

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-19-0024_改2
提出年月日	2021年9月29日

VI-2-10-2-2 防潮堤の耐震性についての計算書

2021年9月

東北電力株式会社

目 次

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

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

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

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	11
2.4	適用基準	17
3.	耐震評価	18
3.1	評価対象断面	18
3.1.1	一般部	18
3.1.2	岩盤部	21
3.2	解析方法	24
3.2.1	施設	24
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	24
3.2.3	減衰定数	25
3.2.4	解析ケース	26
3.3	荷重及び荷重の組合せ	27
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	27
3.3.2	荷重	27
3.3.3	荷重の組合せ	28
3.4	入力地震動	29
3.4.1	一般部	31
3.4.2	岩盤部	87
3.5	解析モデル及び諸元	129
3.5.1	解析モデル	129
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	135
3.5.3	地盤の物性値	137
3.5.4	地下水位	137
3.6	評価対象部位	138
3.6.1	施設・地盤の健全性評価	138
3.6.2	施設の変形性評価	138
3.6.3	基礎地盤の支持性能評価	138
3.7	許容限界	139
3.7.1	鋼管杭	139
3.7.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工	144
3.7.3	RC 遮水壁	145
3.7.4	背面補強工	145

3.7.5	置換コンクリート	145
3.7.6	改良地盤	145
3.7.7	セメント改良土	146
3.7.8	止水ジョイント部材	146
3.7.9	基礎地盤	147
3.8	評価方法	148
3.8.1	鋼管杭	148
3.8.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工	152
3.8.3	RC 遮水壁	162
3.8.4	背面補強工	162
3.8.5	置換コンクリート	162
3.8.6	改良地盤	162
3.8.7	セメント改良土	162
3.8.8	止水ジョイント部材	163
3.8.9	基礎地盤	163
4.	耐震評価結果	164
4.1	鋼管杭	164
4.1.1	曲げ軸力照査	164
4.1.2	せん断力照査	175
4.1.3	漂流物防護工の偏心荷重	184
4.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工	185
4.3	RC 遮水壁	187
4.4	背面補強工	191
4.5	置換コンクリート	195
4.6	改良地盤	198
4.7	セメント改良土	201
4.8	止水ジョイント部材の評価結果	204
4.9	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	208

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（鋼管式鉛直壁）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）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施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）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（鋼管式鉛直壁）の範囲を図 2-1 に示す。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は一般部と岩盤部に分類される。

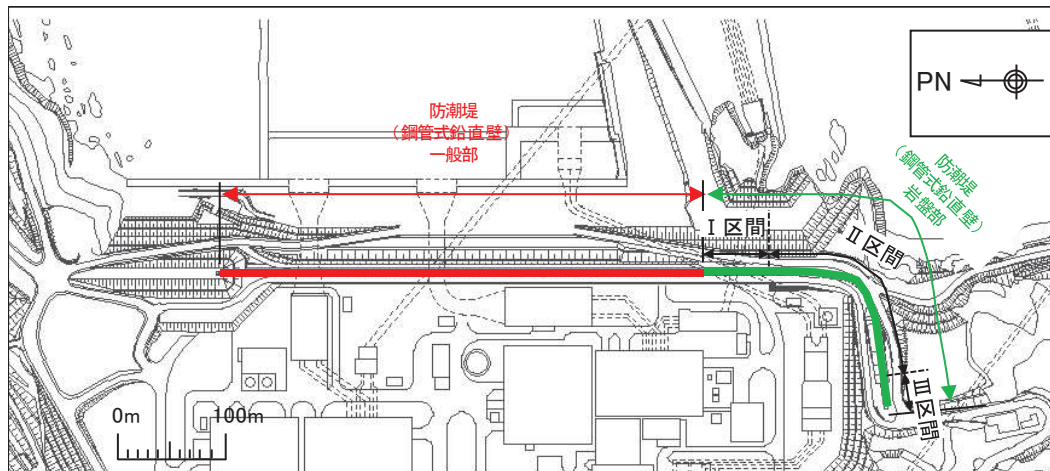


図 2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の範囲

2.2 構造概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部（以下、「一般部」という。）と防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部（以下、「岩盤部」という。また、RC 壁部を含む）に分類される。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、入力津波による浸水高さ（防潮堤前面：O.P.+24.4m）に対して余裕を考慮した天端高さ（O.P.+29.0m）とする。

一般部は、鋼管杭、鋼製遮水壁、漂流物防護工及び背面補強工による上部構造と、鋼管杭及び置換コンクリートによる下部構造から構成され、背面補強工の下方に改良地盤を、置換コンクリートの上方にセメント改良土をそれぞれ設置する。

岩盤部は、鋼管杭、鋼製遮水壁、RC 遮水壁、漂流物防護工及び背面補強工による上部構造と、鋼管杭による下部構造から構成される。

鋼管杭は、施工性を考慮し、上部工の鋼管杭と下部工の鋼管杭に分けて施工しており、接続部周辺をコンクリートで充填している。また、一般部は基礎地盤のすべり安定性を確保する観点から、改良地盤の海側に置換コンクリートを設置する構造とした。

上部工の境界部及び地震時に異なる挙動を示す可能性がある構造体の境界部には止水ジョイントを設置する。漂流物防護工の下部の止水ジョイント前面には、鋼製の保護部材を設置する。

一般部の構造概要図及び構造図を図 2-2 及び図 2-3 に、岩盤部の構造図を図 2-4 に、止水ジョイント部材の概念図を図 2-5 に示す。

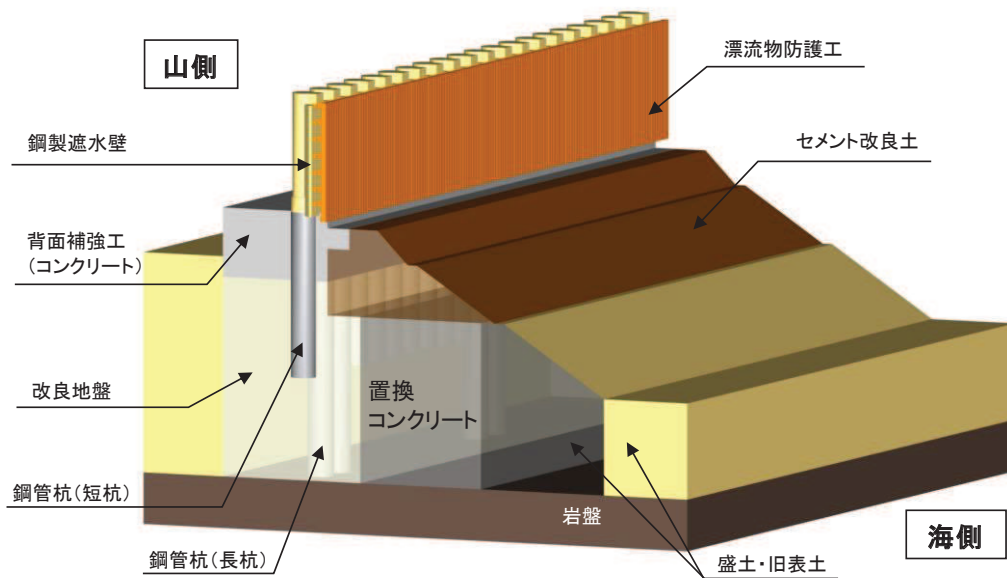


図 2-2 一般部の構造概要図

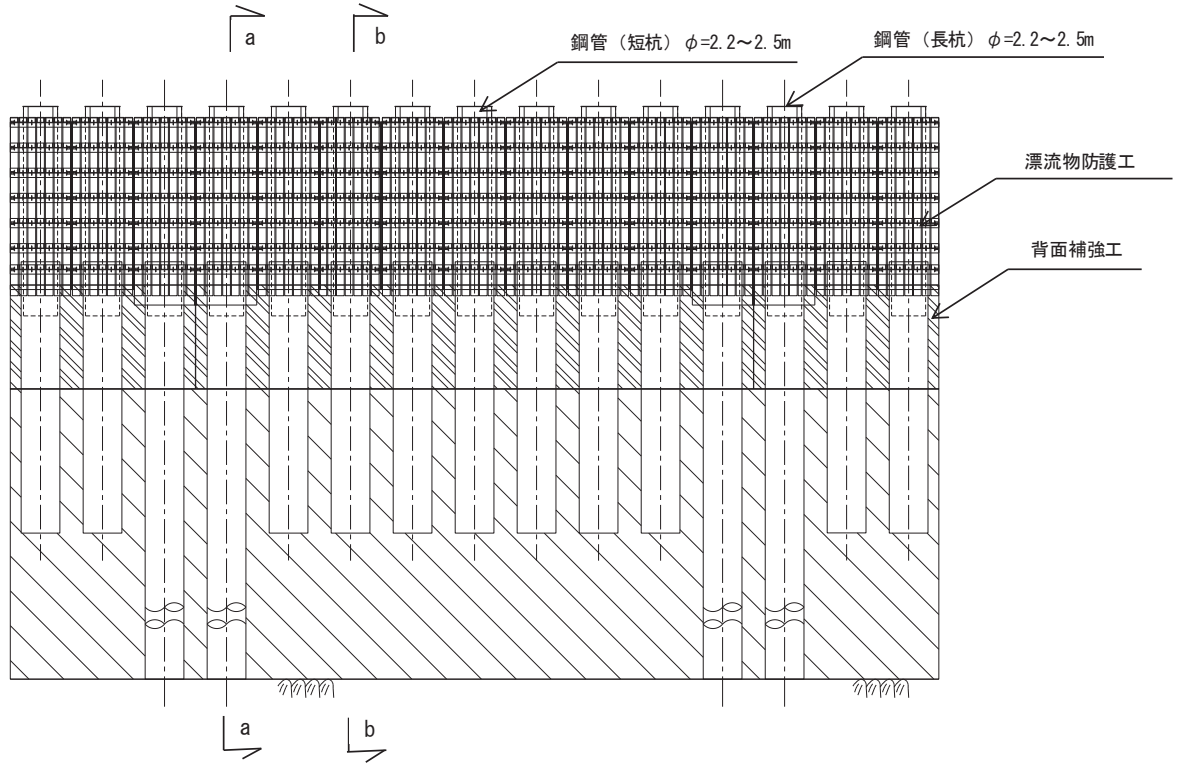


図 2-3(1) 一般部の構造図 (正面図, 漂流物防護工)

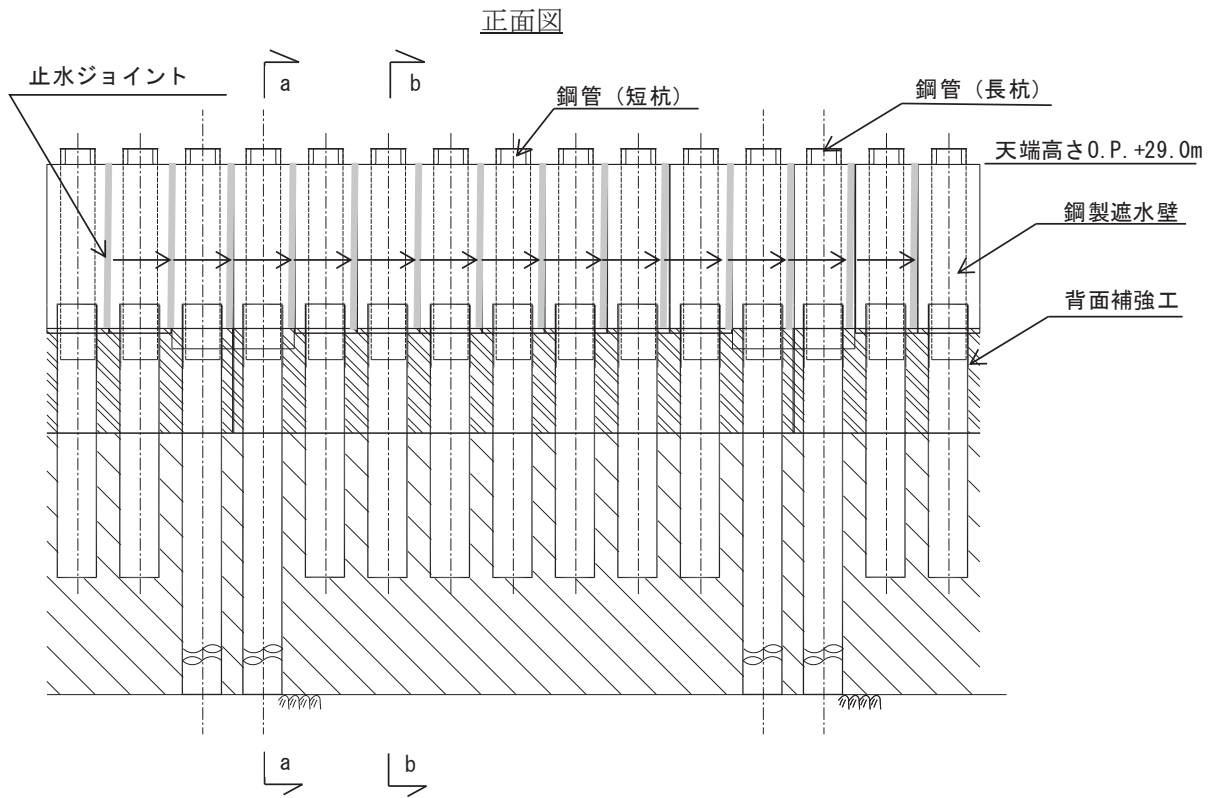


図 2-3(2) 一般部の構造図 (正面図, 鋼製遮水壁)

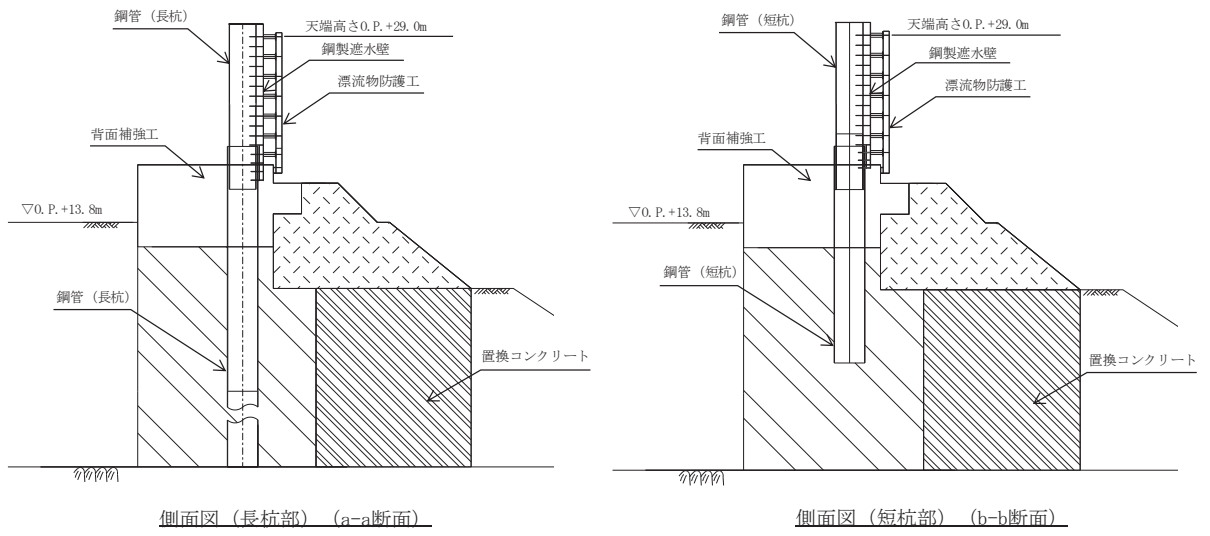
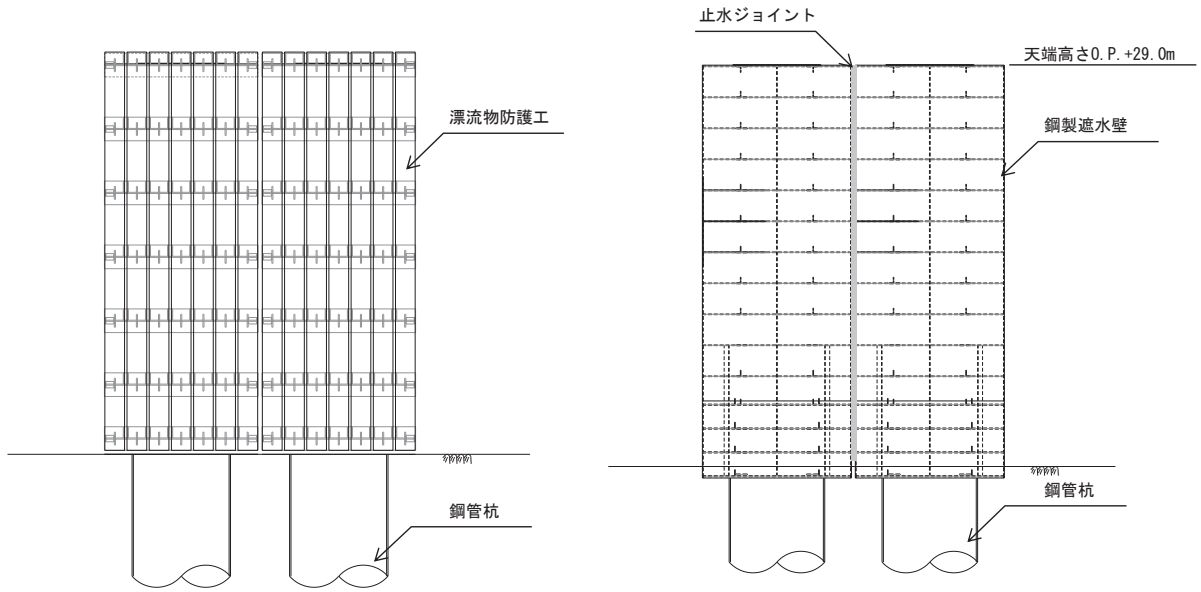


図 2-3(3) 一般部の構造図 (断面図)

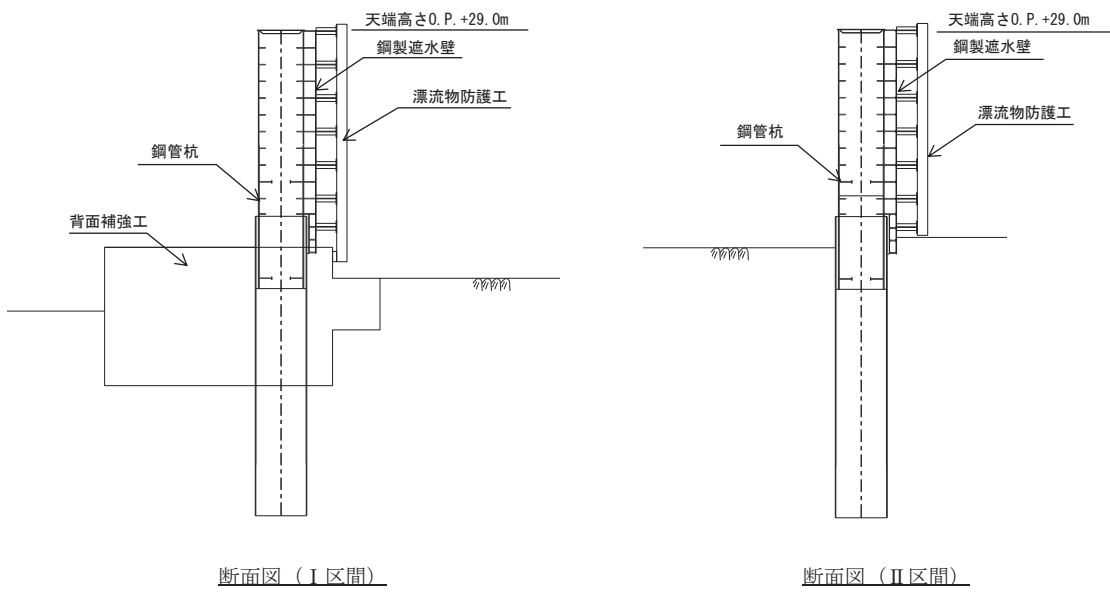
02 ② VI-2-10-2-2-1 R 2



(漂流物防護工)

(鋼製遮水壁)

図 2-4(1) 岩盤部の構造図 (正面図, I・II 区間)



断面図 (I 区間)

断面図 (II 区間)

図 2-4(2) 岩盤部の構造図 (断面図, I・II 区間)

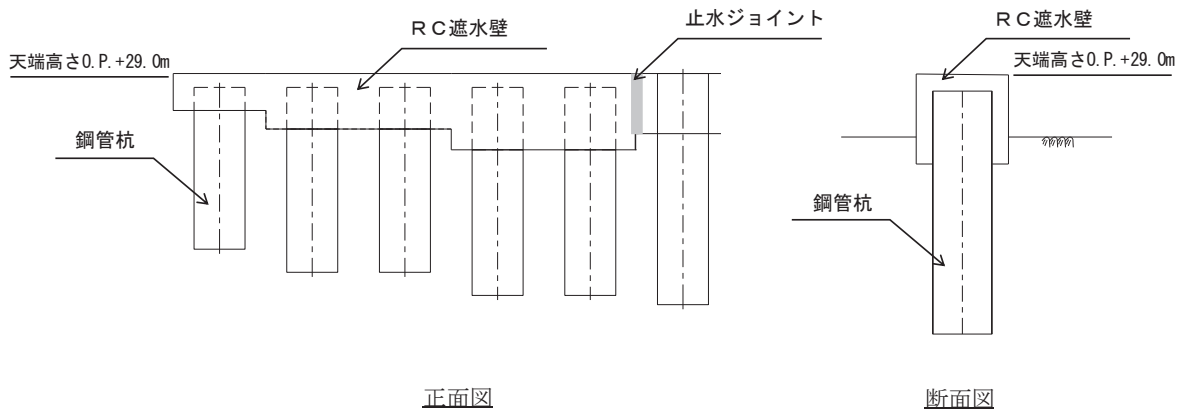
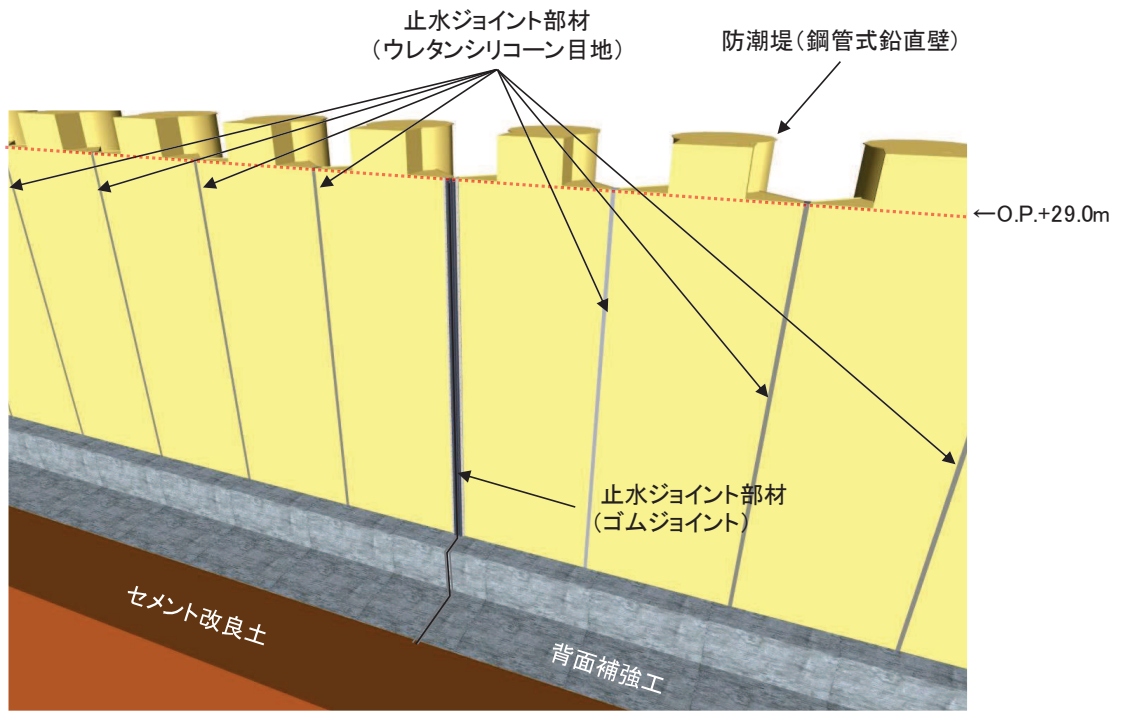
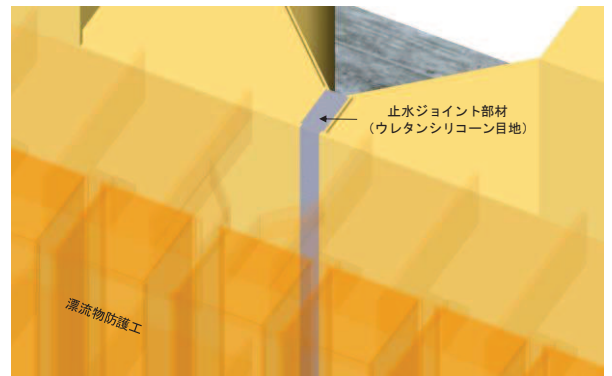
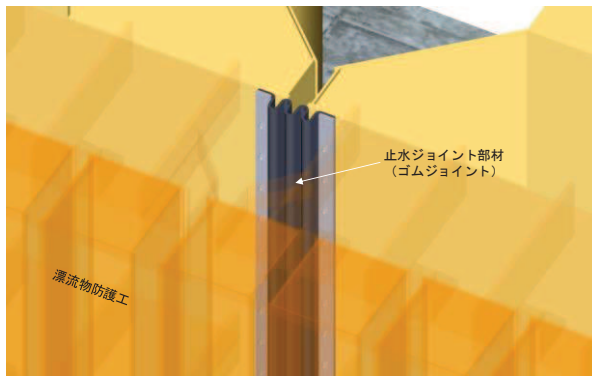


図 2-4(3) 岩盤部の構造図 (Ⅲ区間 : RC 壁部)

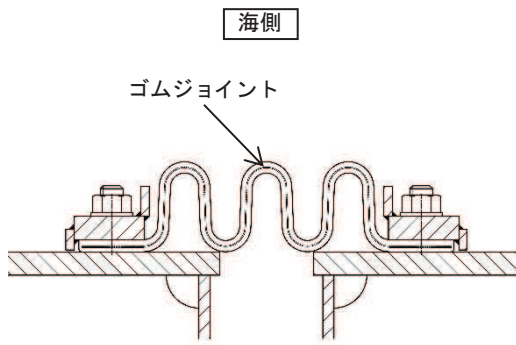


(全体)

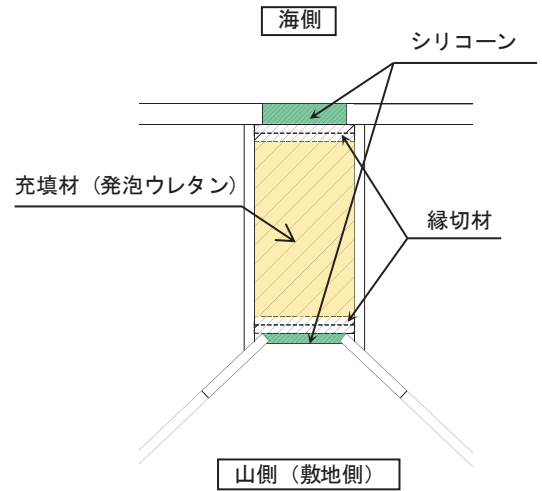


(ゴムジョイント部材の設置イメージ) (ウレタンシリコーン目地の設置イメージ)

図 2-5 (1) 止水ジョイント部材設置イメージ図



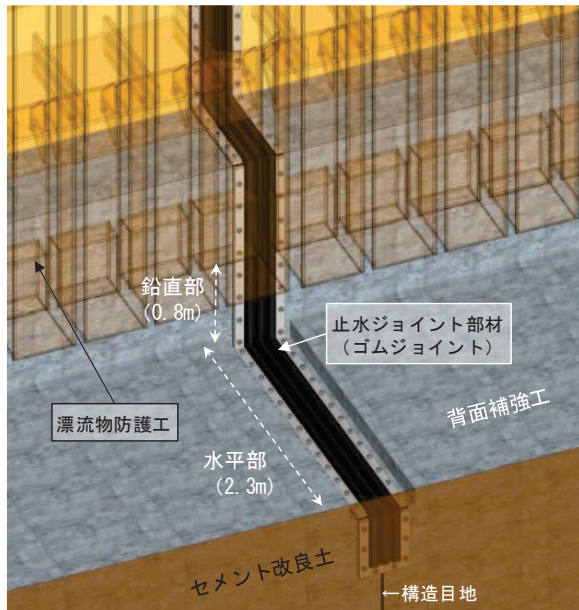
山側 (敷地側)
(ゴムジョイント)



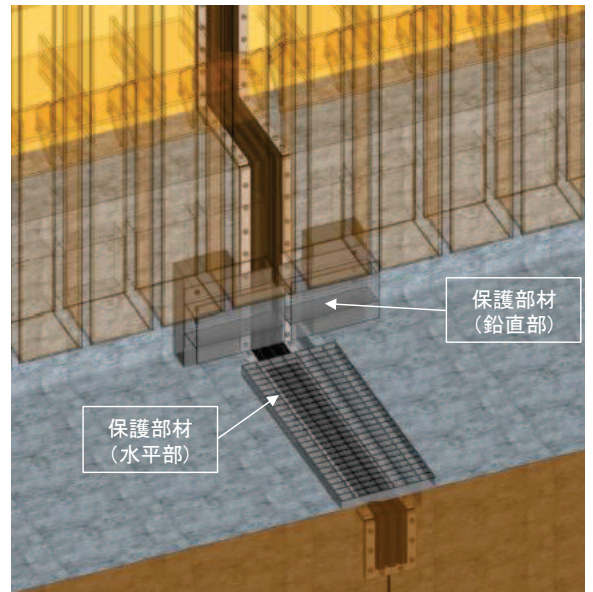
(ウレタンシリコーン目地)

図 2-5 (2) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の止水ジョイント概念図

O 2 ② VI-2-10-2-2-1 R 2



(保護部材設置前の状態)



(保護部材の設置イメージ)

図 2-5 (3) ゴムジョイントの下端部部の概念図

2.3 評価方針

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

また、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設として、表 2-3 に示すとおり、施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力、すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

施設の変形性評価については、止水ジョイント部材の変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。また、漂流物防護工の下部の止水ジョイント前面の保護部材に生じる応力が許容応力度以下であることを確認する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割*1	津波時の役割*1
施設	鋼管杭（長杭）	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
	鋼管杭（短杭）	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持する。
	鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物防護工及び止水ジョイントを支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物防護工及び止水ジョイントを支持するとともに、遮水性を保持する。
	漂流物防護工	—	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び止水ジョイントに漂流物を直接衝突させない。 漂流物衝突荷重を鋼製遮水壁及び鋼管杭に伝達する。
	止水ジョイント	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
	背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 遮水性を保持する。 長杭・短杭の変形を抑制する。
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 長杭・短杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
地盤	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。 津波荷重を置換コンクリート等を介して岩盤に伝達する。
	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 短杭及び背面補強工を鉛直支持する（下方の岩盤に荷重を伝達する）。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 長杭・短杭の変形を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> 短杭及び背面補強工を鉛直支持する（下方の岩盤に荷重を伝達する）。 長杭・短杭の変形を抑制する。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを（改良地盤を介して）鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭・短杭、背面補強工及び置換コンクリートを（改良地盤を介して）鉛直支持する。

注記 *1：津波＋余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。

表 2-2 一般部の各部位の役割に対する性能目標

		性能目標				
		鉛直支持	すべり安定性	健全性 (鋼管杭の変形抑制)	止水性 (遮水性、難透水性)	
施設	鋼管杭	-	-	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭がおおむね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭がおおむね弾性状態に留まること。	
	鋼製遮水壁			構造部材の健全性を保持するために、鋼製遮水壁がおおむね弾性状態に留まること。	止水ジョイントの支持機能を喪失して鋼製遮水壁間から有意な漏えいを生じないために、鋼製遮水壁がおおむね弾性状態に留まること。	
	漂流物防護工			-	-	鋼製遮水壁及び止水ジョイントに漂流物を直接衝突させないために、漂流物防護工がおおむね弾性状態に留まること。
	止水ジョイント			鋼製遮水壁間から有意な漏えいを生じないために、止水ジョイントの変形性能を保持すること。	鋼製遮水壁間から有意な漏えいを生じないために、止水ジョイントの変形・遮水性能を保持すること。	
	背面補強工			鋼管杭の変形を抑制するため、背面補強工がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	背面補強工内に鋼管杭を横断する水みちが形成されて有意な漏洩を生じないために、背面補強工がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	
	置換コンクリート			基礎地盤のすべり安定性を確保するため、コンクリートの強度を維持し、すべり抵抗を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
地盤	セメント改良土	-	-	鋼管杭の変形を抑制するため、セメント改良土がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、セメント改良土がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	
	改良地盤	鋼管杭及び背面補強工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、置換コンクリートのすべり抵抗も考慮した上で、十分なすべり安定性を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	
	岩盤	鋼管杭、背面補強工及び置換コンクリートを鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	-	-	-	

表 2-3(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の評価項目（一般部）

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	施設・地盤の健全性	鋼管杭	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製遮水壁	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物防護工	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		背面補強工	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上	
	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*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	鋼管杭	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製遮水壁	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物防護工	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		背面補強工	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上	
		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
	施設の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量
保護部材に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	

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-3(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の評価項目（岩盤部）

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	施設の健全性	鋼管杭	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製遮水壁	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		RC 遮水壁	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物防護工	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		背面補強工	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	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*
止水性を損なわないこと	施設の健全性	鋼管杭	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製遮水壁	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		RC 遮水壁	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物防護工	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		背面補強工	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	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*
	施設の变形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量
保護部材に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	

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。

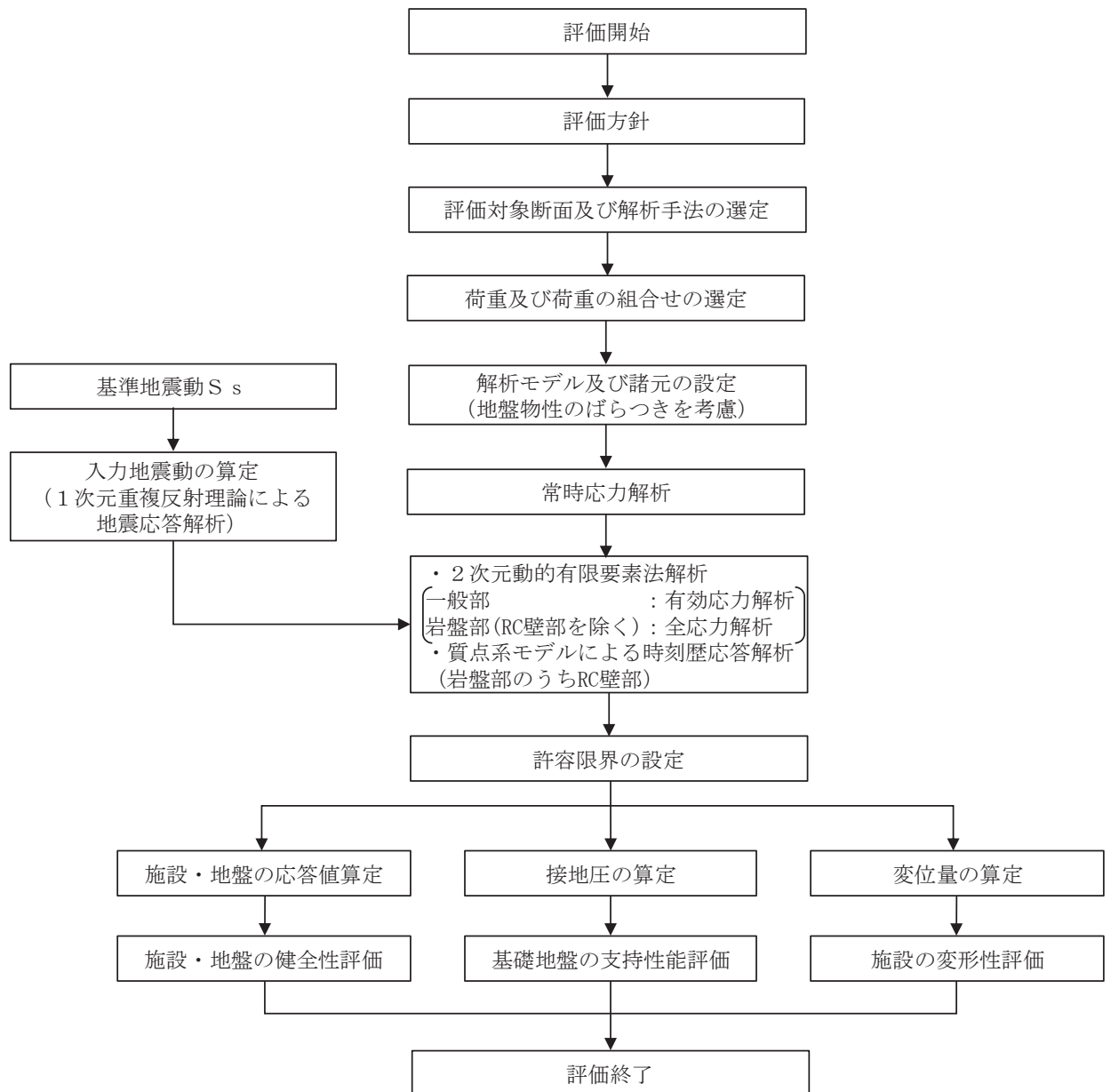


図 2-6 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 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・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
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編
- ・ 土木学会 2013年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編
- ・ 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
- ・ 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規定 (J E A C 4 6 1 6 -2009)
- ・ 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

3.1.1 一般部

評価対象断面は、一般部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。一般部の縦断面図を図3-2に、評価対象断面図を図3-3～図3-6に示す。

断面①：置換コンクリートが縦長になる断面で、 C_{II} 級岩盤を含む岩盤上面が深く、盛土及び旧表土が厚く堆積する断面（設置変更許可段階において、基礎地盤の安定性評価で示した断面）。

断面②：比較的剛性の小さい D 級+ C_L 級岩盤が分布せず、旧表土が厚く堆積する断面（設置変更許可段階において、構造成立性評価で示した断面）。

断面③：比較的剛性の小さい D 級+ C_L 級岩盤が厚く堆積する断面。

断面④：防潮堤（盛土堤防）との境界部となる断面。

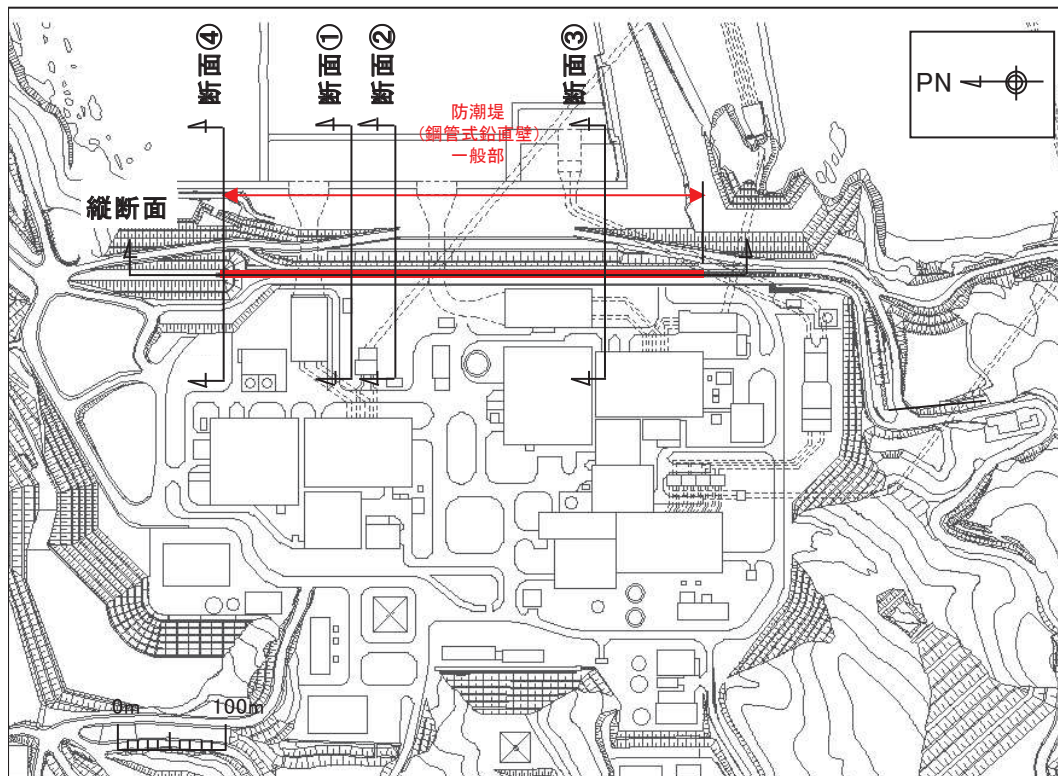


図3-1 一般部 評価対象断面位置

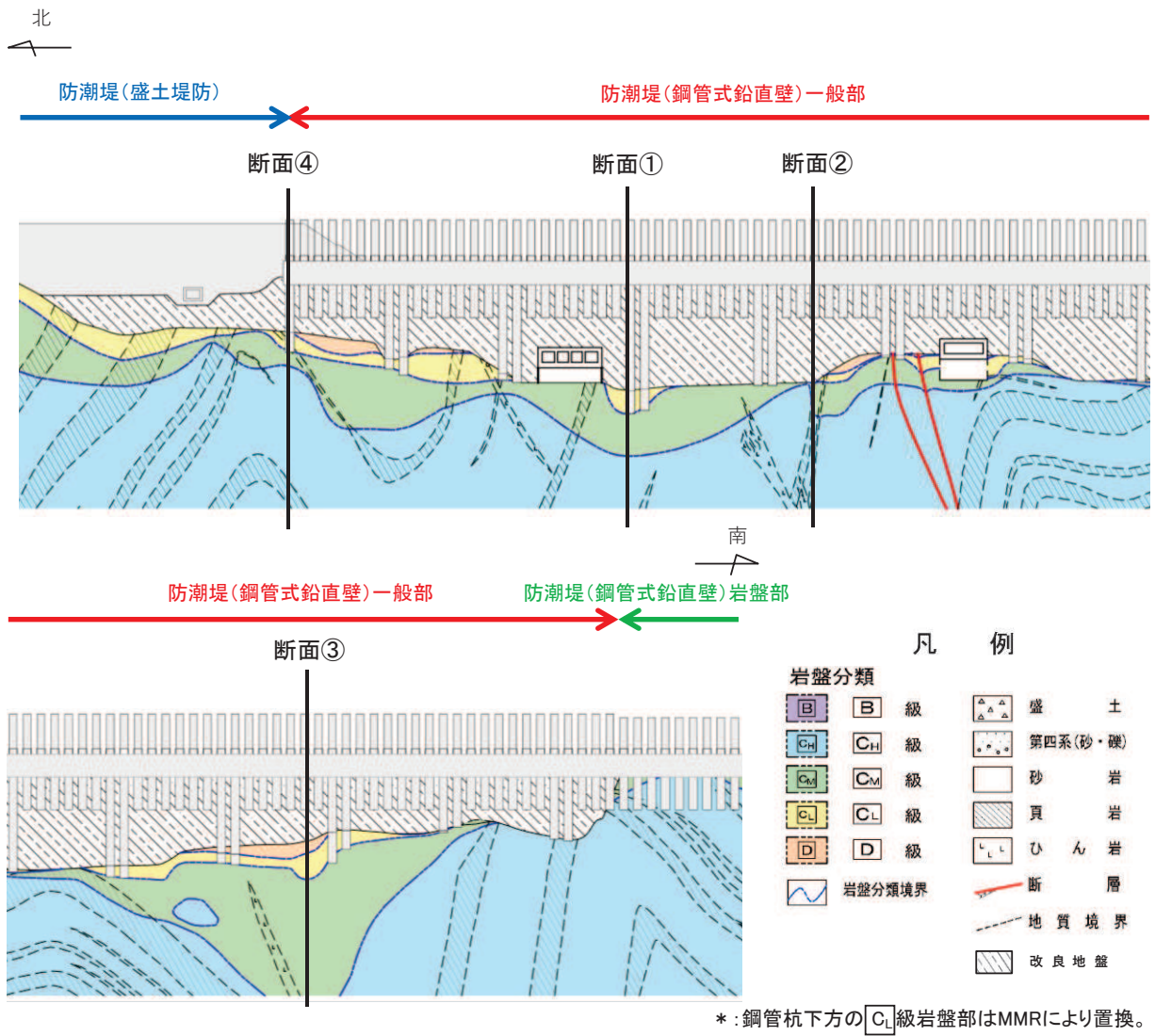


図 3-2 一般部の縦断面図

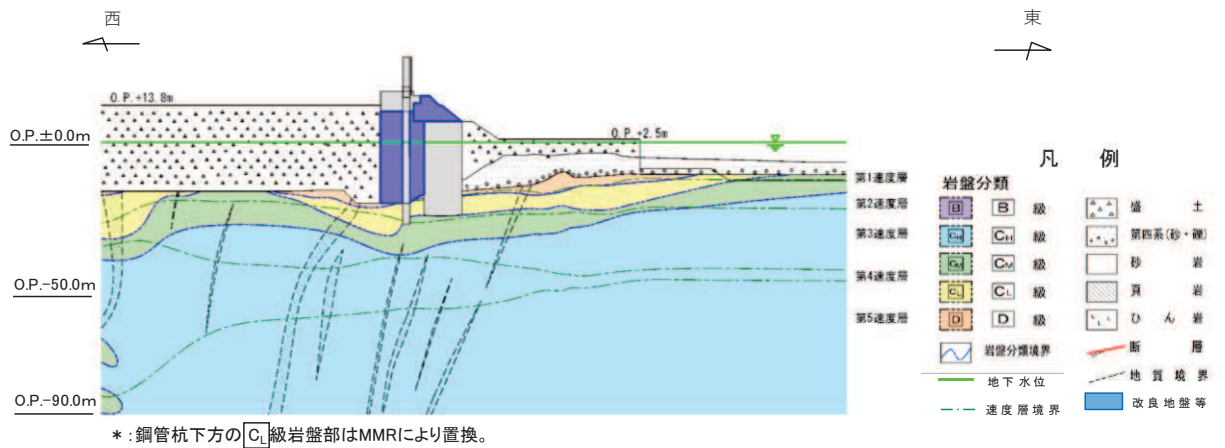


図 3-3 評価対象断面 (断面①)

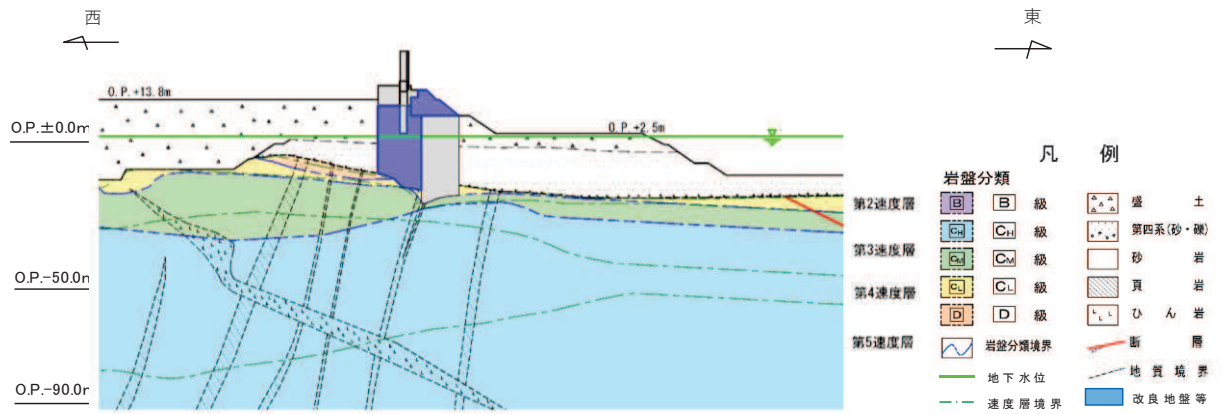


図 3-4 評価対象断面 (断面②)

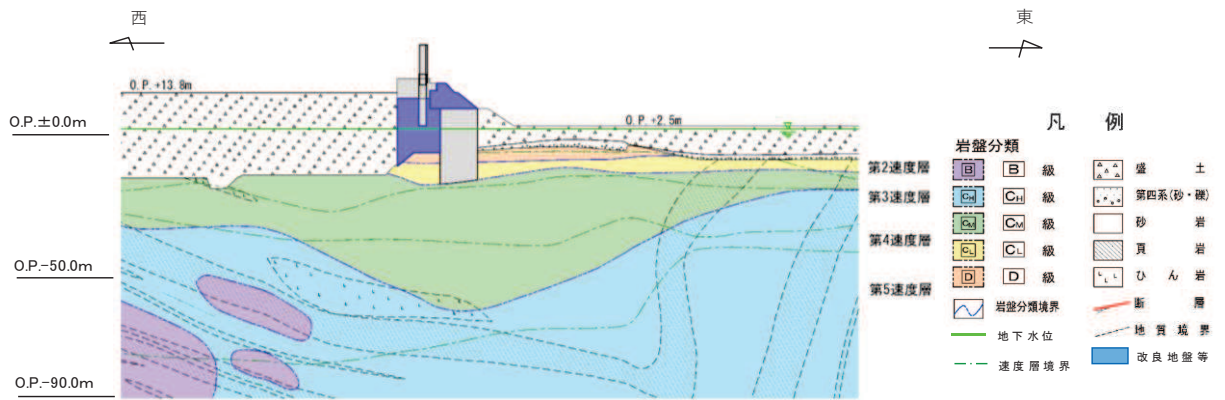


図 3-5 評価対象断面 (断面③)

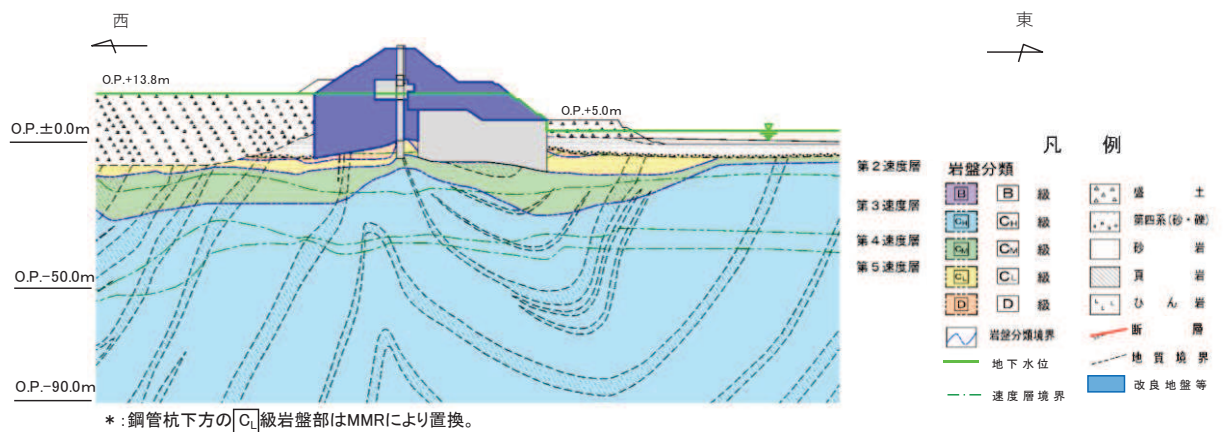


図 3-6 評価対象断面 (断面④)

3.1.2 岩盤部

評価対象断面は、岩盤部の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて図 3-7 に示す断面位置とする。岩盤部の縦断面図を図 3-8、評価対象断面を図 3-9～図 3-11 に示す。

断面⑤：同一断面の構造，おおむね一定の地質状況の区間の中で，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）が設置される断面。

断面⑥：比較的剛性の小さい D 級 + C_L 級岩盤が分布せず，鋼管杭の突出長が最も長くなる断面。

断面⑦：5本の鋼管杭と RC 遮水壁が一体構造となっている断面。

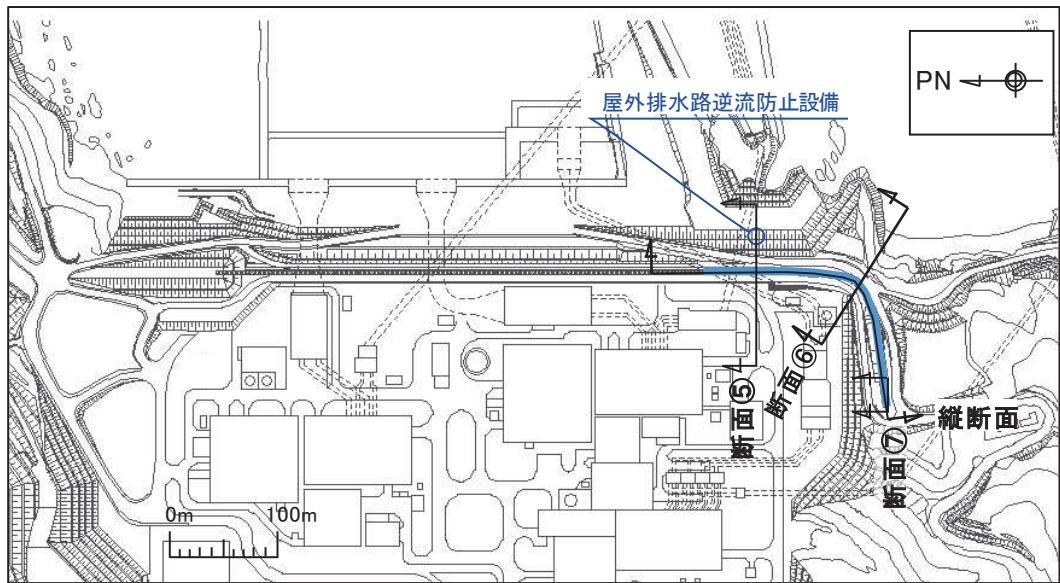


図 3-7 岩盤部 評価対象断面位置

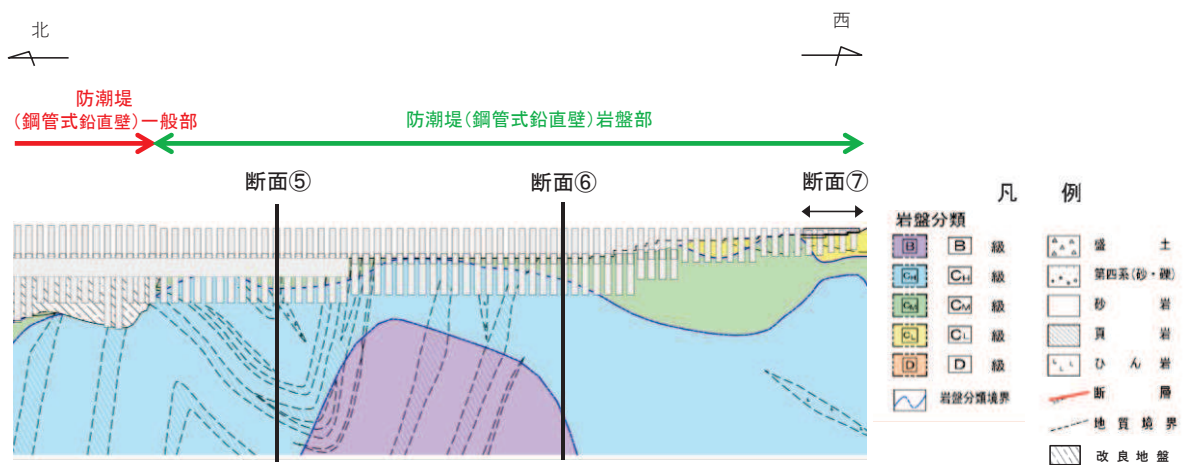


図 3-8 岩盤部の縦断面図

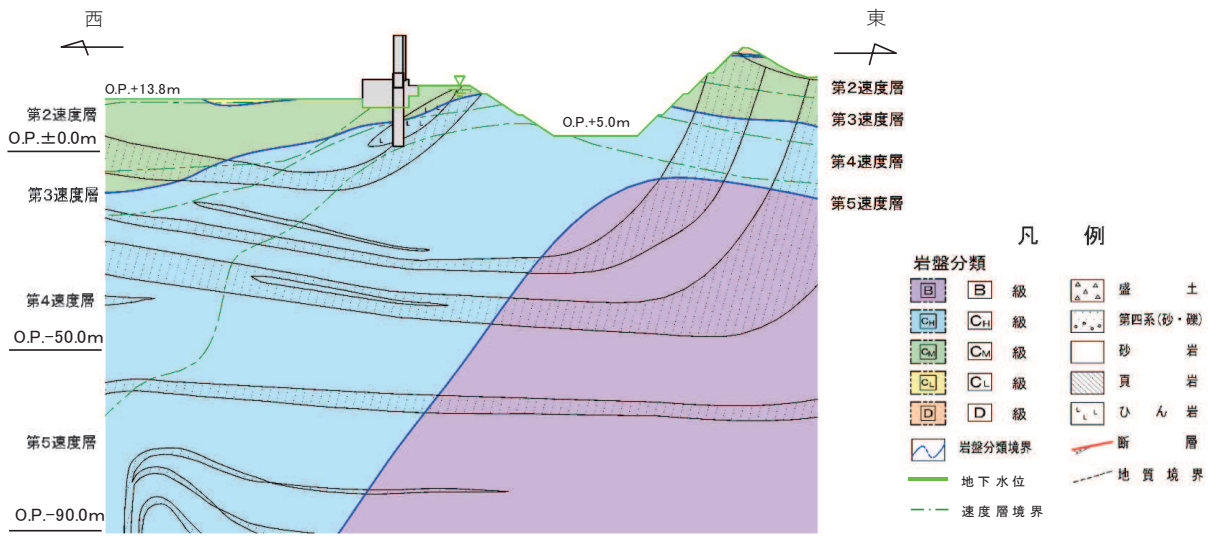


图 3-9 評価対象断面（岩盤部）（断面⑤）

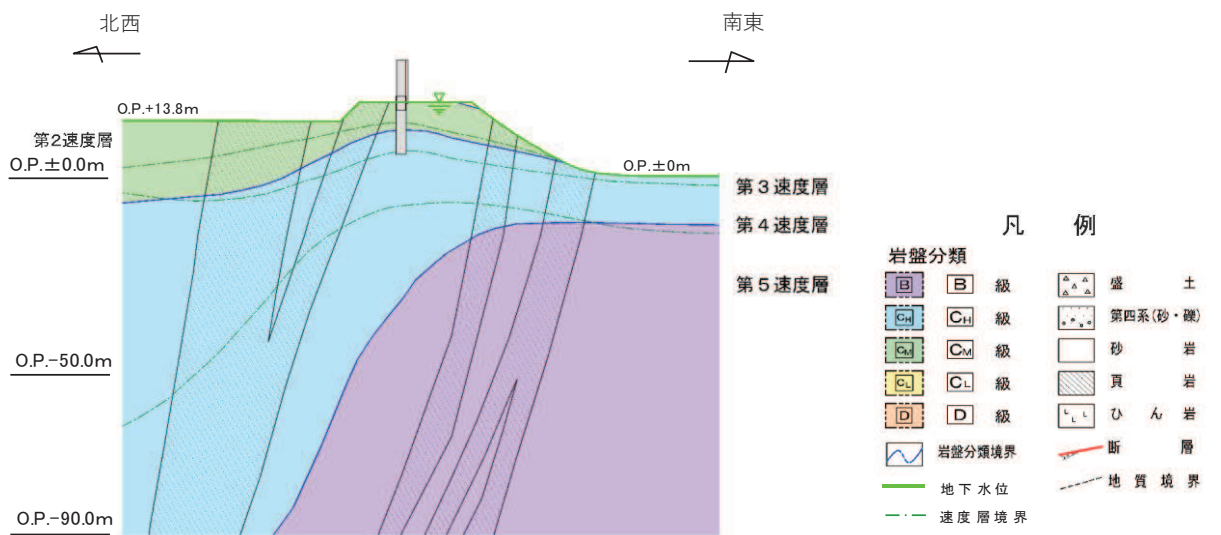


图 3-10 評価対象断面（岩盤部）（断面⑥）

O 2 ② VI-2-10-2-2-1 R 2

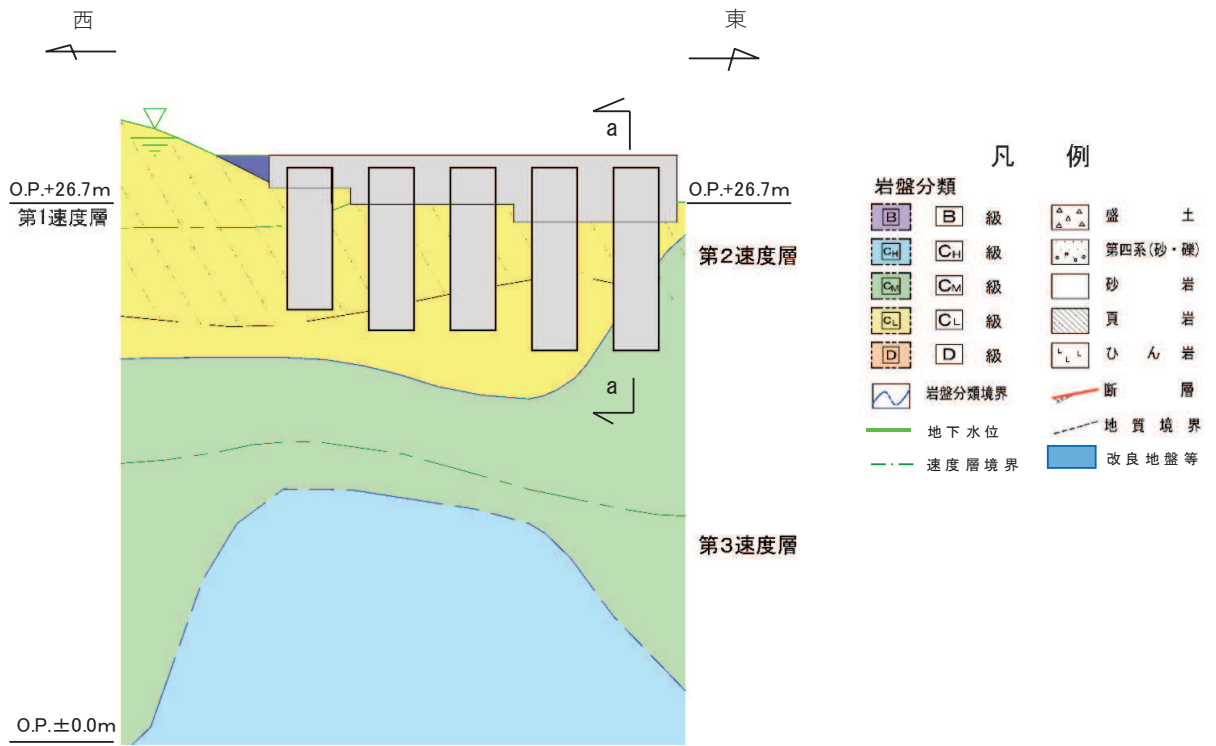


图 3-11(1) 評価対象断面 (岩盤部) (断面⑦)

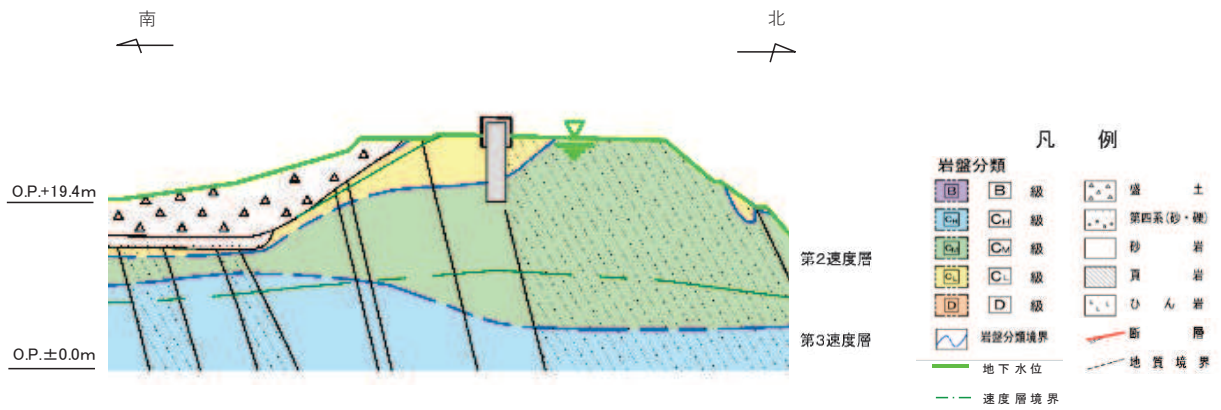


图 3-11(2) 評価対象断面 (岩盤部) (断面⑦, a-a 断面)

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。なお、岩盤部のうちRC壁部の地震応答解析は、RC壁部がRC遮水壁と5本の鋼管杭が縦断方向に一体となった構造であることを踏まえ、質点系モデルによる時刻歴応答解析により行う。

一般部については、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

岩盤部については岩盤内に設置され、液状化検討対象外の施設であることから、全応力解析とする。

岩盤部のうちRC壁部の縦断方向加振時には、加振方向と平行に配置される躯体及び杭基礎を耐震設計上見込むことができるため縦断方向断面が強軸となる。一方、横断方向加振時には、加振方向と平行に躯体及び杭基礎が配置されないことから、横断方向断面が弱軸となる。よって、弱軸となる横断方向を評価対象とする。

一般部の地震応答解析（有効応力解析）については、解析コード「FLIP Ver.7.3.0_2」を使用する。

岩盤部の地震応答解析（全応力解析）については、解析コード「TDAPⅢ Ver3.08」を使用し、岩盤部のうちRC壁部の地震応答解析（全応力解析）については、解析コード「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。

3.2.1 施設

鋼管杭は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

また、岩盤部のうちRC壁部は、鋼管杭及びRC遮水壁を質点及び線形はり要素（ビーム要素）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

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の地震時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を評価する。地盤物性のばらつきについては、防潮堤（鋼管式鉛直壁）周辺の地盤状況に応じて一般部と岩盤部の2種類に分類し、表3-1及び表3-2に示す解析ケースにて行う。

(1) 一般部

図3-2～図3-6に示すとおり、一般部の周辺には、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防潮堤（鋼管式鉛直壁）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。

(2) 岩盤部

図 3-8～図 3-11 に示すとおり、岩盤部の周辺には、主として、 C_L 級岩盤、 C_M 級岩盤、 C_H 級岩盤及び B 級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）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。

表 3-1 解析ケース（一般部）

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

表 3-2 解析ケース（岩盤部）

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	平均値 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値	平均値 - 1 σ

3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、一般部（有効応力解析）では剛性比例型減衰、岩盤部（全応力解析）では質量比例型減衰と剛性比例型減衰の組み合わせによる減衰を設定する。

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 及び表 3-2 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 3-3 に示す。

表 3-3 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)	$S_s - D 1$	++* 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、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において照査値が 0.5 以上となる又はすべり安全率が 2.4 以下* ² 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。
		-+* 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。

*2：許容限界であるすべり安全率 1.2 に対して 2 倍の裕度

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

防潮堤（鋼管式鉛直壁）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

防潮堤（鋼管式鉛直壁）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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重を含めて地表面に 4.9kN/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 3-4 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)	$G + P + P_k + S_s$

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

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。

図3-12に入力地震動算定の概念図を、図3-13～図3-19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」及び「microSHAKE Ver2.3.3」（岩盤部のうちRC壁部）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。

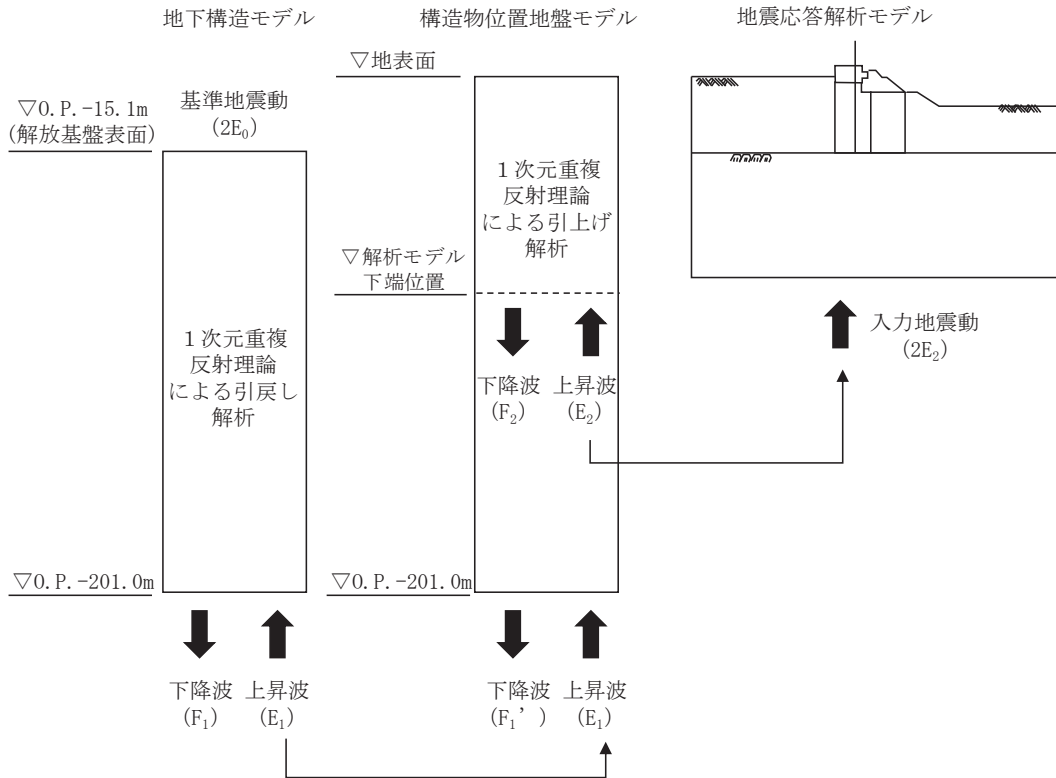


図3-12(1) 入力地震動算定の概念図

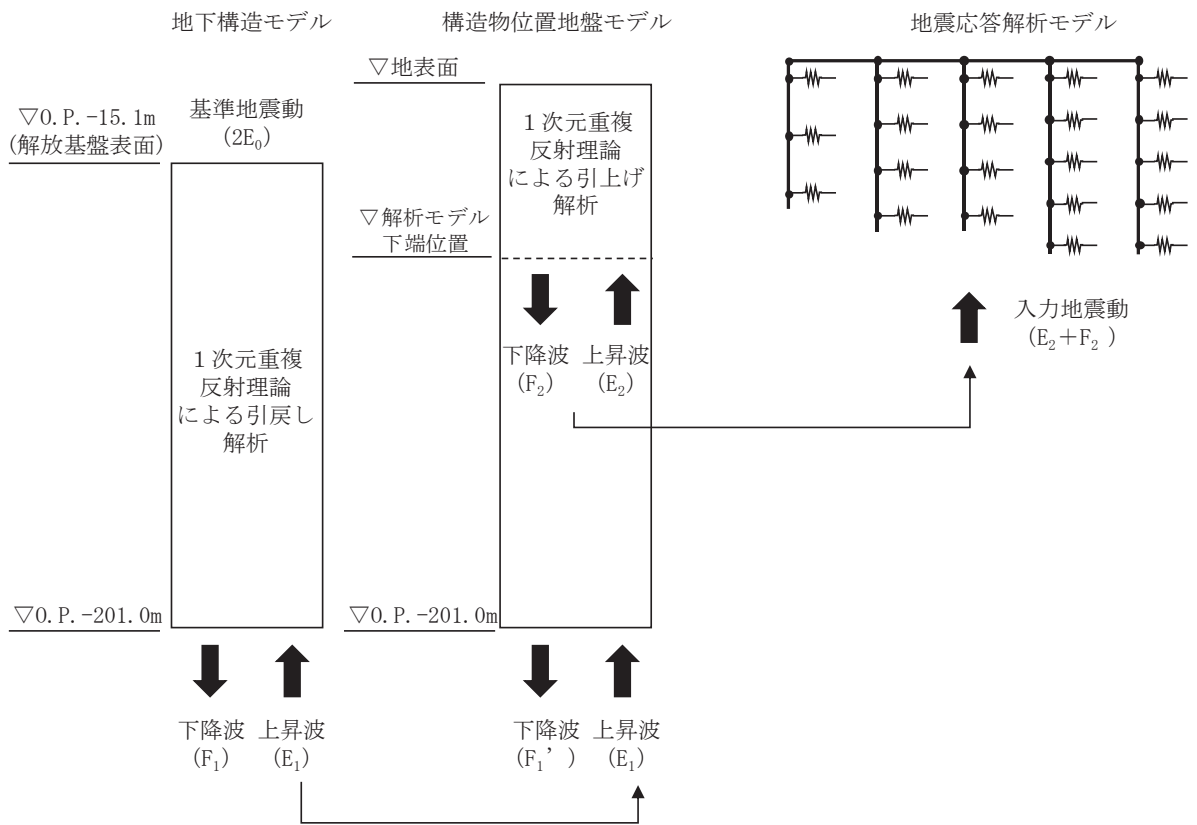
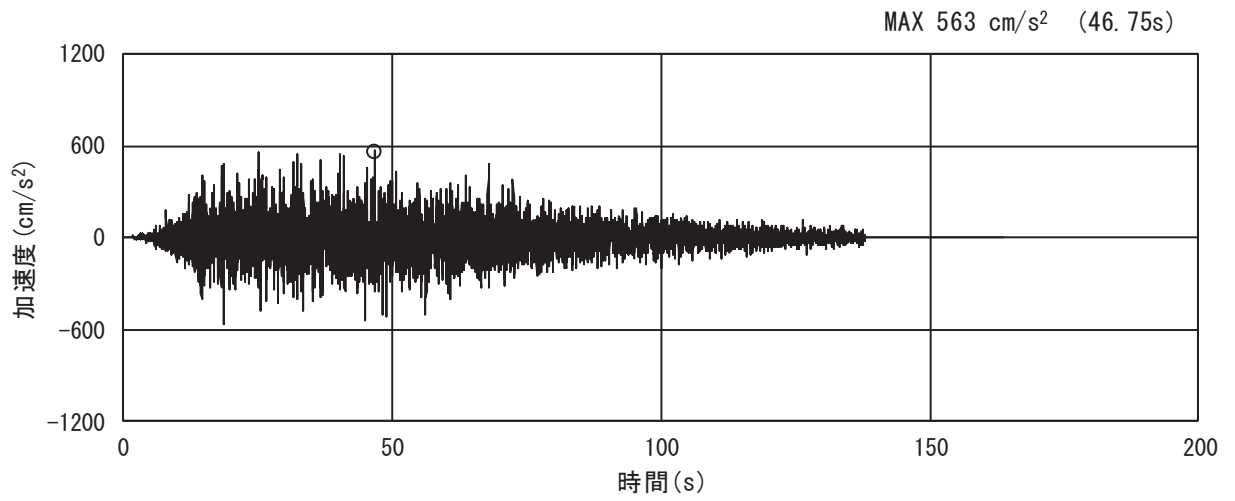


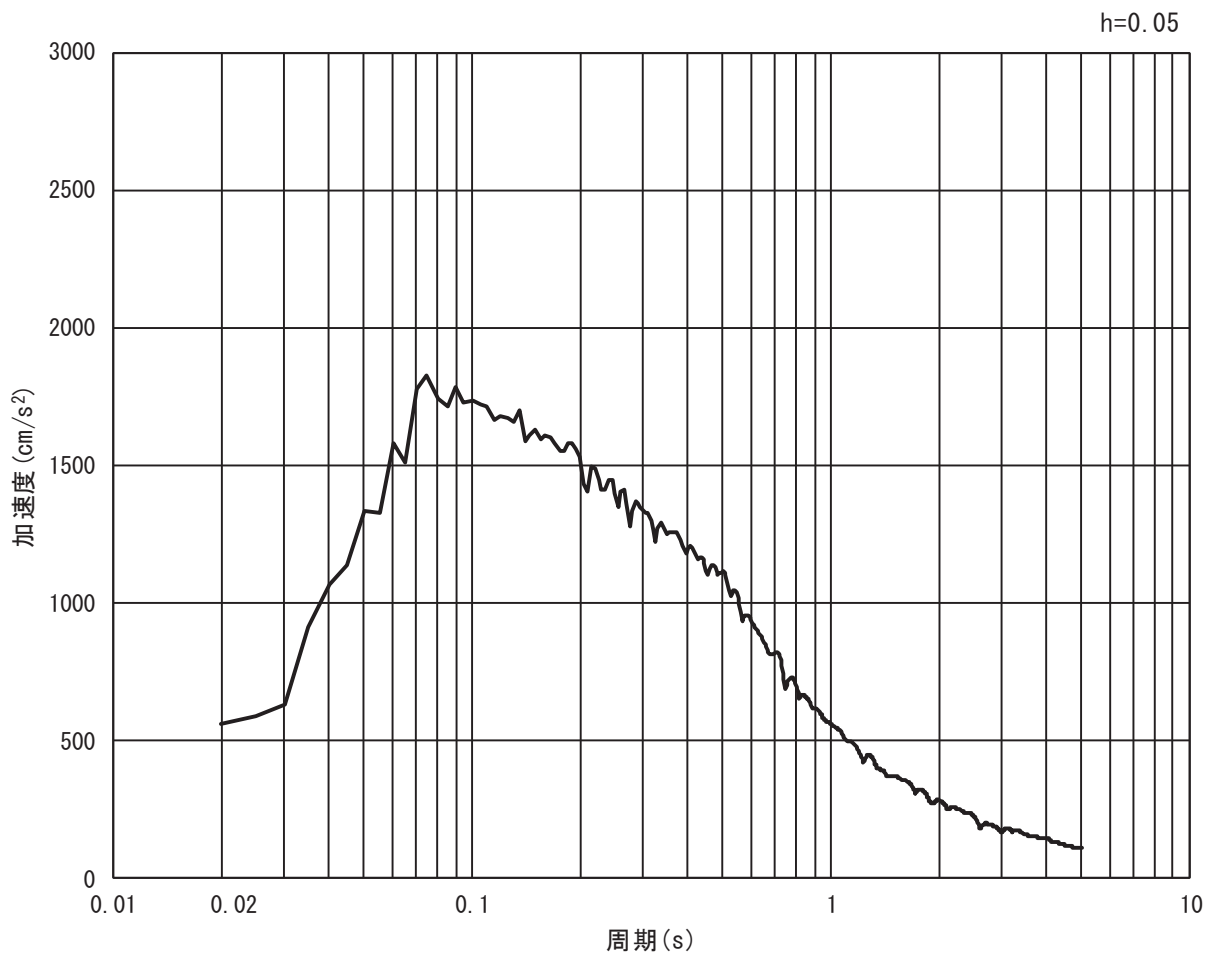
図 3-12(2) 入力地震動算定の概念図 (RC 壁部)

