

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-19-0104_改4
提出年月日	2021年9月27日

VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書

02 ③ VI-2-2-25 R4

2021年9月

東北電力株式会社

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	3
2.3 解析方針.....	8
2.4 適用規格・基準等.....	10
3. 解析方法.....	11
3.1 設計に用いる地震波.....	11
3.2 地震時荷重算出断面.....	26
3.3 解析方法.....	28
3.3.1 構造部材.....	28
3.3.2 地盤物性及び材料物性の不確かさ.....	28
3.3.3 減衰定数.....	30
3.3.4 地震応答解析の解析ケースの選定.....	31
3.4 荷重及び荷重の組合せ.....	34
3.4.1 耐震評価上考慮する状態.....	34
3.4.2 荷重.....	34
3.4.3 荷重の組合せ.....	35
3.5 入力地震動.....	36
3.6 解析モデル及び諸元.....	51
3.6.1 解析モデル.....	51
3.6.2 使用材料及び材料の物性値.....	54
3.6.3 地盤の物性値.....	54
3.6.4 地下水位.....	55
4. 解析結果.....	56
4.1 地震応答解析結果.....	56

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づく排気筒基礎の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。

2. 基本方針

2.1 位置

排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。



 排気筒

図 2-1 排気筒の設置位置

2.2 構造概要

排気筒は、地上からの高さ 160.0m であり、基部内径 3.7m、頂部内径 3.0m の鋼板製筒身 2 本を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた四角鉄塔支持形鋼管構造であり、第 2 号機排気筒と第 3 号機排気筒で支持構造物を共有する集合方式である。

排気筒の基礎は、フーチング基礎形式の鉄筋コンクリート造である。基礎版の形状は 38.0m (NS) × 38.0m (EW)、厚さ 5.0m であり、O.P.*-4.0m で岩盤上に設置されている。筒身部を支える柱（以下「筒身柱」という。）は、平面形状 14.0m×14.0m、高さ 14.3m であり、鉄塔部を支える 4 本の柱（以下「鉄塔柱」という。）は、平面形状 5.0m×5.0m、高さ 14.3m である。それぞれの柱は、断面形状 2.5m×2.5m のつなぎはりでつながれている。これらの筒身柱、鉄塔柱、つなぎはり及び基礎版で囲まれた基礎の内側は、コンクリートで充填されている（以下「充填コンクリート」という。）。

排気筒の概要図及び概略平面図を図 2-2 及び図 2-3 に、排気筒基礎の平面図を図 2-4、断面図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

注記*：O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)
-0.74m である。

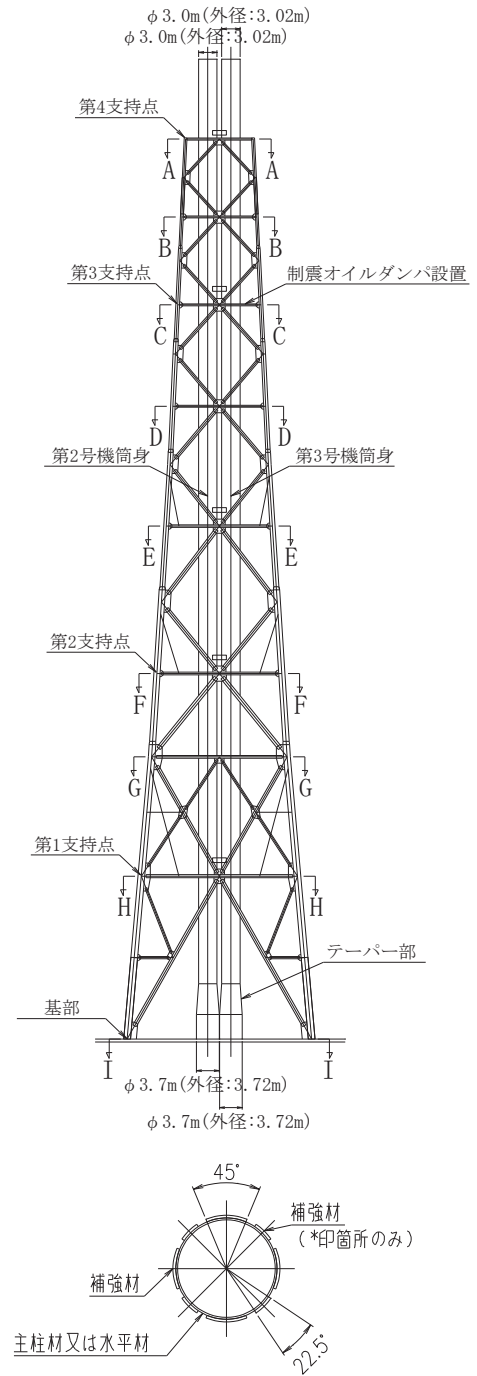
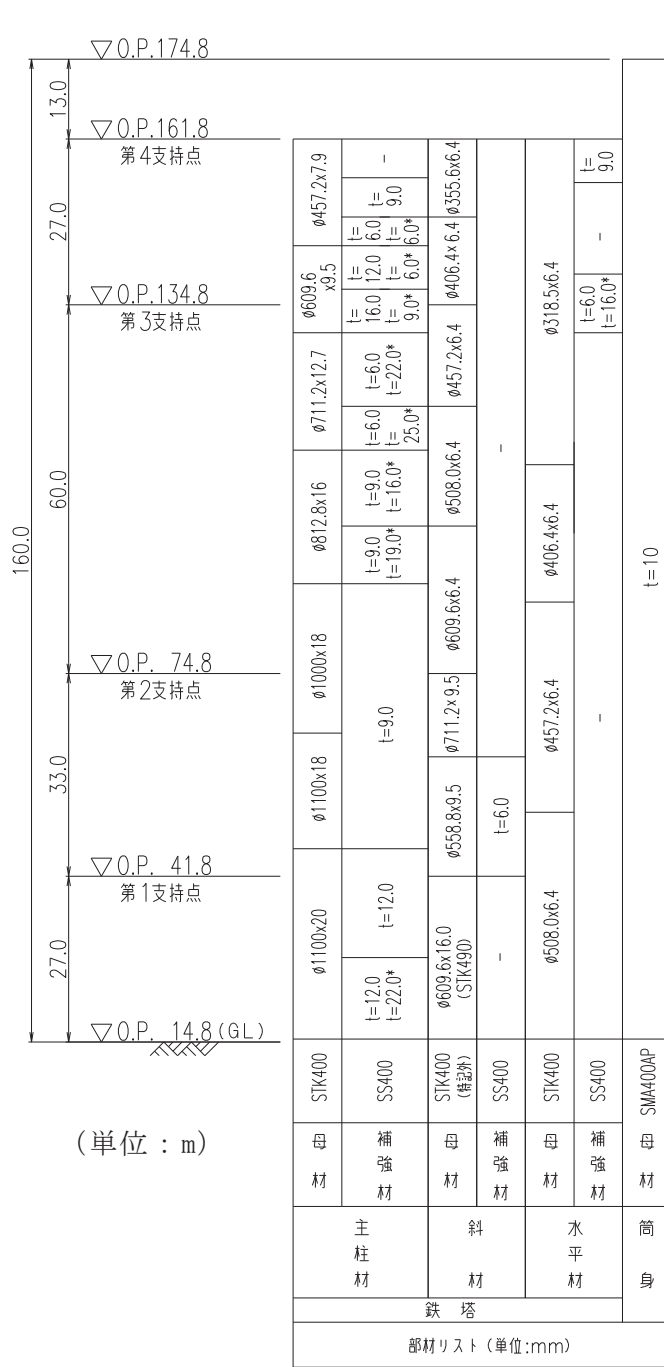


図 2-2 排気筒の概要図

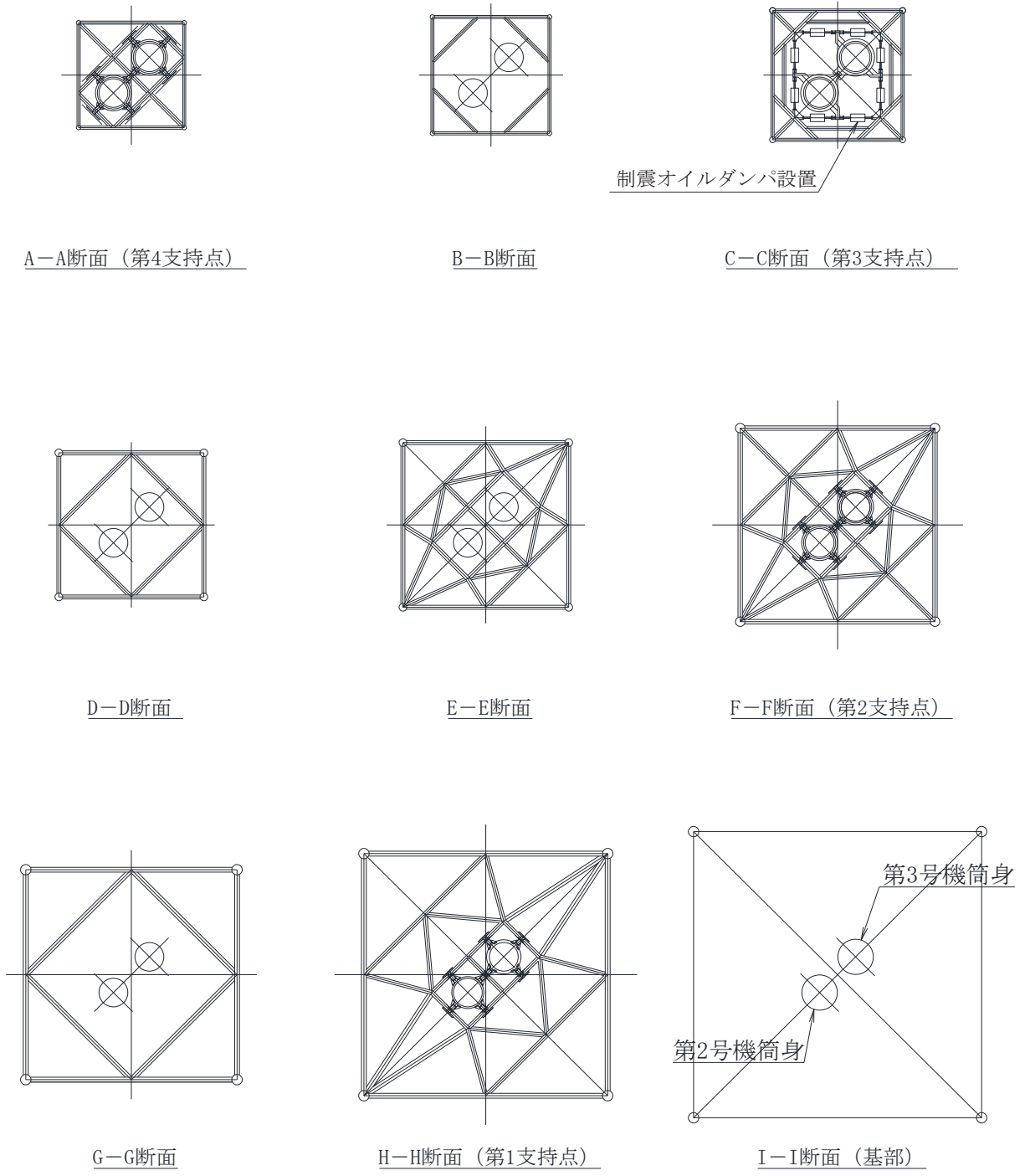


図 2-3 排気筒の概略平面図

平面図

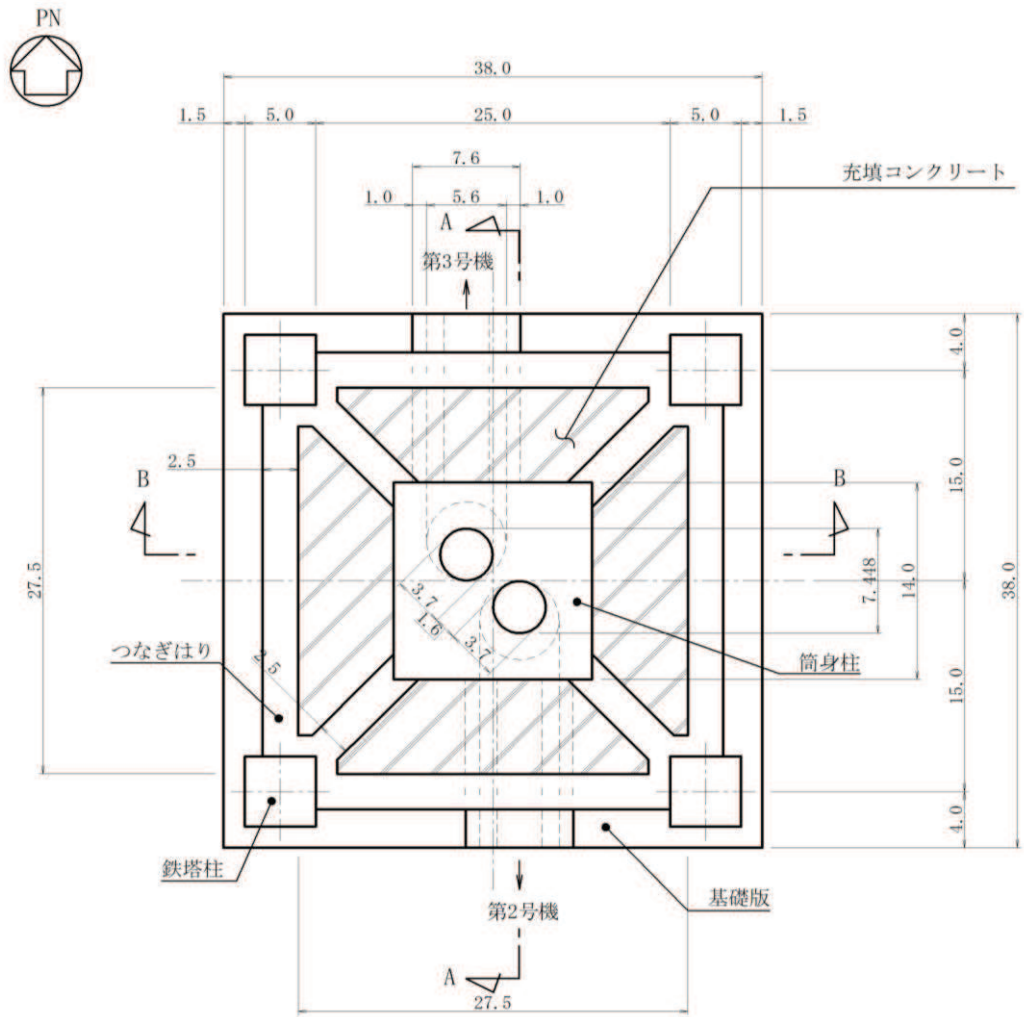


図 2-4 排気筒基礎平面図 (単位 : m)

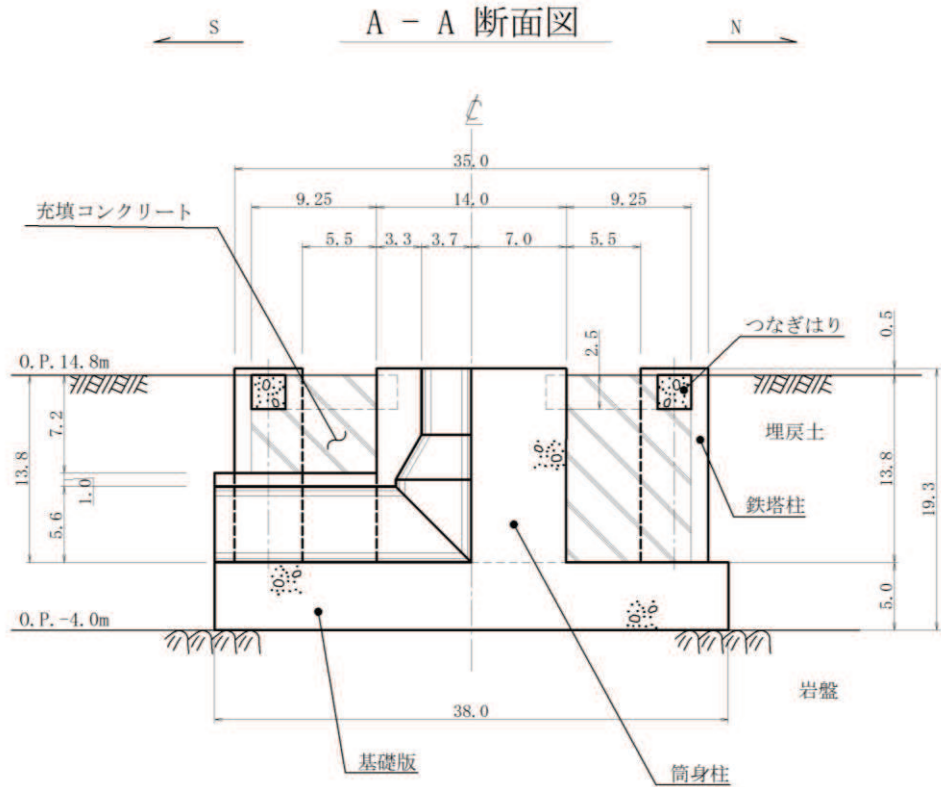


図 2-5 排気筒基礎断面図 (A-A 断面, NS 断面) (単位 : m)

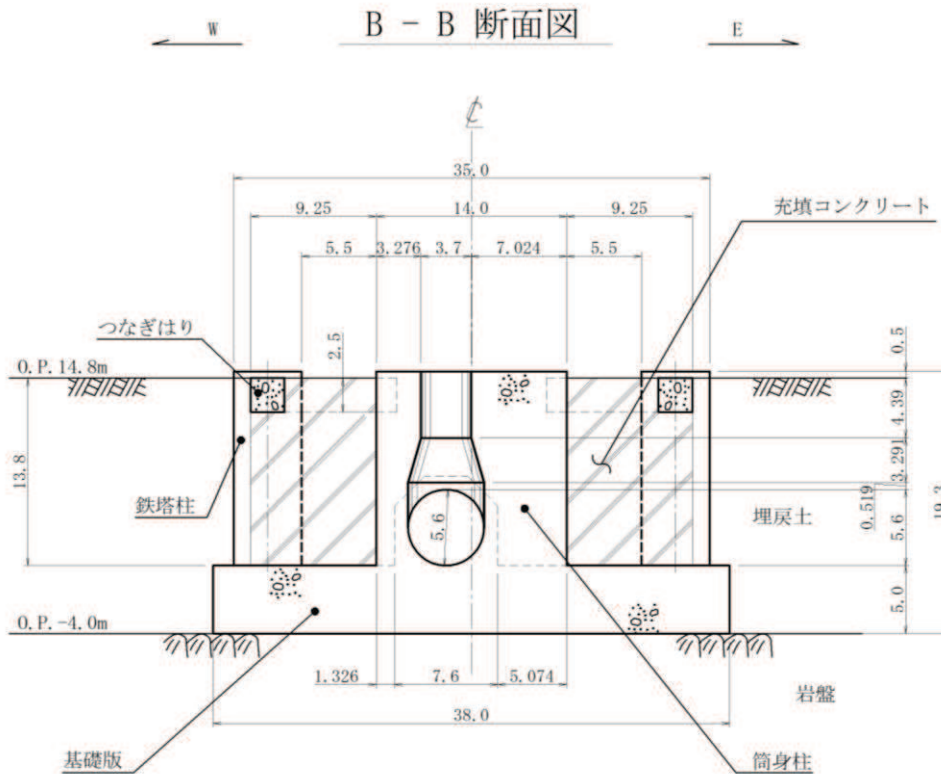


図 2-6 排気筒基礎断面図 (B-B 断面, EW 断面) (単位 : m)

2.3 解析方針

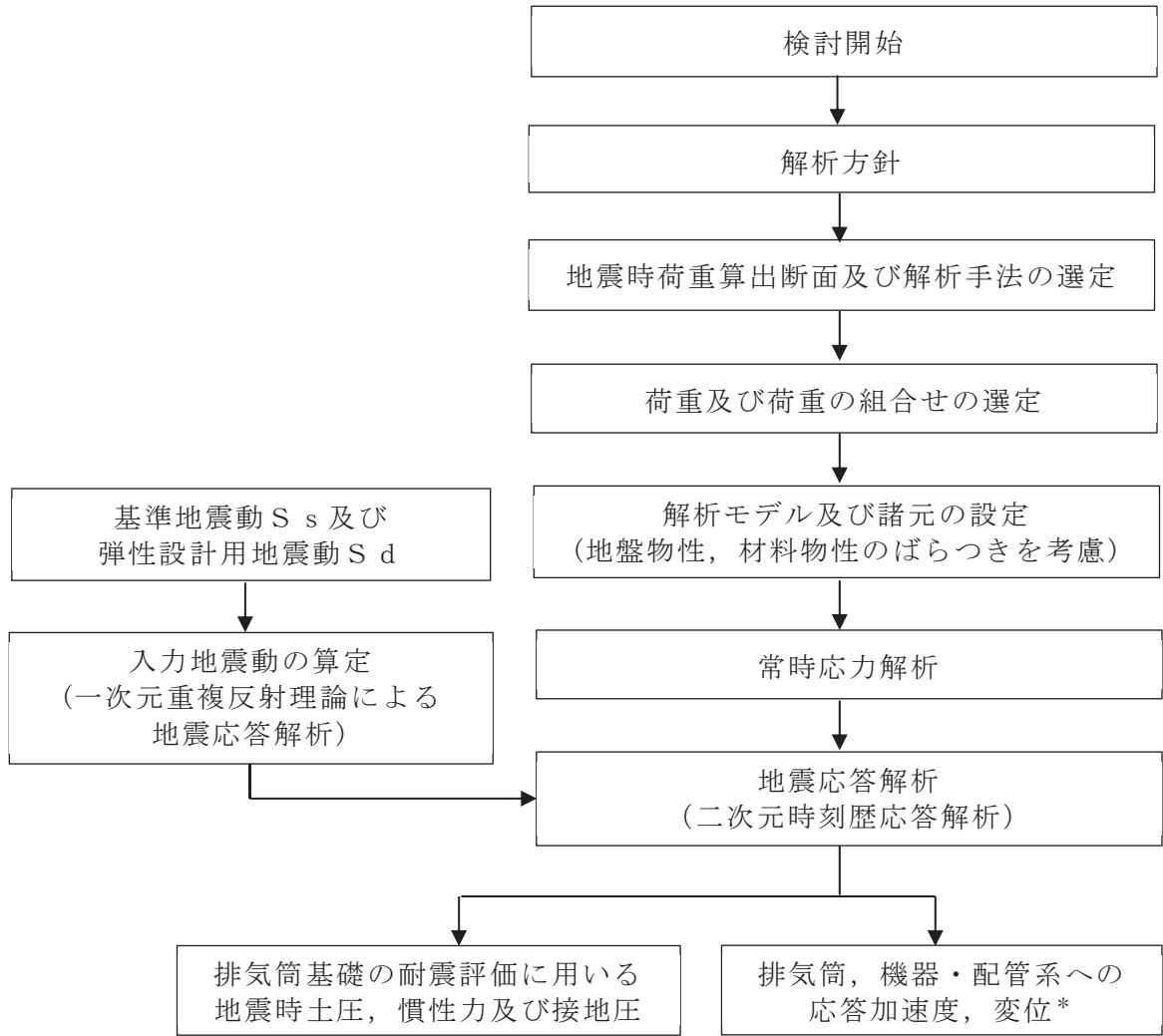
排気筒基礎の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図2-7に排気筒基礎の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.2 地震時荷重算出断面」に示す断面において、「3.3 解析方法」に基づき二次元有限要素法による時刻歴応答解析により行うこととし、地盤物性及び材料物性のばらつきを適切に考慮する。

二次元有限要素法による時刻歴応答解析は、「3.4 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.6 解析モデル及び諸元」に示す条件及び地震応答解析モデルを用い、「3.5 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

排気筒基礎の地震応答解析による応答加速度は、排気筒の入力地震動及び機器・配管系の設計用床応答曲線の作成に用い、地震時土圧、慣性力及び接地圧は、排気筒基礎の耐震評価に用いる。



注記：変位については，機器配管系への入力に用いる。

図 2-7 排気筒基礎の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

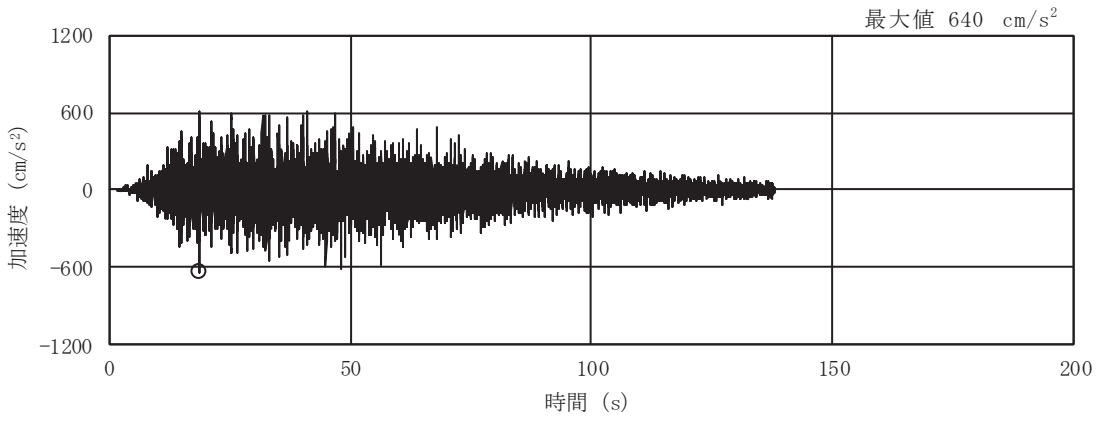
適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・ 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

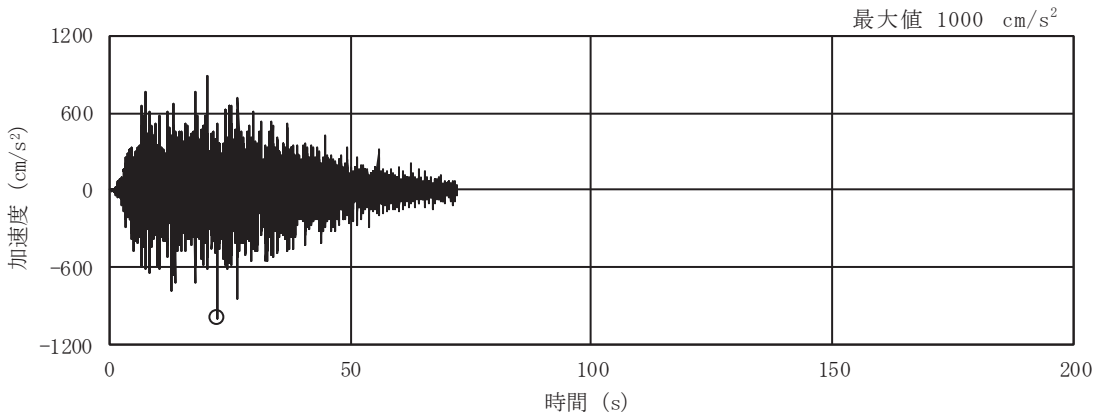
3. 解析方法

3.1 設計に用いる地震波

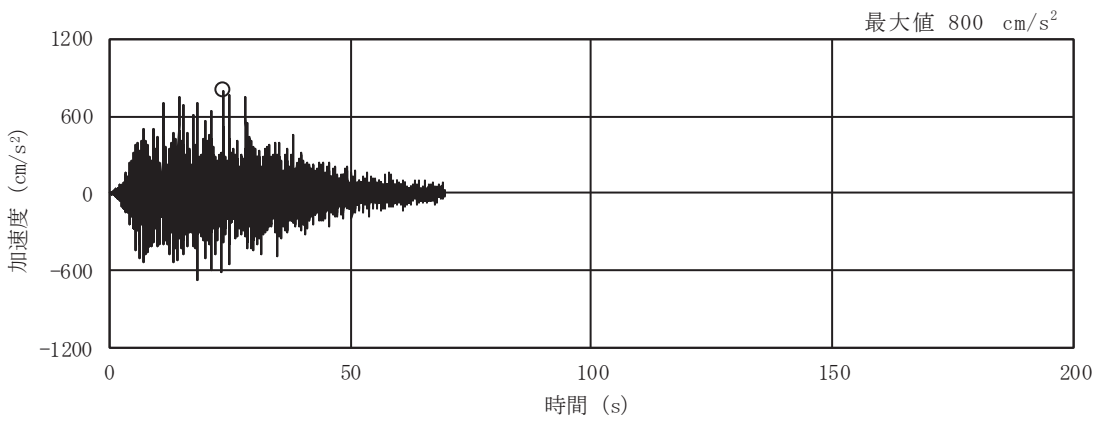
排気筒基礎の地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される地震動を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。解放基盤表面で定義される地震動は、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を用いる。基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-1～図 3-4 に示す。



(a) S s - D 1

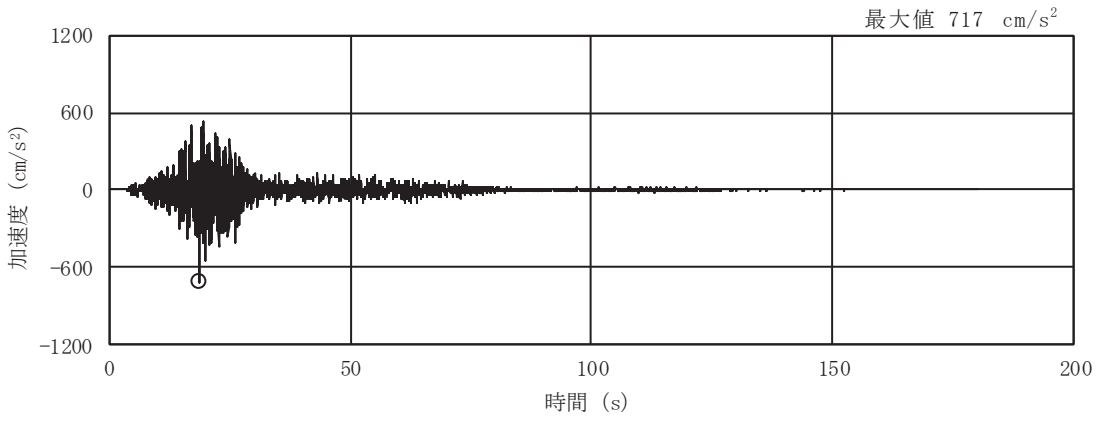


(b) S s - D 2

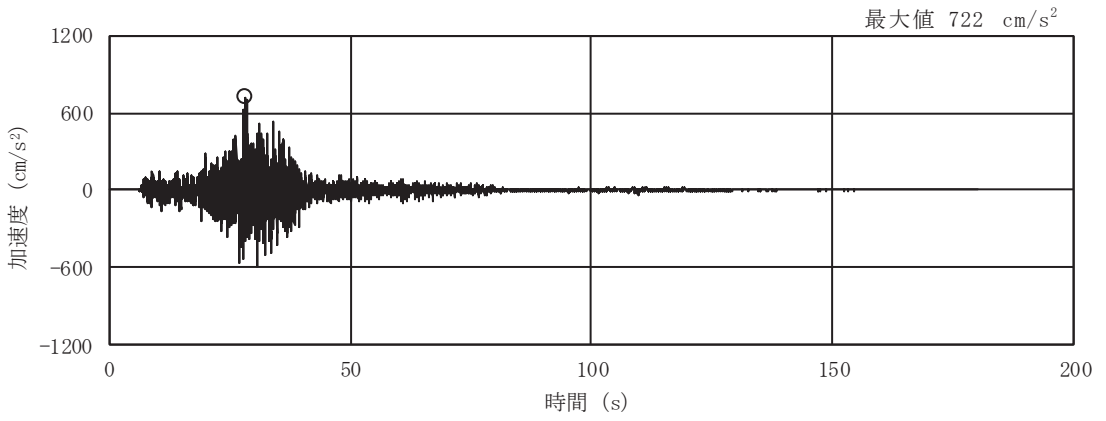


(c) S s - D 3

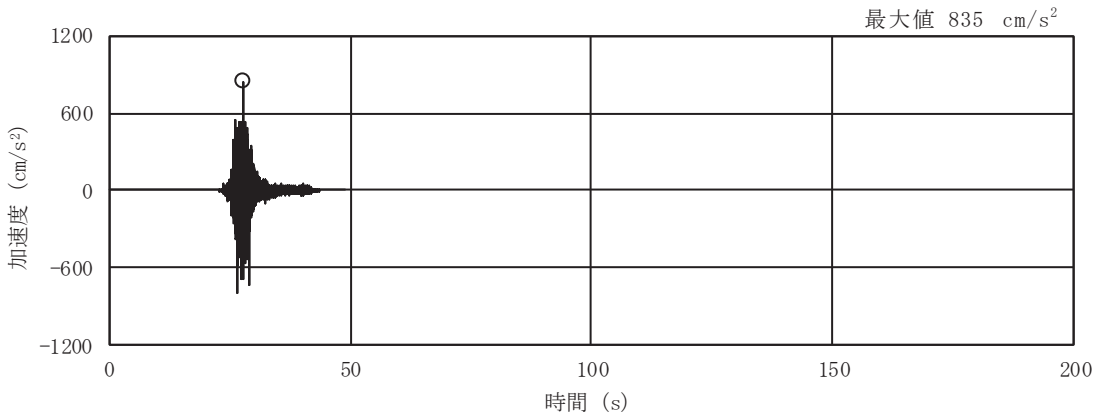
图 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

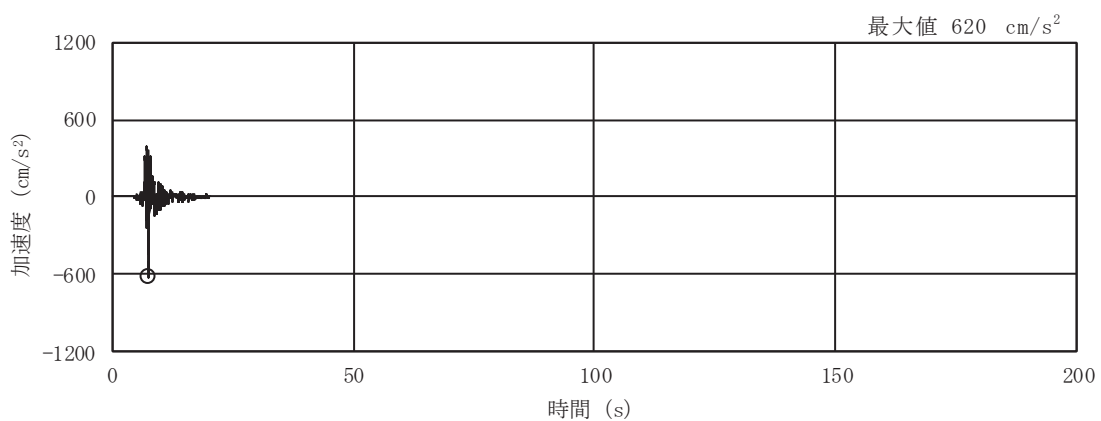


(e) S s - F 2



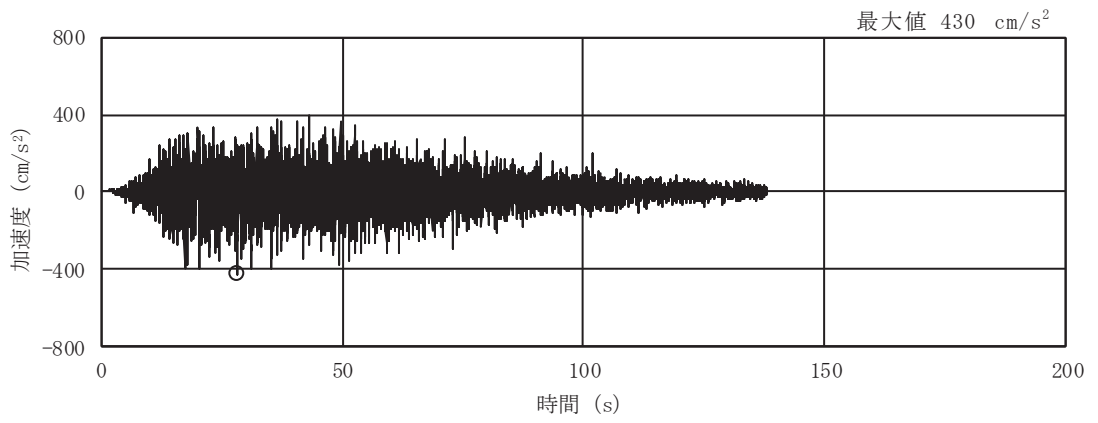
(f) S s - F 3

圖 3-1(2) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (2/3)

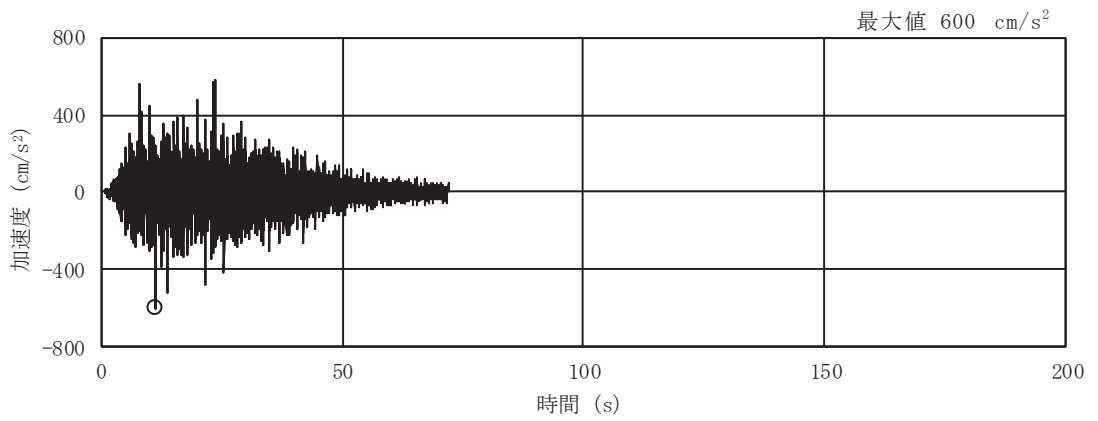


(g) S s - N 1

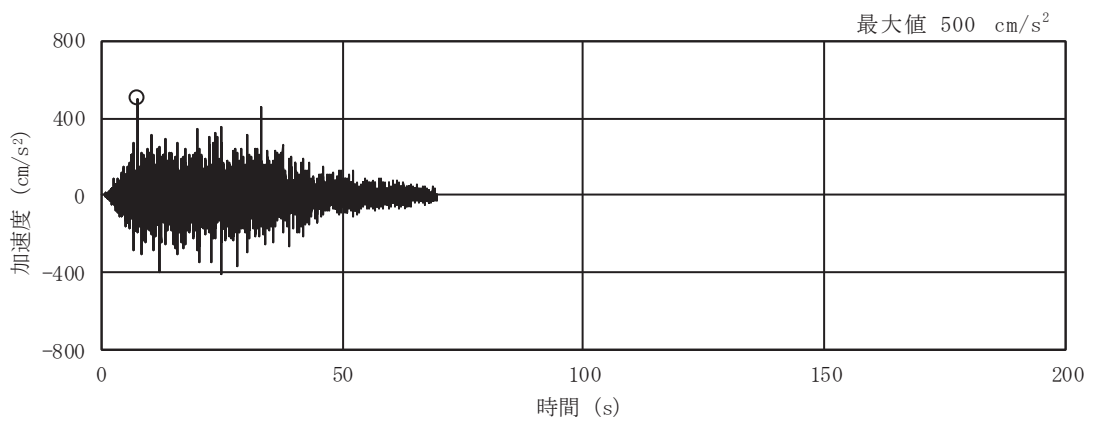
圖 3-1(3) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (3/3)



