

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0177_改1
提出年月日	2021年9月8日

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

02 ③ VI-2-11-2-20 R1

2021年9月

東北電力株式会社

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	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（防波堤）の位置を図2-1に示す。

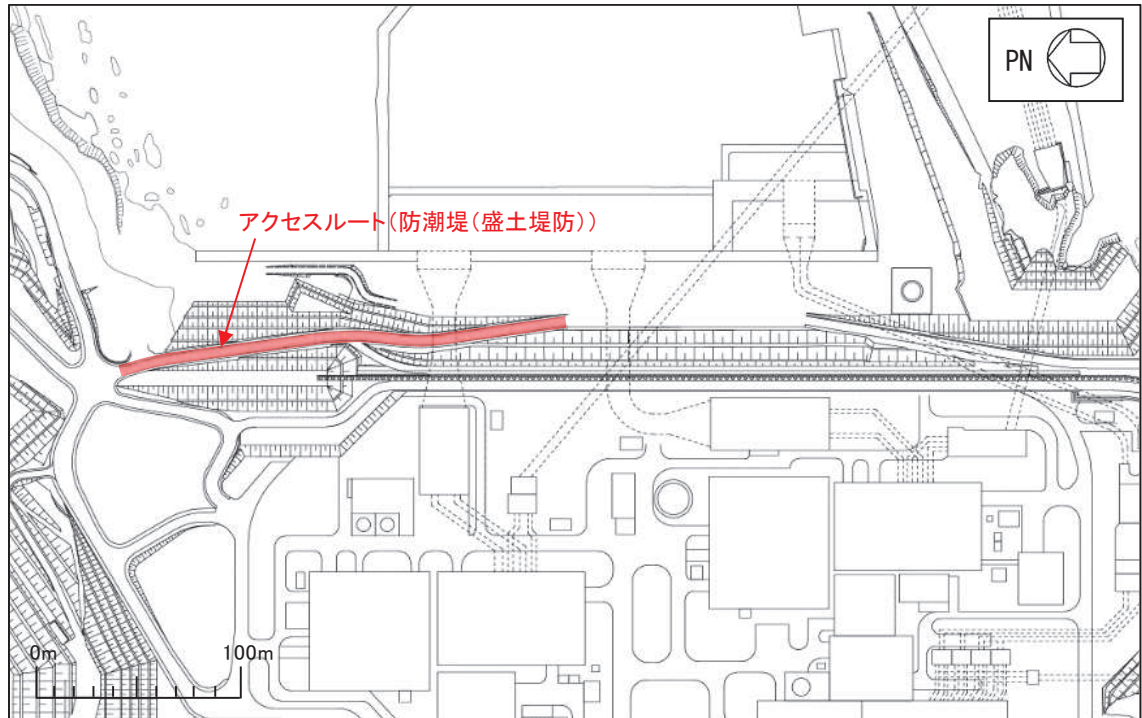


図2-1 アクセスルートの位置図

2.2 構造概要

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

アクセスルートの構造図を図 2-2 に示す。

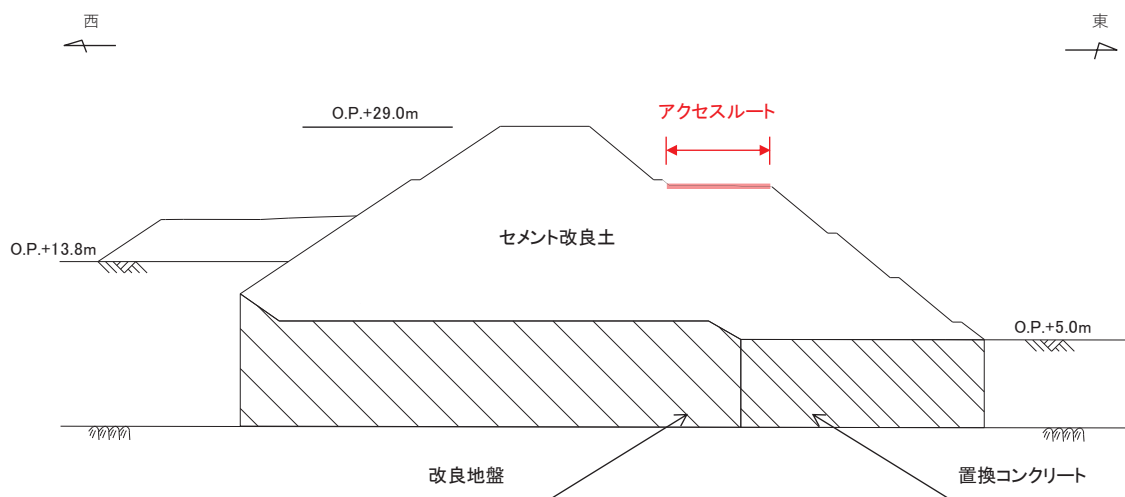


図 2-2 アクセスルートの構造図

2.3 評価方針

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

アクセスルートの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

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

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

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

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

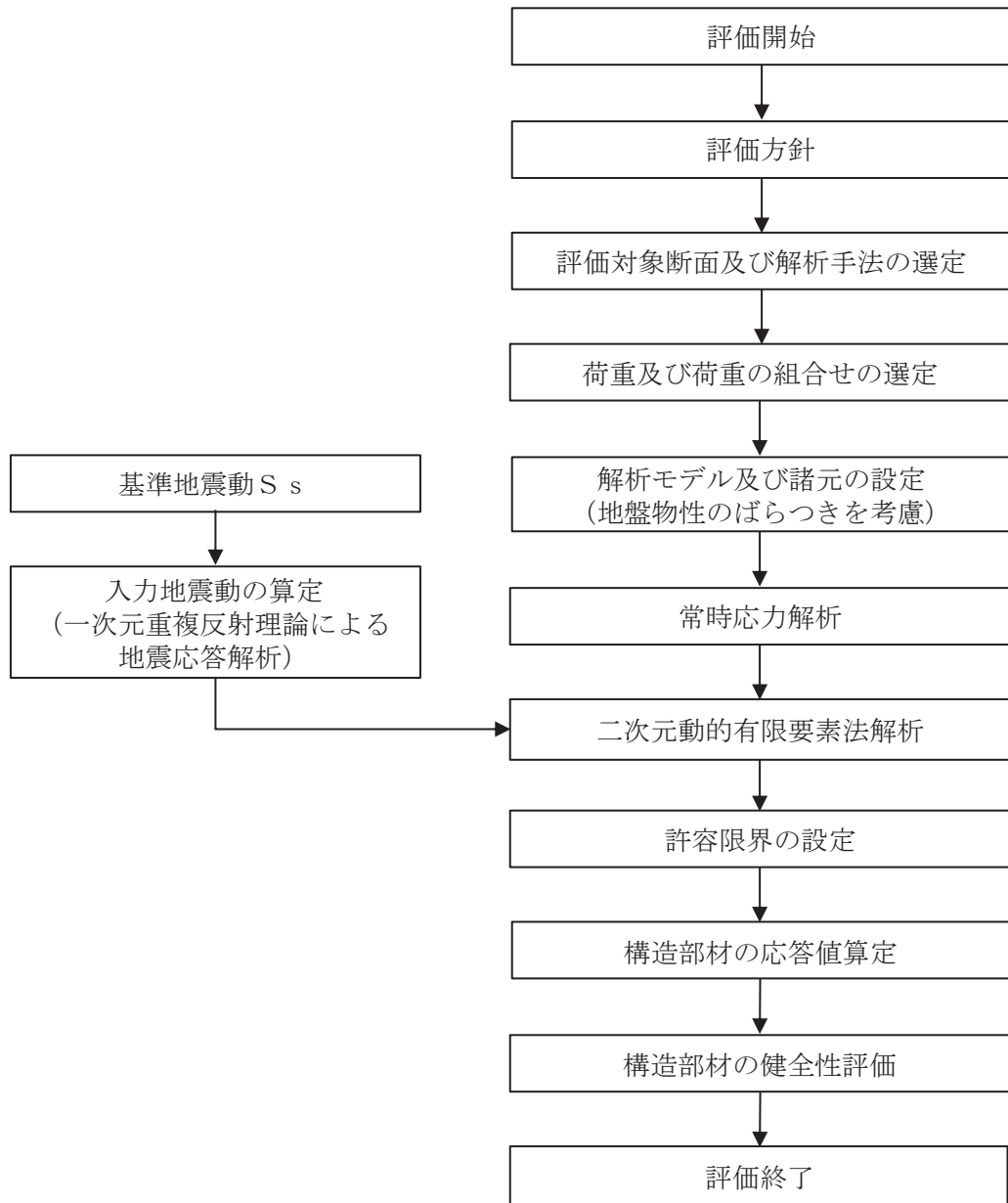


図 2-3 アクセスルートの耐震評価フロー

表 2-1 アクセスルートの評価項目

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

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年6月制定）（以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。）
- ・ 道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

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

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

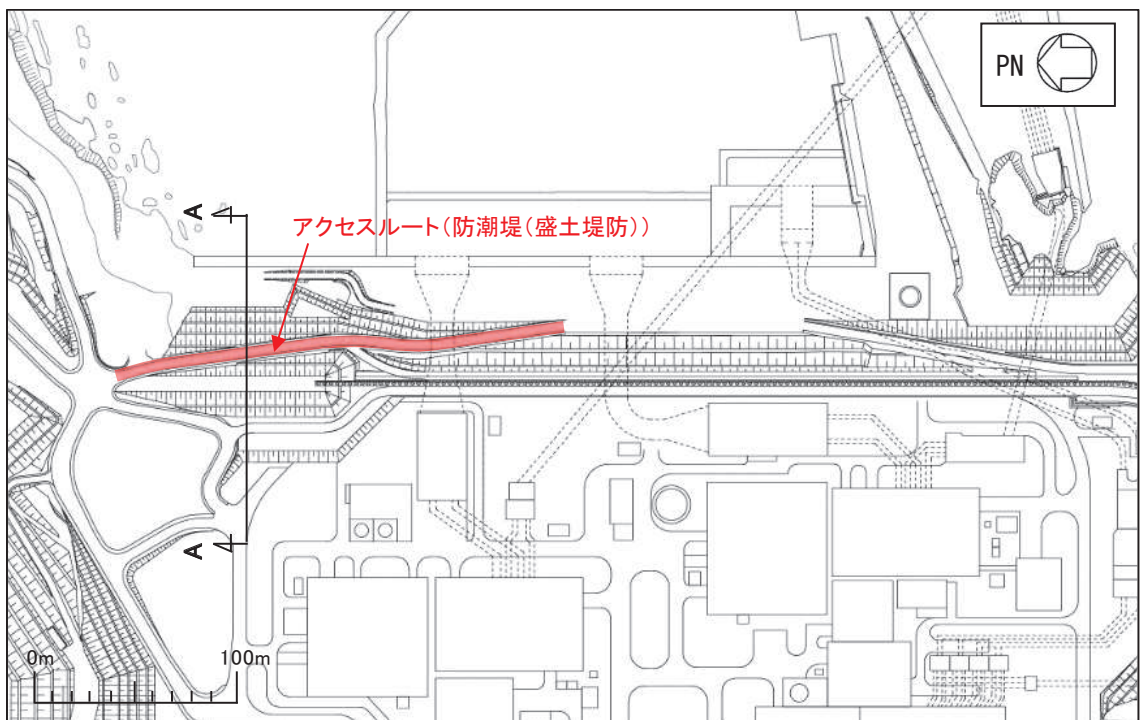


図3-1 アクセスルートの評価対象断面位置図

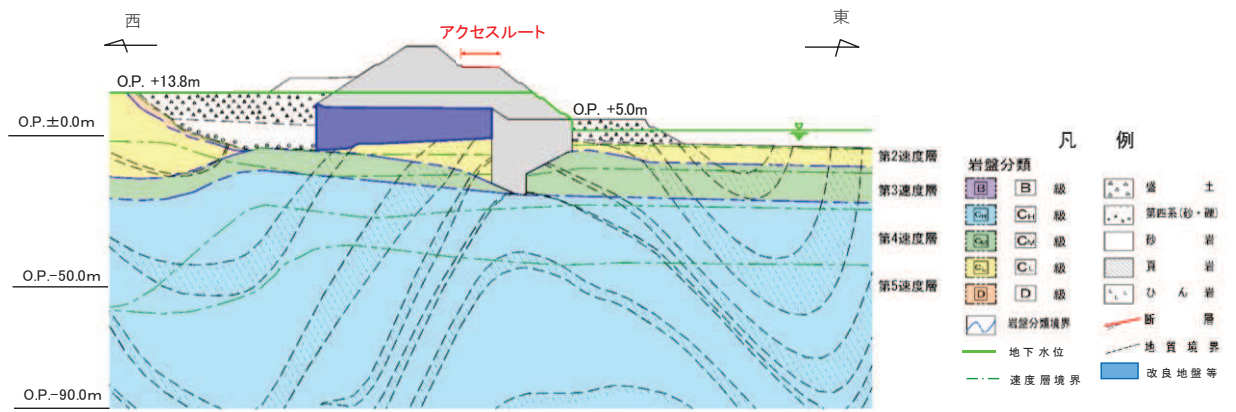


図 3-2 評価対象断面図 (A-A 断面)

