²)	許容限界 (b) (N/mm ²)	照査値 (a / b)
曲げ応力度	101.6	210	0.48
せん断応力度	3.1	120	0.03

6.4.4 手摺部の固定ボルト

手摺部の固定ボルトの照査結果を表 6-11 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-11 手摺部の固定ボルトの照査結果

評価項目	発生 応力度 (a) (N/mm ²)	許容限界 (b) (N/mm ²)	照査値 (a / b)
引張応力度	30.9	210	0.15

VI-2-12 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

目 次

VI-2-12-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

VI-2-12-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

目 次

1. 概要	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果	1
3.1 建物・構築物	1
3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出	1
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果	16
3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針	18
3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	19
3.1.5 原子炉建屋 3 次元 FEM モデルによる面外応答の耐震壁への影響検討結果	42
3.2 機器・配管系	46
3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備の抽出	46
3.2.2 建物・構築物, 屋外重要土木構造物, 津波防護施設, 浸水防止設備及び 津波監視設備の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	48
3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備の抽出結果	48
3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	48
3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	49
3.2.6 原子炉建屋 3 次元 FEM モデルによる面外応答の機器・配管系への 影響検討結果	50
3.2.7 まとめ	50
3.3 屋外重要土木構造物	73
3.3.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	73
3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	98
3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	109
3.3.4 機器・配管系への影響	124
3.3.5 まとめ	125
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	126
3.4.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	126
3.4.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	152
3.4.4 機器・配管系への影響	169
3.4.5 まとめ	169

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1 地震力の算定法(2) 動的地震力」及び、添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力により、施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 S_s を用いる。基準地震動 S_s は、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」による。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表3-1-1に示す。

(2) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表3-1-2及び3-1-3に示す。

なお、隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、はり）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表3-1-1に示す耐震評価上の構成部位のうち、表3-1-2に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表3-1-4に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位として、排気筒、第1号機排気筒の柱（隅部）、原子炉建屋、制御建屋、第3号機海水熱交換器建屋、緊急用電気品建屋、緊急時対策建屋の基礎（矩形）を抽出した。

なお、排気筒の基礎は、マスコンクリート基礎であり、剛体とみなすことから該当しない。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、使用済燃料プールの壁（一般部）並びに原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋、補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋、第3号機海水熱交換器建屋、緊急用電気品建屋、緊急時対策建屋の壁（地下部）を抽出した。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表3-1-1に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表3-1-3に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表3-1-5に示す。

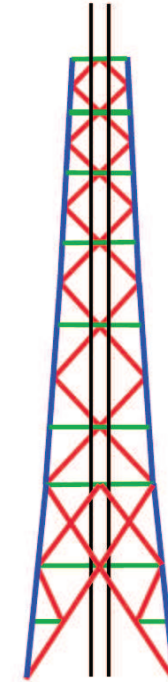
応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁（一般部）を抽出した。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位として、抽出する部位はなかった。

表 3-1-1(1) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (1/3)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		使用済燃料プール		上部鉄骨		
		RC造	RC造			
柱	一般部	○	-	○	○	○
	隅部	○	-	○	○	○
	地下部	○	-	-	○	-
はり	一般部	○	-	○	○	○
	地下部	○	-	-	○	-
	鉄骨トラス	-	-	○	○	-
壁	一般部	○	○	-	○	-
	地下部	○	-	-	○	-
	鉄骨ブレース	-	-	○	-	○
床・屋根	一般部	○	○	-	○	-
基礎	矩形	○	-	-	○	○
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり， -：対象の構造部材なし



〇 : 柱 (一般部) → 筒身
 〇 : 柱 (隅部) → 主柱材
 〇 : はり (一般部) → 水平材
 〇 : 壁 (鉄骨ブレース) → 斜材
 として整理する。

参考：排気筒構成部位概要図

表3-1-1(2) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (2/3)

耐震性評価部位		第3号機海水熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC造	S造, RC造	S造, RC造, SRC造
柱	一般部	○	○	○
	隅部	○	○	-
	地下部	○	○	○
はり	一般部	○	○	○
	地下部	○	○	○
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	○	○	○
	地下部	○	○	○
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	○	○	○
基礎	矩形	○	○	○
	杭基礎	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり， -：対象の構造部材なし

表 3-1-1(3) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (3/3)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第1号機 制御建屋	第1号機 排気筒
		上部鉄骨				
		RC造	S造, SRC造	S造, RC造, SRC造	S造, RC造	S造, RC造
柱	一般部	○	○	○	○	○
	隅部	○	○	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	-
はり	一般部	○	○	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	-
	鉄骨トラス	-	○	-	-	-
壁	一般部	○	-	○	○	-
	地下部	○	-	○	○	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	○
床・屋根	一般部	○	-	○	○	-
基礎	矩形	○	-	○	○	○
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり， -：対象の構造部材なし

表 3-1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

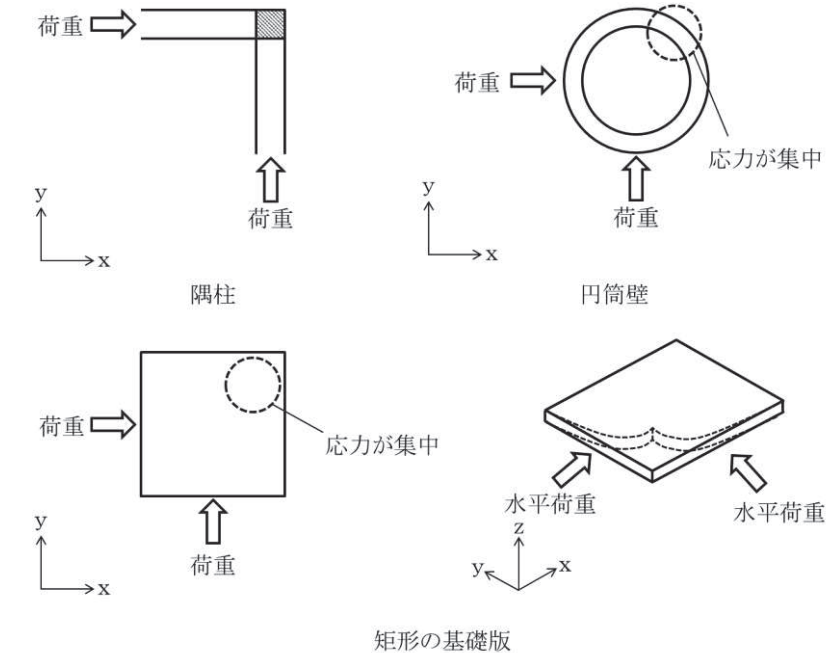
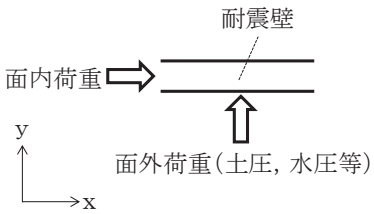
荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中</p>	<p>応力が集中する隅柱等 (例)</p>  <p>隅柱</p> <p>円筒壁</p> <p>矩形の基礎版</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向 の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重(土圧, 水圧等)</p>

表 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>耐震構造部材</p> <p>鉄骨トラス</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物等含む，ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>壁</p> <p>鉄骨架構</p> <p>荷重</p> <p>壁</p> <p>スラブ</p> <p>床・屋根</p> <p>面内荷重</p> <p>柱</p> <p>ブレース</p> <p>ブレース</p>

表 3-1-4(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		RC 造	使用済燃料プール	上部鉄骨		
			RC 造	S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	-	該当なし	該当なし	要①-1
	地下部	該当なし	-	-	該当なし	-
はり	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	-	-	該当なし	-
	鉄骨トラス	-	-	該当なし	該当なし	-
壁	一般部	該当なし	要①-2	-	該当なし	-
	地下部	要①-2	-	-	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	該当なし	-	該当なし
床・屋根	一般部	該当なし	該当なし	-	該当なし	-
基礎	矩形	要①-1	-	-	要①-1	該当なし
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・ 要：評価必要
 - ・ 不要：評価不要
 - ・ ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・ ①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3-1-4(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		第 3 号機海水熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造, SRC 造
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	要①-1	-
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	要①-2	要①-2	要①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	矩形	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	-	-	-

- 凡例
- ・要：評価必要
 - ・不要：評価不要
 - ・①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3-1-4(3) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第 1 号機制御建屋	第 1 号機排気筒
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造			
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	要①-1
	地下部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
	鉄骨トラス	-	該当なし	-	-	-
壁	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
	地下部	要①-2	-	要①-2	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	該当なし
床・屋根	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
基礎	矩形	不要*	-	不要*	不要*	不要*
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・ 要：評価必要
 - ・ 不要：評価不要
 - ・ ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・ ①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注記*：上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋及び第 1 号機排気筒は、衝突の有無の判断が基本となることから、上部躯体を対象に評価しており、評価対象建屋は耐震壁、第 1 号機排気筒は筒身及び鉄塔を主たる評価対象部位としている。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

表 3-1-5(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		RC 造	使用済燃料プール	上部鉄骨		
			RC 造	S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	不要	-	不要	不要	不要
	隅部	不要	-	不要	不要	要①-1
	地下部	不要	-	-	不要	-
はり	一般部	不要	-	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	-	不要	-
	鉄骨トラス	-	-	不要	不要	-
壁	一般部	要②-1	要①-2	-	不要	-
	地下部	要①-2	-	-	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	不要	-	不要
床・屋根	一般部	不要	不要	-	不要	-
基礎	矩形	要①-1	-	-	要①-1	不要
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・ 要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・ 不要：評価不要
 - ・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・ 「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・ 「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 3-1-5(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		第 3 号機海水熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造, SRC 造
柱	一般部	不要	不要	不要
	隅部	不要	要①-1	-
	地下部	不要	不要	不要
はり	一般部	不要	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	不要	不要	不要
	地下部	要①-2	要①-2	要①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	不要	不要	不要
基礎	矩形	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	-	-	-

- 凡例
- ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 3-1-5(3) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第 1 号機 制御建屋	第 1 号機 排気筒
			上部鉄骨			
		RC 造	S 造, SRC 造	RC 造, S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	要①-1
	地下部	不要	-	不要	不要	-
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	不要	不要	-
	鉄骨トラス	-	不要	-	-	-
壁	一般部	不要	-	不要	不要	-
	地下部	要①-2	-	要①-2	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	不要
床・屋根	一般部	不要	-	不要	不要	-
基礎	矩形	不要*	-	不要*	不要*	不要*
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ・ 要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み

・ 不要：評価不要

・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

・ 「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・ 「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記*：上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋及び第 1 号機排気筒は、衝突の有無の判断が基本となることから、上部躯体を対象に評価しており、評価対象建屋は耐震壁、第 1 号機排気筒は筒身及び鉄塔を主たる評価対象部位としている。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

(5) 3次元FEMモデルによる精査方法

上記(4)で抽出した3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した部位について、3次元FEMモデルにより精査を行う。精査方法を表3-1-6に示す。

②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位については、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁に対して3次元FEMモデルによる精査を行う。

また、原子炉建屋の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行う。精査は、地震応答解析により水平2方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行う。

(6) 3次元FEMモデルによる精査結果

3次元FEMモデルによる精査の結果、建物・構築物の有している耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価が必要な部位は抽出されなかった。精査した結果を表3-1-6に示す。

表3-1-6 3次元FEMモデルを用いた精査

耐震評価部位		対象 建物・構築物	3次元的な応答特性	3次元モデルを用いた 精査方法	3次元モデルを用いた精査結果
壁	一般部	原子炉建屋 (燃料取替床レベル)	②-1 (面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい)	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	水平2方向及び鉛直方向地震力による左記の対象の耐震性への影響が想定されないため抽出しない。
耐震評価 部位全般		原子炉建屋	局所的な影響	同上	原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁では、面外方向に応答する傾向が確認されるものの、水平2方向及び鉛直方向地震力による左記の対象の耐震性への影響が想定されないため抽出しない。

3.1.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

- (1) 建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるとして抽出した部位を表3-1-7に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位のうち、排気筒の支柱材及び建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建屋（使用済燃料プール）の壁（一般部）を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

- (2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

排気筒の支柱材については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

原子炉建屋の基礎については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建屋（使用済燃料プール）の壁（一般部）については、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

なお、上記のとおり、建物・構築物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響の観点から機器・配管系への影響は抽出されなかったが、3次元FEMモデルを用いた精査を踏まえて面外加速度の影響の観点から機器・配管系への影響の可能性のある部位として3次元的な応答特性が想定される原子炉建屋（燃料取替床レベル）を抽出した。また、3次元FEMモデルによる地震応答解析において、3次元FEMモデルの応答スペクトルが質点系モデルの応答スペクトルを上回る箇所があることを踏まえて機器・配管系への影響を検討した。

表3-1-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象 建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒</u> ・ 緊急用電気品建屋 ・ 第1号機排気筒 	排気筒の支柱材を代表として評価する。
	基礎	基礎版	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋</u> ・ 制御建屋 ・ 第3号機海水熱交換器建屋 ・ 緊急用電気品建屋 ・ 緊急時対策建屋 	建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	水圧作業部 ・ 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>使用済燃料プール</u> ・ 原子炉建屋 ・ 制御建屋 ・ タービン建屋 ・ 補助ボイラー建屋 ・ 第1号機制御建屋 ・ 第3号機海水熱交換器建屋 ・ 緊急用電気品建屋 ・ 緊急時対策建屋 	上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料プールの壁を評価する。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が，応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物。

3.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価した。評価は従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を用いた。また、影響評価は、水平2方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価、又は、基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0:0.4:0.4) に基づいた評価により実施した。

注記* : Regulatory Guide 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

3.1.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 排気筒の支柱材の評価

排気筒の鉄塔のうち、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である支柱材を対象に評価を行う。

評価に当たっては、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向を同時に入力（以下「3方向同時入力」という。）する時刻歴応答解析を行い、排気筒が有する耐震性に影響しないことを確認する。支柱材（鉄塔脚部含む）の耐震性への影響については、基準地震動 S_s を3方向同時入力した地震応答解析の結果による各断面算定結果（検定値）が、1.0を超えないことにより確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」（以下「排気筒の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。排気筒の概要図を図3-1-1に、解析モデルを図3-1-2に示す。

排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、水平鉛直同時入力において、支柱材に対して最も厳しい評価結果となった $S_s - N 1$ を用いて評価を行う。

また、 $S_s - N 1$ は観測波に基づく地震動のため方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さい。 $S_s - N 1$ が水平2方向評価の地震波に選定されたことから、2番目に照査値が厳しい $S_s - F 1$ についても水平2方向評価を行う。

地震動の入力方法は、排気筒の耐震計算書に基づくものとする。

鋼材の許容応力度及び使用材料の物性値は、排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

3方向同時入力時及び2方向同時入力時における支柱材の評価結果を表3-1-8に、鉄塔脚部の評価結果を表3-1-9に示す。

評価の結果、2方向同時入力時の検定値と比較し、3方向同時入力時の検定値は減少傾向であることを確認した。排気筒の2方向同時入力の評価においては、J E A C 4 6 0 1 -2015に基づき、排気筒に対して斜め方向から加振を行っており、3方向同時入力と同等の評価がなされていることを示す結果となった。

以上より、水平2方向及び鉛直方向地震力に対し、排気筒の支柱材が有する耐震性への影響がないことを確認した。

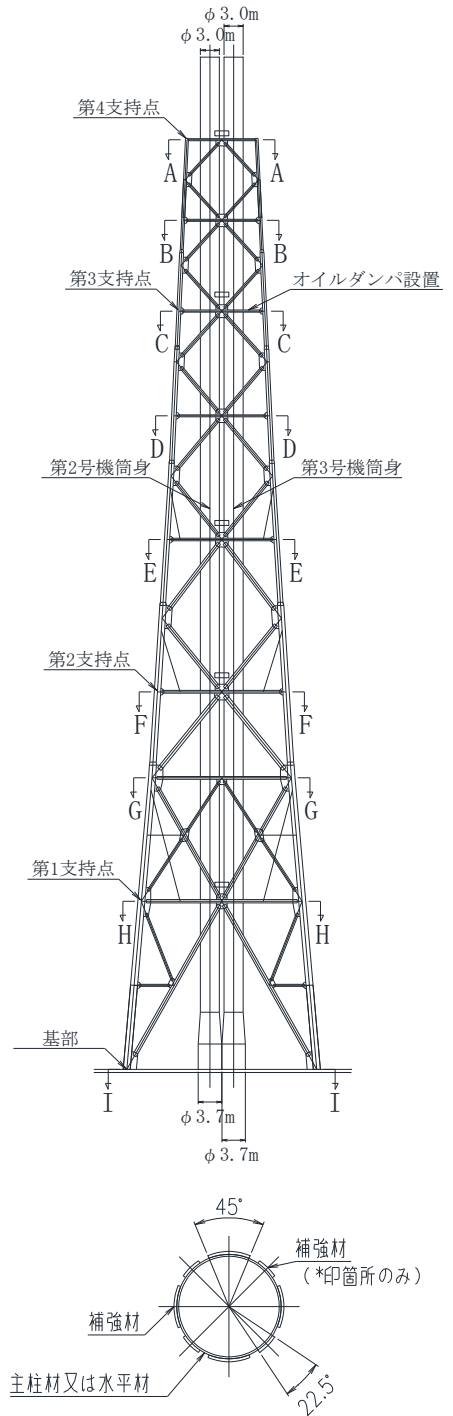
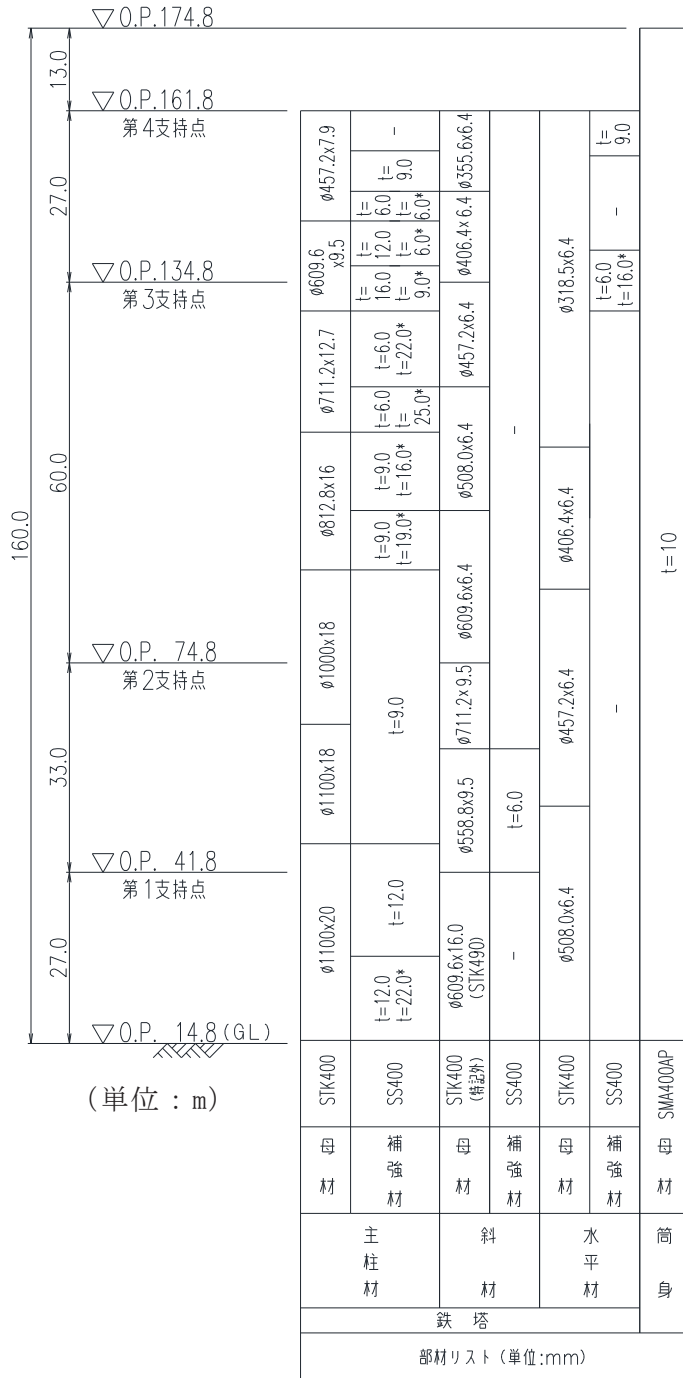
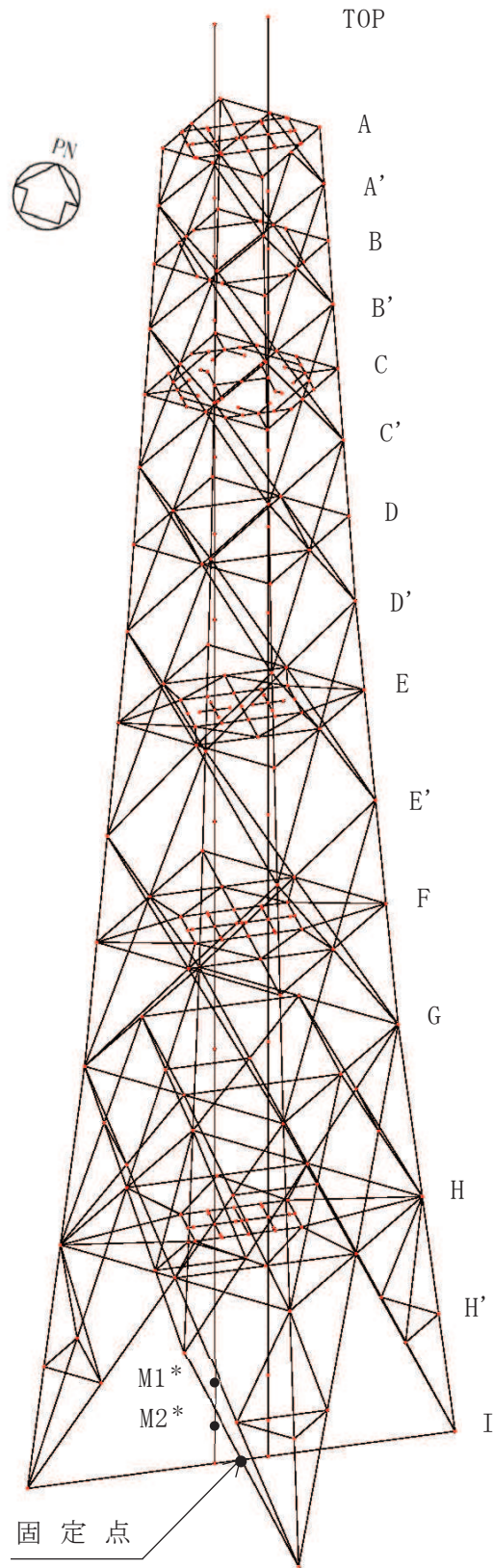


図 3-1-1 排気筒の概要図



注記* : M1 は筒身の内径 3.0m, M2 は筒身の内径 3.7m の位置を示す。

図 3-1-2 排気筒の地震応答解析モデル

表3-1-8 主柱材の評価結果

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	2方向同時 入力	3方向同時 入力	
				S _s -N1	S _s -F1
161.8-155.5	A-A'	φ 457.2×7.9	<u>0.31</u>	0.29	0.24
155.5-149.1	A'-B	φ 457.2×7.9	<u>0.71</u>	0.70	0.51
149.1-142.0	B-B'	φ 457.2×7.9	<u>0.81</u>	0.80	0.60
142.0-134.8	B'-C	φ 609.6×9.5	<u>0.87</u>	<u>0.87</u>	0.61
134.8-126.8	C-C'	φ 609.6×9.5	<u>0.83</u>	0.81	0.61
126.8-118.3	C'-D	φ 711.2×12.7	<u>0.87</u>	0.85	0.59
118.3-108.8	D-D'	φ 711.2×12.7	<u>0.85</u>	0.84	0.56
108.8- 98.8	D'-E	φ 812.8×16.0	<u>0.88</u>	0.85	0.63
98.8- 86.4	E-E'	φ 812.8×16.0	<u>0.90</u>	0.88	0.66
86.4- 74.8	E'-F	φ 1000×18.0	<u>0.86</u>	0.84	0.70
74.8- 61.2	F - G	φ 1000×18.0	<u>0.89</u>	0.87	0.72
61.2- 41.8	G - H	φ 1100×18.0	0.65	0.60	<u>0.66</u>
41.8- 28.6	H-H'	φ 1100×20.0	<u>0.75</u>	0.70	0.74
28.6- 15.3	H' -I	φ 1100×20.0	0.74	<u>0.76</u>	0.75

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

表3-1-9 鉄塔脚部の評価結果

評価部位	応力分類	2方向同時 入力	3方向同時 入力	
			S _s -N1	S _s -F1
アンカーボルト	引張	0.57	<u>0.58</u>	<u>0.58</u>
	せん断	<u>0.28</u>	<u>0.28</u>	0.26
	組合せ	0.57	<u>0.58</u>	<u>0.58</u>
コンクリート（コーン状破壊）	引張	0.75	<u>0.76</u>	<u>0.76</u>
コンクリート（圧縮）	圧縮	<u>0.45</u>	<u>0.45</u>	<u>0.45</u>
ベースプレート	面外曲げ	0.63	<u>0.64</u>	<u>0.64</u>
フランジプレート	面外曲げ	<u>0.52</u>	<u>0.52</u>	<u>0.52</u>
リブプレート	圧縮	0.38	<u>0.39</u>	<u>0.39</u>
	せん断	0.73	<u>0.74</u>	<u>0.74</u>

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

(2) 使用済燃料プールの壁の評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する使用済燃料プールの壁について、評価を行う。

評価に当たっては、S s 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-4-2-1 使用済燃料プール（キャスクピットを含む）（第1，2号機共用）の耐震性についての計算書」（以下「SFPの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図3-1-4及び図3-1-5に、使用済燃料プール周りの概略平面図及び概略断面図を図3-1-6及び図3-1-7に示す。

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

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、SFPの耐震計算書の「3.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデル概要図を図3-1-8に示す。解析モデルの詳細は、SFPの耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S s 地震時の応力は、SFPの耐震計算書の「3.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G	:	固定荷重
P	:	積載荷重
S s S _N *	:	S→N方向 S s 地震荷重（S s 地震時動水圧荷重を含む）
S s S _W *	:	W→E方向 S s 地震荷重（S s 地震時動水圧荷重を含む）
S s S _{UD} *	:	鉛直方向 S s 地震荷重

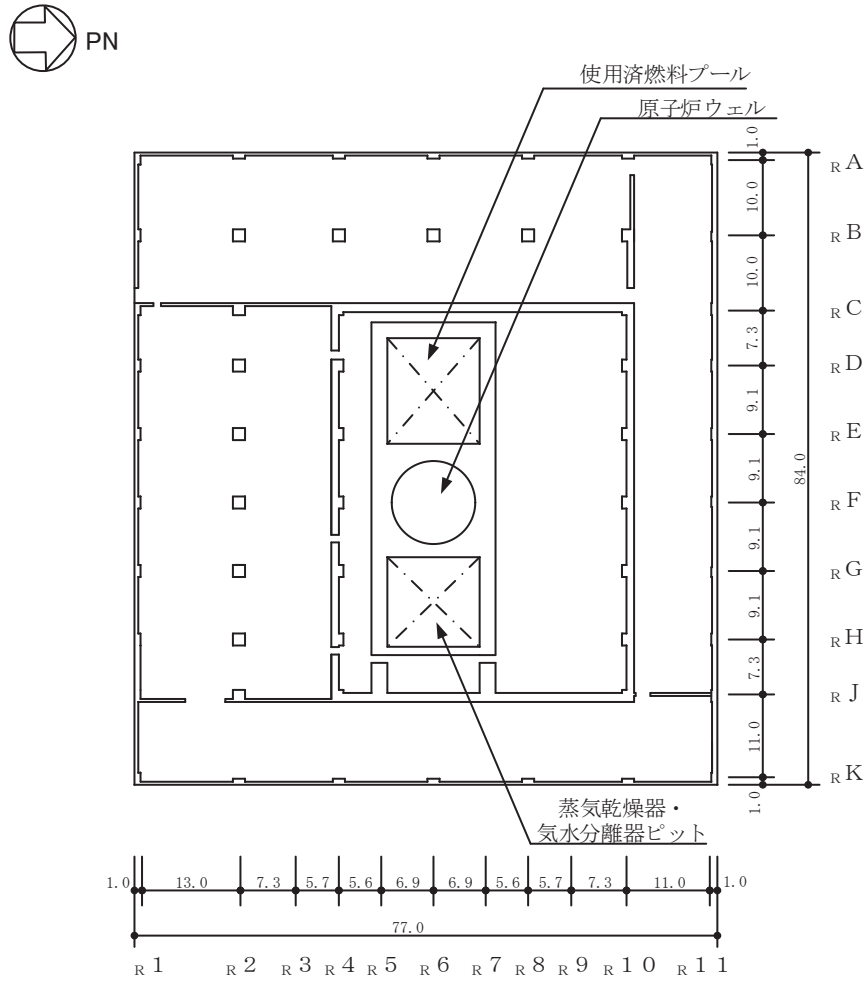
注記*：計算上の座標軸を基準として、EW方向はW→E方向の加力、NS方向はS→N方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

使用済燃料プールの壁の評価は、SFPの耐震計算書の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

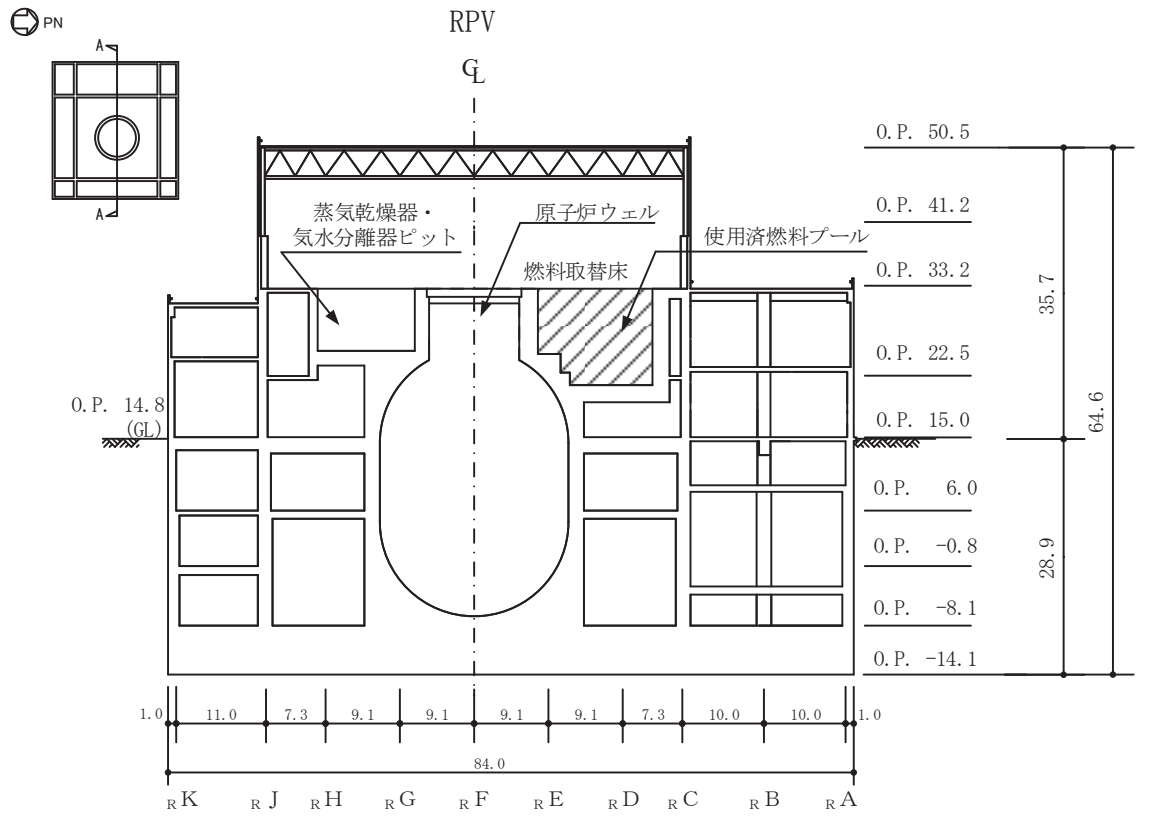
選定した要素の位置を図3-1-9及び図3-1-10に、評価結果を表3-1-10及び表3-1-11に示す。

S s 地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないため、耐震性への影響がないことを確認した。



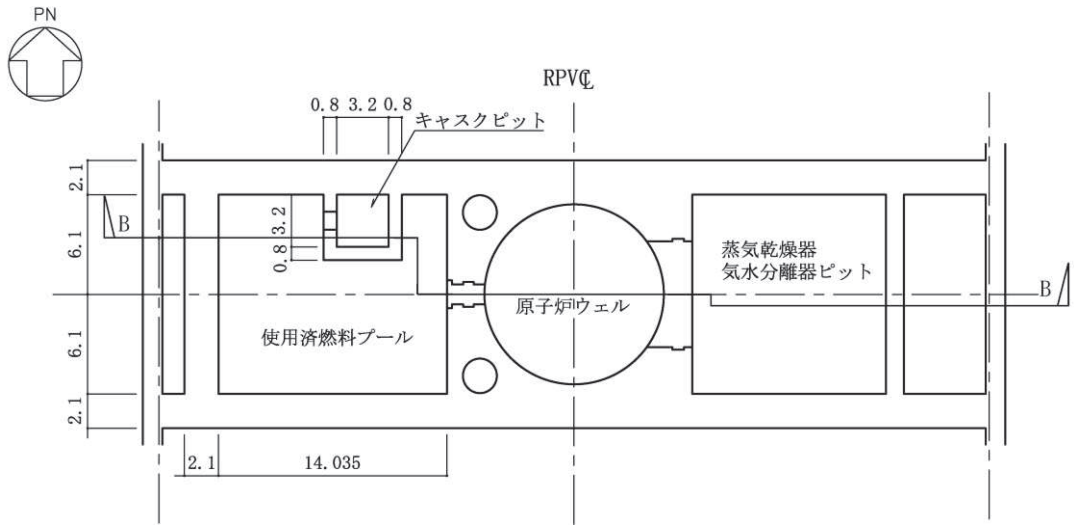
(単位：m)

図 3-1-4 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (O. P. 33. 2m)



(単位：m)

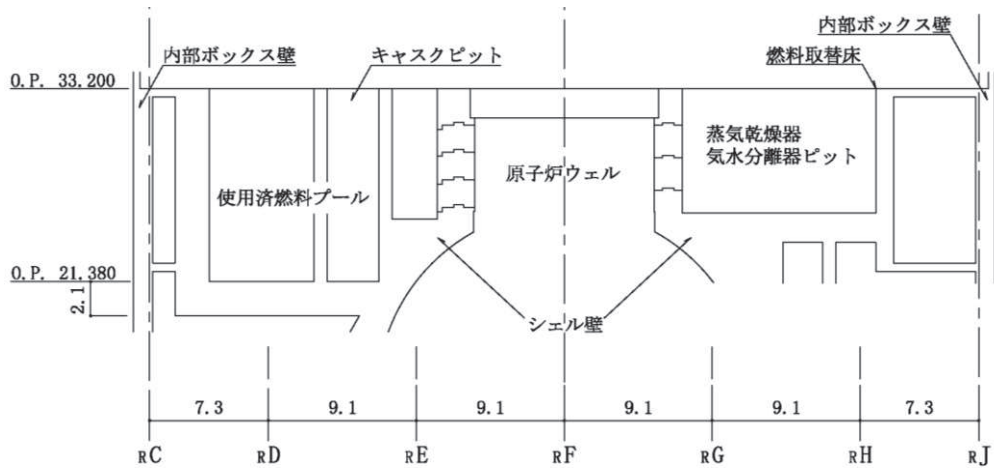
図 3-1-5 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)



(単位：m)

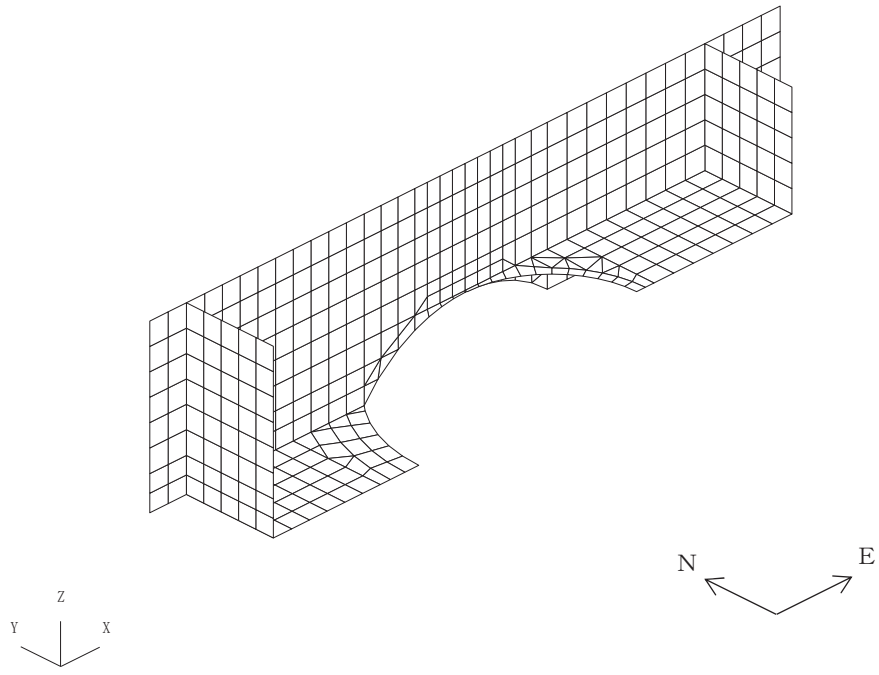
図 3-1-6 使用済燃料プール周りの概略平面図

O 2 ⑥ VI-2-12-1 R 1 0



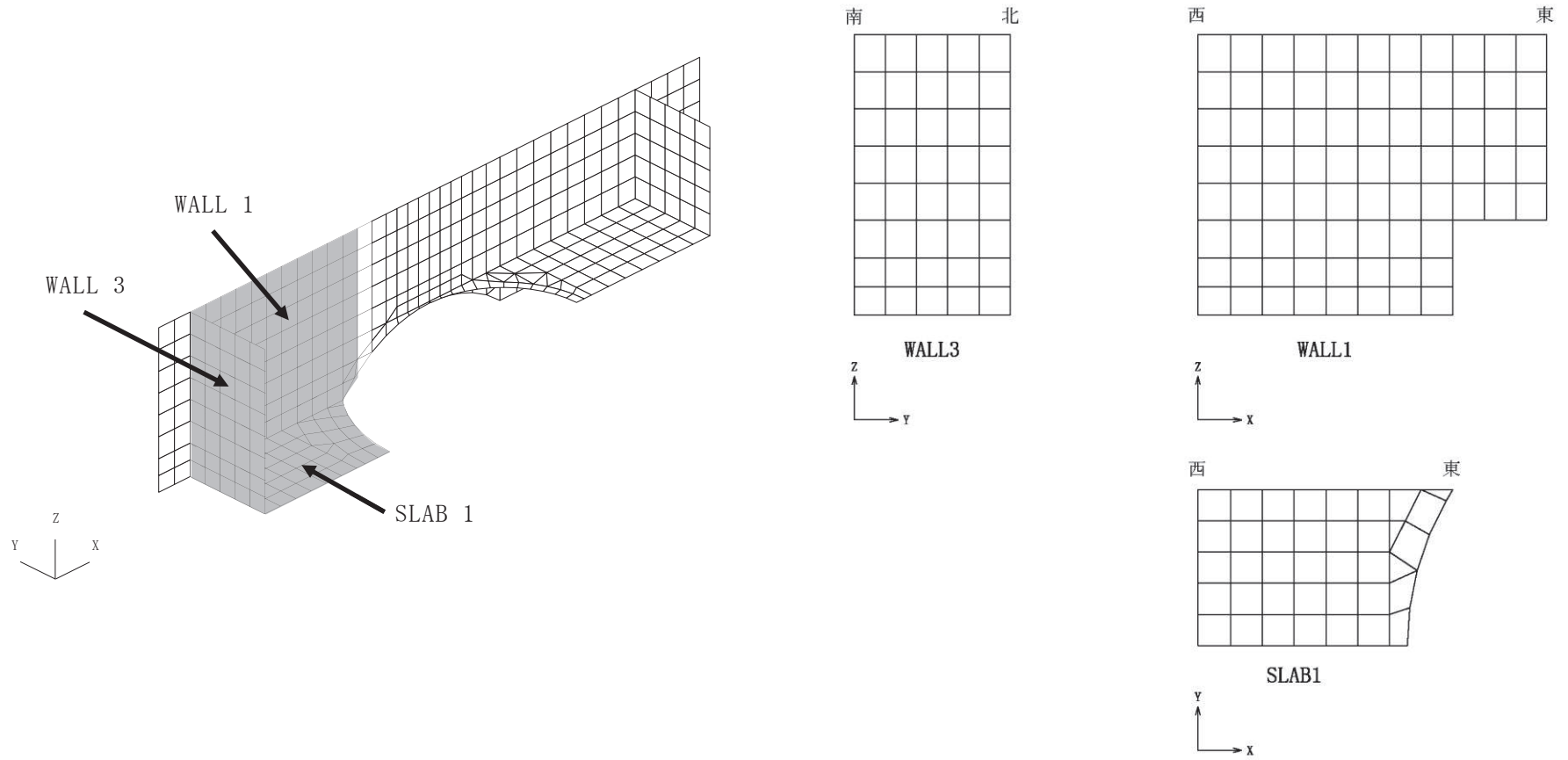
(単位：m)

図 3-1-7 使用済燃料プール周りの概略断面図 (B-B 断面)



(a) 全体鳥瞰図

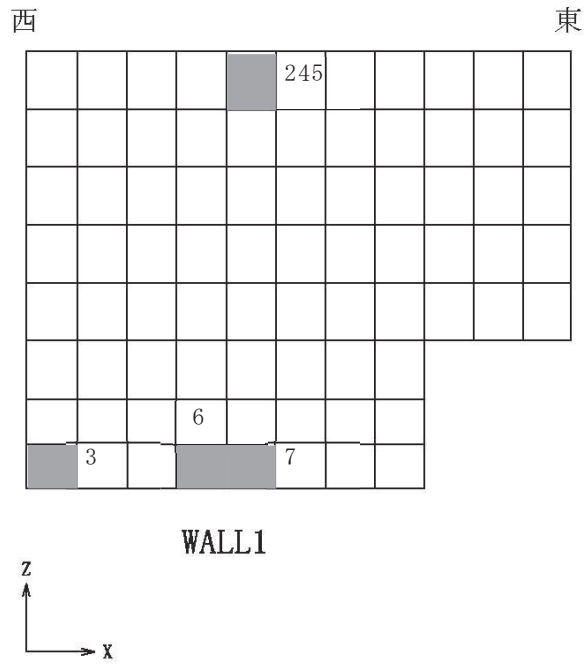
図 3-1-8(1) 解析モデル概要図(1/2)



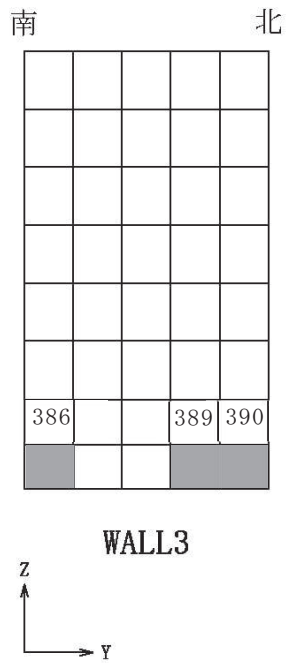
注：X，Y，Zは全体座標系を示す。

(b) プール部要素分割図

図 3-1-8(2) 解析モデル概要図(2/2)



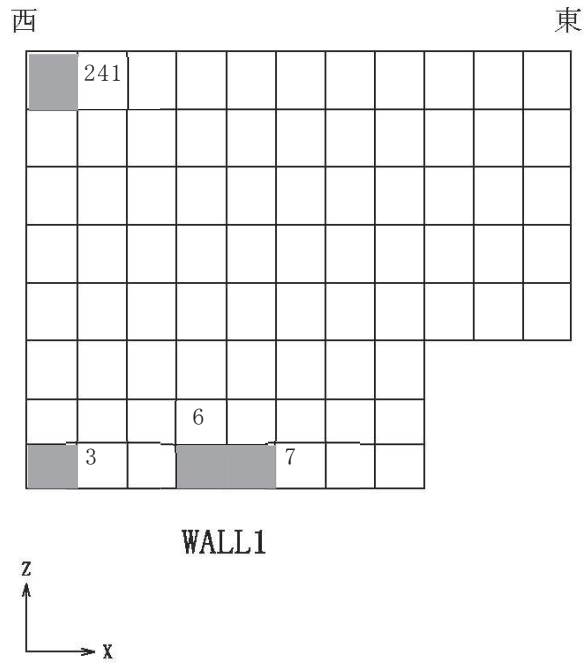
(a) 北側壁



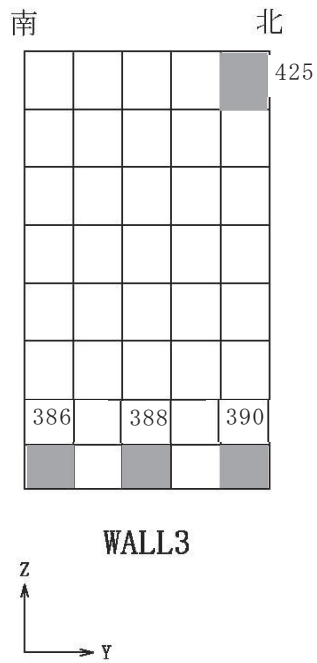
(b) 西側壁

注：数字は要素番号を示す。

図 3-1-9 選定した要素の位置 S s 地震時（水平 2 方向）



(a) 北側壁



(b) 西側壁

注：数字は要素番号を示す。

図 3-1-10 選定した要素の位置 S s 地震時（水平 1 方向）

表 3-1-10 使用済燃料プールの壁の評価結果 S s 地震時 (水平 2 方向)

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 +	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	7	3-17	0.288	3.00
	曲げモーメント +	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	6	3-17	1.42	5.00
	面内せん断力						
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	245	3-5	2.62	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	3	3-17	2.34	5.82
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	7	3-17	0.661	1.51
西側壁	軸力 +	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	386	3-19	0.509	3.00
	曲げモーメント +	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	389	3-17	1.38	5.00
	面内せん断力						
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	390	3-18	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	390	3-17	1.24	4.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	386	3-19	0.815	1.44

表 3-1-11 使用済燃料プールの壁の評価結果 S s 地震時 (水平 1 方向)

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 +	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	7	2-9	0.269	3.00
	曲げモーメント +	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	6	2-9	1.28	5.00
	面内せん断力						
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	3	2-10	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	3	2-11	2.21	5.99
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	241	2-1	0.892	2.08
西側壁	軸力 +	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	386	2-11	0.502	3.00
	曲げモーメント +	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	425	2-1	1.30	5.00
	面内せん断力						
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	390	2-12	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	388	2-10	1.14	4.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	386	2-11	0.808	1.44

(3) 原子炉建屋基礎版の評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である原子炉建屋基礎版について、評価を行う。

評価に当たっては、S s 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」（以下「基礎版の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。原子炉建屋基礎版の概略平面図及び概略断面図を図3-1-11及び図3-1-12に示す。

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

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎版の耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデル図を図3-1-13に示す。解析モデルの詳細は、基礎版の耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S s 地震時の応力は、基礎版の耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G	:	固定荷重
P	:	積載荷重
S s S _N *	:	S→N方向 S s 地震荷重 (S s 地震時土圧荷重を含む)
S s E _W *	:	E→W方向 S s 地震荷重 (S s 地震時土圧荷重を含む)
S s U _D *	:	鉛直方向 S s 地震荷重

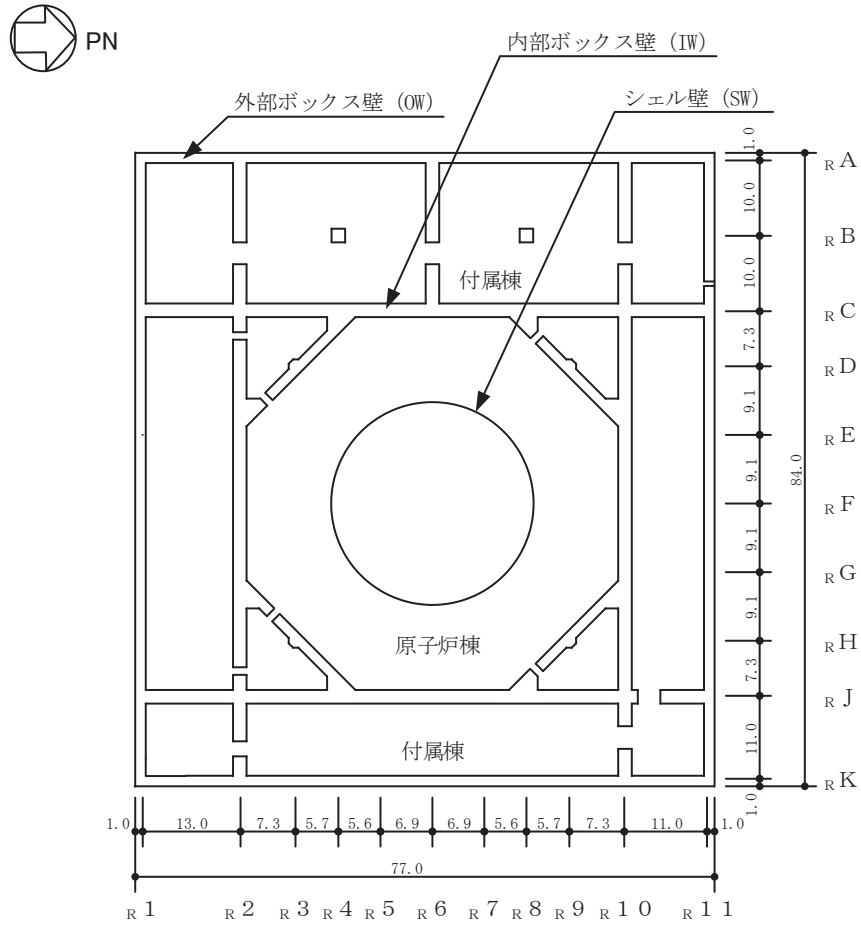
注記*：計算上の座標軸を基準として、NS方向はS→N方向の加力、EW方向はE→W方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

断面の評価結果を以下に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

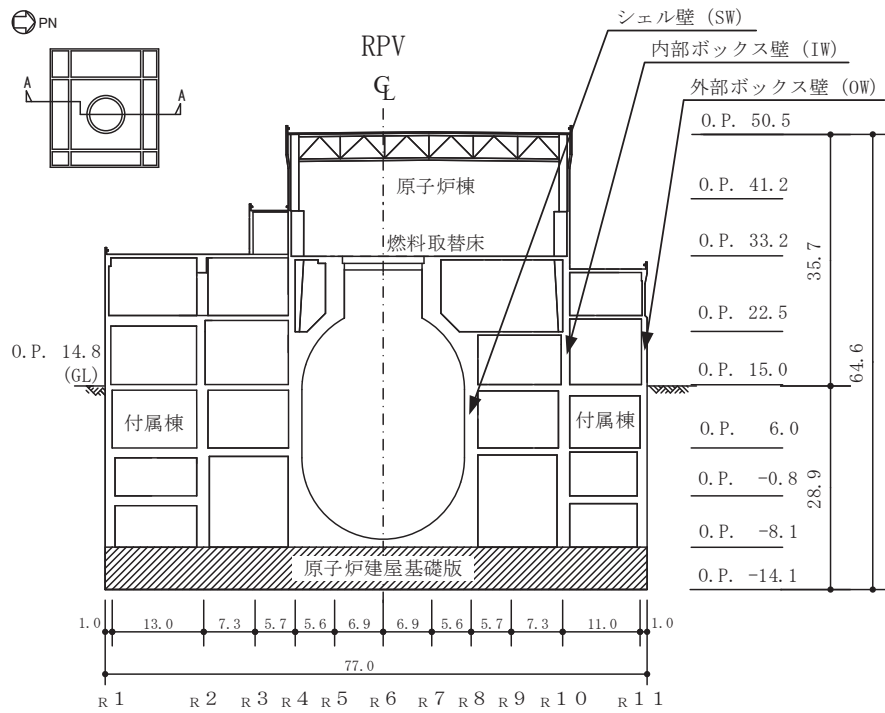
選定した要素の位置を図3-1-14に、評価結果を表3-1-12に示す。

S s 地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないため、耐震性への影響がないことを確認した。



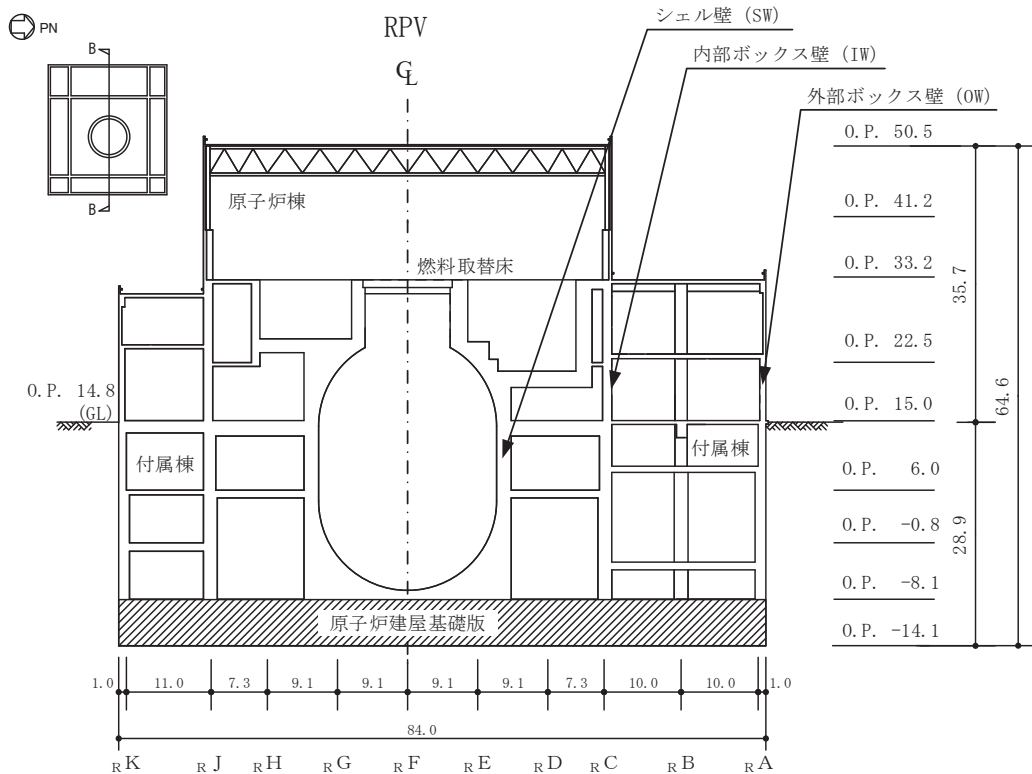
(単位：m)

図 3-1-11 原子炉建屋基礎版の概略平面図 (0.P. -8.1m)



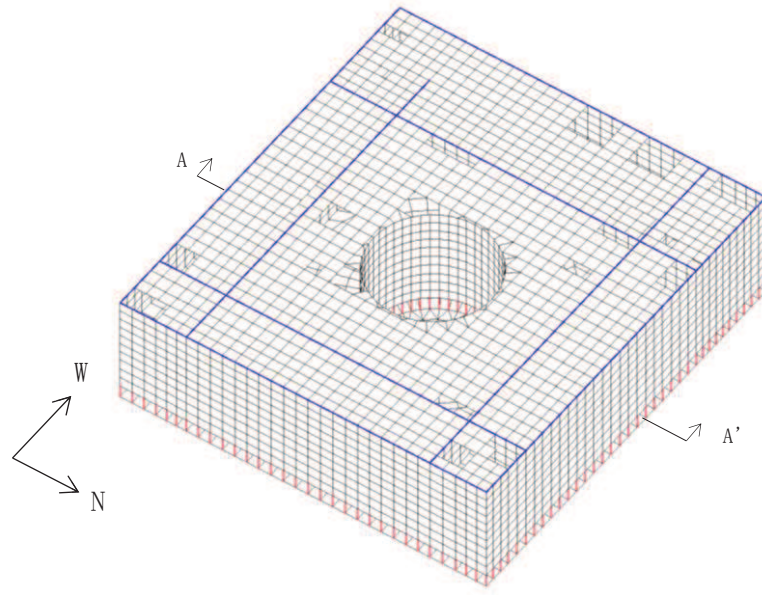
(単位 : m)

図 3-1-12(1) 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

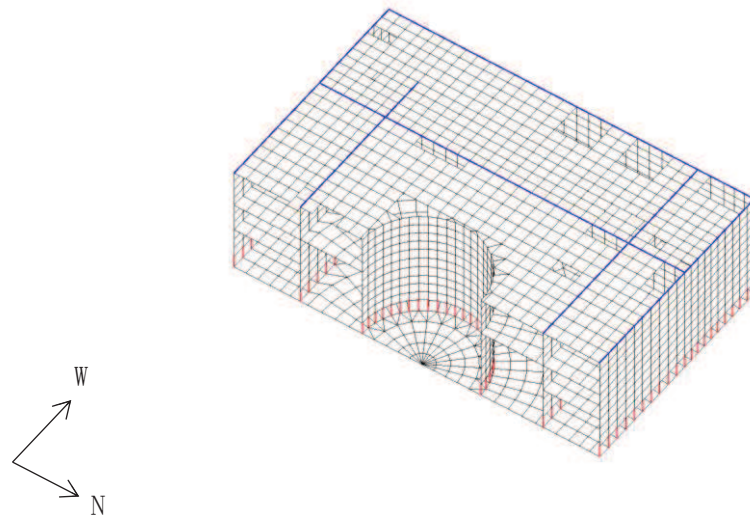


(単位 : m)

図 3-1-12(2) 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

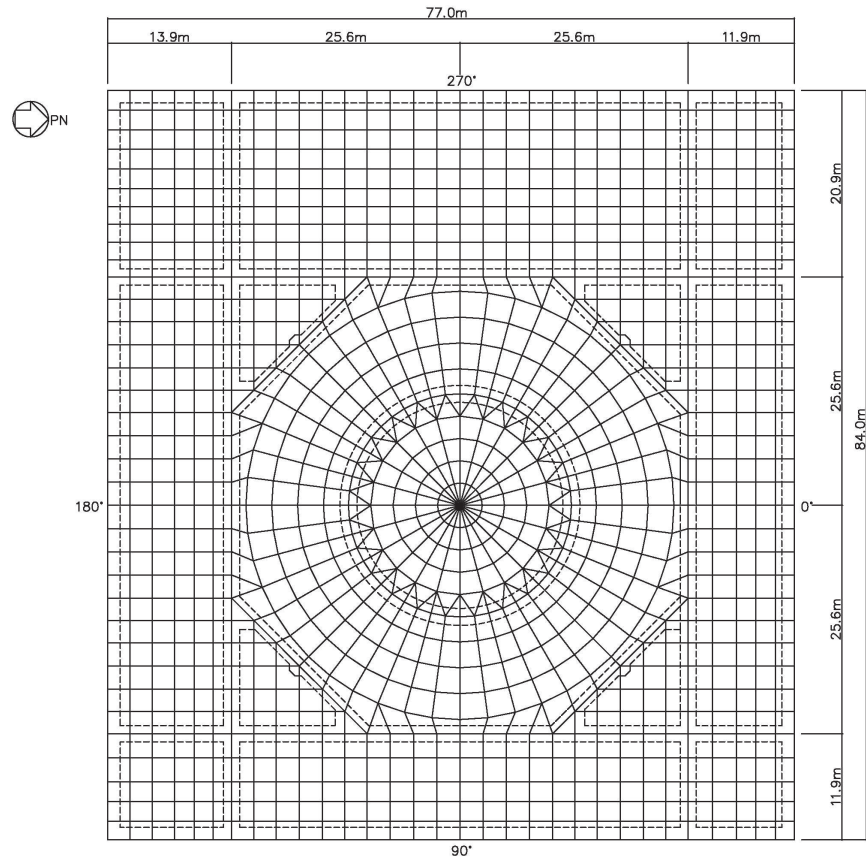


(a) 全体鳥瞰図



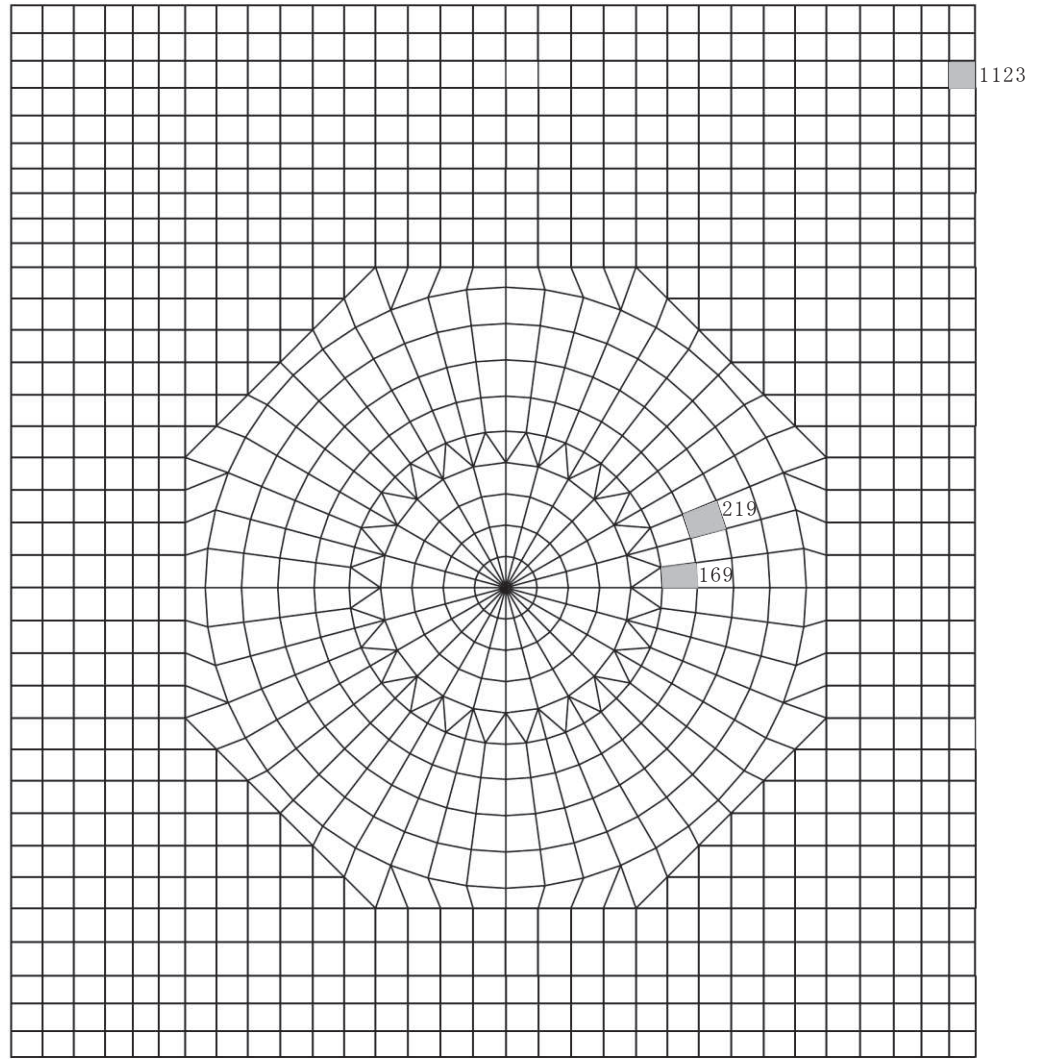
(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 3-1-13(1) 解析モデル (1/2)



(c) 基礎版要素分割図

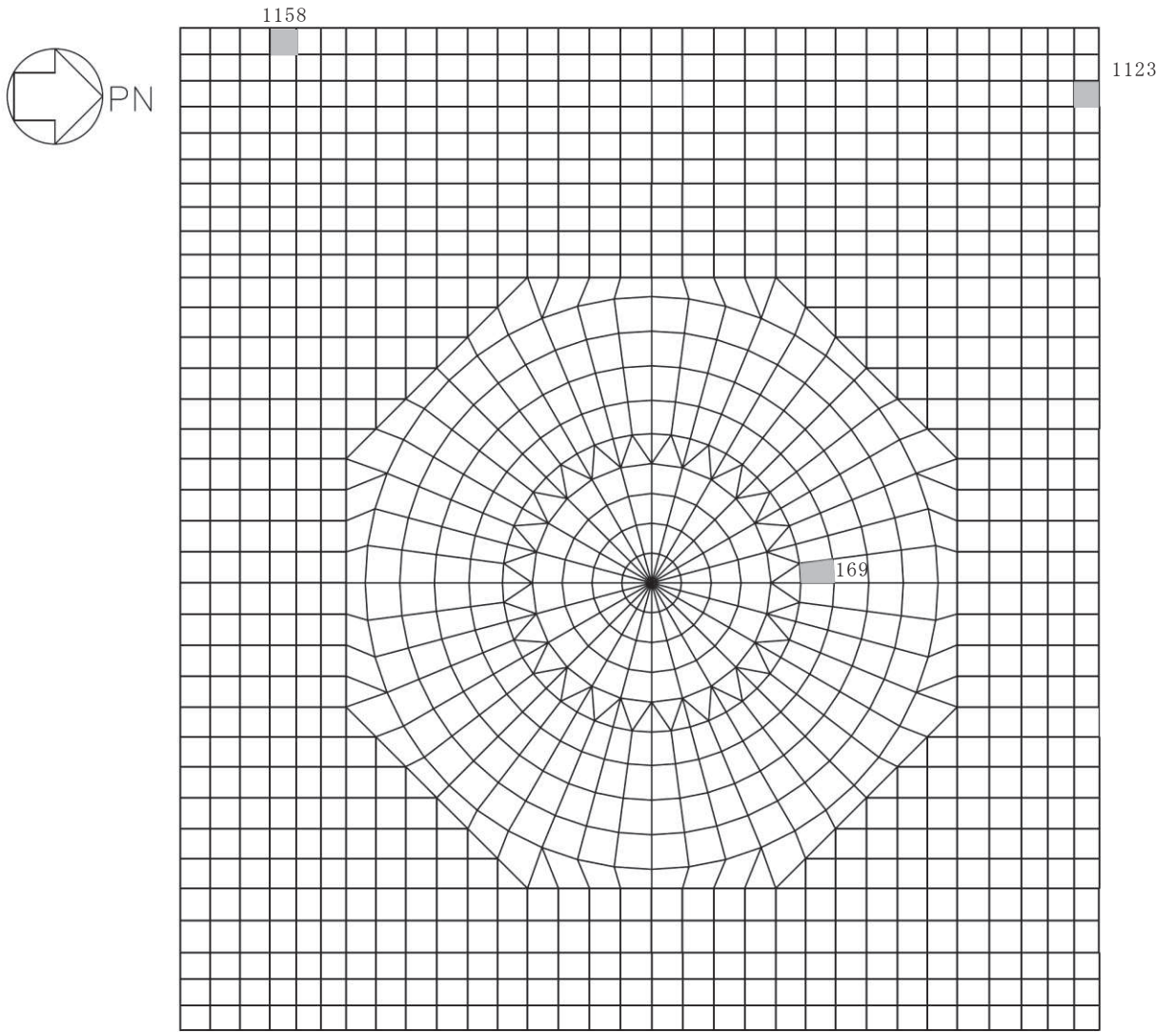
図 3-1-13(2) 解析モデル (2/2)



注：数字は要素番号を示す。

(a) 水平 2 方向

図 3-1-14(1) 選定した要素の位置 S s 地震時 (1/2)



注：数字は要素番号を示す。

(b) 水平 1 方向

図 3-1-14(2) 選定した要素の位置 S s 地震時 (2/2)

表 3-1-12 原子炉建屋基礎版の評価結果 S s 地震時

(a) 水平 2 方向

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1123	3-11	1.16	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	169	3-9	0.835	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	放射	219	3-9	2.12*	2.13

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

(b) 水平 1 方向

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1123	1-6	0.766	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	169	1-2	0.488	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1158	1-4	2.36	2.42

3.1.5 原子炉建屋3次元FEMモデルによる面外応答の耐震壁への影響検討結果

3次元FEMモデルの面外加速度による影響検討対象として、原子炉建屋燃料取替床レベルの壁を抽出し、面外加速度による影響検討を行った結果、原子炉建屋の燃料取替床レベルの南北面の壁には面外方向に大きな加速度が生じていることから、当該壁に対して、面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の断面の評価を行う。

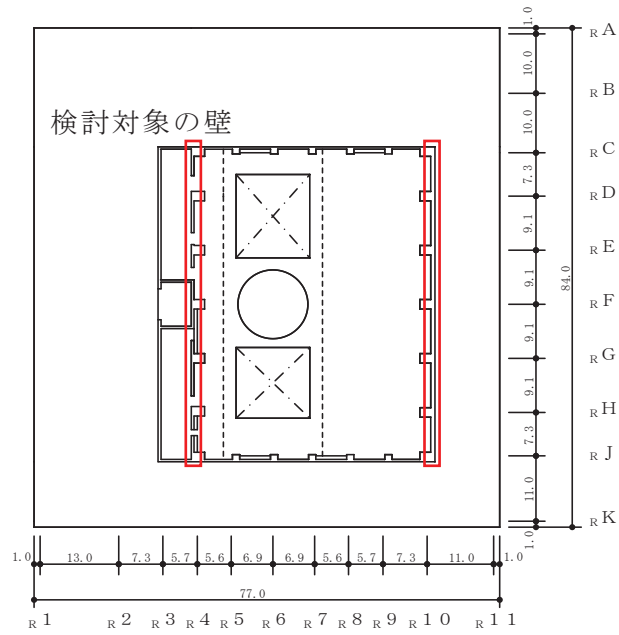
原子炉建屋燃料取替床レベルの壁については「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書（以下「二次格納施設の耐震性についての計算書」という。）」において、二次格納施設バウンダリの機能設計上の性能目標である構造強度を有することの確認として、S_d地震時に生じる応力に対し「日本建築学会 2005年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づく短期許容応力度を超えないことを確認している。そこで、原子炉建屋燃料取替床レベルの壁に対する面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の断面評価に当たっては、S_d地震時の応答に材料物性の不確かさを考慮した地震力を用いる。

解析モデルを図3-1-15に示す。解析モデルは、モデルの上端に水平方向せん断力を与えるため下端を固定端とし、その他の三辺は面内水平方向のみ自由とすることで、面外慣性力と面内せん断力を考慮した。

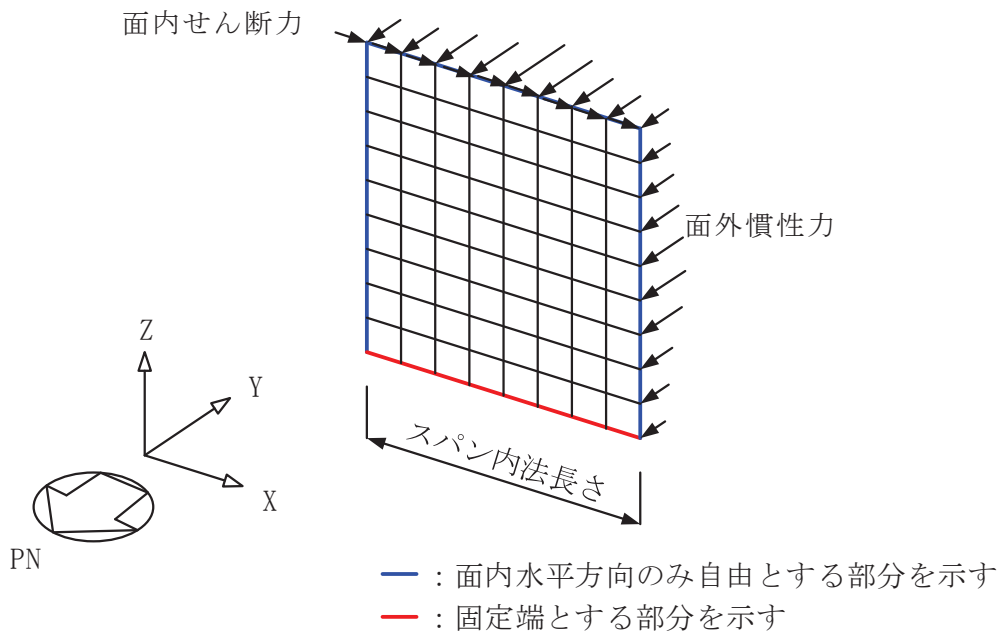
評価結果を記載する部位は、面外慣性力及び面内せん断力によって生じる鉄筋応力度及び面外せん断力が最大となる部位とする。

評価結果を表3-1-13に示す。S_d地震時において、許容限界を超えないことを確認したことから、面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合においても、原子炉建屋の壁に対する二次格納施設バウンダリとして要求される機能への影響はないと判断できる。

なお、S_s地震時の耐震壁の評価については、「二次格納施設の耐震性についての計算書」において、面内に生じるせん断ひずみが許容限界である 2.0×10^{-3} を超えないことを確認しているが、表3-1-14に示すとおり、S_s地震時の面外慣性力に対する原子炉建屋燃料取替床レベルの壁の断面評価の結果、鉄筋に生じる応力度が弾性範囲内であることを確認していることから、面内に生じるせん断ひずみの評価に対する影響は小さいと考えられる。



(a) 原子炉建屋燃料取替床 概略平面図 (0. P. 33. 2m)



(b) 原子炉建屋燃料取替床レベル 耐震壁の解析モデル

図 3-1-15 原子炉建屋 3次元 FEM モデルによる面外応答の影響検討の解析モデル

表 3-1-13 耐震壁の評価結果

(S d 地震時, 面外慣性力及び面内せん断力の組み合わせ)

検討ケース		S d 地震時		
検討位置		北面壁 (R10 通り)		南面壁 (R4 通り)
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		250 × 1000	400 × 1000	250 × 1000
有効せい d (mm)		170	315.5	170
配筋	縦筋 (鉄筋断面積)	D22@200 (1935mm ² /m)	D25@200 (2535mm ² /m)	D22@200 (1935mm ² /m)
	横筋 (鉄筋断面積)	D19@200 (1435mm ² /m)	D22@200 (1935mm ² /m)	D19@200 (1435mm ² /m)
面内せん断力及び 曲げモーメント	方向	X 方向	X 方向	X 方向
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	112	54.7	82.2
	許容限界 (N/mm ²)	379.5	379.5	379.5
	検定値	0.30	0.15	0.22
面外せん断力	方向	X 方向	X 方向	Y 方向
	発生せん断力 Q (kN/m)	76.6	146	111
	許容限界 (kN/m)	180	334	180
	検定値	0.43	0.44	0.62
判定		可	可	可

表 3-1-14 耐震壁の評価結果
(S s 地震時, 面外慣性力)

検討ケース		S s 地震時		
検討位置		北面壁 (R10 通り)		南面壁 (R4 通り)
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		250 × 1000	400 × 1000	250 × 1000
有効せい d (mm)		170	315.5	170
配筋	縦筋 (鉄筋断面積)	D22@200 (1935mm ² /m)	D25@200 (2535mm ² /m)	D22@200 (1935mm ² /m)
	横筋 (鉄筋断面積)	D19@200 (1435mm ² /m)	D22@200 (1935mm ² /m)	D19@200 (1435mm ² /m)
曲げモーメント	方向	X 方向	X 方向	Y 方向
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	84.4	62.3	81.4
	許容限界 (N/mm ²)	379.5	379.5	379.5
	検定値	0.23	0.17	0.22
面外せん断力	方向	X 方向	X 方向	Y 方向
	発生せん断力 Q (kN/m)	128	194	170
	許容限界 (kN/m)	180	334	180
	検定値	0.72	0.59	0.95
判定		可	可	可

3.2 機器・配管系

3.2.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を表3-2-1に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を以下の項目より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した。

なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

a. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置き容器等は、水平2方向の地震力を想定した場合、水平1方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動性状及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平1方向の地震力しか負担しないものを分類した。

b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。

c. 水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震力による応力と同等と言えるもの

原子炉圧力容器スタビライザ及び原子炉格納容器スタビライザは、周方向8箇所を支持する構造で配置され、水平1方向の地震力を6体で支持する設計としており、水平2方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平1方向の地震力による荷

重と水平2方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同様のものと分類した。

- d. 従来評価において、保守性（水平2方向の考慮を含む）を考慮した評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平2方向地震を考慮した評価を行っているため、水平2方向の影響を考慮済みとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から従来評価にて保守性を考慮しており、水平2方向の影響を考慮しても影響がないものを分類した。

- (2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点
水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は発生しない。

一方、3次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は、従来設計より3次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される機器はなかった。

- (3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1) (2) において影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平1方向に対する水平2方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備を対象とする。水平2方向の地震力の組合せは米国Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮したSquare-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「SRSS法」という。）により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

- ・従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみ組み合わせ後、地震以外による応力と

組み合わせて算出する。

- ・設備によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、上記組合せによる発生値を設計荷重が上回ることを確認したものは、水平2方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- ・応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

3.2.2 建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1項、3.3項及び3.4項における建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される設備は抽出されなかった。

なお、3次元FEMモデルの面外応答による影響検討対象として、原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁及び床に設置される機器・配管系の設備を抽出した。3次元FEMモデルの面外応答による影響検討については、「3.2.6 原子炉建屋3次元FEMモデルによる面外応答の機器・配管系への影響検討結果」に示す。

3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価設備の抽出結果

3.2.1項で検討した、水平2方向の地震力が重畳する観点、水平方向とその直行方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点、水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力増分の観点で、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出した結果を表3-2-2に示す。

3.2.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

3.2.1項の観点から抽出される設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮したSRSS法を適用する。

(1) 従来評価データを用いた算出

従来の水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて、以下の条件により水平2方向及び鉛直方向地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出

している設備は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

- ・水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平方向を包絡した地震力と鉛直方向地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

3.2.1項の観点から3.2.3項で抽出した以下の設備に対して、3.2.4項の影響評価条件で算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認した。評価した内容を設備ごとに以下に示し、その影響評価結果については重大事故時等の状態も考慮した結果を表3-2-3に示す。

a. 使用済燃料貯蔵ラック

工認耐震計算書では、地震応答解析により算定される水平各方向の地震荷重を用いた発生値を算定し、評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、上記地震荷重をSRSS法により組み合わせることで算定し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

b. 制御棒・破損燃料貯蔵ラック

工認耐震計算書では、地震応答解析により算定される水平各方向の地震荷重を用いた発生値を算定し、評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、上記地震荷重をSRSS法により組み合わせることで算定し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

c. 静的触媒式水素再結合装置（その1）、（その2）

工認耐震計算書では、水平各方向の最大応答加速度を用いた発生値を算定し、評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、上記発生値をSRSS法により組み合わせることで算定し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

d. CRD自動交換機

工認耐震計算書では、地震応答解析により算定される水平各方向の地震荷重を用いた発生値を算定し、評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、上記地震荷重をSRSS法により組み合わせることで算

定し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

e. 制御棒挿入性

工認耐震計算書では、地震応答解析により算定される水平1方向の燃料集合体の相対変位を用いて評価を実施している。水平2方向地震力による評価は、組合せ係数法（1.0：0.4）を用いて燃料集合体相対変位を算出し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

3.2.6 原子炉建屋3次元FEMモデルによる面外応答の機器・配管系への影響検討結果

「3.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出」の観点で原子炉建屋3次元FEMモデルによる面外応答の影響が大きい燃料取替床レベルの壁及び床に設置される機器・配管系について面外応答影響を検討した。面外応答の影響検討フローを図3-2-1に示す。

簡易評価の結果，一部の設備（5設備）を除き，設備の裕度が評価用応答比以上であることを確認した。また，簡易評価において設備の裕度が評価用応答比を下回った5設備に対して詳細評価を行った結果，いずれも発生値が許容値以下であることを確認した。詳細評価による発生値が当該設備の耐震計算書における発生値を上回る設備（2設備）の詳細評価条件を表3-2-4，詳細評価結果を表3-2-5に示す。

影響検討の結果から，面外応答による影響を考慮しても機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

3.2.7 まとめ

機器・配管系において，水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備について，従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し，従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果，工認耐震計算書の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し，設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は，水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため，工認耐震計算書の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており，以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

- ・工認耐震計算書の発生値（水平1方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ）に対して，係数（ $\sqrt{2}$ ）を乗じて水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため，係数を

乗じる必要のない鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分についても係数を乗じている。

- ・ 工認耐震計算書において水平各方向を包絡した床応答曲線を各方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平2方向に働くことを想定した発生値として算出している。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力については、機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

また、原子炉建屋3次元FEMモデルの面外応答による影響を考慮しても機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

表3-2-1 水平2方向入力の影響検討対象設備 (1/15)

設備		部位
燃料集合体		燃料被覆管
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴
		中間胴
		下部胴
		上部格子板支持面
		炉心支持板支持面
		上部サポート支持面
	シュラウドサポート	レグ
		シリンダ
		プレート
		下部胴
		プレートのトグル支持面
	炉心シュラウド支持ロッド	上部サポート
		上部タイロッド
		下部タイロッド
		トグルクレビス
		トグルピン
	上部格子板	グリッドプレート
	炉心支持板	補強ビーム
		支持板
	燃料支持金具	中央燃料支持金具
		周辺燃料支持金具
制御棒案内管	長手中央部	
	下部溶接部	
原子炉圧力容器	胴板	胴板
		上部ウェッジ支持面
		下部スタビライザ支持面
	下部鏡板	下部鏡板
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	ハウジング
		スタブチューブ
		下部鏡板リガメント
ノズル	各部位	

表3-2-1 水平2方向入力の影響検討対象設備 (2/15)

設備		部位
原子炉圧力容器	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット
		蒸気乾燥器支持ブラケット
		給水スパーチャブラケット
		炉心スプレイブラケット
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器支持スカート	スカート
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド
		ブラケット
	原子炉格納容器スタビライザ	パイプ
		ガセットプレート
		内側メイルシヤラグ
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレイントビーム
		ブラケット
スプライスプレート		
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート
		耐震用ブロック溶接部
	気水分離器及びスタンドパイプ	スタンドパイプ
	シュラウドヘッド	シュラウドヘッド
	ジェットポンプ	ライザ
		ディフューザ
		ライザプレース
スパーチャ	各部位	
原子炉内配管		
中性子束計測案内管	中性子束計測案内管下部	
使用済燃料貯蔵ラック	角管	
	補強板	
	燃料支持板	
	ベース	
	基礎ボルト	

表3-2-1 水平2方向入力の影響検討対象設備 (3/15)

設備	部位
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材
	支持ビーム部材
	ラック基礎ボルト
	支持ビーム基礎ボルト
使用済燃料プール水位／温度（ガイドパ ルス式）	検出器
	基礎ボルト
使用済燃料プール水位／温度（ヒートサ ーモ式）	基礎ボルト
	検出器架台
	保護管
	ワーキングテーブルラグ
燃料プール冷却浄化系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
燃料プール冷却浄化系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
使用済燃料プール監視カメラ	基礎ボルト
	取付ボルト
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキ ュムレータ	ラグ
	ボルト
	H形鋼
主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキ ュムレータ	ラグ
	ボルト
	H形鋼
残留熱除去系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
残留熱除去系ポンプ	バレルケーシング
	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機台取付ボルト
	原動機取付ボルト

表3-2-1 水平2方向入力の影響検討対象設備 (4/15)

設備	部位
ECCS ストレーナ	アウタージャケット
	フランジプレート
	多孔プレート (ディスクシート)
	多孔プレート (ポケットシート)
	多孔プレート (フロントシート)
	フランジ
	ボルト
ストレーナ部ティー	ティー
高圧炉心スプレイ系ポンプ	バレルケーシング
	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機台取付ボルト
	原動機取付ボルト
低圧炉心スプレイ系ポンプ	バレルケーシング
	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機台取付ボルト
	原動機取付ボルト
高圧代替注水系タービンポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
直流駆動低圧注水系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
原子炉隔離時冷却系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン	基礎ボルト
	タービン取付ボルト
復水移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (5/15)

設備	部位
復水貯蔵タンク	胴板
	基礎ボルト
原子炉補機冷却水系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
原子炉補機冷却水ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
原子炉補機冷却海水ポンプ	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
	中間支持台基礎ボルト
原子炉補機冷却水サージタンク	胴板
	基礎ボルト
原子炉補機冷却海水系ストレーナ	胴板
	脚
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
	中間支持台基礎ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却水サージタンク	胴板
	基礎ボルト
制御棒駆動機構	フランジ

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (6/15)

設備	部位
水圧制御ユニット	フレーム
	取付ボルト
ほう酸水注入系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	減速機取付ボルト
	原動機取付ボルト
ほう酸水注入系貯蔵タンク	胴板
	基礎ボルト
起動領域モニタ	ドライチューブ
出力領域モニタ	カバーチューブ
	校正用導管
伝送器 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
	溶接部
伝送器 (矩形壁掛)	基礎ボルト
	取付ボルト
	溶接部
盤 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
盤 (矩形壁掛)	取付ボルト
衛星電話設備 (屋外アンテナ) (中央制御室)	基礎ボルト
衛星電話設備 (屋外アンテナ) (緊急時対策所)	基礎ボルト
無線連絡設備 (屋外アンテナ) (中央制御室)	基礎ボルト
無線連絡設備 (屋外アンテナ) (緊急時対策所)	基礎ボルト
安全パラメータ表示システム (SPDS) 無線通信用アンテナ	基礎ボルト
統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナ	基礎ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (7/15)

設備	部位
ダクト本体, サポート	ダクト本体 (矩形)
	ダクト本体 (円形)
	サポート
中央制御室送風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
中央制御室排風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
中央制御室再循環送風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
中央制御室再循環フィルタ装置	基礎ボルト
緊急時対策所非常用送風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
緊急時対策所非常用フィルタ装置	基礎ボルト
	取付ボルト
差圧計 (中央制御室待避所用)	基礎ボルト
差圧計 (緊急時対策所用)	基礎ボルト
ドライウエル	上鏡球形部
	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接合部
	円筒部と上フランジの接合部
	下フランジと円筒部の接合部
	円筒部とナックル部の接合部
	ナックル部と上部球形部の接合部
	ドライウエルスプレイ管取付部
	上部球形部と円筒部の接合部
	円筒部中心部
	円筒部と下鏡の接合部
	サンドクッション部
ドライウエルベント開口部	ベントノズル円すい部
	ドライウエルベント開口部
サプレッションチェンバ	胴中央部外側
	胴中央部底部
	胴中央部内側

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (8/15)

設備	部位
サプレッションチェンバ	胴中央部頂部
	胴エビ継手部外側
	胴エビ継手部底部
	胴エビ継手部内側
	胴エビ継手部頂部
	内側ボックスサポート取付部
	外側ボックスサポート取付部
原子炉格納容器シヤラグ	内側フィメールシヤラグ本体 (溶接部)
	内側フィメールシヤラグ取付部 (溶接部)
	外側メイルシヤラグ取付部 (溶接部)
	外側メイルシヤラグ本体
	外側フィメールシヤラグ本体 (溶接部)
	外側フィメールシヤラグ本体
	外側フィメールシヤラグベースプレート
	外側フィメールシヤラグ基礎ボルト
	外側フィメールシヤラグ本体 (溶接部)
	コンクリート
	シヤラグ取付部
ボックスサポート	ボックスプレート
	ボックスプレート取付部
	ボックスプレート (上側) 取付部
	フランジプレートとシヤラグ接触部
	シヤラグ取付部
	基礎ボルト
	フランジプレート
	フランジプレート (外側)
	ベースプレート
	シヤコネクタ取付部
	コンクリート (ベースプレート下面)
	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面)
	コンクリート (シヤプレート上面)
	パッド取付部

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (9/15)

設備		部位
原子炉格納容器	機器搬出入用ハッチ	機器搬出入用ハッチ取付部
	逃がし安全弁搬出入口	逃がし安全弁搬出入口取付部
	制御棒駆動機構搬出入口	制御棒駆動機構搬出入口取付部
	サプレッションチェンバ出入口	サプレッションチェンバ出入口円筒胴
		サプレッションチェンバ出入口取付部
	所員用エアロック	所員用エアロック取付部
	原子炉格納容器配管貫通部	貫通部管台取付部
		貫通部管台
	原子炉格納容器電気配線貫通部	フランジとスリーブの継手
		フランジとアダプタの継手
アダプタとヘッダの継手		
貫通部管台取付部		
ダウンカメラ	ダウンカメラ (一般部)	
	ダウンカメラ (一般部以外)	
ベント管	ベント管 (一般部)	
	ベント管 (一般部以外)	
	真空破壊装置スリーブ	
ベント管ベローズ	ベント管ベローズ	
ベントヘッダ	ベントヘッダ (一般部)	
	ベントヘッダ (一般部以外)	
	ベントヘッダサポート (下側)	
	ピン (下側)	
	エンドプレート (下側)	
	ベントヘッダサポート (上側)	
	ピン (上側)	
エンドプレート (上側)		
サプレッションチェンバスプレイ管	スプレイ管	
	スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部	
代替循環冷却ポンプ	基礎ボルト	
	ポンプ取付ボルト	
	原動機取付ボルト	

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (10/15)

