

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料では、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析を行い、地盤物性及び材料物性の不確かさが排気筒基礎の評価に及ぼす影響について確認する。また、機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケースの最大応答加速度についても示す。

### 1.2 検討方針

女川原子力発電所第2号機排気筒は、排気筒基礎（基礎部）と排気筒（排気筒部）を分けて地震応答解析を実施している。このことから、排気筒基礎及び排気筒に及ぼす地盤物性及び材料物性の不確かさの影響は、基礎部と排気筒部に分け、基準地震動  $S_s$ （全7波）を用いた地震応答解析により確認を行う。

排気筒基礎の不確かさ検討ケースを表 1-1 に示す。排気筒基礎の耐震評価については、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（コンクリート物性）のばらつきを考慮した耐震評価は実施せず、地盤物性のばらつきを考慮する。

地盤物性のばらつきについて、排気筒基礎の地震時の応答は、構造物と周辺地盤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に当たっては、解析モデルに分布する地盤のうち、主に構造物の応答に支配的となる地盤を選定する。排気筒基礎は、岩盤上に直接構築され、基礎の質量が大きく、作用する慣性力が主たる荷重となる他、盛土等の土圧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（ケース②，ケース③）。

本検討においては、排気筒基礎の耐震評価に着目し、地盤物性のばらつき（ケース①～ケース③）の影響について確認を行う。

一方、機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、地盤物性に加え材料物性のばらつき（コンクリートの実強度を考慮したばらつき（ケース④））を設計ケースとしており、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」に最大加速度分布図を示している。本資料では、機器・配管系における影響検討ケースである材料物性のばらつき（初期剛性低下（ケース⑤））の最大加速度分布図を示す。

表 1-1 排気筒基礎の解析ケース

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 <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 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 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度* <sup>1</sup>	平均値
ケース⑤	設計基準強度 × 0.75* <sup>2</sup>	平均値

注記\*1: 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。

\*2: 原子炉建屋の剛性低下率のうち特異的なオペフロの値を除いた中で最大となる NS 方向の剛性低下率を設定する。

## 2. 排気筒基礎の耐震評価に及ぼす地盤物性の不確かさの影響検討

### 2.1 不確かさの影響検討を行う地震動の設定方法

不確かさを考慮したケースにおける排気筒基礎の評価にあたっては、基準地震動  $S_s$  (7波) 及びこれら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 波を用いてケース① (基本ケース) における評価結果を確認したうえで、排気筒基礎の応答への影響の大きい基準地震動に対して実施する。

ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の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及びケース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 以下の場合は、照査値が最も厳しい地震動を用いて、ケース②及びケース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。

図 2-1 に地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定フローを示す。

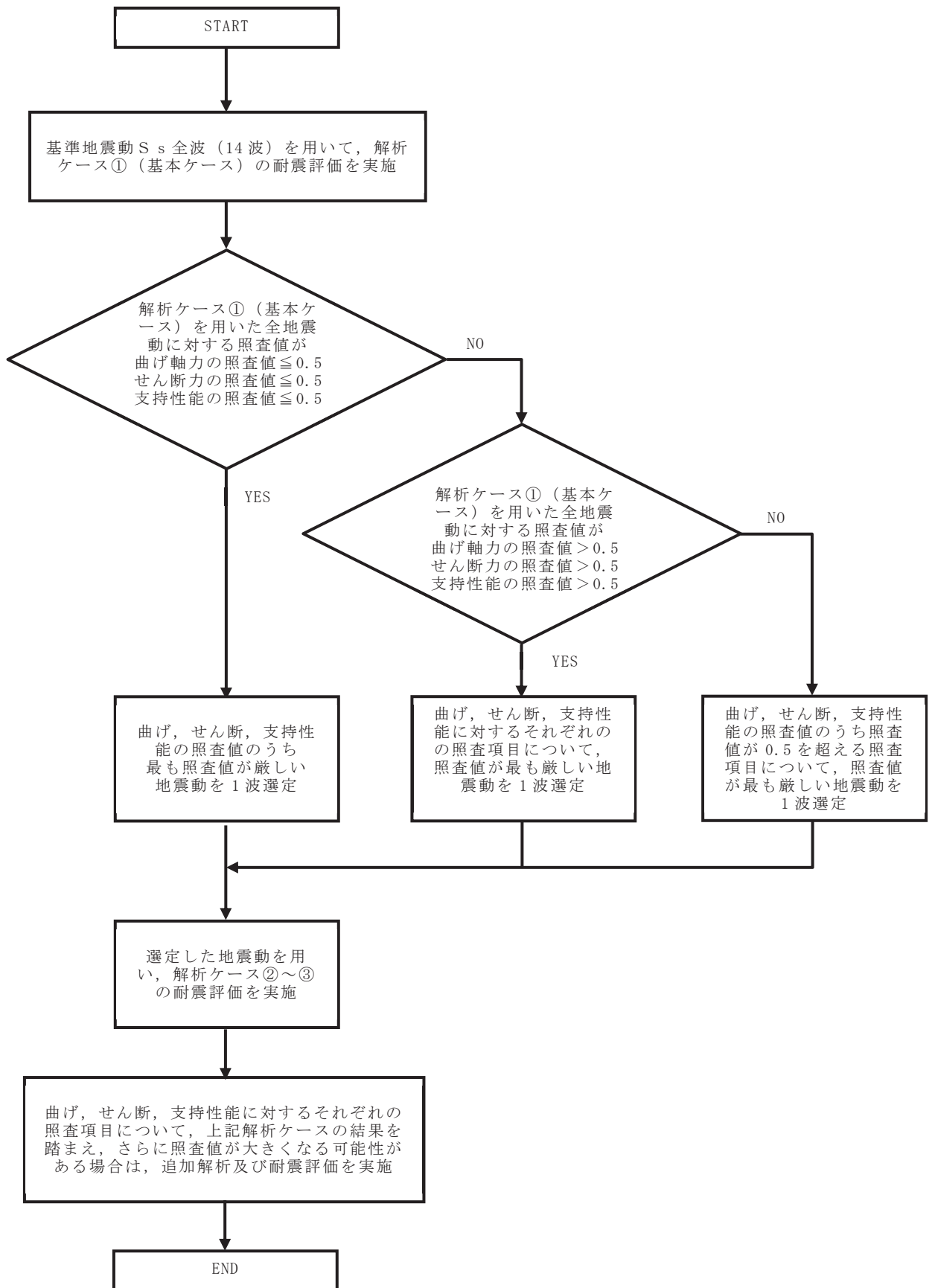


図2-1 地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定法のフロー

## 2.2 地震動の選定

排気筒基礎の基準地震動  $S_s$  に対する地震動の選定過程を以下に示す。排気筒基礎の基準地震動  $S_s$  に対する照査値を表 2-1～表 2-3 に示す。

「2.1 不確かさの影響検討を行う地震動の設定方法」に基づき確認した結果、 $S_s - D 2 (-+)$  が、照査値が最も厳しくなるせん断破壊に対する評価結果が最大となることから、 $S_s - D 2 (-+)$  を地盤物性の不確かさの影響検討に用いる地震動とする。

表 2-1(1)  $S_s$  地震時における曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果  
(コンクリート, NS 断面)

		曲げ・軸力系の破壊に対する 照査結果		
		ケース①	ケース②	ケース③
$S_s - D 1$	++	0.13		
	-+	0.13		
$S_s - D 2$	++	0.23		
	-+	0.14		
$S_s - D 3$	++	0.14		
	-+	0.11		
$S_s - F 1$	++	0.11		
	-+	0.10		
$S_s - F 2$	++	0.13		
	-+	0.12		
$S_s - F 3$	++	0.16		
	-+	0.12		
$S_s - N 1$	++	0.10		
	-+	0.09		

表 2-1(2) S s 地震時における曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果  
(コンクリート, EW 断面)

		曲げ・軸力系の破壊に対する 照査結果		
		ケース①	ケース②	ケース③
S s - D 1	++	0.21		
	-+	0.20		
S s - D 2	++	0.30		
	-+	0.23	0.27	0.21
S s - D 3	++	0.17		
	-+	0.17		
S s - F 1	++	0.14		
	-+	0.13		
S s - F 2	++	0.23		
	-+	0.24		
S s - F 3	++	0.20		
	-+	0.21		
S s - N 1	++	0.14		
	-+	0.15		

表 2-2(1) S s 地震時における曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果  
(鉄筋, NS 断面)

		曲げ・軸力系の破壊に対する 照査結果		
		ケース①	ケース②	ケース③
S s - D 1	++	0.36		
	-+	0.37		
S s - D 2	++	0.36		
	-+	0.38		
S s - D 3	++	0.37		
	-+	0.37		
S s - F 1	++	0.37		
	-+	0.37		
S s - F 2	++	0.37		
	-+	0.36		
S s - F 3	++	0.36		
	-+	0.35		
S s - N 1	++	0.36		
	-+	0.37		

表 2-2(2) S s 地震時における曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果  
(鉄筋, EW 断面)

		曲げ・軸力系の破壊に対する 照査結果		
		ケース①	ケース②	ケース③
S s - D 1	++	0.35		
	-+	0.35		
S s - D 2	++	0.35		
	-+	0.35	0.35	0.35
S s - D 3	++	0.35		
	-+	0.35		
S s - F 1	++	0.35		
	-+	0.35		
S s - F 2	++	0.35		
	-+	0.35		
S s - F 3	++	0.34		
	-+	0.35		
S s - N 1	++	0.35		
	-+	0.35		



表 2-3(1) S s 地震時におけるせん断破壊に対する照査結果 (NS 断面)

		せん断破壊に対する照査結果		
		ケース①	ケース②	ケース③
S s - D 1	++	0.55		
	-+	0.53		
S s - D 2	++	0.58		
	-+	0.55		
S s - D 3	++	0.49		
	-+	0.47		
S s - F 1	++	0.48		
	-+	0.46		
S s - F 2	++	0.48		
	-+	0.49		
S s - F 3	++	0.53		
	-+	0.46		
S s - N 1	++	0.48		
	-+	0.44		

表 2-3(2) S s 地震時におけるせん断破壊に対する照査結果 (EW 断面)

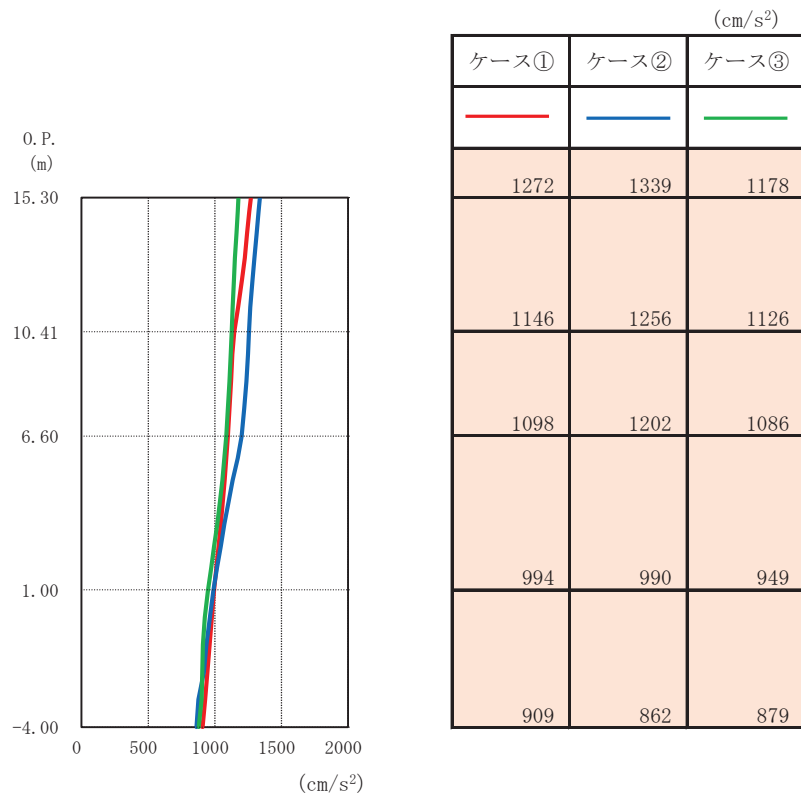
		せん断破壊に対する照査結果		
		ケース①	ケース②	ケース③
S s - D 1	++	0.65		
	-+	0.64		
S s - D 2	++	0.68		
	-+	0.69	0.68	0.68
S s - D 3	++	0.57		
	-+	0.58		
S s - F 1	++	0.50		
	-+	0.51		
S s - F 2	++	0.56		
	-+	0.58		
S s - F 3	++	0.64		
	-+	0.61		
S s - N 1	++	0.52		
	-+	0.51		

### 2.3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

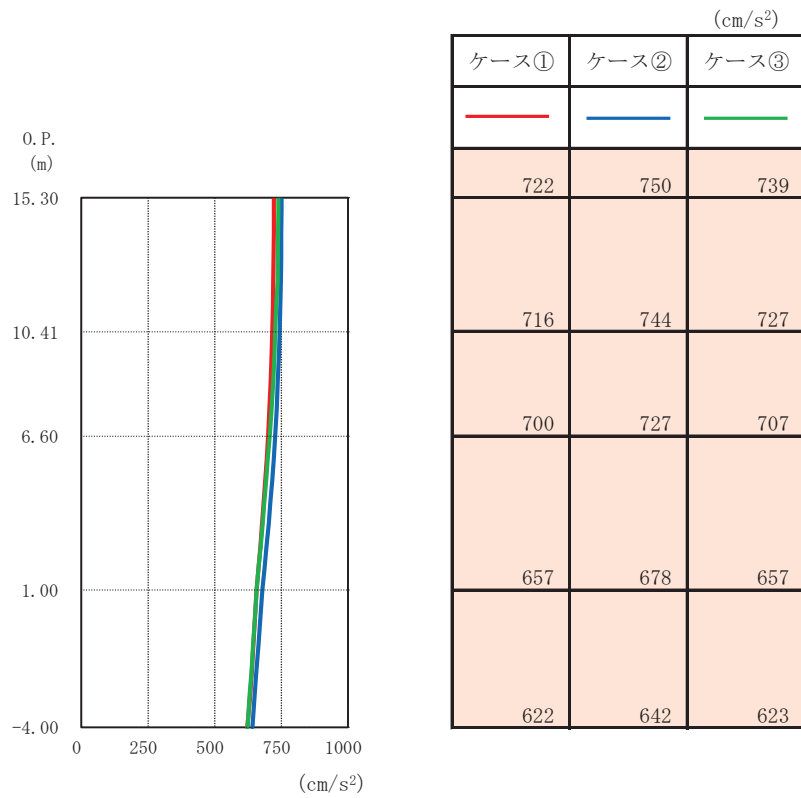
基本ケースの地震応答解析結果は、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」に示していることから、ここでは地盤物性の不確かさを考慮した基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果を図 2-2 に示す。

地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果より、以下の傾向を確認した。

- ・ 曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各項目で 0.5 を超えるせん断破壊に対する評価結果から， $S_s - D2 (-+)$  が排気筒基礎の耐震評価に最も厳しい基準地震動となった。
- ・  $S_s - D2 (-+)$  による地盤物性の不確かさの評価結果から，排気筒基礎における地盤物性の不確かさについての影響は小さい結果となった。



(a) 水平方向



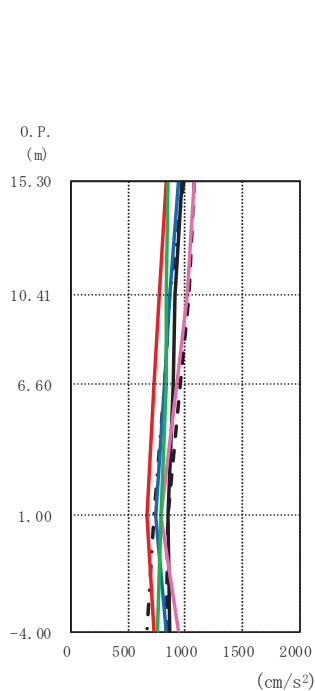
(b) 鉛直方向

図 2-2 最大応答加速度 (基準地震動  $S_s$ ,  $S_s - D2$  (-+), EW 断面)

### 3. 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

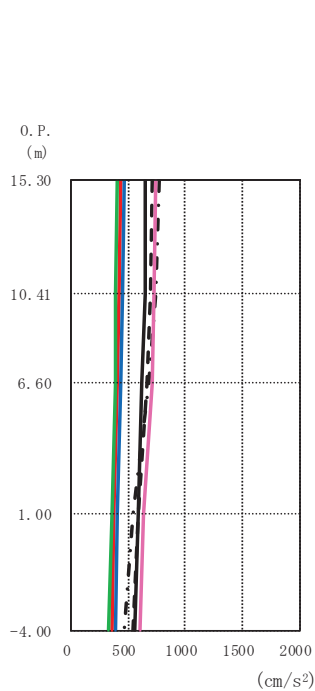
排気筒基礎に支持される機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、基準地震動  $S_s$  (7波) 及び弾性設計用地震動  $S_d$  を用いて、ケース①に加え、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」に基づきケース②～④の解析を実施している。

鉄筋コンクリート部材の初期剛性低下の影響として、鉄筋コンクリート部材の剛性を0.75倍したケースに係る地震応答解析結果として、基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図3-1～図3-2に示す。



(cm/s <sup>2</sup> )						
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1
965	1081	989	827	944	1077	845
916	1029	862	777	862	1008	837
892	961	818	723	824	923	825
840	847	719	659	734	781	784
863	828	667	726	837	939	753

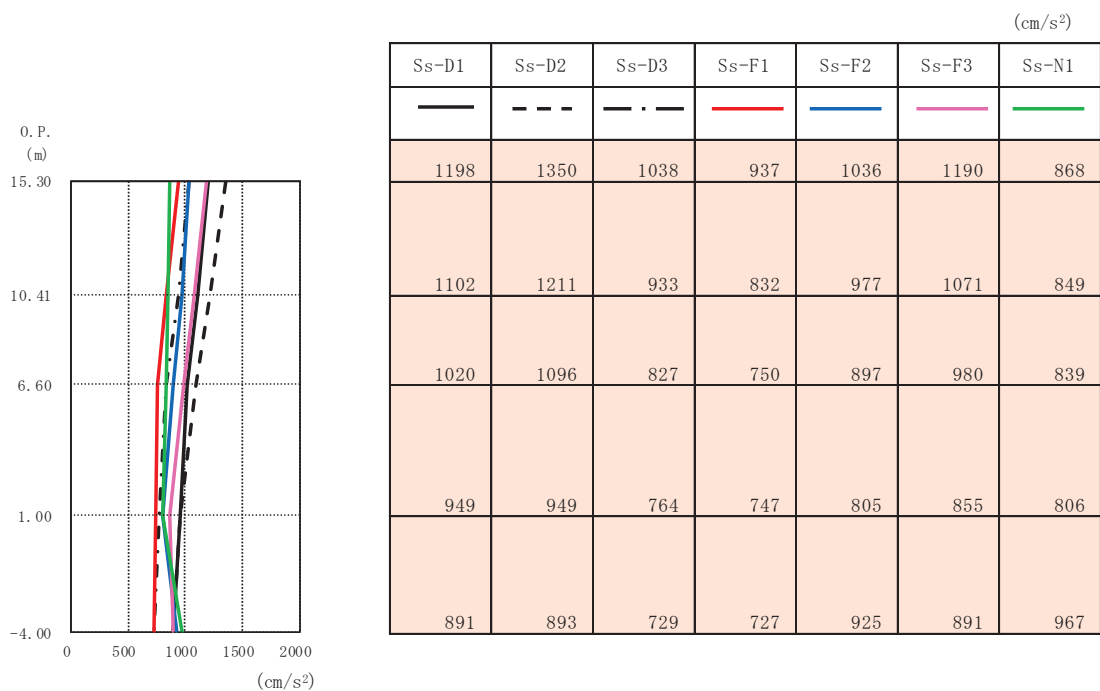
(a) 水平方向



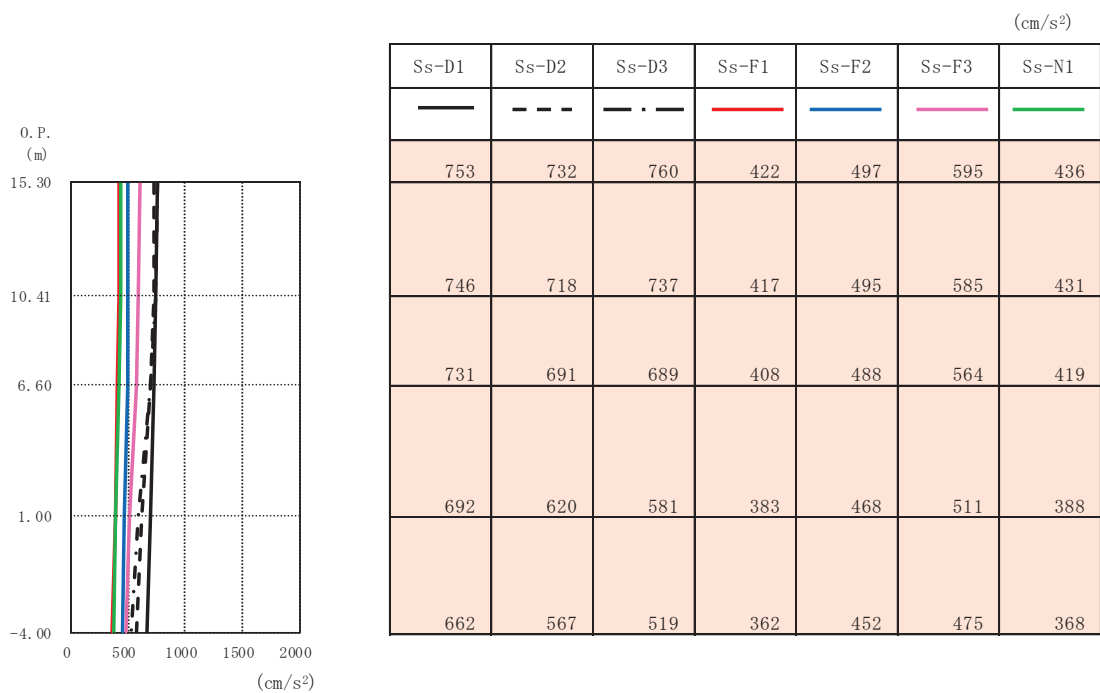
(cm/s <sup>2</sup> )						
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1
651	711	765	428	461	742	405
648	695	734	418	453	729	391
621	662	679	407	437	704	380
585	588	543	378	397	639	351
559	536	471	357	389	595	328

(b) 鉛直方向

図 3-1 最大応答加速度 (基準地震動 S s (++) , ケース⑤, NS 断面)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3-2 最大応答加速度 (基準地震動 S s (++) , ケース⑤, EW 断面)

別紙 4 排気筒基礎の地盤の液状化を考慮した地震応答解析結果



## 目次

1. 概要	別紙 4-1
2. 検討方針	別紙 4-2
3. 解析方法	別紙 4-3
3.1 入力地震動	別紙 4-3
3.2 解析モデル及び諸元	別紙 4-3
3.2.1 解析モデル及び諸元	別紙 4-3
3.2.2 使用材料及び材料の物性値	別紙 4-6
3.2.3 地盤の物性値	別紙 4-6
3.2.4 地下水位	別紙 4-7
4. 地震応答解析結果	別紙 4-8
5. 耐震評価に与える影響	別紙 4-19
5.1 排気筒基礎の評価に与える影響	別紙 4-19
5.2 排気筒の評価に与える影響	別紙 4-22
5.3 配管の評価に与える影響	別紙 4-30

## 1. 概要

排気筒基礎の設計用地下水位は地表面（O.P. 14.8m）に設定しており、また、周辺の地盤は液状化検討対象層（盛土、旧表土）が分布している。建物・構築物である排気筒基礎は、土圧による影響が支配的な屋外重要土木構造物と異なり、入力地震動との共振振動により発生する構造物の慣性力による影響が大きいことから、地盤の液状化、非液状化による土圧の影響は少ないと考え、全応力解析を基本としている。

本資料では、周辺地盤の液状化による影響を確認するため、地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析（以下「有効応力解析」という。）を行い、排気筒基礎、排気筒及び配管に与える影響を確認するものである。具体的には、排気筒基礎に発生する慣性力及び排気筒、配管の共振への影響を確認するため、排気筒基礎の地震応答解析から求めた応答加速度を確認する。また、排気筒基礎は、地盤からの土圧も作用することから、モデルに発生する断面力についても確認する。

## 2. 検討方針

排気筒基礎の有効応力解析は、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。

有効応力解析フローを図 2-1 に示す。

有効応力解析は、「3.1 入力地震動」において設定した入力地震動を用いて実施することとし、「3.2 解析モデル及び諸元」において設定した有効応力解析モデル及び条件に基づき、「4. 地震応答解析結果」及び「5. 耐震評価に与える影響」において排気筒基礎の各種応答値を算出し、有効応力解析による影響を確認する。

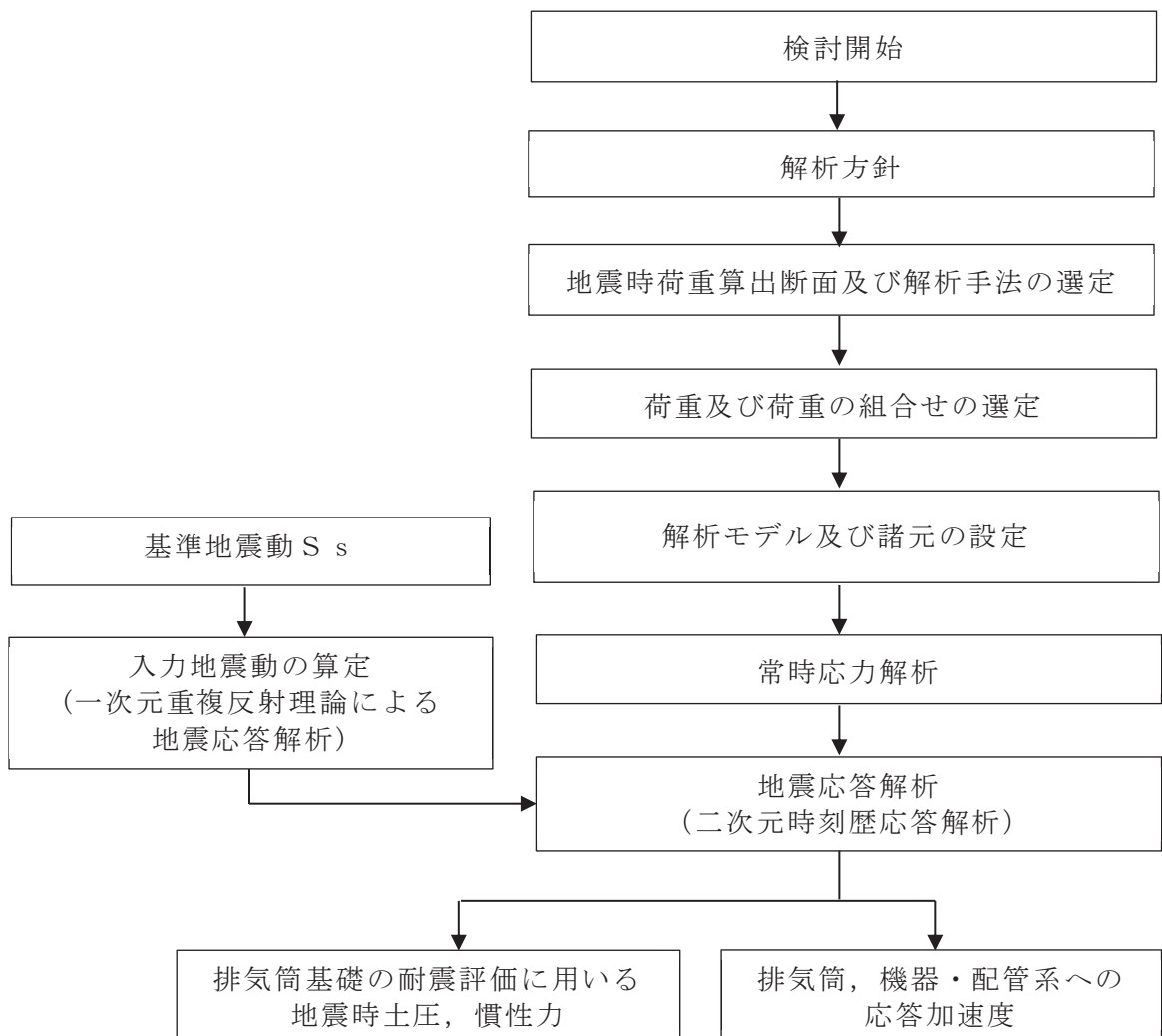


図 2-1 排気筒基礎の有効応力解析フロー

### 3. 解析方法

#### 3.1 入力地震動

有効応力解析に用いる入力地震動は、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」と同一とし、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。

#### 3.2 解析モデル及び諸元

有効応力解析に用いる解析モデル及び諸元は、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」と同一とし、以下に示すものをを用いる。地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver7.3.0\_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。

##### 3.2.1 解析モデル及び諸元

排気筒基礎の地震応答解析モデルを図 3-1～図 3-3 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

D<sub>1</sub>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 D<sub>2</sub>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。

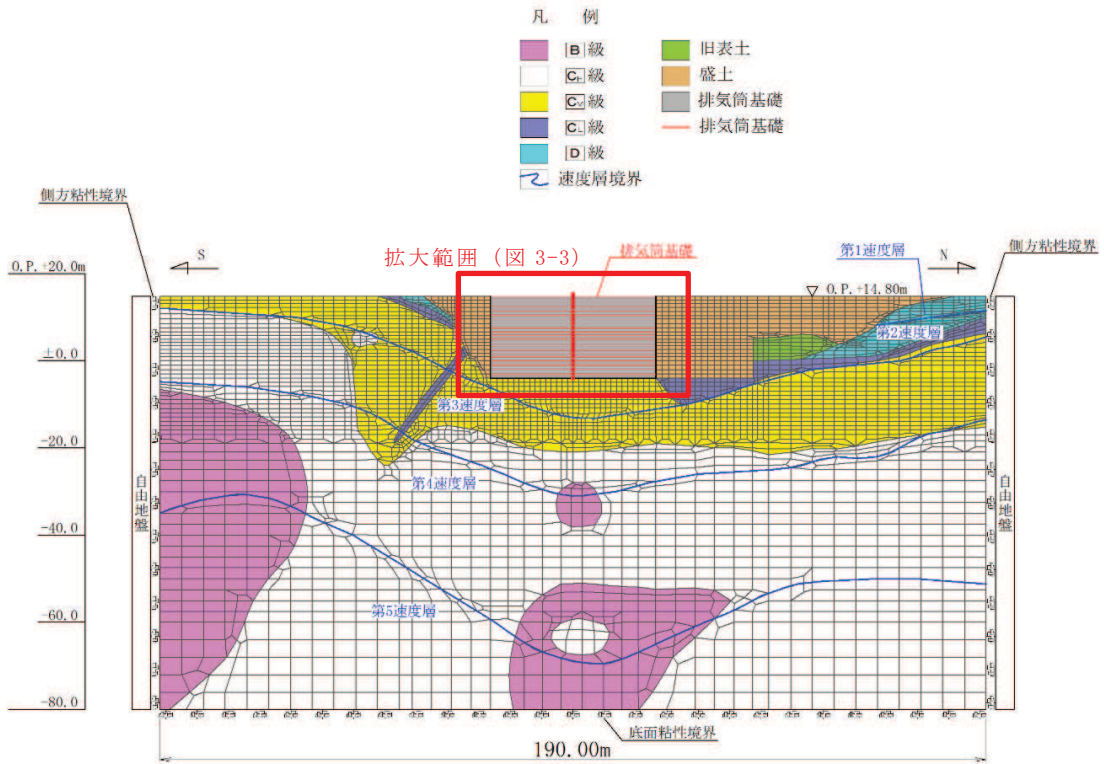


図 3-1 排気筒基礎の地震応答解析モデル図 (NS 断面)

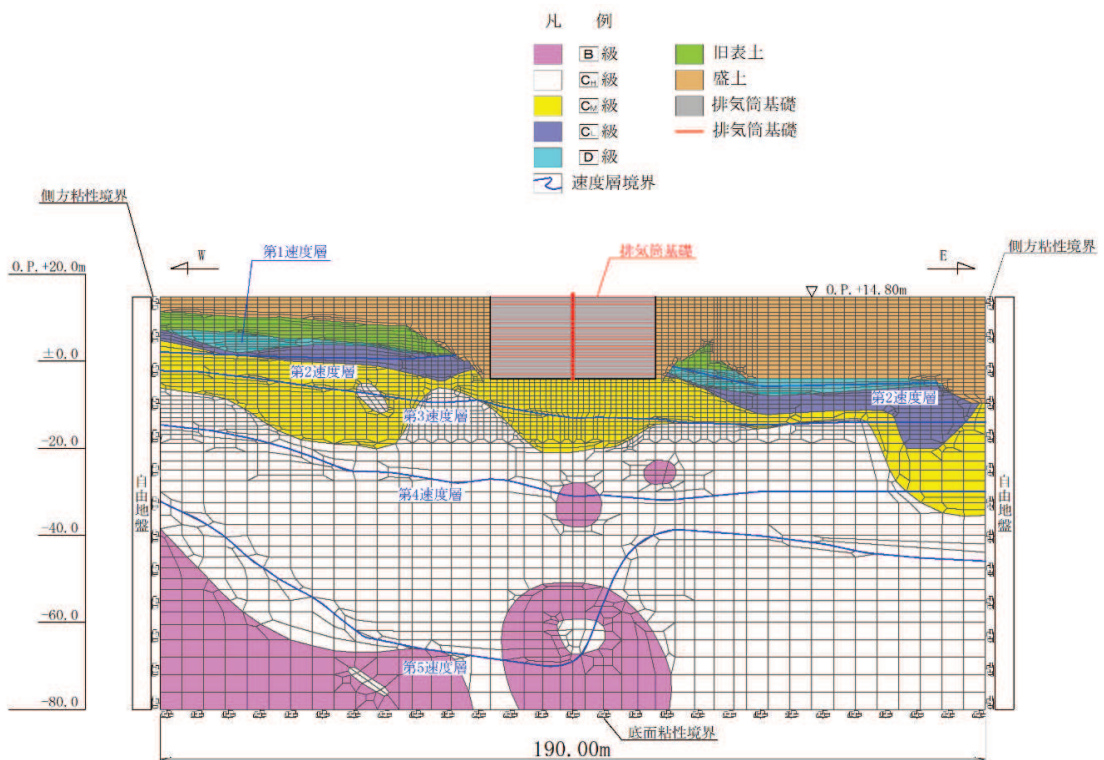


図 3-2 排気筒基礎の地震応答解析モデル図 (EW 断面)

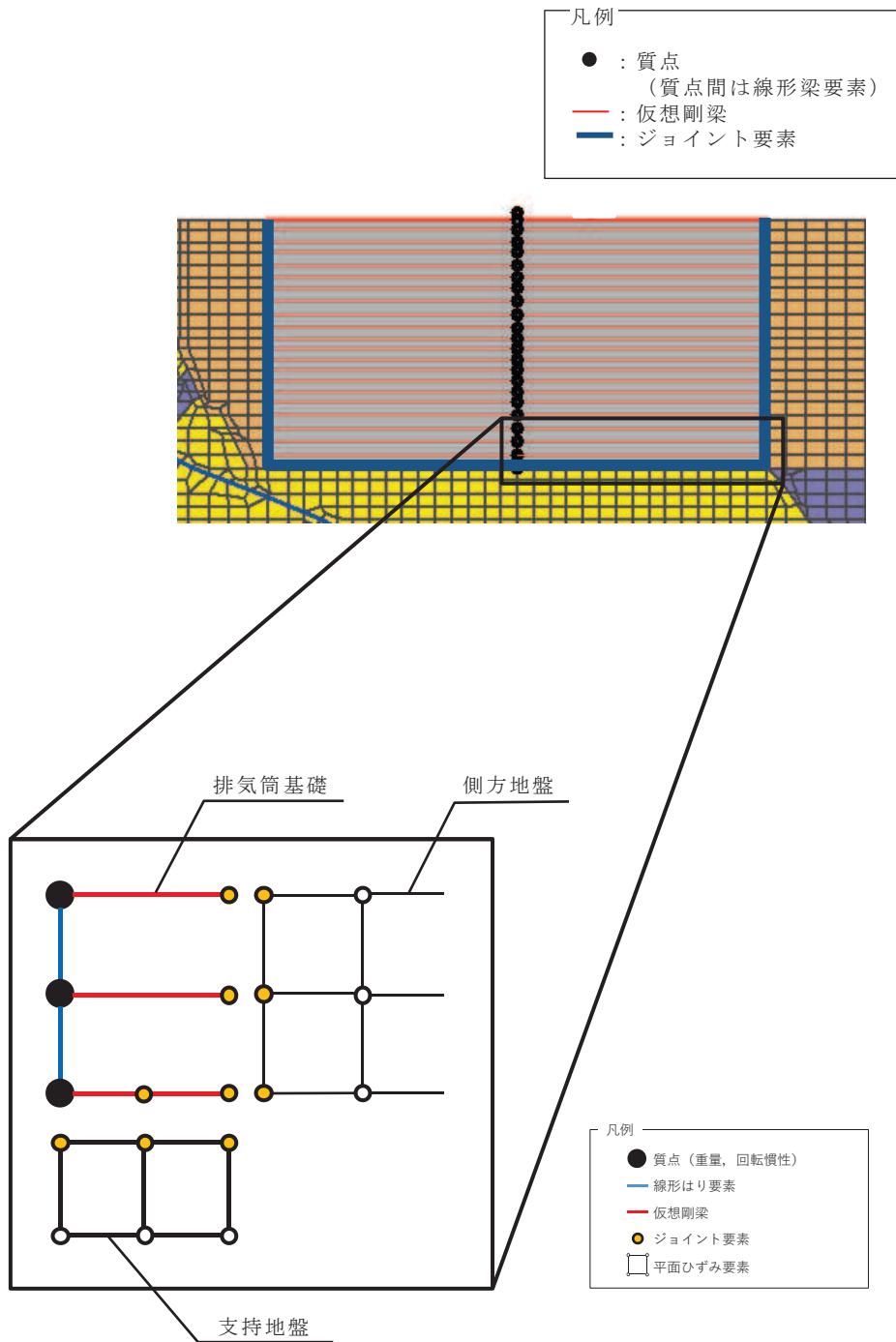


図 3-3 排気筒基礎の地震応答解析モデル (拡大図, 模式図)

### 3.2.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表3-1に示す。

表 3-1 使用材料の材料定数

使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： F <sub>c</sub> = 20.5 (N/mm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD345	2.15 × 10 <sup>4</sup>	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 <sub>c</sub> = 18.0 (N/mm <sup>2</sup> )	2.06 × 10 <sup>4</sup>	0.2	充填コンクリート部

### 3.2.3 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。

### 3.2.4 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3-2に、設計用地下水位を図3-4及び図3-5に示す。

表 3-2 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	0. P. 14. 8m
	EW 断面	0. P. 14. 8m

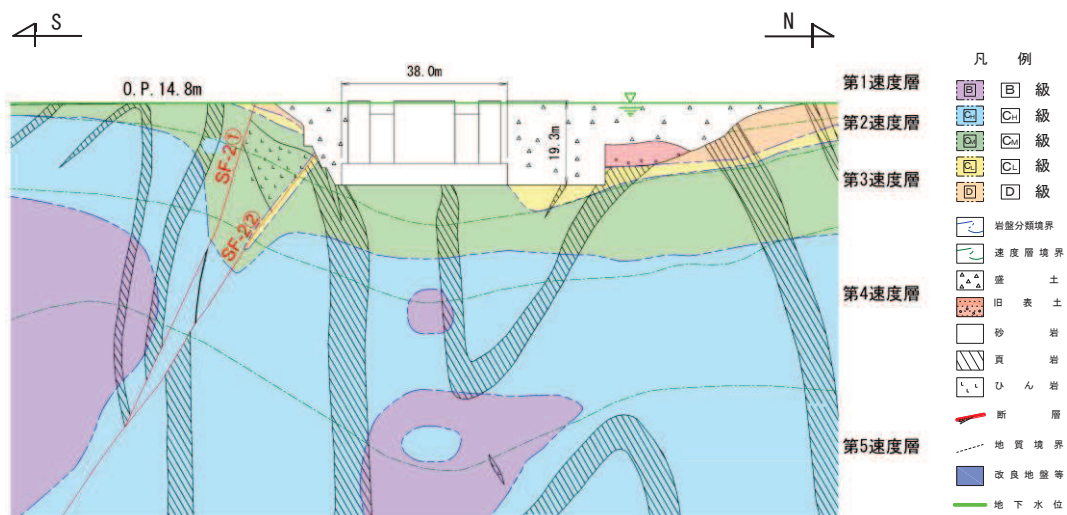


図 3-4 設計用地下水位 (NS 断面)

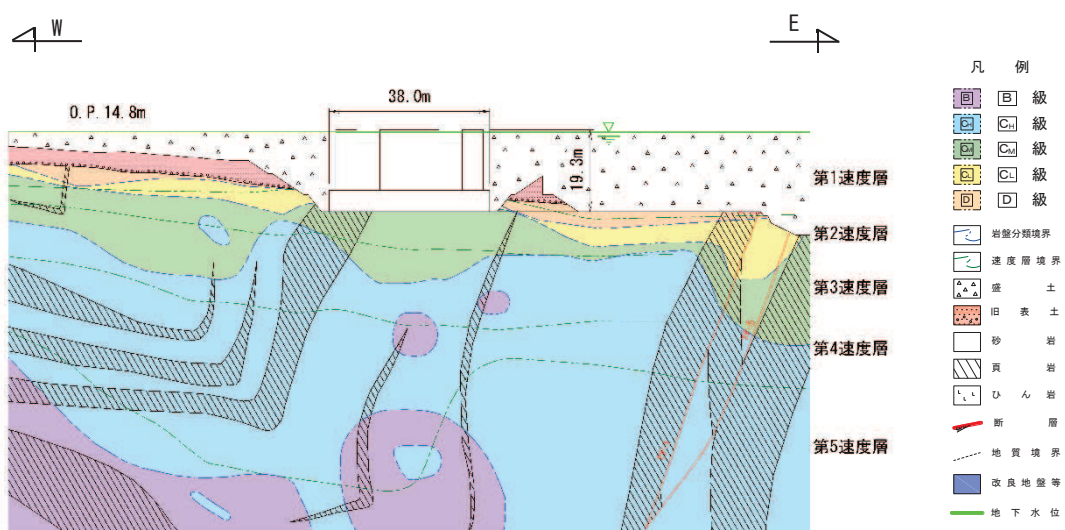


図 3-5 設計用地下水位 (EW 断面)



#### 4. 地震応答解析結果

有効応力解析に基づく基準地震動  $S_s$  ごとの最大過剰間隙水圧比を図 4-1 及び図 4-2 に示す。排気筒基礎は構造物の構築のため原地盤を掘削し、盛土に置き換えていることから、排気筒基礎の近傍は盛土に囲まれており、周辺に旧表土が残っている。排気筒基礎周辺の盛土における最大過剰間隙水圧比は、地表面付近(1~2m 以浅)で一部 95% を超える場合があるものの、ほとんどの範囲で最大過剰間隙水圧比が 95% を下回ることを確認した。

基準地震動  $S_s$  の全応力解析及び有効応力解析による応答スペクトルを図 4-3 及び図 4-4 に示す。また、基準地震動  $S_s$  の全応力解析及び有効応力解析による最大応答加速度分布図を図 4-5 及び図 4-6 に示す。

EW 断面の応答スペクトル及び応答加速度は、全応力解析と有効応力解析結果が同等となっている。一方、NS 断面の応答スペクトル及び応答加速度は、EW 断面に比べ小さな応答となっており、かつ、有効応力解析に比べ全応力解析の応答値が大きくなっていることがわかる。

NS 断面においては、排気筒南側に岩盤が分布しており、振動を拘束する効果があるため、EW 断面に比べ応答が小さくなっていると考えられる。また、有効応力解析の応答が全体的に小さくなっているのは、排気筒北側の盛土の剛性低下の影響によるものと考えられる。

EW 断面においては、有効応力解析における過剰間隙水圧の上昇による地盤の剛性の低下に伴い、主動働土圧、受働働土圧とも小さくなったことにより、応答加速度の最大値が変わらないと考える。また、0.1s 付近において、有効応力解析の応答加速度が小さくなったのは、全応力解析に比べて地盤の剛性低下により短周期側の応答が小さくなったためだと考えられる。

解析結果は有効応力解析と全応力解析で同等と考えられるが、非液状化対象層が局所的に分布する場合には、全応力解析が保守的な結果になると考えられる。

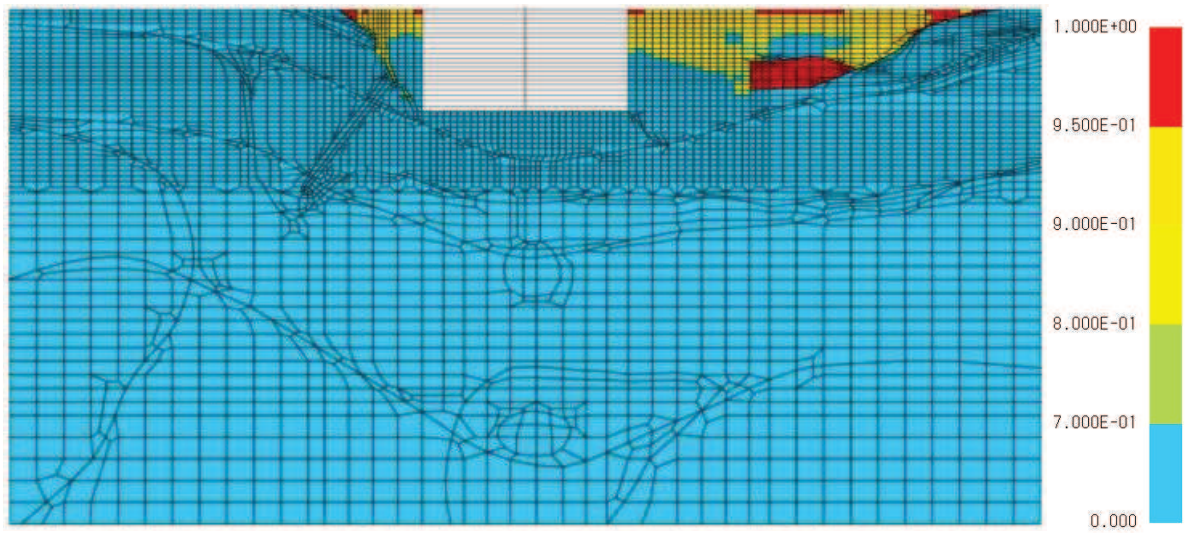


図 4-1(1) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (NS 断面,  $S_s - D 1$  (++) )

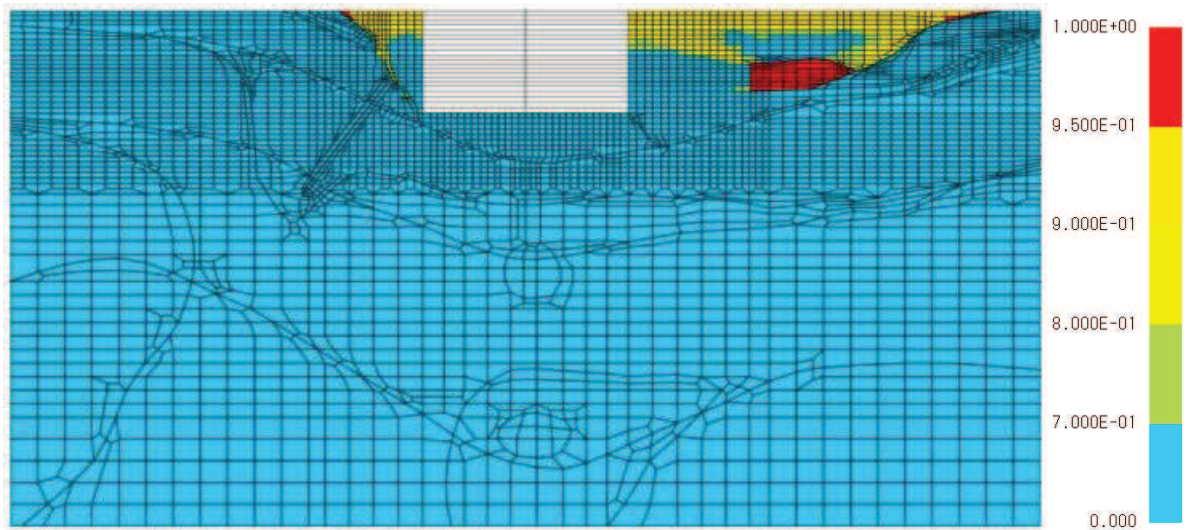


図 4-1(2) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (NS 断面,  $S_s - D 2$  (++) )

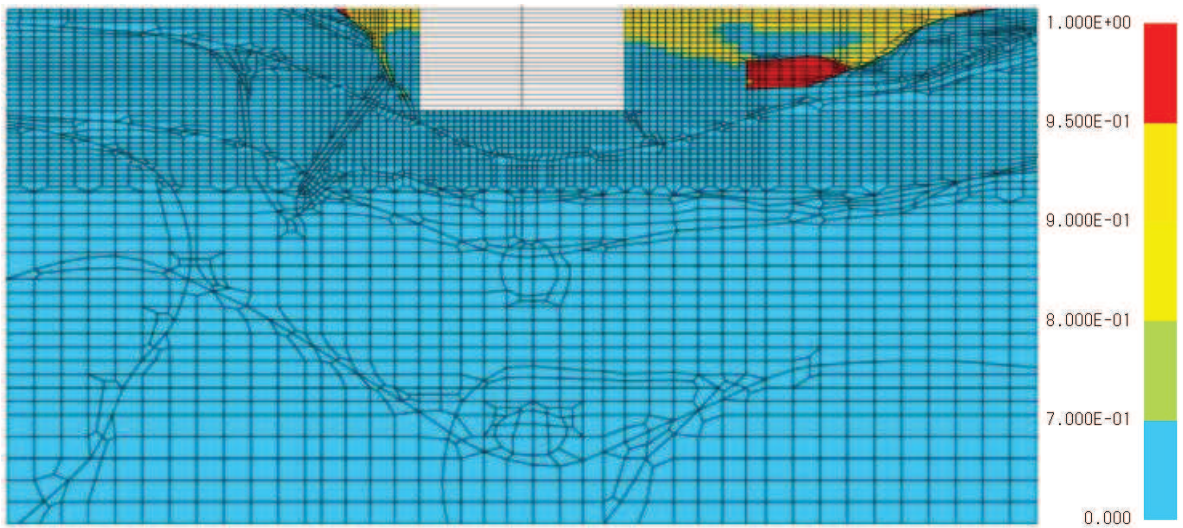


図 4-1(3) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (NS 断面,  $S_s - D 3 (++)$ )

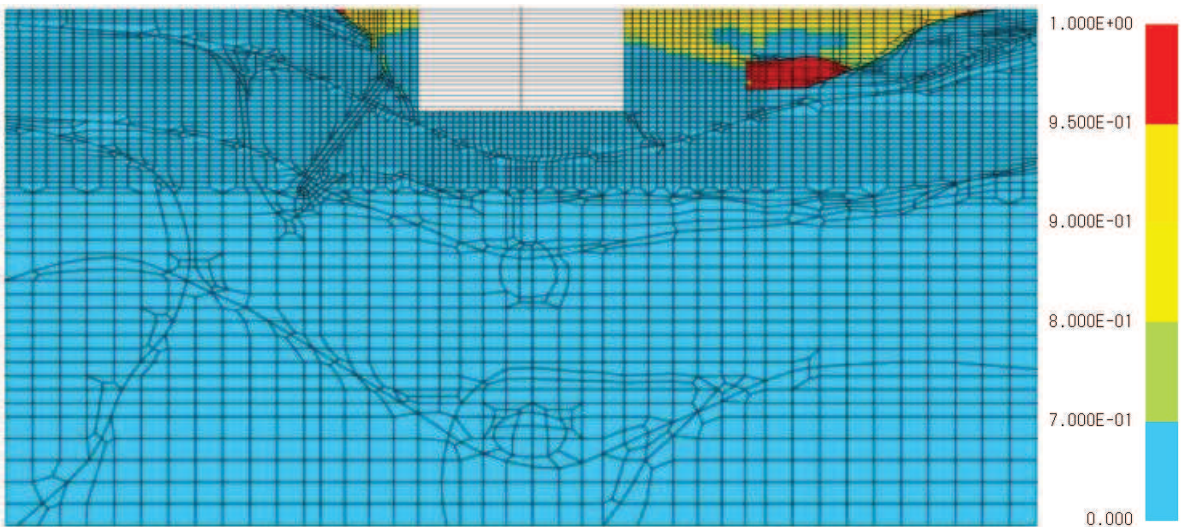


図 4-1(4) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (NS 断面,  $S_s - F 1 (++)$ )

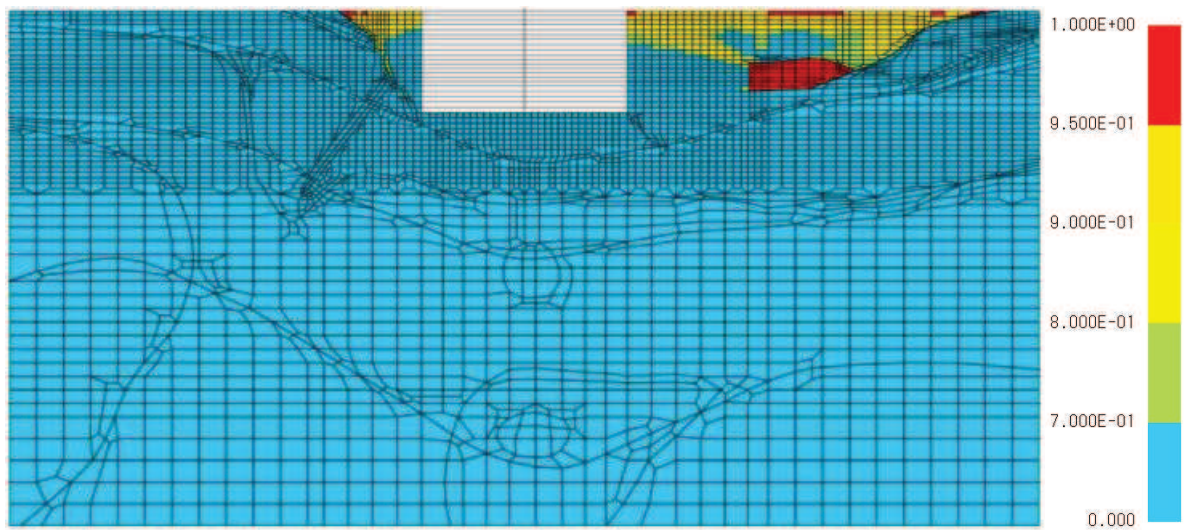


図 4-1(5) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (NS 断面,  $S_s - F 2$  (++) )

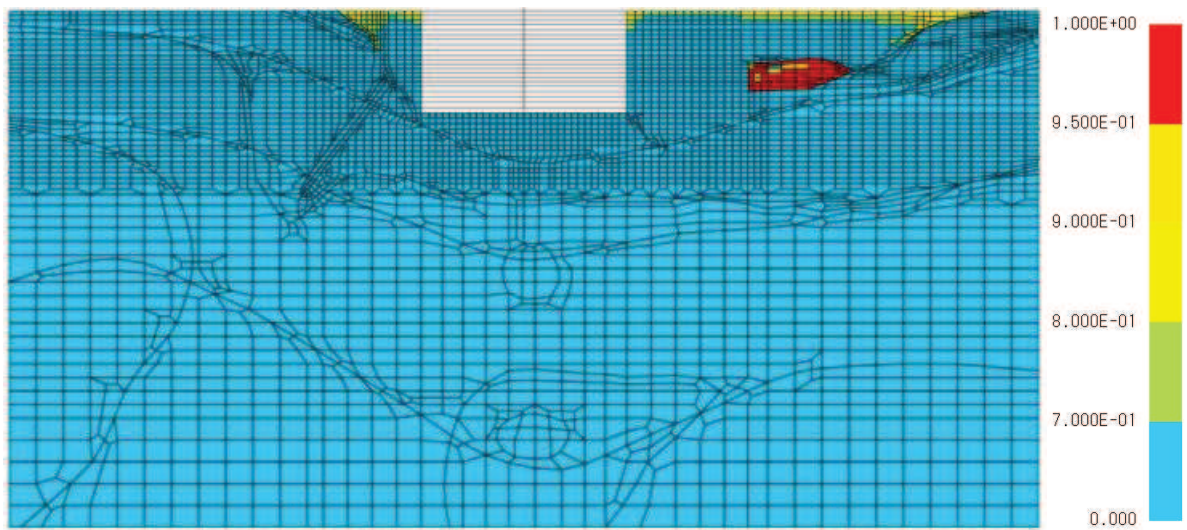


図 4-1(6) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (NS 断面,  $S_s - F 3$  (++) )

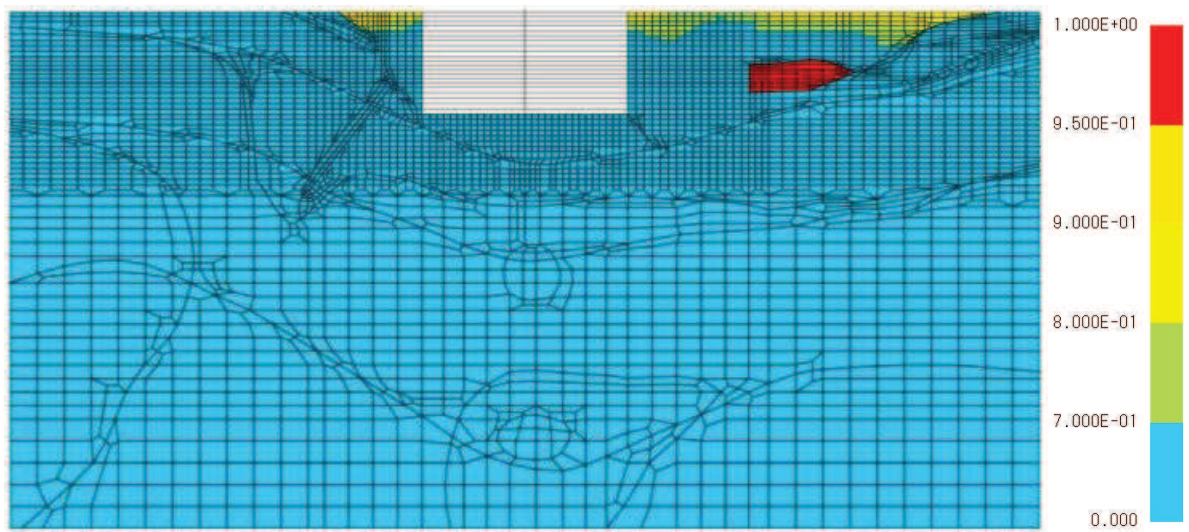


図 4-1(7) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (NS 断面, S<sub>s</sub> - N 1 (++) )

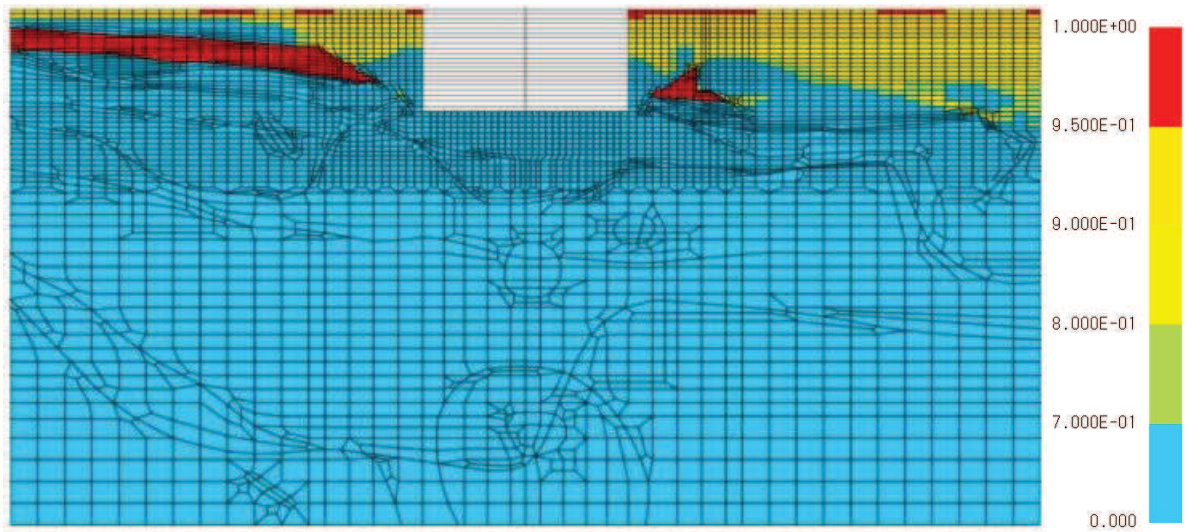


図 4-2(1) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (EW 断面, S<sub>s</sub>-D 1 (++) )

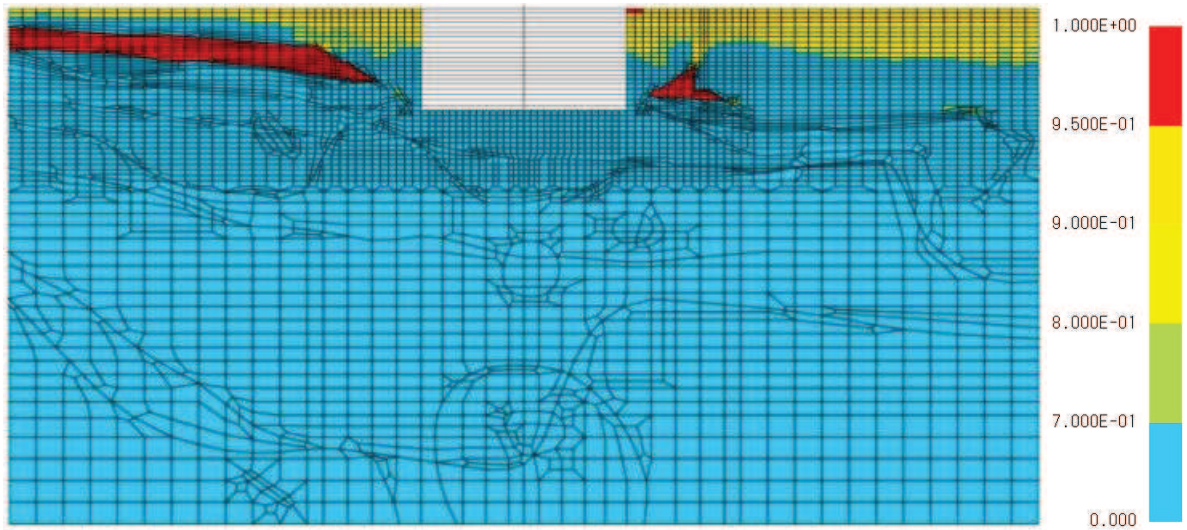


図 4-2(2) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (EW 断面, S<sub>s</sub>-D 2 (++) )

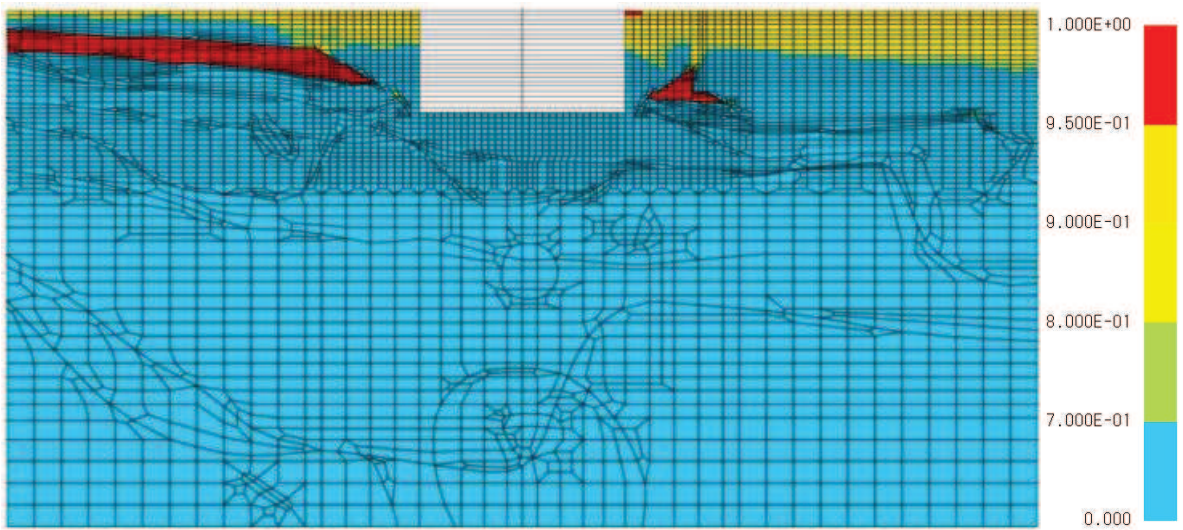


図 4-2(3) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (EW 断面,  $S_s - D3$  (++) )

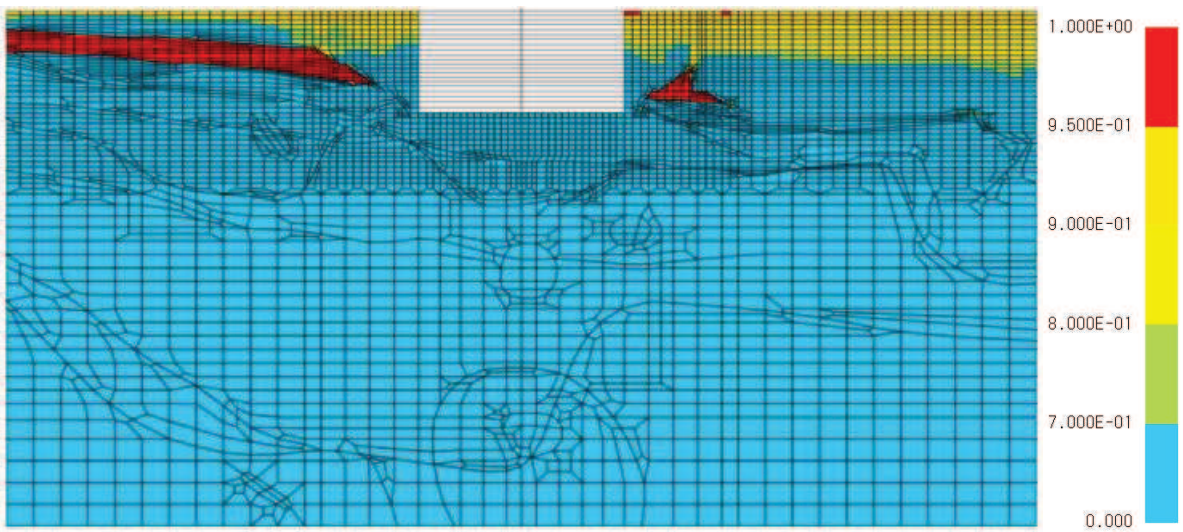


図 4-2(4) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (EW 断面,  $S_s - F1$  (++) )

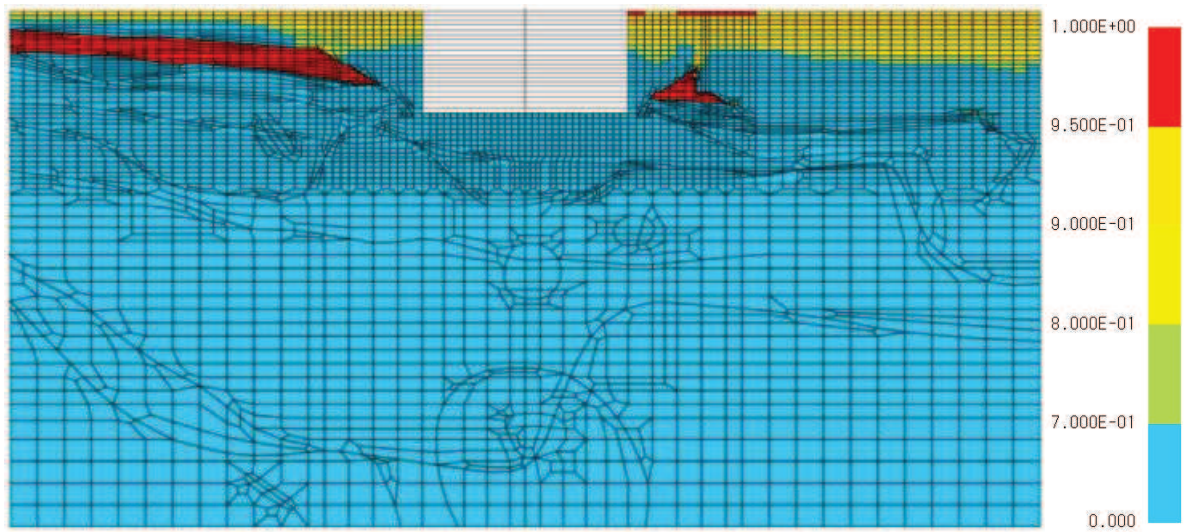


図 4-2(5) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (EW 断面,  $S_s - F 2$  (++) )

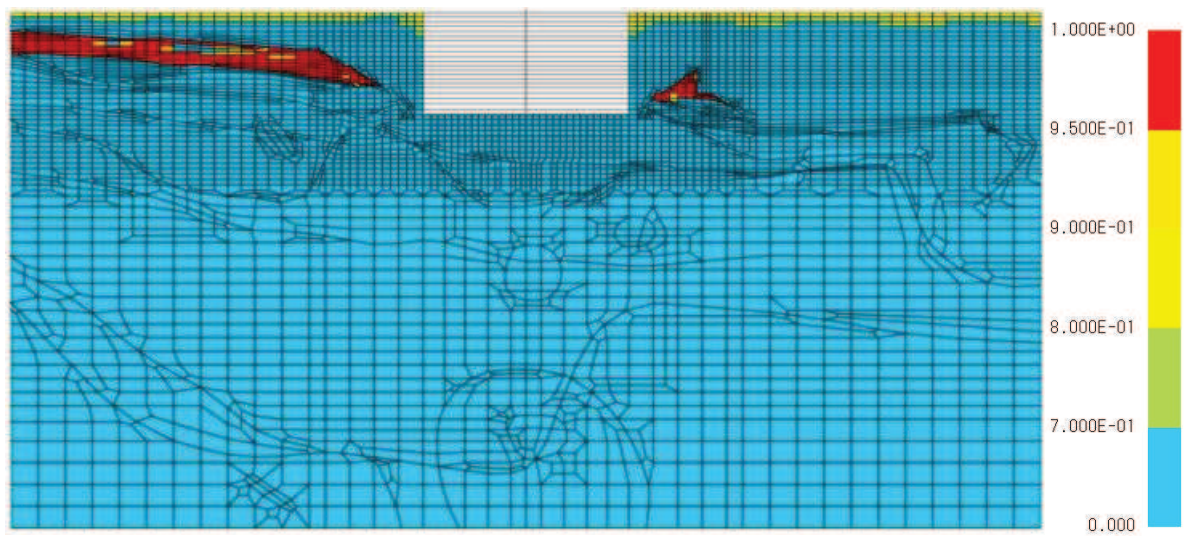


図 4-2(6) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (EW 断面,  $S_s - F 3$  (++) )



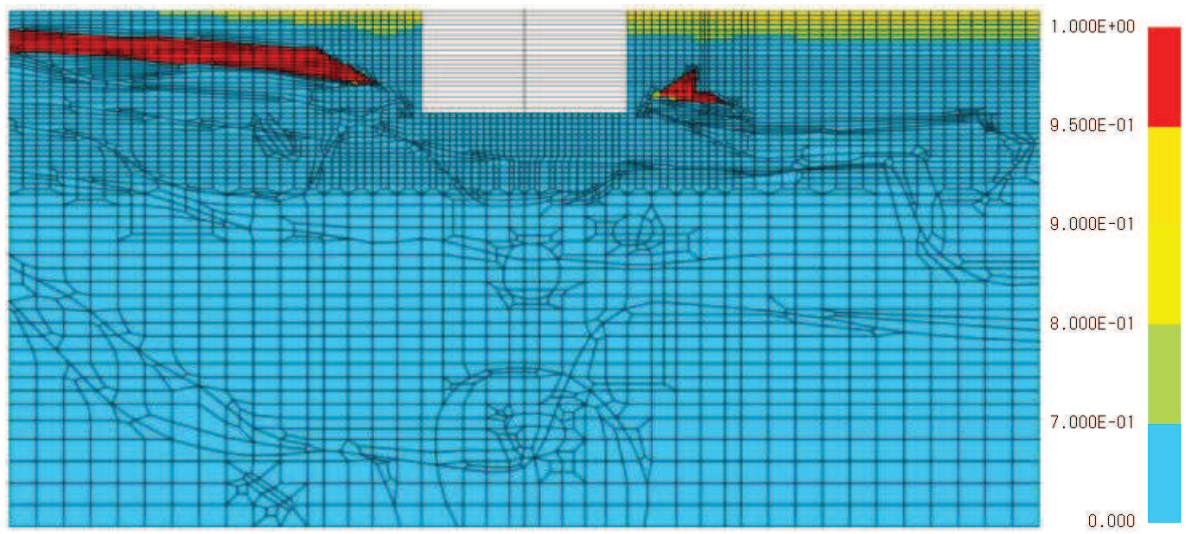


図 4-2(7) 地盤の最大過剰間隙水圧比 (EW 断面, S<sub>s</sub>-N1 (++) )

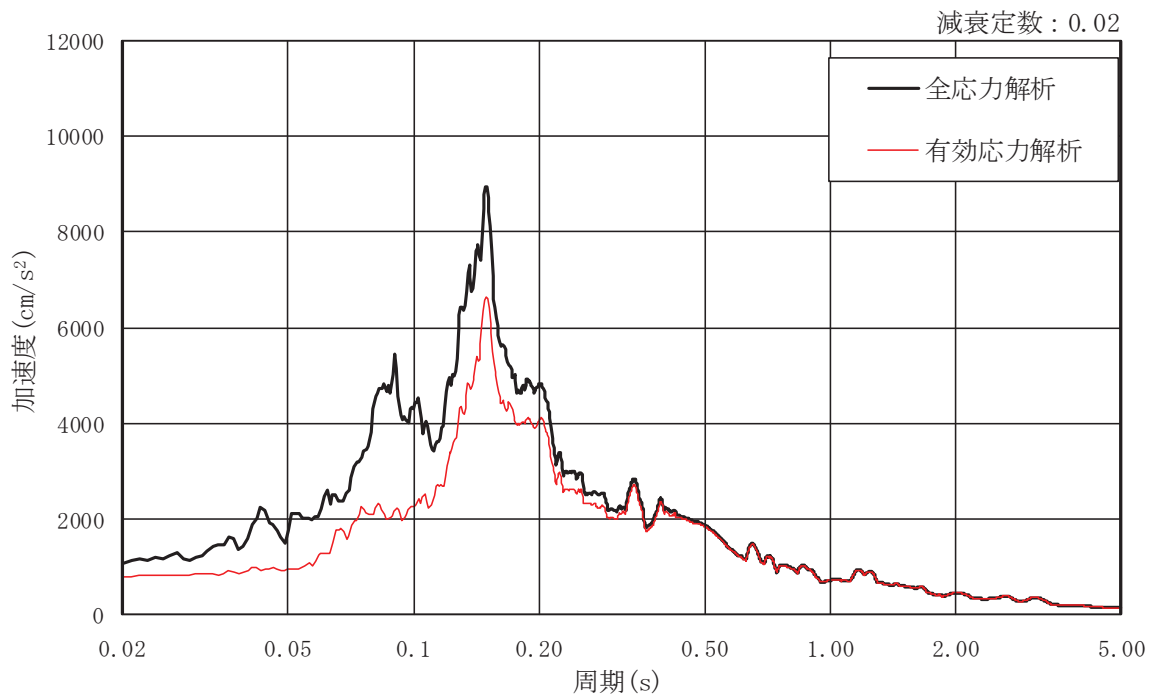


図 4-3 応答スペクトルの比較 (NS 断面, 包絡値)

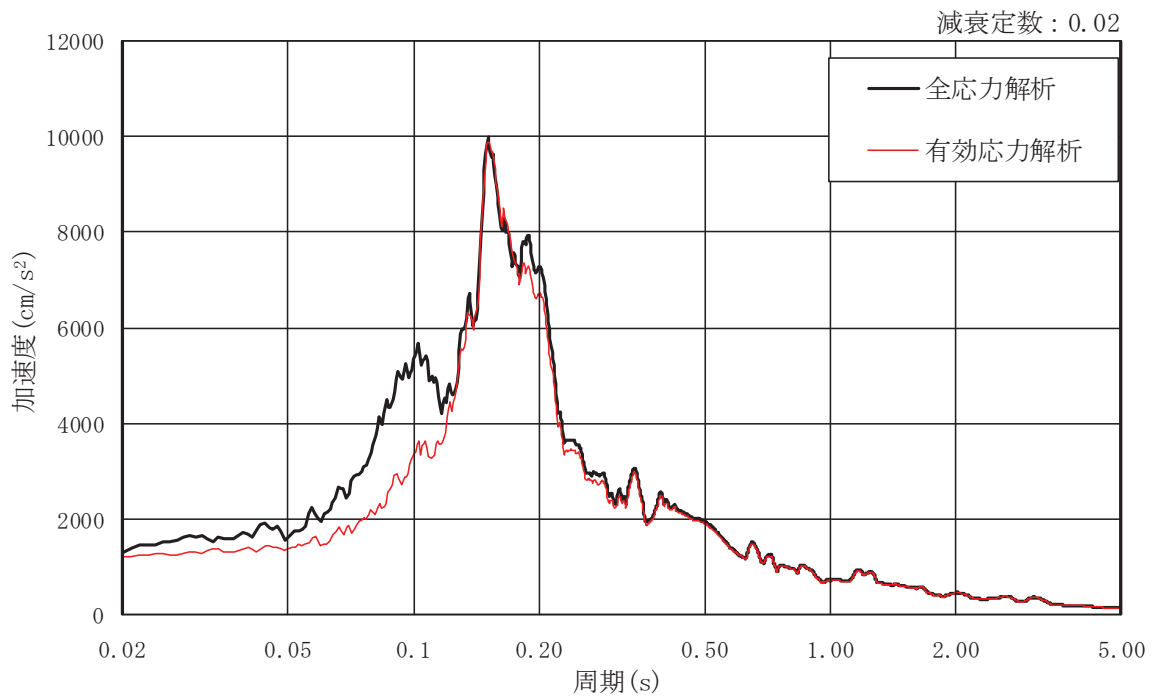
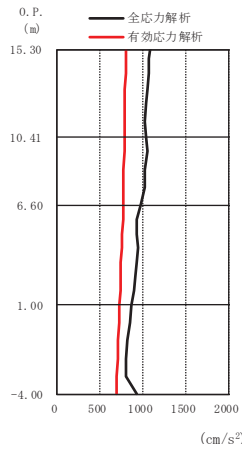
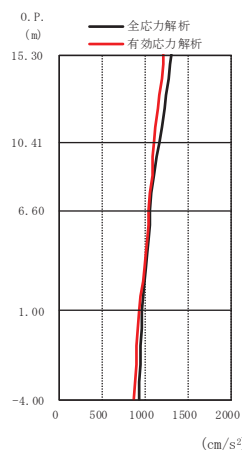


図 4-4 応答スペクトルの比較 (EW 断面, 包絡値)



有効応力解析								全応力解析
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	包絡値	包絡値
783	798	683	641	727	743	715	798	1075
777	771	642	621	706	706	705	777	1024
763	742	615	599	684	665	695	763	964
721	682	581	551	650	606	678	721	863
687	639	556	515	616	573	666	687	920

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



有効応力解析								全応力解析
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	包絡値	包絡値
1098	1224	1051	801	945	1062	845	1224	1307
1065	1110	973	752	892	1014	829	1110	1170
1025	1051	899	719	841	965	812	1051	1067
937	940	769	682	754	877	779	940	968
867	846	705	651	705	807	758	867	932

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

## 5. 耐震評価に与える影響

前章により，全応力解析と有効応力解析はほぼ同等の解析結果になると考えるが，排気筒基礎に作用する断面力及び排気筒，配管の固有周期に着目して，影響を確認する。

### 5.1 排気筒基礎の評価に与える影響

排気筒基礎の評価は，図 5-1 及び図 5-2 に示す最大応答せん断力，図 5-3 及び図 5-4 に示す最大応答曲げモーメント，図 5-5 及び図 5-6 に示す最大応答軸力の比較を行う。

断面力を比較した結果，全応力解析と有効応力解析はほぼ同等の解析結果となったことから，全応力解析が妥当な解析手法と考える。

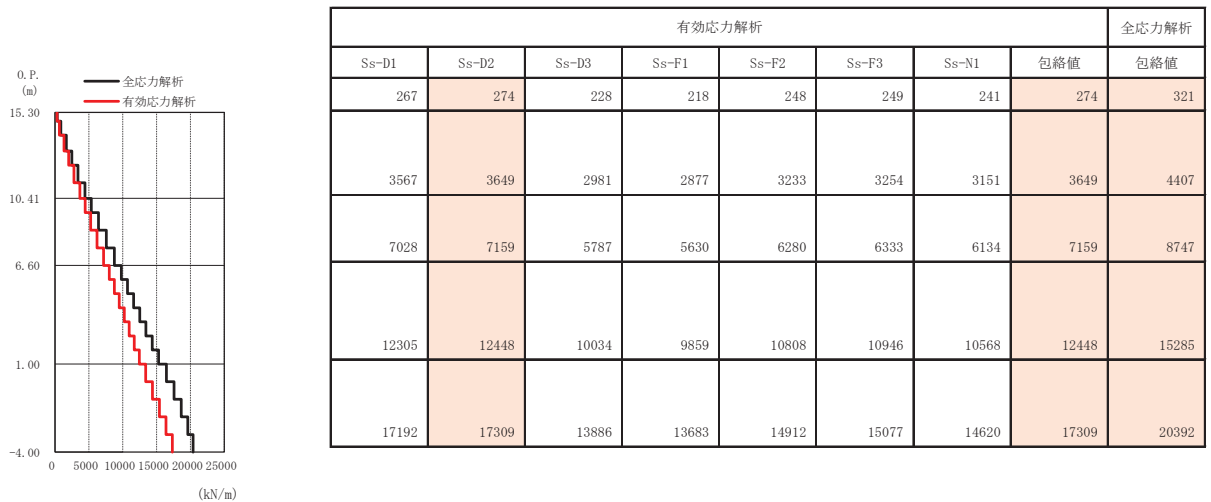


図 5-1 最大応答せん断力 (NS 断面，基準地震動  $S_s$  (++))

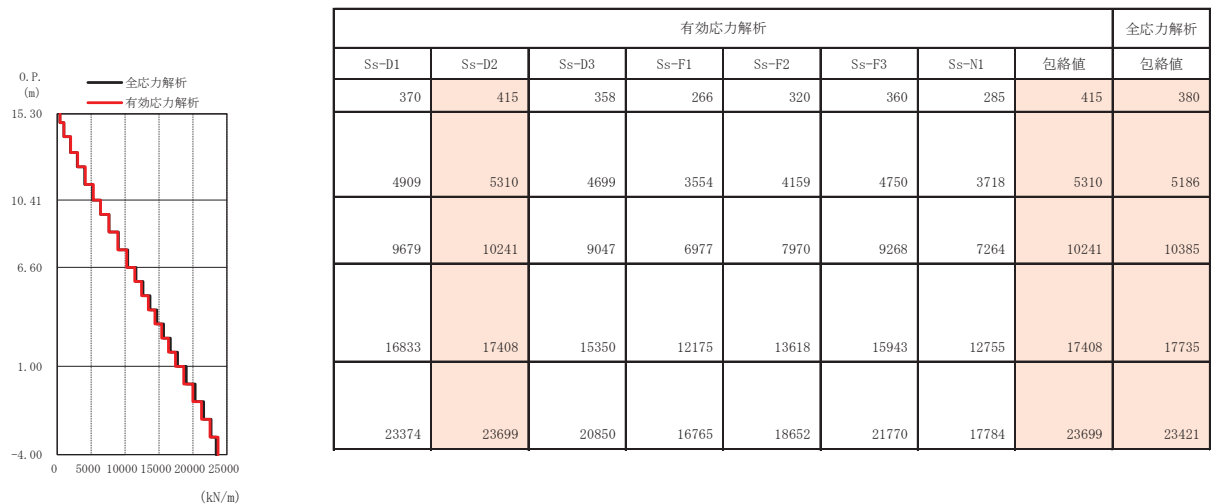
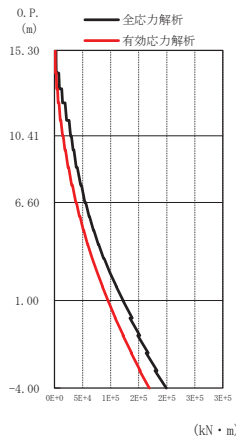
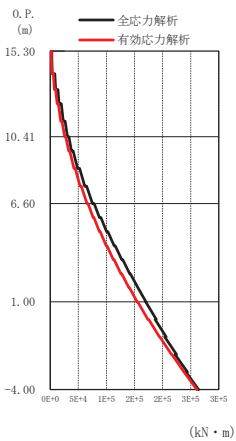


図 5-2 最大応答せん断力 (EW 断面，基準地震動  $S_s$  (++))



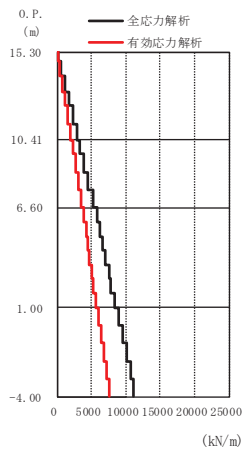
有効応力解析								全応力解析
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	包絡値	包絡値
997	971	932	746	761	1023	519	1023	2561
14246	13469	11950	11370	11432	13723	10859	14246	28466
37904	37171	32196	31809	32599	36422	30946	37904	54209
95000	95305	80490	78970	83078	86431	78686	95305	122269
167567	168802	140295	136747	146265	148390	140362	168802	199240

図 5-3 最大応答曲げモーメント (NS 断面, 基準地震動 S s (++) )



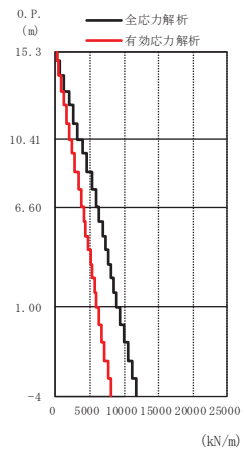
有効応力解析								全応力解析
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	包絡値	包絡値
1429	1901	1400	1218	1092	1569	636	1901	2819
20582	25559	21181	17169	17253	20503	13015	25559	30426
55117	65303	55425	43648	46100	51274	38103	65303	75214
136823	154620	133351	100592	113572	127199	97378	154620	170391
237052	261316	227666	168404	195588	222232	172279	261316	264153

図 5-4 最大応答曲げモーメント (EW 断面, 基準地震動 S s (++) )



有効応力解析								全応力解析
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	包絡値	包絡値
150	169	169	120	131	155	101	169	254
1738	1948	1918	1383	1495	1779	1175	1948	2942
3209	3531	3479	2513	2774	3281	2107	3531	5192
5215	5587	5518	4061	4605	5320	3333	5587	8293
7141	7555	7350	5584	6312	7268	4583	7555	11173

図 5-5 最大応答軸力 (NS 断面, 基準地震動 S<sub>s</sub> (++) )

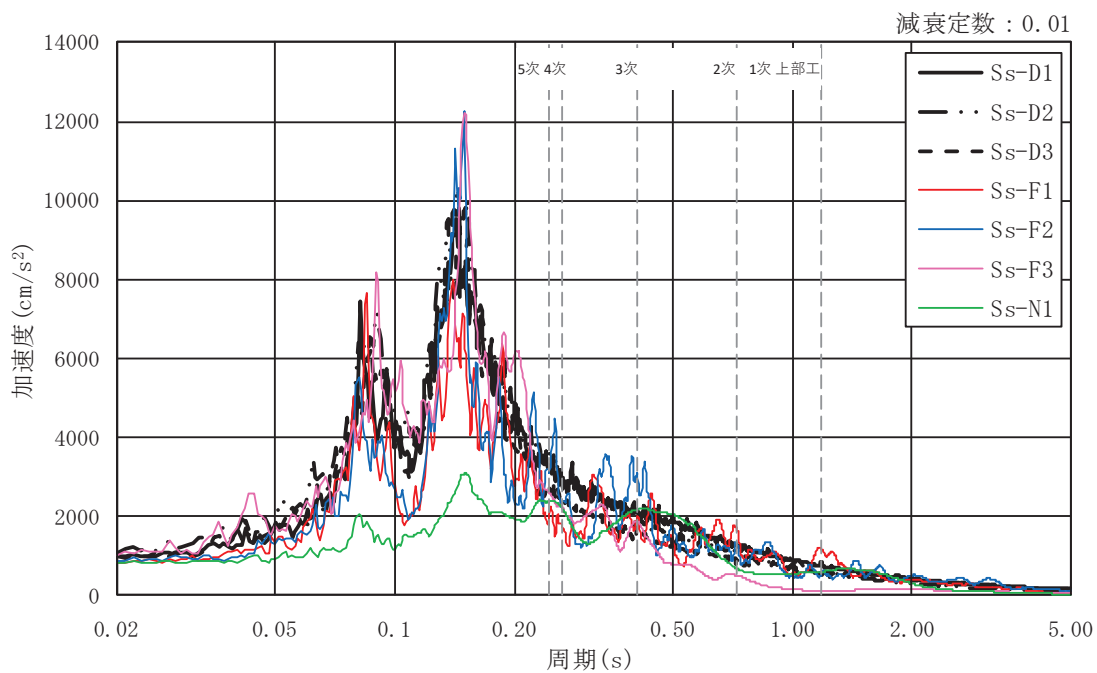


有効応力解析								全応力解析
Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	包絡値	包絡値
170	177	179	125	139	165	103	179	260
1953	2026	2048	1438	1602	1900	1177	2048	3204
3586	3676	3706	2595	2962	3452	2158	3706	5825
5849	5839	5876	4142	4904	5489	3481	5876	8811
8020	7915	7900	5716	6671	7531	4721	8020	11759

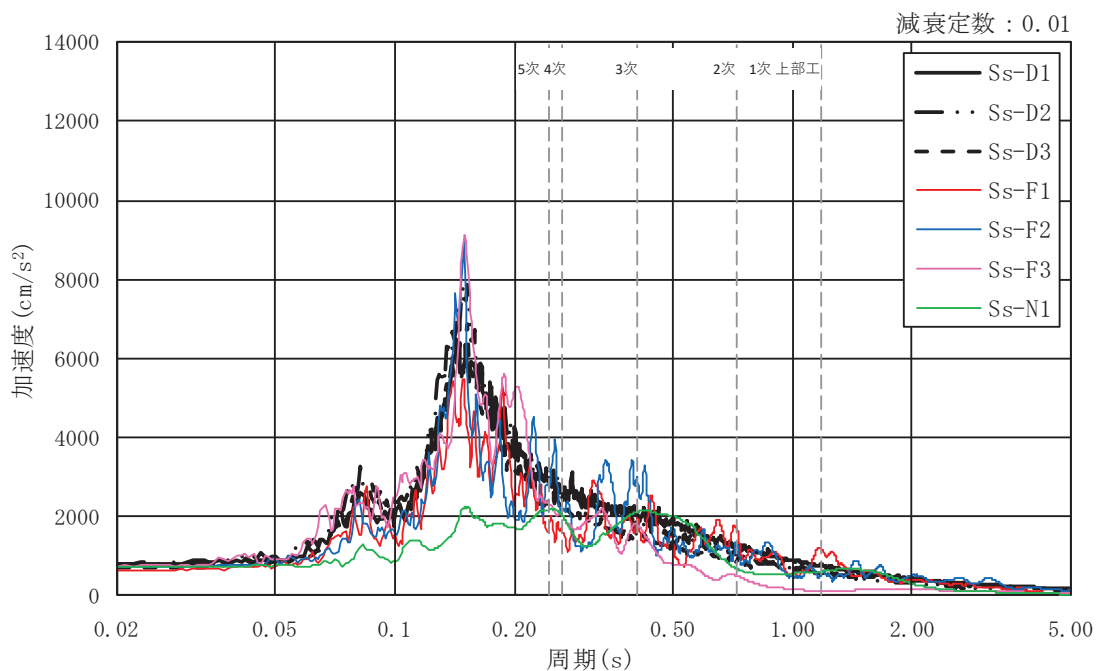
図 5-6 最大応答軸力 (EW 断面, 基準地震動 S<sub>s</sub> (++) )

## 5.2 排気筒の評価に与える影響

排気筒における入力地震動ごとの応答スペクトルについて、全応力解析及び有効応力解析の結果を図 5-7, 図 5-8, 図 5-10 及び図 5-11 に示す。また、基準地震動  $S_s$  7 波を包絡した応答スペクトルを図 5-9, 図 5-12 に、全応力解析と有効応力解析の応答スペクトルの比較結果を表 5-1～表 5-4 に示す。応答スペクトルに記載の 1 次モード～5 次モードの破線は、排気筒の主要モードにおける固有周期を示す。なお、排気筒の減衰定数は筒身で 0.01, 鉄塔で 0.02 と値が異なるため、それぞれの値を用いた解析結果を示す。排気筒における主要モードである 1 次モード～5 次モードを比べると、全ての応答スペクトルにおいて、全応力解析と有効応力解析はほぼ同等の解析結果となったことから、全応力解析が妥当な解析手法と考える。



(a) 全応力解析



(b) 有効応力解析

図 5-7 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面,  $h = 0.01$ )



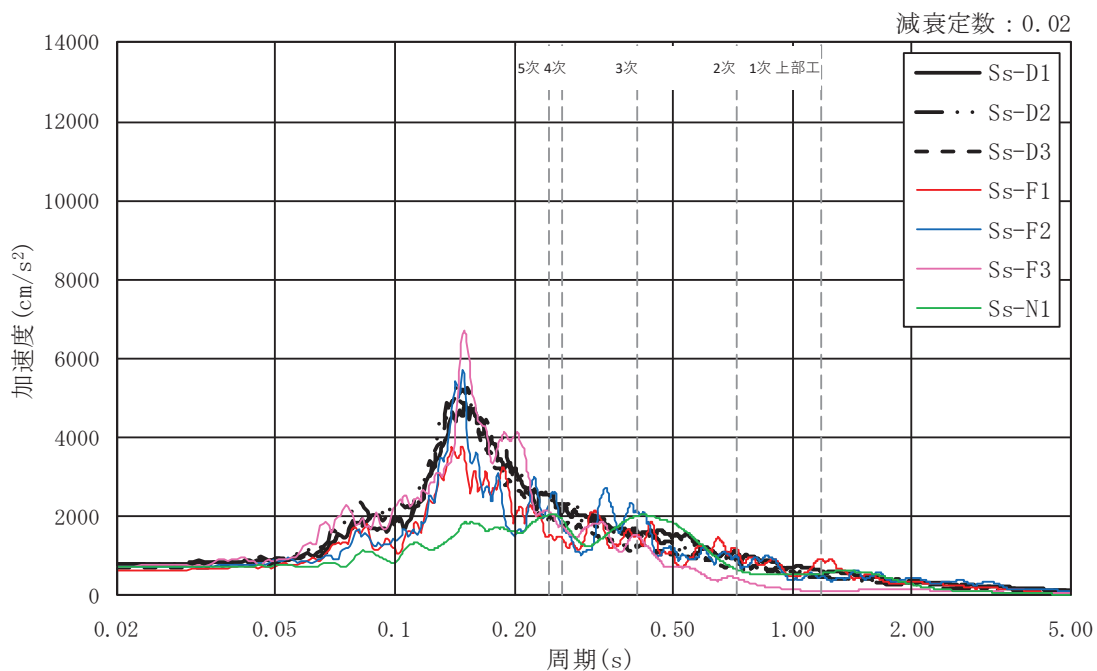
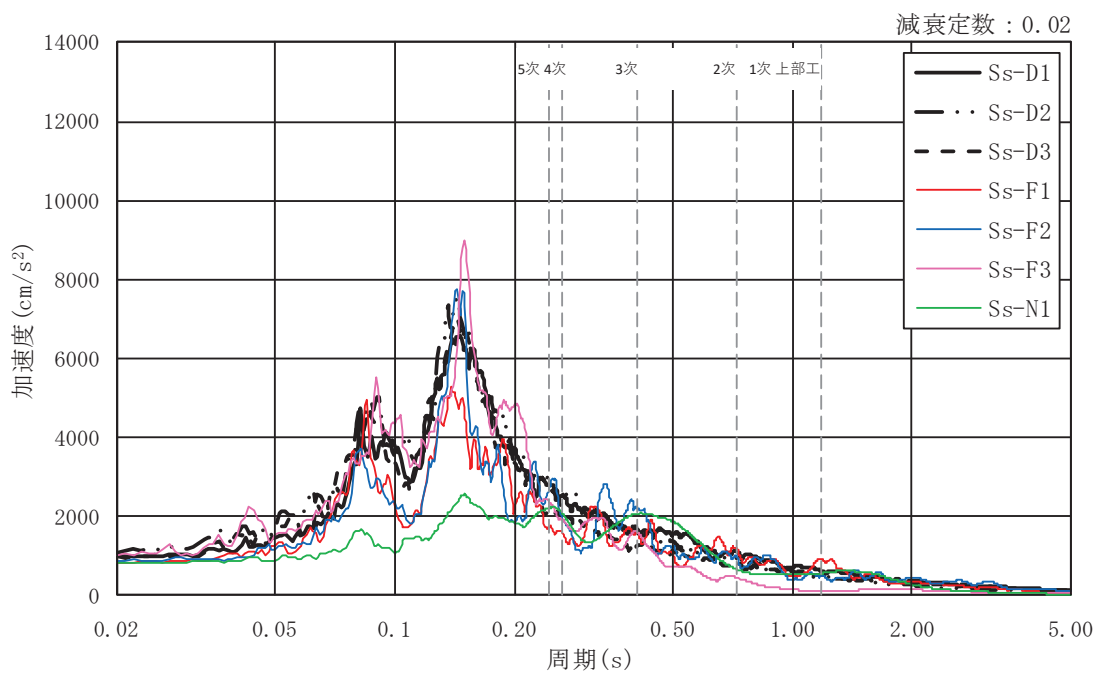


図 5-8 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面,  $h = 0.02$ )

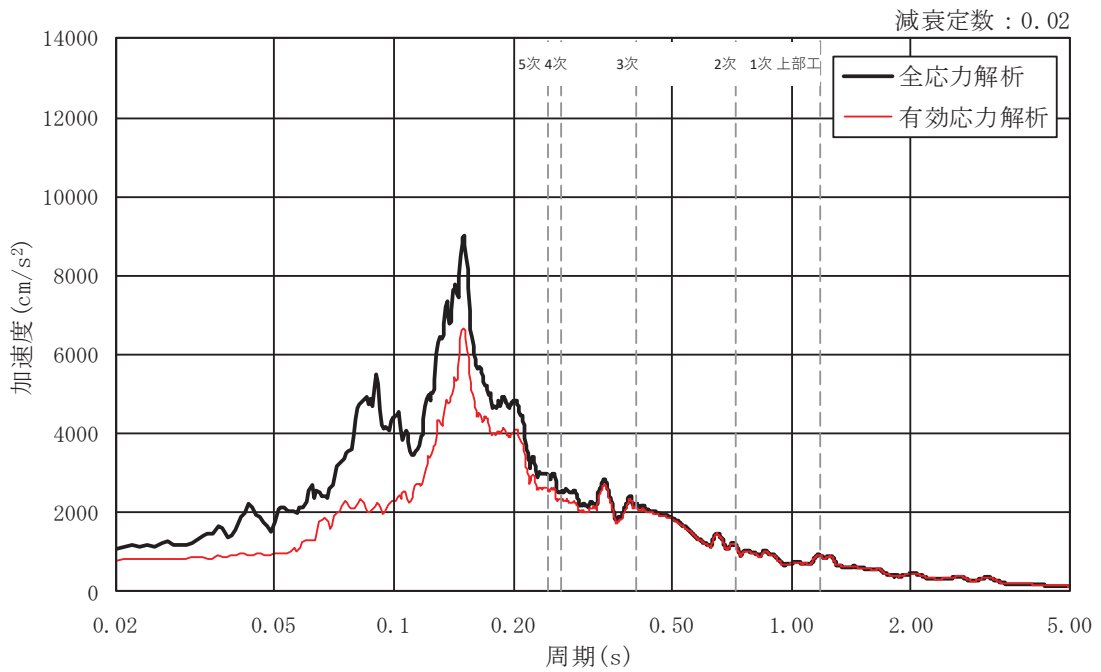
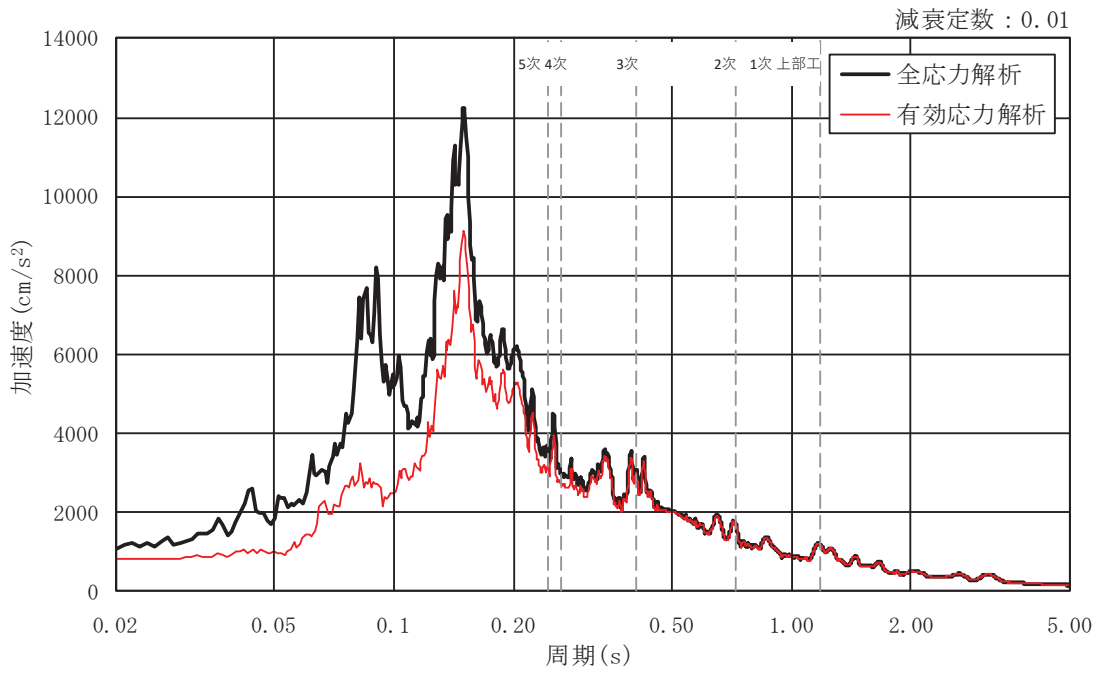


図 5-9 応答スペクトルの比較 (NS 断面, 包絡値)

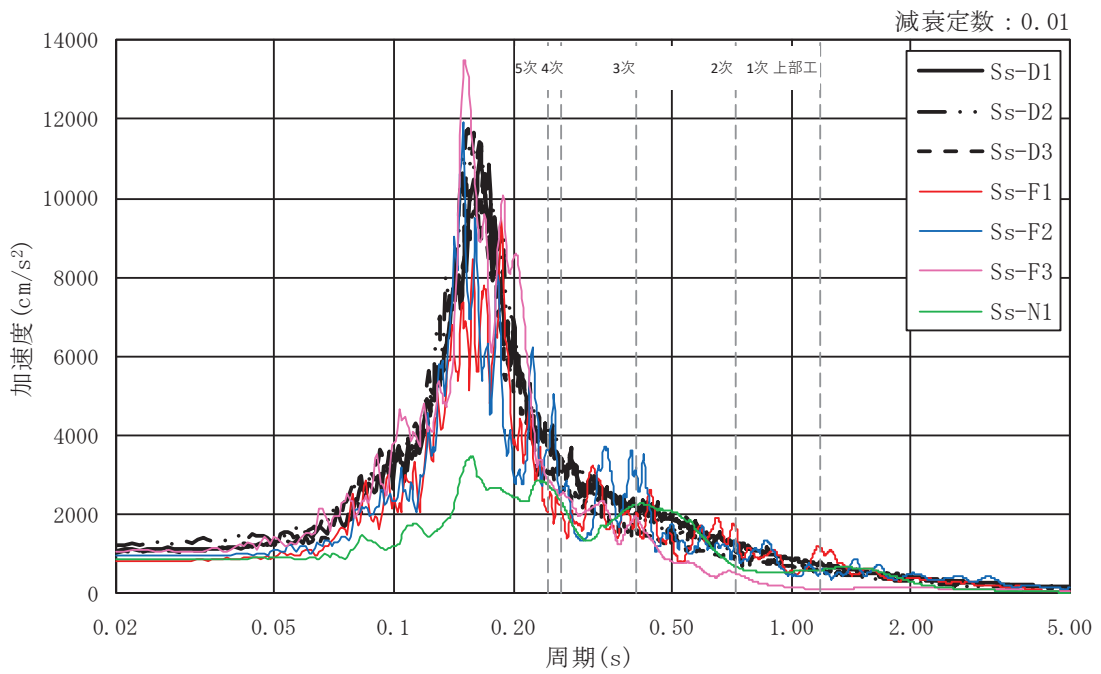
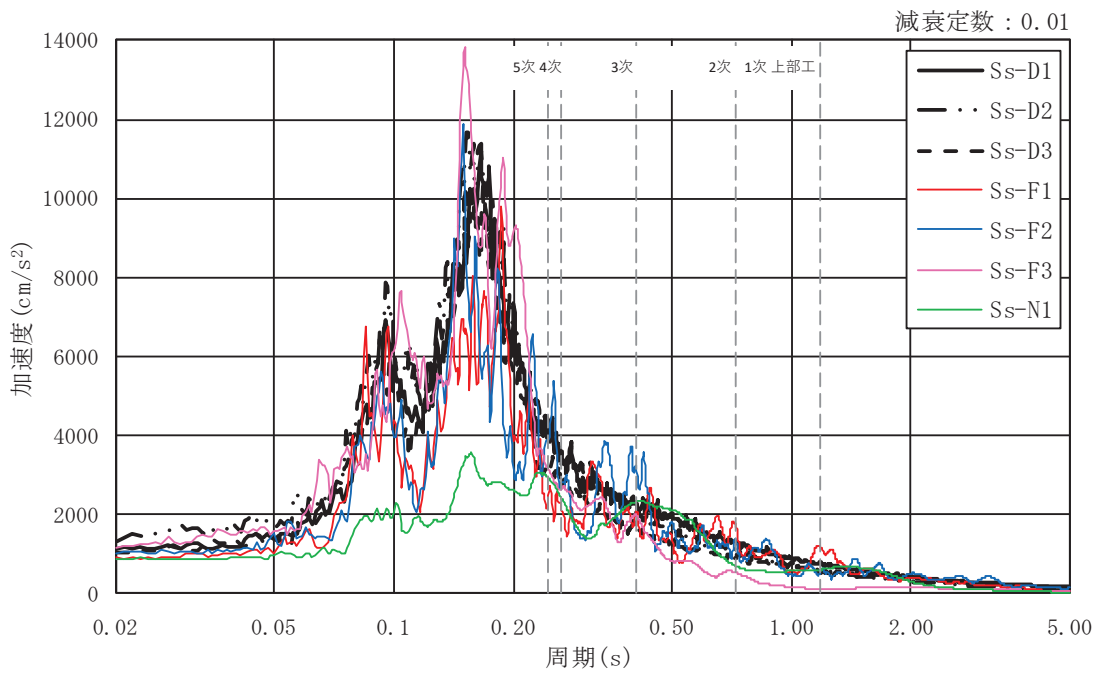
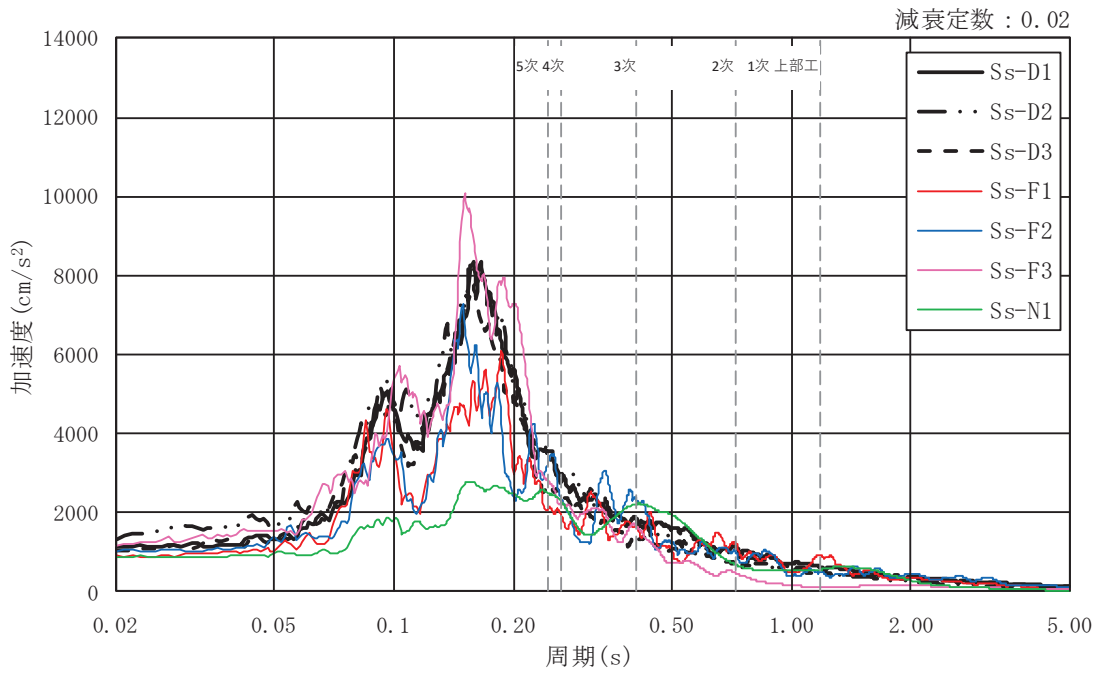
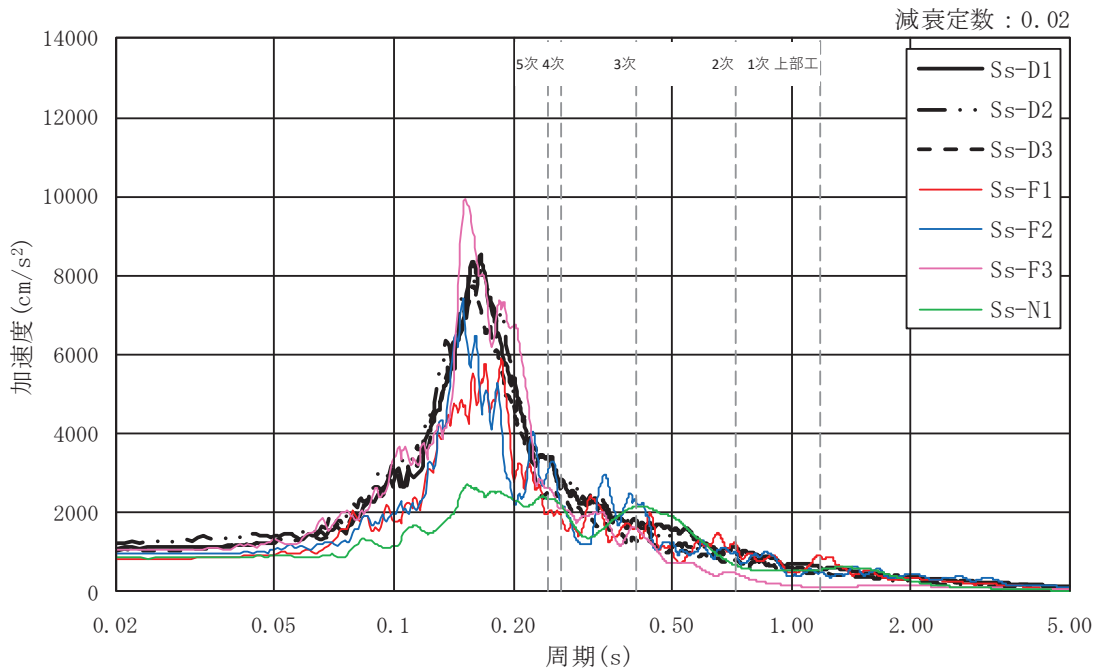


図 5-10 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面,  $h = 0.01$ )

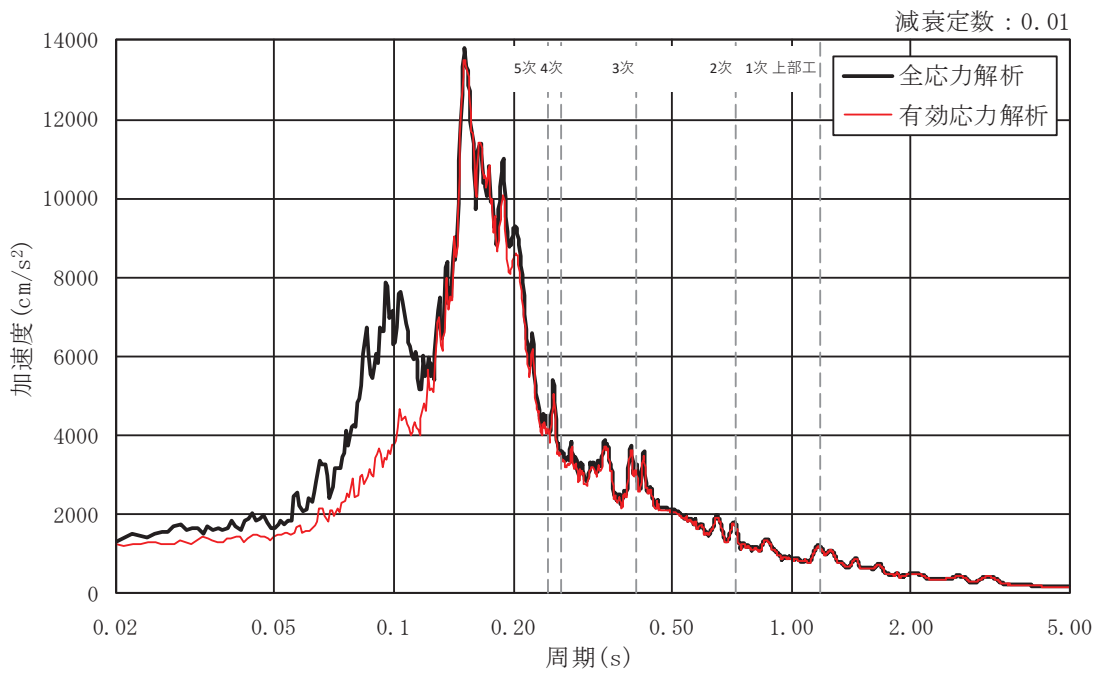


(a) 全応力解析

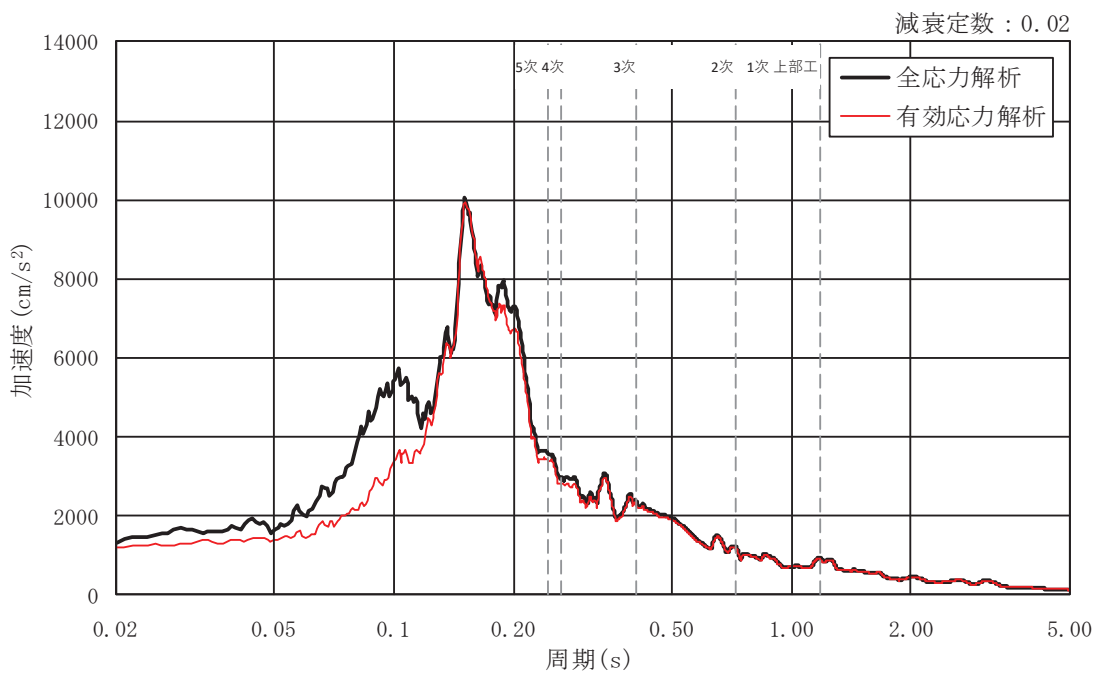


(b) 有効応力解析

図 5-11 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, h = 0.02)



(a)  $h = 0.01$



(b)  $h = 0.02$

図 5-12 応答スペクトルの比較 (EW 断面, 包絡値)

表 5-1 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, h = 0.01)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		(b)/(a)
		全応力解析 (a)	有効応力解析 (b)	
1	1.175	11.89	11.84	1.00
2	0.721	17.23	17.09	0.99
3	0.408	30.33	29.48	0.97
4	0.262	30.54	27.16	0.89
5	0.245	35.65	31.18	0.87

表 5-2 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, h = 0.02)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		(b)/(a)
		全応力解析 (a)	有効応力解析 (b)	
1	1.175	9.24	9.21	1.00
2	0.721	12.10	11.98	0.99
3	0.408	22.03	21.26	0.97
4	0.262	25.20	23.28	0.92
5	0.245	29.23	25.38	0.87

表 5-3 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, h = 0.01)

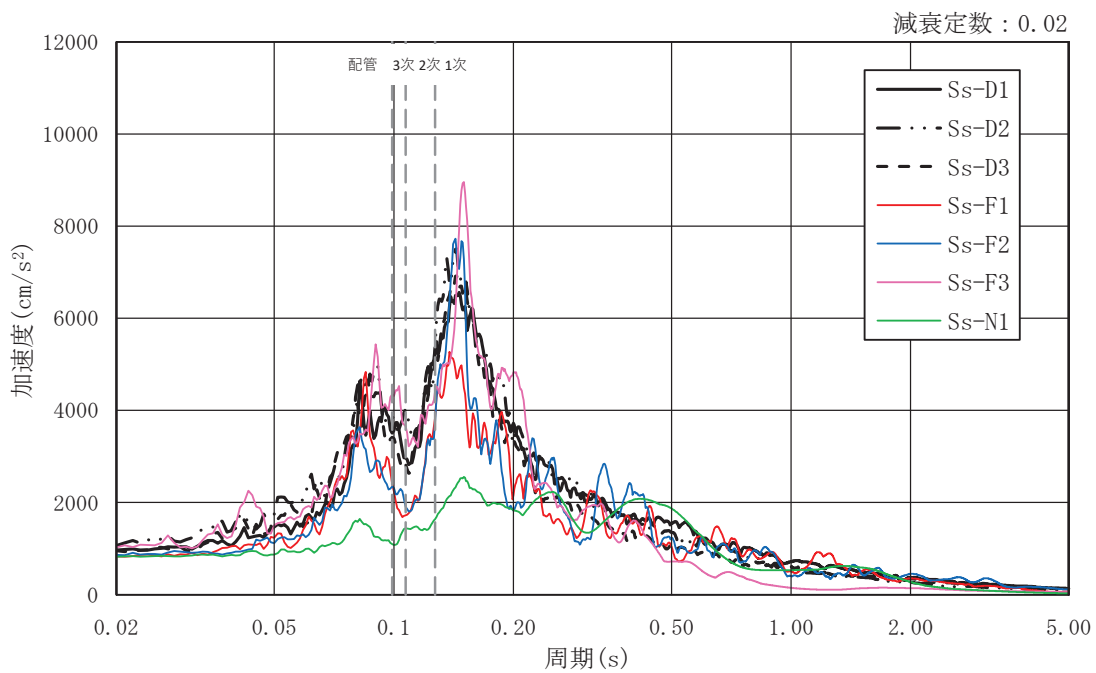
モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		(b)/(a)
		全応力解析 (a)	有効応力解析 (b)	
1	1.175	11.92	11.70	0.98
2	0.721	17.72	17.40	0.98
3	0.408	31.92	31.08	0.97
4	0.262	36.19	34.72	0.96
5	0.245	43.36	40.86	0.94

表 5-4 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, h = 0.02)

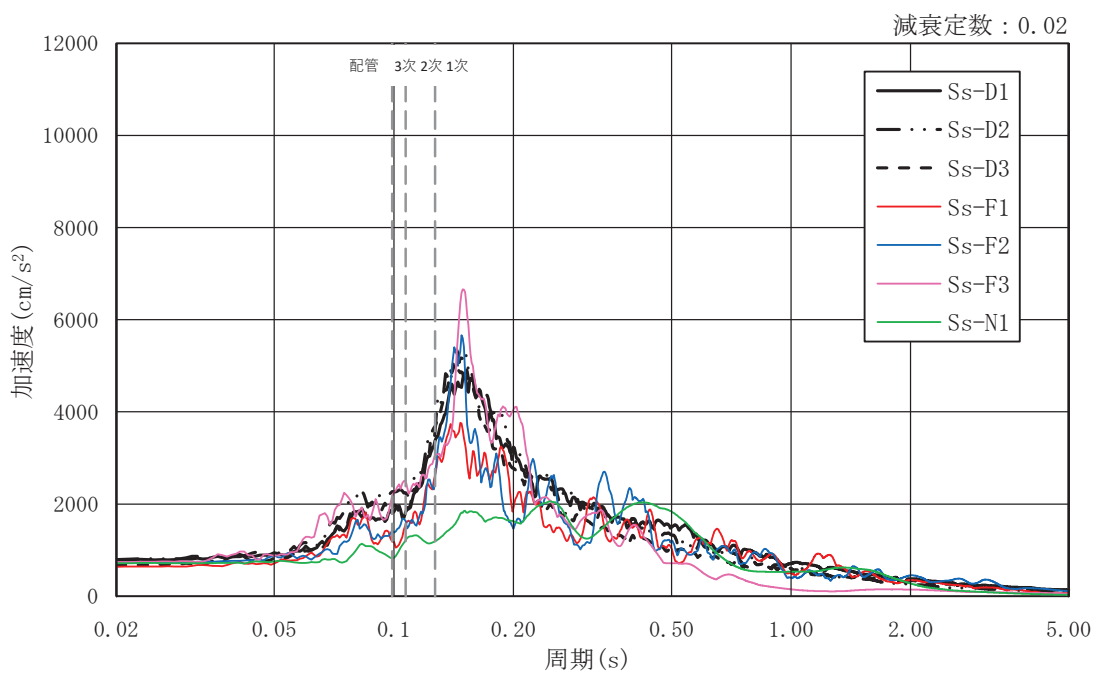
モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )		(b)/(a)
		全応力解析 (a)	有効応力解析 (b)	
1	1.175	9.29	9.15	0.99
2	0.721	12.48	12.25	0.98
3	0.408	23.29	22.66	0.97
4	0.262	29.60	28.25	0.95
5	0.245	35.70	33.86	0.95

### 5.3 配管の評価に与える影響

配管における入力地震動ごとの応答スペクトルについて、全応力解析及び有効応力解析の結果を図 5-13 及び図 5-14 に示す。また、基準地震動 S s 7 波を包絡した応答スペクトルをを図 5-15 及び図 5-16 に、全応力解析と有効応力解析の応答スペクトルの比較結果を表 5-5 及び表 5-6 に示す。配管の固有周期及び減衰については、添付書類「VI-2-9-4-4-1-2 管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」に記載の値を用いており、応答スペクトルに記載の 1 次モード～3 次モードの破線は、配管の主要モードにおける固有周期を示す。なお、配管の床応答は基礎の最大応答加速度により標高が高いほど加速度が大きくなることから、O.P. 14.8m の支持点における応答スペクトルを比較する。排気筒における主要モードである 1 次モード～3 次モードを比べると、全応力解析と有効応力解析はほぼ同等の解析結果となったことから、全応力解析が妥当な解析手法と考える。また、全応力解析による設計用床応答曲線を見ると、有効応力解析の結果も包絡していることから、全応力解析による評価は安全側の評価になると考える。



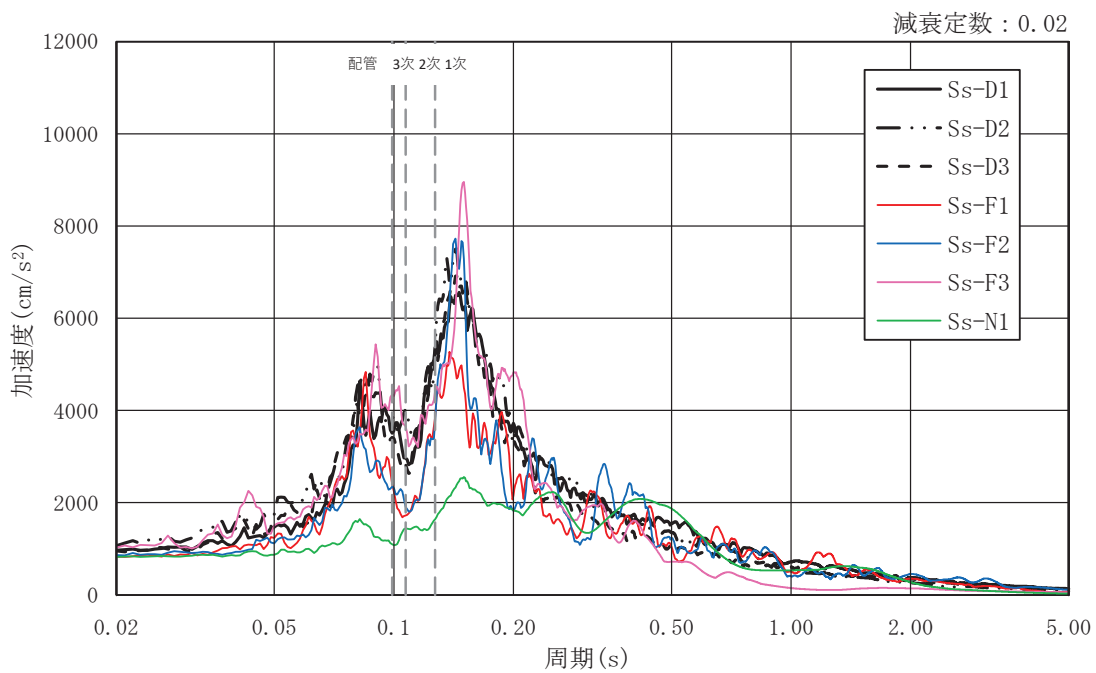
(a) 全応力解析



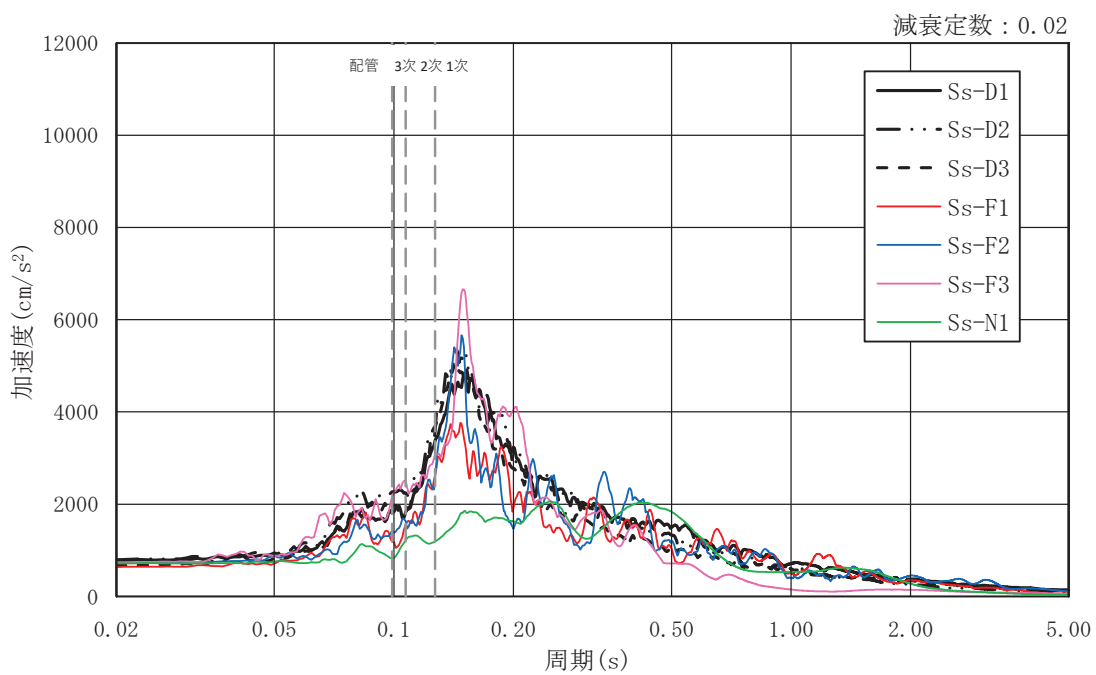
(b) 有効応力解析

図 5-13 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面, h = 0.02)





(a) 全応力解析



(b) 有効応力解析

図 5-14 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, h = 0.02)

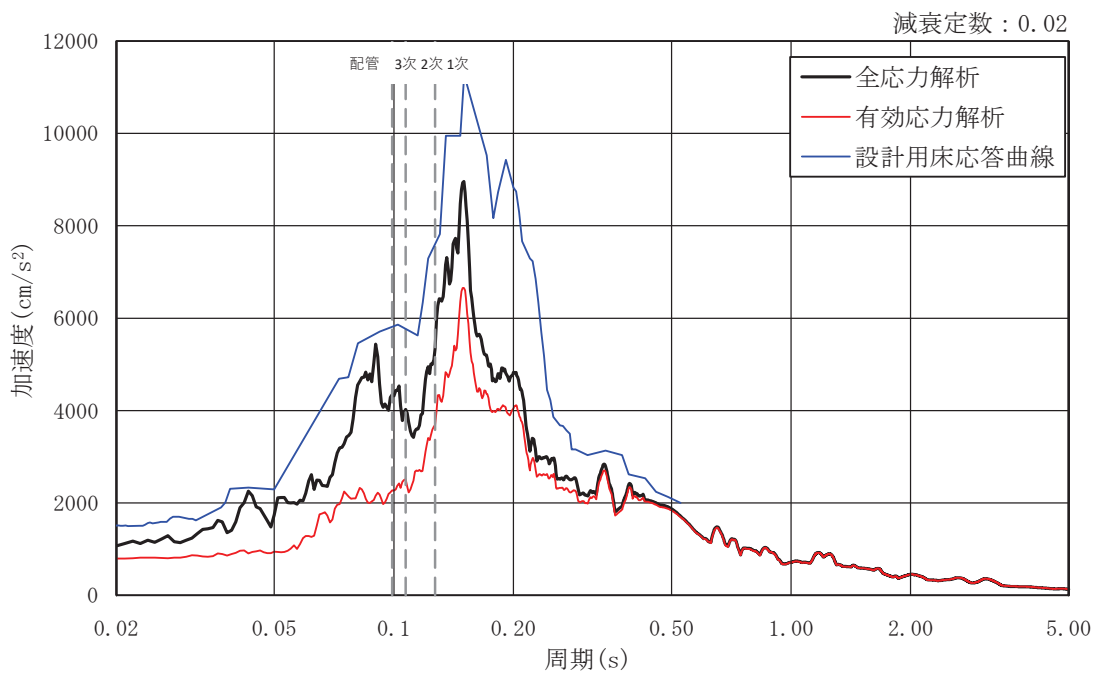


図 5-15 応答スペクトルの比較 (NS 断面, 包絡値)

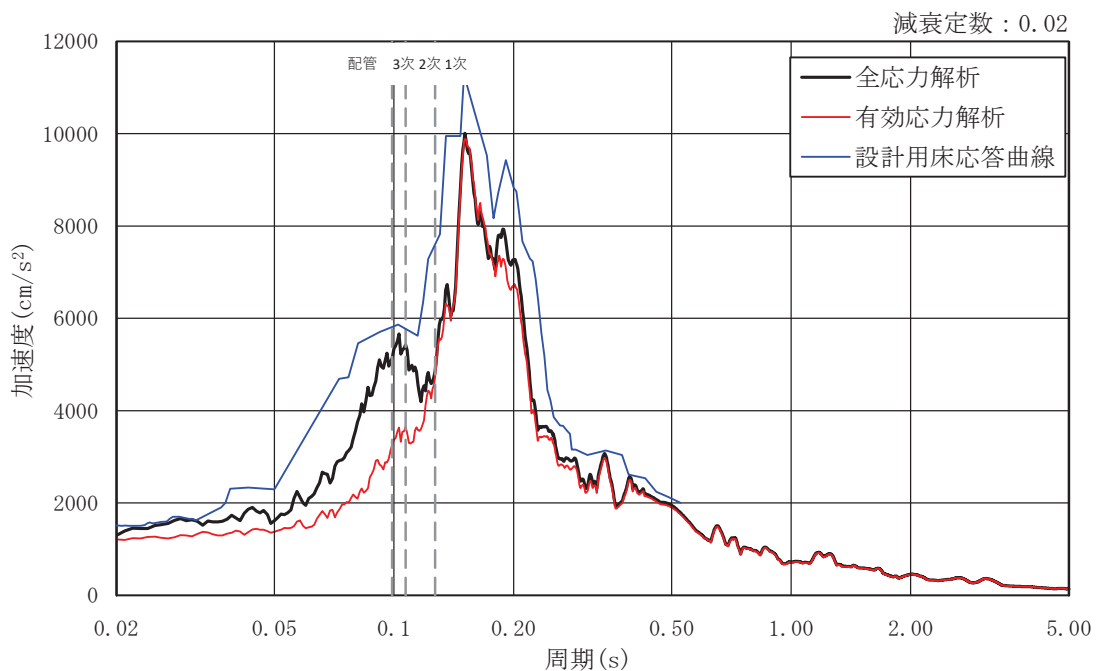


図 5-16 応答スペクトルの比較 (EW 断面, 包絡値)

表 5-5 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, O.P. 14.8m)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 ( $m/s^2$ )			(b)/(a)
		全応力 解析(a)	有効応力 解析(b)	設計用床応 答曲線(c)	
1	0.127	53.43	36.87	<u>72.91</u>	0.69
2	0.107	40.27	25.12	<u>57.09</u>	0.62
3	0.099	43.46	22.73	<u>58.63</u>	0.52

注記\* : 下線応答スペクトルの最大値を示す

表 5-6 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, O.P. 14.8m)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 ( $m/s^2$ )			(b)/(a)
		全応力 解析(a)	有効応力 解析(b)	設計用床応 答曲線(c)	
1	0.127	48.68	47.38	<u>72.91</u>	0.97
2	0.107	54.25	36.43	<u>57.09</u>	0.67
3	0.099	51.27	32.46	<u>58.63</u>	0.63

注記\* : 下線応答スペクトルの最大値を示す

別紙 5 排気筒基礎の応力解析におけるモデル化，境界条件  
及び拘束条件の考え方

## 目次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 5-1
2. 排気筒基礎の応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件・・・・・・・・ 別紙 5-2
  - 2.1 底面地盤ばね及び要素分割の考え方・・・・・・・・ 別紙 5-2
  - 2.2 モデルの概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 5-4

## 1. 概要

本資料は、排気筒基礎の応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

## 2. 排気筒基礎の応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件

### 2.1 底面地盤ばね及び要素分割の考え方

排気筒基礎の応力解析モデルを図 2-1 及び図 2-2 に示す。

応力解析にあたって，排気筒基礎の各部位（筒身柱，鉄塔柱，つなぎはり及び基礎版）を線形ソリッド要素にてモデル化し，これらの構造部材を耐震評価する。なお，応力の伝達を考慮するため，充填コンクリートについても線形ソリッド要素にてモデル化する。

三次元 FEM モデルの基礎版底面に設ける水平方向及び鉛直方向の地盤ばねについては，「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に記載の振動アドミッタンス理論に基づいて評価する。

基礎版の底面地盤ばねの設定における基本的な考え方は，以下のとおり。

- ・ 水平ばね剛性

振動アドミッタンス理論に基づく水平ばねにより算出する。

- ・ 鉛直ばね剛性

基礎浮上りを考慮し，回転ばね反力として生じる転倒モーメントを適切に評価するため，振動アドミッタンス理論に基づく回転ばねにより算出する。

有限要素法を用いた解析モデルにおける要素分割の考え方\*については，以下のとおり。

- ・ ソリッド要素

ソリッド要素の要素高さは，地震応答解析モデルの側方地盤の要素高さと同様に 1.0m を目安として設定する。また，ソリッド要素の要素幅は，要素形状の縦横比（アスペクト比）が 1：2 程度以下となるように設定する。

注記\*：非線形 CAE 協会 2008 年 構造解析のための有限要素法実践ハンドブック

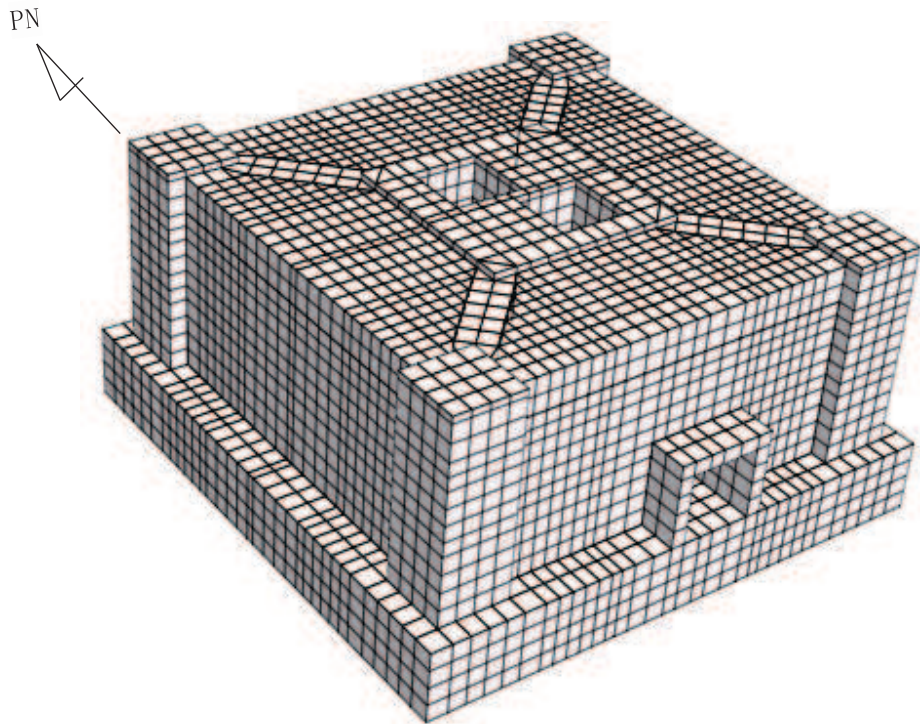


図 2-1 排気筒基礎の応力解析モデル（鳥瞰図）

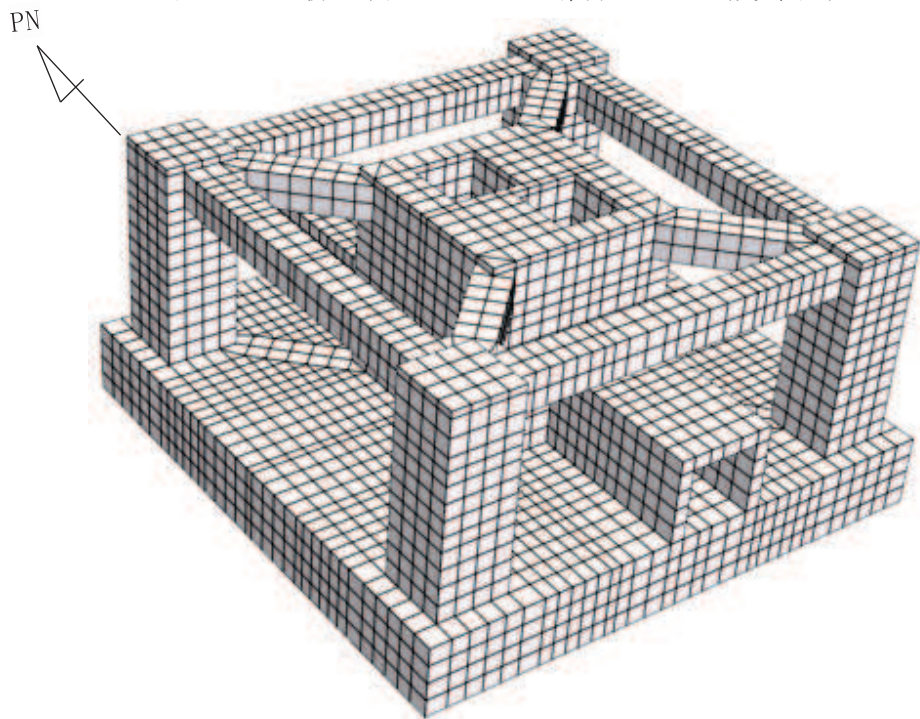


図 2-2 排気筒基礎の応力解析モデル（鳥瞰図（充填コンクリート非表示））



## 2.2 モデルの概要

- ①モデル化範囲：筒身柱，鉄塔柱，つなぎはり，基礎版及び充填コンクリートをモデル化する。
- ②使用要素：ソリッド要素
- ③要素分割：要素の一辺の長さを 0.6m～1.5m 程度とし，排気筒の開口を考慮して分割する。
- ④排気筒基礎と地盤の境界

底面地盤ばねのモデル概要を図 3-1 に示す。

- ・側面地盤は考慮しない。
- ・基礎版の節点には，底面地盤を表現するばね要素を設ける。解析では鉛直方向の底面地盤ばねに引張力が作用した場合，鉛直方向及び水平方向の合計 2 つのばね剛性をゼロとすることにより，基礎の浮上りを表現する。
- ・底面地盤ばねの水平ばね剛性及び鉛直ばね剛性は以下のとおり設定する。
- ・水平ばね剛性：振動アドミッタンス理論による水平ばね $K_H$ を節点支配面積 $A_i$ で離散化。

$$K_{Hi} = (K_H / A) \times A_i$$

ここで，

A：排気筒基礎の底面積

- ・鉛直ばね剛性：転倒モーメントが支配的となるため振動アドミッタンス理論による回転ばね $K_R$ を節点支配面積 $A_i$ で離散化。

$$K_{Vi} = (K_R / I) \times A_i$$

ここで，

I：排気筒基礎版の断面二次モーメント

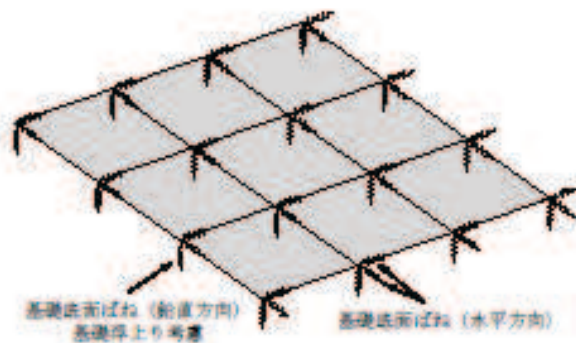


図 2-3 モデル概要

## 別紙 6 排気筒基礎の応力解析における地震荷重の入力方法

## 目次

1. 概要..... 別紙 6-1
2. 三次元 FEM モデルに入力する荷重の入力方法..... 別紙 6-1

## 1. 概要

本資料は、排気筒基礎に作用する地震荷重の入力方法について示すものである。

## 2. 三次元 FEM モデルに入力する荷重の入力方法

排気筒基礎の応力解析にあたっては、表 2-1 の荷重を組合せる。

表 2-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P <sub>s</sub> + P <sub>k</sub> + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P<sub>s</sub> : 積雪荷重

P<sub>k</sub> : 風荷重

S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震力 ( $S_s = K_s + E_s + U_s$ )

K<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による慣性力

E<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震時土圧荷重

U<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震時の上部工反力

三次元 FEM モデルに入力する基準地震動 S<sub>s</sub> による水平地震力及び鉛直地震力の入力  
は、基準地震動 S<sub>s</sub> に対する排気筒基礎の地震応答解析における全時刻の最大応答せん  
断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力を考慮し、三次元 FEM モデルにおける  
各層の最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力が地震応答解析結  
果と等価になるように設定する。

三次元 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

三次元 FEM モデルに入力する水平地震力のうち慣性力は、二次元 FEM モデルにおける  
層せん断力 ( $Q_i - Q_{i-1}$ ) を各節点の支配面積に応じて分配し、地震時最大土圧 (P<sub>i</sub>)  
を差し引き、水平慣性力 (F<sub>i</sub>) から求めた水平震度 ( $\alpha_{hi}$ ) を用いる。

曲げモーメントについては、地震応答解析により求まる最大転倒モーメント (M<sub>max</sub>)  
と三次元 FEM モデルに作用した水平荷重により発生する曲げモーメント (M<sub>c</sub>) の差分  
(以下「付加曲げモーメント」という。) を考慮する。排気筒基礎に作用する付加曲げモ  
ーメント (M') は、基礎の節点に支配面積と中心位置からの距離 (L<sub>i</sub>) に応じて鉛直  
方向の偶力 (V<sub>i</sub>) に置換して分配し、節点荷重として入力する。また、二次元 FEM モ  
デルにおける接地圧係数に比べ、組合せ係数法による応力解析の接地圧係数が上回る場  
合は、排気筒基礎底版に別紙 7 に示す鉛直力を付加する。鉛直力の付加は基礎底版位置  
に作用させていることから、接地圧に対して保守的になるだけでなく、曲げ・軸力系の  
破壊及びせん断破壊の評価についても影響が無い設定となっている。

三次元 FEM モデルに入力する水平地震力のうち地震時土圧荷重は、構造物の左右に発

生じた地震時土圧を全時刻包絡することで、加力側の土圧荷重を安全側に設定する。支持側の土圧荷重については、保守的に考慮しない。

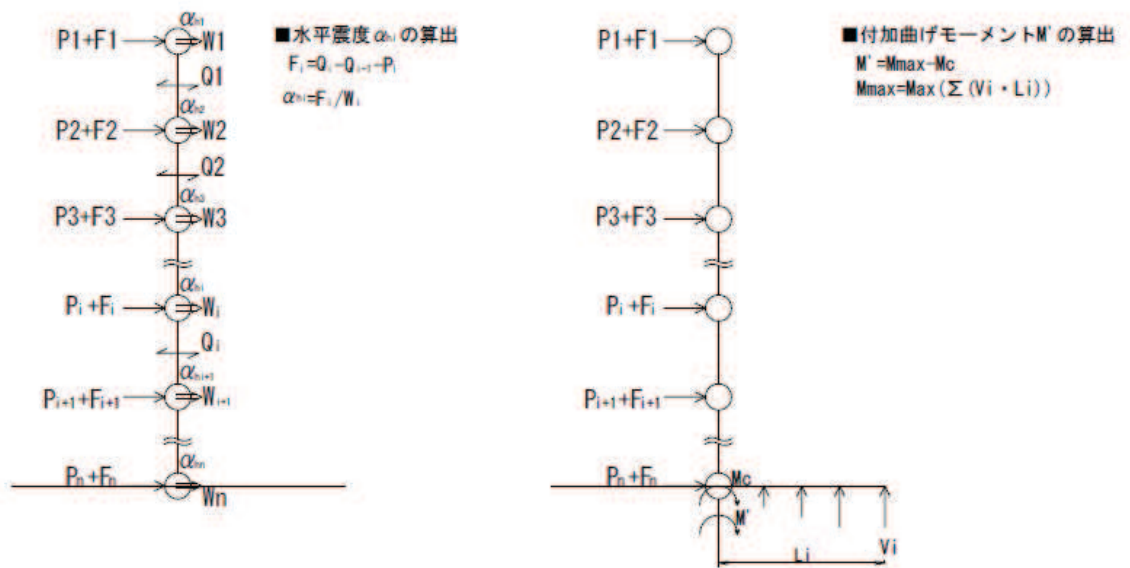
三次元 FEM モデルに入力する鉛直地震力は、二次元 FEM モデルにおける最大応答軸力の差分 ( $N_i - N_{i-1}$ ) を各節点の支配面積に応じて分配した鉛直慣性力 ( $F_i$ ) から求めた鉛直震度 ( $\alpha_{v_i}$ ) を用いる。

排気筒からの地震時の上部工反力の入力は、排気筒の地震応答解析により設定する。

具体的には、排気筒に地震荷重が作用した際の水平反力(せん断力, 曲げモーメント)・鉛直反力(軸力)について、排気筒を支持する筒身柱, 鉄塔柱の上端に節点荷重として入力する。

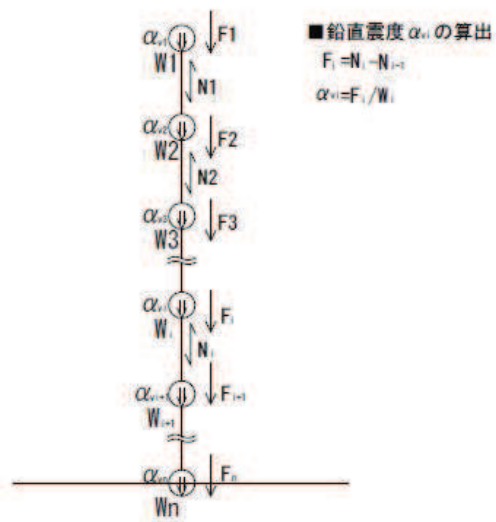
また、風荷重の入力は、排気筒の静的応力解析により設定した上部工反力を、地震時の上部工反力と同様に入力する。

三次元 FEM モデルに入力する水平地震力, 付加曲げモーメント, 付加鉛直力, 鉛直地震力, 地震時増分土圧及び上部工反力の概要を図 2-3~図 2-10 に示す。



- $W_i$  : 地震応答解析モデルの質点重量
- $Q_i$  : 地震応答解析による最大応答せん断力
- $P_i$  : 地震応答解析による地震時最大土圧（三次元 FEM に入力する地震時土圧）
- $V_i$  : 地震応答解析による地盤反力
- $M_{max}$  : 地震応答解析による基礎の最大転倒モーメント
- $F_i$  : 水平慣性力
- $\alpha_{hi}$  : 三次元 FEM に入力する水平震度
- $M_c$  : 三次元 FEM に入力した水平荷重により発生する転倒モーメント
- $M'$  : 三次元 FEM に入力する付加曲げモーメント  
(最大転倒モーメントと水平荷重により発生する転倒モーメントの差分)

図2-1 三次元FEMモデルに入力する地震荷重の概念図(水平地震力)



- $W_i$  : 地震応答解析モデルの質点重量
- $N_i$  : 地震応答解析による最大応答軸力
- $F_i$  : 鉛直慣性力
- $\alpha_{v i}$  : FEM に入力する鉛直震度

図2-2 三次元FEMモデルに入力する地震荷重の概念図(鉛直地震力)