3.2 解析方法

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

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

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

3.2.1 構造部材

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

3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

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

解析ケースを表 3-1 に示す。

表 3-1 解析ケース（アクセスルート）

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

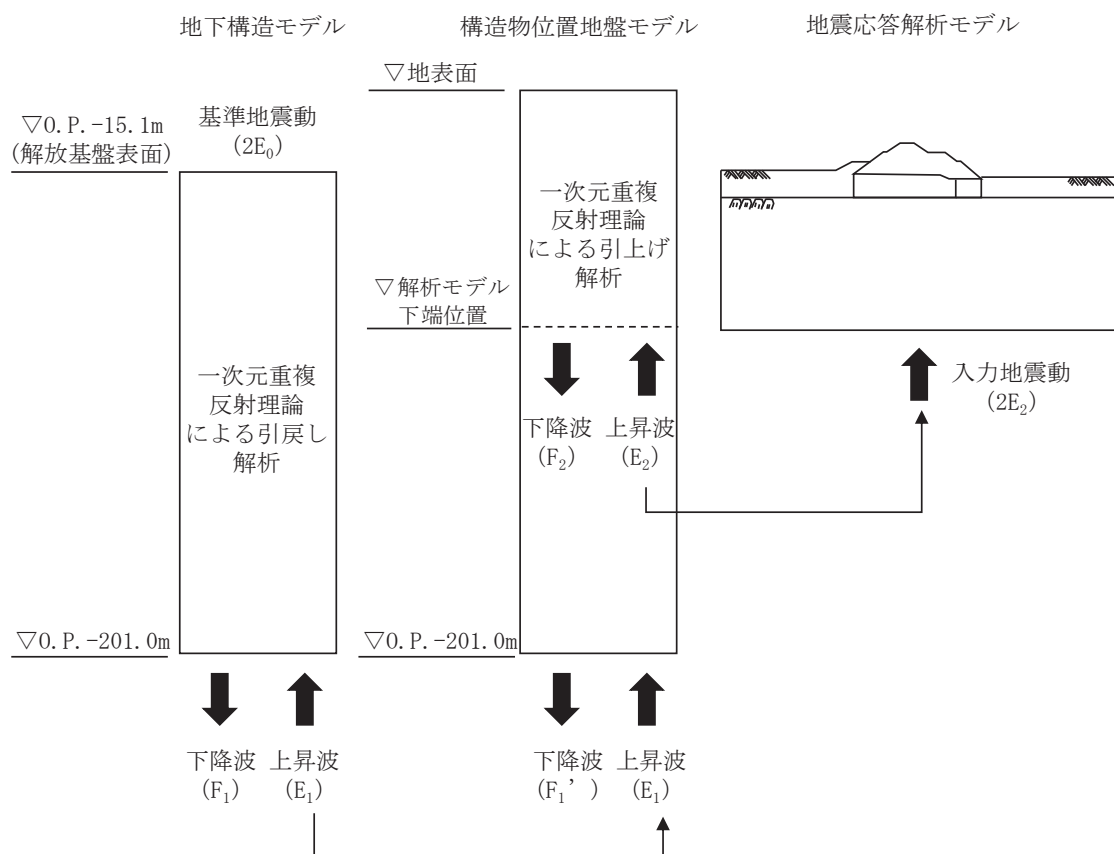
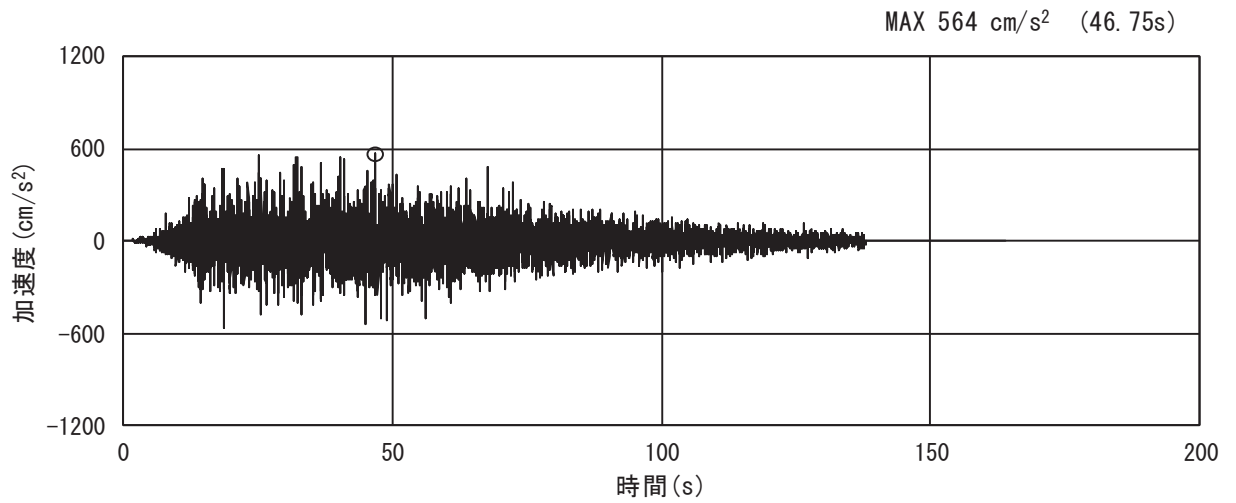
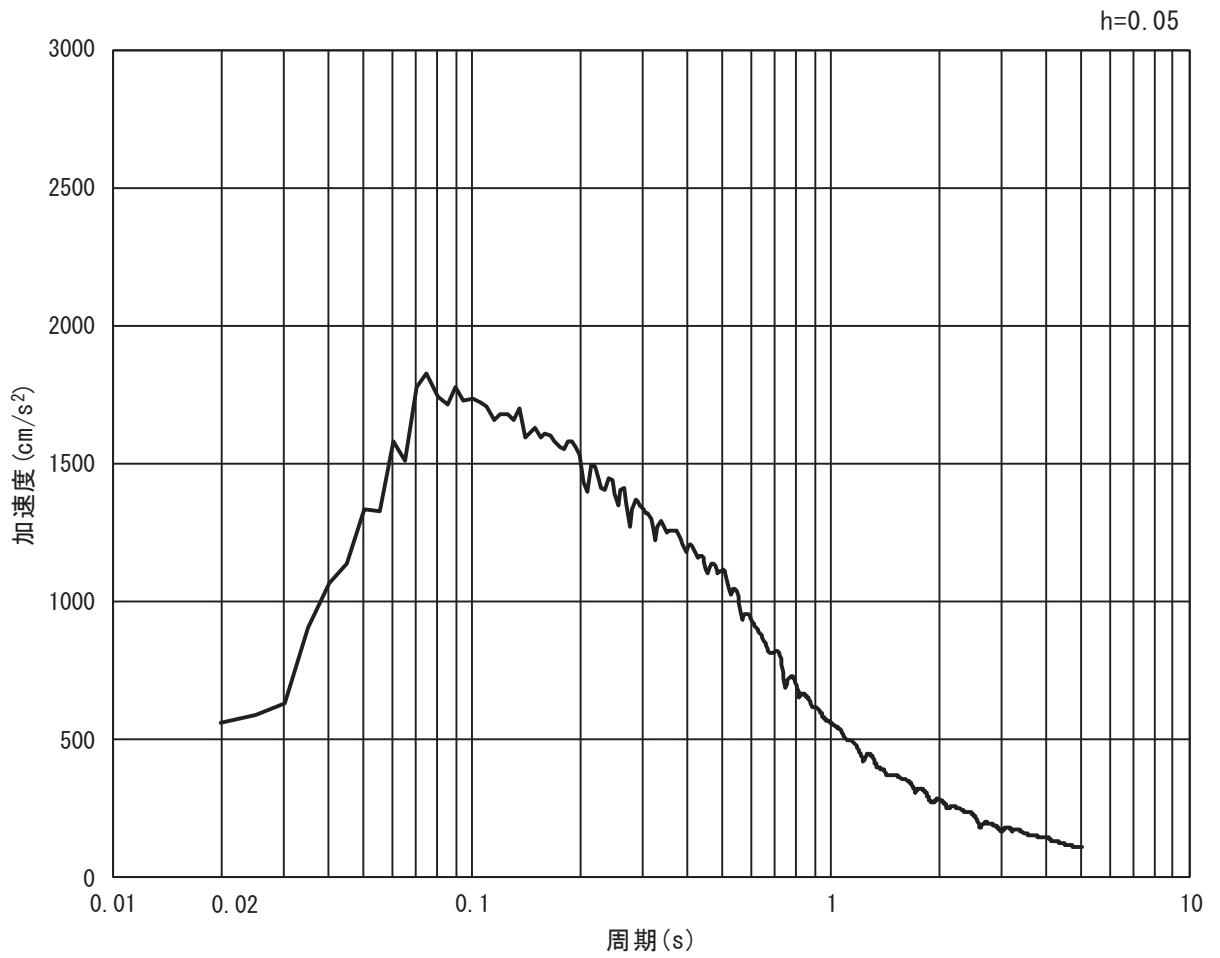