(a) S s - D 1

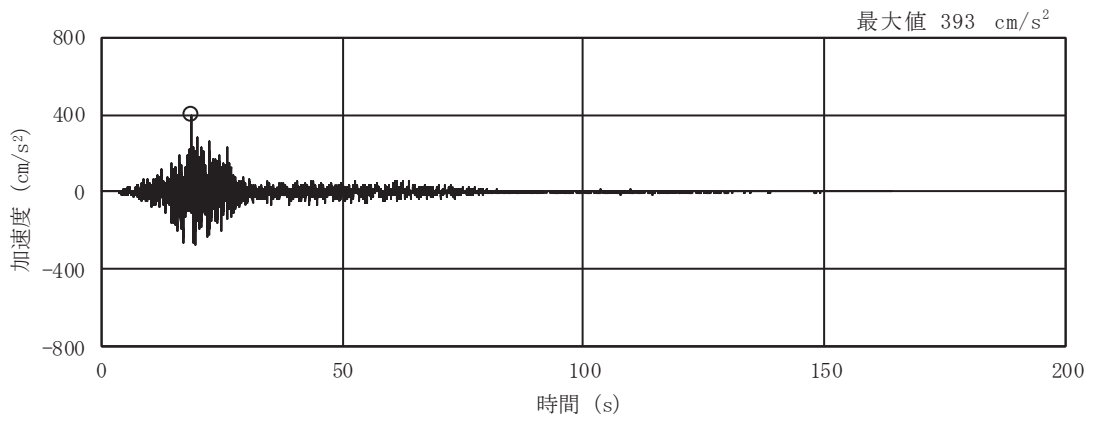


(b) S s - D 2

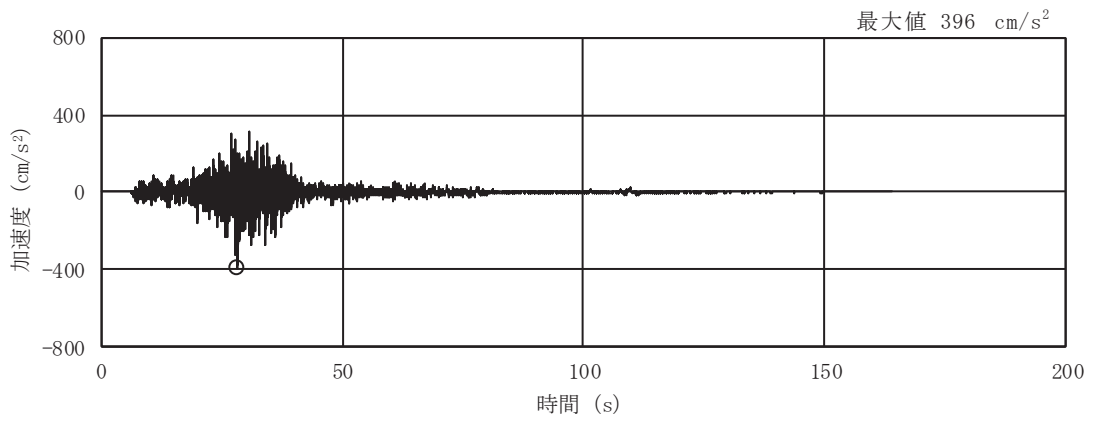


(c) S s - D 3

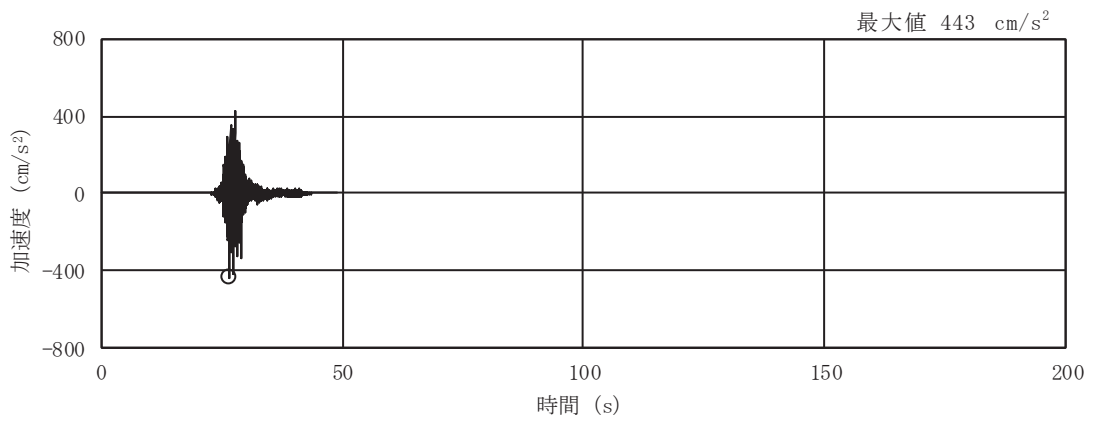
图 3-1(4) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向) (1/3)



(d) S s - F 1

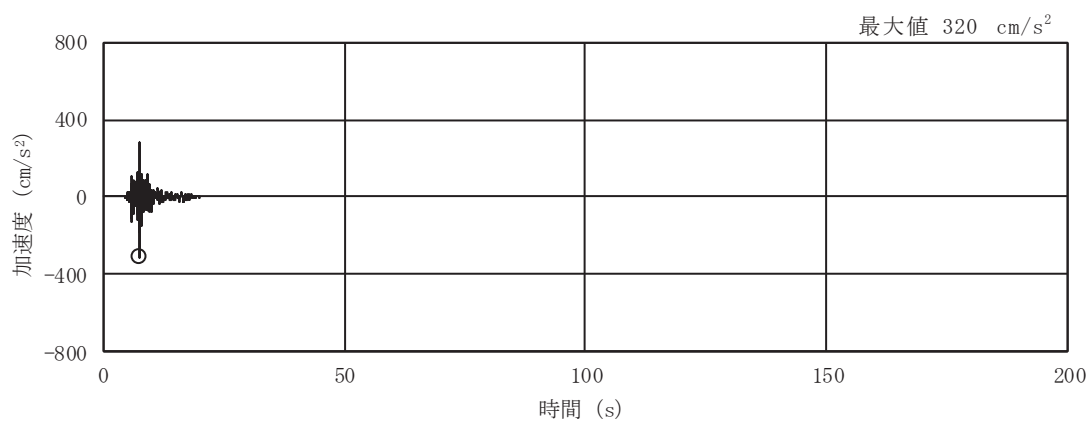


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-1(5) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向) (2/3)



(g) S_s - N 1

圖 3-1(6) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (3/3)

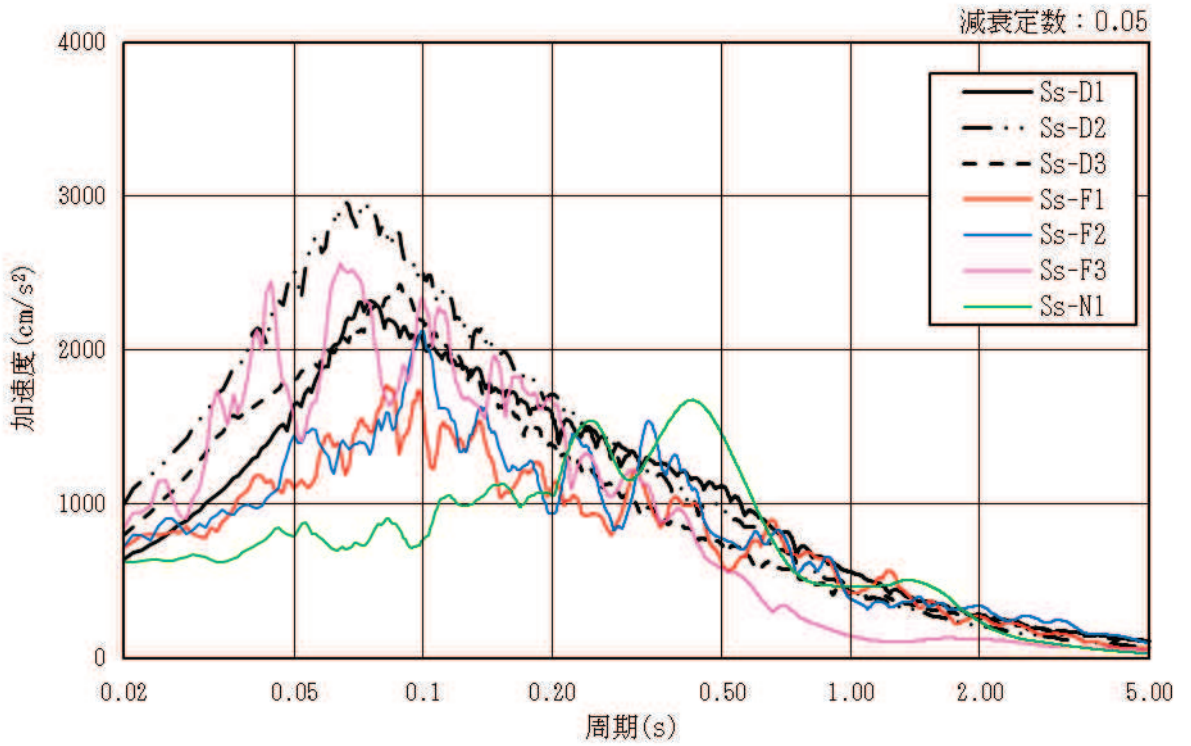


図 3-2(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向)

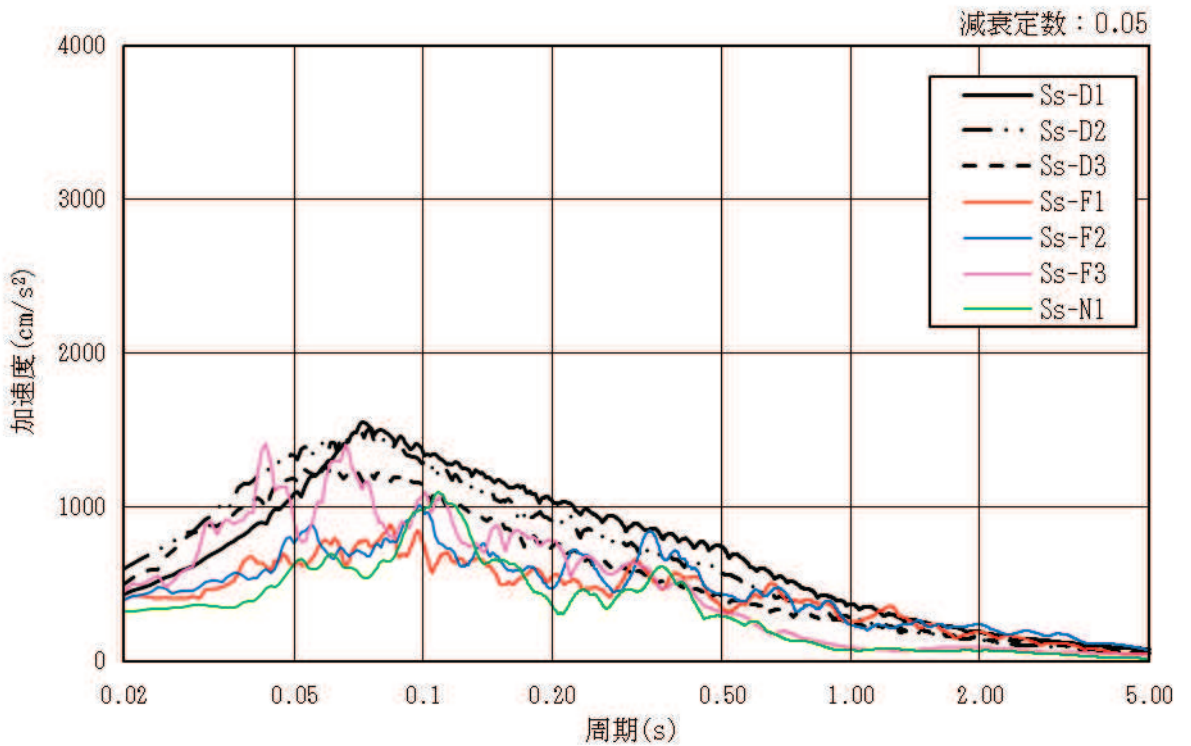
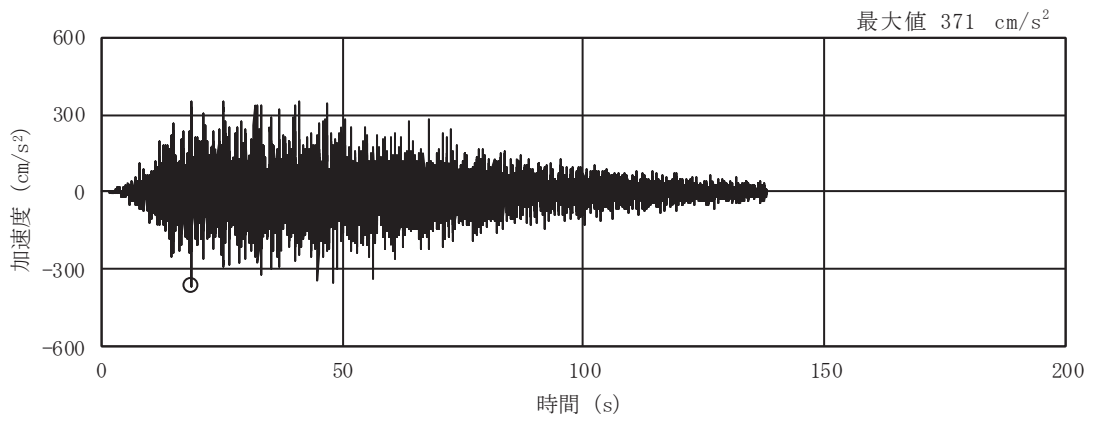
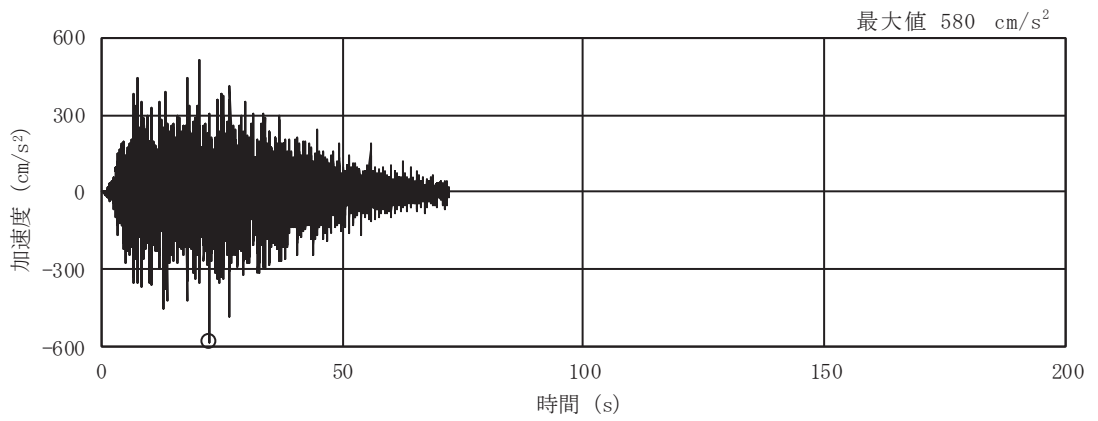


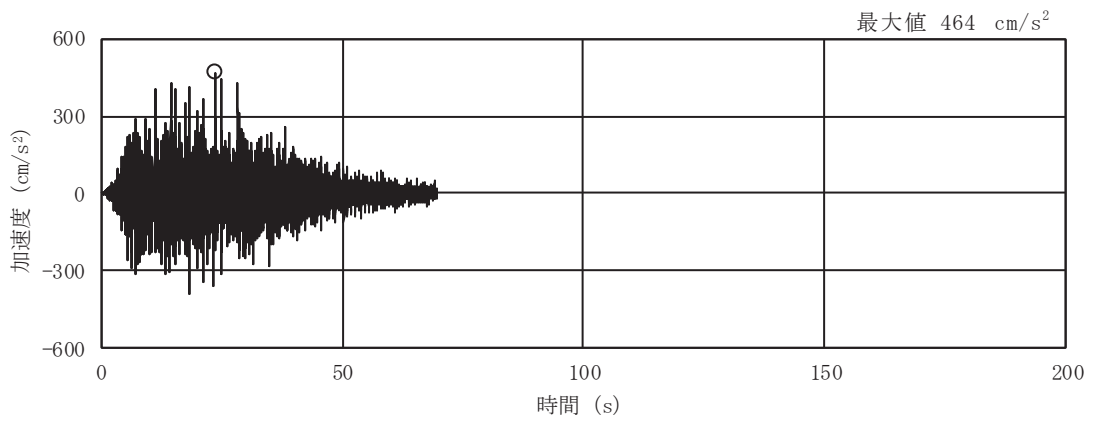
図 3-2(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向)



(a) S d - D 1

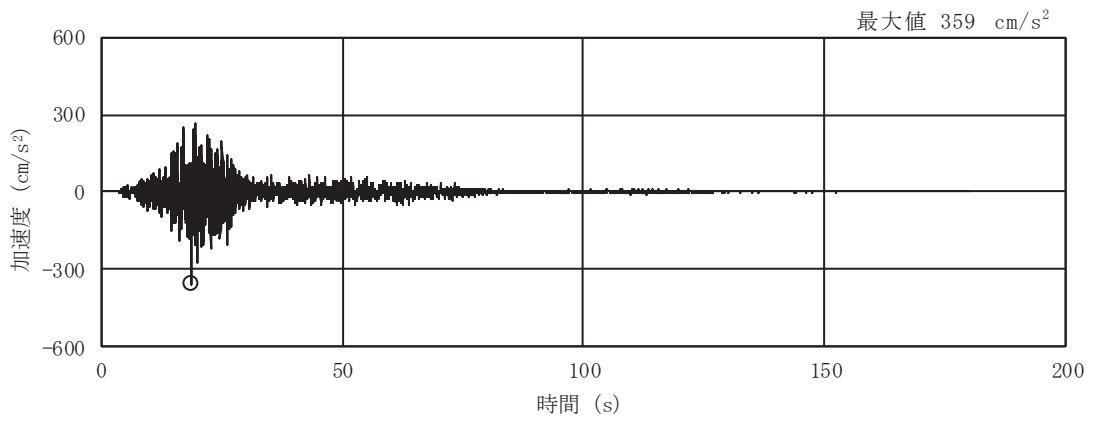


(b) S d - D 2

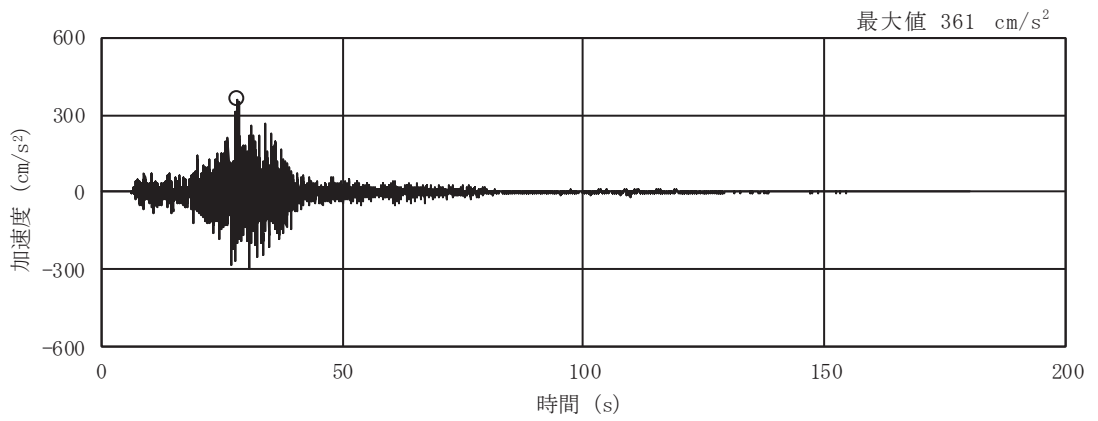


(c) S d - D 3

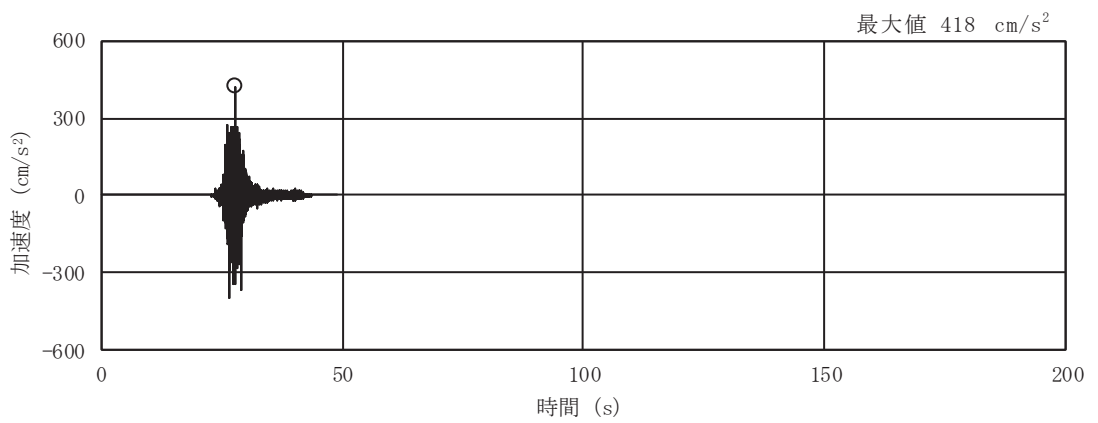
図 3-3(1) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, 水平方向) (1/3)



(d) S d - F 1

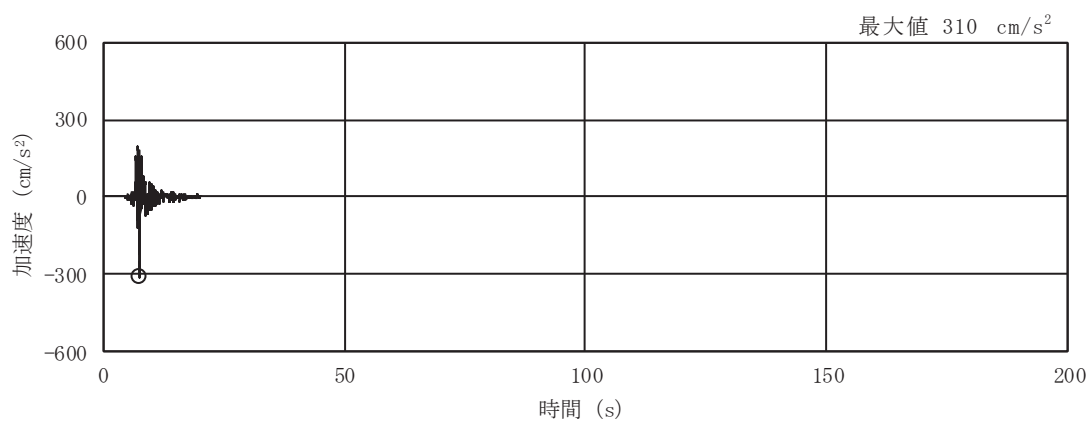


(e) S d - F 2



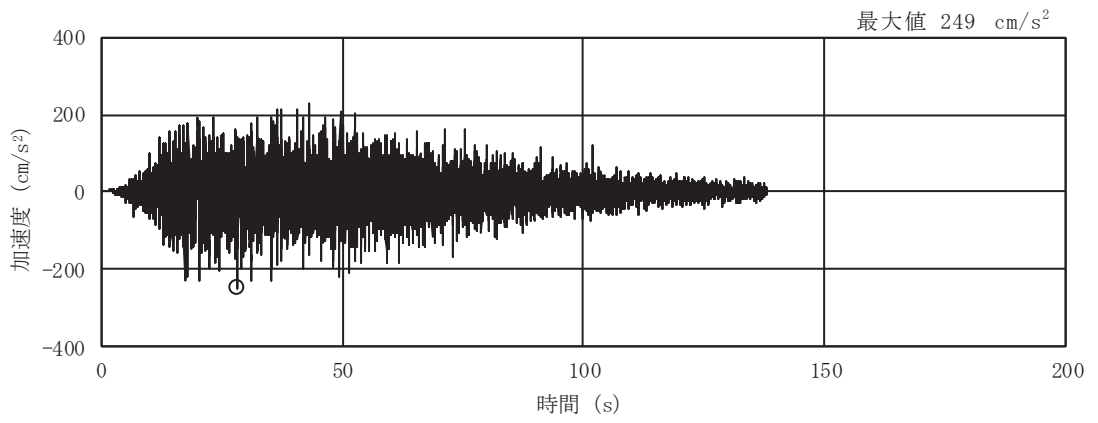
(f) S d - F 3

図 3-3(2) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, 水平方向) (2/3)

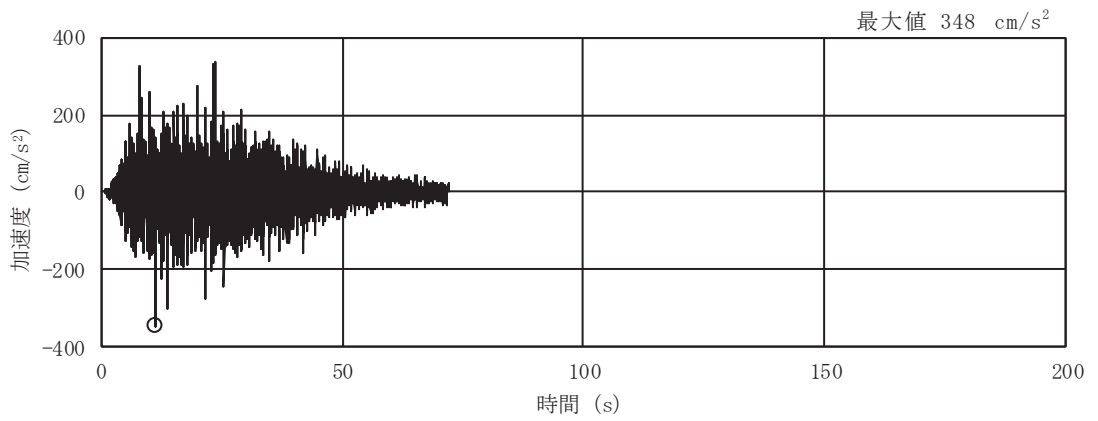


(g) S d - N 1

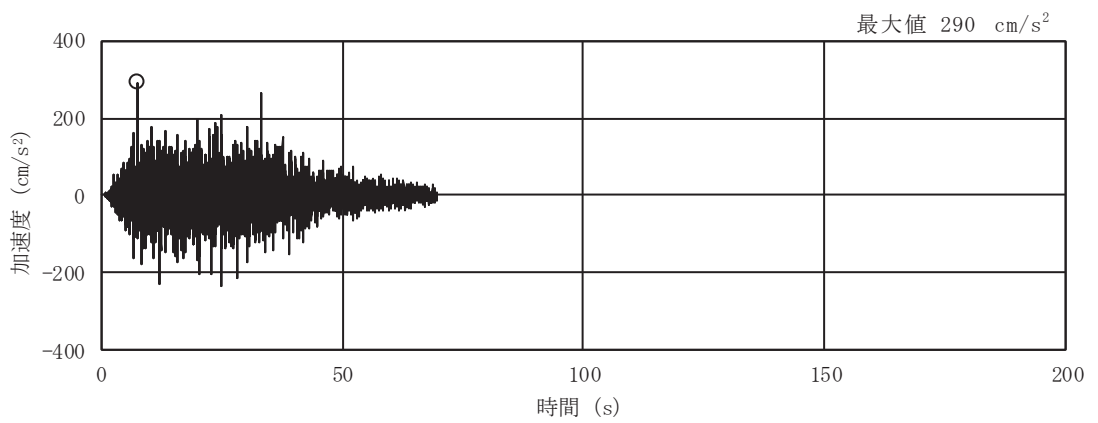
図 3-3(3) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, 水平方向) (3/3)



(a) S d - D 1

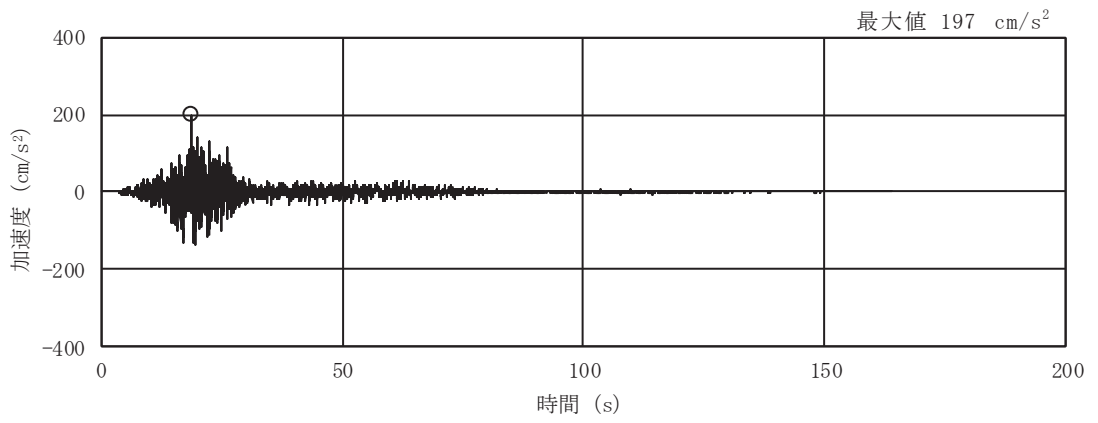


(b) S d - D 2

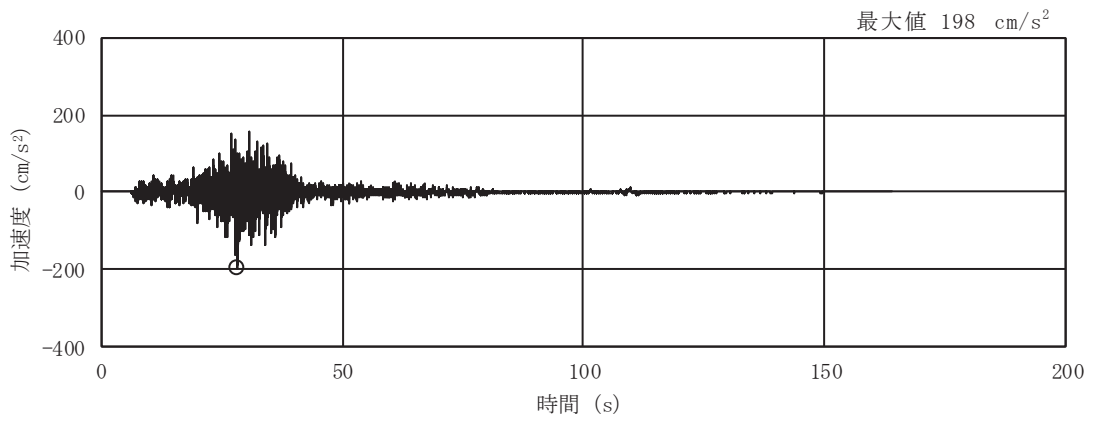


(c) S d - D 3

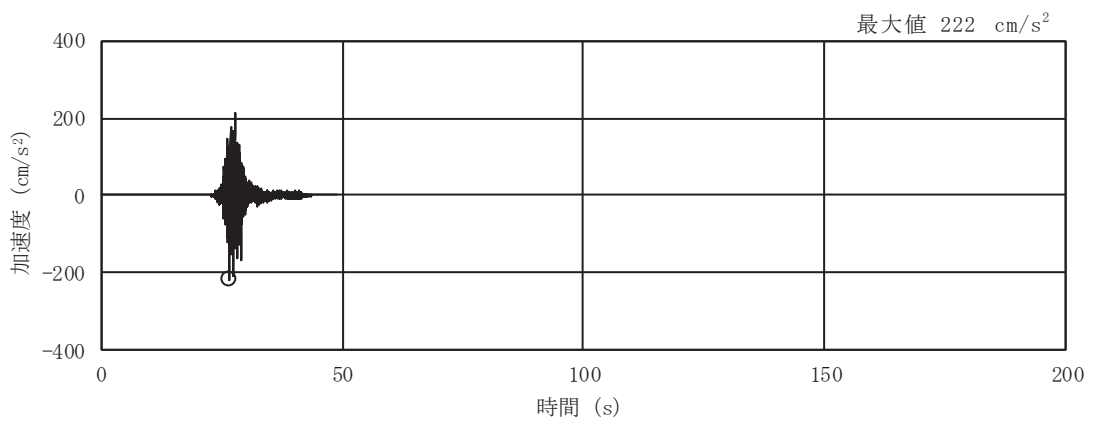
図 3-3(4) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (1/3)



(d) S d - F 1

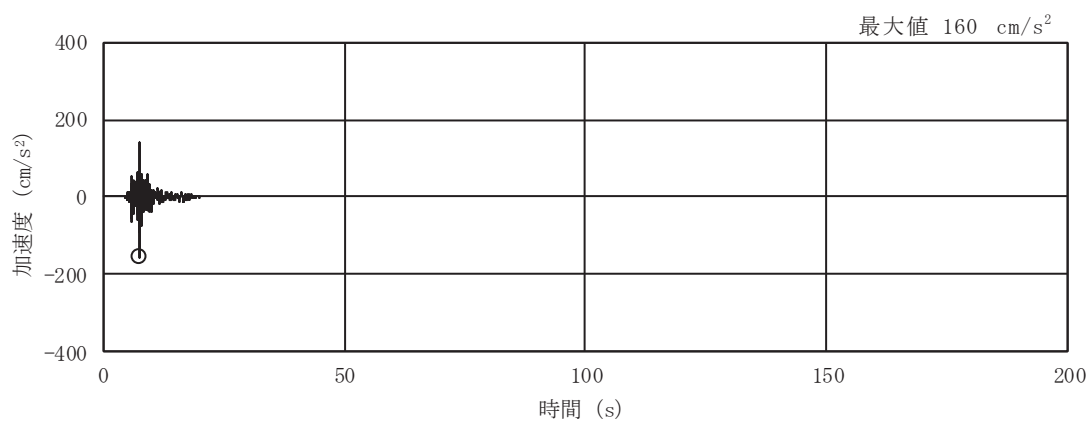


(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

图 3-3(5) 加速度時刻歴波形 (弹性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (2/3)



(g) S d - N 1

図 3-3(6) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (3/3)

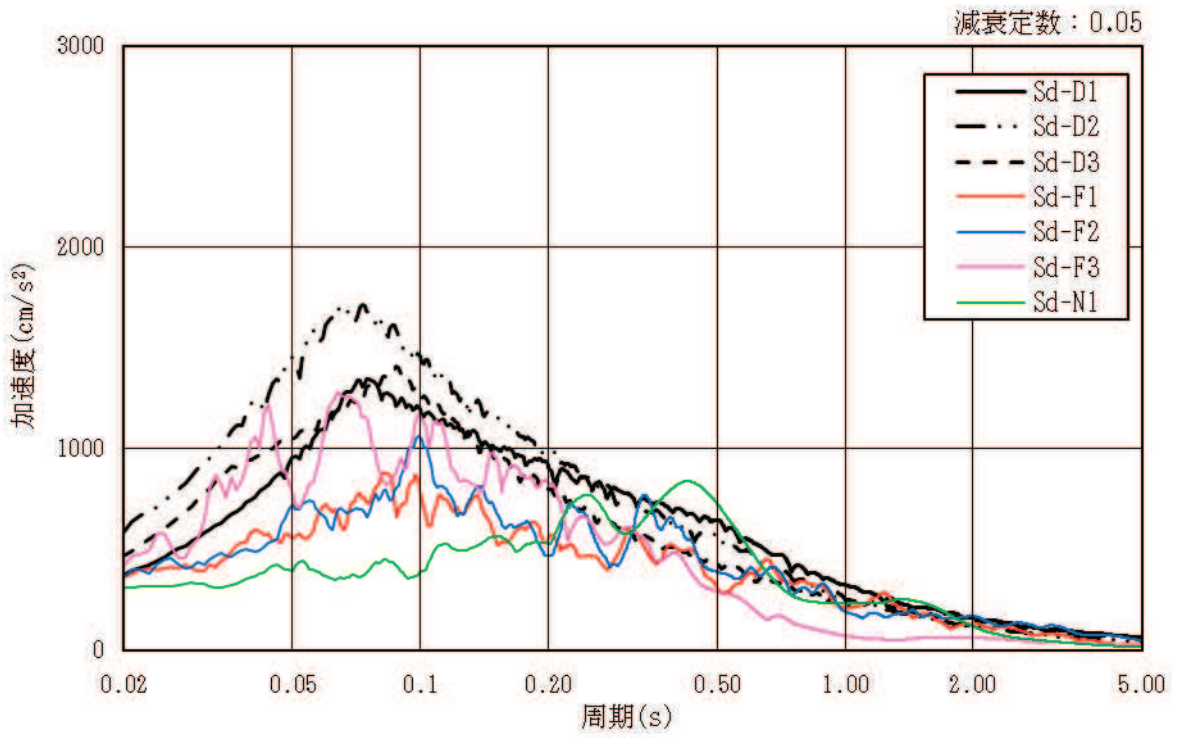


図 3-4(1) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d , 水平方向)

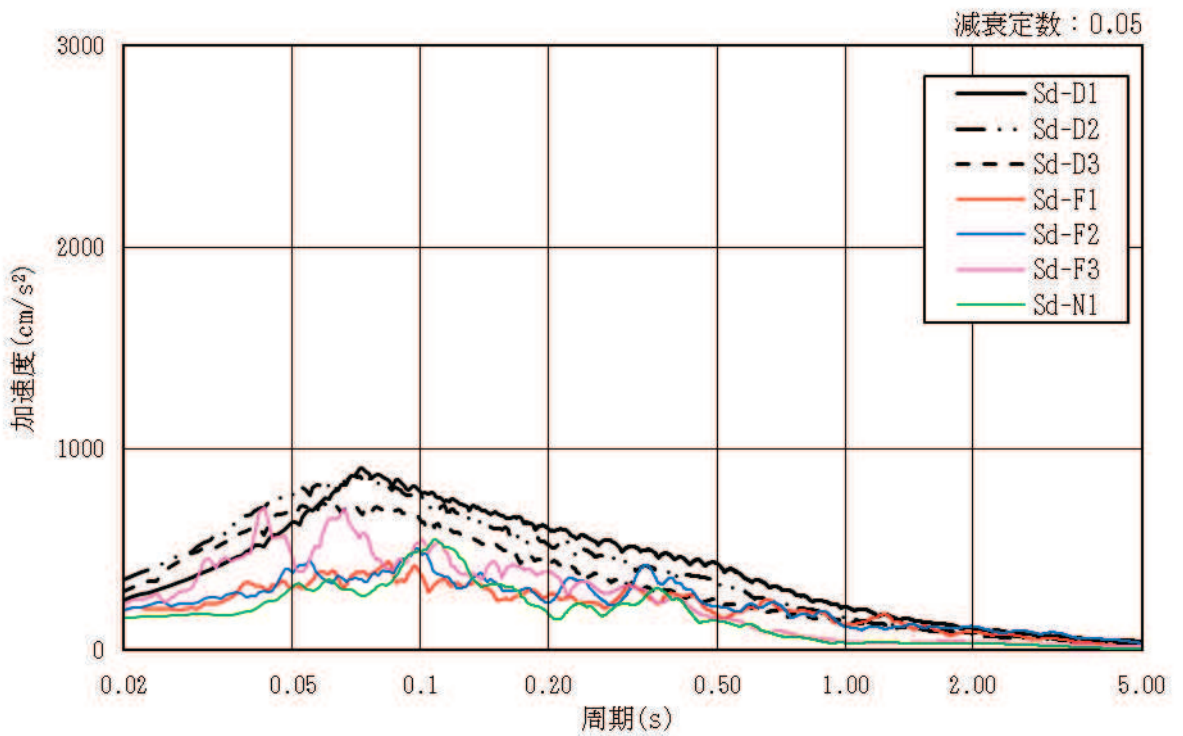


図 3-4(2) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向)

3.2 地震時荷重算出断面

排気筒基礎の地震時荷重算出断面位置を図3-5に示す。地震時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、基礎の中心を通る南北方向のNS断面（図中のA-A断面）及び東西方向のEW断面（図中のB-B断面）の両断面とする。地震時荷重算出用地質断面図を図3-6及び図3-7に示す。

