

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-014-09改03
提出年月日	2023年5月31日

VI-2-11-2-3 免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書

2023年5月

中国電力株式会社

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 適用規格・基準等	8
3. 耐震評価	9
3.1 評価対象断面	9
3.2 解析方法	10
3.2.1 地盤物性のばらつき	10
3.2.2 減衰定数	11
3.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1 荷重	13
3.3.2 荷重の組合せ	13
3.4 入力地震動	14
3.5 解析モデル	27
3.5.1 解析モデル	27
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	29
3.5.3 地盤の物性値	29
3.5.4 地下水位	30
3.6 許容限界	31
3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界	31
3.6.2 基礎地盤の健全性に対する許容限界	37
3.7 評価方法	38
4. 耐震評価結果	39
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	39
4.1.1 遮蔽壁（鉄筋コンクリート部材）	39
4.1.2 鋼管杭	43
4.1.3 杭頭部	47
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	48

1. 概要

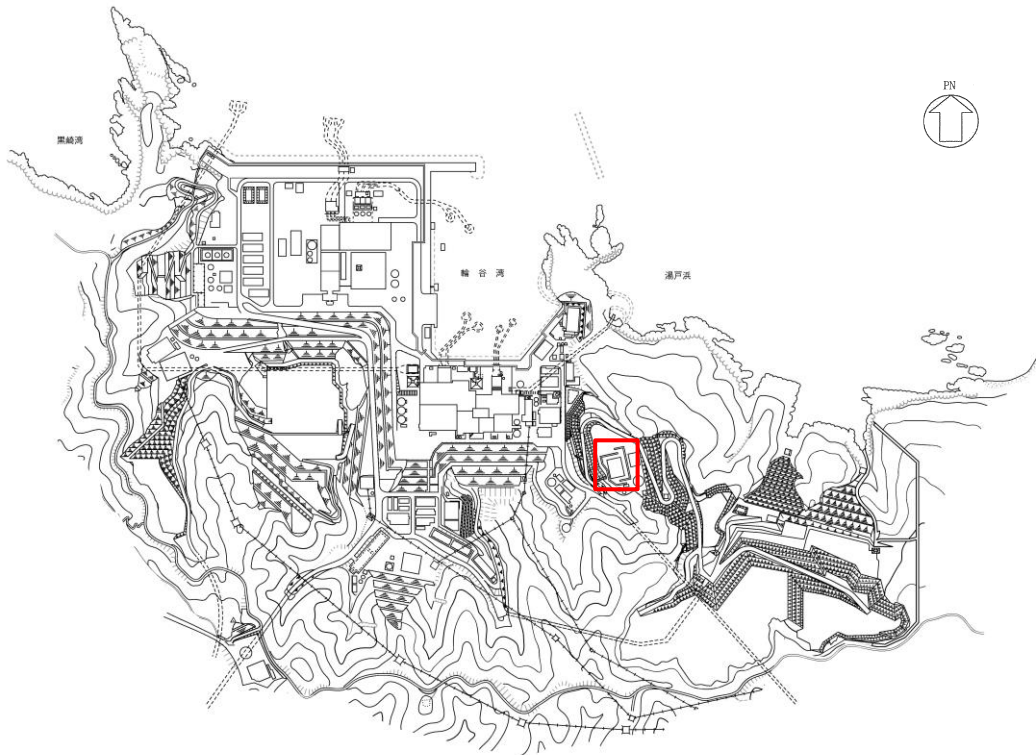
本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、免震重要棟遮蔽壁が、上位クラス施設である緊急時対策所に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

波及的影響の評価として、上位クラス施設の機能が保持されることを S_s を用いた地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価を実施することにより、免震重要棟遮蔽壁が十分な構造強度を有することを確認する。

2. 基本方針

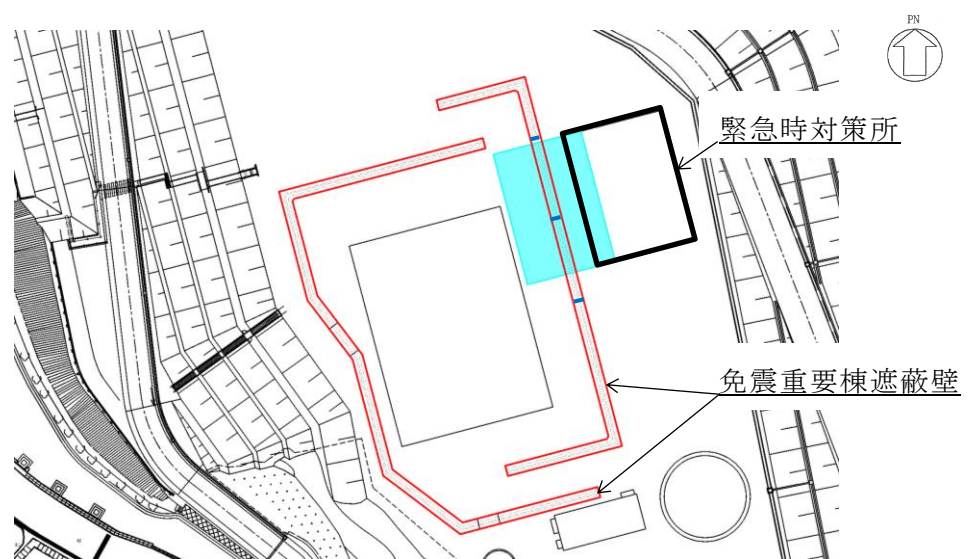
2.1 位置

免震重要棟遮蔽壁の位置を図 2-1 に、波及的影響範囲を図 2-2 に示す。



免震重要棟遮蔽壁

図 2-1 免震重要棟遮蔽壁の設置位置



: 免震重要棟遮蔽壁の波及的影響範囲 (約 10m)

: 構造目地

図 2-2 免震重要棟遮蔽壁の波及的影響範囲

2.2 構造概要

免震重要棟遮蔽壁の平面図を図 2-3 に、断面図を図 2-4 に、概略配筋図を図 2-5 に示す。

免震重要棟遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造の杭基礎（鋼管杭）構造であり、幅 0.5～2.4m、高さ 10.3m の鉄筋コンクリート造の壁部と、直径 1.2m、長さ 6m の鋼管杭の地下部により構成される。

また、免震重要棟遮蔽壁は、鋼管杭を介して、マンメイドロック（以下「MMR」という。）及び十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

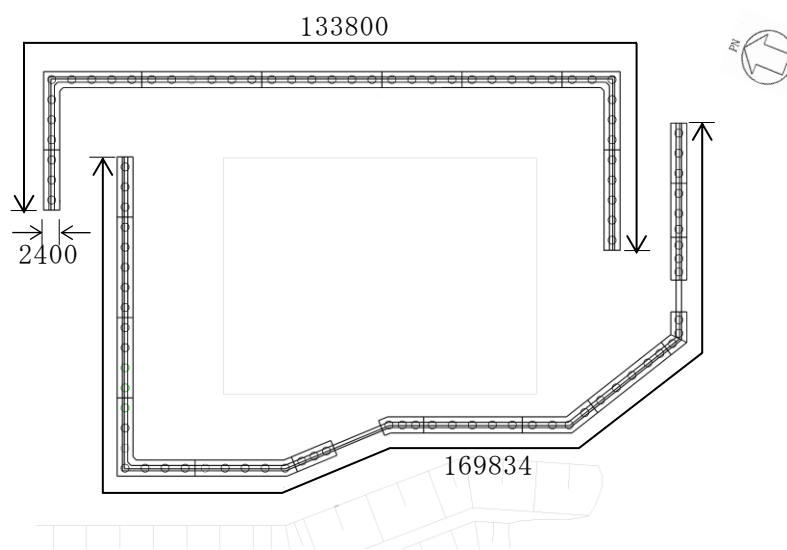


図 2-3 免震重要棟遮蔽壁の概要図（平面図）（単位：mm）

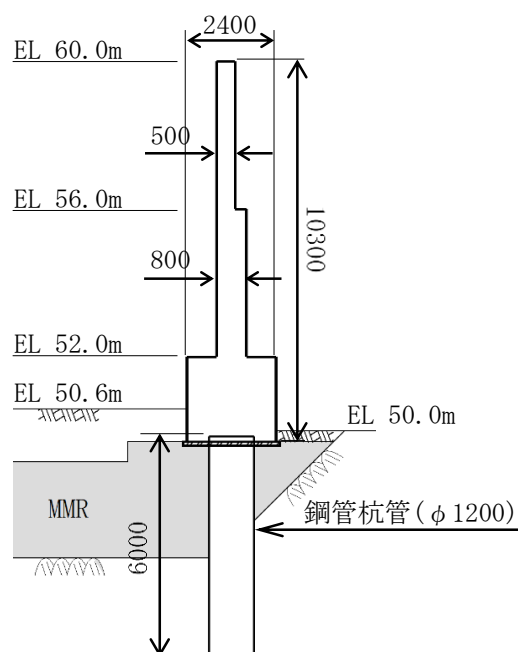


図 2-4 免震重要棟遮蔽壁の概要図（断面図）（単位：mm）

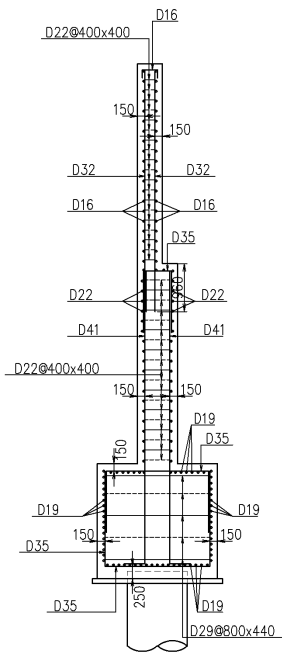


図 2-5(1) 免震重要棟遮蔽壁の概略配筋図 (単位: mm)

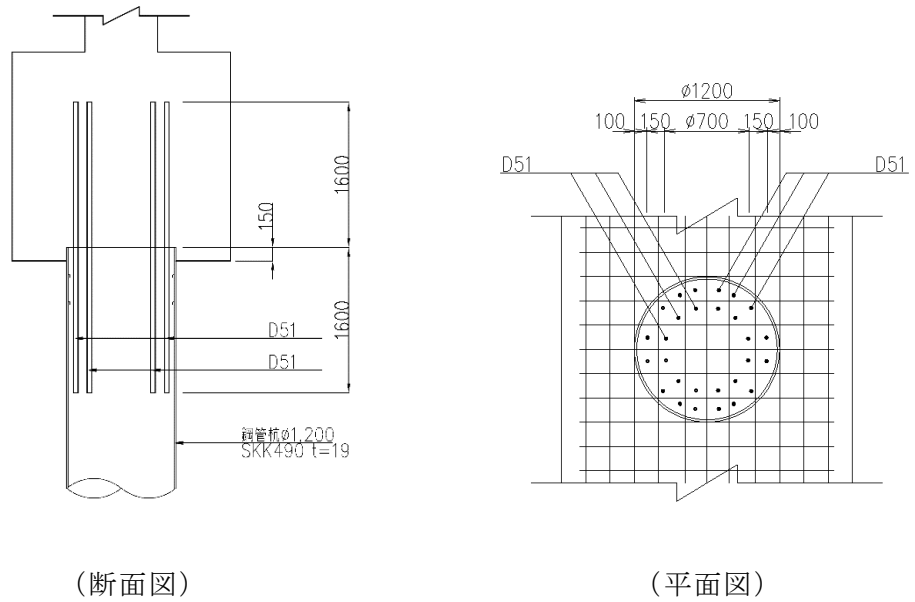


図 2-5(2) 免震重要棟遮蔽壁の概略配筋図 (杭頭補強筋) (単位: mm)

2.3 評価方針

図 2-6 に免震重要棟遮蔽壁の波及的影響の評価フローを示す。

免震重要棟遮蔽壁の波及的影響評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 の免震重要棟遮蔽壁の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

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

構造部材の健全性評価については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の圧縮縁コンクリートひずみが許容限界以下であることを確認する。せん断破壊に対してはせん断力が許容限界以下であることを確認する。また、鋼管杭の曲げ・軸力及びせん断力が許容限界以下であること、杭頭部の支圧応力度、押抜きせん断応力度及び仮想鉄筋コンクリート断面の曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