図 3-3 入力地震動算定の概念図

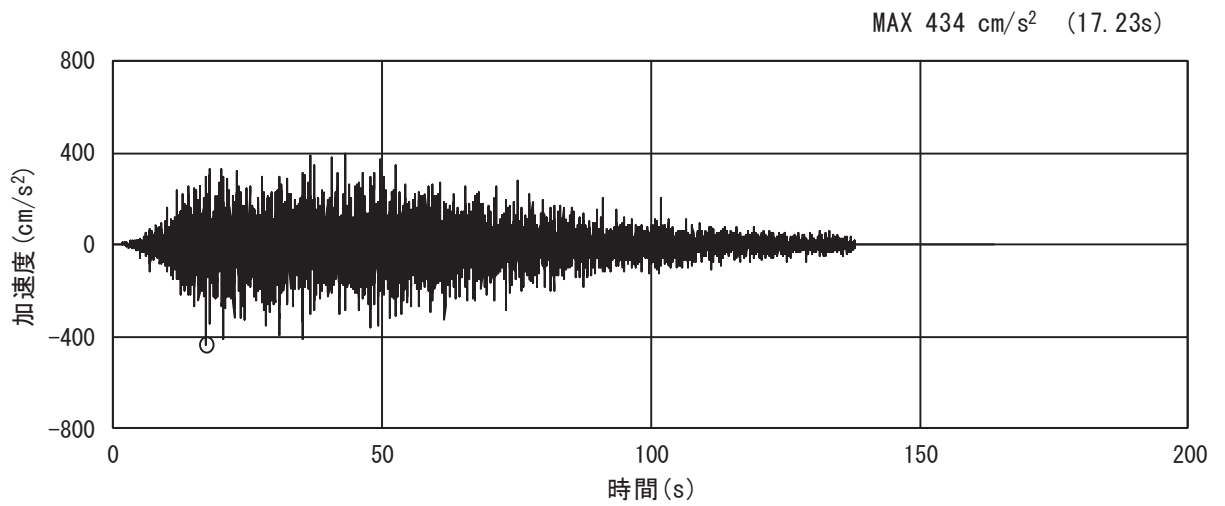


(a) 加速度時刻歴波形

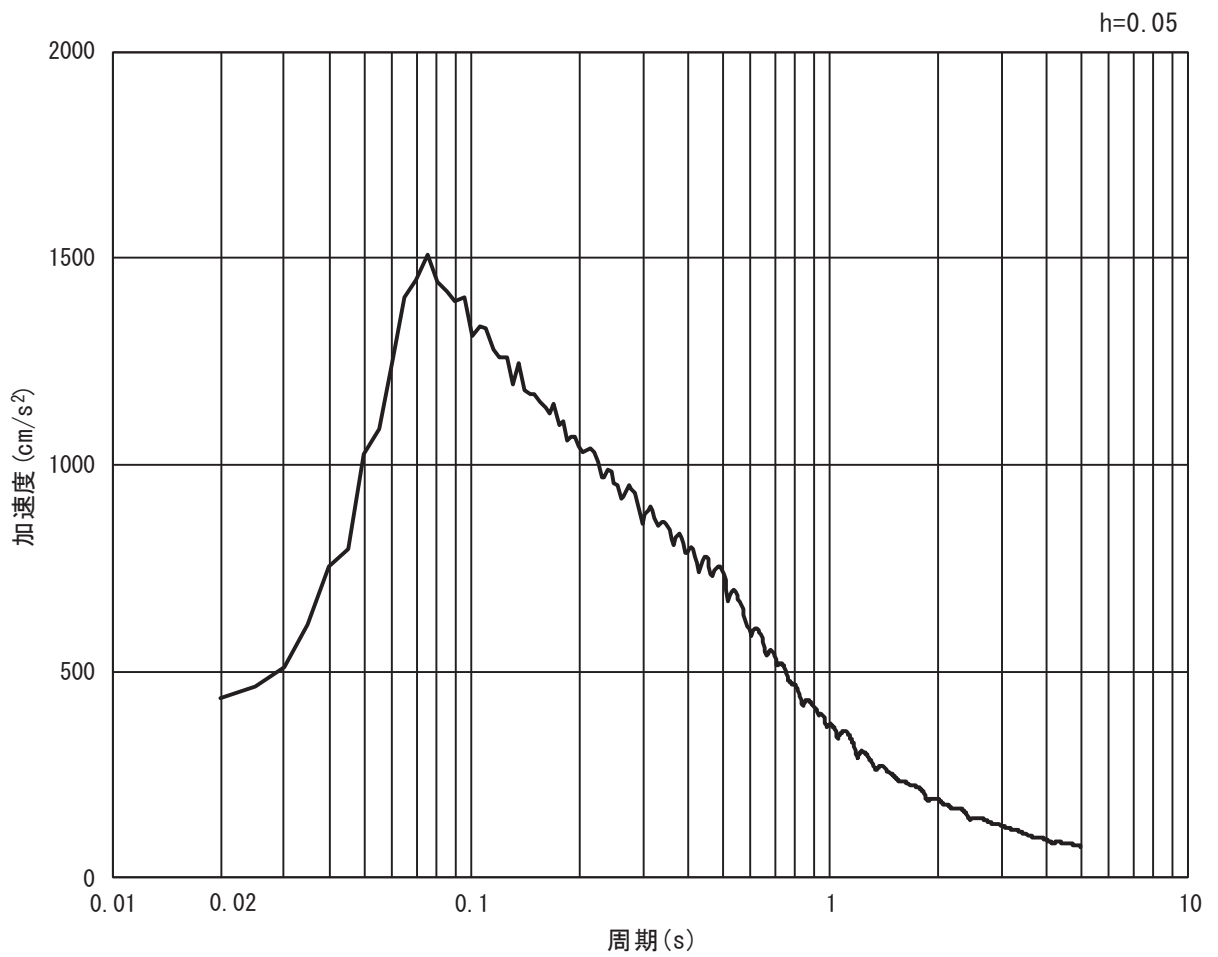


(b) 加速度応答スペクトル

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)

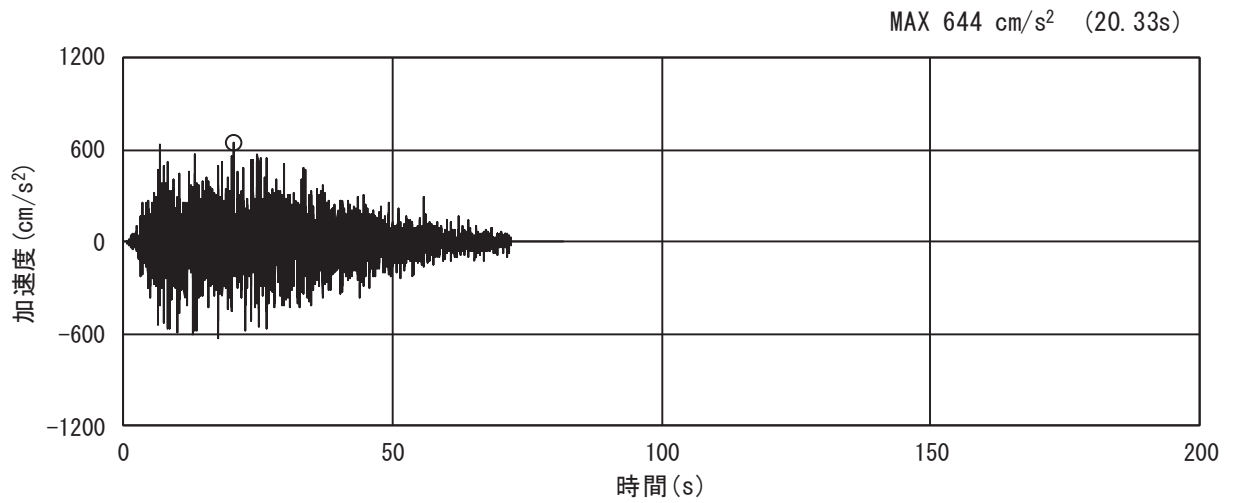


(a) 加速度時刻歴波形

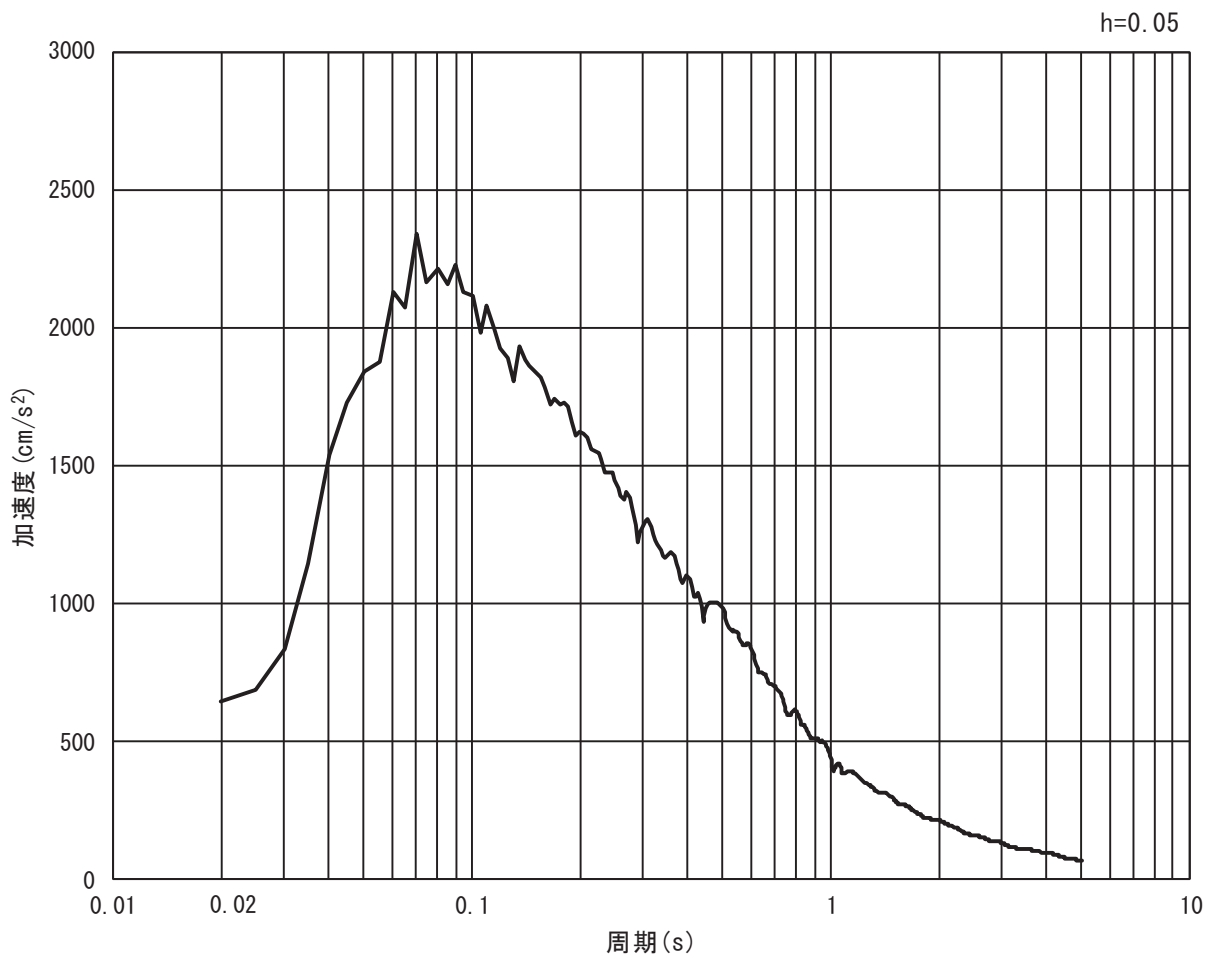


(b) 加速度応答スペクトル

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)

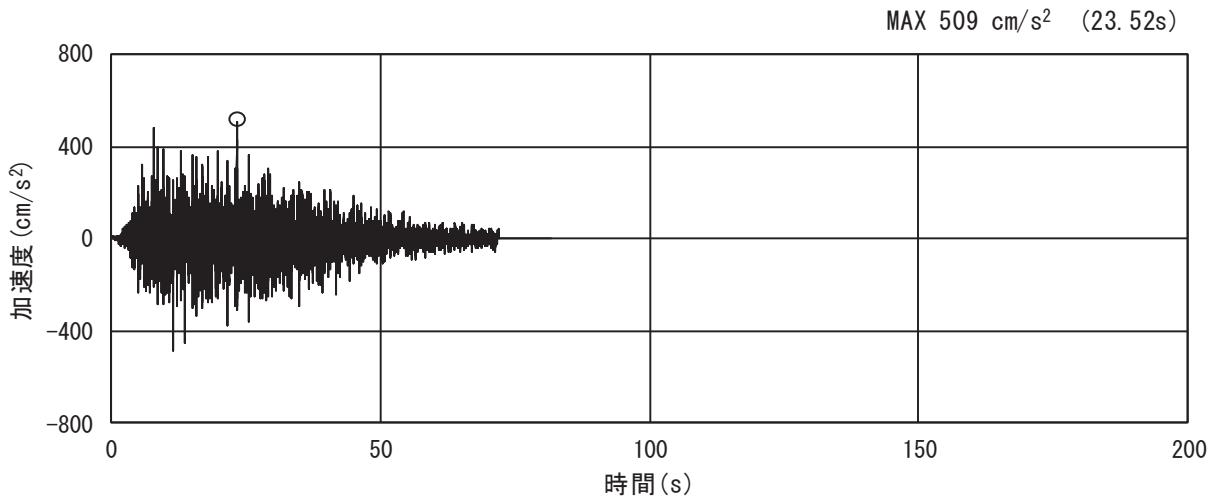


(a) 加速度時刻歴波形

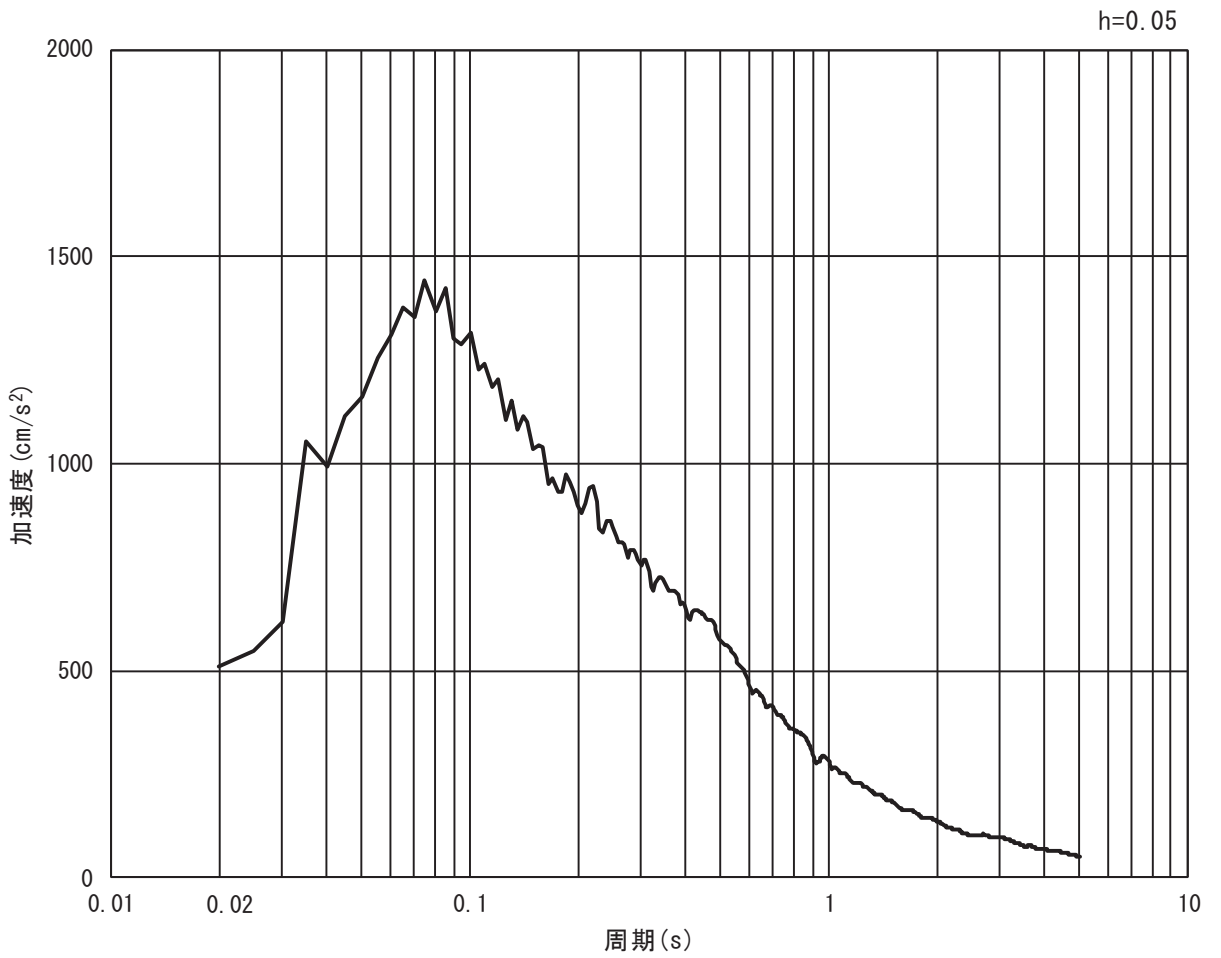


(b) 加速度応答スペクトル

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)