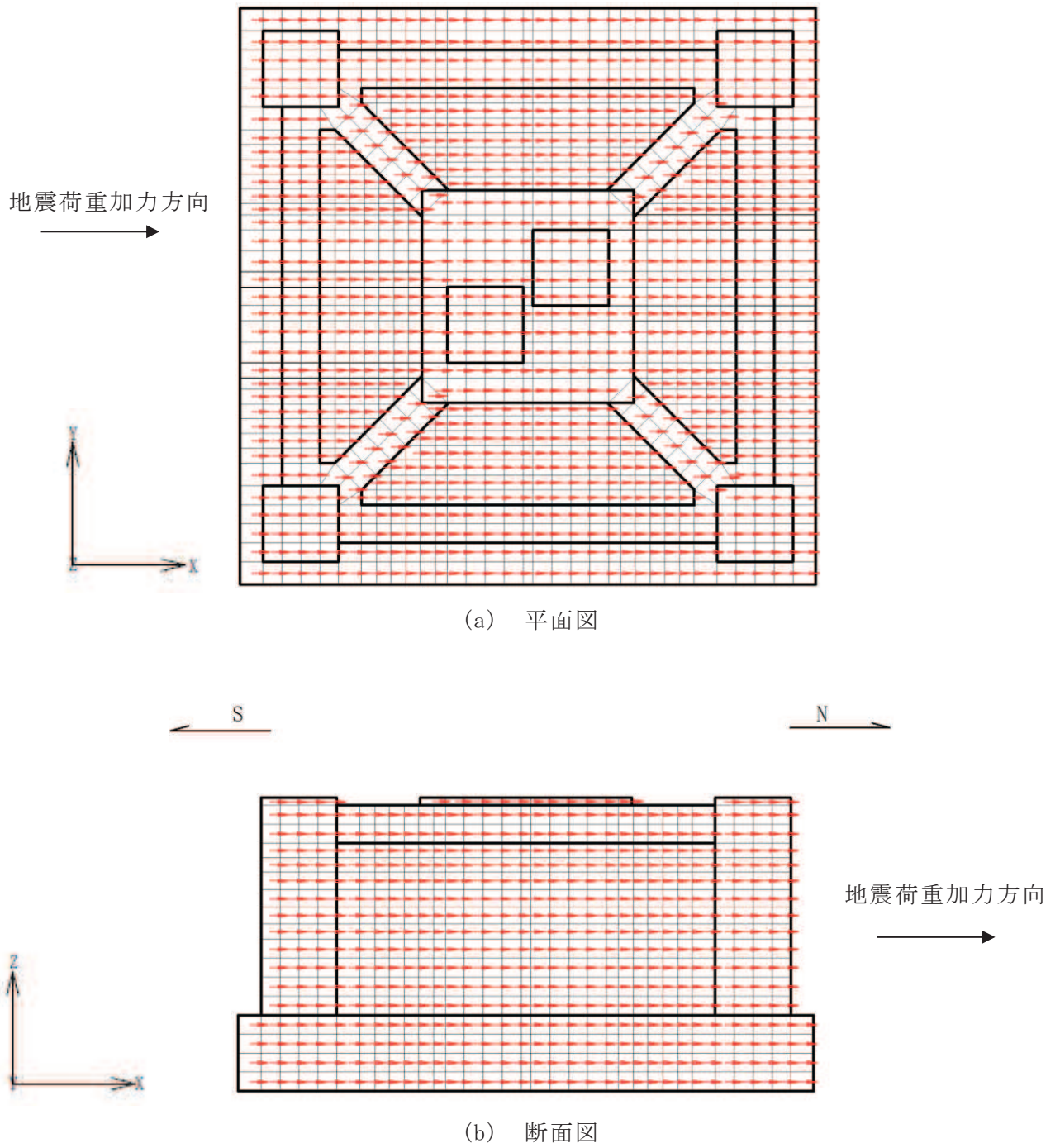
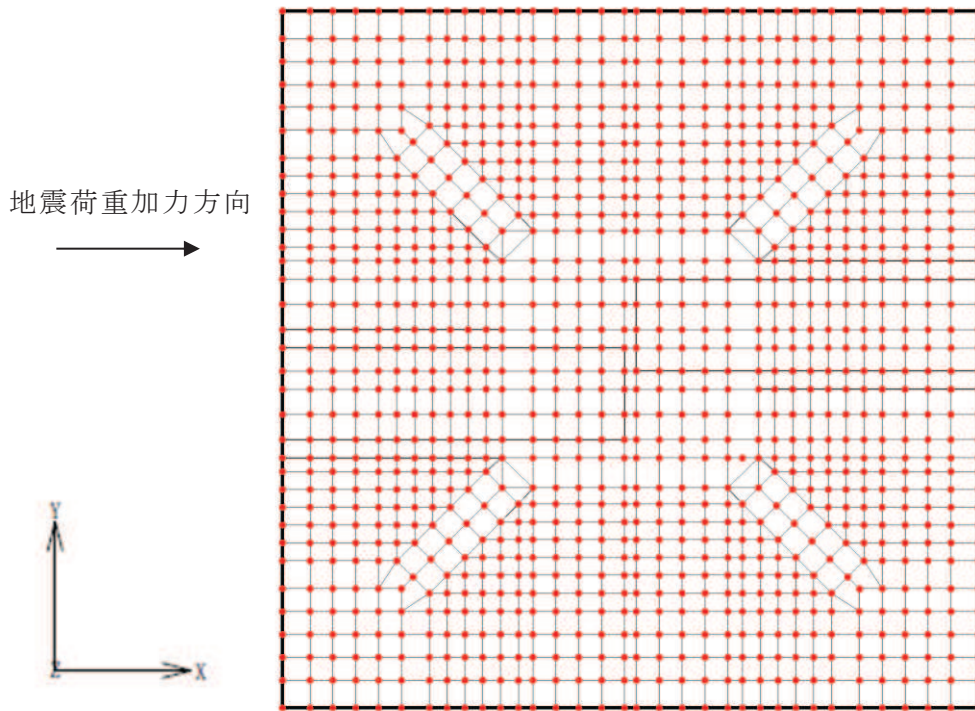
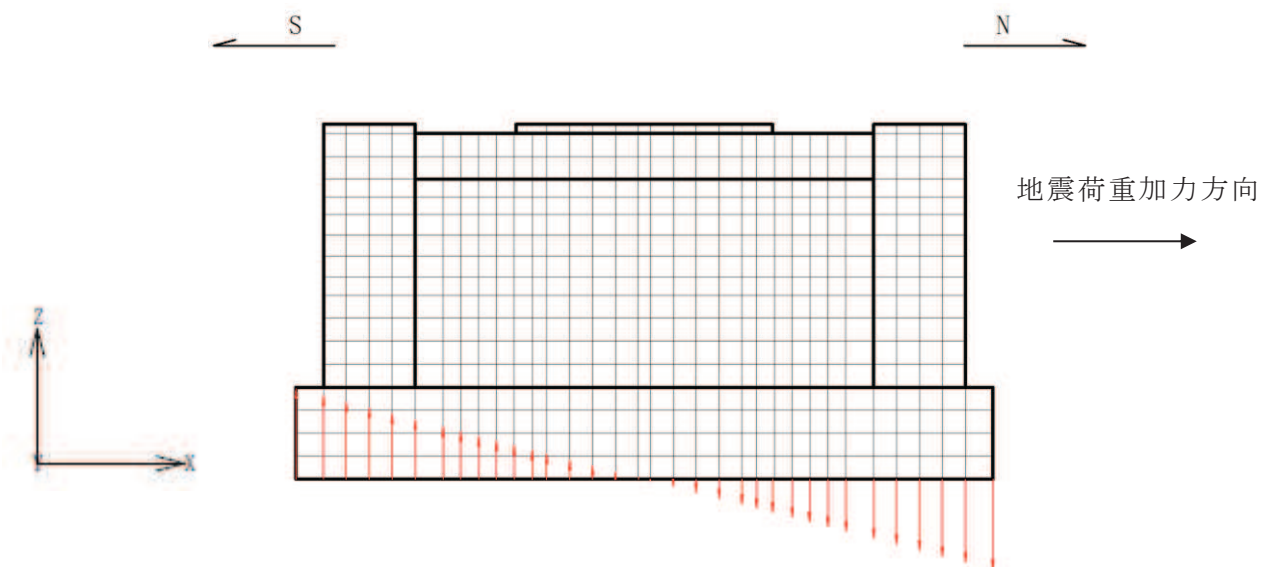


図2-3 三次元FEMモデルに入力する水平地震力(NS断面)



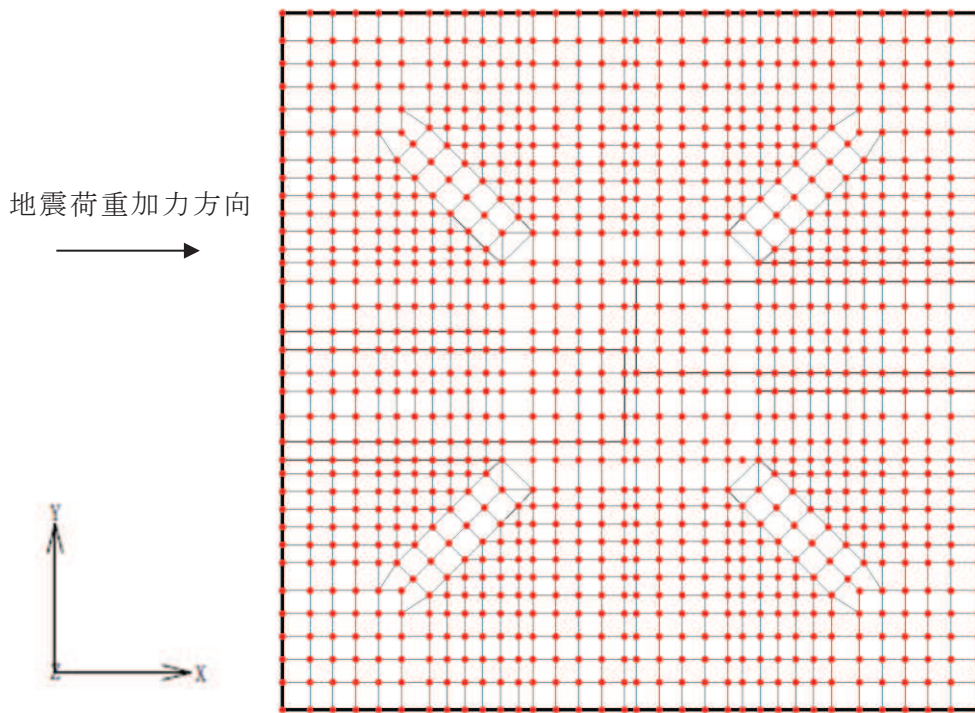


(a) 平面図

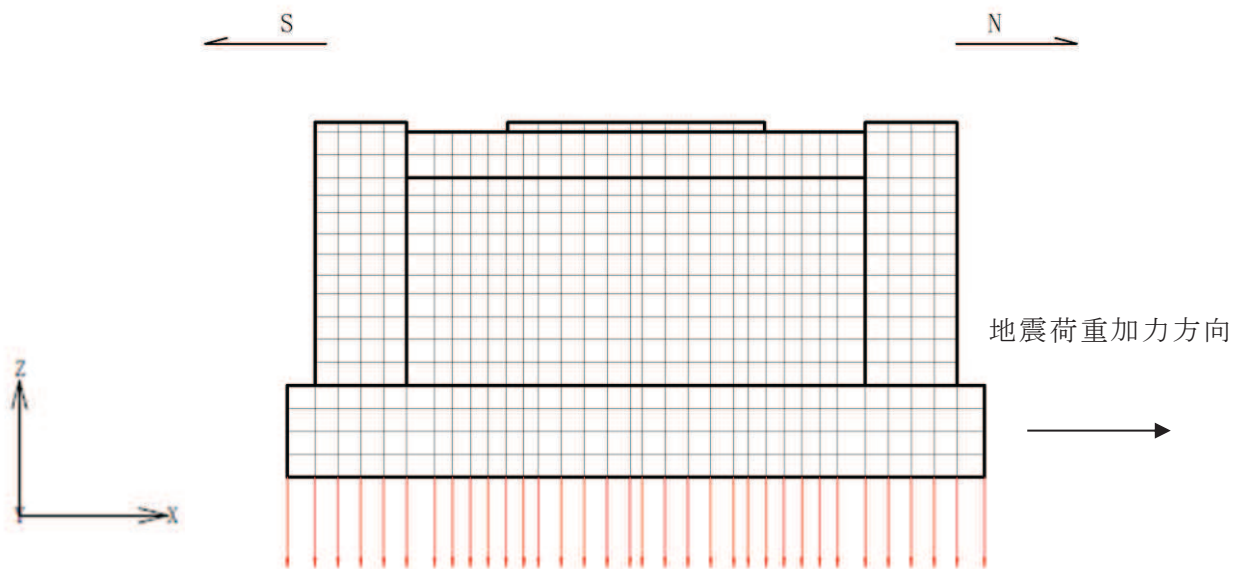


(b) 断面図

図2-4 三次元FEMモデルに入力する付加曲げモーメント(NS断面)



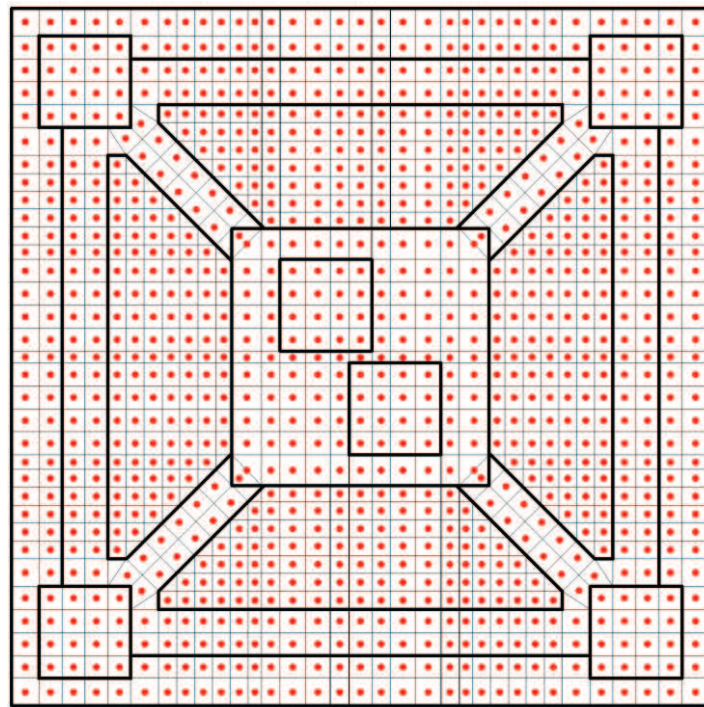
(a) 平面図



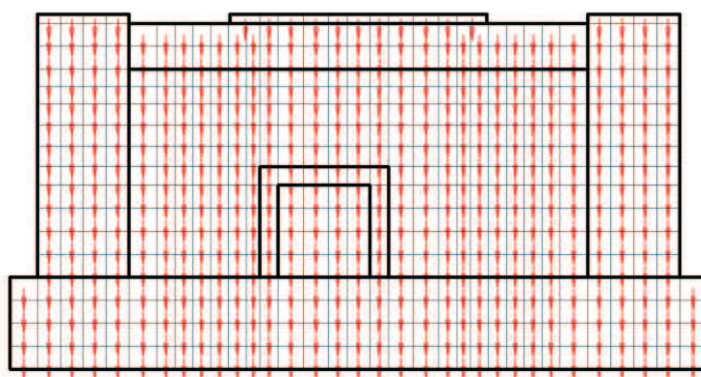
(b) 断面図

図2-5 三次元FEMモデルに入力する付加鉛直力(NS断面)

地震荷重加力方向



(a) 平面図

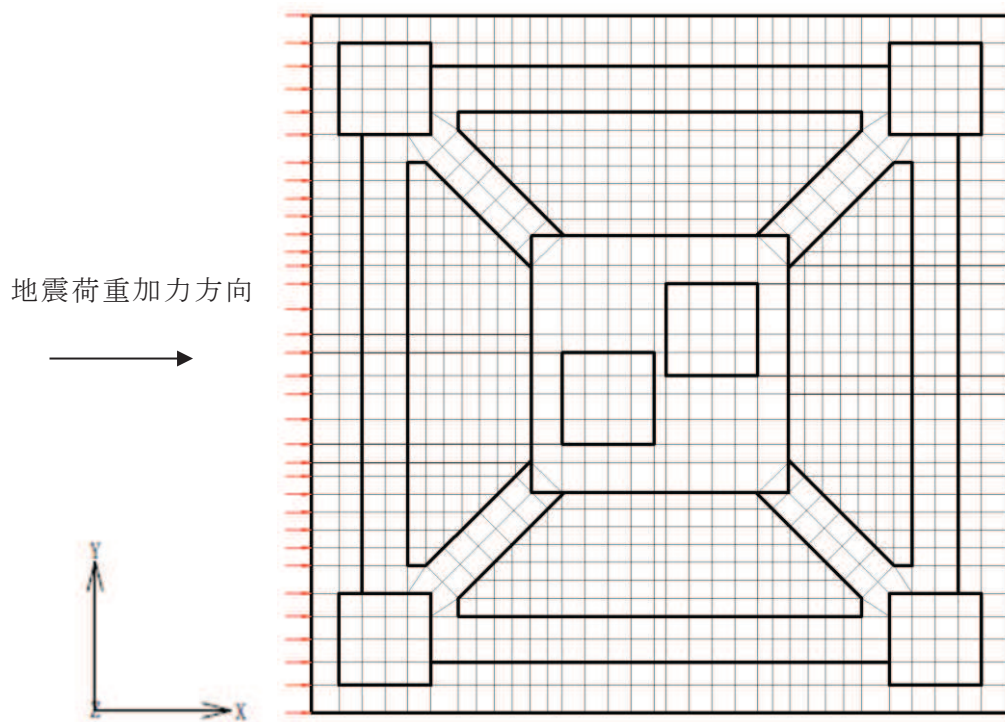


地震荷重加力方向

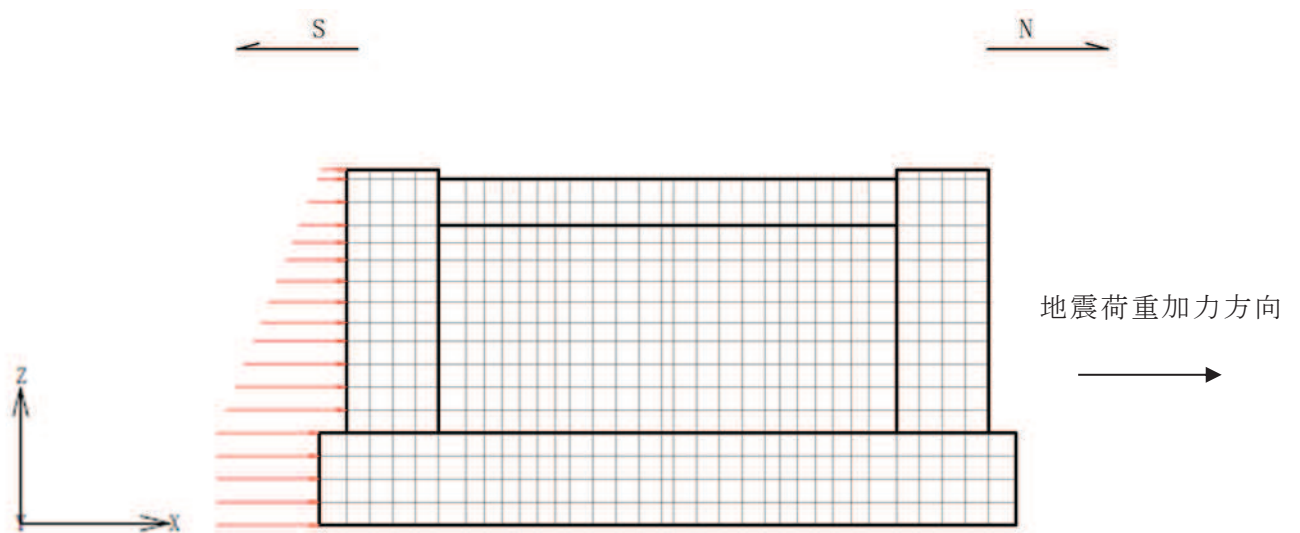


(b) 断面図

図2-6 三次元FEMモデルに入力する鉛直地震力

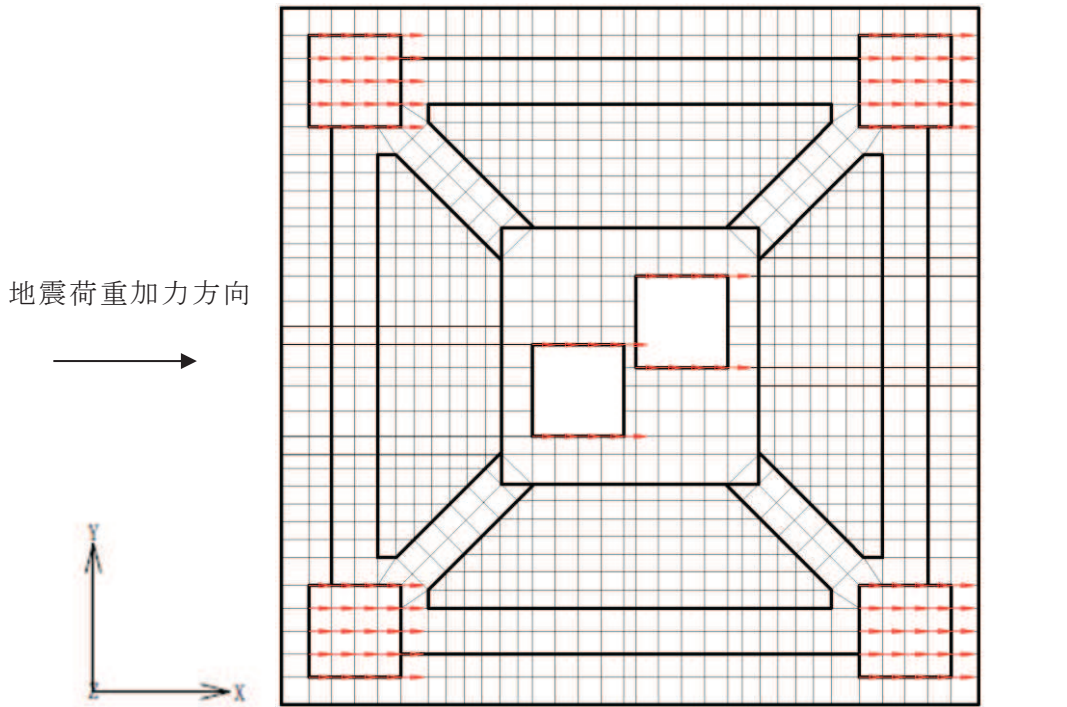


(a) 平面図

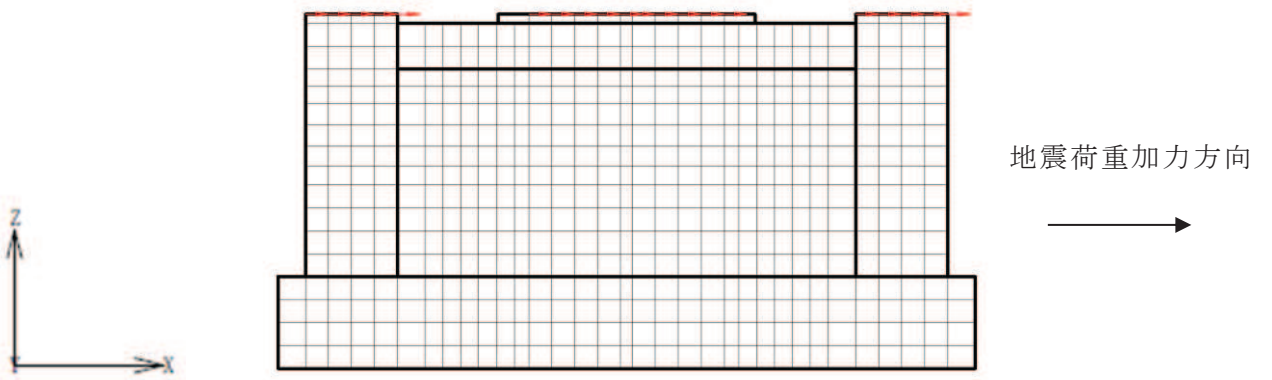


(b) 断面図

図2-7 三次元FEMモデルに入力する地震時増分土圧荷重(NS断面)



(a) 平面図



(b) 断面図

図2-8 三次元FEMモデルに入力する上部工の水平荷重 (NS断面)

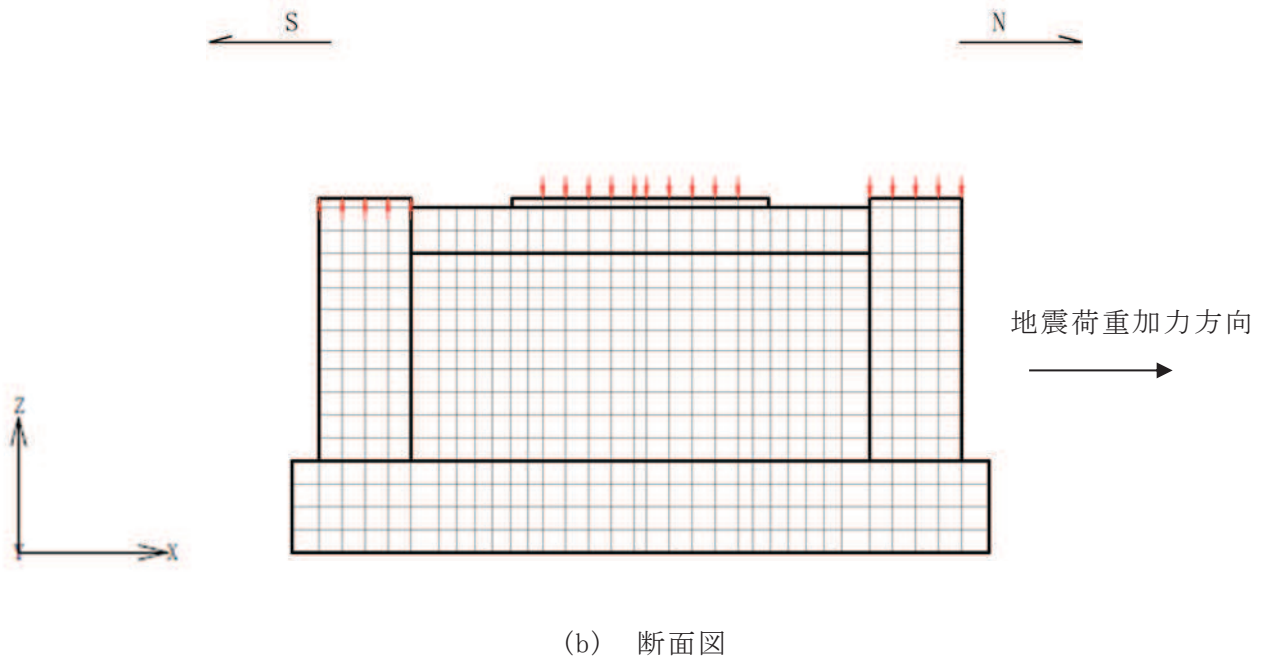
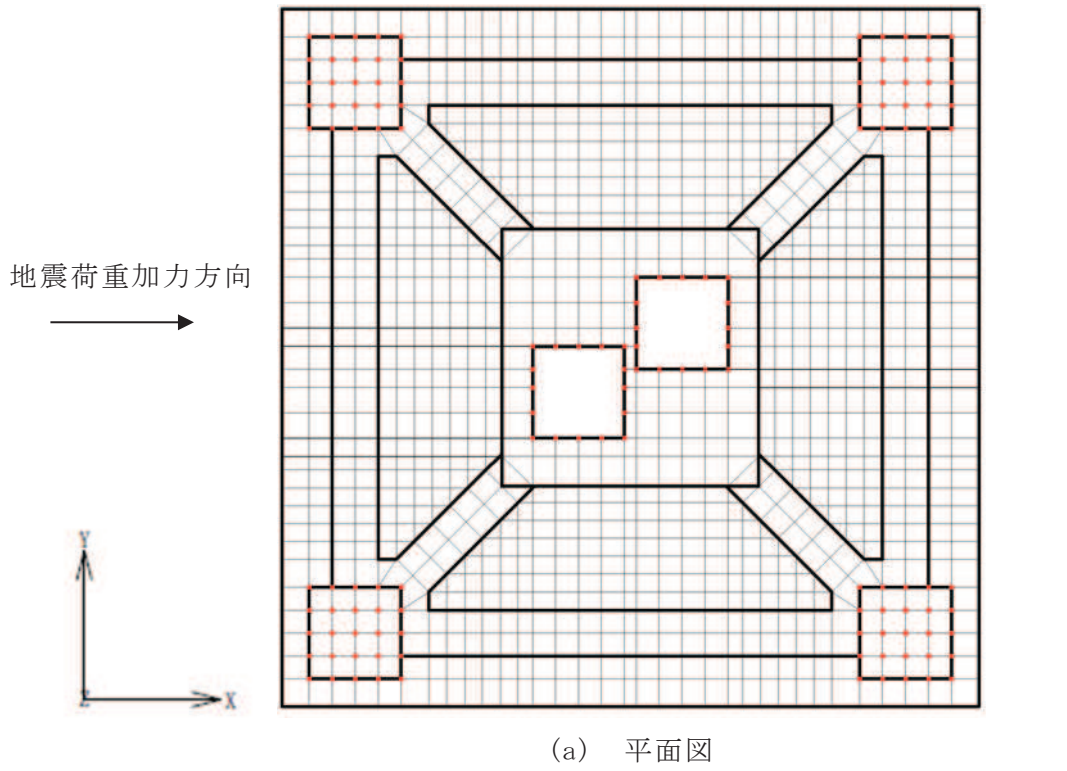


図2-9 三次元FEMモデルに入力する上部工の鉛直荷重 (NS断面)

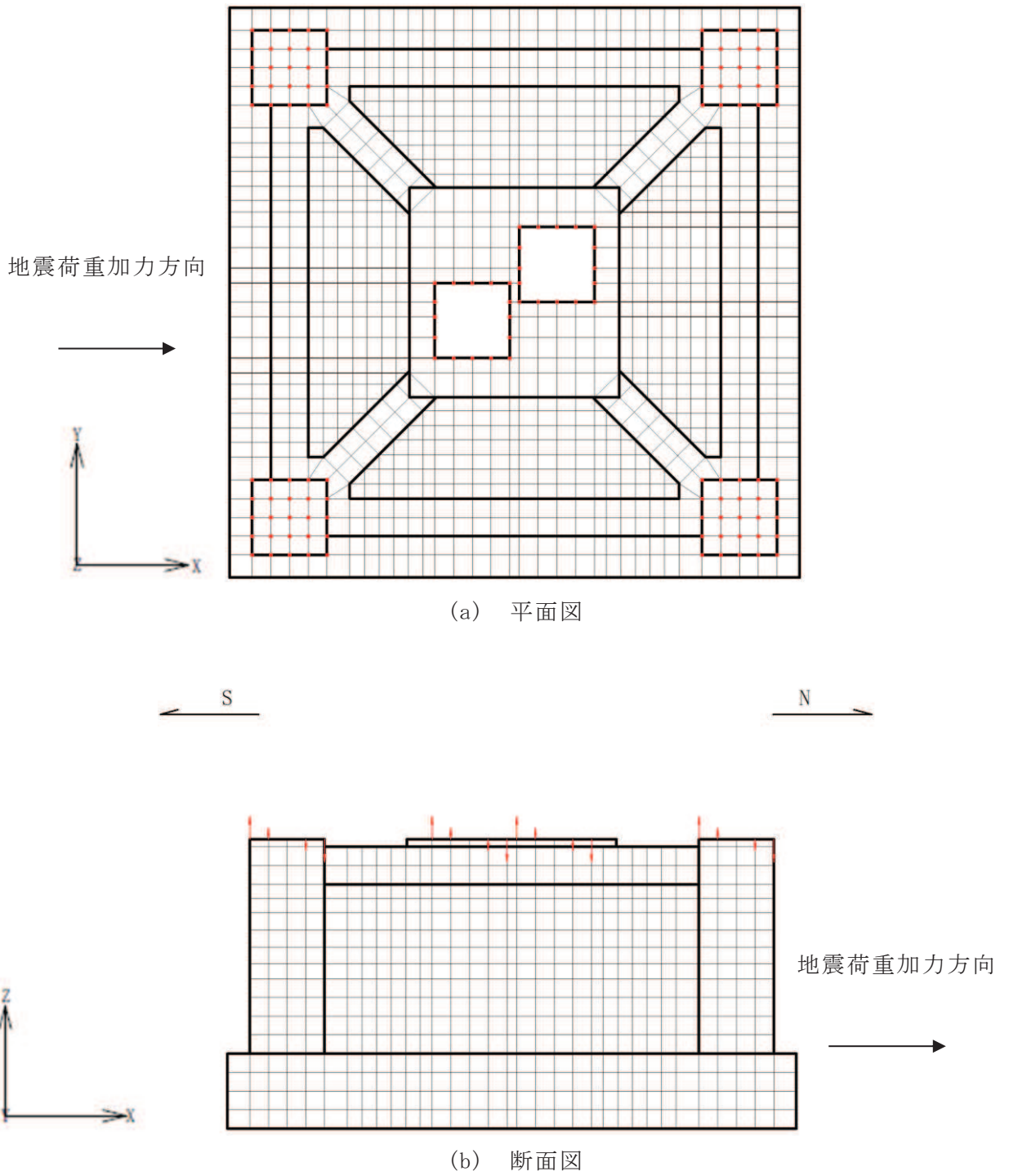


図2-10 三次元FEMモデルに入力する上部工の曲げモーメント(NS断面)

## 別紙 7 排気筒基礎の応力解析における組合せ係数法の適用



## 目次

1. 概要	別紙 7-1
1.1 検討概要	別紙 7-1
1.2 検討方針	別紙 7-1
2. 検討結果	別紙 7-4
2.1 検討内容	別紙 7-4
2.2 検討結果	別紙 7-10
2.3 考察	別紙 7-12

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料は、排気筒基礎の耐震評価における組合せ係数法の適用性について説明するものである。

建物・構築物の耐震評価として行う水平及び鉛直方向の荷重の組合せを考慮した評価において、地震応答の最大値を用いた組合せ係数法による評価値と地震応答の時刻歴和による評価値の比較を行うことで、組合せ係数法の適用性を確認する。なお、排気筒基礎は、地震応答解析により求めた応答を三次元 FEM モデルに入力することにより耐震評価を行うため、時刻選定の妥当性検証を必要とせず、保守的な評価を行うことが可能な組合せ係数法を適用している。

### 1.2 検討方針

建物・構築物の耐震評価に考慮する荷重の組合せにおいては、以下に示す組合せ係数法を適用し、水平及び鉛直方向の地震力が同時に不利な方向に作用するものとして評価を実施している。

- ①  $1.0 \times$  水平地震力による荷重  $\pm 0.4 \times$  鉛直地震力による荷重
- ②  $0.4 \times$  水平地震力による荷重  $\pm 1.0 \times$  鉛直地震力による荷重

建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性を検討するにあたっては、水平及び鉛直方向の荷重の組合せに、地震応答の最大値を用いた組合せ係数法を適用した場合の評価結果が、水平及び鉛直方向の地震応答を時々刻々組合せた場合の評価結果と同等又は保守的であることを確認する。

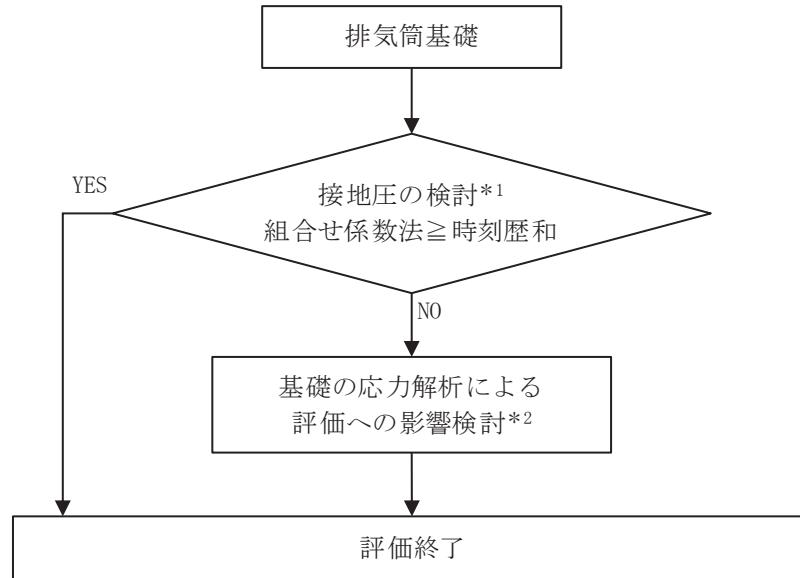
排気筒基礎の評価対象部位は、「基礎地盤」及び「基礎」に分類される。

基礎地盤（接地圧）の検討としては、地震応答解析による評価において、水平・鉛直同時入力による地震応答解析の最大地盤反力度が、地盤の極限支持力度を超えないことを確認している（添付書類「VI-2-2-26 排気筒基礎の耐震性についての計算書」）。

基礎の検討としては、応力解析による評価において、組合せ係数法を採用している。評価対象部位は、基礎版・柱部材・はり部材に分類されるが、各々の部材は充填コンクリートを介した一体挙動を示し、各部材に発生する断面力は基礎版下の接地圧と相関する。そこで、地震応答の最大値を用いた組合せ係数法を適用した場合の接地圧が、地震応答を時々刻々組合せた場合の最大接地圧と同等又は保守的であることを確認することで、組合せ係数法の適用性を確認する。

組合せ係数法を適用した場合の評価結果と、地震応答を時々刻々組合せた場合の評価結果との比較は、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」に示す基本ケースの結果を用いる。

検討フローを図 1-1 に示す。また、地震応答解析モデルを図 1-2 及び図 1-3 に示す。



注記

\*1：基本ケースによる検討

\*2：地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した検討

図 1-1 検討フロー

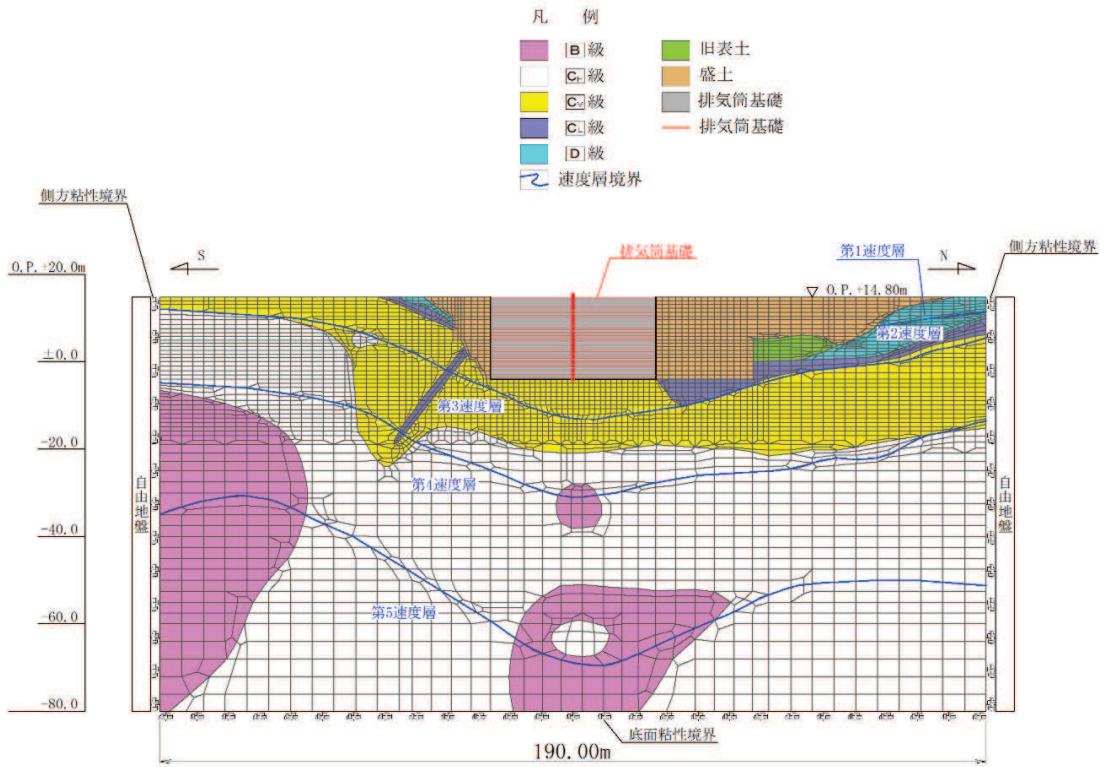


図 1-2 排気筒基礎の地震応答解析モデル図 (NS 断面)

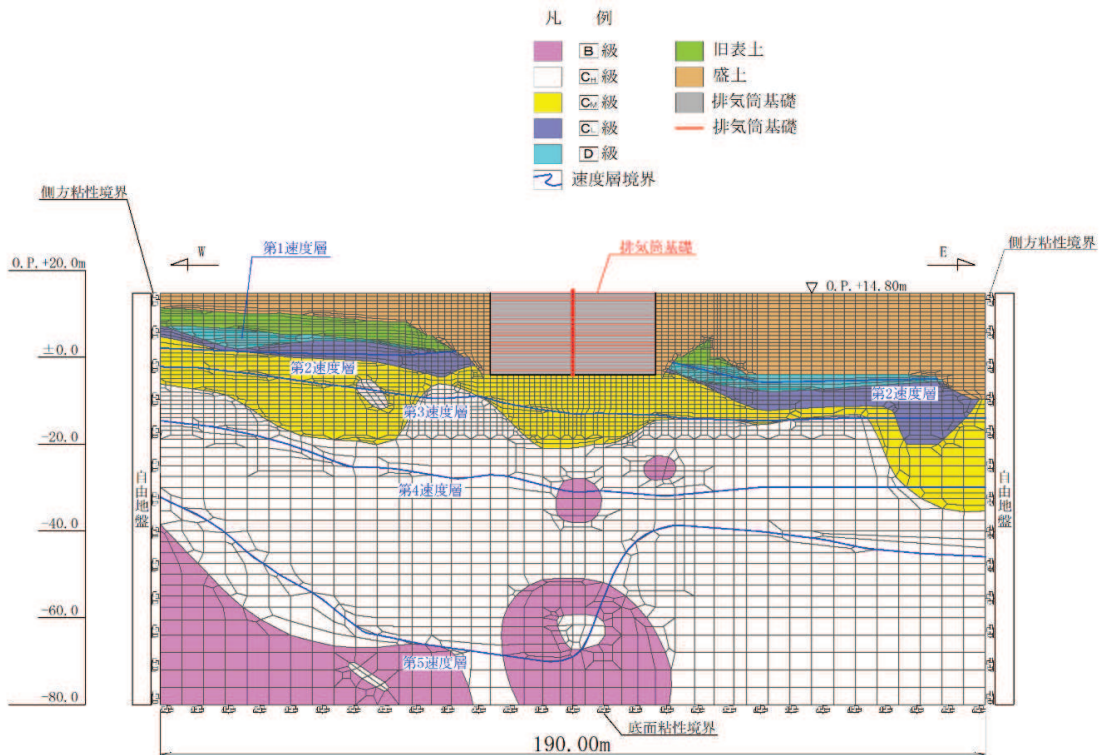


図 1-3 排気筒基礎の地震応答解析モデル図 (EW 断面)

## 2. 検討結果

### 2.1 検討内容

基礎の応力解析による評価における，組合せ係数法の適用性の確認において，検討に用いる地震動は基準地震動  $S_s$  7 波（全波）とする。また，時刻歴和による算定において，水平地震力による荷重には転倒モーメントを，鉛直地震力による荷重には鉛直反力を用いる。

組合せ係数法の最大接地圧については，最大転倒モーメントの 1.0 倍を乗じた値と最大鉛直反力の 0.4 倍を乗じた値の和，又は最大転倒モーメントの 0.4 倍を乗じた値と最大鉛直反力の 1.0 倍を乗じた値の和から算定している。

これに対して，時刻歴和による最大接地圧は，時刻歴転倒モーメント及び時刻歴鉛直反力から時刻毎に算定した接地圧の最大値とする。

排気筒基礎の検討フローを図 2-1 に示す。

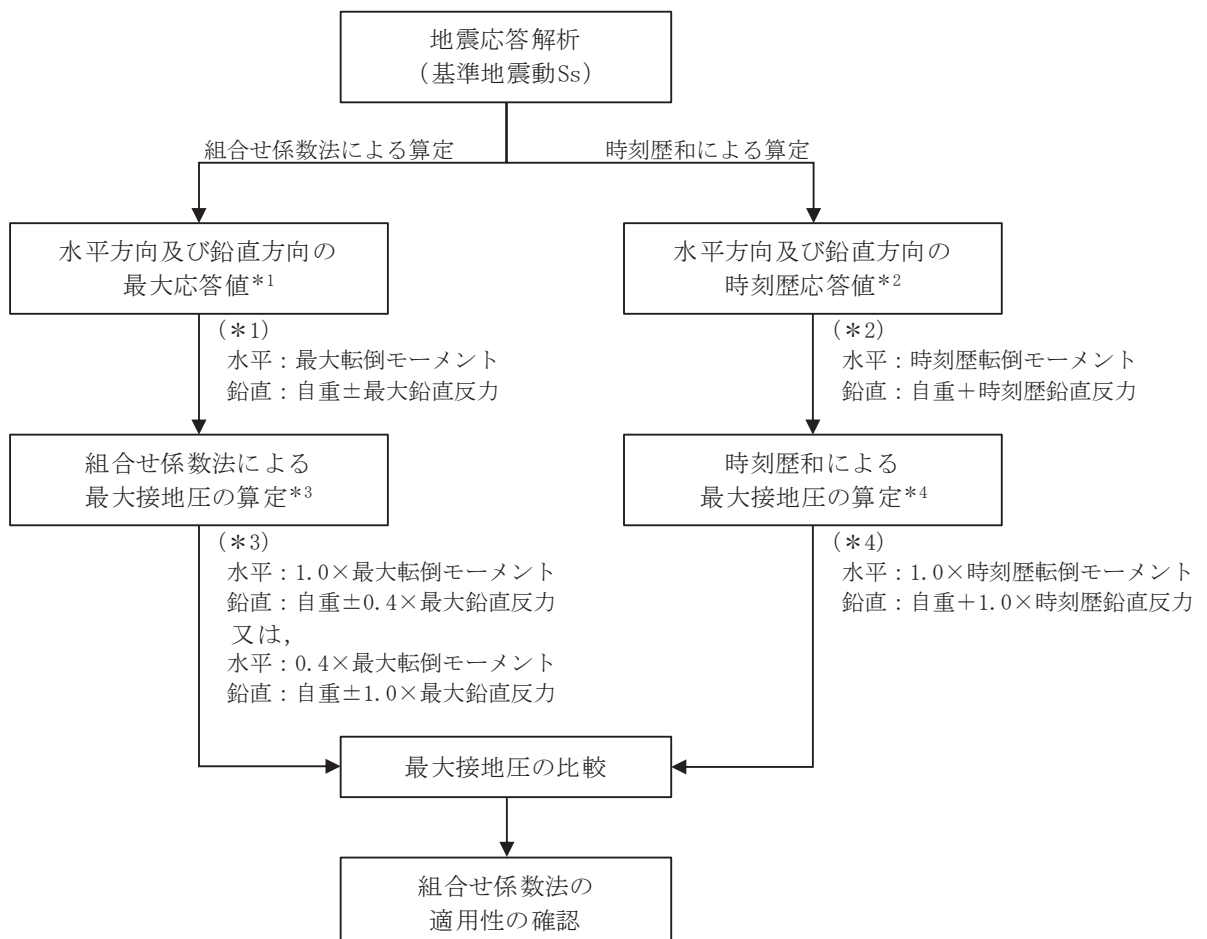


図 2-1 排気筒基礎の検討フロー

ここで、接地圧  $\sigma$  の評価式を下式に、転倒モーメントと鉛直反力の関係を図 2-2 に示す。

$$\sigma = \frac{W'}{B \cdot L} \cdot \alpha$$

ここで、

$\alpha$  : 接地圧係数

$e / L \leq 1/6$  のとき

$$\alpha = 1 + 6 \cdot \frac{e}{L}$$

$1/6 < e / L < 1/2$  のとき

$$\alpha = \frac{2}{3 \left( \frac{1}{2} - \frac{e}{L} \right)}$$

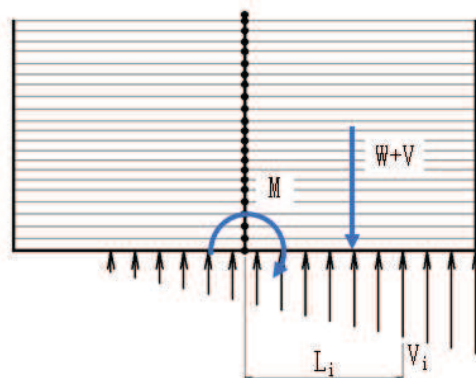
$$e = |M| / W'$$

- $M$  : 基礎底面における転倒モーメント  
 $W'$  : 鉛直地震荷重を考慮した総重量 ( $=W+V$ )  
 $B$  : 地震直交方向の基礎幅  
 $L$  : 地震方向の基礎幅

また、地盤反力を三角形分布と仮定した場合の基礎の接地率  $\eta$  は、次式で評価できる。

$$\eta = 3 \left( \frac{1}{2} - \frac{e}{L} \right)$$

ただし、 $e / L < 1/2$



■ 転倒モーメント  $M$  の算出

$$M = \Sigma (V_i \cdot L_i)$$

$V_i$  : 地震応答解析による鉛直方向地盤反力

$L_i$  : 基礎中心から  $V_i$  抽出位置までの水平距離

■ 鉛直反力  $V$  の算出

$$V = \Sigma V_i - W$$

$W$  : 自重

図 2-2 転倒モーメントと鉛直反力の関係

接地圧の評価式の特長上、鉛直方向の軸力変動が大きく、かつ水平最大応答時に鉛直上向きの応答が大きくなるような場合、図 2-3 に示すとおり、 $e/L = 1/6$  を超えると接地圧係数  $\alpha$  が加速的に大きくなり、 $e/L = 1/2 (=0.50)$  で  $\alpha$  が  $\infty$  に発散する。その場合、接地率  $\eta$  が零に近づき、地震応答解析では安定していた基礎が、組合せ係数法による応力解析では不安定となって解析できないことがある。

そこで、組合せ係数法による応力解析では、地震応答の時刻歴和による  $\eta$  の最小値を下回らないように  $e/L$  を補正する。具体的には、 $e/L$  の変数  $e$  が転倒モーメント  $M$  と鉛直地震荷重を考慮した総重量  $W'$  の関数であることから、接地圧  $\sigma$  が大きくなるように  $M$  を固定して  $W'$  を大きくし、組合せ係数法による  $e/L$  を各地震動による地震応答の時刻歴和による最大  $e/L$  と一致するよう、排気筒基礎底版に鉛直力を付加する。鉛直力の付加は基礎底版位置に作用させていることから、接地圧に対して保守的になるだけでなく、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の評価についても影響が無い設定となっている。

$e/L$  の補正の概念図を図 2-4 に、 $e/L$  の補正結果を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

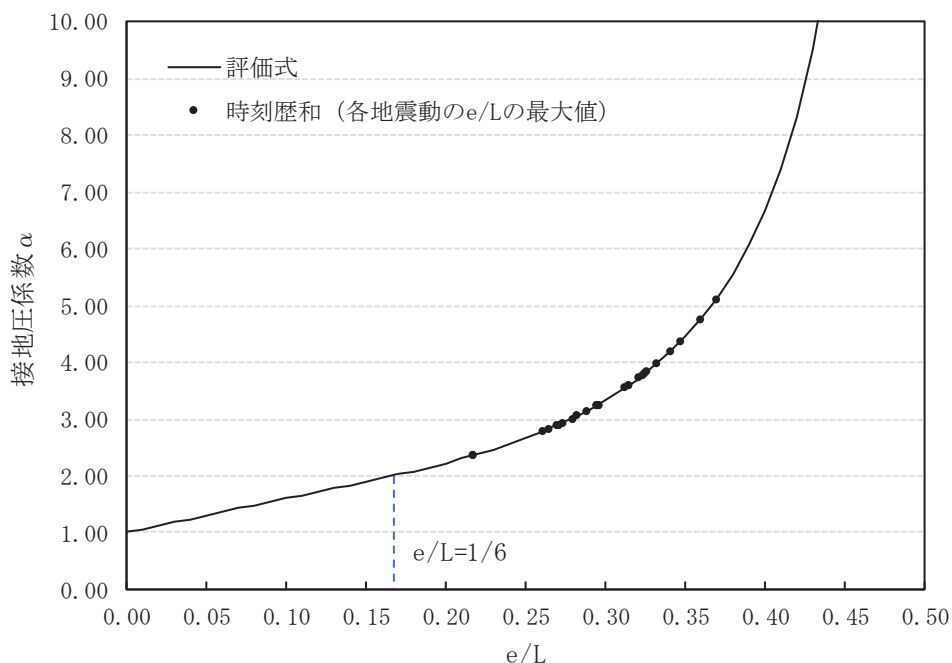


図 2-3  $e/L$  と接地圧係数  $\alpha$  の関係

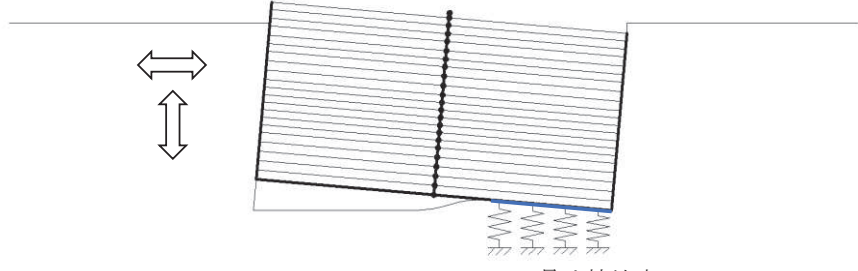
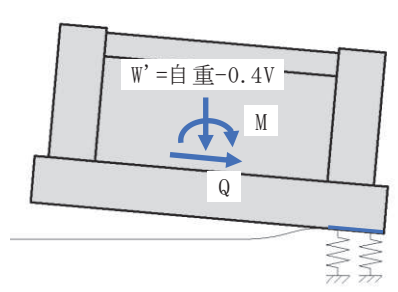
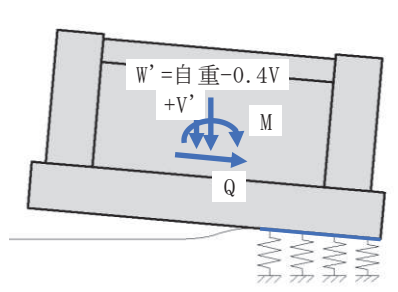
	e/Lの補正なし	e/Lの補正あり
地震応答解析	 <p>最小接地率: <math>\eta_A</math></p> <p>水平・鉛直同時入力による地震応答解析</p>	
応力解析	 <p>接地率: <math>\eta_B \leq \eta_A</math></p>	 <p>接地率: <math>\eta_C = \eta_A</math></p>
	<p>上向きの鉛直地震荷重が大きい場合は地震応答解析よりも浮上りが大きくなり、解析できないことがある。</p>	<p>上向きの鉛直地震荷重が大きい場合に解析できなくなることを避けるため、地震応答解析の最小接地率と一致するようにかつ、接地圧が大きくなるように鉛直力<math>V'</math>を付加する。</p>

図 2-4 e / L の補正の概念図



表 2-1 e / L の補正結果 (水平 1.0, 鉛直上向き 0.4 の場合)

(a) NS 断面

地震動	組合せ係数法							時刻歴和			
	最大値		偏心量	接地圧係数	補正後			偏心量最大時		偏心量	接地圧係数
	転倒モーメント M	総重量 W' = W - 0.4V	e/L (e=M/W')	$\alpha$	総重量 W''	e' / L (e' = M/W'')	$\alpha$	転倒モーメント M	総重量 W'	e/L (e=M/W')	$\alpha$
Ss-D1(++)	181974	12188	0.393	6.22	16281	0.294	3.24	173943	15562	0.294	3.24
Ss-D2(++)	183713	12014	0.402	6.83	13095	0.369	5.10	134561	9591	0.369	5.10
Ss-D3(++)	157673	12057	0.344	4.28	14105	0.294	3.24	143214	12811	0.294	3.24
Ss-F1(++)	164768	13518	0.321	3.72	15891	0.273	2.93	140578	13558	0.273	2.93
Ss-F2(++)	159362	13338	0.314	3.59	14863	0.282	3.06	155518	14505	0.282	3.06
Ss-F3(++)	182992	11640	0.414	7.72	14126	0.341	4.19	140644	10857	0.341	4.19
Ss-N1(++)	152653	13663	0.294	3.24	18478	0.217	2.36	131087	15868	0.217	2.36
Ss-D1(-+)	181724	12090	0.396	6.38	16182	0.296	3.26	107501	9572	0.296	3.26
Ss-D2(-+)	203140	11805	0.453	14.13	17015	0.314	3.59	164504	13779	0.314	3.59
Ss-D3(-+)	150161	11606	0.340	4.18	15195	0.260	2.78	129808	13135	0.260	2.78
Ss-F1(-+)	158246	12952	0.322	3.74	15393	0.271	2.91	158246	15393	0.271	2.91
Ss-F2(-+)	162735	13166	0.325	3.82	15895	0.269	2.89	148254	14481	0.269	2.89
Ss-F3(-+)	162102	12609	0.338	4.12	14448	0.295	3.26	147007	13102	0.295	3.26
Ss-N1(-+)	141151	13679	0.272	2.92	17082	0.217	2.36	118080	14290	0.217	2.36

(b) EW 断面

地震動	組合せ係数法							時刻歴和			
	最大値		偏心量	接地圧係数	補正後			偏心量最大時		偏心量	接地圧係数
	転倒モーメント M	総重量 W' = W - 0.4V	e/L (e=M/W')	$\alpha$	総重量 W''	e' / L (e' = M/W'')	$\alpha$	転倒モーメント M	総重量 W'	e/L (e=M/W')	$\alpha$
Ss-D1(++)	213699	11788	0.477	29.09	17259	0.326	3.83	78476	6338	0.326	3.83
Ss-D2(++)	243729	11713	0.548	適用外	17839	0.360	4.75	180690	13225	0.360	4.75
Ss-D3(++)	190954	11864	0.424	8.72	15991	0.314	3.59	190954	15991	0.314	3.59
Ss-F1(++)	169062	13602	0.327	3.86	16437	0.271	2.91	135111	13136	0.271	2.91
Ss-F2(++)	181657	12219	0.391	6.13	13770	0.347	4.36	107369	8139	0.347	4.36
Ss-F3(++)	213280	12573	0.446	12.44	17298	0.324	3.80	178156	14449	0.324	3.80
Ss-N1(++)	162007	13500	0.316	3.62	15276	0.279	3.02	120755	11386	0.279	3.02
Ss-D1(-+)	211976	11688	0.477	29.32	17869	0.312	3.55	84334	7109	0.312	3.55
Ss-D2(-+)	239426	11617	0.542	適用外	19490	0.323	3.77	169537	13801	0.323	3.77
Ss-D3(-+)	193686	11688	0.436	10.43	17239	0.296	3.26	161652	14388	0.296	3.26
Ss-F1(-+)	174380	13452	0.341	4.20	17336	0.265	2.83	148633	14777	0.265	2.83
Ss-F2(-+)	186569	12511	0.392	6.20	14778	0.332	3.97	124008	9823	0.332	3.97
Ss-F3(-+)	204672	12930	0.417	7.99	16760	0.321	3.73	146181	11970	0.321	3.73
Ss-N1(-+)	163519	13634	0.316	3.62	14934	0.288	3.15	132590	12109	0.288	3.15

表 2-2 e / L の補正結果 (水平 0.4, 鉛直上向き 1.0 の場合)

(a) NS 断面

地震動	組合せ係数法							時刻歴和			
	最大値		偏心量	接地圧係数	補正後			偏心量最大時		偏心量	接地圧係数
	転倒モーメント $M' = 0.4M$	総重量 $W' = W - 1.0V$	$e/L$ ( $e = M' / W'$ )	$\alpha$	総重量 $W''$	$e' / L$ ( $e' = M' / W''$ )	$\alpha$	転倒モーメント $M$	総重量 $W$	$e/L$ ( $e = M / W$ )	$\alpha$
Ss-D1(++)	72790	6139	0.312	3.55	6512	0.294	3.24	173943	15562	0.294	3.24
Ss-D2(++)	73485	5704	0.339	4.14	5704	0.339	4.14	134561	9591	0.369	5.10
Ss-D3(++)	63069	5811	0.286	3.11	5811	0.286	3.11	143214	12811	0.294	3.24
Ss-F1(++)	65907	9462	0.183	2.11	9462	0.183	2.11	140578	13558	0.273	2.93
Ss-F2(++)	63745	9012	0.186	2.12	9012	0.186	2.12	155518	14505	0.282	3.06
Ss-F3(++)	73197	4769	0.404	6.94	5650	0.341	4.19	140644	10857	0.341	4.19
Ss-N1(++)	61061	9826	0.164	1.98	9826	0.164	1.98	131087	15868	0.217	2.36
Ss-D1(-+)	72689	5894	0.325	3.80	6473	0.296	3.26	107501	9572	0.296	3.26
Ss-D2(-+)	81256	5181	0.413	7.64	6806	0.314	3.59	164504	13779	0.314	3.59
Ss-D3(-+)	60065	4683	0.338	4.10	6078	0.260	2.78	129808	13135	0.260	2.78
Ss-F1(-+)	63298	8049	0.207	2.27	8049	0.207	2.27	158246	15393	0.271	2.91
Ss-F2(-+)	65094	8583	0.200	2.22	8583	0.200	2.22	148254	14481	0.269	2.89
Ss-F3(-+)	64841	7191	0.237	2.54	7191	0.237	2.54	147007	13102	0.295	3.26
Ss-N1(-+)	56460	9865	0.151	1.90	9865	0.151	1.90	118080	14290	0.217	2.36

(b) EW 断面

地震動	組合せ係数法							時刻歴和			
	最大値		偏心量	接地圧係数	補正後			偏心量最大時		偏心量	接地圧係数
	転倒モーメント $M' = 0.4M$	総重量 $W' = W - 1.0V$	$e/L$ ( $e = M' / W'$ )	$\alpha$	総重量 $W''$	$e' / L$ ( $e' = M' / W''$ )	$\alpha$	転倒モーメント $M$	総重量 $W$	$e/L$ ( $e = M / W$ )	$\alpha$
Ss-D1(++)	85479	5137	0.438	10.73	6904	0.326	3.83	78476	6338	0.326	3.83
Ss-D2(++)	97492	4951	0.518	適用外	7136	0.360	4.75	180690	13225	0.360	4.75
Ss-D3(++)	76382	5327	0.377	5.43	6396	0.314	3.59	190954	15991	0.314	3.59
Ss-F1(++)	67625	9673	0.184	2.11	9673	0.184	2.11	135111	13136	0.271	2.91
Ss-F2(++)	72663	6217	0.308	3.46	6217	0.308	3.46	107369	8139	0.347	4.36
Ss-F3(++)	85312	7102	0.316	3.63	7102	0.316	3.63	178156	14449	0.324	3.80
Ss-N1(++)	64803	9417	0.181	2.09	9417	0.181	2.09	120755	11386	0.279	3.02
Ss-D1(-+)	84790	4888	0.456	15.31	7147	0.312	3.55	84334	7109	0.312	3.55
Ss-D2(-+)	95770	4710	0.535	適用外	7796	0.323	3.77	169537	13801	0.323	3.77
Ss-D3(-+)	77474	4887	0.417	8.05	6896	0.296	3.26	161652	14388	0.296	3.26
Ss-F1(-+)	69752	9298	0.197	2.20	9298	0.197	2.20	148633	14777	0.265	2.83
Ss-F2(-+)	74627	6945	0.283	3.07	6945	0.283	3.07	124008	9823	0.332	3.97
Ss-F3(-+)	81869	7993	0.270	2.89	7993	0.270	2.89	146181	11970	0.321	3.73
Ss-N1(-+)	65408	9753	0.176	2.06	9753	0.176	2.06	132590	12109	0.288	3.15

## 2.2 検討結果

表 2-3 に地震動毎に組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧 (①), ①のうち全ての地震動の中での最大接地圧 (②), 時刻歴和による接地圧の最大値 (③), 接地圧の最大値の比 (①/③及び②/③) を示す。

組合せ係数法を適用して算出した接地圧の最大値 (②) が, 時刻歴和による接地圧の最大値 (③) よりも大きい値 (②/③が 1.0 以上) となっていることから, 基礎の評価における組合せ係数法の適用性を確認した。

表 2-3 最大接地圧の比較

(a) NS 断面

地震動	組合せ係数法による 最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )		③時刻歴接地圧の 最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	最大接地圧の比 ①/③	最大接地圧の比 ②/③
	①地震動毎	②Ss最大値			
Ss-D1(++)	1387	1756	1344	1.032	1.307
Ss-D2(++)	1756	1756	1505	1.167	1.167
Ss-D3(++)	1206	1756	1171	1.030	1.500
Ss-F1(++)	1227	1756	1217	1.008	1.443
Ss-F2(++)	1197	1756	1186	1.009	1.481
Ss-F3(++)	1558	1756	1362	1.143	1.289
Ss-N1(++)	1152	1756	1163	0.990	1.510
Ss-D1(-+)	1388	1756	1351	1.028	1.300
Ss-D2(-+)	1606	1756	1533	1.048	1.145
Ss-D3(-+)	1178	1756	1130	1.042	1.554
Ss-F1(-+)	1194	1756	1177	1.015	1.492
Ss-F2(-+)	1217	1756	1204	1.011	1.458
Ss-F3(-+)	1238	1756	1276	0.971	1.377
Ss-N1(-+)	1090	1756	1077	1.012	1.631

(b) EW 断面

地震動	組合せ係数法による 最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )		③時刻歴接地圧の 最大値 (kN/m <sup>2</sup> )	最大接地圧の比 ①/③	最大接地圧の比 ②/③
	①地震動毎	②Ss最大値			
Ss-D1(++)	1739	2228	1613	1.078	1.381
Ss-D2(++)	2228	2228	1913	1.165	1.165
Ss-D3(++)	1510	2228	1510	1.000	1.475
Ss-F1(++)	1257	2228	1252	1.005	1.780
Ss-F2(++)	1581	2228	1428	1.107	1.560
Ss-F3(++)	1729	2228	1575	1.097	1.414
Ss-N1(++)	1213	2228	1217	0.997	1.831
Ss-D1(-+)	1669	2228	1645	1.015	1.355
Ss-D2(-+)	1935	2228	1805	1.072	1.235
Ss-D3(-+)	1480	2228	1479	1.001	1.507
Ss-F1(-+)	1293	2228	1289	1.003	1.729
Ss-F2(-+)	1545	2228	1409	1.097	1.581
Ss-F3(-+)	1646	2228	1600	1.029	1.393
Ss-N1(-+)	1237	2228	1215	1.018	1.833

### 2.3 考察

地震応答の時刻歴和による  $e/L$  は最大で 0.369 であるのに対し，組合せ係数法による  $e/L$  は最大で 0.548 ( $\geq 1/2$ ) と，接地率  $\eta$  の計算式の適用外となるケースも見られる。そのため，組合せ係数法で考慮する鉛直力を大きくして， $e/L$  を地震応答解析の時刻歴和の最大値と一致するように補正した。

補正した  $e/L$  に基づく組合せ係数法による接地圧と時刻歴和による偏心量  $e/L$  最大時の接地圧の評価結果を表 2-4 に示す。組合せ係数法による接地圧 (①)，時刻歴和による接地圧 (②)，接地圧の比 (①/②) を比較すると，全ての地震動において組合せ係数法による接地圧は時刻歴和による接地圧以上 (①/②が 1.0 以上) となり，基礎の評価において  $e/L$  を補正することの保守性が確認された。

表 2-4 接地圧の比較

(a) NS 断面

地震動	組合せ係数法 (補正後)		時刻歴和 偏心量最大時		接地圧の比 ①/②
	e' /L	①接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	e/L	②接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	
Ss-D1(++)	0.294	1387	0.294	1326	1.046
Ss-D2(++)	0.369	1756	0.369	1286	1.365
Ss-D3(++)	0.294	1202	0.294	1092	1.101
Ss-F1(++)	0.273	1227	0.273	1047	1.172
Ss-F2(++)	0.282	1197	0.282	1168	1.025
Ss-F3(++)	0.341	1558	0.341	1197	1.301
Ss-N1(++)	0.217	1147	0.217	985	1.165
Ss-D1(--)	0.296	1388	0.296	821	1.690
Ss-D2(--)	0.314	1606	0.314	1301	1.235
Ss-D3(--)	0.260	1111	0.260	960	1.157
Ss-F1(--)	0.271	1177	0.271	1177	1.000
Ss-F2(--)	0.269	1209	0.269	1102	1.098
Ss-F3(--)	0.295	1238	0.295	1123	1.103
Ss-N1(--)	0.217	1061	0.217	887	1.195

(b) EW 断面

地震動	組合せ係数法 (補正後)		時刻歴和 偏心量最大時		接地圧の比 ①/②
	e' /L	①接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	e/L	②接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	
Ss-D1(++)	0.326	1739	0.326	638	2.723
Ss-D2(++)	0.360	2228	0.360	1652	1.349
Ss-D3(++)	0.314	1510	0.314	1510	1.000
Ss-F1(++)	0.271	1257	0.271	1005	1.251
Ss-F2(++)	0.347	1581	0.347	934	1.692
Ss-F3(++)	0.324	1729	0.324	1444	1.197
Ss-N1(++)	0.279	1213	0.279	904	1.342
Ss-D1(--)	0.312	1669	0.312	664	2.514
Ss-D2(--)	0.323	1935	0.323	1370	1.412
Ss-D3(--)	0.296	1480	0.296	1235	1.198
Ss-F1(--)	0.265	1293	0.265	1102	1.173
Ss-F2(--)	0.332	1545	0.332	1027	1.504
Ss-F3(--)	0.321	1646	0.321	1176	1.400
Ss-N1(--)	0.288	1237	0.288	1003	1.233

## 別紙 8 排気筒基礎の最大接地圧について

## 目次

1. 概要..... 別紙 8-1
2. 接地圧..... 別紙 8-2



## 1. 概要

本資料は、排気筒基礎の基準地震動  $S_s$  による地震力（以下「 $S_s$  地震時」という。）に対する接地圧を示すものである。

## 2. 接地圧

S<sub>s</sub>地震時の最大接地圧が、地盤の極限支持力度（11400kN/m<sup>2</sup>）を超えないことを確認する。

基本ケースの接地圧を表 2-1～表 2-4 に、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したケースの最大接地圧を表 2-5 に示す。排気筒基礎における最大接地圧は、NS 断面及び EW 断面の基本ケース（++，-+）の結果を比較すると、EW 断面の値が大きいことから、EW 断面でばらつきケースの影響検討を行う。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おり、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。

S<sub>s</sub>地震時の最大接地圧は、EW 断面の基本ケース（-+）にて最大値が 4170kN/m<sup>2</sup>であることから、地盤の極限支持力度を超えないこと及びばらつきの影響が軽微であることを確認した。

表 2-1 S<sub>s</sub>地震時の接地圧（基本ケース（++），NS 断面）

基準地震動 S <sub>s</sub>	鉛直力 N（×10 <sup>4</sup> kN）	転倒モーメント M（×10 <sup>5</sup> kN・m）	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
S <sub>s</sub> -D 1	2.59	1.82	2550
S <sub>s</sub> -D 2	2.59	1.84	2870
S <sub>s</sub> -D 3	2.66	1.58	2450
S <sub>s</sub> -F 1	2.30	1.65	2250
S <sub>s</sub> -F 2	2.15	1.59	2280
S <sub>s</sub> -F 3	2.77	1.83	2650
S <sub>s</sub> -N 1	2.26	1.53	2120

表 2-2 S<sub>s</sub>地震時の接地圧（基本ケース（++），EW 断面）

基準地震動 S <sub>s</sub>	鉛直力 N（×10 <sup>4</sup> kN）	転倒モーメント M（×10 <sup>5</sup> kN・m）	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
S <sub>s</sub> -D 1	2.55	2.14	3530
S <sub>s</sub> -D 2	2.71	2.44	3960
S <sub>s</sub> -D 3	2.71	1.91	3020
S <sub>s</sub> -F 1	2.28	1.69	2830
S <sub>s</sub> -F 2	2.17	1.82	2820
S <sub>s</sub> -F 3	2.53	2.13	3410
S <sub>s</sub> -N 1	2.30	1.62	2380

表 2-3 S<sub>s</sub>地震時の接地圧 (基本ケース (-+), NS 断面)

基準地震動 S <sub>s</sub>	鉛直力 N (×10 <sup>4</sup> kN)	転倒モーメント M (×10 <sup>5</sup> kN・m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
S <sub>s</sub> -D 1	2.62	1.82	2840
S <sub>s</sub> -D 2	2.66	2.03	3260
S <sub>s</sub> -D 3	2.78	1.50	2290
S <sub>s</sub> -F 1	2.44	1.58	2290
S <sub>s</sub> -F 2	2.26	1.63	2380
S <sub>s</sub> -F 3	2.43	1.62	2860
S <sub>s</sub> -N 1	2.26	1.41	1780

表 2-4 S<sub>s</sub>地震時の接地圧 (基本ケース (-+), EW 断面)

基準地震動 S <sub>s</sub>	鉛直力 N (×10 <sup>4</sup> kN)	転倒モーメント M (×10 <sup>5</sup> kN・m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
S <sub>s</sub> -D 1	2.65	2.12	3290
S <sub>s</sub> -D 2	2.77	2.39	4170
S <sub>s</sub> -D 3	2.76	1.94	3110
S <sub>s</sub> -F 1	2.31	1.74	2770
S <sub>s</sub> -F 2	2.20	1.87	2850
S <sub>s</sub> -F 3	2.43	2.05	3280
S <sub>s</sub> -N 1	2.27	1.64	2300

表 2-5 S s 地震時の接地圧 (ばらつきケース, S s - D 2 (-+), EW 断面)

解析ケース	鉛直力 N ( $\times 10^4$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^5$ kN・m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
ケース②	2.75	2.40	4160
ケース③	2.78	2.16	3700

## 別紙 9 排気筒基礎の地下水位の設定による影響

## 目次

1. 概要	別紙 9-1
2. 評価方針	別紙 9-2
3. 評価結果	別紙 9-3
3.1 地震応答解析による評価結果	別紙 9-3
3.2 応力解析による評価結果	別紙 9-4
4. まとめ	別紙 9-9

## 1. 概要

女川原子力発電所においては、液状化検討対象施設を幅広く抽出するために、水位が高めに評価されるような解析条件にて浸透流解析を実施し、これを包絡するよう設計用地下水位を設定している。

これに対し、地下水位低下設備の信頼性向上（多重化等）により、平常時の地下水位は設計用地下水位より低くなる可能性があることから、本資料では、地下水位が低い場合に作用する揚圧力等の影響有無の確認を行う。

## 2. 評価方針

地下水位を下げた影響検討は、設計用地下水位における揚圧力に対して最も影響が出るよう、岩盤上面に影響検討用地下水位を設定し、検討を行う。

耐震評価は添付資料「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」における評価条件に基づき地震応答解析を行うことで、排気筒基礎に作用する地震時土圧荷重、慣性力を算出し、添付資料「VI-2-2-26 排気筒基礎の耐震性についての計算書」に基づき、応力解析による評価を行う。なお、応力解析に用いる、地震時の上部工反力については、設計用地下水位による標準ケースと地下水位を下げた影響検討ケースで同じものを用いる。設計用地下水位及び影響検討用地下水位を表 2-1、地震応答解析モデル図を図 2-1 に示す。

影響検討に用いる地震動は、添付資料「VI-2-2-26 排気筒基礎の耐震性についての計算書」の解析ケース①（基本ケース）の結果において、照査値が最も厳しい値となったせん断破壊に対する評価での基準地震動  $S_s - D2 (-+)$  を用いる。

表 2-1 設計用地下水位及び影響検討用地下水位

検討ケース	地下水位
標準ケース (設計用地下水位)	O. P. +14.8m
影響検討ケース (影響検討用地下水位)	O. P. -4.0m (構造物位置)

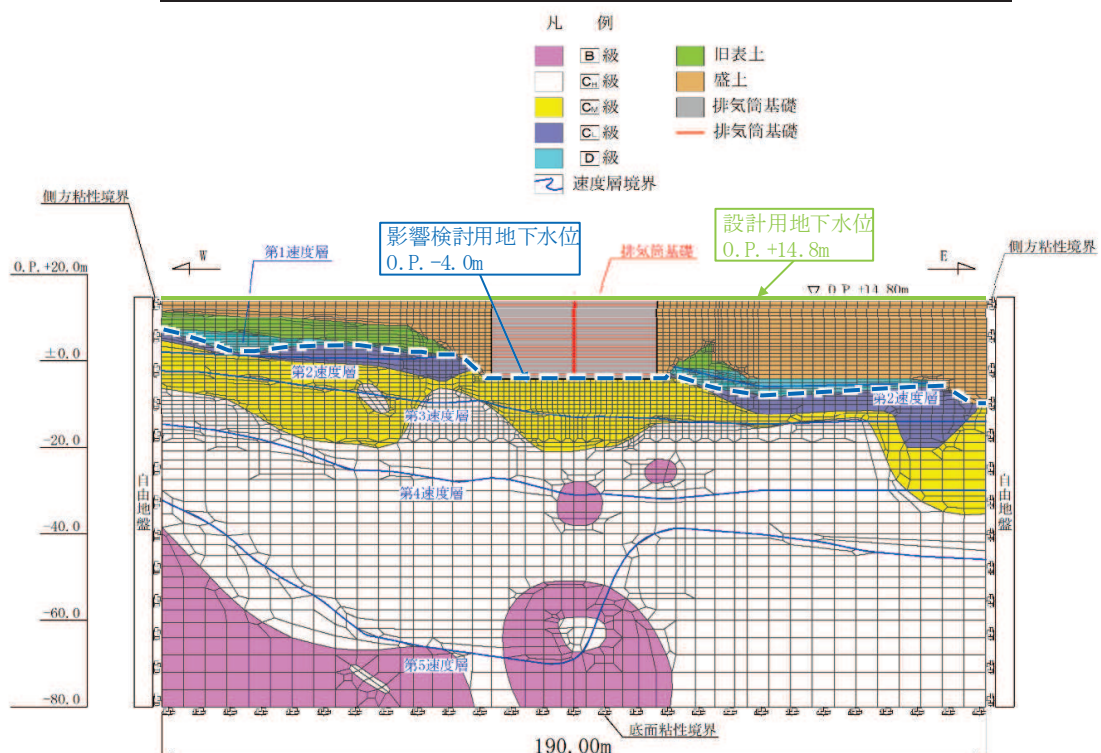


図 2-1 地震応答解析モデル図



### 3. 評価結果

#### 3.1 地震応答解析による評価結果

地震時の最大接地圧に対する評価において、接地圧が最大となる評価結果を表 3-1 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おり、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。

二次元時刻歴応答解析においては、常時応力解析では地盤要素が負担するよう揚圧力を入力し、接地圧を求めている。影響検討の結果、地下水位が低い場合の影響は軽微であることを確認した。

表 3-1 S s 地震時の最大接地圧

	標準ケース	影響検討ケース
検討ケース	S s - D 2 (-+), ケース①	S s - D 2 (-+), ケース①
鉛直力 N ( $\times 10^4$ kN)	2.77	2.75
転倒モーメント M ( $\times 10^5$ kN・m)	2.39	2.39
最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	4170	4050
極限支持力度 (kN/m <sup>2</sup> )	11400	11400

### 3.2 応力解析による評価結果

鉄筋コンクリートの軸力及び曲げモーメント並びに面外せん断力に対する評価において、許容応力度に対する発生応力度の割合（応力度比）が各部材で最大となる評価結果を表 3-2～表 3-4 に示す。また、最大となる評価結果の部位を図 3-1 に示す。

影響検討の結果、地下水位が低い場合の影響は軽微であることを確認した。

以下に、土圧及び揚圧力の観点から影響が軽微である理由を考察する。

地下水位の設定に伴う土圧の変化は、地下水位が高い方が盛土の単位体積重量が増加するため、盛土の慣性力が大きくなり排気筒基礎への作用土圧は大きくなる傾向となる。一方で、地下水位が高い方が、有効上載圧が小さくなることで盛土の初期せん断弾性係数  $G_0$  及びせん断強度  $\tau_f$  が小さくなり、発生せん断応力は小さくなる傾向となる。これらのことから、地下水位の設定に関わらず、土圧は同等の結果となる。

排気筒基礎における揚圧力の考慮方法について、二次元時刻歴応答解析においては、常時応力解析では地盤要素が負担するよう揚圧力を入力し、地震時土圧荷重及び慣性力を算出する。応力解析においては二次元時刻歴応答解析の荷重状態を作用する方針としており、地盤要素が負担する荷重を再現し、地震時増分土圧及び慣性力を入力して評価を行っている。

地下水位の設定に伴う揚圧力の変化は、排気筒基礎の筒身柱及び鉄塔柱は構造物の上端を固定していないことから、揚圧力を考慮しても、構造物全体に揚圧力が作用する。そのため、柱部材に発生する軸力への影響は無い。また、排気筒基礎は部材の内部をコンクリート充填しており、基礎版に揚圧力を考慮することで鉛直力を打ち消す荷重となることから、鉛直力は小さくなる。一方で、揚圧力を考慮することで、鉛直力を負担する基礎版の接地面積が減少する傾向となる。これらのことから、地下水位の設定に関わらず、基礎版に発生するせん断力は同等の結果となる。

以上より、地下水位の設定により構造物に作用する土圧及び揚圧力の影響は少なく、地下水位が低い場合の影響が軽微となった。

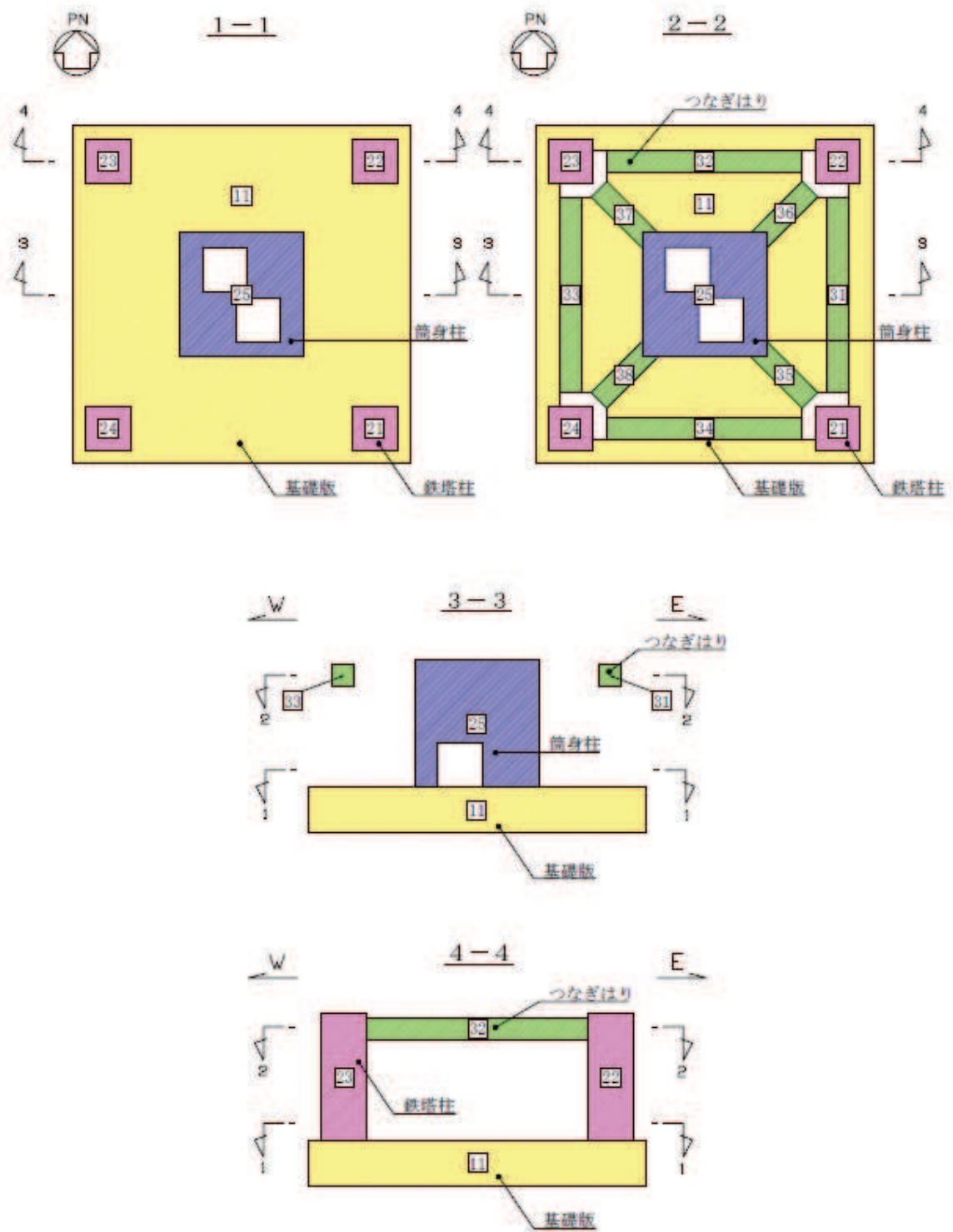


図 3-1 評価位置図

表 3-2 S s 地震時における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート) 【S s - D 2 (-+), ケース①】

解析ケース	評価位置*1		荷重の 組合せ ケース	曲げモー メント	曲げモー メント	軸力*4 N (kN/m)	発生 応力度	短期許容 応力度	応力度比 $\sigma'_{c} / \sigma'_{ca}$
				M z *2 (kN・m/m)	M y *2 (kN・m/m)		$\sigma'_{c}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
標準ケース	筒身柱	25	2-8	-14325	5721	89413	0.7	13.6	0.05
	鉄塔柱	23	2-6	7139	3255	35906	1.7	13.6	0.13
	つなぎ はり	34	2-5	733	639	6440	1.3	13.6	0.10
	基礎版	11	2-5	4068*3	—	10778	3.1	13.6	0.23
影響検討 ケース	筒身柱	25	2-8	-14455	5646	90507	0.7	13.6	0.06
	鉄塔柱	23	2-6	8154	3080	35884	1.7	13.6	0.13
	つなぎ はり	34	2-5	741	658	6685	1.4	13.6	0.10
	基礎版	11	2-5	4361*3	—	9590	2.9	13.6	0.21

注記\*1：評価位置は図 3-1 に示す。

\*2：M z , M y を用いて中立軸を算定し，評価を行っている。

\*3：上縁圧縮を+とする。

\*4：圧縮を+とする。

表 3-3 S<sub>s</sub>地震時における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（鉄筋）【S<sub>s</sub>-D2（-+），ケース①】

解析ケース	評価位置*1		荷重の 組合せ ケース	曲げモー メント	曲げモー メント	軸力*4 N (kN/m)	発生 応力度	短期許容 応力度	応力度比 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				M <sub>z</sub> *2 (kN・m/m)	M <sub>y</sub> *2 (kN・m/m)		$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
標準ケース	筒身柱	25	2-5	122904	9390	16470	11	345	0.03
	鉄塔柱	21	2-5	4898	3095	-10044	119	345	0.35
	つなぎ はり	32	2-5	-1017	440	-4532	80	345	0.24
	基礎版	11	2-6	-2165*3	—	765	16	345	0.05
影響検討 ケース	筒身柱	25	2-5	118910	8815	13227	13	345	0.04
	鉄塔柱	21	2-5	4673	3131	-9987	118	345	0.34
	つなぎ はり	32	2-5	-1008	411	-4260	76	345	0.23
	基礎版	11	2-5	-833*3	—	17	16	345	0.05

注記\*1：評価位置は図 3-1 に示す。

\*2：M<sub>z</sub>，M<sub>y</sub>を用いて中立軸を算定し，評価を行っている。

\*3：上縁圧縮を+とする。

\*4：圧縮を+とする。

表 3-4 S<sub>s</sub>地震時におけるせん断破壊に対する評価結果【S<sub>s</sub>-D2(-+), ケース①】

解析ケース	評価位置*		荷重の 組合せ ケース	発生 せん断力 V	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub>	応力度比 V/V <sub>a</sub>
				(kN/m)	(kN/m)	
標準ケース	筒身柱	25	2-6	102574	150768	0.69
	鉄塔柱	23	2-6	11549	21511	0.54
	つなぎはり	35	2-6	2257	9819	0.23
	基礎版	11	2-6	5523	8610	0.65
影響検討 ケース	筒身柱	25	2-6	97382	150768	0.65
	鉄塔柱	23	2-5	12088	21511	0.57
	つなぎはり	35	2-5	2362	9819	0.25
	基礎版	11	2-6	5119	8610	0.60

注記\*：評価位置は図 3-1 に示す。

#### 4. まとめ

排気筒基礎は、地下水位が低いことにより揚圧力等が変わることで、耐震設計への影響が考えられることから、地下水位が低い場合の影響検討を行った。

評価の結果、標準ケースに比べて影響検討ケースの照査値はほとんど変わらないことから、平常時の地下水位が設計用地下水位より低くなることの影響は軽微であることを確認した。

地下水位の設定に伴う土圧の変化は、地下水位が高い方が盛土の単位体積重量が増加するため、盛土の慣性力が大きくなり排気筒基礎への作用土圧は大きくなる傾向となる。一方で、地下水位が高い方が、有効上載圧が小さくなることで盛土の初期せん断弾性係数  $G_0$  及びせん断強度  $\tau_f$  が小さくなり、発生せん断応力は小さくなる傾向となる。これらのことから、地下水位の設定に関わらず、土圧は同等の結果となる。

地下水位の設定に伴う揚圧力の変化は、排気筒基礎の筒身柱及び鉄塔柱は構造物の上端を固定していないことから、揚圧力を考慮しても、構造物全体に揚圧力が作用する。そのため、柱部材に発生する軸力への影響は無い。また、排気筒基礎は部材の内部をコンクリート充填しており、基礎版に揚圧力を考慮することで鉛直力を打ち消す荷重となることから、鉛直力は小さくなる。一方で、揚圧力を考慮することで、鉛直力を負担する基礎版の接地面積が減少する傾向となる。これらのことから、地下水位の設定に関わらず、基礎版に発生するせん断力は同等の結果となる。

以上より、地下水位の設定により構造物に作用する土圧及び揚圧力の影響は少なく、地下水位が低い場合の影響が軽微となった。

別紙 10 排気筒基礎内部の充填コンクリートにおける健全性評価



## 目次

1. 概要…………… 別紙 10-1
2. 評価方針…………… 別紙 10-2
3. 評価結果…………… 別紙 10-2
4. まとめ…………… 別紙 10-9

## 1. 概要

排気筒基礎内部の充填コンクリートは、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時(届出)において、耐震上の余裕を向上させる対策として、鉄塔柱、梁、基礎版で囲まれる内側の埋戻土を無筋コンクリートによる置換えを実施した。

充填コンクリートは、埋戻土と同様の地盤として考慮しているため、充填コンクリートの健全性が保持されているか評価を実施する。

## 2. 評価方針

充填コンクリートの健全性評価は、充填コンクリートに発生する最大応力が、表 2-1 に示す、建築基準法施行令 97 条に基づくコンクリートのせん断強度、引張強度を下回ることを確認する。

表 2-1 充填コンクリートのせん断強度及び引張強度  
(単位：N/mm<sup>2</sup>)

	設計基準強度 $F_c = 18.0$	
	せん断	引張
強度	1.8	1.8

(コンクリート)

第97条 コンクリートの材料強度は、次の表の数値によらなければならない。ただし、異形鉄筋を用いた付着について、国土交通大臣が異形鉄筋の種類及び品質に応じて別に数値を定めた場合は、当該数値によることができる。

材料強度 (単位 1 平方ミリメートルにつきニュートン)			
圧縮	引張り	せん断	付着
$F$	$\frac{F}{10}$ ( $F$ が21を超えるコンクリートについて、国土交通大臣がこれと異なる数値を定めた場合は、その定めた数値)		2.1 (軽量骨材を使用する場合にあつては、1.8)
この表において、 $F$ は、設計基準強度 (単位 1 平方ミリメートルにつきニュートン) を表すものとする。			

図 2-1 コンクリートのせん断強度及び引張強度  
(「技術基準解説書」による。)

## 3. 評価結果

充填コンクリートのせん断破壊に対する局所安全係数を表 3-1 及び表 3-2 に、引張破壊に対する局所安全係数を表 3-3 及び表 3-4 に示す。また、せん断破壊に対して局所安全係数が最も厳しい要素の位置を図 3-1 に、引張破壊に対して局所安全係数が最も厳しい要素の位置を図 3-2 に示す。

$$f_s = R / S$$

ここに、 $f_s$  : 局所安全係数

$R$  : せん断強度又は引張強度

$S$  : 発生せん断応力または発生引張応力

表 3-1、表 3-2 よりせん断破壊及び引張破壊している要素はなく、充填コンクリートの安定性に影響を及ぼすことはない。

以上から、充填コンクリートの健全性を確認した。

表 3-1 せん断破壊に対する局所安全係数 (NS 断面)

解析 ケース	地震動		荷重の 組合せ ケース	せん断応力 S (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度 R (N/mm <sup>2</sup> )	局所安全係数 f <sub>s</sub>
①	S <sub>s</sub> -D 1	++	1-1	0.89	1.80	2.02
		-+	2-1	0.88	1.80	2.04
	S <sub>s</sub> -D 2	++	1-1	1.08	1.80	1.66
		-+	2-1	0.96	1.80	1.87
	S <sub>s</sub> -D 3	++	1-1	0.79	1.80	2.27
		-+	2-1	0.75	1.80	2.40
	S <sub>s</sub> -F 1	++	1-1	0.77	1.80	2.33
		-+	2-1	0.73	1.80	2.46
	S <sub>s</sub> -F 2	++	1-1	0.76	1.80	2.36
		-+	2-1	0.75	1.80	2.40
	S <sub>s</sub> -F 3	++	1-1	0.92	1.80	1.95
		-+	2-1	0.81	1.80	2.22
	S <sub>s</sub> -N 1	++	1-2	0.70	1.80	2.57
		-+	2-1	0.66	1.80	2.72

表 3-2 せん断破壊に対する局所安全係数 (EW 断面)

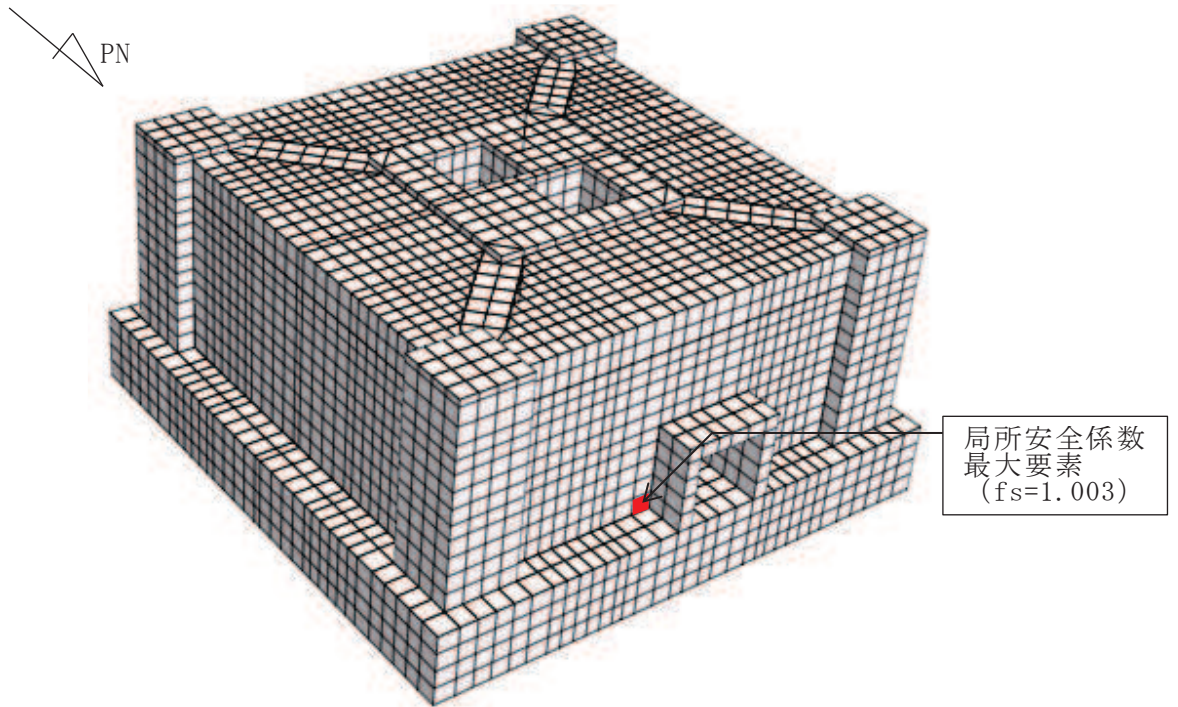
解析 ケース	地震動		荷重の 組合せ ケース	せん断応力 S (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度 R (N/mm <sup>2</sup> )	局所安全係数 f <sub>s</sub>	
①	S <sub>s</sub> -D 1	++	1-5	1.55	1.80	1.16	
		-+	2-5	1.54	1.80	1.16	
	S <sub>s</sub> -D 2	++	1-5	1.794	1.80	1.003	
		-+	2-5	1.73	1.80	1.04	
	S <sub>s</sub> -D 3	++	1-5	1.34	1.80	1.34	
		-+	2-5	1.38	1.80	1.30	
	S <sub>s</sub> -F 1	++	1-5	1.15	1.80	1.56	
		-+	2-5	1.17	1.80	1.53	
	S <sub>s</sub> -F 2	++	1-5	1.43	1.80	1.25	
		-+	2-5	1.51	1.80	1.19	
	S <sub>s</sub> -F 3	++	1-5	1.52	1.80	1.18	
		-+	2-5	1.57	1.80	1.14	
	S <sub>s</sub> -N 1	++	1-5	1.19	1.80	1.51	
		-+	2-5	1.19	1.80	1.51	
	②	S <sub>s</sub> -D 2	-+	2-5	1.77	1.80	1.01
	③	S <sub>s</sub> -D 2	-+	2-5	1.62	1.80	1.11

表 3-3 引張破壊に対する局所安全係数 (NS 断面)

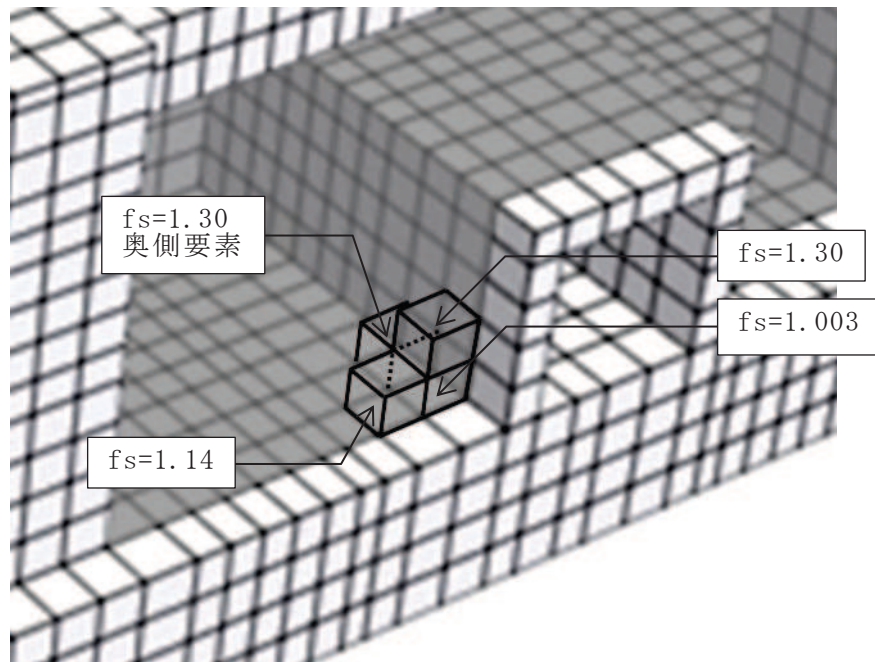
解析 ケース	地震動		荷重の 組合せ ケース	引張応力 S (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 R (N/mm <sup>2</sup> )	局所安全係数 f <sub>s</sub>
①	S <sub>s</sub> - D 1	++	1-1	0.64	1.80	2.81
		-+	2-4	0.62	1.80	2.90
	S <sub>s</sub> - D 2	++	1-1	0.71	1.80	2.53
		-+	2-4	0.65	1.80	2.76
	S <sub>s</sub> - D 3	++	1-1	0.67	1.80	2.68
		-+	2-1	0.70	1.80	2.57
	S <sub>s</sub> - F 1	++	1-1	0.60	1.80	3.00
		-+	2-4	0.57	1.80	3.15
	S <sub>s</sub> - F 2	++	1-1	0.59	1.80	3.05
		-+	2-1	0.63	1.80	2.85
	S <sub>s</sub> - F 3	++	1-4	0.66	1.80	2.72
		-+	2-4	0.60	1.80	3.00
	S <sub>s</sub> - N 1	++	1-1	0.61	1.80	2.95
		-+	2-2	0.55	1.80	3.27

表 3-4 引張破壊に対する局所安全係数 (EW 断面)

解析 ケース	地震動		荷重の 組合せ ケース	引張応力 S (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 R (N/mm <sup>2</sup> )	局所安全係数 f <sub>s</sub>
①	S <sub>s</sub> -D 1	++	1-5	1.11	1.80	1.62
		-+	2-5	1.10	1.80	1.63
	S <sub>s</sub> -D 2	++	1-5	1.17	1.80	1.53
		-+	2-5	1.16	1.80	1.55
	S <sub>s</sub> -D 3	++	1-5	0.94	1.80	1.91
		-+	2-5	0.97	1.80	1.85
	S <sub>s</sub> -F 1	++	1-5	0.76	1.80	2.36
		-+	2-5	0.82	1.80	2.19
	S <sub>s</sub> -F 2	++	1-5	0.91	1.80	1.97
		-+	2-5	0.94	1.80	1.91
	S <sub>s</sub> -F 3	++	1-5	1.08	1.80	1.66
		-+	2-5	0.94	1.80	1.91
	S <sub>s</sub> -N 1	++	1-5	0.80	1.80	2.25
		-+	2-5	0.77	1.80	2.33
②	S <sub>s</sub> -D 2	-+	2-5	1.18	1.80	1.52
③	S <sub>s</sub> -D 2	-+	2-5	1.17	1.80	1.53



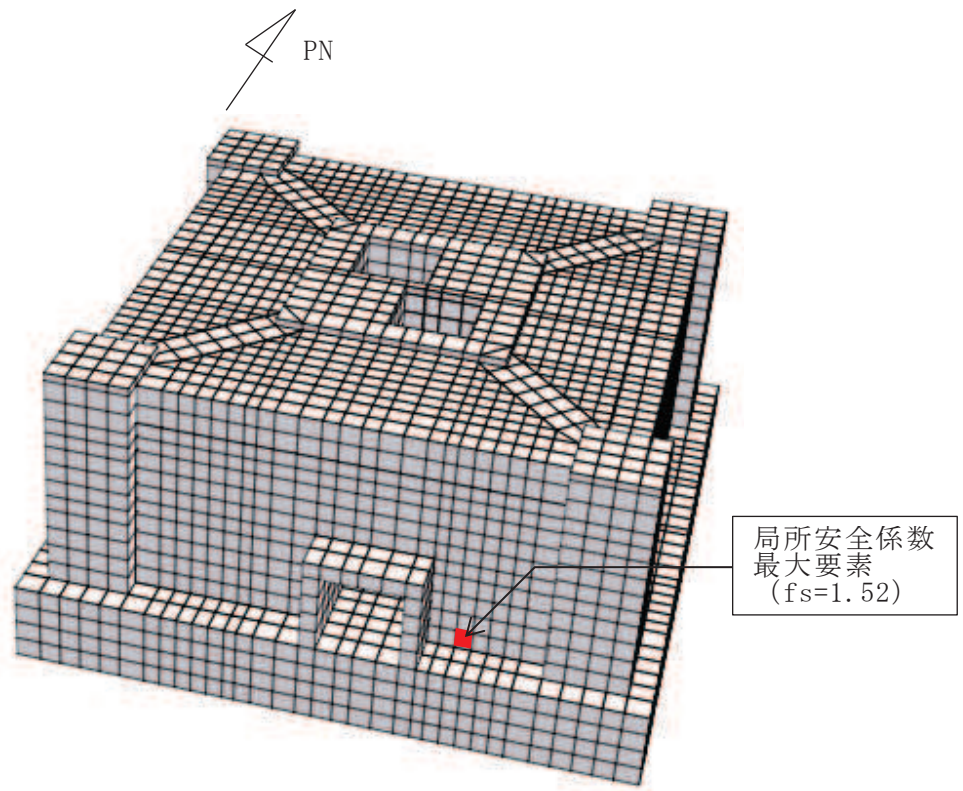
(a) 鳥瞰図



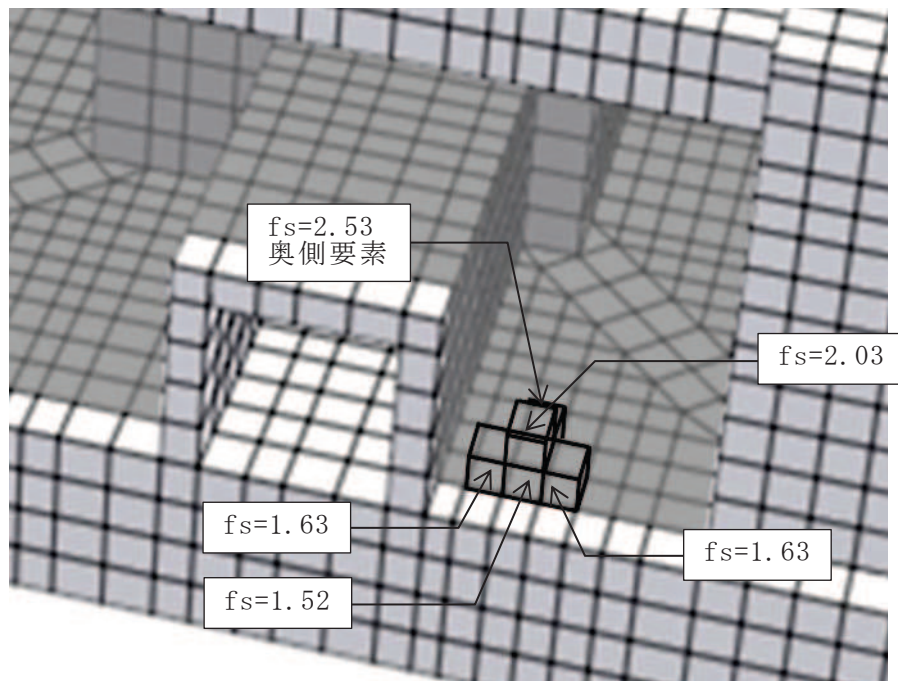
(b) 拡大図

図 3-1 セン断破壊に対する局所安全係数  
(EW 断面, 解析ケース①,  $S_s-D2(++)$ )





(a) 鳥瞰図



(b) 拡大図

図 3-2 引張破壊に対する局所安全係数  
(EW 断面, 解析ケース②, S s - D 2 (-+))

#### 4. まとめ

排気筒基礎内部の充填コンクリートは、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時(届出)において、埋戻土を無筋コンクリートによる置換えを実施している。

本書では、充填コンクリートの健全性が保持されているか評価を実施し、せん断破壊及び引張破壊している要素はなく、充填コンクリートの健全性が保持されていることを確認した。

別紙 11 排気筒基礎における入力地震動算出の妥当性評価

## 目次

1. 概要…………… 別紙 11-1
2. 解析方針…………… 別紙 11-1
3. 排気筒基礎の地震応答解析結果…………… 別紙 11-5
4. 排気筒の地震応答解析及び断面算定結果…………… 別紙 11-27
5. まとめ…………… 別紙 11-32

## 1. 概要

排気筒基礎の地震応答解析モデルは、排気筒を1点の集中荷重としてモデル化(以下、「質点モデル」)し、排気筒への入力地震動を算出している。一方で、実際の入力地震動は、排気筒の振動特性が考慮されたものとなることから、本資料では、排気筒基礎の上部に二次元モデルをモデル化し、排気筒基礎と排気筒を連成させた地震応答解析(「以下「連成解析」という。)を実施し、入力地震動を比較することで、集中荷重モデルを用いた排気筒への入力地震動の妥当性を検討する。

## 2. 解析方針

連成解析では、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」の方法を準用し、基準地震動  $S_s$  (7波) を用いて影響を確認する。

具体的には、排気筒基礎と地盤の連成を考慮した地震応答解析により、図 2-1 に示す質点モデルによる排気筒の入力地震動と、図 2-2 に示す二次元モデルによる入力地震動の応答スペクトルを比較する。

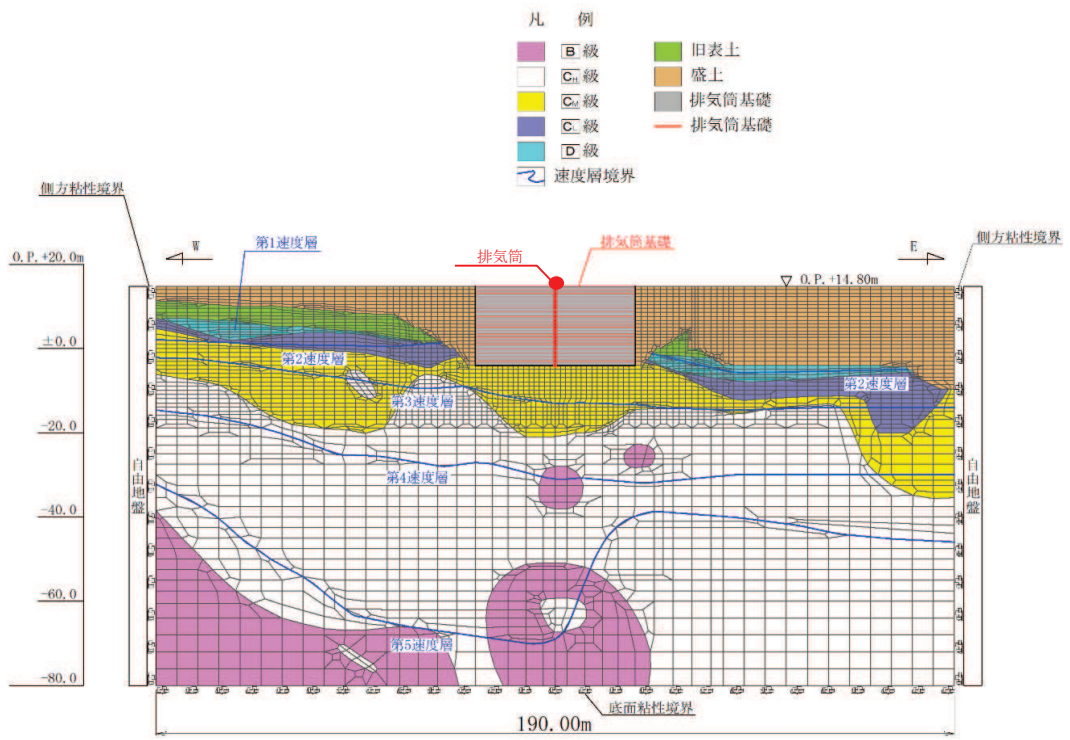
二次元モデルに使用する排気筒モデルは、建設時工認の排気筒と同様に三次元立体フレームモデルの自由度の縮小を行う。解析モデル図を図 2-3 に示す。

質点の設定について、鉄塔部は、斜材又は水平材が支柱材に接合される高さに設け、隣接する上下の接合点までを支配領域と考えて重量を算定し、筒身部は、鉄塔部と同じ高さに設けるものとする。

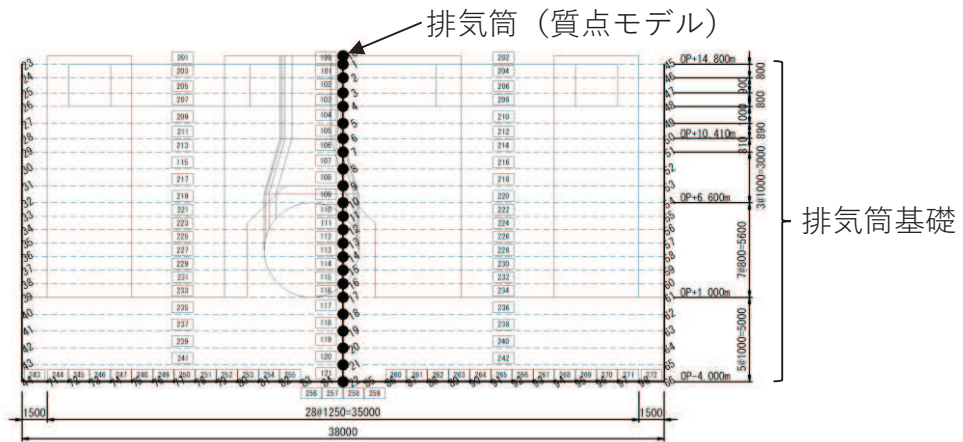
剛性の設定について、筒身部及び鉄塔部がそれぞれ自立した状態で、各高さに単位水平荷重を与えて得られる水平変位から剛性設定する。各支持点の筒身、鉄塔間の剛性は、構面部材の変形を考慮して、支持点部の平面モデルに単位水平荷重を与え算出する。

制震オイルダンパにおけるダッシュポットの減衰係数は、制震オイルダンパが直交する方向に各4基ずつ配置されることから、1基辺りの減衰係数の4倍とする。

参考に、上記の入力地震動を使用し、排気筒の地震応答解析及び断面算定を実施し、解析結果への影響を確認する。

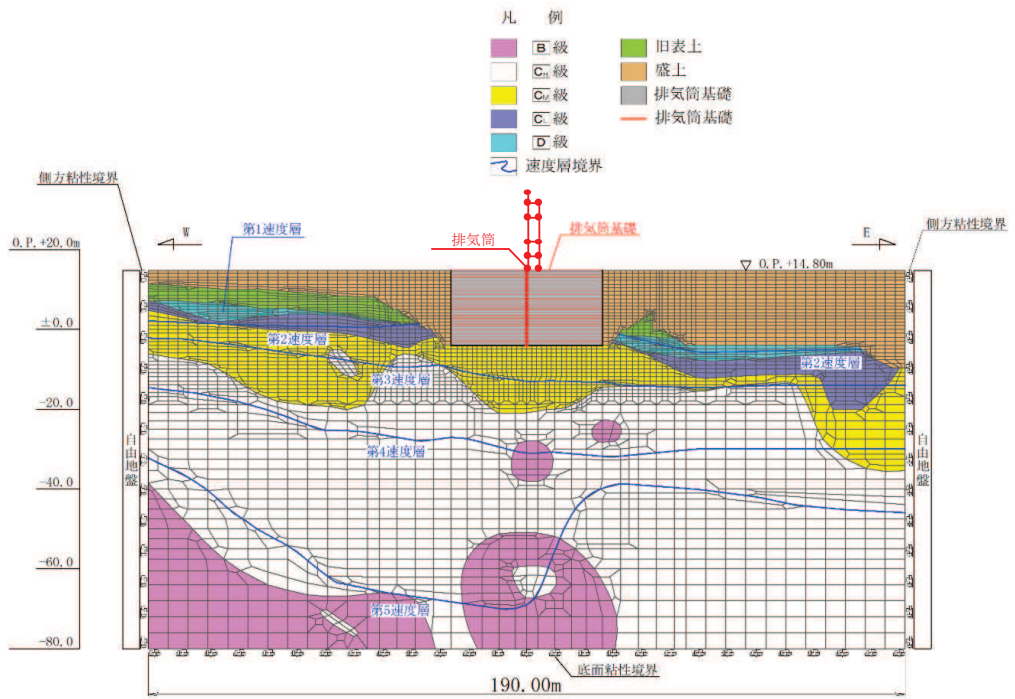


(a) 排気筒基礎の地震応答解析モデル

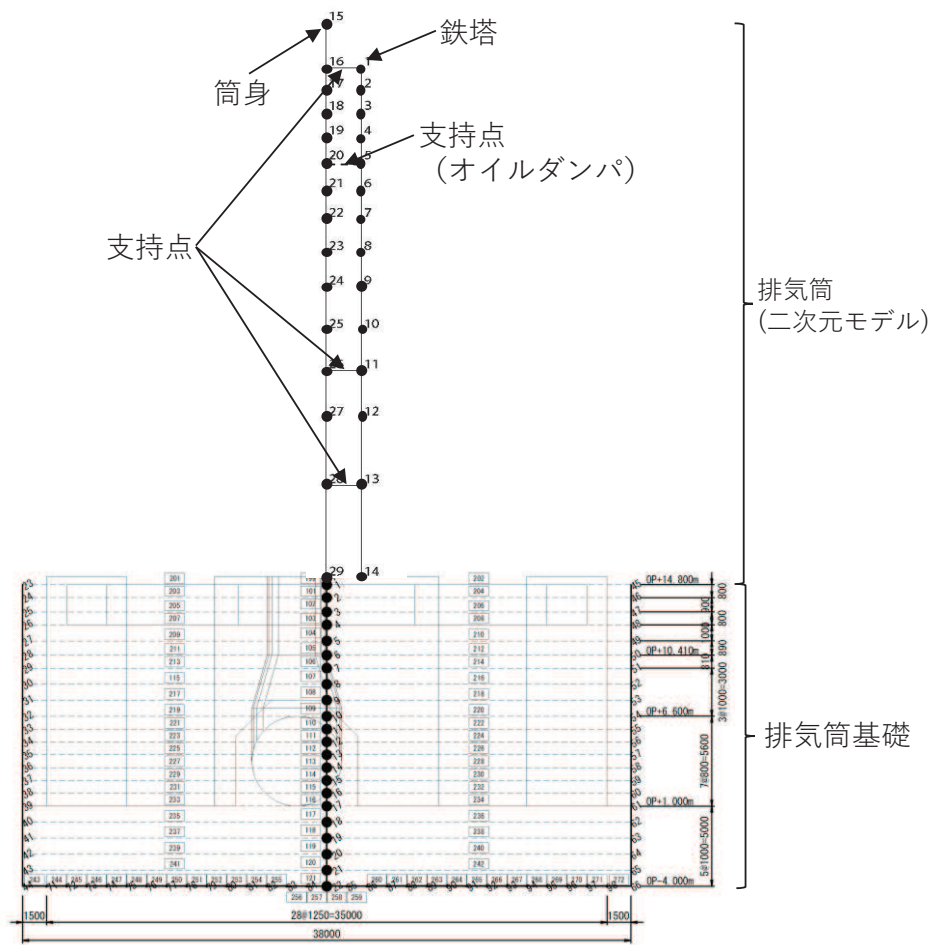


(b) 排気筒基礎モデル

図 2-1 質点モデル概要図

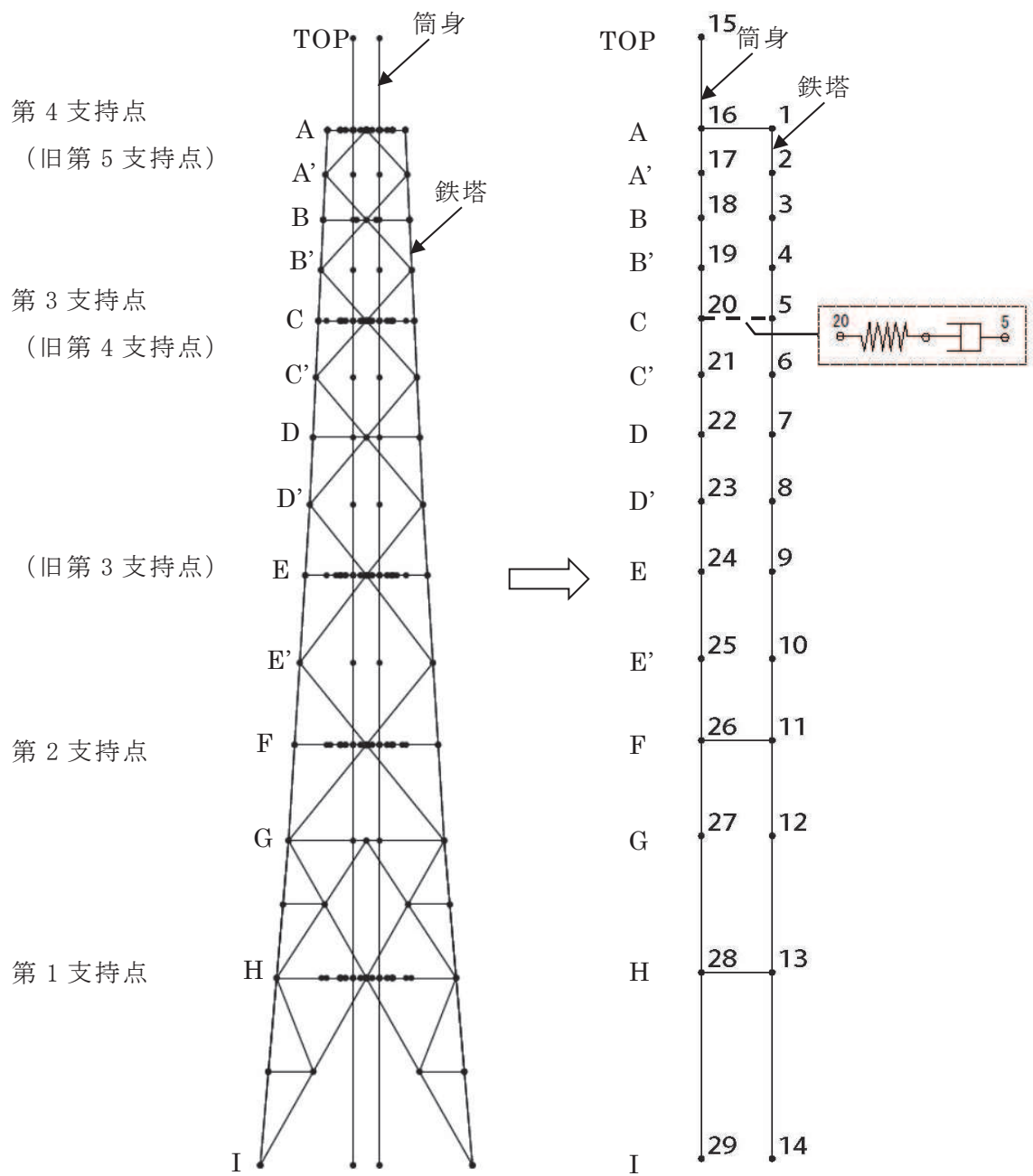


(a) 排気筒基礎の地震応答解析モデル



(b) 排気筒基礎モデル

図 2-2 二次元モデル概要図



(a) 三次元立体フレームモデル

(b) 二次元モデル

図 2-3 解析モデル図



### 3. 排気筒基礎の地震応答解析結果

図 3-1～図 3-21 に排気筒基礎の地震応答解析結果を示す。

排気筒の入力地震動策定位置において、質点モデルと連成モデルによる基準地震動  $S_s$  (7 波) の応答スペクトルを比較すると、スペクトル波形はほぼ同一となった。排気筒基礎は排気筒重量の約 50 倍の重量となることから、排気筒のモデル化による排気筒の回転振動及び固有振動の影響は少なく、質点としてモデル化することで排気筒への入力地震動を適切に算出できることを確認した。

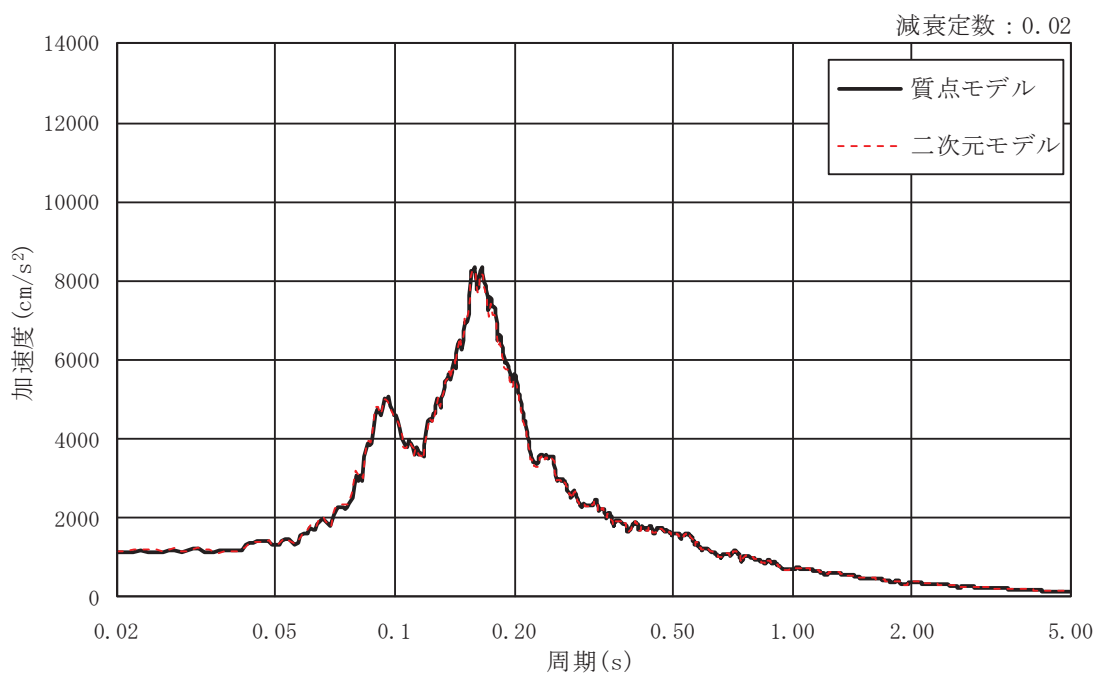
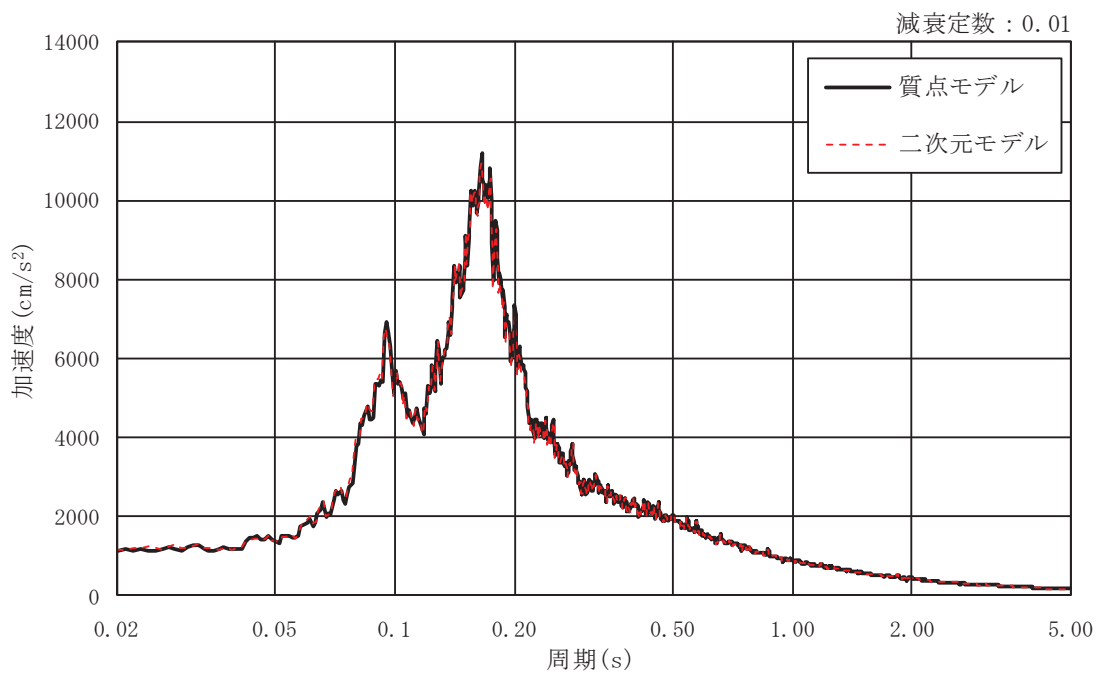


図 3-1 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-D1$ , EW 断面, 水平方向)

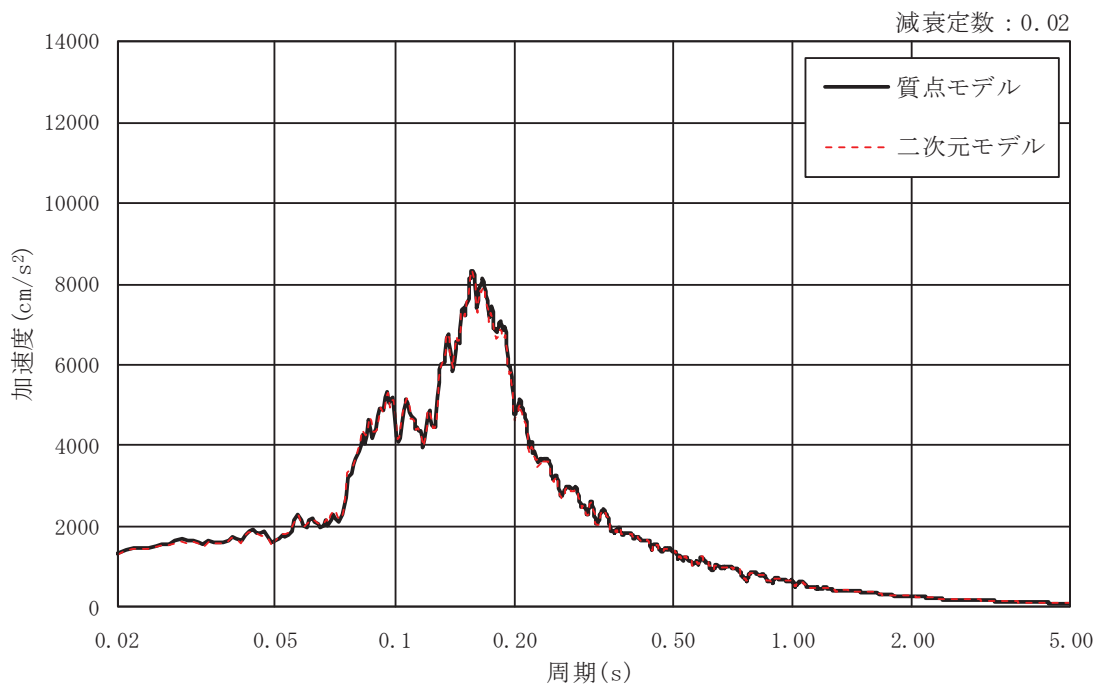
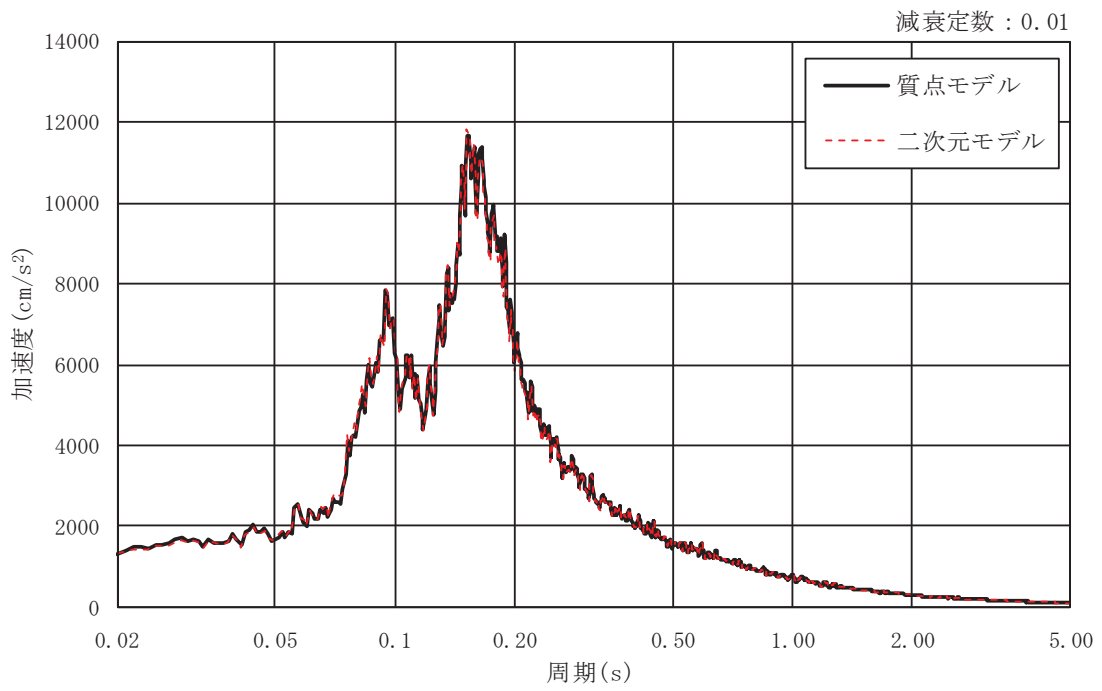


図 3-2 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-D2$ , EW 断面, 水平方向)

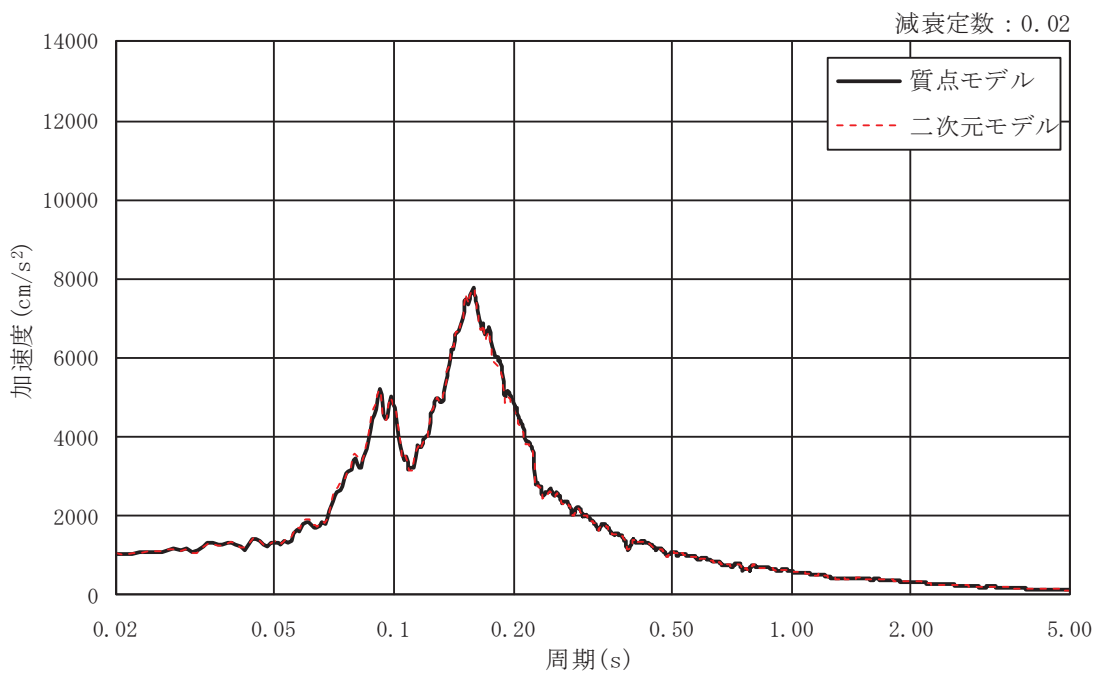
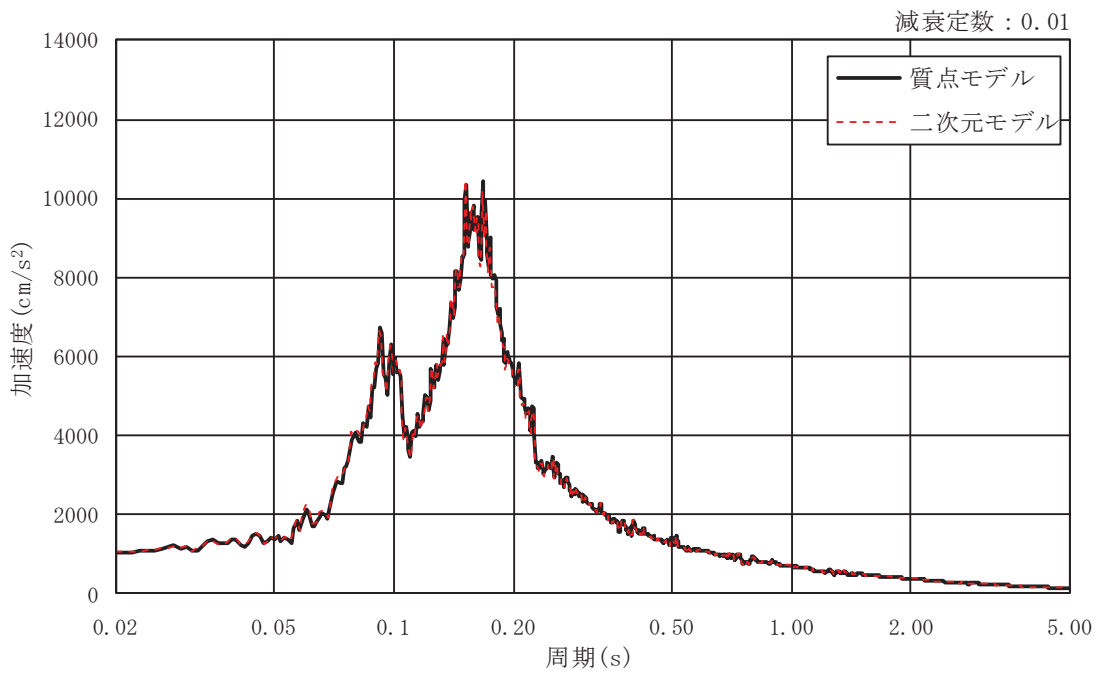
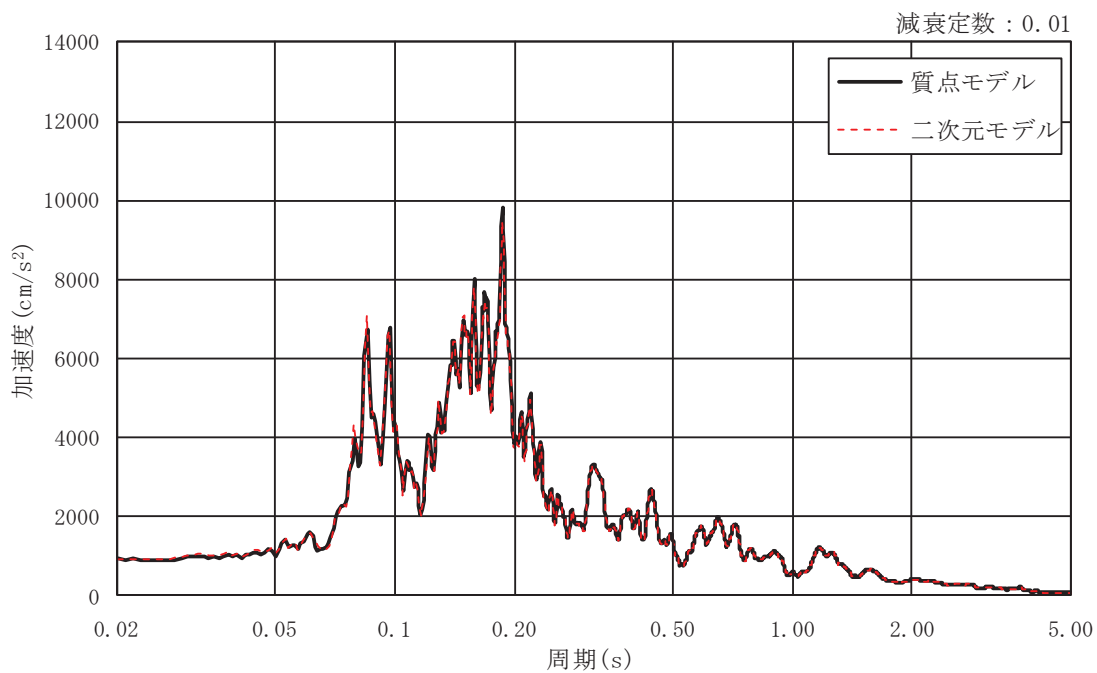
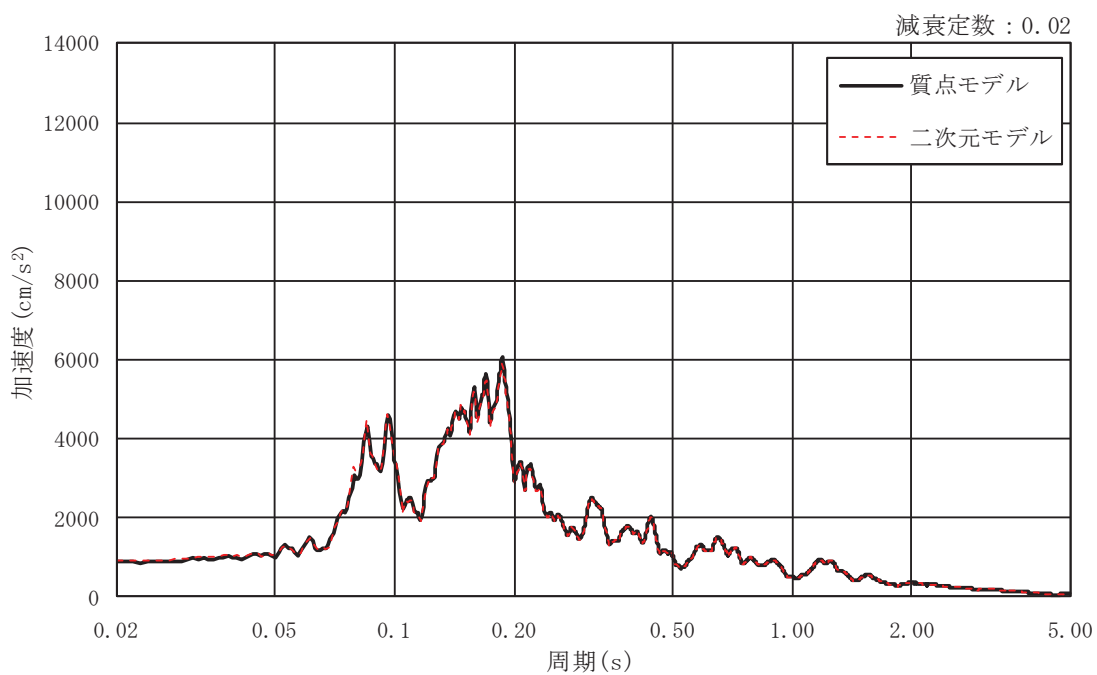


図 3-3 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-D3$ , EW 断面, 水平方向)

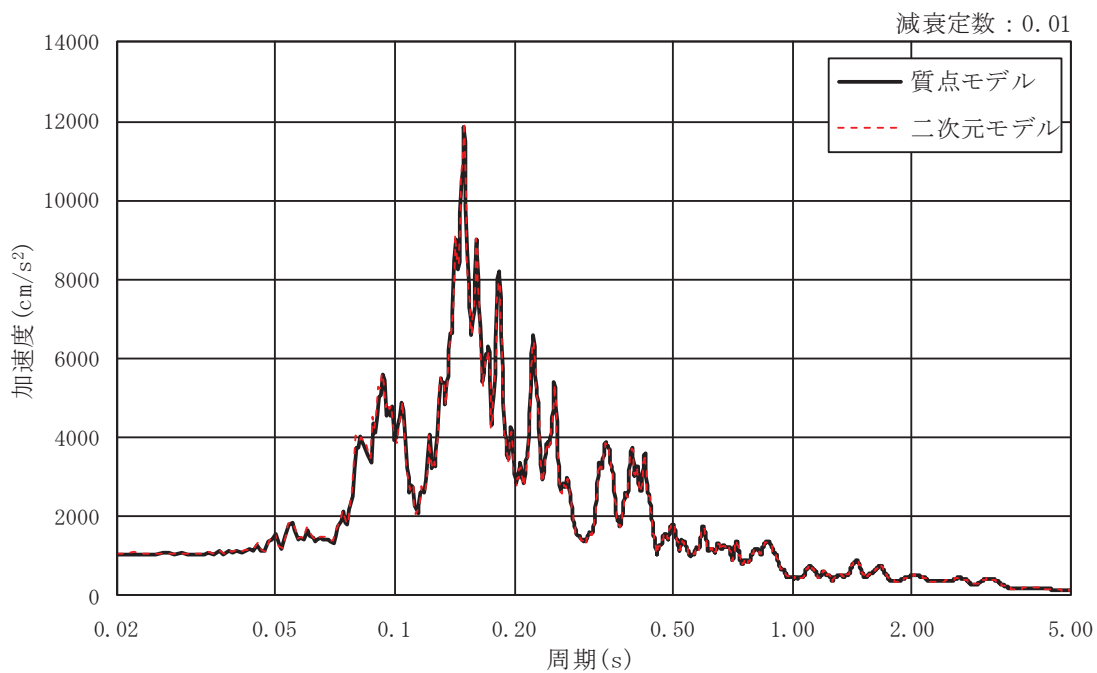


(a)  $h=0.01$

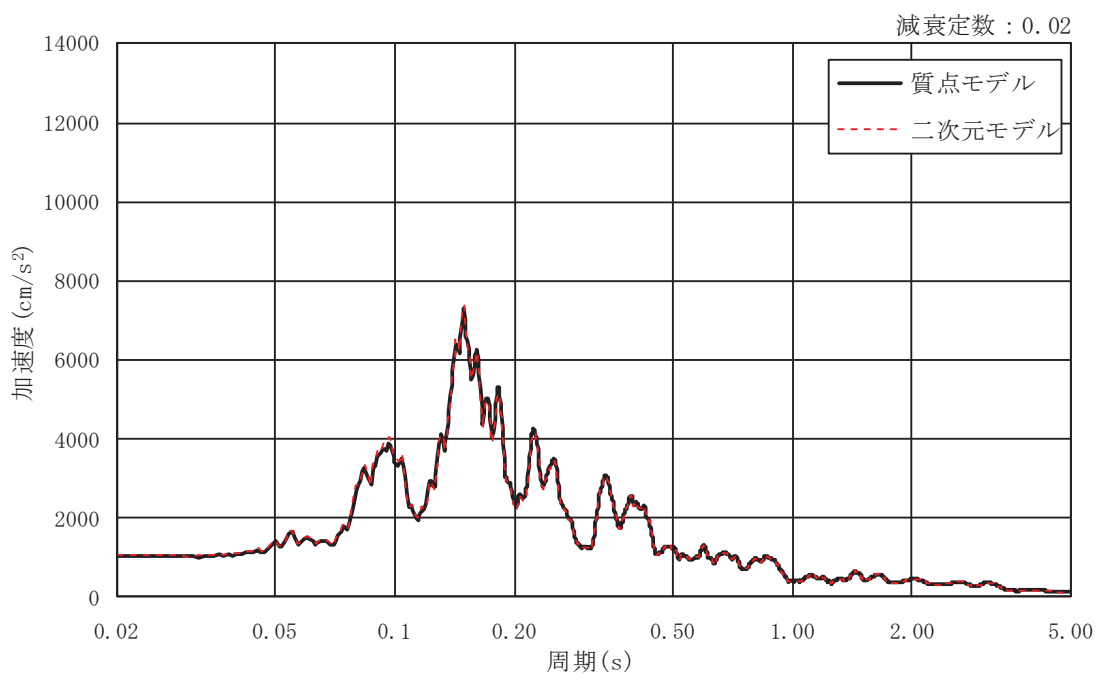


(b)  $h=0.02$

図 3-4 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-F1$ , EW 断面, 水平方向)



(a)  $h=0.01$



(b)  $h=0.02$

図 3-5 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F2$ , EW 断面, 水平方向)

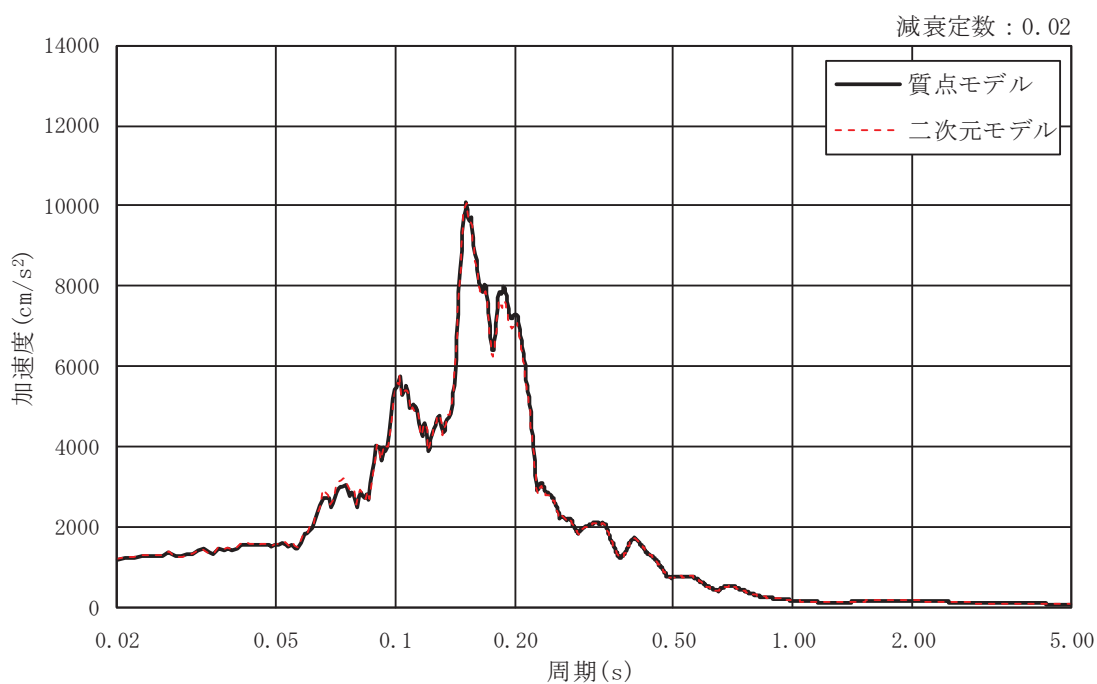
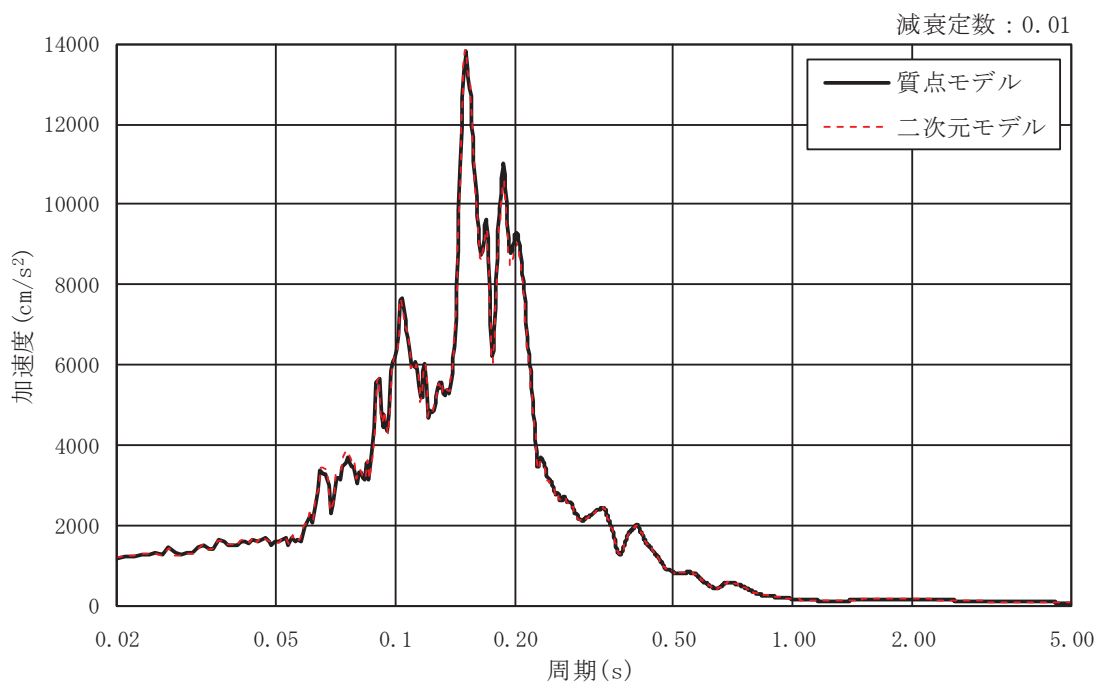
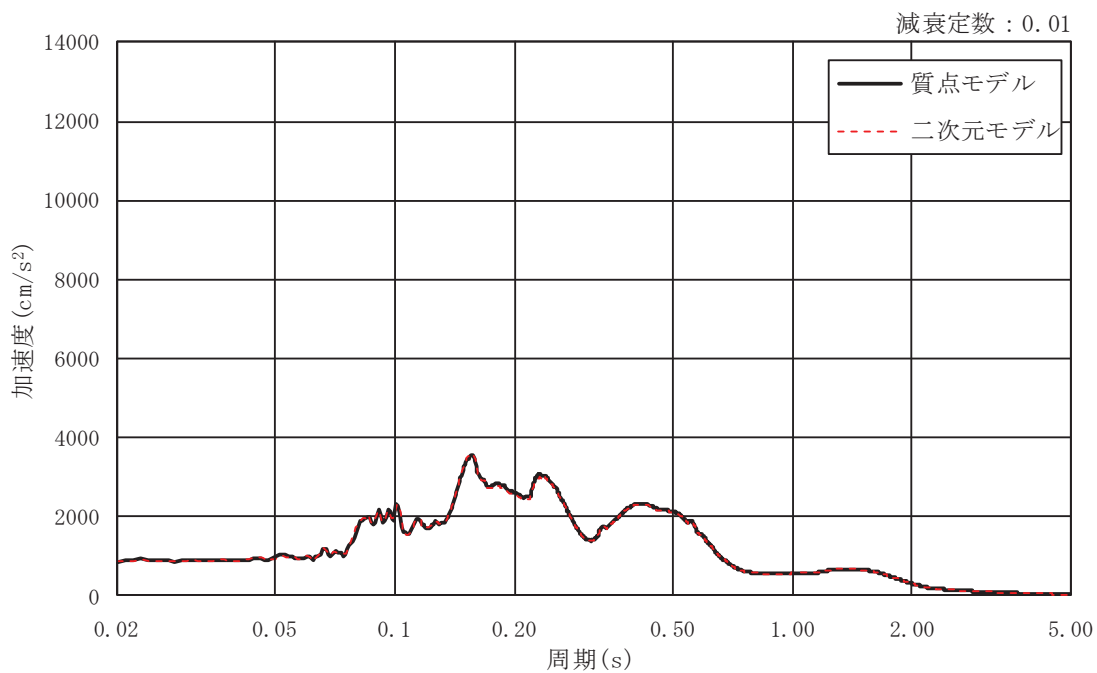
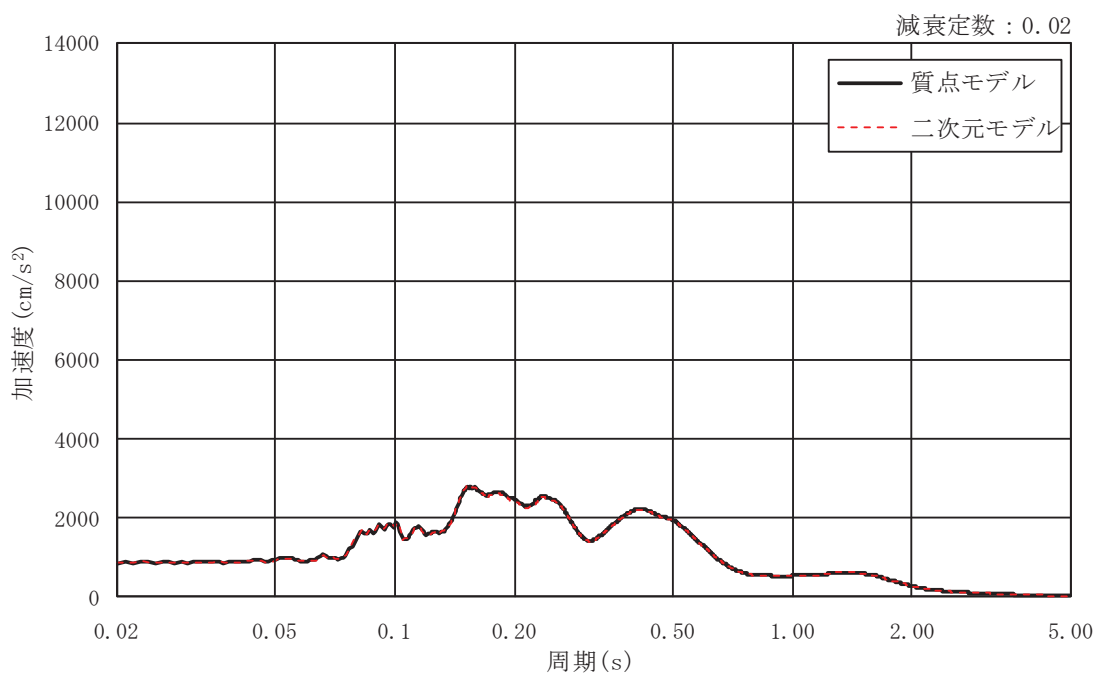