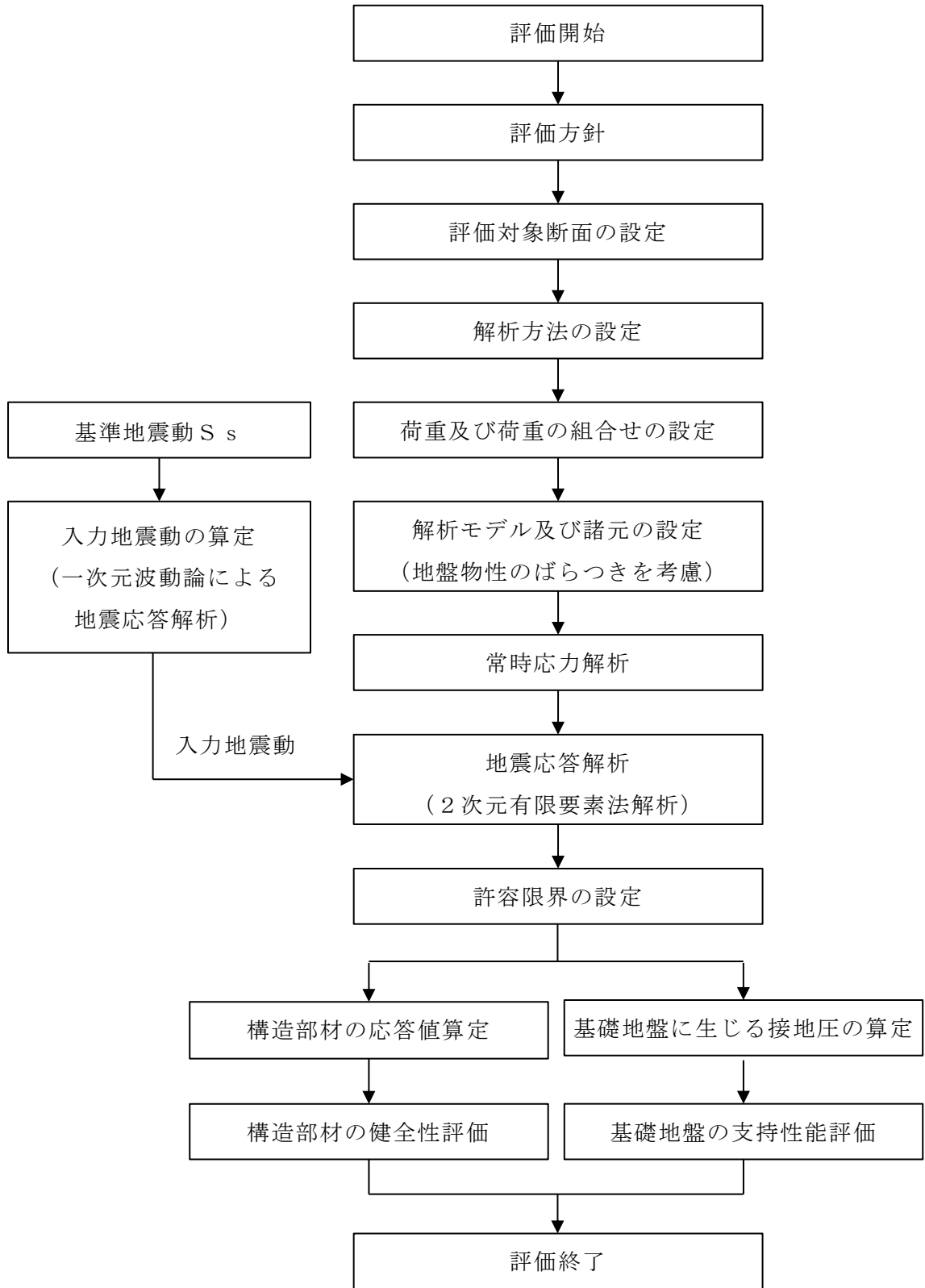


図 2-6 免震重要棟遮蔽壁の耐震評価フロー

表 2-1 免震重要棟遮蔽壁の評価項目

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	遮蔽壁	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ・軸力	圧縮縁コンクリートひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
		鋼管杭	曲げモーメント及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ・軸力	全塑性モーメント
				せん断力	降伏強度
		杭頭部	支圧応力度及び押抜きせん断応力度が許容限界以下であることを確認	支圧応力度	許容支圧応力度*
				押抜きせん断応力度	許容押抜きせん断応力度*
	曲げモーメントが許容限界以下であることを確認	曲げモーメント	降伏曲げモーメント*		
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	接地圧	極限支持力度*	

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会, 1987 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 ((社) 土木学会, 2005 年) (以下「土木学会マニュアル」という。)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・杭基礎設計便覧 ((社) 日本道路協会, 2007 年)
- ・建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 ((社) 日本建築学会, 2013 年)

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

免震重要棟遮蔽壁の評価対象断面位置図を図3-1に示す。免震重要棟遮蔽壁のうち、波及的影響を及ぼす恐れのある範囲から、評価対象断面を選定する。

評価対象断面は、免震重要棟遮蔽壁の弱軸方向である、免震重要棟遮蔽壁の直交断面を選定する。

免震重要棟遮蔽壁の評価対象断面図を図3-2に示す。

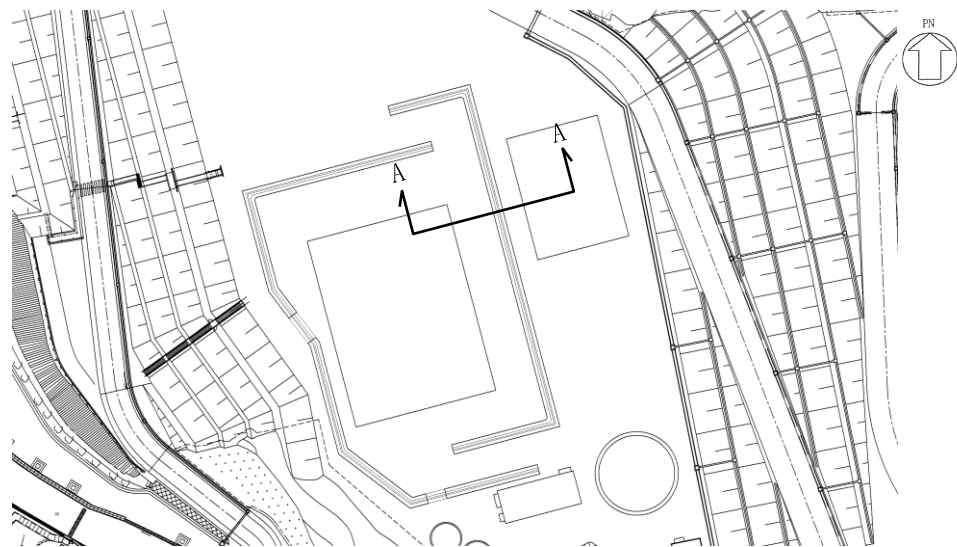


図3-1 免震重要棟遮蔽壁の評価対象断面位置図

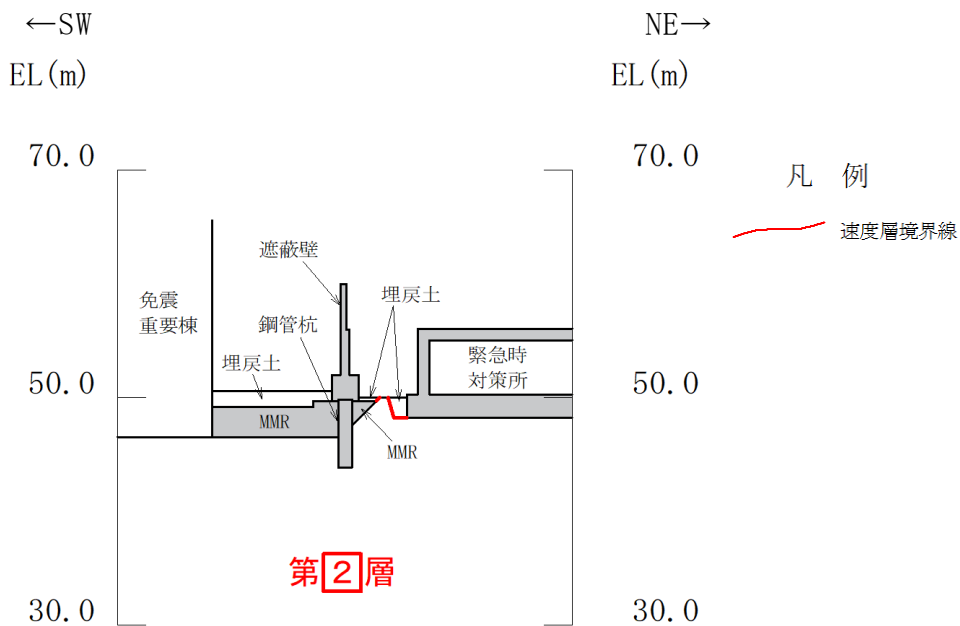


図3-2 評価対象断面図（A-A断面）

3.2 解析方法

地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法により、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。免震重要棟遮蔽壁周辺の地下水位が免震重要棟遮蔽壁下端より低いことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析には、解析コード「TDA P III」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 地盤物性のばらつき

図3-2に示すとおり、免震重要棟遮蔽壁の周辺には、主として岩盤が分布しており、この岩盤のせん断変形が地震時に免震重要棟遮蔽壁の応答に影響を与えることと判断されることから、この地盤の物性（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。

せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②～③を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

表3-1 解析ケース（免震重要棟遮蔽壁）

解析ケース	埋戻土	岩盤
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値	平均値 + 1σ
ケース③	平均値	平均値 - 1σ

3.2.2 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

解析ケース	α	β
ケース① (基本ケース)	2.638	2.527×10^{-4}
ケース②	2.924	2.480×10^{-4}
ケース③	1.941	3.829×10^{-4}

3.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③		
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 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)	$S_s - D$	++*	○		基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、遮蔽壁及び鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。			
		-+*	○					
		+ -*	○					
		--*	○					
	$S_s - F 1$	++*	○					
	$S_s - F 2$	++*	○					
	$S_s - N 1$	++*	○					
		-+*	○					
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○					
		-+*	○					
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○					
		-+*	○					

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、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 荷重

免震重要棟遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 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。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P _s + P _k + S _s

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

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、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 を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図3-3に入力地震動算定の概念図を、図3-4～図3-15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」及び「microSHAKE」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