設備	部位
非常用ガス処理系空気乾燥装置	基礎ボルト
	スライドボルト
	固定ボルト
非常用ガス処理系排風機	基礎ボルト
	排風機取付ボルト
	原動機取付ボルト
非常用ガス処理系フィルタ装置	基礎ボルト
	スライドボルト
	固定ボルト
原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	内梁
	門ピン
	丁番ブラケット
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロー	ブレース
	ベース取付溶接部
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	基礎ボルト
静的触媒式水素再結合装置 (その 1)	静的触媒式水素再結合装置本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
静的触媒式水素再結合装置 (その 2)	静的触媒式水素再結合装置本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
フィルタ装置	胴板
	ラグ
	基礎ボルト
非常用ディーゼル発電設備 機関	基礎ボルト
非常用ディーゼル発電設備 発電機	基礎ボルト
	固定子取付ボルト
	軸受台取付ボルト
非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	胴板
	スカート
	基礎ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (11/15)

設備	部位
非常用ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	胴板
	スカート
	基礎ボルト
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
非常用ディーゼル発電設備 制御盤	取付ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 機関	基礎ボルト
	機関取付ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 発電機	基礎ボルト
	固定子取付ボルト
	機関側軸受台取付ボルト
	反機関側軸受台取付ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 空気だめ	胴板
	スカート
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	胴板
	スカート
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
軽油タンク	胴板
	脚
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 制御盤	取付ボルト
ガスタービン発電設備 機関・発電機	取付ボルト
	発電機車フレーム
	制御車フレーム
ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (12/15)

設備	部位
ガスタービン発電設備 軽油タンク	胴板
	脚
	基礎ボルト
ガスタービン発電設備 燃料小出槽	胴板
	取付ボルト
	架台取付ボルト
ガスタービン発電設備 制御盤	取付ボルト
緊急時対策所軽油タンク	胴板
	スカート
	基礎ボルト
無停電交流電源用静止形 無停電電源装置	取付ボルト
蓄電池	基礎ボルト
	取付ボルト
配管本体, サポート	配管, サポート
逆流防止設備	扉体
	固定部
	漂流物防護工
浸水防止蓋	浸水防止蓋
	固定ボルト
浸水防止壁	浸水防止壁
	基礎ボルト
逆止弁付ファンネル	弁本体
	弁体
貫通部止水処置	モルタル
堰	止水板
	梁材
	柱材
	アンカーボルト
津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)	基礎ボルト
津波監視カメラ (防潮堤)	基礎ボルト
津波監視設備制御盤	基礎ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (13/15)

設備	部位
取水ピット水位計 (バブラー管)	基礎ボルト
	取付ボルト
取水ピット水位計 (アキュムレータ)	胴板
	スカート
	基礎ボルト
取水ピット水位計 (検出器)	基礎ボルト
	取付ボルト
取水ピット水位計 (ボンベラック)	フレーム
	溶接部
	取付ボルト
原子炉本体の基礎	内筒
	外筒
	縦リブ
	アンカボルト
	スカートフランジ
	CRD 開口まわり
海水ポンプ室門型クレーン	ガーダ
	剛脚
	揺脚
	下部連結材 (剛脚側)
	下部連結材 (揺脚側)
	脱線防止装置
	トロリストoppa
	クレーン本体
	トロリ
吊具	
竜巻防護ネット	大梁
	フレーム
	ゴム支承
	取付ボルト
	基礎ボルト
	可動支承
	フレームの移動量

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (14/15)

設備	部位
ほう酸水注入系テストタンク	胴板
	脚
	基礎ボルト
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ
	脱線防止ラグ
	トロリストoppa
	トロリ
	吊具
燃料交換機	構造物フレーム
	ブリッジ転倒防止装置
	走行レール
	トロリ転倒防止装置
	横行レール
	吊具
原子炉しゃへい壁	一般胴部
	開口集中部
原子炉ウェルカバー	本体
	支持部
耐火隔壁	フレーム部材
	基礎ボルト
制御棒貯蔵ラック	上部枠
	コラム
	補強板
	ブレース
	ベース
	基礎ボルト
燃料チャンネル着脱機	フレーム
	可動台
	カーブ上面固定ボルト
	チェーン

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (15/15)

設備	部位	
CRD 自動交換機	構造物フレーム	
	旋回用レール	
	固定用サポート (上部) 固定ピン	
	固定用サポート (上部) 取付ボルト	
	固定用サポート (下部) 固定ピン	
	固定用サポート (下部) 取付ボルト	
	地下水位低下設備揚水ポンプ	基礎ボルト
地下水位低下設備水位計	溶接部	
地下水位低下設備制御盤	フレーム	
	器具取付板 盤取付板 据付架台	
	盤取付ボルト	
	基礎ボルト	
	地下水位低下設備電源盤	フレーム
地下水位低下設備電源盤	器具取付板 筐体 据付架台	
	盤取付ボルト	
	基礎ボルト	
	遠隔手動弁操作設備	基礎ボルト
	遠隔手動弁操作設備	取付ボルト
遠隔手動弁操作設備遮蔽	架台	
	基礎ボルト	
	取付ボルト	

表3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (1/2)

(凡例) ○ : 影響の可能性あり
△ : 影響軽微

(1) 構造強度評価

設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1項(1)水平2方向の地震力が重畳する観点及び(2)水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点	3.2.1項(3)水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点	検討結果
ノズル	○	△	工認耐震計算書における設計荷重が、水平2方向の地震力を考慮した荷重を包絡する。
使用済燃料貯蔵ラック	○	○	影響評価結果は表3-2-3参照。
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	○	○	影響評価結果は表3-2-3参照。
静的触媒式水素再結合装置(その1)	○	○	影響評価結果は表3-2-3参照。
静的触媒式水素再結合装置(その2)	○	○	影響評価結果は表3-2-3参照。
CRD自動交換機	○	○	影響評価結果は表3-2-3参照。

表3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (2/2)

(凡例) ○ : 影響の可能性あり

△ : 影響軽微

(2) 機能維持評価

設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1項(1)水平2方向の地震力が重畳する観点及び(2)水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点	3.2.1項(3)水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点	検討結果
制御棒挿入性	○	○	影響評価結果は表3-2-3参照。

表3-2-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果（基準地震動 S s）

(1) 構造強度評価

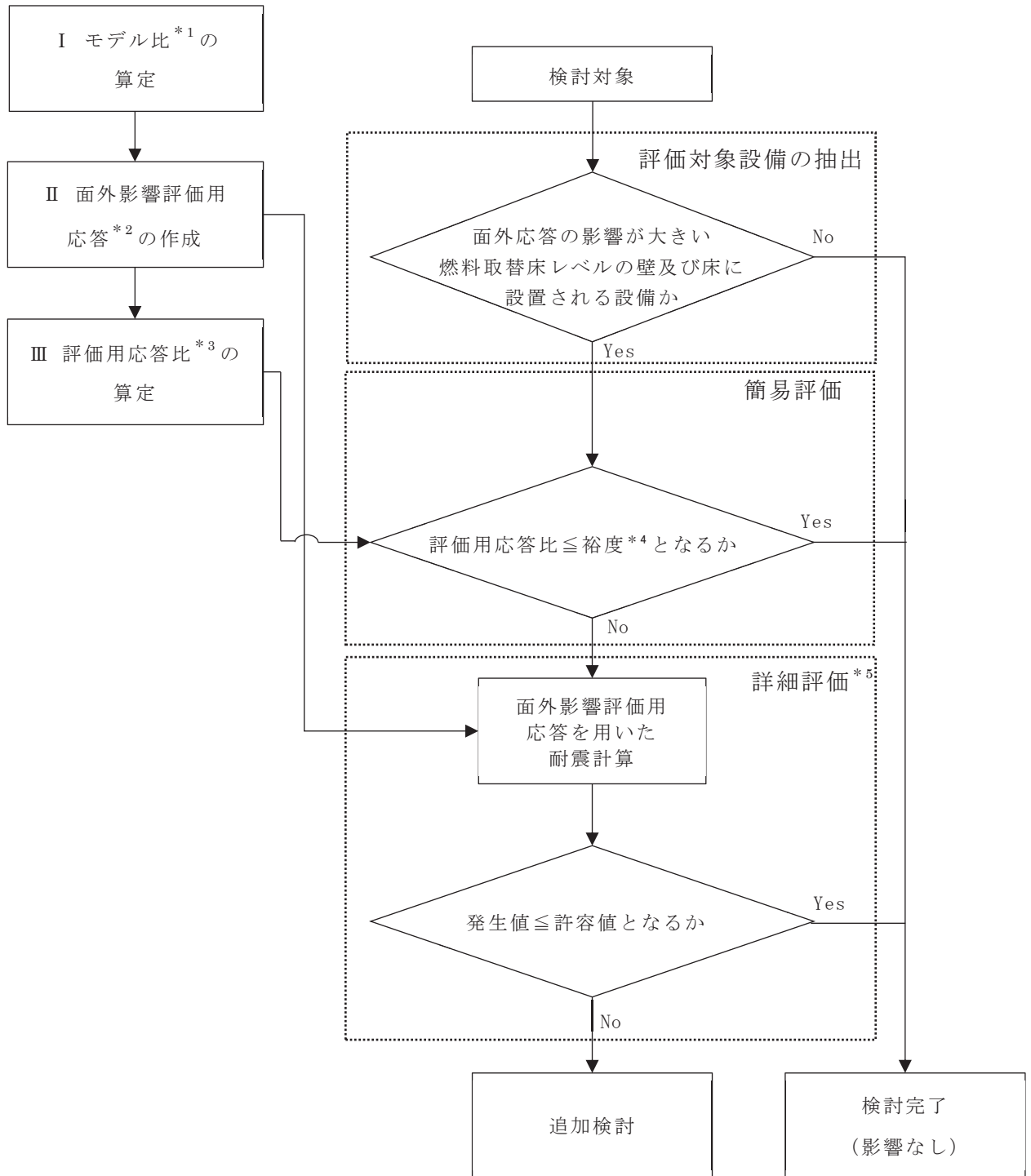
評価対象設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性						備考
	評価部位	応力分類	1方向入力 発生値	2方向想定 発生値	許容値	判定	
使用済燃料貯蔵ラック	角管	組合せ応力	188	189	205	○	単位：MPa
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	組合せ応力	82	86	108	○	単位：MPa
静的触媒式水素再結合装置	静的触媒式水素 再結合装置本体	組合せ応力	141	150		○	単位：MPa
CRD自動交換機	固定用サポート（上部） 取付ボルト	引張応力	346	358	444	○	単位：MPa

(2) 機能維持評価

評価対象設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				備考
	1方向入力 相対変位	2方向想定 相対変位	確認済相対変位	判定	
制御棒挿入性	54.2	57.9	60	○	単位：mm

69

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



- 注記*1: モデル比 = $S_d - D2$ に対する 3次元 FEM モデルの応答 / $S_d - D2$ に対する質点系モデルの応答
 *2: 面外影響評価用応答 = 質点系モデル基本ケース*6の S_s (S_s7 波*7) に対する応答 × モデル比
 *3: 評価用応答比 = 面外影響評価用応答 / 基準地震動 S_s (S_s7 波) の設計用床応答曲線
 *4: 裕度 = 許容値 / 発生値
 *5: 当該設備の耐震計算書で適用している評価手法と同等の手法による評価 (解析モデルの精緻化含む)
 *6: 添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す基本ケース
 *7: S_s7 波は、基準地震動 $S_s - D1, D2, D3, F1, F2, F3$ 及び $S_s - N1$

図3-2-1 原子炉建屋3次元FEMモデルの面外応答に係る機器・配管系への影響検討フロー

表3-2-4 原子炉建屋3次元FEMモデルによる面外応答の機器・配管系への影響を検討した詳細評価条件（基準地震動 S s）

影響検討対象設備	面外方向	面外方向 固有周期*1 (s)	設計用最大応答加速度 (×9.80665 m/s ²)	影響評価用最大応答加速度 (×9.80665 m/s ²)
原子炉建屋ブローアウト パネル閉止装置	水平 (NS)	—	2.62*2	
静的触媒式水素 再結合装置 (その2)	水平 (NS)	—	3.73*3	7.94

注記*1：面外方向に対して剛な設備は「—」として記載する。

*2：添付書類「VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性について」に記載の値。

*3：添付書類「VI-2-9-4-4-3-1 静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算書」に記載の値。

表3-2-5 原子炉建屋3次元FEMモデルによる面外応答の機器・配管系への影響を検討した詳細評価結果（基準地震動 S s）

影響検討対象設備	評価部位	応力分類等	面外応答を考慮した発生値	許容値	判定	備考
原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置*1	扉駆動用電動機	機能維持評価			○	単位：G
	門駆動用電動機					
静的触媒式水素再結合装置（その2）*2	静的触媒式水素再結合装置本体	組合せ応力			○	単位：MPa

注記*1：原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の要求機能が作動性及び気密性保持であるため、装置の駆動に必要な扉駆動用電動機及び門駆動用電動機の機能維持評価を実施した。

*2：実機の構造を踏まえ、添付書類「VI-2-9-4-4-3-1 静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算書」に記載の解析モデルを精緻化して応力評価を実施した。

*3：動的機能維持評価は各方向に対する評価であり、応答増幅する面外（水平）方向の発生値。

*4：水平2方向及び鉛直方向を考慮した発生値。

3.3 屋外重要土木構造物

3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1) 構造形式の分類

図3-3-1に屋外重要土木構造物の配置図を示す。

屋外重要土木構造物は、その構造形式より1)軽油タンク連絡ダクト，排気筒連絡ダクト，原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部），原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部），取水路（漸拡部），取水路（標準部），第1号機取水路，第3号機取水路，北側排水路及び防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））のような「1）線状構造物」，2)軽油タンク室，軽油タンク室（H），海水ポンプ室，取水口，貯留堰，復水貯蔵タンク基礎，ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室のように加振方向に平行な妻壁や隔壁等の部材を有する「2）箱形構造物」の2つに大別される。

屋外重要土木構造物の構造形式を表3-3-1に示す。

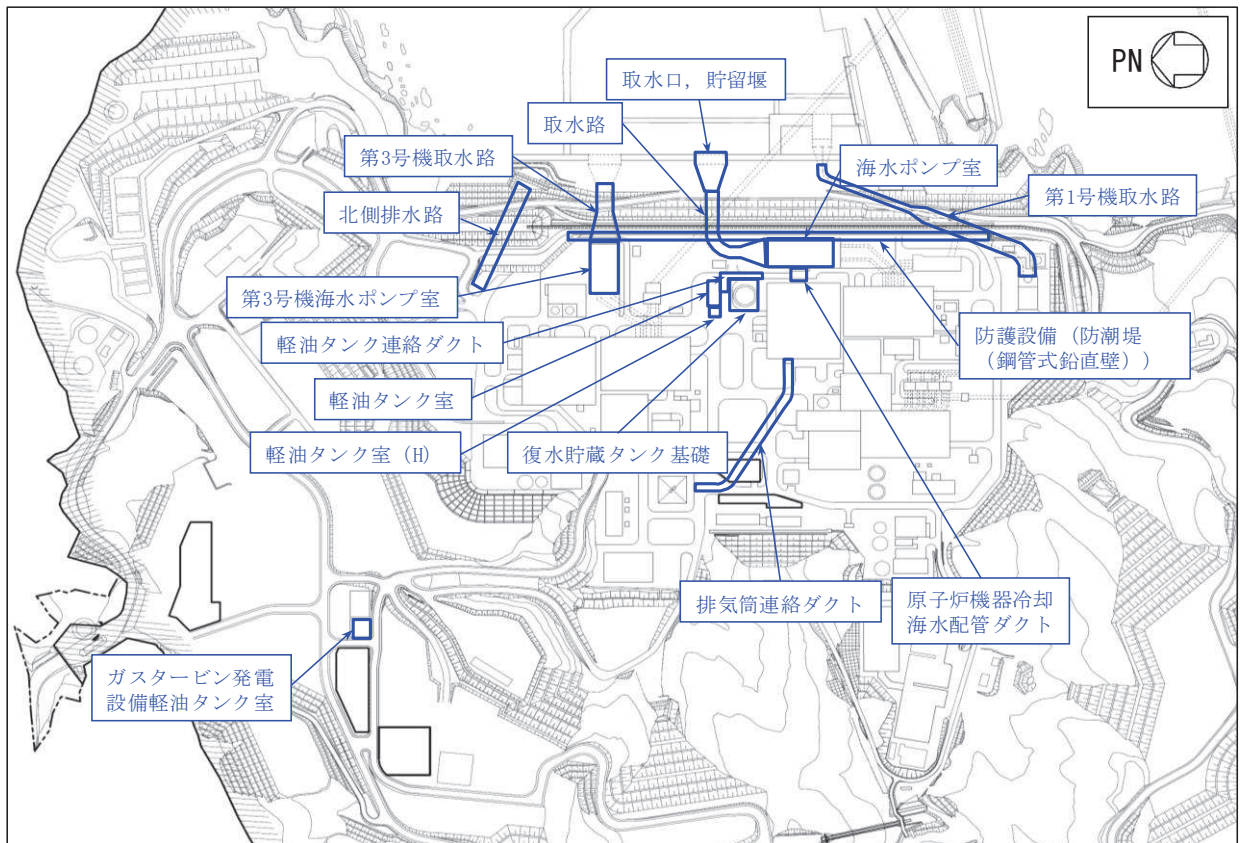


図3-3-1 屋外重要土木構造物等 位置図

表3-3-1 屋外重要土木構造物等の構造形式

対象構造物	構造形式	
	1)線状構造物	2)箱形構造物
軽油タンク連絡ダクト	○	
排気筒連絡ダクト	○	
原子炉機器冷却海水配管 ダクト（水平部）	○	
原子炉機器冷却海水配管 ダクト（鉛直部）	○	
取水路（漸拡部）	○	
取水路（標準部）	○	
第1号機取水路	○	
第3号機取水路	○	
北側排水路	○	
防護設備（防潮堤（鋼管式 鉛直壁））	○	
軽油タンク室		○
軽油タンク室（H）		○
海水ポンプ室		○
取水口，貯留堰		○
復水貯蔵タンク基礎		○
ガスタービン発電設備 軽油タンク室		○
第3号機海水ポンプ室		○

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表3-3-2に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧、摩擦力、慣性力が挙げられる。

表3-3-2 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
③慣性力	躯体に作用する慣性力 (1)加振方向への慣性力	
	躯体に作用する慣性力 (2)偏心の影響によるねじり応力の発生	

注：当該図は、平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表3-3-3に、3.3.1(1)で整理した構造形式ごとに、3.3.1(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

「1)線状構造物」、「2)箱形構造物」の地震時の挙動は、躯体が主に地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.1(2)で整理した荷重のうち「②摩擦力」や「③慣性力」は、「①動土圧及び動水圧」と比較するとその影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「①動土圧及び動水圧」による影響を考慮する。

「1)線状構造物」については、その構造上の特徴として、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さない若しくは妻壁（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」は作用しない。

「2)箱形構造物」は、妻壁等を有することから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用する。また、復水貯蔵タンク基礎の円筒形しゃへい壁については、図3-3-2に示すとおり、水平1方向への地震時荷重作用時と、水平2方向への地震時荷重作用時では、最大応力発生位置や応力値が異なる。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、地中埋設構造物のうち、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用する箱形構造物を抽出する。

なお、円筒形しゃへい壁の最大応力発生位置は地震時荷重の入力方向により異なり、耐荷性能には方向性がない。よって、表3-3-3(2/2)に示すとおり、従来設計手法における評価方向に対して平行する側面に荷重が作用する地下ピット部に着目して従来どおり直交2方向の評価断面を選定し、水平2方向同時入力の影響検討を実施することとする。

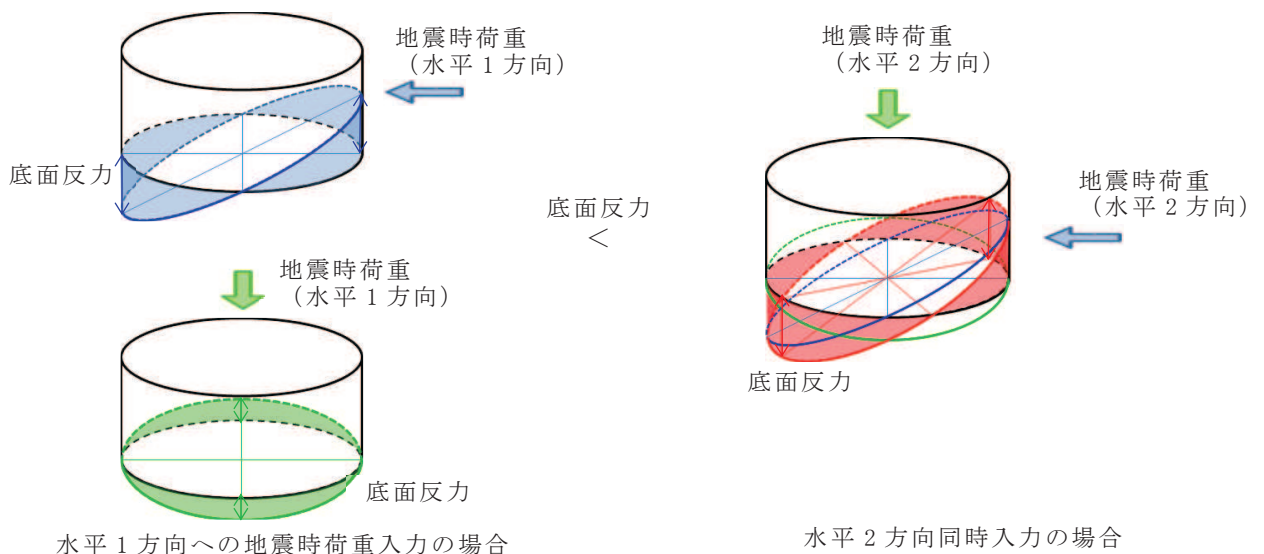


図 3-3-2 遮蔽壁の応力分布概念図（底面反力の例）

表3-3-3(1) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

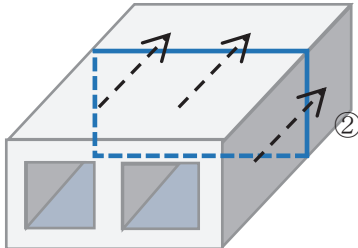
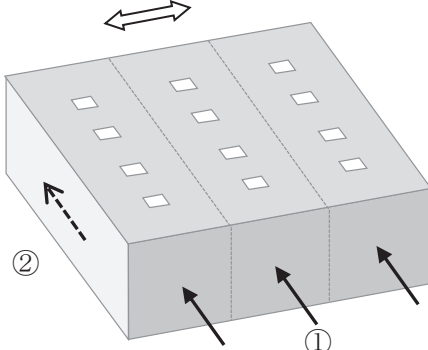
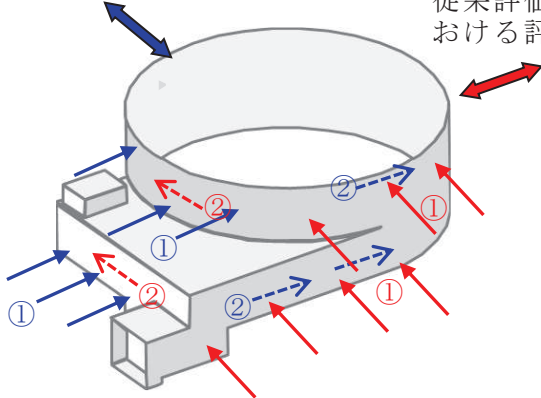
<p>3.3.1(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)</p>	<p>1)線状構造物 (軽油タンク連絡ダクト, 排気筒連絡ダクト, 原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部), 原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部), 取水路(漸拡部), 取水路(標準部), 第1号機取水路, 第3号機取水路, 北側排水路, 防護設備(防潮堤(鋼管式鉛直壁)))</p>							
<p>3.3.1(2)で整理した荷重の作用状況</p>	<p>—— 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="550 929 1444 1041"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>側壁, 頂版に作用</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>		①動土圧及び動水圧	作用しない	②摩擦力	側壁, 頂版に作用	③慣性力	全ての部材に作用
①動土圧及び動水圧	作用しない							
②摩擦力	側壁, 頂版に作用							
③慣性力	全ての部材に作用							
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。</p>							
<p>抽出結果</p>	<p>×</p>							

表3-3-3(2) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

3.3.1(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)	2)箱形構造物 (軽油タンク室, 軽油タンク室(H), 海水ポンプ室, 取水口, 貯留堰, ガスタービン発電設備軽油タンク室, 第3号機海水ポンプ室)		2)箱形構造物 (復水貯蔵タンク基礎)	
3.3.1(2)で整理した荷重の作用状況	<p>従来評価手法における評価方向</p>  <p>注記：③慣性力は全ての部材に作用</p>		<p>従来評価手法における評価方向</p> 	
	①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用	①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用
	②摩擦力	側壁に作用	②摩擦力	側壁に作用
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材(妻壁)を有し, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。		従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材(妻壁)を有し, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。	
抽出結果	○		○	

- (4) 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の抽出

(3)で抽出しなかった構造形式である線状構造物について、構造物ごとの平面図及び断面図を以下に示す。各構造物の構造，地盤条件等を考慮した上で，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を抽出する。

a. 軽油タンク連絡ダクト【線状構造物】

図3-3-3～図3-3-6に軽油タンク連絡ダクトの平面図及び断面図を示す。

軽油タンク連絡ダクトは、ほぼ等間隔に構造目地が設けられており構造物に応力集中が発生しない設計としているとともに、それぞれが十分な支持性能を有する岩盤にマンメイドロックを介して設置されているため、構造物の勾配や延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また、小規模ながら評価対象断面に直交する方向に動土圧が作用する妻壁があるが、従来設計においては、妻壁による評価対象断面のせん断変形の抑制効果に期待せず、評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる保守的な設計をしている。軽油タンク連絡ダクトの屈曲部は、復水貯蔵タンク基礎と軽油タンク室に挟まれて配置されていることから、妻壁に作用する動土圧は構造物間のおずかな盛土により発生するものであり、面外荷重に対する妻壁の設計は、従来設計の評価対象断面における側壁の設計にて担保される。

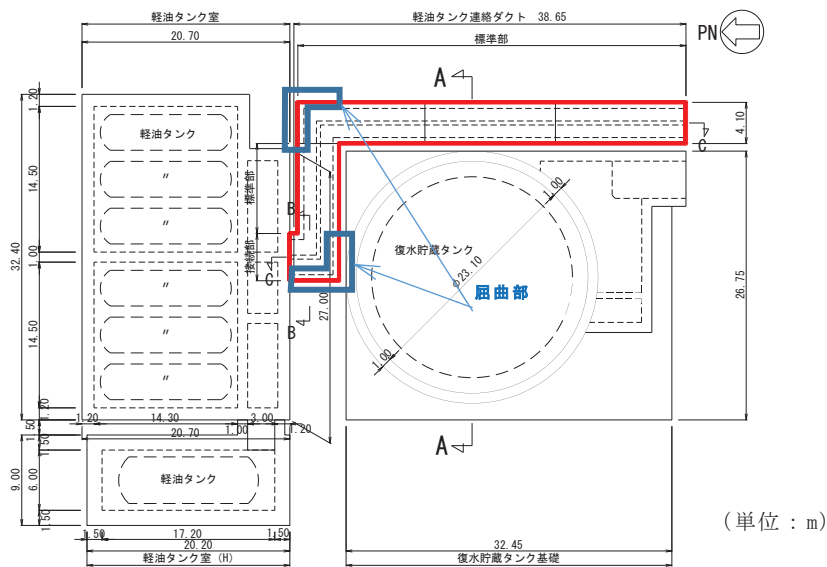


図 3-3-3 軽油タンク連絡ダクト平面図

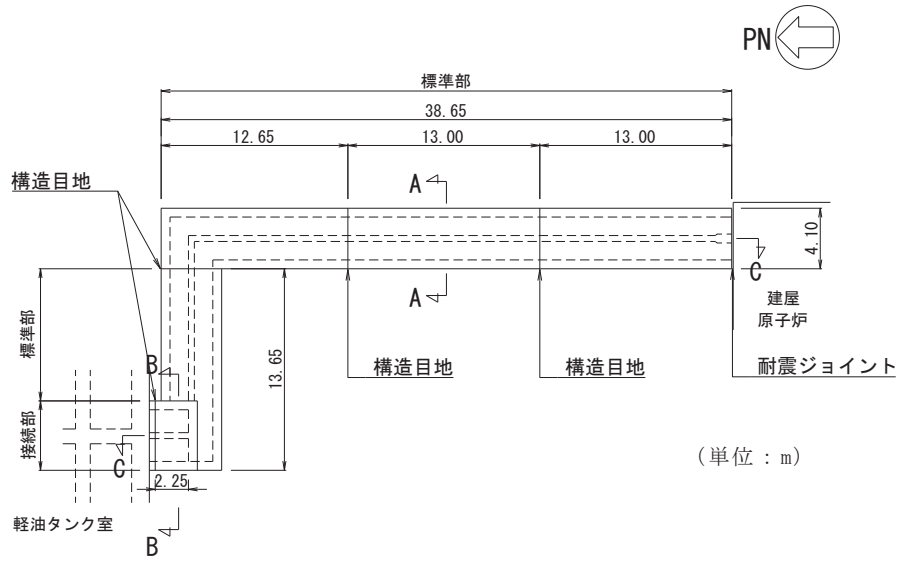


図 3-3-4 軽油タンク連絡ダクト平面図（詳細）

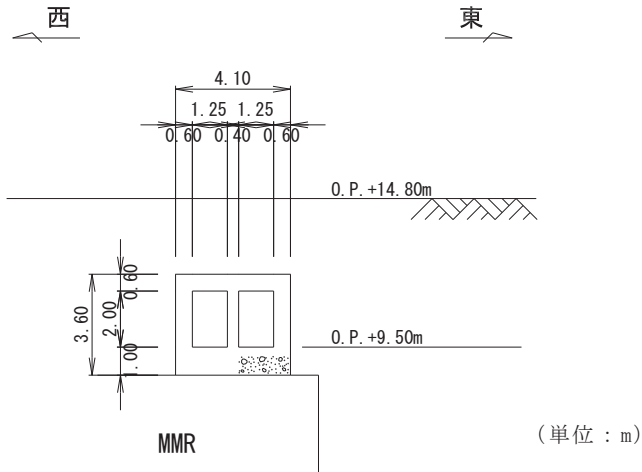


図 3-3-5 軽油タンク連絡ダクト断面図（A-A 断面，標準部）

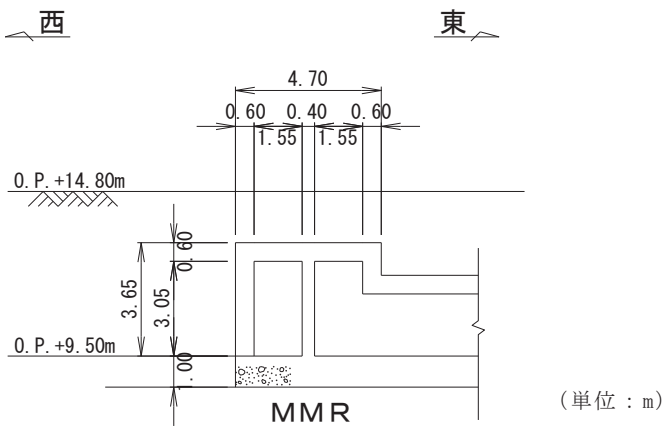


図 3-3-6 軽油タンク連絡ダクト断面図（B-B 断面，接続部）

b. 排気筒連絡ダクト【線状構造物】

図3-3-7～図3-3-9に排気筒連絡ダクトの平面図及び断面図を示す。

排気筒連絡ダクトは、ほぼ等間隔に構造目地が設けられており構造物に応力集中が発生しない設計としているとともに、それぞれが十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して設置されているため、構造物の勾配や延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

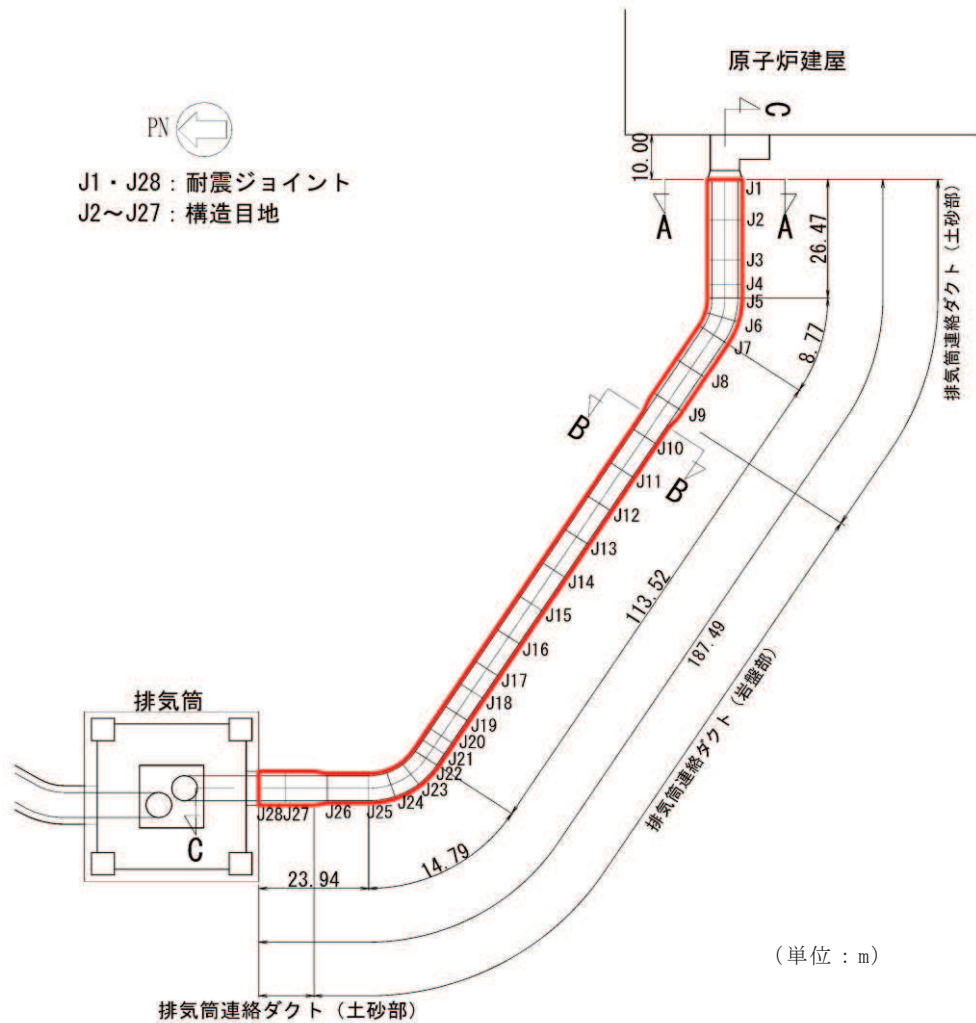


図 3-3-7 排気筒連絡ダクト平面図

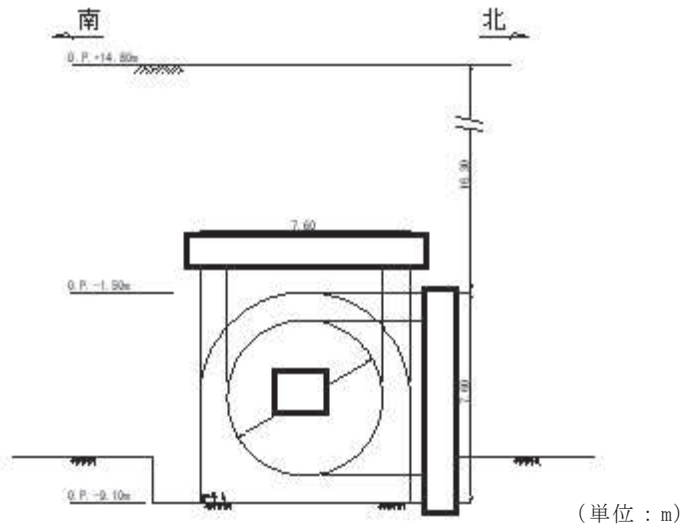


図 3-3-8 排気筒連絡ダクト断面図（土砂部，A-A）

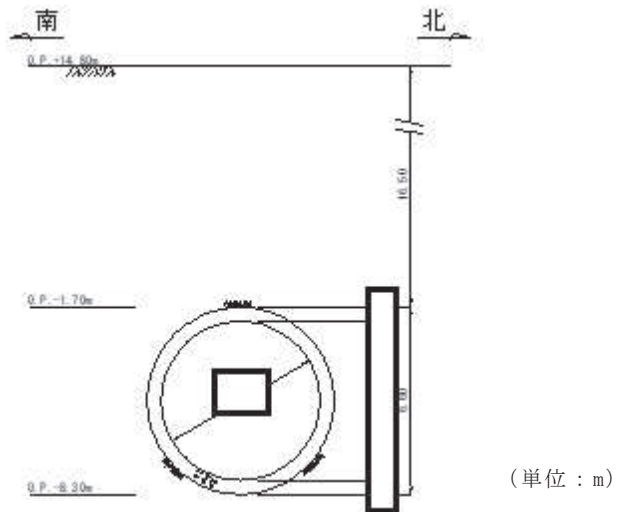


図 3-3-9 排気筒連絡ダクト断面図（岩盤部，B-B）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

c. 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）【線状構造物】

図3-3-10～図3-3-11に原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の平面図及び断面図を示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）は、延長が短く、両端に耐震ジョイントが設けられており構造物に応力集中が発生しない設計としているとともに、それぞれが十分な支持性能を有する岩盤にマンメイドロックを介して設置されているため、構造物の延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

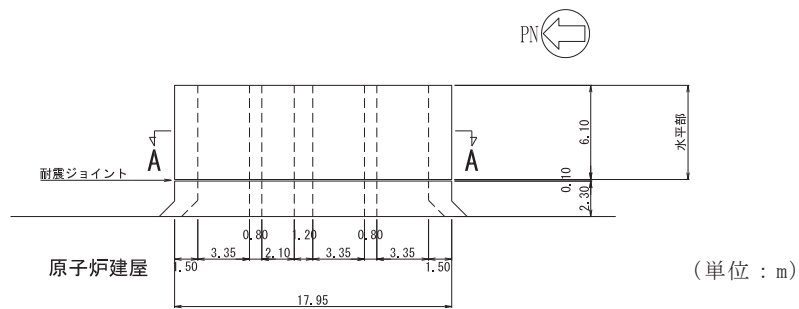


図 3-3-10 原子炉機器冷却海水配管ダクト平面図

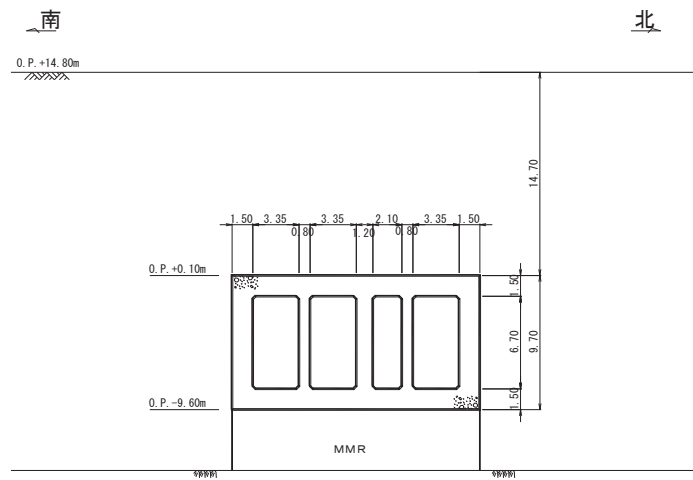


図 3-3-11 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）断面図（A-A 断面）

d. 取水路（漸拡部）【線状構造物】

図3-3-12及び図3-3-13に取水路（漸拡部）の平面図及び断面図を示す。

取水路（漸拡部）は、十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また、断面変化があるものの断面が徐々に漸拡していく形状であり、屈曲部は有さないため、強軸方向の曲げの影響はほとんど受けない。

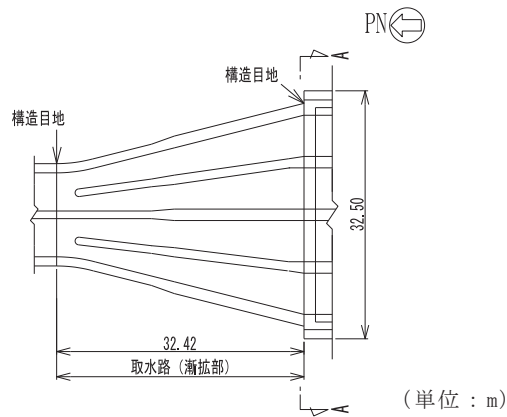


図 3-3-12 取水路（漸拡部）平面図

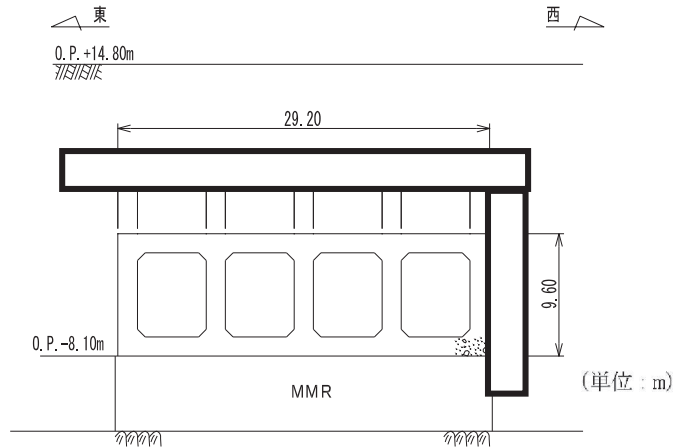


図 3-3-13 取水路（漸拡部）断面図（A-A 断面）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

e. 第1号機取水路【線状構造物】

図3-3-14～図3-3-16に第1号機取水路の平面図及び及び断面図を示す。

第1号機取水路は、十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

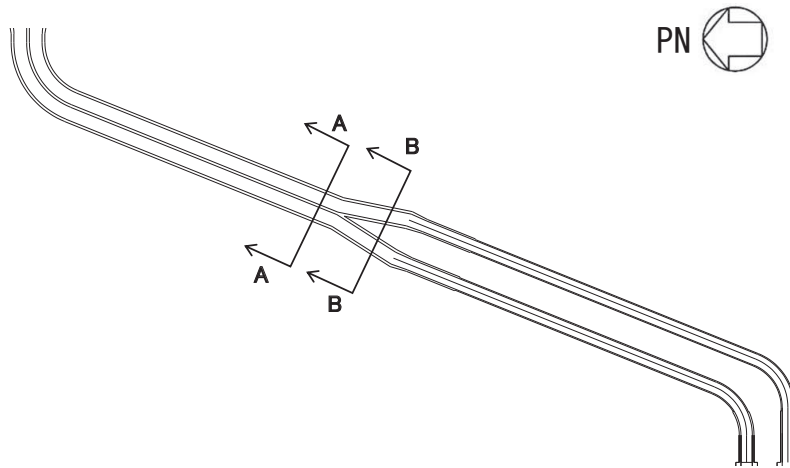


図 3-3-14 第 1 号機取水路平面図

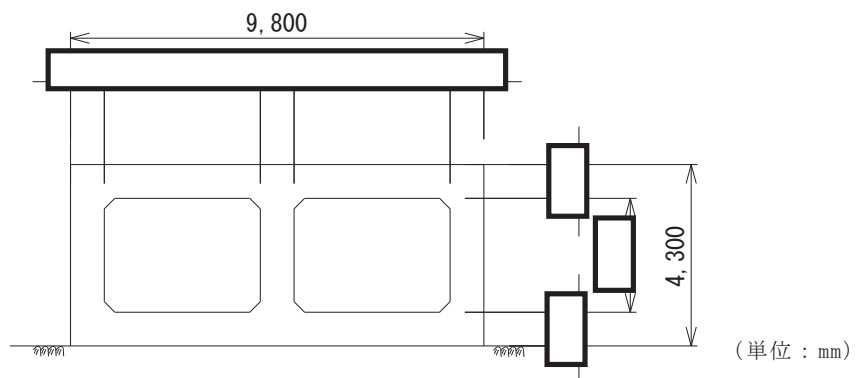


図 3-3-15 第 1 号機取水路の構造図 (A-A 断面)

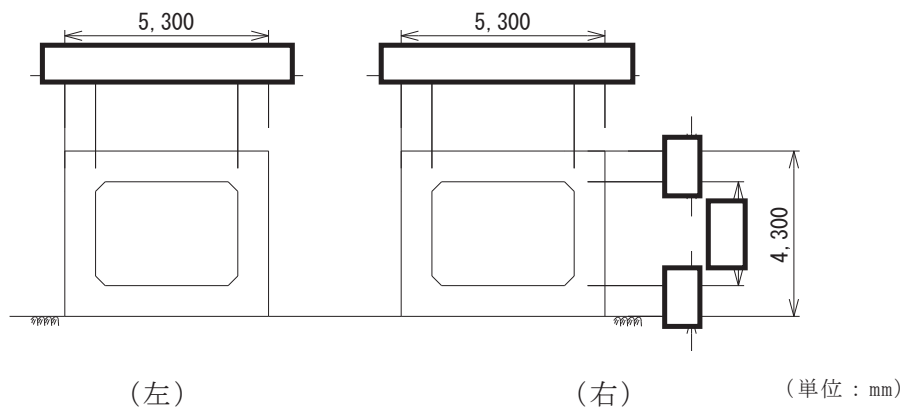


図 3-3-16 第 1 号機取水路の構造図 (B-B 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

f. 第3号機取水路【線状構造物】

図3-3-17～図3-3-18に第3号機取水路の平面図及び断面図を示す。

第3号機取水路は、十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また、断面変化があるものの断面が徐々に漸拡していく形状であり、屈曲部は有さないため、強軸方向の曲げの影響はほとんど受けない。

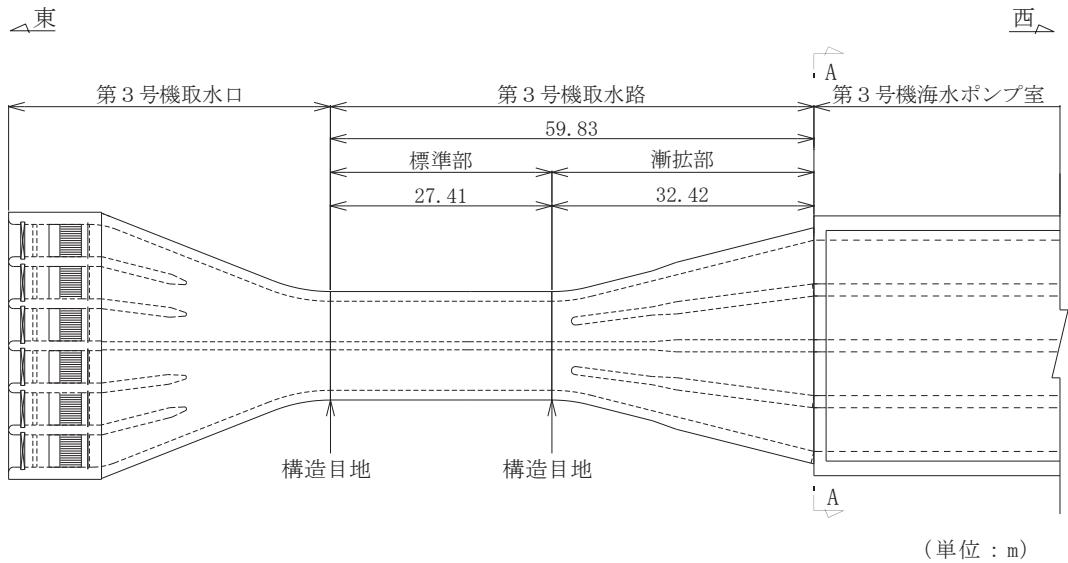


図 3-3-17 第 3 号機取水路平面図

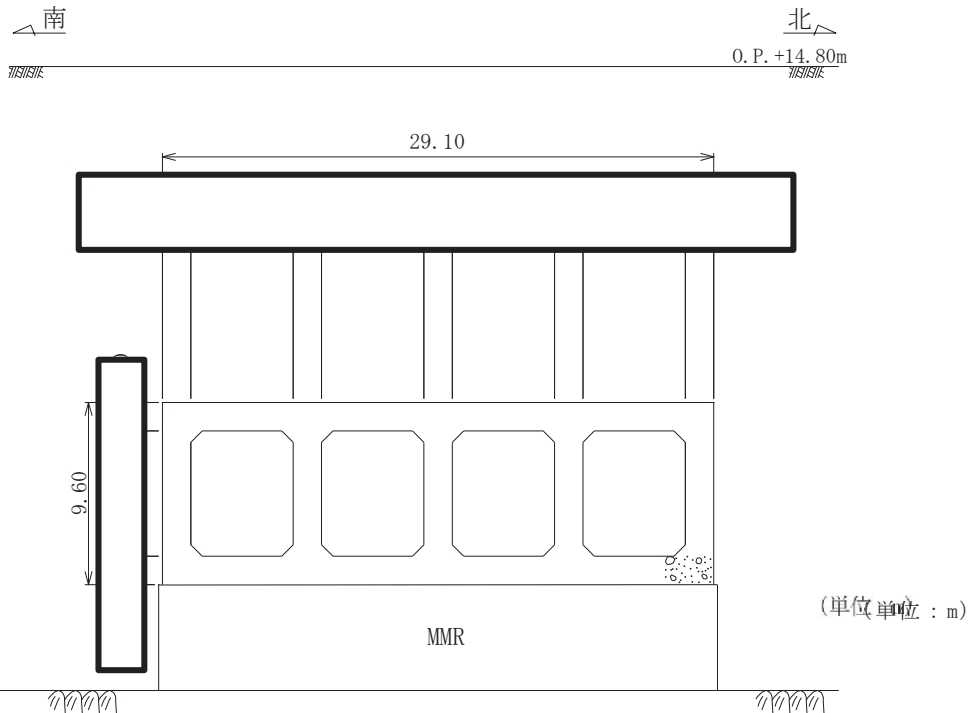


図 3-3-18 第 3 号機取水路断面図 (A-A 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

g. 北側排水路【線状構造物】

図3-3-19に北側排水路の平面図及び断面図を示す。

北側排水路は、防潮堤（盛土堤防）内部を横断し、十分な支持性能を有する岩盤に改良地盤を介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

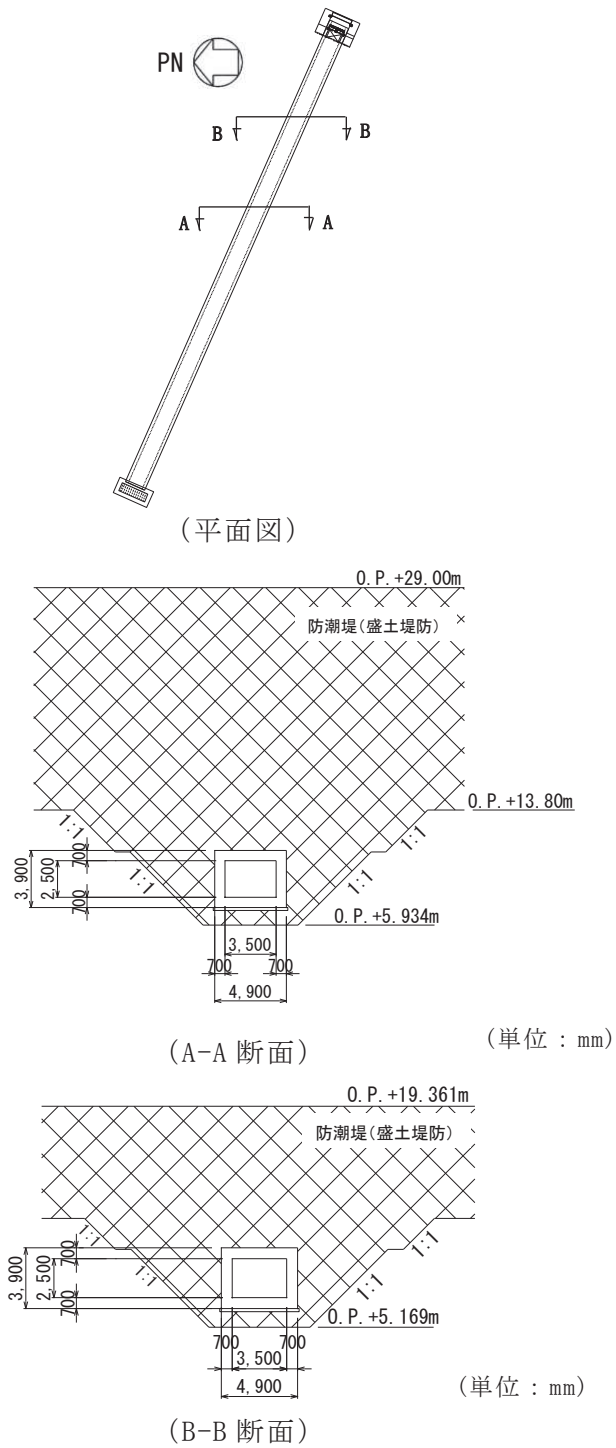


図 3-3-19 北側排水路の平面図及び断面図

h. 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））【線状構造物】

図3-3-20～図3-3-21に防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の位置図及び断面図を示す。

防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））は，防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工に直線状に設置されており，軸方向に対して同一の構造断面が連続する線状構造物であり，明確な弱軸・強軸を示し，強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

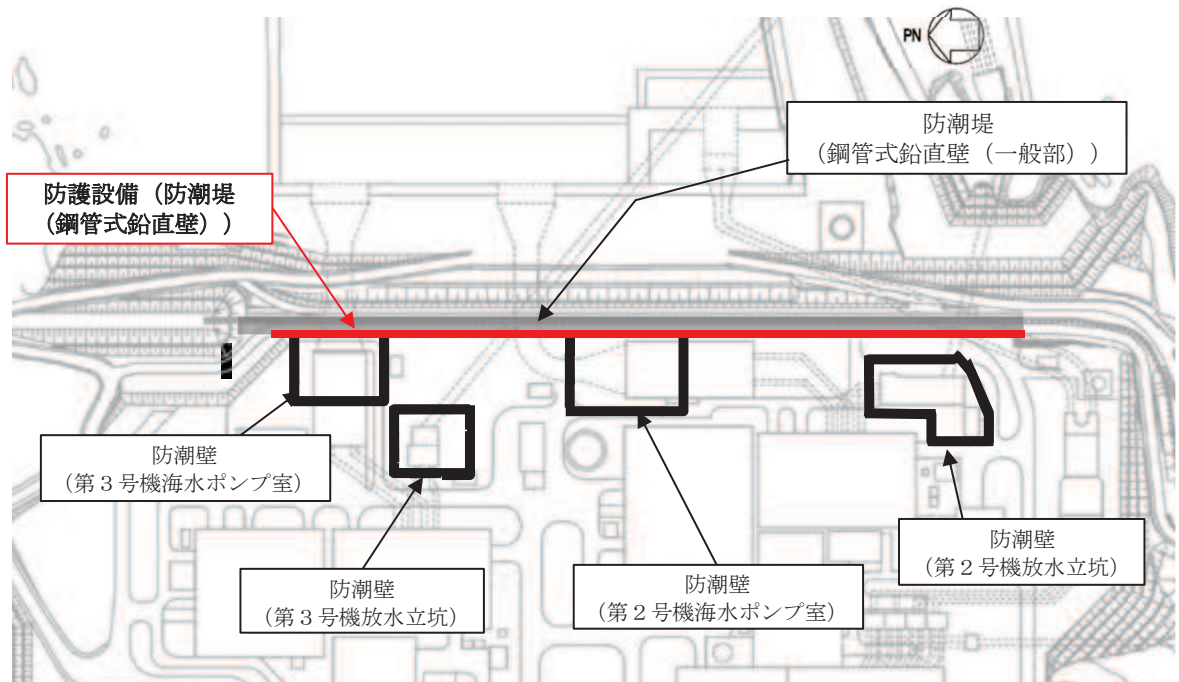


図 3-3-20 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の位置図

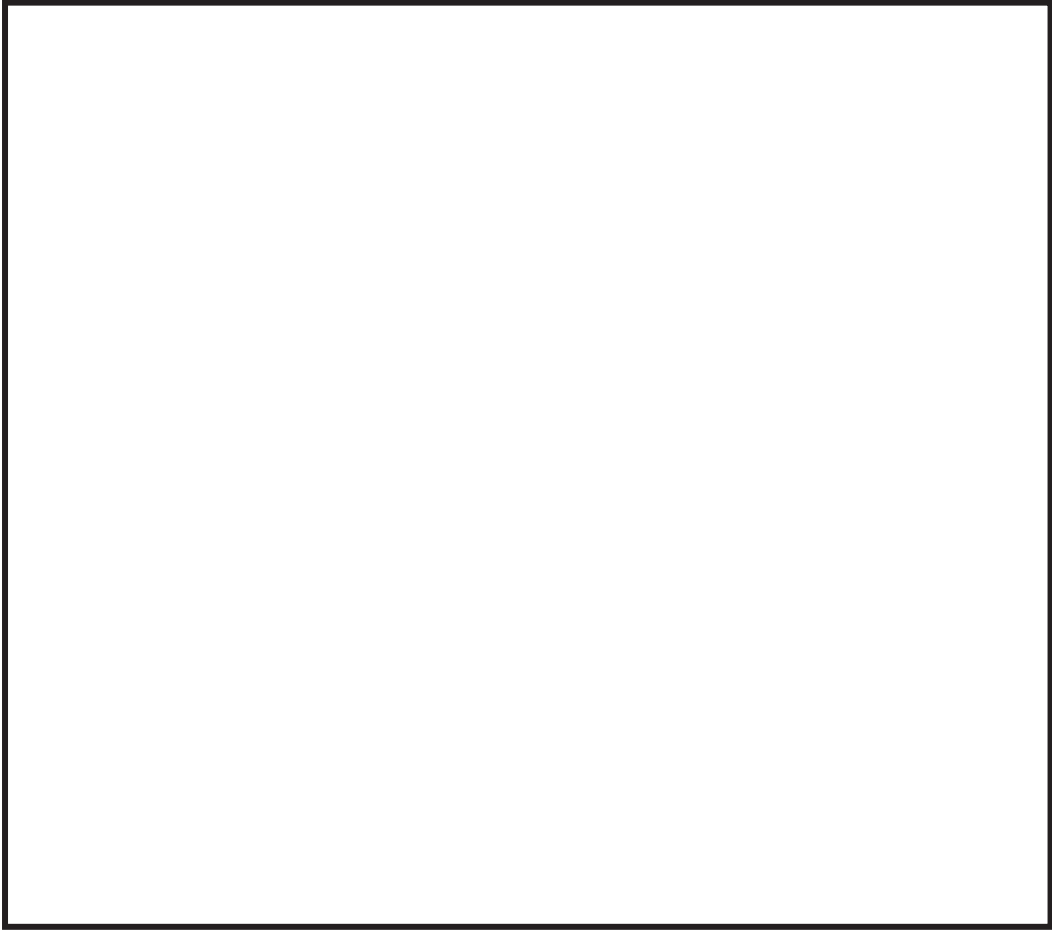


図 3-2-21 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

線状構造物として分類した軽油タンク連絡ダクト，排気筒連絡ダクト，原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部），原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部），取水路（漸拡部），第1号機取水路，第3号機取水路，北側排水路及び防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））について，各構造物の構造，地盤条件等を考慮した上で，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を確認した。

その結果，これらの構造物については，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。

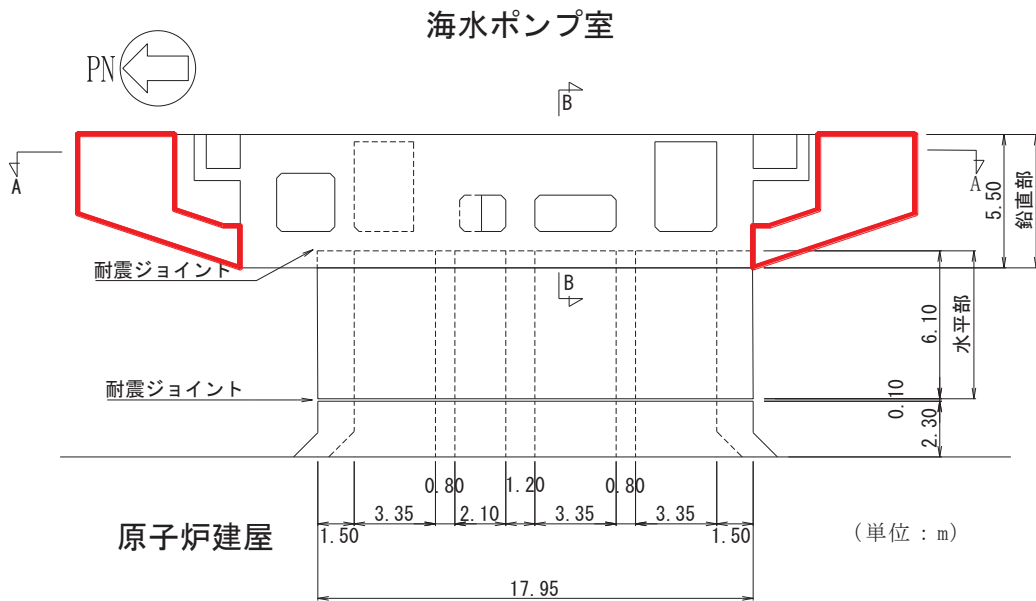
(5) 従来設計手法の妥当性確認

a. 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）

図3-3-22に原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の平面図及び断面図を示す。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、図3-3-23～図3-3-30に示すとおり断面②～⑤の4つの内空断面と頂版（断面①）及び底版（断面⑥）を有する構造物である。

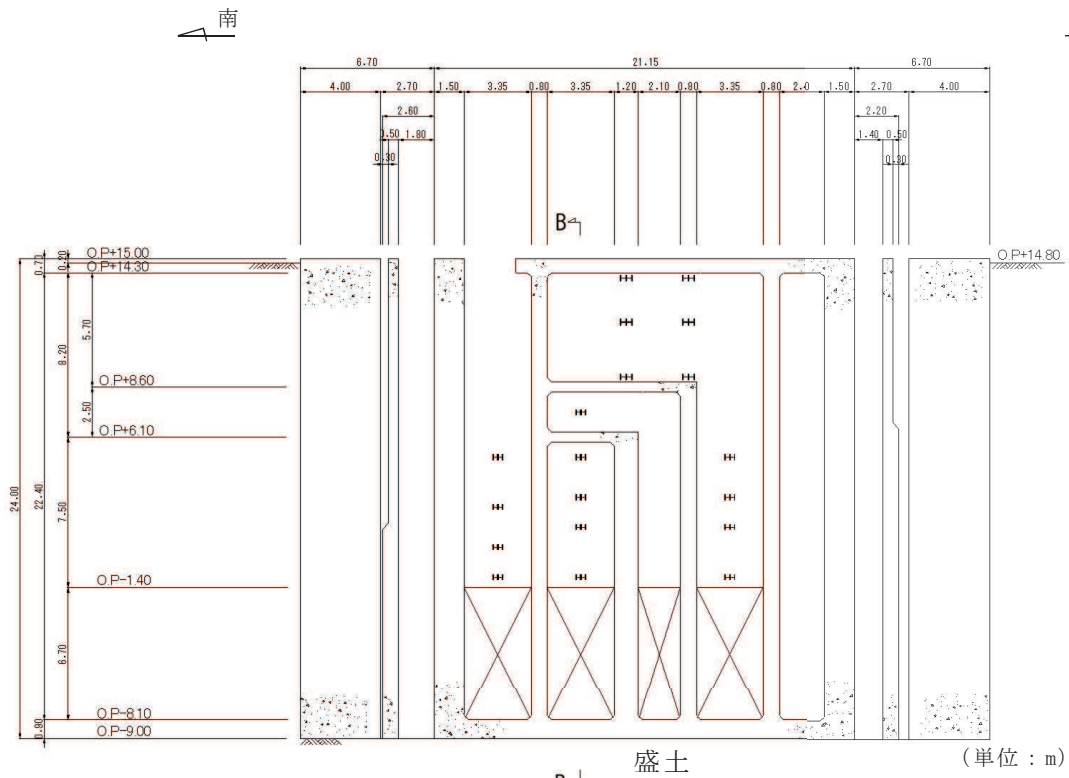
原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち断面②～⑤は、水平断面に耐震評価を行っており、小規模ながら評価対象断面に直交する方向に地盤反力が作用する底版があるが、底版による評価対象断面のせん断変形の抑制効果に期待せず、評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる保守的な設計をしており、従来設計の評価対象断面における設計にて担保される。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥）については、鉛直方向に面外変形することから、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを設計で見込むこととする。



: 側壁（新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$ ）

図 3-3-22 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）平面図



*注記：図中の H-H は鋼材を示し， X-X は海水配管ダクト（水平部）との接続部を示す。

図 3-3-23 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）正面図（A-A 断面）

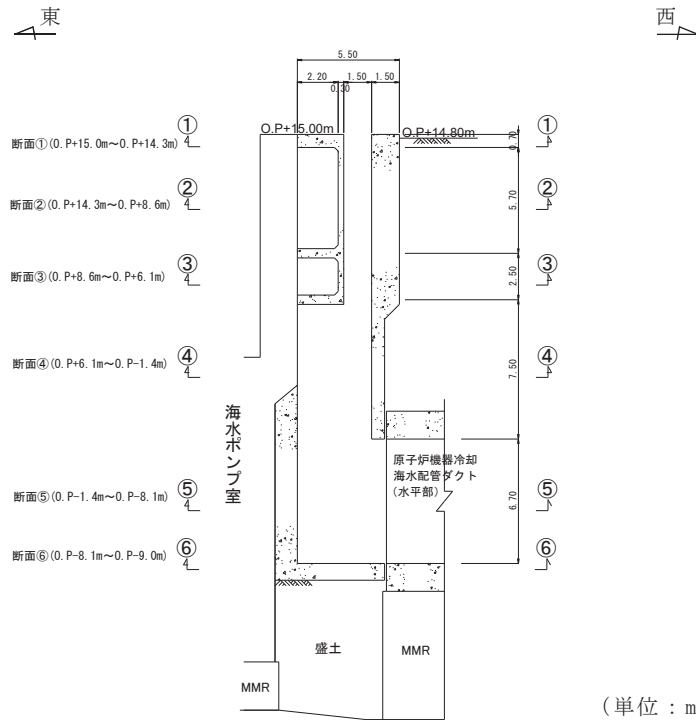


図3-3-24 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）東西縦断図（B-B断面）

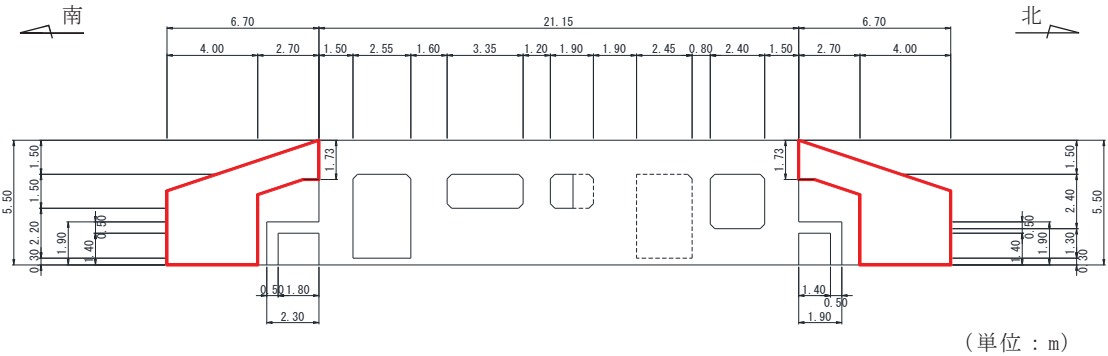


図 3-3-25 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面①)

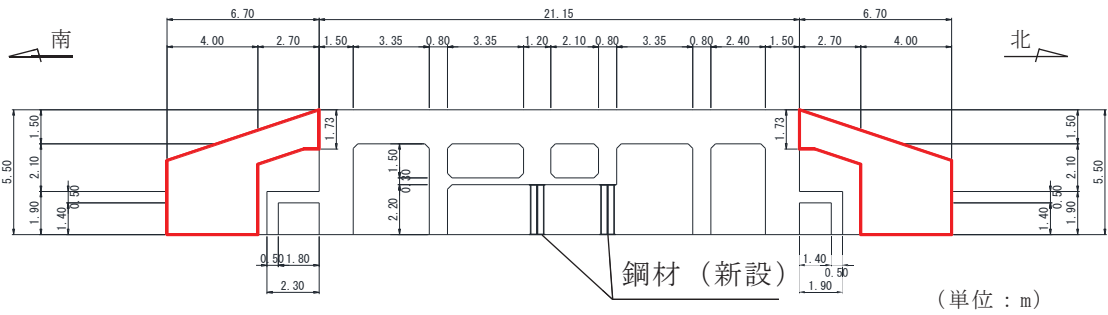


図 3-3-26 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面②)

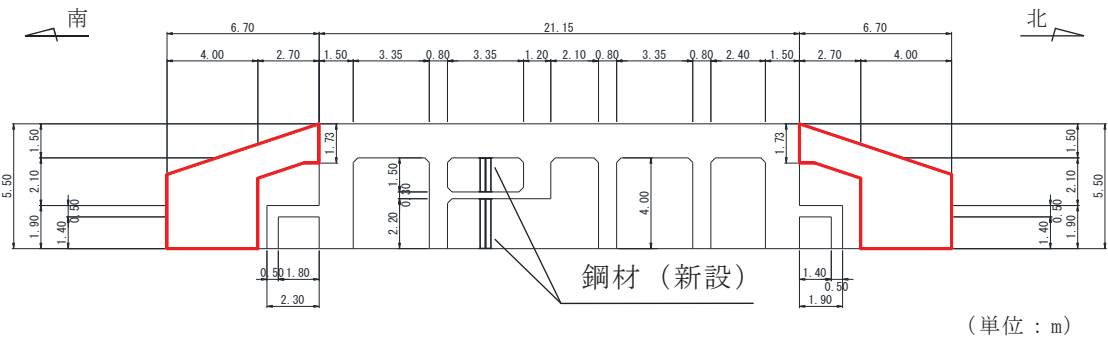
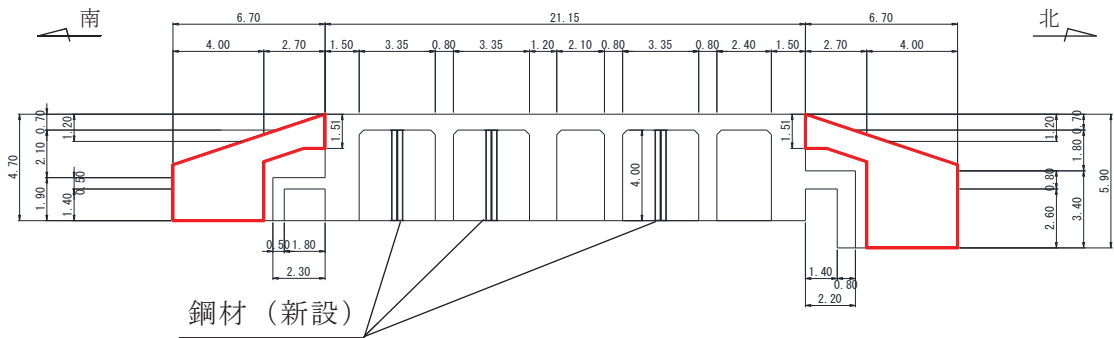


図 3-3-27 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面③)

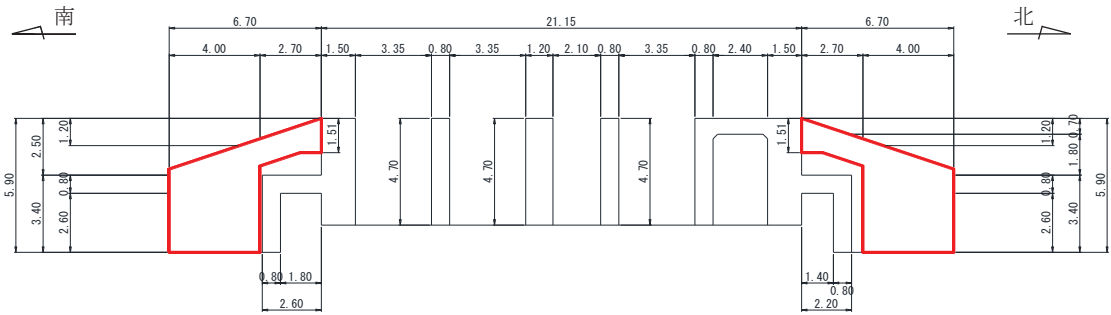


鋼材 (新設)

(単位 : m)

□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

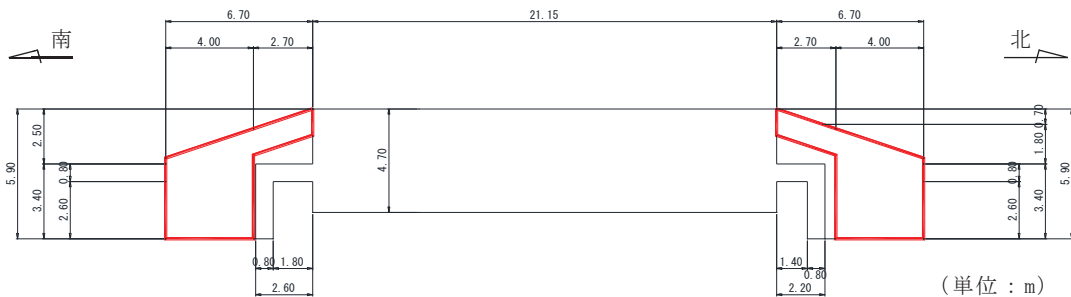
図 3-3-28 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面④)



(単位 : m)

□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-29 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面⑤)



(単位 : m)

□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-30 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面⑥)

b. 取水路（標準部）

図3-3-31及び図3-3-32に取水路（標準部）の平面図及び断面図を示す。

取水路（標準部）は構造目地により直線部及び曲線部に分かれている。直線部及び曲線部は十分な支持性能を有する岩盤にマンメイドロックを介して設置しており強軸方向の変形の影響は無く、従来設計では評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計としているが、図3-3-33に示すとおり、曲線部の各断面位置にて弱軸方向外側に変形した場合には、取水路の強軸方向に引張力が発生するため、従来設計では評価していない配力鉄筋への影響を確認する必要がある。

よって、取水路（標準部）のうち曲線部については、弱軸方向への変形により発生する軸方向の引張力が配力鉄筋に与える影響が想定されるため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを設計に見込むこととする。

なお、取水路（標準部）のうち直線部については、構造物の延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

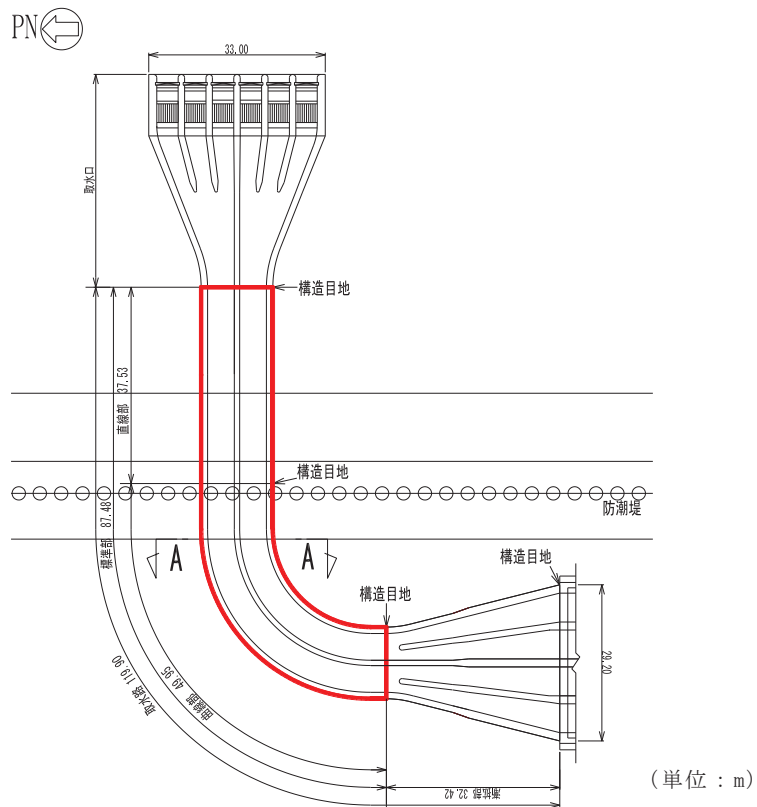


図 3-3-31 取水路（標準部）平面図

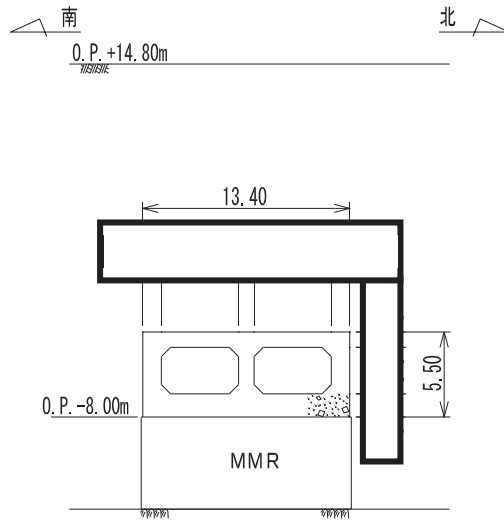


図 3-3-32 取水路（標準部）断面図（A-A 断面）

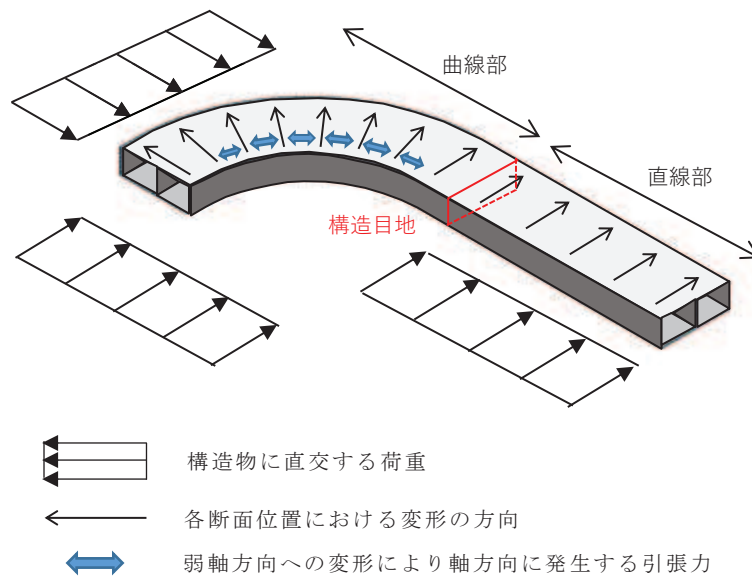


図3-3-33 取水路（標準部）における変形

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

3.3.1の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討すべき構造形式として、構造及び作用荷重の観点から、線状構造物及び箱型構造物を抽出した。以下に、構造形式ごとの選定結果を示す。

(1) 線状構造物

線状構造物については、耐震評価を行う水平断面に対して鉛直方向に面外変形する原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥），3次元的な応答特性が想定される取水路（標準部）のうち曲線部に対して水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを設計に見込むこととする。

(2) 箱形構造物

箱形構造物については、軽油タンク室、軽油タンク室（H）、海水ポンプ室、取水口、貯留堰、復水貯蔵タンク基礎、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室の全ての構造物に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。箱形構造物の平面図、断面図及び縦断面図を図3-3-34～図3-3-61に示す。

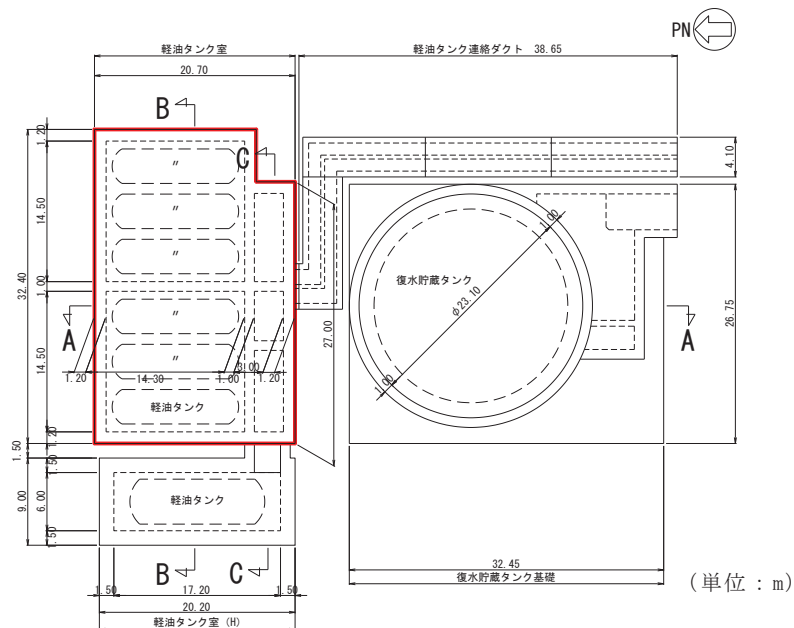


図 3-3-34 軽油タンク室平面図

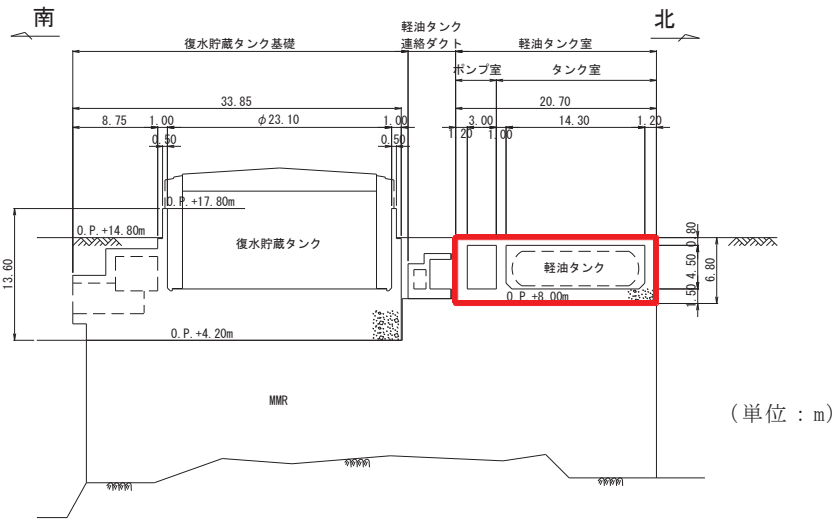


図 3-3-35 軽油タンク室断面図 (A-A 断面, 南北)

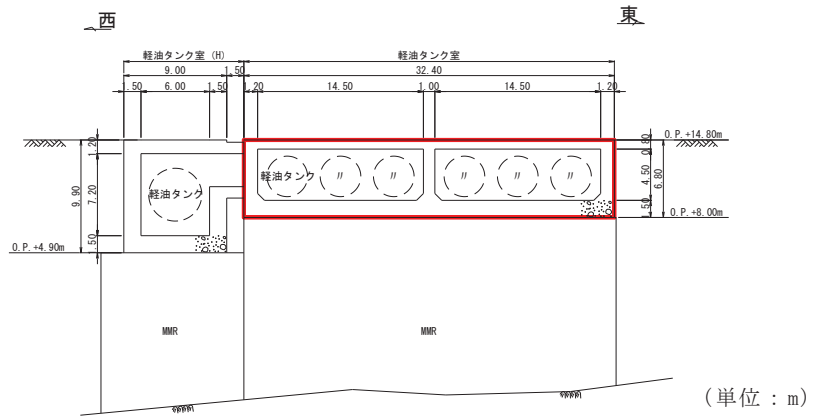


図 3-3-36 軽油タンク室断面図 (B-B 断面, 東西 (タンク室))

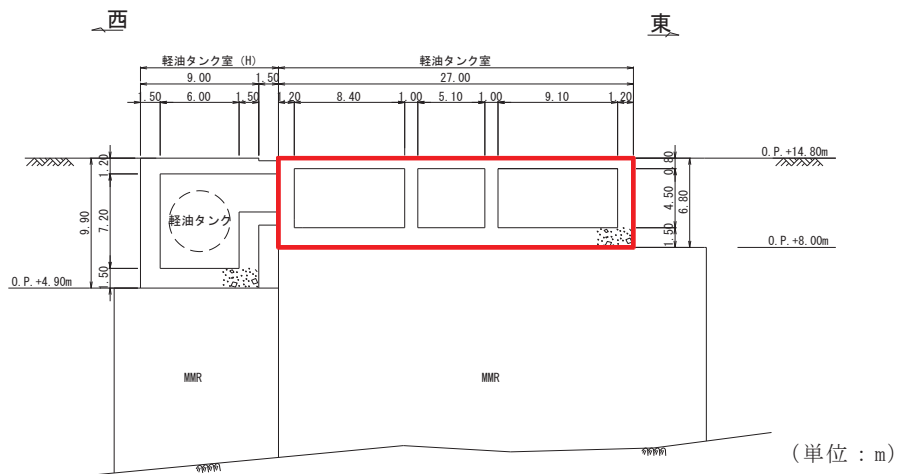


図 3-3-37 軽油タンク室断面図 (C-C 断面, 東西 (ポンプ室))

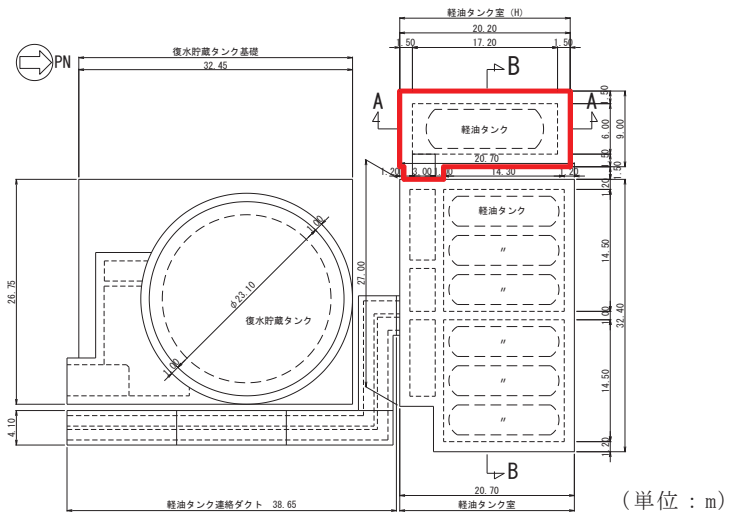


図 3-3-38 軽油タンク室 (H) 平面図

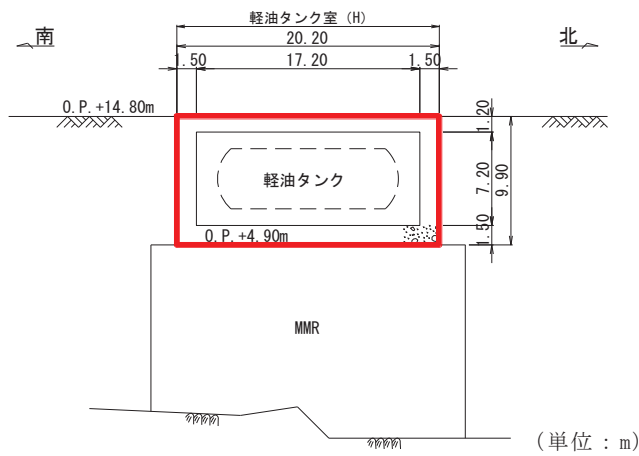


図 3-3-39 軽油タンク室 (H) 断面図 (A-A 断面, 南北)

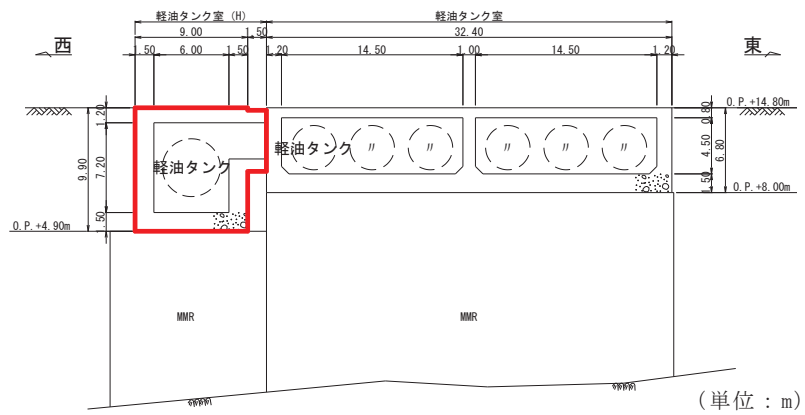


図 3-3-40 軽油タンク室 (H) 断面図 (B-B 断面, 東西)