3.4.1 一般部

(1) 断面①

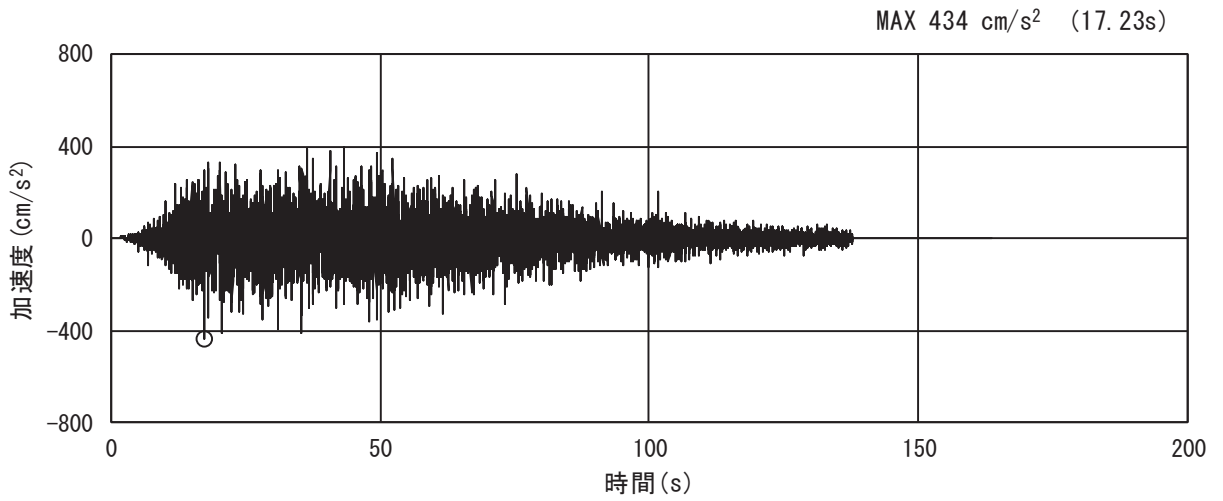


(a) 加速度時刻歴波形

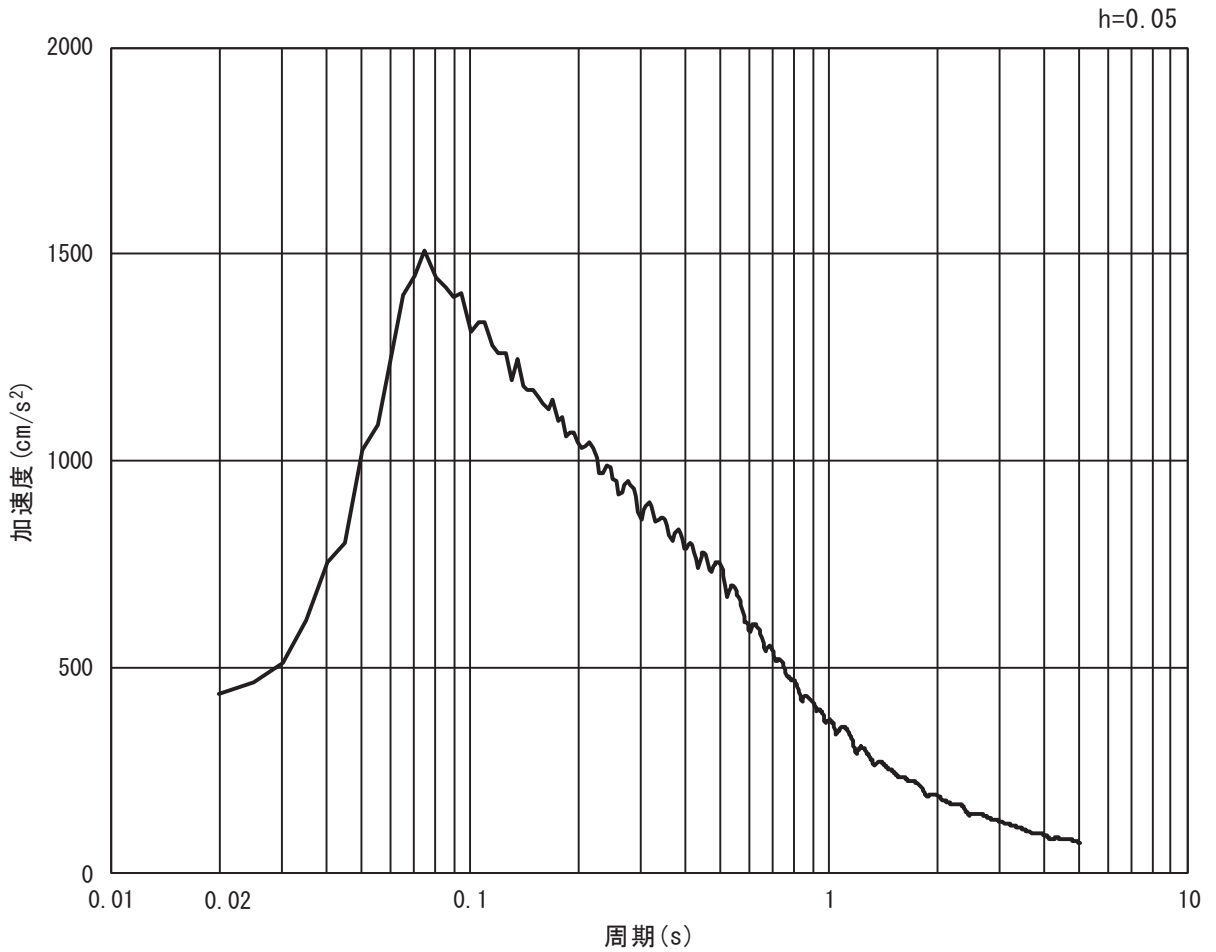


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

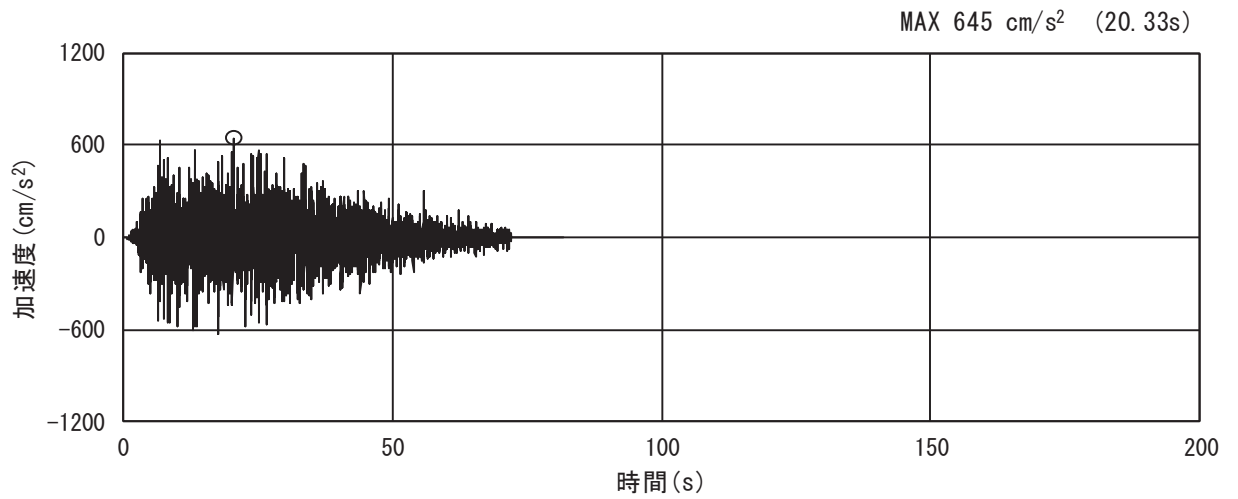


(a) 加速度時刻歴波形

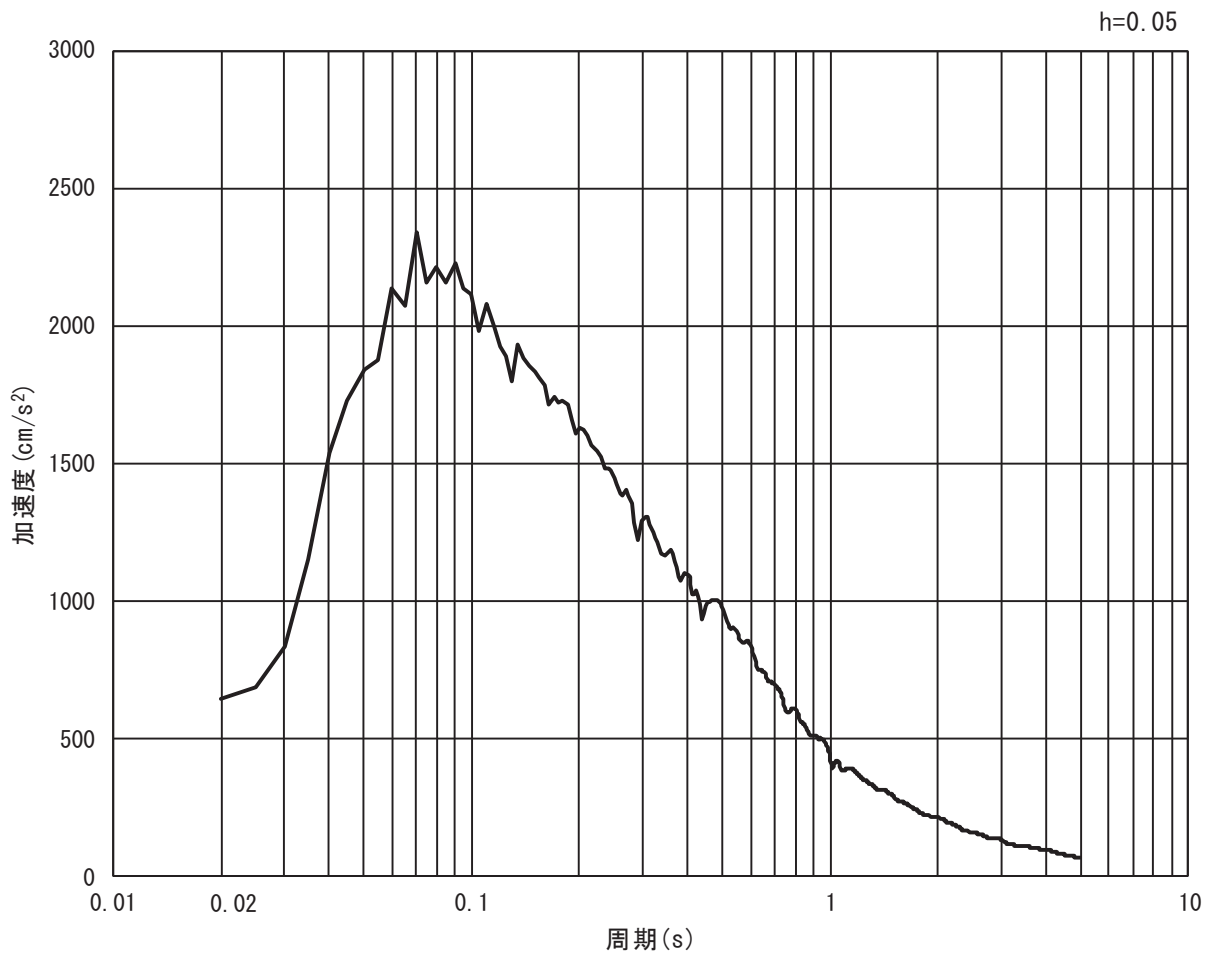


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

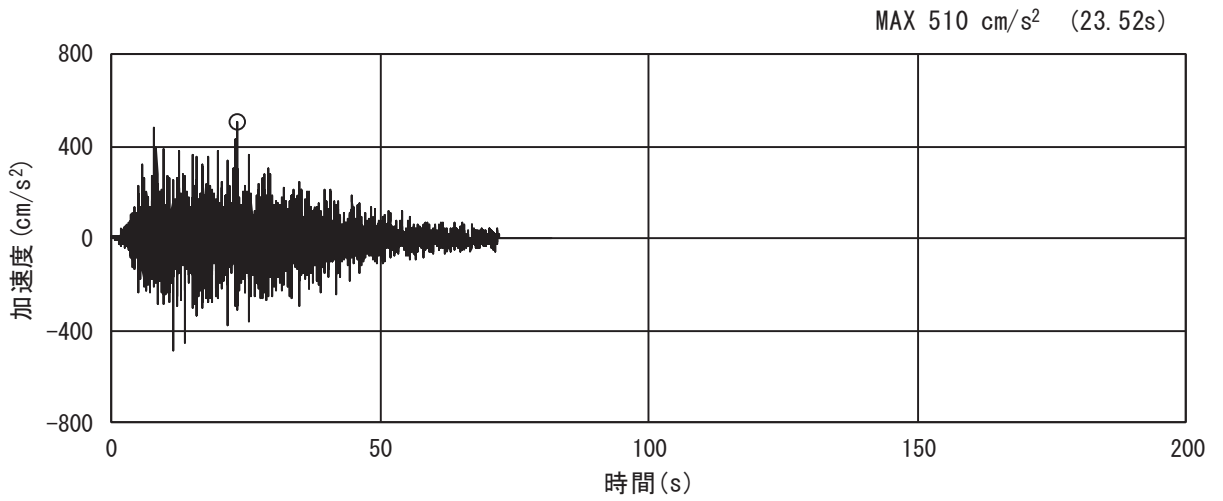


(a) 加速度時刻歴波形

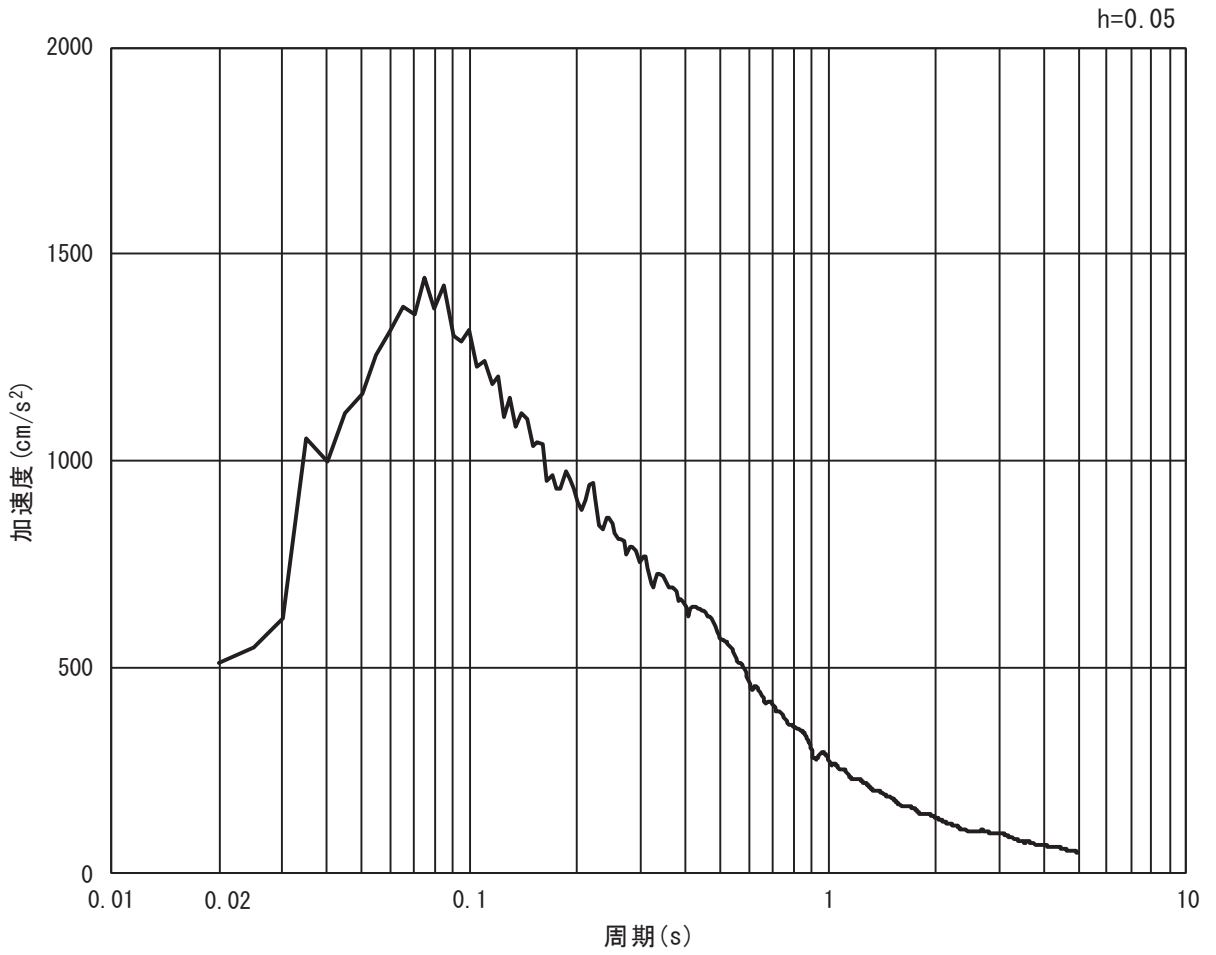


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

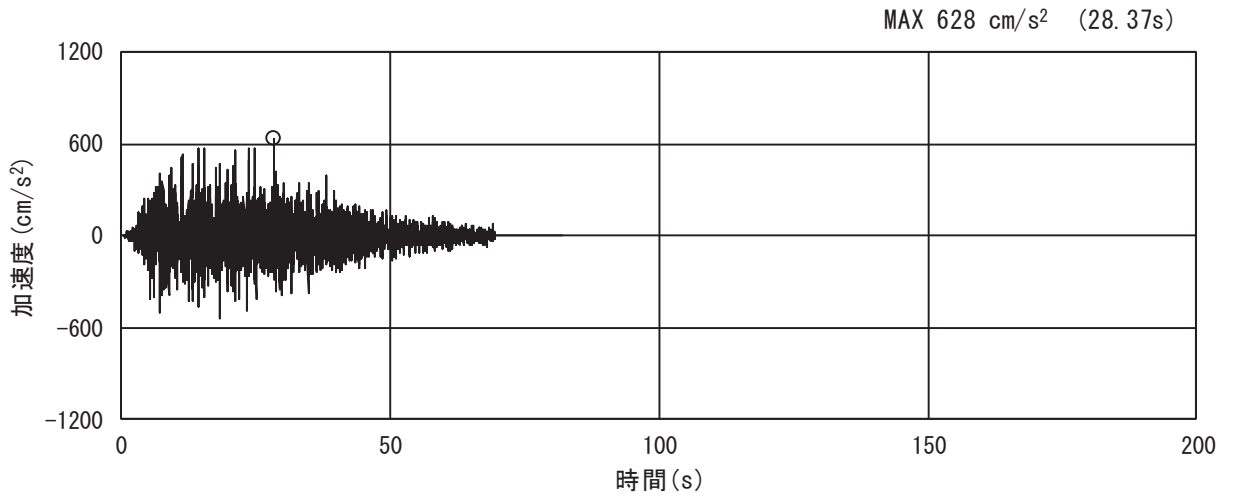


(a) 加速度時刻歴波形

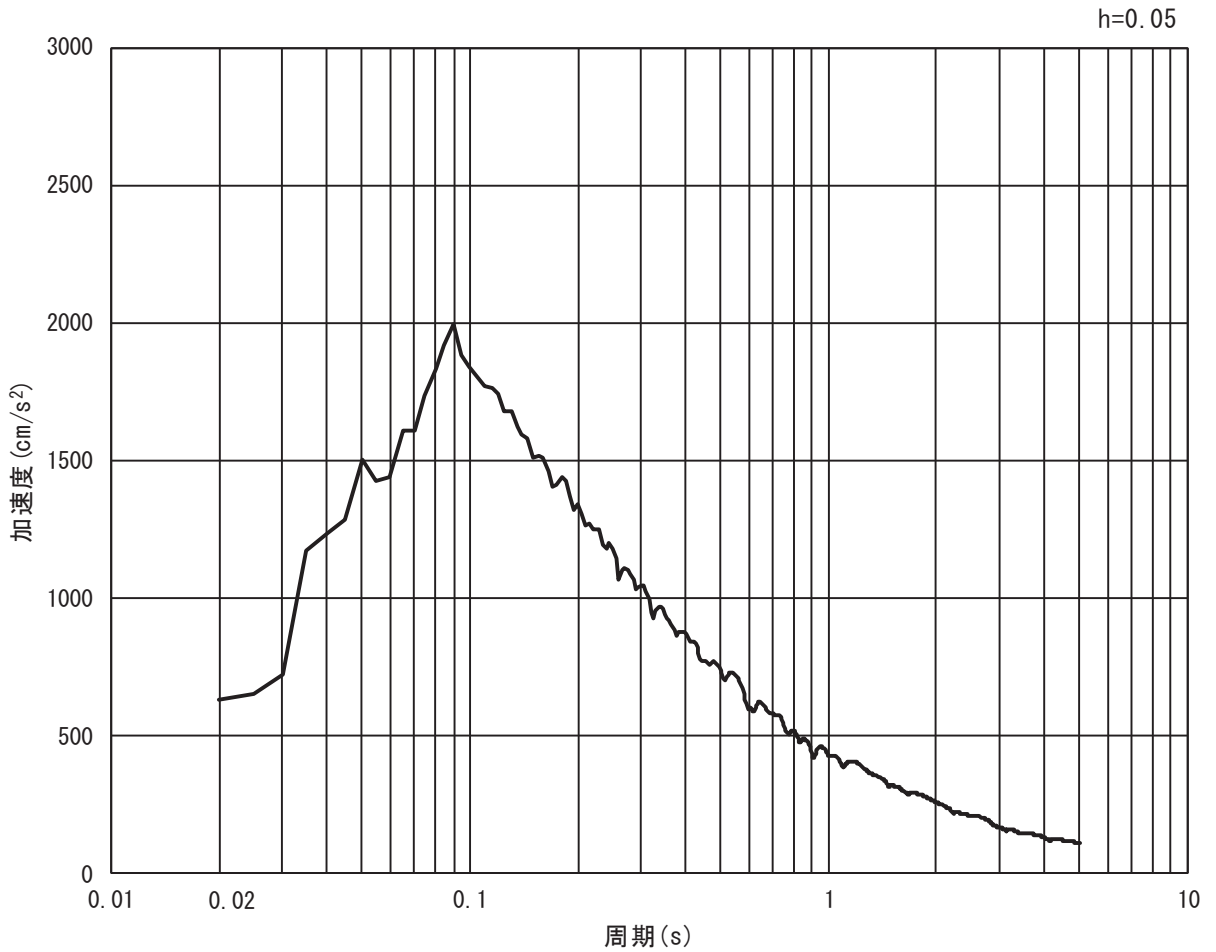


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

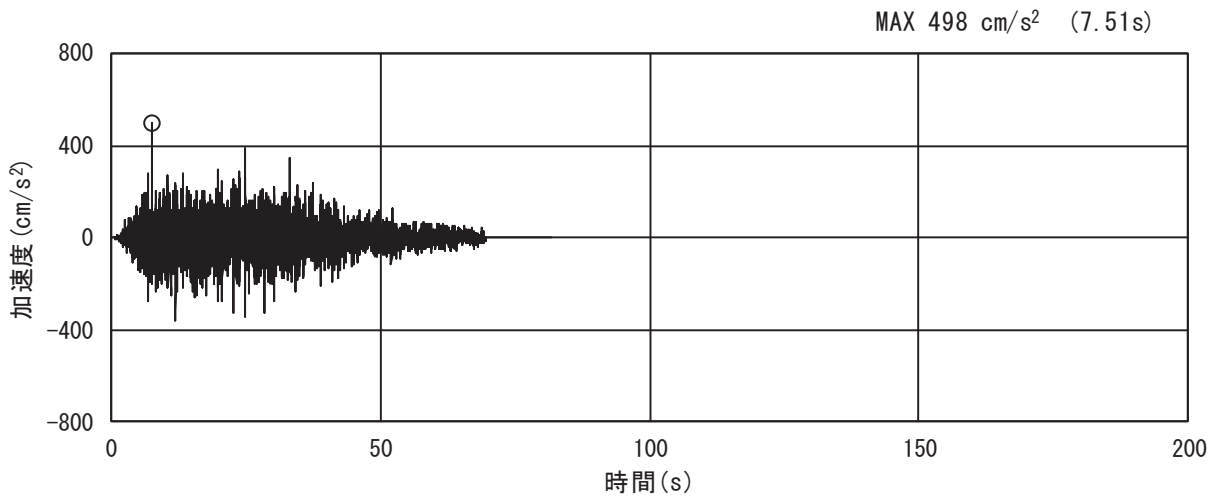


(a) 加速度時刻歴波形

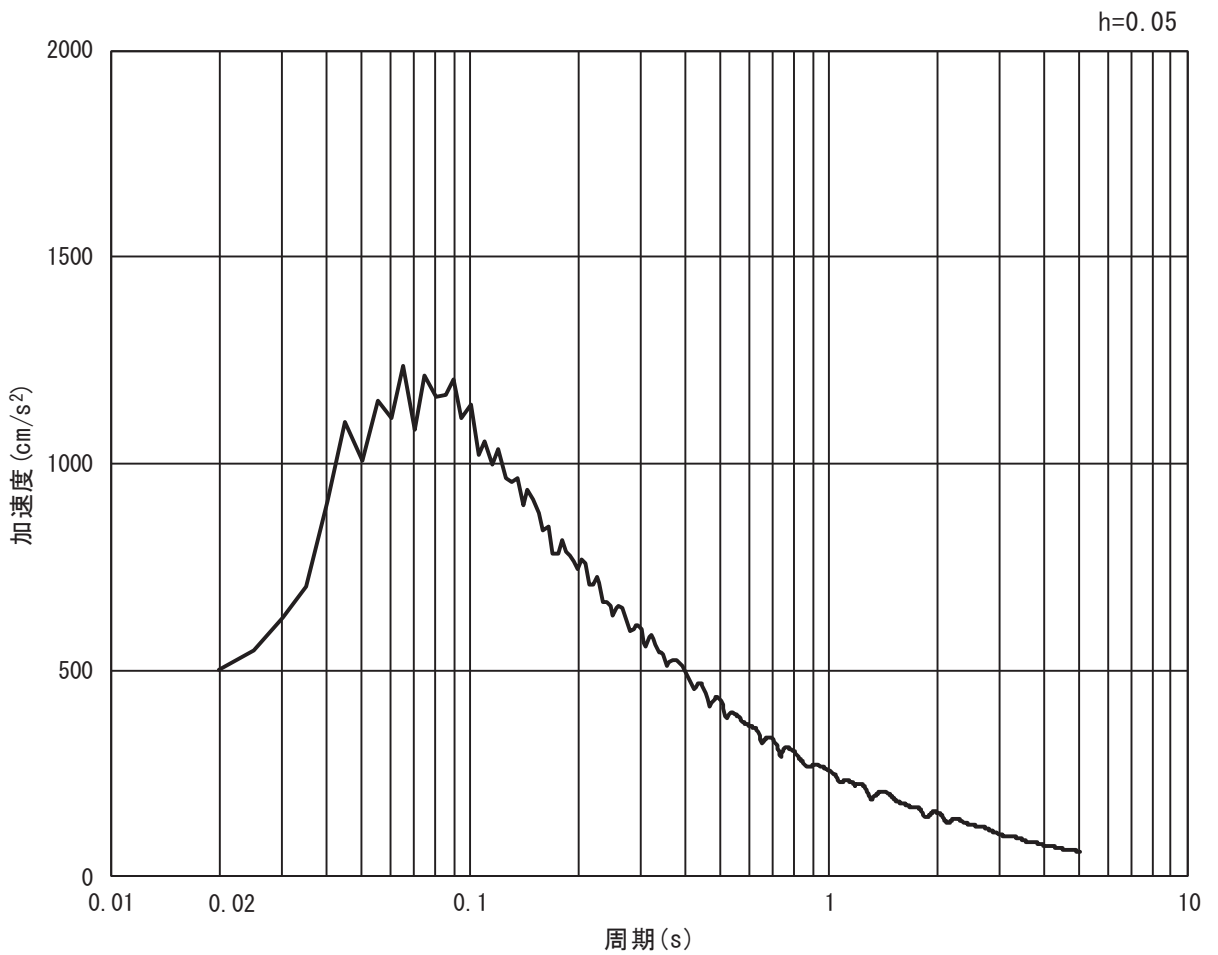


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

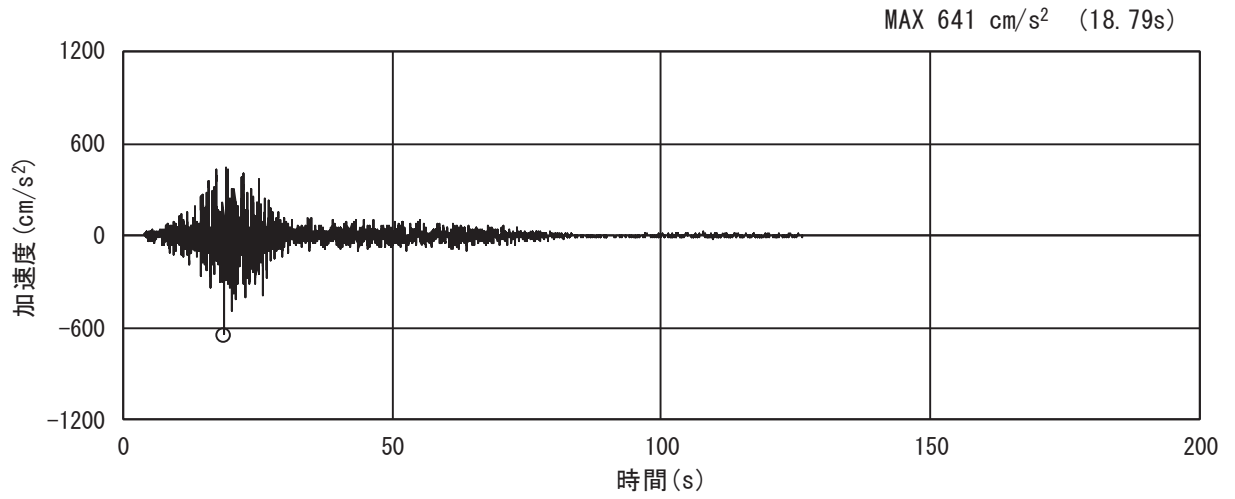


(a) 加速度時刻歴波形

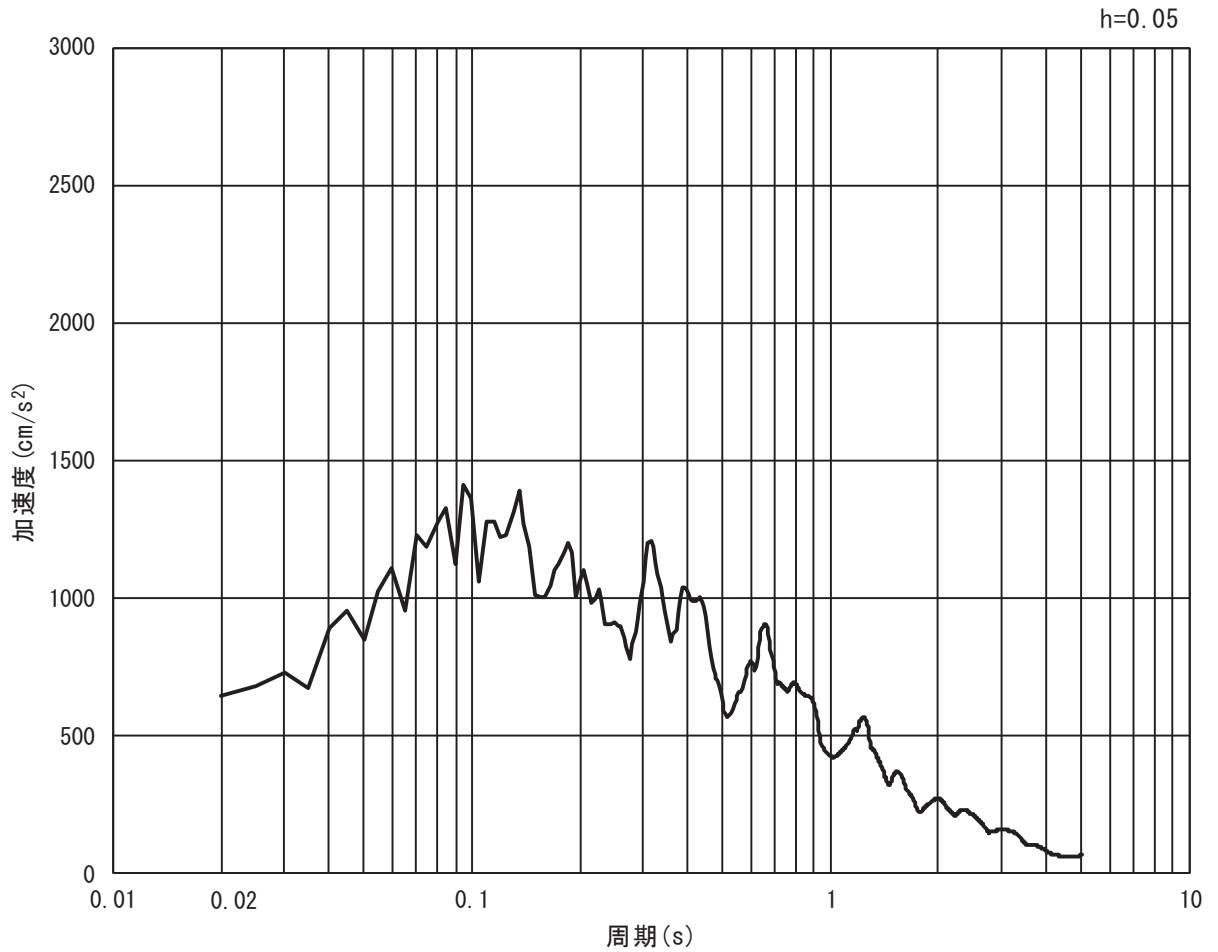


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

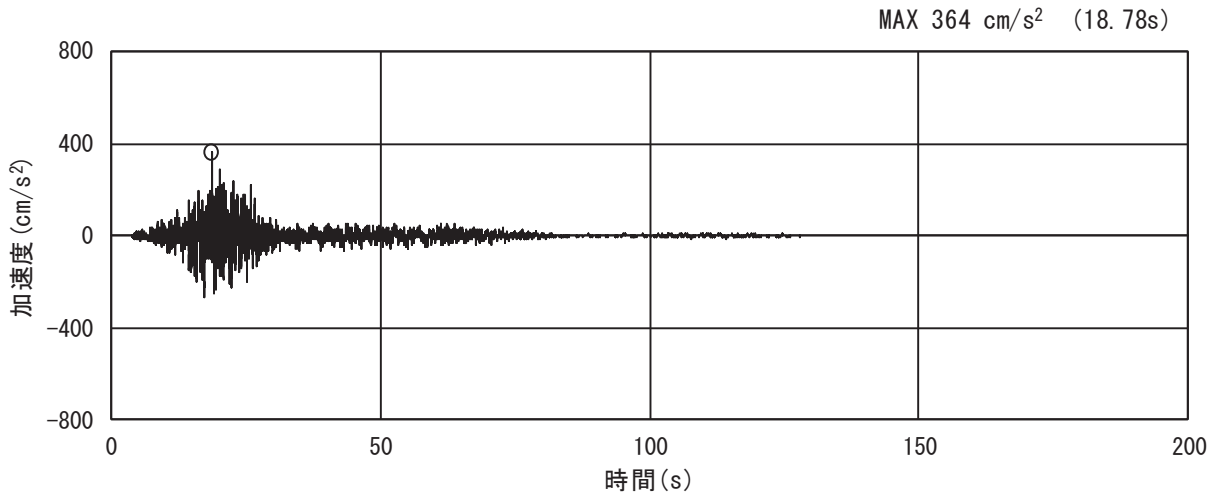


(a) 加速度時刻歴波形

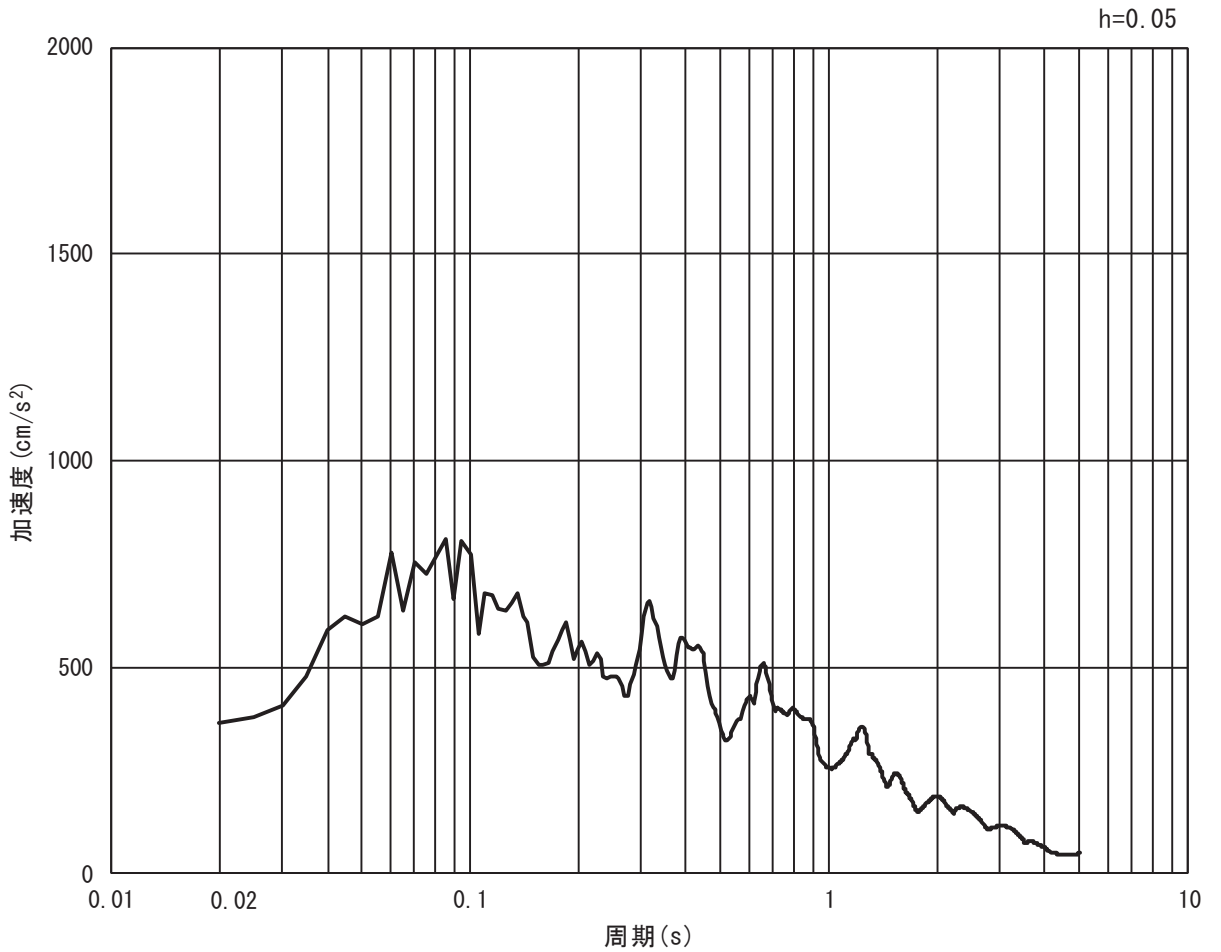


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

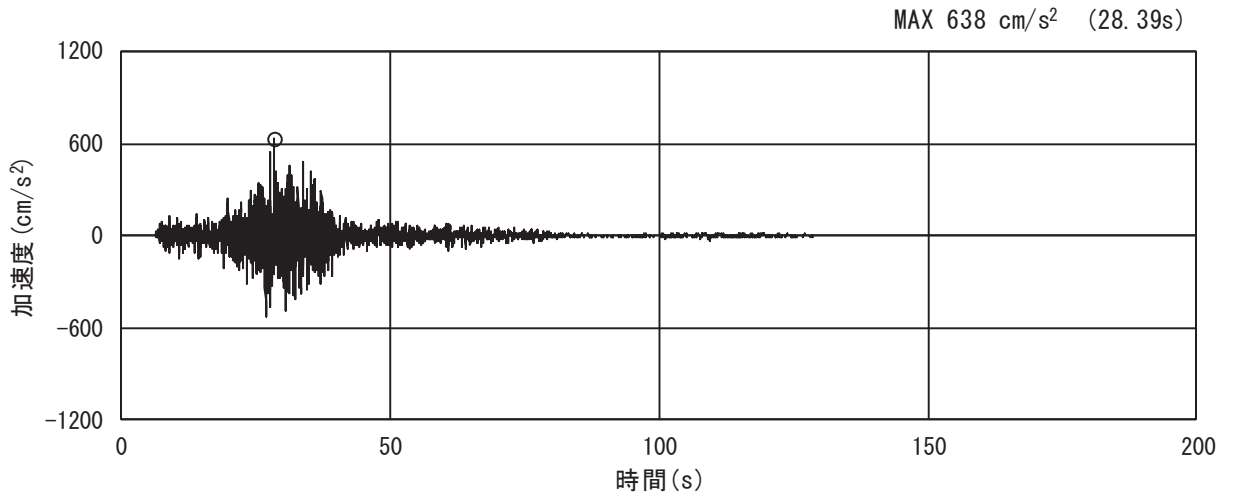


(a) 加速度時刻歴波形

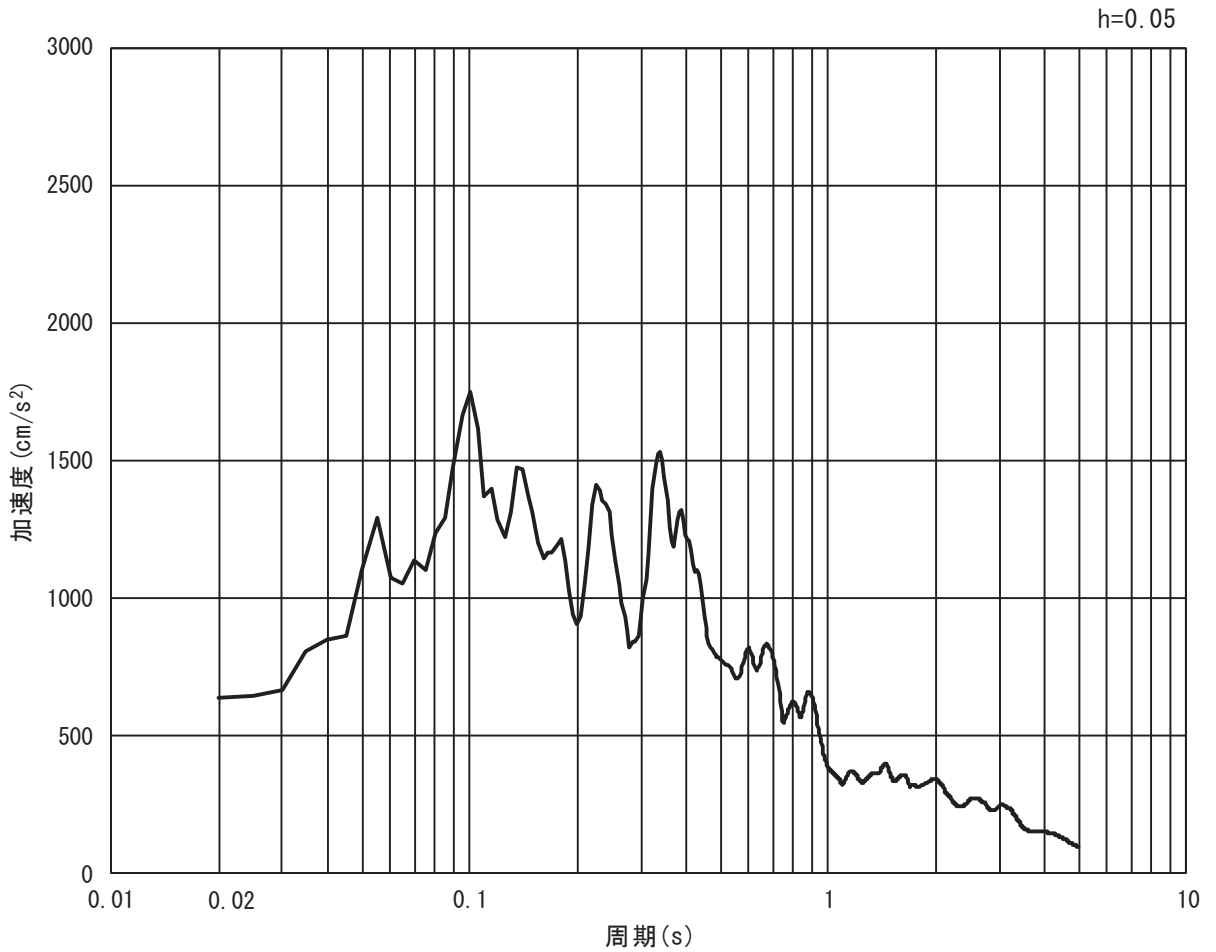


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

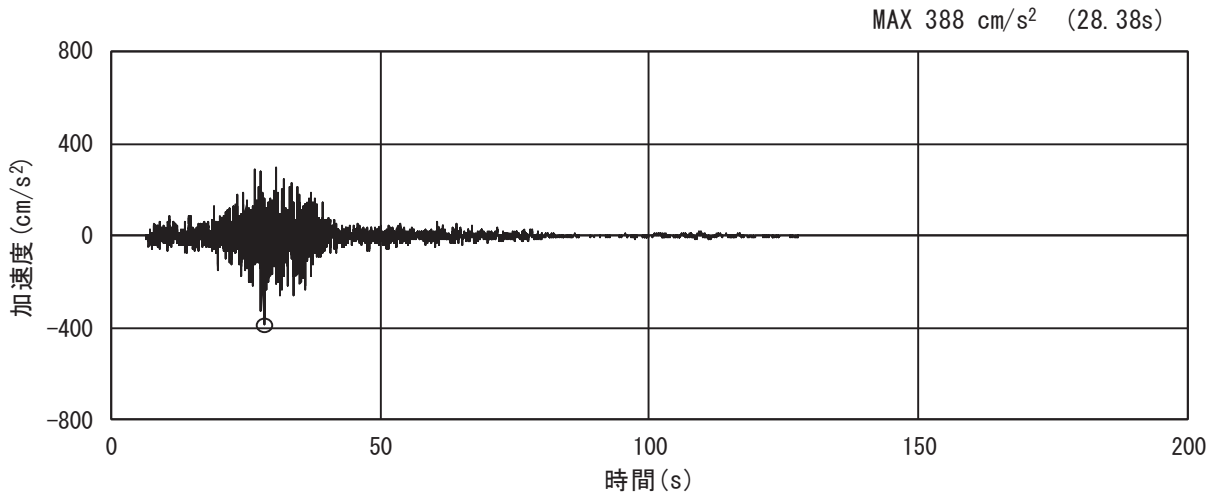


(a) 加速度時刻歴波形

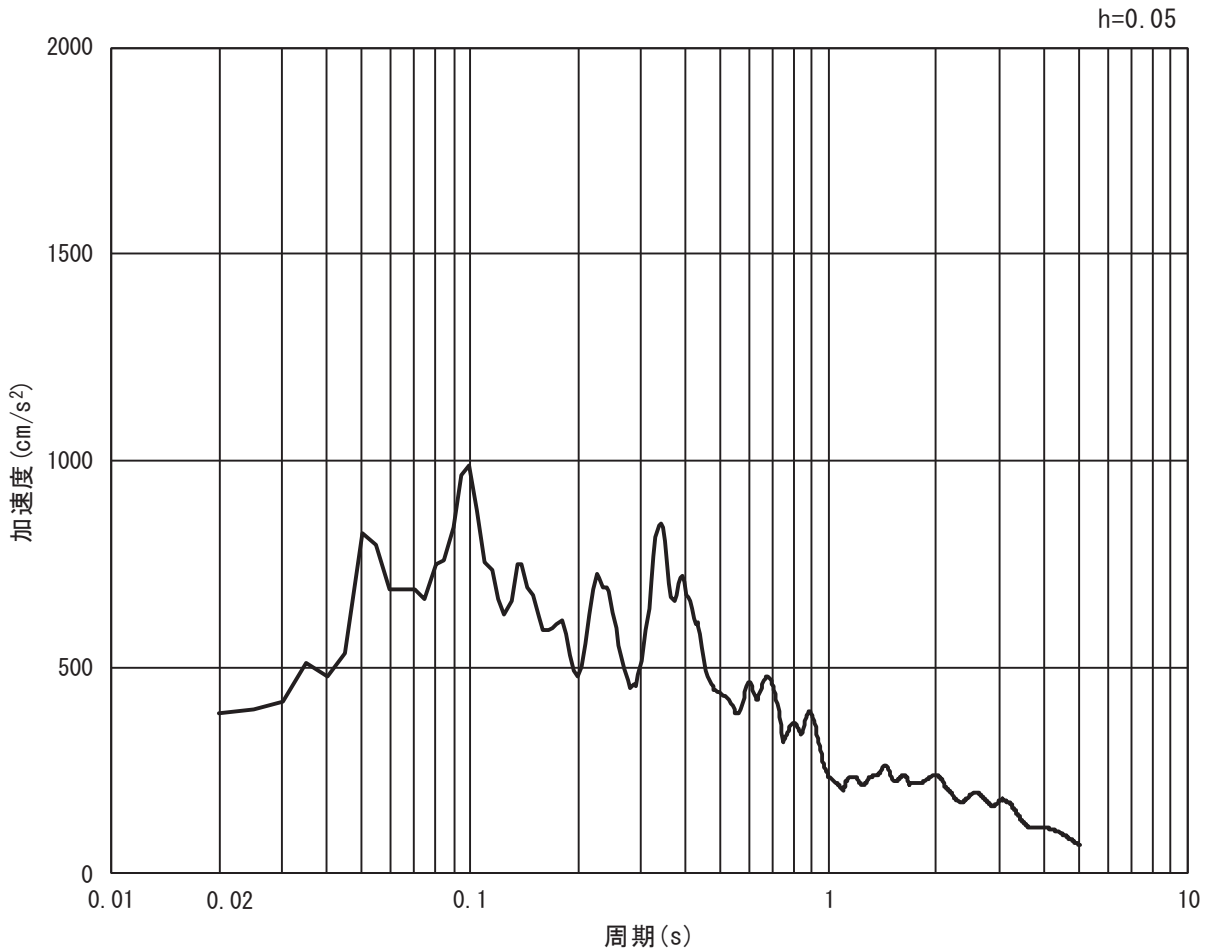


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

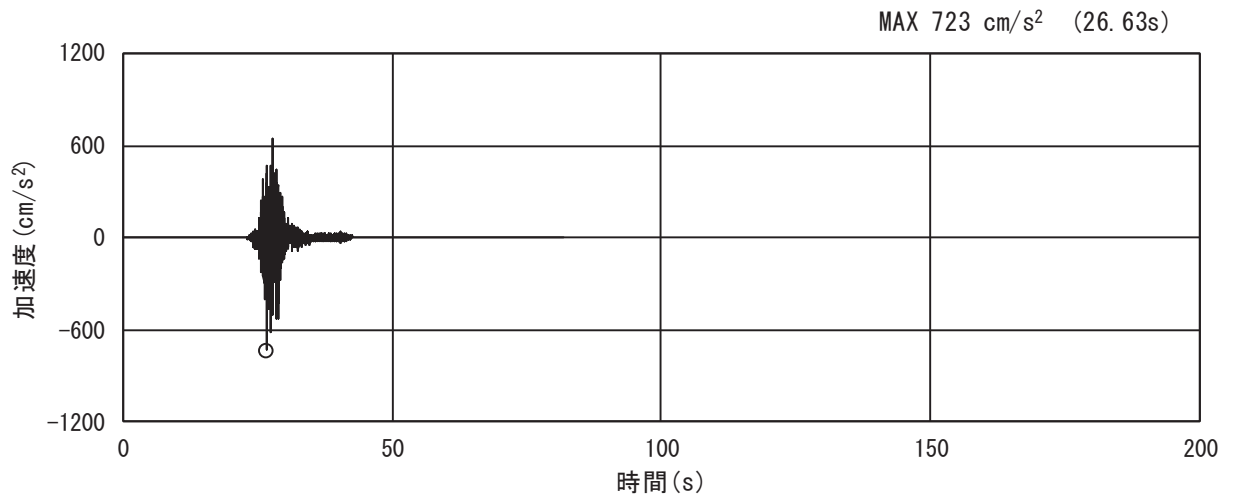


(a) 加速度時刻歴波形

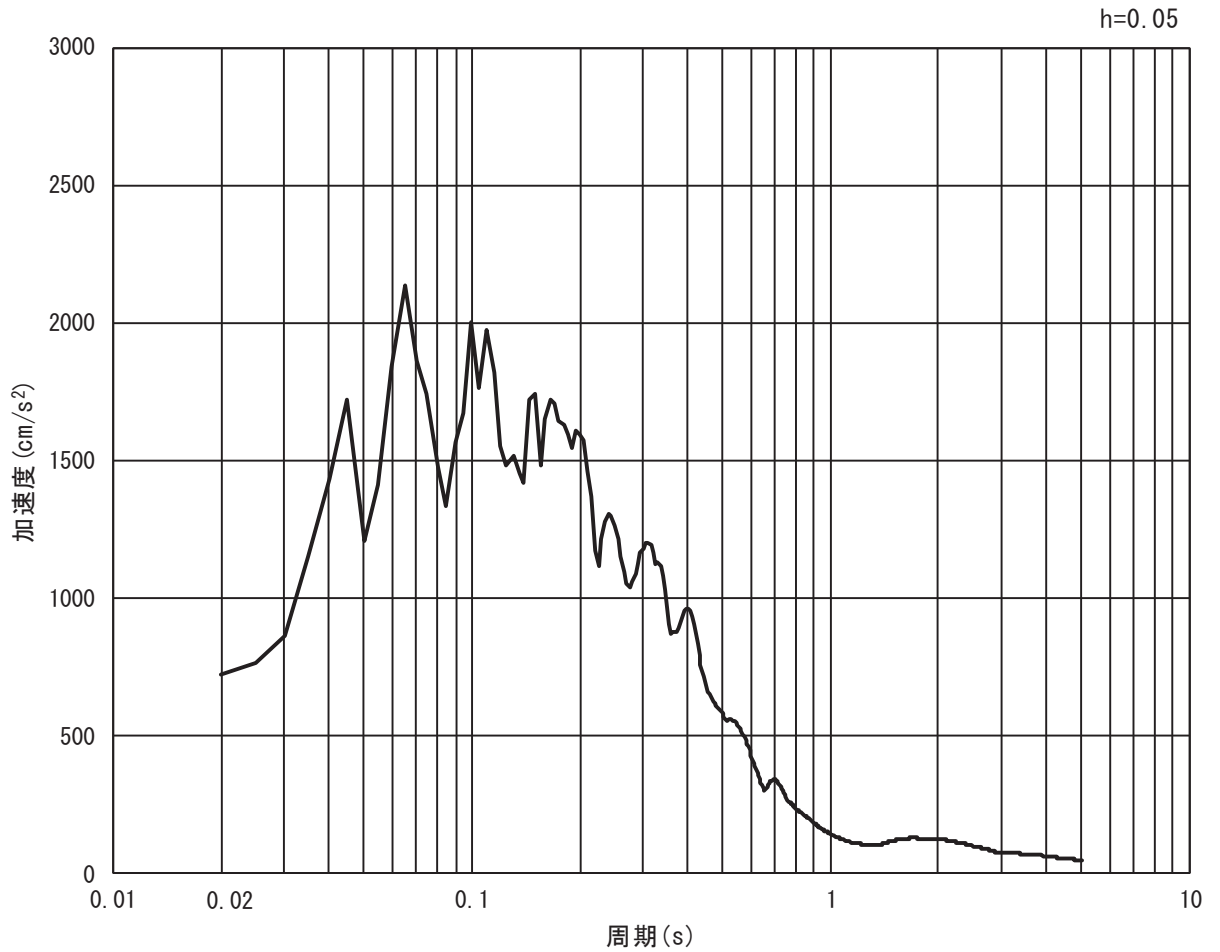


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

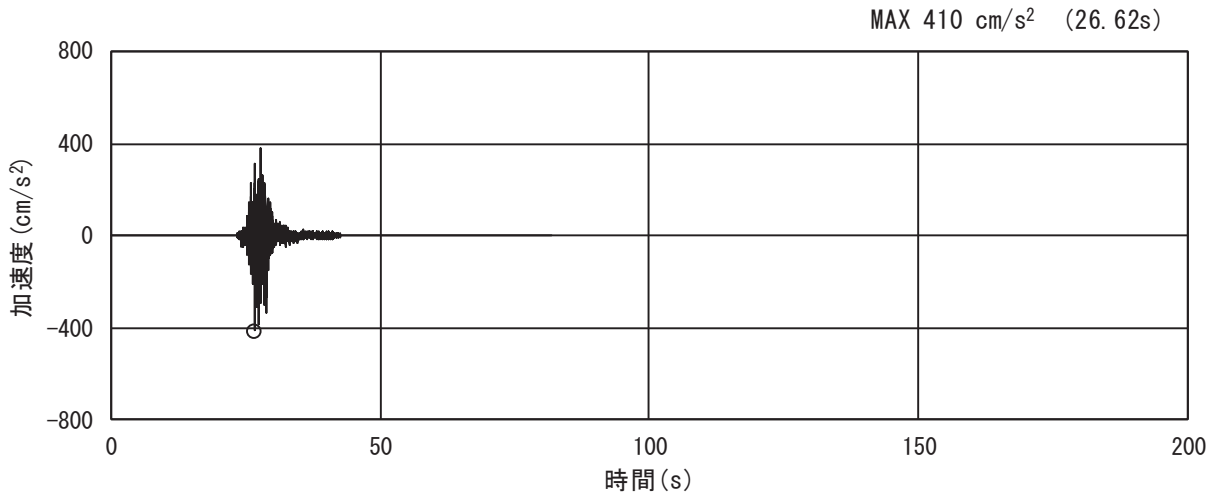


(a) 加速度時刻歴波形

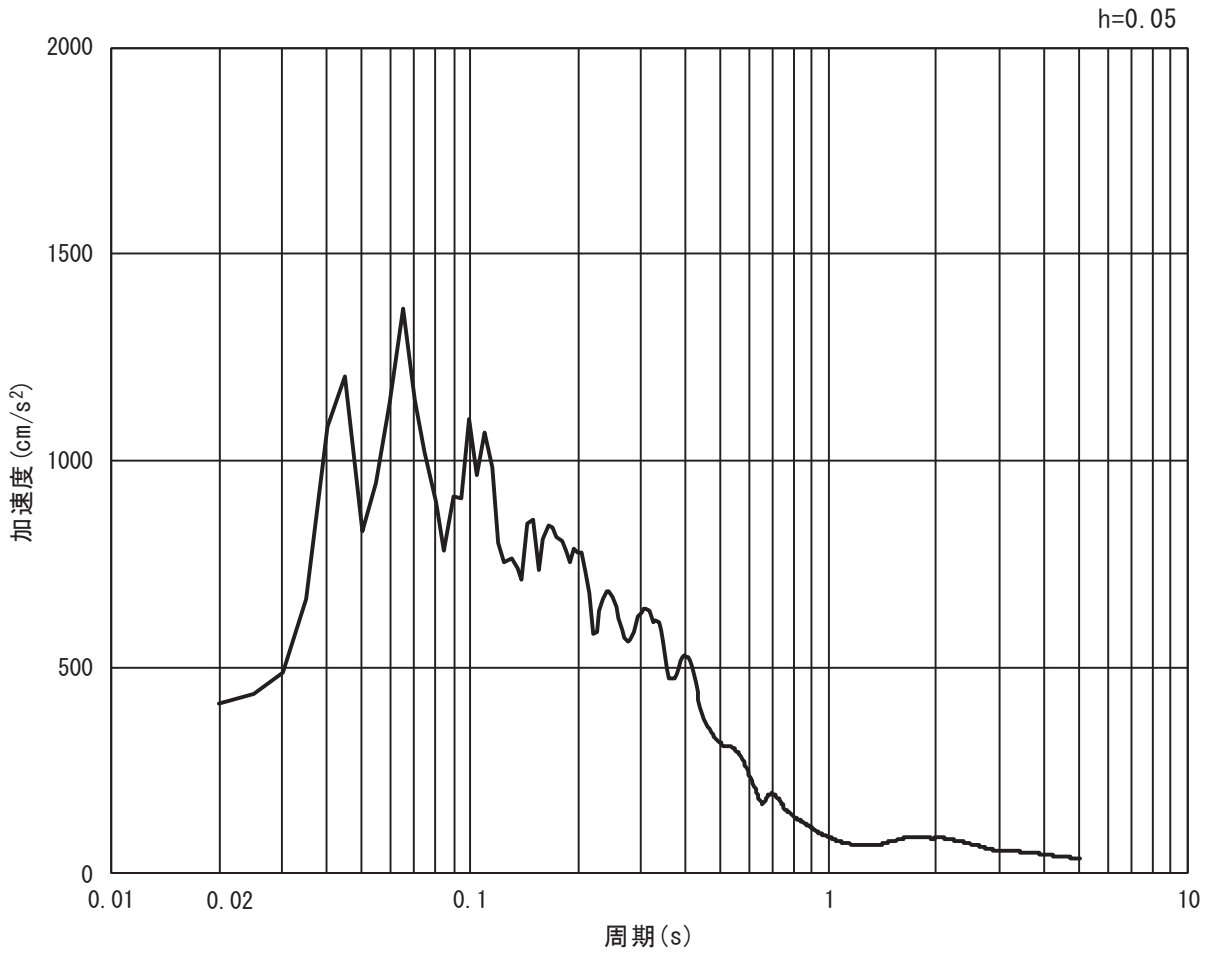


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

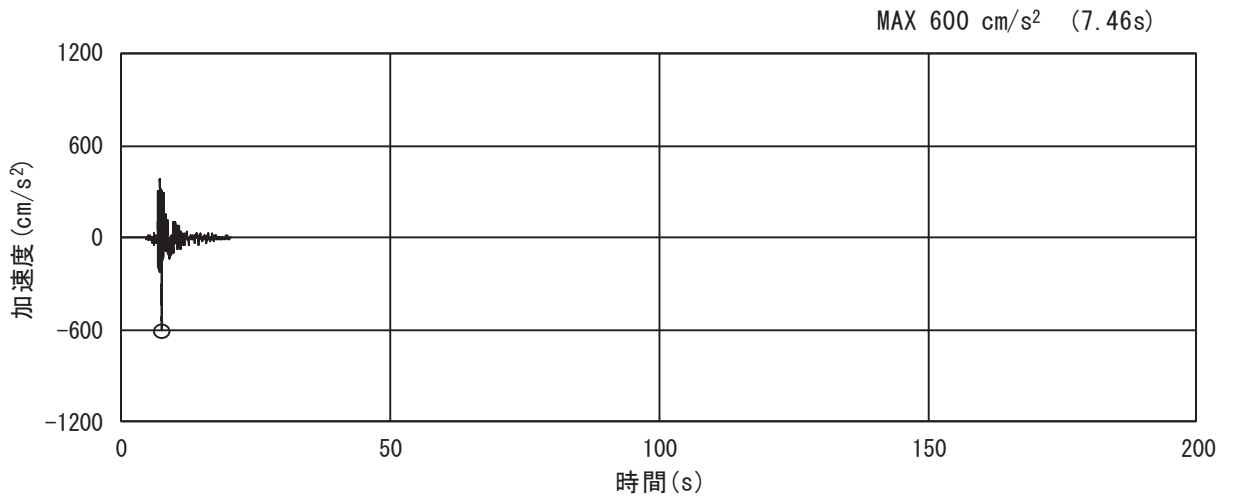


(a) 加速度時刻歴波形

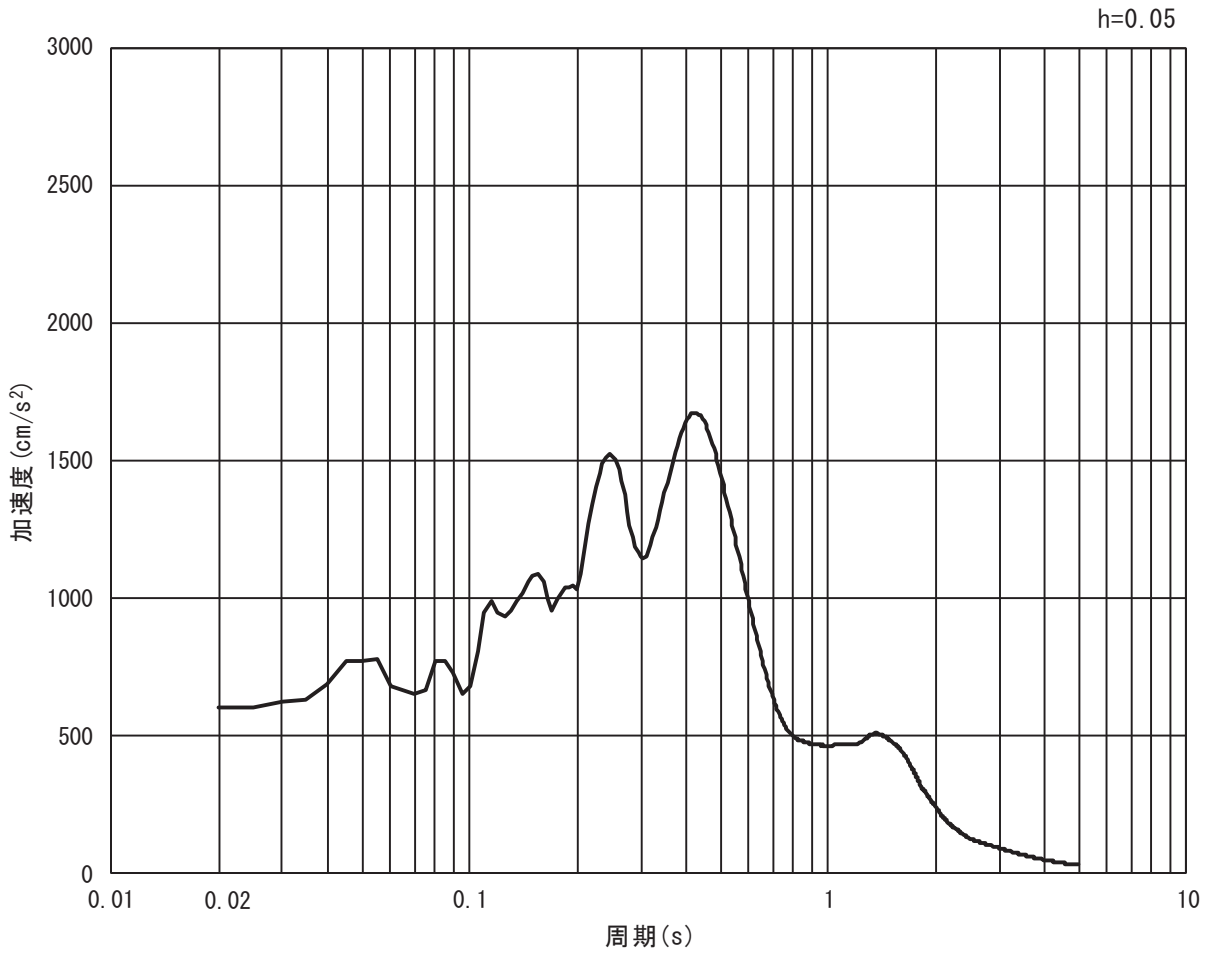


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

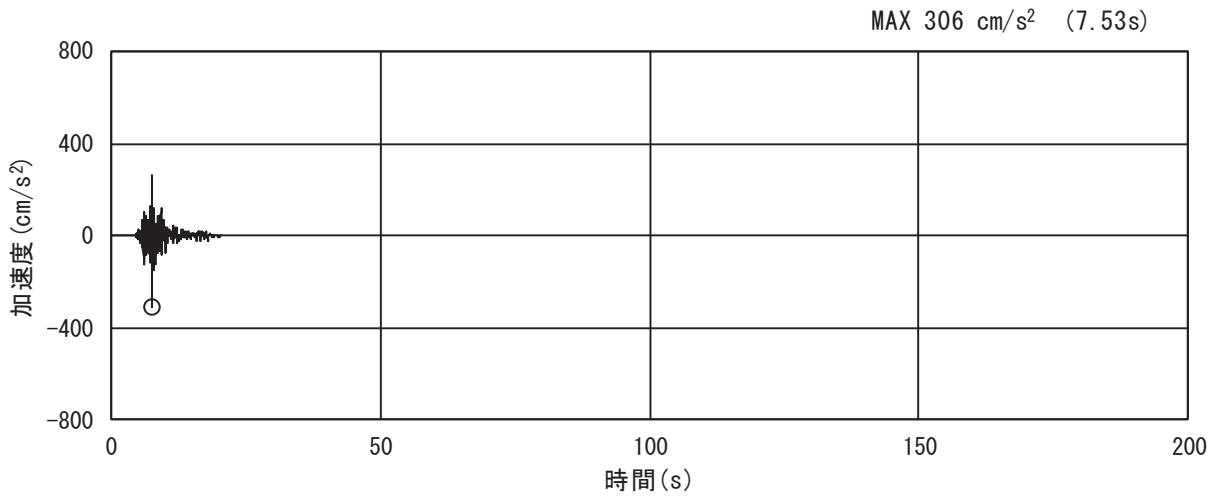


(a) 加速度時刻歴波形

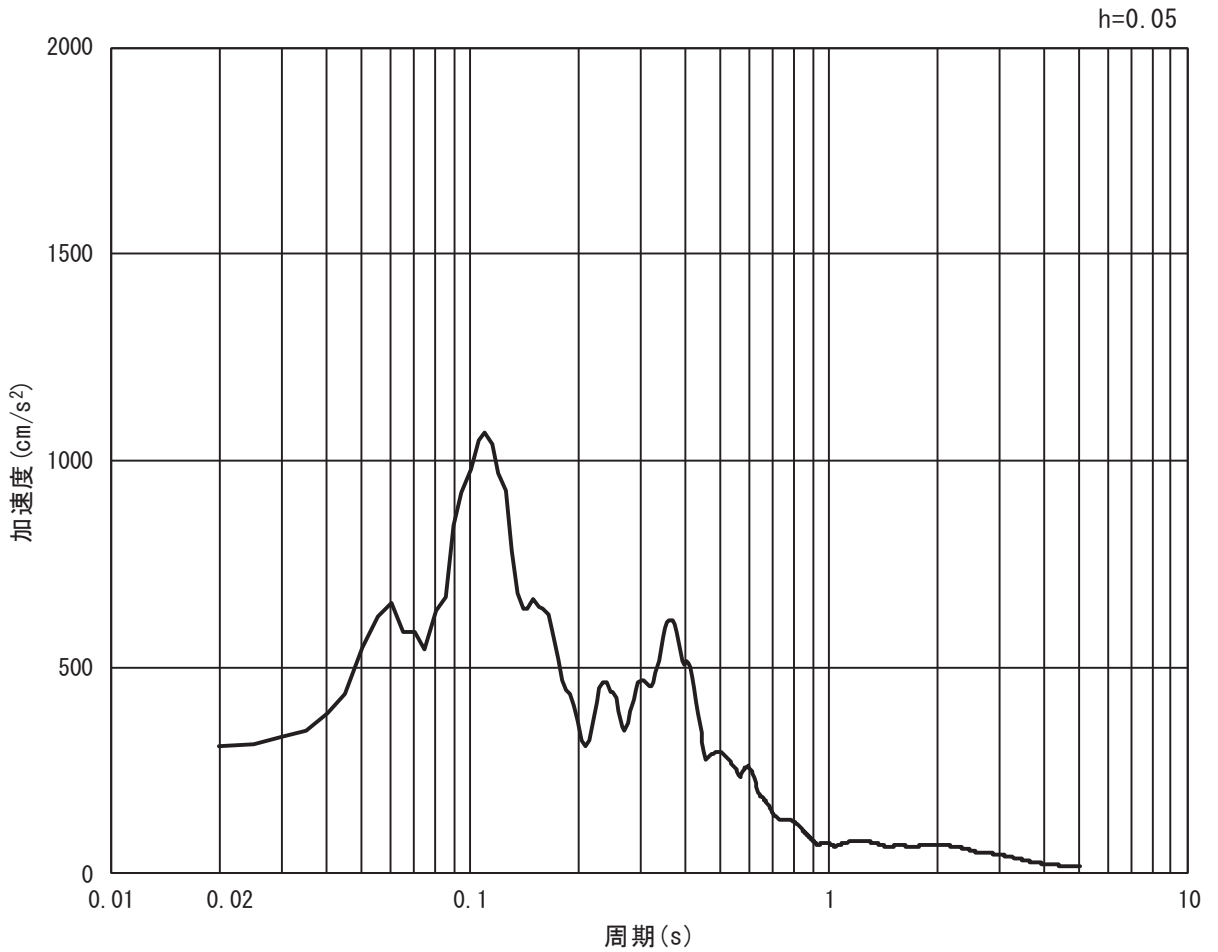


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)



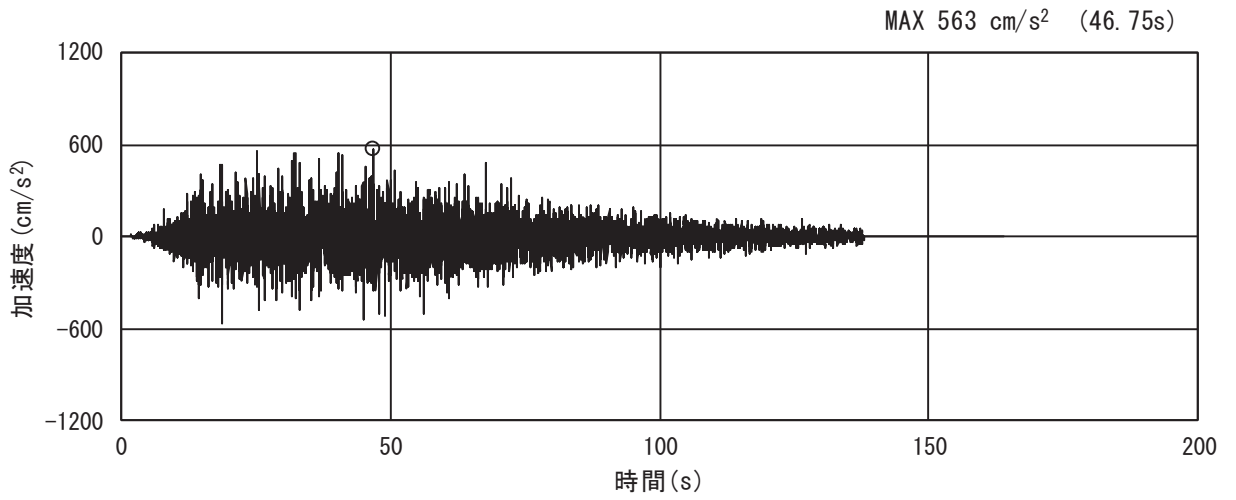
(a) 加速度時刻歴波形



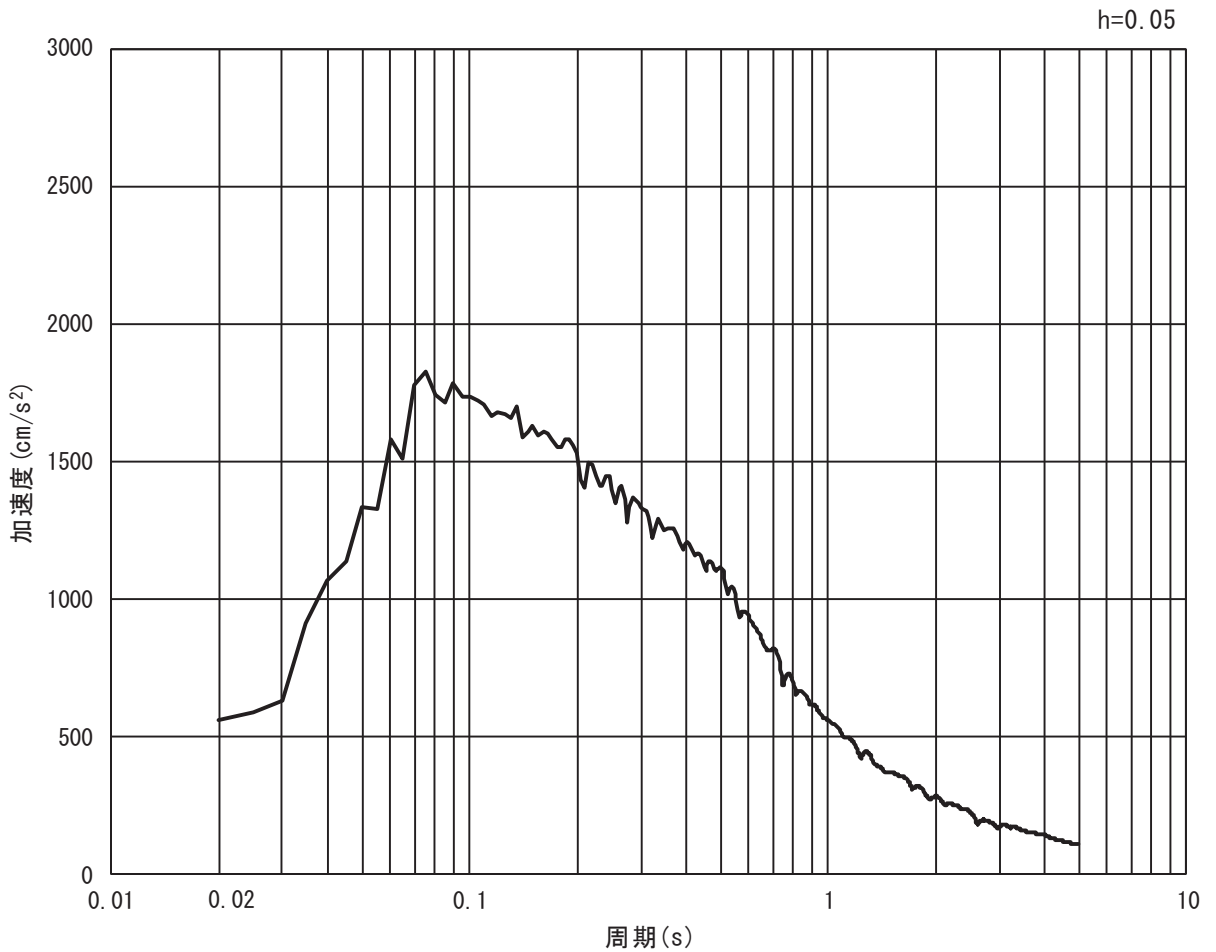
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 (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)

(2) 断面②

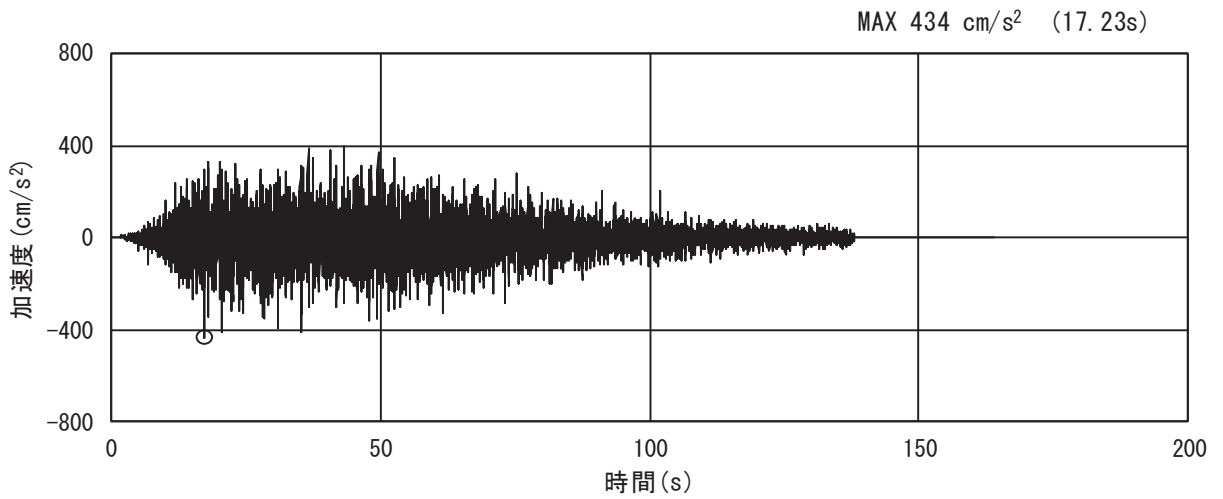


(a) 加速度時刻歴波形

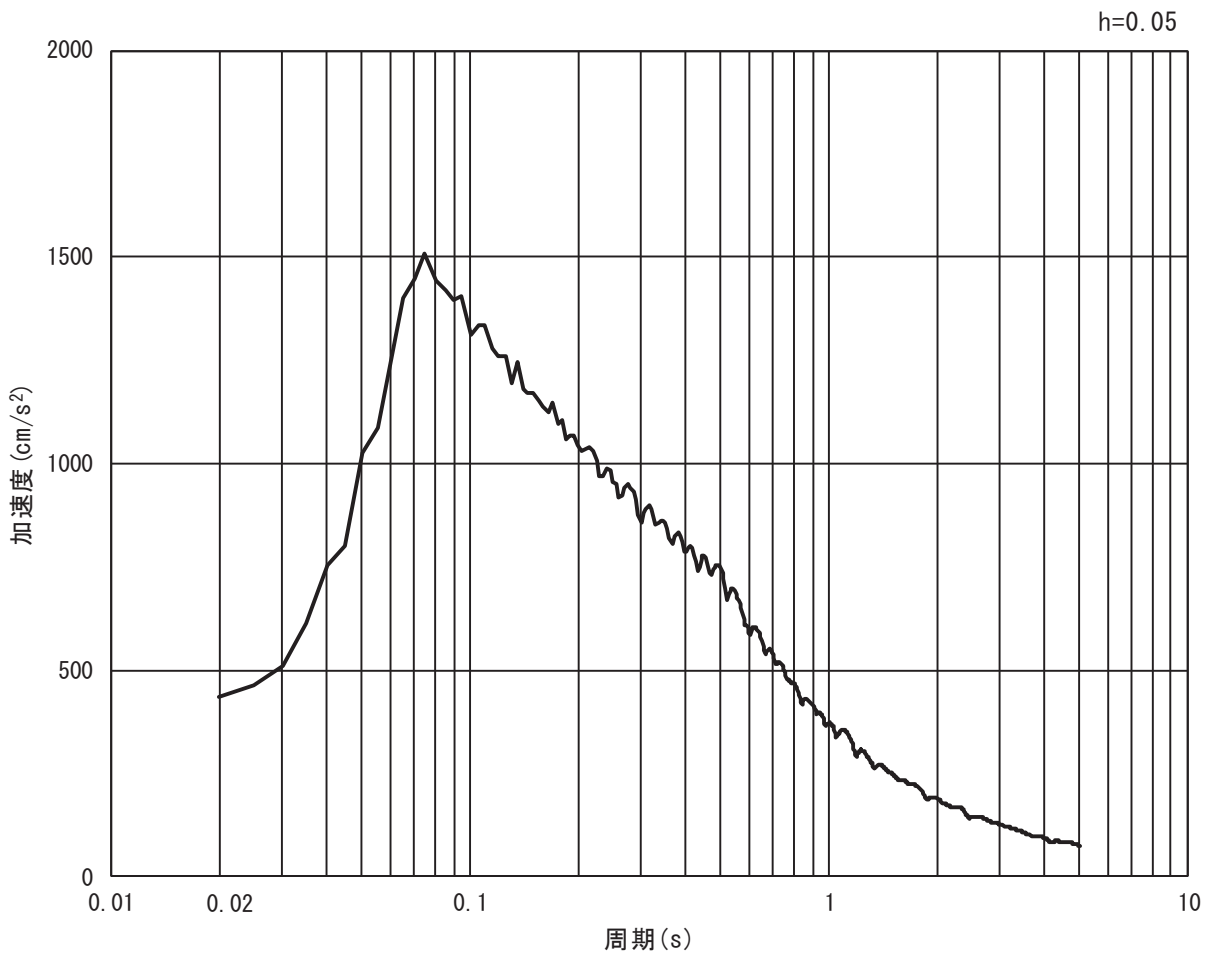


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

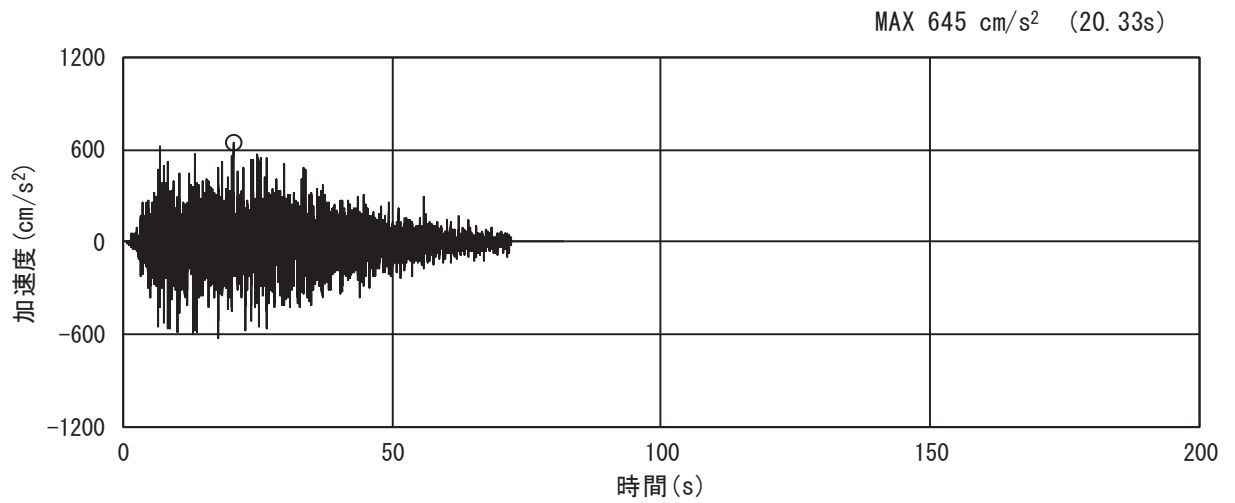


(a) 加速度時刻歴波形

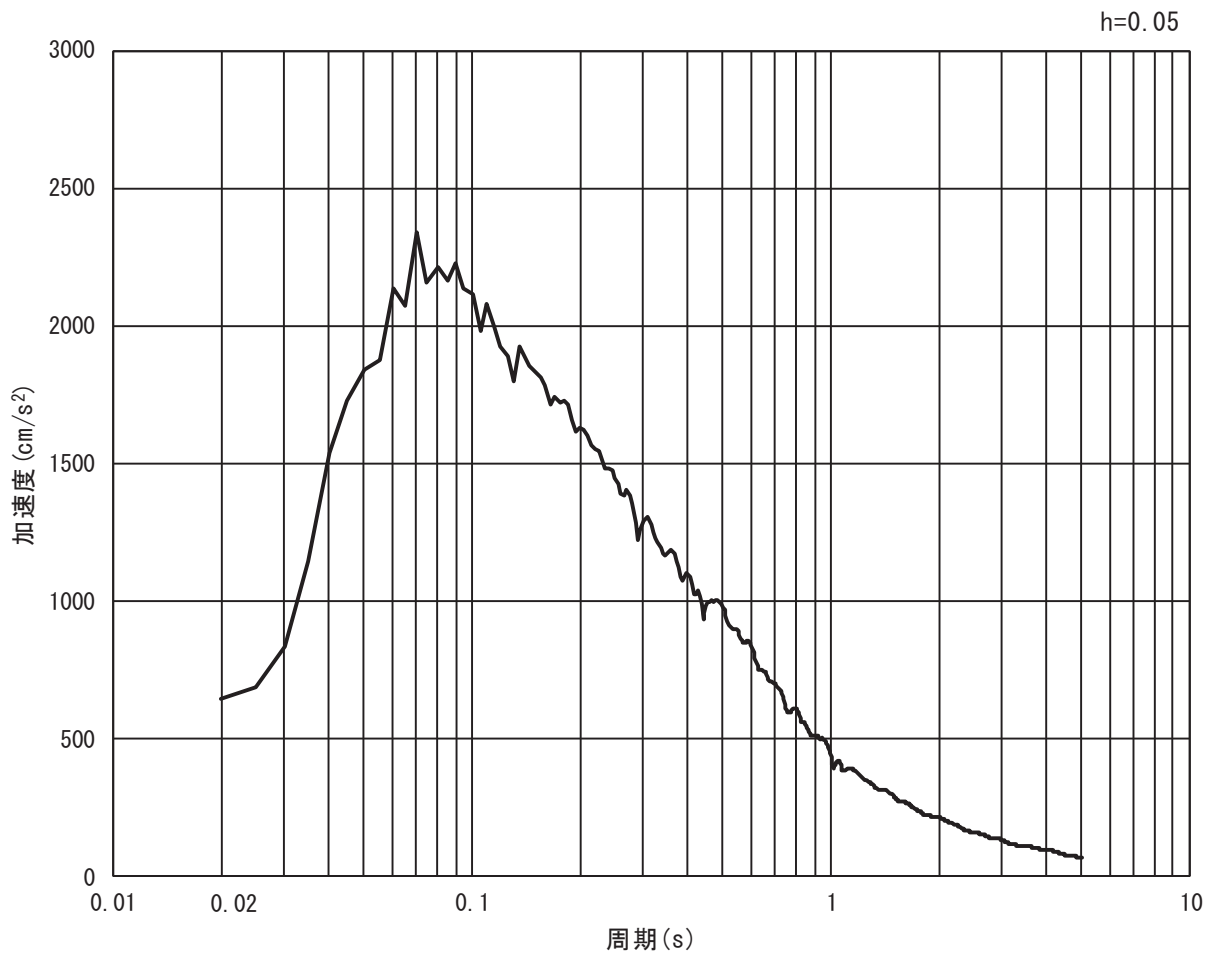


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

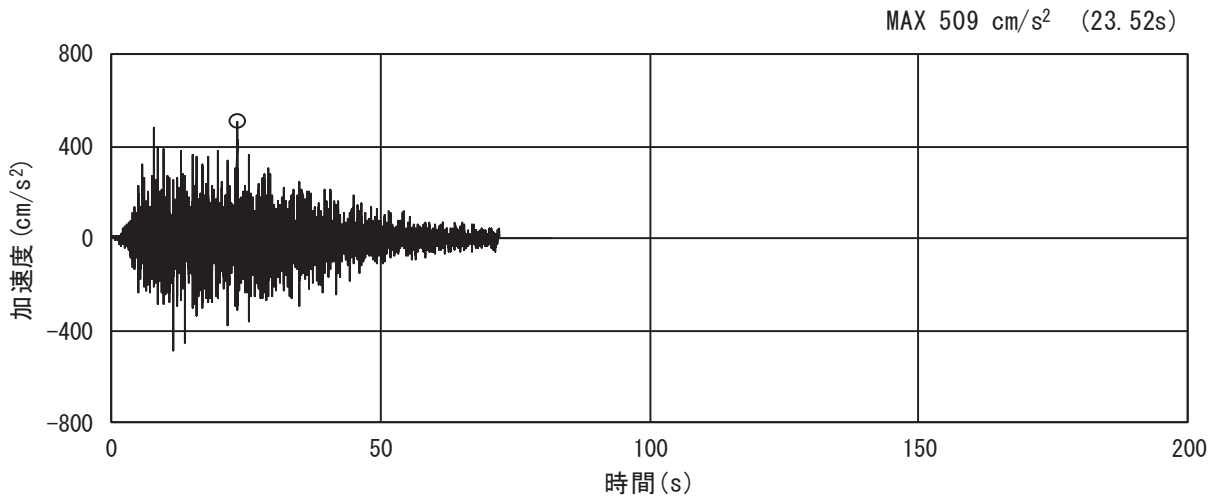


(a) 加速度時刻歴波形

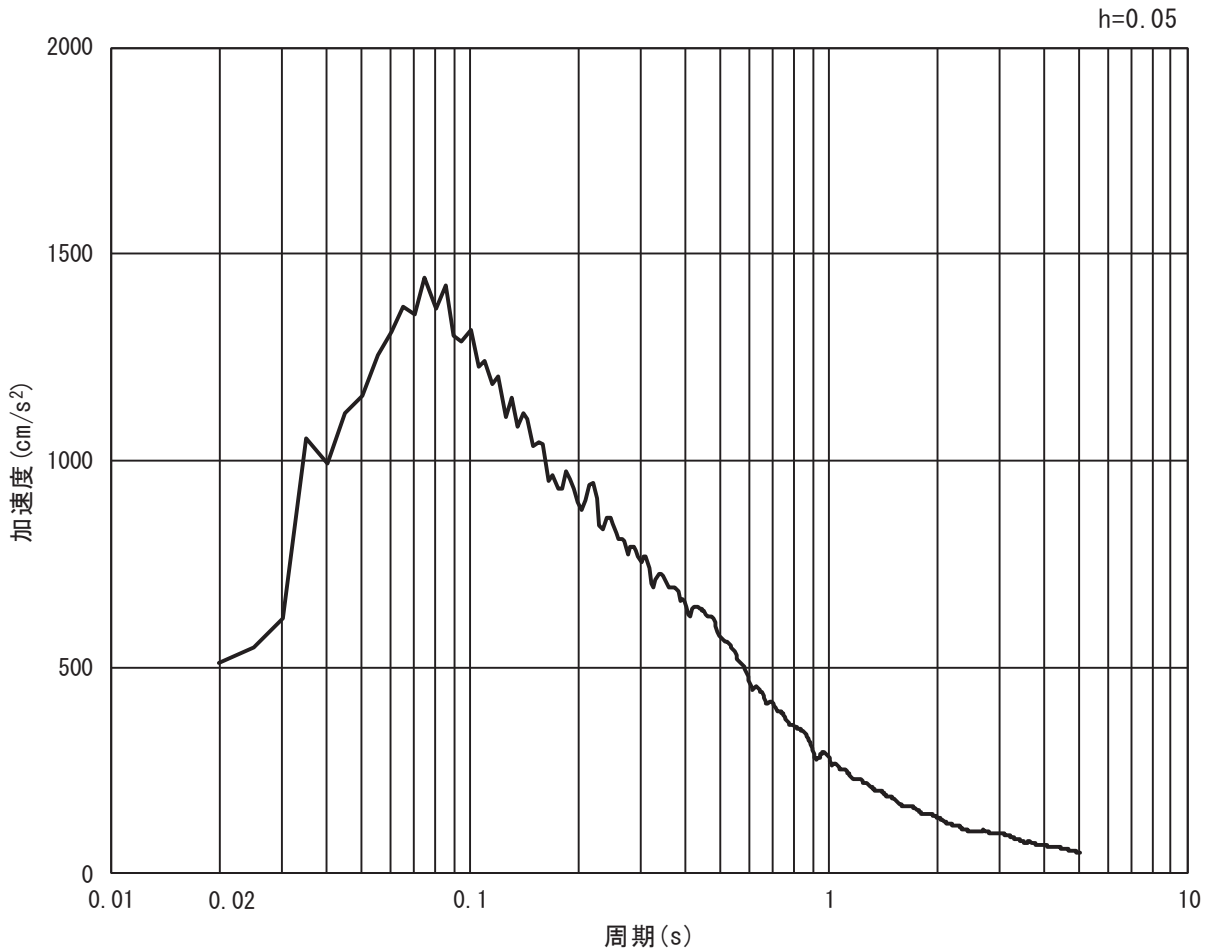


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

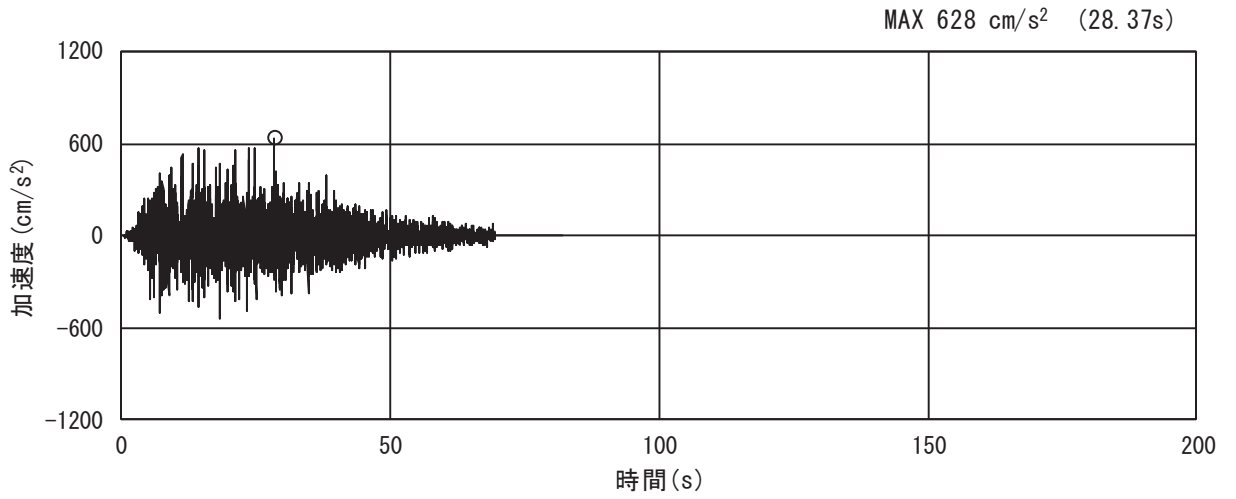


(a) 加速度時刻歴波形

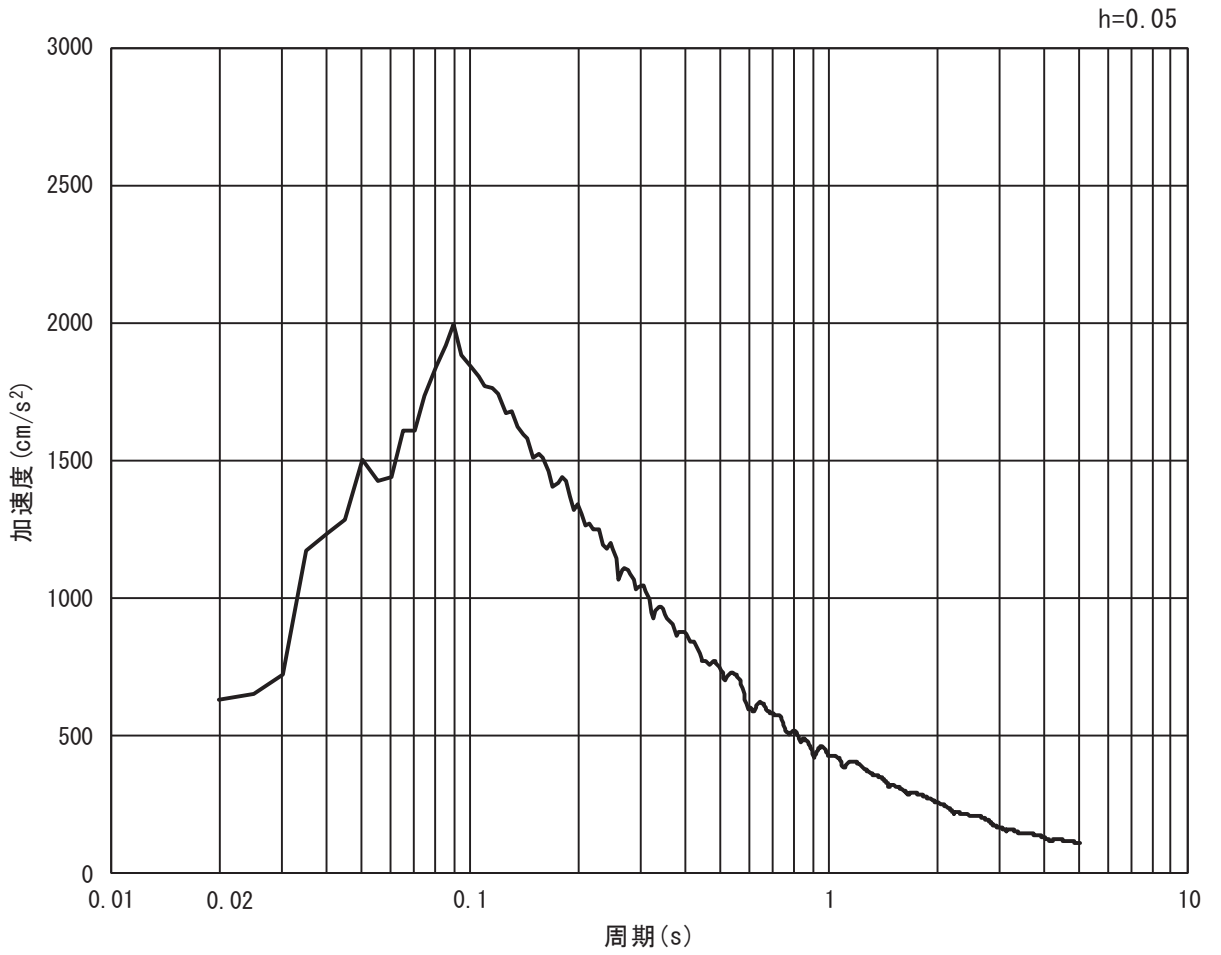


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

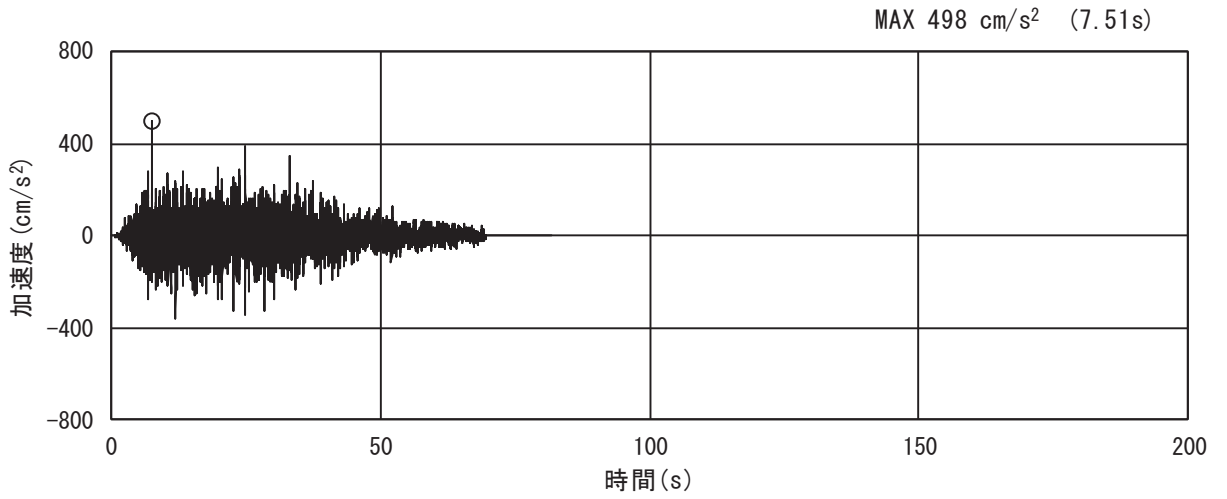


(a) 加速度時刻歴波形

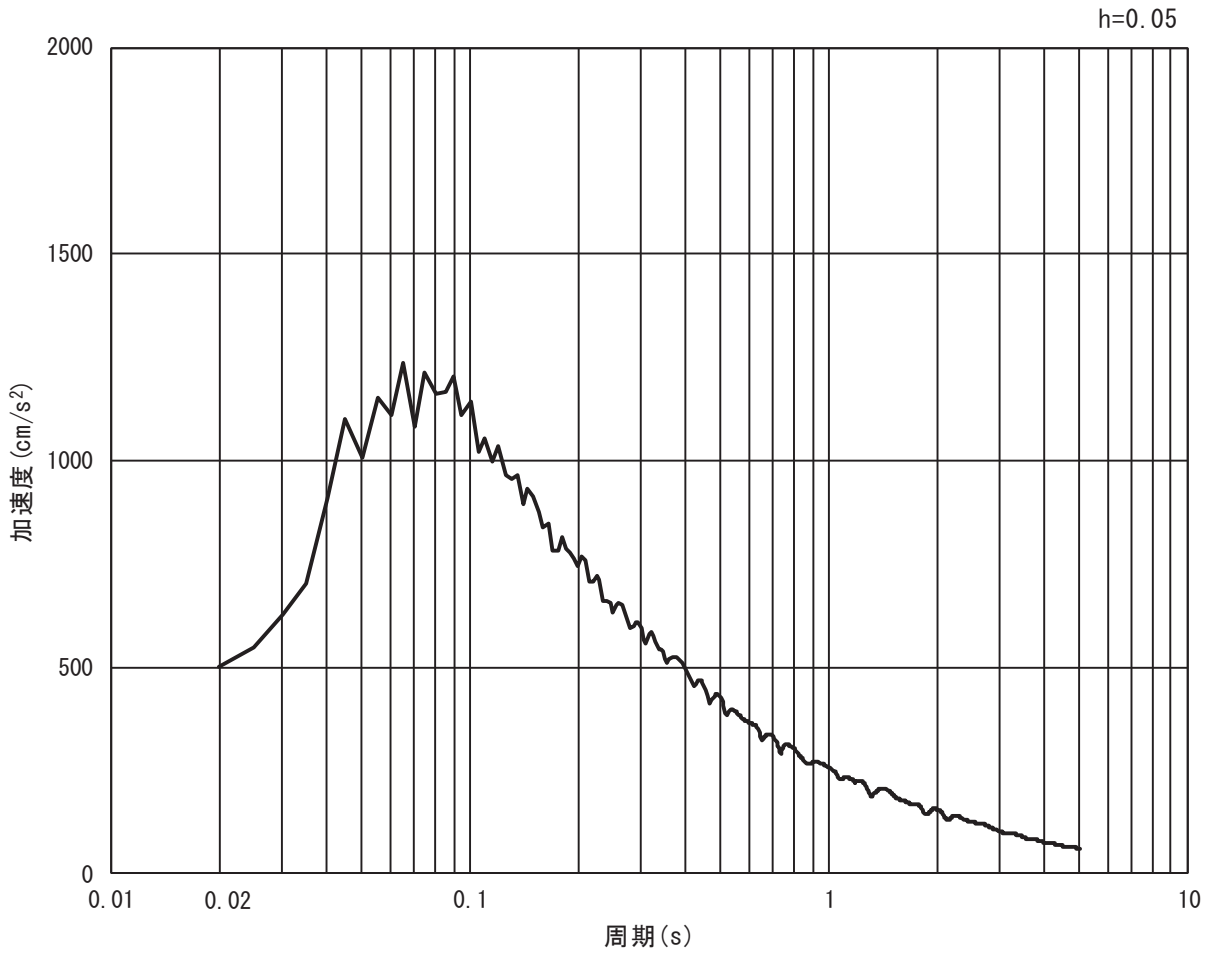


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

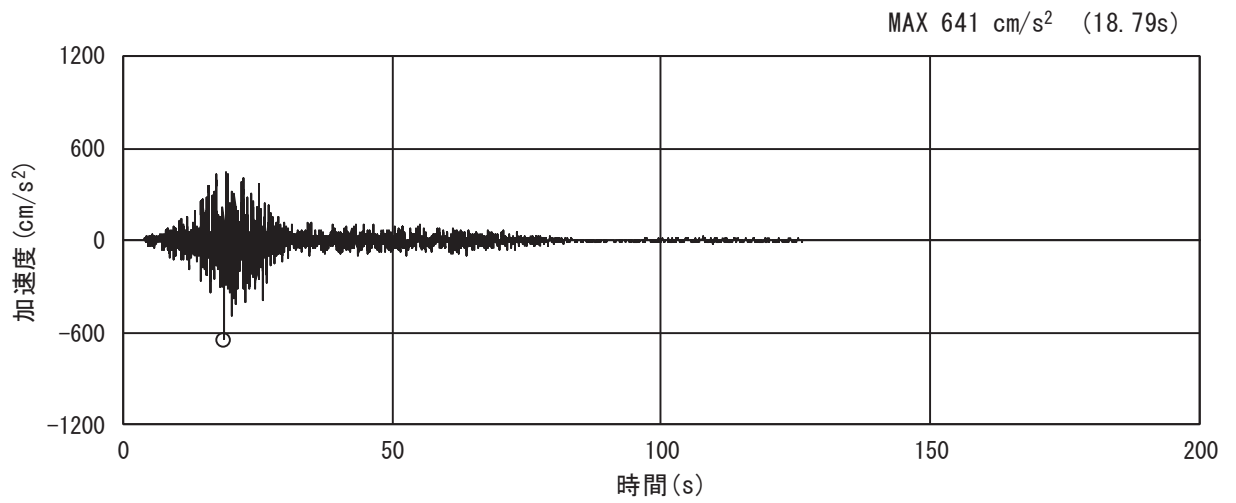


(a) 加速度時刻歴波形

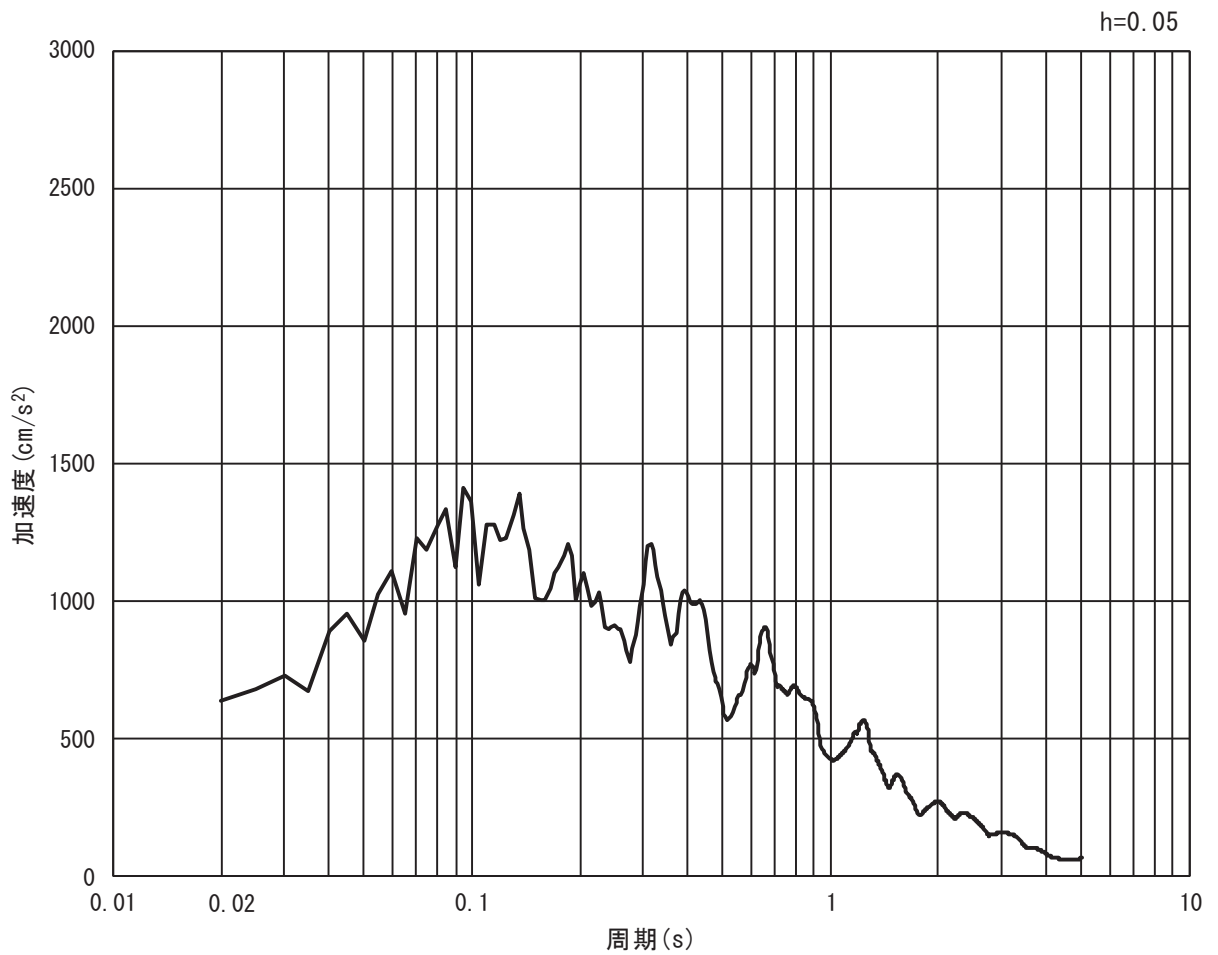


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

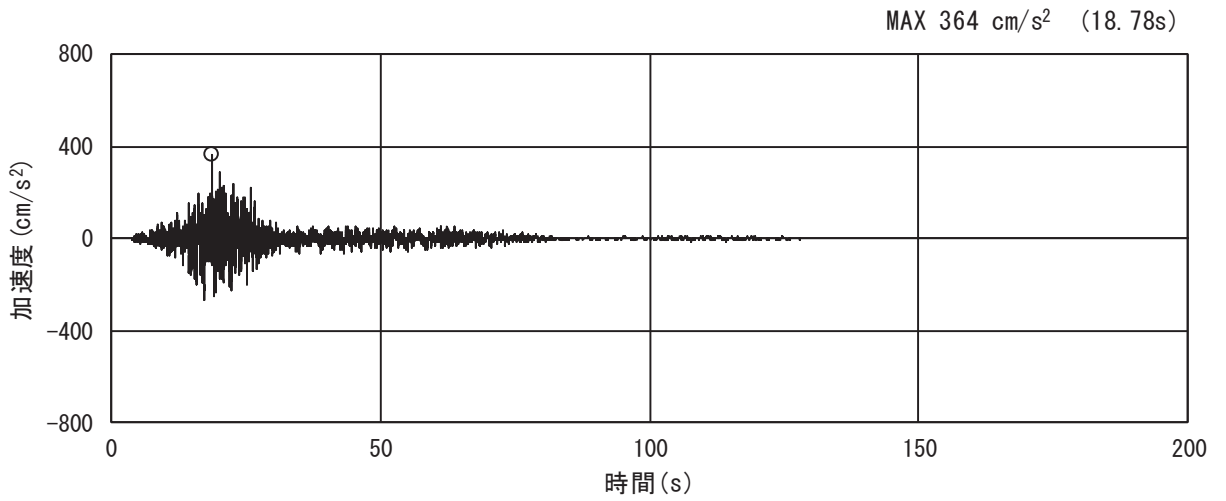


(a) 加速度時刻歴波形

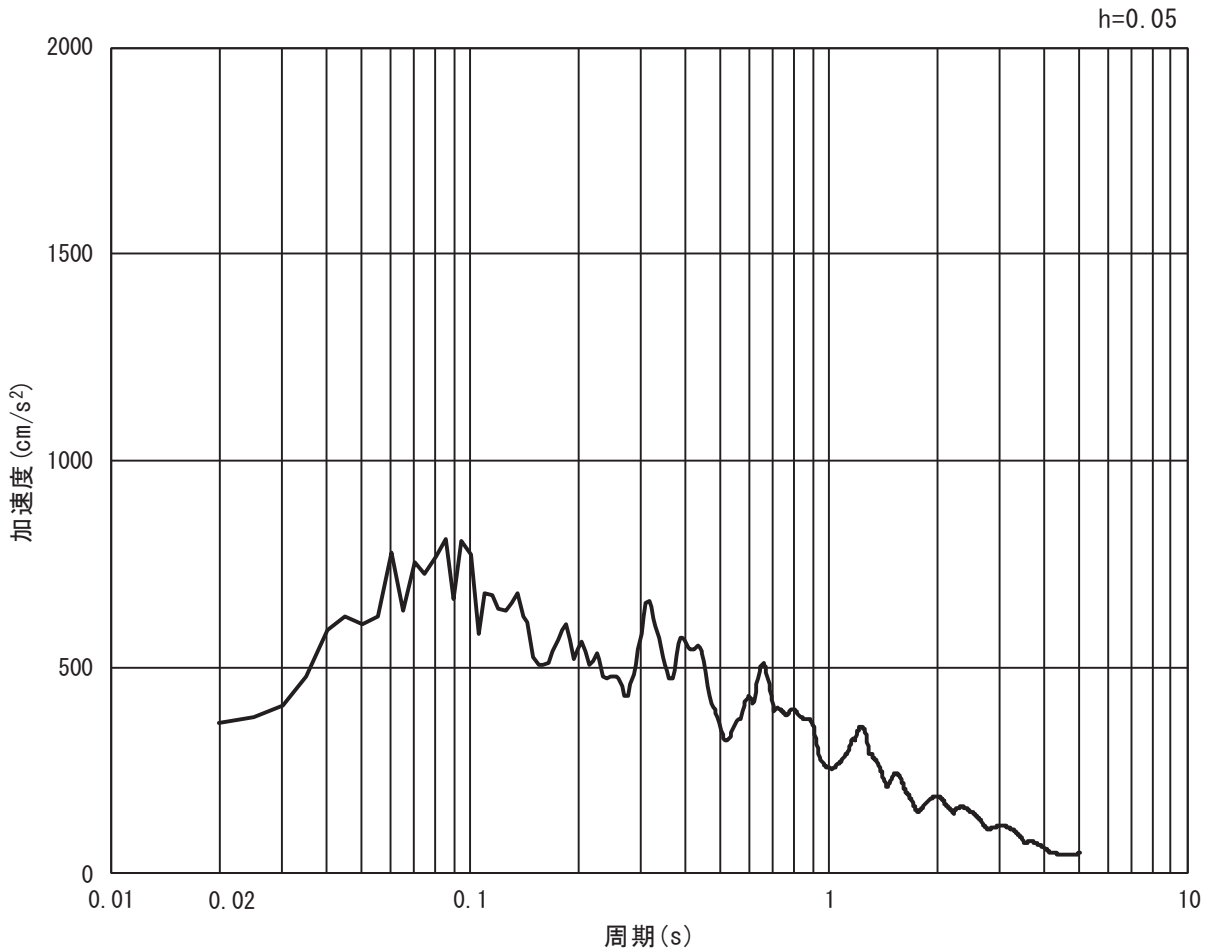


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

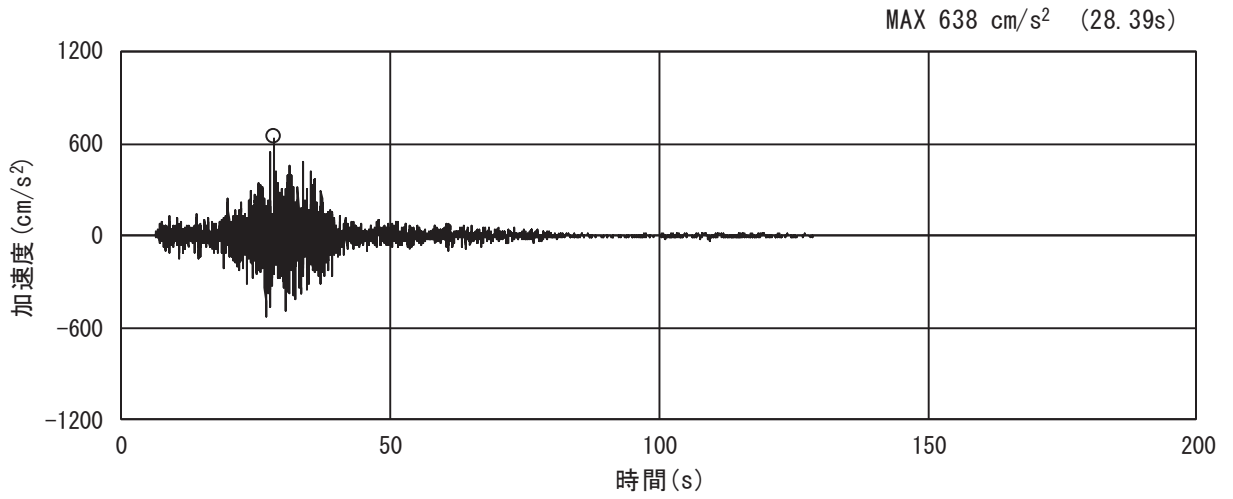


(a) 加速度時刻歴波形

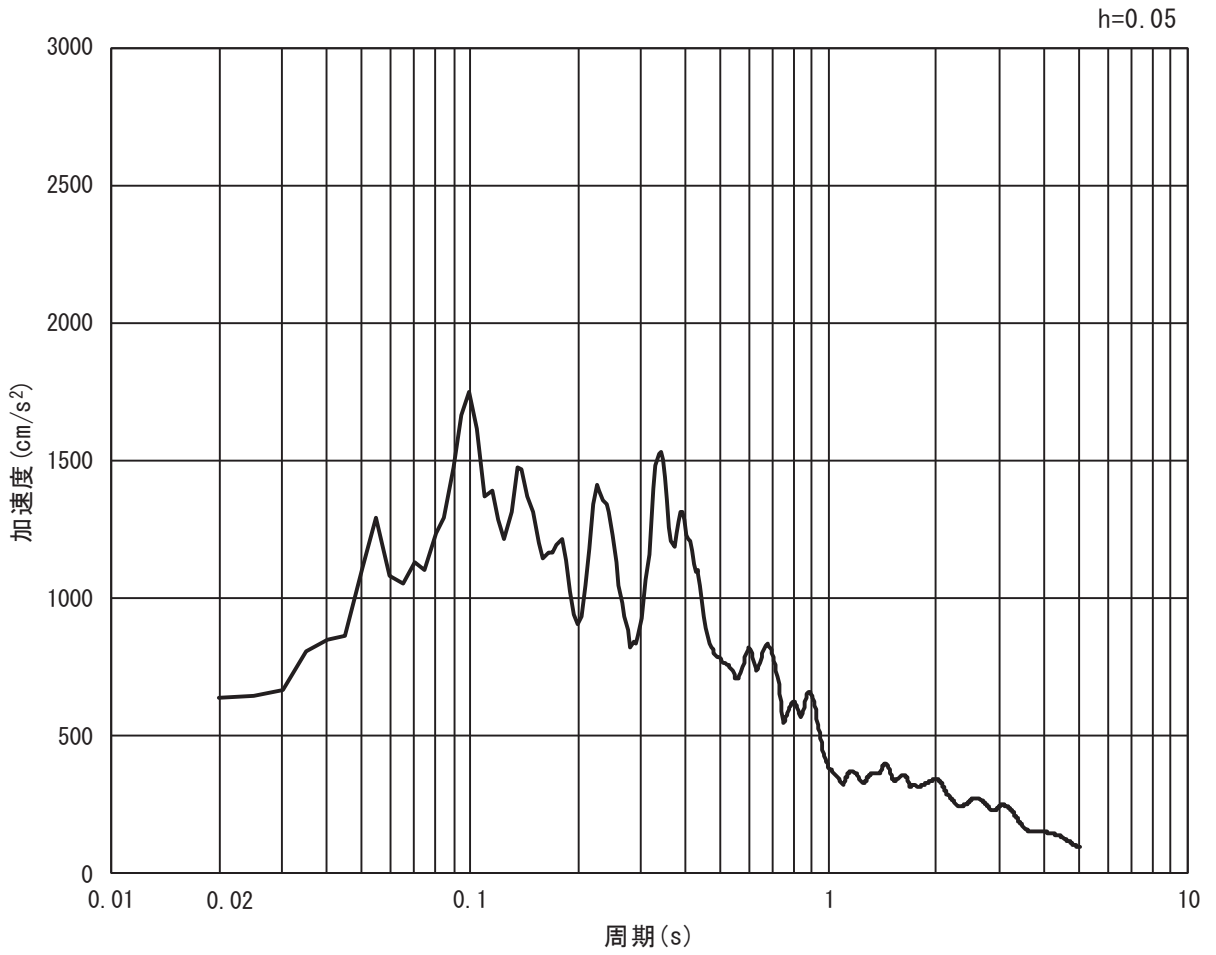


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

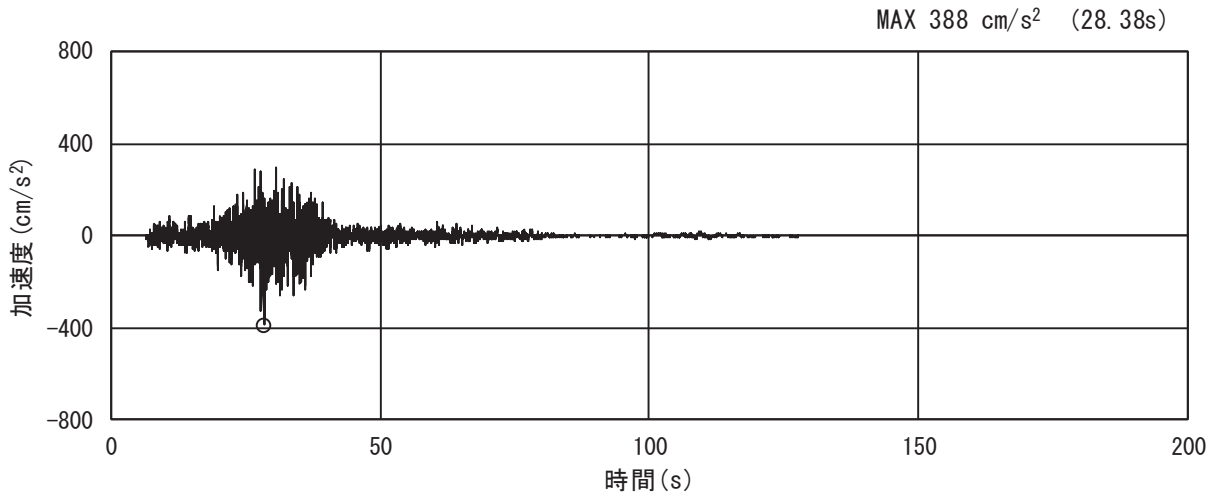


(a) 加速度時刻歴波形

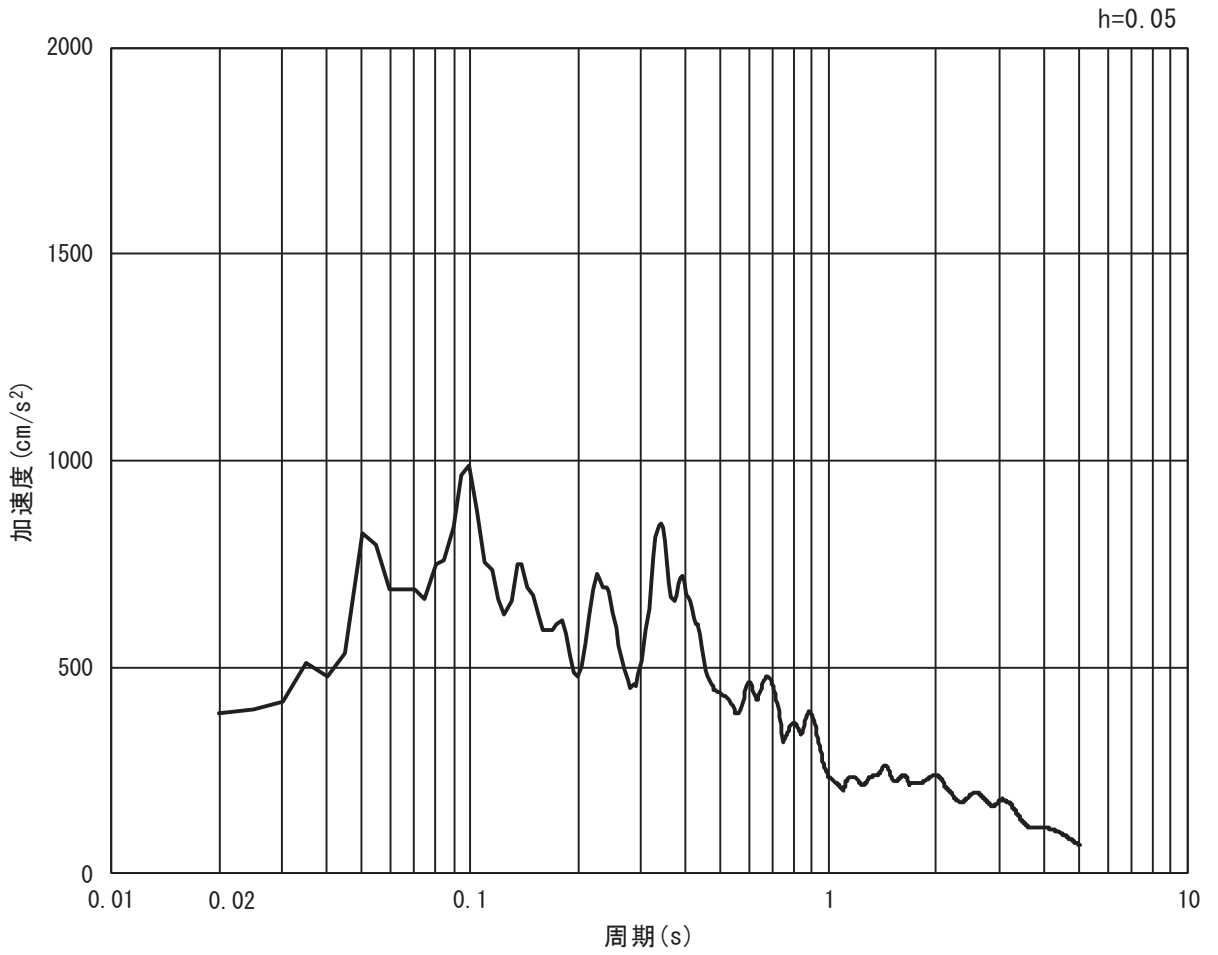


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

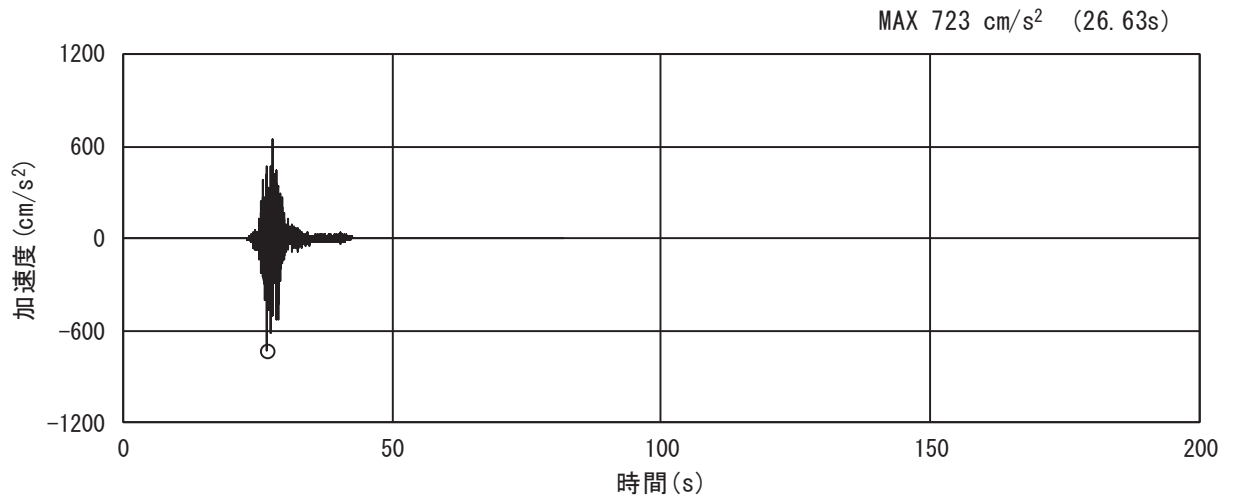


(a) 加速度時刻歴波形

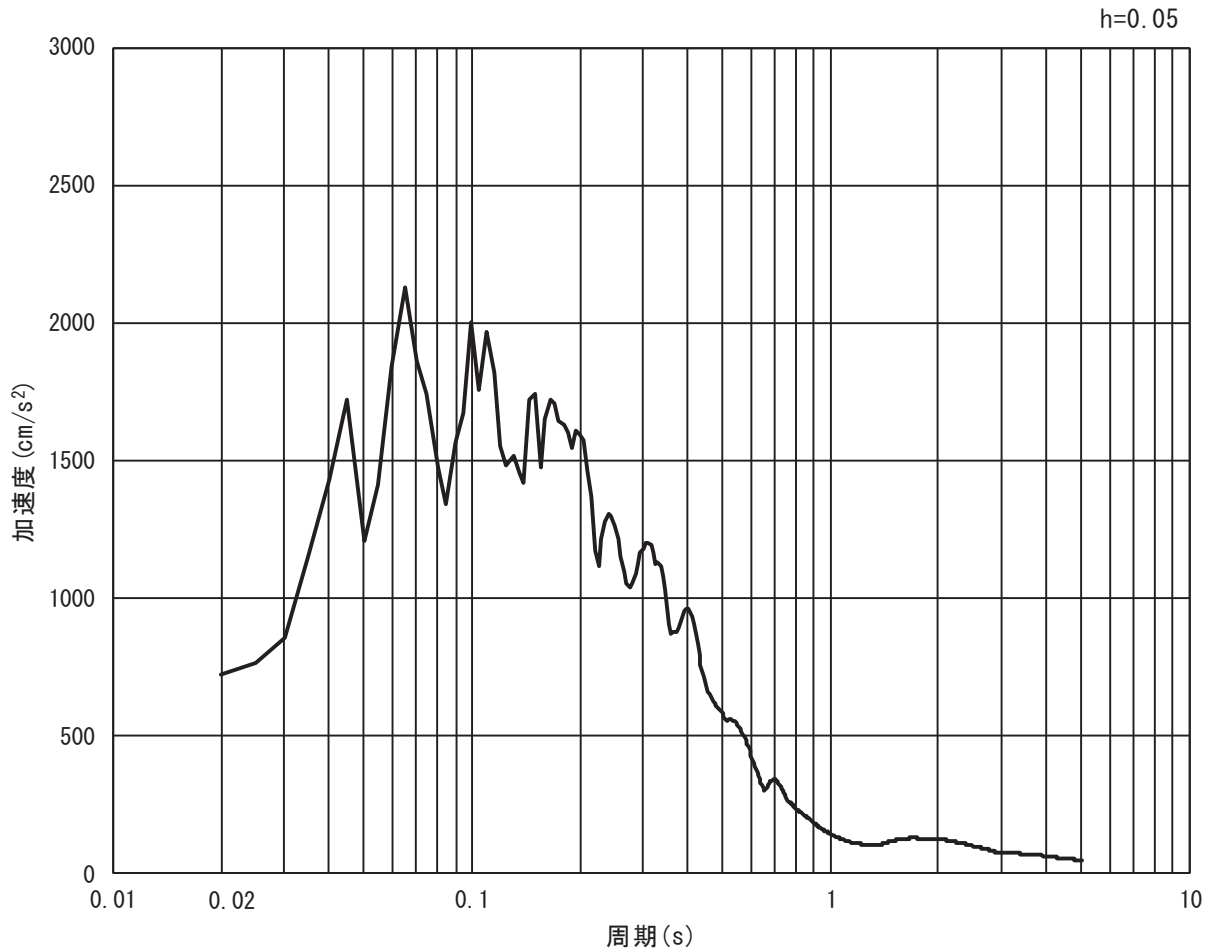


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

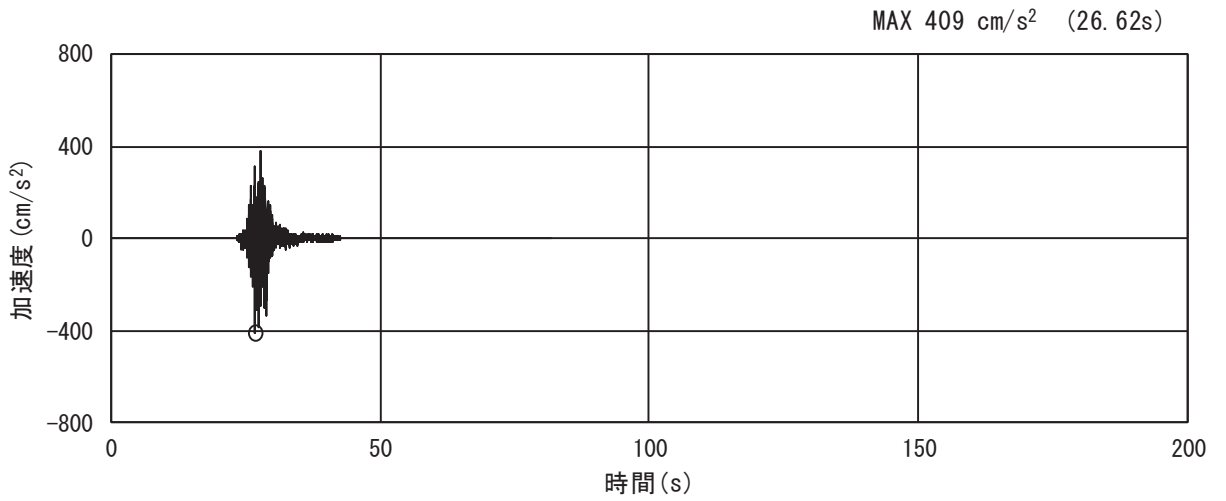


(a) 加速度時刻歴波形

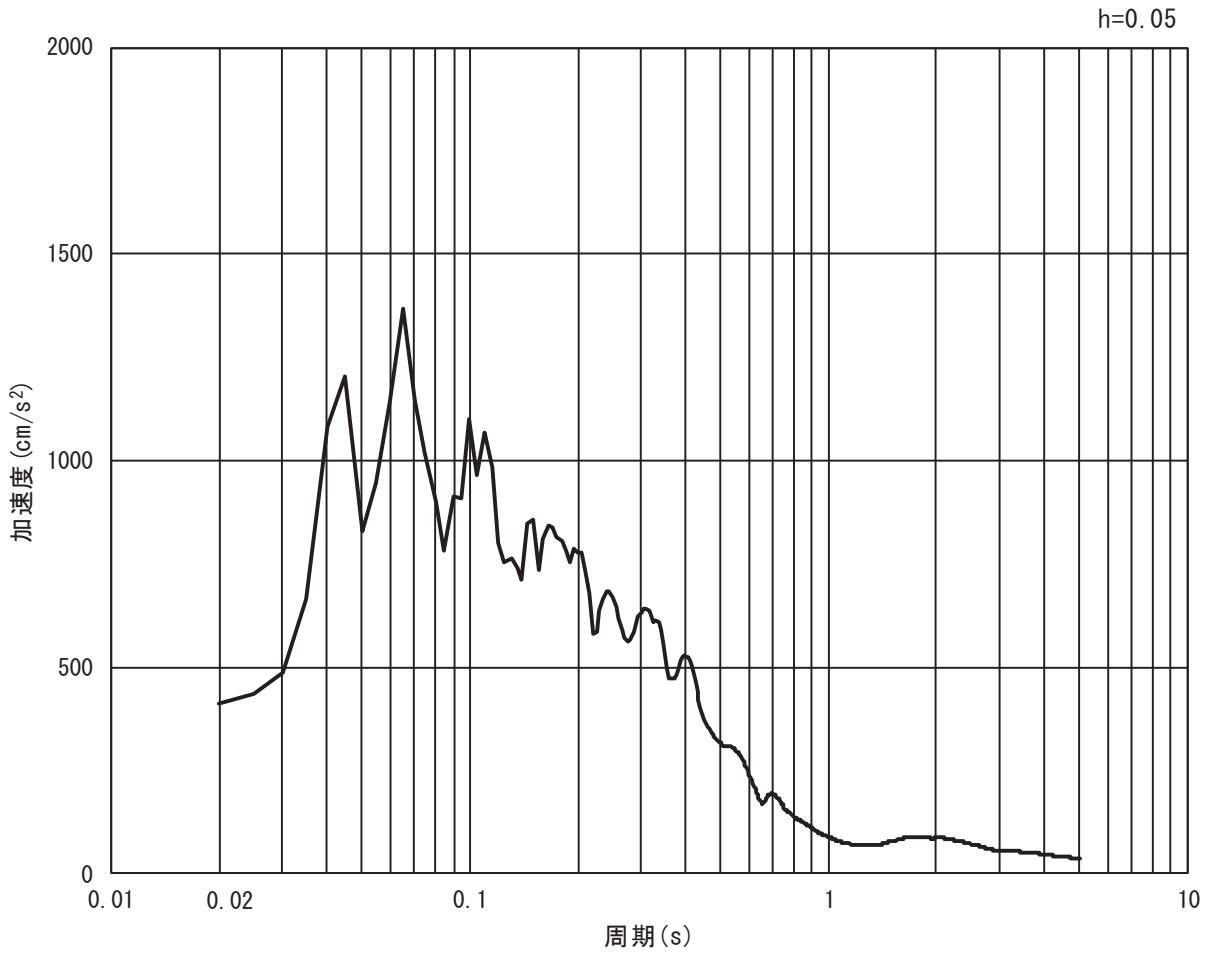


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

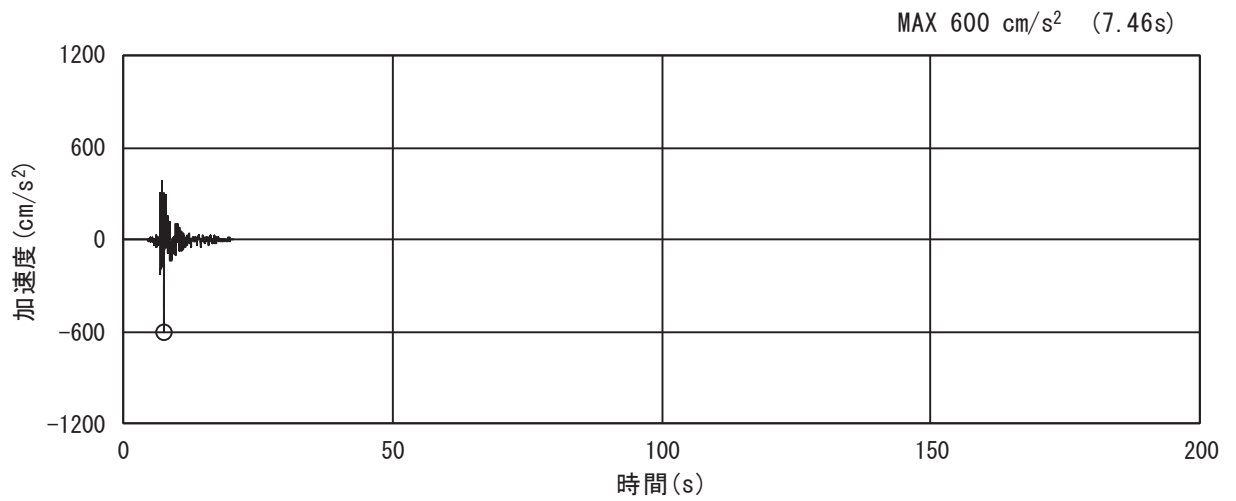


(a) 加速度時刻歴波形

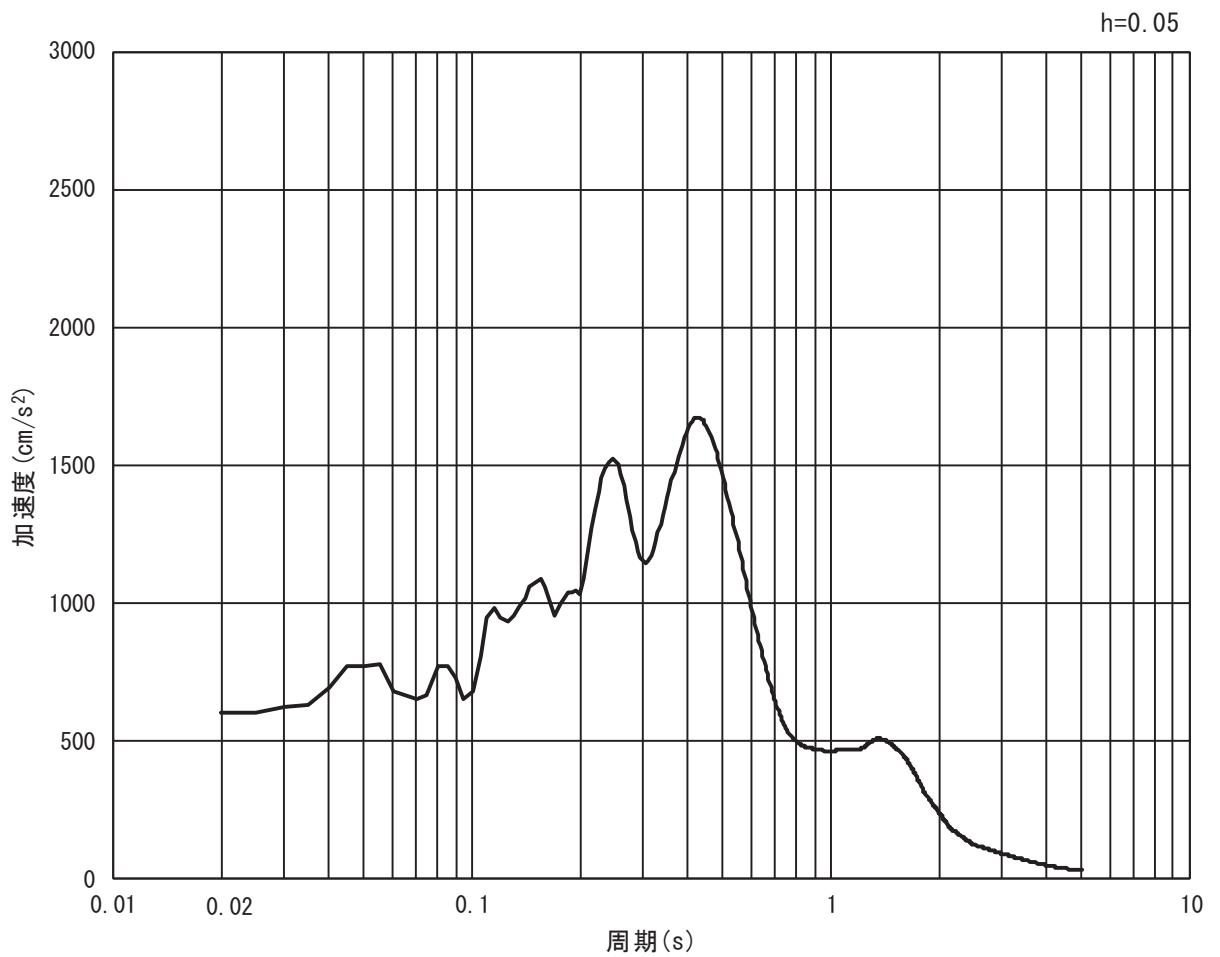


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)

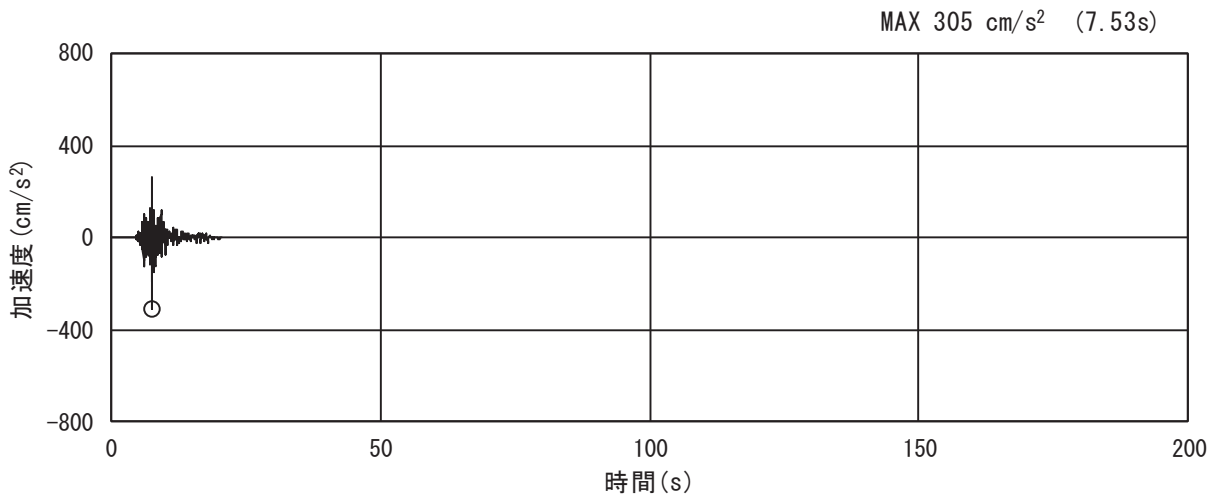


(a) 加速度時刻歴波形

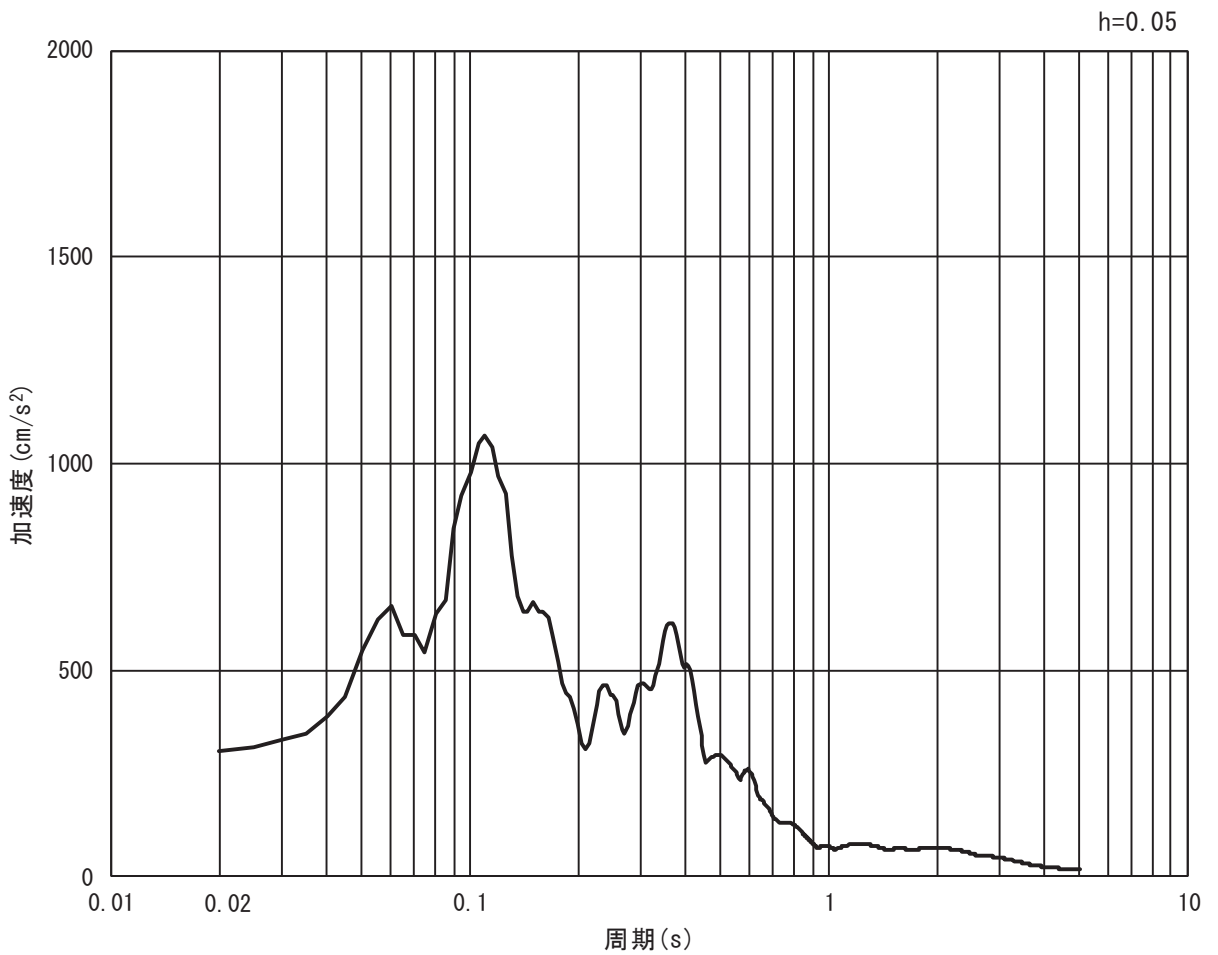


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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)



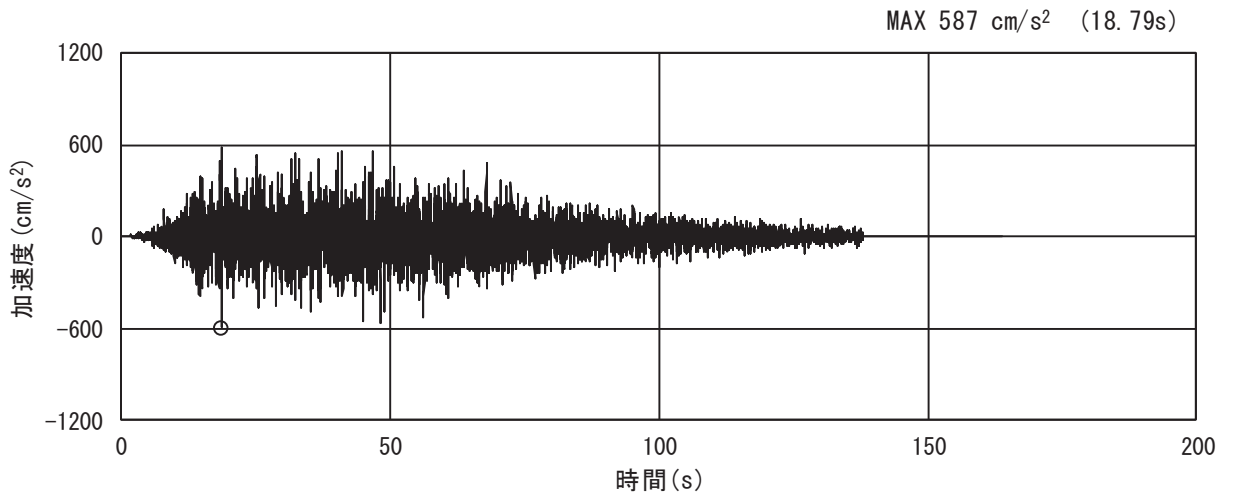
(a) 加速度時刻歴波形



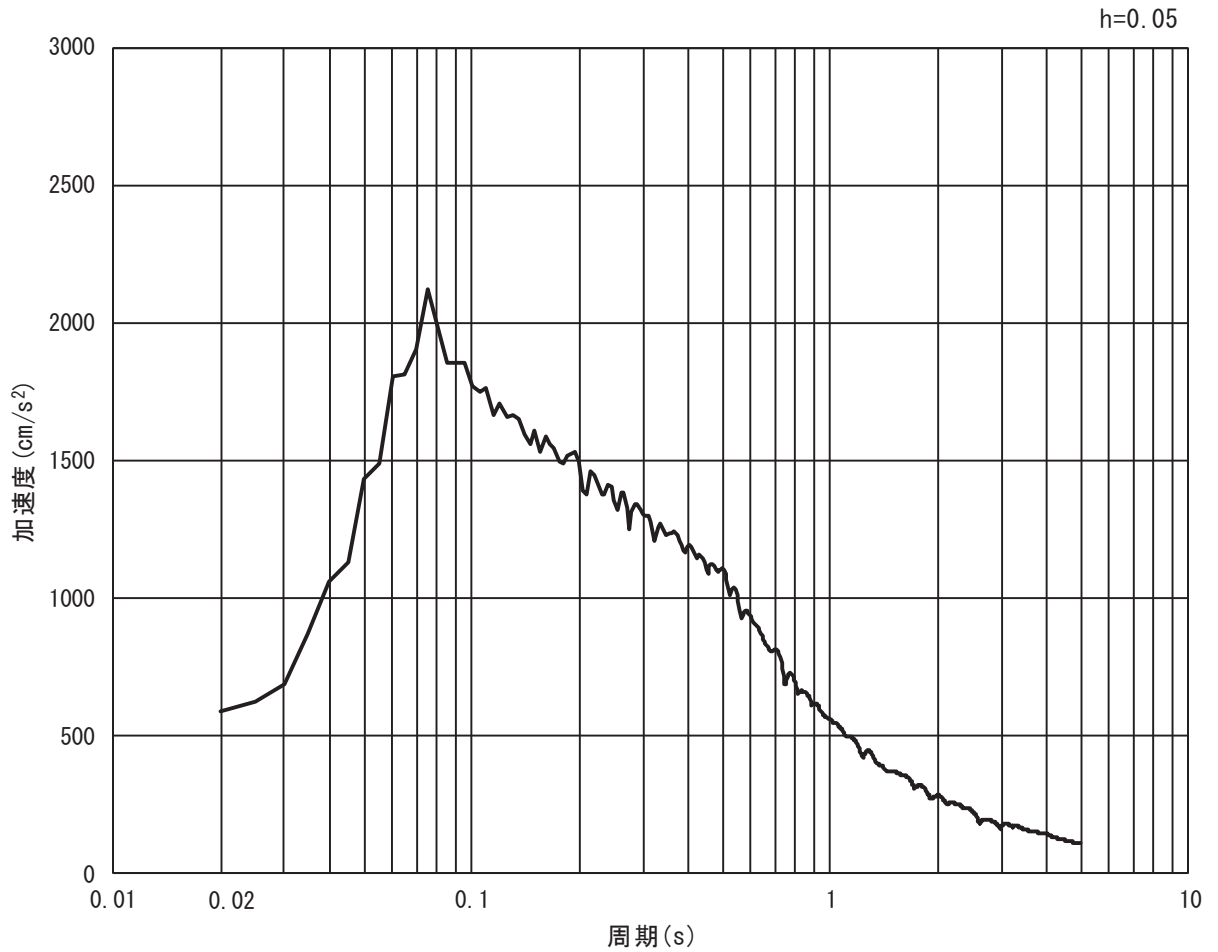
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 (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) 断面③