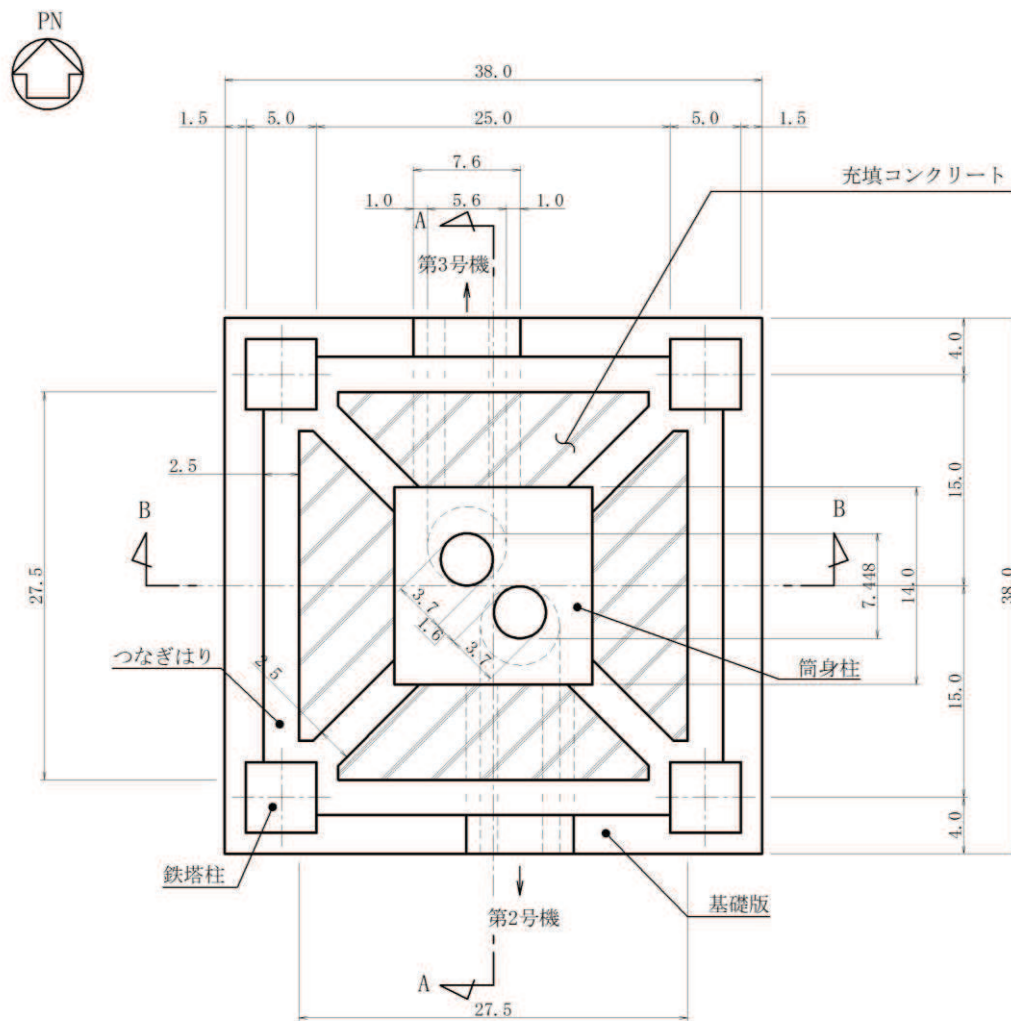


図3-5 排気筒基礎の地震時荷重算出断面位置図

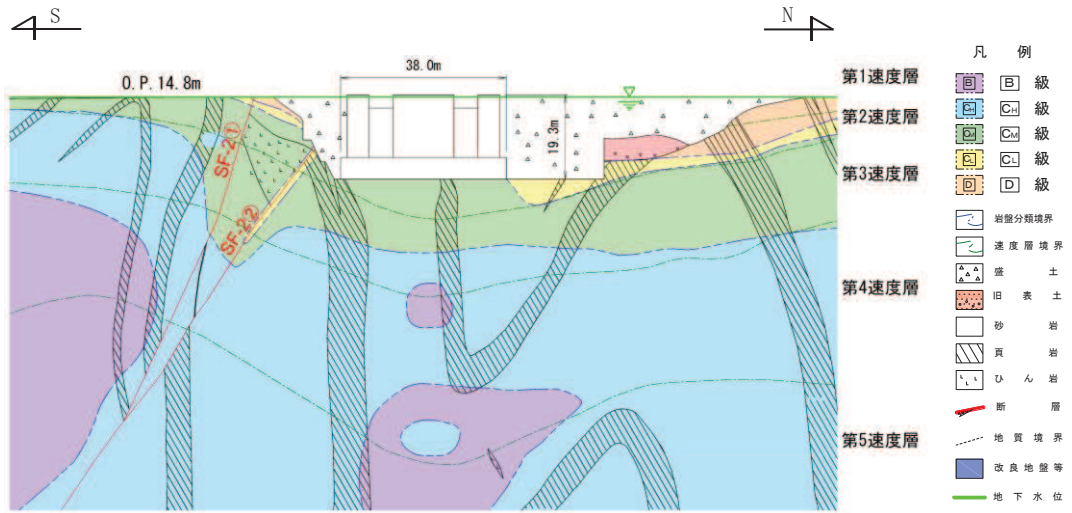


图 3-6 排気筒基礎 地震時荷重算出用地質断面图 (NS 断面)

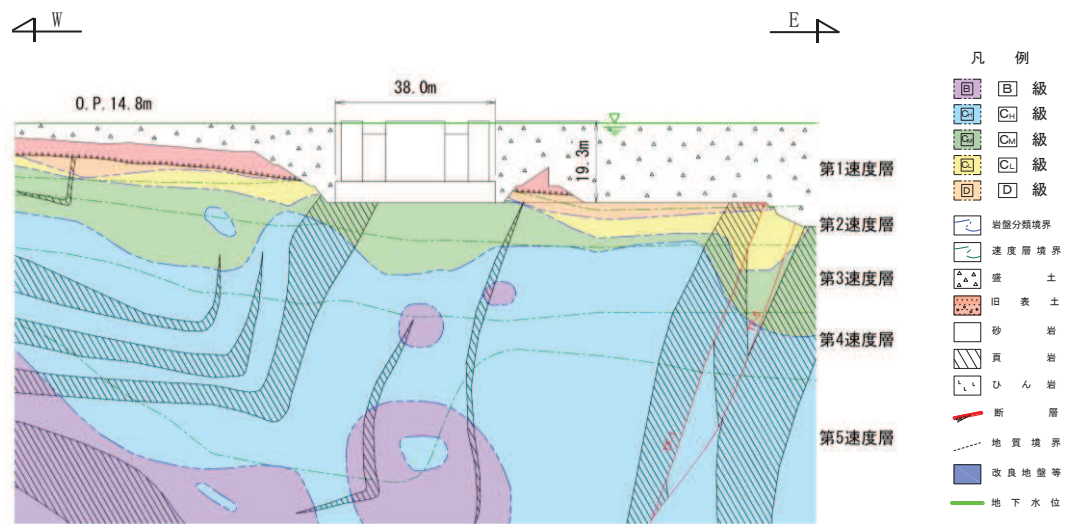


图 3-7 排気筒基礎 地震時荷重算出用地質断面图 (EW 断面)

3.3 解析方法

排気筒基礎の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.1 建物・構築物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d 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（全応力解析）により行う。

NS 断面において隣接構造物となる排気筒連絡ダクト、第 3 号機排気筒連絡ダクトは、排気筒基礎の耐震評価において保守的な評価となるよう盛土としてモデル化する。

排気筒基礎のモデル化は、筒身柱、鉄塔柱、つなぎはり、基礎版及び充填コンクリートの剛性を、構造物中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する線形はり要素と等価な質量を有する質点でモデル化する。排気筒は基礎の上端に質点として考慮する。

また、地盤については、動的変形特性のひずみ依存性を適切に考慮できるように平面ひずみ要素にてモデル化する。地震応答解析については、解析コード「TDAP Ver3.11」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、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。

3.3.1 構造部材

鉄筋コンクリート部材は、線形はり要素でモデル化する。排気筒は質点でモデル化する。

3.3.2 地盤物性及び材料物性の不確かさ

地盤物性及び材料物性の不確かさの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

排気筒基礎は、岩盤上に直接構築され、周囲が盛土で埋戻されており、盛土等の土圧が主たる荷重となる他、基礎の質量が大きく、作用する慣性力も主たる荷重となることから、すべての地盤のせん断弾性係数のばらつきを考慮する。

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

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

なお、排気筒基礎は、許容応力度法により設計を行っており、十分に裕度を確保した設計としていることから、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④による耐震評価は実施せず、機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

排気筒に対する応答加速度抽出においては、排気筒応答への影響の大きい地震

動に対してばらつきを考慮した解析を実施することとし、基本ケースの地震応答解析の照査値が最大となる地震動を基準地震動 S_s から選定する。

なお、排気筒に対する材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④は、排気筒に対する影響が少ないことから地盤のせん断弾性係数のばらつきを考慮した解析ケース②及び③を考慮する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.3.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表 3-1 解析ケース

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 C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G: 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
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値

注記*: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.3.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

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

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[c] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

地震時荷重算出断面	α	β
NS 断面	7.113×10^{-1}	4.218×10^{-4}
EW 断面	4.543×10^{-1}	6.604×10^{-4}

3.3.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 排気筒基礎の耐震評価における解析ケース

排気筒基礎の耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s の正位相及び水平動の位相反転に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 排気筒基礎の耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*	○	【追加解析ケースについて】 基準地震動 S_s (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波に対し、全応力解析による基本ケース①を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊、基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、更に照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析ケースを実施する。	
		-+*	○		
	$S_s - D 2$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - D 3$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - F 1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - F 2$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - F 3$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - N 1$	++*	○		
		-+*	○		

注記*：耐震評価にあたっては、「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」（以下「土木学会マニュアル」という。）に従い、水平方向の位相反転を考慮する。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) 排気筒に対する応答加速度抽出のための解析ケース

排気筒に対する応答加速度抽出においては、すべての基準地震動 S_s の正位相に対し、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、排気筒の筒身、支柱材それぞれの断面算定結果に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す水平動の位相反転を考慮した解析ケース①、及び解析ケース②、③を実施する。排気筒の応答加速度抽出における解析ケースを表 3-4 に示す。

表 3-4 排気筒の応答加速度抽出のための解析ケース

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
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*1	○	Δ *2
	$S_d - D 1$	-+*1	Δ *2	
	$S_s - D 2$	++*1	○	Δ *2
	$S_d - D 2$	-+*1	Δ *2	
	$S_s - D 3$	++*1	○	Δ *2
	$S_d - D 3$	-+*1	Δ *2	
	$S_s - F 1$	++*1	○	Δ *2
	$S_d - F 1$	-+*1	Δ *2	
	$S_s - F 2$	++*1	○	Δ *2
	$S_d - F 2$	-+*1	Δ *2	
	$S_s - F 3$	++*1	○	Δ *2
	$S_d - F 3$	-+*1	Δ *2	
	$S_s - N 1$	++*1	○	Δ *2
	$S_d - N 1$	-+*1	Δ *2	

注記*1：耐震評価にあたっては、土木学会マニュアルに従い、水平方向の位相反転を考慮する。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： Δ については、正位相による解析ケース①において、排気筒の筒身、支柱材それぞれの断面算定結果が最も厳しい地震動を用いる。なお、 S_d の評価は、 S_s の評価結果が最も厳しくなる地震動について、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮する。

(3) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として解析ケース①に加え、表 3-1 に示す解析ケース②～④を実施する。機器・配管系の応答加速度抽出における解析ケースを表 3-5 に示す。

表 3-5 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
			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	材料物性 (コンクリート) に実強度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	平均値
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2
地震動 (位相)	S s - D 1	++*1	○	○	○	○
	S d - D 1	-+*1	○	○	○	○
	S s - D 2	++*1	○	○	○	○
	S d - D 2	-+*1	○	○	○	○
	S s - D 3	++*1	○	○	○	○
	S d - D 3	-+*1	○	○	○	○
	S s - F 1	++*1	○	○	○	○
	S d - F 1	-+*1	○	○	○	○
	S s - F 2	++*1	○	○	○	○
	S d - F 2	-+*1	○	○	○	○
	S s - F 3	++*1	○	○	○	○
	S d - F 3	-+*1	○	○	○	○
	S s - N 1	++*1	○	○	○	○
	S d - N 1	-+*1	○	○	○	○

注記*1：地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表す。

*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.4 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「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.4.1 耐震評価上考慮する状態

排気筒基礎の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

固定荷重に対して、積雪荷重が十分に小さいことから考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.4.2 荷重

排気筒基礎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、充填コンクリート自重、排気筒荷重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載物はないため、積載荷重は考慮しない。

(3) 積雪荷重 (P_s)

固定荷重に対して、非常に小さいことから積雪荷重は考慮しない。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

(5) 地震荷重 (S_d)

弾性設計用地震動 S_d による荷重を考慮する。

3.4.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

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

注記* : 排気筒及び機器・配管系の耐震設計に用いる。

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

S_d : 地震荷重 (弾性設計用地震動 S_d)

3.5 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「2.1 建物・構築物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、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「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図3-8に入力地震動算定の概念図を、図3-9及び図3-10に基準地震動 S_s の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-11及び図3-12に弾性設計用地震動 S_d 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 Ver1.6」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。

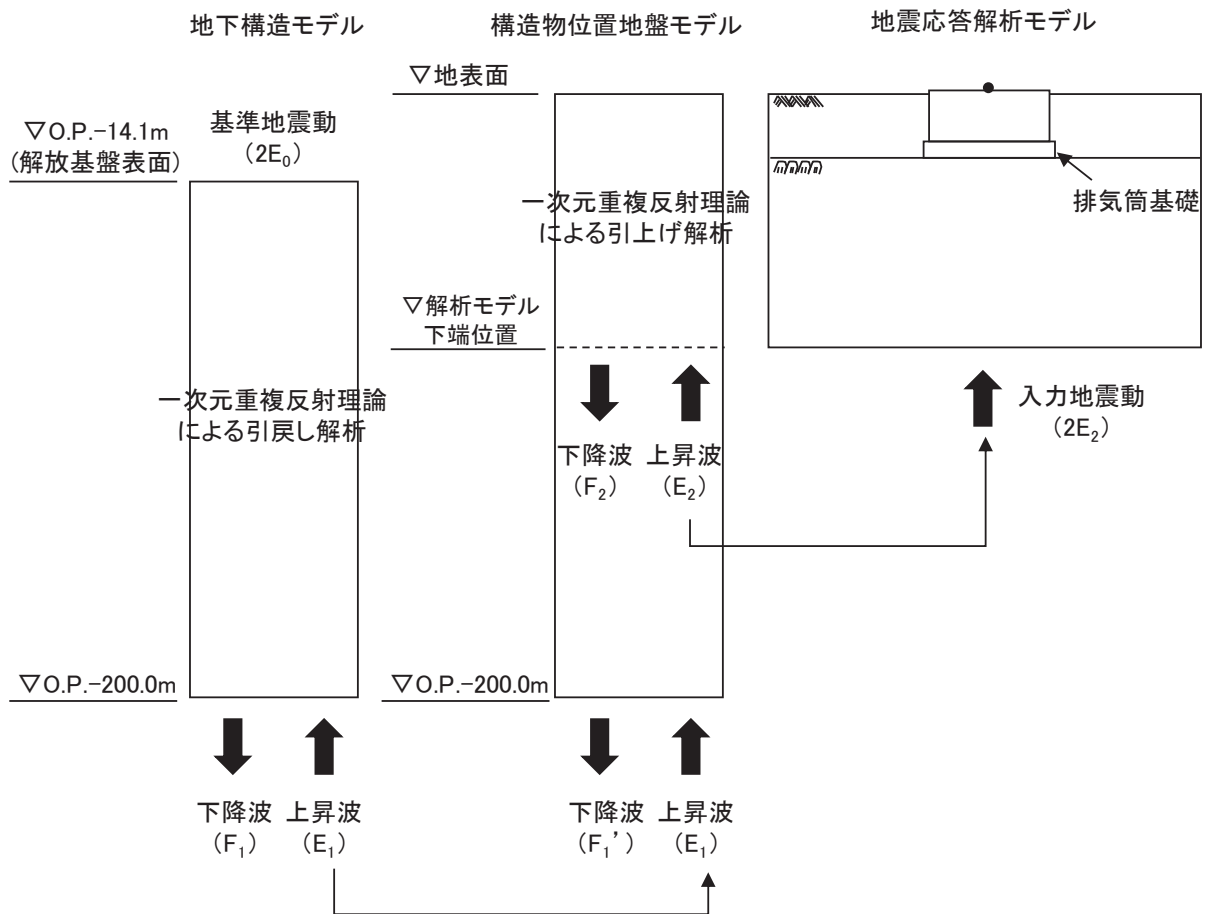
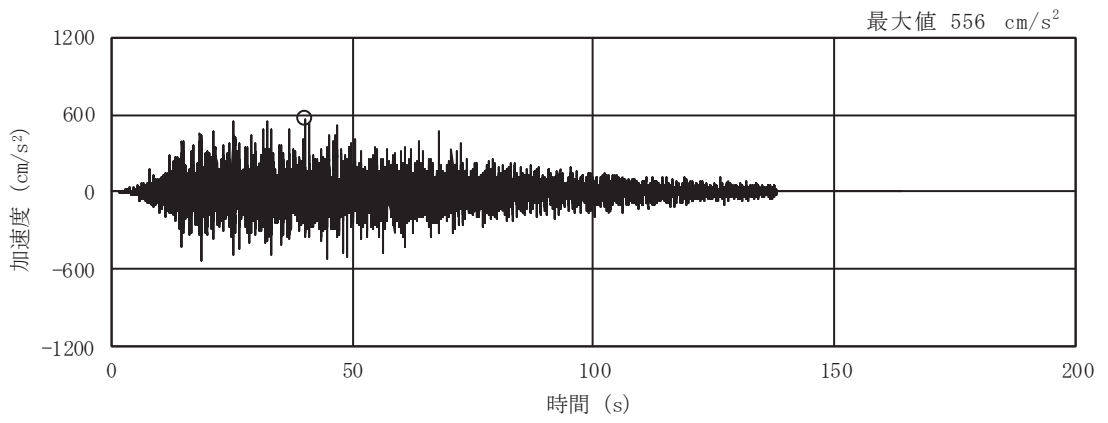
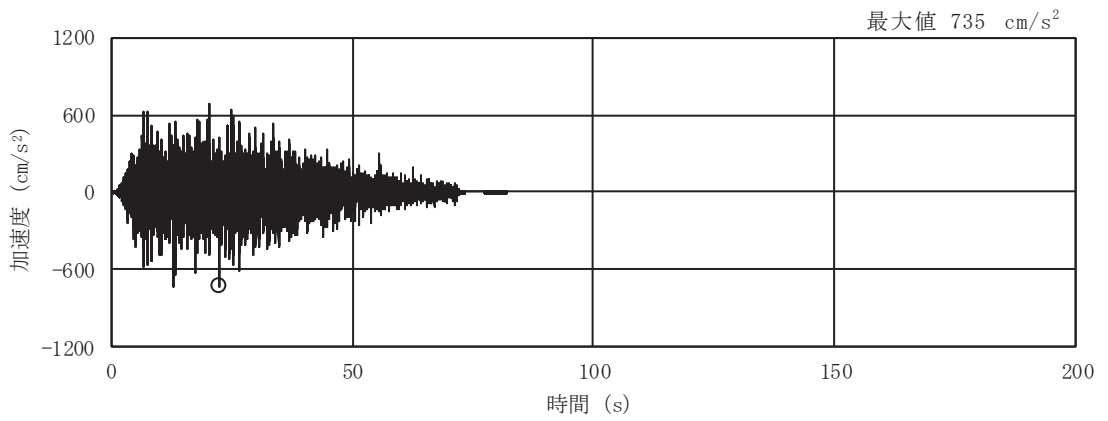


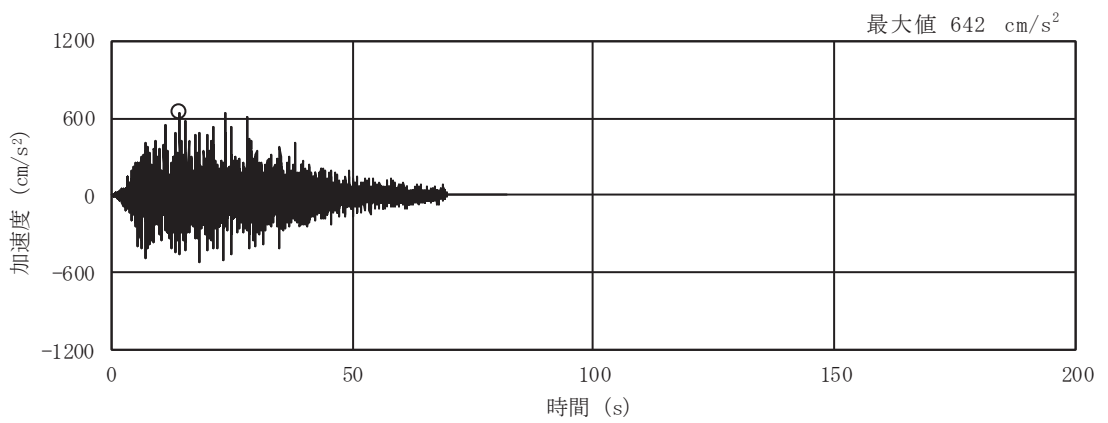
図 3-8 入力地震動算定の概念図



(a) S s - D 1

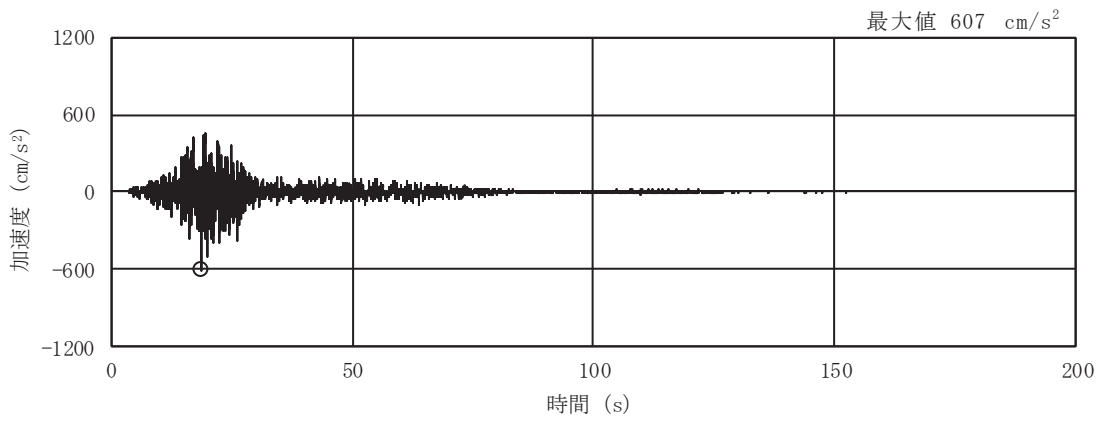


(b) S s - D 2

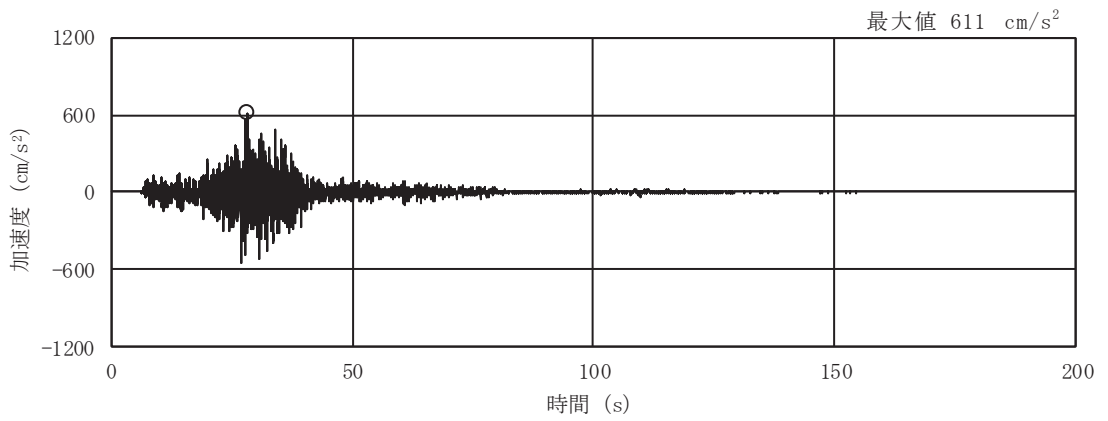


(c) S s - D 3

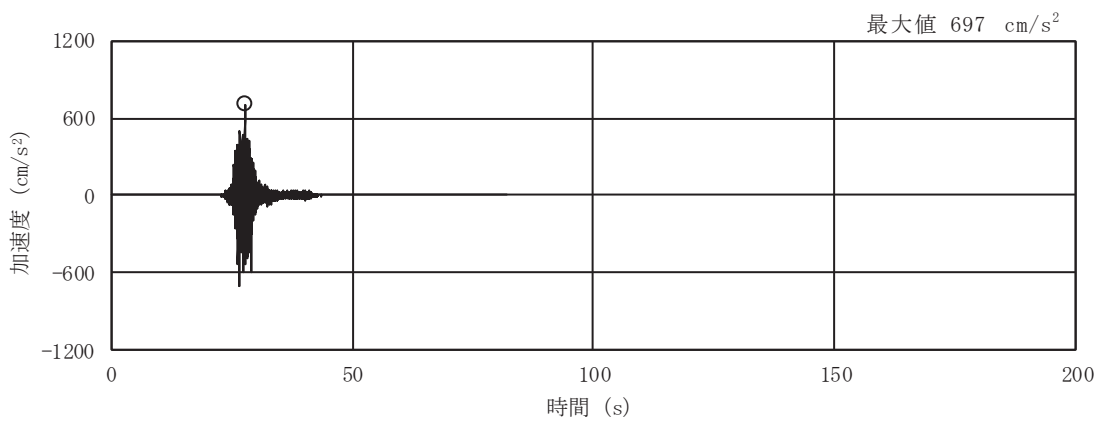
図 3-9(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (1/3)



(d) S s - F 1

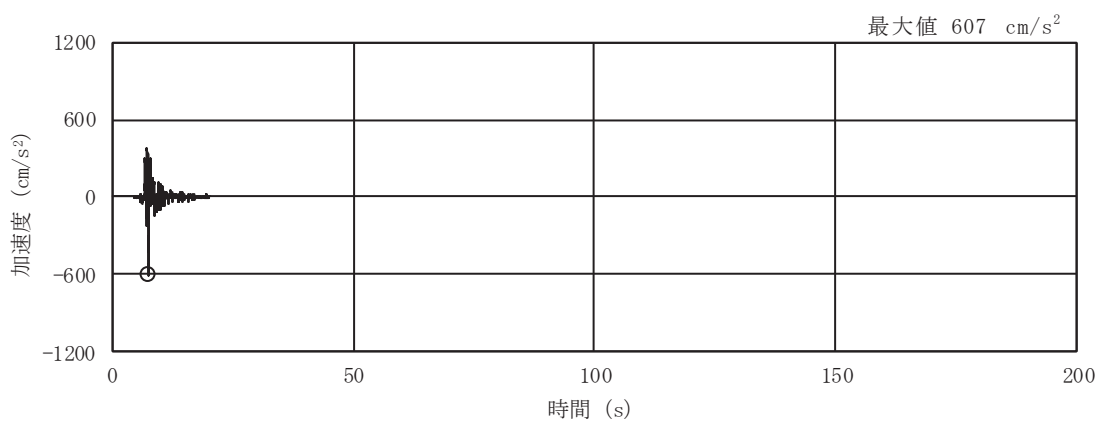


(e) S s - F 2



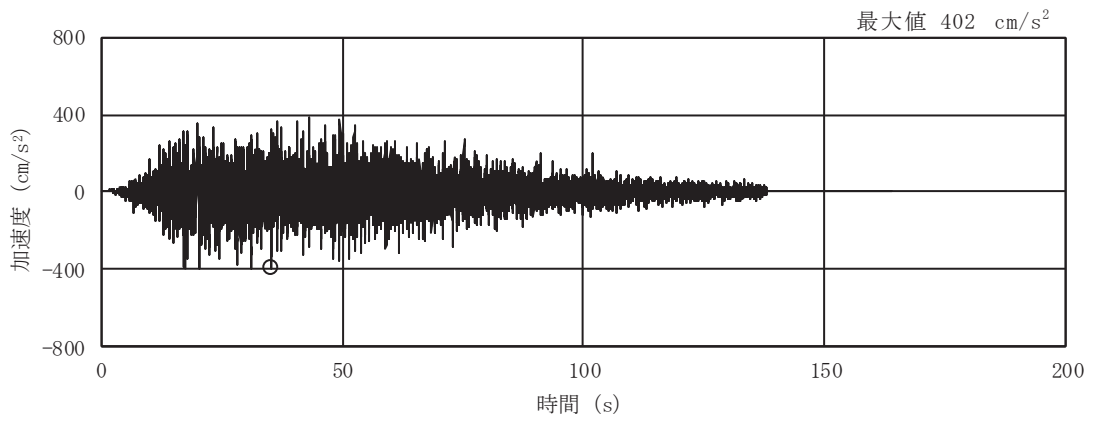
(f) S s - F 3

図 3-9(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (2/3)

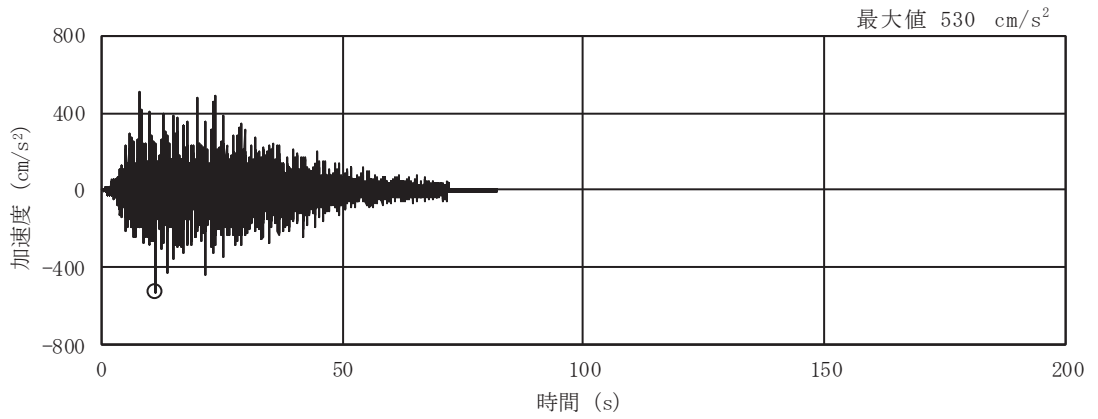


(g) S s - N 1

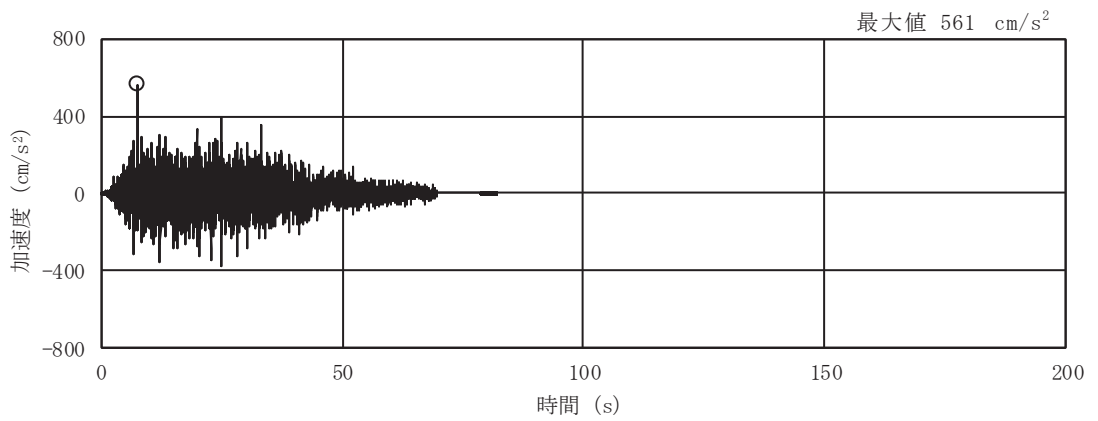
図 3-9(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (3/3)



(a) S s - D 1

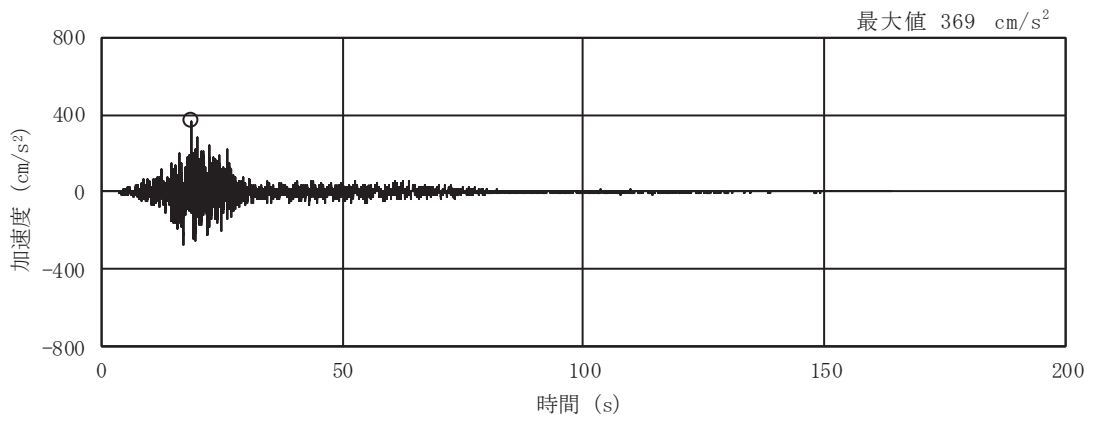


(b) S s - D 2

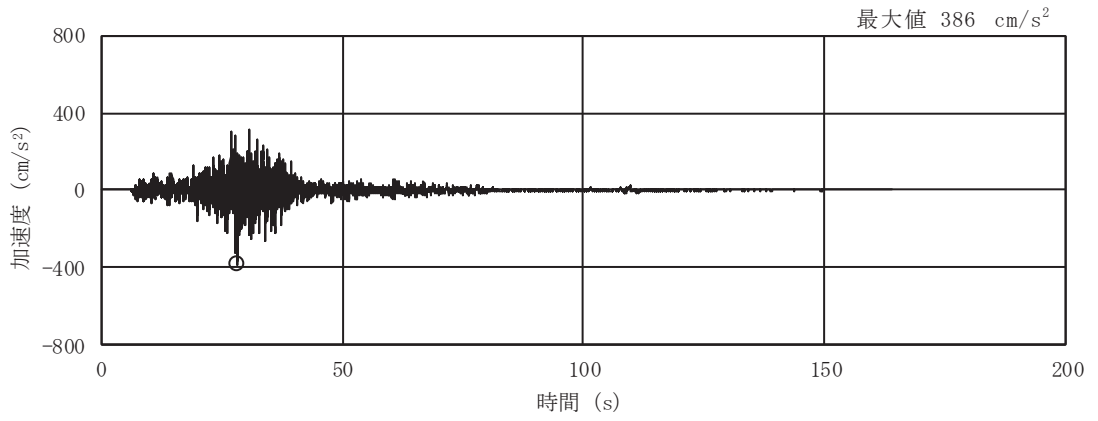


(c) S s - D 3

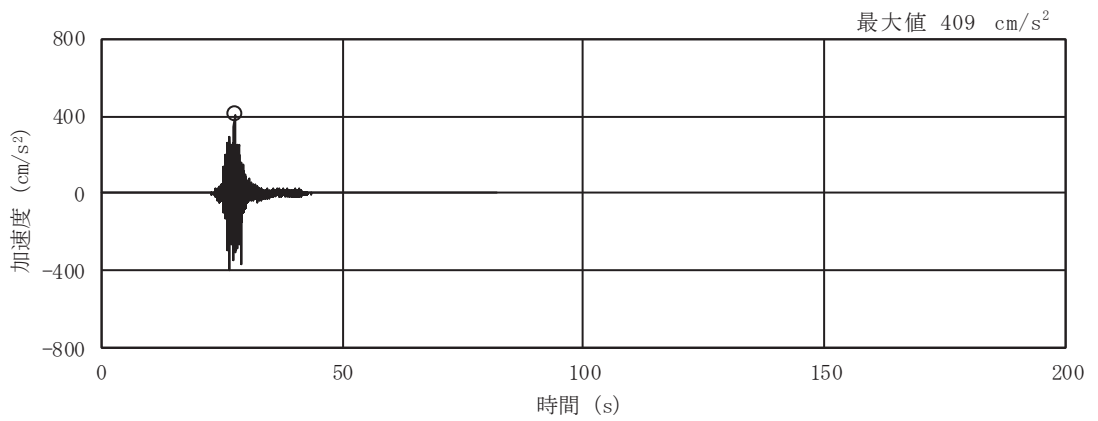
図 3-9(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

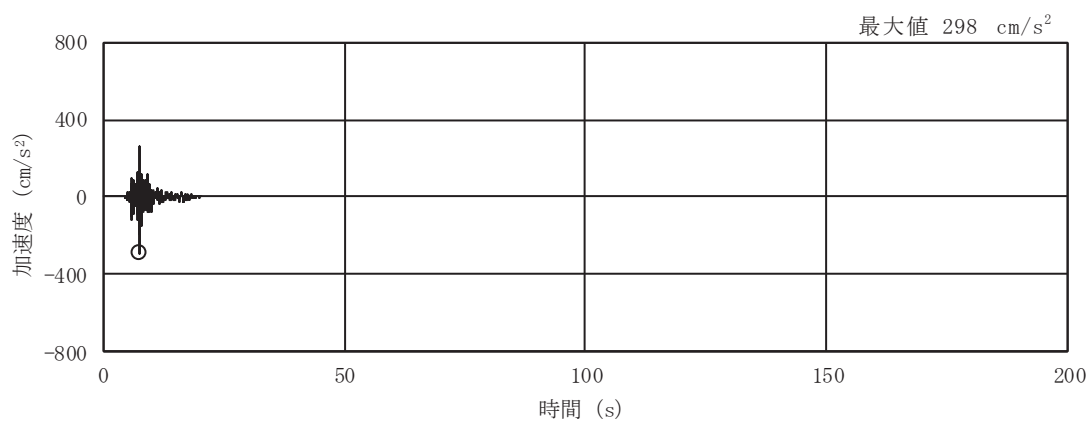


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-9(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (2/3)



(g) S s - N 1

図 3-9(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (3/3)

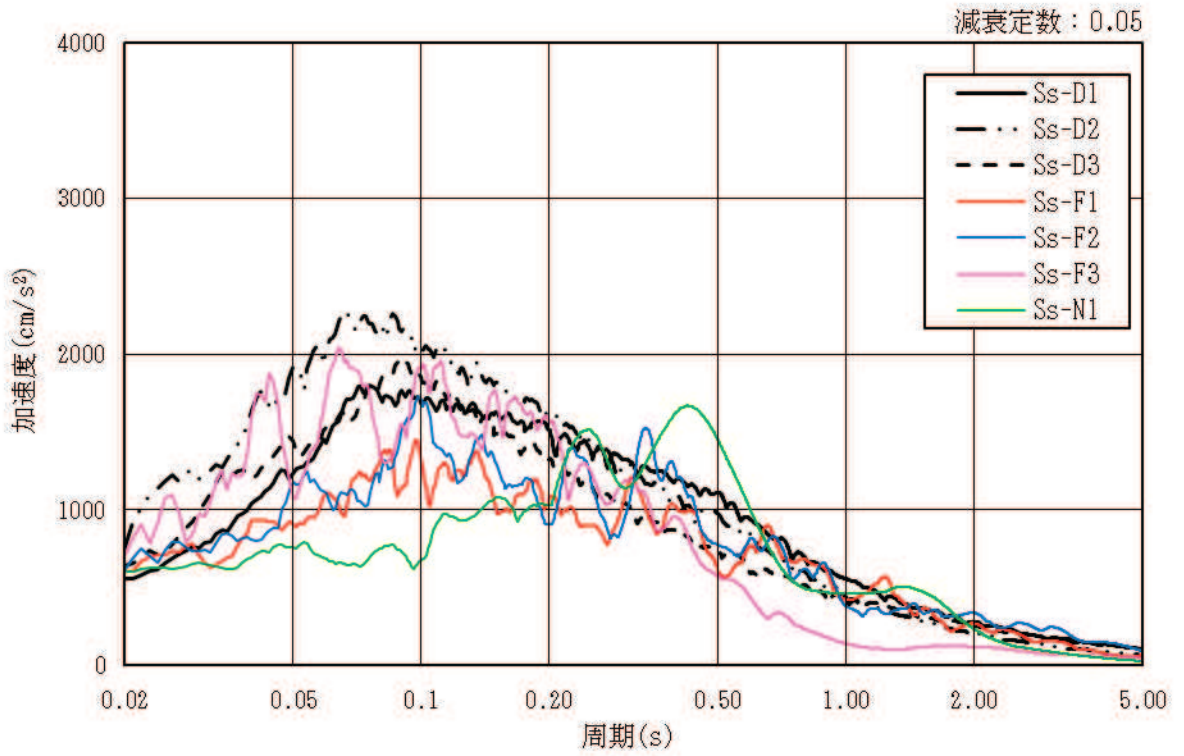


図 3-10 (1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 水平成分)