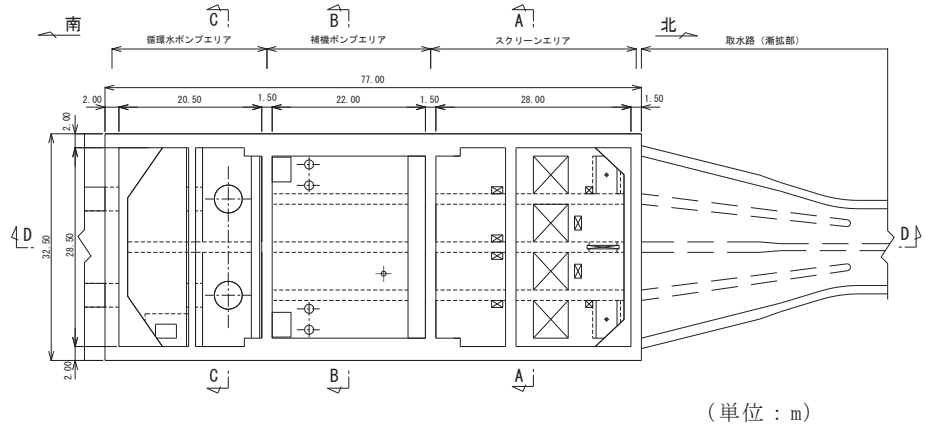


図 3-3-41 海水ポンプ室平面図

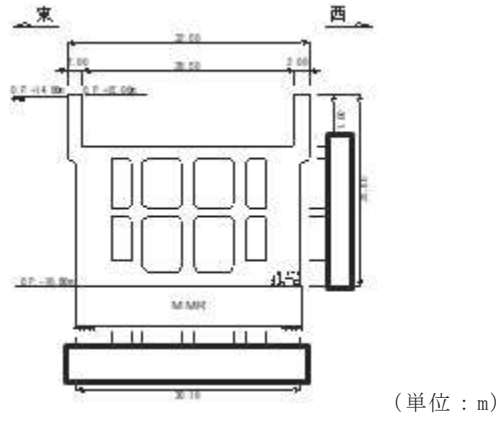


図 3-3-42 海水ポンプ室縦断面図 (A-A 断面，東西 (スクリーンエリア))

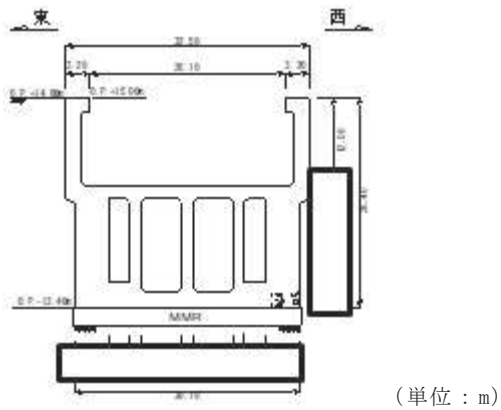


図 3-3-43 海水ポンプ室断面図 (B-B 断面，東西 (補機ポンプエリア))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

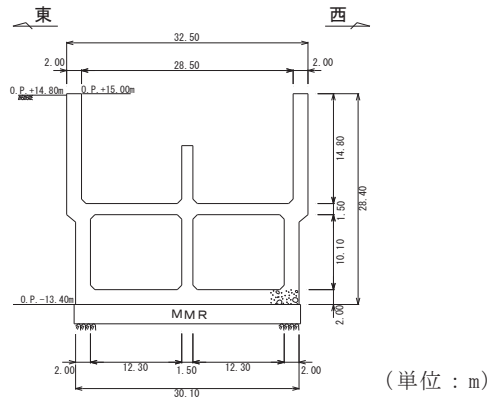


図 3-3-44 海水ポンプ室断面図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

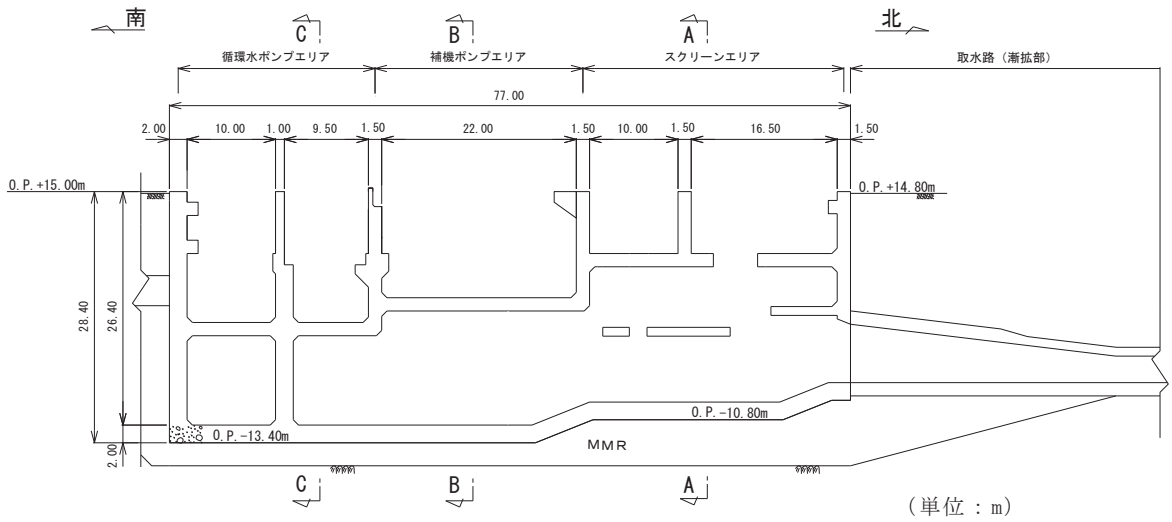


図 3-3-45 海水ポンプ室断面図 (D-D 断面, 南北)

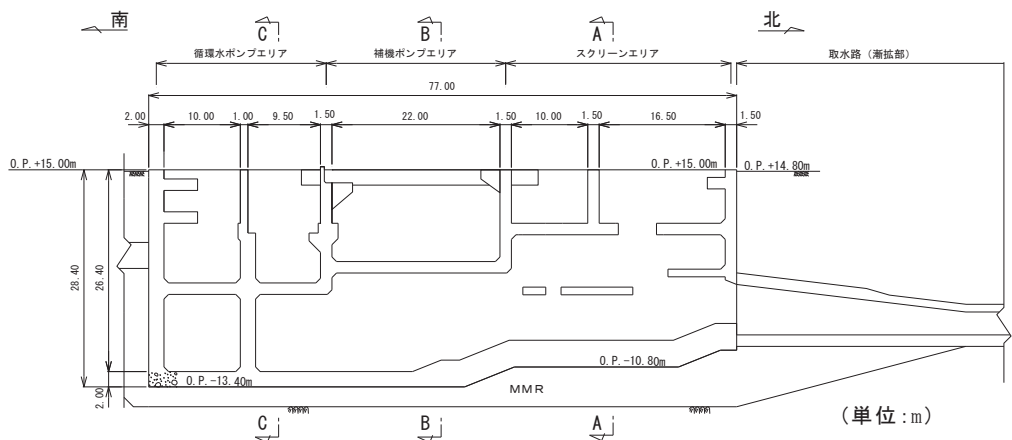


図 3-3-46 海水ポンプ室断面図 (E-E 断面, 南北)

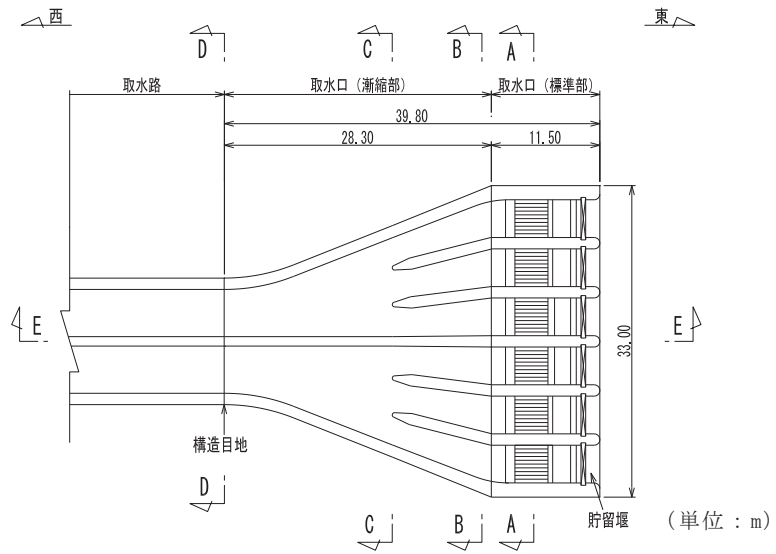


図 3-3-47 取水口，貯留堰平面図

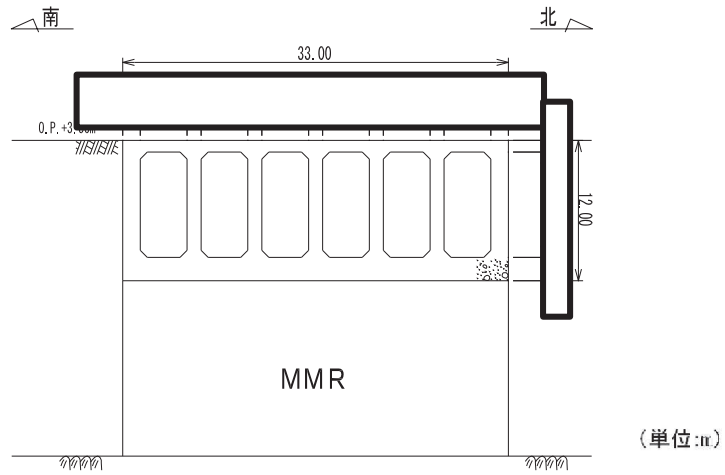


図 3-3-48 取水口断面図 (A-A 断面，南北 (標準部))

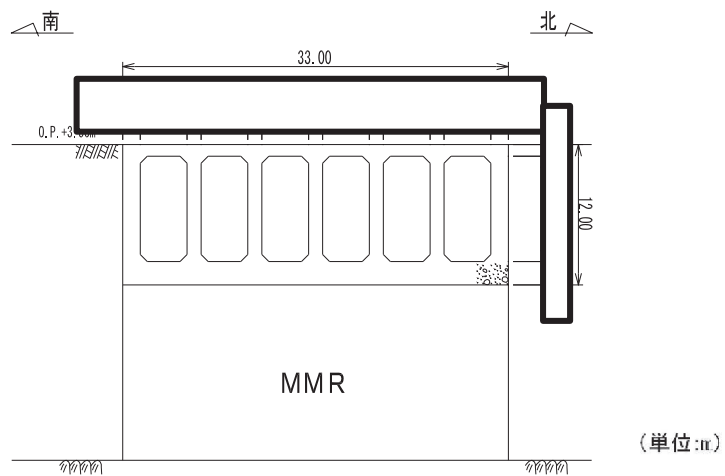


図 3-3-49 取水口断面図 (B-B 断面，南北 (漸縮部))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

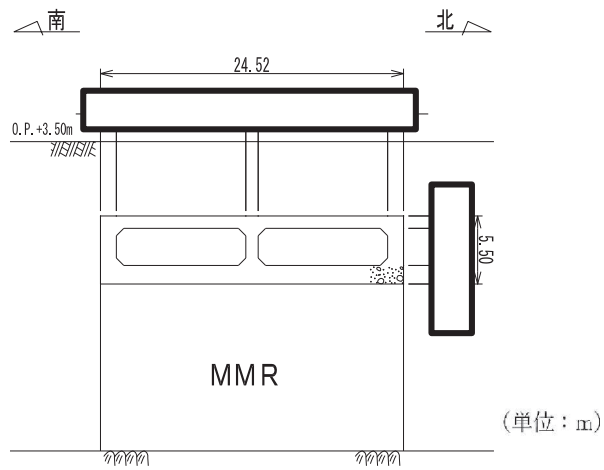


図 3-3-50 取水口断面図 (C-C 断面, 南北 (漸縮部))

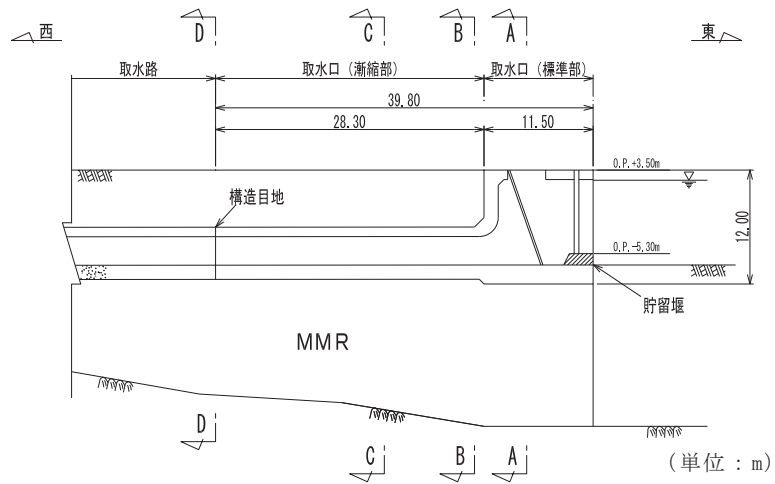


図 3-3-51 取水口縦断面図 (E-E 断面, 東西)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

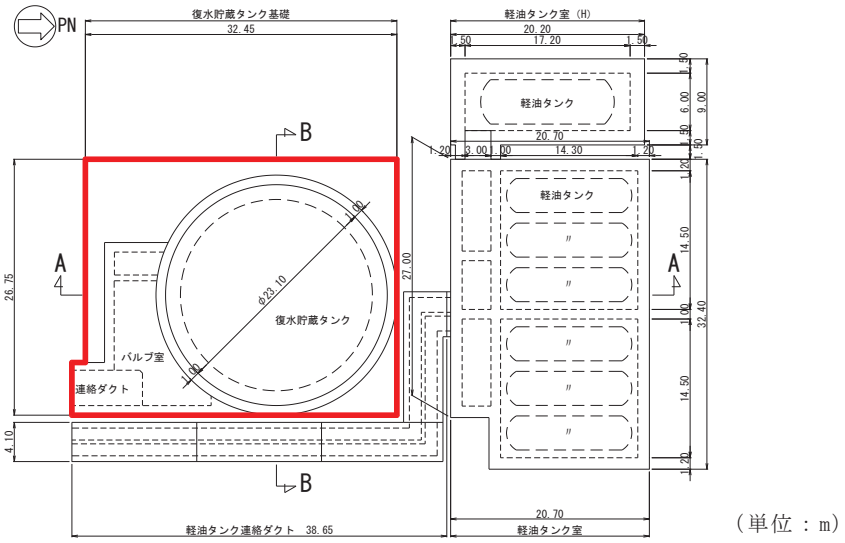


図 3-3-52 復水貯蔵タンク基礎平面図

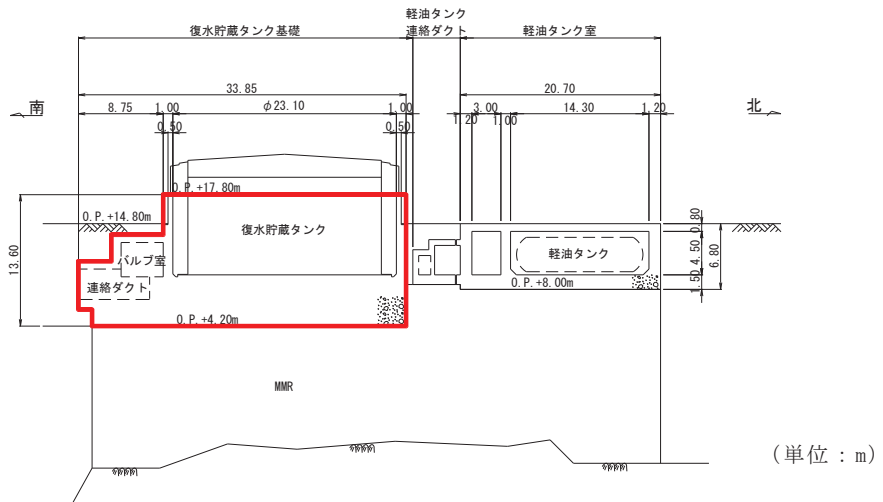


図 3-3-53 復水貯蔵タンク基礎断面図 (A-A 断面, 南北)

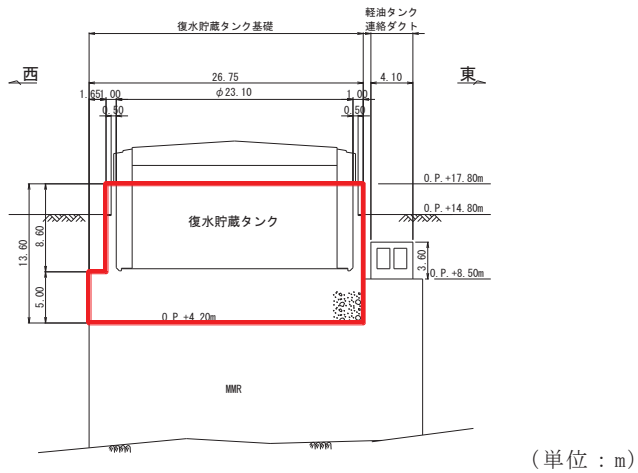


図 3-3-54 復水貯蔵タンク基礎断面図 (B-B 断面, 東西)

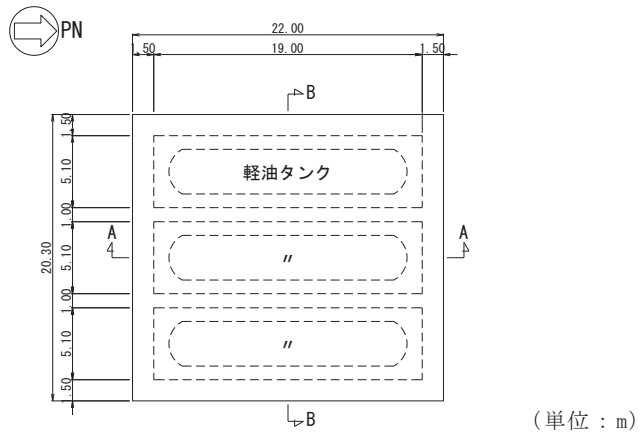


図 3-3-55 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

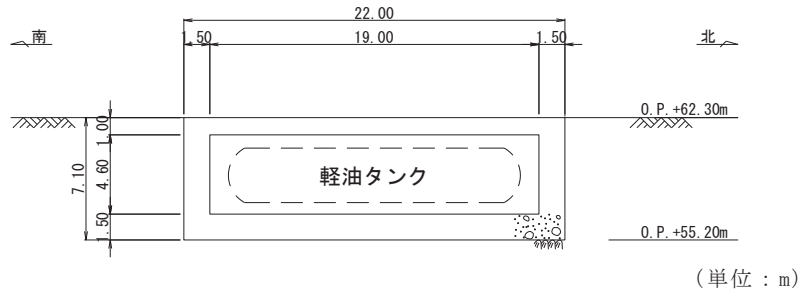


図 3-3-56 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (A-A 断面, 南北)

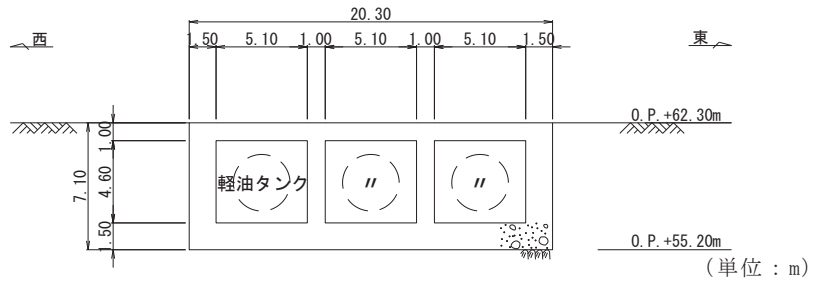


図 3-3-57 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (B-B 断面, 東西)

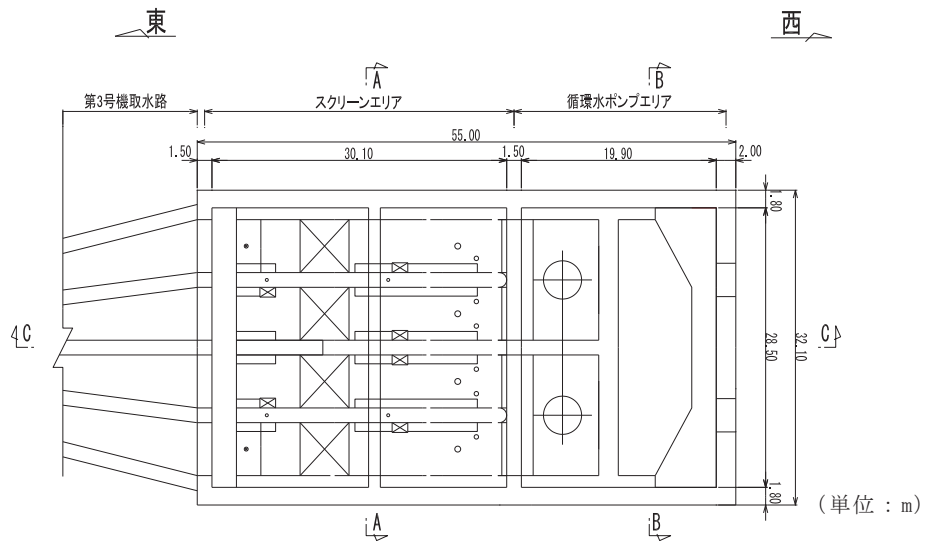


図 3-3-58 第 3 号機海水ポンプ室平面図

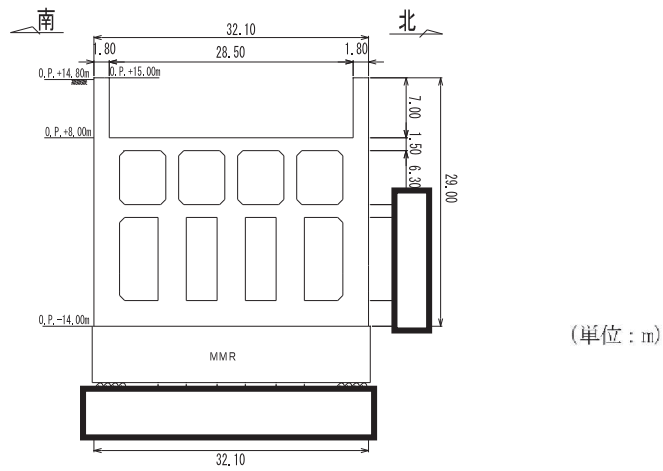


図 3-3-59 第 3 号機海水ポンプ室縦断図 (A-A 断面, 南北 (スクリーンエリア))

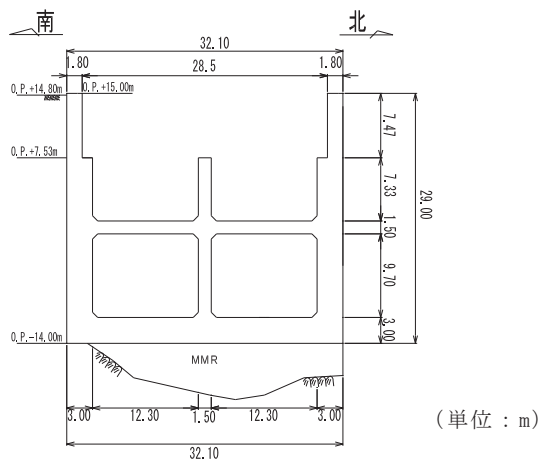


図 3-3-60 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (B-B 断面, 南北 (循環水ポンプエリア))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

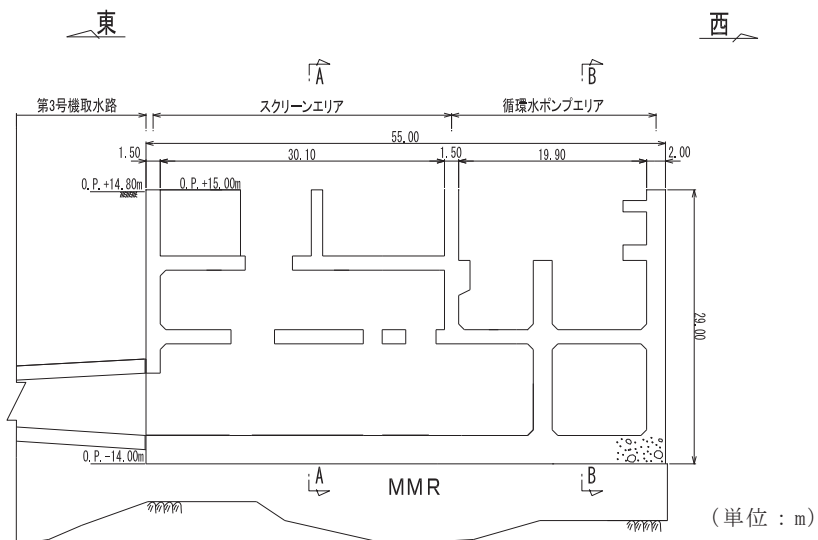


図 3-3-61 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (C-C 断面, 東西)

3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 線状構造物

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥）について、耐震評価を行う水平断面に対して鉛直方向に面外変形することから、添付書類「VI-2-2-12-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有しているため、耐震性への影響がないことを確認している。

取水路（標準部）のうち曲線部について、弱軸方向の荷重によって躯体にねじれ等の変形が生じる可能性があることから、添付書類「VI-2-10-4-4-2 取水路（標準部）の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有しているため、耐震性への影響がないことを確認している。

(2) 箱形構造物

軽油タンク室，軽油タンク室 (H)，海水ポンプ室，取水口，貯留堰，復水貯蔵タンク基礎，ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室について，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認している。

本書においては，矩形の構造物のうち構造が単純で水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が明確なガスタービン発電設備軽油タンク室，及び円筒形のしゃへい壁を有する復水貯蔵タンク基礎の評価結果を示す。

a. 評価方法

ガスタービン発電設備軽油タンク室及び復水貯蔵タンク基礎について，地震応答解析は，添付書類「VI-2-2-17 ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」に示す方法と同様とする。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価では，全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくい。そのため，強軸方向の地震応答解析は，基準地震動 S_s とは位相の異なる模擬地震波等を用いて行うこととする。また，強軸方向に入力する地震時荷重は，弱軸方向で最も厳しい地震時算定時刻と同時刻の荷重を算出して用いることとする。

施設周辺で液状化発生の有無やその影響について判断がつかなく全応力解析及び有効応力解析を行う構造物については，主方向で選定された地盤物性及び材料物性のばらつきケースに対して，従方向の波についても全応力解析及び有効応力解析を実施する。

なお，基準地震動 $S_s - N1$ は観測波に基づく波で，地震動の方向に偏りがあることから，基準地震動 $S_s - N1$ と直交する観測記録から作成した地震動は，基準地震動 $S_s - N1$ に比べ小さい地震動となる。そのため，弱軸方向において基準地震動 $S_s - N1$ が選定された場合，2番目に照査値が厳しい地震動に対しても水平2方向評価を実施する。

水平2方向及び鉛直方向地震力におけるの荷重の組合せについて，弱軸方向に対しては基準地震動 S_s にて算出した地震時増分土圧及び水平方向の慣性力，強軸方向に対しては弱軸方向と同時刻の模擬地震波等における地震時増分土圧及び水平方向の慣性力，鉛直方向に対しては，弱軸方向で求められた鉛直方向の慣性力を用いる。

b. 評価結果

ガスタービン発電設備軽油タンク室及び復水貯蔵タンク基礎の評価結果を表3-3-4～表3-3-14に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも，それぞれの照査値が許容限界以下であるため，耐震性への影響がないことを確認した。

表3-3-4 ガスタービン発電設備軽油タンク室の評価結果
(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリート))

評価 部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ'_c / σ'_{ca}	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
底版	13	③	S _s -F 2 (++)	0.30	13	①	主方向： S _s -F 2 (++) 従方向： S _s -F 2	0.30
頂版	21	③	S _s -F 2 (++)	0.22	21			0.21
南北壁	31	③	S _s -F 2 (++)	0.15	41			0.15
東西壁	50	①	S _s -D 2 (++)	0.26	60			0.23
隔壁	80	③	S _s -F 2 (++)	0.34	80			0.34

注記*：評価位置は図3-3-62に示す。

表3-3-5 ガスタービン発電設備軽油タンク室の評価結果
(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (鉄筋))

評価 部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ_s / σ_{sa}	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ_s / σ_{sa}
底版	12	③	S _s -F 2 (++)	0.35	11	①	主方向： S _s -F 2 (++) 従方向： S _s -F 2	0.36
頂版	21	③	S _s -F 2 (++)	0.39	21			0.44
南北壁	42	③	S _s -F 2 (++)	0.40	32			0.40
東西壁	60	①	S _s -F 2 (++)	0.55	60			0.57
隔壁	80	③	S _s -F 2 (++)	0.46	80			0.59

注記*：評価位置は図3-3-62に示す。

表3-3-6 ガスタービン発電設備軽油タンク室の評価結果
(せん断破壊に対する照査)

評価 部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 V/V_a	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 V/V_a
底版	11	①	$S_s - D 2 (++)$	0.43	13	①	主方向： $S_s - F 2 (++)$ 従方向： $S_s - F 2$	0.35
頂版	22	③	$S_s - F 2 (++)$	0.26	22			0.26
南北壁	33	③	$S_s - F 2 (++)$	0.16	31			0.20
東西壁	60	①	$S_s - F 2 (++)$	0.49	60			0.50
隔壁	70	③	$S_s - F 2 (++)$	0.35	70			0.34

注記*：評価位置は図3-3-62に示す。

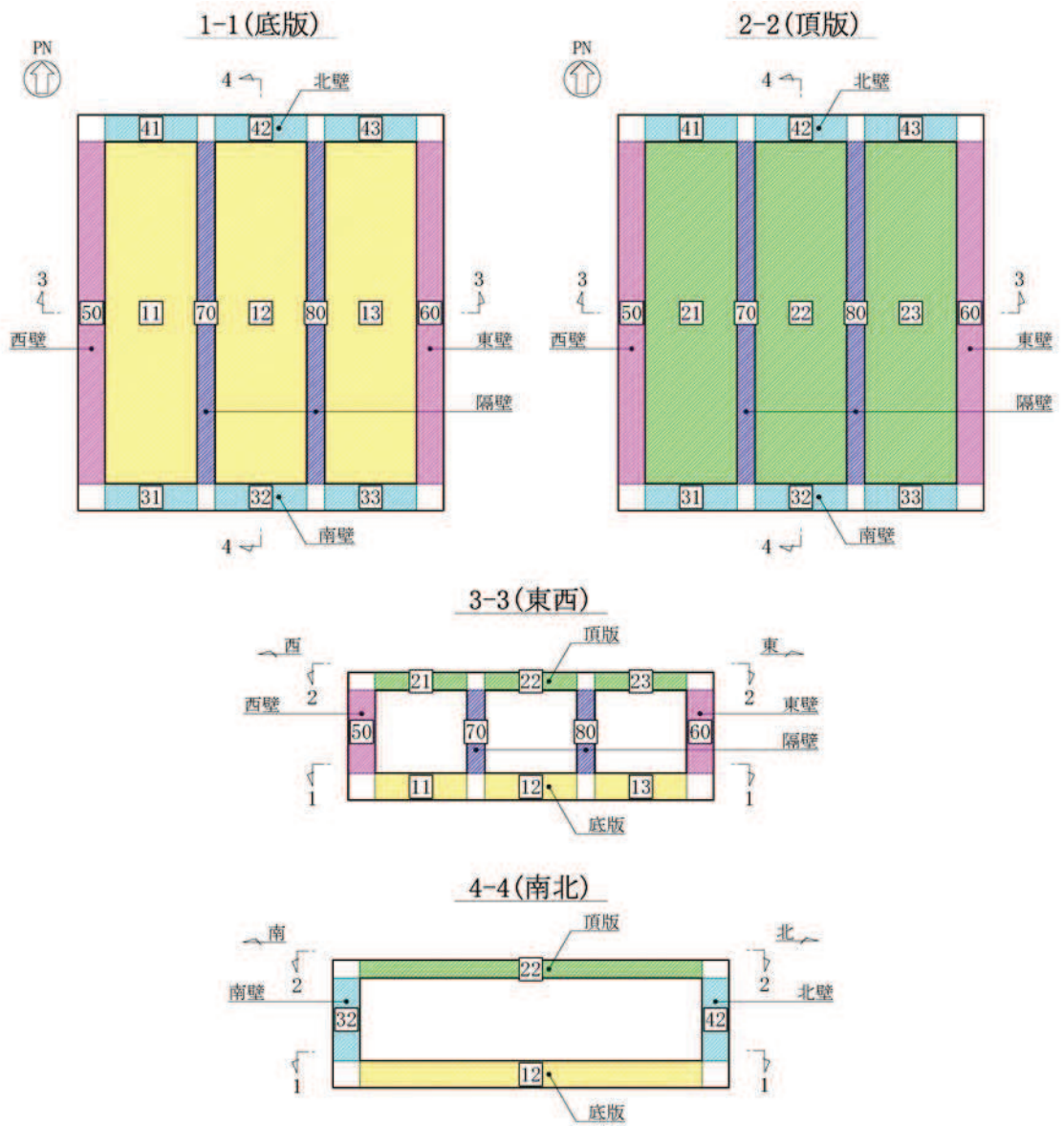


図 3-3-62 ガスタービン発電設備軽油タンク室 評価位置図

表3-3-7 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における構造部材の健全性に対する評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮ひずみ））

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	
しゃへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	0.01	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 東西 従方向： 南北	14	0.01	
	地中部	17	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	0.03				18	0.03	
バルブ室	頂版	22	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.02				22	0.02	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.03				32	0.02	
	東西壁	50	②	S s - D 2 (++)	東西方向	0.03				50	0.03	
	隔壁	60	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.02				60	0.02	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 2 (++)	東西方向				0.01	110	0.01
		南北壁	130	①	S s - F 2 (++)	東西方向				0.02	120	0.01
東西壁		140	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.02				150	0.01	
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	0.01				70	0.01	
	頂版	80	③	S s - D 2 (++)	東西方向	0.03	80	0.03				
	東西壁	90	①	S s - F 3 (++)	東西方向	0.02	100	0.02				

注記*1：評価位置は図 3-3-63 に示す。

*2：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

表3-3-8 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における支持機能に対する評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮ひずみ））

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2} / \epsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2} / \epsilon_R$	
しゃへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	0.05	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 東西 従方向： 南北	14	0.04	
	地中部	17	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	0.14				18	0.12	
バルブ室	頂版	22	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.08				22	0.07	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.13				32	0.06	
	東西壁	50	②	S s - D 2 (++)	東西方向	0.11				50	0.11	
	隔壁	60	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.08				60	0.06	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 2 (++)	東西方向				0.05	110	0.02
		南北壁	130	①	S s - F 2 (++)	東西方向				0.09	120	0.04
東西壁		140	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.09				150	0.03	
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	0.03				70	0.02	
	頂版	80	③	S s - D 2 (++)	東西方向	0.11	80	0.11				
	東西壁	90	①	S s - F 3 (++)	東西方向	0.09	100	0.07				

注記*1：評価位置は図 3-3-63 に示す。

*2：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

表3-3-9 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における支持機能に対する評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（主鉄筋ひずみ））

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	
しゃへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	0.04	13	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 東西 従方向： 南北	0.02	
	地中部	17	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	0.16	18				0.10	
バルブ室	頂版	22	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.06	22				0.05	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.10	32				0.02	
	東西壁	50	①	S s - F 2 (-+)	東西方向	0.10	50				0.10	
	隔壁	60	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.06	60				0.01	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 2 (++)	東西方向	0.02				110	0.01
		南北壁	130	①	S s - D 2 (++)	南北方向	0.02				120	0.01
東西壁		140	①	S s - F 2 (++)	東西方向	0.03	140				0.02	
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	0.01	70				0.01	
	頂版	80	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.11	80				0.04	
	東西壁	90	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.06	90	0.05				

注記*1：評価位置は図 3-3-63 に示す。

*2：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

表3-3-10 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における構造部材の健全性に対する評価結果
（せん断破壊に対する照査）

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ						
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}		
しゃへい壁	地上部	13	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.26	②	主方向： S _s -D2(++) 従方向： S _s -D2	主方向： 東西 従方向： 南北		0.11		
	地中部	18	②	S _s -D2(++)	東西方向	0.95					18	0.93	
バルブ室	頂版	22	①	S _s -F1(++)	南北方向	0.34					22	0.27	
	南壁	32	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.71					32	0.17	
	東西壁	50	②	S _s -D2(++)	東西方向	0.85					50	0.84	
	隔壁	60	①	S _s -D2(-+)	東西方向	0.18					60	0.15	
	ハッチ部	頂版	110	①	S _s -F1(++)	東西方向					0.17	110	0.16
		南北壁	120	①	S _s -D1(-+)	南北方向					0.31	120	0.08
東西壁		140	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.37					140	0.10	
連絡ダクト	底版	70	①	S _s -D2(++)	南北方向	0.33					70	0.23	
	頂版	80	④	S _s -D2(++)	東西方向	0.30	80	0.25					
	東西壁	90	④	S _s -D2(++)	東西方向	0.56	100	0.53					

注記*1：評価位置は図 3-3-63 に示す。

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

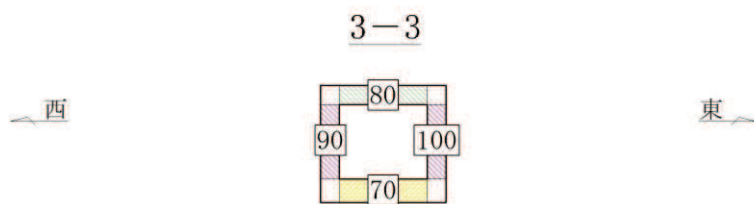
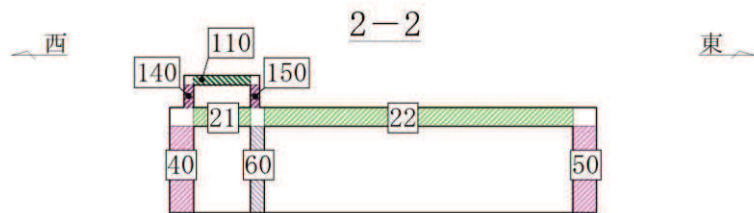
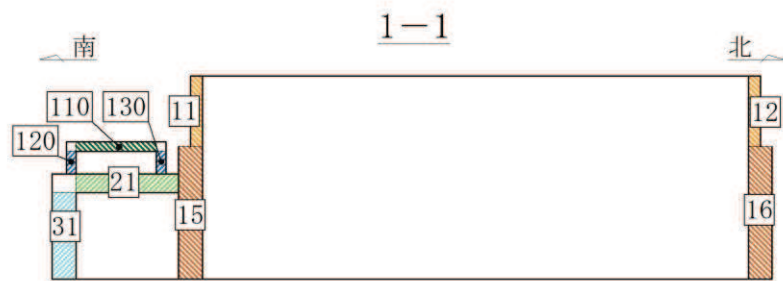
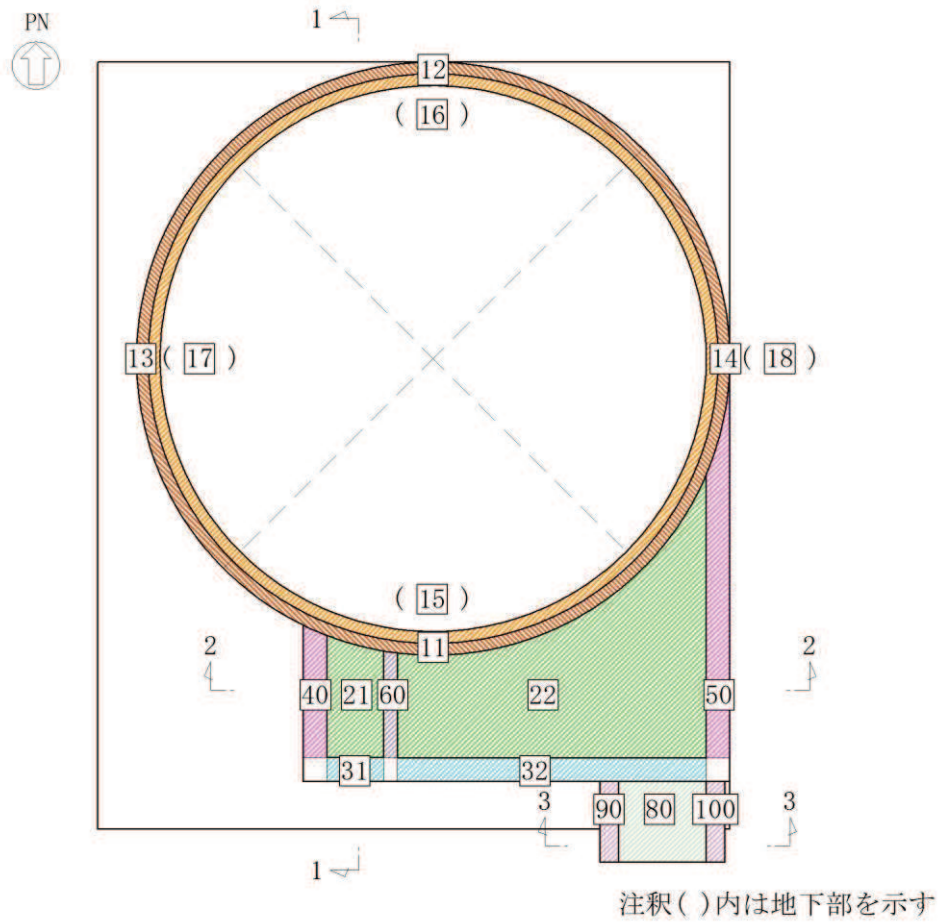


図 3-3-63 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）評価位置図

表3-3-11 復水貯蔵タンク基礎（壁部材）の評価結果
（面内せん断ひずみに対する照査）

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 γ_d^{*2}/γ_R	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 γ_d^{*2}/γ_R
しゃへい壁	地上部	1	①	S _s -D2(-+)	東西方向	0.03	1	②	主方向： S _s -D2(++) 従方向： S _s -D2	主方向： 東西 従方向： 南北	0.02
	バルブ室	南壁	30	①	S _s -D2(-+)	東西方向					0.05
		東西壁	40	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.06	50		0.02	
		隔壁	60	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.10	60		0.01	
	ハッチ部	南北壁	120	①	S _s -F1(++)	東西方向	0.03	120		0.02	
		東西壁	140	①	S _s -F3(++)	南北方向	0.03	150		0.01	
連絡ダクト	東西壁	90	①	S _s -D2(-+)	南北方向	0.07	90			0.02	

注記*1：評価位置は図 3-3-64 に示す。

*2：照査用面内せん断ひずみ γ_d = 発生する面内せん断ひずみ × 構造解析係数 γ_a

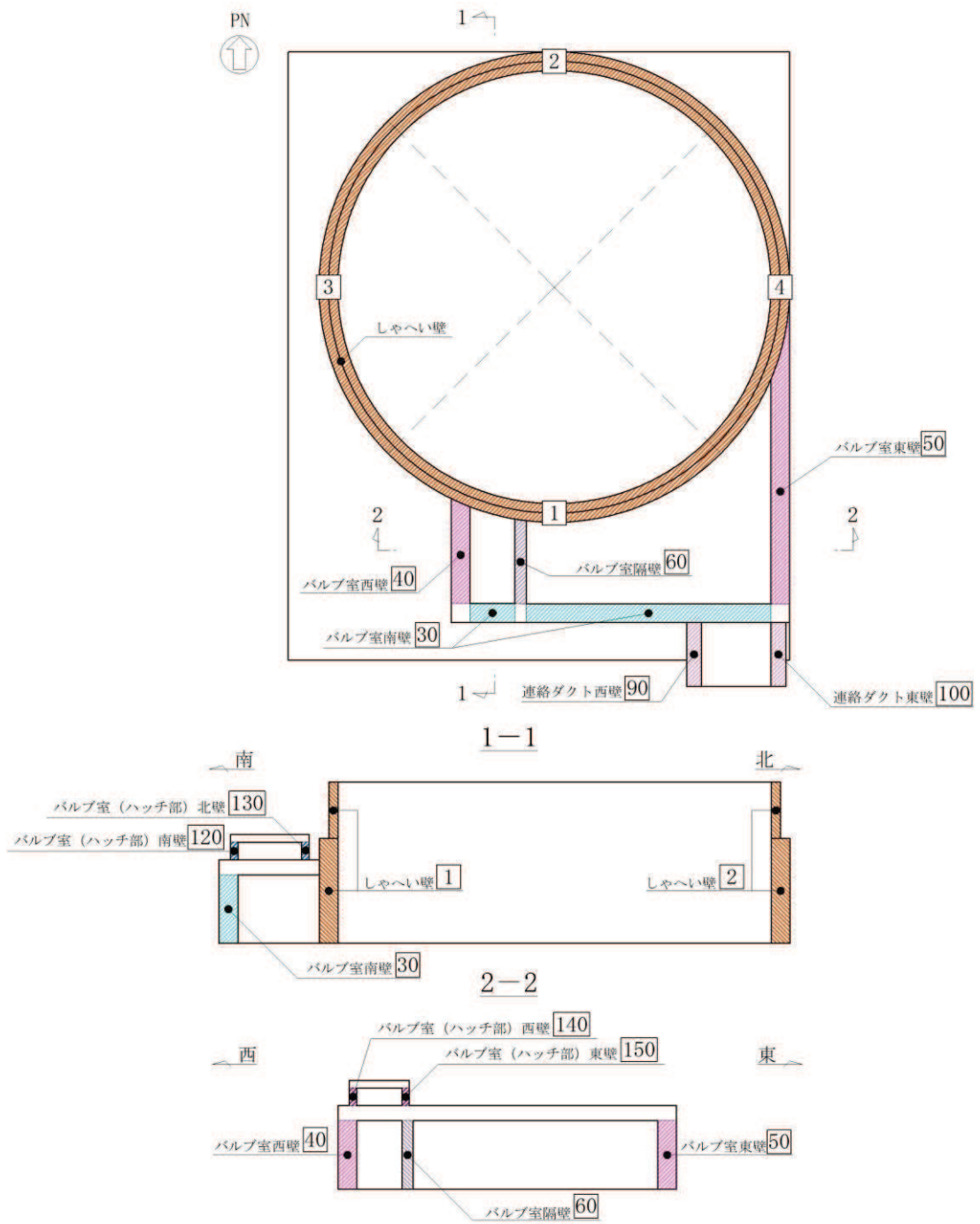


図 3-3-64 復水貯蔵タンク基礎 (各壁部材, 面内せん断ひずみに対する照査) 評価位置図

表3-3-12 復水貯蔵タンク基礎（基礎版）の評価結果
 （曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート））

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ'_c / σ'_{ca}	評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
212	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	0.12	211	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 南北 従方向： 東西	0.13

注記*：評価位置は図3-3-65に示す。

表3-3-13 復水貯蔵タンク基礎（基礎版）の評価結果
 （曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋））

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ_s / σ_{sa}	評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ_s / σ_{sa}
213	②	S s - D 2 (++)	南北方向	0.42	213	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 南北 従方向： 東西	0.48

注記*：評価位置は図3-3-65に示す。

表3-3-14 復水貯蔵タンク基礎（基礎版）の評価結果
（せん断破壊に対する照査）

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 τ_d / τ_{a1}	評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 τ_d / τ_{a1}
213	②	S s - D 2 (++)	南北方向	0.64	213	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 南北 従方向： 東西	0.81

注記*：評価位置は図3-3-65に示す。

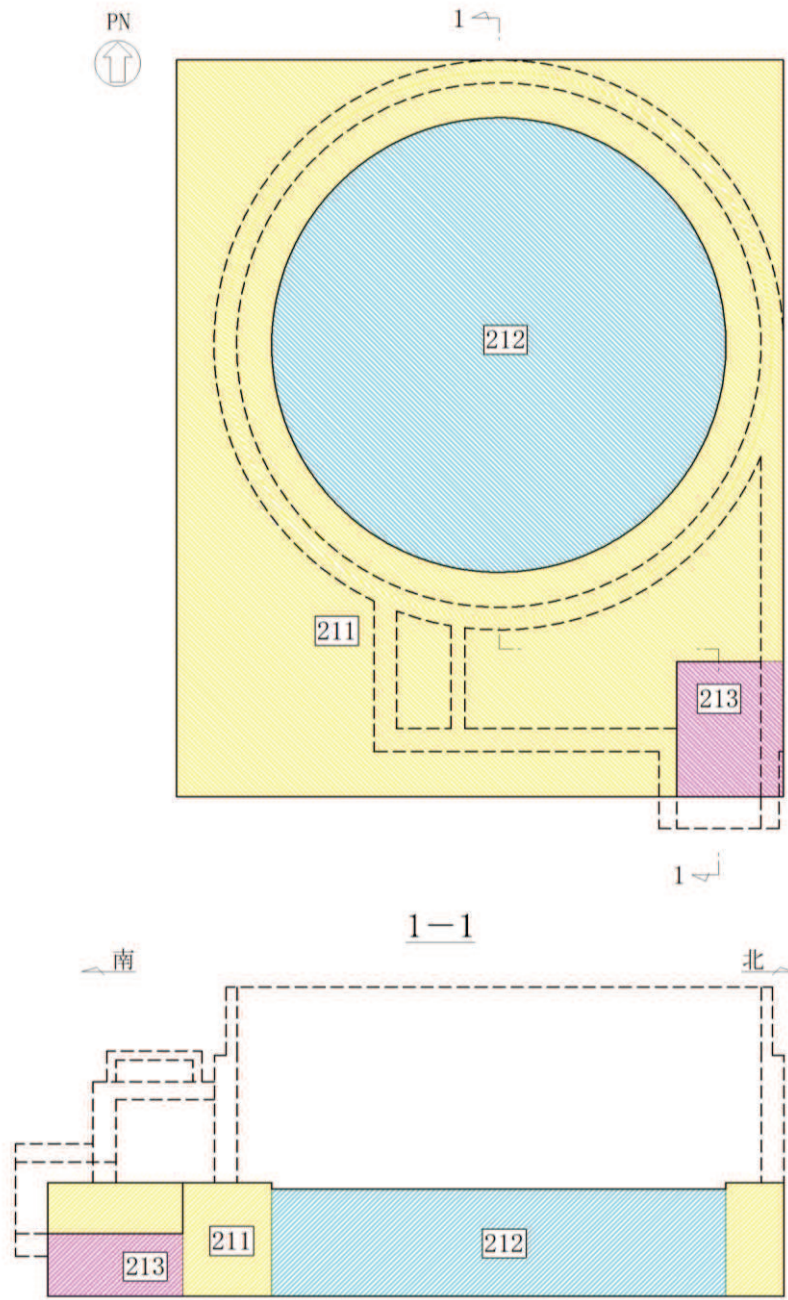


図 3-3-65 復水貯蔵タンク基礎（基礎版） 評価位置図

3.3.4 機器・配管系への影響

屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した線状構造物（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥）、取水路（標準部）のうち曲線部）及び箱型構造物について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

(1) 線状構造物

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、耐震評価を行う水平2方向入力に対して鉛直方向に面外変形することから、水平2方向及び鉛直方向地震力の検討を行った。一方、機器・配管系は面外変形による応答が主となるが、鉛直方向の床応答に対する評価を行っていることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がなく、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答で十分であると考えられる。

取水路（標準部）のうち曲線部は、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

(2) 箱形構造物

箱形構造物の壁部材（側壁、妻壁、隔壁）は、面外方向の荷重を負担しつつ、面内方向の荷重が作用する部位となるため、構造物における応力の組合せに着目して水平2方向及び鉛直方向地震力の検討を行った。一方、機器・配管系は面外変形による応答が主となることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がなく、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答で十分であると考えられる。

箱形構造物の版部材（頂版、底版、中床版）は、水平2方向及び鉛直方向地震力により応力集中する部位となるため、構造物における応力の集中に着目して水平2方向及び鉛直方向地震力の検討を行った。一方、機器・配管系は面外変形による応答が主となることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がなく、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答で十分であると考えられる。

また、箱形構造物は、底版や側壁等が厚く、全体の剛性が大きいことから、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる機器・配管系の耐震性への影響は無いと考えられる。

3.3.5 まとめ

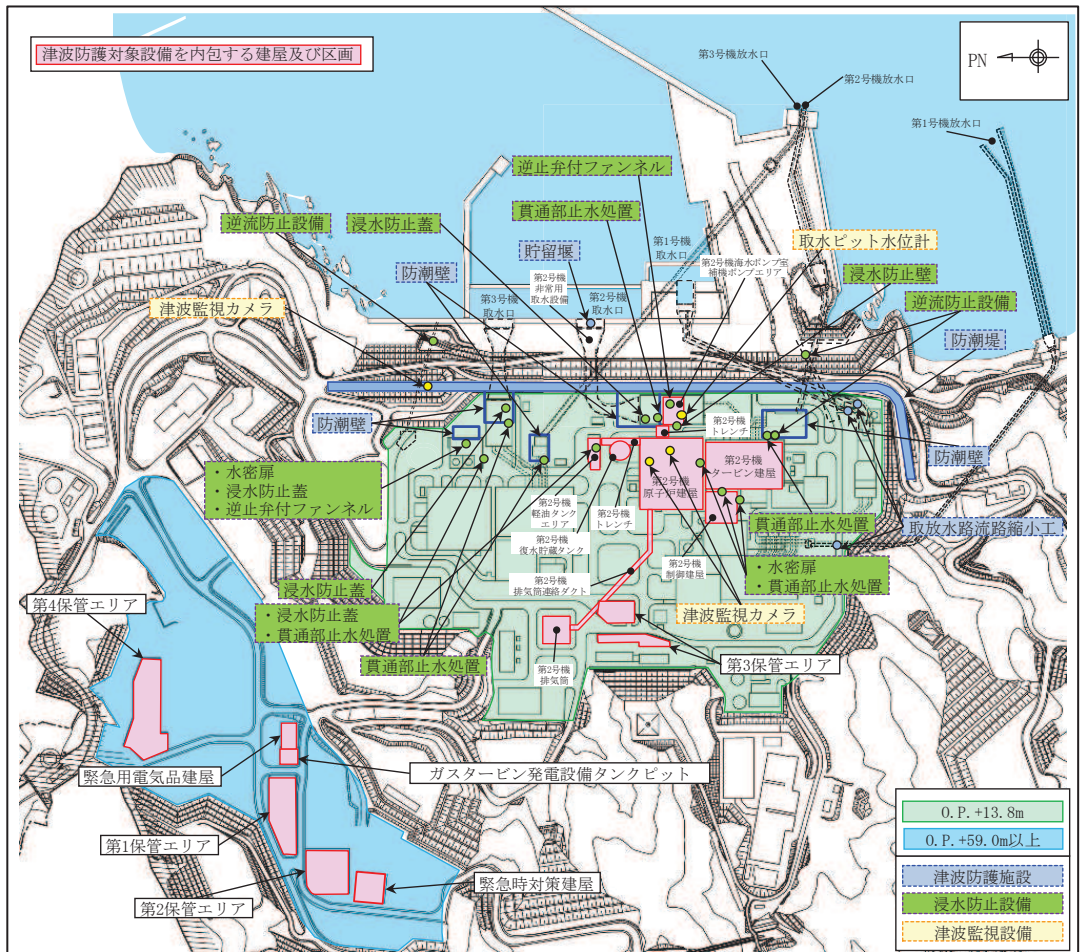
屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し、施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1) 評価対象となる施設の整理

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する対象設備は，津波防護施設である防潮堤，防潮壁，取放水路流路縮小工及び貯留堰，浸水防止設備である水密扉，逆流防止設備，浸水防止蓋，浸水防止壁，貫通部止水処置及び逆止弁付ファンネル，津波監視設備である津波監視カメラ及び取水ピット水位計とする。各構造物の位置図を図3-4-1に示す。



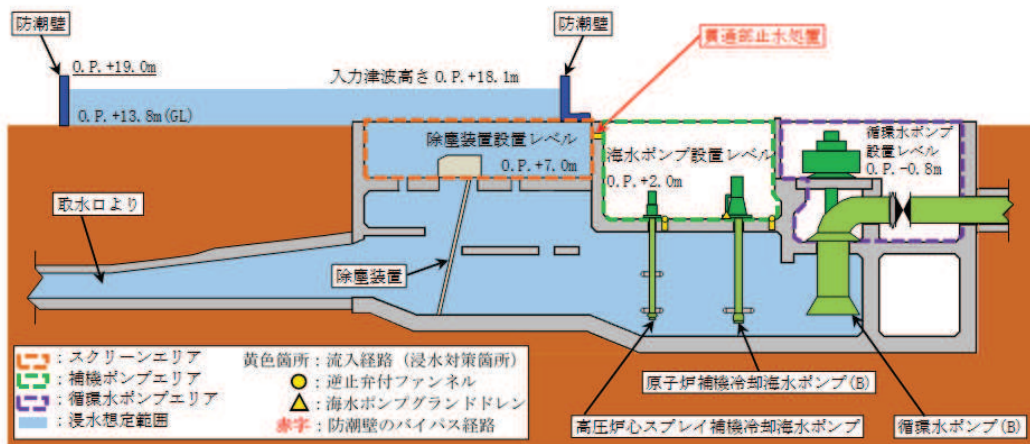
注：東北地方太平洋沖地震による約1mの沈下を考慮した標高を記載

図3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図（1/18）



(第 2 号機海水ポンプ室平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (2/18)

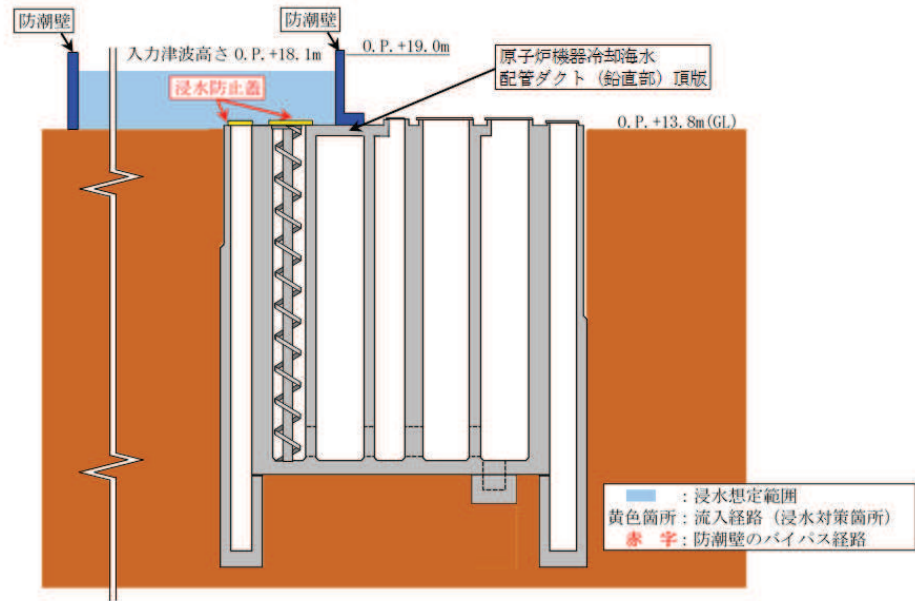


注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 2 号機海水ポンプ室 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (3/18)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 2 号機海水ポンプ室 B-B 断面図)

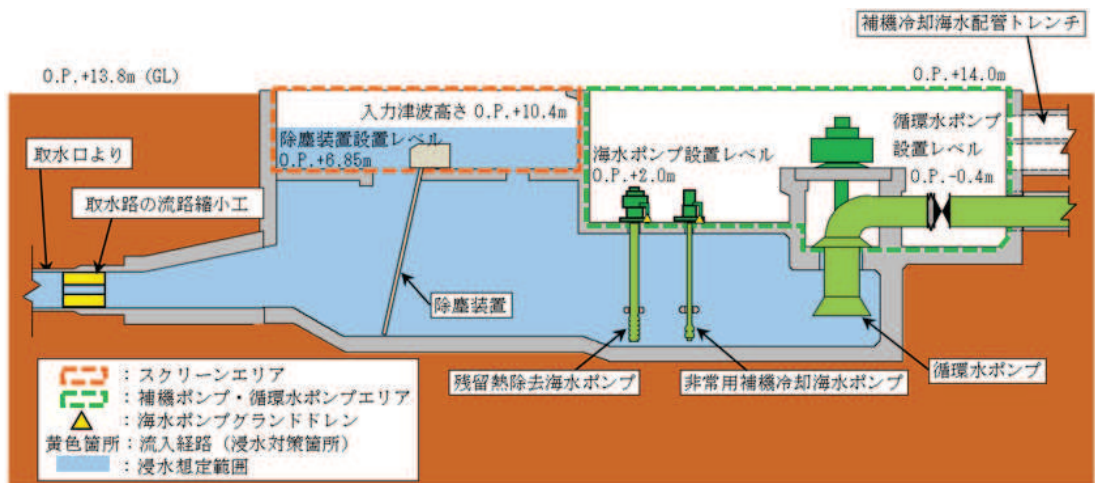
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (4/18)



(第 1 号機海水ポンプ室平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (5/18)

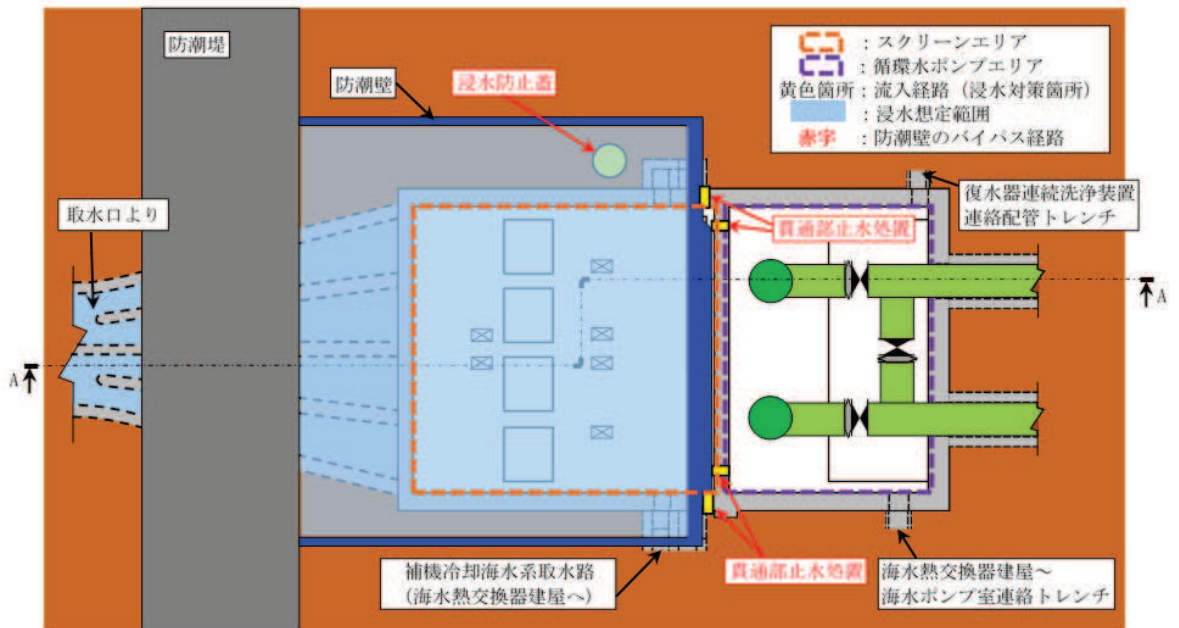
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

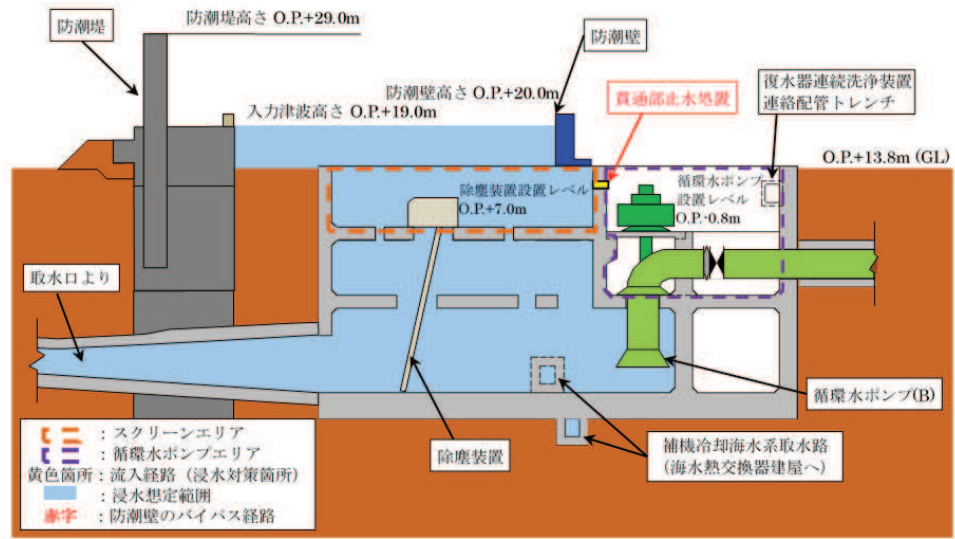
(第 1 号機海水ポンプ室 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (6/18)



(第 3 号機海水ポンプ室平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (7/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 3 号機海水ポンプ室 A-A 断面図)

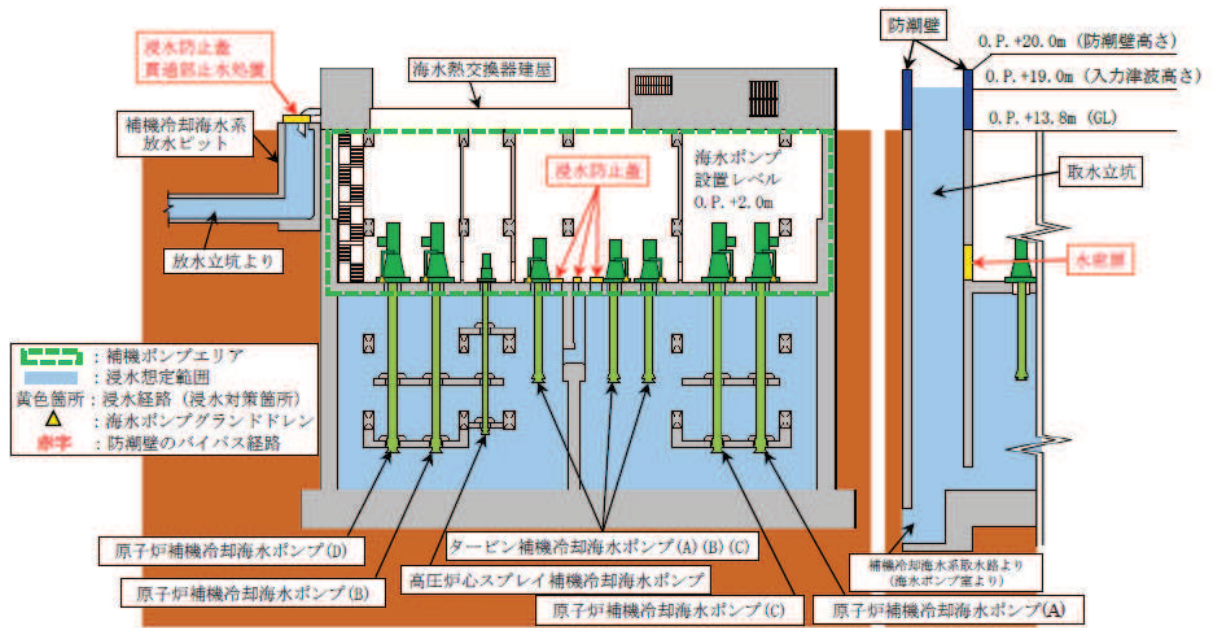
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (8/18)



(第 3 号機海水熱交換器建屋補機ポンプエリア平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (9/18)

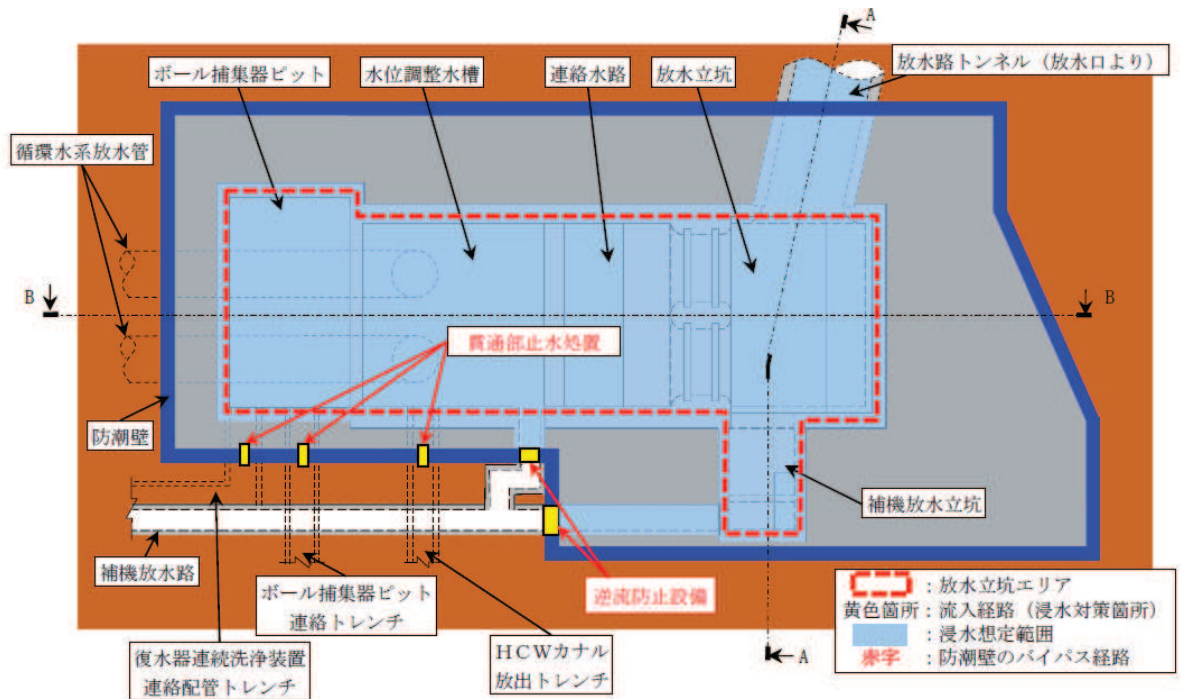
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

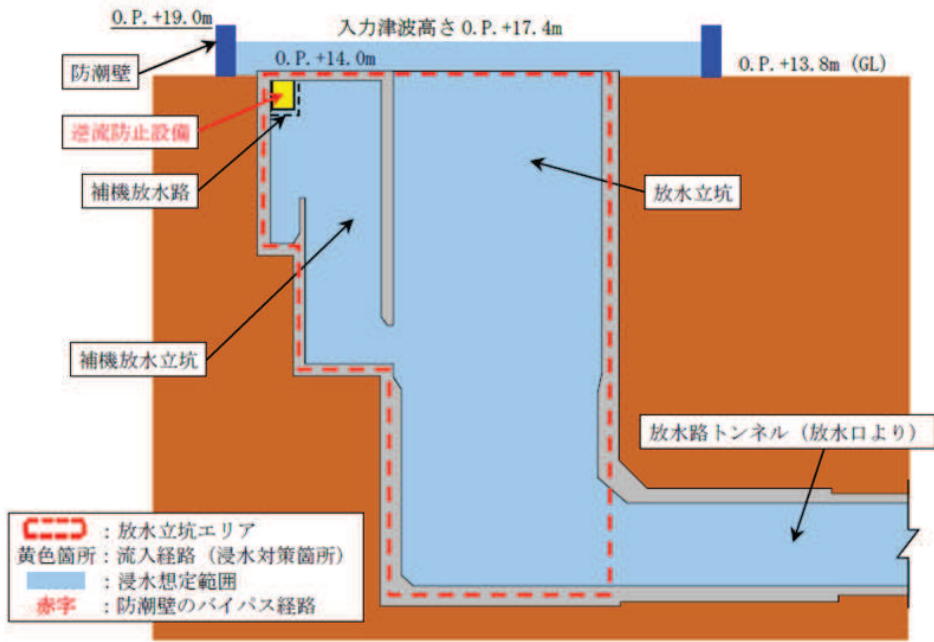
(第 3 号機海水熱交換器建屋補機ポンプエリア 左：A-A 断面図 右：B-B 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (10/18)



(第 2 号機放水立坑平面図)

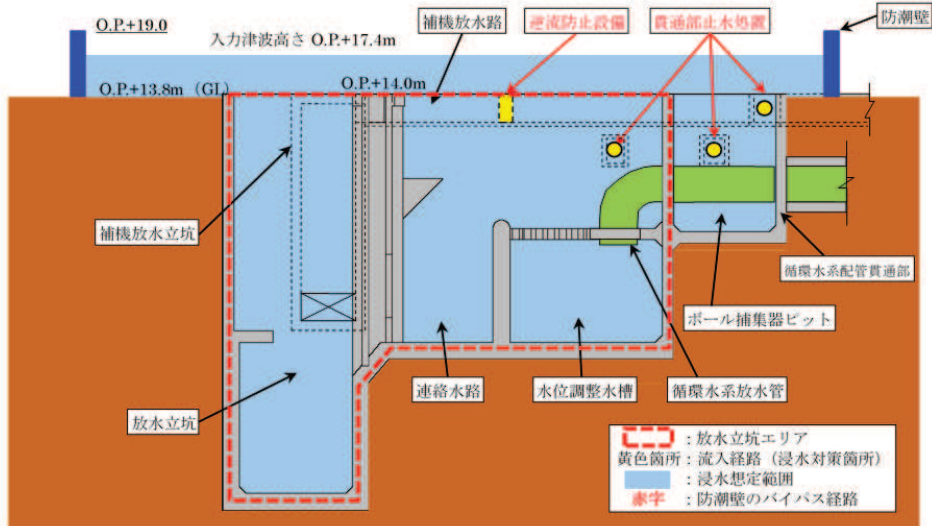
図 3-4-1 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (11/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 2 号機放水立坑 A-A 断面図)

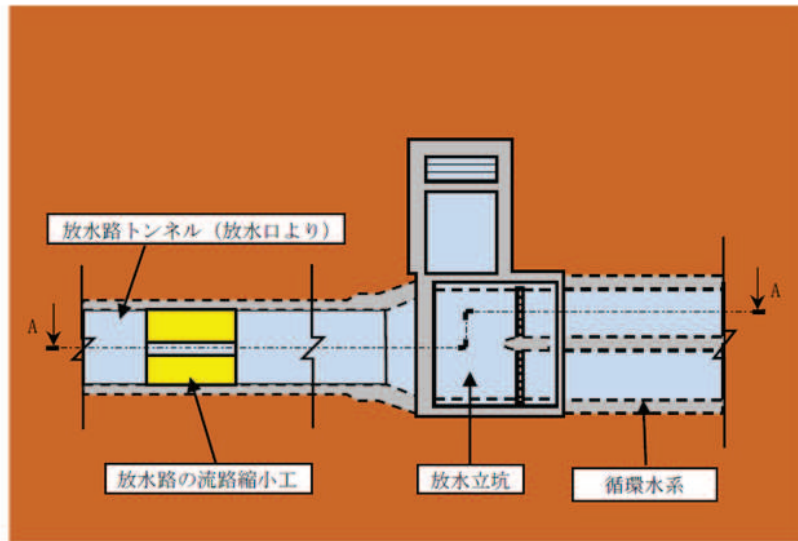
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (12/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

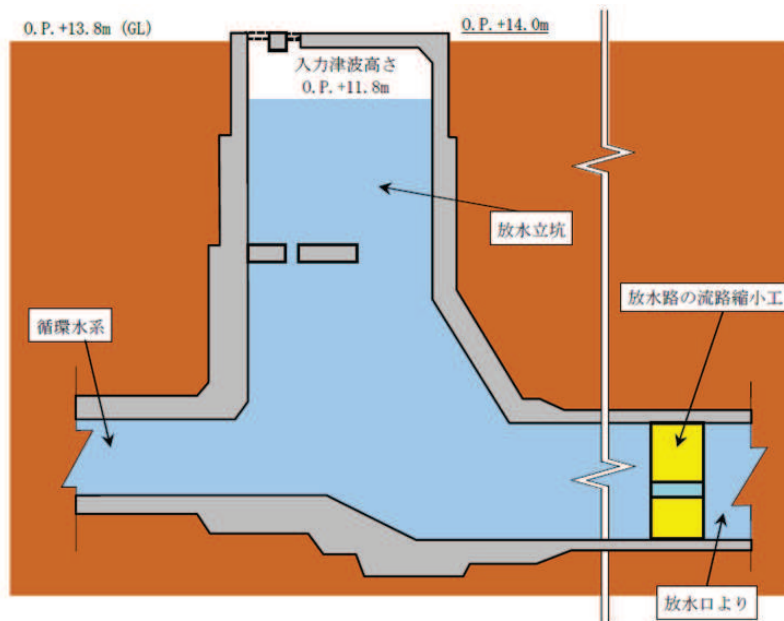
(第 2 号機放水立坑 B-B 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (13/18)



(第1号機放水立坑平面図)

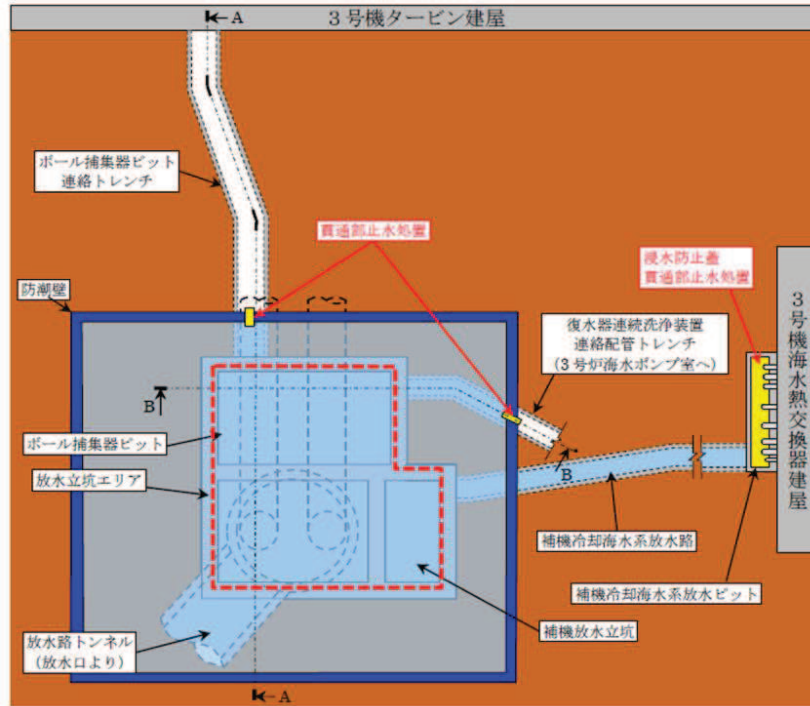
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (14/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

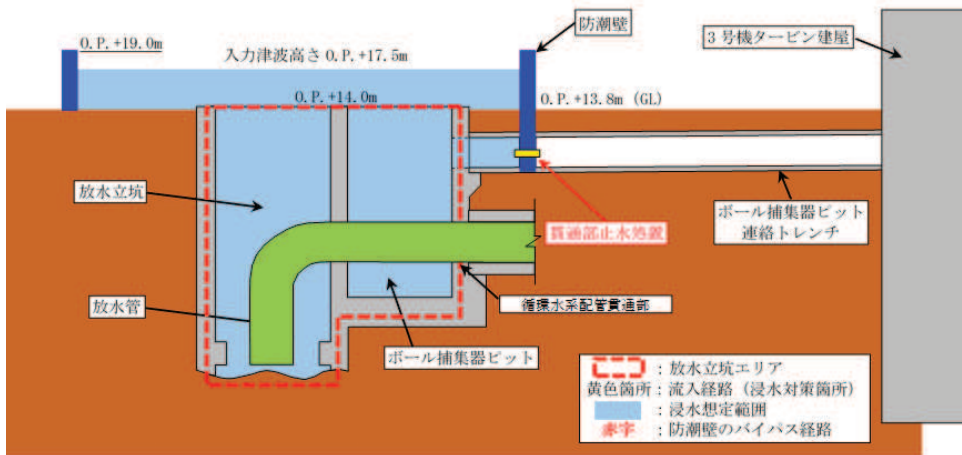
(第1号機放水立坑 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (15/18)



(第3号機放水立坑平面図)

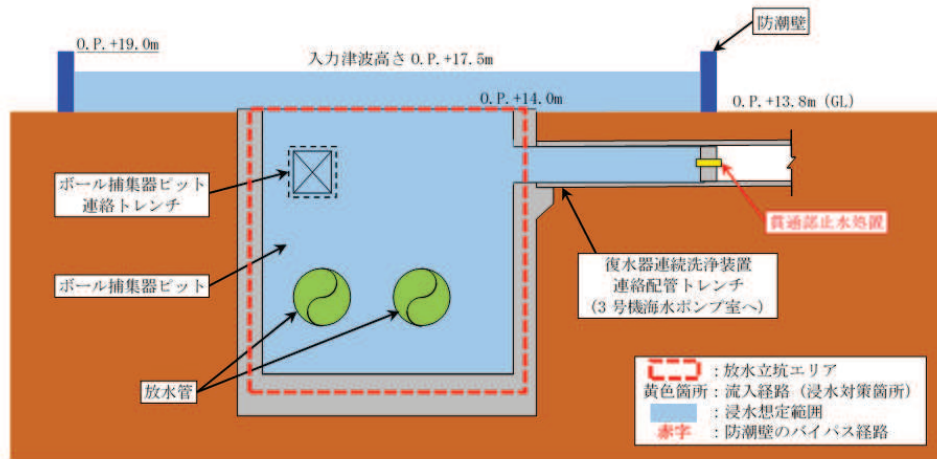
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (16/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第3号機放水立坑 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (17/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 3 号機放水立坑 B-B 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (18/18)

表 3-4-1 強度評価の対象施設 (1/2)

設備名称		施設分類
防潮堤	防潮堤 (鋼管式鉛直壁)	津波防護施設
	防潮堤 (盛土堤防)	
防潮壁	防潮壁 (第 2 号機海水ポンプ室)	
	防潮壁 (第 2 号機放水立坑)	
	防潮壁 (第 3 号機海水ポンプ室)	
	防潮壁 (第 3 号機放水立坑)	
	防潮壁 (第 3 号機海水熱交換器建屋)	
取放水路流路縮小工	取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2)	
	取放水路流路縮小工 (第 1 号機放水路)	
貯留堰 (No. 1), (No. 2), (No. 3), (No. 4), (No. 5), (No. 6)		
逆流防止設備	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側) (No. 1), (No. 2), (No. 3)	浸水防止設備
	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)	
	補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2)	
水密扉	水密扉 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア) (No. 1)	
	水密扉 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア) (No. 2)	
	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	
	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	
	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	
	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉	
	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	

表 3-4-1 強度評価の対象施設 (2/2)

設備名称		施設分類
浸水防止蓋	浸水防止蓋 (原子炉機器冷却海水配管ダクト)	
	浸水防止蓋 (第 3 号機補機冷却海水系放水ピット)	
	浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	
	浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)	
	浸水防止蓋 (揚水井戸 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内))	
	浸水防止蓋 (揚水井戸 (第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内))	
	地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1), (No. 2)	
	地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	
浸水防止壁	第 2 号機海水ポンプ室浸水防止壁	
逆止弁付ファンネル	第 2 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (A) (C) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	浸水防止設備
	第 2 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (B) (D) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	
	第 2 号機高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 2 号機タービン補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	
	第 3 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (A) (C) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 3 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (B) (D) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 3 号機高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 3 号機タービン補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	
貫通部止水処置	貫通部止水処置 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置 (第 2 号機放水立坑防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置 (第 3 号機海水ポンプ室防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置 (第 3 号機放水立坑防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置 (第 3 号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部)	
	貫通部止水処置 (第 2 号機原子炉建屋)	
	貫通部止水処置 (第 2 号機制御建屋)	
	貫通部止水処置 (第 2 号機軽油タンクエリア)	
津波監視カメラ		津波監視設備
取水ピット水位計		設備

なお、津波防護施設のうち防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）については、添付書類「VI-2-10-2-3-4 防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書」において水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認していることから、本章での評価は省略する。

また、浸水防止設備及び津波監視設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価については、添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.1 建物・構築物」及び「4.2 機器・配管系」に基づき、「3.1 建物・構築物」及び「3.2 機器・配管系」にて評価結果を示しているため、本章では評価は省略する。浸水防止設備の間接支持構造物のうち、「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示している施設についても、本章では評価は省略する。

(2) 構造形式の分類

本章における評価対象構造物である津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物の構造形式の分類を表3-4-2に示す。

構造形式により1)線状構造物、2)箱形構造物、3)門型構造物、4)円筒型構造物の4つの構造形式に大別される。

表 3-4-2 津波防護施設並びに浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物の構造形式の分類

分類	構造物		1) 線状構造物	2) 箱形構造物	3) 門型構造物	4) 円筒型構造物
津波防護施設	防潮堤	鋼管式鉛直壁	○ (上部工)			○ (鋼管杭)
		盛土堤防	○			
	防潮壁 (第2号機海水ポンプ室, 第2号機放水立坑, 第3号機海水ポンプ室, 第3号機放水立坑)	鋼製遮水壁 (鋼板)	○ (上部工)			○ (杭基礎)
		鋼製遮水壁 (鋼桁)			○ (上部工)	○ (杭基礎)
		鋼製扉			○ (上部工)	○ (杭基礎)
	取放水路流路縮小工		○			
貯留堰		○*1				
浸水防止設備 [※]	逆流防止設備	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側)		○ (出口側集水ピット)		
		屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)		○ (出口側集水ピット)		
		補機冷却海水系放水路逆流防止設備	○*3 (基礎)			
	浸水防止蓋	揚水井戸(第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)				○ (井戸)
		第3号機補機冷却海水系放水ピット			○ (放水ピット)	
津波監視設備 [※]	津波監視カメラ		○ (防潮堤(盛土堤防))			

注記*1: 取水口と一体構造であり、「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示していることから、本章では評価は省略する。

*2: 間接支持構造物を示す。なお、本表に示している設備以外の浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物については「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示していることから、本章では評価は省略する。

*3: 防潮壁(第2号機放水立坑)

- (3) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理
 表3-4-3に、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。
 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧、動水圧、摩擦力及び慣性力が挙げられる。

表 3-4-3 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>動土圧・動水圧</p> <p>加振方向</p>
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>摩擦力</p> <p>加振方向</p>
③慣性力	躯体に作用する慣性力 (1)加振方向への慣性力	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>慣性力</p> <p>加振方向</p>
	躯体に作用する慣性力 (2)偏心の影響によるねじり応力の発生	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>慣性力</p> <p>応ね力 ねじり</p> <p>加振方向</p>

注記*：当該図は、平面図を示す。

- (4) 荷重の組合せによる応答特性が想定される箇所
 表3-4-4に、3.4.1(2)で整理した構造形式ごとに、3.4.1(3)で整理した荷重作用による影響程度を示す。
 また、構造形式ごとに、各構造物の概略図と特徴について以下に示す。

表 3-4-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出(1/3)

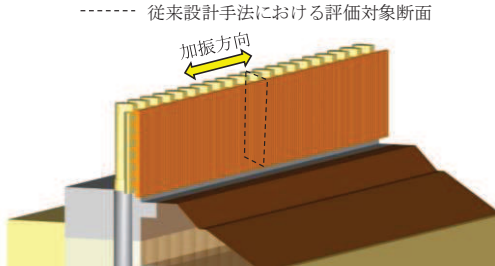
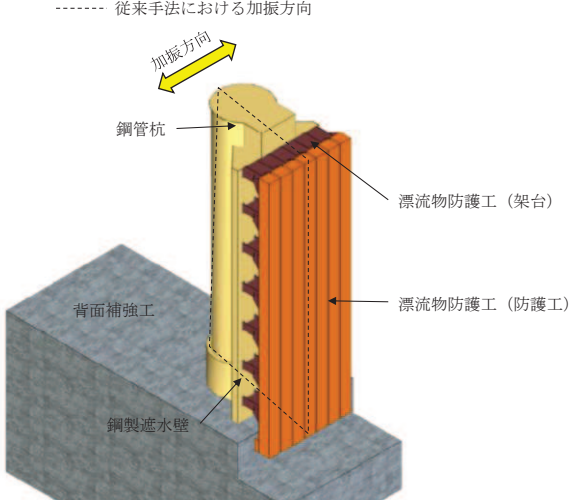
3.4.1(2)で整理した構造形式の分類	1) 線状構造物 (防潮堤(鋼管式鉛直壁)の上部工等)		2) 線状構造物 (防潮堤(鋼管式鉛直壁)の鋼管杭)	
3.4.1(3)で整理した荷重の作用状況	 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>		 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>	
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用しない
	②摩擦力	作用しない	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用(偏心の影響あり)
従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向(強軸方向)に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響度	従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向(強軸方向)に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。		従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向(強軸方向)に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さいが、鋼管杭前面に漂流物防護工が張り出した偏心構造となり、強軸方向の慣性力等の荷重が作用する等、影響大。	
抽出結果 (○:影響検討実施)	×		○	

表 3-4-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (2/3)