図 3-6 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F3$ , EW 断面, 水平方向)



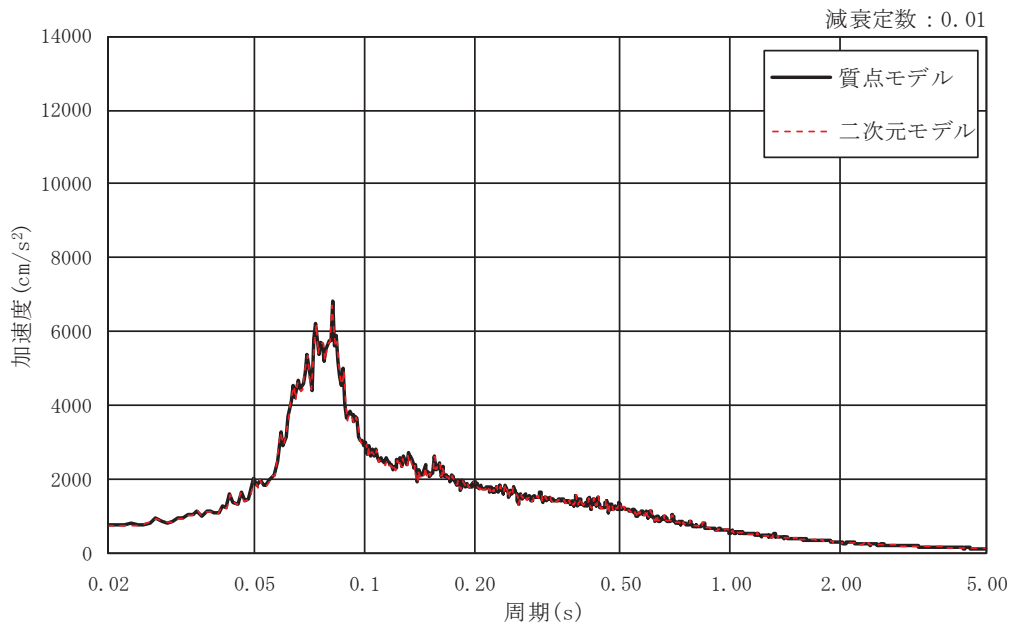
(a)  $h=0.01$



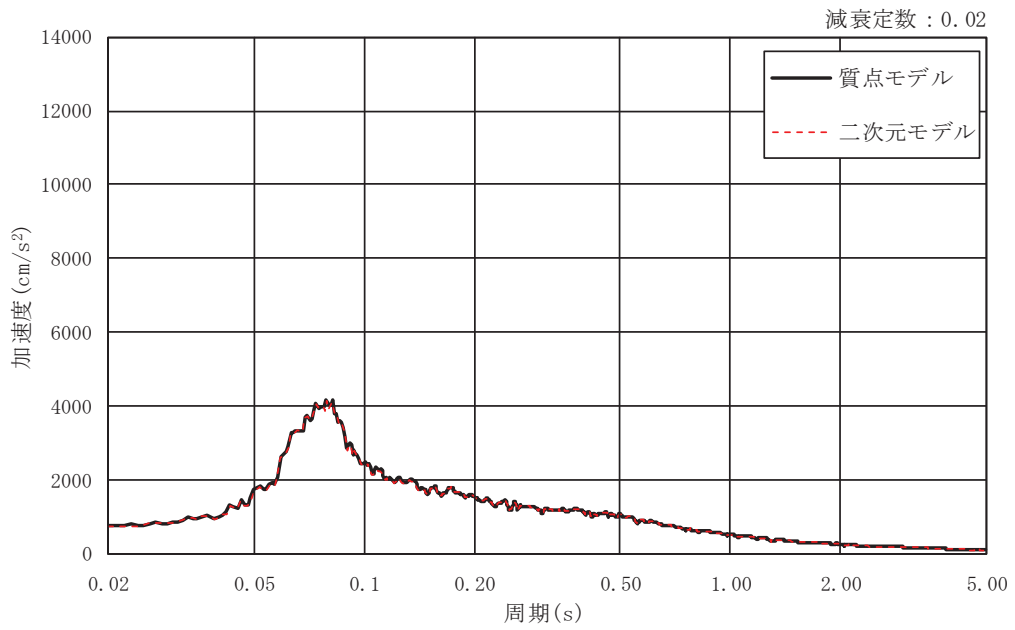
(b)  $h=0.02$

図 3-7 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-N1$ , EW 断面, 水平方向)



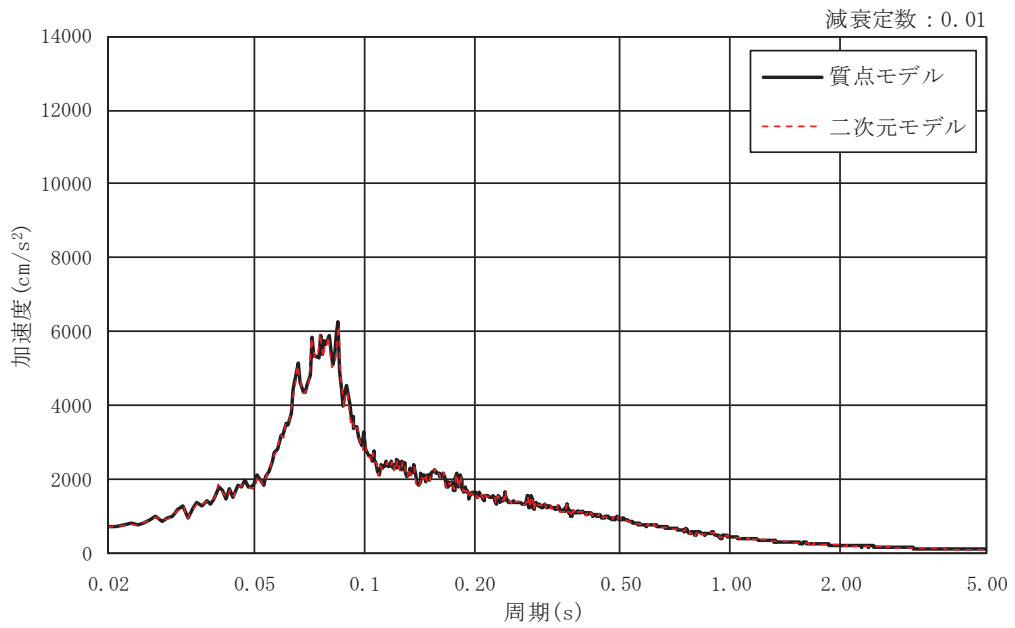


(a)  $h=0.01$

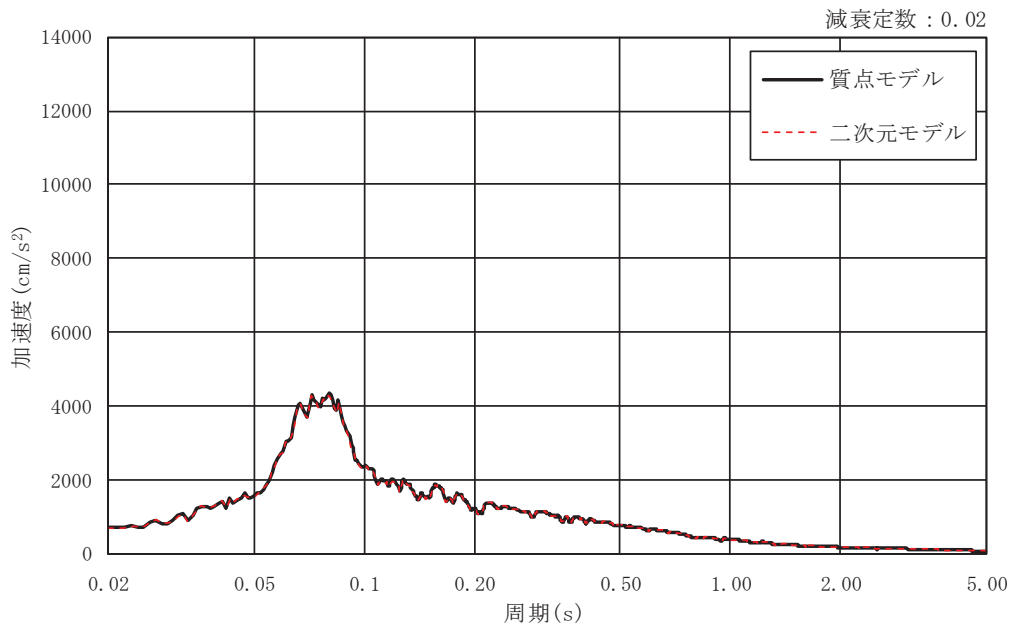


(b)  $h=0.02$

図 3-8 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-D1$ , EW 断面, 鉛直方向)

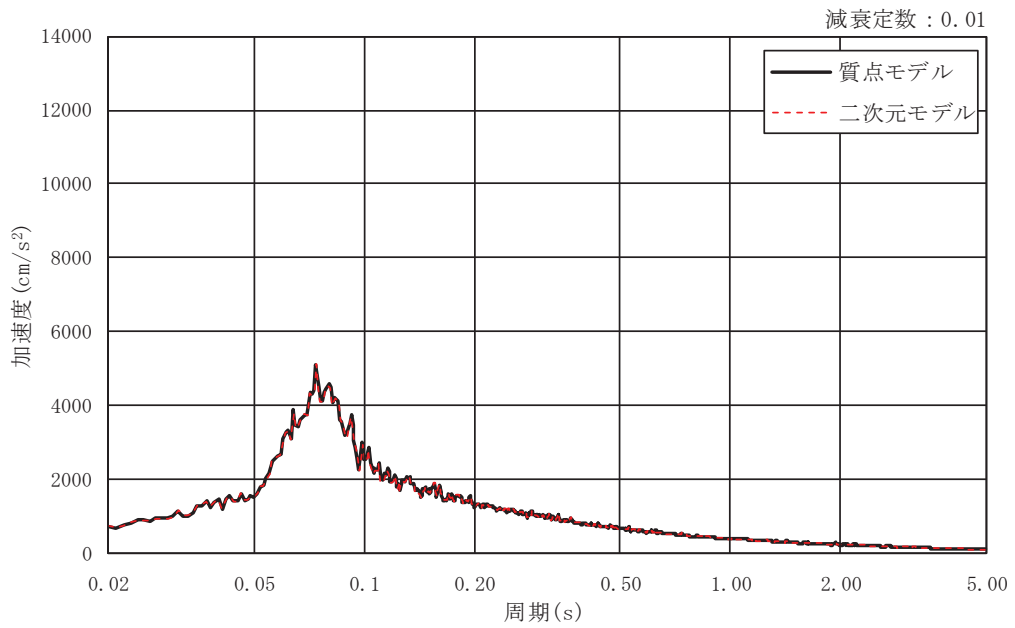


(a)  $h=0.01$

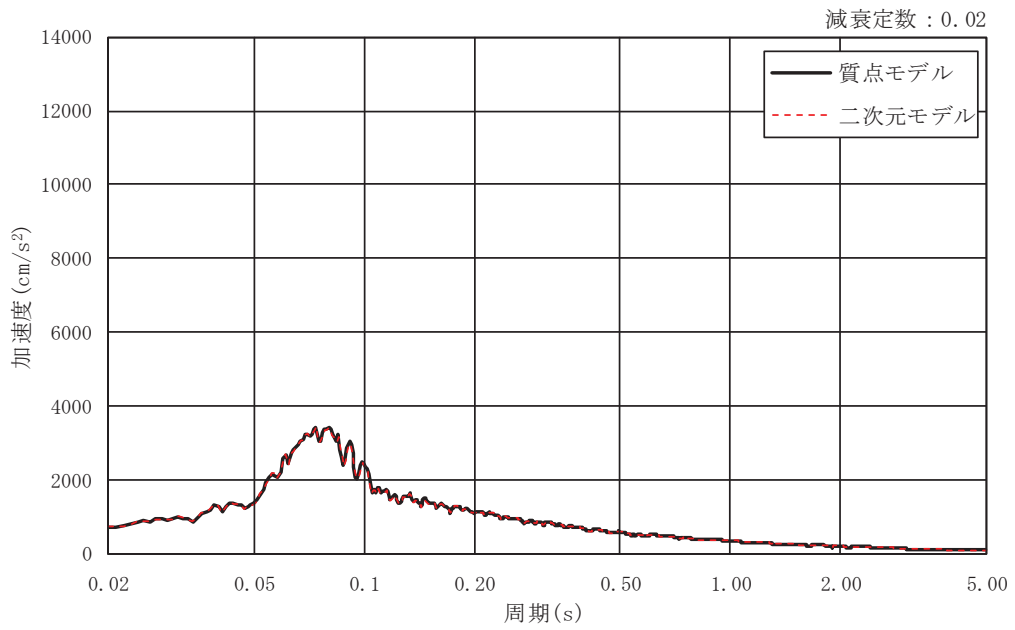


(b)  $h=0.02$

図 3-9 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-D2$ , EW 断面, 鉛直方向)



(a)  $h=0.01$



(b)  $h=0.02$

図 3-10 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-D3$ , EW 断面, 鉛直方向)

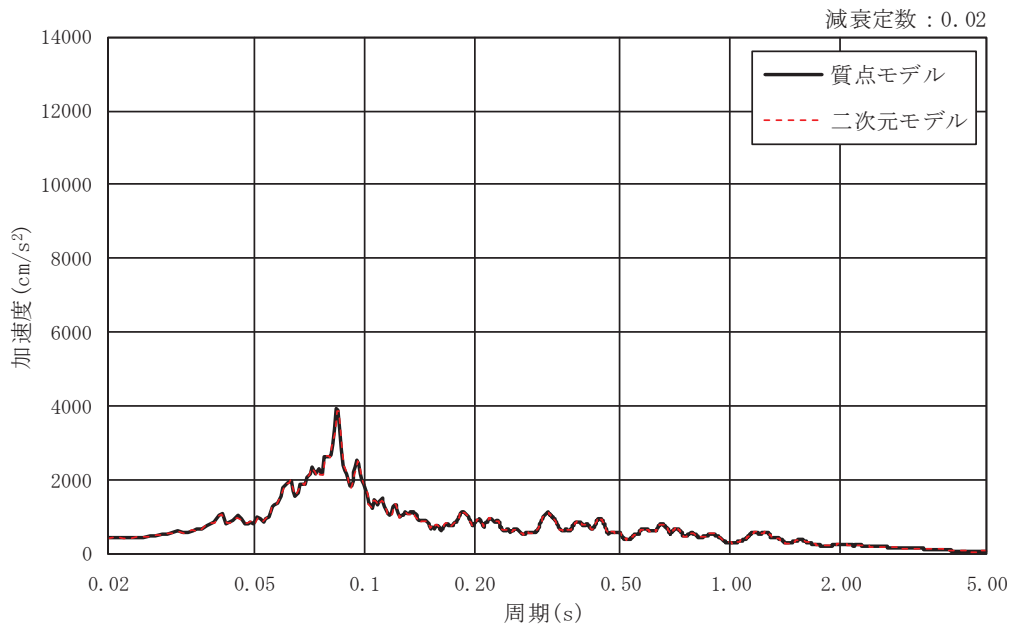
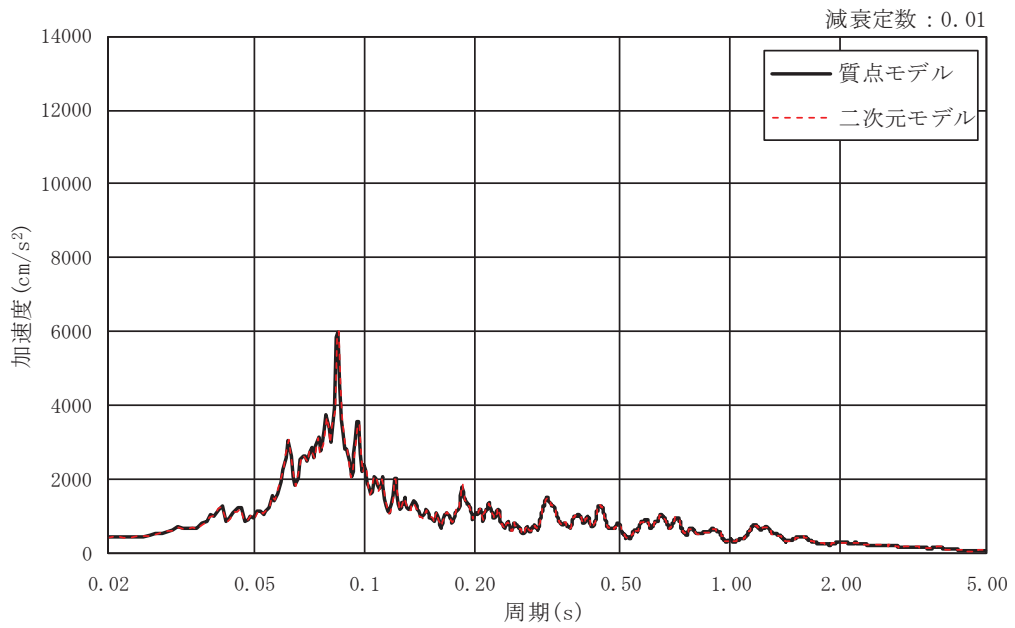
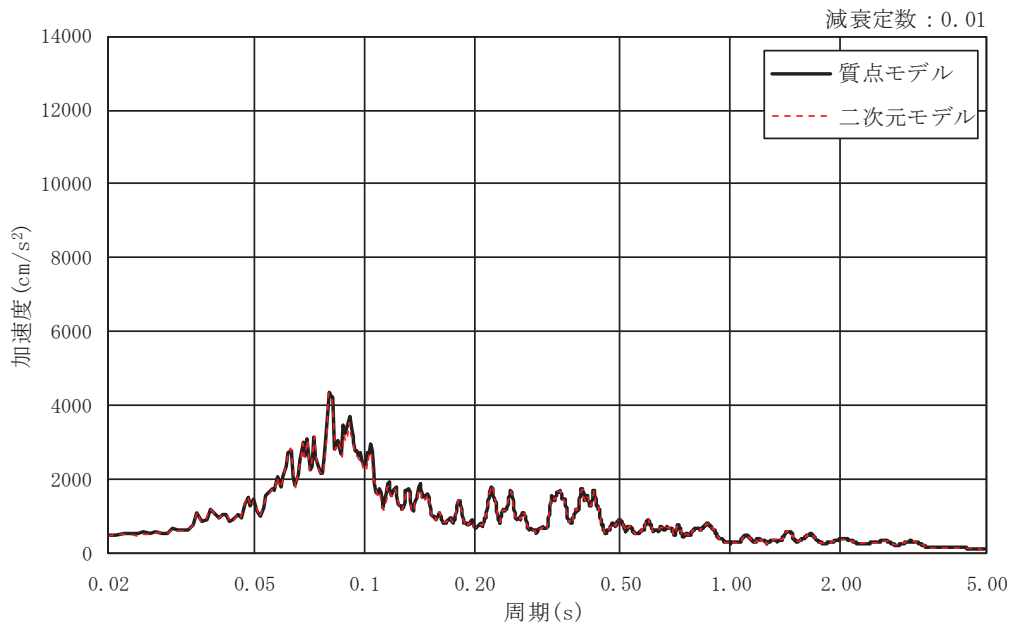
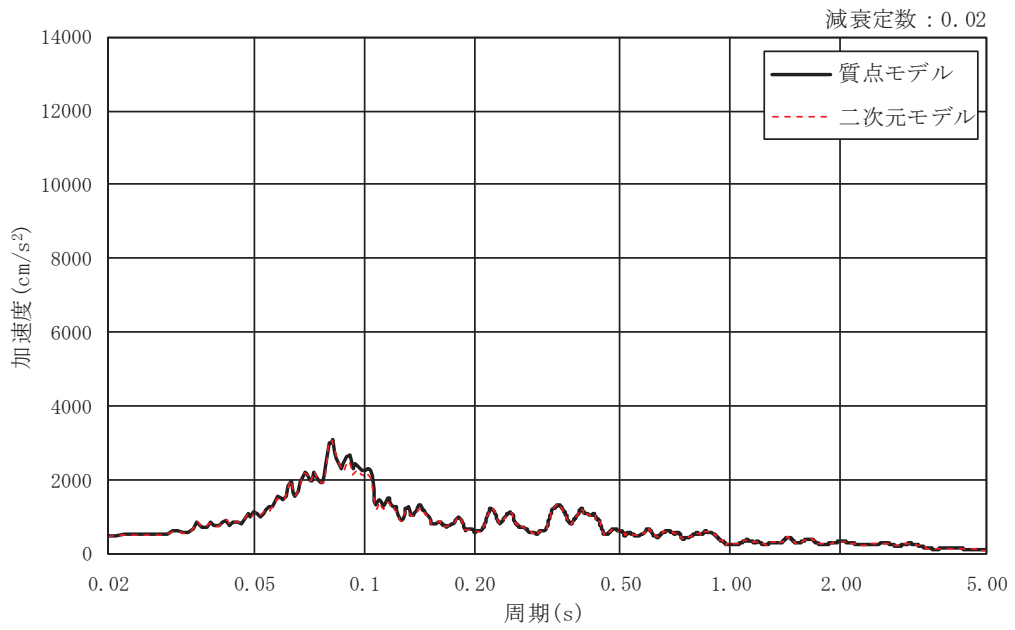


図 3-11 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F1$ , EW 断面, 鉛直方向)



(a)  $h=0.01$



(b)  $h=0.02$

図 3-12 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F2$ , EW 断面, 鉛直方向)

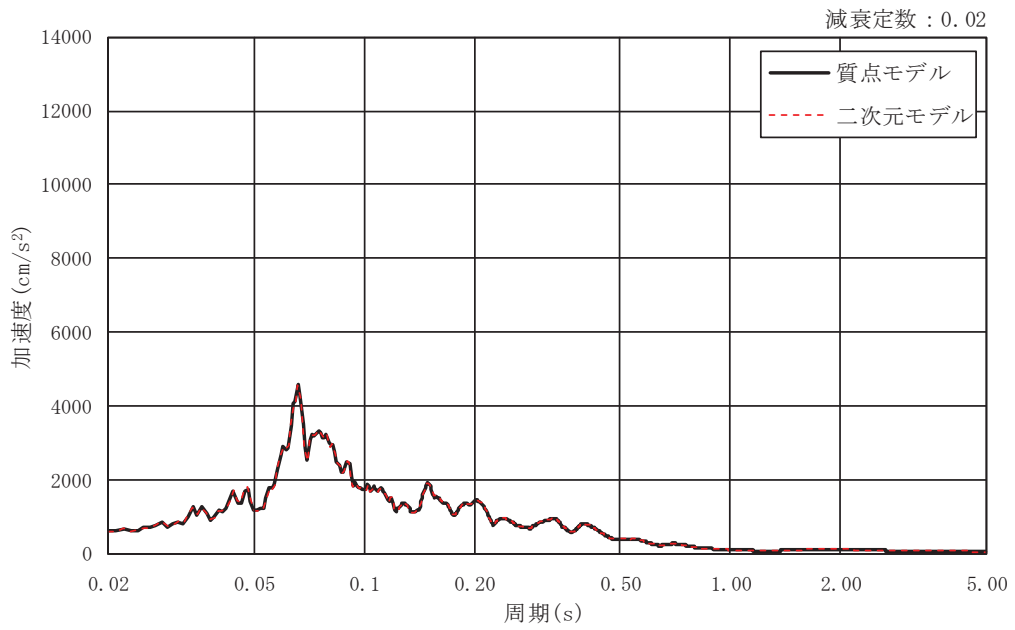
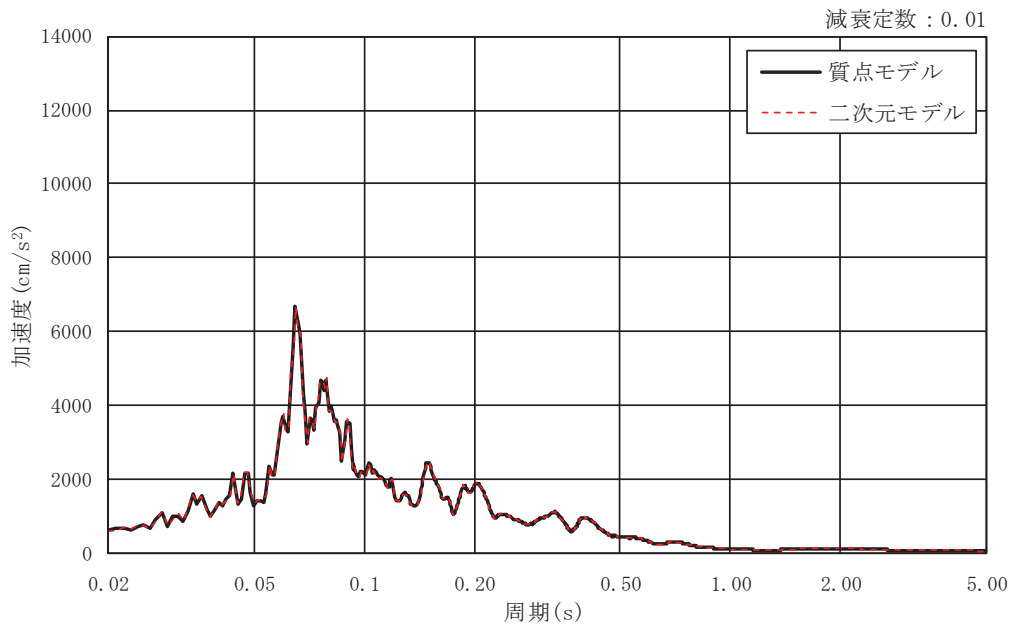
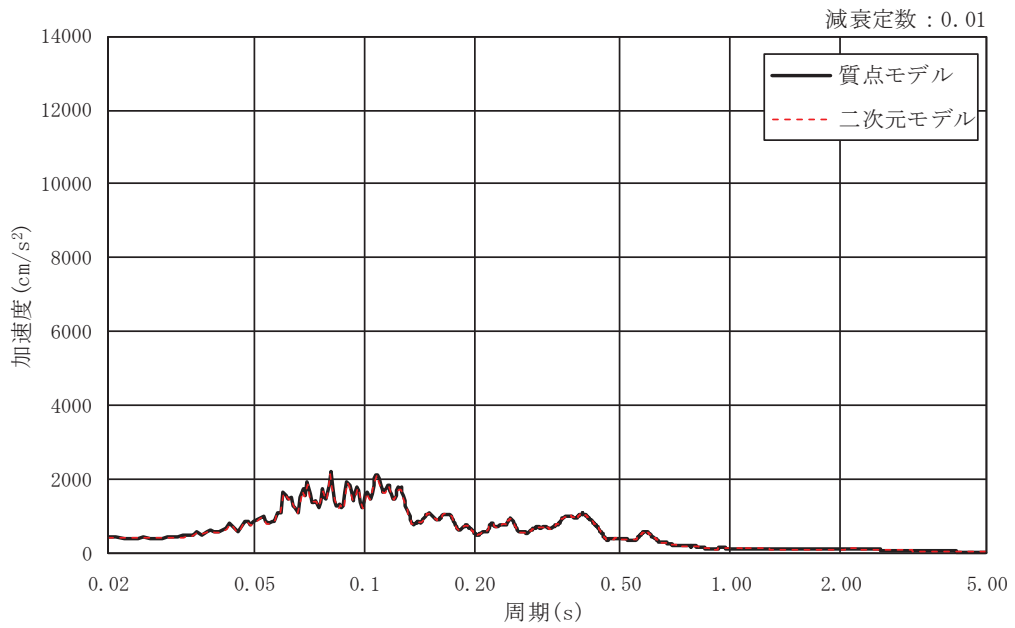
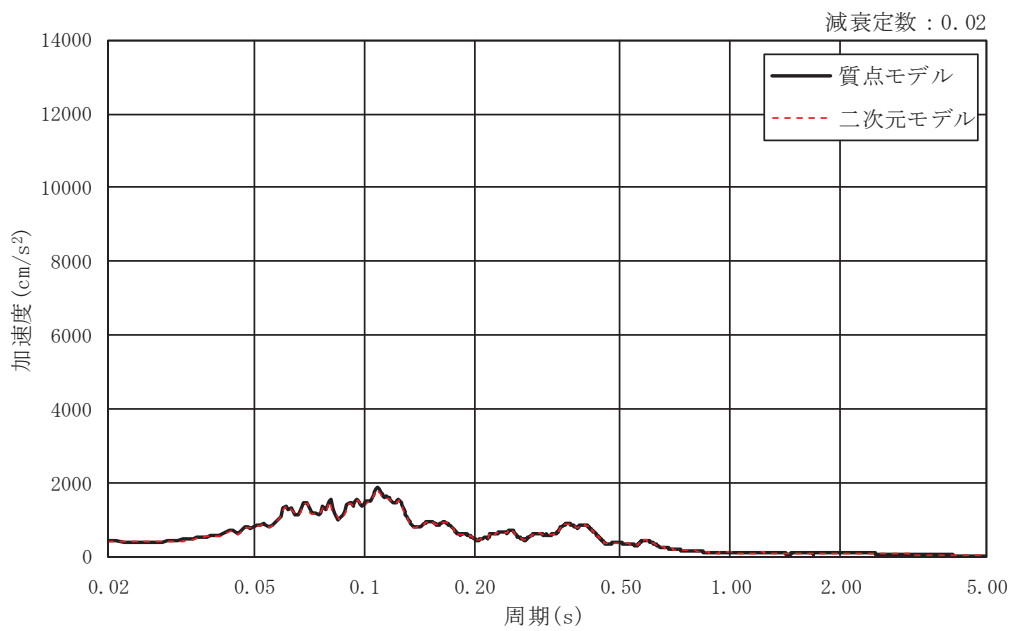


図 3-13 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F3$ , EW 断面, 鉛直方向)



(a)  $h=0.01$



(b)  $h=0.02$

図 3-14 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s-N1$ , EW 断面, 鉛直方向)

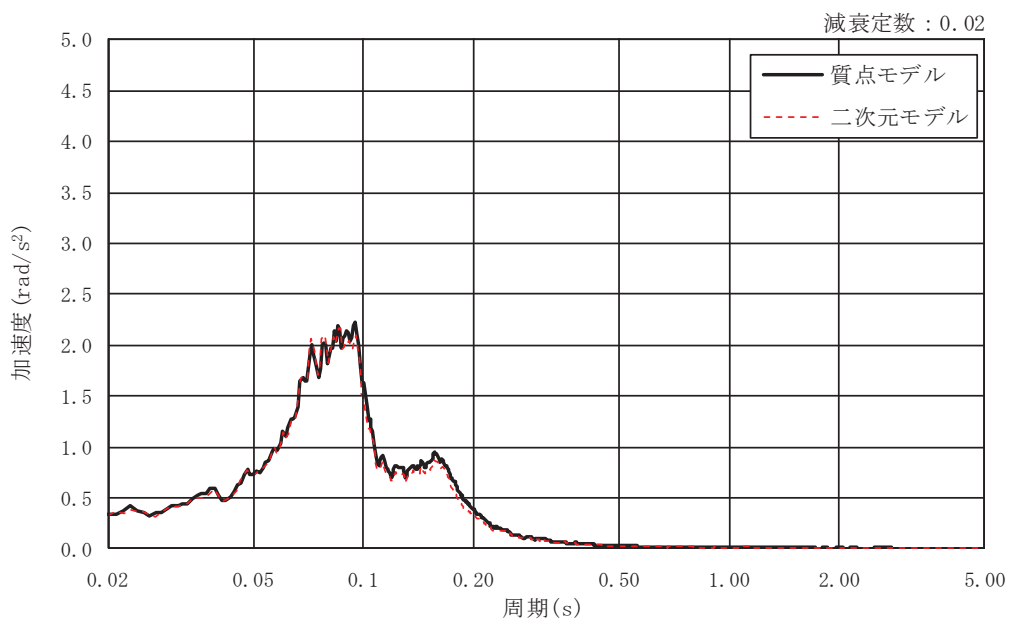
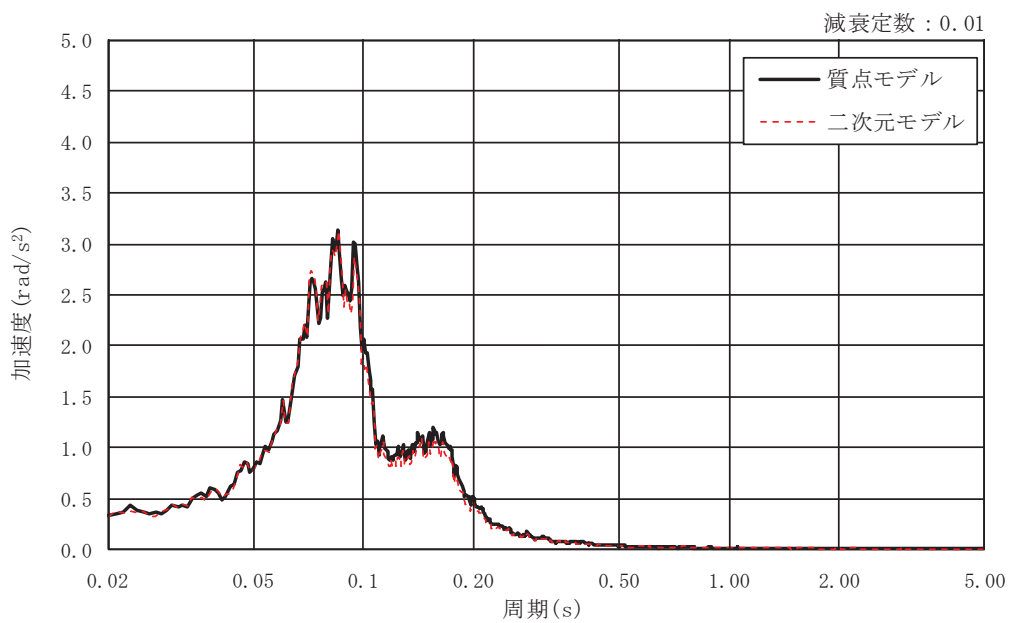


図 3-15 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - D1$ , EW 断面, 回転方向)



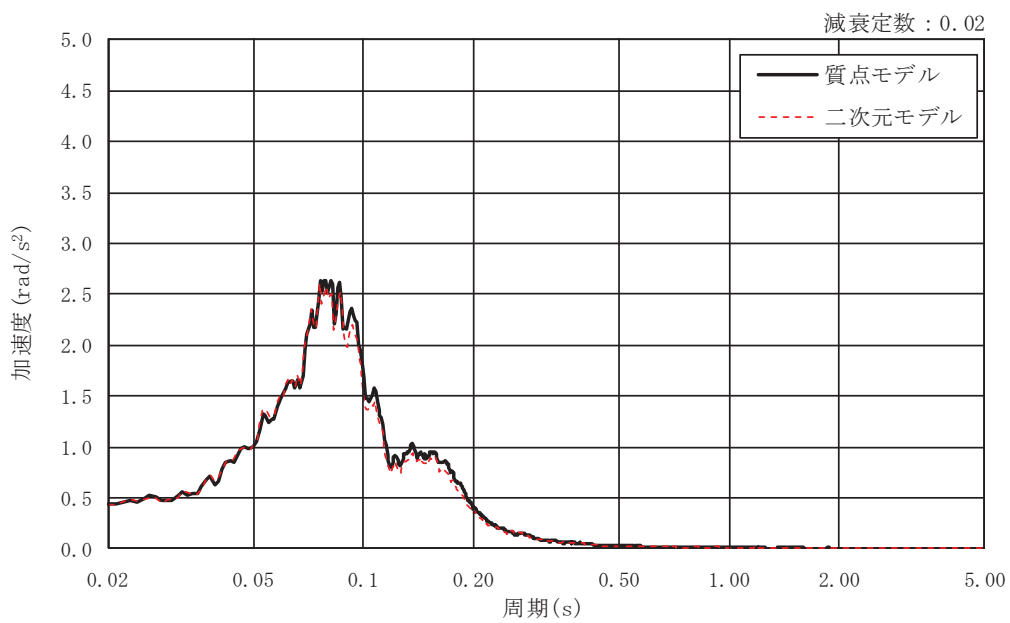
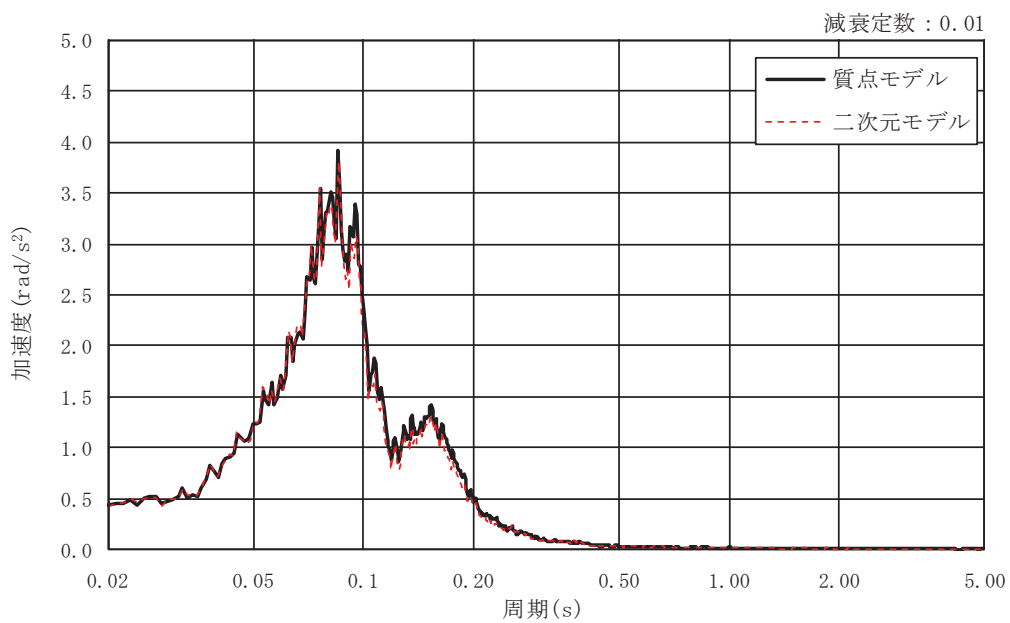


図 3-16 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - D2$ , EW 断面, 回転方向)

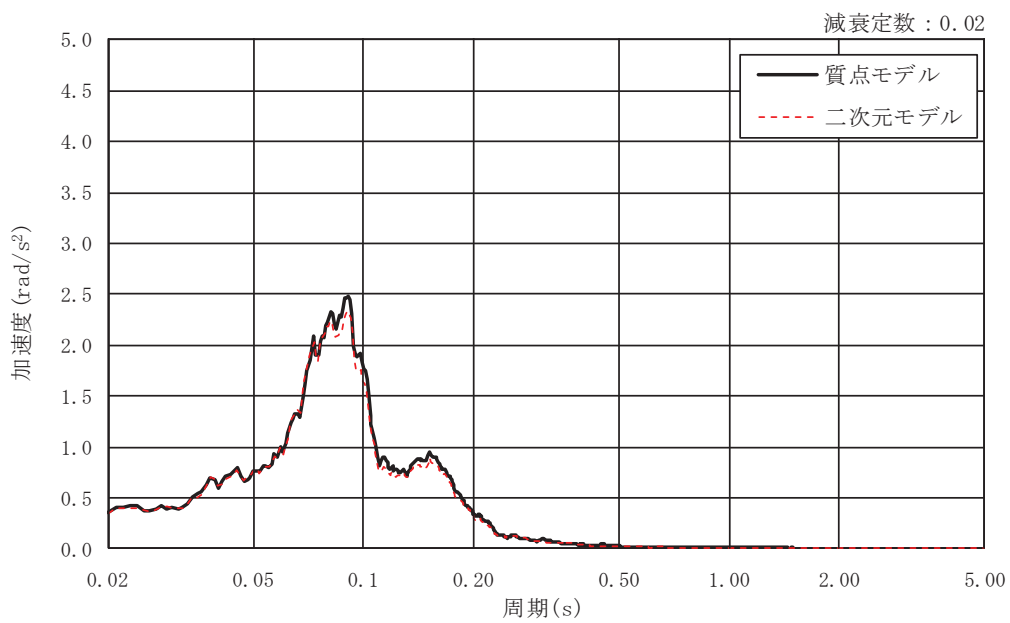
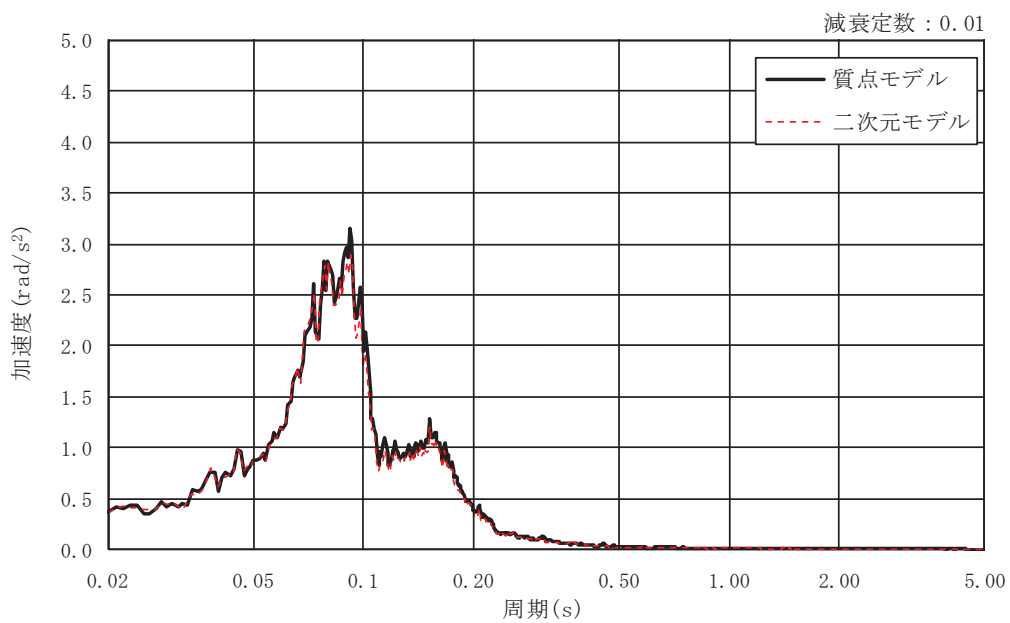


図 3-17 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - D3$ , EW 断面, 回転方向)

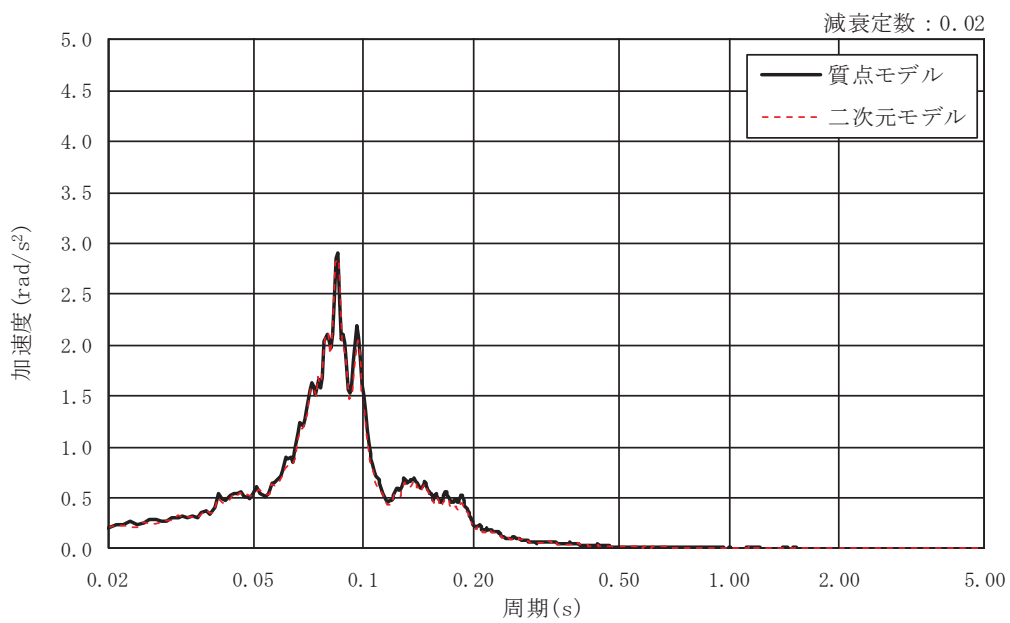
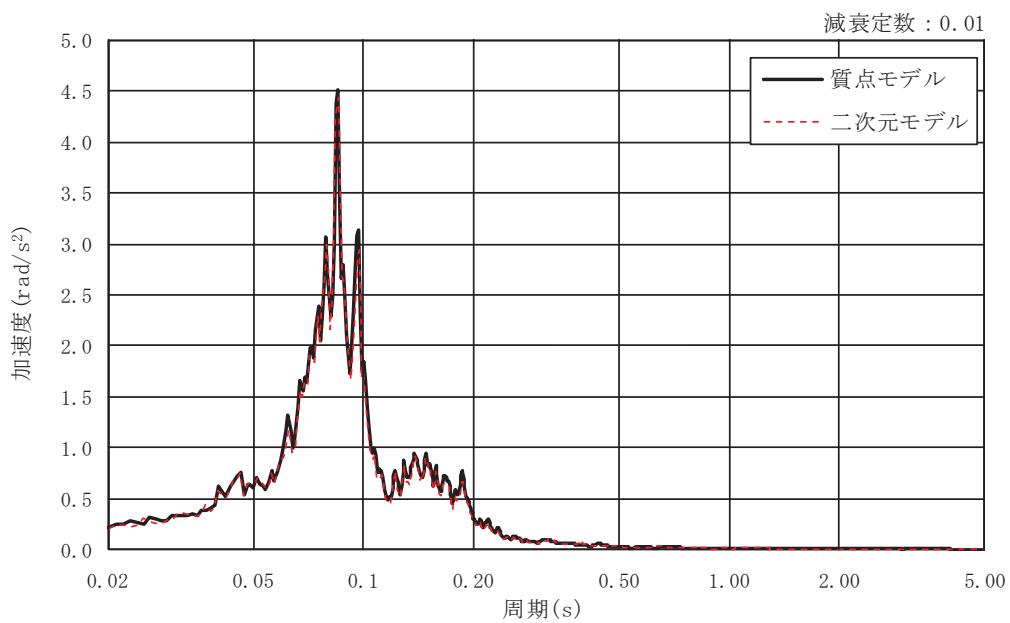


図 3-18 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F1$ , EW 断面, 回転方向)

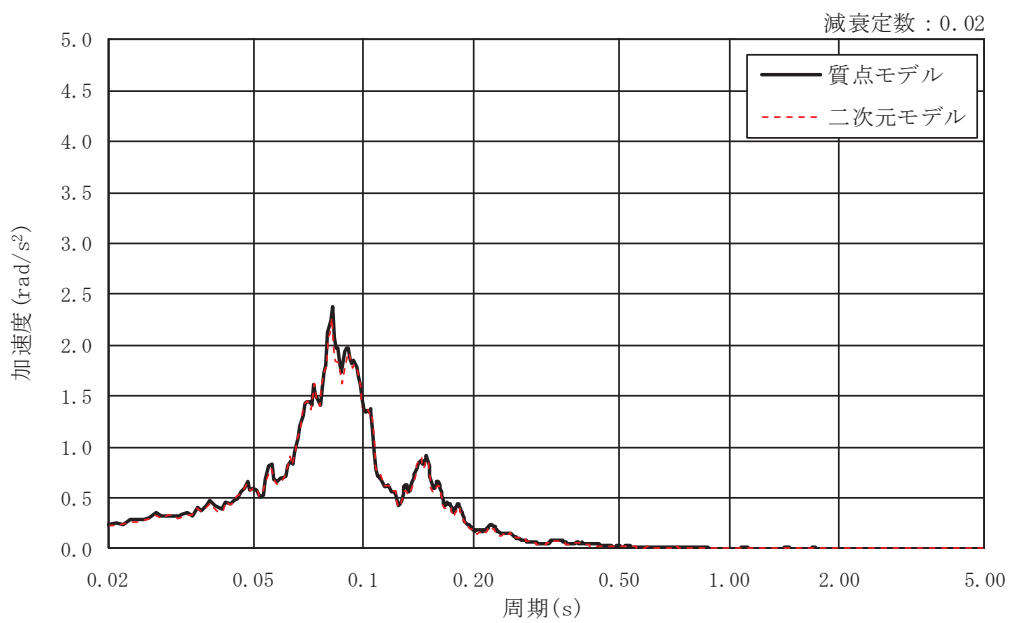
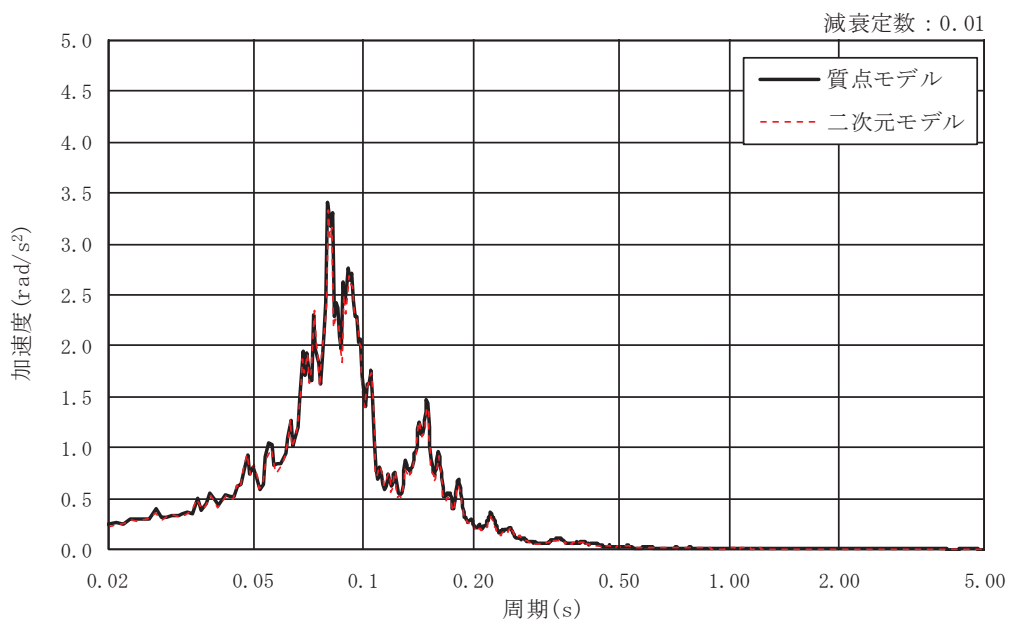


図 3-19 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F2$ , EW 断面, 回転方向)

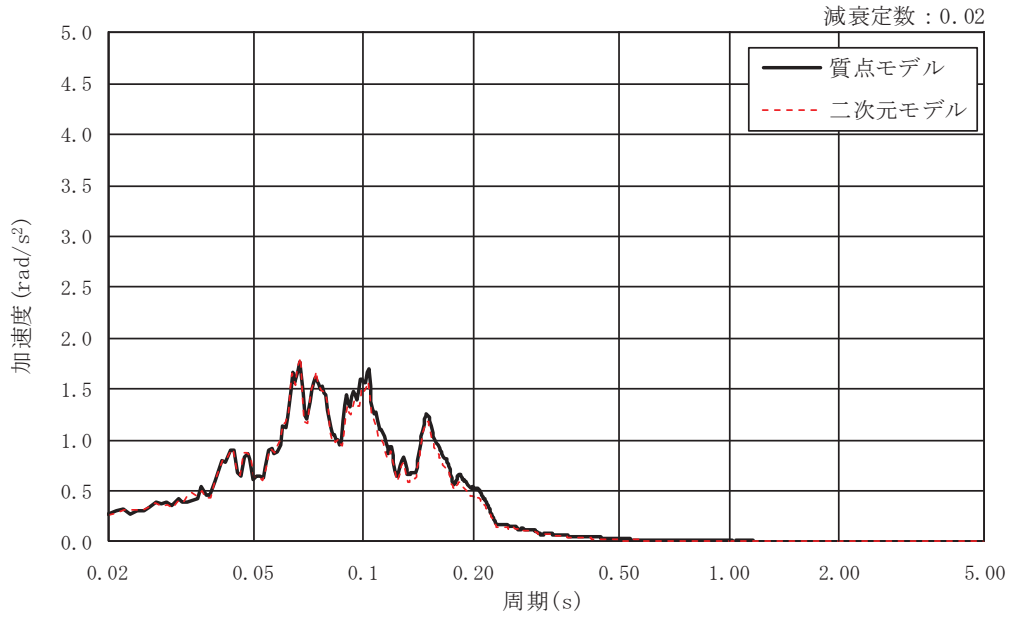
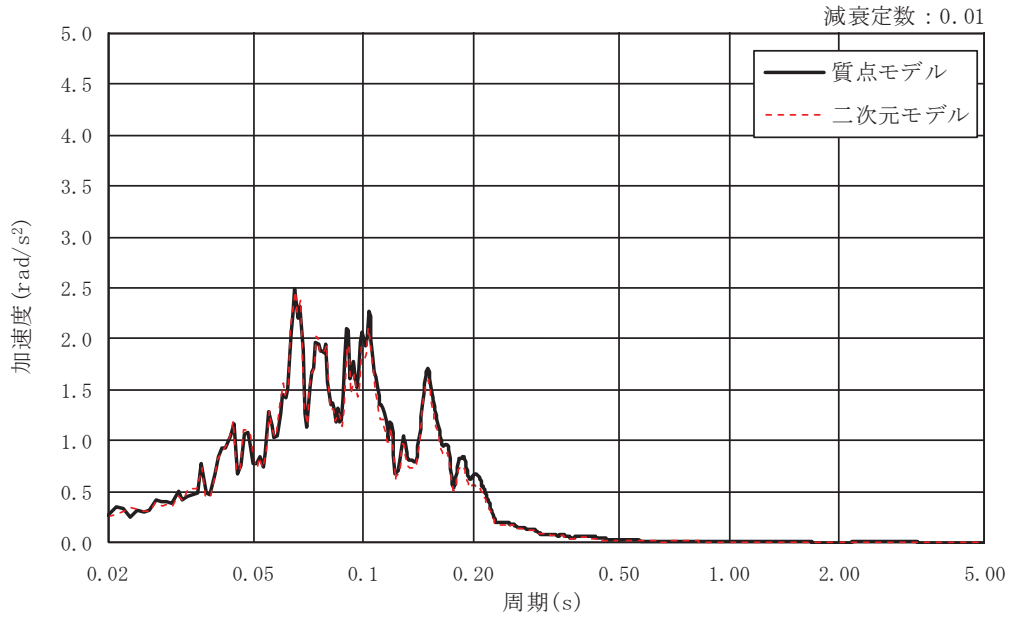


図 3-20 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - F3$ , EW 断面, 回転方向)

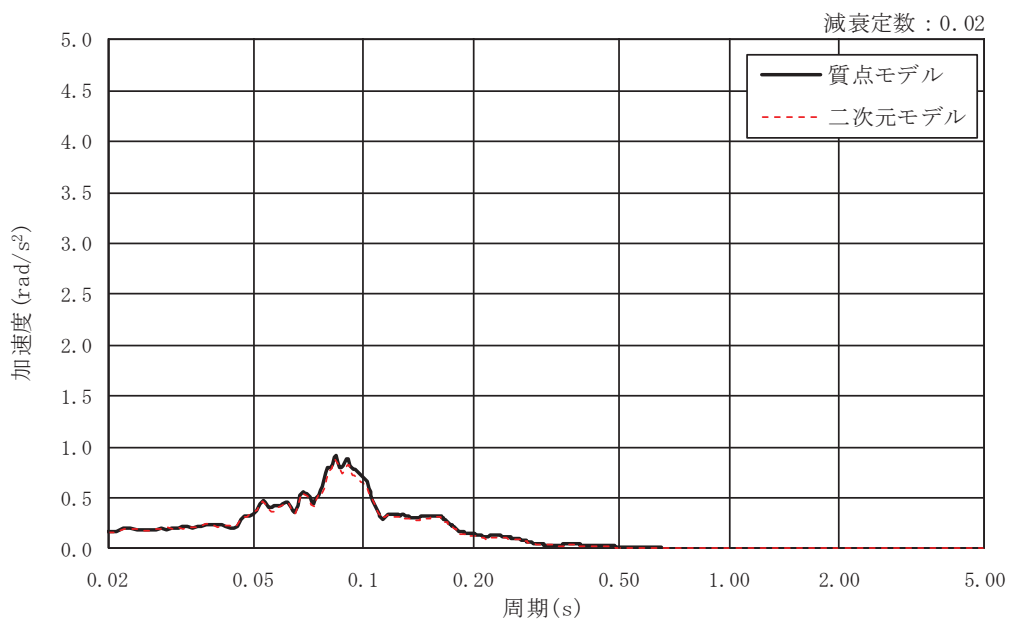
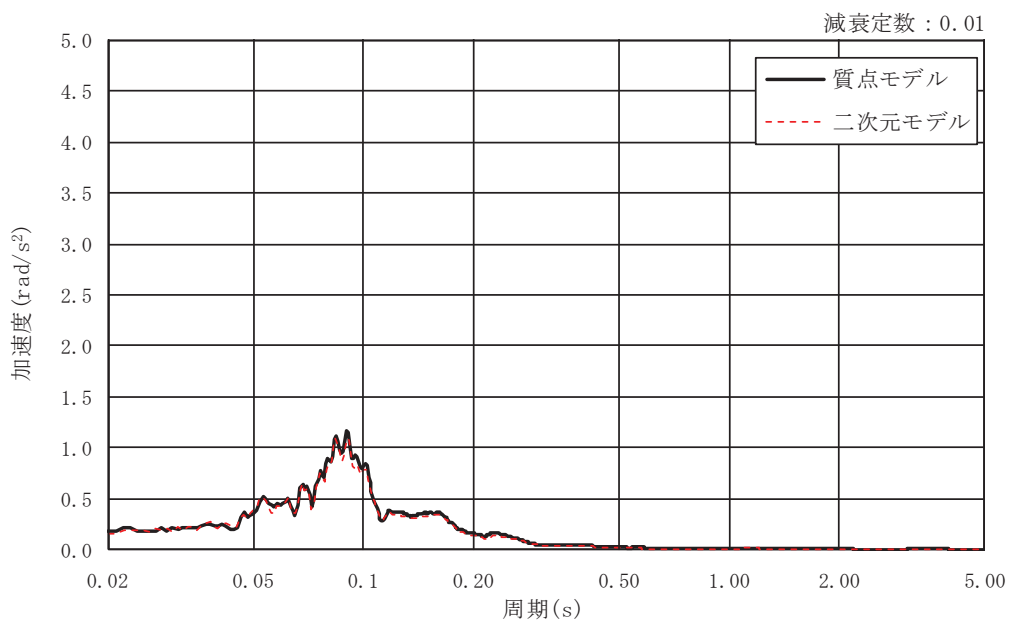


図 3-21 基準地震動  $S_s$  による応答スペクトル ( $S_s - N1$ , EW 断面, 回転方向)

#### 4. 排気筒の地震応答解析及び断面算定結果

「3. 排気筒基礎の地震応答解析結果」により、質点モデルを用いた入力地震動の妥当性は確認されたが、本章では、参考に、排気筒の断面算定結果に及ぼす影響を確認した。

排気筒の地震応答解析は、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」に基づくモデルを用い、前章で出力された排気筒基礎上端（O.P. +15.3m）における入力地震動を用いて評価を行った。

表 4-1～表 4-4 に排気筒の地震応答解析により検定値が最大となる結果を示す。

排気筒の地震応答解析において、質点モデルと連成モデルによる基準地震動  $S_s$ （7 波）の評価結果を比較すると、ほぼ同等の結果となった。

上記の結果について、排気筒基礎は排気筒に対して約 50 倍の重量となることから、排気筒の固有振動及びロッキング振動が全体に及ぼす影響はほとんど無いと考えられる。

以上より、排気筒基礎の地震応答解析において排気筒を質点でモデル化した場合についても耐震性に影響が無いことを確認するとともに、排気筒基礎に対して質量が十分に小さい排気筒を質点でモデル化することの妥当性を確認した。

表4-1 第2号機筒身の評価結果

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	質点モデル	連成モデル
161.8	A	φ 3020×10	<u>0.36</u>	<u>0.36</u>
155.5	A'	φ 3020×10	<u>0.32</u>	0.31
149.1	B	φ 3020×10	<u>0.42</u>	<u>0.42</u>
142.0	B'	φ 3020×10	<u>0.50</u>	<u>0.50</u>
134.8	C	φ 3020×10	<u>0.55</u>	<u>0.55</u>
126.8	C'	φ 3020×10	<u>0.52</u>	0.50
118.3	D	φ 3020×10	<u>0.58</u>	0.56
108.8	D'	φ 3020×10	<u>0.64</u>	0.63
98.8	E	φ 3020×10	<u>0.57</u>	0.56
86.4	E'	φ 3020×10	0.50	<u>0.51</u>
74.8	F	φ 3020×10	<u>0.77</u>	0.74
61.2	G	φ 3020×10	<u>0.65</u>	0.64
41.8	H	φ 3020×10	<u>0.49</u>	<u>0.49</u>
24.3	M1	φ 3020×10	<u>0.60</u>	0.59
19.3	M2	φ 3720×10	<u>0.56</u>	<u>0.56</u>
15.3	I	φ 3720×10	<u>0.63</u>	0.62

注記：下線部は検定値が最大となる値を示す。



表4-2 主柱材の評価結果

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	質点モデル	連成モデル
161.8-155.5	A-A'	φ 457.2×7.9	<u>0.31</u>	<u>0.31</u>
155.5-149.1	A' -B	φ 457.2×7.9	<u>0.71</u>	0.70
149.1-142.0	B-B'	φ 457.2×7.9	<u>0.81</u>	0.80
142.0-134.8	B' -C	φ 609.6×9.5	<u>0.87</u>	0.86
134.8-126.8	C-C'	φ 609.6×9.5	<u>0.83</u>	0.82
126.8-118.3	C' -D	φ 711.2×12.7	<u>0.87</u>	0.86
118.3-108.8	D-D'	φ 711.2×12.7	<u>0.85</u>	0.84
108.8- 98.8	D' -E	φ 812.8×16.0	<u>0.88</u>	<u>0.88</u>
98.8- 86.4	E-E'	φ 812.8×16.0	<u>0.90</u>	0.89
86.4- 74.8	E' -F	φ 1000×18.0	<u>0.86</u>	0.85
74.8- 61.2	F - G	φ 1000×18.0	<u>0.89</u>	0.88
61.2- 41.8	G - H	φ 1100×18.0	<u>0.65</u>	<u>0.65</u>
41.8- 28.6	H-H'	φ 1100×20.0	<u>0.75</u>	<u>0.75</u>
28.6- 15.3	H' -I	φ 1100×20.0	<u>0.74</u>	0.73

注記：下線部は検定値が最大となる値を示す。

表4-3 斜材の評価結果

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	質点モデル	連成モデル
161.8-155.5	A-A'	φ 355.6×6.4	<u>0.74</u>	0.73
155.5-149.1	A' -B	φ 355.6×6.4	<u>0.78</u>	0.77
149.1-142.0	B-B'	φ 406.4×6.4	<u>0.75</u>	0.74
142.0-134.8	B' -C	φ 406.4×6.4	<u>0.73</u>	0.72
134.8-126.8	C-C'	φ 457.2×6.4	<u>0.70</u>	0.69
126.8-118.3	C' -D	φ 457.2×6.4	<u>0.65</u>	0.64
118.3-108.8	D-D'	φ 508.0×6.4	<u>0.68</u>	0.65
108.8- 98.8	D' -E	φ 508.0×6.4	<u>0.63</u>	0.61
98.8- 86.4	E-E'	φ 609.6×6.4	<u>0.69</u>	0.65
86.4- 74.8	E' -F	φ 609.6×6.4	<u>0.69</u>	<u>0.69</u>
74.8- 61.2	F - G	φ 711.2×9.5	<u>0.71</u>	0.70
61.2- 41.8	G - H	φ 558.8×9.5	<u>0.74</u>	0.73
41.8- 15.3	H - I	φ 609.6×16.0	<u>0.74</u>	0.73

注記：下線部は検定値が最大となる値を示す。

表4-4 水平材の評価結果

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	質点モデル	連成モデル
161.8	A	φ 318.5×6.4	<u>0.70</u>	0.69
149.1	B	φ 318.5×6.4	<u>0.16</u>	<u>0.16</u>
134.8	C	φ 318.5×6.4	<u>0.67</u>	<u>0.67</u>
118.3	D	φ 318.5×6.4	<u>0.21</u>	0.20
98.8	E	φ 406.4×6.4	<u>0.25</u>	<u>0.25</u>
74.8	F	φ 457.2×6.4	<u>0.49</u>	0.48
61.2	G	φ 457.2×6.4	<u>0.69</u>	0.67
41.8	H	φ 508.0×6.4	<u>0.70</u>	0.69

注記：下線部は検定値が最大となる値を示す。

## 5. まとめ

本資料では、排気筒基礎の地震応答解析モデルにおいて排気筒を質点でモデル化することで、入力地震動に対して排気筒の振動特性が考慮されないことの影響を確認するため、質点モデルと二次元モデルによる入力地震動を比較し、解析モデルの妥当性の確認を行った。

質点モデルと連成モデルによる基準地震動  $S_s$  (7 波) の応答スペクトルを比較すると、スペクトル波形はほぼ同一となった。排気筒基礎は排気筒重量の約 50 倍の重量となることから、排気筒のモデル化による排気筒の回転振動及び固有振動の影響は少なく、質点としてモデル化することで排気筒への入力地震動を適切に算出できることを確認した。

また、参考までに、上記の入力地震動を用いて排気筒の断面算定を行い、評価結果に影響がないことを確認した。

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-補-E-19-0610-17_改5

補足-610-17 排気筒の耐震性についての計算書に関する  
補足説明資料

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。また、排気筒基礎及び排気筒の解析フローに対する、補足説明箇所を図-1 及び図-2 に示す。

なお、別紙 1 は「補足-610-16 排気筒基礎の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」と同一の内容となるが、既工認との比較や全体構成を示すため、再掲している。

別紙 1 既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 1-1 排気筒における部材補強

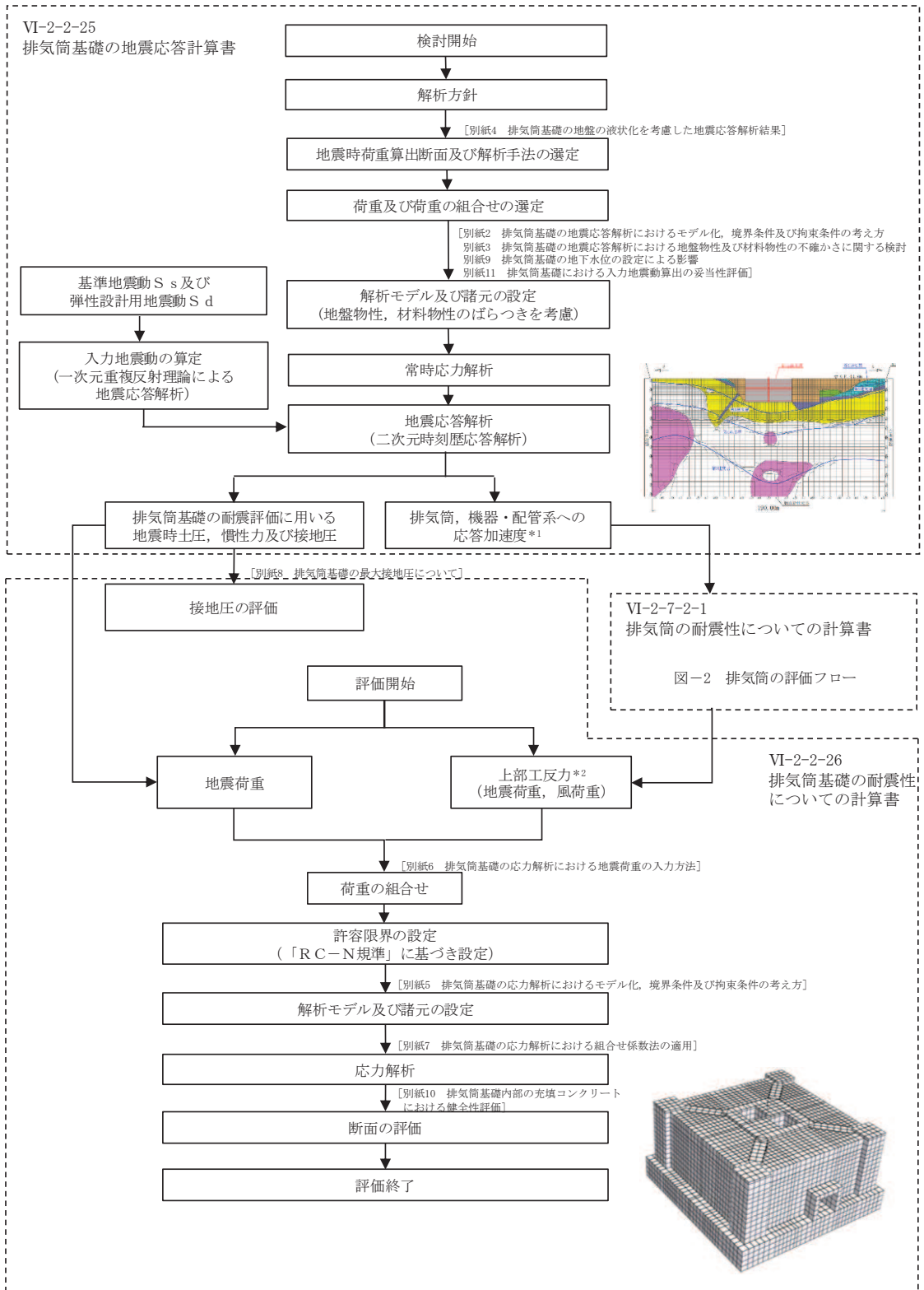
別紙 2 排気筒の地震応答解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 3 排気筒の地震応答解析における地盤物性、材料物性及び水平方向の位相反転の不確かさに関する検討

別紙 4 排気筒の共振風速評価

別紙 5 排気筒の接合部の耐震性について

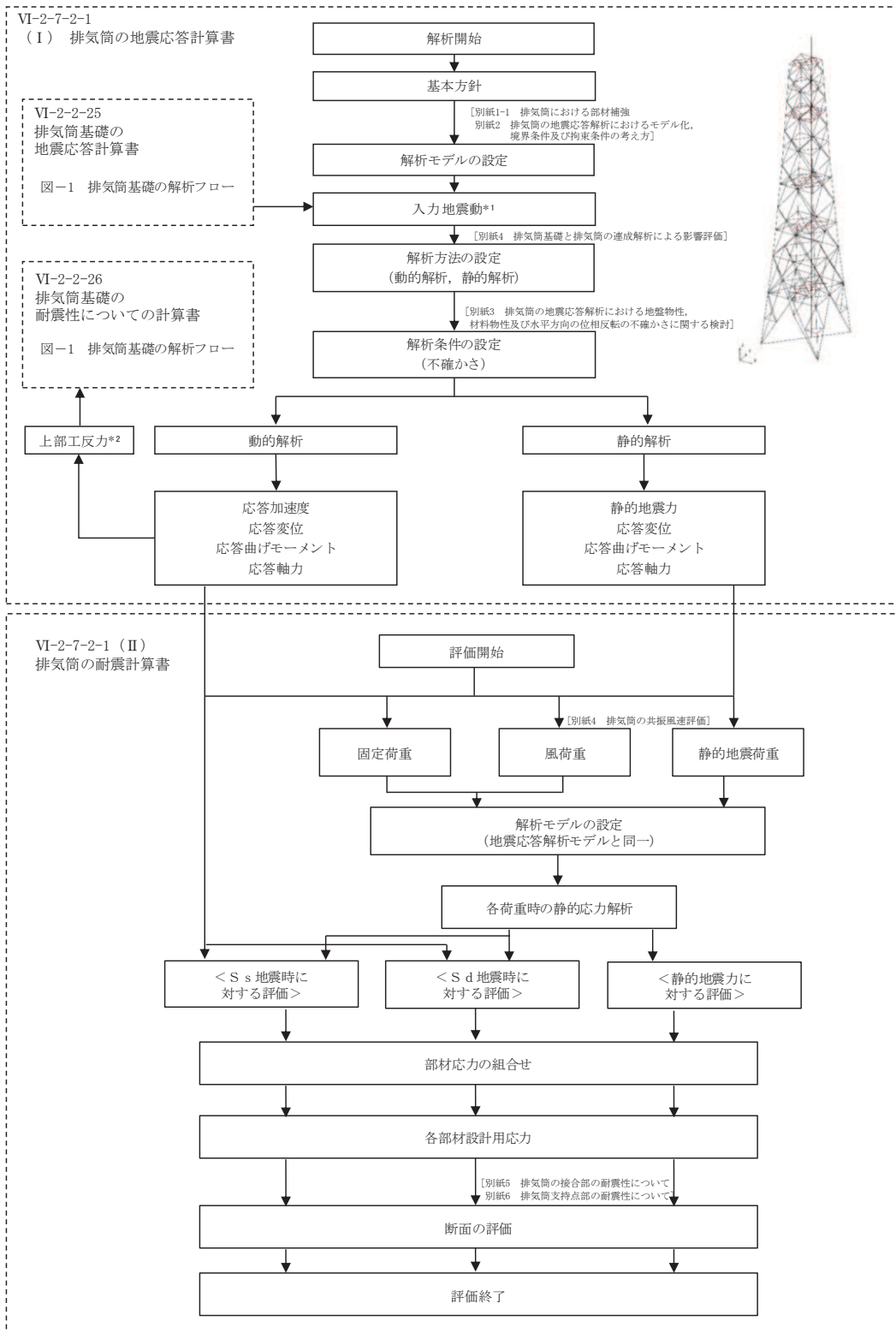
別紙 6 排気筒支持点部の耐震性について



注記\*1: 排気筒への応答加速度を示す。  
\*2: 排気筒からの上部工反力を示す。

図-1 排気筒基礎の解析フロー

(補足-610-16 排気筒基礎の耐震性についての計算書に関する補足説明資料)



注記\*1: 排気筒基礎からの応答加速度を示す。  
\*2: 排気筒基礎への上部工反力を示す。

図-2 排気筒の評価フロー

(補足-610-17 排気筒の耐震性についての計算書に関する補足説明資料)



## 別紙 1 既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

## 目次

1. 概要..... 別紙 1-1
2. 解析モデル及び手法の比較..... 別紙 1-1

## 1. 概要

本資料は、排気筒及び排気筒基礎の既工認時及び今回工認時の解析モデル及び手法の比較を示すものである。

## 2. 解析モデル及び手法の比較

排気筒及び排気筒基礎の地震応答解析モデル及び手法の比較を表 2-1 に、応力解析モデル及び手法の比較を表 2-2 に示す。

比較に用いる既工認時の地震応答解析モデル及び手法は、女川原子力発電所第 2 号機「女川原子力発電所第 2 号機の工事計画の認可について」(3 資庁第 10518 号 平成 4 年 1 月 13 日) (以下「建設時工認 (認可)」という。) と女川原子力発電所第 2 号機「工事計画届出書」(東北電土火第 1 号 平成 21 年 7 月 31 日) (以下「耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出)」という。) のものである。

建設時工認 (認可) 及び耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時と今回工認での大きな変更点は、建設時工認 (認可) 及び耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時に用いた排気筒及び排気筒基礎を一体化した SR モデルを用いているのに対し、今回工認では、排気筒基礎を二次元 FEM モデル、排気筒を三次元立体フレームモデル (質点系) に変更している。

図 2-1 に建設時工認 (認可) の地震応答解析モデルを、図 2-2 に耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時の地震応答解析モデルを、図 2-3 に今回工認モデルを示す。

建設時工認 (認可)、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時及び今回工認で共通となるのは、解放基盤表面 (O.P. -14.1m) で定義された基準地震動を用いて引戻しを行い、O.P. -200m の位置における地震動 (上昇波) となる。

建設時工認 (認可) は、地震動 (上昇波) を排気筒位置における地盤モデルに入力し、解析モデル底面位置 (O.P. -4.0m) における地震動を出力し、構造物-地震連成モデルへの入力地震動とする。

耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時は、地震動 (上昇波) を排気筒位置における地盤モデルの入力は同じとなるが、排気筒基礎の埋込み部各位置の地盤応答 (E + F 波) 及び基礎底面位置の補正水平力 (切欠き力) を抽出して、これを構造物-地盤連成モデルへの入力地震動と変更している。

今回工認は、地震動 (上昇波) を排気筒位置における地盤モデルに入力し、二次元 FEM 解析モデル底面位置 (O.P. -80.0m) における地震動を出力し、排気筒基礎の二次元 FEM 解析モデルへの入力地震動と変更している。さらに、二次元 FEM 解析モデルにおける地震応答解析から得られる基礎天端レベル (O.P. 15.3m) の応答値を出力し、排気筒の三次元立体フレームモデル (質点系) への入力地震動と変更している。今回工認において二次元 FEM モデルによる入力地震動の作成に変更した理由として、硬質岩盤では「J E A

G 4 6 0 1 -1991 追補版」による側面地盤ばね（Novak ばね）の評価に課題があることを踏まえ、周辺地盤の応答を詳細に評価するため「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に示される評価方法の一つである二次元 FEM モデルにより、地盤のモデル化を行っている。

また、今回工認における地震応答解析では、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した評価を行っている。排気筒基礎、排気筒及び機器・配管系において考慮する不確かさを図 2-4 に示す。

今回工認において、排気筒の耐震重要度分類の整理を行ったことから、表 2-3 に耐震重要度分類と評価結果の記載箇所を示す。

今回工認の地震応答解析モデルを図 2-5～図 2-7 に、排気筒の地震応答解析モデルを図 2-8 に、排気筒基礎の応力解析モデルを図 2-9 及び図 2-10 に示す。

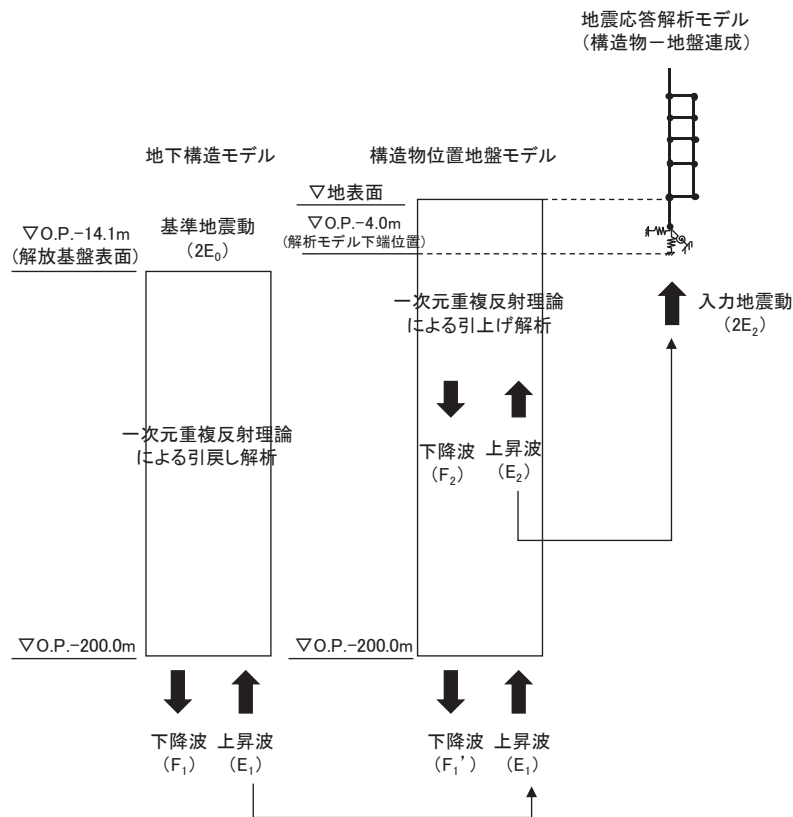


図 2-1 建設時工認（許可）の地震応答解析モデル

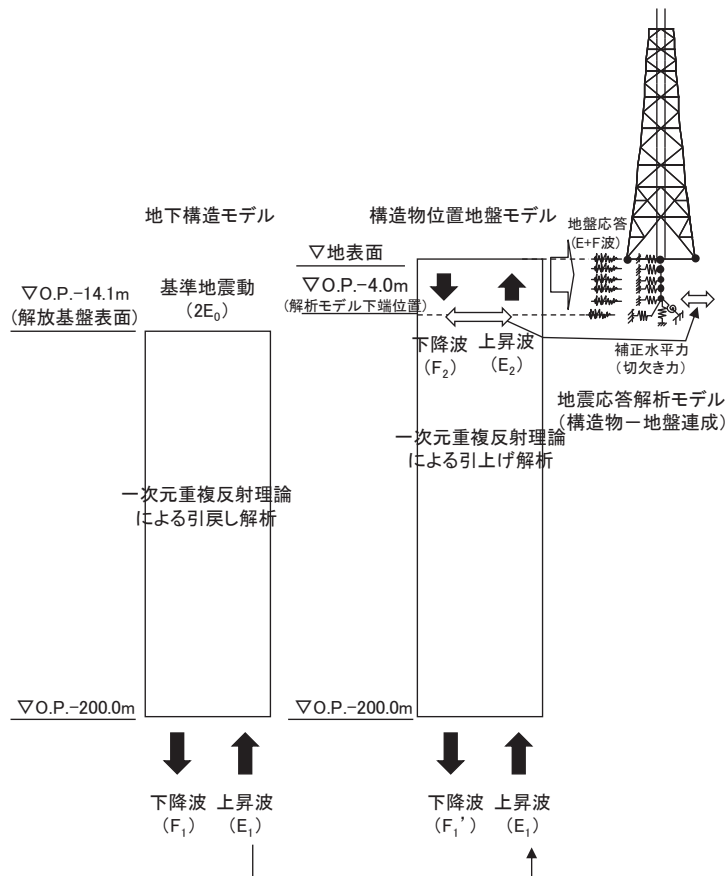


図 2-2 耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）時の地震応答解析モデル

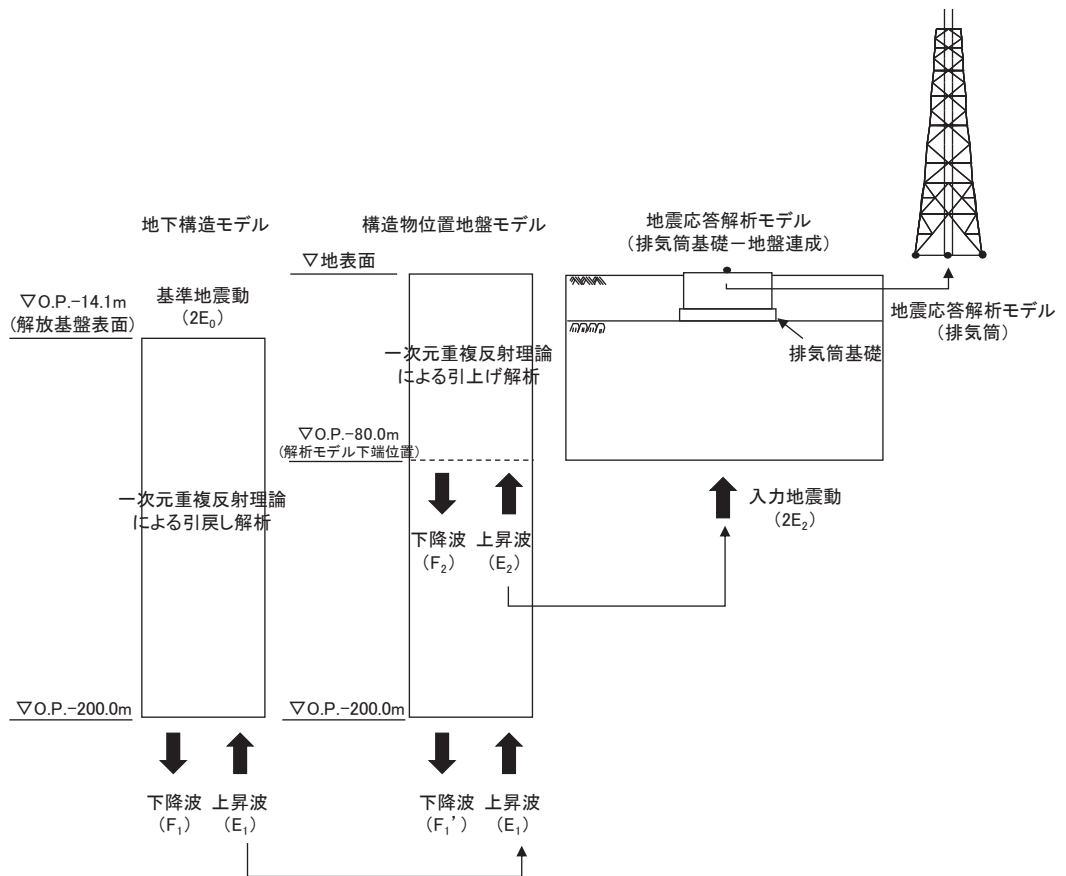


図 2-3 今回工認の地震応答解析モデル

表2-1 (1) 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）*1	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認		備考
				排気筒	基礎	
入力地震動の算定法	水平	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により、基礎下端（O.P.-4.0m）の応答値を抽出し、入力地震動を算定	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により、基礎下端及び基礎の埋込み部各位置（質点）での地盤応答、及び基礎底面位置での補正水平力（切欠き力）を抽出し、入力地震動を算定	基礎部の地震応答解析から得られる基礎天端レベル（O.P.15.3m）の応答値を抽出し、入力地震動を算定	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により、解析モデル下端（O.P.-80.0m）の応答値を抽出し、入力地震動を算定	(1)
	鉛直	—	基準地震動の最大加速度振幅の1/2より定まる震度			(1)
解析手法		質点系モデル（2軸）を用いた時刻歴応答解析（SRモデル）	三次元立体フレームモデル（質点系）を用いた時刻歴応答解析（SRモデル）	三次元立体フレームモデル（質点系）を用いた時刻歴応答解析	二次元FEMモデルを用いた時刻歴応答解析	(1)
解析コード		NUPP-II	SLAP	DYNA2E	TDAP	—

表 2-1 (2) 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認		備考
				排気筒	基礎	
排気筒及び基礎のモデル化	モデル	鉄塔部と筒身部分けた質点系モデル（排気筒部と基礎部を一体化したSRモデル）	三次元立体フレームモデル（3号機筒身部を含む）（排気筒部と基礎部を一体化したSRモデル）	三次元立体フレームモデル（3号機筒身部を含む）	排気筒基礎は質点系モデル（構造物中心位置に構造梁でモデル化し、側方地盤との離隔を模擬するため、剛梁を水平方向に配置）とし、排気筒は質点でモデル化	—
	材料物性	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材のヤング係数，ポアソン比  <math>E = 2100 \text{ t/cm}^2</math>  <math>\nu = 0.3</math></li> <li>コンクリートのヤング係数，ポアソン比*<sup>2</sup>  <math>E = 2.35 \times 10^6 \text{ tf/m}^2</math>  <math>\nu = 0.2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材のヤング係数，ポアソン比  <math>E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2</math>  <math>\nu = 0.3</math></li> <li>コンクリートのヤング係数，ポアソン比*<sup>2</sup>  <math>E = 2.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2</math>  <math>E = 2.06 \times 10^4 \text{ N/mm}^2</math>                      （基礎内側の充填コンクリート）  <math>\nu = 0.2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材のヤング係数，ポアソン比  <math>E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2</math>  <math>\nu = 0.3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートのヤング係数，ポアソン比*<sup>2</sup>  <math>E = 2.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2</math>  <math>E = 2.06 \times 10^4 \text{ N/mm}^2</math>                      （基礎内側の充填コンクリート）  <math>\nu = 0.2</math></li> </ul>	—
	要素分割	<ul style="list-style-type: none"> <li>はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身部及び基礎</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身部及び基礎，弾塑性ダンパ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身部，制震オイルダンパ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>はり要素</li> </ul>	—
	減衰定数	鋼材1%，コンクリート5%	筒身1%，鉄塔2%，コンクリート5%	筒身1%，鉄塔2%，	コンクリート5%	(2)
	減衰	ひずみエネルギー比例型減衰	同左	同左	Rayleigh減衰	—
	筒身支持点	0. P. 161. 8m， 0. P. 134. 8m， 0. P. 98. 8m， 0. P. 74. 8m， 0. P. 41. 8m	同左	0. P. 161. 8m， 0. P. 134. 8m， 0. P. 74. 8m， 0. P. 41. 8m （0. P. 98. 8mは解除）	—	—
	制震装置	—	弾塑性ダンパ （高さ方向5段の支持点位置に対し，各高さに8台設置）	制震オイルダンパ （0. P. 134. 8mに8台設置）	—	(3)



表2-1 (3) 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認		備考
				排気筒	基礎	
地盤のモデル化	底面ばね	水平ばね，回転ばねを考慮	水平ばね，回転ばね，鉛直ばねを考慮	—	平面ひずみ要素	(4)
	側面ばね	考慮せず	水平ばねを考慮（NOVAKの方法による）	—		
非線形特性	弾塑性ダンパ	—	・水平方向 弾塑性ダンパの荷重-変位の履歴特性を考慮	—	—	(3)

注記\*1：建設時工認（認可）は，水平方向のみ地震応答解析を実施した。耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は，水平方向の地震応答解析を実施し，鉛直方向は静的地震力を考慮した。

\*2：建設時工認（認可）は，「土木学会 1986年 コンクリート標準示方書[設計編]」に基づく。耐震設計審査指針の改訂時は，「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-」に基づく。

## 【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- (1) 建設時工認（認可）及び耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は、基礎部と排気筒部を一体化したSRモデルとしており、解放基盤表面で定義される基準地震動を用いて、一次元波動論により算定し、基礎下端での応答波を入力した。今回工認では、基礎部と排気筒部を分けて入力地震動を算定しており、基礎部については、解放基盤表面で定義される基準地震動を用いて一次元波動論により算定し、地震応答解析モデル（二次元FEMモデル）の底面（O.P. -80.0m）位置での応答波を水平・鉛直同時入力した。また、排気筒部については、基礎部の地震応答解析により得られる基礎部天端での応答波を抽出し、地震応答解析モデル（三次元立体フレームモデル）の下端に入力した。
- (2) 今回工認では、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」に基づき、溶接構造（筒身）は減衰1%、ボルト及びリベット構造物（鉄塔）は減衰2%とした。
- (3) 耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は、耐震上の余裕を向上させることを目的として、支持鉄塔の補強（補強材の配置）及び基礎の内側の埋戻土を無筋コンクリートによる置換えを行うとともに、制震装置（弾塑性ダンパ）を各筒身支持点に設置した。今回工認では、O.P. 134.8mの支持点において、弾塑性ダンパを制震オイルダンパに変更し、O.P. +98.8mの支持点を解放し、その他の支持点を固定した。このことから、今回工認では、O.P. 134.8mの支持点の制震オイルダンパのばね-ダッシュポットの直列モデルを応答解析モデルに考慮した。
- (4) 今回工認では、基礎部の地震応答解析モデル（二次元有限要素法）において、D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化し、盛土・旧表土、D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。マルチスプリング要素を用いた地盤の非線形性を考慮した地震応答解析手法は、先行サイトの建物・構築物における有効応力解析において実績がある手法である。マルチスプリング要素は、変形方向に依存せず、多方向のせん断方向に対して等価な非線形性を考慮するものであることから、全応力解析及び有効応力解析の解析手法による適用性の違いはない。そのため、全応力解析に対してもマルチスプリングモデルは適用性を有すると考えられる。

表2-2 応力解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認	備考
排気筒 （上部構造物）	解析手法	鉄塔部と筒身部分けした質点系モデルを用いた応力解析（但し、地震荷重は地震応答解析から直接算出）	三次元フレームモデルを用いた応力解析（但し、地震荷重は地震応答解析から直接算出）	同左	—
	解析コード	NASTRAN	SCOND	DYNA2E	—
	要素種別	はり要素	同左	同左	—
	地震荷重との組み合わせ	荷重状態①：G + K 荷重状態②：G + W G：固定荷重 K：地震荷重 W：風荷重	荷重状態①：G + K 荷重状態②：G + W G：固定荷重 K：地震荷重 W：風荷重	荷重状態：G + S <sub>s</sub> + P <sub>k</sub> G：固定荷重 S <sub>s</sub> ：地震荷重 P <sub>k</sub> ：風荷重	(1)
	評価方法	発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認	発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認（ただし、弾塑性ダンバは応答値が許容値以内であることを確認）	発生応力が弾性限強度を超えないことを確認（ただし、制震オイルダンバは応答値が許容値以内であることを確認）	—
排気筒 （基礎）	解析手法	三次元フレームモデル（質点系）を用いた応力解析	二次元FEMモデルを用いた応力解析	三次元FEMモデルを用いた応力解析	(2)
	解析コード	NASTRAN	SLAP	SLAP	—
	要素種別	・柱，はり：はり要素 ・基礎版：板要素 〔一部（基礎版上の排気筒連絡ダクト）はビーム要素〕	・柱，はり，基礎版：はり要素 ・充填コンクリート* <sup>1</sup> ：ソリッド要素	柱，梁，基礎版，充填コンクリート：ソリッド要素	—
	地震荷重との組み合わせ	荷重状態①：G + K 荷重状態②：G + W G：固定荷重 K：地震荷重 W：風荷重	荷重状態①：G + K 荷重状態②：G + W G：固定荷重 K：地震荷重 W：風荷重	荷重状態：G + S <sub>s</sub> + P <sub>k</sub> + P <sub>s</sub> G：固定荷重 S <sub>s</sub> ：地震荷重* <sup>2</sup> P <sub>k</sub> ：風荷重* <sup>3</sup> P <sub>s</sub> ：積雪荷重	(1)
	評価方法	発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認	同左	同左	(3)

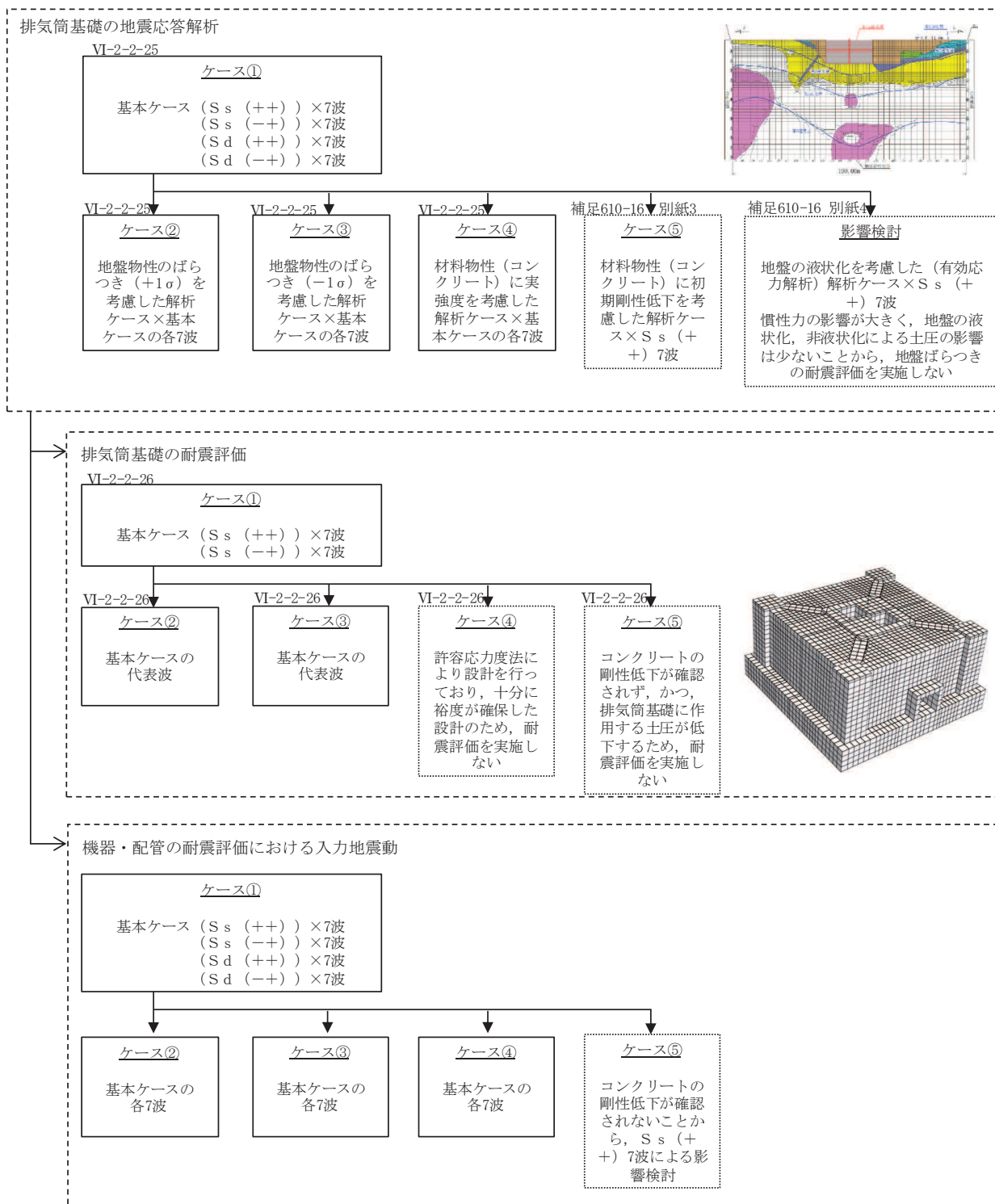
注記\*1：耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は，耐震上の余裕を向上させる対策として，鉄塔柱，梁，基礎版で囲まれる内側の埋戻土を無筋コンクリートによる置換えを実施した。

\*2：地震荷重については，排気筒（上部構造物）の地震応答解析により，筒身，鉄塔それぞれについて上部工反力を算出している。

\*3：風荷重については，排気筒（上部構造物）の静的応力解析により，筒身，鉄塔それぞれについて上部工反力を算出している。

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

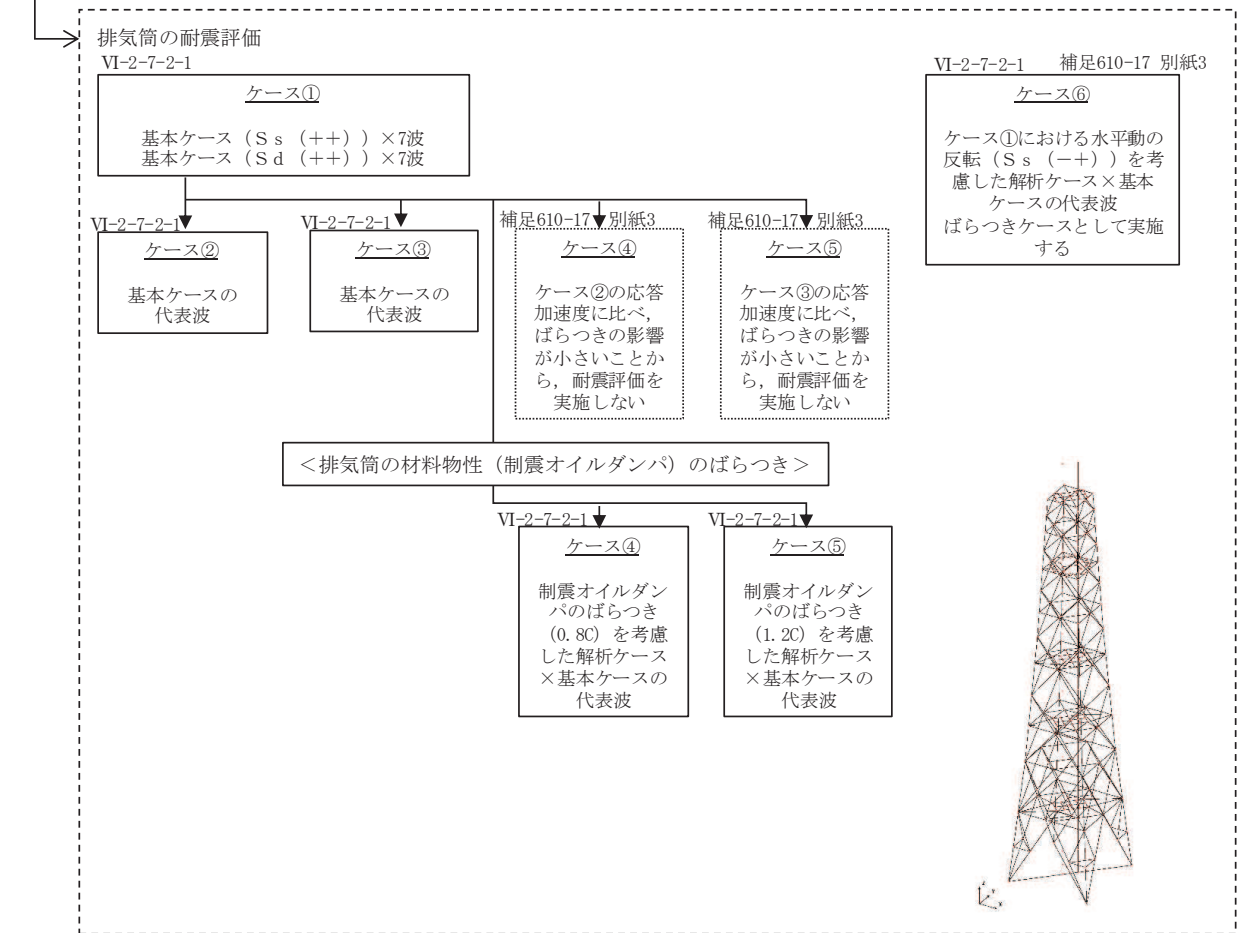
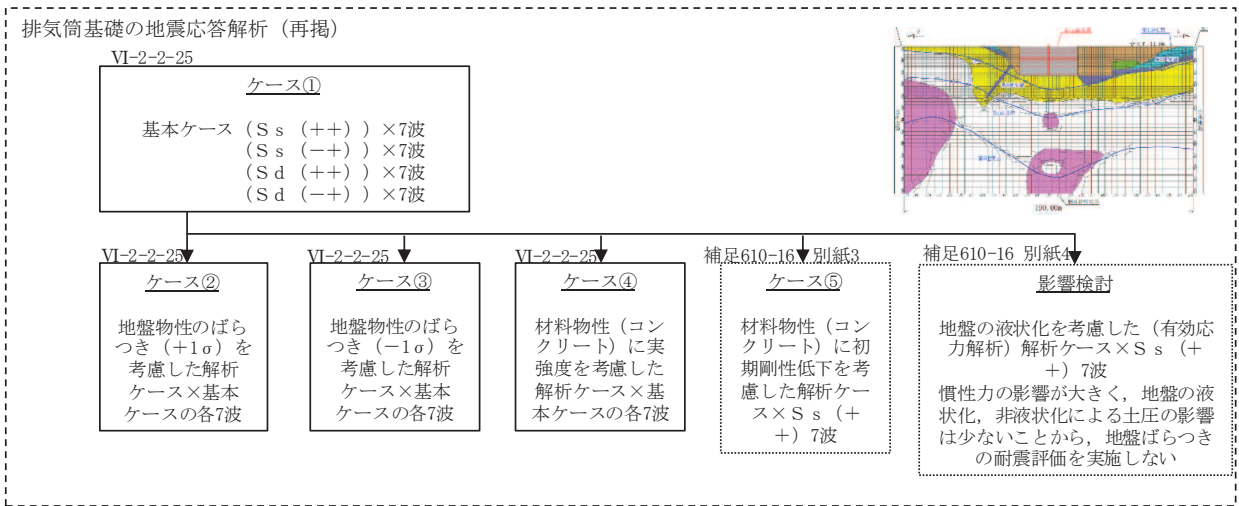
- （1）今回工認においては，地震荷重と風荷重の組み合わせを考慮した。地震と重畳させる風荷重の算出の際には，ガスト影響係数を1.0に設定。
- （2）今回工認においては，二次元FEMモデルから，より精緻な応力評価が可能となる三次元ソリッド要素に解析モデルを変更。
- （3）今回工認においては，非常用ガス処理系配管および排気筒の間接支持構造物として，短期許容応力度設計を行うこととおおむね弾性範囲内となることを確認。



注1: S<sub>s</sub> は基準地震動 S<sub>s</sub>, S<sub>d</sub> は弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> を示す。

注2: 各ケースの黒枠は設計ケースを示し、破線は影響検討ケース又は評価対象外のケースを示す。

図 2-4(1) 排気筒基礎、排気筒及び機器・配管系において考慮する地盤物性及び材料物性の不確かさ



注1: S<sub>s</sub> は基準地震動 S<sub>s</sub>, S<sub>d</sub> は弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> を示す。  
 2: 各ケースの黒枠は設計ケースを示し、破線は影響検討ケース又は評価対象外のケースを示す。

図 2-4 (2) 排気筒基礎、排気筒及び機器・配管系において考慮する地盤物性及び材料物性の不確かさ

表 2-3(1) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度 分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の 記載箇所
主要設備	Sクラス	S s 地震力* <sup>1</sup> S d 地震力* <sup>2</sup>	第 2 号機筒身		VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書
直接支持 構造物	Sクラス	S s 地震力* <sup>1</sup> S d 地震力* <sup>2</sup>	第 3 号機筒身	第 3 号機の工認申請において主要 設備に分類される	
			補強リング* <sup>3,4</sup>	第 2 号機及び第 3 号機筒身の地震 時荷重及び風荷重を直接的に受け る	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書* <sup>3,5</sup> 補足-610-17 排気筒の耐震 性についての計算書に關する 補足説明資料 別紙 6* <sup>4,5</sup>
			支持点アーム* <sup>3</sup>	補強リングと溶接により接合して いることから, 補強リングを介して 第 2 号機及び第 3 号機筒身の荷重 を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書* <sup>5</sup>
			筒身連結材* <sup>3</sup>		
			鉄塔連結材 (筒身側 支持金物)* <sup>4</sup>		補足-610-17 排気筒の耐震 性についての計算書に關する 補足説明資料 別紙 6* <sup>5</sup>
			筒身脚部	第 2 号機及び第 3 号機筒身の筒身 の常時荷重, 地震時荷重及び風荷重 を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書

表 2-3(2) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度 分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の 記載箇所
間接支持 構造物	—	S s 地震力*1	鉄塔 (支柱材, 斜材, 水平材)	直接支持構造物からの地震時荷重 及び風荷重を鉄塔連結材(鉄塔側支 持金物)及び制震オイルダンパを介 して伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書
			鉄塔連結材 (鉄塔側 支持金物)*4	直接支持構造物からの地震時荷重 及び風荷重を伝達される	補足-610-17 排気筒の耐震性 についての計算書に関する 補足説明資料 別紙 6*5
			制震 オイルダンパ*3	直接支持構造物からの地震時荷重 及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書*5
			鉄塔脚部	間接支持構造物からの常時荷重, 地 震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書
			排気筒基礎	直接支持構造物及び間接支持構造 物からの常時荷重, 地震時荷重及び 風荷重を伝達される	VI-2-2-26 排気筒基礎の耐 震性についての計算書

注記\*1: S s 地震力は基準地震動 S s による評価

2: S d 地震力は弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による評価

3: 第 3 支持点における支持部材

4: 第 1, 第 2 及び第 4 支持点における支持部材

5: 筒身と鉄塔の相互作用が生じる第 1~第 4 支持点については, 排気筒全体の動的挙動に大きな影響を及ぼす制震オイルダンパ  
と, 制震オイルダンパと荷重の伝達を行う支持点アーム及び補強リング(第 3 支持点)を代表に添付書類で耐震評価を行う。  
その他の支持点部材については, 補足説明資料で耐震評価を行う。



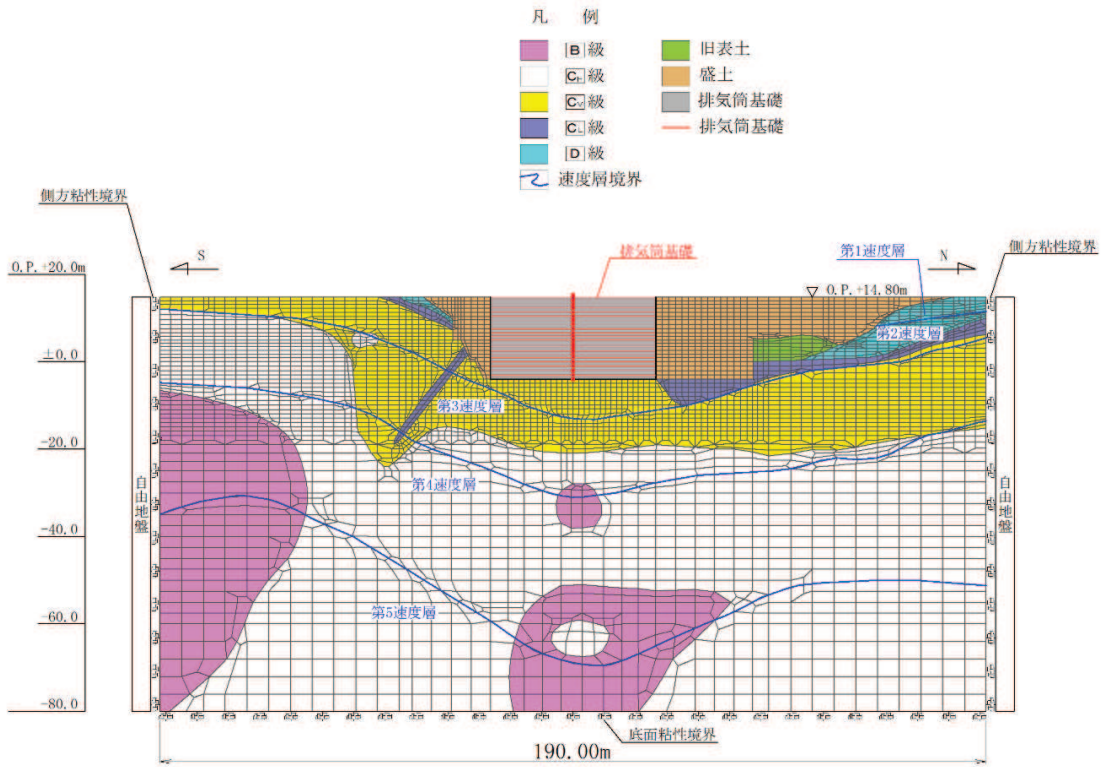


図2-5 排気筒基礎の地震応答解析モデル (NS断面)

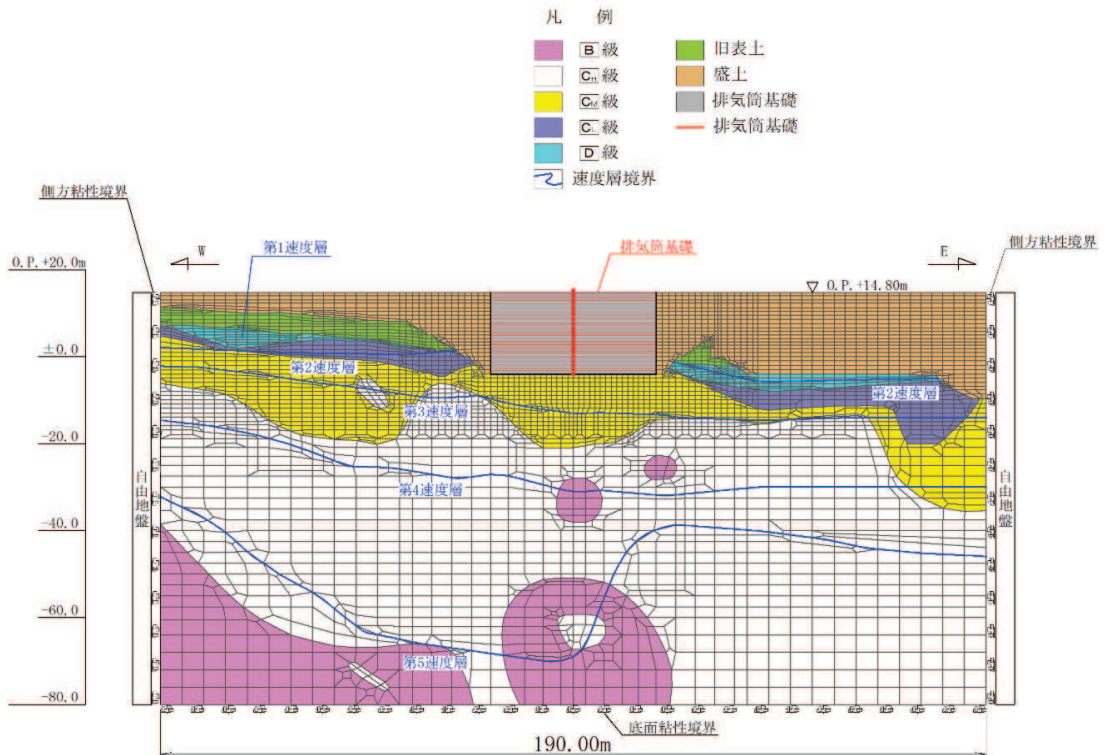


図2-6 排気筒基礎の地震応答解析モデル (EW断面)

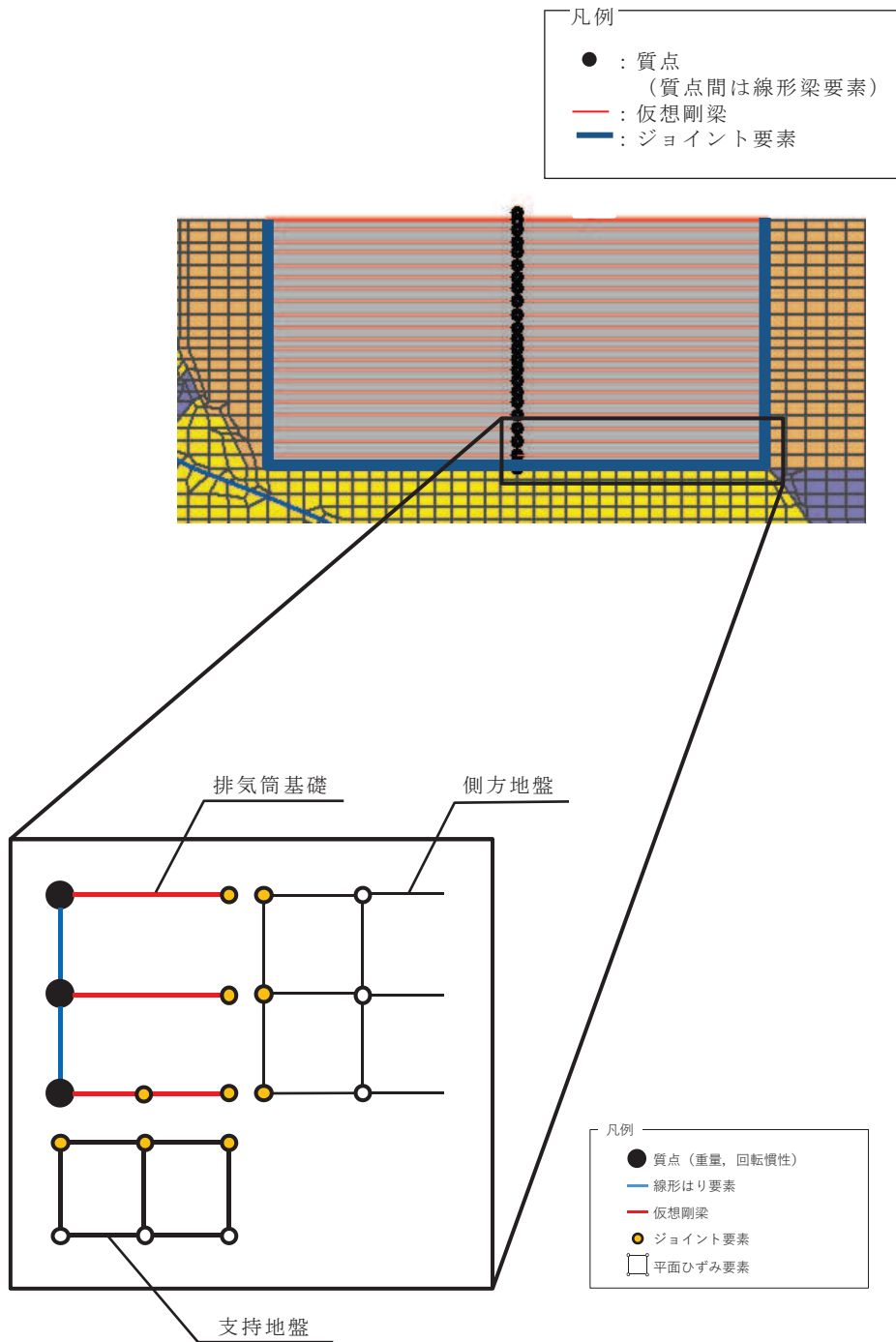
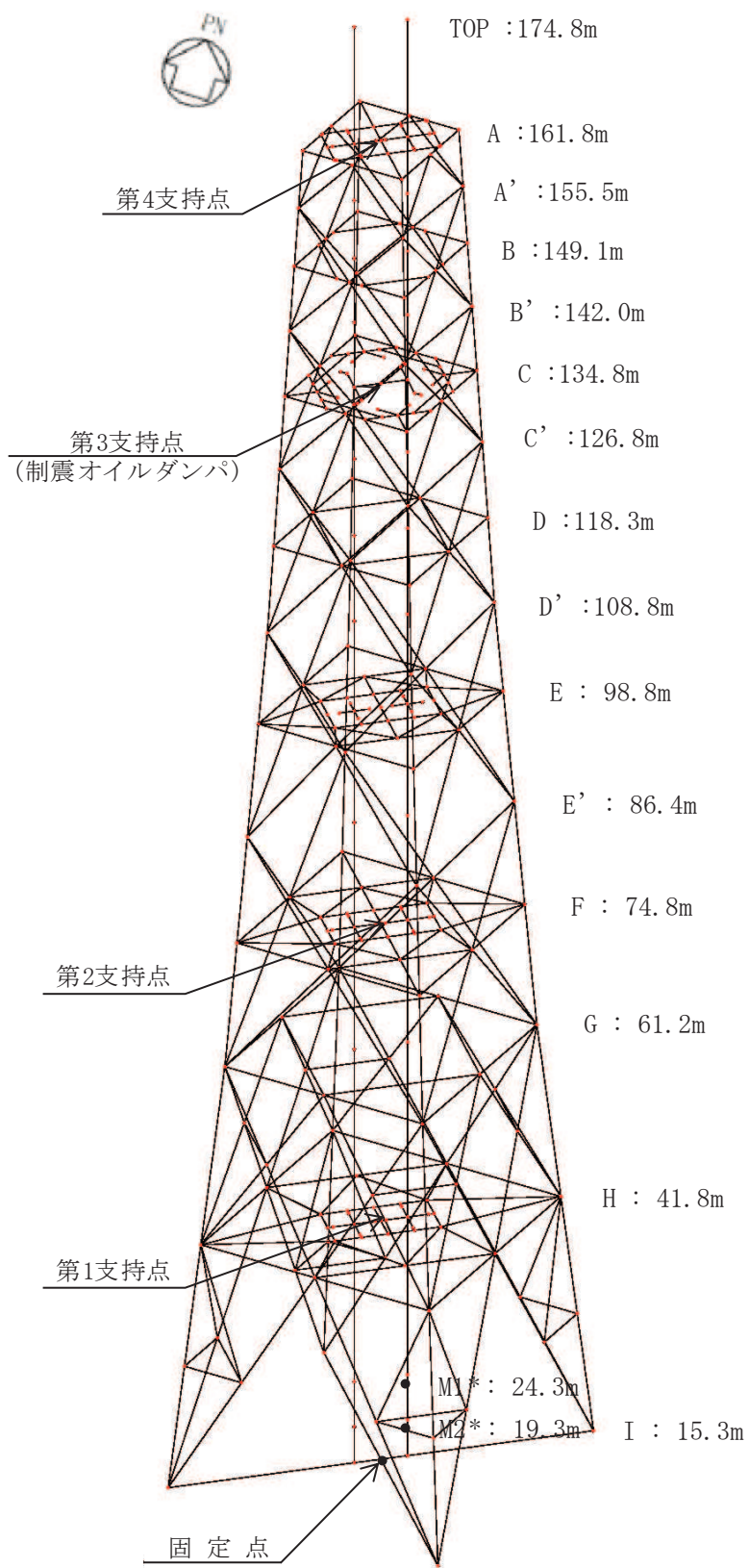


図 2-7 排気筒基礎の地震応答解析モデル (拡大図, 模式図)



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

図2-8 排気筒の地震応答解析モデル

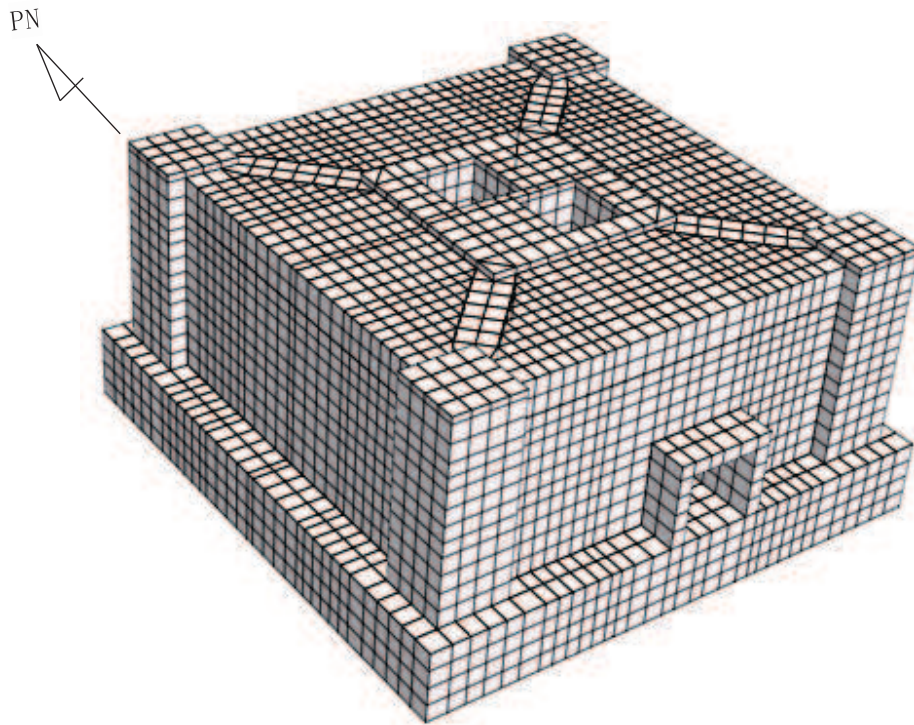


図 2-9 排気筒基礎の応力解析モデル（鳥瞰図）

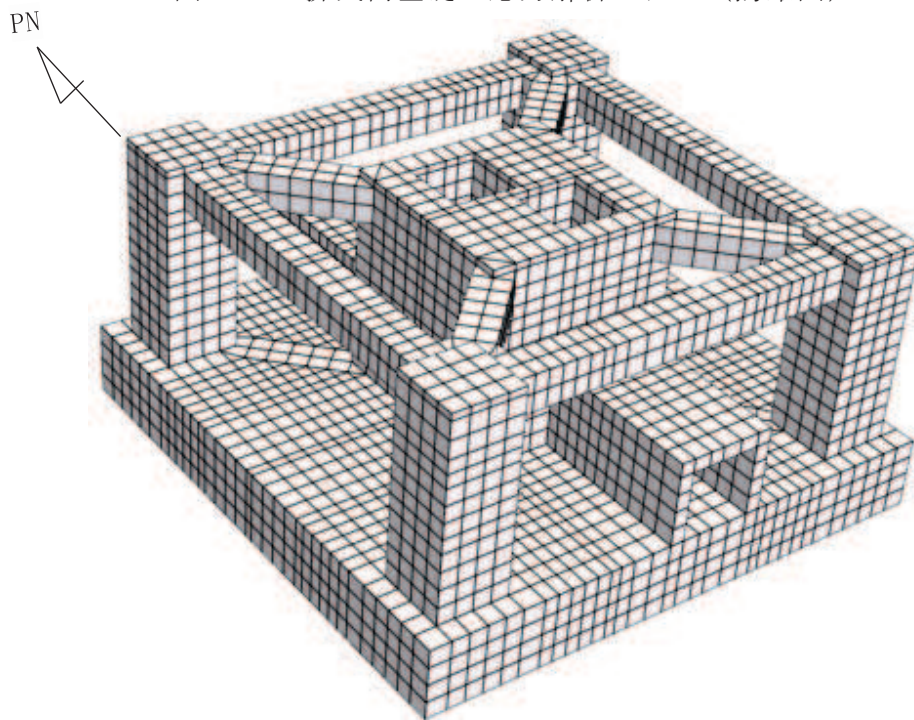


図 2-10 排気筒基礎の応力解析モデル（鳥瞰図（充填コンクリート非表示））

別紙 1-1 排気筒における部材補強

## 目次

1. 概要	別紙 1-1-1
2. 補強内容	別紙 1-1-1
3. 制震オイルダンパの仕様	別紙 1-1-4
3.1 制震オイルダンパの構造・特徴	別紙 1-1-4
3.1.1 解析モデル及び諸元	別紙 1-1-4
3.1.2 制震オイルダンパの設置状況	別紙 1-1-5
3.2 制震オイルダンパの特徴，決定根拠	別紙 1-1-6
3.3 制震オイルダンパの仕様	別紙 1-1-6
3.4 制震オイルダンパの材料物性のばらつき	別紙 1-1-7
4. まとめ	別紙 1-1-8

## 1. 概要

本資料は、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）に対し、排気筒の制震オイルダンパ取替、斜材取替及び当て板補強の追加を実施することから、補強概要を示すものである。

## 2. 補強内容

耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）からの変更箇所を表 2-1、図 2-1 及び以下に示す。

- ・排気筒の第 3 支持点（O.P. 134.8m）の支持方法として制震オイルダンパを設置
- ・O.P. 98.8m の支持点を解除
- ・O.P. 161.8m, O.P. 134.8m, O.P. 74.8m, O.P. 41.8m における弾塑性ダンパを撤去し、支持点を設置
- ・O.P. 15.3m～41.8m の斜材を STK400（ $t=12.7\text{mm}$ ）から STK490（ $t=16.0\text{mm}$ ）に取替
- ・支柱材、斜材、水平材の一部当て板補強

排気筒の補強設計の考え方として、地震に対しては制震オイルダンパをメインとした耐震補強を実施し、制震オイルダンパのみでは裕度が不足する部材に対しては斜材取替及び当て板補強を実施することとしている。

耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）において支持点となっていた O.P. 98.8m は、支持点を解除することにより、相対変位を大きく取れるように構造を変更し、オイルダンパが効果的に機能する設計となっている。

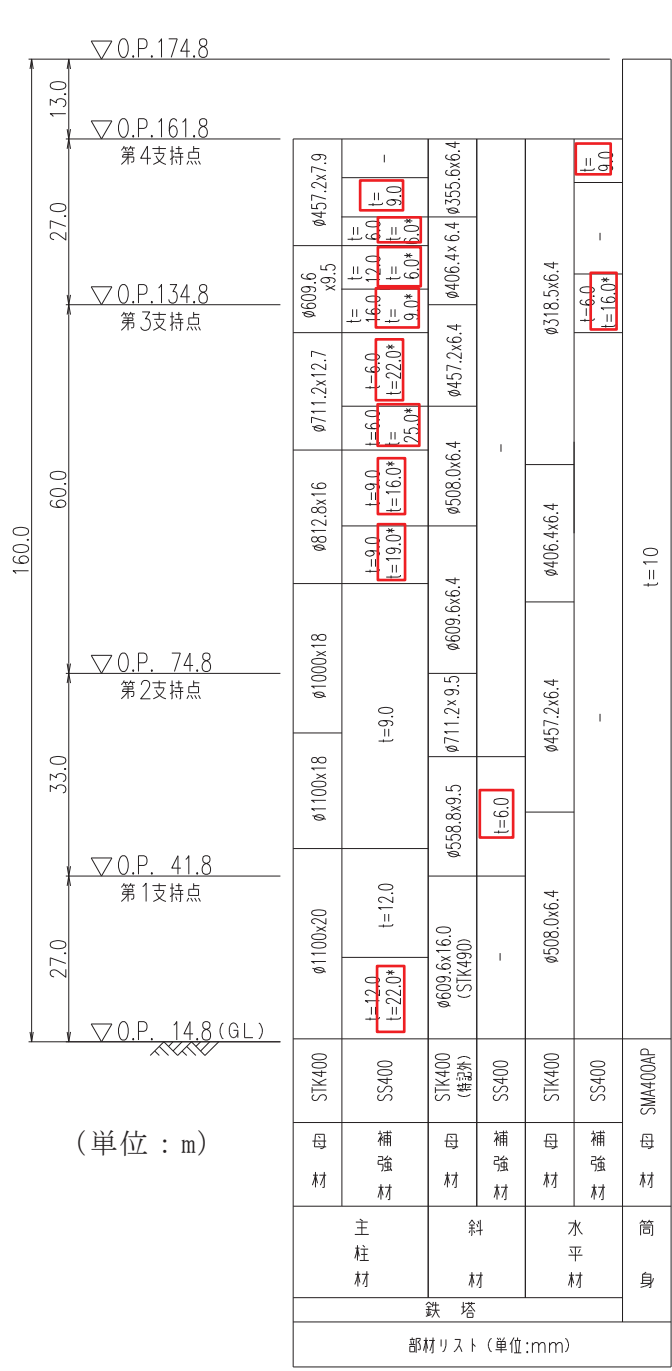
なお、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）に設置した弾塑性ダンパは基準地震動  $S_s$  に対して許容値を超過したことから、撤去を行った。

また、部材補強は当て板を基本とするが、十分な強度を確保することが難しい O.P. 15.3m～41.8m の斜材は取替を実施する。当て板補強は、4 方向に対して同様の鋼板を設置することから、振動方向によって断面 2 次モーメントが変わらない。

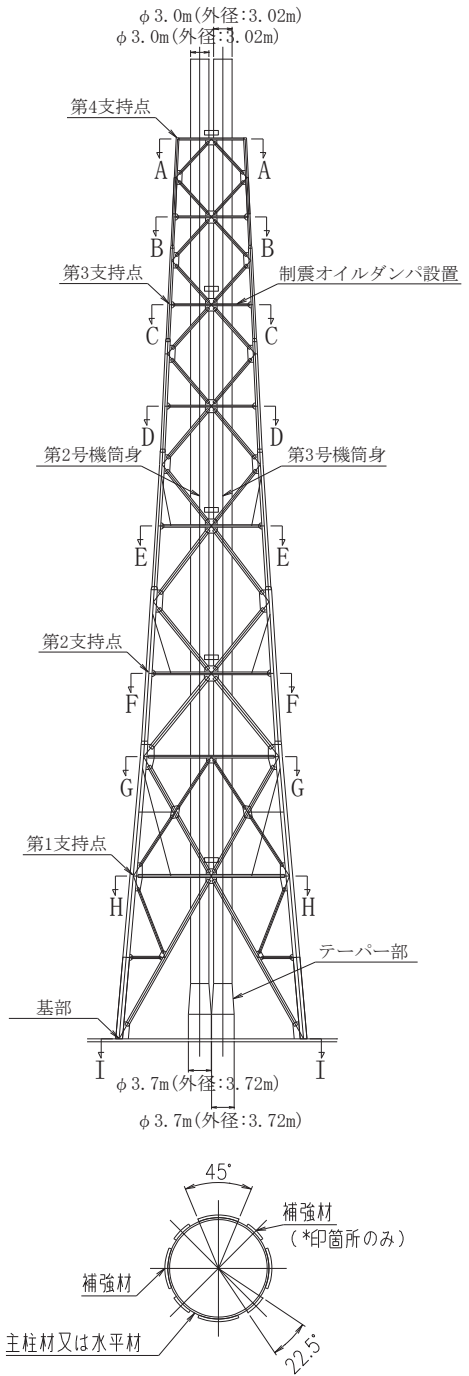
表 2-1 排気筒の補強箇所

	標高	耐震設計審査指針の 改定に伴う補強時 (届出)	今回工認
支持点	0. P. 41. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の設置
	0. P. 74. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の設置
	0. P. 98. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の解除
	0. P. 134. 8m	弾塑性ダンパ	制震オイルダンパの 設置
	0. P. 161. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の設置
部材取替	0. P. 15. 3m～ 41. 8m	STK400 (t=12. 7mm)	STK490 (t=16. 0mm)
部材補強	図 2-1 に示す		





(単位 : m)



□ 今回工認の補強箇所

図 2-1 排気筒の概要図

### 3. 制震オイルダンパの仕様

#### 3.1 制震オイルダンパの構造・特徴

##### 3.1.1 解析モデル及び諸元

制震オイルダンパは、ピストン両側の油圧室を連結する流路にオリフィス（固定絞り）が設けてあり、ピストンの往復動に対して減衰力が発生する仕組みになっている。また、制震オイルダンパに採用されている調圧弁は、ばねにより圧力と流量の関係を調整することで、ピストン速度に比例した線形の減衰力を発生する役割を果たしている。制震オイルダンパの内部機構概念図を、図 3-1 に示す。

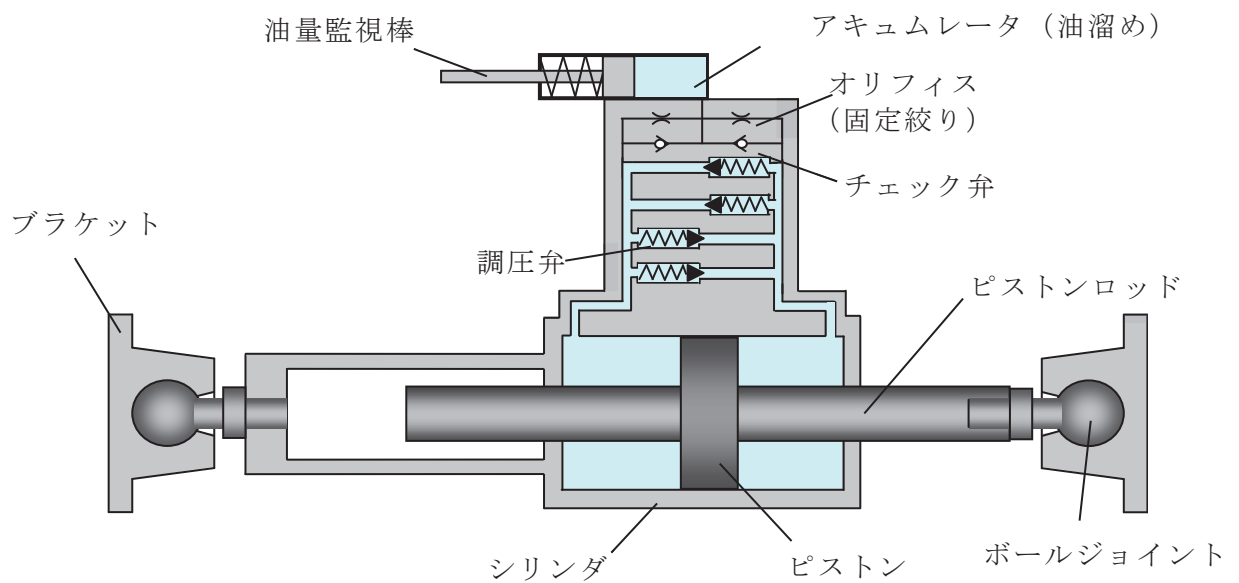


図 3-1 制震オイルダンパの内部機構概念図

### 3.1.2 制震オイルダンパの設置状況

排気筒に設置する制震オイルダンパの接続状況図を図3-2に示す。

- : 筒身部
- : 鉄塔部
- : 制震装置 (オイルダンパ) (計8台)

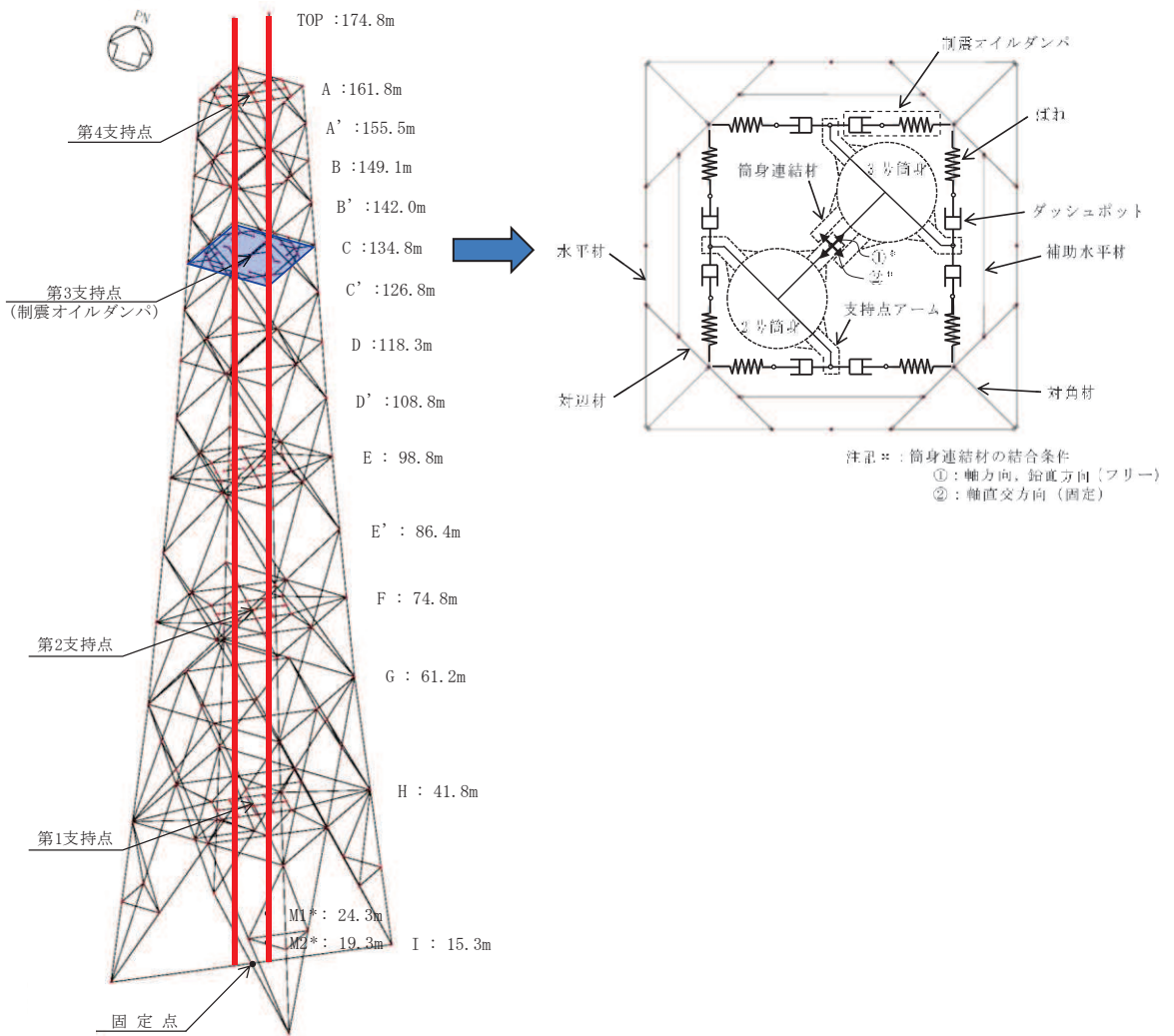


図3-2 制震オイルダンパの接続状況図

### 3.2 制震オイルダンパの特徴，決定根拠

制震オイルダンパの設置位置については，基準地震動に対する応答が厳しい2次モード（筒身2次，鉄塔2次）を対象とし，2次モードに対して変形が大きくなる第3支持点（O.P.134.8m）に制震オイルダンパを設置することとした。鉄塔－筒身間の相対変位を大きく取り，制震オイルダンパを効果的に機能させる構造とするため，O.P.98.8mの支持点を解除した。

制震オイルダンパは地震時に伸縮することで地震動を抑制することが出来るが，強風時はダンパとしては機能せず，風の強さに応じ静的に伸縮する。

### 3.3 制震オイルダンパの仕様

制震オイルダンパ1台当たりの仕様を表3-1に示す。排気筒には，1平面当たり8台の制震オイルダンパを設置しており，0°方向，90°方向に対して，それぞれ4台ずつ荷重を負担する設計としていることから，地震応答解析モデルに使用する各平面の制震オイルダンパの諸元は表3-2に示すとおりとなる。

表3-1 制震オイルダンパ設計仕様値（1台当たり）

項目	仕様値
減衰係数 (kN・s/m)	350
剛性 (kN/mm)	45
許容速度 (m/s)	1.20
最大許容荷重 (kN)	420
許容変位 (mm)	±400
取付長 (mm)	3080

表3-2 制震オイルダンパの諸元

標高 O.P. (m)	位置	減衰係数 (kN・s/m)	剛性 (kN/mm)	許容速度 (m/s)	許容変位 (mm)
134.8	C	350	45	1.20	±400

### 3.4 制震オイルダンパの材料物性のばらつき

制震オイルダンパは油の粘性に期待しない流体抵抗を利用しているため、温度依存性が小さいことが特徴である。図 3-3 は、同種の制震オイルダンパの試験結果の例であり、温度変化による減衰係数の変動幅は±10%に収まっている。また、荷重レベルが大きいくほど、温度が高くなるほど安定した特性となることが分かる。

なお、女川原子力発電所の制震オイルダンパは、図 3-3 の実験で使用した制震オイルダンパと同型であり、減衰定数が異なるものの、温度による性能変動は内部のオイルの特性に起因するため、図 3-3 に示す温度依存性の試験結果をそのまま適用することは可能である。

制震オイルダンパの性能変動に影響を及ぼす要因として、上述の温度変化の他に製品を製造する際の製造機差がある。製造機差については、製品の発注段階において、製造機差が±10%以内に収まることをクライテリアとして要求することで、変動幅を制御することとし、納入時には設計クライテリアを満たしていることを確認する。

以上を踏まえ、排気筒の地震応答計算書では、制震オイルダンパのばらつきとして、先行サイトと同様に温度変化による減衰係数の変動幅を±10%、製品を製造するときの製造機差を±10%として考慮し、制震オイルダンパのトータルの性能変動を±20%に設定する。

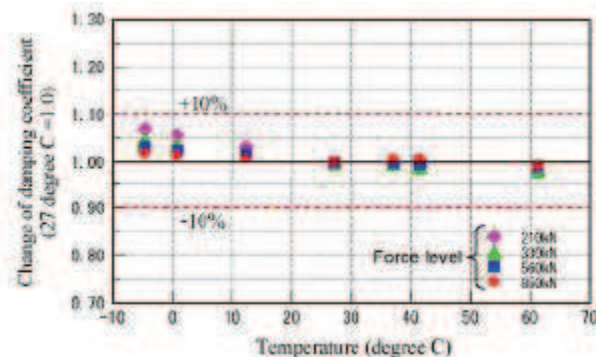


図 3-3 温度依存性の実験結果の例\*

注記：Ryu Shimamoto, Takafumi Hiraki, Fukashi Mori, Eiji Ohara and Haruhiko Kurino, “Seismic-upgrading of Existing Stacks by Structural Control using Oil Dampers” 19th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT19), Toronto, Canada, August 12-17 2007 K17/1-2

#### 4. まとめ

耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）に対し、排気筒の制震オイルダンパ取替、斜材取替及び当て板補強の追加実施内容を以下に示す。

排気筒の補強設計の考え方として、地震に対しては制震オイルダンパをメインとした耐震補強を実施し、制震オイルダンパのみでは裕度が不足する部材に対しては斜材取替及び当て板補強を実施することとしている。

部材補強は当て板を基本とするが、十分な強度を確保することが難しい O.P. 15. 3m～41. 8m の斜材は取替を実施する。

制震オイルダンパは 2 次モードに対して変形が大きくなる第 3 支持点（O.P. 134. 8m）に設置し、制震オイルダンパのばらつきとして、温度変化による減衰係数の変動幅を±10%、製品を製造するときの製造機差を±10%として考慮し、制震オイルダンパのトータルの性能変動を±20%に設定する。

別紙 2 排気筒の地震応答解析におけるモデル化，境界条件  
及び拘束条件の考え方

## 目次

1. 概要…………… 別紙 2-1
2. モデル化, 境界条件及び拘束条件…………… 別紙 2-1



1. 概要

本資料は、排気筒におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

2. モデル化、境界条件及び拘束条件

排気筒のモデル化、境界条件及び拘束条件を表 2-1 に示す。

鉄塔の接合形式は以下の通りとなっている。

表 2-1(1) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

モデル概要 (1/2)

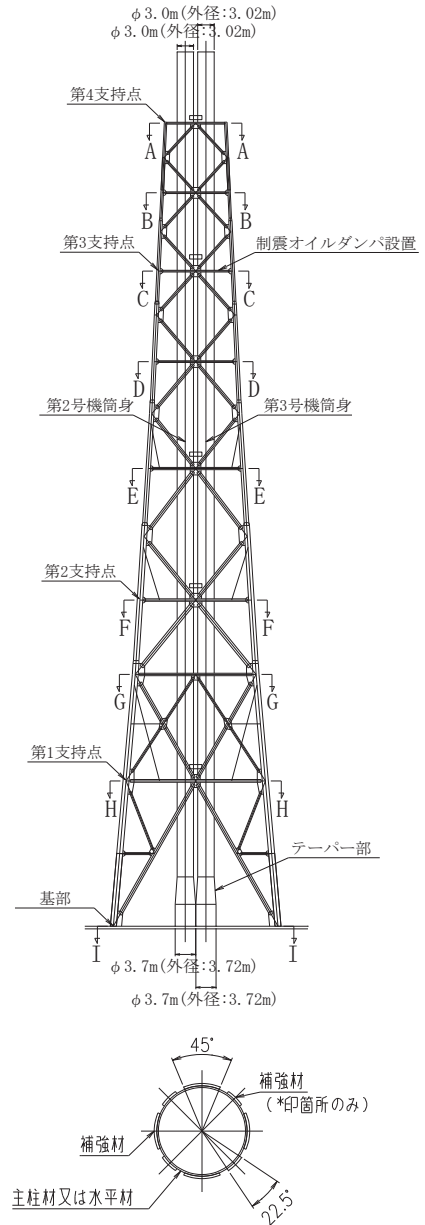
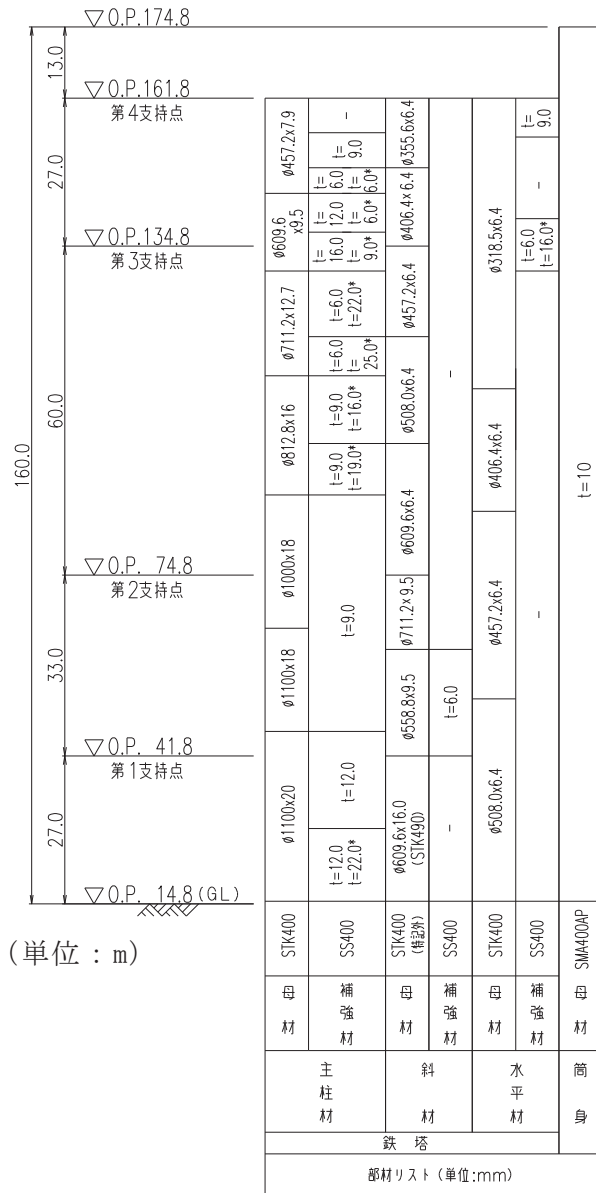
○モデル化範囲, 対象部材

- ・排気筒基礎上端レベル (O.P. 15.3m) より上部の範囲
- ・筒身部, 鉄塔部 (主柱材, 斜材, 水平材), 制震装置 (制震オイルダンパ)

○使用要素

- ・はり要素 : 筒身部, 鉄塔部 (主柱材, 水平材, 斜材)
- ・ばね要素 : 制震装置 (制震オイルダンパ\*), 支持点 (筒身, 鉄塔の支持金物)

注記\* : 制震オイルダンパは, ばね要素とダッシュポットを直列し, モデル化している。



モデル化範囲

表 2-1(2) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

モデル概要 (2/2)