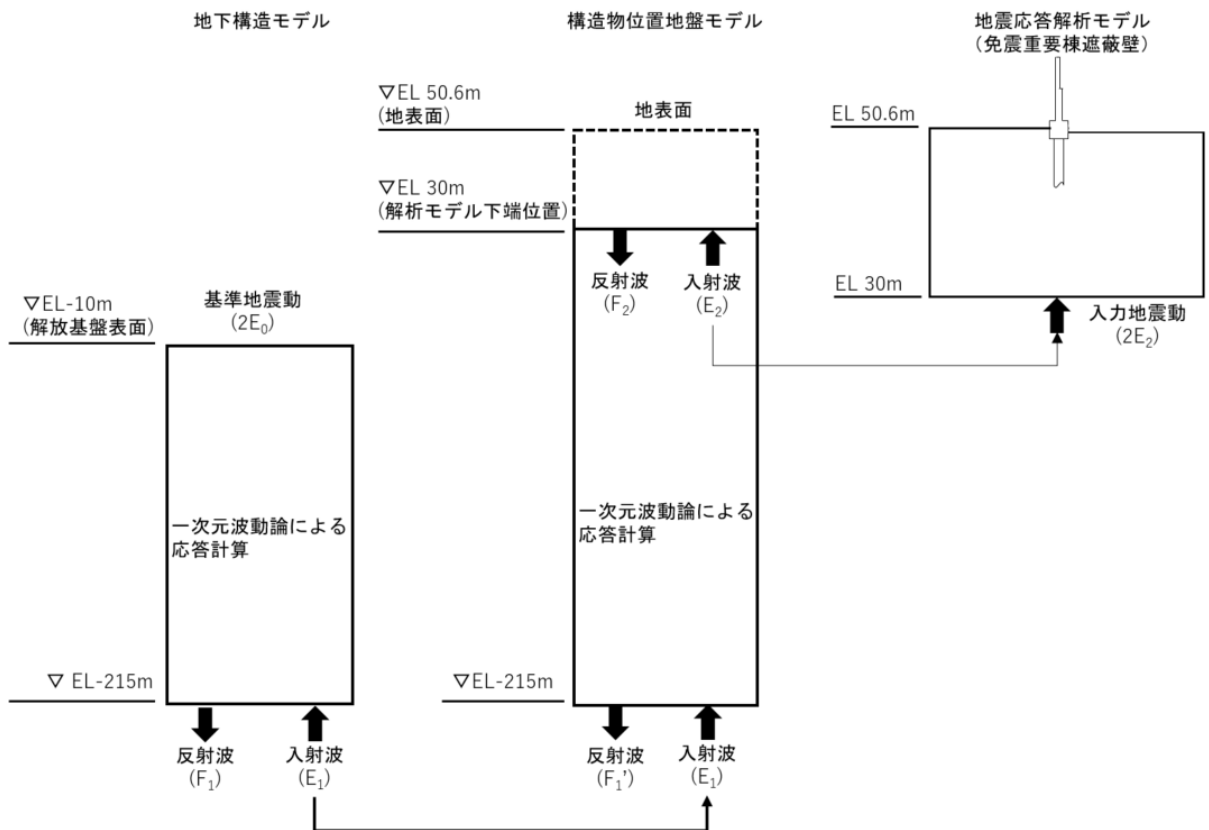
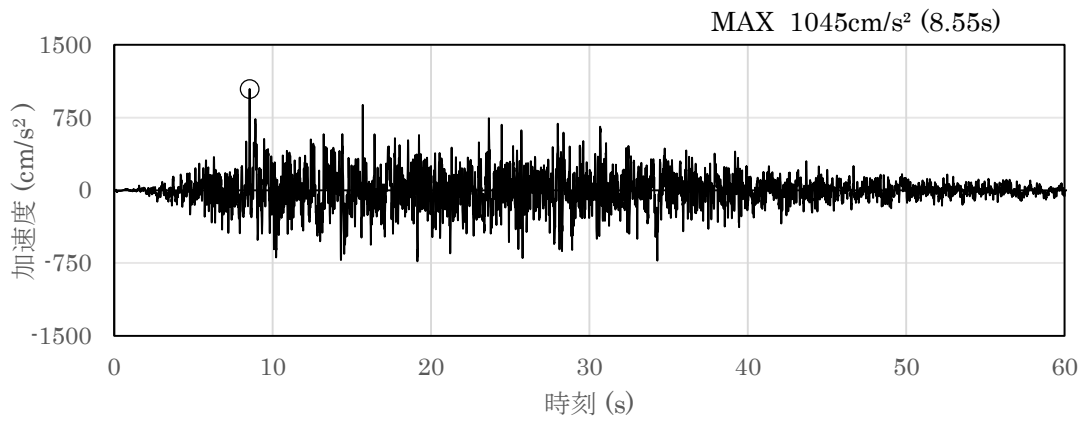
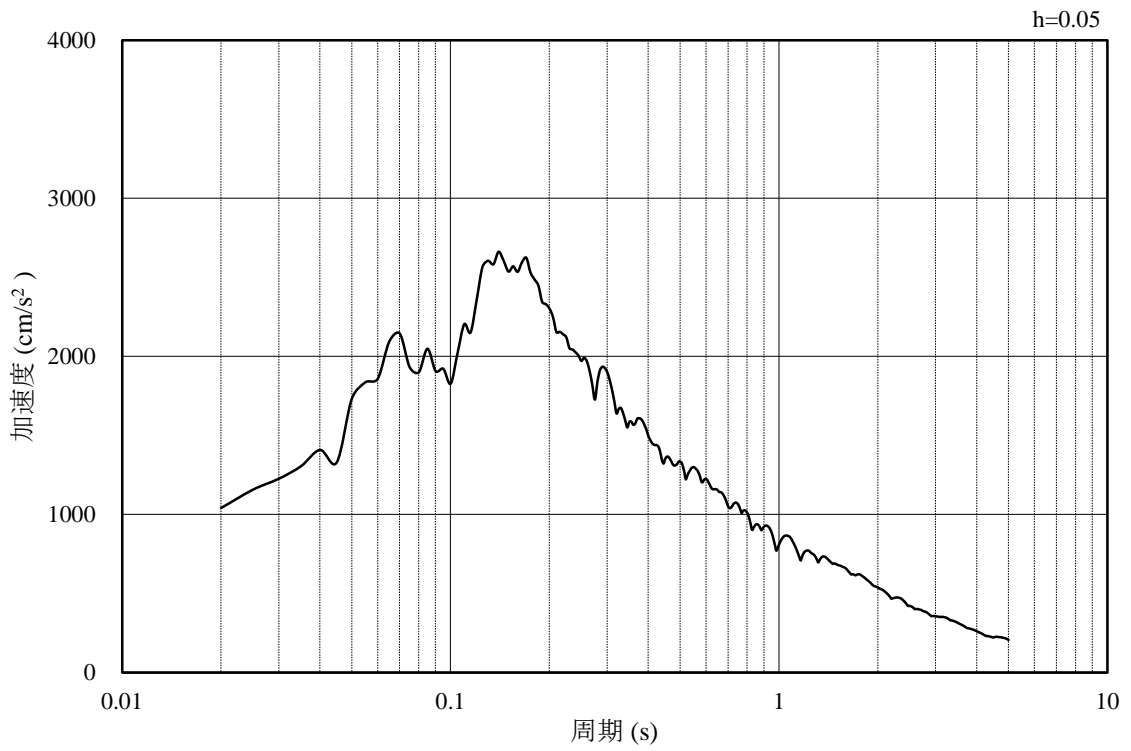