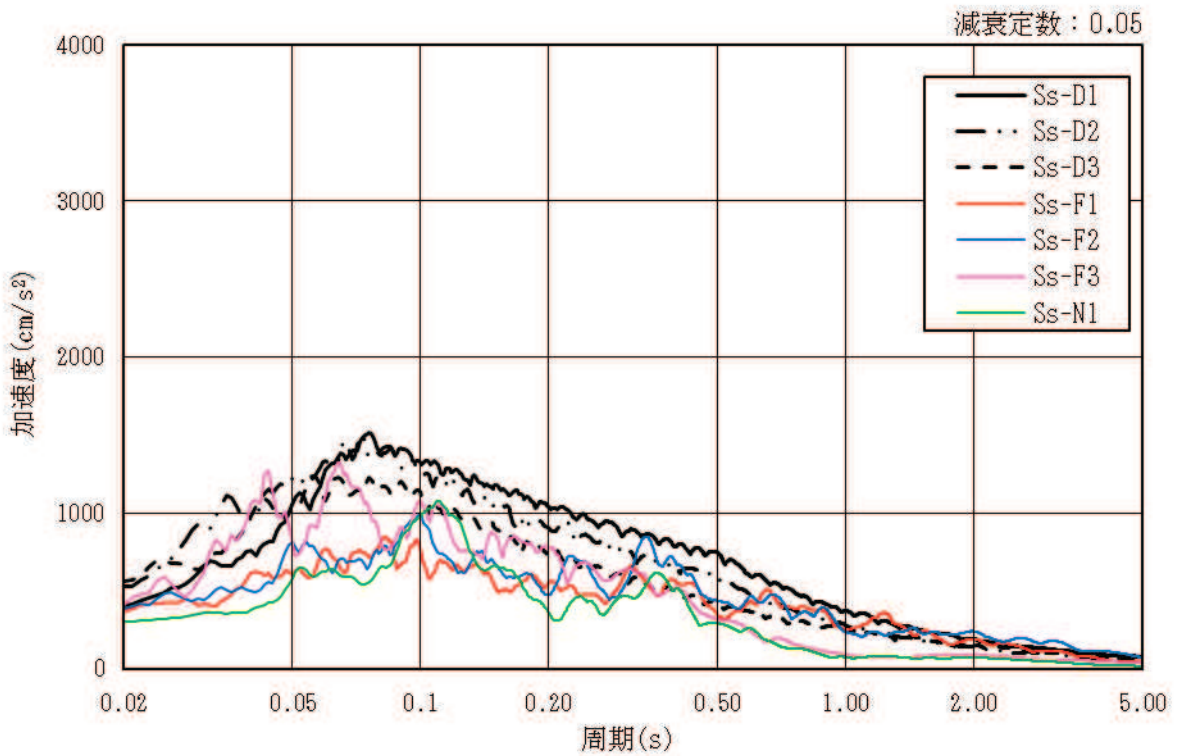
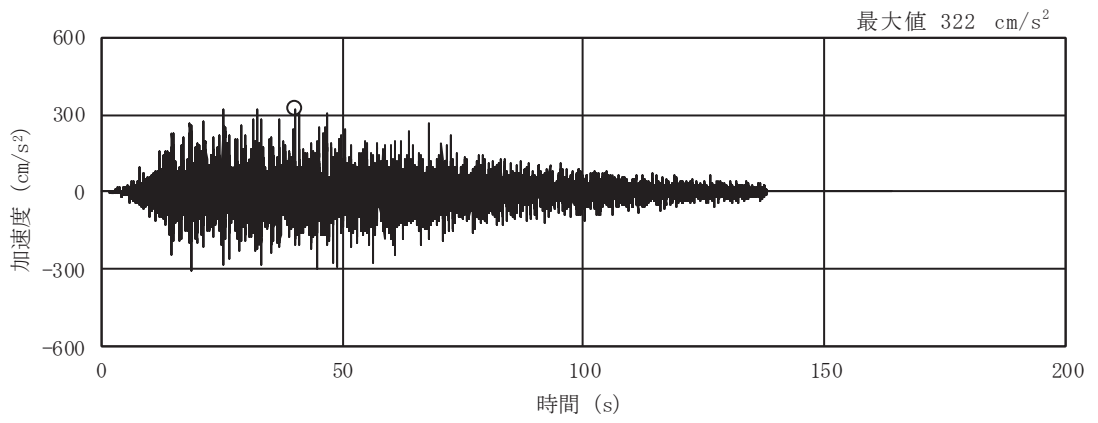
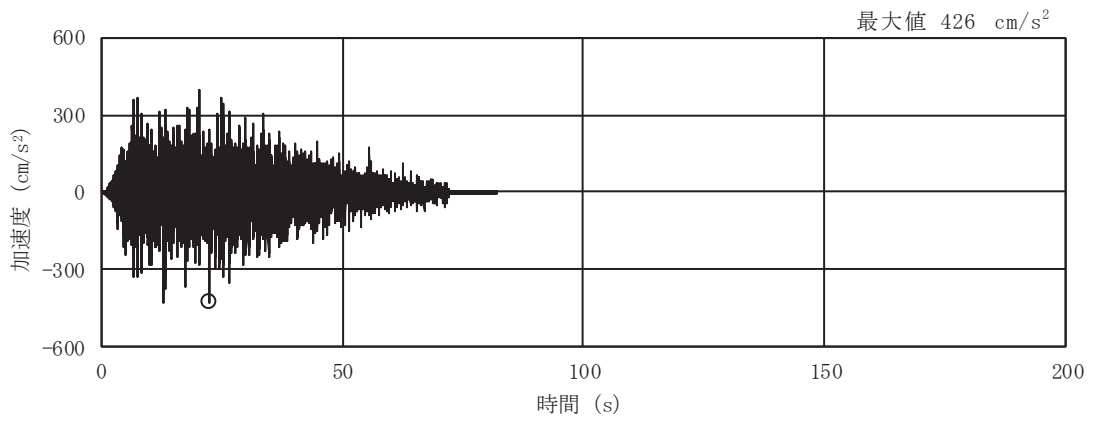


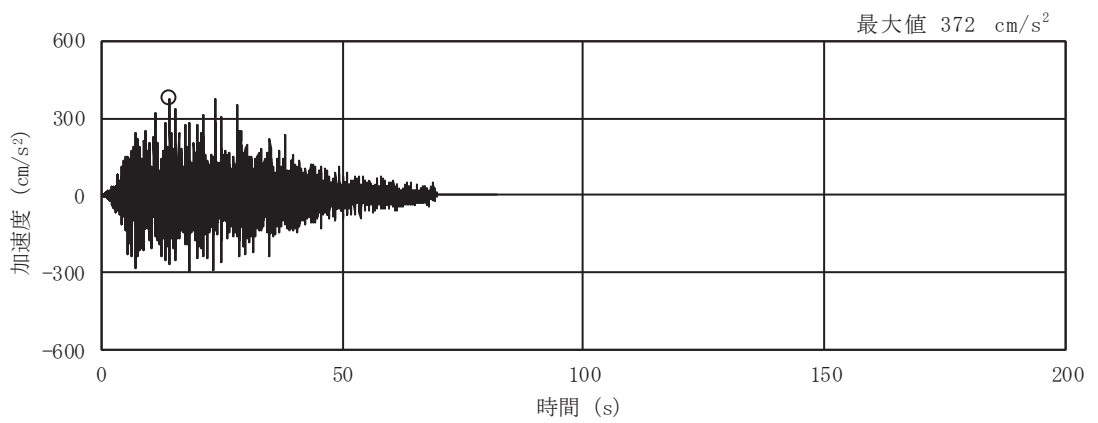
図 3-10 (2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 鉛直成分)



(a) S d - D 1

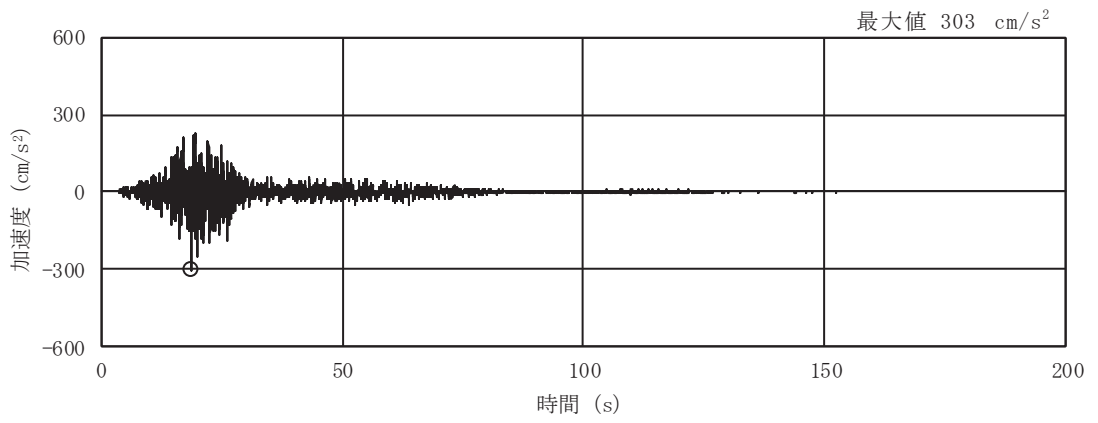


(b) S d - D 2

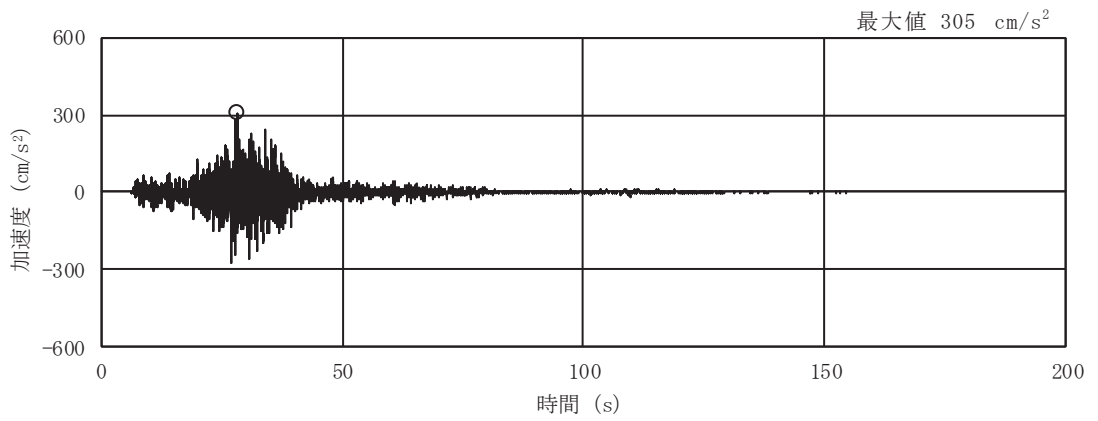


(c) S d - D 3

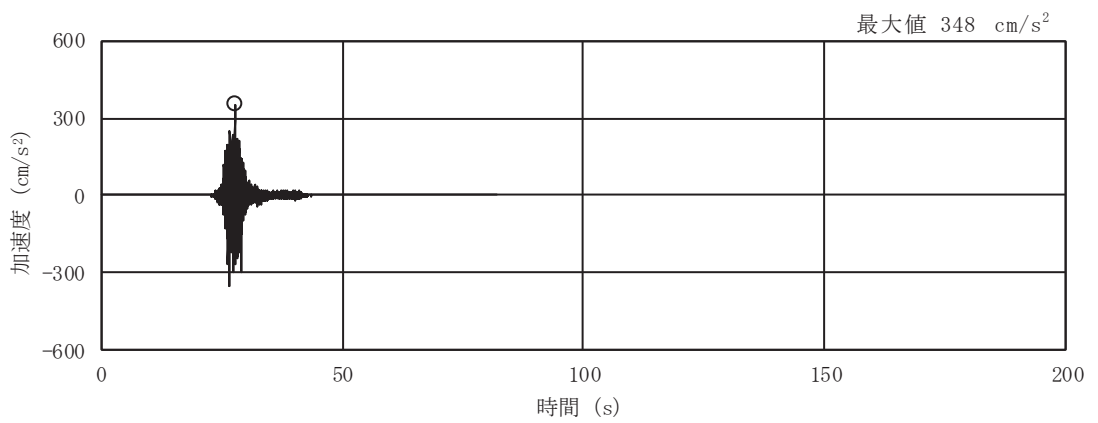
図 3-11(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, 水平成分) (1/3)



(d) S d - F 1

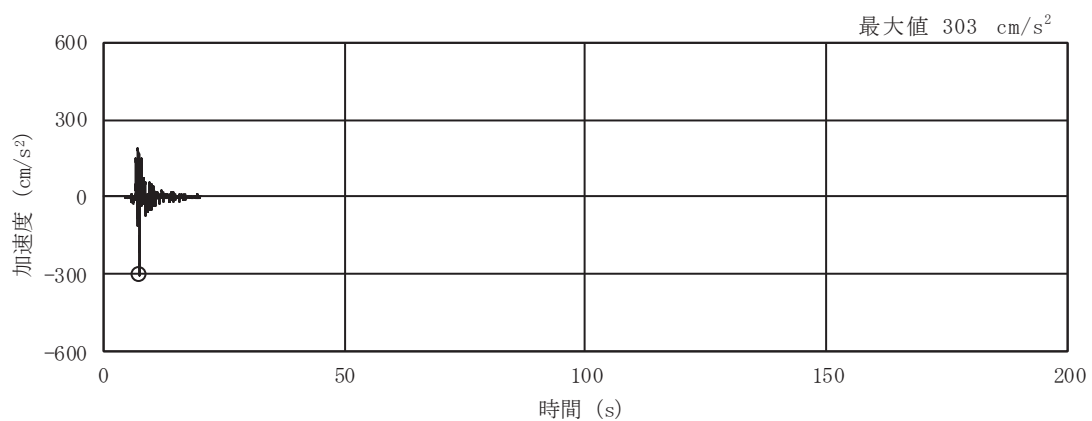


(e) S d - F 2



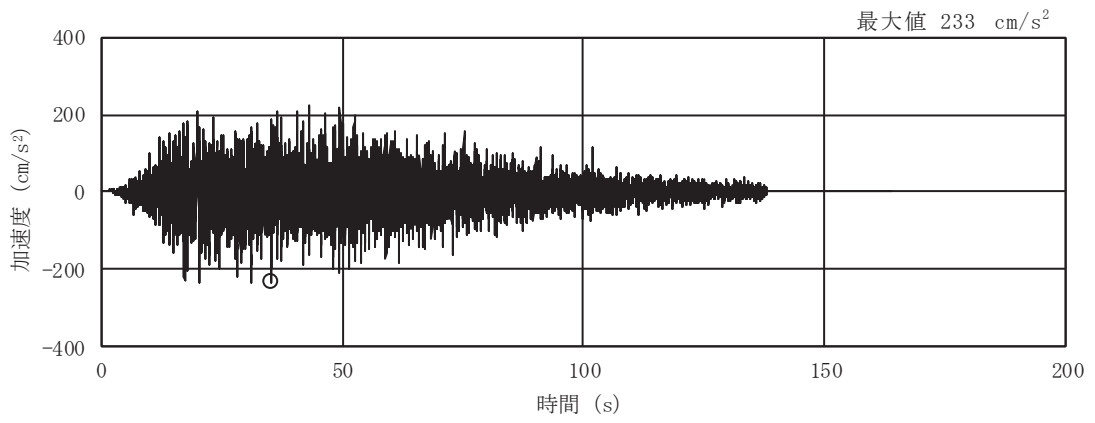
(f) S d - F 3

図 3-11(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, 水平成分) (2/3)

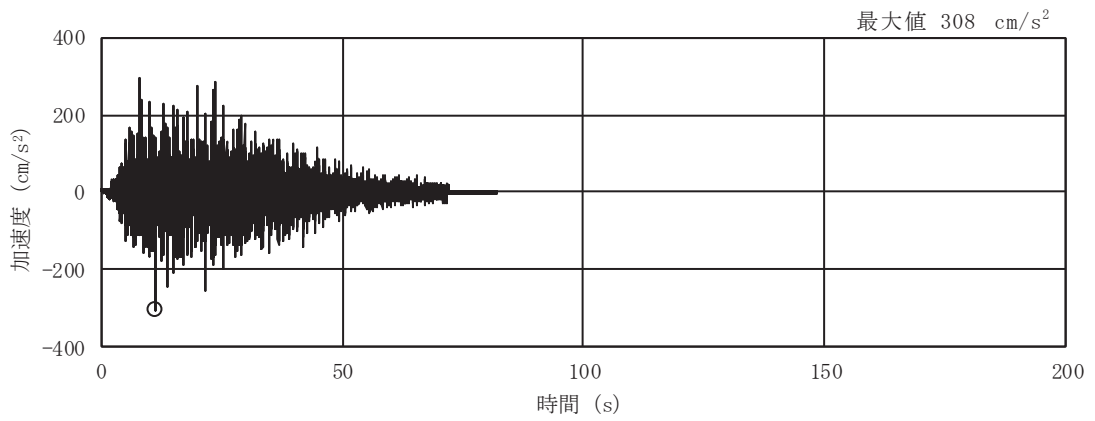


(g) S d - N 1

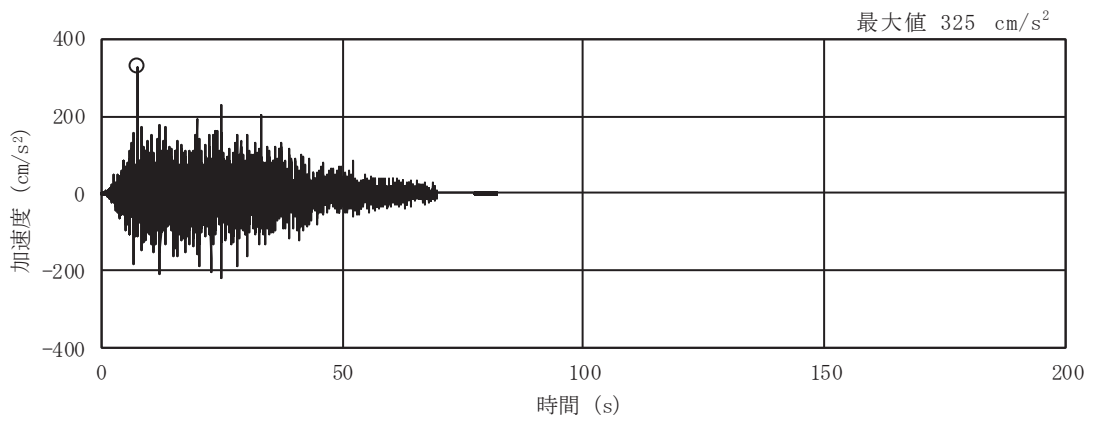
図 3-11(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, 水平成分) (3/3)



(a) S d - D 1

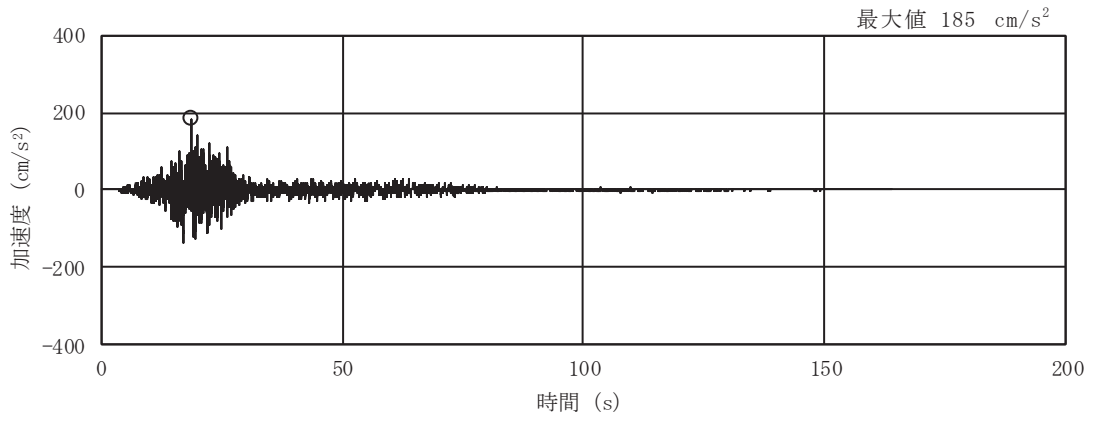


(b) S d - D 2

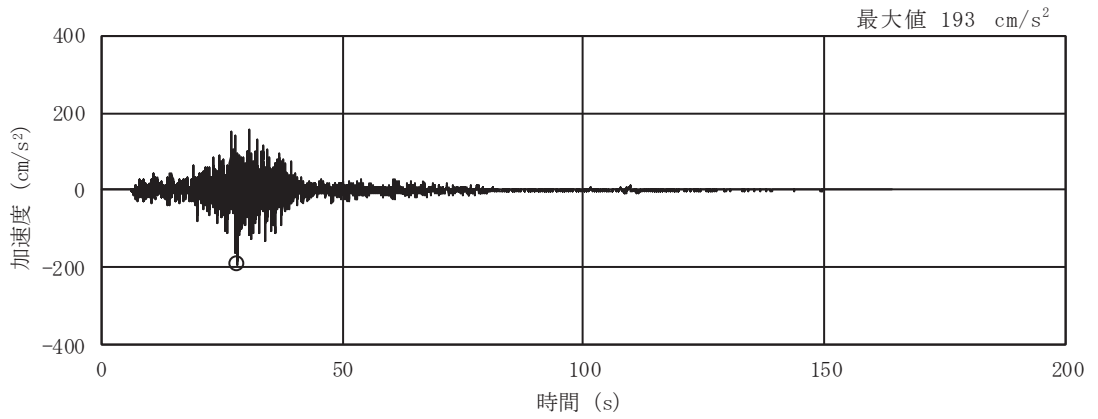


(c) S d - D 3

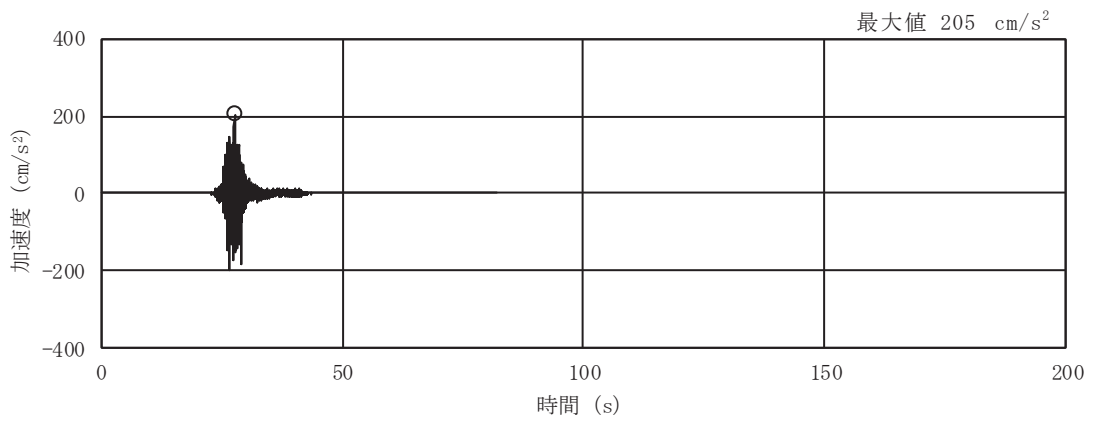
図 3-11(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, 鉛直成分) (1/3)



(d) S d - F 1

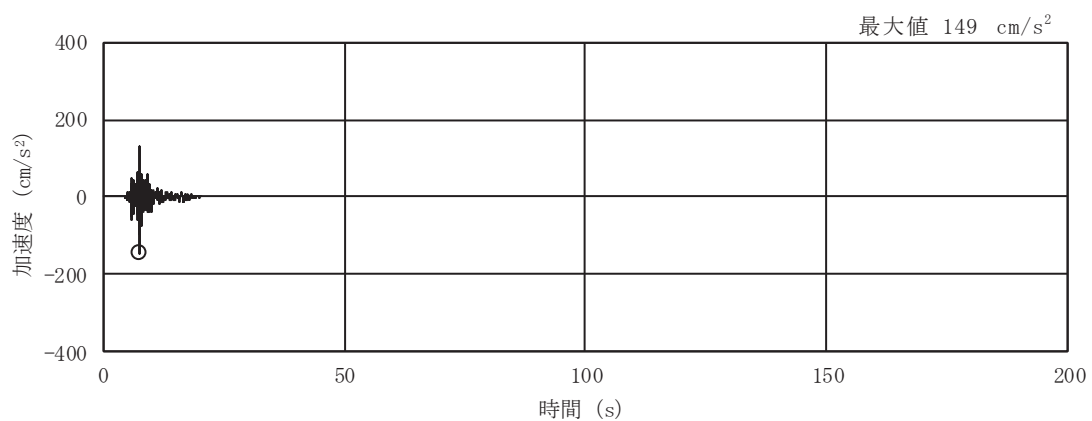


(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

図 3-11(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, 鉛直成分) (2/3)



(g) S d - N 1

図 3-11(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, 鉛直成分) (3/3)

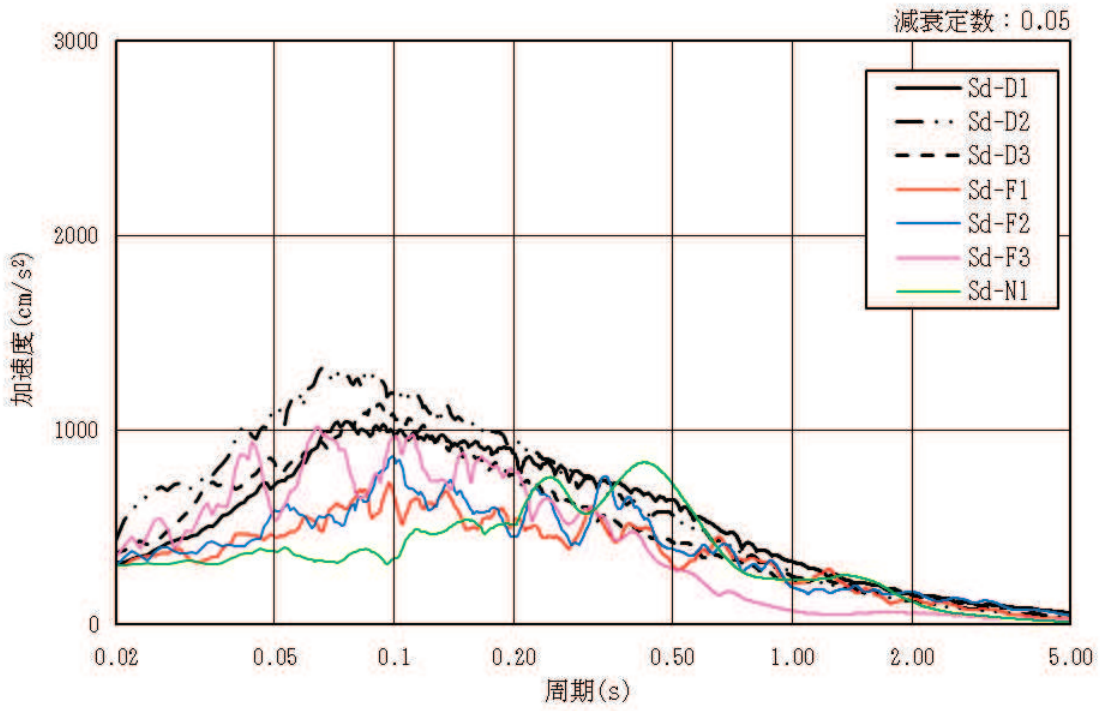


図 3-12(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , 水平成分)

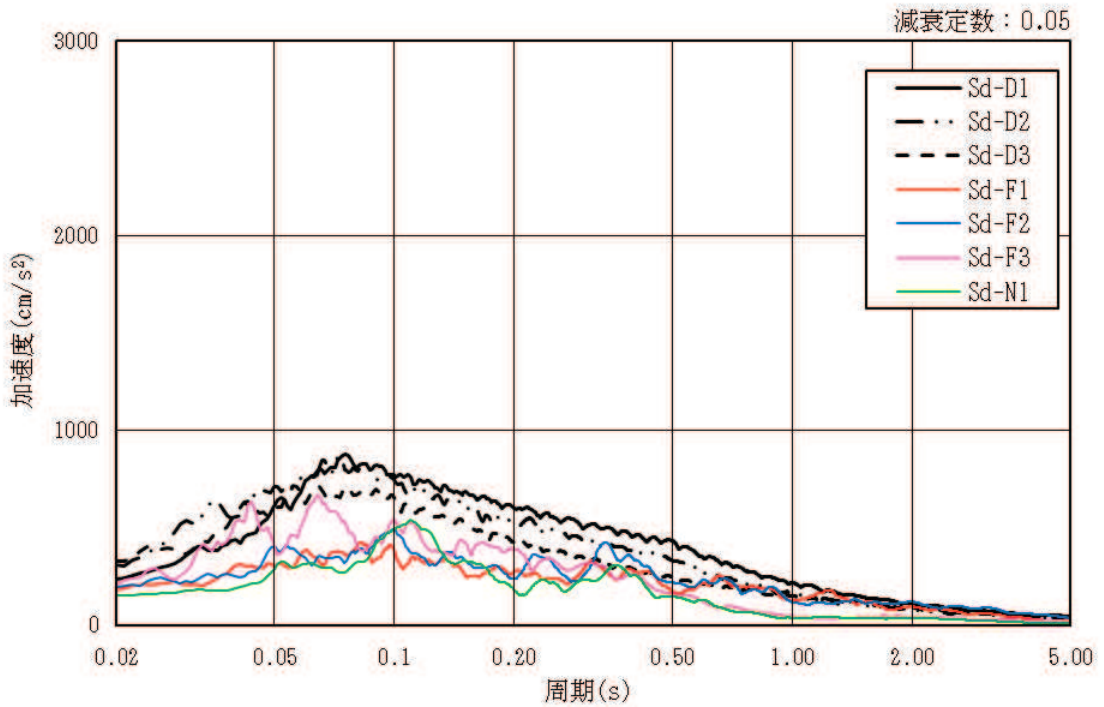


図 3-12(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , 鉛直成分)

3.6 解析モデル及び諸元

3.6.1 解析モデル

排気筒基礎の地震応答解析モデルを図3-13～図3-15に示す。

(1) 解析領域

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

(2) 境界条件

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

(3) 構造物のモデル化

筒身柱、鉄塔柱、つなぎはり及び基礎版の剛性を、構造物中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する線形はり要素と等価な質量を有する質点でモデル化する。排気筒は基礎の上端に質点として考慮する。また、基礎の構造部材と地盤の相互作用を考慮するため、構造部材に対して十分に剛な断面性能を有する仮想剛梁を水平方向に配置する。

(4) 地盤のモデル化

D₁級を除く岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土・旧表土及びD₂級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。充填コンクリートは、構造物中心位置での線形はり要素に質量と剛性を考慮する。

(5) 隣接構造物のモデル化

NS方向において隣接構造物となる排気筒連絡ダクト、第3号機排気筒連絡ダクトは、排気筒基礎の耐震評価において保守的な評価となるよう盛土としてモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

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

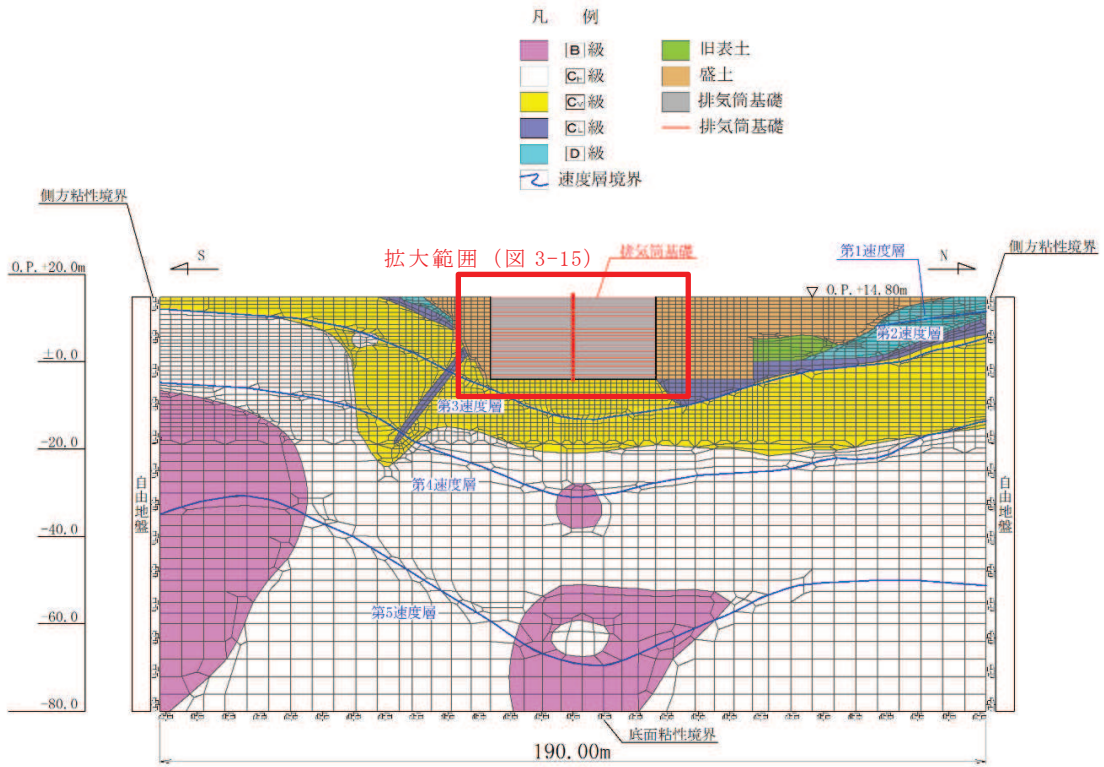


図 3-13 排気筒基礎の地震応答解析モデル図 (NS 断面)

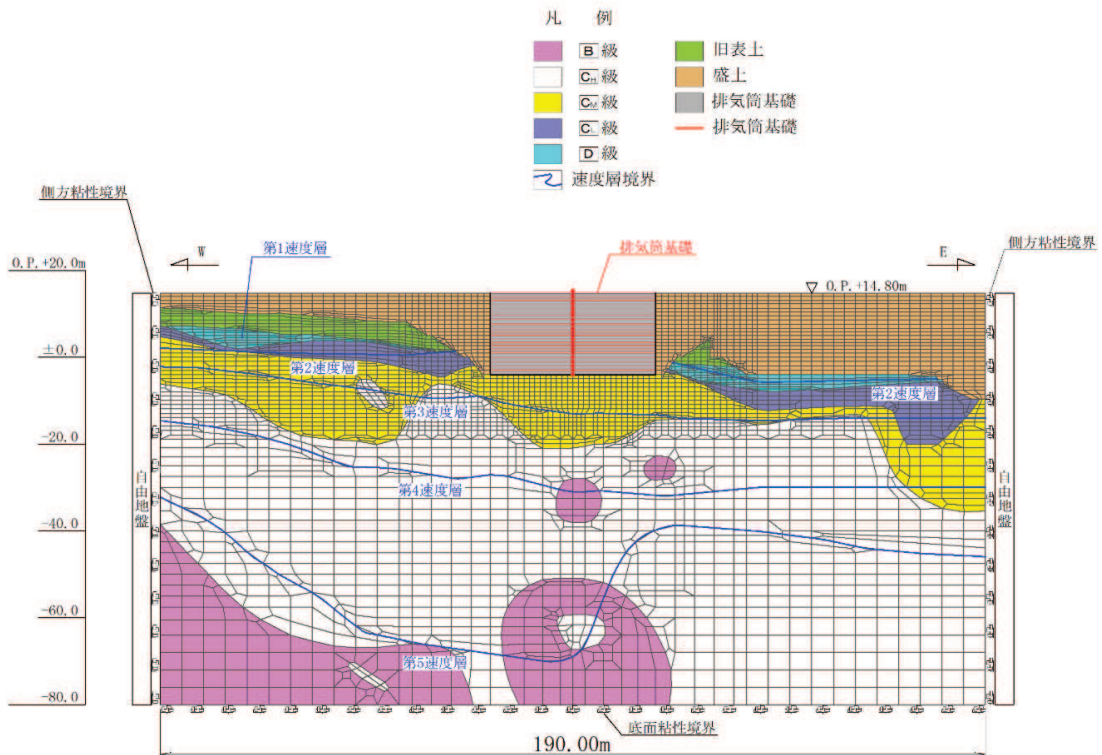
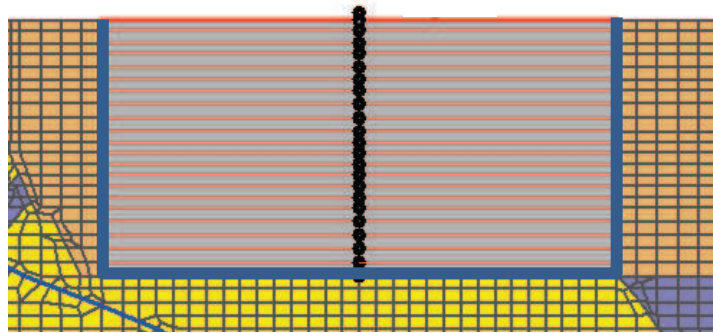


図 3-14 排気筒基礎の地震応答解析モデル図 (EW 断面)



- 凡例
- : 質点
(質点間は線形梁要素)
 - : 仮想剛梁
 - : ジョイント要素

図 3-15 排気筒基礎の地震応答解析モデル図 (拡大図)

3.6.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表3-7に示す。

表 3-7 使用材料の材料定数

使用材料	ヤング係数 E* (N/mm ²)	ポアソン比	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： F _c =20.5(N/mm ²) 鉄筋：SD345	2.15×10 ⁴ (3.34×10 ⁴)	0.2	鉄筋コンクリート部 (筒身柱，鉄塔柱，つ なぎはり，基礎版)
コンクリート： F _c =18.0(N/mm ²)	2.06×10 ⁴ (3.34×10 ⁴)	0.2	充填コンクリート部

注記*：括弧内は，既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果に基づくヤング係数

3.6.3 地盤の物性値

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

3.6.4 地下水位

設計用地下水位は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い、地表面に設定する。設計用地下水位の一覧を表3-8に、設計用地下水位を図3-16及び図3-17に示す。