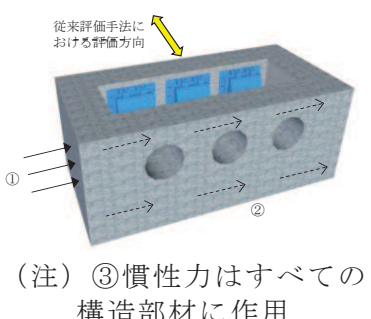
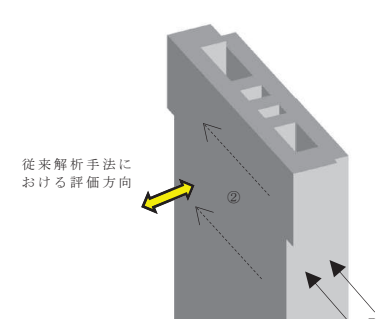
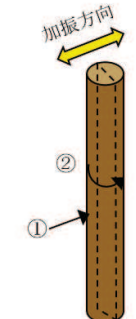
3.4.1(2)で整理した構造形式の分類	3) 箱形構造物		4) 門型構造物 (杭基礎構造防潮壁 (鋼製遮水壁 (鋼桁)) の上部工等)	
	(逆流防止設備の基礎等)	(第 3 号機補機冷却海水系放水ピット)		
3.4.1(3)で整理した荷重の作用状況	 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>		 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>	
	①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価方向に対して平行する側面に作用	①動土圧及び動水圧	作用しない
	②摩擦力	従来設計手法における評価方向に対して平行する側面に作用	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に、①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に、①動土圧及び動水圧による荷重が作用するが、構造的特徴 (長さ 14.6m, 幅 3.4m) から弱軸が明確であり耐震性への影響小。	従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さいが、左右の RC 支柱に桁や扉を支持させた門型構造形式であり、妻側に配置された RC 支柱への強軸方向の慣性力等の荷重が作用する等、影響大。	
抽出結果 (○: 影響検討実施)	○	×	○	

表 3-4-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出(3/3)

3.4.1(2)で整理した 構造形式の分類	5) 円筒型構造物 (防潮壁の下部工等)							
3.4.1(3)で整理した 荷重の作用状況	<p style="text-align: center;">----- 従来設計手法における評価対象断面</p>  <p style="text-align: center;">(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="846 778 1641 890"> <tr> <td data-bbox="846 778 1176 813">① 動土圧及び動水圧</td> <td data-bbox="1176 778 1641 813">主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="846 813 1176 849">② 摩擦力</td> <td data-bbox="1176 813 1641 849">主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="846 849 1176 890">③ 慣性力</td> <td data-bbox="1176 849 1641 890">全ての部材に作用</td> </tr> </table>		① 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用	② 摩擦力	主に胴体部に作用	③ 慣性力	全ての部材に作用
① 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用							
② 摩擦力	主に胴体部に作用							
③ 慣性力	全ての部材に作用							
従来設計手法における 評価対象断面に対 して直交する荷重の 影響度	胴体部において, ①動土圧及び動水圧による荷重, 上部工 からの荷重が作用するため影響大。							
抽出結果 (○:影響検討実施)	○							

(5) 従来設計手法における評価対象以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

3.4.1(4)で抽出しなかった構造形式である1)線状構造物について、各構造物の構造等を考慮した上で、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を抽出し、以下に示す。

a. 防潮堤（鋼管式鉛直壁の上部工，盛土堤防）

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の上部工は、軸方向に対して同一の構造断面が連続する線状構造物であり、構造上の特徴として、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さず、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

防潮堤（盛土堤防）はセメント改良土盛土による線状構造物であり、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する動土圧はほとんど作用しないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

防潮堤の構造概要を図3-4-2に示す。

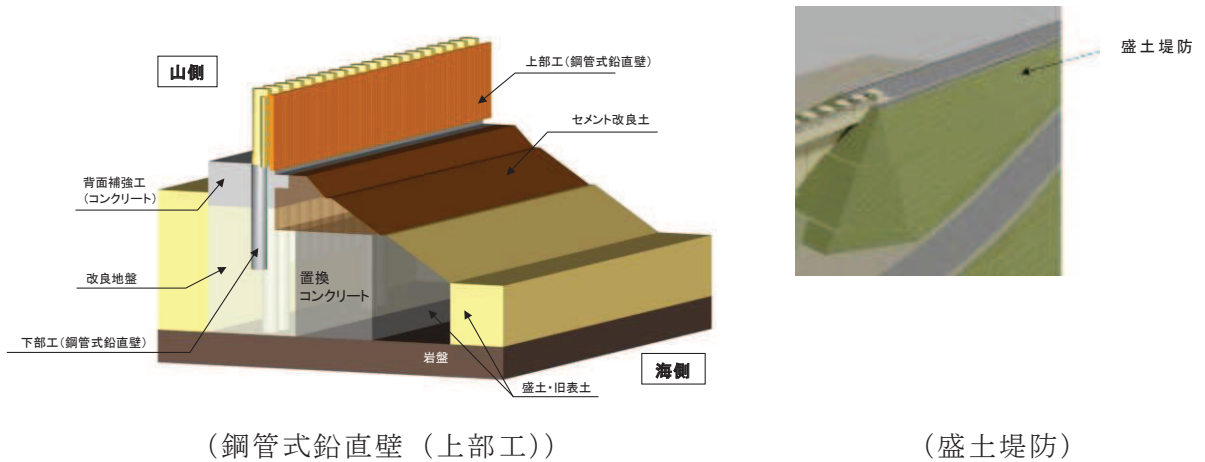


図 3-4-2 防潮堤（鋼管式鉛直壁の上部工，盛土堤防）の構造概要

b. 防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工

防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工は，壁軸方向に対して同一の構造断面が連続する線状構造物であり，妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さず，相対的に断面係数が大きい壁軸方向が明確な強軸を示し，強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

なお，防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の隅角部については，隣接する構造との接続のために妻壁に相当する部位を有するが，その面積は小さく，鋼製支柱や全体構造に与える慣性力等の影響も小さいため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工の構造概要を図3-4-3に，隅角部の構造概要を図3-4-4に，平面配置を図3-4-5，図3-4-6に示す。

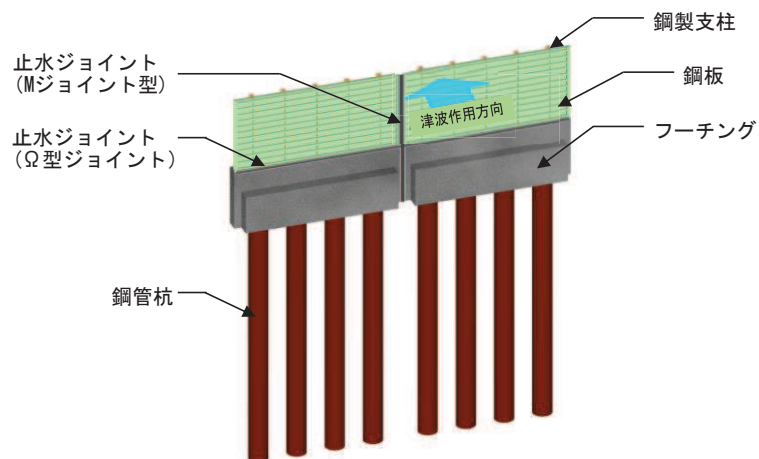


図 3-4-3 防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工の構造概要

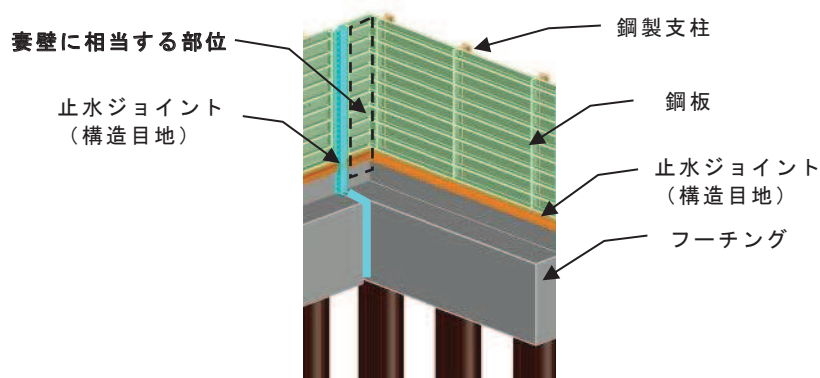
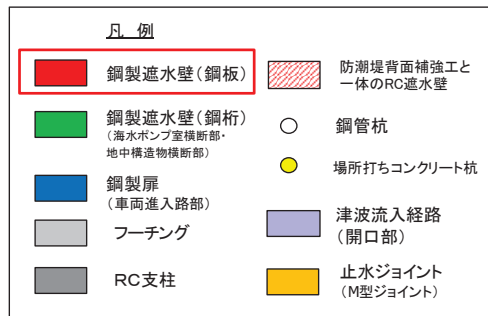
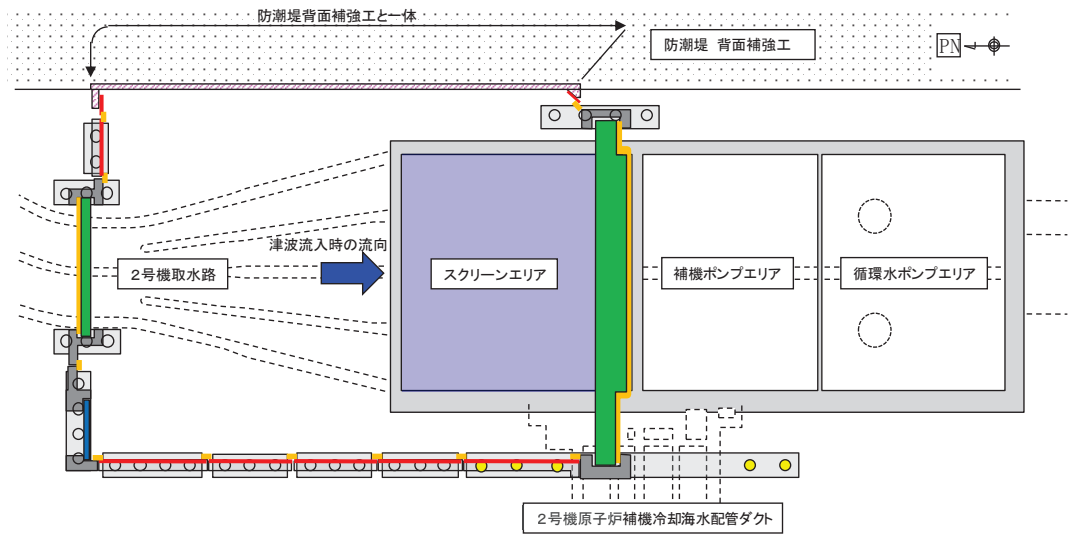
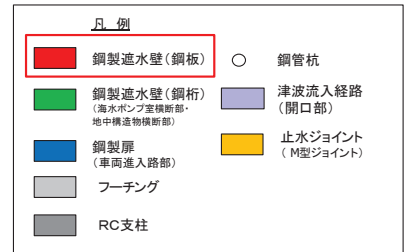
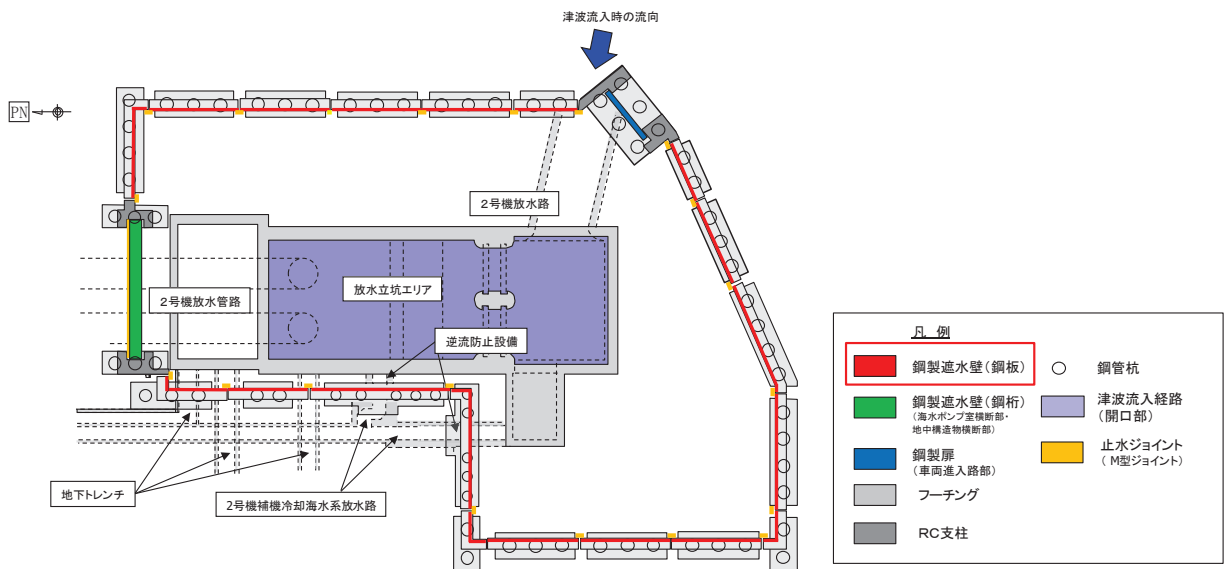


図 3-4-4 鋼製遮水壁（鋼板）の上部工（隅角部）

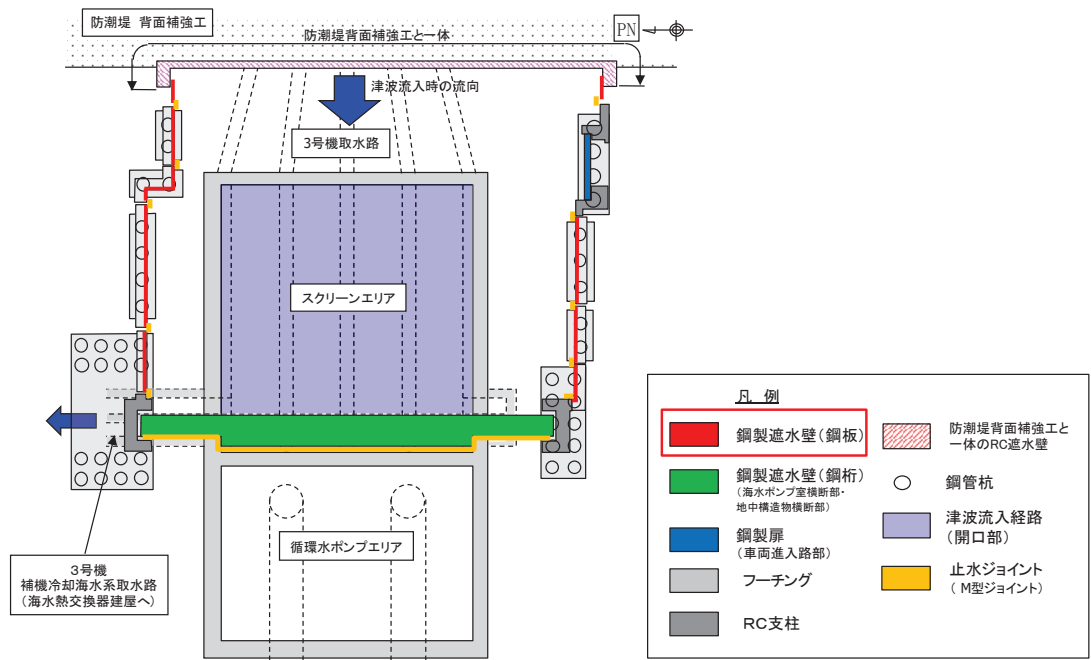


(第2号機海水ポンプ室防潮壁)

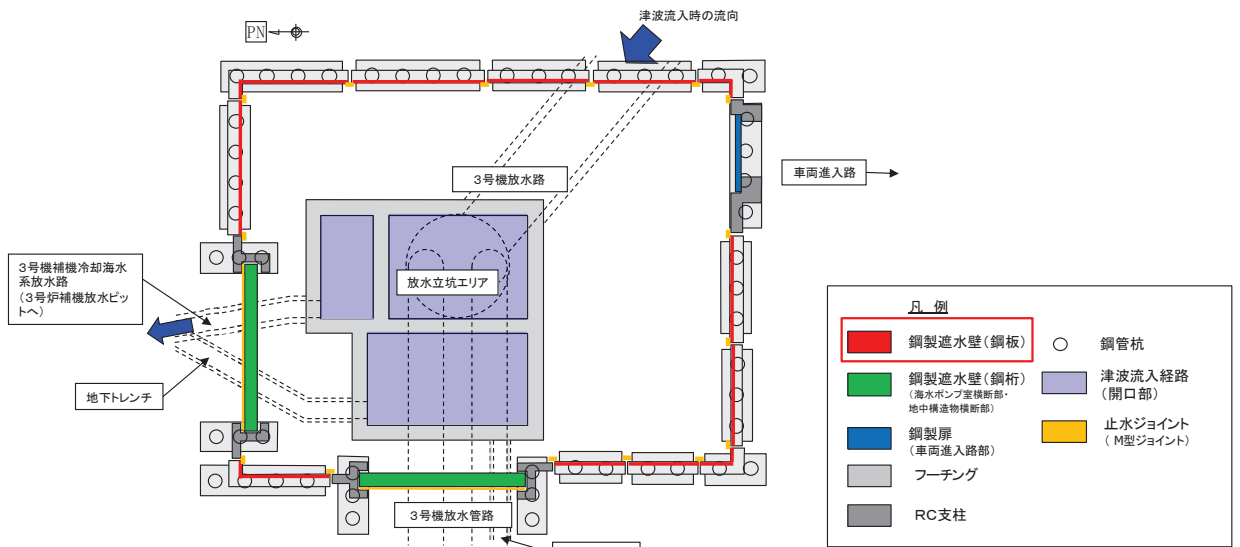


(第2号機放水立坑防潮壁)

図 3-4-5 防潮壁(鋼製遮水壁(鋼板))の平面配置



(第3号機海水ポンプ室防潮壁)



(第3号機放水立坑防潮壁)

図 3-4-6 防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の平面配置

c. 取放水路流路縮小工

取放水路流路縮小工は、岩盤内に構築された線状構造物である既設取放水路内に設置する構造物で、縦断方向に同一断面が連続した形状となっており、また横断方向を岩盤により拘束された構造であるため、地震時の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい（縦断方向に対しては津波時及び津波余震重畳時における強度評価を実施）。

構造概要を図3-4-7、図3-4-8に示す。

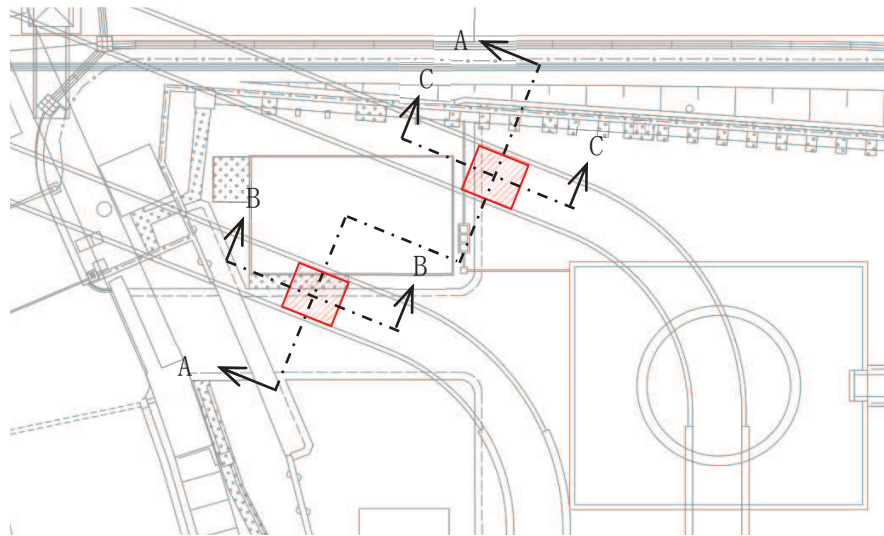
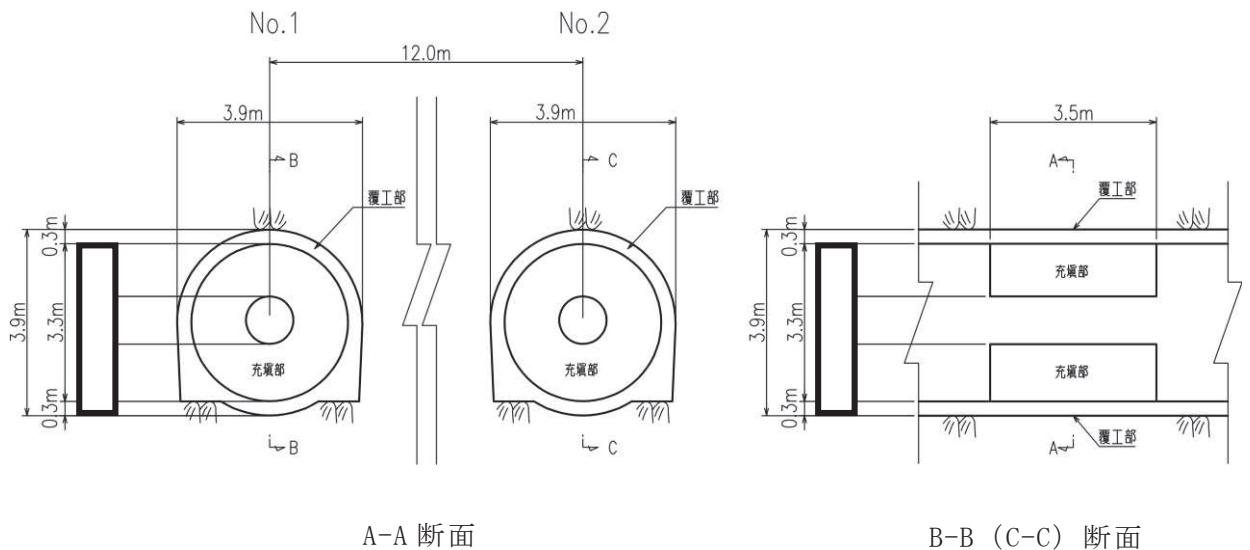


図 3-4-7 取放水路流路縮小工 平面図
(第1号機取水路の例)



A-A 断面

B-B (C-C) 断面

図 3-4-8 取放水路流路縮小工 断面図
(第1号機取水路の例)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

3.4.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

(1) 線状構造物

線状構造物である、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち鋼管杭について、漂流物防護工が鋼管杭前面に張り出した偏心構造となることを踏まえ、鋼管杭に対して漂流物防護工設置による水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。

(2) 箱形構造物

箱形構造物である屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の出口側集水ピットについて、構造形状が異なることを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。

(3) 門型構造物

門型構造物である、防潮壁（杭基礎構造）のうち鋼製遮水壁（鋼桁）の構造概要図を図3-4-9に、鋼製扉の上部工の構造概要図を図3-4-10に示す。

主たる止水構造である鋼桁及び鋼製扉（扉体）については、従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向（強軸方向）の断面係数が相対的に大きいため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

一方、鋼桁や鋼製扉を支持する左右のRC支柱に対しては、強軸方向の慣性力等の荷重が作用することで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。

よって、鋼製遮水壁（鋼桁）及び鋼製扉の上部工のうちRC支柱を水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象とする。ここで、扉体よりも鋼桁の方が、重量があり慣性力がより大きくなることで、相対的に影響が大きいと考えられる鋼製遮水壁（鋼桁）を代表に評価する。

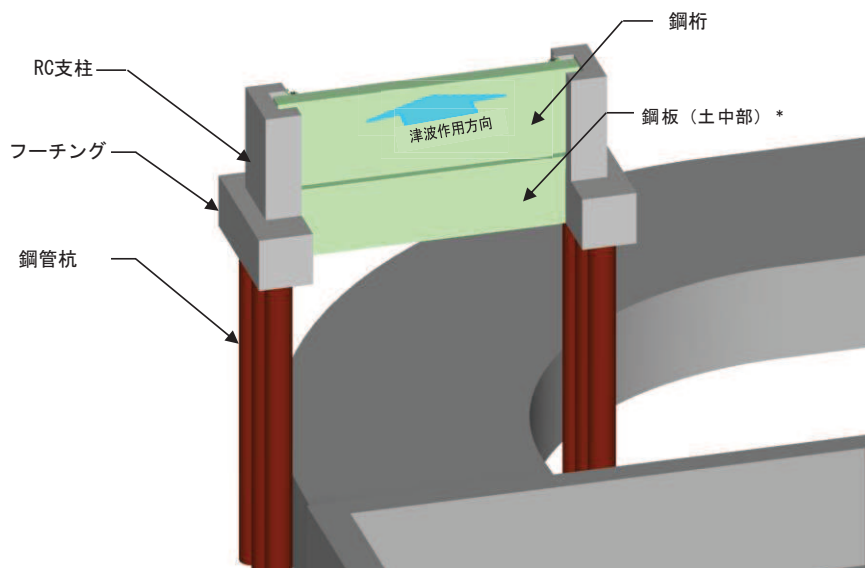


図 3-4-9 鋼製遮水壁（鋼桁） 構造概要図

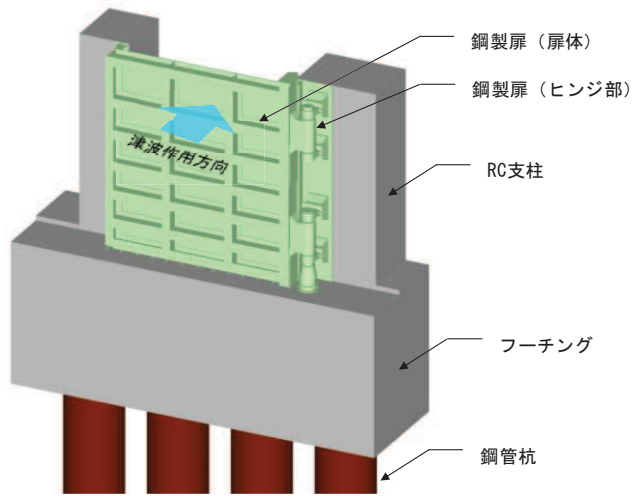


図 3-4-10 鋼製扉 構造概要図

(4) 円筒型構造物

円筒型構造物は防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工及び防潮壁（杭基礎構造）の下部工の基礎杭と揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の鋼製シャフトが該当する。それぞれの構造概要を図3-4-11～図3-4-13に示す。

基礎杭について、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工は、改良地盤又は岩盤内に設置されており、動土圧の影響は小さく、応答については上部工の影響が支配的である。上部工については、先に示したように線状構造物であり明確な強軸・弱軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さい。防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工の基礎杭に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さいため、防潮壁の基礎杭を代表に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。

よって、防潮壁の基礎杭及び揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）を円筒型構造物の影響評価の代表構造物として選定する。

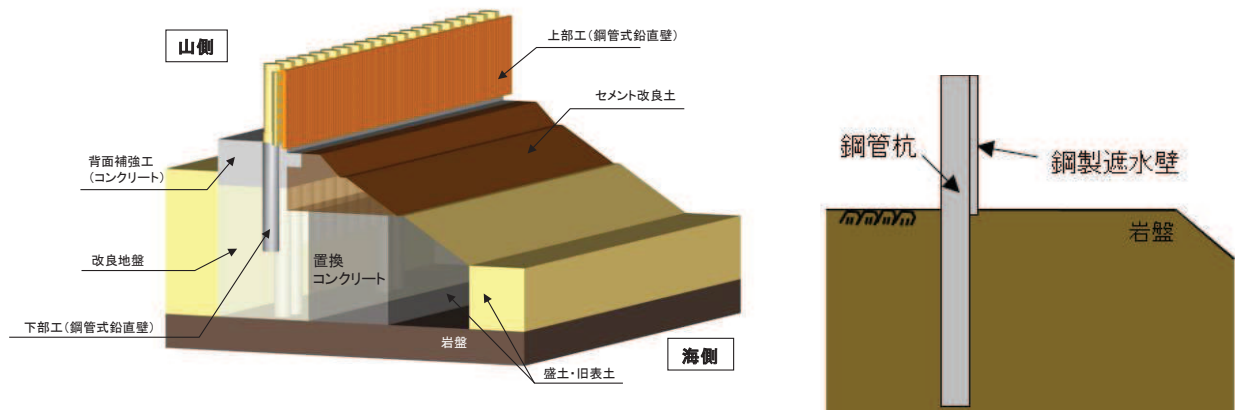


図3-4-11 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工の概要

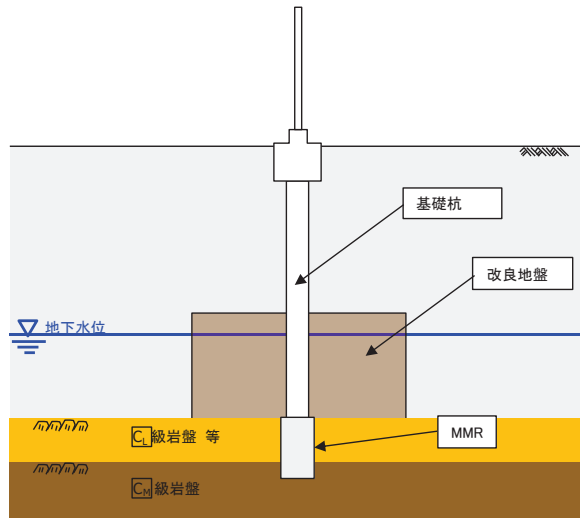


図3-4-12 防潮壁の下部工（基礎杭）の概要

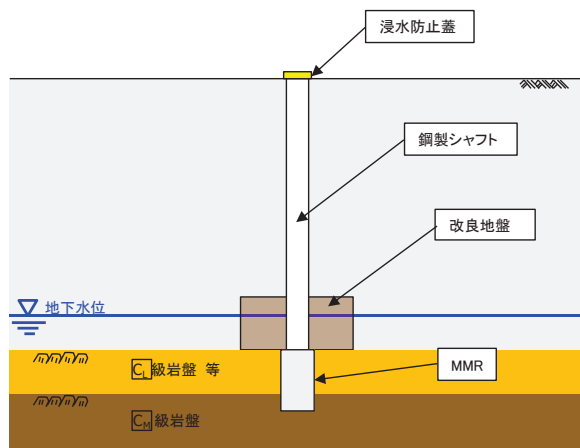


図3-4-13 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の概要

3.4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 線状構造物

a. 評価方法

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭について、地震応答解析は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、従来設計手法における評価断面（弱軸方向）の断面力（曲げ及びせん断）と、強軸方向加振によって作用する漂流物防護工の偏心荷重による断面力（ねじり）を組み合わせて用いる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応答が許容限界以下であることを確認する。

なお、強軸方向加振による地震力は、保守的に弱軸方向と同じ地震力を用いて評価を実施する。

また、評価対象は、鋼管杭の照査値（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果）に基づき、せん断照査において照査値の厳しい断面を選定し、影響評価を行う。評価断面は、照査値が最も大きい断面②を選定する。

b. 評価結果

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を表3-4-5に示す。

表 3-4-5 鋼管杭の評価結果
(ねじり応力を考慮した照査値 (断面②))

	解析 ケース	地震動	せん断 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	①	S s - D 2 (++)	67	217	0.31
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	① (ねじり 考慮)	S s - D 2 (++) *	101	217	0.47

注記*：保守的に弱軸方向の地震力を適用

(2) 箱形構造物

a. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）

(a) 評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の出口側集水ピットについて、地震応答解析は、添付書類「VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、直交する水平2方向におけるそれぞれの地震応答解析にて評価した同時刻の断面力を組み合わせて用いる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応答が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を表3-4-6～表3-4-8に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図3-4-14に示す。

表3-4-6 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ'_{c}/σ'_{ca}
							応力度 σ'_{c} (N/mm ²)	応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - F 2 (-+)	284	-436	1.2	16.5	0.08
	南壁	2	③	S s - F 2 (-+)	217	-287	1.5	16.5	0.10
	西壁	3	③	S s - F 2 (-+)	-121	163	0.6	16.5	0.04
	北壁	4	③	S s - F 2 (-+)	157	-470	1.0	16.5	0.07
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	284	-430	1.2	16.5	0.08
	南壁	2		S s - F 2 (-+)	217	-291	1.5	16.5	0.10
	西壁	3		従方向：	-121	153	0.6	16.5	0.04
	北壁	4		S s - F 2	157	-486	1.0	16.5	0.07

表3-4-7 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ_s / σ_{sa}
							応力度 σ_s (N/mm ²)	応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S _s -F ₂ (-+)	284	-443	13.2	294	0.05
	南壁	2	③	S _s -F ₂ (-+)	-205	32	33.3	294	0.12
	西壁	3	③	S _s -F ₂ (-+)	-121	168	29.8	294	0.11
	北壁	4	①	S _s -F ₃ (-+)	15	81	18.5	294	0.07
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	284	-447	13.2	294	0.05
	南壁	2		S _s -F ₂ (-+)	-205	34	33.4	294	0.12
	西壁	3		従方向：	-121	170	30.0	294	0.11
	北壁	4		S _s -F ₂	17	68	17.2	294	0.06

表3-4-8 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価結果
（せん断破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	発生	短期許容	照査値 V / V_a
					せん断力 V (kN/m)	せん断力 V _a (kN/m)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	①	S _s -F ₃ (-+)	215	1227	0.18
	南壁	2	③	S _s -F ₂ (-+)	370	1563	0.24
	西壁	3	③	S _s -F ₂ (-+)	120	1563	0.08
	北壁	4	③	S _s -F ₂ (-+)	65	944	0.07
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	212	1227	0.18
	南壁	2		S _s -F ₂ (-+)	369	1563	0.24
	西壁	3		従方向：	120	1563	0.08
	北壁	4		S _s -F ₂	68	944	0.08

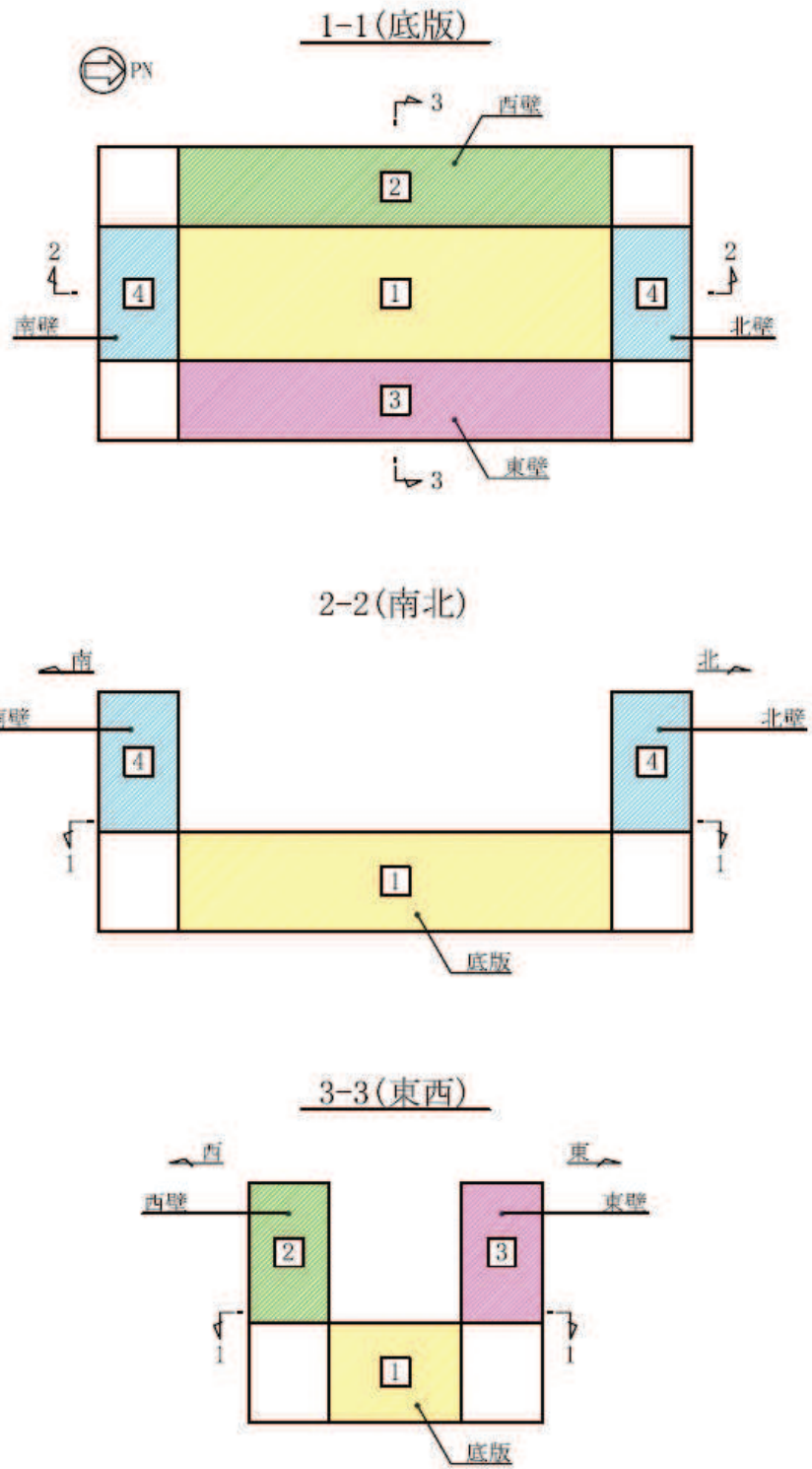


図3-4-14 評価位置図

b. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

(a) 評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の出口側集水ピットについて、地震応答解析は、添付書類「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、直交する水平2方向におけるそれぞれの地震応答解析にて評価した同時刻の断面力を組み合わせて用いる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応答が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を表3-4-9～表3-4-11に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図3-4-15に示す。

表3-4-9 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
							応力度 σ'_c (N/mm ²)	応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - D 2 (-+)	-1283	-1051	2.7	16.5	0.17
	南壁	2	③	S s - D 2 (-+)	1366	-4646	3.8	16.5	0.24
	西壁	3	③	S s - D 2 (-+)	-1206	-363	2.5	16.5	0.16
	北壁	4	③	S s - D 2 (-+)	667	-4029	2.7	16.5	0.17
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	-1314	-1085	2.8	16.5	0.17
	南壁	2		S s - D 2 (-+)	1602	-4936	4.2	16.5	0.26
	西壁	3		従方向：	-1231	-92	2.5	16.5	0.16
	北壁	4		S s - D 2	463	-4002	2.4	16.5	0.15

表3-4-10 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ_s / σ_{sa}
							応力度 σ_s (N/mm ²)	応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - D 2 (- +)	594	824	102.1	294	0.35
	南壁	2	③	S s - D 2 (- +)	624	420	77.2	294	0.27
	西壁	3	③	S s - D 2 (- +)	-1304	740	152.2	294	0.52
	北壁	4	①	S s - N 1 (+ +)	102	803	60.8	294	0.21
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向 :	507	886	99.3	294	0.34
	南壁	2		S s - D 2 (- +)	1041	-72	79.0	294	0.27
	西壁	3		従方向 :	-1300	808	156.4	294	0.54
	北壁	4		S s - D 2	405	401	58.8	294	0.20

表3-4-11 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価結果
（せん断破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	発生	短期許容	照査値 V / V_a
					せん断力 V (kN/m)	せん断力 V_a (kN/m)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - D 2 (- +)	2060	3495	0.59
	南壁	2	③	S s - D 2 (- +)	570	3495	0.17
	西壁	3	③	S s - D 2 (- +)	1807	3495	0.52
	北壁	4	③	S s - D 2 (- +)	251	3495	0.08
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向 :	2193	3495	0.63
	南壁	2		S s - D 2 (- +)	724	3495	0.21
	西壁	3		従方向 :	1868	3495	0.54
	北壁	4		S s - D 2	268	3495	0.08

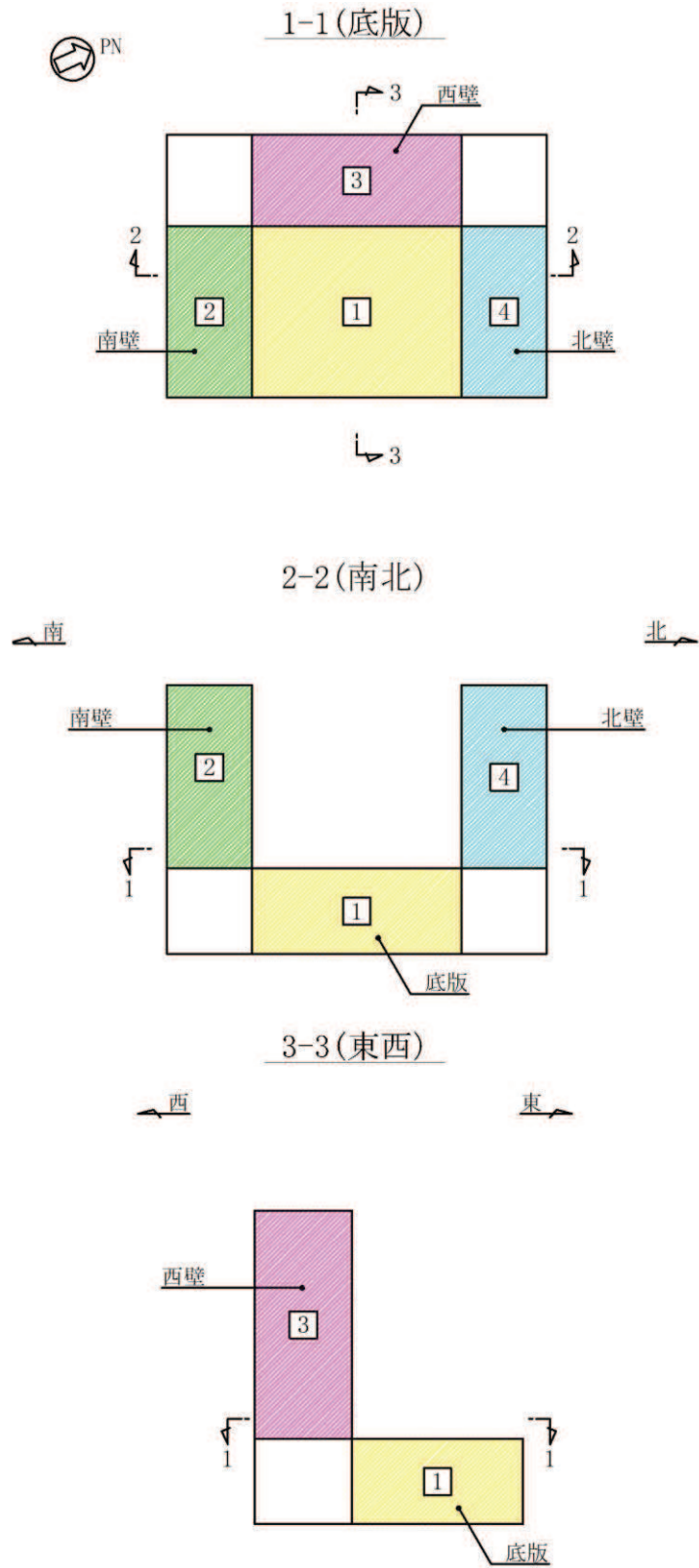


图3-4-15 評価位置図

(3) 門型構造物

(a) 評価方法

RC支柱の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、直交する水平2方向におけるそれぞれの地震応答解析にて評価した同時刻の断面力を組み合わせて用いる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応答が許容限界以下であることを確認する。

なお、せん断力に対しては、桁軸方向加振と桁軸直角方向加振により生じるせん断力に対して、図3-4-16に示すとおり帯状に配置したせん断補強筋が負担する面が異なるため、それぞれの加振方向に対して基準地震動 S_s により生じるせん断力が許容限界以下であることを示すことで影響評価とする。

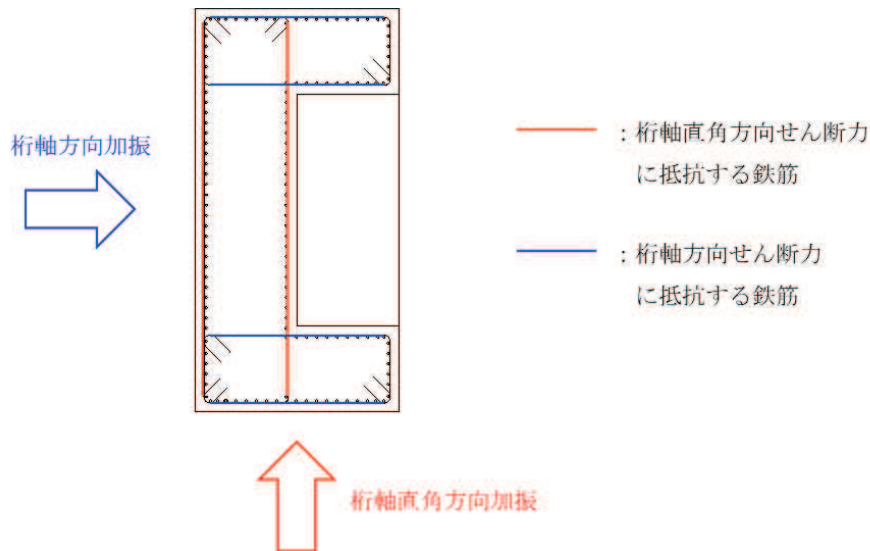


図3-4-16 RC支柱の配筋概要

(b) 評価対象

評価対象は、RC支柱の構造諸元や支持する鋼桁の構造諸元及び周辺地盤の状況が異なるため、添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書」に示す、RC支柱の照査結果(水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果)に基づき、照査値の厳しい構造物を選定し、影響評価を行う。

表3-4-11に評価対象の選定結果を示す。表3-4-12より、曲げ軸力照査に対しては、照査値が最も大きい鋼製遮水壁(鋼桁)のうち鋼桁3のRC支柱を代表構造物として選定する。せん断力に対しては、桁軸方向加振と桁軸直角方向加振のそれぞれにより生じるせん断力が許容限界以下であり、照査値に十分な裕度を有することを確認した。

表3-4-12 RC支柱の代表構造物選定結果

構造物名	加振方向	全地震動における最大照査値		選定結果	選定理由
		曲げ軸力照査	せん断力照査		
鋼桁 (鋼桁1)	桁軸	0.795 (S_s-D2 (++))	0.42 (S_s-D2 (++))	○	曲げ軸力照査値最大
	桁軸直交	0.131 (S_s-D1 (+-))	0.14 (S_s-D2 (--))		
鋼桁 (鋼桁2)	桁軸	0.727 (S_s-N1 (++))	0.43 (S_s-N1 (--))		
	桁軸直交	0.118 (S_s-D2 (+-))	0.15 (S_s-D2 (+-))		
鋼桁 (鋼桁3)	桁軸	0.667 (S_s-D2 (--))	0.38 (S_s-D2 (+-))		
	桁軸直交	0.233 (S_s-D2 (++))	0.34 (S_s-D2 (++))		
鋼桁 (鋼桁4)	桁軸	0.429 (S_s-D1 (+-))	0.17 (S_s-D1 (--))		
	桁軸直交	0.183 (S_s-N1 (++))	0.18 (S_s-D1 (--))		
鋼桁 (鋼桁5)	桁軸	0.763 (S_s-N1 (-+))	0.22 (S_s-N1 (++))		
	桁軸直交	0.187 (S_s-F3 (-+))	0.15 (S_s-F3 (-+))		
鋼桁 (鋼桁6)	桁軸	0.775 (S_s-N1 (++))	0.31 (S_s-N1 (++))		
	桁軸直交	0.188 (S_s-F3 (++))	0.15 (S_s-F3 (++))		

(c) 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の算定方法

RC支柱の曲げ軸力照査において照査値が最大となる鋼桁3を検討対象とし、影響評価を行う。

RC支柱の応力度算定は、地震応答解析に基づき算定した断面力を用いて解析コード「RC断面計算Ver. 8.00.06」により算定する。

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

なお、照査における評価用断面力について、曲げモーメントは、主方向解析及び従方向解析から該当する応答値を選定し、軸力は、主方向解析から得られた応答値を選定する。

(d) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

②地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価では、全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくいことから、水平1方向の照査において最大照査値となる断面に直交する方向には、位相の異なる模擬地震波等を用いる。

③検討ケース

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しい下記に示す構造物及び地震動を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

- ・鋼桁1「加振方向(主):桁軸, S s - D 2 (++) , 解析ケース③*

注記*:「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書」において実施している解析ケースを示す。

(e) 評価結果

RC支柱の水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表3-4-13に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも、それぞれの照査値が許容限界以下であるため、耐震性への影響がないことを確認した。

表 3-4-13 RC 支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値（鉄筋）（鋼桁 1 基礎 2）
 （加振方向（主）：桁軸， $S_s - D 2$ （++），解析ケース③）

検討ケース	解析 ケース	地震動	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 (N/mm^2) (a)	許容限界 (N/mm^2) (b)	照査値 (a/b)
			曲げモー メント ($kN \cdot m$)	軸力 (kN)			
水平 1 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ*1	③	$S_s - D 2$ (++)	-24911	-1553	346	435	0.80
水平 2 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ*2	③	主方向： $S_s - D 2$ (++) 従方向： $S_s - D 2$	My： 24911 Mz： 3310	-2127	370	435	0.86

注記*1：曲げモーメントについては、全時刻の絶対値最大となる断面力を抽出し、軸力については全時刻の最小値を抽出した上で、曲げモーメントは保守的となるよう正負を入れ替えた組合せでの照査を行い、照査値が最大となった組み合わせでの断面力の値を示している。

*2：曲げモーメントについては、My：桁軸方向加振で生じる曲げモーメント、Mz：桁軸直角方向加振で生じる曲げモーメントが最大最小となる時刻及び My、Mz の合成モーメント（2乗和平方根）が最大となる時刻並びに軸力（桁軸方向）が最大最小となる時刻における断面力の組合せを抽出した上で、保守的となるよう正負を入れ替えた組合せでの照査を行い、照査値が最大となった組み合わせでの断面力の値を示している。

(4) 円筒型構造物

a. 基礎杭

(a) 評価方法

基礎杭の水平2方向及び鉛直地震力の組合せによる影響評価については、直交する水平2方向におけるそれぞれの地震応答解析にて評価した同時刻の断面力を組み合わせて用いる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応答が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、材質、杭径、杭間隔、長さ、上載荷重及び周辺地盤の状況が異なるため、添付書類「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」、「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-2-3-3 杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書」に示す、各構造形式の耐震評価対象断面における鋼管杭の照査値（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果）に基づき、照査値の厳しい構造物を選定し、影響評価を行う。

表3-4-14に評価対象の選定結果を示す。表3-4-14より、鋼管杭の曲げ軸力及びせん断力照査のうち、照査値が最も大きい鋼桁1, 4, 5を影響評価の代表構造物として選定する。

表3-4-14 基礎杭の代表構造物選定結果

構造形式	構造物名	最大照査値		選定結果	選定理由
		曲げ軸力照査	せん断力照査		
基礎杭	鋼板 (断面①)	0.713 ($S_s - N_1$) (-+)	0.434 ($S_s - N_1$) (-+)		
	鋼板 (断面②)	0.619 ($S_s - N_1$) (++)	0.385 ($S_s - N_1$) (++)		
	鋼板 (断面③)	0.953 ($S_s - N_1$) (++)	0.650 ($S_s - N_1$) (++)	○	曲げ軸力照査値最大 ($S_s - N_1$ を除く 照査値においても最大 ($S_s - F_2$)*)
	鋼板 (断面④)	0.278 ($S_s - D_2$) (+-)	0.286 ($S_s - D_2$) (+-)		
	鋼板 (断面⑤)	0.550 ($S_s - D_2$) (-+)	0.413 ($S_s - D_3$) (-+)		
	鋼板 (断面⑥)	0.425 ($S_s - D_2$) (++)	0.626 ($S_s - D_1$) (-+)		
	鋼板 (断面⑦)	0.634 ($S_s - D_2$) (++)	0.522 ($S_s - D_2$) (+-)		
	鋼板 (断面⑧)	0.388 ($S_s - N_1$) (-+)	0.101 ($S_s - N_1$) (++)		
	鋼桁 (鋼桁1)	0.739 ($S_s - D_2$) (++)	0.637 ($S_s - D_2$) (++)		
	鋼桁 (鋼桁2)	0.854 ($S_s - N_1$) (-+)	0.412 ($S_s - N_1$) (++)		
	鋼桁 (鋼桁3)	0.802 ($S_s - D_2$) (+-)	0.638 ($S_s - D_2$) (+-)	○	せん断力照査値 ($S_s - N_1$ を除く) 最大*
	鋼桁 (鋼桁4)	0.884 ($S_s - N_1$) (++)	0.696 ($S_s - N_1$) (++)	○	せん断力照査値最大
	鋼桁 (鋼桁5)	0.908 ($S_s - N_1$) (-+)	0.414 ($S_s - N_1$) (++)		
	鋼桁 (鋼桁6)	0.900 ($S_s - N_1$) (-+)	0.365 ($S_s - N_1$) (-+)		
	鋼製扉 (扉2)	0.278 ($S_s - D_2$) (++)	0.265 ($S_s - D_2$) (-+)		
	鋼製扉 (扉3)	0.898 ($S_s - N_1$) (-+)	0.549 ($S_s - N_1$) (++)		

注記* : $S_s - N_1$ は観測波に基づいており、地震動の方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さいことから、 $S_s - N_1$ 以外の2番目に照査値が厳しい地震動に対しても水平2方向評価を実施

(c) 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の算定方法

① 曲げ軸力照査 (鋼管杭)

曲げ軸力照査値の算定式を以下に示す。

$$M_y > M$$

$$M_y = \left(\sigma_y - \frac{|N|}{A} \right) \cdot Z$$

$$M = \sqrt{M_{1\text{方向目}}^2 - M_{2\text{方向目}}^2}$$

ここで、

M_y : 鋼管杭の降伏曲げモーメント (kN・m)

M : 鋼管杭の発生曲げモーメント (kN・m)

σ_y : 鋼管杭の降伏強度 (N/mm²)

N : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A : 鋼管杭の断面積 (m²)

Z : 鋼管杭の断面係数 (m³)

$M_{1\text{方向目}}$: 1方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生曲げモーメント (kN・m) *

$M_{2\text{方向目}}$: 2方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生曲げモーメント (kN・m) *

注記* : 1方向目と2方向目の等時刻の曲げモーメントの合成 (2乗和平方根) が最大となる時刻の発生曲げモーメント

② せん断力照査 (鋼管杭)

せん断照査値の算定式を以下に示す。

$$\tau > \tau_1$$

$$\tau_1 = \kappa \frac{S}{A}$$

$$S = \sqrt{S_{1\text{方向目}}^2 - S_{2\text{方向目}}^2}$$

ここで、

τ : 鋼管杭の許容せん断強度 (N/mm²)

τ_1 : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力 (N/mm²)

S : 鋼管杭に発生するせん断力 (N)

A : 鋼管杭の断面積 (mm²)

κ : せん断応力の分布係数 (2.0)

$S_{1\text{方向目}}$: 1方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生せん断力 (N) *

$S_{2\text{方向目}}$: 2方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生せん断力 (N) *

注記* : 1方向目と2方向目の等時刻のせん断力の合成 (2乗和平方根) が最大となる時刻の発生せん断力

(d) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

②模擬地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価では、全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくいことから、水平1方向の照査において最大照査値となる断面に直交する方向には、位相の異なる模擬地震波等を用いる。

③検討ケース

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しい下記構造物及び地震動を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

曲げ軸力

- ・鋼板（断面③）「 $S_s - N 1$ （++），解析ケース②*」
- ・鋼板（断面③）「 $S_s - F 2$ （-+），解析ケース①*」

せん断力照査

- ・鋼桁4「加振方向（主）：桁軸直交， $S_s - N 1$ （++），解析ケース②*」
- ・鋼桁3「加振方向（主）：桁軸， $S_s - D 2$ （+-），解析ケース②*」

注記*：「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」において実施している表3-4-24に示す解析ケースを示す。

(e) 評価結果

基礎杭の水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表3-4-15，表3-4-16に，せん断破壊に対する照査値を表3-4-17，表3-4-18に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも，それぞれの照査値が許容限界以下であるため，耐震性への影響がないことを確認した。

表 3-4-15 基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値（鋼板（断面③））
 （加振方向（主）：壁軸直交， $S_s - N_1$ （++），解析ケース②）

検討ケース	解析ケース	地震動	発生断面力		降伏曲げモーメント ($kN \cdot m$) (b)	照査値 (a/b)
			曲げモーメント ($kN \cdot m$) (a)	軸力 (kN)		
水平 1 方向 及び鉛直方向 地震力の 組合せ	②	$S_s - N_1$ (++)	20361	919	21369	0.96
水平 2 方向 及び鉛直方向 地震力の 組合せ	②	主方向： $S_s - N_1$ (++) 従方向： $S_s - N_1$	20648	896	21378	0.97

表 3-4-16 基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値（鋼板（断面③））
 （加振方向（主）：壁軸直交， $S_s - F_2$ （-+），解析ケース①）

検討ケース	解析ケース	地震動	発生断面力		降伏曲げモーメント ($kN \cdot m$) (b)	照査値 (a/b)
			曲げモーメント ($kN \cdot m$) (a)	軸力 (kN)		
水平 1 方向 及び鉛直方向 地震力の 組合せ	①	$S_s - F_2$ (-+)	18217	1081	21311	0.86
水平 2 方向 及び鉛直方向 地震力の 組合せ	①	主方向： $S_s - F_2$ (-+) 従方向： $S_s - F_2$	20391	1217	21262	0.96

表 3-4-17 基礎杭のせん断破壊に対する照査値（鋼桁 4）
 （加振方向（主）：桁軸直交， $S_s - N 1$ （++），解析ケース②）

検討ケース	解析ケース	地震動	発生断面力	せん断 応力度 (N/mm^2) (a)	許容限界 (N/mm^2) (b)	照査値 (a/b)
			せん断力 (kN)			
水平 1 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	$S_s - N 1$ (++)	5895	181	260	0.70
水平 2 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	主方向： $S_s - N 1$ (++) 従方向： $S_s - N 1$	6551	201	260	0.78

表 3-4-18 基礎杭のせん断破壊に対する照査値（鋼桁 3）
 （加振方向（主）：桁軸， $S_s - D 2$ （+-），解析ケース②）

検討ケース	解析ケース	地震動	発生断面力	せん断 応力度 (N/mm^2) (a)	許容限界 (N/mm^2) (b)	照査値 (a/b)
			せん断力 (kN)			
水平 1 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	$S_s - D 2$ (+-)	7298	166	260	0.64
水平 2 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	主方向： $S_s - D 2$ (+-) 従方向： $S_s - D 2$	7301	166	260	0.64

VI-2-13 地下水位低下設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震計算の方針
- VI-2-13-2 地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書
- VI-2-13-3 地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書
- VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書
- VI-2-13-5 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書
- VI-2-13-6 地下水位低下設備揚水ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-13-7 地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書
- VI-2-13-8 地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書
- VI-2-13-9 地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書
- VI-2-13-10 地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書

VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震計算の方針

目次

1. 概要.....	1
2. 耐震評価の基本方針.....	2
2.1 評価対象施設.....	2
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界.....	13
3.1 荷重及び荷重の組合せ.....	13
3.1.1 荷重の種類.....	13
3.1.2 荷重の組合せ.....	13
3.2 許容限界.....	13
4. 耐震評価方法.....	19
4.1 地震応答解析.....	19
4.2 耐震評価.....	20
4.2.1 耐震評価方法.....	20
4.3 機能維持評価.....	21
4.3.1 動的機能の維持.....	21
4.3.2 電氣的機能の維持.....	21
4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮.....	21
4.5 波及的影響の考慮.....	21

別紙1 屋外排水路の耐震計算における排水経路確保の考え方

1. 概要

本資料は、地下水位低下設備が「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第5条に適合する設計とするため、添付書類「VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針」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、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

また、地下水の排水経路を構成する屋外排水路のうち基準地震動 S_s に対し機能維持する幹線排水路流末部について、耐震計算における排水経路確保の考え方及び計算結果を記載する図書を別紙1に示す。

地下水位低下設備の計算結果は、添付書類「VI-2-13-2 地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書」、「VI-2-13-3 地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書」、「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」、「VI-2-13-5 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」、「VI-2-13-6 地下水位低下設備揚水ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-13-7 地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書」、「VI-2-13-8 地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書」、「VI-2-13-9 地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書」及び「VI-2-13-10 地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書」に示す。

耐震重要度分類における取扱いは添付書類「VI-2-1-4 耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」に示す。

2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す、基準地震動 S_s による地震力と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重により生じる応力又は荷重（以下「応力等」という）が、「3.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを「4. 耐震評価方法」に示す評価方法を使用し「5. 適用規格・基準等」に示す適用規格を用いて確認する。

地下水位低下設備は、基準地震動 S_s による地震力に対して、その機能を維持できる設計とすることを踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせて評価を実施する。影響評価方法は「4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1 評価対象施設

評価対象施設は、地下水位低下設備を構成するドレーン、接続柵、揚水井戸（蓋を含む）、揚水ポンプ、配管、水位計、制御盤及び電源盤を対象とする。地下水位低下設備の構造（配管を除く）を表2-1～表2-7に示す。

表 2-1(1) 構造概要 (ドレーン (ヒューム管))

概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ヒューム管は、建屋等構造物外縁部又は建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内に基礎コンクリートを介して設置している。	ヒューム管	<p>φ 1050</p> <p>φ 800</p> <p>φ 500</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-1(2) 構造概要 (ドレーン (鋼管))

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼管は、揚水井戸の集水ピットを起点として削孔した岩盤内に放射状に設置する。	鋼管	<p>概略構造図</p>

表 2-2 構造概要 (接続柵)

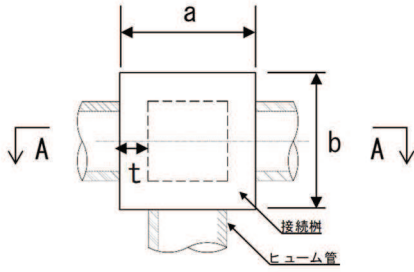
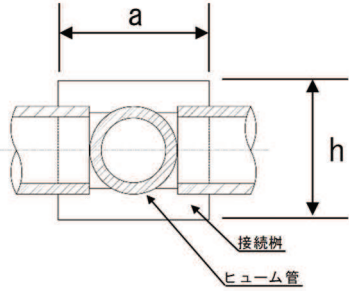
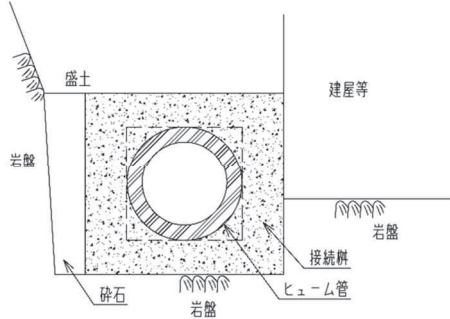
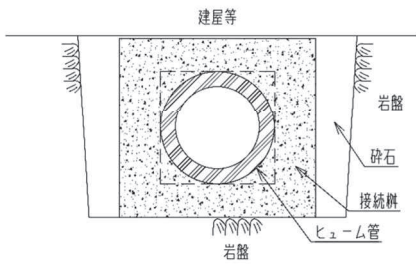
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>接続柵は、建屋等構造物外縁部または建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内に設置している。</p>	<p>鉄筋コンクリート造</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>平面図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>A-A 断面図</p> </div> </div> <p>(1) 構造概要</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>建屋等構造物外縁部</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>建屋基礎直下</p> </div> </div> <p>(2) 設置状況</p>

表 2-3(1) 構造概要 (No. 1, 2 揚水井戸)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造	No. 1 揚水井戸	No. 2 揚水井戸
<p>排水シャフトと集水ピットはアンカーボルトにより接合する。 集水ピットは岩盤中に設置し、排水シャフトは岩盤及び盛土中に設置する。</p>	<p>排水シャフト アンカーボルト 集水ピット (鉄筋コンクリート造)</p>		

表 2-3(2) 構造概要 (No. 3, 4 揚水井戸)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>排水シャフトと集水ピットはアンカーボルトにより接合する。 集水ピットは岩盤中に設置し、排水シャフトは岩盤及び盛土中に設置する。</p>	<p>排水シャフト アンカーボルト 集水ピット (鉄筋 コンクリート造)</p>	<p>No. 3 揚水井戸</p>	<p>No. 4 揚水井戸</p>

表 2-3(3) 構造概要 (揚水井戸蓋)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸上部, 受桁に固定ボルトで固定する。 受桁は揚水井戸に溶接で固定する。	揚水井戸蓋, 受桁 及び固定ボルト により構成する。	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>No. 1, 2 揚水井戸</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>No. 3, 4 揚水井戸</p> </div> </div>

表 2-4 構造概要 (揚水ポンプ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水ポンプは、基礎ボルトで床面に固定する。	水中ポンプ	<p>正面図</p> <p>平面図 (A-A 矢視)</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-5 構造概要 (水位計)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>水位計は、取付ボルトにより水位計架台に固定される。</p> <p>水位計架台は、壁面の埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>圧力式水位検出器</p>	

表 2-6 構造概要 (制御盤)

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>フレームは、溶接にて盤取付板に固定する。盤取付板は、盤取付ボルトにて据付架台に固定する。据付架台は、基礎ボルトにて壁面に据え付ける。</p>	<p>壁掛型 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛閉鎖型の盤)</p>	<p>(単位: mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>地下水位低下設備 監視制御盤</th> <th>地下水位低下設備 現場制御盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>500</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>800</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>1500</td> <td>1500</td> </tr> </tbody> </table>	機器名称	地下水位低下設備 監視制御盤	地下水位低下設備 現場制御盤	たて	500	500	横	800	800	高さ	1500	1500
機器名称	地下水位低下設備 監視制御盤	地下水位低下設備 現場制御盤												
たて	500	500												
横	800	800												
高さ	1500	1500												

表 2-7 構造概要 (電源盤)

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>フレームは、盤取付ボルトにて据付架台に固定する。据付架台は、基礎ボルトにて床面に据え付ける。</p>	<p>自立型 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立型閉鎖型の盤)</p>													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>地下水位低下設備 電源盤 A</th> <th>地下水位低下設備 電源盤 B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>1000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>2000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>2300</td> <td>2300</td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位：mm)</p>	機器名称	地下水位低下設備 電源盤 A	地下水位低下設備 電源盤 B	たて	1000	1000	横	2000	2000	高さ	2300	2300
機器名称	地下水位低下設備 電源盤 A	地下水位低下設備 電源盤 B												
たて	1000	1000												
横	2000	2000												
高さ	2300	2300												

3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

地下水位低下設備の耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

3.1.1 荷重の種類

耐震評価において考慮する荷重は以下のとおり。

(1) 常時作用する荷重 (D), 固定荷重 (G)

常時作用する荷重又は固定荷重は、持続的に生じる荷重であり、当該設備の自重や土圧とする。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重は、対象構造物上部に存在する施設・設備、積雪による荷重とする。

(3) 内圧荷重 (P_D)

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(4) 機械的荷重 (M_D)

機械的荷重は、当該設備に設計上定められた荷重とする。

(5) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

(6) 運転状態による荷重 (I_L, II_L)

運転状態による荷重は、地震と組合わすべきプラントの運転状態における圧力荷重とする。

3.1.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2 許容限界

許容限界は、地下水位低下設備を構成する設備ごとに設定する。

地下水位低下設備を構成するドレーン、接続柵及び揚水井戸の評価時に考慮する荷重の組合せ及び許容限界を表 3-1 に、機器・配管等の評価時に考慮する荷重の組合せ及び許容限界を表 3-2 に示す。

ドレーン、接続柵及び揚水井戸の評価項目は、各計算書にて評価対象部位の機能維持のための考え方を考慮し、評価項目を選定する。

機器・配管等の許容限界の詳細は、各計算書にて評価部位の許容応力状態を考慮し、評価項目を選定する。

選定した評価対象部位の許容限界を表 3-3～3-6 に示す。

表 3-1 ドレーン，接続枳及び揚水井戸の評価時に考慮する荷重の組合せ及び許容限界

施設名称	荷重の組合せ*1	評価部位	要求機能	機能維持のための考え方	許容限界
ドレーン	G + P + S s	ヒューム管	集水機能	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力が許容限界以下であることを確認 繰り返しの地震を受けても通水断面を維持する必要があることから，許容限界にはひび割れ保証モーメント及び短期許容応力度を採用 	ひび割れ保証モーメント
		鋼管*1			短期許容応力度
		基礎地盤			<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認
接続枳		頂版側壁底版	集水機能	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力が許容限界以下であることを確認 繰り返しの地震を受けても通水断面を維持する必要があることから，許容限界には短期許容応力度を採用 	短期許容応力度
		基礎地盤			<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認
揚水井戸		蓋	支持・閉塞防止機能	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認 繰り返しの地震を受けても構造を保持し，内包する揚水ポンプ・配管・水位計を支持し，閉塞を防止する必要があることから，許容限界には短期許容応力度を採用 	短期許容応力度
	排水シャフト	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（引張力，曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認 繰り返しの地震を受けても構造を保持し，内包する揚水ポンプ・配管・水位計を支持する必要があることから，許容限界には短期許容応力度を採用 			短期許容応力度
	集水ピット				<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（引張力，曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認 繰り返しの地震を受けても構造を保持し，内包する揚水ポンプ・配管・水位計を支持する必要があることから，許容限界には短期許容応力度を採用
	接合部	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（引張力，曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認 繰り返しの地震を受けても構造を保持し，内包する揚水ポンプ・配管・水位計を支持する必要があることから，許容限界には短期許容応力度を採用 			
基礎地盤	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認 		極限支持力*2		

注記*1：鋼管については原子炉建屋の基礎地盤安定性解析の結果を用いて評価を行う。

*2：妥当な安全余裕を考慮する。

表 3-2 機器・配管等の荷重の組合せ及び許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価部位	応力等の状態	限界状態	許容限界
揚水ポンプ	$D + P_D + M_D + S_s$	基礎ボルト	引張 せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A S の許容応力以下とする。
配管	$I_L + S_s$ $II_L + S_s$	管 支持構造物	一次応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A S の許容応力以下とする。
水位計	$D + P_D + M_D + S_s$	溶接部	せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A S の許容応力以下とする。
制御盤	$D + P_D + M_D + S_s$	フレーム 器具取付板 盤取付板 据付架台	引張 せん断 圧縮 曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A S の許容応力以下とする。
		盤取付ボルト 基礎ボルト	引張 せん断		
電源盤	$D + P_D + M_D + S_s$	フレーム 器具取付板 筐体 据付架台	引張 せん断 圧縮 曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ _A S 許容 応力以下とする。
		盤取付ボルト 基礎ボルト	引張 せん断		

表 3-3 ボルトの許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	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
基礎ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
盤取付ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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

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

表 3-4 ボルト以外の許容限界

評価 対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)			
			一次応力			
			引張り	せん断	圧縮	曲げ
フレーム	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
器具取付板	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
筐体	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
盤取付板	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
据付架台	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$

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

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

表 3-5 管の許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界		
			一次応力	一次+二次応力	一次+二次 +ピーク応力
管	$I_L + S_s$ $II_L + S_s$	IV_{AS}	$0.9 S_u$	S_s 地震動のみによる疲労解析* を行い、疲労累積係数が 1.0 以下 であること。ただし、地震動のみ による一次+二次応力の変動値 が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析 は不要。	

注記*： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5)（ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3-6 水位計の許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*
			(溶接部)
			一次応力
溶接部	$D + P_D + M_D$ $+ S_s$	IV_{AS}	せん断 $1.5 \cdot f_s^*$

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。

4. 耐震評価方法

地下水位低下設備の耐震評価は、「4.1 地震応答解析」、「4.2 耐震評価」、「4.3 機能維持評価」に従って実施する。

4.1 地震応答解析

地下水位低下設備の耐震評価に用いる地震応答解析フローを図4-1に示す。

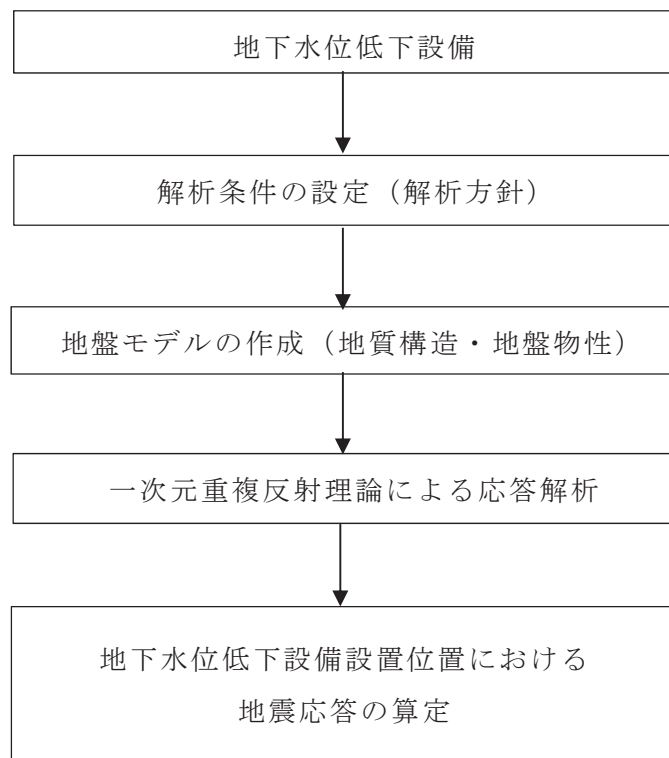


図 4-1 地下水位低下設備の地震応答解析のフロー

4.2 耐震評価

地下水位低下設備は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して、「4.1 地震応答解析」で示した地震応答解析により応力等を算出し、「3.2 許容限界」にて設定している許容限界内であることを確認する。

4.2.1 耐震評価方法

ドレーン、接続柵、揚水井戸（蓋を含む）、揚水ポンプ、配管、水位計、制御盤、電源盤の評価方法について示す。

(1) ドレーン

評価対象のドレーンについては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(2) 接続柵

評価対象の接続柵については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(3) 揚水井戸

評価対象の揚水井戸（蓋を含む）については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

なお、蓋の評価については、竜巻による設計飛来物の影響を踏まえた板厚を考慮する。また、部材設計にあたり、小動物侵入の影響がないような構造とする。

(4) 揚水ポンプ

評価対象の揚水ポンプについては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて示す評価方法及び原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 に準拠した評価方法により評価を行う。

(5) 配管

評価対象の配管については、添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」及び添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(6) 水位計

評価対象の水位計については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(7) 制御盤

評価対象の制御盤及び監視盤は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(8) 電源盤

評価対象の電源盤については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に

て示す評価方法に基づき評価を行う。

4.3 機能維持評価

地下水位低下設備の構造強度に係る機能維持の方針は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」を準用する。

地下水位低下設備の構造強度に係る機能維持に係る耐震計算の方針は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」及び「4.1 動的機器の機能維持」を準用する。

4.3.1 動的機能の維持

地震時及び地震後に動的機能が要求される機器である地下水位低下設備のうち、揚水ポンプについては、耐震設計上の性能目標を踏まえ、基準地震動 S_s による当該設備床、設計用床応答曲線若しくは設計用最大床加速度から求まる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により確認する。

4.3.2 電氣的機能の維持

地震時及び地震後に電氣的機能が要求される機器である地下水位低下設備のうち、水位計、制御盤及び電源盤については、耐震設計上の性能目標を踏まえ、基準地震動 S_s による当該設備床、設計用床応答曲線若しくは設計用最大床加速度から求まる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により確認する。

4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮

地下水位低下設備に関する水平2方向及び鉛直方向地震動の影響評価については、添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

4.5 波及的影響の考慮

添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」の「3.3 波及的影響に対する考慮」に基づき、地下水位低下設備の耐震設計を行うに際して、下位クラス施設の波及的影響によって、それぞれの機能が損なわれないよう配慮する。

5. 適用規格・基準等

適用する規格・基準等としては、既往工認で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準について技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。適用する規格、基準、指針類を以下に示す。

- ・ 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- ・ 土木学会 2015年 トンネル・ライブラリー第27号 シールド工事用立坑の設計
- ・ 土木学会 2005年 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
- ・ J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・ 日本下水道協会 2014年 下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－
- ・ 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－
- ・ 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2010年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補－1984）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編

屋外排水路の耐震計算における排水経路確保の考え方

地下水位低下設備で汲み上げた地下水を海へ排水するため、敷地から海への排水経路となる北側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）及び出口側集水ピット（北側））、南側幹線排水路流末部（敷地側集水ピット（南側）、南側排水路（防潮堤横断部）及び出口側集水ピット（南側））については、基準地震動 S_s に対し機能維持することにより、排水経路を確保する。

屋外排水路の平面図を図 1、基準地震動 S_s に対し機能維持させる各幹線排水路流末部の概要を図 2 に示す。

基準地震動 S_s に対し機能維持するにあたり、敷地側集水ピット（北側）、北側排水路（防潮堤横断部）、出口側集水ピット（北側）、敷地側集水ピット（南側）及び出口側集水ピット（南側）については、各部材が終局状態に至らないことを目標性能と定め、許容限界を短期許容応力度、曲げ耐力、圧縮耐力、せん断耐力とする。

また、南側排水路（防潮堤横断部）については、敷地側集水ピット（南側）と出口側集水ピット（南側）の間のMMR内にある連続した空洞であることから、排水断面を保持する上で必要な施設範囲として空洞周辺のMMR（排水路部）を設定し、この範囲がおおむね弾性範囲にとどまることを目標性能と定め、許容限界を引張強度及びせん断強度とする。

各幹線排水路流末部の計算結果は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書」に示す。

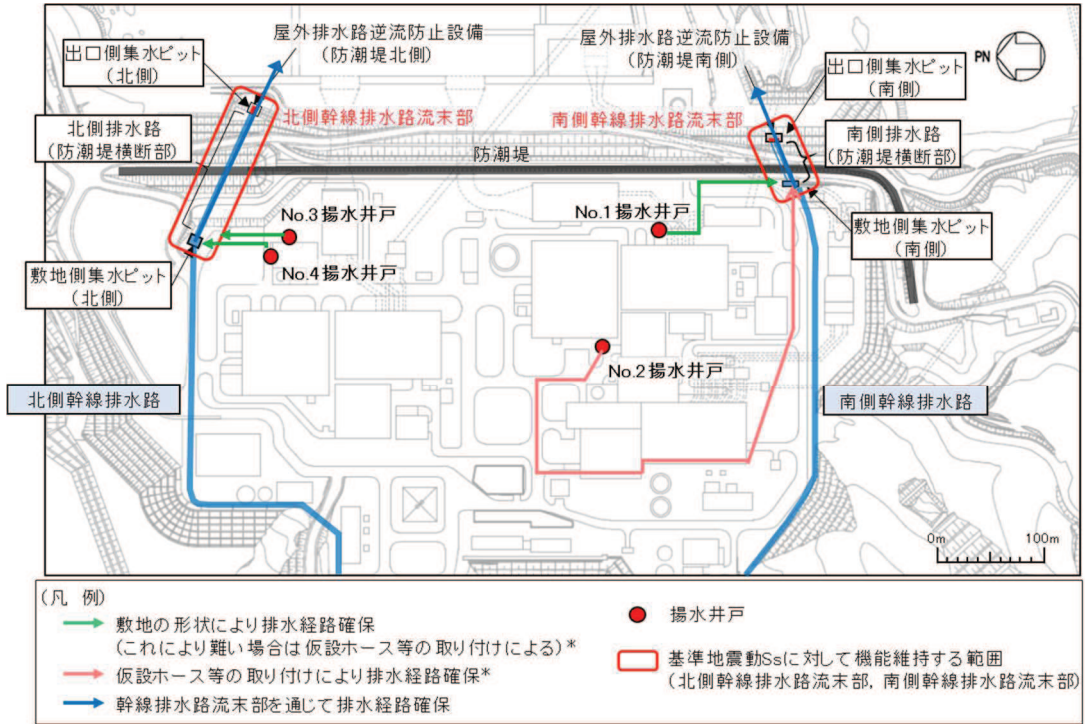


図 1 屋外排水路平面図

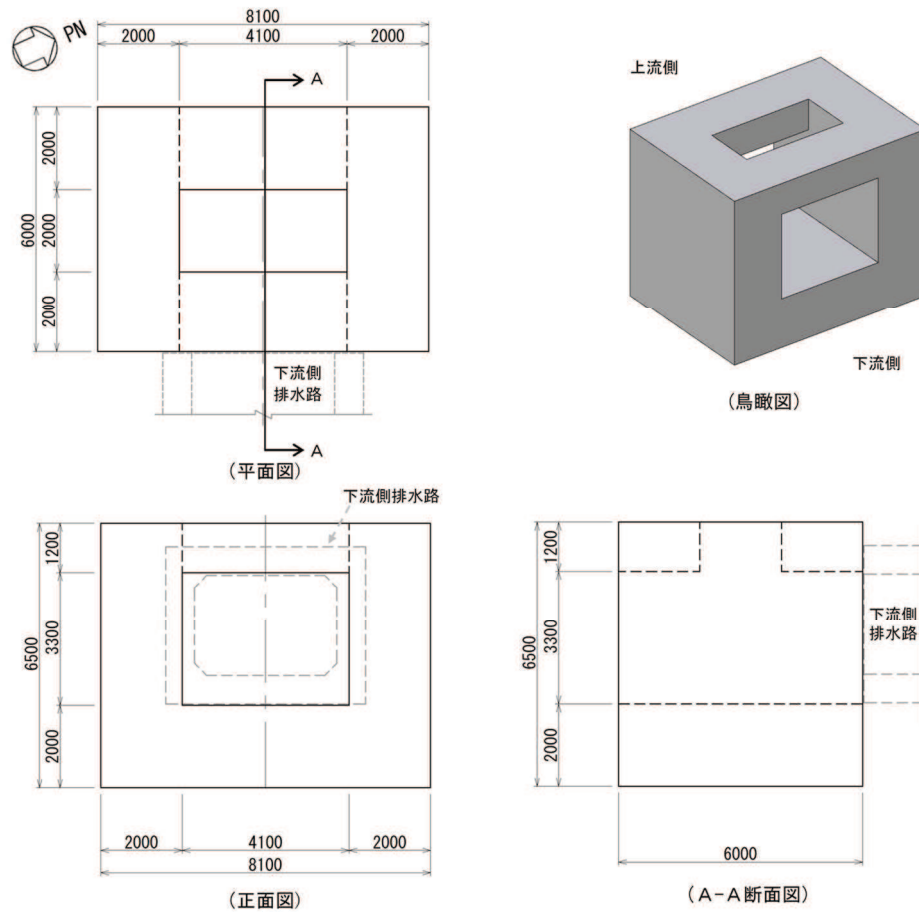
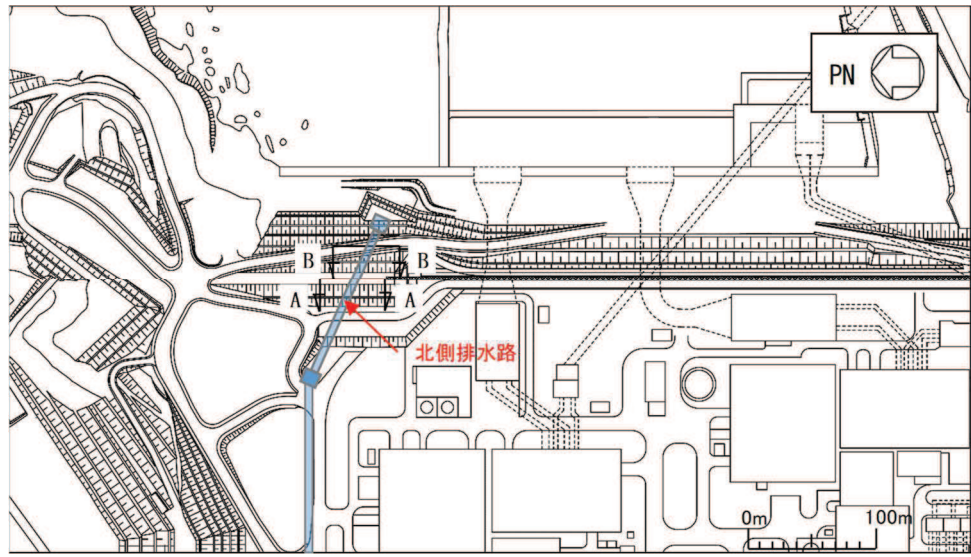
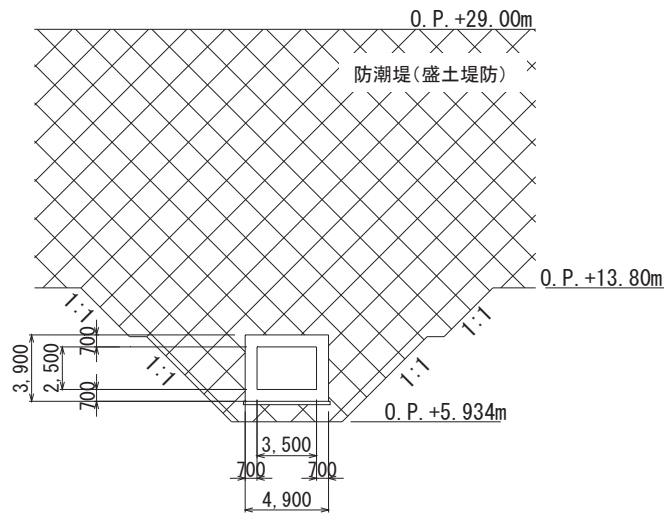


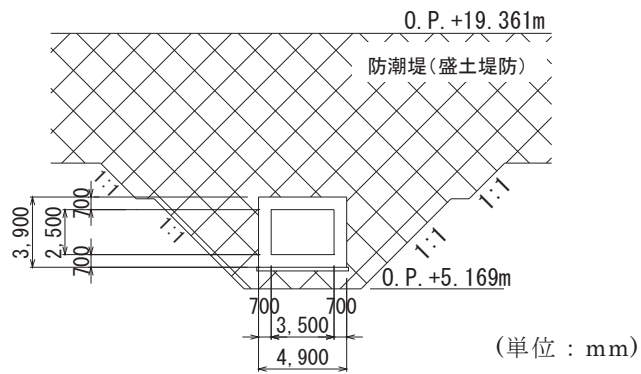
図 2(1) 敷地側集水ピット (北側) 構造概要



平面図



断面図 (A-A 断面)



断面図 (B-B 断面)