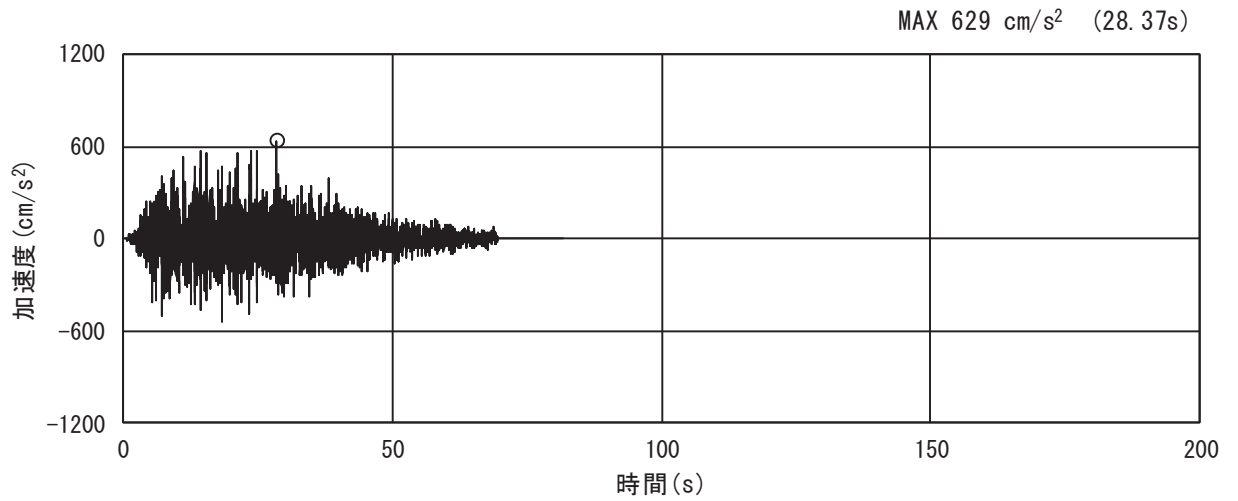


(a) 加速度時刻歴波形

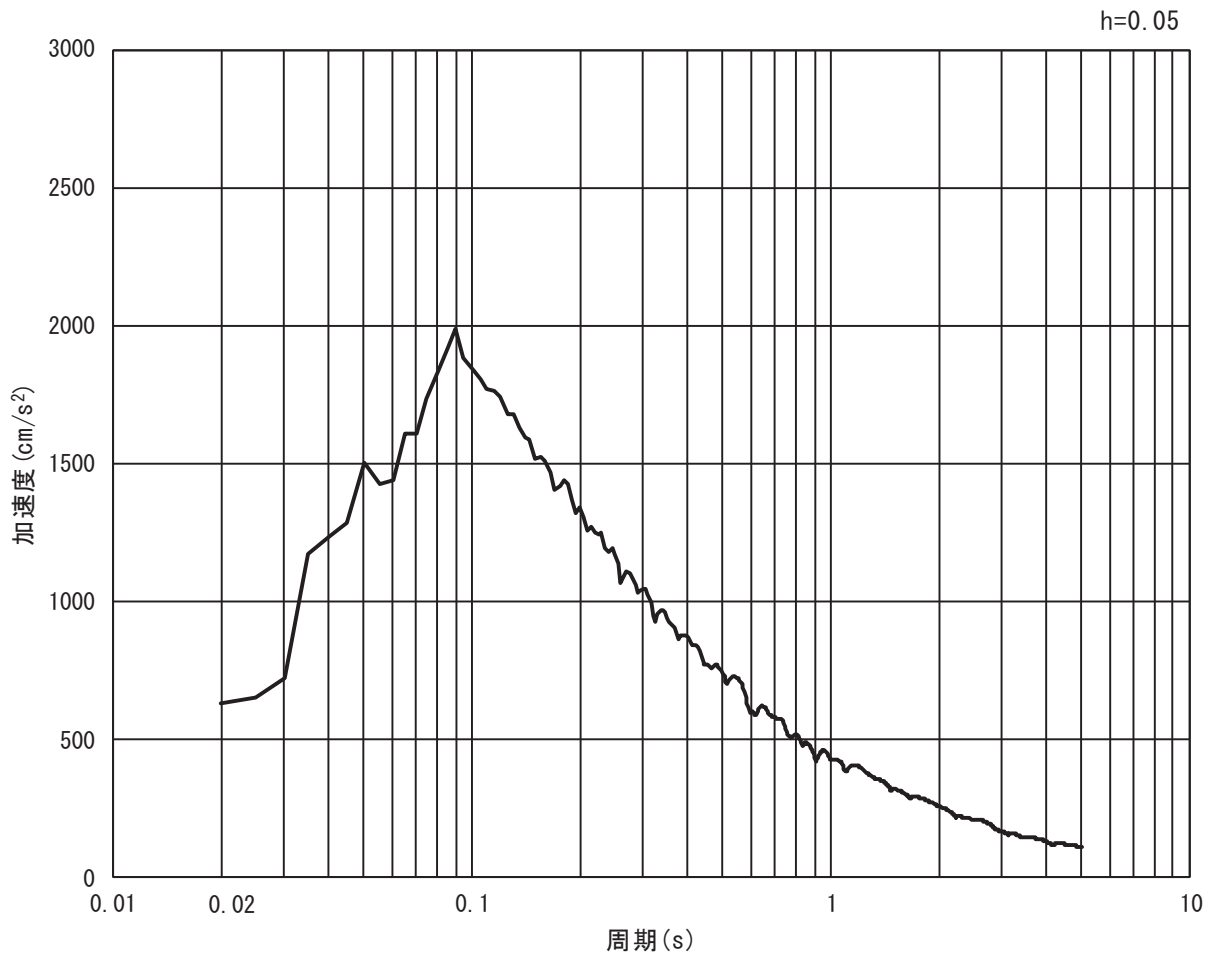


(b) 加速度応答スペクトル

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)

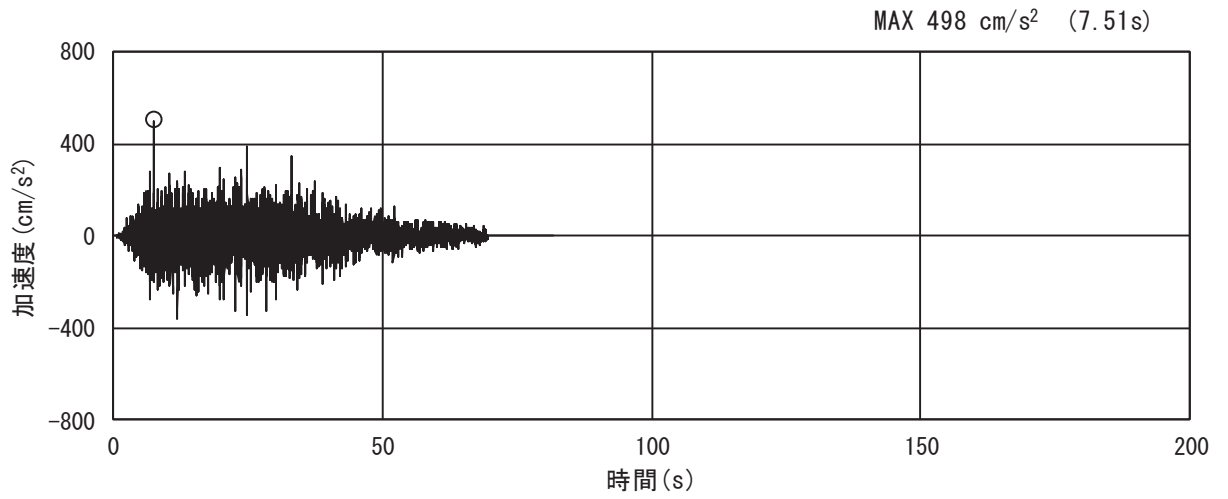


(a) 加速度時刻歴波形

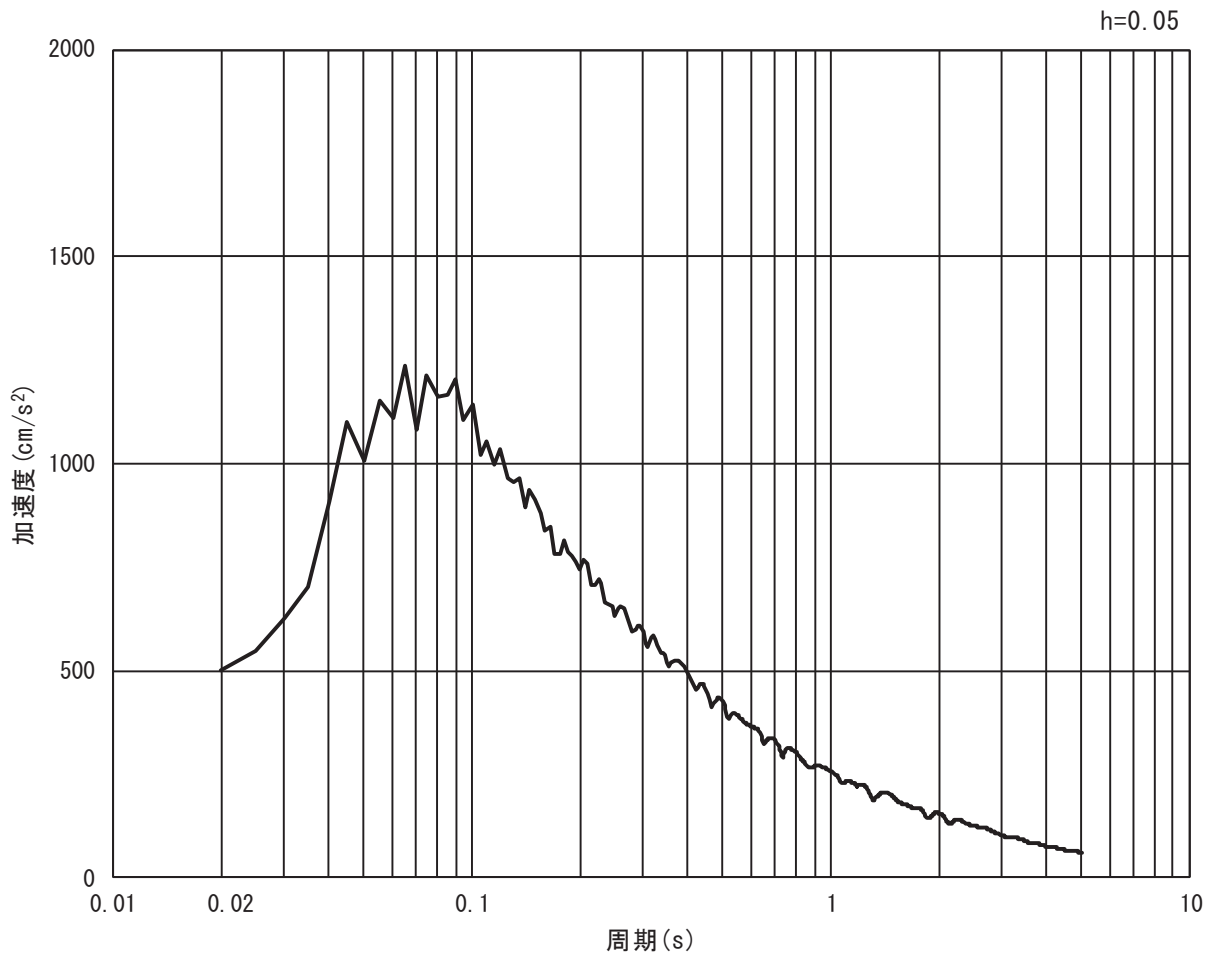


(b) 加速度応答スペクトル

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)