表 3-8 設計用地下水位の一覧

施設名称	地震時荷重算出断面	設計用地下水位
排気筒基礎	NS 断面	O. P. 14. 8m
	EW 断面	O. P. 14. 8m

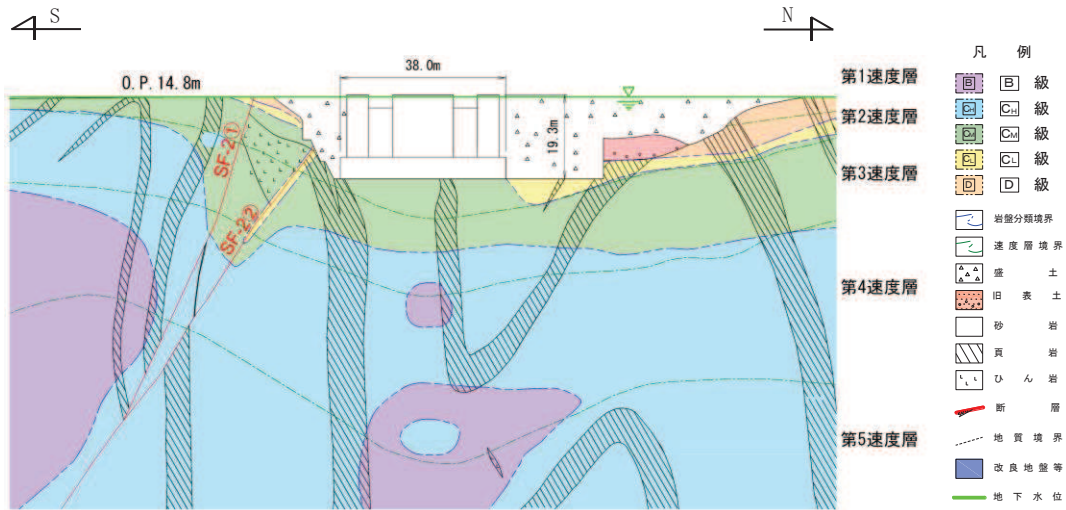


図 3-16 設計用地下水位 (NS 断面)

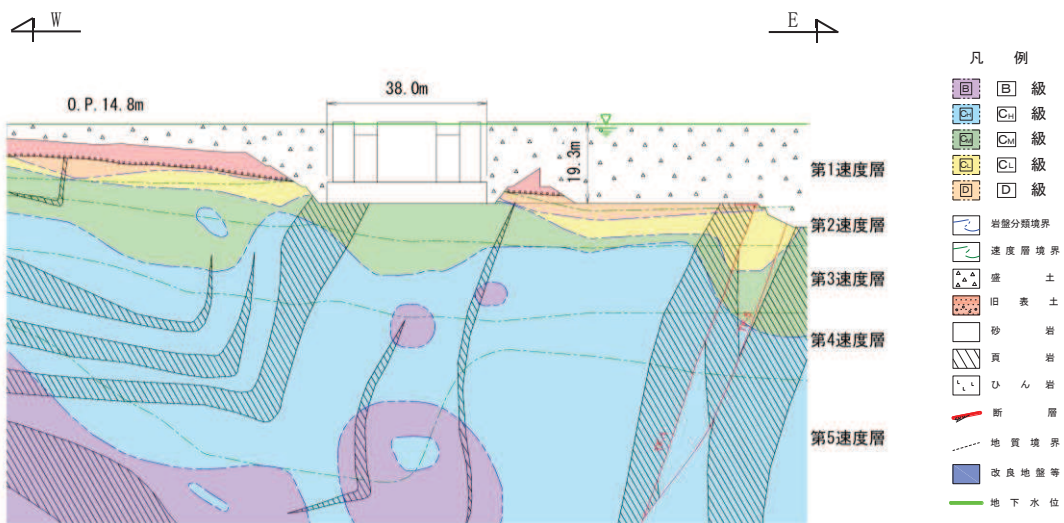


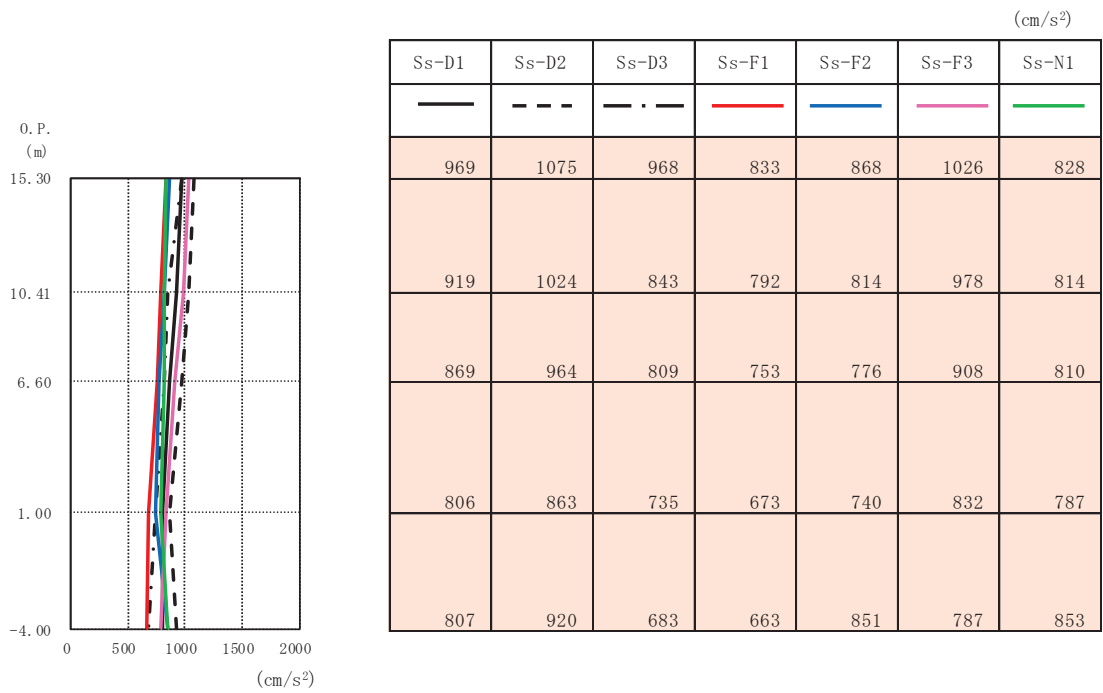
図 3-17 設計用地下水位 (EW 断面)

4. 解析結果

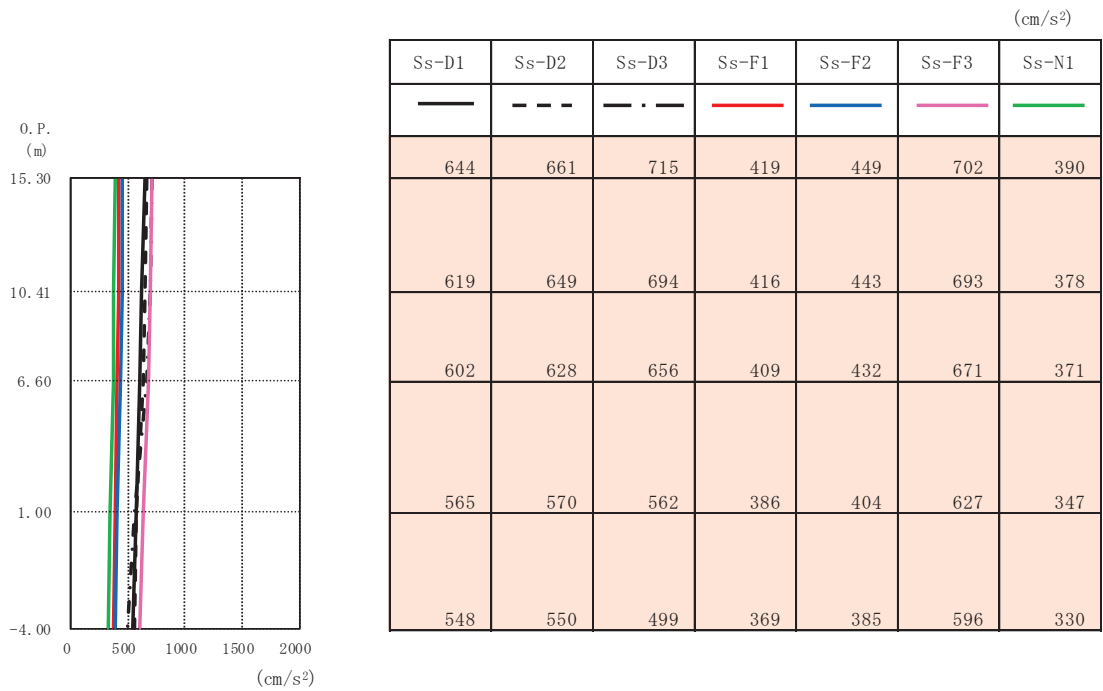
4.1 地震応答解析結果

基本ケース（ケース①）、地盤物性の不確かさ（ケース②、③）及び材料物性の不確かさ（ケース④）の地震応答解析結果を示す。排気筒基礎のNS断面及びEW断面の基準地震動 S_s による最大応答加速度を図4-1～図4-16に、弾性設計用地震動 S_d による最大応答加速度を図4-17～図4-32に示す。

また、排気筒基礎地盤の支持性能評価に用いる接地圧を表4-1に示す。なお、接地圧は二次元有限要素法における底面地盤ばね反力から求めていることから、最大転倒モーメント及び鉛直力の値は用いていないが、参考として示す。

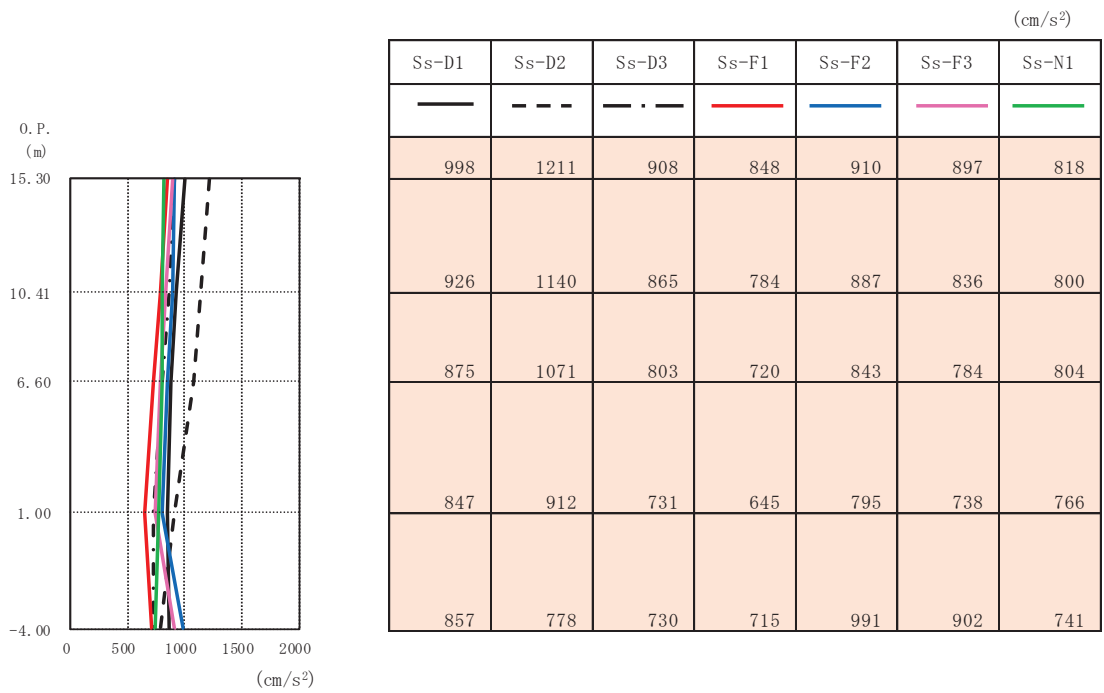


(a) 水平方向

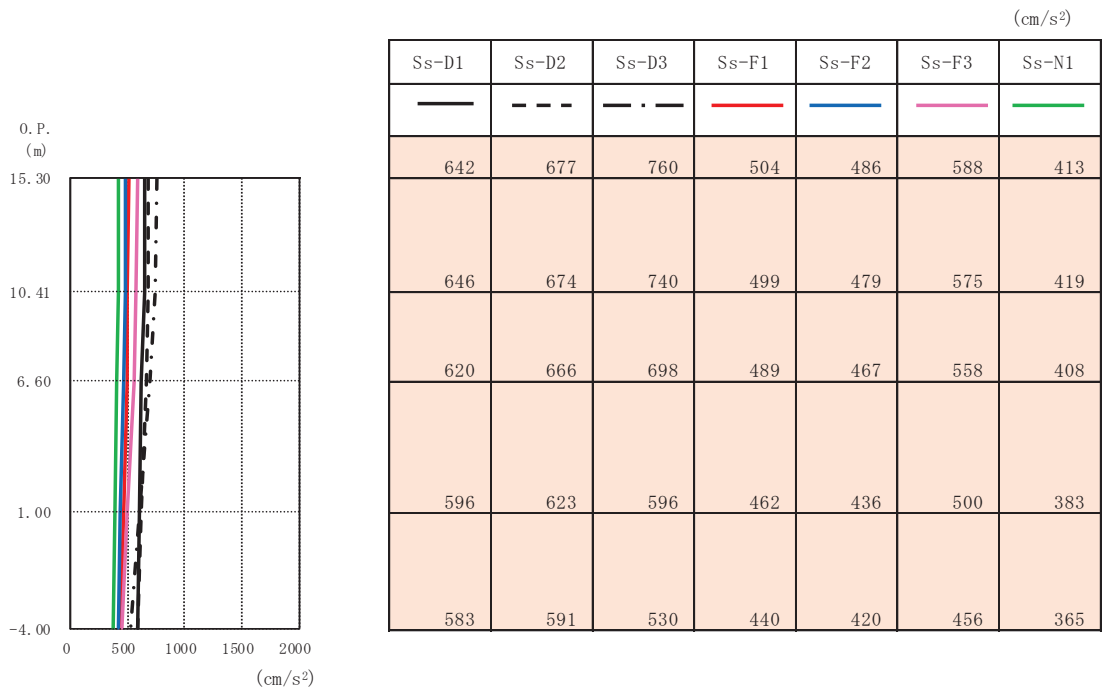


(b) 鉛直方向

図 4-1 最大応答加速度 (基準地震動 S_s(++), ケース①, NS 断面)

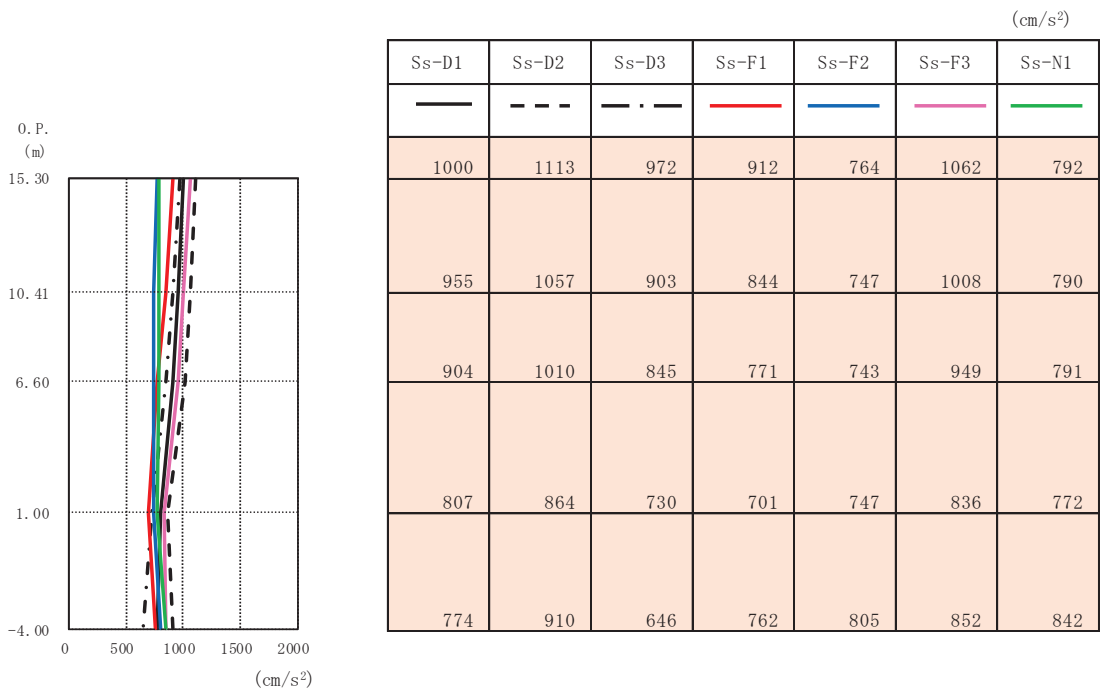


(a) 水平方向

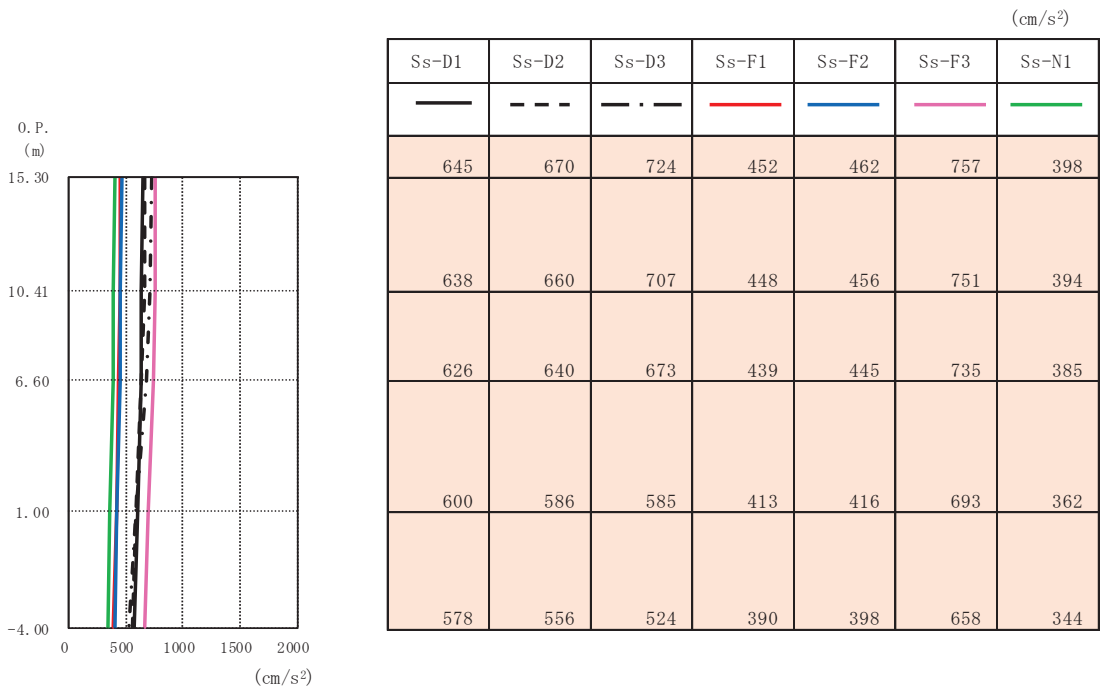


(b) 鉛直方向

図 4-2 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (-+), ケース①, NS 断面)

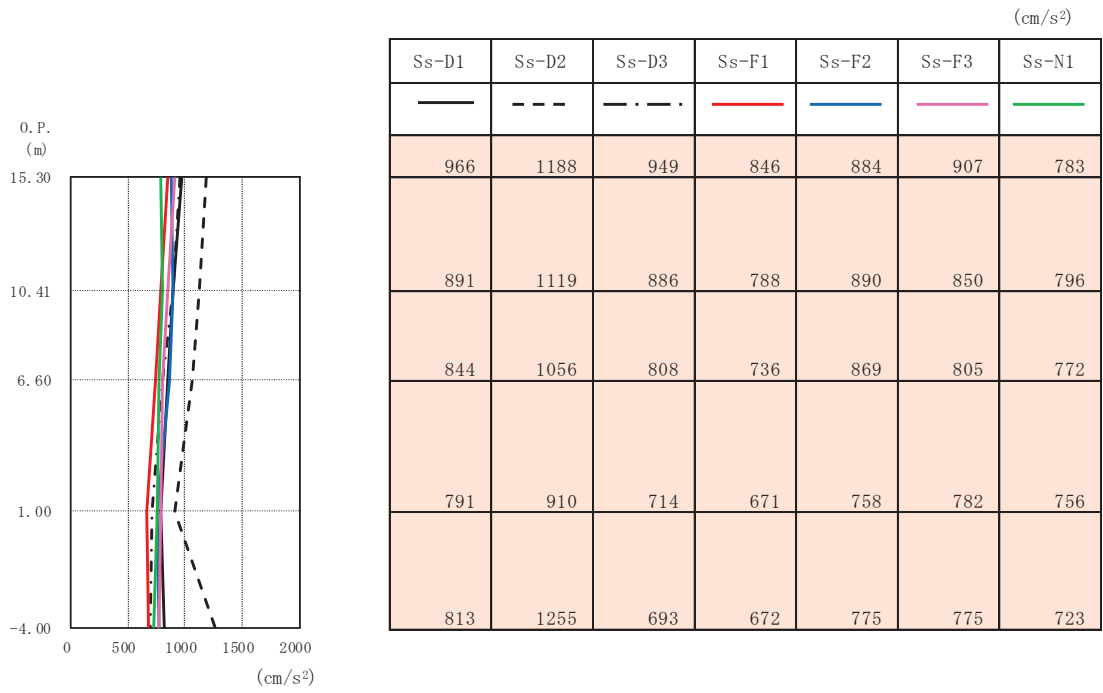


(a) 水平方向

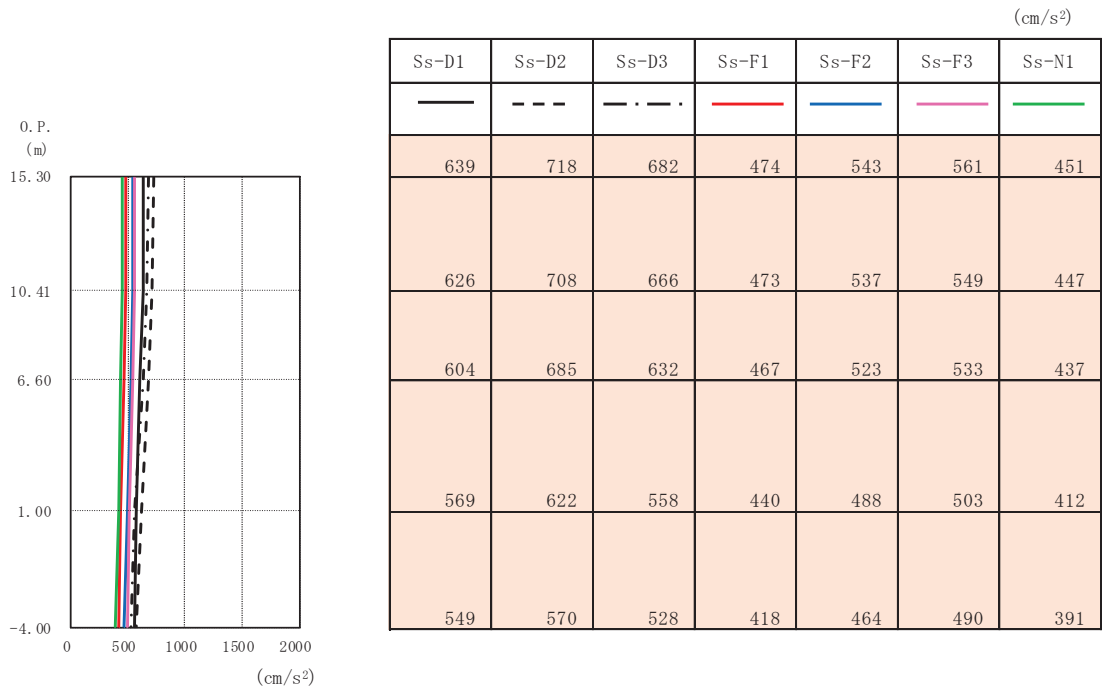


(b) 鉛直方向

図 4-3 最大応答加速度 (基準地震動 S s (++) , ケース②, NS 断面)

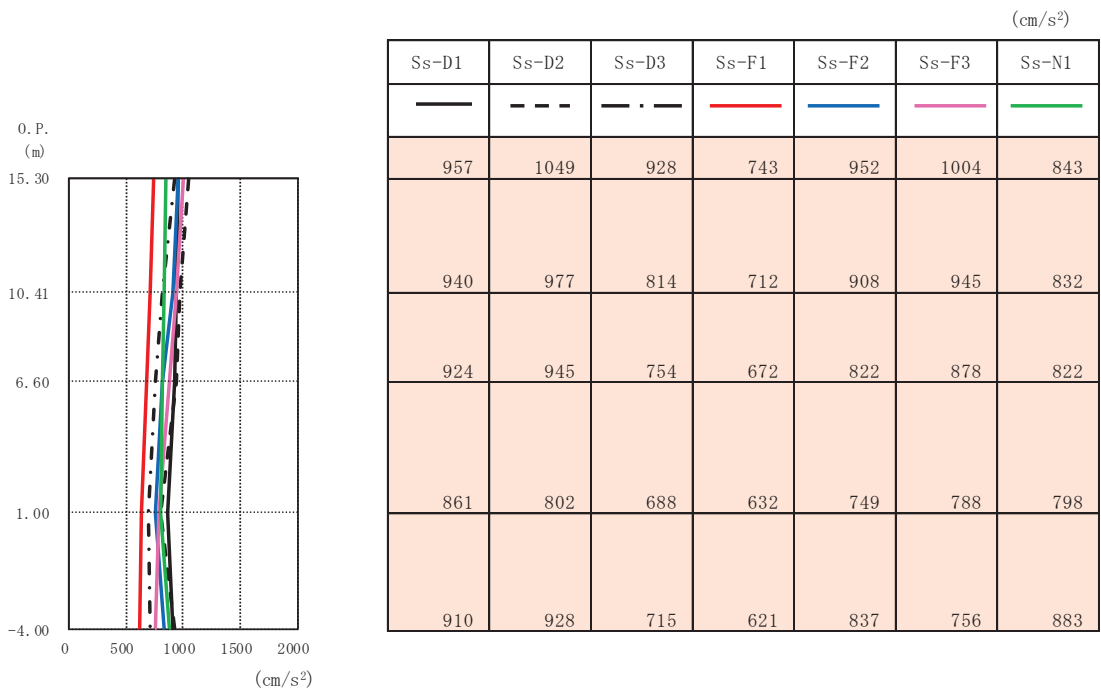


(a) 水平方向

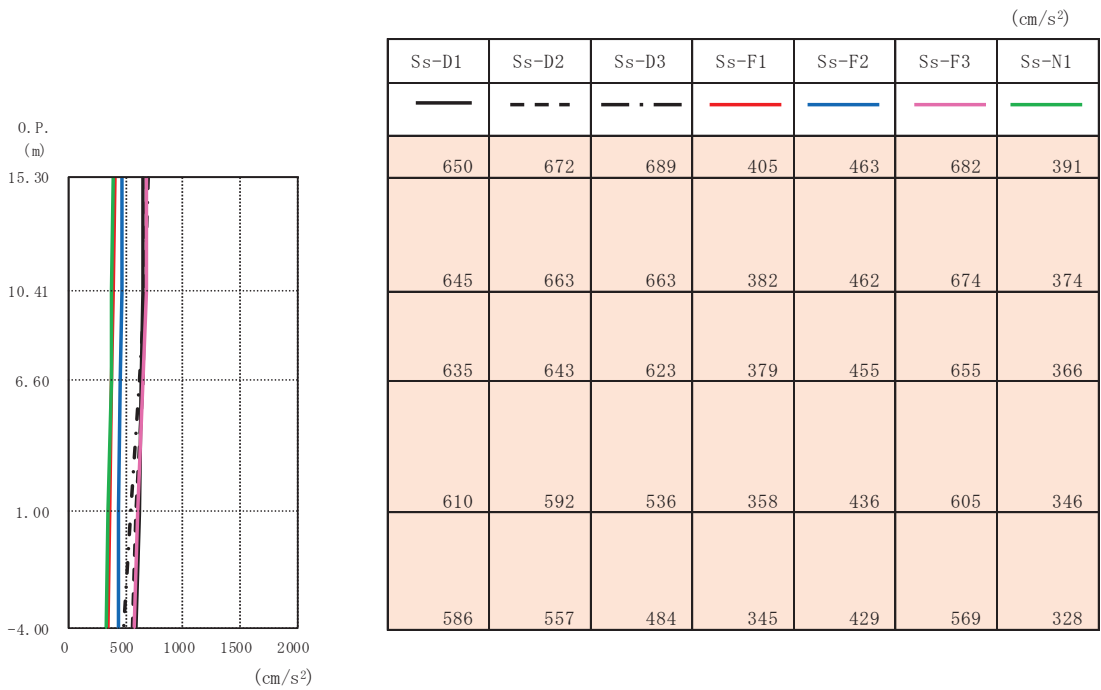


(b) 鉛直方向

図 4-4 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (-+), ケース②, NS 断面)

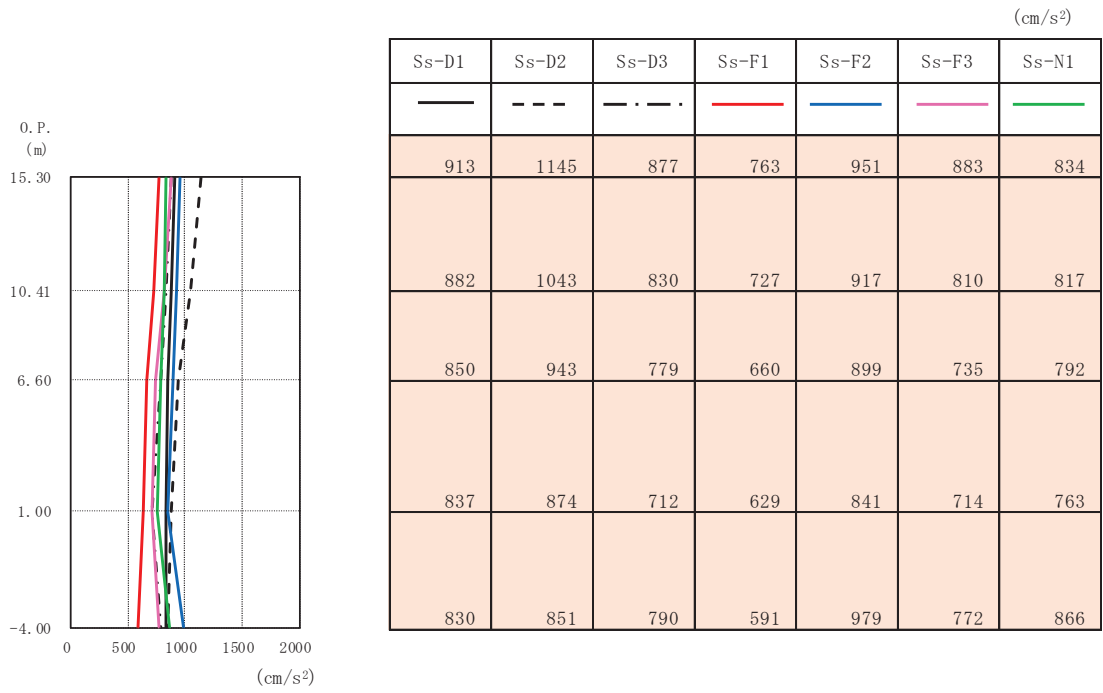


(a) 水平方向

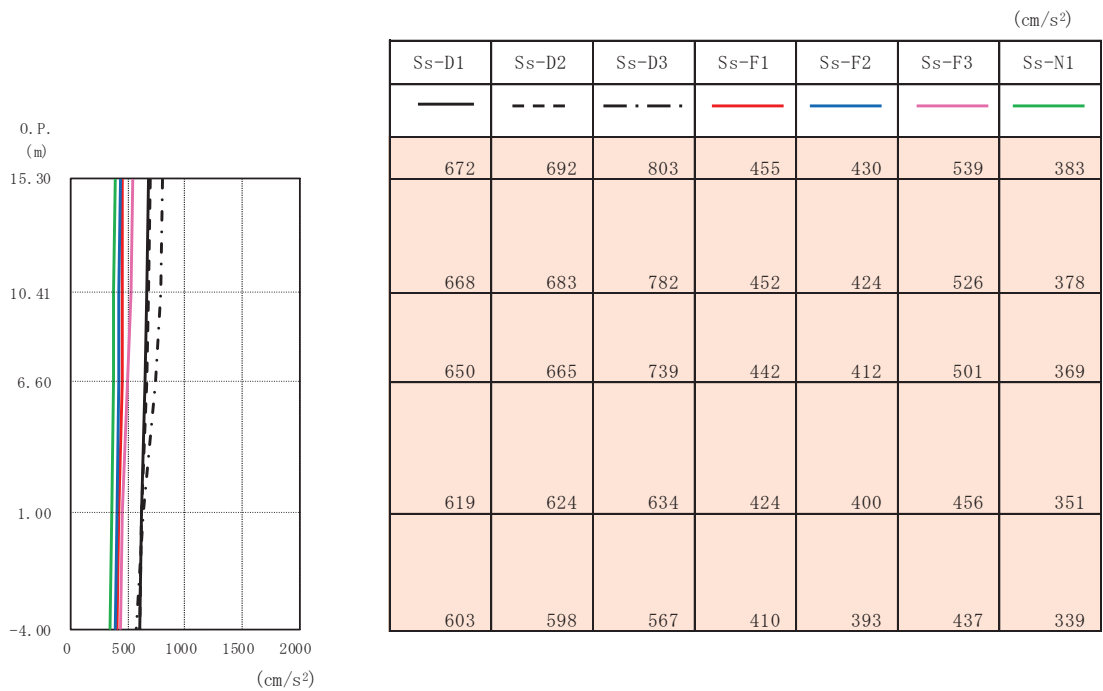


(b) 鉛直方向

図 4-5 最大応答加速度 (基準地震動 S s (++) , ケース③, NS 断面)

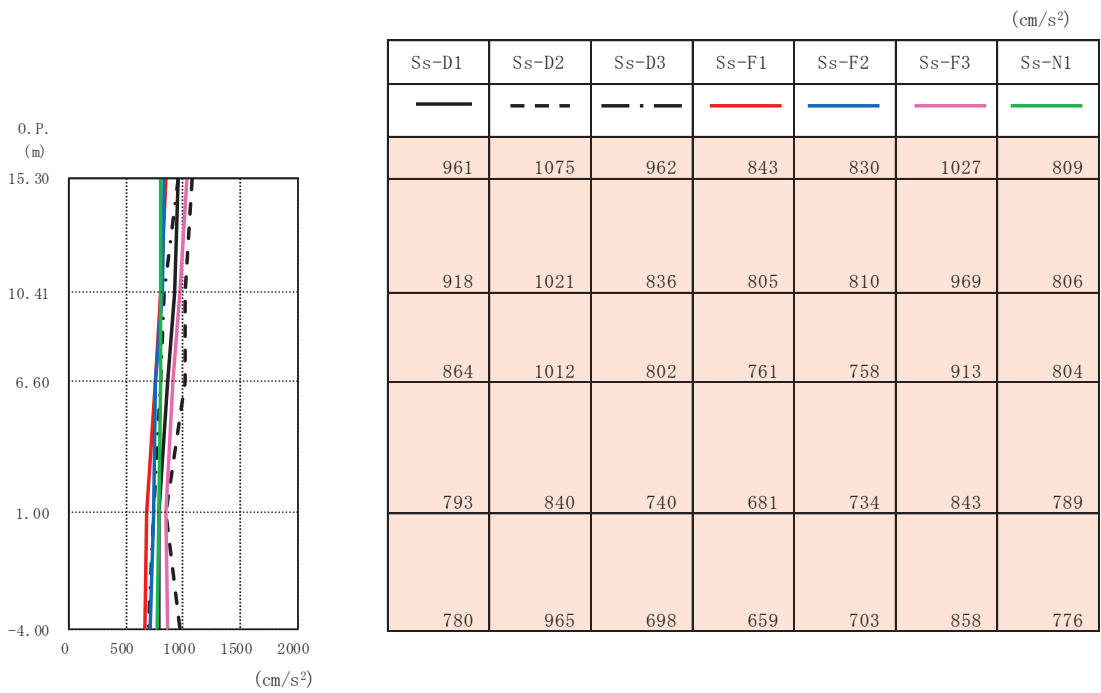


(a) 水平方向

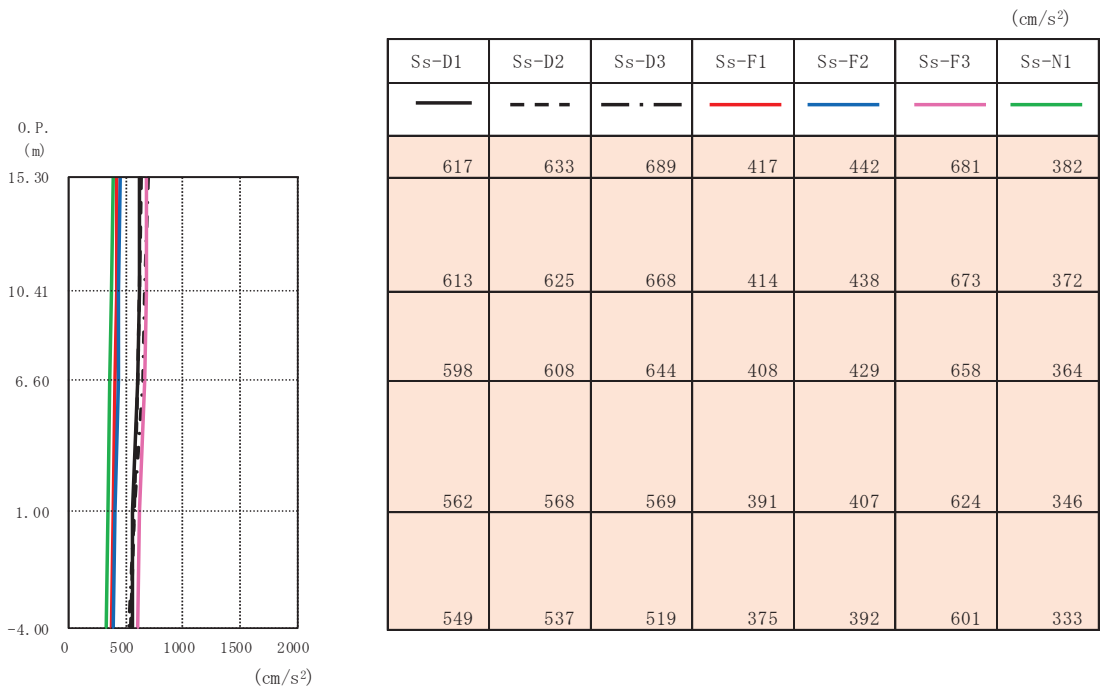


(b) 鉛直方向

図 4-6 最大応答加速度 (基準地震動 S s (-+), ケース③, NS 断面)