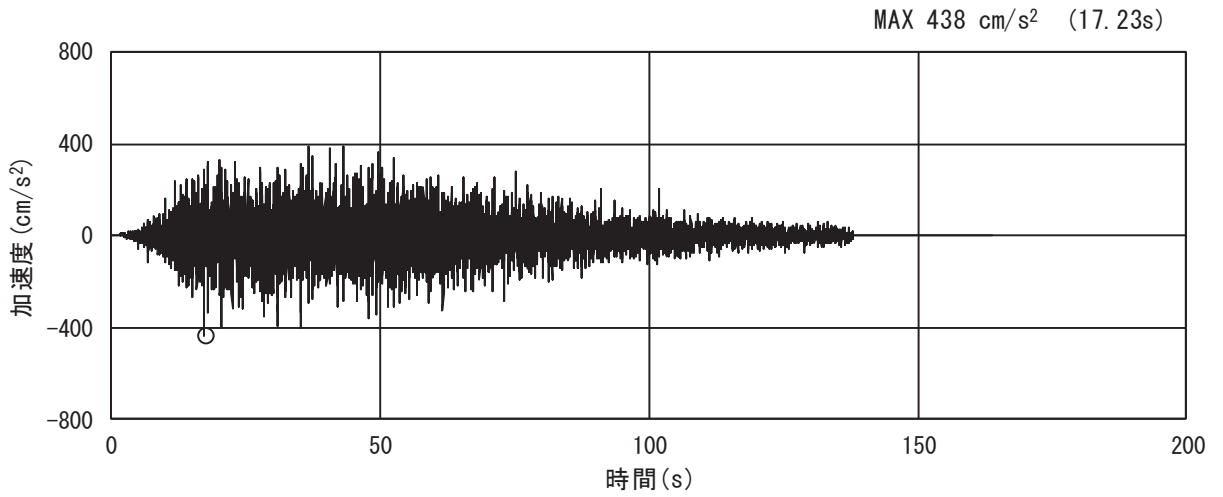


(a) 加速度時刻歴波形

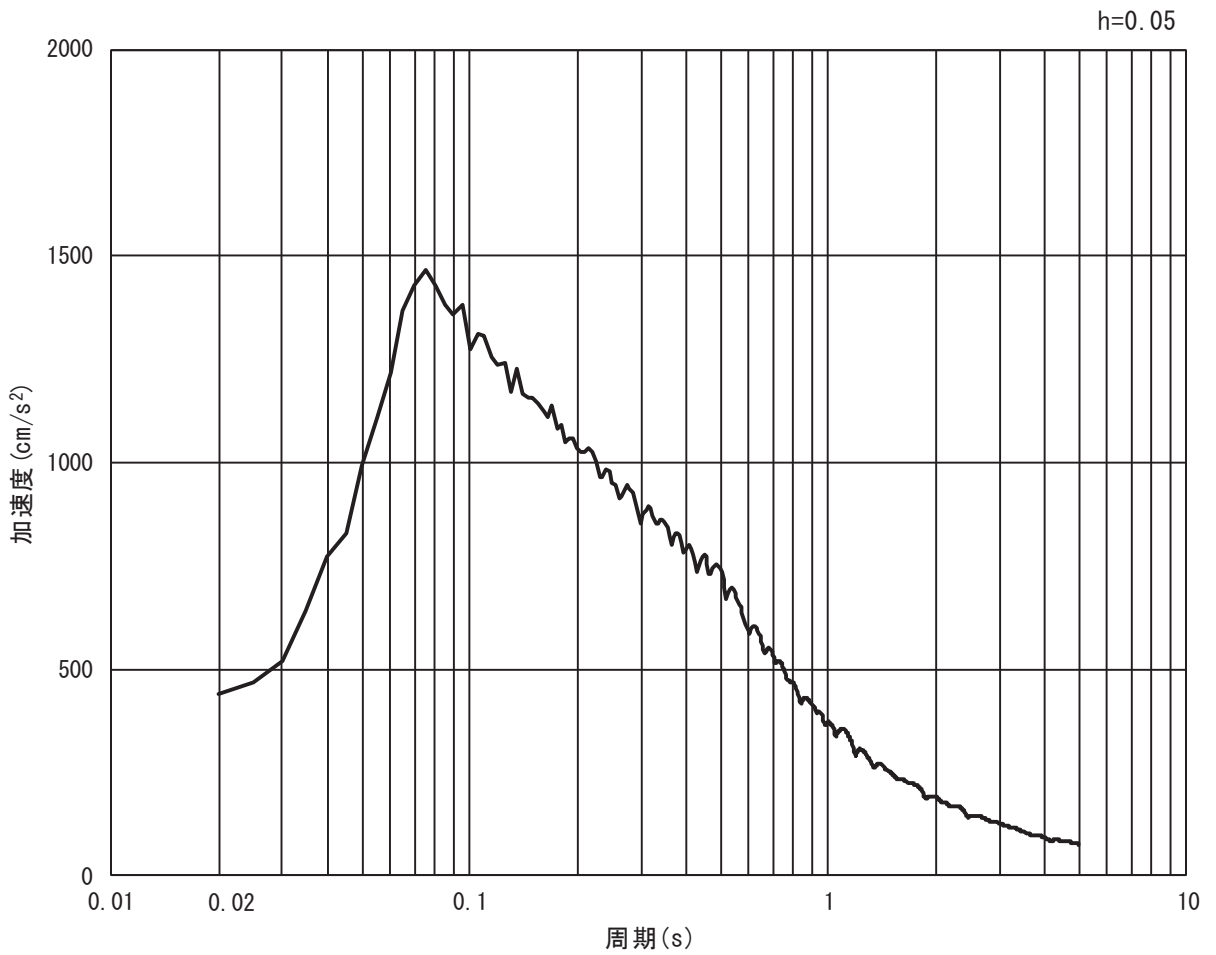


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

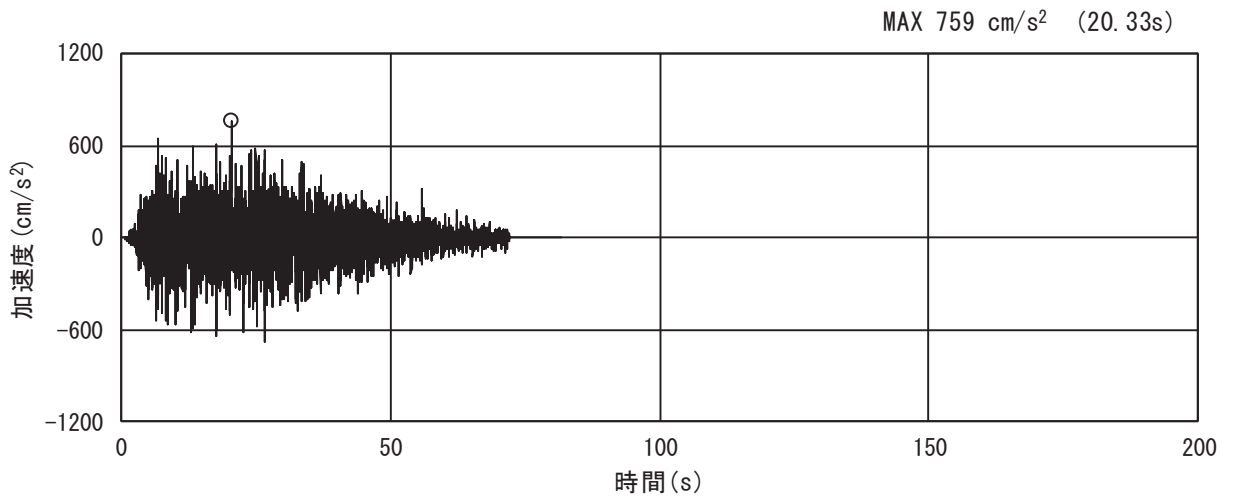


(a) 加速度時刻歴波形

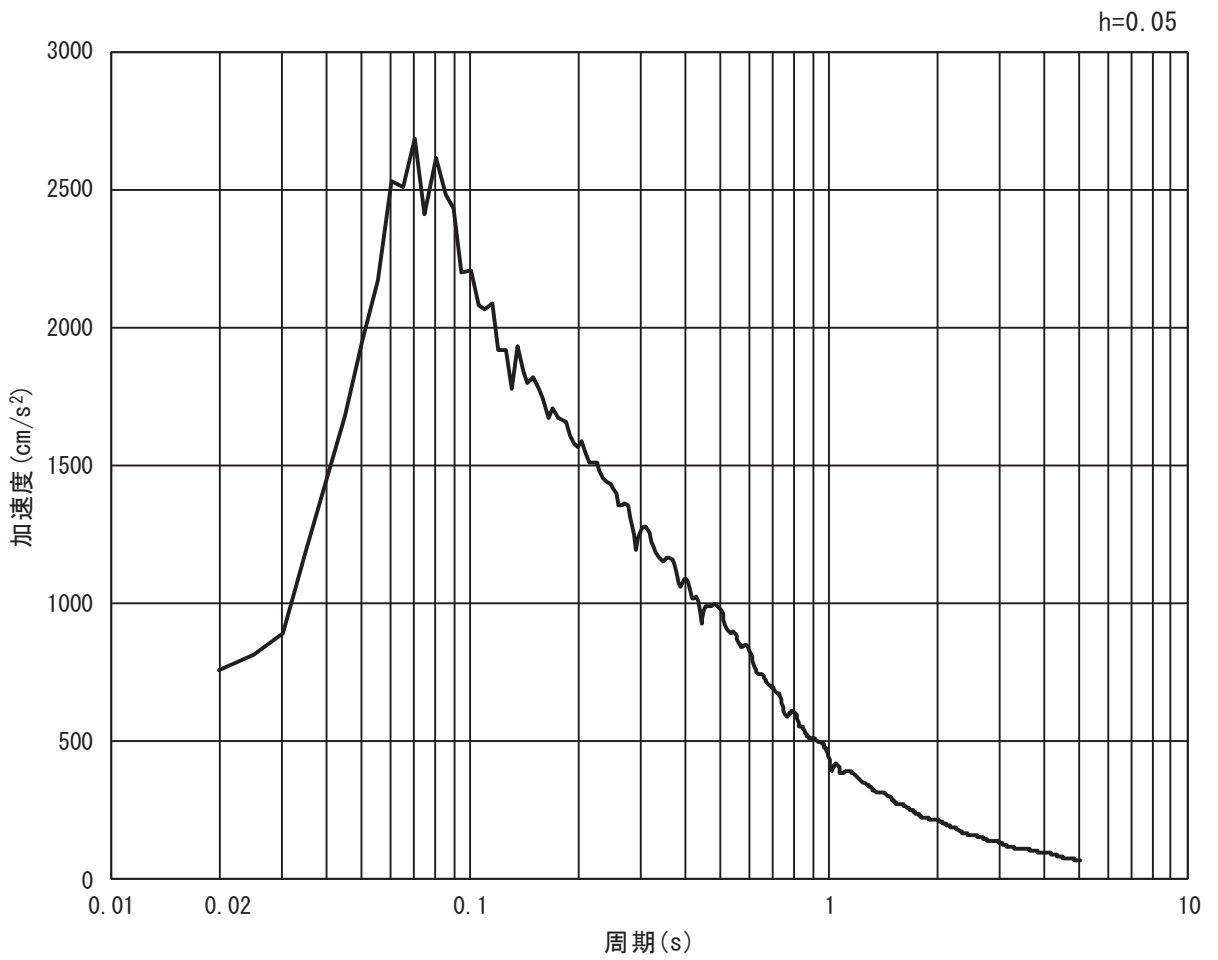


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

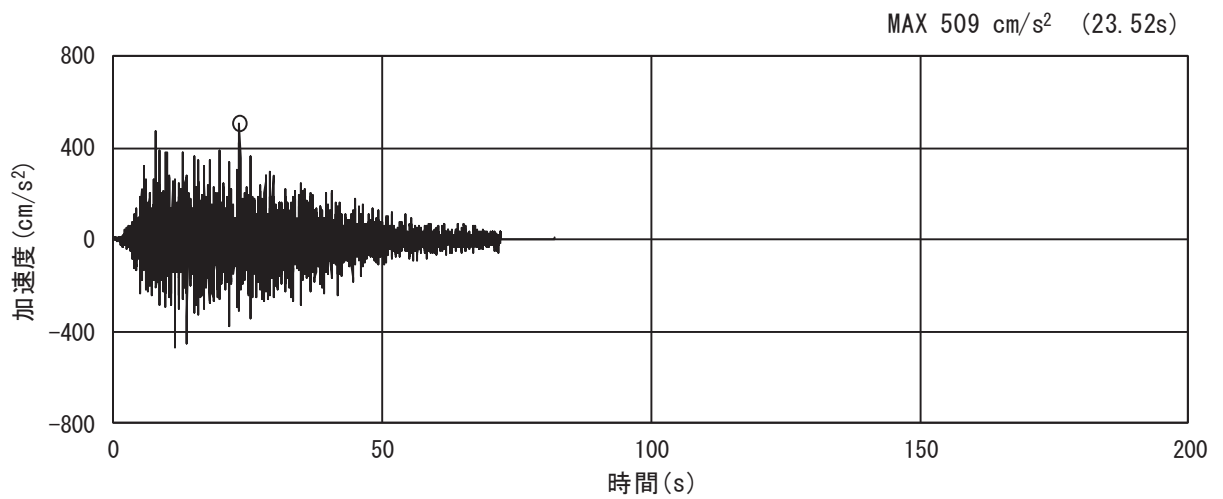


(a) 加速度時刻歴波形

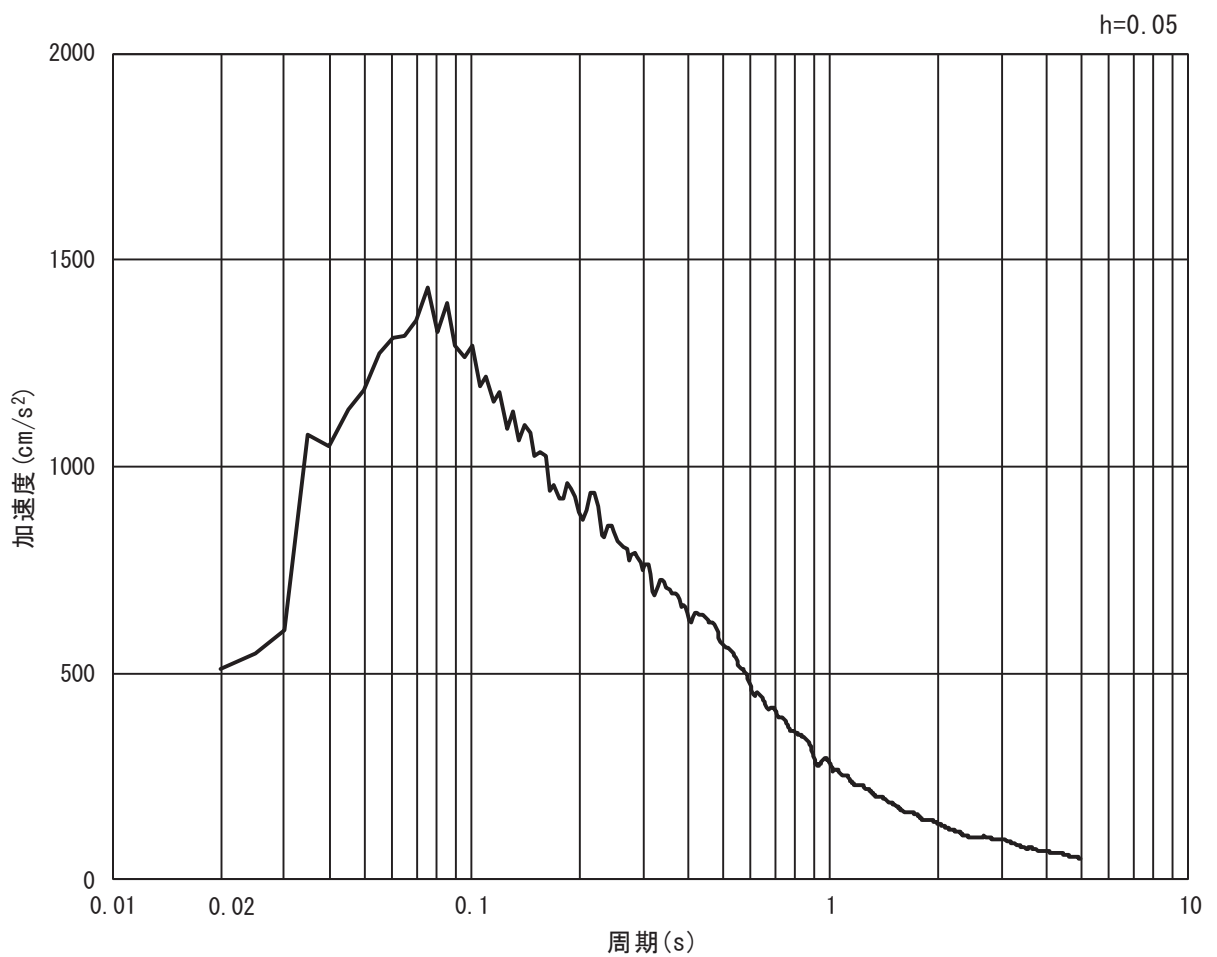


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

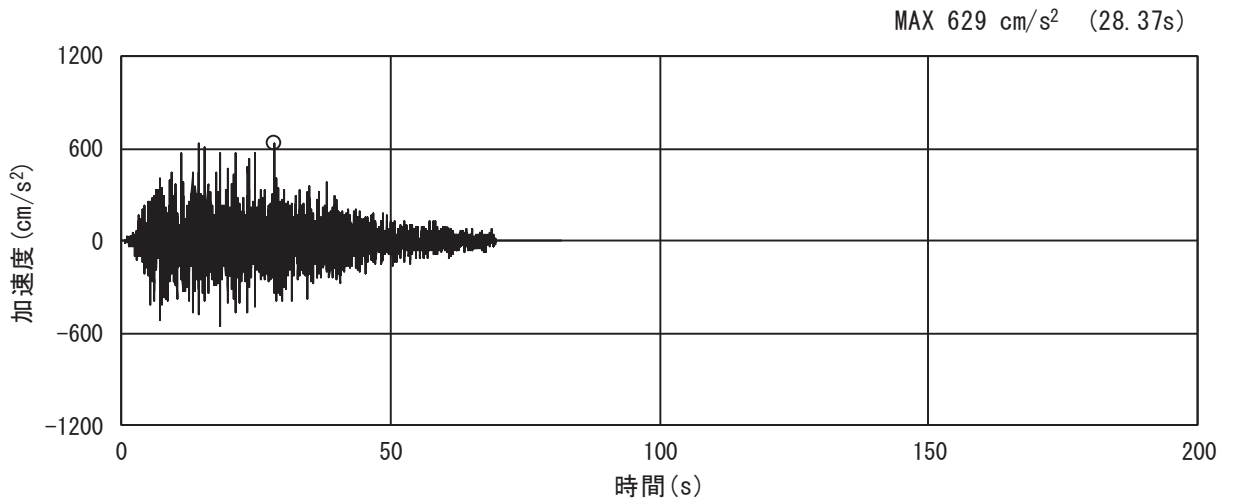


(a) 加速度時刻歴波形

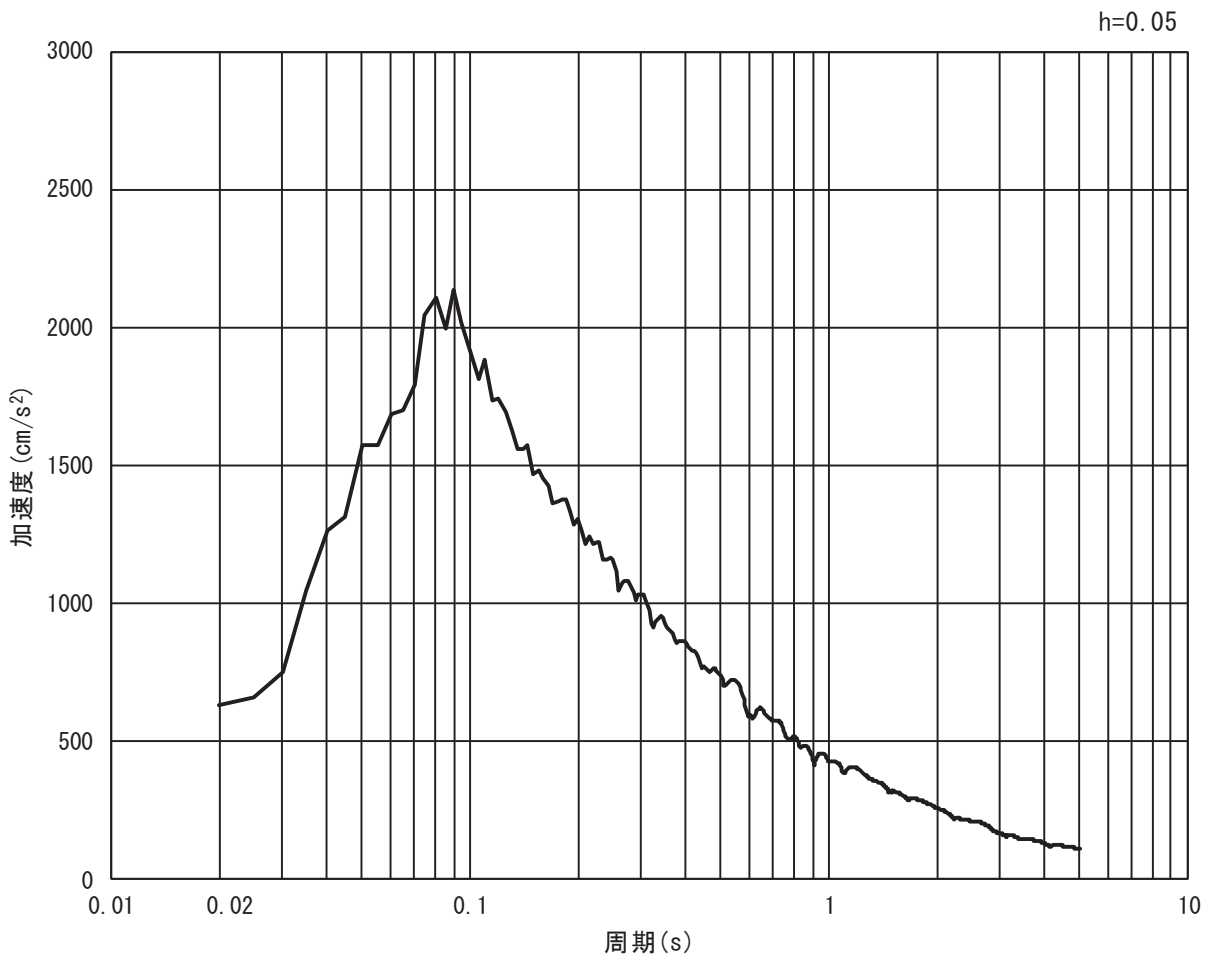


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

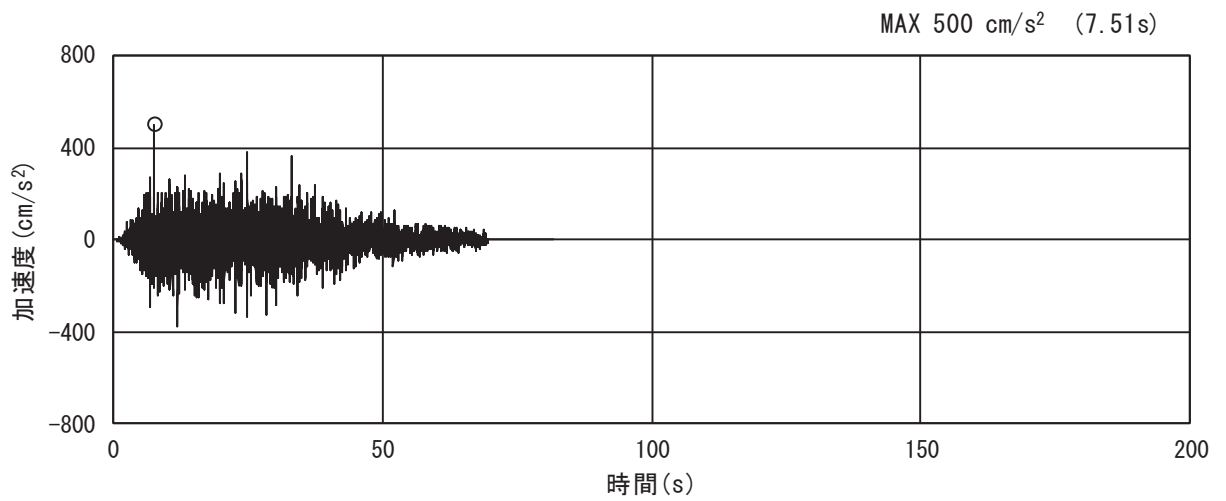


(a) 加速度時刻歴波形

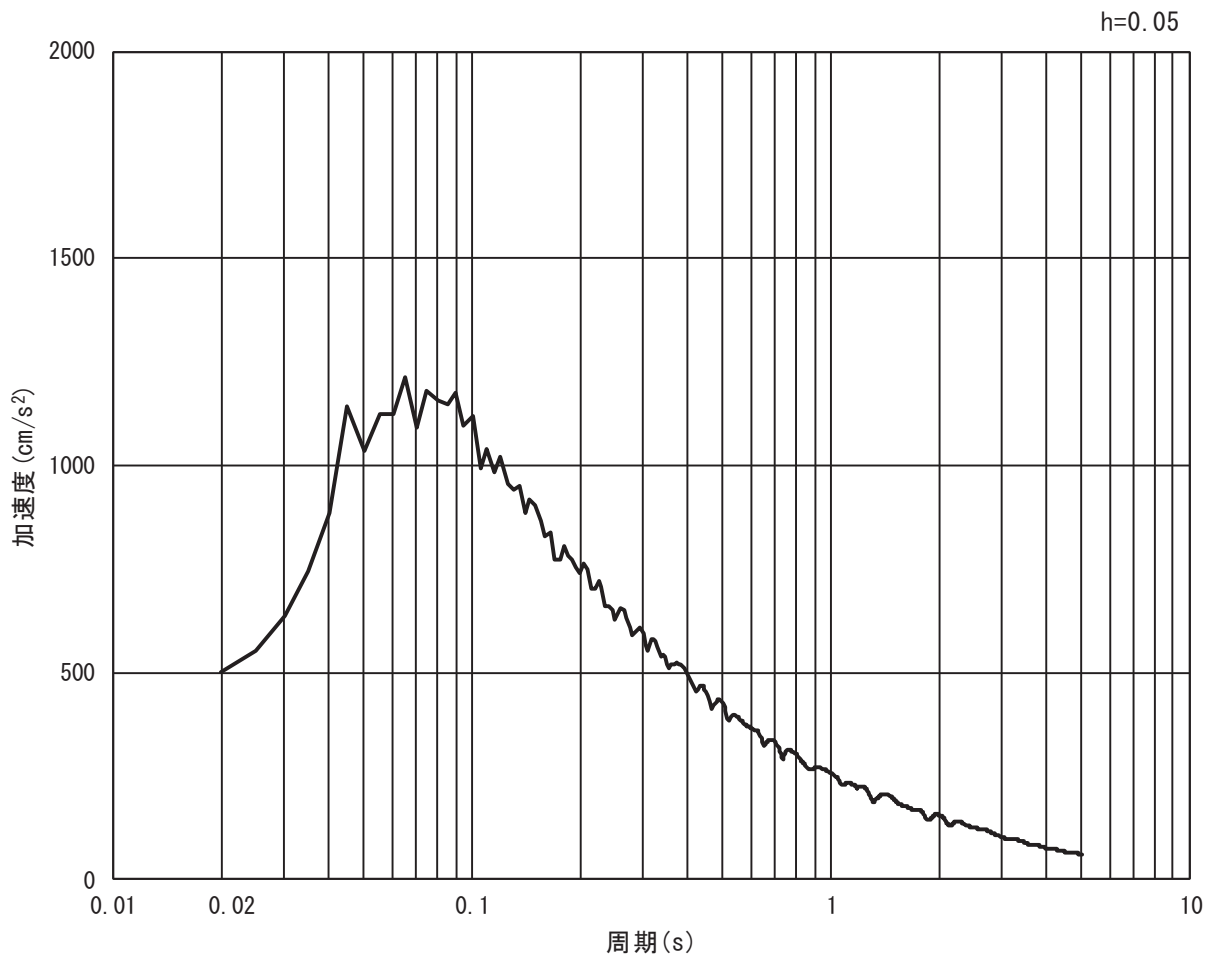


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

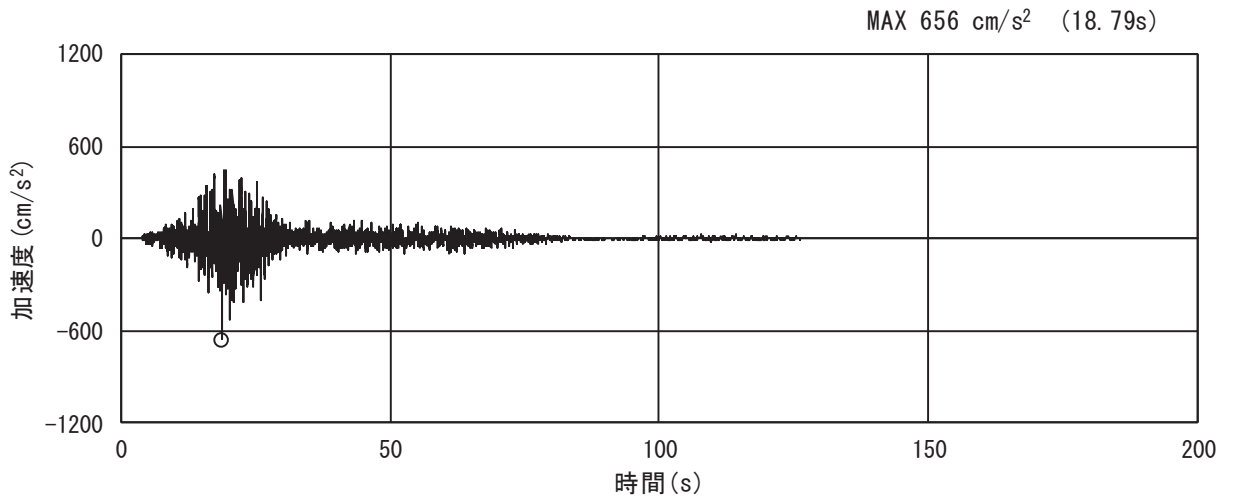


(a) 加速度時刻歴波形

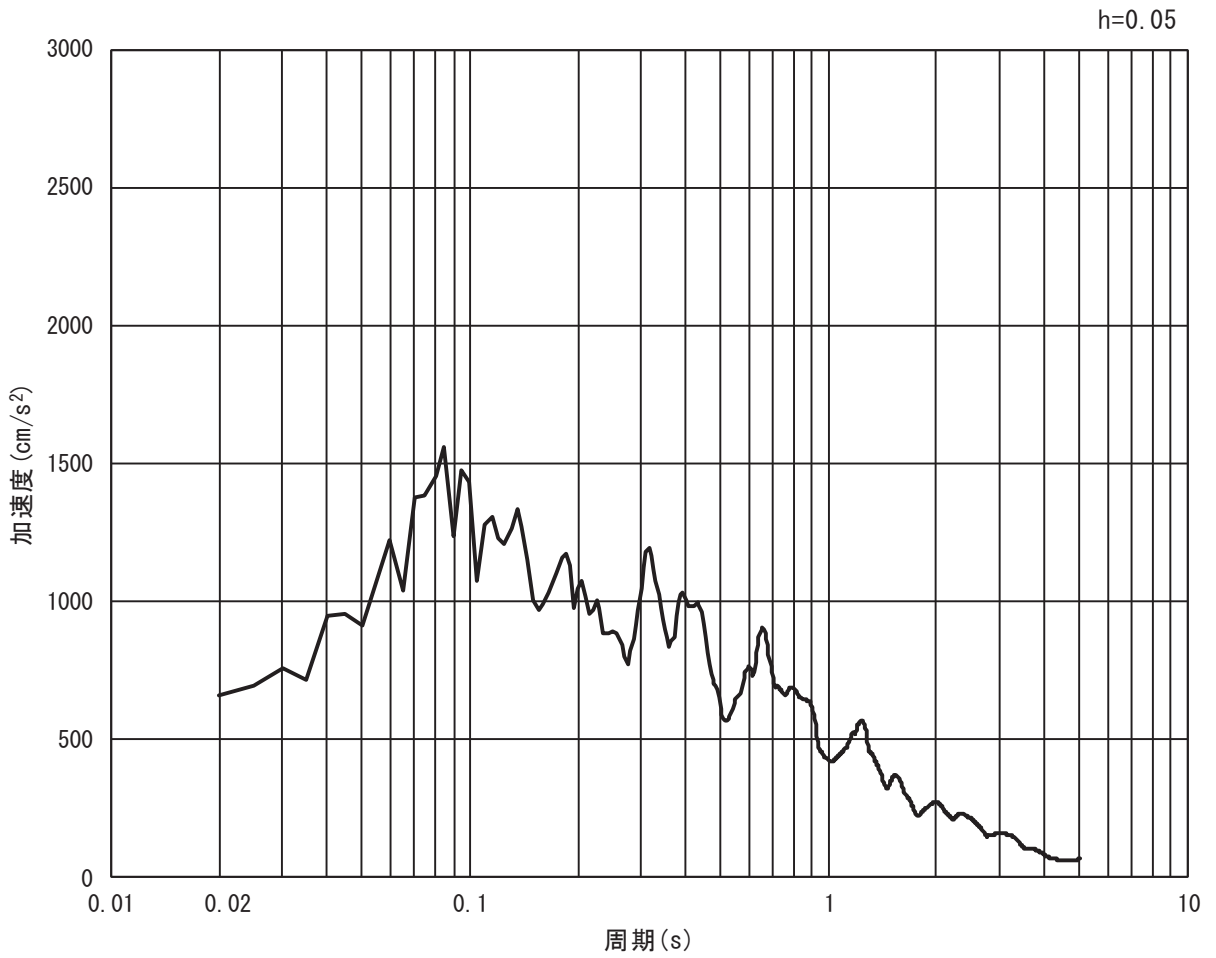


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

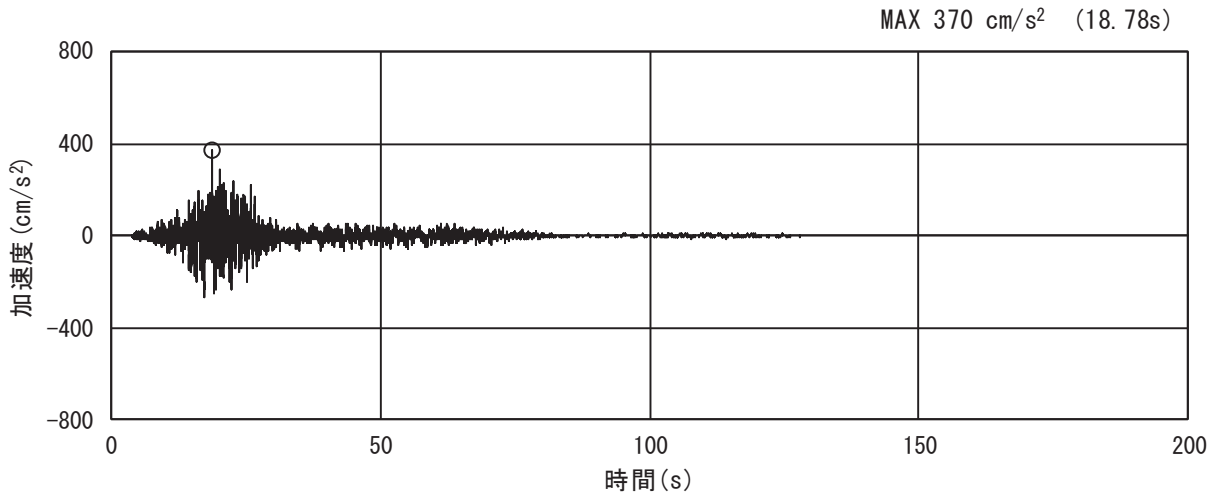


(a) 加速度時刻歴波形

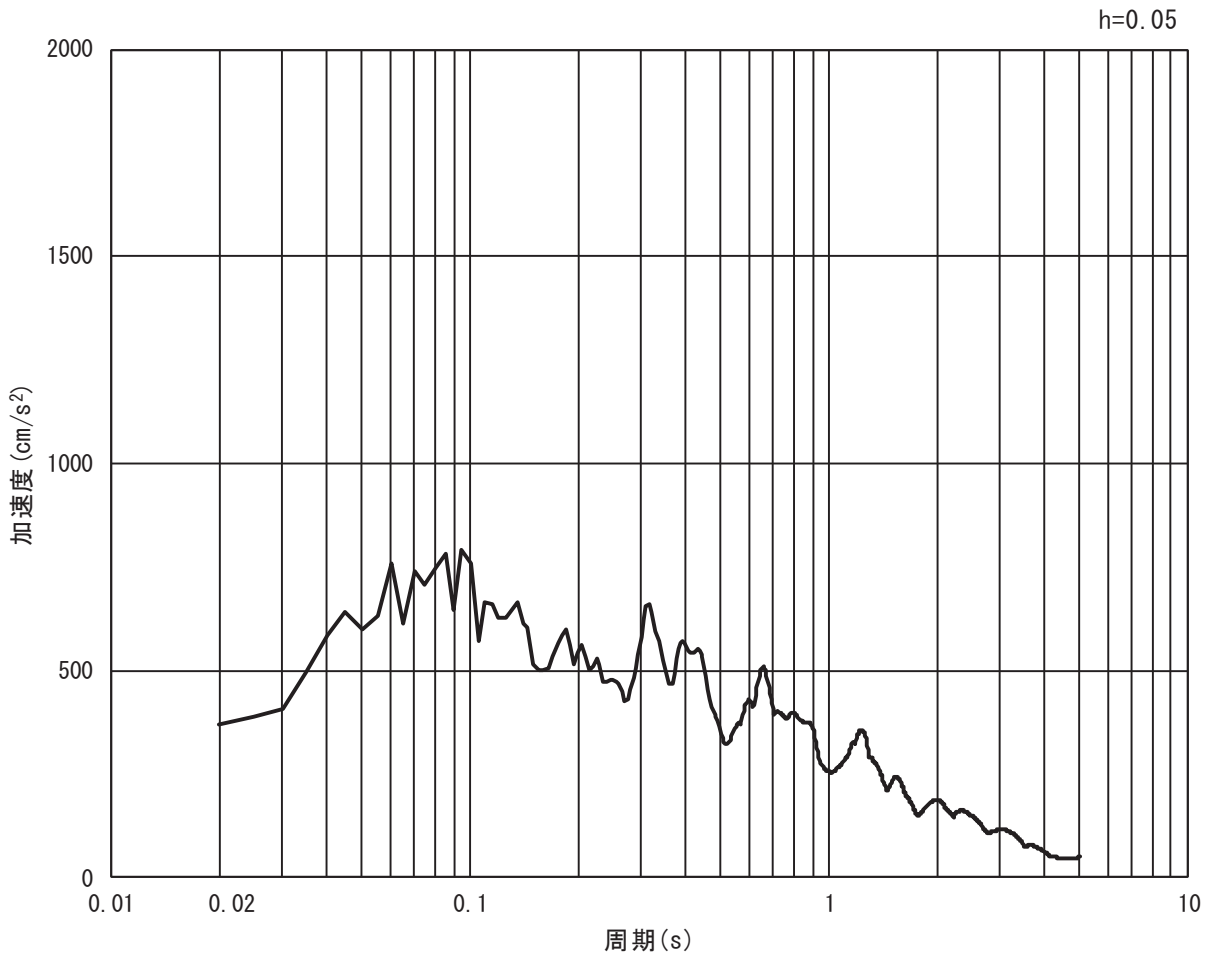


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

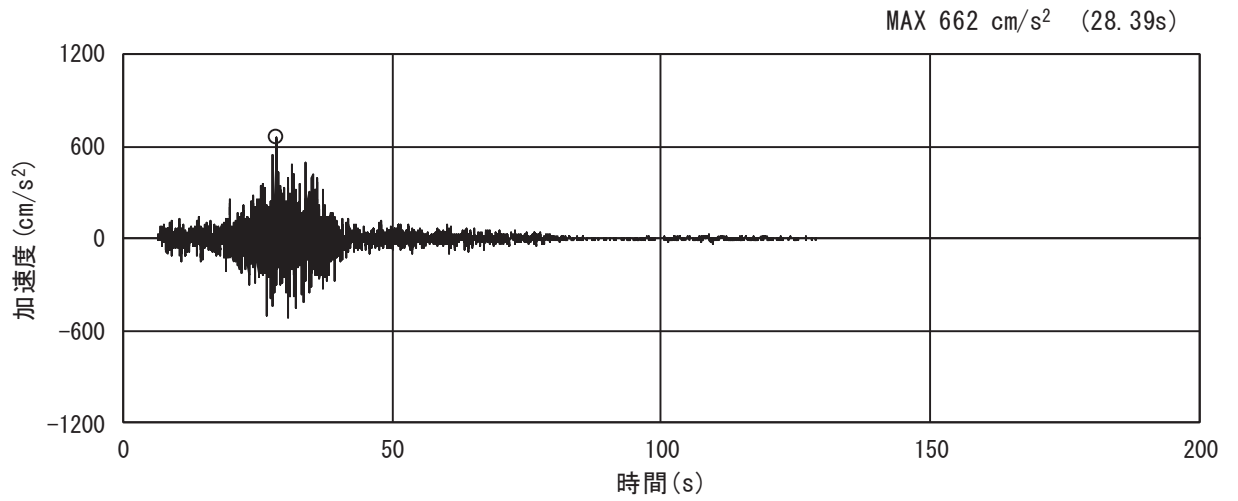


(a) 加速度時刻歴波形

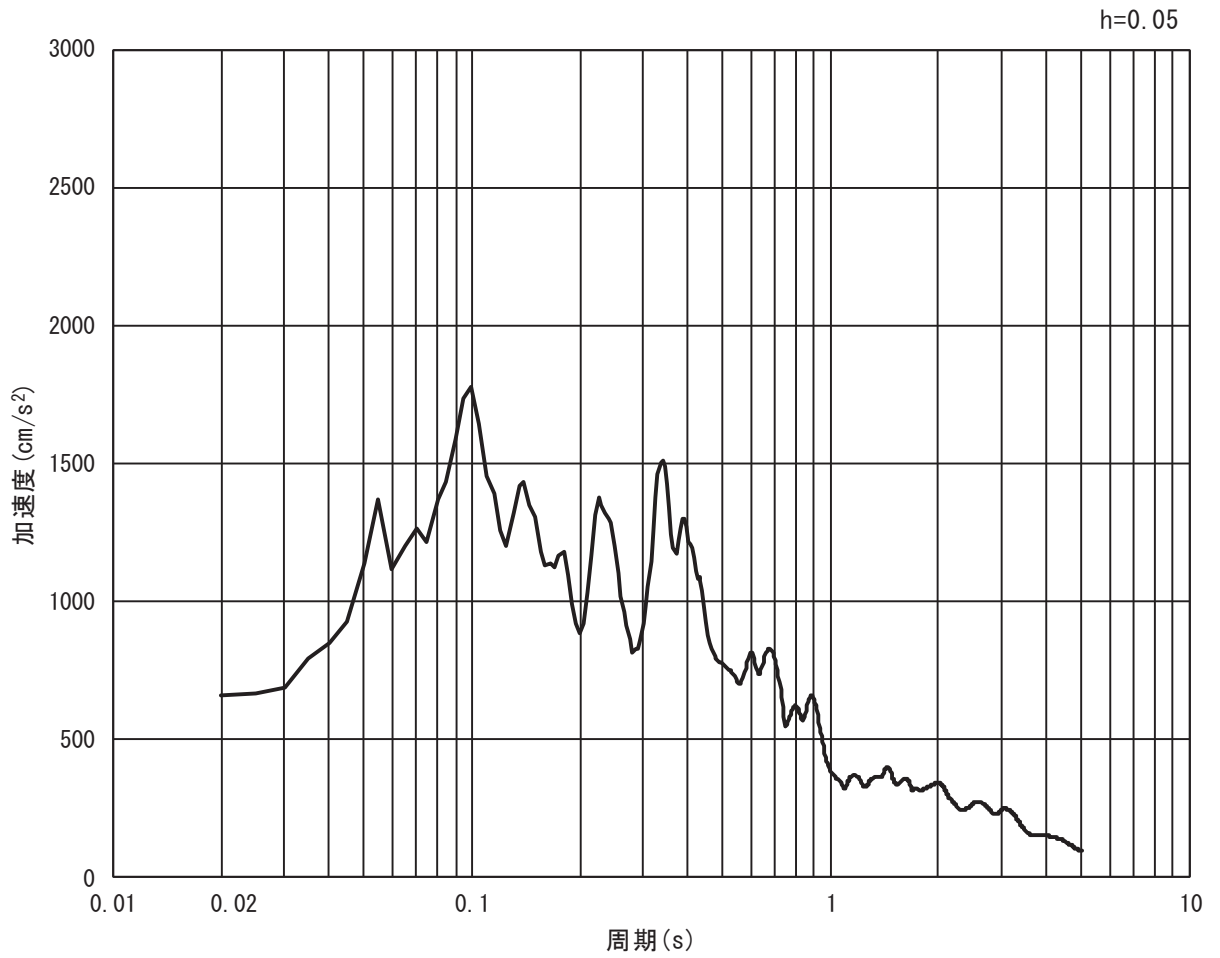


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

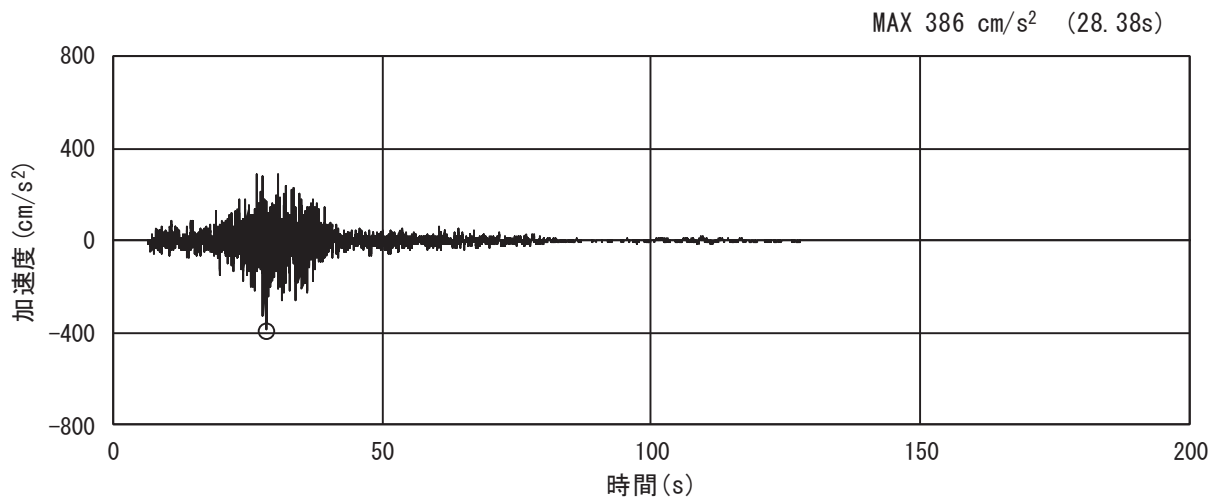


(a) 加速度時刻歴波形

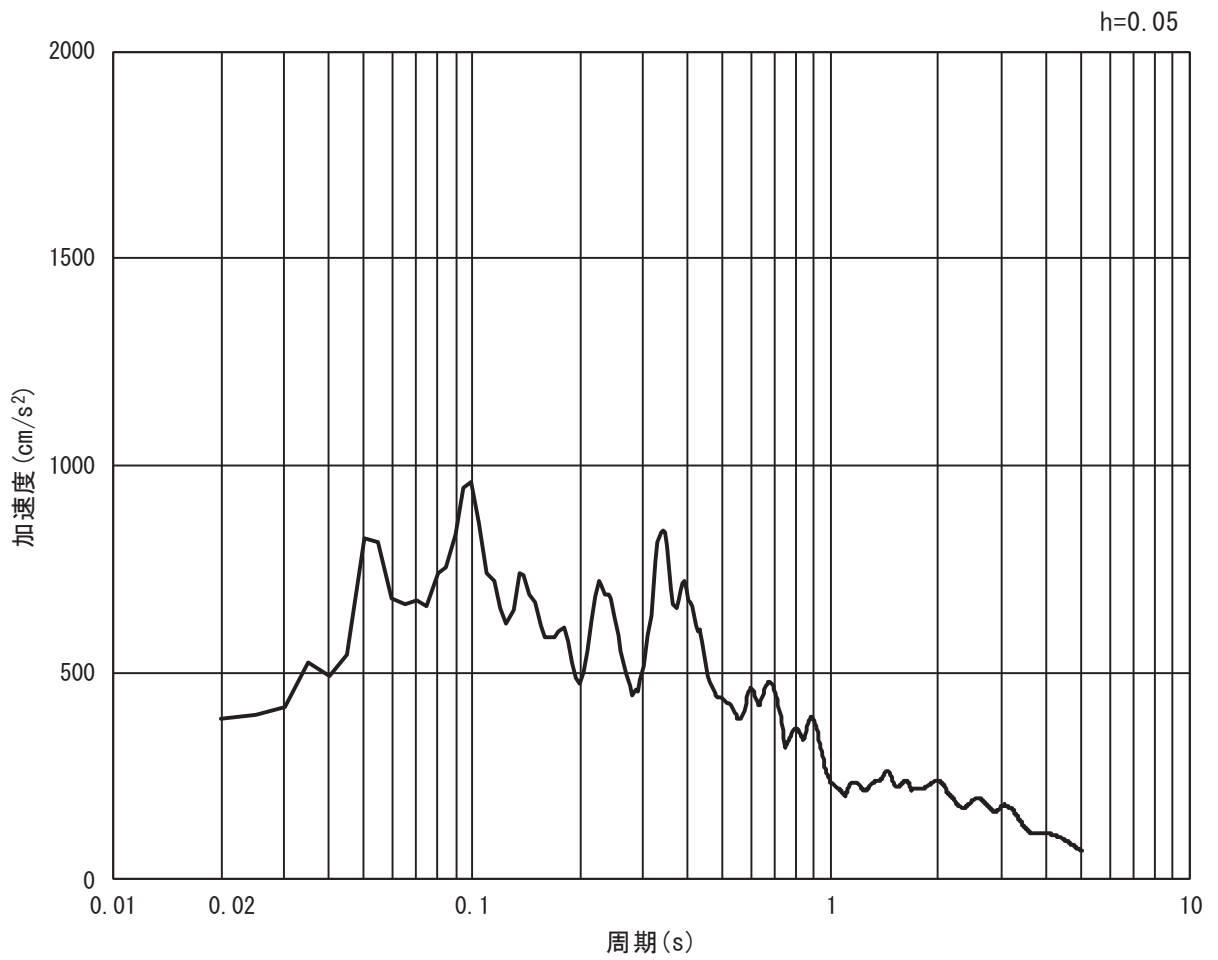


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

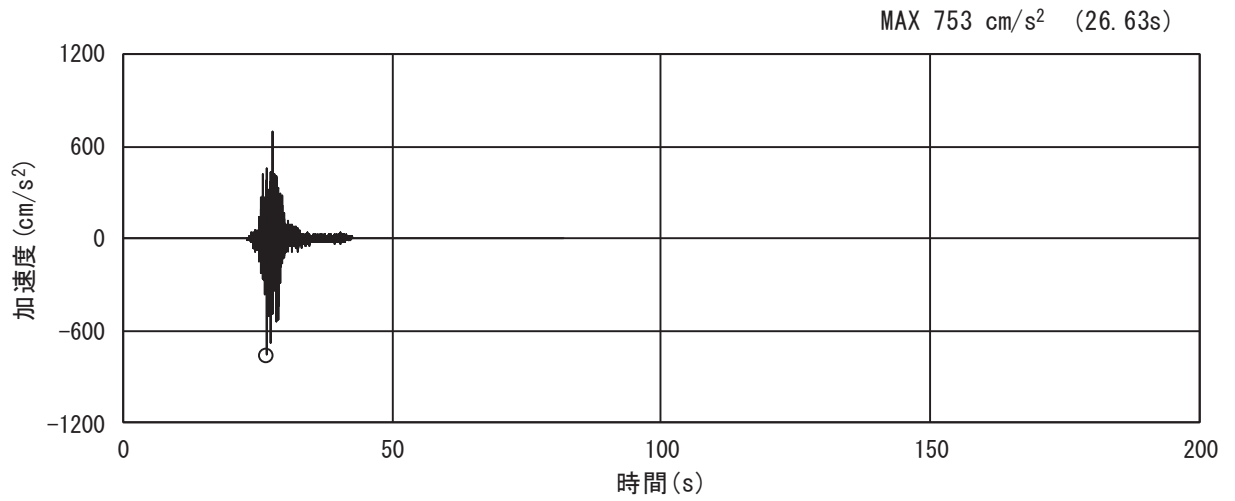


(a) 加速度時刻歴波形

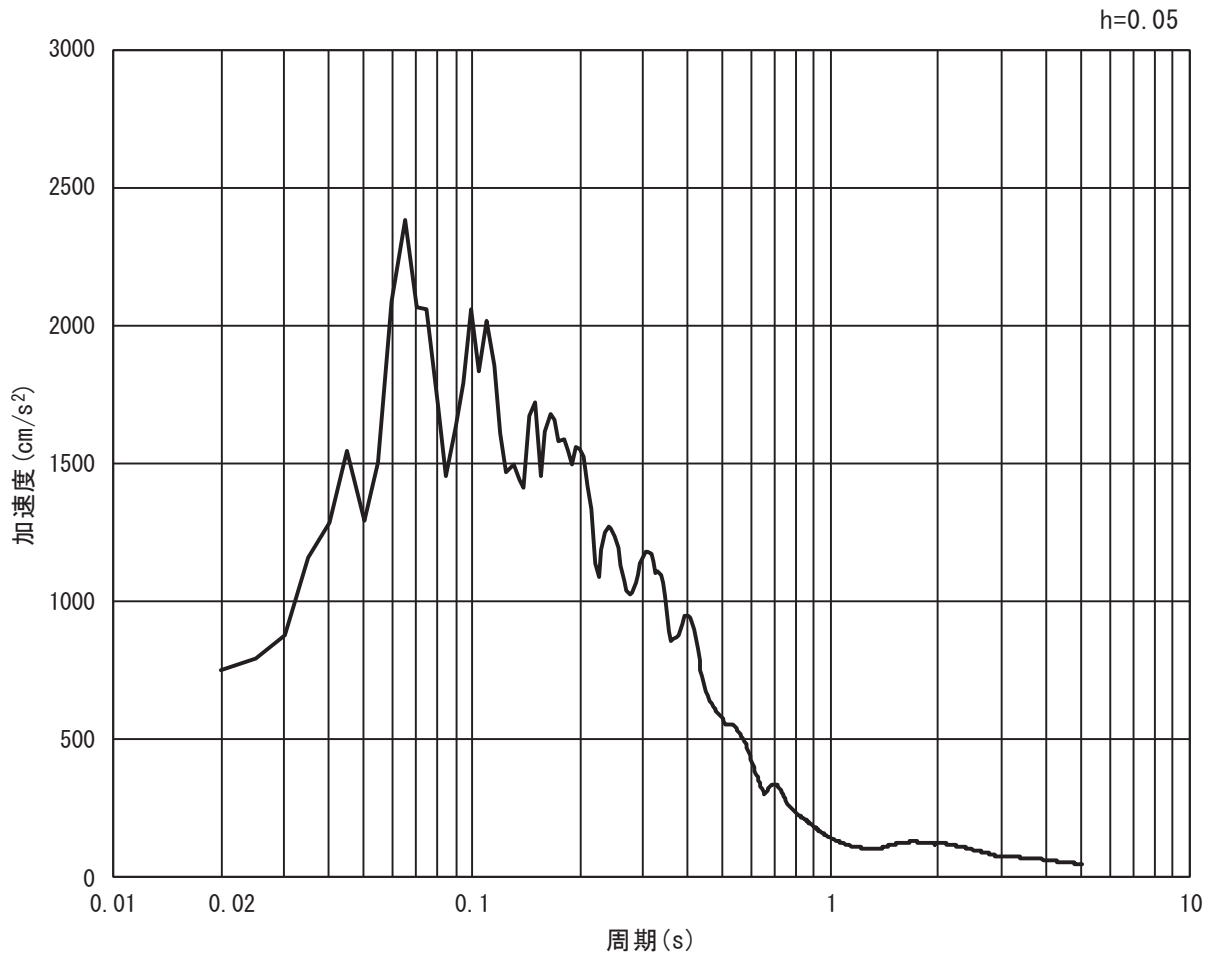


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

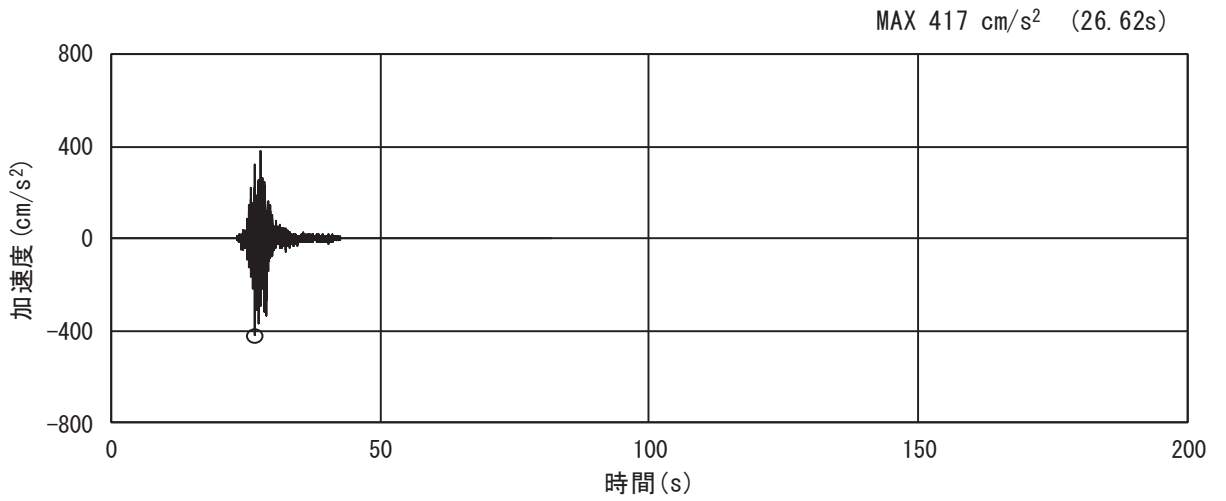


(a) 加速度時刻歴波形

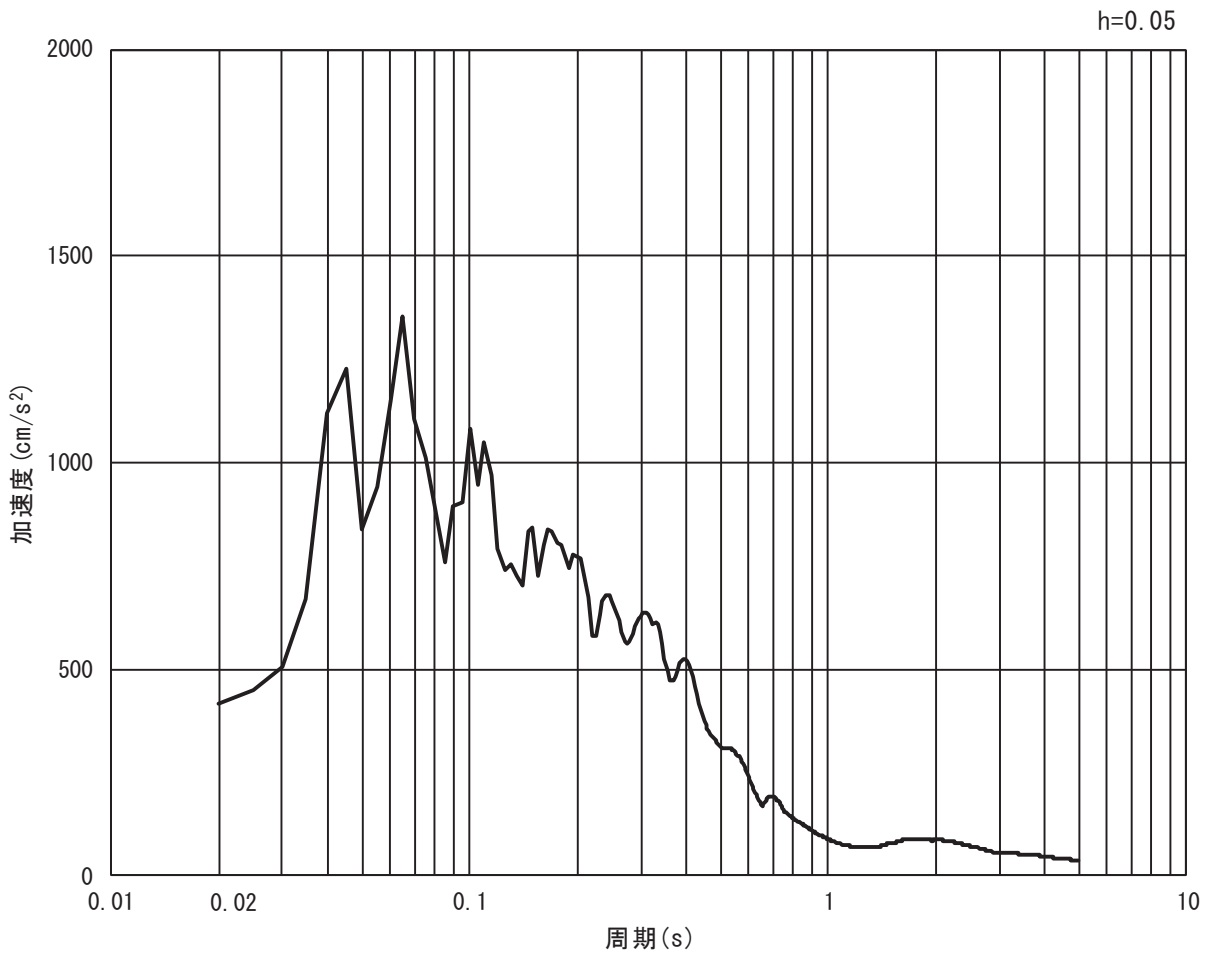


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

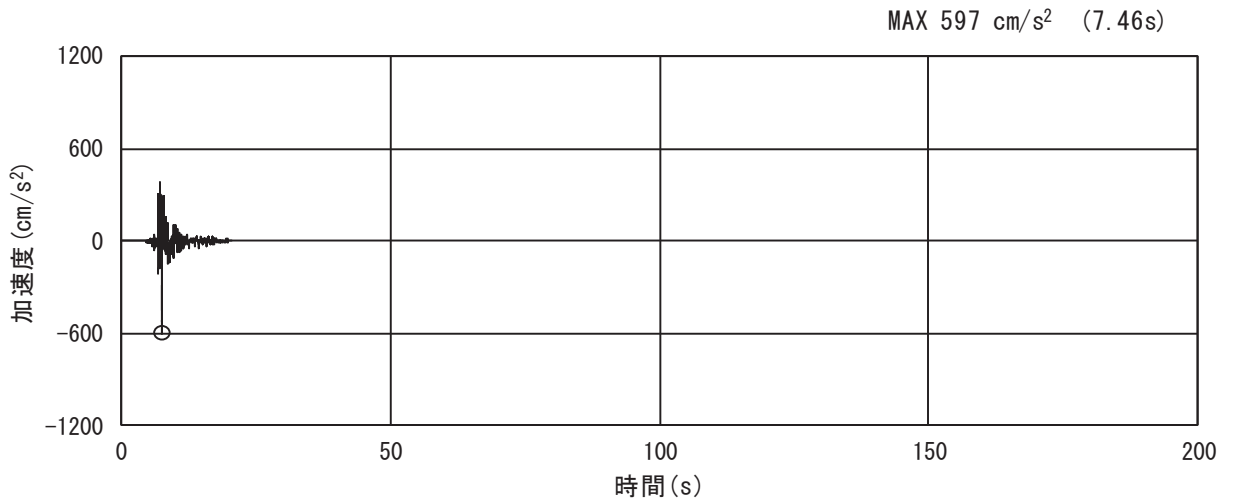


(a) 加速度時刻歴波形

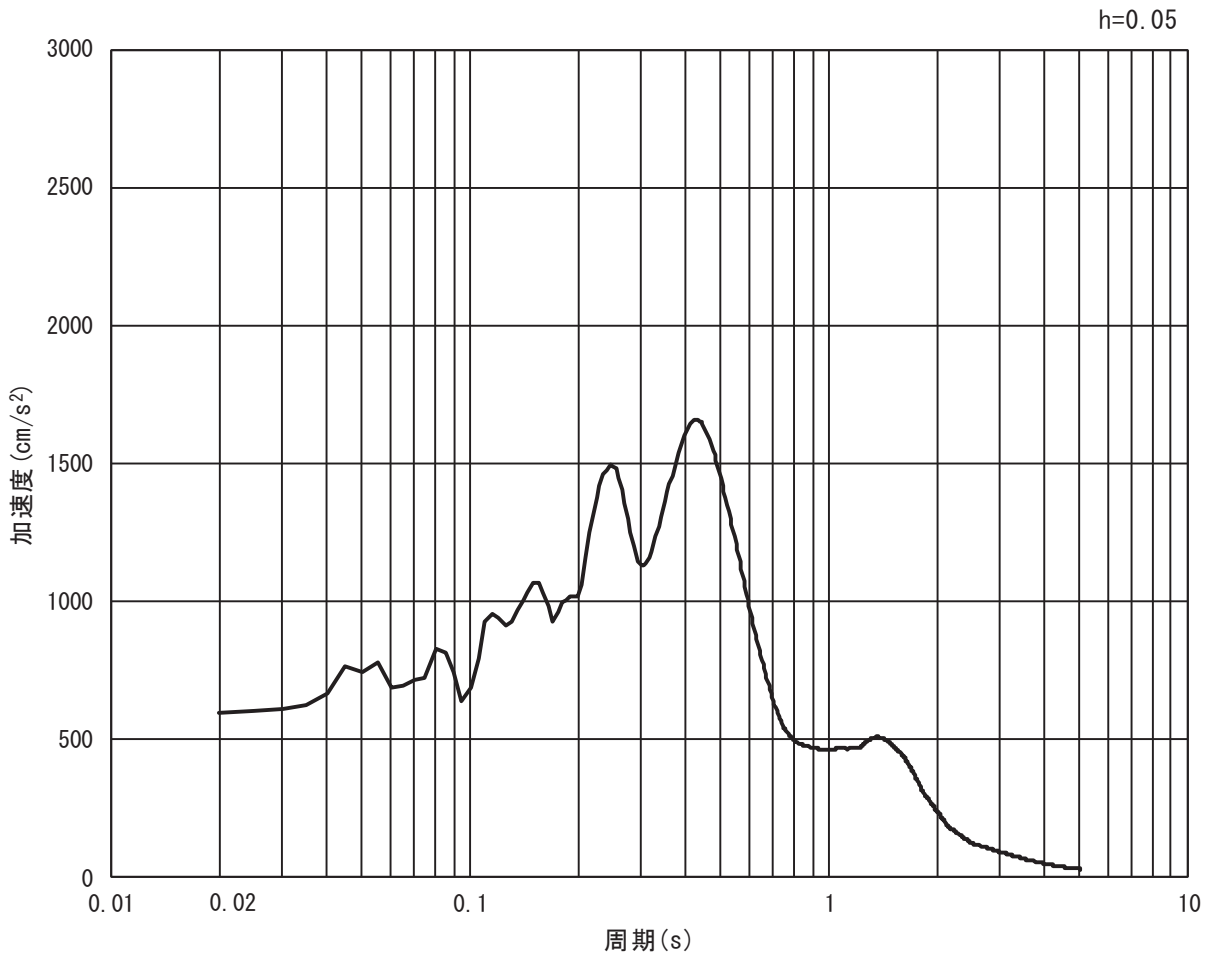


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

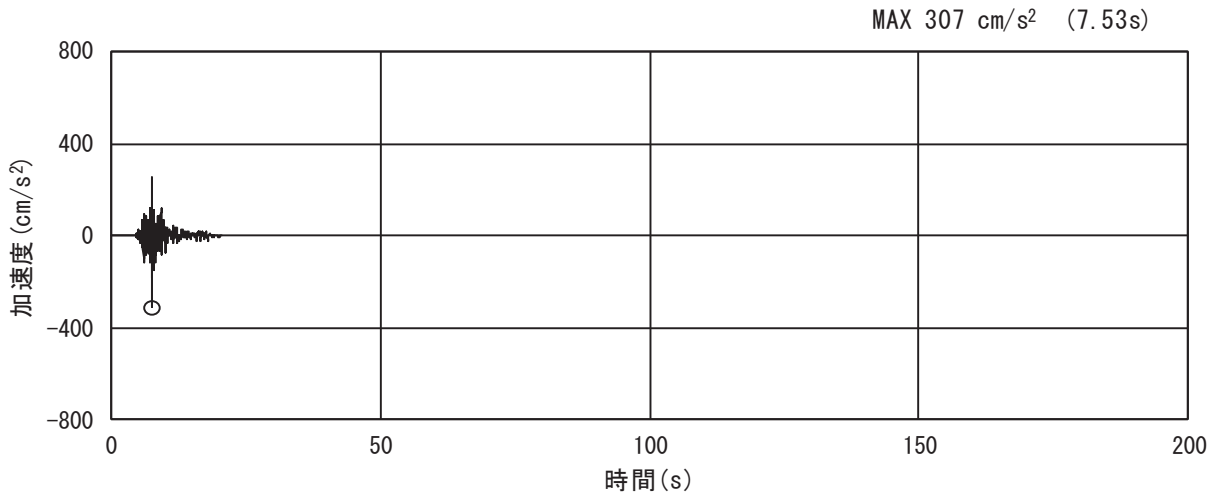


(a) 加速度時刻歴波形

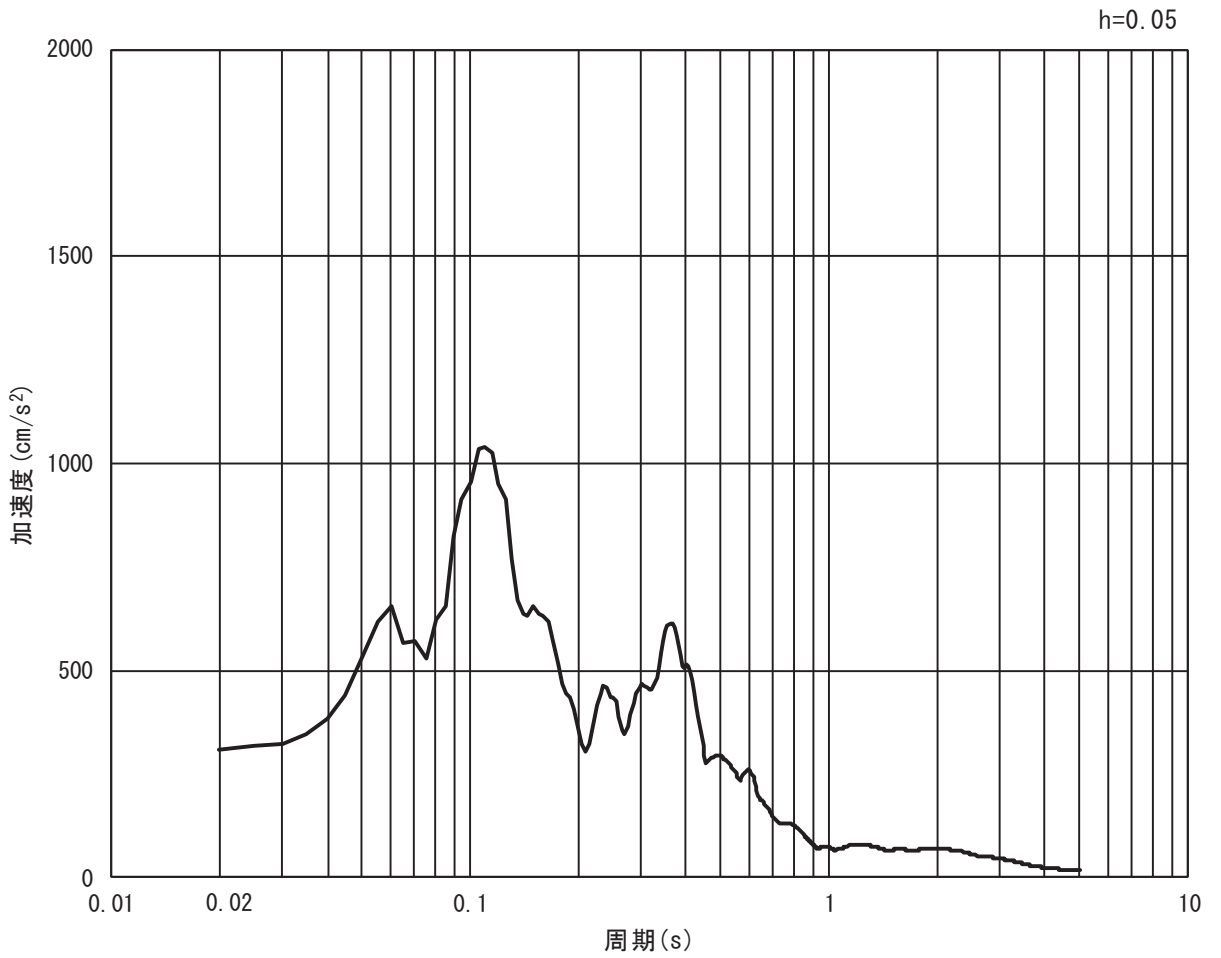


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)



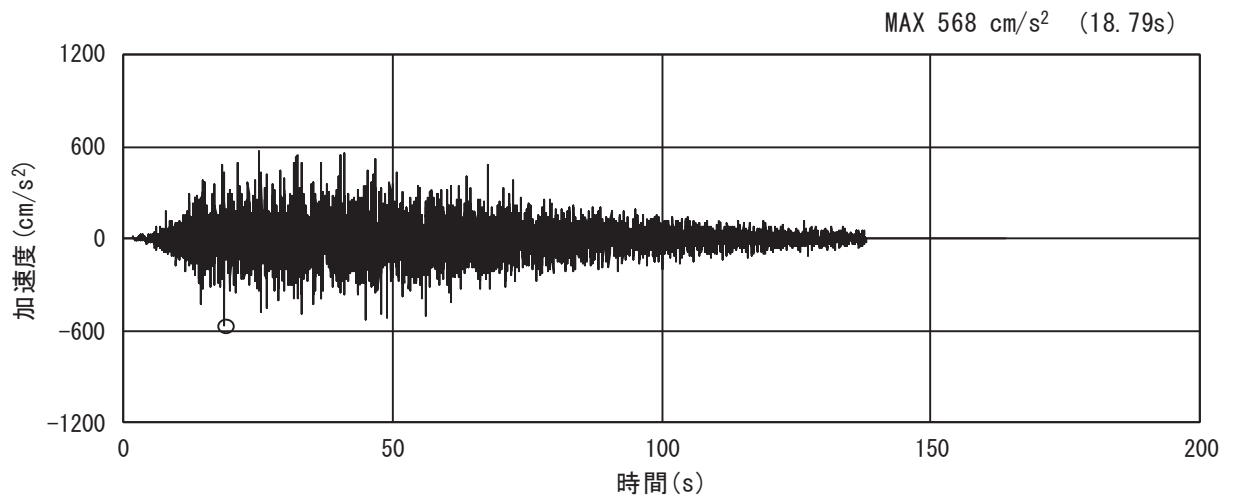
(a) 加速度時刻歴波形



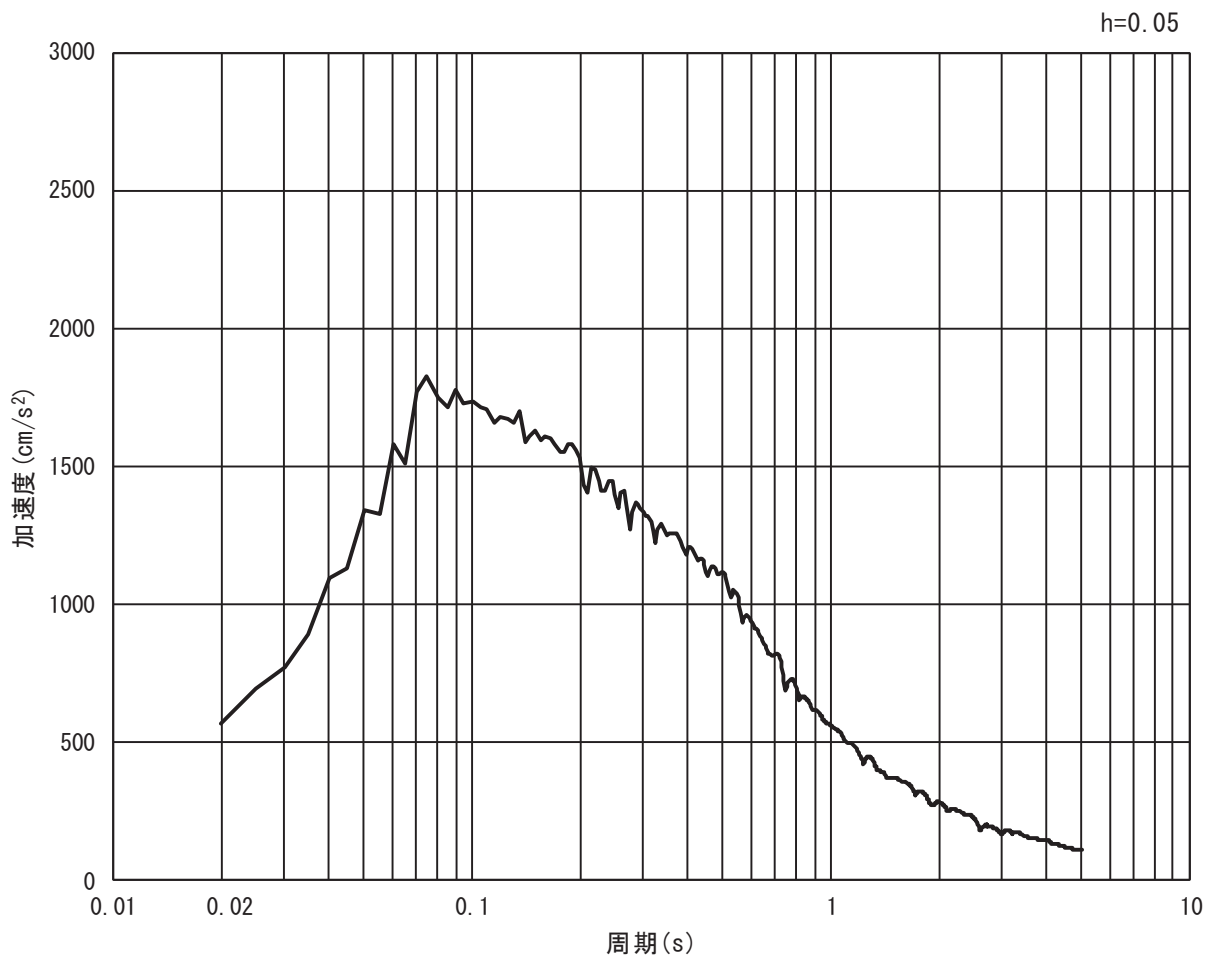
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 (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)