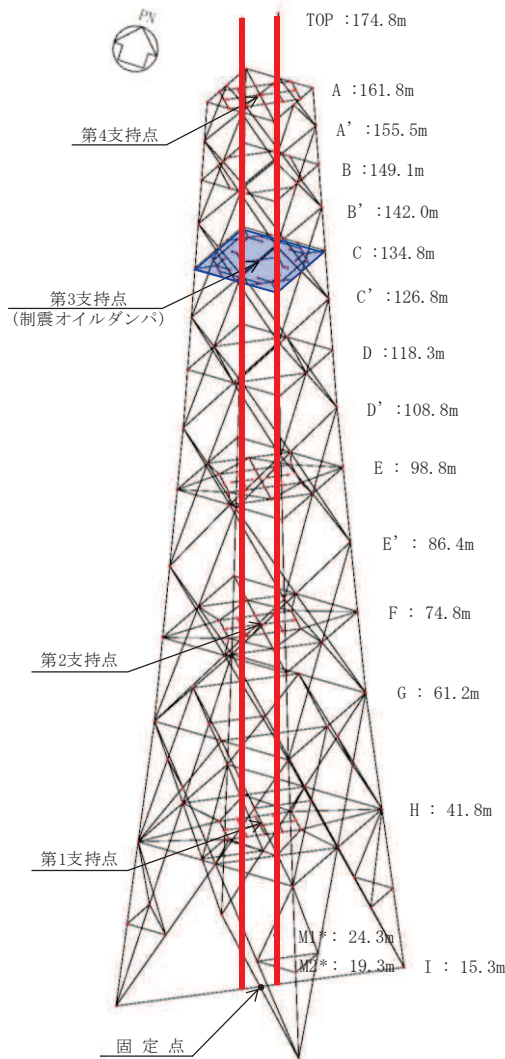
○要素分割

- ・ 鉄塔部はトラス構造であり, 部材交点ごとに要素を分割する。

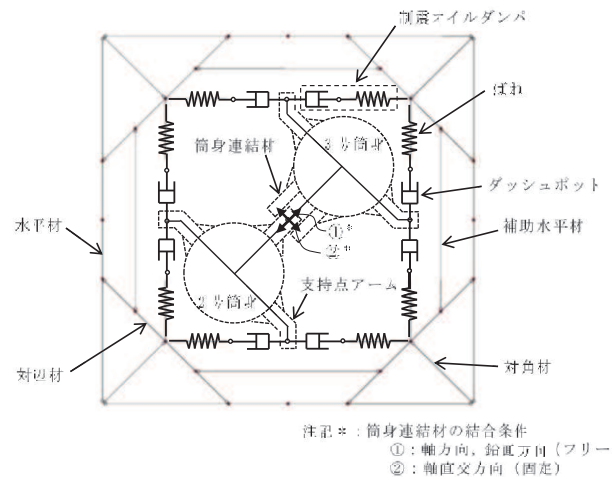
○解析モデルの使い分け

- ・ 動的地震荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた地震応答解析により, 各部材の応力  
が出力される。この応力を用いて, 各部材について断面算定を実施  
する。
- ・ 風荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた静的応力解析により, 各部材の応力  
が出力される。この応力を用いて, 荷重の組合せを行う。このと  
き, 制震装置 (制震オイルダンパ) は考慮しないものとして設定し  
た。

- : 筒身部
- : 鉄塔部
- : 制震装置 (オイルダンパ) (計8台)



解析モデル



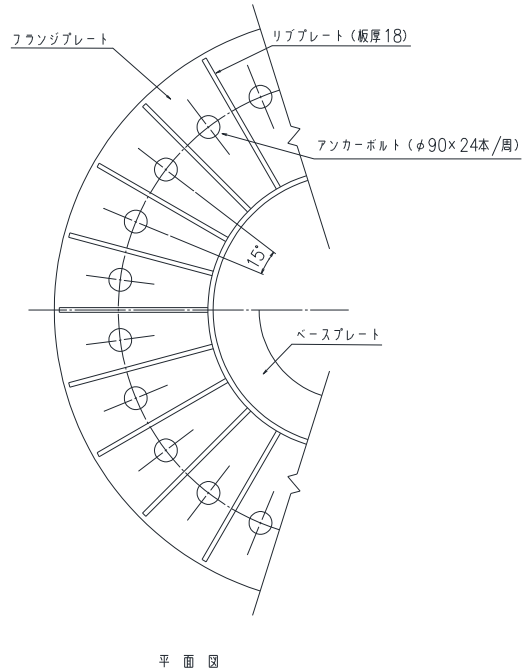
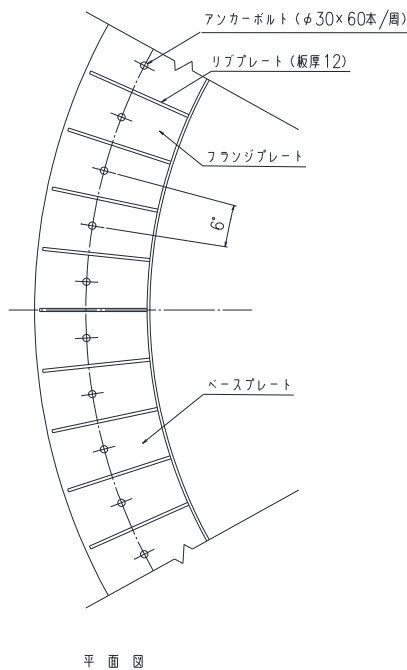
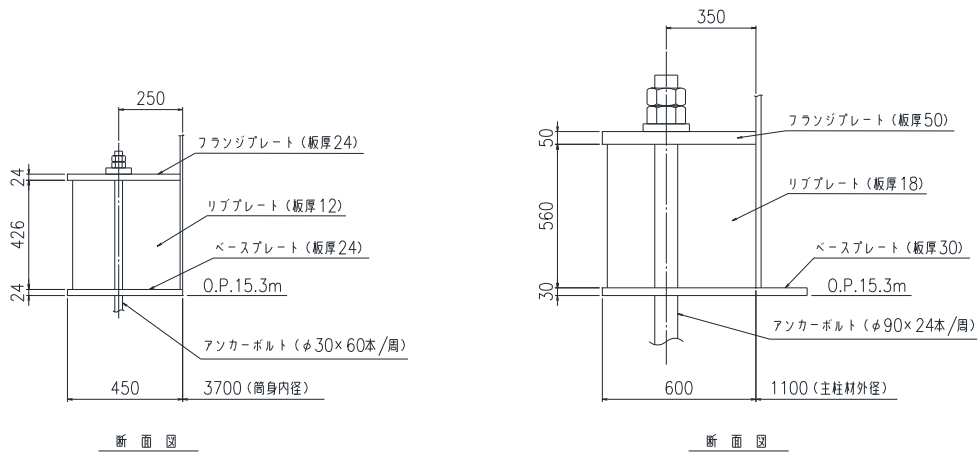
平面図 (O. P. 134.8m)

表 2-1(3) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

境界条件, 拘束条件 (1/2)

○排気筒基礎上端と排気筒の境界 (O.P. 15.3m)

- ・筒身脚部及び鉄塔脚部は基礎 (鉄塔柱及び筒身柱) とアンカーボルトで一体化しているため, 完全固定とする。



排気筒基礎と排気筒の境界

表 2-1(4) 排気筒のモデル化，境界条件及び拘束条件

境界条件，拘束条件 (2/2)	
○部材の部材の接合条件	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主柱材－主柱材：剛接合</li> <li>・ 主柱材－斜材：ピン接合</li> <li>・ 主柱材－水平材：ピン接合</li> <li>・ 筒身－鉄塔の支持点*：水平方向固定，鉛直方向フリー</li> </ul>	
<p>注記*：制震オイルダンパ設置支持点を除く。</p>	
荷重の入力方法	
・ 鉛直荷重	：鉛直荷重は排気筒の自重を入力する。
・ 静的地震荷重	：静的地震力は，地震層せん断力係数を用いて算出する。
・ 動的地震荷重	：排気筒基礎の地震応答解析から得られる排気筒基礎上端レベル（O.P. 15.3m）における応答値を入力地震動とし，排気筒の基礎を固定として入力する。
・ 風荷重	：解析モデルにおける鉄塔部及び筒身部の質点位置に対し，風荷重を分配し載荷する。

別紙 3 排気筒の地震応答解析における地盤物性，材料物性  
及び水平方向の位相反転の不確かさに関する検討

## 目次

1. 概要	別紙 3-1
1.1 検討概要	別紙 3-1
1.2 検討方針	別紙 3-1
2. 排気筒の入力地震動に対する排気筒基礎の応答の不確かさ影響	別紙 3-2
2.1 排気筒基礎の地盤物性，材料物性のばらつき及び水平方向の位相反転の影響検討	別紙 3-2
2.2 排気筒基礎の地盤物性及び材料物性のばらつき選定結果	別紙 3-3
2.3 水平方向の位相反転の影響検討	別紙 3-81
3. 排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性，材料物性の不確かさ及び水平動反転の影響検討	別紙 3-105
3.1 排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース	別紙 3-105
3.2 排気筒の耐震評価における不確かさ検討に用いる地震動の選定	別紙 3-107
3.3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	別紙 3-114

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料では、排気筒の地震応答解析における排気筒基礎の地盤物性、材料物性、排気筒の材料物性の不確かさ及び入力地震動の水平方向の位相反転の影響について説明するものである。

本資料では、地盤物性、材料物性の不確かさを考慮した排気筒基礎の応答を用いた排気筒の地震応答解析、及び排気筒の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析を行い、各不確かさが排気筒の耐震性に及ぼす影響について確認する。また、水平方向の位相を反転させた入力地震動に対して排気筒基礎の地震応答解析を行い、排気筒の耐震性に及ぼす影響について確認する。

### 1.2 検討方針

添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」では、排気筒基礎の応答の不確かさを考慮するため、入力地震動には、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した排気筒基礎の地震応答解析結果から得られる基礎上端レベル (O.P. 15.3m) における応答を用いている。

そのため、本検討における排気筒基礎の不確かさ及びその変動幅は、「排気筒基礎の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」のうち、別紙 3「排気筒基礎の地震応答解析における地盤物性及び材料物性の不確かさに関する検討」に準拠し、排気筒の地震応答解析モデルに対しては排気筒基礎における不確かさを考慮する。

また、排気筒基礎の不確かさは、地盤物性及び材料物性のばらつきがあり、排気筒に対する影響の程度を確認し、不確かさを考慮する物性を選定する。

上記により選定した排気筒基礎の不確かさに加えて、排気筒の不確かさとして制震オイルダンパのばらつきを考慮する。

排気筒の不確かさを考慮した検討は、基本ケースにおける排気筒の評価結果を確認したうえで、排気筒の評価結果への影響が大きい波に対して実施する。

なお、各解析の方法及び諸元については、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」と同一である。



2. 排気筒の入力地震動に対する排気筒基礎の応答の不確かさ影響

2.1 排気筒基礎の地盤物性，材料物性のばらつき及び水平方向の位相反転の影響検討

排気筒基礎の不確かさ検討ケースを表 2-1 に示す。

地盤物性のばらつきについて，排気筒基礎は，岩盤上に直接構築され，基礎の質量が大きく，作用する慣性力が主たる荷重となる他，盛土等の土圧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（ケース②，ケース③）。

材料物性のばらつきについて，コンクリートの実強度及び初期剛性低下を考慮したばらつきを考慮する（ケース④，ケース⑤）。

水平方向の位相反転を考慮する（ケース⑥）。

表 2-1 排気筒基礎の解析ケース

解析ケース	地震動 (位相)	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 <sub>L</sub> 級岩盤，C <sub>M</sub> 級岩盤， C <sub>H</sub> 級岩盤，B級岩盤 (G: せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	++* <sup>1</sup>	設計基準強度	平均値
ケース②	++* <sup>1</sup>	設計基準強度	平均値 + 1σ
ケース③	++* <sup>1</sup>	設計基準強度	平均値 - 1σ
ケース④	++* <sup>1</sup>	実強度に基づく 圧縮強度* <sup>2</sup>	平均値
ケース⑤	++* <sup>1</sup>	設計基準強度 × 0.75* <sup>2</sup>	平均値
ケース⑥	-+* <sup>1</sup>	設計基準強度	平均値

注記\*1: 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。

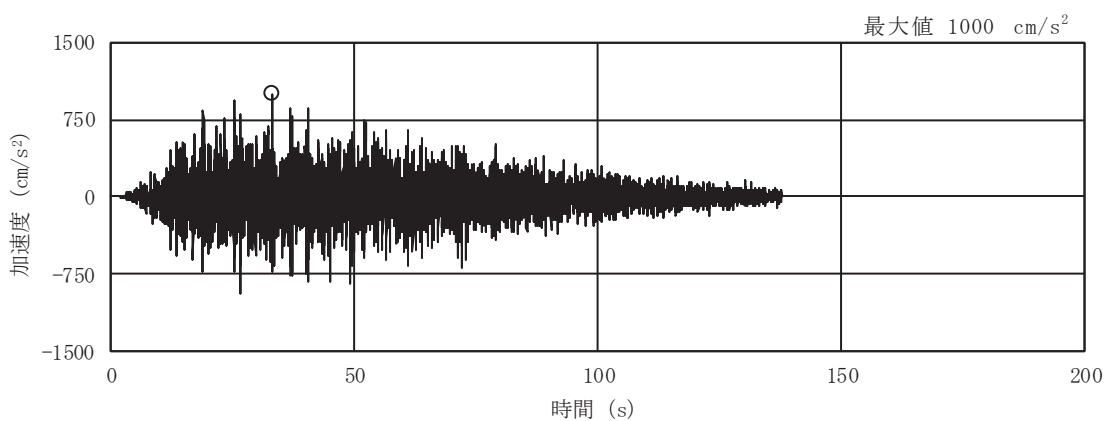
\*2: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

\*3: 原子炉建屋の剛性低下率のうち特異的なオペフロの値を除いた中で最大となる NS 方向の剛性低下率を設定する。

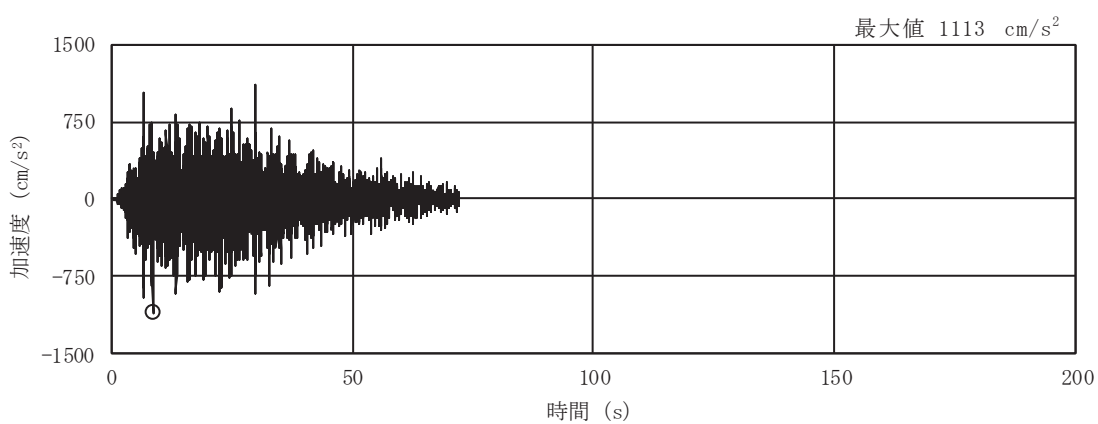
## 2.2 排気筒基礎の地盤物性及び材料物性のばらつき選定結果

地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した排気筒基礎の地震応答解析結果から得られる基礎上端レベル（O. P. 15. 3m）における加速度時刻歴波形を図 2-1～図 2-4 に示す。また、基準地震動 S s 7 波を包絡した応答スペクトルを図 2-5 に、応答スペクトルの比較結果を表 2-2 に示す。応答スペクトルに記載の 1 次モード～5 次モードの線は、排気筒の主要モードにおける固有周期を示す。

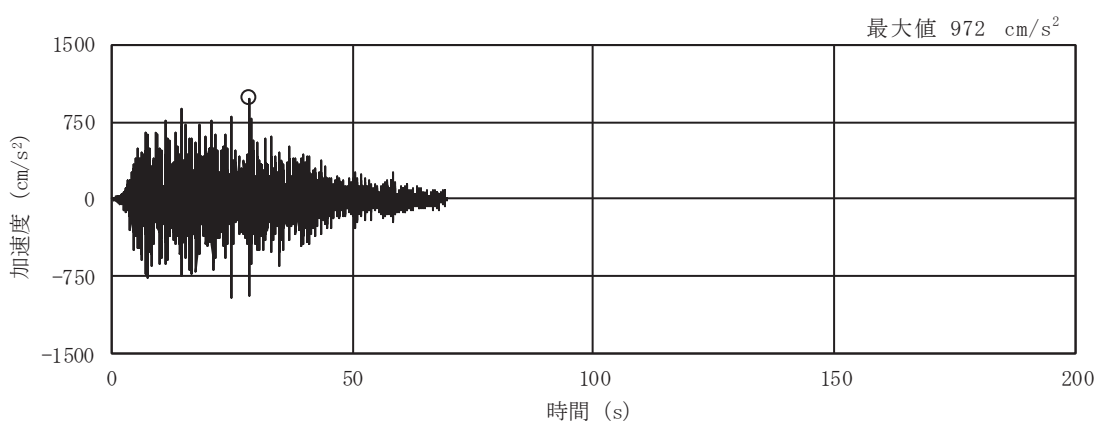
排気筒の評価において影響の大きい並進成分を示す、表 2-2(1)及び表 2-2(2)において、基本ケースに対しケース②の応答が小さくなり（ケース①>ケース④>ケース②）、基本ケースに対しケース③の応答が大きくなる（ケース③>ケース⑤>ケース①）。そのため、排気筒の耐震評価に用いる入力地震動に対する排気筒基礎の応答の不確かさは、ケース②及びケース③を用いて実施することとし、評価結果を 3 章に示す。



(a) S s - D 1

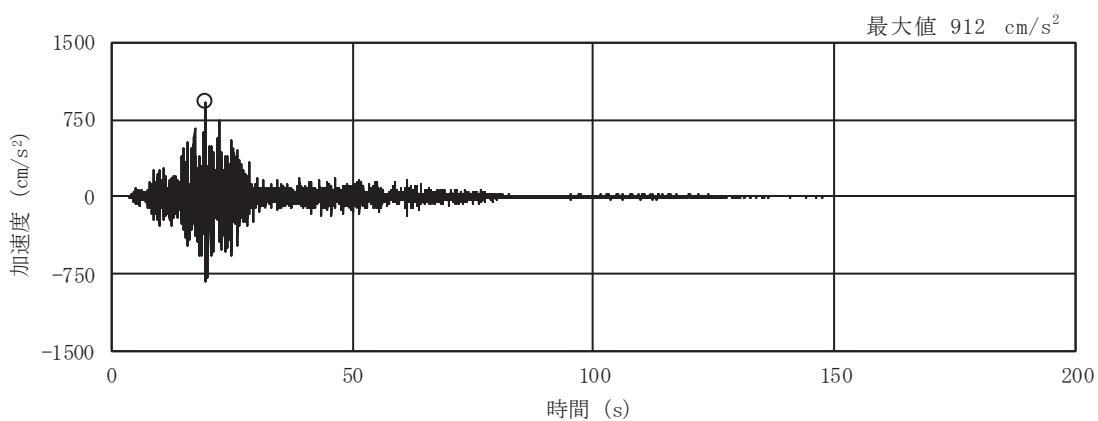


(b) S s - D 2

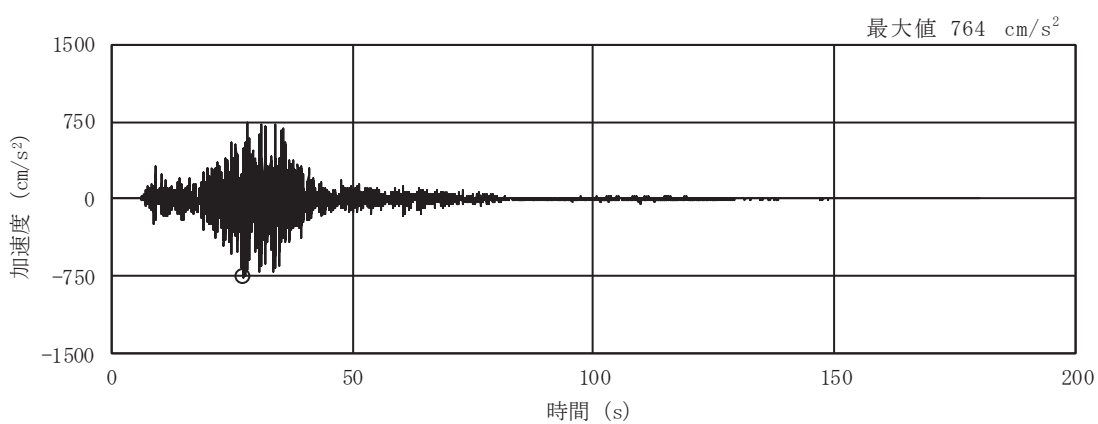


(c) S s - D 3

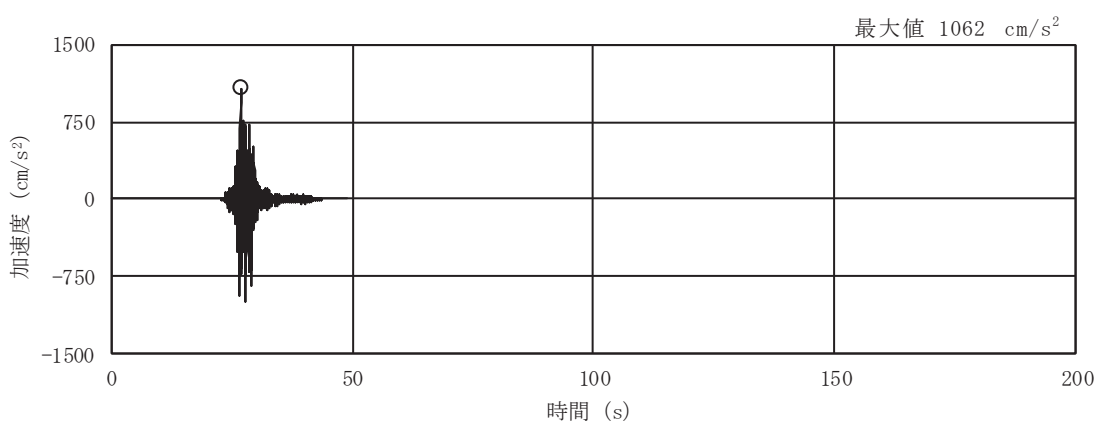
図 2-1(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

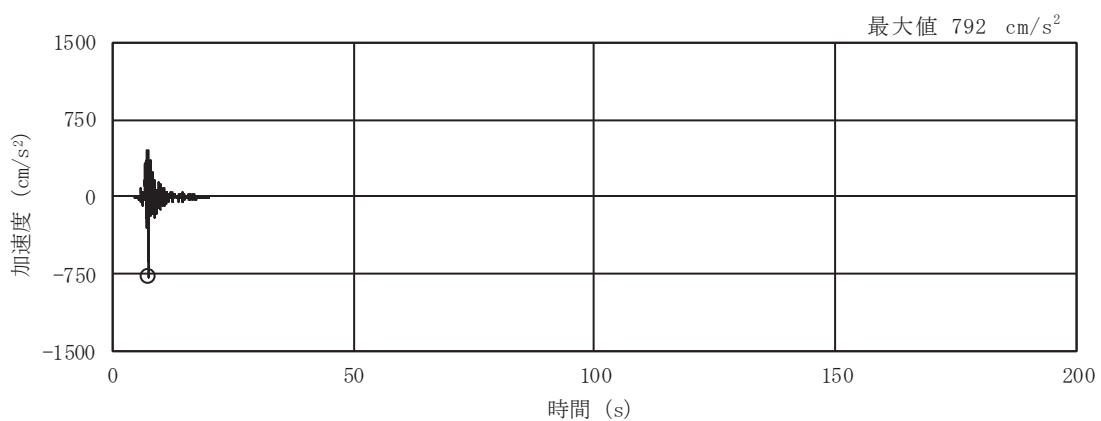


(e) S s - F 2



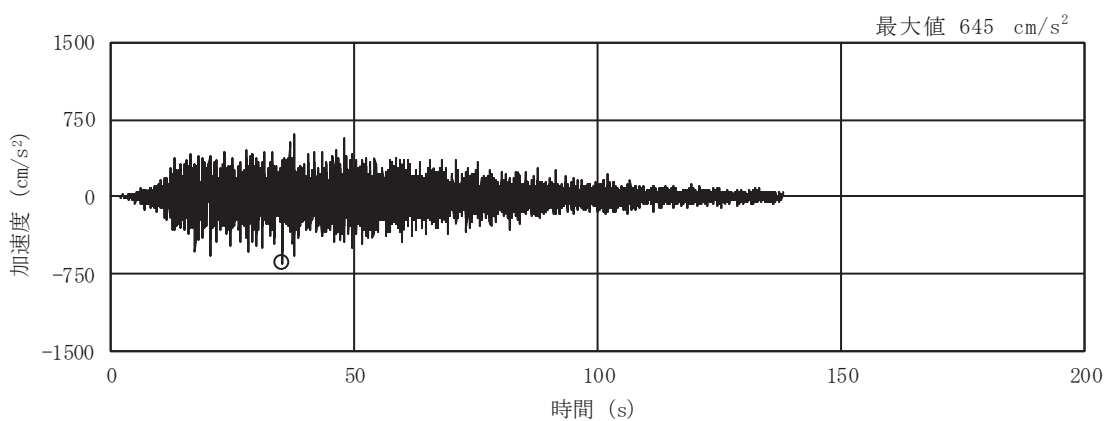
(f) S s - F 3

図 2-1(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 並進成分) (2/3)

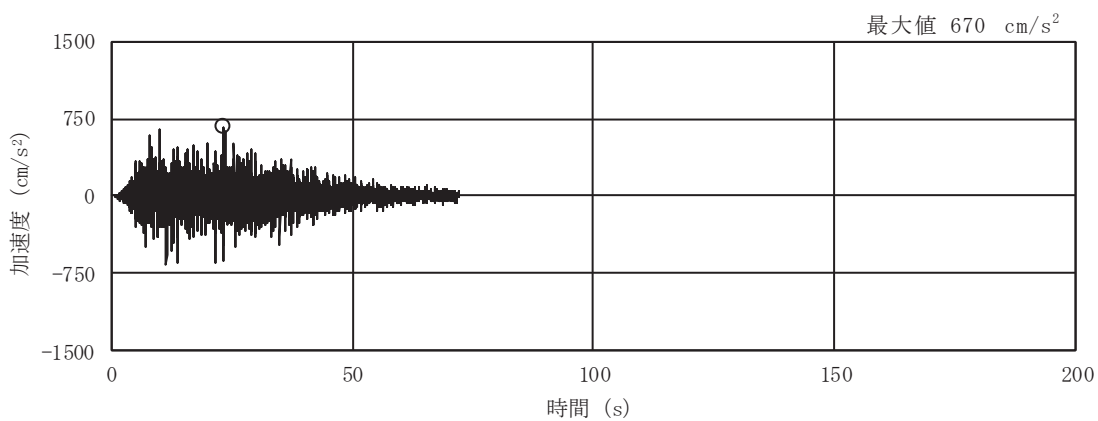


(g) S s - N 1

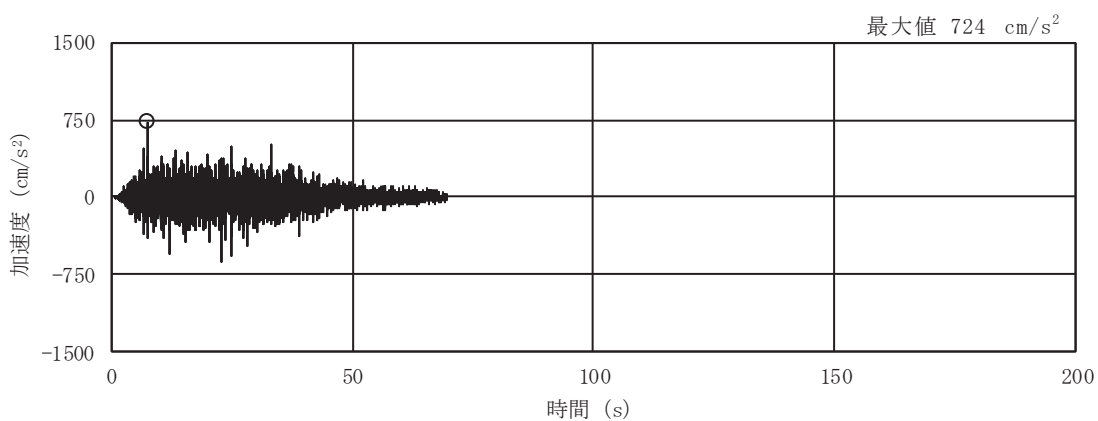
図 2-1(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース②, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

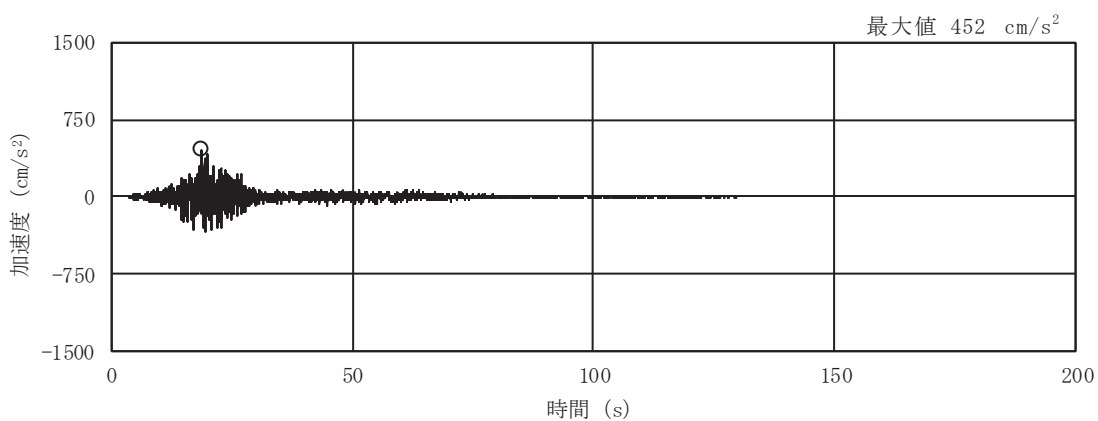


(b) S s - D 2

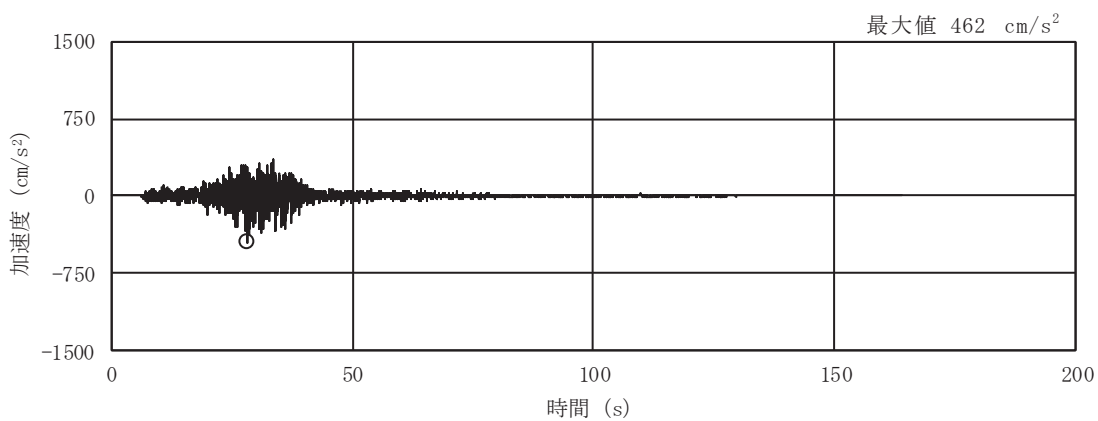


(c) S s - D 3

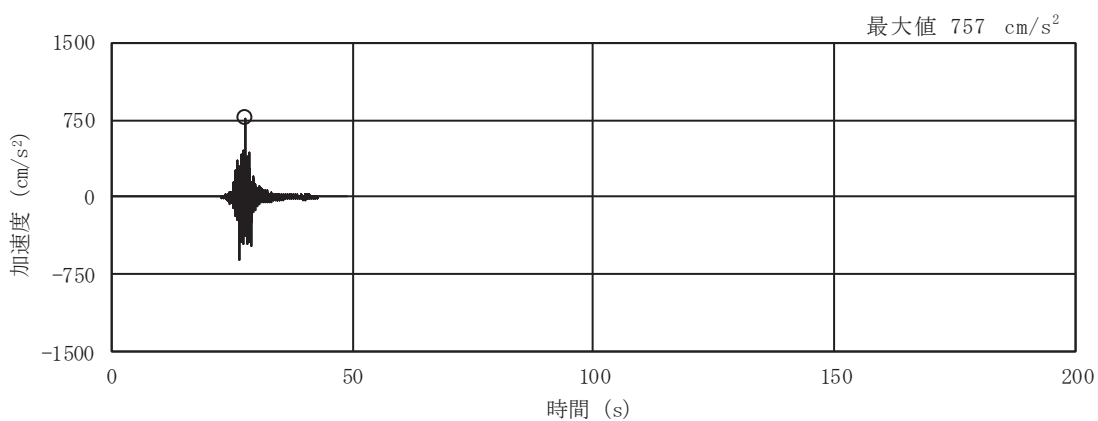
図 2-1(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

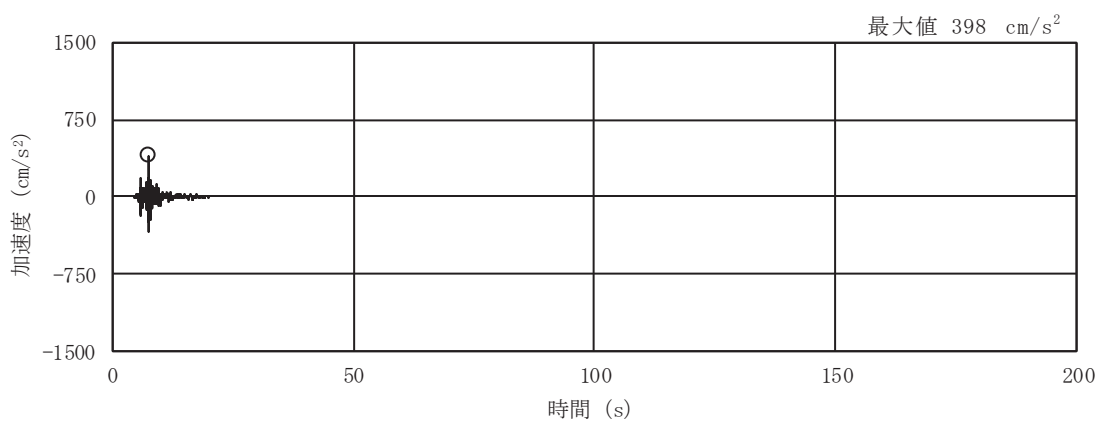


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

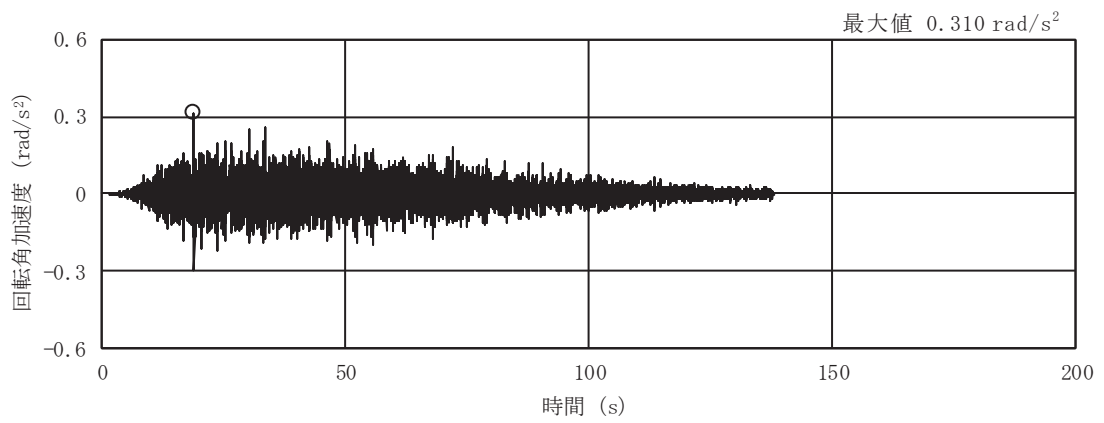
図 2-1(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 鉛直成分) (2/3)



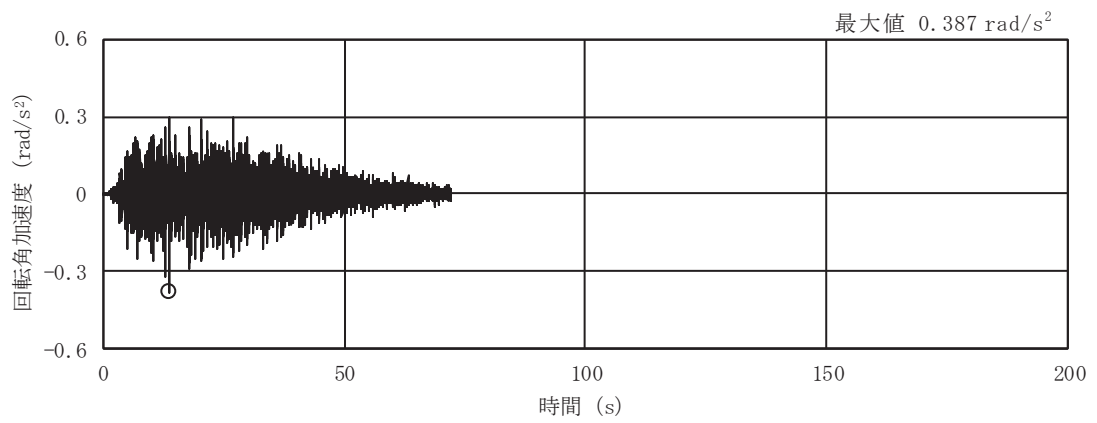
(g) S s - N 1

図 2-1(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース②, NS 断面 鉛直成分) (3/3)

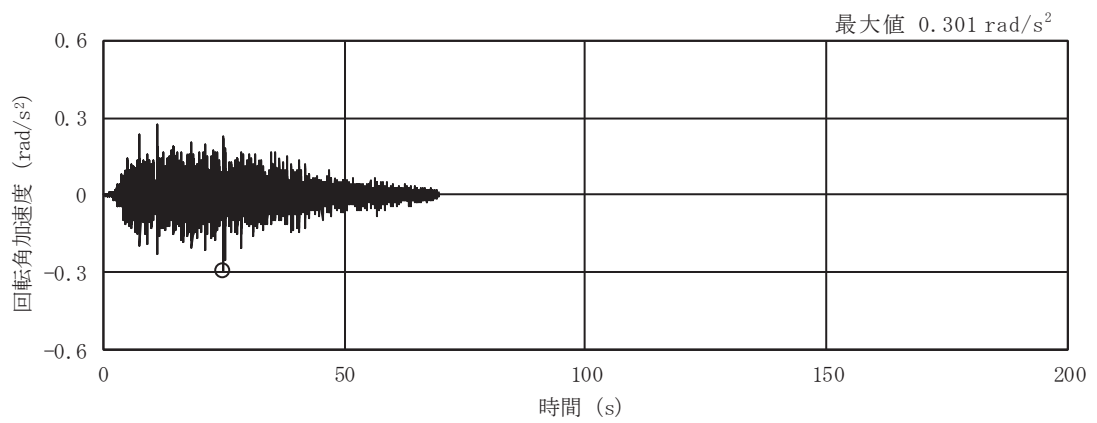




(a) S s - D 1

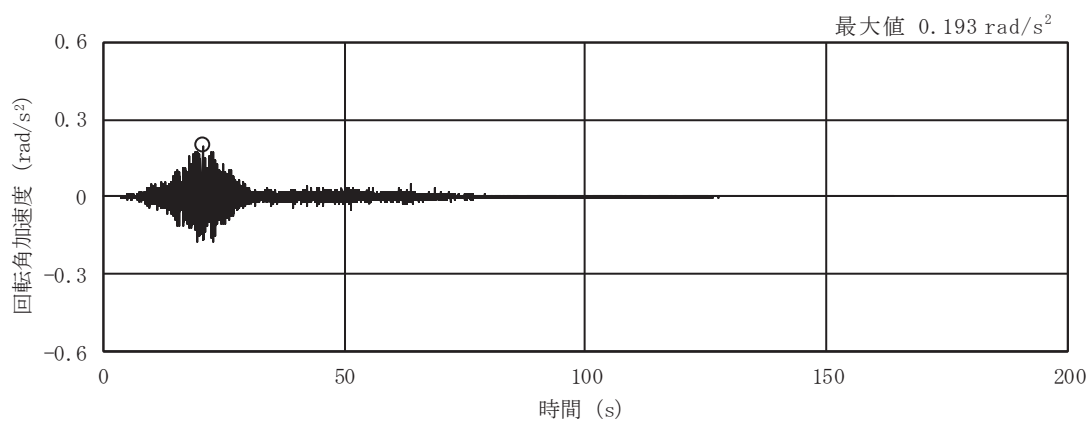


(b) S s - D 2

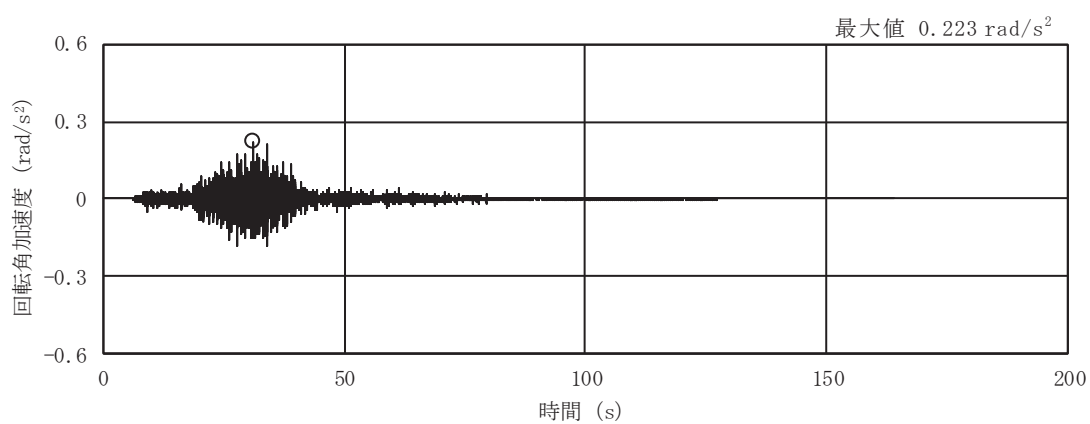


(c) S s - D 3

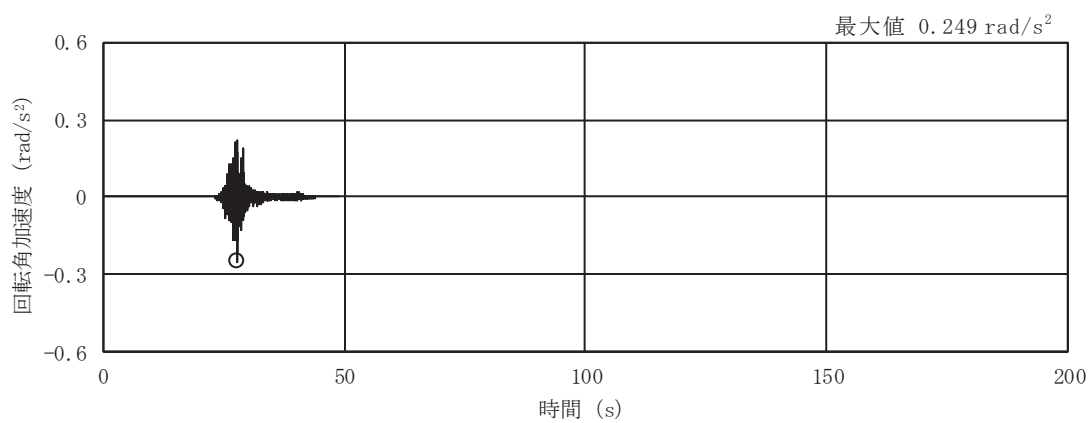
図 2-1(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

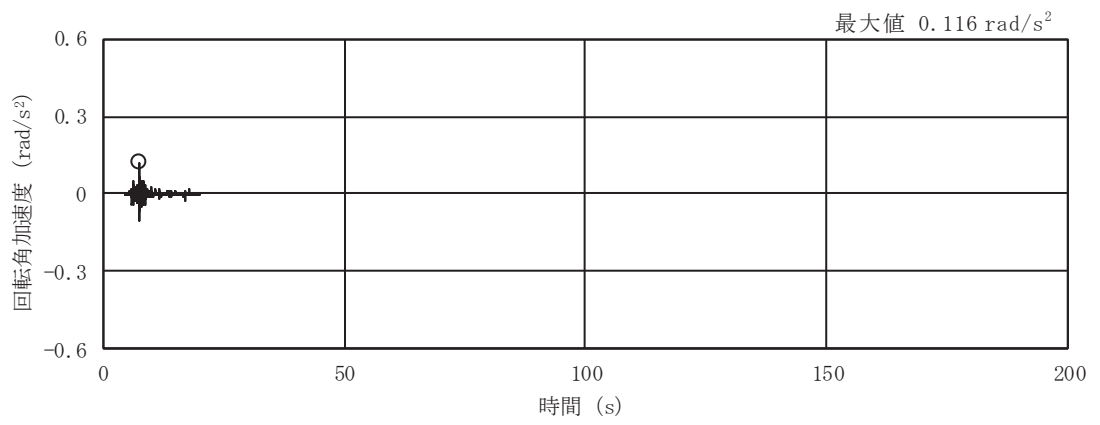


(e) S s - F 2



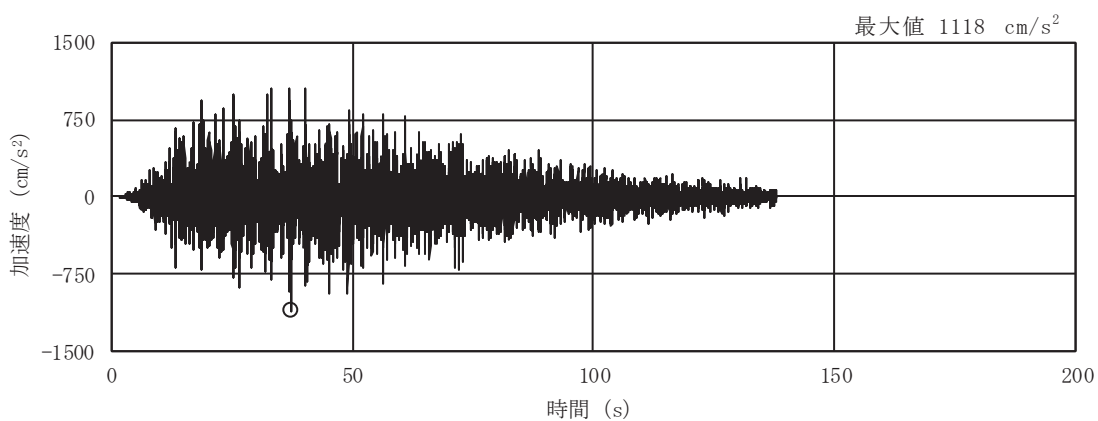
(f) S s - F 3

図 2-1(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 回転成分) (2/3)

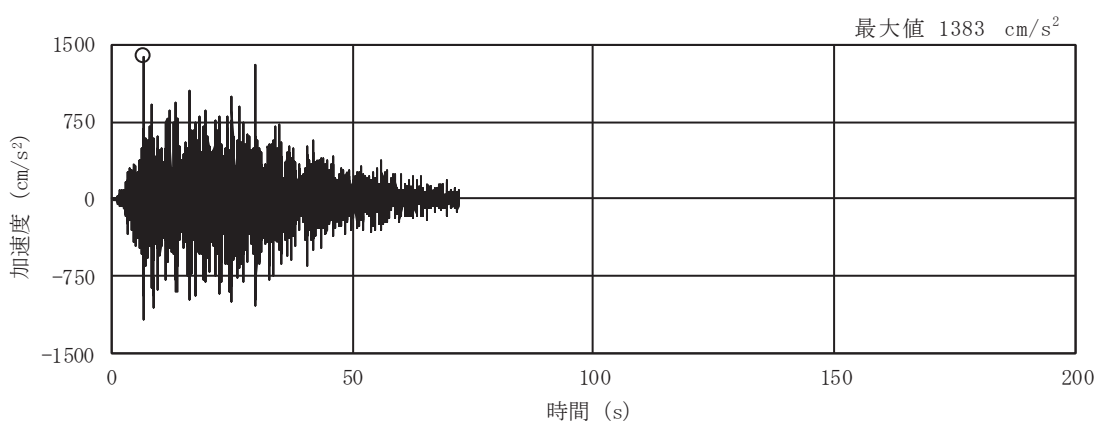


(g) S s - N 1

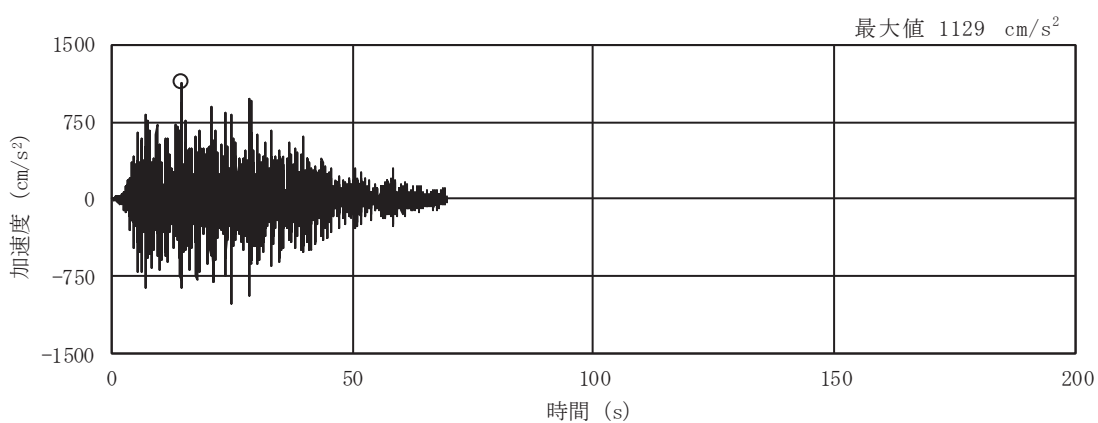
図 2-1(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース②, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

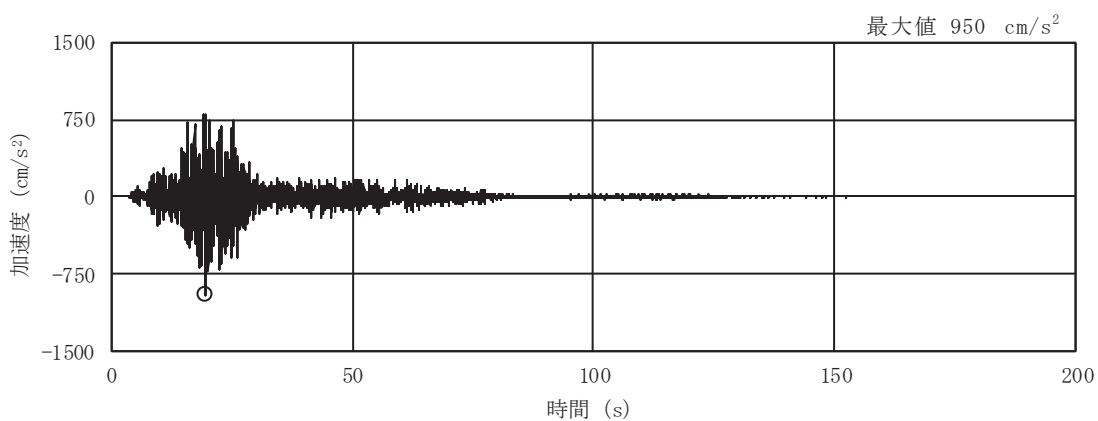


(b) S s - D 2

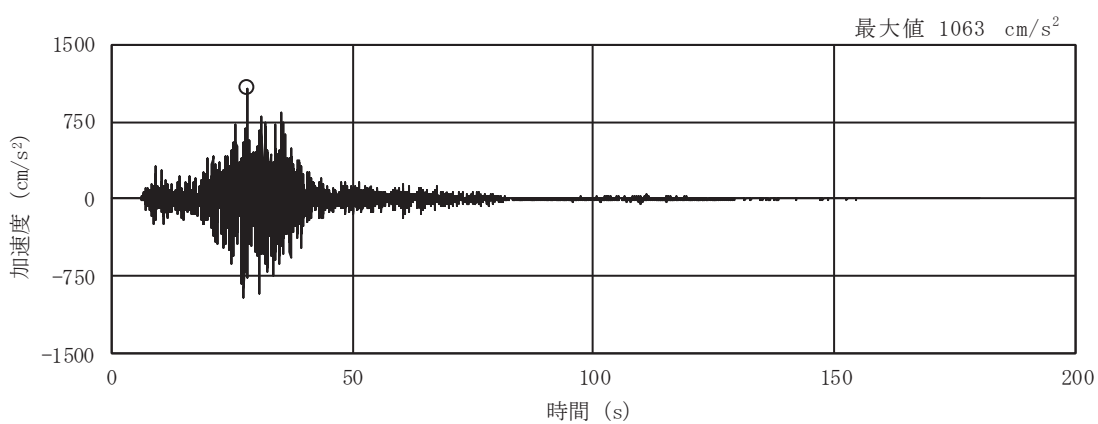


(c) S s - D 3

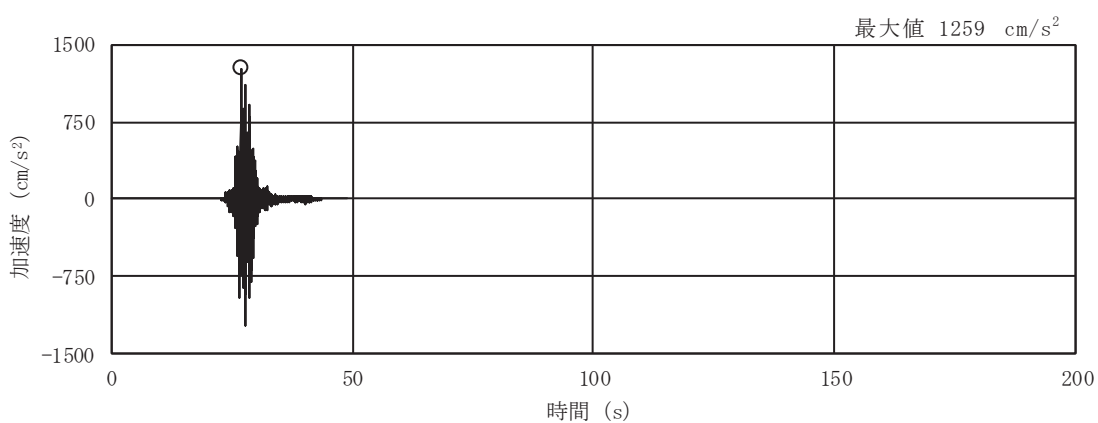
図 2-1(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

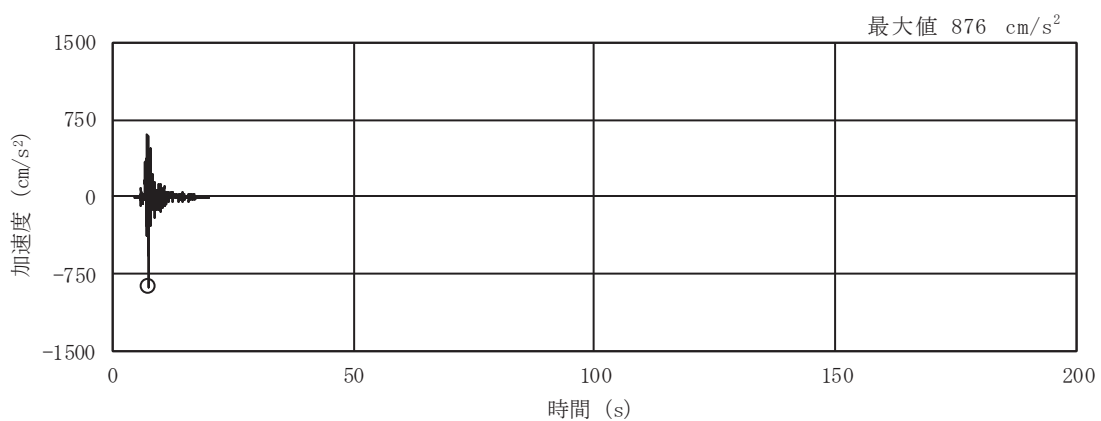


(e) S s - F 2



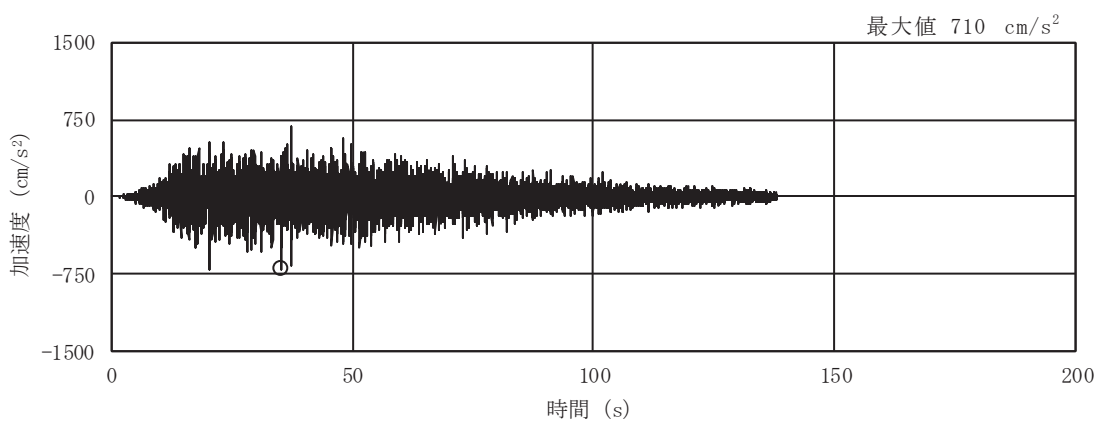
(f) S s - F 3

図 2-1(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 並進成分) (2/3)

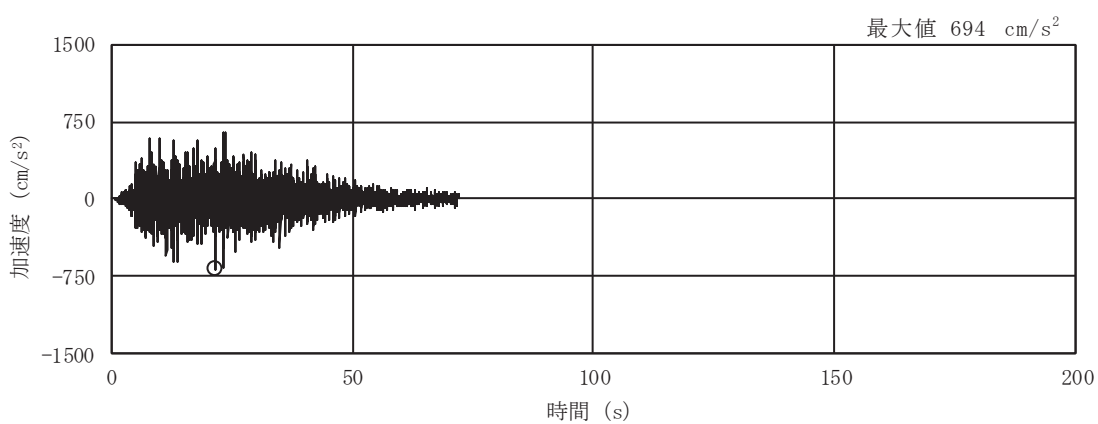


(g) S s - N 1

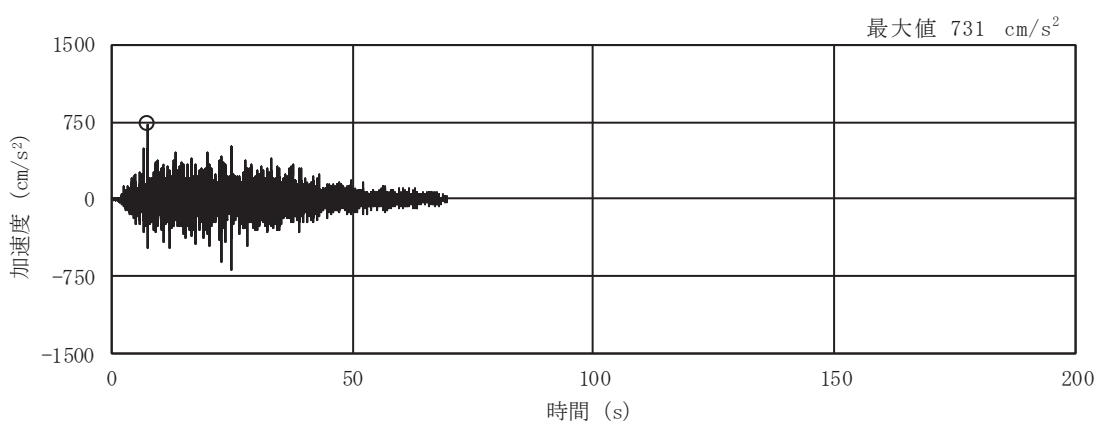
図 2-1(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

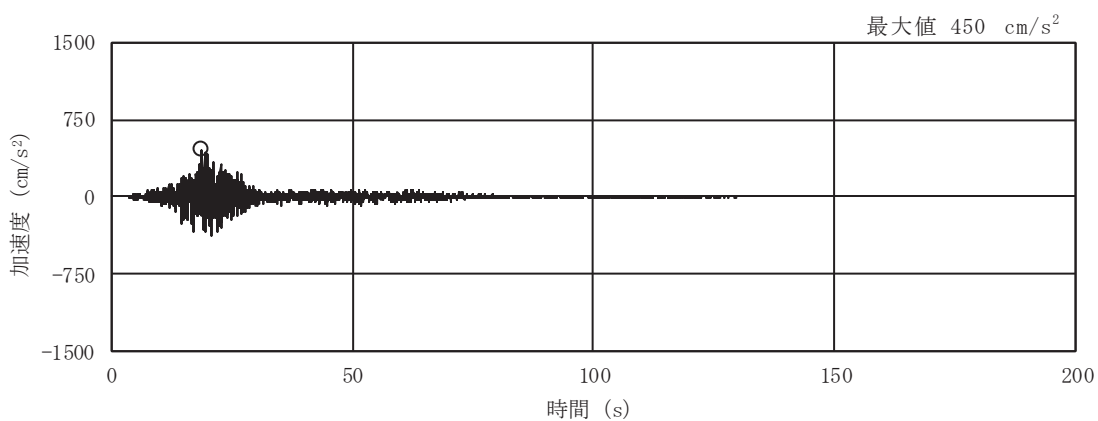


(b) S s - D 2

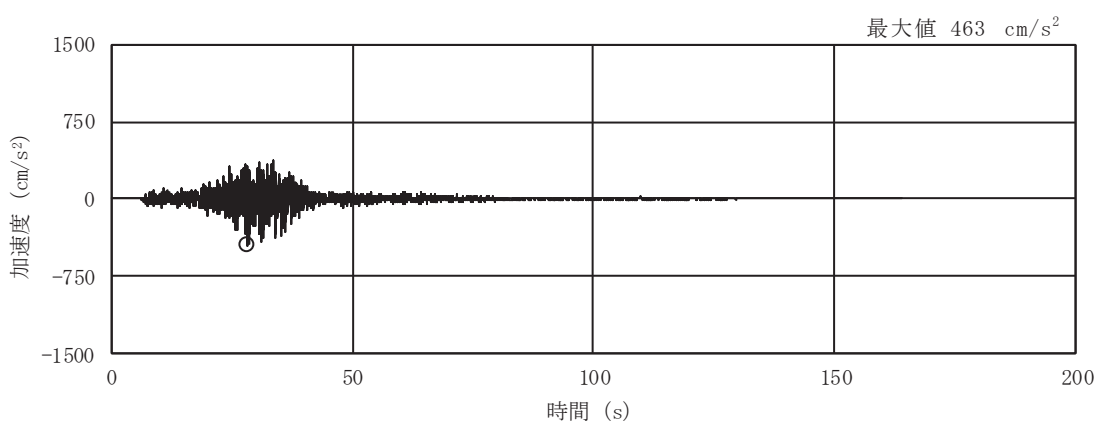


(c) S s - D 3

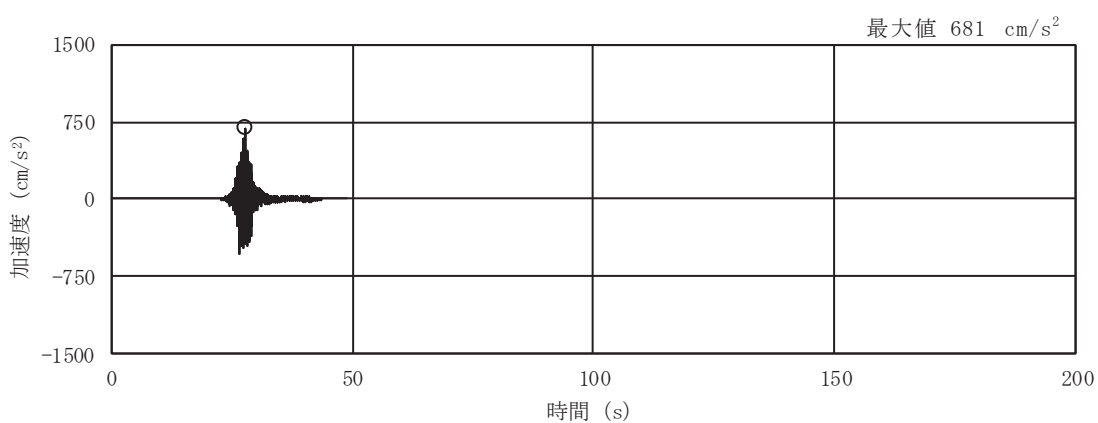
図 2-1(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1



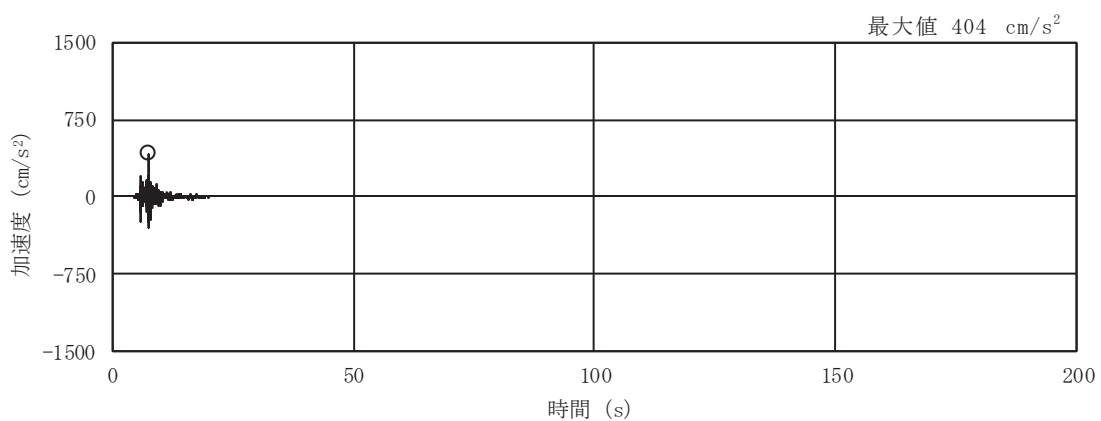
(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

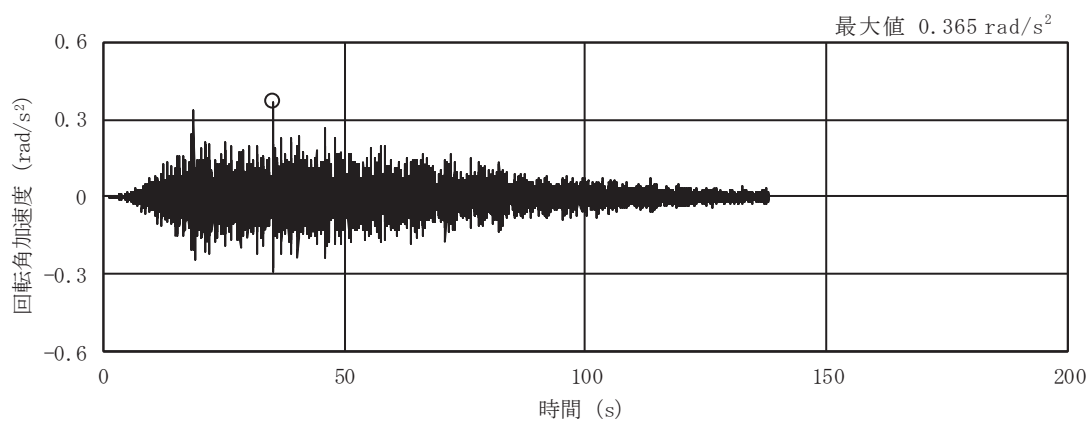
図 2-1(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 鉛直成分) (2/3)



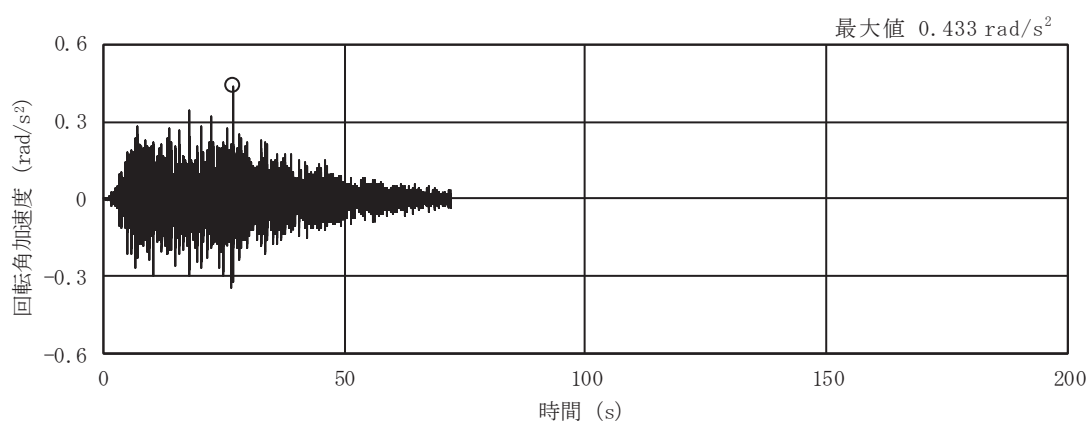


(g) S s - N 1

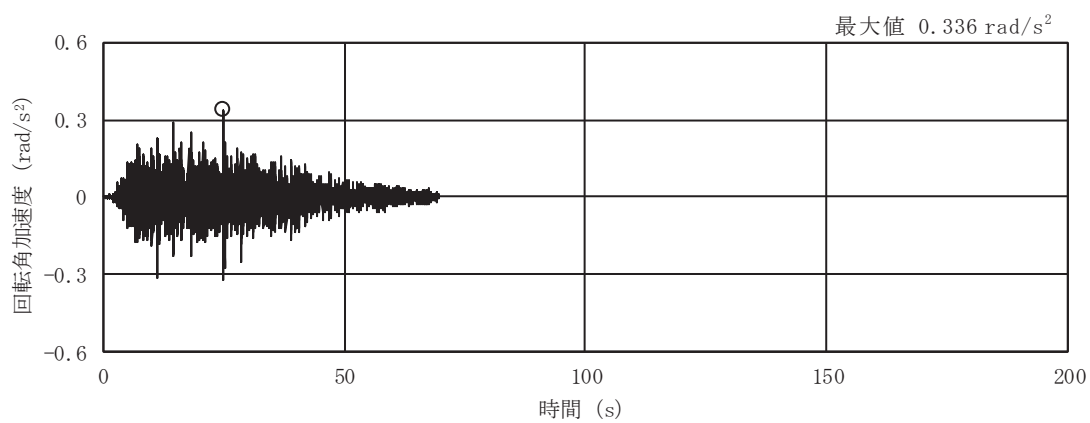
図 2-1(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース②, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

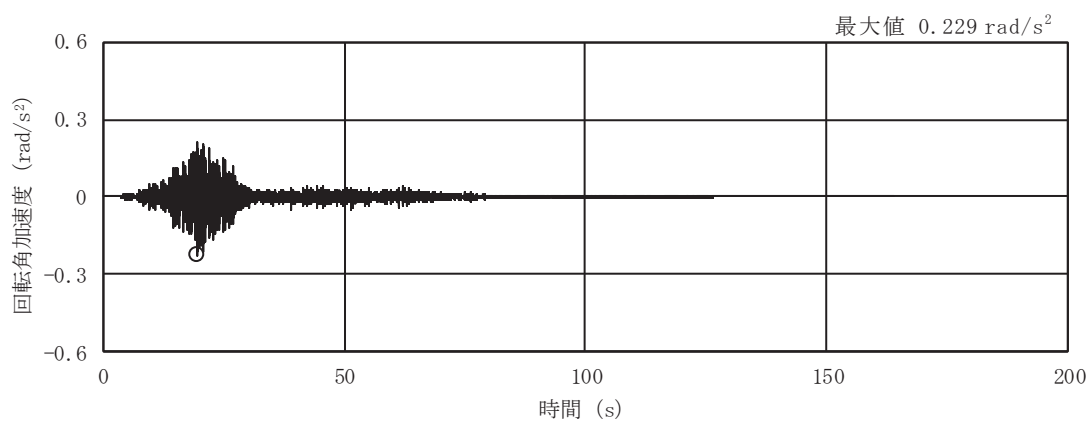


(b) S s - D 2

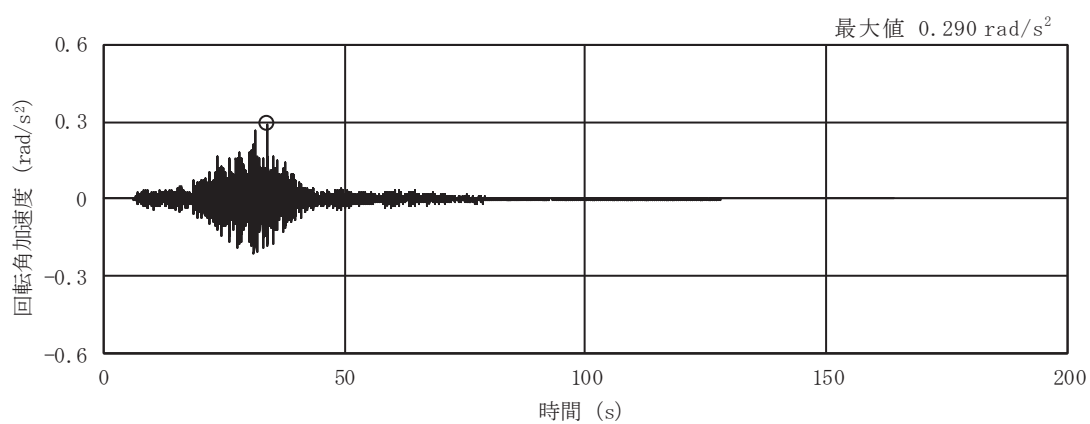


(c) S s - D 3

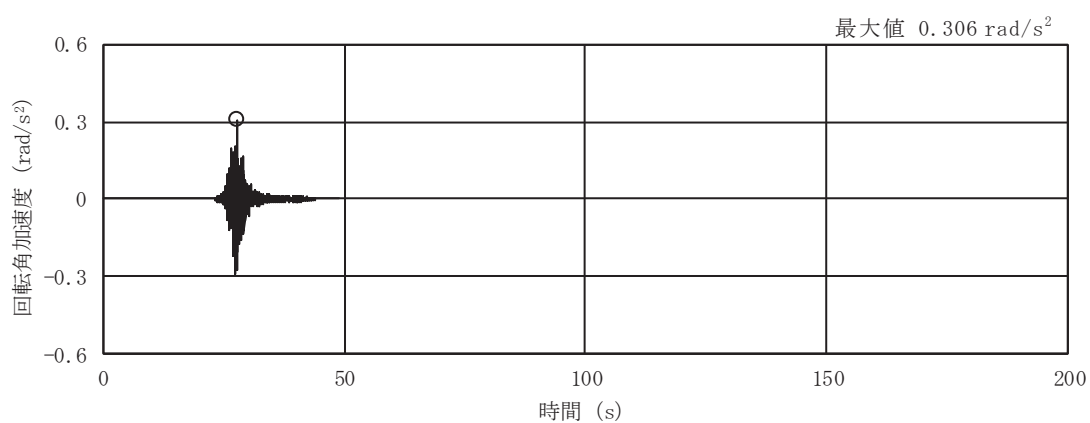
図 2-1(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

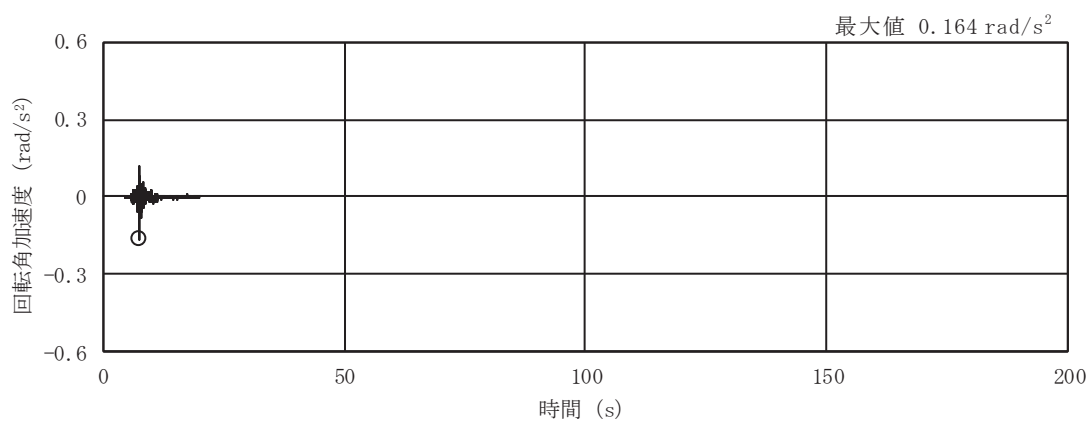


(e) S s - F 2



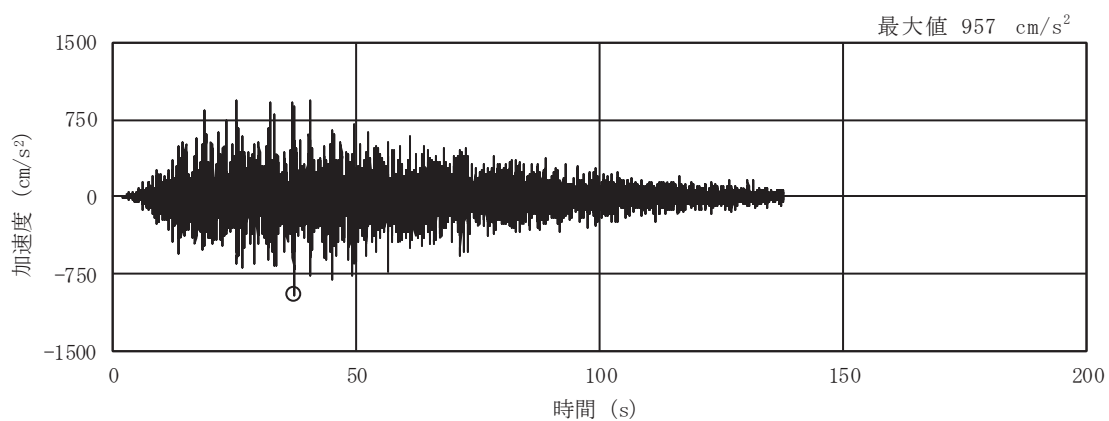
(f) S s - F 3

図 2-1(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 回転成分) (2/3)

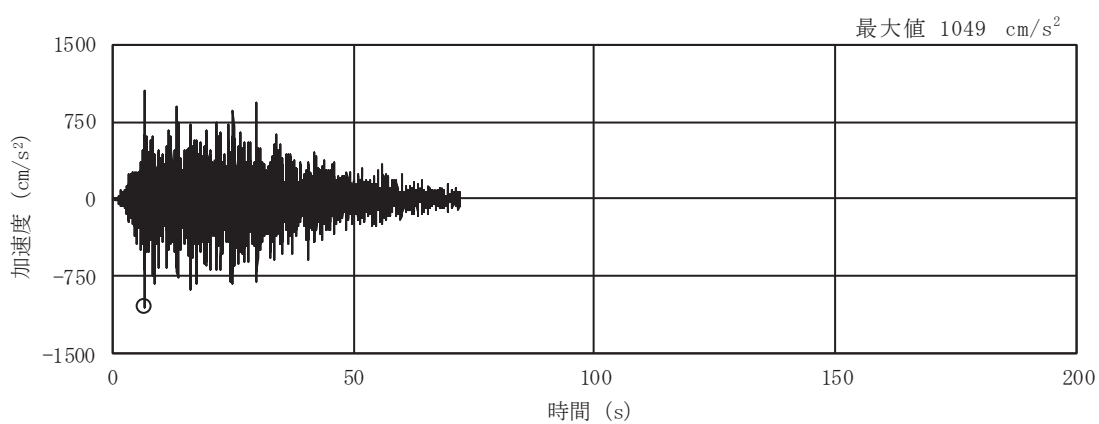


(g) S s - N 1

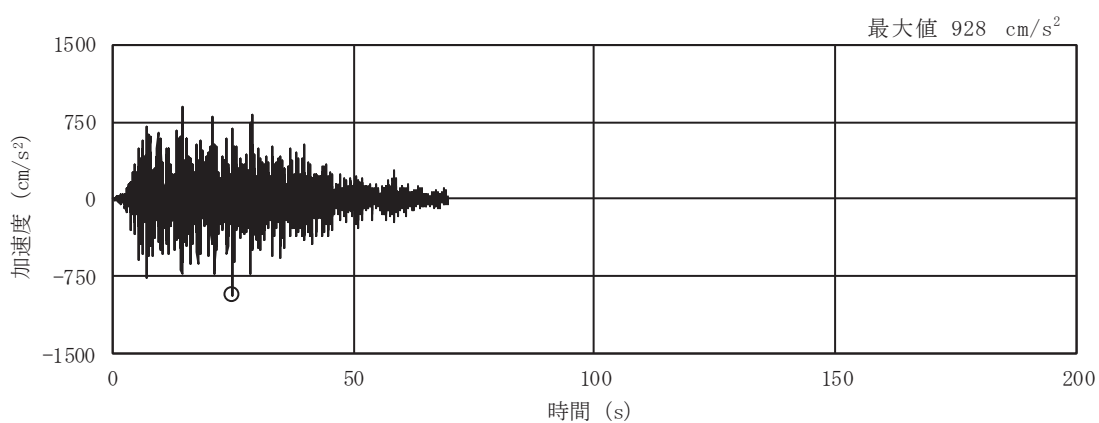
図 2-1(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース②, EW 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

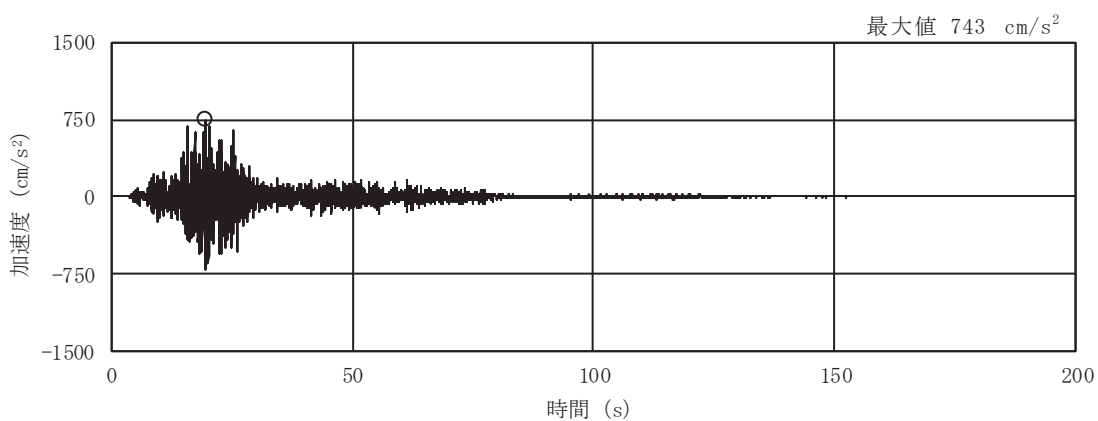


(b) S s - D 2

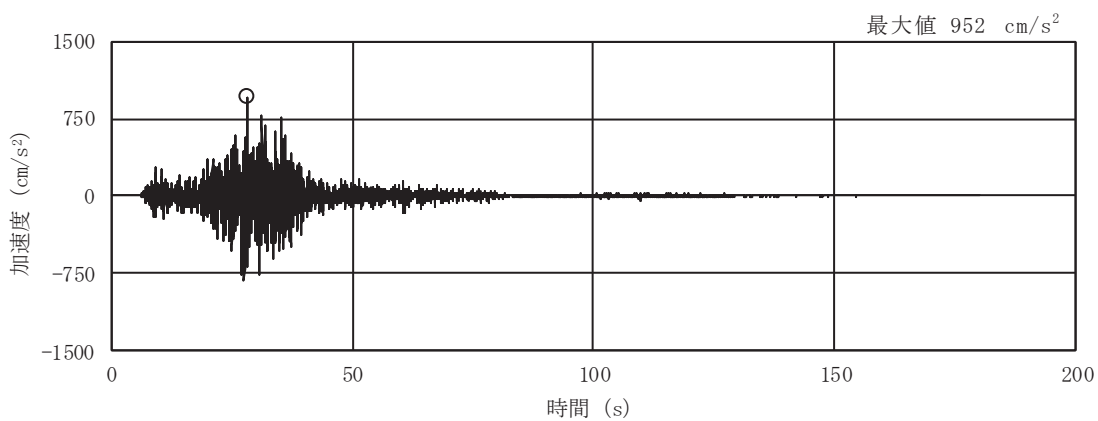


(c) S s - D 3

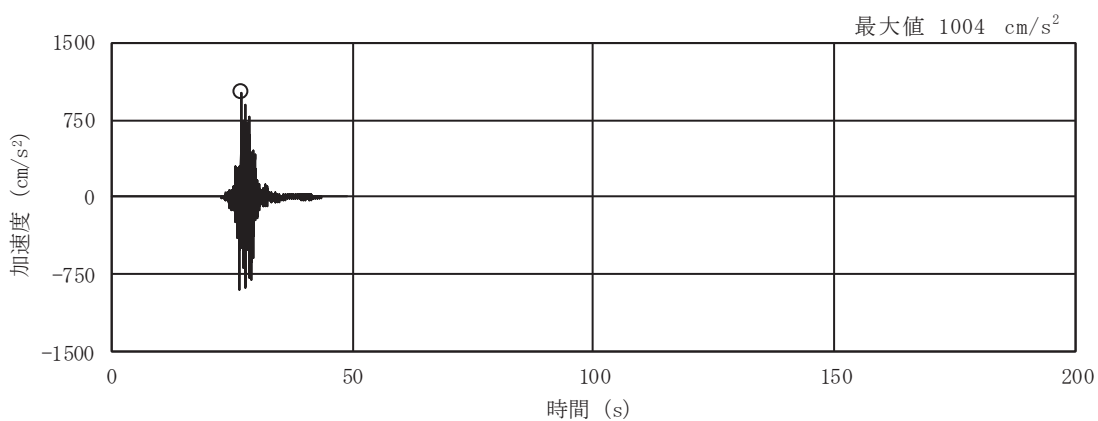
図 2-2(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

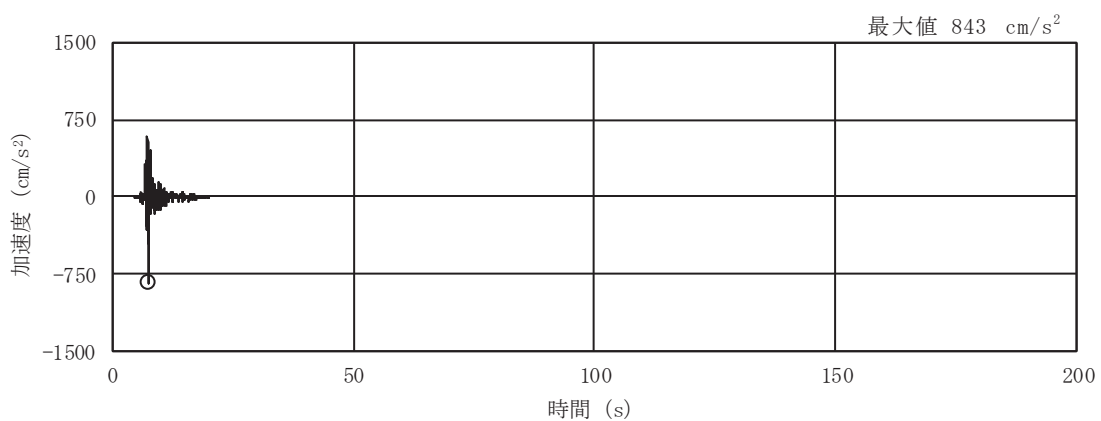


(e) S s - F 2



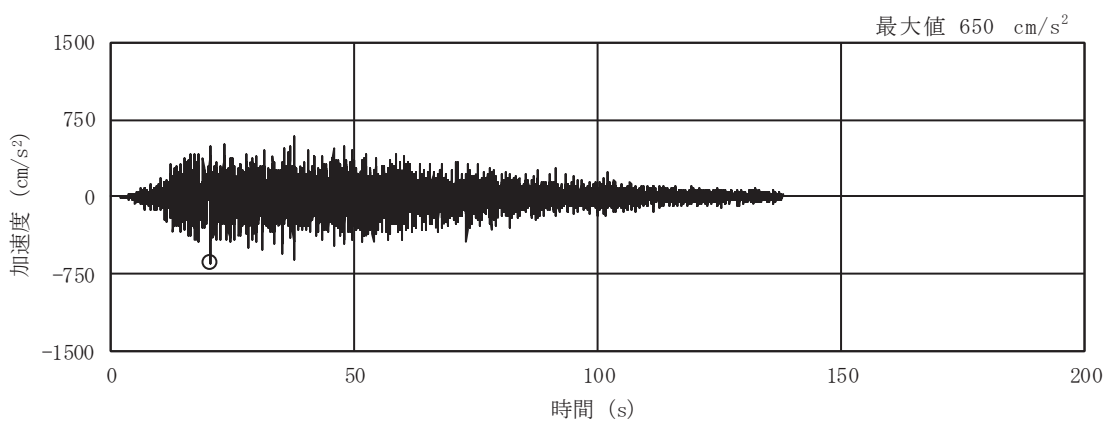
(f) S s - F 3

図 2-2(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 並進成分) (2/3)

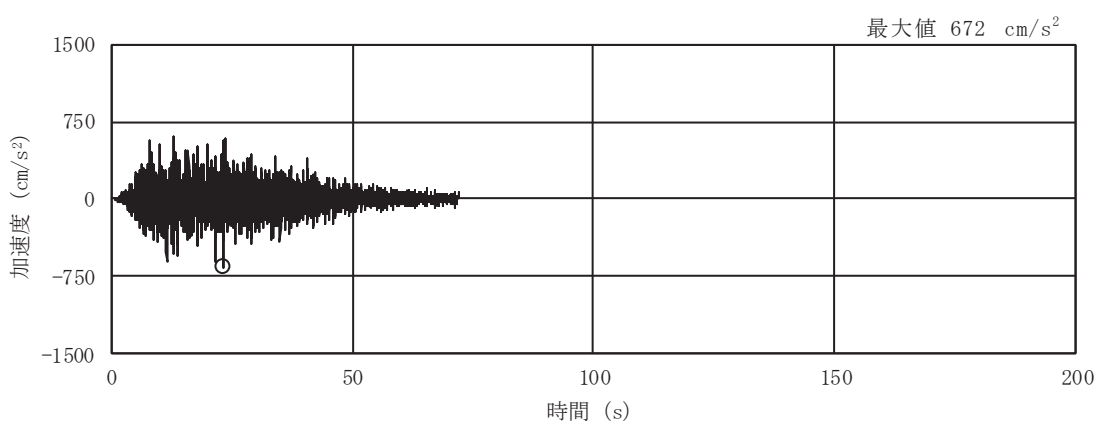


(g) S s - N 1

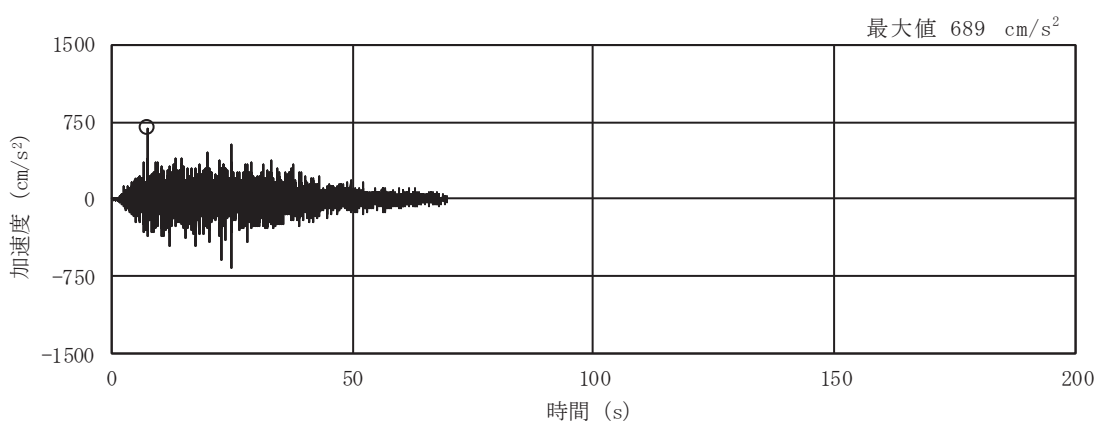
図 2-2(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース③, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1



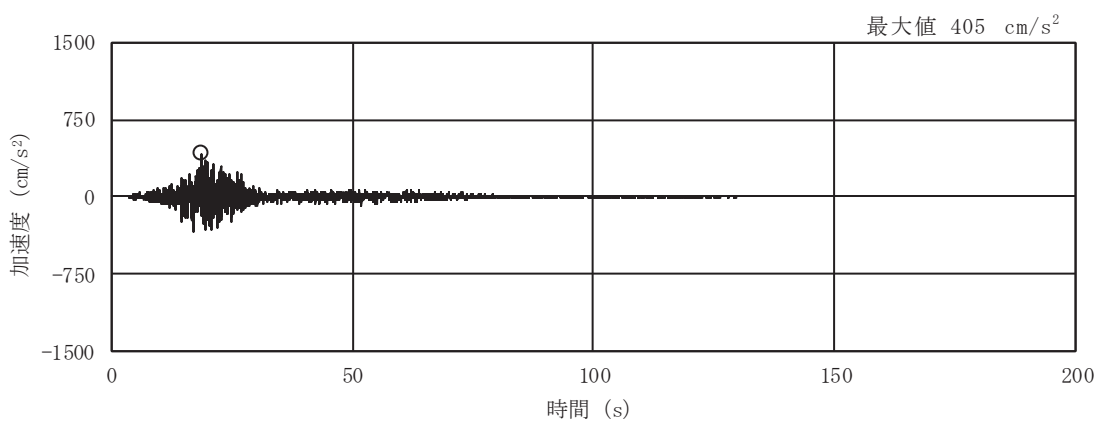
(b) S s - D 2



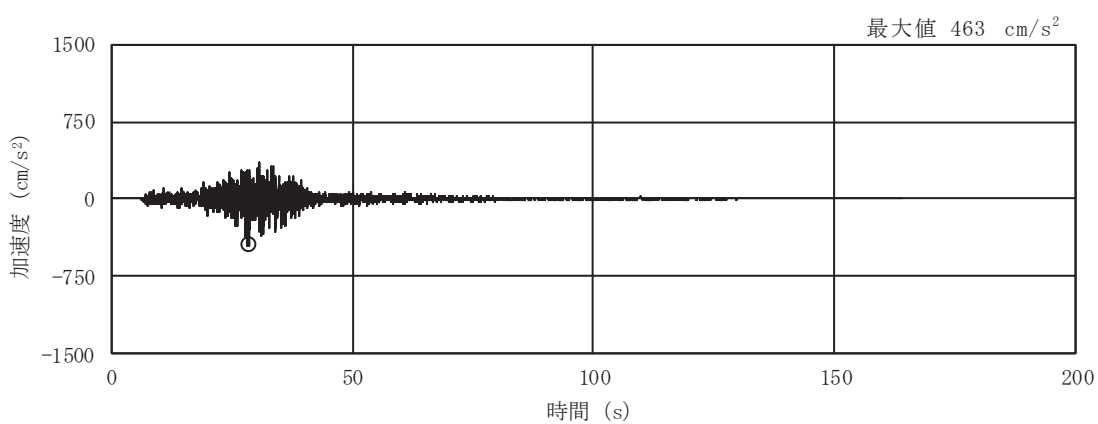
(c) S s - D 3

図 2-2(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 鉛直成分) (1/3)

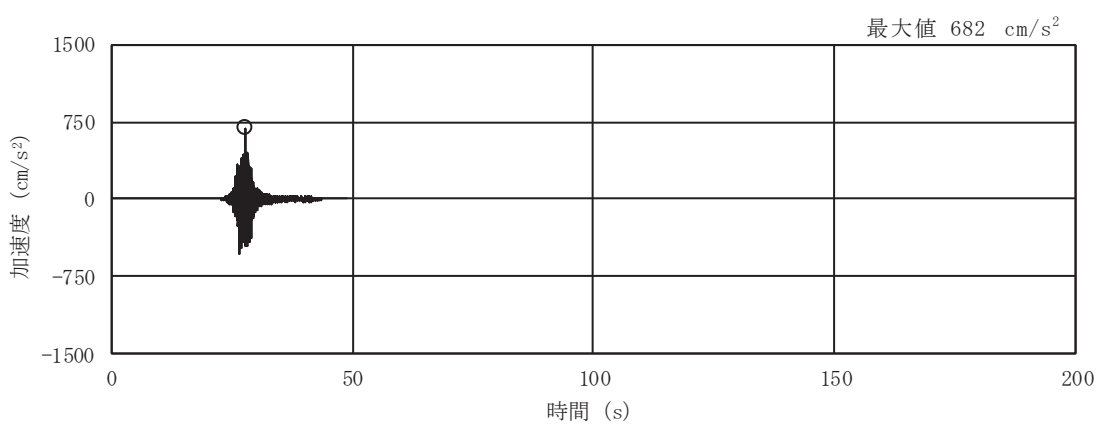




(d) S s - F 1

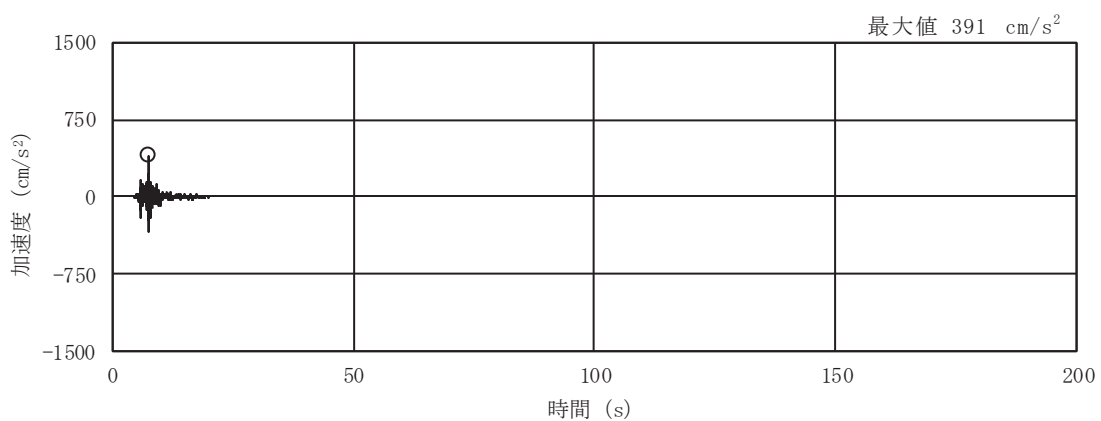


(e) S s - F 2



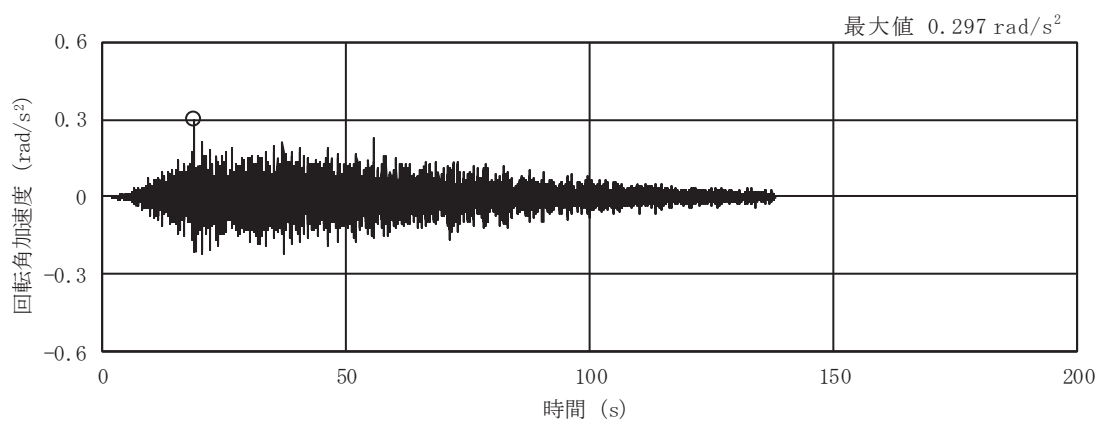
(f) S s - F 3

図 2-2(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

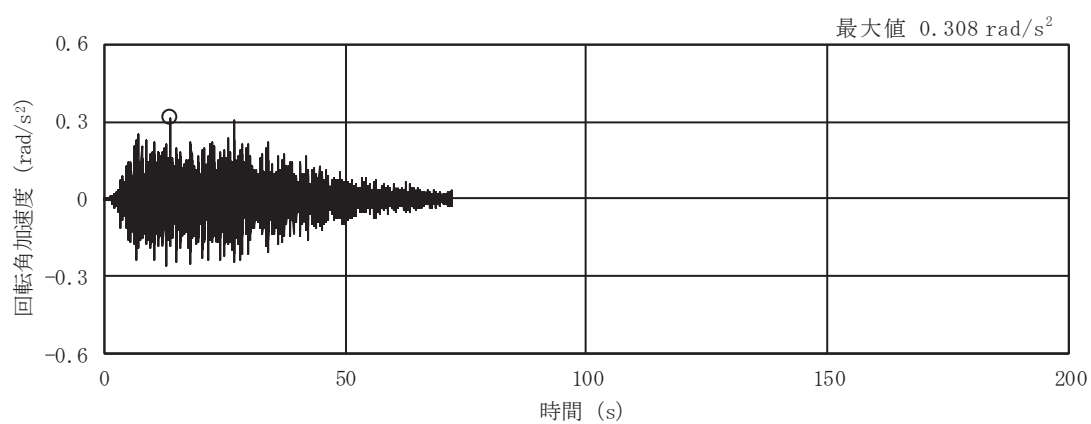


(g) S s - N 1

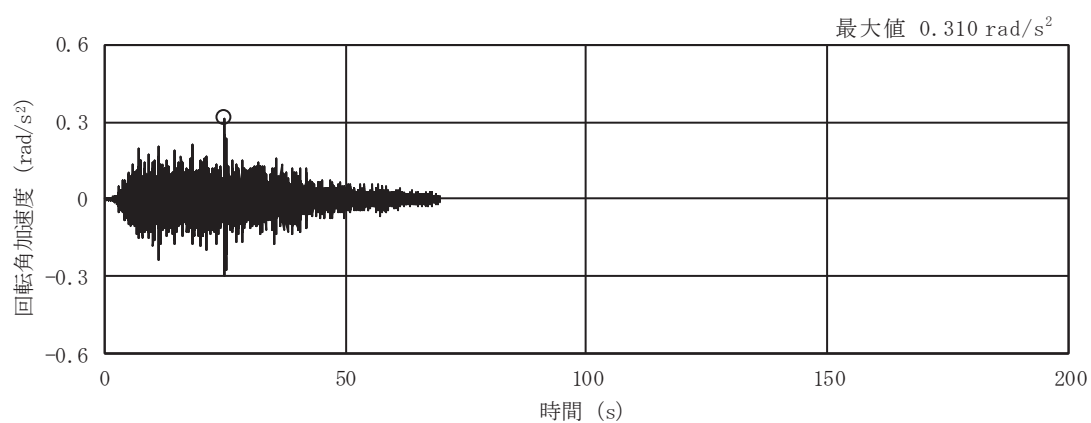
図 2-2(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース③, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

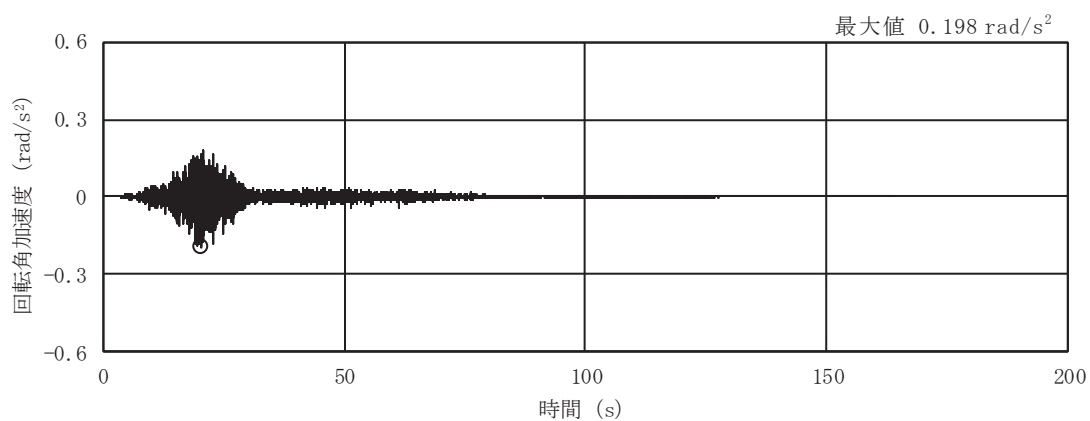


(b) S s - D 2

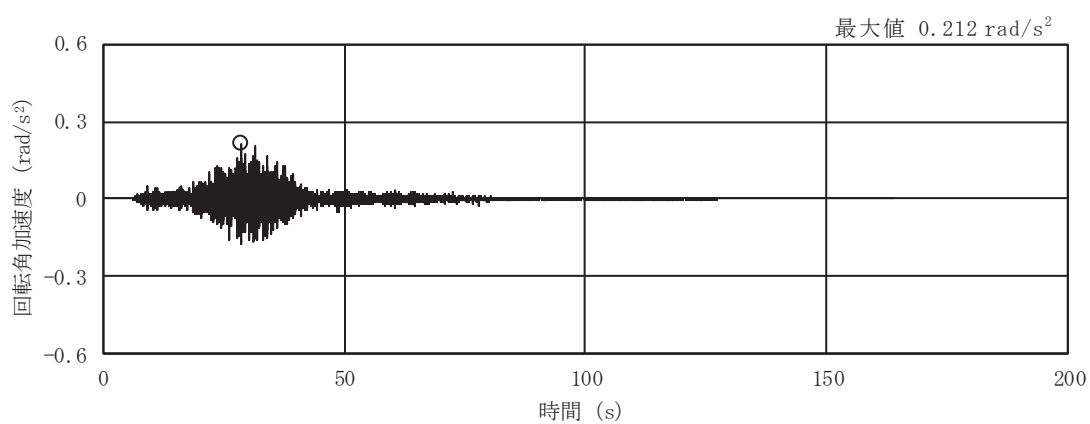


(c) S s - D 3

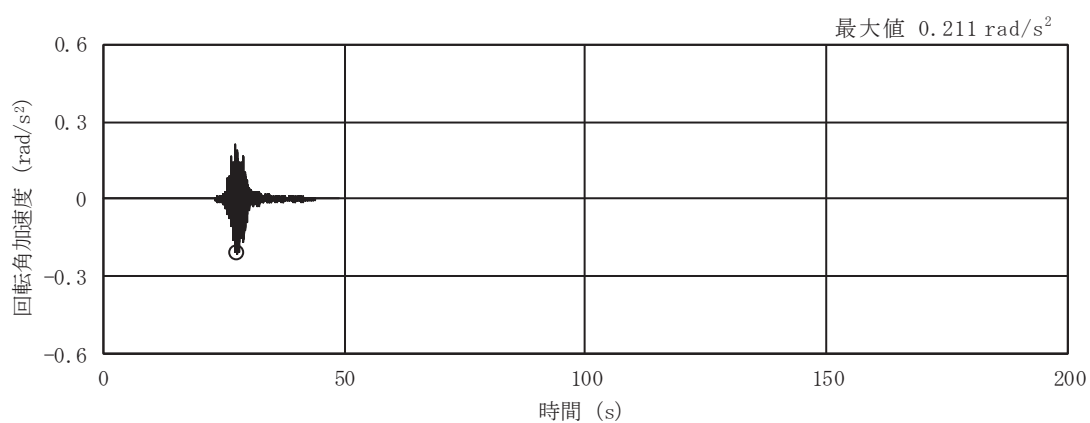
図 2-2(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

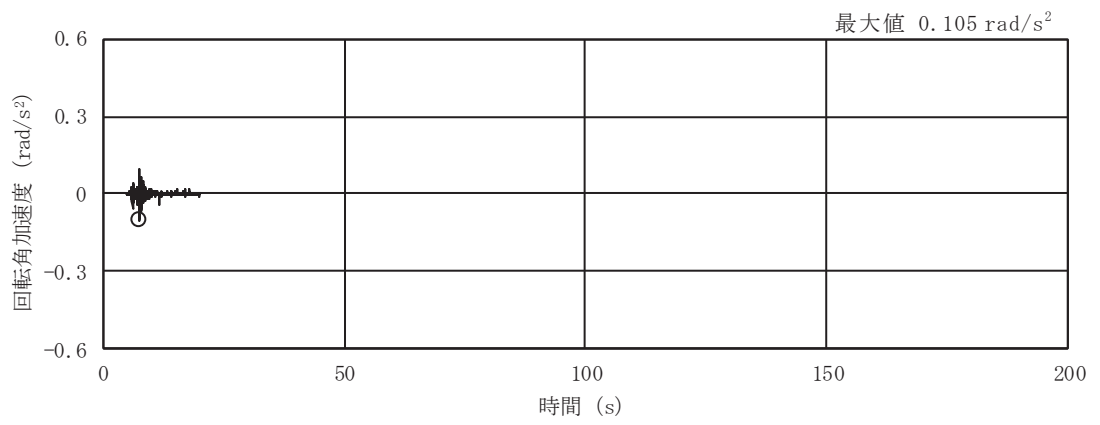


(e) S s - F 2



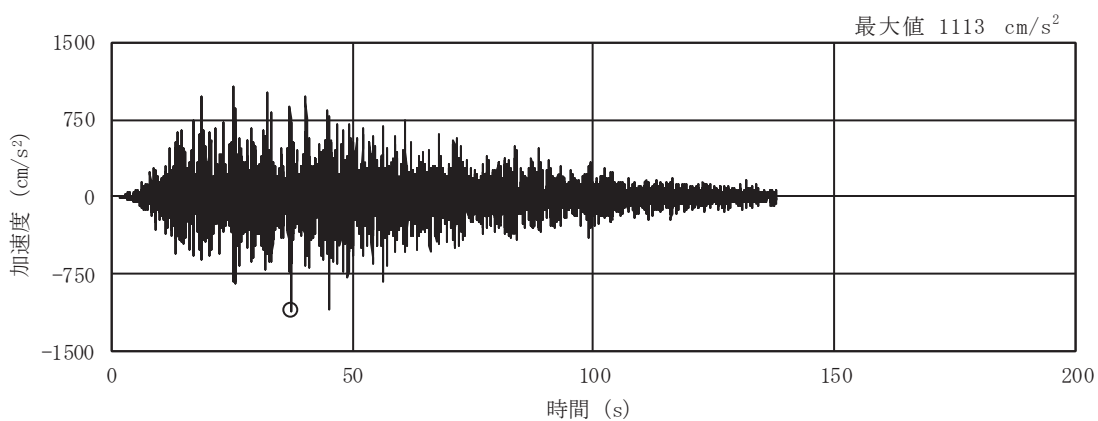
(f) S s - F 3

図 2-2(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 回転成分) (2/3)

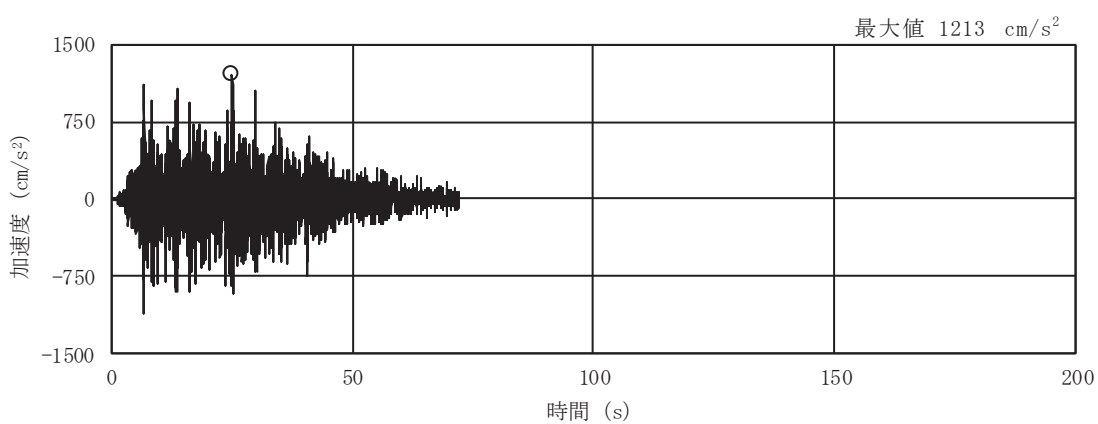


(g) S s - N 1

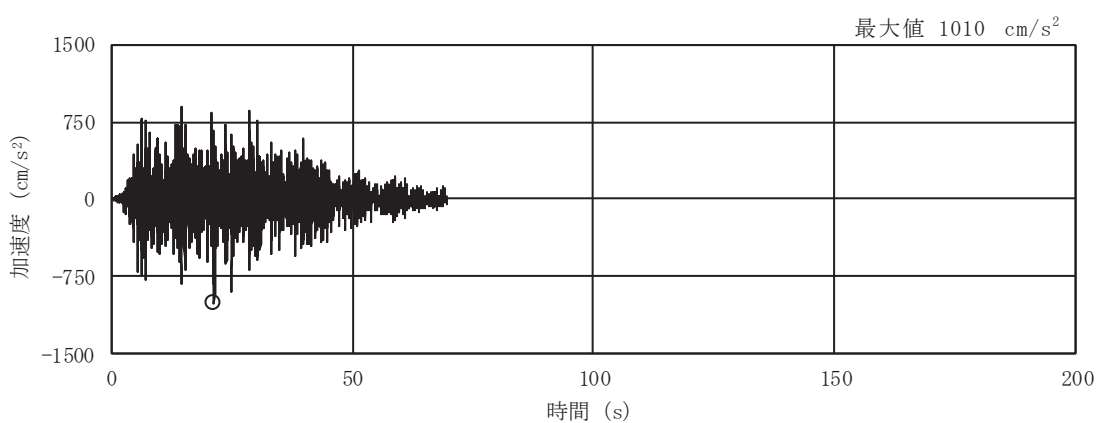
図 2-2(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース③, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

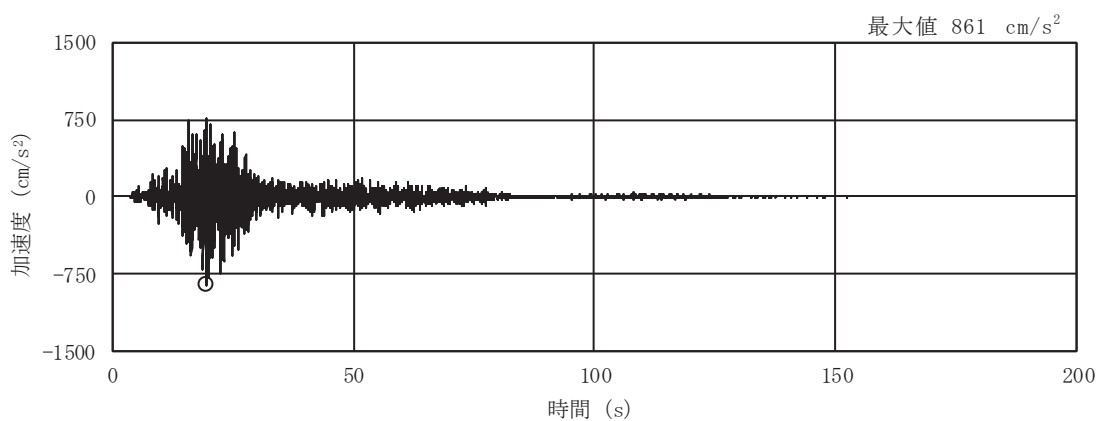


(b) S s - D 2

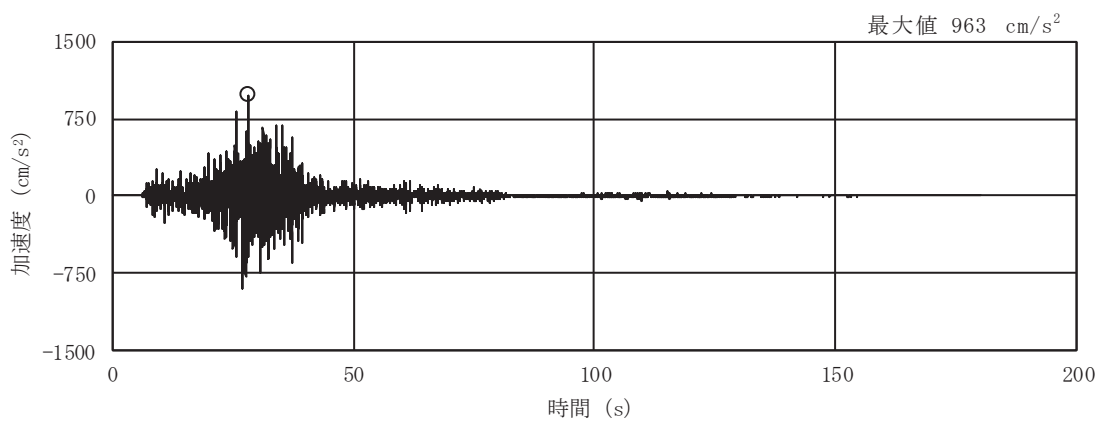


(c) S s - D 3

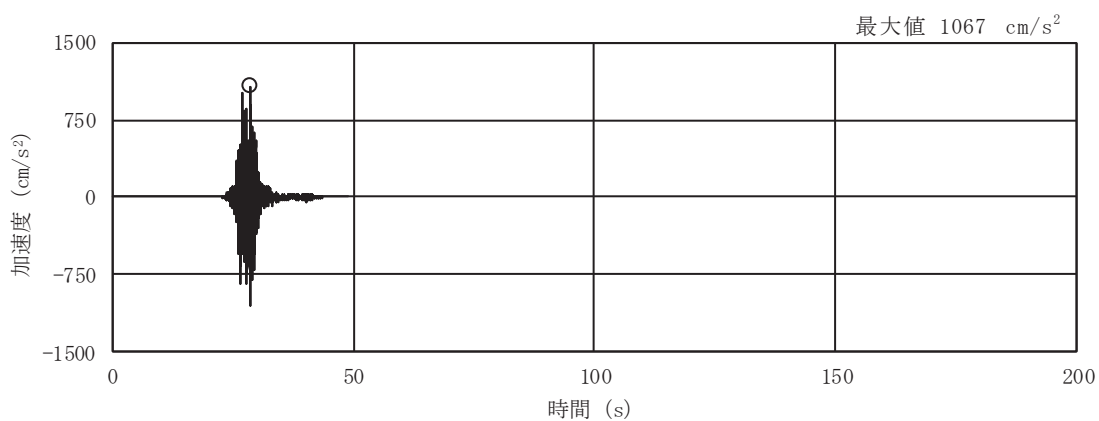
図 2-2(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

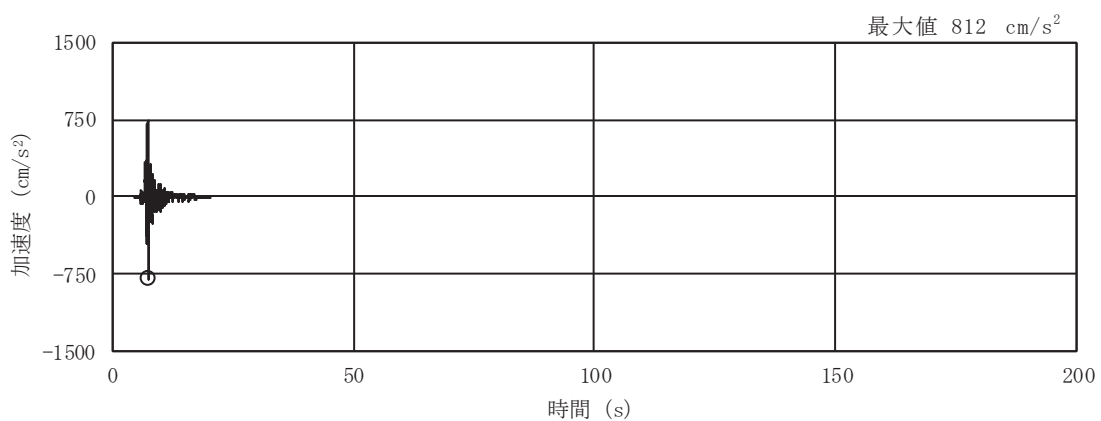


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

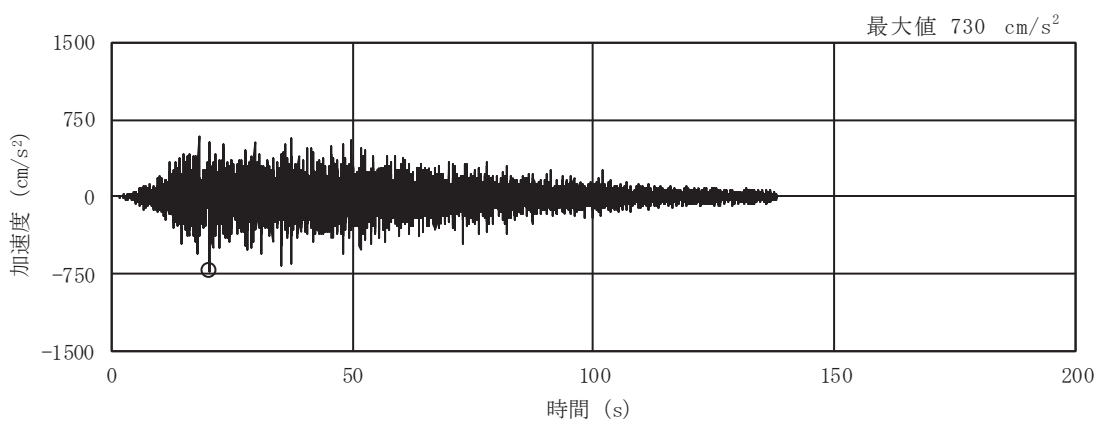
図 2-2(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 並進成分) (2/3)



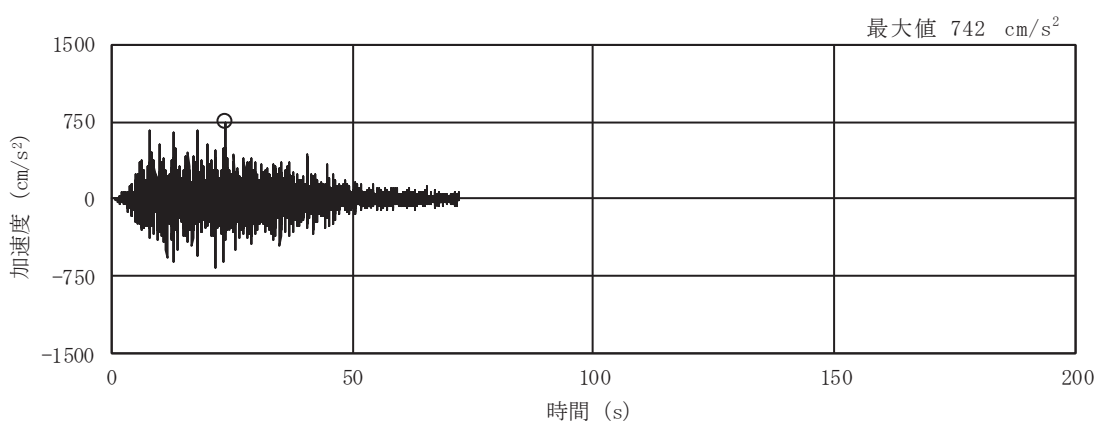
(g) S s - N 1

図 2-2(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース③, EW 断面 並進成分) (3/3)

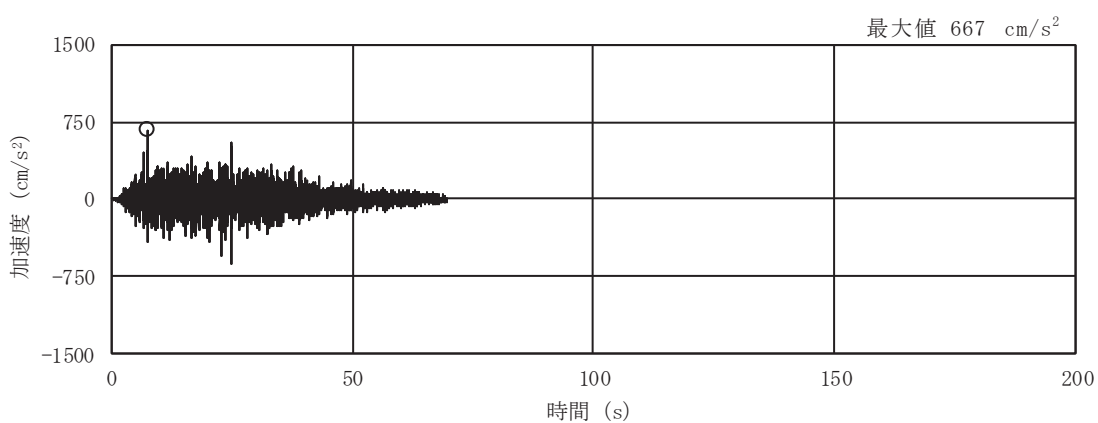




(a) S s - D 1

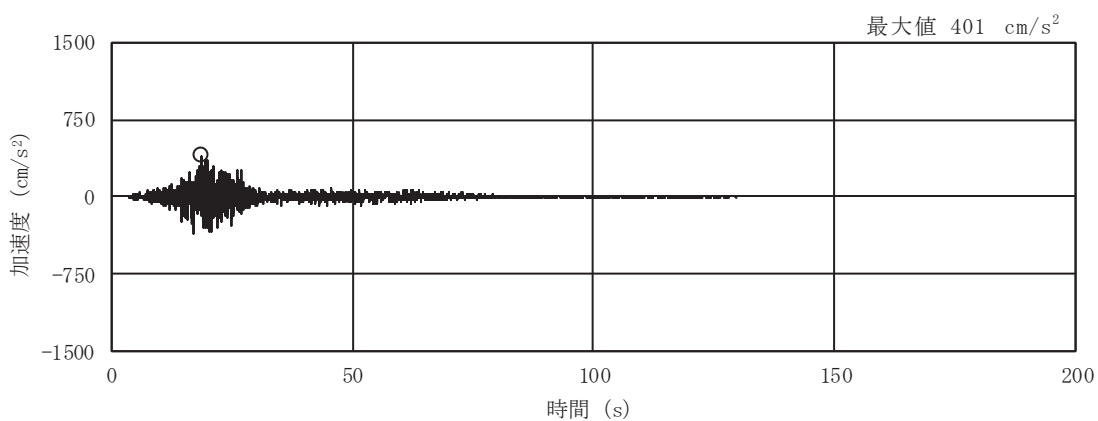


(b) S s - D 2

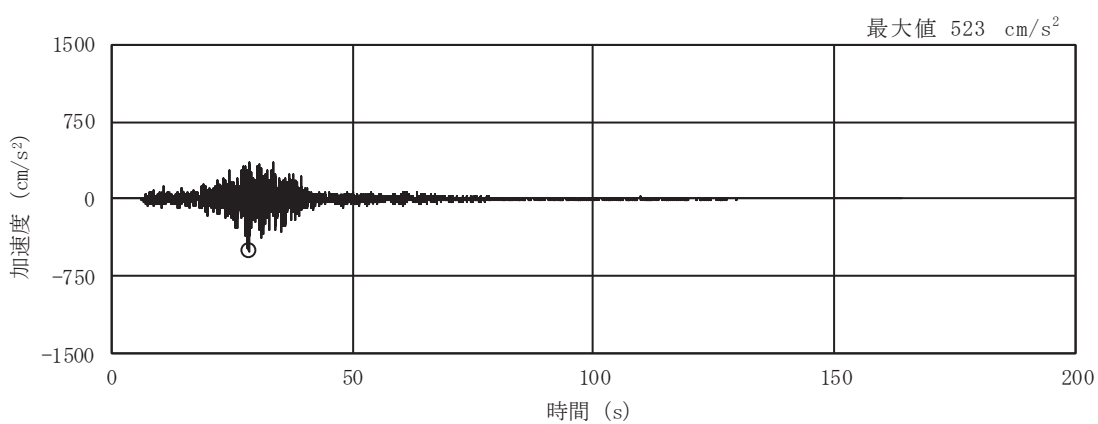


(c) S s - D 3

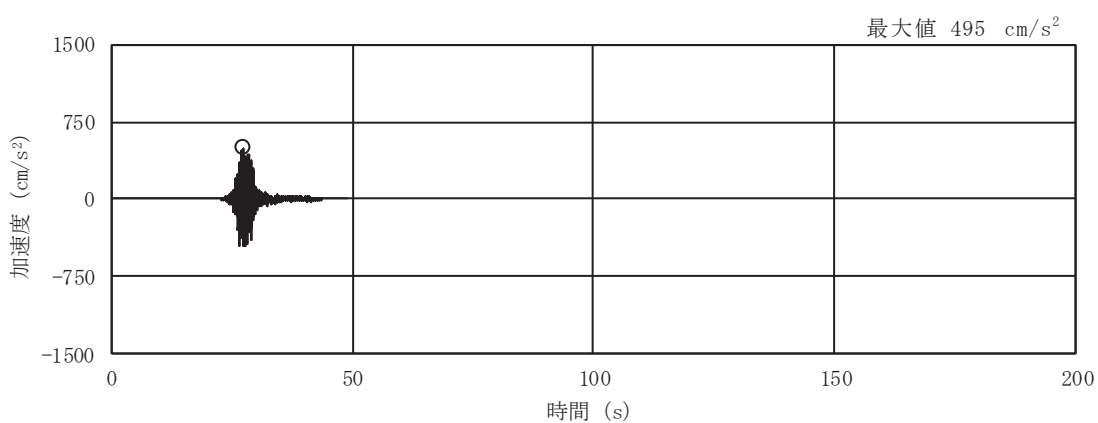
図 2-2(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

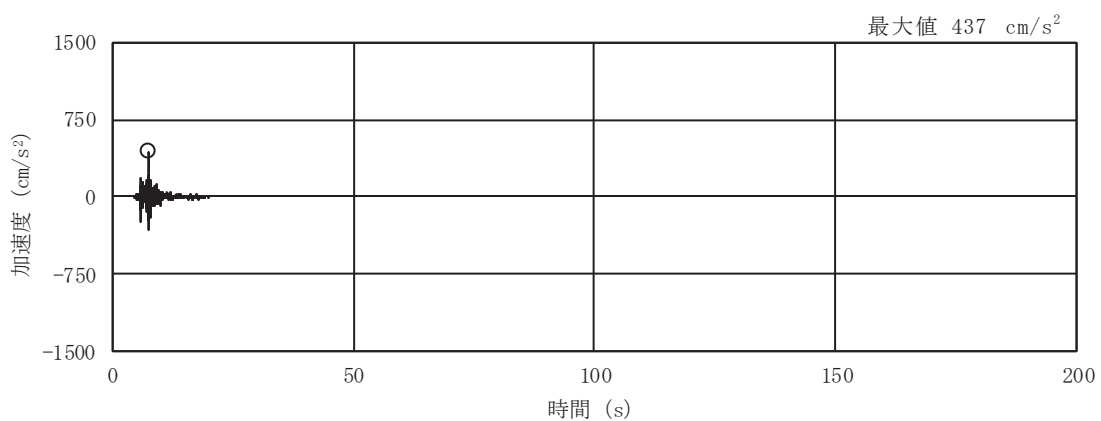


(e) S s - F 2



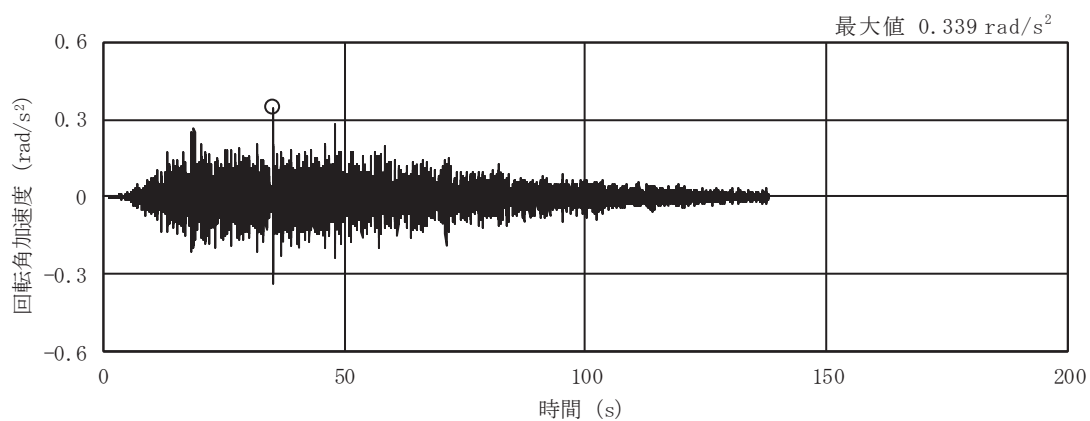
(f) S s - F 3

図 2-2(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

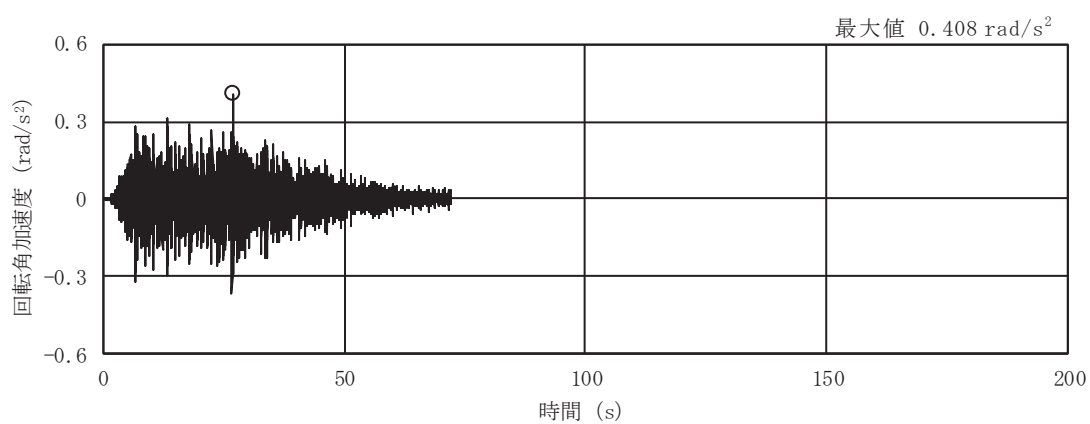


(g) S s - N 1

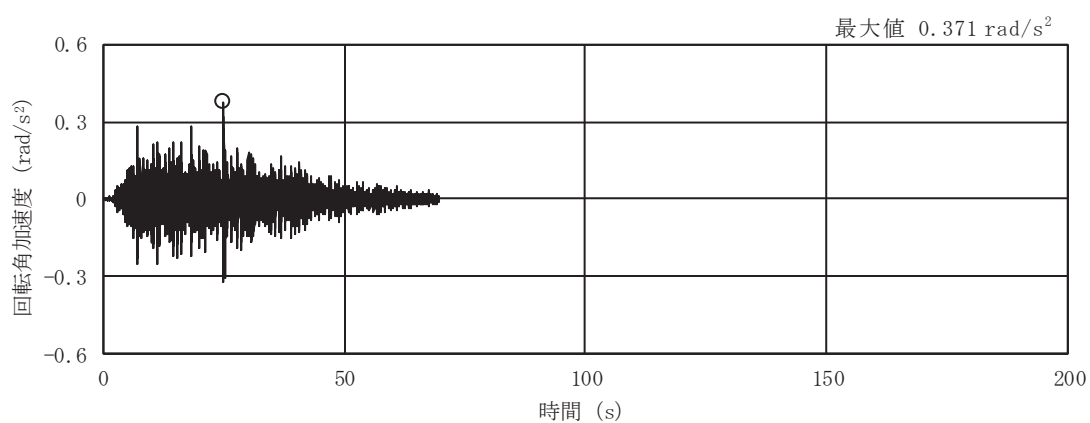
図 2-2(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース③, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

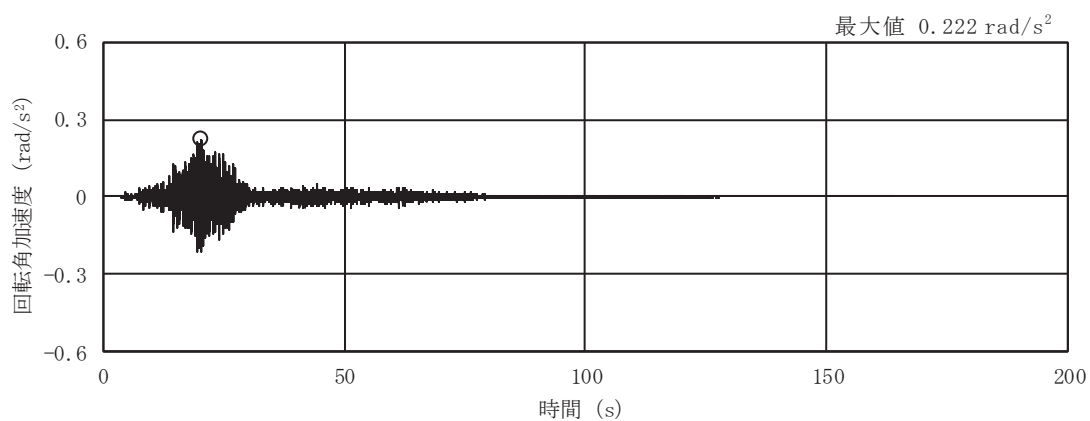


(b) S s - D 2

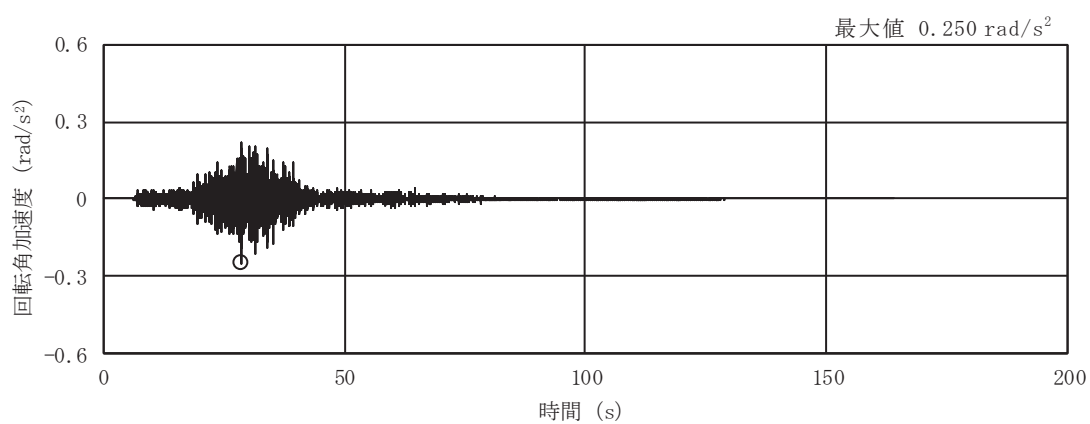


(c) S s - D 3

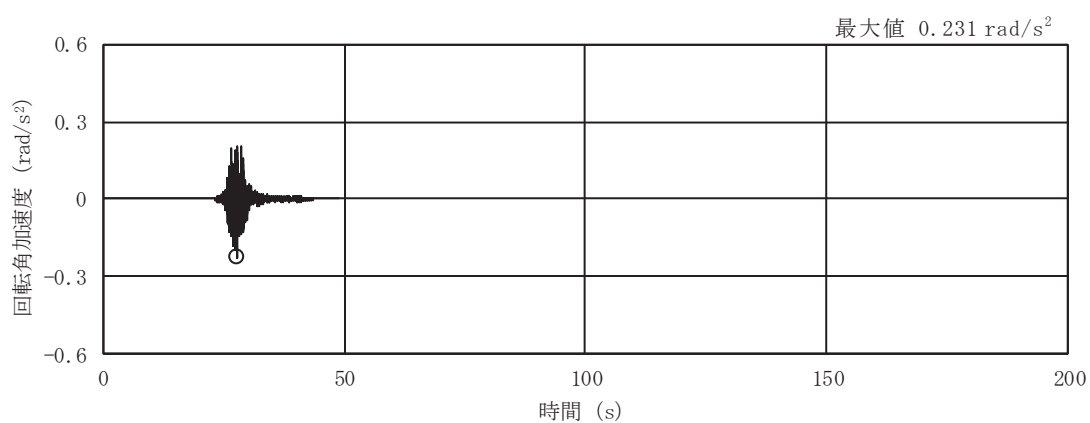
図 2-2(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

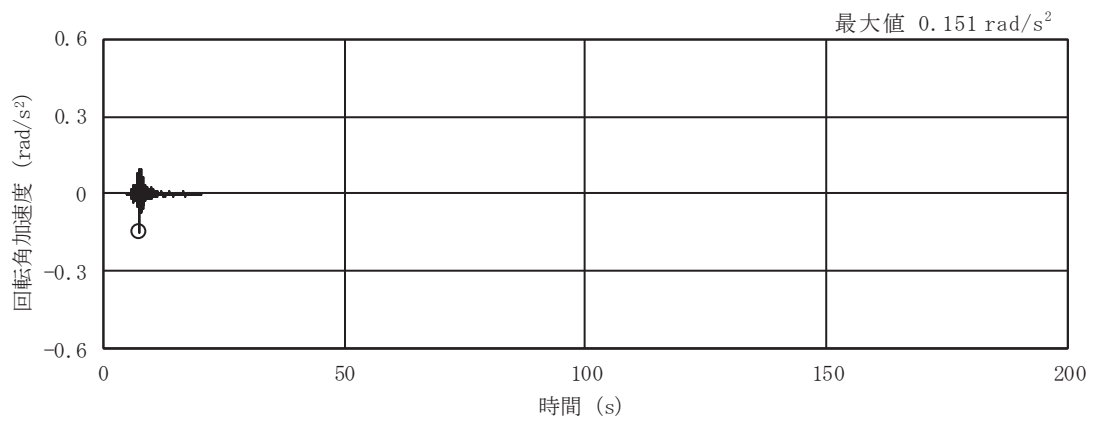


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

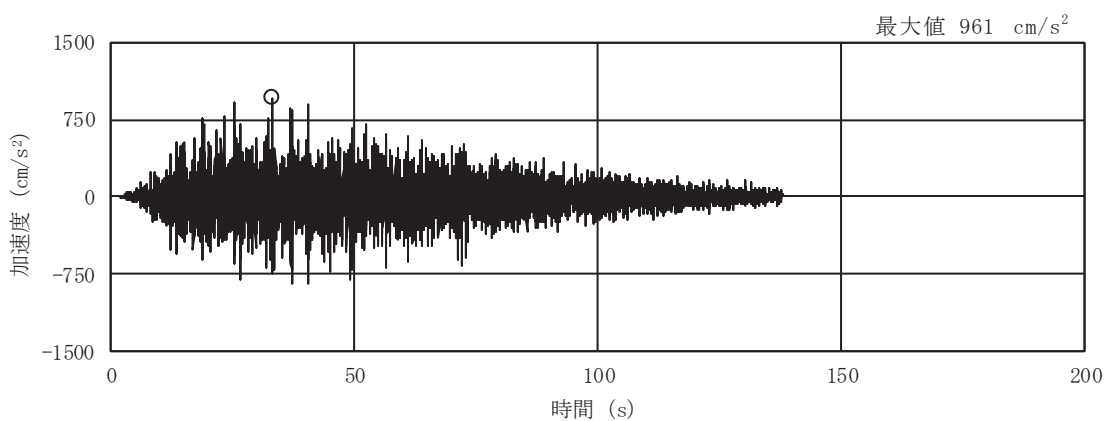
図 2-2(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 回転成分) (2/3)



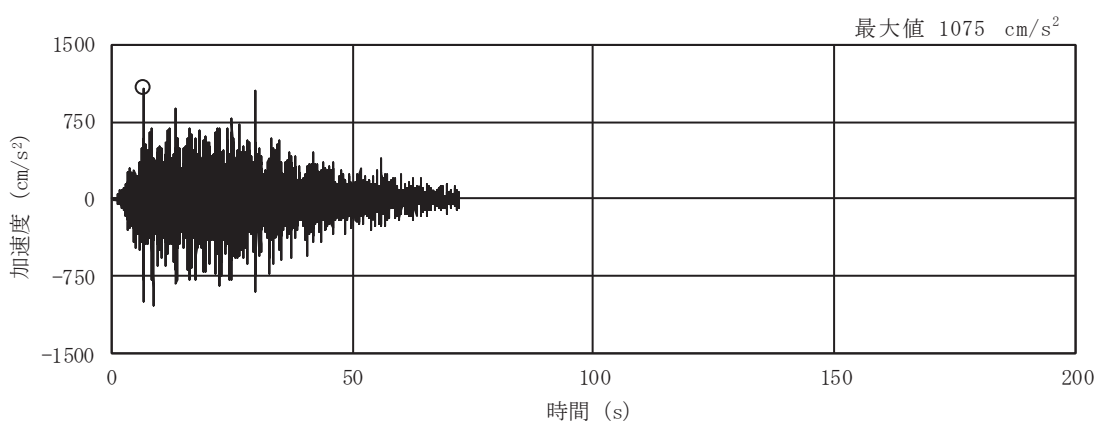
(g) S s - N 1

図 2-2(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形

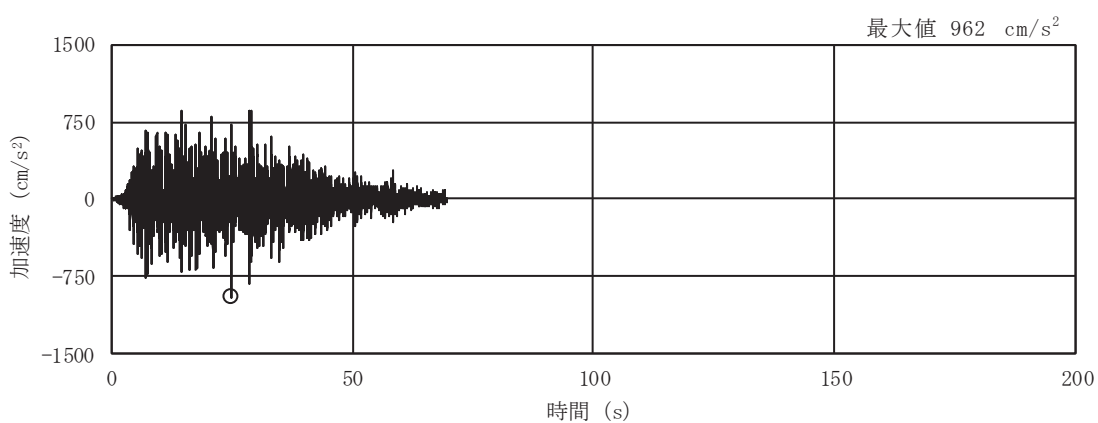
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

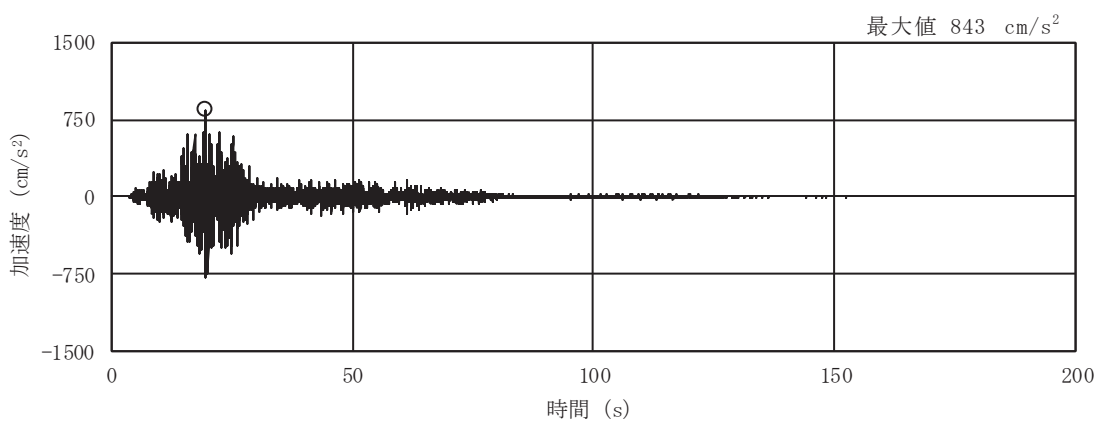


(b) S s - D 2

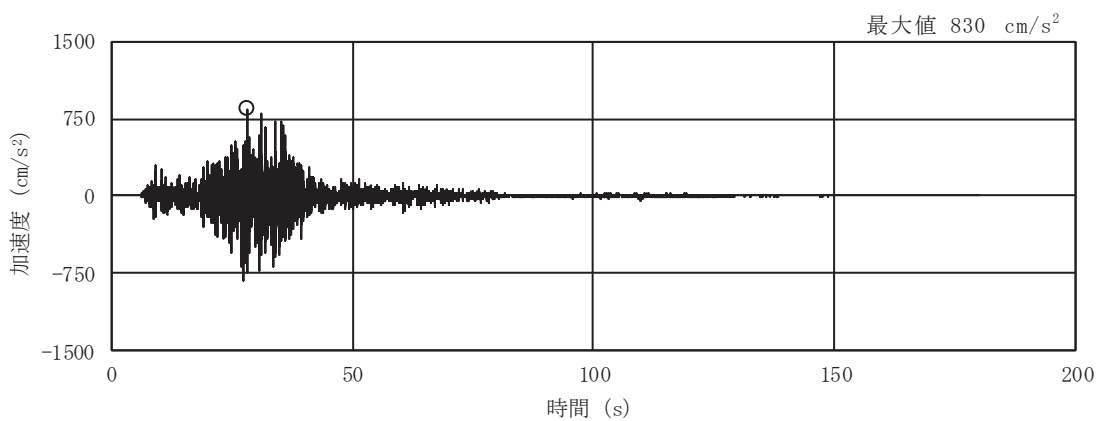


(c) S s - D 3

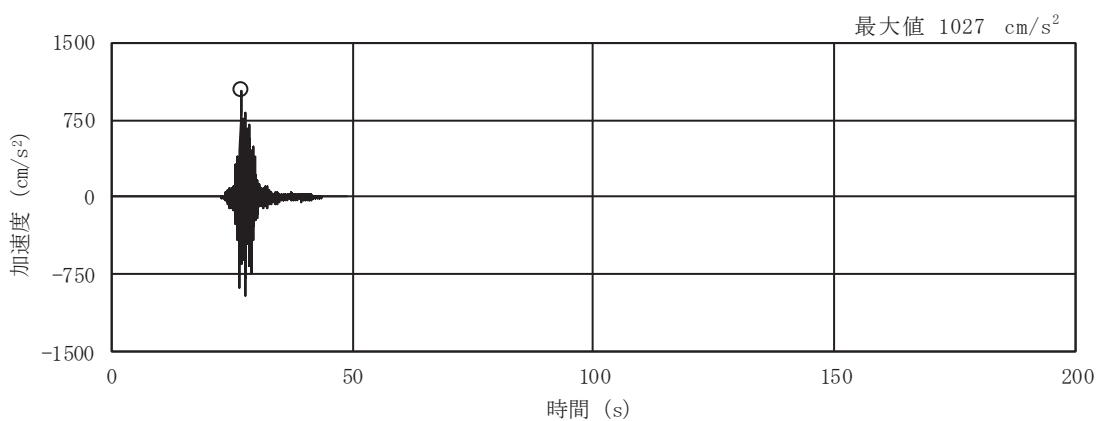
図 2-3(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1