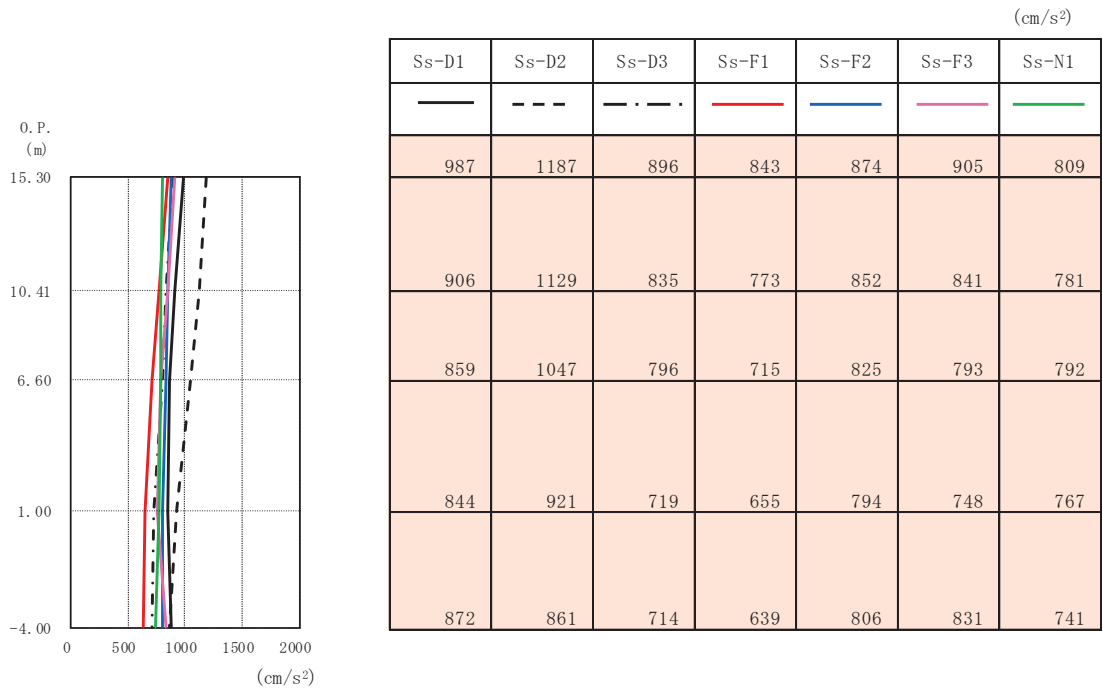


(a) 水平方向

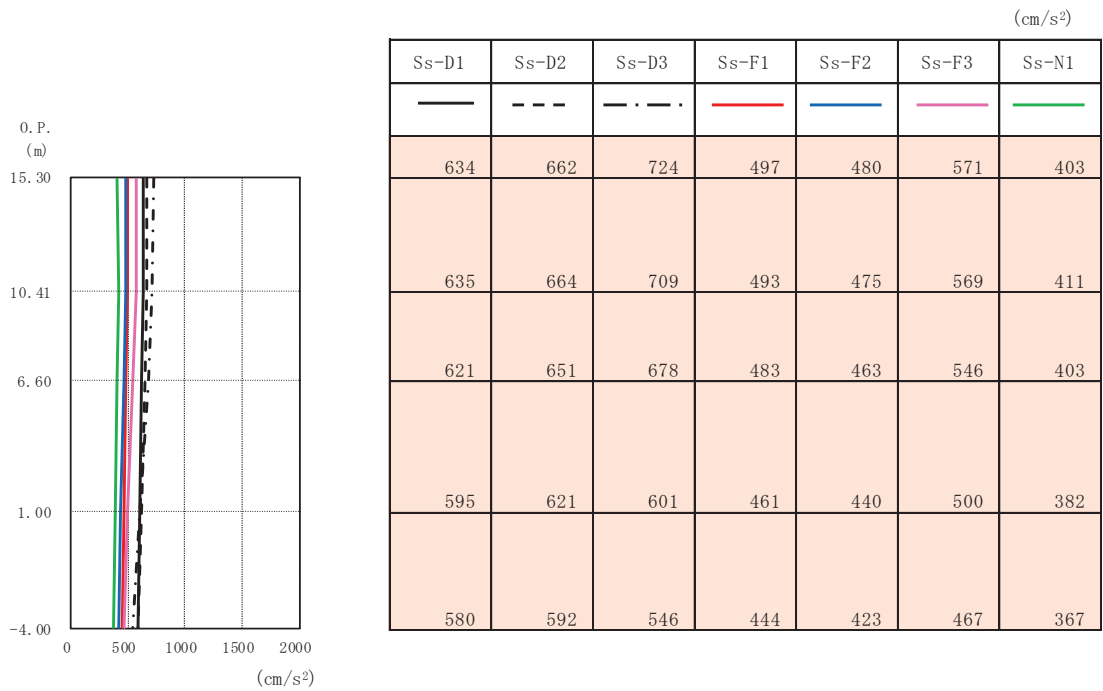


(b) 鉛直方向

図 4-7 最大応答加速度 (基準地震動 S s (++) , ケース④, NS 断面)

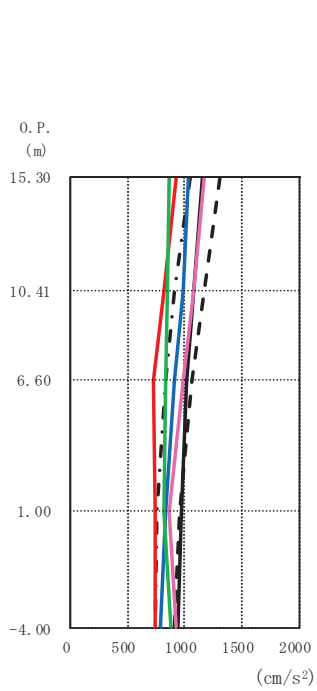


(a) 水平方向



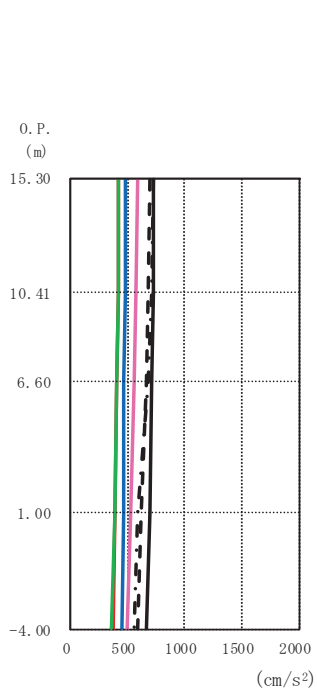
(b) 鉛直方向

図 4-8 最大応答加速度 (基準地震動 S s (-+), ケース④, NS 断面)



(cm/s ²)						
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1
1148	1307	1051	916	1029	1165	862
1079	1170	909	816	980	1075	850
1011	1067	839	729	906	990	835
968	961	757	734	829	864	824
932	913	735	734	788	920	881

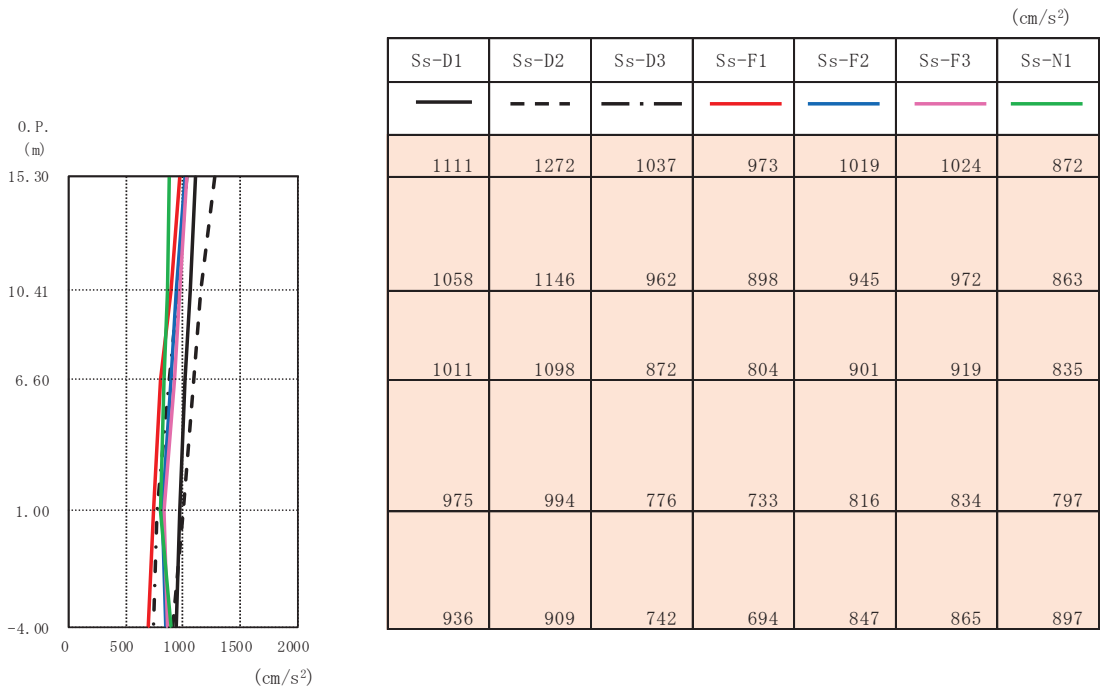
(a) 水平方向



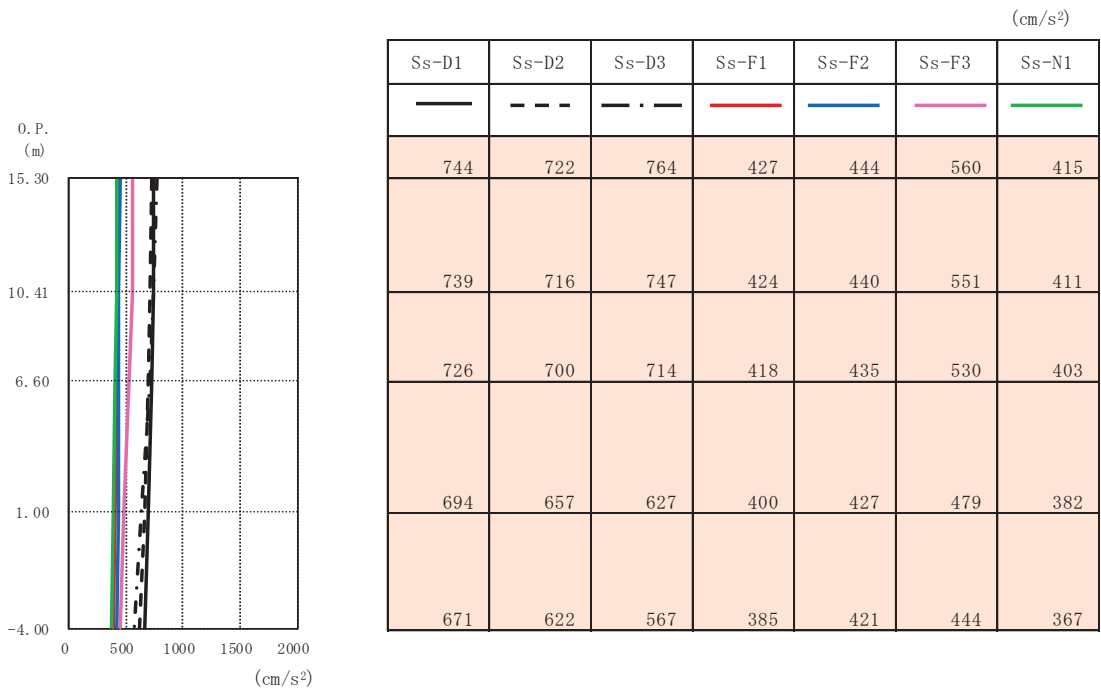
(cm/s ²)						
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1
732	696	723	419	479	584	415
725	686	707	416	477	577	411
716	666	672	409	472	563	403
688	616	591	389	458	524	381
666	580	549	373	445	493	363

(b) 鉛直方向

図 4-9 最大応答加速度 (基準地震動 S s (++) , ケース①, EW 断面)

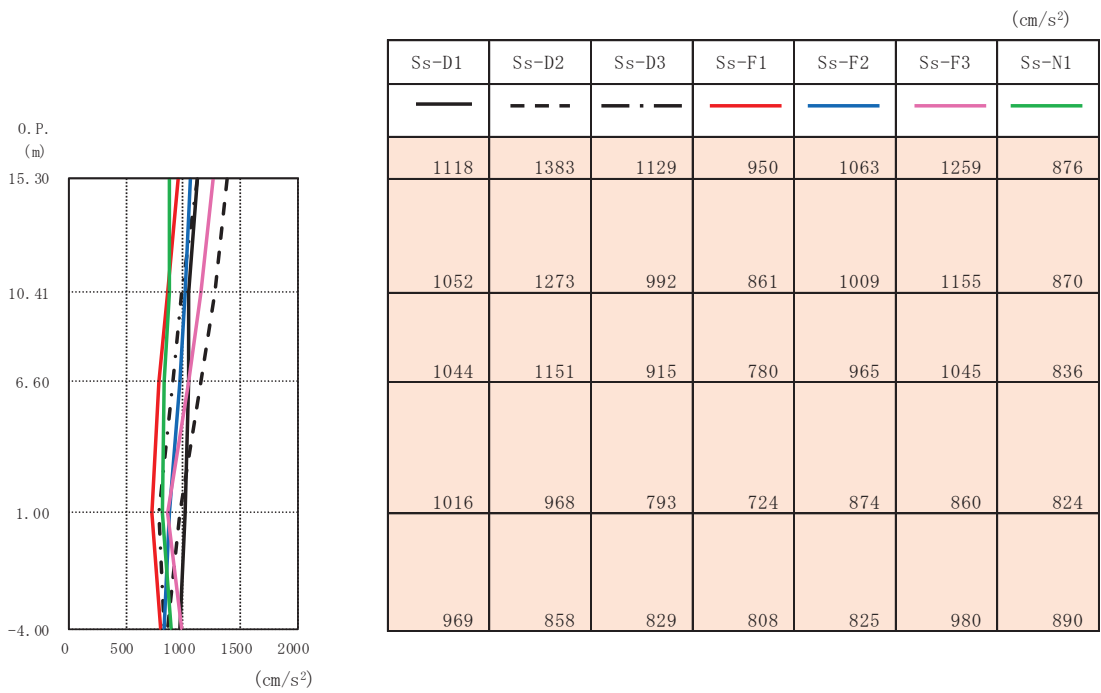


(a) 水平方向

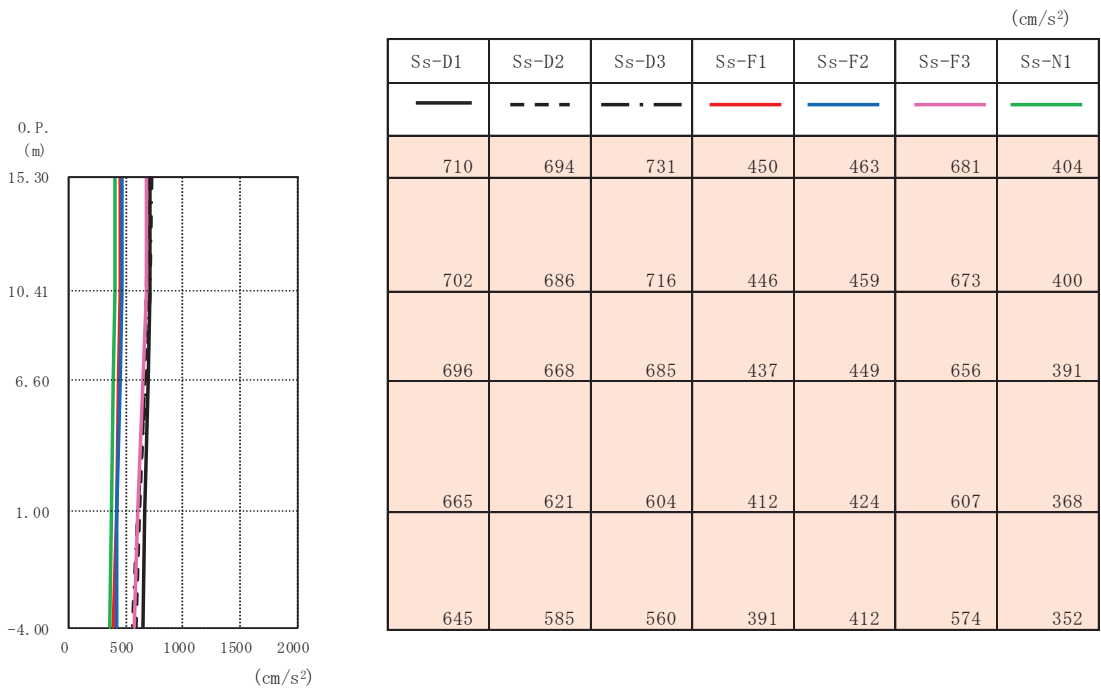


(b) 鉛直方向

図 4-10 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (-+), ケース①, EW 断面)

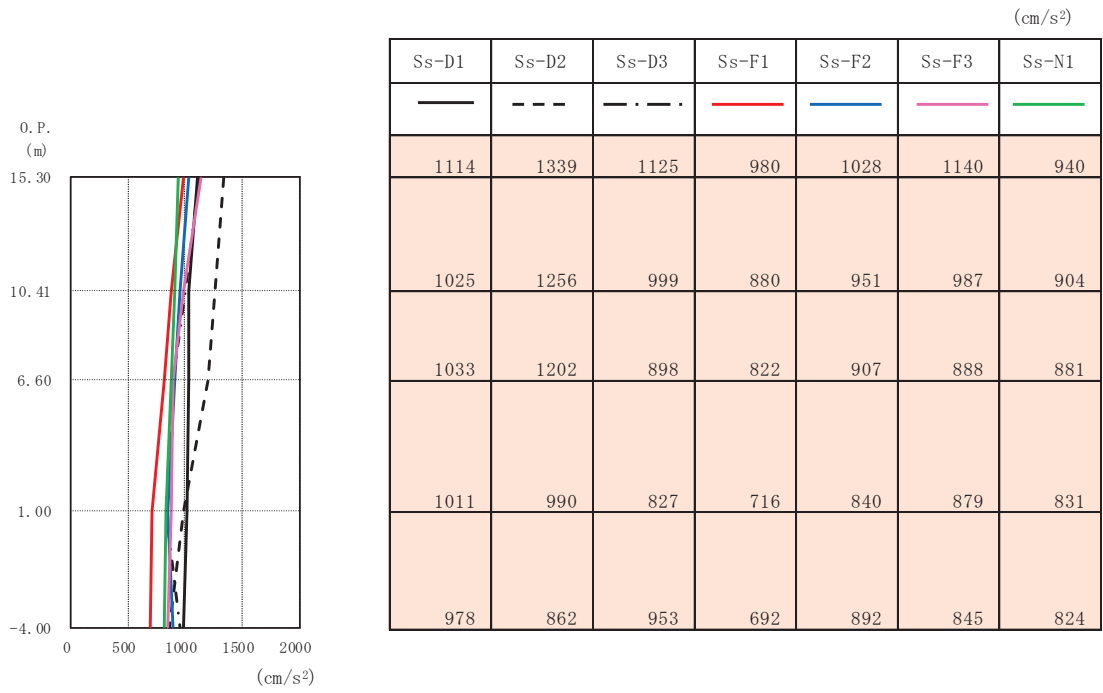


(a) 水平方向

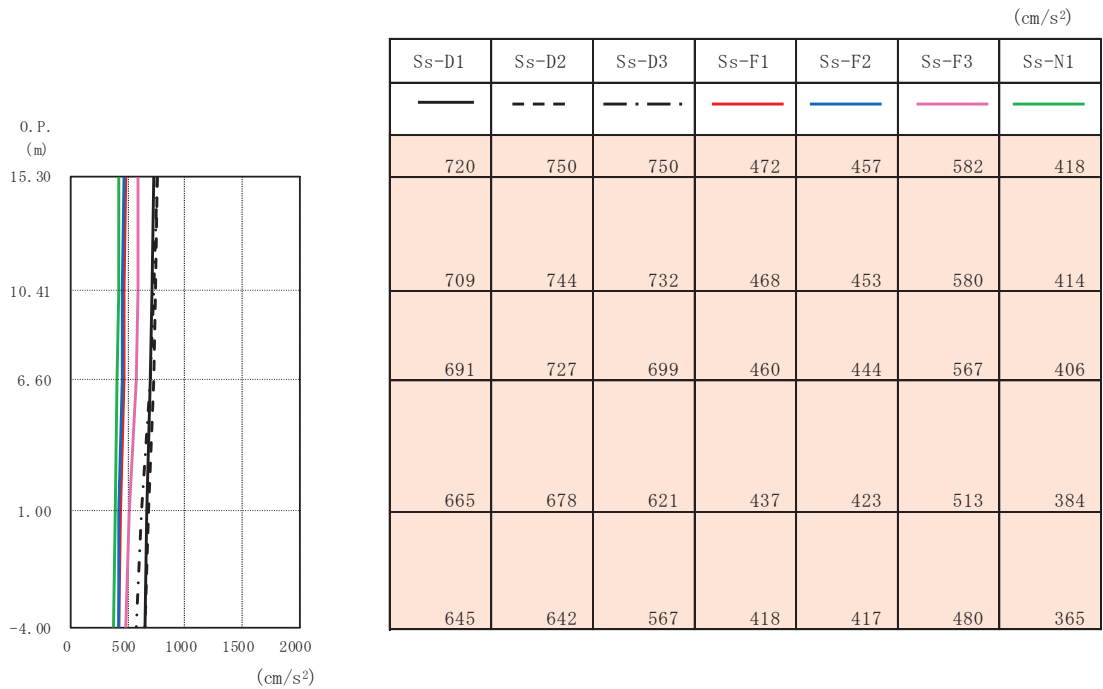


(b) 鉛直方向

図 4-11 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (++) , ケース②, EW 断面)

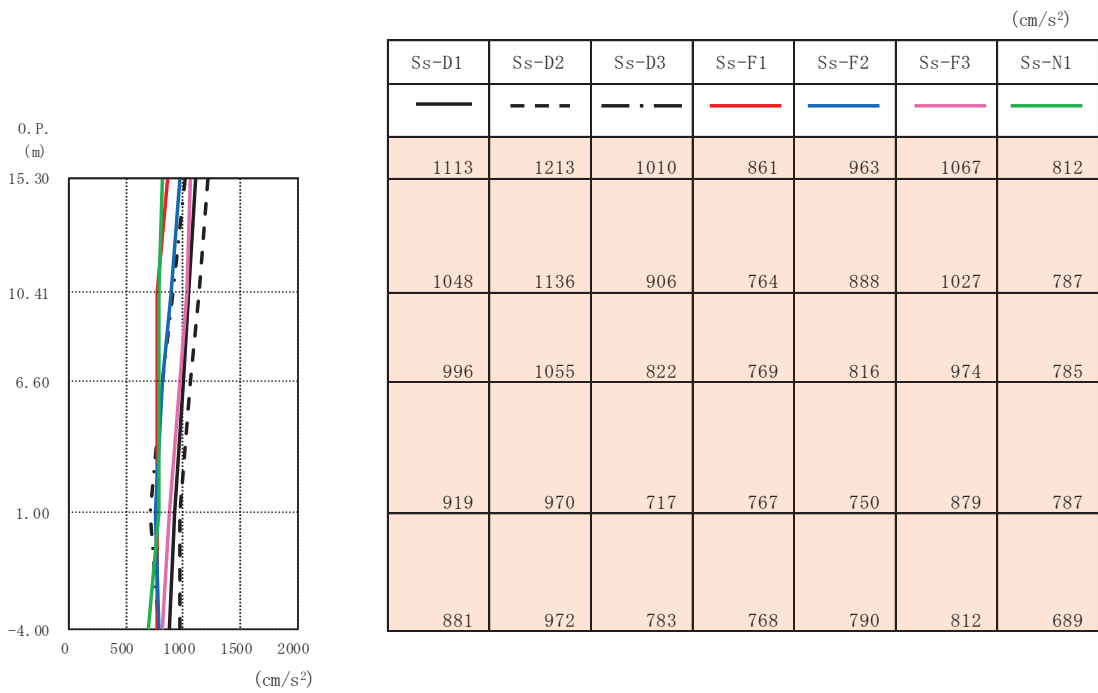


(a) 水平方向

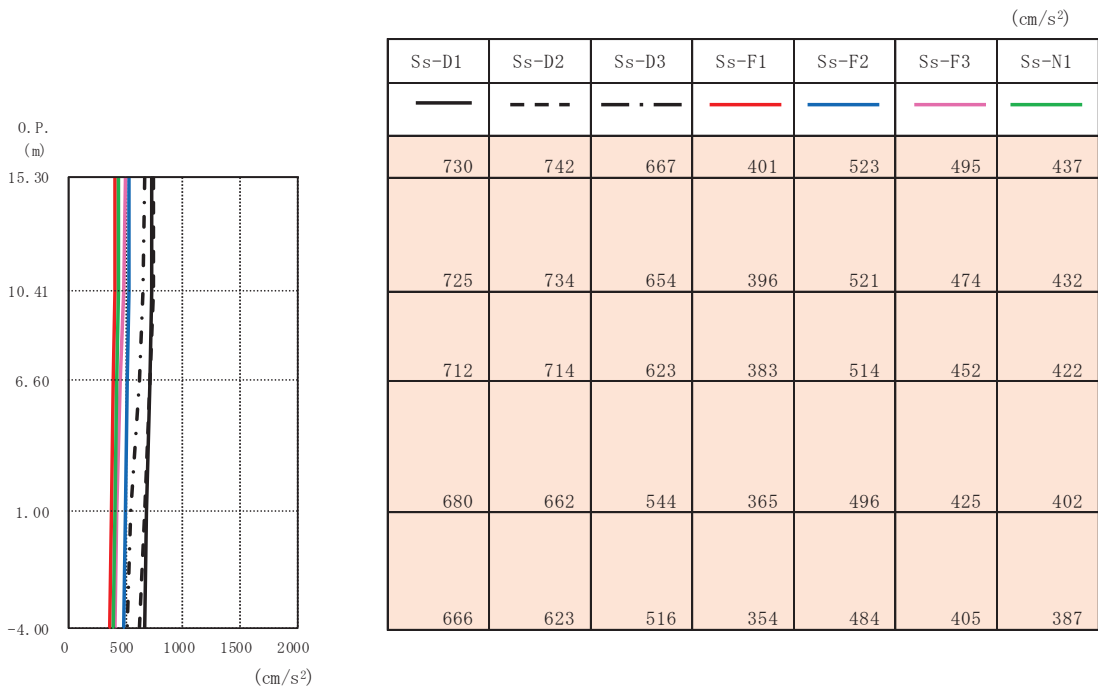


(b) 鉛直方向

図 4-12 最大応答加速度 (基準地震動 S_s(-+), ケース②, EW 断面)

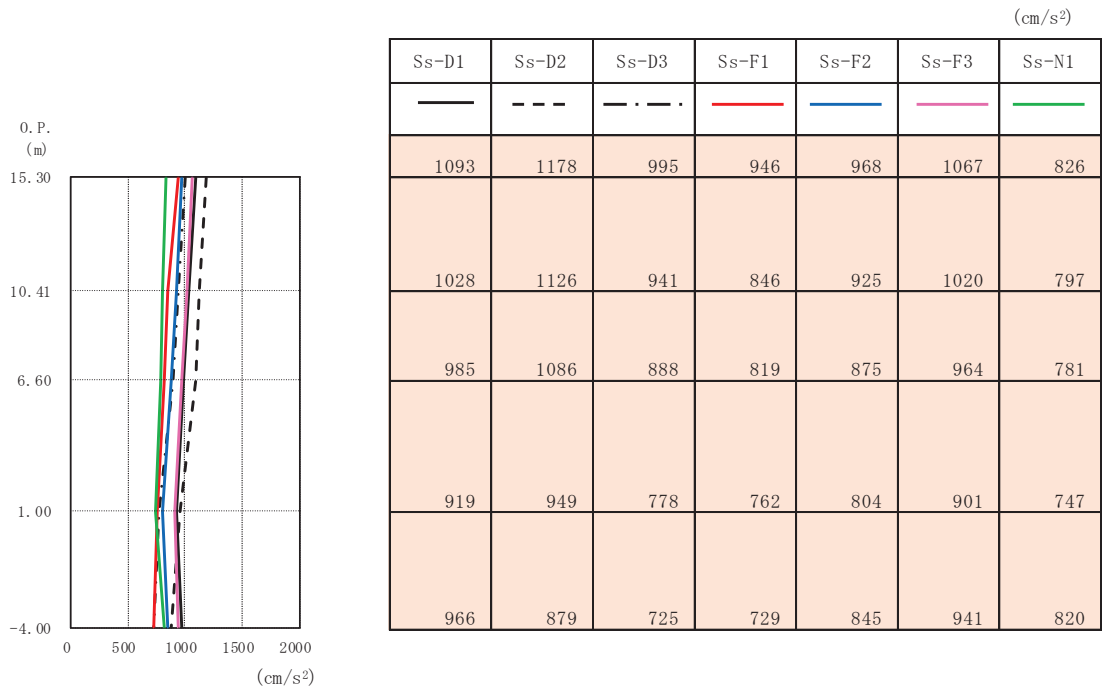


(a) 水平方向

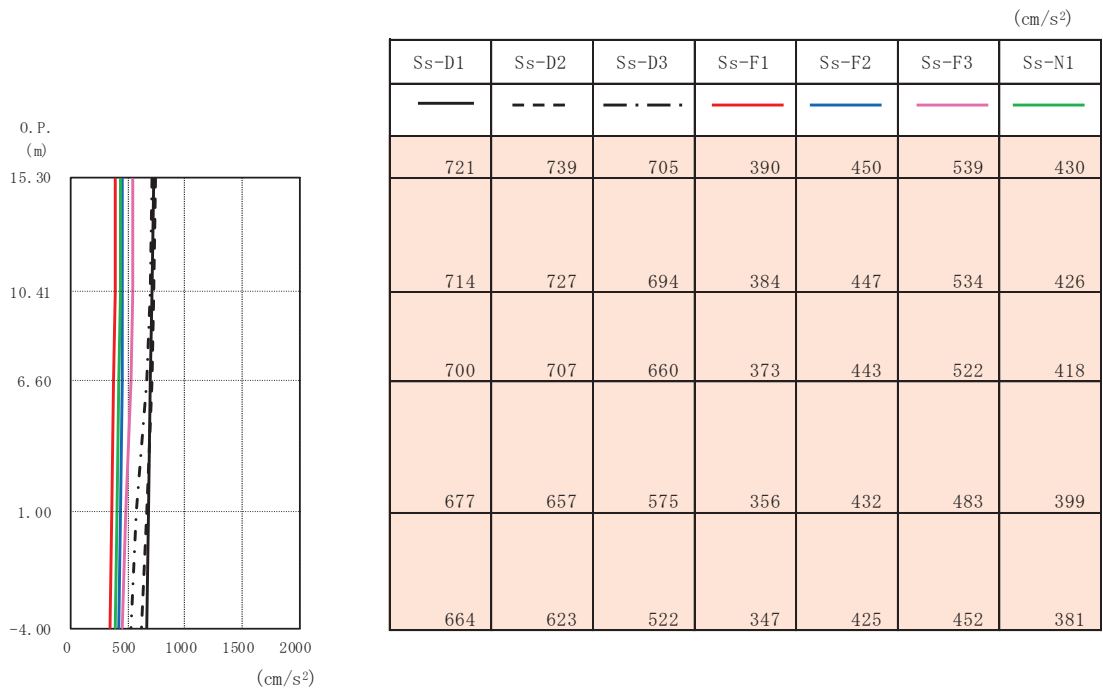


(b) 鉛直方向

図 4-13 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (++) , ケース③, EW 断面)

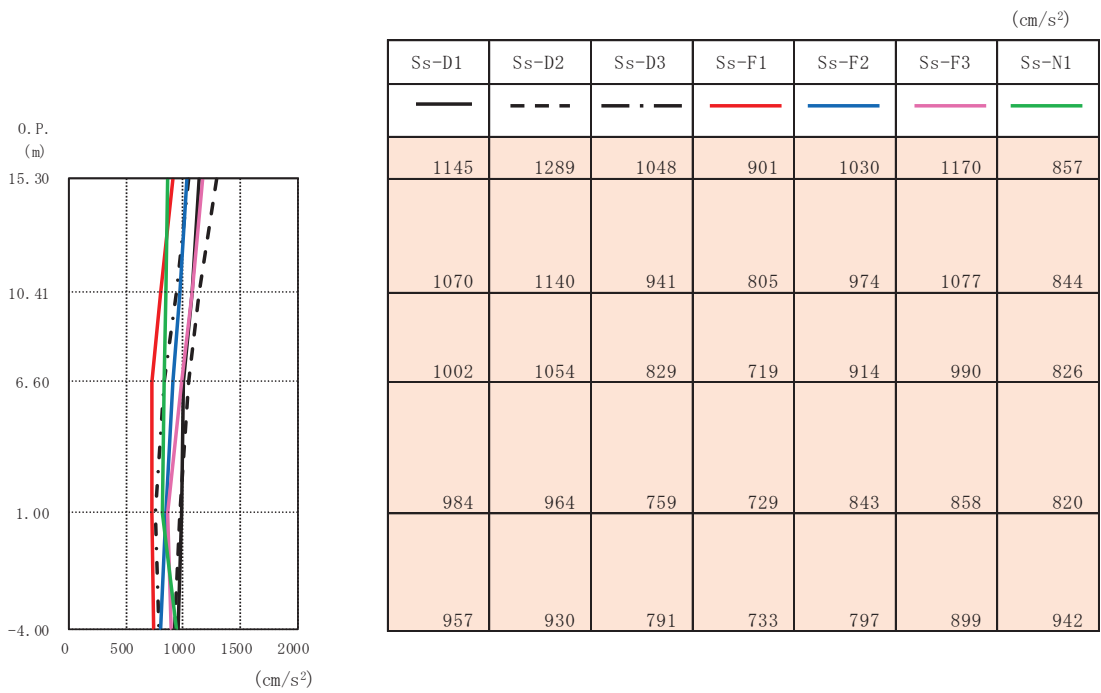


(a) 水平方向

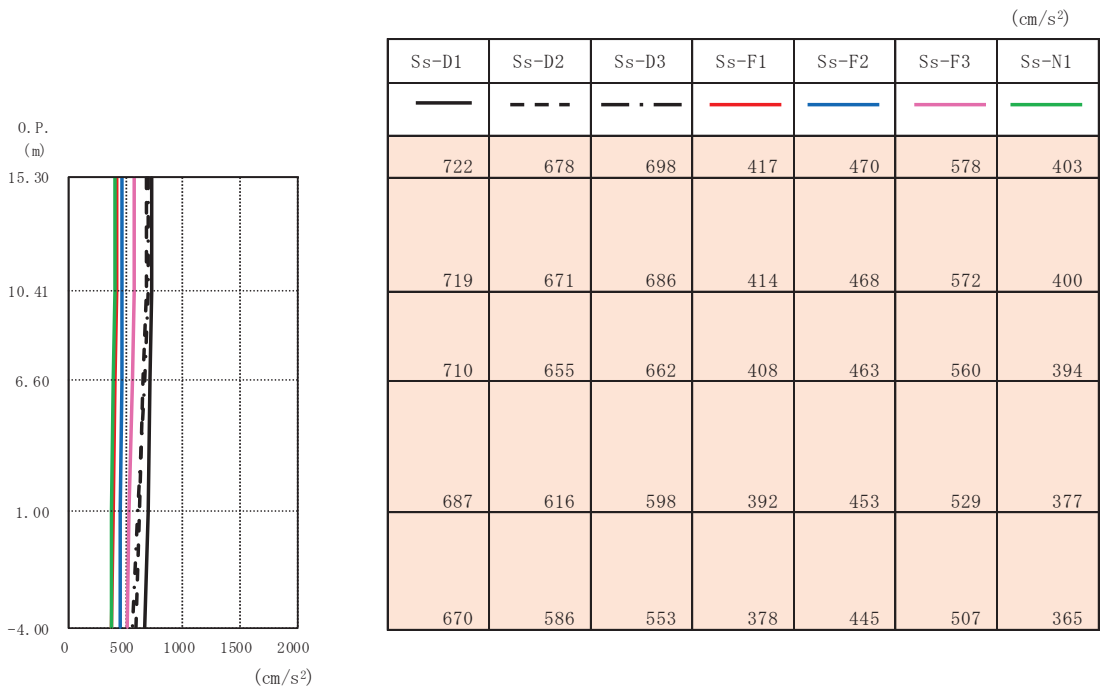


(b) 鉛直方向

図 4-14 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (-+), ケース③, EW 断面)

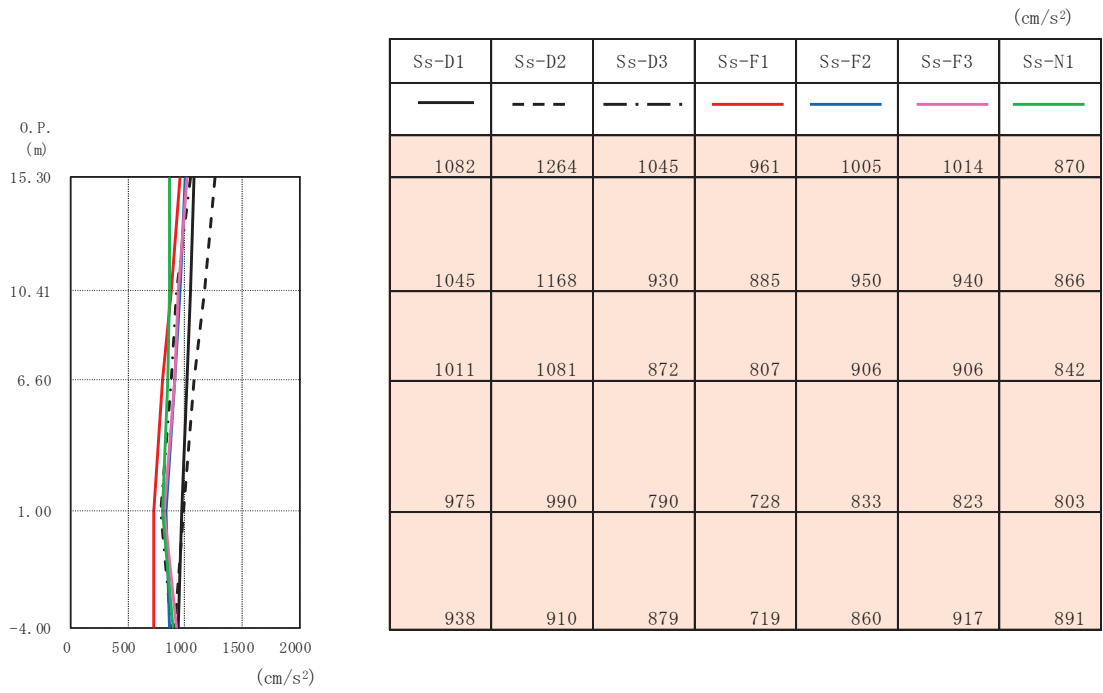


(a) 水平方向

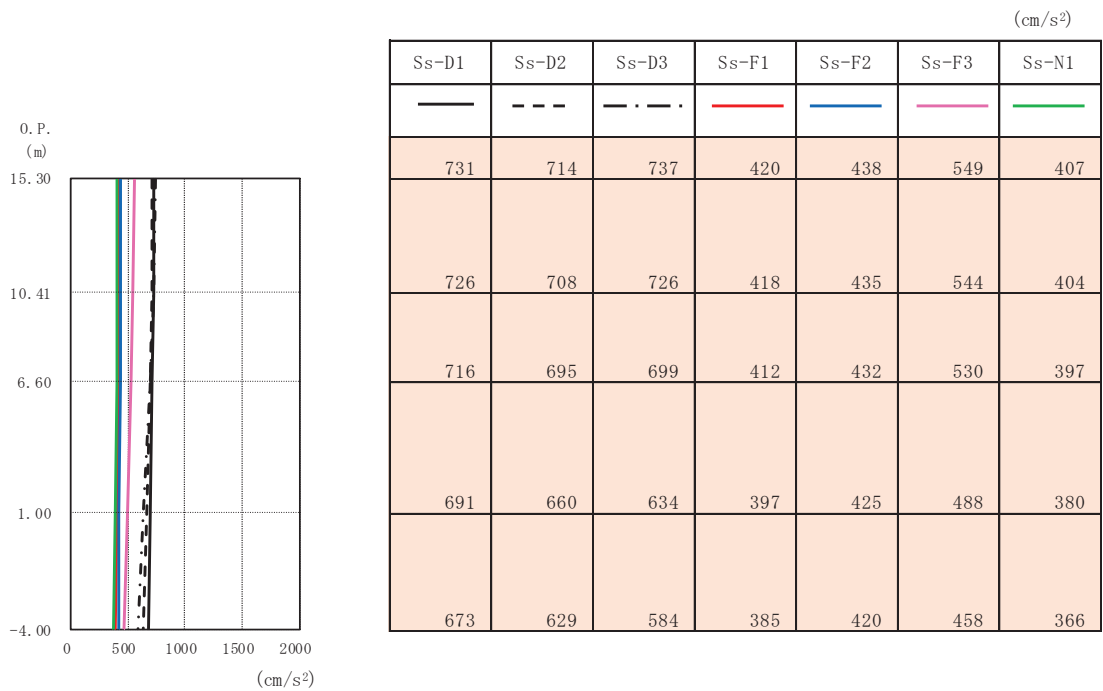


(b) 鉛直方向

図 4-15 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (++) , ケース④, EW 断面)