図 2(2) 北側排水路 (防潮堤横断部) 構造概要

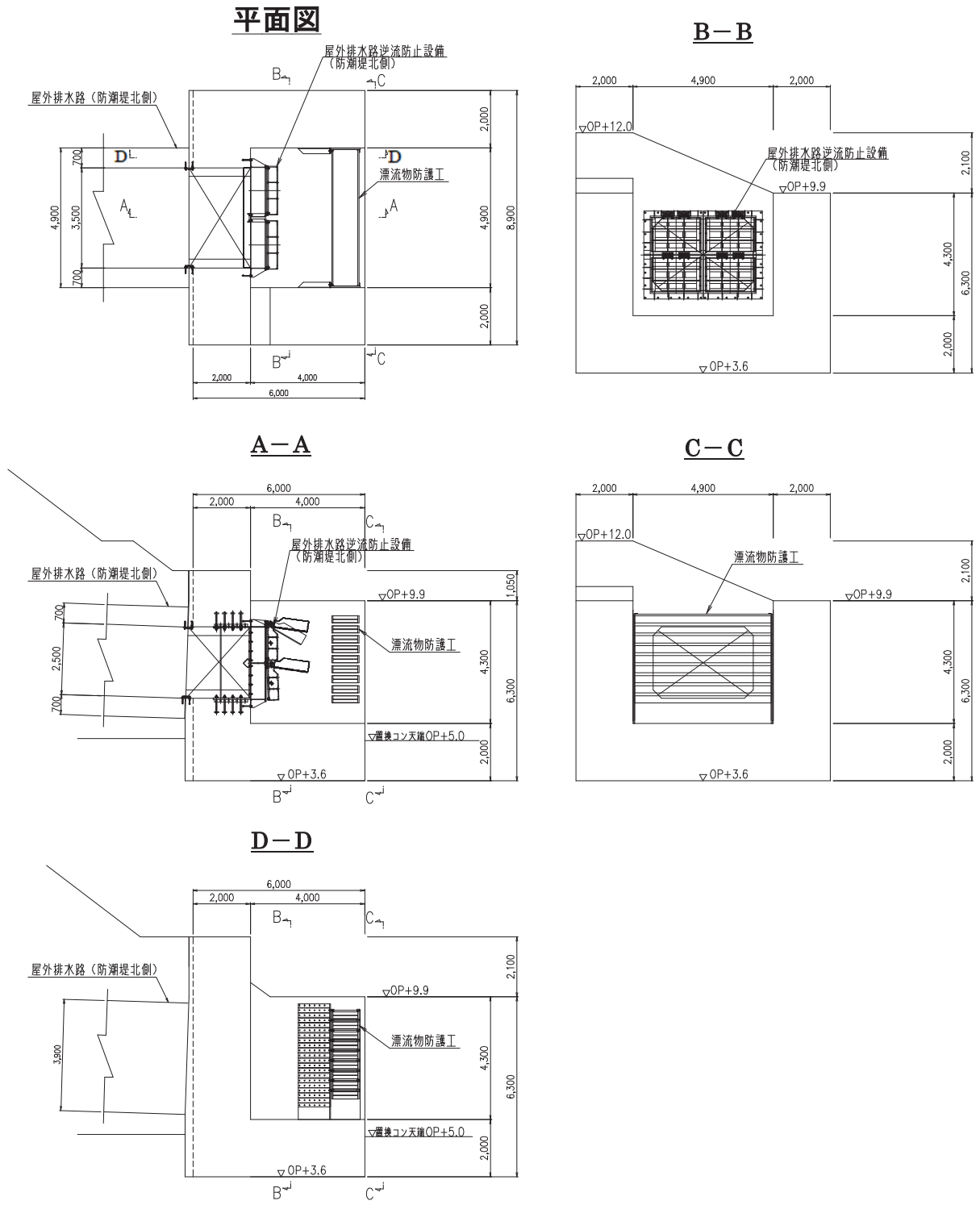


図 2(3) 出口側集水ピット (北側) 構造概要

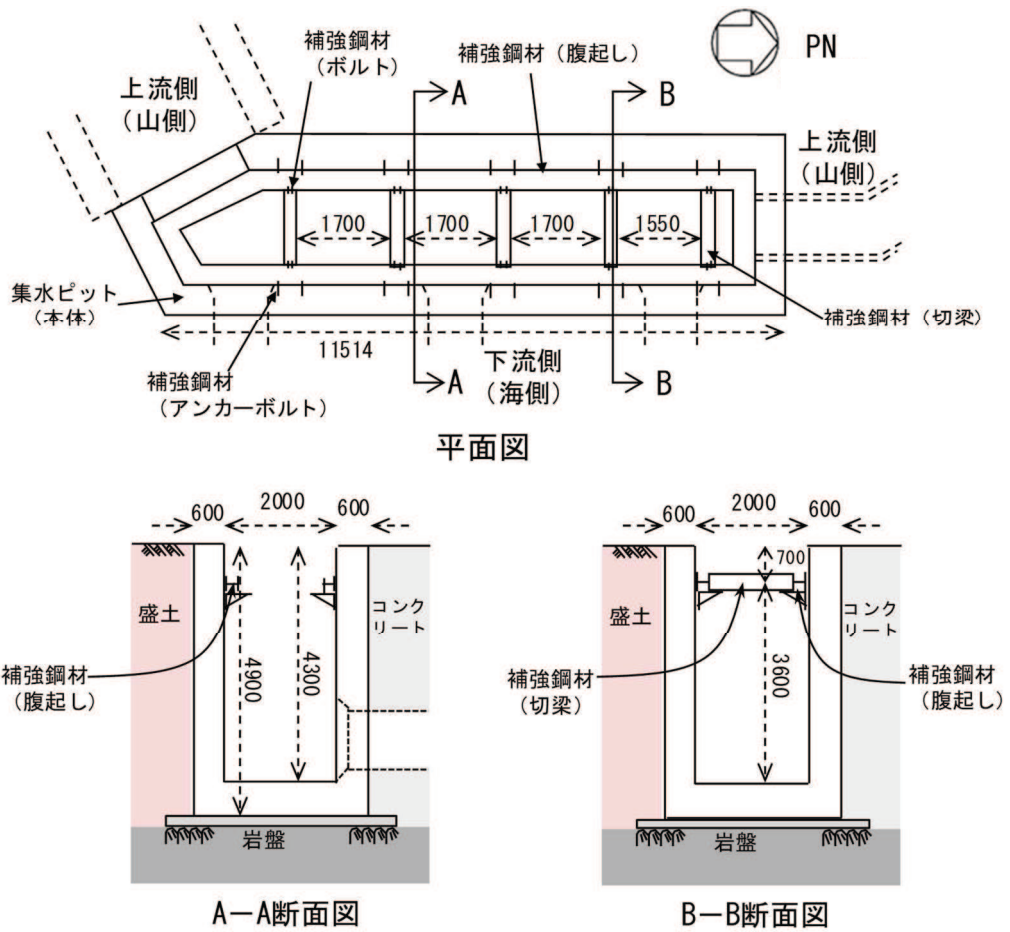


図 2(4) 敷地側集水ピット (南側) 構造概要

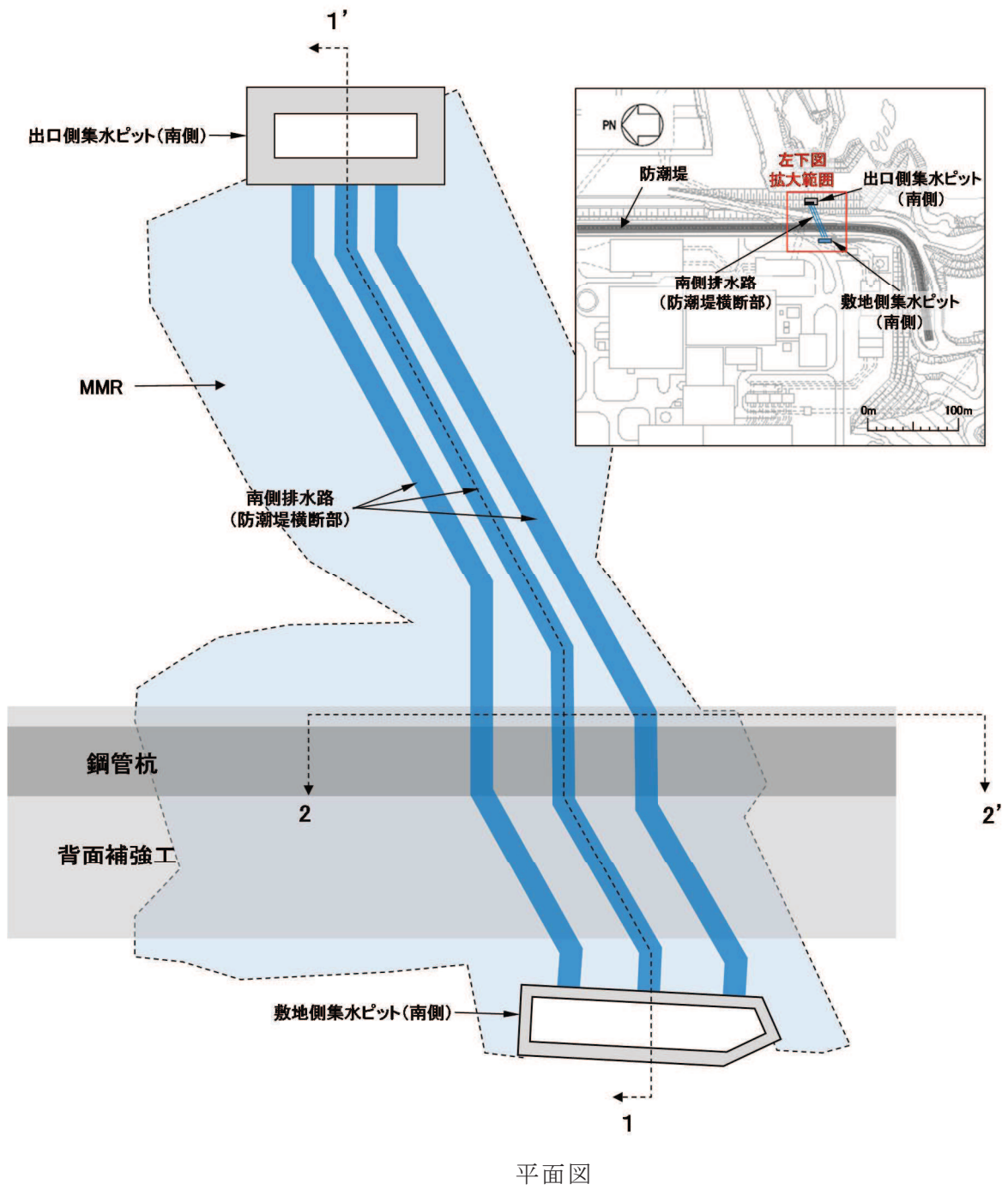
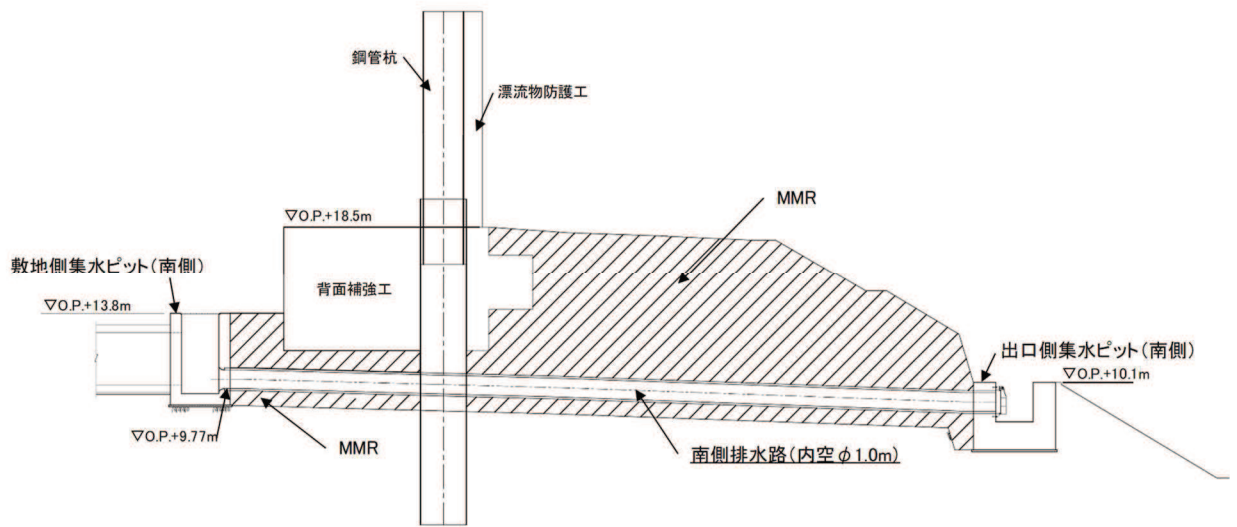
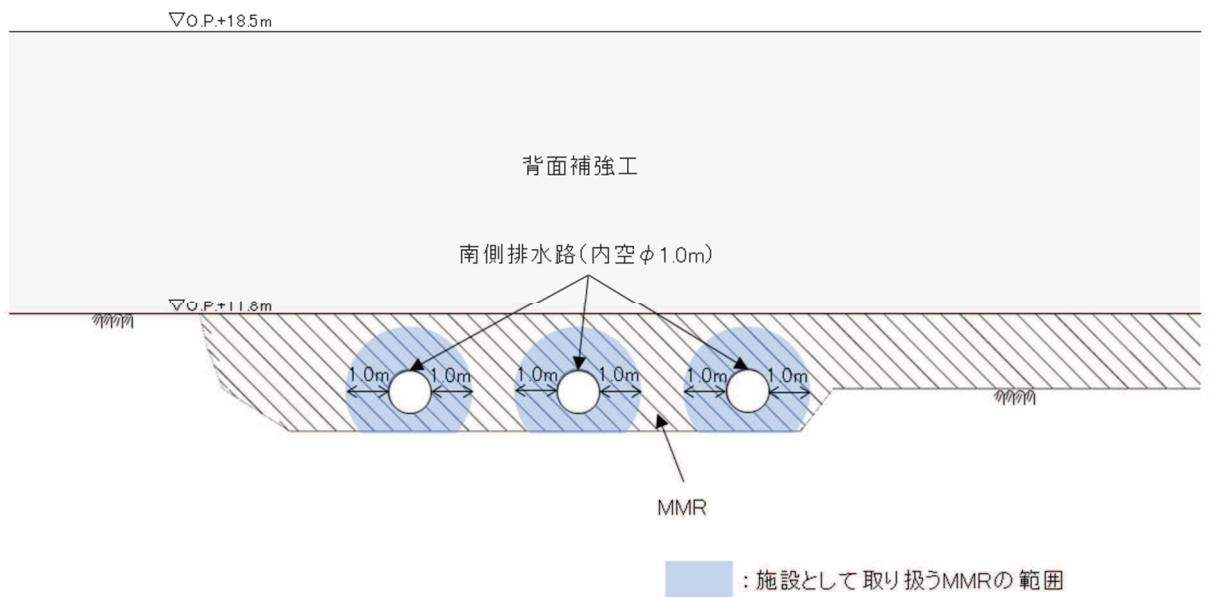


図 2(5) 南側排水路（防潮堤横断部）構造概要（平面図）



縦断面図 (1-1' 断面)



断面図 (2-2' 断面)

図 2(6) 南側排水路 (防潮堤横断面) 構造概要 (断面図)

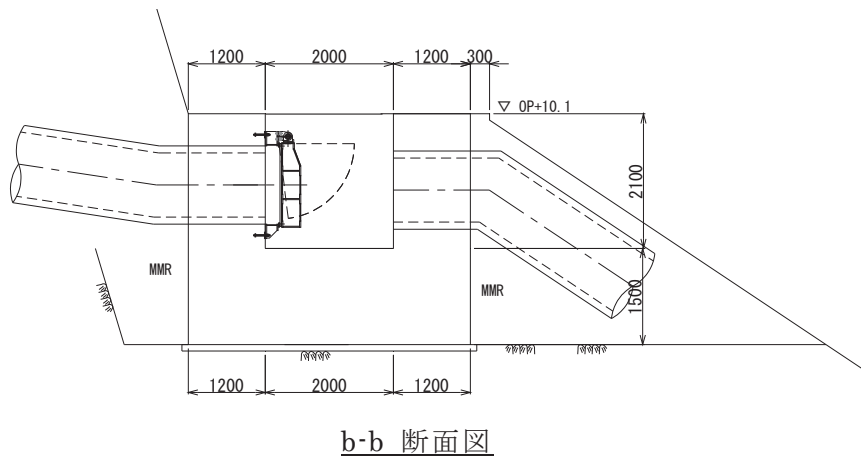
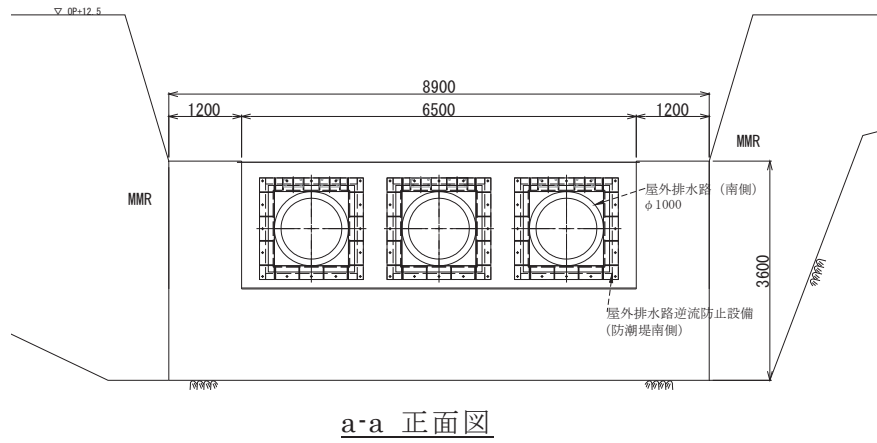
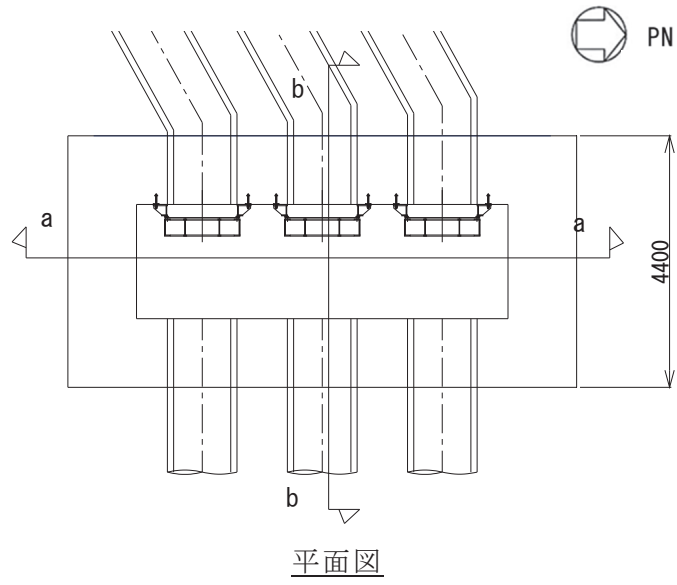


図 2(7) 出口側集水ピット (南侧) 構造概要

VI-2-13-2 地下水位低下設備ドレーン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	荷重及び荷重の組合せ	14
3.2.1	耐震評価上考慮する状態	14
3.2.2	荷重	14
3.2.3	荷重の組合せ	15
3.3	解析方法	16
3.3.1	解析方法	16
3.3.2	設計用震度の算定	17
3.4	許容限界	49
3.4.1	構造部材の健全性に対する許容限界	49
3.4.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	51
3.5	応力解析による評価方法	51
3.5.1	構造部材の健全性に対する評価方法	51
4.	耐震評価結果	54
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	54
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	59

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」で設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうちドレーンについて、地震時の構造強度を有していることを確認するものである。

ドレーンに要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

2. 基本方針

設計用地下水位の評価においては、耐震性を含む信頼性を満足するドレーン（ヒューム管・鋼管）を、管路あるいは透水層として取り扱っている。

本図書では、管路あるいは透水層として設定するドレーン（ヒューム管・鋼管）を対象に地震時における構造強度及び機能維持の確認を行う。

2.1 位置

地下水位低下設備のうちドレーンの設置位置を図 2-1 に示す。

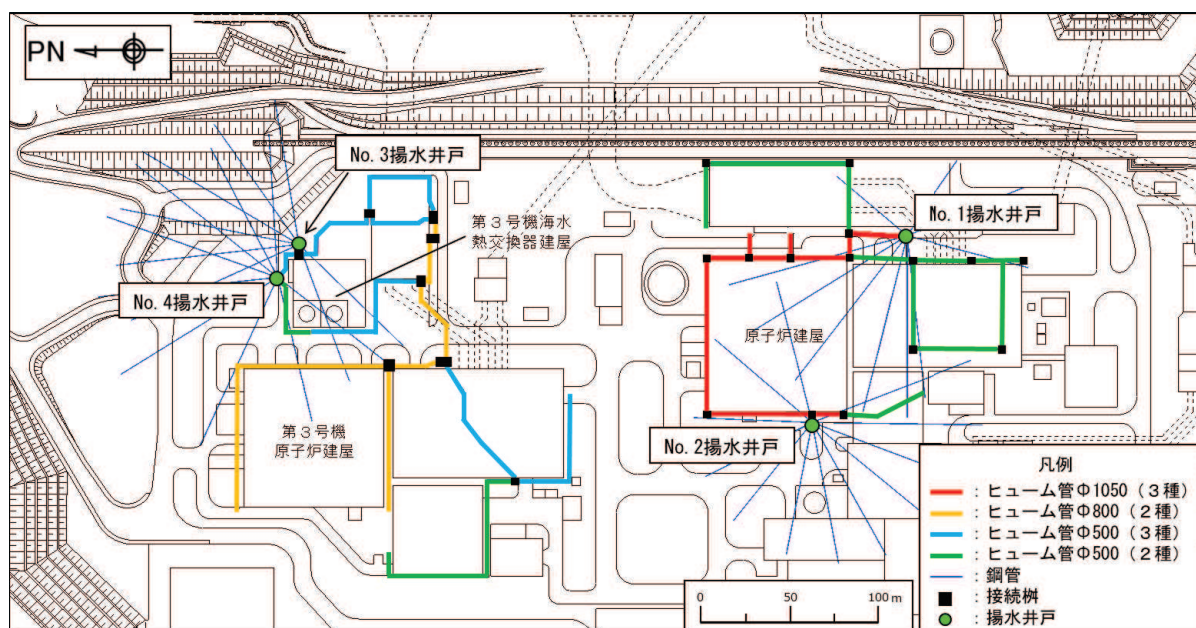
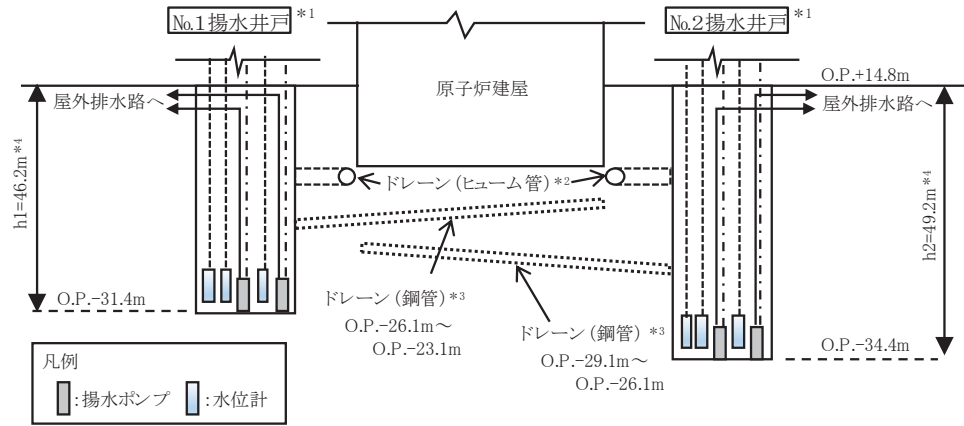


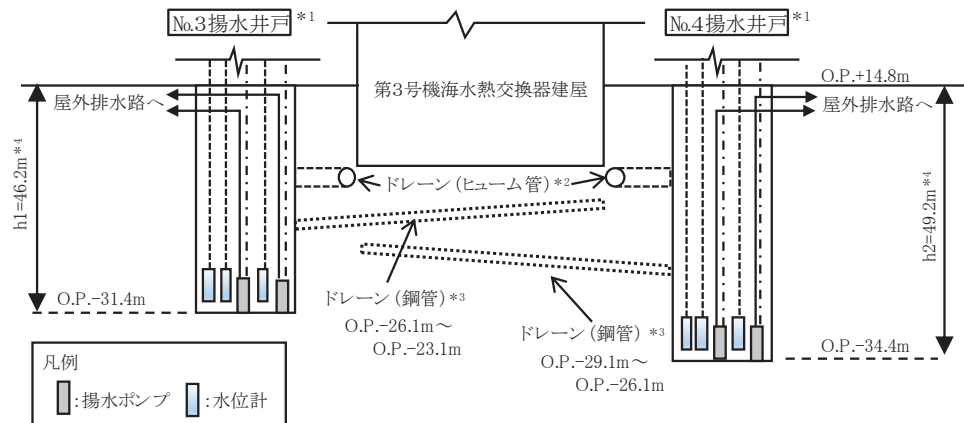
図 2-1 ドレーンの設置位置

2.2 構造概要

地下水水位低下設備の構成概要を図 2-2 に示す。以下、ドレーンを構成するヒューム管と鋼管の構造概要を説明する。



(1) 原子炉建屋周辺



(2) 第3号機海水熱交換器建屋周辺

注記*1：揚水井戸及び揚水井戸に内包する揚水ポンプ，水位計は新設する。

*2：ヒューム管（接続柵を含む）は揚水井戸との接続部分は新設する。

*3：鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。

*4：h1及びh2は，GLより集水ピット底面までの高さを表す。

図 2-2 地下水水位低下設備の構成概要

(1) ヒューム管

ヒューム管は建屋等構造物外縁部又は建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内に設置し，分岐・交差部等の一部に設けた接続柵を介して接続している。

ヒューム管はφ500mm，800mm及び1050mmがあり，外圧への耐性（外圧強さ）により2種類（2種あるいは3種（「技術資料ヒューム管設計施工要覧（日本ヒューム管協会，平成21年7月）」））を使用している。

ヒューム管の構造概要を図 2-3 に示す。

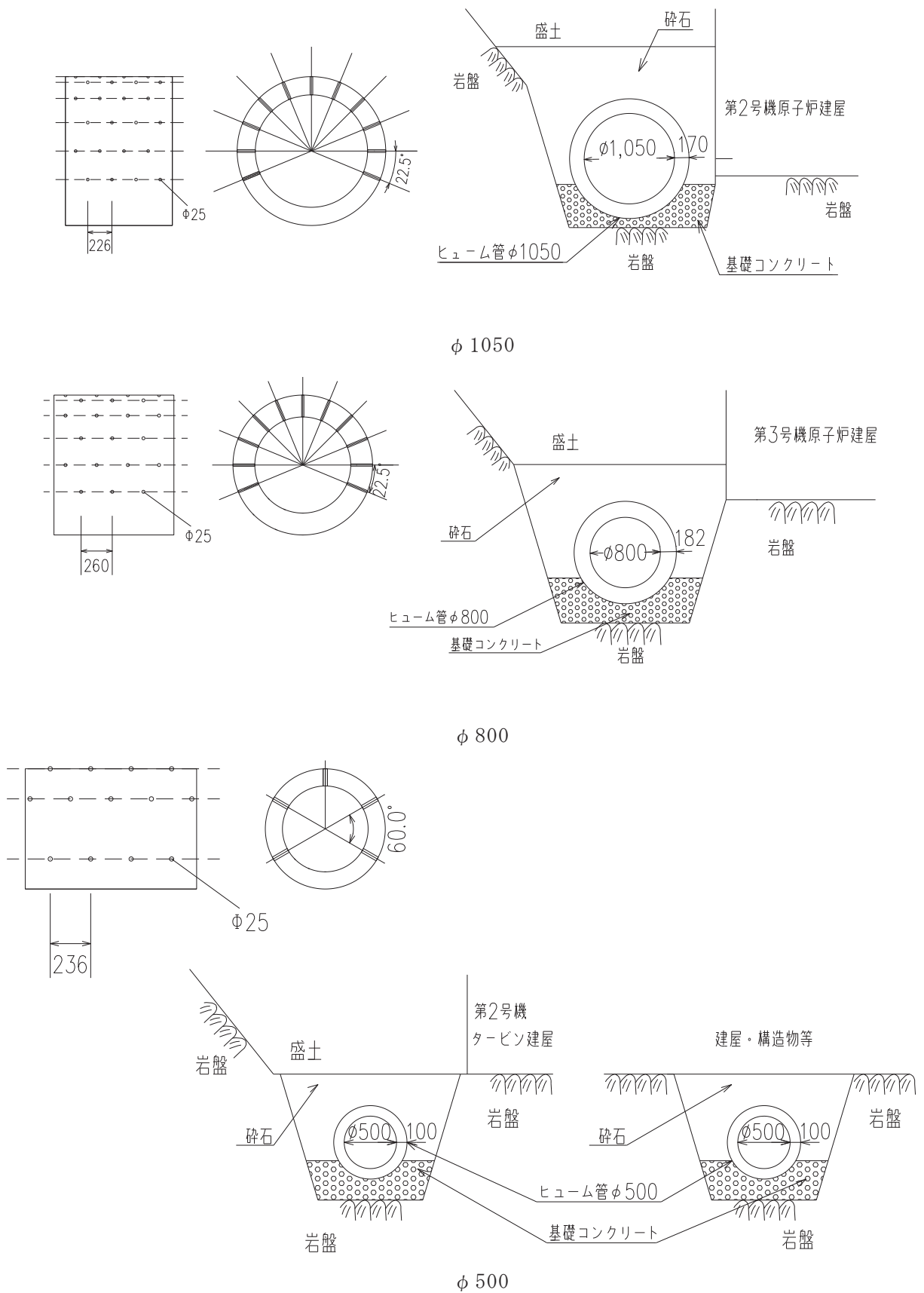


図 2-3 ヒューム管の構造概要 (単位: mm)

(2) 鋼管

図 2-1 に示すとおり，鋼管は揚水井戸の集水ピットを起点として岩盤内に放射状に設置する。鋼管は $\phi 145.2 \text{ mm}$ であり，No.1 揚水井戸及びNo.3 揚水井戸に接続される鋼管は O.P. -23.1m \sim O.P. -26.1m，No.2 揚水井戸及びNo.4 揚水井戸に接続される鋼管は O.P. -26.1m \sim O.P. -29.1m の範囲に設置する。

鋼管の構造概要を図 2-4 に示す。

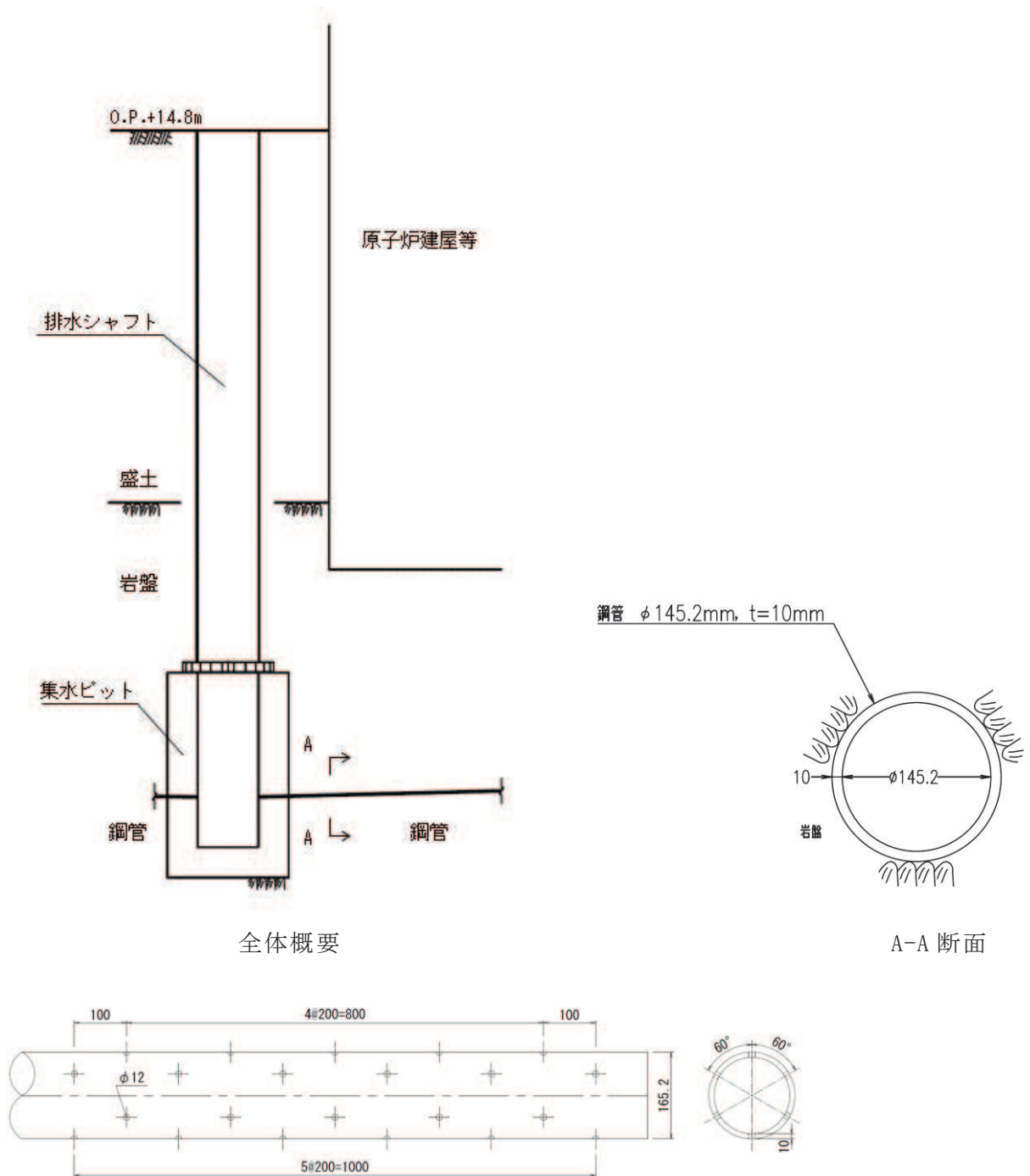


図 2-4 鋼管の構造概要

2.3 評価方針

地下水位低下設備の機能は、施設の設計の前提が確保されるよう、地下水位を一定の範囲に保持することであり、ドレーンは繰り返しの地震に対しても地下水の集水機能を維持する必要がある。ドレーンを含む地下水位低下設備はCクラスに分類されるが、その機能を維持するため、基準地震動 S_s に対して耐震性を確保する設計としている。なお、ドレーンは集水機能を有する有孔管であることから、水密性の観点からの要求はない。

ドレーンの耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、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。

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

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

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

表 2-1 ドレーンの評価項目

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	ヒューム管	発生する応力が許容限界以下であることを確認	ひび割れ保証モーメント
		鋼管		短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

(1) ヒューム管

ヒューム管の評価フローを図 2-5 に示す。

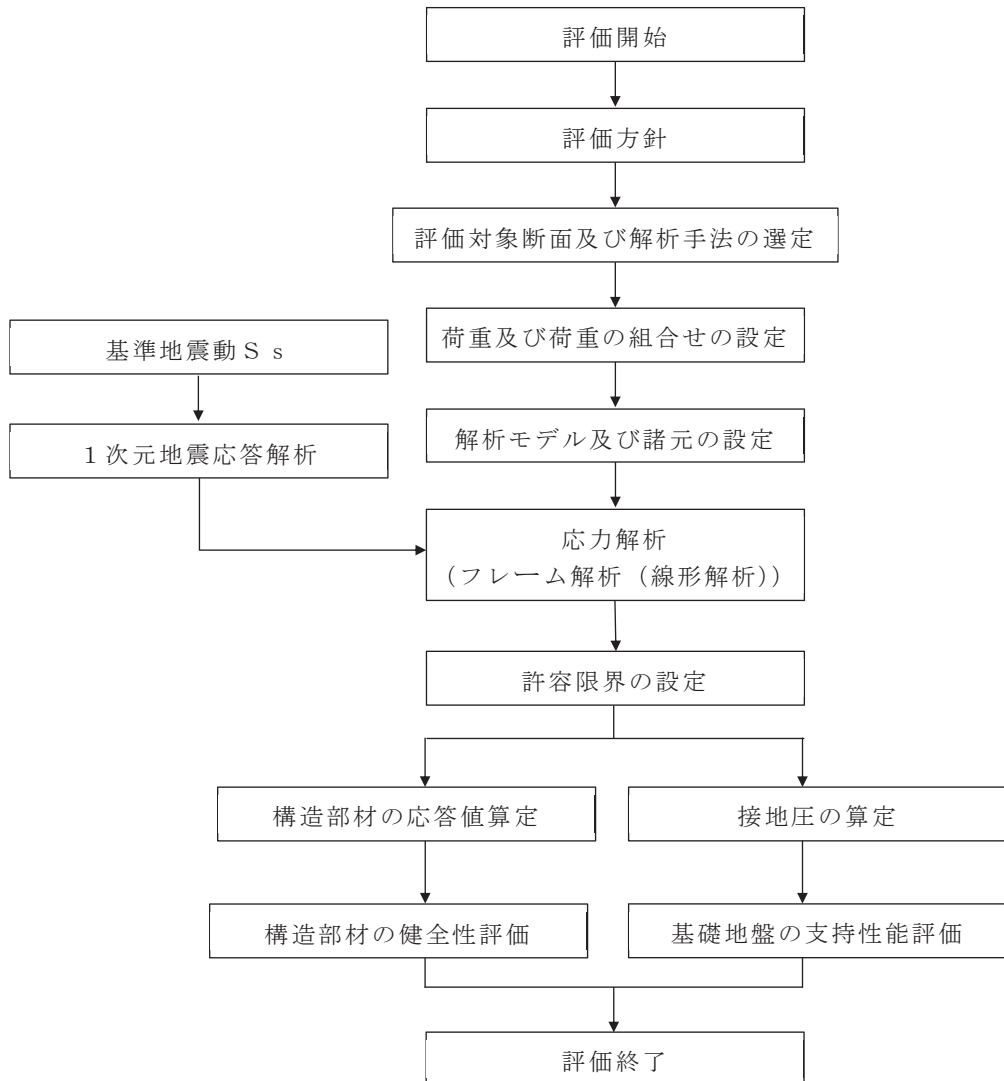


図 2-5 ヒューム管の耐震評価フロー

(2) 鋼管

鋼管は、図 2-4 に示すとおり岩盤内に埋め込まれており、地震時は地盤の挙動に追従すると考えられることから、「既発電用原子炉設置変更許可申請 添付書類六（原規規発第 2002261 号 令和 2 年 2 月 26 日許可）」に示す、原子炉建屋の基礎地盤安定性評価に用いた 2 次元動的有限要素法解析より抽出した地盤応力を用いて耐震評価を行う。

鋼管の評価フローを図 2-6 に示す。

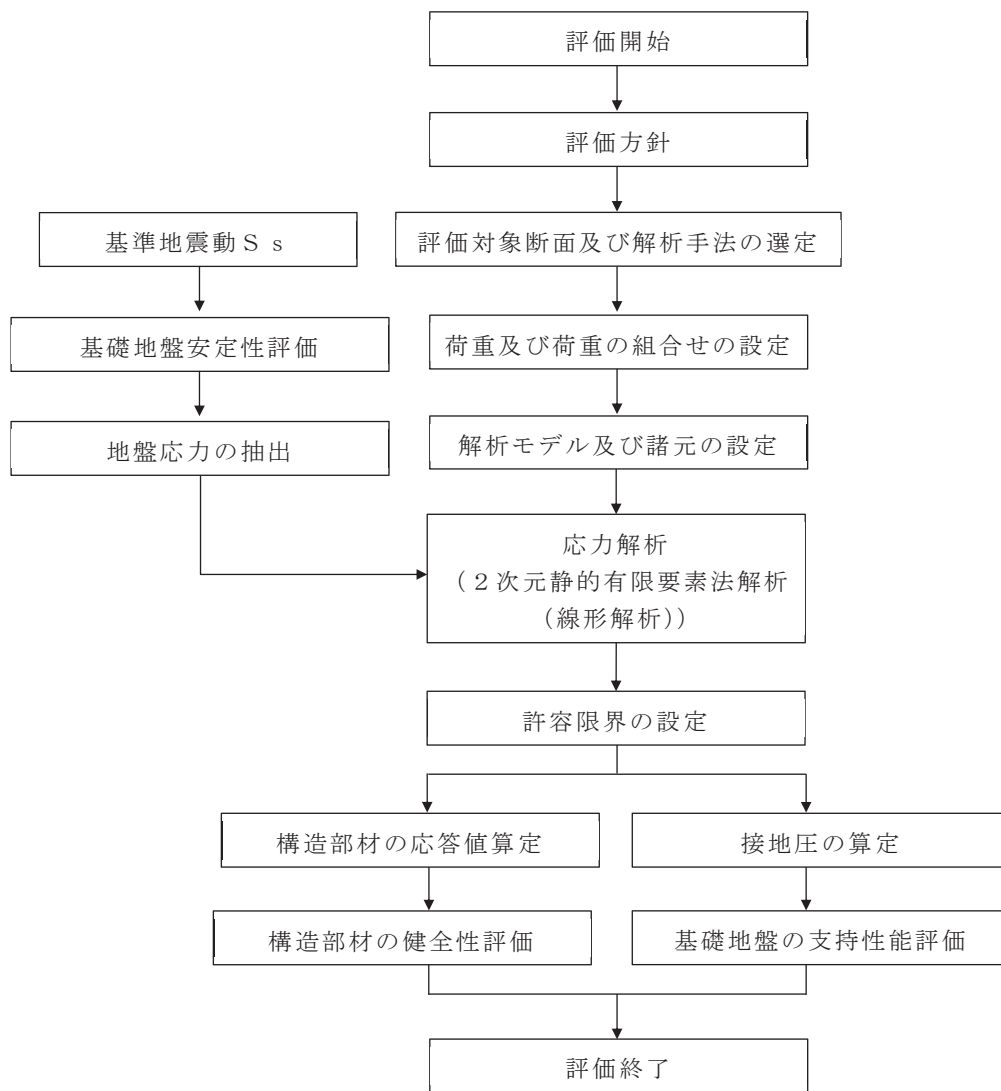


図 2-6 鋼管の耐震評価フロー

2.4 適用基準

ドレーンの評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 日本下水道協会 2014年 下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版-（以下「下水道耐震指針」という。）
- ・ 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- ・ 全国ヒューム管協会 平成21年7月 技術資料ヒューム管設計施工要覧

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

(1) ヒューム管

ヒューム管は掘込まれた岩盤内に設置され、地震時には鉛直土圧が主たる荷重として作用すると考えられる。また、場所により管径及び外圧強さが異なることを踏まえ、管径及び外圧強さごとに土被り厚が最大となる箇所を評価対象断面として抽出する。

φ500（2種）については、原子炉建屋周辺と第3号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに設置されており、地震応答が異なると考えられることから、両エリアより抽出する。

建屋基礎直下の岩盤を掘込んで設置したヒューム管が存在するが、各建屋等外縁部に設置したヒューム管と比べ、作用する鉛直荷重が十分に小さいため、評価対象断面として選定しない。

以上を踏まえ、評価対象断面①～⑤を選定した。ヒューム管の評価対象断面位置を図3-1に、ヒューム管設置位置の地質状況を図3-2に示す。

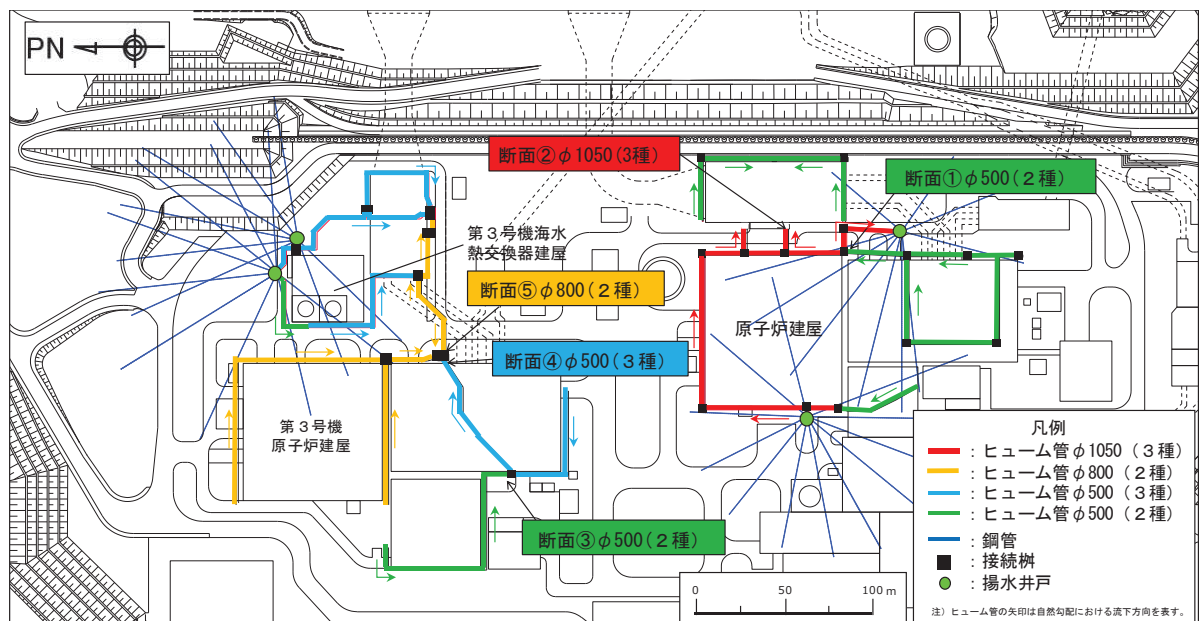


図 3-1 ヒューム管 評価対象断面位置

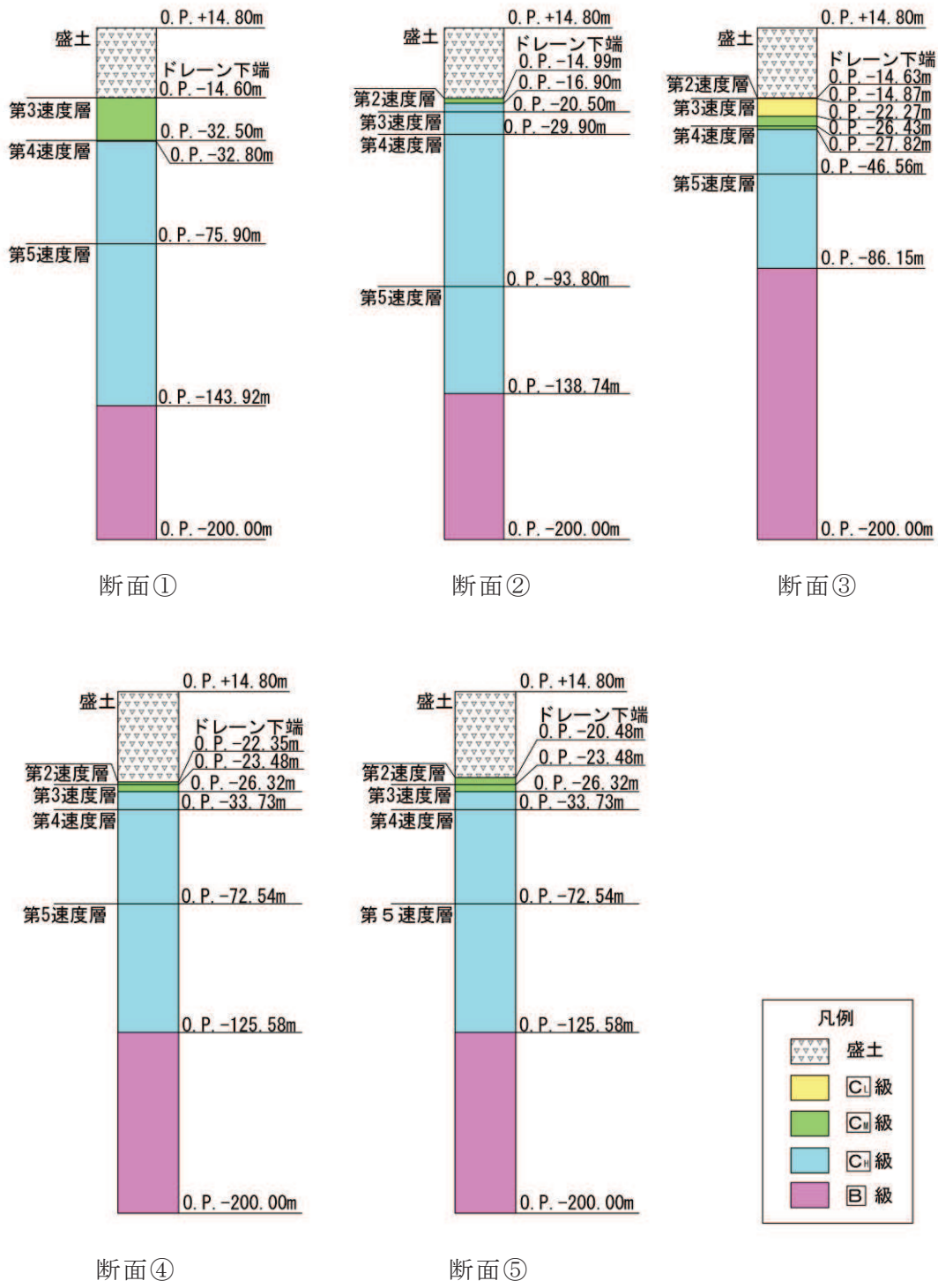


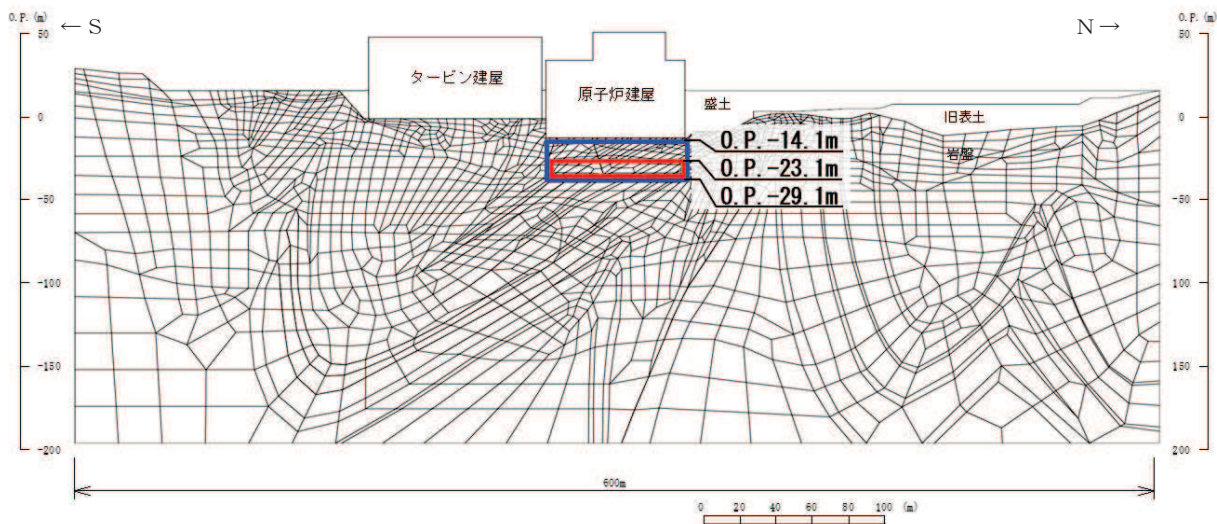
図 3-2 ヒューム管設置位置の地質状況

(2) 鋼管

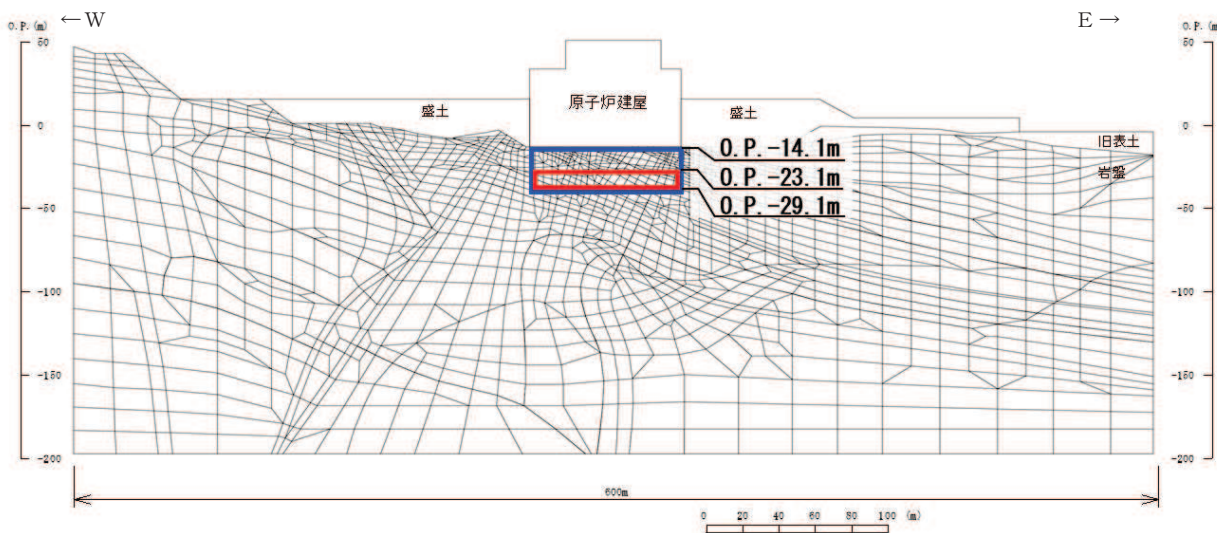
鋼管は岩盤内に設置され，その一部は原子炉建屋等の直下に位置するため，これらの構造物の荷重が岩盤を介して作用するものと考えられる。この時，構造物の重量が大きい程，鋼管に作用する荷重も大きくなるため，鋼管の設置範囲において重量の大きい原子炉建屋の下に設置する鋼管を評価対象とする。

鋼管に作用する荷重は，地震時の原子炉建屋及び地盤の応答を評価できる基礎地盤安定解析（NS, EW 断面）より抽出する。抽出範囲は，鋼管の設置範囲（O. P. -23.1m～O. P. -29.1m）を包絡するよう，鋼管設置範囲の下端（O. P. -29.1m）から上端は保守的に原子炉建屋の荷重が直接作用する原子炉建屋底面レベル（O. P. -14.1m）までとする。抽出対象範囲を図 3-3 に示す。

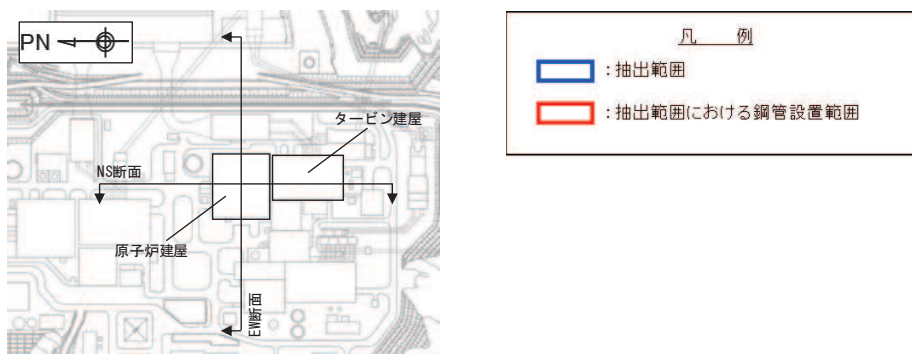
抽出した応力状態については，鋼管を含めてモデル化した二次元有限要素法モデルに外力として載荷させることで再現し，これにより鋼管の発生応力を確認する。鋼管を含めた二次元有限要素法モデルは「3.3 解析方法」にて詳述する。



(1) NS 断面



(2) EW 断面



断面位置図

図 3-3 主応力の抽出範囲

3.2 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.2.1 耐震評価上考慮する状態

耐震評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

a. 運転時の状態

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

b. 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。

c. 設計用自然条件

ヒューム管は積雪の影響を考慮し、埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。鋼管は岩盤内構造物であるため、積雪、並びに風の影響は考慮しない。

d. 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。

3.2.2 荷重

(1) ヒューム管

作用する荷重は、ヒューム管が建屋等構造物外縁部の掘込まれた岩盤内に設置されていることを踏まえ設定する。

耐震評価において、考慮する荷重を以下に示す。

a. 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重と上載土による鉛直土圧、水平土圧を考慮する。常時の水平土圧は、鉛直土圧に静止土圧係数 0.50 を乗じて算定する。

b. 積載荷重(P)

積載荷重として積雪荷重を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

c. 積雪荷重(P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

d. 地震荷重(S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

一次元応答解析により設計用震度を算出し、土圧増分のうち鉛直増分土圧は、設計用鉛直震度と常時鉛直土圧を乗じ、水平増分土圧は鉛直方向の増分土圧に側圧係数 $k_0 = \nu_d / (1 - \nu_d)$ を乗じて算定する。ヒューム管周辺は碎石で埋め戻されているが、 ν_d には盛土の動ポアソン比 0.48 を用いる。

躯体慣性力については設計用震度を躯体自重に乗じて求める。

(2) 鋼管

鋼管の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。

- a. 固定荷重(G)
固定荷重として躯体自重を考慮する。
- b. 積載荷重(P)
積載荷重として建屋荷重を考慮する。
- c. 地震荷重(S_s)
基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.2.3 荷重の組合せ

ヒューム管及び鋼管の耐震評価における荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1(1) 荷重の組合せ (ヒューム管)

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m² を地表面に考慮)

S_s : 地震荷重

表 3-1(2) 荷重の組合せ (鋼管)

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

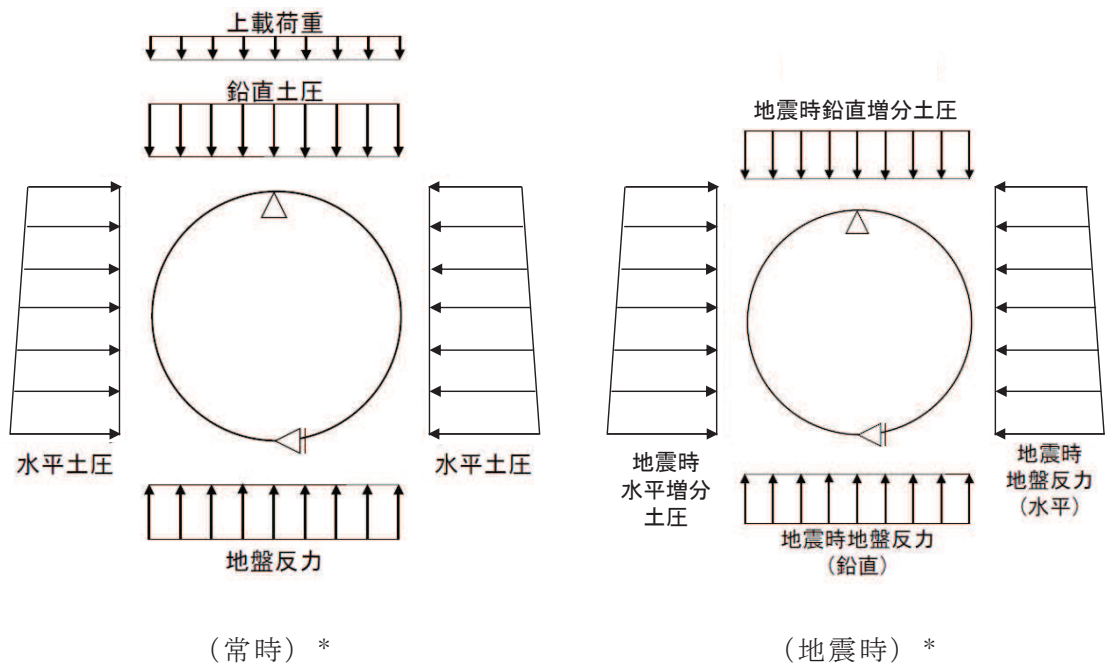
3.3 解析方法

ドレーンの耐震評価は、弱軸である横断方向断面（管軸直交方向）について照査を実施し、照査用応答値が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

3.3.1 解析方法

(1) ヒューム管

ヒューム管の耐震評価は、1次元地震応答解析から求めた鉛直震度及び動ポアソン比を用い、地震時増分土圧等を算定した上でヒューム管断面を円形状の線形はり要素にモデル化した2次元フレームモデルに常時荷重及び地震時荷重を載荷し行う。2次元フレームモデル概念図を図3-4に示す。



注記*：上記荷重の他、常時荷重として躯体自重、地震時荷重として躯体慣性力を考慮する。

図 3-4 ヒューム管の解析モデル概念図

(2) 鋼管

鋼管の耐震評価は、基礎地盤安定性評価の結果から、図3-3に示す抽出対象範囲における主応力（最大圧縮応力）が最大となる要素の鉛直・水平応力及びせん断応力を抽出し、図3-5に示す2次元静的有限要素法モデルに載荷し行う。モデル化に際しては、鋼管は線形はり要素（ビーム要素）とし、周辺地盤は平面ひずみ要素（ソリッド要素）とする。

周辺地盤は C_M 級の岩盤としてモデル化する。

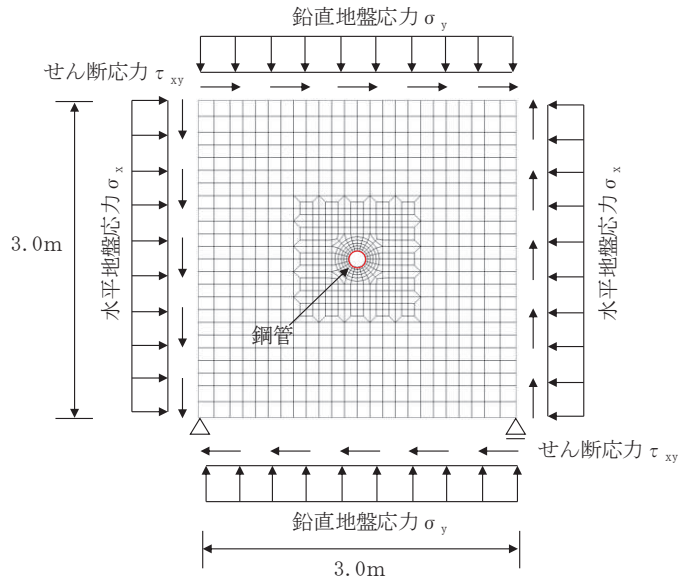


図 3-5 鋼管の解析モデル*

注記*：上記荷重の他，常時荷重として躯体自重，地震時荷重として躯体慣性力を考慮する。

3.3.2 設計用震度の算定

(1) ヒューム管

a. 地盤物性のばらつき

地盤については，添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

また，地震応答解析においては，地盤物性（盛土部）のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 解析ケース（ヒューム管）

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

b. 地震応答解析の解析ケースの選定

地震応答解析においては全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①を実施し、解析ケース①において照査値が最も厳しい地震動を対象に、解析ケース②、③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 ヒューム管の耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 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
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ
地震動	$S_s - D 1$	○	基準地震動 S_s (7波) を用いて実施するケース① (基本ケース) において、照査値が最も厳しい地震動を用いてケース②、③を実施する。	
	$S_s - D 2$	○		
	$S_s - D 3$	○		
	$S_s - F 1$	○		
	$S_s - F 2$	○		
	$S_s - F 3$	○		
	$S_s - N 1$	○		

c. 地下水位

地下水位を管の中心高さ*に設定する。

注記*：ヒューム管の地下水位は浸透流解析における境界条件と同様の設定。なお、ヒューム管は地下水の最大流入量に対し十分大きな排水可能量を有している。

(浸透流解析の詳細は「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針、ヒューム管の構造概要は「VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針」を参照)

d. 地震応答解析

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1(2) 動的地震力」及び添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を 1次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用い

る地下構造モデル」を用いる。

設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力し、ヒューム管位置で得られる評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念を図 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。

ヒューム管は岩盤を掘込み設置しており、地下水位が岩盤内にあるため液状化の影響が軽微であると考えられることから、液状化検討対象施設には該当せず、解析手法は全応力解析とする。

解析コードには、入力地震動算定に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地震応答解析による設計用震度算定には「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

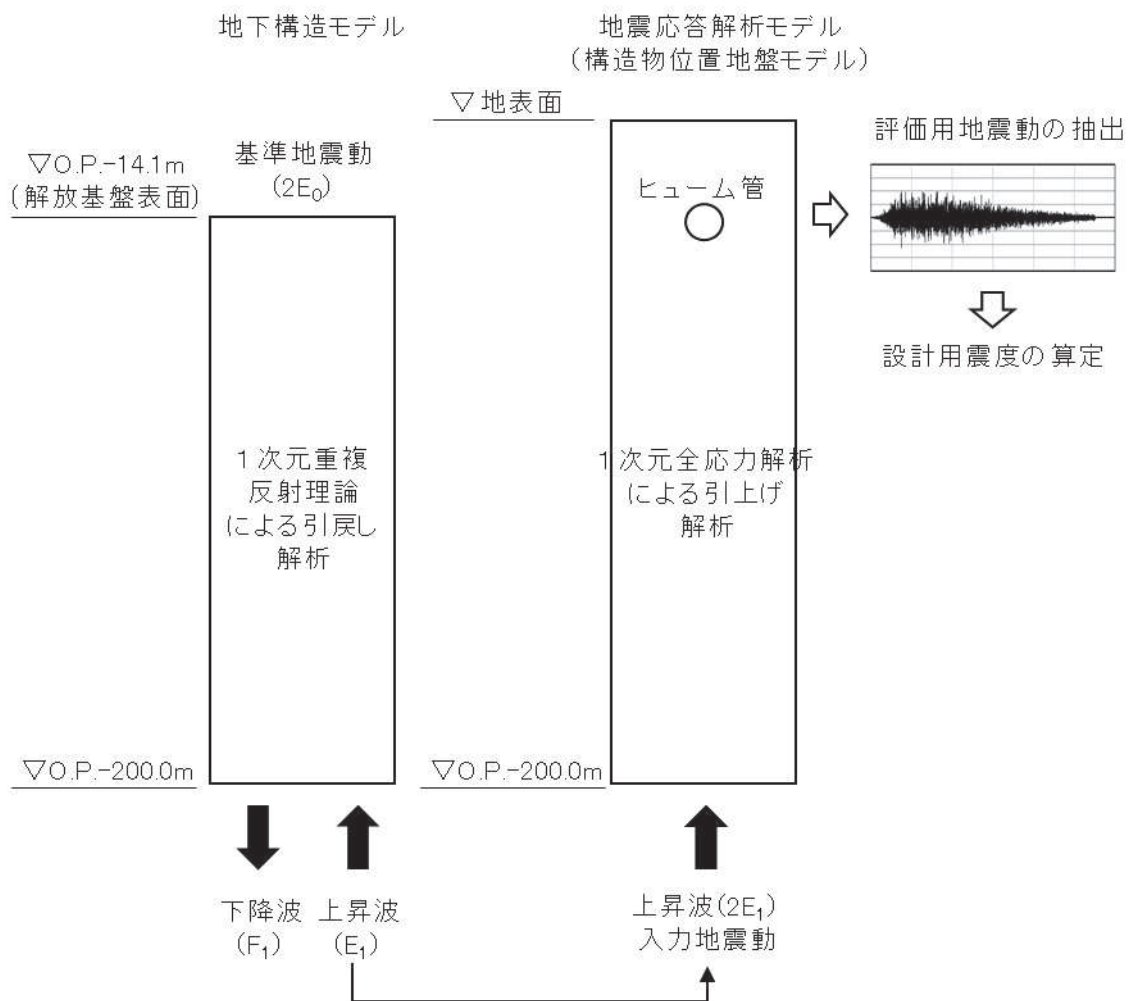
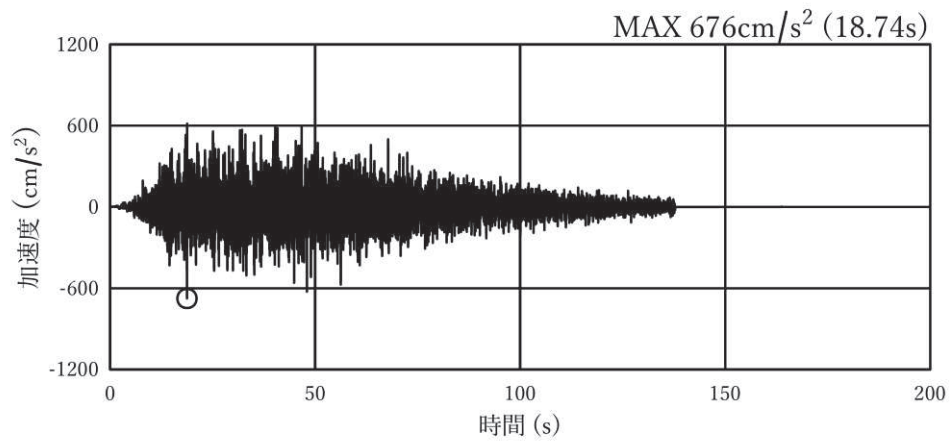
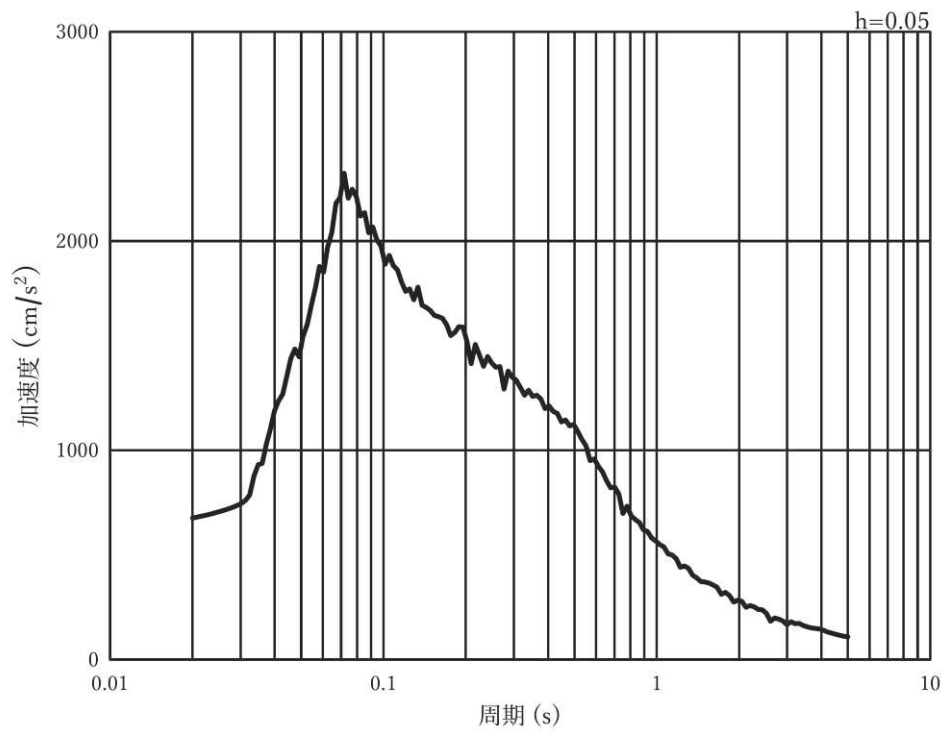