(4) 断面④

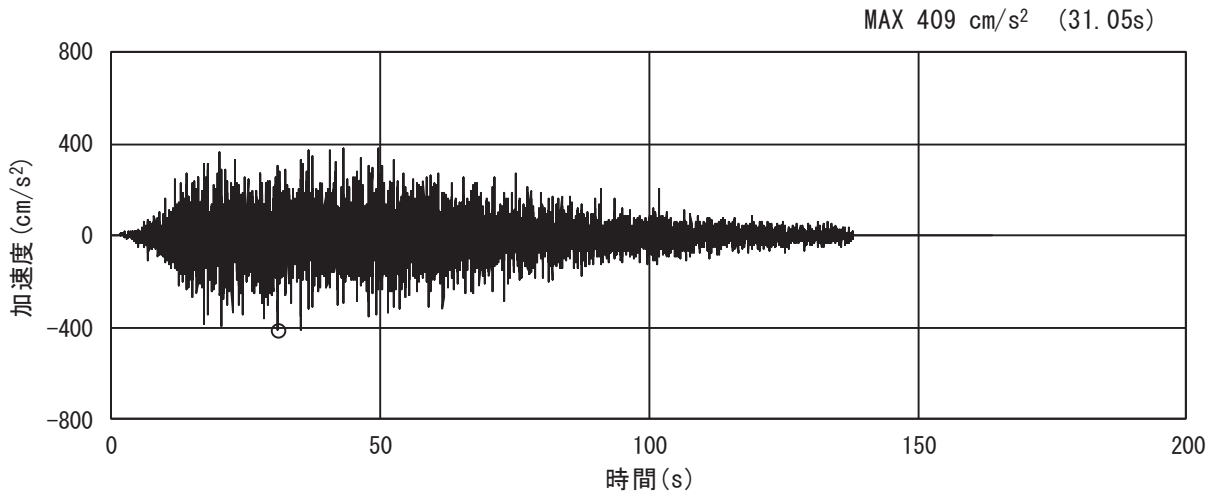


(a) 加速度時刻歴波形

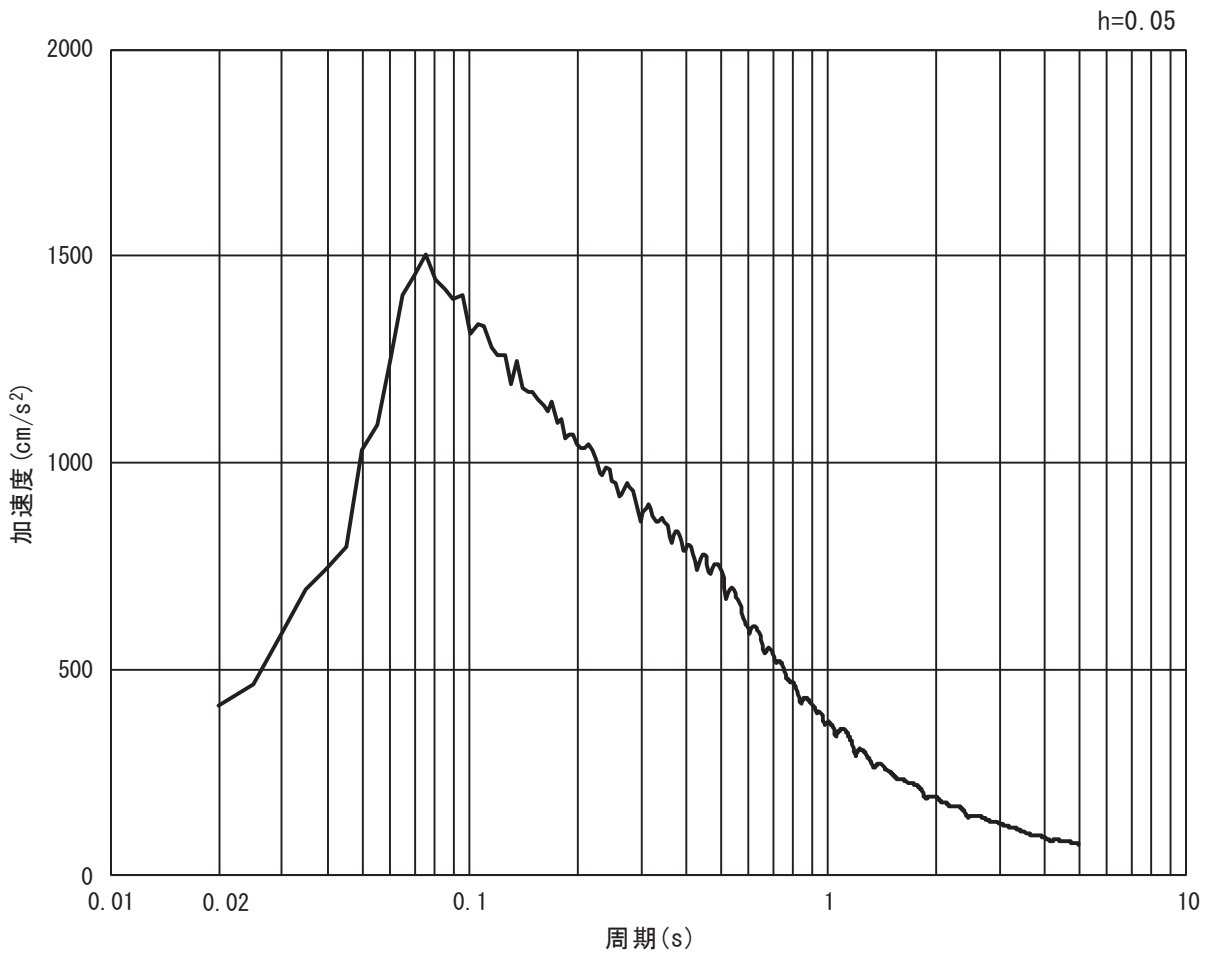


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

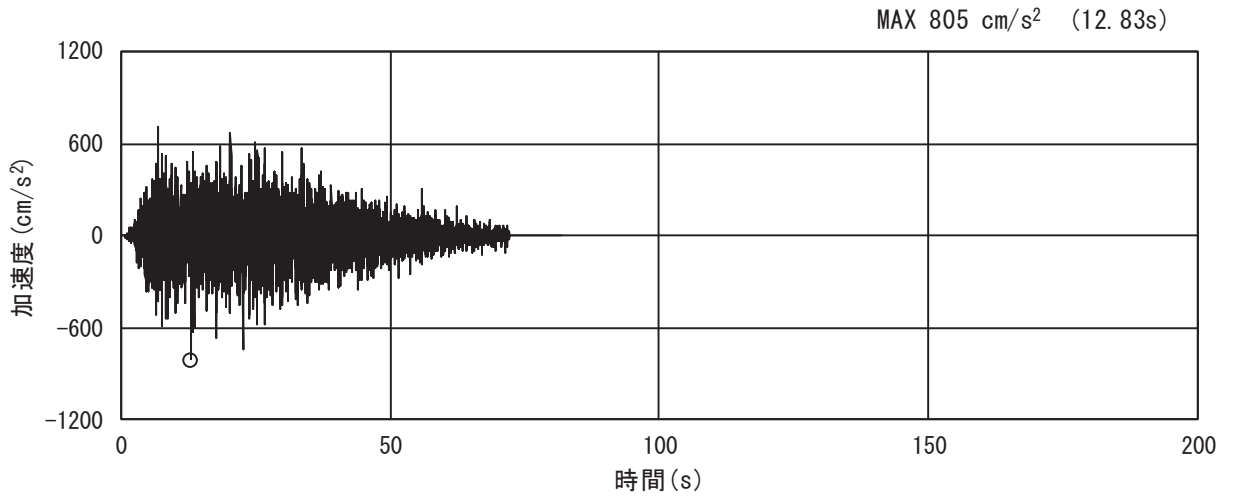


(a) 加速度時刻歴波形

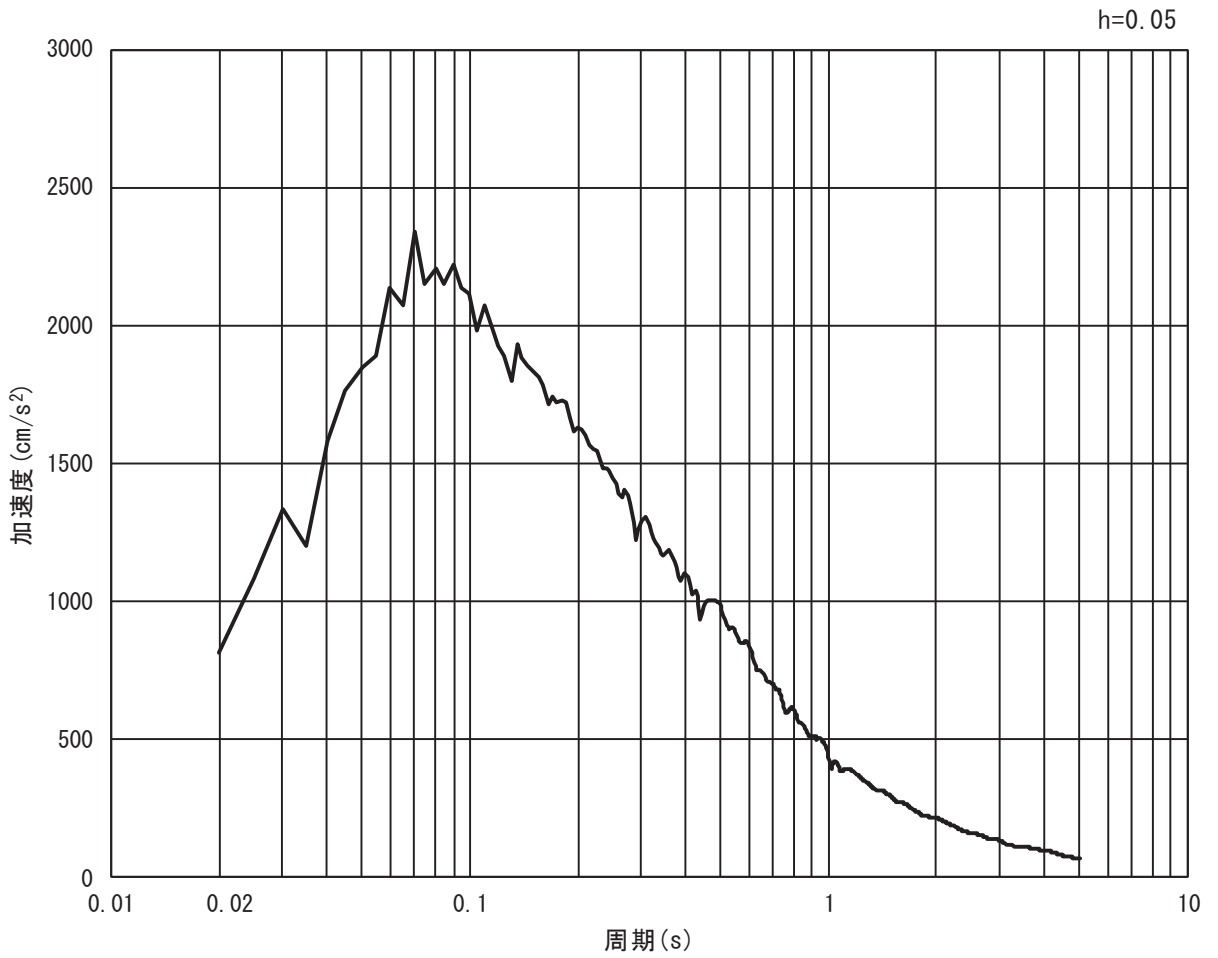


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

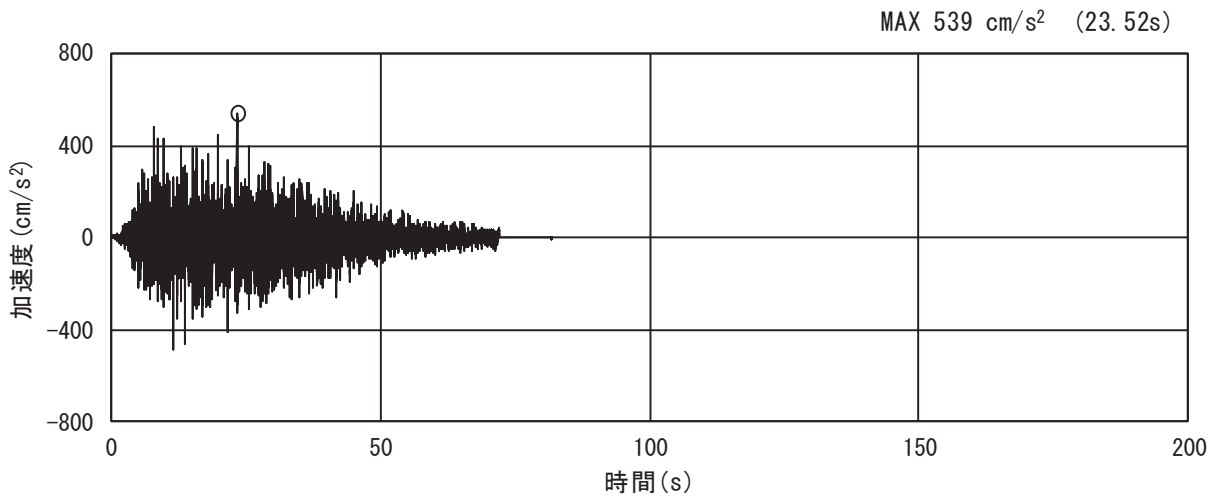


(a) 加速度時刻歴波形

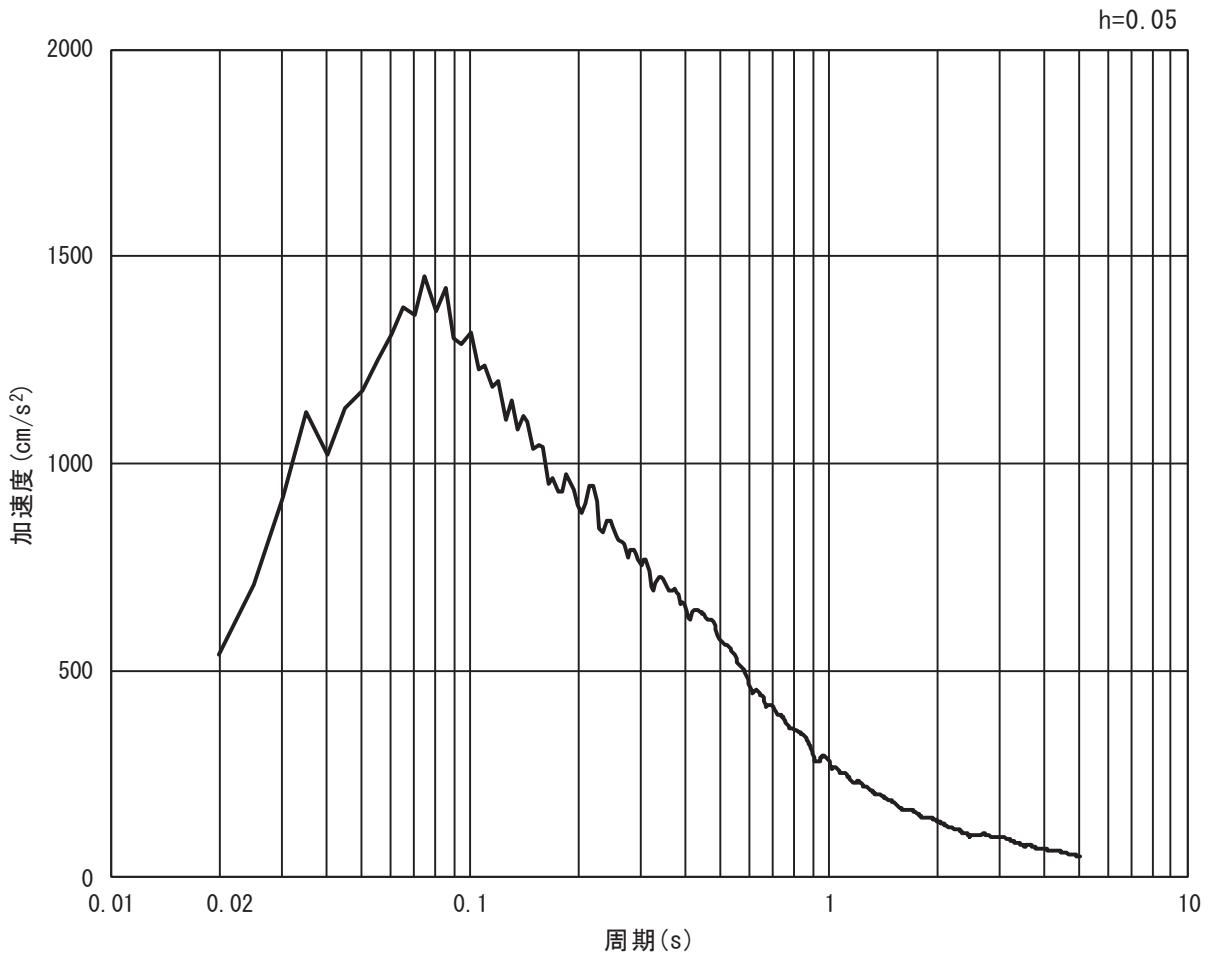


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

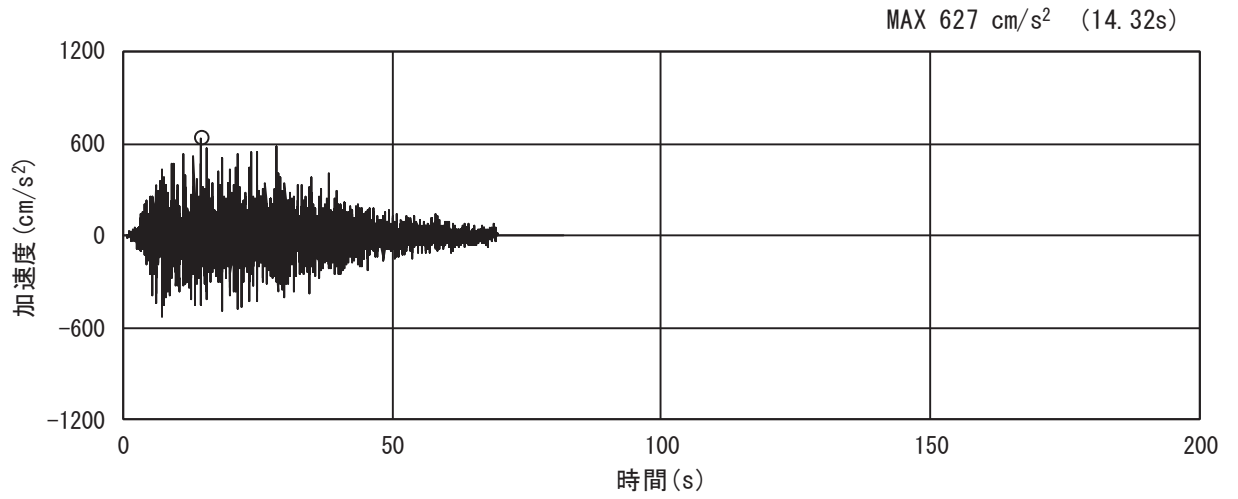


(a) 加速度時刻歴波形

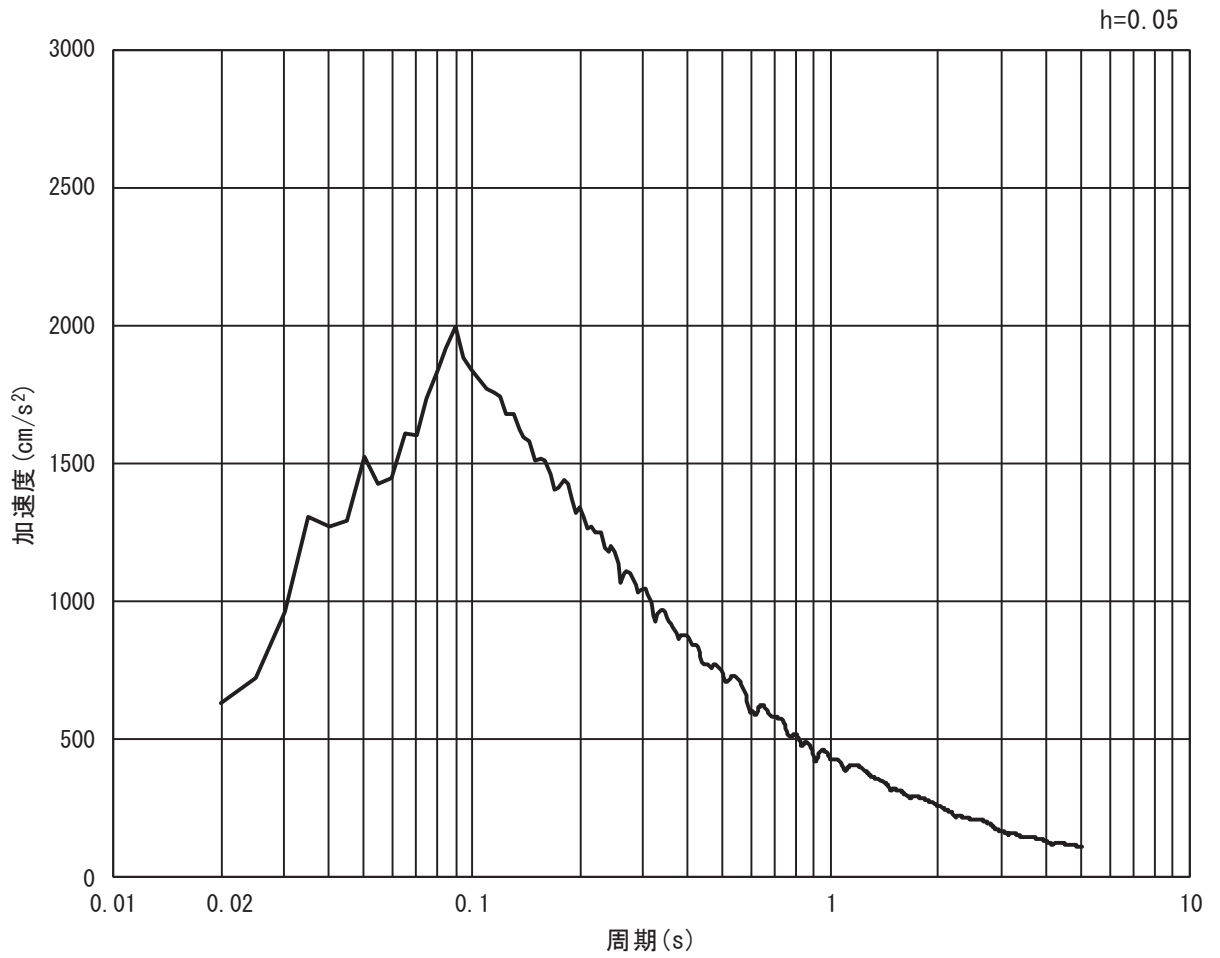


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

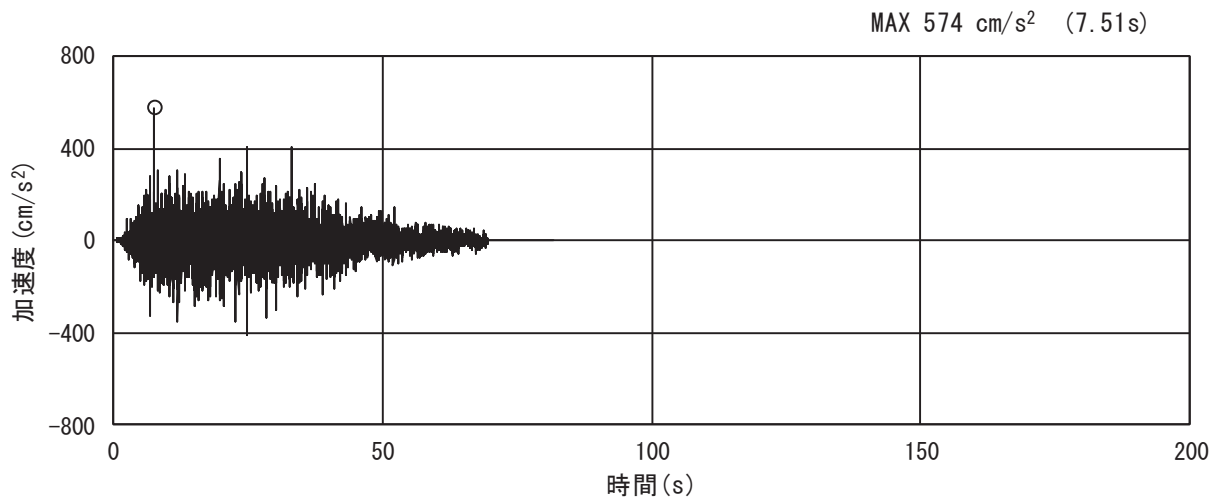


(a) 加速度時刻歴波形

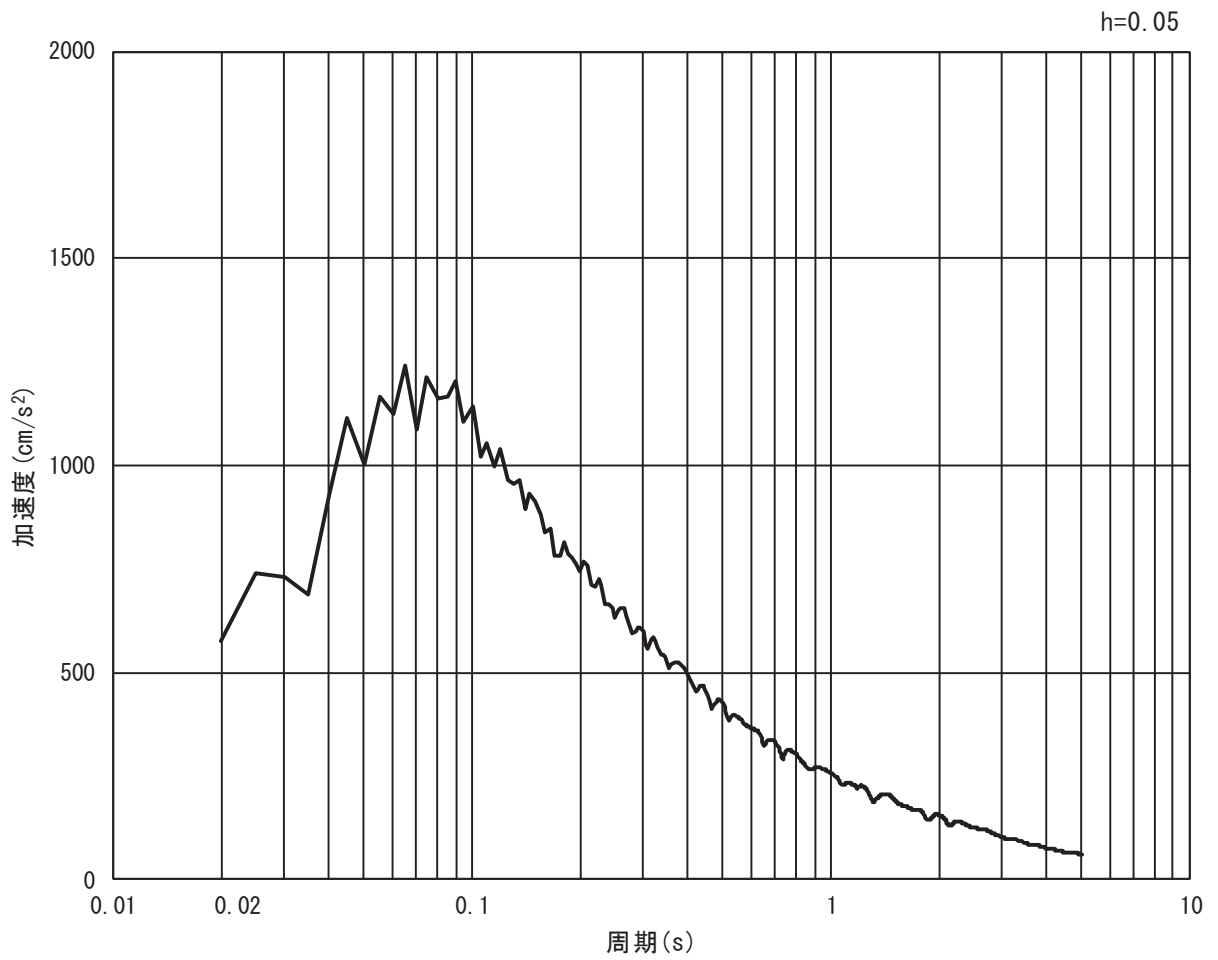


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

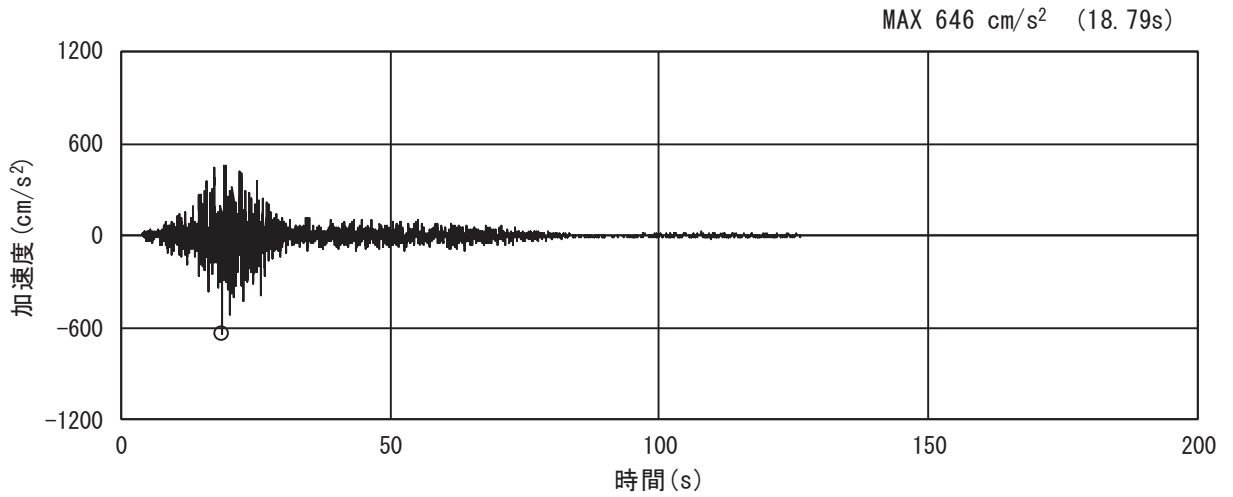


(a) 加速度時刻歴波形

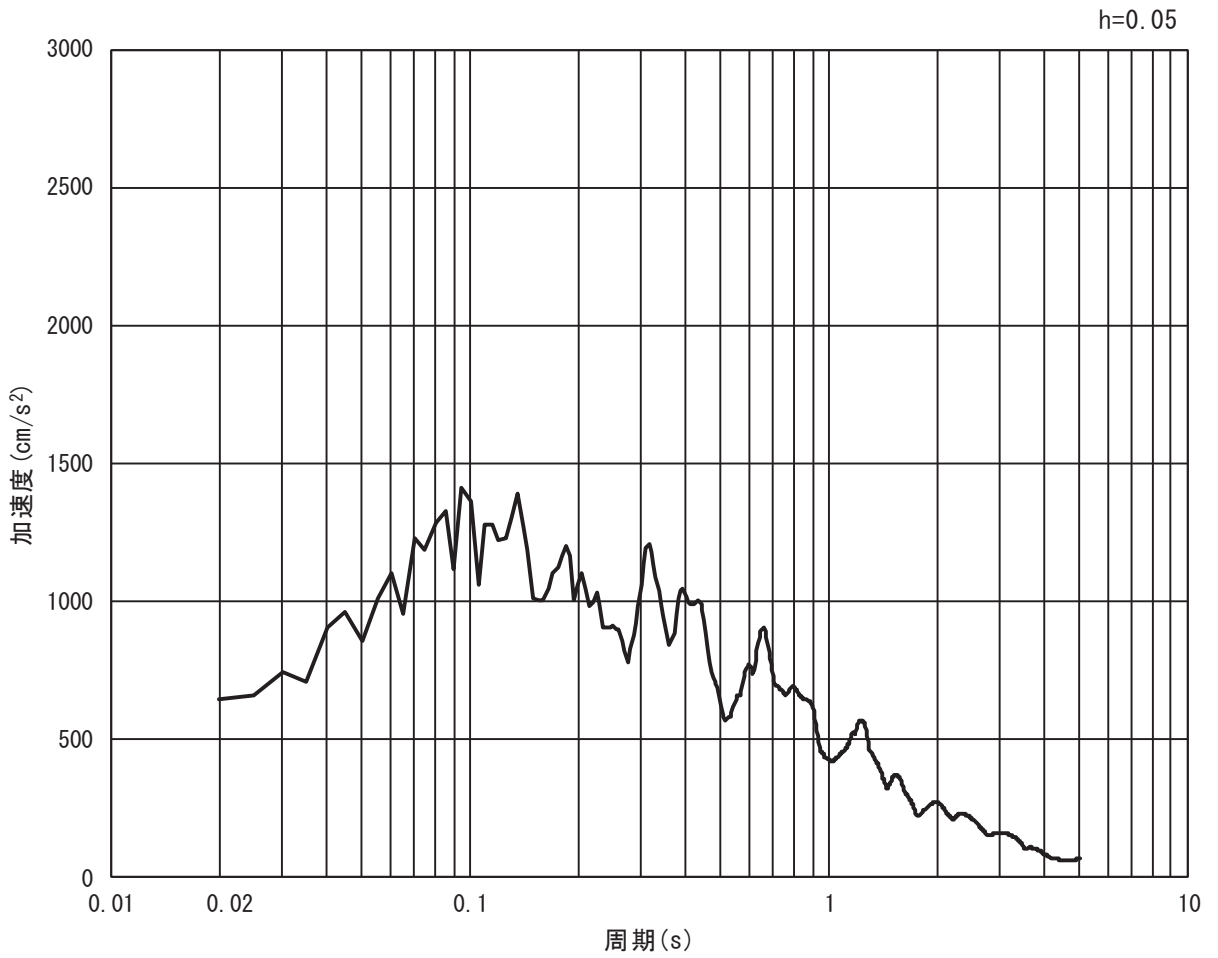


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

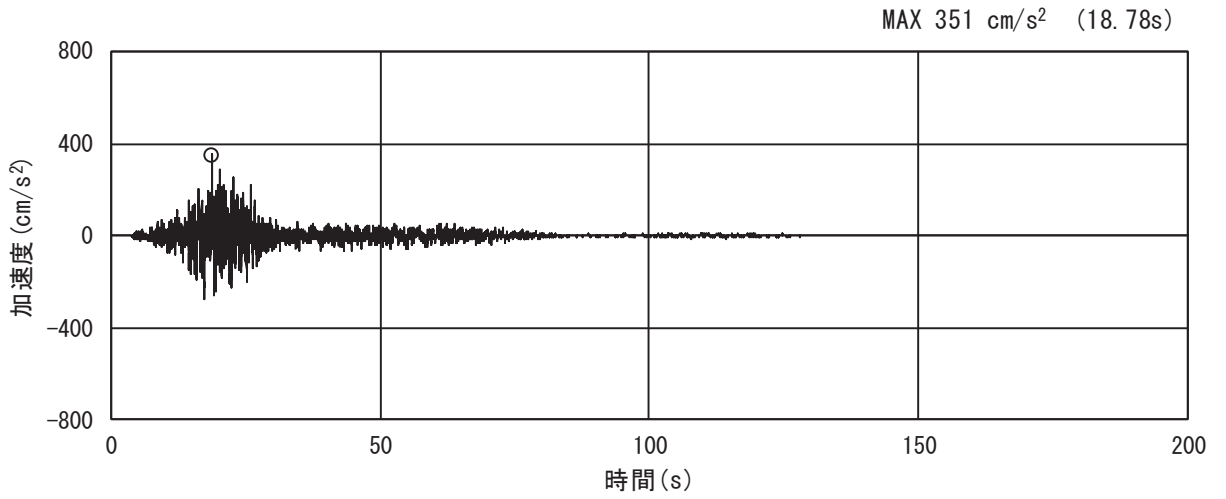


(a) 加速度時刻歴波形

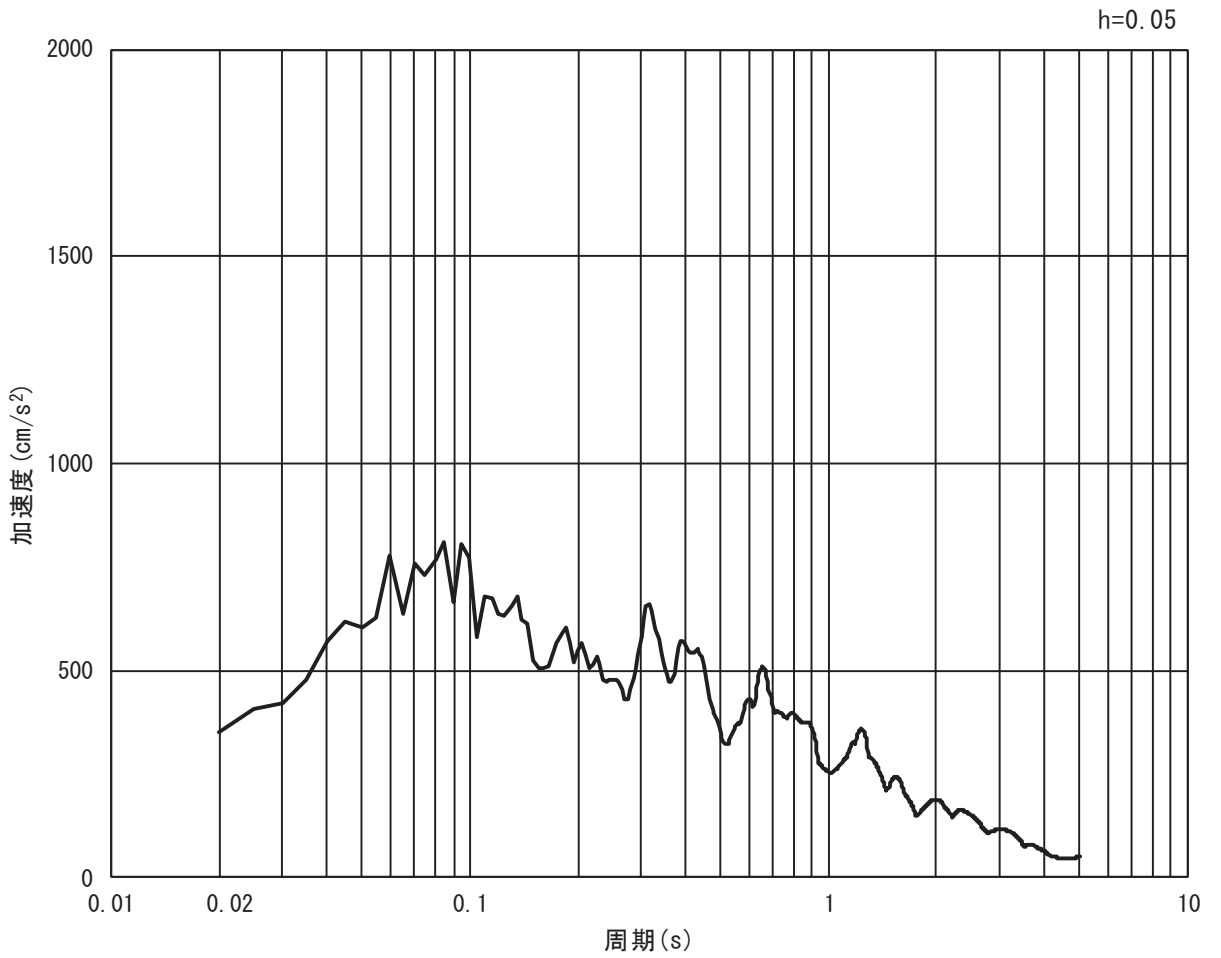


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

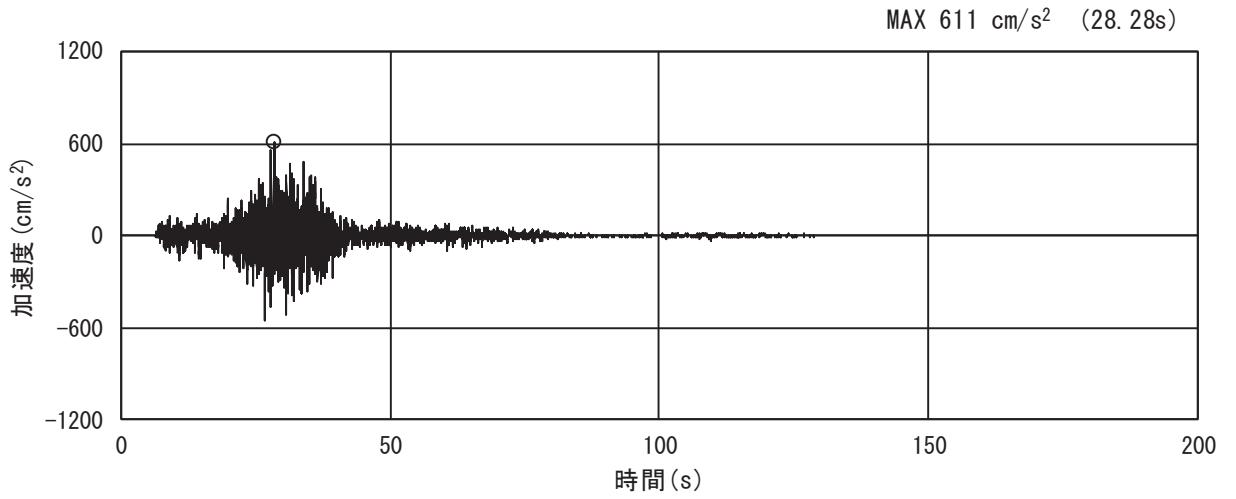


(a) 加速度時刻歴波形

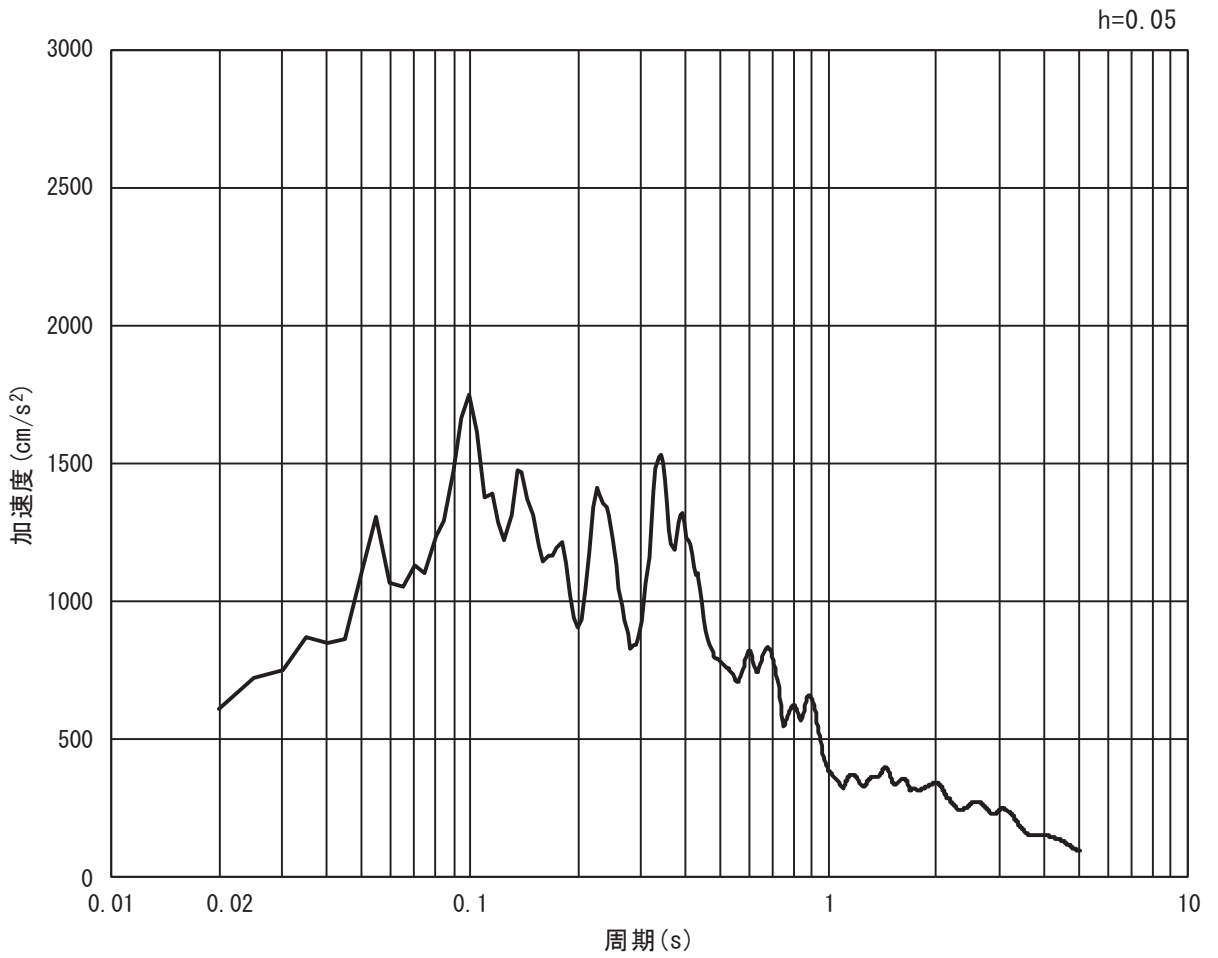


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

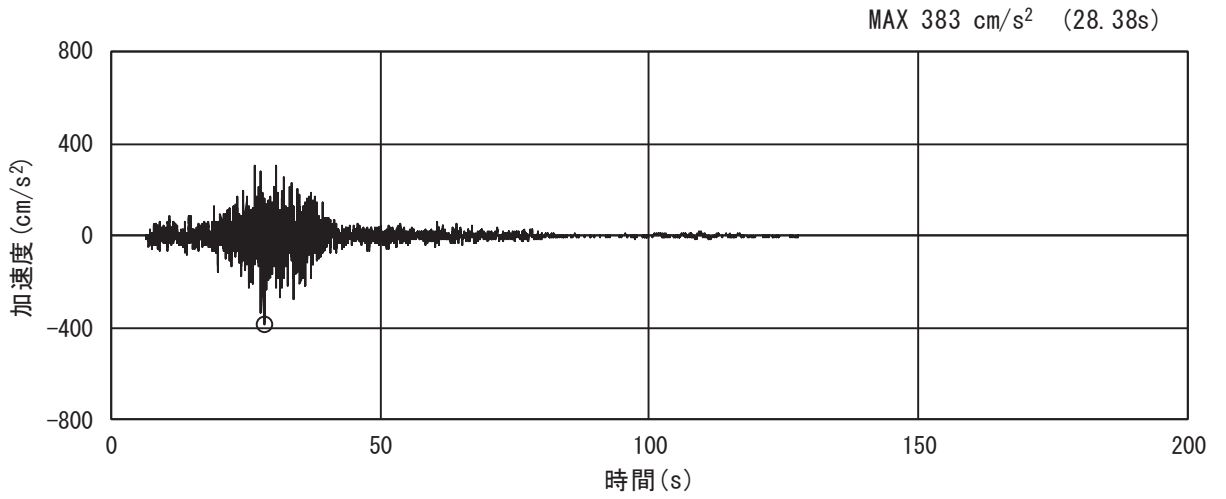


(a) 加速度時刻歴波形

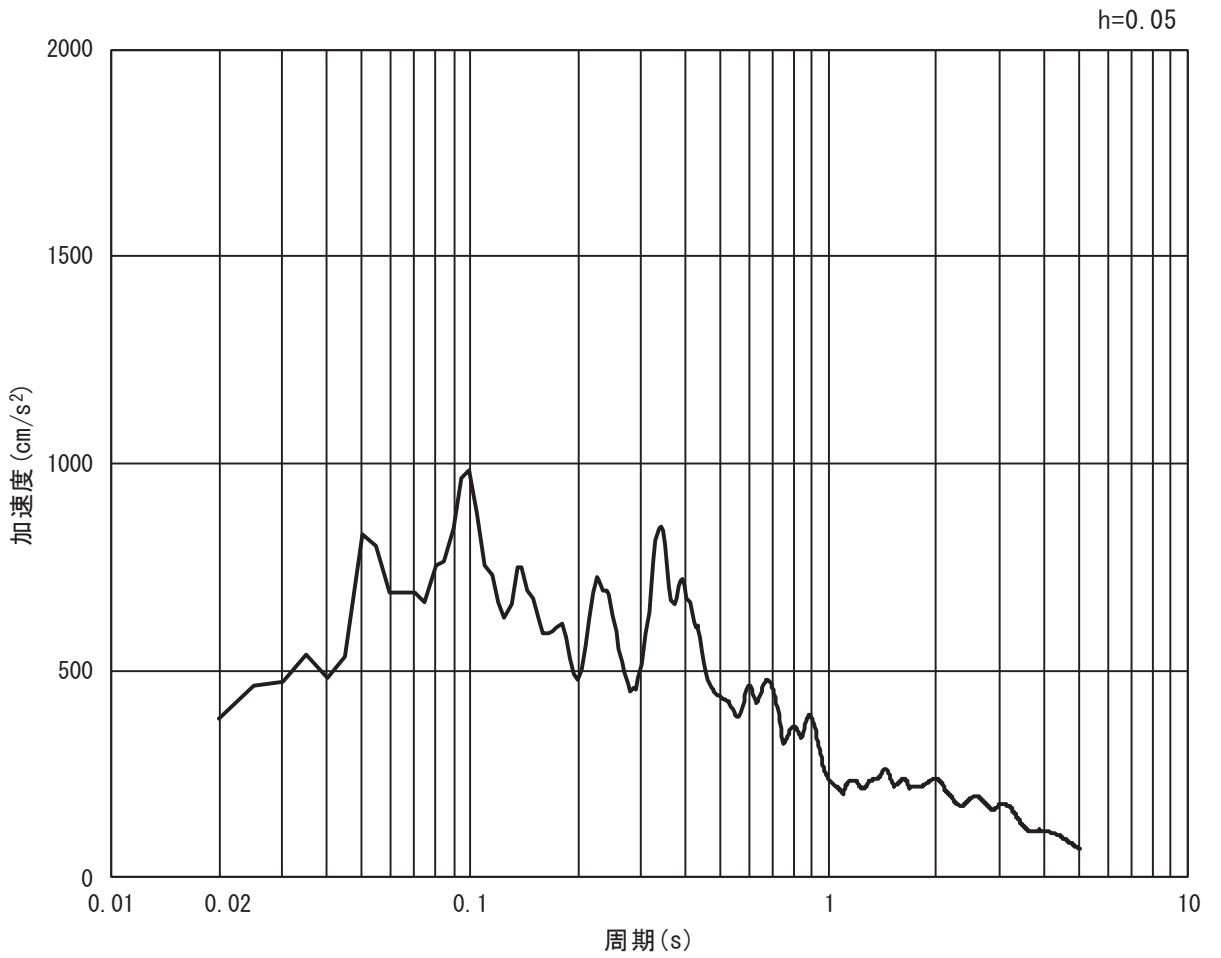


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

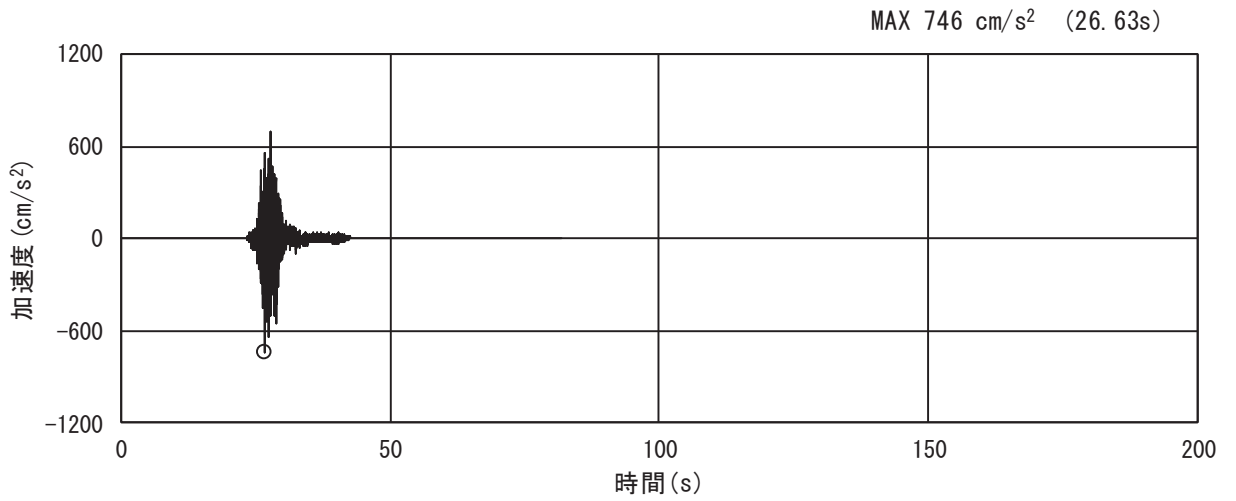


(a) 加速度時刻歴波形

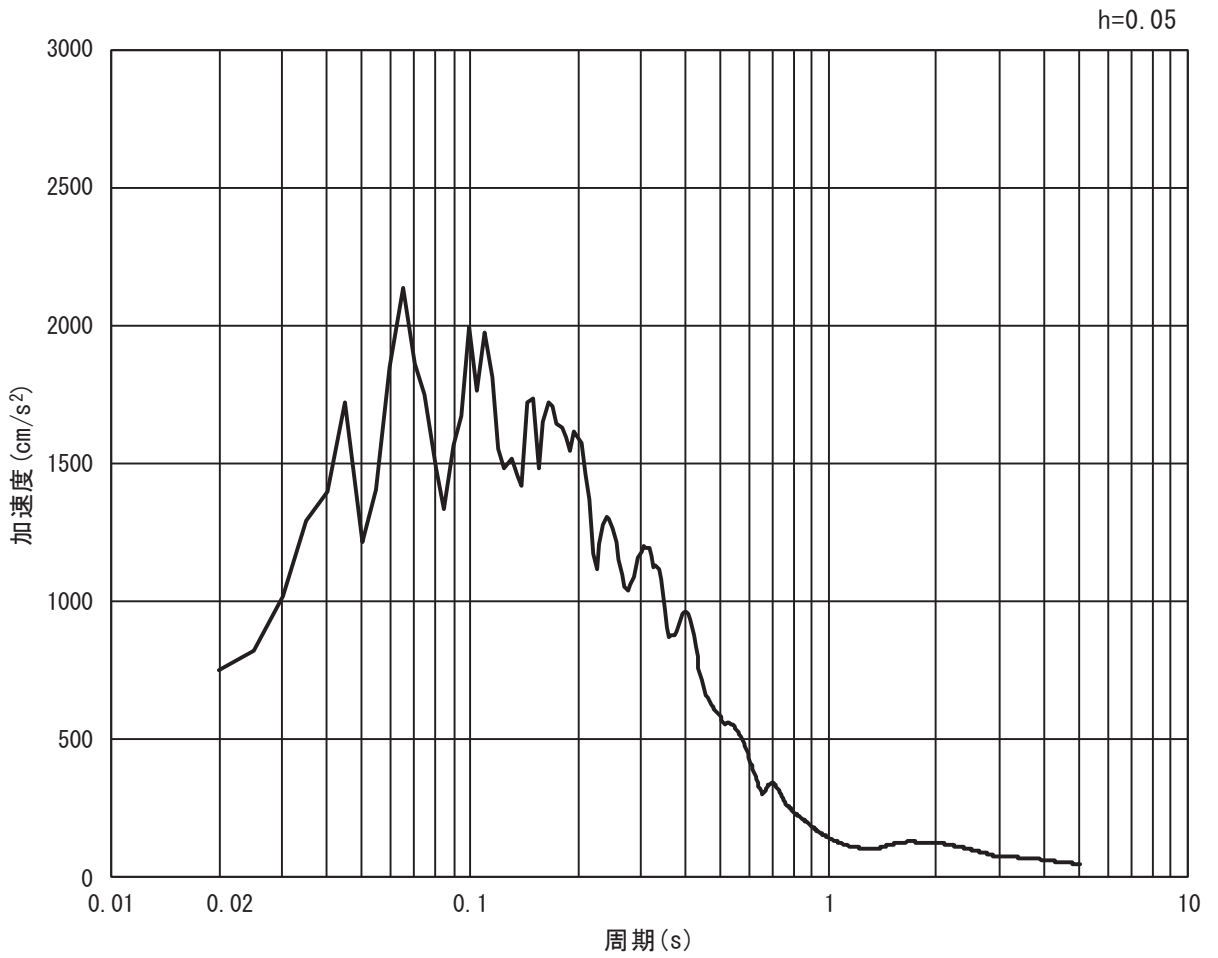


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

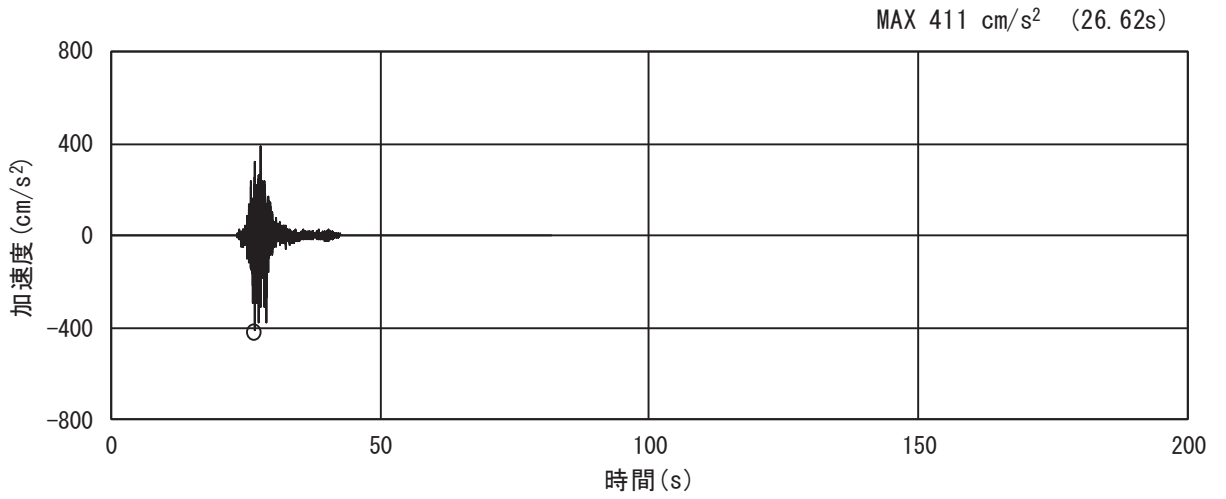


(a) 加速度時刻歴波形

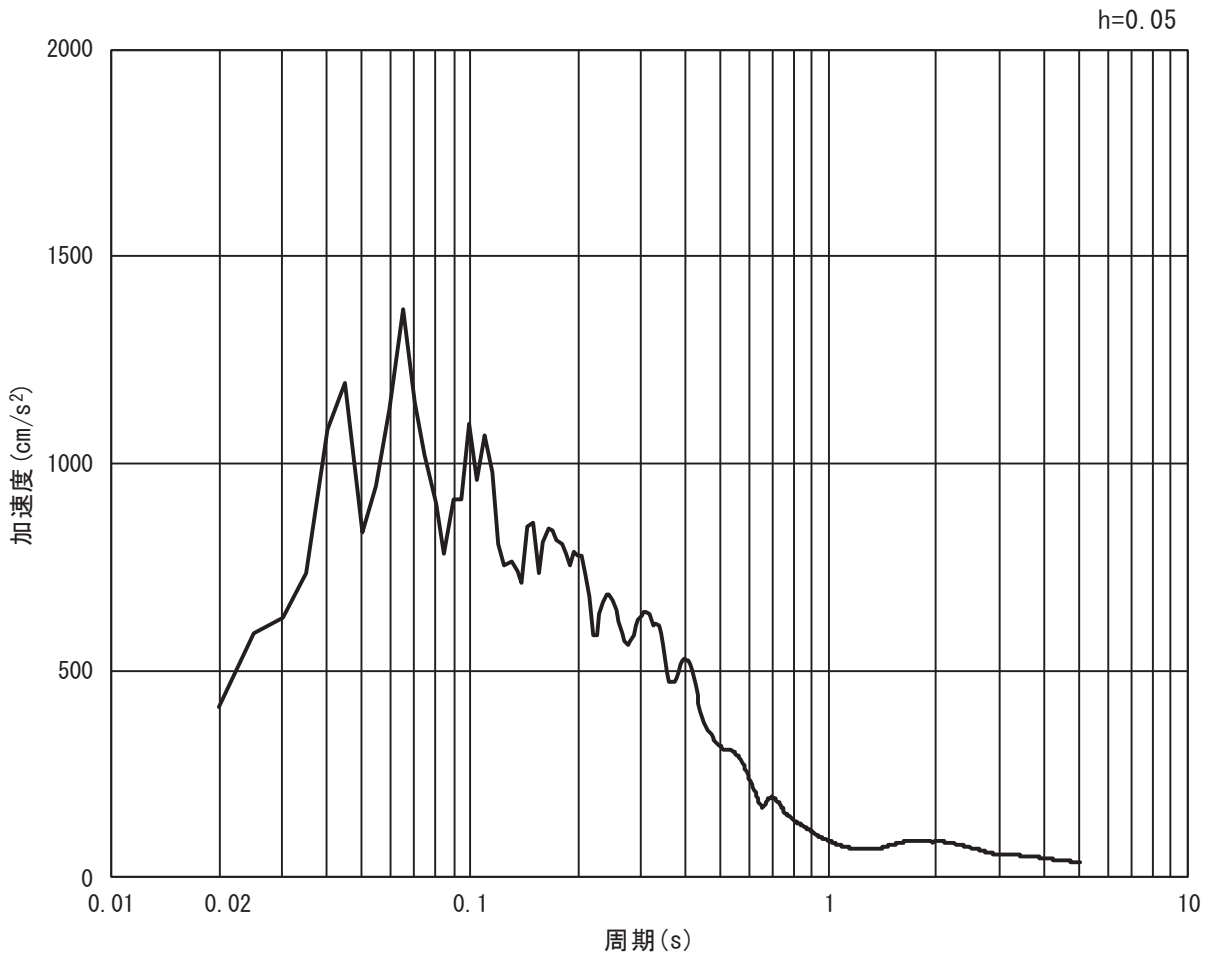


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

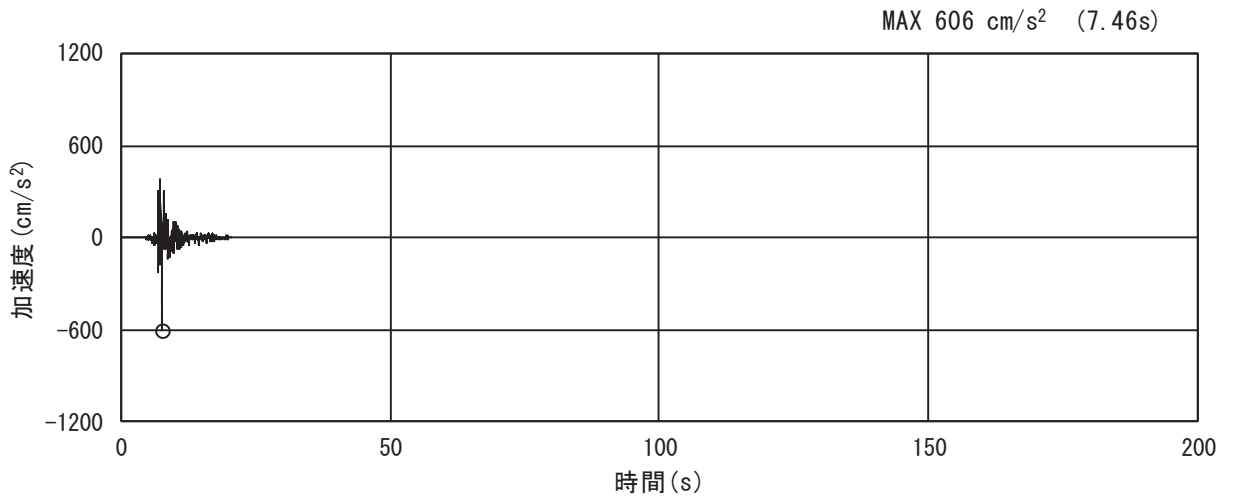


(a) 加速度時刻歴波形

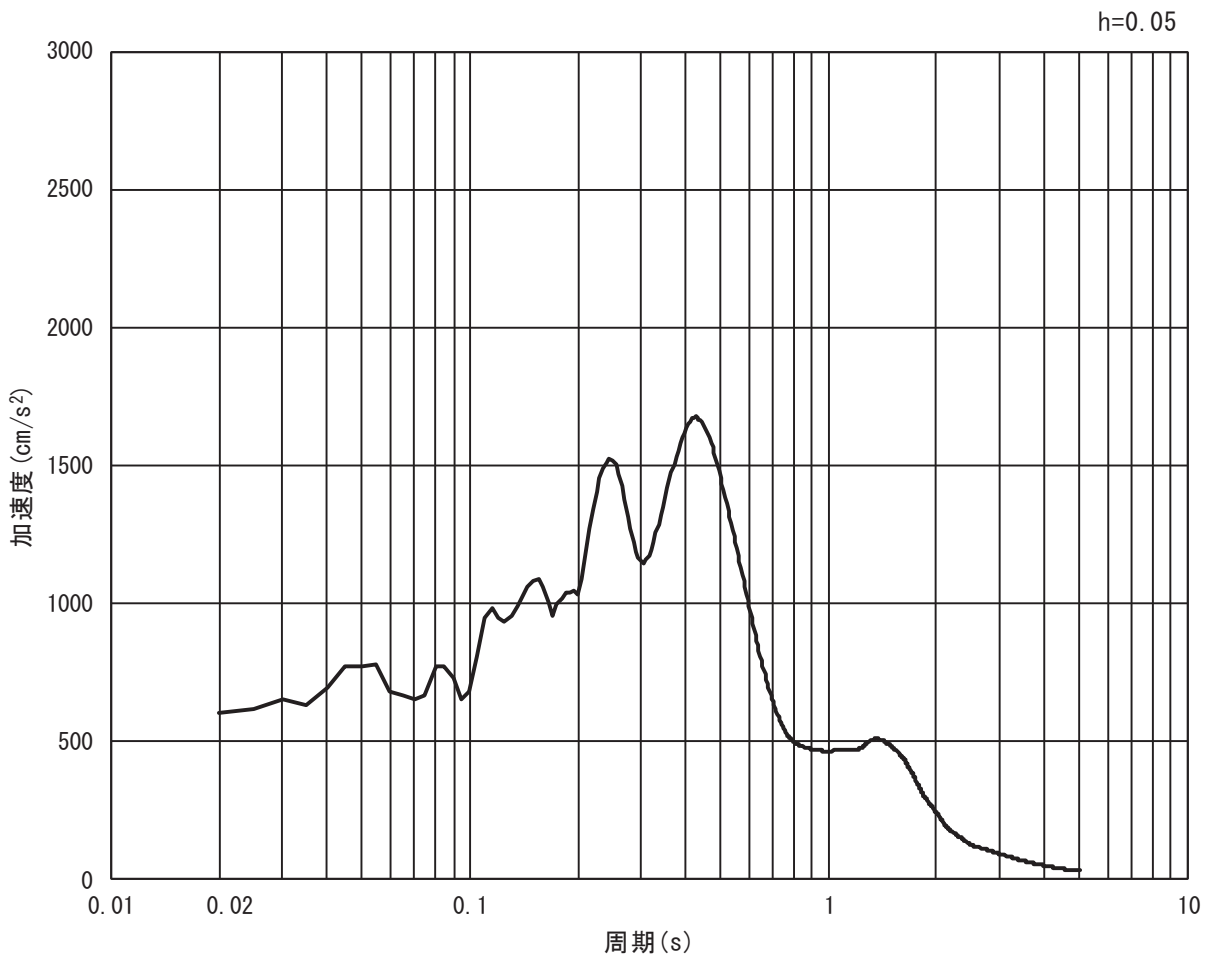


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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)

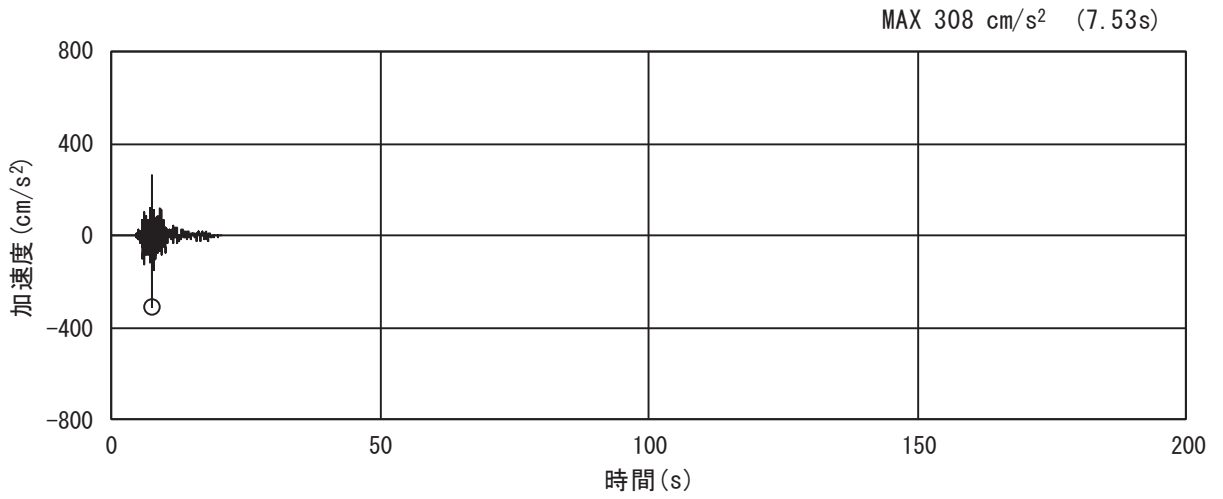


(a) 加速度時刻歴波形

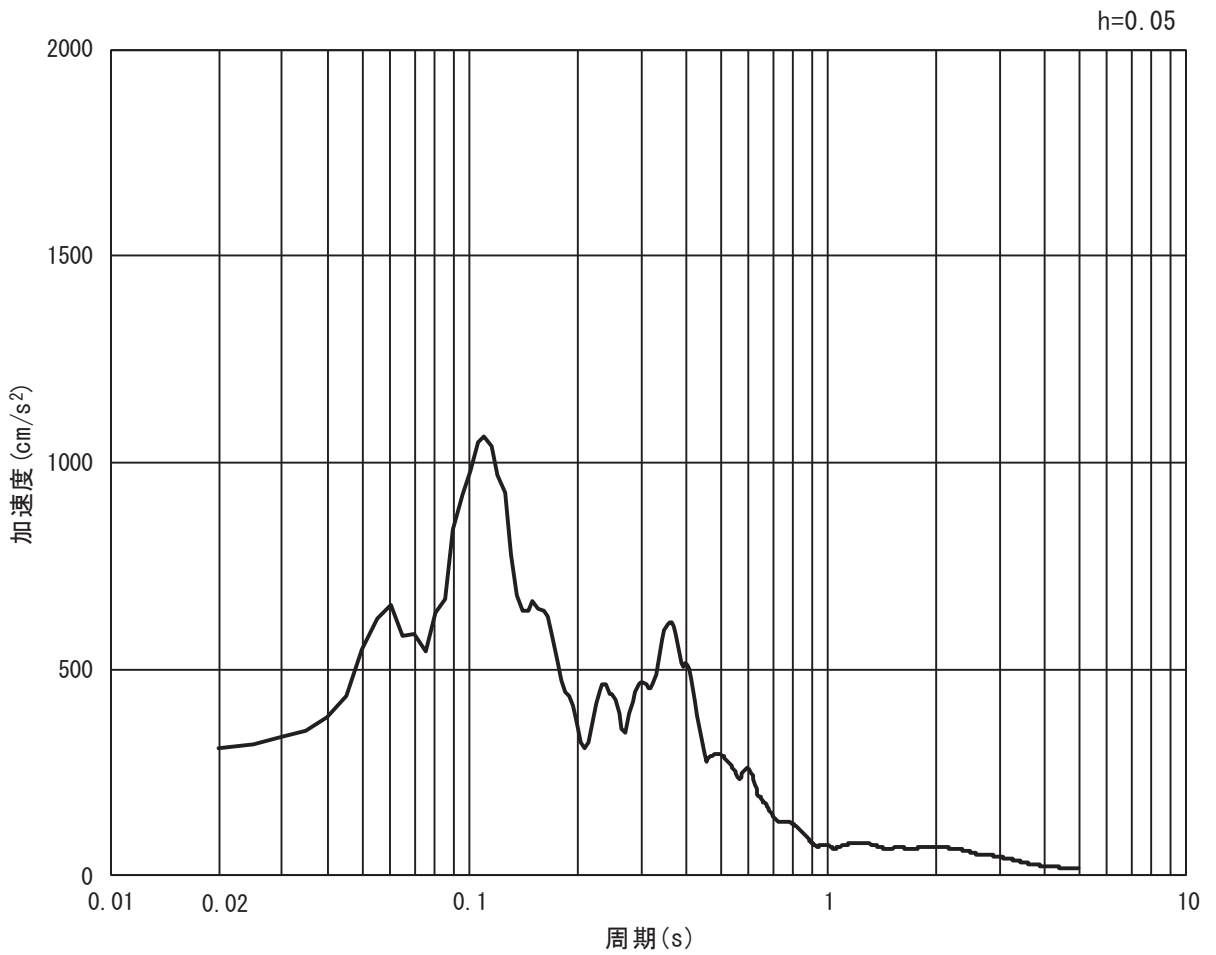


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 (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

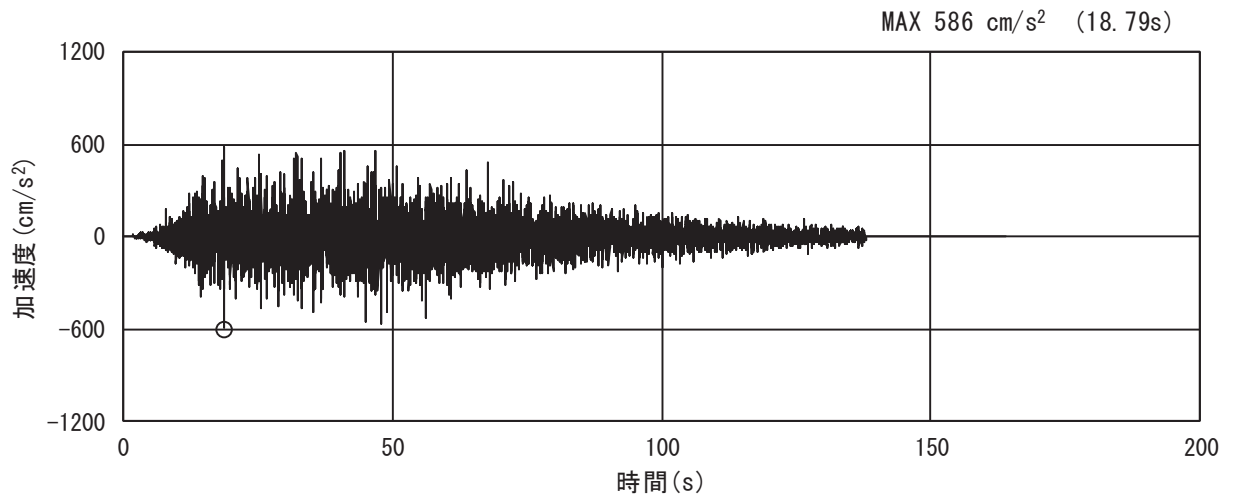


(b) 加速度応答スペクトル

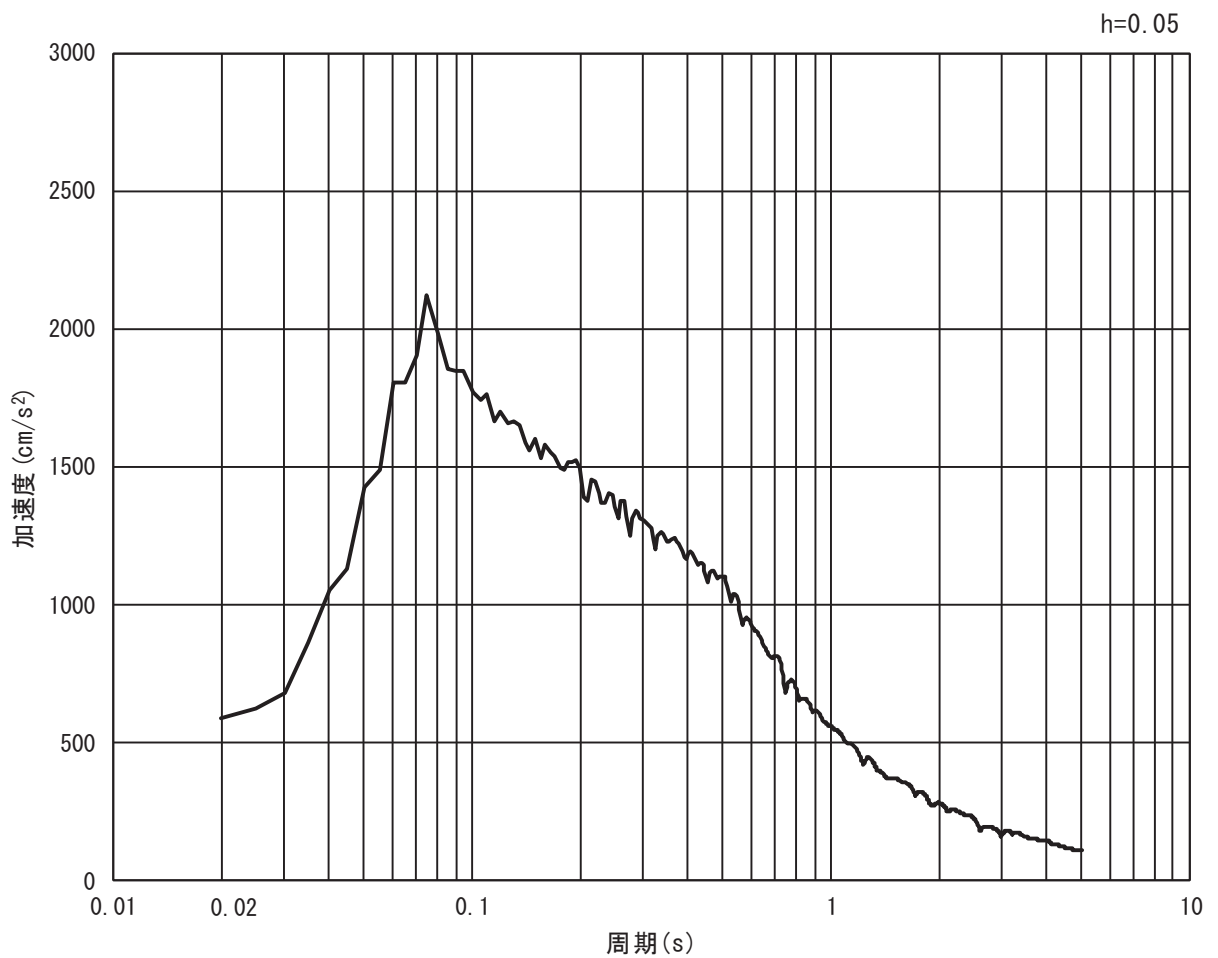
図 3-16 (14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - N 1)

3.4.2 岩盤部

(1) 断面⑤

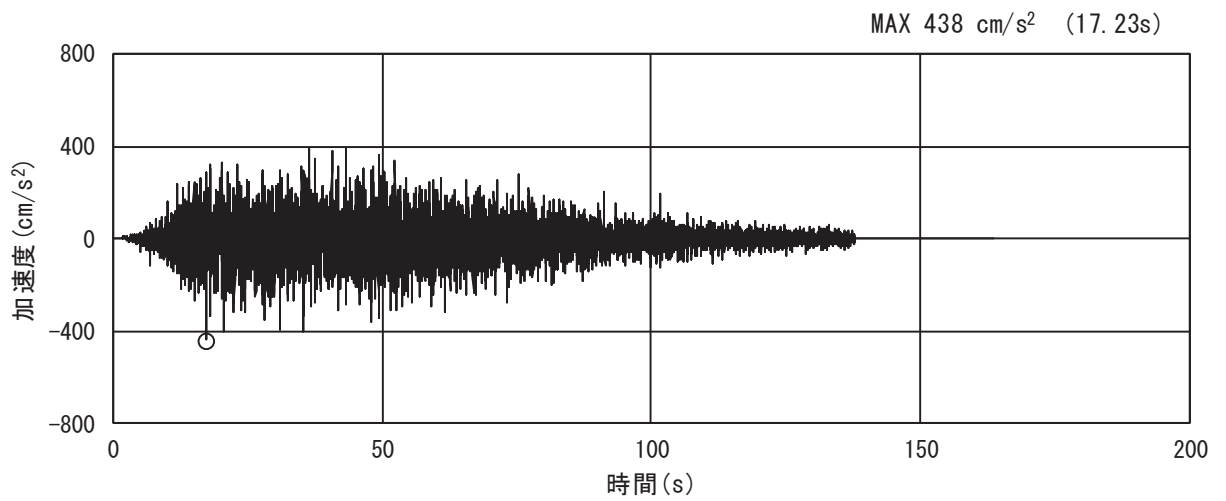


(a) 加速度時刻歴波形

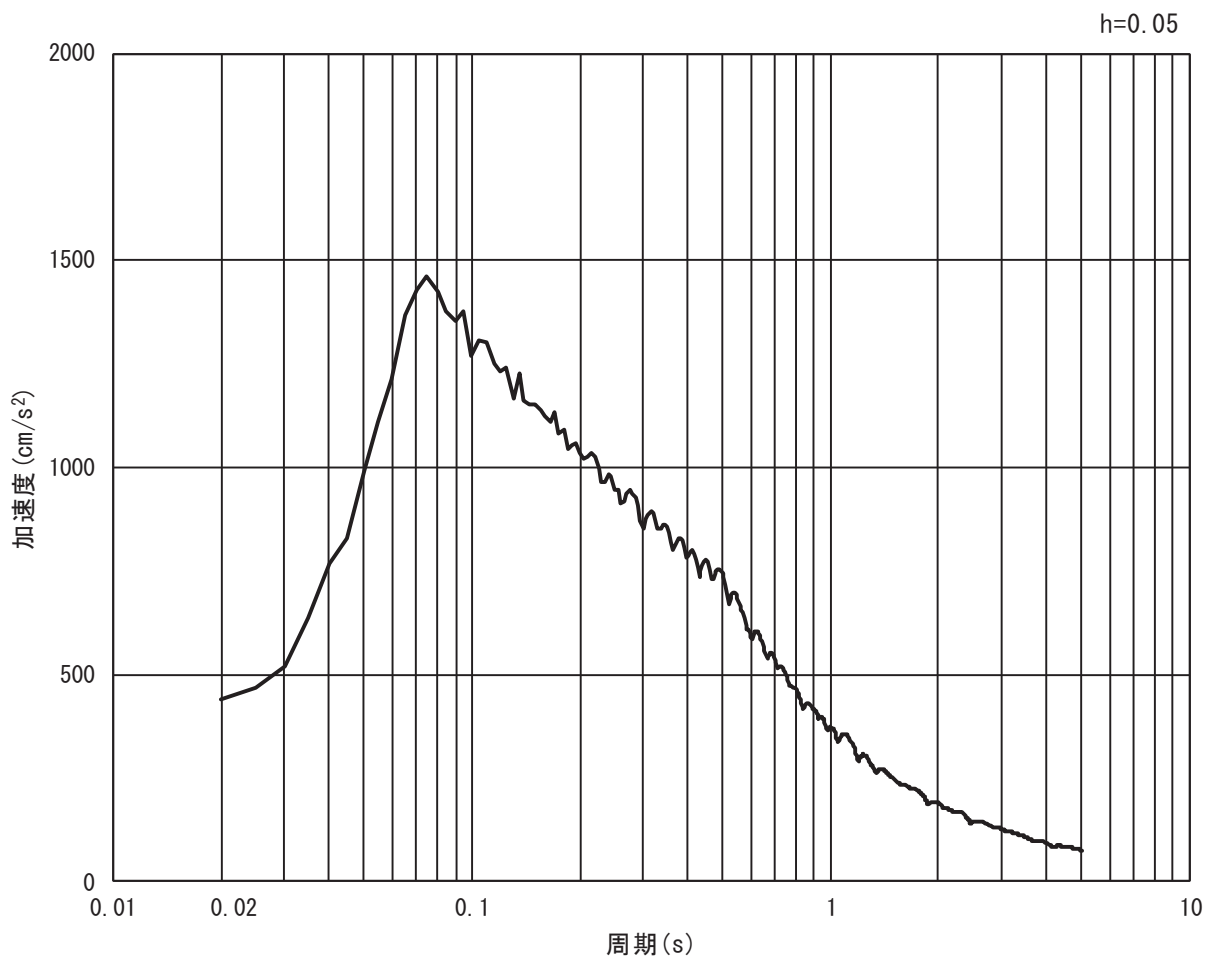


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

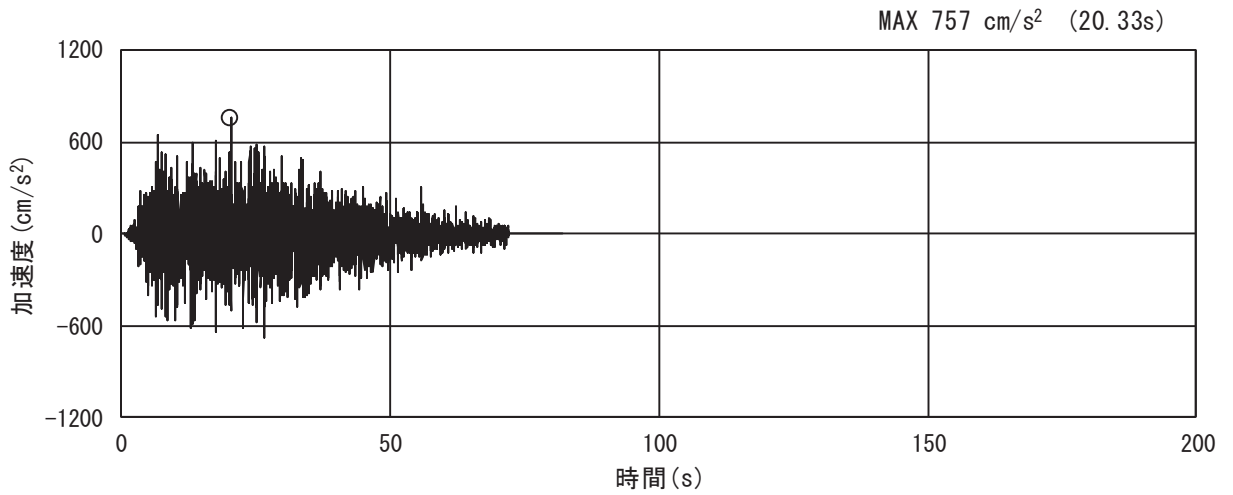


(a) 加速度時刻歴波形

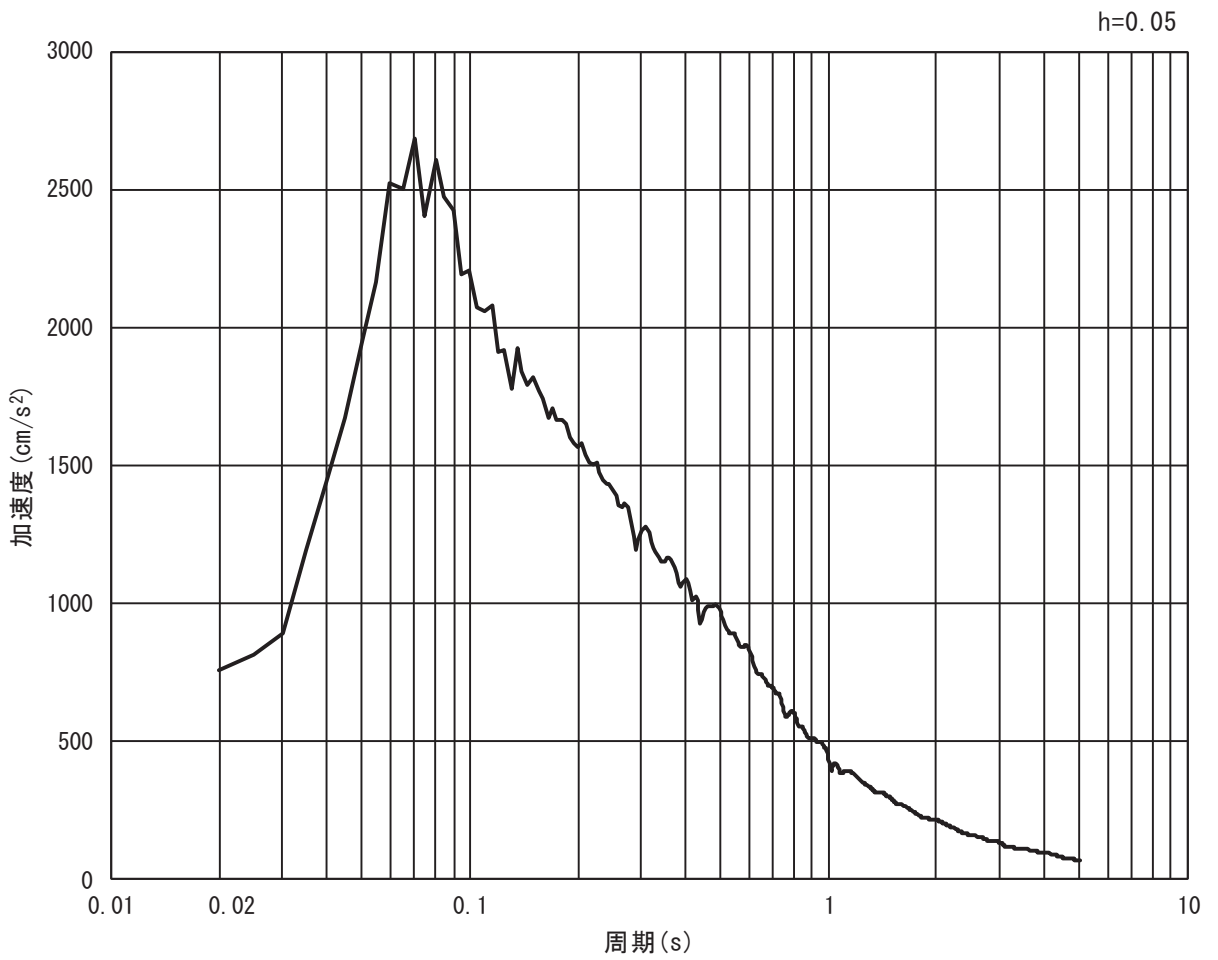


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

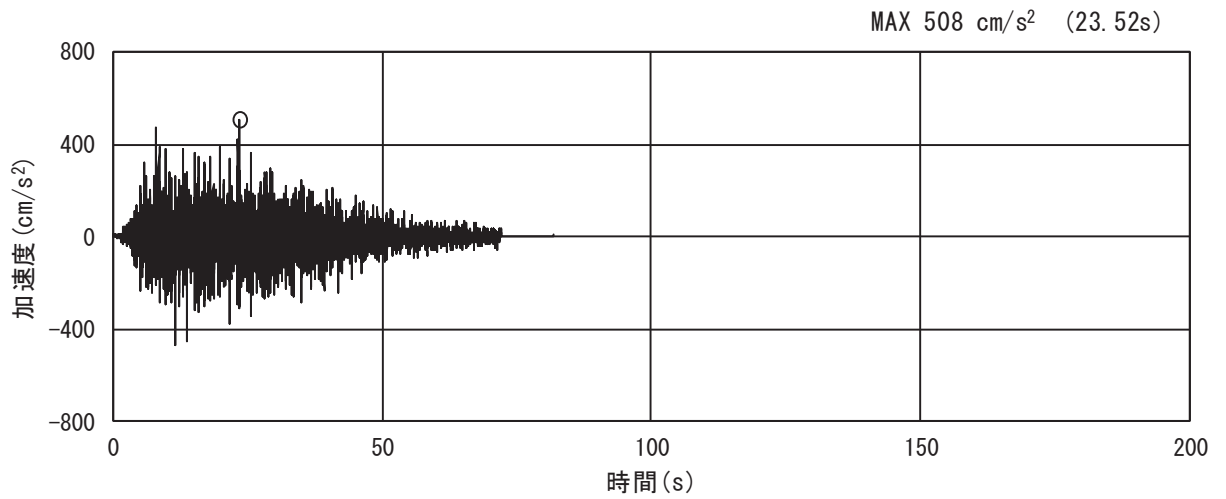


(a) 加速度時刻歴波形

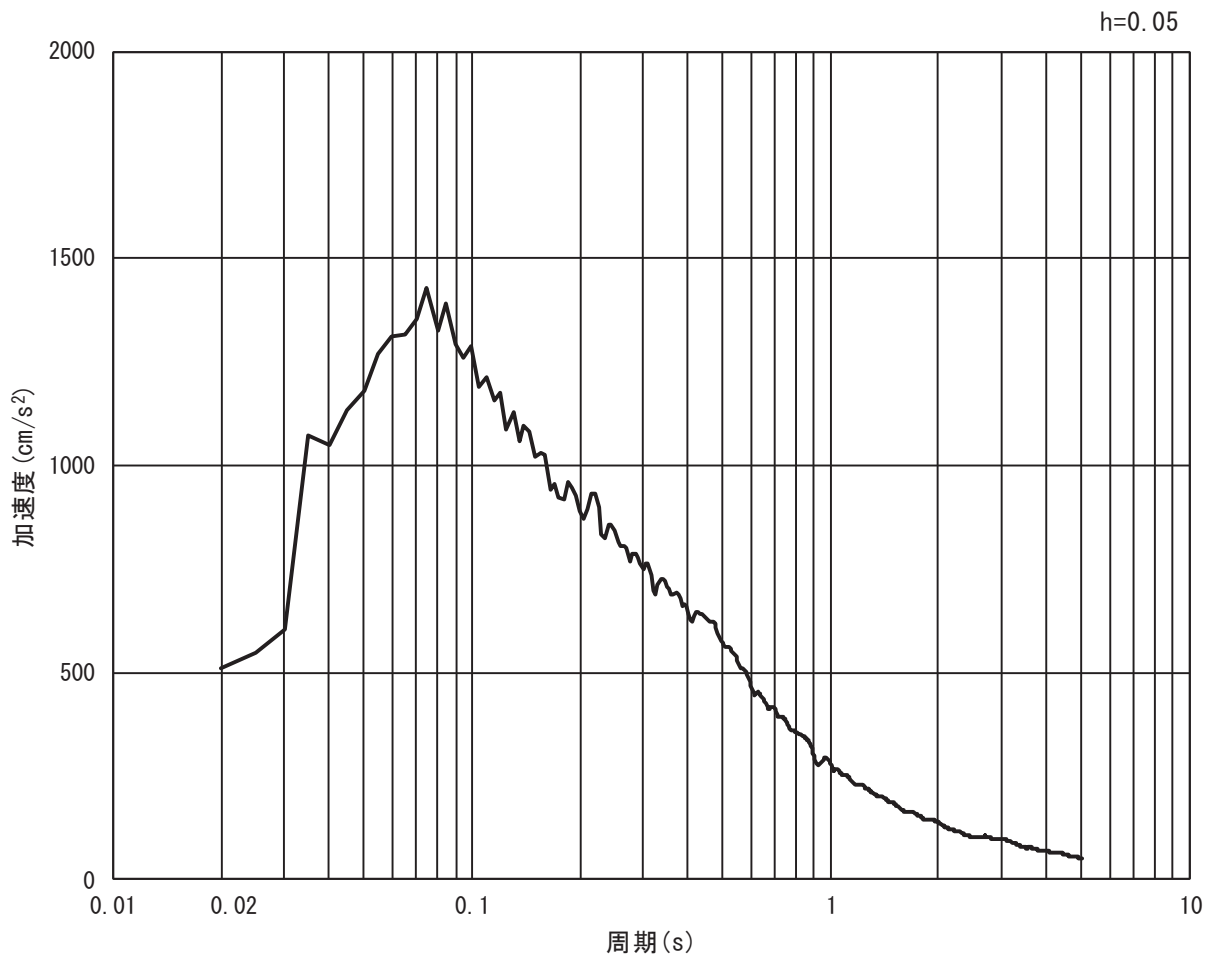


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

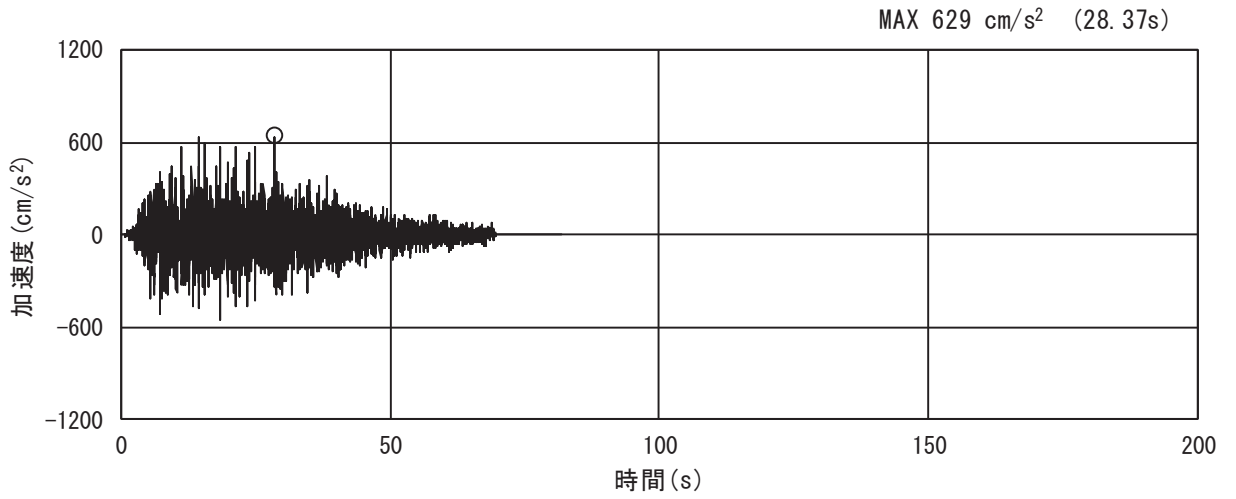


(a) 加速度時刻歴波形

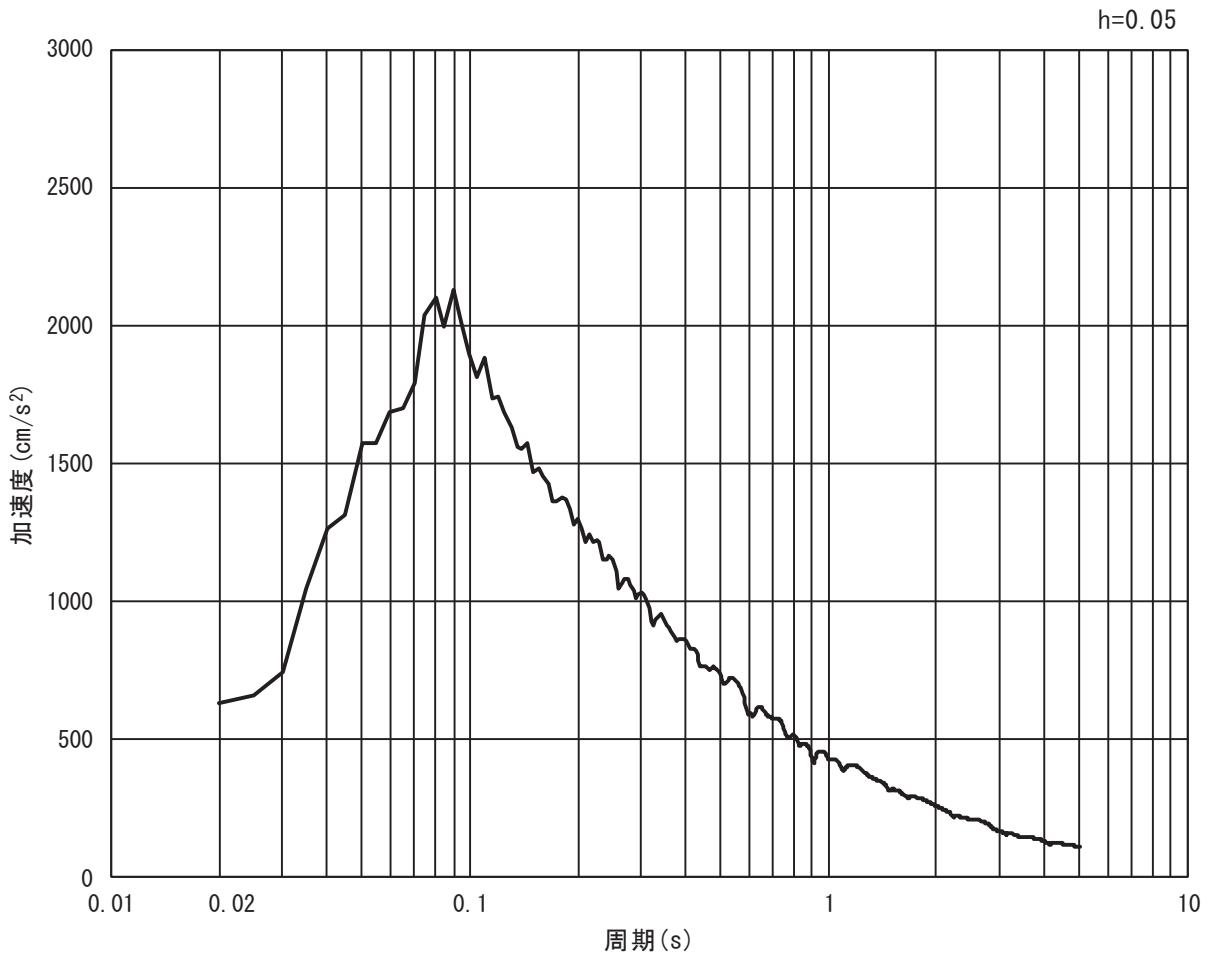


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

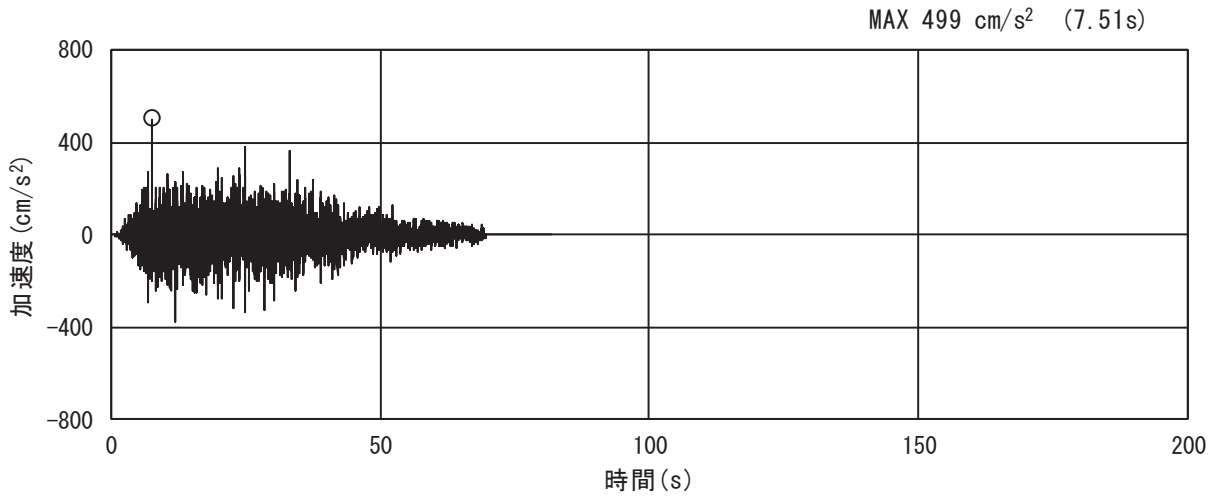


(a) 加速度時刻歴波形

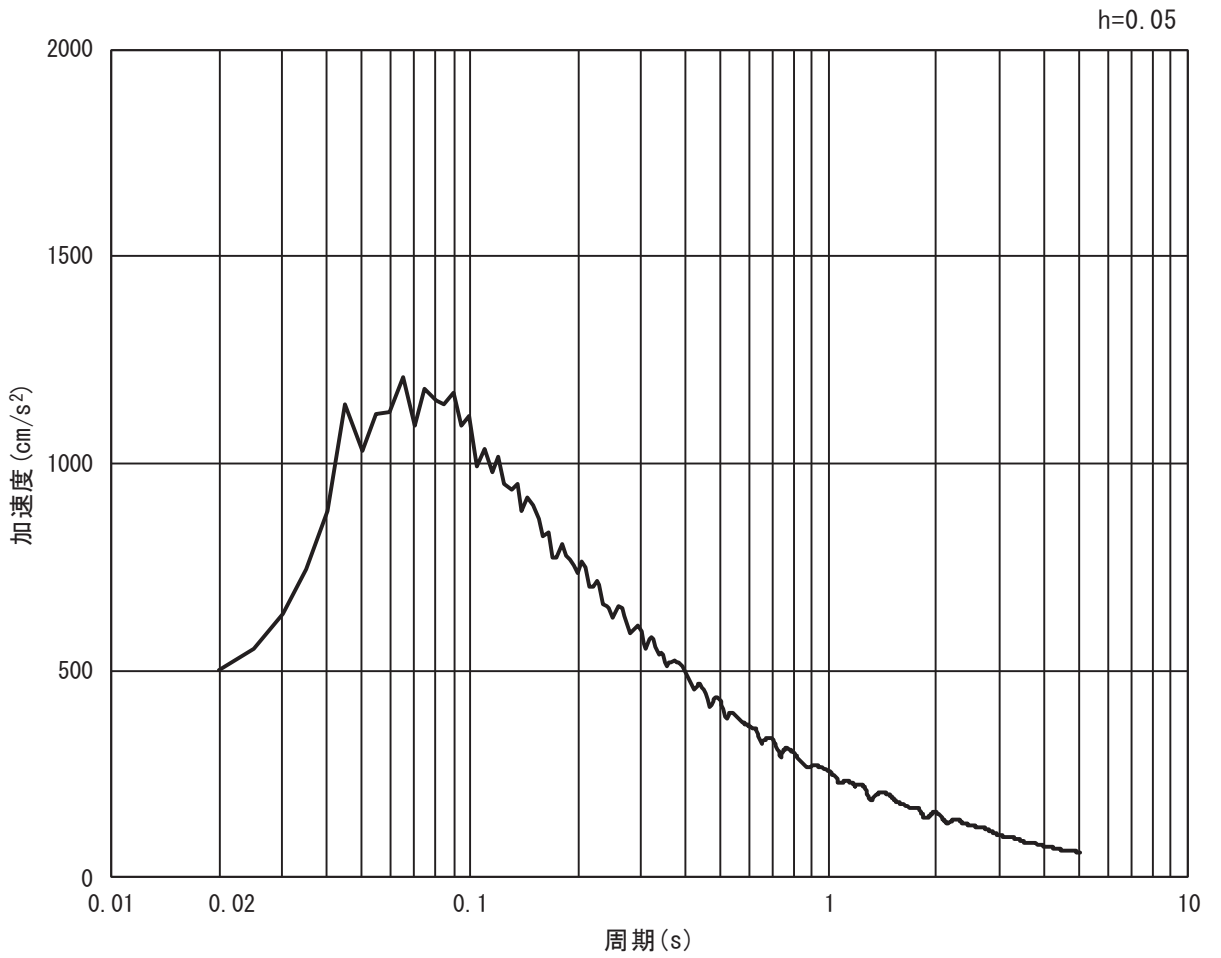


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

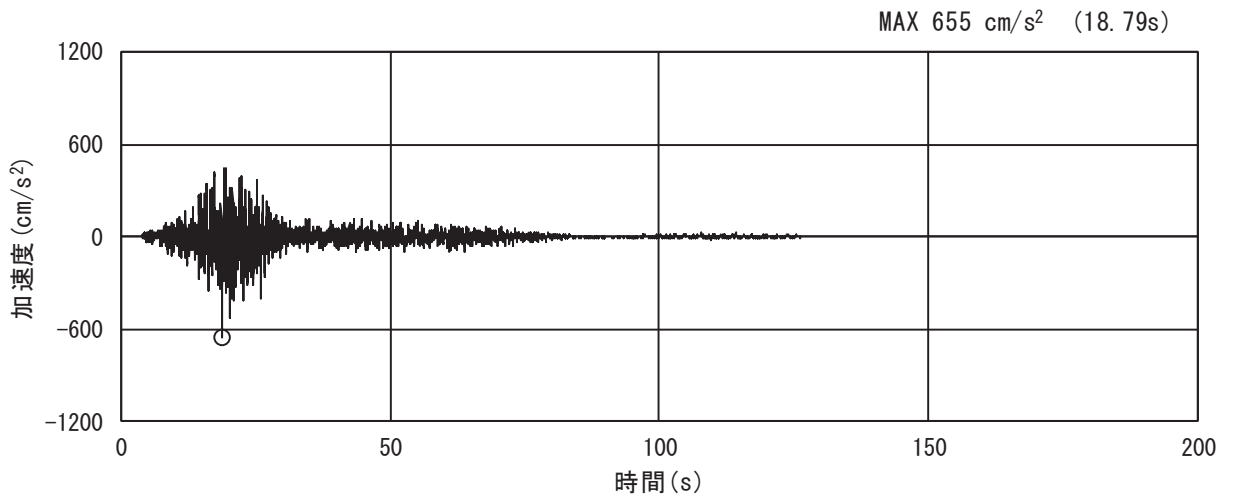


(a) 加速度時刻歴波形

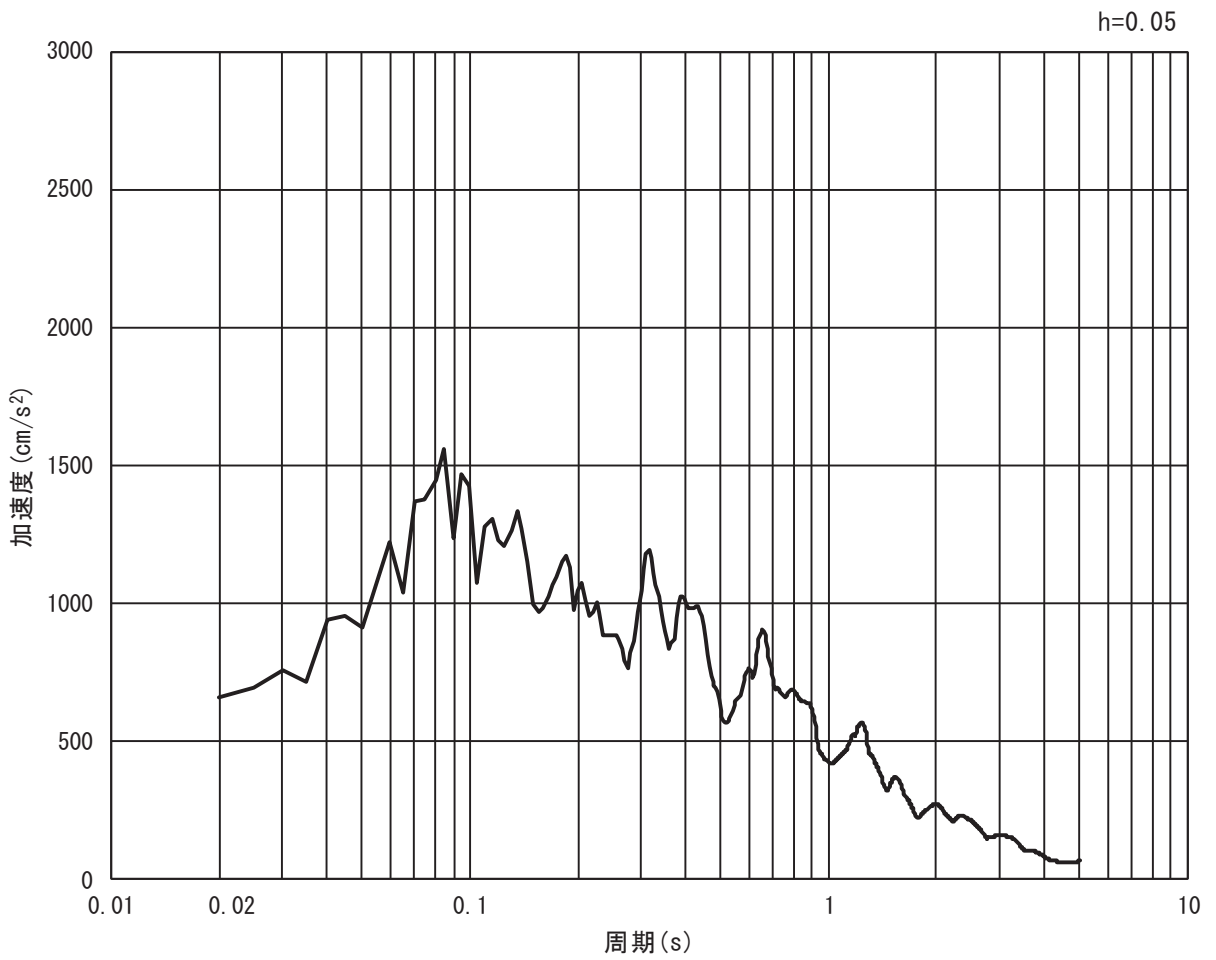


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

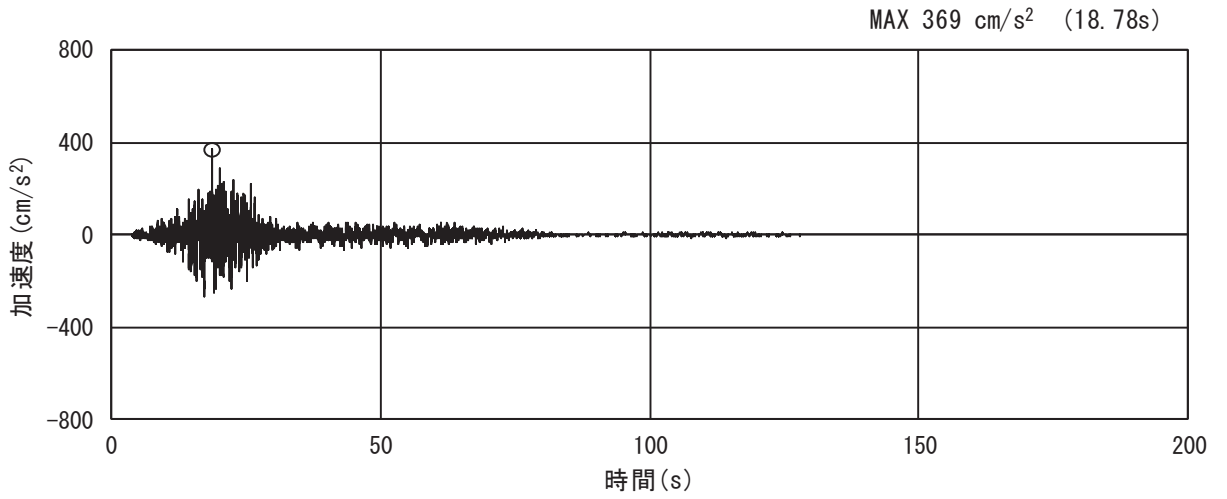


(a) 加速度時刻歴波形

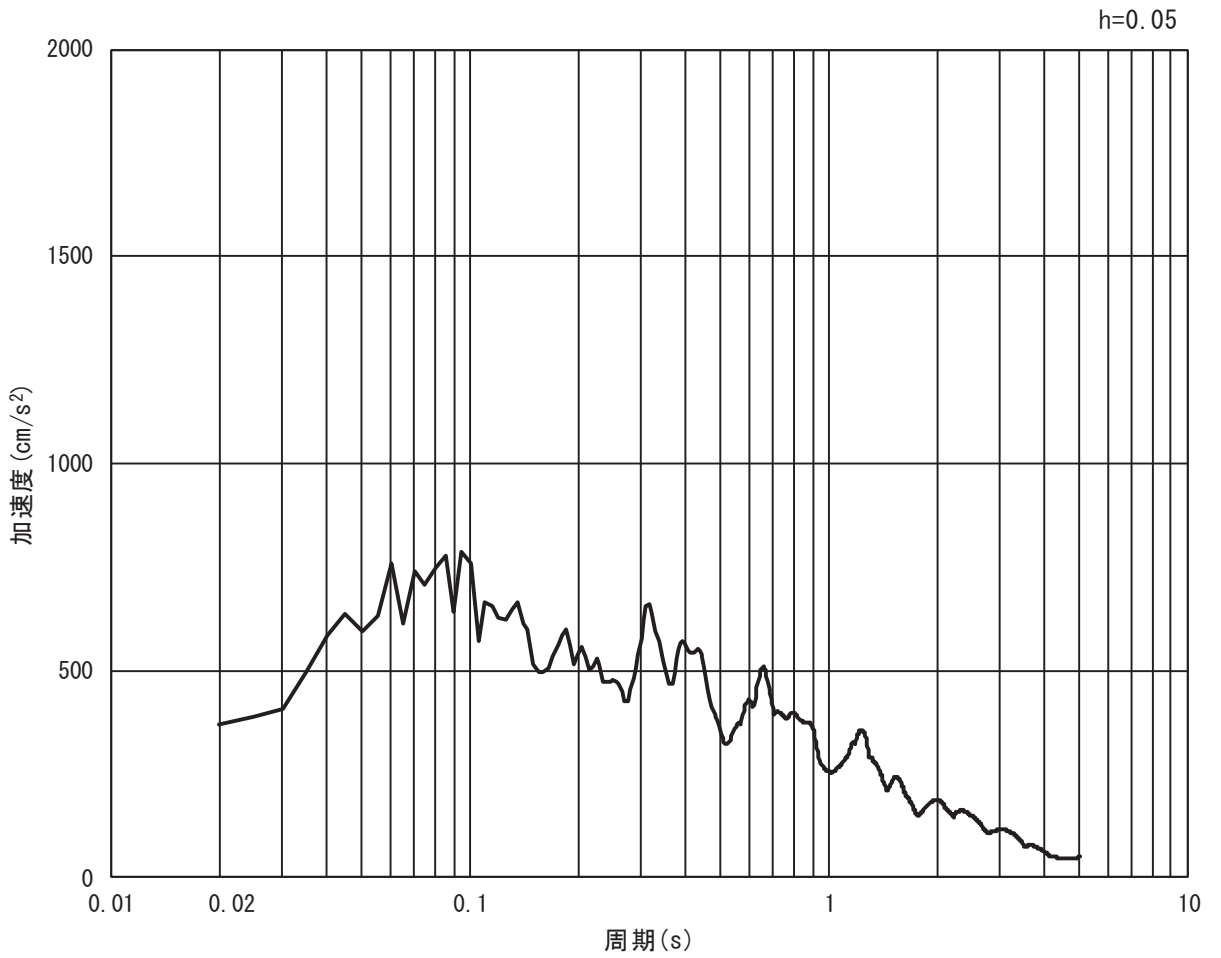


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

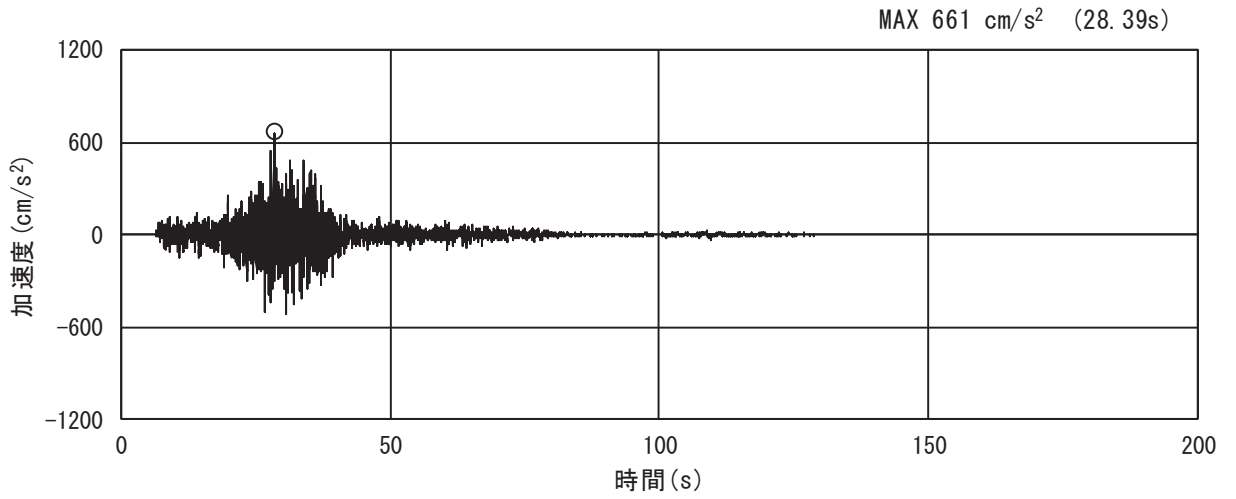


(a) 加速度時刻歴波形

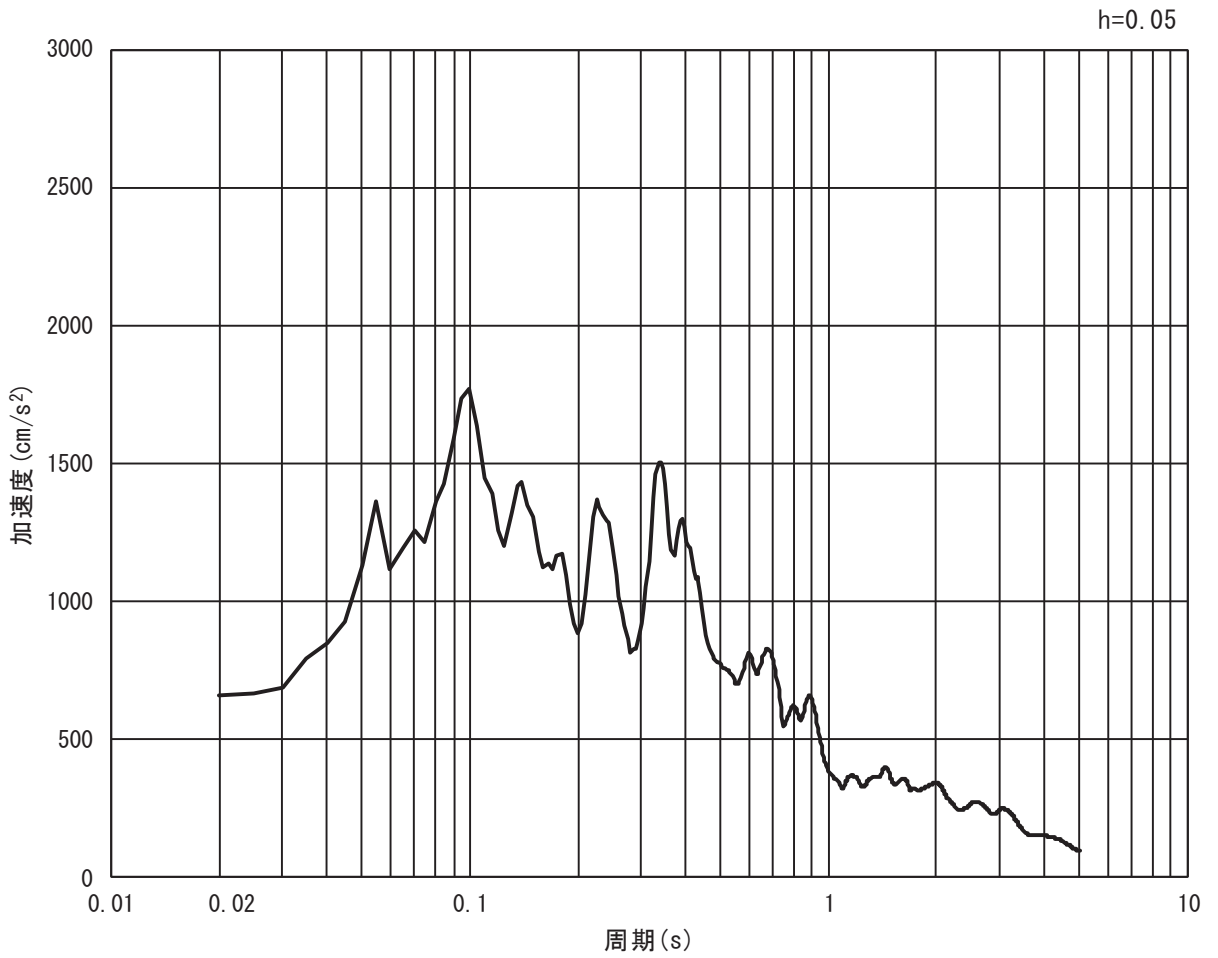


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

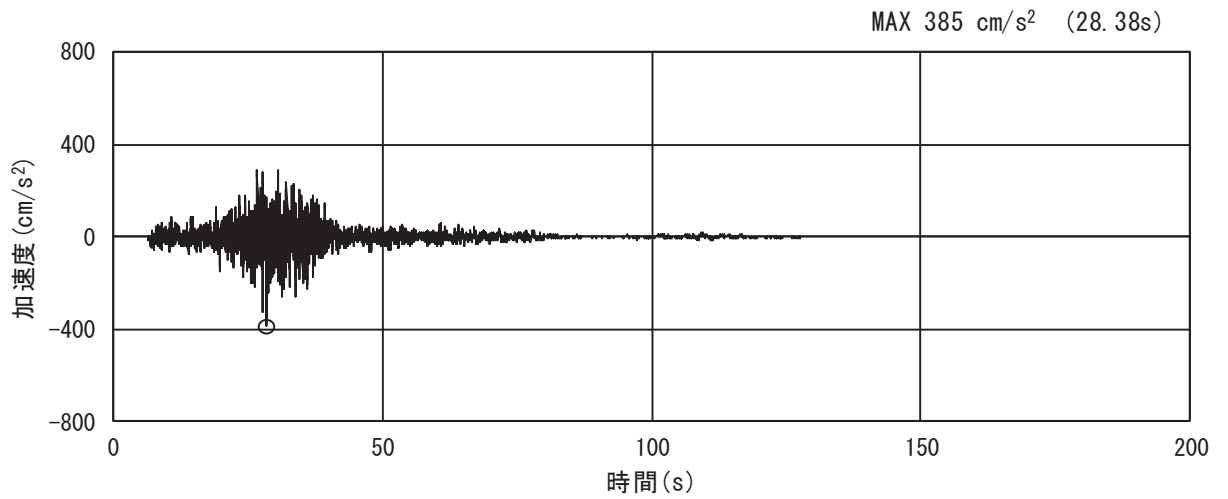


(a) 加速度時刻歴波形

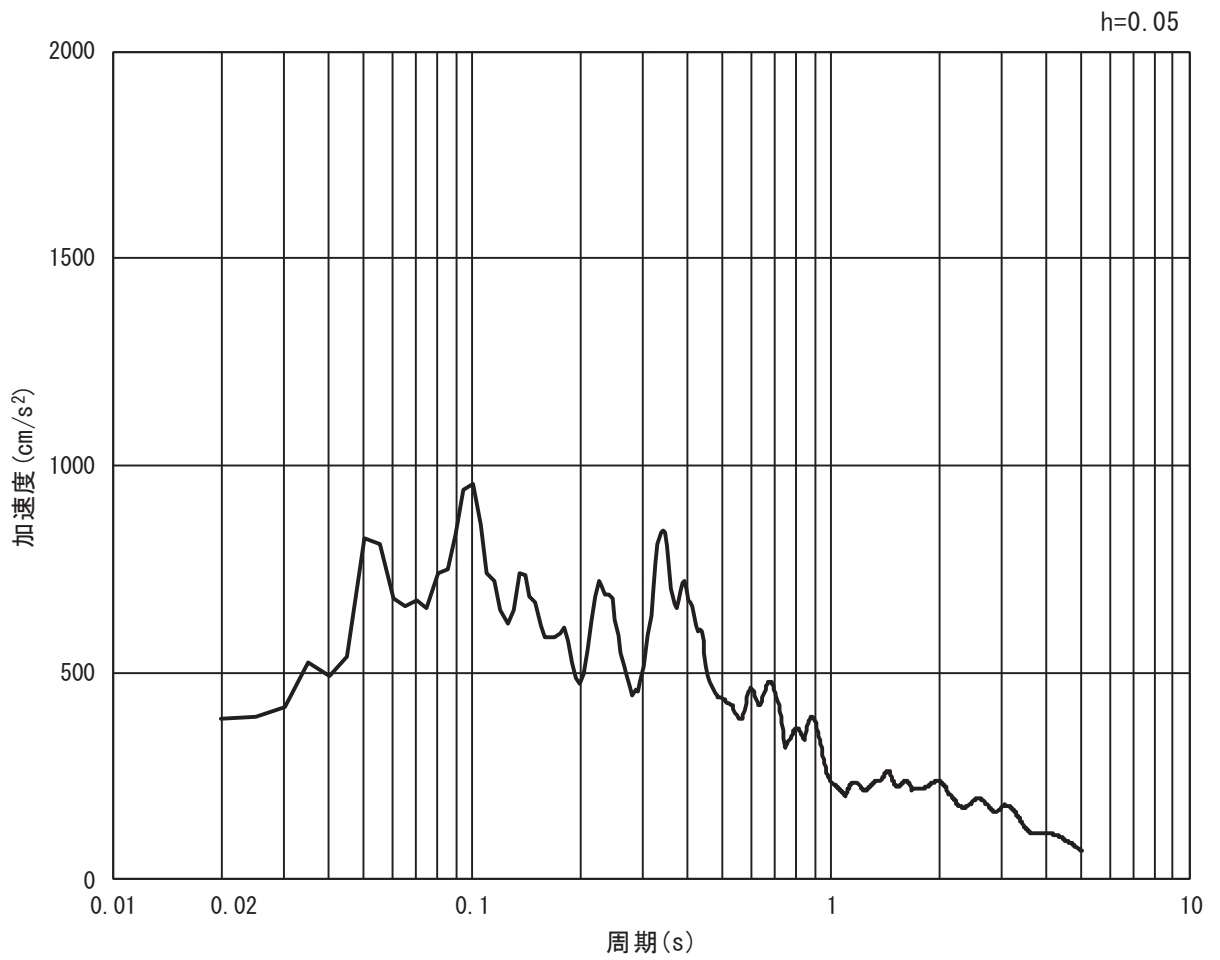


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

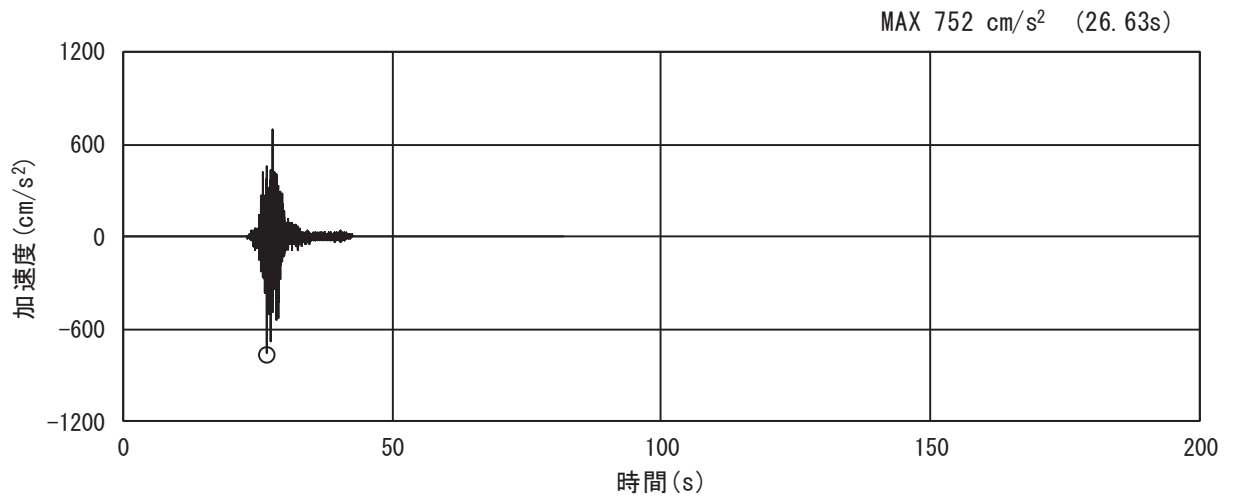


(a) 加速度時刻歴波形

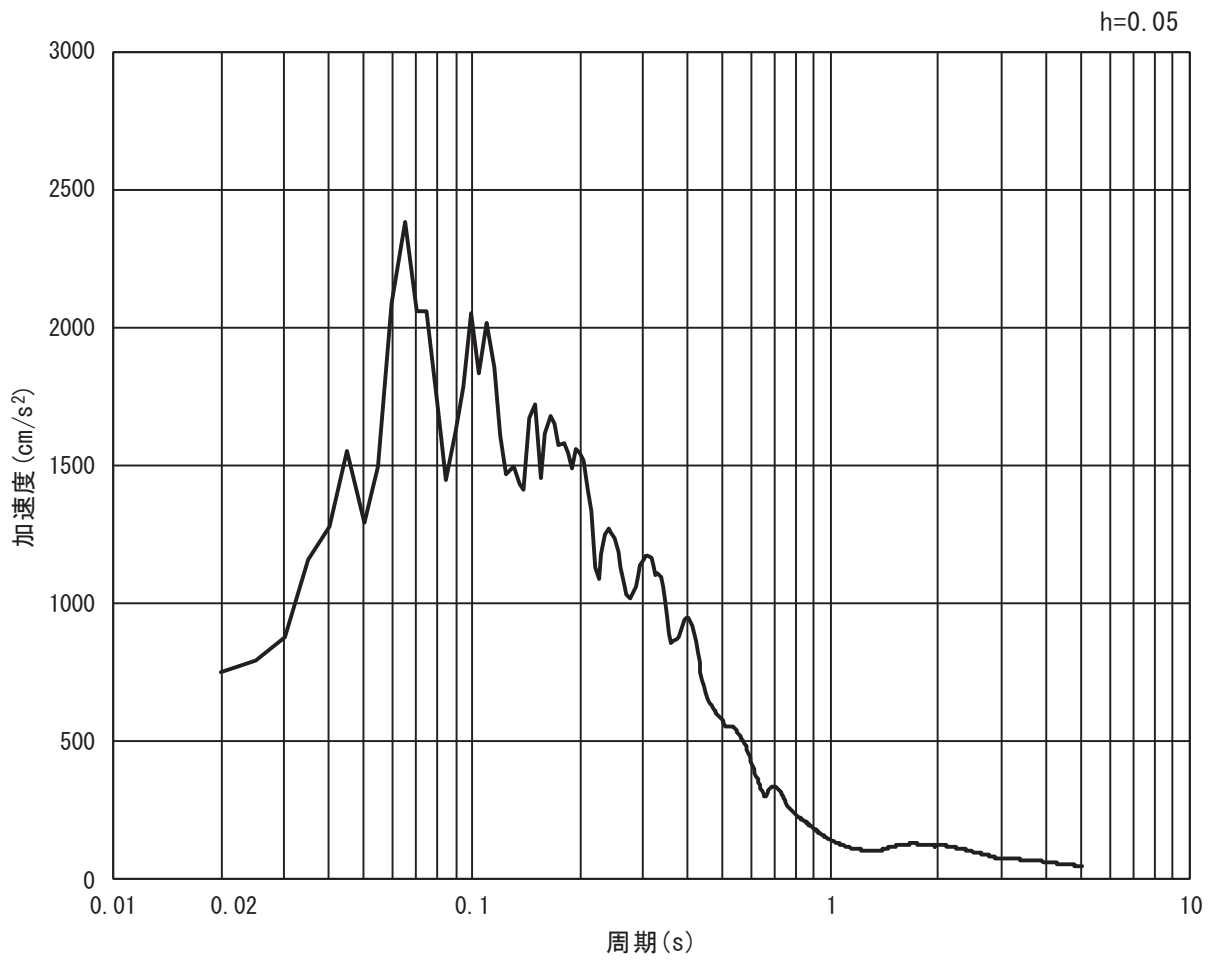


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

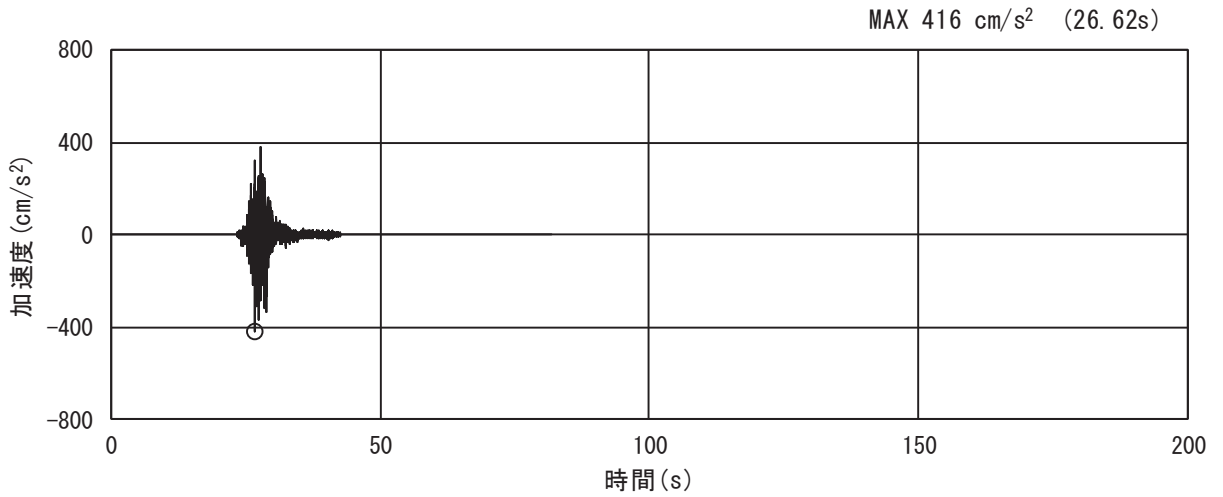


(a) 加速度時刻歴波形

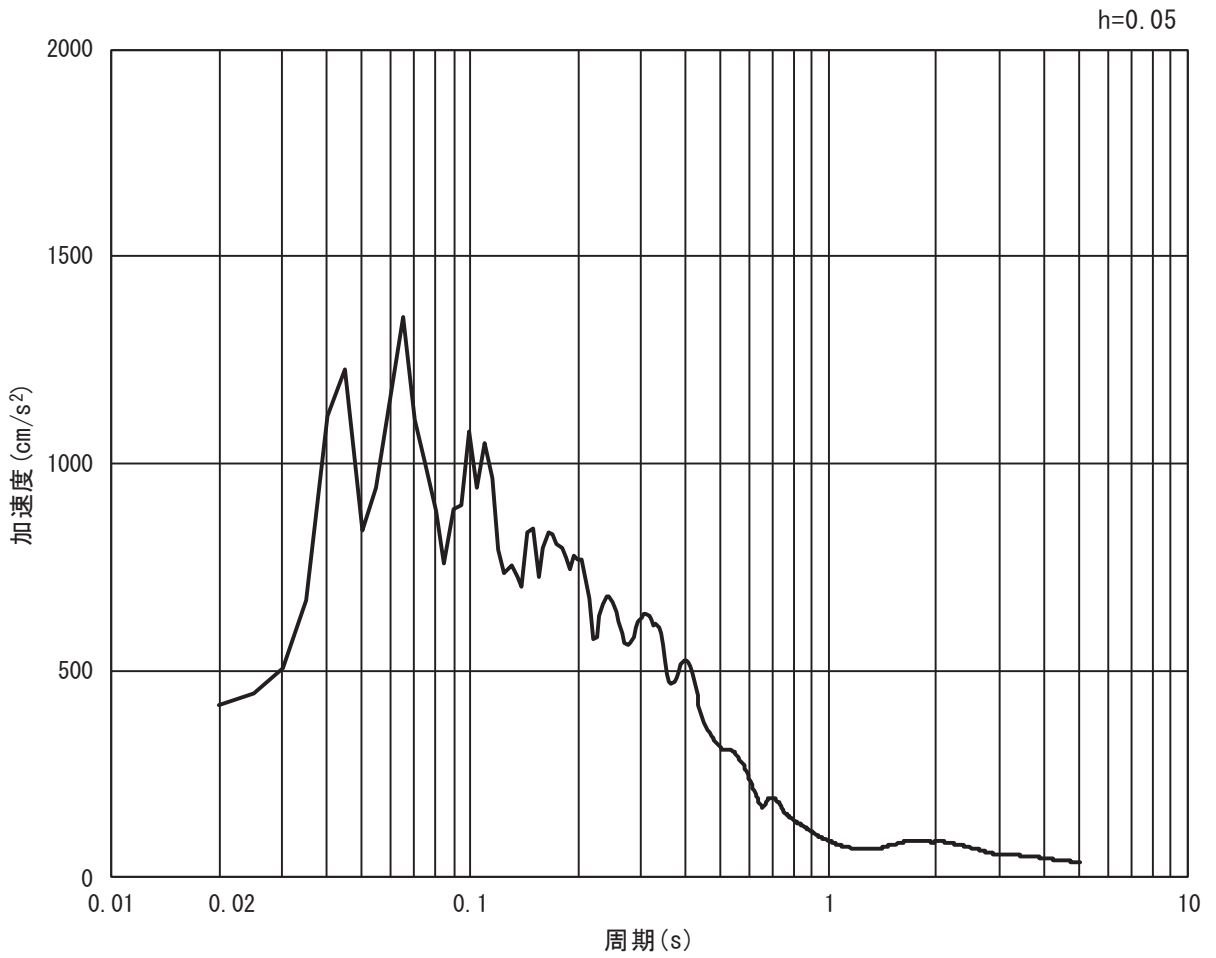


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

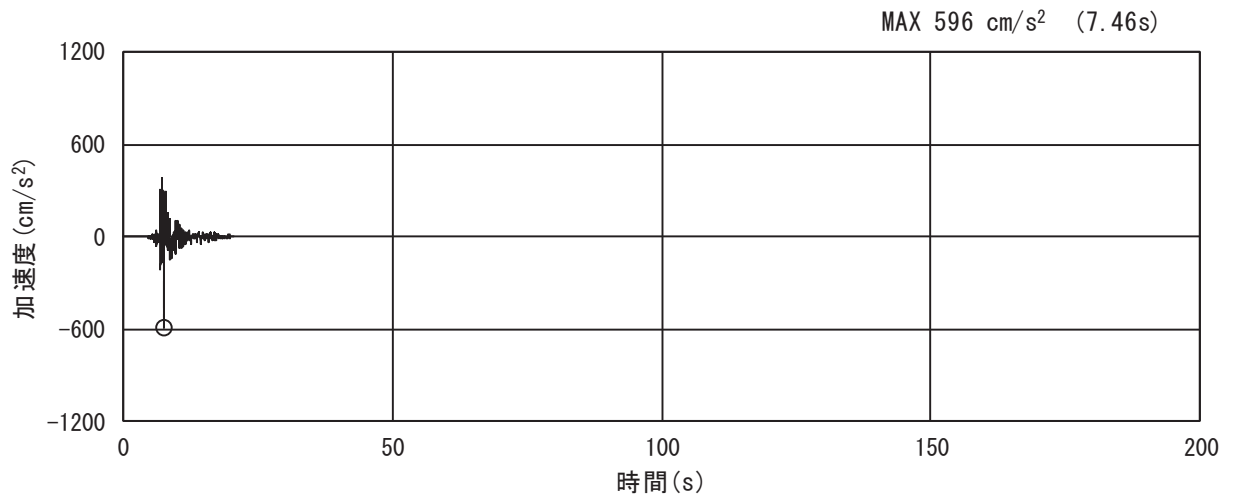


(a) 加速度時刻歴波形

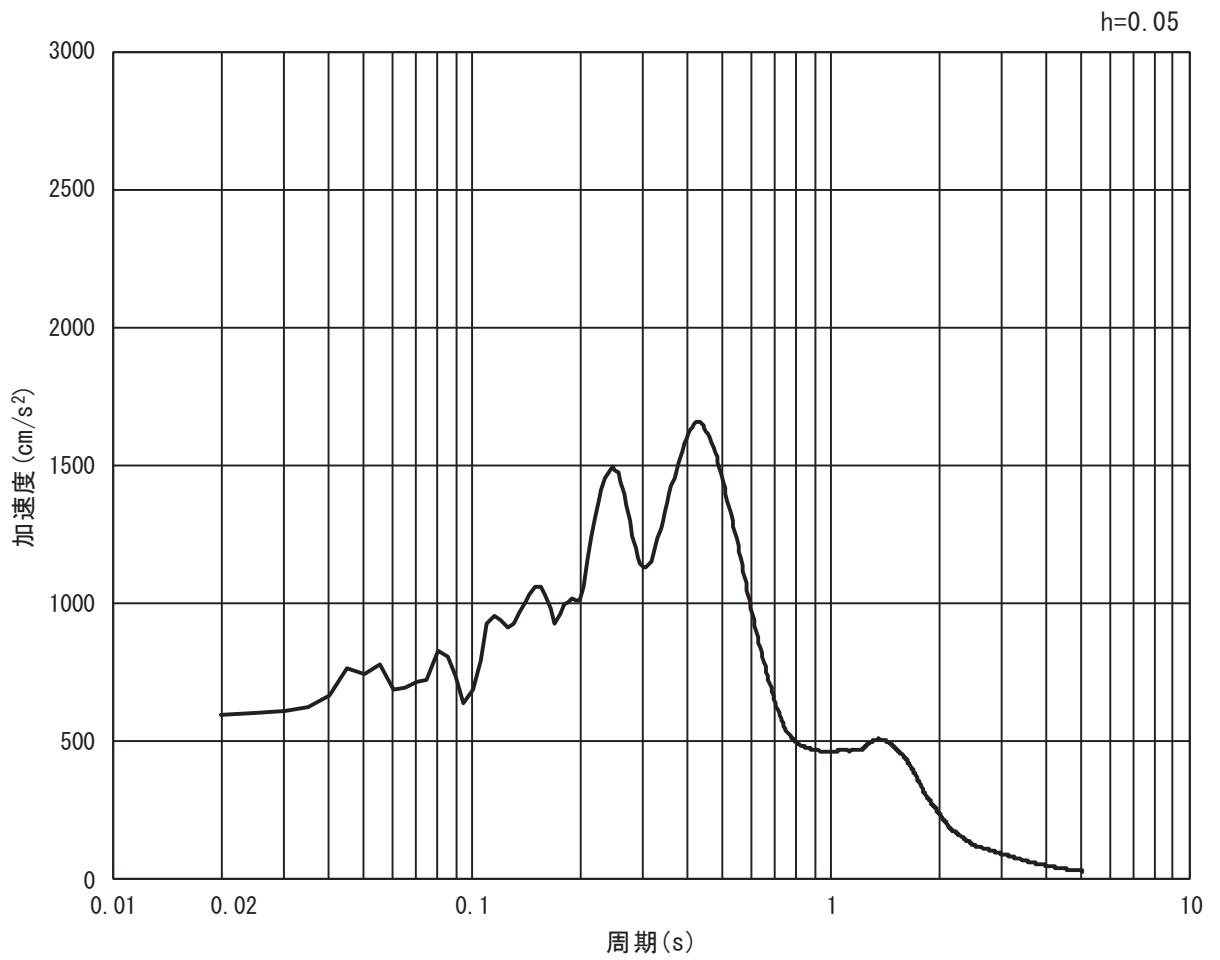


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

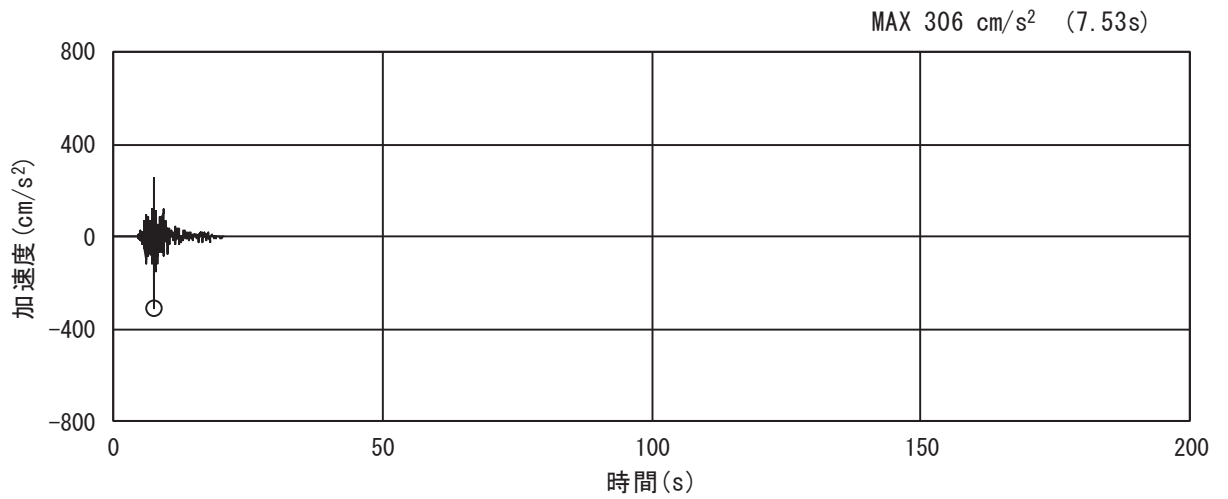


(a) 加速度時刻歴波形

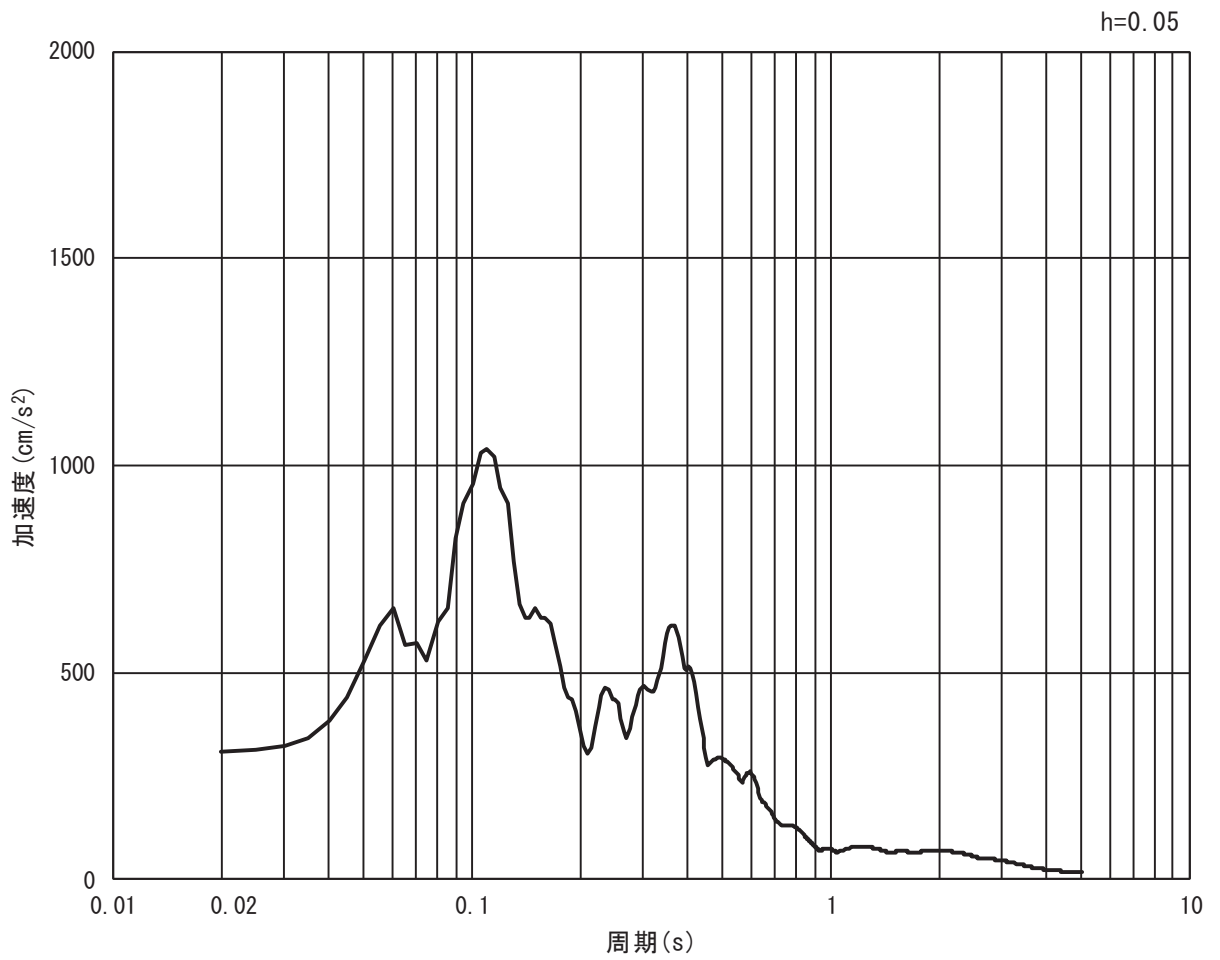


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)