図3-3 入力地震動算定の概念図

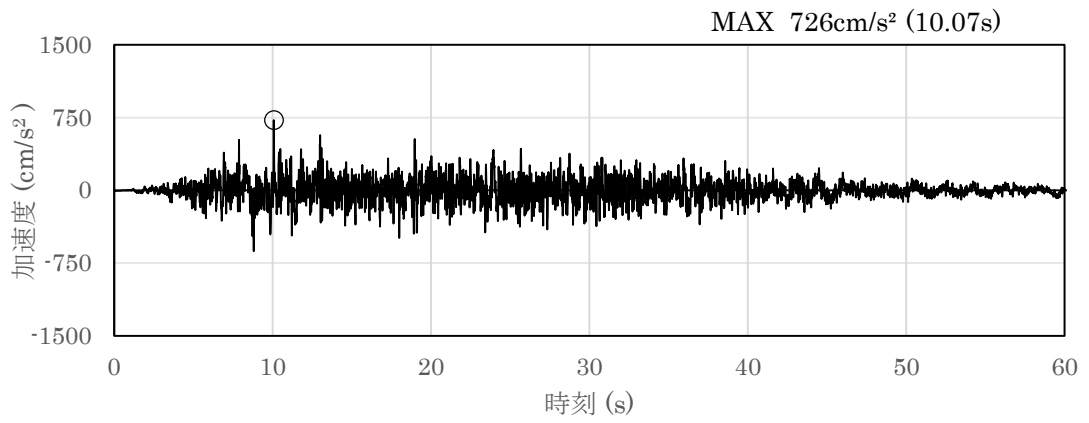


(a) 加速度時刻歴波形

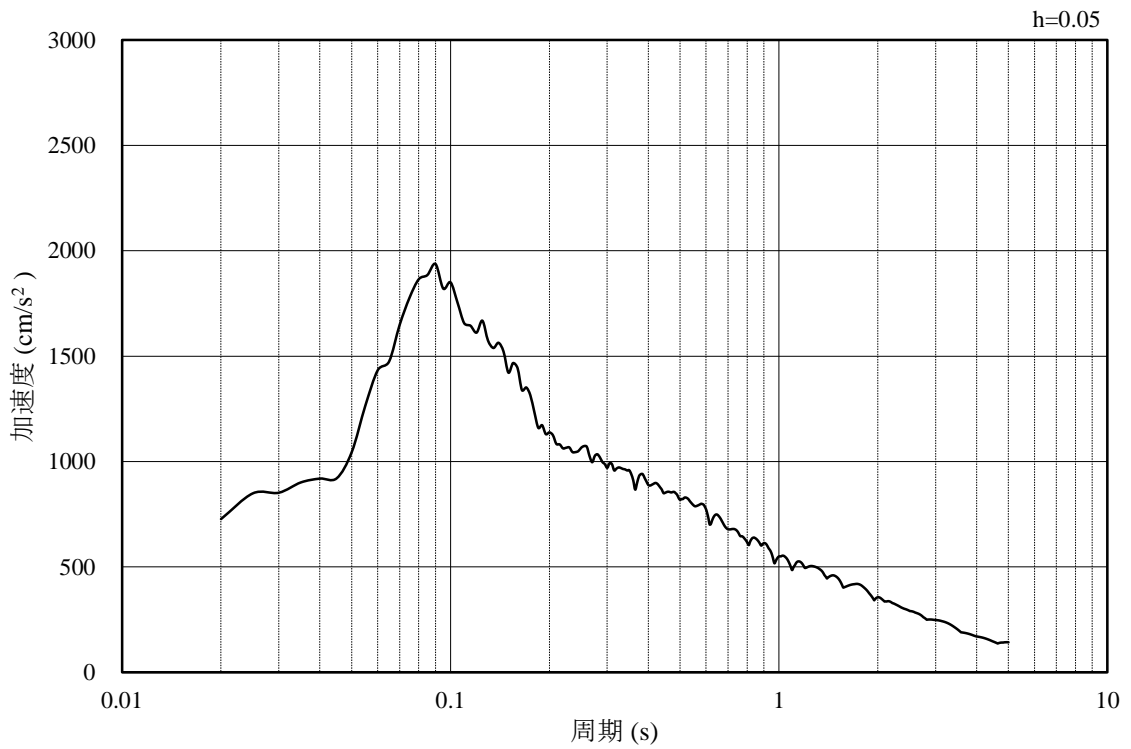


(b) 加速度応答スペクトル

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

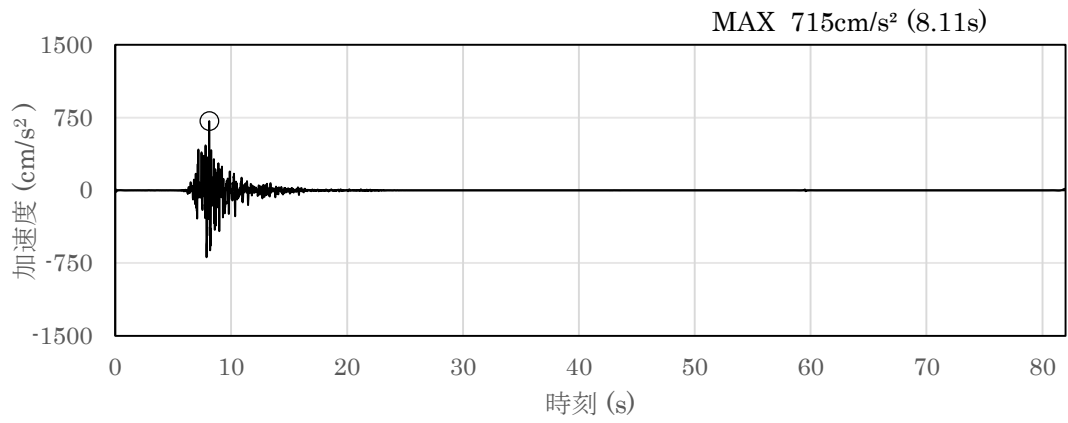


(a) 加速度時刻歴波形

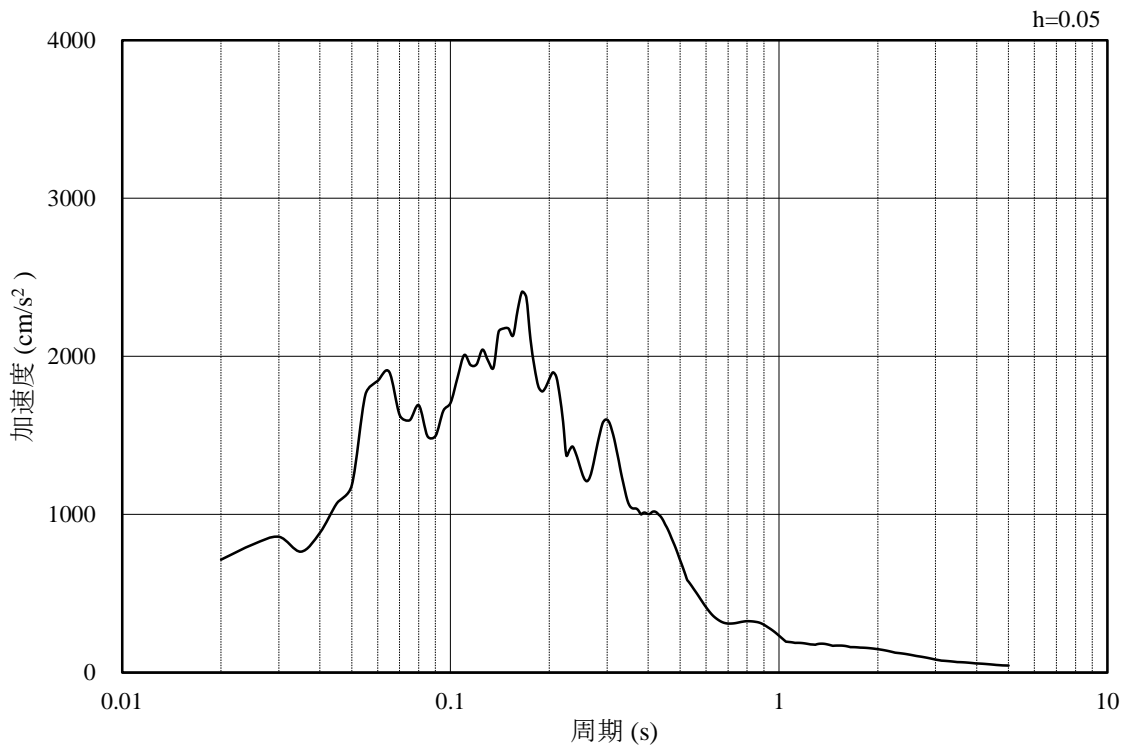


(b) 加速度応答スペクトル

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

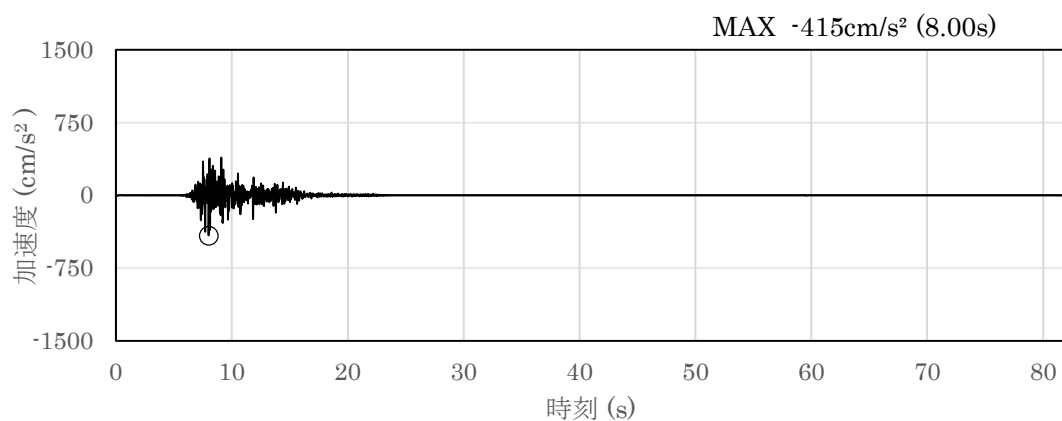


(a) 加速度時刻歴波形

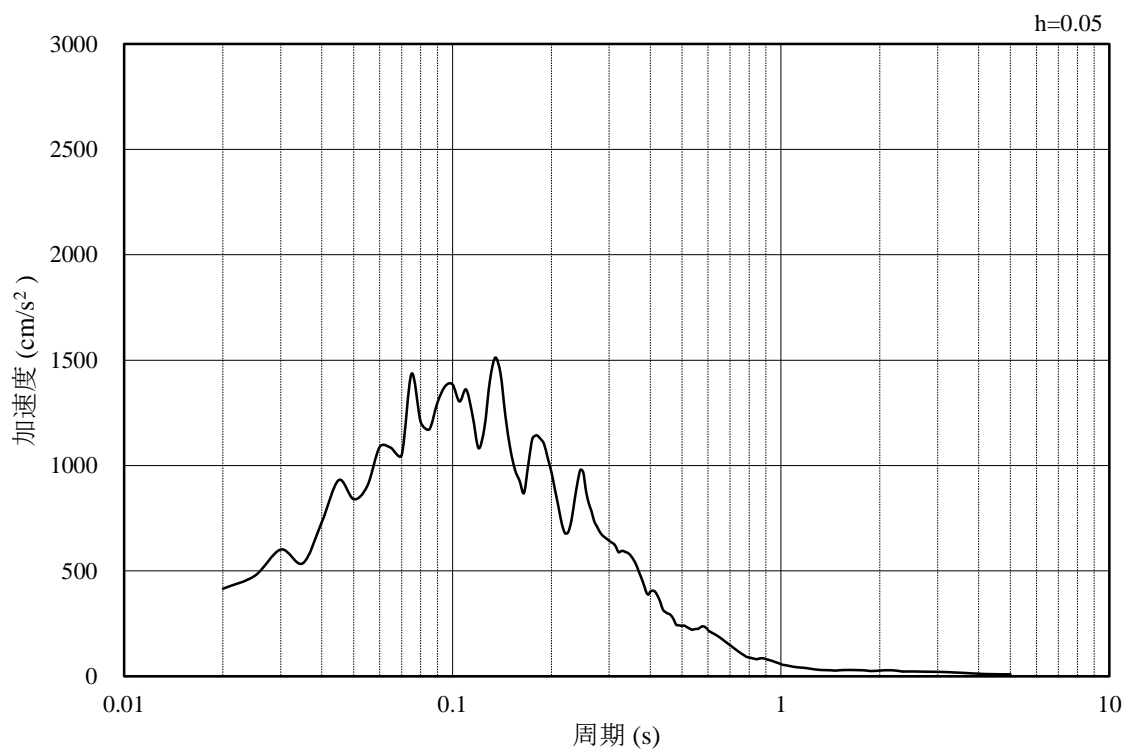


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1)