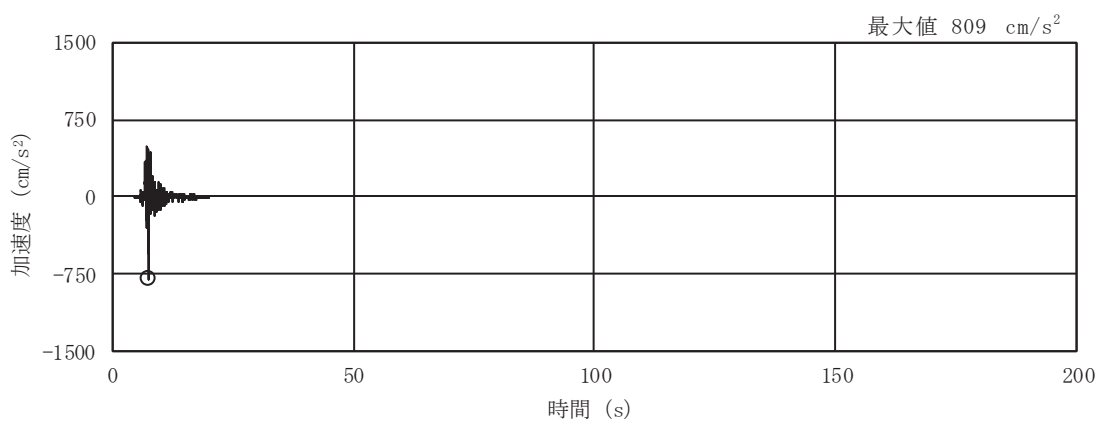
(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

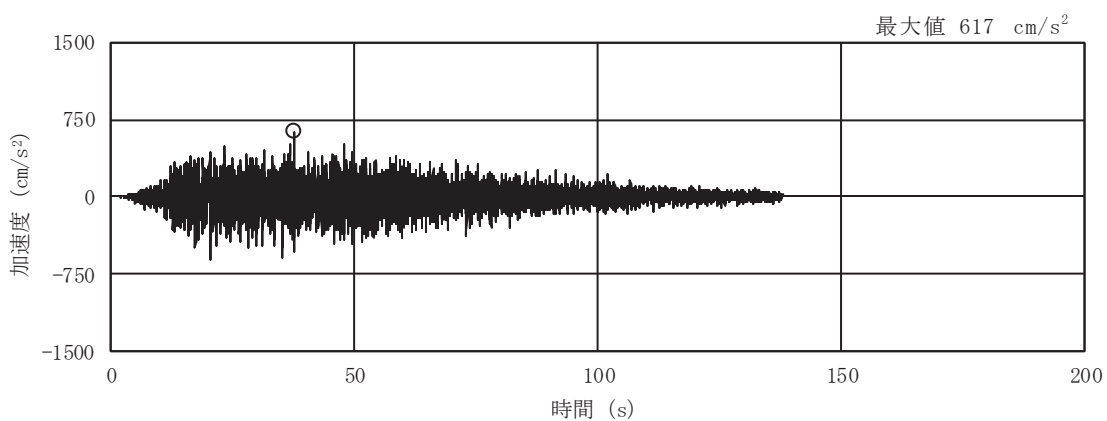
図 2-3(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 並進成分) (2/3)



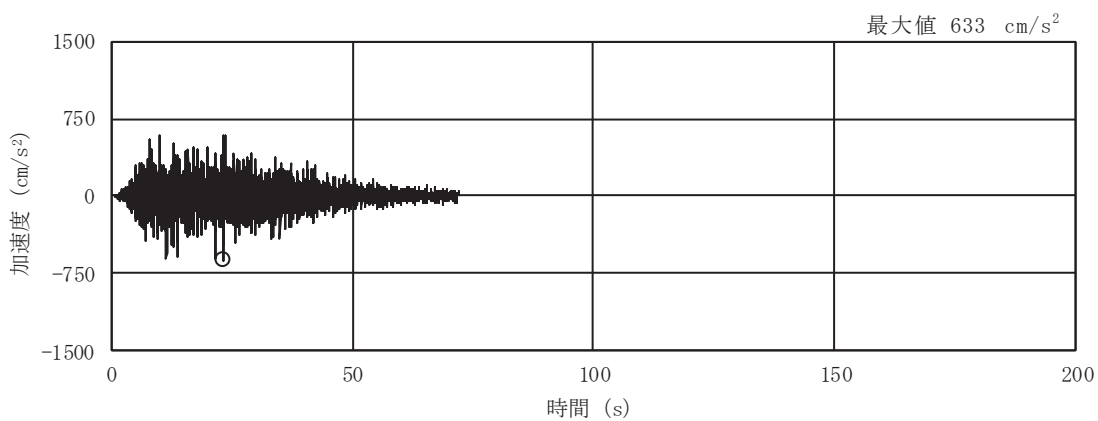


(g) S s - N 1

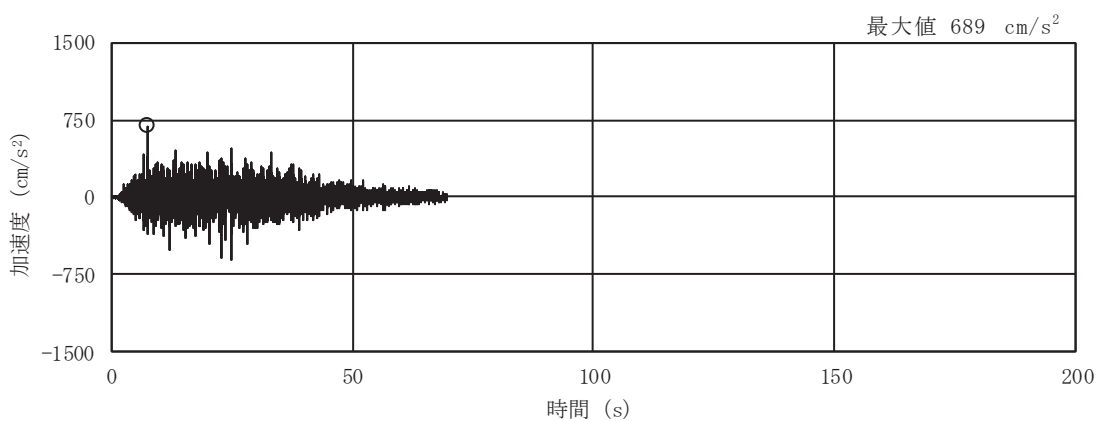
図 2-3(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 実剛性, ケース④, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

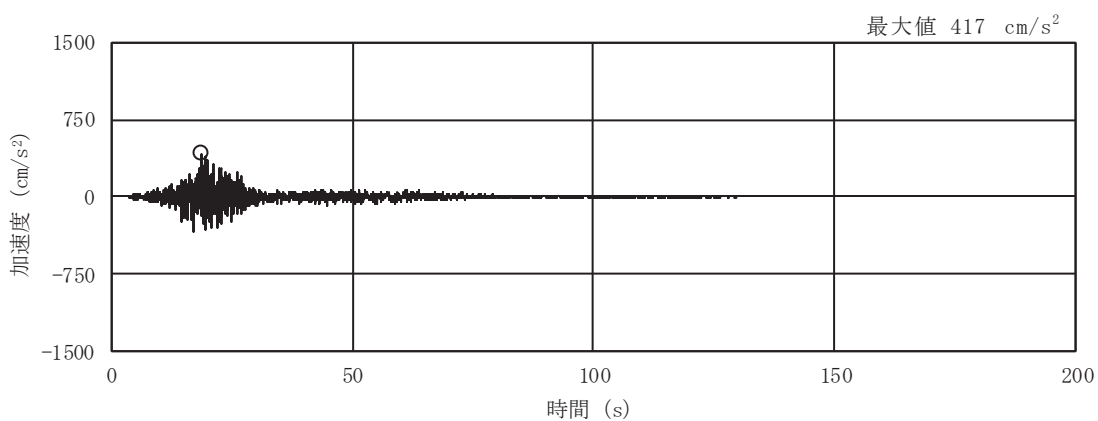


(b) S s - D 2

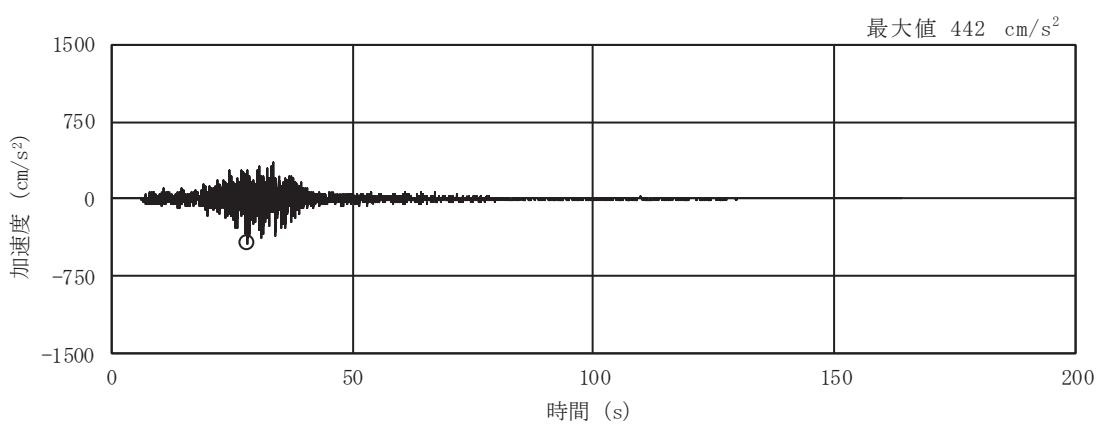


(c) S s - D 3

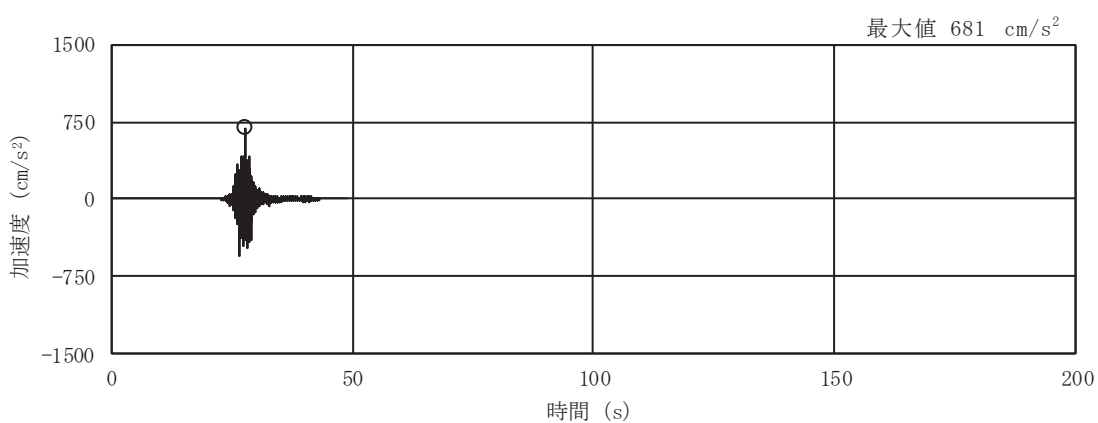
図 2-3(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

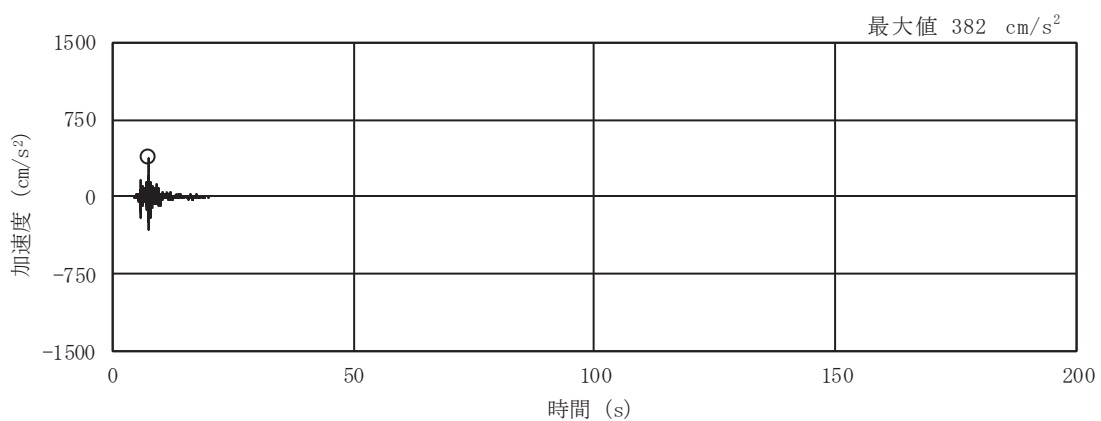


(e) S s - F 2



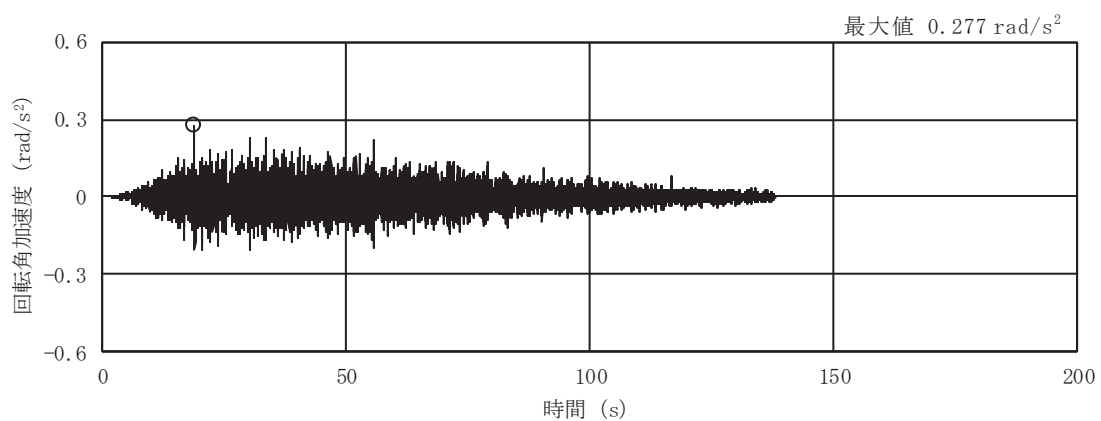
(f) S s - F 3

図 2-3(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

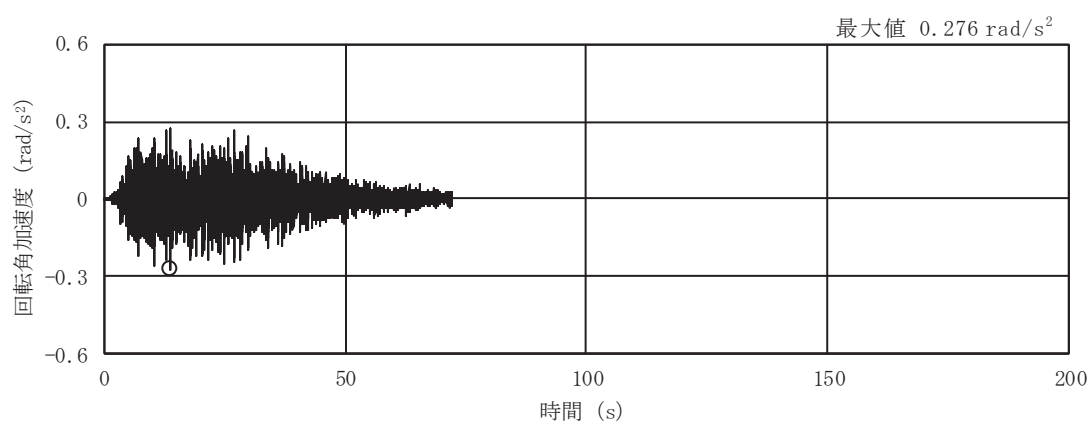


(g) S s - N 1

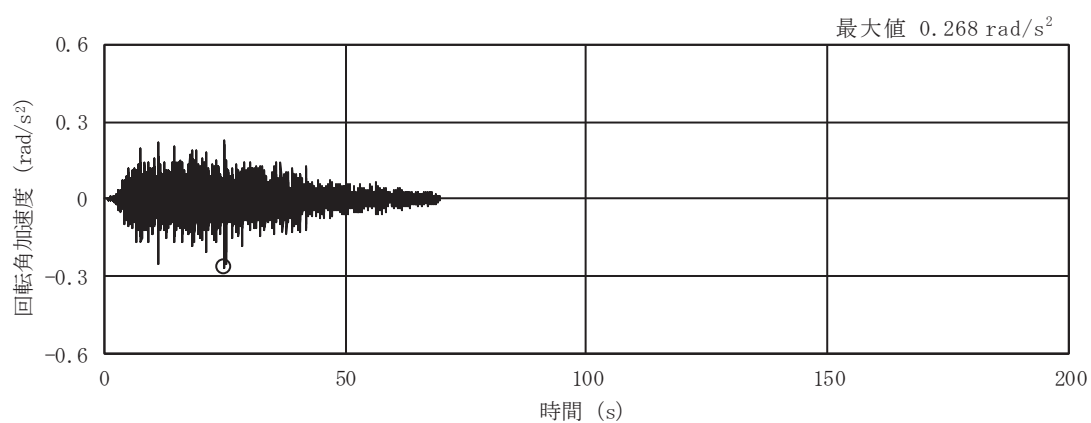
図 2-3(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 実剛性, ケース④, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

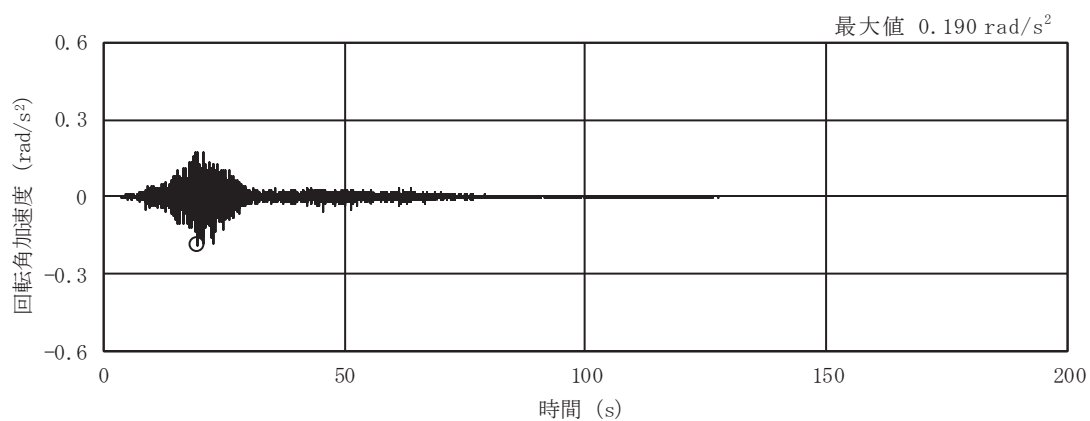


(b) S s - D 2

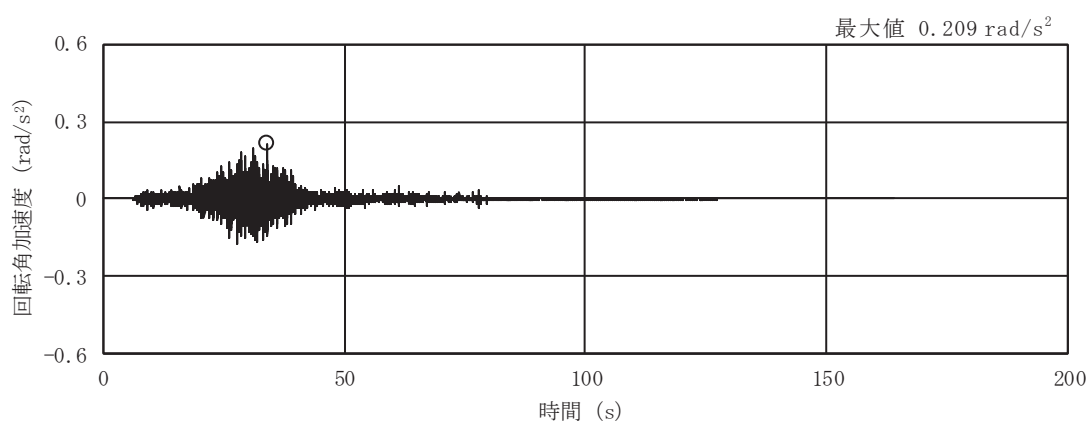


(c) S s - D 3

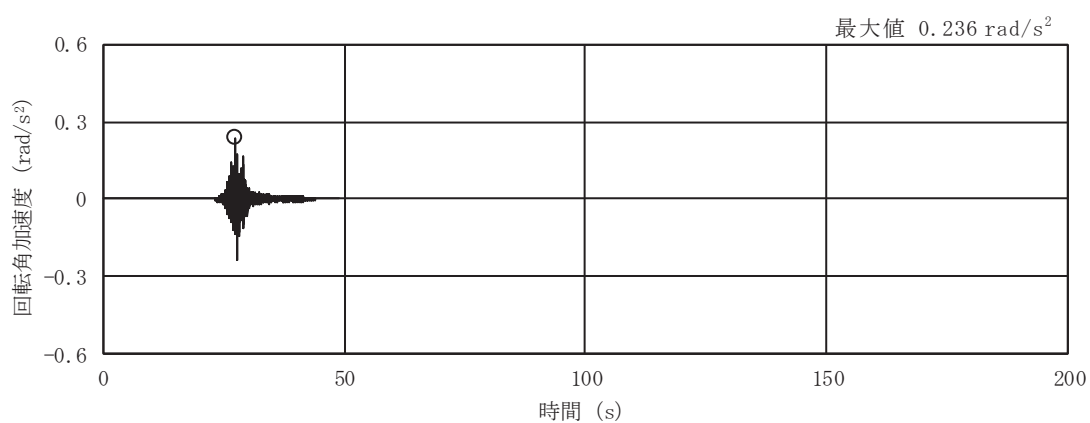
図 2-3(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

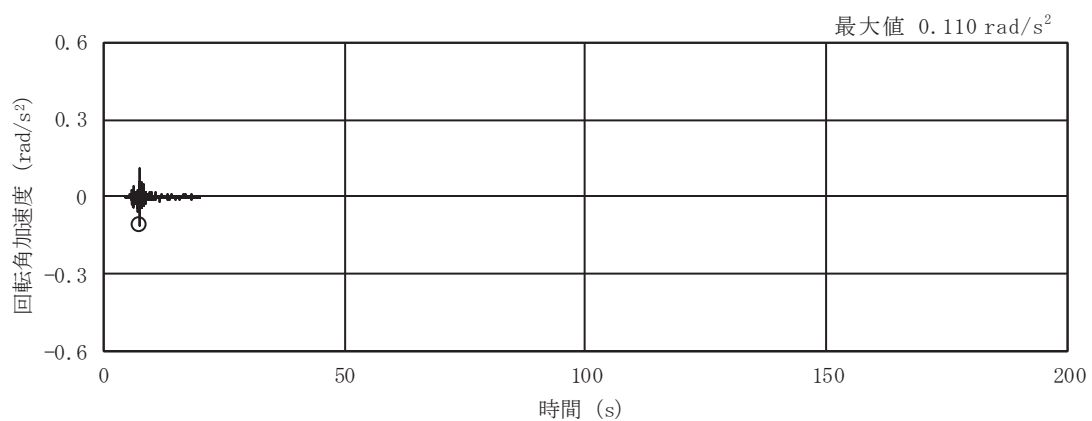


(e) S s - F 2



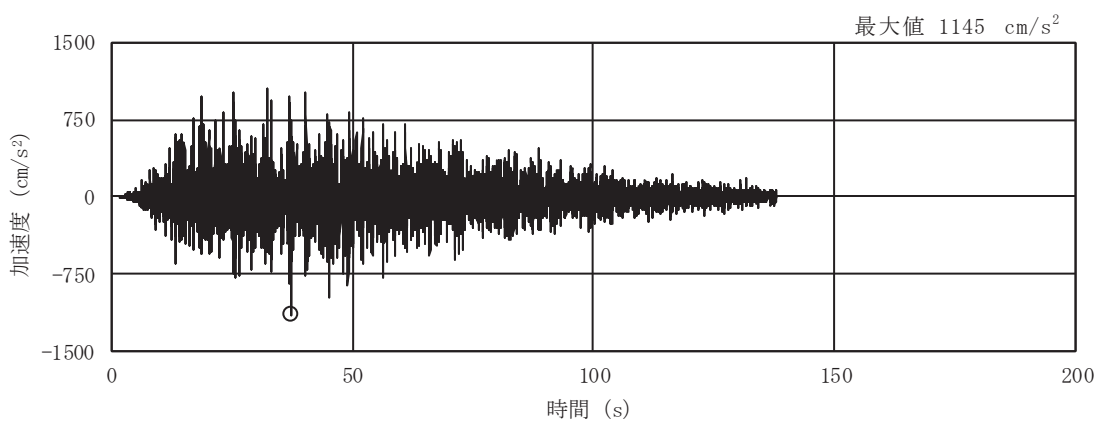
(f) S s - F 3

図 2-3(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 回転成分) (2/3)

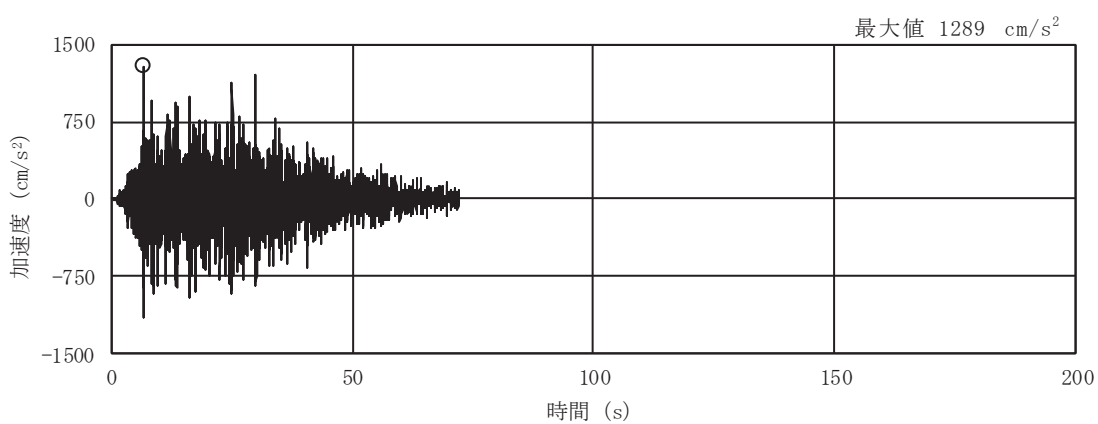


(g) S s - N 1

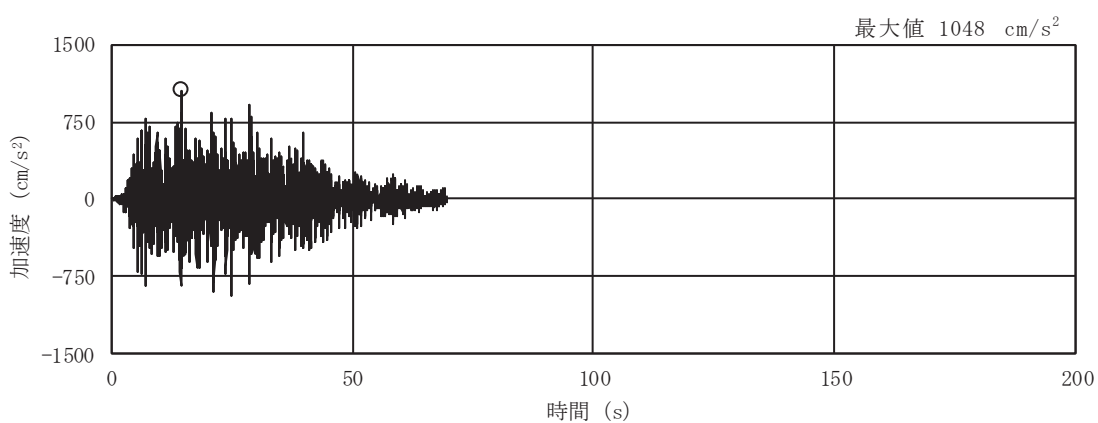
図 2-3(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 実剛性, ケース④, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1



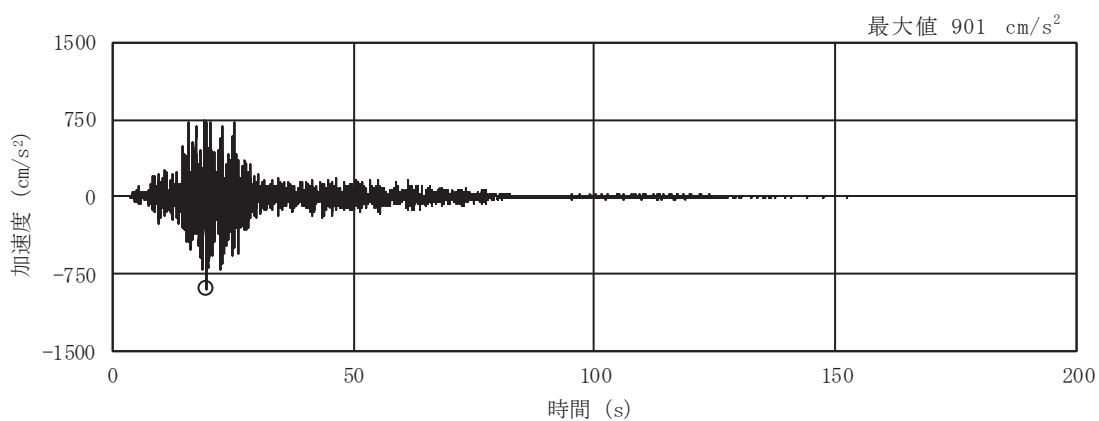
(b) S s - D 2



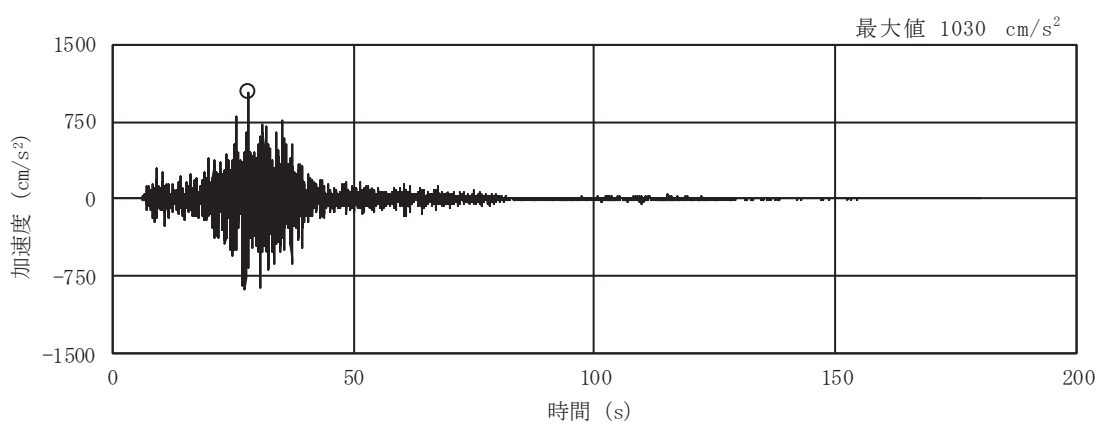
(c) S s - D 3

図 2-3(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 並進成分) (1/3)

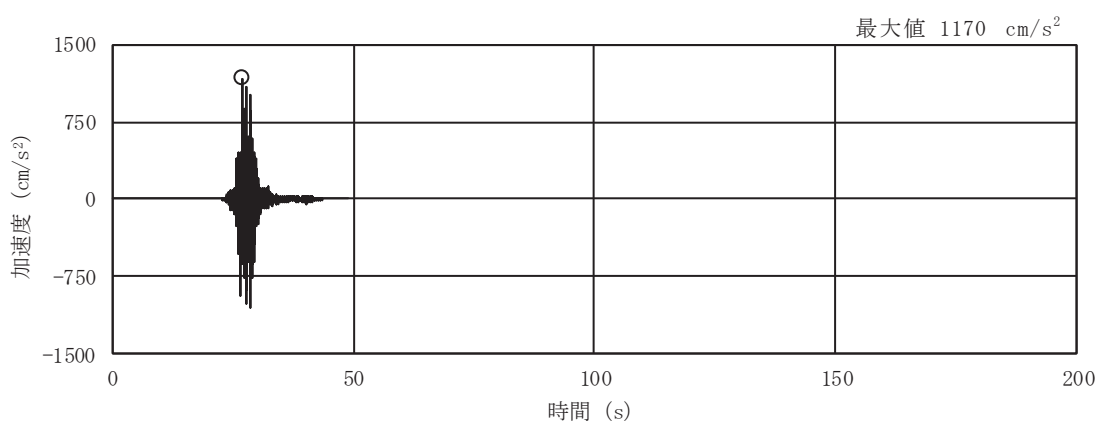




(d) S s - F 1

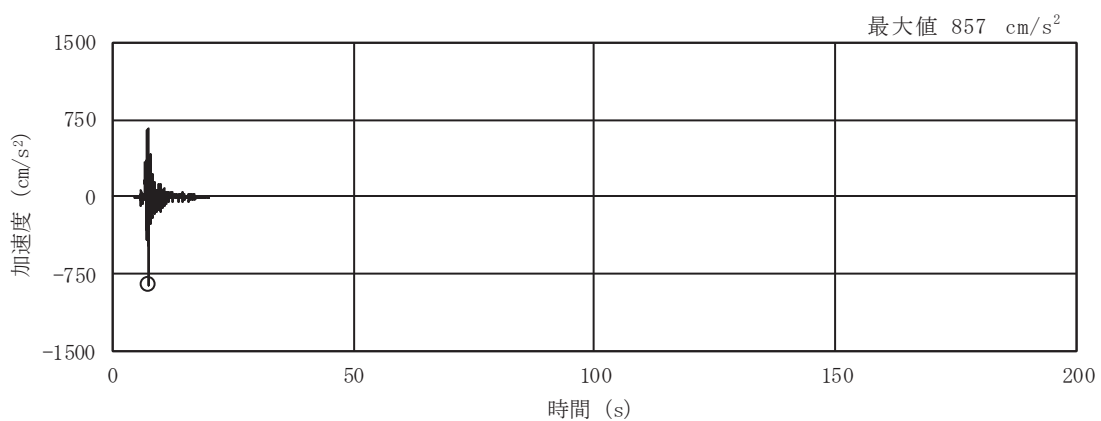


(e) S s - F 2



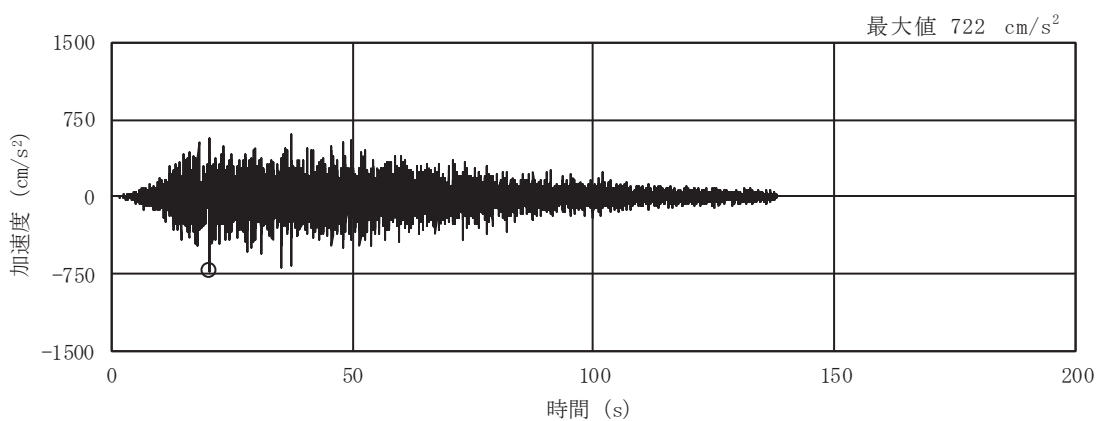
(f) S s - F 3

図 2-3(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 並進成分) (2/3)

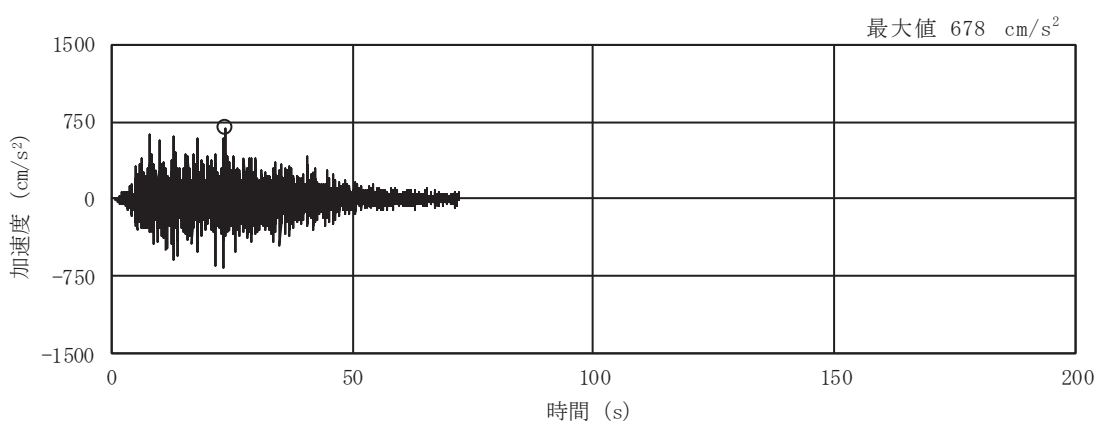


(g) S s - N 1

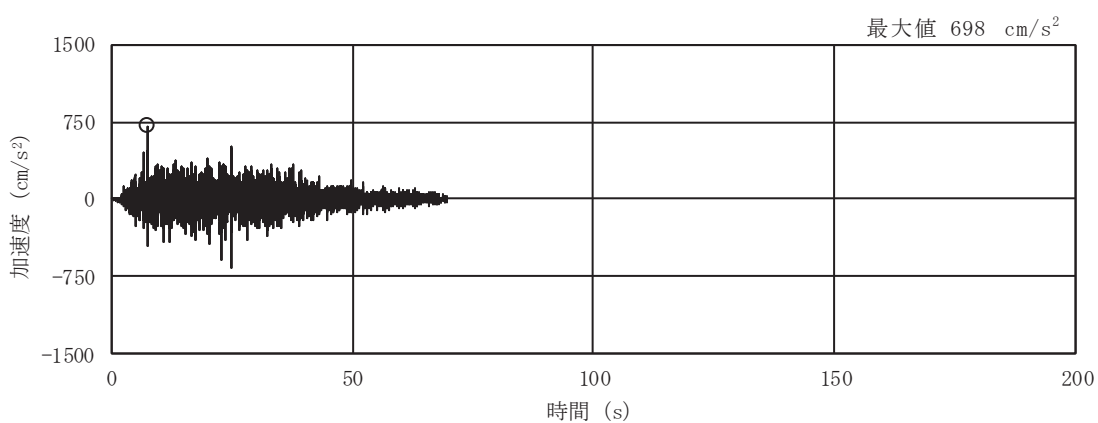
図 2-3(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 実剛性, ケース④, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

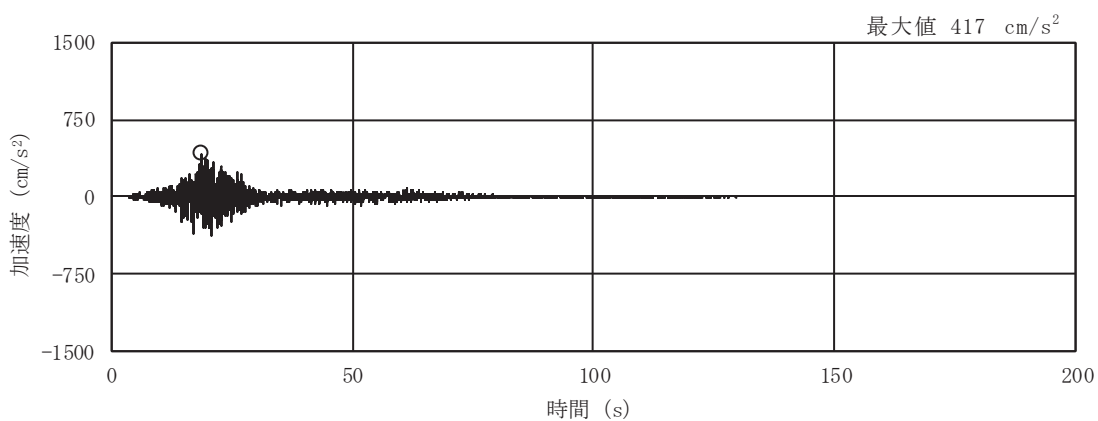


(b) S s - D 2

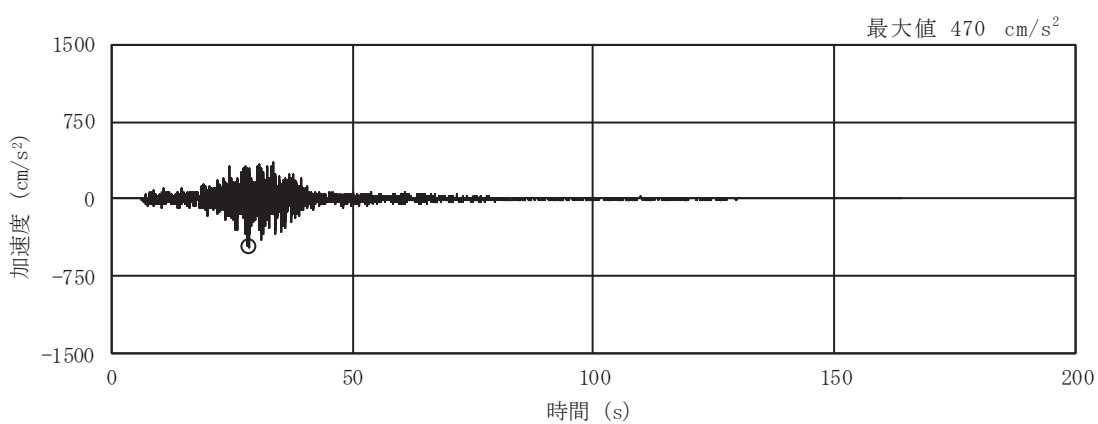


(c) S s - D 3

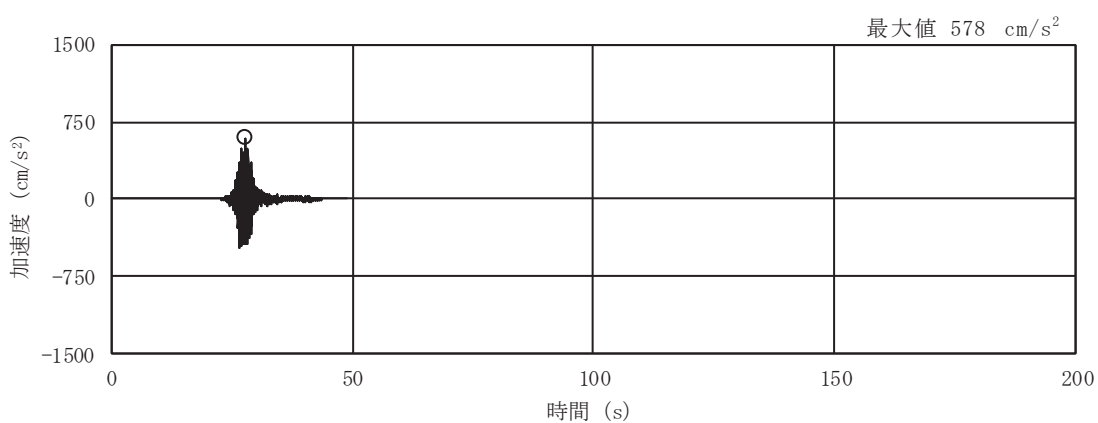
図 2-3(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

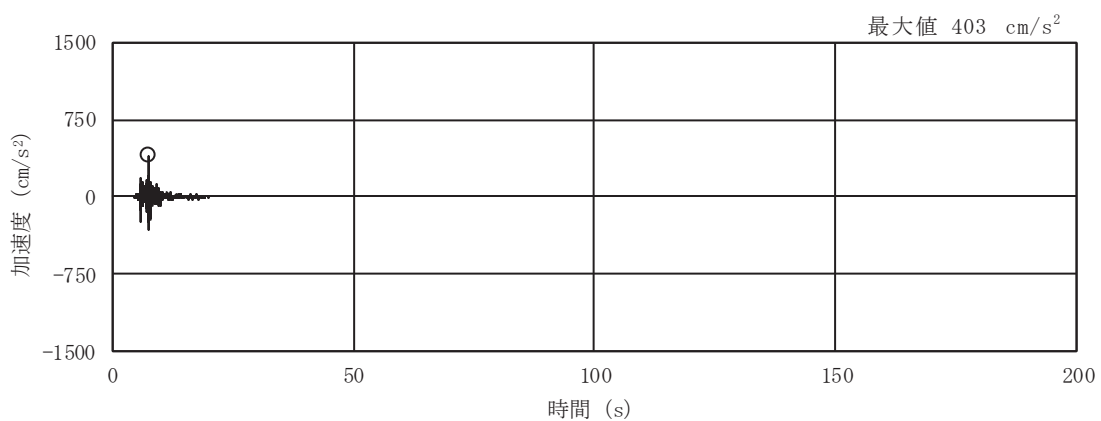


(e) S s - F 2



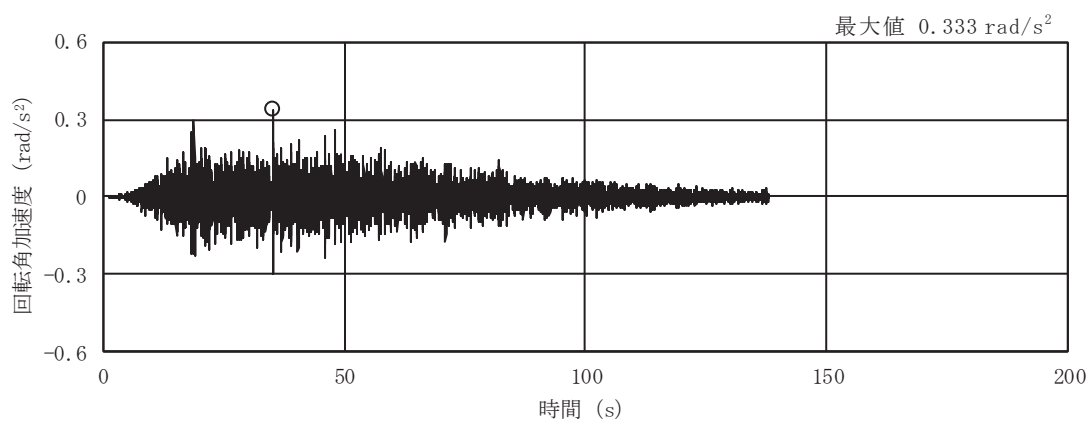
(f) S s - F 3

図 2-3(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

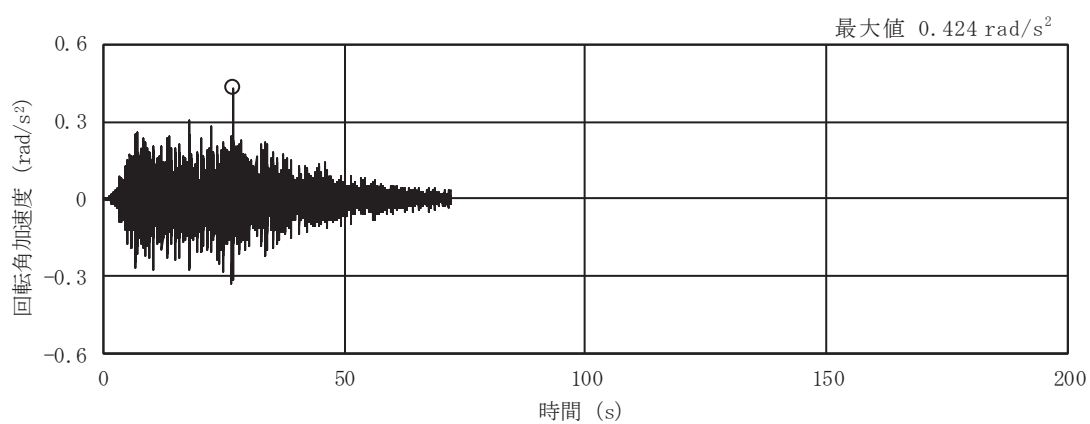


(g) S s - N 1

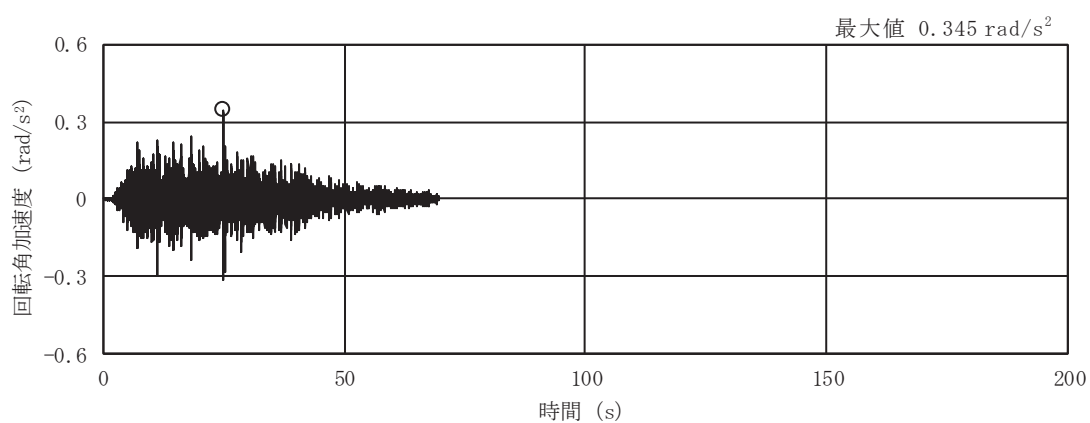
図 2-3(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 実剛性, ケース④, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

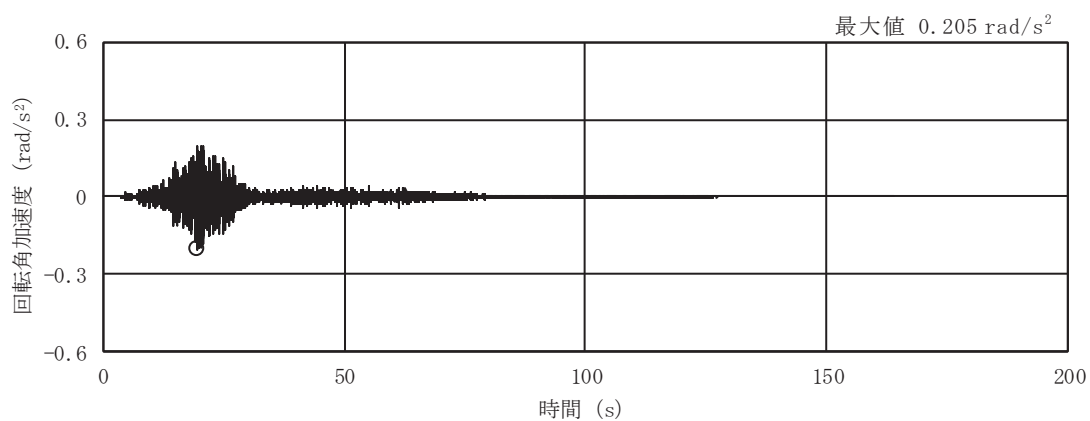


(b) S s - D 2

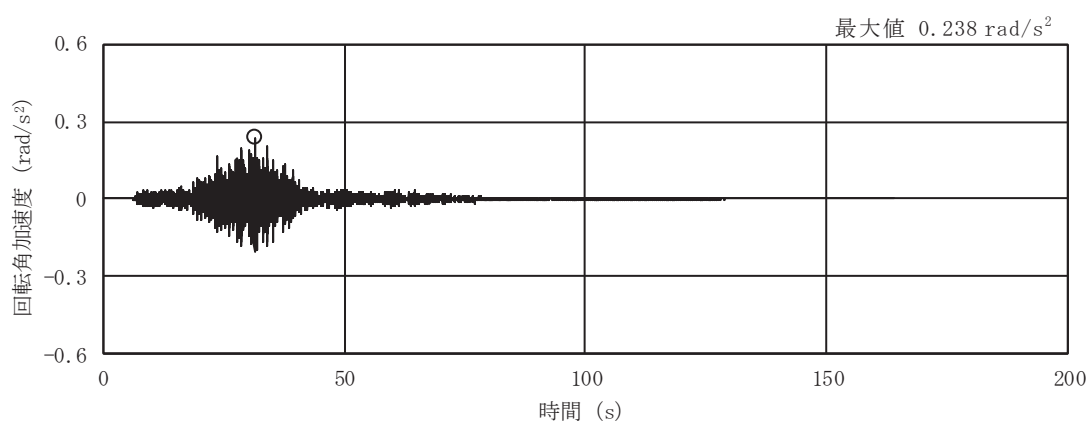


(c) S s - D 3

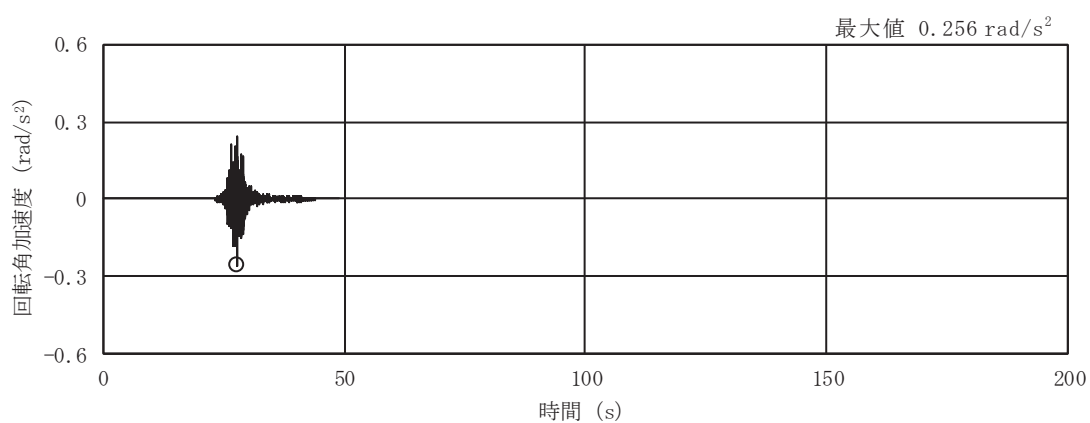
図 2-3(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

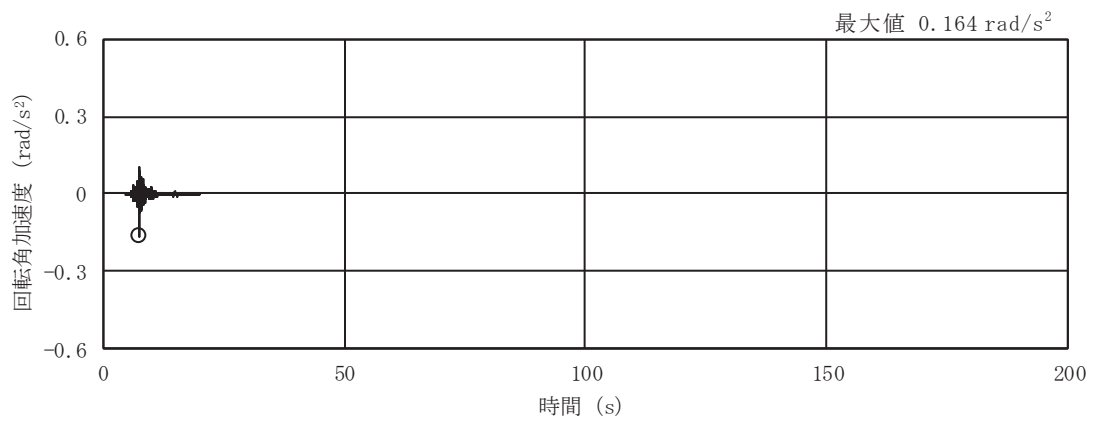


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

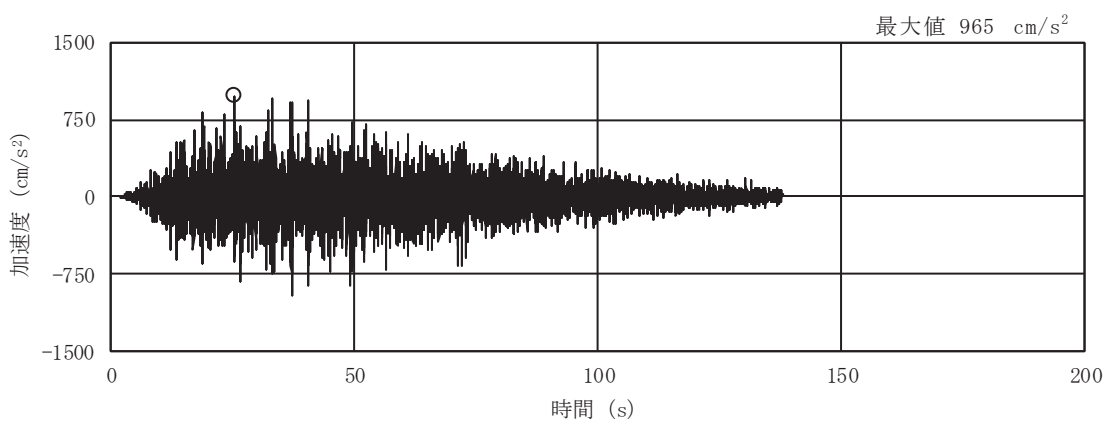
図 2-3(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 回転成分) (2/3)



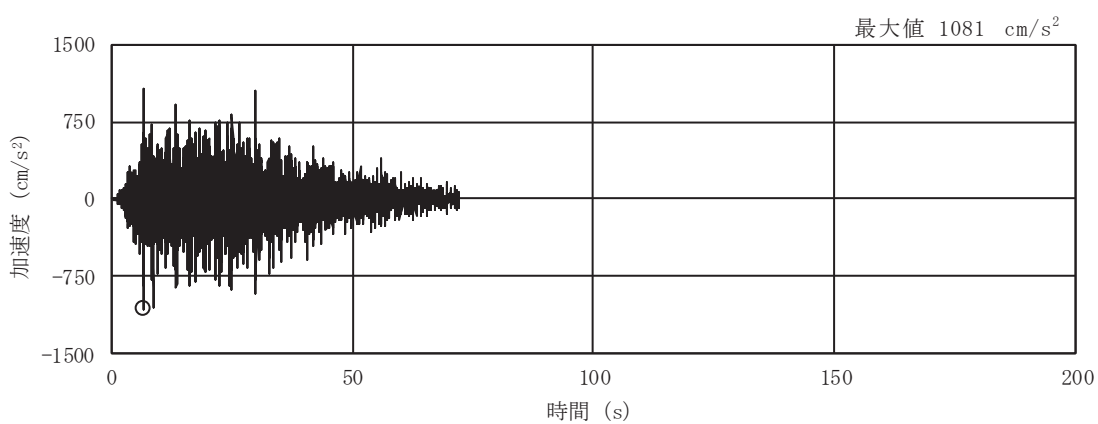
(g) S s - N 1

図 2-3(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 実剛性, ケース④, EW 断面 回転成分) (3/3)

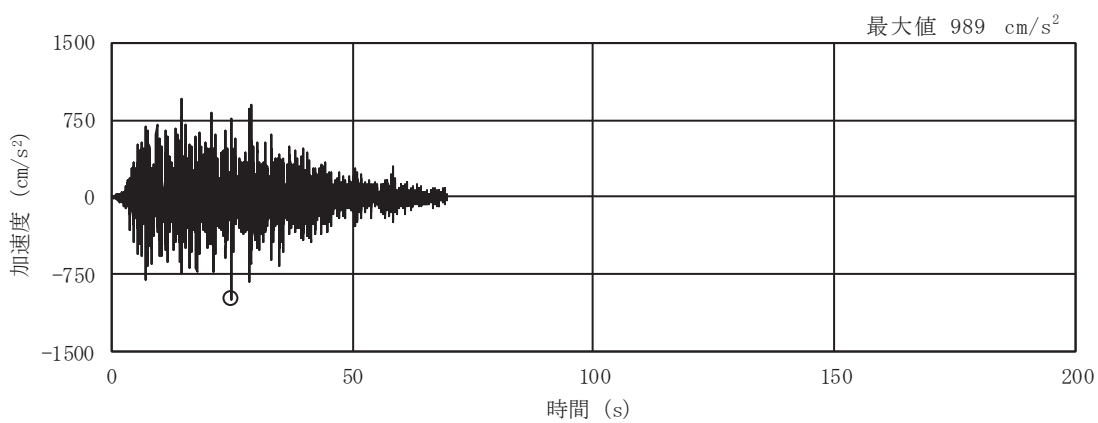




(a) S s - D 1

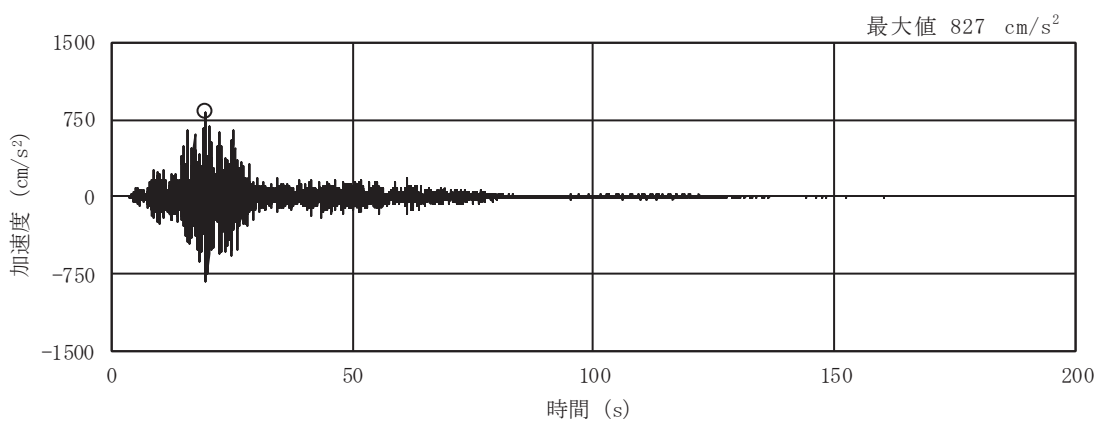


(b) S s - D 2

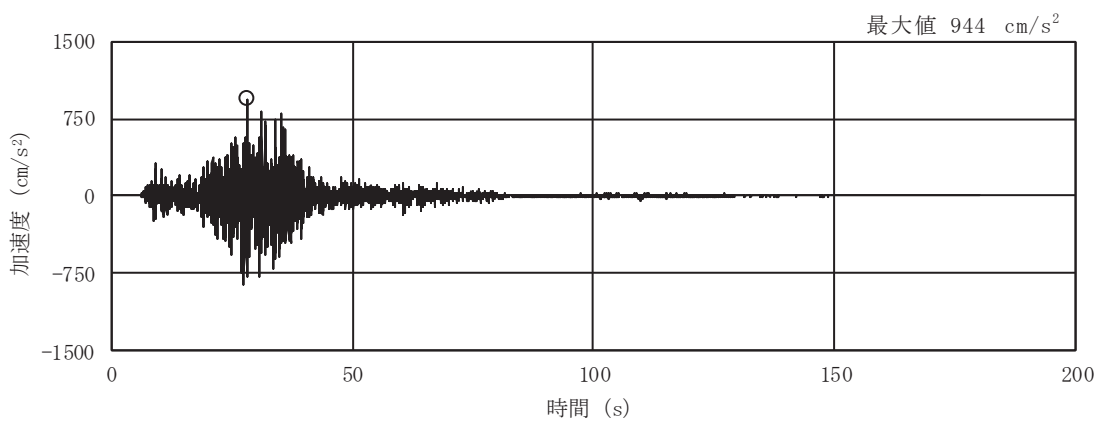


(c) S s - D 3

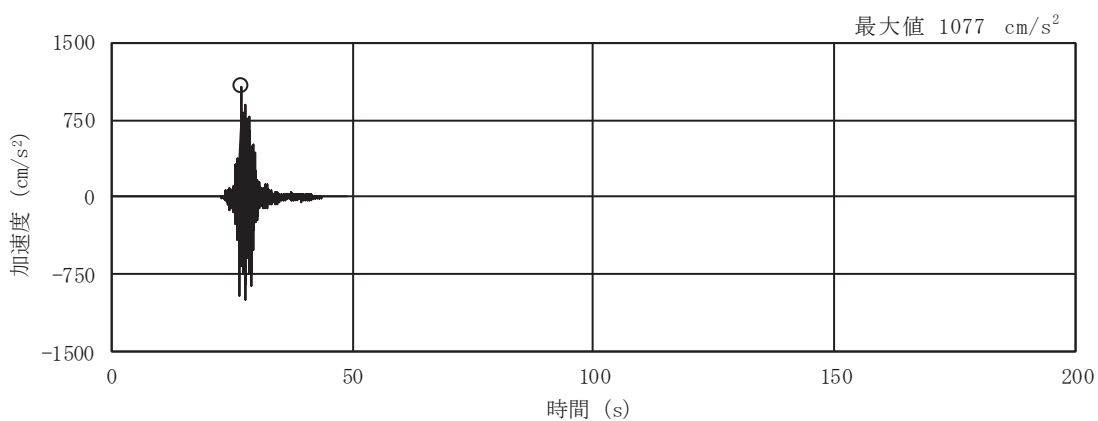
図 2-4(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

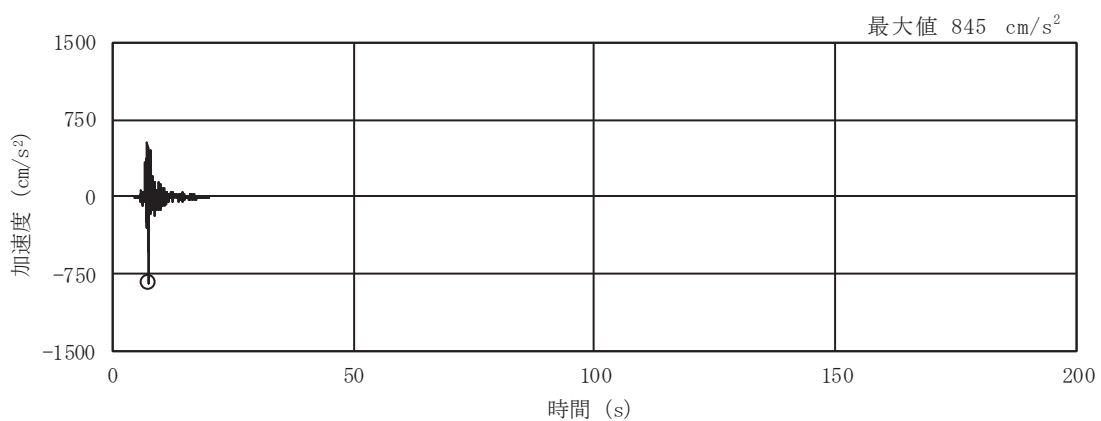


(e) S s - F 2



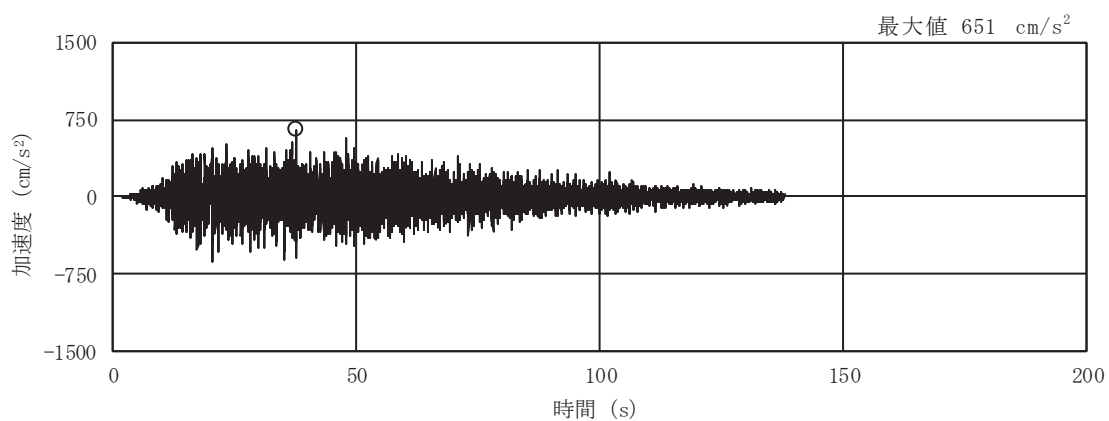
(f) S s - F 3

図 2-4(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 並進成分) (2/3)

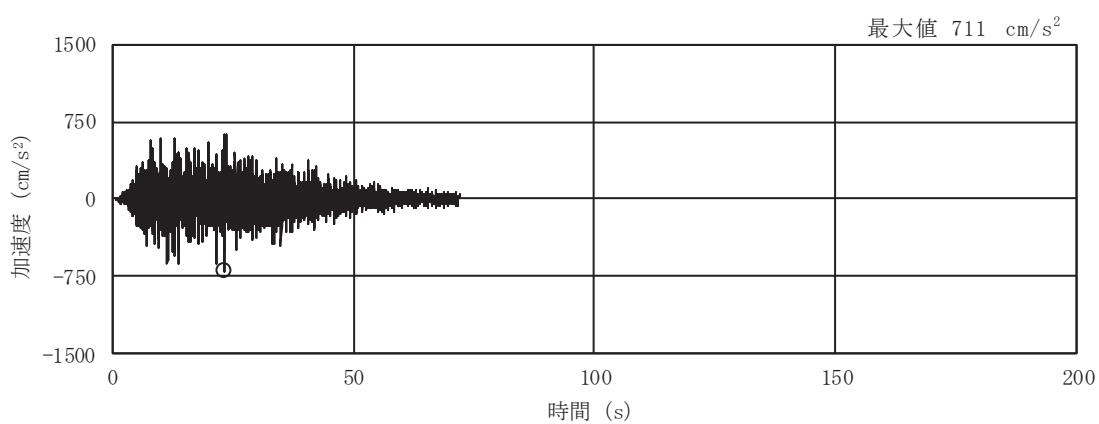


(g) S s - N 1

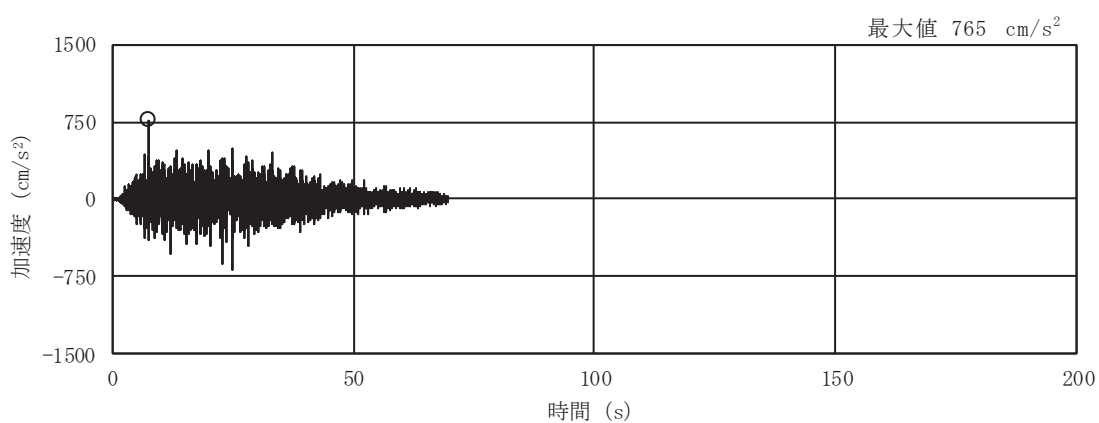
図 2-4(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

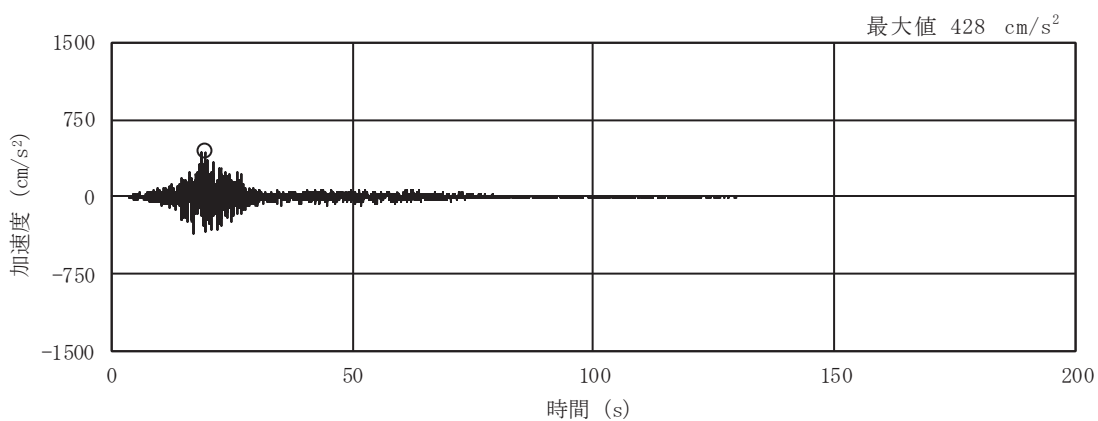


(b) S s - D 2

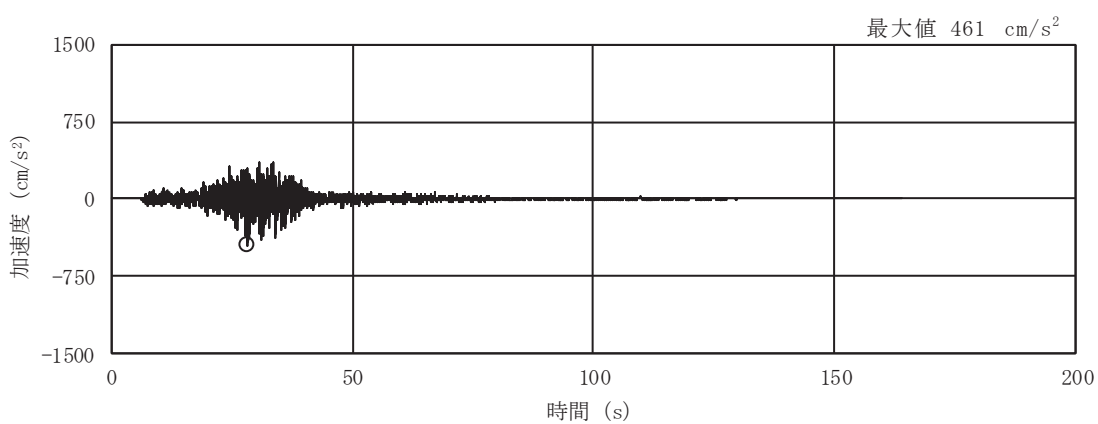


(c) S s - D 3

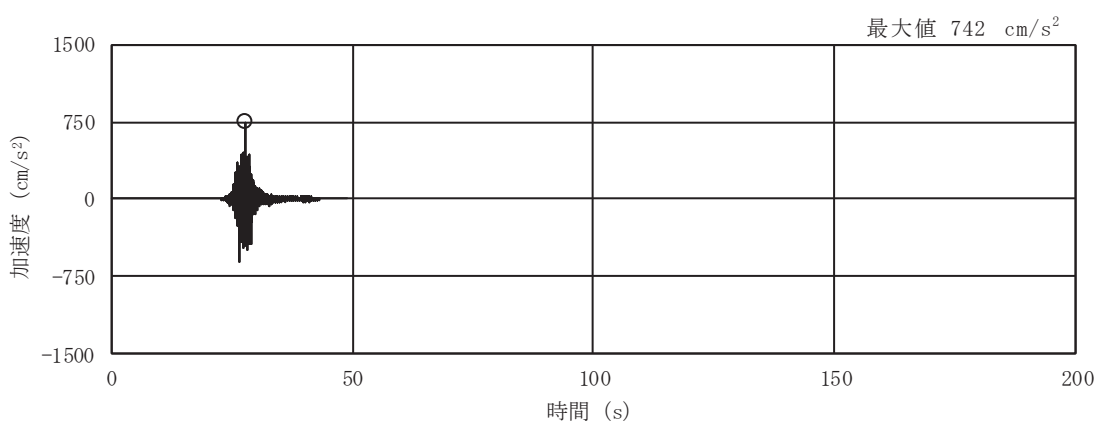
図 2-4(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

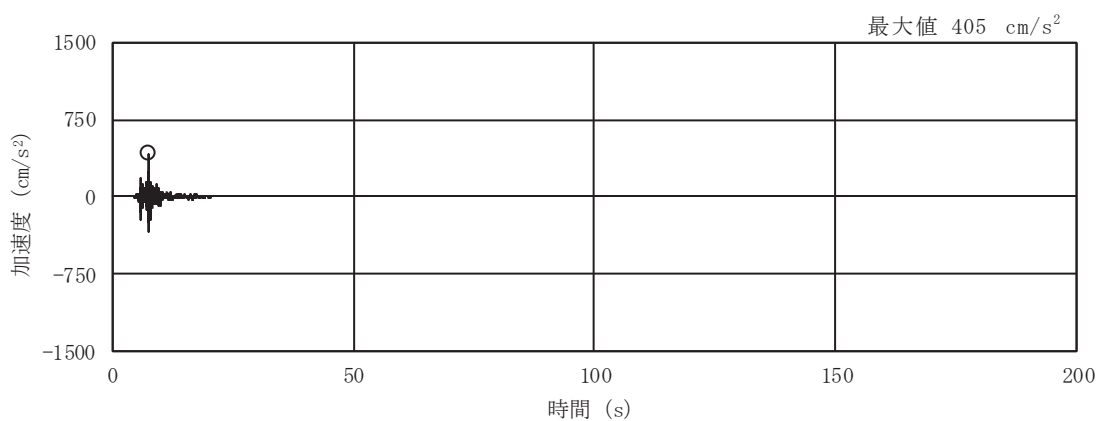


(e) S s - F 2



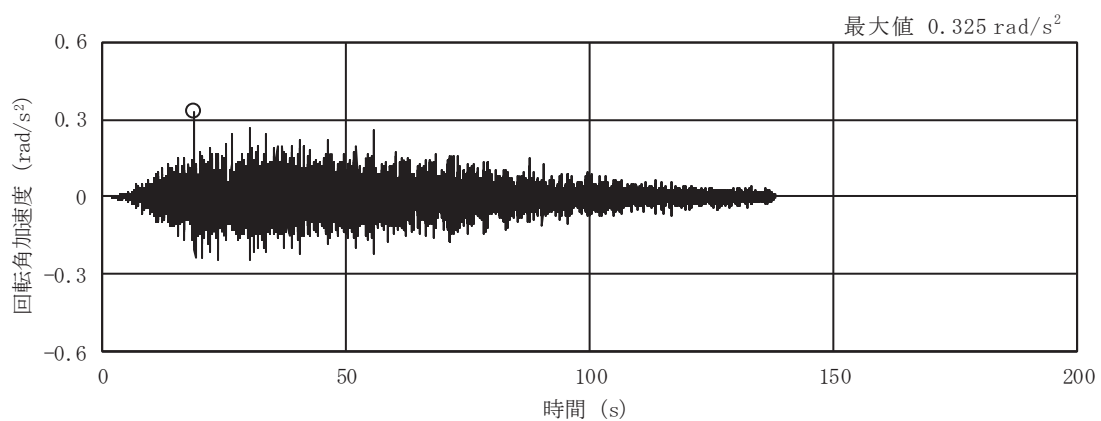
(f) S s - F 3

図 2-4(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

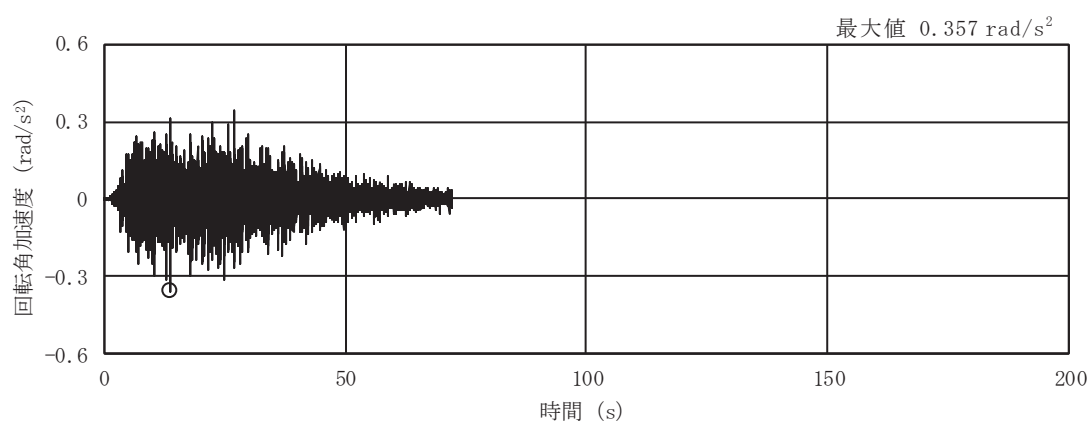


(g) S s - N 1

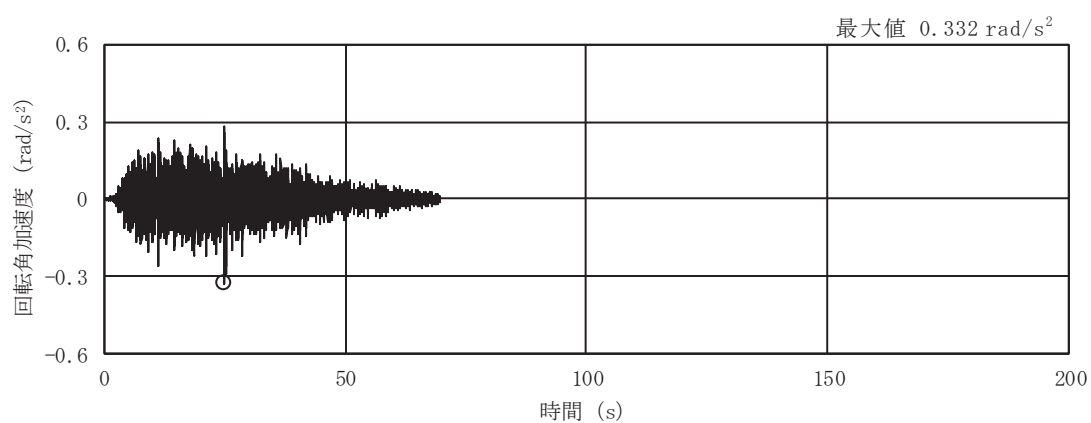
図 2-4(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

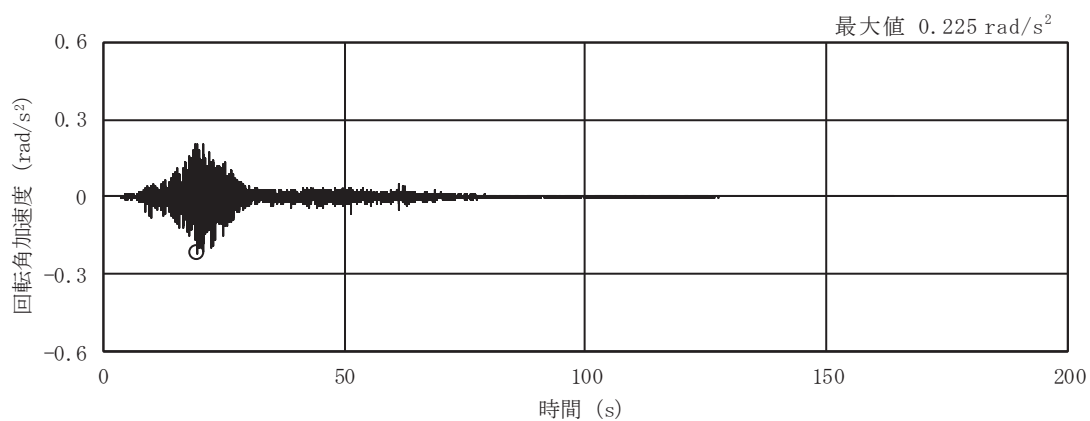


(b) S s - D 2

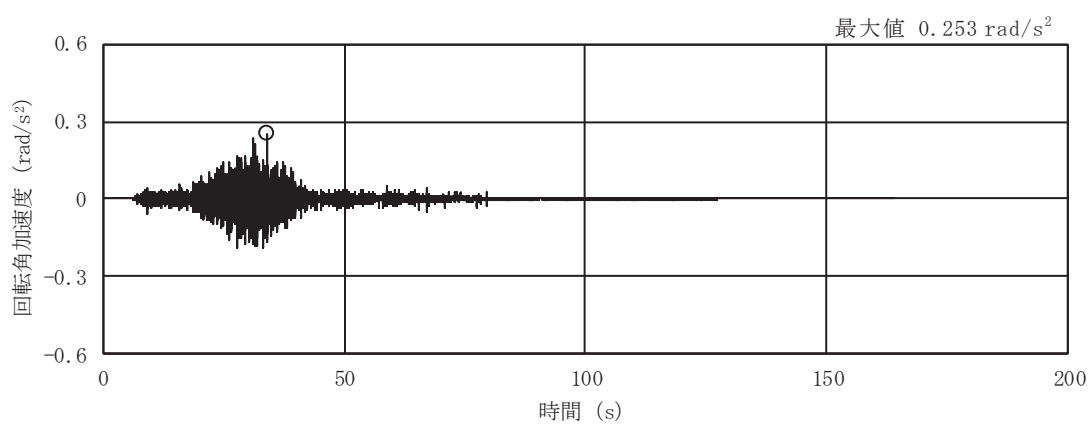


(c) S s - D 3

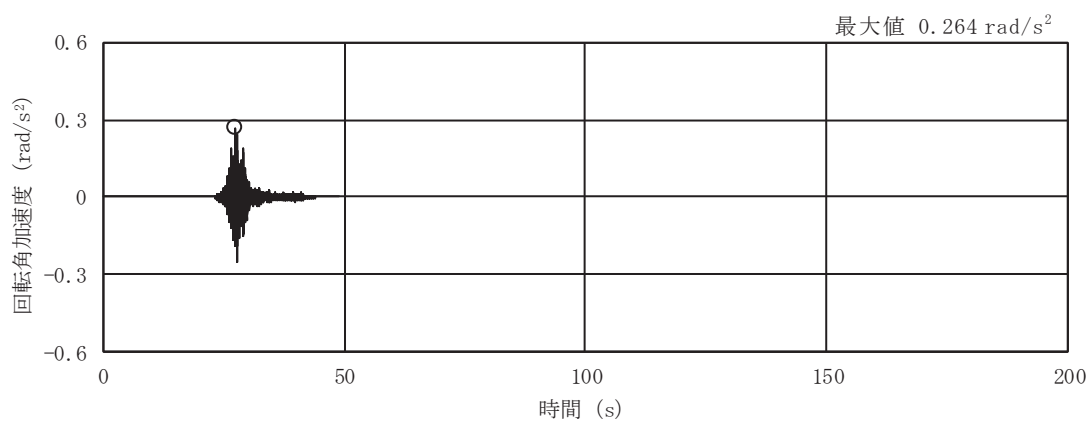
図 2-4(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1



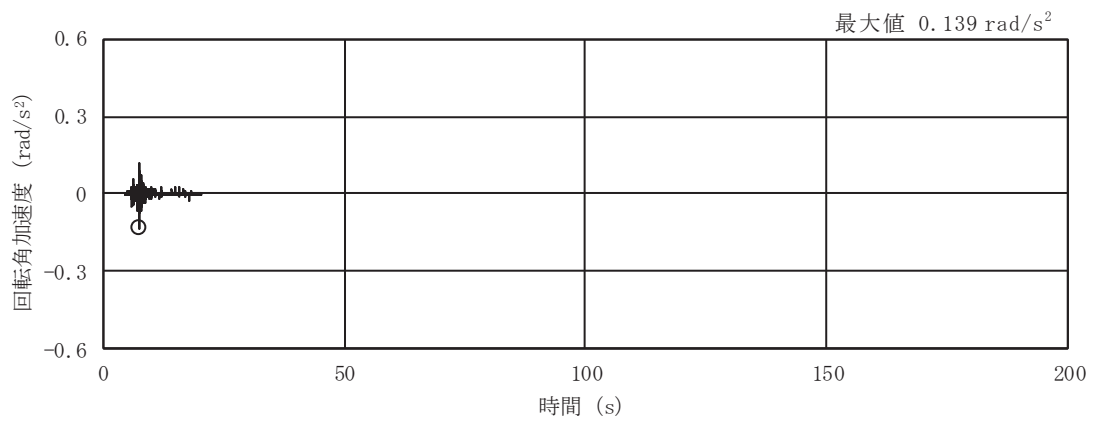
(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

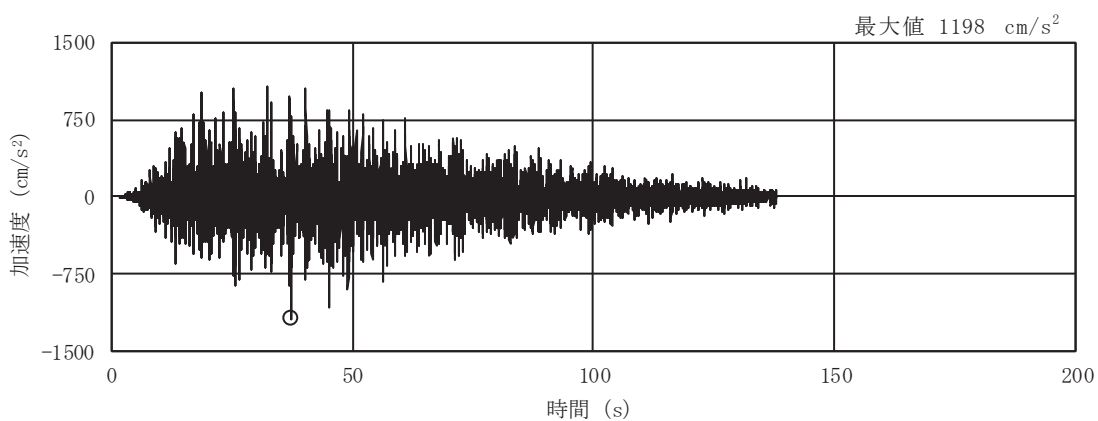
図 2-4(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 回転成分) (2/3)



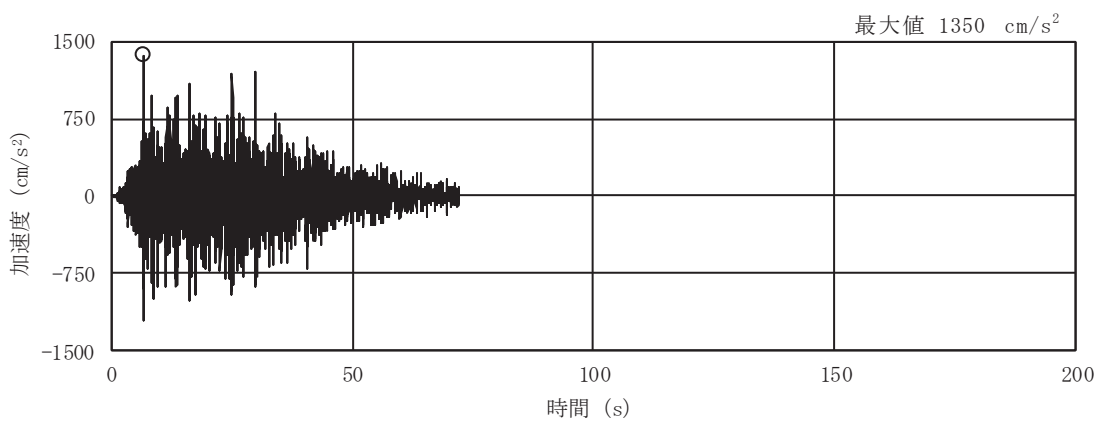


(g) S s - N 1

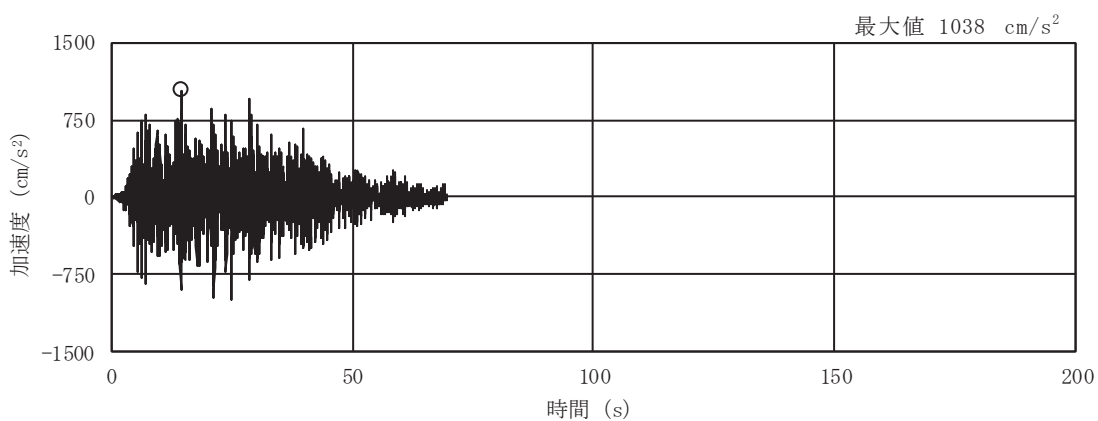
図 2-4(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

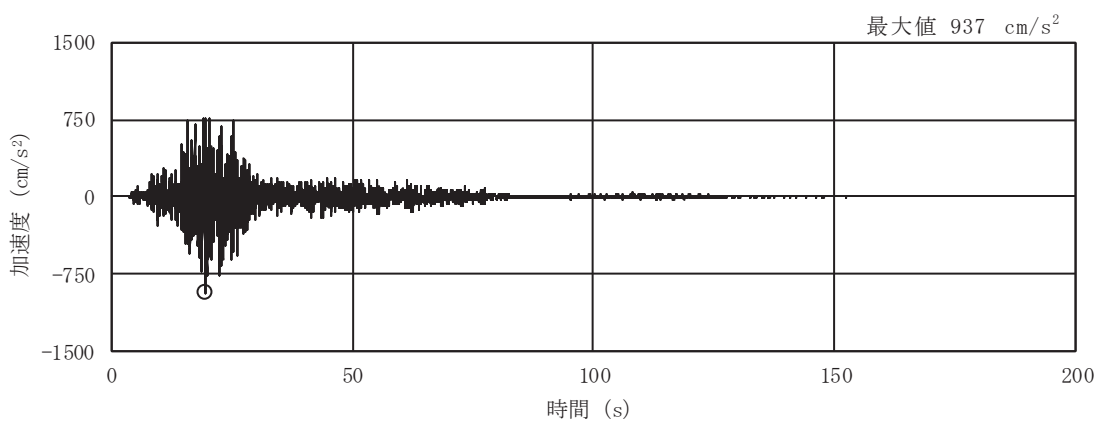


(b) S s - D 2

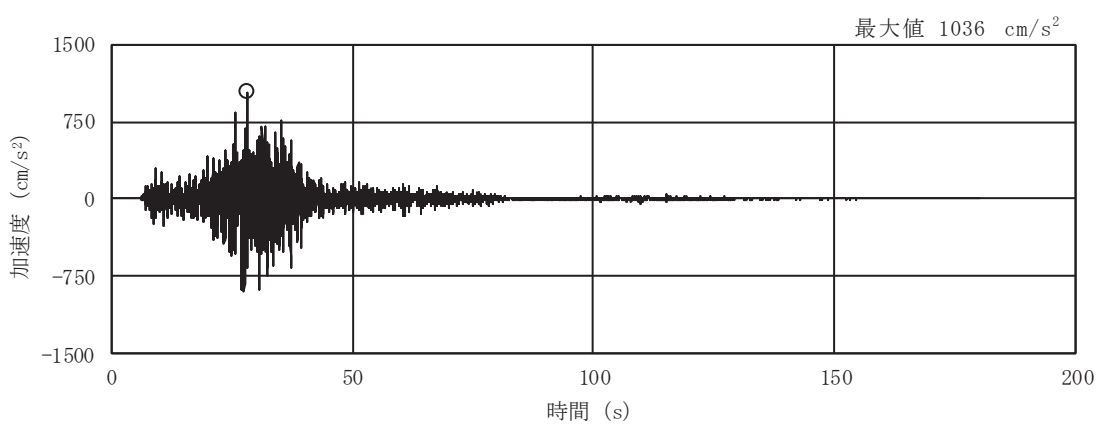


(c) S s - D 3

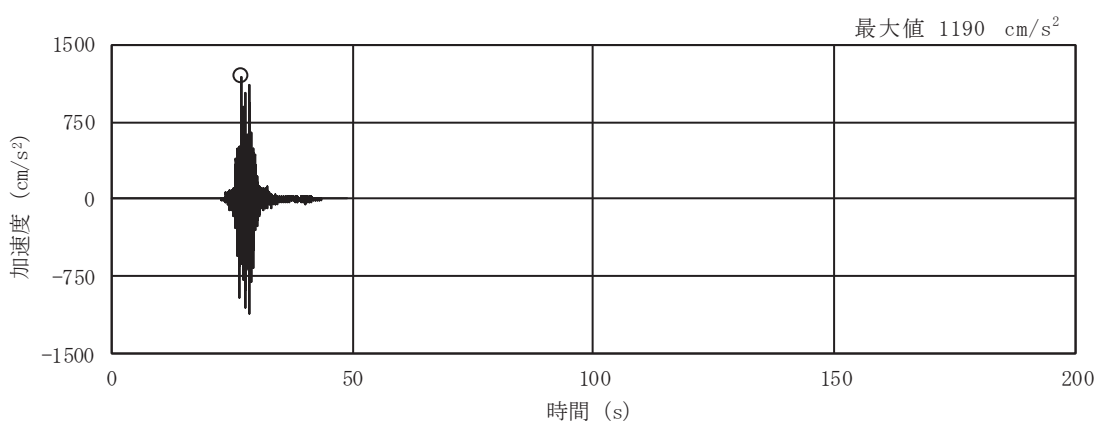
図 2-4(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

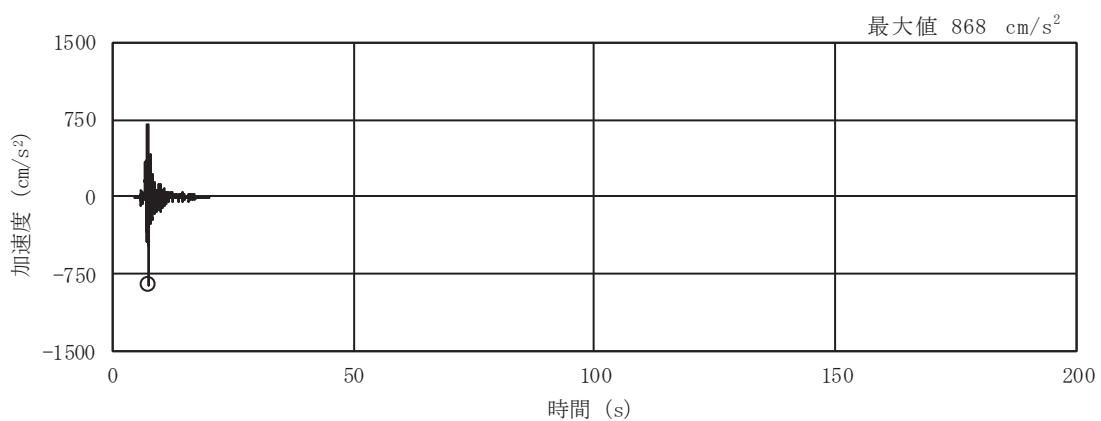


(e) S s - F 2



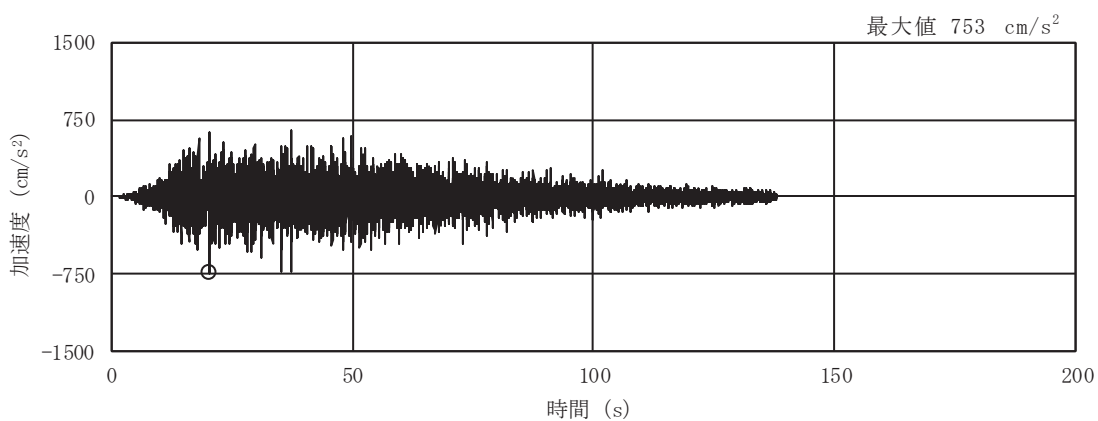
(f) S s - F 3

図 2-4(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 並進成分) (2/3)

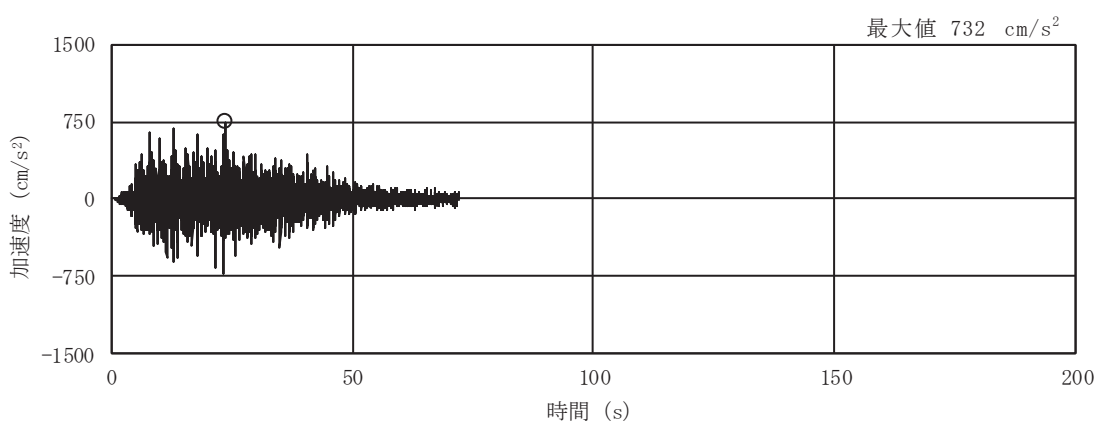


(g) S s - N 1

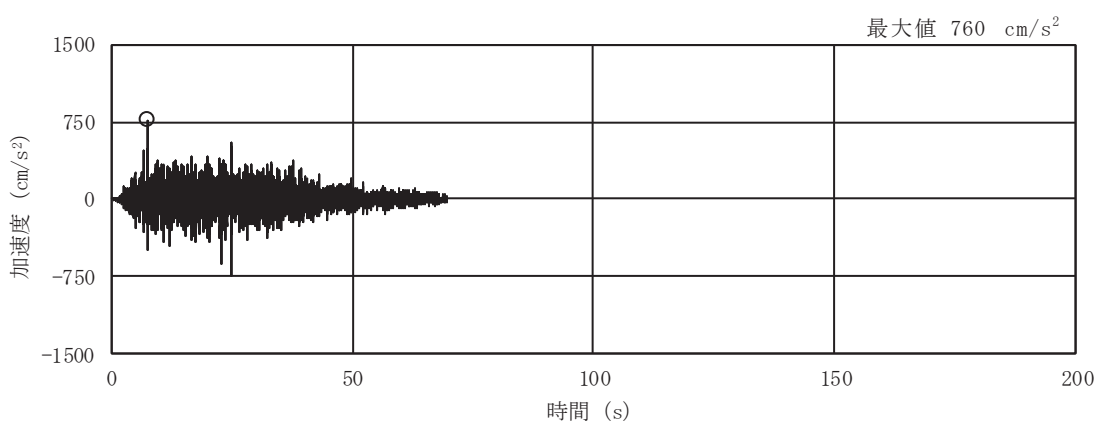
図 2-4(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

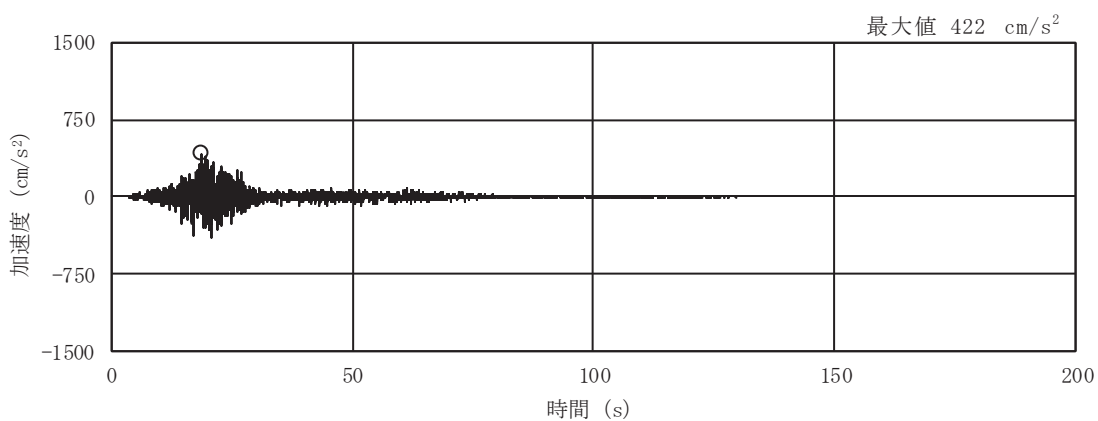


(b) S s - D 2

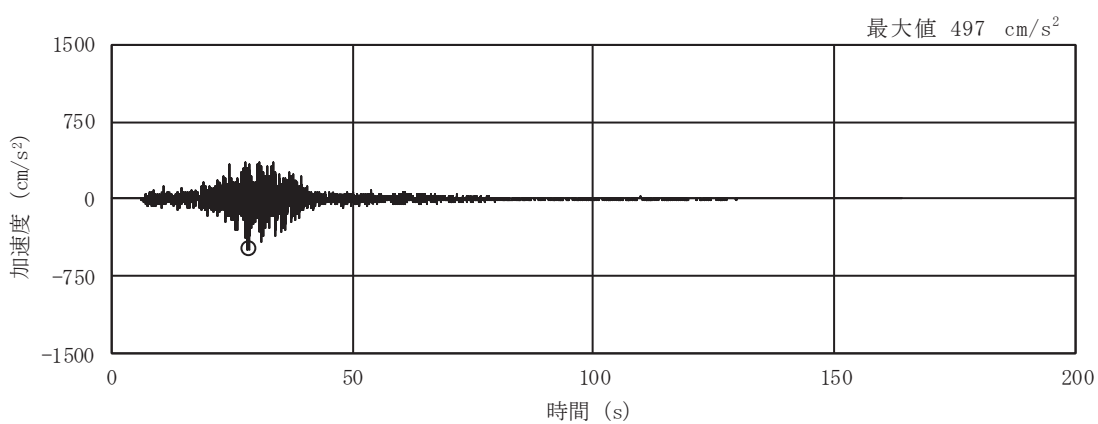


(c) S s - D 3

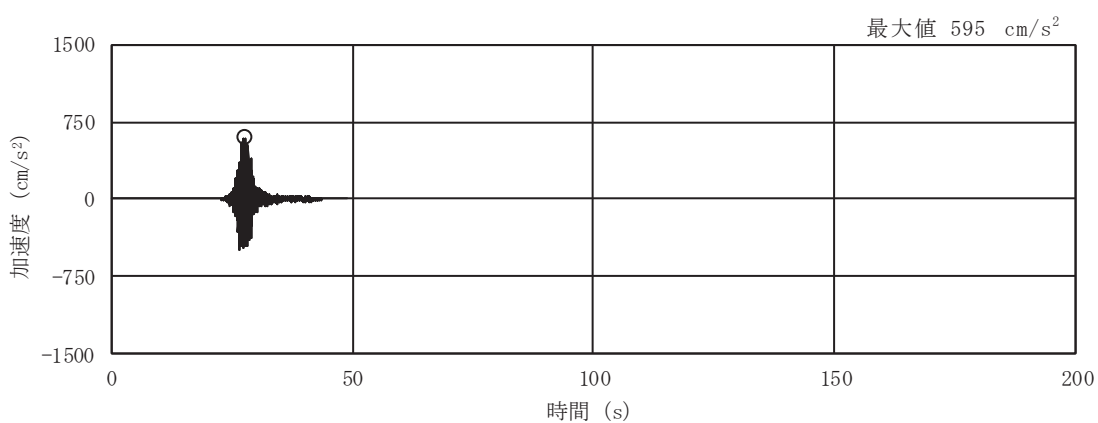
図 2-4(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

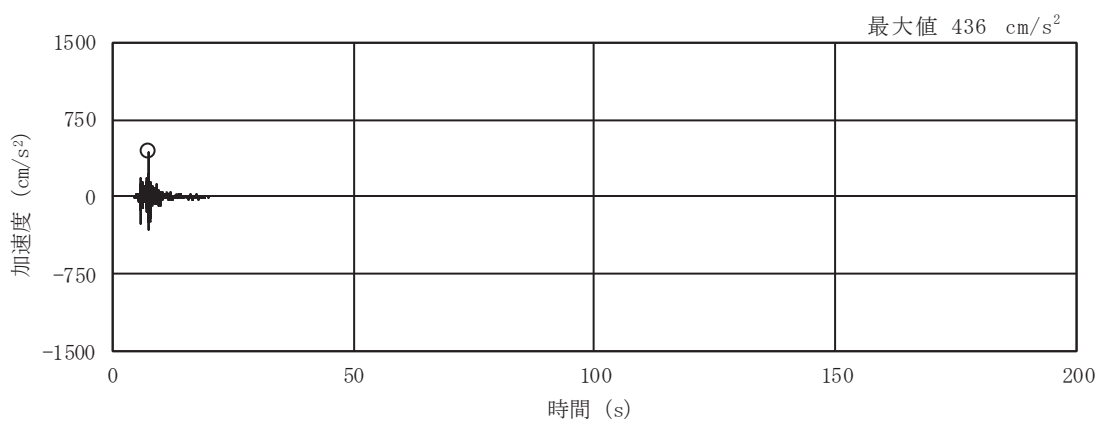


(e) S s - F 2



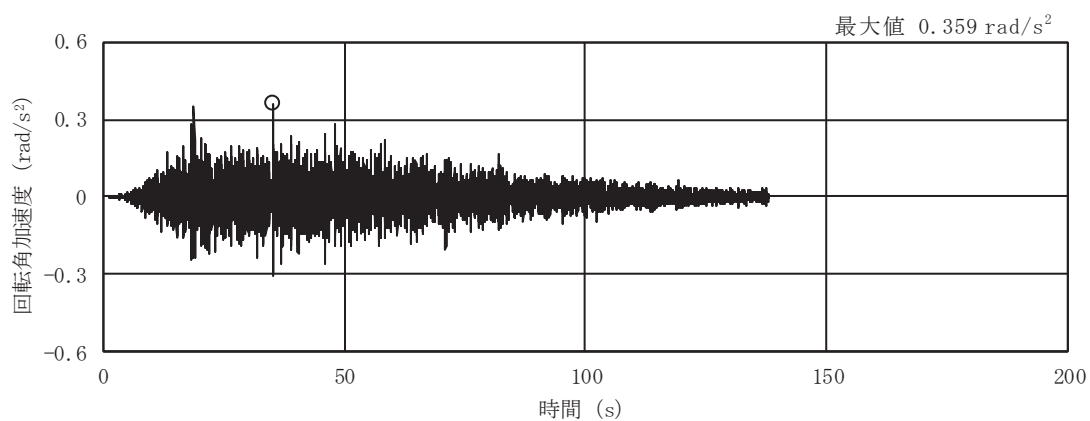
(f) S s - F 3

図 2-4(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

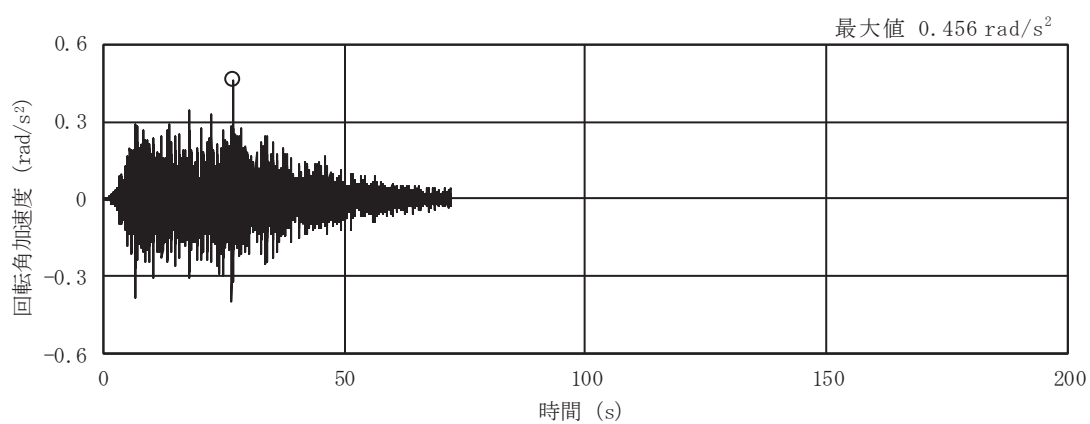


(g) S s - N 1

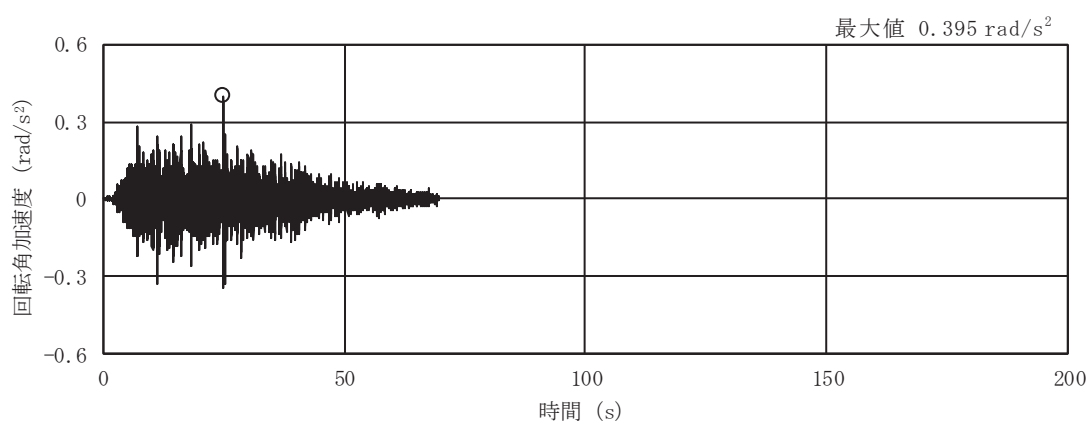
図 2-4(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1



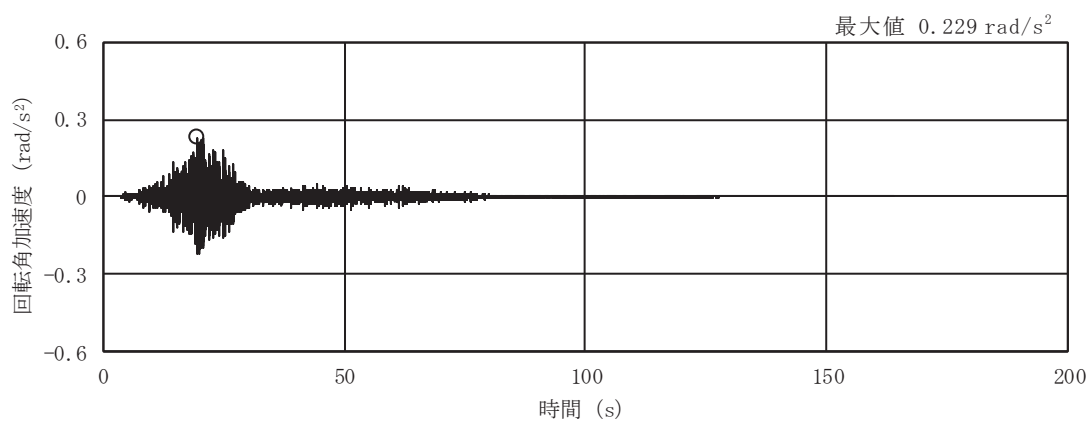
(b) S s - D 2



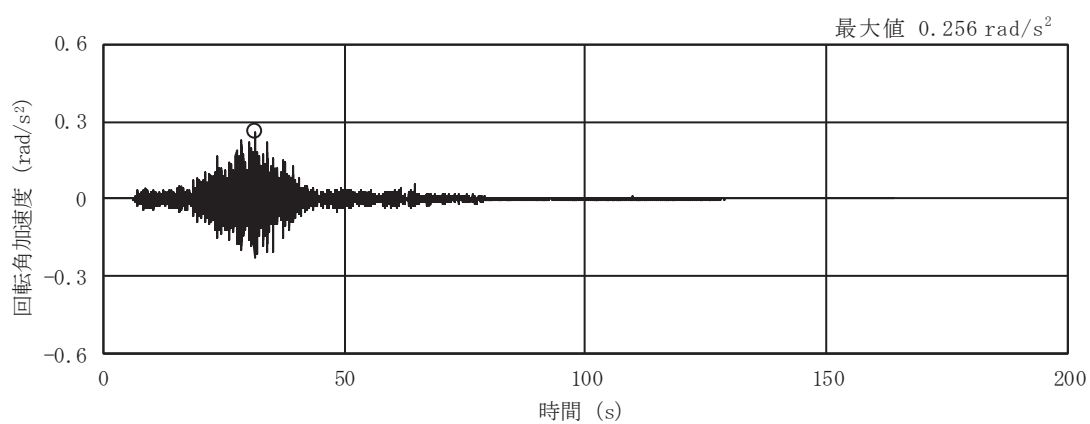
(c) S s - D 3

図 2-4(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 回転成分) (1/3)

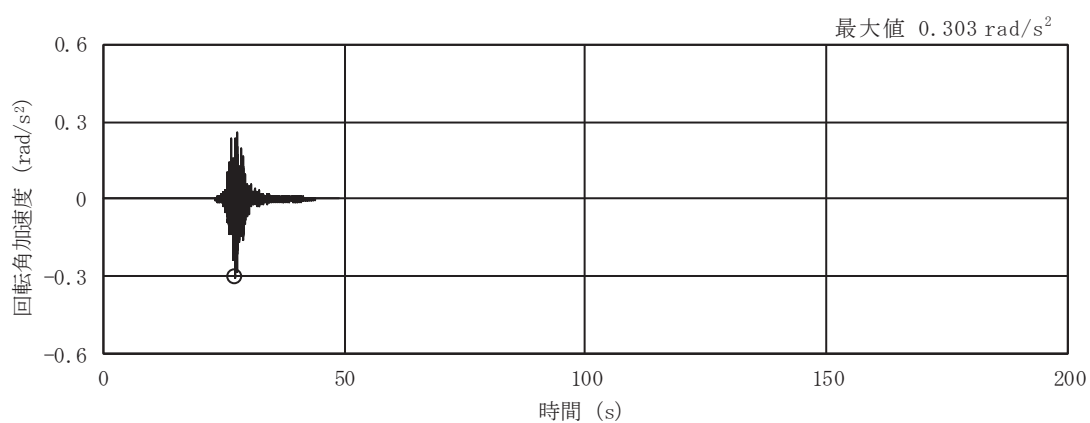




(d) S s - F 1

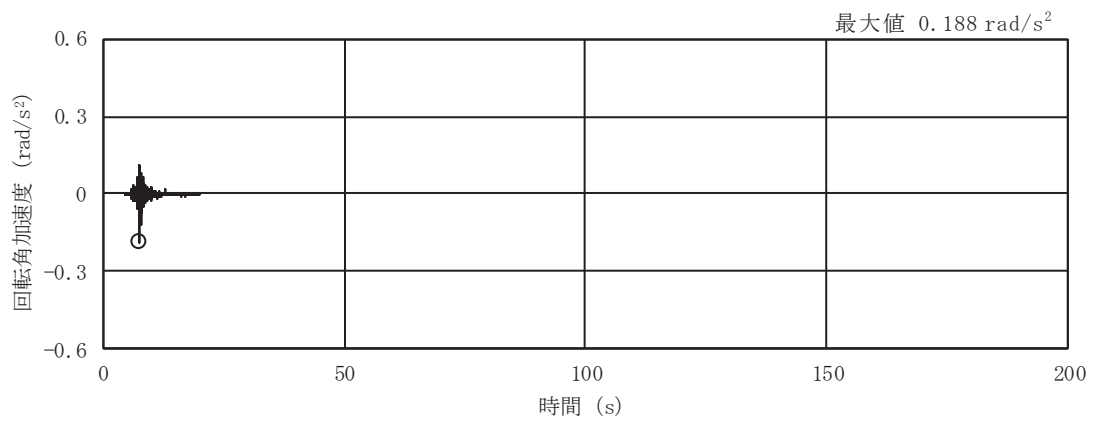


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 2-4(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 回転成分) (2/3)



(g) S s - N 1

図 2-4(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 回転成分) (3/3)

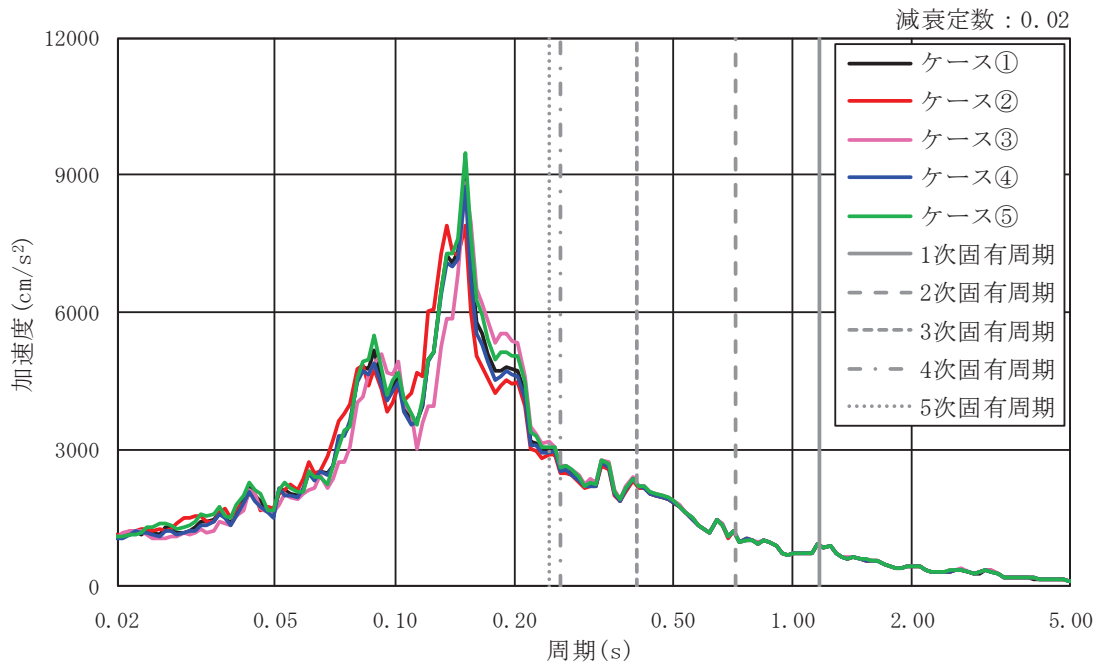


図 2-5(1) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面, 並進成分)

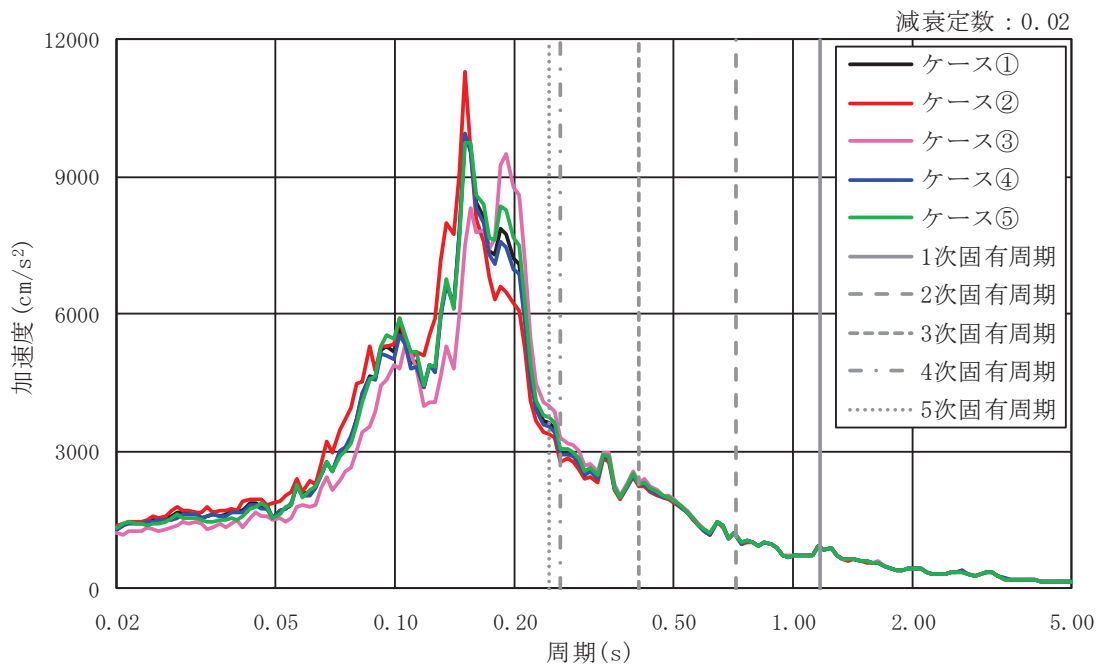


図 2-5(2) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, 並進成分)

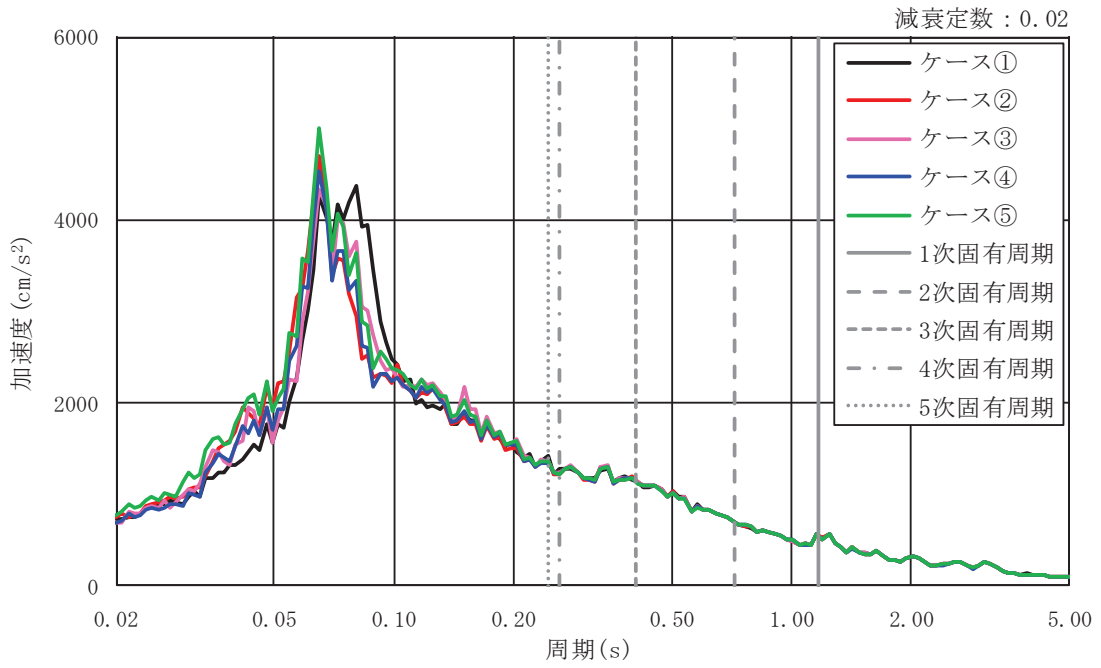


図 2-5(3) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面, 鉛直成分)

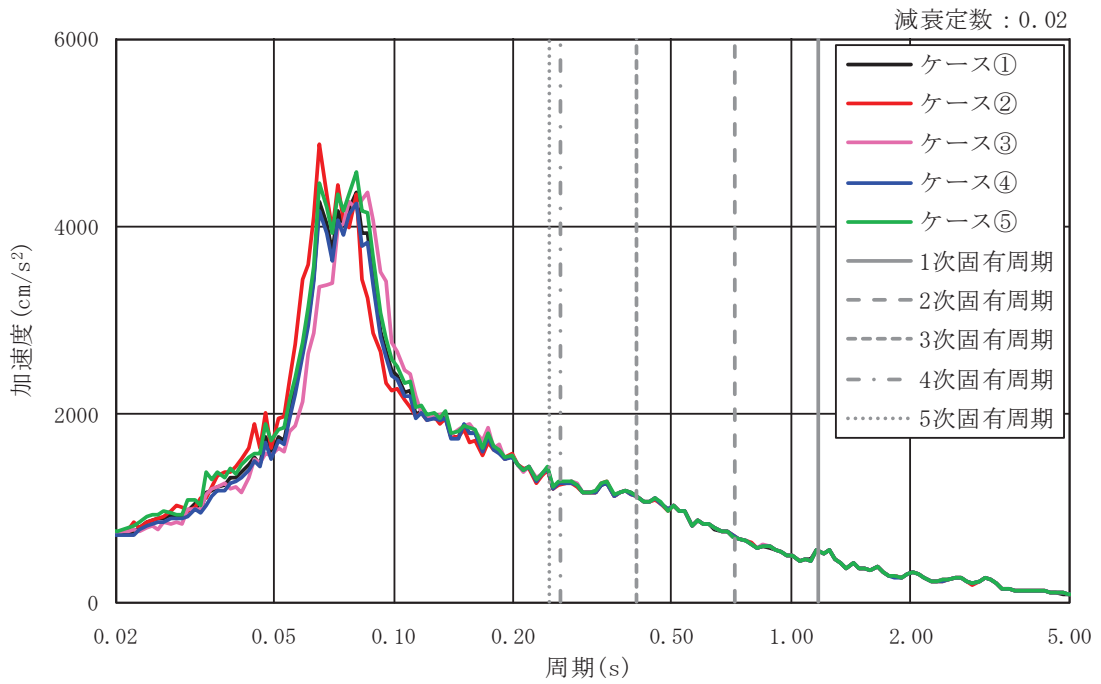


図 2-5(4) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, 鉛直成分)

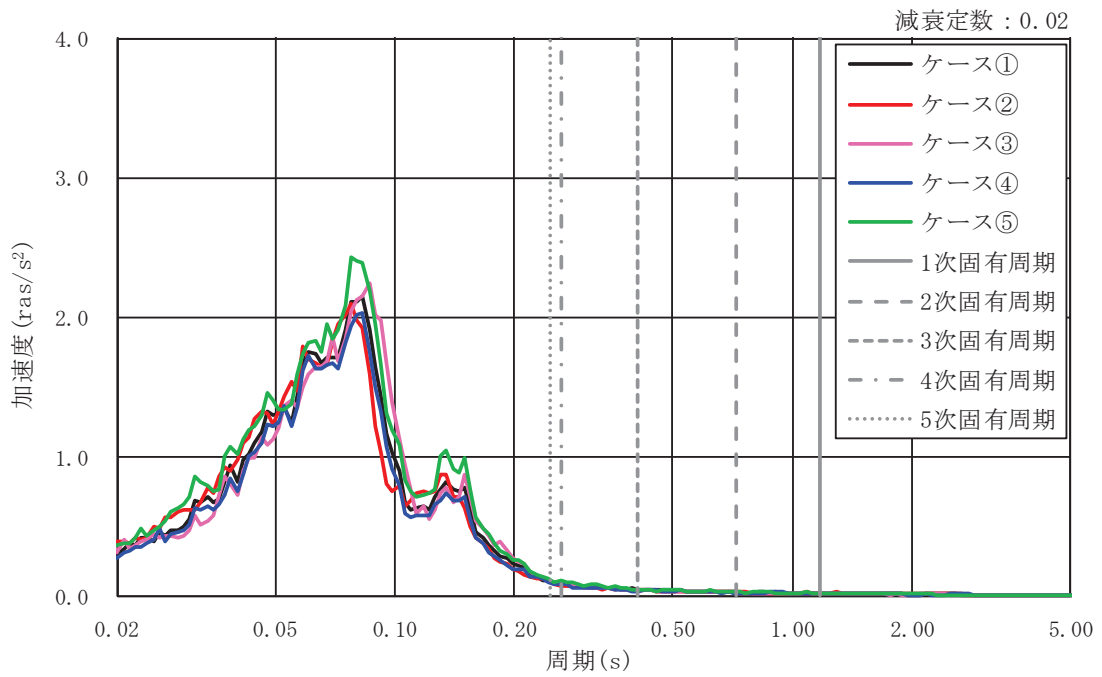


図 2-5(5) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面, 回転成分)

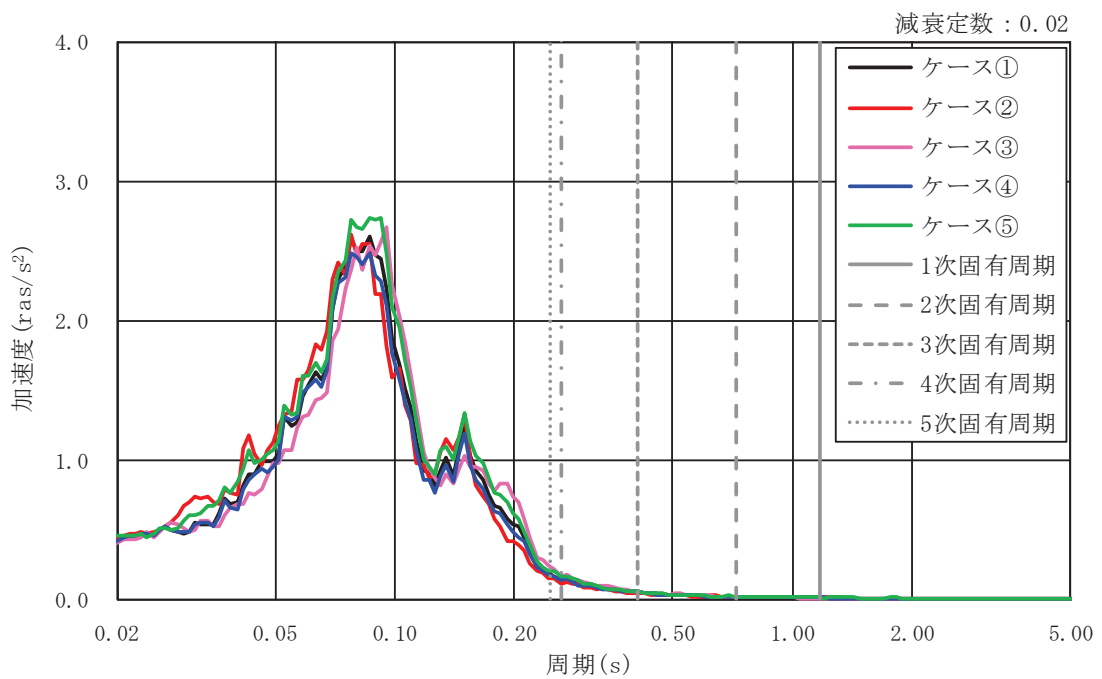


図 2-5(6) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, 回転成分)

表 2-2(1) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	894	899	899	894	898
2	0.721	1148	1149	1162	1149	1150
3	0.408	2220	2187	2228	2207	2233
4	0.262	2524	2461	2636	2508	2595
5	0.245	2967	2896	3138	2915	3047

表 2-2(2) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	896	893	895	894	897
2	0.721	1171	1164	1179	1168	1172
3	0.408	2307	2277	2374	2300	2329
4	0.262	2967	2768	3279	2925	3067
5	0.245	3604	3373	3988	3541	3743

表 2-2(3) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	548	551	546	547	548
2	0.721	699	700	705	698	698
3	0.408	1141	1142	1148	1134	1136
4	0.262	1273	1229	1241	1215	1229
5	0.245	1401	1340	1349	1332	1346

表 2-2(4) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	548	548	546	548	548
2	0.721	699	700	699	700	700
3	0.408	1141	1128	1142	1141	1136
4	0.262	1273	1251	1278	1266	1281
5	0.245	1401	1387	1400	1395	1418

表 2-2(5) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 回転成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (rad/s <sup>2</sup> )				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	0.021	0.018	0.020	0.017	0.024
2	0.721	0.025	0.026	0.027	0.025	0.029
3	0.408	0.047	0.040	0.039	0.036	0.050
4	0.262	0.094	0.073	0.093	0.085	0.110
5	0.245	0.106	0.107	0.115	0.093	0.121

表 2-2(6) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 回転成分)

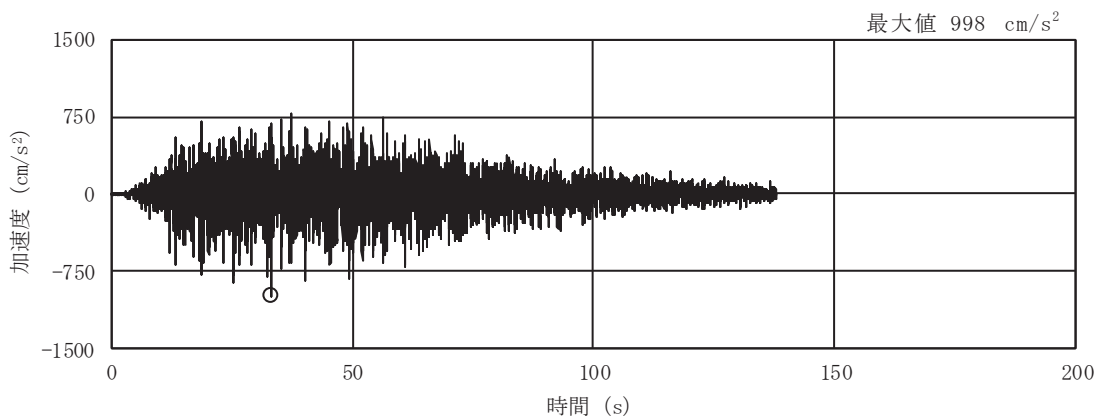
モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (rad/s <sup>2</sup> )				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	0.012	0.012	0.012	0.013	0.013
2	0.721	0.020	0.019	0.019	0.017	0.021
3	0.408	0.053	0.050	0.061	0.055	0.056
4	0.262	0.140	0.119	0.170	0.143	0.163
5	0.245	0.189	0.154	0.243	0.172	0.204

### 2.3 水平方向の位相反転の影響検討

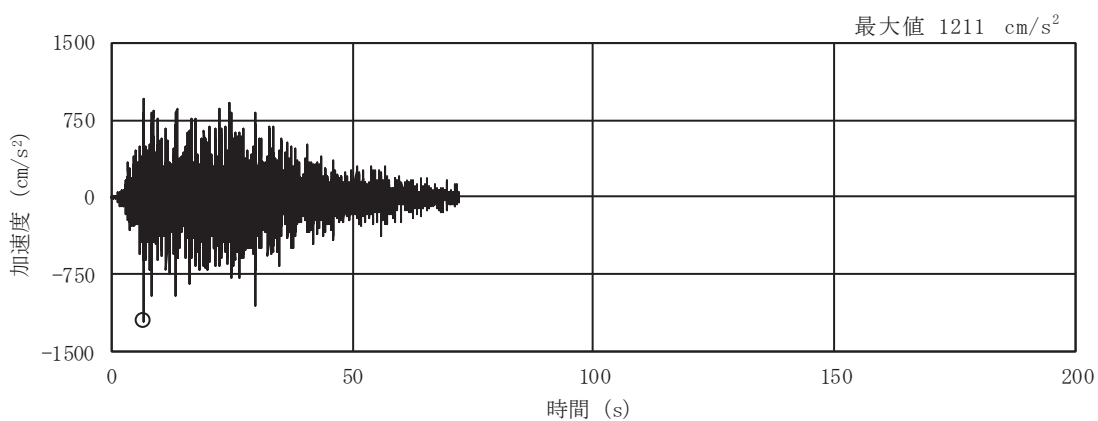
水平方向の位相を反転させた入力地震動に対する排気筒基礎の地震応答解析結果から得られる基礎上端レベル(0. P. 15. 3m)における加速度時刻歴波形を図 2-6 に示す。

また、ケース①と⑥の応答スペクトルの比較を図 2-7 に、応答スペクトルの比較結果を表 2-3 に示す。応答スペクトルに記載の 1 次モード～5 次モードの線は、排気筒の主要モードにおける固有周期を示す。基本ケースと比べケース⑥の応答はほとんど変わらないことを確認した。

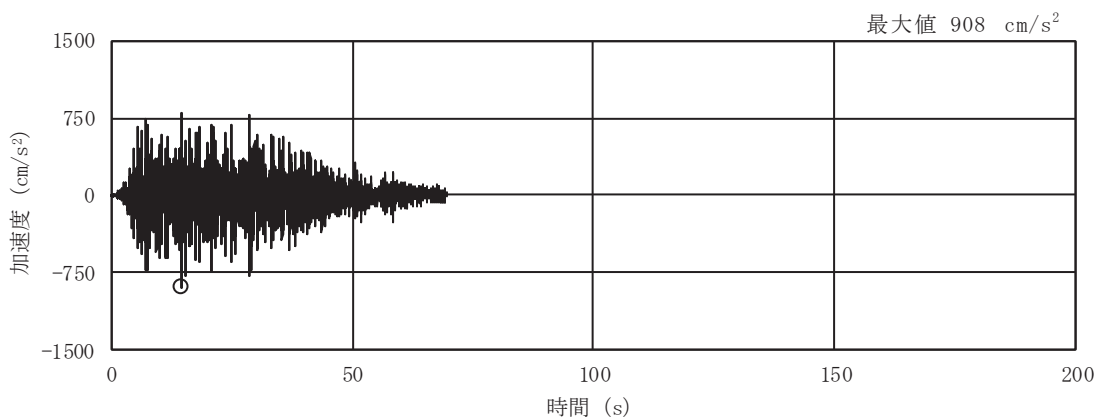




(a) S s - D 1

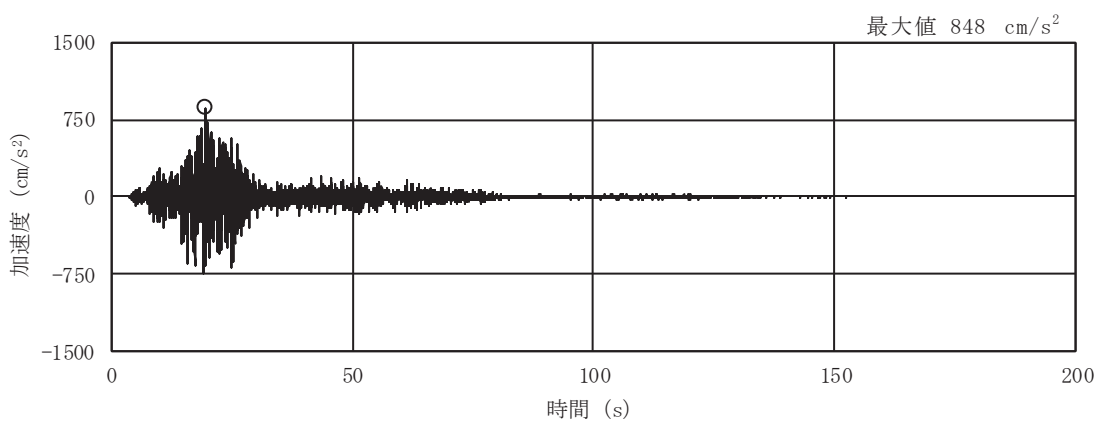


(b) S s - D 2

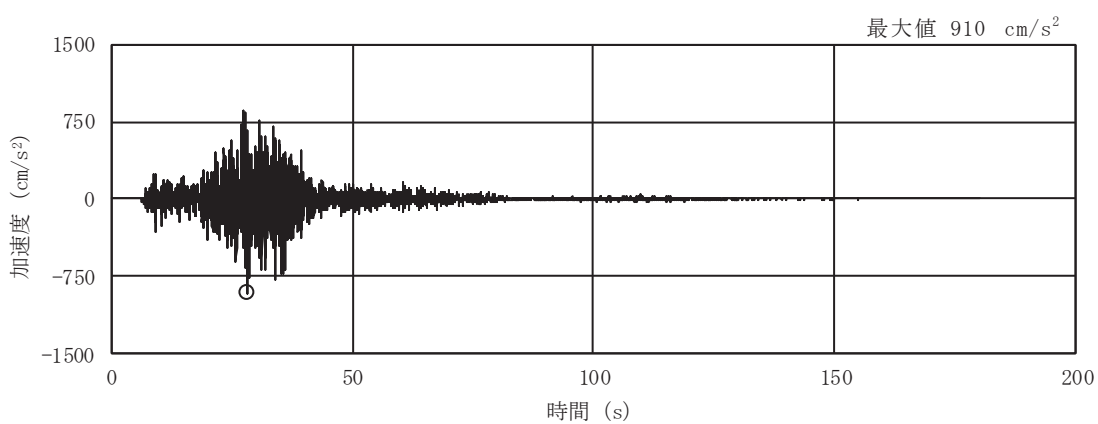


(c) S s - D 3

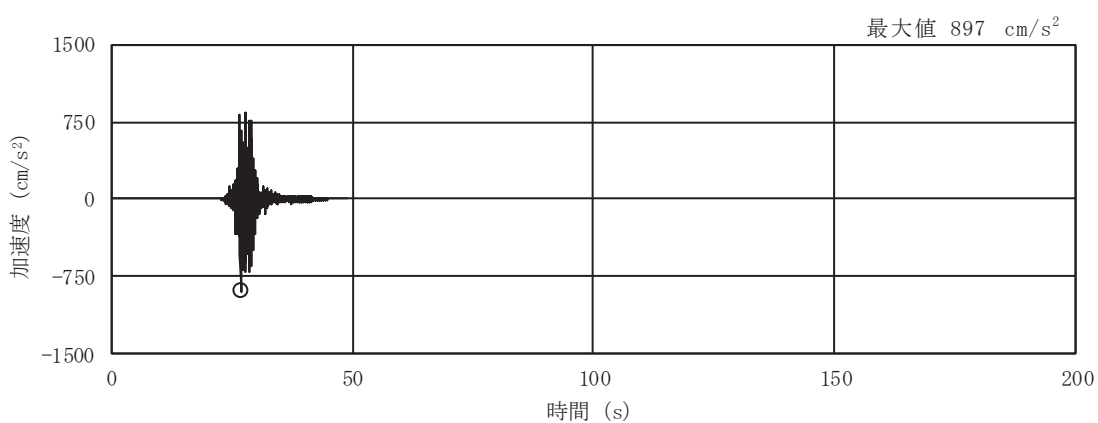
図 2-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

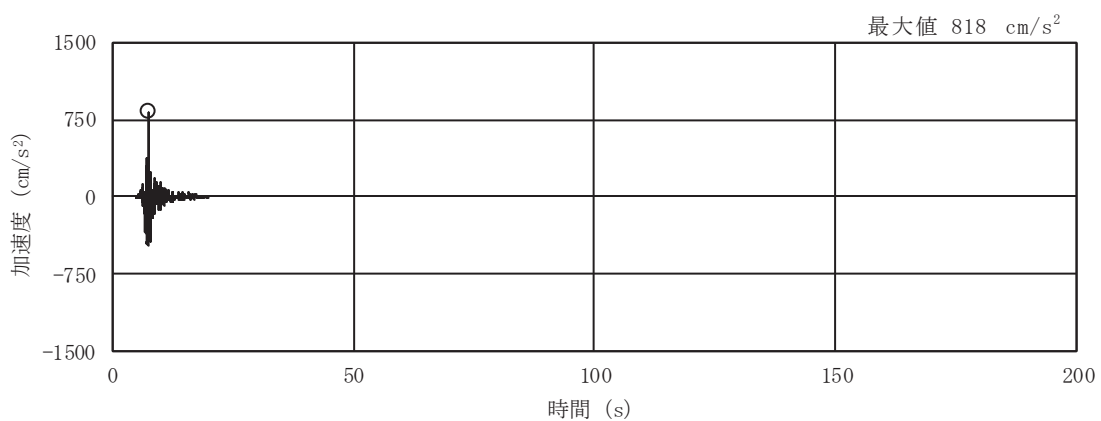


(e) S s - F 2



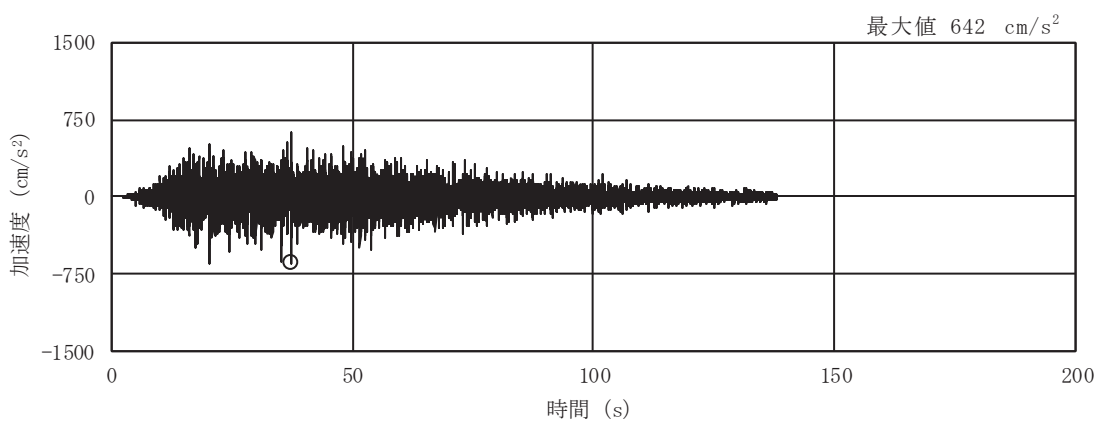
(f) S s - F 3

図 2-6(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 並進成分) (2/3)

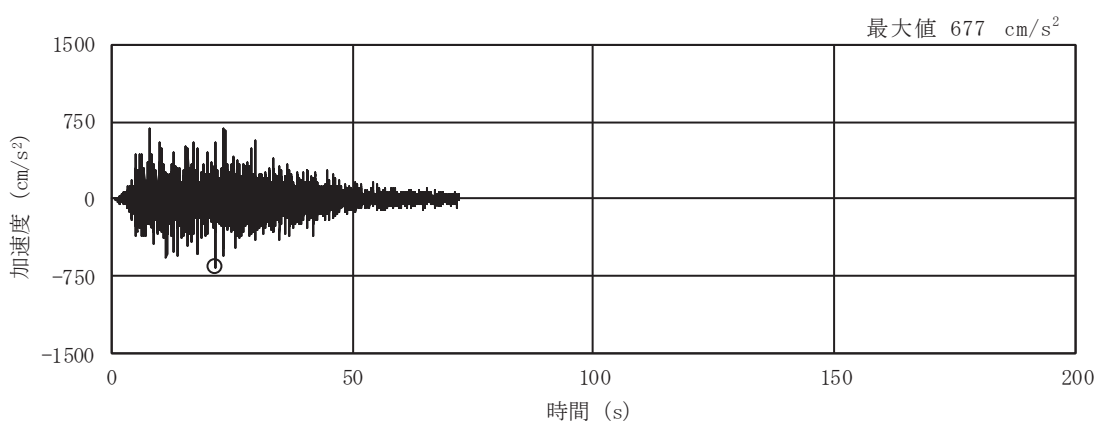


(g) S s - N 1

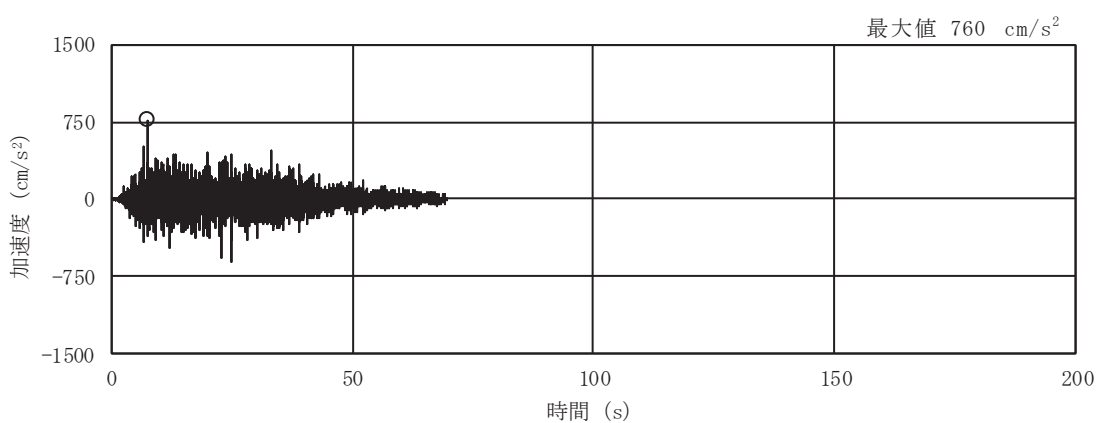
図 2-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