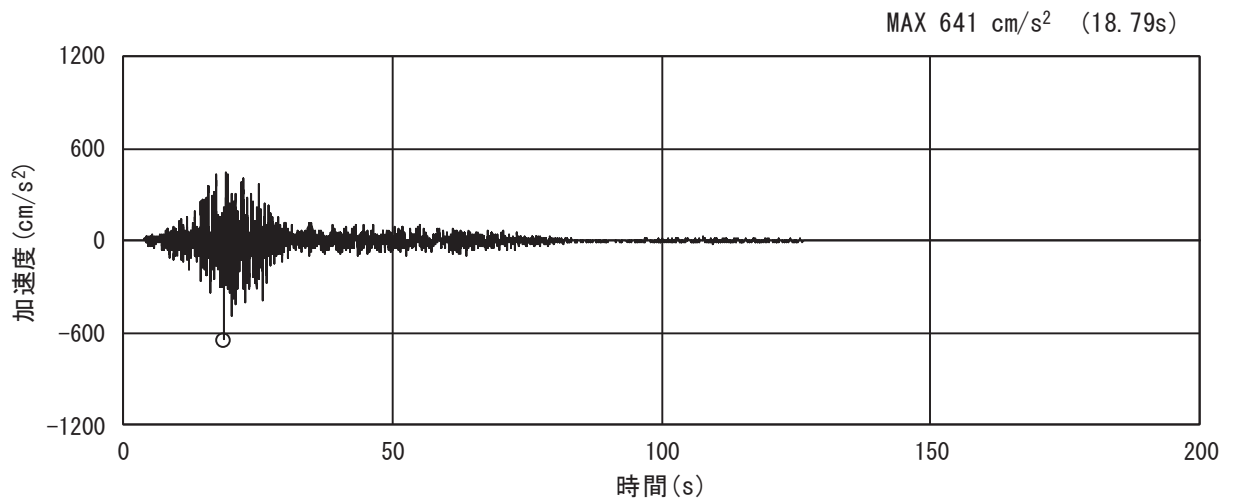


(a) 加速度時刻歴波形

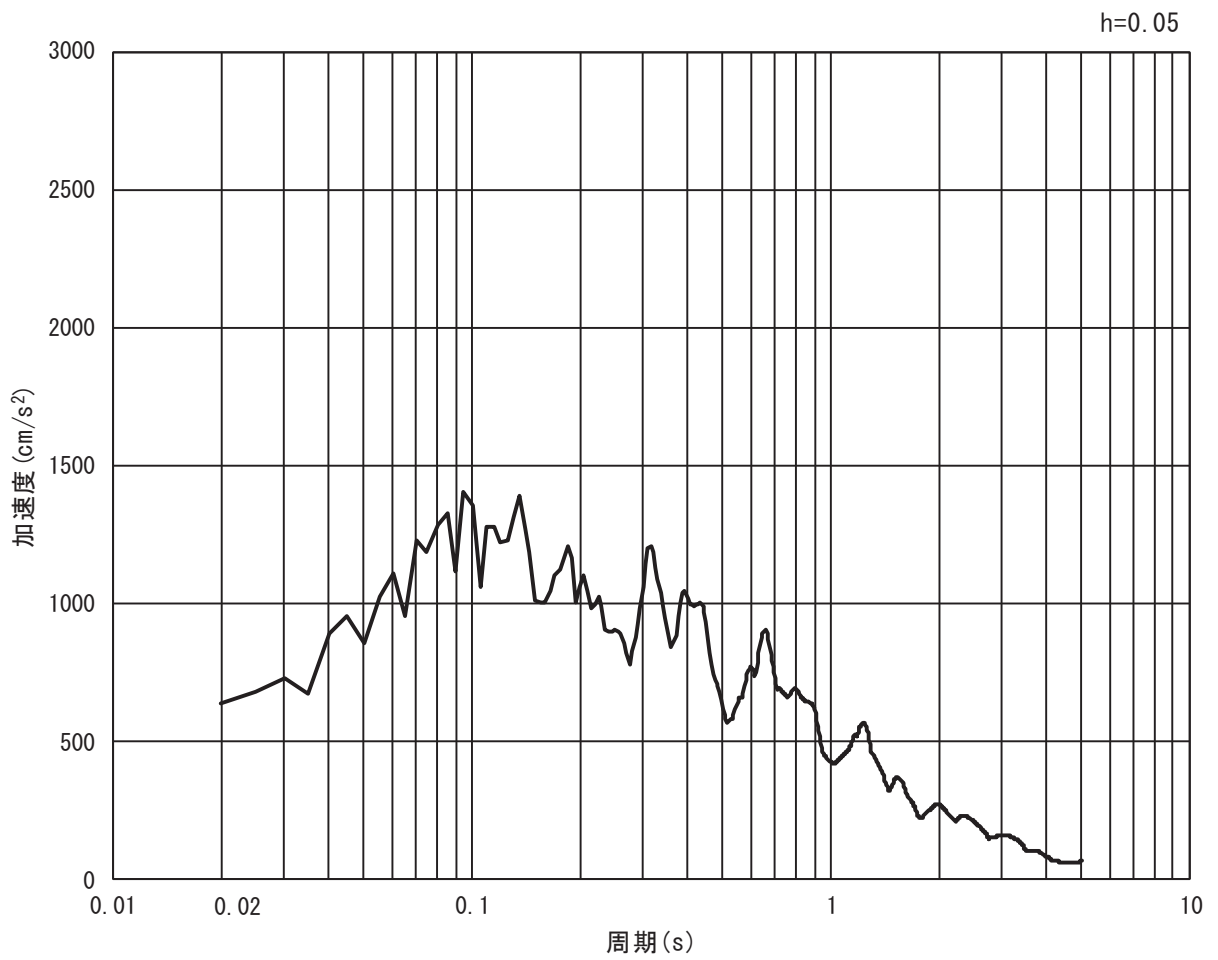


(b) 加速度応答スペクトル

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)

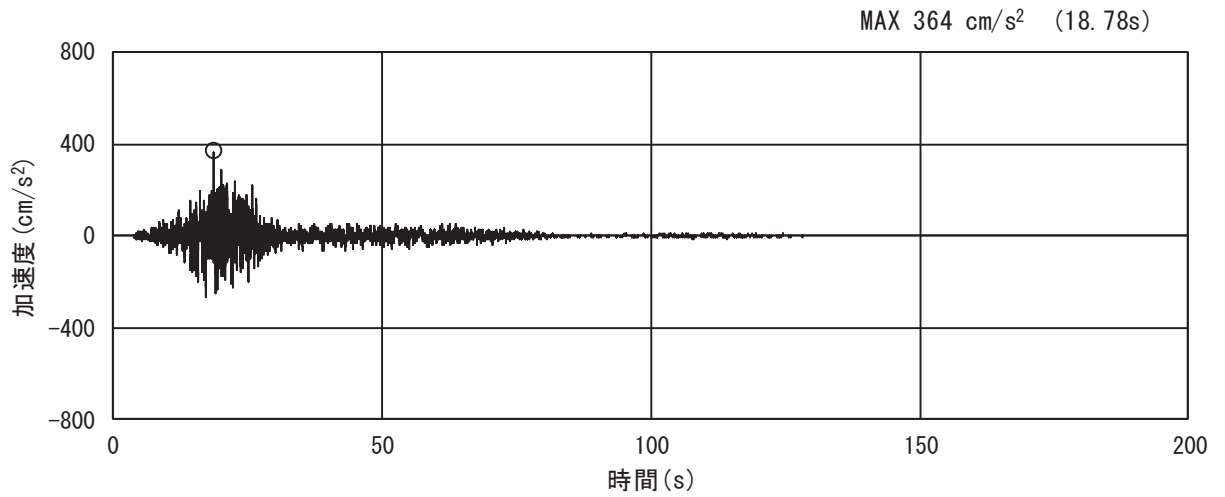


(a) 加速度時刻歴波形

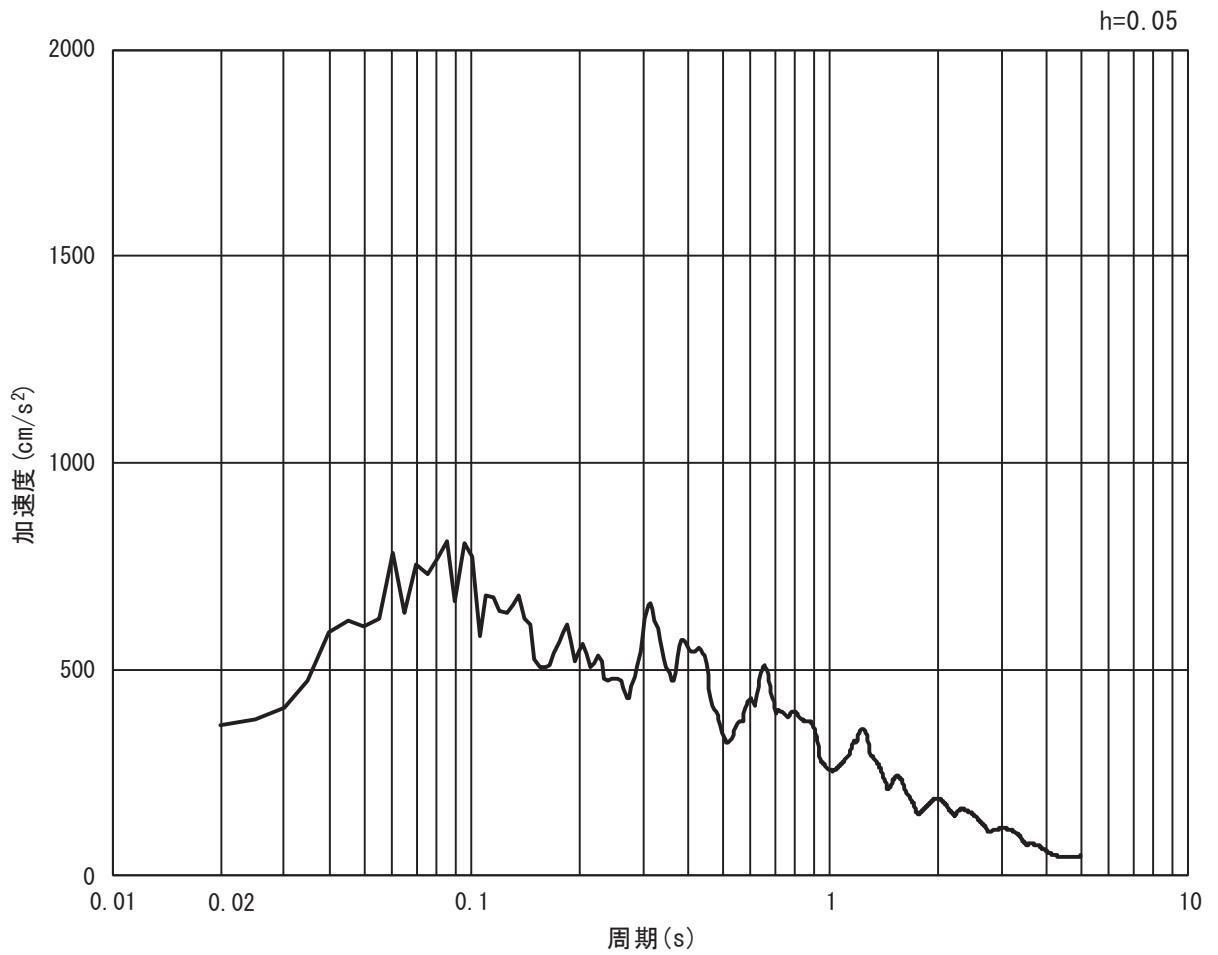


(b) 加速度応答スペクトル

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)