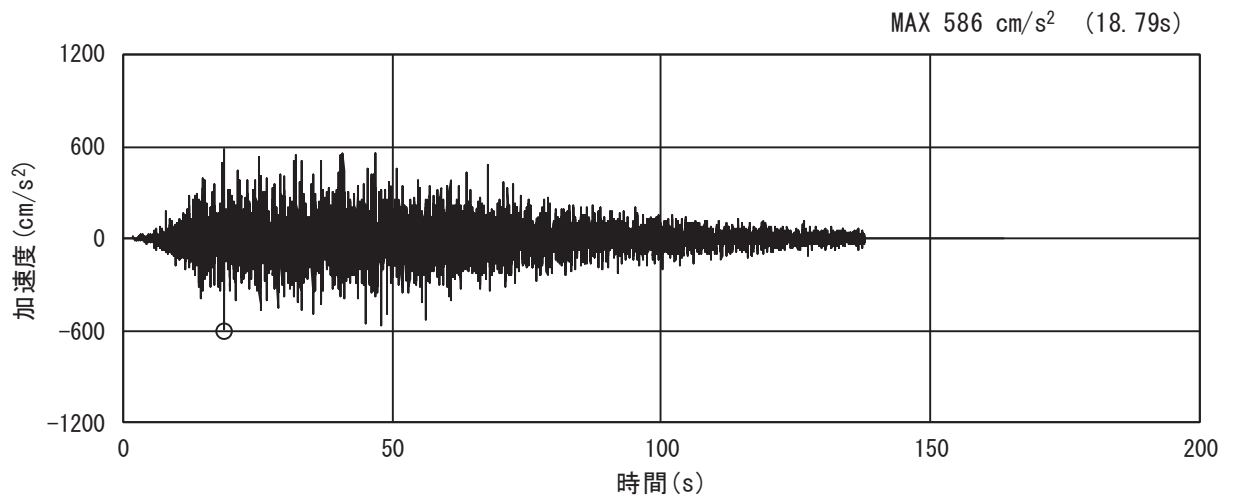
(a) 加速度時刻歴波形



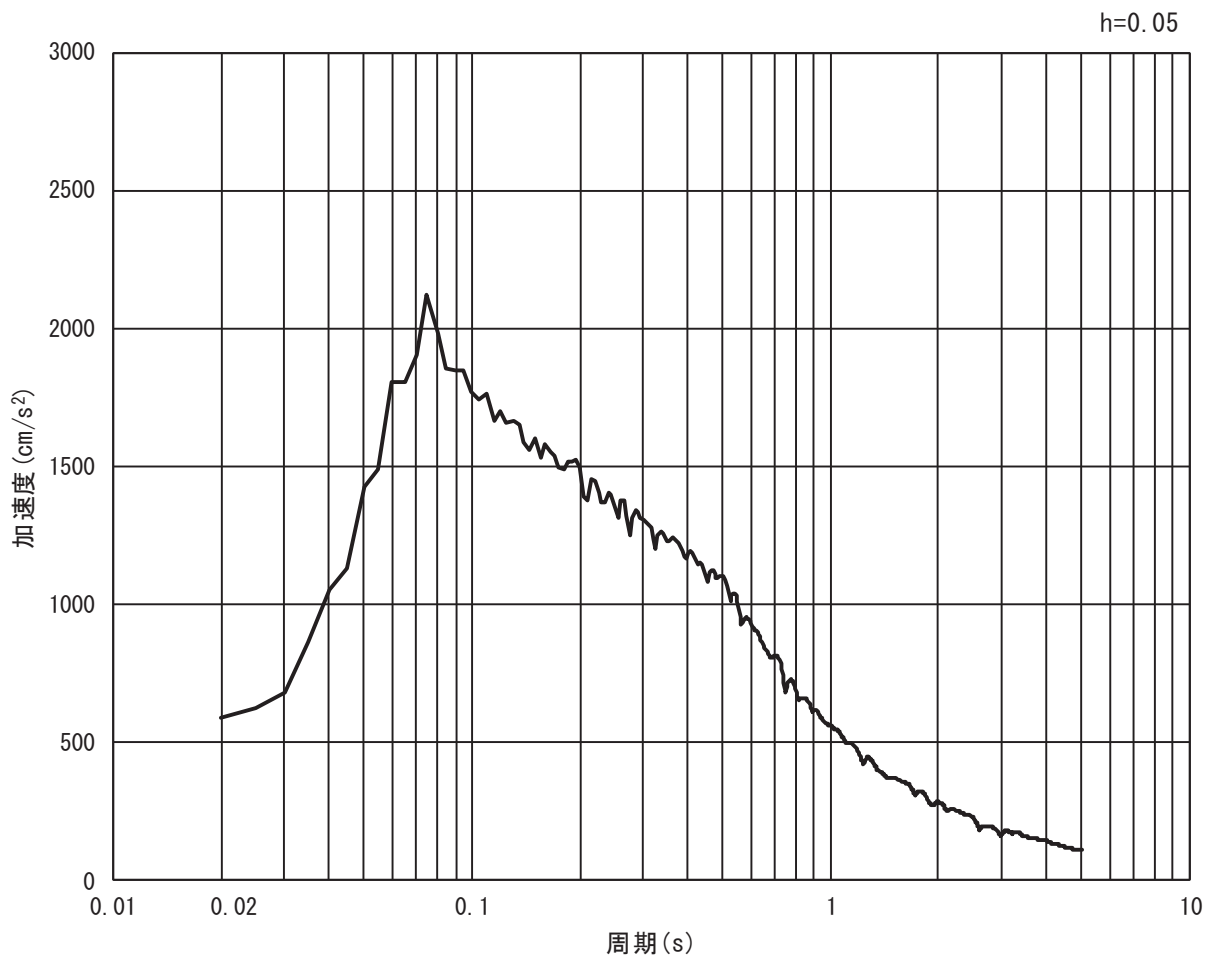
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 (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)

(2) 断面⑥

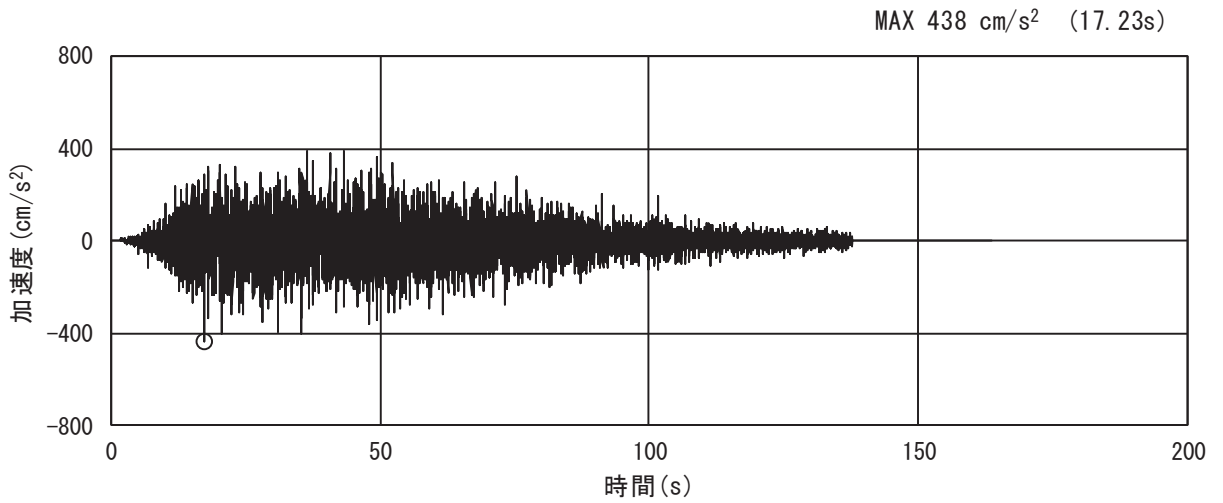


(a) 加速度時刻歴波形

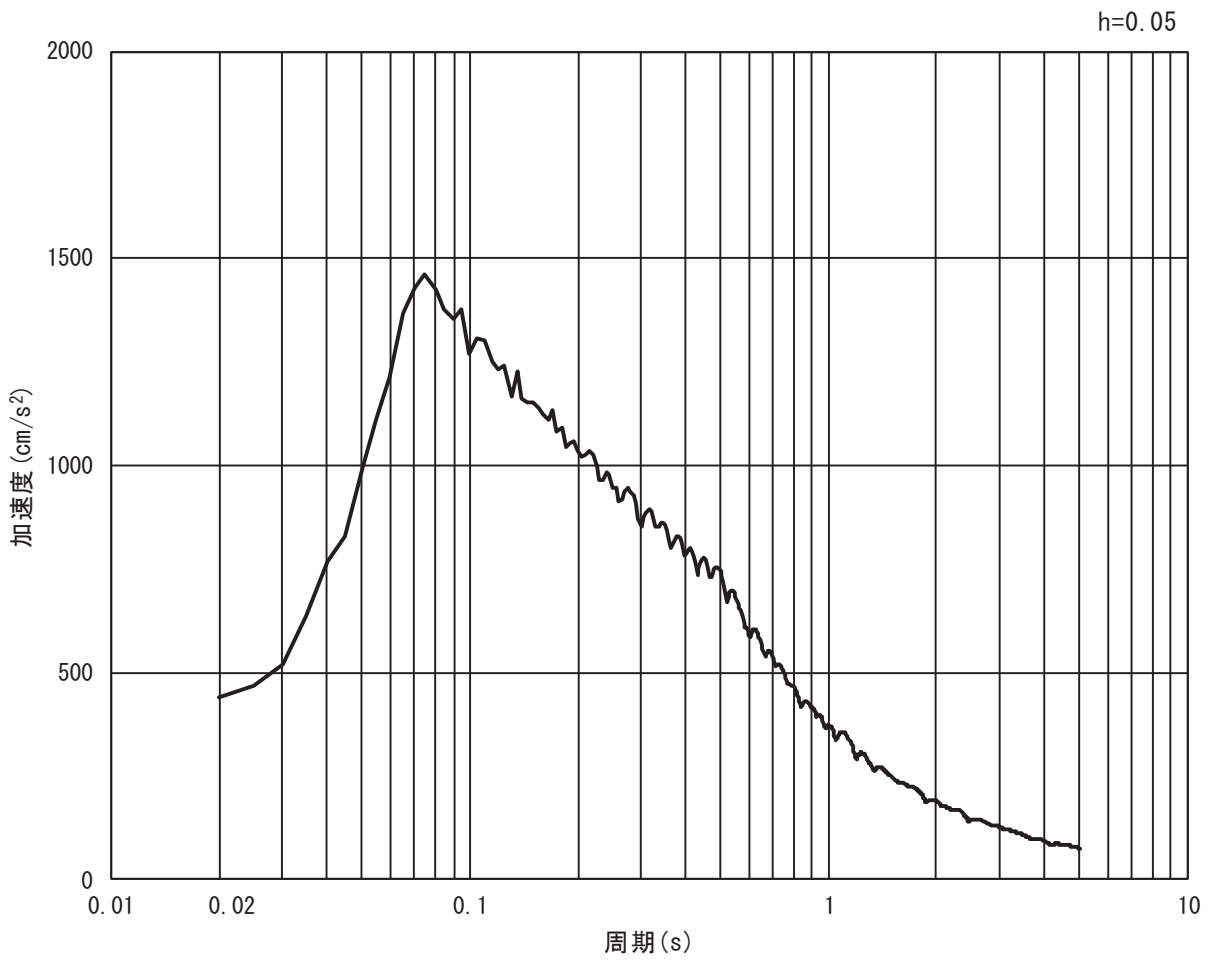


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

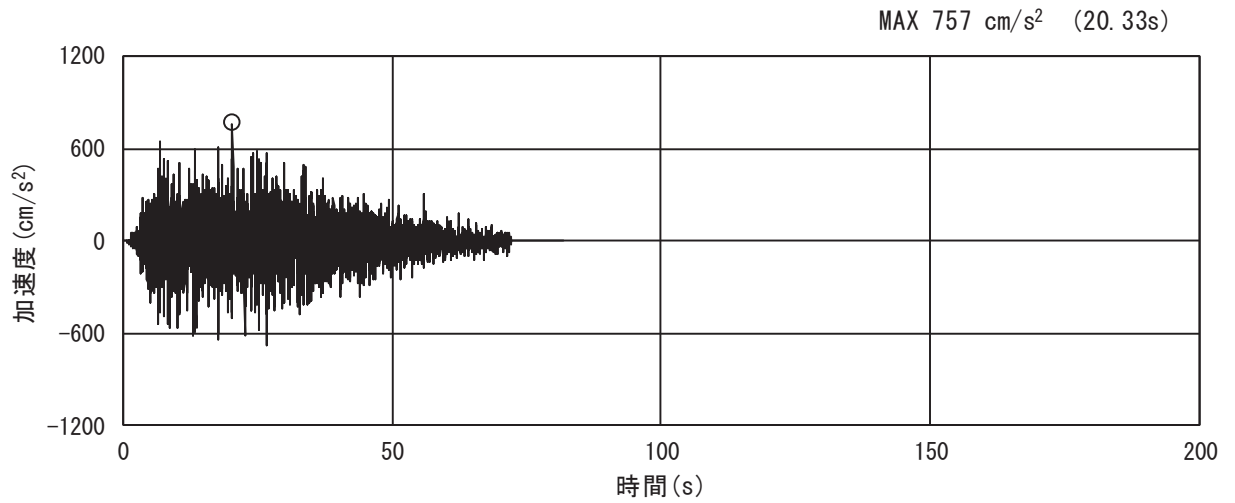


(a) 加速度時刻歴波形

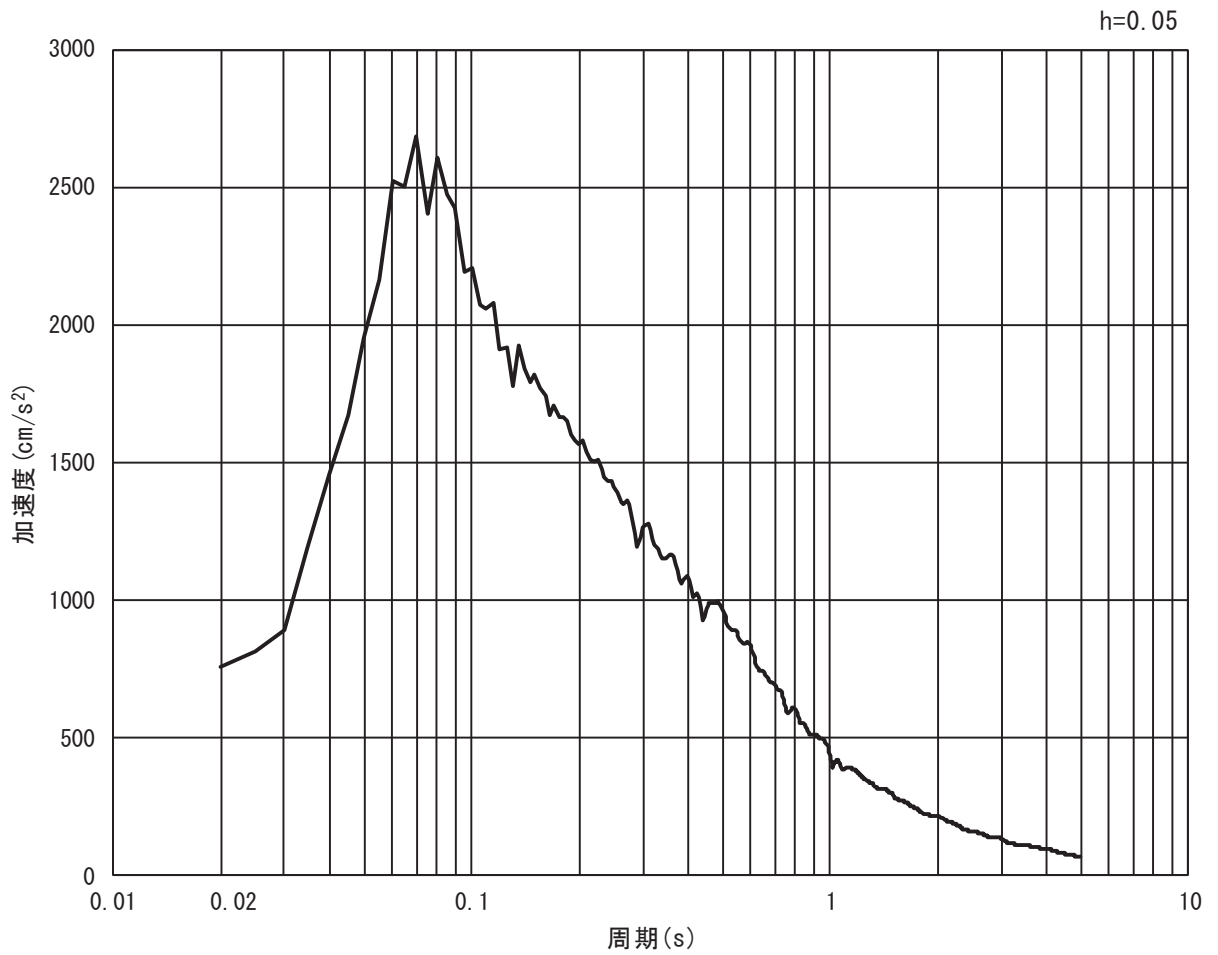


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

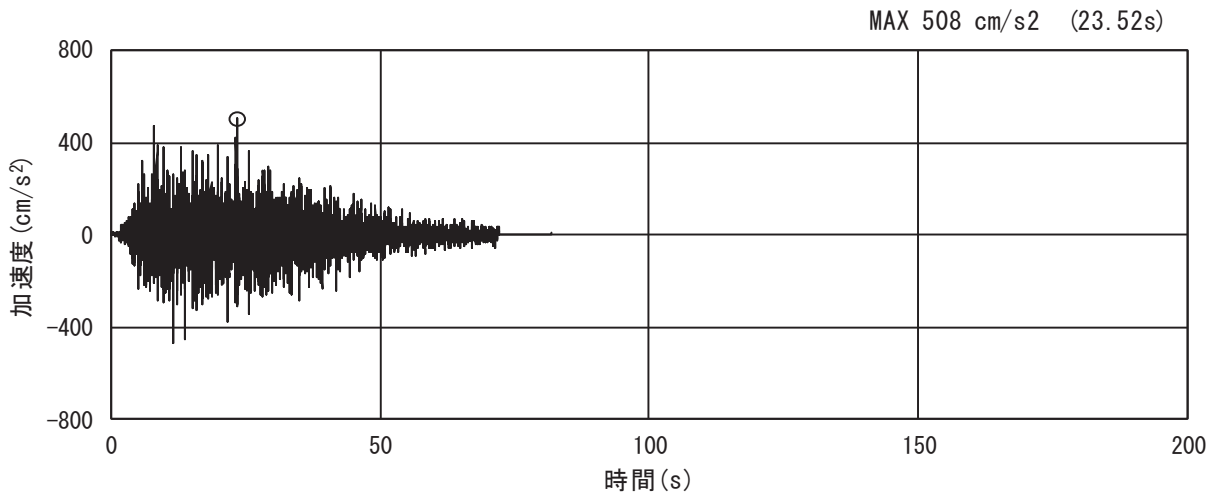


(a) 加速度時刻歴波形

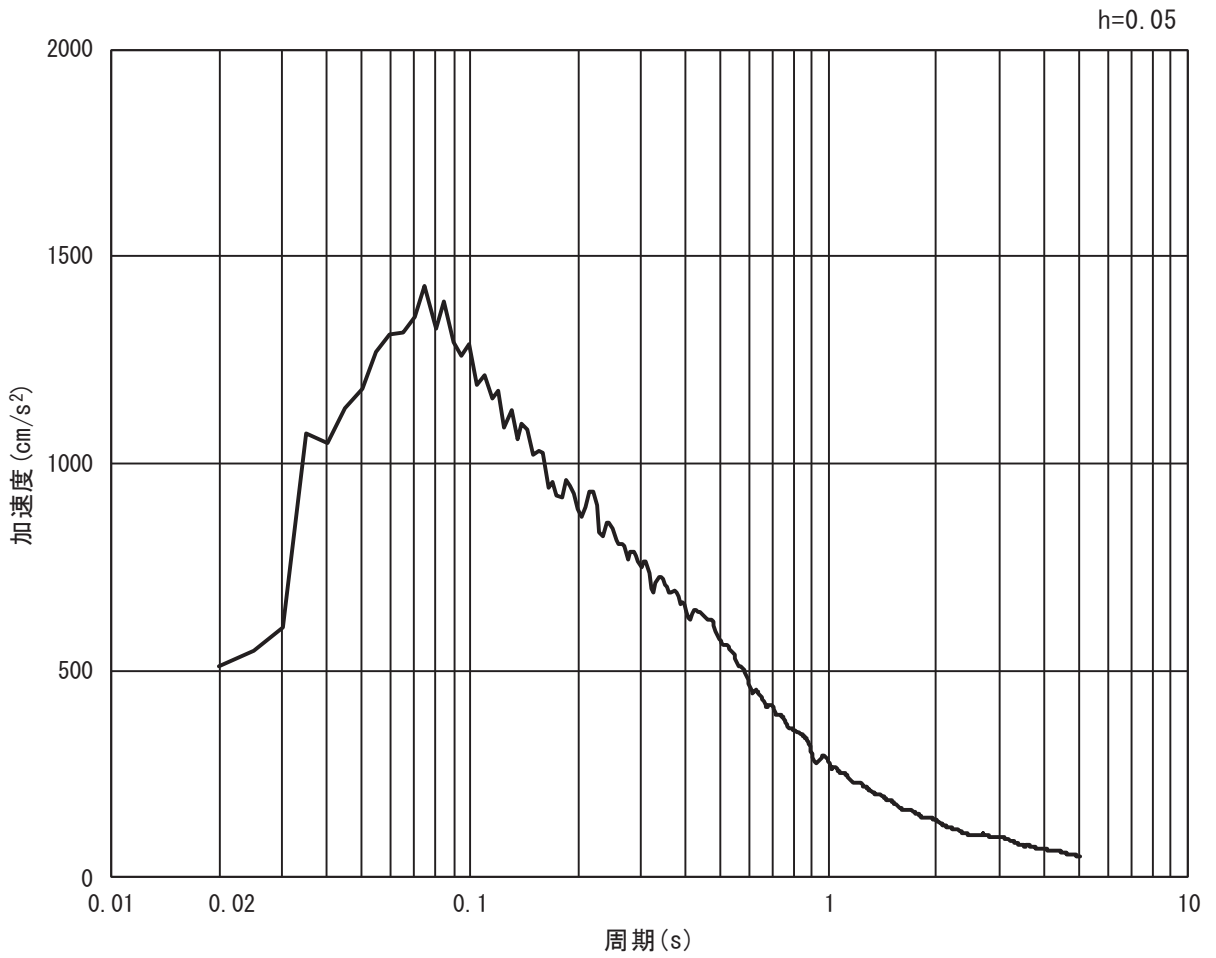


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

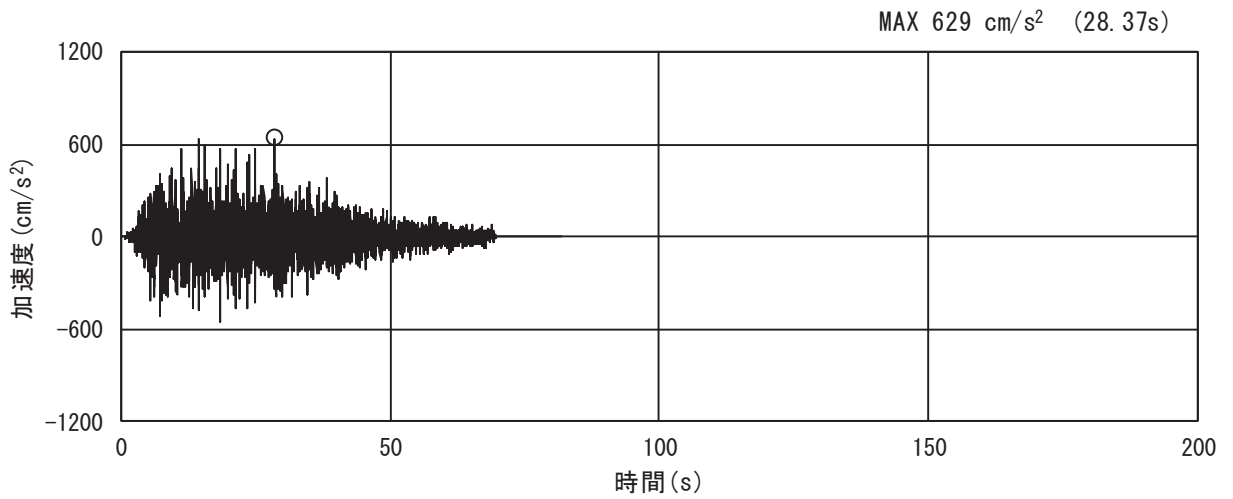


(a) 加速度時刻歴波形

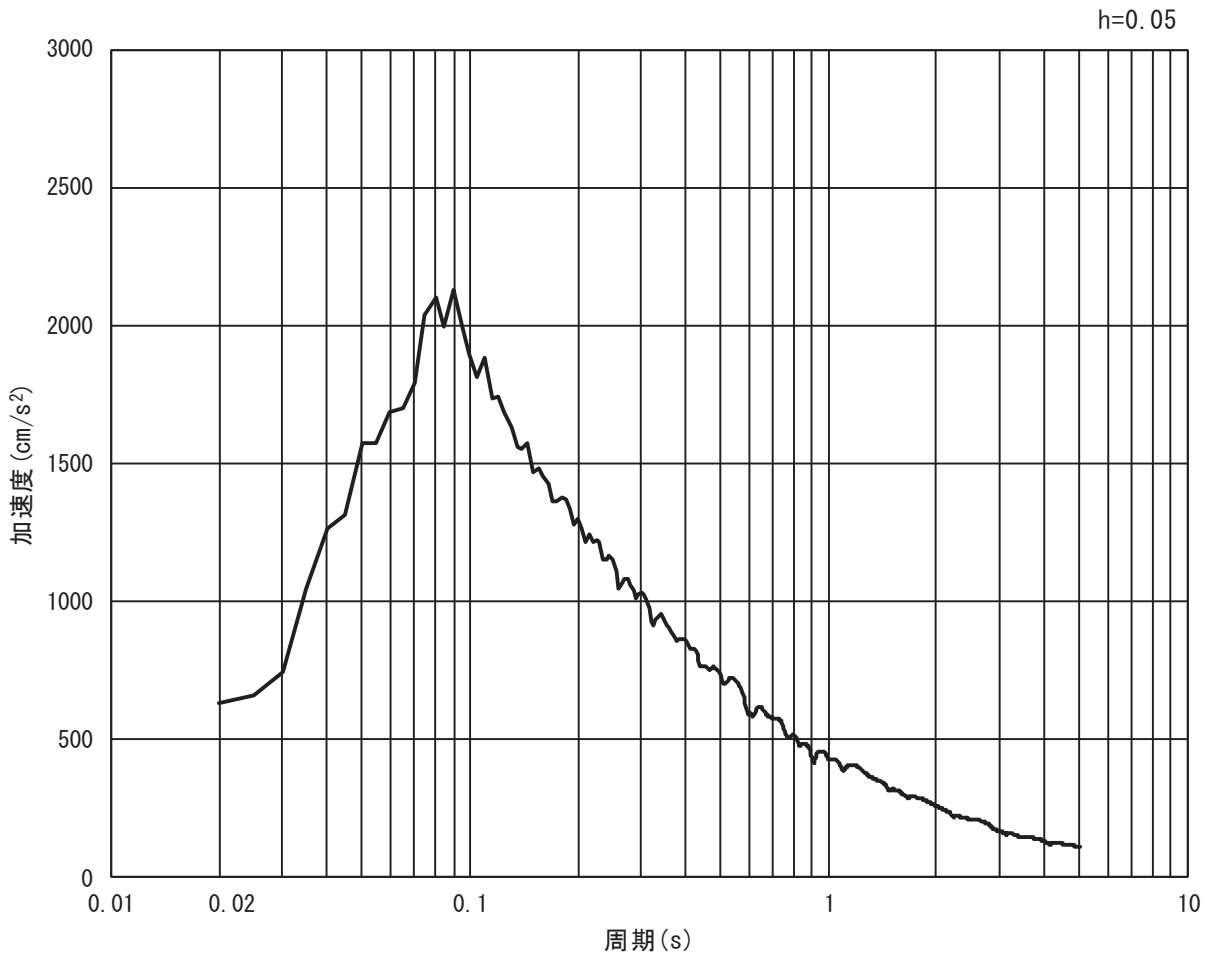


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

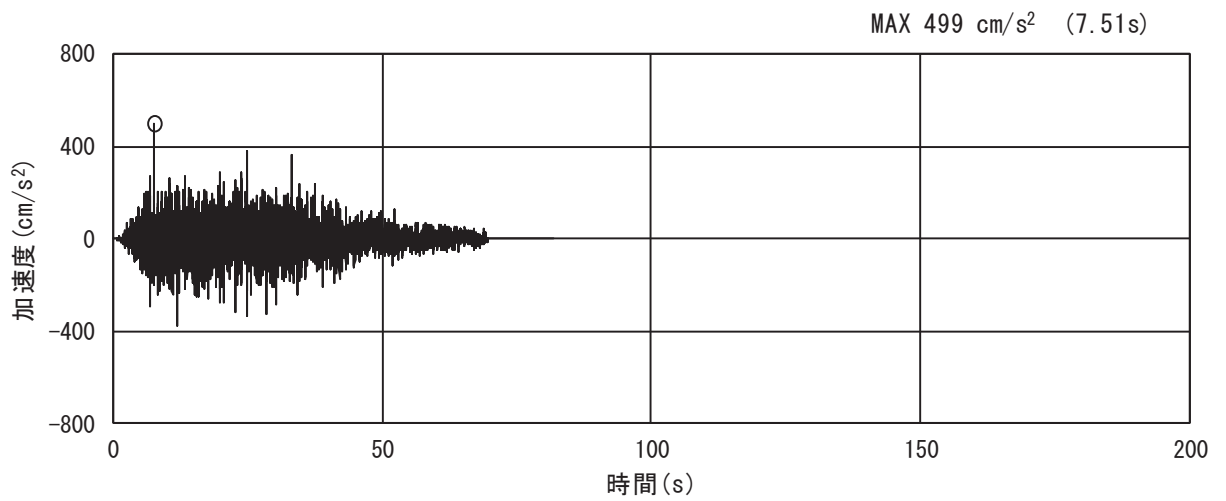


(a) 加速度時刻歴波形

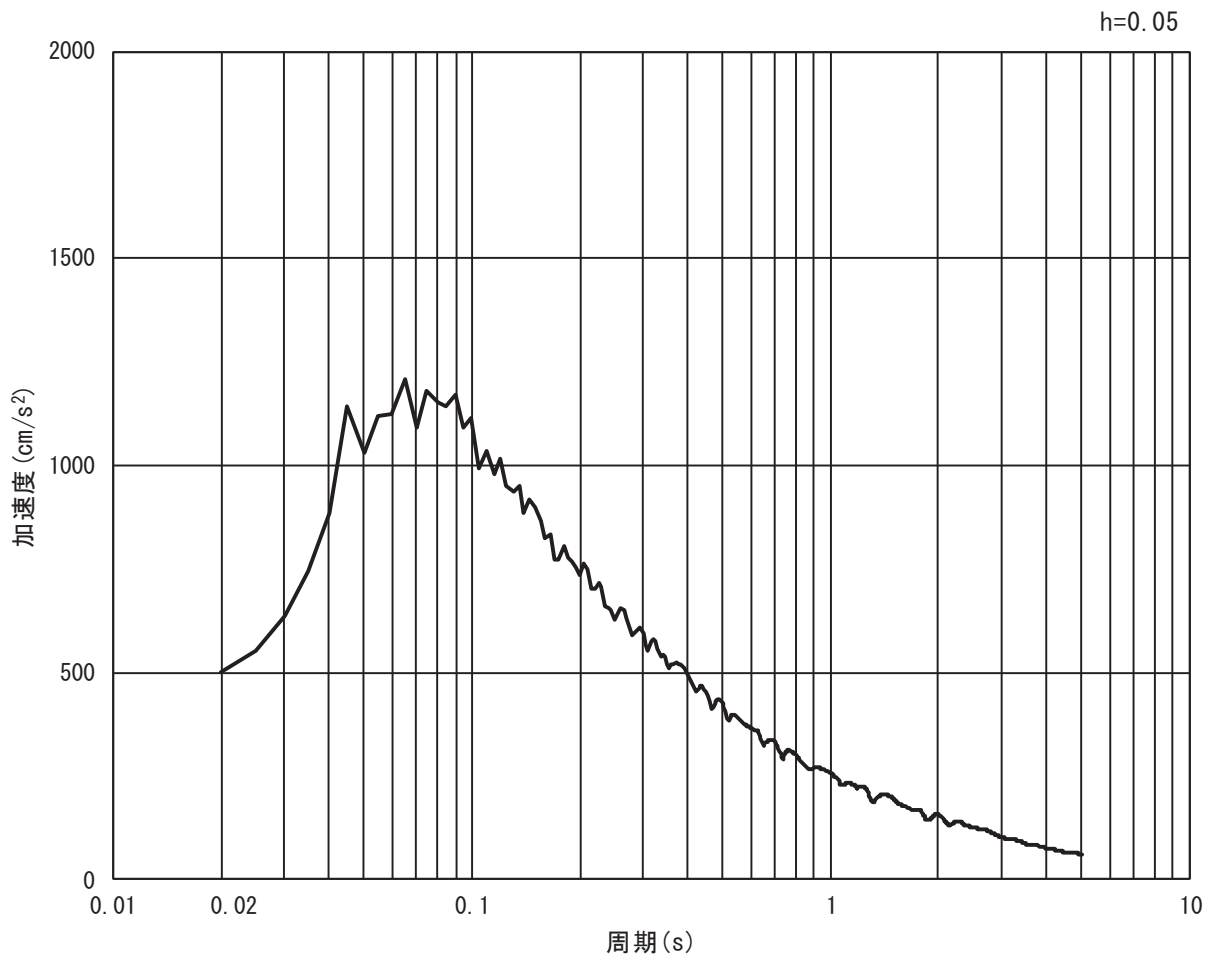


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

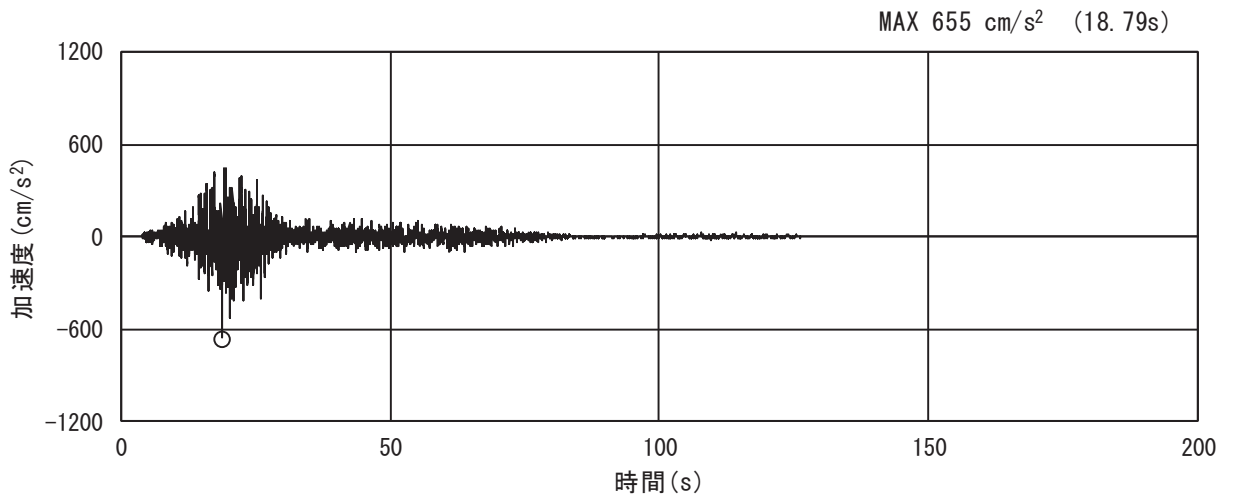


(a) 加速度時刻歴波形

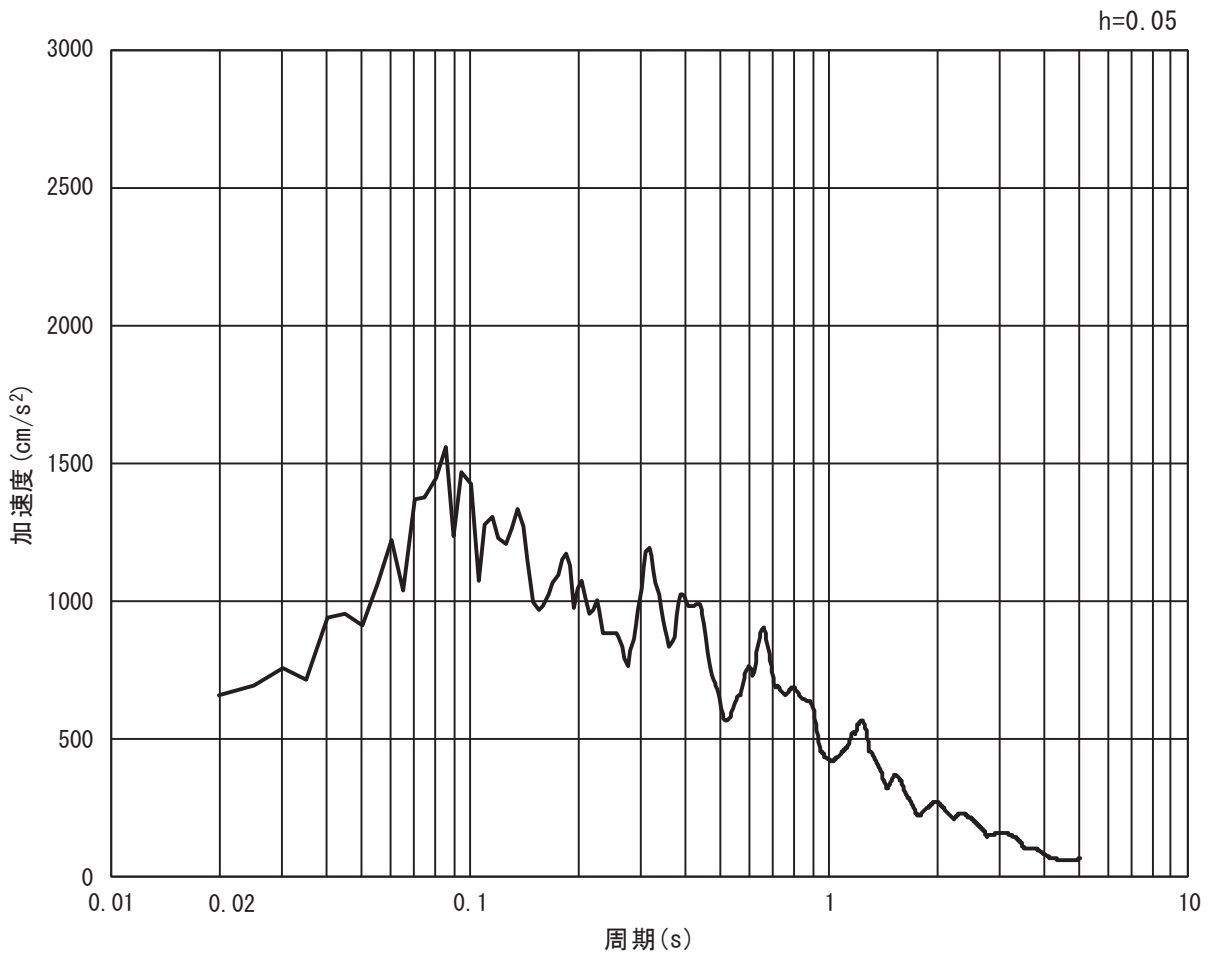


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

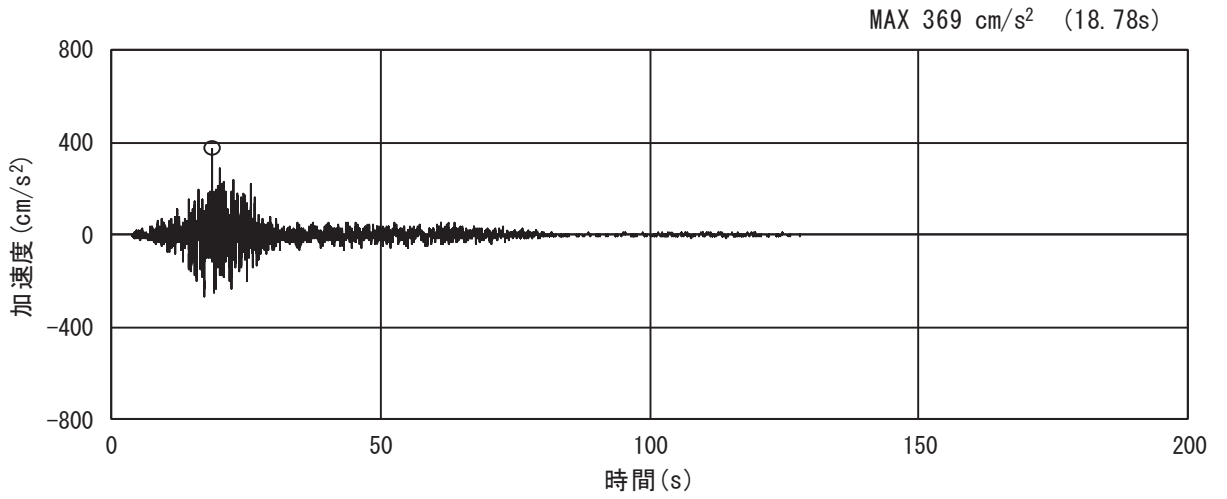


(a) 加速度時刻歴波形

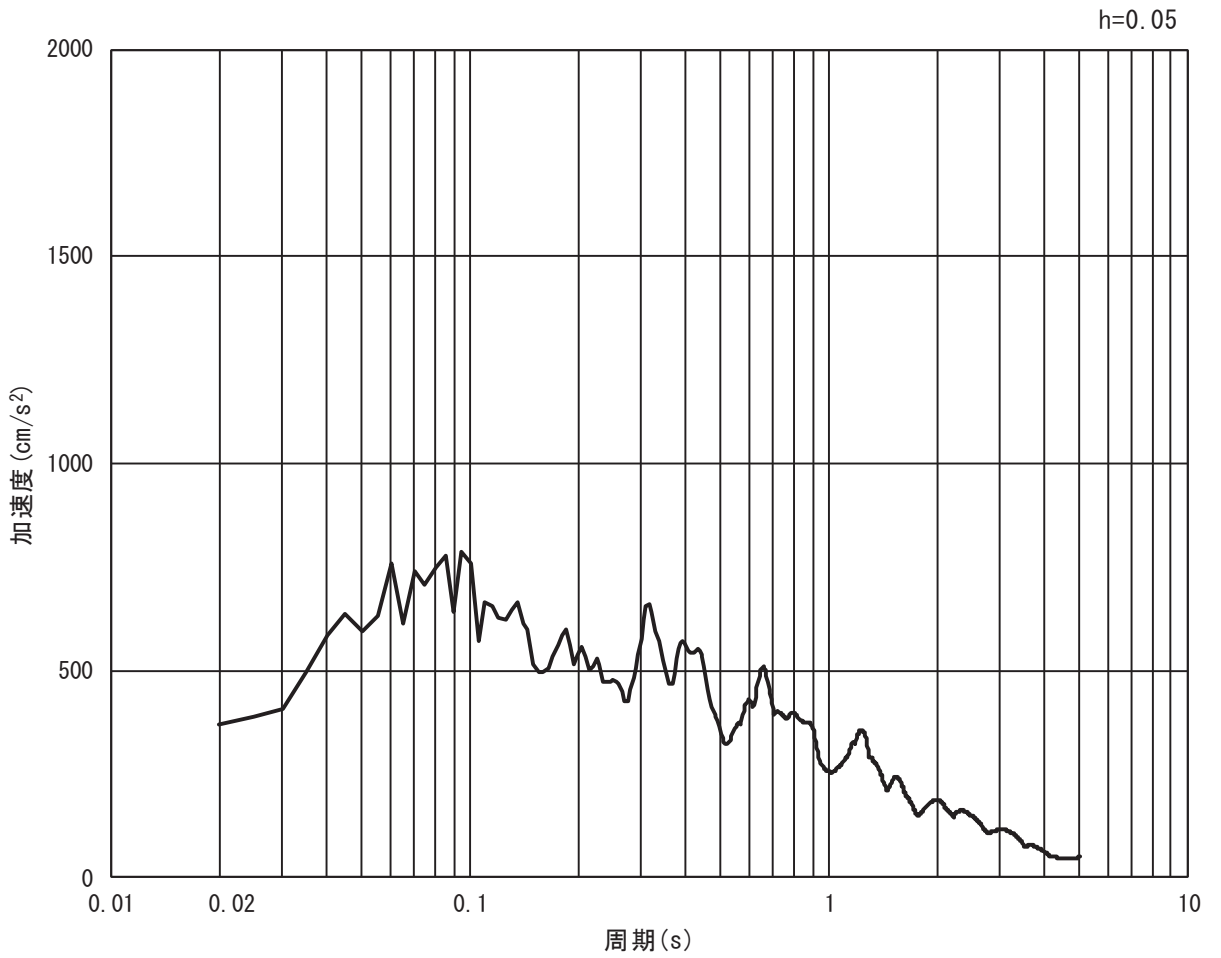


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

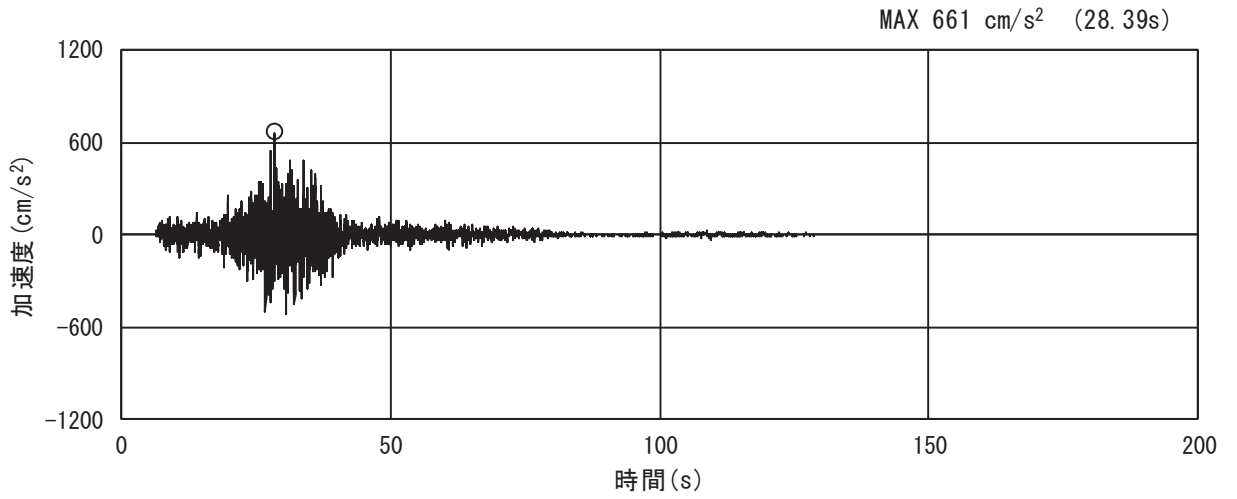


(a) 加速度時刻歴波形

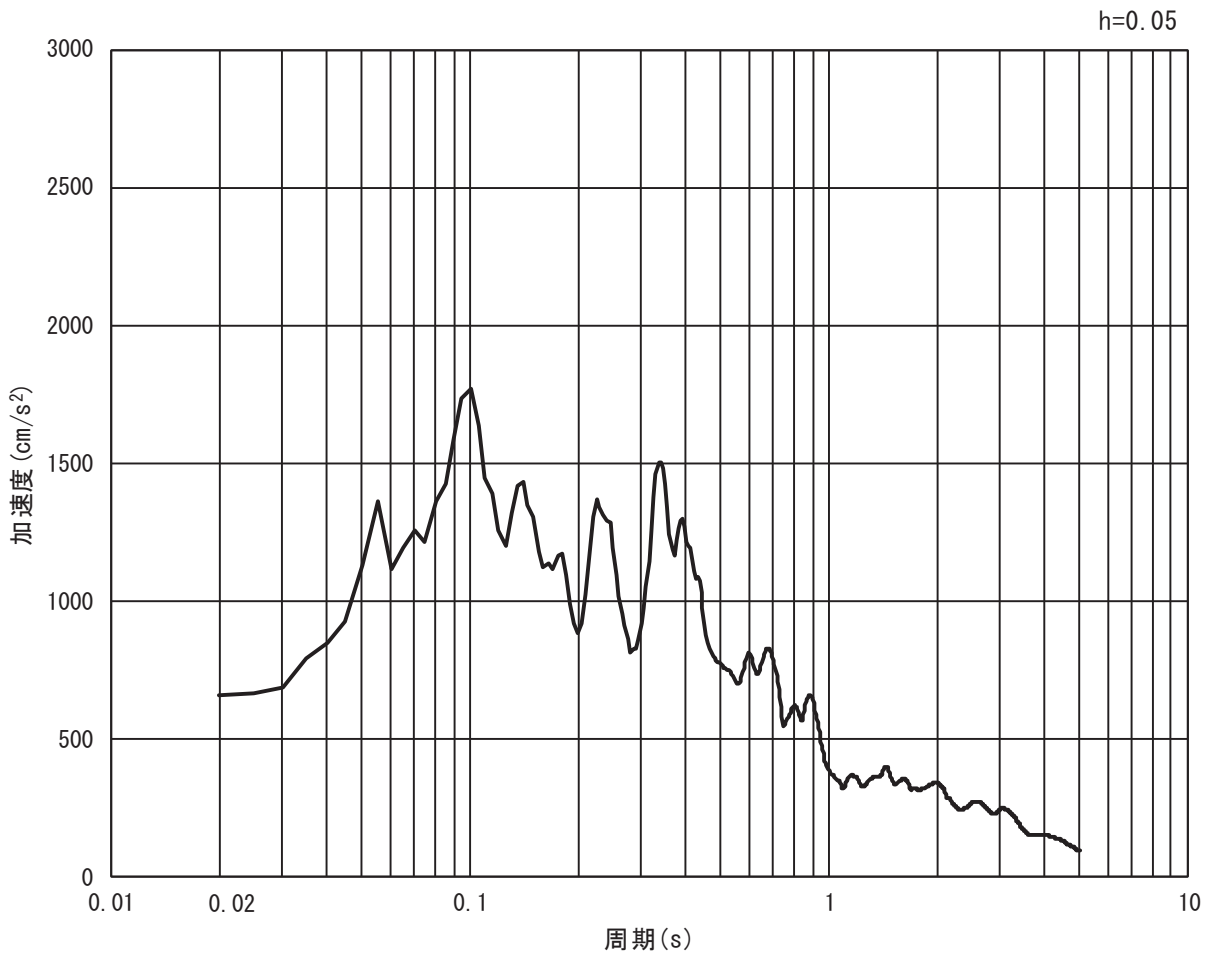


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

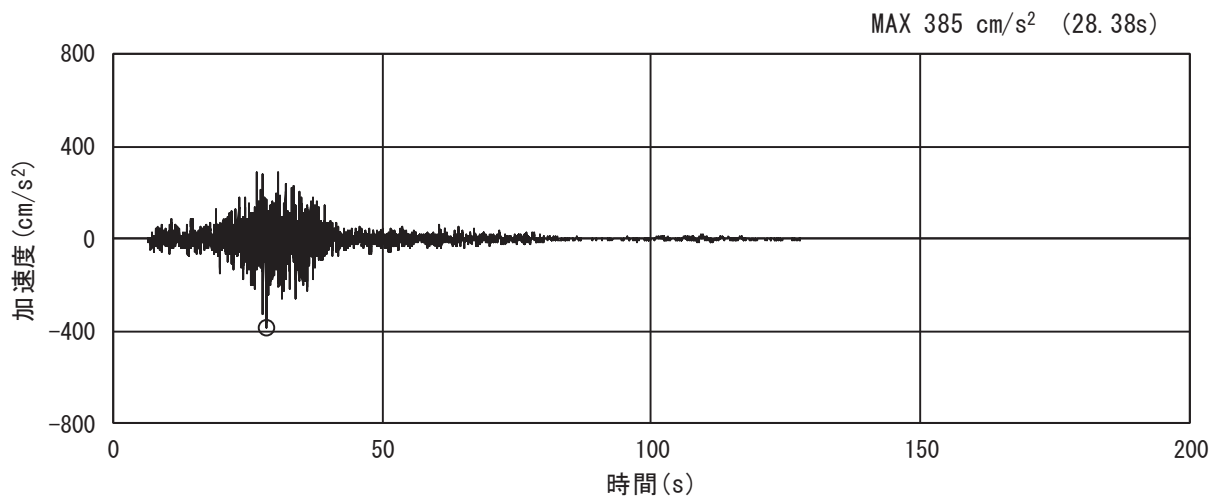


(a) 加速度時刻歴波形

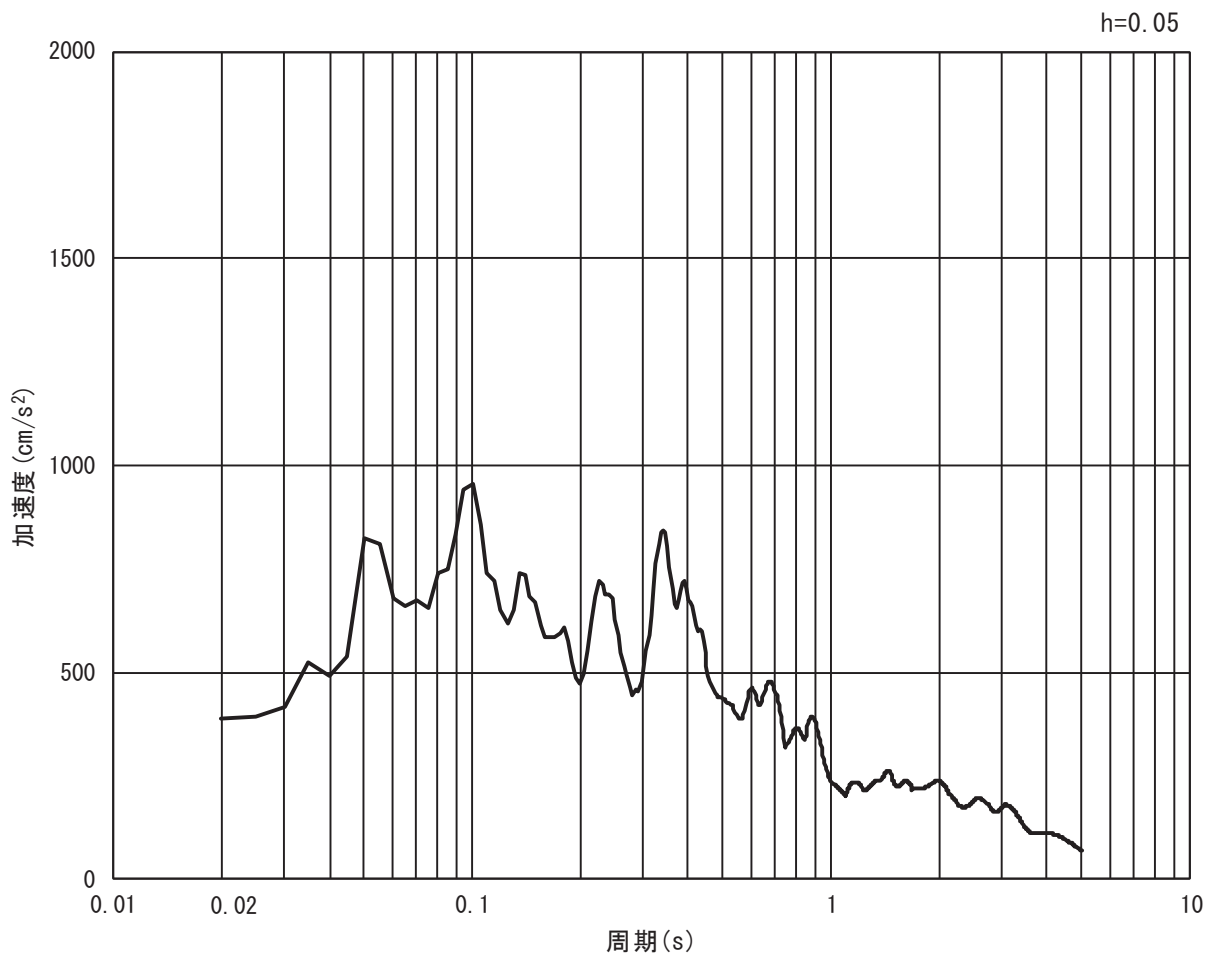


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

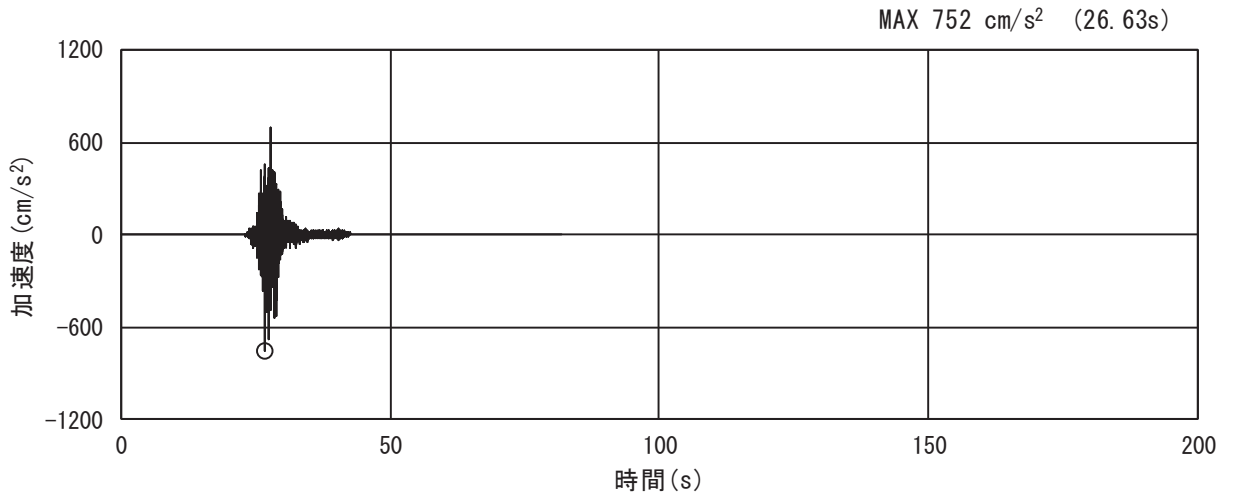


(a) 加速度時刻歴波形

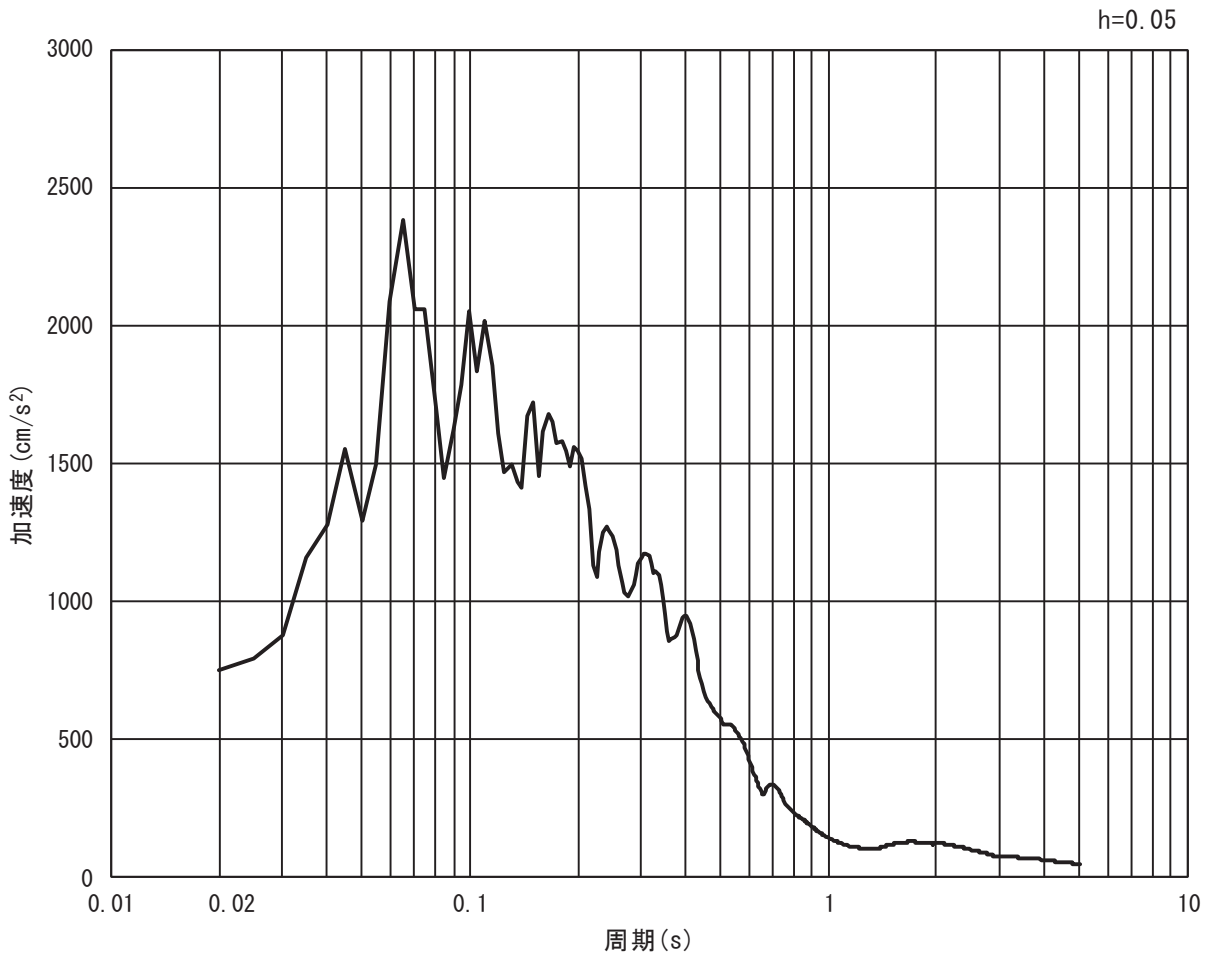


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

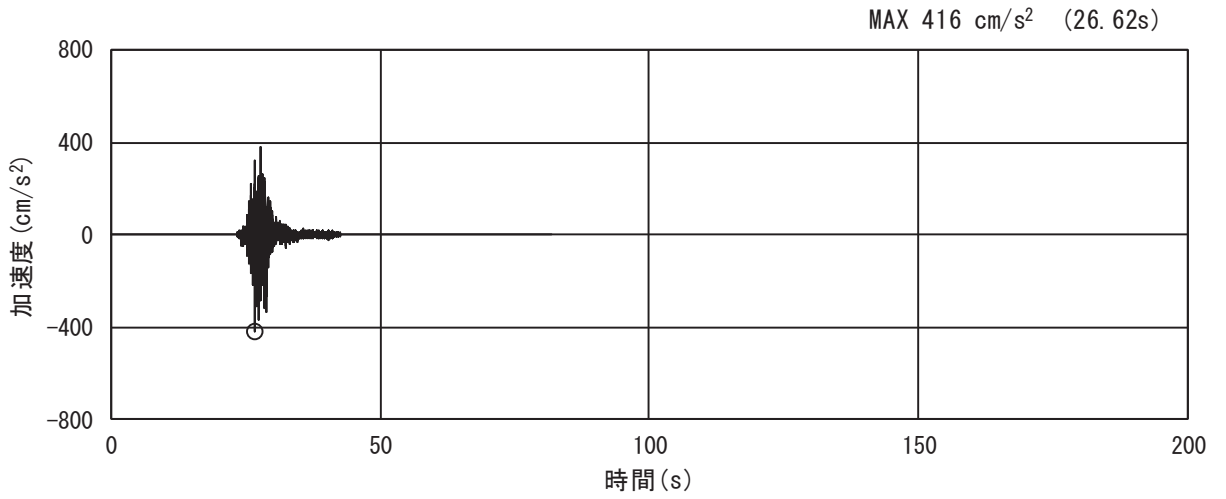


(a) 加速度時刻歴波形

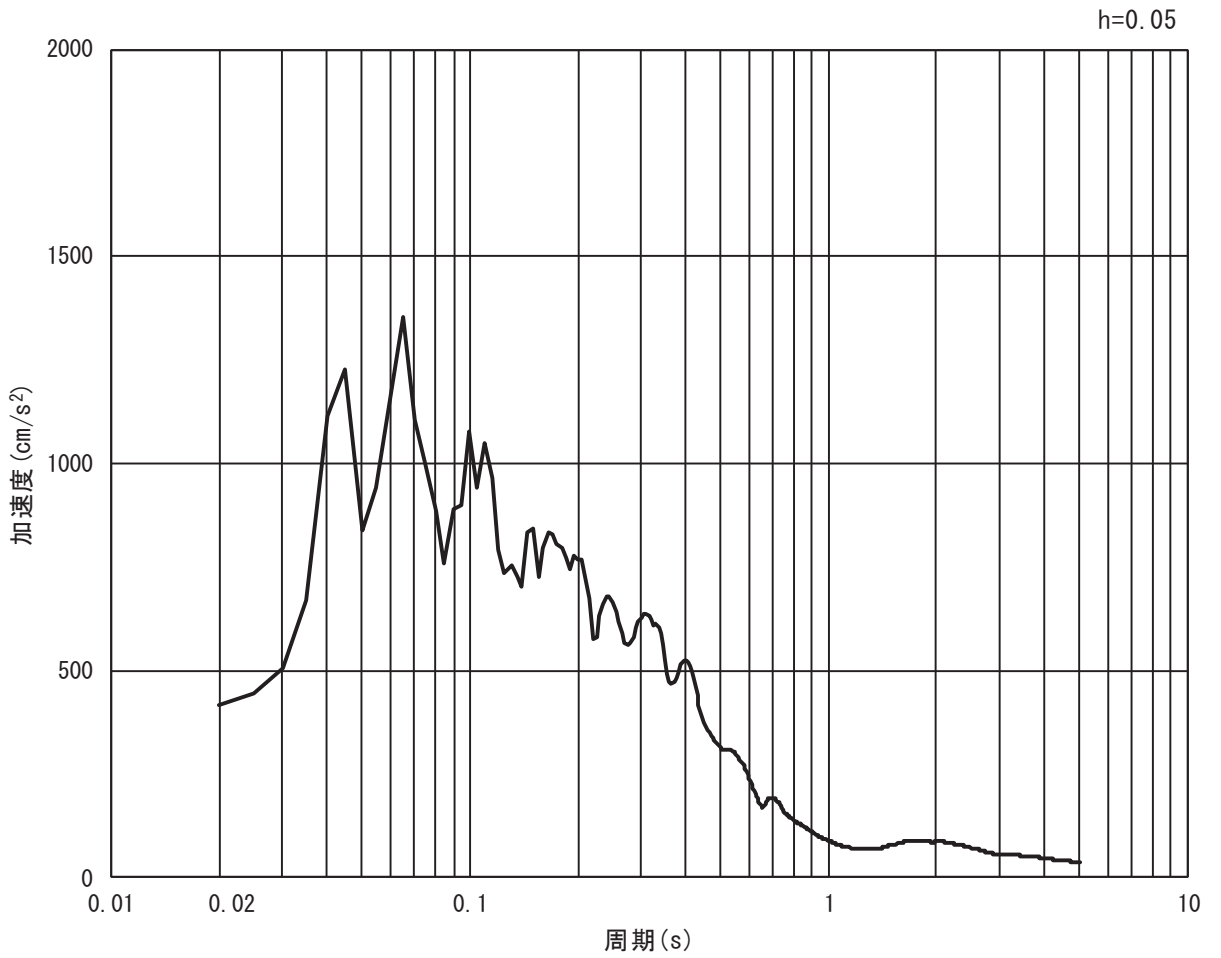


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

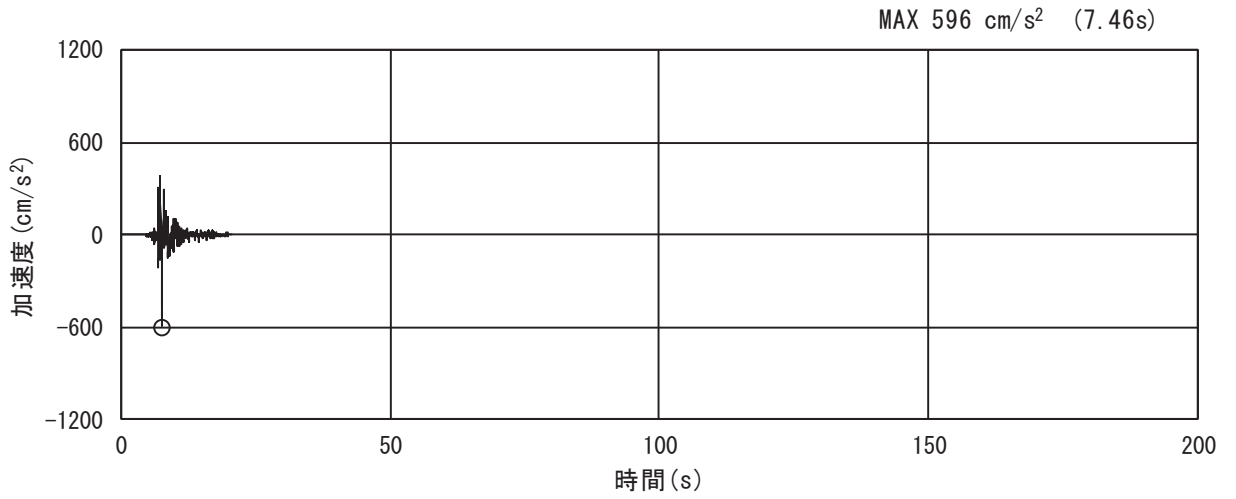


(a) 加速度時刻歴波形

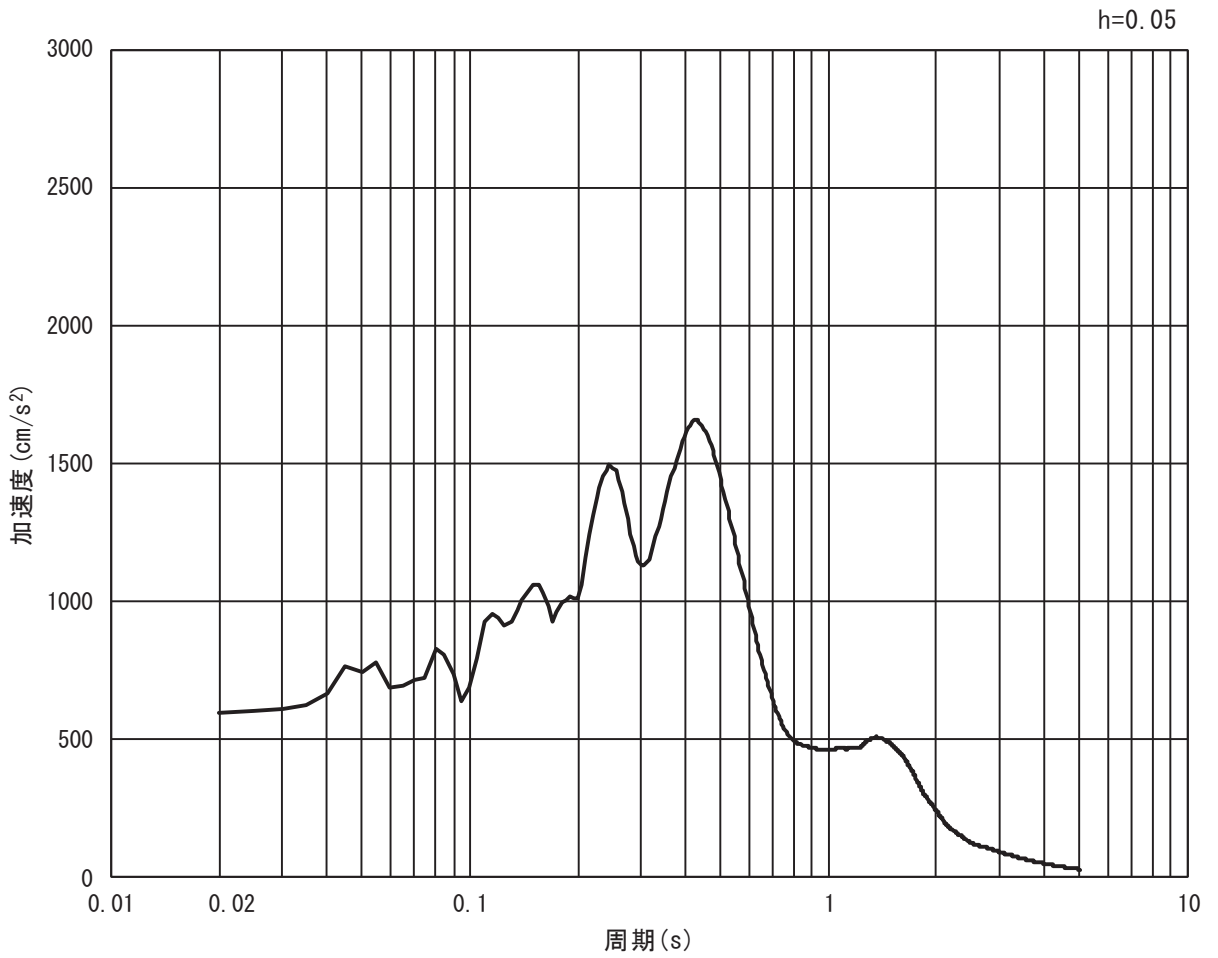


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)

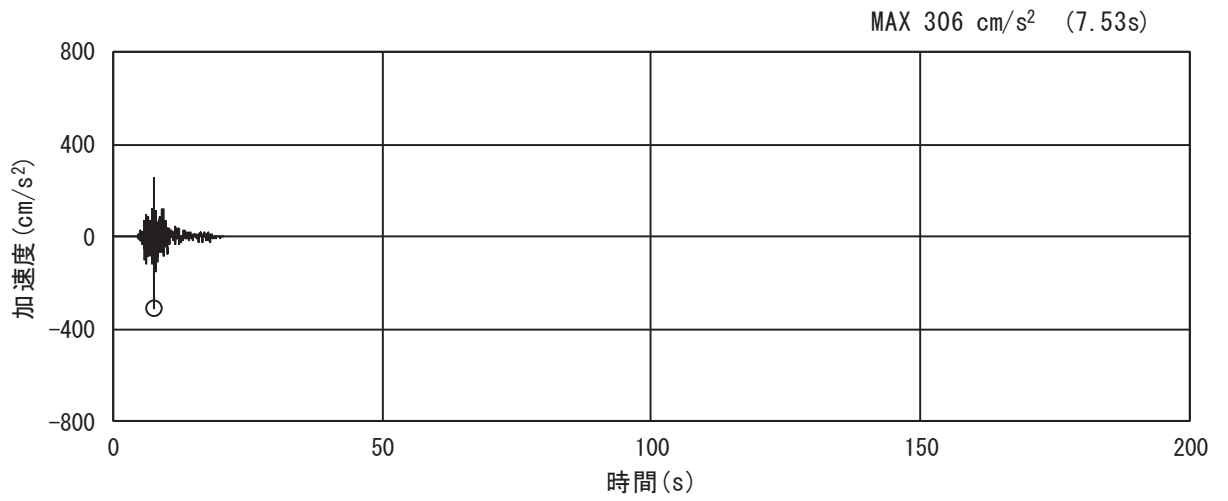


(a) 加速度時刻歴波形

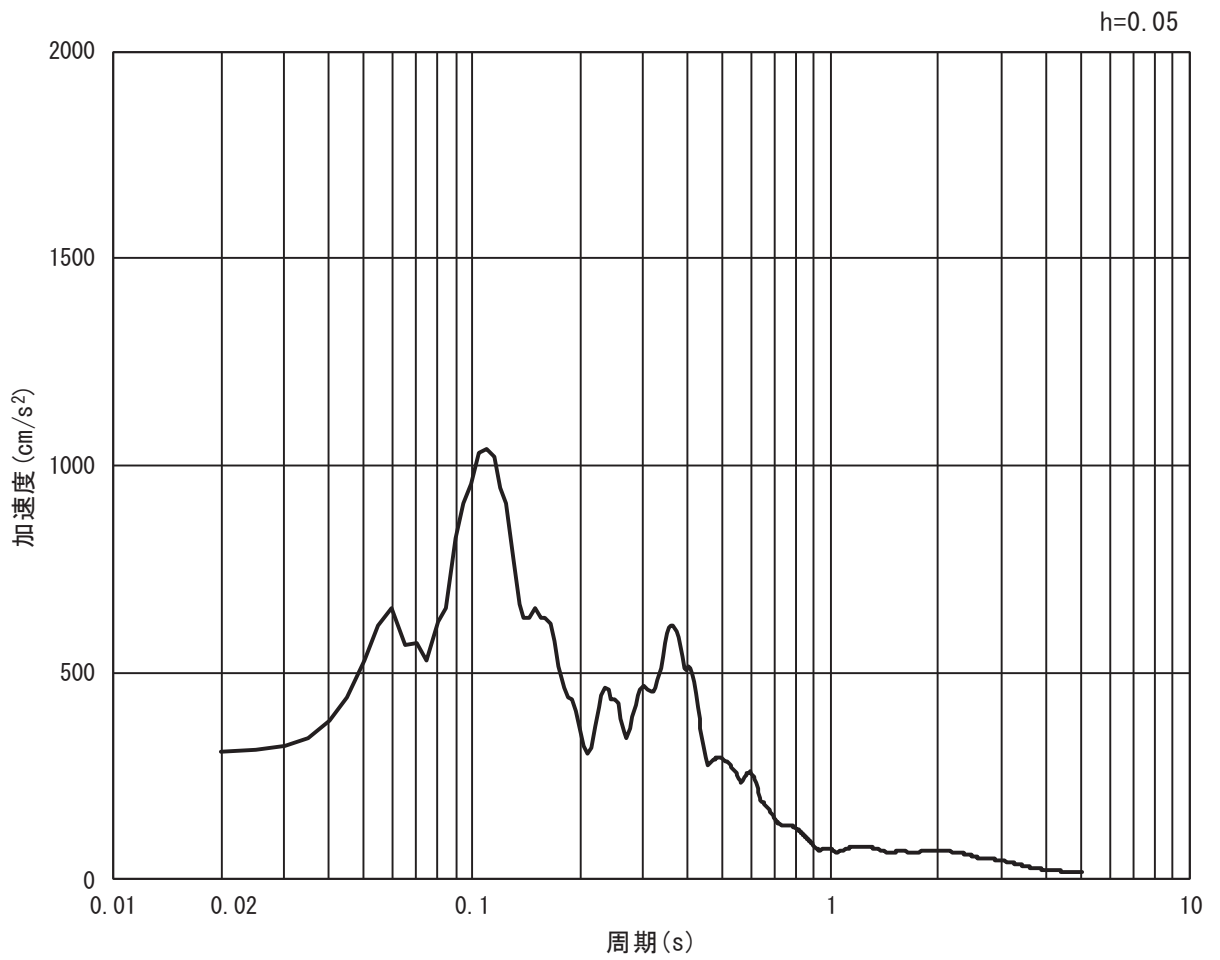


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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)



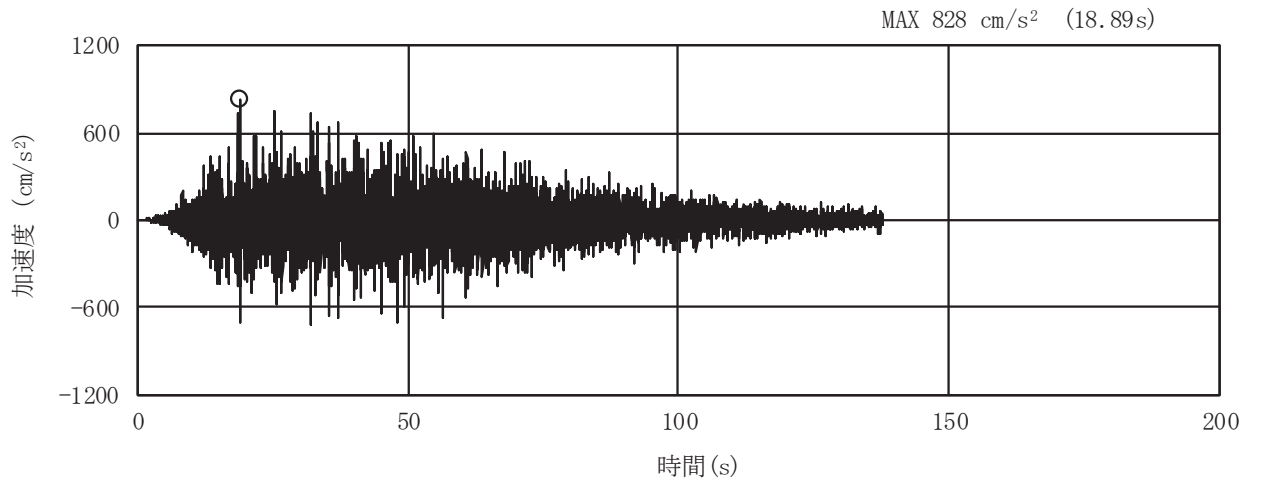
(a) 加速度時刻歴波形



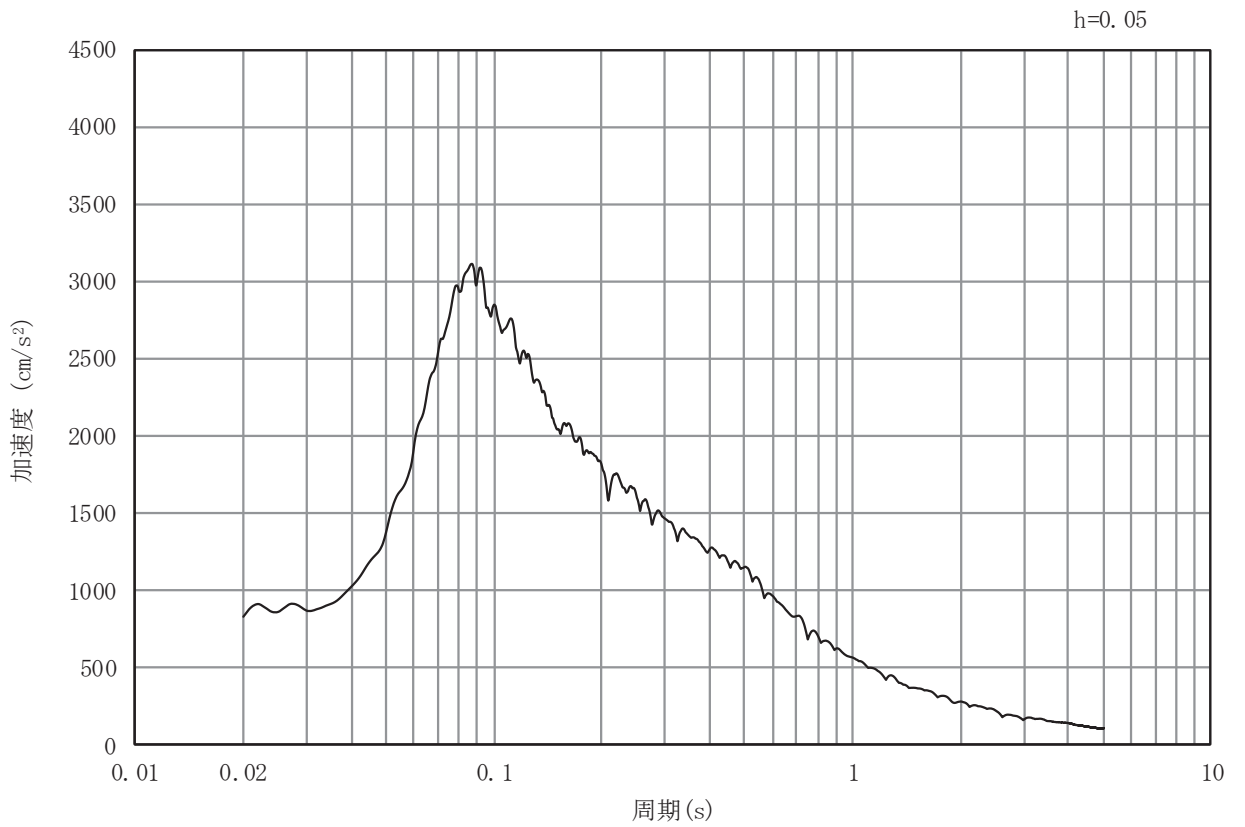
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 (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) 断面⑦