図 3-6 地震応答解析の概念

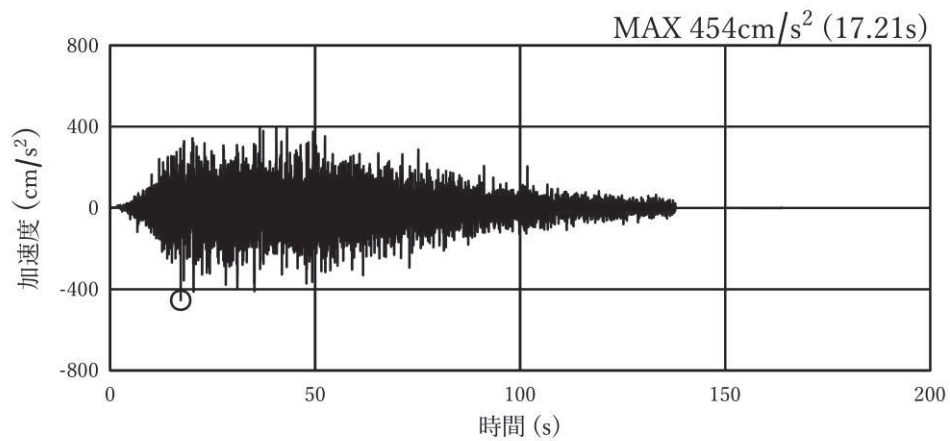


(a) 加速度時刻歴波形

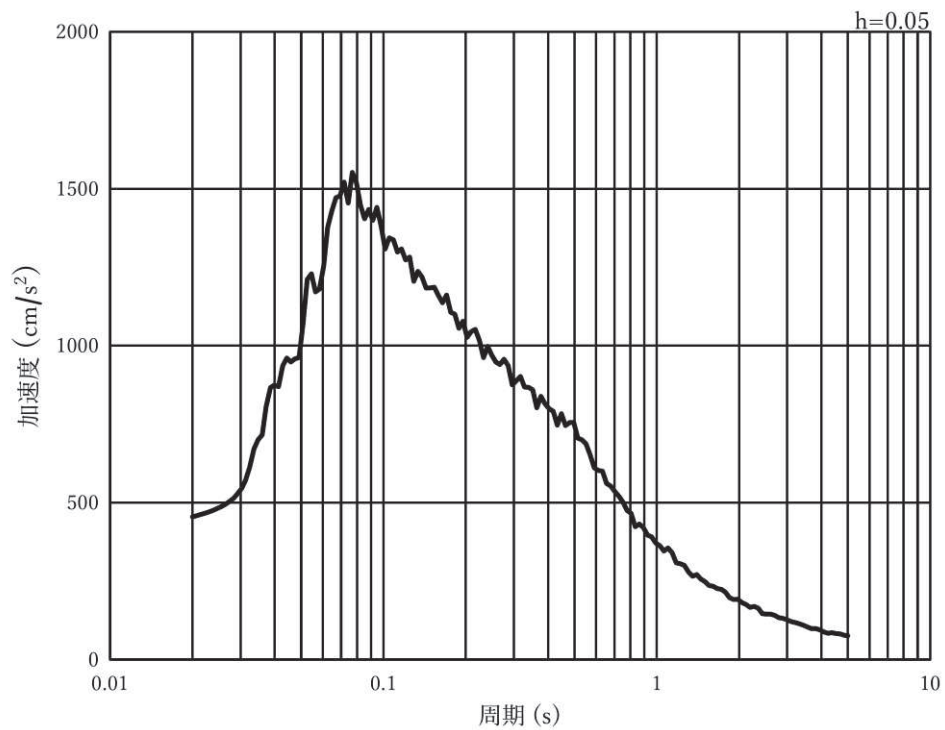


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 1), 断面①, ②

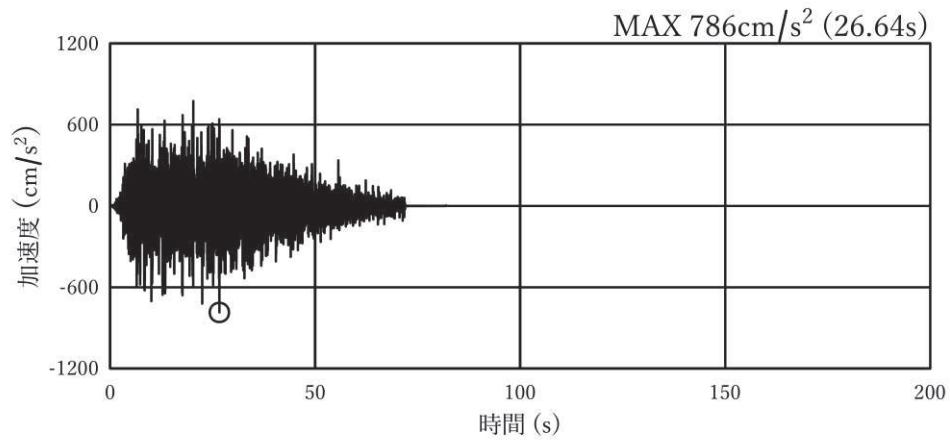


(a) 加速度時刻歴波形

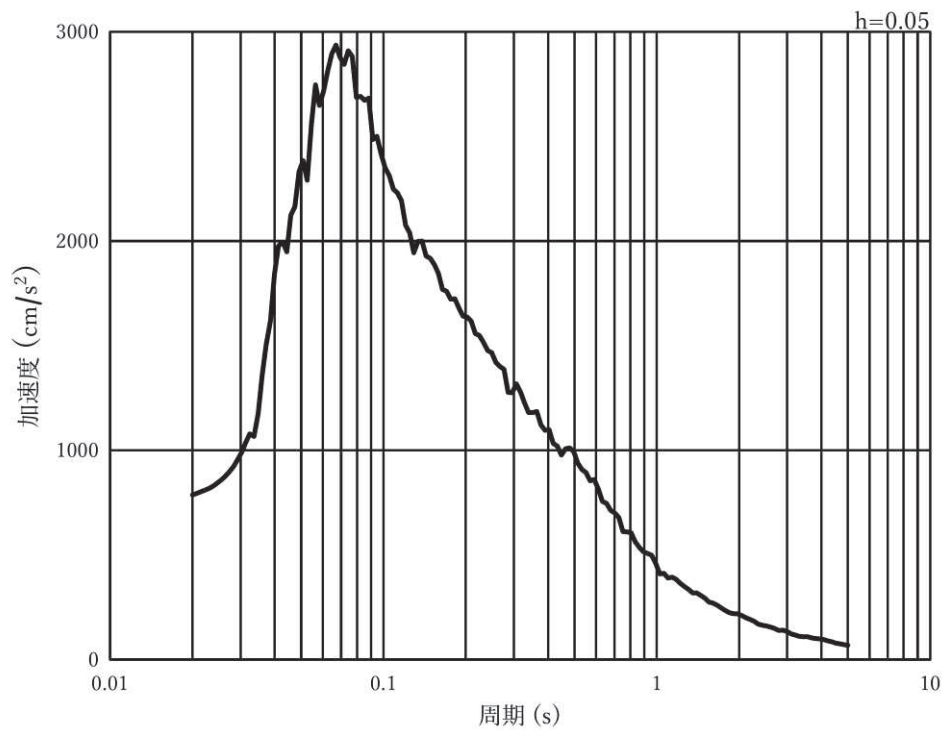


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 1)，断面①，②

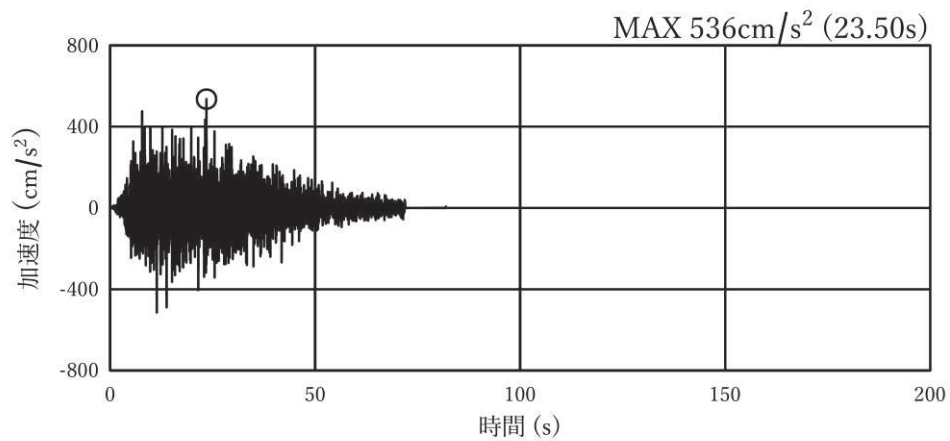


(a) 加速度時刻歴波形

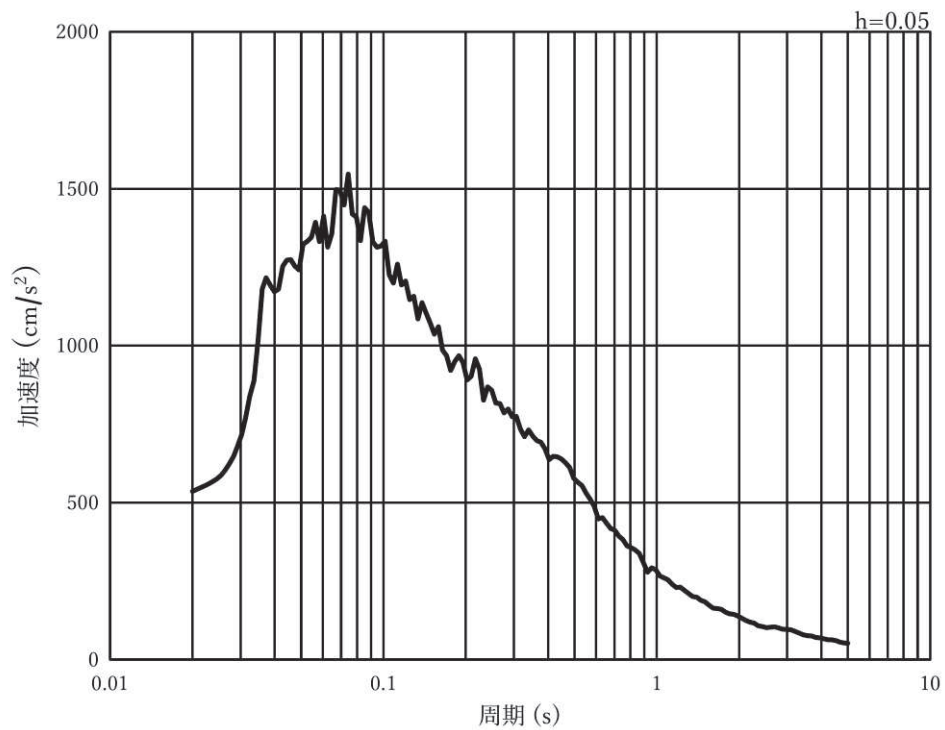


(b) 加速度応答スペクトル

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 : S s - D 2), 断面①, ②

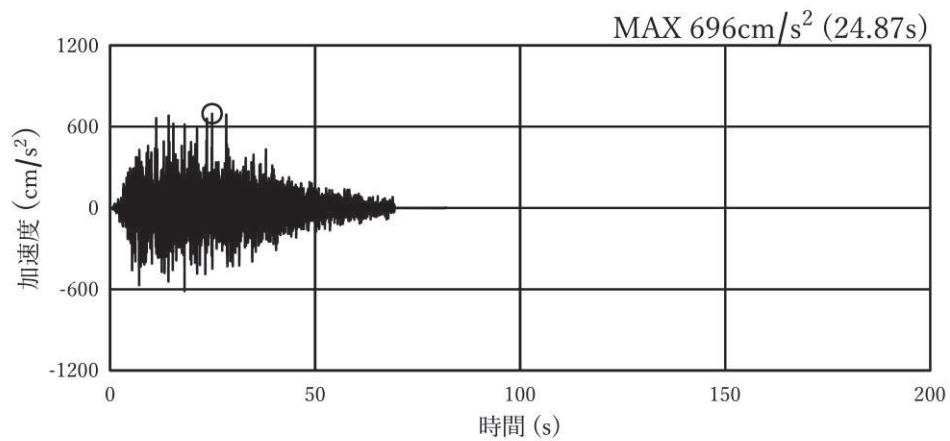


(a) 加速度時刻歴波形

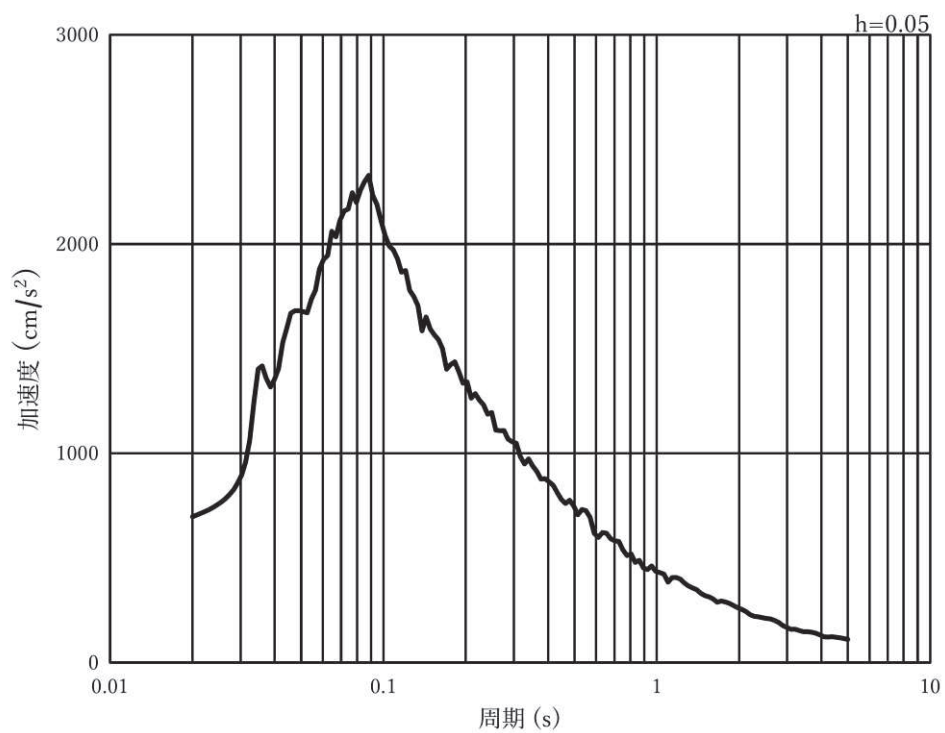


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 2)，断面①，②

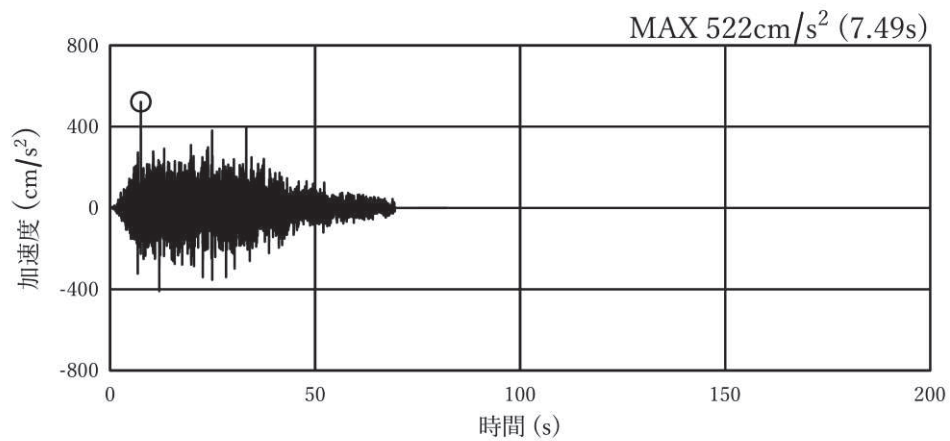


(a) 加速度時刻歴波形

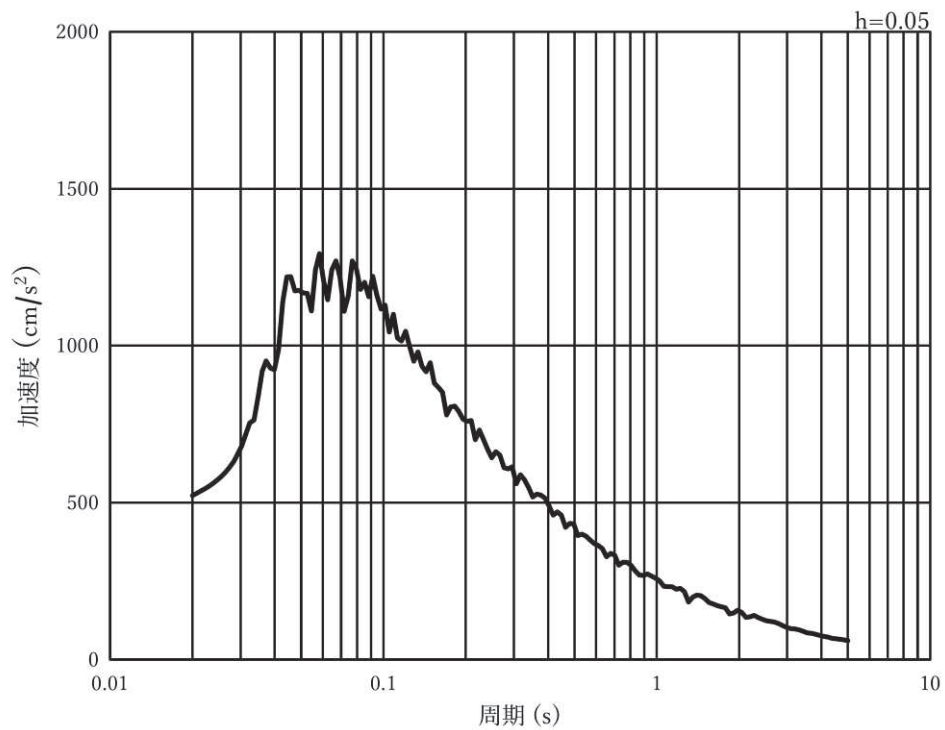


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 3)，断面①，②

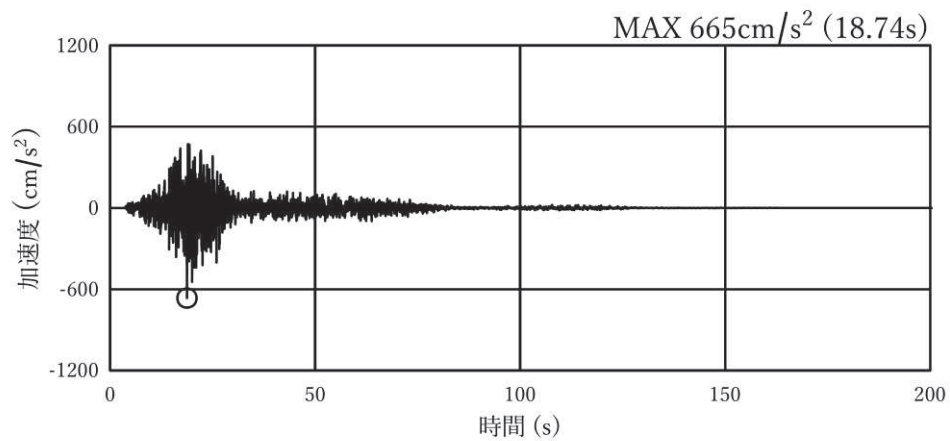


(a) 加速度時刻歴波形

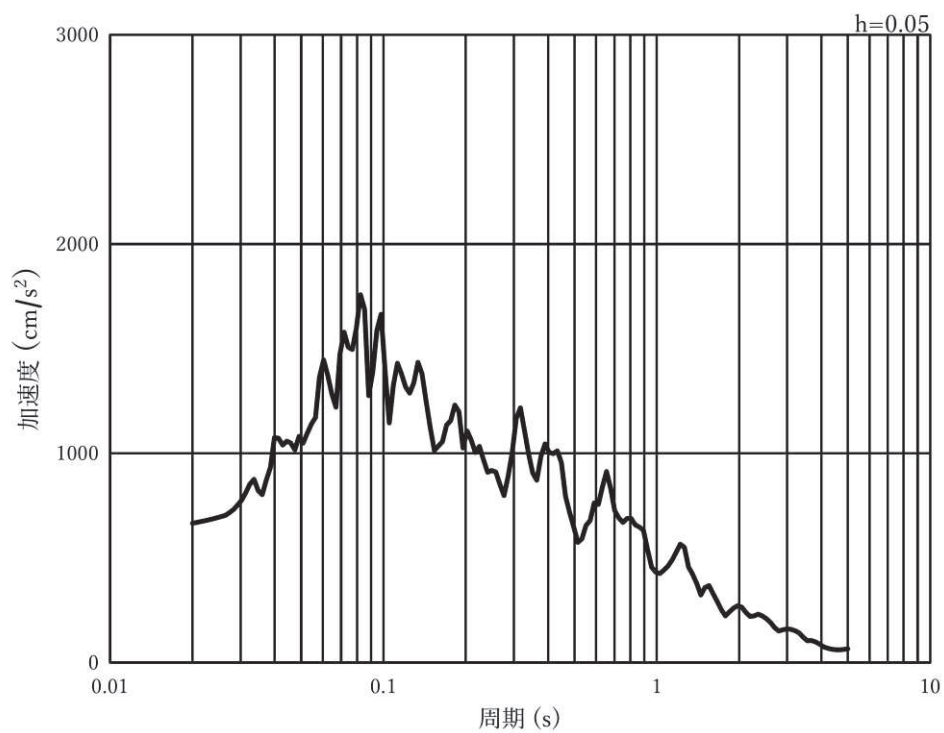


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 3)，断面①，②

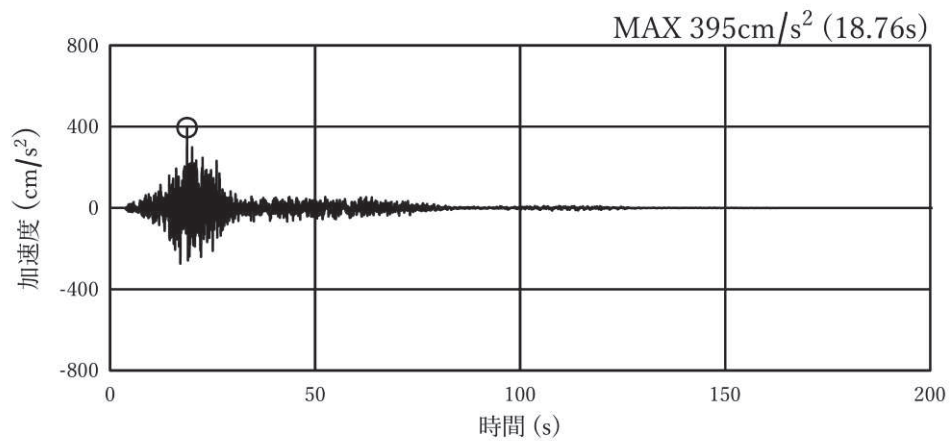


(a) 加速度時刻歴波形

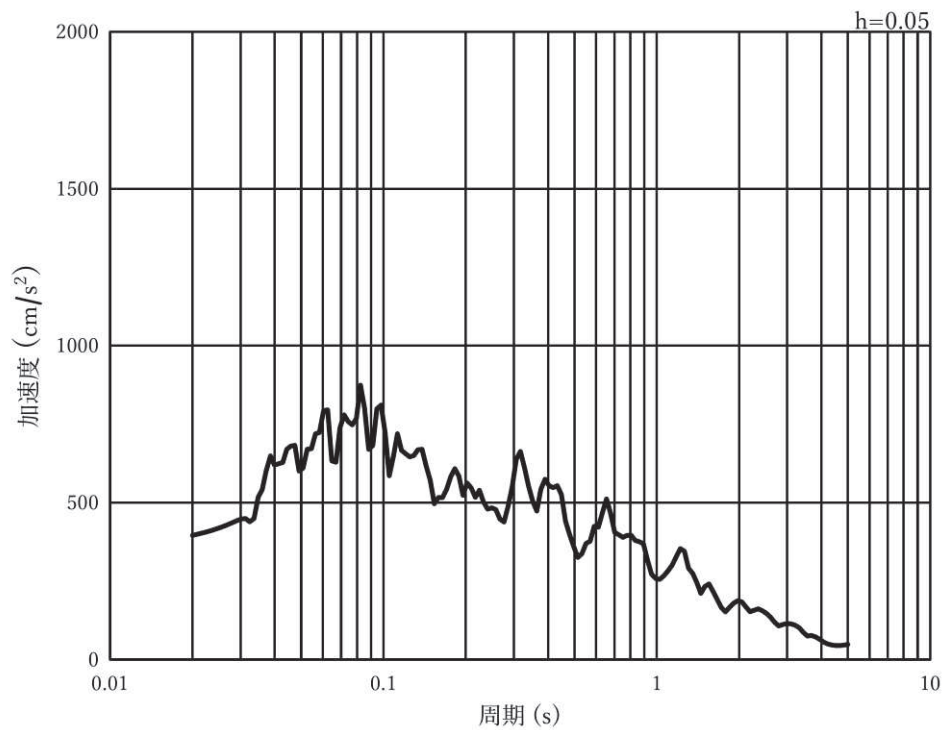


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 1)，断面①，②

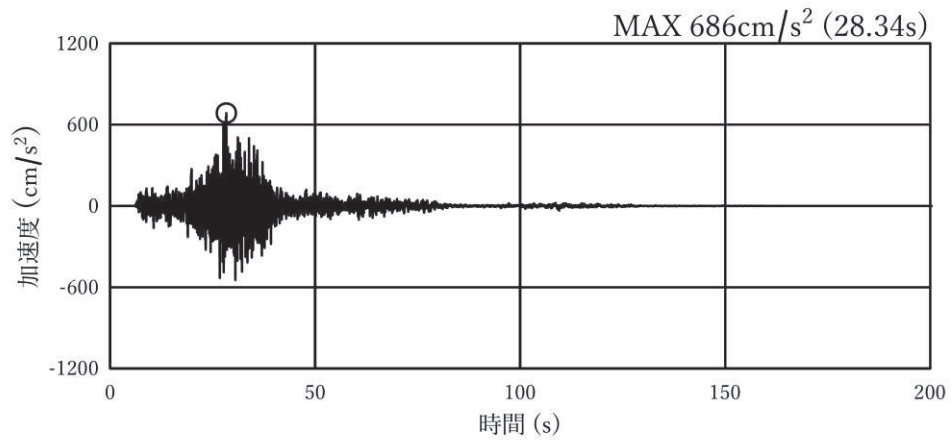


(a) 加速度時刻歴波形

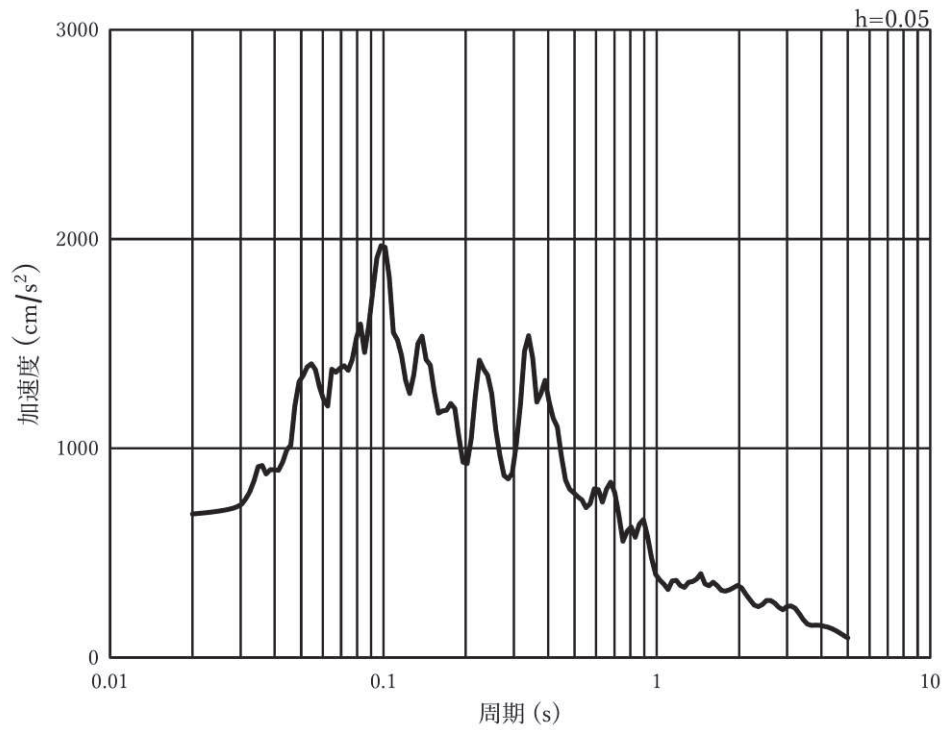


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 1)，断面①，②

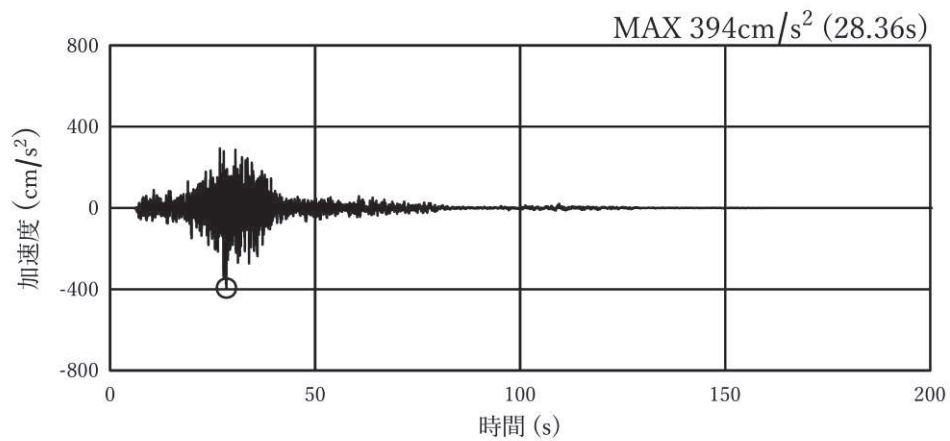


(a) 加速度時刻歴波形

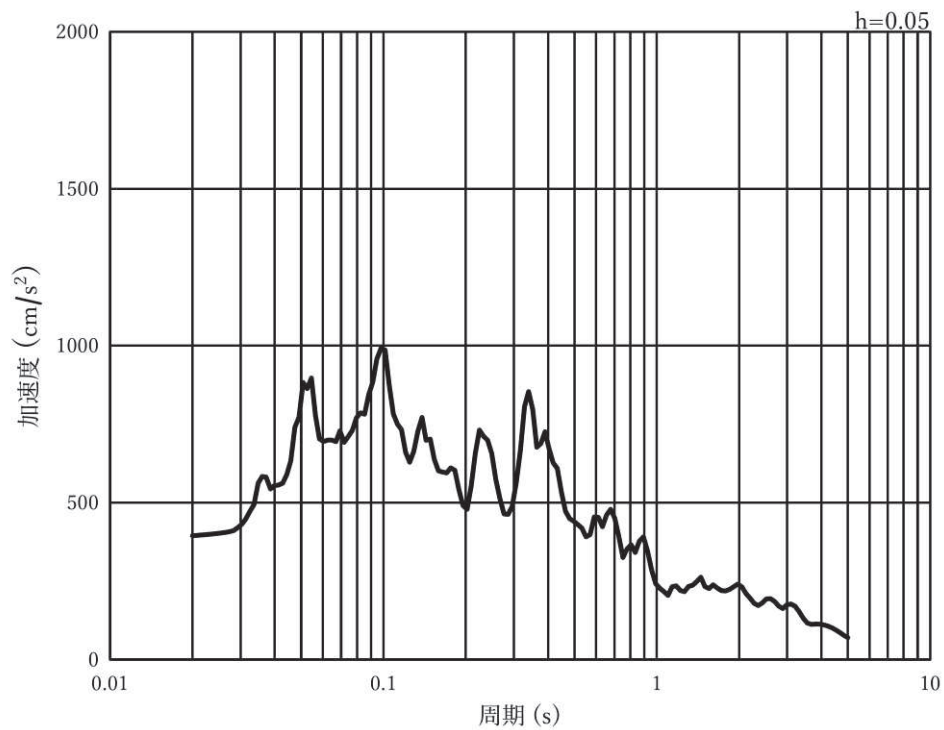


(b) 加速度応答スペクトル

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 : S s - F 2), 断面①, ②

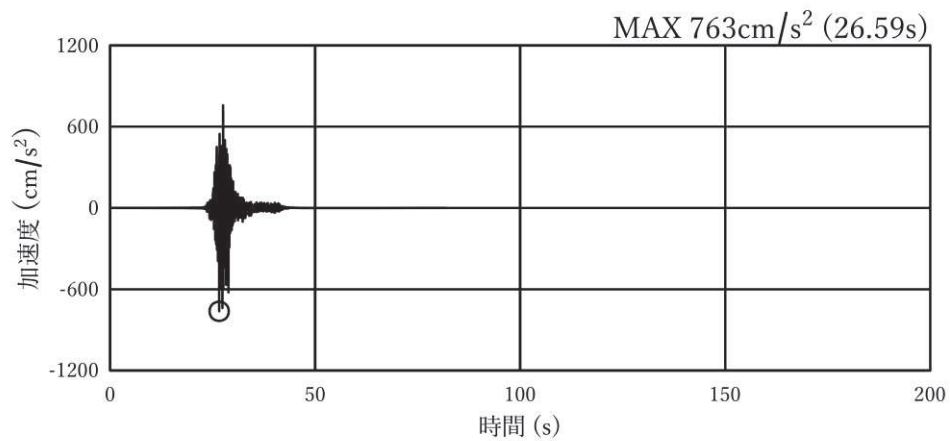


(a) 加速度時刻歴波形

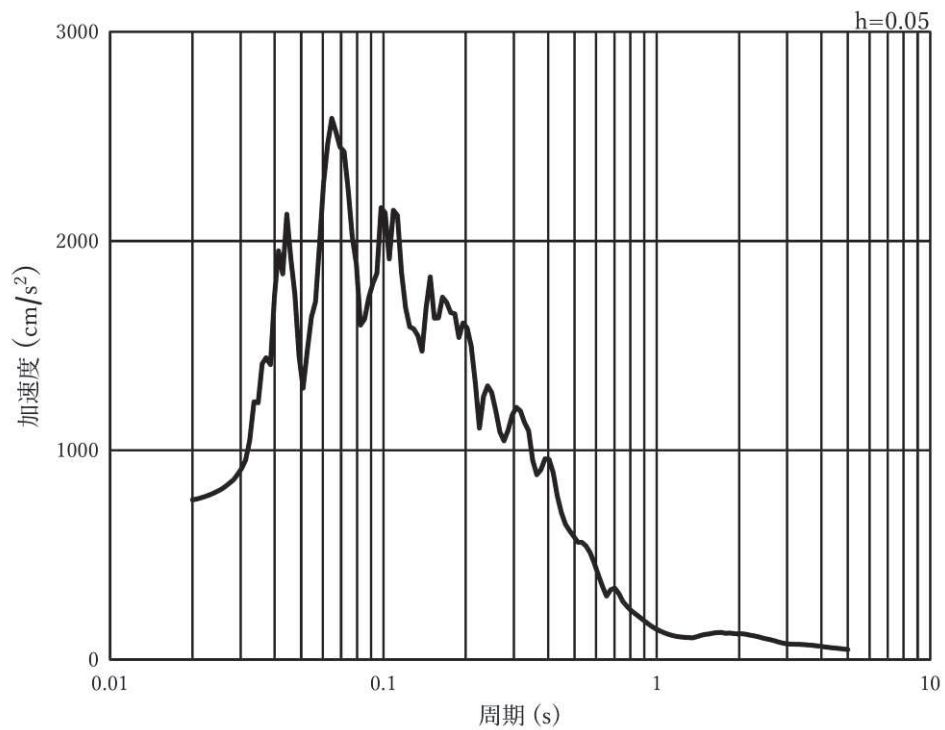


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 2)，断面①，②

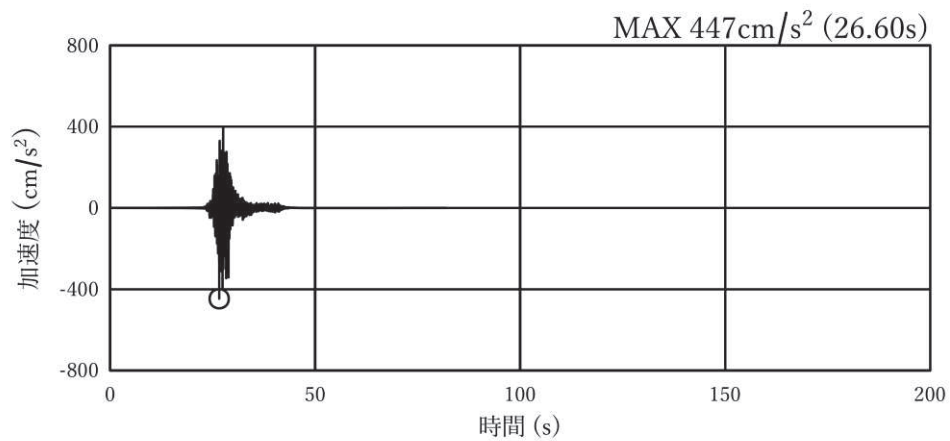


(a) 加速度時刻歴波形

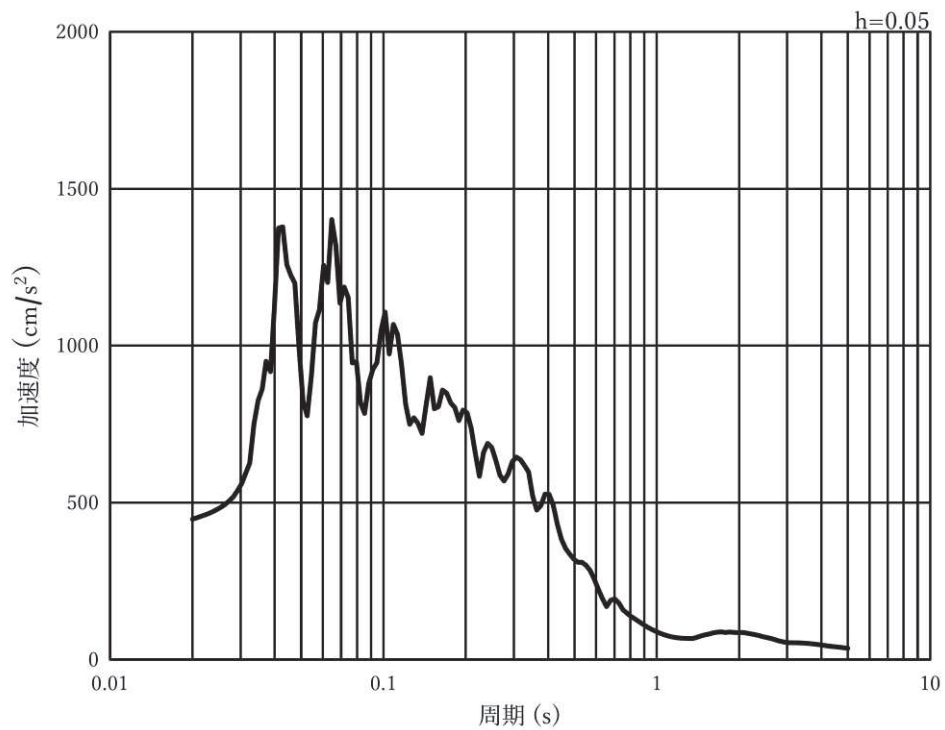


(b) 加速度応答スペクトル

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 : S s - F 3), 断面①, ②

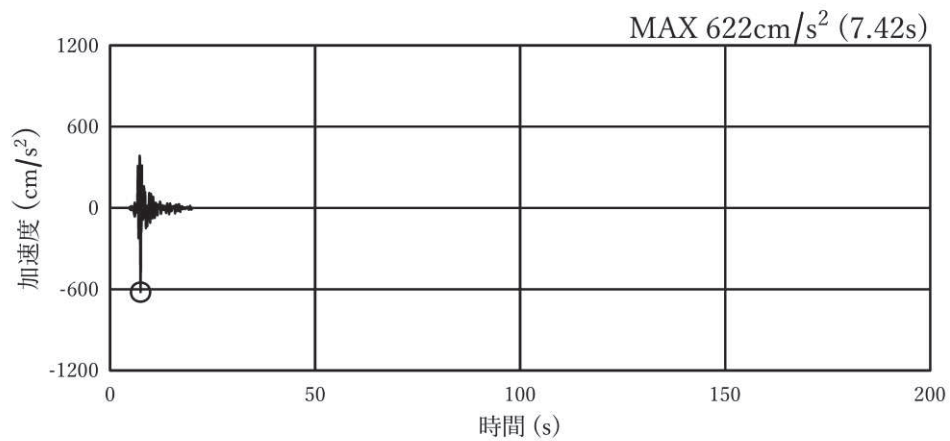


(a) 加速度時刻歴波形

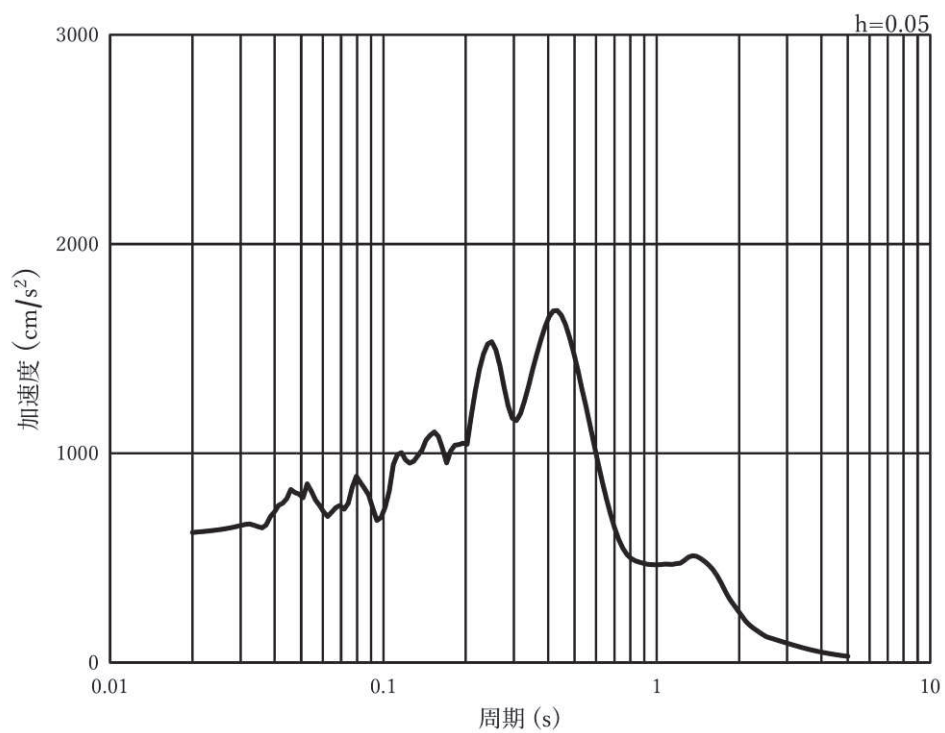


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 3), 断面①, ②

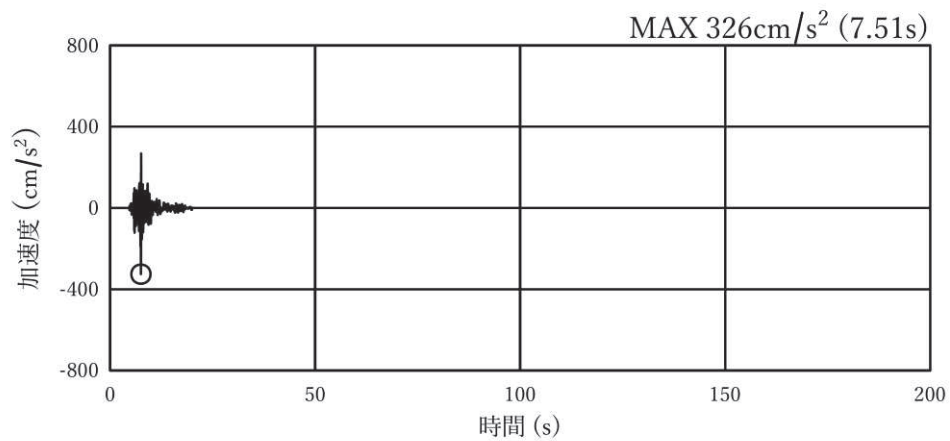


(a) 加速度時刻歴波形

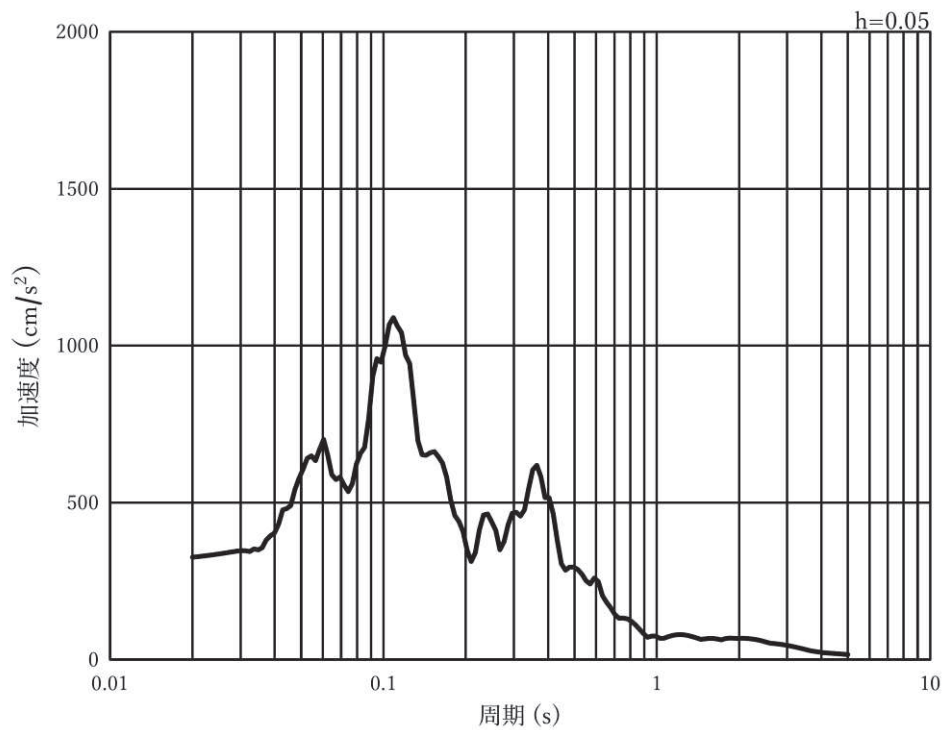


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - N 1)，断面①，②

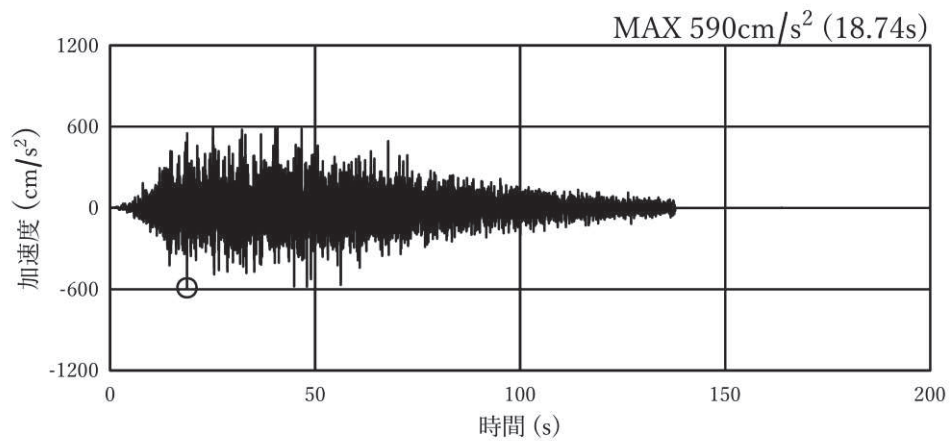


(a) 加速度時刻歴波形

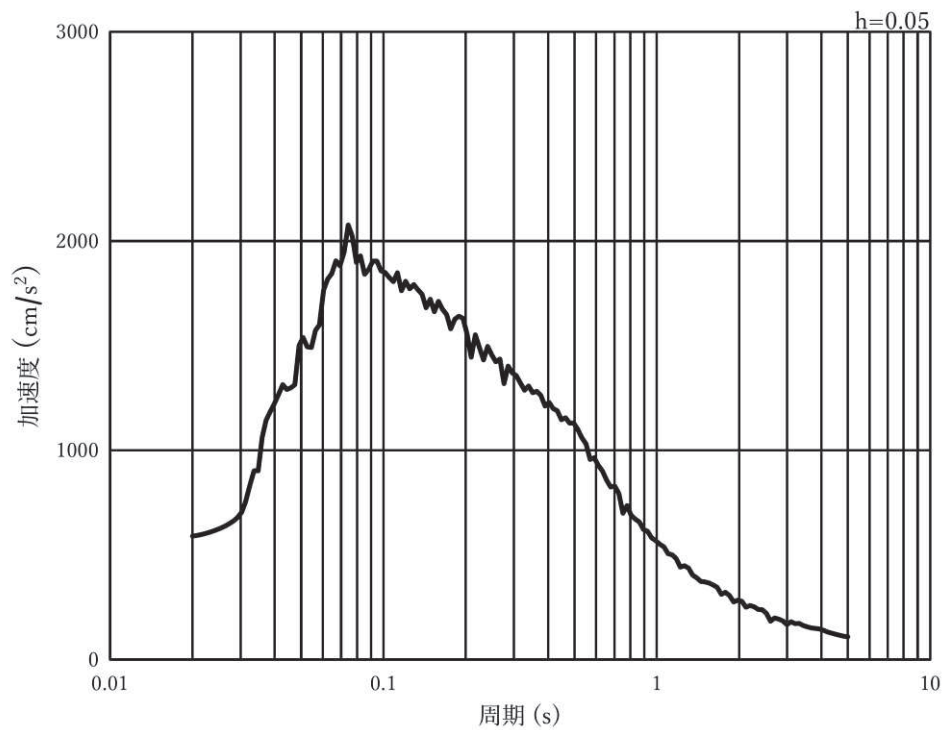


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - N 1)，断面①，②

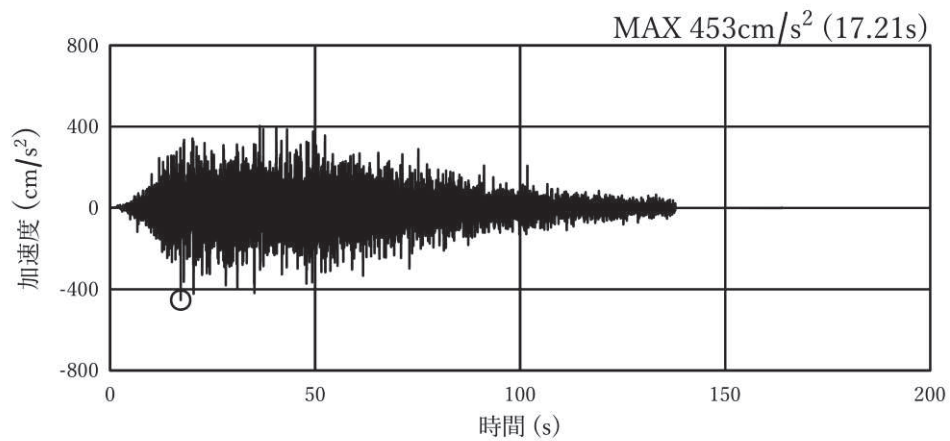


(a) 加速度時刻歴波形

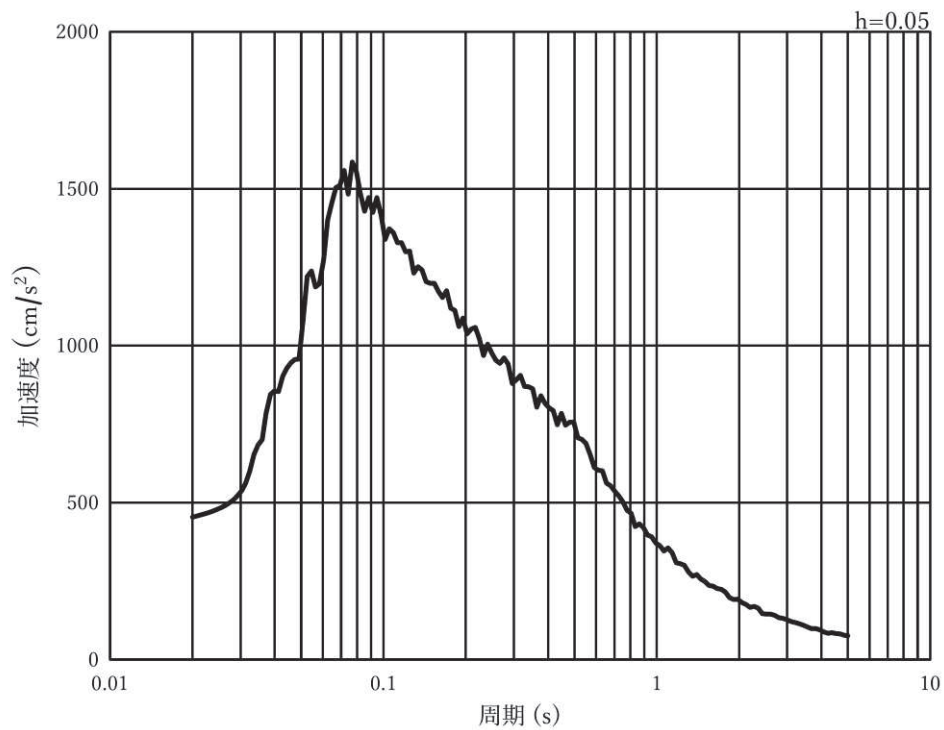


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 1)，断面③，④，⑤

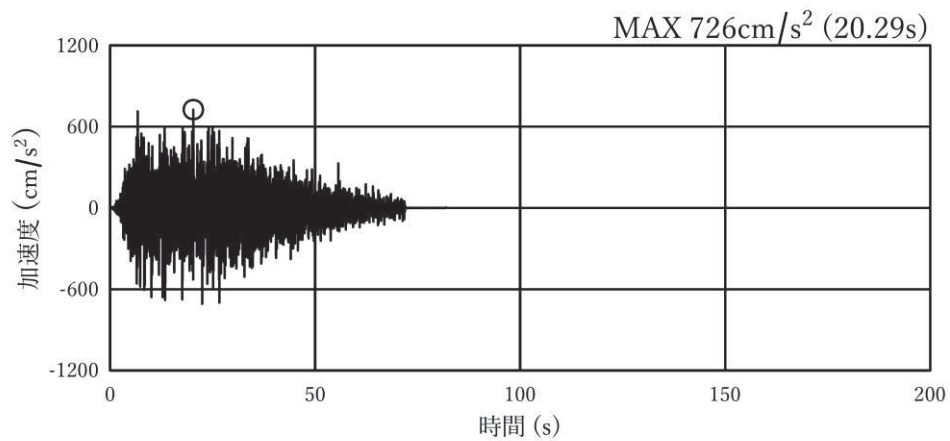


(a) 加速度時刻歴波形

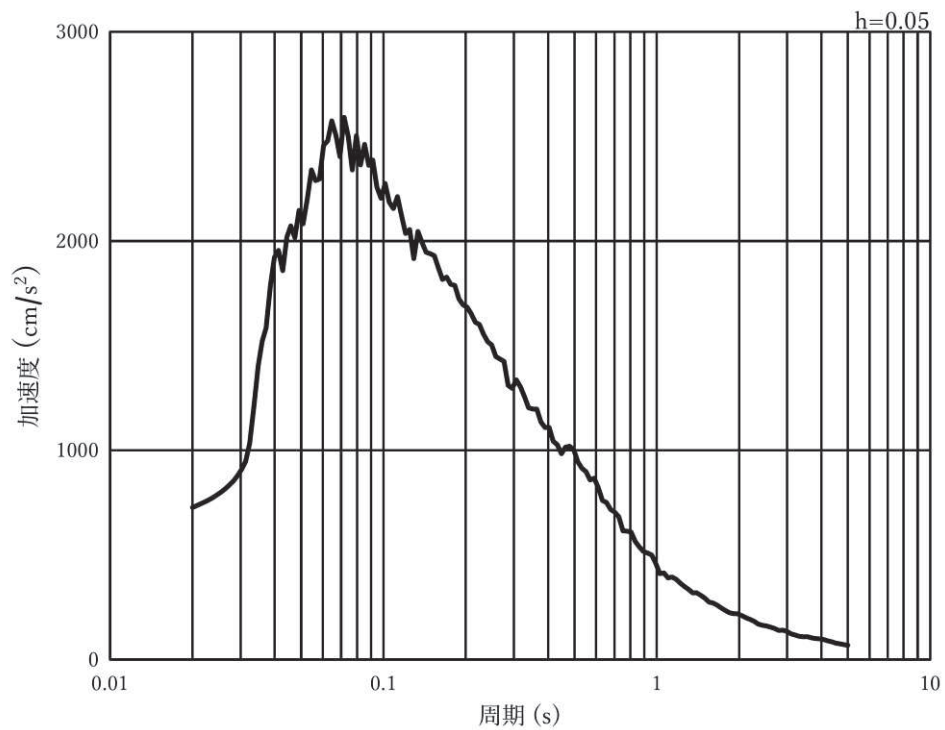


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 1)，断面③，④，⑤

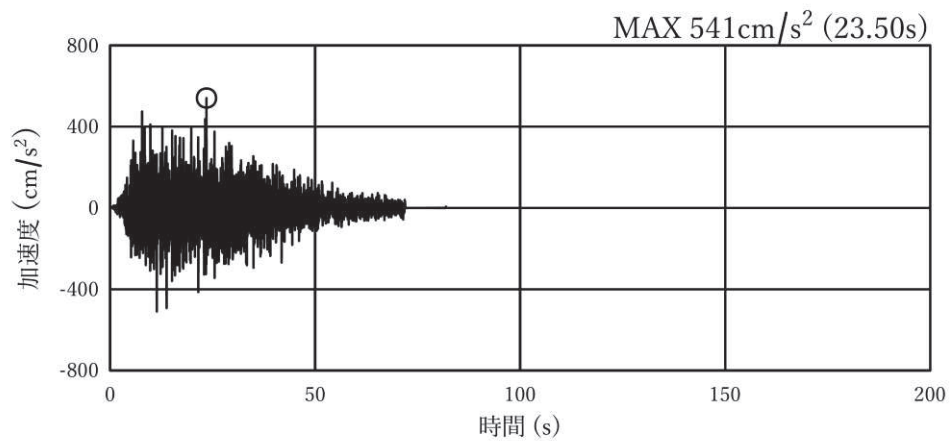


(a) 加速度時刻歴波形

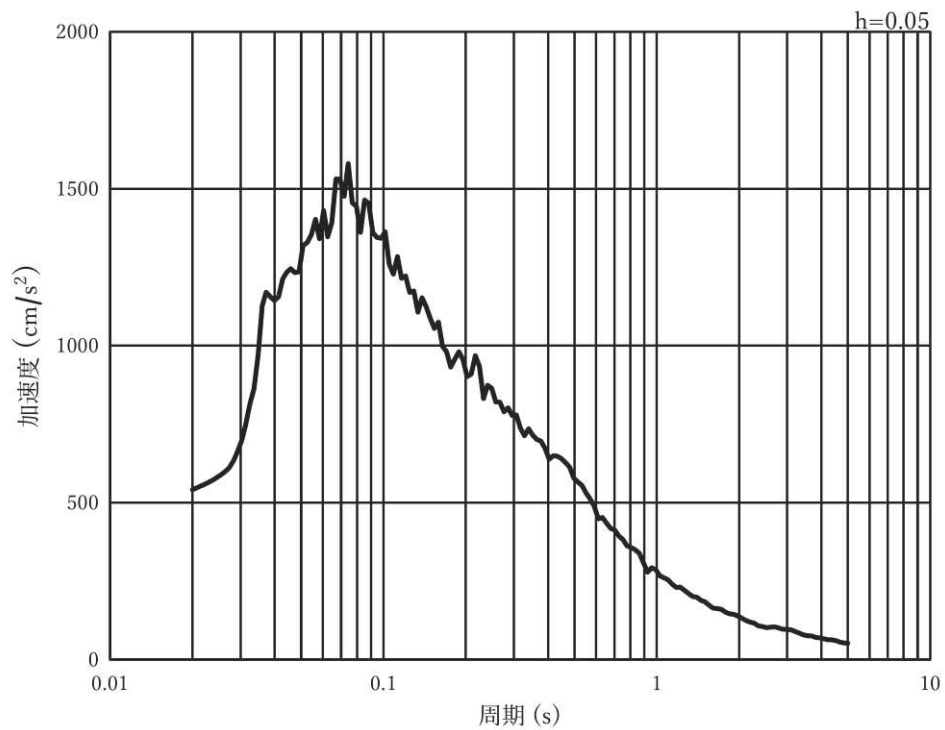


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 2)，断面③，④，⑤

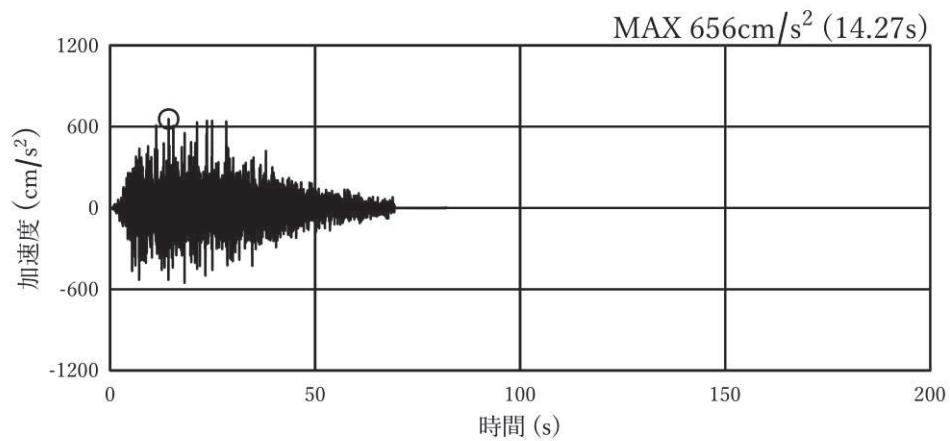


(a) 加速度時刻歴波形

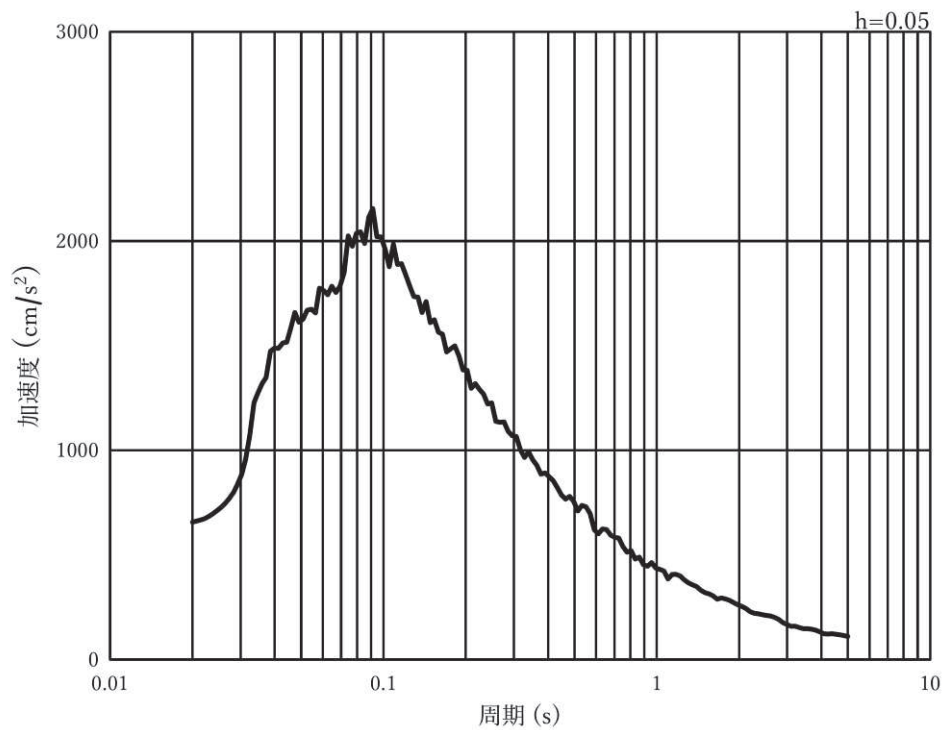


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 2)，断面③，④，⑤

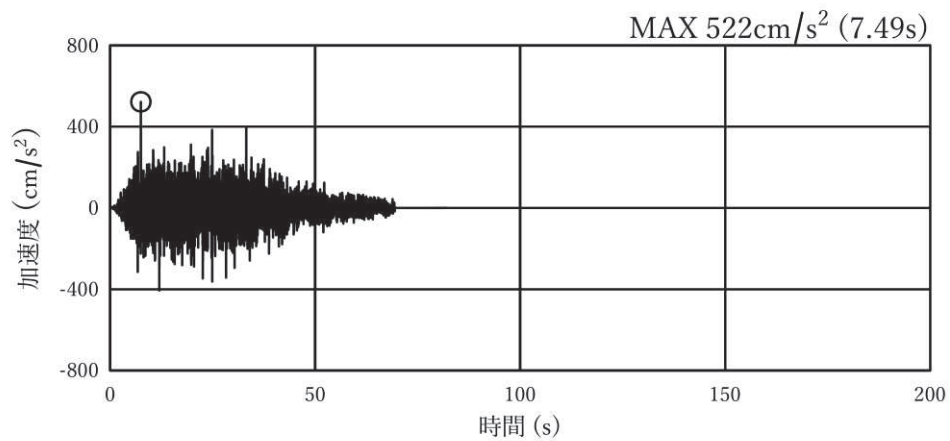


(a) 加速度時刻歴波形

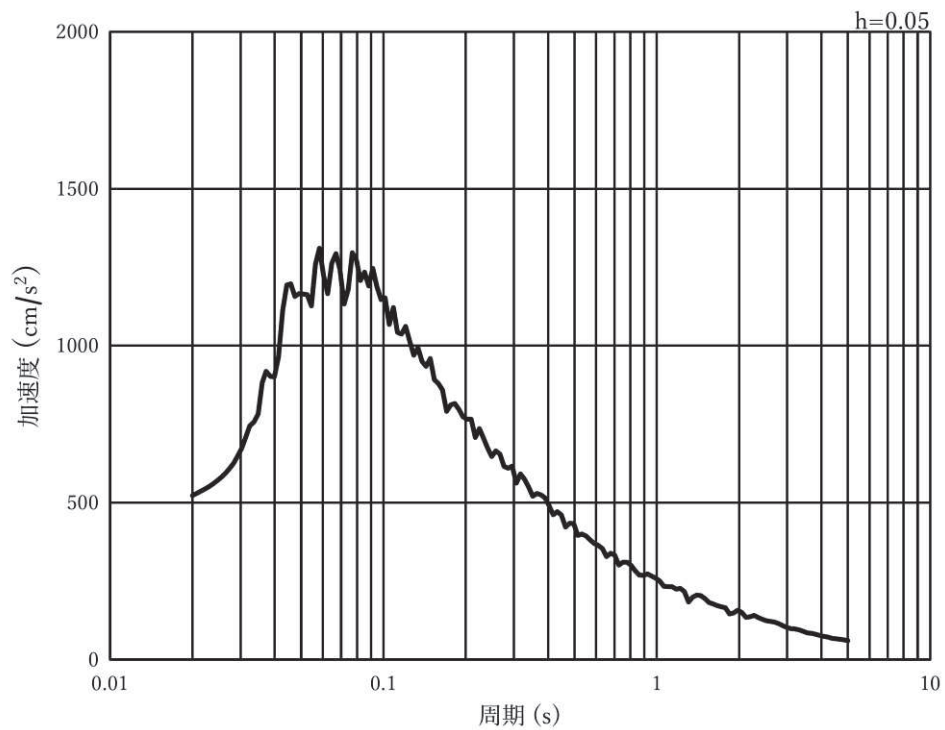


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 3)，断面③，④，⑤

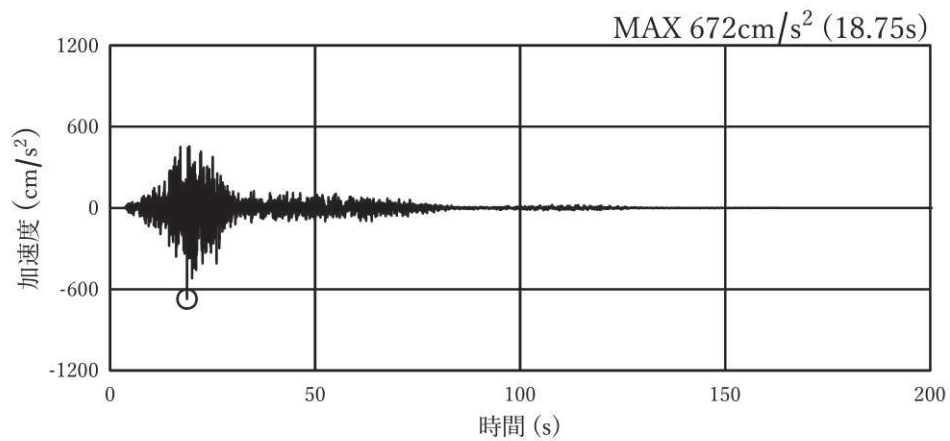


(a) 加速度時刻歴波形

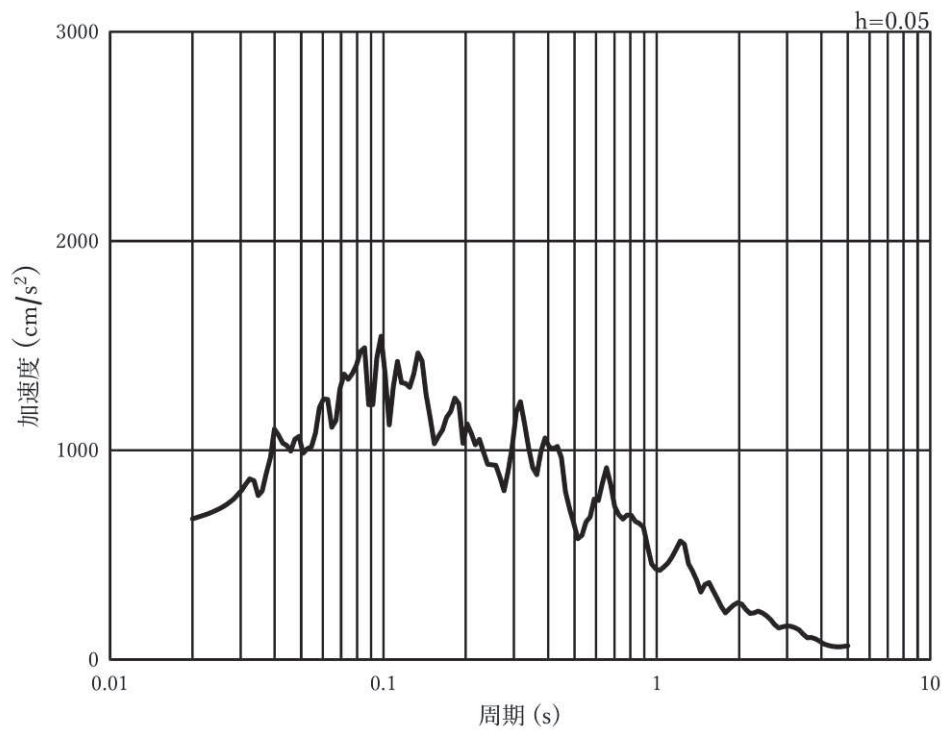


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - D 3)，断面③，④，⑤

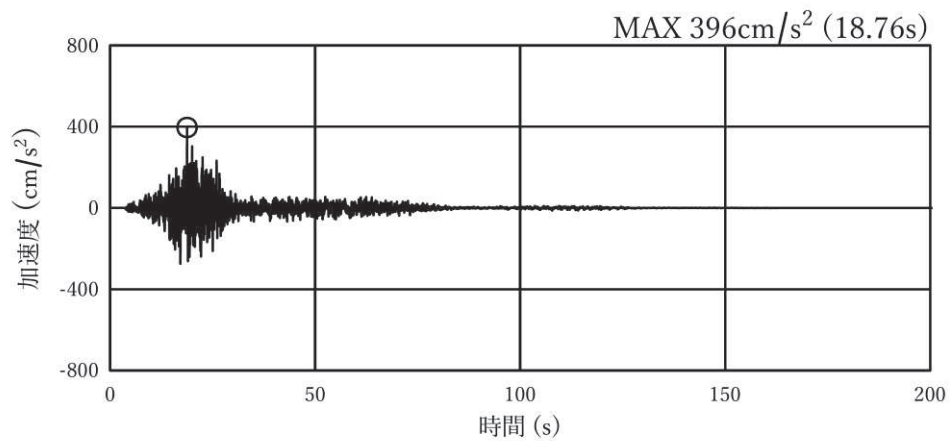


(a) 加速度時刻歴波形

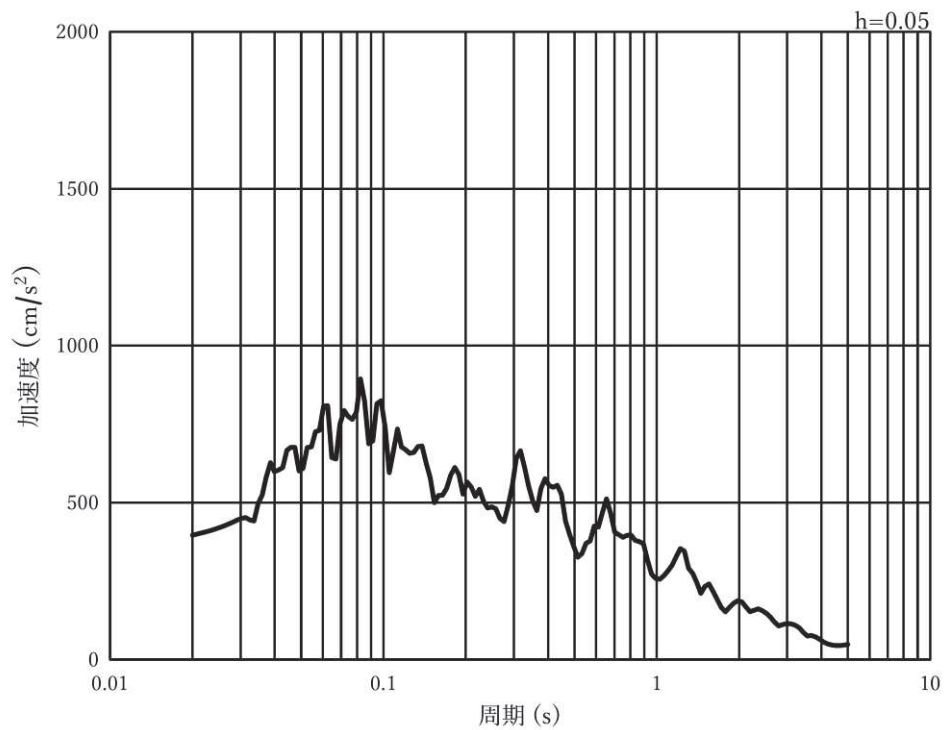


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 1)，断面③，④，⑤

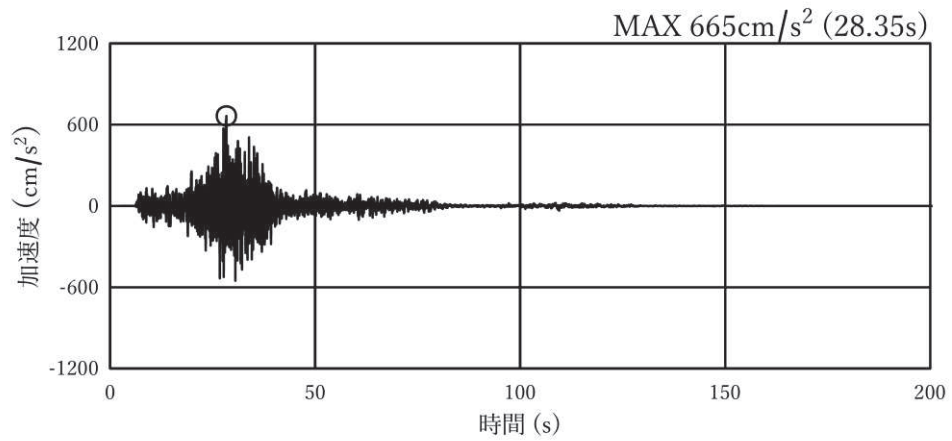


(a) 加速度時刻歴波形

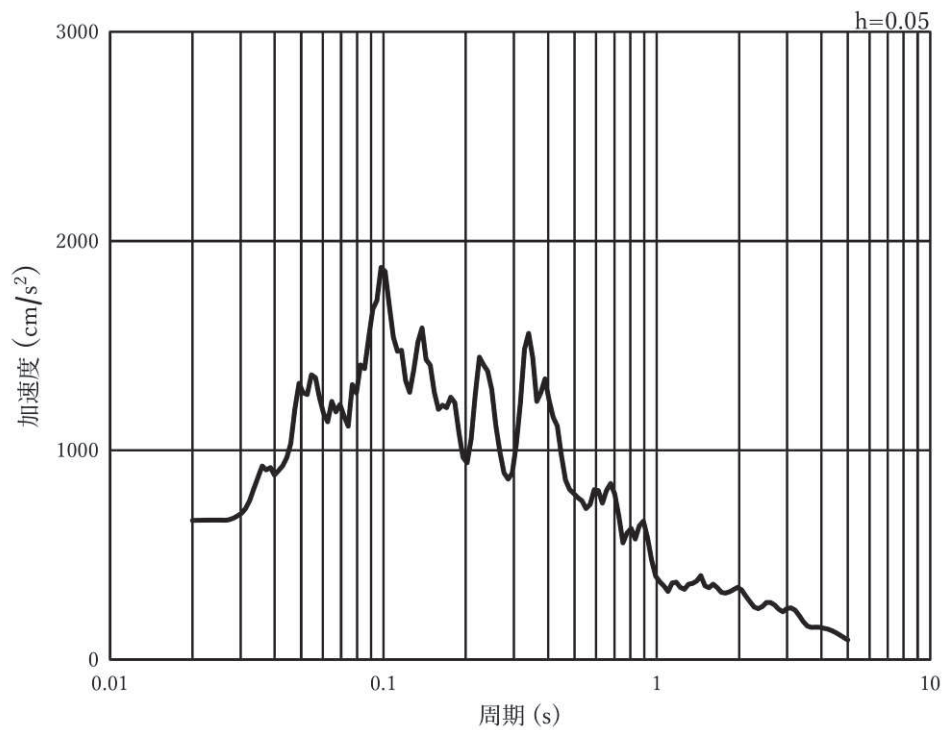


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 1)，断面③，④，⑤

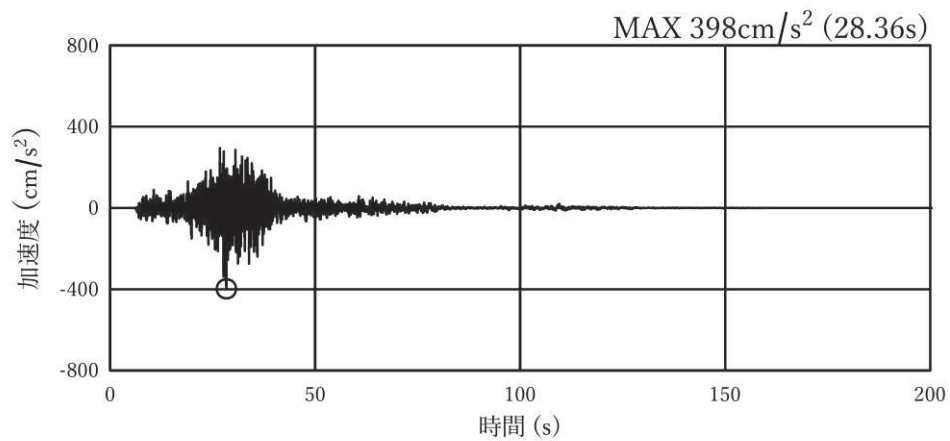


(a) 加速度時刻歴波形

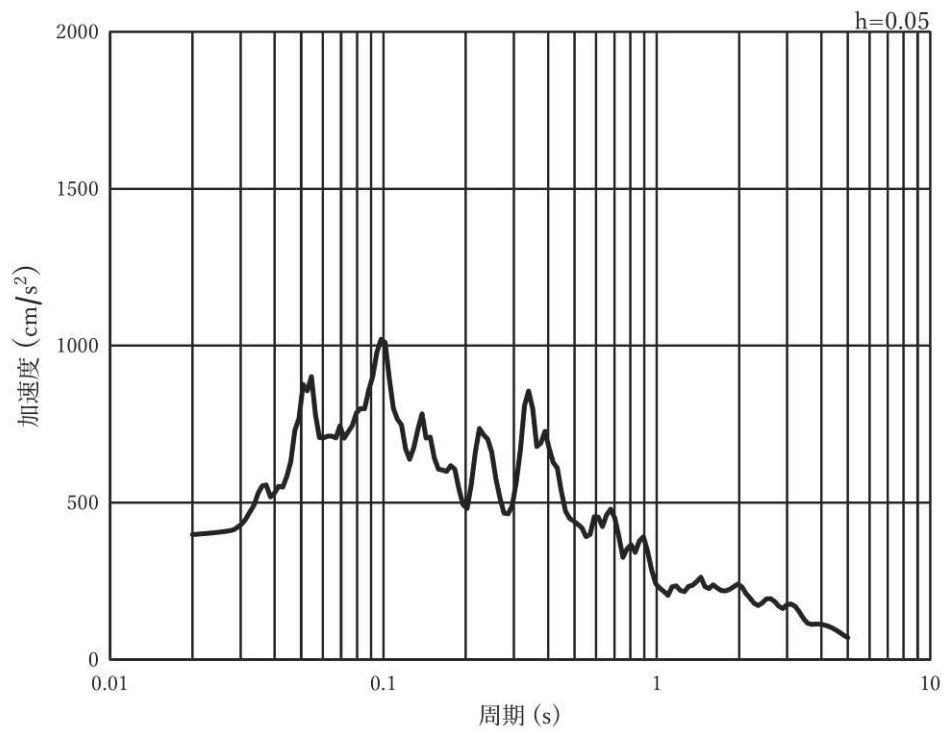


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 2)，断面③，④，⑤

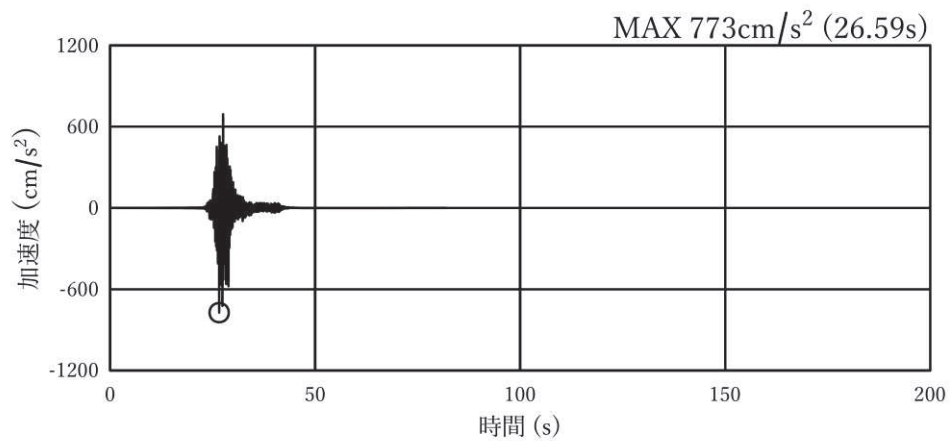


(a) 加速度時刻歴波形

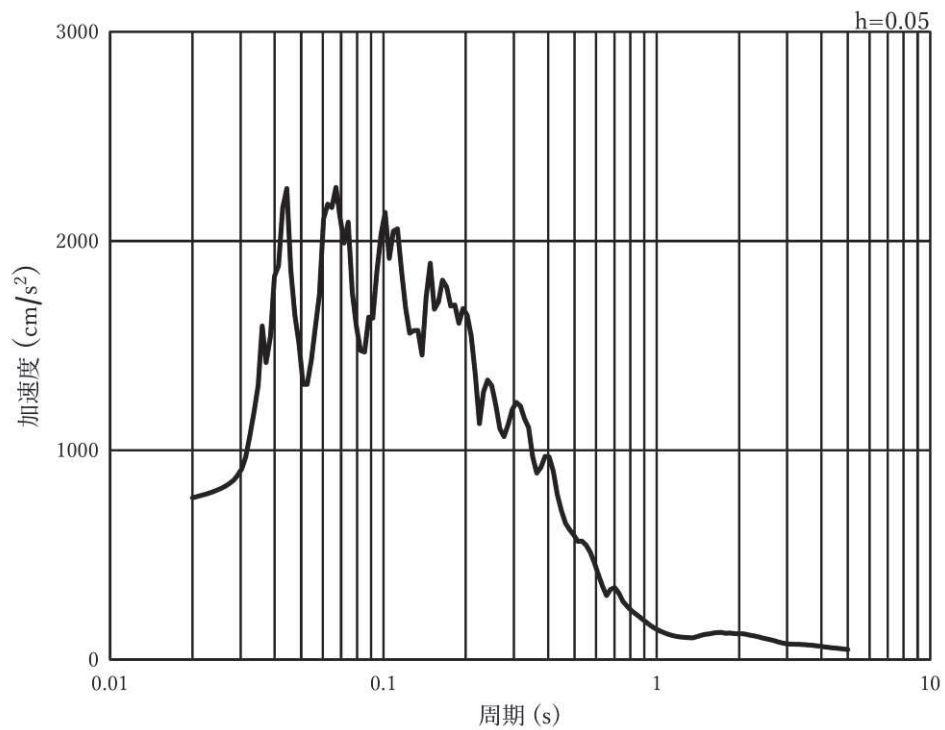


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 2)，断面③，④，⑤

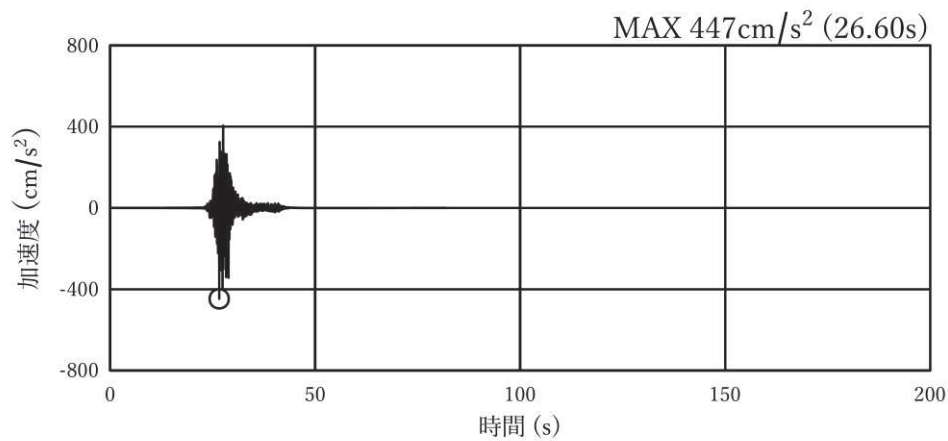


(a) 加速度時刻歴波形

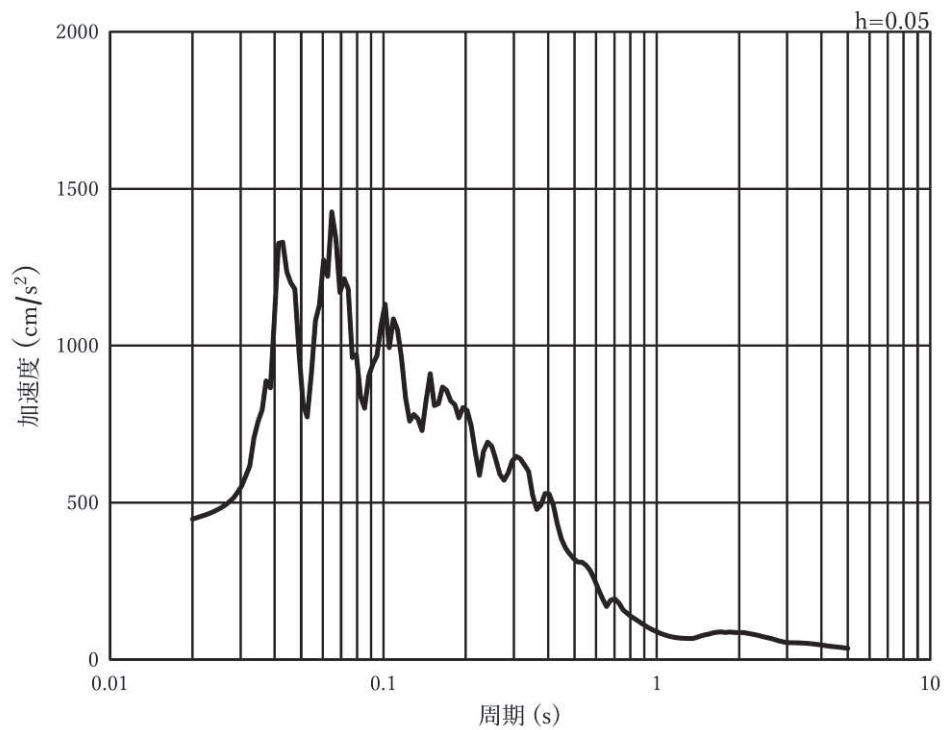


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 3)，断面③，④，⑤

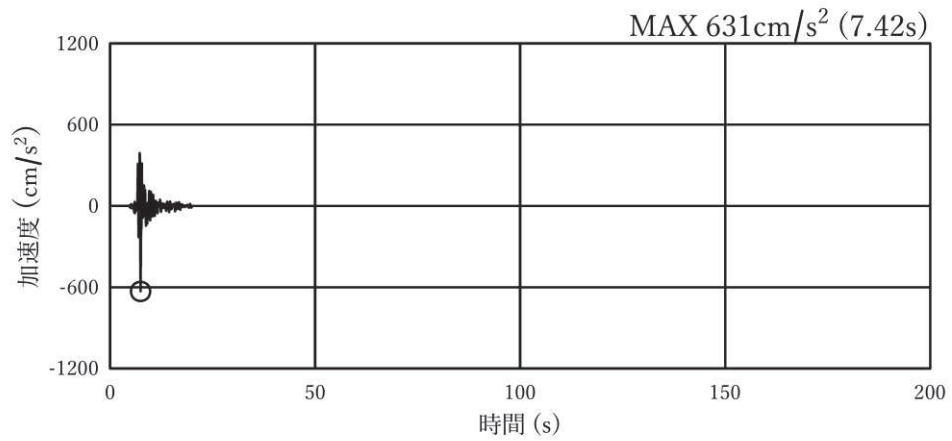


(a) 加速度時刻歴波形

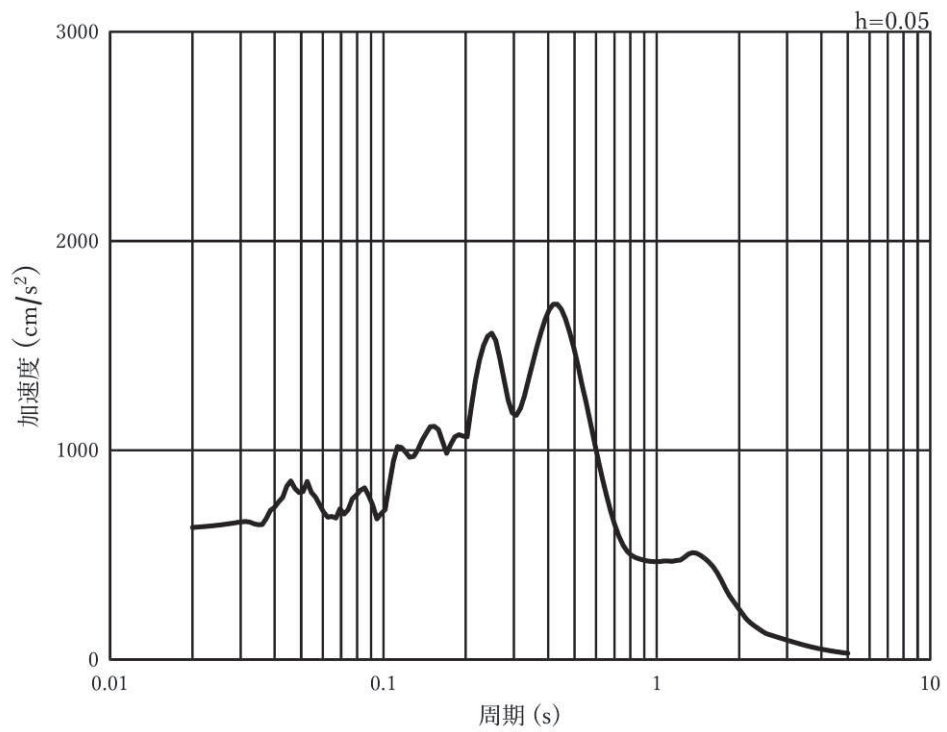


(b) 加速度応答スペクトル

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：S s - F 3)，断面③，④，⑤

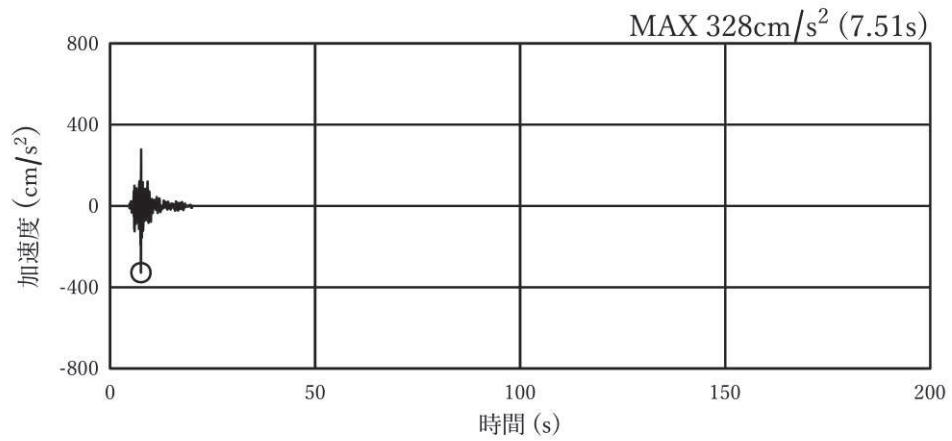


(a) 加速度時刻歴波形

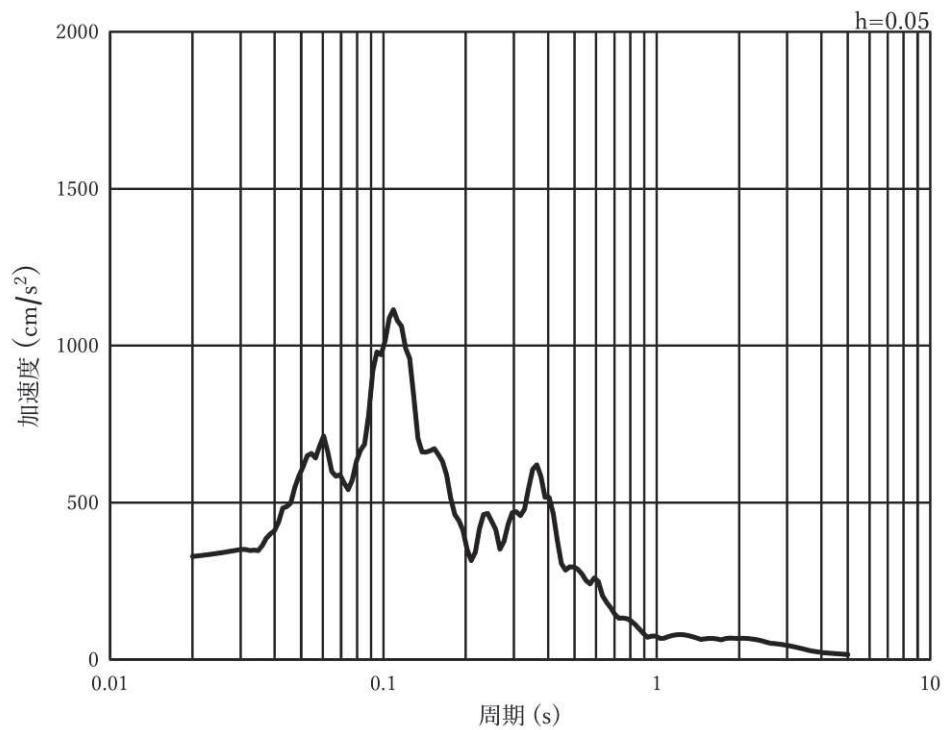


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(27) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向：S s - N 1)，断面③，④，⑤



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(28) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)，断面③，④，⑤

e. ヒューム管の設計用震度の算定

各評価対象断面位置における最大鉛直震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 ヒューム管位置の最大鉛直震度

号機	断面		地震動	解析ケース	鉛直震度 (k_v)
第 2 号機	①	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース②	0.43
		外圧強さ : 2 種			
	②	管径 : $\phi 1050\text{mm}$	S s - D 1	ケース②	0.44
		外圧強さ : 3 種			
第 3 号機	③	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース②	0.43
		外圧強さ : 2 種			
	④	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース③	0.44
		外圧強さ : 3 種			
	⑤	管径 : $\phi 800\text{mm}$	S s - D 1	ケース③	0.44
		外圧強さ : 2 種			

(2) 鋼管

a. 鋼管の評価に用いる応力

基礎地盤安定性評価結果を参照し, 図 3-3 に示す抽出対象範囲より主応力(最大圧縮応力)が最大となる地盤要素の応力(水平応力 σ_x , 鉛直応力 σ_y 及びせん断応力 τ_{xy})を抽出する。鋼管評価においては, 基礎地盤安定解析より抽出した地震時増分応力を保守的に 1.5 倍した応力を用いる。評価に用いる応力を表 3-5 に示す。

表 3-5 鋼管の評価に用いる応力

地震動	σ_x^* (N/mm^2)	σ_y^* (N/mm^2)	τ_{xy} (N/mm^2)
S s - N 1	-2.13	-5.35	0.33

注記* : 引張を正として示す

3.4 許容限界

3.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) ヒューム管

応力解析による評価に用いるヒューム管のひび割れ保証モーメントは、下水道耐震指針より次式で算定する。各断面・材料のひび割れ保証モーメントを表 3-6 に示す。

$$M_c = 0.318 \cdot P_c \cdot r + 0.239 \cdot W \cdot r \dots \dots \dots (3-1)$$

M_c : ひび割れ保証モーメント (kN・m)

P_c : ひび割れ荷重 (kN/m)

W : 管きよの自重 (kN/m)

r : 管きよの管厚中心半径 (m)

表 3-6 ヒューム管のひび割れ保証モーメント

管径 (mm)	外圧 強さ*1	ひび割れ荷重 P_c (kN/m)	自重 W (kN/m)	管厚中心半径*2 r (m)	ひび割れ保証 モーメント M_c (kN・m)
φ 500	2 種	205.5	4.5	0.300	19.6
φ 500	3 種	284.3	4.5	0.300	27.0
φ 800	2 種	393.5	13.4	0.491	61.9
φ 1050	3 種	332.9	15.6	0.610	65.6

注記*1 : 外圧強さの分類は「技術資料ヒューム管設計施工要覧 (日本ヒューム管協会, 平成 21 年 7 月)」による。

*2 : 管芯から管厚の中心までの半径を示す。

(2) 鋼管

応力解析による評価に用いる鋼管の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 鋼材の許容応力度及び短期許容応力度

鋼材の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ² (N/mm ²)
SM570* ¹ (t ≤ 40mm)	許容引張応力度	255	382.5

注記* 1 : 鋼管の使用材料はSM570相当以上とする

* 2 : 「日本道路協会 平成24年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」により鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割り増しを考慮する。

3.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層 ^{*1}	13.7
	牧の浜部層 ^{*1}	11.4
	C _L 級	1.8 ^{*2}

注記*1：C_M級岩盤以上の岩盤が対象

*2：「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編」に基づき、一軸圧縮強度に応じた最大地盤反力度の上限値より設定する。

3.5 応力解析による評価方法

3.5.1 構造部材の健全性に対する評価方法

(1) ヒューム管

「3.3.1 解析方法」に基づき、評価を実施する。ヒューム管の諸元及び物性値を表 3-9 に示す。

解析コードには、「FRAME(面内) Ver5.0.7」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

表 3-9 ヒューム管の諸元及び物性値

管径 (mm)	外圧 強さ ^{*1}	管厚 (mm)	管厚中心半径 ^{*2} (mm)	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 E (N/mm ²)
φ 500	2 種	100	300	24.0	3.3×10 ⁴
φ 500	3 種	100	300	24.0	3.3×10 ⁴
φ 800	2 種	182	491	24.0	3.3×10 ⁴
φ 1050	3 種	170	610	24.0	3.3×10 ⁴

注記*1：外圧強さの分類は「技術資料ヒューム管設計施工要覧(日本ヒューム管協会、平成 21 年 7 月)」による。

*2：管芯から管厚の中心までの半径を示す。

(2) 鋼管

「3.3.1 解析方法」に示す解析方法に基づき、評価を実施する。鋼管の諸元及び物性値を表 3-10 及び表 3-11 に示す。

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に地盤剛性のばらつきを考慮し設定する。

解析コードには、「SLAP Ver6.64」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

鋼管の横断方向断面の静的解析で算出した断面力は下式の曲げ軸力照査により発生応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} \dots \dots \dots (3-2)$$

ここで、

σ : 鋼管の曲げモーメント及び軸力より算定される応力 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 有効断面係数 (mm³)

N : 軸力 (N)

A : 有効断面積 (mm²) *

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

表 3-10 鋼管の諸元

部 材	使用材料	諸元
鋼管	SS-R890 (SM570 相当以上)	内径 145.2mm, 板厚 10mm (外径 165.2mm)

表 3-11 鋼管の物性値

項目	材料諸元
単位体積重量 γ (kN/m ³)	77.0
ヤング係数 E (N/mm ²)	2.0×10^5
ポアソン比 ν	0.30

3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位はヒューム管及び鋼管を支持する基礎地盤とし、基礎地盤に生じる応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

なお、ヒューム管の接地圧算出においては、図 3-8 のとおり管底部の約 120° が基礎コンクリートに埋め込まれて設置されていることを踏まえ、ヒューム管に作用する反力を、支承角を 120° としたときの荷重分布幅（図 3-8 の赤線）で除して算定する。

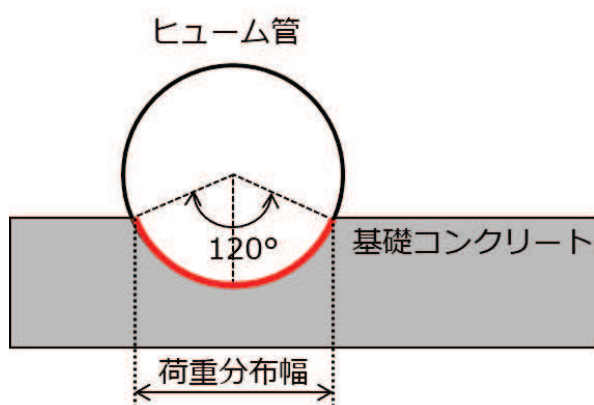


図 3-8 ヒューム管における基礎地盤の接地圧の考え方

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

(1) ヒューム管

ヒューム管各断面の最大曲げモーメント図を図 4-1 に、最大曲げモーメントに関する照査結果を表 4-1 に示す。

以上より、発生値が許容値を超えないことを確認した。

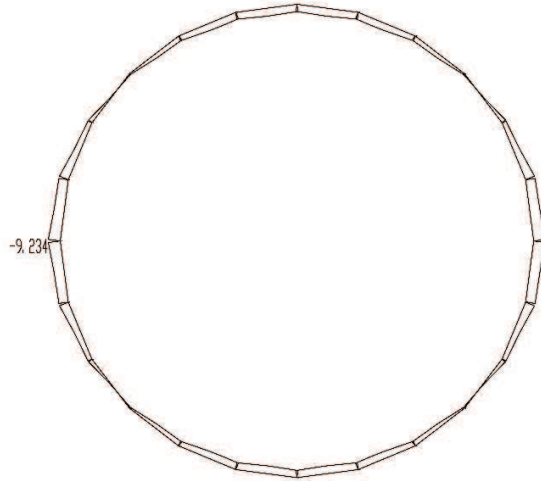


図 4-1(1) 曲げモーメント図

(断面① (φ 500mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)

(解析ケース : ケース②)

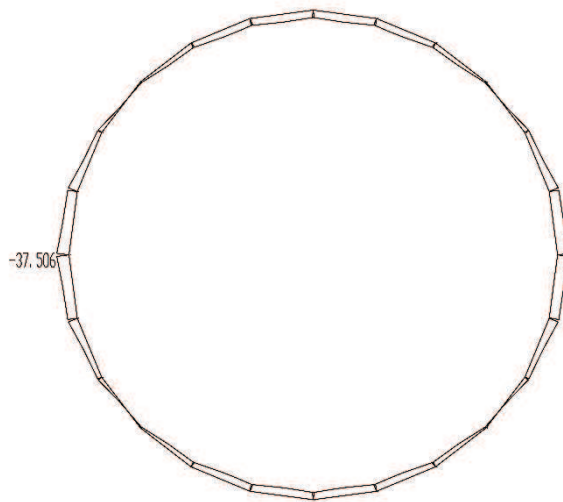


図 4-1(2) 曲げモーメント図

(断面② (φ 1050mm, 3種), S s - D 1, t = 17.25 秒)

(解析ケース : ケース②)

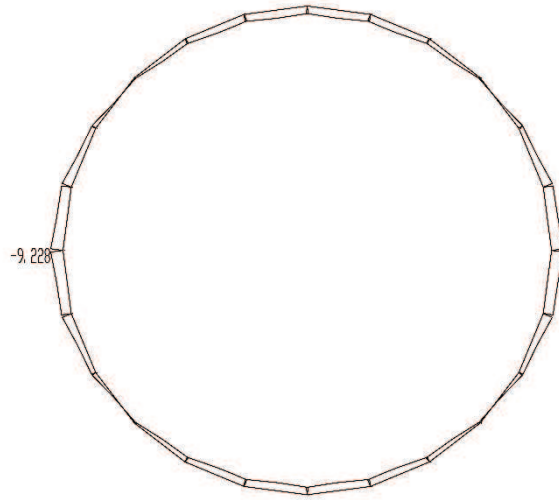


図 4-1(3) 曲げモーメント図
(断面③ (φ 500mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)
(解析ケース : ケース②)

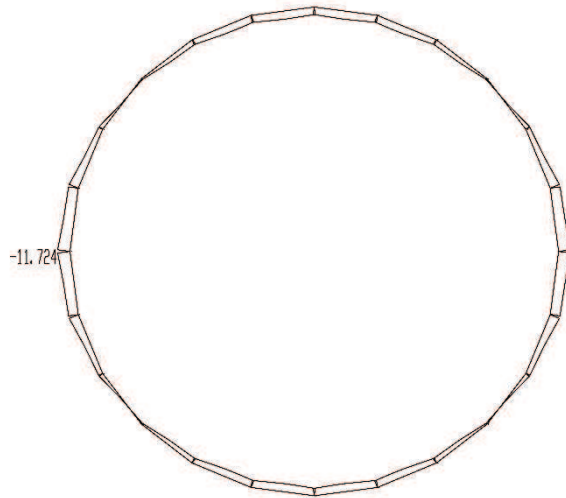


図 4-1(4) 曲げモーメント図
(断面④ (φ 500mm, 3種), S s - D 1, t = 35.23 秒)
(解析ケース : ケース③)

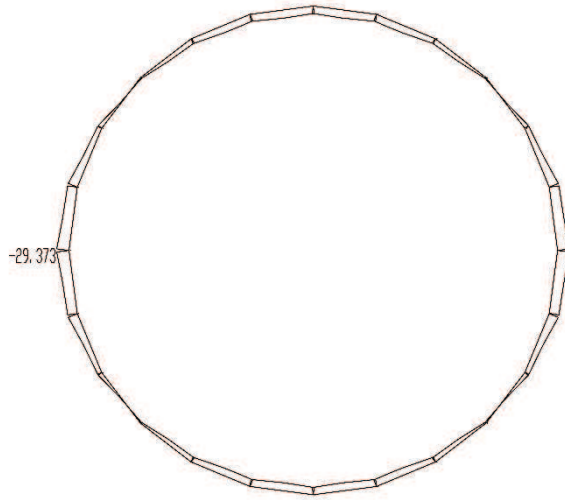


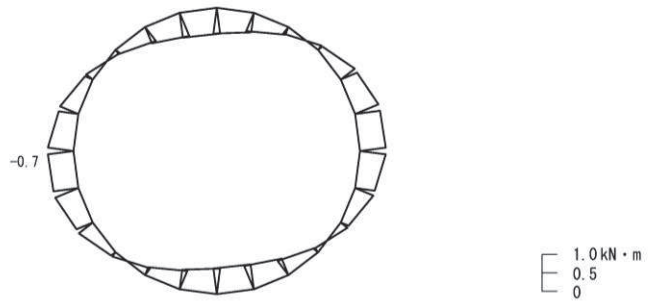
図 4-1(5) 曲げモーメント図
(断面⑤ (φ 800mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)
(解析ケース : ケース③)

表 4-1 ヒューム管の評価結果

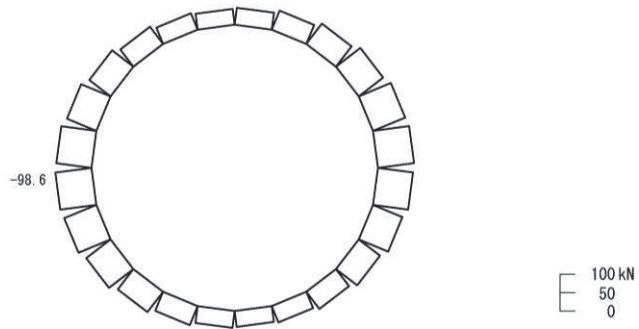
号機	断面		地震動	解析 ケース	最大曲げ モーメント M(kN・m)	ひび割れ保証 モーメント Mc(kN・m)	照査値 M/Mc
第 2 号 機	①	管径 : ϕ 500mm	S s - D 1	ケース ②	9.3	19.6	0.48
		外圧強さ : 2種					
第 3 号 機	②	管径 : ϕ 1050mm	S s - D 1	ケース ②	37.6	65.6	0.58
		外圧強さ : 3種					
第 3 号 機	③	管径 : ϕ 500mm	S s - D 1	ケース ②	9.3	19.6	0.48
		外圧強さ : 2種					
第 3 号 機	④	管径 : ϕ 500mm	S s - D 1	ケース ③	11.8	27.0	0.44
		外圧強さ : 3種					
第 3 号 機	⑤	管径 : ϕ 800mm	S s - D 1	ケース ③	29.4	61.9	0.48
		外圧強さ : 2種					