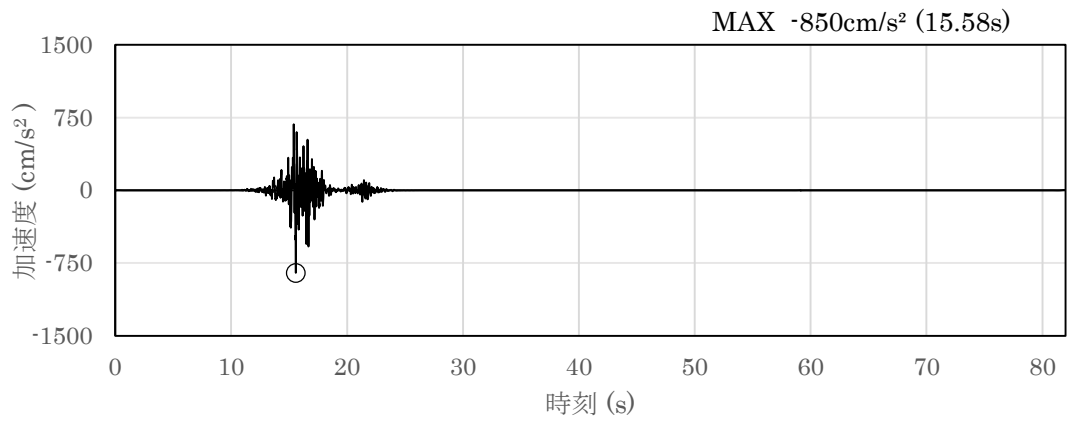


(a) 加速度時刻歴波形

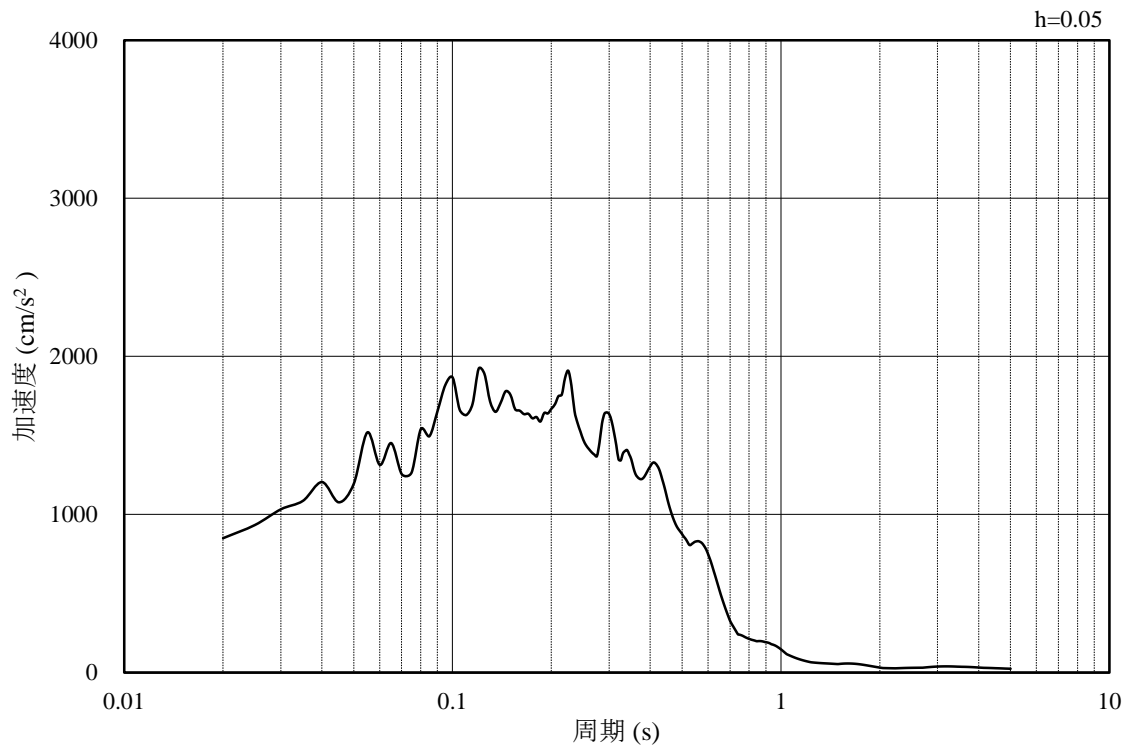


(b) 加速度応答スペクトル

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

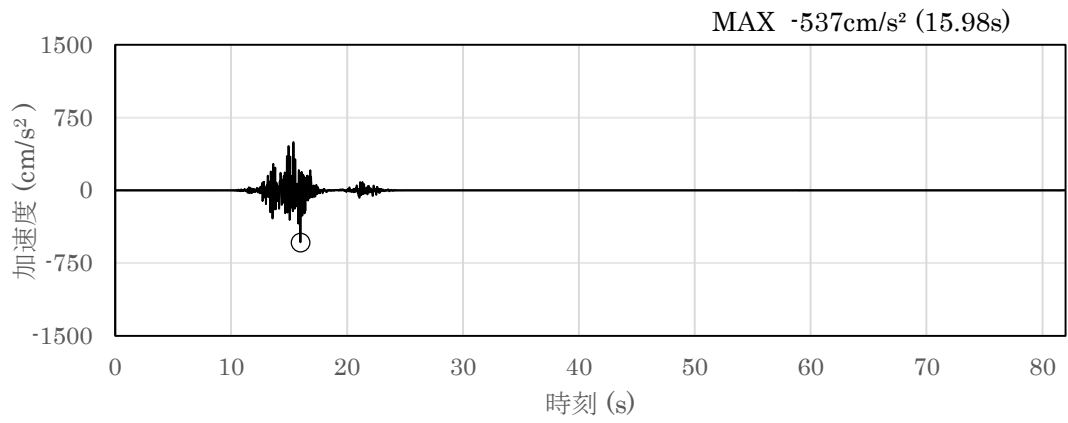


(a) 加速度時刻歴波形

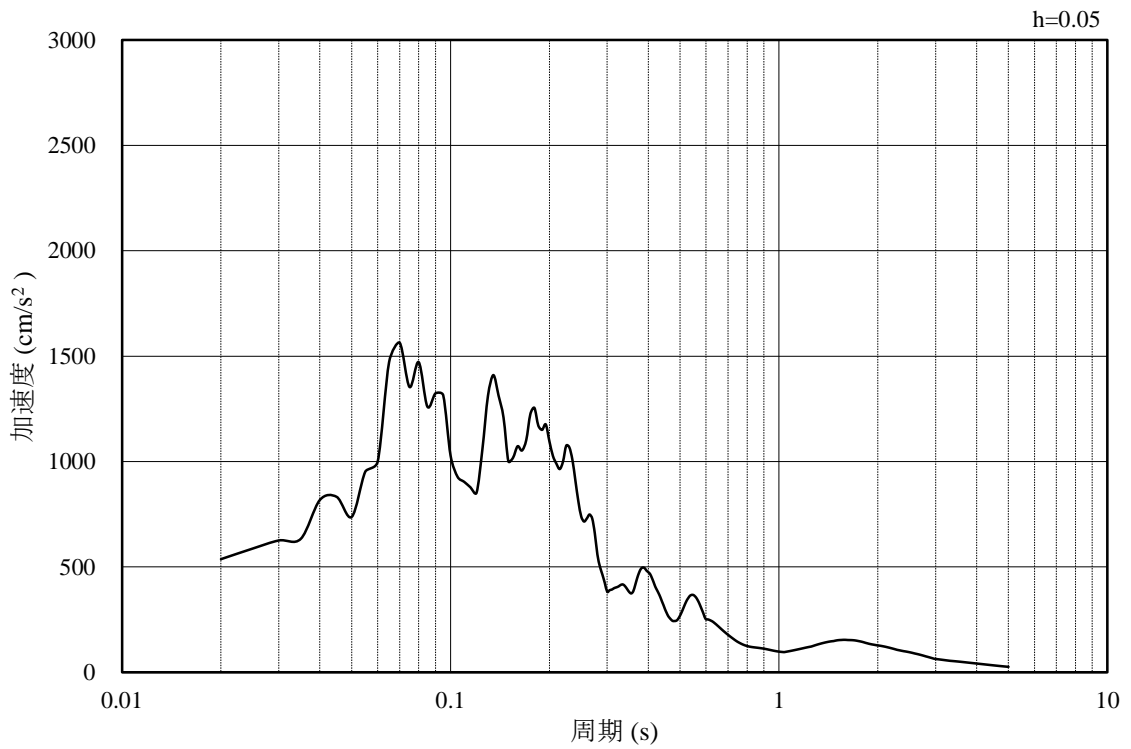


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

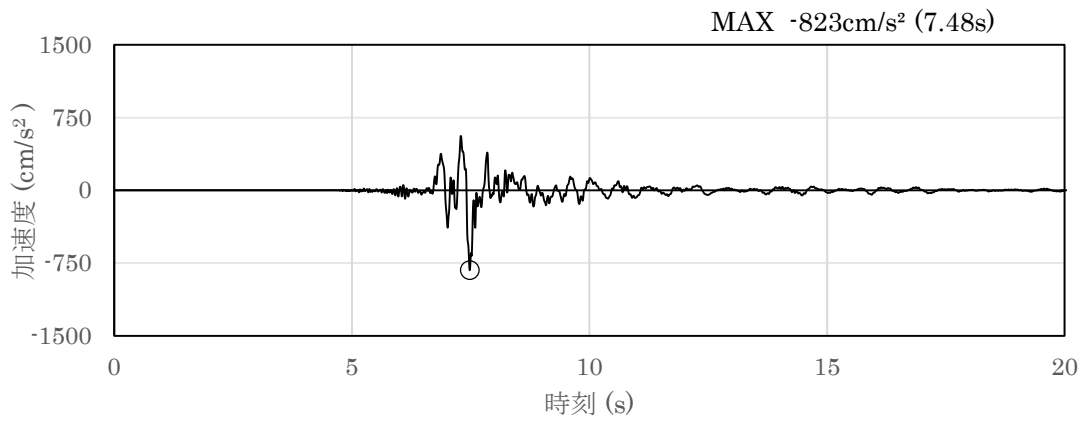


(a) 加速度時刻歴波形

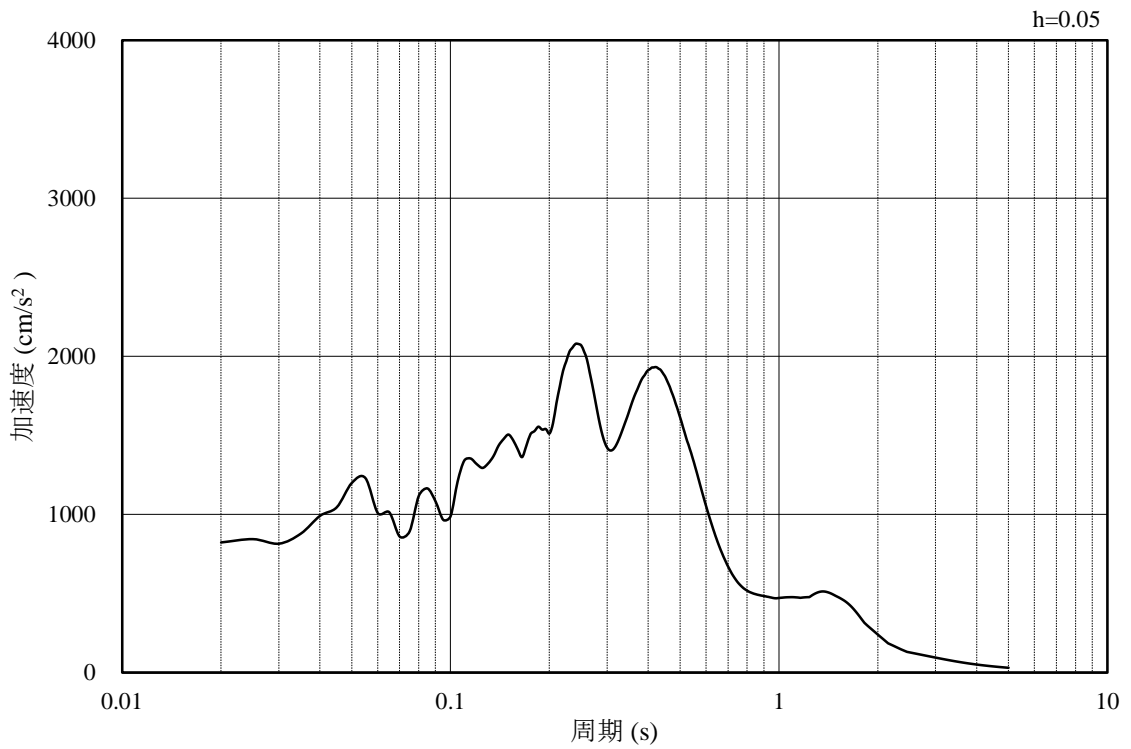


(b) 加速度応答スペクトル

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

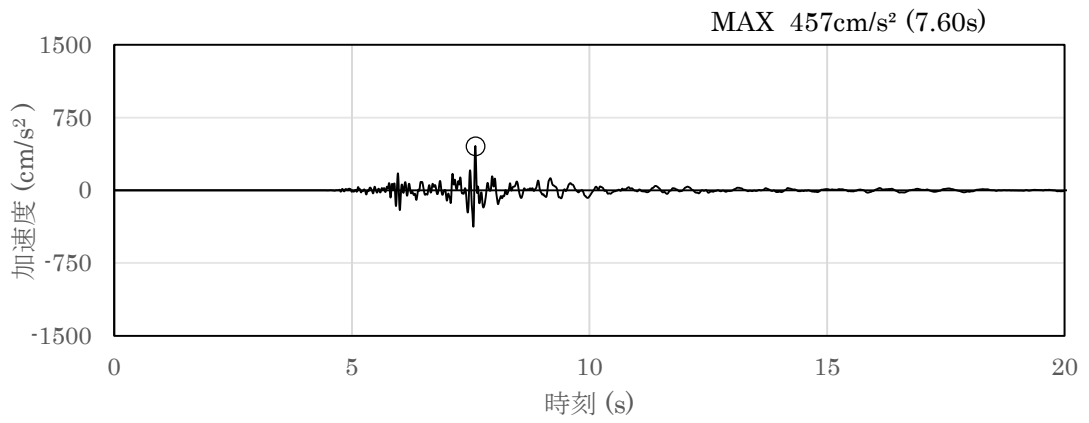


(a) 加速度時刻歴波形

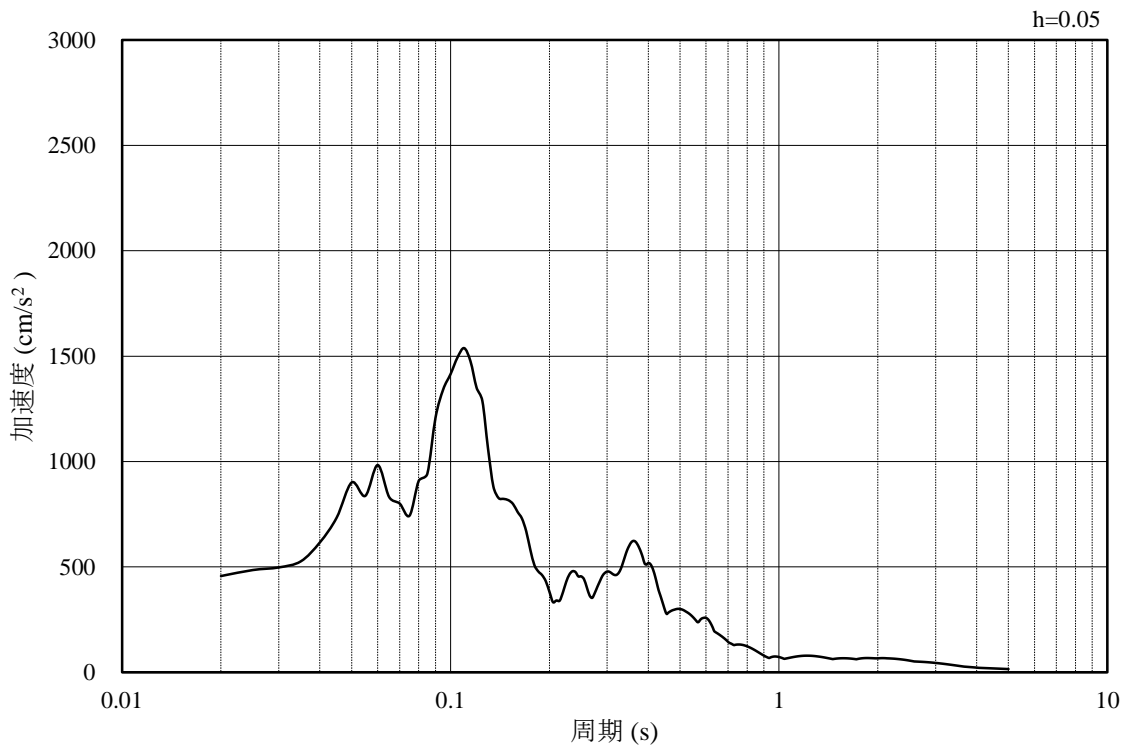


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

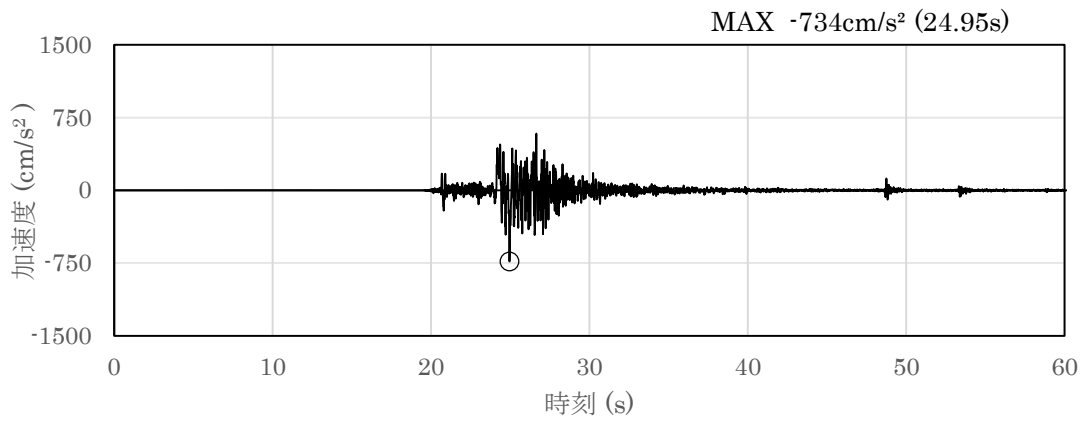