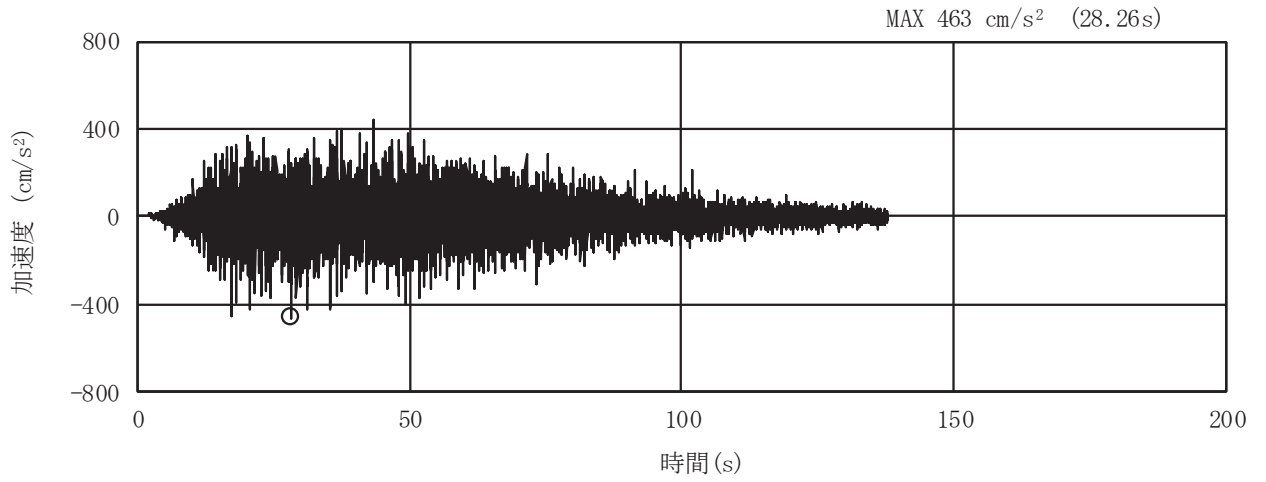


(a) 加速度時刻歴波形

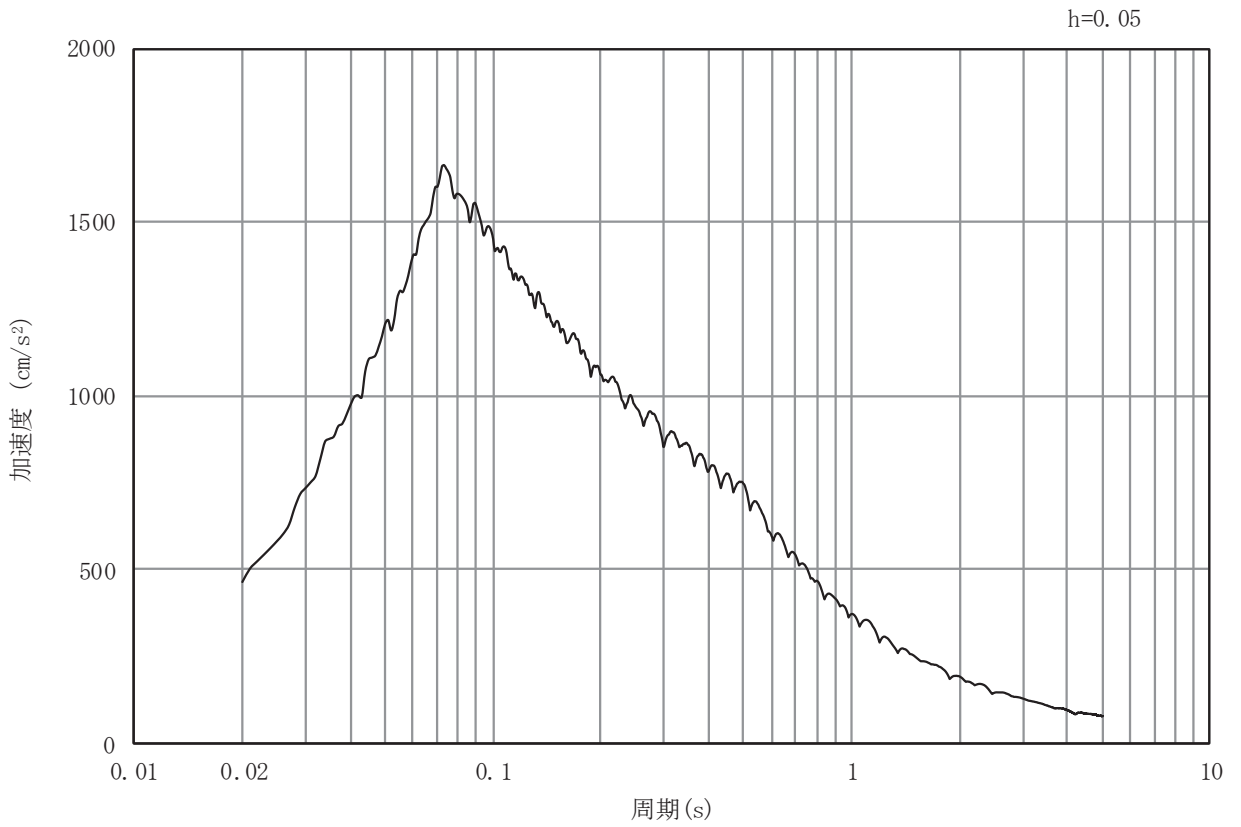


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

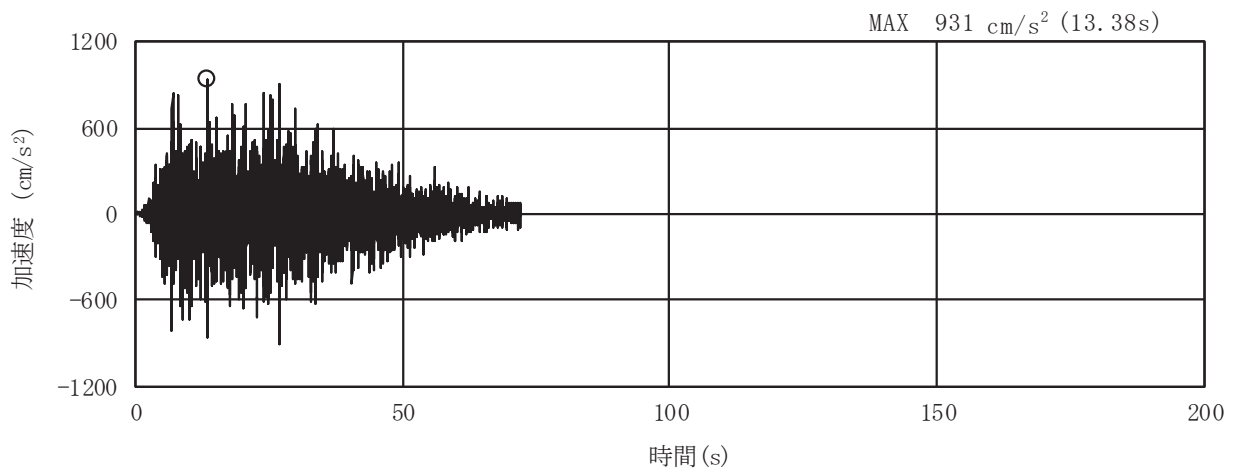


(a) 加速度時刻歴波形

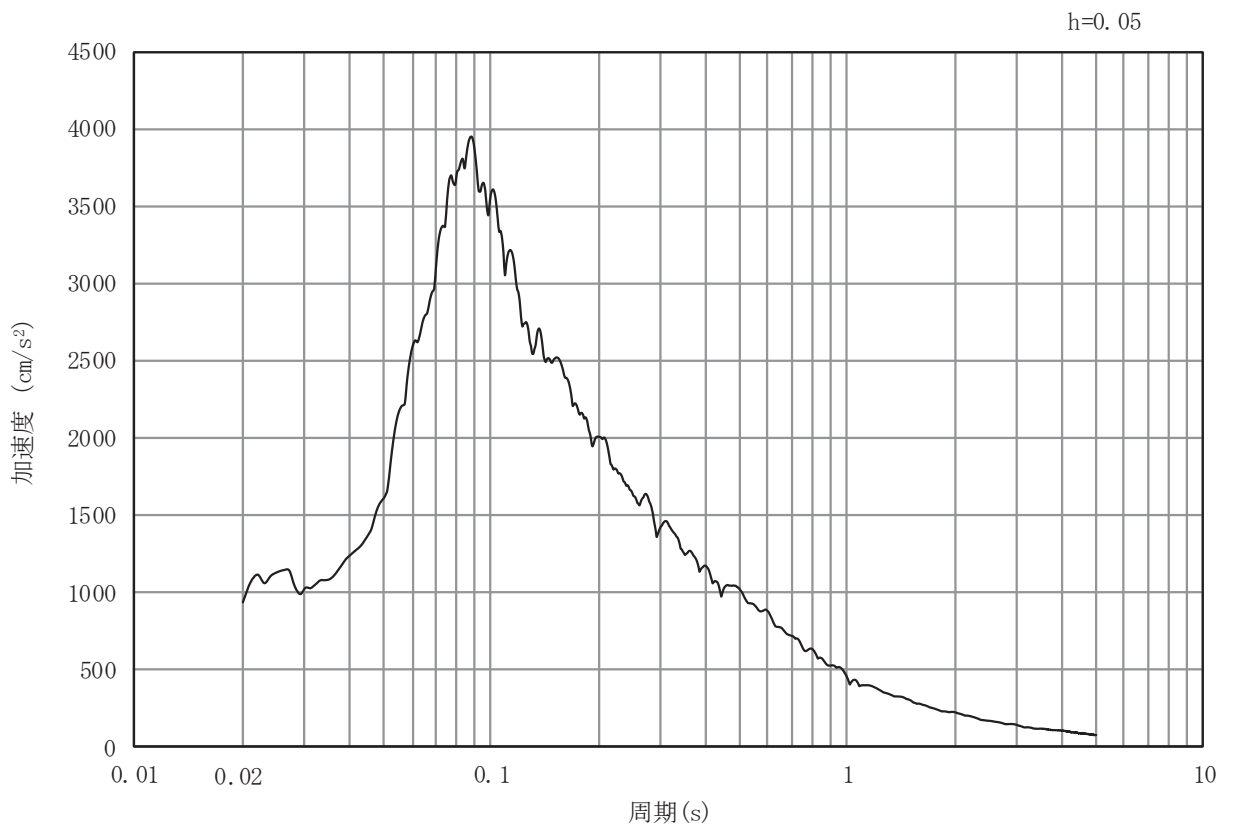


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

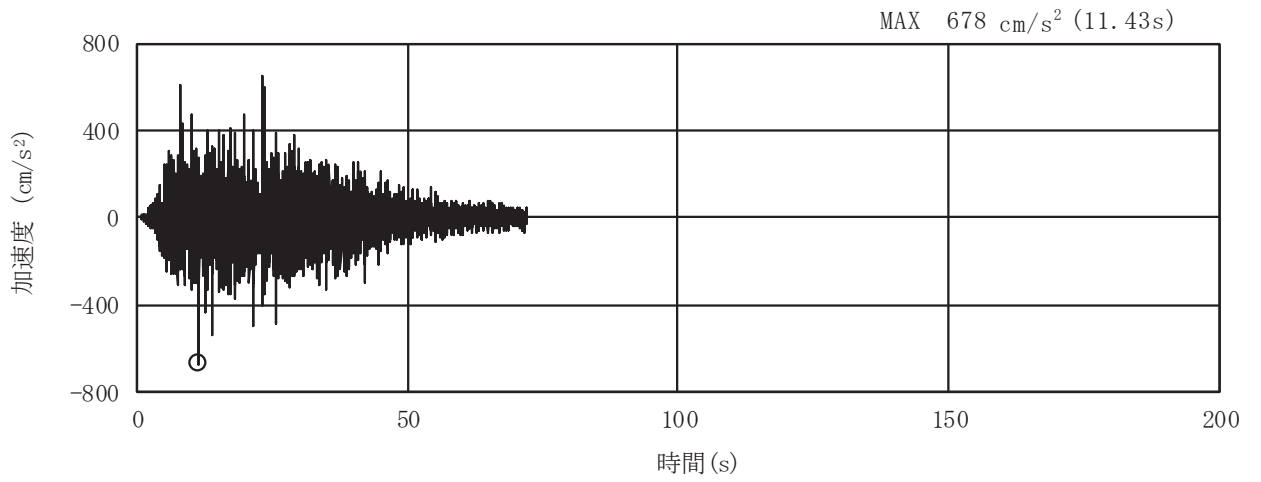


(a) 加速度時刻歴波形

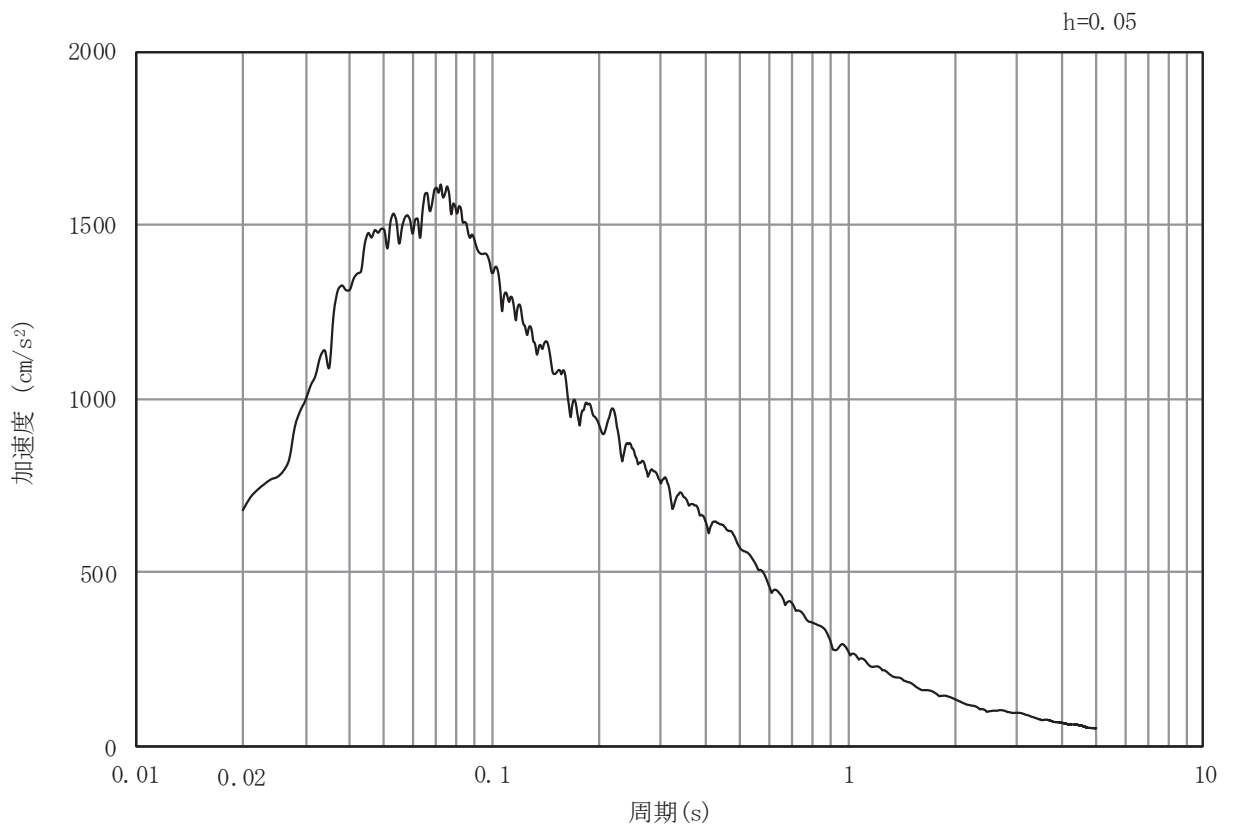


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

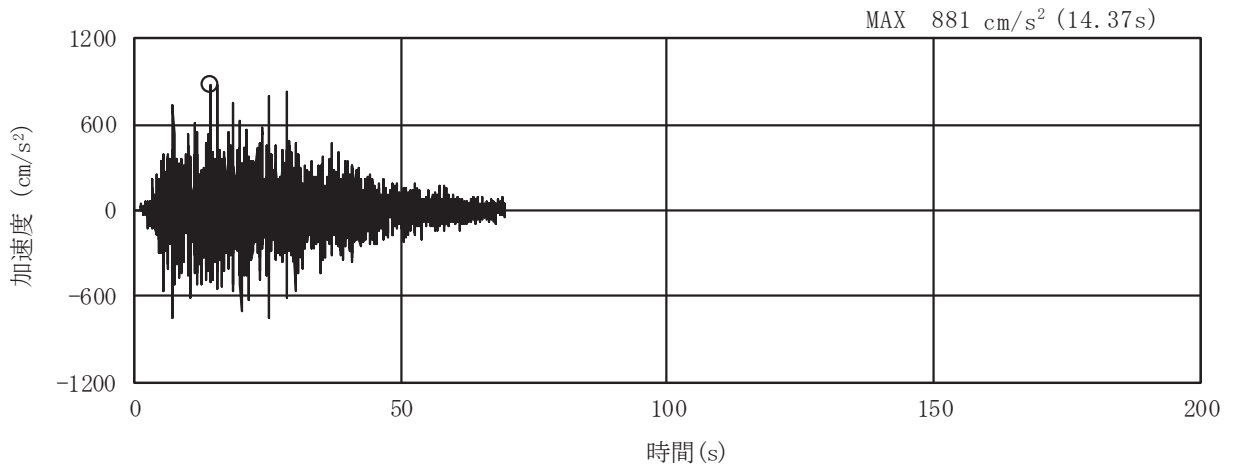


(a) 加速度時刻歴波形

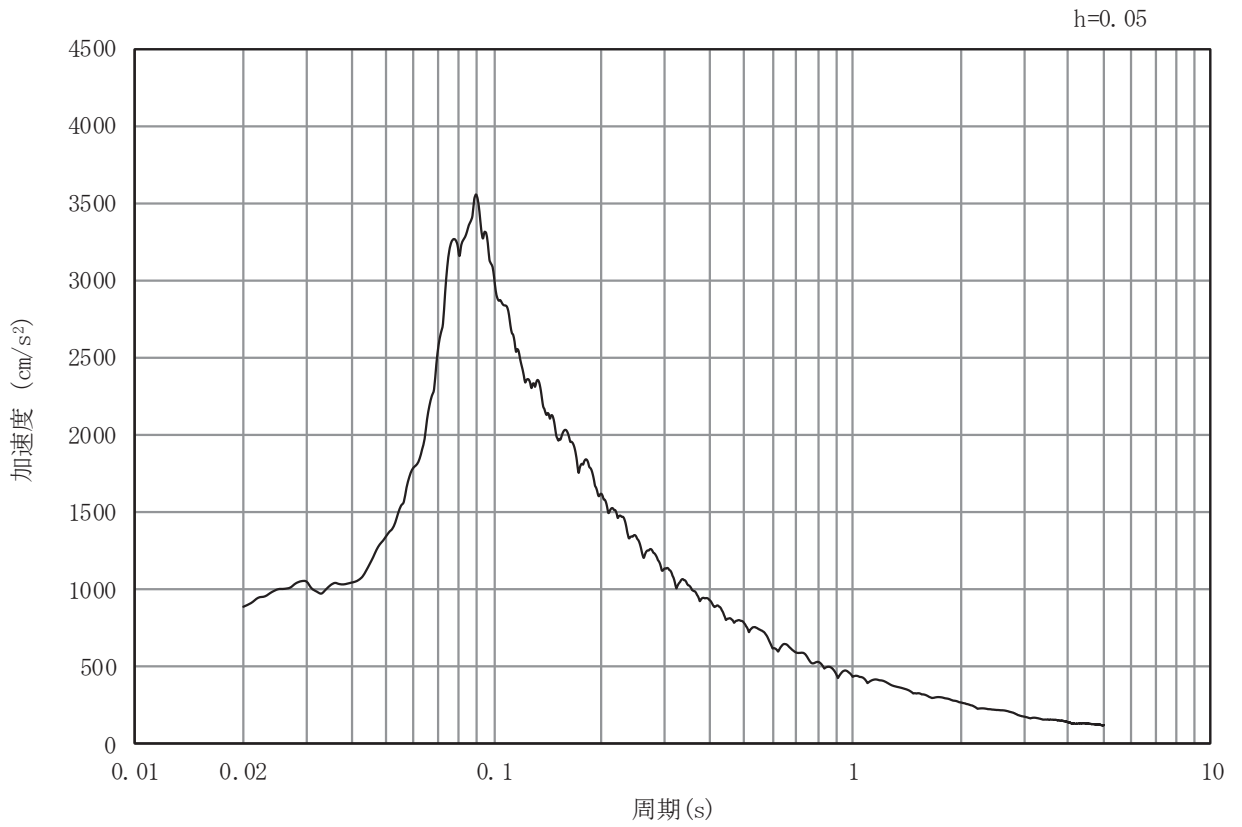


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

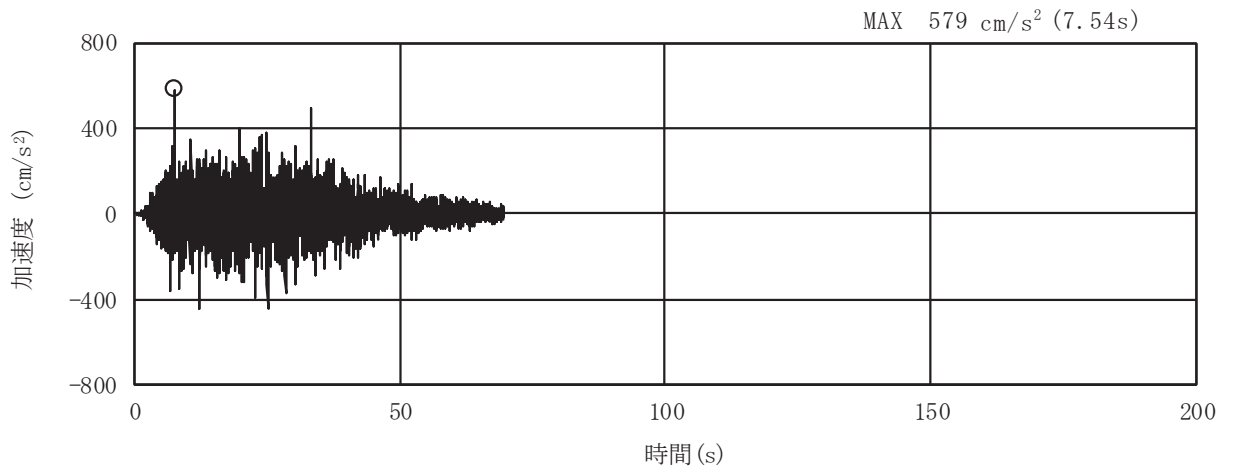


(a) 加速度時刻歴波形

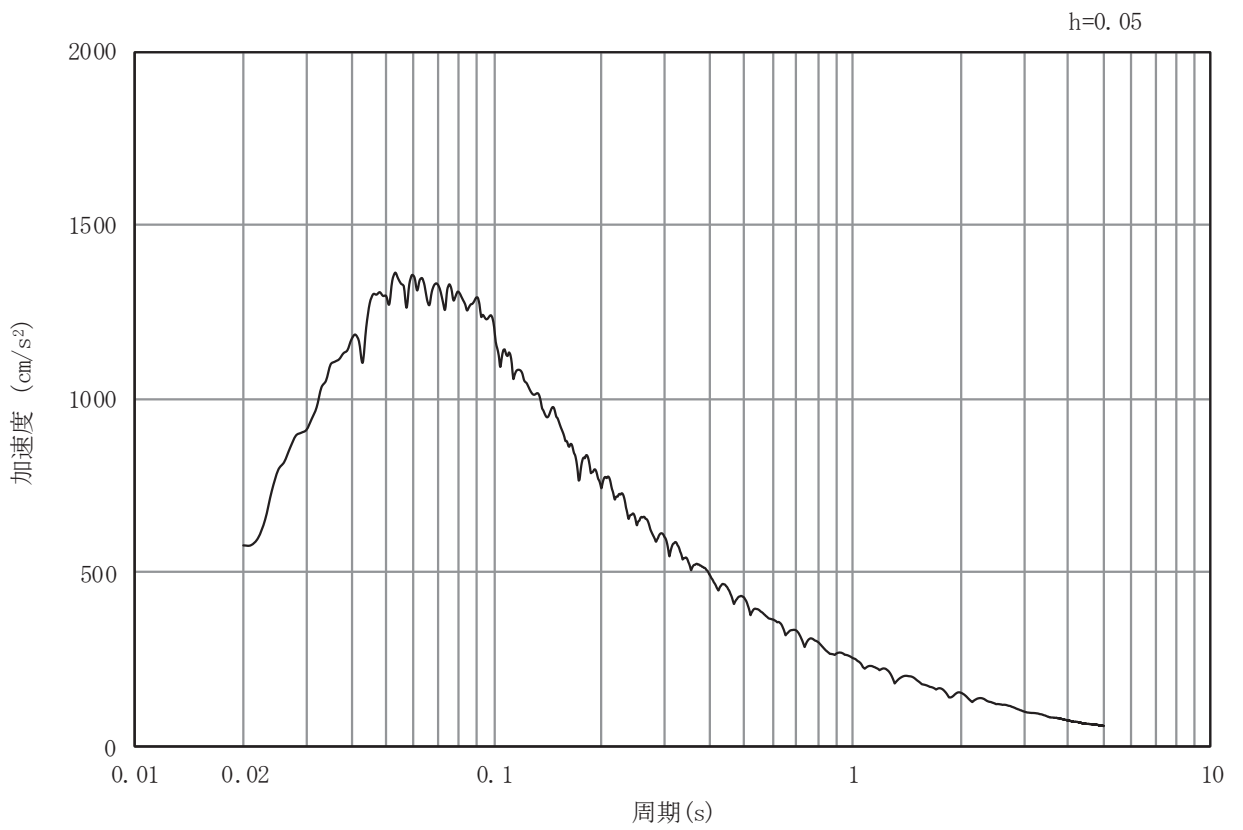


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

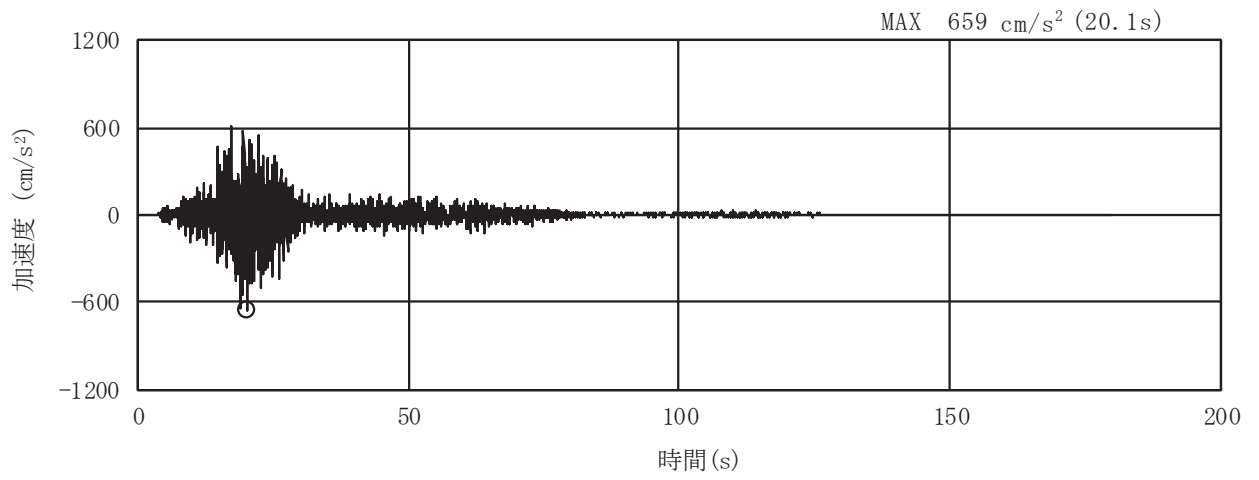


(a) 加速度時刻歴波形

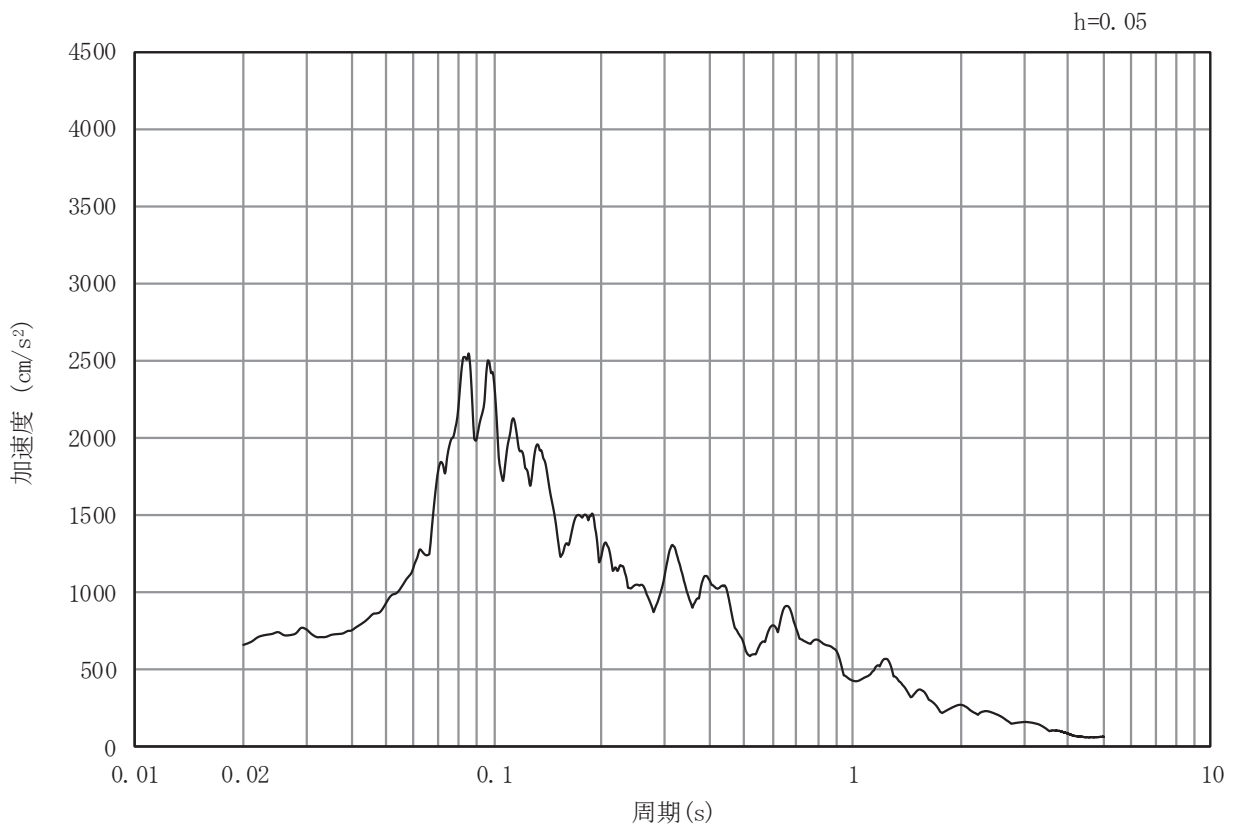


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

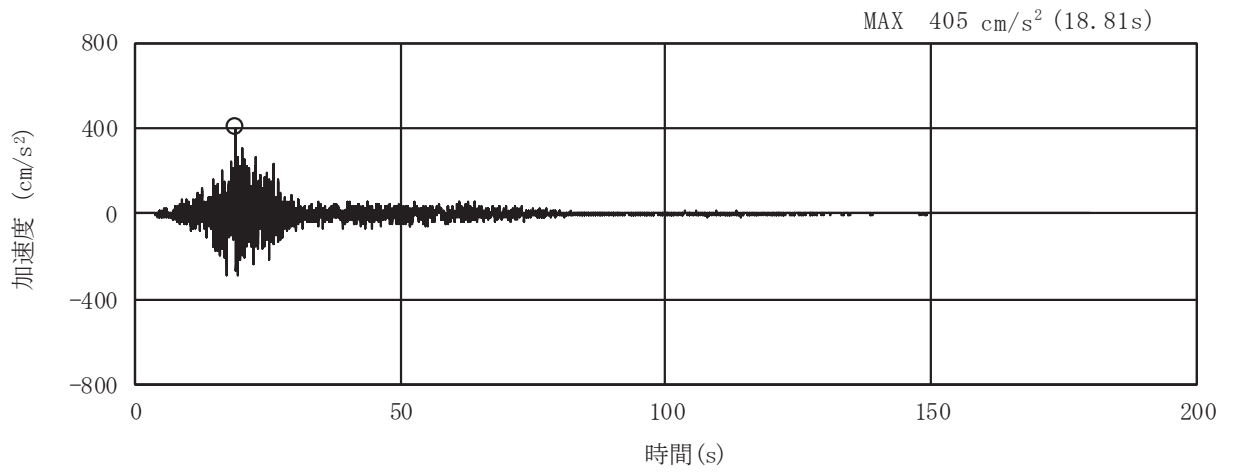


(a) 加速度時刻歴波形

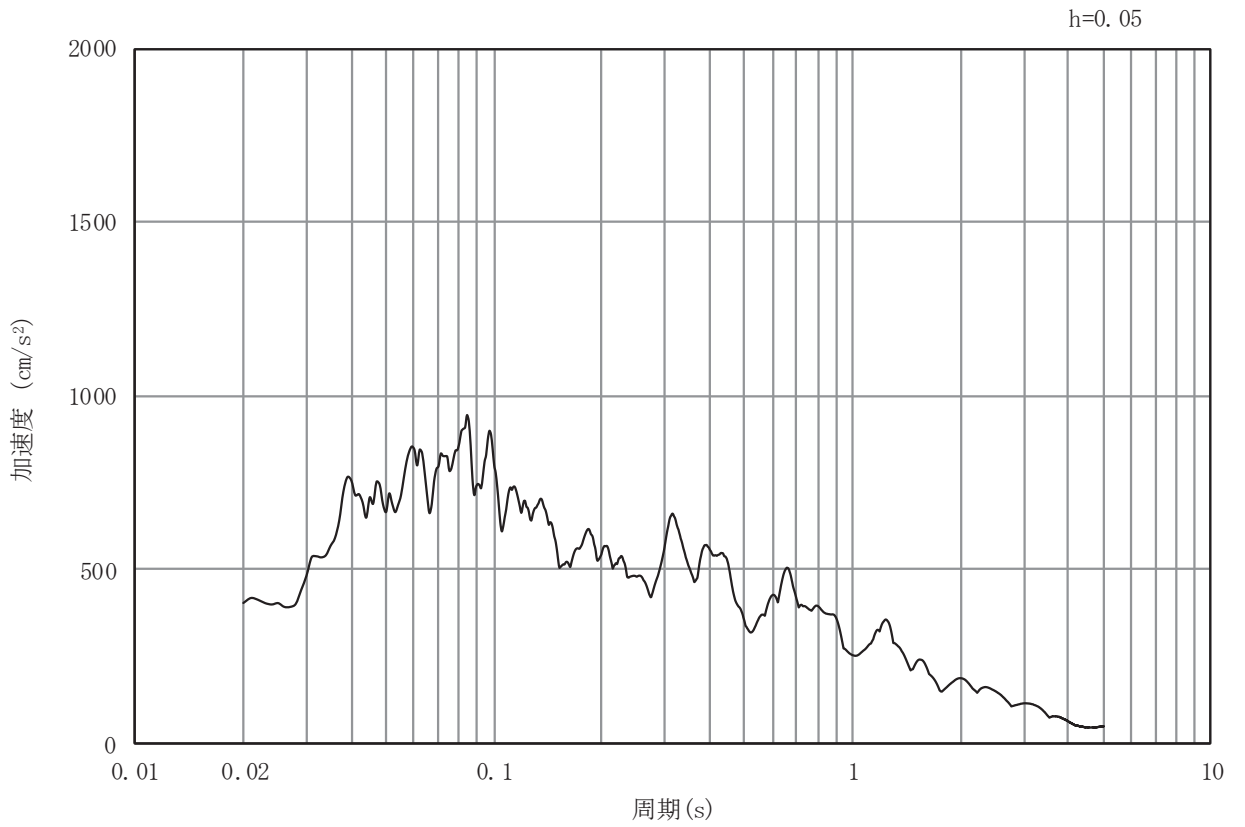


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

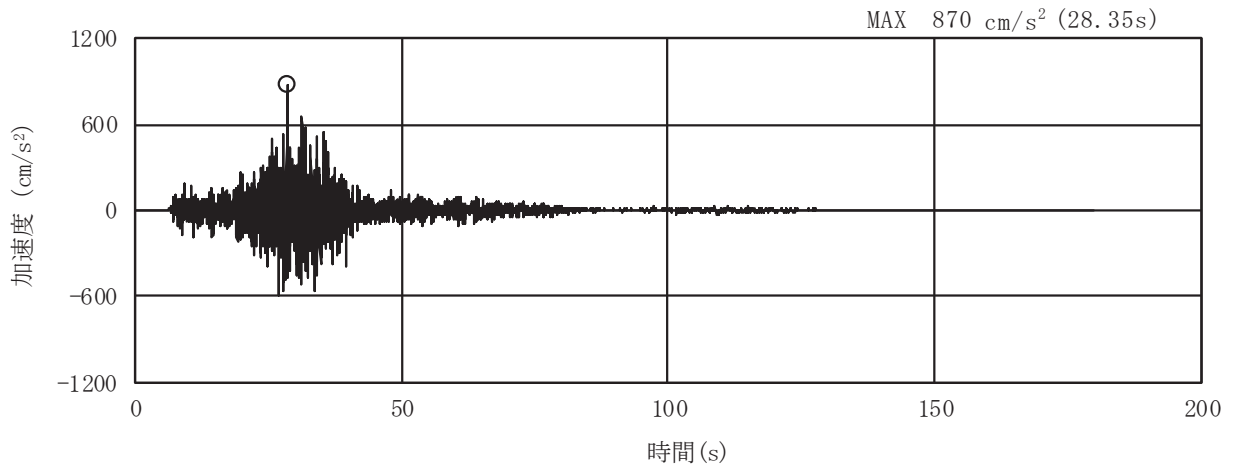


(a) 加速度時刻歴波形

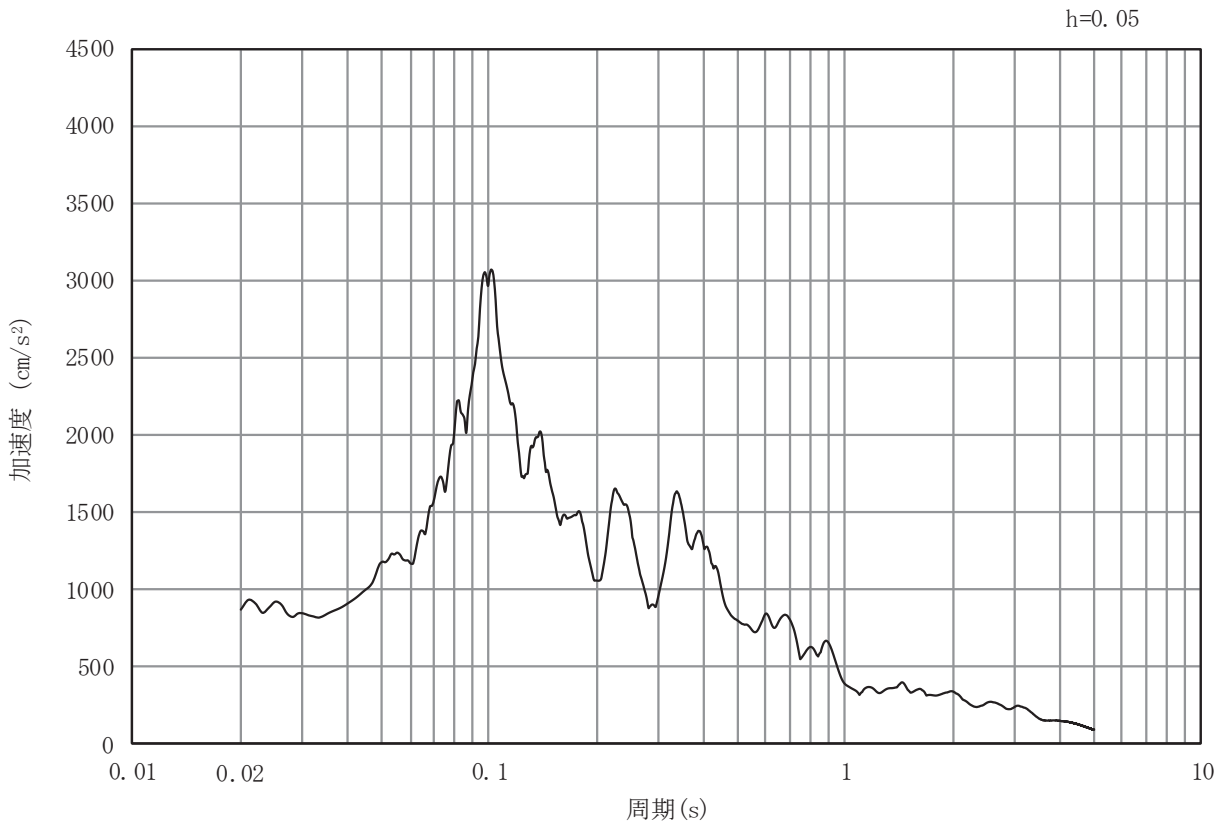


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

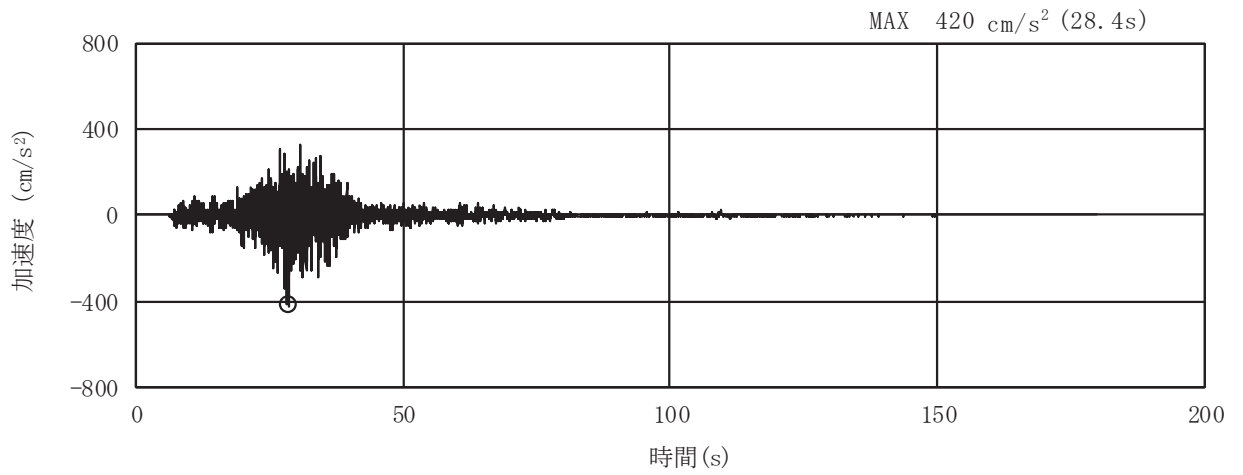


(a) 加速度時刻歴波形

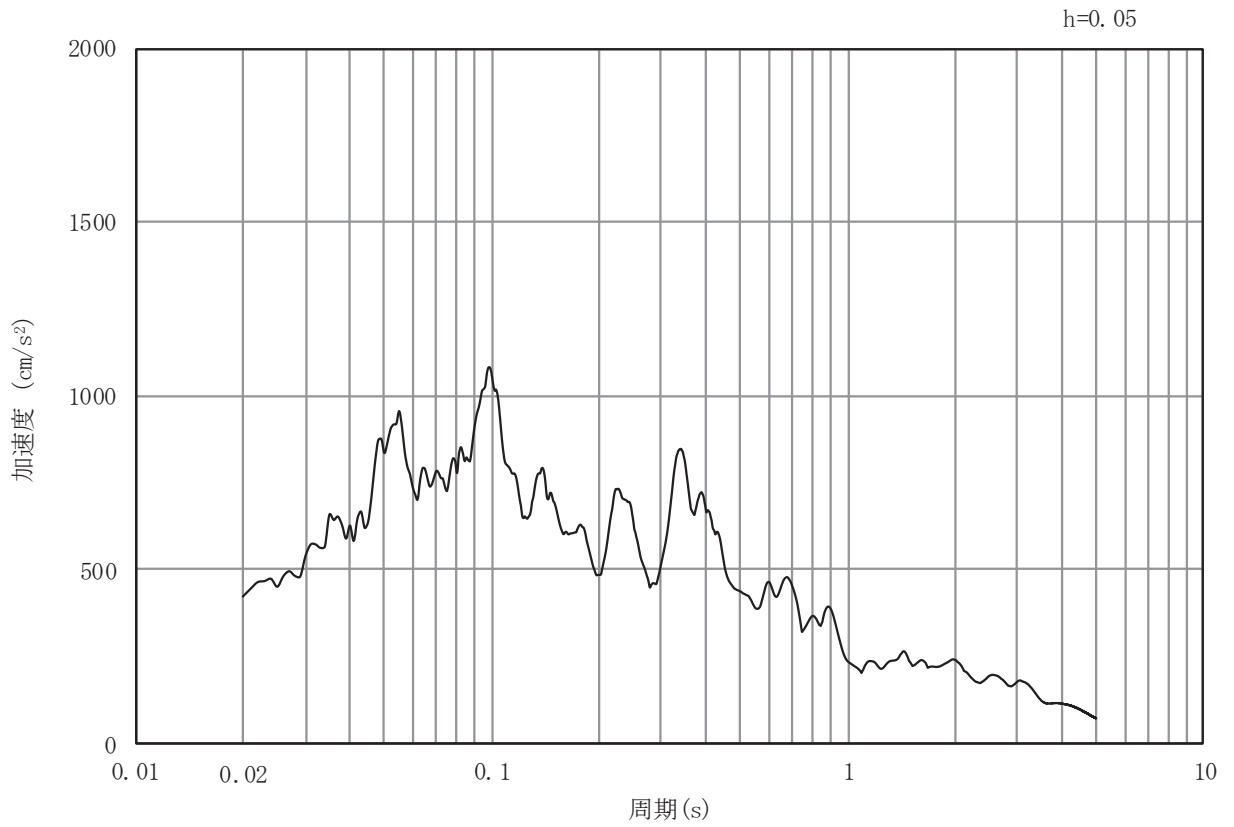


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

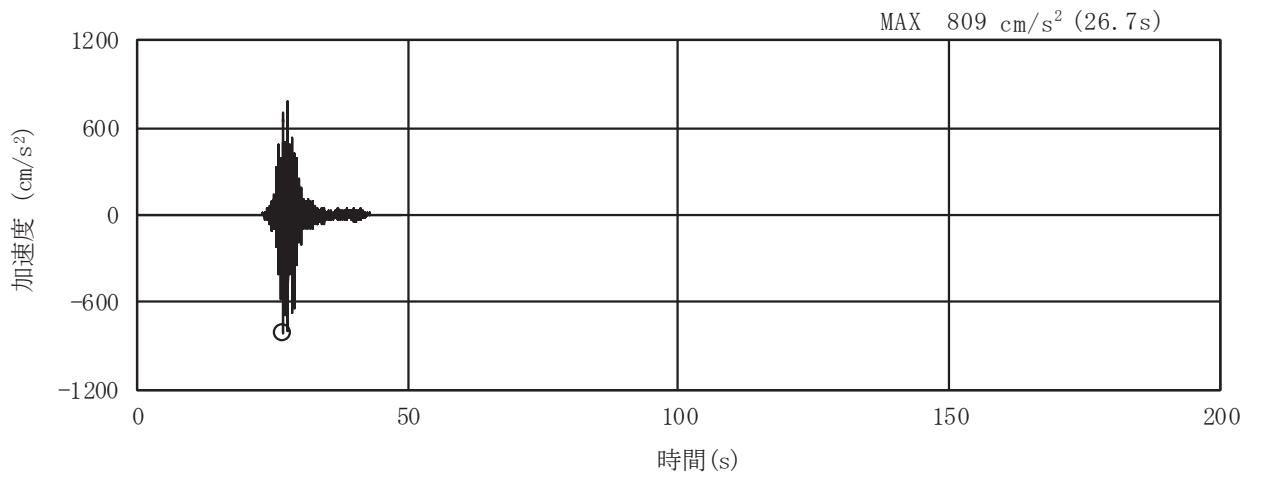


(a) 加速度時刻歴波形

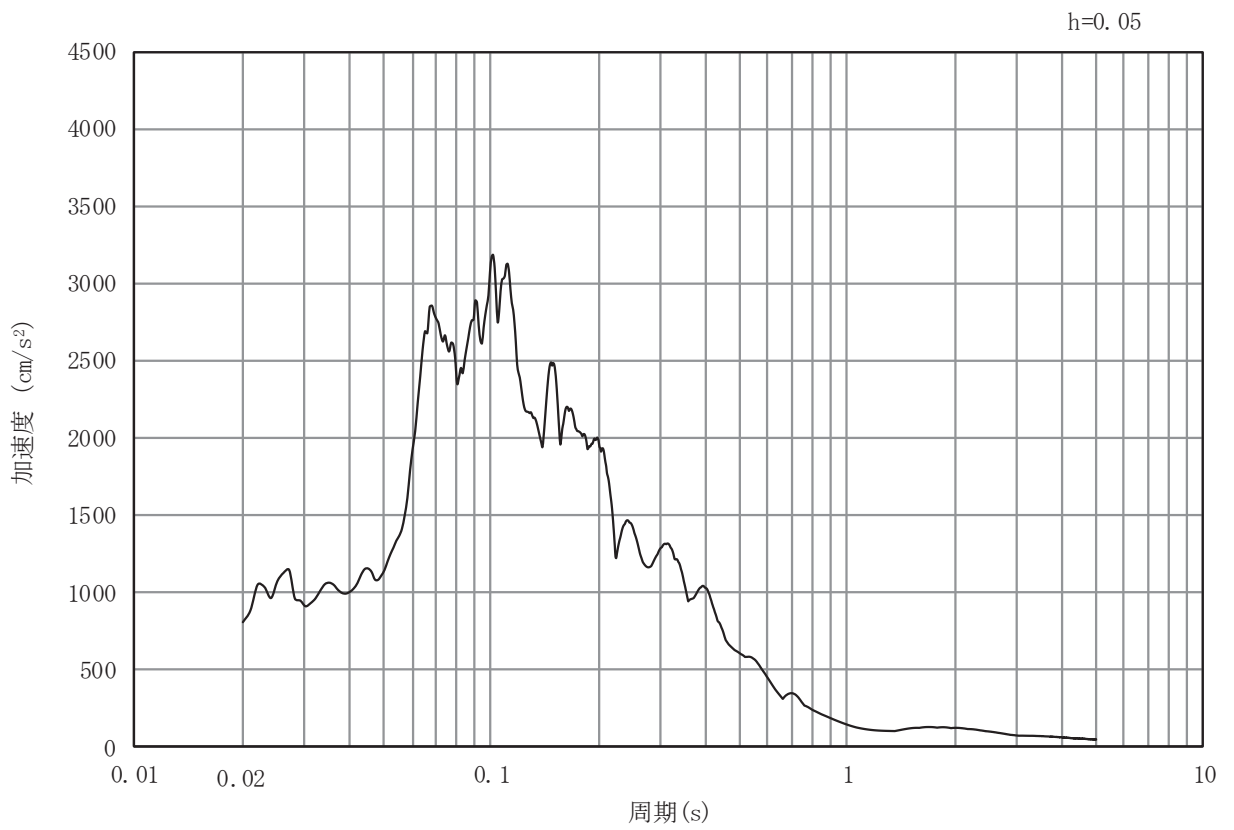


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

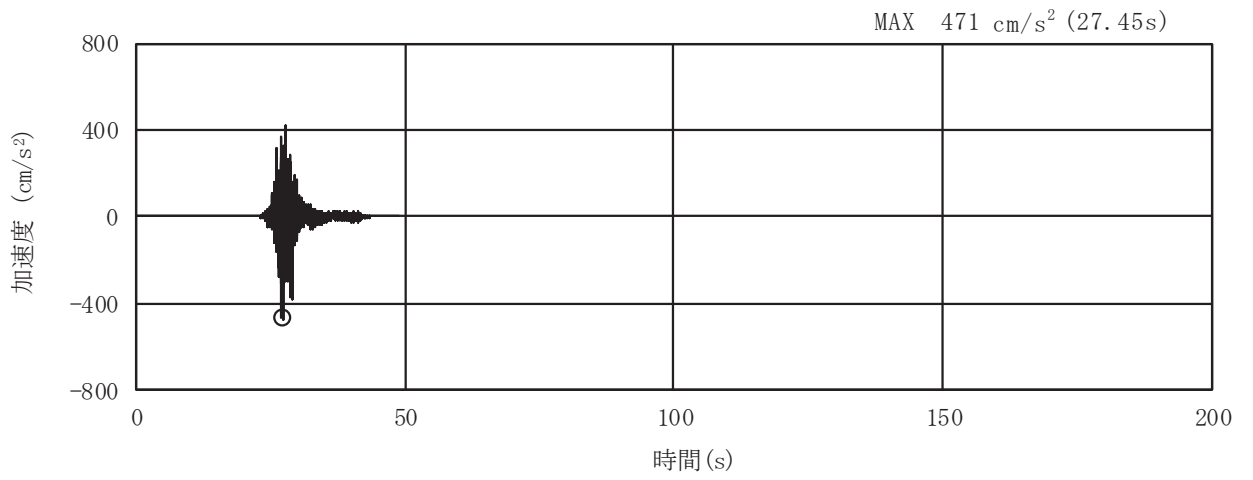


(a) 加速度時刻歴波形

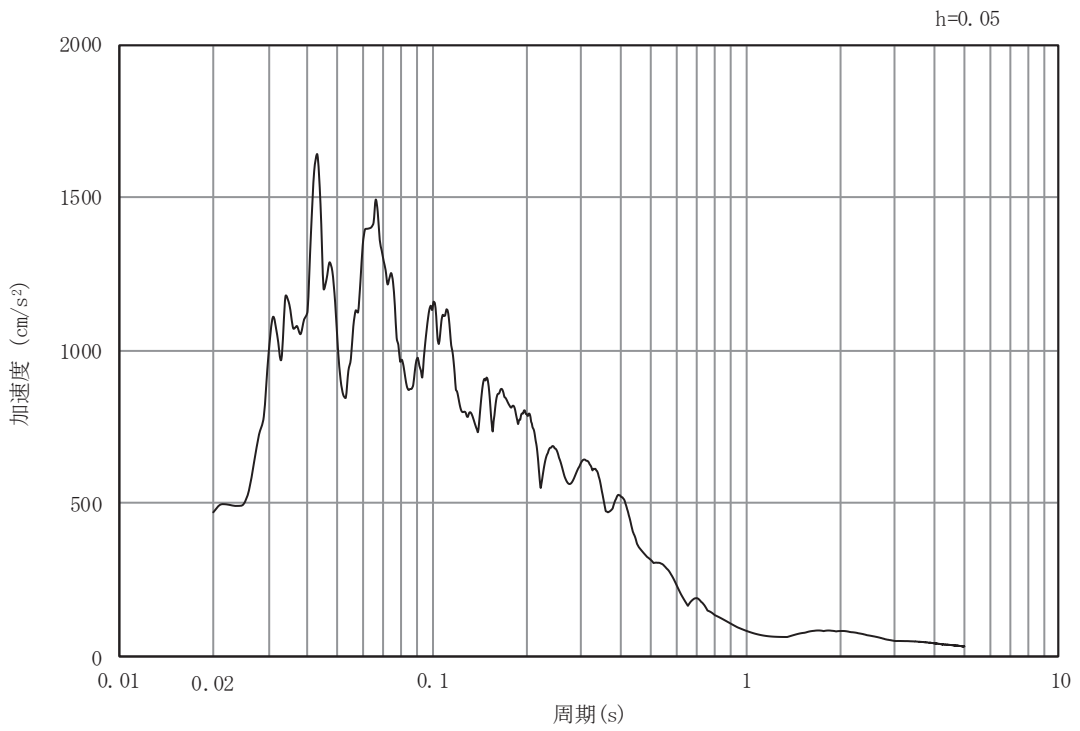


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

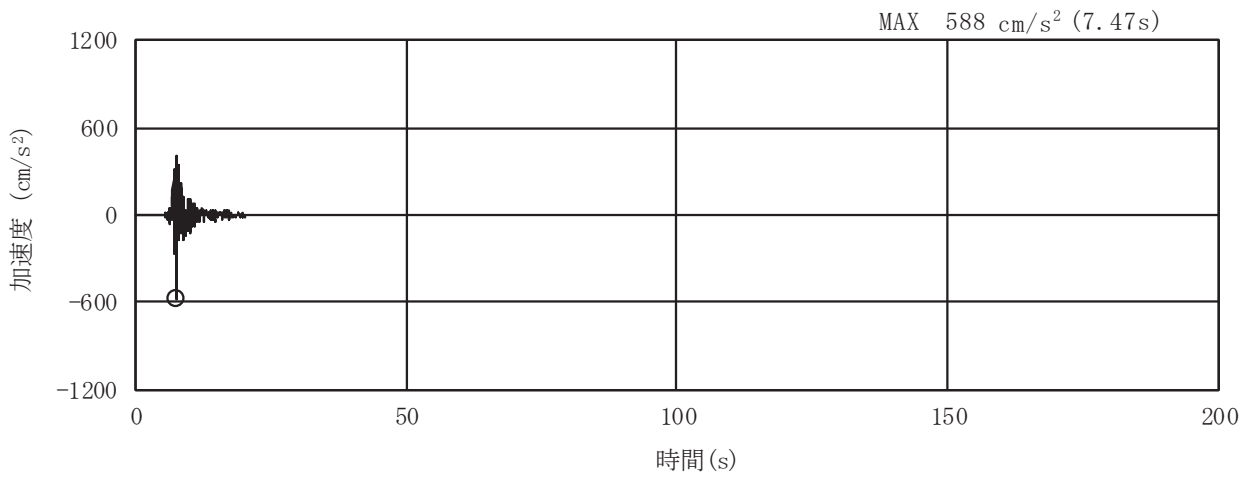


(a) 加速度時刻歴波形

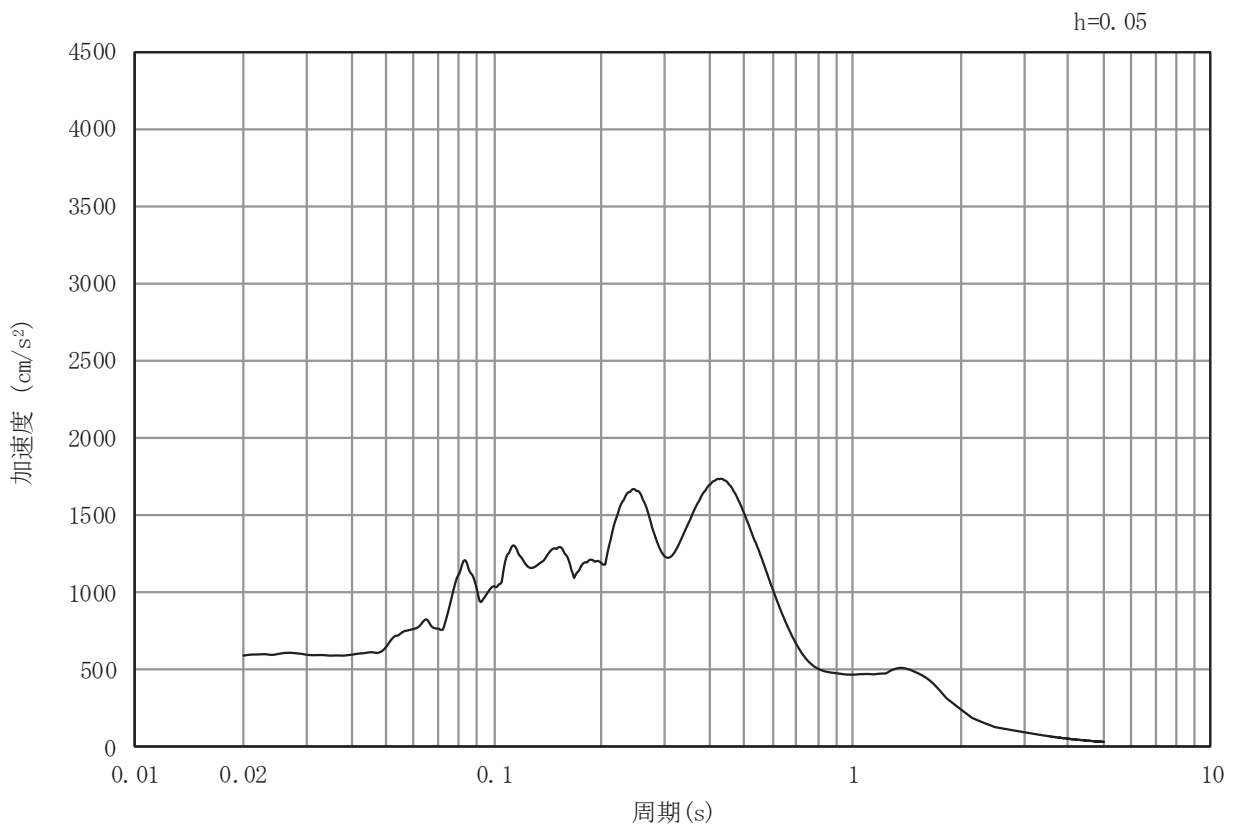


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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)

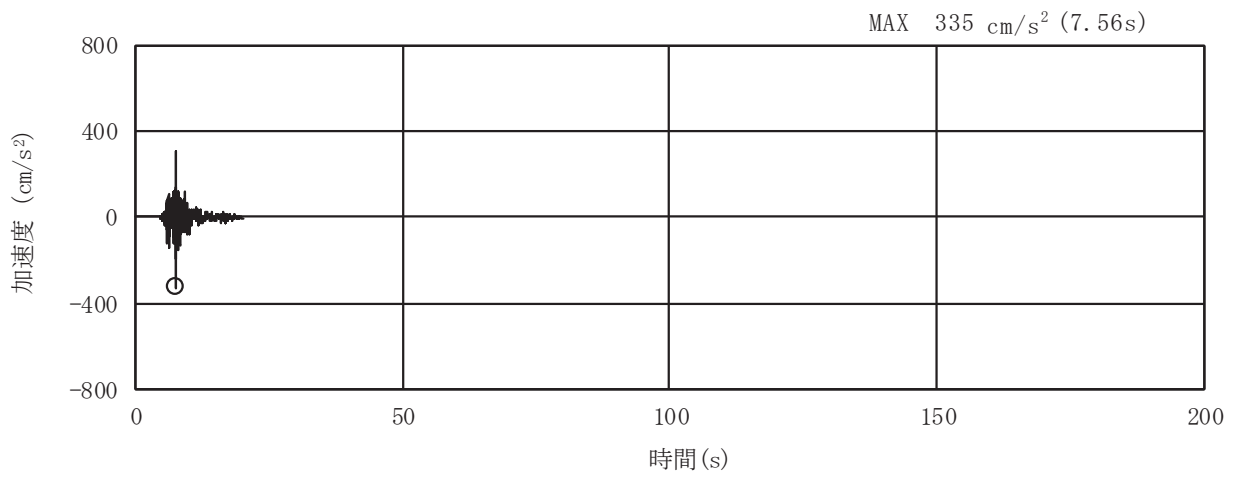


(a) 加速度時刻歴波形

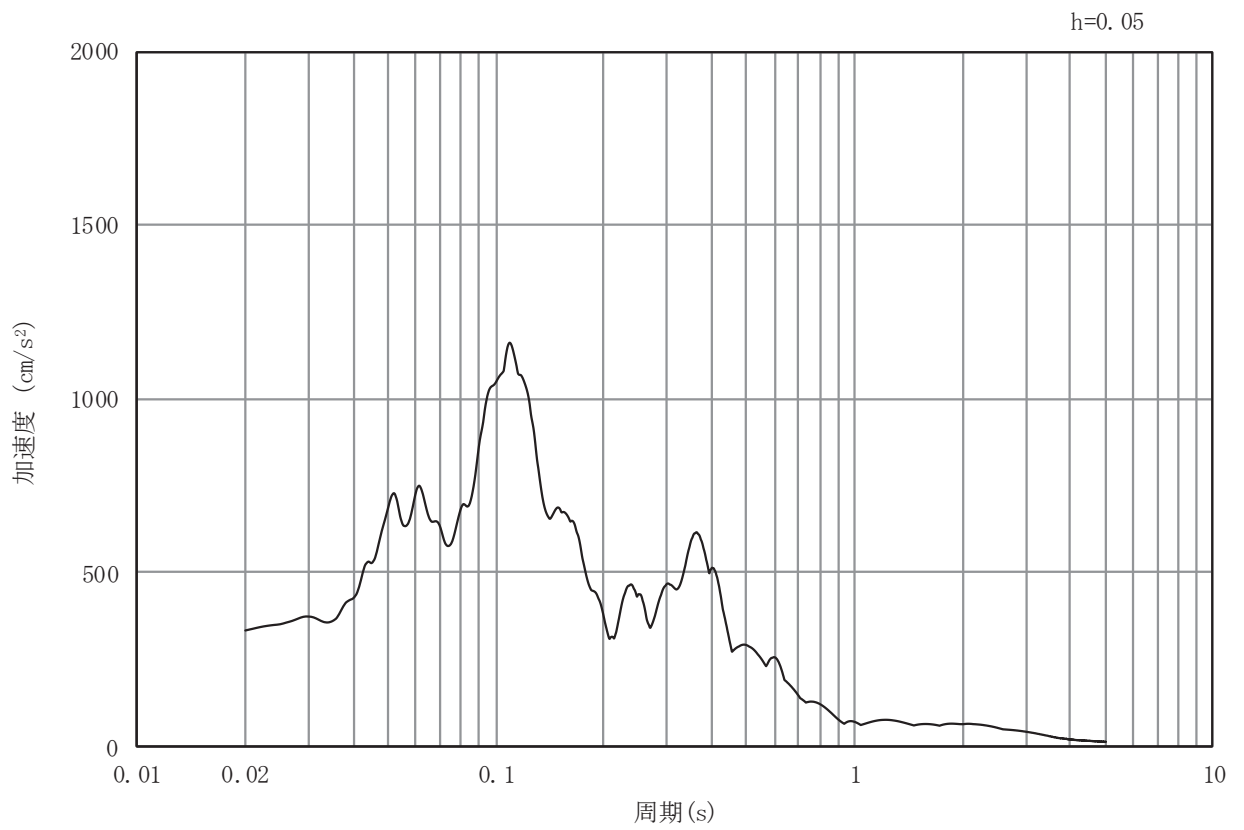


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 (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 3-19 (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

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の地震応答解析モデルを図 3-20～図 3-26 に示す。

(1) 解析領域

2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

2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

鋼管杭は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

また、岩盤部のうち RC 壁部は、鋼管杭及び RC 遮水壁を質点及び線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

2次元有限要素法解析においては 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、セメント改良土及び盛土・旧表土は、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。また、地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

岩盤部のうち RC 壁部における質点系モデルによる時刻歴応答解析では、周辺地盤を地盤ばねとダッシュポットでモデル化し、地盤と杭の相互作用を考慮する。地盤ばね及びダッシュポットを介して入力する地盤応答作成モデル（1次元）については、C₁級以上の岩盤のみが分布することから、線形でモデル化する。

地盤ばねのモデル化イメージ及び地盤応答作成モデルを図 3-27 に示す。

(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「背面補強工と盛土」，「改良地盤と盛土・旧表土」，「改良地盤と岩盤」，「置換コンクリートと岩盤」，「置換コンクリートと盛土・旧表土」，「改良地盤とセメント改良土」，「背面補強工とセメント改良土」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。ただし，表面を露出させて打継処理が可能である箇所については，ジョイント要素を設定しない。

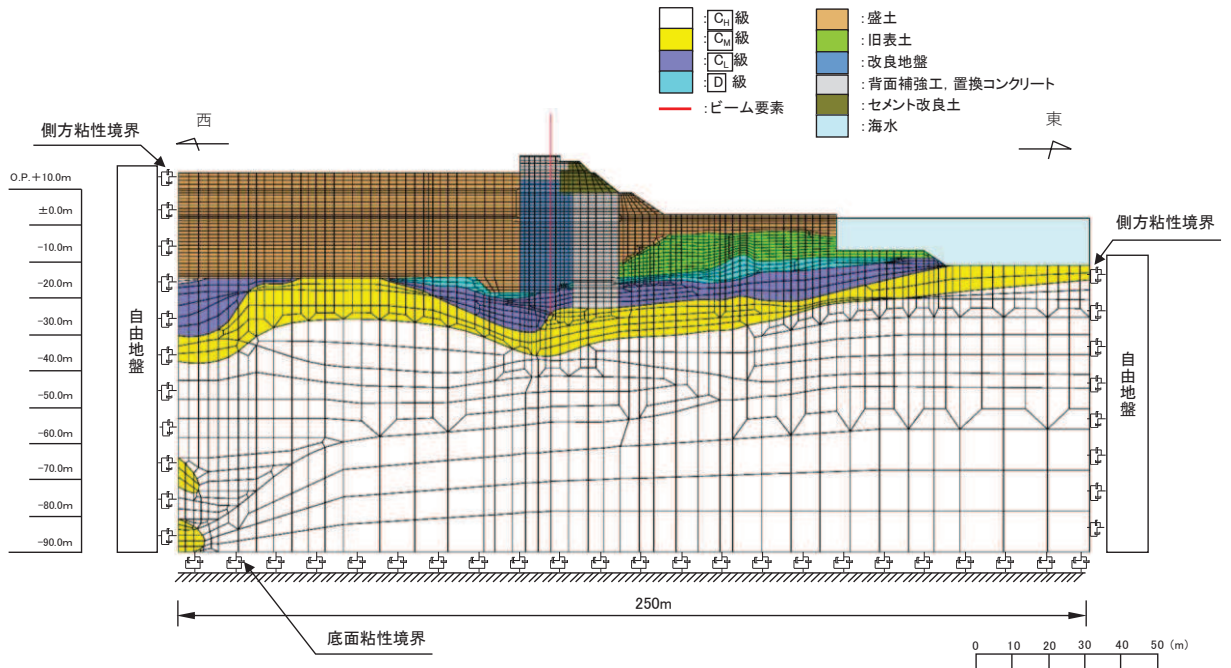


図 3-20 一般部の解析モデル (断面①)

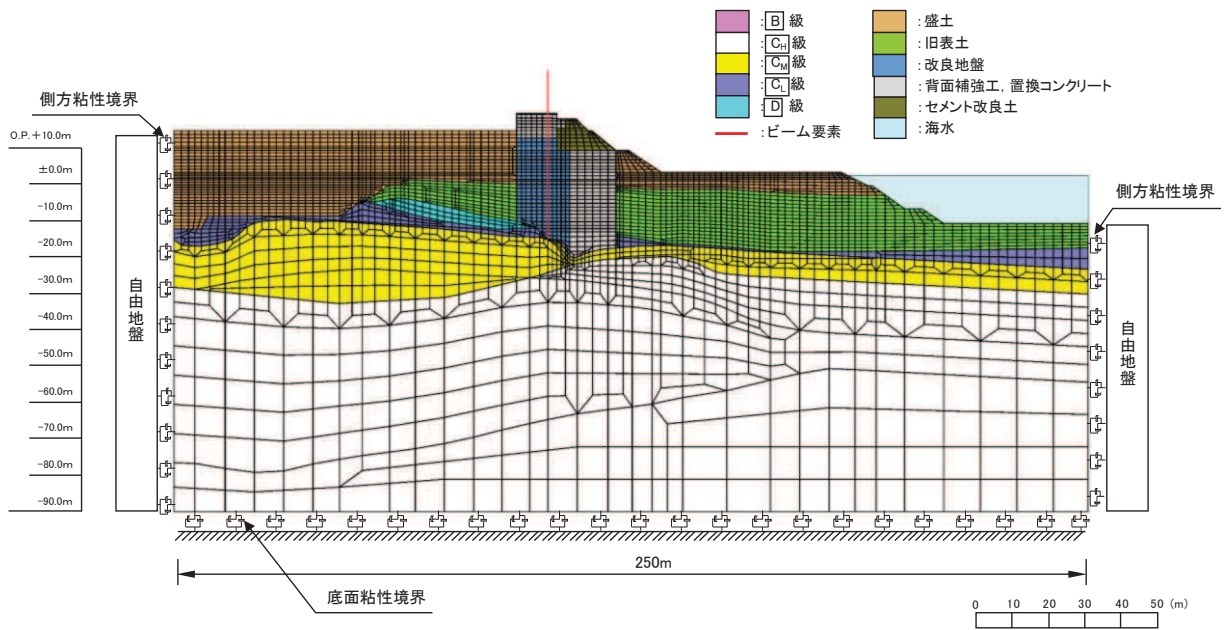


図 3-21 一般部の解析モデル (断面②)

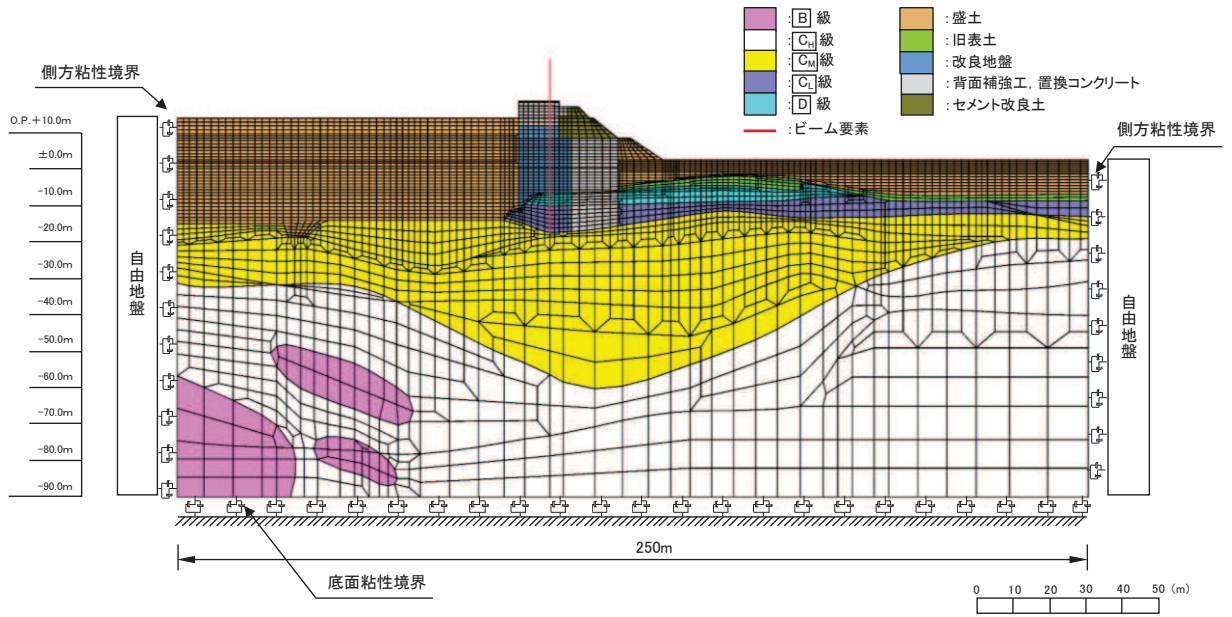


図 3-22 一般部の解析モデル (断面③)

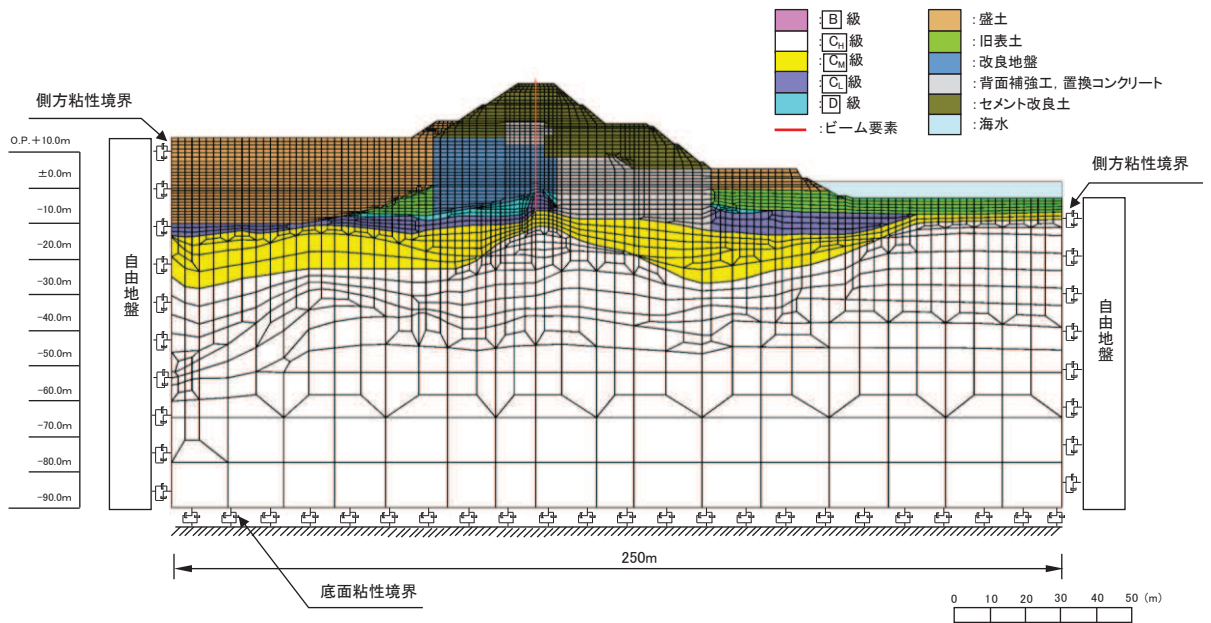


図 3-23 一般部の解析モデル (断面④)

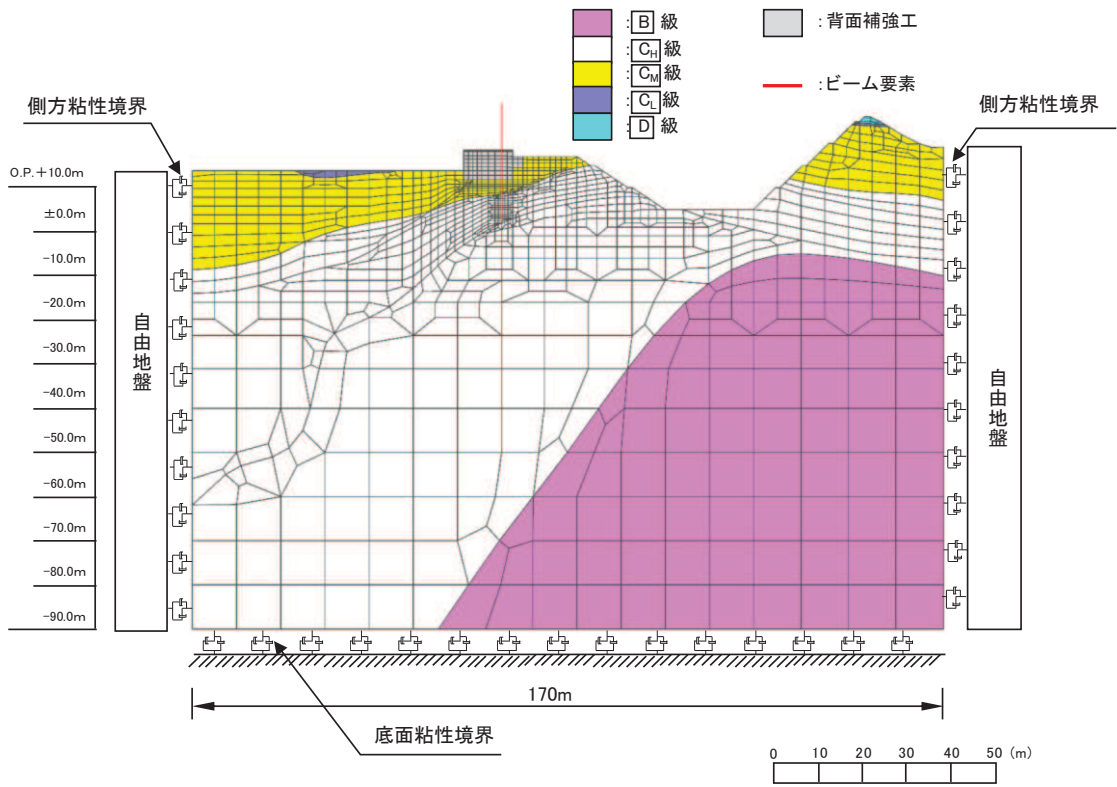


図 3-24 岩盤部の解析モデル (断面⑤)

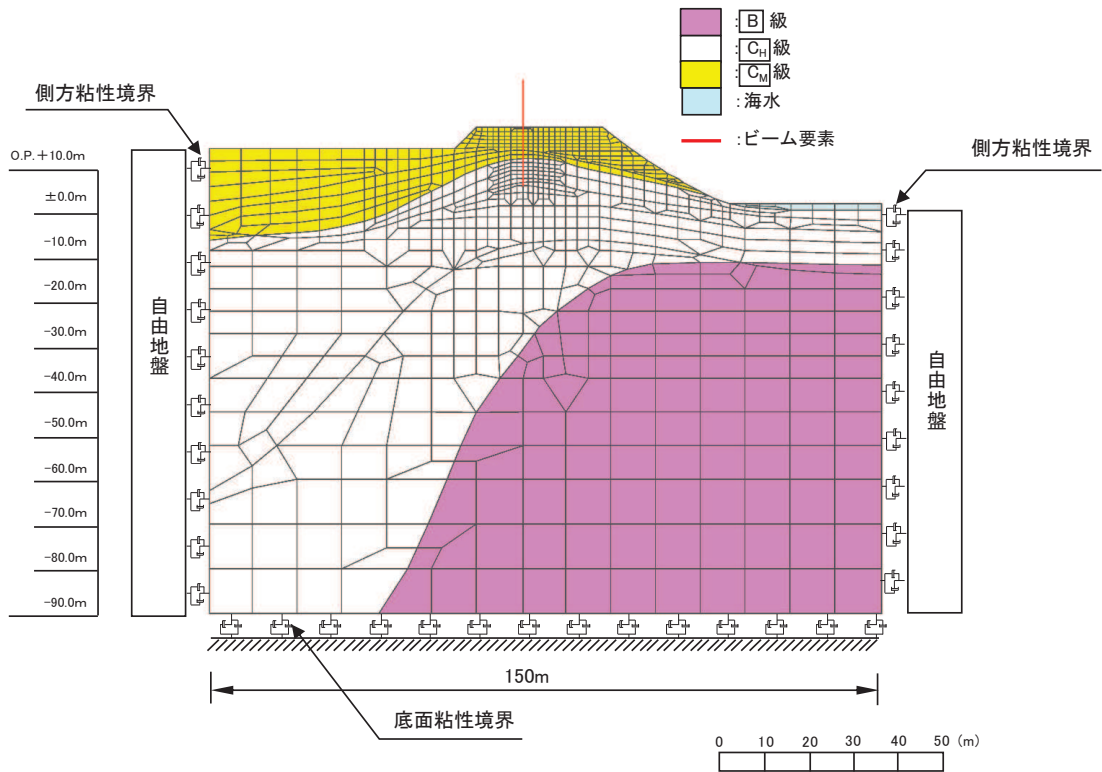


図 3-25 岩盤部の解析モデル (断面⑥)

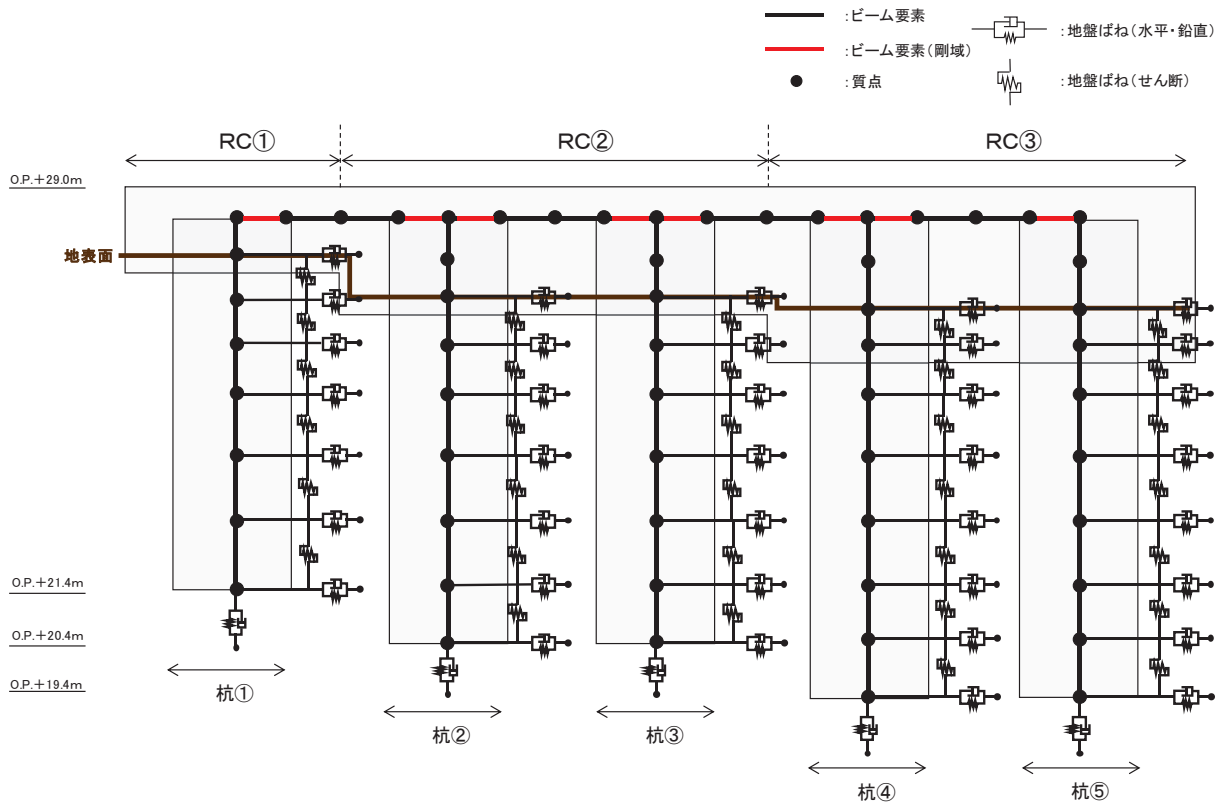
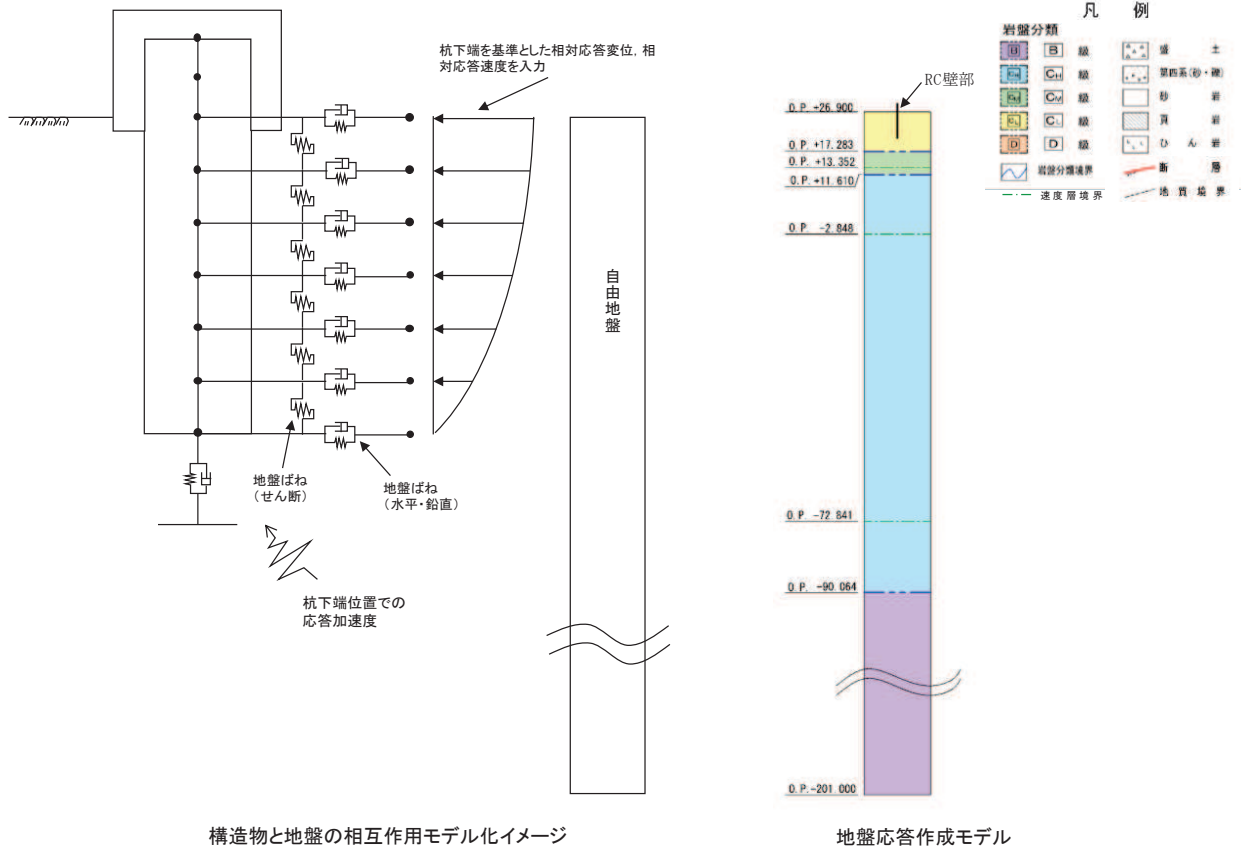


図 3-26 岩盤部の解析モデル (断面⑦)



構造物と地盤の相互作用モデル化イメージ

地盤応答作成モデル

図 3-27 岩盤部のうち RC 壁部の地盤ばねのモデル化イメージ及び地盤応答作成モデル (断面⑦)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 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 3-5 使用材料

材料		諸元	
コンクリート	背面補強工	設計基準強度 : 30 N/mm ²	
	置換コンクリート	設計基準強度 : 30 N/mm ²	
	RC 遮水壁	設計基準強度 : 40 N/mm ²	
鋼材	鋼管杭*	φ 2200mm	t=25mm (SKK490), t=40mm (SM570)
		φ 2500mm	t=25mm (SKK490), t=35mm (SM570)
	鋼製遮水壁*		SM570, SM490Y
	漂流物防護工*		SM570, SM490Y
	鉄筋		SD345

注記 * : 気中部分に露出する部分は、塗装による防食処理を行うことから、鋼管杭の腐食代を考慮する必要は無いものの、設計の保守性の観点から断面照査時に念のため、**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**に基づき腐食代 1 mm を考慮する。杭体、鋼製遮水壁（スキンプレート）及び漂流物防護工の断面照査において、腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

表 3-6(1) 材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	背面補強工	24.0	2.80×10 ⁴	0.2
	置換コンクリート	22.5	2.80×10 ⁴	0.2
	RC 遮水壁	24.0	3.10×10 ⁴	0.2
鋼管杭	SM570, SKK490	77.0	2.00×10 ⁵	0.3
鋼材	SM570, SM490Y	77.0	2.00×10 ⁵	0.3

表 3-6(2) 材料の物性値 (コンクリートの強度特性)

材料		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)
コンクリート	背面補強工	6.00* ¹	-* ²	2.22* ³	-* ²
	置換コンクリート				

注記 *1 : 土木学会 2013 年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編

*2 : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

*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]

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 3-3～図 3-6 及び図 3-9～図 3-11 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 3-7 に示す。

表 3-7 設計用地下水位の一覧

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
防潮堤（鋼管式鉛直壁）	断面①	O.P. +1.43m（朔望平均満潮位）
	断面②	
	断面③	
	断面④	防潮堤より山側で地表面，海側で O.P. +1.43m（朔望平均満潮位）に設定する。（盛土堤防との境界部であることも踏まえ，盛土堤防と同様の設定）
	断面⑤	岩盤表面
	断面⑥	
	断面⑦	

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

3.6.1 施設・地盤の健全性評価

(1) 一般部

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は、鋼管杭、鋼製遮水壁、漂流物防護工、背面補強工、置換コンクリート、改良地盤及びセメント改良土とする。

(2) 岩盤部

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は、鋼管杭、鋼製遮水壁、漂流物防護工及び背面補強工とする。

(3) 岩盤部のうち RC 壁部

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は、鋼管杭及び RC 遮水壁とする。

3.6.2 施設の変形性評価

施設の変形性評価に係る評価対象部位は、構造物間に設置する止水ジョイント部材のゴムジョイント及びウレタンシリコーン目地とする。

3.6.3 基礎地盤の支持性能評価

(1) 一般部

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、鋼管杭、背面補強工及び置換コンクリートを支持する基礎地盤とする。

(2) 岩盤部

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、鋼管杭及び背面補強工を支持する基礎地盤とする。

(3) 岩盤部のうち RC 壁部

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、鋼管杭を支持する基礎地盤とする。

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 鋼管杭

鋼管杭の許容限界は日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編及び日本道路協会 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、短期許容応力度とする。

鋼管杭の許容応力度の考え方を図 3-28 に、許容限界を表 3-8 に示す。

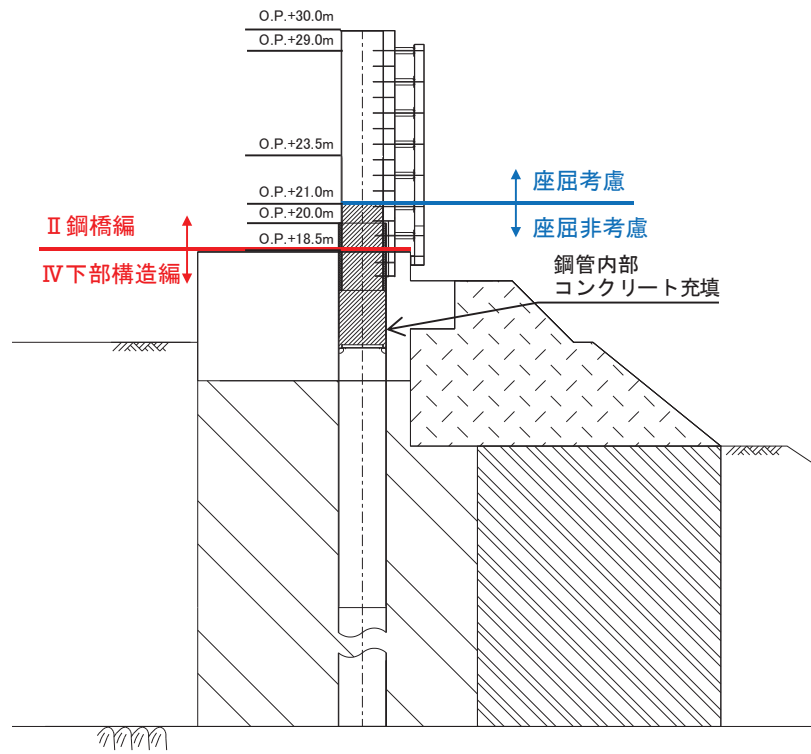


図 3-28(1) 鋼管杭の許容応力度の考え方 (一般部)

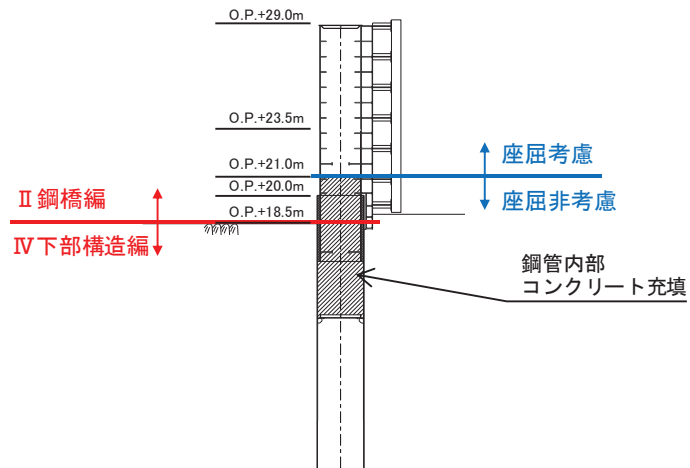


図 3-28(2) 鋼管杭の許容応力度の考え方 (岩盤部)

表 3-8(1) 鋼管杭の許容限界（一般部，断面①～断面③）

杭種		設置標高		座屈	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²) * 2	
					許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度	許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度
鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	O. P. +30. 0m～ O. P. +23. 5m		座屈 考慮	161* ¹	96* ¹	241* ¹	145* ¹
	SM570 (t=40mm)	O. P. +23. 5m～ O. P. +21. 0m			224* ¹	137* ¹	336* ¹	206* ¹
		O. P. +21. 0m～ O. P. +20. 0m		255	145	382	217	
鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	長杭	O. P. +20. 0m～ O. P. ±0. 0m	座屈 非 考慮	255	145	382	217
		短杭	O. P. +20. 0m～ O. P. +5. 0m					
	SKK490 (t=25mm)	長杭	O. P. ±0. 0m～ 杭下端		185	105	277	157
		短杭	O. P. +5. 0m～ O. P. +2. 5m					

注記 * 1 : 座屈を考慮する場合，鋼管杭の応力状態に応じた許容応力度を用いるが，ここでは許容応力度が最小となるように算定した値を示す。

* 2 : 短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 3-8(2) 鋼管杭の許容限界（一般部，断面④）

杭種		設置標高		座屈	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²) * 2	
					許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度	許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度
鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	O. P. +30. 0m～ O. P. +29. 0m		座屈 考慮	178* 1	96* 1	268* 1	145* 1
		O. P. +29. 0m～ O. P. +23. 5m			185	105	277	157
	SM570 (t=40mm)	O. P. +23. 5m～ O. P. +20. 0m			255	145	382	217
鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	長杭	O. P. +20. 0m～ O. P. +1. 024m	座屈 非 考慮	255	145	382	217
		短杭	O. P. +20. 0m～ O. P. +5. 0m					
	SKK490 (t=25mm)	長杭	O. P. +1. 024m～杭 下端		185	105	277	157
		短杭	O. P. +5. 0m～ O. P. +2. 5m					

注記 * 1 : 座屈を考慮する場合，鋼管杭の応力状態に応じた許容応力度を用いるが，ここでは許容応力度が最小となるように算定した値を示す。

* 2 : 短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 3-8(3) 鋼管杭の許容限界（岩盤部，断面⑤～⑥）

杭種		設置標高		座屈	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²) * 2	
					許容曲げ 圧縮応力度	許容せん 断応力度	許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度
鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	O. P. +29. 0m～ O. P. +23. 5m		座屈	164* 1	96* 1	246* 1	145* 1
	SM570 (t=40mm)	O. P. +23. 5m～ O. P. +21. 0m		考慮	229* 1	137* 1	344* 1	206* 1
		O. P. +21. 0m～ O. P. +20. 0m			255	145	382	217
鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	⑤断面	O. P. +20. 0m ～O. P. +5. 0m	座屈 非 考 慮	255	145	382	217
		⑥断面	O. P. +20. 0m ～O. P. +8. 0m					
	SKK490 (t=25mm)	⑤断面	O. P. +5. 0m～ O. P. +2. 5m		185	105	277	157
		⑥断面	O. P. +8. 0m～ O. P. +5. 5m					

注記 * 1 : 座屈を考慮する場合，鋼管杭の応力状態に応じた許容応力度を用いるが，ここでは許容応力度が最小となるように算定した値を示す。

* 2 : 短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 3-8(4) 鋼管杭の許容限界（岩盤部，断面⑦）

杭種	座屈	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度*
		許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa}		(N/mm ²)
SKK490 (t=25mm)	座屈		185	277
	非考慮	許容せん断応力度 τ_{sa}	105	157

注記 * : 短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

3.7.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の許容限界は、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・II 鋼橋編に基づき、表 3-9 に示す短期許容応力度とする。

表 3-9(1) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の許容限界

部材		材質	座屈	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ² (N/mm ²)
鋼製 遮水壁	スキン プレート	SM490Y	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa}	210	315
	垂直リブ	SM490Y	考慮	許容圧縮応力度 σ_{ca} * ¹	127	190
	水平リブ	SM490Y	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa}	210	315
非考慮			許容せん断応力度 τ_{sa}	120	180	
漂流物 防護工	架台	SM490Y	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa}	210	315
			非考慮	許容せん断応力度 τ_{sa}	120	180
	防護工	SM570	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa}	255	382
			非考慮	許容せん断応力度 τ_{sa}	145	217

注記 *1: 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 鋼橋編に基づき、 $\sigma_{ca} = \sigma_{sa} \cdot (t \cdot f / L)^2$ より算出する。t は鋼製遮水壁の垂直リブの板厚(mm)、f は応力勾配による係数、L は鋼製遮水壁の水平リブ間隔(mm) を示す。なお、t = 20(mm)、L = 811(mm) であり、f は保守的に最小値となる f = 1 とし、以下のとおり算出される。

$$\sigma_{ca} = 210 \cdot (20 \cdot 1 / 811)^2 = 127.7 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

*2: 短期許容応力度は、道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 3-9(2) 漂流物防護工（防護工取付けボルト）の許容限界

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
強度区分 8.8	許容引張応力度 σ_{sa}	360	540
	許容応力度 τ_{sa}	200	300

注記 * : 短期許容応力度は、道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

3.7.3 RC 遮水壁

RC 遮水壁の鉄筋コンクリートの許容限界は、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、表 3-10 に示す短期許容応力度とする。

表 3-10 RC 遮水壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	14
許容せん断応力度 τ_{al}		0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記 * : 短期許容応力度は、コンクリートの標準示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

3.7.4 背面補強工

背面補強工の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-11 に示すすべり安全率とする。

表 3-11 背面補強工の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.5 置換コンクリート

置換コンクリートの許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-12 に示すすべり安全率とする。

表 3-12 置換コンクリートの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.6 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-13 に示すすべり安全率とする。

表 3-13 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.7 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」を準用し、表 3-14 に示すすべり安全率とする。

表 3-14 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

3.7.8 止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の変形量の許容限界は、防潮堤軸直交方向（以下、「軸直交方向」という）及び防潮堤軸方向（以下、「軸方向」という）ともに、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。漂流物防護工の下部にある止水ジョイント前面の保護部材の許容限界は、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・II 鋼橋編及び日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説に基づき短期許容応力度とする。表 3-15 に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

表 3-15 (1) 止水ジョイント部材の変形量の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)		
	変形量	ゴムジョイント	軸直交方向
軸方向			150
ウレタンシリコーン目地		軸直交方向	30
		軸方向	6

表 3-15 (2) 止水ジョイント部材の変形量の許容限界

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	梁部材 SS400	許容曲げ圧縮応力度	140
許容せん断応力度		80	120
グレーチ ング固定 ボルト	許容引張応力度	140	210
	許容せん断応力度	90	135
アンカー ボルト	許容引張応力度	—	96.3
	許容せん断応力度	—	80.3

注記 *：短期許容応力度は、道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。アンカーボルトの短期許容応力度は、各種合成構造設計指針・同解説により導出する。

3.7.9 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験及び日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-16 に示す。

表 3-16 基礎地盤の支持力に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層*	13.7
	牧の浜部層*	11.4
	改良地盤	4.4
	C _L 級岩盤 (杭基礎)	3.9

* : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

3.8 評価方法

防潮堤（鋼管式鉛直壁）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 鋼管杭

鋼管杭の評価は、杭体の曲げモーメント及び軸力より算定される応力及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

(1) 曲げ軸力照査

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

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} \pm \frac{M_1}{Z_1} \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

σ_1 : 鋼管杭の曲げモーメント及び軸力より算定される応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼管杭に発生する曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼管杭の断面係数 (mm³) *

N_1 : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A_1 : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

注記 * : 鋼管杭の外側 1mm を腐食代として考慮する。

(2) せん断力照査

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

$$\tau_1 = \kappa_1 \frac{S_1}{A_1} \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで、

τ_1 : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm²)

S_1 : 鋼管杭に発生するせん断力 (kN)

A_1 : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

κ_1 : せん断応力の分布係数 (2.0)

注記 * : 鋼管杭の外側 1mm を腐食代として考慮する。

(3) 漂流物防護工による偏心荷重

漂流物防護工は、図 3-29 に示すとおり、鋼管杭（鋼製遮水壁）からの張り出し構造となり、地震時に鋼管杭に偏心荷重が作用する。偏心荷重は、防潮堤横断方向（弱軸方向）加振により鋼管杭へ作用する偏心モーメントと、水平 2 方向载荷（弱軸方向加振+防潮堤縦断方向（強軸方向）加振）により鋼管杭へ作用するねじり応力を考慮する。水平 2 方向载荷の考え方は、「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」に示す。

以降に、評価方法を示す。

なお、評価を実施する断面及びびケースは、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査又はせん断破壊に対する照査が最も厳しくなる断面及びびケースとする。

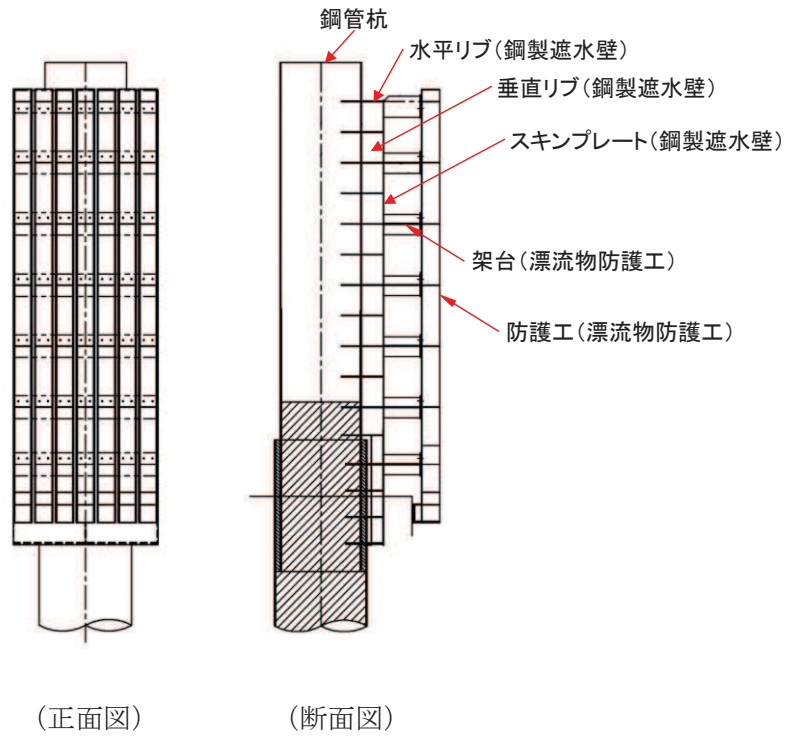


図 3-29 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図（正面図，断面図）

a. 偏心モーメント

漂流物防護工について鋼管杭中心を固定端とした片持ち梁としてモデル化し、次式により偏心モーメントを算出する。モデル図を図 3-30 に示す。

ここで、鉛直震度は、漂流物防護工が設置される断面①～断面③，断面⑤，断面⑥の二次元有限要素法解析から得られる最大鉛直震度により設定する。

$$M_e = (1 + k_v) \cdot w_1 \cdot e_1 \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

ここで、

M_e : 偏心モーメント

k_v : 鉛直震度

w_1 : 漂流物防護工重量

e_1 : 偏心距離

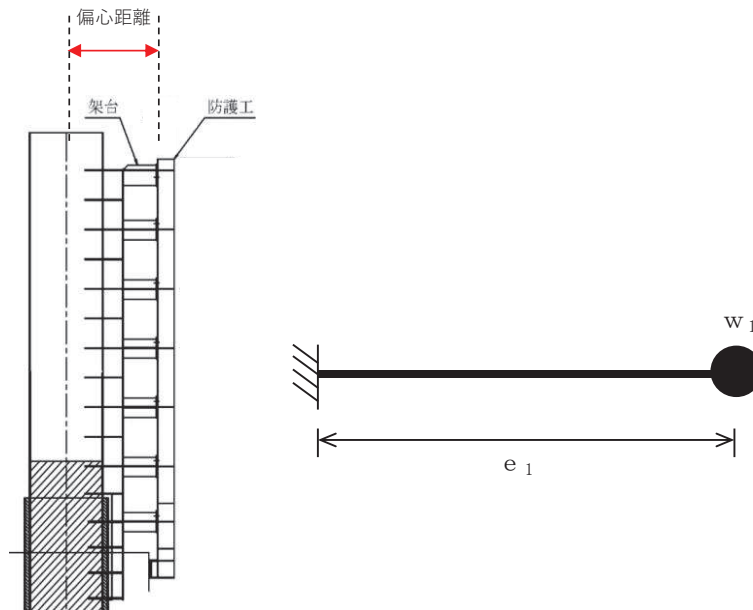


図 3-30 モデル図

b. ねじり応力

次式によりねじり応力を算出する。算出概念図を図 3-31 に示す。

ねじり応力算出に用いる強軸方向の水平震度は、保守的に漂流物防護工が設置される断面①～断面③，断面⑤，断面⑥の二次元 FEM 解析から得られる最大水平震度により設定する。

$$M_T = (L_2 \cdot w_2 + L_3 \cdot w_3) \cdot k_h \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

ここで、

- M_T : ねじりモーメント
- L_2 : 漂流物防護工のねじりアーム長
- w_2 : 漂流物防護工重量
- L_3 : 鋼製遮水壁のねじりアーム長
- w_3 : 鋼製遮水壁重量
- k_h : 水平震度

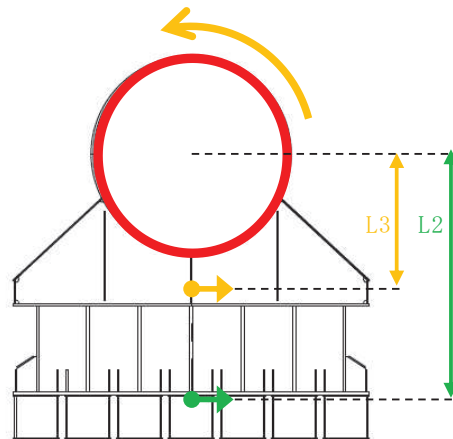


図 3-31 ねじり応力算定概念図

3.8.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁は、スキンプレート、垂直リブ及び水平リブで構成され、漂流物防護工は架台及び防護工で構成されている。防護工は架台に取り付けられており、架台はスキンプレートを挟んで水平リブと同じ高さに設置されている。鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図を図 3-32 に示す。

これらの各部材について、単純ばり又は片持ちばりでモデル化し、それぞれ許容限界以下であることを確認する。

地震荷重については、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価部材ごとにその自重を算定して設計用水平震度との積として設定する。設計水平震度については、地震応答解析の結果に基づき、鋼製遮水壁及び漂流物防護工が設置される断面①～③、⑤及び⑥の鋼管杭に発生する最大水平加速度から以下の式により各断面の最大水平震度 k_h を算定した上で、保守的に設計水平震度を設定し、高さ方向に一律作用させることとする。

また、風荷重については、 1kN/m^2 を高さ方向に一律作用させることとする。

(水平震度算定式)

$$k_h = \frac{\alpha_{\text{max}}}{g} \dots \dots \dots (3.5)$$

α_{max} : 最大水平加速度 (m/s^2)

g : 重力加速度 (m/s^2)

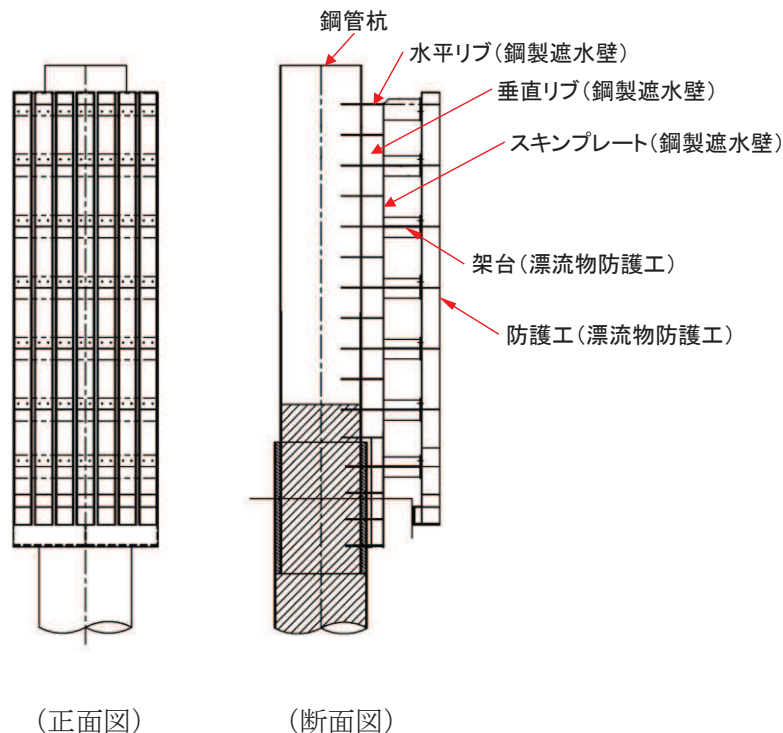


図 3-32(1) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (正面図, 断面図)

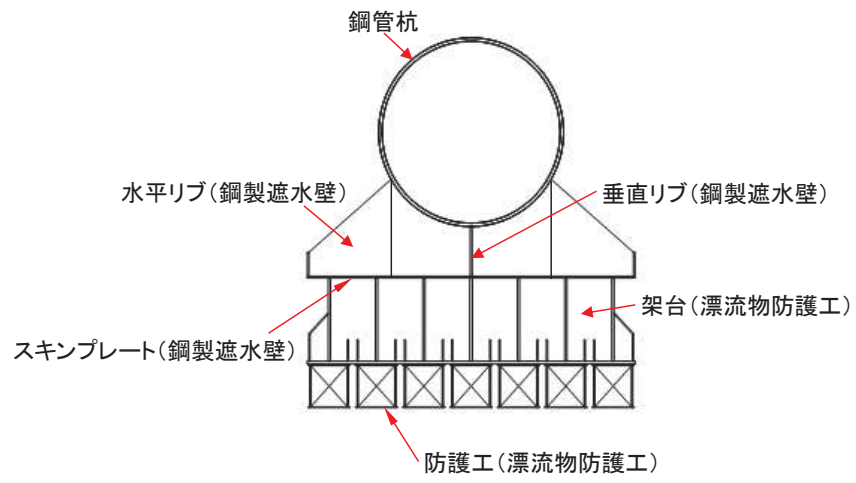


図 3-32(2) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (平面図)

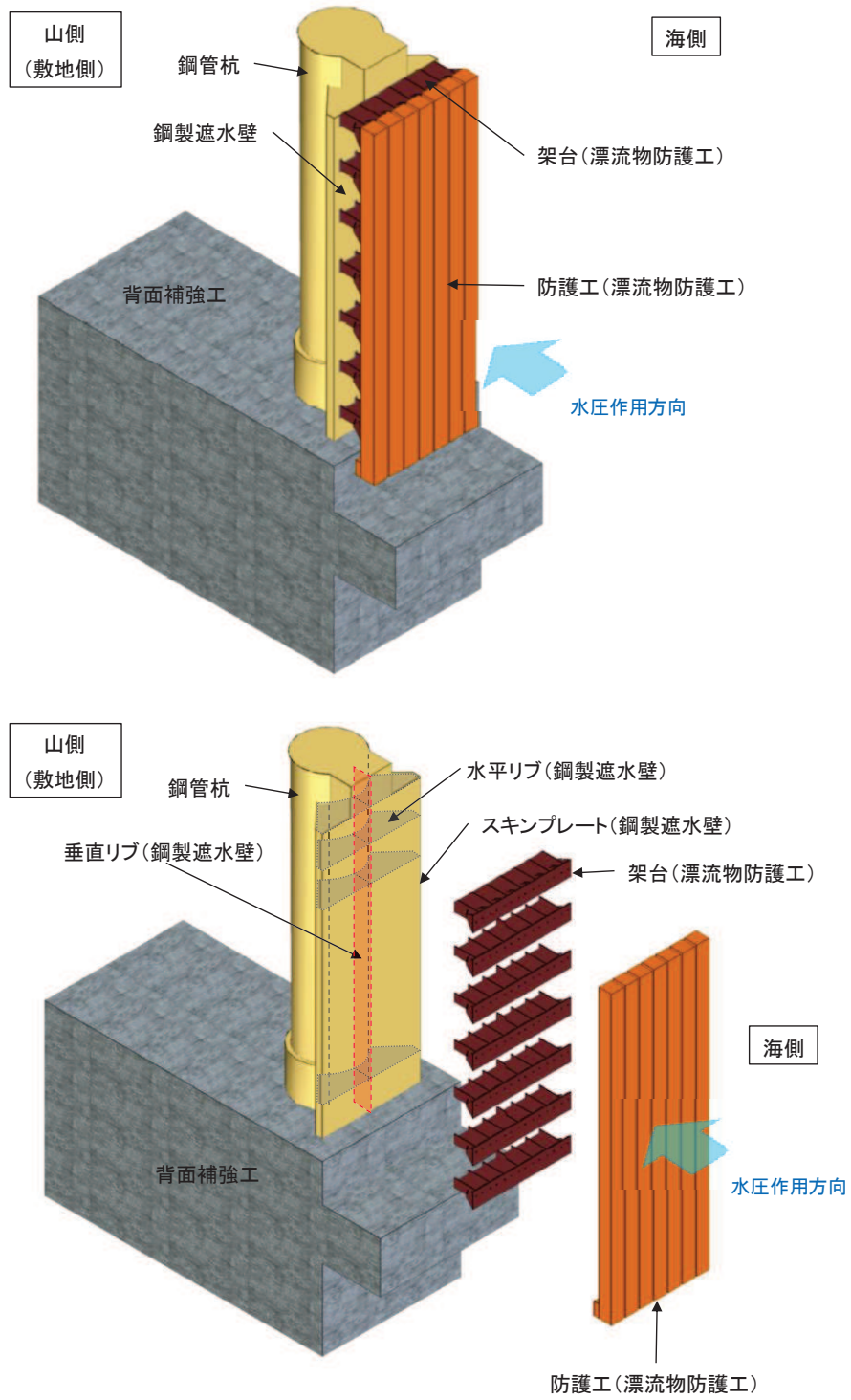


図 3-32(3) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造概要図

(1) スキンプレート

スキンプレートの照査方法を図 3-33 に示す。水平リブを支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメントを用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{Z_2} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$M_2 = (P_2 + P_k) \frac{L^2}{8} \dots \dots \dots (3.7)$$

ここで、

- σ_2 : 曲げモーメントによるスキンプレートの発生応力度 (N/mm²)
- M_2 : スキンプレートに発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_2 : スキンプレートの断面係数 (mm³) *
- P_2 : スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 (kN/m)
- P_k : スキンプレートに作用する単位幅あたりの風荷重 (kN/m)
- L : 水平リブ間隔 (mm)

注記 * : スキンプレートの外側 1mm を腐食代として考慮する。

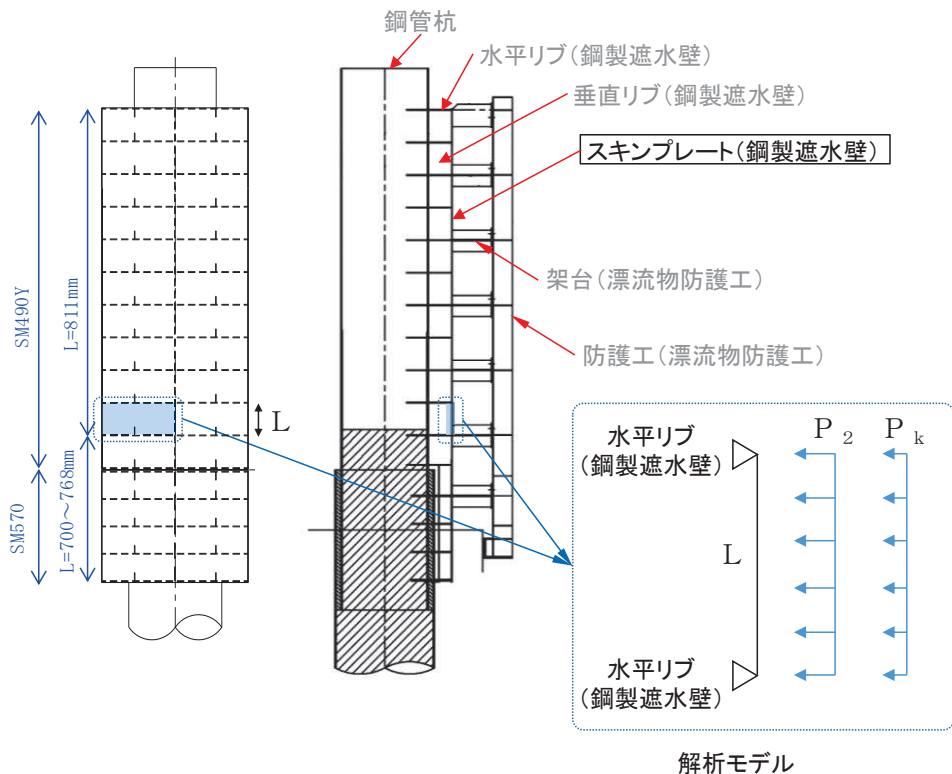


図 3-33 スキンプレートの照査概念図

(2) 垂直リブ

垂直リブの照査方法を図 3-34 に示す。垂直リブに作用する軸力から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。なお、照査箇所については、水平リブ間隔 L を考慮し、図 3-34 に示す箇所とした。

$$\sigma_3 = \frac{P}{t \cdot L} \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

$$P = (P_3 + P_k) \cdot L \cdot B \quad \dots \dots \dots (3.9)$$

ここで、

- σ_3 : 垂直リブに発生する圧縮応力度 (N/mm²)
- P : 受圧面積に発生する水平荷重 (kN)
- t : 垂直リブの板厚 (mm)
- L : 水平リブ間隔 (mm)
- P_3 : 垂直リブに作用する地震慣性力 (kN/m²)
- P_k : 垂直リブに作用する風荷重 (kN/m²)
- B : 鋼製遮水壁の総幅 (m)

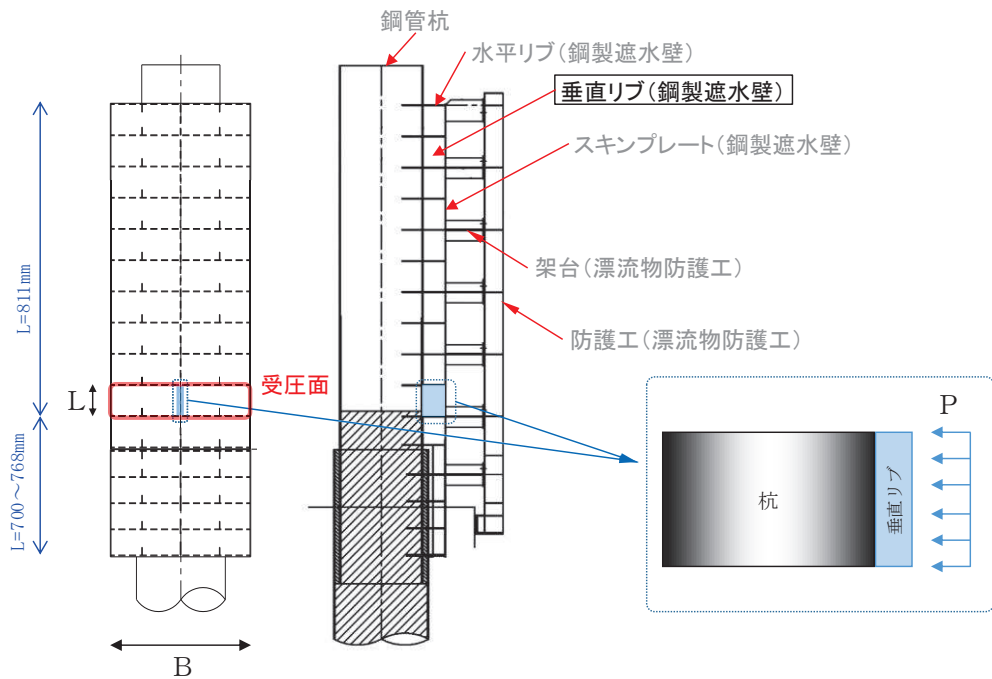


図 3-34 垂直リブの照査概念図

(3) 水平リブ及び架台

水平リブ，スキンプレート及び架台を一つの充腹形断面とみなして，鋼管杭中心線上を固定支点とする片持ちばりでモデル化し，曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また，合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお，照査箇所については，評価条件が同一であるため，図 3-35 に示す中央付近の箇所とした。

水平リブ及び架台の照査方法を図 3-35 に示す。

曲げ応力照査 (水平リブ)

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{Z_4} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$M_4 = \frac{1}{2}(P_4 + P_k) \cdot \ell \cdot b^2 \dots \dots \dots (3.11)$$

せん断力照査 (水平リブ)

$$\tau_4 = \frac{S_4}{A_w} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$S_4 = (P_4 + P_k) \cdot \ell \cdot b \dots \dots \dots (3.13)$$

合成応力照査 (水平リブ)

$$\left(\frac{\sigma_4}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_4}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.14)$$

曲げ応力照査 (架台)

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{Z_5} \dots \dots \dots (3.15)$$

$$M_5 = \frac{1}{2}(P_4 + P_k) \cdot \ell \cdot b^2 \dots \dots \dots (3.16)$$

せん断力照査 (架台)

$$\tau_5 = \frac{S_5}{A_w} \dots \dots \dots (3.17)$$

$$S_5 = (P_4 + P_k) \cdot \ell \cdot b \dots \dots \dots (3.18)$$

合成応力照査 (架台)

$$\left(\frac{\sigma_5}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_5}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.19)$$

ここで、

- σ_4 : 曲げモーメントによる水平リブの発生応力度 (N/mm²)
- M_4 : 水平リブに発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_4 : 水平リブの断面係数 (mm³)
- P_4 : 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 (kN/m²)
- P_k : 水平リブ及び架台に作用する風荷重 (kN/m²)
- τ_4 : せん断力による水平リブの発生応力度 (N/mm²)
- S_4 : 水平リブに発生するせん断力 (kN)
- σ_5 : 曲げモーメントによる架台の発生応力度 (N/mm²)
- M_5 : 架台に発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_5 : 架台の断面係数 (mm³) *
- τ_5 : せん断力による架台の発生応力度 (N/mm²)
- S_5 : 架台に発生するせん断力 (kN)
- ℓ : 架台間隔 (mm)
- b : モーメントアーム長 (m)
- A_w : 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 (mm²) *
- σ_{sa} : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_{sa} : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

注記 * : 架台は腐食代 2mm を考慮する。

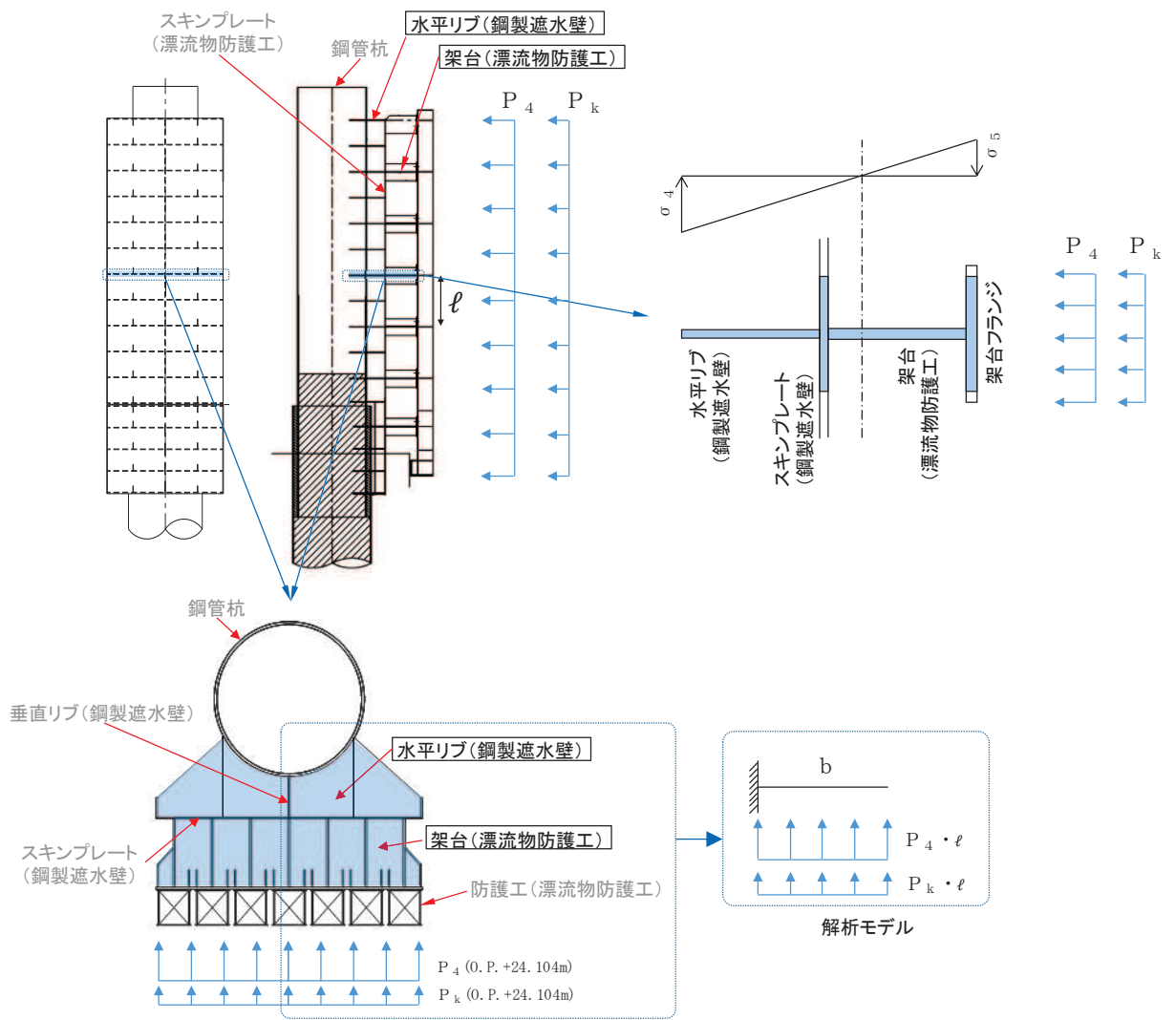


図 3-35 水平リブ及び架台の照査概念図

(4) 防護工

防護工の照査方法を図 3-36 に示す。防護工は架台を支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお、照査箇所については、評価条件が同一であるため、図 3-36 に示す中央付近の箇所とした。

曲げ応力照査

$$\sigma_6 = \frac{M_6}{Z_6} \dots \dots \dots (3.20)$$

$$M_6 = (P_6 + P_k) \cdot b'' \cdot \frac{\ell^2}{8} \dots \dots \dots (3.21)$$

せん断力照査

$$\tau_6 = \frac{S_6}{A_{wc}} \dots \dots \dots (3.22)$$

$$S_6 = (P_6 + P_k) \cdot b'' \cdot \frac{\ell}{2} \dots \dots \dots (3.23)$$

合成応力照査

$$\left(\frac{\sigma_6}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_6}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.24)$$

ここで、

σ_6 : 曲げモーメントによる防護工の発生応力度 (N/mm²)

M_6 : 防護工に発生する曲げモーメント (kN・m)

Z_6 : 防護工の断面係数 (mm³) *

P_6 : 防護工に作用する地震慣性力 (kN/m²)

P_k : 防護工に作用する風荷重 (kN/m²)

τ_6 : せん断力による防護工の発生応力度 (N/mm²)

S_6 : 防護工に発生するせん断力 (kN)

b'' : 防護工の幅 (m)

A_{wc} : 防護工のせん断抵抗断面積 (mm²) *

ℓ : 架台間隔 (mm)

σ_{sa} : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

τ_{sa} : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

注記 * : 防護工は外側 1mm を腐食代として考慮する。

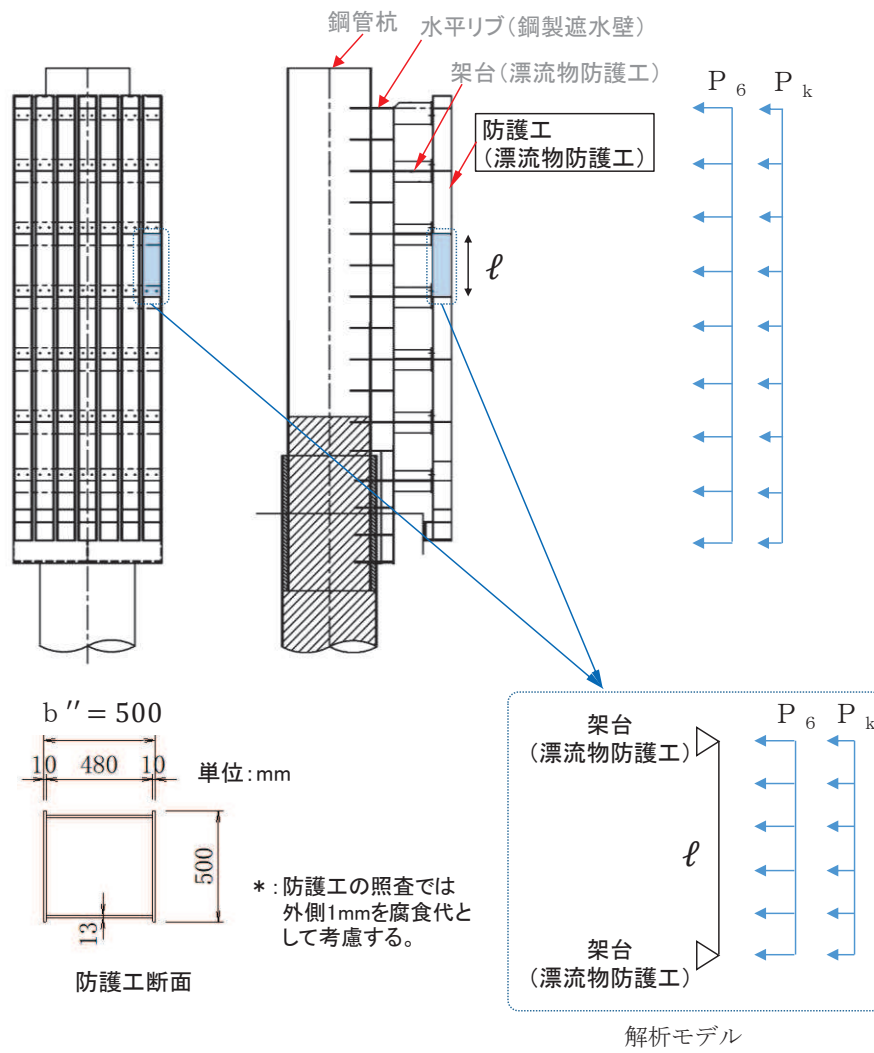


図 3-36 防護工の照査概念図

3.8.3 RC 遮水壁

RC 遮水壁は、コンクリートの曲げ圧縮応力、せん断応力及び鉄筋の引張応力が許容限界以下であることを確認する。

RC 遮水壁の応力度算定は、解析コード「UC-win/section Ver. 6.02.02」を使用する。

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

3.8.4 背面補強工

背面補強工の評価は、背面補強工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、最小すべり安全率となるすべり線を選定する。

3.8.5 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリート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、最小すべり安全率となるすべり線を選定する。

3.8.6 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤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、最小すべり安全率となるすべり線を選定する。

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

3.8.7 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、最小すべり安全率となるすべり線を選定する。

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－1 σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

3.8.8 止水ジョイント部材

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

漂流物防護工の下部にある止水ジョイント前面の保護部材の地震時の評価について、発生応力が許容限界以下であることを確認する。

また、軸直交方向の相対変位算出に当たっては、漂流物防護工が鋼管杭（鋼製遮水壁）からの張り出し構造となっていることを踏まえ、防潮堤縦断方向（強軸方向）加振により生じるねじり変位についても考慮する。

3.8.9 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 鋼管杭

4.1.1 曲げ軸力照査

断面計算に用いた断面諸元を表 4-1 に、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の評価時刻での断面力図を図 4-1～図 4-7 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 4-2～表 4-8 に示す。

なお、断面⑦については、5 本の鋼管杭のうち最も照査値の厳しい結果を示すこととし、照査位置を図 4-7 に併せて示す。

この結果から鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1(1) 鋼管杭断面諸元 (断面①～断面⑥)

杭種		設置標高	板厚 ^{*2} (mm)	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)	
A	鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm) O. P. +30. 0m ^{*1} ～ O. P. +23. 5m	24	1. 639×10 ⁵	8. 813×10 ⁷	
B		SM570 (t=40mm) O. P. +23. 5m～ O. P. +21. 0m O. P. +21. 0m～ O. P. +20. 0m	39	2. 645×10 ⁵	1. 403×10 ⁸	
C	鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	長杭 O. P. +20. 0m～ O. P. ±0. 0m	34	2. 632×10 ⁵	1. 599×10 ⁸
D			短杭 断面⑤ O. P. +20. 0m～ O. P. +5. 0m			
			断面⑥ O. P. +20. 0m ～ +8. 0m			
D	SKK490 (t=25mm)	長杭 O. P. ±0. 0m～ 杭下端	24	1. 865×10 ⁵	1. 143×10 ⁸	
		短杭 断面⑤ O. P. +5. 0m～ O. P. +2. 5m				
		断面⑥ O. P. +8. 0m ～ +5. 5m				

注記 *1 : 岩盤部 (断面⑤及び断面⑥) は O. P. +29. 0m

*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腐食代 1 mm を考慮する。杭体の断面照査において、腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

表 4-1(2) 鋼管杭断面諸元 (断面⑦)

杭種		設置標高	板厚* (mm)	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)
鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	0. P. +28. 4m~0. P. +21. 4m	24	1. 639×10 ⁵	8. 813×10 ⁷
		0. P. +28. 4m~0. P. +20. 4m			
		0. P. +28. 4m~0. P. +19. 4m			

注記 * : 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腐食代 1 mm を考慮する。杭体の断面照査において、腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

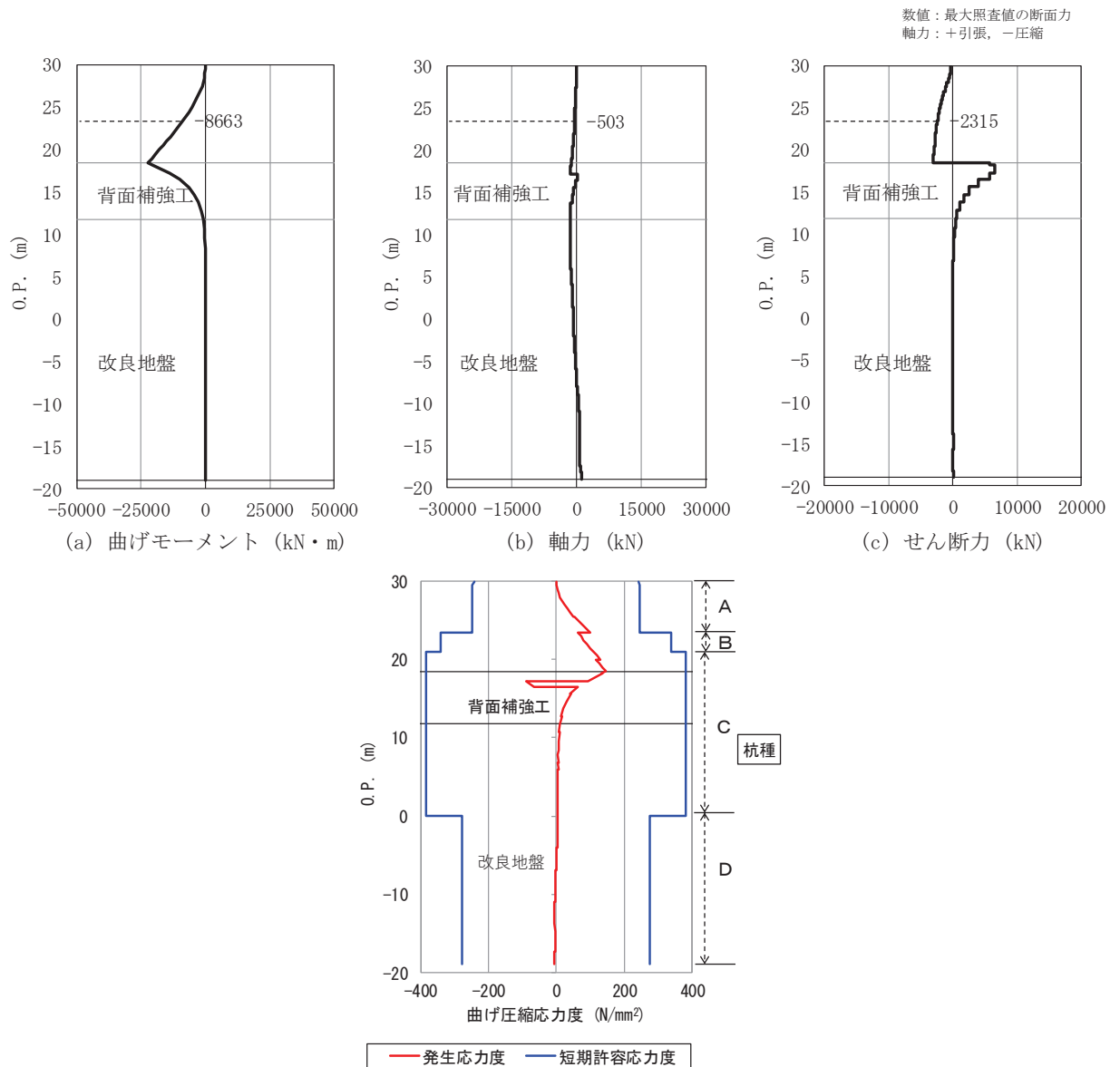


図 4-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度
(断面①, S s - D 2 (---), t=6.92s)
解析ケース①：基本ケース

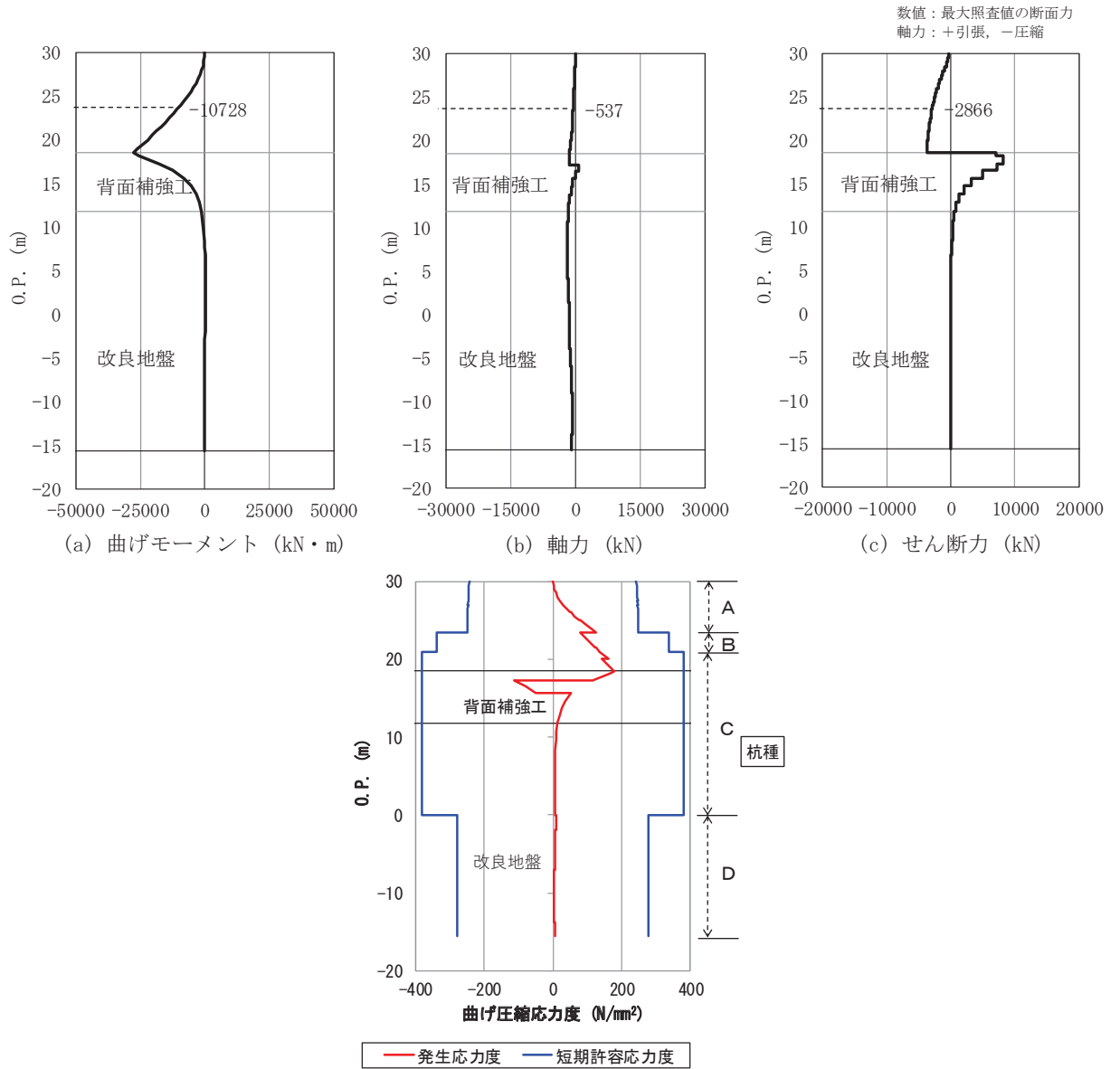


図 4-2 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度

(断面②, S s - D 2 (---), t=6.91s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

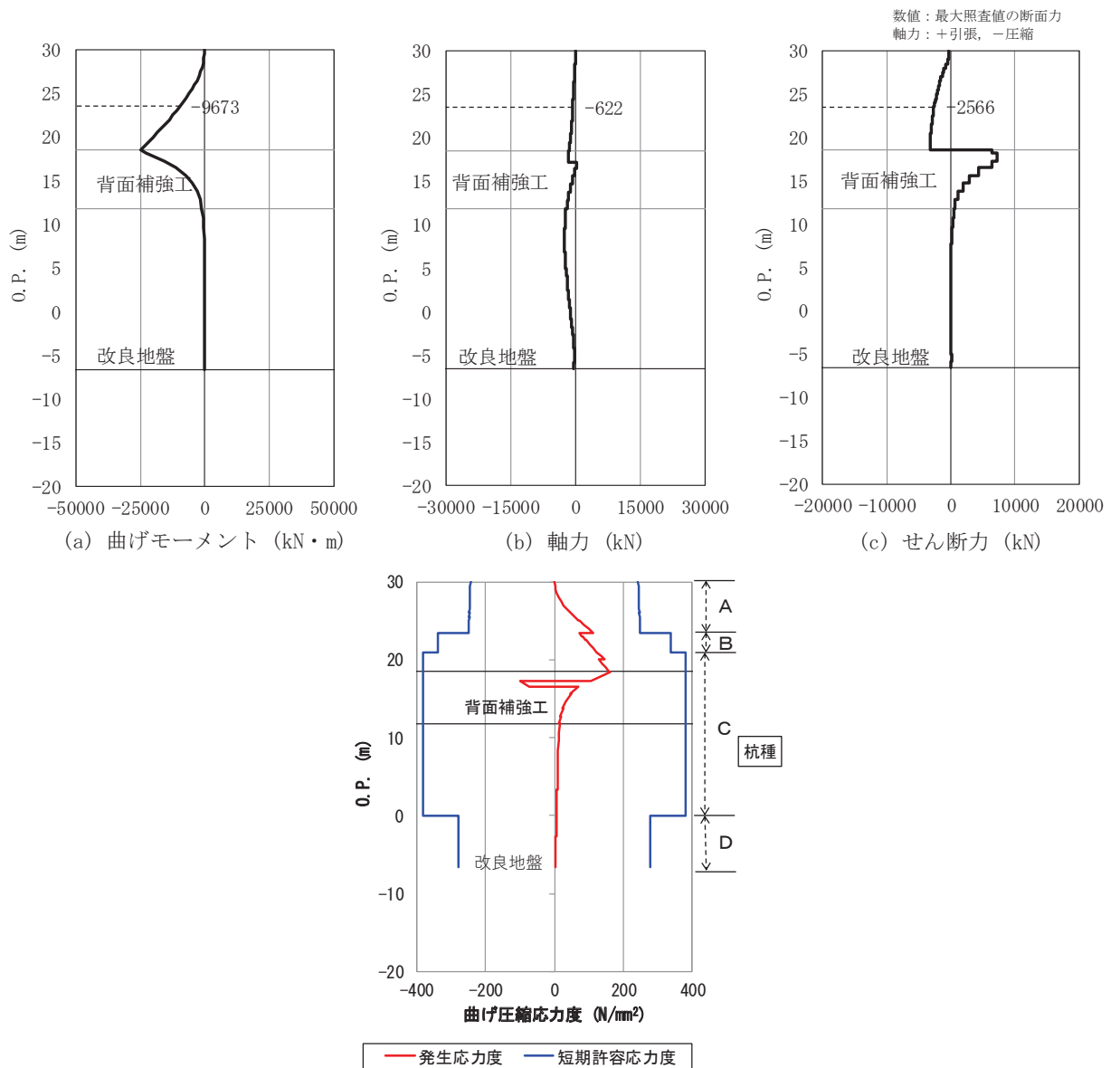


図 4-3 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度

(断面③, S s - D 2 (---), t=6.91s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