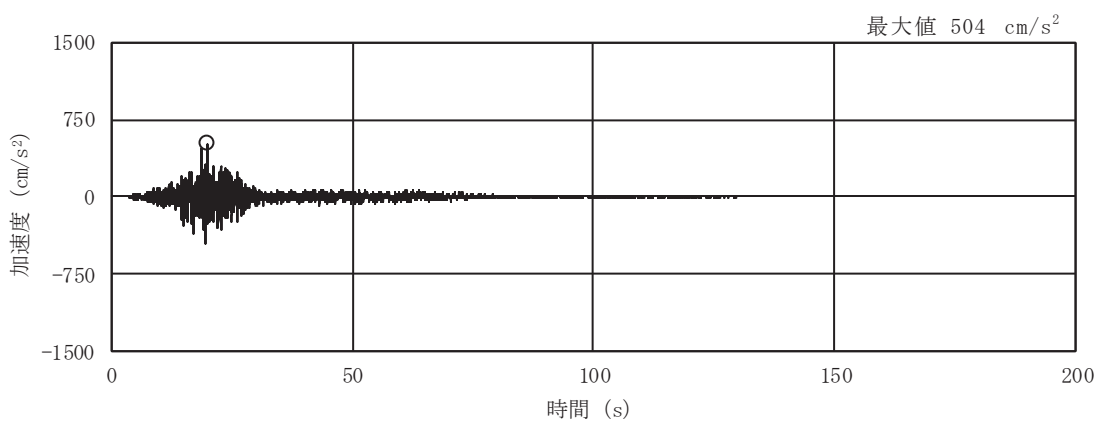


(b) S s - D 2

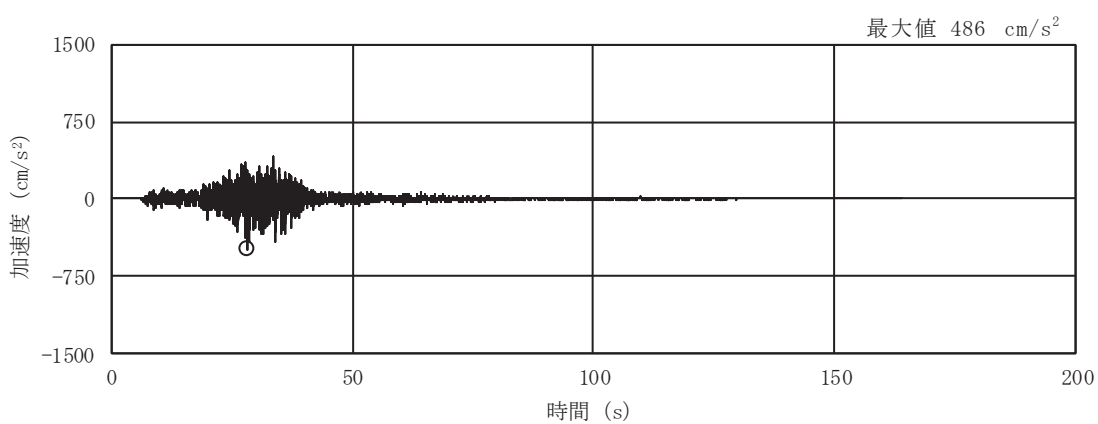


(c) S s - D 3

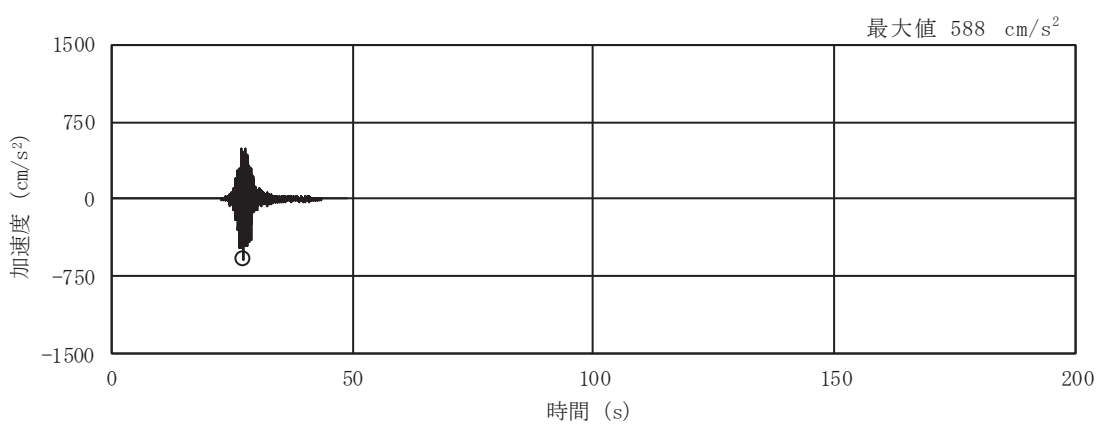
図 2-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

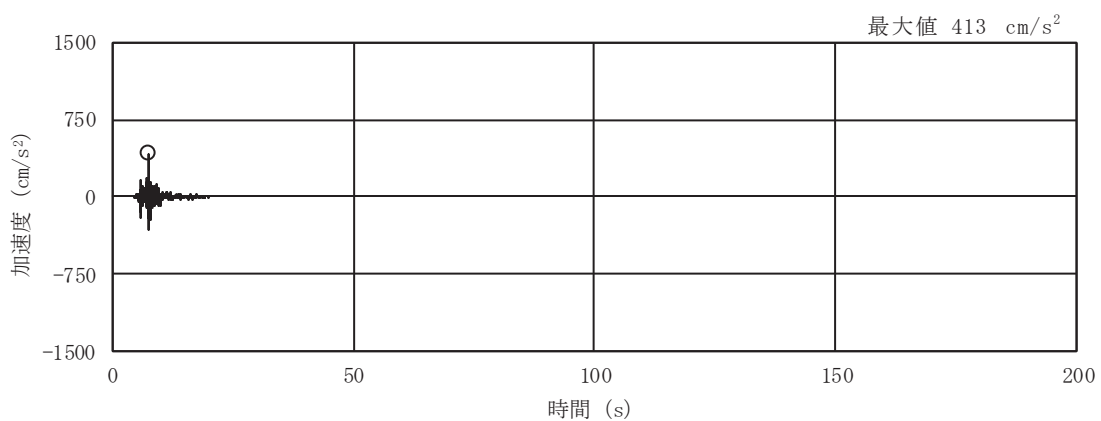


(e) S s - F 2



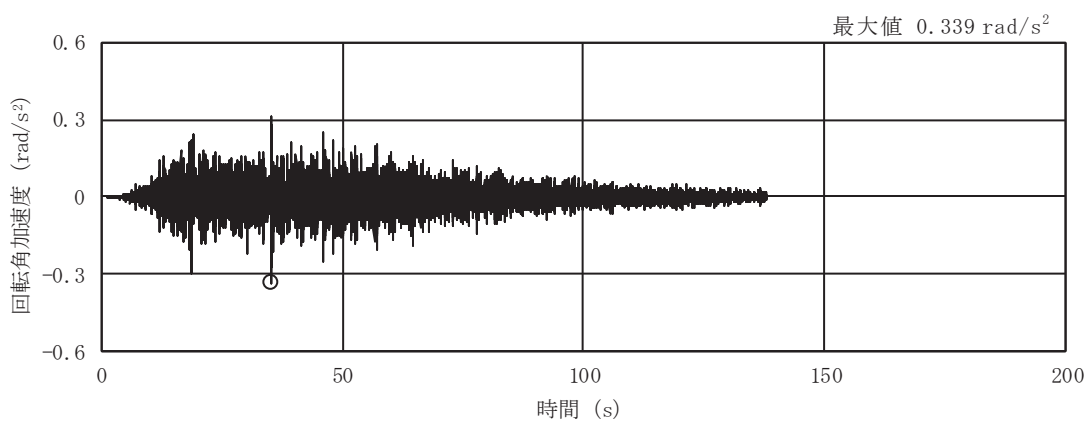
(f) S s - F 3

図 2-6(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

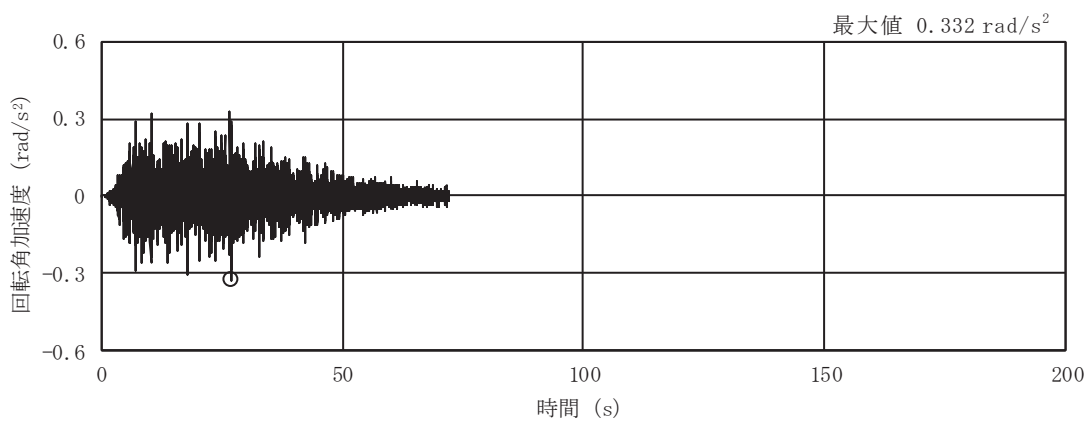


(g) S s - N 1

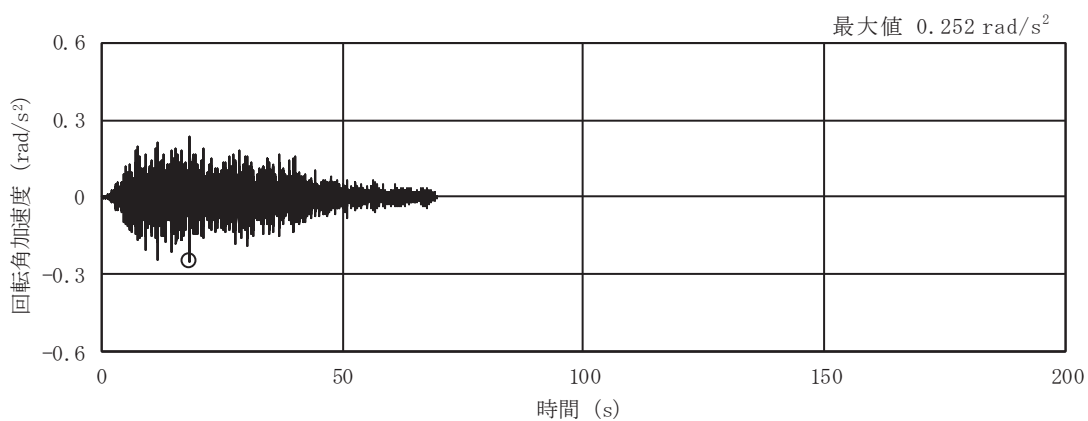
図 2-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

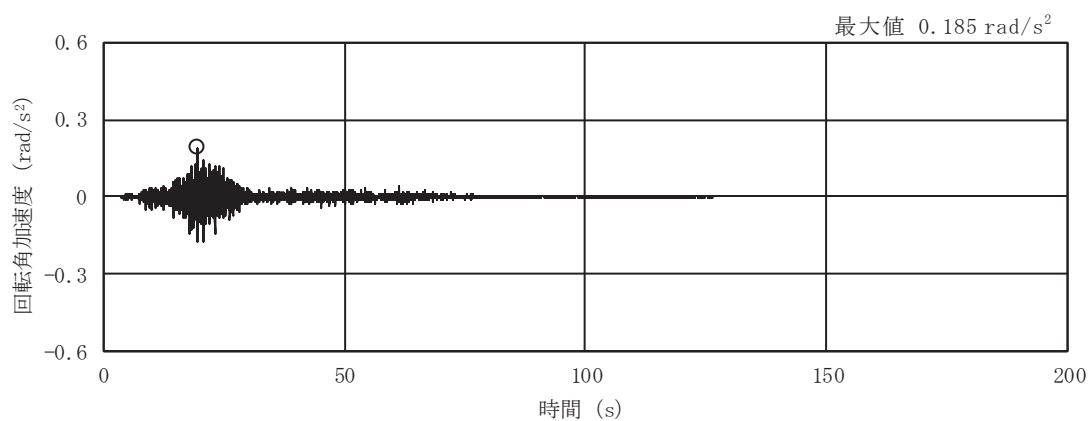


(b) S s - D 2

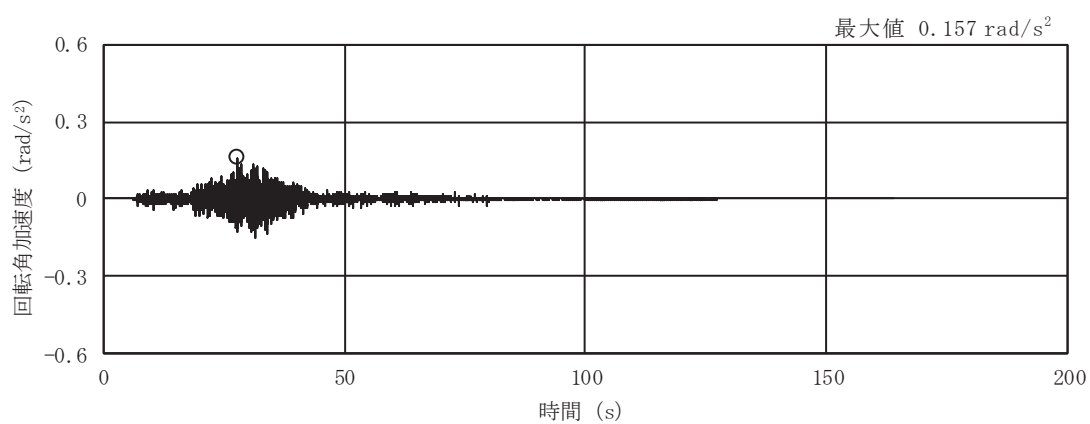


(c) S s - D 3

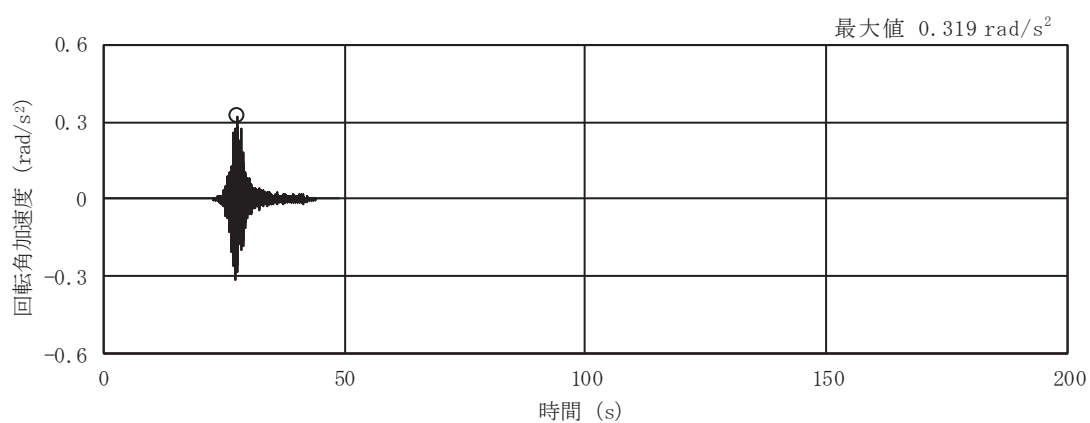
図 2-6(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1



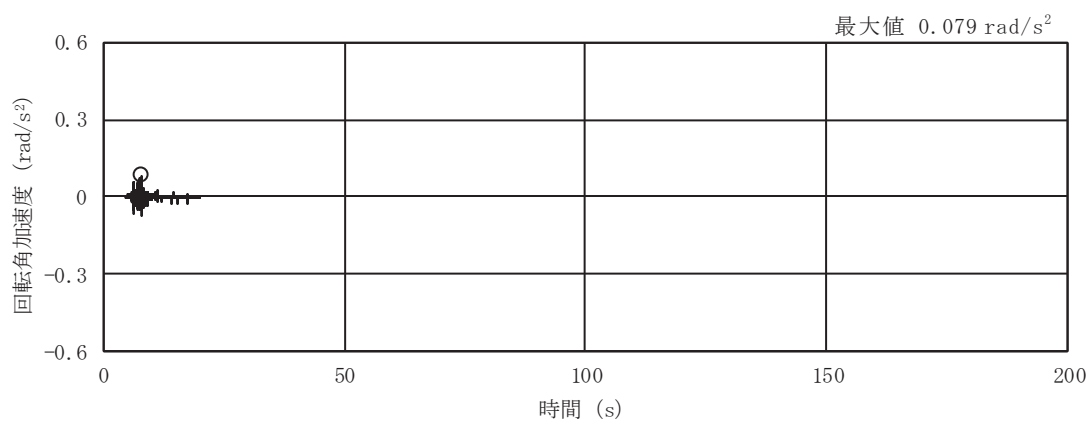
(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

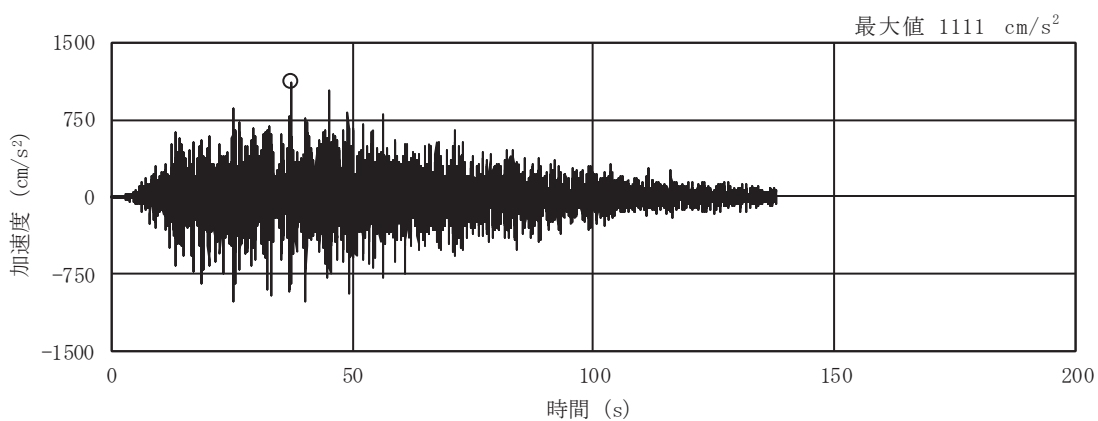
図 2-6(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 回転成分) (2/3)



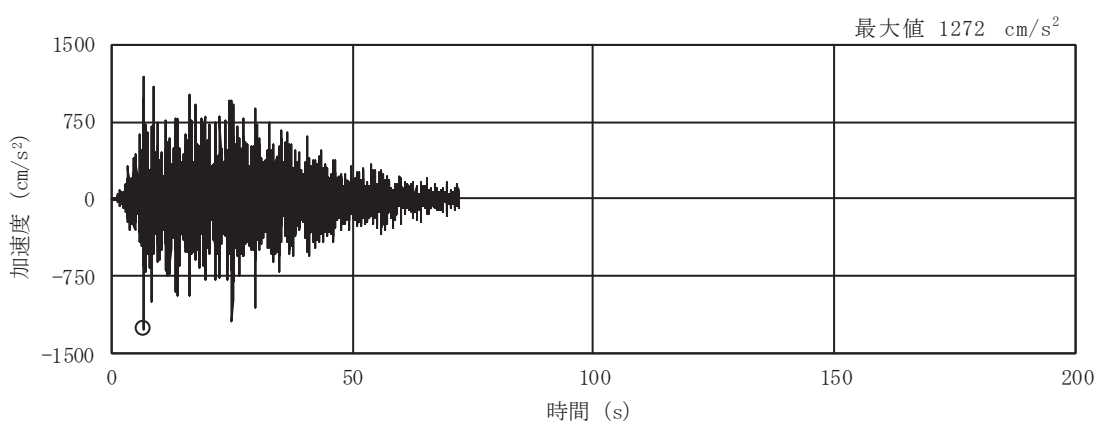


(g) S s - N 1

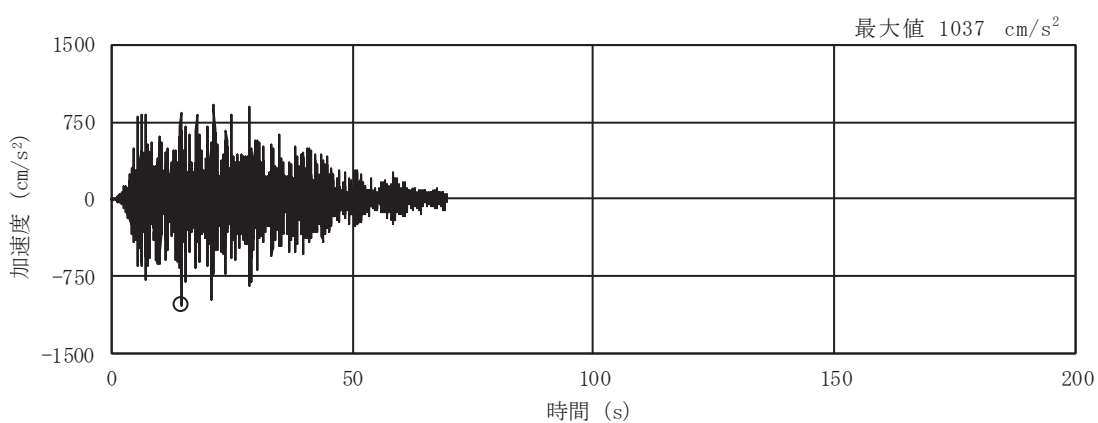
図 2-6(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

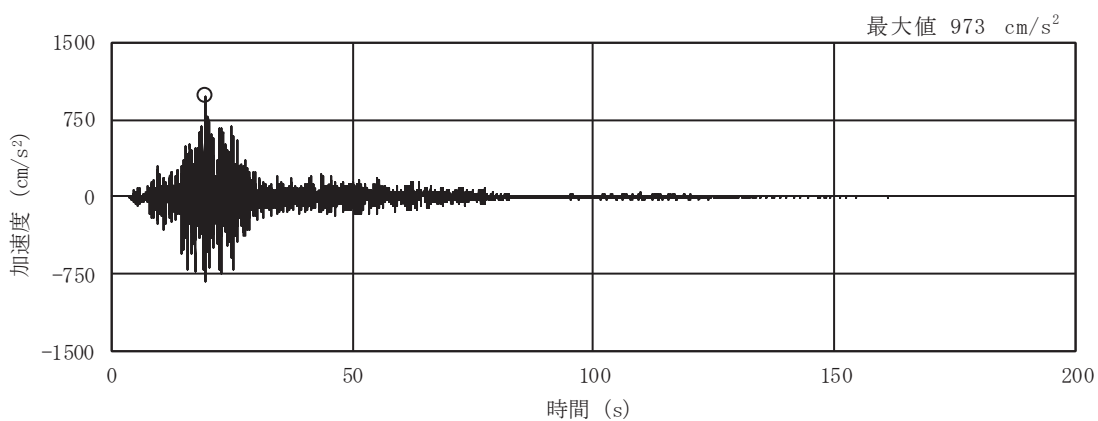


(b) S s - D 2

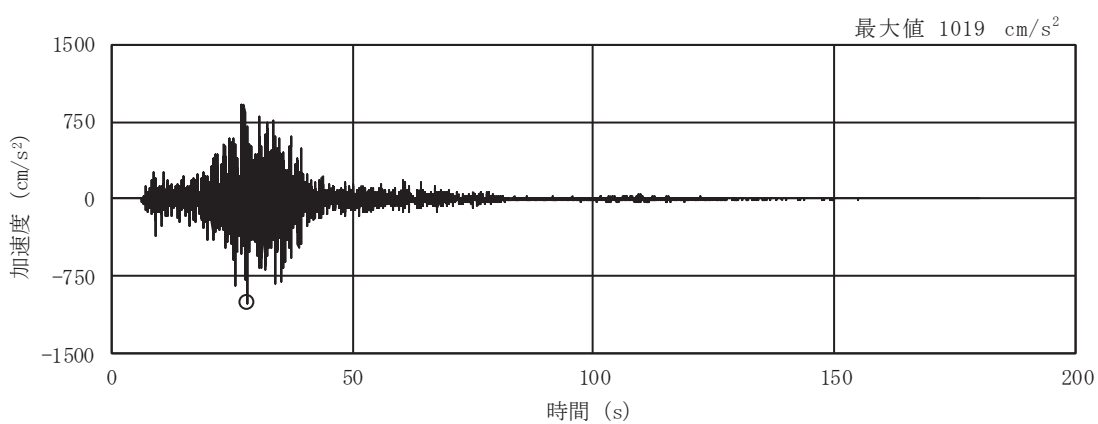


(c) S s - D 3

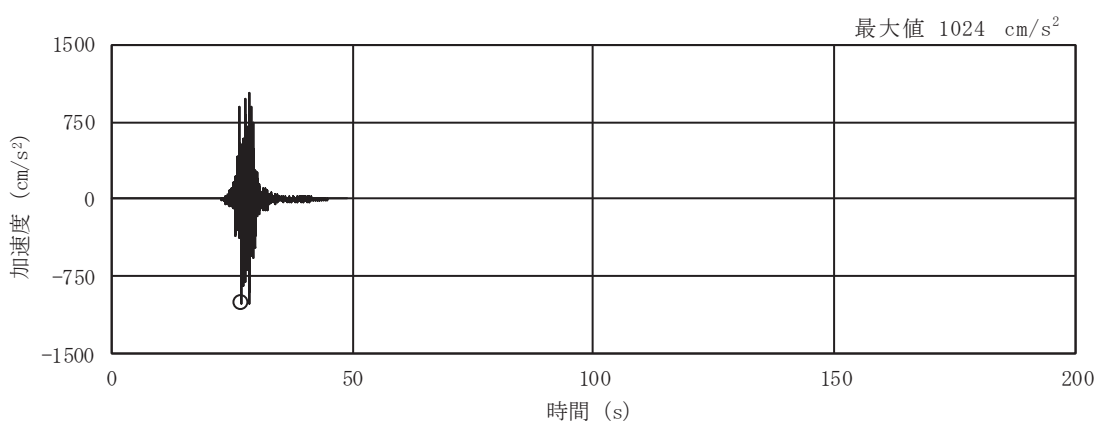
図 2-6(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

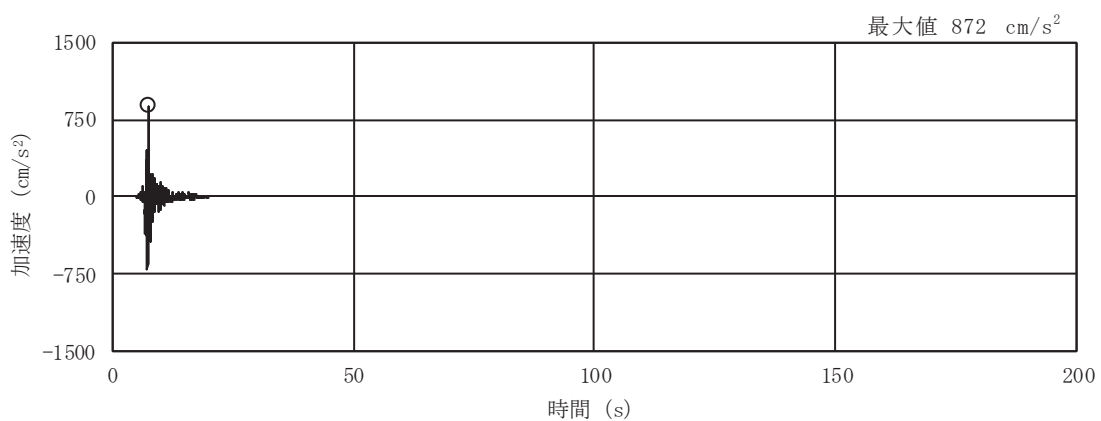


(e) S s - F 2



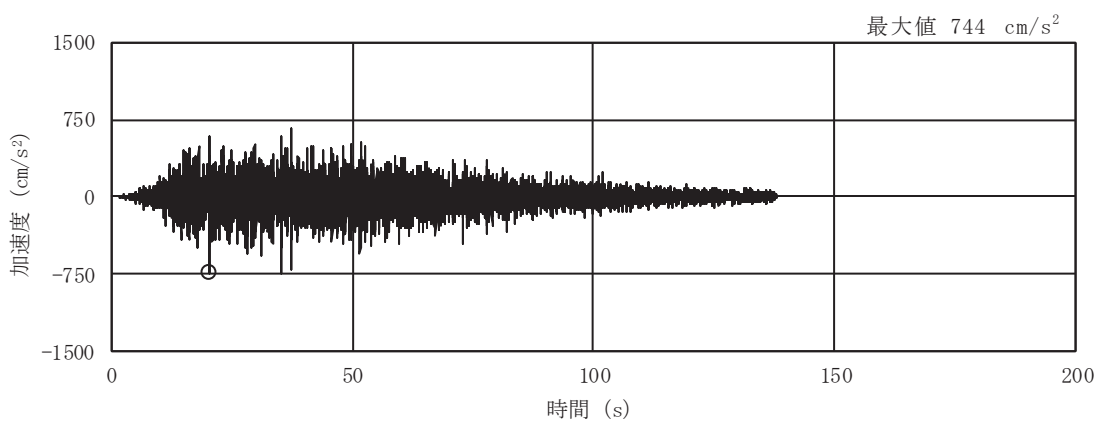
(f) S s - F 3

図 2-6(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 並進成分) (2/3)

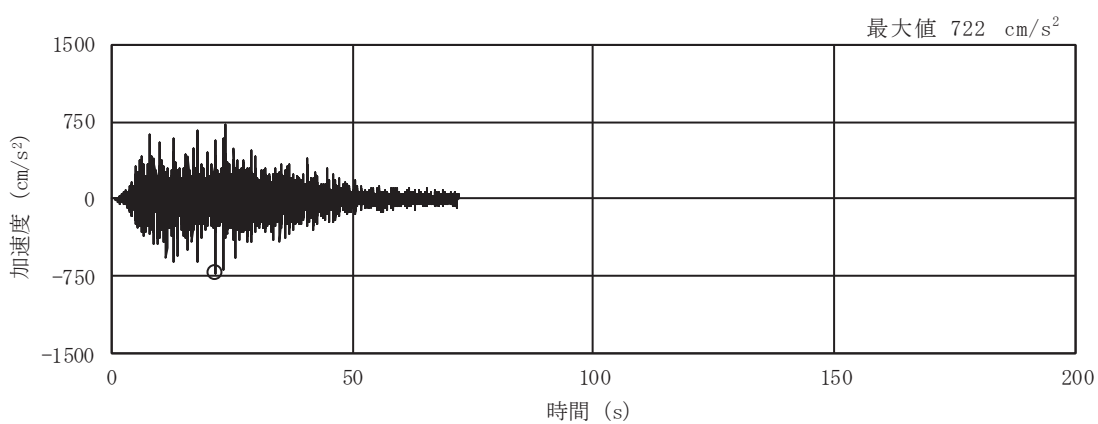


(g) S s - N 1

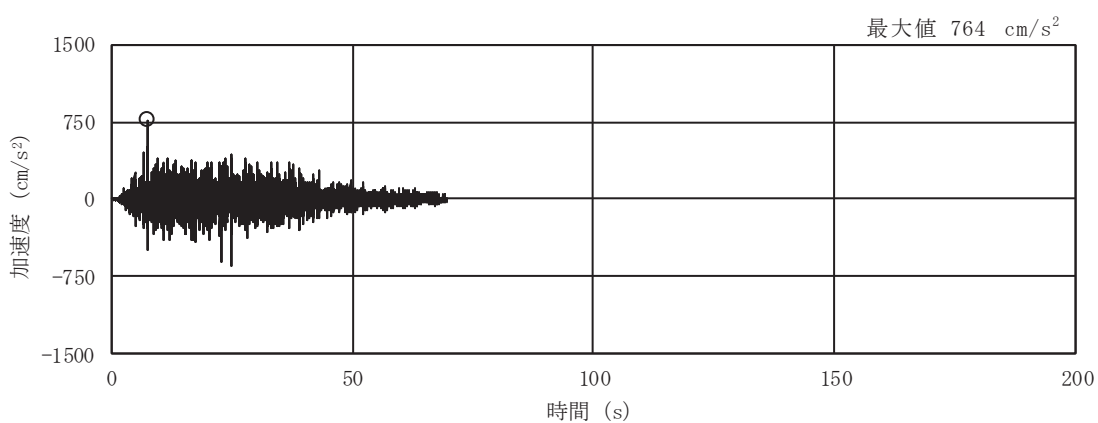
図 2-6(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

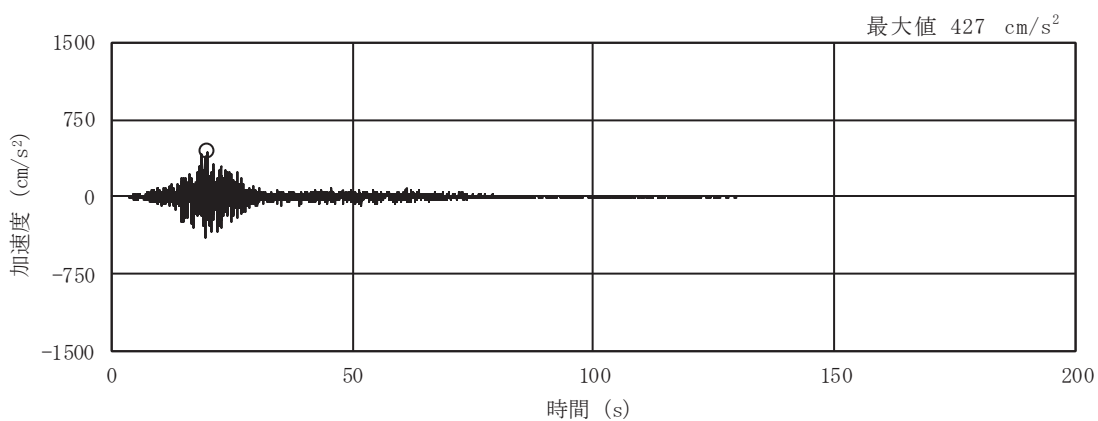


(b) S s - D 2

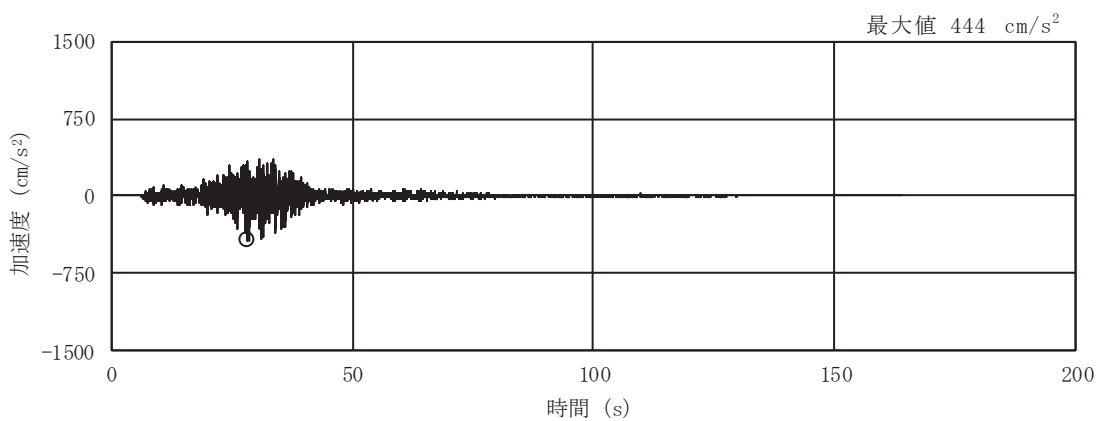


(c) S s - D 3

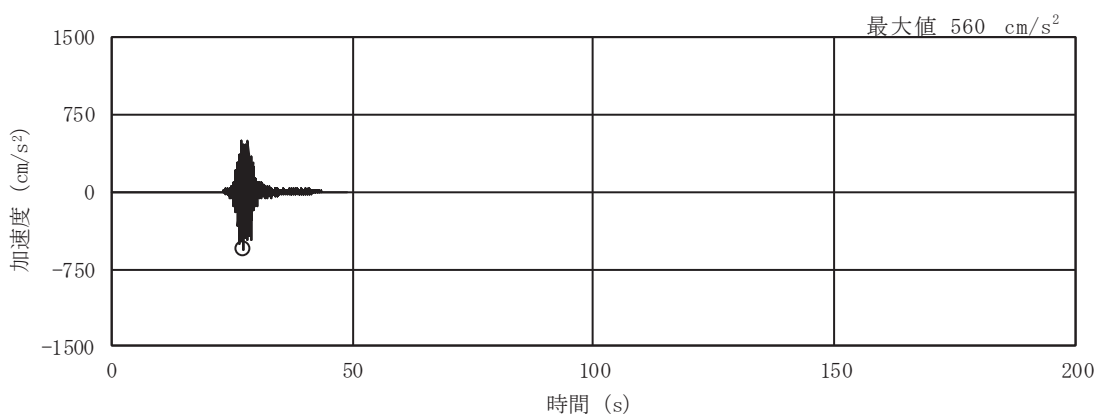
図 2-6(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

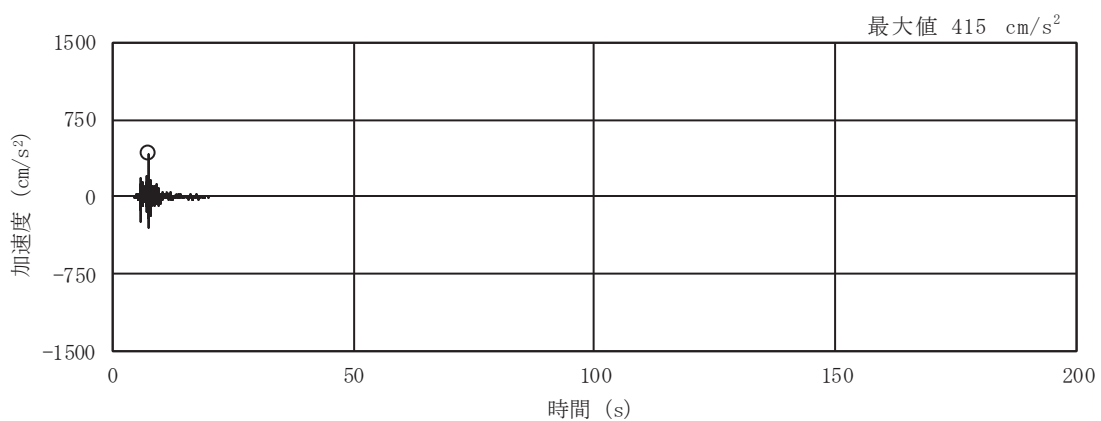


(e) S s - F 2



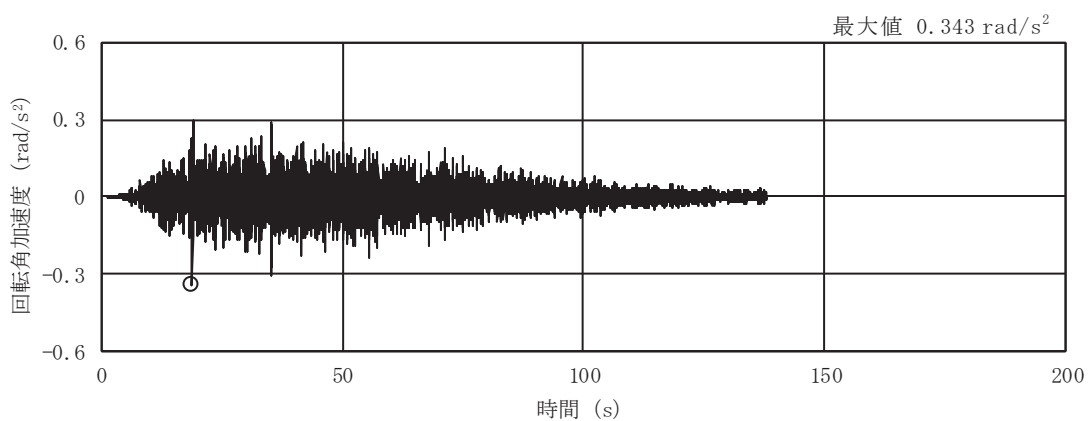
(f) S s - F 3

図 2-6(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

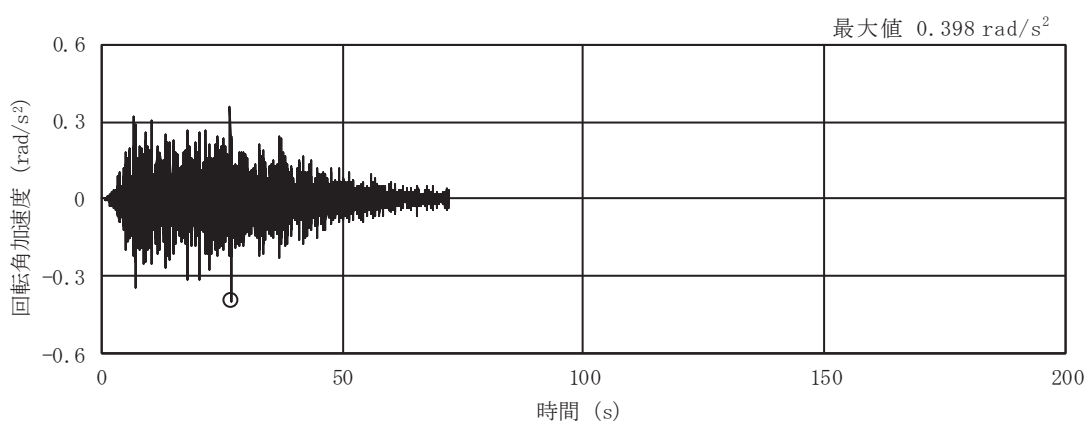


(g) S s - N 1

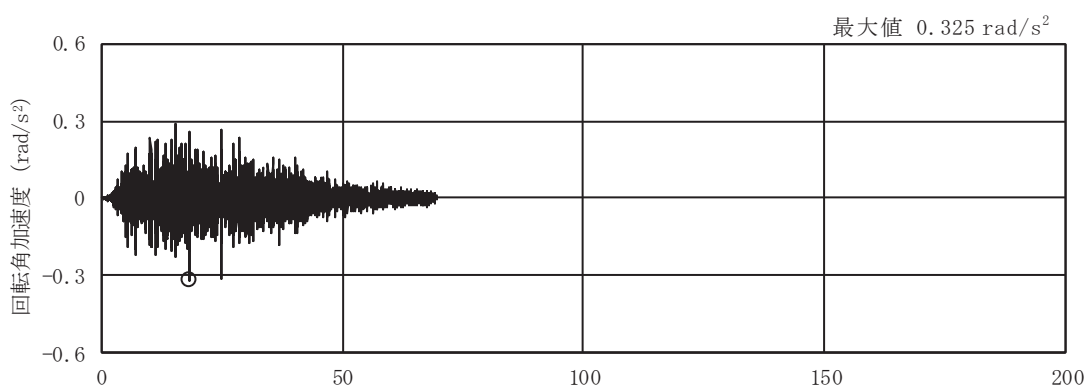
図 2-6(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1



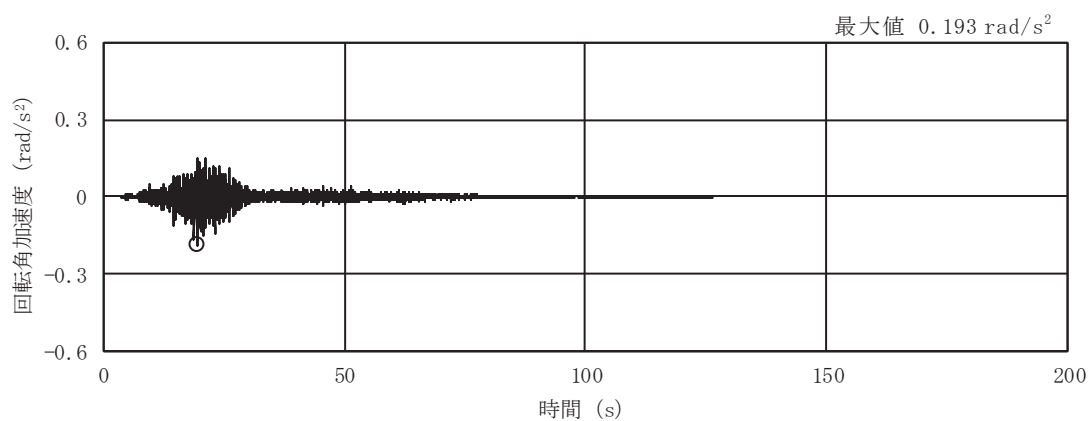
(b) S s - D 2



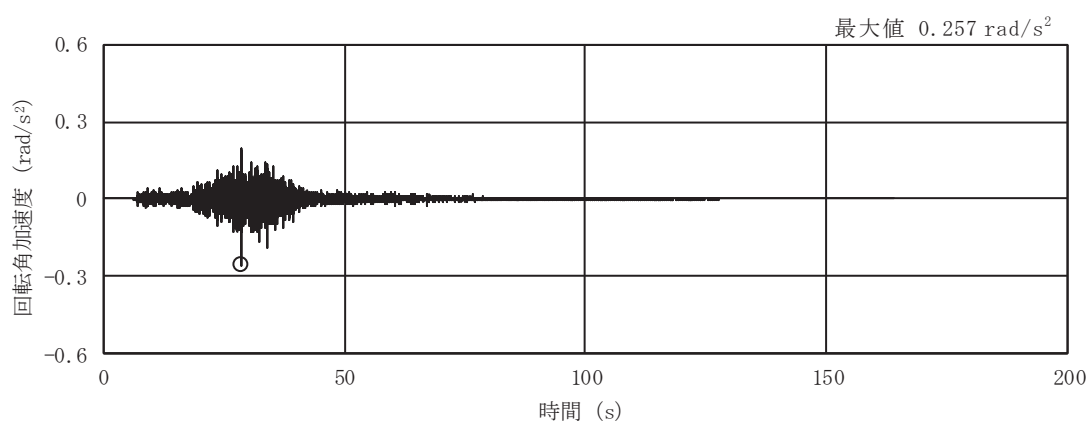
(c) S s - D 3

図 2-6(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 回転成分) (1/3)

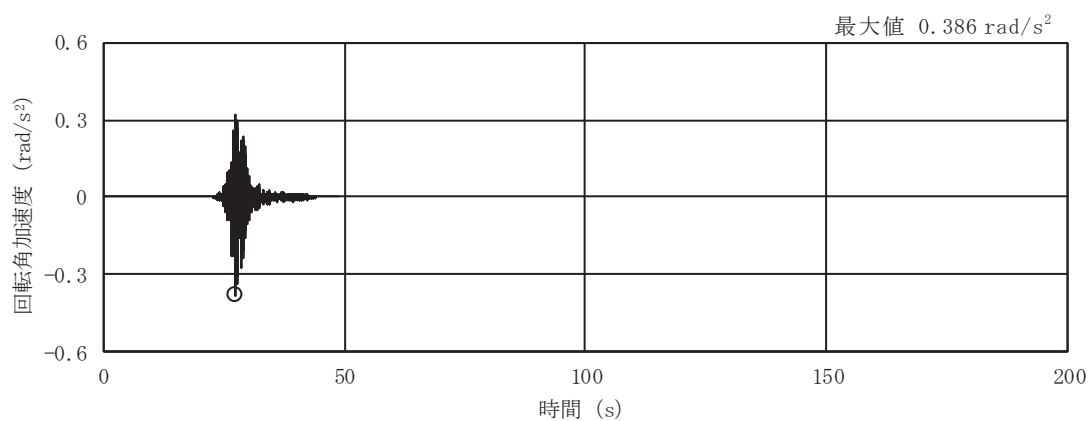




(d) S s - F 1

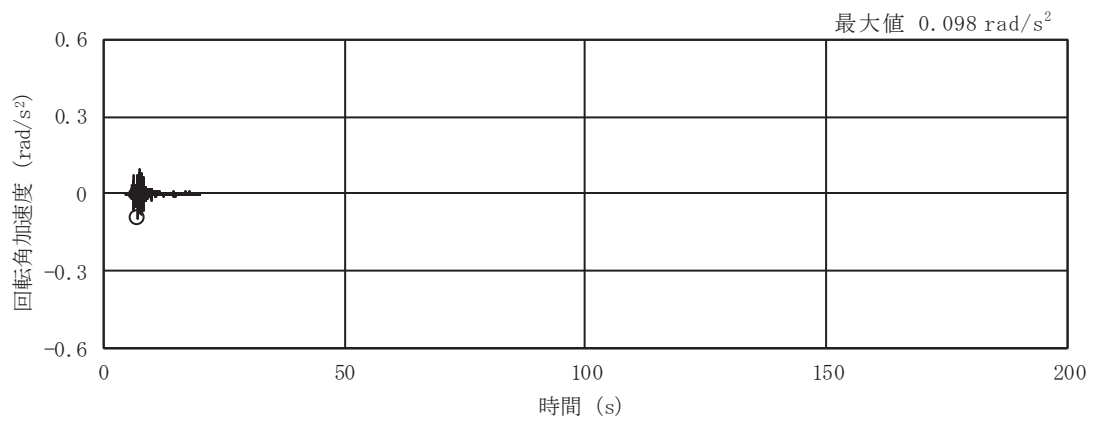


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 2-6(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 回転成分) (2/3)



(g) S s - N 1

図 2-6(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 回転成分) (3/3)

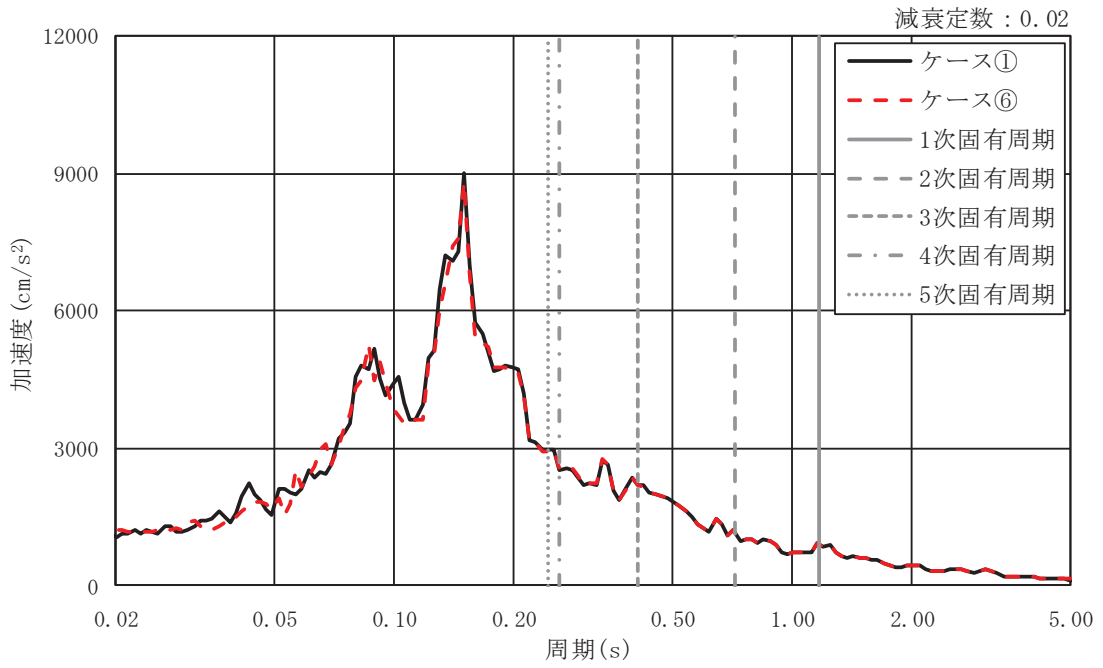


図 2-7(1) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (NS 断面, 並進成分)

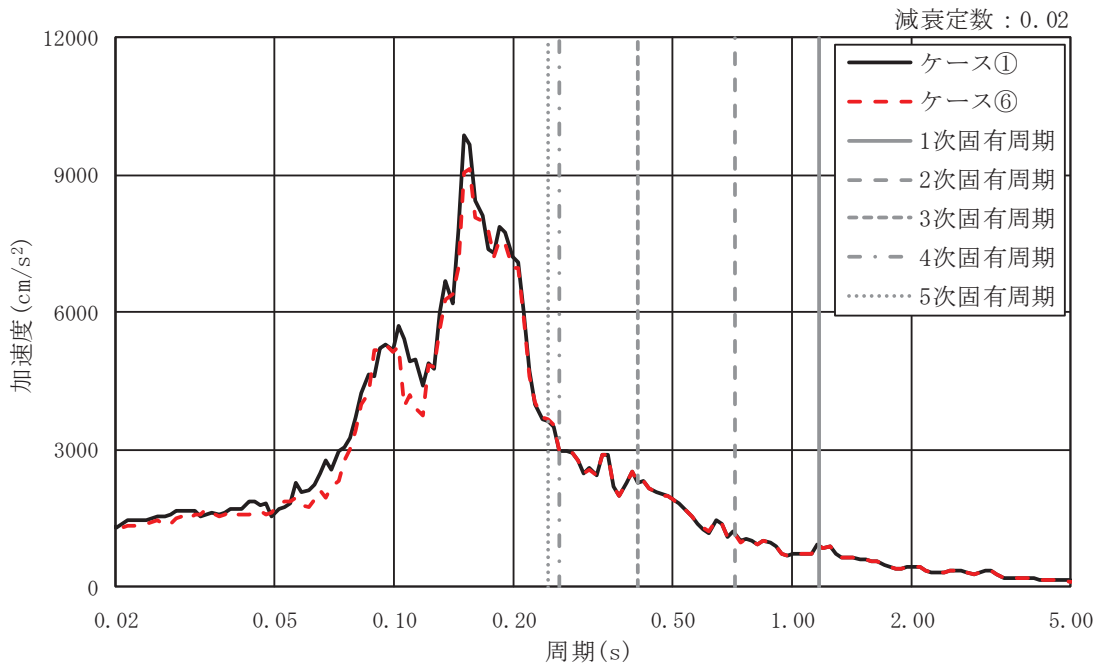


図 2-7(2) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (EW 断面, 並進成分)

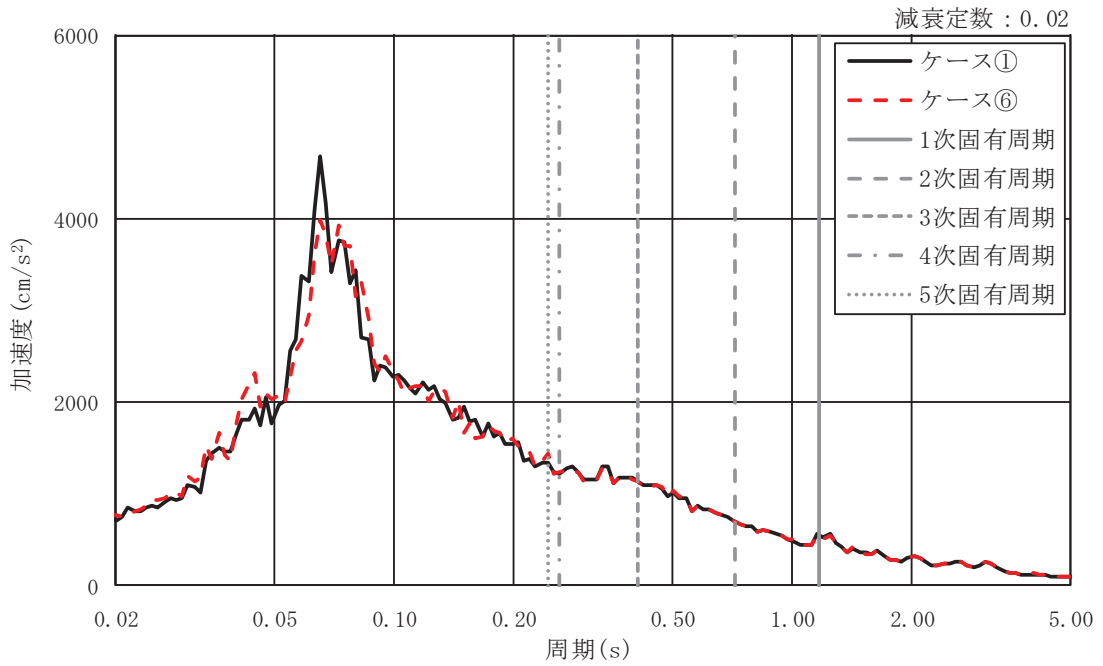


図 2-7(3) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (NS 断面, 鉛直成分)

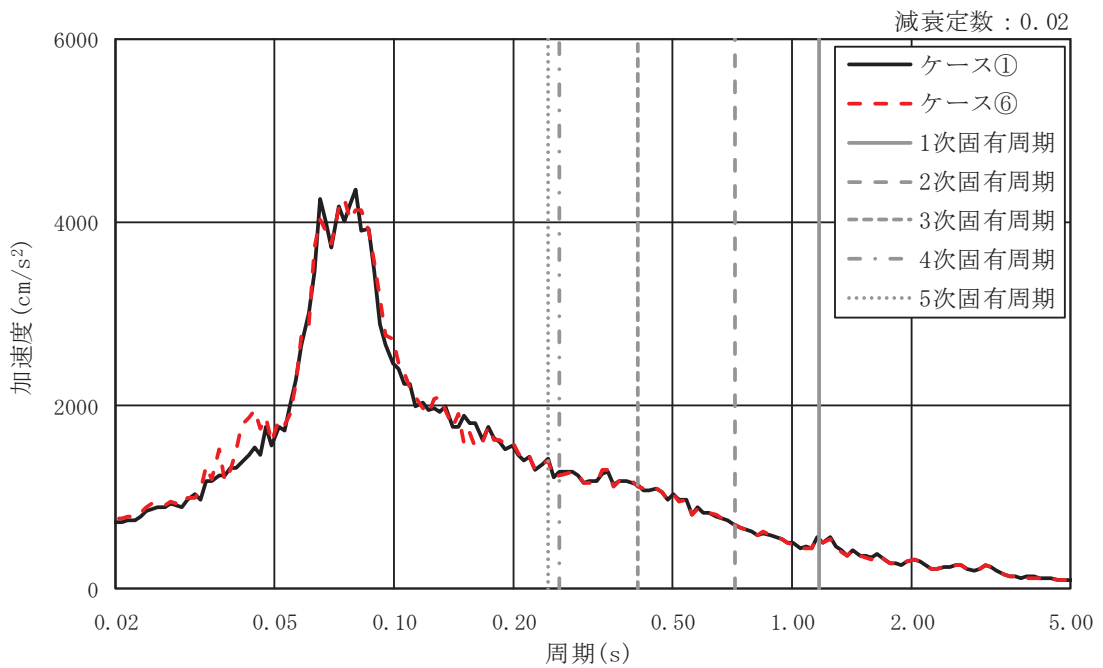


図 2-7(4) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (EW 断面, 鉛直成分)

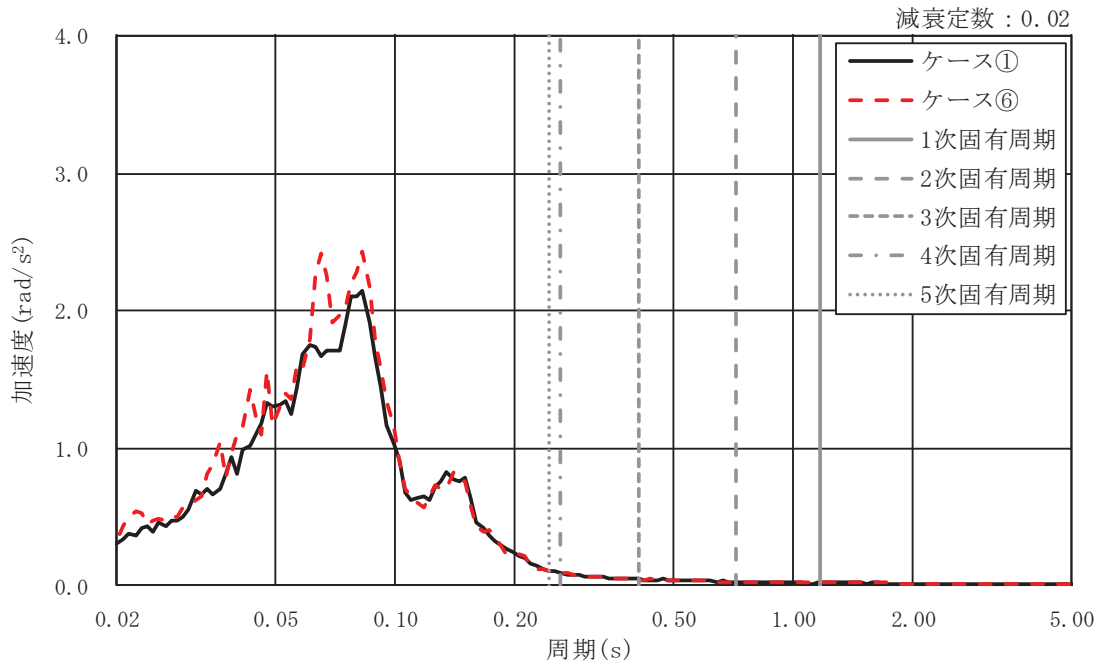


図 2-7(5) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (NS 断面, 回転成分)

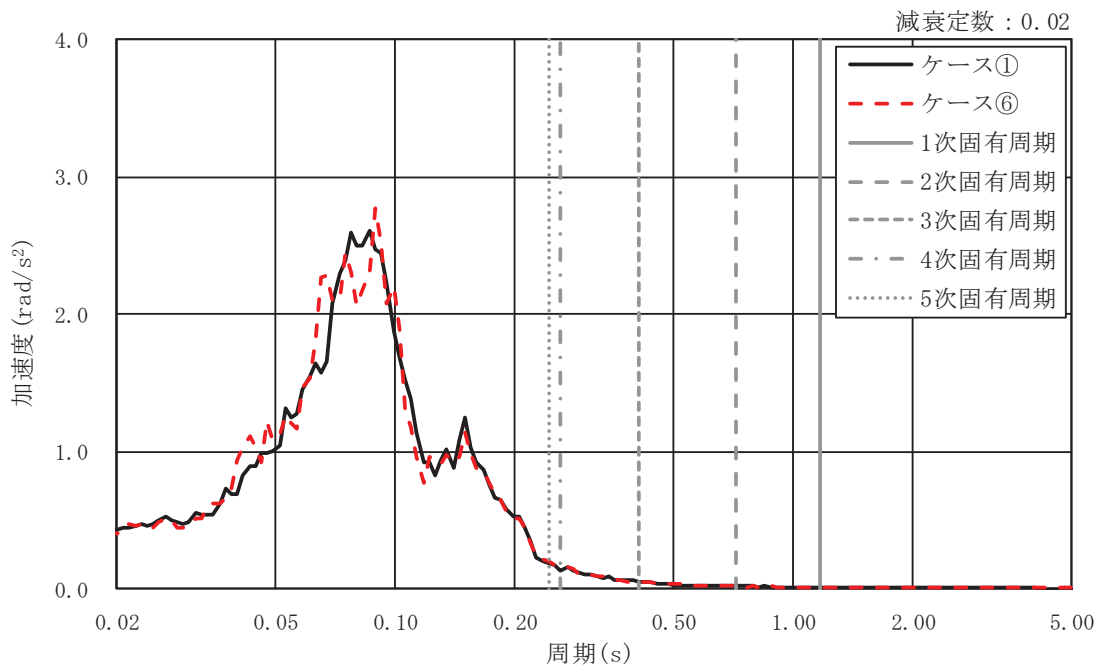


図 2-7(6) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (EW 断面, 回転成分)

表 2-3(1) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	894	907
2	0.721	1148	1155
3	0.408	2220	2218
4	0.262	2524	2564
5	0.245	2967	2937

表 2-3(2) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	896	894
2	0.721	1171	1169
3	0.408	2307	2328
4	0.262	2967	2974
5	0.245	3604	3650

表 2-3(3) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	548	541
2	0.721	699	701
3	0.408	1141	1135
4	0.262	1273	1240
5	0.245	1401	1404

表 2-3(4) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	548	542
2	0.721	699	699
3	0.408	1141	1135
4	0.262	1273	1250
5	0.245	1401	1383

表 2-3(5) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 回転成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	0.021	0.019
2	0.721	0.025	0.028
3	0.408	0.047	0.037
4	0.262	0.094	0.086
5	0.245	0.106	0.101

表 2-3(6) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 回転成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	0.012	0.011
2	0.721	0.020	0.021
3	0.408	0.053	0.053
4	0.262	0.140	0.158
5	0.245	0.189	0.197

3. 排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性，材料物性の不確かさ及び水平動反転の影響検討  
3.1 排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース

排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケースを表 3-1 に示す。排気筒の耐震評価に対する不確かさの影響は，地盤物性及び材料物性を考慮する。

地盤物性の不確かさについて，排気筒の入力地震動は排気筒基礎の地震応答解析における基礎天端の応答値を用いることから，ケース①～ケース③に基づく入力地震動を用いることにより考慮する。

材料物性の不確かさについて，排気筒に設置される制震オイルダンパの性能変動として減衰係数の不確かさを考慮する（ケース④，ケース⑤）。また，位相の水平動反転を考慮する（ケース⑥）。入力地震動は基本ケースのケース①を用いる。制震オイルダンパの性能変動は，製造時のばらつき±10%と使用環境下における温度によるばらつきとして±10%を考慮し設定する。



表 3-1 排気筒の不確かさ検討ケース

解析ケース*		地震動 (位相)	地盤物性 旧表土, 盛土, D級岩盤 C <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 級岩盤, B級岩盤 (G : せん断弾性係数)	材料物性 (制震オイルダンパ) (C : 減衰係数)	材料物性 (コンクリート) (E <sub>0</sub> : ヤング係数)
ケース①	基本ケース	++	平均値	設計値	設計基準強度
ケース②	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した 解析ケース	++	平均値+1σ	設計値	設計基準強度
ケース③	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した 解析ケース	++	平均値-1σ	設計値	設計基準強度
ケース④	制震オイルダンパの ばらつき (0.8C) を 考慮した解析ケース	++	平均値	設計値×0.8	設計基準強度
ケース⑤	制震オイルダンパの ばらつき (1.2C) を 考慮した解析ケース	++	平均値	設計値×1.2	設計基準強度
ケース⑥	水平動反転を考慮し たケース	-+	平均値	設計値	設計基準強度

注記\* : ケース①～③ケースは, 排気筒基礎の地震応答解析 (地盤物性の不確かさ) に基づく入力地震動の違いにより考慮。

### 3.2 排気筒の耐震評価における不確かさ検討に用いる地震動の選定

排気筒の耐震評価において不確かさを考慮したケースの応答値の算出に当たっては、基本ケースにおける排気筒の評価結果を確認したうえで、排気筒の評価結果への影響が大きい基準地震動  $S_s$  に対して実施する。基本ケースにおける排気筒の評価結果を表 3-2～表 3-4 に示す。なお、表 3-2～表 3-4 の評価結果は、図 3-1 の I 方向～IV 方向加振を包絡しており、NS 断面は I 方向、II 方向及び IV 方向の包絡値、EW 断面は II 方向、III 方向及び IV 方向の包絡値を記載している。

排気筒の耐震評価において不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定方法を以下に示す。

- ① 基準地震動  $S_s$  7 波の基本ケースについて、排気筒の地震応答解析を行い、断面算定を行う（添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」による）。
- ② ①から得られた断面算定結果を比較し、筒身と支柱材の照査値が最大となる基準地震動  $S_s$  の不確かさを考慮した検討に用いる入力地震動とする。

排気筒の筒身及び支柱材の評価結果から、筒身着目として EW 断面における  $S_s - D2$  地震動、支柱材着目として EW 断面における  $S_s - N1$  地震動を用いて、不確かさを考慮した検討を行う。

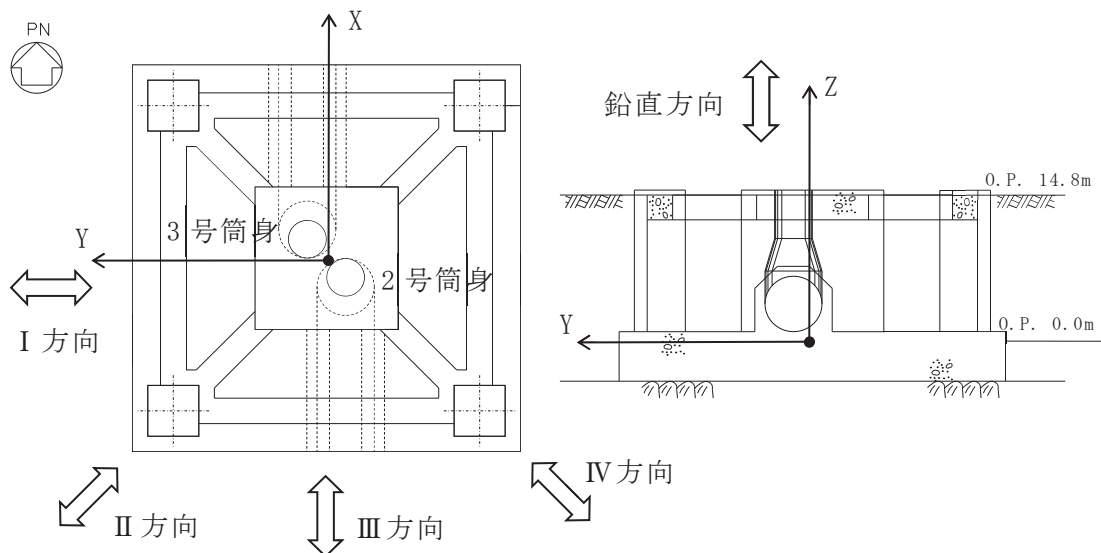


図 3-1 加振方向の説明

表3-2(1) 第2号機筒身の評価結果 (NS断面)

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	検定値						
			S <sub>s</sub> -D1	S <sub>s</sub> -D2	S <sub>s</sub> -D3	S <sub>s</sub> -F1	S <sub>s</sub> -F2	S <sub>s</sub> -F3	S <sub>s</sub> -N1
161.8	A	φ 3020×10	0.26	0.30	0.21	0.24	0.35	0.27	0.32
155.5	A'	φ 3020×10	0.27	0.27	0.21	0.20	0.27	0.26	0.22
149.1	B	φ 3020×10	0.35	0.36	0.32	0.29	0.42	0.36	0.32
142.0	B'	φ 3020×10	0.44	0.42	0.42	0.41	0.50	0.42	0.39
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.49	0.50	0.49	0.53	0.45	0.46
126.8	C'	φ 3020×10	0.52	0.48	0.46	0.48	0.47	0.45	0.45
118.3	D	φ 3020×10	0.57	0.53	0.53	0.51	0.52	0.52	0.49
108.8	D'	φ 3020×10	0.59	0.58	0.53	0.50	0.55	0.55	0.55
98.8	E	φ 3020×10	0.53	0.53	0.45	0.41	0.50	0.52	0.48
86.4	E'	φ 3020×10	0.45	0.43	0.38	0.36	0.44	0.44	0.41
74.8	F	φ 3020×10	<u>0.74</u>	0.72	0.69	0.68	0.71	0.66	0.64
61.2	G	φ 3020×10	0.58	0.57	0.50	0.48	0.57	0.59	0.48
41.8	H	φ 3020×10	0.41	0.42	0.36	0.35	0.42	0.44	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.52	0.49	0.46	0.46	0.53	0.55	0.54
19.3	M2	φ 3720×10	0.48	0.46	0.43	0.42	0.50	0.52	0.50
15.3	I	φ 3720×10	0.53	0.50	0.48	0.47	0.57	0.58	0.58

表3-2(2) 第2号機筒身の評価結果 (EW断面)

高さ O. P. (m)	区間	使用部材 (mm)	検定値						
			S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
161.8	A	φ 3020×10	0.29	0.33	0.26	0.23	0.36	0.29	0.36
155.5	A'	φ 3020×10	0.31	0.29	0.25	0.23	0.29	0.28	0.25
149.1	B	φ 3020×10	0.38	0.39	0.35	0.30	0.42	0.37	0.34
142.0	B'	φ 3020×10	0.44	0.46	0.42	0.42	0.50	0.43	0.43
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.54	0.51	0.50	0.53	0.46	0.50
126.8	C'	φ 3020×10	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45	0.47	0.49
118.3	D	φ 3020×10	0.55	0.58	0.55	0.50	0.54	0.52	0.53
108.8	D'	φ 3020×10	0.60	0.64	0.56	0.52	0.58	0.60	0.60
98.8	E	φ 3020×10	0.55	0.56	0.46	0.43	0.56	0.55	0.52
86.4	E'	φ 3020×10	0.45	0.44	0.41	0.38	0.46	0.48	0.42
74.8	F	φ 3020×10	0.75	<u>0.77</u>	0.70	0.69	0.72	0.72	0.70
61.2	G	φ 3020×10	0.60	0.64	0.52	0.52	0.57	0.65	0.48
41.8	H	φ 3020×10	0.43	0.45	0.39	0.36	0.45	0.48	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.55	0.53	0.48	0.48	0.57	0.57	0.56
19.3	M2	φ 3720×10	0.51	0.49	0.43	0.44	0.52	0.54	0.53
15.3	I	φ 3720×10	0.57	0.55	0.48	0.50	0.60	0.59	0.61

表3-3(1) 第3号機筒身の評価結果 (NS断面)

高さ O. P. (m)	区間	使用部材 (mm)	検定値						
			S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -D 2	S <sub>s</sub> -D 3	S <sub>s</sub> -F 1	S <sub>s</sub> -F 2	S <sub>s</sub> -F 3	S <sub>s</sub> -N 1
161.8	A	φ 3020×10	0.25	0.30	0.22	0.23	0.34	0.28	0.32
155.5	A'	φ 3020×10	0.27	0.27	0.22	0.19	0.27	0.27	0.22
149.1	B	φ 3020×10	0.34	0.36	0.32	0.29	0.41	0.37	0.32
142.0	B'	φ 3020×10	0.43	0.42	0.42	0.41	0.49	0.43	0.40
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.50	0.51	0.48	0.52	0.47	0.47
126.8	C'	φ 3020×10	0.51	0.49	0.47	0.46	0.46	0.47	0.45
118.3	D	φ 3020×10	0.56	0.53	0.54	0.50	0.51	0.54	0.49
108.8	D'	φ 3020×10	0.59	0.58	0.54	0.48	0.54	0.57	0.55
98.8	E	φ 3020×10	0.52	0.54	0.46	0.39	0.48	0.54	0.49
86.4	E'	φ 3020×10	0.45	0.43	0.40	0.36	0.41	0.48	0.41
74.8	F	φ 3020×10	<u>0.74</u>	0.73	0.70	0.66	0.69	0.69	0.64
61.2	G	φ 3020×10	0.58	0.57	0.52	0.46	0.56	0.61	0.48
41.8	H	φ 3020×10	0.41	0.44	0.37	0.33	0.39	0.47	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.52	0.51	0.49	0.44	0.49	0.59	0.54
19.3	M2	φ 3720×10	0.48	0.46	0.45	0.40	0.47	0.55	0.51
15.3	I	φ 3720×10	0.53	0.52	0.50	0.45	0.54	0.61	0.58

表3-3(2) 第3号機筒身の評価結果 (EW断面)

高さ O. P. (m)	区間	使用部材 (mm)	検定値						
			S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
161.8	A	φ 3020×10	0.29	0.34	0.26	0.23	0.36	0.30	0.36
155.5	A'	φ 3020×10	0.32	0.29	0.25	0.23	0.29	0.29	0.25
149.1	B	φ 3020×10	0.39	0.38	0.35	0.30	0.42	0.37	0.34
142.0	B'	φ 3020×10	0.44	0.46	0.42	0.42	0.50	0.42	0.43
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.53	0.50	0.51	0.54	0.45	0.49
126.8	C'	φ 3020×10	0.51	0.50	0.47	0.48	0.46	0.46	0.49
118.3	D	φ 3020×10	0.56	0.57	0.54	0.52	0.56	0.51	0.53
108.8	D'	φ 3020×10	0.61	0.64	0.55	0.53	0.59	0.59	0.61
98.8	E	φ 3020×10	0.55	0.57	0.47	0.44	0.55	0.56	0.51
86.4	E'	φ 3020×10	0.44	0.46	0.42	0.39	0.44	0.50	0.43
74.8	F	φ 3020×10	0.75	<u>0.76</u>	0.69	0.71	0.72	0.71	0.70
61.2	G	φ 3020×10	0.59	0.64	0.52	0.51	0.57	0.65	0.49
41.8	H	φ 3020×10	0.43	0.44	0.39	0.37	0.42	0.49	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.54	0.55	0.49	0.47	0.55	0.60	0.56
19.3	M2	φ 3720×10	0.50	0.50	0.45	0.44	0.51	0.56	0.53
15.3	I	φ 3720×10	0.57	0.56	0.50	0.49	0.57	0.63	0.61

表3-4(1) 主柱材の評価結果 (NS断面)

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	検定値						
			S <sub>s</sub> -D1	S <sub>s</sub> -D2	S <sub>s</sub> -D3	S <sub>s</sub> -F1	S <sub>s</sub> -F2	S <sub>s</sub> -F3	S <sub>s</sub> -N1
161.8-155.5	A-A'	φ 457.2×7.9	0.31	0.31	0.24	0.20	0.20	0.30	0.26
155.5-149.1	A'-B	φ 457.2×7.9	0.54	0.52	0.41	0.46	0.52	0.48	0.62
149.1-142.0	B-B'	φ 457.2×7.9	0.66	0.66	0.52	0.52	0.62	0.62	0.74
142.0-134.8	B'-C	φ 609.6×9.5	0.63	0.59	0.49	0.55	0.65	0.57	0.76
134.8-126.8	C-C'	φ 609.6×9.5	0.62	0.64	0.51	0.55	0.60	0.60	0.74
126.8-118.3	C'-D	φ 711.2×12.7	0.62	0.63	0.52	0.63	0.60	0.55	0.76
118.3-108.8	D-D'	φ 711.2×12.7	0.62	0.62	0.53	0.62	0.59	0.59	0.75
108.8- 98.8	D'-E	φ 812.8×16.0	0.66	0.65	0.56	0.70	0.63	0.58	0.80
98.8- 86.4	E-E'	φ 812.8×16.0	0.69	0.67	0.61	0.73	0.66	0.61	<u>0.82</u>
86.4- 74.8	E'-F	φ 1000×18.0	0.73	0.63	0.68	0.76	0.68	0.57	0.78
74.8- 61.2	F-G	φ 1000×18.0	0.76	0.67	0.72	0.78	0.71	0.61	<u>0.82</u>
61.2- 41.8	G-H	φ 1100×18.0	0.65	0.58	0.61	0.61	0.58	0.49	0.57
41.8- 28.6	H-H'	φ 1100×20.0	0.73	0.65	0.67	0.70	0.68	0.57	0.66
28.6- 15.3	H'-I	φ 1100×20.0	0.70	0.62	0.64	0.65	0.68	0.58	0.68

表3-4(2) 主柱材の評価結果 (EW断面)

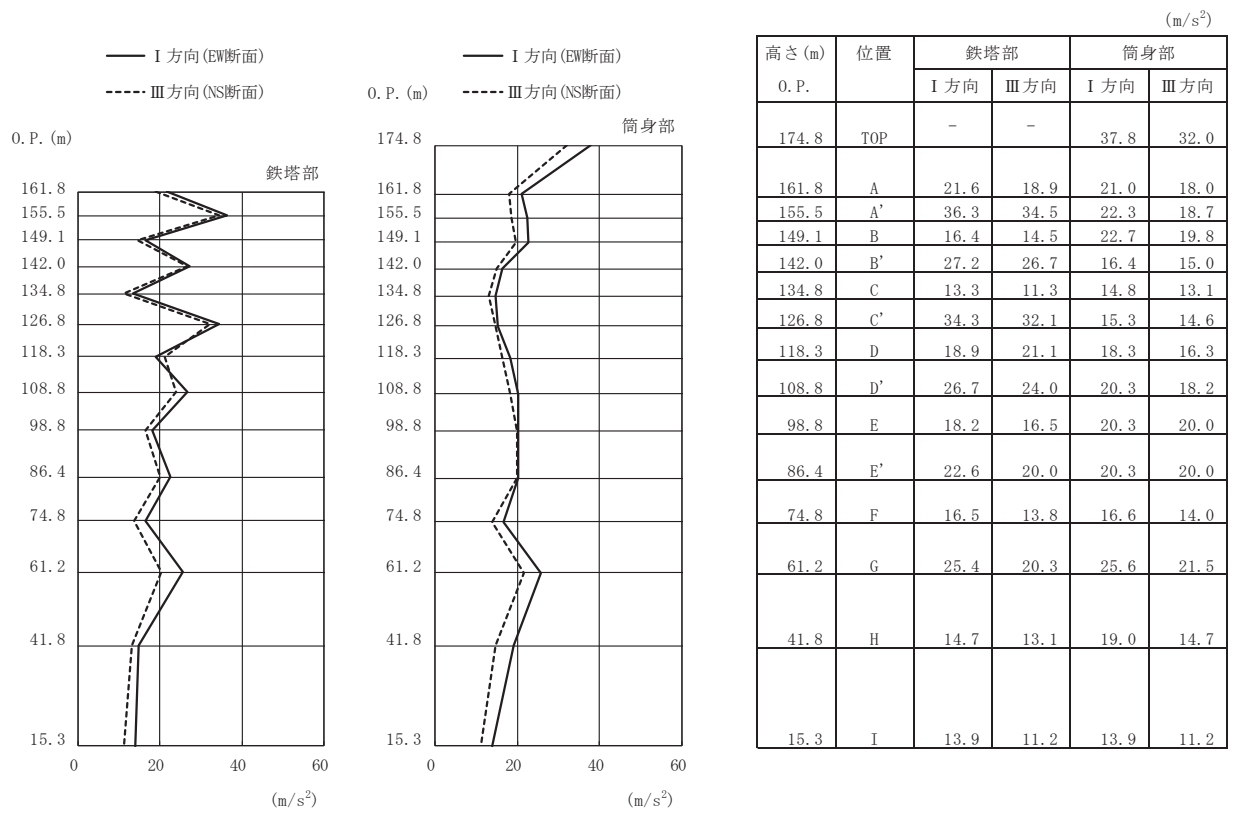
高さ O. P. (m)	区間	使用部材 (mm)	検定値						
			S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
161.8-155.5	A-A'	φ 457.2×7.9	0.30	0.31	0.25	0.22	0.22	0.28	0.28
155.5-149.1	A' -B	φ 457.2×7.9	0.56	0.59	0.44	0.50	0.57	0.49	0.71
149.1-142.0	B-B'	φ 457.2×7.9	0.71	0.72	0.55	0.56	0.67	0.64	0.81
142.0-134.8	B' -C	φ 609.6×9.5	0.65	0.63	0.51	0.59	0.69	0.58	0.87
134.8-126.8	C-C'	φ 609.6×9.5	0.65	0.64	0.52	0.59	0.63	0.62	0.83
126.8-118.3	C' -D	φ 711.2×12.7	0.66	0.65	0.54	0.64	0.60	0.56	0.87
118.3-108.8	D-D'	φ 711.2×12.7	0.65	0.65	0.54	0.63	0.59	0.57	0.85
108.8- 98.8	D' -E	φ 812.8×16.0	0.68	0.67	0.55	0.71	0.62	0.57	0.88
98.8- 86.4	E-E'	φ 812.8×16.0	0.71	0.69	0.61	0.74	0.65	0.59	<u>0.90</u>
86.4- 74.8	E' -F	φ 1000×18.0	0.73	0.66	0.68	0.76	0.66	0.54	0.86
74.8- 61.2	F - G	φ 1000×18.0	0.75	0.70	0.72	0.79	0.69	0.58	0.89
61.2- 41.8	G - H	φ 1100×18.0	0.65	0.63	0.62	0.62	0.56	0.46	0.61
41.8- 28.6	H-H'	φ 1100×20.0	0.75	0.70	0.69	0.70	0.66	0.56	0.71
28.6- 15.3	H' -I	φ 1100×20.0	0.74	0.67	0.66	0.66	0.68	0.58	0.73



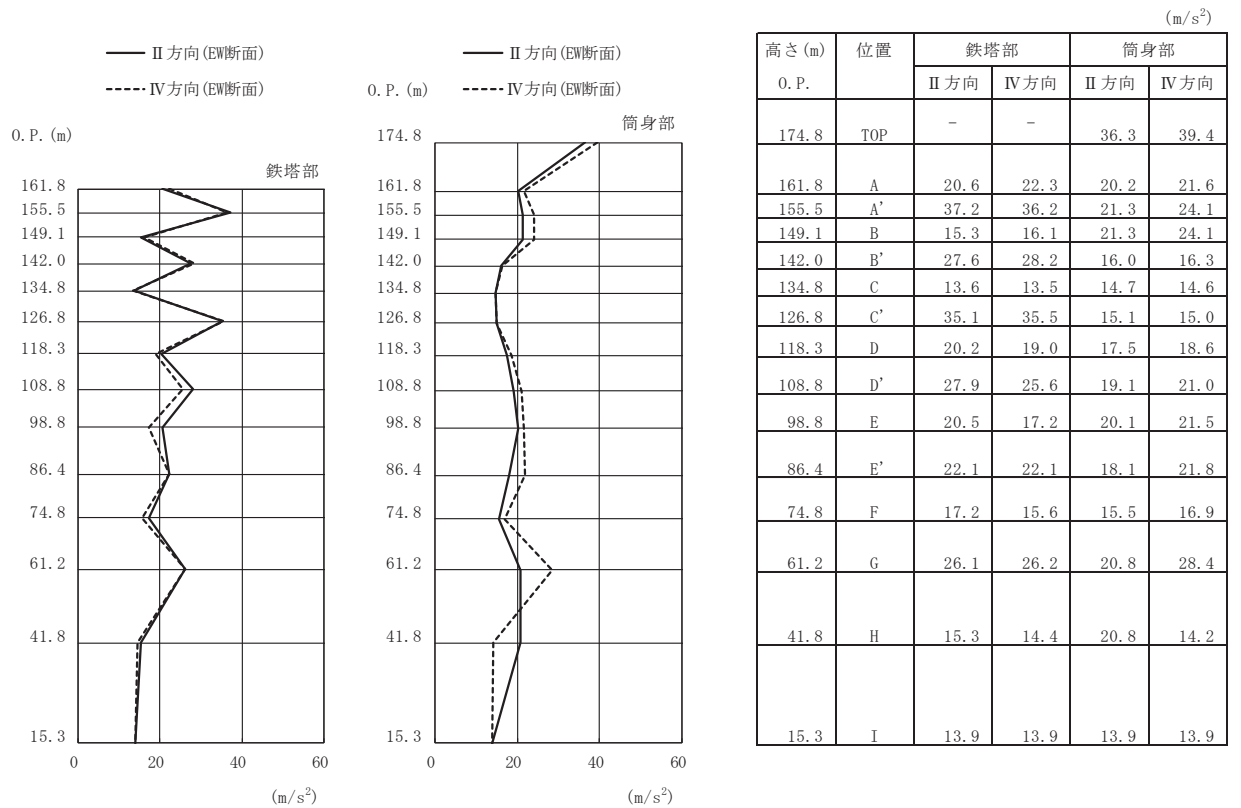
### 3.3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

基本ケースの地震応答解析結果は、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」に示していることから、ここでは地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果を図 3-2～図 3-21 に示す。また、検定値が最大となる支柱材（E' 位置）における  $S_s - N1$  の最大応答値を表 3-5 に示す。

表 3-5 に示す地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果より、各検討ケースの最大応答加速度、最大応答変位、最大応答軸力、最大応答曲げモーメントはおおむね同等であることを確認した。

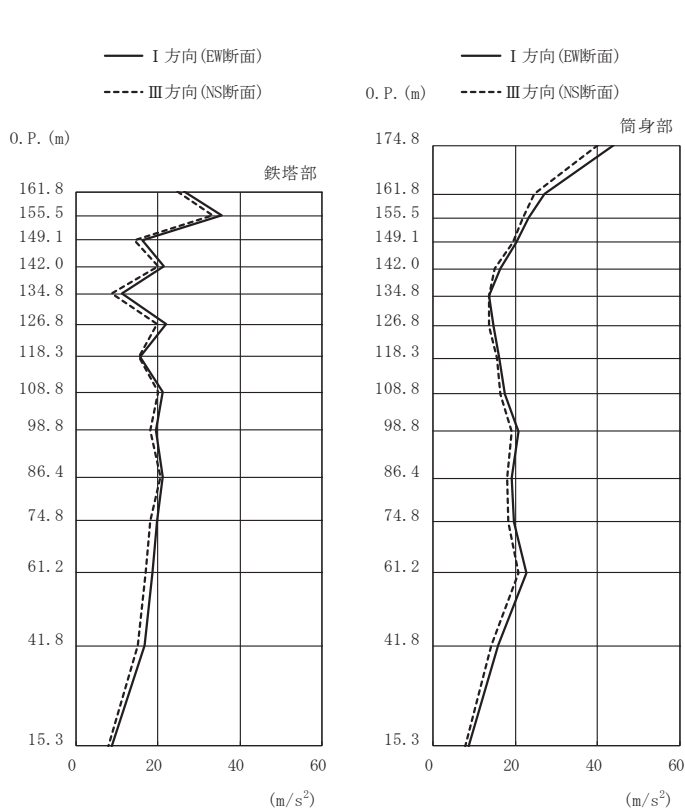


(a) S s - D 2 (直交方向)



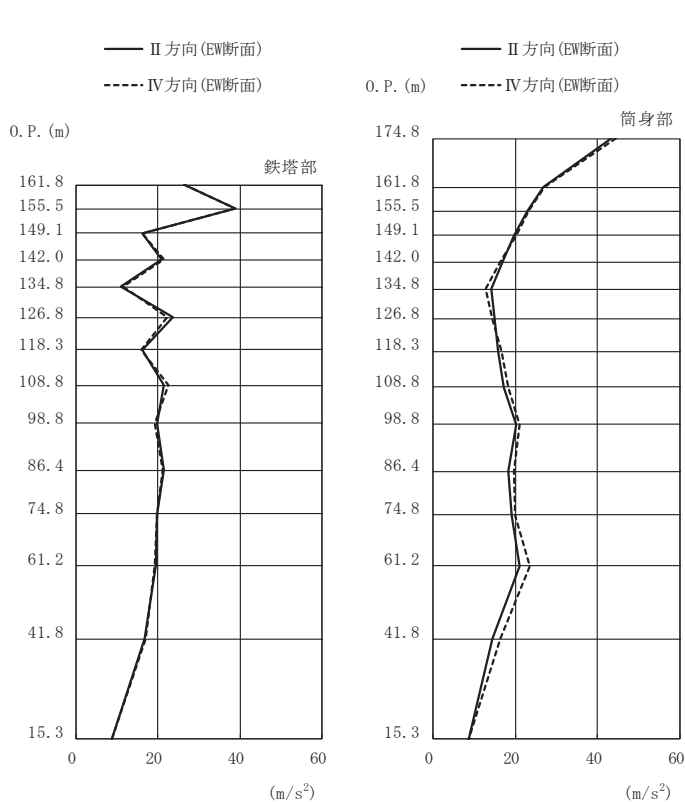
(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-2(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	43.9	40.1
161.8	A	26.4	24.7	27.1	24.6
155.5	A'	35.4	33.3	23.2	21.9
149.1	B	16.1	14.3	20.1	19.5
142.0	B'	21.4	19.9	16.5	15.1
134.8	C	11.1	8.81	13.5	13.5
126.8	C'	22.0	19.6	14.8	13.6
118.3	D	15.7	15.3	16.2	15.6
108.8	D'	21.2	20.1	17.6	16.5
98.8	E	19.5	18.1	20.7	19.0
86.4	E'	21.0	20.6	19.1	17.9
74.8	F	19.6	18.0	19.6	18.4
61.2	G	18.6	16.9	22.6	20.8
41.8	H	16.8	15.0	15.7	14.1
15.3	I	8.77	7.93	8.77	7.93

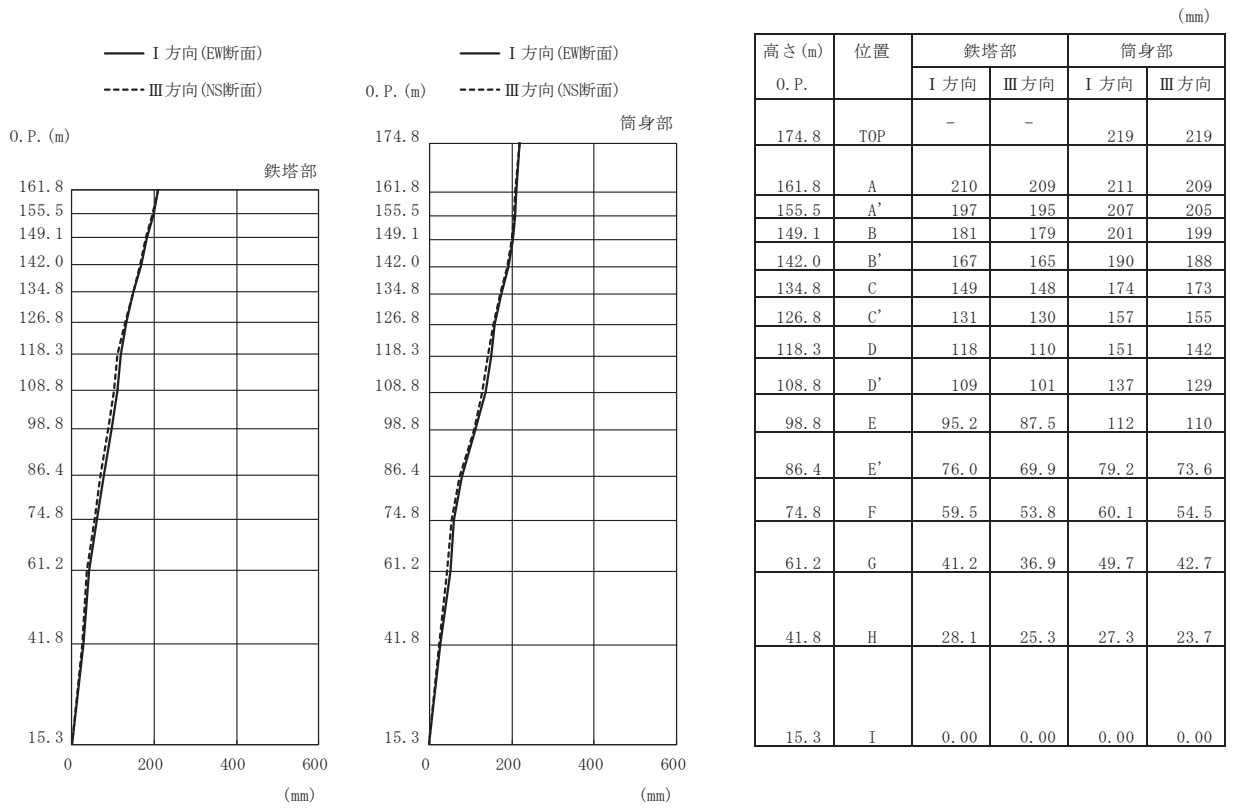
(c) S s - N 1 (直交方向)



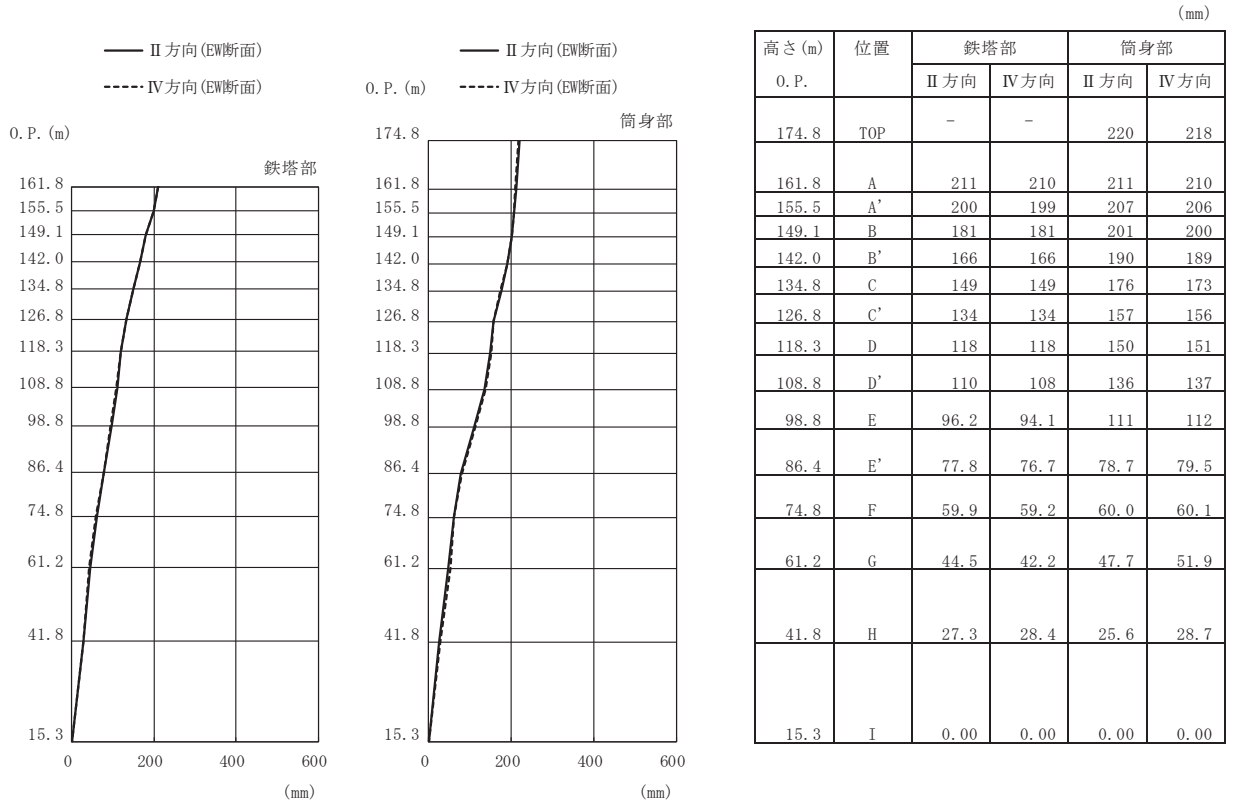
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	43.2	44.5
161.8	A	26.5	26.5	26.9	27.2
155.5	A'	38.9	38.8	22.9	23.3
149.1	B	16.1	16.1	19.8	20.3
142.0	B'	20.8	21.4	17.0	16.4
134.8	C	11.0	11.4	14.1	12.8
126.8	C'	23.6	22.2	15.1	14.4
118.3	D	16.2	16.0	15.9	16.6
108.8	D'	21.4	22.5	17.1	18.4
98.8	E	19.6	19.1	20.3	21.0
86.4	E'	21.3	21.0	18.4	19.7
74.8	F	19.6	19.8	19.2	20.0
61.2	G	19.4	19.1	21.1	23.5
41.8	H	16.8	17.1	14.4	16.3
15.3	I	8.77	8.77	8.77	8.77

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-2(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース②)

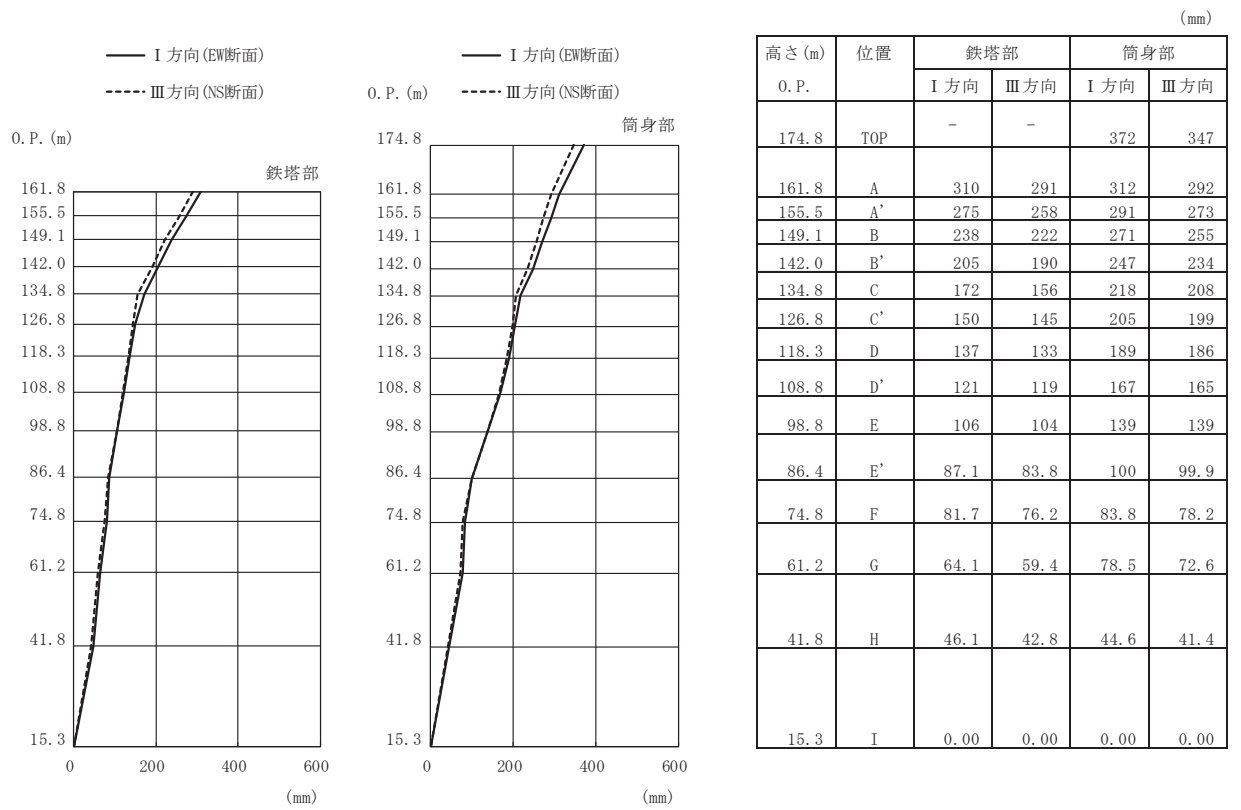


(a) S s - D 2 (直交方向)

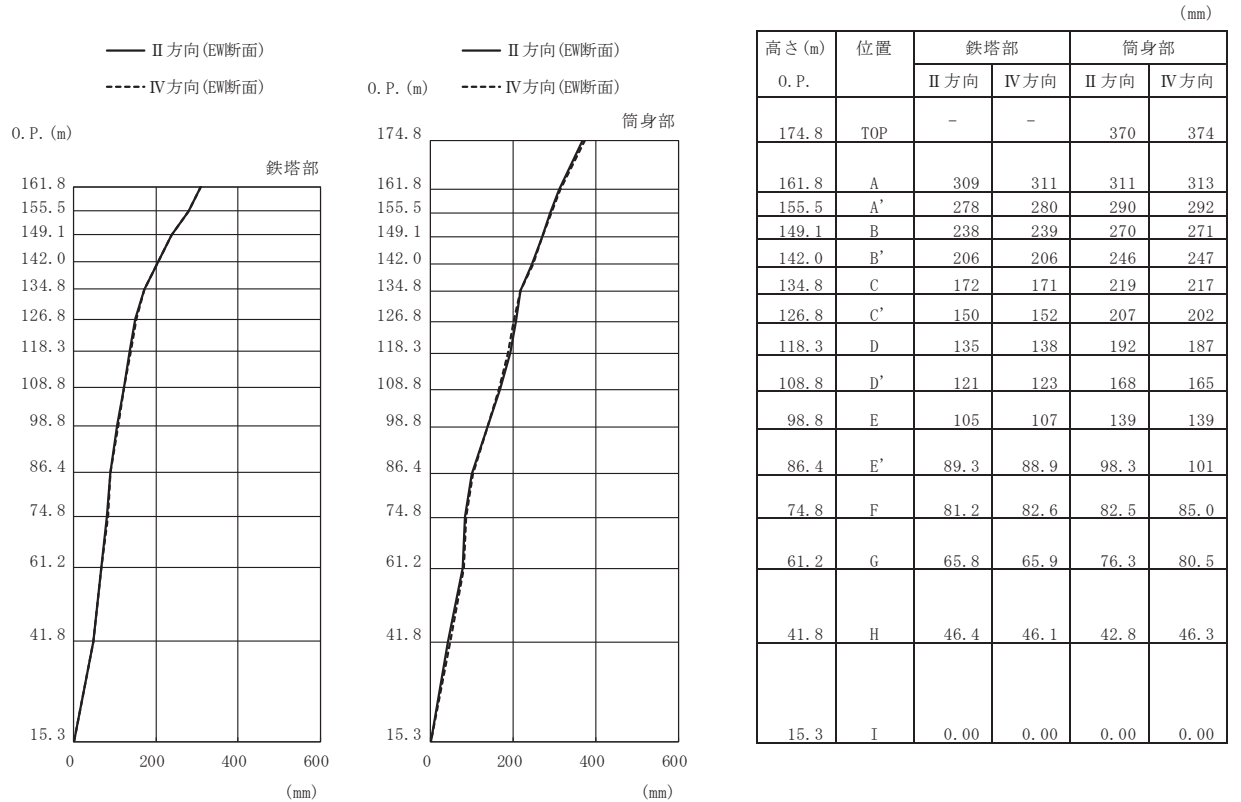


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-3(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース②)

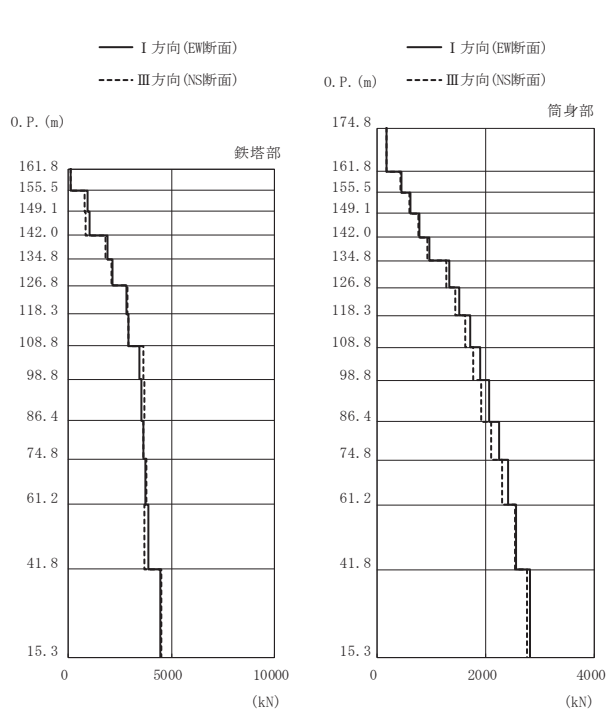


(c) S s - N 1 (直交方向)



(d) S s - N 1 (斜め方向)

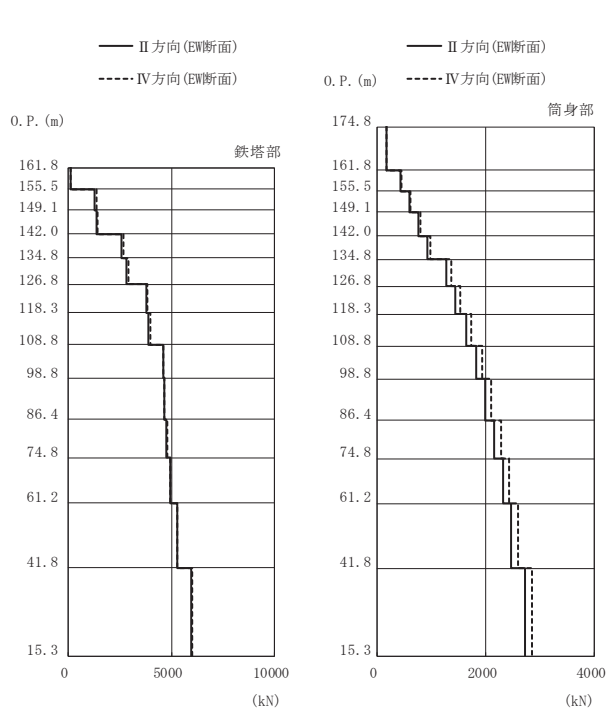
図 3-3(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	182	177
155.5	A'	A - A'	125	116	445	433
149.1	B	A' - B	950	773	615	597
142.0	B'	B - B'	1020	849	789	764
134.8	C	B' - C	1920	1830	966	932
126.8	C'	C - C'	2150	2080	1330	1280
118.3	D	C' - D	2820	2850	1510	1450
108.8	D'	D - D'	2920	2940	1710	1620
98.8	E	D' - E	3460	3630	1900	1780
86.4	E'	E - E'	3520	3700	2070	1910
74.8	F	E' - F	3620	3650	2250	2100
61.2	G	F - G	3760	3780	2410	2300
41.8	H	G - H	3860	3690	2560	2550
15.3	I	H - I	4480	4530	2820	2760

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

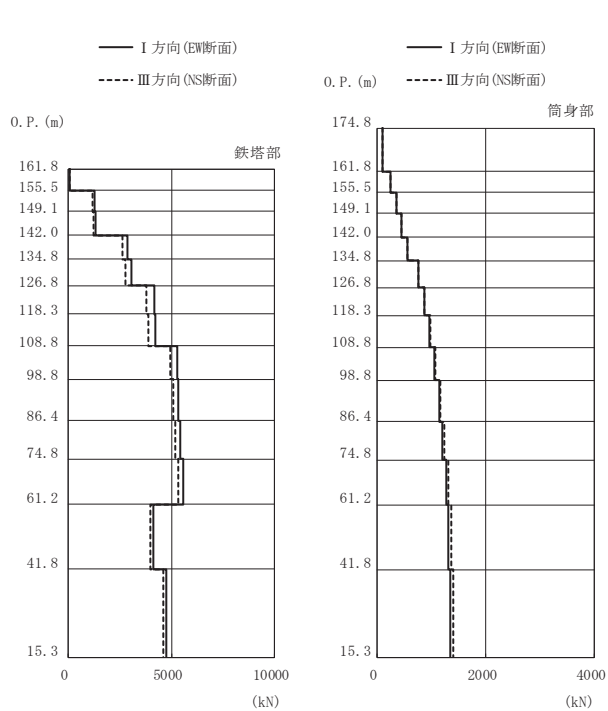


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	175	185
155.5	A'	A - A'	130	127	429	453
149.1	B	A' - B	1300	1350	592	626
142.0	B'	B - B'	1390	1430	760	804
134.8	C	B' - C	2570	2670	929	984
126.8	C'	C - C'	2840	2920	1280	1360
118.3	D	C' - D	3770	3850	1450	1540
108.8	D'	D - D'	3890	3960	1640	1740
98.8	E	D' - E	4600	4590	1830	1930
86.4	E'	E - E'	4660	4670	1990	2100
74.8	F	E' - F	4770	4780	2160	2280
61.2	G	F - G	4930	4940	2320	2440
41.8	H	G - H	5280	5260	2470	2600
15.3	I	H - I	5940	6020	2720	2860

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

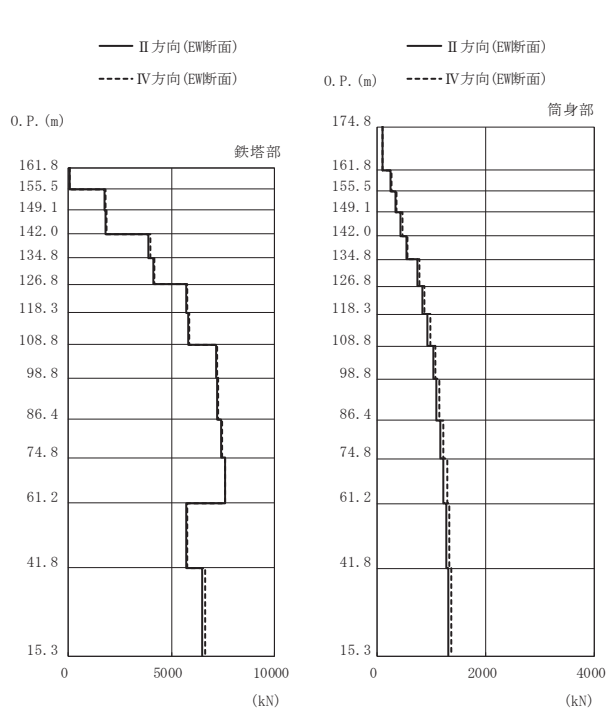
図 3-4(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	106	106
155.5	A'	A - A'	80.5	76.3	259	259
149.1	B	A' - B	1280	1180	357	357
142.0	B'	B - B'	1320	1220	458	459
134.8	C	B' - C	2890	2610	560	561
126.8	C'	C - C'	3080	2780	768	772
118.3	D	C' - D	4170	3780	869	874
108.8	D'	D - D'	4240	3870	967	975
98.8	E	D' - E	5270	4960	1060	1080
86.4	E'	E - E'	5340	5100	1140	1160
74.8	F	E' - F	5440	5180	1210	1240
61.2	G	F - G	5590	5350	1270	1310
41.8	H	G - H	4130	4000	1320	1370
15.3	I	H - I	4730	4620	1350	1410

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

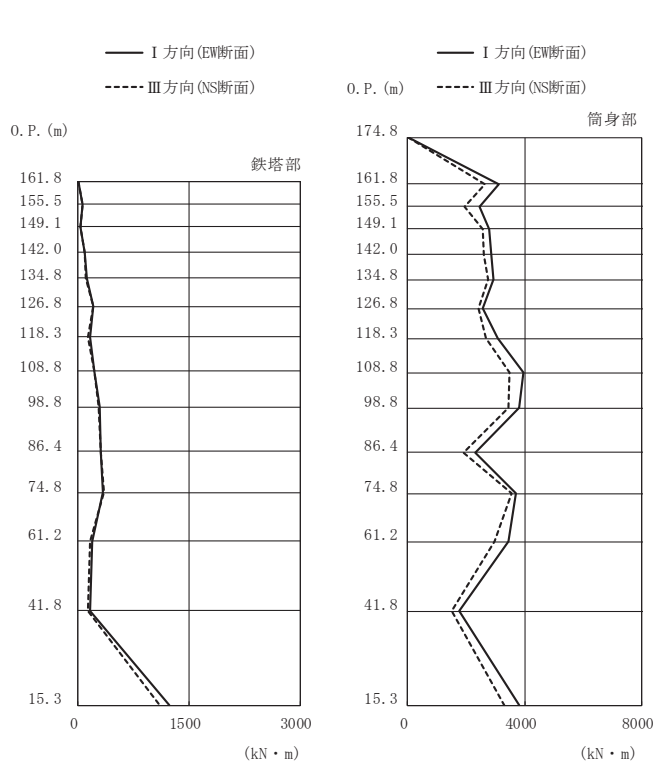


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	102	107
155.5	A'	A - A'	85.7	84.4	249	262
149.1	B	A' - B	1740	1790	344	362
142.0	B'	B - B'	1810	1840	442	465
134.8	C	B' - C	3900	3980	540	568
126.8	C'	C - C'	4110	4190	741	779
118.3	D	C' - D	5720	5770	838	882
108.8	D'	D - D'	5790	5850	933	981
98.8	E	D' - E	7160	7210	1030	1080
86.4	E'	E - E'	7210	7280	1100	1150
74.8	F	E' - F	7420	7450	1170	1230
61.2	G	F - G	7610	7620	1230	1290
41.8	H	G - H	5720	5780	1280	1340
15.3	I	H - I	6490	6620	1310	1370

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

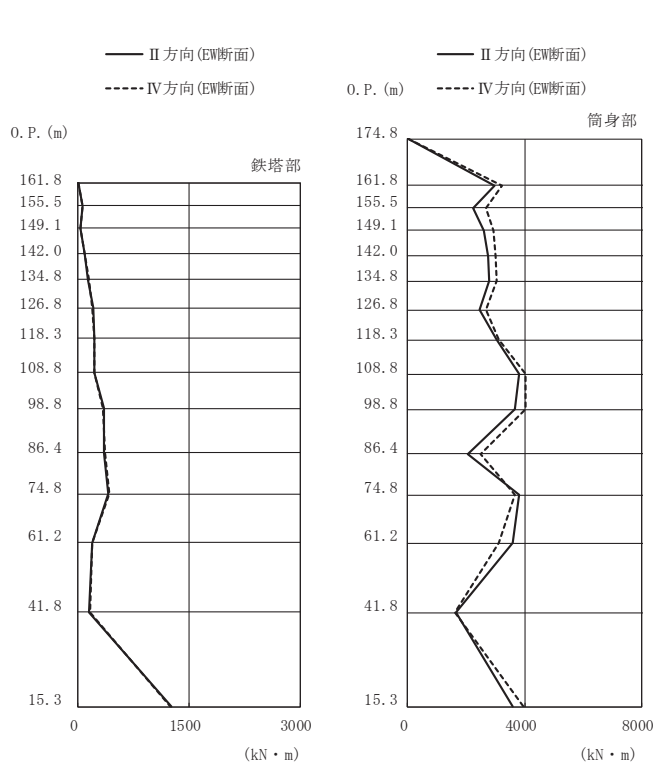
図 3-4(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース②)



(a) S s - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.5	1.9	3110	2630
155.5	A'	58.8	57.4	2470	1950
149.1	B	28.4	25.7	2790	2550
142.0	B'	96.1	96.8	2870	2620
134.8	C	122	106	2920	2740
126.8	C'	201	207	2580	2410
118.3	D	166	135	3090	2680
108.8	D'	218	219	3950	3490
98.8	E	287	276	3830	3450
86.4	E'	309	313	2310	1890
74.8	F	339	345	3700	3560
61.2	G	193	163	3440	2970
41.8	H	161	131	1760	1500
15.3	I	1240	1100	3830	3300

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。



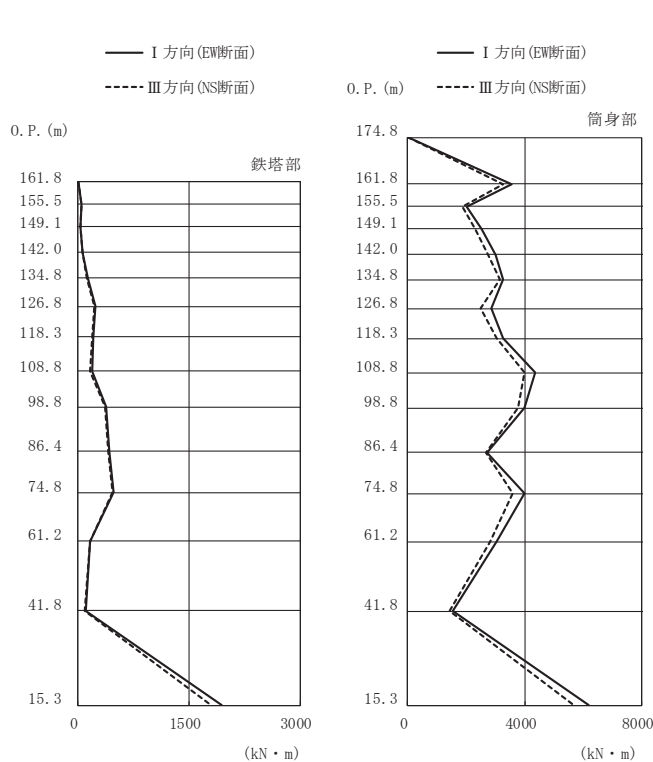
(b) S s - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.4	2970	3230
155.5	A'	57.8	58.0	2240	2670
149.1	B	35.9	38.1	2610	2930
142.0	B'	96.3	94.7	2760	3010
134.8	C	137	144	2790	3040
126.8	C'	200	199	2450	2690
118.3	D	220	219	3050	3100
108.8	D'	221	218	3830	4040
98.8	E	353	339	3670	4020
86.4	E'	351	359	2050	2510
74.8	F	416	421	3800	3680
61.2	G	193	199	3600	3110
41.8	H	155	160	1640	1620
15.3	I	1260	1250	3610	3950

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

図 3-5(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②)

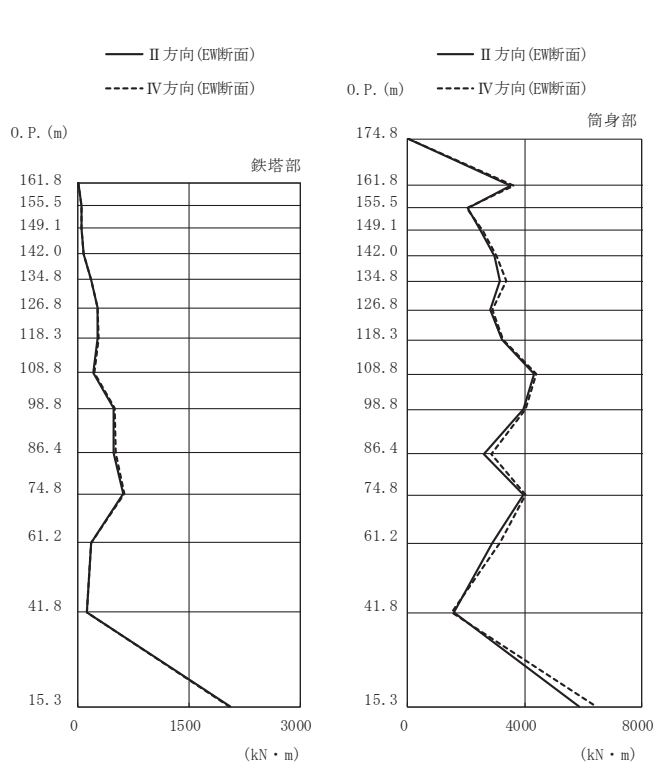




高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.9	2.6	3570	3260
155.5	A'	49.6	45.8	2020	1870
149.1	B	37.2	35.8	2540	2310
142.0	B'	67.8	67.2	3010	2740
134.8	C	141	124	3270	3170
126.8	C'	234	222	2870	2510
118.3	D	200	193	3250	3050
108.8	D'	185	165	4350	4000
98.8	E	387	365	4010	3780
86.4	E'	419	404	2730	2660
74.8	F	479	461	3990	3610
61.2	G	163	157	3040	2810
41.8	H	107	97.0	1560	1440
15.3	I	1940	1800	6180	5680

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

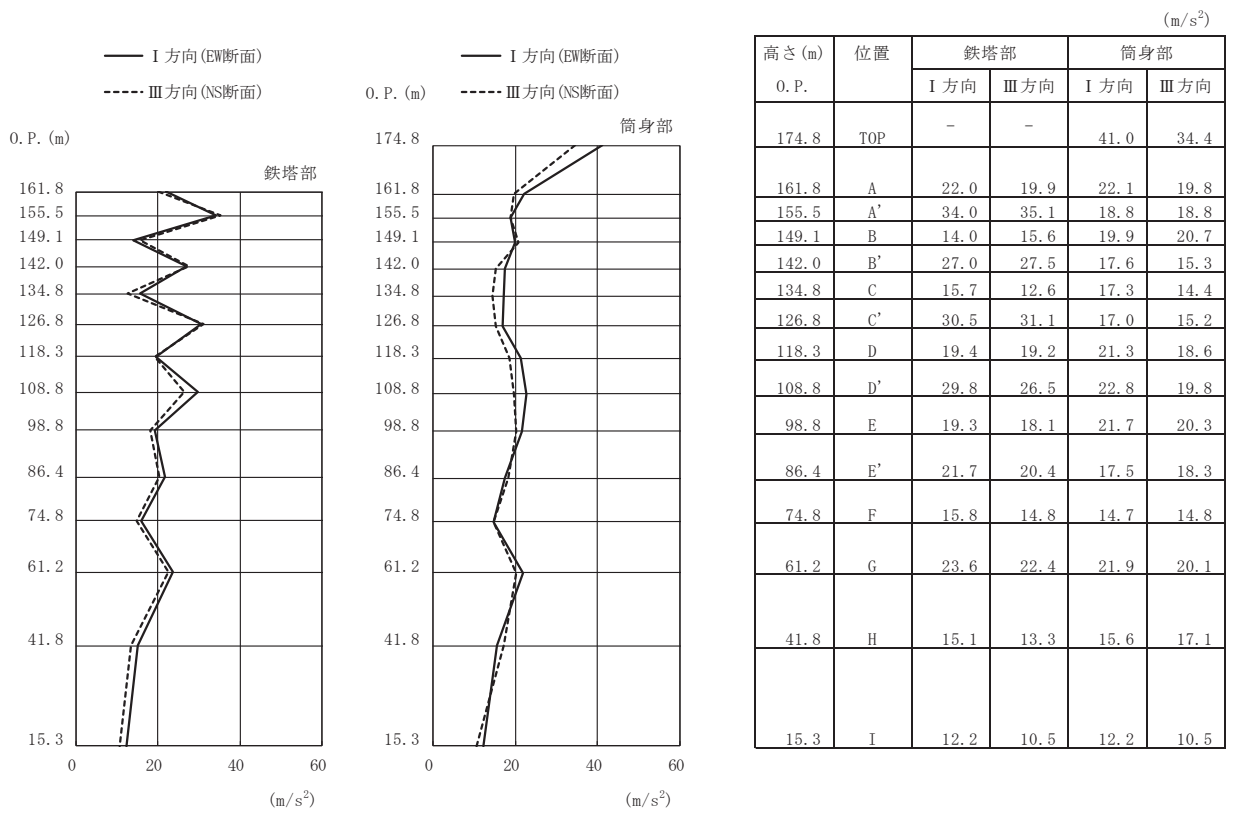


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.0	3.1	3510	3630
155.5	A'	51.6	52.5	2040	2000
149.1	B	45.4	48.0	2490	2560
142.0	B'	74.6	76.0	2960	3040
134.8	C	176	183	3160	3380
126.8	C'	259	267	2810	2910
118.3	D	268	273	3240	3270
108.8	D'	211	217	4330	4400
98.8	E	487	497	3960	4050
86.4	E'	481	507	2610	2860
74.8	F	615	629	3950	4050
61.2	G	172	181	2900	3150
41.8	H	120	114	1570	1490
15.3	I	2060	2050	5870	6450

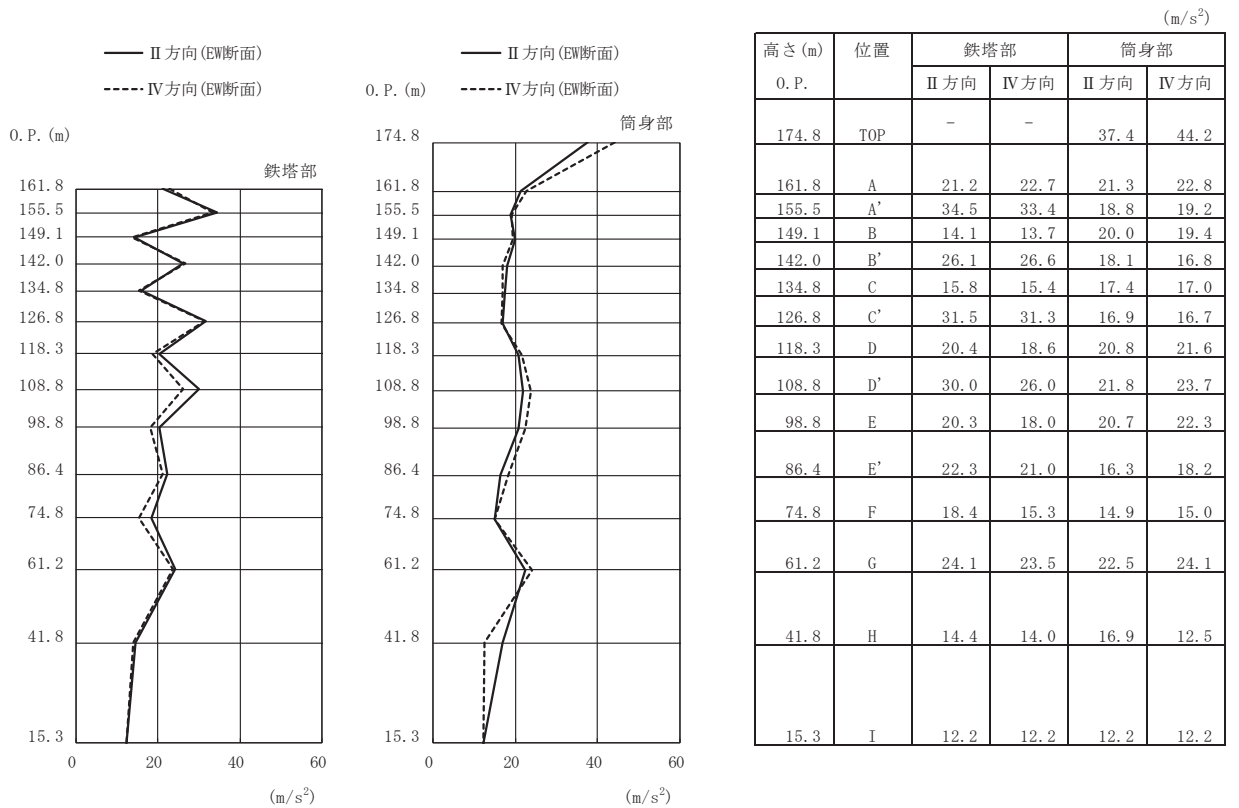
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-5(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②)

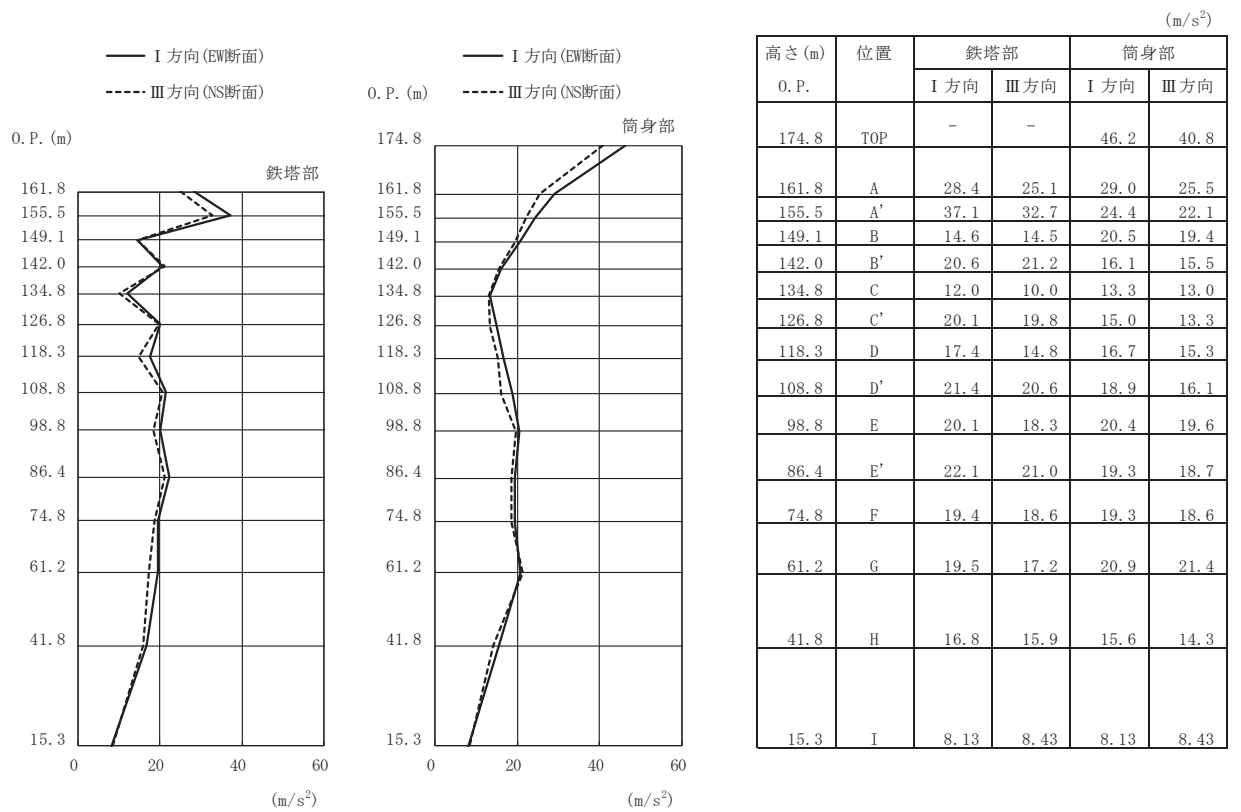


(a) S s - D 2 (直交方向)

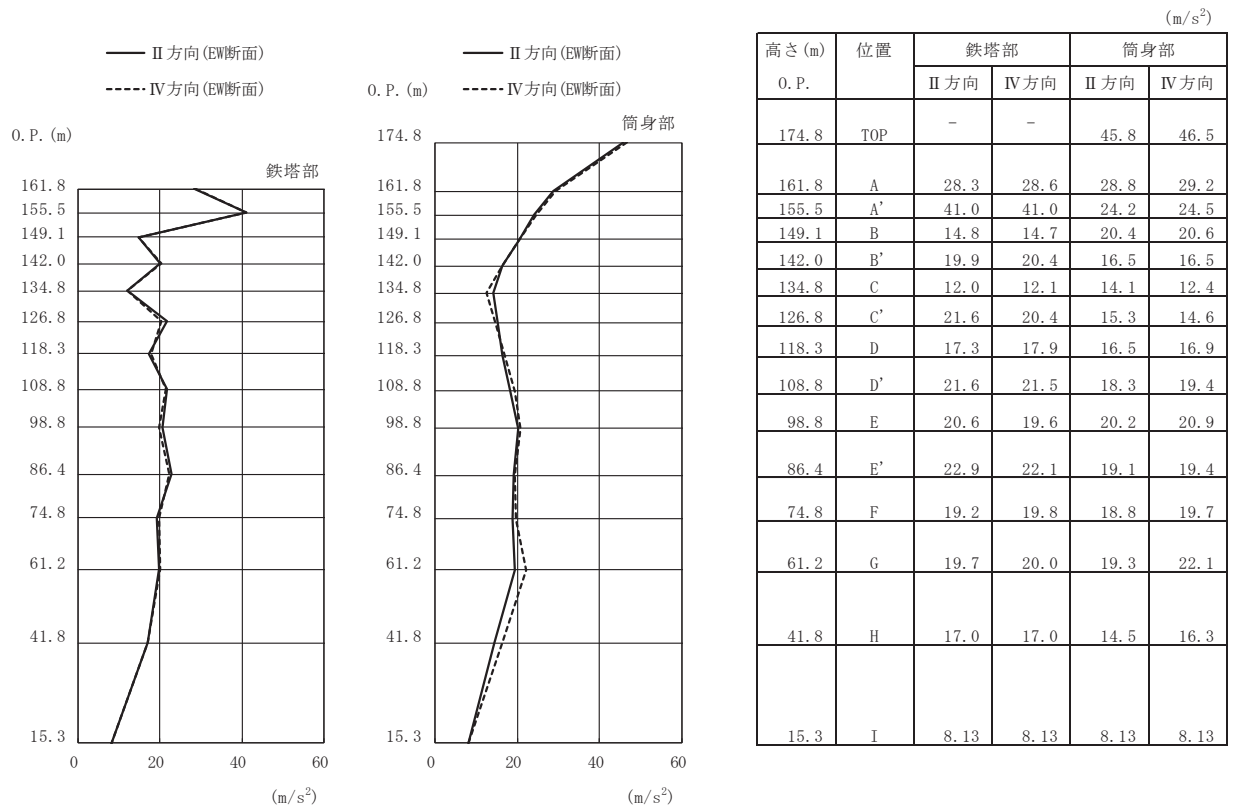


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-6(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース③)

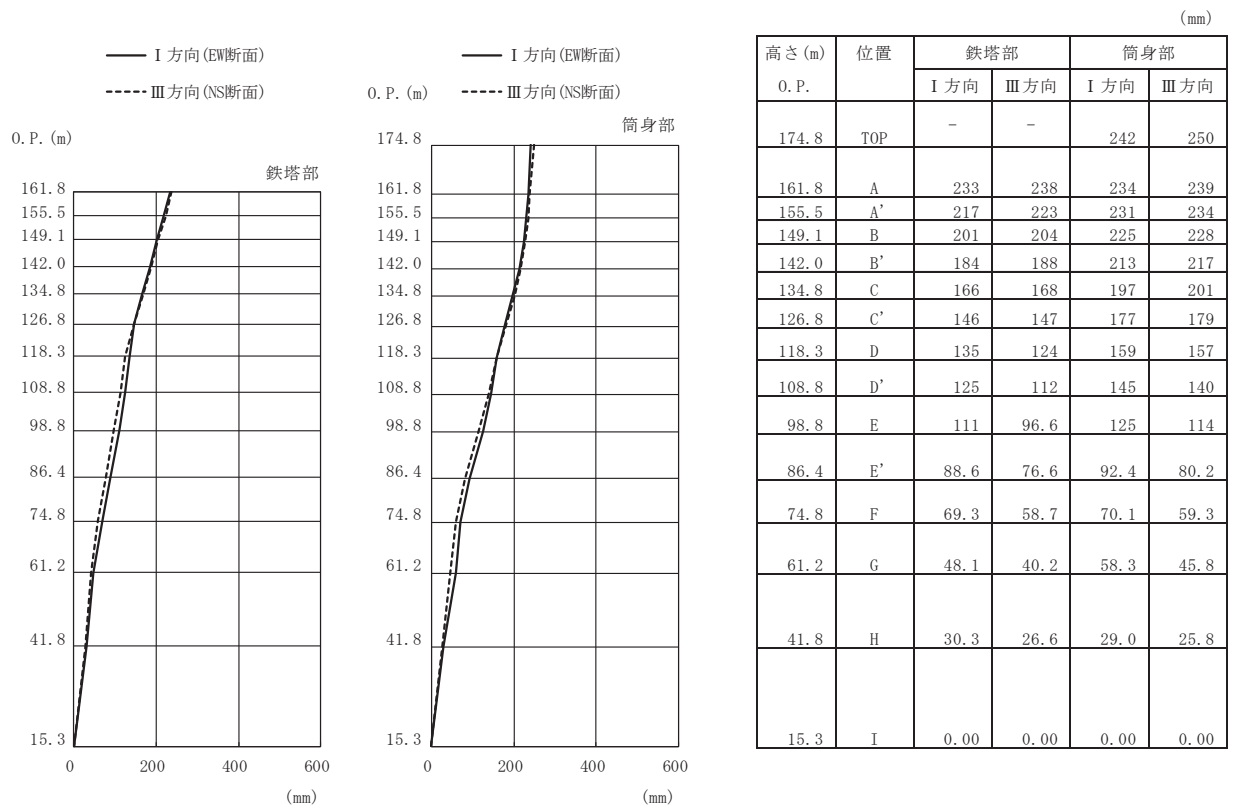


(c) S s - N 1 (直交方向)

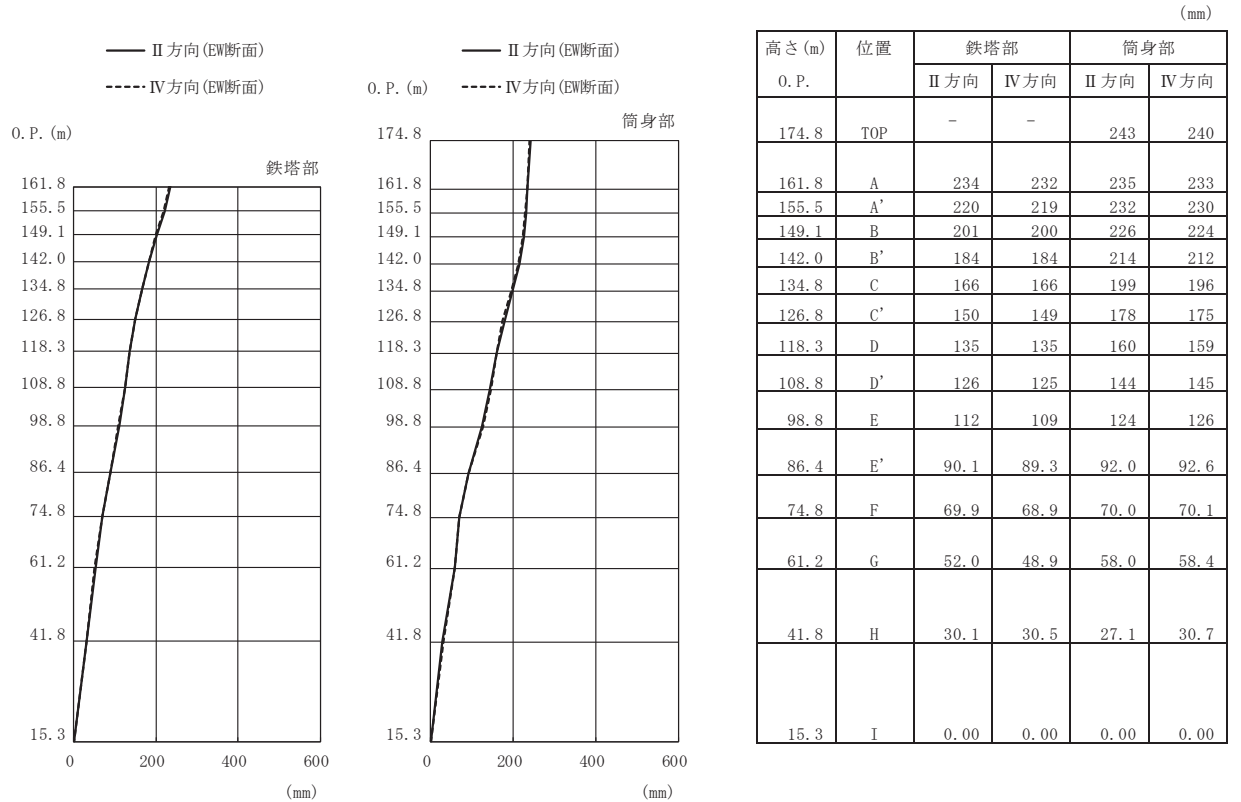


(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-6(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース③)

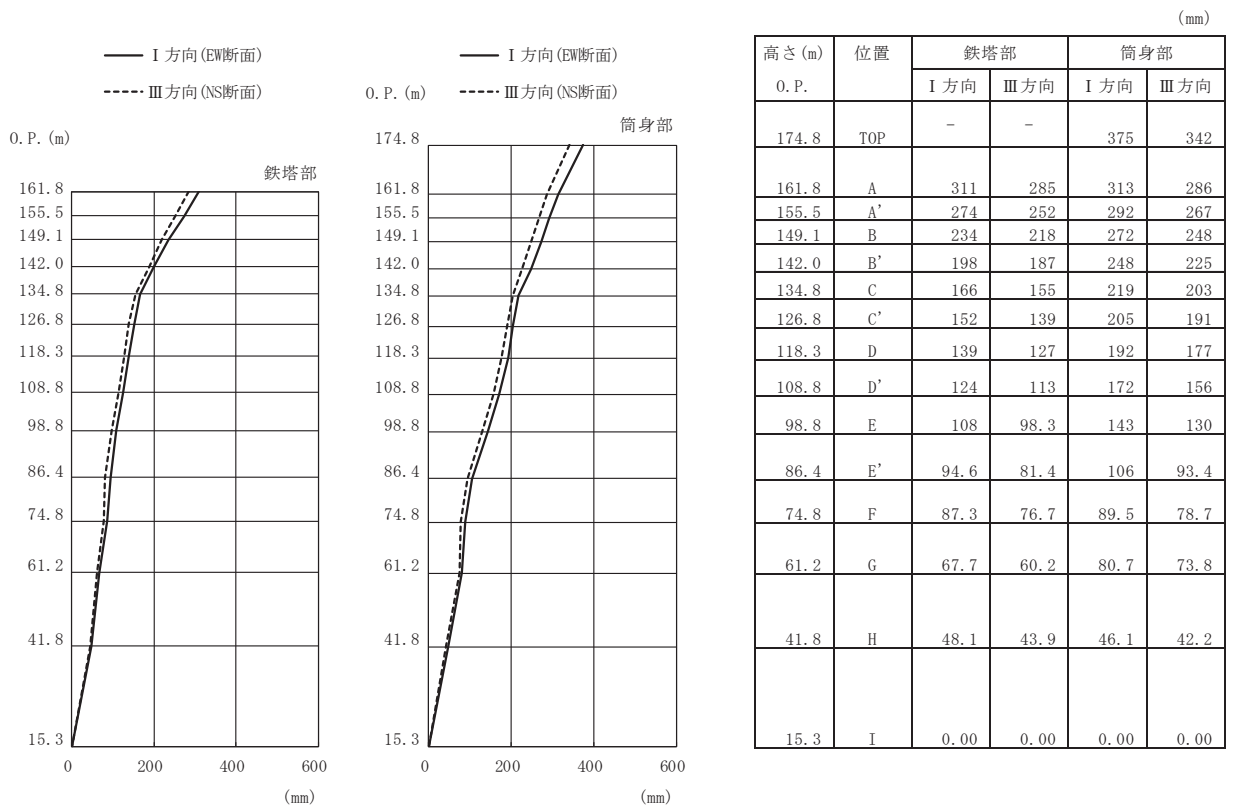


(a) S s - D 2 (直交方向)

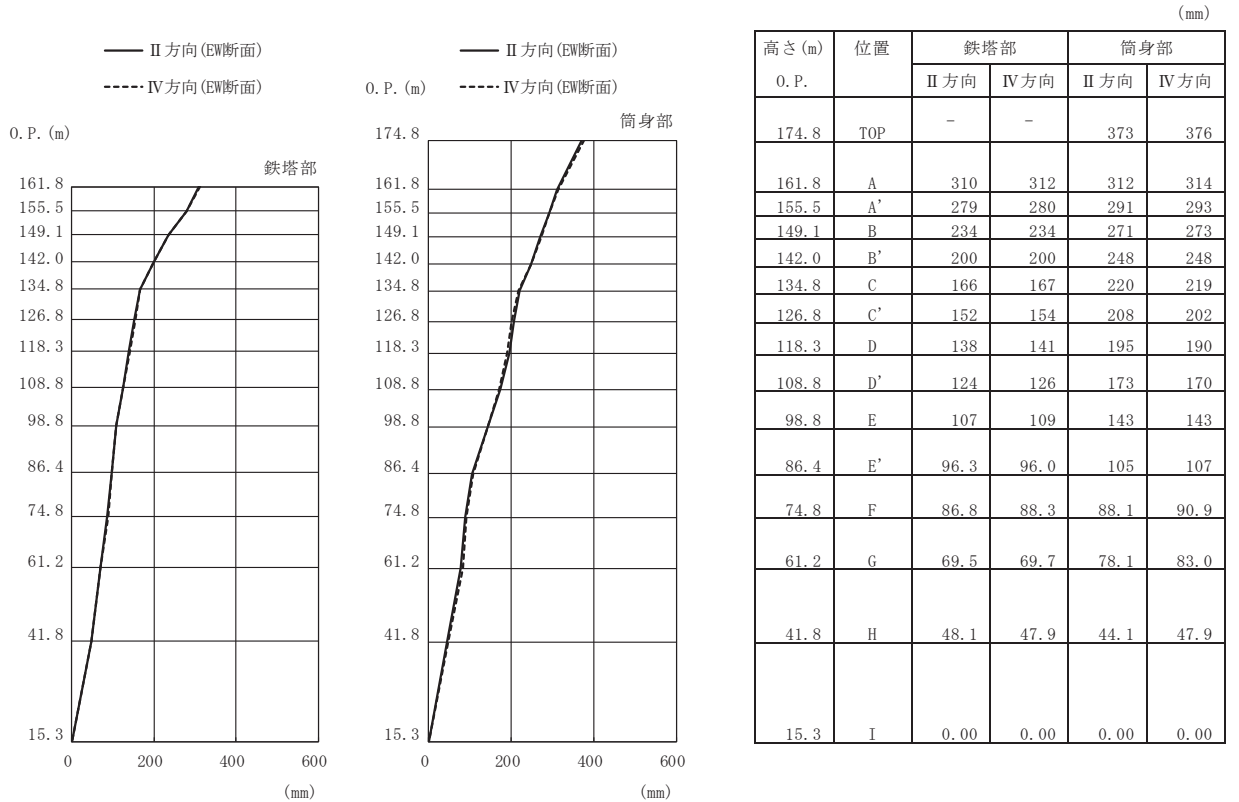


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-7(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース③)

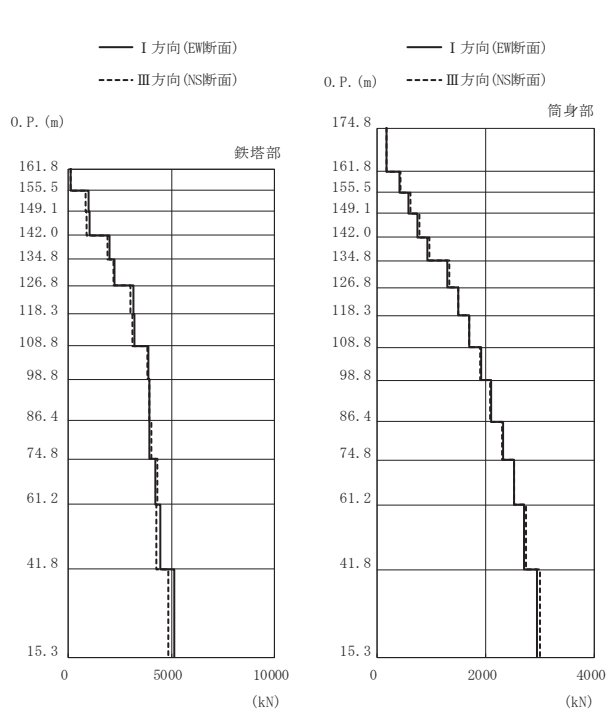


(c) S s - N 1 (直交方向)



(d) S s - N 1 (斜め方向)

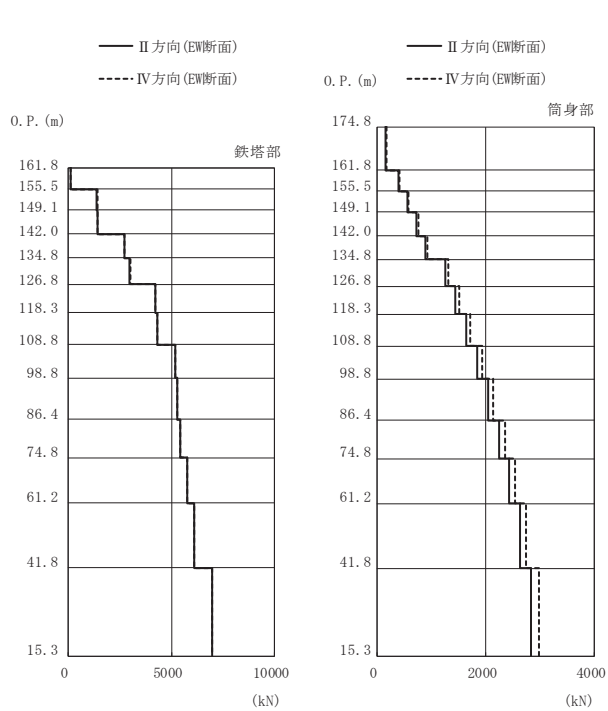
図 3-7(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース③)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	169	179
155.5	A'	A - A'	116	125	417	440
149.1	B	A' - B	995	850	579	608
142.0	B'	B - B'	1030	898	748	782
134.8	C	B' - C	1990	1900	923	959
126.8	C'	C - C'	2250	2190	1300	1330
118.3	D	C' - D	3140	2990	1490	1500
108.8	D'	D - D'	3230	3110	1690	1700
98.8	E	D' - E	3870	3810	1910	1900
86.4	E'	E - E'	3950	3920	2100	2090
74.8	F	E' - F	3920	4030	2320	2300
61.2	G	F - G	4220	4330	2520	2520
41.8	H	G - H	4460	4260	2710	2750
15.3	I	H - I	5120	4860	2940	3000