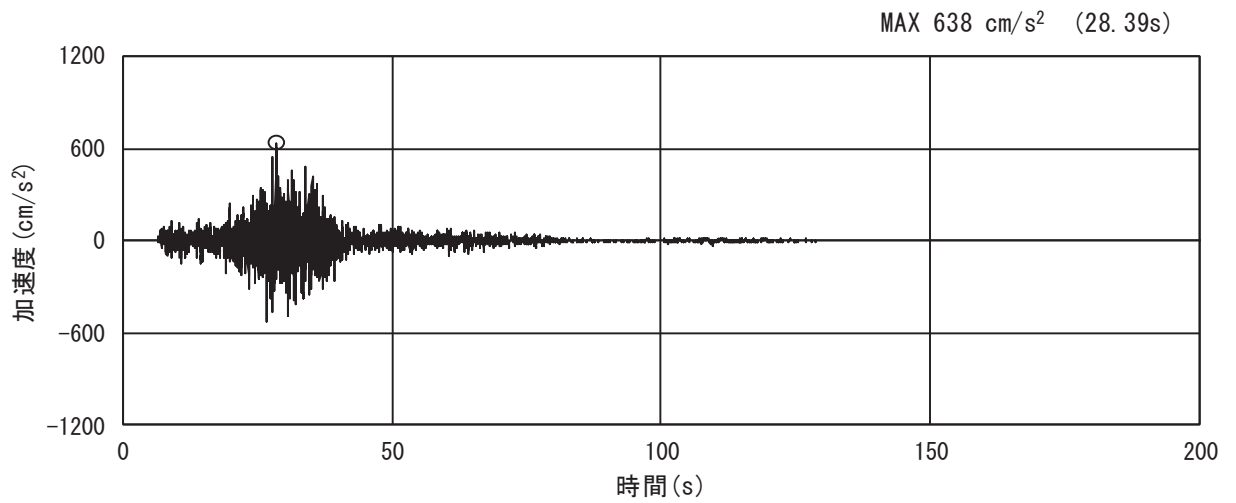


(a) 加速度時刻歴波形

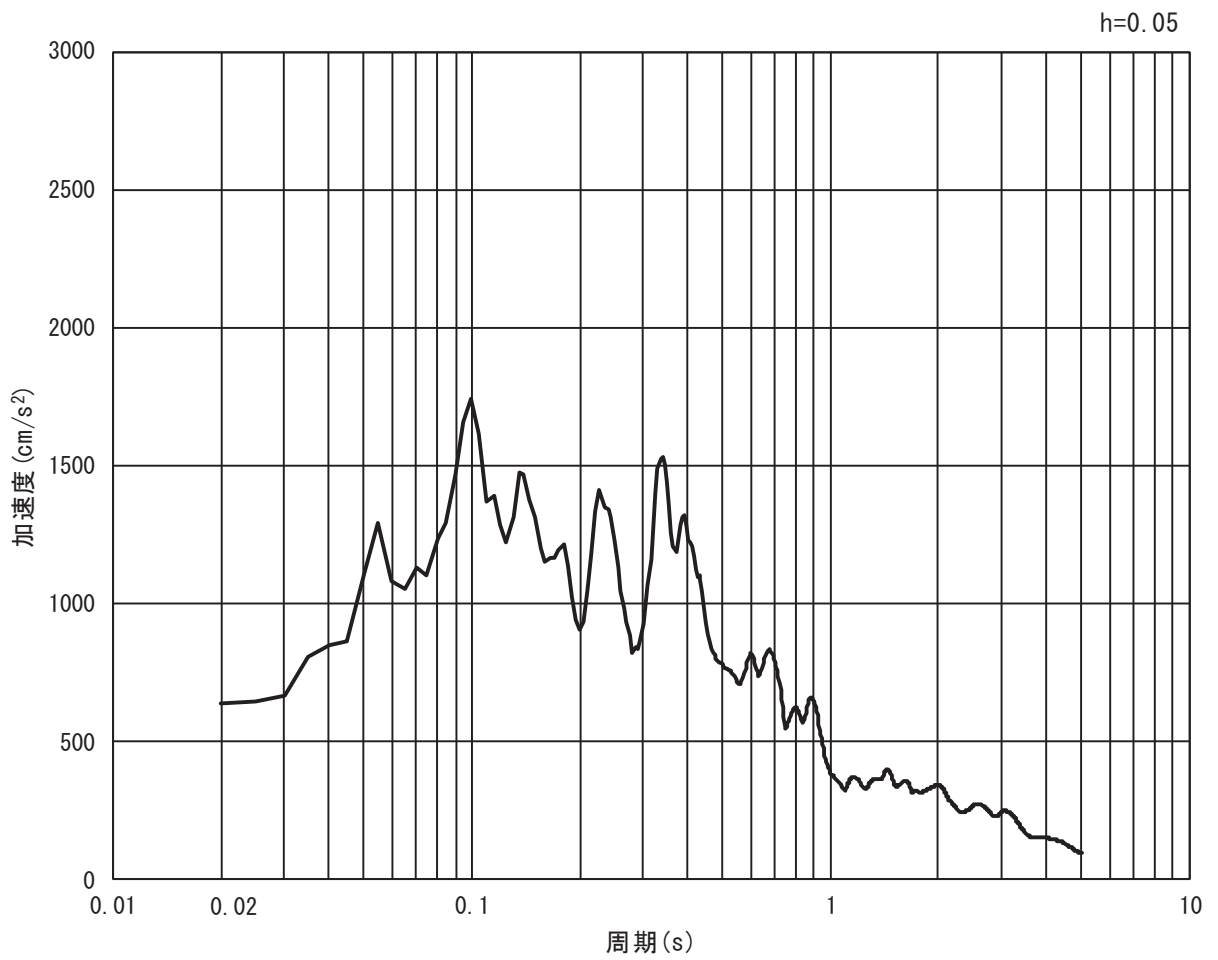


(b) 加速度応答スペクトル

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)

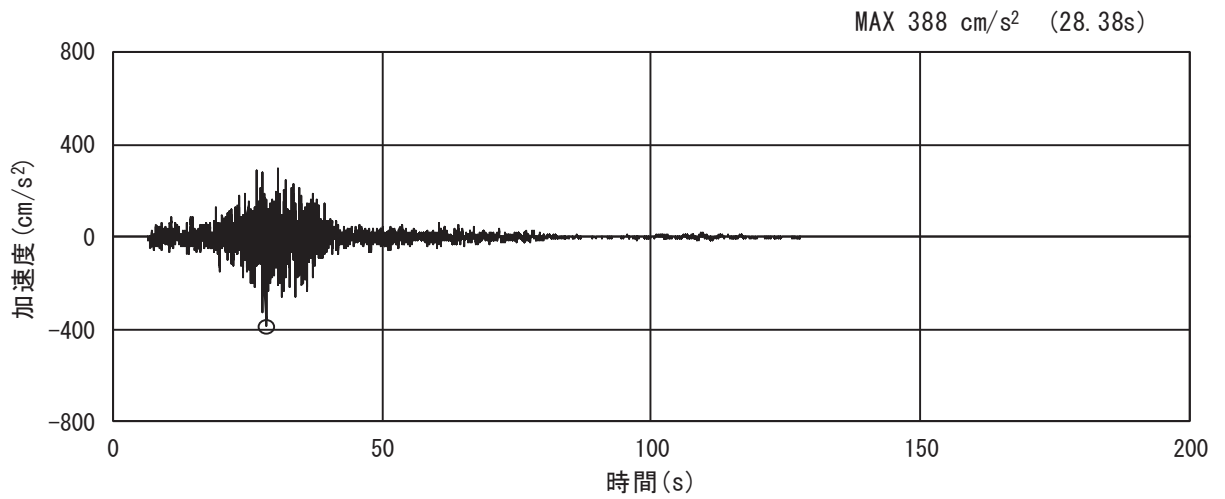


(a) 加速度時刻歴波形

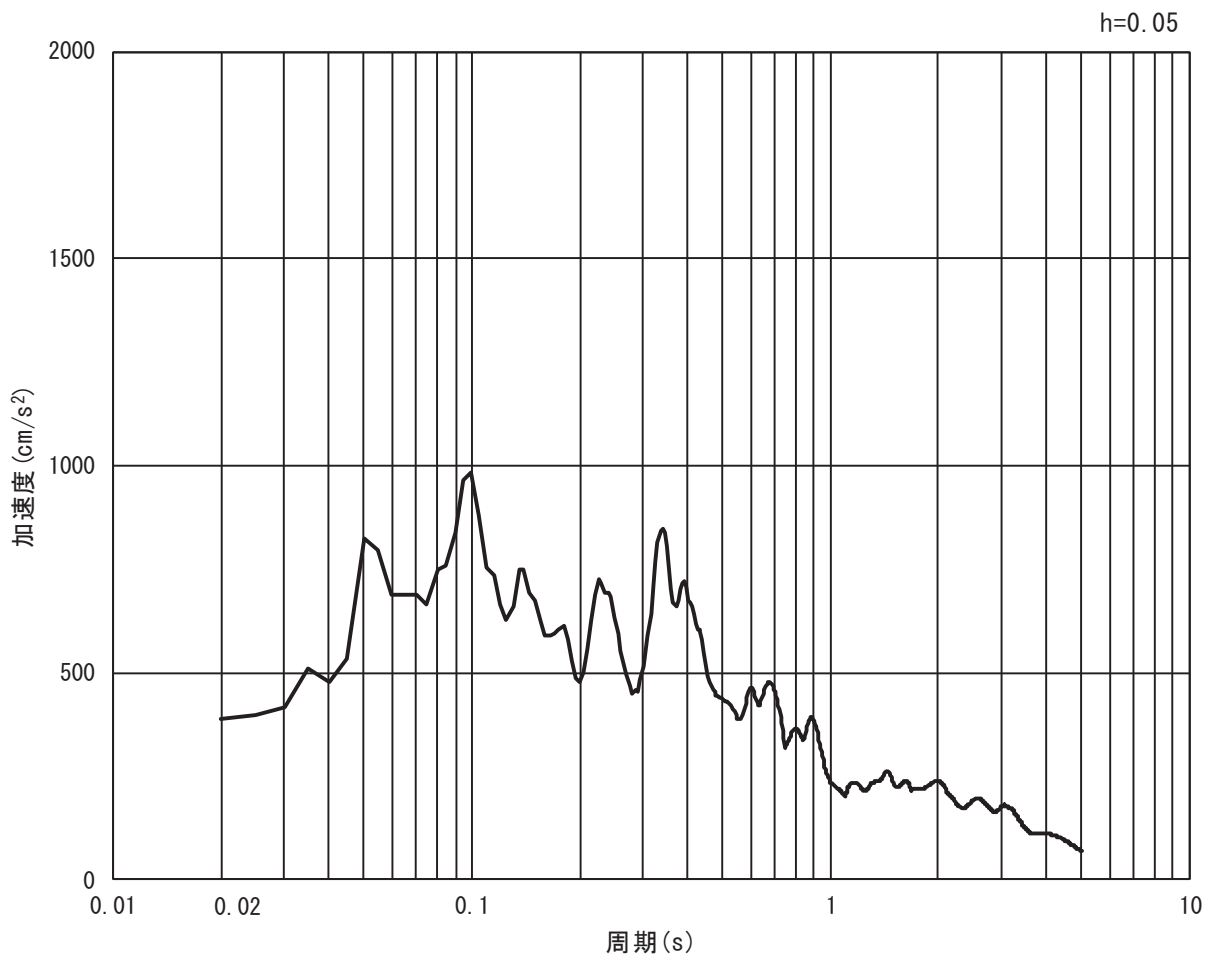


(b) 加速度応答スペクトル

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)