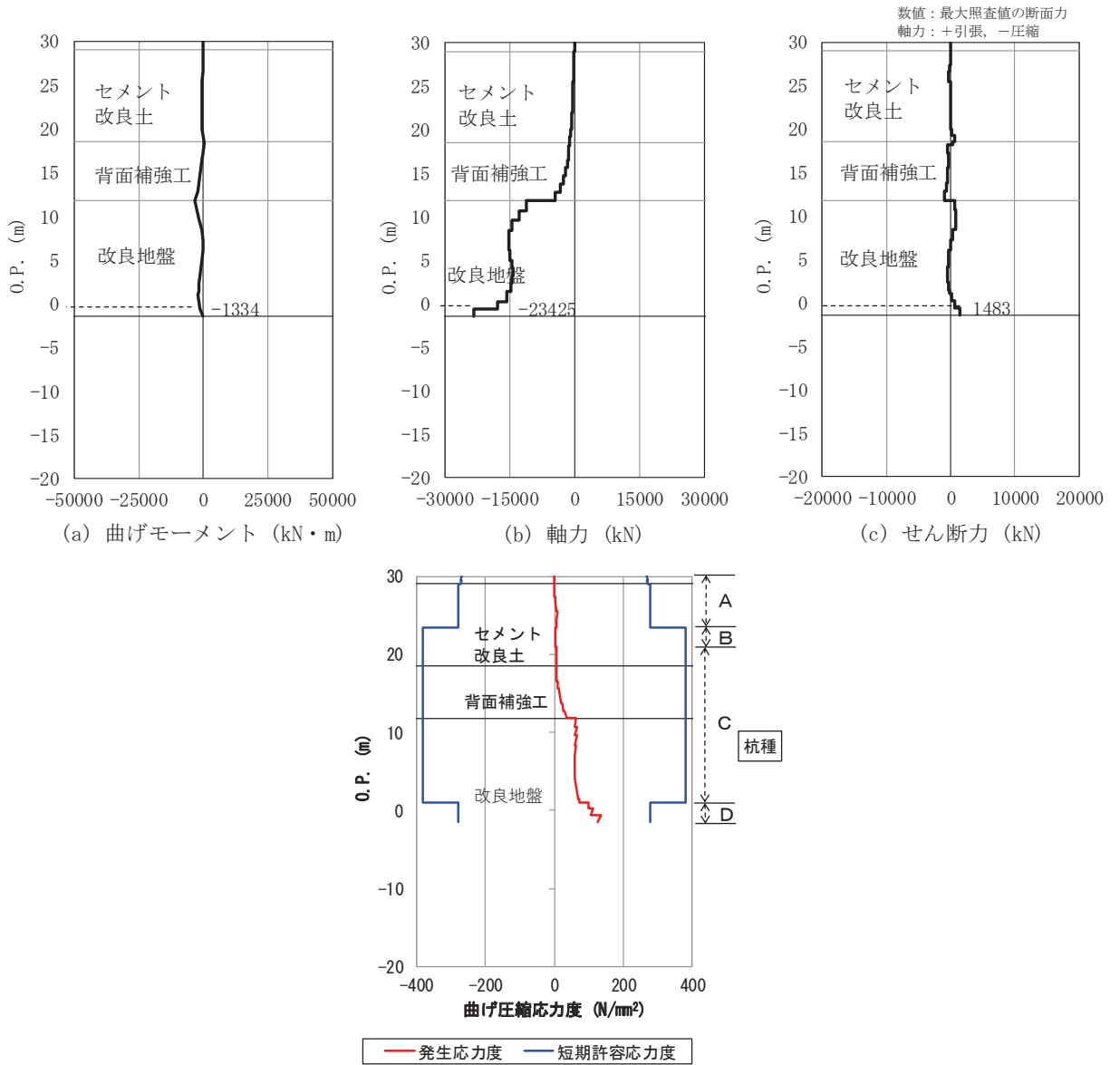


図 4-4 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度

(断面④, S s - D 2 (—), t=13.59s)

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)

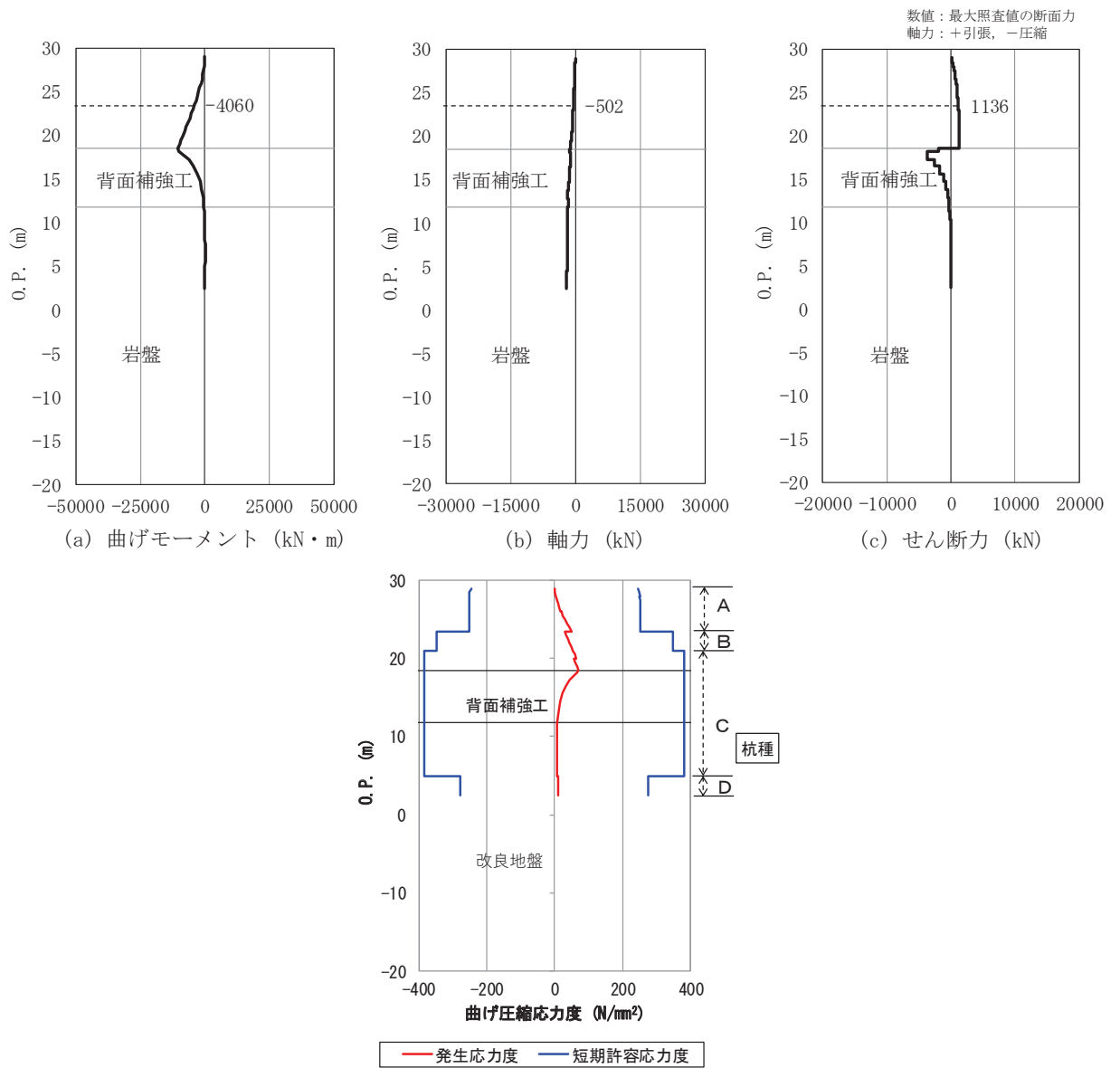


図 4-5 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度

(断面⑤, S s - D 2 (-+), t=6.84s)

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)

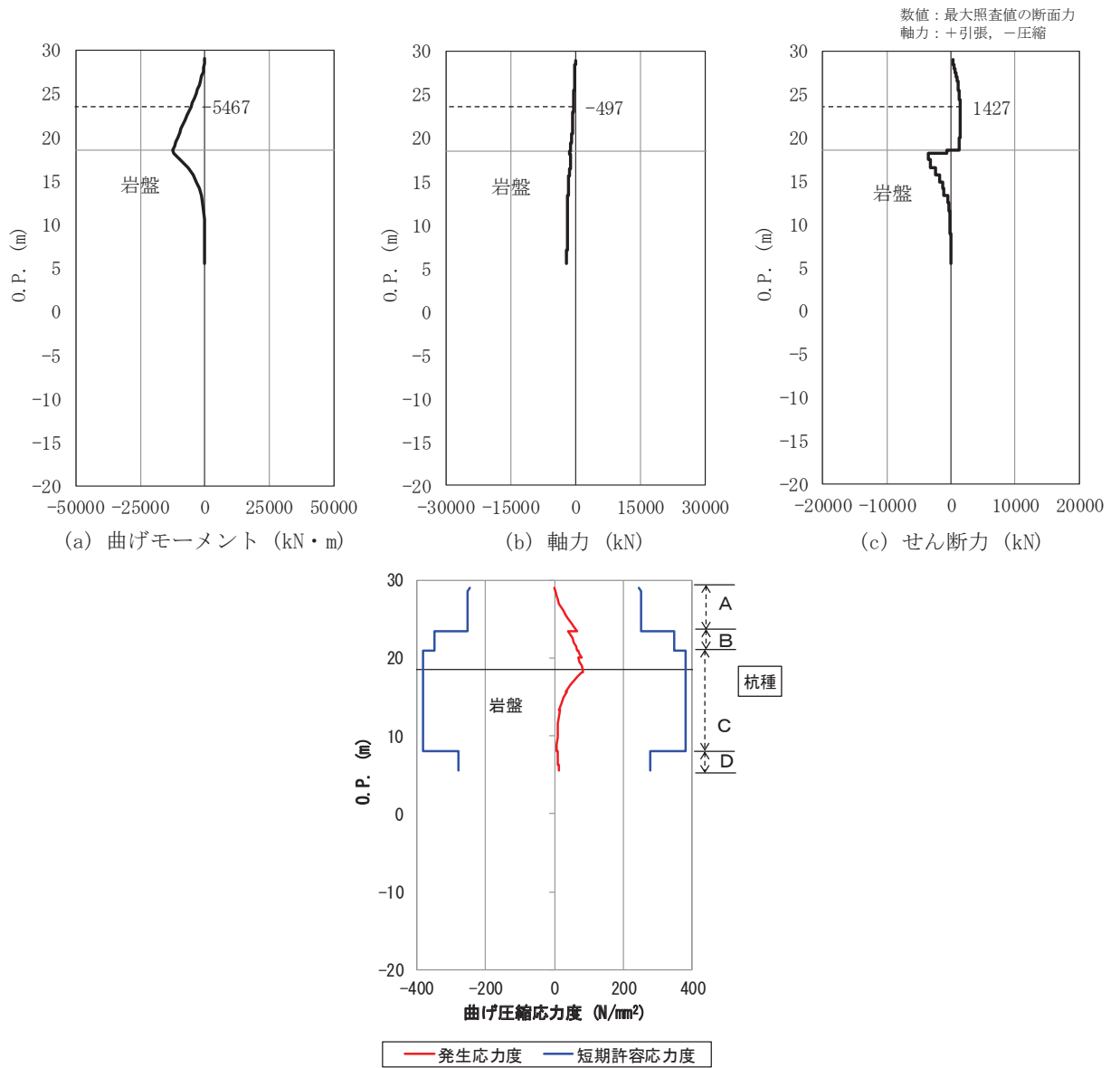


図 4-6 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及び曲げ圧縮応力度
 (断面⑥, S s - F 3 (++) , t=28.04s)
 解析ケース①: 基本ケース

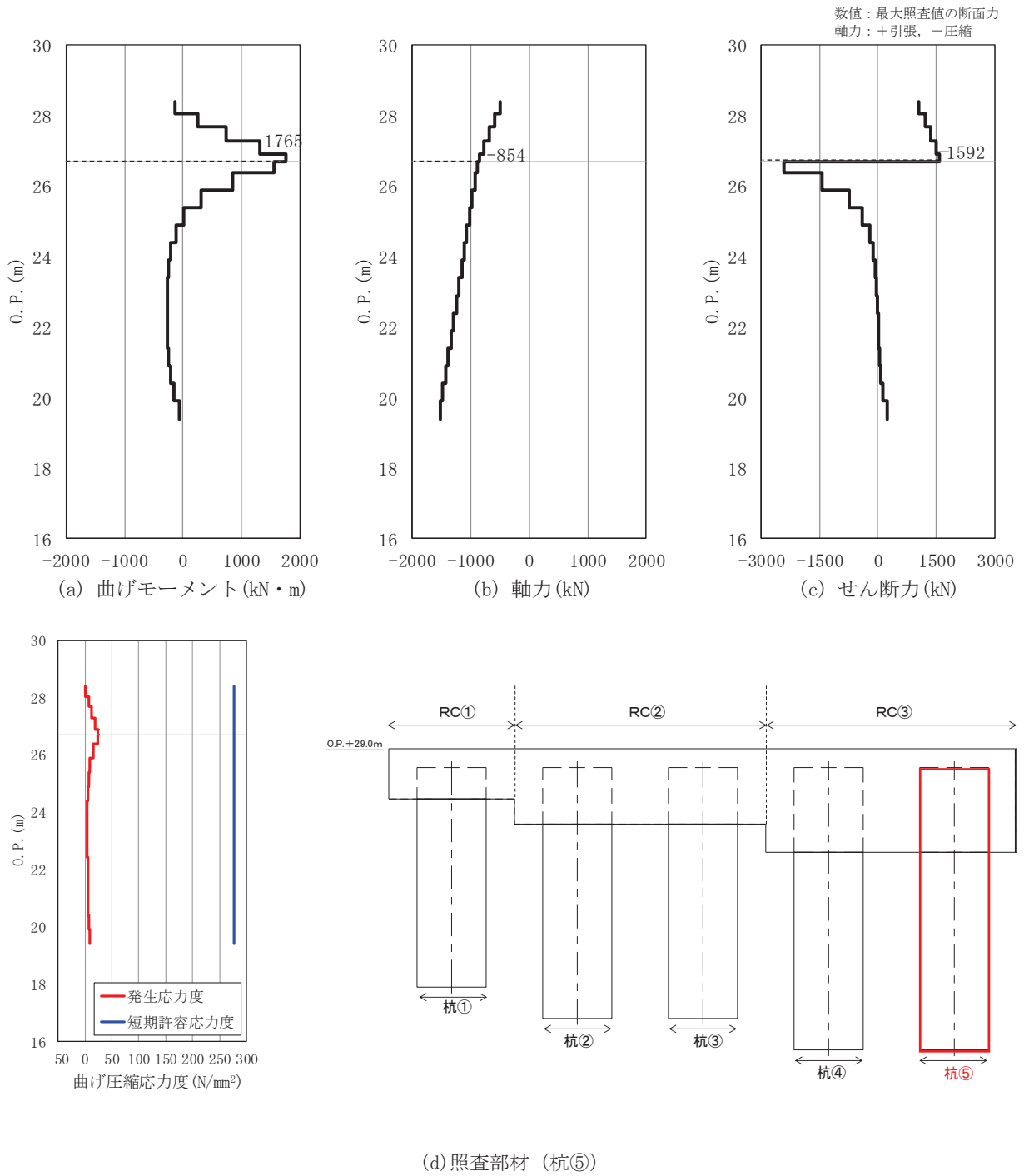


図 4-7 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(断面⑦, S s - D 2 (---), t=22.57s)

解析ケース①：基本ケース

表 4-2 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 (断面①)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
A	S _s -D 2 (--)	①	-8663	-503	102	247	0.42

表 4-3 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 (断面②)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
A	S _s -D 2 (--)	②	-10728	-537	126	247	0.52

表 4-4 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 (断面③)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
A	S _s -D 2 (--)	②	-9673	-622	114	247	0.47

表 4-5 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 (断面④)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
D	S _s -D 2 (--)	③	-1334	-23425	138	277	0.50

表 4-6 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 (断面⑤)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
A	S _s -D 2 (-+)	③	-4060	-502	50	251	0.20

表 4-7 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 (断面⑥)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
A	S _s -F 3 (++)	①	-5467	-497	66	251	0.27

表 4-8 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（断面⑦）

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
杭⑤	S s - D 2 (--)	①	1765	-854	26	277	0.10

4.1.2 せん断力照査

鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 4-8～図 4-14 に、せん断破壊に対する照査値を表 4-9～表 4-15 に示す。なお、断面⑦については、5本の鋼管杭のうち最も照査値の厳しい結果を示すこととし、照査位置を図 4-14 に併せて示す。

この結果から鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

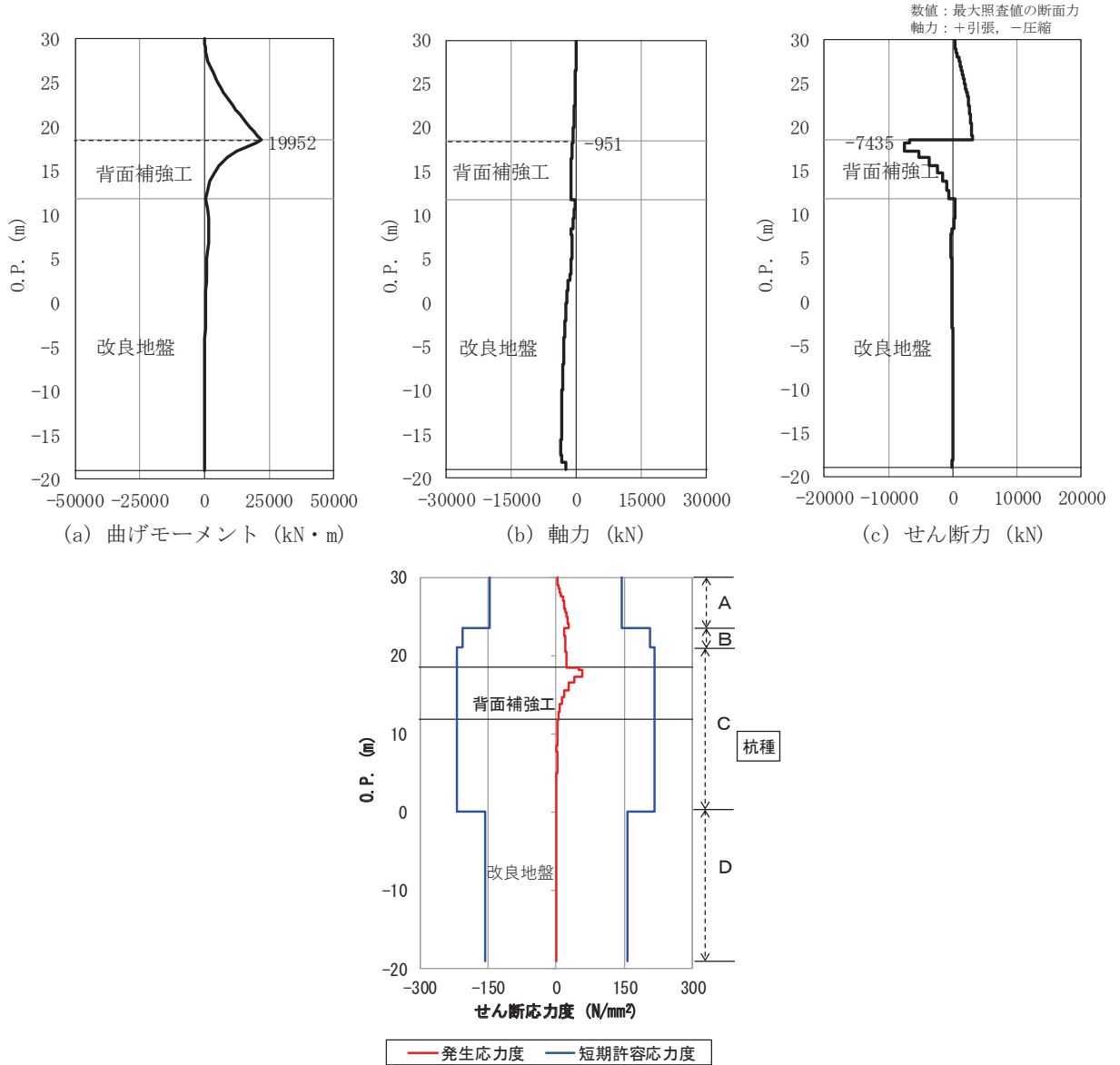


図 4-8 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及びせん断応力度
(断面①，S s - D 2 (++)，t=6.92s)
解析ケース①：基本ケース

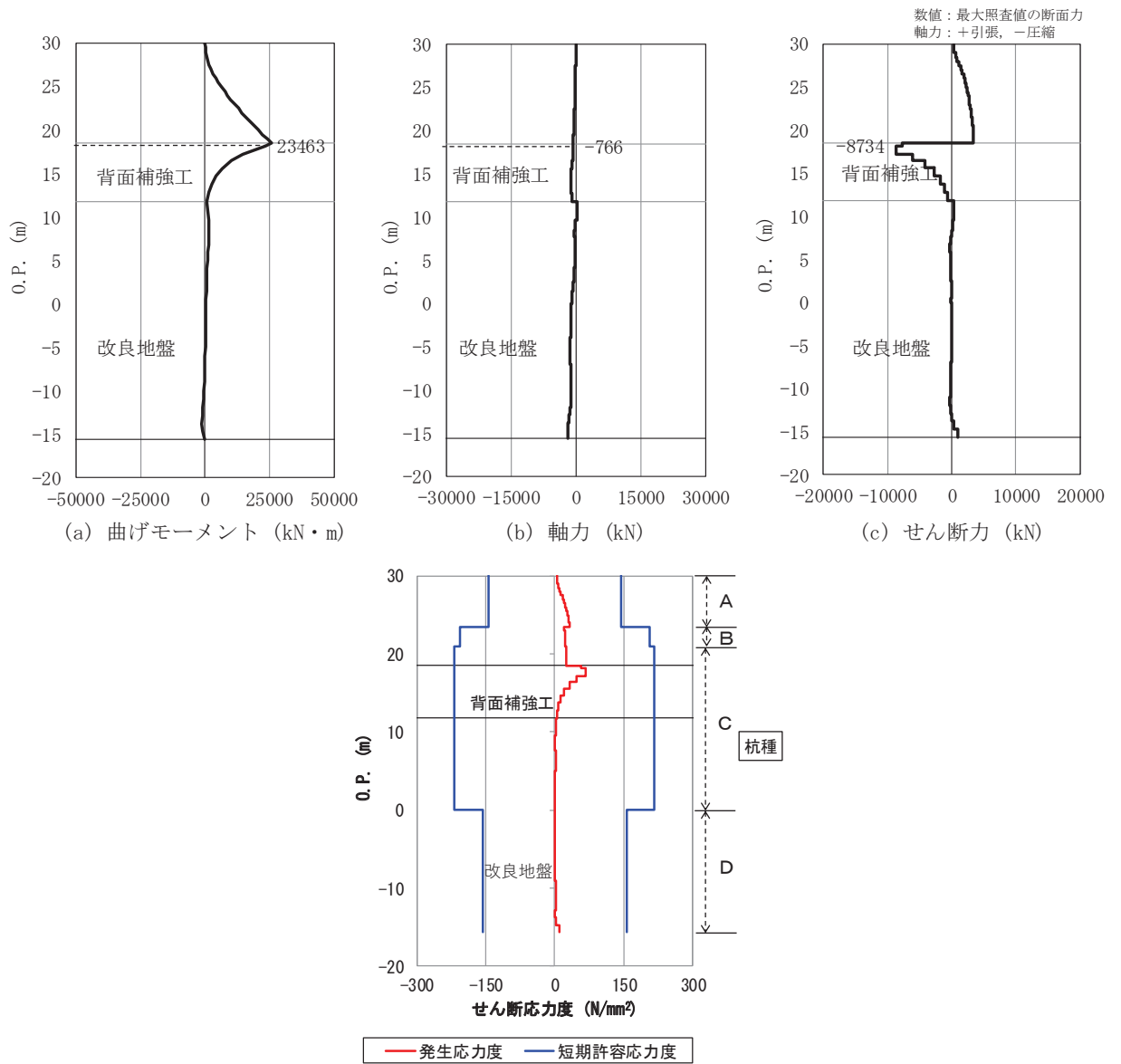


図 4-9 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
及びせん断応力度
(断面②, S s - D 2 (++) , t=6.92s)
解析ケース①：基本ケース

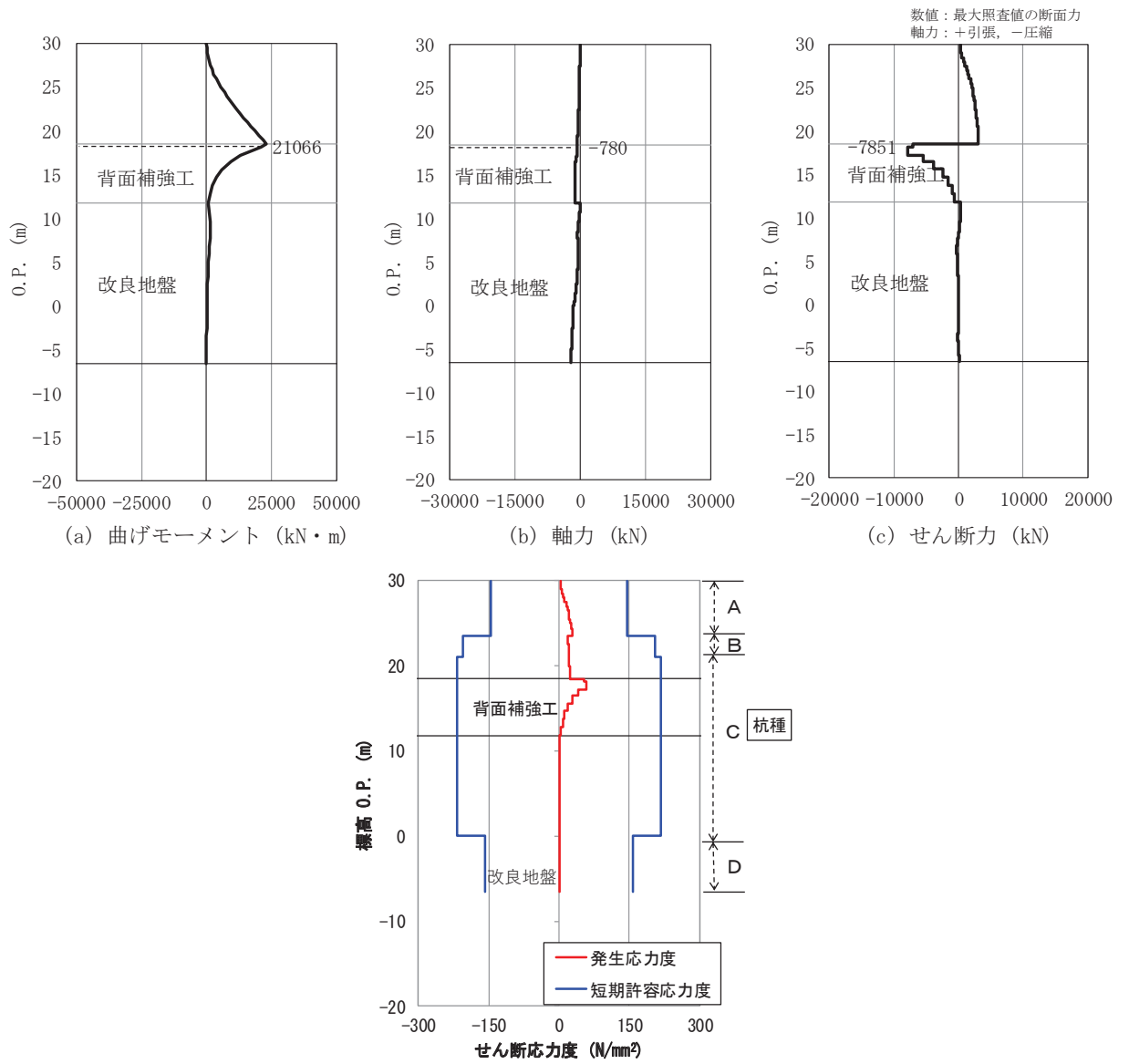


図 4-10 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
及びせん断応力度
(断面③, S s - D 2 (++) , t=6.91s)
解析ケース①：基本ケース

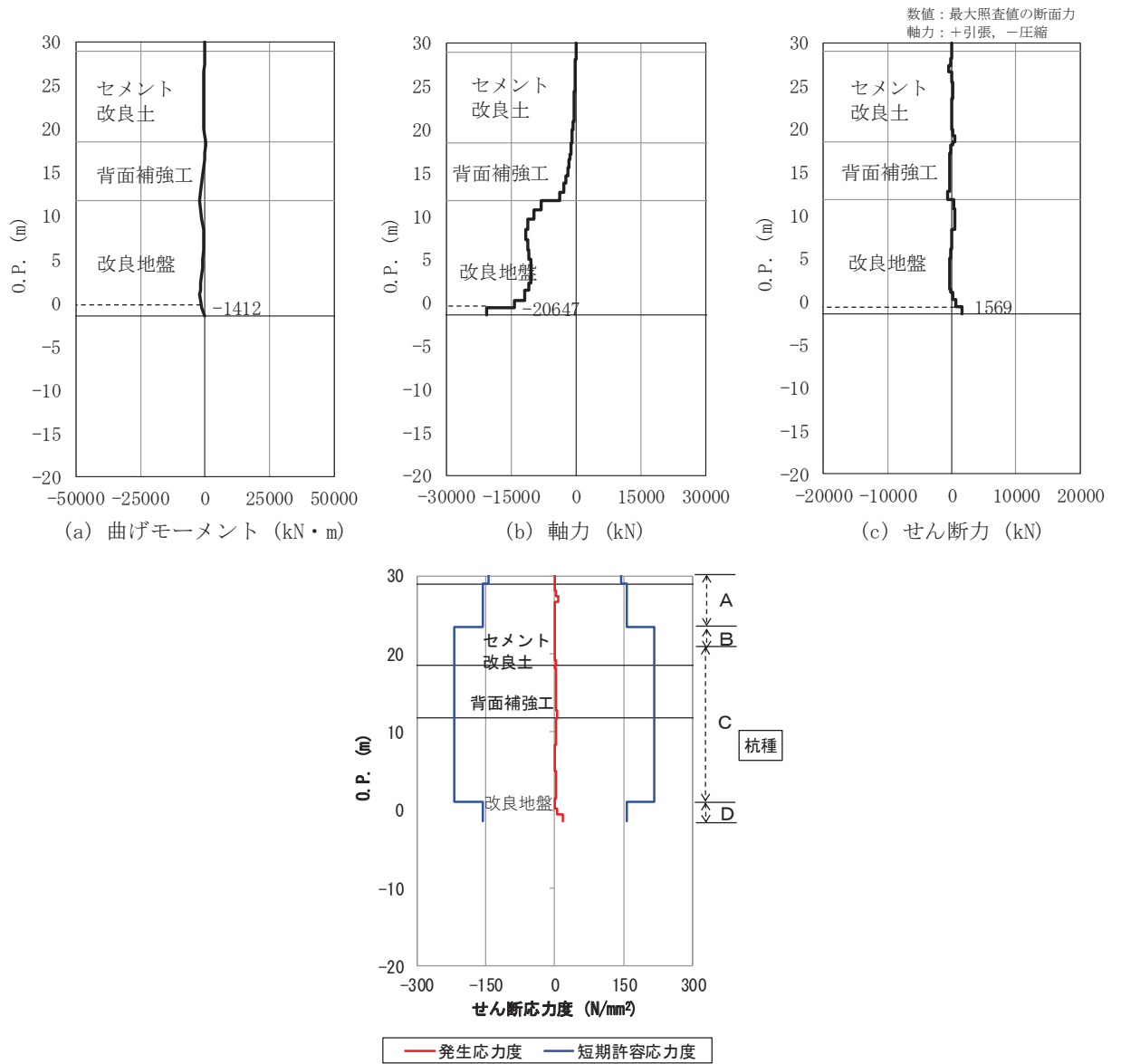


図 4-11 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及びせん断応力度
 (断面④, S s - D 2 (---), t=13.59s)
 解析ケース①：基本ケース

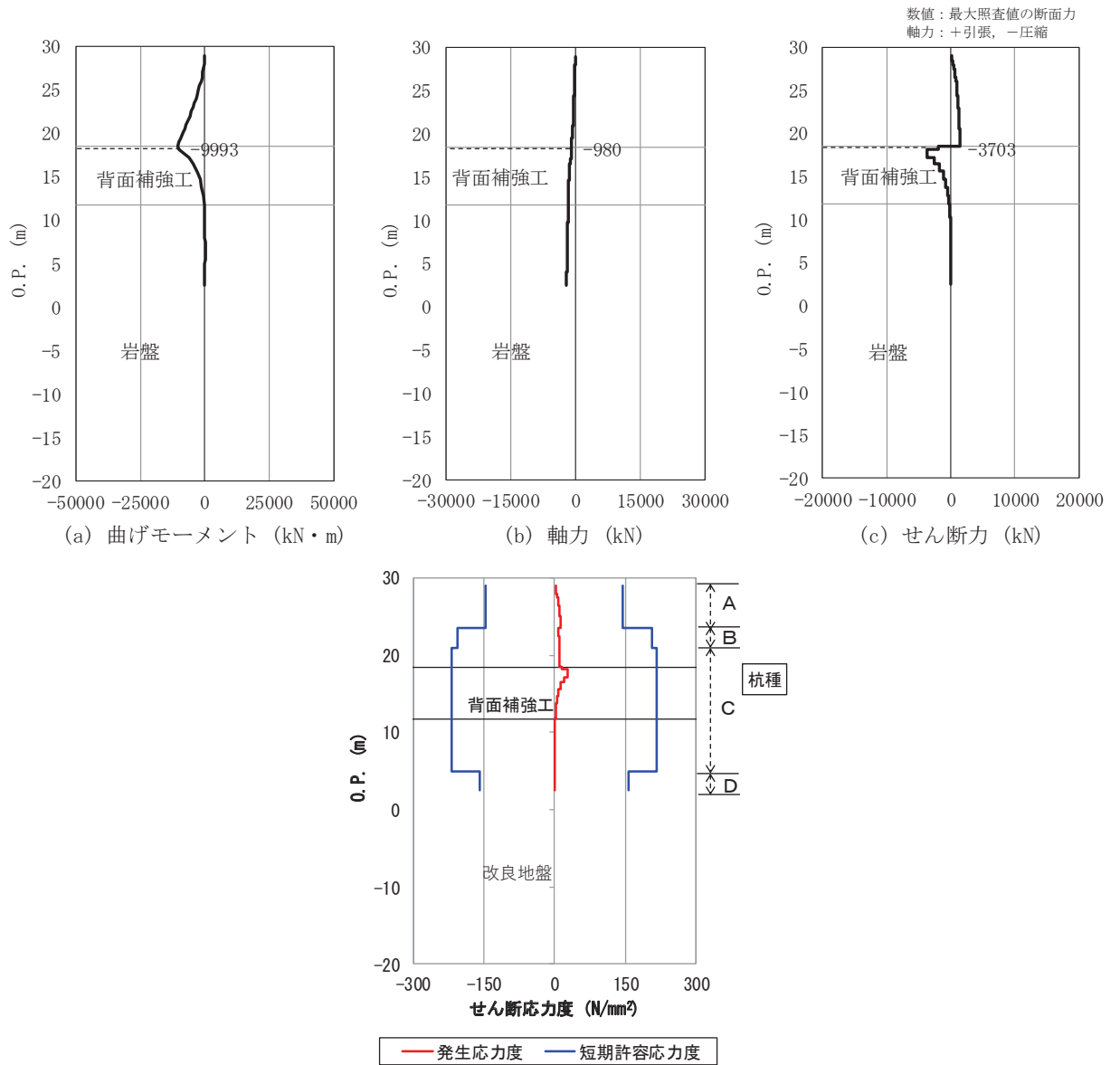


図 4-12 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
及びせん断応力度
(断面⑤, S s - D 2 (---), t=6.84s)
解析ケース①：基本ケース

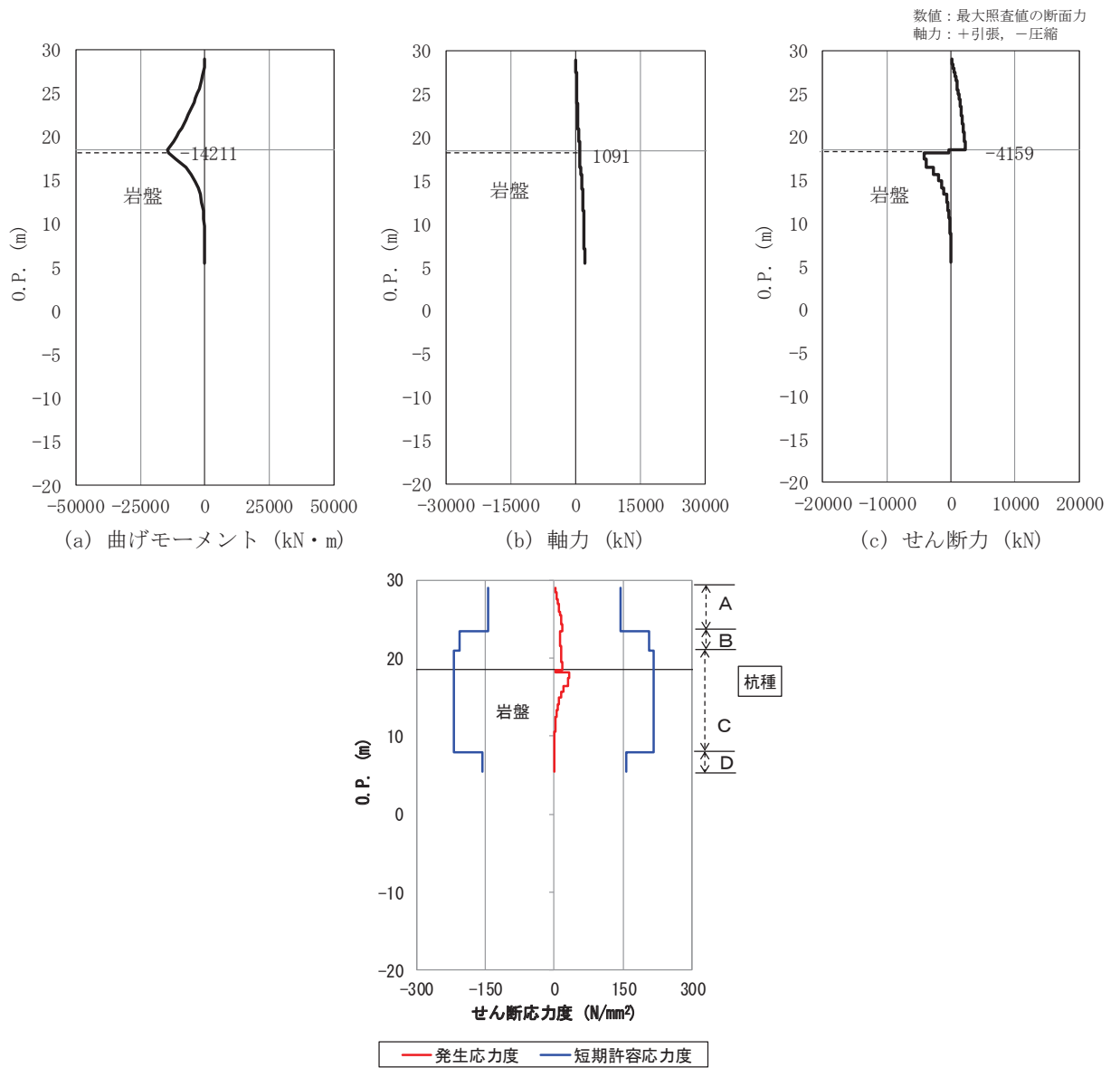


図 4-13 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力及びせん断応力度

(断面⑥, $S_s - F_3$ (++) , $t=22.57s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

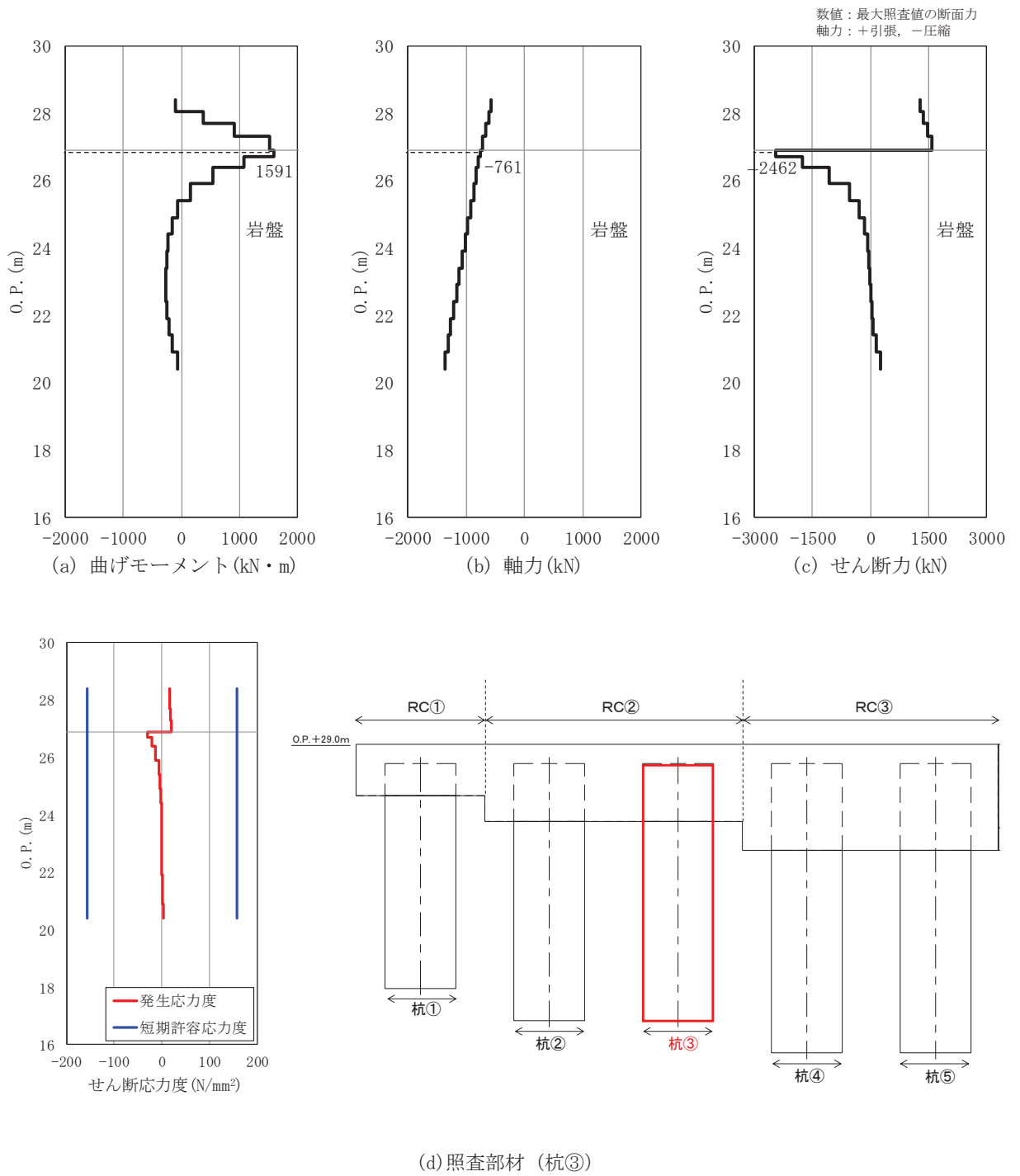


図 4-14 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
及びせん断応力度
(断面⑦, S s - D 2 (- +) , t=22.57s)
解析ケース①：基本ケース

表 4-9 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (断面①)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)			
C	S _s -D2(++)	①	-7435	57	217	0.27

表 4-10 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (断面②)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)			
C	S _s -D2(++)	①	-8734	67	217	0.31

表 4-11 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (断面③)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)			
C	S _s -D2(++)	①	-7851	60	217	0.28

表 4-12 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (断面④)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)			
D	S _s -D2(--)	①	1569	17	157	0.11

表 4-13 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (断面⑤)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)			
C	S _s -D2(--)	①	-3703	29	217	0.14

表 4-14 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (断面⑥)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)			
C	S _s -F3(++)	②	-4159	32	217	0.15

表 4-15 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値（断面⑦）

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度	短期許容 応力度	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)	τ_s (N/mm ²)	τ_{sa} (N/mm ²)	
杭③	S s - D 2 (-+)	①	-2462	31	157	0.20

4.1.3 漂流物防護工の偏心荷重

(1) 偏心モーメント

評価対象断面及び入力地震動については、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値が最も厳しい「断面②，S_s-D2（-）」とする。また、漂流物防護工の鉛直加振によって鋼管杭に生じる偏心モーメントを算定するための設計震度は表 4-18 に記載の最大鉛直震度 $k_v=1.6$ とする。

評価結果を表 4-16 に示す。

漂流物防護工の偏心モーメントを考慮することで、曲げ圧縮応力度が 2 割程度上昇するものの、許容限界以下であることを確認した。

表 4-16 鋼管杭の偏心モーメントを考慮した照査値（断面②，S_s-D2（-））

解析 ケース	杭種	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ圧縮 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}
②* ¹	A	10728	537	126	247	0.52
②（偏心考慮）	A	12933	537* ²	151	247	0.62

注記* 1：表 4-3 に示す値を再掲。

* 2：解析ケース②の値を流用した。

(2) ねじり応力

評価対象断面及び入力地震動については、鋼管杭のせん断破壊に対する照査値が最も厳しい「断面②，S_s-D2（++）」とする。漂流物防護工の水平 2 方向 載荷によって鋼管杭に生じるねじり応力を算定するための設計震度は、保守的に表 4-18 に記載の最大水平震度 $k_h=8.6$ とする。

評価結果を表 4-17 に示す。

漂流物防護工のねじり応力を考慮することで、せん断応力度が上昇するものの、許容限界以下であることを確認した。

表 4-17 鋼管杭のねじり応力を考慮した照査値（断面⑤，S_s-D2（++））

解析 ケース	杭種	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
①*	C	67	217	0.31
①（ねじり考慮）	C	101	217	0.47

注記* 1：表 4-10 に示す値を再掲。

* 2：解析ケース②の値を流用した。

4.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼管杭に発生する最大水平加速度から算出される最大水平震度 k_h は表 4-18 のとおりである。そのため、保守的に評価に用いる設計水平震度は 9 とし、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の高さ方向に一様に作用するものとし、風荷重については 1kN/m^2 を考慮して評価を行った。

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の照査結果を表 4-19 に示す。この結果から、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-18 (1) 各評価断面における最大水平震度及び設計水平震度

断面	最大加速度 となる標高	最大水平震度 k_h	設計水平震度
断面①	O. P. +29. 0m	7. 0	9
断面②	O. P. +29. 0m	8. 6	
断面③	O. P. +29. 0m	7. 8	
断面⑤	O. P. +29. 0m	3. 8	
断面⑥	O. P. +29. 0m	5. 6	

表 4-18 (2) 各評価断面における最大鉛直震度及び設計鉛直震度

断面	最大加速度 となる標高	最大鉛直震度 k_v	設計鉛直震度
断面①	O. P. +29. 0m	1. 6	2
断面②	O. P. +29. 0m	1. 6	
断面③	O. P. +29. 0m	1. 0	
断面⑤	O. P. +29. 0m	0. 7	
断面⑥	O. P. +29. 0m	0. 9	

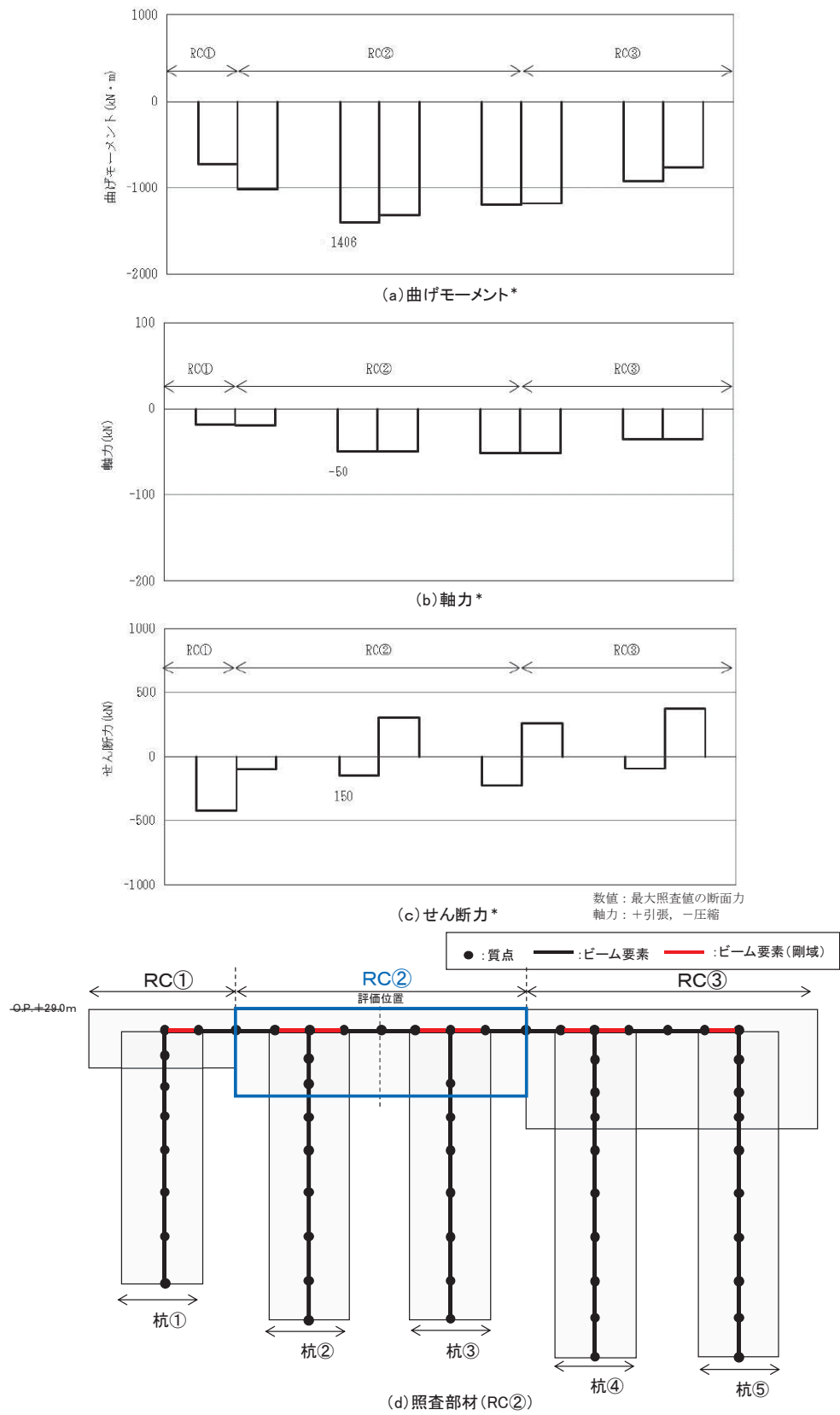
表 4-19 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主要部材の照査結果

部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製遮水壁	スキンプレート	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	24	315	0.08
	垂直リブ	SM490Y	圧縮応力度 (N/mm ²)	6	190	0.04
	水平リブ	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	27	315	0.09
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	180	0.08
			合成応力度*	0.02	1.20	0.02
漂流物防護工	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	21	315	0.07
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	180	0.08
			合成応力度*	0.01	1.20	0.01
	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	3	382	0.01
			せん断応力度 (N/mm ²)	2	217	0.01
			合成応力度*	0.01	1.20	0.01

注記 * : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

4.3 RC 遮水壁

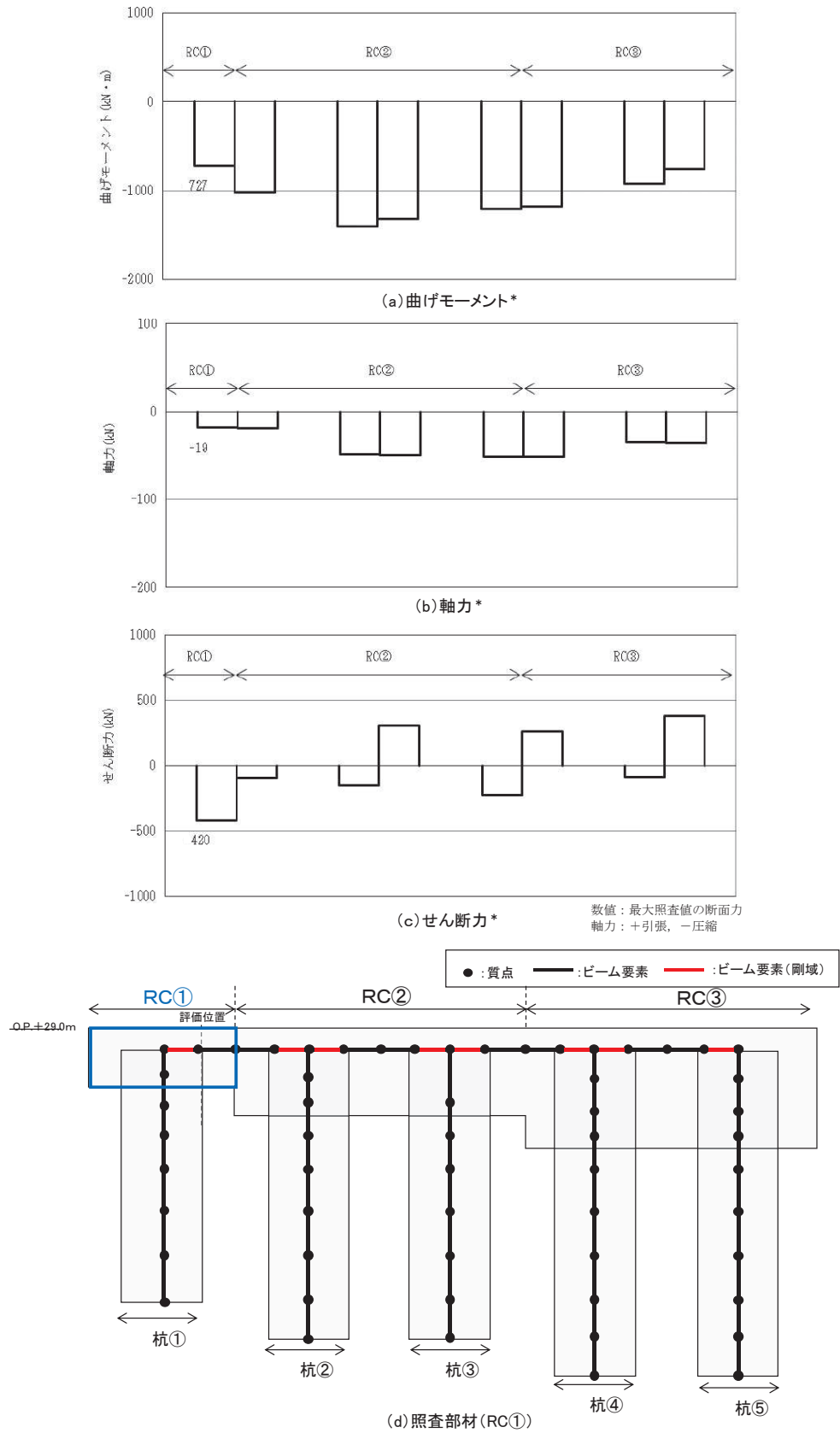
RC 遮水壁の照査時刻における断面力図を図 4-15～図 4-16 に、照査結果を表 4-20～表 4-22 に示す。この結果から、RC 遮水壁の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。



注記 *：剛域を除く各ビーム要素の最大値による断面力図

図 4-15 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系に対する照査における照査時刻での断面力
(断面⑦, S s - D 2 (-+), t=22.58s)

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)



注記 * : 剛域を除く各梁要素の最大値による断面力図

図 4-16 コンクリートのせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力
(断面⑦, S s - D 2 (- +) , t=22.58s)
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)

表 4-20 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
RC②	S _s -D ₂ (-+)	③	-1406	50	0.8	21	0.04

表 4-21 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
RC②	S _s -D ₂ (-+)	③	-1406	50	68	294	0.24

表 4-22 コンクリートのせん断破壊に対する照査値

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
			せん断力 (kN)			
RC①	S _s -D ₂ (-+)	③	-420	0.1	0.82	0.13

4.4 背面補強工

背面補強工のすべり安全率による評価結果を表 4-23～表 4-27 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4-17～図 4-21 に示す。これらの結果から、背面補強工のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-23 背面補強工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 - F 3 (-+)	①	28.66	20.7

表 4-24 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面②)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S s - D 2 (--)	②	6.91	20.3

表 4-25 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面③)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S s - F 3 (-+)	①	28.65	21.9

表 4-26 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面④)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S s - D 2 (-+)	①	13.56	11.6

表 4-27 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面⑤)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S s - F 3 (++)	①	27.64	35.0

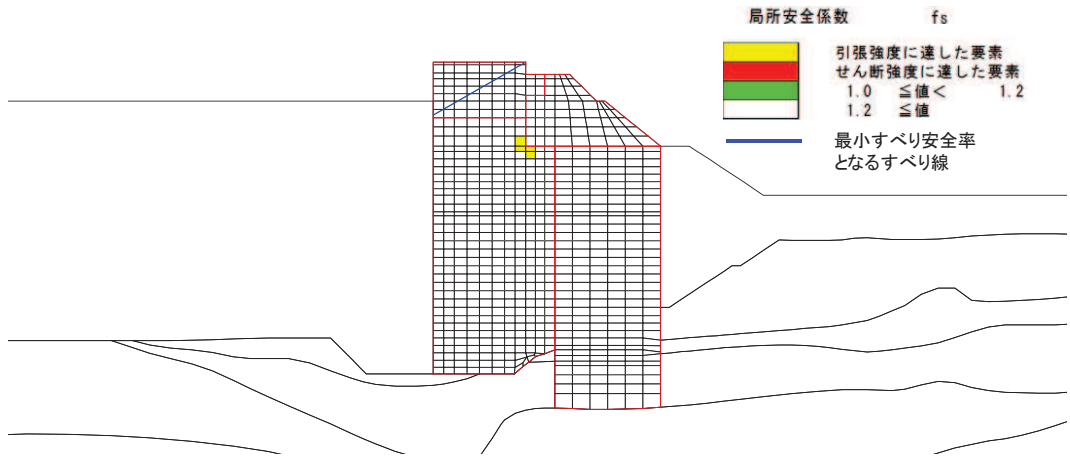


図 4-17 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S s - F 3 (- +) , t=28.66s)

解析ケース①：基本ケース



図 4-18 背面補強工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②, S s - D 2 (- -) , t=6.91s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

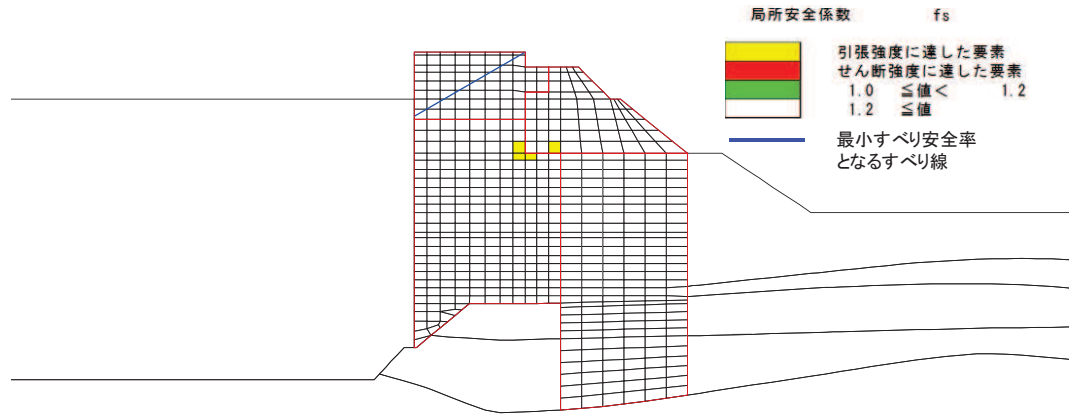


図 4-19 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, S s - F 3 (- +) , t=28.65s)
解析ケース①: 基本ケース

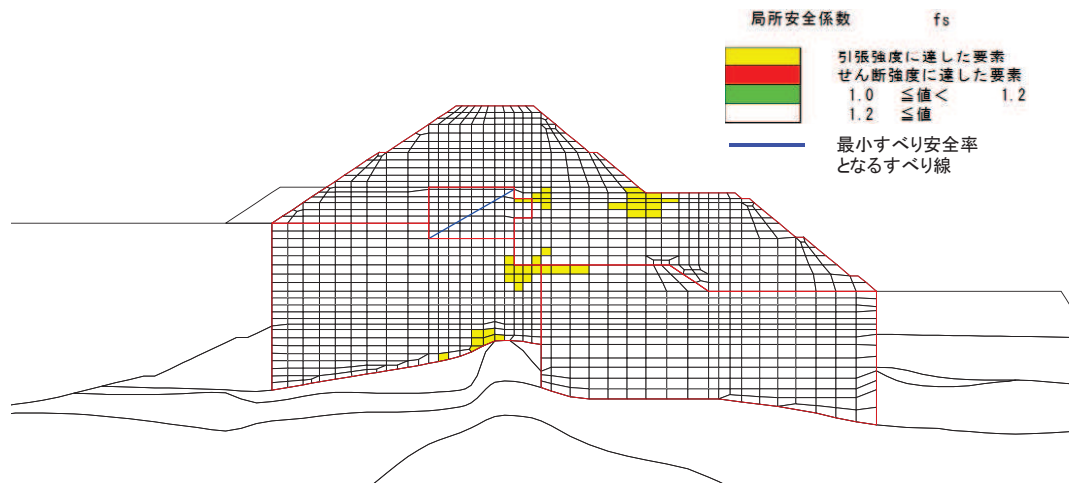


図 4-20 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, S s - D 2 (- +) , t=13.56s)
解析ケース①: 基本ケース

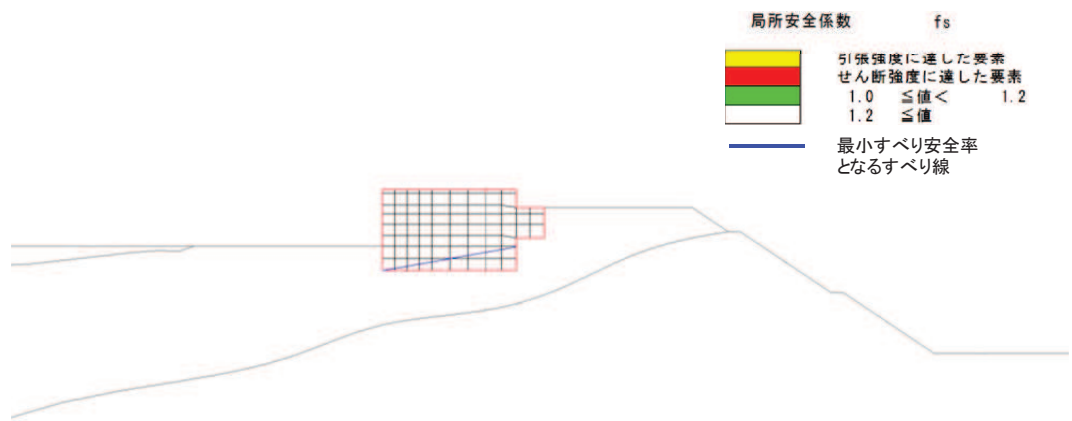


図 4-21 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面⑤, S s - F 3 (++) , t=27.64s)
 解析ケース①: 基本ケース

4.5 置換コンクリート

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 4-28～表 4-31 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4-22～図 4-25 に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-28 置換コンクリート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 - N 1 (++)	①	7.54	4.2

表 4-29 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面②)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S s - N 1 (++)	①	7.52	4.6

表 4-30 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面③)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S s - N 1 (++)	①	7.53	5.6

表 4-31 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面④)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S s - N 1 (++)	①	7.53	6.3

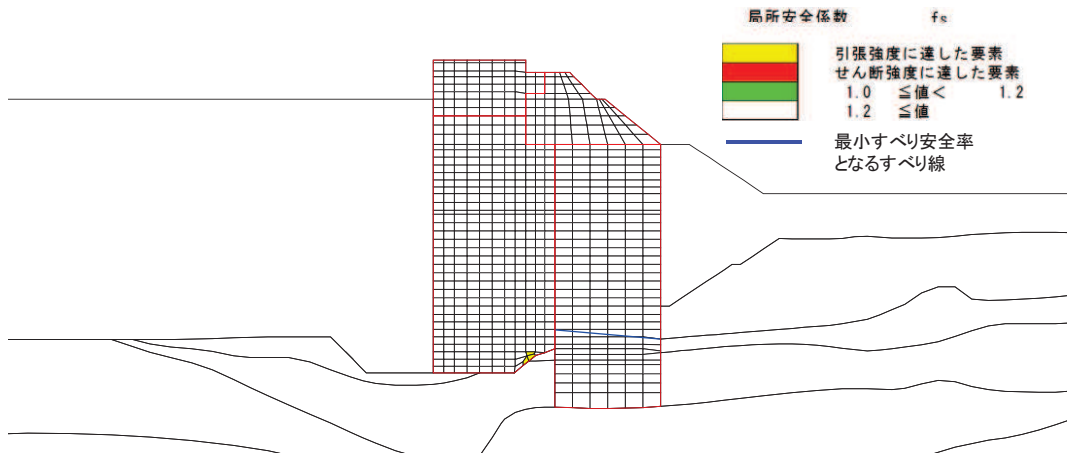


図 4-22 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面①, S s - N 1 (++) , t=7.54s)
 解析ケース①：基本ケース

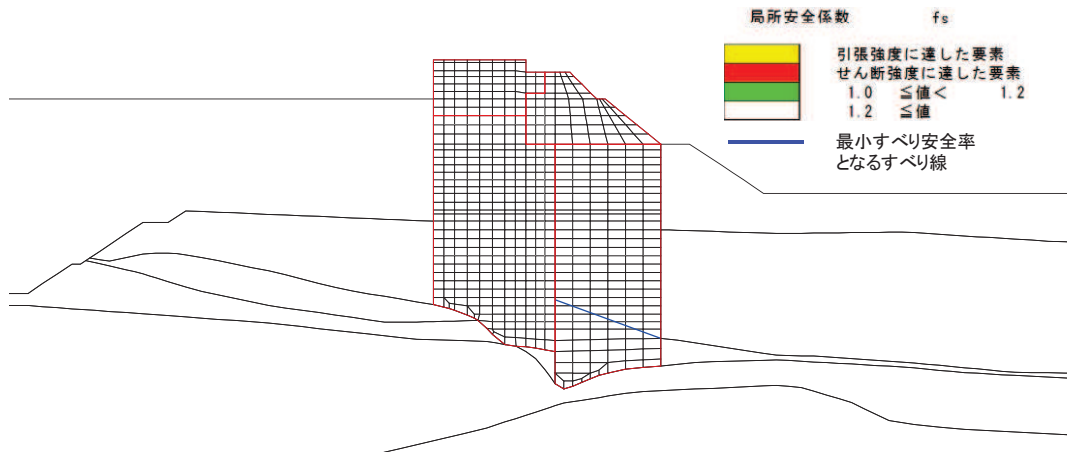


図 4-23 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面②, S s - N 1 (++) , t=7.52s)
 解析ケース①：基本ケース

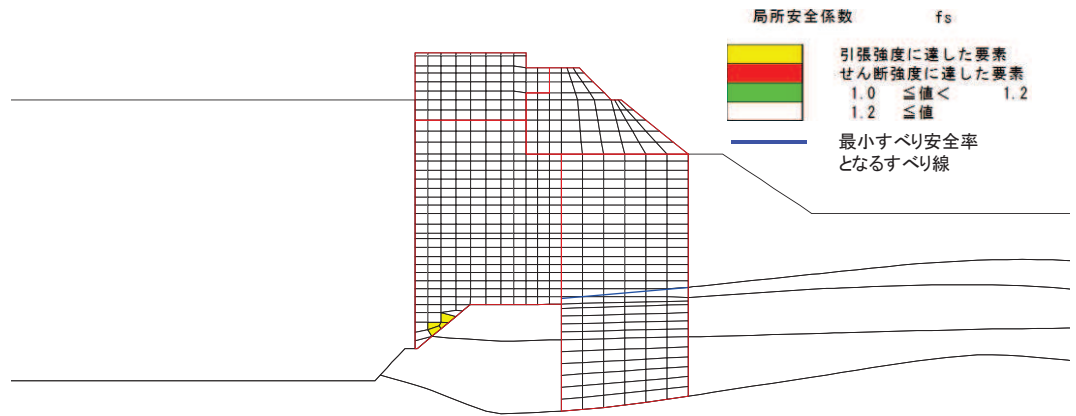


図 4-24 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, $S_s - N1$ (++) , $t=7.53s$)

解析ケース①：基本ケース

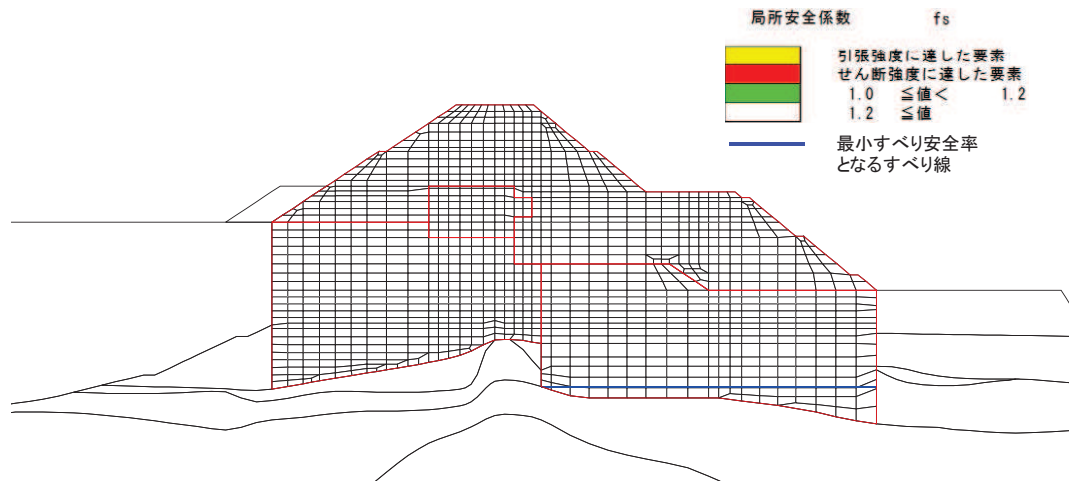


図 4-25 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, $S_s - N1$ (++) , $t=7.53s$)

解析ケース①：基本ケース

4.6 改良地盤

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4-32～表 4-35 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 4-26～図 4-29 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 4-32～表 4-35 に併せて示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-32 改良地盤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(-+)	①	7.66	2.6
S _s -N1(-+)	①（平均値－1 σ 強度）	7.66	2.5

表 4-33 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面②）

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S _s -N1(-+)	①	7.65	2.6
S _s -N1(-+)	①（平均値－1 σ 強度）	7.65	2.6

表 4-34 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面③）

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S _s -N1(-+)	①	7.64	2.8
S _s -N1(-+)	①（平均値－1 σ 強度）	7.64	2.7

表 4-35 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面④）

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S _s -D2(-+)	①	13.56	3.3
S _s -D2(-+)	①（平均値－1 σ 強度）	13.56	3.3

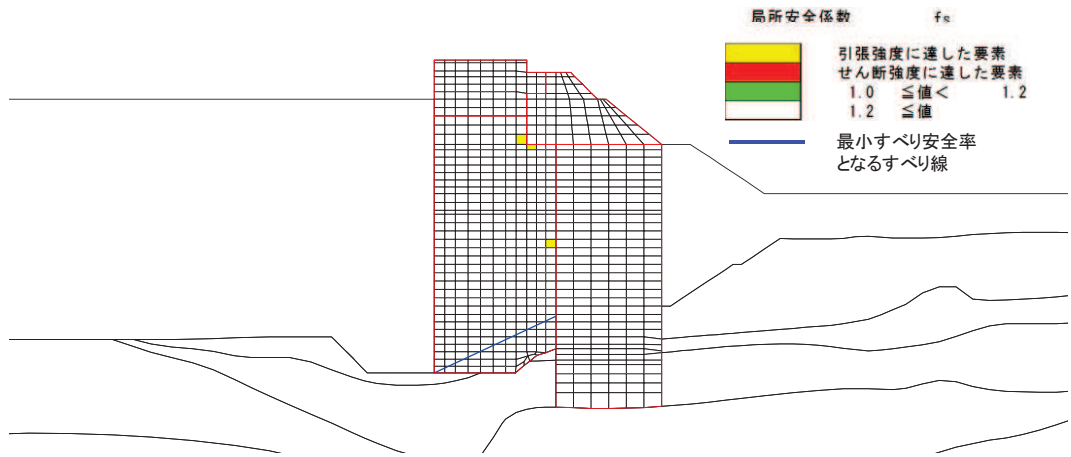


図 4-26 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面①, $S_s - N1 (-+)$, $t=7.66s$)
 解析ケース①: 基本ケース

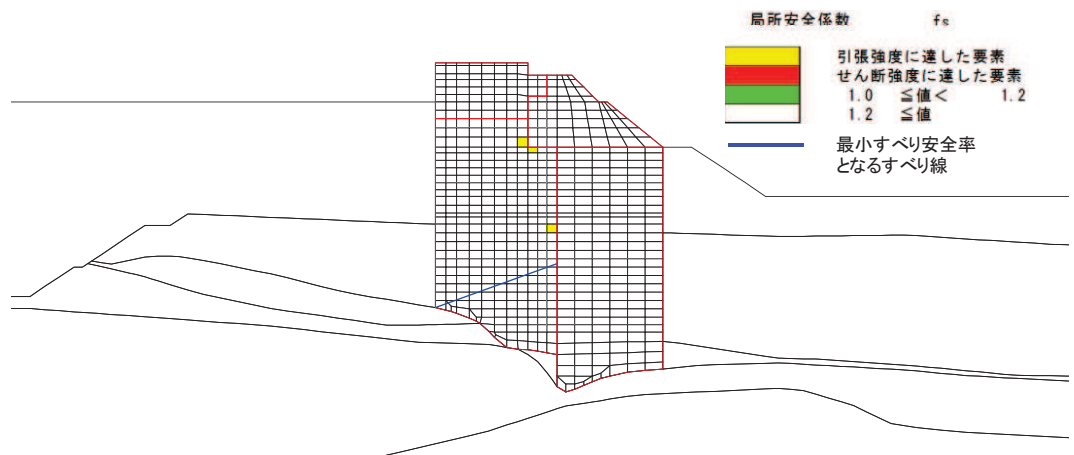


図 4-27 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面②, $S_s - N1 (-+)$, $t=7.65s$)
 解析ケース①: 基本ケース

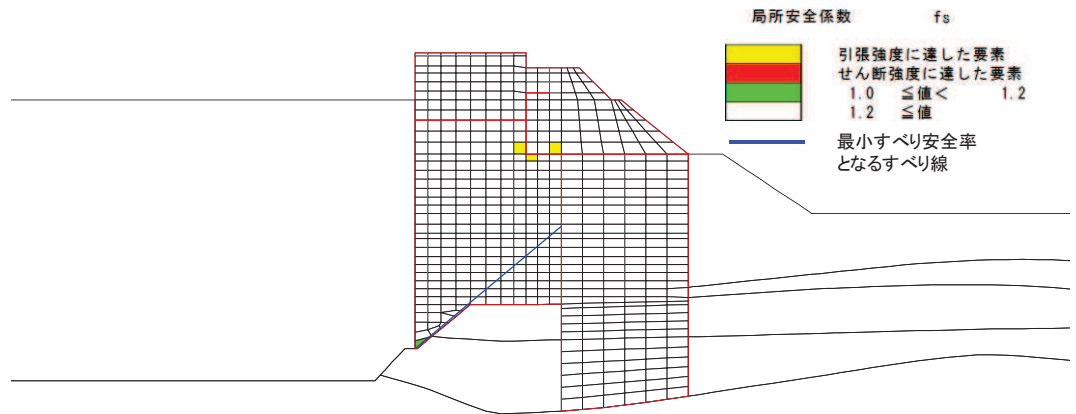


図 4-28 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面③, S s - N 1 (- +) , t=7.64s)
 解析ケース① : 基本ケース

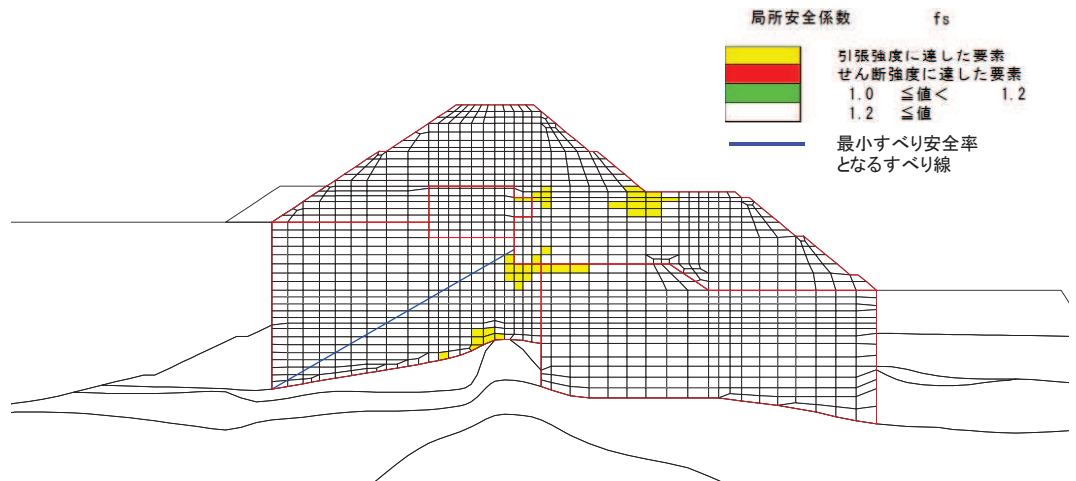


図 4-29 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面④, S s - D 2 (- +) , t=13.56s)
 解析ケース① : 基本ケース

4.7 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 4-36～表 4-39 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 4-30～図 4-33 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 4-36～表 4-39 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 4-36 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 -D2(--)	③	13.47	3.2
S _s -F3(-+)	①（平均値－1 σ 強度）	28.75	3.3

表 4-37 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面②）

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S _s -D2(--)	③	6.76	3.5
S _s -D2(++)	①（平均値－1 σ 強度）	6.82	3.4

表 4-38 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面③）

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S _s -F3(-+)	①	28.74	3.6
S _s -F3(-+)	①（平均値－1 σ 強度）	28.74	3.5

表 4-39 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面④）

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S _s -N1(++)	①	7.53	2.8
S _s -N1(++)	①（平均値－1 σ 強度）	7.53	2.7

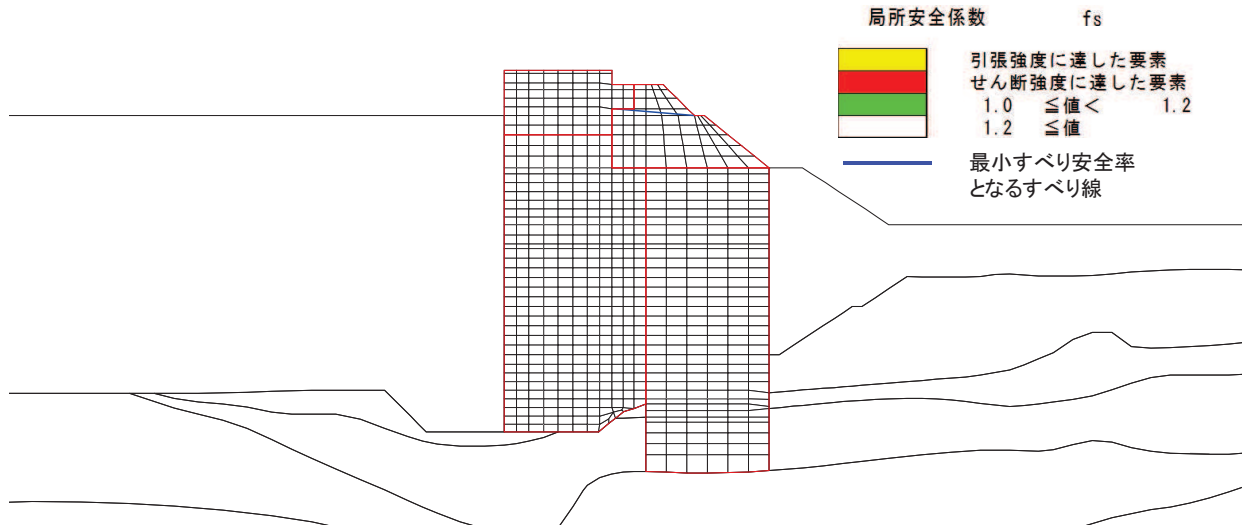


図 4-30 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S s - D 2 (- -) , t=13.47s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考えた解析ケース (平均値 - 1 σ)

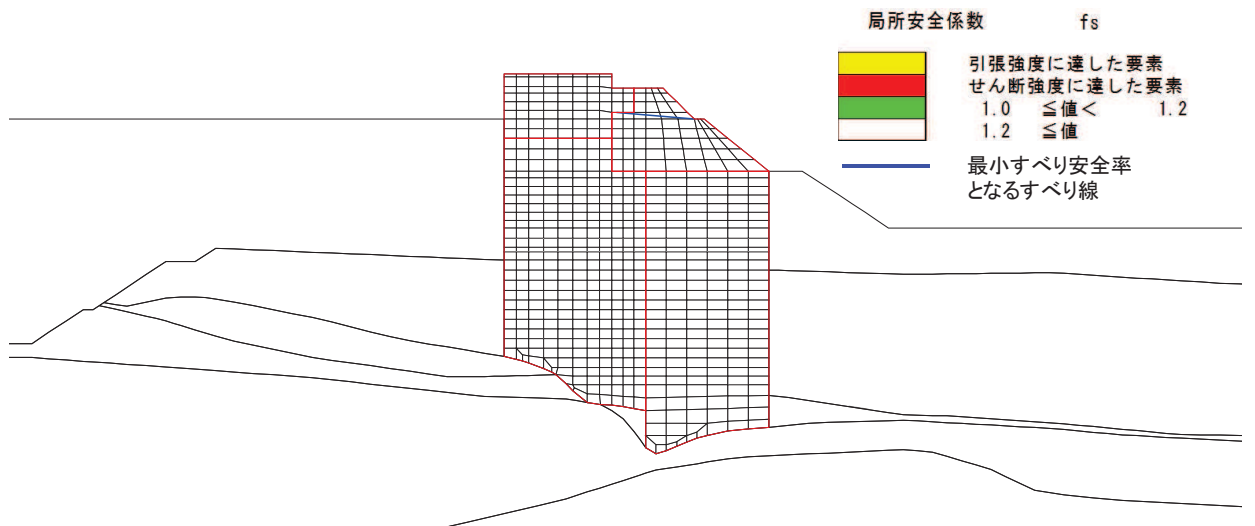


図 4-31 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, S s - D 2 (- -) , t=6.76s)

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)

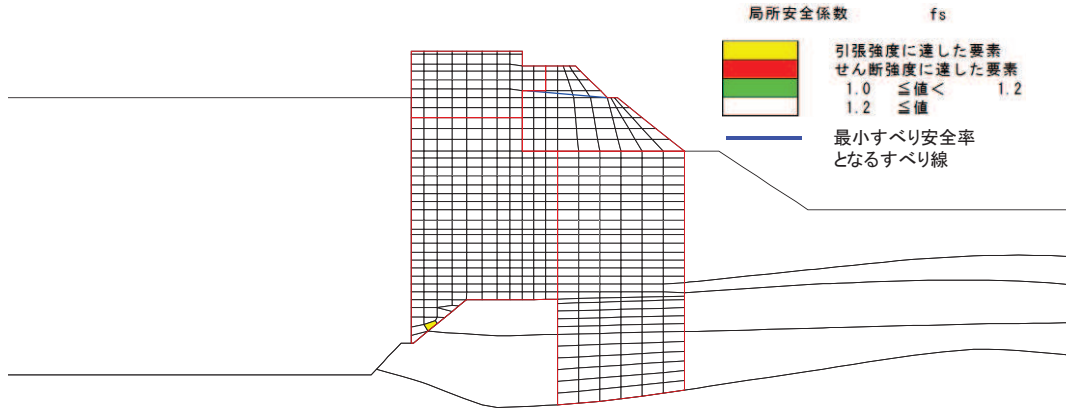


図 4-32 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面③, S s - F 3 (一+), t=28.74s)
 解析ケース①: 基本ケース

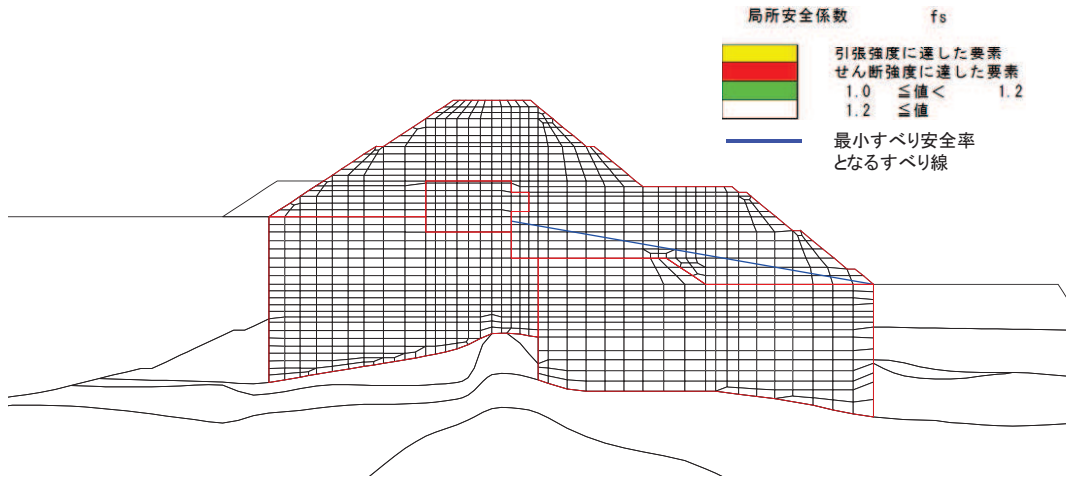


図 4-33 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面④, S s - N 1 (++) , t=7.53s)
 解析ケース①: 基本ケース

4.8 止水ジョイント部材の評価結果

地震時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査結果を表 4-40 及び表 4-41, 保護部材の発生応力に対する照査結果を表 4-42 に示す。また, 止水ジョイント部材の相対変位量評価区間を図 4-34 に示す。

地震時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査及び保護部材の発生応力に対する照査を行った結果, 相対変位量及び発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-40 (1) ゴムジョイント設置箇所の地震時相対変位量

(A 区間：構造境界部（一般部のうち突出長変化部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - D 2 (--)	②	95.5 (119.4) *	350
軸方向	S s - F 3 (++)	②	12.3	150

注記 *：括弧内の数値はねじり変位分の 2 倍 (23.9mm) を考慮した変位を示す。

表 4-40 (2) ゴムジョイント設置箇所の地震時相対変位量

(B 区間：構造境界部（一般部のうち背面補強工間），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - F 2 (++)	③	209.5 (233.4) *	350
軸方向	S s - N 1 (-+)	③	22.2	150

注記 *：括弧内の数値はねじり変位分の 2 倍 (23.9mm) を考慮した変位を示す。

表 4-40 (3) ゴムジョイント設置箇所の地震時相対変位量

(C 区間：構造境界部（一般部と岩盤部の境界），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - F 2 (++)	③	209.5 (233.4) *	350
軸方向	S s - F 2 (-+)	③	14.1	150

注記 *：括弧内の数値はねじり変位分の 2 倍 (23.9mm) を考慮した変位を示す。

表 4-40 (4) ゴムジョイント設置箇所の地震時相対変位量

(D 区間：構造境界部（岩盤部のうち背面補強工間），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - D 2 (++)	③	35.5 (59.4) *	350
軸方向	S s - N 1 (++)	②	2.0	150

注記 *：括弧内の数値はねじり変位分の 2 倍 (23.9mm) を考慮した変位を示す。

表 4-40 (5) ゴムジョイント設置箇所地震時相対変位量

(E 区間：構造境界部（岩盤部のうち背面補強工端部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - F 3 (++)	③	52. 6 (76. 5) *	350
軸方向	S s - F 3 (-+)	②	6. 7	150

注記 *：括弧内の数値はねじり変位分の2倍（23. 9mm）を考慮した変位を示す。

表 4-40 (6) ゴムジョイント設置箇所地震時相対変位量

(F 区間：構造境界部（岩盤部のうち突出長変化部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - F 3 (++)	③	52. 6 (76. 5) * ²	350
軸方向	- * ¹	- * ¹	52. 6	150

注記 *¹：保守的に軸直交方向と同等の変位量を考慮。*²：括弧内の数値はねじり変位分の2倍（23. 9mm）を考慮した変位を示す。

表 4-40 (7) ゴムジョイント設置箇所地震時相対変位量

(G 区間：構造境界部（岩盤部のうち RC 壁との境界），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - F 3 (++)	③	52. 6 (64. 5) * ²	350
軸方向	- * ¹	- * ¹	52. 6	150

注記 *¹：保守的に軸直交方向と同等の変位量を考慮。*²：括弧内の数値はねじり変位分（11. 9mm）を考慮した変位を示す。

表 4-41 (1) ウレタンシリコーン目地設置箇所の地震時相対変位量

(H 区間：構造同一部（一般部のうち背面補強工内），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - D 1 (--)	①×③*1	18. 8 (24. 4) *2	30
軸方向	S s - F 2 (- +)	③	1. 6	6

注記 *1：解析ケース①と解析ケース③の時刻歴相対変位を示す。

*2：括弧内の数値はねじり変位分（5. 6mm）を考慮した変位を示す。

表 4-41 (2) ウレタンシリコーン目地設置箇所の地震時相対変位量

(I 区間：構造同一部（岩盤部のうち突出長同一部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - F 3 (+ +)	①×③*1	7. 7 (11. 4) *2	30
軸方向	S s - F 3 (- +)	③	1. 2	6

注記 *1：解析ケース①と解析ケース③の時刻歴相対変位を示す。

*2：括弧内の数値はねじり変位分（3. 7mm）を考慮した変位を示す。

表 4-41 (3) ウレタンシリコーン目地設置箇所の地震時相対変位量

(J 区間：構造同一部（岩盤部のうち背面補強工内），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

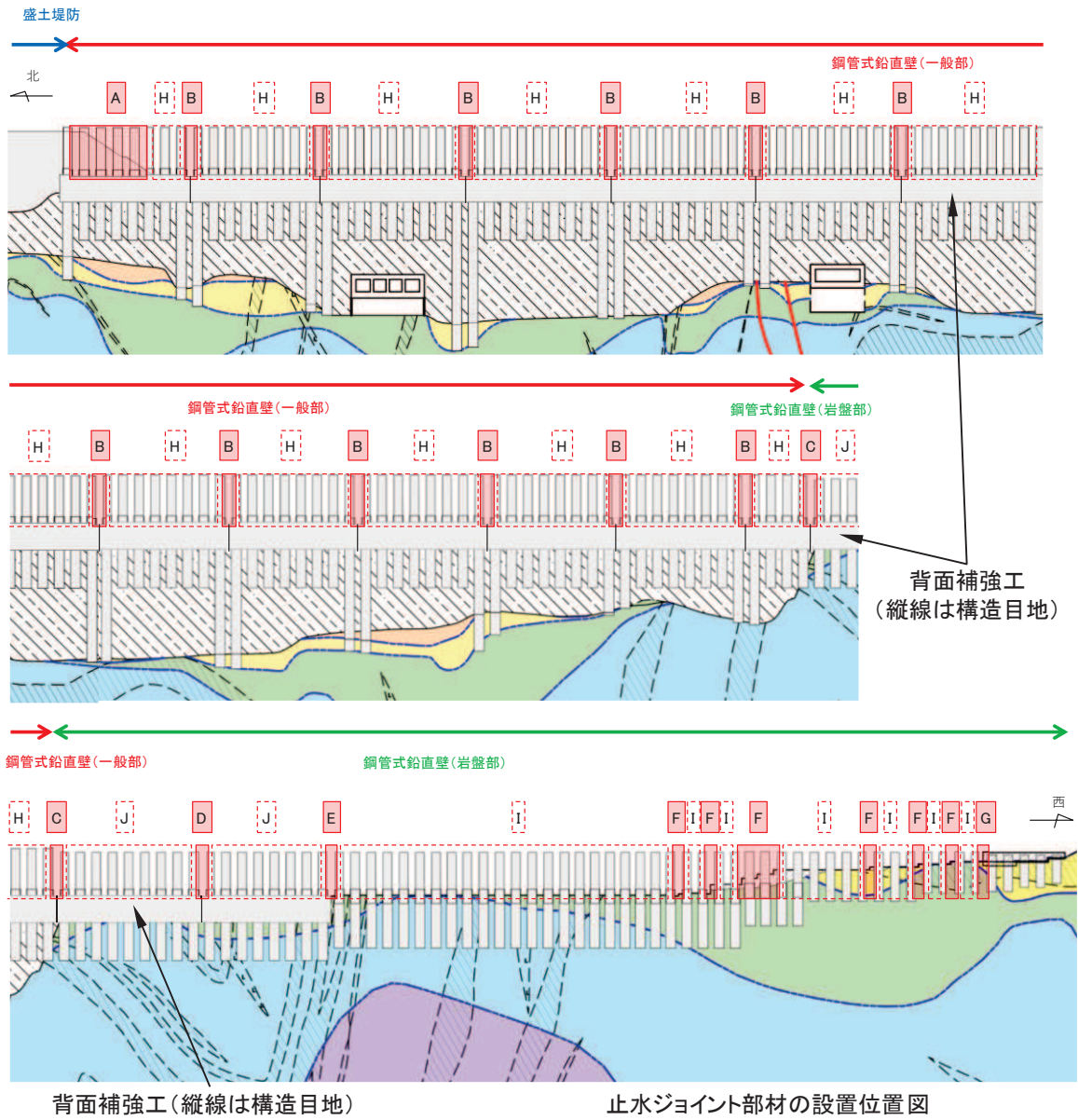
方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
軸直交方向	S s - D 2 (--)	①×③*1	2. 7 (5. 2) *2	30
軸方向	S s - F 2 (- +)	③	1. 0	6

注記 *1：解析ケース①と解析ケース③の時刻歴相対変位を示す。

*2：括弧内の数値はねじり変位分（2. 5mm）を考慮した変位を示す。

表 4-42 保護部材の発生応力

鋼材	発生応力 (N/mm ²)		許容限界 (N/mm ²)
梁部材 SS400	曲げ圧縮応力度（水平方向）	1	210
	せん断応力度（水平方向）	1	120
	曲げ圧縮応力度（鉛直方向）	1	210
	せん断応力度（鉛直方向）	1	120
グレーチング 固定ボルト	引張応力度	7	210
	せん断応力度	13	135
アンカー ボルト	引張応力度	2. 2	96. 3
	せん断応力度	3. 3	80. 3



背面補強工(縦線は構造目地)

止水ジョイント部材の設置位置図

記号 (区間)	
構造境界部 (ゴムジョイント)	A (一般部のうち突出長変化部)
	B (一般部のうち背面補強工間)
	C (一般部と岩盤部の境界)
	D (岩盤部のうち背面補強工間)
	E (岩盤部のうち背面補強工端部)
	F (岩盤部のうち突出長変化部)
	G (岩盤部のうちRC壁との境界)
構造同一部 (ウレタン シリコーン目地)	H (一般部のうち背面補強工内)
	I (岩盤部のうち突出長同一部)
	J (岩盤部のうち背面補強工内)

凡 例	
岩盤分類	
B 級	盛 土
C _H 級	第四系(砂・礫)
C _M 級	砂 岩
C _L 級	頁 岩
D 級	ひ ん 岩
岩盤分類境界	断 層
	地 質 境 界
	改良地盤

* : 鋼管杭下方のC_L級岩盤部はMMRにより置換。

図 4-34 止水ジョイント部材の相対変位量評価区間

4.9 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 4-43～表 4-49 に、背面補強工及び置換コンクリートの最大接地圧分布図を図 4-35～図 4-39 に示す。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-43(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面①，鋼管杭）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D1(+)	①	1.9	11.4	0.17

表 4-43(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面①，背面補強工）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -F3(+)	①	0.9	4.4	0.21

表 4-43(3) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面①，置換コンクリート）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -N1(++)	①	4.6	11.4	0.41

表 4-44(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面②，鋼管杭）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(--)	③	1.5	11.4	0.14

表 4-44(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面②，背面補強工）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -F3(+)	①	0.9	4.4	0.21

表 4-44(3) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面②，置換コンクリート）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -N1(++)	①	3.7	11.4	0.33

表 4-45(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面③, 鋼管杭)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -N1(-+)	①	2.2	13.7	0.17

表 4-45(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面③, 背面補強工)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(++)	①	0.9	4.4	0.21

表 4-45(3) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面③, 置換コンクリート)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -N1(++)	①	3.0	13.7	0.22

表 4-46(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面④, 鋼管杭)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(--)	③	4.8	11.4	0.43

表 4-46(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面④, 背面補強工)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(--)	②	1.5	4.4	0.35

表 4-46(3) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面④, 置換コンクリート)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -N1(-+)	①	3.1	11.4	0.28

表 4-47(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面⑤, 鋼管杭)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(-+)	③	0.5	13.7	0.04

表 4-47 (2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面⑤, 背面補強工)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -F3(-+)	①	0.5	13.7	0.04

表 4-48 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面⑥, 鋼管杭)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(+)	①	0.5	13.7	0.04

表 4-49 基礎地盤の支持性能評価結果 (断面⑦, 鋼管杭)

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(-)	①	0.5	3.9	0.13

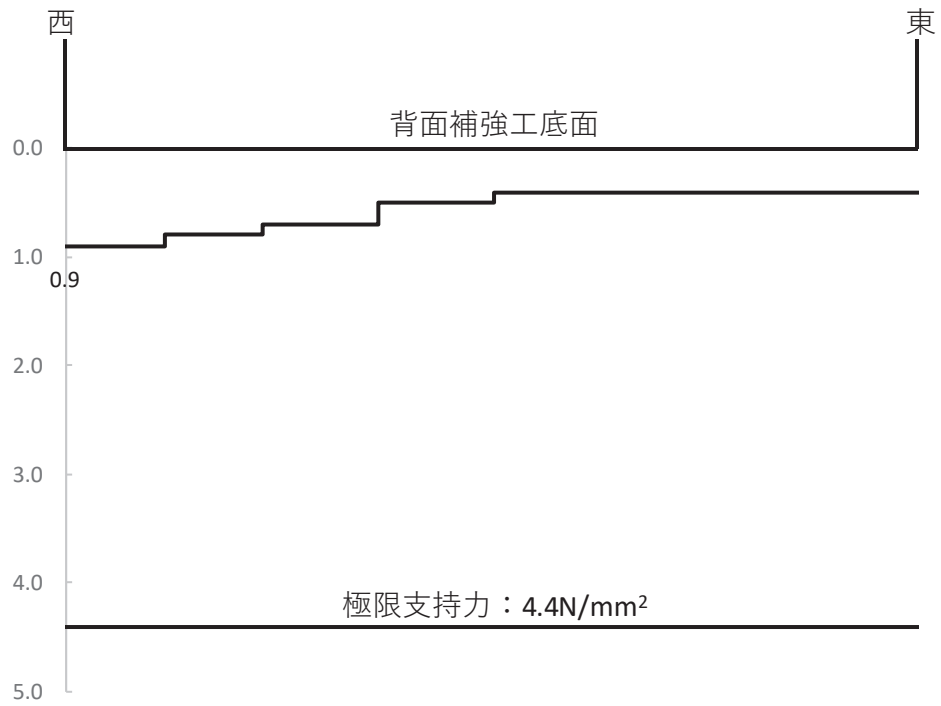


図 4-35 (1) 支持地盤の接地圧分布図 (断面①, 背面補強工)
 (S s - D 1 (+ -))
 解析ケース①: 基本ケース

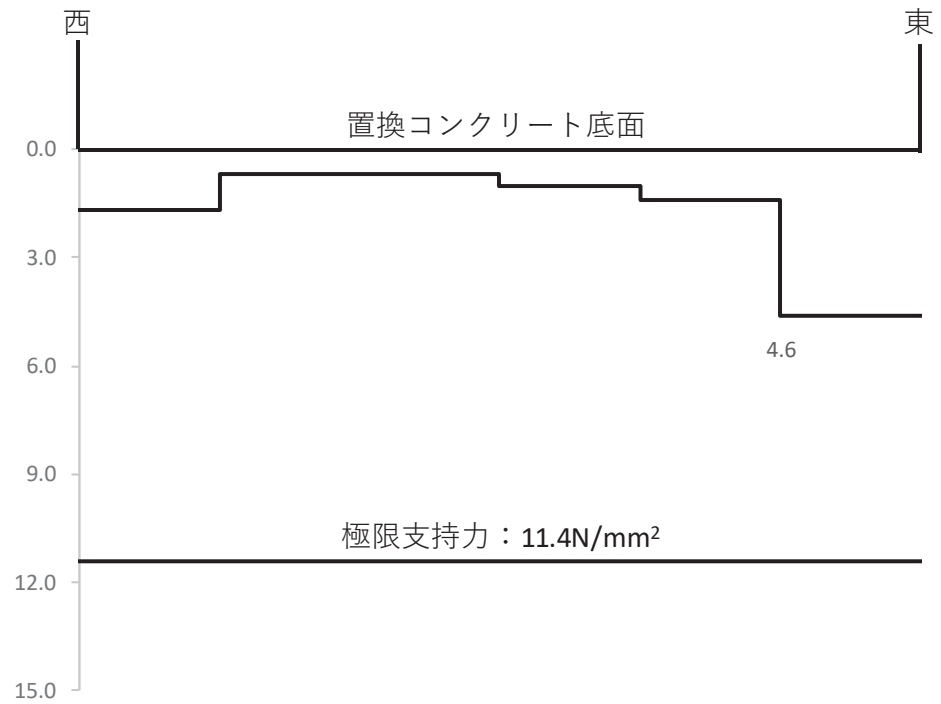


図 4-35 (2) 支持地盤の接地圧分布図 (断面①, 置換コンクリート)
 (S s - N 1 (+ +))
 解析ケース①: 基本ケース

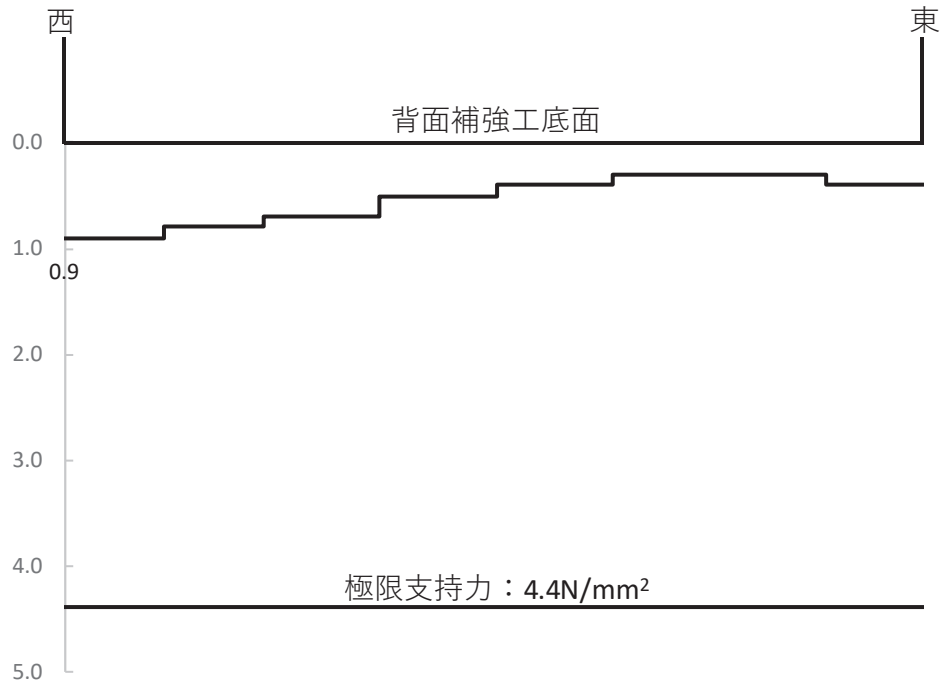


図 4-36 (1) 支持地盤の接地圧分布図 (断面②, 背面補強工)
 (S s - F 3 (-+))
 解析ケース①：基本ケース

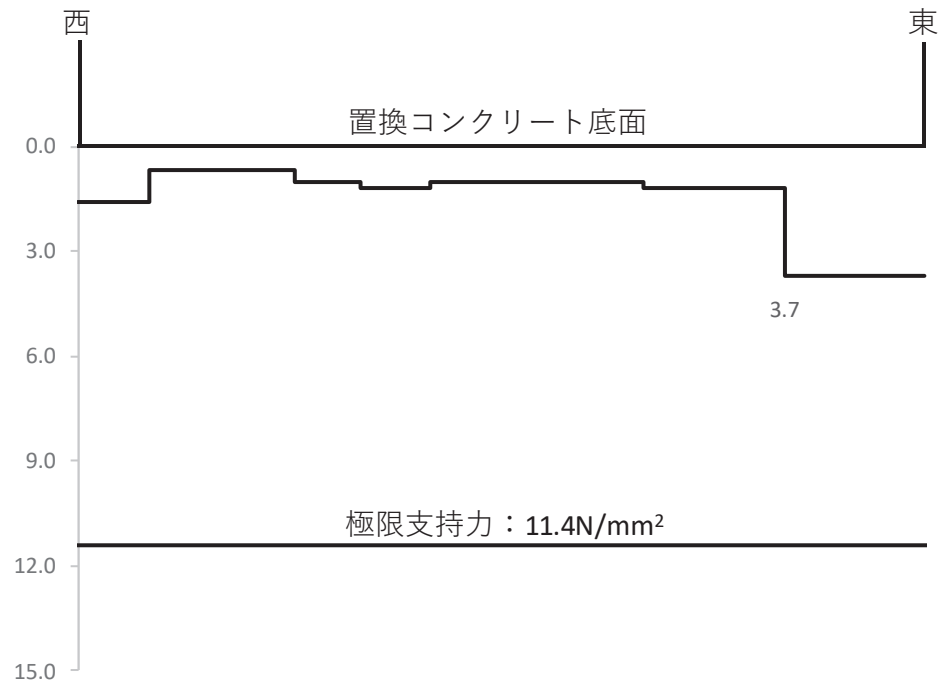


図 4-36 (2) 支持地盤の接地圧分布図 (断面②, 置換コンクリート)
 (S s - N 1 (++))
 解析ケース①：基本ケース

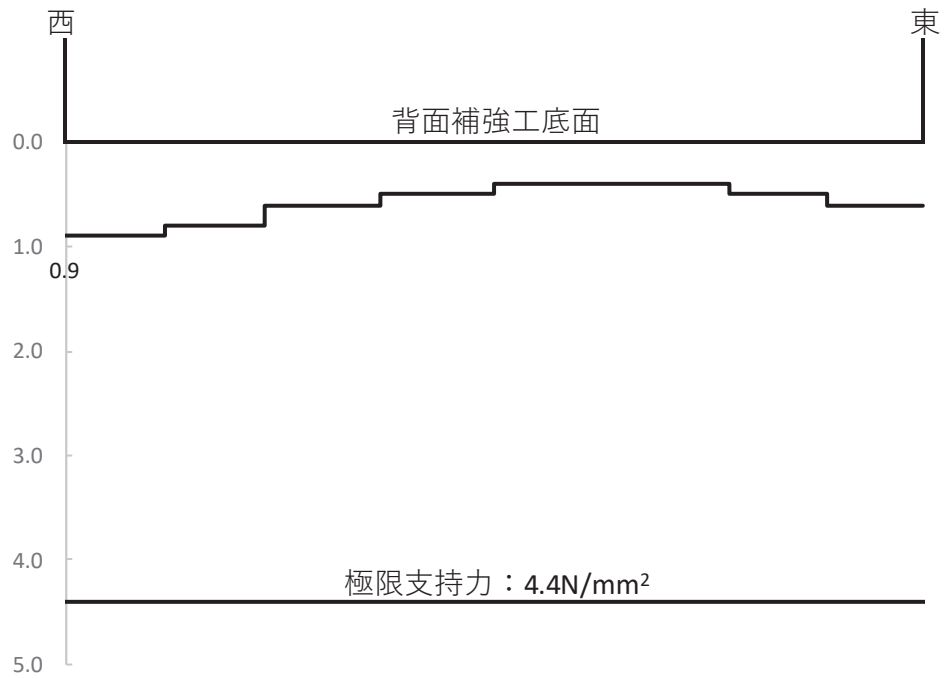


図 4-37 (1) 支持地盤の接地圧分布図 (断面③, 背面補強工)
 (S s - D 2 (++))
 解析ケース①：基本ケース

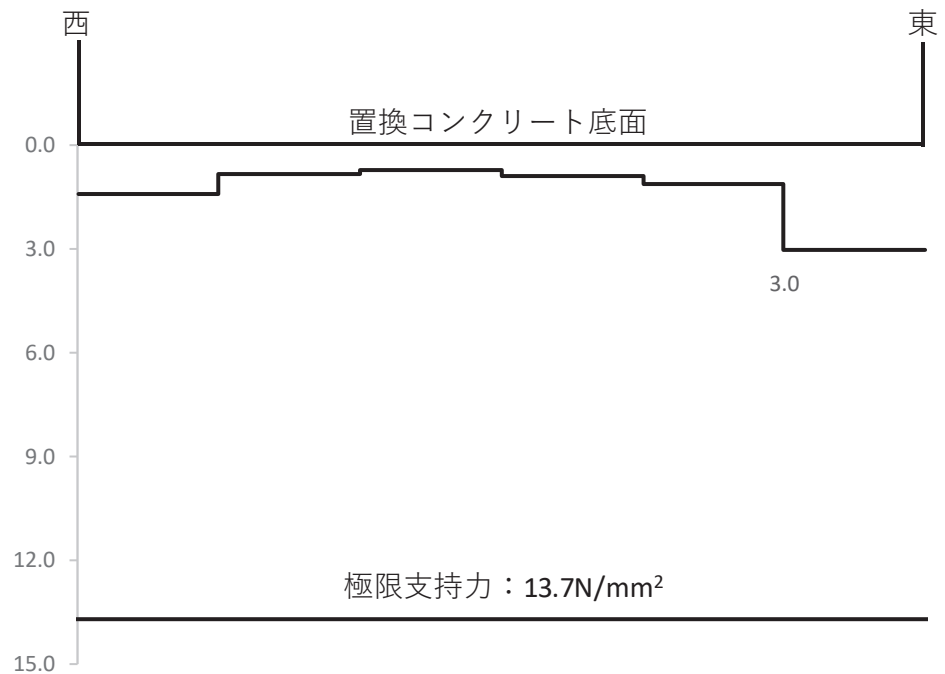


図 4-37 (2) 支持地盤の接地圧分布図 (断面③, 置換コンクリート)
 (S s - N 1 (++))
 解析ケース①：基本ケース

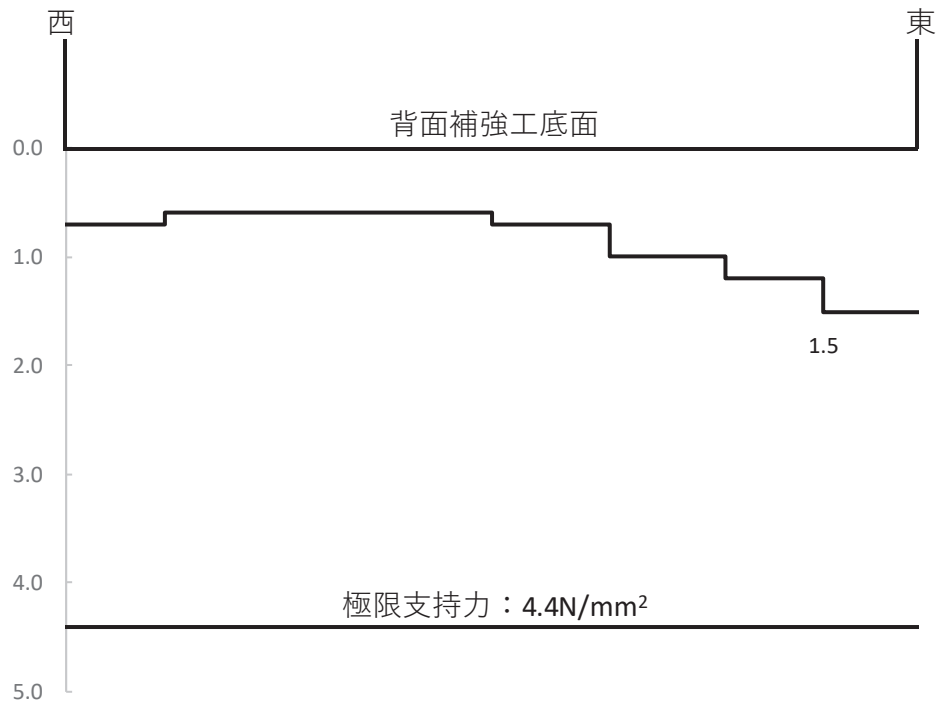


図 4-38 (1) 支持地盤の接地圧分布図 (断面④, 背面補強工)
(S s - D 2 (- -))

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

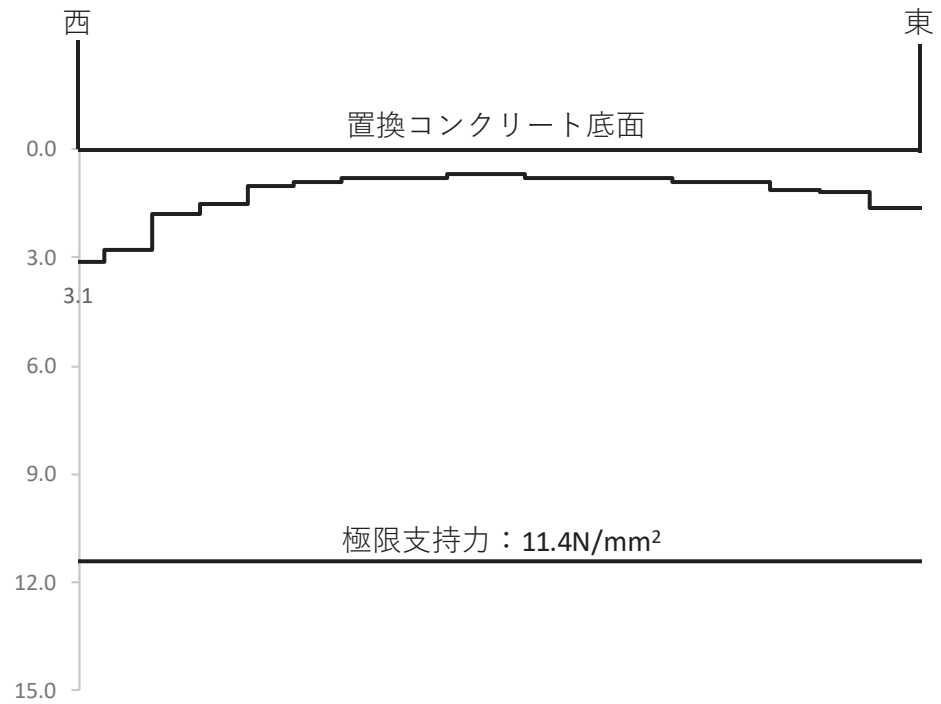


図 4-38 (2) 支持地盤の接地圧分布図 (断面④, 置換コンクリート)
(S s - N 1 (- +))