(a) 加速度時刻歴波形

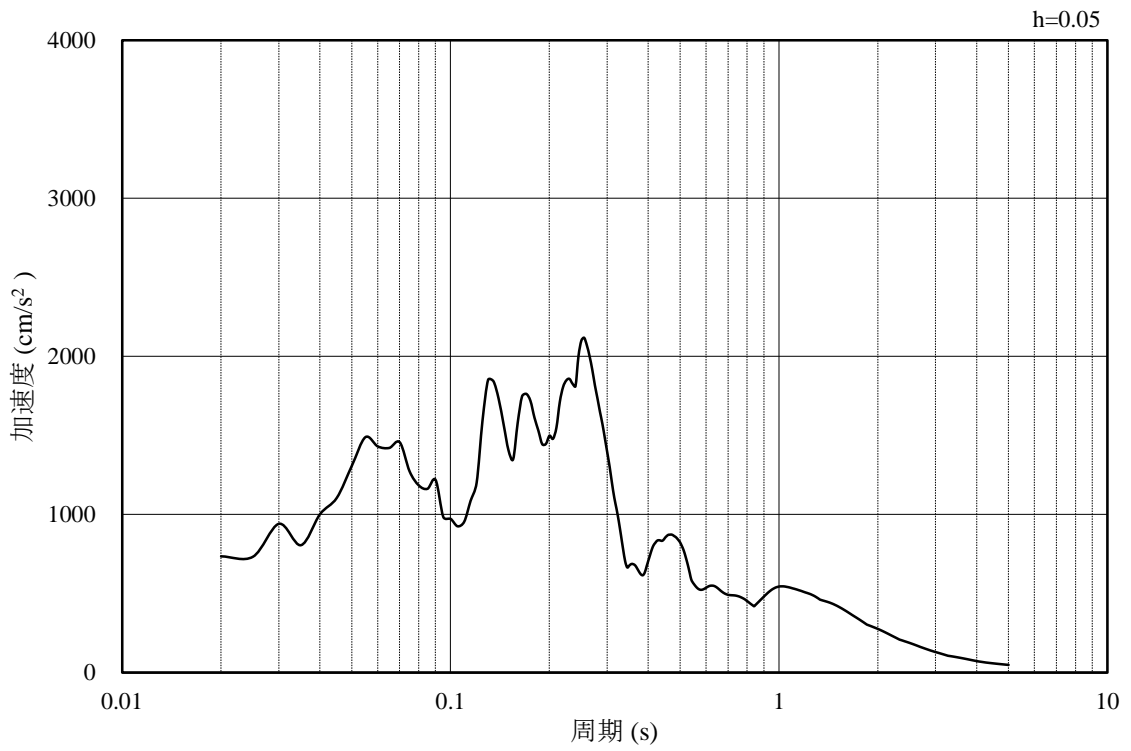


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

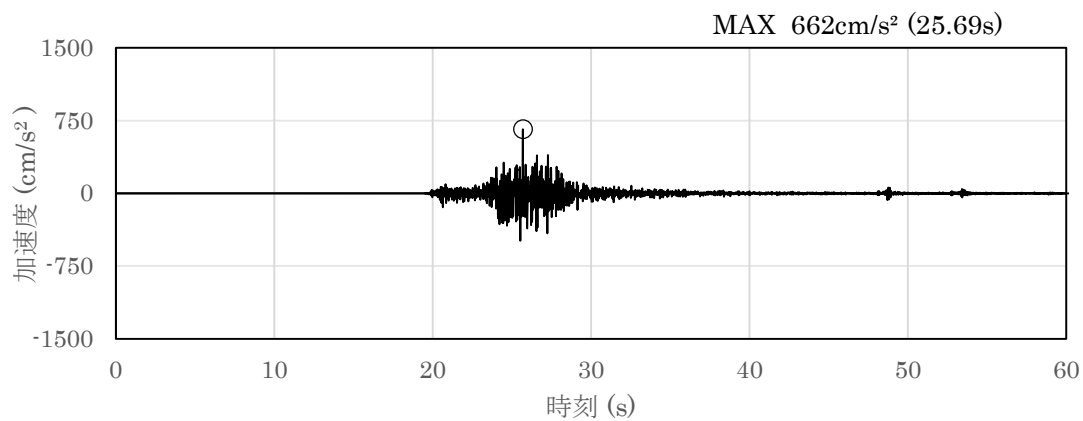


(a) 加速度時刻歴波形

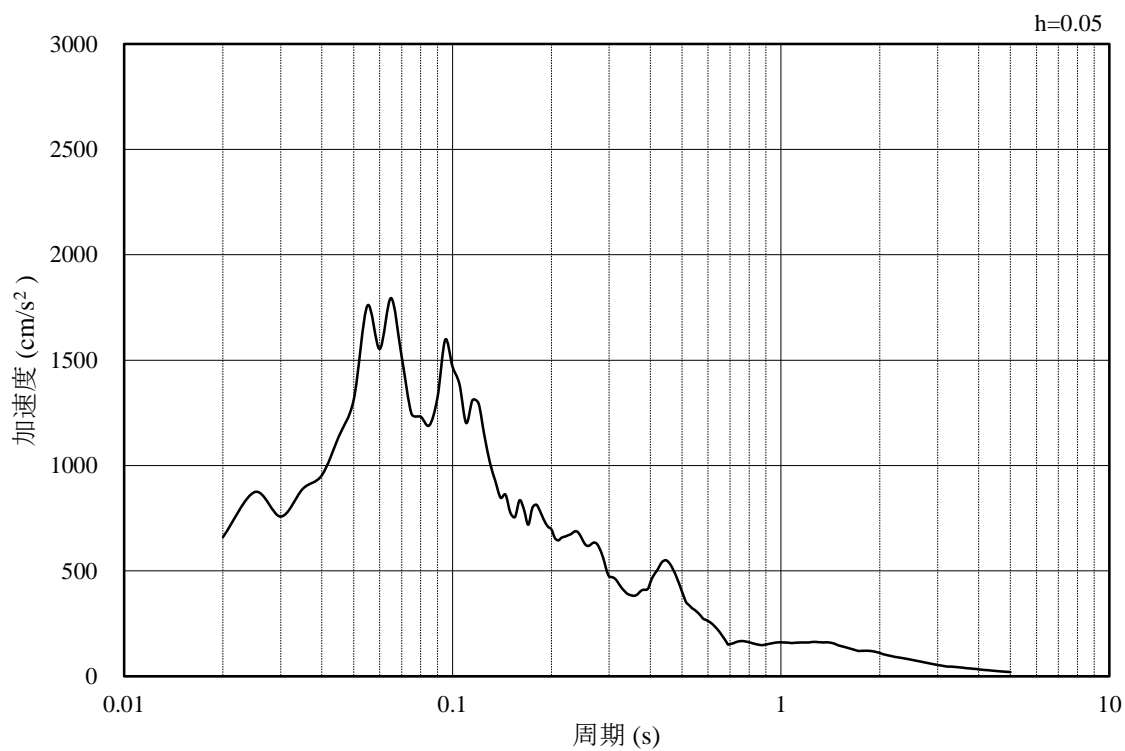


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, N S 方向)

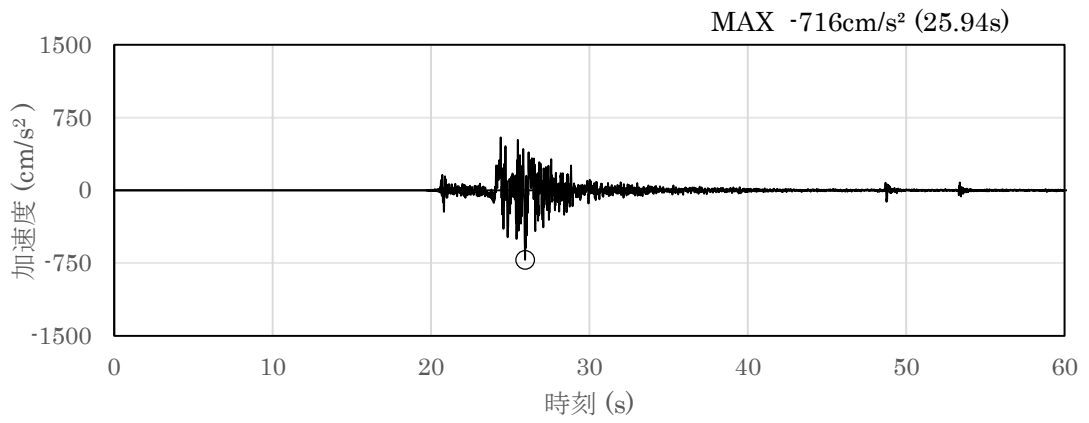


(a) 加速度時刻歴波形

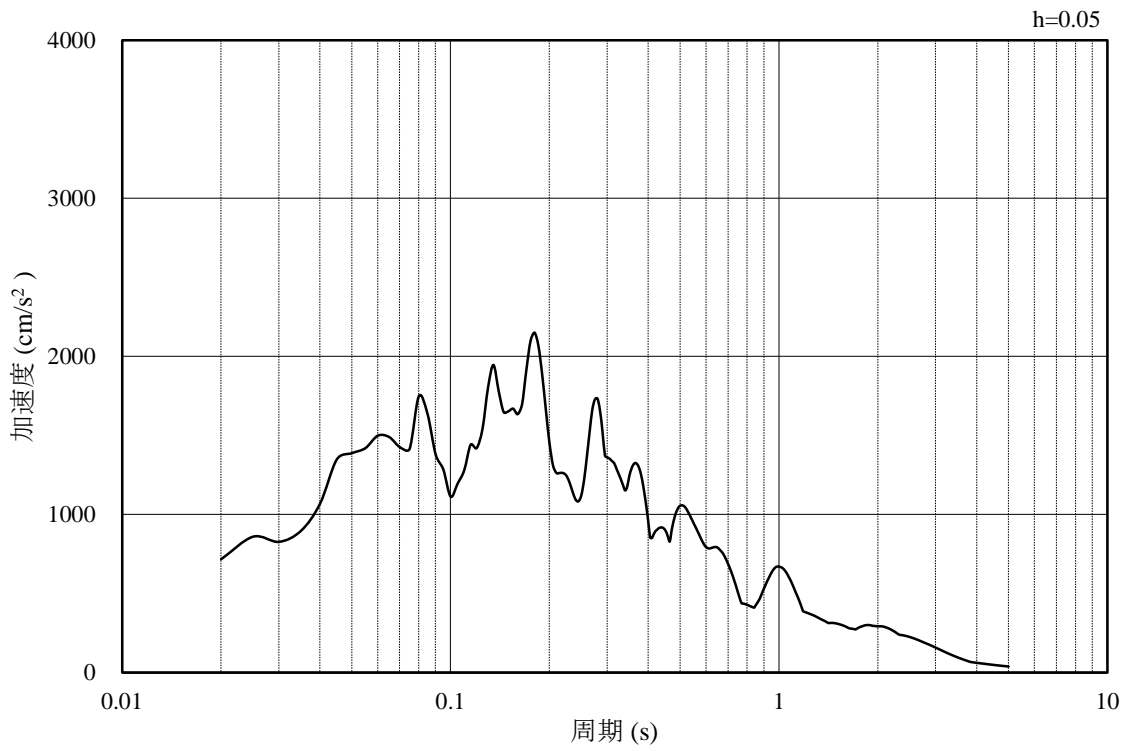


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, NS 方向)

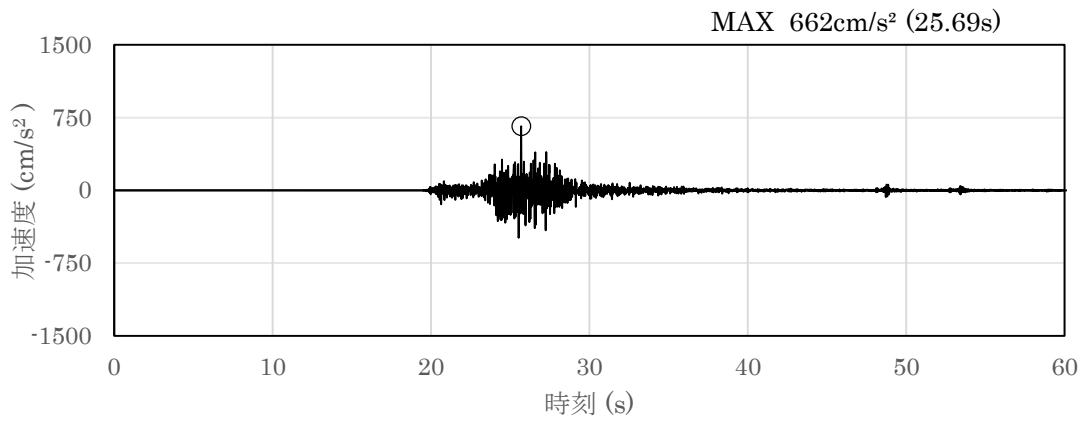


(a) 加速度時刻歴波形

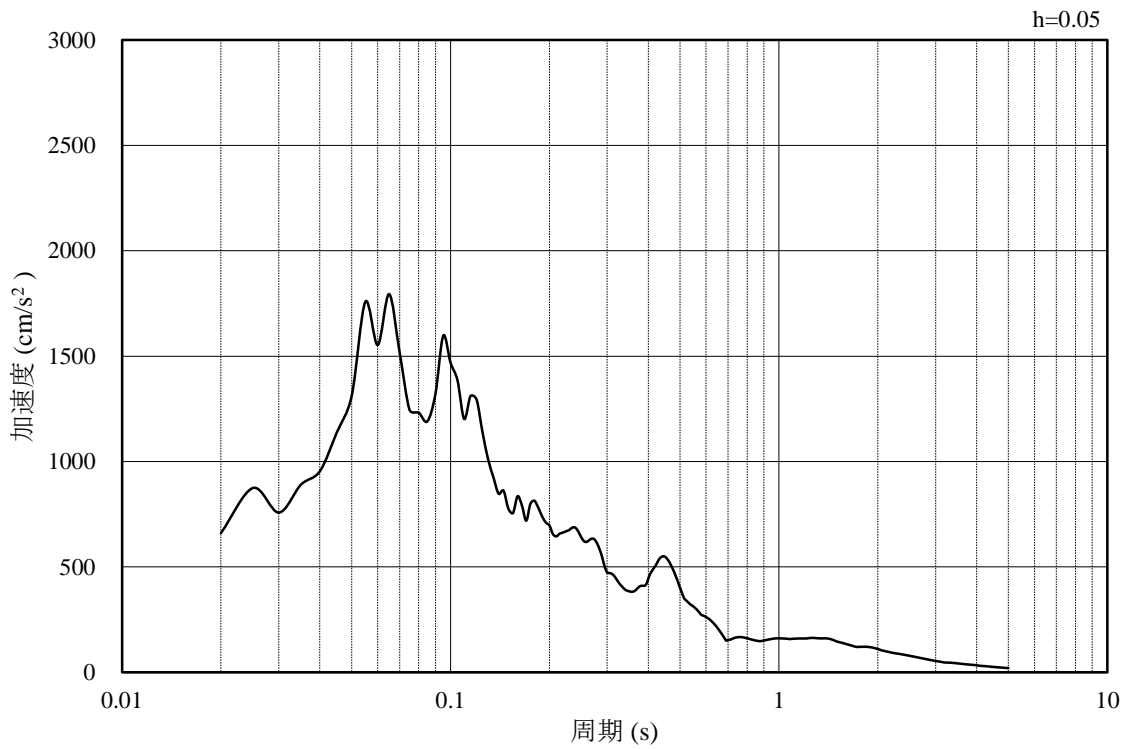


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, EW方向)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, EW方向)