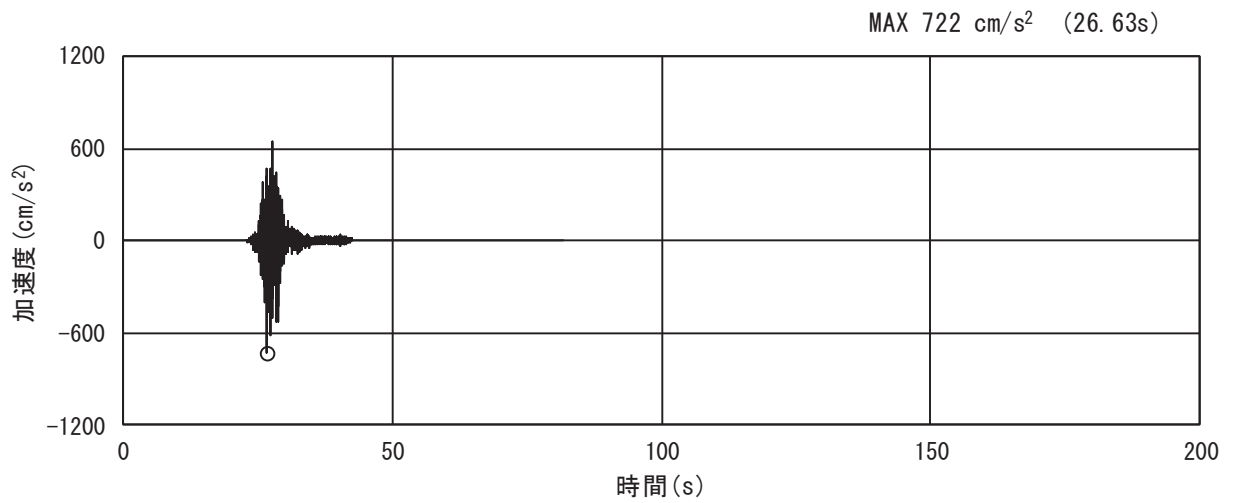


(a) 加速度時刻歴波形

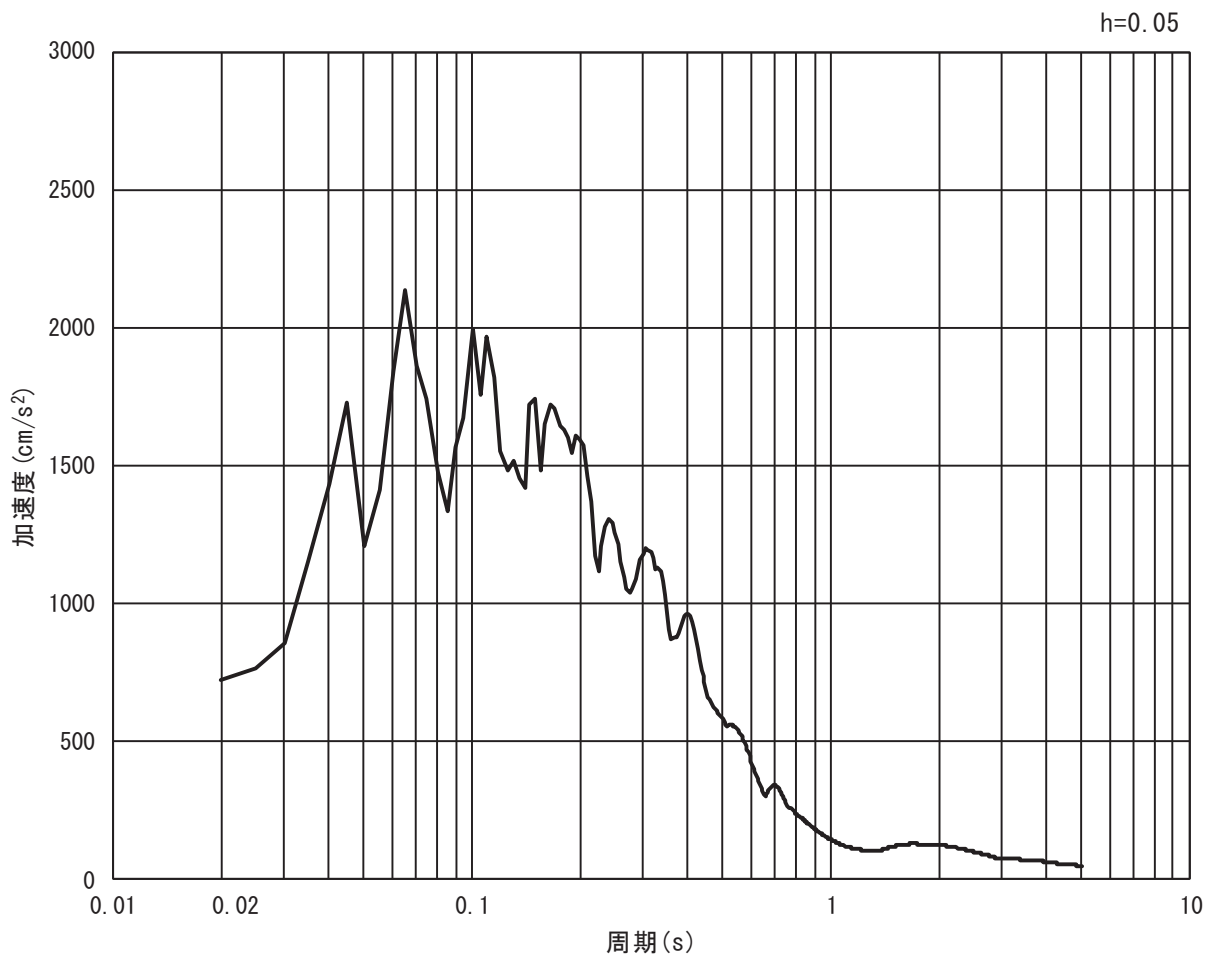


(b) 加速度応答スペクトル

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)

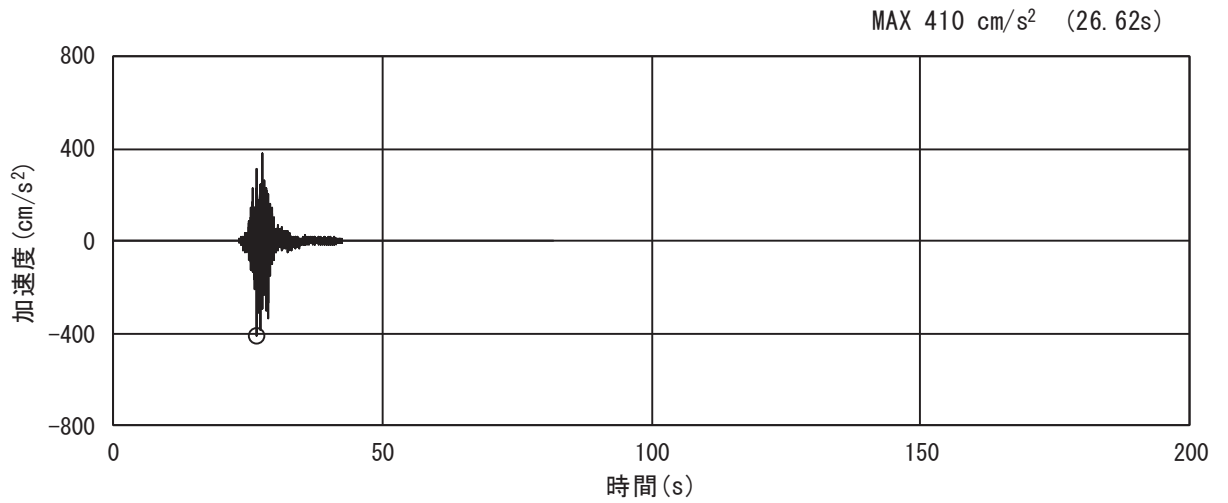


(a) 加速度時刻歴波形

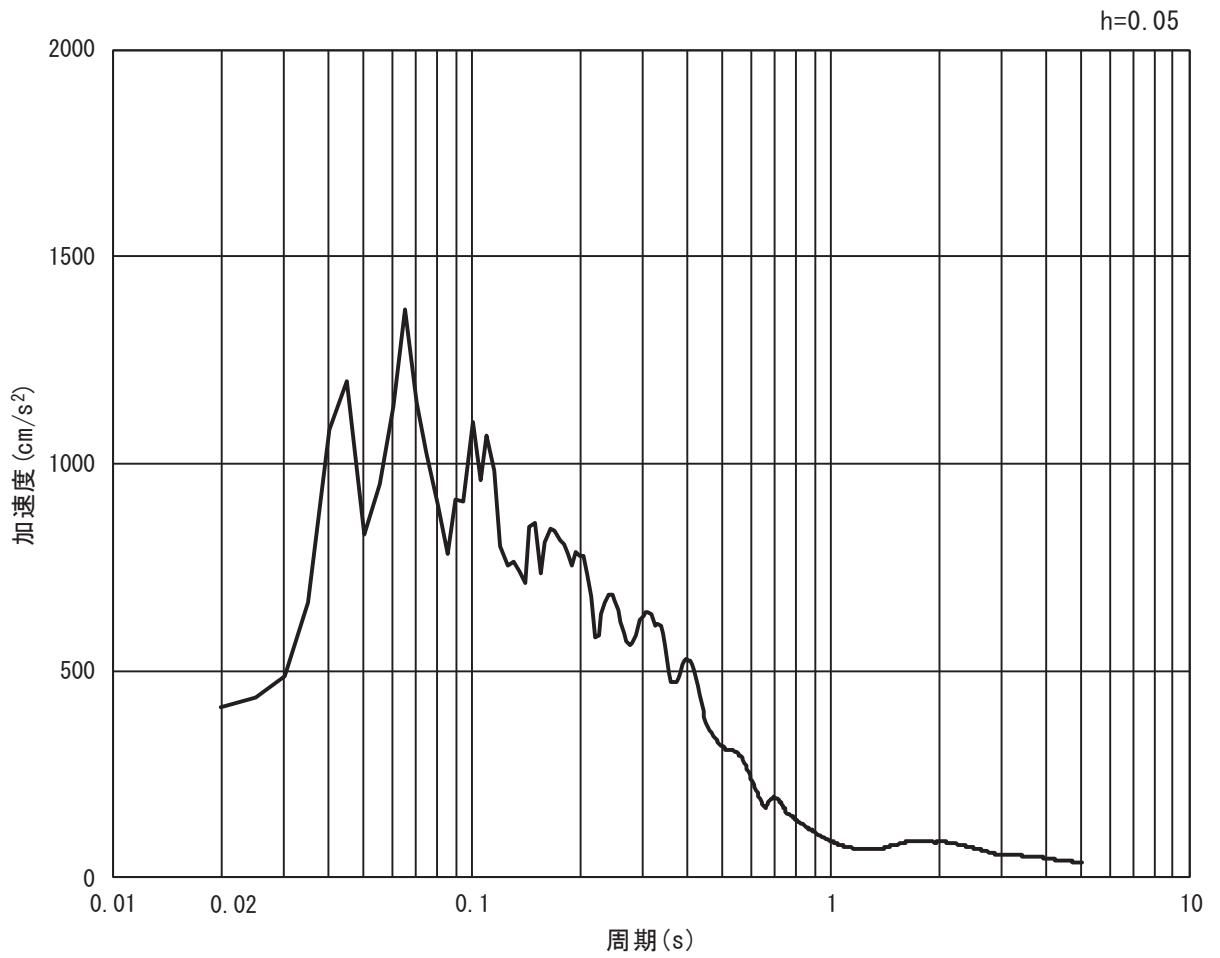


(b) 加速度応答スペクトル

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)