解析ケース①：基本ケース

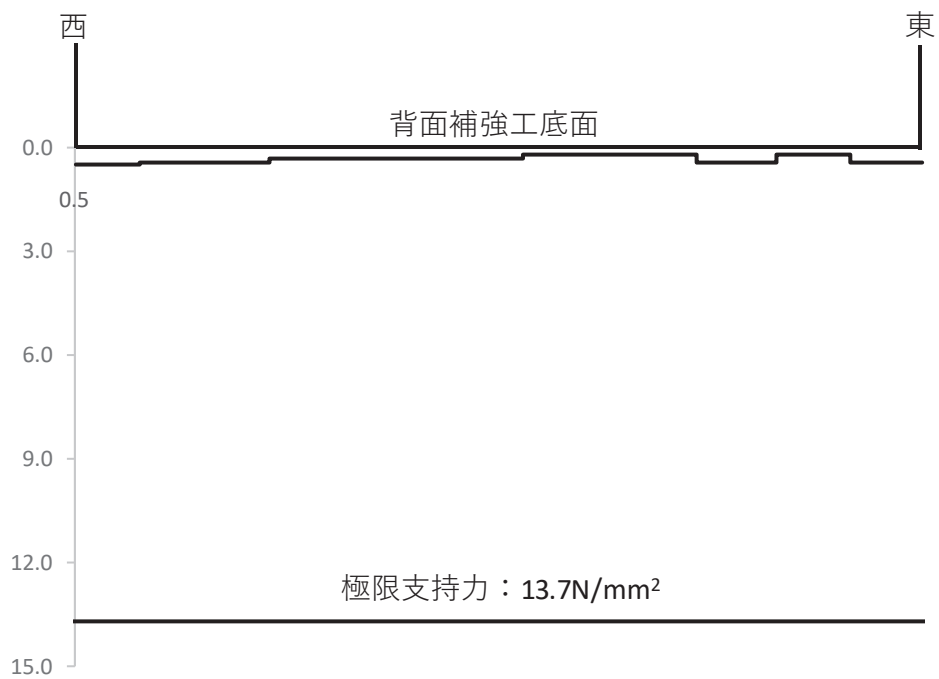


図 4-39 支持地盤の接地圧分布図 (断面⑤, 背面補強工)
(S s - F 3 (-+))
解析ケース①: 基本ケース

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

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	8
3.	耐震評価	9
3.1	評価対象断面	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	施設	11
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	11
3.2.3	減衰定数	11
3.2.4	解析ケース	12
3.3	荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	13
3.3.2	荷重	13
3.3.3	荷重の組合せ	14
3.4	入力地震動	15
3.5	解析モデル及び諸元	30
3.5.1	解析モデル	30
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	32
3.5.4	地下水位	32
3.6	評価対象部位	33
3.7	許容限界	34
3.7.1	セメント改良土	34
3.7.2	置換コンクリート	34
3.7.3	改良地盤	34
3.7.4	基礎地盤	34
3.8	評価方法	35
3.8.1	セメント改良土	35
3.8.2	置換コンクリート	35
3.8.3	改良地盤	35
3.8.4	基礎地盤	35
4.	耐震評価結果	36
4.1	セメント改良土	36

4.2	置換コンクリート	37
4.3	改良地盤	38
4.4	基礎地盤	39

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）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防潮堤（盛土堤防）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施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお、防潮堤（盛土堤防）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）の範囲を図 2-1 に示す。

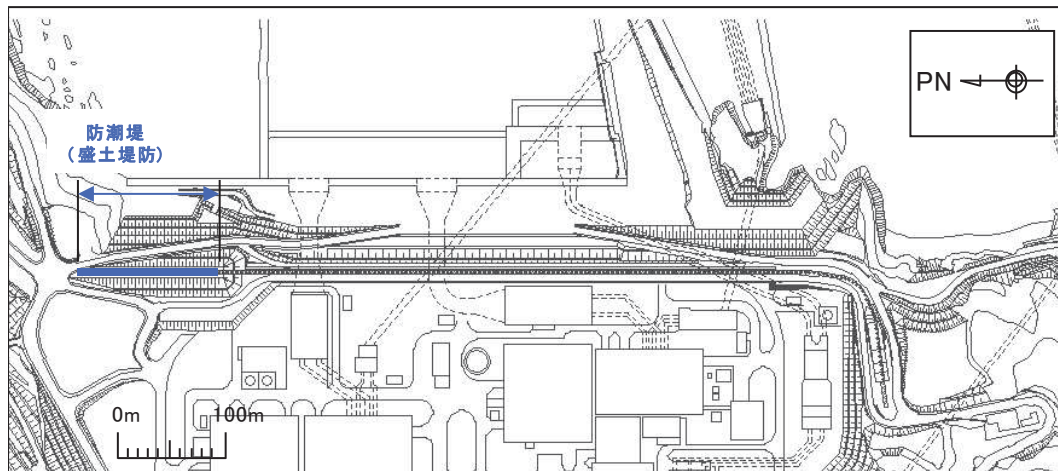


図 2-1 防潮堤（盛土堤防）の範囲

2.2 構造概要

防潮堤（盛土堤防）は，入力津波による浸水高さ（防潮堤前面：O.P.+24.4m）に対して余裕を考慮した天端高さ（O.P.+29.0m）とする。

防潮堤（盛土堤防）は，改良地盤に設置されたセメント改良土による堤体と，基礎地盤のすべり安定性を確保する観点から設置する置換コンクリートで構成される。

防潮堤（盛土堤防）の構造図を図2-2に示す。

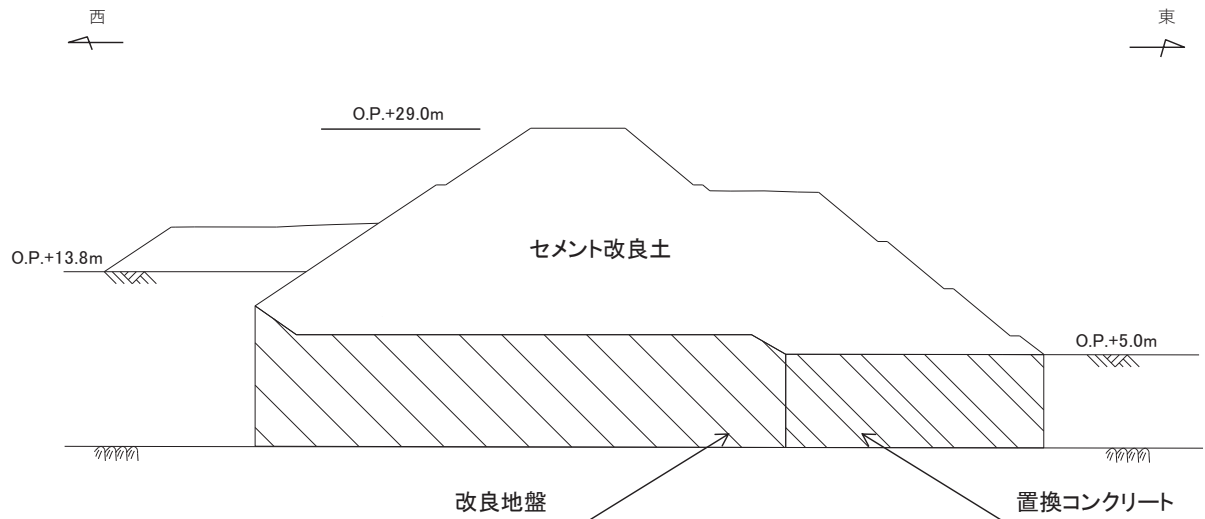


図2-2 防潮堤（盛土堤防）の構造図

2.3 評価方針

防潮堤（盛土堤防）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防潮堤（盛土堤防）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

また、防潮堤（盛土堤防）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設として、表 2-3 に示すとおり、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤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及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力、すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

防潮堤（盛土堤防）の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

表 2-1 防潮堤（盛土堤防）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割*	津波時の役割*
施設	セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持する。 難透水性を有し、堤体により止水性を維持する。
	置換コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度を考慮して基礎地盤のすべり安定性を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する（下方の岩盤に荷重を伝達する）。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を鉛直支持する（下方の岩盤に荷重を伝達する）。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。 基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持する。

注記 *：津波＋余震時は地震時及び津波時の両方の役割を参照する。

表 2-2 防潮堤（盛土堤防）の各部位の役割に対する性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持 (第3条)	すべり安定性 (第3条)	健全性 (第4条)	止水性 (難透水性) (第5条)
施設	セメント改良土	—	—	セメント改良土の健全性を保持して、入力津波に対して十分な裕度を確保した堤体高さを維持するために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。	セメント改良土を横断する水みちが形成されて有意な漏洩を生じないために、堤体内部にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。
	置換コンクリート	—	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、コンクリートの強度を維持し、すべり抵抗を保持すること。	コンクリートの強度を維持すること及び堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、置換コンクリートがすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
地盤	改良地盤	セメント改良土を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、置換コンクリートのすべり抵抗も考慮した上で、十分なすべり安定性を保持すること。	堤体であるセメント改良土の堤体高さ及び難透水性を維持するため、改良地盤にすべり破壊が生じないこと(内的安定を保持)。	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を保持)するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。
	岩盤	セメント改良土及び置換コンクリートを鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。		—	

表 2-3 防潮堤（盛土堤防）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	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	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*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	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。

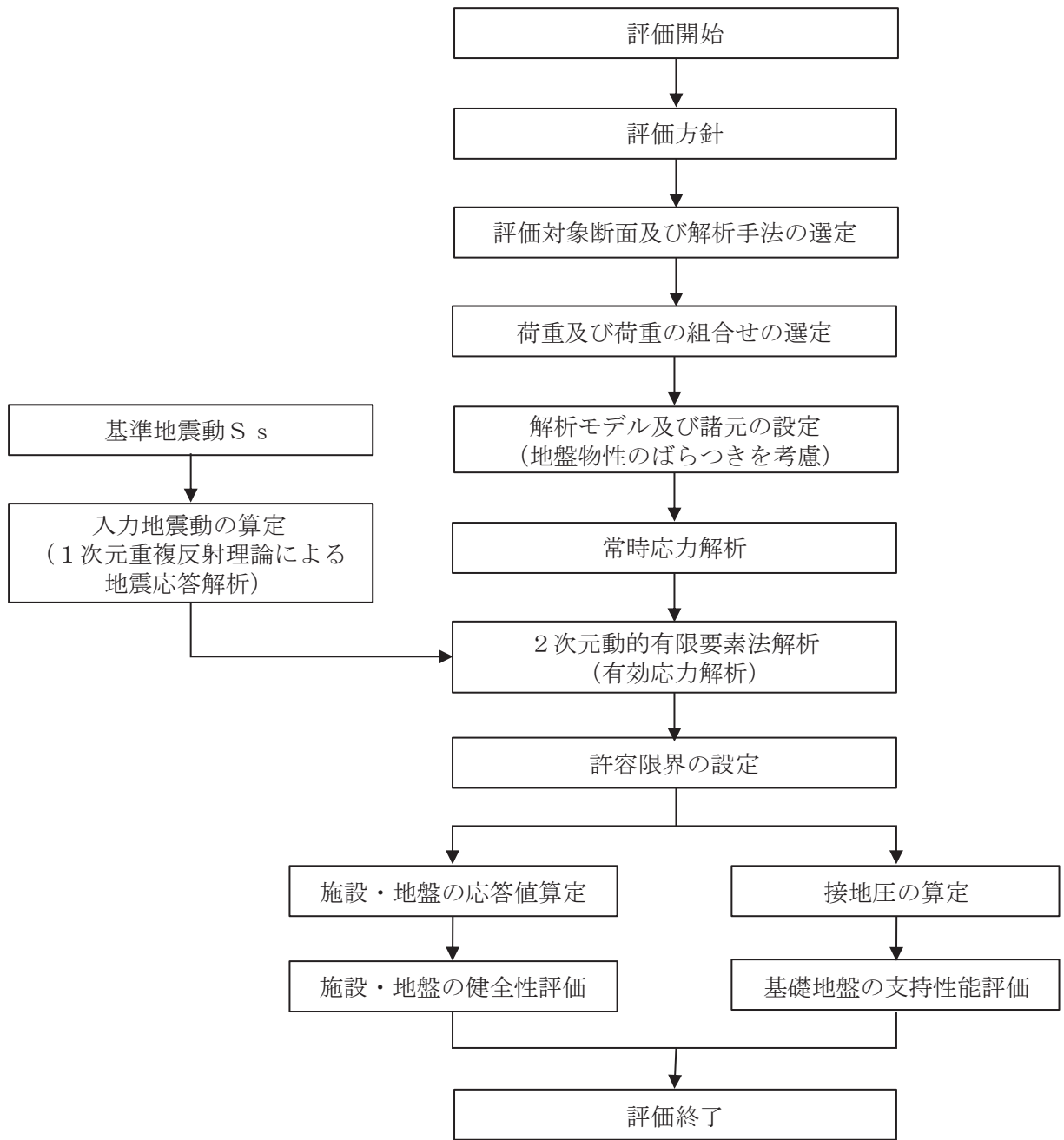


図 2-3 防潮堤（盛土堤防）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 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
- ・ 土木学会 2013年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編
- ・ 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、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。防潮堤（盛土堤防）の縦断面図を図 3-2 に、評価対象断面図を図 3-3 に示す。

断面①：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（設置変更許可段階において、基礎地盤の安定性評価及び構造成立性評価で示した断面）。

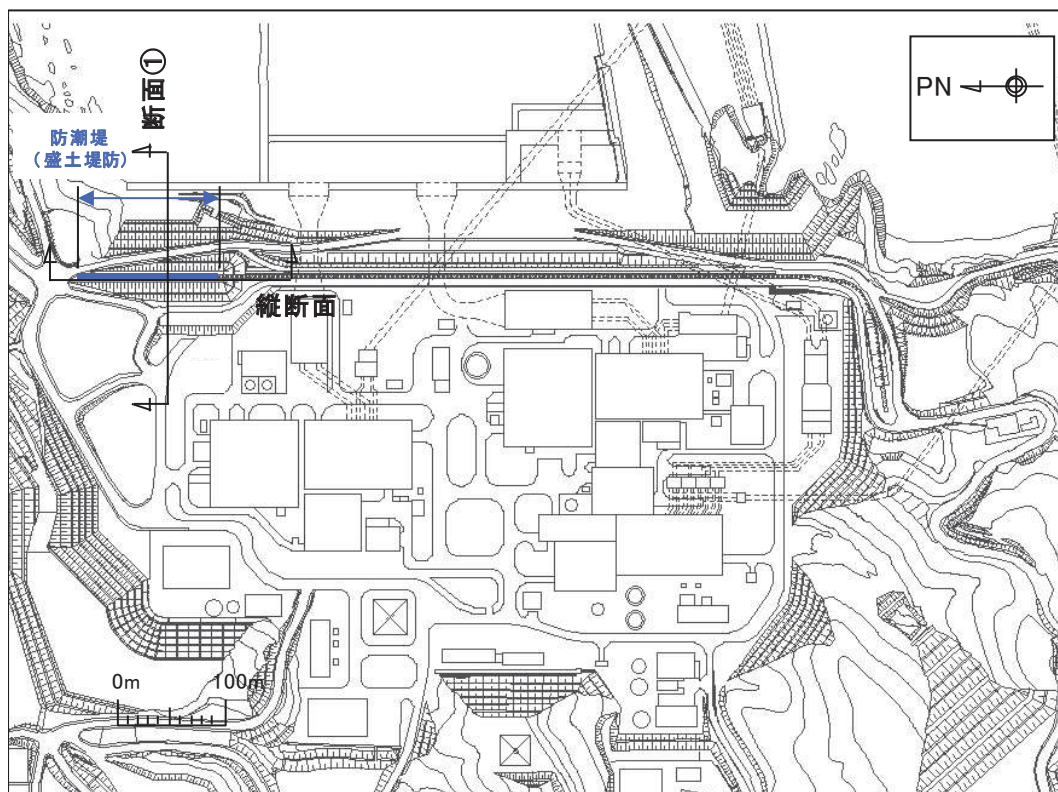


図 3-1 防潮堤（盛土堤防）の評価対象断面位置図

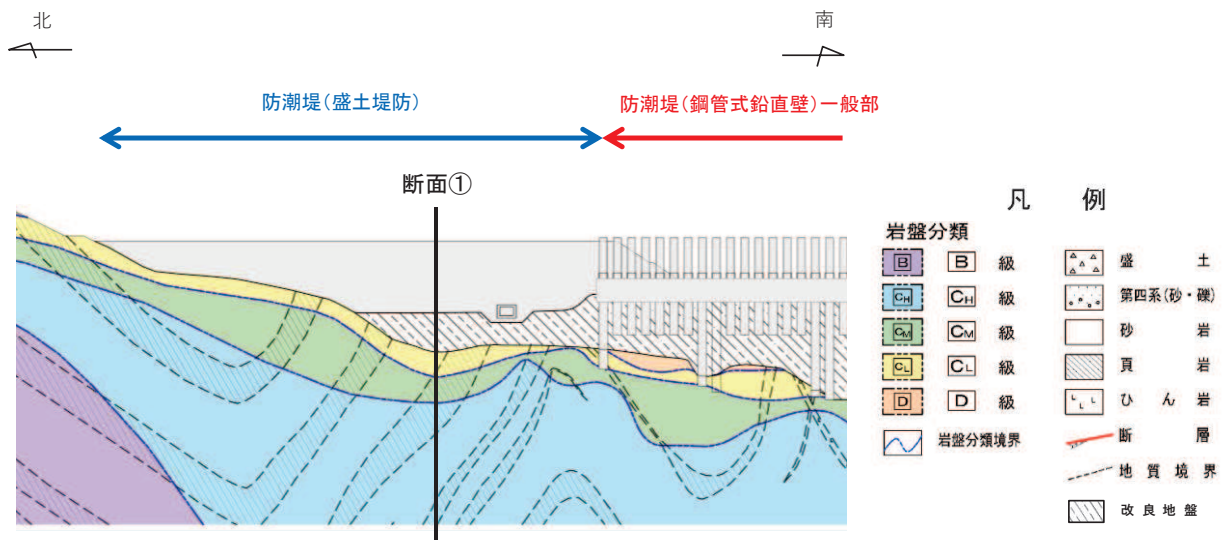


図 3-2 防潮堤（盛土堤防）の縦断面図

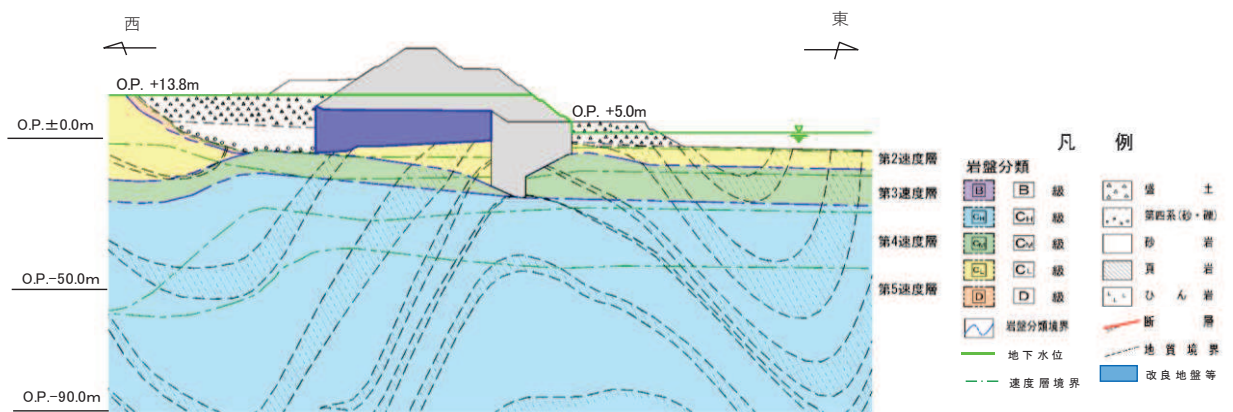


図 3-3 評価対象断面図（断面①）

O 2 ② VI-2-10-2-2-2 R 2

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。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、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 施設

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 3-3 に示すとおり、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防潮堤（盛土堤防）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。

また、施設として位置付けているセメント改良土についても、他の地盤と同様にばらつきの影響を考慮する。

解析ケースを表 3-1 に示す。

表 3-1 解析ケース（防潮堤（盛土堤防））

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

注記 * : 防潮堤（盛土堤防）においては施設として定義

3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰とする。

3.2.4 解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、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 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)	$S_s - D 1$	++* 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、すべり安全率が 2.4 以下* ² となる又は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。	
		-+* 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。

*2: 許容限界であるすべり安全率 1.2 に対して 2 倍の裕度

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

防潮堤（盛土堤防）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

防潮堤（盛土堤防）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重を含めて地表面に 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

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。

図3-4に入力地震動算定の概念図を、図3-5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。

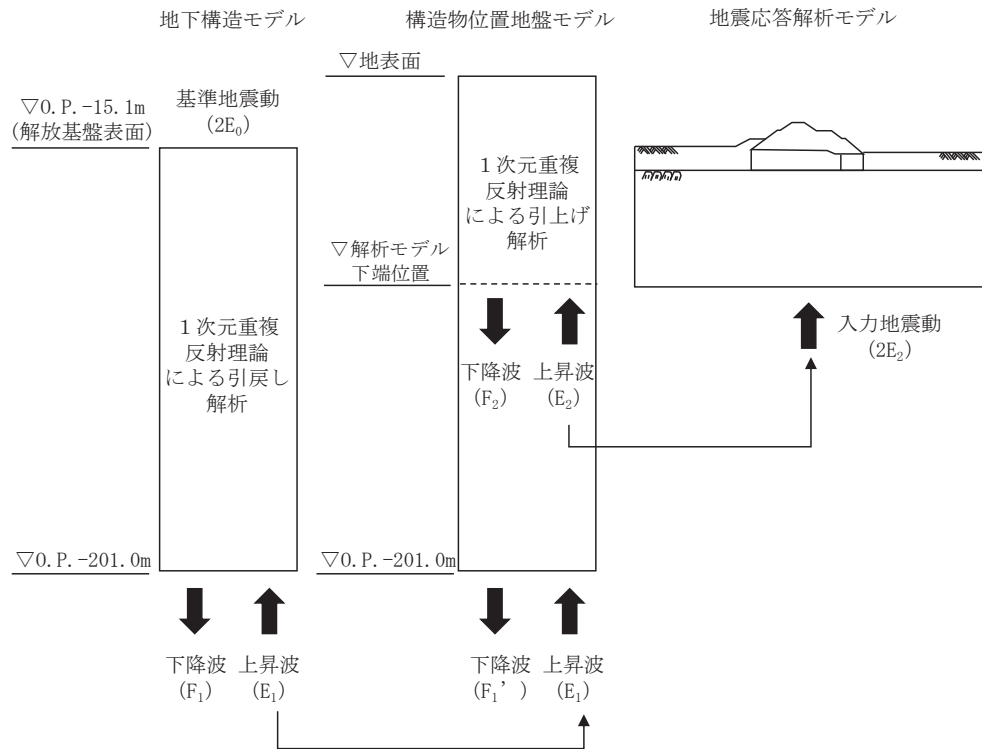
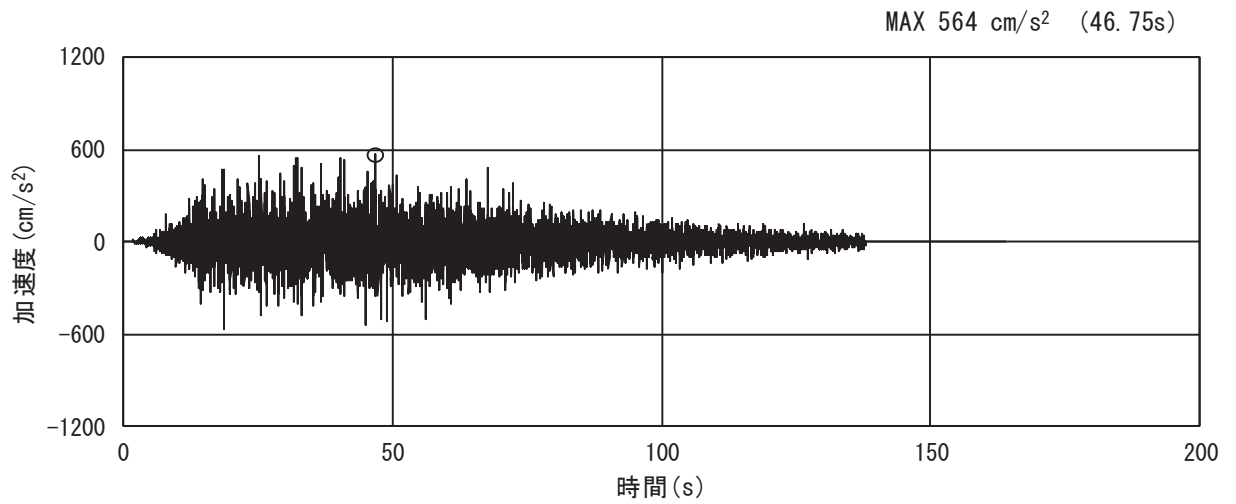
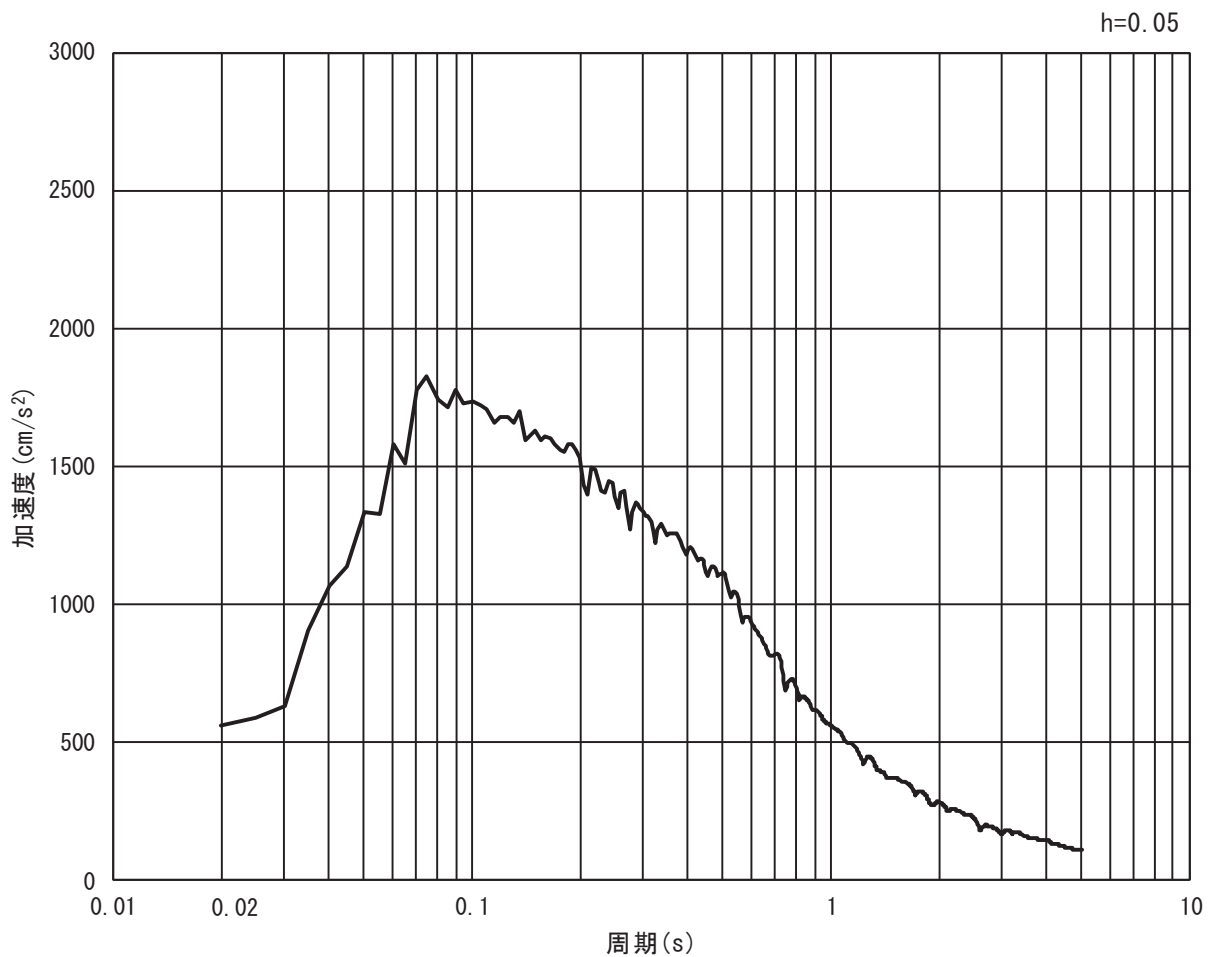


図 3-4 入力地震動算定の概念図

(1) 断面①

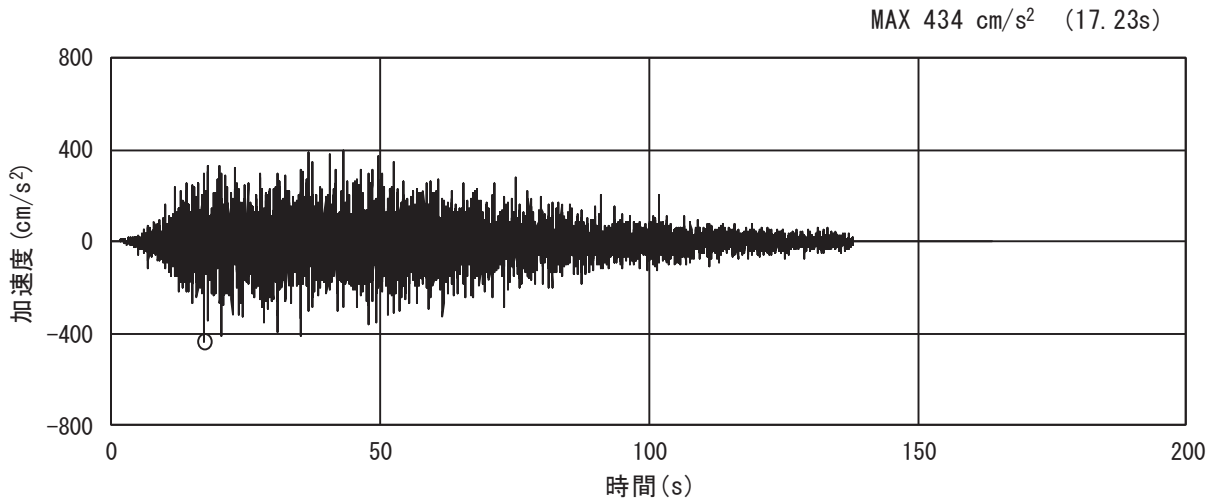


(a) 加速度時刻歴波形

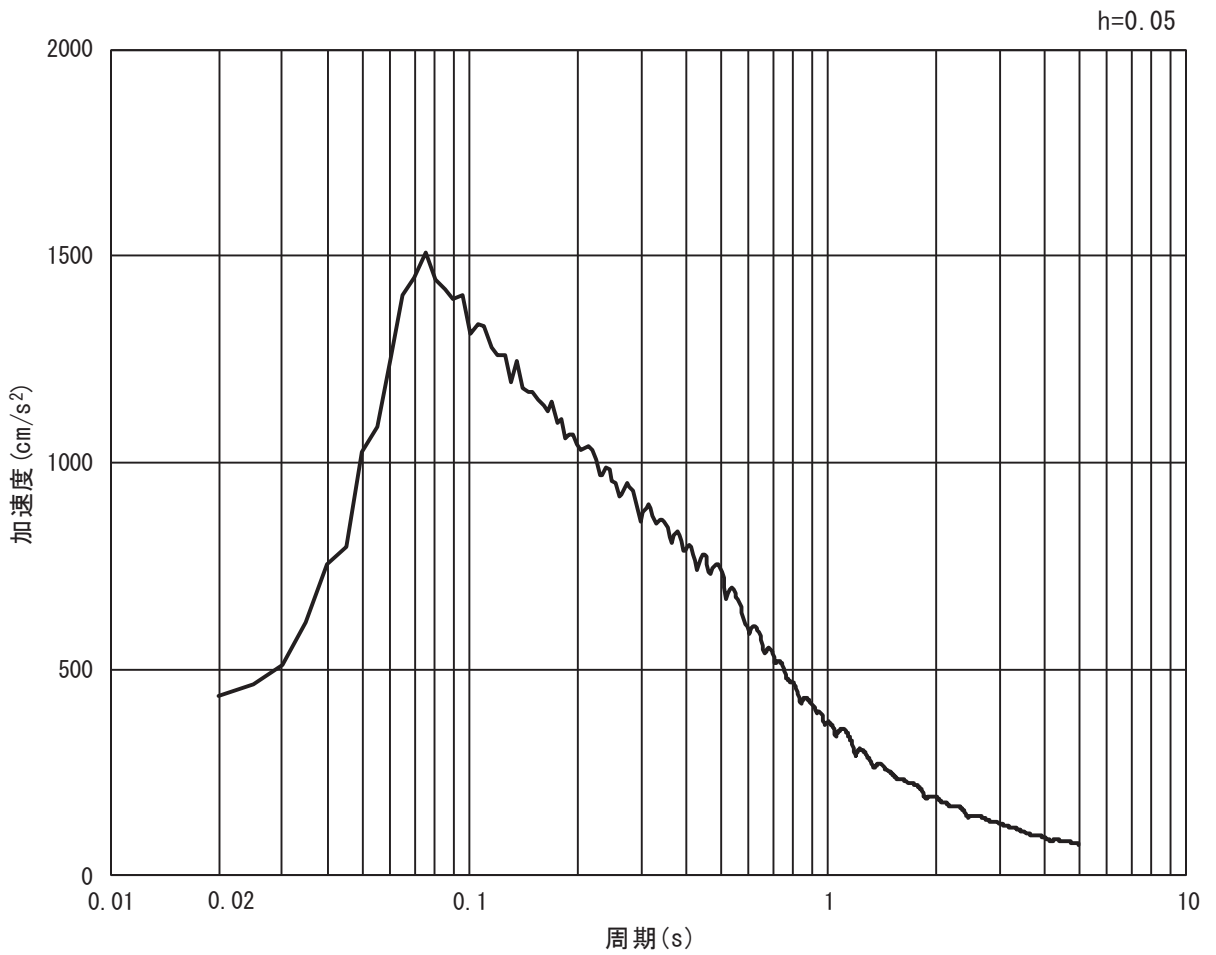


(b) 加速度応答スペクトル

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)

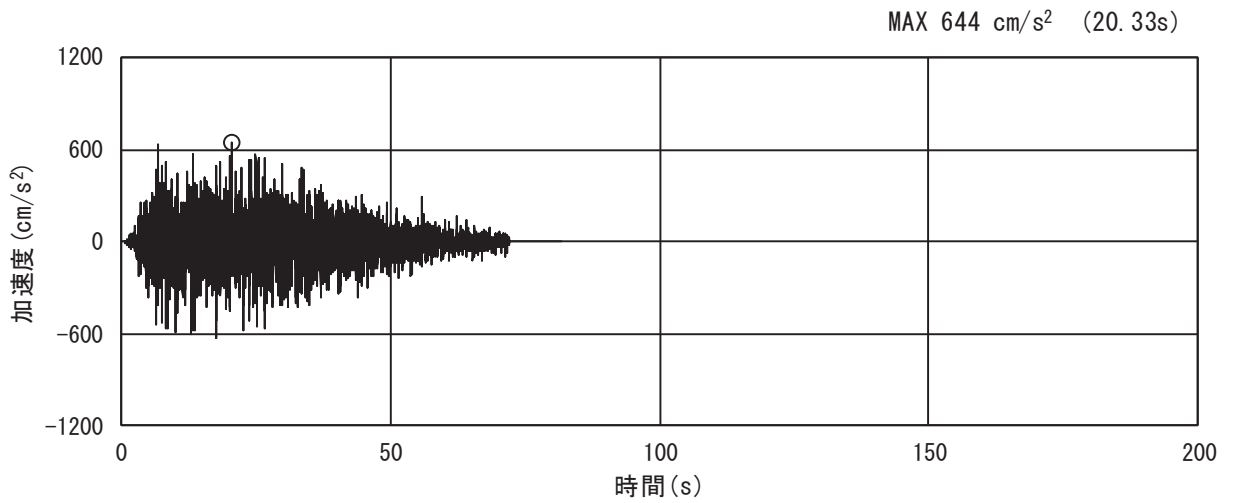


(a) 加速度時刻歴波形

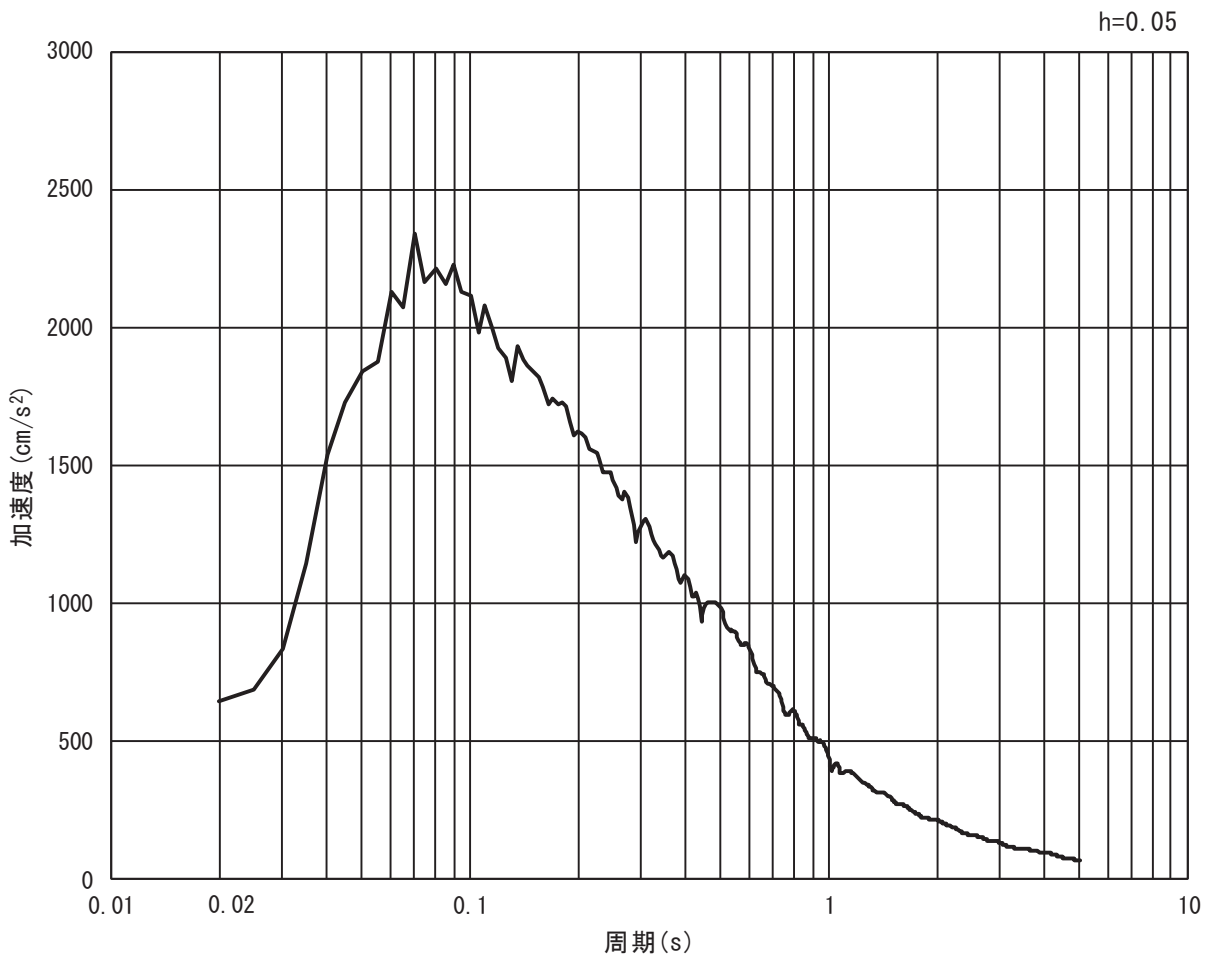


(b) 加速度応答スペクトル

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)

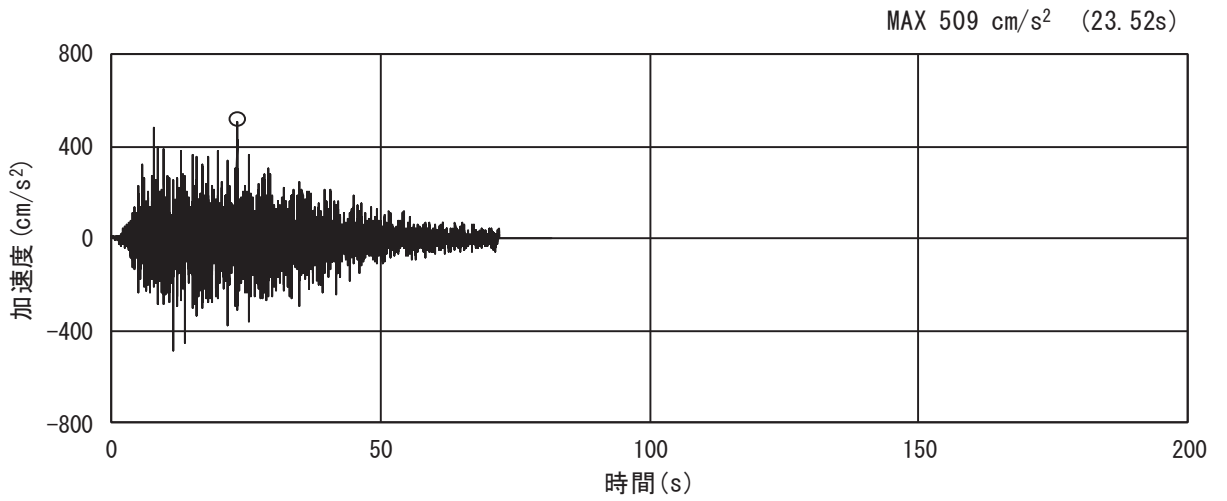


(a) 加速度時刻歴波形

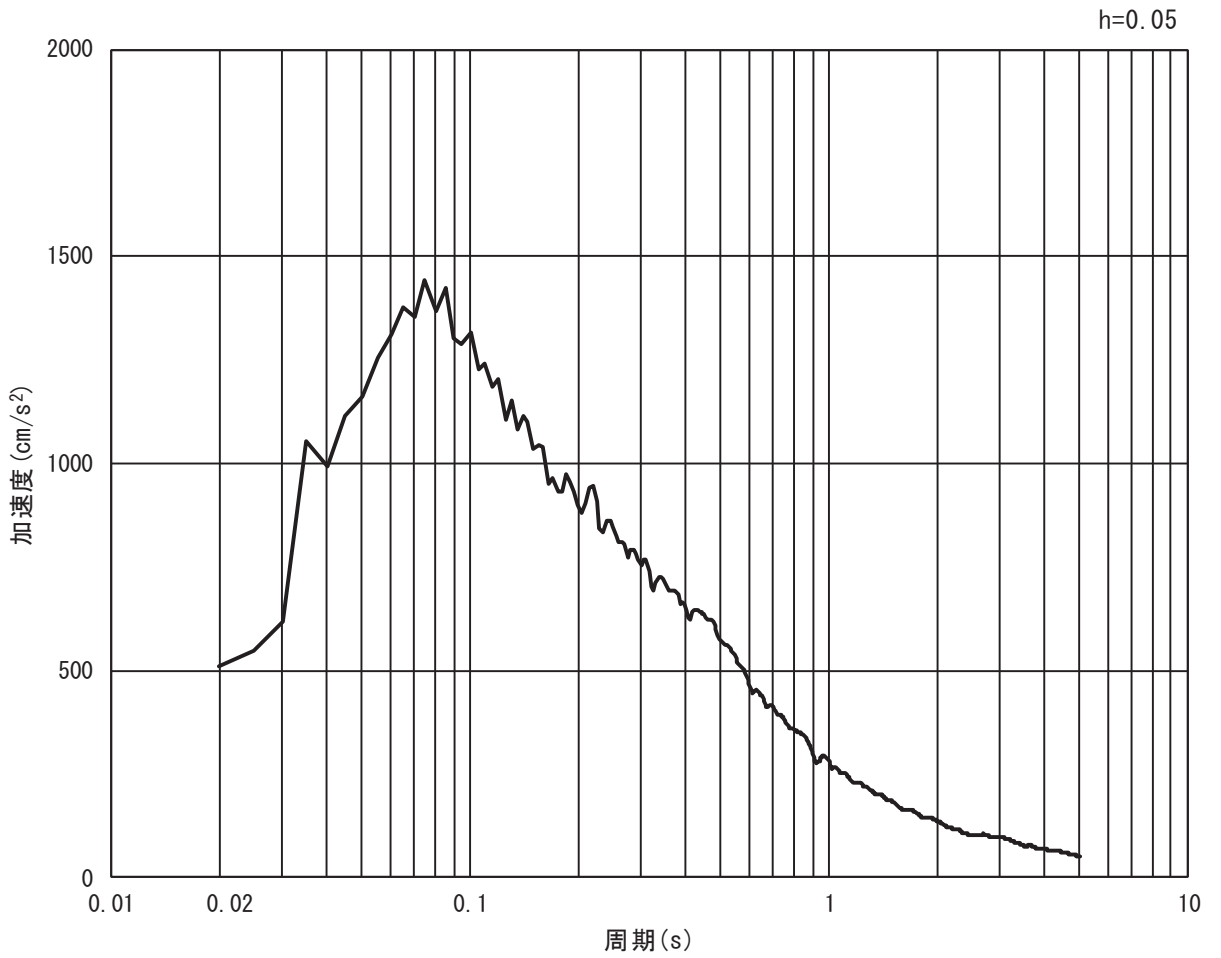


(b) 加速度応答スペクトル

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)

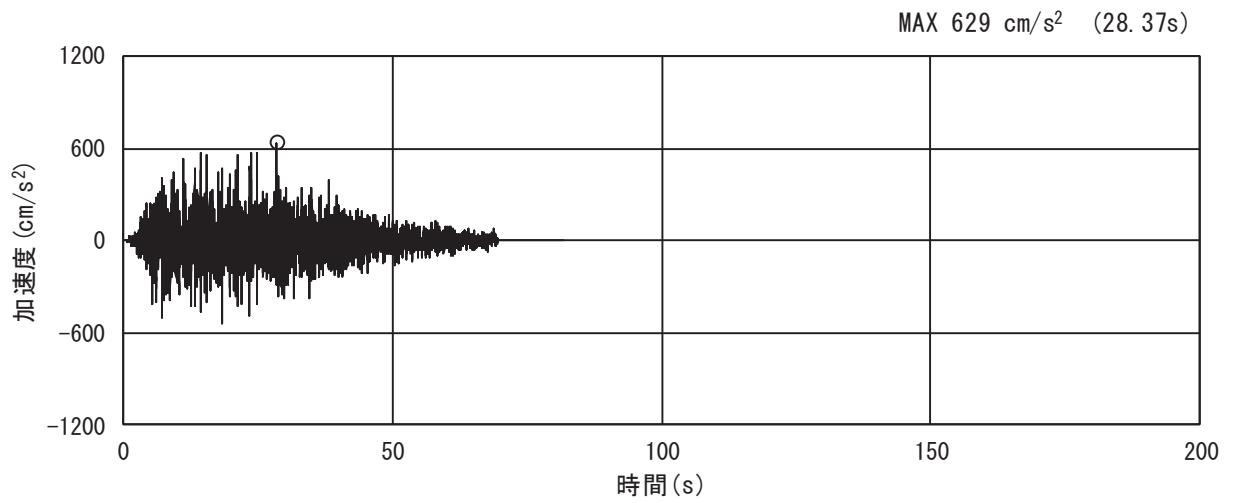


(a) 加速度時刻歴波形

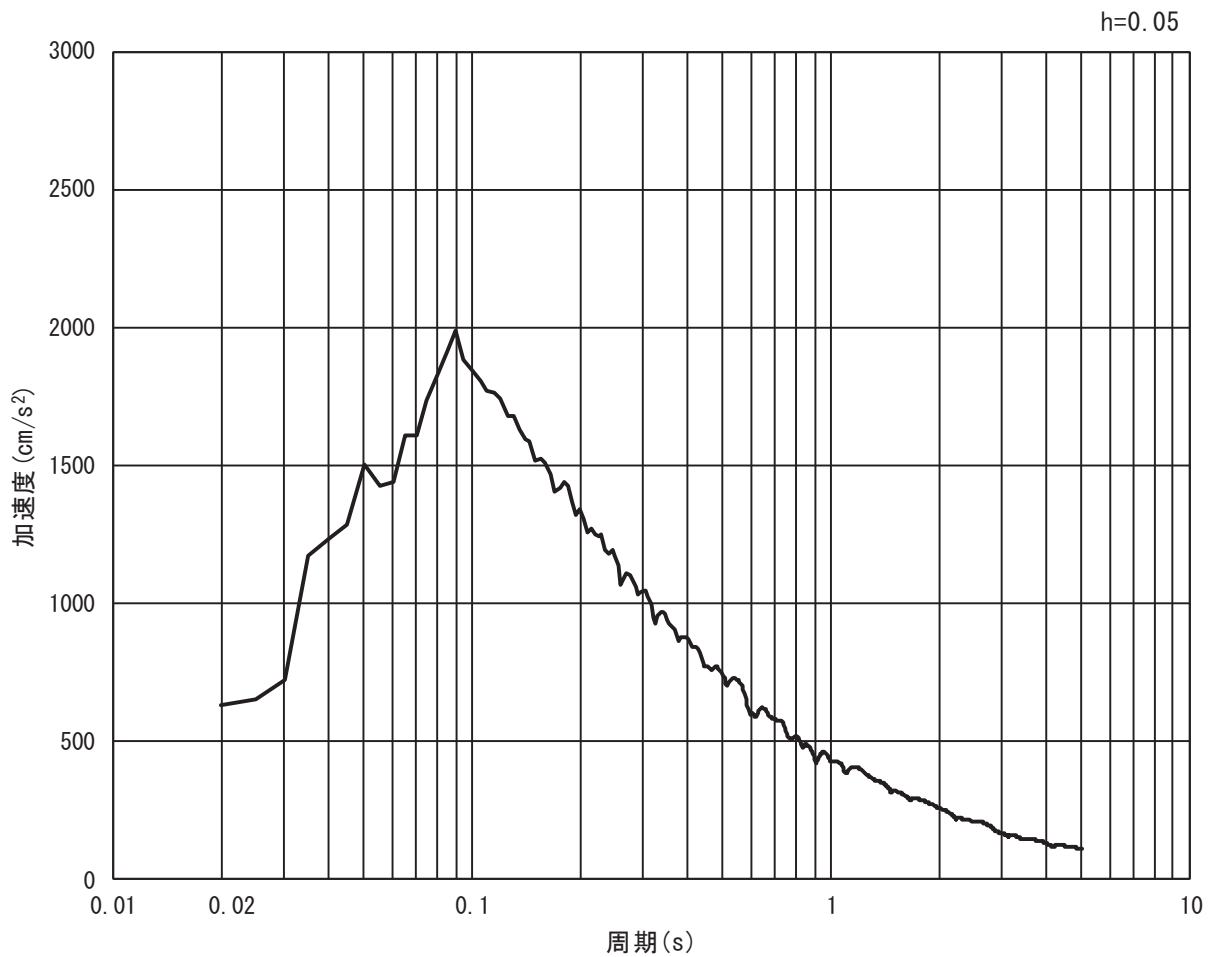


(b) 加速度応答スペクトル

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)

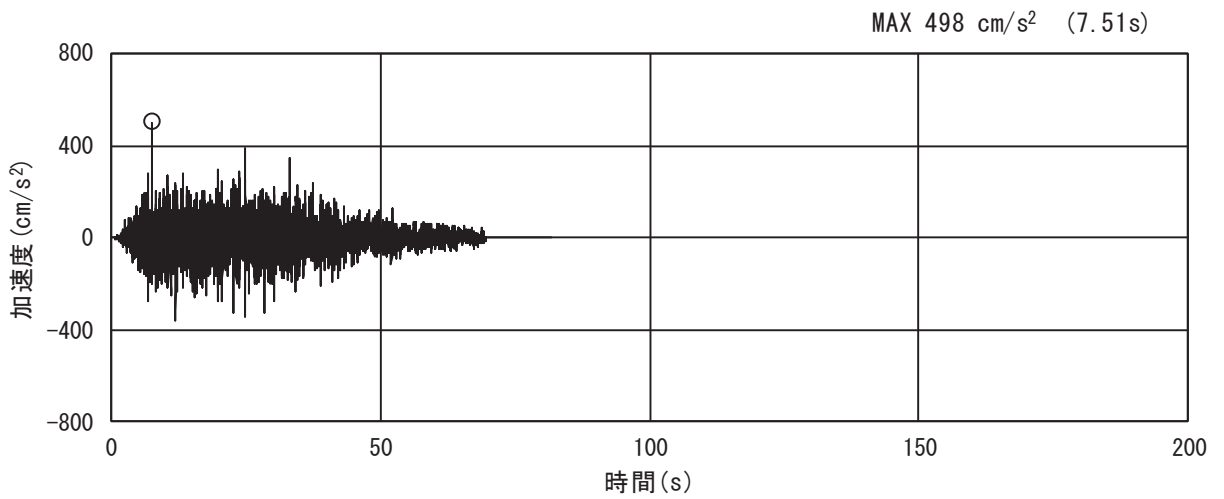


(a) 加速度時刻歴波形

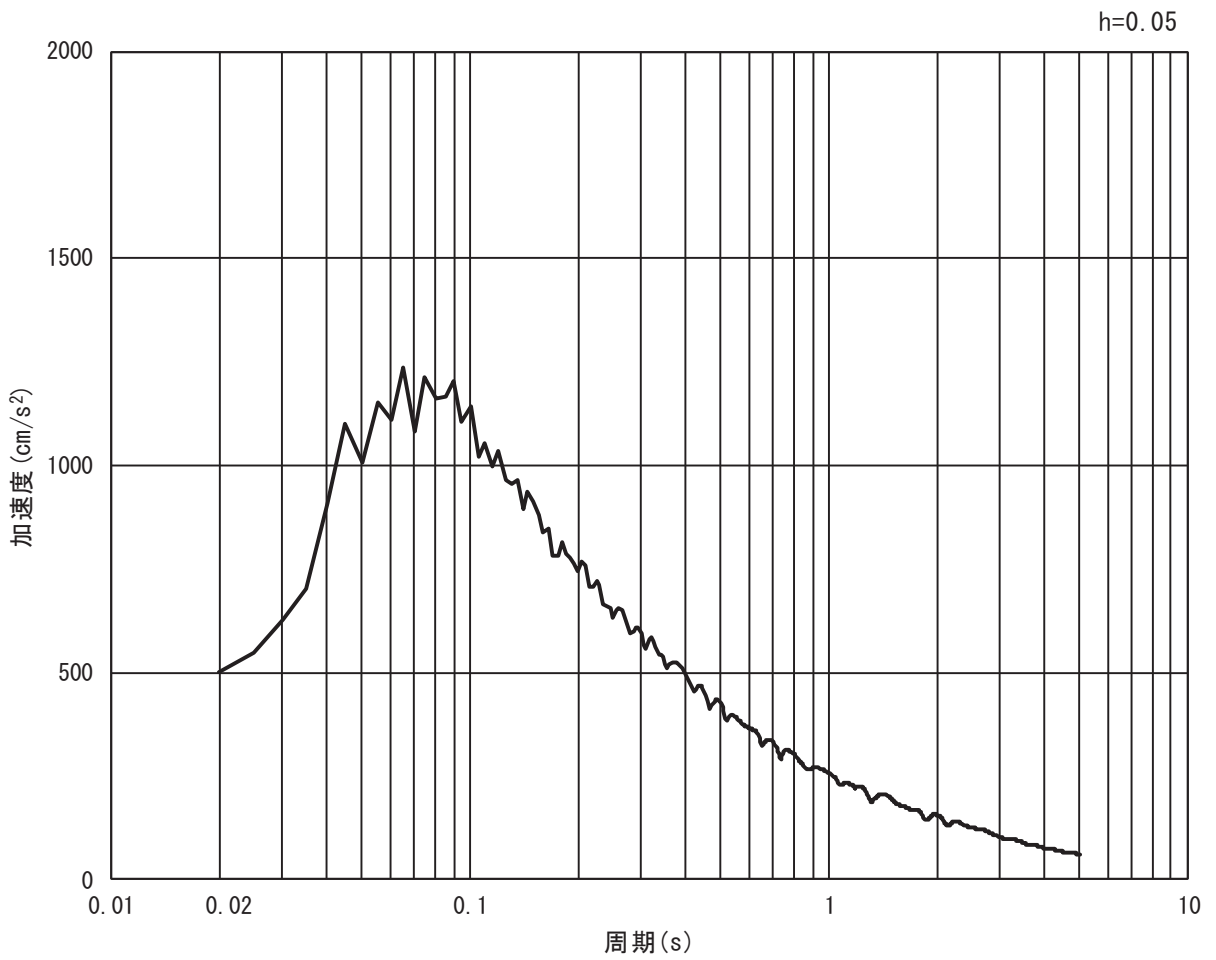


(b) 加速度応答スペクトル

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)

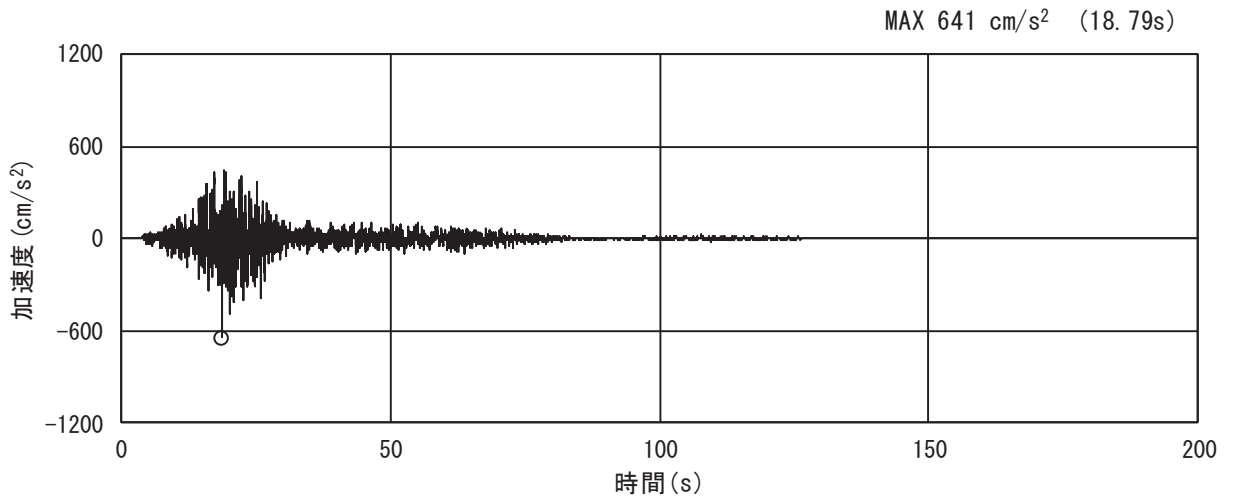


(a) 加速度時刻歴波形

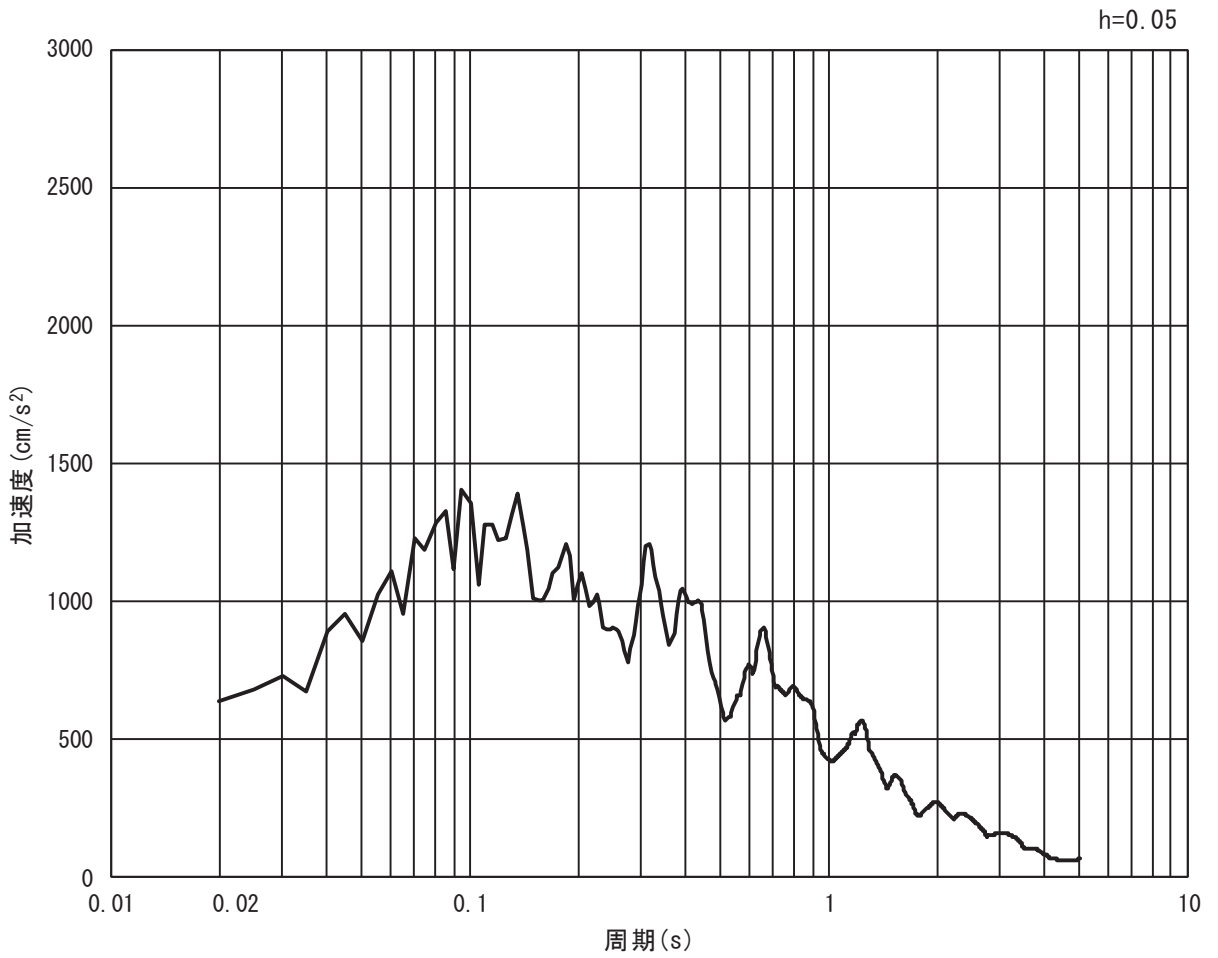


(b) 加速度応答スペクトル

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)

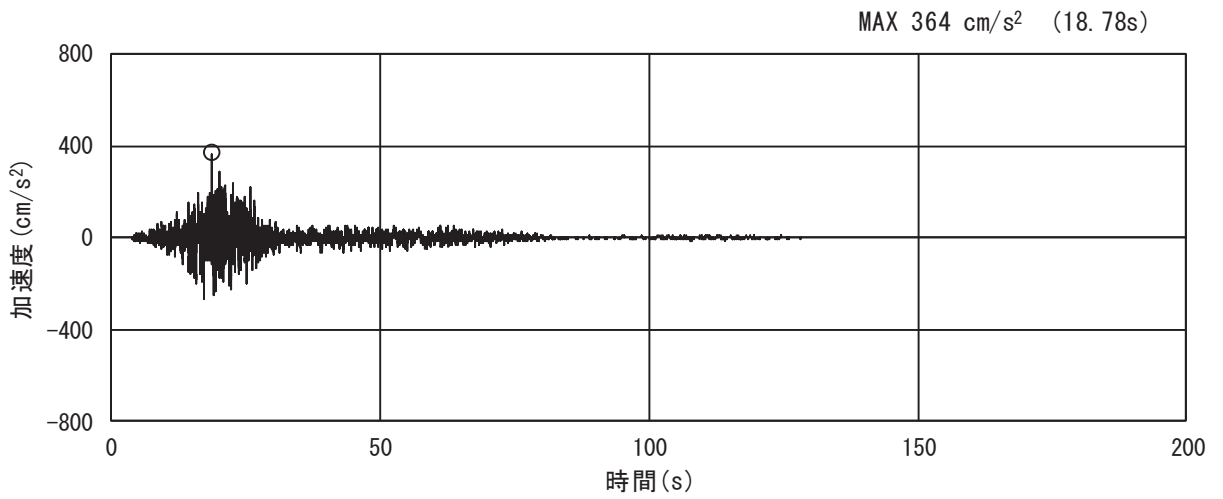


(a) 加速度時刻歴波形

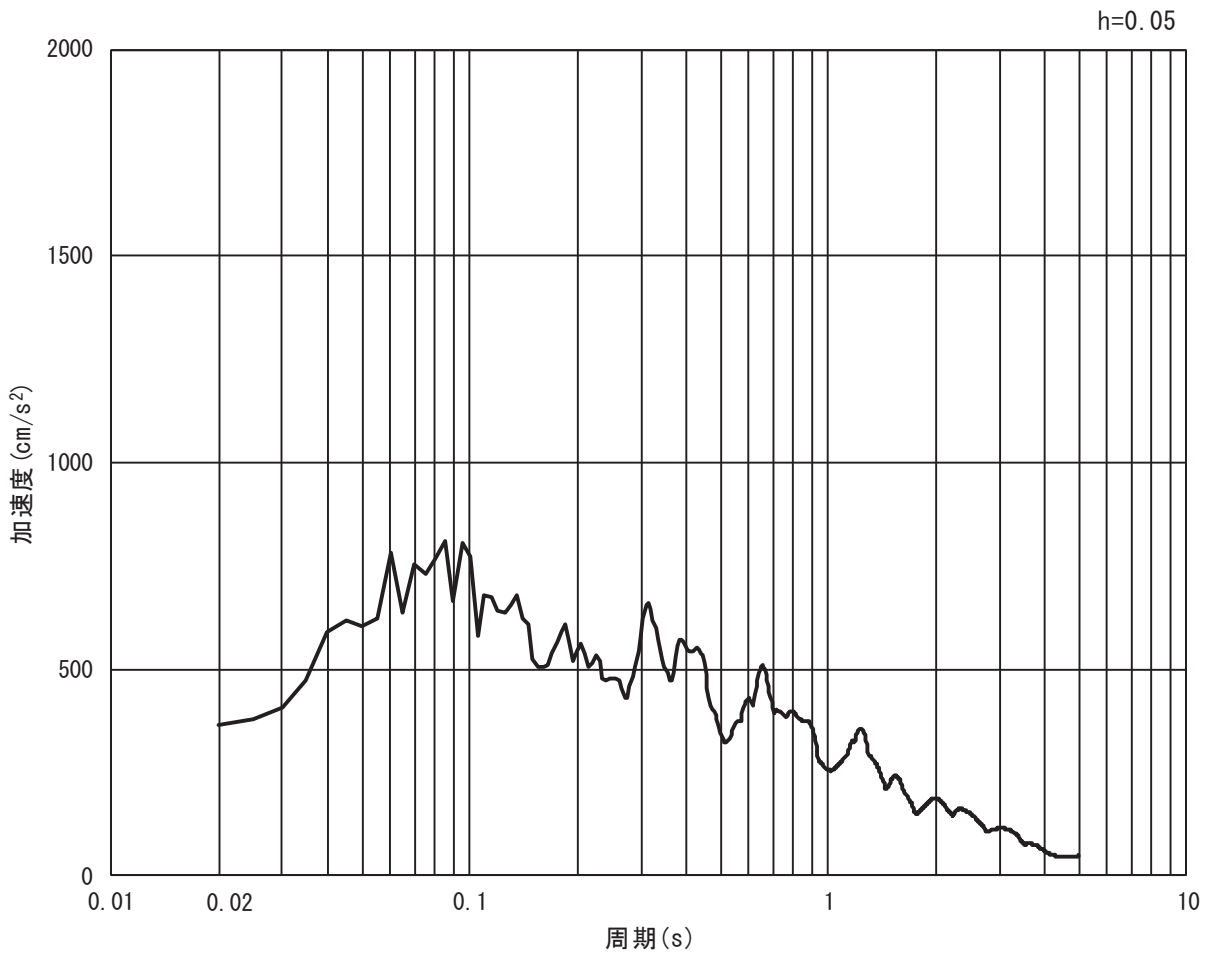


(b) 加速度応答スペクトル

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)

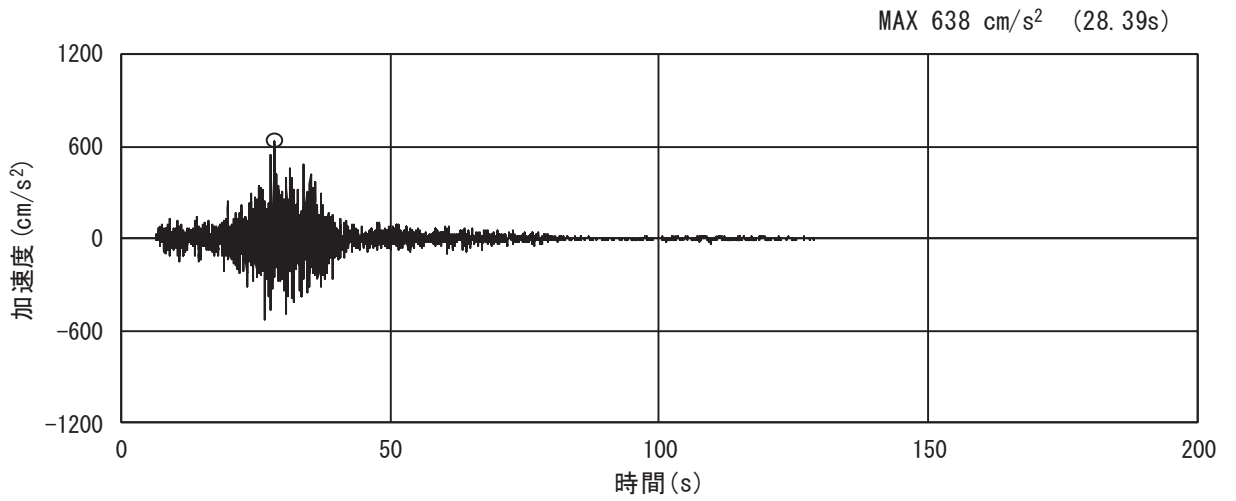


(a) 加速度時刻歴波形

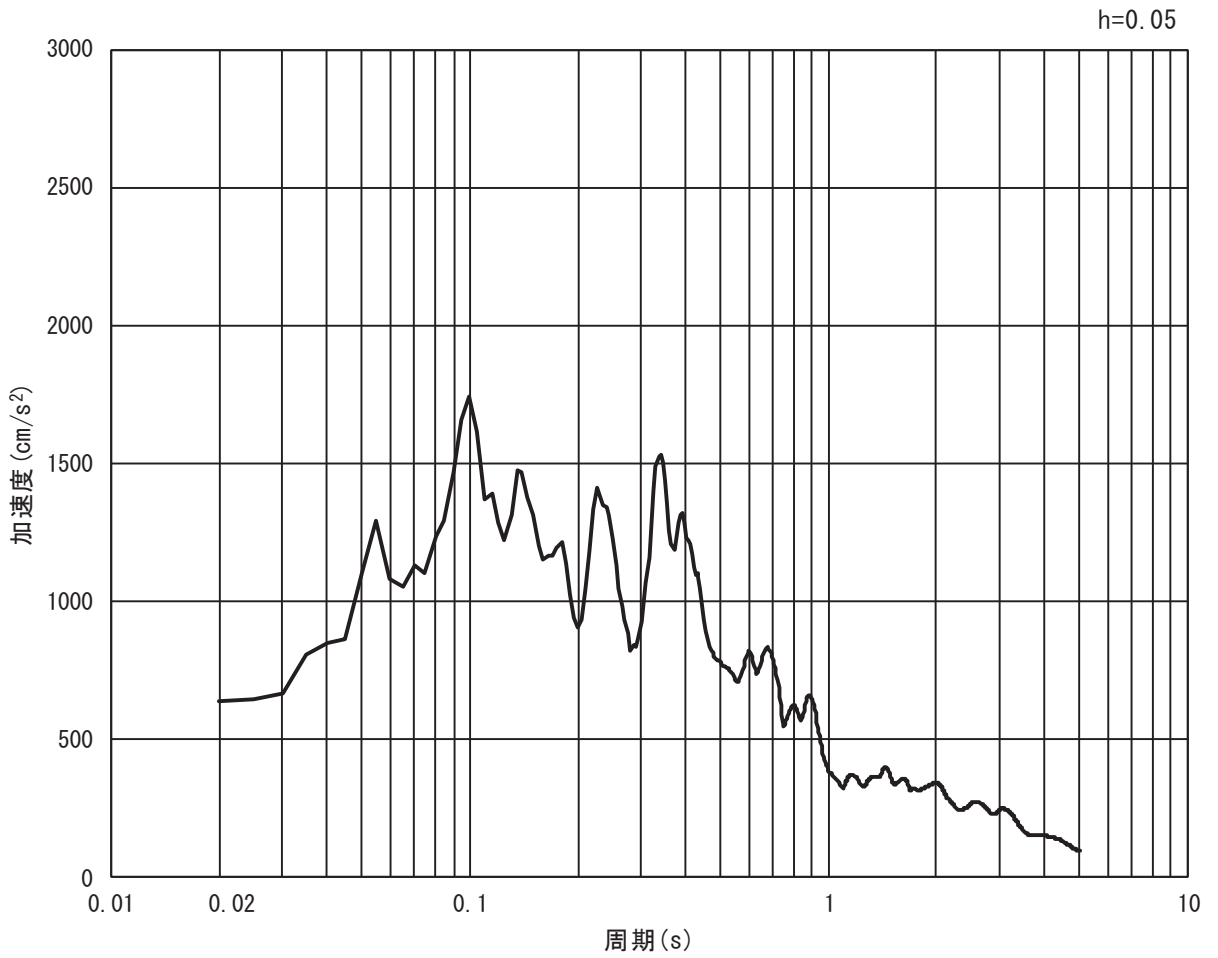


(b) 加速度応答スペクトル

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)

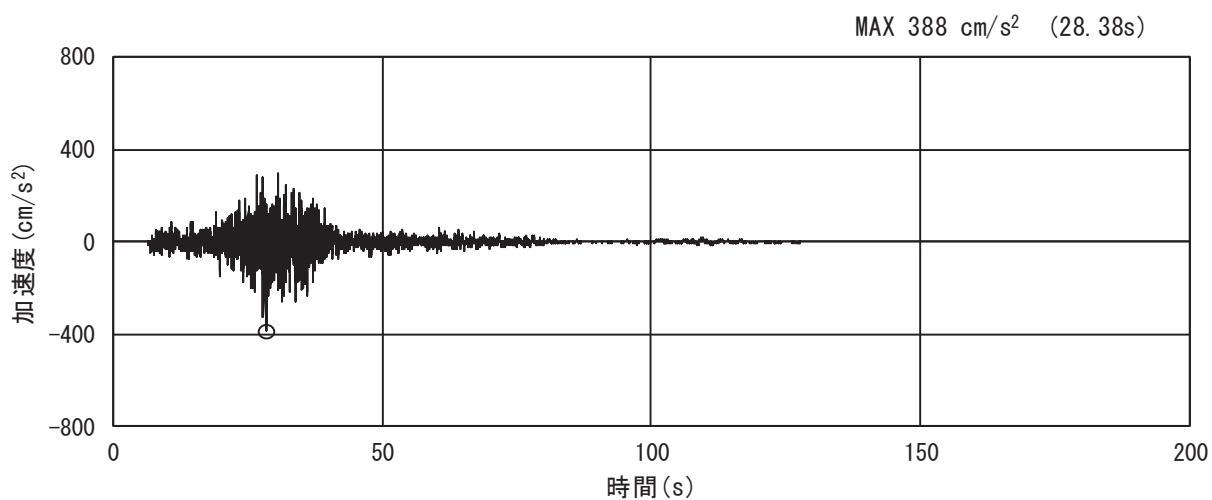


(a) 加速度時刻歴波形

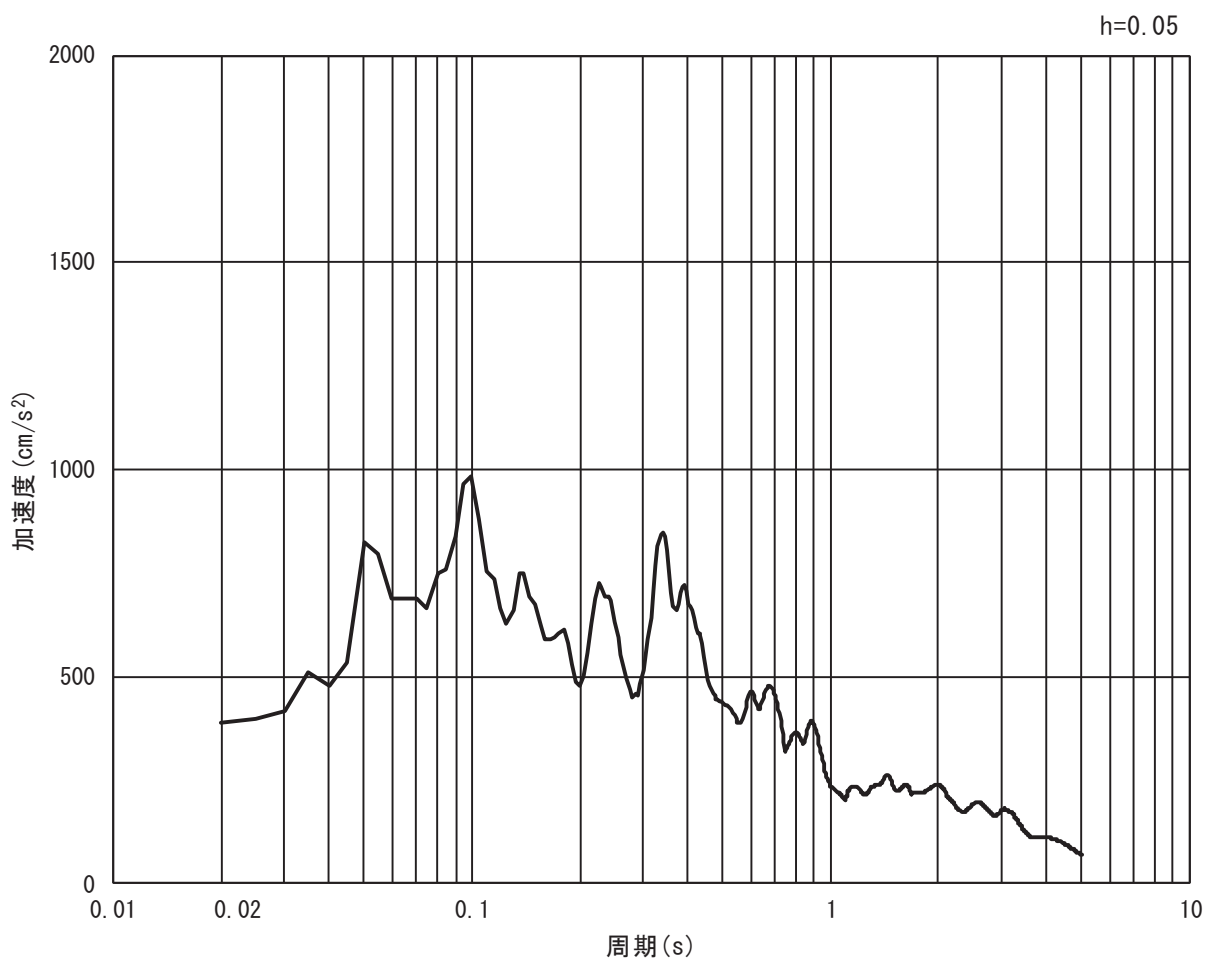


(b) 加速度応答スペクトル

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)



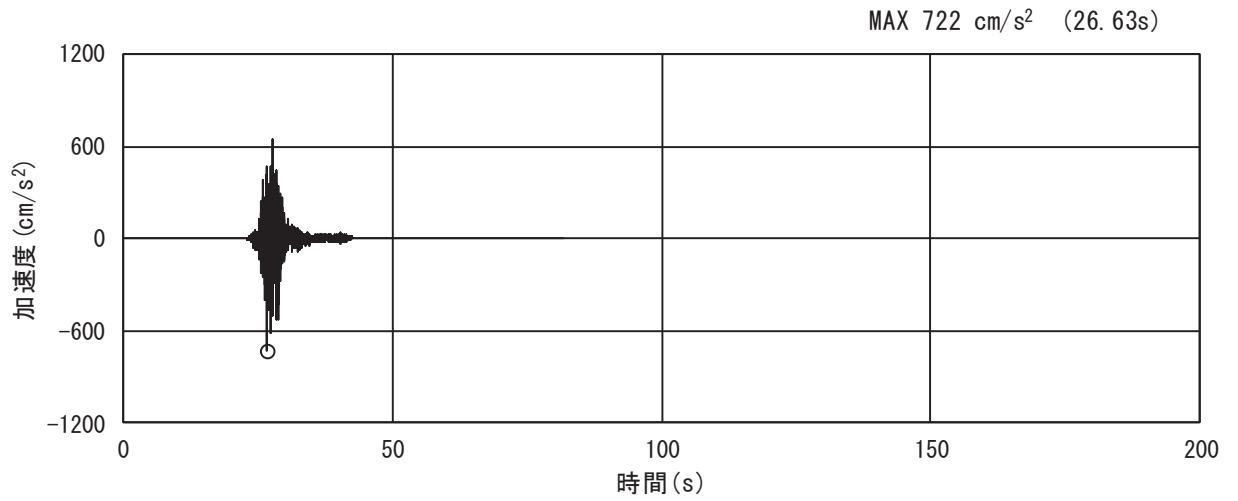
(a) 加速度時刻歴波形



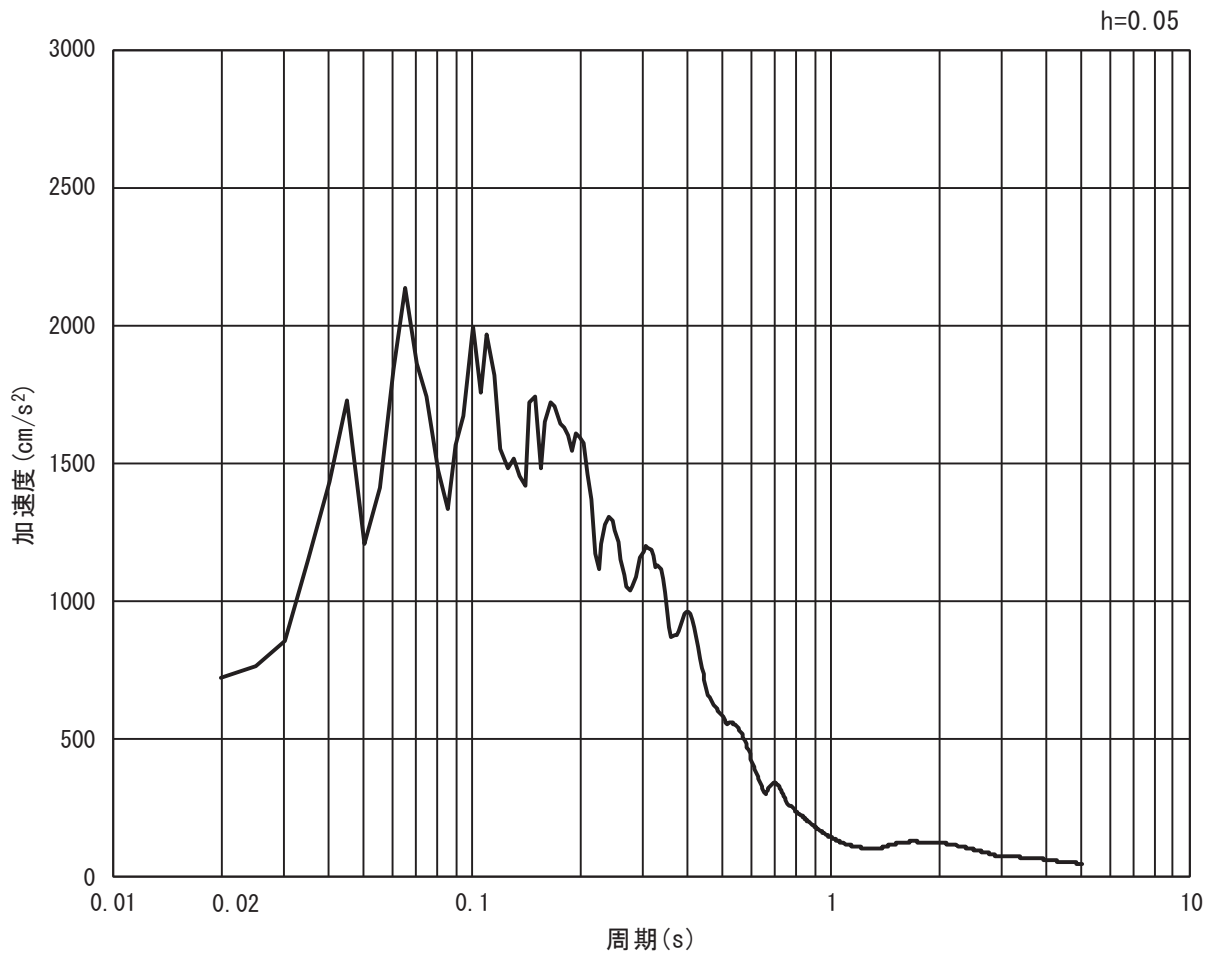
(b) 加速度応答スペクトル

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)

O 2 ② VI-2-10-2-2-2 R 2

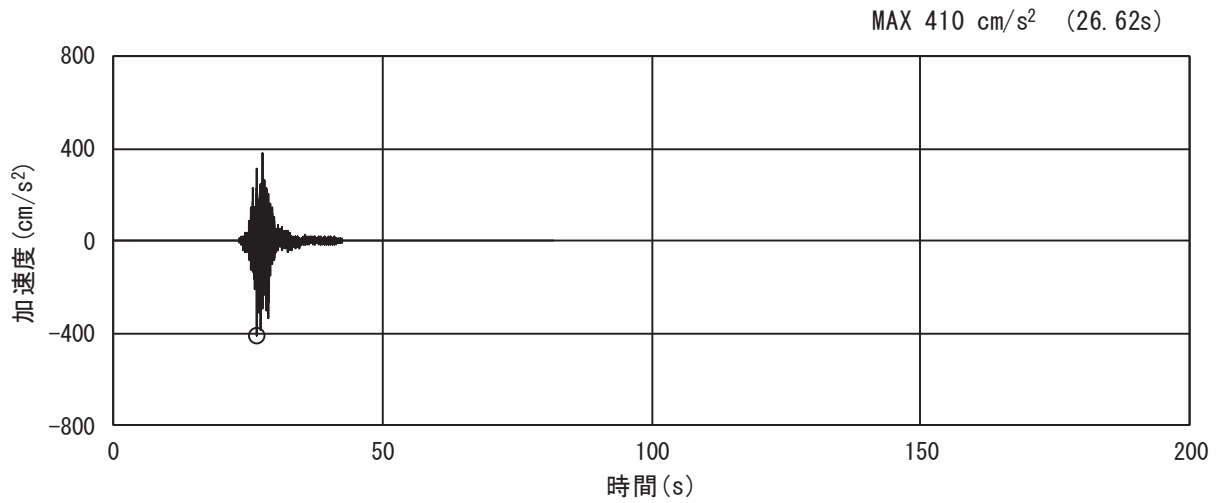


(a) 加速度時刻歴波形

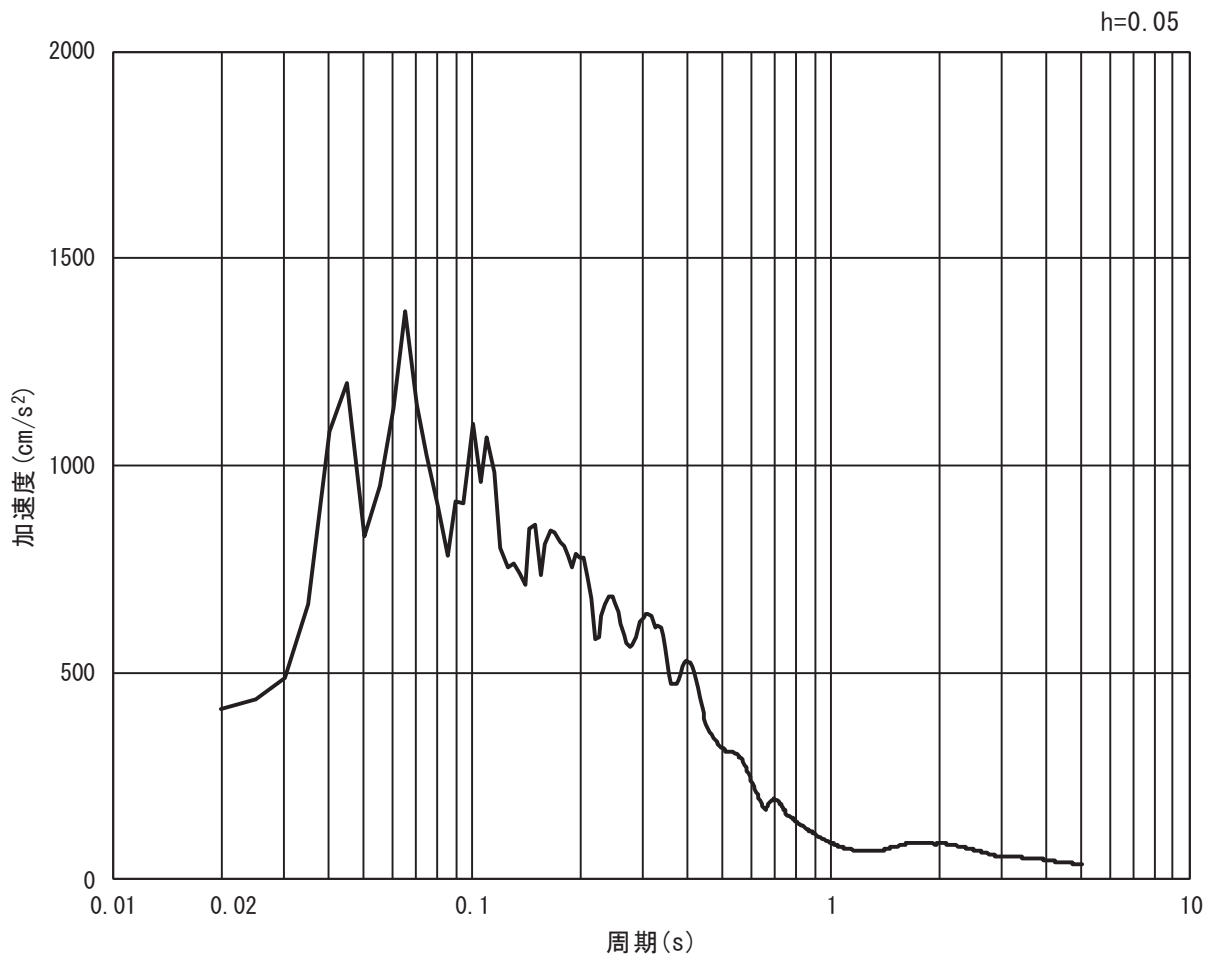


(b) 加速度応答スペクトル

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)

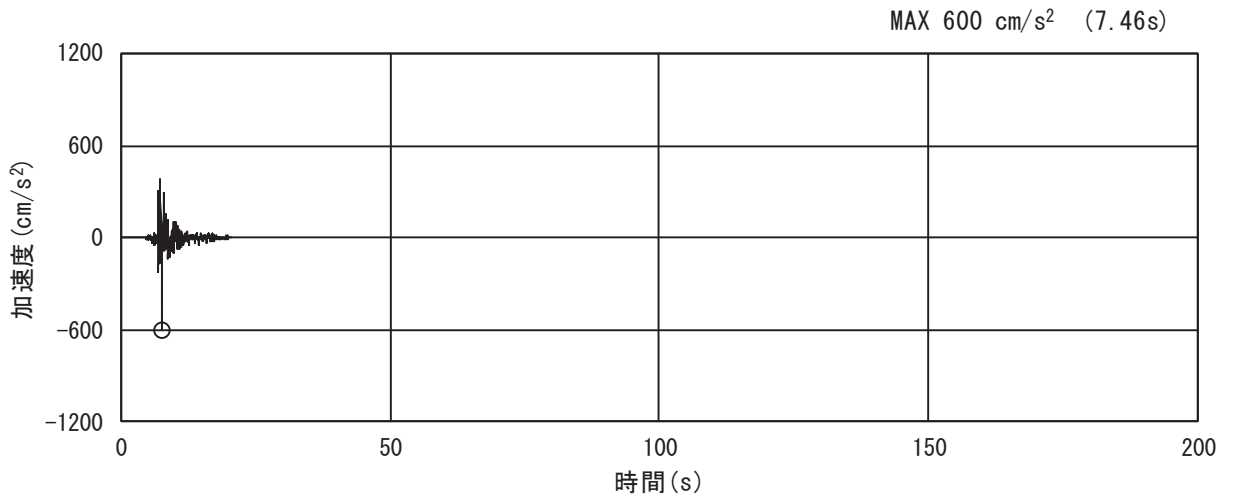


(a) 加速度時刻歴波形

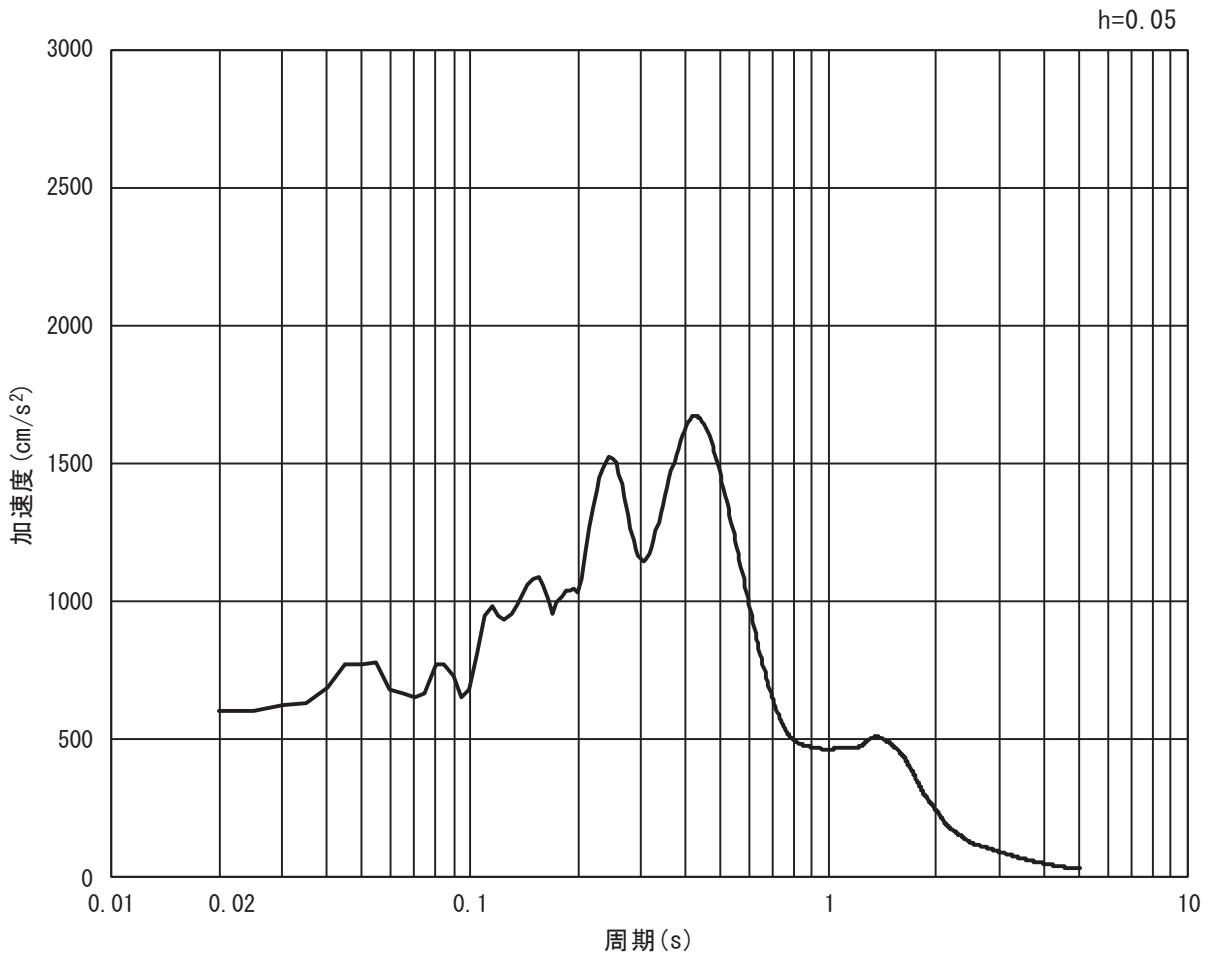


(b) 加速度応答スペクトル

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)

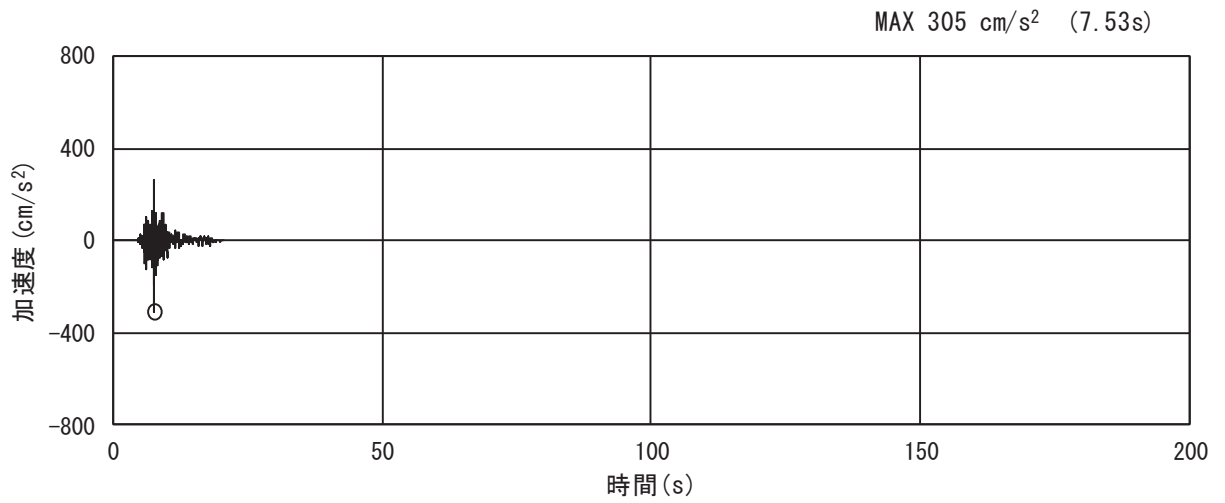


(a) 加速度時刻歴波形

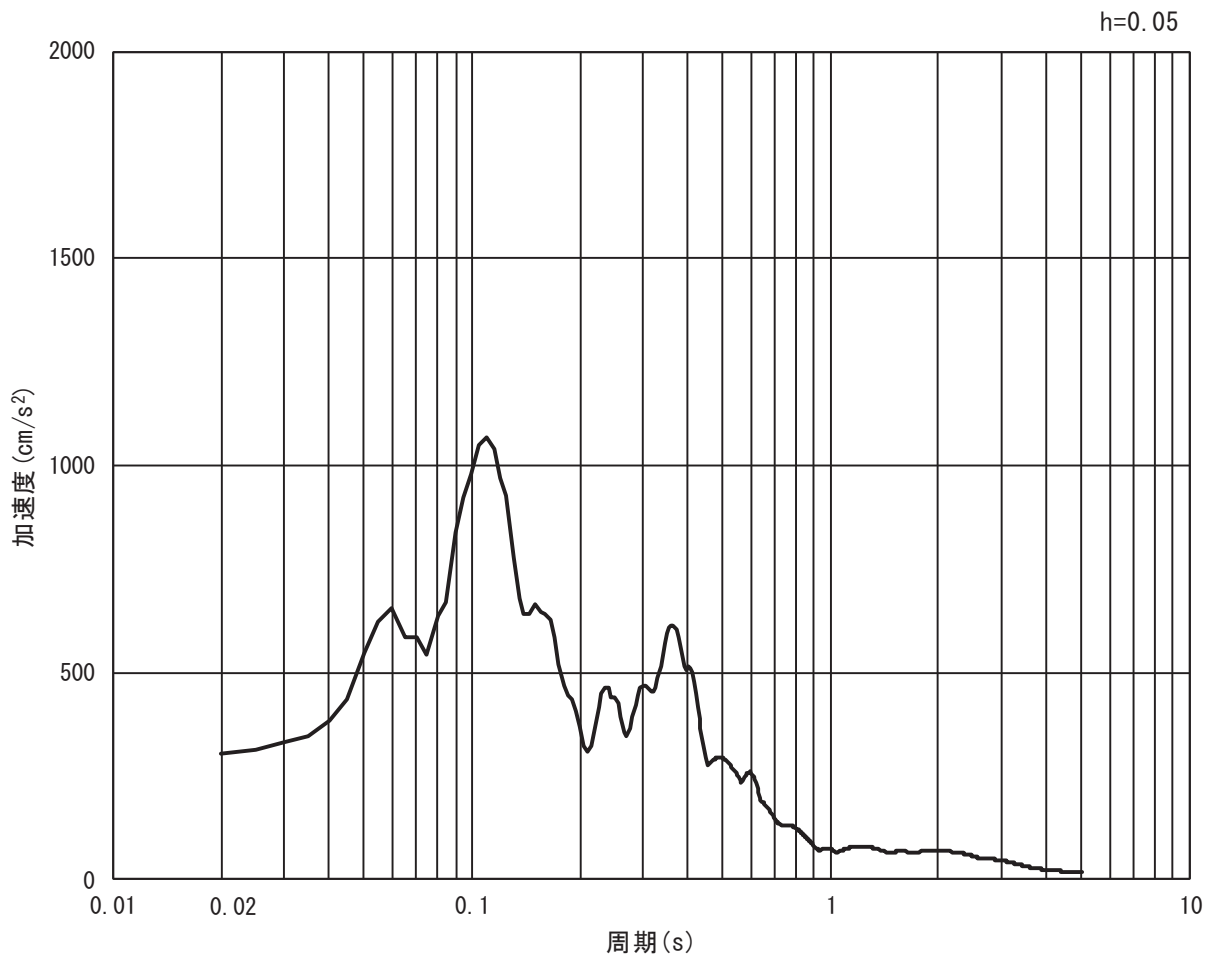


(b) 加速度応答スペクトル

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)



(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)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

防潮堤（盛土堤防）の地震応答解析モデルを図 3-6 に示す。

(1) 解析領域

2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

2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「改良地盤と盛土・旧表土」，「改良地盤と岩盤」，「置換コンクリートと岩盤」，「置換コンクリートと盛土・旧表土」，「改良地盤とセメント改良土」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、これららの接合面にジョイント要素を設定する。

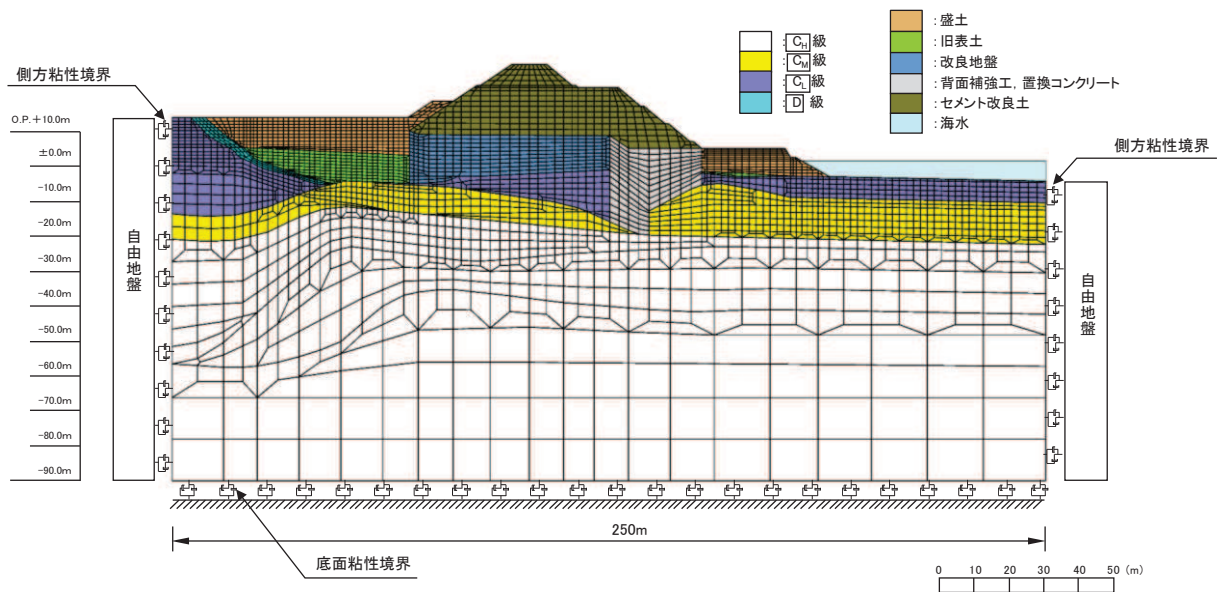


図 3-6 防潮堤（盛土堤防）の解析モデル（断面①）

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*1	6.00*2	-*3	2.22*1	-*3	2.80×10 ⁴ *1	0.2*1

注記 *1: 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]

*2: 土木学会 2013 年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編

*3: 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 3-3 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
防潮堤（盛土堤防）	断面①	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，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) 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は，セメント改良土，置換コンクリート及び改良地盤とする。

(2) 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は，セメント改良土及び置換コンクリートを支持する基礎地盤とする。

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

3.7.2 置換コンクリート

置換コンクリートの許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-8 に示すすべり安全率とする。

表 3-8 置換コンクリートの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.3 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-9 に示すすべり安全率とする。

表 3-9 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.4 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 基礎地盤の支持力に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	牧の浜部層*	11.4
	改良地盤	4.4

注記 * : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

3.8 評価方法

防潮堤（盛土堤防）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。

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

3.8.2 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリート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。

3.8.3 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤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。

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

3.8.4 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、セメント改良土の基礎地盤である改良地盤及び置換コンクリートの基礎地盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 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

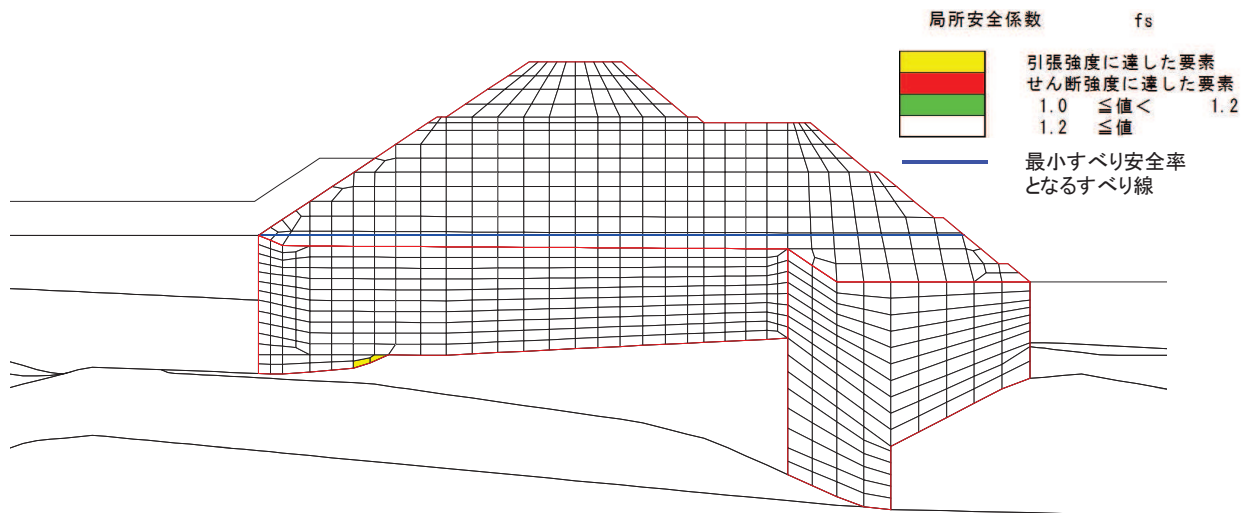


図 4-1 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面①， S_s-N1(++)， t=7.55s)

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 ）

4.2 置換コンクリート

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 4-2 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 4-2 に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-2 置換コンクリート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(++)	②	7.52	6.3

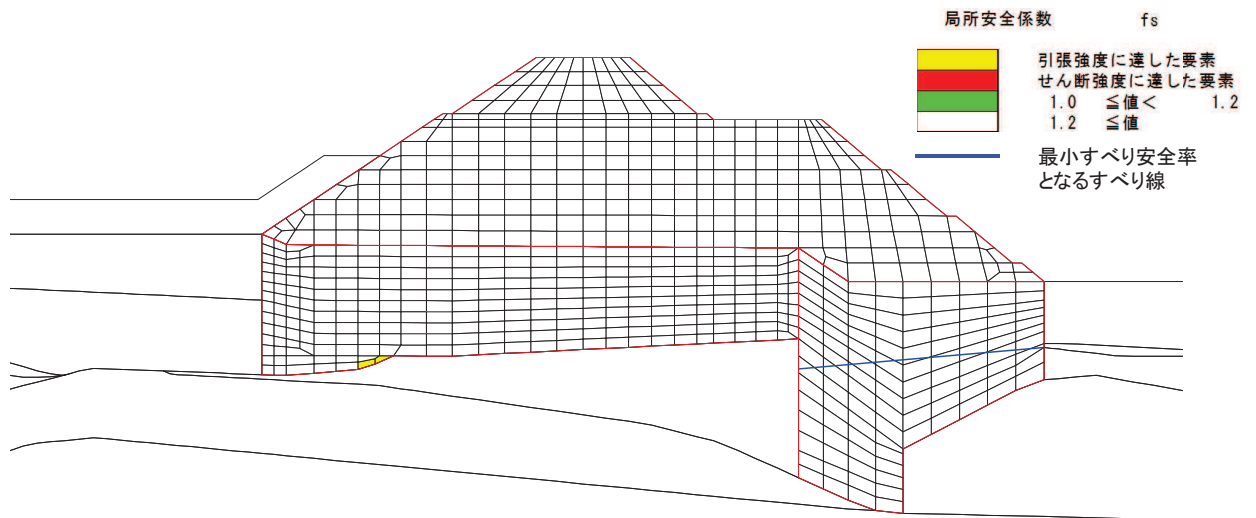


図 4-2 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S_s-N1(++) , t=7.52s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

4.3 改良地盤

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4-3 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 4-3 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 4-3 に併せて示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-3 改良地盤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(++)	①	7.54	3.5
S _s -N1(++)	① (平均値 - 1 σ 強度)	7.54	3.4

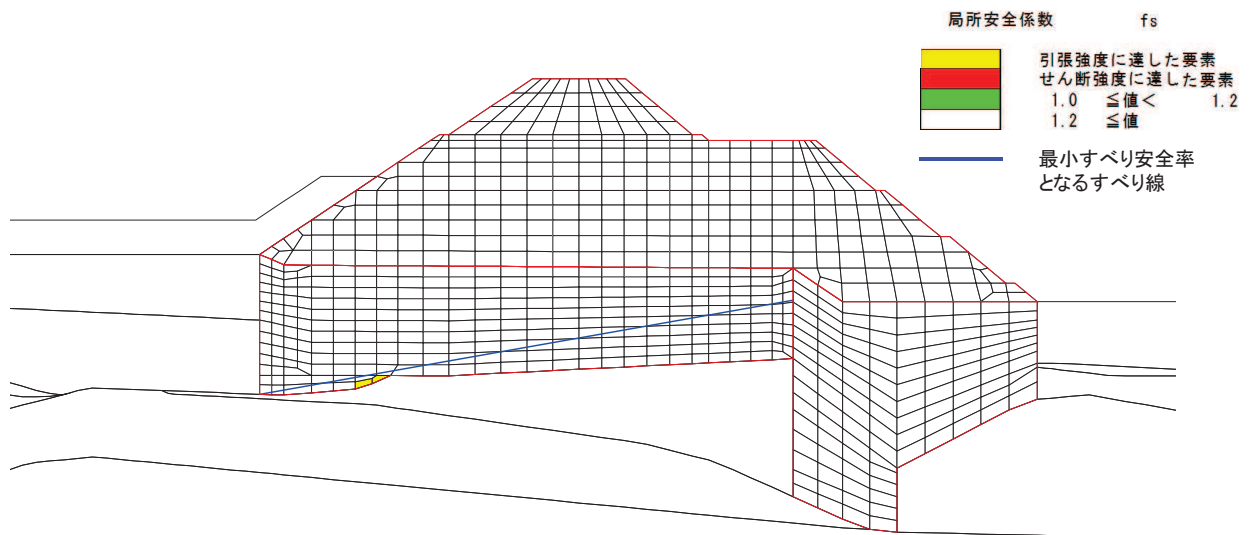


図 4-3 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S_s-N1(++) , t=7.54s)

解析ケース①: 基本ケース

4.4 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-4 に、セメント改良土及び置換コンクリートの接地圧分布を図 4-4 に示す。

防潮堤（盛土堤防）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-4(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面①，セメント改良土）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -N1(++)	③	0.9	4.4	0.21

表 4-4(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（断面①，置換コンクリート）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
S _s -D2(++)	①	2.8	11.4	0.25

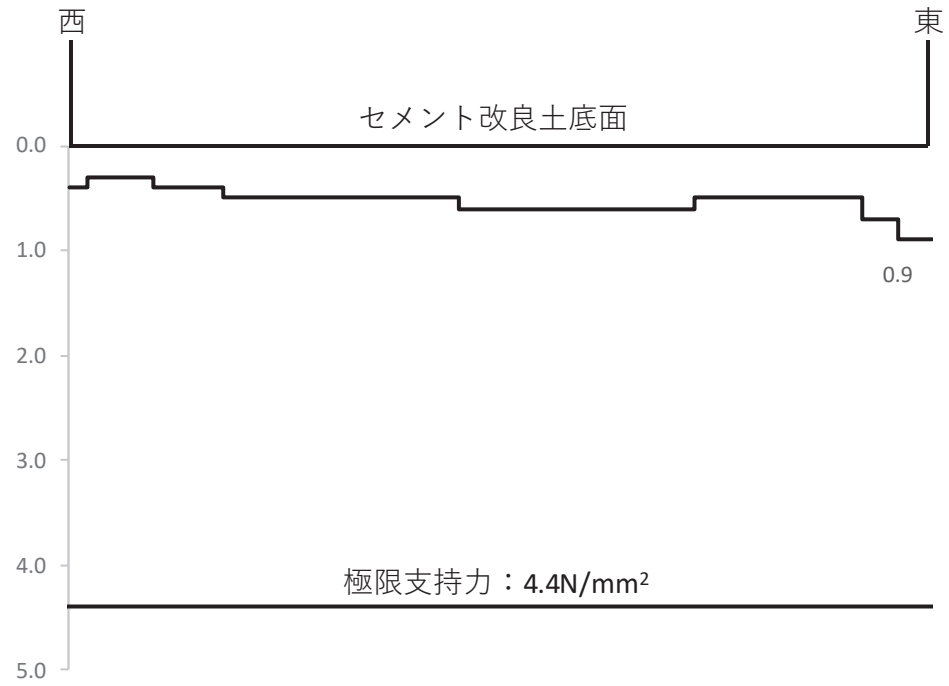


図 4-4(1) 支持地盤の接地圧分布図 (断面①, セメント改良土)
(S s - N 1 (++))

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)

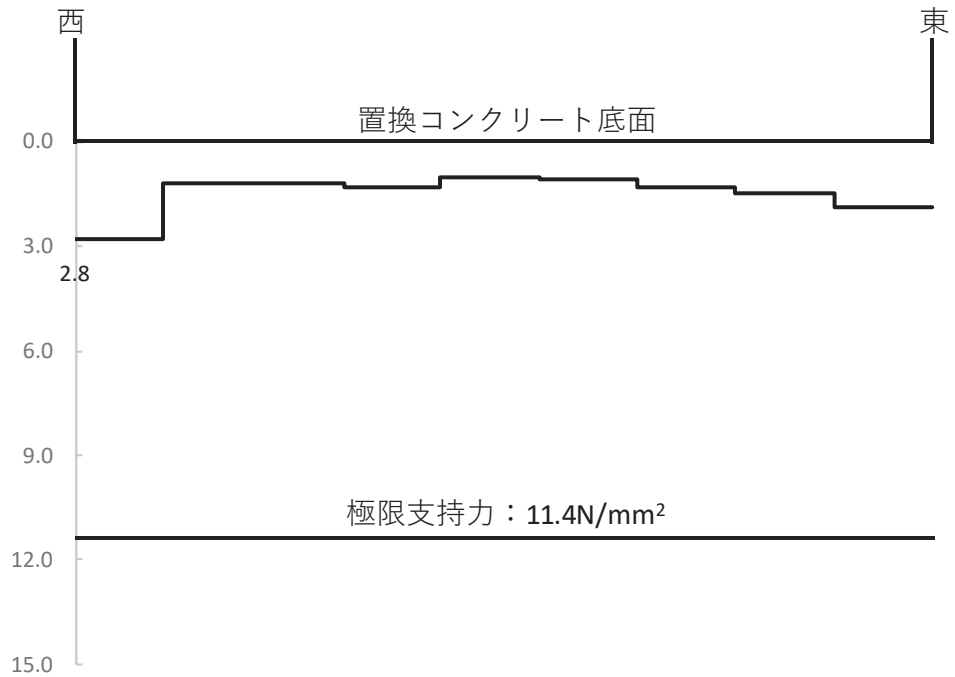


図 4-4(2) 支持地盤の接地圧分布図 (断面①, 置換コンクリート)
(S s - D 2 (++))

解析ケース①：基本ケース