(2) 鋼管

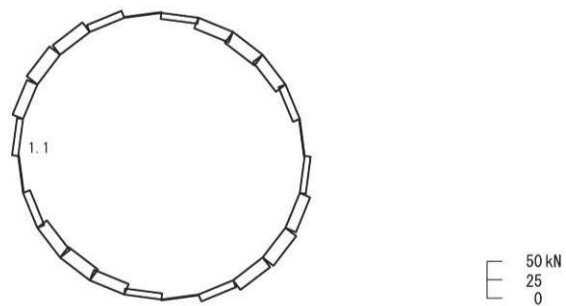
鋼管の発生主応力最大時の断面力図を図 4-2 に、照査結果を表 4-2 に示す。
 以上より、発生値が許容値を超えないことを確認した。



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



(c) せん断力

図 4-2 鋼管の断面力図

($S_s - N 1$, $t = 7.62$ 秒)

(基礎地盤安定性解析における主応力 (最大圧縮応力) 最大時刻)

表 4-2 鋼管の評価結果

地震動	解析 ケース	発生断面力*		照査用 応力度 (N/mm ²) (A)	短期許容 応力度 (N/mm ²) (B)	照査値 (A/B)
		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S _s -N1	ケース③	-0.7	-98.6	83.2	382.5	0.22

注記*：発生曲げモーメントは内側引張を正，軸力は引張を正として示す。

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

(1) ヒューム管

ヒューム管の基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-3 に示す。

ヒューム管の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能評価結果（ヒューム管）

断面	地震動	解析 ケース	最大接地圧 R _a (N/mm ²)	許容限界 R _{u a} (N/mm ²)	照査値 R _a /R _{u a}
①	S _s -D1	ケース②	1.2	13.7	0.09
②	S _s -D1	ケース②	1.2	13.7	0.09
③	S _s -D1	ケース②	1.2	1.8	0.67
④	S _s -D1	ケース③	1.5	11.4	0.14
⑤	S _s -D1	ケース③	1.4	11.4	0.13

(2) 鋼管

鋼管の基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-4 に示す。

鋼管の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-4 基礎地盤の支持性能評価結果（鋼管）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R _a (N/mm ²)	許容限界 R _{u a} (N/mm ²)	照査値 R _a /R _{u a}
S _s -N1	ケース③	1.9	13.7	0.14

VI-2-13-3 地下水位低下設備接続柵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.....	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ.....	15
3.2.1 耐震評価上考慮する状態.....	15
3.2.2 荷重.....	15
3.2.3 荷重の組合せ.....	16
3.3 解析方法.....	17
3.3.1 解析方法.....	17
3.3.2 設計用震度の算定.....	17
3.4 許容限界.....	49
3.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界.....	49
3.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界.....	49
3.5 応力解析による評価方法.....	50
3.5.1 構造部材の健全性に対する評価方法.....	50
3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法.....	58
4. 耐震評価結果.....	59
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果.....	59
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果.....	63

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」で設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち接続柵について、地震時の構造強度を有していることを確認するものである。

接続柵に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

2. 基本方針

設計用地下水位の評価においては、耐震性を含む信頼性を満足する接続柵を管路、あるいは透水層として設定している。

本図書では、管路あるいは透水層として設定する接続柵を対象に地震時における構造強度及び機能維持の確認を行う。

2.1 位置

地下水位低下設備のうち接続柵の設置位置を図 2-1 に示す。

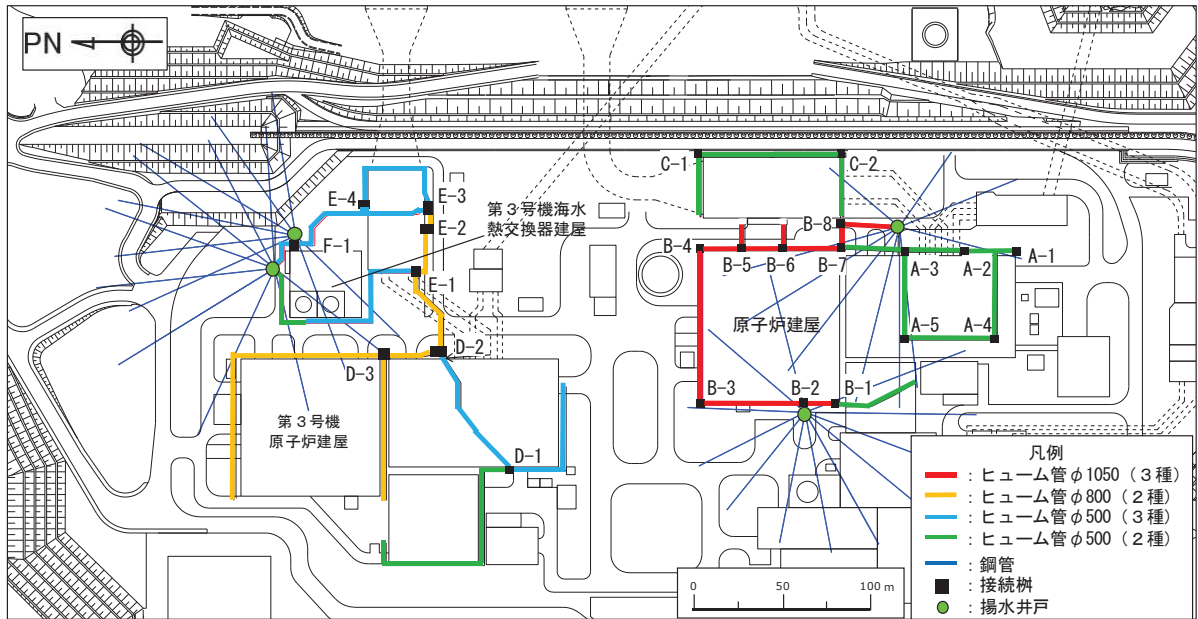
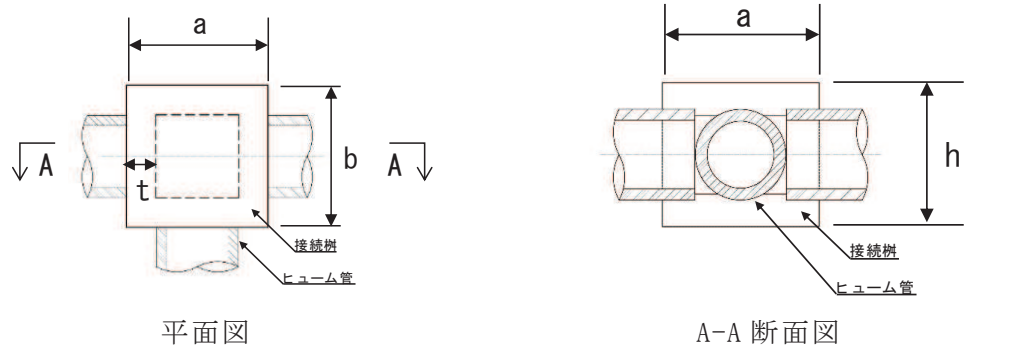


図 2-1 接続柵の設置位置

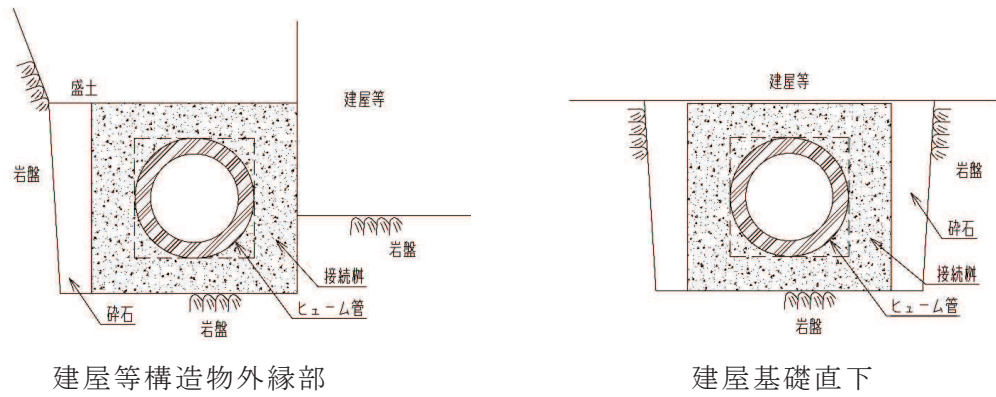
2.2 構造概要

接続柵は、建屋等構造物外縁部または建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内に設置された鉄筋コンクリート造の箱型構造物であり、複数のヒューム管が接続されている。接続柵は既設を活用することとし、揚水井戸と既設ヒューム管との接続部等において、一部新設する。

接続柵の上部には盛土もしくは構造物基礎が存在している。接続柵の構造概要を図 2-2，各接続柵の諸元を表 2-1 に示す。



(1) 構造概要



(2) 設置状況

図 2-2 接続柵構造概要

表 2-1 接続柵諸元

No.	位置	外寸 (m) *1			部材厚 (m)	土被り厚 (m)	設置状況
		a	b	h	t	L	
A-1	タービン建屋周辺	1.30	1.30	1.30	0.30	16.42	建屋等 構造物外縁部
A-2		1.30	1.60	1.60	0.30	25.85	
A-3		1.30	1.85	1.30	0.30	27.36	
A-4		1.30	1.90	1.30	0.30	—	建屋基礎直下
A-5		1.55	1.90	1.52	0.30		
B-1	原子炉建屋周辺	2.40	2.40	3.30	0.50	26.70	建屋等 構造物外縁部
B-2*2		2.40	2.40	2.20	0.50	27.82	
B-3		2.40	2.40	2.20	0.50	27.88	
B-4		2.40	2.40	2.20	0.50	27.96	
B-5		2.40	2.40	2.20	0.50	27.98	
B-6		2.40	2.40	2.20	0.50	27.98	
B-7		2.40	2.40	2.20	0.50	27.95	
B-8*2		2.40	2.40	2.20	0.50	27.96	
C-1	海水ポンプ室周辺	1.50	1.50	1.50	0.40	28.20	
C-2		1.50	1.50	1.50	0.40	28.20	
D-1	第3号機タービン 建屋周辺	1.30	1.85	1.30	0.30	29.88	
D-2		3.80	6.20	5.90	1.00	32.55	
D-3		2.40	2.40	2.20	0.50	28.56	
E-1	第3号機海水 ポンプ室周辺	2.40	2.40	2.20	0.50	28.80	
E-2*2		3.50	4.60	5.80	1.00	26.10	
E-3*2		3.50	4.50	5.00	1.00	28.25	
E-4*2		3.60	4.50	5.10	1.00	27.92	
F-1*2	第3号機海水熱交 換器建屋周辺	1.50	1.50	1.50	0.40	30.63	

注記*1：外寸の記載のうち、aは短辺、bは長辺を示す。

*2：新設する接続柵。

2.3 評価方針

地下水位低下設備の機能は、施設の設計の前提が確保されるよう、地下水位を一定の範囲に保持することであり、ドレーンを接続する接続柵は地下水の集水機能を維持する必要がある。接続柵を含む地下水位低下設備はCクラスに分類されるが、その機能を維持するため、基準地震動 S_s に対して耐震性を確保する設計としている。なお、接続柵とドレーンの接続部については、ドレーンが有孔管であることから、水密性の観点からの要求はない。

接続柵の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 2-2 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

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

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

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

表2-2 接続柵の評価項目

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	接続柵 (頂版 側壁 底版)	発生する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	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

接続桝の評価フローを図2-3に示す。

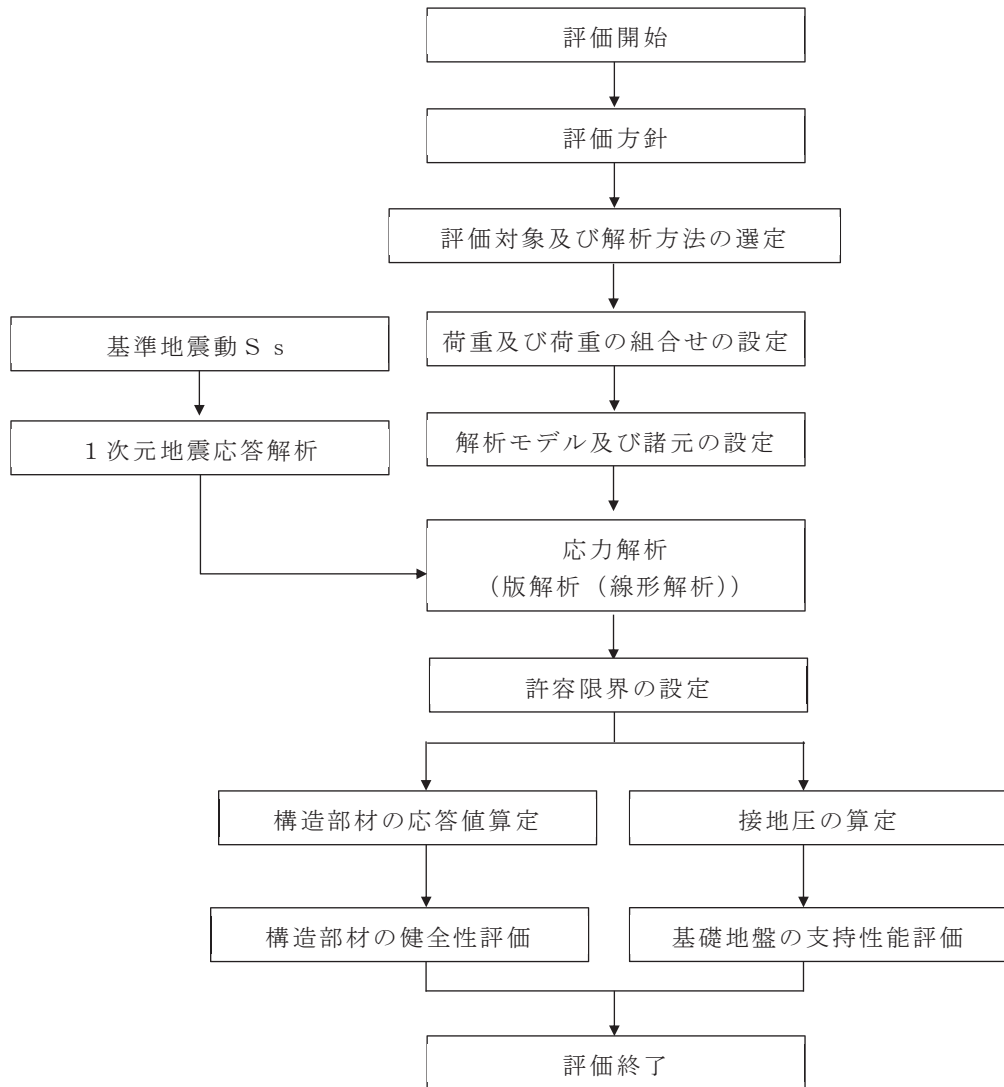


図 2-3 接続桝の耐震評価フロー

2.4 適用基準

接続桝の評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・日本建築学会 1991年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（以下、「コンクリート標準示方書」という。）
- ・日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編

3. 耐震評価

3.1 評価対象

接続桝は、躯体が掘込まれた岩盤内に設置され、地震時には鉛直土圧が主たる荷重として作用すると考えられる。接続桝ごとに構造、設置状況、地震応答が異なることを踏まえ、各号機ごとに同一寸法、又は相似・包含関係にあるものをグループ化し、各グループの接続桝のうち、土被り厚が最大となるものを評価対象として選定した。

なお、タービン建屋基礎直下の岩盤を掘込んで設置した接続桝が存在するが、各建屋構造物外縁部に設置した接続桝と比べ、作用する鉛直荷重が十分に小さいため、評価対象外とする。

以上を踏まえ、評価対象として接続桝①～⑨を選定した。

評価対象とする接続桝の位置を図 3-1 に、構造概要を表 3-1 及び図 3-2 に示す。また、接続桝設置位置の地質状況を図 3-3 に示す。

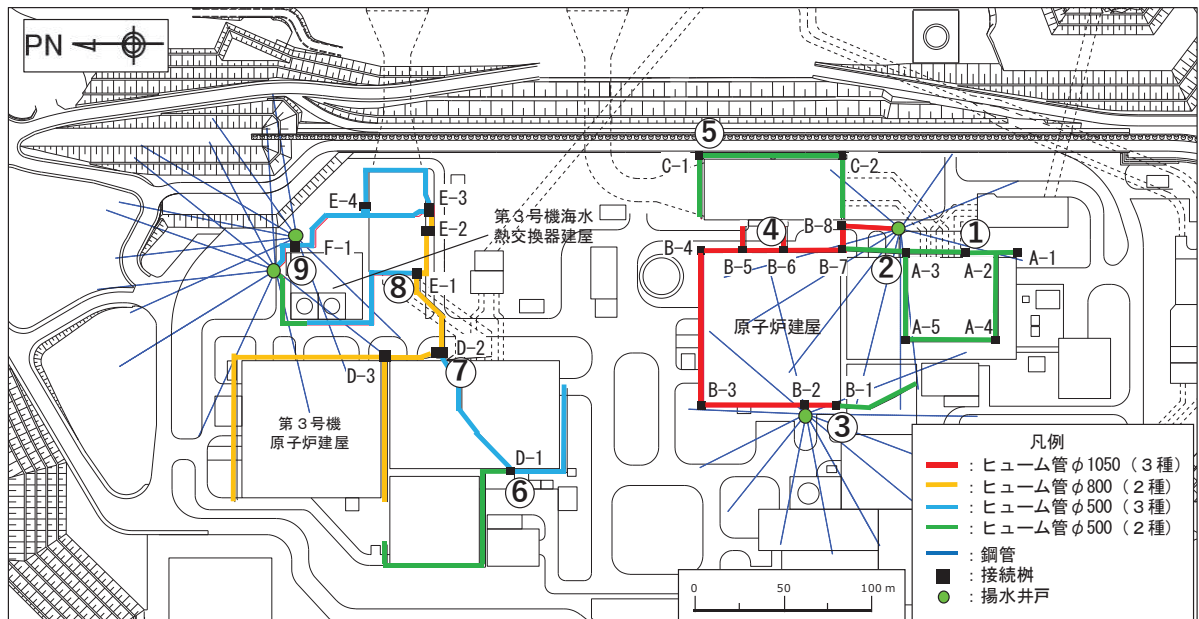
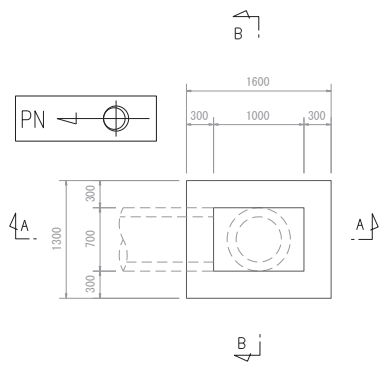


図 3-1 評価対象接続桝位置

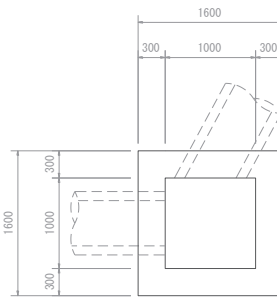
表 3-1 評価対象とする接続桧

号機	評価対象 接続桧	位置	No.	外寸 (m) *			部材厚 (m)	土被り厚 (m)
				a	b	h		
第 2 号機	①	タービン建屋周辺	A-2	1.30	1.60	1.60	0.30	25.85
	②	タービン建屋周辺	A-3	1.30	1.85	1.30	0.30	27.36
	③	原子炉建屋周辺	B-1	2.40	2.40	3.30	0.50	26.70
	④	原子炉建屋周辺	B-6	2.40	2.40	2.20	0.50	27.98
	⑤	海水ポンプ室周辺	C-1	1.50	1.50	1.50	0.40	28.20
第 3 号機	⑥	第 3 号機 タービン建屋周辺	D-1	1.30	1.85	1.30	0.30	29.88
	⑦	第 3 号機 タービン建屋周辺	D-2	3.80	6.20	5.90	1.00	32.55
	⑧	第 3 号機 海水ポンプ室周辺	E-1	2.40	2.40	2.20	0.50	28.80
	⑨	第 3 号機 海水熱交換器建屋周辺	F-1	1.50	1.50	1.50	0.40	30.63

注記* : 外寸の記載のうち, a は短辺, b は長辺を示す。

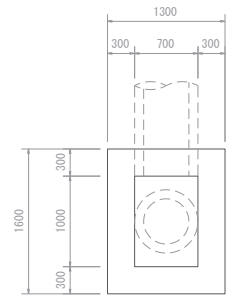


平面図

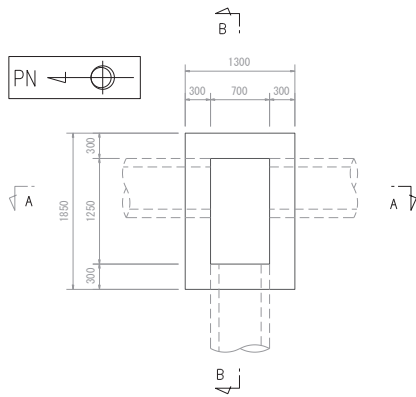


A - A 断面図

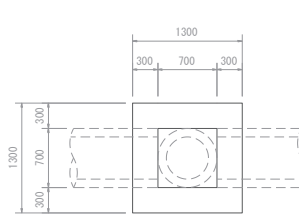
(接続柵① : A-2)



B - B 断面図

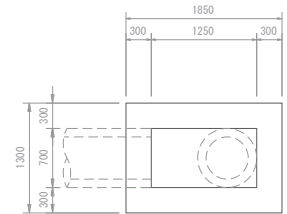


平面図

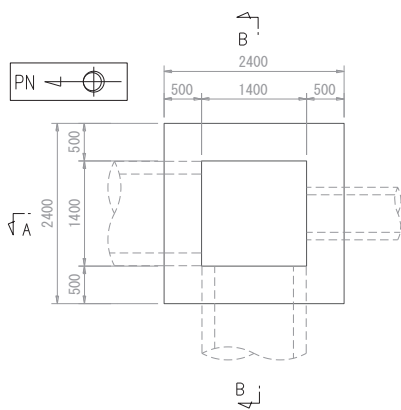


A - A 断面図

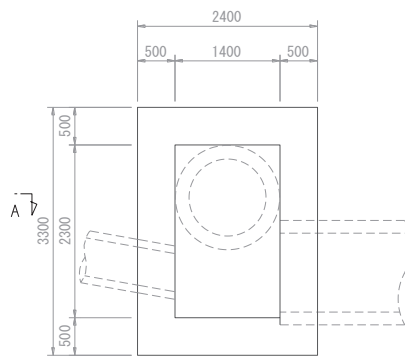
(接続柵② : A-3)



B - B 断面図

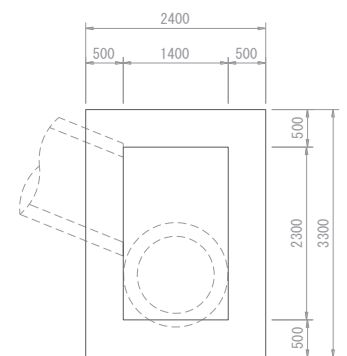


平面図



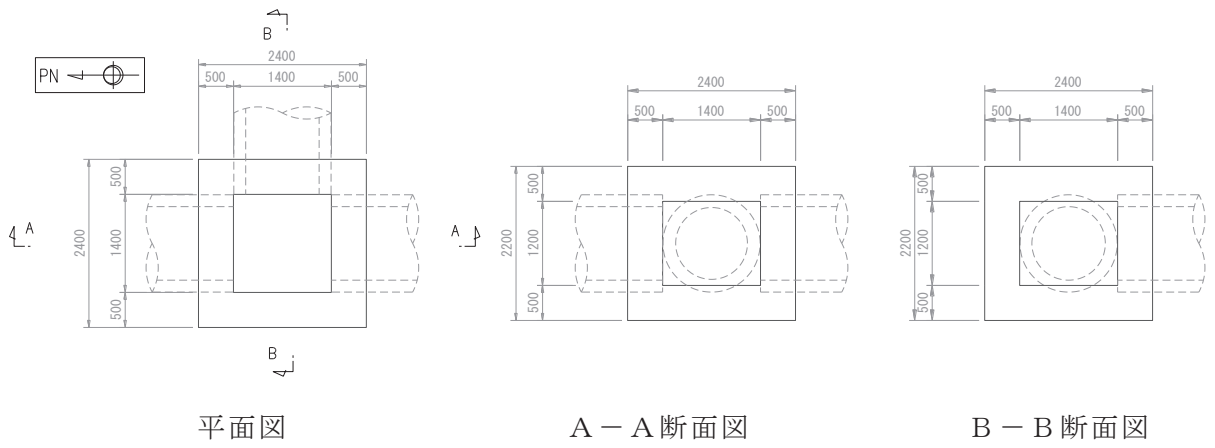
A - A 断面図

(接続柵③ : B-1)



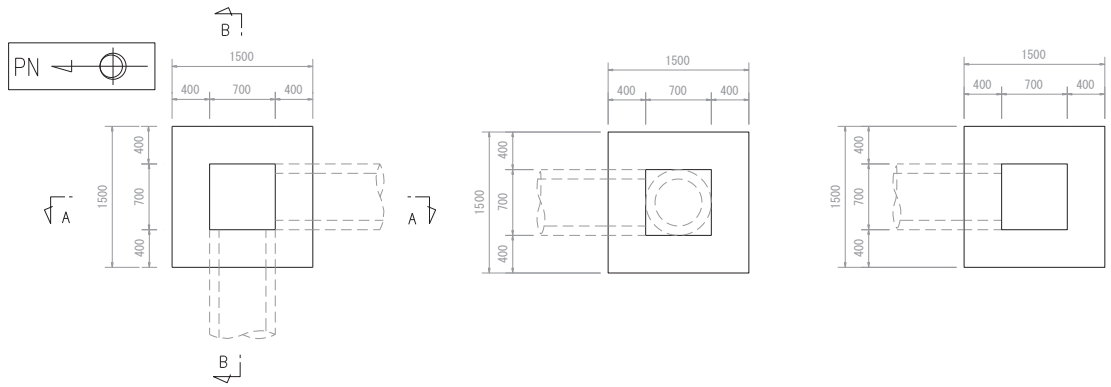
B - B 断面図

図 3-2(1) 接続柵構造概要図 (単位 : mm)



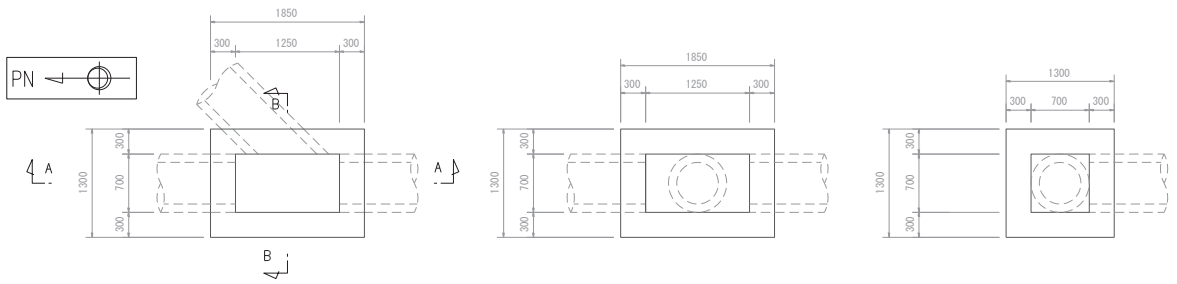
A - A 断面図
(接続柵④ : B-6)

B - B 断面図



A - A 断面図
(接続柵⑤ : C-1)

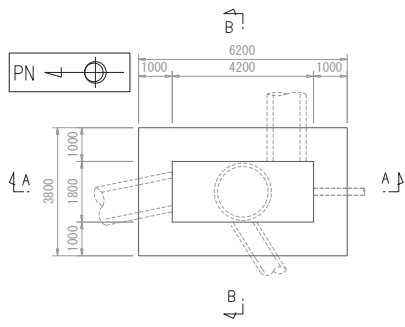
B - B 断面図



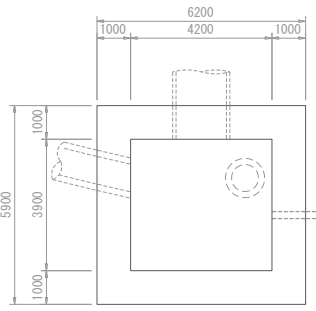
A - A 断面図
(接続柵⑥ : D-1)

B - B 断面図

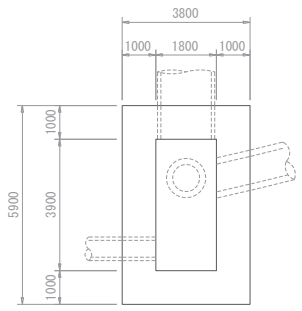
图 3-2(2) 接続柵構造概要図 (单位 : mm)



平面图

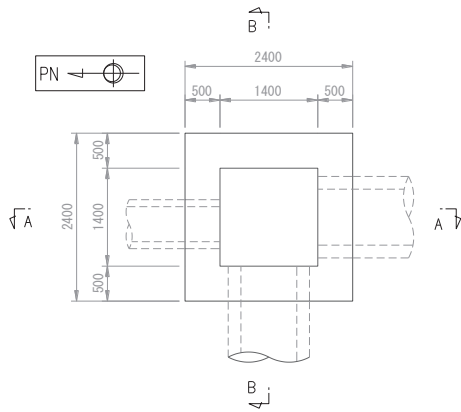


A - A 断面图

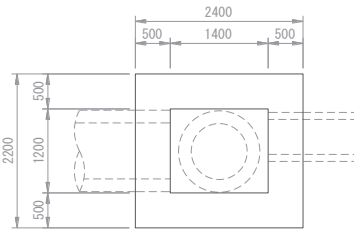


B - B 断面图

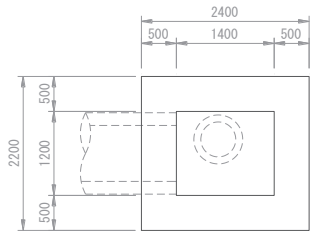
(接続柵⑦ : D-2)



平面图

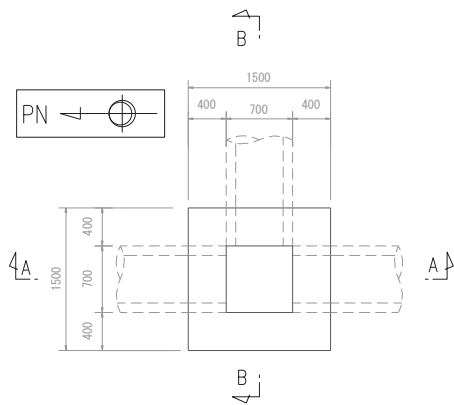


A - A 断面图

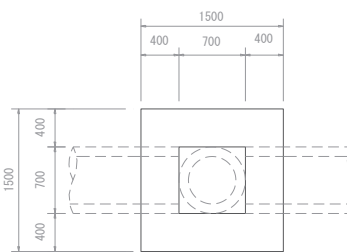


B - B 断面图

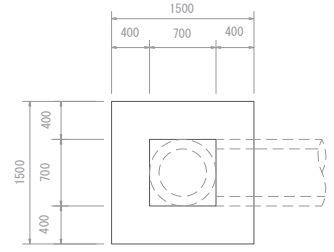
(接続柵⑧ : E-1)



平面图



A - A 断面图



B - B 断面图

(接続柵⑨ : F-1)

图 3-2(3) 接続柵構造概要図 (单位 : mm)

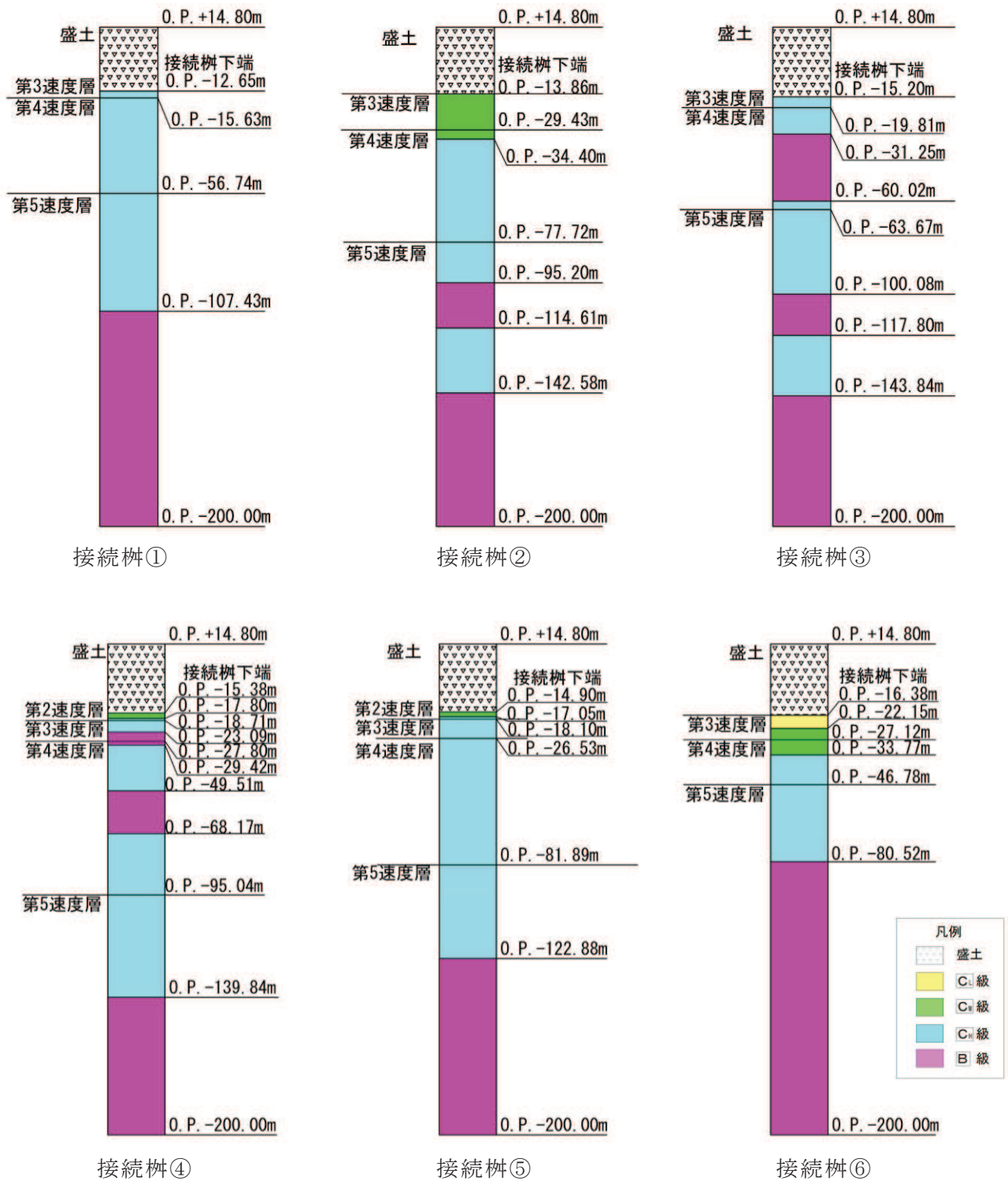
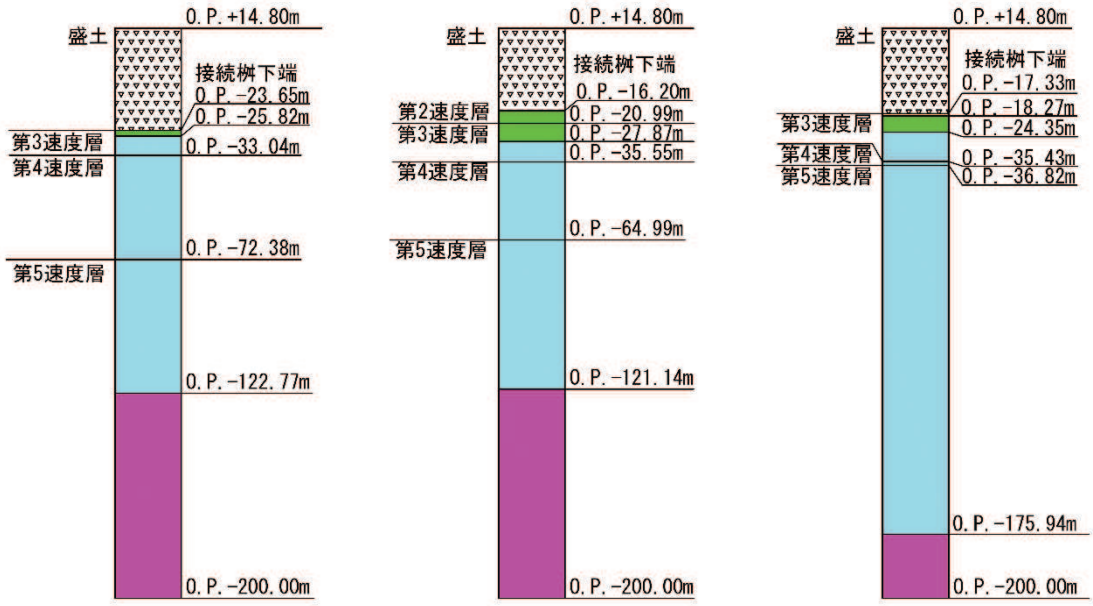


図 3-3(1) 接続樹周辺の地質状況 (接続樹①～⑥)



接続樹⑦

接続樹⑧

接続樹⑨



図 3-3(2) 接続樹周辺の地質状況 (接続樹⑦～⑨)

3.2 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.2.1 耐震評価上考慮する状態

耐震評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。なお、埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.2.2 荷重

接続柵に作用する荷重は、接続柵が建屋等構造物外縁部の掘込まれた岩盤内に設置されていることを踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重と上載土による鉛直土圧、水平土圧を考慮する。常時の水平土圧は、鉛直土圧に静止土圧係数 0.50 を乗じて算定する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として積雪荷重を含めて地表面に 4.9kN/m² を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m² の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

一次元応答解析により設計用震度を算出し、土圧増分のうち、鉛直増分土圧は、設計用鉛直震度を常時鉛直土圧に乘じ、水平増分土圧は鉛直増分土圧に側圧係数 $k_0 = \nu_d / (1 - \nu_d)$ を乗じて算定する。接続柵周辺は碎石で埋め戻されているが、 ν_d は保守的に盛土の動ポアソン比 0.48 を用いる。

躯体慣性力については、設計用震度を躯体自重に乘じて求める。

3.2.3 荷重の組合せ

耐震評価における荷重の組合せを表 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 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2 を地表面に考慮)

S_s : 地震荷重

3.3 解析方法

接続柵の耐震評価は、頂版、底版及び側壁の照査を実施し、照査用応答値が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

3.3.1 解析方法

接続柵の耐震評価は1次元地震応答解析から求めた鉛直震度及び動ポアソン比を用い、地震時増分土圧等を算定した上で、接続柵の頂版、底版及び側壁に作用させた版解析を実施する。

3.3.2 設計用震度の算定

(1) 地盤物性のばらつき

地盤物性は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定する。

また、地震応答解析においては地盤物性のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表3-3に示す。

表 3-3 解析ケース

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

(2) 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を実施し、解析ケース①において照査値が最も厳しい地震動を対象に、解析ケース②、③を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-4に示す。

表 3-4 接続桝の耐震安全性評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 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
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ
地震動	S _s -D 1	○	基準地震動 S _s (7波) を用いて実施するケース① (基本ケース) において、照査値が最も厳しい地震動を用いてケース②, ③を実施する。	
	S _s -D 2	○		
	S _s -D 3	○		
	S _s -F 1	○		
	S _s -F 2	○		
	S _s -F 3	○		
	S _s -N 1	○		

(3) 地下水位

地下水位を接続桝の中心高さ*に設定する。

注記* : 接続桝の地下水位は浸透流解析におけるドレーン (ヒューム管) の境界条件と同様の設定。なお、ヒューム管は地下水の最大流入量に対し十分大きな排水可能量を有しており、これを接続する接続桝はヒューム管と同等以上の通水断面を有している。(詳細については「VI-2-1-1-別添1 地下水位低下設備の設計方針」参照。)

(4) 地震応答解析

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1(2) 動的地震力」及び添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を 1 次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力し、接続桝位置で得られる評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念図を図 3-4 に、第 2 号機側（接続柵①～⑤）、3 号機側（接続柵⑥～⑨）の地震応答解析時に用いる入力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 3-5 に示す。

接続柵は岩盤を掘込み設置しており、地下水位が岩盤内にあるため液状化の影響が軽微であると考えられることから、液状化検討対象施設には該当せず、解析手法は全応力解析とする。

解析コードには、入力地震動算定に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地震応答解析による設計震度算定には「TDAPIII Ver3.11」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

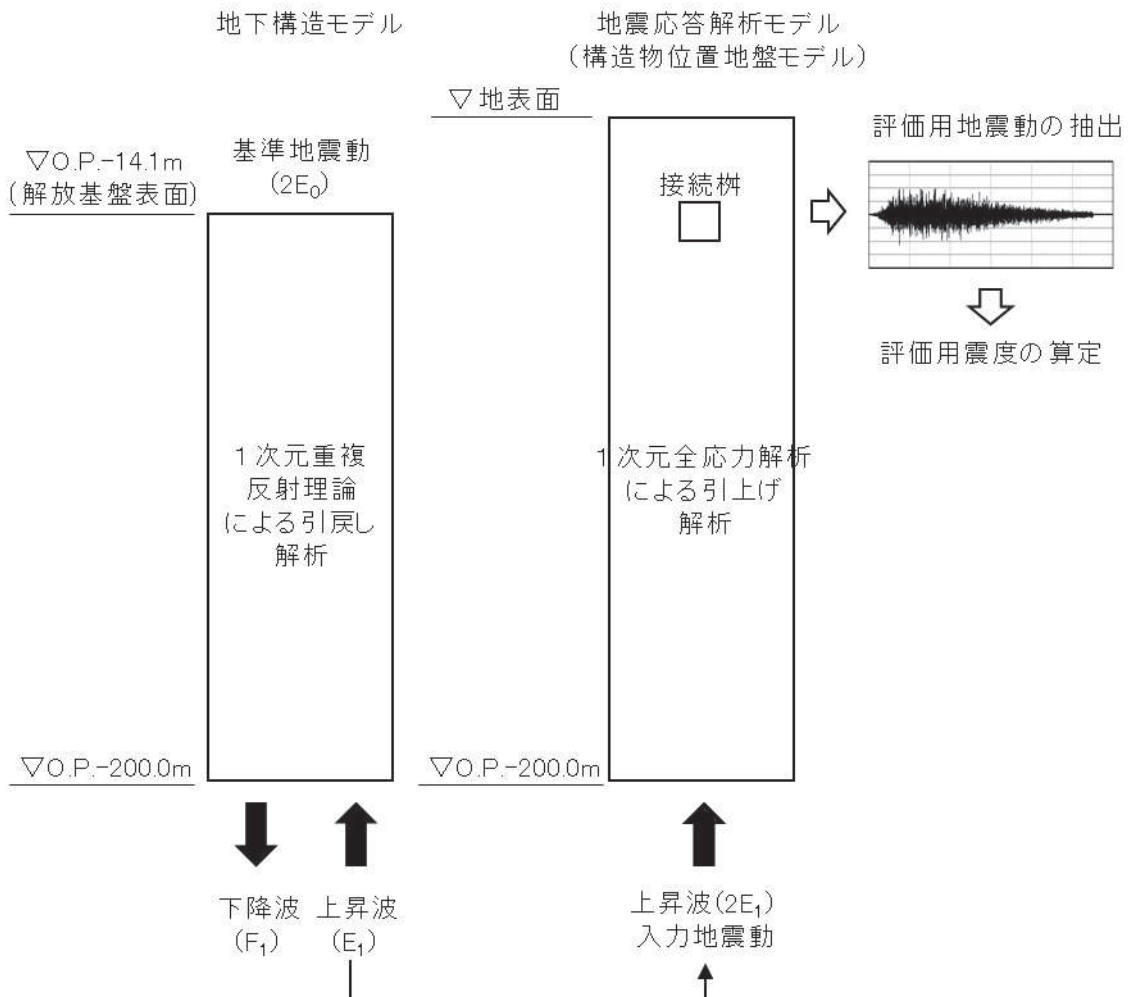
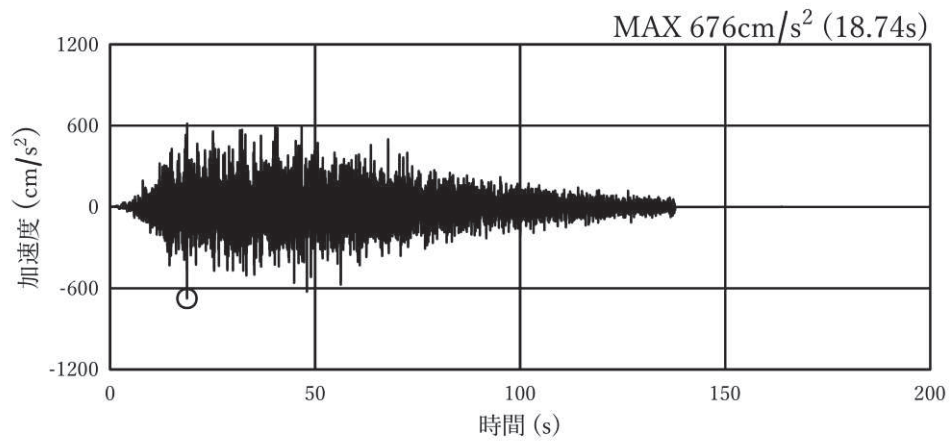
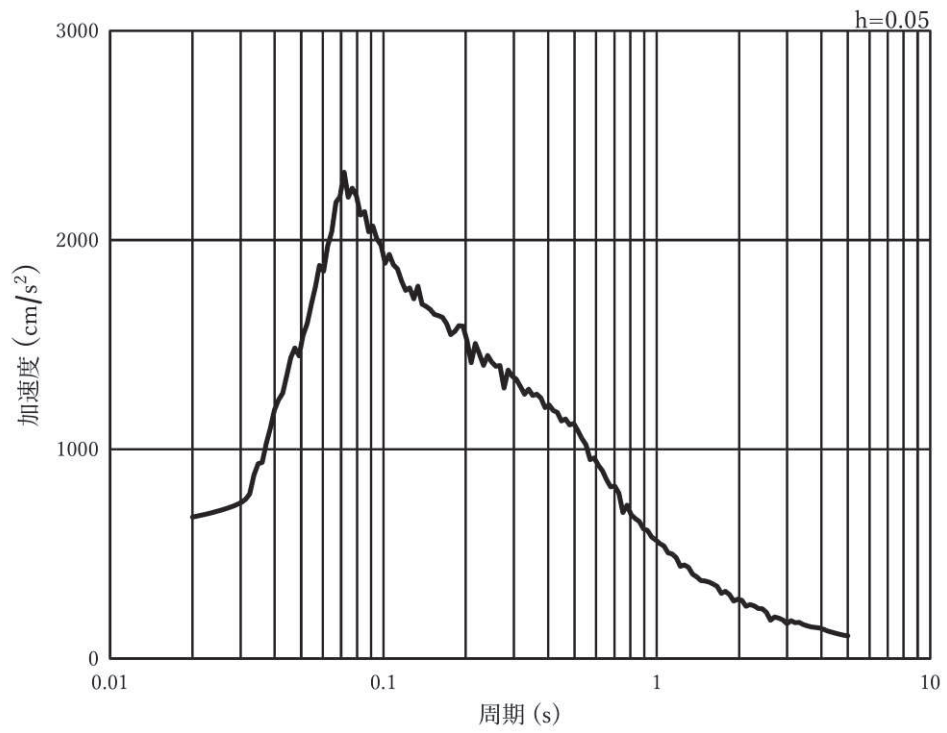