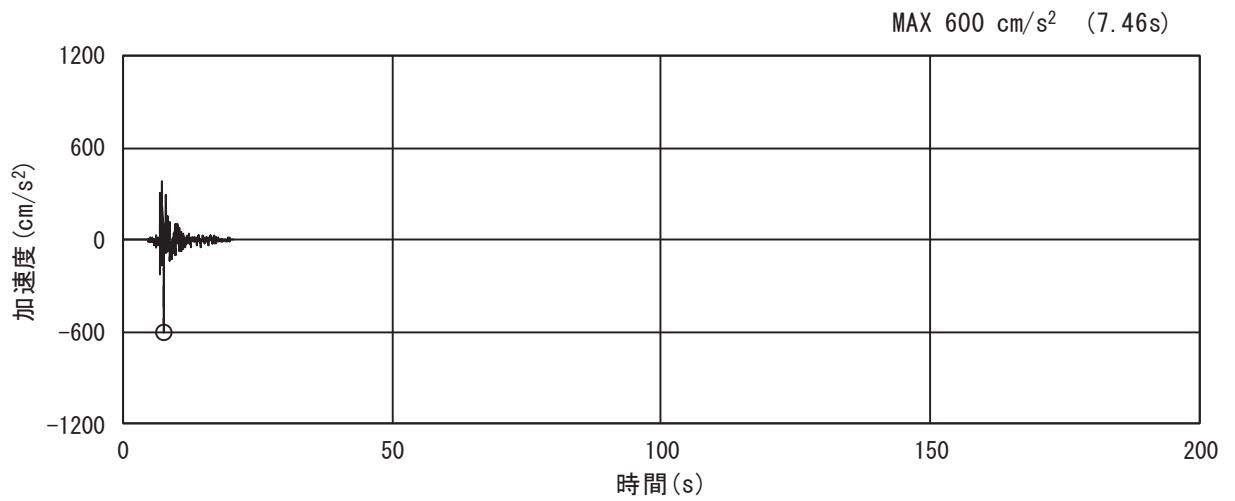


(a) 加速度時刻歴波形

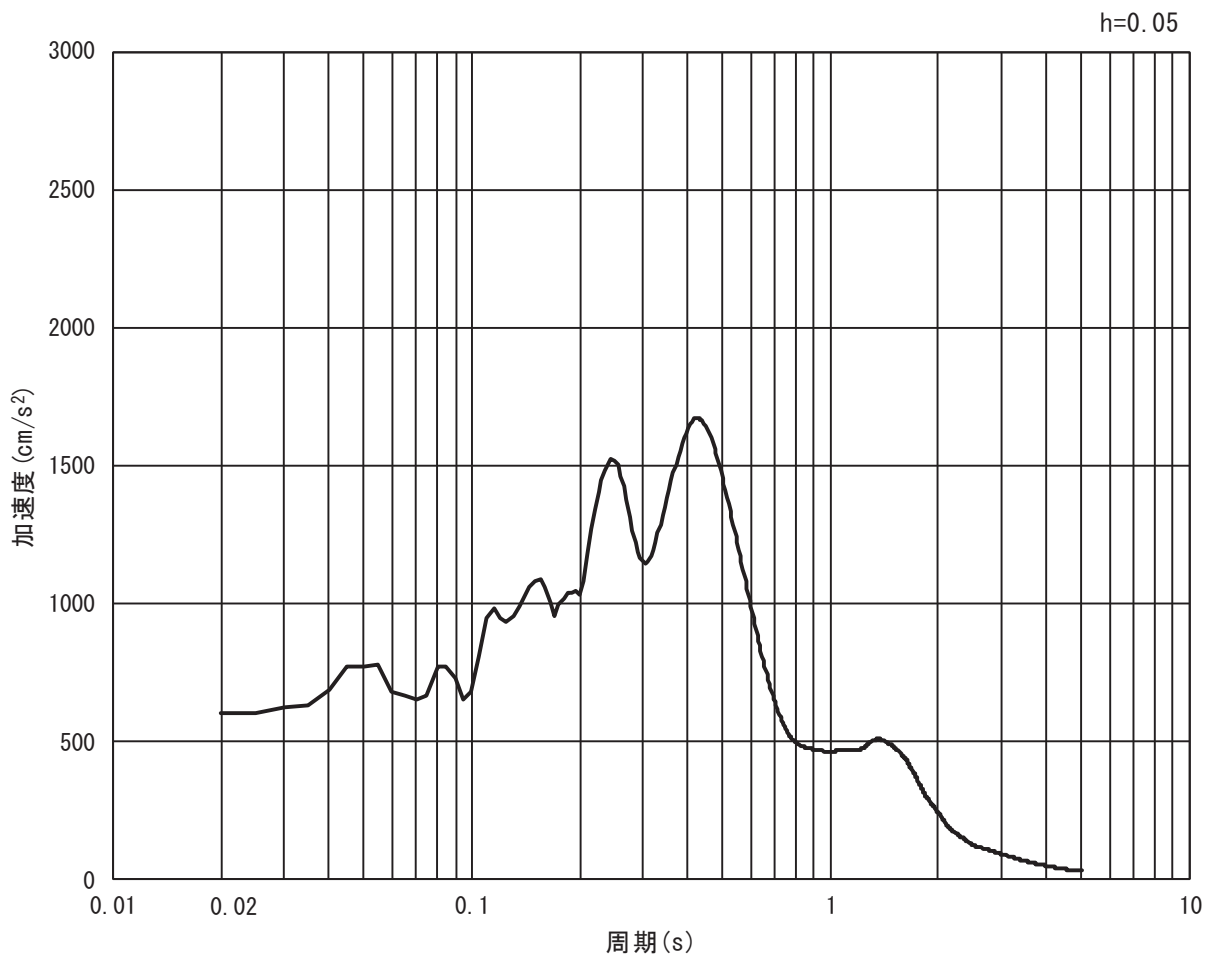


(b) 加速度応答スペクトル

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)

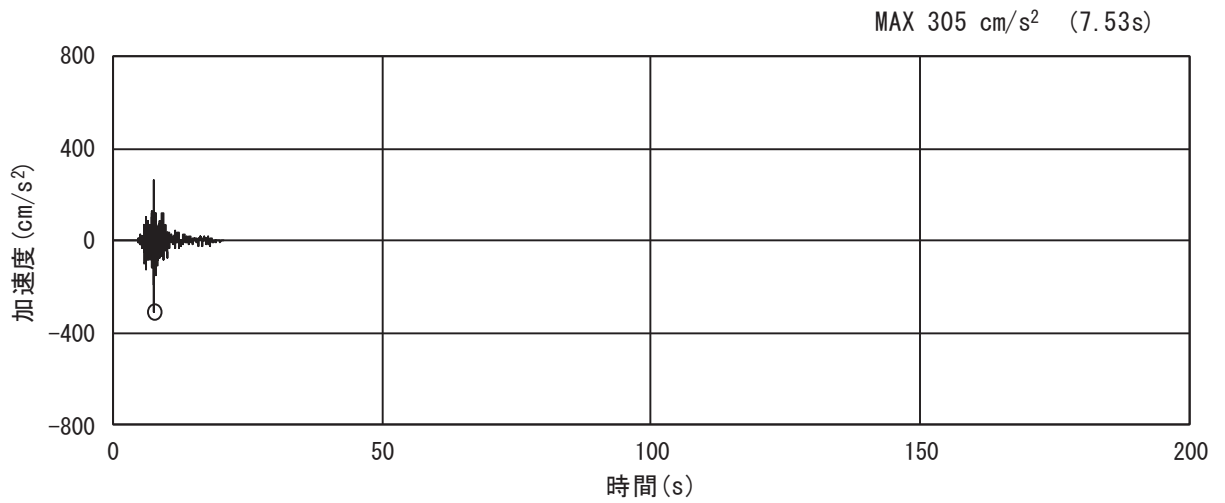


(a) 加速度時刻歴波形

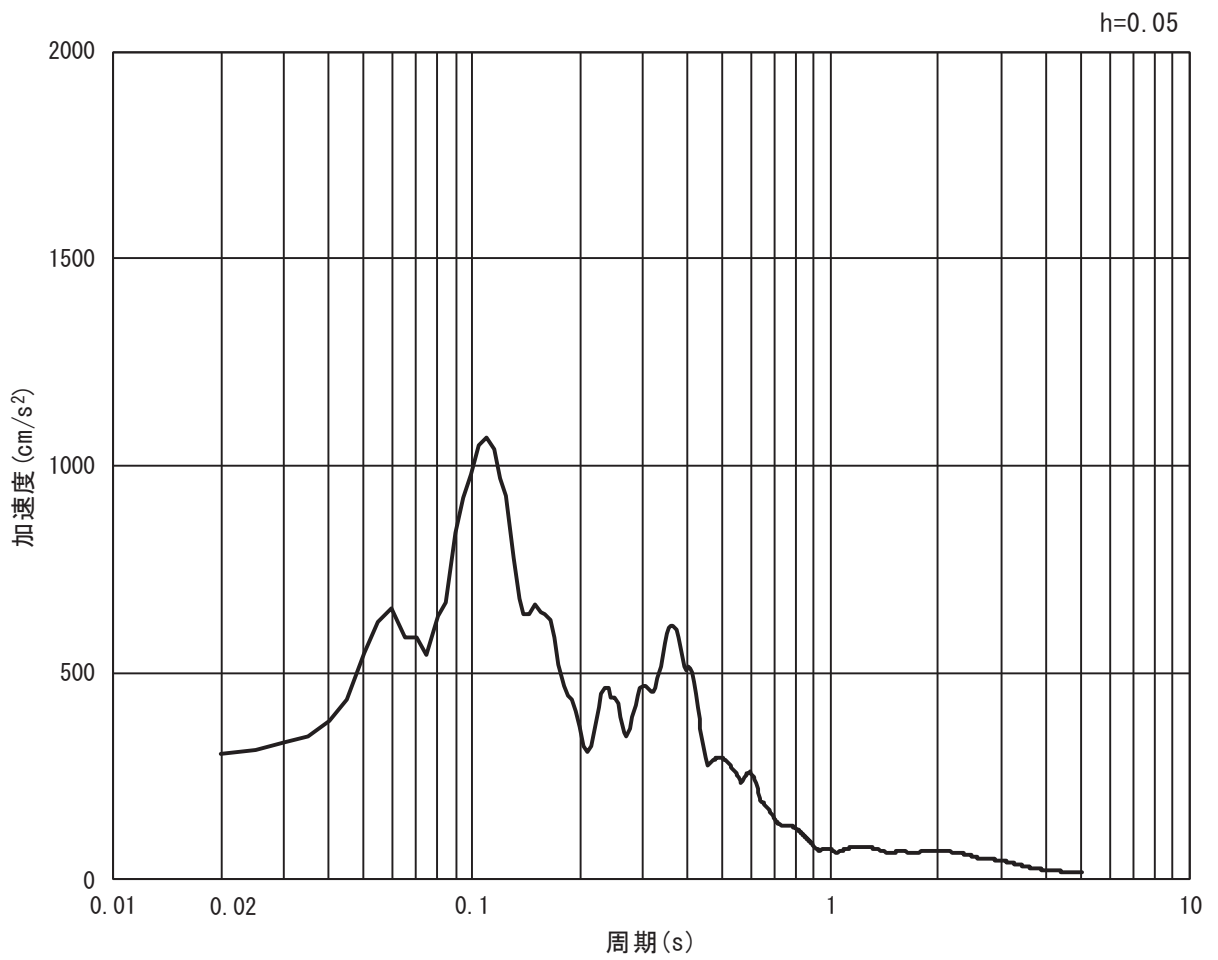


(b) 加速度応答スペクトル

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

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

(5) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

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

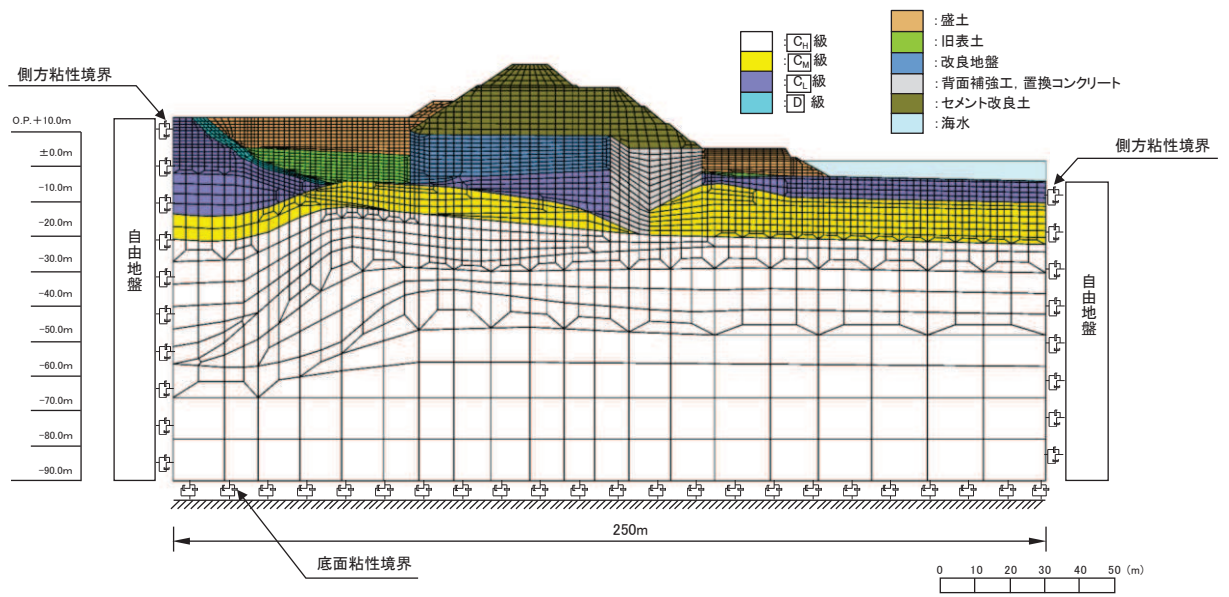


図3-5 アクセスルートの解析モデル (A-A断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

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

表3-4 使用材料

材料	諸元
コンクリート (置換コンクリート)	設計基準強度 : 30 N/mm 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 - 1 σ 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 - 1 σ 強度)	7.55	3.0

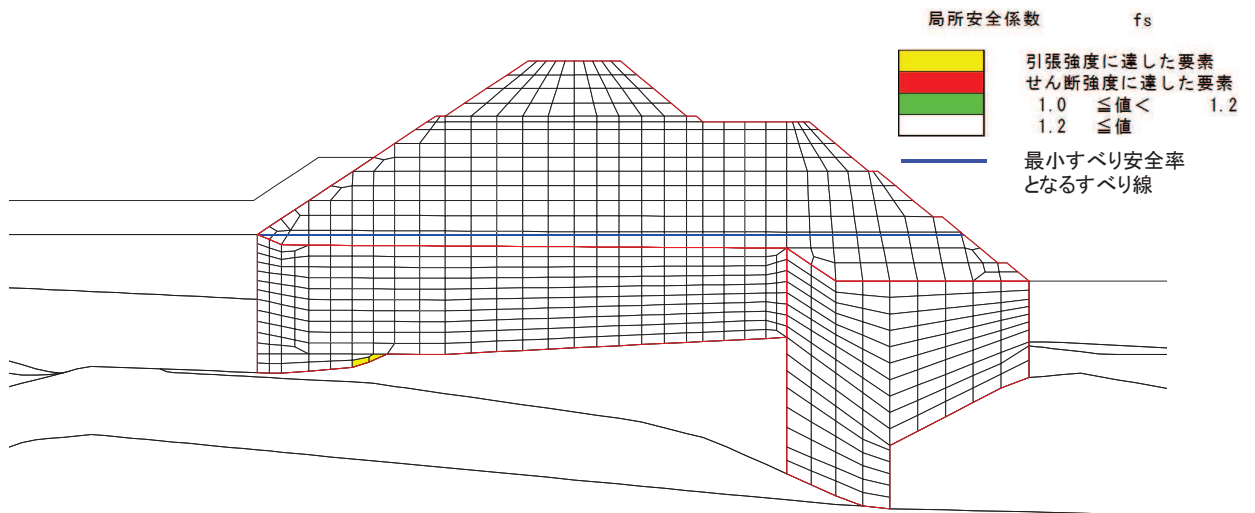


図 4-1 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面①， S_s-N1(++)， t=7.55s）

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 - 1 σ ）