3.5 解析モデル

3.5.1 解析モデル

地震解析モデルを図 3-16 に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

構造部材のうち、遮蔽壁については非線形はり要素及び線形はり要素、鋼管杭については線形はり要素によりモデル化する。機器・配管荷重は解析モデルに付加重量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。埋戻土は、地盤の非線形性を考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。なお、MMRは周辺岩盤と同様とし、線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」の接合面における接触、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。

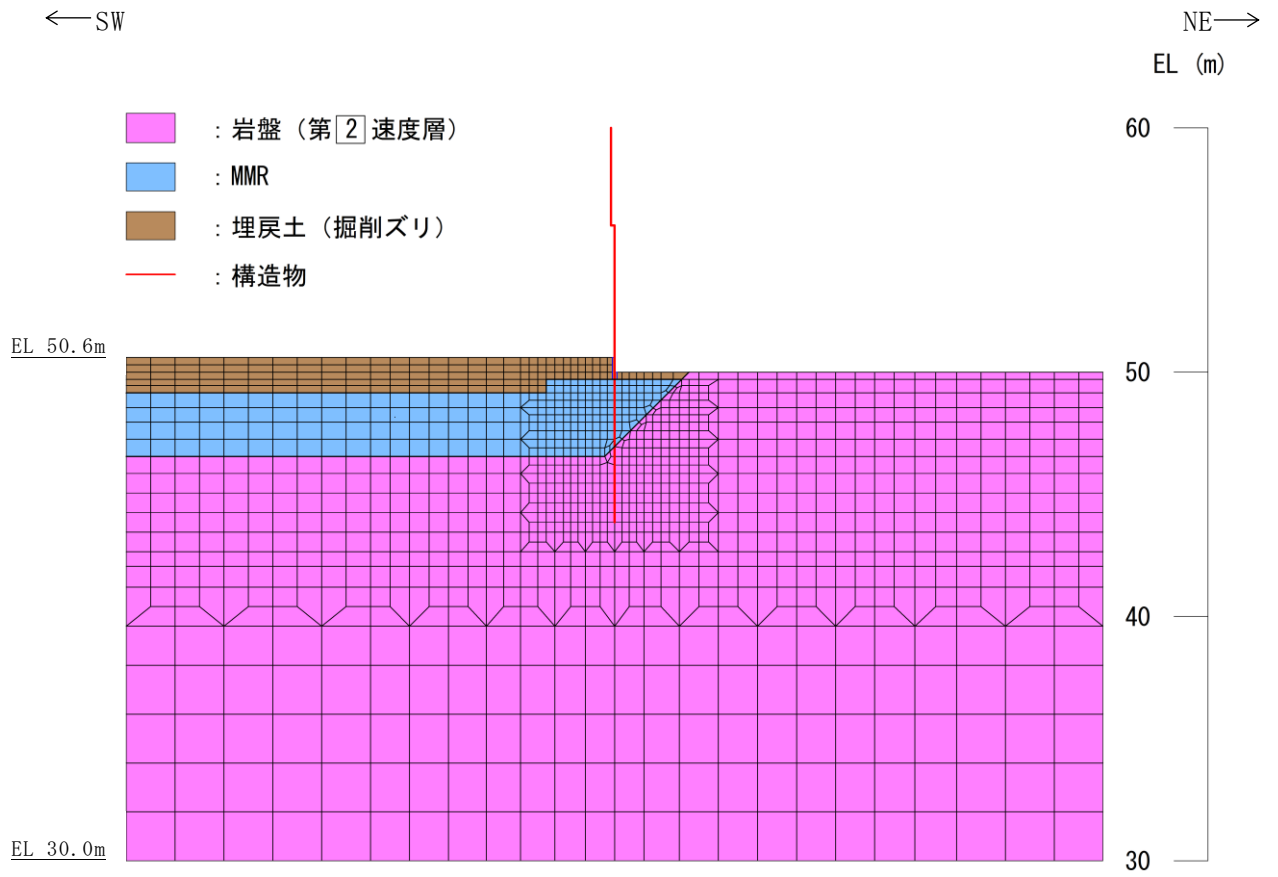


図 3-16 免震重要棟遮蔽壁の解析モデル

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 に示す。

表 3-5 使用材料

材料		仕様
構造物 (鉄筋コンクリート)	コンクリート	設計基準強度 30.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 18.0N/mm ²
鋼管杭		SKK490

表 3-6 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート)	2.80×10 ⁴	24.0	0.2
MMR	2.20×10 ⁴	22.6	0.2
鋼管杭 (SKK490)	2.00×10 ⁵	77.0	0.3

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表3-7に示す。

なお、免震重要棟遮蔽壁直下の地下水位は、免震重要棟遮蔽壁下端より低い^ため、地下水^を考慮しない。

表3-7 設計地下水位

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)	備考
免震重要棟遮蔽壁	A-A断面	地下水位が構造物基礎下端より十分低いため考慮しない。	3次元浸透流解析による 自然水位：EL 23.0m

3.6 許容限界

免震重要棟遮蔽壁の緊急時対策所に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき設定する。

3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 遮蔽壁

a. 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ軸力に対する許容限界は、「土木学会マニュアル」に基づき、圧縮縁コンクリート限界ひずみ 1.0%とする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	圧縮縁コンクリート限界ひずみ	1.0% (10000 μ)

b. せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（遮蔽壁）のせん断破壊に対する許容限界は、「土木学会マニュアル」に基づくせん断耐力とする。せん断耐力は、「土木学会マニュアル」に基づき棒部材式とする。

棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、 V_{yd} : せん断耐力

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72 [N/mm^2]$ となる場合は

$$f_{vcd} = 0.72 [N/mm^2]$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d[m])$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\begin{aligned} \beta_n &= 1 + M_0 / M_d (N'_d \geq 0) \\ &= 1 + 2M_0 / M_d (N'_d < 0) \end{aligned}$$

ただし、 $\beta_n > 2.0$ となる場合は $\beta_n = 2.0$

ただし、 $\beta_n < 0$ となる場合は $\beta_n = 0$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$ となる場合は $\beta_a = 1.0$

(本検討では保守的に $\beta_a = 1.0$ とする)

ここで、 f'_{cd}

: コンクリートの設計圧縮強度 $[N/mm^2]$

d

: 部材の有効高さ

p_v

: 引張鉄筋比 $p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

A_s

: 引張側鋼材の断面積

b_w

: 部材の有効幅

N'_d

: 設計軸圧縮力

M_d

: 設計曲げモーメント

M_0

: M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$$M_0 = N'_d \cdot D / 6$$

D

: 断面高さ

a/d

: せん断スパン比

γ_{bc}

: 部材係数

$$V_{sd} = \{A_w \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} \cdot z / \gamma_{bs}$$

- ここで、 A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積
- f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度で、 400N/mm^2 以下とする。
ただし、コンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が
 60N/mm^2 以上の場合、 800 N/mm^2 以下とする。
- α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度
- s : せん断補強鉄筋の配置間隔
- z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの
距離で、 $d/1.15$ とする。
- γ_{bs} : 部材係数

(2) 鋼管杭

鋼管杭の断面照査は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，曲げ・軸力に対する断面照査（全塑性モーメントに対する評価）及びせん断（降伏強度に対する評価）に対する断面照査を行う。

a. 曲げ・軸力に対する断面照査（全塑性モーメントに対する評価）

鋼管杭の曲げ・軸力に対する断面照査は，全塑性モーメント M_p を算定し，鋼管杭に発生する最大曲げモーメントが全塑性モーメント以下となることを確認する。

$$M_p = M_{p0} \cos(\alpha \pi / 2)$$

ここで，

M_p ：全塑性モーメント（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

M_{p0} ：軸力がない場合の全塑性モーメント（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

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

α ：モーメントがない場合の降伏軸力 N_0 と作用軸力 N の比

$$\alpha = N / N_0$$

N_0 ：モーメントがない場合の降伏軸力（ kN ）

$$N_0 = \sigma_y A$$

Z_p ：塑性断面係数（ m^3 ）

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

σ_y ：鋼管杭の降伏点強度（ kN / m^2 ）

N ：軸力（ kN ）

A ：鋼管杭の断面積（ m^2 ）

t ：鋼管杭の板厚（ m ）

r ：鋼管杭の半径（ m ）

b. せん断に対する断面照査

鋼管杭のせん断に対する断面照査は，鋼管杭のせん断応力度が，降伏強度以下となることを確認する。なお，鋼管杭のせん断応力度は，鋼管杭内部が中詰めコンクリートで充填されているため，鋼管杭の全断面積を有効断面積として算定する。

(3) 杭頭部

a. 水平力に対する照査

杭頭部の許容限界は、「杭基礎設計便覧（（社）日本道路協会，2007年）」に基づき，水平力に対する照査を行う。

鋼管杭の水平力に対する照査は，図3-17に示す水平支圧応力 σ_{ch} 及び水平方向の押抜きせん断応力 τ_h が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{ch} = H/DL$$

$$\tau_h = H/h' (2L+D+2h')$$

ここに，

σ_{ch} : 杭頭結合部に発生する水平支圧応力度 (N/mm²)

τ_h : 杭頭結合部に発生する水平押抜きせん断応力度 (N/mm²)

H : 杭頭結合部に作用する水平力 (N)

D : 鋼管杭径 (mm)

L : 杭の埋込長 (mm)

h' : 水平方向の押し抜きせん断に抵抗するフーチング有効厚 (mm)

<p>4) フーチングコンクリートの水平支圧応力度の照査</p> <p>a. 方法Aの場合</p> $\sigma_{ch} = \frac{H}{Dl} + \frac{6M}{Dl^2} \leq \sigma_{bc} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 5})$ <p>b. 方法Bの場合</p> $\sigma_{ch} = \frac{H}{Dl} \leq \sigma_{bc} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 6})$ <p>5) フーチング端部の杭に対する水平方向の押抜きせん断応力度の照査</p> $\tau_h = \frac{H}{h'(2l+D+2h')} \leq \tau_a \dots\dots\dots(\text{III. 6. 7})$

図3-17 水平力に対する照査

(「杭基礎設計便覧（（社）日本道路協会，2007年）」より引用に一部加筆)

b. 曲げモーメントに対する照査

鋼管杭の杭頭部の曲げモーメントに対する照査は、「杭基礎設計便覧（（社）日本道路協会，2007年）」に基づき，杭頭部に発生する曲げモーメントが，仮想鉄筋コンクリート断面の降伏曲げモーメント以下であることを確認する。仮想鉄筋コンクリートの取り方を図3-18に示す。

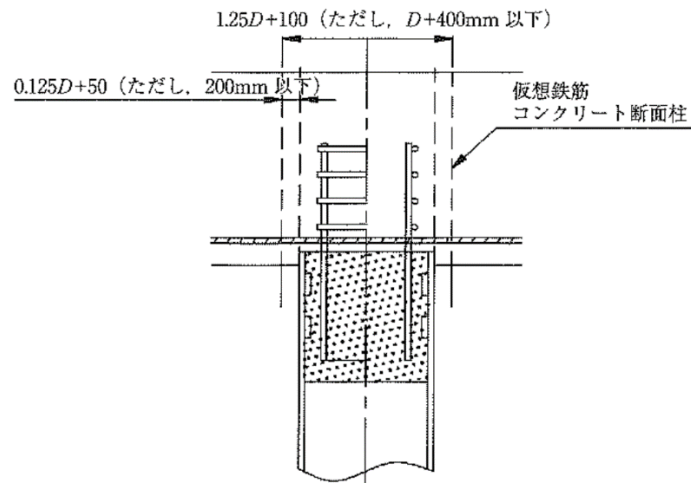


図-Ⅲ.5.30 仮想鉄筋コンクリート断面

図3-18 仮想鉄筋コンクリート断面の取り方

（「杭基礎設計便覧（（社）日本道路協会，2007年）」より引用）

3.6.2 基礎地盤の健全性に対する許容限界

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

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表3-9に示す。

表3-9 免震重要棟遮蔽壁の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _L 級岩盤	3.9

3.7 評価方法

免震重要棟遮蔽壁の耐震評価は，地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.6 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