図 3-4 地震応答解析の概念図

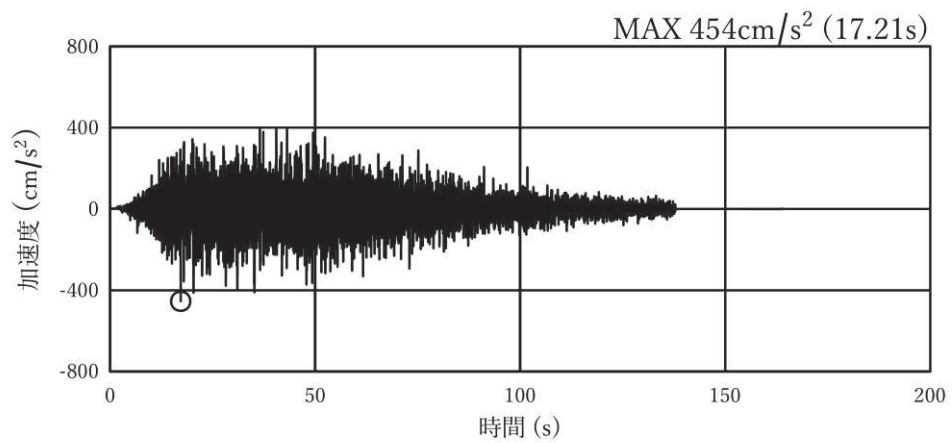


(a) 加速度時刻歴波形

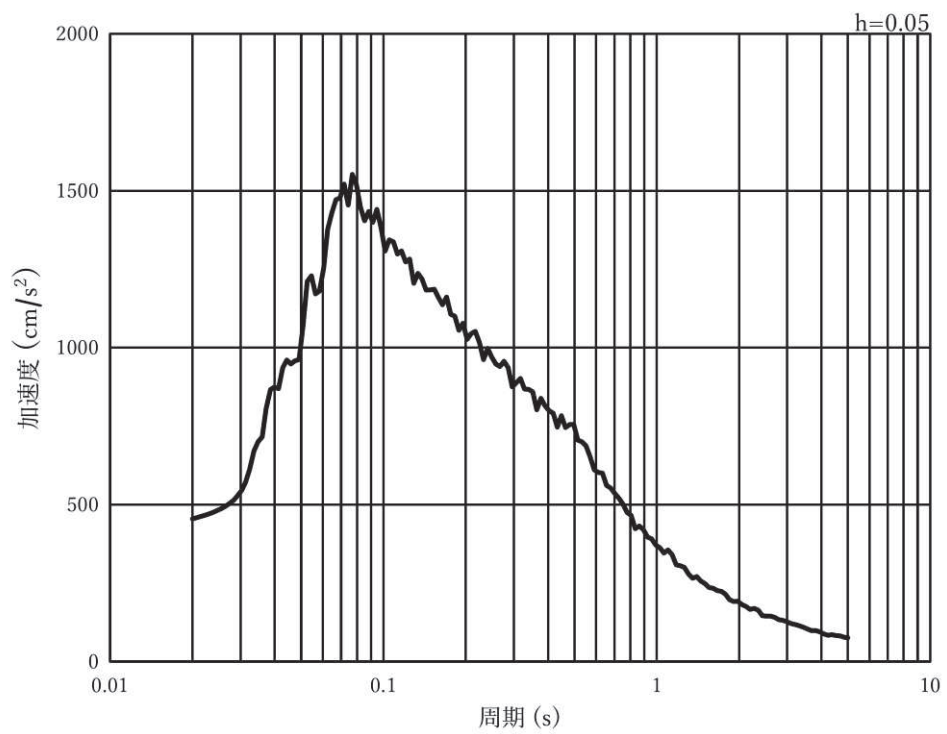


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 1), 第 2 号機側

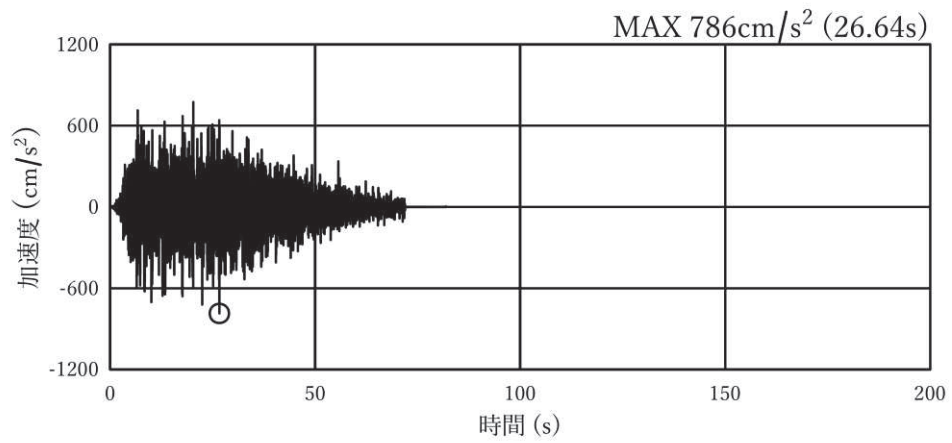


(a) 加速度時刻歴波形

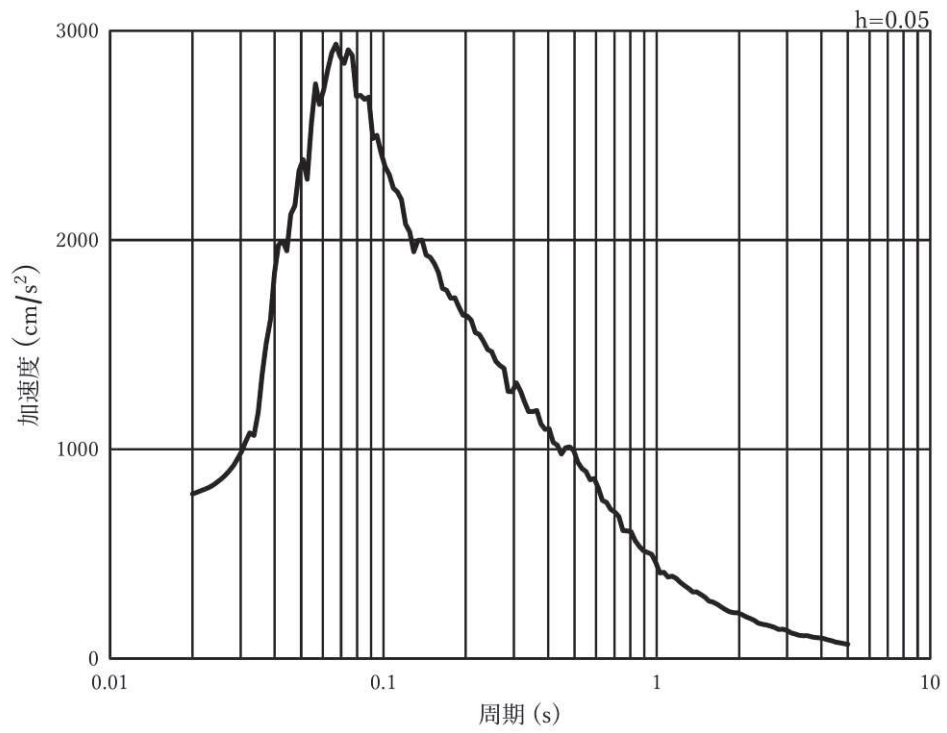


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 1)，第 2 号機側

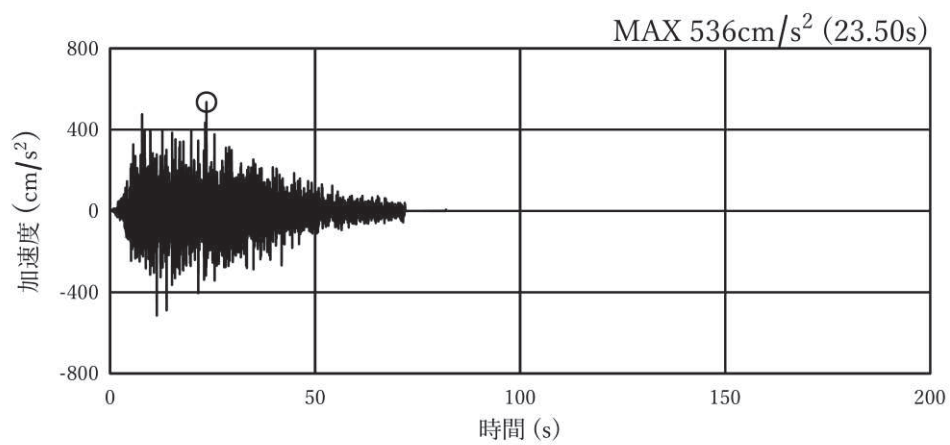


(a) 加速度時刻歴波形

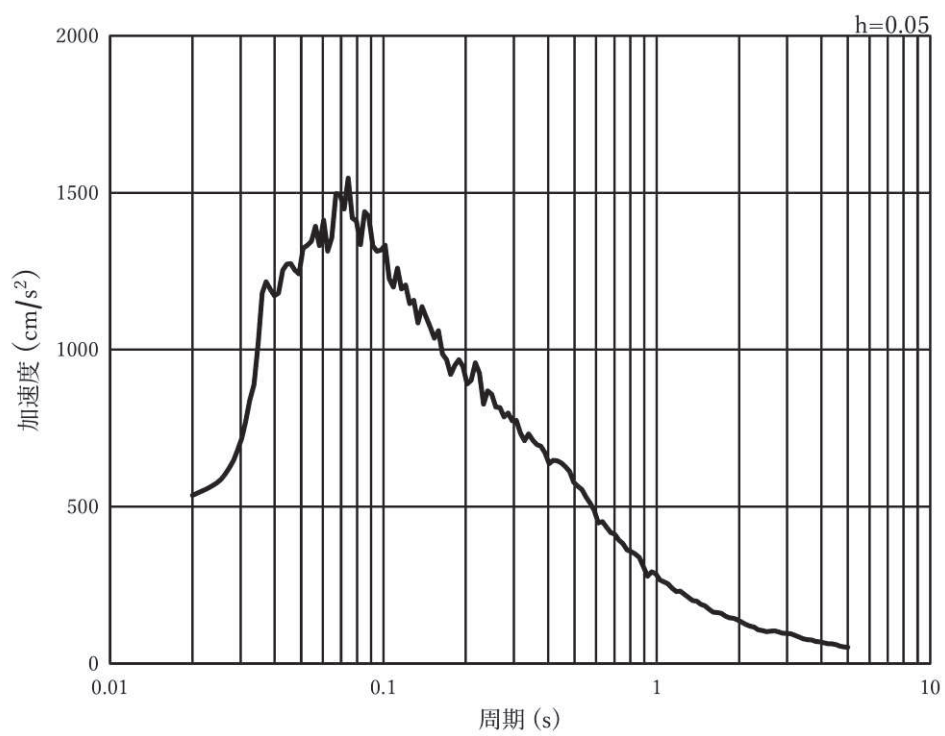


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 2), 第 2 号機側

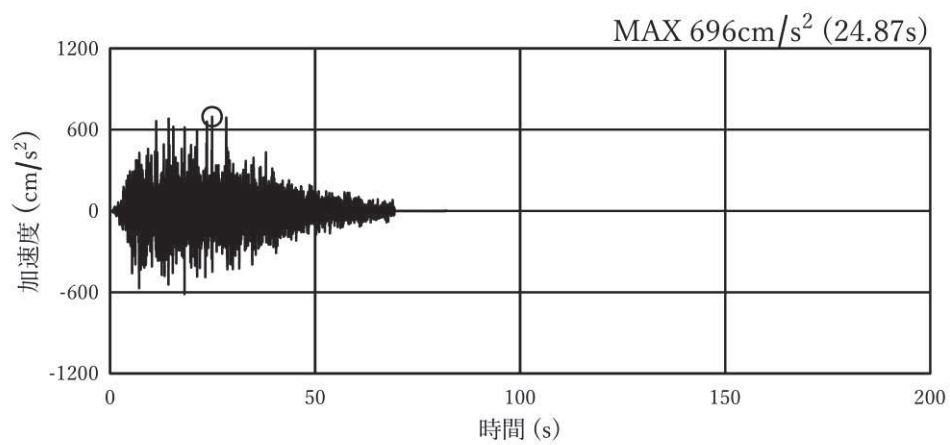


(a) 加速度時刻歴波形

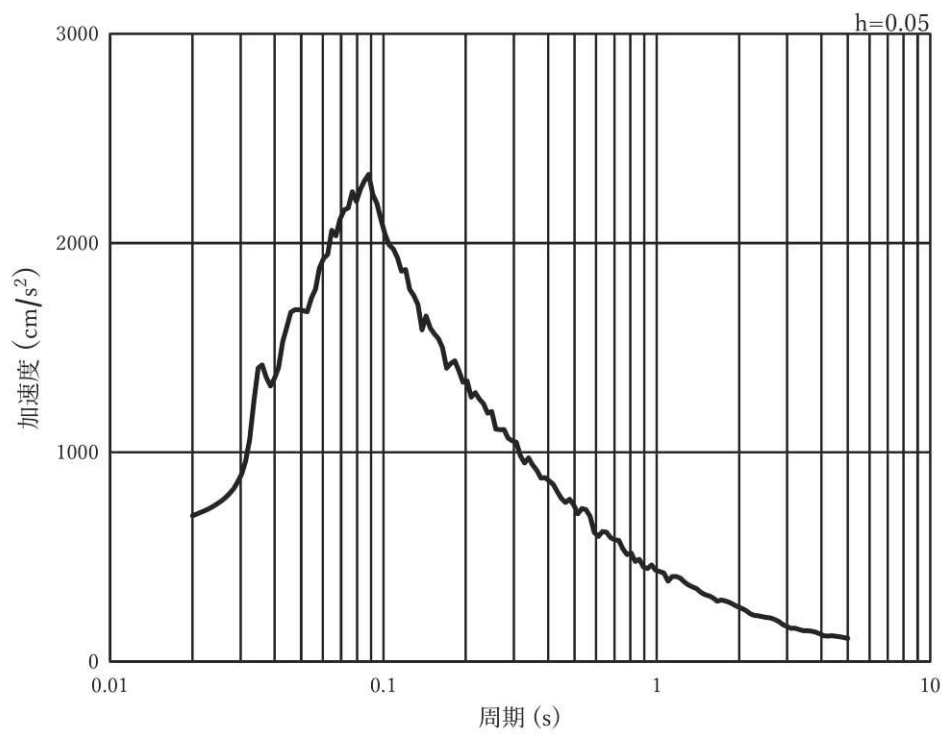


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 2)，第 2 号機側

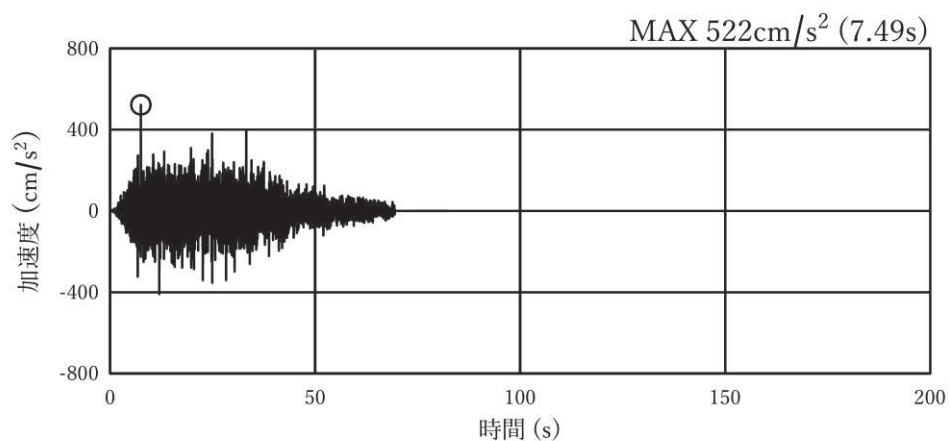


(a) 加速度時刻歴波形

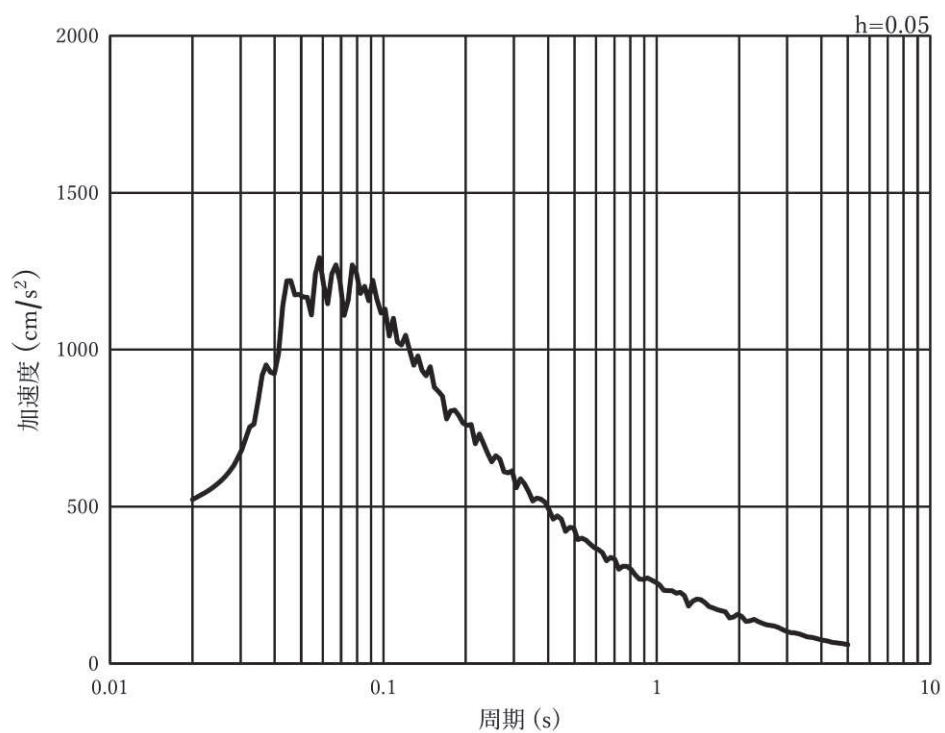


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 3), 第 2 号機側

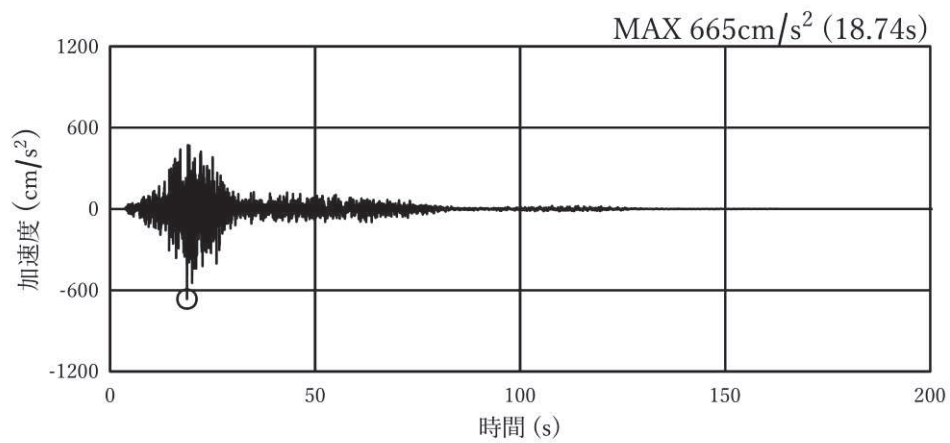


(a) 加速度時刻歴波形

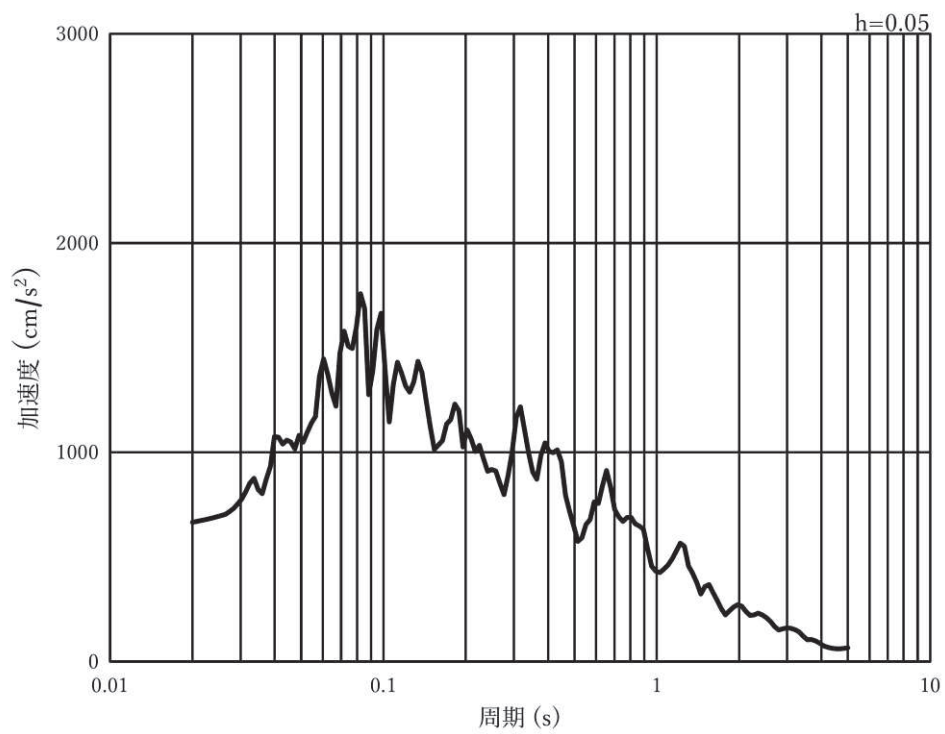


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 3)，第 2 号機側

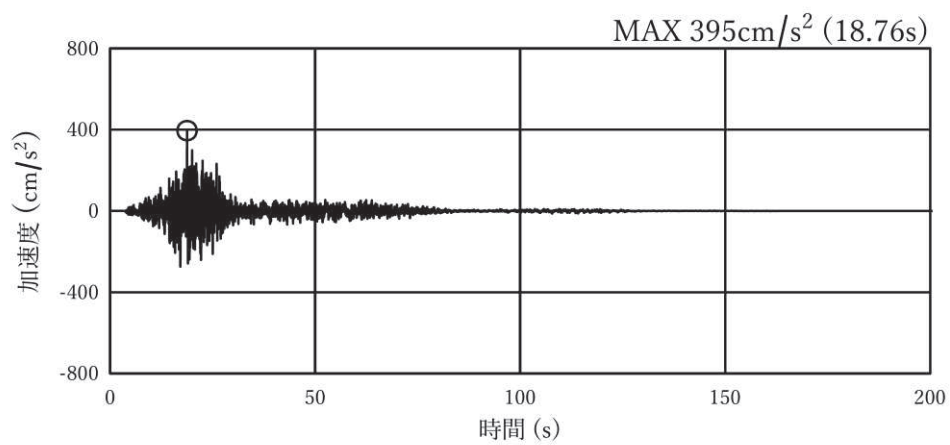


(a) 加速度時刻歴波形

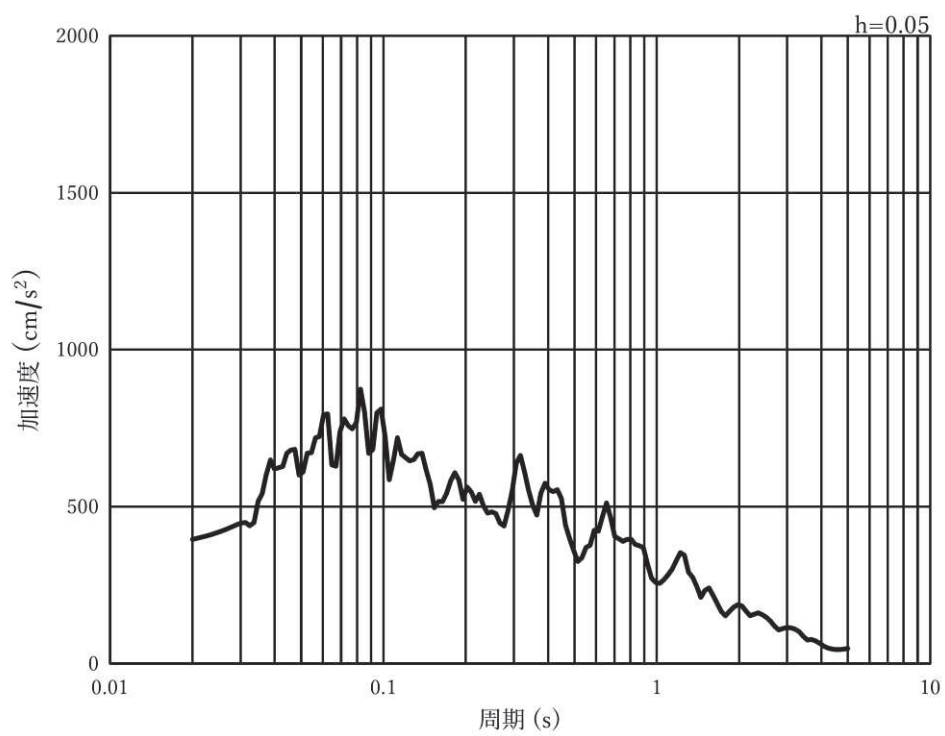


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 1), 第 2 号機側

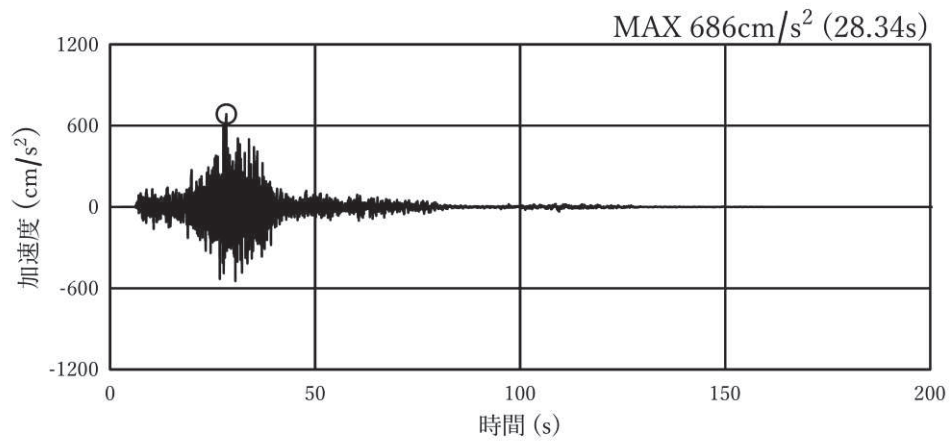


(a) 加速度時刻歴波形

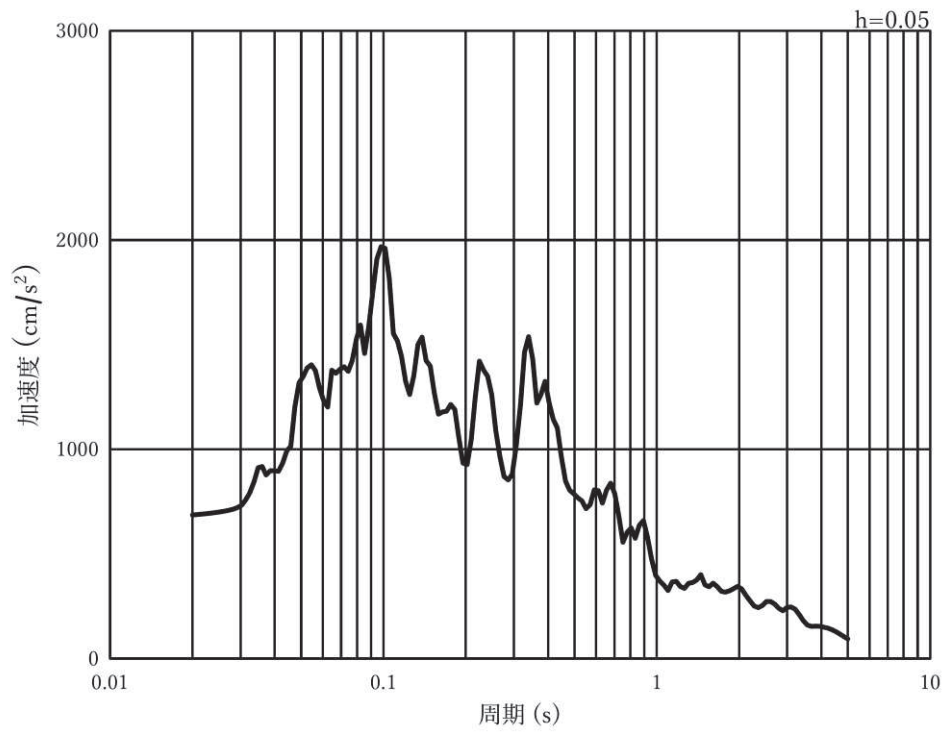


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 1)，第 2 号機側

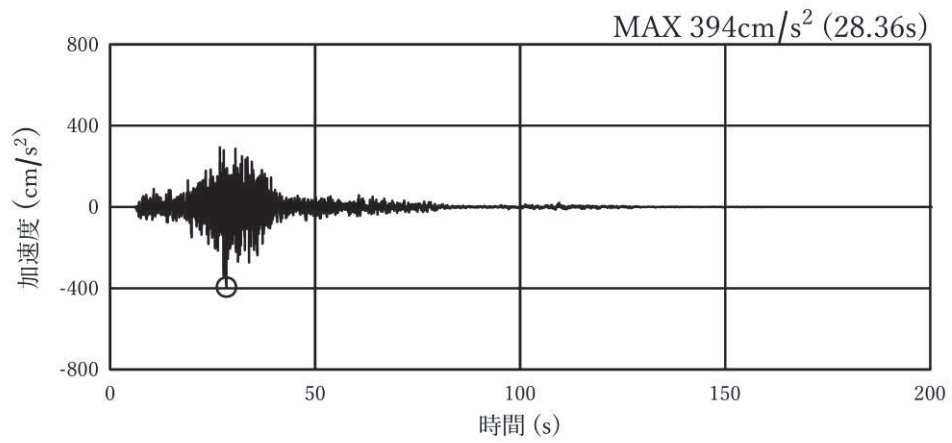


(a) 加速度時刻歴波形

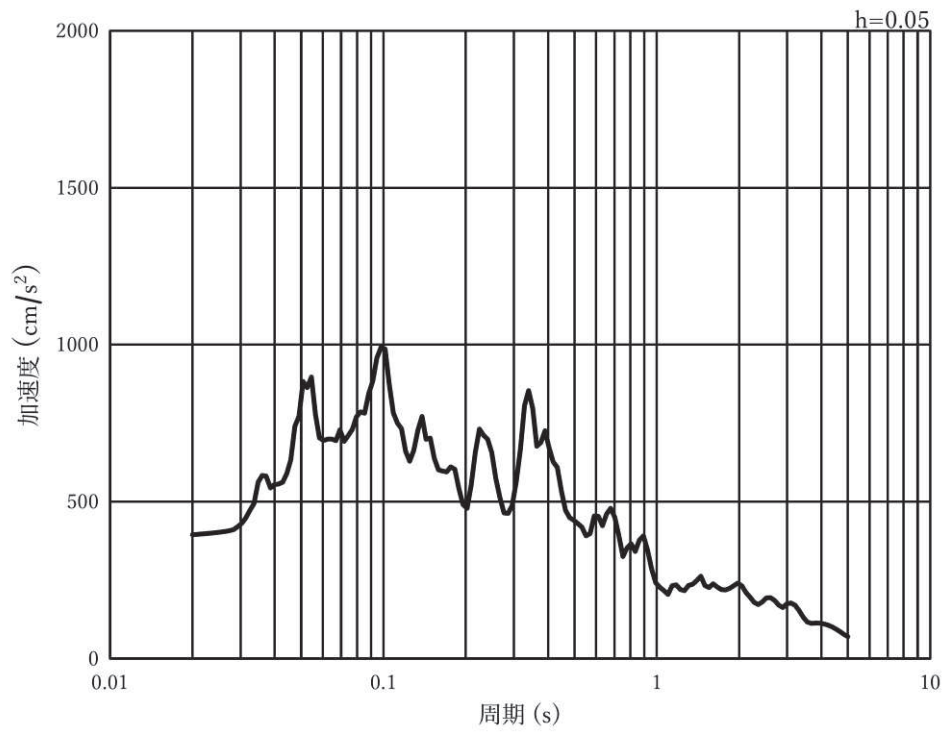


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 2), 第 2 号機側

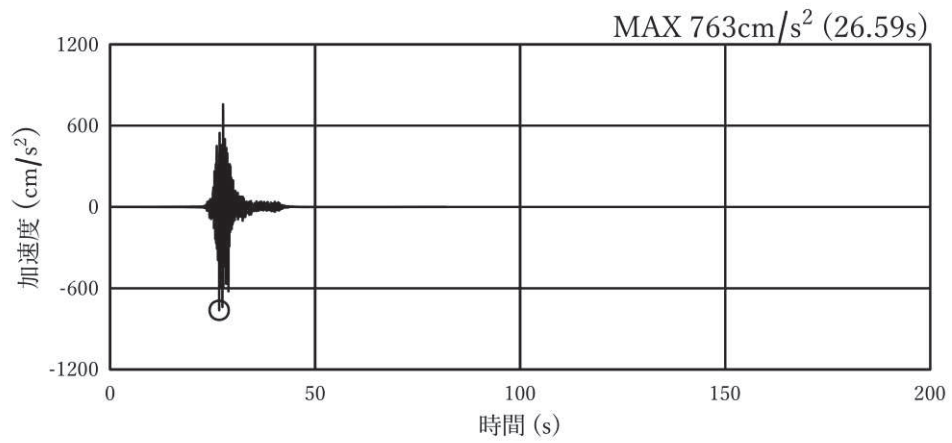


(a) 加速度時刻歴波形

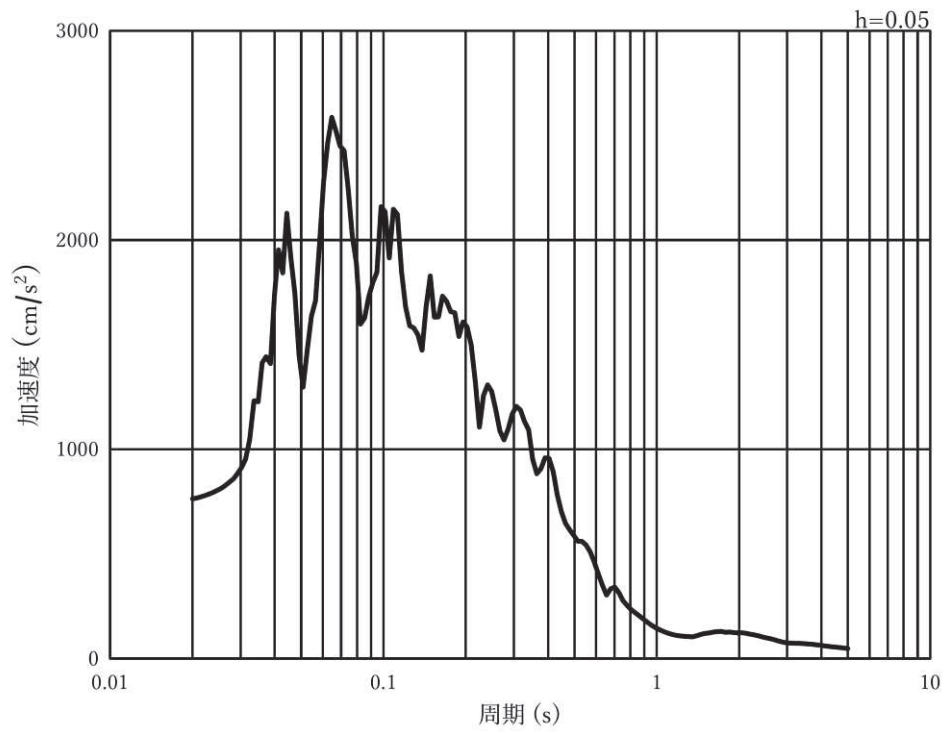


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 2), 第 2 号機側

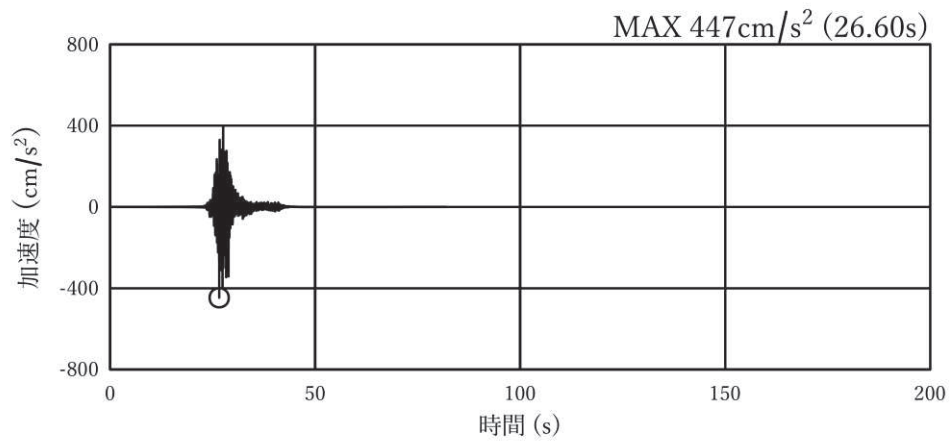


(a) 加速度時刻歴波形

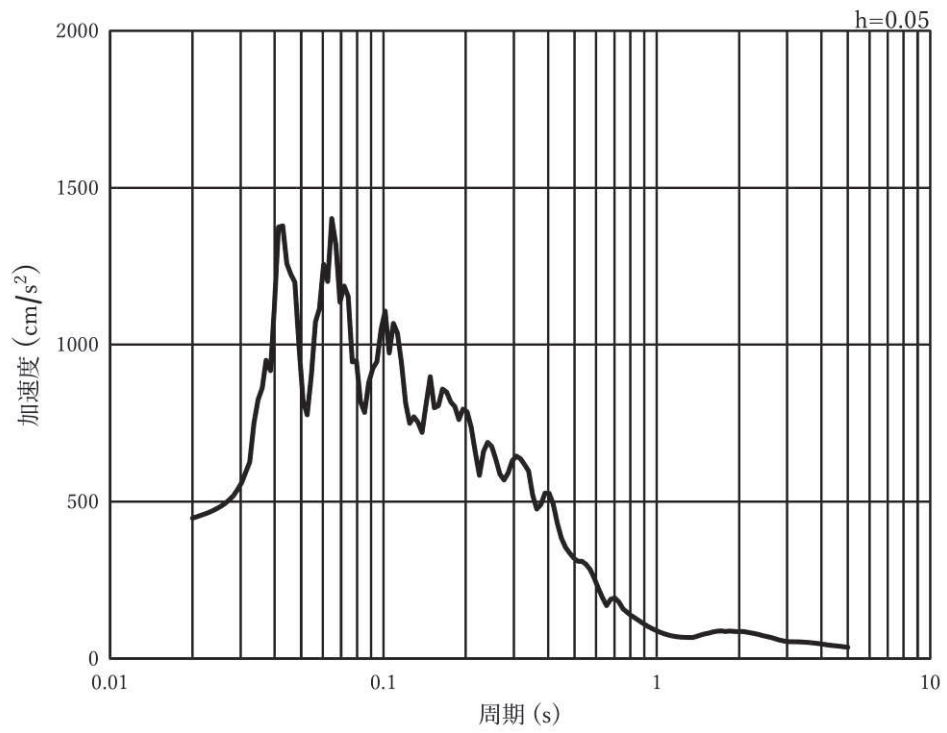


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 3), 第 2 号機側

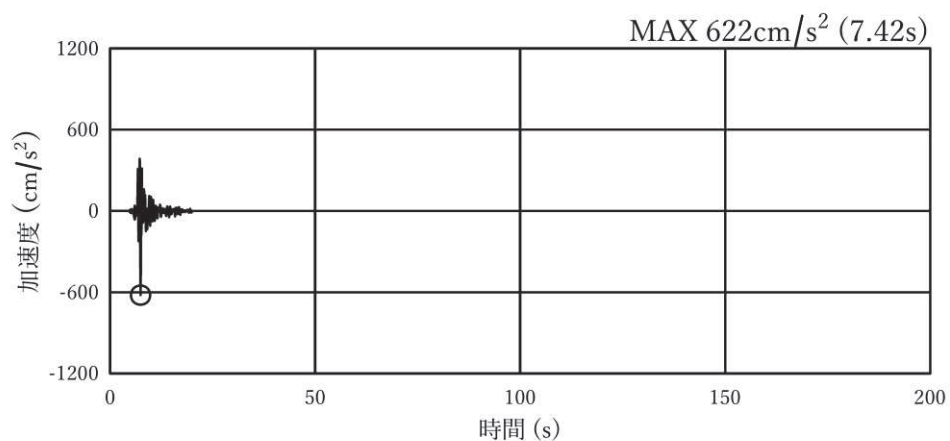


(a) 加速度時刻歴波形

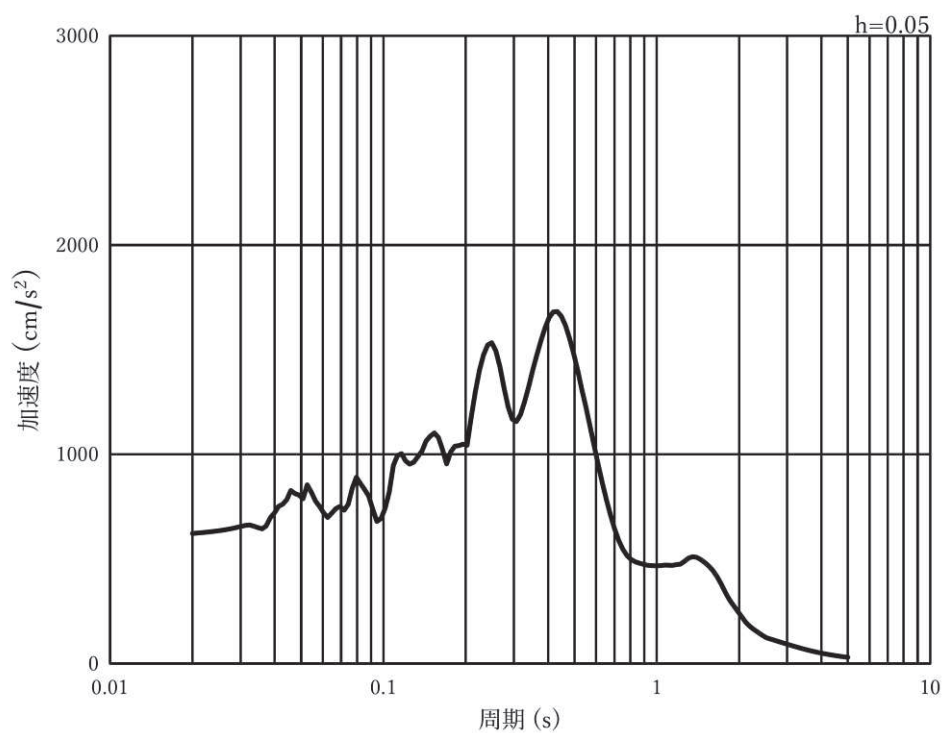


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 3), 第 2 号機側

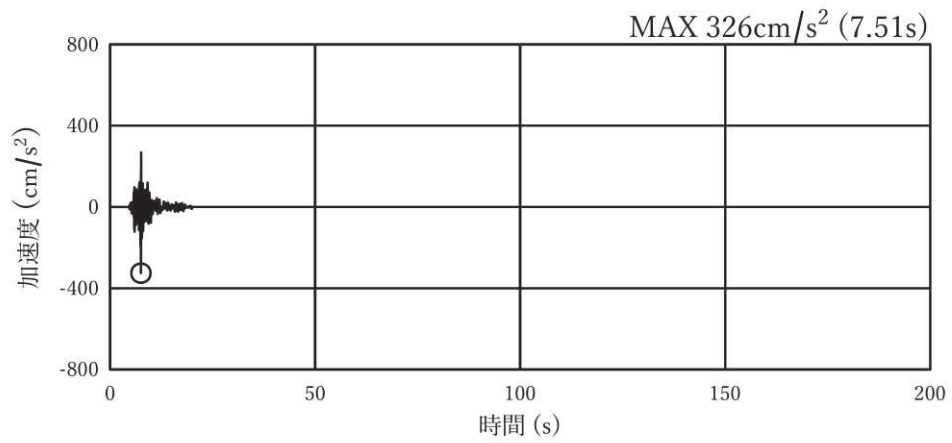


(a) 加速度時刻歴波形

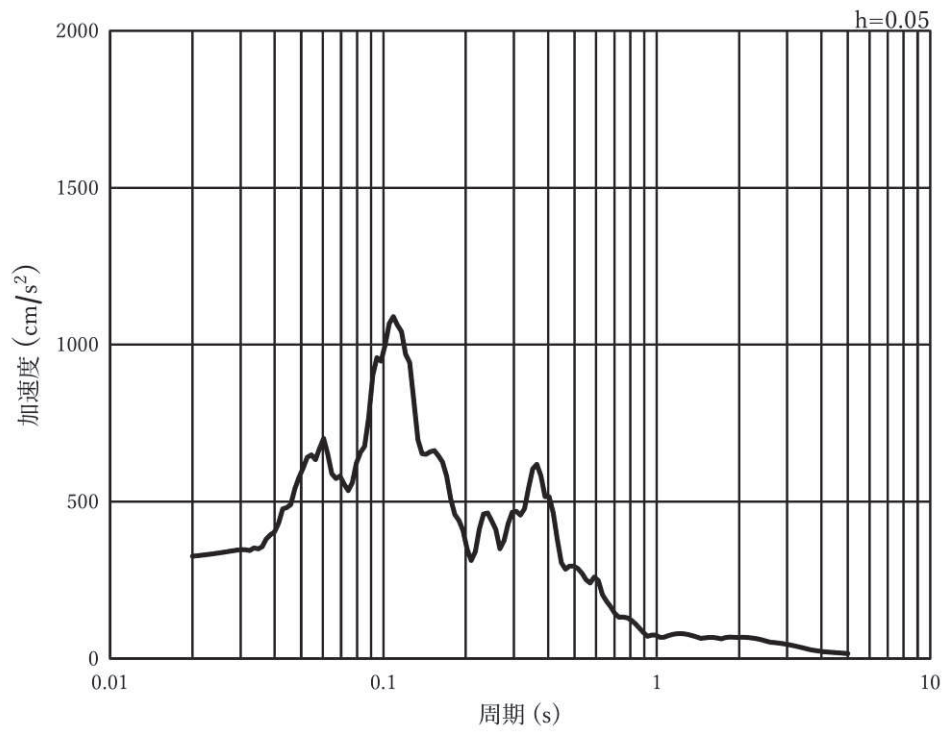


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - N 1), 第 2 号機側

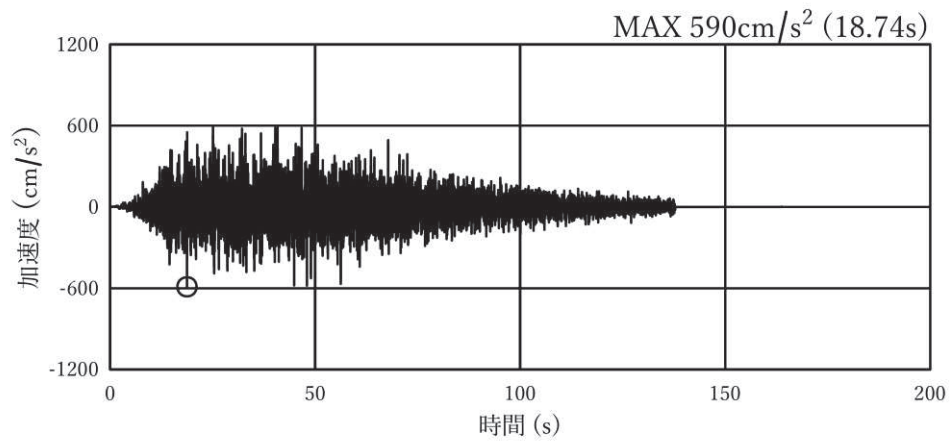


(a) 加速度時刻歴波形

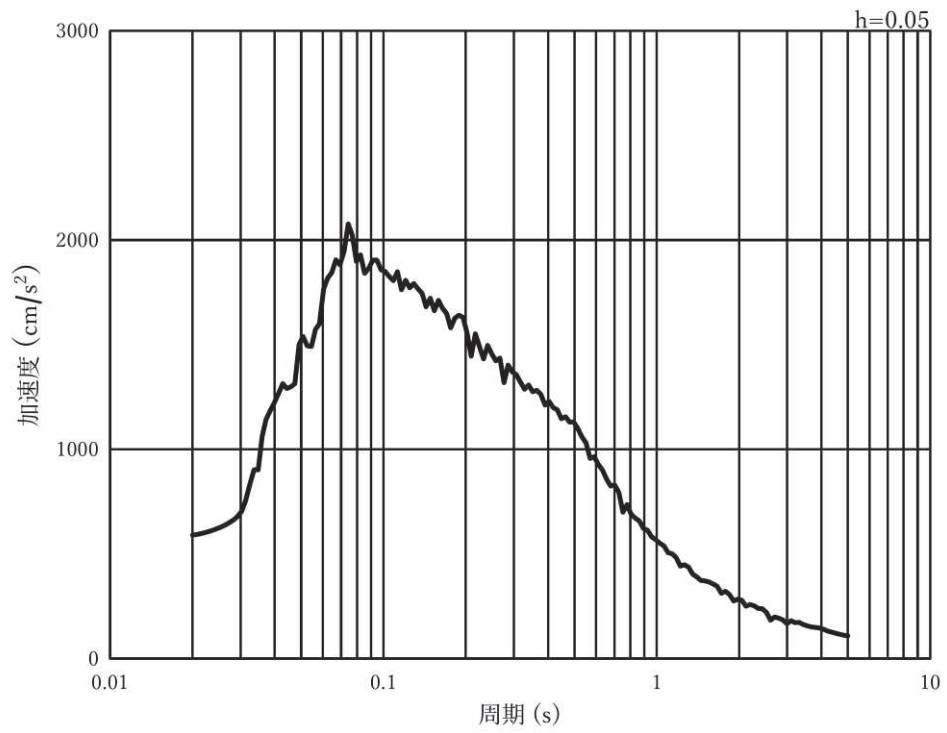


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)，第 2 号機側

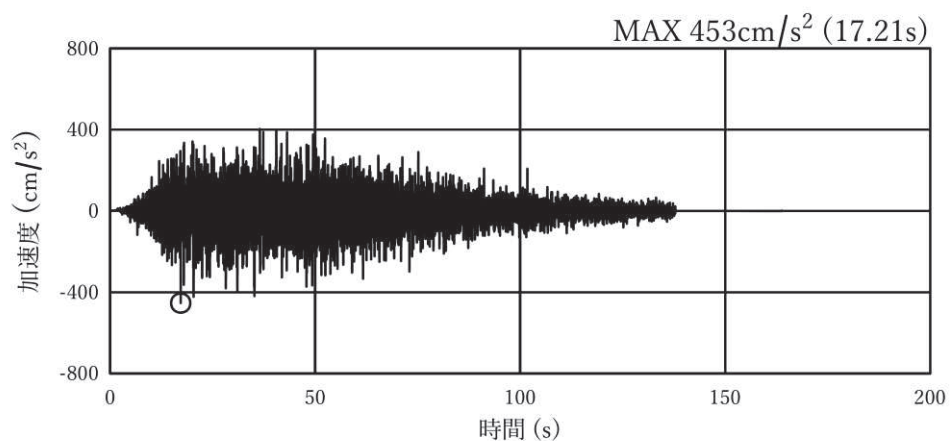


(a) 加速度時刻歴波形

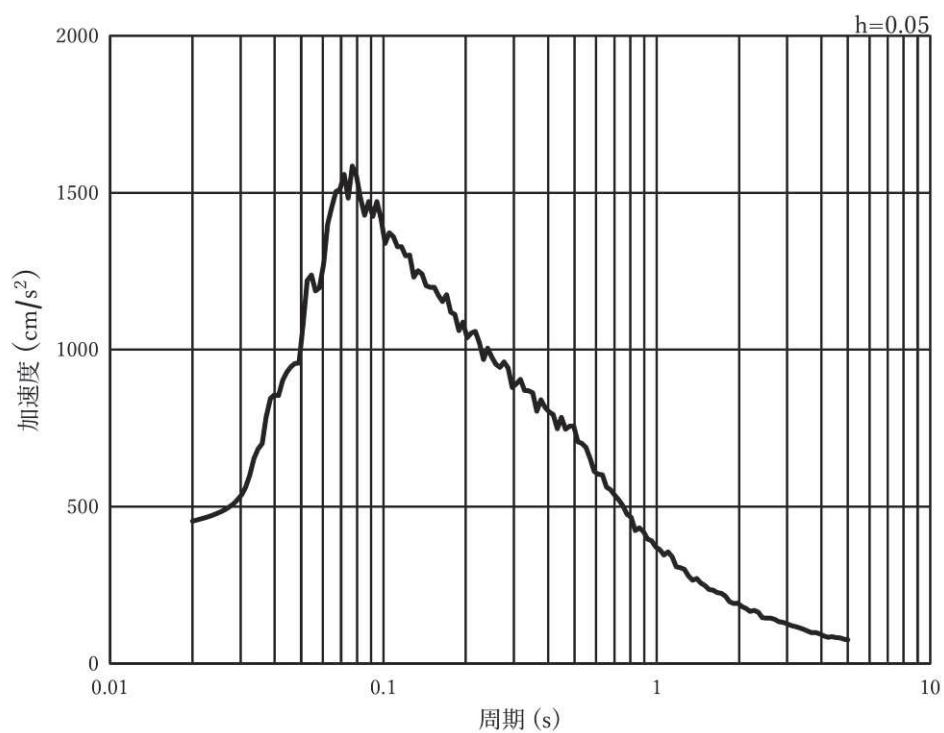


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 1), 第 3 号機側

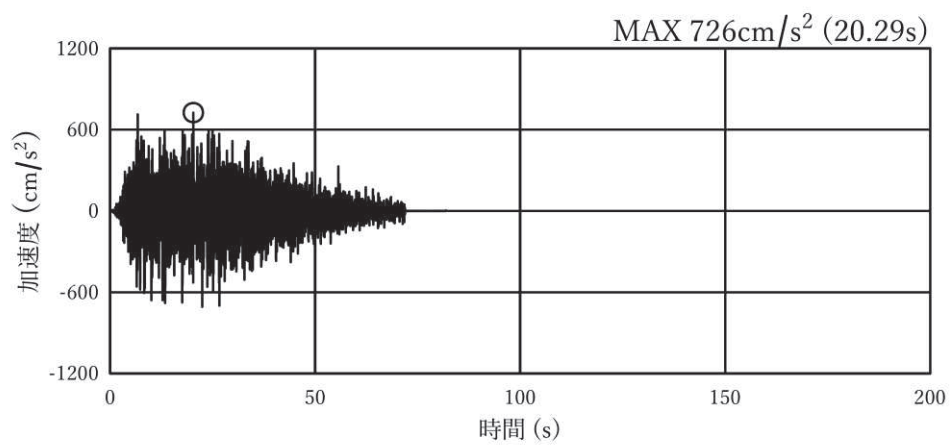


(a) 加速度時刻歴波形

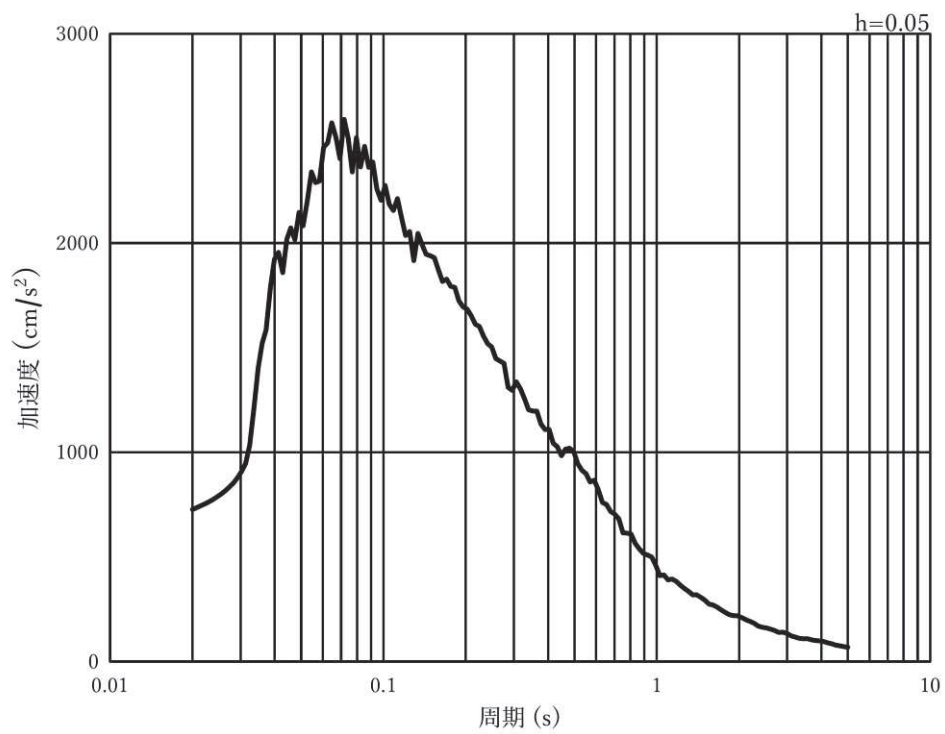


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 1)，第 3 号機側

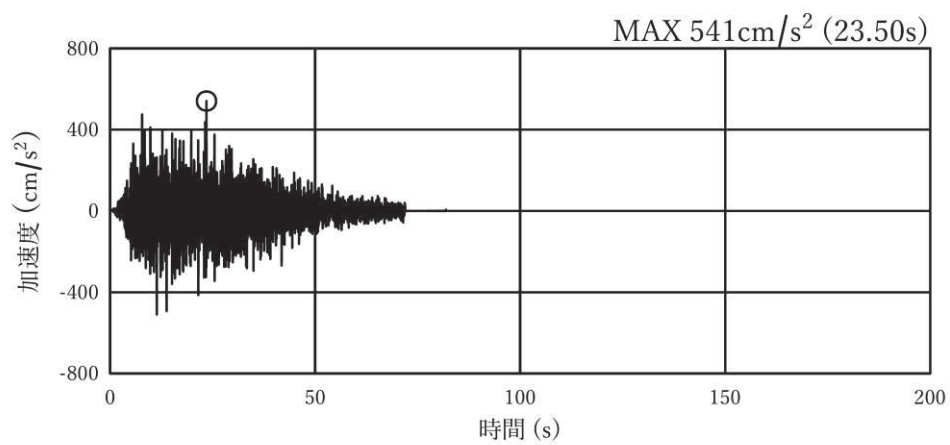


(a) 加速度時刻歴波形

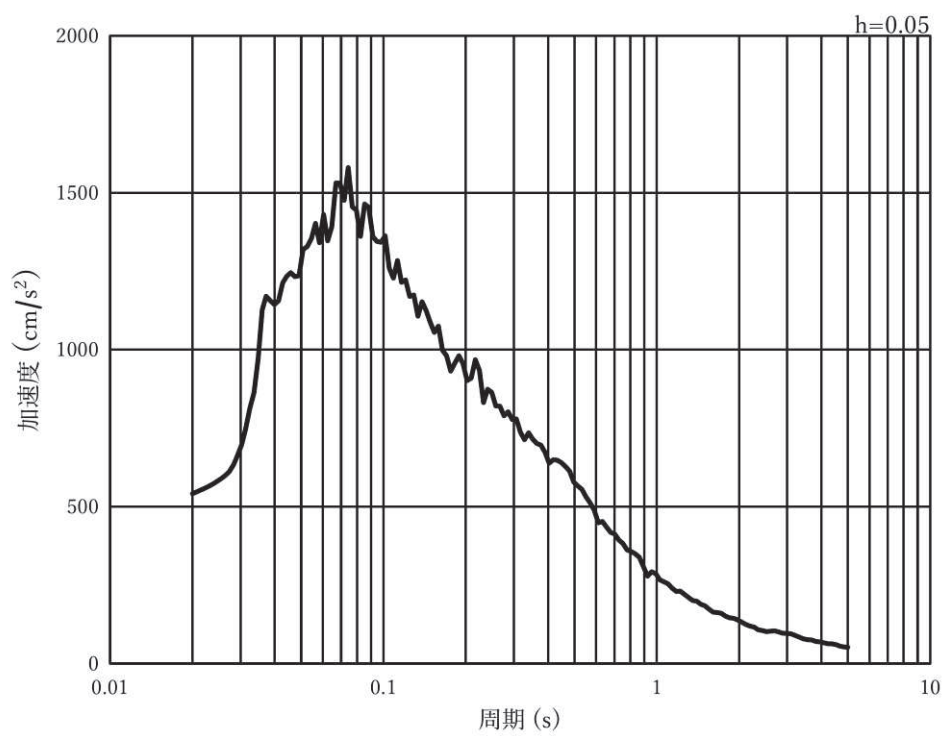


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - D 2)，第 3 号機側

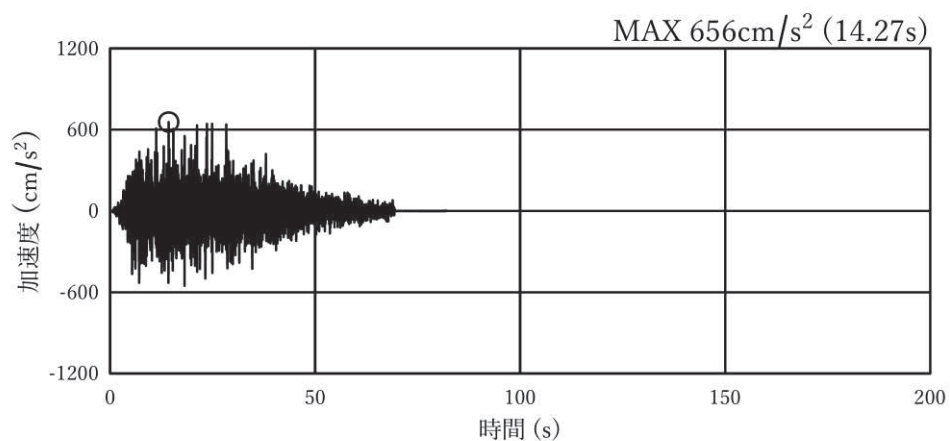


(a) 加速度時刻歴波形

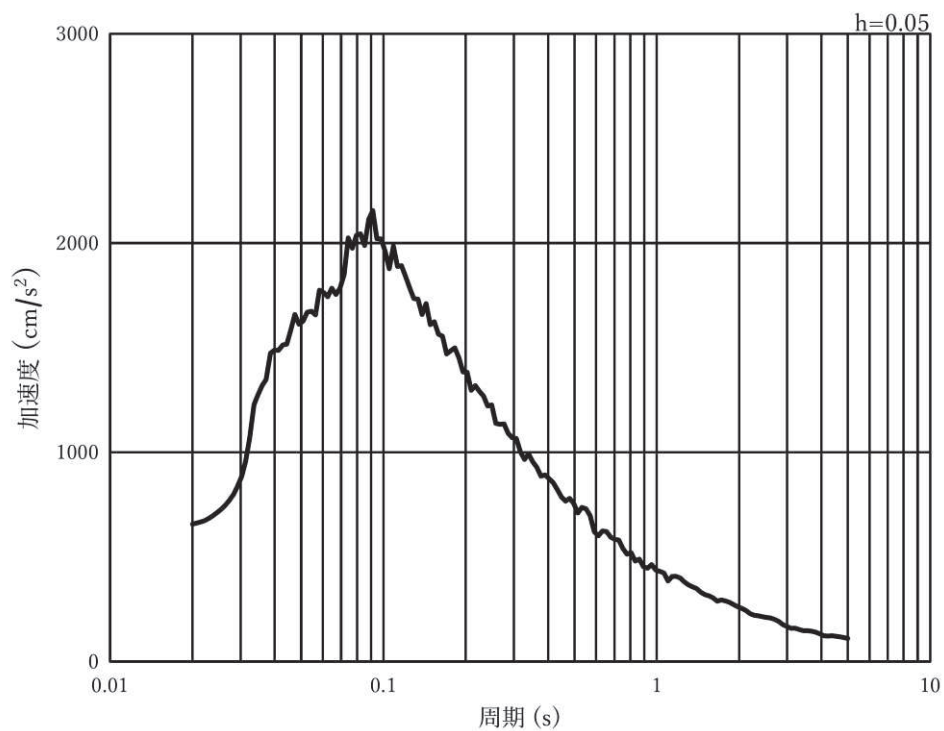


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - D 2)，第 3 号機側

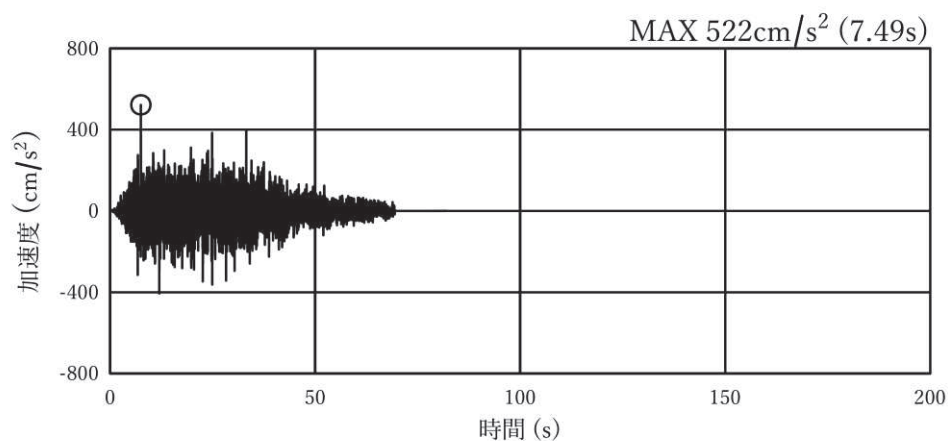


(a) 加速度時刻歴波形

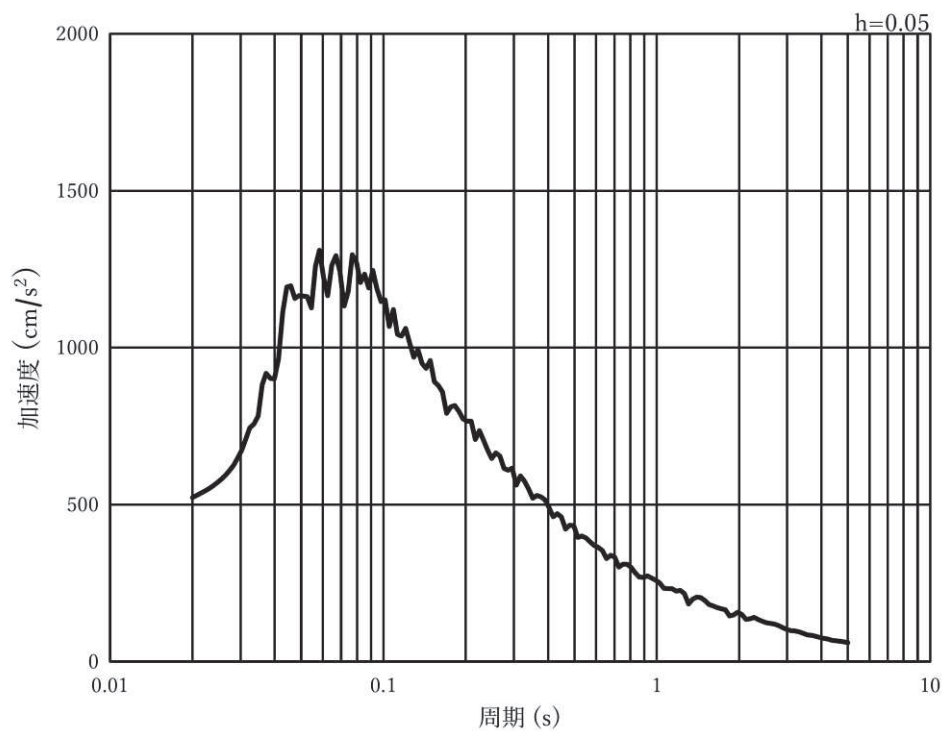


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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 : S s - D 3), 第 3 号機側

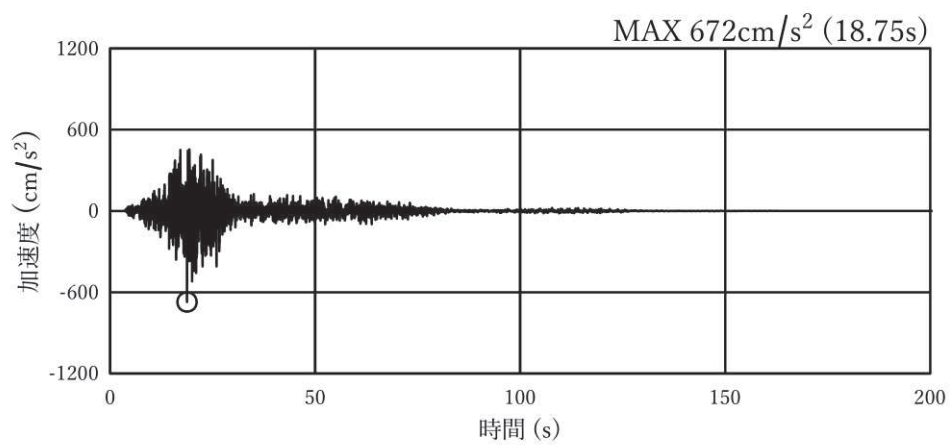


(a) 加速度時刻歴波形

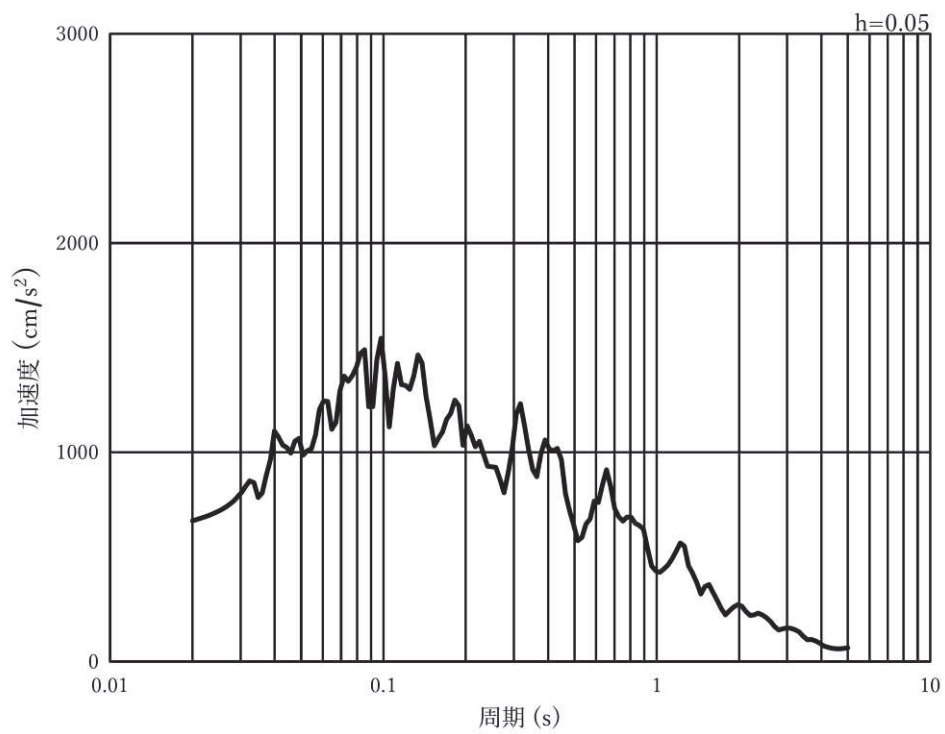


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - D 3), 第 3 号機側

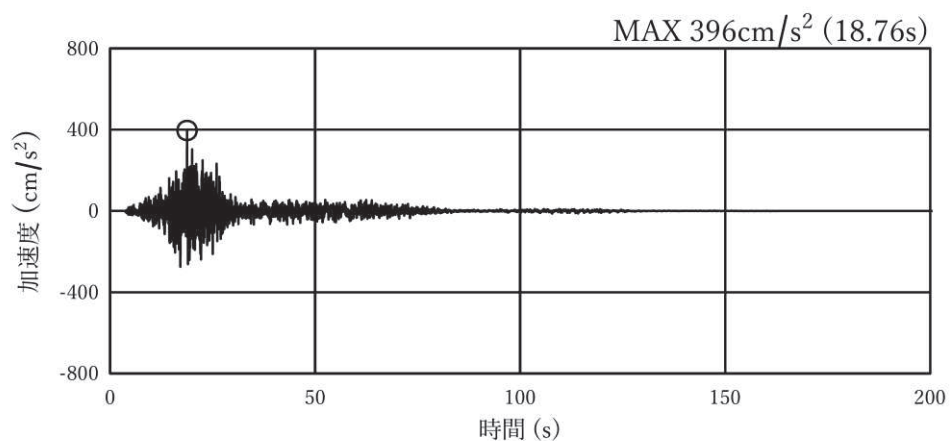


(a) 加速度時刻歴波形

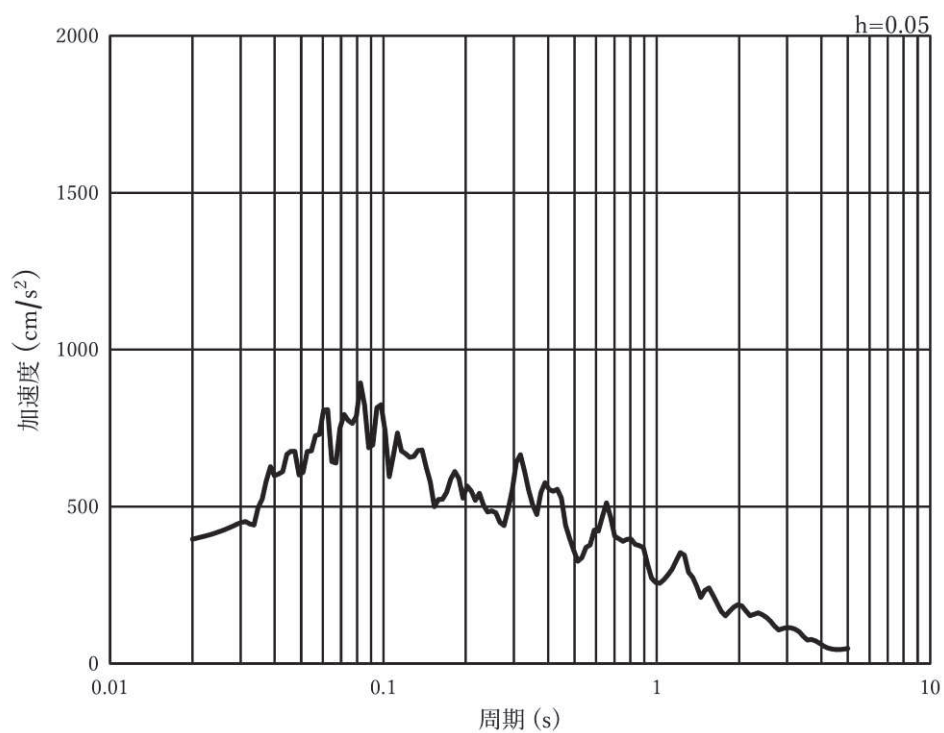


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - F 1)，第 3 号機側

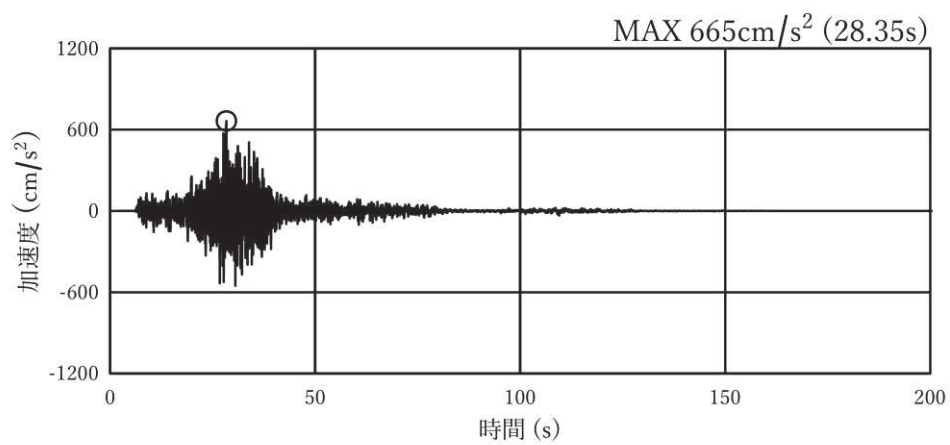


(a) 加速度時刻歴波形

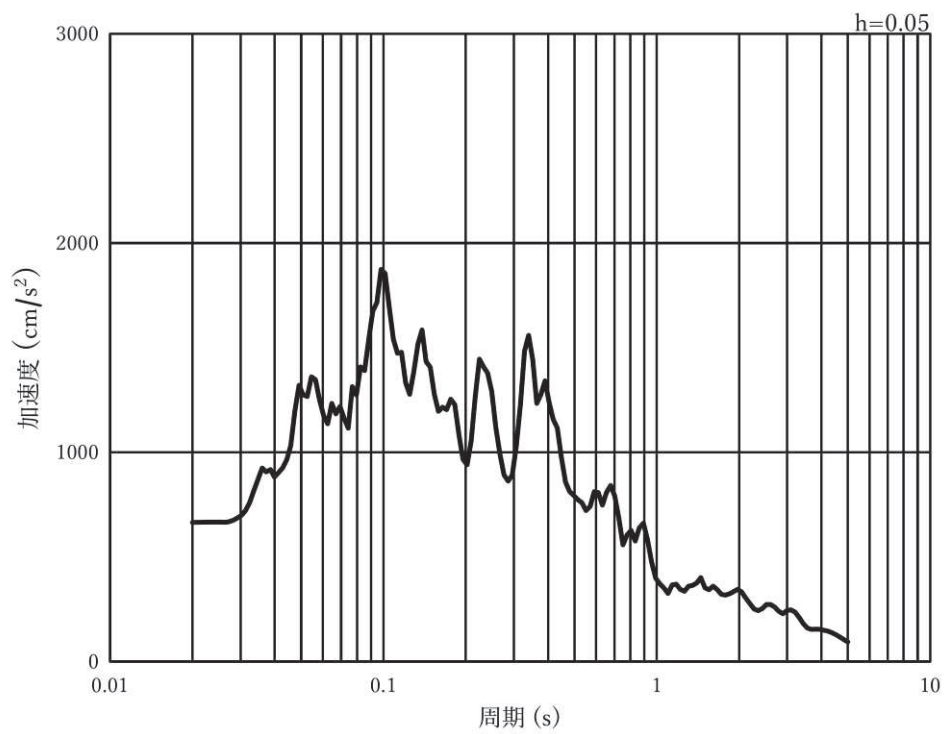


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - F 1)，第 3 号機側

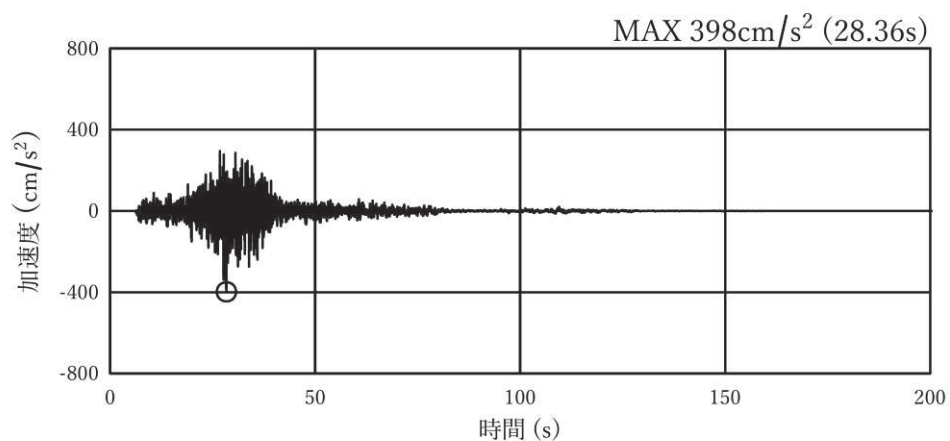


(a) 加速度時刻歴波形

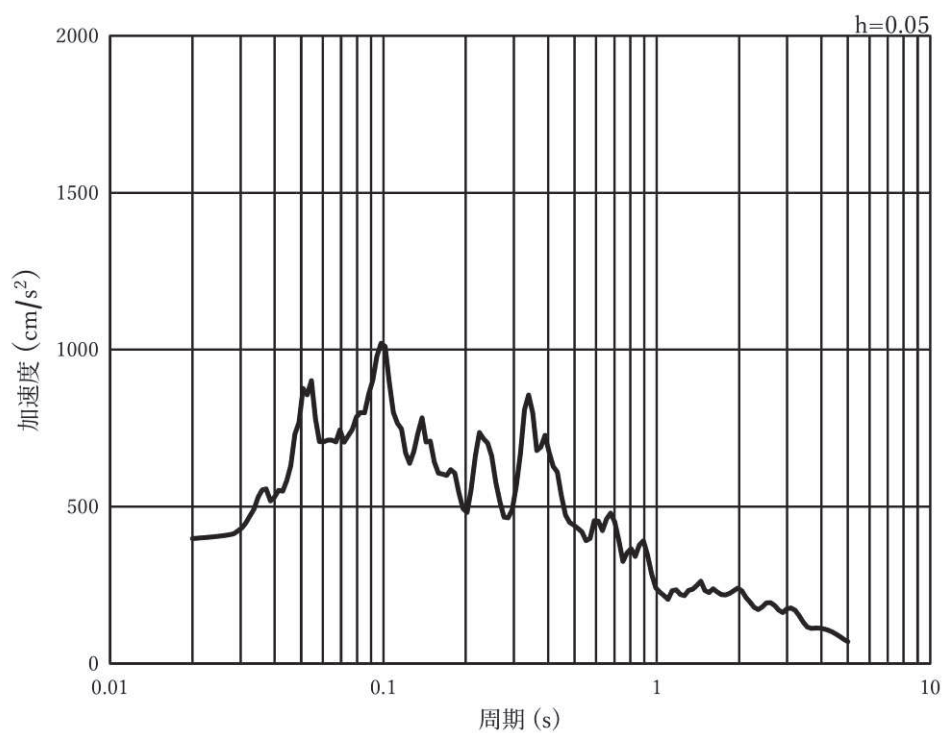


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - F 2)，第 3 号機側

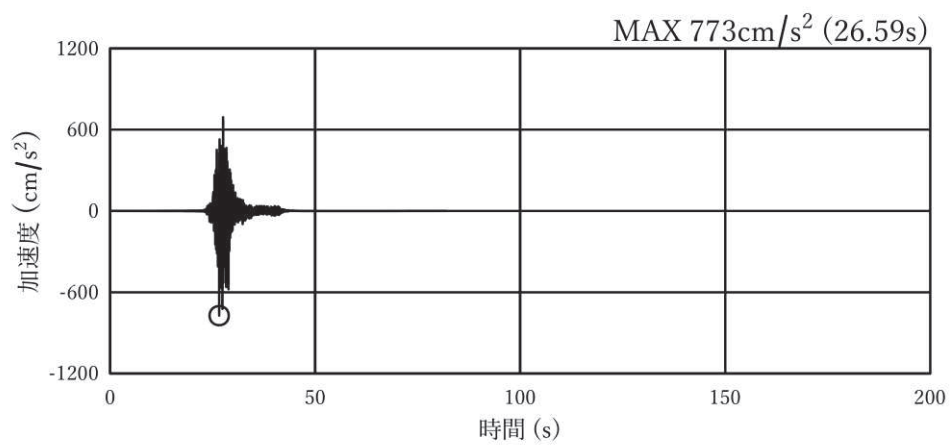


(a) 加速度時刻歴波形

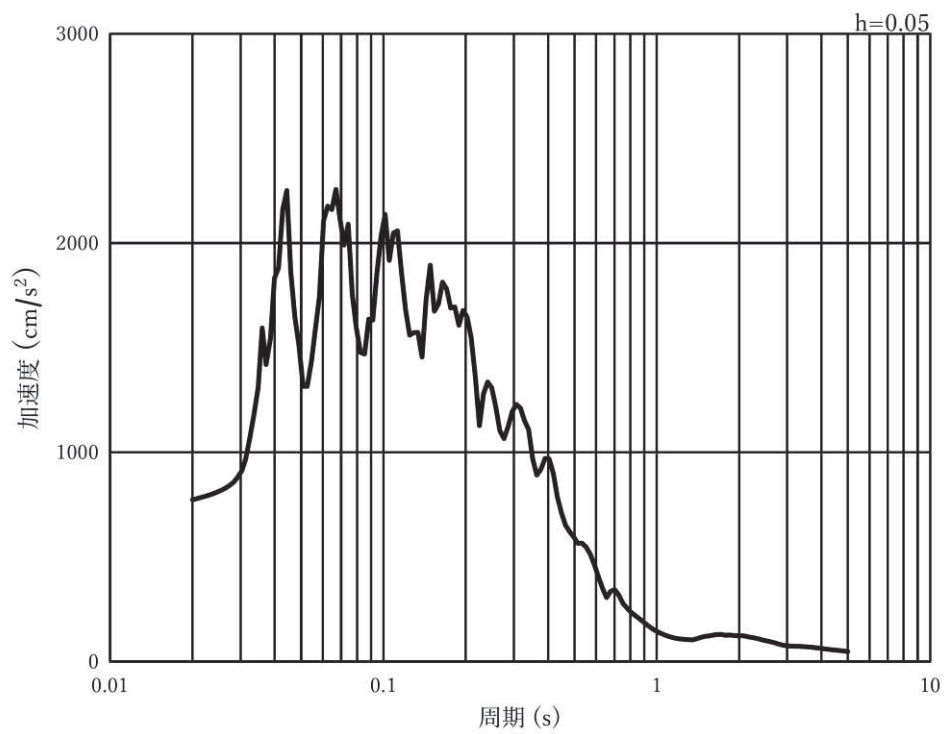


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - F 2)，第 3 号機側

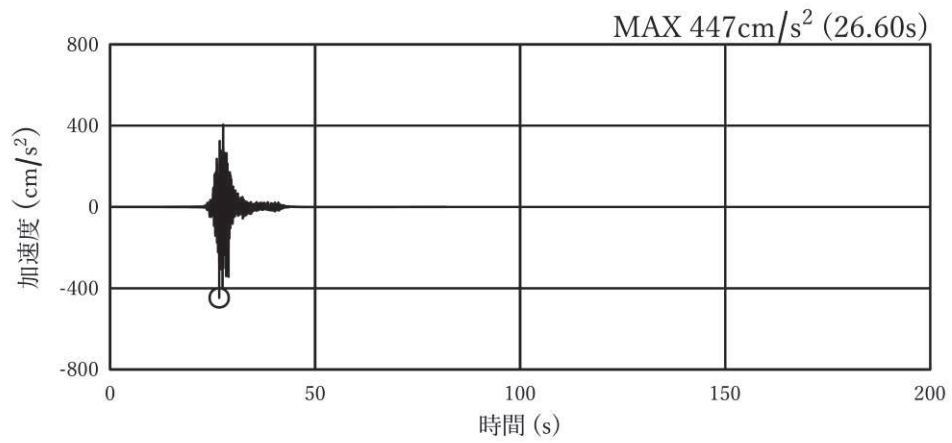


(a) 加速度時刻歴波形

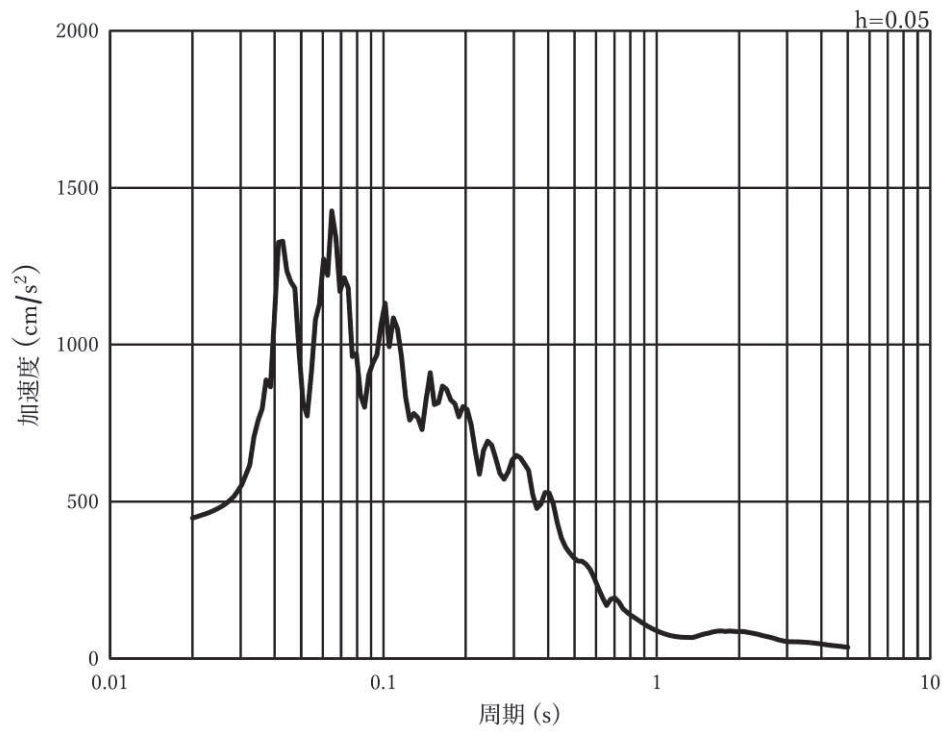


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - F 3), 第 3 号機側

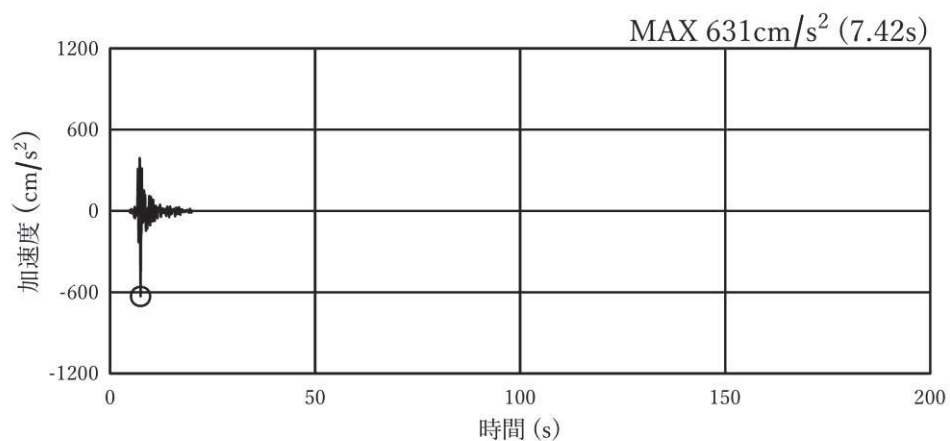


(a) 加速度時刻歴波形

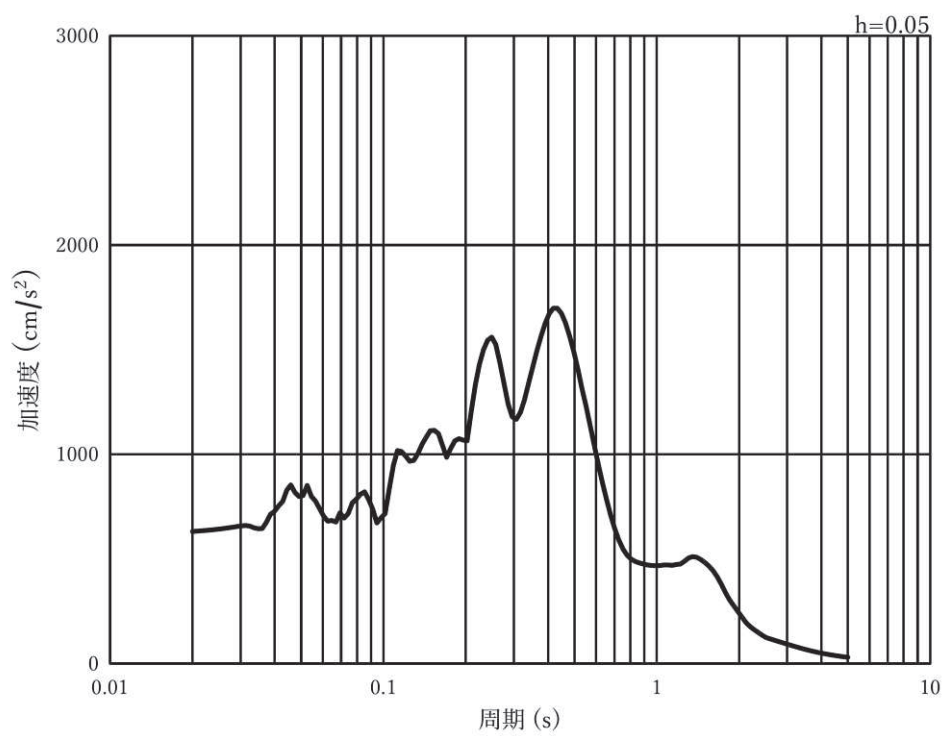


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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：S s - F 3), 第 3 号機側

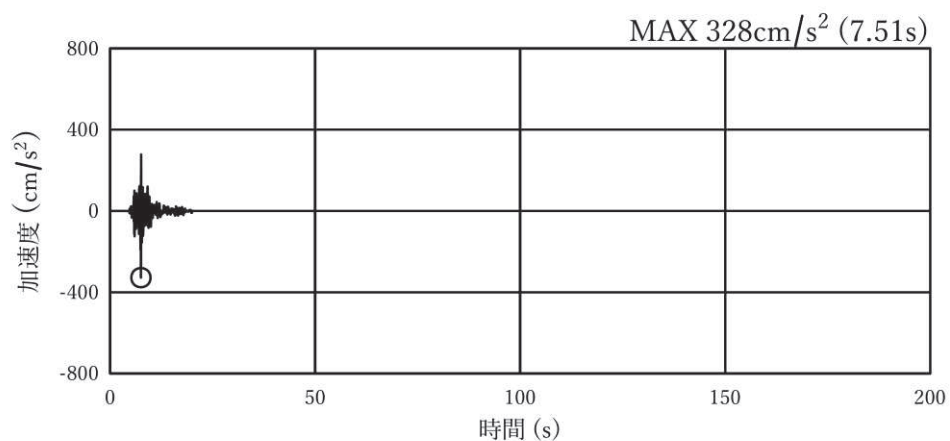


(a) 加速度時刻歴波形

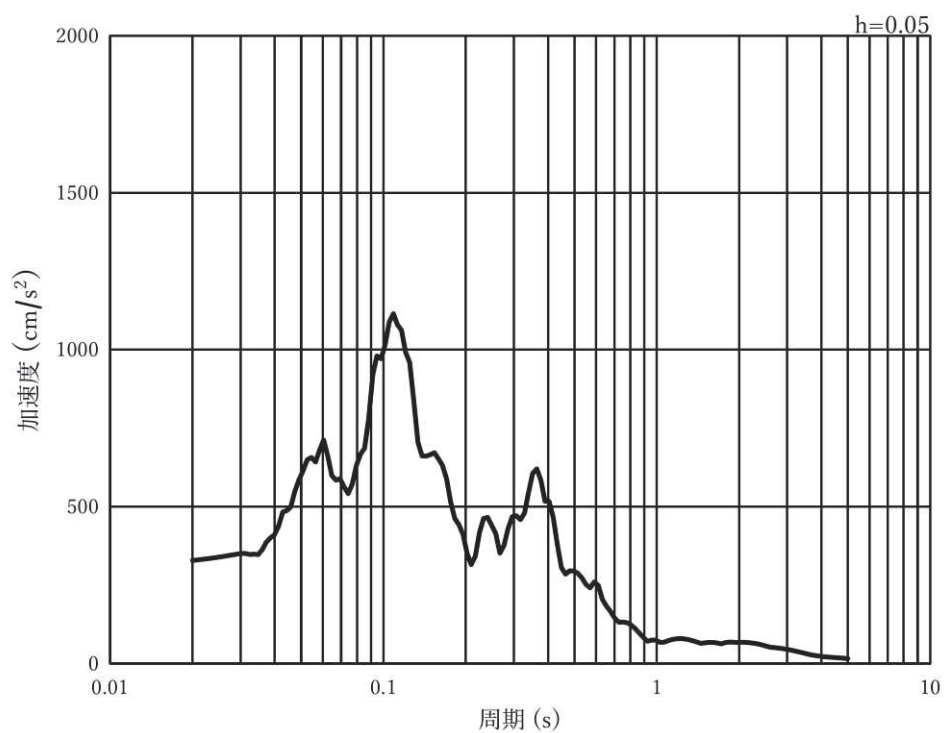


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(27) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向：S s - N 1)，第 3 号機側



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(28) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)，第 3 号機側

(5) 設計用震度の算定

各評価対象接続柵位置における最大鉛直震度を表 3-5 に示す。

表 3-5 接続柵位置の最大鉛直震度

号機	接続柵	地震動	解析ケース	鉛直震度 (k_v)
第 2 号機	①	S s - D 1	ケース②	0.42
	②	S s - D 1	ケース②	0.43
	③	S s - D 1	ケース②	0.42
	④	S s - D 1	ケース②	0.43
	⑤	S s - D 1	ケース②	0.43
第 3 号機	⑥	S s - D 1	ケース②	0.42
	⑦	S s - D 1	ケース③	0.44
	⑧	S s - D 1	ケース③	0.45
	⑨	S s - D 1	ケース②	0.42

3.4 許容限界

3.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

応力解析による評価に用いるコンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 3-6, 3-7 に示す。

表 3-6 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ¹ (N/mm ²)
	許容曲げ圧縮応力度	許容せん断応力度	
20.5* ²	許容曲げ圧縮応力度	7.8	11.7
	許容せん断応力度	0.42	0.63
23.5* ²	許容曲げ圧縮応力度	8.8	13.2
	許容せん断応力度	0.45	0.67
30	許容曲げ圧縮応力度	11.0	16.5
	許容せん断応力度	0.50	0.75

注記* 1 : コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

* 2 : 設計基準強度=18N/mm², 24N/mm² 及び 27N/mm² の許容応力度から線形補間により算出した。

表 3-7 鉄筋 (SD345) の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	許容引張応力度	許容せん断応力度	
SD345	許容引張応力度	196	294

注記* : コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

3.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層* ¹	13.7
	牧の浜部層* ¹	11.4
	C _L 級	1.8* ²

注記* 1 : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

* 2 : 「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編」に基づき、一軸圧縮強度に応じた最大地盤反力度の上限値より設定する。

3.5 応力解析による評価方法

3.5.1 構造部材の健全性に対する評価方法

「3.3.1 解析方法」に示す解析方法に基づき、評価を実施する。

また、接続柵側壁にはヒューム管が接続されていること、並びに接続柵①・⑦には頂版に開口が存在することを踏まえ評価を実施する。

(1) 解析モデル

頂版、底版及び側壁の検討においては、各面を壁により支持された版とみなし、開口部の存在しない面については4辺固定版として、開口部の存在する面については開口規模に応じ4辺固定版または開口部と接する辺を自由端とした3辺固定1辺自由版としてモデル化し、図 3-6 に示す4辺固定版もしくは3辺固定1辺自由版の形状と応力を用いて曲げモーメント及びせん断力を算出する。接続柵を構成するコンクリート・鉄筋の物性値を表 3-9 に、解析モデルを図 3-7 に示す。

各版の応力度算定は、解析コード「RC 断面計算 Ver8.0.7」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

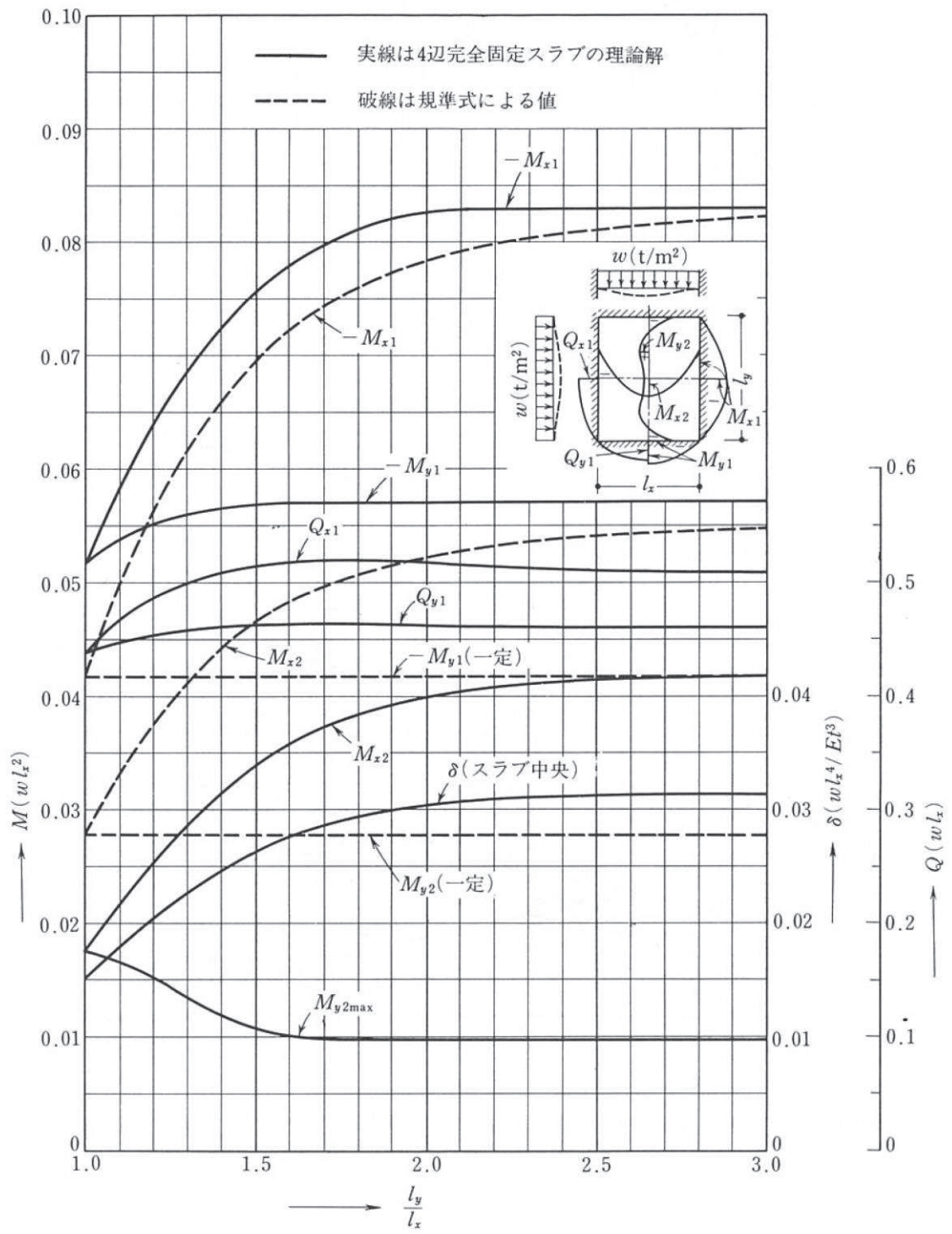


図 3-6(1) 等分布荷重時 4 辺固定スラブの応力図と中央点のたわみ δ ($\nu=0$)
 (日本建築学会 1991 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説)

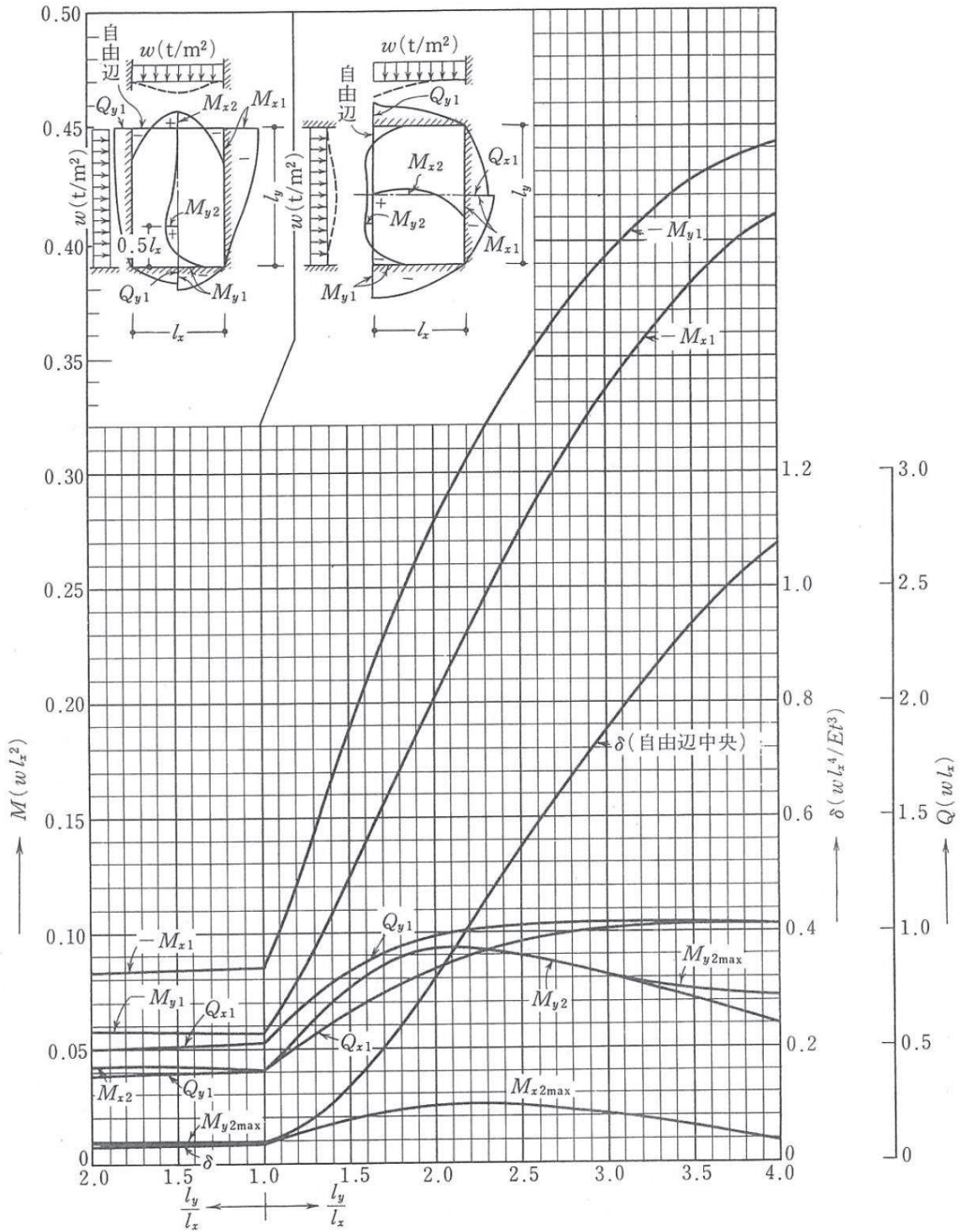


図 3-6(2) 等分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ δ ($\nu=0$)
 (日本建築学会 1991 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説)

表 3-9 接続桝を構成するコンクリート・鉄筋の物性値

接続桝	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	単位体積 重量 (kN/m ³)
①	20.5	SD345	24.0
②	20.5	SD345	24.0
③	20.5	SD345	24.0
④	20.5	SD345	24.0
⑤	20.5	SD345	24.0
⑥	23.5	SD345	24.0
⑦	23.5	SD345	24.0
⑧	23.5	SD345	24.0
⑨	30.0*	SD345	24.0

注記*：新設する接続桝

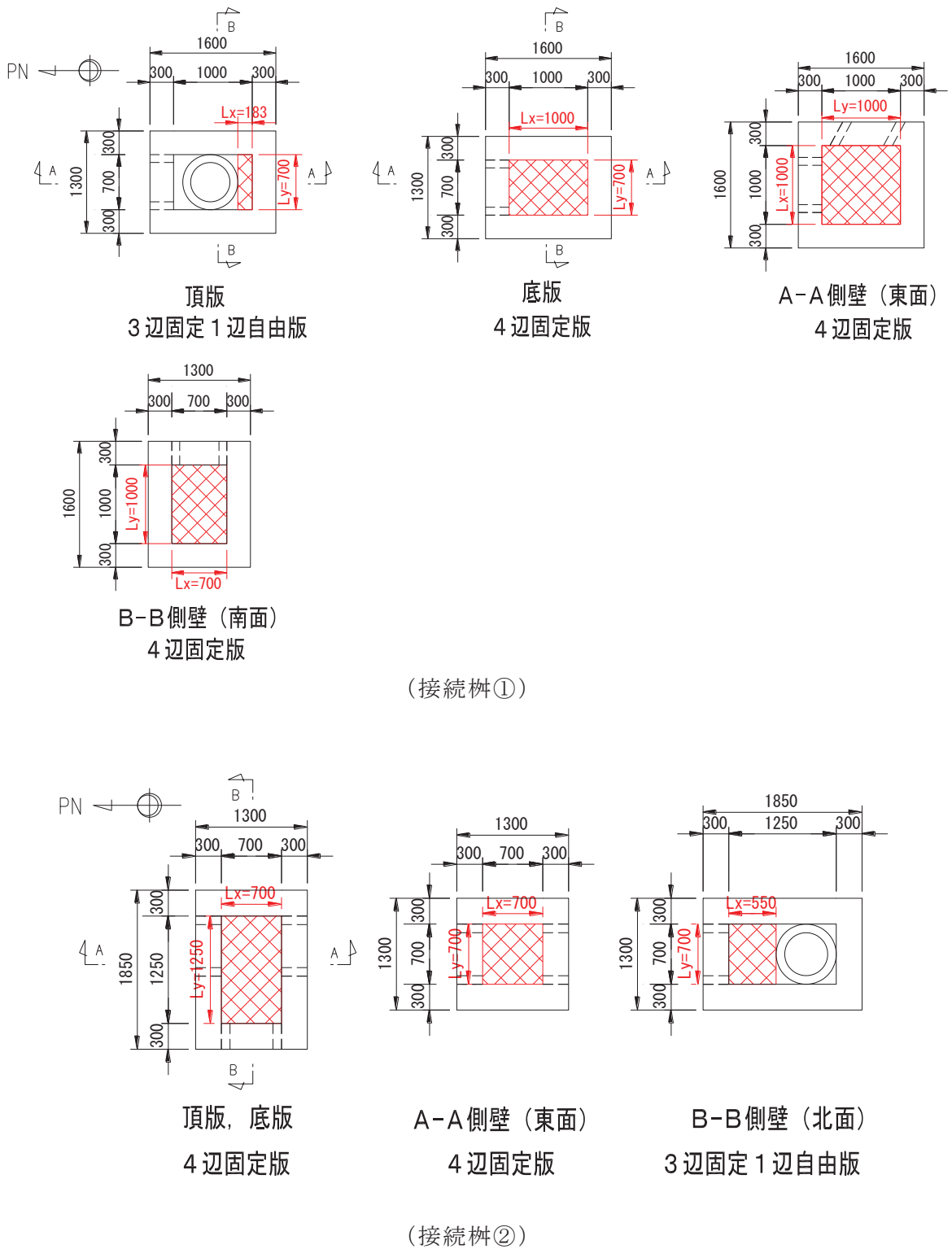
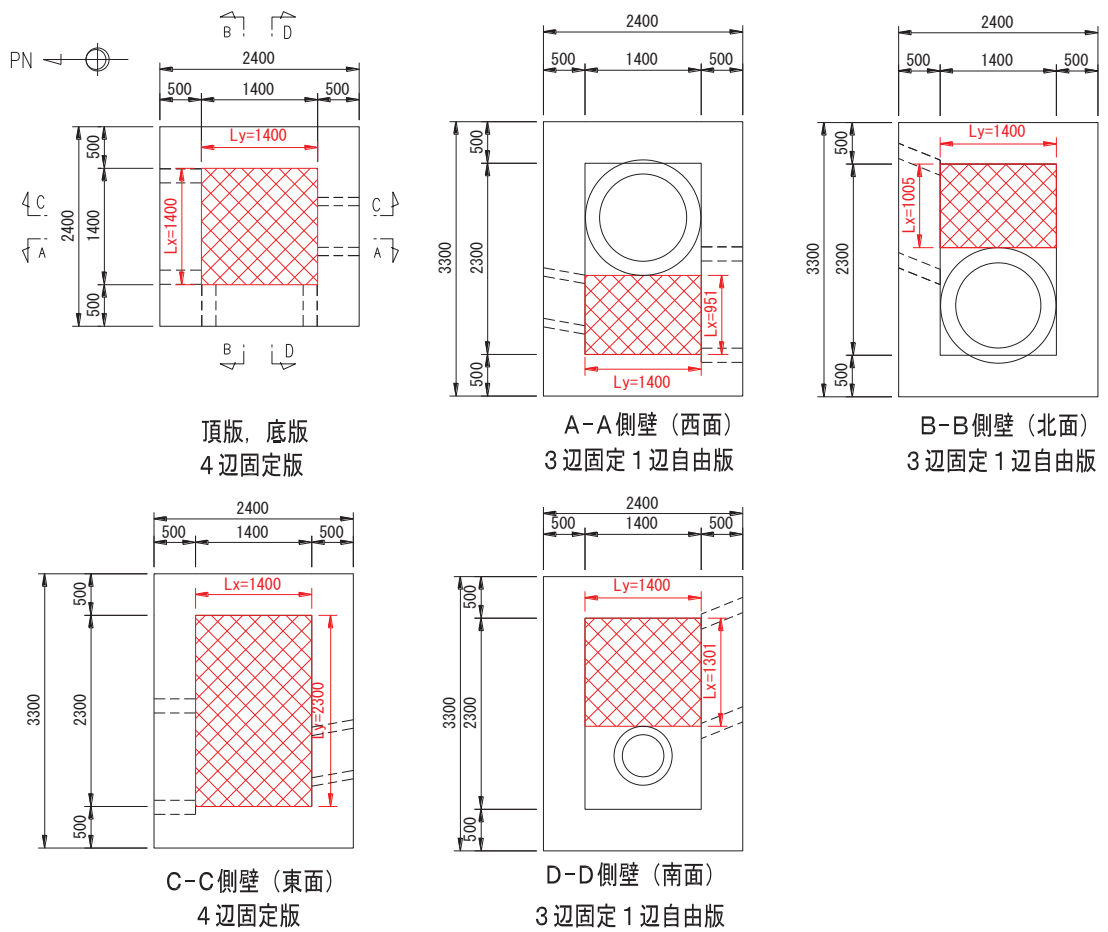
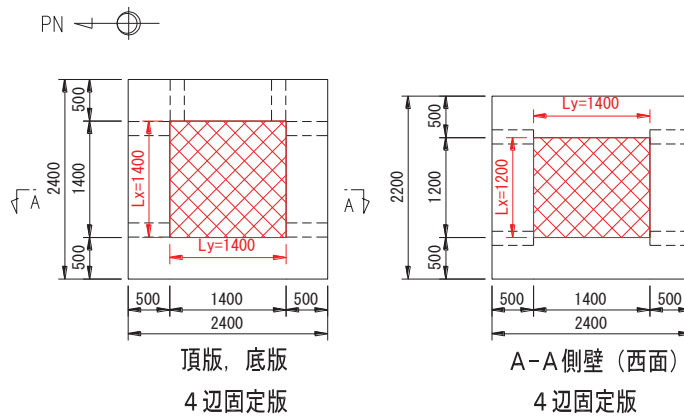


図 3-7(1) 接続樹の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)

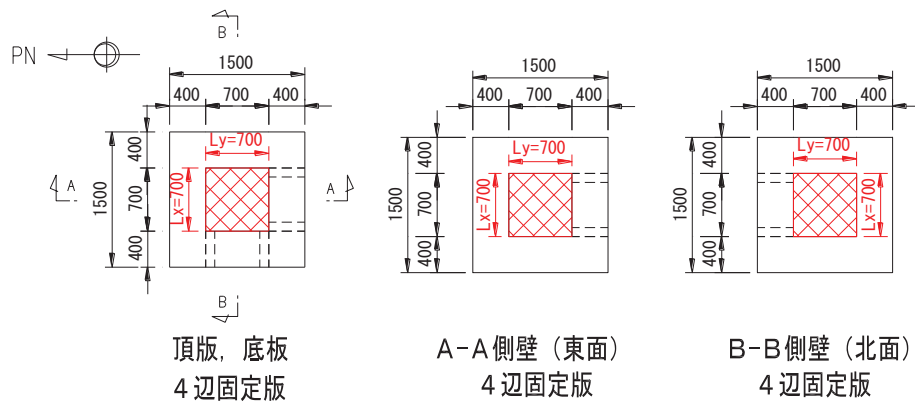


(接続柵③)

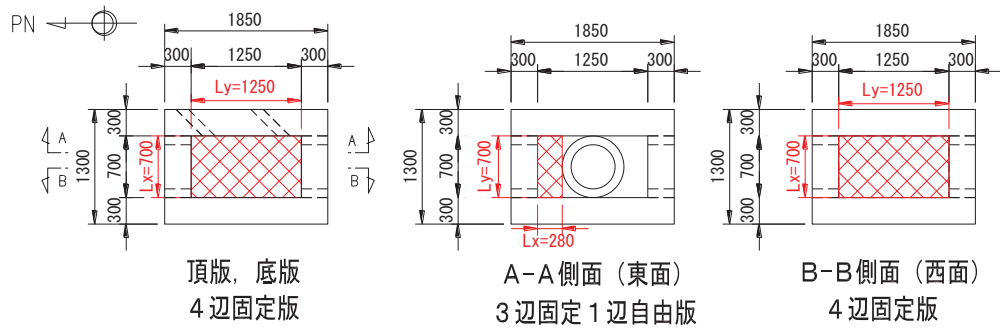


(接続柵④)

図 3-7(2) 接続柵の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)



(接続柵⑤)



(接続柵⑥)

図 3-7(3) 接続柵の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)

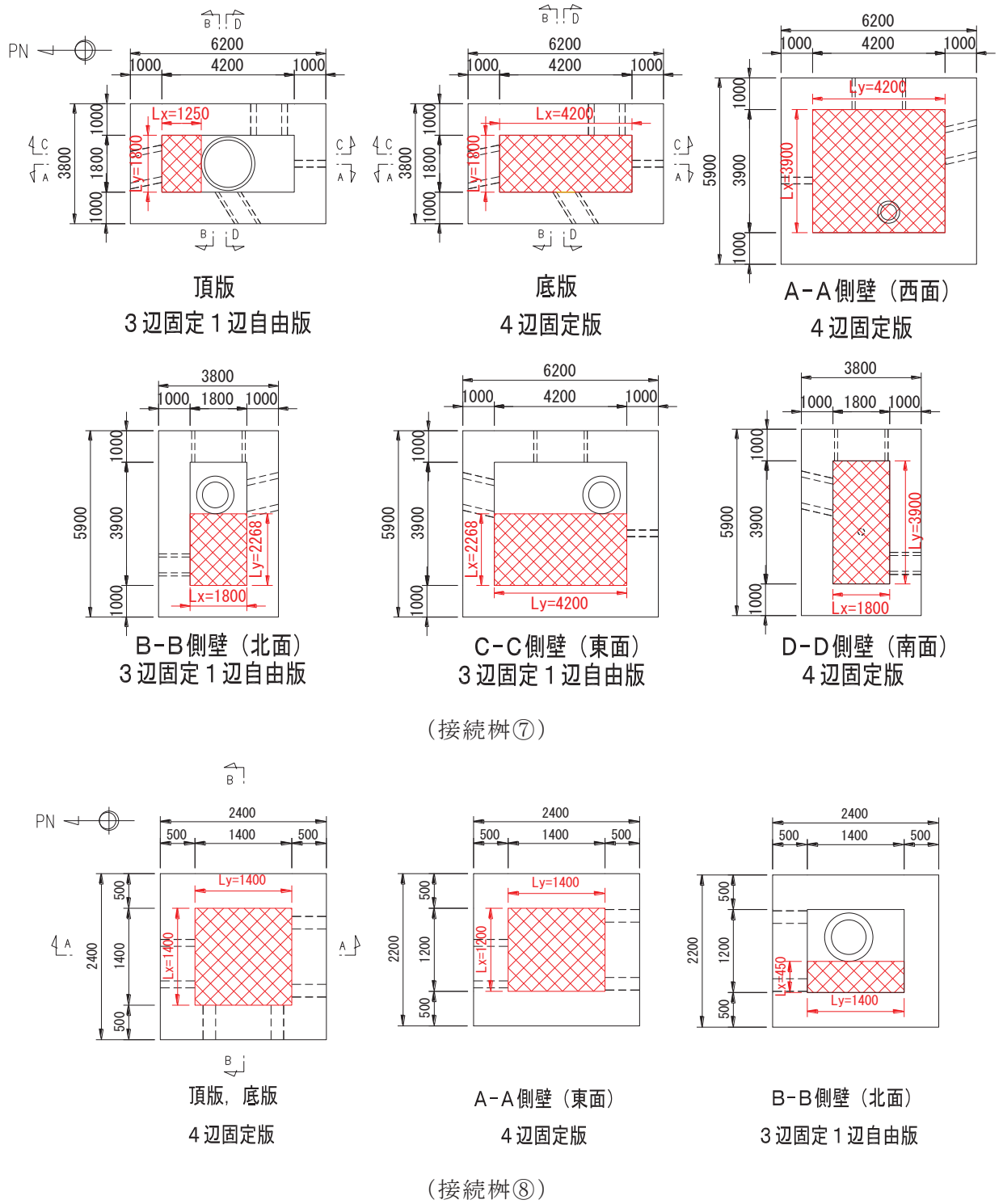
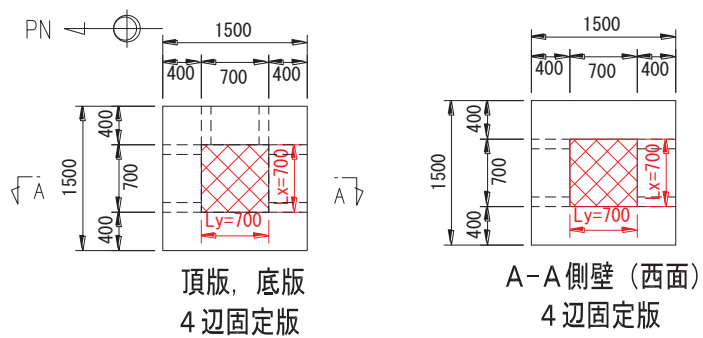


図 3-7(4) 接続樹の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)



(接続柵⑨)

図 3-7(5) 接続柵の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)

3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は接続柵を支持する基礎地盤とし、基礎地盤に生じる応力度（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

各接続桁の頂版，側壁，底版に生じる最大発生断面力を表 4-1 に示す。

また，曲げに対する照査結果を表 4-2，せん断に対する照査結果を表 4-3 に示す。

以上より，発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 4-1 最大発生断面力

接続 樹	部位	地震動	解析 ケース	固定 条件	曲げモーメント (kN・m)		せん断力 (kN)	
					短辺 Lx	長辺 Ly	短辺 Lx	長辺 Ly
					①	頂版	S s - D 1	ケース②
	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-23.00	-23.00	136.24	136.24
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-25.76	-20.11	146.87	162.28
②	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-29.52	-20.77	154.68	181.98
	側壁 (北面) *	S s - D 1	ケース②	3 辺	-12.68	-19.37	103.59	105.07
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-30.12	-21.20	157.85	185.72
③	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-73.98	-73.98	287.43	287.43
	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	3 辺	-51.74	-78.70	219.05	241.00
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-79.23	-79.23	307.83	307.83
④	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-78.32	-78.32	304.31	304.31
	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-43.78	-38.84	164.76	170.23
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-81.10	-81.10	315.08	315.08
⑤	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-19.56	-19.56	101.31	101.31
	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-12.36	-12.36	64.01	64.01
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-20.04	-20.04	103.79	103.79
⑥	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-31.93	-22.47	167.31	196.85
	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-20.13	-14.16	105.45	124.06
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-32.53	-22.89	170.47	200.56
⑦	頂版	S s - D 1	ケース③	3 辺	-162.34	-247.78	430.62	405.06
	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース③	3 辺	-569.41	-809.33	868.62	1020.91
	底版	S s - D 1	ケース③	4 辺	-269.67	-185.20	409.14	632.62
⑧	頂版	S s - D 1	ケース③	4 辺	-81.12	-81.12	315.17	315.17
	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース③	4 辺	-45.49	-40.36	171.20	176.88
	底版	S s - D 1	ケース③	4 辺	-83.91	-83.91	326.02	326.02
⑨	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-21.08	-21.08	109.18	109.18
	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-13.27	-13.27	68.73	68.73
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-21.55	-21.55	111.63	111.63

注記* : 最も照査値が厳しくなる面について記載。

表 4-2 評価結果（曲げモーメント照査）

接続桧	部位	地震動	解析 ケース	配筋	コンクリート			鉄筋		
					照査用 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許 容応力 度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査 値 $\sigma_c /$ σ_{ca}	照査用 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許 容応力 度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査 値 $\sigma_s /$ σ_{sa}
①	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150	1.0	11.75	0.09	35.0	294	0.12
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		2.3	11.75	0.20	78.7	294	0.27
	底版	S s - D 1	ケース②		2.6	11.75	0.23	88.1	294	0.30
②	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150	3.0	11.75	0.26	101.0	294	0.35
	側壁（北面）*	S s - D 1	ケース②		1.9	11.75	0.17	66.3	294	0.23
	底版	S s - D 1	ケース②		3.0	11.75	0.26	103.0	294	0.36
③	頂版	S s - D 1	ケース②	D25@150	2.0	11.75	0.18	58.3	294	0.20
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		2.1	11.75	0.18	62.0	294	0.22
	底版	S s - D 1	ケース②		2.1	11.75	0.18	62.4	294	0.22
④	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@150	2.8	11.75	0.24	106.6	294	0.37
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		1.6	11.75	0.14	59.6	294	0.21
	底版	S s - D 1	ケース②		2.9	11.75	0.25	110.4	294	0.38
⑤	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@300	1.8	11.75	0.16	73.5	294	0.25
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		1.2	11.75	0.11	46.4	294	0.16
	底版	S s - D 1	ケース②		1.9	11.75	0.17	75.3	294	0.26
⑥	頂版	S s - D 1	ケース②	外 D19@200×300 内 D22@200×300	3.2	13.25	0.25	113.2	294	0.39
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②	外 D16@200×300 内 D16@200×300	2.4	13.25	0.19	100.4	294	0.35
	底版	S s - D 1	ケース②	外 D19@200×300 内 D22@200×300	3.3	13.25	0.25	115.3	294	0.40
⑦	頂版	S s - D 1	ケース③	外 D32@200 内 D22@200	2.1	13.25	0.16	76.8	294	0.27
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③		6.8	13.25	0.52	251.0	294	0.86
	底版	S s - D 1	ケース③		2.3	13.25	0.18	83.6	294	0.29
⑧	頂版	S s - D 1	ケース③	D25@200	2.5	13.25	0.19	84.2	294	0.29
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③	D16@200	2.2	13.25	0.17	115.9	294	0.40
	底版	S s - D 1	ケース③	D25@200	2.6	13.25	0.20	87.1	294	0.30
⑨	頂版	S s - D 1	ケース②	D22@300	1.8	16.5	0.11	60.0	294	0.21
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②	D22@300	1.1	16.5	0.07	37.8	294	0.13
	底版	S s - D 1	ケース②	D22@300	1.8	16.5	0.11	61.3	294	0.21

注記*：最も照査値が厳しくなる面について記載。

表 4-3 評価結果（せん断照査）

接続 桁	部位	地震動	解析 ケース	せん断補強筋	照査用せん断力 V (kN)	せん断 耐力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
①	頂版	S s - D 1	ケース②	D13@150（千鳥）	75.12	248.4	0.31
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		136.24	248.4	0.55
	底版	S s - D 1	ケース②		162.28	248.4	0.66
②	頂版	S s - D 1	ケース②	D13@150（千鳥）	181.98	248.4	0.74
	側壁（北面）*	S s - D 1	ケース②		105.07	248.4	0.43
	底版	S s - D 1	ケース②		185.72	248.4	0.75
③	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150（千鳥）	287.43	602.9	0.48
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		241.00	602.9	0.40
	底版	S s - D 1	ケース②		307.83	602.9	0.52
④	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150（千鳥）	304.31	602.9	0.51
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		170.23	602.9	0.29
	底版	S s - D 1	ケース②		315.08	602.9	0.53
⑤	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@300	101.31	251.4	0.41
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		64.01	251.4	0.26
	底版	S s - D 1	ケース②		103.79	251.4	0.42
⑥	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@200×300	196.85	347.8	0.57
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②	D13@200×300(千鳥)	124.06	129.1	0.97
	底版	S s - D 1	ケース②	D19@200×300	200.56	347.8	0.58
⑦	頂版	S s - D 1	ケース③	D19@200×400	430.62	1086.2	0.40
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③		1020.91	1086.2	0.94
	底版	S s - D 1	ケース③		634.62	1086.2	0.59
⑧	頂版	S s - D 1	ケース③	D16@200	315.17	671.1	0.47
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③	D16@200（千鳥）	176.88	398.2	0.45
	底版	S s - D 1	ケース③	D16@200	326.02	671.1	0.49
⑨	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@300	109.18	351.8	0.32
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		68.73	351.8	0.20
	底版	S s - D 1	ケース②		111.63	351.8	0.32

注記*：最も照査値が厳しくなる面について記載。

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評価結果を表 4-4 に示す。

接続桁の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-4 地盤の支持性能評価結果

接続桁	地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	許容限界 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
①	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
②	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
③	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
④	S s - D 1	ケース②	0.9	13.7	0.07
⑤	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
⑥	S s - D 1	ケース②	0.9	1.8	0.50
⑦	S s - D 1	ケース③	1.1	11.4	0.10
⑧	S s - D 1	ケース③	0.9	11.4	0.08
⑨	S s - D 1	ケース②	0.9	1.8	0.50