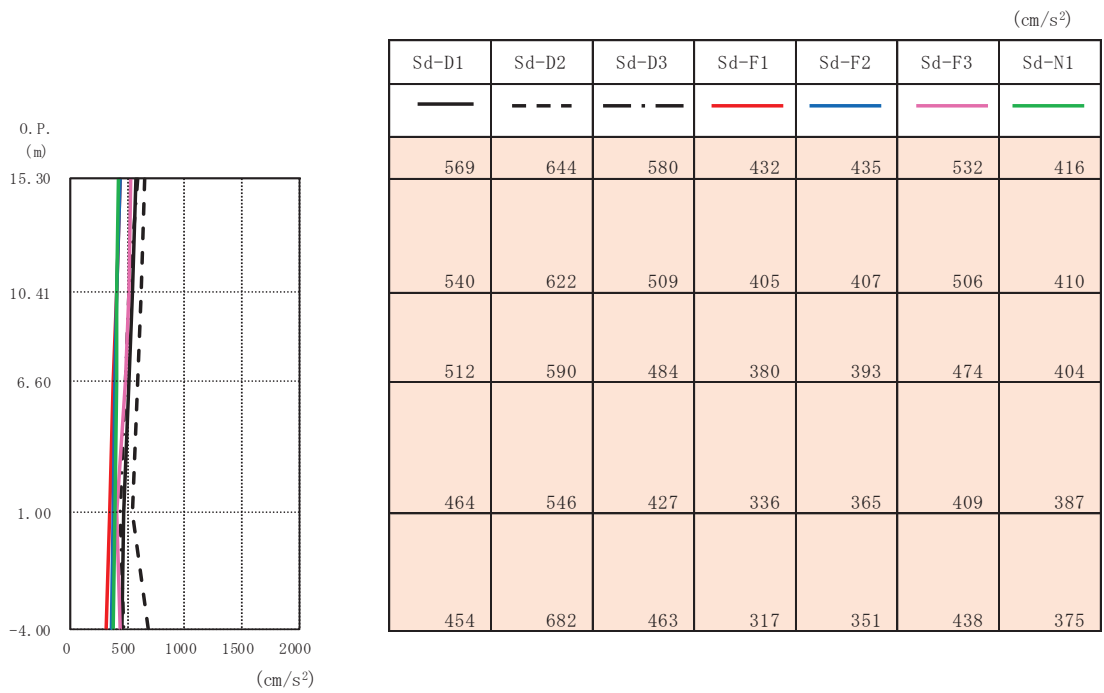


(a) 水平方向

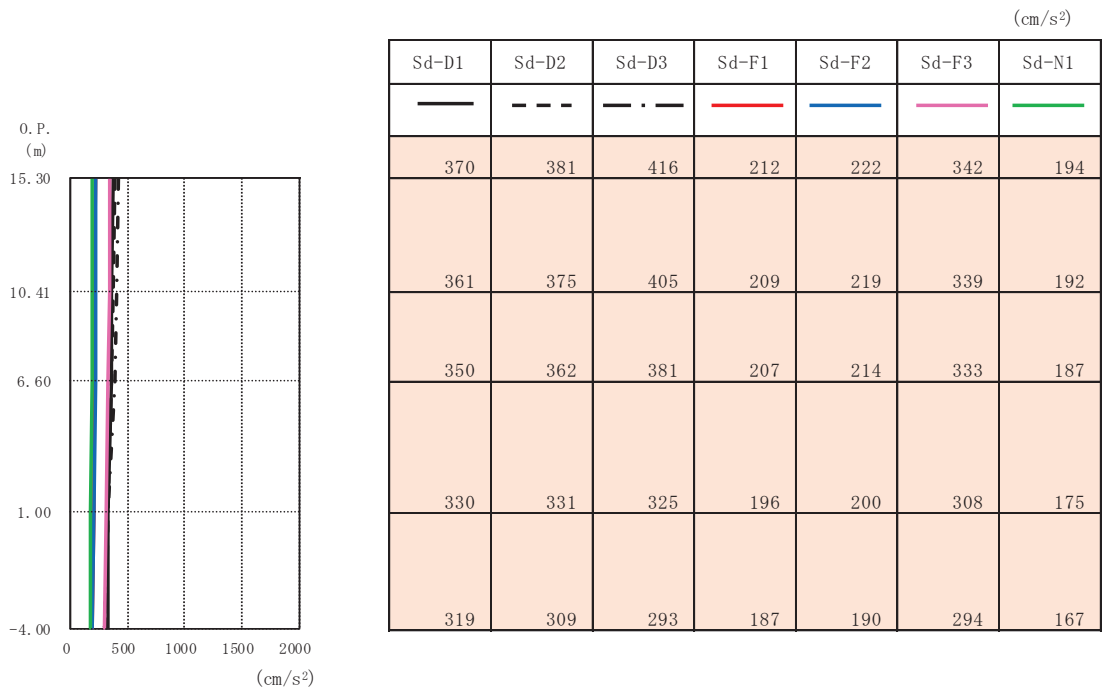


(b) 鉛直方向

図 4-16 最大応答加速度 (基準地震動 S_s (一+), ケース④, EW 断面)

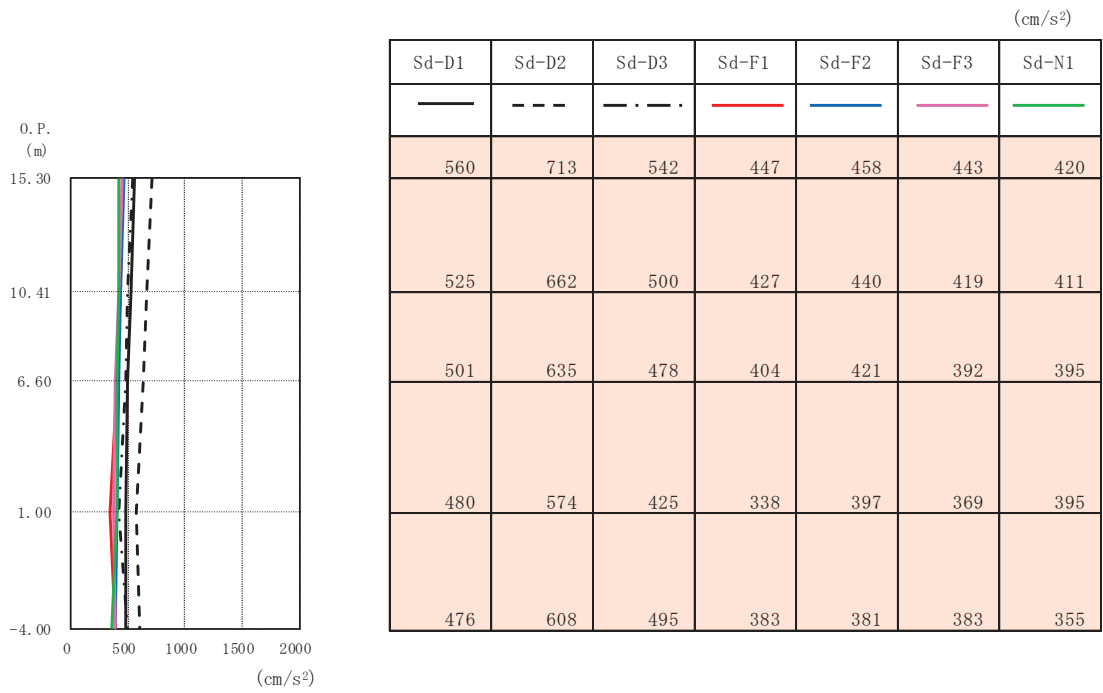


(a) 水平方向

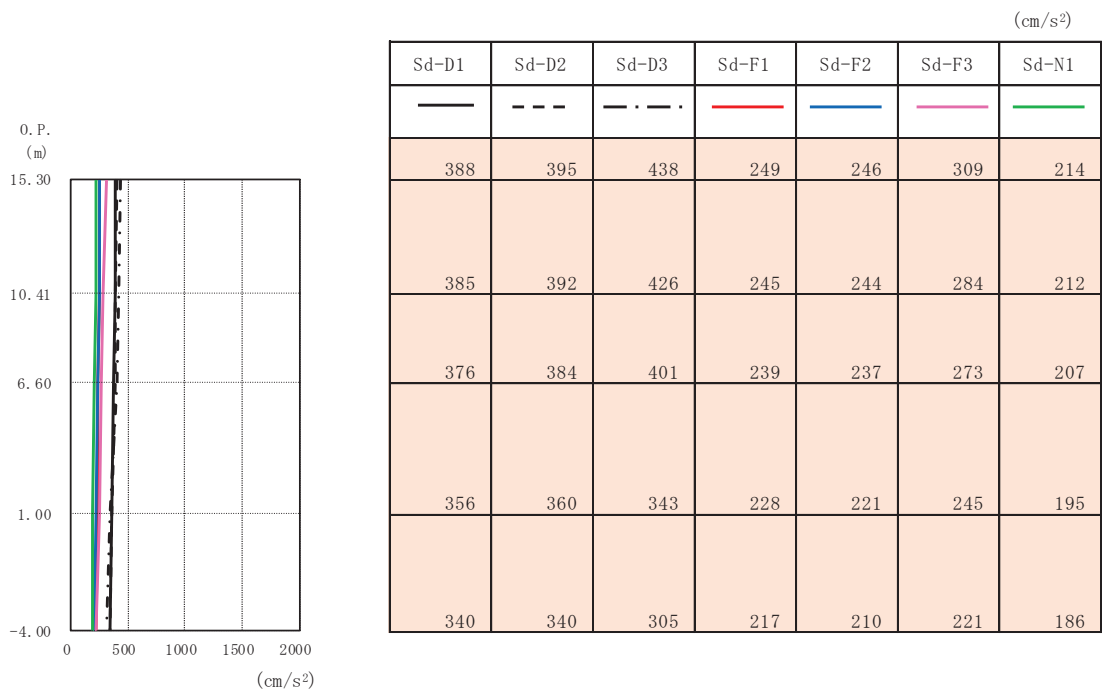


(b) 鉛直方向

図 4-17 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++) , ケース①, NS 断面)

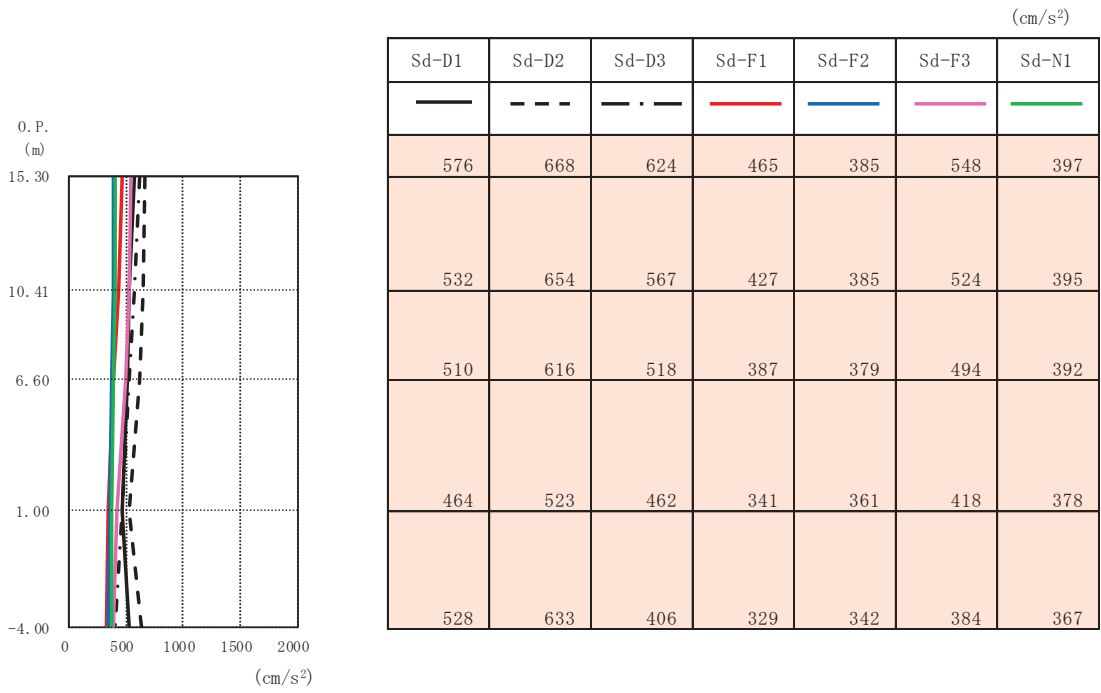


(a) 水平方向

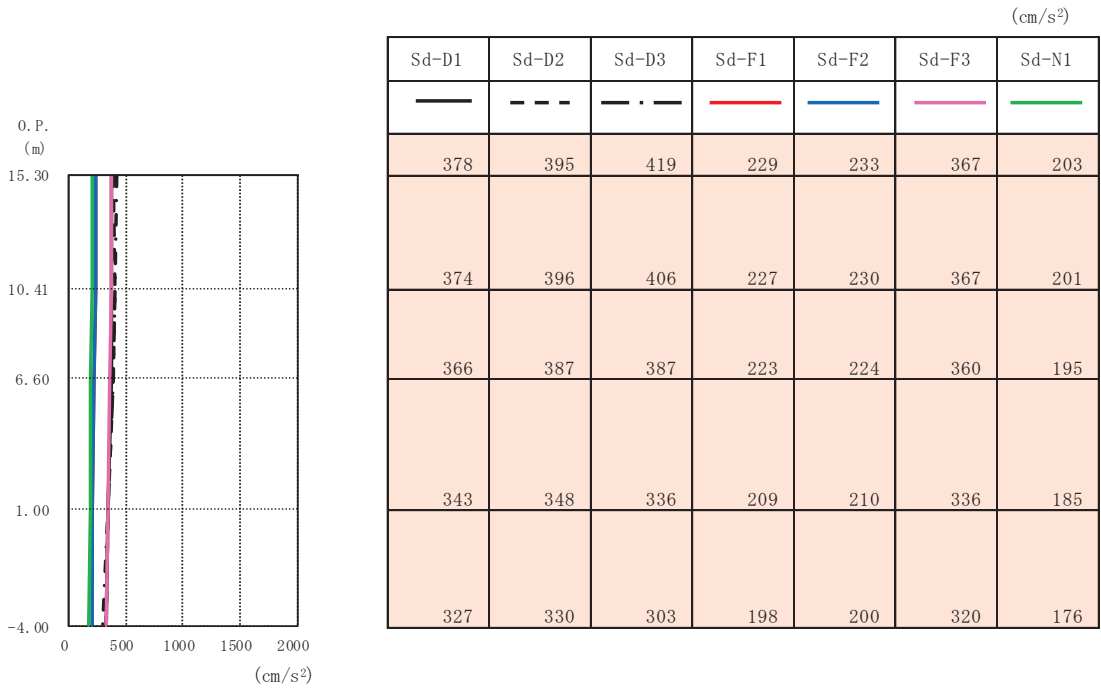


(b) 鉛直方向

図 4-18 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (一+), ケース①, NS 断面)

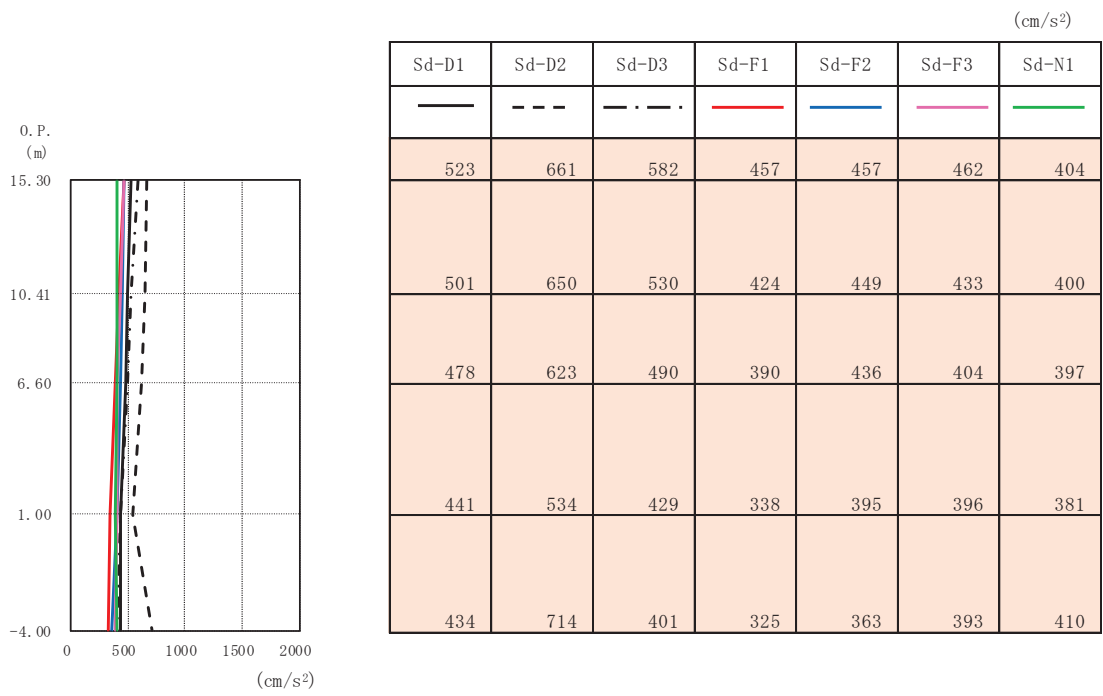


(a) 水平方向

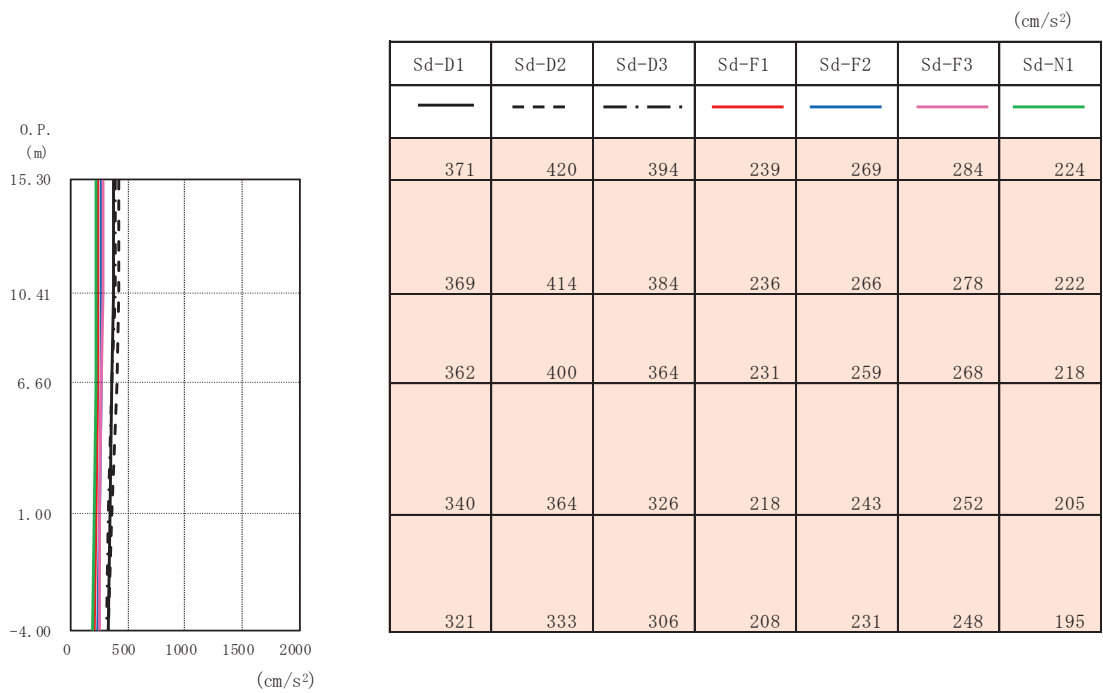


(b) 鉛直方向

図 4-19 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++) , ケース②, NS 断面)

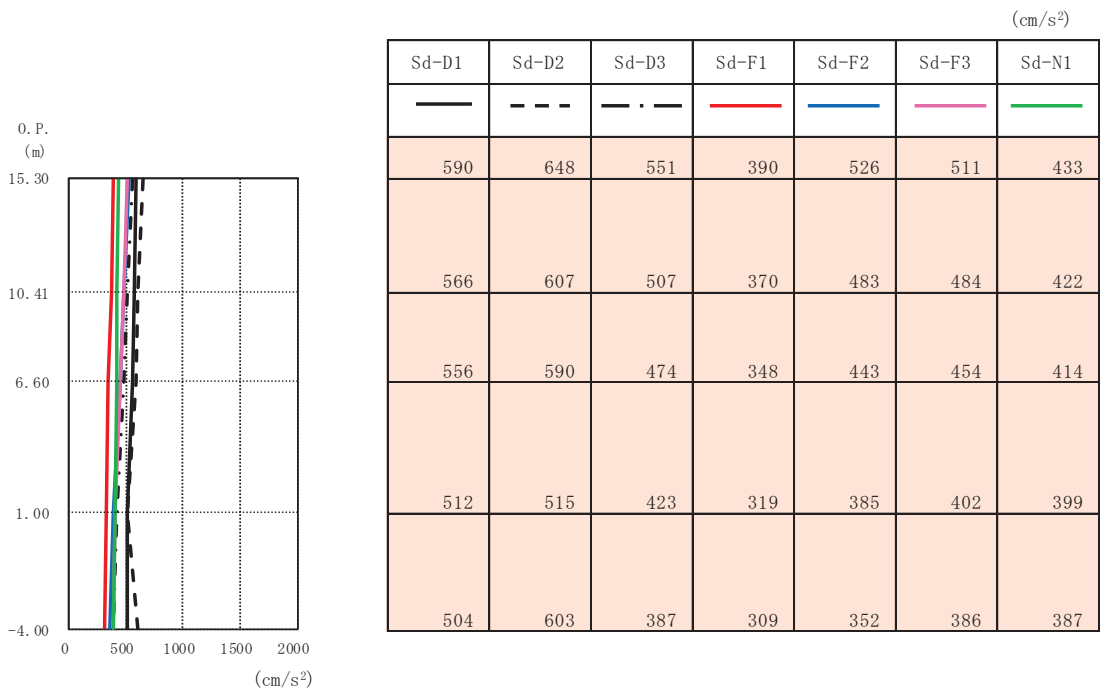


(a) 水平方向

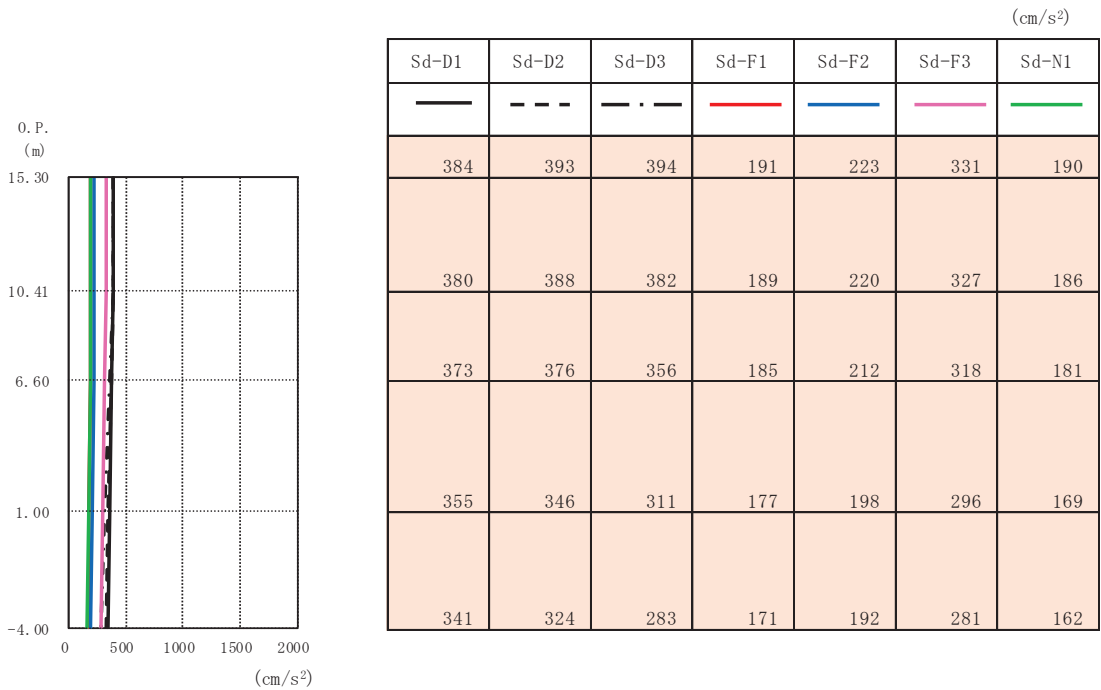


(b) 鉛直方向

図 4-20 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (一+), ケース②, NS 断面)

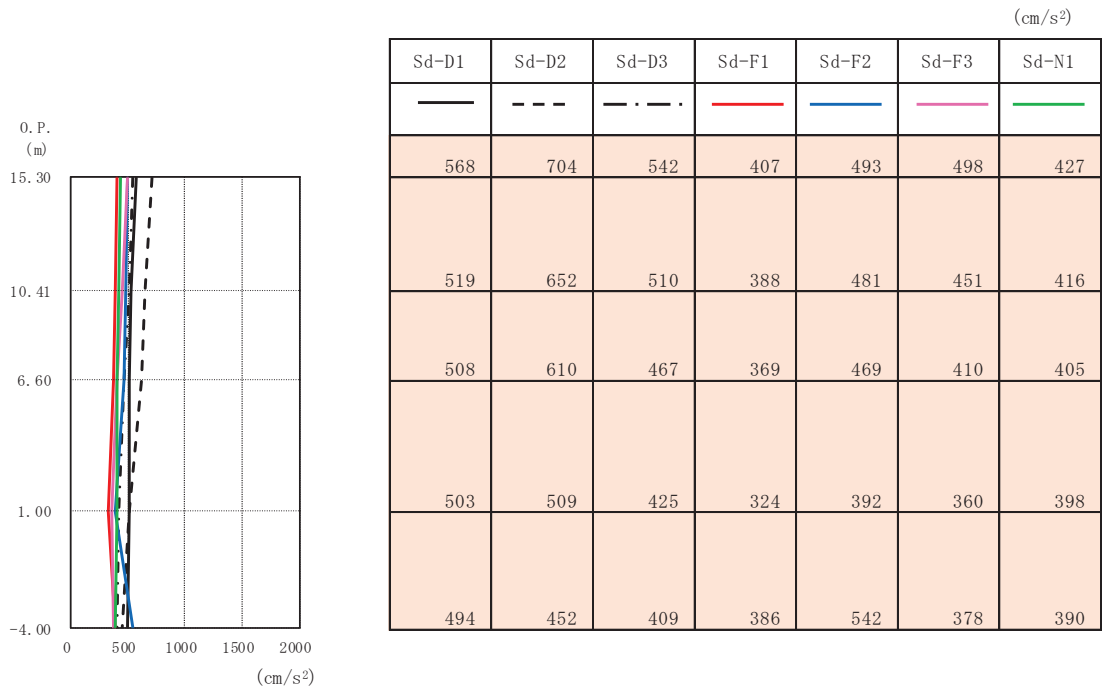


(a) 水平方向

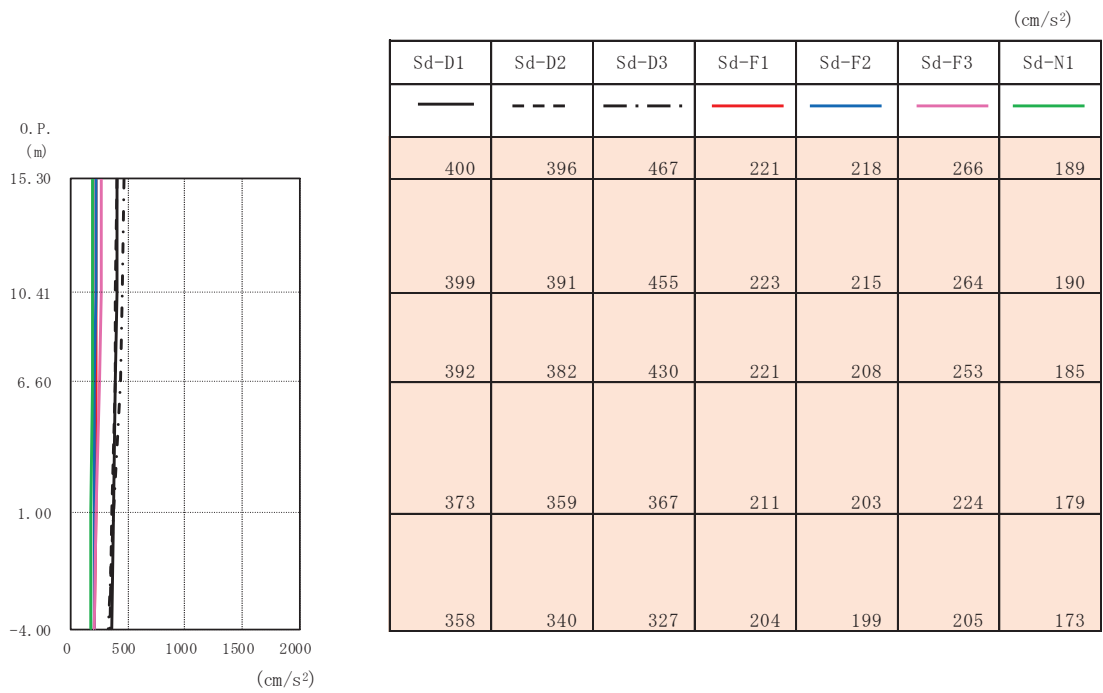


(b) 鉛直方向

図 4-21 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++) , ケース③, NS 断面)

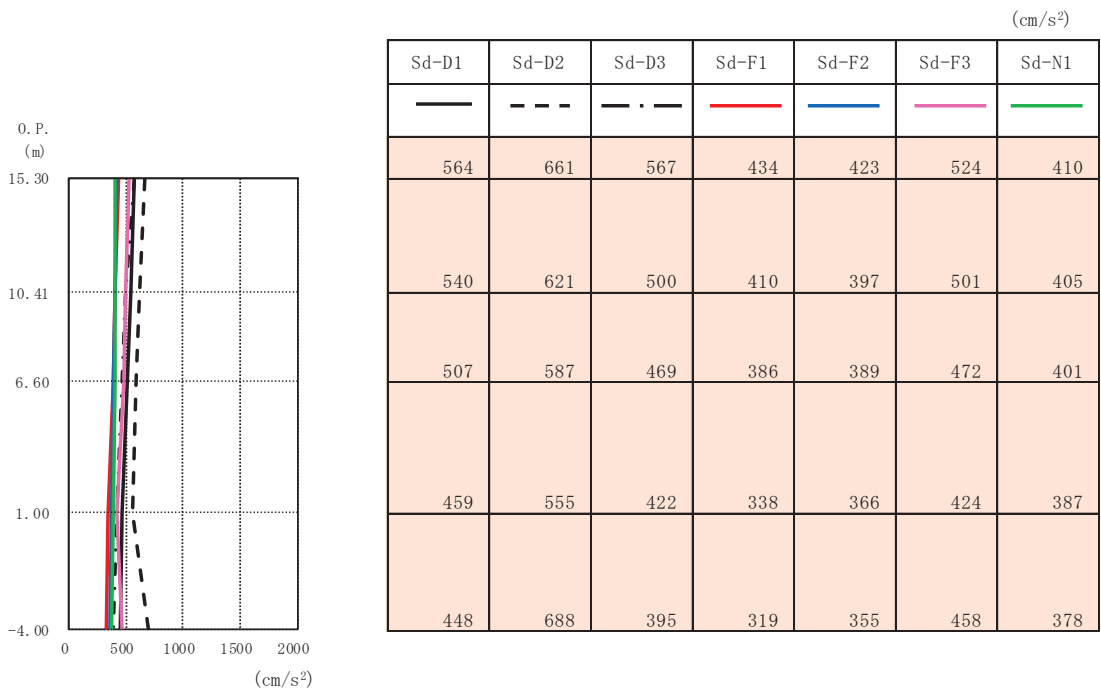


(a) 水平方向

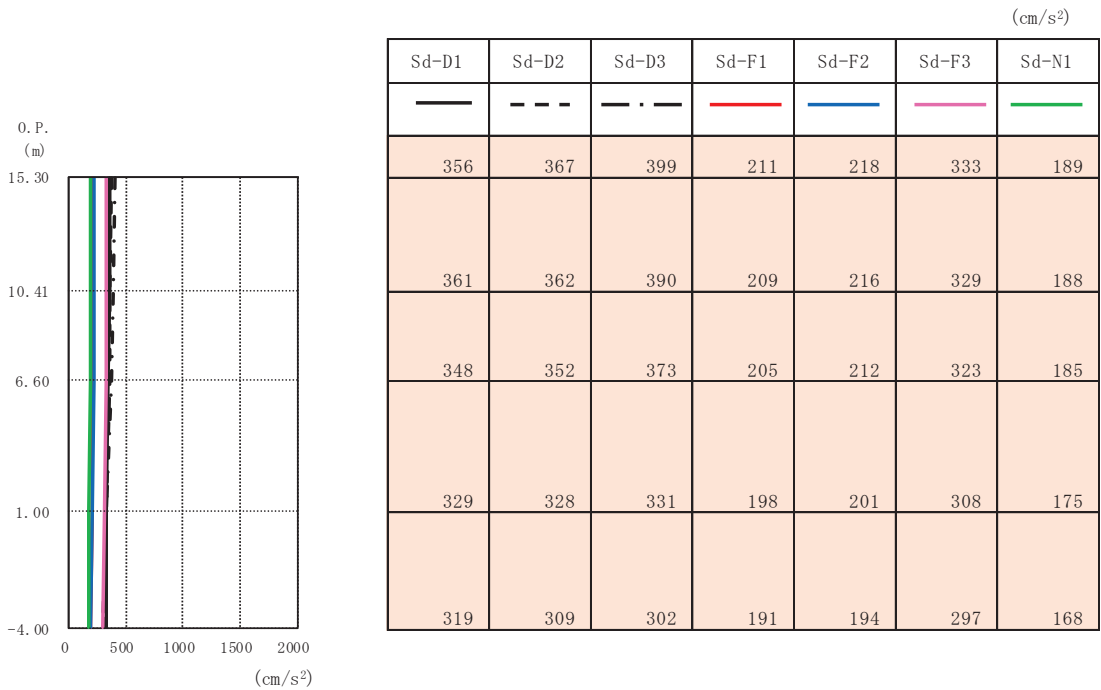


(b) 鉛直方向

図 4-22 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (-+), ケース③, NS 断面)

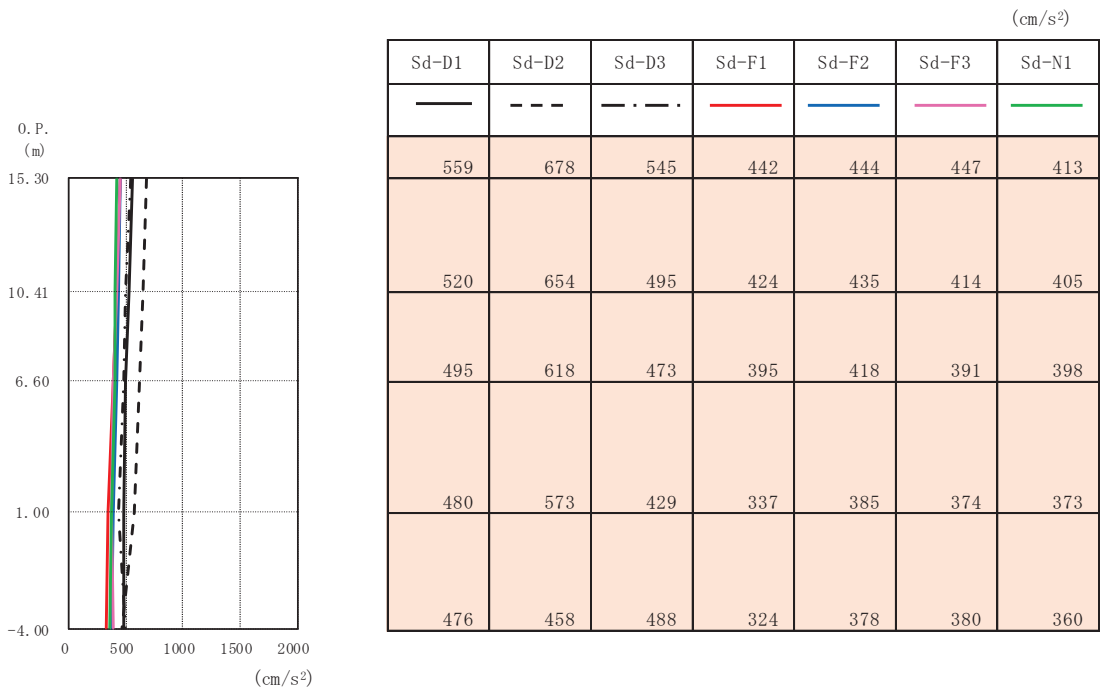


(a) 水平方向

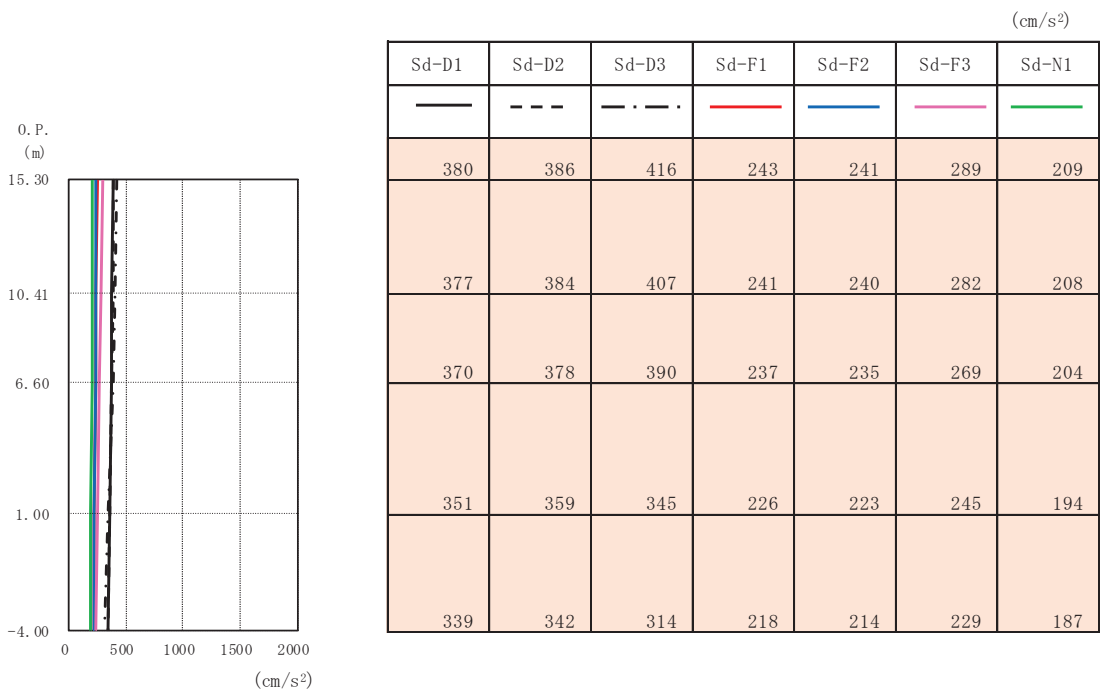


(b) 鉛直方向

図 4-23 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++)，ケース④，NS 断面)