構造強度を有することの確認については，鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査において，地震応答解析により算定した圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

4.1.1 遮蔽壁（鉄筋コンクリート部材）

遮蔽壁（鉄筋コンクリート部材）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値を表 4-2 に示す。また、曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなるケースの圧縮縁コンクリートひずみの時刻歴波形及び発生位置を図 4-1 に、せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図 4-2 に示す。

免震重要棟遮蔽壁の圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が、許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

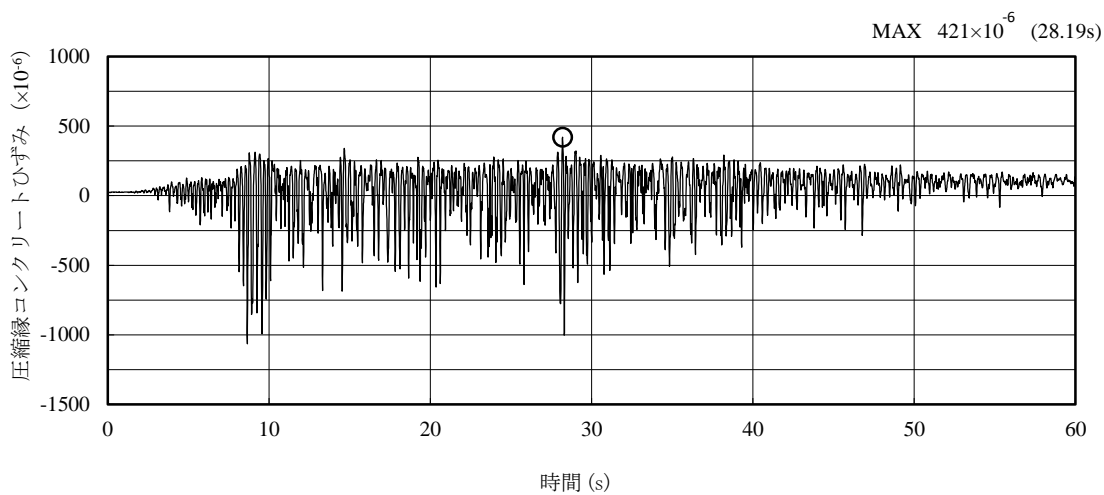
解析ケース	地震動		照査用圧縮縁 コンクリート ひずみ*	圧縮縁コンク リート限界ひ ずみ	照査値
①	S _s -D	++	506 μ	10000 μ	0.06
		-+	471 μ	10000 μ	0.05
		+ -	491 μ	10000 μ	0.05
		--	458 μ	10000 μ	0.05
	S _s -F 1	++	389 μ	10000 μ	0.04
	S _s -F 2	++	374 μ	10000 μ	0.04
	S _s -N 1	++	484 μ	10000 μ	0.05
		-+	413 μ	10000 μ	0.05
	S _s -N 2 (NS)	++	425 μ	10000 μ	0.05
		-+	419 μ	10000 μ	0.05
	S _s -N 2 (EW)	++	402 μ	10000 μ	0.05
		-+	334 μ	10000 μ	0.04
②	S _s -N 1	++	473 μ	10000 μ	0.05
③	S _s -N 1	++	489 μ	10000 μ	0.05

注記*：照査用圧縮縁コンクリートひずみ＝圧縮縁コンクリートひずみ×構造解析係数 γ_a
(=1.2)

表 4-2 せん断破壊に対する最大照査値

解析ケース	地震動		照査用 せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
①	S _s -D	++	89	444	0.21
		-+	178	755	0.24
		+ -	85	440	0.20
		--	171	759	0.23
	S _s -F 1	++	77	442	0.18
	S _s -F 2	++	146	760	0.20
	S _s -N 1	++	177	754	0.24
		-+	147	756	0.20
	S _s -N 2 (NS)	++	144	758	0.19
		-+	86	443	0.20
	S _s -N 2 (EW)	++	86	443	0.20
		-+	121	767	0.16
②	S _s -N 1	++	176	756	0.24
③	S _s -N 1	++	179	756	0.24

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.05)$



(圧縮を正で示す。)

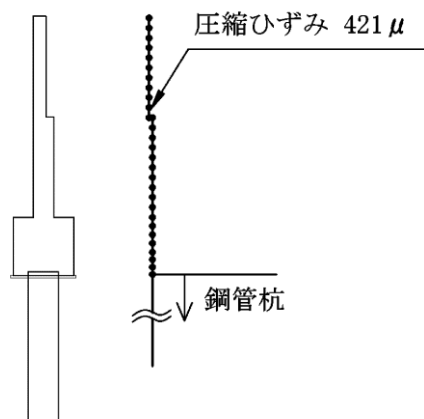
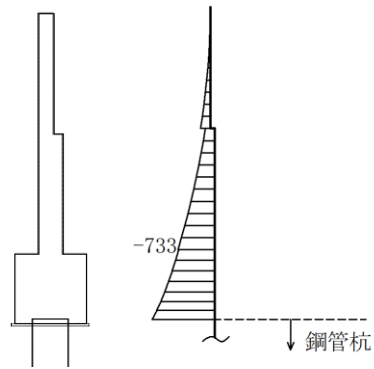
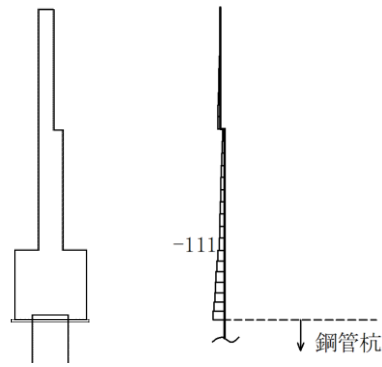


図 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなるケースの圧縮縁コンクリートひずみの時刻歴波形及び発生位置 (解析ケース①, S s - D (++))



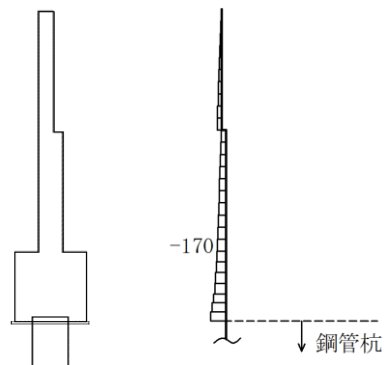
数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 4-2 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(解析ケース③, S_s-N1(++) , t=7.56s)

4.1.2 鋼管杭

鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 4-3 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値を表 4-4 に示す。また、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図 4-3 及び図 4-4 に示す。

鋼管杭の曲げモーメント及びせん断力が、許容限界以下であることを確認した。

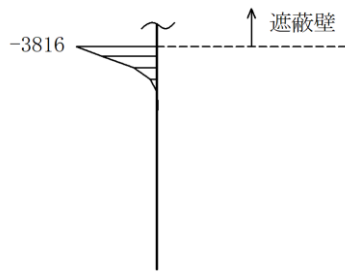
表 4-3 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

解析ケース	地震動		照査用 発生曲げ モーメント* M (kN・m)	全塑性曲げ モーメント* M _p (kN・m)	照査値 M/M _p
①	S _s -D	++	3105	7884	0.40
		-+	3703	7883	0.47
		+ -	2985	7880	0.38
		--	3561	7879	0.46
	S _s -F 1	++	2405	7881	0.31
	S _s -F 2	++	2897	7881	0.37
	S _s -N 1	++	3778	7885	0.48
		-+	3205	7885	0.41
	S _s -N 2 (NS)	++	2920	7881	0.38
		-+	2903	7883	0.37
	S _s -N 2 (EW)	++	2839	7881	0.37
		-+	2336	7880	0.30
②	S _s -N 1	++	3756	7884	0.48
③	S _s -N 1	++	3816	7884	0.49

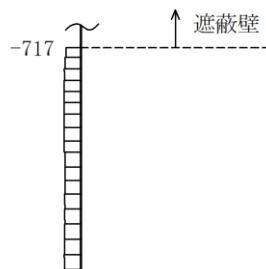
注記*：照査用発生曲げモーメント及び全塑性曲げモーメントは杭 1 本当りの数値を示す。

表 4-4 鋼管杭のせん断破壊に対する評価結果

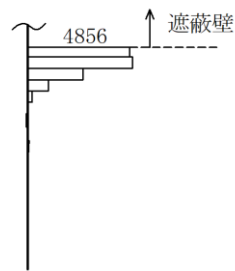
解析ケース	地震動		照査用 発生応力度 τ (N/mm ²)	降伏強度 τ_s (N/mm ²)	照査値 τ / τ_s
①	S _s -D	++	61	181	0.34
		-+	73	181	0.41
		+-	59	181	0.33
		--	70	181	0.39
	S _s -F1	++	47	181	0.26
	S _s -F2	++	57	181	0.32
	S _s -N1	++	74	181	0.41
		-+	63	181	0.35
	S _s -N2 (NS)	++	57	181	0.32
		-+	57	181	0.32
	S _s -N2 (EW)	++	56	181	0.31
		-+	46	181	0.26
②	S _s -N1	++	74	181	0.41
③	S _s -N1	++	75	181	0.42



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m/本)

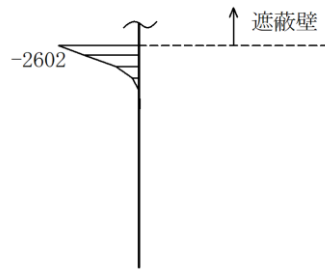


数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN/本) (+ : 引張, - : 圧縮)

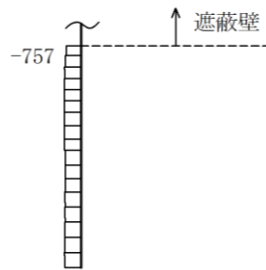


数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN/本)

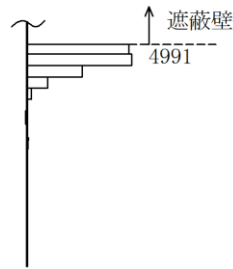
図 4-3 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (解析ケース③, S s - N 1 (++) , t = 7.56s)



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m/本)



数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN/本) (+：引張，-：圧縮)



数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN/本)

図 4-4 鋼管杭のせん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (解析ケース③, S s - N 1 (++) , t = 7.56s)

4.1.3 杭頭部

杭頭部の水平支圧応力に対する照査における最大照査値を表 4-5 に、水平方向押抜きせん断に対する最大照査値を表 4-6 に、仮想鉄筋コンクリート断面の曲げモーメントに対する最大照査値を表 4-7 に示す。

杭頭部の水平支圧応力、水平方向押抜きせん断応力及び仮想鉄筋コンクリート断面の曲げモーメントが、許容限界を下回ることを確認した。

表 4-5 水平支圧応力に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	水平力 H* (kN/本)	水平支圧応力度 σ_{ch} (N/mm ²)	許容支圧応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値
①	S s - D (-+)	1,004	5.58	13.5	0.42

注記*：水平力は、構造解析係数 1.05 を考慮した数値を示す。

表 4-6 水平方向押抜きせん断に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	水平力 H* (kN/本)	押抜きせん断応力度 τ_h (N/mm ²)	許容押抜き せん断応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値
①	S s - D (-+)	1,004	0.62	1.0	0.62

注記*：水平力は、構造解析係数 1.05 を考慮した数値を示す。

表 4-7 仮想鉄筋コンクリート断面の曲げモーメントに対する最大照査値

解析 ケース	地震動	発生曲げモ ーメント* (kN・m/本)	発生軸力* (kN/本)	降伏曲げ モーメント (kN・m/本)	照査値
①	S s - N 1 (++)	3,938	572	6,622	0.60

注記*：発生断面力は、構造解析係数 1.05 を考慮した数値を示す。

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 4-8 に示す。

免震重要棟遮蔽壁の基礎地盤に発生する最大接地圧が許容限界を下回ることを確認した。

表 4-8 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

解析ケース	地震動		最大接地圧	極限支持力度	照査値
			R_d (N/mm ²)	R_U (N/mm ²)	R_d/R_U
①	S _s -D	++	0.85	3.9	0.22
		-+	0.84	3.9	0.22
		+-	0.82	3.9	0.22
		--	0.83	3.9	0.22
	S _s -F 1	++	0.80	3.9	0.21
	S _s -F 2	++	0.82	3.9	0.22
	S _s -N 1	++	0.81	3.9	0.21
		-+	0.81	3.9	0.21
	S _s -N 2 (NS)	++	0.83	3.9	0.22
		-+	0.84	3.9	0.22
	S _s -N 2 (EW)	++	0.85	3.9	0.22
		-+	0.83	3.9	0.22
②	S _s -N 1	++	0.80	3.9	0.21
③	S _s -N 1	++	0.82	3.9	0.22