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

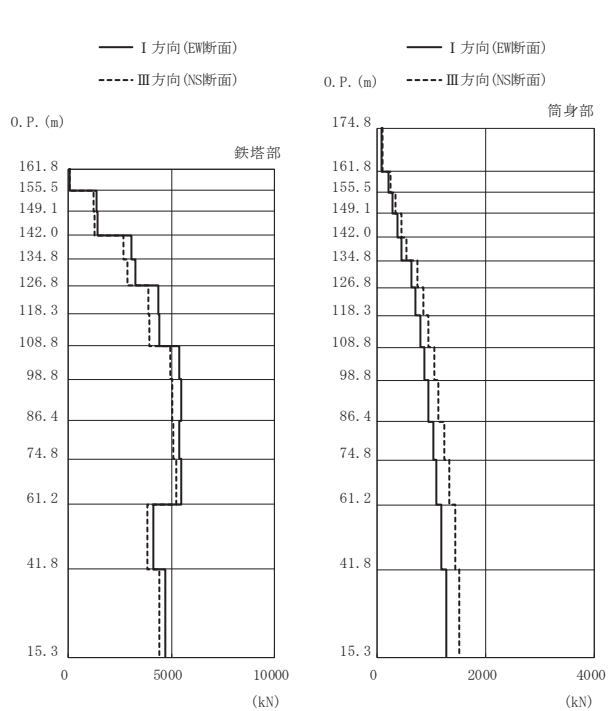


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	164	171
155.5	A'	A - A'	119	119	405	422
149.1	B	A' - B	1360	1410	561	586
142.0	B'	B - B'	1400	1440	724	757
134.8	C	B' - C	2700	2730	893	935
126.8	C'	C - C'	2970	2990	1260	1310
118.3	D	C' - D	4230	4200	1440	1510
108.8	D'	D - D'	4330	4310	1640	1720
98.8	E	D' - E	5180	5170	1850	1930
86.4	E'	E - E'	5270	5260	2040	2130
74.8	F	E' - F	5440	5430	2250	2350
61.2	G	F - G	5770	5760	2440	2550
41.8	H	G - H	6110	6090	2630	2750
15.3	I	H - I	6970	6960	2840	2990

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

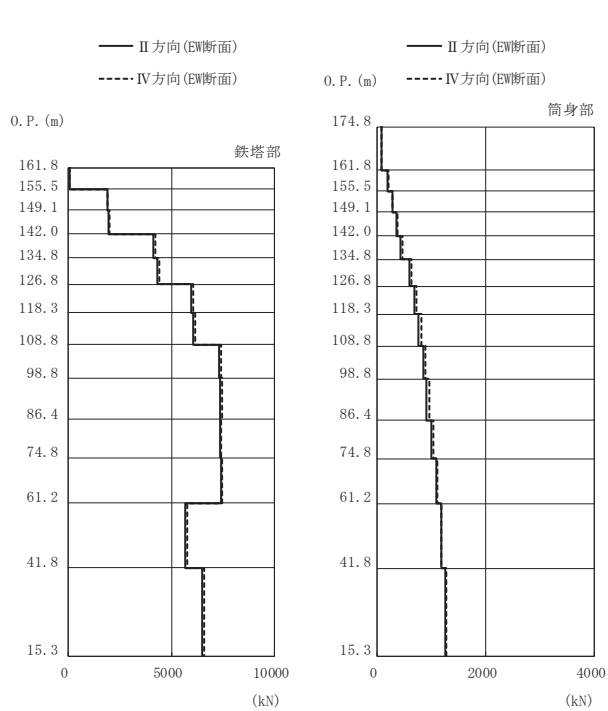
図 3-8(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース③)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	85.2	104
155.5	A'	A - A'	77.7	74.9	210	254
149.1	B	A' - B	1380	1220	289	350
142.0	B'	B - B'	1430	1270	371	449
134.8	C	B' - C	3040	2680	455	549
126.8	C'	C - C'	3240	2860	627	754
118.3	D	C' - D	4360	3860	712	853
108.8	D'	D - D'	4430	3930	795	951
98.8	E	D' - E	5400	4930	876	1050
86.4	E'	E - E'	5460	5030	948	1130
74.8	F	E' - F	5390	5070	1030	1240
61.2	G	F - G	5450	5230	1100	1340
41.8	H	G - H	4100	3840	1190	1440
15.3	I	H - I	4700	4400	1270	1510

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

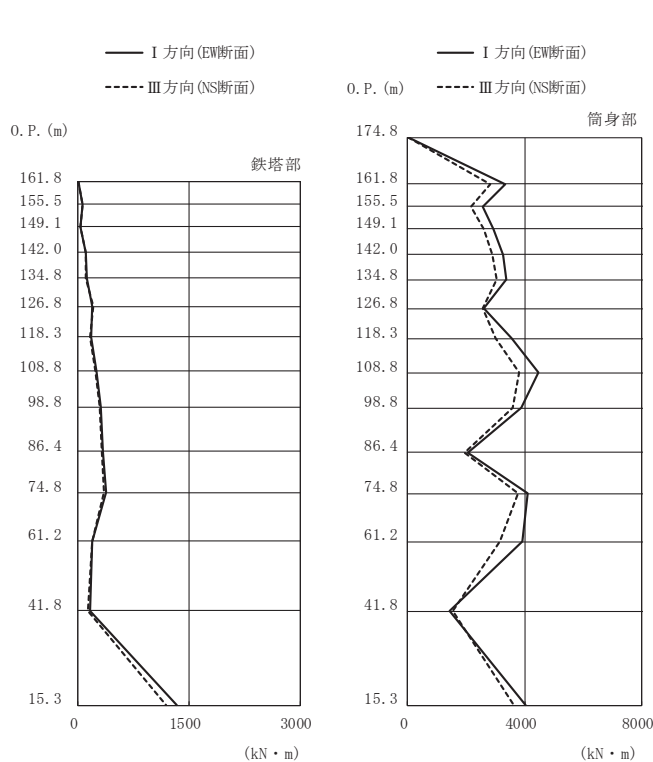


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	82.4	87.1
155.5	A'	A - A'	81.1	81.8	203	214
149.1	B	A' - B	1880	1920	280	296
142.0	B'	B - B'	1960	1990	359	380
134.8	C	B' - C	4120	4200	439	466
126.8	C'	C - C'	4330	4410	604	642
118.3	D	C' - D	5970	6050	686	728
108.8	D'	D - D'	6050	6130	768	814
98.8	E	D' - E	7320	7380	848	895
86.4	E'	E - E'	7370	7440	918	963
74.8	F	E' - F	7340	7390	1010	1040
61.2	G	F - G	7400	7430	1090	1110
41.8	H	G - H	5680	5760	1180	1190
15.3	I	H - I	6470	6580	1260	1270

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

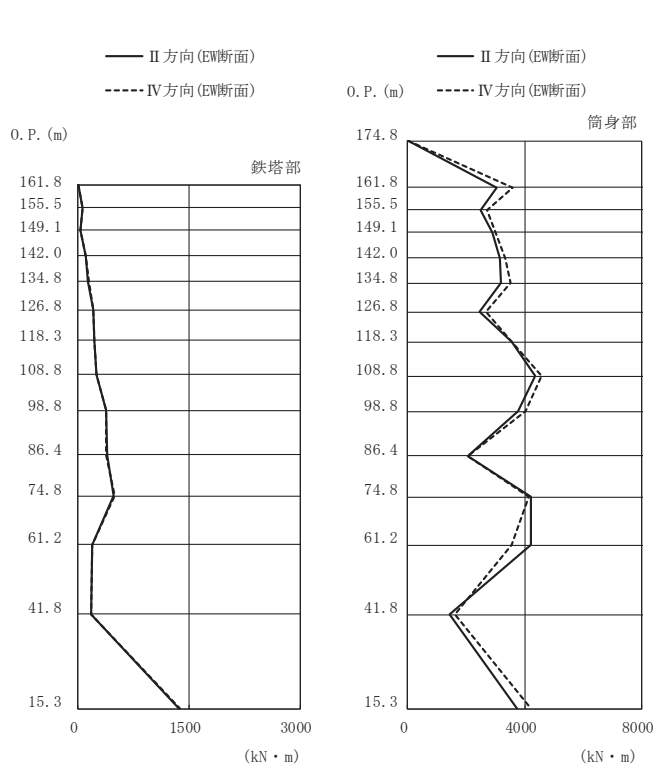
図 3-8(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース③)



(a) S s - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.4	2.1	3350	2830
155.5	A'	59.0	60.5	2550	2160
149.1	B	29.6	26.8	2940	2610
142.0	B'	102	106	3260	2880
134.8	C	115	107	3360	3060
126.8	C'	190	208	2590	2570
118.3	D	171	161	3560	3000
108.8	D'	249	233	4480	3830
98.8	E	312	296	3900	3580
86.4	E'	336	327	2070	1940
74.8	F	383	354	4120	3780
61.2	G	189	185	3920	3150
41.8	H	168	138	1450	1560
15.3	I	1330	1190	4020	3630

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。



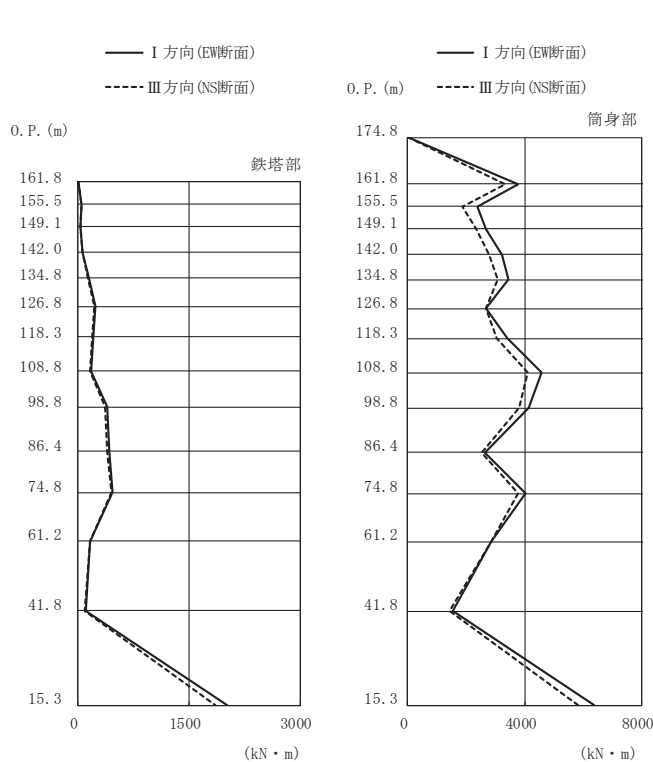
(b) S s - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.0	2.3	3050	3610
155.5	A'	58.8	58.5	2500	2730
149.1	B	37.0	40.0	2890	2990
142.0	B'	102	98.9	3150	3350
134.8	C	139	146	3190	3510
126.8	C'	211	209	2470	2680
118.3	D	225	227	3540	3560
108.8	D'	249	250	4370	4570
98.8	E	385	376	3760	4040
86.4	E'	391	384	2070	2040
74.8	F	475	501	4220	4130
61.2	G	189	189	4210	3540
41.8	H	176	180	1420	1600
15.3	I	1360	1380	3730	4230

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

図 3-9(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③)

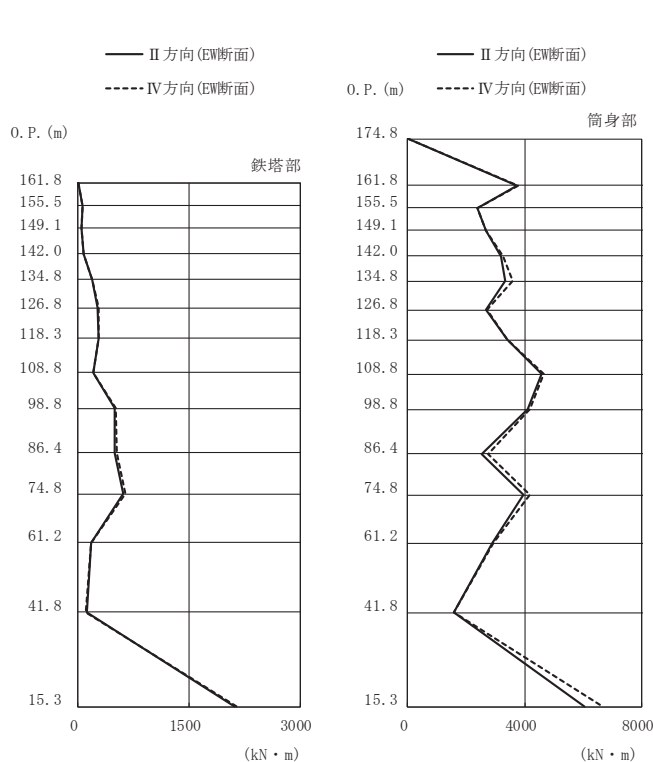




高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.2	2.7	3760	3320
155.5	A'	53.4	47.3	2390	1870
149.1	B	38.8	36.2	2670	2350
142.0	B'	67.1	68.3	3240	2790
134.8	C	149	131	3460	3080
126.8	C'	236	225	2690	2660
118.3	D	209	189	3400	3050
108.8	D'	175	168	4600	4100
98.8	E	394	369	4140	3820
86.4	E'	427	401	2630	2540
74.8	F	472	454	4050	3770
61.2	G	169	158	2870	2860
41.8	H	109	96.5	1530	1450
15.3	I	2010	1860	6380	5820

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

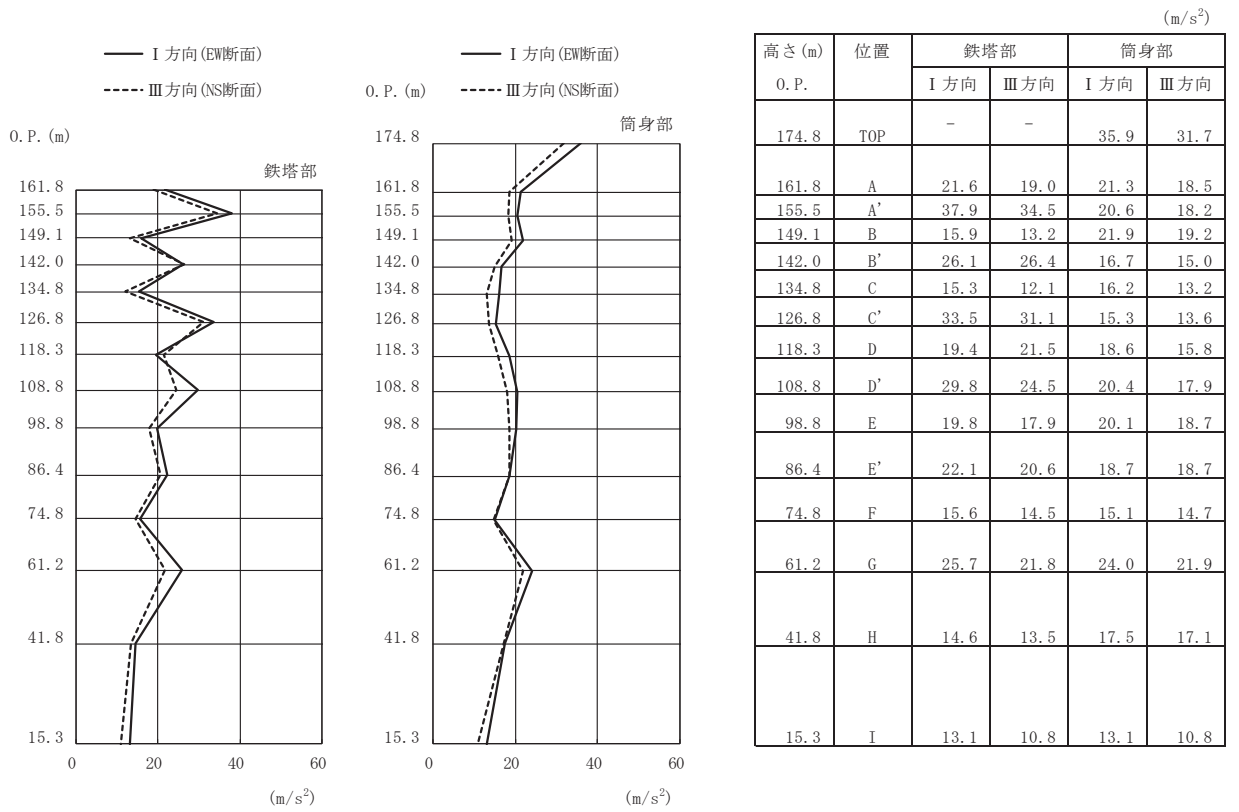


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.4	3.4	3730	3780
155.5	A'	56.8	57.1	2380	2390
149.1	B	48.9	50.6	2670	2660
142.0	B'	73.9	75.3	3200	3260
134.8	C	188	194	3320	3580
126.8	C'	267	274	2670	2710
118.3	D	283	286	3400	3420
108.8	D'	204	209	4570	4660
98.8	E	497	508	4100	4170
86.4	E'	494	521	2530	2760
74.8	F	612	634	3950	4190
61.2	G	172	183	2890	2920
41.8	H	120	109	1580	1580
15.3	I	2120	2140	6060	6680

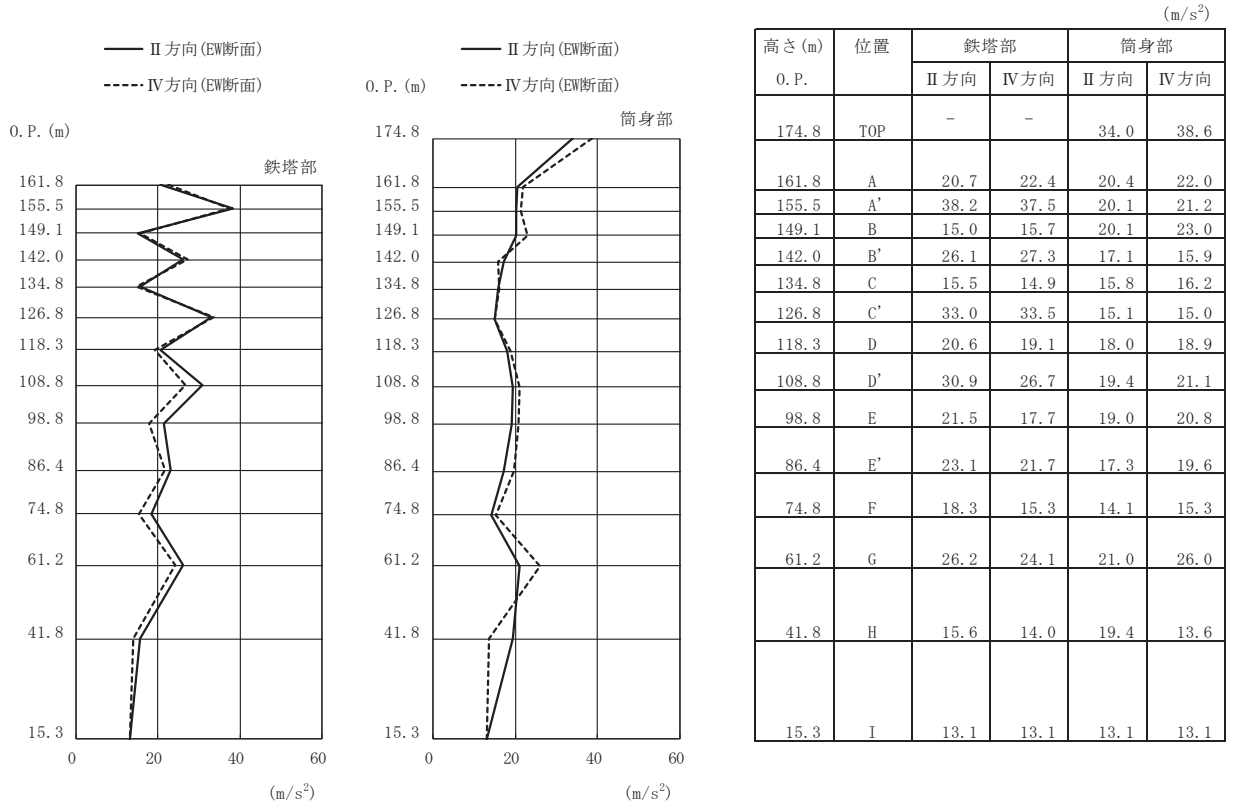
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-9(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③)

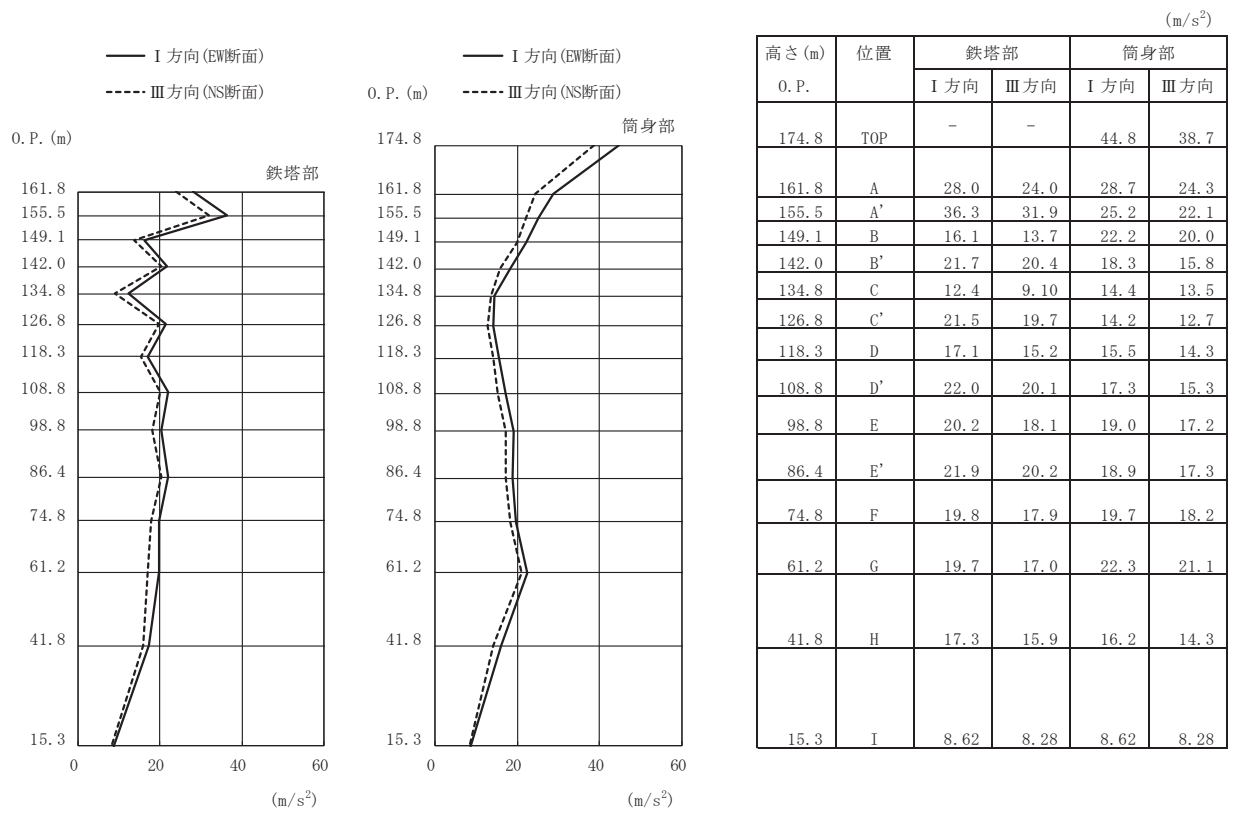


(a) S s - D 2 (直交方向)

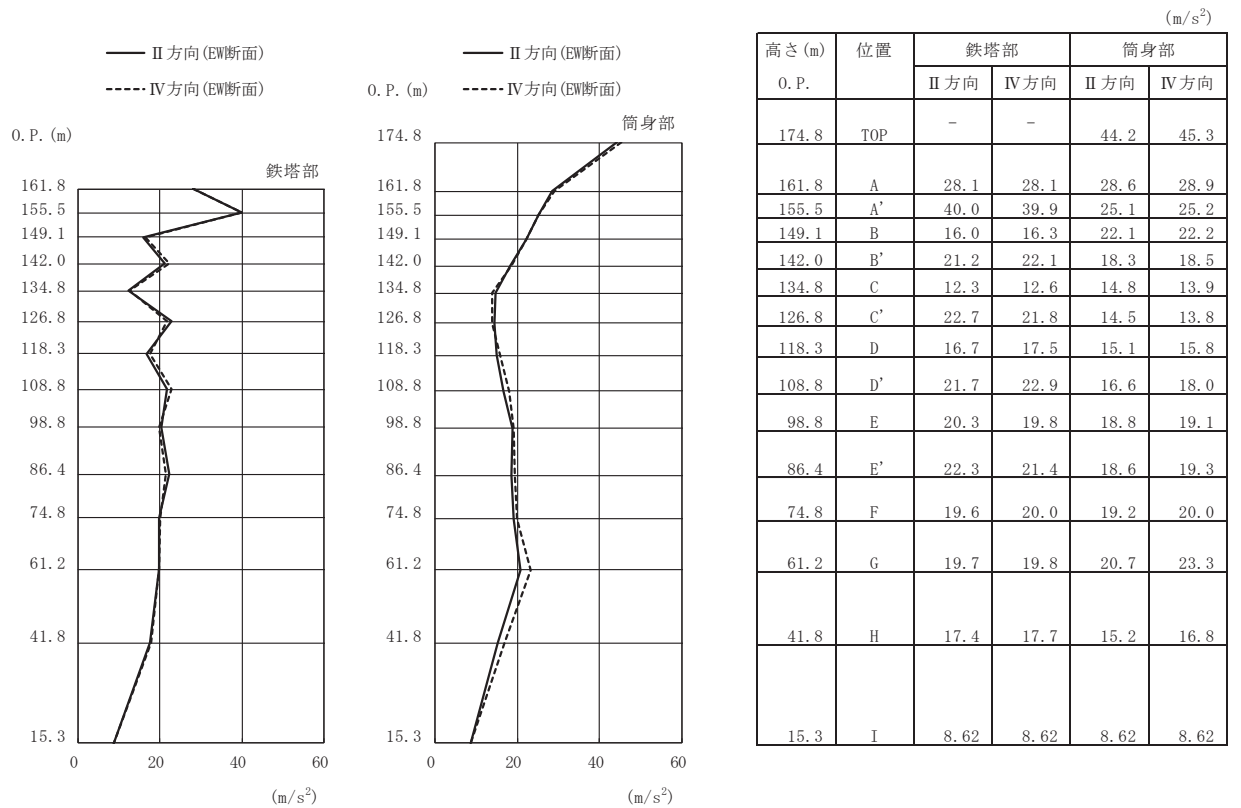


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-10(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース④)

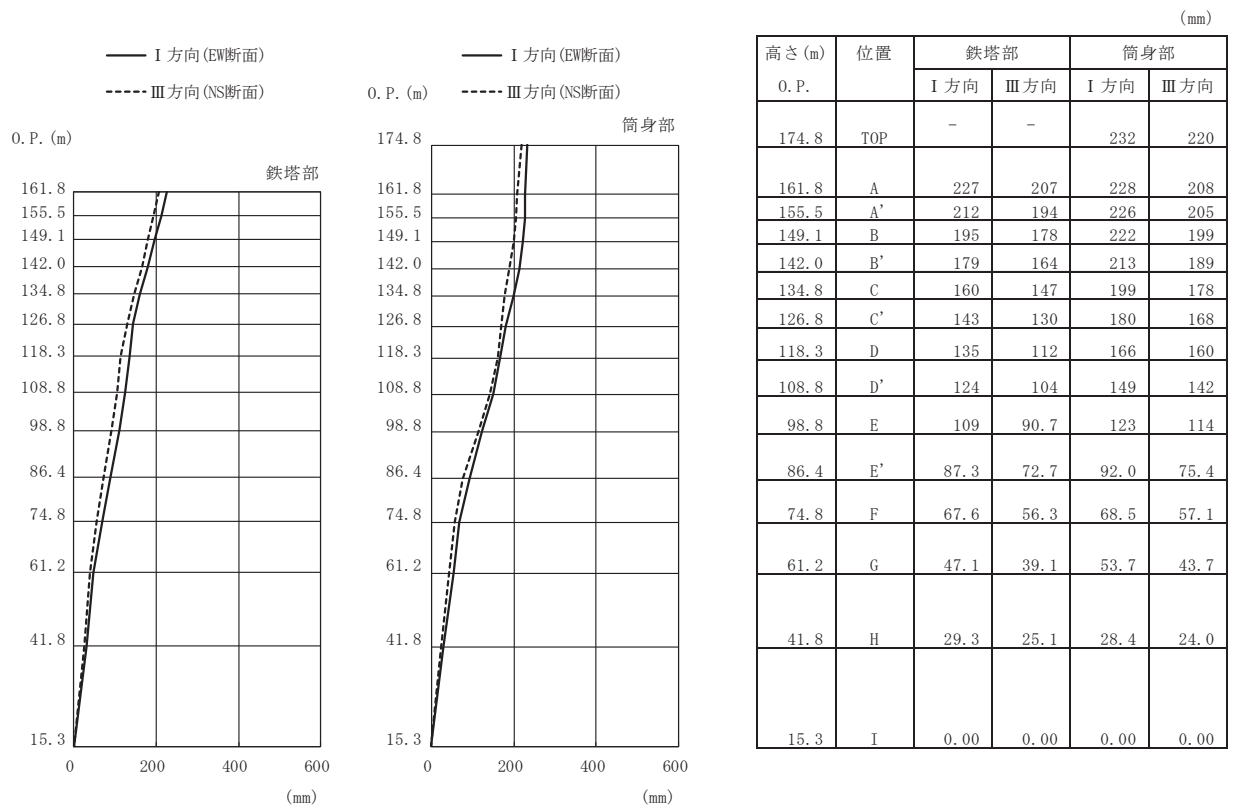


(c) S s - N 1 (直交方向)

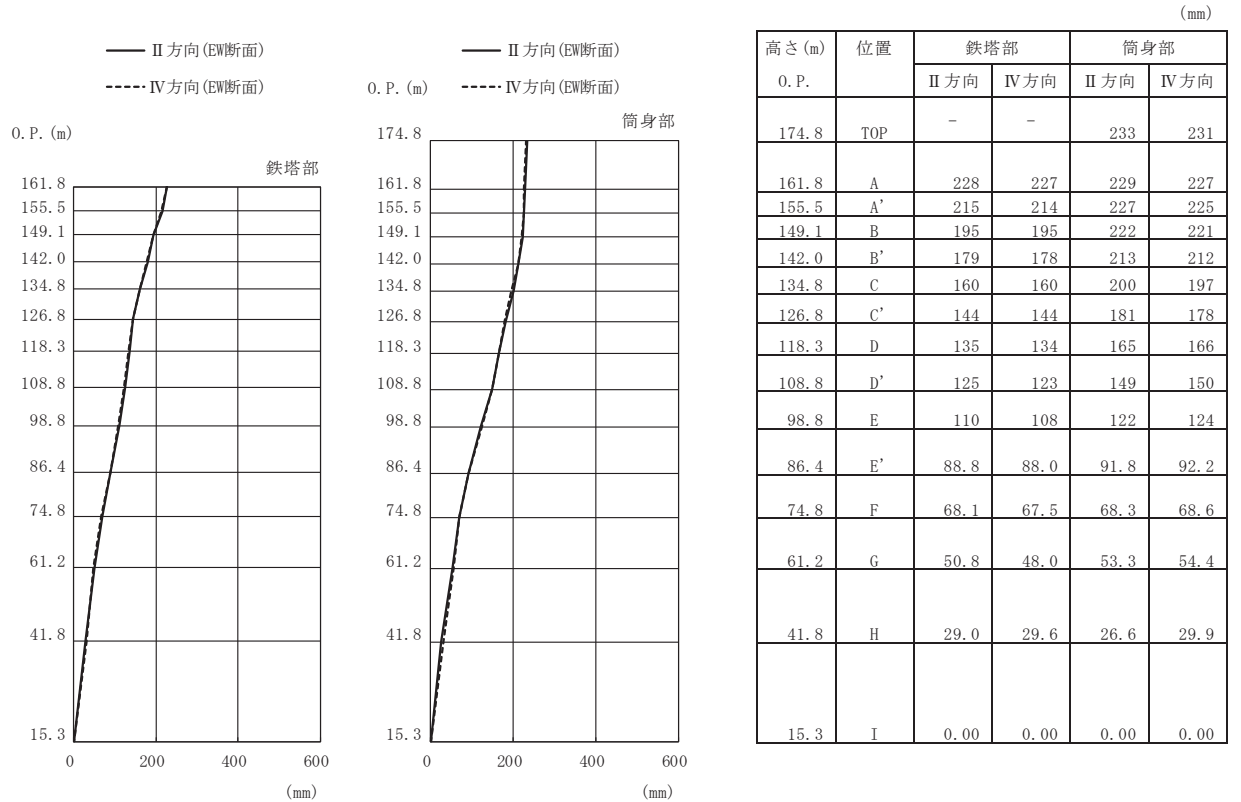


(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-10(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース④)

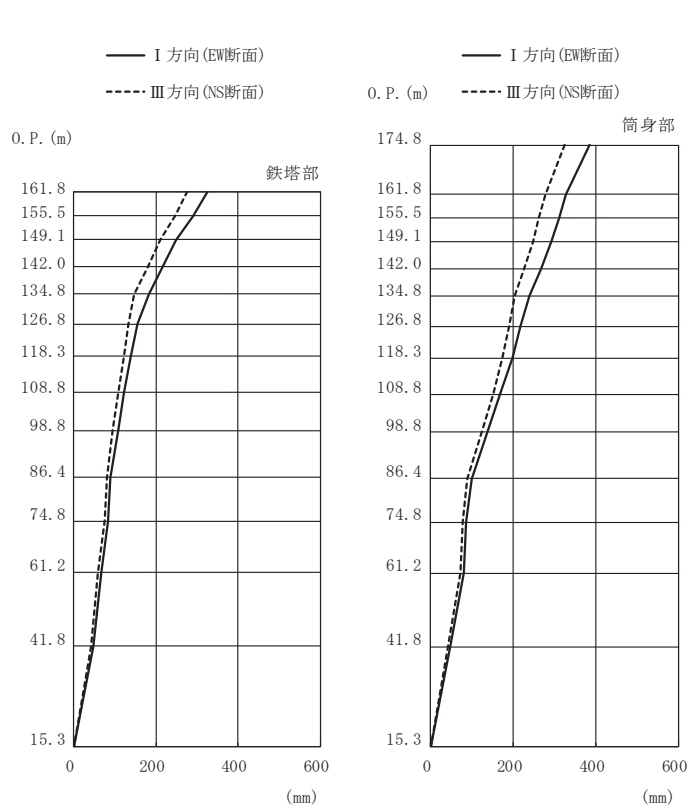


(a) S s - D 2 (直交方向)



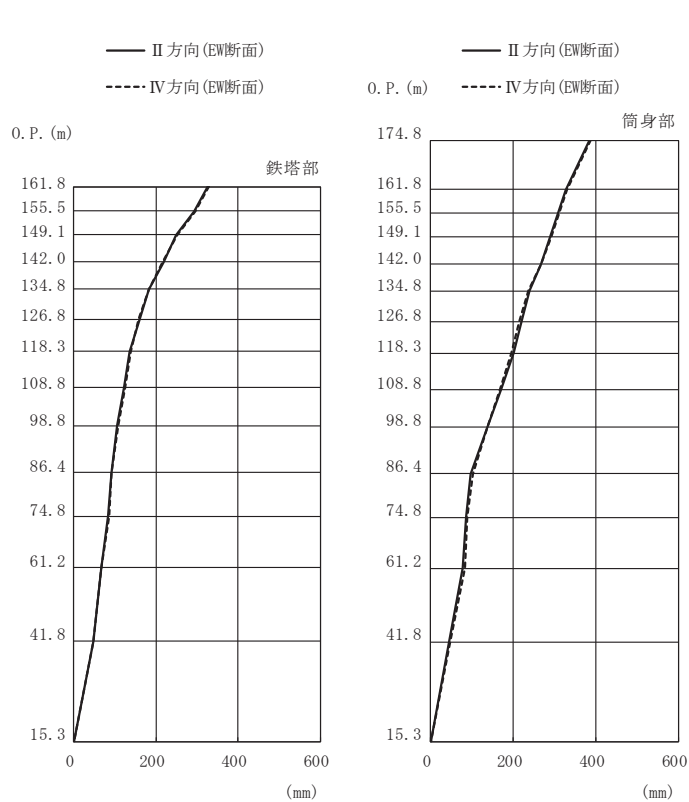
(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-11(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース④)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	386	326
161.8	A	327	276	329	278
155.5	A'	290	245	310	262
149.1	B	250	211	291	247
142.0	B'	216	181	268	227
134.8	C	182	148	239	203
126.8	C'	154	132	218	191
118.3	D	138	121	198	175
108.8	D'	123	109	169	151
98.8	E	107	95.2	138	123
86.4	E'	89.8	79.8	99.3	89.2
74.8	F	83.8	74.9	85.9	76.8
61.2	G	65.6	59.0	80.6	73.1
41.8	H	47.7	43.1	46.1	41.7
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

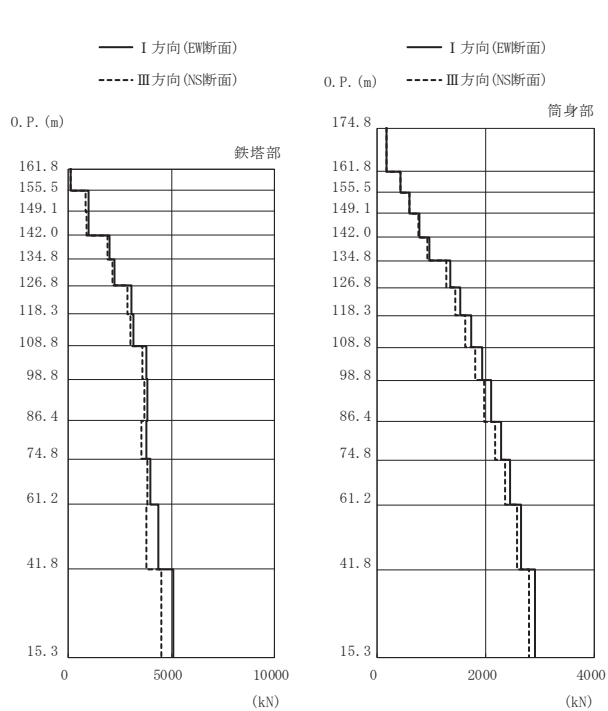
(c) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	385	388
161.8	A	327	328	328	330
155.5	A'	294	295	309	311
149.1	B	250	251	290	292
142.0	B'	218	217	268	268
134.8	C	183	182	239	238
126.8	C'	160	158	220	216
118.3	D	137	139	200	196
108.8	D'	122	124	171	168
98.8	E	106	108	138	138
86.4	E'	91.6	91.4	97.6	101
74.8	F	83.4	84.8	84.6	87.2
61.2	G	67.2	67.3	78.3	82.7
41.8	H	47.9	47.5	44.2	47.9
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(d) S s - N 1 (斜め方向)

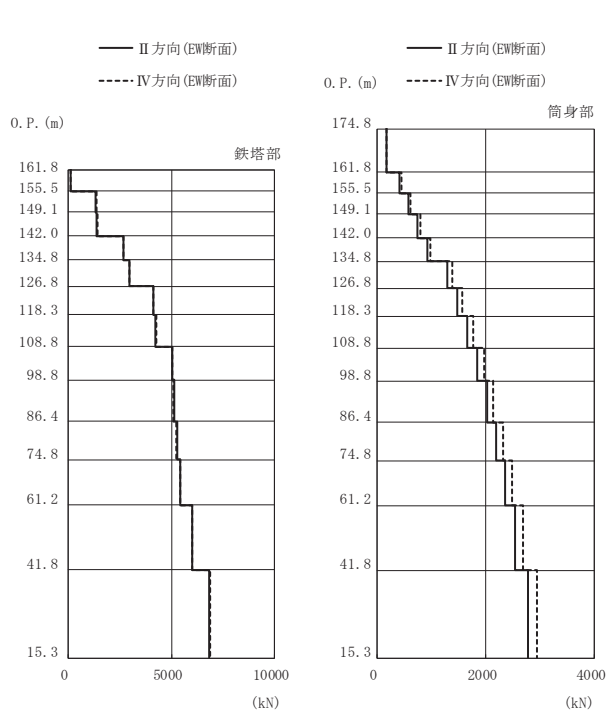
図 3-11(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース④)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	179	175
155.5	A'	A - A'	126	123	439	429
149.1	B	A' - B	964	831	607	593
142.0	B'	B - B'	1010	875	780	760
134.8	C	B' - C	2010	1900	959	929
126.8	C'	C - C'	2260	2160	1350	1280
118.3	D	C' - D	3070	2870	1540	1440
108.8	D'	D - D'	3180	2990	1740	1620
98.8	E	D' - E	3770	3610	1940	1810
86.4	E'	E - E'	3840	3700	2110	1980
74.8	F	E' - F	3800	3550	2290	2170
61.2	G	F - G	3960	3830	2450	2350
41.8	H	G - H	4380	3800	2650	2580
15.3	I	H - I	5070	4530	2900	2800

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

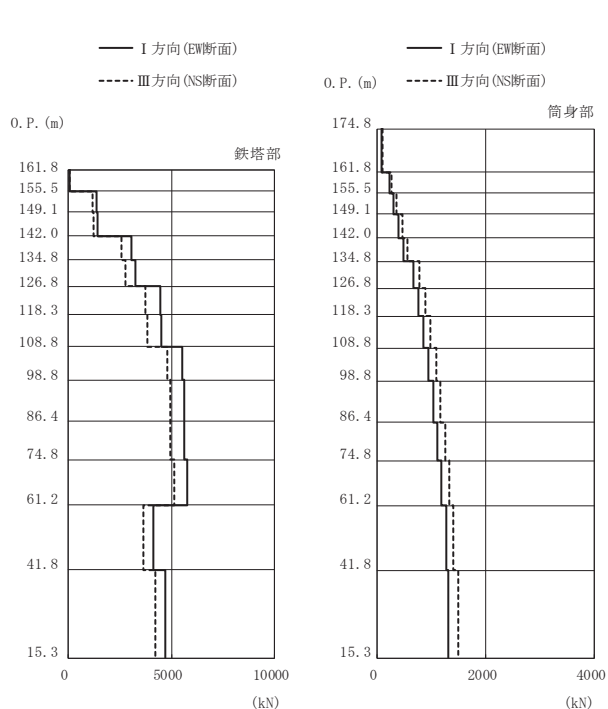


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	172	181
155.5	A'	A - A'	127	126	422	446
149.1	B	A' - B	1330	1370	584	616
142.0	B'	B - B'	1390	1430	751	793
134.8	C	B' - C	2690	2670	921	978
126.8	C'	C - C'	2970	2970	1290	1380
118.3	D	C' - D	4120	4130	1470	1570
108.8	D'	D - D'	4230	4250	1660	1770
98.8	E	D' - E	5050	5030	1850	1970
86.4	E'	E - E'	5130	5100	2020	2140
74.8	F	E' - F	5260	5250	2190	2320
61.2	G	F - G	5440	5430	2360	2490
41.8	H	G - H	6020	6000	2550	2690
15.3	I	H - I	6820	6850	2780	2950

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

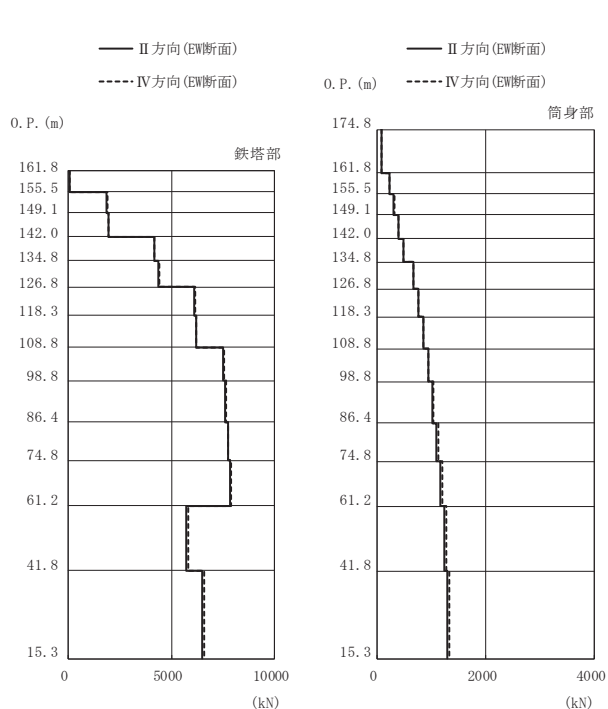
図 3-12(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース④)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	92.3	106
155.5	A'	A - A'	72.7	77.6	227	261
149.1	B	A' - B	1360	1160	314	360
142.0	B'	B - B'	1420	1210	403	462
134.8	C	B' - C	3050	2600	493	566
126.8	C'	C - C'	3260	2780	678	778
118.3	D	C' - D	4440	3750	769	883
108.8	D'	D - D'	4510	3820	860	986
98.8	E	D' - E	5530	4800	946	1090
86.4	E'	E - E'	5600	4920	1030	1170
74.8	F	E' - F	5640	4950	1110	1260
61.2	G	F - G	5760	5130	1190	1330
41.8	H	G - H	4130	3660	1270	1410
15.3	I	H - I	4700	4230	1320	1500

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

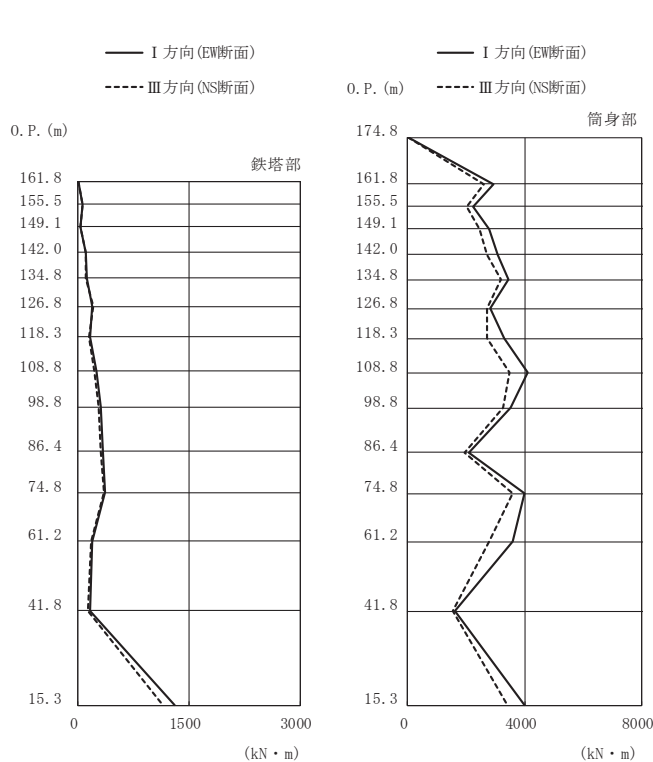


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	91.6	92.6
155.5	A'	A - A'	76.1	76.2	225	228
149.1	B	A' - B	1870	1910	311	315
142.0	B'	B - B'	1940	1970	400	404
134.8	C	B' - C	4150	4190	489	494
126.8	C'	C - C'	4380	4430	674	680
118.3	D	C' - D	6100	6140	765	771
108.8	D'	D - D'	6180	6220	855	862
98.8	E	D' - E	7520	7570	942	948
86.4	E'	E - E'	7590	7640	1020	1040
74.8	F	E' - F	7720	7760	1100	1130
61.2	G	F - G	7850	7870	1170	1210
41.8	H	G - H	5730	5790	1240	1280
15.3	I	H - I	6480	6600	1300	1340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

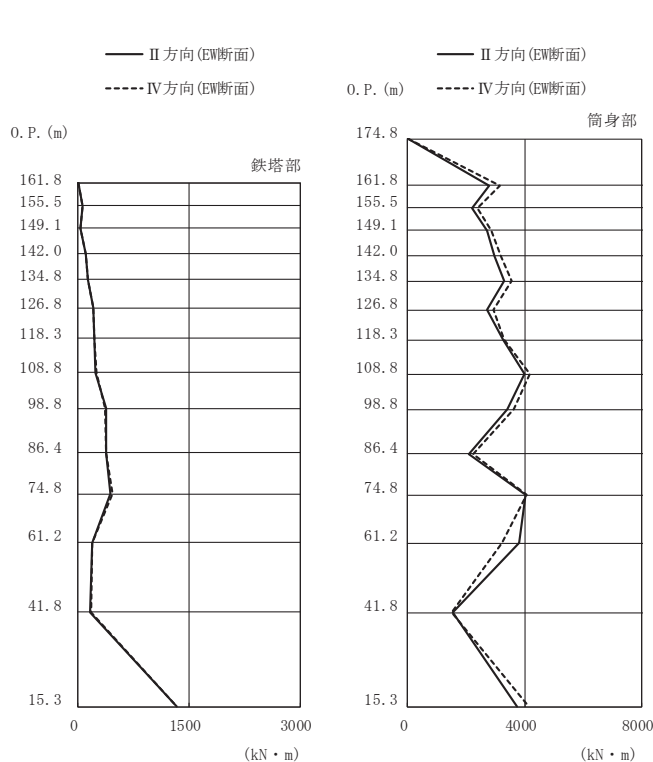
図 3-12(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース④)



(a) S s - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.5	2.0	2930	2600
155.5	A'	59.0	57.8	2240	2020
149.1	B	29.3	26.2	2800	2470
142.0	B'	103	99.4	3090	2700
134.8	C	119	108	3430	3190
126.8	C'	195	209	2820	2700
118.3	D	168	147	3290	2700
108.8	D'	244	221	4100	3490
98.8	E	308	284	3530	3260
86.4	E'	333	313	2100	1960
74.8	F	359	348	3980	3580
61.2	G	194	184	3580	2790
41.8	H	168	132	1630	1540
15.3	I	1310	1150	3980	3400

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。



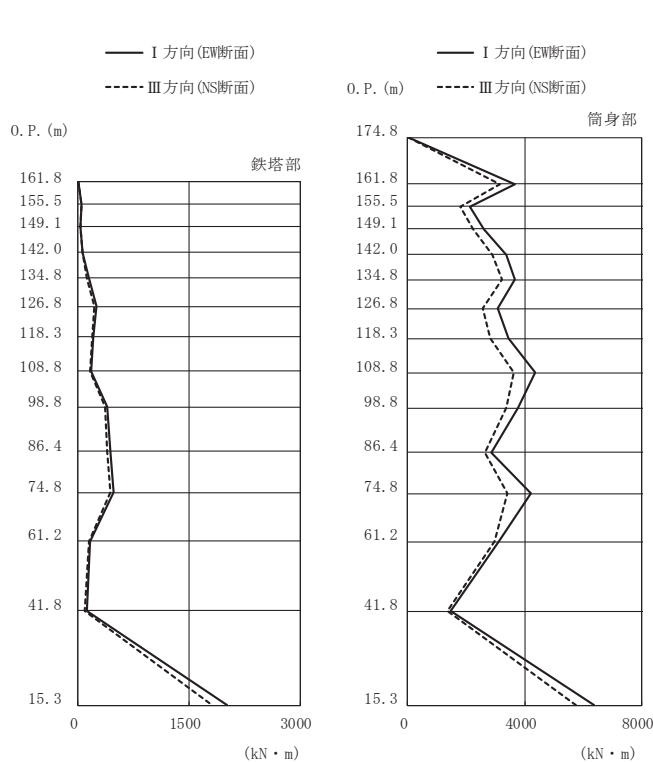
(b) S s - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.4	2780	3140
155.5	A'	59.2	58.6	2190	2370
149.1	B	36.8	39.6	2720	2860
142.0	B'	104	101	2980	3190
134.8	C	138	140	3290	3540
126.8	C'	209	209	2700	2920
118.3	D	224	223	3270	3300
108.8	D'	239	243	4000	4180
98.8	E	381	369	3410	3640
86.4	E'	385	383	2090	2250
74.8	F	439	465	4040	4070
61.2	G	190	196	3820	3220
41.8	H	168	173	1550	1490
15.3	I	1330	1330	3730	4150

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

図 3-13(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース④)

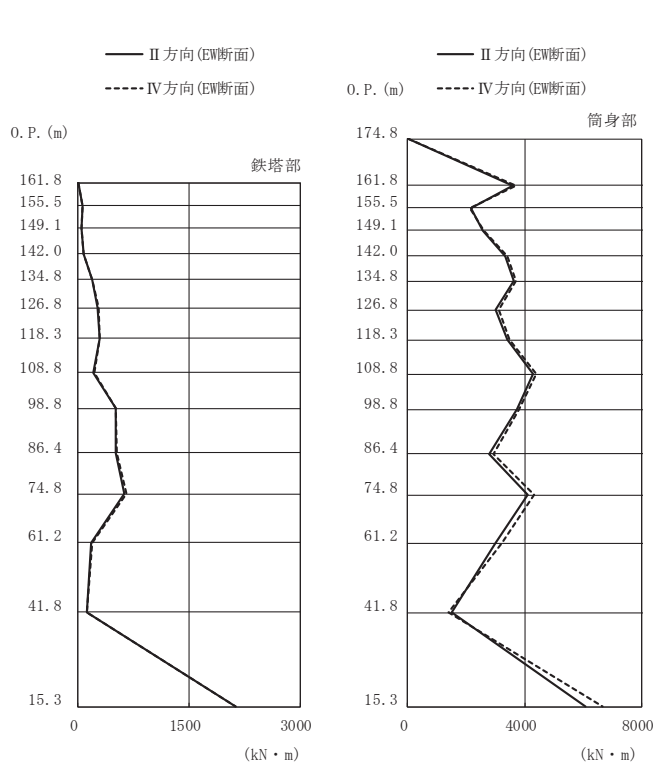




高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.2	2.7	3660	3140
155.5	A'	52.8	46.1	2140	1790
149.1	B	38.6	34.9	2590	2250
142.0	B'	66.7	67.6	3380	2880
134.8	C	149	126	3670	3230
126.8	C'	243	219	3070	2570
118.3	D	212	189	3440	2810
108.8	D'	183	168	4350	3630
98.8	E	401	360	3790	3370
86.4	E'	438	391	2850	2640
74.8	F	488	439	4210	3400
61.2	G	167	151	3110	2960
41.8	H	113	95.6	1470	1360
15.3	I	2020	1820	6390	5750

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

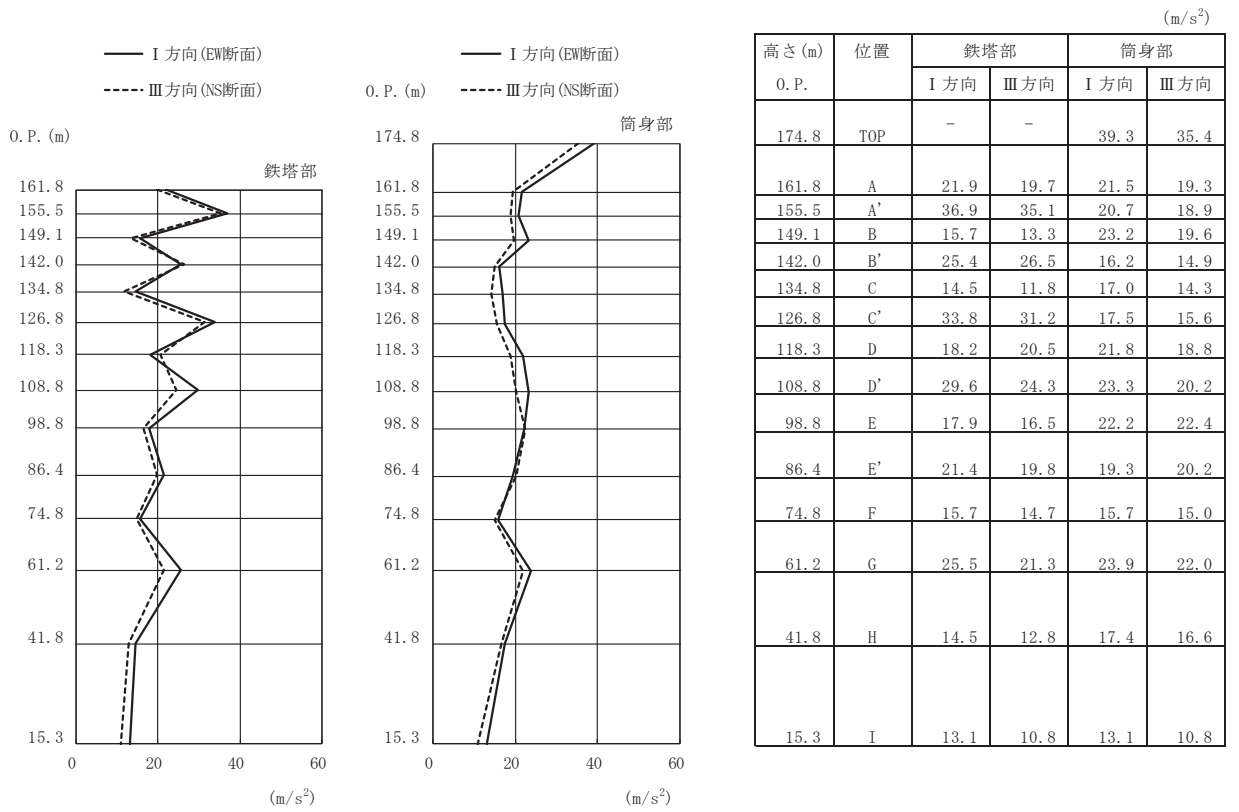


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.4	3.4	3600	3700
155.5	A'	55.7	56.2	2150	2120
149.1	B	48.0	50.0	2580	2600
142.0	B'	74.0	75.0	3340	3420
134.8	C	187	191	3630	3700
126.8	C'	271	278	3020	3110
118.3	D	287	291	3410	3480
108.8	D'	212	216	4300	4410
98.8	E	505	516	3750	3810
86.4	E'	506	530	2770	2950
74.8	F	626	649	4110	4330
61.2	G	177	185	2990	3230
41.8	H	123	118	1510	1390
15.3	I	2130	2130	6070	6670

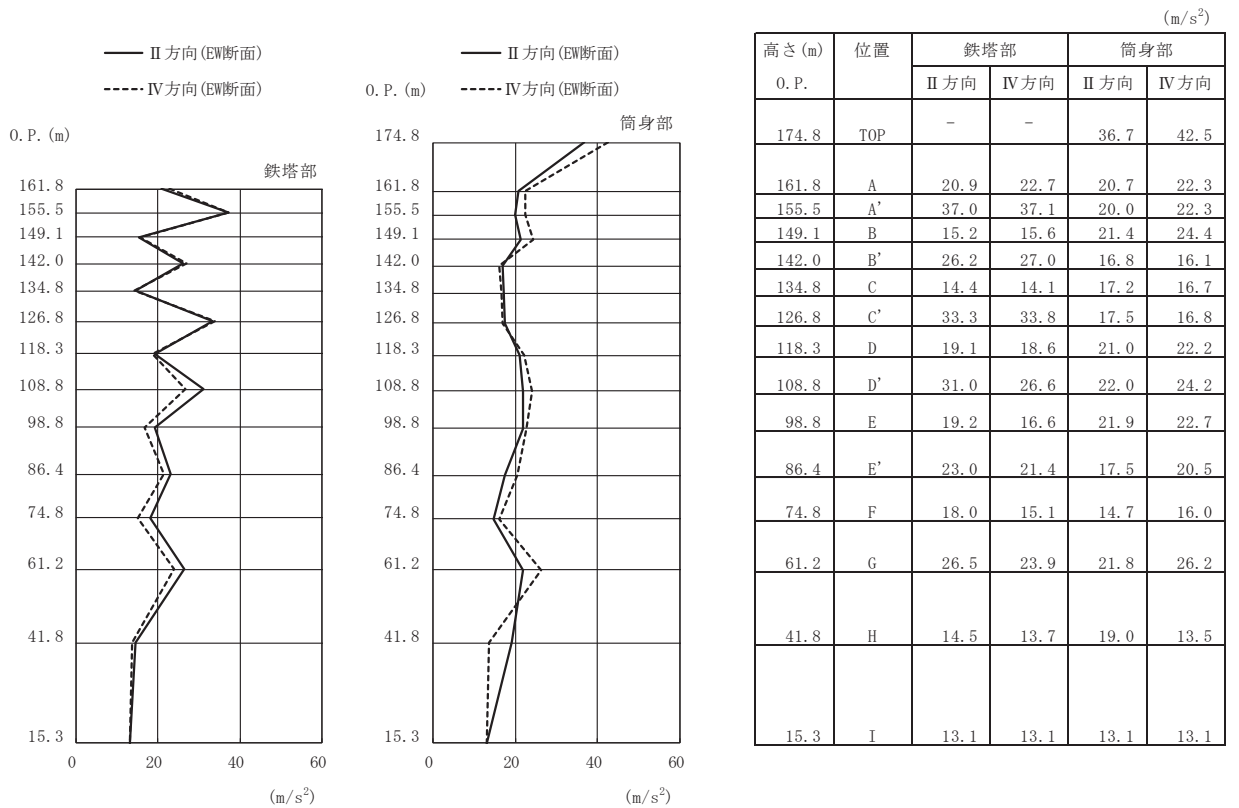
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-13(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース④)

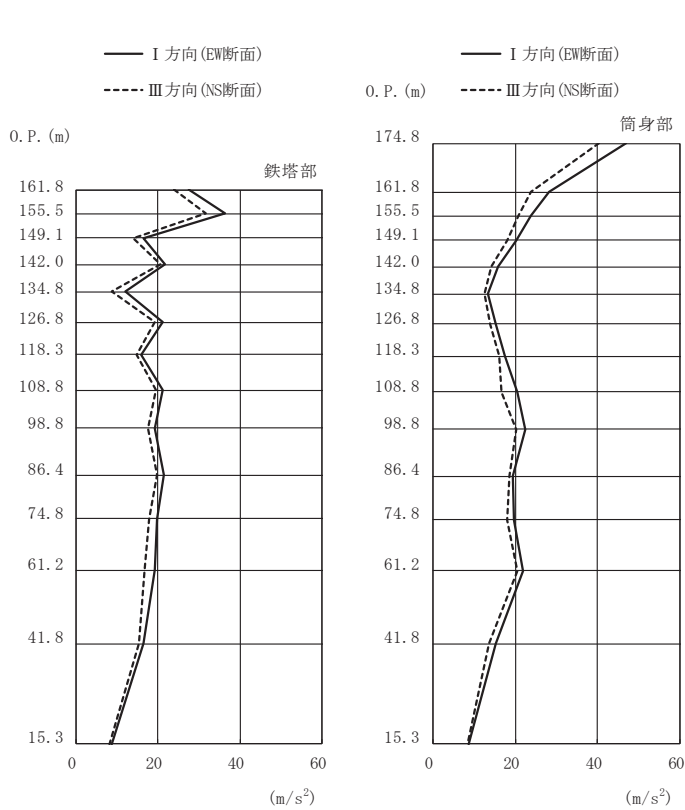


(a) S s - D 2 (直交方向)



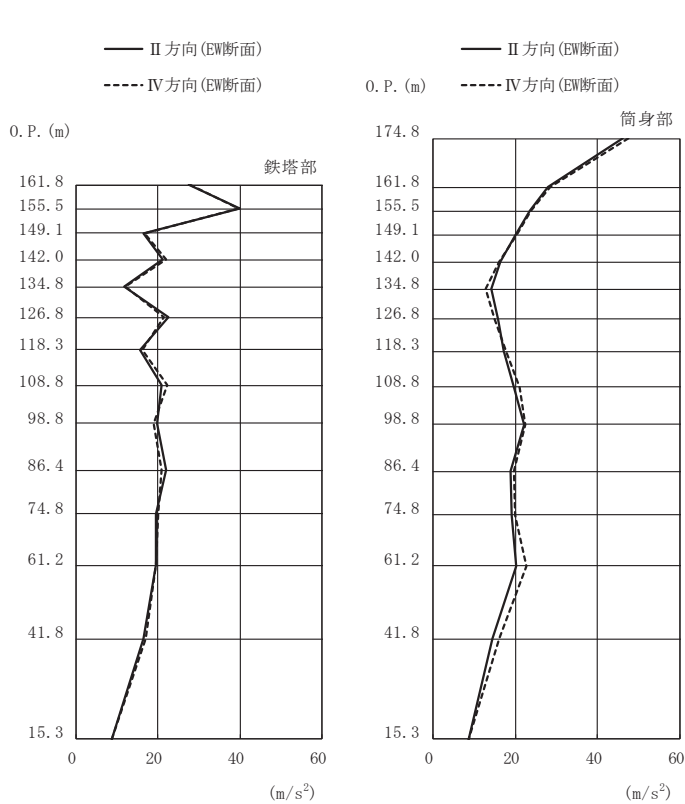
(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-14(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑤)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	46.8	40.3
161.8	A	27.6	23.8	28.2	23.9
155.5	A'	36.2	31.6	23.8	20.8
149.1	B	16.4	14.0	20.1	18.1
142.0	B'	21.6	20.5	15.9	14.1
134.8	C	11.9	8.75	13.3	12.6
126.8	C'	21.0	19.2	15.4	14.0
118.3	D	15.8	14.7	17.5	16.0
108.8	D'	21.1	19.4	20.4	16.6
98.8	E	19.3	17.4	22.4	20.3
86.4	E'	21.5	19.7	19.4	18.6
74.8	F	19.7	17.8	19.6	18.0
61.2	G	19.3	16.7	21.8	20.5
41.8	H	16.5	15.2	15.4	13.7
15.3	I	8.62	8.28	8.62	8.28

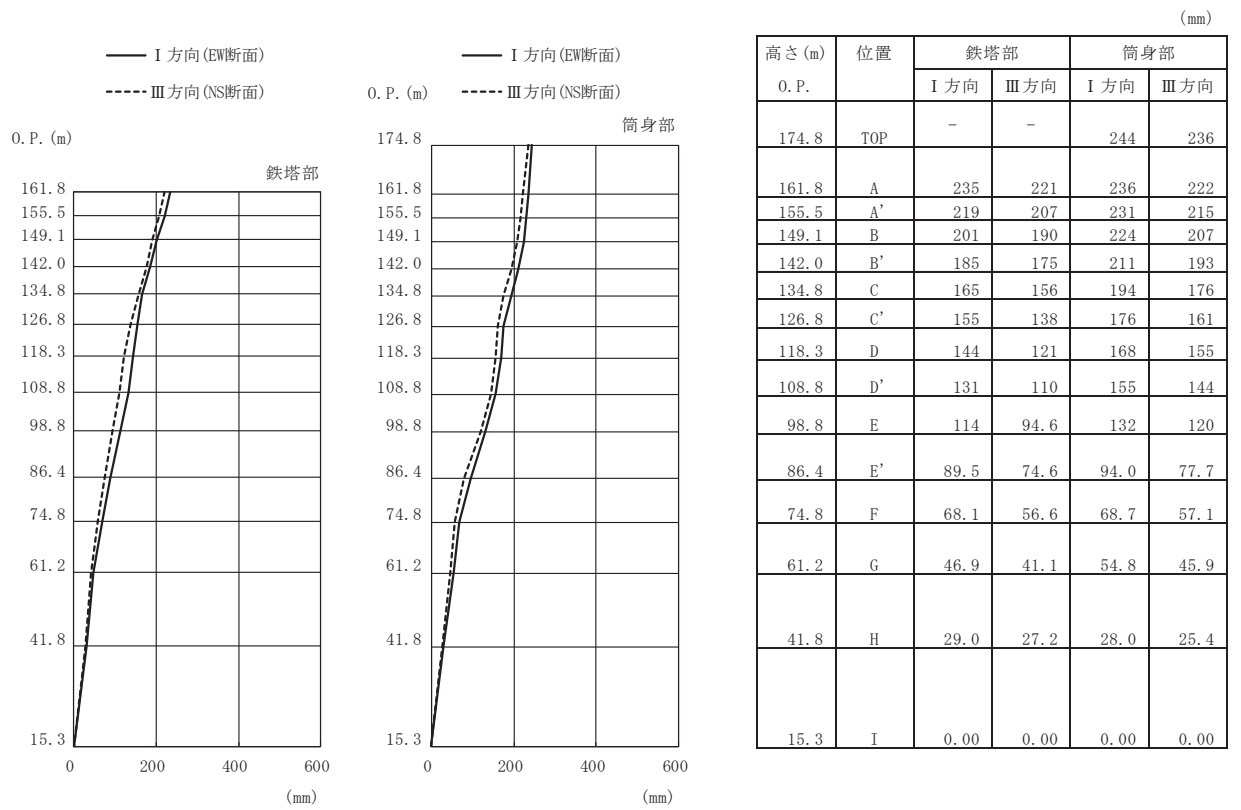
(c) S s - N 1 (直交方向)



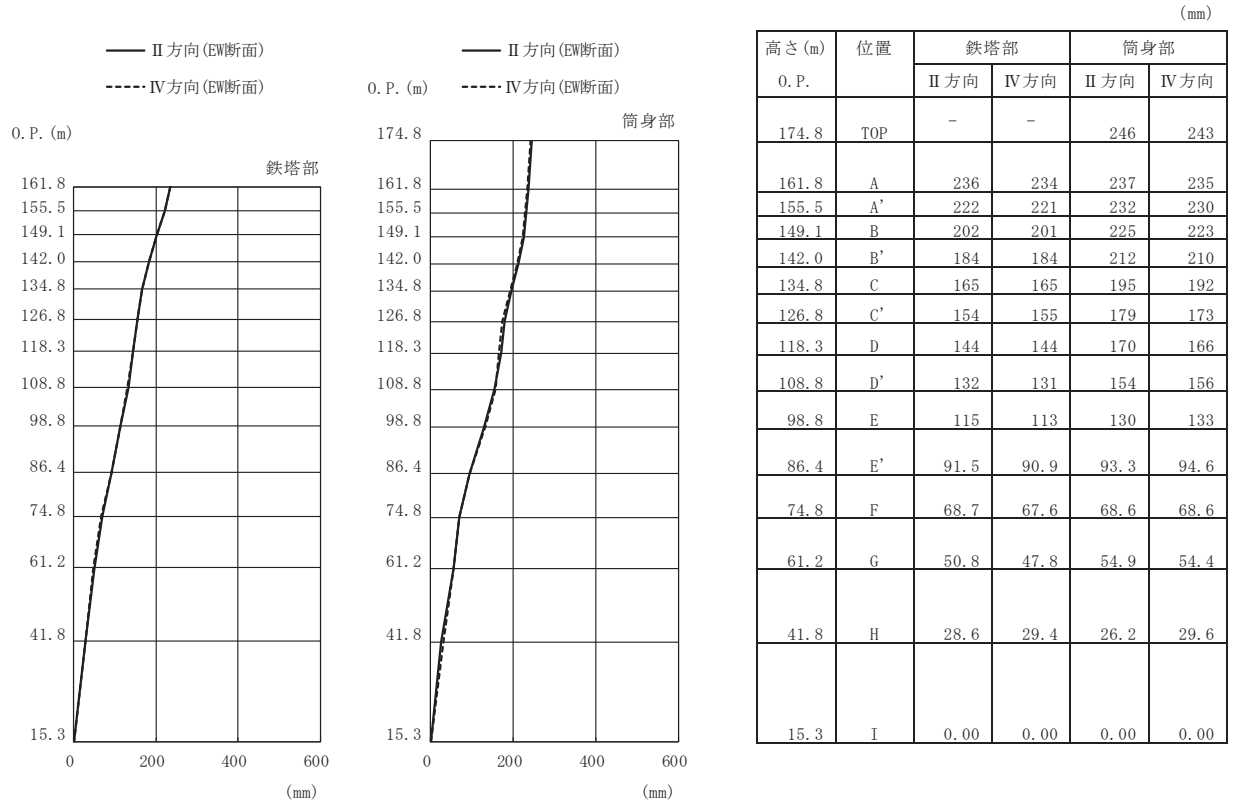
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	46.0	47.5
161.8	A	27.5	27.7	28.0	28.4
155.5	A'	39.8	39.7	23.6	23.9
149.1	B	16.5	16.6	20.0	20.1
142.0	B'	21.1	21.9	16.5	16.0
134.8	C	11.8	12.1	14.1	12.7
126.8	C'	22.4	21.4	15.9	15.1
118.3	D	15.6	16.2	17.2	17.7
108.8	D'	20.8	22.1	19.7	21.0
98.8	E	19.6	18.8	22.2	22.5
86.4	E'	21.9	20.9	18.9	19.8
74.8	F	19.5	20.0	19.2	20.0
61.2	G	19.4	19.5	20.1	22.7
41.8	H	16.5	16.9	14.4	16.0
15.3	I	8.62	8.62	8.62	8.62

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-14(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑤)

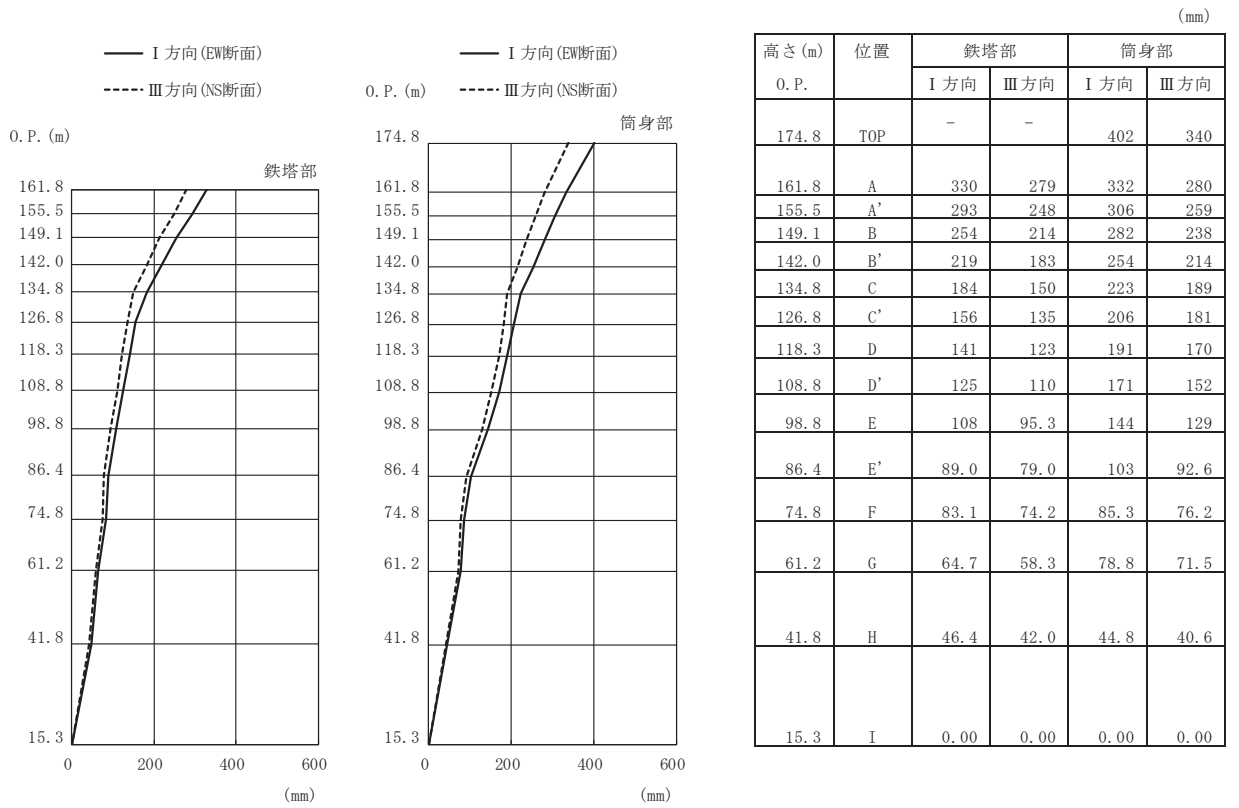


(a) S s - D 2 (直交方向)

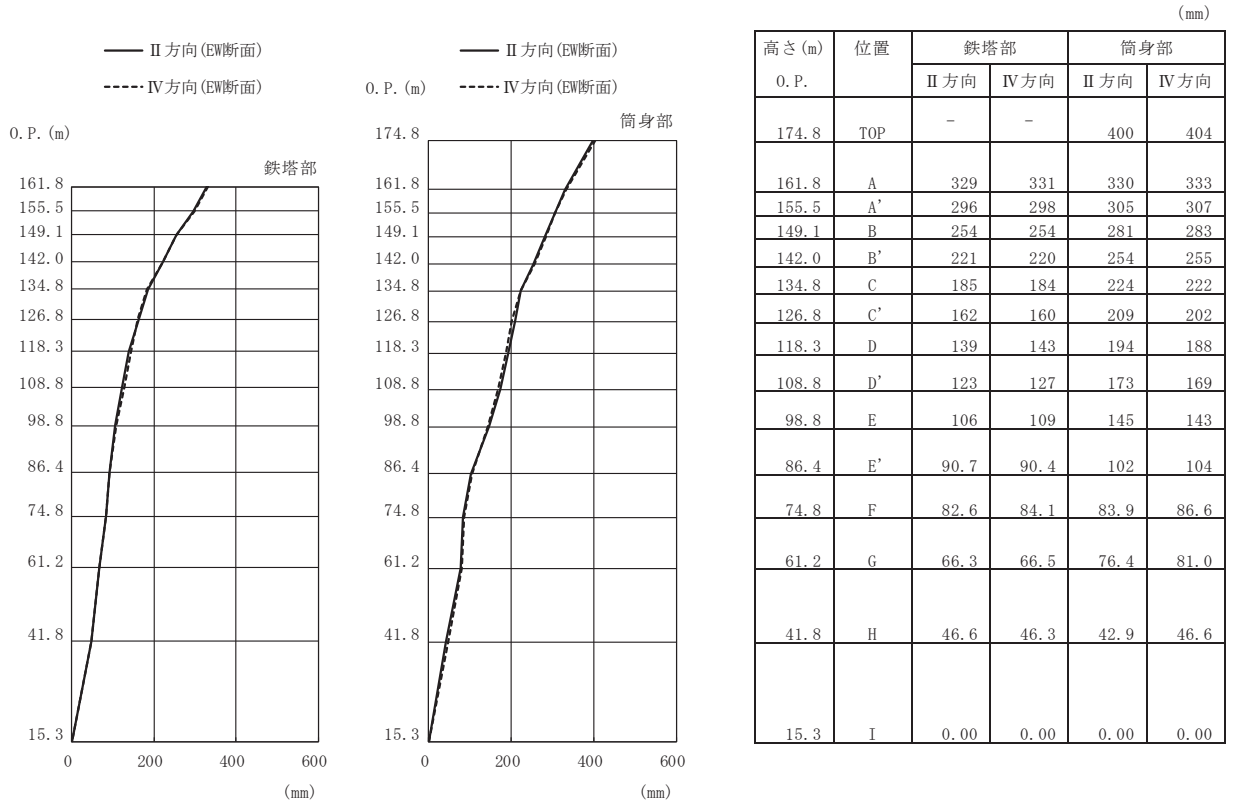


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-15(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑤)

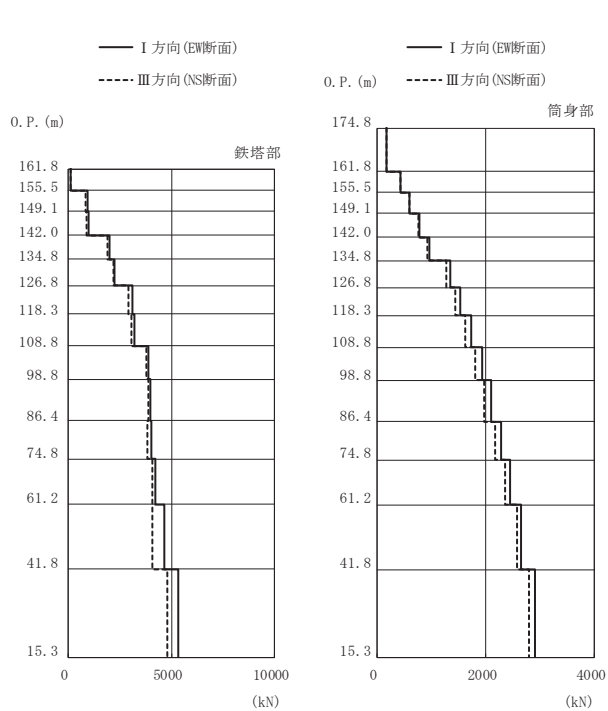


(c) S s - N 1 (直交方向)



(d) S s - N 1 (斜め方向)

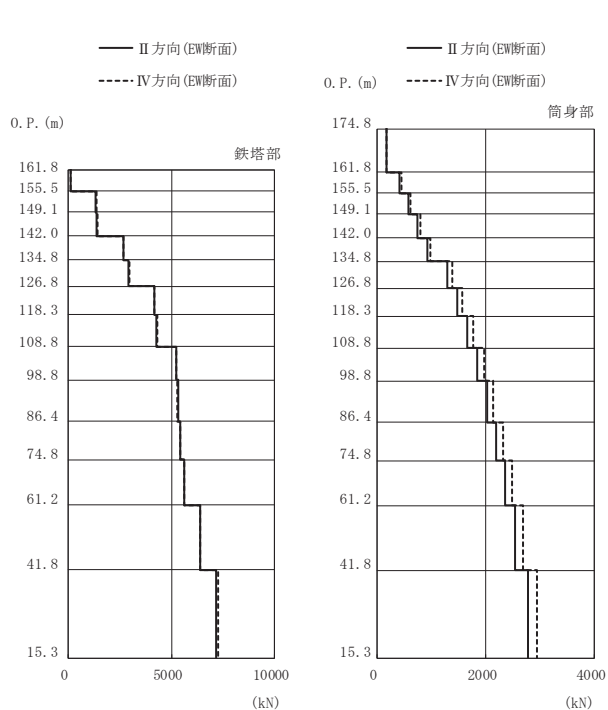
図 3-15(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑤)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	179	175
155.5	A'	A - A'	127	124	439	429
149.1	B	A' - B	958	822	607	593
142.0	B'	B - B'	1010	869	780	760
134.8	C	B' - C	1980	1890	959	929
126.8	C'	C - C'	2250	2170	1350	1280
118.3	D	C' - D	3110	2940	1540	1440
108.8	D'	D - D'	3220	3050	1740	1620
98.8	E	D' - E	3900	3770	1940	1810
86.4	E'	E - E'	3970	3860	2110	1980
74.8	F	E' - F	4010	3840	2290	2170
61.2	G	F - G	4200	4060	2450	2350
41.8	H	G - H	4660	4060	2650	2580
15.3	I	H - I	5340	4800	2900	2800

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

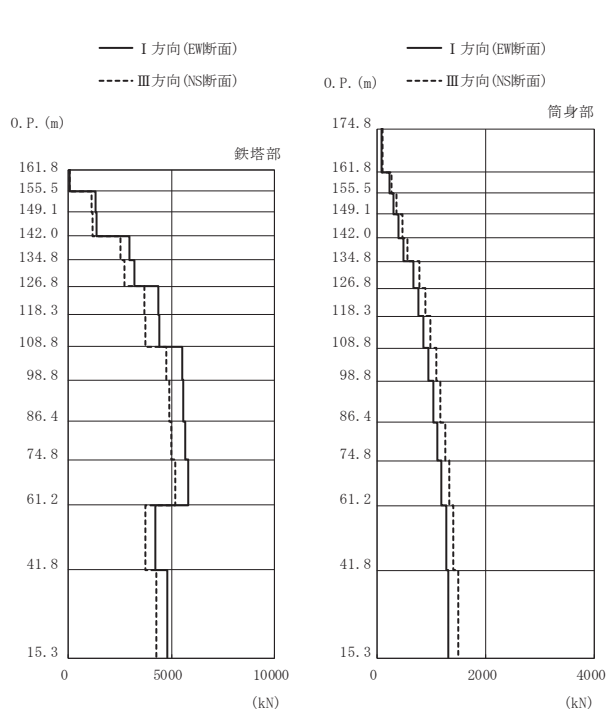


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	172	181
155.5	A'	A - A'	128	126	422	446
149.1	B	A' - B	1310	1360	584	616
142.0	B'	B - B'	1380	1420	751	793
134.8	C	B' - C	2660	2660	921	978
126.8	C'	C - C'	2940	2950	1290	1380
118.3	D	C' - D	4170	4190	1470	1570
108.8	D'	D - D'	4280	4300	1660	1770
98.8	E	D' - E	5240	5210	1850	1970
86.4	E'	E - E'	5320	5280	2020	2140
74.8	F	E' - F	5430	5430	2190	2320
61.2	G	F - G	5620	5620	2360	2490
41.8	H	G - H	6410	6410	2550	2690
15.3	I	H - I	7180	7240	2780	2950

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-16(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑤)

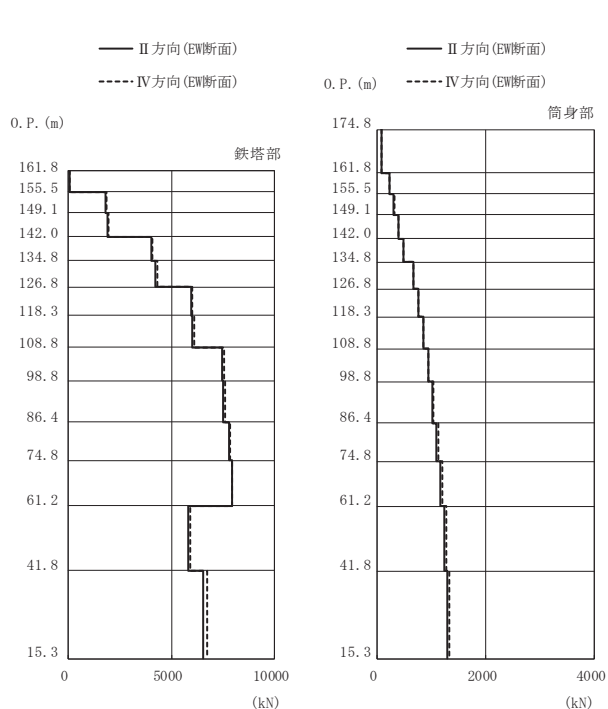


(kN)

高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	92.3	106
155.5	A'	A - A'	72.6	76.9	227	261
149.1	B	A' - B	1330	1140	314	360
142.0	B'	B - B'	1390	1190	403	462
134.8	C	B' - C	2980	2550	493	566
126.8	C'	C - C'	3190	2720	678	778
118.3	D	C' - D	4350	3670	769	883
108.8	D'	D - D'	4430	3740	860	986
98.8	E	D' - E	5500	4770	946	1090
86.4	E'	E - E'	5570	4890	1030	1170
74.8	F	E' - F	5690	4990	1110	1260
61.2	G	F - G	5810	5170	1190	1330
41.8	H	G - H	4230	3730	1270	1410
15.3	I	H - I	4790	4290	1320	1500

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)



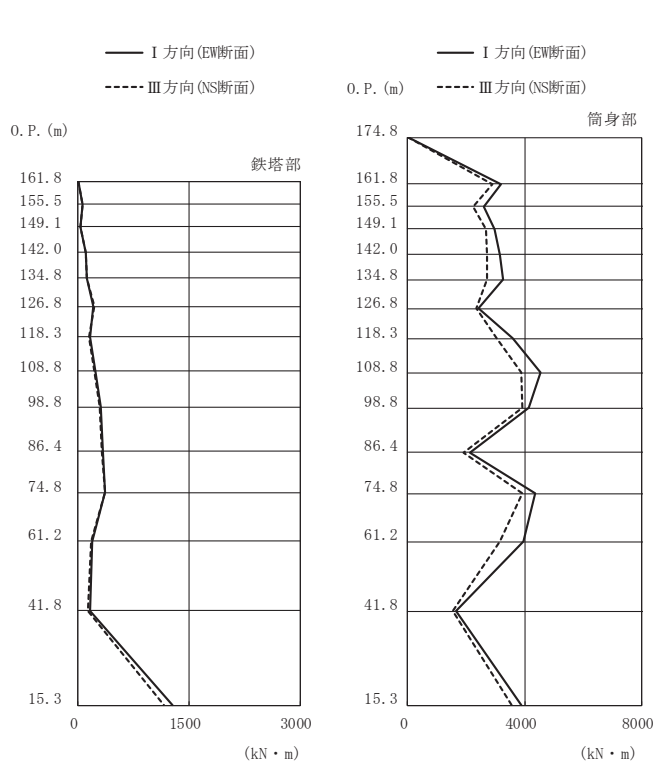
(kN)

高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	91.6	92.6
155.5	A'	A - A'	75.7	76.2	225	228
149.1	B	A' - B	1820	1870	311	315
142.0	B'	B - B'	1880	1930	400	404
134.8	C	B' - C	4020	4090	489	494
126.8	C'	C - C'	4240	4320	674	680
118.3	D	C' - D	5940	6020	765	771
108.8	D'	D - D'	6020	6100	855	862
98.8	E	D' - E	7450	7530	942	948
86.4	E'	E - E'	7520	7600	1020	1040
74.8	F	E' - F	7780	7840	1100	1130
61.2	G	F - G	7920	7940	1170	1210
41.8	H	G - H	5830	5930	1240	1280
15.3	I	H - I	6550	6740	1300	1340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

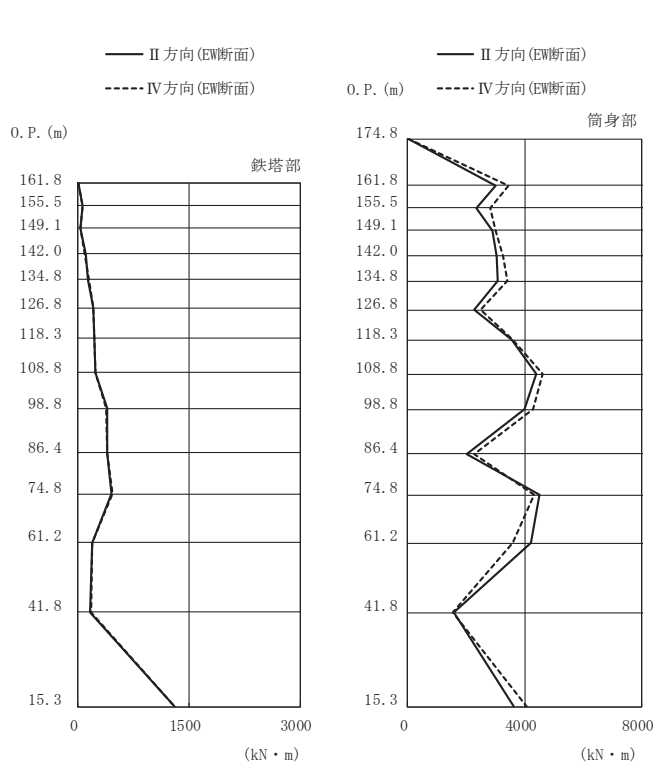
図 3-16(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑤)



(a) S s - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.5	2.0	3190	2890
155.5	A'	60.2	58.8	2590	2250
149.1	B	28.9	25.8	2970	2660
142.0	B'	101	98.1	3170	2710
134.8	C	123	115	3250	2710
126.8	C'	202	214	2410	2330
118.3	D	169	146	3590	3040
108.8	D'	235	221	4530	3900
98.8	E	314	290	4150	3910
86.4	E'	340	322	2110	1900
74.8	F	363	360	4370	3920
61.2	G	193	181	3970	3160
41.8	H	165	135	1660	1560
15.3	I	1280	1160	3900	3540

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。



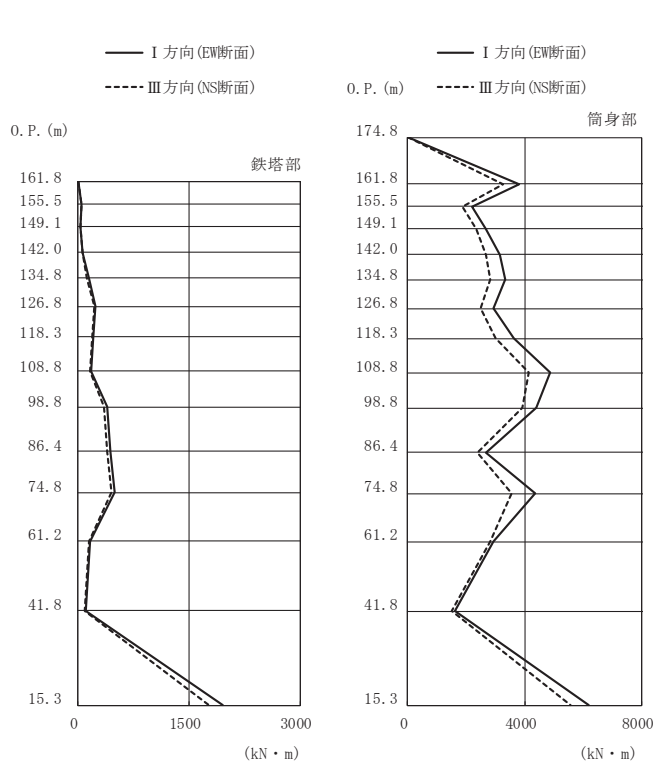
(b) S s - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.4	3010	3450
155.5	A'	59.2	59.4	2360	2810
149.1	B	35.9	39.0	2890	3010
142.0	B'	101	97.8	3060	3250
134.8	C	139	147	3070	3410
126.8	C'	209	209	2290	2510
118.3	D	224	223	3570	3590
108.8	D'	238	233	4400	4630
98.8	E	388	375	4000	4290
86.4	E'	394	392	2000	2290
74.8	F	448	471	4500	4310
61.2	G	189	194	4230	3580
41.8	H	170	176	1570	1540
15.3	I	1300	1310	3640	4070

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

図 3-17(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑤)

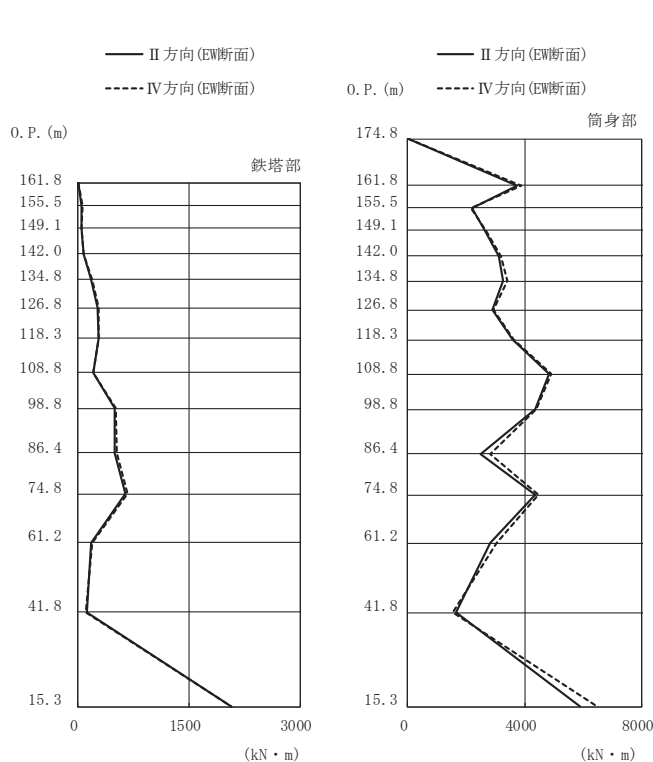




高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.5	3820	3280
155.5	A'	51.7	45.2	2190	1880
149.1	B	38.1	34.6	2660	2350
142.0	B'	66.5	67.7	3170	2670
134.8	C	147	125	3340	2810
126.8	C'	241	218	2920	2480
118.3	D	205	185	3620	3020
108.8	D'	181	166	4880	4130
98.8	E	397	356	4390	3930
86.4	E'	439	392	2660	2400
74.8	F	494	446	4380	3570
61.2	G	168	151	2930	2830
41.8	H	107	92.3	1630	1510
15.3	I	1960	1770	6210	5590

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

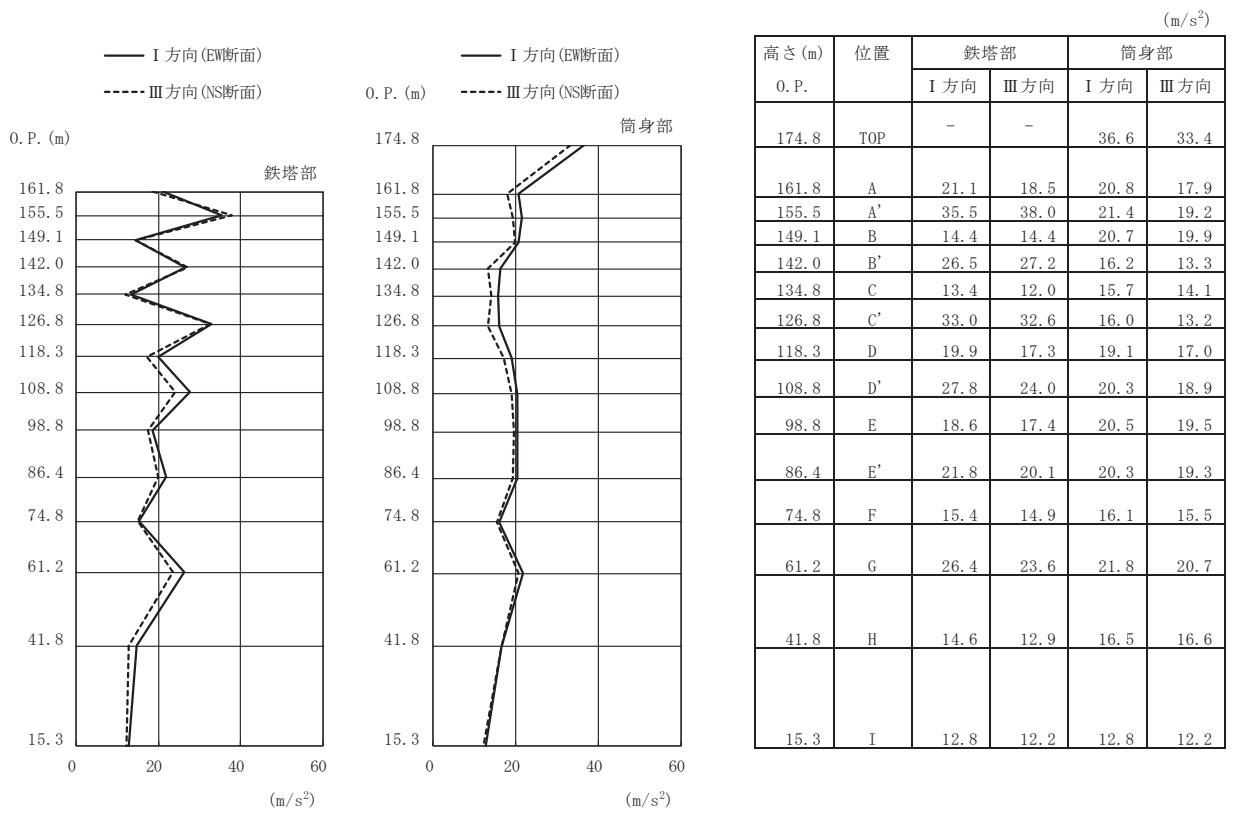


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.2	3.3	3750	3870
155.5	A'	54.4	55.1	2210	2160
149.1	B	47.0	49.5	2640	2660
142.0	B'	73.7	75.0	3130	3200
134.8	C	181	187	3250	3410
126.8	C'	268	277	2890	2940
118.3	D	276	281	3610	3630
108.8	D'	208	213	4830	4910
98.8	E	497	511	4360	4410
86.4	E'	502	530	2500	2810
74.8	F	641	668	4350	4470
61.2	G	180	186	2820	3040
41.8	H	118	110	1670	1530
15.3	I	2070	2070	5890	6500

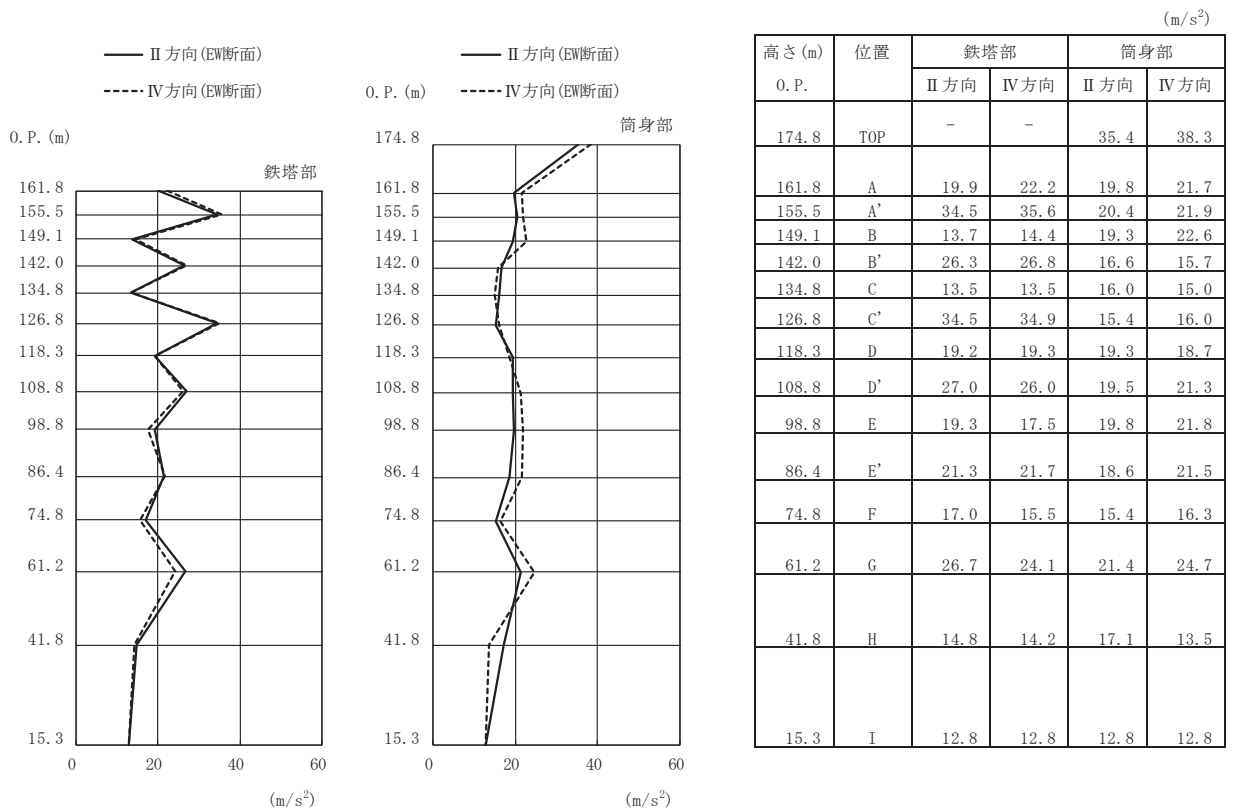
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-17(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑤)

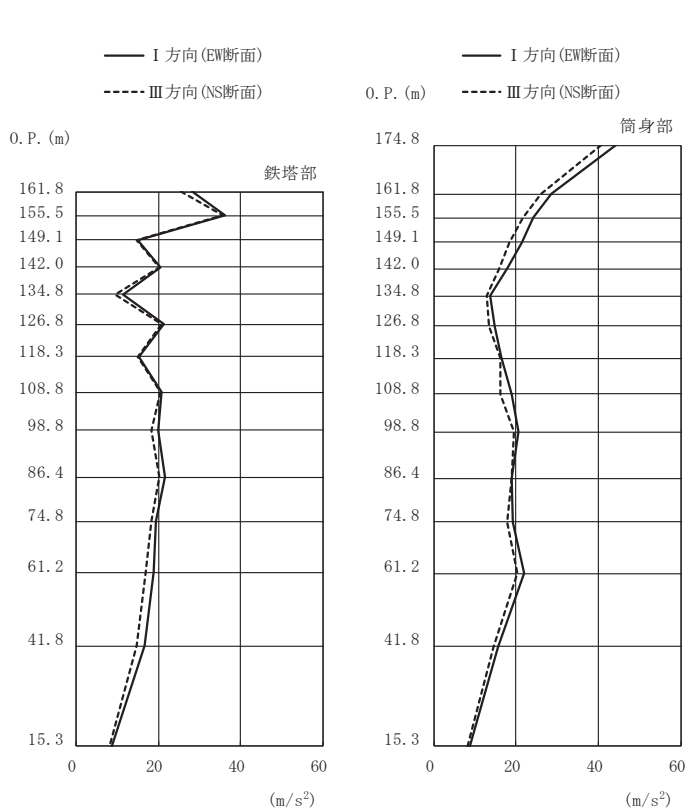


(c) S s - D 2 (直交方向)



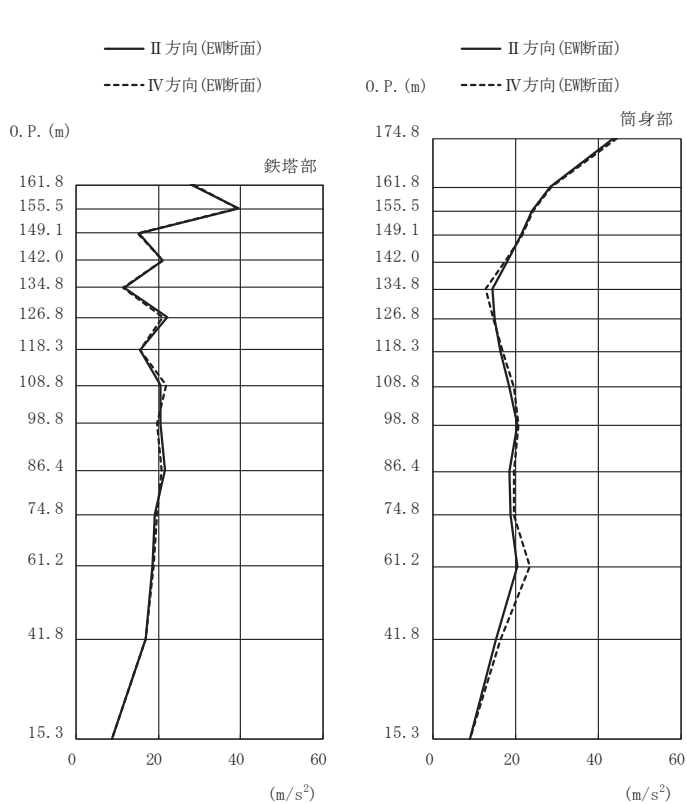
(d) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-18(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	44.2	40.7
161.8	A	28.2	25.5	28.5	26.0
155.5	A'	36.3	35.7	24.2	21.8
149.1	B	15.0	14.7	21.4	18.4
142.0	B'	20.5	20.3	17.7	15.9
134.8	C	11.4	9.5	13.6	13.0
126.8	C'	21.2	20.8	14.7	13.3
118.3	D	15.3	15.0	16.5	16.1
108.8	D'	20.7	20.6	19.0	16.3
98.8	E	19.9	18.4	20.5	19.4
86.4	E'	21.5	20.2	18.8	18.8
74.8	F	19.3	18.2	19.1	17.7
61.2	G	18.9	16.9	21.9	20.2
41.8	H	16.7	14.8	15.5	14.5
15.3	I	8.72	8.19	8.72	8.19

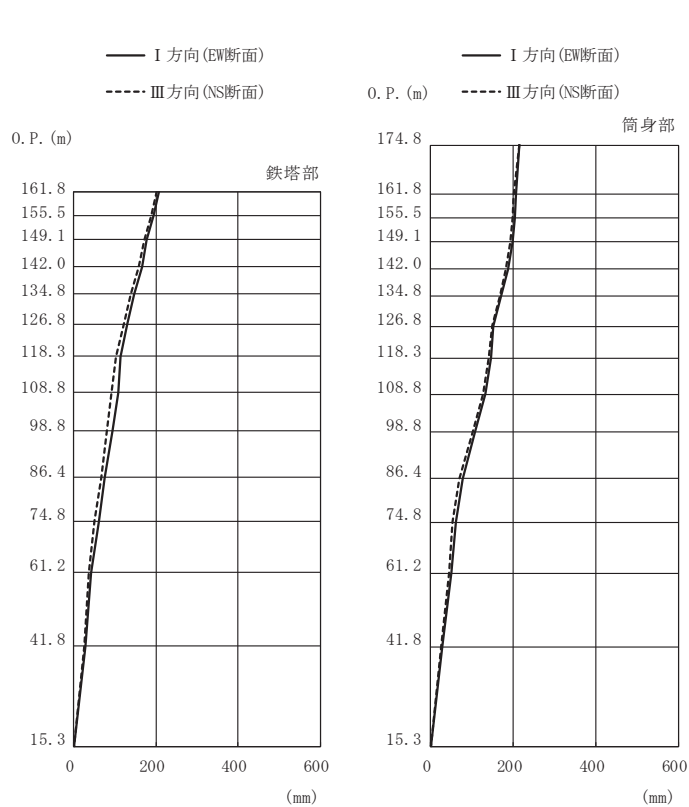
(m) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	43.8	44.6
161.8	A	28.1	28.4	28.3	28.6
155.5	A'	39.6	39.4	24.0	24.2
149.1	B	15.4	15.1	21.3	21.4
142.0	B'	21.2	21.2	17.9	17.4
134.8	C	11.6	11.5	14.3	12.8
126.8	C'	22.3	21.2	15.0	14.5
118.3	D	15.6	15.5	16.2	16.7
108.8	D'	20.4	21.9	18.6	19.5
98.8	E	20.4	19.7	20.3	20.8
86.4	E'	21.6	20.8	18.4	19.5
74.8	F	19.1	19.8	18.7	19.7
61.2	G	18.7	18.8	20.3	23.4
41.8	H	17.0	17.0	15.1	16.2
15.3	I	8.72	8.72	8.72	8.72

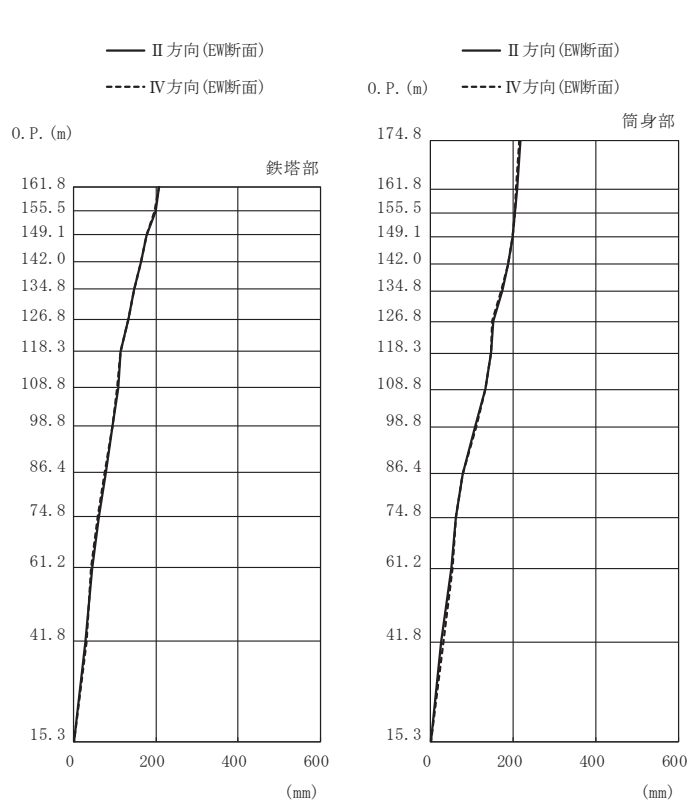
(n) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-18(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	216	214
161.8	A	208	201	208	201
155.5	A'	194	188	205	198
149.1	B	178	171	199	193
142.0	B'	165	157	188	183
134.8	C	147	139	172	168
126.8	C'	129	122	151	148
118.3	D	115	103	145	140
108.8	D'	107	92	132	126
98.8	E	95	82	109	103
86.4	E'	76.3	65.6	78	68
74.8	F	60.1	51.2	60.5	51.7
61.2	G	42.0	35.5	50.8	44.5
41.8	H	29.2	24.6	28.4	24.1
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

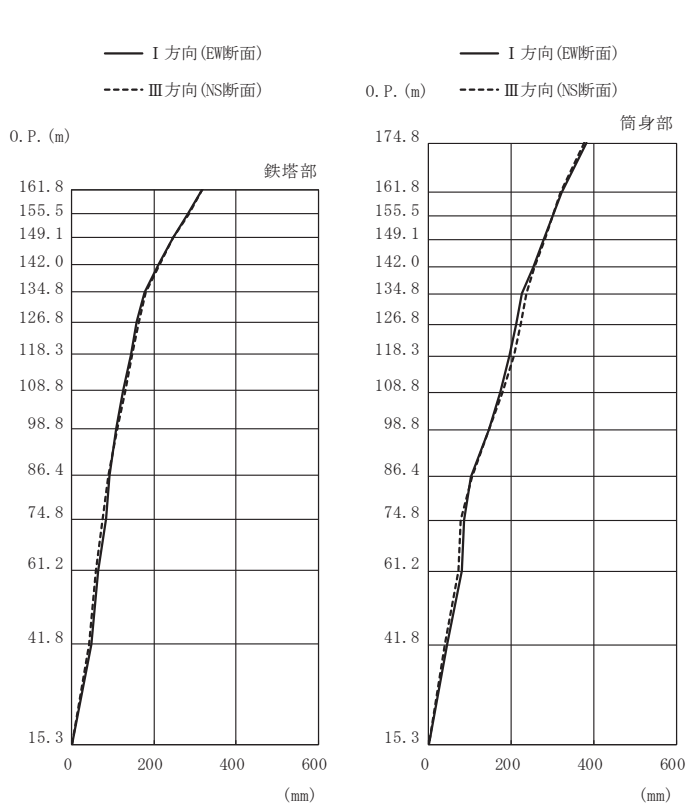
(c) S s - D 2 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	217	215
161.8	A	208	207	209	208
155.5	A'	198	197	205	204
149.1	B	178	178	199	198
142.0	B'	164	164	188	187
134.8	C	147	148	173	171
126.8	C'	132	132	153	150
118.3	D	115	115	145	146
108.8	D'	107	106	132	133
98.8	E	96	94	108	110
86.4	E'	77.3	76.2	77	78
74.8	F	60.6	59.5	60.4	60.6
61.2	G	45.4	42.6	50.4	53.5
41.8	H	29.1	29.5	26.5	30.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

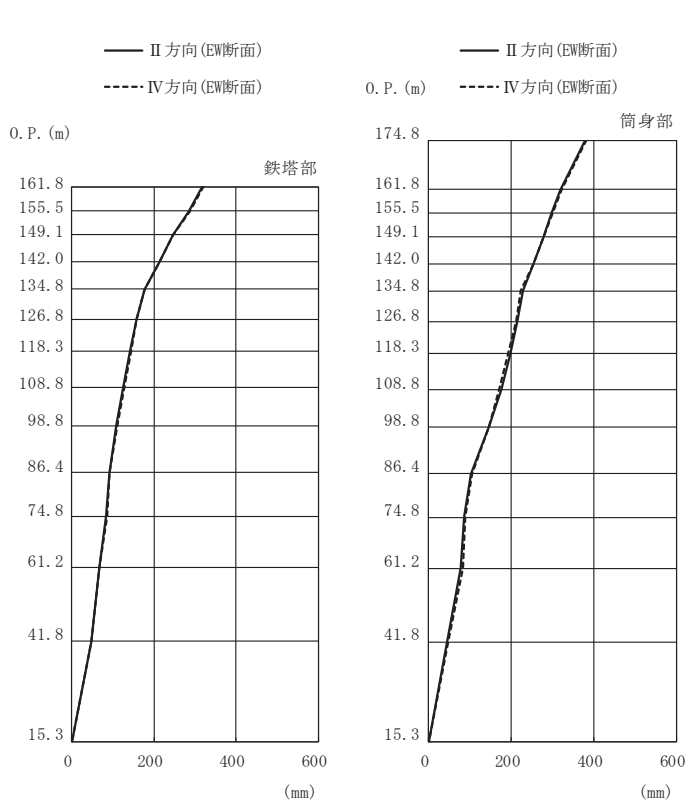
(d) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-19(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	382	378
161.8	A	319	318	321	320
155.5	A'	282	284	299	300
149.1	B	245	247	278	280
142.0	B'	211	213	253	257
134.8	C	176	180	226	238
126.8	C'	157	164	213	223
118.3	D	143	148	197	206
108.8	D'	126	130	174	179
98.8	E	109	111	145	147
86.4	E'	90.9	88.0	103	105
74.8	F	84.0	76.3	86.2	78.3
61.2	G	65.3	58.9	79.4	71.2
41.8	H	46.8	41.6	45.4	40.4
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

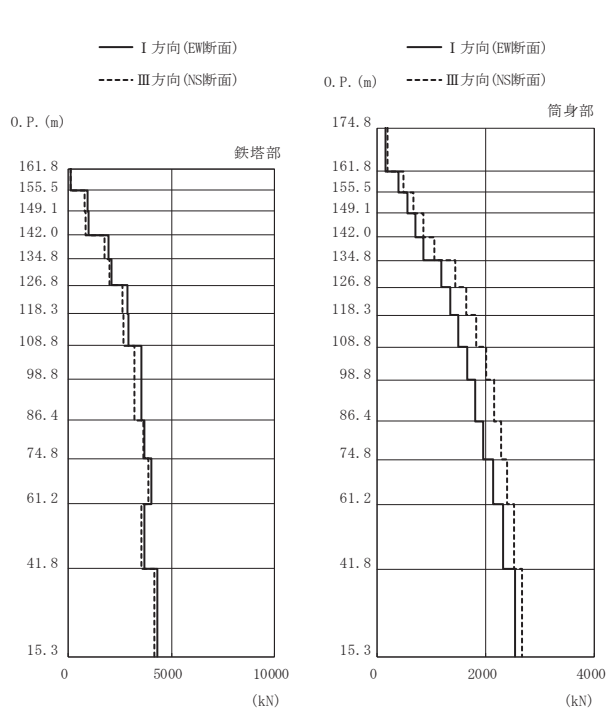
(m) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	380	384
161.8	A	318	320	320	322
155.5	A'	286	287	298	300
149.1	B	245	245	278	279
142.0	B'	213	212	253	254
134.8	C	177	176	228	224
126.8	C'	157	159	216	211
118.3	D	141	144	199	194
108.8	D'	125	128	176	172
98.8	E	108	110	145	145
86.4	E'	92.6	92.4	102	104
74.8	F	83.5	85.0	84.8	87.5
61.2	G	66.9	67.0	77.0	81.7
41.8	H	47.0	46.8	43.6	47.2
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(n) S s - N 1 (斜め方向)

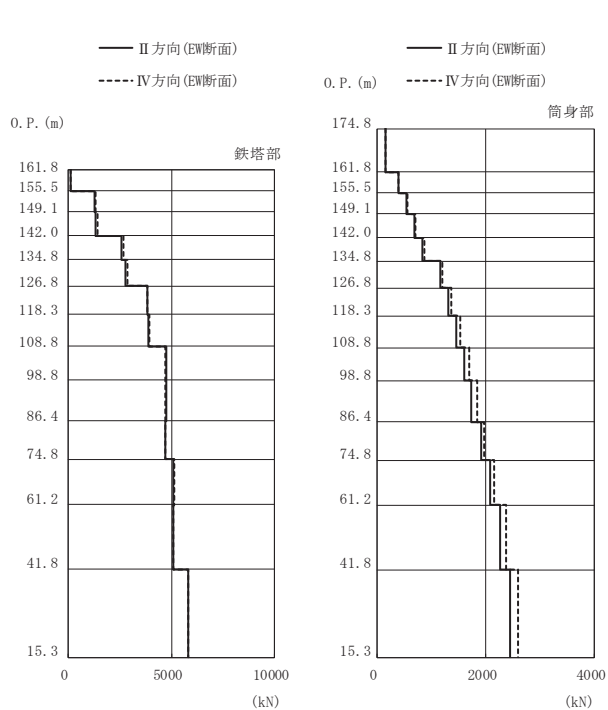
図 3-19(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	164	200
155.5	A'	A - A'	127	126	401	489
149.1	B	A' - B	945	795	553	673
142.0	B'	B - B'	998	863	708	859
134.8	C	B' - C	1940	1770	863	1050
126.8	C'	C - C'	2100	1990	1190	1440
118.3	D	C' - D	2860	2620	1350	1640
108.8	D'	D - D'	2930	2660	1500	1830
98.8	E	D' - E	3550	3220	1660	2010
86.4	E'	E - E'	3560	3220	1800	2150
74.8	F	E' - F	3680	3650	1960	2280
61.2	G	F - G	4050	3900	2130	2390
41.8	H	G - H	3710	3560	2320	2520
15.3	I	H - I	4300	4170	2550	2670

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

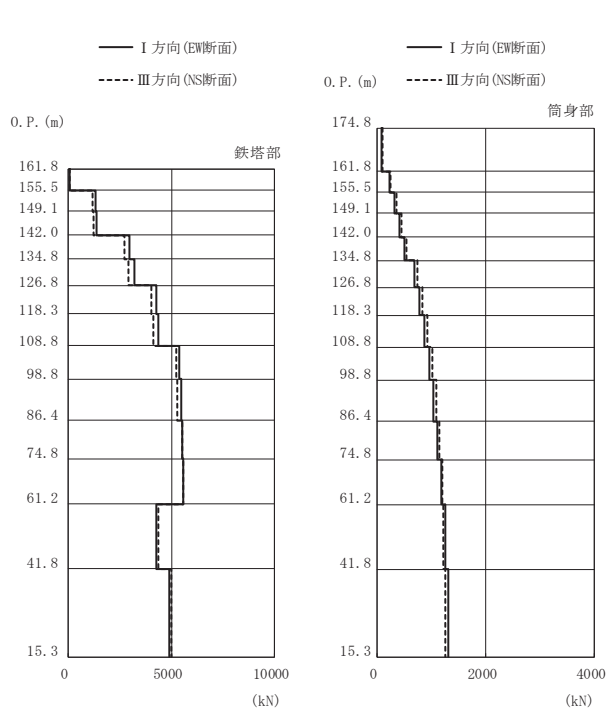


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	160	166
155.5	A'	A - A'	130	127	390	406
149.1	B	A' - B	1280	1340	537	560
142.0	B'	B - B'	1340	1400	687	717
134.8	C	B' - C	2580	2670	837	874
126.8	C'	C - C'	2780	2860	1160	1210
118.3	D	C' - D	3850	3850	1310	1370
108.8	D'	D - D'	3900	3920	1460	1540
98.8	E	D' - E	4770	4720	1600	1700
86.4	E'	E - E'	4770	4720	1740	1840
74.8	F	E' - F	4700	4710	1910	1980
61.2	G	F - G	5100	5130	2090	2150
41.8	H	G - H	5110	5100	2270	2370
15.3	I	H - I	5800	5790	2450	2590

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

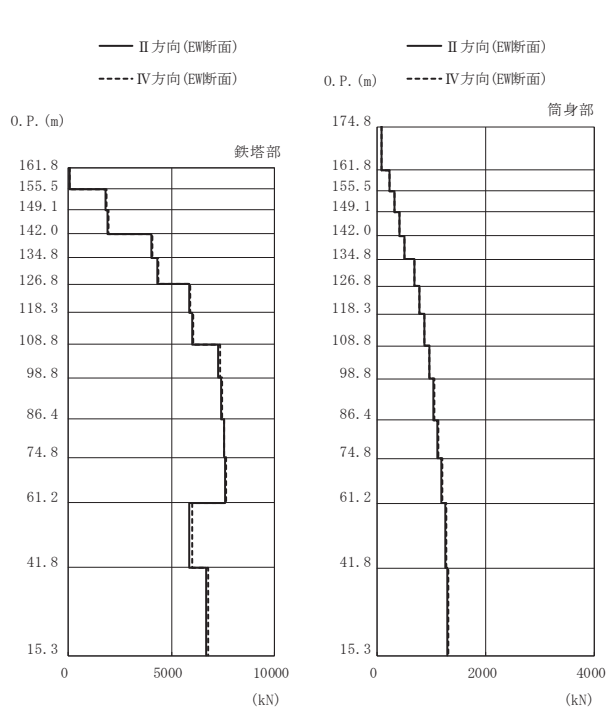
図 3-20(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	93.8	106
155.5	A'	A - A'	77.4	79.1	231	258
149.1	B	A' - B	1330	1200	319	355
142.0	B'	B - B'	1390	1240	409	454
134.8	C	B' - C	2980	2730	501	552
126.8	C'	C - C'	3220	2920	690	751
118.3	D	C' - D	4280	4030	783	846
108.8	D'	D - D'	4380	4110	875	936
98.8	E	D' - E	5370	5230	964	1020
86.4	E'	E - E'	5470	5300	1040	1090
74.8	F	E' - F	5510	5510	1120	1150
61.2	G	F - G	5590	5570	1190	1200
41.8	H	G - H	4270	4380	1260	1230
15.3	I	H - I	4880	4970	1320	1250

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

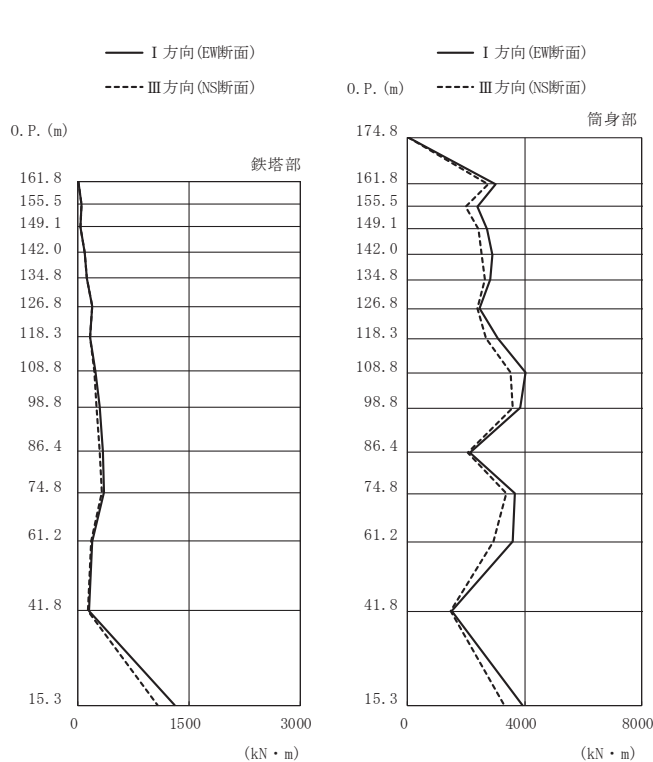


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	93.4	93.9
155.5	A'	A - A'	81.5	82.3	230	231
149.1	B	A' - B	1820	1860	317	319
142.0	B'	B - B'	1890	1930	407	410
134.8	C	B' - C	4030	4090	498	502
126.8	C'	C - C'	4300	4360	686	692
118.3	D	C' - D	5870	5920	778	785
108.8	D'	D - D'	5980	6030	869	877
98.8	E	D' - E	7280	7350	957	967
86.4	E'	E - E'	7380	7460	1040	1050
74.8	F	E' - F	7530	7570	1110	1130
61.2	G	F - G	7610	7650	1180	1200
41.8	H	G - H	5870	5980	1250	1270
15.3	I	H - I	6670	6780	1300	1320

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

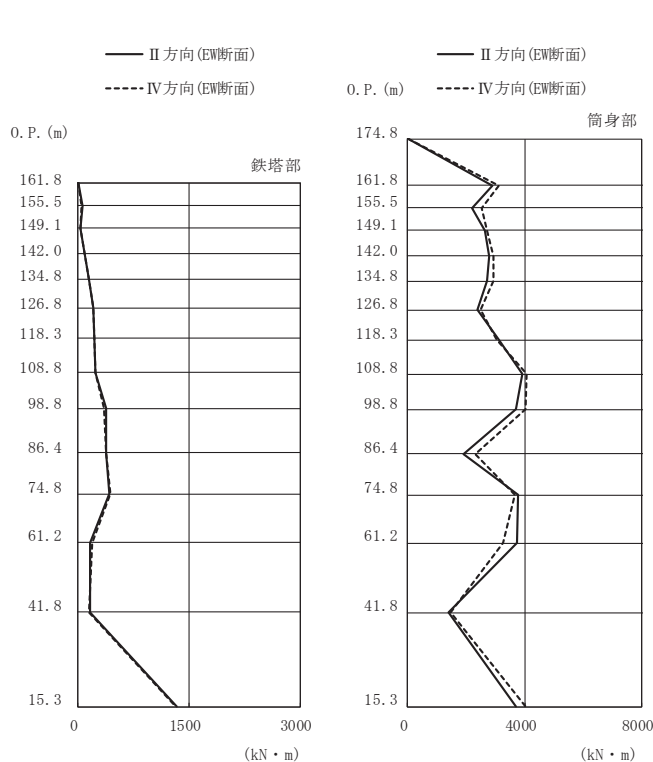
図 3-20(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.4	1.9	3000	2740
155.5	A'	54.6	50.1	2370	1970
149.1	B	29.0	28.5	2700	2410
142.0	B'	89.9	89.4	2880	2540
134.8	C	119	122	2830	2640
126.8	C'	189	190	2450	2380
118.3	D	165	160	3090	2670
108.8	D'	231	215	4020	3520
98.8	E	300	251	3850	3590
86.4	E'	330	297	2140	2070
74.8	F	357	328	3670	3360
61.2	G	186	172	3580	2930
41.8	H	150	136	1520	1480
15.3	I	1300	1080	3910	3300

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)



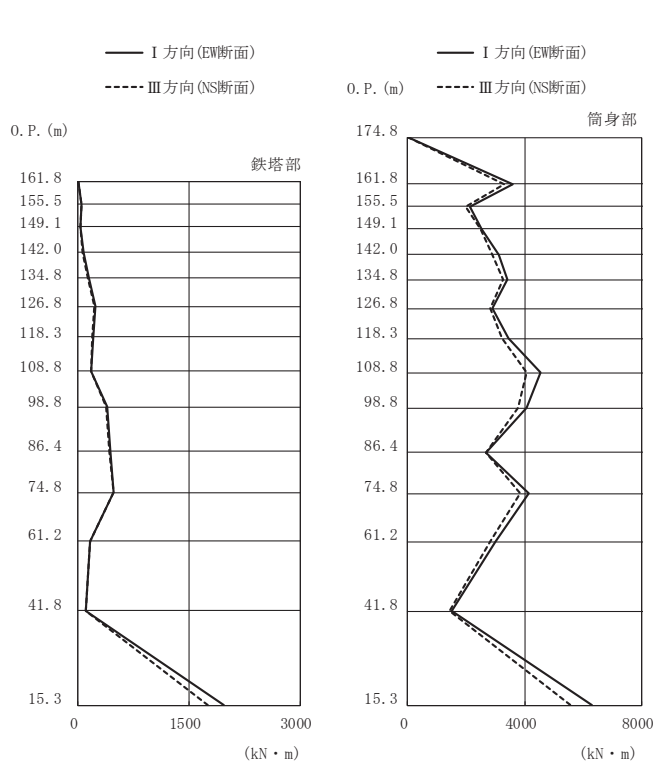
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.0	2.4	2890	3120
155.5	A'	55.1	54.3	2210	2520
149.1	B	36.8	39.0	2630	2730
142.0	B'	90.5	92.5	2800	2950
134.8	C	143	148	2720	2920
126.8	C'	209	212	2370	2500
118.3	D	219	220	3120	3060
108.8	D'	235	235	3930	4080
98.8	E	374	349	3690	4020
86.4	E'	385	381	1910	2320
74.8	F	429	441	3760	3650
61.2	G	165	192	3750	3260
41.8	H	156	154	1390	1480
15.3	I	1330	1320	3700	4050

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-21(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑥)

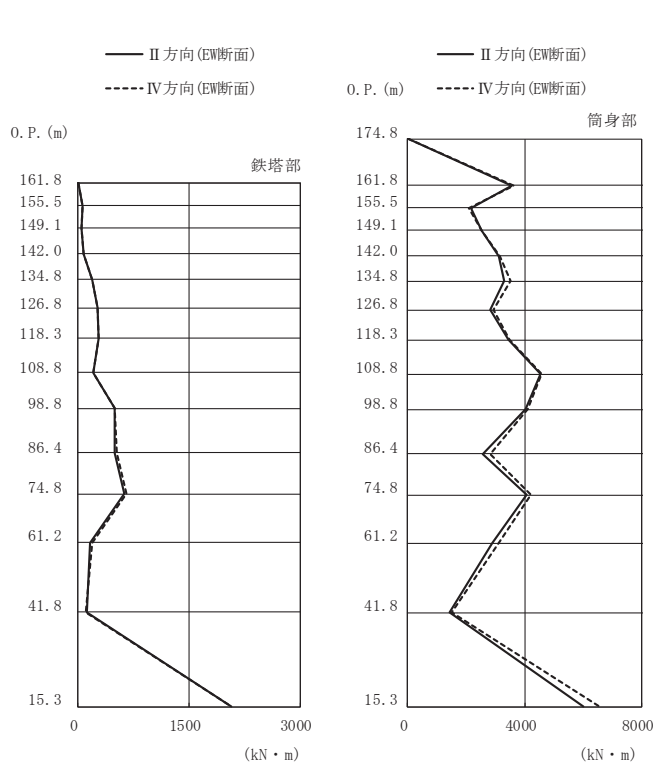




高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.7	3590	3310
155.5	A'	53.0	49.2	2120	1990
149.1	B	37.4	34.8	2520	2480
142.0	B'	69.9	65.9	3130	2890
134.8	C	150	131	3410	3250
126.8	C'	233	223	2880	2810
118.3	D	201	198	3450	3240
108.8	D'	180	177	4560	4080
98.8	E	390	377	4070	3770
86.4	E'	431	419	2690	2680
74.8	F	488	476	4140	3850
61.2	G	169	164	3000	2820
41.8	H	107	99	1490	1450
15.3	I	1970	1750	6290	5580

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.2	3.2	3550	3640
155.5	A'	55.9	56.4	2150	2080
149.1	B	46.7	48.7	2530	2520
142.0	B'	76.2	77.5	3110	3150
134.8	C	187	192	3310	3530
126.8	C'	261	269	2840	2920
118.3	D	273	275	3440	3490
108.8	D'	208	211	4530	4590
98.8	E	492	503	4040	4090
86.4	E'	494	522	2570	2810
74.8	F	627	652	4080	4200
61.2	G	162	188	2910	3100
41.8	H	122	112	1430	1510
15.3	I	2080	2080	6000	6560

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-21(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑥)

表 3-5 主柱材 (E' 位置) における  $S_s - N_1$  の最大応答値

	最大応答加速度	最大応答変位	最大応答軸力	最大応答 曲げモーメント
	( $m/s^2$ )	(mm)	(kN)	( $kN \cdot m$ )
ケース①	22.1	91.1	7610	530
ケース②	21.3	89.3	7280	507
ケース③	22.9	96.3	7440	521
ケース④	22.3	91.6	7640	530
ケース⑤	21.9	90.7	7600	530
ケース⑥	21.6	92.6	7460	522

## 別紙 4 排気筒の共振風速評価

## 目次

1. 概要	別紙 4-1
2. 検討方針	別紙 4-1
3. 渦励振による風直交方向荷重に対する検討	別紙 4-2
3.1 鉄塔部	別紙 4-2
3.1.1 判定方法（個材の渦励振の発生の有無）	別紙 4-2
3.1.2 個材の渦励振による風直交方向荷重	別紙 4-3
3.1.3 個材の曲げモーメント	別紙 4-3
3.1.4 渦励振共振風速の検討	別紙 4-4
3.1.5 検討結果	別紙 4-4
3.2 筒身部	別紙 4-8
3.2.1 判定方法（渦励振の発生の有無）	別紙 4-8
3.2.2 渦励振による風直交方向荷重	別紙 4-9
3.2.3 検討結果	別紙 4-13

## 1. 概要

本資料は、排気筒の渦励振による風直交方向荷重に対する検討について示す資料である。

## 2. 検討方針

排気筒のような固有振動数が低く、アスペクト比が大きい（幅や奥行に対して高さが高い）煙突構造物では渦励振（風直交方向の振動）が生じるおそれがある。渦励振に対する検討は「日本建築学会 2007年 煙突構造設計指針」に準拠して行う。

検討フローを図 2-1 に示す。鉄塔部は個材の渦励振が発生する場合には個材の渦励振による風直交方向荷重に対して個材断面の応力度評価を行う。筒身部に渦励振が発生する場合には、渦励振による風直交方向荷重を算定し、添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」（以下「工認計算」という。）の風荷重との組合せを考慮して排気筒全体の影響評価を行う。

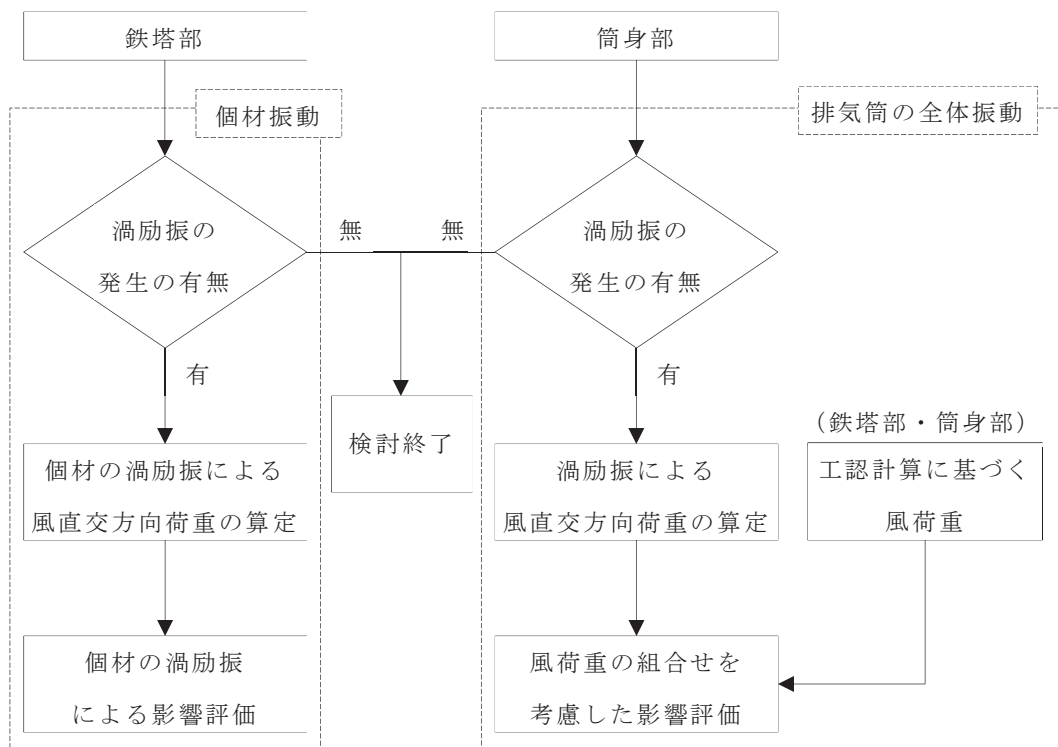


図 2-1 検討フロー

### 3. 渦励振による風直交方向荷重に対する検討

#### 3.1 鉄塔部

##### 3.1.1 判定方法（個材の渦励振の発生の有無）

個材の渦励振の発生の有無は以下の式にて判定する。以下の式にあてはまる場合については、3.1.2 で定められる渦励振による風直交方向荷重に対して個材の断面検定を行う。

$$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t \quad \text{かつ, } L / D \geq 15$$

ここで、

$U_z$  : 個材の平均高さ  $Z$  における設計風速 (m/s)

設計風速  $U_z$  は「煙突構造設計指針」に基づき以下の式により算定する。

$$U_z = U_0 k_{rw} K_D E_z$$

ここで、

$U_0$  : 基本風速 ( $U_0 = 34\text{m/s}$ )

$k_{rw}$ : 再現期間換算係数で 1.00 とする。(再現期間 100 年)

$K_D$  : 風向係数で 1.00 とする。

$E_z$  : 建設地の地表面の状況に応じて定める風速の鉛直分布係数  $E$  の高さ  $Z$  における値

$$E_z = 1.7 (Z / Z_G)^\alpha \quad (Z > Z_b)$$

$Z_b, Z_G, \alpha$  : 風速の鉛直分布を定めるパラメータ

(当該地の地表面粗度区分 II :  $Z_b = 5\text{m}, Z_G = 350\text{m}, \alpha = 0.15$ )

$f_L$  : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

主柱材は両端固定条件として、斜材及び水平材は保守的に両端ピン条件として算出する。

$S_t$  : ストローハル数 ( $S_t = 0.20$ )

$L$  : 個材の長さ (m)

$D$  : 円形断面個材の外径 (m)

### 3.1.2 個材の渦励振による風直交方向荷重

円形断面を持つ個材の渦励振による風直交方向荷重は以下の式により算定する。

$$W_r = (2\pi f_L)^2 \sin(\pi x/L) (M/L) \alpha D$$

$$U_r^* = 5 + 3/S_c$$

$$S_c = 4\pi \zeta_L M / (\rho D^2 L)$$

ここで、

$W_r$  : 個材端部から距離  $x$  における単位長さ風直交方向荷重 (N/m)

$U_r^*$  : 無次元風速

$S_c$  : スクルートン数

$\alpha$  : 係数

円形断面の場合 :  $\alpha = 0.26 U_r^* / (0.75 S_c^{1.1} + 0.36 U_r^*)$

$f_L$  : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

$x$  : 個材端部からの距離 (m)

$M$  : 個材の全質量 (kg)

$L$  : 個材の長さ (m)

$D$  : 円形断面個材の外径 (m)

$\zeta_L$  : 個材の曲げ振動の 1 次減衰定数 ( $\zeta_L = 0.005$  とする)

$\rho$  : 空気密度で  $1.22 \text{kg/m}^3$  とする。

### 3.1.3 個材の曲げモーメント

風直交方向荷重による個材の曲げモーメントは、両端の支持条件に応じて以下の式で算定する。ただし、 $W_{r, \max}$  は  $x = L/2$  のときの  $W_r$  の値である。

#### (1) 両端固定の場合

$$\text{中央部} : M_{\max} = W_{r, \max} L^2 / \pi^2 (1 - 2/\pi)$$

$$\text{材 端} : M = -2W_{r, \max} L^2 / \pi^3$$

#### (2) 両端ピンの場合

$$\text{中央部} : M_{\max} = W_{r, \max} L^2 / \pi^2$$

$$\text{材 端} : M = 0$$

評価は、個材の曲げモーメントにより生じる応力度が短期許容応力度に基づく許容値以下であることを確認する。筒身の許容限界は「容器構造設計指針・同解説」によって求めた短期許容応力度、鉄塔の許容限界は「建築基準法施行令第 90 条及び関係告示」による短期許容応力度とする。

### 3.1.4 渦励振共振風速の検討

渦励振の共振風速 $U_r$ は、「日本建築センター 1982 年 煙突構造設計施工指針」に準拠し、個材の地盤面からの高さに応じて、図 3-1 に示す共振風速の下限値を満たすことを確認する。

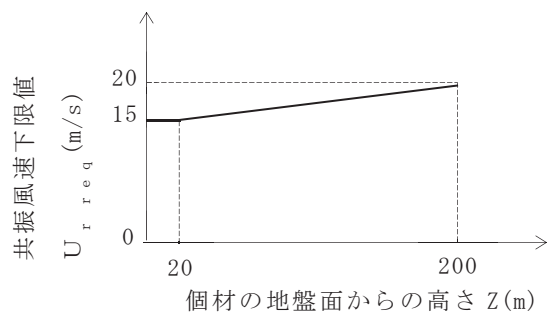


図 3-1 個材の共振風速の下限値

### 3.1.5 検討結果

個材の渦励振の発生有無の判定結果並びに風直交方向荷重による曲げモーメント及び共振風速に対する検討結果を表 3-1(1)～(3)に示す。いずれの部材も、渦励振が発生しないか、もしくは渦励振による風直交方向荷重に対して評価基準値以下であることを確認した。また、共振風速の下限値も満足している。



表 3-1(1) 主柱材の個材渦励振に対する検討結果

区間	高さ Z (m)	設計 風速 U <sub>z</sub> (m/s)	諸元					風直交方向荷重による曲げ応力度の検討						共振風速の検討			
			鋼管 外径 D (m)	部材 長さ L (m)	固有 振動数 f <sub>L</sub> (Hz)	U <sub>z</sub> /(f <sub>L</sub> ・D)	L/D	曲げ モーメント M (kN・m)	断面 係数 Z <sup>*1</sup> (cm <sup>3</sup> )	曲げ 応力度 σ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ 応力度 f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比 σ <sub>b</sub> /f <sub>b</sub>	判定 σ <sub>b</sub> /f <sub>b</sub> ≤1:OK	共振風速 U <sub>r</sub> (m/s)	U <sub>r</sub> 下限値 U <sub>r req</sub> (m/s)	判定 U <sub>r</sub> ≥ U <sub>r req</sub> :OK	
A - A'	143.8	50.6	0.4572	6.316	72.4	1.53	13.9	-	-	-	-	-	-	検討不要	183.9	18.5	OK
A' - B	137.5	50.3	0.4572	6.413	71.3	1.55	14.1	-	-	-	-	-	-	検討不要	181.1	18.3	OK
B - B'	130.7	49.9	0.4572	7.117	57.7	1.90	15.6	-	-	-	-	-	-	検討不要	146.6	18.1	OK
B' - C	123.6	49.5	0.6096	7.214	75.3	1.08	11.9	-	-	-	-	-	-	検討不要	255.0	17.9	OK
C - C'	116.0	49.0	0.6096	8.018	61.4	1.31	13.2	-	-	-	-	-	-	検討不要	207.9	17.7	OK
C' - D	107.8	48.5	0.7112	8.514	63.1	1.09	12.0	-	-	-	-	-	-	検討不要	249.3	17.5	OK
D - D'	98.8	47.9	0.7112	9.526	50.6	1.34	13.4	-	-	-	-	-	-	検討不要	199.9	17.2	OK
D' - E	89.0	47.1	0.8128	10.040	51.5	1.13	12.4	-	-	-	-	-	-	検討不要	232.6	17.0	OK
E - E'	77.8	46.2	0.8128	12.441	33.6	1.70	15.4	-	-	-	-	-	-	検討不要	151.7	16.7	OK
E' - F	65.8	45.0	1.0000	11.654	46.8	0.97	11.7	-	-	-	-	-	-	検討不要	260.0	16.3	OK
F - G	53.2	43.6	1.0000	13.621	34.2	1.28	13.7	-	-	-	-	-	-	検討不要	190.0	16.0	OK
G - H	36.7	41.3	1.1000	19.580	18.3	2.06	17.8	-	-	-	-	-	-	検討不要	111.8	15.5	OK
H - H'	20.4	37.8	1.1000	13.350	39.2	0.88	12.2	-	-	-	-	-	-	検討不要	239.6	15.1	OK
H' - I	7.1	32.3	1.1000	13.350	39.5	0.75	12.2	-	-	-	-	-	-	検討不要	241.4	15.0	OK

注記\*1: 腐食代として外面 1mm を控除して算出

$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t$  かつ、 $L / D \geq 15$  の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算出する。 $\sigma_b = M / Z$

表 3-1(2) 斜材の個材渦励振に対する検討結果

区間	高さ Z (m)	設計 風速 U <sub>Z</sub> (m/s)	諸元					風直交方向荷重による曲げ応力度の検討						共振風速の検討		
			鋼管 外径 D (m)	部材 長さ L (m)	固有 振動数 f <sub>L</sub> (Hz)	U <sub>Z</sub> /(f <sub>L</sub> ・D)	L/D	曲げ モーメント M (kN・m)	断面 係数 Z <sup>*1</sup> (cm <sup>3</sup> )	曲げ 応力度 σ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ 応力度 f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比 σ <sub>b</sub> /f <sub>b</sub>	判定 σ <sub>b</sub> /f <sub>b</sub> ≦1:OK	共振風速 U <sub>r</sub> (m/s)	U <sub>r</sub> 下限値 U <sub>r req</sub> (m/s)	判定 U <sub>r</sub> ≧U <sub>r req</sub> :OK
A - A'	143.8	50.6	0.3556	8.568	13.5	10.55	24.1	56.6	506	111.9	235.0	0.48	OK	26.7	18.5	OK
A' - B	137.5	50.3	0.3556	8.640	13.3	10.64	24.3	56.0	506	110.7	235.0	0.48	OK	26.3	18.3	OK
B - B'	130.7	49.9	0.4064	9.589	12.3	9.99	23.6	88.6	666	133.1	235.0	0.57	OK	27.8	18.1	OK
B' - C	123.6	49.5	0.4064	9.660	12.2	9.99	23.8	88.0	666	132.2	235.0	0.57	OK	27.5	17.9	OK
C - C'	116.0	49.0	0.4572	10.737	11.1	9.66	23.5	128.5	848	151.6	235.0	0.65	OK	28.2	17.7	OK
C' - D	107.8	48.5	0.4572	11.112	10.3	10.30	24.4	118.9	848	140.3	235.0	0.60	OK	26.2	17.5	OK
D - D'	98.8	47.9	0.5080	12.431	9.2	10.25	24.5	162.9	1050	155.2	235.0	0.67	OK	26.0	17.2	OK
D' - E	89.0	47.1	0.5080	12.822	8.6	10.79	25.3	151.6	1050	144.4	235.0	0.62	OK	24.3	17.0	OK
E - E'	77.8	46.2	0.6096	15.581	7.0	10.83	25.6	255.9	1520	168.4	235.0	0.72	OK	23.7	16.7	OK
E' - F	65.8	45.0	0.6096	14.963	7.6	9.72	24.6	279.1	1520	183.7	235.0	0.79	OK	25.7	16.3	OK
F - G	53.2	43.6	0.7112	17.487	6.5	9.44	24.6	440.0	3230	136.3	235.0	0.58	OK	25.7	16.0	OK
G - H	36.7	41.3	0.5588	11.997	10.9	6.79	21.5	277.1	2550	108.7	235.0	0.47	OK	33.8	15.5	OK
H - I	13.8	35.6	0.6096	15.269	7.2	8.12	25.1	252.8	4030	62.8	325.0	0.20	OK	24.4	15.0	OK

注記\*1: 腐食代として外面 1mm を控除して算出

$U_Z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t$  かつ、 $L / D \geq 15$  の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算出する。 $\sigma_b = M / Z$

表 3-1(3) 水平材の個材渦励振に対する検討結果

位置	高さ Z (m)	設計 風速 U <sub>z</sub> (m/s)	諸元					風直交方向荷重による曲げ応力度の検討						共振風速の検討		
			鋼管 外径 D (m)	部材 長さ L (m)	固有 振動数 f <sub>L</sub> (Hz)	U <sub>z</sub> /(f <sub>L</sub> ・D)	L/D	曲げ モーメント M (kN・m)	断面 係数 Z <sup>*1</sup> (cm <sup>3</sup> )	曲げ 応力度 σ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ 応力度 f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比 σ <sub>b</sub> /f <sub>b</sub>	判定 σ <sub>b</sub> /f <sub>b</sub> ≦1:OK	共振風速 U <sub>r</sub> (m/s)	U <sub>r</sub> 下限値 U <sub>r req</sub> (m/s)	判定 U <sub>r</sub> ≧U <sub>r req</sub> :OK
A	147.0	50.8	0.3185	7.252	17.2	9.28	22.8	45.9	708	64.9	235.0	0.28	OK	30.4	18.6	OK
B	134.3	50.1	0.3185	6.099	23.8	6.61	19.2	63.7	403	158.1	235.0	0.68	OK	42.1	18.2	OK
C	120.0	49.3	0.3185	6.774	19.9	7.78	21.3	52.6	871	60.4	235.0	0.26	OK	35.2	17.8	OK
D	103.5	48.2	0.3185	7.552	15.5	9.77	23.8	41.7	403	103.5	235.0	0.45	OK	27.4	17.4	OK
E	84.0	46.7	0.4064	8.631	15.2	7.56	21.3	109.5	666	164.5	235.0	0.70	OK	34.3	16.8	OK
F	60.0	44.4	0.4572	10.144	12.4	7.84	22.2	143.9	848	169.7	235.0	0.73	OK	31.5	16.2	OK
G	46.4	42.7	0.4572	11.000	10.6	8.82	24.1	123.9	848	146.2	235.0	0.63	OK	26.9	15.8	OK
H	27.0	39.4	0.5080	12.692	8.8	8.82	25.0	155.1	1050	147.8	235.0	0.63	OK	24.8	15.2	OK

注記\*1: 腐食代として外面 1mm を控除して算出

$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t$  かつ、 $L / D \geq 15$  の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算出する。 $\sigma_b = M / Z$

## 3.2 筒身部

### 3.2.1 判定方法（渦励振の発生の有無）

以下の式の条件にあてはまる筒身については，3.2.2 により渦励振による風直交方向荷重を考慮する。

$$U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2$$

ここで，

$U_H$  : 3.1.1 の設計風速  $U_Z$  において， $Z$  を  $H$  に読み替えてえられる値 (m/s)