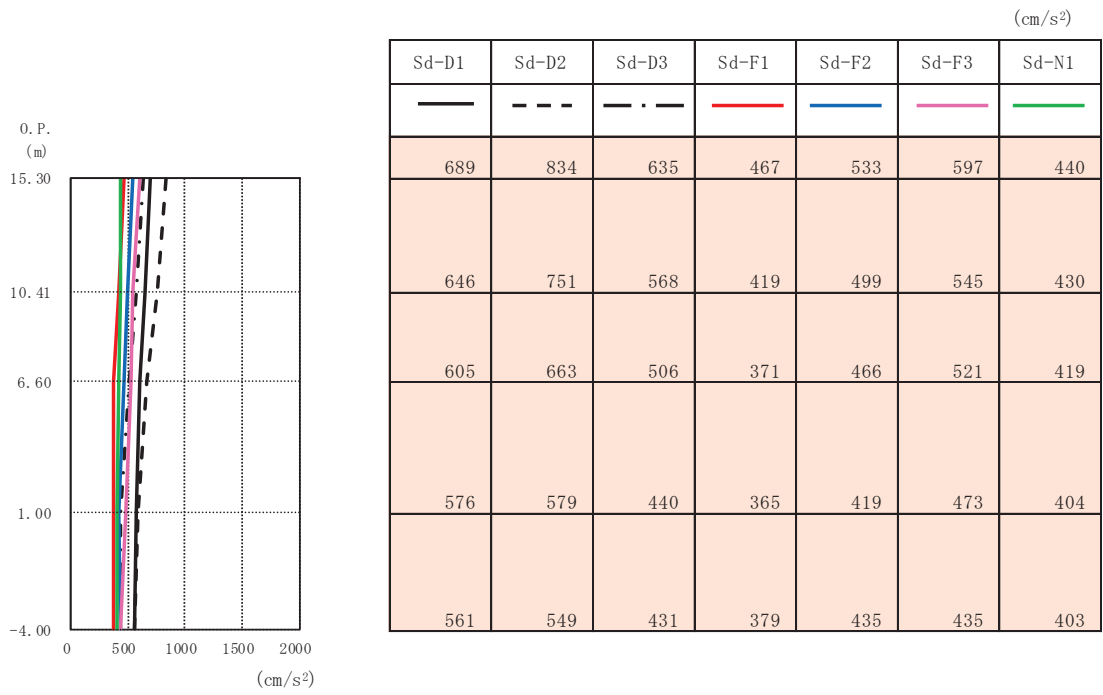


(a) 水平方向

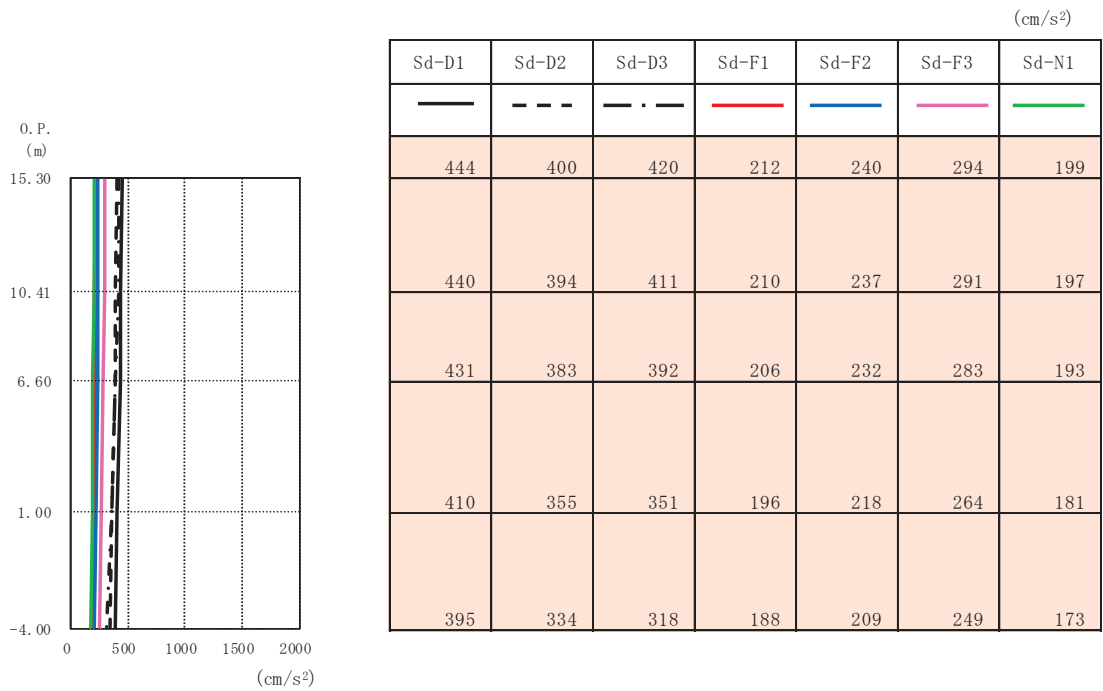


(b) 鉛直方向

図 4-24 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (-+), ケース④, NS 断面)

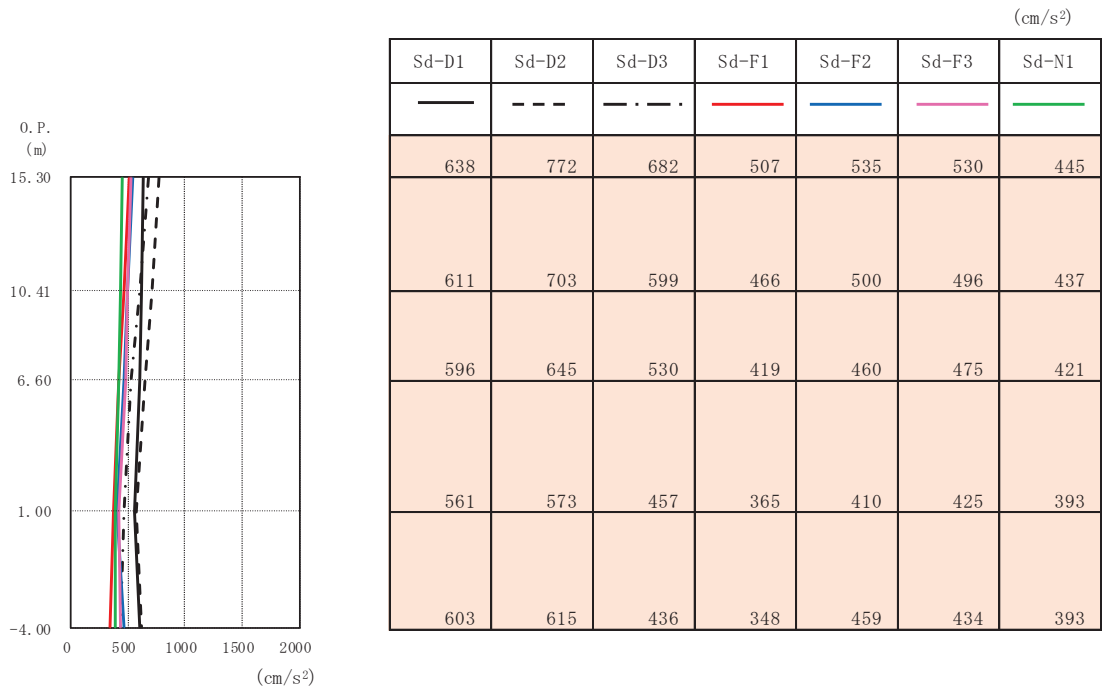


(a) 水平方向

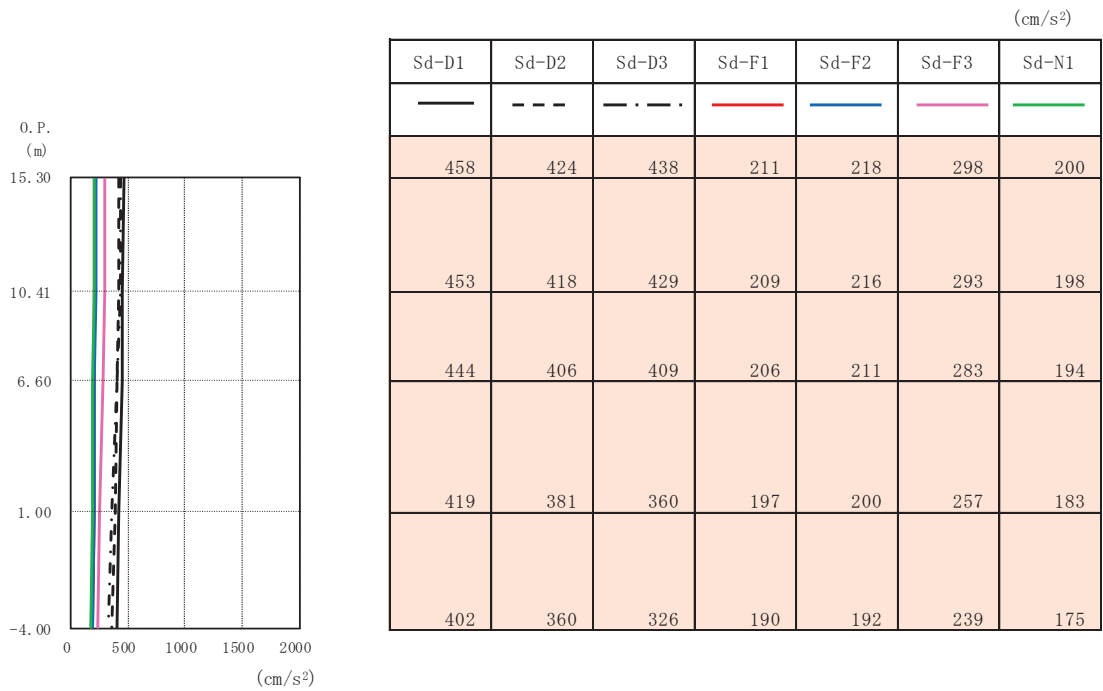


(b) 鉛直方向

図 4-25 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++) , ケース①, EW 断面)

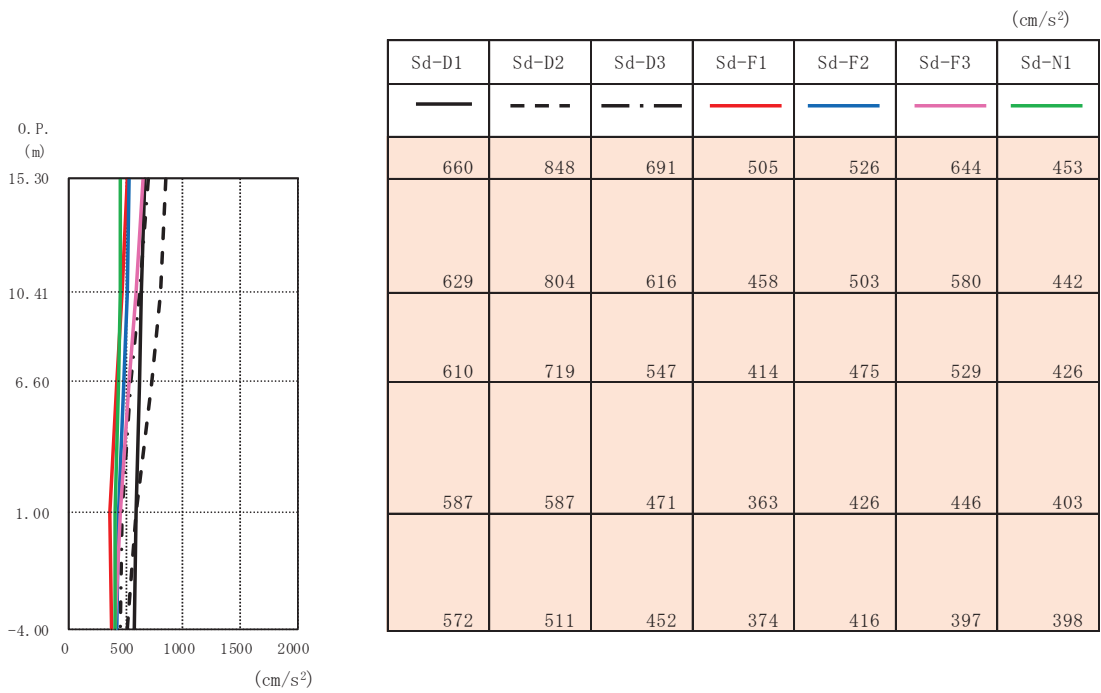


(a) 水平方向

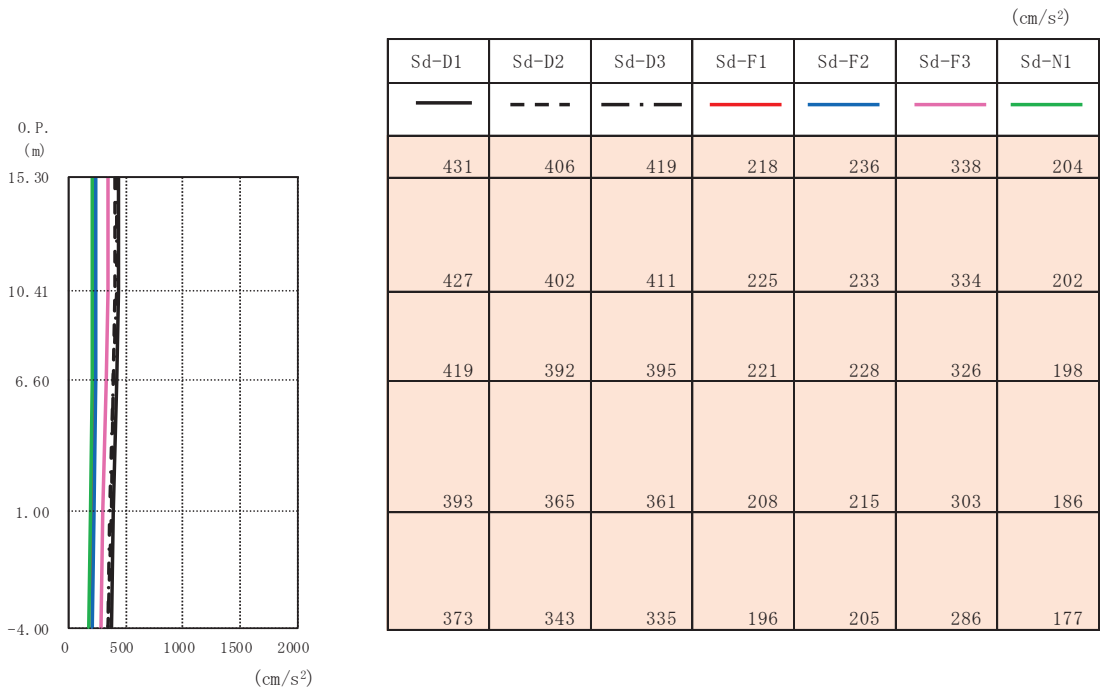


(b) 鉛直方向

図 4-26 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (-+), ケース①, EW 断面)

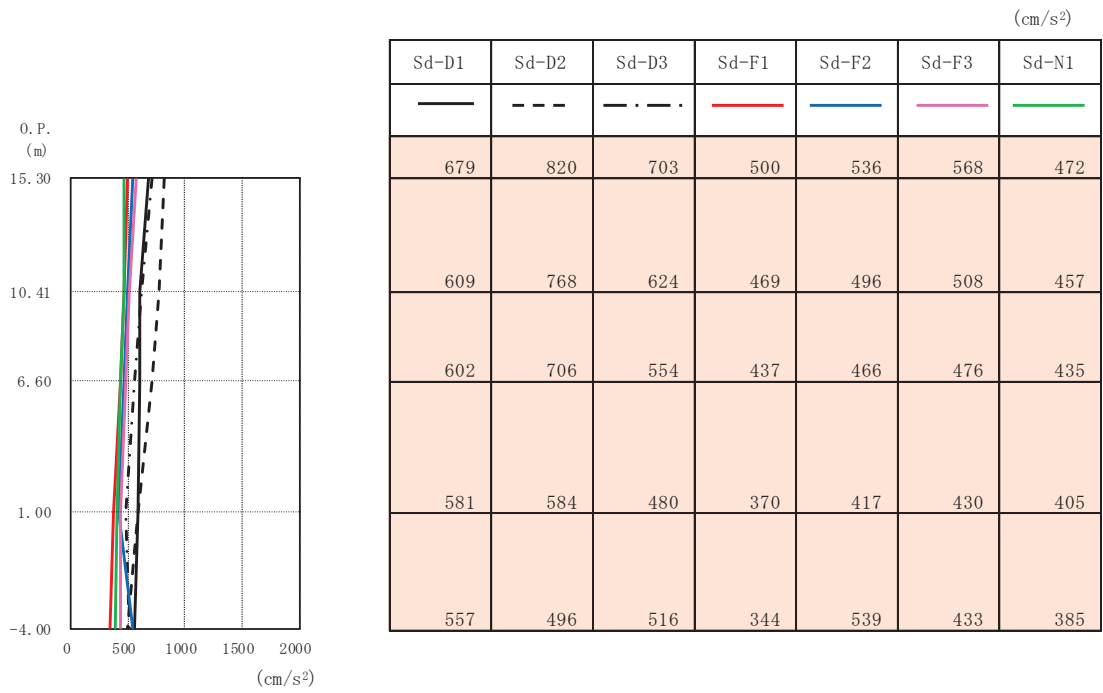


(a) 水平方向

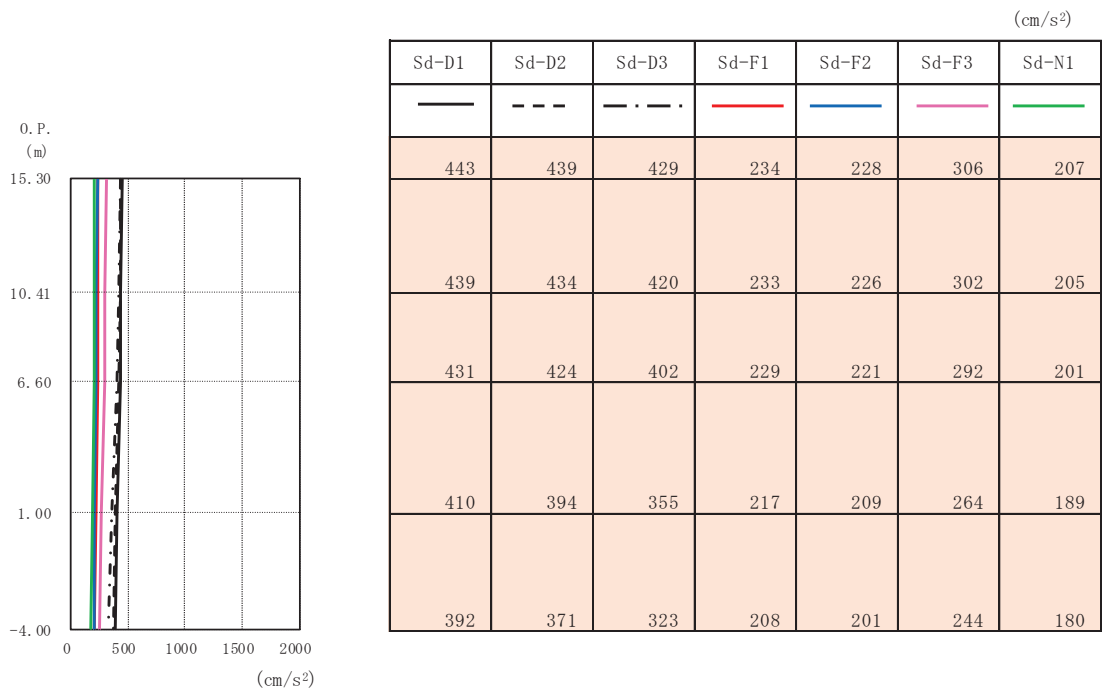


(b) 鉛直方向

図 4-27 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++) , ケース②, EW 断面)

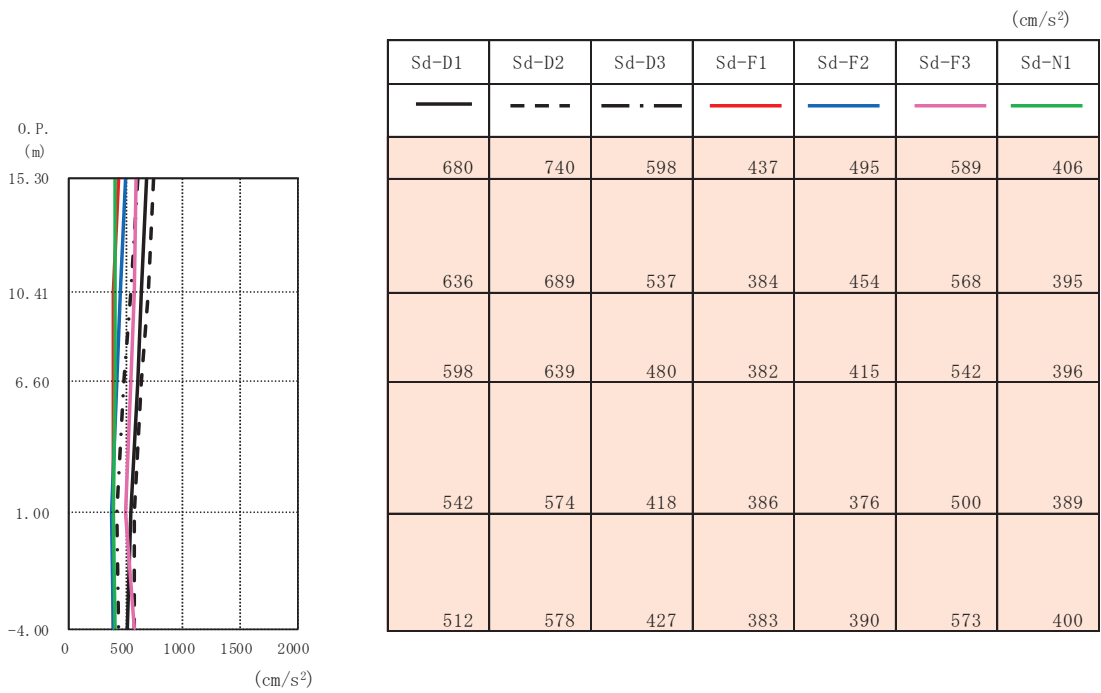


(a) 水平方向

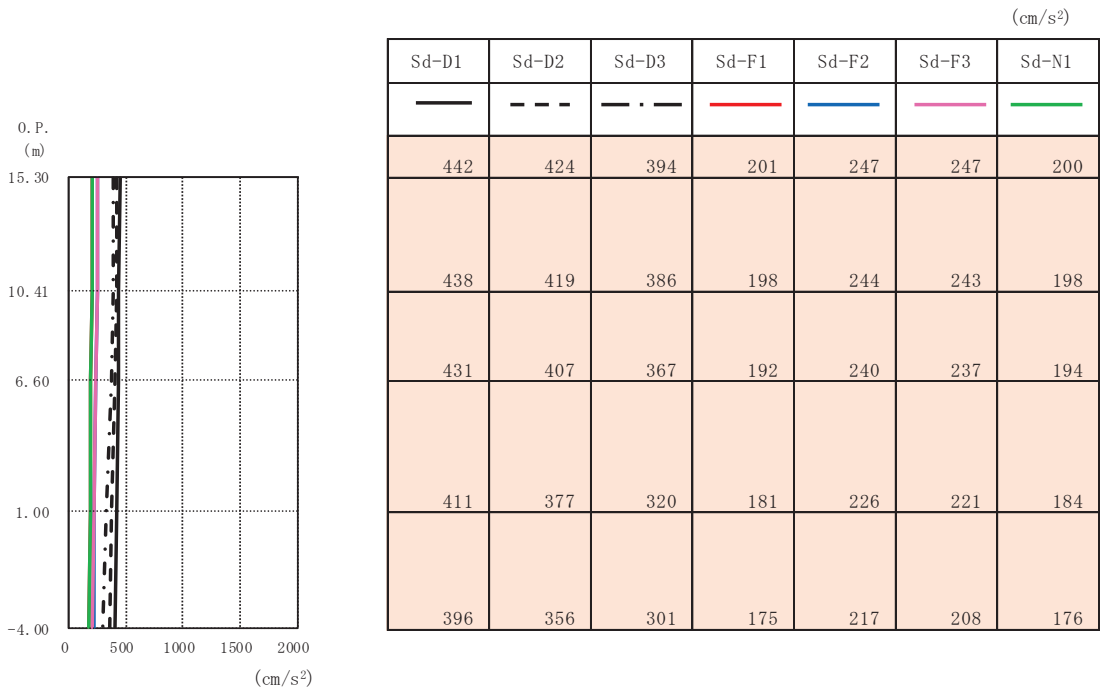


(b) 鉛直方向

図 4-28 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (一+), ケース②, EW 断面)

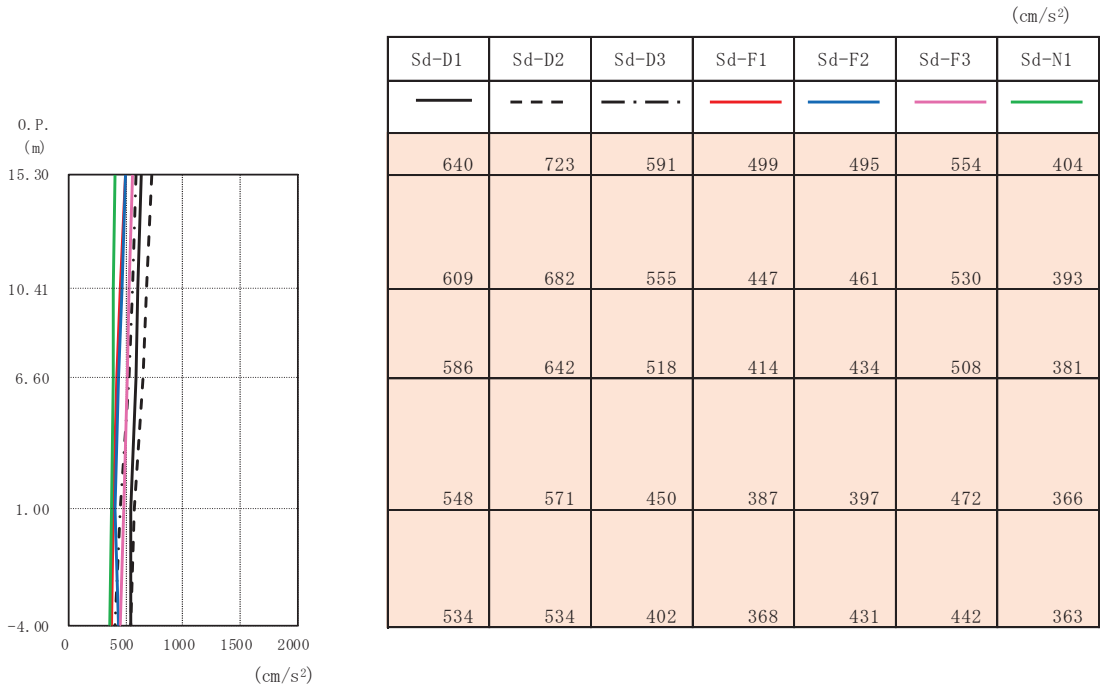


(a) 水平方向

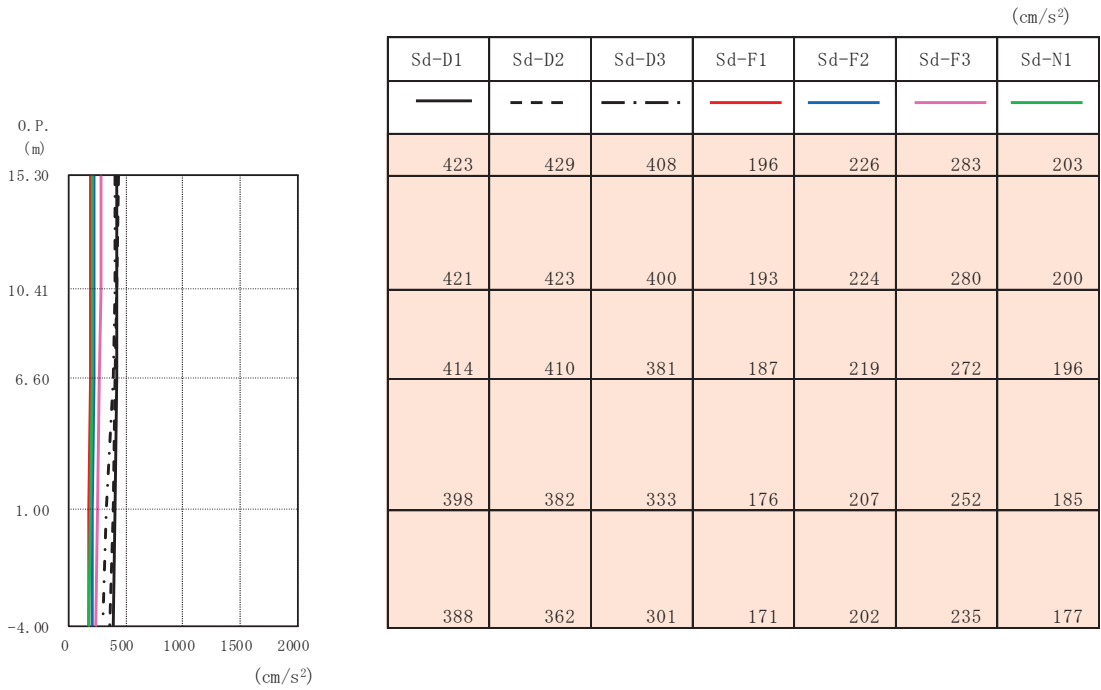


(b) 鉛直方向

図 4-29 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++)，ケース③，EW 断面)

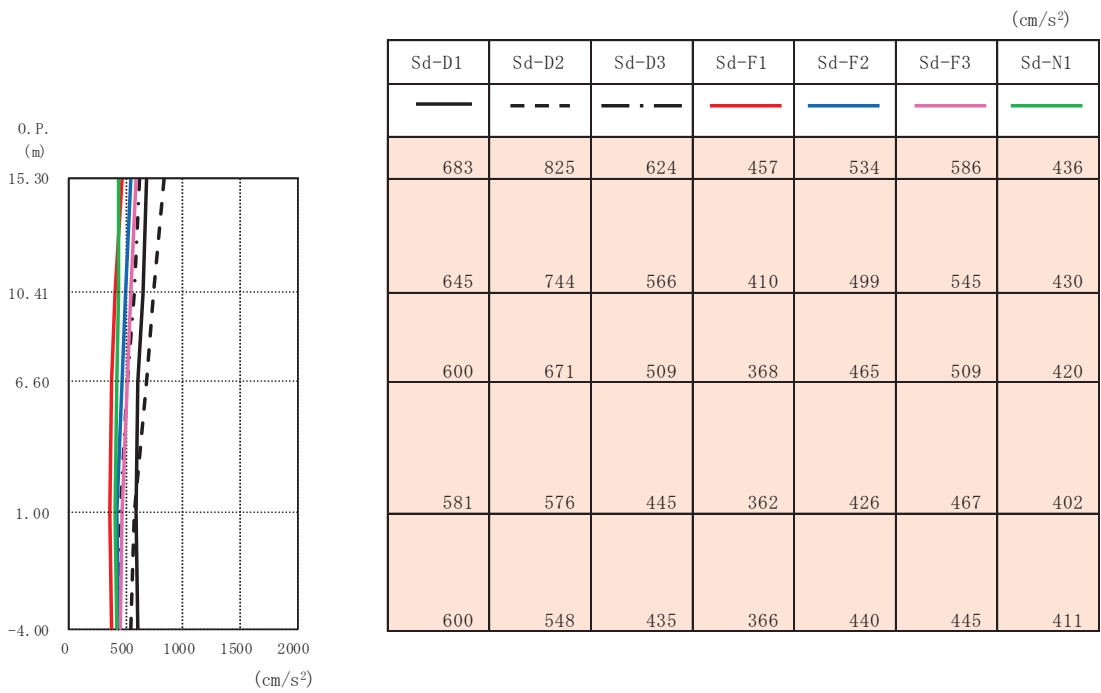


(a) 水平方向

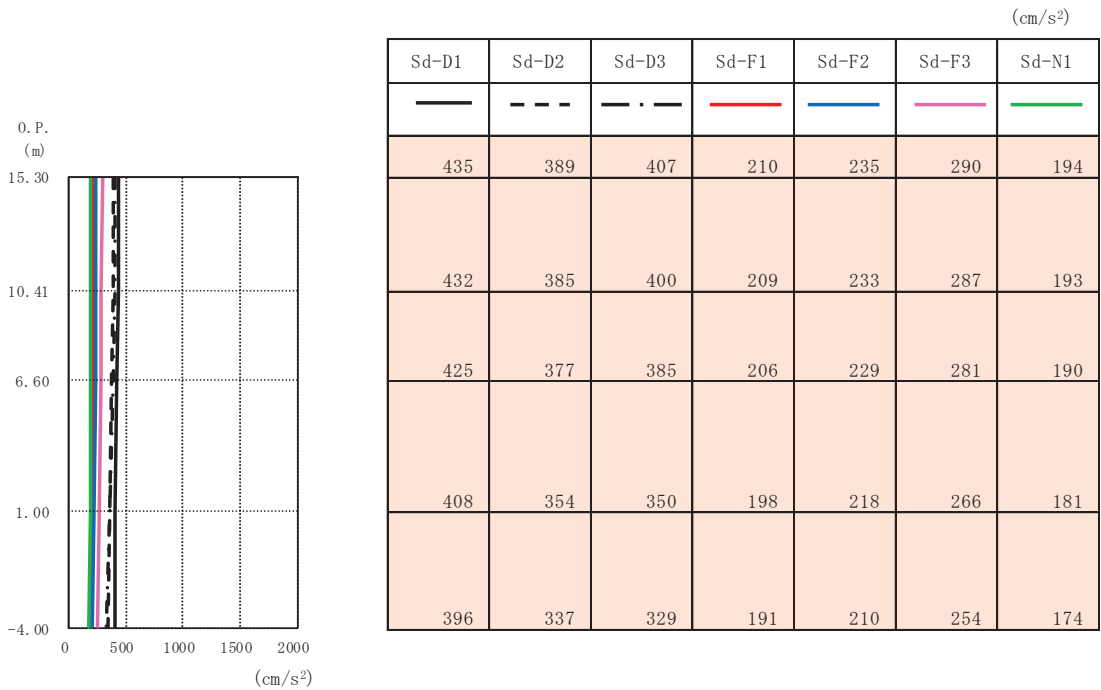


(b) 鉛直方向

図 4-30 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (-+), ケース③, EW 断面)

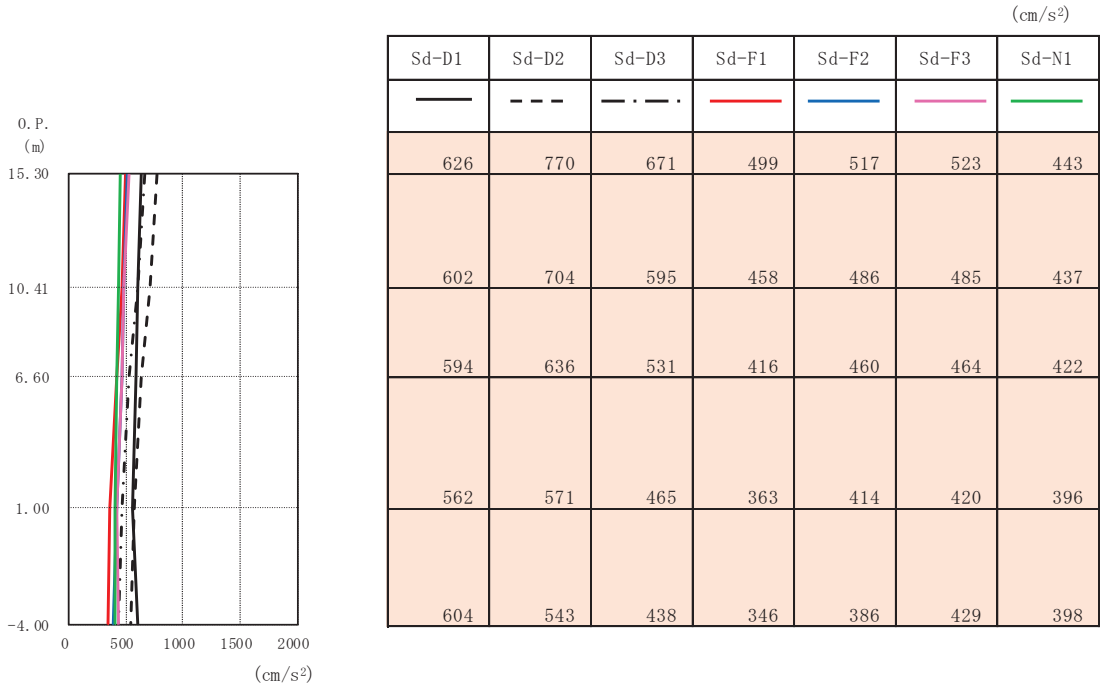


(a) 水平方向

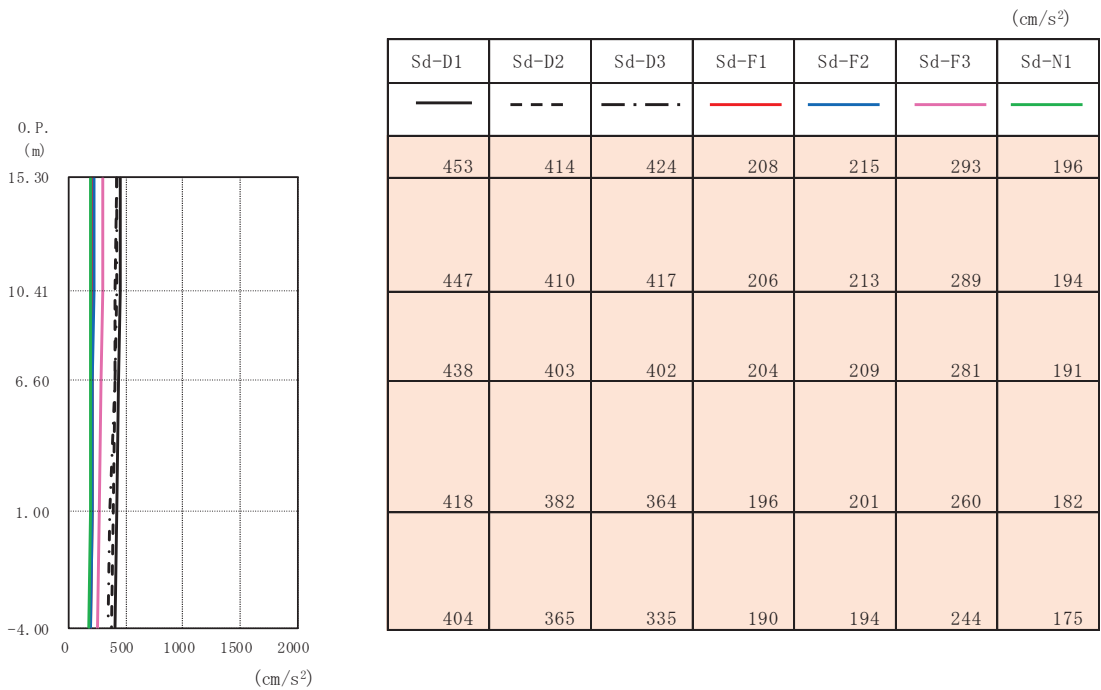


(b) 鉛直方向

図 4-31 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (++) , ケース④, EW 断面)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 4-32 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d (-+), ケース④, EW 断面)

表 4-1(1) 基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく接地圧

(a) NS 断面

地震動		最大接地圧 (kN/m ²)	最大転倒モーメン ト ($\times 10^5$ kN \cdot m)	鉛直力 N ($\times 10^4$ kN)
$S_s - D 1$	++	2550	1.82	2.59
	-+	2840	1.82	2.62
$S_s - D 2$	++	2870	1.84	2.59
	-+	3260	2.03	2.66
$S_s - D 3$	++	2450	1.58	2.66
	-+	2290	1.50	2.78
$S_s - F 1$	++	2250	1.65	2.30
	-+	2290	1.58	2.44
$S_s - F 2$	++	2280	1.59	2.15
	-+	2380	1.63	2.26
$S_s - F 3$	++	2650	1.83	2.77
	-+	2860	1.62	2.43
$S_s - N 1$	++	2120	1.53	2.26
	-+	1780	1.41	2.26

表 4-1(2) 基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく接地圧

(b) EW 断面

地震動		最大接地圧 (kN/m^2)	最大転倒モーメン ト ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	鉛直力 N ($\times 10^4 \text{kN}$)
$S_s - D 1$	++	3530	2.14	2.55
	-+	3290	2.12	2.65
$S_s - D 2$	++	3960	2.44	2.71
	-+	4170	2.39	2.77
$S_s - D 3$	++	3020	1.91	2.71
	-+	3110	1.94	2.76
$S_s - F 1$	++	2830	1.69	2.28
	-+	2770	1.74	2.31
$S_s - F 2$	++	2820	1.82	2.17
	-+	2850	1.87	2.20
$S_s - F 3$	++	3410	2.13	2.53
	-+	3280	2.05	2.43
$S_s - N 1$	++	2380	1.62	2.30
	-+	2300	1.64	2.27