$H$  : 筒身の基準高さ (m) ( $H = 160\text{m}$ )

$f_L$  : 風直交方向振動の 1 次固有振動数 (Hz)

$D_m$  : 円形断面を有する煙突の高さ  $2H/3$  における外径 (m)

### 3.2.2 渦励振による風直交方向荷重

渦励振による風直交方向荷重は以下の式により算定する。

$$W_r = 0.8 \rho U_r^2 C_r (Z/H) A_F$$

ここで、

$W_r$  : 地表面からの高さ  $Z$  における渦励振による風直交方向荷重 (N)

$\rho$  : 空気密度で  $1.22\text{kg/m}^3$  とする。

$U_r$  : 共振風速 (m/s)

円形断面の場合 :  $U_r = 5 f_L D_m$

ここで

$f_L$  : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

$D_m$  : 円形断面を有する煙突の高さ  $2H/3$  における外径 (m)

$C_r$  : 共振時風力係数

円形断面,  $6 \leq U_r D_m$  の場合 :  $C_r = 0.57 / \zeta_L^{0.5}$

ここで

$\zeta_L$  : 風直交方向振動の 1 次減衰定数 ( $\zeta_L = 0.0268$ )

$Z$  : 地表面からの高さ (m)

$H$  : 筒身の基準高さ (m)

$A_F$  : 地表面からの高さ  $Z$  における風向に直角な面に投影した筒身の投影面積 ( $\text{m}^2$ )

渦励振による風直交方向荷重は、「建築基準法施行令」の基準風速 ( $V_0=30\text{m/s}$ ) に基づき算定した工認計算の風荷重と組み合わせる。排気筒の設計風速に比べ渦励振の共振風速が大幅に低い場合には組み合わせられる風荷重は過大な値となるが、渦励振の発生領域で基準風速に基づく風荷重が発生すると仮定し、保守的に渦励振による風直交方向荷重と工認計算の風荷重を組み合わせで評価する。

部材応力は添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」の静的応力解析と同一のモデルに風直交方向荷重を入力し算出する。部材応力の組合せを表 3-2 に示す。荷重の入力方向の説明図を図 3-2 に示す。部材応力の組合せでは、添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」で求めた風荷重による部材応力と風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力の絶対値和を行っている。

評価は筒身及び鉄塔の部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値以下であることを確認する。筒身の許容限界は「容器構造設計指針・同解説」によって求めた短期許容応力度、鉄塔の許容限界は「建築基準法施行令第 90 条及び関係告示」による短期許容応力度とする。

表 3-2 部材応力の組合せ

外力の状態	ケース名	部材応力の組合せ
風直交方向荷重検討時 (工認計算に基づく風荷 重と渦励振による風直交 方向荷重の組み合わせ)	I 方向	$G + P_k (I) + P_{kr} (I)$
	II 方向	$G + P_k (II) + P_{kr} (II)$
	III 方向	$G + P_k (III) + P_{kr} (III)$
	IV 方向	$G + P_k (IV) + P_{kr} (IV)$

注：記号の説明

- G : 固定荷重による部材応力
- $P_k (I)$  : I 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力\*<sup>1</sup>
- $P_k (II)$  : II 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力\*<sup>1</sup>
- $P_k (III)$  : III 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力\*<sup>1</sup>
- $P_k (IV)$  : IV 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力\*<sup>1</sup>
- $P_{kr} (I)$  : I 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力
- $P_{kr} (II)$  : II 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力
- $P_{kr} (III)$  : III 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力
- $P_{kr} (IV)$  : IV 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力

注記\*1：風荷重の作用により発生する部材応力は、添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」で求めた部材応力と同じ値を用いており、風方向及び風直交方向における部材応力の二乗和平方根により算出した値となっている。

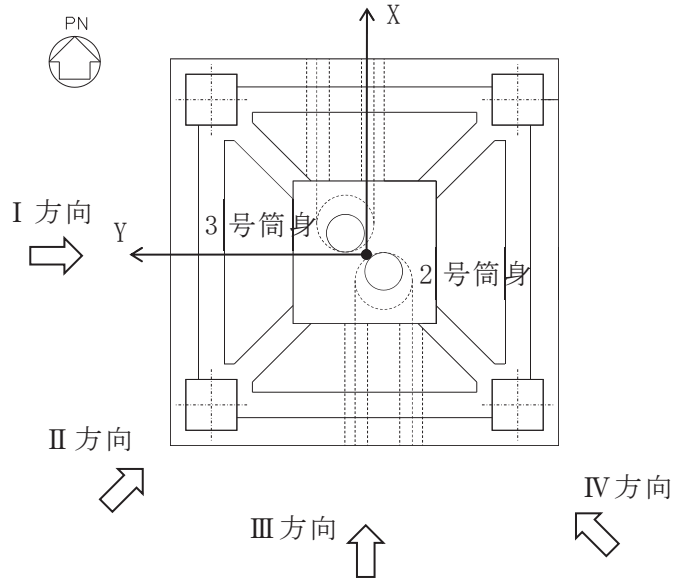


図 3-2 荷重の入力方向の説明図



### 3.2.3 検討結果

渦励振による風直交方向荷重の検討要否の検討結果を表 3-3 に示す。3.2.1 の条件式にあてはまることから、3.2.2 に定める風直交方向荷重を算定し、荷重の組み合わせを考慮し筒身及び鉄塔部材の断面検定をする。

風直交方向荷重の算定結果を表 3-4 に示す。表 3-5(1)～(5)に評価用部材応力を示す。比較のため弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力(以下「 $S_d$  地震力」という。)による設計用部材応力を記載している。表 3-6(1)～(5)には断面算定結果を示す。なお、評価結果を記載する検討ケースは、軸力及び曲げモーメントによる断面検定において、応力度比が最大となるケースとした。

以上の検討結果より、一部の部材は風直交方向荷重検討時の設計用部材応力が  $S_d$  地震力検討時の設計用部材応力を上回るが、いずれの部材も評価基準値以下であることを確認した。

表 3-3 渦励振による風直交方向荷重の検討要否

項目	記号	単位	数値
設計風速	$U_H$	m/s	51.5
1次固有振動数	$f_L$	Hz	0.851
煙突の高さ $2H/3$ における外径	$D_m$	m	3.020
条件式 ( $U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2$ : 検討要)	—	—	20.1
判定	—	—	検討必要

表 3-4 筒身部に作用する渦励振による風直交方向荷重

標高 O.P. (m)	位置	地上高さ Z (m)	風直交方向 荷重 $W_r$ (kN)
174.8	TOP	160.0	11.2
161.8	A	147.0	15.2
155.5	A'	140.7	9.6
149.1	B	134.3	9.8
142.0	B'	127.2	9.8
134.8	C	120.0	9.8
126.8	C'	112.0	9.9
118.3	D	103.5	10.0
108.8	D'	94.0	9.9
98.8	E	84.0	10.1
86.4	E'	71.6	9.2
74.8	F	60.0	8.1
61.2	G	46.4	8.2
41.8	H	27.0	6.7
15.3	I	0.5	0.1

注：1筒身あたりの荷重を示す。

表 3-5(1) 第 2 号機筒身の評価用部材応力

標高 O. P. (m)	位置	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8	A	152.8	736.3	378.4	2285.7
155.5	A'	213.0	899.9	576.3	1932.1
149.1	B	276.8	2232.6	726.7	2611.9
142.0	B'	344.5	<u>3327.2</u>	870.7	3239.9
134.8	C	491.3	4028.1	609.3	4428.6
126.8	C'	569.4	4329.6	706.0	4451.4
118.3	D	654.5	<u>4105.6</u>	1655.7	3709.0
108.8	D'	746.8	3199.1	1859.2	3904.4
98.8	E	837.7	1509.3	2047.3	2961.2
86.4	E'	951.3	1642.8	2220.3	1954.4
74.8	F	1075.4	5596.4	1333.5	6306.6
61.2	G	1231.5	2046.1	2736.4	3209.3
41.8	H	1448.9	782.5	3044.1	1323.5
24.3	M1	1448.9	1376.6	2999.8	2215.1
19.3	M2	1448.9	1978.3	2999.8	3055.1
15.3	I	1448.9	2459.6	2999.8	3784.6

注：表中の下線箇所は S d 地震力検討時の設計用部材応力を上回る箇所を示す。

表 3-5(2) 第 3 号機筒身の評価用部材応力

標高 O. P. (m)	位置	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8	A	152.8	736.3	402.8	2316.1
155.5	A'	213.0	899.9	584.9	1944.3
149.1	B	276.8	2232.6	681.3	2619.1
142.0	B'	344.5	3327.2	427.1	3595.8
134.8	C	491.3	4028.1	609.3	4428.6
126.8	C'	569.4	4329.6	706.0	4451.4
118.3	D	654.5	<u>4105.6</u>	1566.0	3715.6
108.8	D'	746.8	3199.1	1762.2	3888.3
98.8	E	837.7	1509.3	2068.6	2918.0
86.4	E'	951.3	1642.8	2236.1	2024.1
74.8	F	1075.4	5596.4	1333.5	6306.6
61.2	G	1231.5	2046.1	2736.4	3209.3
41.8	H	1448.9	782.5	3180.9	1268.6
24.3	M1	1448.9	1376.6	3165.3	2115.3
19.3	M2	1448.9	1978.3	3165.3	2919.5
15.3	I	1448.9	2459.6	3165.3	3564.1

注：表中の下線箇所は S d 地震力検討時の設計用部材応力を上回る箇所を示す。

表 3-5(3) 主柱材の評価用部材応力

標高 O. P. (m)	区間	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8 - 155.5	A - A'	35.6	13.5	108.9	43.6
155.5 - 149.1	A' - B	664.6	16.1	1235.7	35.4
149.1 - 142.0	B - B'	708.1	15.9	1335.0	42.4
142.0 - 134.8	B' - C	1423.2	60.1	2798.4	125.9
134.8 - 126.8	C - C'	1578.4	94.8	3070.5	167.9
126.8 - 118.3	C' - D	2416.8	95.9	4749.6	184.1
118.3 - 108.8	D - D'	2510.1	95.6	4863.6	183.7
108.8 - 98.8	D' - E	3520.6	167.5	6922.0	328.7
98.8 - 86.4	E - E'	3686.7	202.7	7123.4	403.1
86.4 - 74.8	E' - F	5017.4	230.8	9618.3	462.7
74.8 - 61.2	F - G	5256.5	230.1	9910.6	461.4
61.2 - 41.8	G - H	6383.8	63.8	11440.3	90.3
41.8 - 28.6	H - H'	7327.4	369.9	12982.8	613.6
28.6 - 15.3	H' - I	7329.5	498.2	12981.5	613.6

表 3-5(4) 斜材の評価用部材応力

標高 O.P. (m)	区間	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8 - 155.5	A - A'	248.8	0.0	530.6	0.0
155.5 - 149.1	A' - B	232.8	0.0	558.7	0.0
149.1 - 142.0	B - B'	239.1	0.0	634.3	0.0
142.0 - 134.8	B' - C	247.0	0.0	637.3	0.0
134.8 - 126.8	C - C'	334.8	0.0	830.0	0.0
126.8 - 118.3	C' - D	387.6	0.0	853.4	0.0
118.3 - 108.8	D - D'	463.8	0.0	966.0	0.0
108.8 - 98.8	D' - E	470.9	0.0	859.7	0.0
98.8 - 86.4	E - E'	627.8	0.0	1079.3	0.0
86.4 - 74.8	E' - F	601.1	0.0	1010.7	0.0
74.8 - 61.2	F - G	1035.8	0.0	1793.3	0.0
61.2 - 41.8	G - H	1318.0	7.2	2094.7	8.0
41.8 - 15.3	H - I	2078.5	20.3	3293.6	32.3

表 3-5(5) 水平材の評価用部材応力

標高 O.P. (m)	位置	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8	A	302.1	14.9	558.7	23.7
149.1	B	33.2	1.1	54.6	5.9
134.8	C	72.0	1.9	272.6	72.1
118.3	D	64.7	0.8	122.4	2.8
98.8	E	81.1	2.0	209.4	2.4
74.8	F	388.3	<u>3.7</u>	493.3	2.9
61.2	G	548.0	7.0	922.1	9.8
41.8	H	455.2	1.8	764.6	2.6

注:表中の下線箇所はS d 地震力検討時の設計用部材応力を上回る箇所を示す。

表 3-6(1) 風直交方向荷重検討時における第 2 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P.  (m)	位置	評価用部材応力			使用部材			許容圧縮 応力度 $c f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲 げ 応力度 $b f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討ケース	寸法 (mm)	断面積 A * (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	断面係数 Z * (×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )					
161.8	A	152.8	736.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.1	13.0	0.09
155.5	A'	213.0	899.9	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.9	15.9	0.11
149.1	B	276.8	2232.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	3.7	39.4	0.24
142.0	B'	344.5	3327.2	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	4.6	58.7	0.35
134.8	C	491.3	4028.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	6.5	71.1	0.43
126.8	C'	569.4	4329.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	7.6	76.4	0.47
118.3	D	654.5	4105.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	8.7	72.5	0.45
108.8	D'	746.8	3199.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.9	56.5	0.37
98.8	E	837.7	1509.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	11.1	26.7	0.22
86.4	E'	951.3	1642.8	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	12.6	29.0	0.24
74.8	F	1075.4	5596.4	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	14.3	98.8	0.63
61.2	G	1231.5	2046.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	16.3	36.1	0.30
41.8	H	1448.9	782.5	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	13.9	0.20
24.3	M1	1448.9	1376.6	IV 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	24.3	0.25
19.3	M2	1448.9	1978.3	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	23.0	0.25
15.3	I	1448.9	2459.6	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	28.6	0.29

注記\* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出

表 3-6(2) 風直交方向荷重検討時における第 3 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材応力			使用部材			許容圧縮 応力度 $c f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ 応力度 $b f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討ケース	寸法 (mm)	断面積 A * (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	断面係数 Z * (×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )					
161.8	A	152.8	736.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.1	13.0	0.09
155.5	A'	213.0	899.9	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.9	15.9	0.11
149.1	B	276.8	2232.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	3.7	39.4	0.24
142.0	B'	344.5	3327.2	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	4.6	58.7	0.35
134.8	C	491.3	4028.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	6.5	71.1	0.43
126.8	C'	569.4	4329.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	7.6	76.4	0.47
118.3	D	654.5	4105.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	8.7	72.5	0.45
108.8	D'	746.8	3199.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.9	56.5	0.37
98.8	E	837.7	1509.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	11.1	26.7	0.22
86.4	E'	951.3	1642.8	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	12.6	29.0	0.24
74.8	F	1075.4	5596.4	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	14.3	98.8	0.63
61.2	G	1231.5	2046.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	16.3	36.1	0.30
41.8	H	1448.9	782.5	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	13.9	0.20
24.3	M1	1448.9	1376.6	IV 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	24.3	0.25
19.3	M2	1448.9	1978.3	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	23.0	0.25
15.3	I	1448.9	2459.6	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	28.6	0.29

注記\* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出



表 3-6(3) 風直交方向荷重検討時における支柱材の断面算定表 (STK400) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				$\phi_k$ (mm)	$\lambda$	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A* ( $\times 10^3 \text{mm}^2$ )	断面係数Z* ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	i (mm)			応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8- 155.5	A -A'	35.6	13.5	II方向	$\phi 457.2$ $\times 7.9$	97.17	1070	158	6316	40.0	213.4	235.0	3.7	12.7	0.08
155.5- 149.1	A' -B	664.6	16.1	I方向	$\phi 457.2$ $\times 7.9$	155.6	1700	160	6413	40.1	213.4	235.0	42.8	9.5	0.25
149.1- 142.0	B -B'	708.1	15.9	I方向	$\phi 457.2$ $\times 7.9$	151.6	1660	160	7117	44.5	208.6	235.0	46.8	9.6	0.27
142.0- 134.8	B' -C	1423.2	60.1	I方向	$\phi 609.6$ $\times 9.5$	291.3	4260	215	7214	33.6	219.6	235.0	48.9	14.2	0.29
134.8- 126.8	C -C'	1578.4	94.8	I方向	$\phi 609.6$ $\times 9.5$	345.9	5060	216	8018	37.2	216.1	235.0	45.7	18.8	0.30
126.8- 118.3	C' -D	2416.8	95.9	I方向	$\phi 711.2$ $\times 12.7$	433.3	7240	250	8514	34.1	219.1	235.0	55.8	13.3	0.32
118.3- 108.8	D -D'	2510.1	95.6	I方向	$\phi 711.2$ $\times 12.7$	451.2	7520	251	9526	38.0	215.5	235.0	55.7	12.8	0.32
108.8- 98.8	D' -E	3520.6	167.5	I方向	$\phi 812.8$ $\times 16.0$	575.6	11000	284	10040	35.4	218.1	235.0	61.2	15.3	0.35

表 3-6(3) 風直交方向荷重検討時における支柱材の断面算定表 (STK400) (2/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				$\ell_k$ (mm)	$\lambda$	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A* ( $\times 10^3 \text{mm}^2$ )	断面係数Z* ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	i (mm)			応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
98.8- 86.4	E -E'	3686.7	202.7	I方向	$\phi 812.8$ $\times 16.0$	595.6	11400	285	12441	43.7	209.7	235.0	61.9	17.8	0.38
86.4- 74.8	E' -F	5017.4	230.8	II方向	$\phi 1000$ $\times 18.0$	650.5	15500	348	11654	33.5	219.7	235.0	77.2	14.9	0.42
74.8- 61.2	F -G	5256.5	230.1	II方向	$\phi 1000$ $\times 18.0$	650.5	15500	348	13621	39.2	214.3	235.0	80.9	14.9	0.45
61.2- 41.8	G -H	6383.8	63.8	II方向	$\phi 1100$ $\times 18.0$	716.5	18900	384	19580	51.0	201.1	235.0	89.1	3.4	0.46
41.8- 28.6	H -H'	7327.4	369.9	I方向	$\phi 1100$ $\times 20.0$	836.0	21900	384	13350	34.8	218.4	235.0	87.7	16.9	0.48
28.6- 15.3	H' -I	7329.5	498.2	I方向	$\phi 1100$ $\times 20.0$	1020	26600	386	13350	34.6	218.7	235.0	71.9	18.8	0.41

注記\* : 補強材の断面性能を含み、使用板厚より腐食代 (外側 1mm) を控除して算出

記号の説明

i : 断面 2 次半径

$\ell_k$  : 座屈長さ

$\lambda$  : 細長比 ( $\ell_k / i$ )

表 3-6(4) 風直交方向荷重検討時における斜材の断面算定表 (STK400) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				$l_k$ (mm)	$\lambda$	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A* <sup>1</sup> ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面係数 Z* <sup>1</sup> ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	i (mm)			応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8- 155.5	A - A'	248.8	0.0	I 方向	$\phi 355.6$ $\times 6.4$	59.07	506	123	8568	69.7	175.8	235.0	42.2	0.0	0.25
155.5- 149.1	A' - B	232.8	0.0	I 方向	$\phi 355.6$ $\times 6.4$	59.07	506	123	8640	70.3	174.9	235.0	39.5	0.0	0.23
149.1- 142.0	B - B'	239.1	0.0	II 方向	$\phi 406.4$ $\times 6.4$	67.68	666	141	9589	68.1	178.0	235.0	35.4	0.0	0.20
142.0- 134.8	B' - C	247.0	0.0	I 方向	$\phi 406.4$ $\times 6.4$	67.68	666	141	9660	68.6	177.4	235.0	36.5	0.0	0.21
134.8- 126.8	C - C'	334.8	0.0	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	10737	67.6	178.8	235.0	43.9	0.0	0.25
126.8- 118.3	C' - D	387.6	0.0	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	11112	69.9	175.5	235.0	50.8	0.0	0.29
118.3- 108.8	D - D'	463.8	0.0	I 方向	$\phi 508.0$ $\times 6.4$	84.92	1050	176	12431	70.7	174.3	235.0	54.7	0.0	0.32
108.8- 98.8	D' - E	470.9	0.0	I 方向	$\phi 508.0$ $\times 6.4$	84.92	1050	176	12822	72.9	171.0	235.0	55.5	0.0	0.33

表 3-6(4) 風直交方向荷重検討時における斜材の断面算定表 (STK400) (2/2)

高さ 0.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				$\ell_k$ (mm)	$\lambda$	許容圧縮 応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ 応力度 $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A* <sup>1</sup> (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	断面係数 Z* <sup>1</sup> (×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	i (mm)							
98.8- 86.4	E - E'	627.8	0.0	I 方向	φ 609.6 ×6.4	102.1	1520	212	15581	73.5	170.1	235.0	61.5	0.0	0.37
86.4- 74.8	E' - F	601.1	0.0	I 方向	φ 609.6 ×6.4	102.1	1520	212	14963	70.6	174.4	235.0	58.9	0.0	0.34
74.8- 61.2	F - G	1035.8	0.0	I 方向	φ 711.2 ×9.5	187.1	3230	247	17487	70.8	174.3	235.0	55.4	0.0	0.32
61.2- 41.8	G - H	1318.0	7.2	II 方向	φ 558.8 ×9.5	190.6	2550	195	11997	61.6	187.3	235.0	69.2	2.9	0.39
41.8- 15.3	H - I	2078.5	20.3	I 方向	φ 609.6 ×16.0* <sup>2</sup>	279.2	4030	209	15269	73.1	208.2	325.0	74.5	5.1	0.38

注記\*1: 補強材の断面性能を含み、使用板厚より腐食代(外側1mm)を控除して算出

\*2: 材質は STK490 を使用している

記号の説明

i : 断面 2 次半径

$\ell_k$  : 座屈長さ

$\lambda$  : 細長比 ( $\ell_k / i$ )

表 3-6(5) 風直交方向荷重検討時における水平材の断面算定表 (STK400) (1/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材応力			使用部材				$\ell_k$ (mm)	$\lambda$	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A* ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面係数 Z* ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	i (mm)			応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8	A	302.1	14.9	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	93.80	708	112	7252	64.8	182.8	235.0	32.3	21.1	0.27
149.1	B	33.2	1.1	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	52.77	403	110	6099	55.5	195.4	235.0	6.3	2.8	0.05
134.8	C	72.0	1.9	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	117.4	871	113	6774	60.0	189.6	235.0	6.2	2.2	0.05
118.3	D	64.7	0.8	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	52.77	403	110	7552	68.7	177.3	235.0	12.3	2.0	0.08
98.8	E	81.1	2.0	II 方向	$\phi 406.4$ $\times 6.4$	67.68	666	141	8631	61.3	187.8	235.0	12.0	3.1	0.08
74.8	F	388.3	3.7	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	10144	63.8	184.3	235.0	50.9	4.4	0.30

表 3-6(5) 風直交方向荷重検討時における水平材の断面算定表 (STK400) (2/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材応力			使用部材				$\ell_k$ (mm)	$\lambda$	許容圧縮 応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ 応力度 $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A* ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面係数 Z* ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	i (mm)							
61.2	G	548.0	7.0	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	11000	69.2	176.5	235.0	71.9	8.3	0.45
41.8	H	455.2	1.8	I 方向	$\phi 508.0$ $\times 6.4$	84.92	1050	176	12692	72.2	172.0	235.0	53.7	1.8	0.32

注記\* : 補強材の断面性能を含み, 使用板厚より腐食代 (外側 1mm) を控除して算出

記号の説明

i : 断面 2 次半径

$\ell_k$  : 座屈長さ

$\lambda$  : 細長比 ( $\ell_k / i$ )

## 別紙 5 排気筒の接合部の耐震性について

## 目次

1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-1
2.1 主柱材	別紙 5-8
2.2 斜材及び水平材	別紙 5-9
3. 検討条件	別紙 5-12
4. 検討結果	別紙 5-15
4.1 検討用応力	別紙 5-15
4.2 検討結果	別紙 5-18



## 1. 概要

添付書類「VI-2-7-2-1 (Ⅱ) 排気筒の耐震計算書」においては、排気筒を構成する筒身及び鉄塔の断面算定結果を示している。

本資料では、排気筒を構成する部材のうち、鉄塔について接合部の耐震性について確認した結果を示す。

## 2. 検討方針

鉄塔の支柱材，斜材，及び水平材について，地震時において接合部が破断しないことを確認する。

検討は，各部材の端部及び接合部の破断耐力が，添付書類「VI-2-7-2-1 (Ⅱ) 排気筒の耐震計算書」で算定した $S_s$ 地震力による応力を上回っていることを確認する。

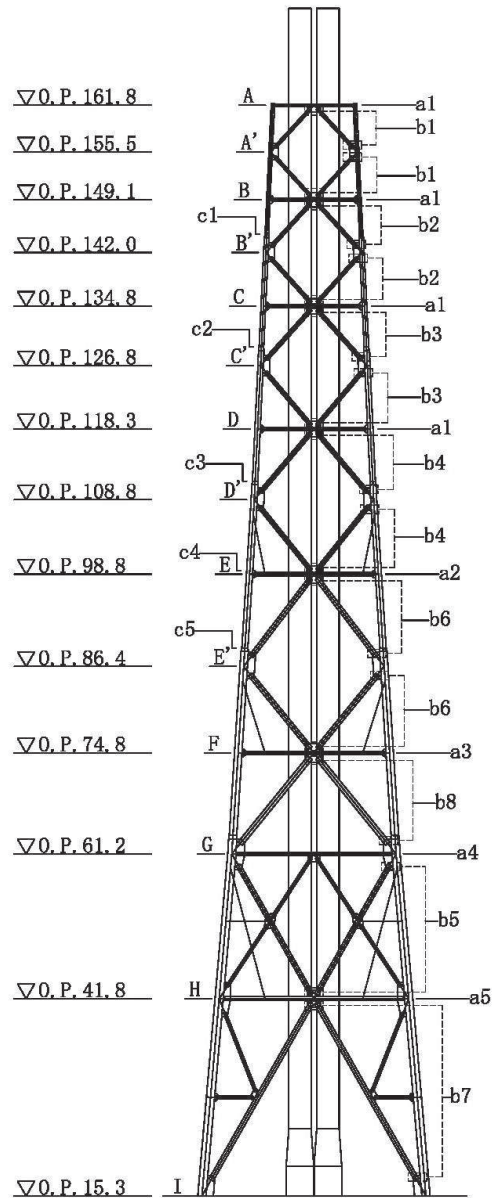
鉄塔の接合形式は以下のとおりとなっている。

- ・支柱材       : リブ溶接継手
- ・斜材         : 十字継手
- ・水平材       : 十字継手

各部材の接合部の位置及び詳細図を図 2-1～図 2-4 に示す。また，リブ溶接継手及び十字継手の概要を図 2-5 に示す。

主柱材		斜材		水平材		筒身	
母材	STK400	母材	SS400	母材	SS400	母材	SMA400AP
補強材	SS400	補強材	SS400	補強材	SS400	補強材	
	φ1100×20 t=12.0 t=22.0*		φ609.6×16.0 (STK490)		φ508.0×6.4		
	φ1100×18 t=9.0		φ558.8×9.5 t=6.0		φ457.2×6.4		
	φ1000×18 t=9.0		φ609.6×6.4		φ406.4×6.4		
	φ812.8×16 t=9.0 t=16.0* t=19.0*		φ508.0×6.4		φ406.4×6.4		
	φ711.2×12.7 t=6.0 t=22.0*		φ457.2×6.4		φ318.5×6.4		
	φ609.6×9.5 t=16.0 t=9.0* t=6.0*		φ406.4×6.4 t=6.0 t=16.0*		φ318.5×6.4 t=6.0 t=16.0*		
	φ457.2×7.9 t=6.0 t=9.0		φ355.6×6.4 t=6.0* t=9.0		φ318.5×6.4 t=6.0 t=16.0*		
							t=10

部材リスト (単位:mm)



(単位 : m)

図 2-1 接合部の位置

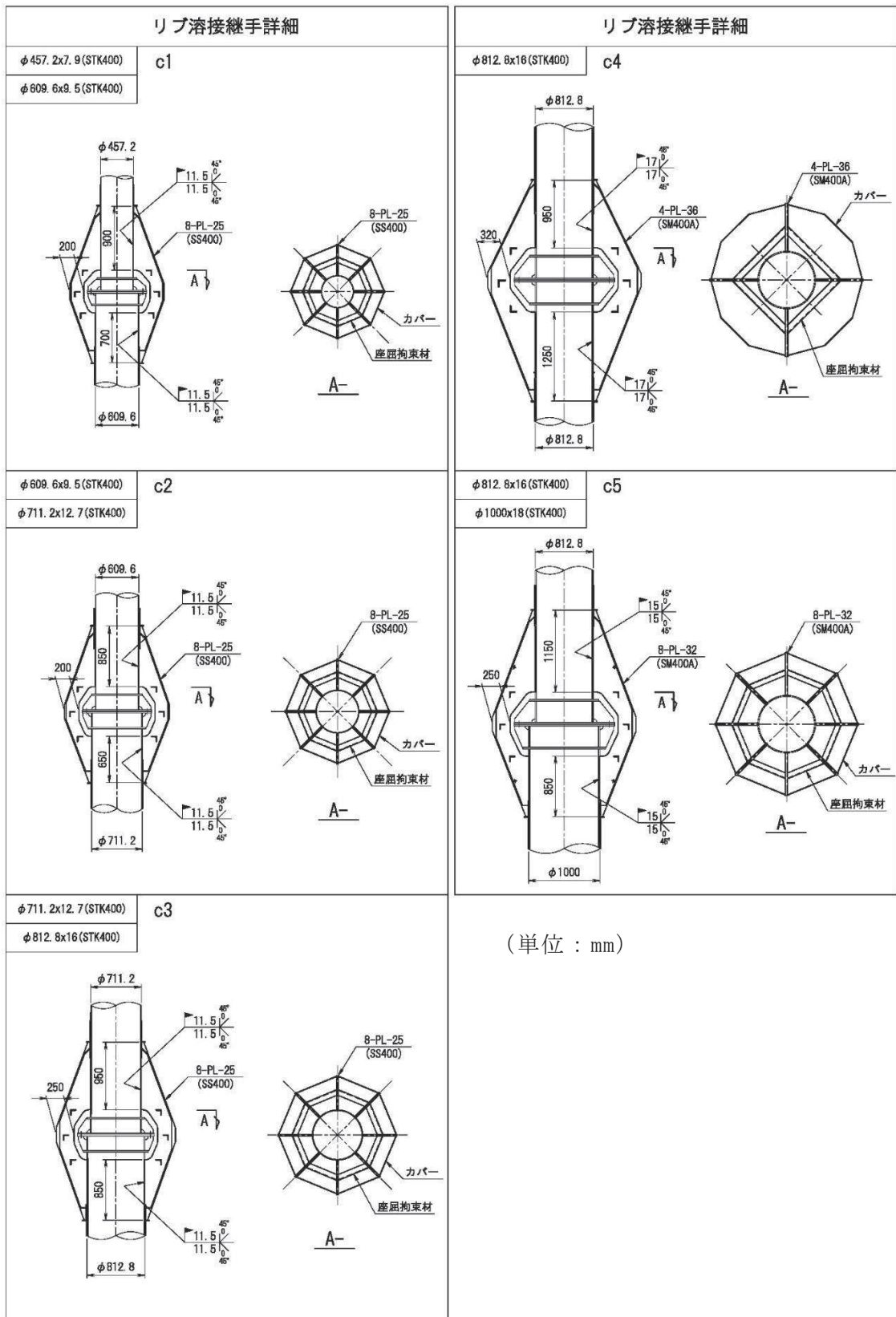
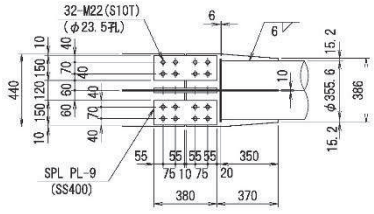
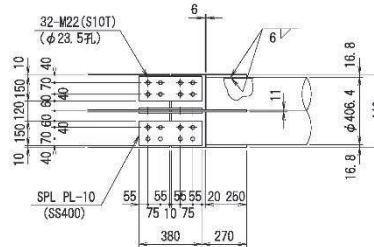
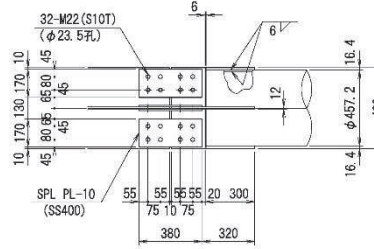
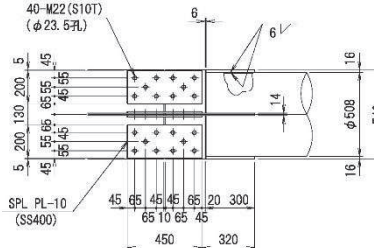


図 2-2 支柱材の接合部詳細

十字継手詳細		継手 板厚	スプライス 板厚	使用 ボルト径	本数
φ355.6x6.4(STK400)	b1 	10 (SS400)	9 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ406.4x6.4(STK400)	b2 	11 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ457.2x6.4(STK400)	b3 	12 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ508.0x6.4(STK400)	b4 	14 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	40

(単位：mm)

図 2-3(1) 斜材の接合部詳細

十字継手詳細		継手 板厚	スプライス 板厚	使用 ボルト径	本数
φ558.8x9.5(STK400)	b5	18 (SS400)	12 (SS400)	M22 (S10T)	48
<p>Technical drawing of cross joint b5. It shows a cross-section of a joint between two plates. The main plate is labeled SPL PL-12 (SS400) and has a thickness of 18 mm. The splice plate is labeled SPL PL-12 (SS400) and has a thickness of 12 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts. The main plate has a diameter of φ558.8 mm and a length of 590 mm. The splice plate has a diameter of φ558.8 mm and a length of 385 mm. The main plate has a thickness of 9.5 mm. The splice plate has a thickness of 12 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts. The main plate has a diameter of φ558.8 mm and a length of 590 mm. The splice plate has a diameter of φ558.8 mm and a length of 385 mm. The main plate has a thickness of 9.5 mm. The splice plate has a thickness of 12 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts.</p>					
φ609.4x6.4(STK400)	b6	16 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	64
<p>Technical drawing of cross joint b6. It shows a cross-section of a joint between two plates. The main plate is labeled SPL PL-10 (SS400) and has a thickness of 16 mm. The splice plate is labeled SPL PL-10 (SS400) and has a thickness of 10 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts. The main plate has a diameter of φ609.4 mm and a length of 850 mm. The splice plate has a diameter of φ609.4 mm and a length of 385 mm. The main plate has a thickness of 6.4 mm. The splice plate has a thickness of 10 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts.</p>					
φ609.6x16.0(STK490)	b7	19 (SS400)	15 (SS400)	M22 (S10T)	72
<p>Technical drawing of cross joint b7. It shows a cross-section of a joint between two plates. The main plate is labeled SPL PL-15 (SS400) and has a thickness of 19 mm. The splice plate is labeled SPL PL-15 (SS400) and has a thickness of 15 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts. The main plate has a diameter of φ609.6 mm and a length of 850 mm. The splice plate has a diameter of φ609.6 mm and a length of 435 mm. The main plate has a thickness of 16.0 mm. The splice plate has a thickness of 15 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts.</p>					
φ711.2x9.5(STK400)	b8	18 (SS400)	12 (SS400)	M22 (S10T)	72
<p>Technical drawing of cross joint b8. It shows a cross-section of a joint between two plates. The main plate is labeled SPL PL-12 (SS400) and has a thickness of 18 mm. The splice plate is labeled SPL PL-12 (SS400) and has a thickness of 12 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts. The main plate has a diameter of φ711.2 mm and a length of 760 mm. The splice plate has a diameter of φ711.2 mm and a length of 435 mm. The main plate has a thickness of 9.5 mm. The splice plate has a thickness of 12 mm. The joint is made of M22 (S10T) bolts.</p>					

(単位 : mm)

図 2-3(2) 斜材の接合部詳細

十字継手詳細		継手 板厚	スプライス 板厚	使用 ボルト径	本数
φ318.5x6.4 (STK400)	a1	10 (SS400)	9 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ406.4x6.4 (STK400)	a2	11 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ457.2x6.4 (STK400)	a3	12 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ457.2x6.4 (STK400)	a4	18 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ508.0x6.4 (STK400)	a5	16 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	40

(単位 : mm)

図 2-4 水平材の接合部詳細

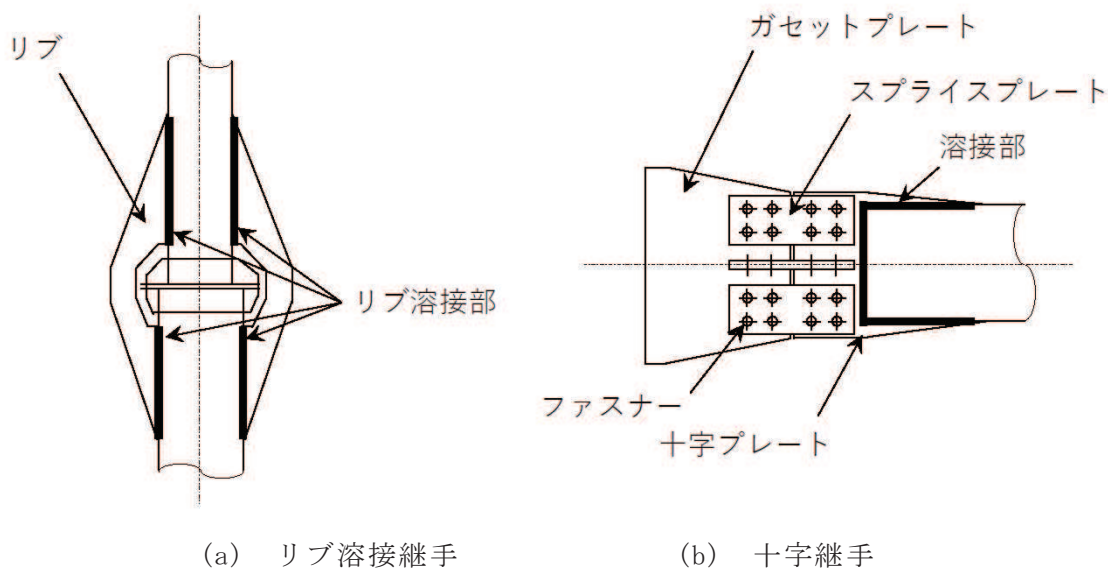


図 2-5 継手概要図

以下に各部位の検討方針を示す。

なお，検討に当たっては，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」及び「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」に準拠して算定する。

## 2.1 主柱材

フランジ継手の補強について、接合しているリブ溶接部に生じる検討用応力が、破断耐力以下であることを確認する。

検討用応力  $N'$  は以下により算定する。

$$N' = \left( \frac{N}{A} + \frac{M}{Z} \right) \times A$$

ここで、

- $N$  : 評価用応力（主柱材に発生する軸力の最大値）(kN)
- $A$  : 主柱材の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $M$  : 評価用応力（主柱材に発生する曲げモーメントの最大値）  
(kN・m)
- $Z$  : 主柱材の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

継手位置の破断耐力  $P_U$  は、以下により算定する。

$$P_U = \text{Min}(P_{U1}, P_{U2})$$

ここで、

- $P_{U1}$  : 鋼管本体の破断耐力で以下により算定する。  
$$P_{U1} = \sigma_r \times A_{r1}$$
  - $\sigma_r$  : 主柱材本体の破断強度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $A_{r1}$  : 主柱材本体の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $P_{U2}$  : リブ溶接部の破断耐力で以下により算定する。  
$$P_{U2} = \sigma_a / \sqrt{3} \times A_{r2}$$
  - $\sigma_a$  : リブ溶接部の破断強度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $A_{r2}$  : リブ溶接部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>) で以下により算定する。  
$$A_{r2} = T_e \times l \times n_w$$
    - $T_e$  : 有効開先深さで部分溶け込み溶接として、  
実際の開先深さ (D) から 3mm 減じて算定する (mm)
    - $l$  : 有効溶接長さ (mm)
    - $n_w$  : 溶接線数 (本)



## 2.2 斜材及び水平材

十字継手について、接合部の部材端部（十字プレート、スプラインプレート）、接合ファスナー、ファスナーのはしあき部分及び溶接部に対して、破断形式に応じた破断耐力を算定し、部材に生じる応力が破断耐力以下であることを確認する。

以下に示す部材端部及び接合部の破断形式(1)～(5)の各々の場合について、破断耐力 $A_j \cdot \sigma_u$ を算定し、その最小の値を接合部の破断耐力とする。

### (1) 部材端部で破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_U = A_1 \cdot {}_b \sigma_U$$

$$A_1 = A_g - A_d$$

ここで、

${}_b \sigma_U$  : 部材端部の破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_g$  : 部材端部の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_d$  : 部材端部の欠損断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_j \cdot \sigma_U$  : 部材端部の破断耐力 (N)

### (2) 部材の接合ファスナーで破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_U = 0.75 \times A_2 \cdot {}_f \sigma_U$$

$$A_2 = n \cdot m \cdot {}_f A$$

ここで、

${}_f \sigma_U$  : 接合ファスナーの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$n$  : ファスナーの数

$m$  : ファスナーがせん断を受ける面の数

${}_f A$  : ファスナー1つの断面積 (mm<sup>2</sup>)

ただし、ねじ部がせん断にかかる時は、

$${}_f A = 0.75 \cdot \pi \cdot (d/2)^2$$

$d$  : ファスナーの呼び径 (mm)

$A_j \cdot \sigma_U$  : 接合ファスナーの破断耐力 (N)

(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合

a. 十字プレートの場合

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_1 A_3 \cdot {}_b \sigma_U$$
$${}_1 A_3 = n \cdot {}_b e \cdot {}_b t$$

ここで,

- ${}_b \sigma_U$  : 十字プレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_b e$  : 十字プレートのはしあき距離 (mm)  
 ${}_b t$  : 十字プレートのファスナー接合部での板厚 (mm)  
 $n$  : ファスナーの数  
 $A_j \cdot \sigma_U$  : 十字プレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

b. スプライスプレート

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_2 A_3 \cdot {}_s \sigma_U$$
$${}_2 A_3 = n \cdot {}_s e \cdot {}_s t$$

ここで,

- ${}_s \sigma_U$  : スプライスプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_s e$  : スプライスプレートのはしあき距離 (mm)  
 ${}_s t$  : スプライスプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)  
 $n$  : ファスナーの数  
 $A_j \cdot \sigma_U$  : スプライスプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

c. ガセットプレート端部の場合

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_3 A_3 \cdot {}_g \sigma_U$$
$${}_3 A_3 = n \cdot {}_g e \cdot {}_g t$$

ここで,

- ${}_g \sigma_U$  : ガセットプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_g e$  : ガセットプレートのはしあき距離 (mm)  
 ${}_g t$  : ガセットプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)  
 $n$  : ファスナーの数  
 $A_j \cdot \sigma_U$  : ガセットプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

(4) ガセットプレートの破断による場合

$$A_j \cdot \sigma_U = A_4 \cdot \sigma_U$$

$$A_4 = (2/\sqrt{3} \cdot \ell_1 + b) \cdot t - A_d$$

ここで、

$\sigma_U$  : ガセットプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell_1$  : 応力方向の両端ボルト間の距離 (mm)

$b$  : 応力直交方向の両端ボルト間の距離 (mm)

$t$  : ガセットプレートの板厚 (mm)

$A_d$  : ガセットプレートのファスナー端部における欠損断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_j \cdot \sigma_U$  : ガセットプレートの破断耐力 (N)

(5) 溶接部で破断する場合

接合部はすみ肉溶接であるため、次式より算出する。

$$A_j \cdot \sigma_U = 1/\sqrt{3} \cdot A_5 \cdot \sigma_U$$

$$A_5 = 0.7 \cdot S \cdot \ell_e \cdot n_w$$

ここで、

$\sigma_U$  : 接合される母材の破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell_e$  : すみ肉溶接の有効長さ (mm)

ただし、 $\ell_e = \ell - 2S$  とする。

$\ell$  : 1つの連続した隅肉溶接の長さ (mm)

$S$  : すみ溶接のサイズ (mm)

$n_w$  : 溶接線数 (本)

$A_j \cdot \sigma_U$  : 溶接部の破断耐力 (N)

### 3. 検討条件

各部材の接合部検討用の諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。

表 3-1 接合部検討用諸元（リブ溶接継手）

符号		主柱材B-B'	主柱材C-C'	主柱材D-D'	主柱材D'-E	主柱材E-E'
		リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手
		c1	c2	c3	c4	c5
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 609.6	φ 711.2	φ 812.8	φ 812.8
	板厚(mm)	7.9	9.5	12.7	16	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
A	$\times 10^2 \text{mm}^2$	151.6	345.9	451.2	575.6	595.6
Z	$\times 10^3 \text{mm}^3$	1660	5060	7520	11000	11400
リブプレート	幅(mm)	200	200	250	320	250
	板厚(mm)	25	25	25	36	32
	材質	SS400	SS400	SS400	SM400A	SM400A
	枚数	8	8	8	4	8
$\sigma_u$	$\text{N/mm}^2$	400	400	400	400	400

記号の説明

A : 断面積

Z : 断面係数

$\sigma_u$  : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）

表 3-2 接合部検討用諸元（十字継手：斜材）

符号		斜材A-A'	斜材A'-B	斜材B-B'	斜材B'-C	斜材C-C'	斜材C'-D	斜材D-D'
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b2	b2	b3	b3	b4
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 406.4	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	440	440	440	440	490	490	540
t	mm	10	10	11	11	12	12	14
A <sub>g</sub>	mm <sup>2</sup>	8700	8700	9559	9559	11616	11616	14924
r	列	2	2	2	2	2	2	2
m	面	2	2	2	2	2	2	2
d <sub>0</sub>	mm	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
b <sub>s</sub>	mm	150	150	150	150	170	170	200
t <sub>s</sub>	mm	9	9	10	10	10	10	10
σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
f σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

符号		斜材D'-E	斜材E-E'	斜材E'-F	斜材F-G	斜材G-H	斜材H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b4	b6	b6	b8	b5	b7
使用部材	外径(mm)	φ 508.0	φ 609.6	φ 609.6	φ 711.2	φ 558.8	φ 609.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	9.5	9.5	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	540	650	650	760	590	650
t	mm	14	16	16	18	18	19
A <sub>g</sub>	mm <sup>2</sup>	14924	20544	20544	27036	20916	24339
r	列	2	3	3	3	2	3
m	面	2	2	2	2	2	2
d <sub>0</sub>	mm	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	24.0
b <sub>s</sub>	mm	200	240	240	300	220	240
t <sub>s</sub>	mm	10	10	10	12	12	15
σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
f σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの板厚
- A<sub>g</sub> : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面数
- d<sub>0</sub> : 高力ボルト孔径
- b<sub>s</sub> : スプライスプレートの幅
- t<sub>s</sub> : スプライスプレートの板厚
- σ<sub>u</sub> : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）
- f σ<sub>u</sub> : 高力ボルトの破断応力度（S10T）

表 3-3 接合部検討用諸元（十字継手：水平材）

符号		水平材A	水平材B	水平材C	水平材D	水平材E	水平材F	水平材G	水平材H
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a1	a1	a1	a1	a2	a3	a4	a5
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	440	440	440	440	440	490	490	540
t	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
A <sub>g</sub>	mm <sup>2</sup>	8700	8700	8700	8700	9559	11616	17316	17024
r	列	2	2	2	2	2	2	2	2
m	面	2	2	2	2	2	2	2	2
d <sub>o</sub>	mm	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
b <sub>s</sub>	mm	150	150	150	150	150	170	170	200
t <sub>s</sub>	mm	9	9	9	9	10	10	10	10
σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400	400
f σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの板厚
- A<sub>g</sub> : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面数
- d<sub>o</sub> : 高力ボルト孔径
- b<sub>s</sub> : スプライスプレートの幅
- t<sub>s</sub> : スプライスプレートの板厚
- σ<sub>u</sub> : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）
- f σ<sub>u</sub> : 高力ボルトの破断応力度（S10T）

#### 4. 検討結果

##### 4.1 検討用応力

各部材の接合部検討用の評価応力を表 4-1～表 4-3 を示す。

表 4-1 接合部検討用応力（主柱材）

標高 O.P. (m)	区間	検討用応力				使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	M (kN・m)	N' (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
149.1- 142.0	B - B'	2334.2	79.6	3061.2	S s - N 1 (ケース③)	φ 457.2×7.9	リブ溶接継手	c1
134.8- 126.8	C - C'	5279.3	277.8	7178.4	S s - N 1 (ケース④)	φ 609.6×9.5	リブ溶接継手	c2
118.3- 108.8	D - D'	7610.1	340.8	9654.9	S s - N 1 (ケース④)	φ 711.2×12.7	リブ溶接継手	c3
108.8- 98.8	D' - E	9540.8	611.3	12739.6	S s - N 1 (ケース④)	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c4
98.8- 86.4	E - E'	9777.9	660.3	13227.7	S s - N 1 (ケース④)	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c5

表 4-2 接合部検討用応力（斜材）

標高 O.P. (m)	区間	検討用応力		使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
161.8- 155.5	A - A'	967.5	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース④)	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
155.5- 149.1	A' - B	1015.7	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース④)	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
149.1- 142.0	B - B'	1135.4	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース④)	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
142.0- 134.8	B' - C	1097.6	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース④)	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
134.8- 126.8	C - C'	1188.3	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース④)	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
126.8- 118.3	C' - D	1084.7	S <sub>s</sub> -F 1 (ケース①)	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
118.3- 108.8	D - D'	1248.3	S <sub>s</sub> -F 1 (ケース①)	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
108.8- 98.8	D' - E	1155.7	S <sub>s</sub> -F 1 (ケース①)	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
98.8- 86.4	E - E'	1533.1	S <sub>s</sub> -D 2 (ケース⑤)	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
86.4- 74.8	E' - F	1597.5	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース③)	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
74.8- 61.2	F - G	2995.4	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース③)	φ 711.2×9.5	十字継手	b8
61.2- 41.8	G - H	3101.9	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース③)	φ 558.8×9.5	十字継手	b5
41.8- 15.3	H - I	5517.0	S <sub>s</sub> -N 1 (ケース③)	φ 609.6×16	十字継手	b7



表 4-3 接合部検討用応力（水平材）

標高 O.P. (m)	位置	検討用応力		使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
161.8	A	995.3	S s -N 1 (ケース③)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
149.1	B	81.8	S s -D 2 (ケース③)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
134.8	C	458.4	S s -D 2 (ケース⑤)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
118.3	D	191.0	S s -D 2 (ケース④)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
98.8	E	340.9	S s -D 2 (ケース③)	φ 406.4×6.4	十字継手	a2
74.8	F	807.9	S s -N 1 (ケース③)	φ 457.2×6.4	十字継手	a3
61.2	G	1081.4	S s -F 1 (ケース①)	φ 457.2×6.4	十字継手	a4
41.8	H	1279.1	S s -N 1 (ケース③)	φ 508.0×6.4	十字継手	a5

## 4.2 検討結果

各部材の接合部検討用の破断耐力の算定結果を表 4-4～表 4-6 に示す。

表 4-4 接合部検討用の破断耐力（主柱材：リブ溶接継手）

符号		主柱材B-B'	主柱材C-C'	主柱材D-D'	主柱材D'-E	主柱材E-E'
		リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手
		c1	c2	c3	c4	c5
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 609.6	φ 711.2	φ 812.8	φ 812.8
	板厚(mm)	7.9	9.5	12.7	16	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
(1) 部材断面で破断する場合						
$r \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_{r1}$	mm <sup>2</sup>	40000	40000	50000	46080	64000
$A_i \cdot \sigma_u$	kN	16000	16000	20000	18432	25600
(2) 溶接部で破断する場合						
$a \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
D	mm	11.5	11.5	11.5	17	15
Te	mm	8.5	8.5	8.5	14	12
l	mm	700	650	850	950	850
$n_w$	本	16	16	16	8	16
$A_{r2}$	mm <sup>2</sup>	95200	88400	115600	106400	163200
$A_i \cdot \sigma_u$	kN	21985	20415	26696	24572	37689
破断耐力 $P_u$	kN	16000	16000	20000	18432	25600

表 4-5(1) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

符号		斜材A-A'	斜材A'-B	斜材B-B'	斜材B'-C	斜材C-C'	斜材C'-D	斜材D-D'
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b2	b2	b3	b3	b4
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 406.4	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合								
a, 十字プレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	8700	8700	9559	9559	11616	11616	14924
$A_d$	mm <sup>2</sup>	1880	1880	2068	2068	2256	2256	2632
$A_l$	mm <sup>2</sup>	6820	6820	7491	7491	9360	9360	12292
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2728	2728	2996	2996	3744	3744	4916
b, スプライスプレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	10800	10800	12000	12000	13600	13600	16000
$A_d$	mm <sup>2</sup>	3384	3384	3760	3760	3760	3760	3760
$A_l$	mm <sup>2</sup>	7416	7416	8240	8240	9840	9840	12240
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2966	2966	3296	3296	3936	3936	4896
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合								
$f \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
m	面	2	2	2	2	2	2	2
$fA$	mm <sup>2</sup>	285	285	285	285	285	285	285
$A_2$	mm <sup>2</sup>	9120	9120	9120	9120	9120	9120	11400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	6840	6840	6840	6840	6840	8550
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合								
a, 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)								
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
$b_e$	mm	55	55	55	55	55	55	45
$b_t$	mm	10	10	11	11	12	12	14
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
${}_1A_3$	mm <sup>2</sup>	8800	8800	9680	9680	10560	10560	12600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3872	3872	4224	4224	5040
b, 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)								
$s \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
$s_e$	mm	55	55	55	55	55	55	45
$s_t$	mm	9	9	10	10	10	10	10
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
${}_2A_3$	mm <sup>2</sup>	15840	15840	17600	17600	17600	17600	18000
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6336	6336	7040	7040	7040	7040	7200
c, 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)								
$g \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
$g_e$	mm	55	55	55	55	55	55	45
$g_t$	mm	10	10	11	11	12	12	14
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
${}_3A_3$	mm <sup>2</sup>	8800	8800	9680	9680	10560	10560	12600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3872	3872	4224	4224	5040

表 4-5(2) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

符号		斜材A-A'	斜材A'-B	斜材B-B'	斜材B'-C	斜材C-C'	斜材C'-D	斜材D-D'
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b2	b2	b3	b3	b4
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 406.4	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合								
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
$l_1$	mm	75	75	75	75	75	75	130
b	mm	340	340	340	340	380	380	440
$g_t$	mm	10	10	11	11	12	12	14
$A_d$	mm <sup>2</sup>	940	940	1034	1034	1128	1128	1316
$A_4$	mm <sup>2</sup>	6652	6652	7317	7317	8942	8942	13891
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2660	2660	2926	2926	3576	3576	5556
(5) 溶接部で破断する場合								
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6	6	6	6
l	mm	344	344	244	244	294	294	294
$l_e$	mm	332	332	232	232	282	282	282
$n_w$	本	8	8	16	16	16	16	16
$A_5$	mm <sup>2</sup>	11155	11155	15590	15590	18950	18950	18950
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2576	2576	3600	3600	4376	4376	4376
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	2576	2576	2926	2926	3576	3576	4376

表 4-5(3) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

符号		斜材D'-E	斜材E-E'	斜材E'-F	斜材F-G	斜材G-H	斜材H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b4	b6	b6	b8	b5	b7
使用部材	外径(mm)	φ 508.0	φ 609.6	φ 609.6	φ 711.2	φ 558.8	φ 609.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	9.5	9.5	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合							
a, 十字プレート端部							
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	14924	20544	20544	27036	20916	24339
$A_d$	mm <sup>2</sup>	2632	4512	4512	5076	3384	5472
$A_1$	mm <sup>2</sup>	12292	16032	16032	21960	17532	18867
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4916	6412	6412	8784	7012	7546
b, スプラインプレート端部							
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	16000	19200	19200	28800	21120	28800
$A_d$	mm <sup>2</sup>	3760	5640	5640	6768	4512	8640
$A_1$	mm <sup>2</sup>	12240	13560	13560	22032	16608	20160
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4896	5424	5424	8812	6643	8064
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合							
$f \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	20	32	32	36	24	36
m	面	2	2	2	2	2	2
$fA$	mm <sup>2</sup>	285	285	285	285	285	285
$A_2$	mm <sup>2</sup>	11400	18240	18240	20520	13680	20520
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	8550	13680	13680	15390	10260	15390
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合							
a, 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)							
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
$b_e$	mm	45	45	45	45	45	45
$b_t$	mm	14	16	16	18	18	19
n	箇所	20	32	32	36	24	36
${}_1A_3$	mm <sup>2</sup>	12600	23040	23040	29160	19440	30780
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5040	9216	9216	11664	7776	12312
b, 部材端部の場合 (スプラインプレートのはしあき)							
$s \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
$s_e$	mm	45	45	45	45	45	45
$s_t$	mm	10	10	10	12	12	15
n	箇所	20	32	32	36	24	36
${}_2A_3$	mm <sup>2</sup>	18000	28800	28800	38880	25920	48600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	7200	11520	11520	15552	10368	19440
c, 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)							
$g \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
$g_e$	mm	45	45	45	45	45	45
$g_t$	mm	14	16	16	18	18	19
n	箇所	20	32	32	36	24	36
${}_3A_3$	mm <sup>2</sup>	12600	23040	23040	29160	19440	30780
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5040	9216	9216	11664	7776	12312

表 4-5(4) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

符号		斜材D'-E	斜材E-E'	斜材E'-F	斜材F-G	斜材G-H	斜材H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b4	b6	b6	b8	b5	b7
使用部材	外径(mm)	φ 508.0	φ 609.6	φ 609.6	φ 711.2	φ 558.8	φ 609.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	9.5	9.5	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合							
${}_g \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
$l_1$	mm	130	130	130	150	150	150
b	mm	440	530	530	650	480	530
${}_g t$	mm	14	16	16	18	18	19
$A_d$	mm <sup>2</sup>	1316	2256	2256	2538	1692	2736
$A_4$	mm <sup>2</sup>	13891	17251	17251	24559	20131	21249
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5556	6900	6900	9823	8052	8499
(5) 溶接部で破断する場合							
${}_a \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	9	9	13
l	mm	294	344	344	394	344	394
$l_e$	mm	282	332	332	376	326	368
$n_w$	本	16	16	16	16	16	16
$A_5$	mm <sup>2</sup>	18950	22310	22310	37900	32860	53580
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4376	5152	5152	8752	7588	12373
破断耐力 $P_u = \min \{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	4376	5152	5152	8752	6643	7546

表 4-6(1) 接合部検討用の破断耐力 (水平材 : 十字継手)

符号		水平材A	水平材B	水平材C	水平材D	水平材E	水平材F	水平材G	水平材H
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a1	a1	a1	a1	a2	a3	a4	a5
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合									
a, 十字プレート端部									
$b \sigma_u$	$N/mm^2$	400	400	400	400	400	400	400	400
$A_g$	$mm^2$	8700	8700	8700	8700	9559	11616	17316	17024
$A_d$	$mm^2$	1880	1880	1880	1880	2068	2256	3384	3008
$A_1$	$mm^2$	6820	6820	6820	6820	7491	9360	13932	14016
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2728	2728	2728	2728	2996	3744	5572	5606
b, スプライスプレート端部									
$b \sigma_u$	$N/mm^2$	400	400	400	400	400	400	400	400
$A_g$	$mm^2$	10800	10800	10800	10800	12000	13600	13600	16000
$A_d$	$mm^2$	3384	3384	3384	3384	3760	3760	3760	3760
$A_1$	$mm^2$	7416	7416	7416	7416	8240	9840	9840	12240
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2966	2966	2966	2966	3296	3936	3936	4896
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合									
$f \sigma_u$	$N/mm^2$	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
m	面	2	2	2	2	2	2	2	2
$fA$	$mm^2$	285	285	285	285	285	285	285	285
$A_2$	$mm^2$	9120	9120	9120	9120	9120	9120	9120	11400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	6840	6840	6840	6840	6840	6840	8550
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合									
a, 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)									
$b \sigma_u$	$N/mm^2$	400	400	400	400	400	400	400	400
$b_e$	mm	55	55	55	55	55	55	55	45
$b_t$	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
$1A_3$	$mm^2$	8800	8800	8800	8800	9680	10560	15840	14400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3520	3520	3872	4224	6336	5760
b, 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)									
$s \sigma_u$	$N/mm^2$	400	400	400	400	400	400	400	400
$s_e$	mm	55	55	55	55	55	55	55	45
$s_t$	mm	9	9	9	9	10	10	10	10
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
$2A_3$	$mm^2$	15840	15840	15840	15840	17600	17600	17600	18000
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6336	6336	6336	6336	7040	7040	7040	7200
c, 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)									
$g \sigma_u$	$N/mm^2$	400	400	400	400	400	400	400	400
$g_e$	mm	55	55	55	55	55	55	55	45
$g_t$	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
$3A_3$	$mm^2$	8800	8800	8800	8800	9680	10560	15840	14400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3520	3520	3872	4224	6336	5760

表 4-6(2) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

符号		水平材A	水平材B	水平材C	水平材D	水平材E	水平材F	水平材G	水平材H
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a1	a1	a1	a1	a2	a3	a4	a5
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合									
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400	400
$l_1$	mm	75	75	75	75	75	75	75	130
b	mm	340	340	340	340	340	380	380	440
$g \cdot t$	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
$A_d$	mm <sup>2</sup>	940	940	940	940	1034	1128	1692	1504
$A_4$	mm <sup>2</sup>	6652	6652	6652	6652	7317	8942	13413	15875
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2660	2660	2660	2660	2926	3576	5365	6350
(5) 溶接部で破断する場合									
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6	6	6	6	6
l	mm	344	344	344	344	244	294	294	294
$l_e$	mm	332	332	332	332	232	282	282	282
$n_w$	本	8	8	8	8	16	16	16	16
$A_5$	mm <sup>2</sup>	11155	11155	11155	11155	15590	18950	18950	18950
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2576	2576	2576	2576	3600	4376	4376	4376
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	2576	2576	2576	2576	2926	3576	3936	4376



各部材について、検討用応力と接合部の破断耐力の比較を表 4-7～表 4-9 に示す。  
 検討用応力は、接合部の破断耐力以下であることを確認した。

表 4-7 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（主柱材）

標高 O. P. (m)	区間	検討用 応力 N' (kN)	破断 耐力 P <sub>U</sub> (kN)	検定値 N' /P <sub>U</sub>	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
149.1- 142.0	B - B'	3061.2	16000	0.20	φ 457.2×7.9	リブ溶接継手	c1
134.8- 126.8	C - C'	7178.4	16000	0.45	φ 609.6×9.5	リブ溶接継手	c2
118.3- 108.8	D - D'	9654.9	20000	0.49	φ 711.2×12.7	リブ溶接継手	c3
108.8- 98.8	D' - E	12739.6	18432	0.70	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c4
98.8- 86.4	E - E'	13227.7	25600	0.52	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c5

表 4-8 検討用応力と接合部の破断耐力の比較 (斜材)

標高 O.P. (m)	区間	検討用 応力 N(kN)	破断 耐力 P <sub>U</sub> (kN)	検定値 N/P <sub>U</sub>	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
161.8- 155.5	A - A'	967.5	2576	0.38	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
155.5- 149.1	A' - B	1015.7	2576	0.40	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
149.1- 142.0	B - B'	1135.4	2926	0.39	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
142.0- 134.8	B' - C	1097.6	2926	0.38	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
134.8- 126.8	C - C'	1188.3	3576	0.34	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
126.8- 118.3	C' - D	1084.7	3576	0.31	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
118.3- 108.8	D - D'	1248.3	4376	0.29	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
108.8- 98.8	D' - E	1155.7	4376	0.27	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
98.8- 86.4	E - E'	1533.1	5152	0.30	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
86.4- 74.8	E' - F	1597.5	5152	0.32	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
74.8- 61.2	F - G	2995.4	8752	0.35	φ 711.2×9.5	十字継手	b8
61.2- 41.8	G - H	3101.9	6643	0.47	φ 558.8×9.5	十字継手	b5
41.8- 15.3	H - I	5517.0	7546	0.74	φ 609.6×16	十字継手	b7

表 4-9 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（水平材）

標高 O.P. (m)	位置	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 P <sub>U</sub> (kN)	検定値 N/P <sub>U</sub>	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
161.8	A	995.3	2576	0.39	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
149.1	B	81.8	2576	0.04	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
134.8	C	458.4	2576	0.18	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
118.3	D	191.0	2576	0.08	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
98.8	E	340.9	2926	0.12	φ 406.4×6.4	十字継手	a2
74.8	F	807.9	3576	0.23	φ 457.2×6.4	十字継手	a3
61.2	G	1081.4	3936	0.28	φ 457.2×6.4	十字継手	a4
41.8	H	1279.1	4376	0.30	φ 508.0×6.4	十字継手	a5

## 別紙 6 排気筒支持点部の耐震性について

## 目次

1. 概要…………… 別紙 6-1
2. 検討方針…………… 別紙 6-1
3. 検討結果…………… 別紙 6-12

## 1. 概要

添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」においては、排気筒を構成する筒身及び鉄塔の断面算定結果を示している。

本資料では、排気筒を構成する部材のうち、支持点部の耐震性について確認した結果を示す。

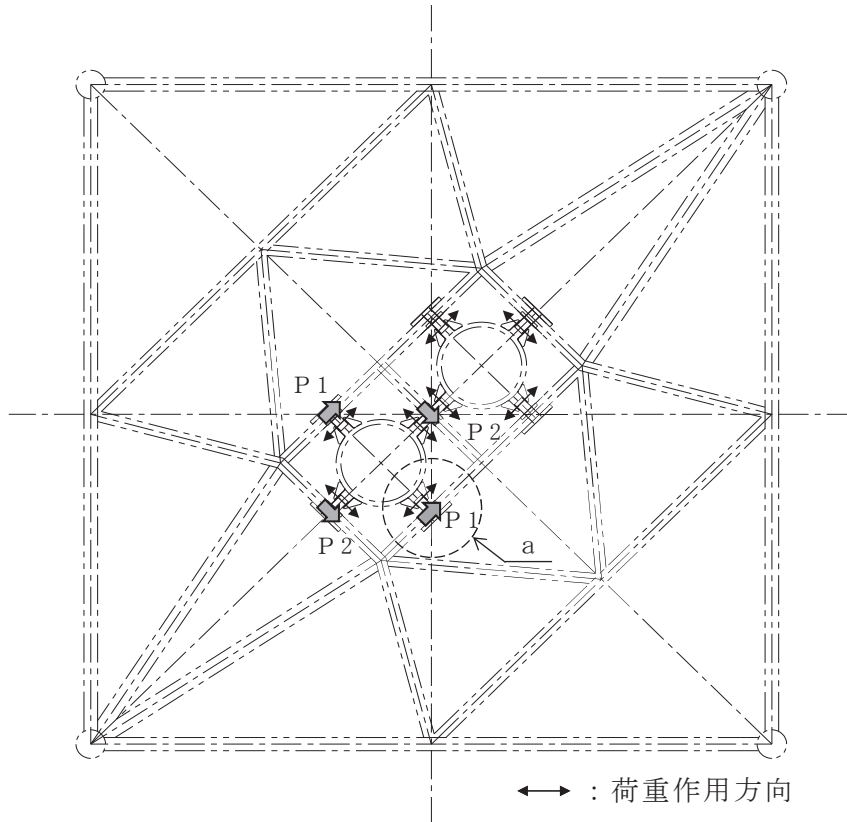
## 2. 検討方針

第1支持点、第2支持点、第3支持点部及び第4支持点部の平面図及び支持点荷重を図2-1及び図2-2に、支持金物及び補強リングの構成断面を図2-3に示す。

筒身と鉄塔の支持点部は高さ方向の伸び拘束しないが、支持金物を介して水平荷重を伝達する構造としている。支持金物の反力は筒身周囲の補強リングによって抵抗されることから、第1支持点、第2支持点及び第4支持点部は支持金物と補強リングの評価を行う。第3支持点部については、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」において、制震オイルダンパ及び支持点アーム、補強リングの評価を行っていることから、本書では筒身連結材の評価を行う。排気筒の耐震重要度分類と評価結果の記載箇所を表2-1に示す。

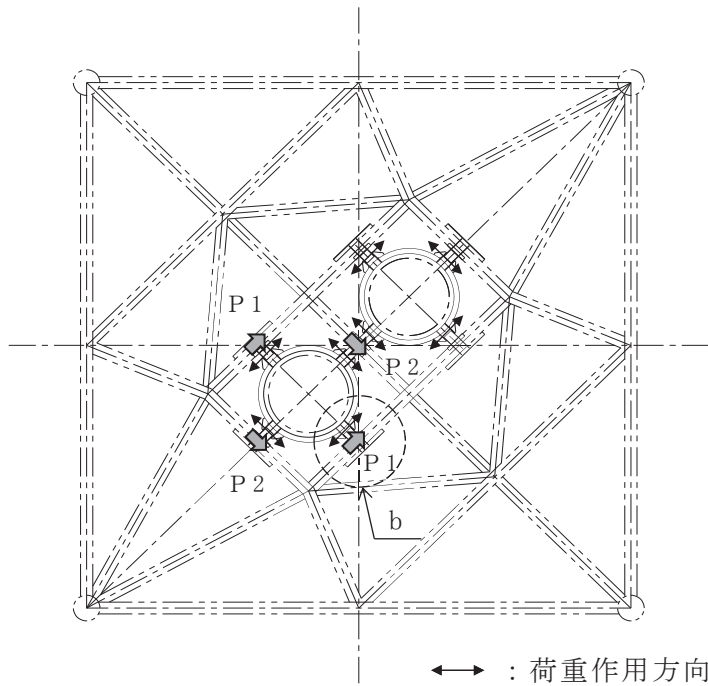
第1支持点、第2支持点、第3支持点部及び第4支持点部の評価について、直接支持構造物となる補強リング、鉄塔連結材（筒身側支持金物）は、基準地震動 $S_s$ 及び弾性設計用地震動 $S_d$ による地震荷重に対して行う。間接支持構造物となる鉄塔連結材（筒身側支持金物）は、基準地震動 $S_s$ による地震荷重に対して行う。支持金物に加わる地震荷重は、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」において実施している、すべての基準地震動 $S_s$ 又は弾性設計用地震動 $S_d$ による排気筒の不確かさ及びI～IV方向加振を考慮した地震応答解析により求められた支持点反力を包絡した値を設定する。なお、筒身連結材は直接支持構造物となるが、基準地震動 $S_s$ により設定した支持点反力と弾性設計用地震動 $S_d$ により設定した支持点反力に大きな差が無かったため、基準地震動 $S_s$ により設定した支持点反力を用いて、弾性設計を行う。

支持金物及び補強リングの評価について、筒身と鉄塔間の支持金物から作用する支持点反力から、支持点部の構成断面に発生する部材力を算定する。発生部材力に対して評価断面において応力度計算を行い、発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「建設省告示第2464号」に基づき $F$ 値 $\times 1.1$ を適用して算定する。応力度計算において、各プレートには外面1mmの腐食代を考慮する。



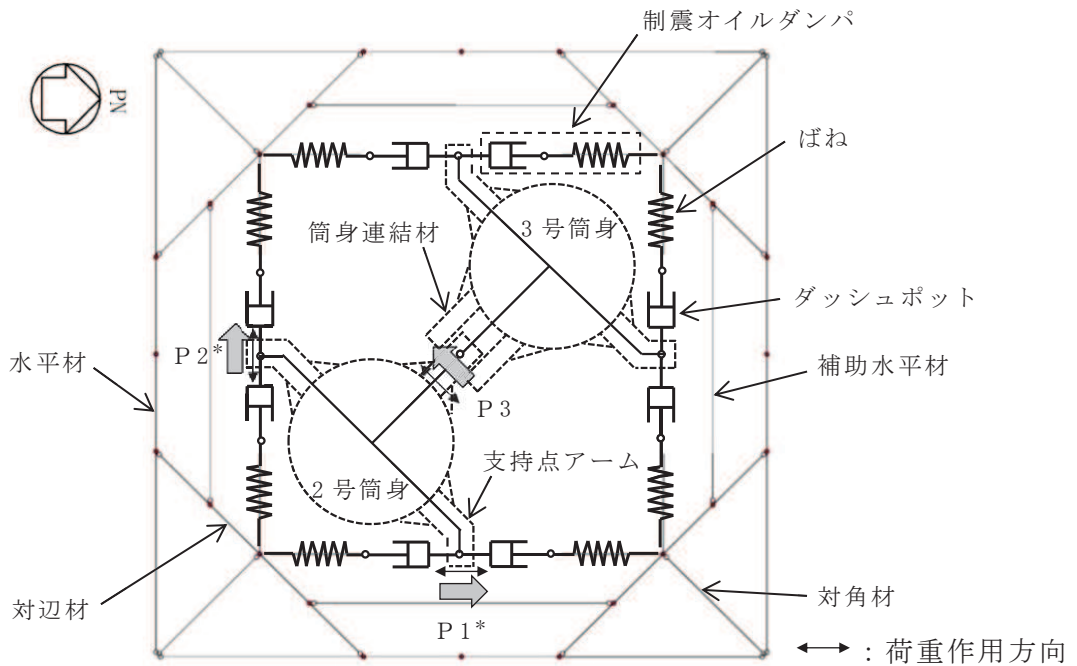
注：支持金物に作用する反力のうち、大きい荷重をP1，小さい荷重をP2とする。

図 2-1(1) 第1支持点部の平面図及び支持点荷重



注：支持金物に作用する反力のうち、大きい荷重をP1，小さい荷重をP2とする。

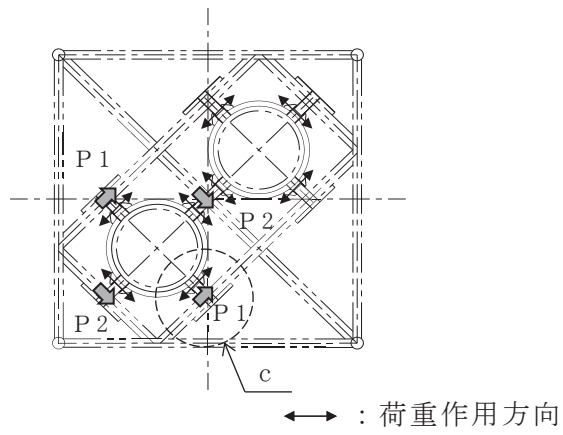
図 2-1(2) 第2支持点部の平面図及び支持点荷重



注記\*：東側，南側の支持点アームに作用する反力のうち大きい荷重をP1，小さい荷重をP2とする。

図 2-1(3) 第3支持点部の平面図及び支持点荷重





注：支持金物に作用する反力のうち、大きい荷重をP1，小さい荷重をP2とする。

図 2-1(4) 第 4 支持点部の平面図及び支持点荷重

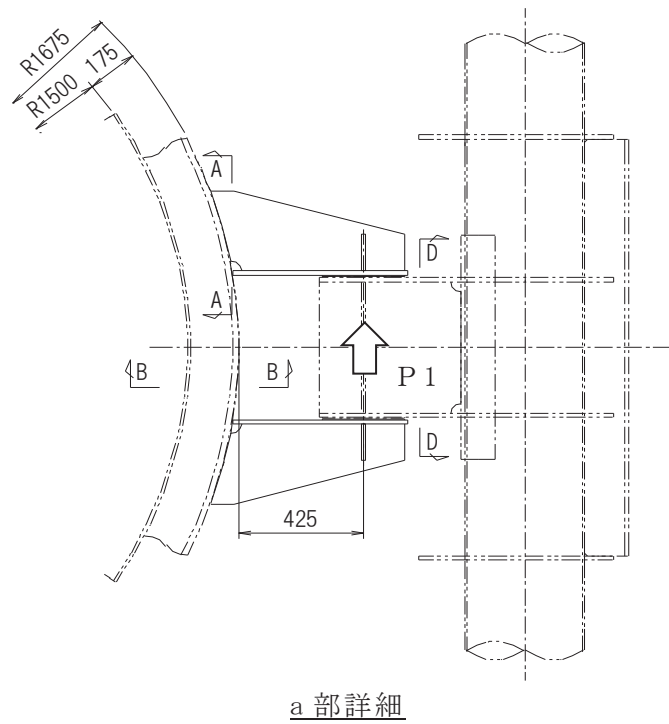


図 2-2(1) 第 1 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重図 (単位 : mm)

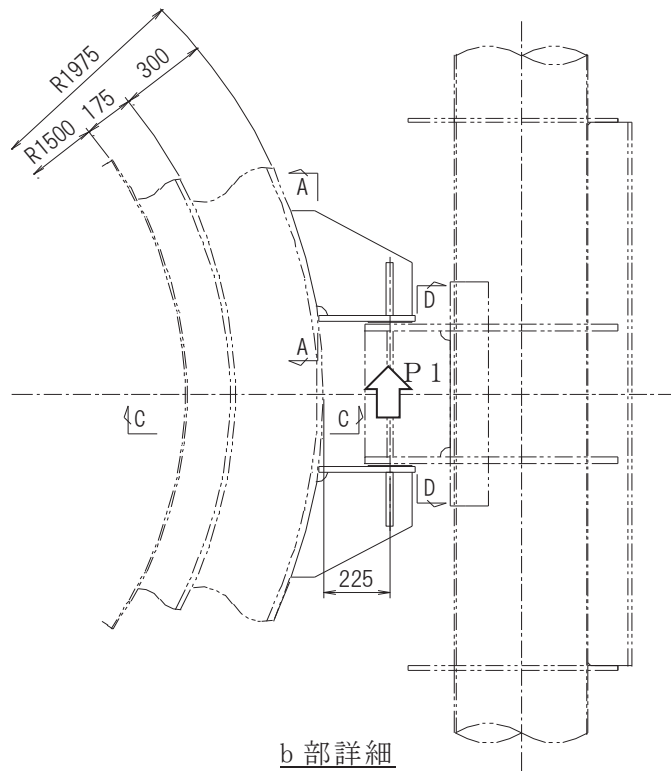
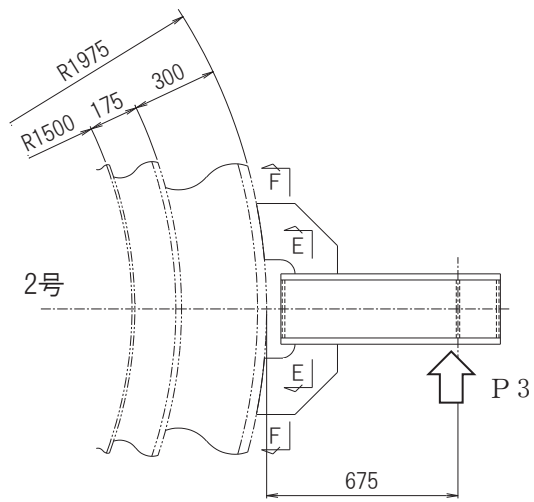
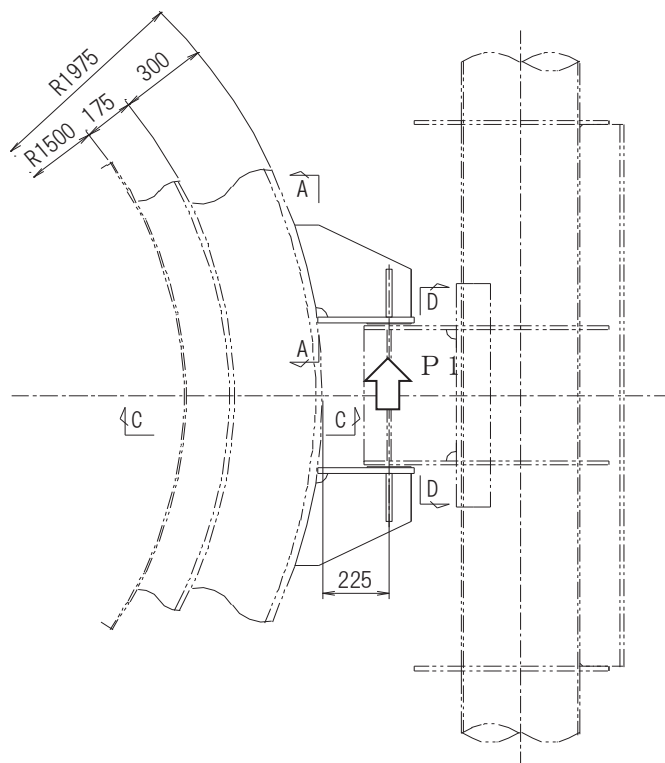


図 2-2(2) 第 2 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重 (単位 : mm)



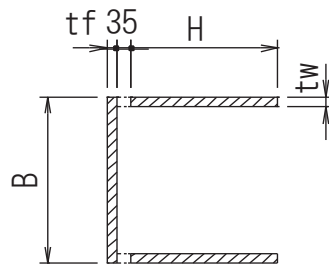
筒身連結材詳細

図 2-2(3) 第 3 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重 (単位: mm)



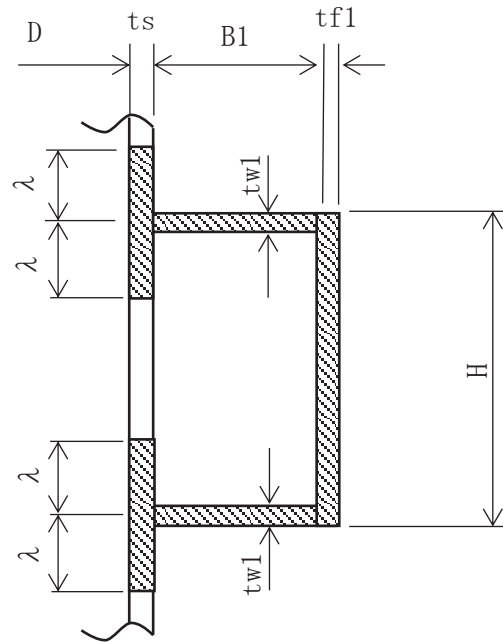
c 部詳細

図 2-2(4) 第 4 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重 (単位: mm)

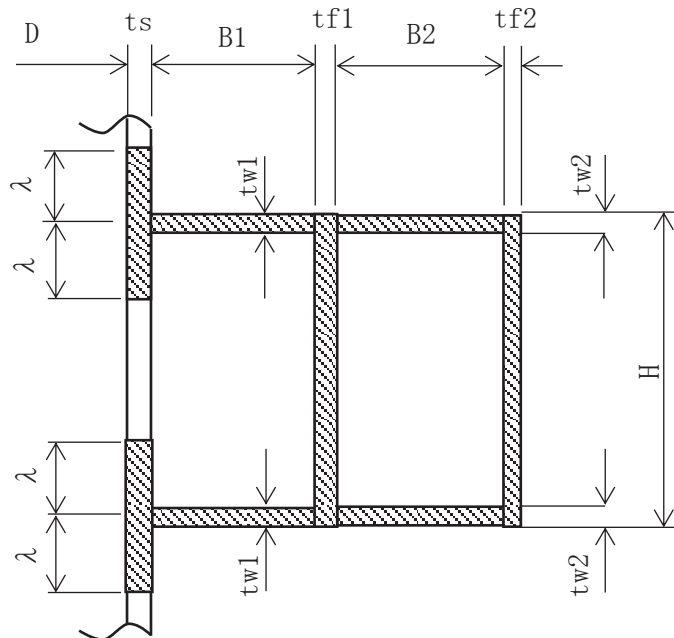


A-A 断面

図 2-3(1) 鉄塔連結材 (筒身側支持金物) の構成断面 (単位: mm)

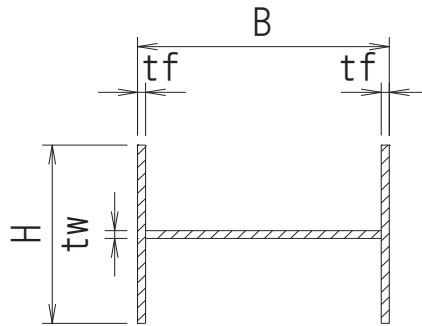


B-B 断面



C-C 断面

図 2-3(2) 補強リングの構成断面



D-D 断面

図 2-3 (3) 鉄塔連結材 (鉄塔側支持金物) の構成断面

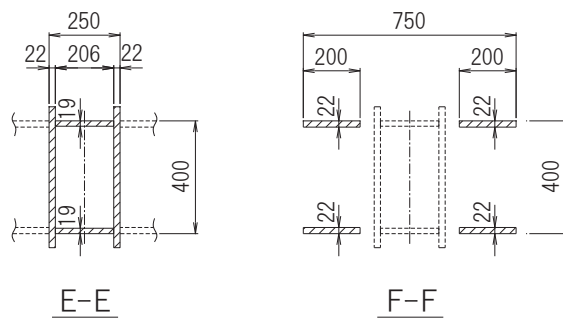


図 2-3 (4) 筒身連結材の構成断面 (単位 : mm)

表 2-1(1) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の記載箇所
主要設備	Sクラス	S s 地震力*1 S d 地震力*2	第 2 号機筒身		VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書
直接支持 構造物	Sクラス	S s 地震力*1 S d 地震力*2	第 3 号機筒身	第 3 号機の工認申請において主要設備に分類される	
			補強リング*3,4	第 2 号機及び第 3 号機筒身の地震時荷重及び風荷重を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書*3,5 補足-610-17 排気筒の耐震性についての計算書に関する補足説明資料 別紙 6*4,5
			支持点アーム*3	補強リングと溶接により接合していることから、補強リングを介して第 2 号機及び第 3 号機筒身の荷重を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書*5
			筒身連結材*3 鉄塔連結材 (筒身側支持金物)*4		補足-610-17 排気筒の耐震性についての計算書に関する補足説明資料 別紙 6*5
			筒身脚部	第 2 号機及び第 3 号機筒身の筒身の常時荷重、地震時荷重及び風荷重を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書

表 2-1(2) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の記載箇所
間接支持構造物	—	S s 地震力*1	鉄塔 (支柱材, 斜材, 水平材)	直接支持構造物からの地震時荷重及び風荷重を鉄塔連結材(鉄塔側支持金物)及び制震オイルダンパを介して伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書
			鉄塔連結材 (鉄塔側支持金物)*4	直接支持構造物からの地震時荷重及び風荷重を伝達される	補足-610-17 排気筒の耐震性についての計算書に関する補足説明資料 別紙 6*5
			制震 オイルダンパ*3	直接支持構造物からの地震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書*5
			鉄塔脚部	間接支持構造物からの常時荷重, 地震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書
			排気筒基礎	直接支持構造物及び間接支持構造物からの常時荷重, 地震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-2-26 排気筒基礎の耐震性についての計算書

注記\*1: S s 地震力は基準地震動 S s による評価

2: S d 地震力は弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による評価

3: 第 3 支持点における支持部材

4: 第 1, 第 2 及び第 4 支持点における支持部材

5: 筒身と鉄塔の相互作用が生じる支持点については, 排気筒全体の動的挙動に大きな影響を及ぼす制震オイルダンパと, 制震オイルダンパと荷重の伝達を行う支持点アーム及び補強リング(第 3 支持点)を代表に添付書類で耐震評価を行う。その他の支持点部材については, 補足説明資料で耐震評価を行う。



### 3. 検討結果

基準地震動  $S_s$  に対する鉄塔連結材（筒身側支持金物，鉄塔側支持金物）及び補強リングの断面評価結果を表 3-1～表 3-3 に，弾性設計用地震動  $S_d$  及び静的地震力に対する鉄塔連結材（筒身側支持金物）及び補強リングの断面評価結果を表 3-4 及び表 3-5 に示す。表 3-1～表 3-5 により，鉄塔連結材（筒身側支持金物，鉄塔側支持金物）及び補強リングの評価値は，各許容値以下であることを確認した。

表 3-1(1)  $S_s$  地震時における第 1 支持点部の鉄塔連結材  
（筒身側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	380
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	250
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	19
	曲げモーメント	M	kN・m	162
	せん断力	Q	kN	380
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	725
	せん断断面積	A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	85.00
	曲げ応力度	$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	223.5
	せん断応力度	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	44.8
	合成応力度	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	236.6
	許容曲げ応力度	f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	曲げ応力度比	$\sigma_b / f_b$	-	0.87
せん断応力度比	$\tau / f_s$	-	0.31	
合成応力度比	$\sigma / f_t$	-	0.92	

注記\*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-1(2) S s 地震時における第 2 支持点部の鉄塔連結材  
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	760
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	340
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	25
	曲げモーメント	M	kN・m	171
	せん断力	Q	kN	760
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	1630
	せん断断面積	A s *	cm <sup>2</sup>	156.4
	曲げ応力度	σ b	N/mm <sup>2</sup>	105.0
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	48.6
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	134.6
	許容曲げ応力度	f b	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.41
せん断応力度比	τ / f s	-	0.33	
合成応力度比	σ / f t	-	0.53	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-1(3) S s 地震時における第 4 支持点部の鉄塔連結材  
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	650
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	295
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	22
	曲げモーメント	M	kN・m	147
	せん断力	Q	kN	650
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	1160
	せん断断面積	A s *	cm <sup>2</sup>	118.0
	曲げ応力度	σ b	N/mm <sup>2</sup>	126.8
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	55.1
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	158.8
	許容曲げ応力度	f b	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.50
せん断応力度比	τ / f s	-	0.37	
合成応力度比	σ / f t	-	0.62	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-2(1) S s 地震時における第 1 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	380
		P2	kN	230
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	$\lambda$	mm	125.2
	筒身板厚	t <sub>s</sub>	mm	10
	フランジ板厚	t <sub>f1</sub>	mm	20
	ウェブ板厚	t <sub>w1</sub>	mm	16
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅	B1	mm	145
軸力		N	kN	200
曲げモーメント		M	kN・m	103
せん断力		Q	kN	126
断面積		A*	cm <sup>2</sup>	159.8
断面係数		Z*	cm <sup>3</sup>	763
せん断断面積		A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	43.80
圧縮応力度		$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	12.6
曲げ応力度		$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	135.0
せん断応力度		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	28.8
合成応力度		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	155.9
許容圧縮応力度		f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
許容曲げ応力度		f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
許容せん断応力度		f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2
許容引張応力度		f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		$\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$	-	0.58
せん断応力度比		$\tau / f_s$	-	0.20
合成応力度比		$\sigma / f_t$	-	0.61

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ $\lambda$ ）は、「鋼構造設計規  
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-2(2) S s 地震時における第 2 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	760
		P2	kN	440
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	$\lambda$	mm	125.2
	筒身板厚	t <sub>s</sub>	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t <sub>f1</sub>	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t <sub>f2</sub>	mm	19
	ウェブ板厚(内側)	t <sub>w1</sub>	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t <sub>w2</sub>	mm	19
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B1	mm	145
	リング幅(外側)	B2	mm	281
軸力		N	kN	384
曲げモーメント		M	kN・m	184
せん断力		Q	kN	219
断面積		A*	cm <sup>2</sup>	333.3
断面係数		Z*	cm <sup>3</sup>	3560
せん断断面積		A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	145.3
圧縮応力度		$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	11.6
曲げ応力度		$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	51.7
せん断応力度		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	15.1
合成応力度		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	68.5
許容圧縮応力度		f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
許容曲げ応力度		f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
許容せん断応力度		f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2
許容引張応力度		f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		$\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$	-	0.25
せん断応力度比		$\tau / f_s$	-	0.11
合成応力度比		$\sigma / f_t$	-	0.27

注記＊：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお，筒身母材の有効幅（ $\lambda$ ）は，「鋼構造設計規  
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-2(3) S s 地震時における第 4 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	650
		P2	kN	420
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	$\lambda$	mm	125.2
	筒身板厚	t <sub>s</sub>	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t <sub>f1</sub>	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t <sub>f2</sub>	mm	16
	ウェブ板厚(内側)	t <sub>w1</sub>	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t <sub>w2</sub>	mm	16
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B1	mm	145
	リング幅(外側)	B2	mm	284
軸力		N	kN	331
曲げモーメント		M	kN・m	163
せん断力		Q	kN	199
断面積		A*	cm <sup>2</sup>	305.3
断面係数		Z*	cm <sup>3</sup>	3310
せん断断面積		A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	129.3
圧縮応力度		$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	10.9
曲げ応力度		$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	49.3
せん断応力度		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	15.4
合成応力度		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	65.9
許容圧縮応力度		f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
許容曲げ応力度		f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
許容せん断応力度		f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2
許容引張応力度		f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		$\sigma_c / f_c$ $+ \sigma_b / f_b$	-	0.25
せん断応力度比		$\tau / f_s$	-	0.11
合成応力度比		$\sigma / f_t$	-	0.26



注記＊：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお，筒身母材の有効幅（ $\lambda$ ）は，「鋼構造設計規  
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-3(1) S s 地震時における第 1 支持点部の鉄塔連結材  
(鉄塔側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	380
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
鉄塔取付部 (D-D 断面)	フランジ幅	B	mm	498
	ウェブ高さ	H	mm	300
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	16
	曲げモーメント	M	kN・m	209
	せん断力	Q	kN	380
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	2460
	せん断断面積	A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	65.8
	曲げ応力度	σ <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	85.0
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	57.8
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	131.4
	許容曲げ応力度	f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	曲げ応力度比	σ <sub>b</sub> / f <sub>b</sub>	-	0.33
せん断応力度比	τ / f <sub>s</sub>	-	0.39	
合成応力度比	σ / f <sub>t</sub>	-	0.51	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-3(2) S s 地震時における第 2 支持点部の鉄塔連結材  
(鉄塔側支持金物) の断面評価結果

項目	記号	単位	数値	
設計反力	P 1	kN	760	
材質	-	-	SS400	
基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235	
ヤング係数	E	N/mm <sup>2</sup>	205000	
鉄塔取付部 (D-D 断面)	フランジ幅	B	mm	498
	ウェブ高さ	H	mm	300
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	25
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	25
	曲げモーメント	M	kN・m	342
	せん断力	Q	kN	760
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	3830
	せん断断面積	A s *	cm <sup>2</sup>	103.9
	曲げ応力度	σ b	N/mm <sup>2</sup>	89.3
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	73.2
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	155.1
	許容曲げ応力度	f b	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.35
せん断応力度比	τ / f s	-	0.50	
合成応力度比	σ / f t	-	0.60	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-3(3) S s 地震時における第 4 支持点部の鉄塔連結材  
(鉄塔側支持金物) の断面評価結果

項目	記号	単位	数値	
設計反力	P 1	kN	650	
材質	-	-	SS400	
基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235	
ヤング係数	E	N/mm <sup>2</sup>	205000	
鉄塔取付部 (D-D 断面)	フランジ幅	B	mm	498
	ウェブ高さ	H	mm	300
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	19
	曲げモーメント	M	kN・m	293
	せん断力	Q	kN	650
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	2560
	せん断断面積	A s *	cm <sup>2</sup>	79.9
	曲げ応力度	σ b	N/mm <sup>2</sup>	114.5
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	81.4
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	181.7
	許容曲げ応力度	f b	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.45
せん断応力度比	τ / f s	-	0.55	
合成応力度比	σ / f t	-	0.71	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-3(4) S s 地震時における第 3 支持点部の筒身連結材の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (E-E 断面)	曲げモーメント	M <sub>E</sub>	kN・m	68
	せん断力	Q <sub>E</sub>	kN	100
	断面係数	Z <sub>E</sub> <sup>*</sup>	cm <sup>3</sup>	1950
	せん断断面積	A <sub>SE</sub> <sup>*</sup>	cm <sup>2</sup>	74.16
	曲げ応力度	σ <sub>bE</sub>	N/mm <sup>2</sup>	34.9
	せん断応力度	τ <sub>E</sub>	N/mm <sup>2</sup>	13.5
	合成応力度	σ <sub>E</sub>	N/mm <sup>2</sup>	42.1
	許容曲げ応力度	f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
	許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	曲げ応力度比	σ <sub>bE</sub> / f <sub>b</sub>	-	0.15
	せん断応力度比	τ <sub>E</sub> / f <sub>s</sub>	-	0.10
合成応力度比	σ <sub>E</sub> / f <sub>t</sub>	-	0.18	

注記\*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bE} = M_E / Z_E$$

$$\tau_E = Q_E / A_{SE}$$

$$\sigma_E = (\sigma_{bE}^2 + 3\tau_E^2)^{1/2}$$

表 3-3(5) S s 地震時における第 3 支持点部の筒身連結材の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (F-F 断面)	曲げモーメント	M <sub>F</sub>	kN・m	68
	せん断力	Q <sub>F</sub>	kN	100
	断面係数	Z <sub>F</sub> <sup>*</sup>	cm <sup>3</sup>	3360
	せん断断面積	A <sub>SF</sub> <sup>*</sup>	cm <sup>2</sup>	160.0
	曲げ応力度	σ <sub>bF</sub>	N/mm <sup>2</sup>	20.3
	せん断応力度	τ <sub>F</sub>	N/mm <sup>2</sup>	6.3
	合成応力度	σ <sub>F</sub>	N/mm <sup>2</sup>	23.1
	許容曲げ応力度	f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
	許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	曲げ応力度比	σ <sub>bF</sub> / f <sub>b</sub>	-	0.09
	せん断応力度比	τ <sub>F</sub> / f <sub>s</sub>	-	0.05
合成応力度比	σ <sub>F</sub> / f <sub>t</sub>	-	0.10	

注記\*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bF} = M_F / Z_F$$

$$\tau_F = Q_F / A_{SF}$$

$$\sigma_F = (\sigma_{bF}^2 + 3\tau_F^2)^{1/2}$$

表 3-4(1) S d 地震時における第 1 支持点部の鉄塔連結材  
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	210
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	250
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	19
	曲げモーメント	M	kN・m	90
	せん断力	Q	kN	210
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	725
	せん断断面積	A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	85.00
	曲げ応力度	σ <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	124.2
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	24.8
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	131.5
	許容曲げ応力度	f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
	許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	曲げ応力度比	σ <sub>b</sub> / f <sub>b</sub>	-	0.53
せん断応力度比	τ / f <sub>s</sub>	-	0.19	
合成応力度比	σ / f <sub>t</sub>	-	0.56	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-4(2) S d 地震時における第 2 支持点部の鉄塔連結材  
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	440
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	340
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	25
	曲げモーメント	M	kN・m	99
	せん断力	Q	kN	440
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	1630
	せん断断面積	A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	156.4
	曲げ応力度	σ <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	60.8
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	28.2
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	78.0
	許容曲げ応力度	f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
	許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	曲げ応力度比	σ <sub>b</sub> / f <sub>b</sub>	-	0.26
せん断応力度比	τ / f <sub>s</sub>	-	0.21	
合成応力度比	σ / f <sub>t</sub>	-	0.34	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$



表 3-4(3) S d 地震時における第 4 支持点部の鉄塔連結材  
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	360
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	295
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	22
	曲げモーメント	M	kN・m	81
	せん断力	Q	kN	360
	断面係数	Z *	cm <sup>3</sup>	1160
	せん断断面積	A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	118.0
	曲げ応力度	σ <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	69.9
	せん断応力度	τ	N/mm <sup>2</sup>	30.6
	合成応力度	σ	N/mm <sup>2</sup>	87.8
	許容曲げ応力度	f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
	許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
	曲げ応力度比	σ <sub>b</sub> / f <sub>b</sub>	-	0.30
せん断応力度比	τ / f <sub>s</sub>	-	0.23	
合成応力度比	σ / f <sub>t</sub>	-	0.38	

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-5(1) S d 地震時における第 1 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	210
		P2	kN	140
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	3000	3000
	筒身母材の有効幅	$\lambda$	125.2	125.2
	筒身板厚	t <sub>s</sub>	10	10
	フランジ板厚	t <sub>f1</sub>	20	20
	ウェブ板厚	t <sub>w1</sub>	16	16
	リング高さ	H	400	400
	リング幅	B1	145	145
軸力		N	kN	111
曲げモーメント		M	kN・m	58
せん断力		Q	kN	72
断面積		A*	cm <sup>2</sup>	159.8
断面係数		Z*	cm <sup>3</sup>	763
せん断断面積		A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	43.80
圧縮応力度		$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	7.0
曲げ応力度		$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	76.1
せん断応力度		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	16.5
合成応力度		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	87.9
許容圧縮応力度		f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
許容曲げ応力度		f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
許容せん断応力度		f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
許容引張応力度		f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		$\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$	-	0.36
せん断応力度比		$\tau / f_s$	-	0.13
合成応力度比		$\sigma / f_t$	-	0.38

注記\* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ $\lambda$ ）は、「鋼構造設計規  
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-5(2) S d 地震時における第 2 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	440
		P2	kN	220
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	3000	3000
	筒身母材の有効幅	$\lambda$	125.2	125.2
	筒身板厚	t <sub>s</sub>	10	10
	フランジ板厚(内側)	t <sub>f1</sub>	20	20
	フランジ板厚(外側)	t <sub>f2</sub>	19	19
	ウェブ板厚(内側)	t <sub>w1</sub>	16	16
	ウェブ板厚(外側)	t <sub>w2</sub>	19	19
	リング高さ	H	400	400
	リング幅(内側)	B1	145	145
リング幅(外側)	B2	281	281	
軸力		N	kN	222
曲げモーメント		M	kN・m	106
せん断力		Q	kN	121
断面積		A*	cm <sup>2</sup>	333.3
断面係数		Z*	cm <sup>3</sup>	3560
せん断断面積		A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	145.3
圧縮応力度		$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	6.7
曲げ応力度		$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	29.8
せん断応力度		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	8.4
合成応力度		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	39.3
許容圧縮応力度		f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
許容曲げ応力度		f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
許容せん断応力度		f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
許容引張応力度		f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		$\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$	-	0.16
せん断応力度比		$\tau / f_s$	-	0.07
合成応力度比		$\sigma / f_t$	-	0.17

注記\*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ $\lambda$ ）は、「鋼構造設計規  
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-5(3) S d 地震時における第 4 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	360
		P2	kN	220
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm <sup>2</sup>	235
ヤング係数		E	N/mm <sup>2</sup>	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	3000	3000
	筒身母材の有効幅	$\lambda$	125.2	125.2
	筒身板厚	t <sub>s</sub>	10	10
	フランジ板厚(内側)	t <sub>f1</sub>	20	20
	フランジ板厚(外側)	t <sub>f2</sub>	16	16
	ウェブ板厚(内側)	t <sub>w1</sub>	16	16
	ウェブ板厚(外側)	t <sub>w2</sub>	16	16
	リング高さ	H	400	400
	リング幅(内側)	B1	145	145
	リング幅(外側)	B2	284	284
軸力		N	kN	183
曲げモーメント		M	kN・m	90
せん断力		Q	kN	108
断面積		A*	cm <sup>2</sup>	305.3
断面係数		Z*	cm <sup>3</sup>	3310
せん断断面積		A <sub>s</sub> *	cm <sup>2</sup>	129.3
圧縮応力度		$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	6.0
曲げ応力度		$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	27.2
せん断応力度		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	8.4
合成応力度		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	36.3
許容圧縮応力度		f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
許容曲げ応力度		f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
許容せん断応力度		f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	135.6
許容引張応力度		f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		$\sigma_c / f_c$ $+ \sigma_b / f_b$	-	0.15
せん断応力度比		$\tau / f_s$	-	0.07
合成応力度比		$\sigma / f_t$	-	0.16

注記\*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ $\lambda$ ）は、「鋼構造設計規  
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

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-補-E-19-0610-18_改3

補足-610-18 第1号機排気筒の耐震性についての計算書に関する  
補足説明資料



1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙1 既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙2 第1号機排気筒の地震応答解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方

別紙3 第1号機排気筒の地震応答解析における地盤物性及び材料物性の不確かさに関する検討

別紙4 第1号機排気筒の接合部の耐震性について

別紙5 第1号機排気筒の斜面による地震動の増幅について

別紙6 第1号機排気筒斜面の安定性評価における第1号機排気筒のモデル化について

別紙7 第1号機排気筒斜面の安定性評価におけるすべり面の設定について

別紙8 第1号機排気筒斜面の安定性評価における地質断面図の作成について

## 別紙 1 既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

## 目次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1
2. 解析モデル及び手法の比較・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1

## 1. 概要

本資料は、第1号機排気筒の既工認時及び今回工認時の解析モデル及び手法の比較を示すものである。

## 2. 解析モデル及び手法の比較

第1号機排気筒の地震応答解析モデル及び手法の比較を表2-1に、応力解析モデル及び手法の比較を表2-2に示す。

比較に用いる既工認時の地震応答解析モデル及び手法は、女川原子力発電所第一号機「工事計画認可申請書」(56資庁第11510号 昭和56年12月24日認可)(以下「建設時工認(認可)」という。)のものである。

建設時工認(認可)と今回工認での大きな変更点は、建設時工認(認可)は基準地震動(エルセントロ1940(NS), タフト1952(EW), 女川1970(NS)の最大加速度を250galに基準化した設計用地震動)を基礎底面に直接入力しているのに対し、今回工認では、基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により算定し、入力地震動を基礎底面に入力している。

また、建設時工認(認可)は、鉄塔部と筒身を一体化した1軸多質点系の曲げ、せん断型モデルを用いた地震応答解析により算出した荷重を、三次元の応力解析モデルに入力しているのに対し、今回工認では、三次元立体フレームモデルを用いた地震応答解析により部材応力まで算出している。

図2-1に建設時工認(認可)の地震応答解析モデルを、図2-2に今回工認の入力地震動算定法を、図2-3に今回工認の地震応答解析モデルを示す。

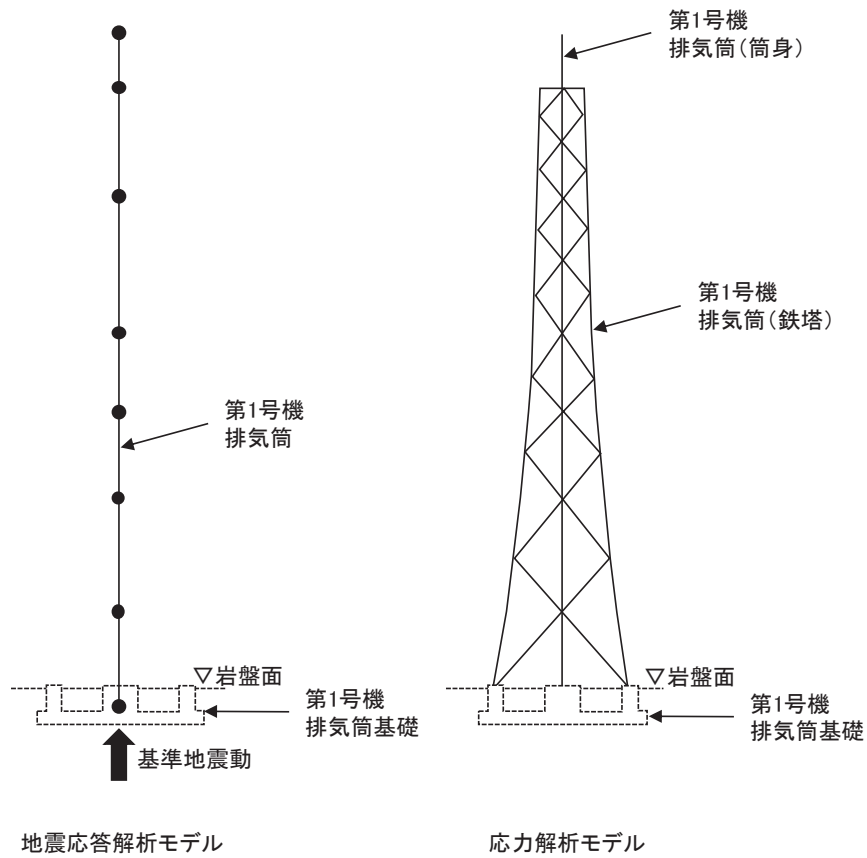


図 2-1 建設時工認（認可）の解析モデル

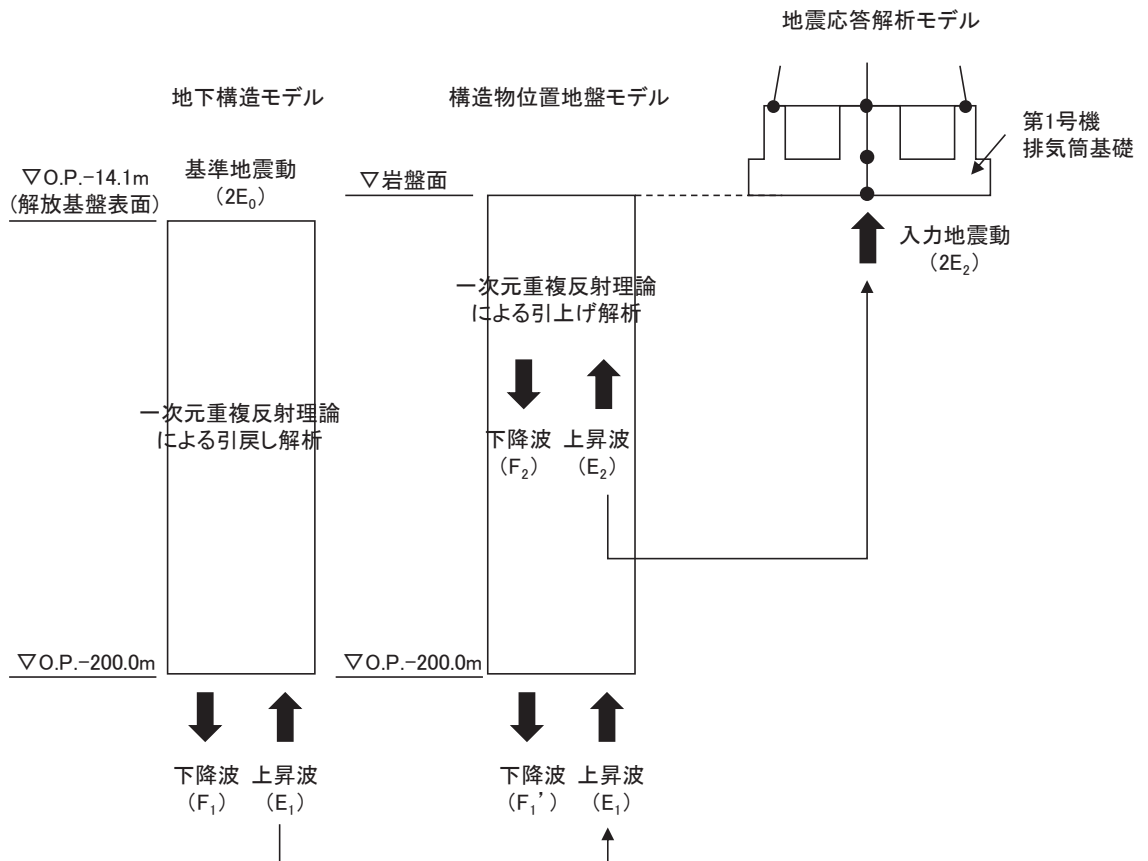


図 2-2 今回工認の入力地震動算定法

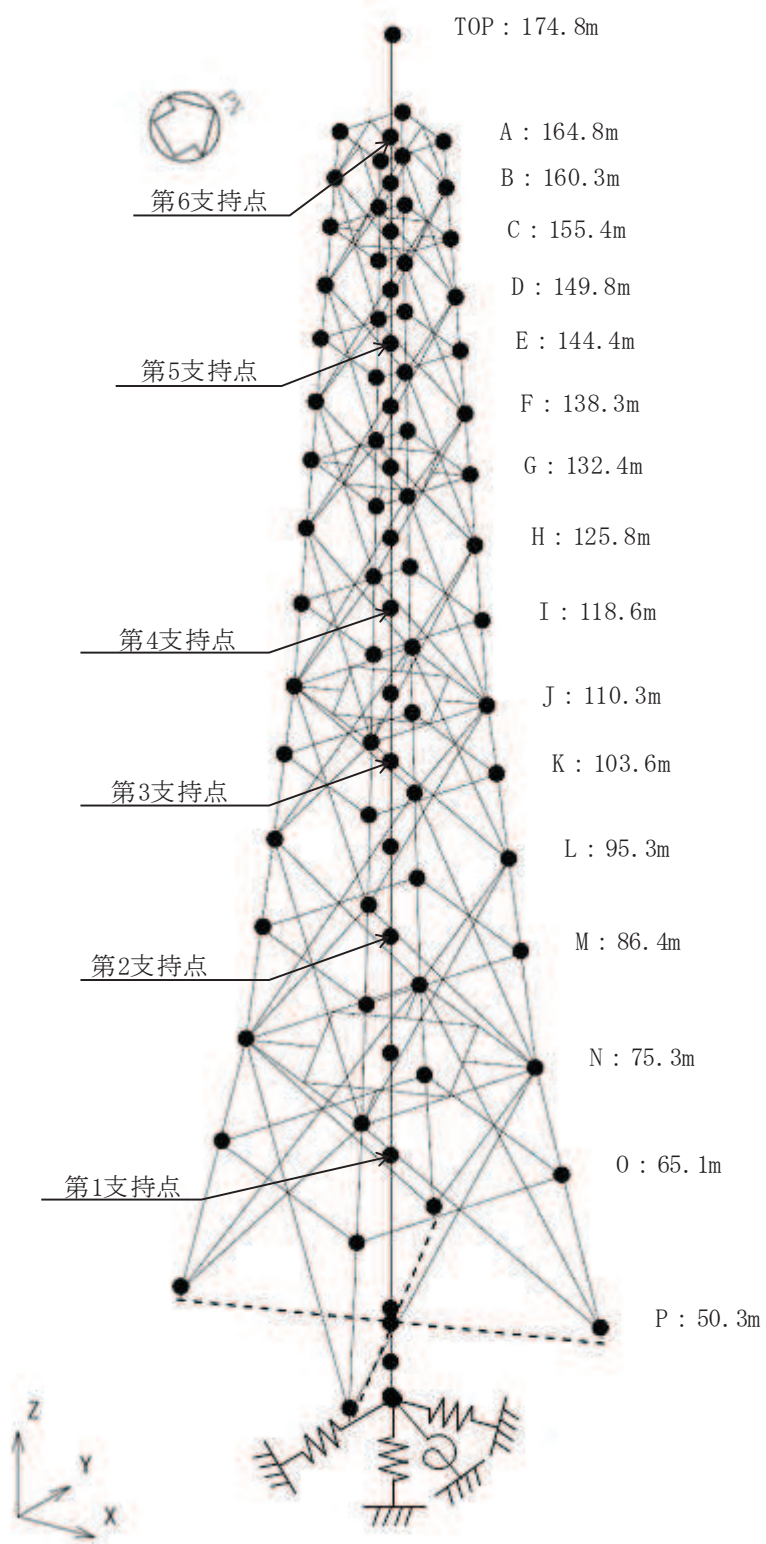


図 2-3 今回工認の地震応答解析モデル

表2-1 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）*1	今回工認	備考
入力地震動の算定法	水平	基準地震動を基礎底面に直接入力	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により算定	(1)
	鉛直	—	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により算定	(1)
解析コード		NUPP	DYNA2E	—
排気筒のモデル化	モデル	鉄塔部と筒身を一体化した1軸多質点系の曲げ、せん断型モデル（排気筒部と基礎部を一体化したSRモデル）	三次元立体フレームモデル（排気筒と基礎を一体化したSRモデル）	(2)
	材料物性	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材のヤング係数，ポアソン比  <math>E = 2100 \text{ t/cm}^2</math>  <math>\nu = 0.3</math></li> <li>コンクリートのヤング係数，ポアソン比  <math>E = 2.15 \times 10^6 \text{ tf/m}^2</math>  <math>\nu = 0.2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材のヤング係数，ポアソン比  <math>E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2</math>  <math>\nu = 0.3</math></li> <li>コンクリートのヤング係数，ポアソン比  <math>E = 2.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2</math>  <math>\nu = 0.2</math></li> </ul>	(3)
	要素分割	・曲げ・せん断型のばね要素	・はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身及び基礎	—
	減衰定数	鋼材（筒身，鉄塔）1%，コンクリート5%	筒身1%，鉄塔2%，コンクリート5%	(4)
	減衰	ひずみエネルギー比例型減衰	同左	—
	筒身支持点	0.P. 164.8m, 0.P. 144.4m, 0.P. 118.6m, 0.P. 103.6m, 0.P. 86.4m, 0.P. 65.1m	同左	—
地盤のモデル化	底面ばね	水平ばね，回転ばねを考慮（水平ばね：バルカン式 回転ばね：チモシェンコ式）	水平ばね，回転ばね，鉛直ばねを考慮	(5)
	側面ばね	考慮せず	同左	
非線形特性	底面ばね	—	—	—
誘発上下動		—	—	—

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- (1) 建設時工認（認可）は基準地震動を基礎底面に直接入力しているのに対し，今回工認では，基準地震動を用いて，一次元重複反射理論により算定し，入力地震動を基礎底面に入力している。
- (2) 建設時工認（認可）は，鉄塔部と筒身を一体化した1軸多質点系モデルを用いた地震応答解析により応力解析モデルに入力する荷重を算出しているのに対し，今回工認では，三次元立体フレームモデルを用いた地震応答解析により部材応力まで算出している。
- (3) 建設時工認（認可）は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1979）」に基づく。今回工認は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1999）」に基づく。
- (4) 今回工認では，「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」に基づき，溶接構造（筒身）は減衰1%，ボルト及びリベット構造物（鉄塔部）は減衰2%とした。
- (5) 「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）」に基づく。



表2-2 応力解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）	今回工認	備考
排気筒 （上部構 造物）	解析手法	鉄塔部トラス構造と筒身曲げ・せん断型とした立体モデル応力解析	三次元フレームモデルを用いた応力解析（但し、地震荷重は地震応答解析から直接算出）	(1)
	解析コード	SAP-V	DYNA2E	—
	要素種別	はり要素	同左	—
	地震荷重との組み合わせ	荷重状態①：G + K 荷重状態②：G + W G：固定荷重 K：地震荷重 W：風荷重	荷重状態：G + S <sub>s</sub> + P <sub>k</sub> G：固定荷重 S <sub>s</sub> ：地震荷重 P <sub>k</sub> ：風荷重	(2)
	評価方法	発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認	発生応力が弾性限強度を超えないことを確認	—

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- (1) 建設時工認（認可）は、地震応答解析により算出した荷重を、応力解析モデルに入力しているのに対し、今回工認では、三次元立体フレームモデルを用いた地震応答解析により部材応力まで算出している。
- (2) 今回工認においては、地震荷重と風荷重の組み合わせを考慮した。地震と重畳させる風荷重の算出の際には、ガスト影響係数を1.0に設定。

別紙 2 第 1 号機排気筒の地震応答解析におけるモデル化，境界条件  
及び拘束条件の考え方

## 目次

1. 概要…………… 別紙 2-1
2. モデル化, 境界条件及び拘束条件…………… 別紙 2-1

## 1. 概要

本資料は、第1号機排気筒におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

## 2. モデル化、境界条件及び拘束条件

第1号機排気筒のモデル化、境界条件及び拘束条件を表2-1に示す。

鉄塔の接合形式は以下の通りとなっている。

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件 (1/4)

モデル概要 (1/2)

○モデル化範囲, 対象部材

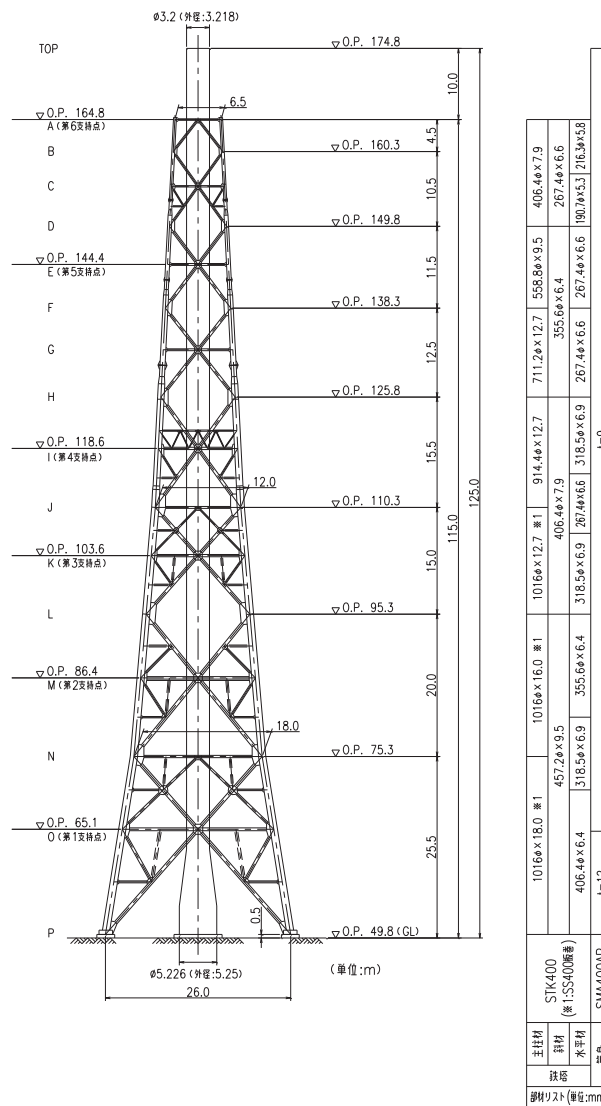
- ・ 第 1 号機排気筒基礎上端レベル (O. P. 50. 3m) より上部の範囲
- ・ 筒身部, 鉄塔部 (支柱材, 斜材, 水平材), 基礎部

○使用要素

- ・ はり要素 : 筒身部, 鉄塔部 (支柱材, 水平材, 斜材), 基礎部\*<sup>1</sup>
- ・ ばね要素 : 支持点 (筒身, 鉄塔の支持金物), 基礎底面\*<sup>2</sup>

注記\*1: 基礎部は, 筒身受台, 鉄塔受台, 地中梁及びスラブの剛性を, 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梁要素と等価な質量を有する質点でモデル化している。

注記\*2: 地盤と構造物の相互作用を基礎底面の地盤ばねで評価している。



モデル化範囲

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件 (2/4)

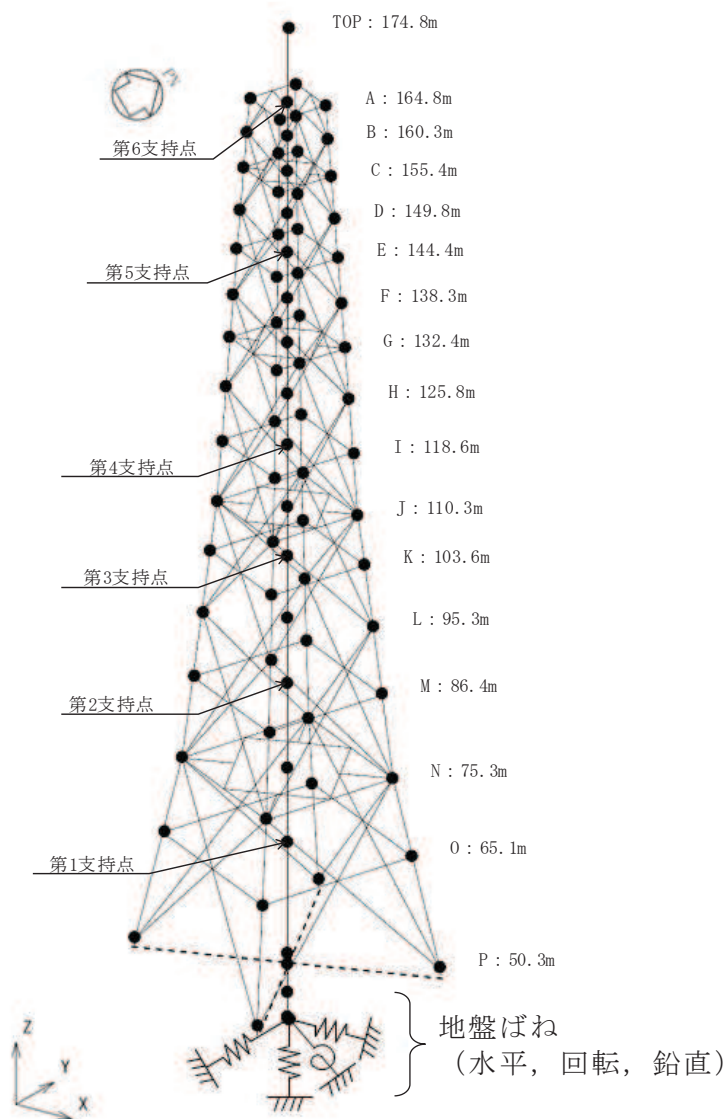
モデル概要 (2/2)

○要素分割

- ・ 鉄塔部はトラス構造であり, 部材交点ごとに要素を分割する。

○解析モデルの使い分け

- ・ 地震荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた地震応答解析により, 各部材の応力が出力される。この応力を用いて, 各部材について断面算定を実施する。
- ・ 風荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた静的応力解析により, 各部材の応力が出力される。この応力を初期応力 (固定荷重を含む) として, 地震応答解析を実施する。



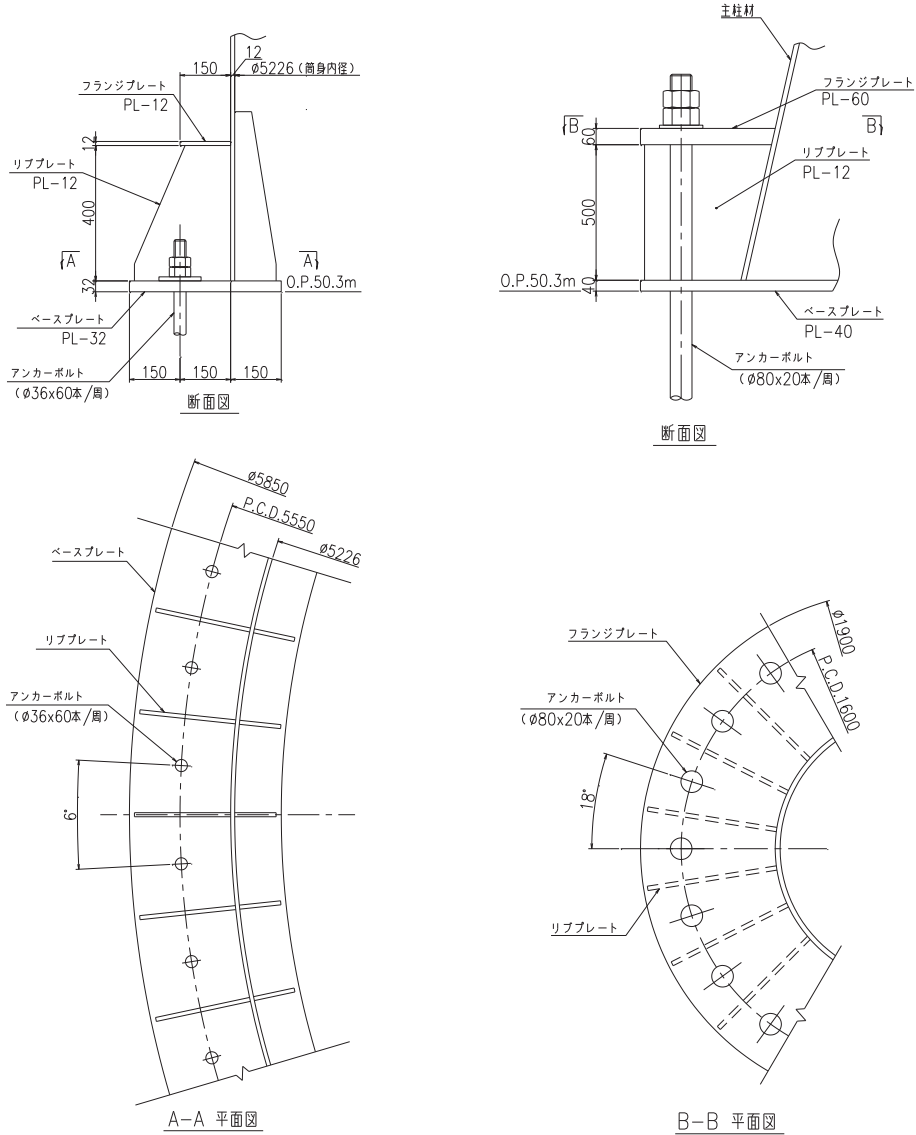
解析モデル

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件 (3/4)

境界条件, 拘束条件 (1/2)

○第 1 号機排気筒と基礎上端の境界 (O.P. 50.3m)

- 筒身脚部及び鉄塔脚部は基礎 (鉄塔柱及び筒身柱) とアンカーボルトで一体化しているため, 完全固定とする。



第 1 号機排気筒と基礎上端の境界

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化，境界条件及び拘束条件（4/4）

境界条件，拘束条件（2/2）	
○部材の部材の接合条件	
・ 主柱材－主柱材	: 剛接合
・ 主柱材－斜材	: ピン接合
・ 主柱材－水平材	: ピン接合
・ 筒身－鉄塔の支持点	: 水平方向固定，鉛直方向フリー
荷重の入力方法	
・ 鉛直荷重	: 鉛直荷重は第 1 号機排気筒の自重および歩廊等の付属設備の荷重を入力する。
・ 地震荷重	: 一次元重複反射理論により得られる第 1 号機排気筒基礎底面レベル（0. P. 42. 8m）における加速度時刻歴波形を入力地震動とし，第 1 号機排気筒の基礎底面レベルに入力する。
・ 風荷重	: 解析モデルにおける鉄塔部及び筒身部の質点位置に対し，風荷重を分配し載荷する。



別紙 3 第 1 号機排気筒の地震応答解析における地盤物性  
及び材料物性の不確かさに関する検討

## 目次

1. 概要	別紙 3-1
1.1 検討概要	別紙 3-1
1.2 検討方針	別紙 3-1
2. 第1号機排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性及び材料物性の不確かさの影響検討	別紙 3-2
2.1 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース	別紙 3-2
2.2 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討に用いる地震動の選定	別紙 3-3
2.3 第1号機排気筒の地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	別紙 3-6

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料では、第1号機排気筒の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析を行い、各不確かさが第1号機排気筒の耐震性に及ぼす影響について確認する。

### 1.2 検討方針

第1号機排気筒の不確かさを考慮した検討は、基本ケースにおける評価結果を確認し、評価結果への影響が大きい基準地震動 $S_s$ に対して実施する。

なお、各解析の方法及び諸元については、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同一である。

2. 第1号機排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性及び材料物性の不確かさの影響検討

2.1 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース

第1号機排気筒の不確かさ検討ケースを表2-1に示す。第1号機排気筒の耐震評価に対する不確かさ検討では、地盤物性及び材料物性を考慮する。

地盤物性のばらつきについて、第1号機排気筒は、岩盤上に直接基礎が構築され、基礎の質量が大きく、作用する慣性力が主たる荷重となる他、盛土等の土圧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（ケース②，ケース③）。

材料物性のばらつきについて、コンクリートの実強度及び初期剛性低下を考慮したばらつきを考慮する（ケース④，ケース⑤）。

表2-1 第1号機排気筒の不確かさ検討ケース

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
		盛土, 旧表土, $C_L$ 級岩盤, $C_M$ 級岩盤, $C_H$ 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 + $1\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - $1\sigma$
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値
ケース⑤	設計基準強度 $\times 0.75$	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。

## 2.2 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討に用いる地震動の選定

第1号機排気筒の耐震評価において不確かさを考慮したケースの応答値の算出に当たっては、基本ケースにおける評価結果を確認し、評価結果への影響が大きい基準地震動 $S_s$ に対して実施する。基本ケースにおける第1号機排気筒の評価結果（I方向及びII方向の包絡値）を表2-2～表2-3に示す。なお、図2-1に加振方向の説明図を示す。

第1号機排気筒の耐震評価において不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定方法を以下に示す。

- ① 基準地震動 $S_s$ 7波の基本ケースについて、第1号機排気筒の地震応答解析を行い、断面算定を行う（添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」による）。
- ② ①から得られた断面算定結果を比較し、筒身及び支柱材の照査値が最大となる基準地震動 $S_s$ を不確かさ検討に用いる入力地震動とする。

第1号機排気筒の筒身及び支柱材の評価結果から、筒身着目として $S_s-D2$ 地震動、支柱材着目として $S_s-D1$ 地震動を用いて、不確かさを考慮した検討を行う。

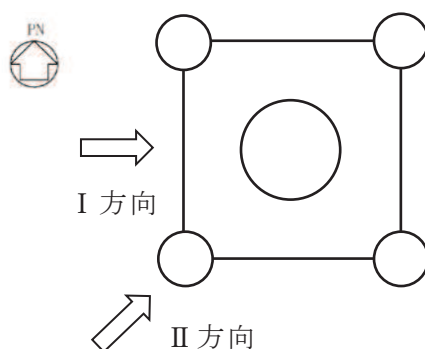


図2-1 加振方向の説明

表2-2 筒身の評価結果

高さ O.P. (m)	位置	使用部材 (mm)	検定値						
			S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
164.8	A	φ 3200×9	0.40	0.50	0.45	0.41	0.44	0.46	0.17
160.3	B	φ 3200×9	0.41	0.51	0.47	0.42	0.45	0.47	0.18
155.4	C	φ 3200×9	0.39	0.50	0.49	0.37	0.45	0.49	0.15
149.8	D	φ 3200×9	0.38	0.49	0.47	0.35	0.43	0.47	0.15
144.4	E	φ 3200×9	0.33	0.38	0.35	0.31	0.33	0.37	0.17
138.3	F	φ 3200×9	0.39	0.41	0.34	0.36	0.26	0.37	0.18
132.4	G	φ 3200×9	0.44	0.48	0.39	0.40	0.30	0.44	0.19
125.8	H	φ 3200×9	0.46	0.50	0.40	0.41	0.31	0.45	0.21
118.6	I	φ 3200×9	0.43	0.45	0.36	0.38	0.28	0.44	0.22
110.3	J	φ 3200×9	0.44	0.35	0.33	0.32	0.27	0.31	0.24
103.6	K	φ 3200×9	0.45	0.37	0.33	0.33	0.28	0.33	0.24
95.3	L	φ 3200×9	0.42	0.43	0.33	0.36	0.33	0.39	0.24
86.4	M	φ 3200×9	0.42	0.44	0.34	0.38	0.35	0.41	0.26
75.3	N	φ 3200×9	0.44	0.54	0.39	0.39	0.37	0.45	0.29
65.1	O	φ 3200×9	0.45	<u>0.56</u>	0.41	0.43	0.39	0.46	0.30
50.3	P	φ 5226×12	0.35	0.39	0.33	0.34	0.34	0.36	0.23

表2-3 主柱材の評価結果

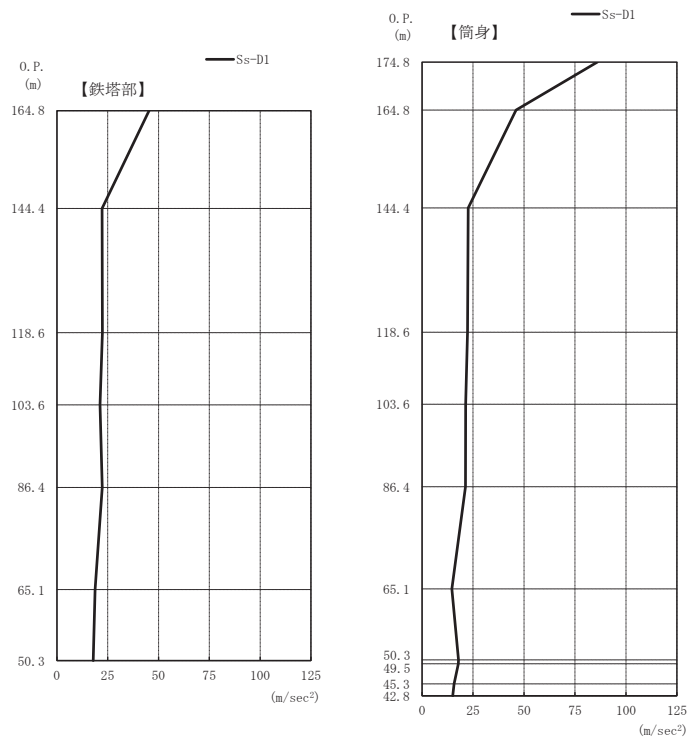
高さ O.P. (m)	区間	使用部材 (mm)	検定値						
			S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
164.8-160.3	A-B	φ 406.4×7.9	0.12	0.13	0.11	0.09	0.11	0.11	0.08
160.3-155.4	B-C	φ 406.4×7.9	0.68	0.67	0.53	0.63	0.47	0.59	0.29
155.4-149.8	C-D	φ 406.4×7.9	0.80	0.81	0.64	0.72	0.55	0.68	0.43
149.8-144.4	D-E	φ 558.8×9.5	0.83	0.83	0.64	0.77	0.57	0.72	0.38
144.4-138.3	E-F	φ 558.8×9.5	0.84	0.84	0.65	0.78	0.59	0.72	0.41
138.3-132.4	F-G	φ 711.2×12.7	0.68	0.67	0.52	0.65	0.48	0.51	0.42
132.4-125.8	G-H	φ 711.2×12.7	0.75	0.74	0.59	0.68	0.54	0.58	0.52
125.8-118.6	H-I	φ 914.4×12.7	0.73	0.63	0.54	0.60	0.52	0.52	0.48
118.6-110.3	I-J	φ 914.4×12.7	0.75	0.65	0.55	0.62	0.53	0.54	0.50
110.3-103.6	J-K	φ 1016.0×12.7	0.84	0.76	0.63	0.74	0.71	0.53	0.55
103.6-95.3	K-L	φ 1016.0×12.7	<u>0.85</u>	0.79	0.67	0.80	0.75	0.54	0.60
95.3-86.4	L-M	φ 1016.0×16.0	0.75	0.69	0.60	0.75	0.69	0.46	0.52
86.4-75.3	M-N	φ 1016.0×16.0	0.73	0.70	0.59	0.76	0.70	0.47	0.50
75.3-65.1	N-O	φ 1016.0×18.0	0.67	0.59	0.55	0.66	0.56	0.44	0.44
65.1-50.3	O-P	φ 1016.0×18.0	0.70	0.64	0.58	0.70	0.62	0.49	0.48

### 2.3 第1号機排気筒の地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

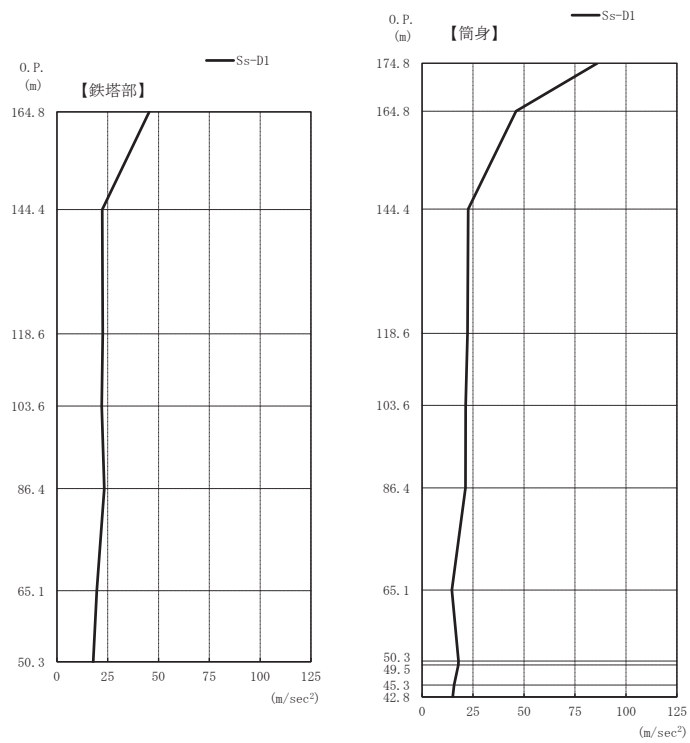
基本ケースの地震応答解析結果は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」に示していることから、ここでは地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果を図2-2～図2-13に示す。また、筒身及び支柱材のうち検定値が最大となる支柱材（L位置）を代表に、 $S_s-D1$ の最大応答値（I方向及びII方向の包絡値）を表2-4に示す。

表2-4に示す地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果より、各検討ケースの最大応答加速度、最大応答軸力、最大応答曲げモーメントはおおむね同等であることを確認した。



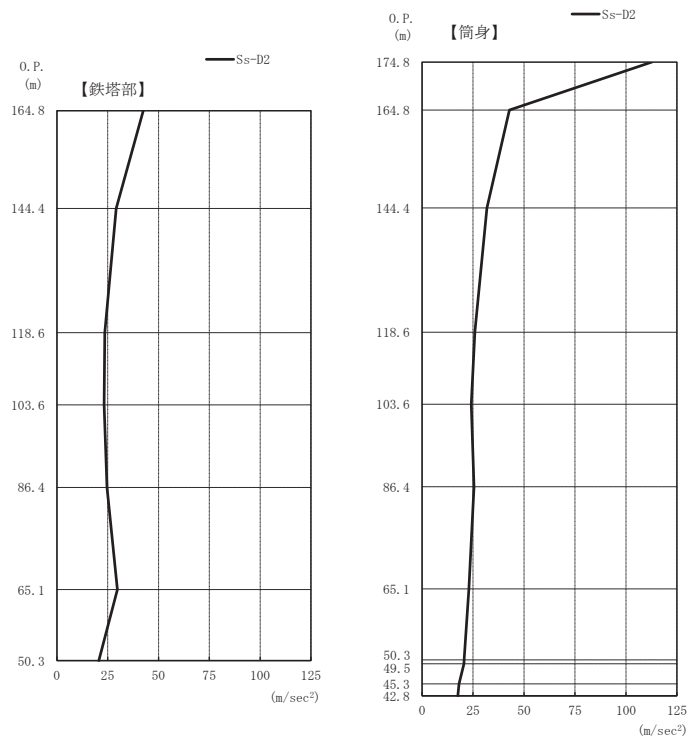


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

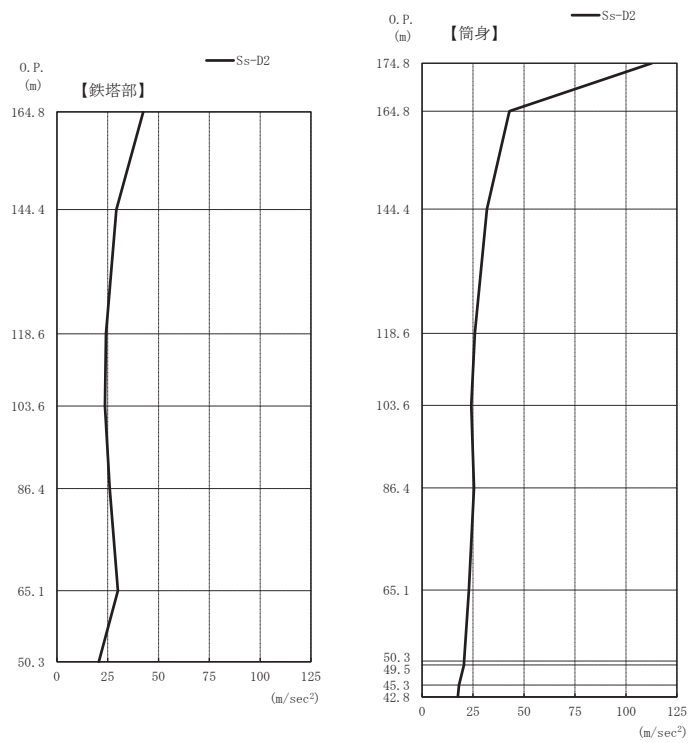


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-2(1) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース② ) ( 1/2 )

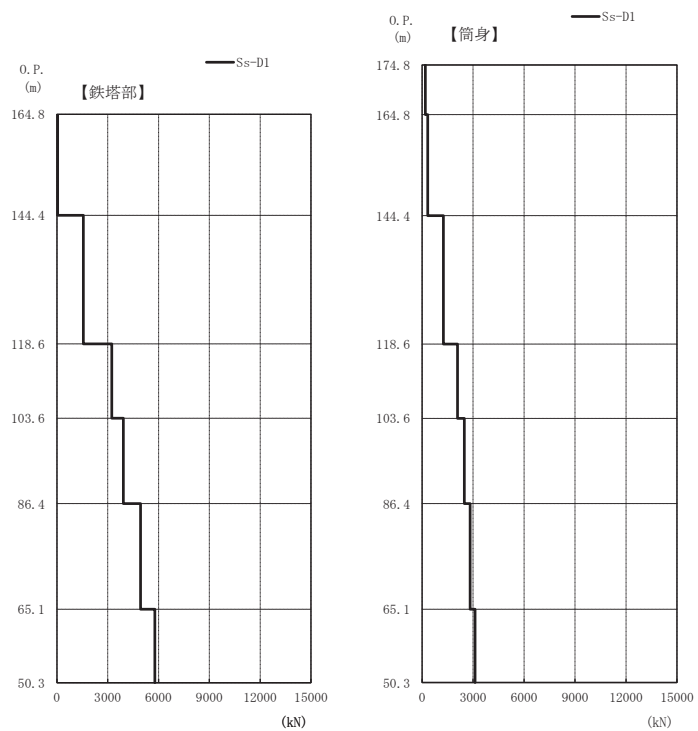


(c) S s - D 2 ( I 方向 )

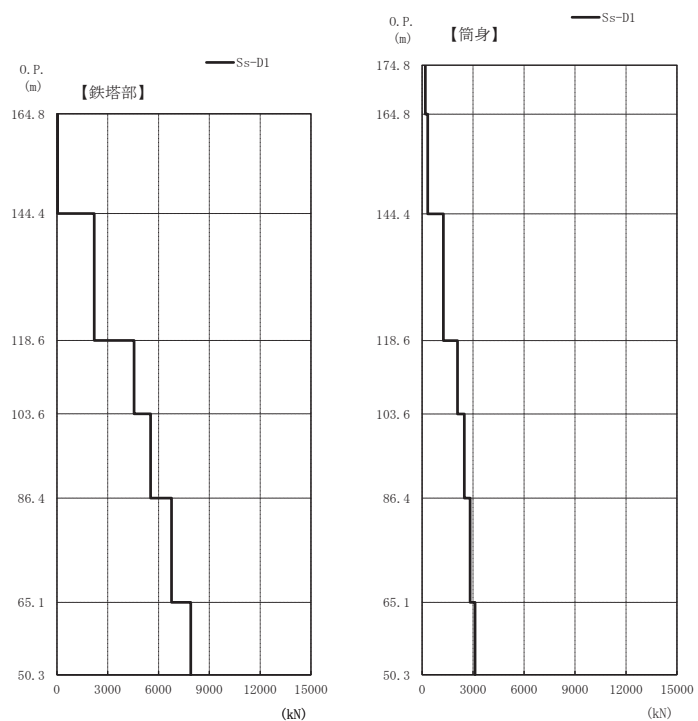


(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-2(2) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース② ) ( 2 / 2 )

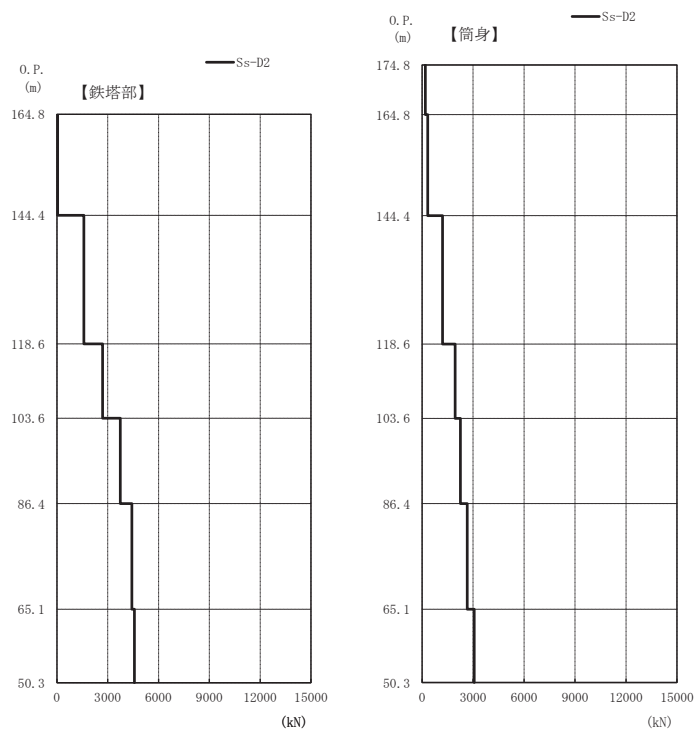


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

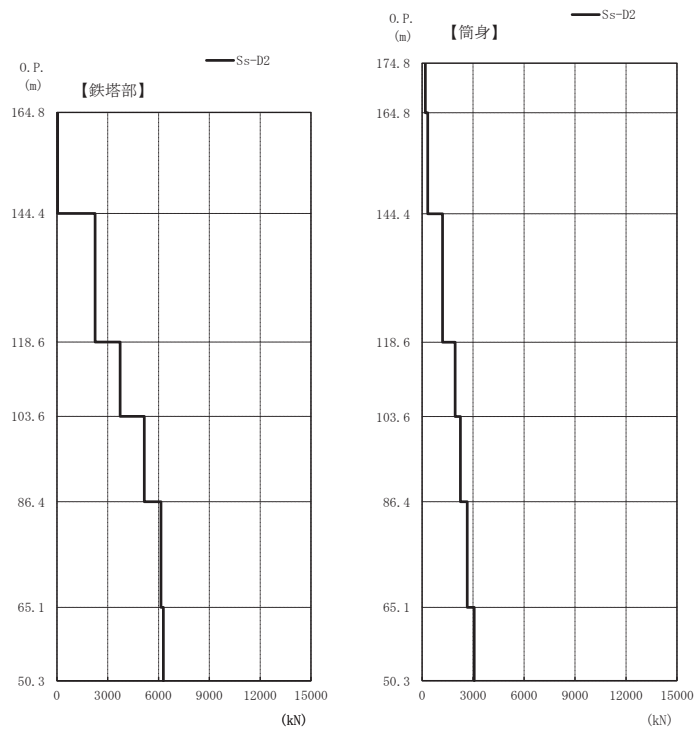


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-3(1) 最大応答軸力 ( S s ばらつき , ケース② ) ( 1 / 2 )

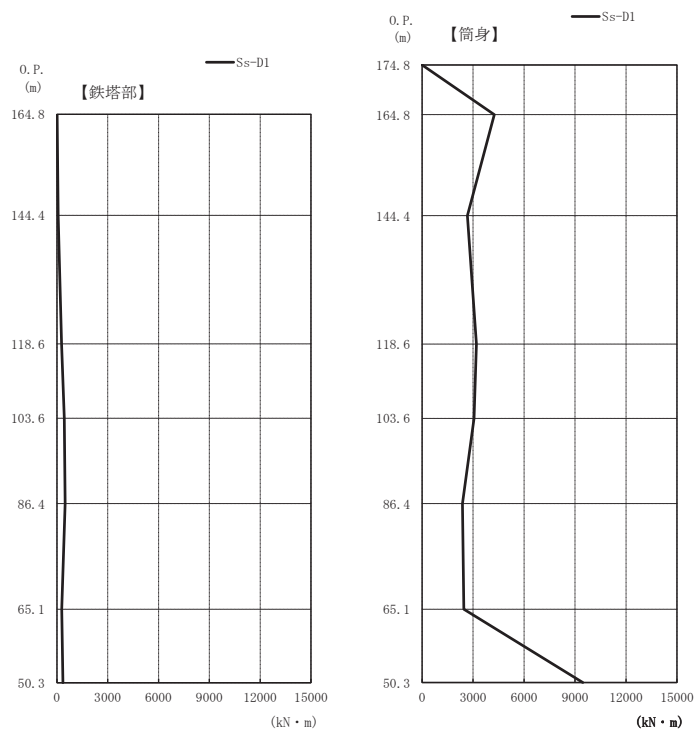


(c) S s - D 2 ( I 方向 )

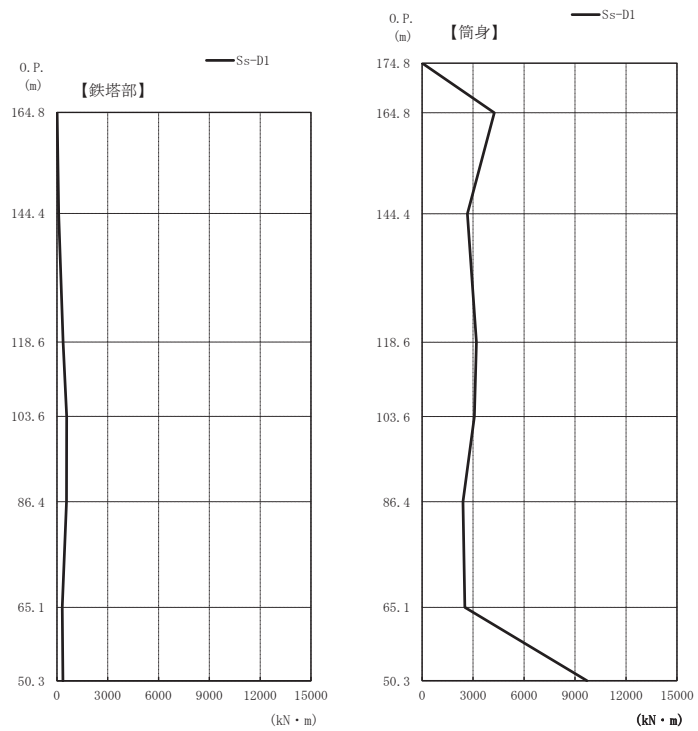


(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-3(2) 最大応答軸力 ( S s ばらつき , ケース② ) ( 2 / 2 )

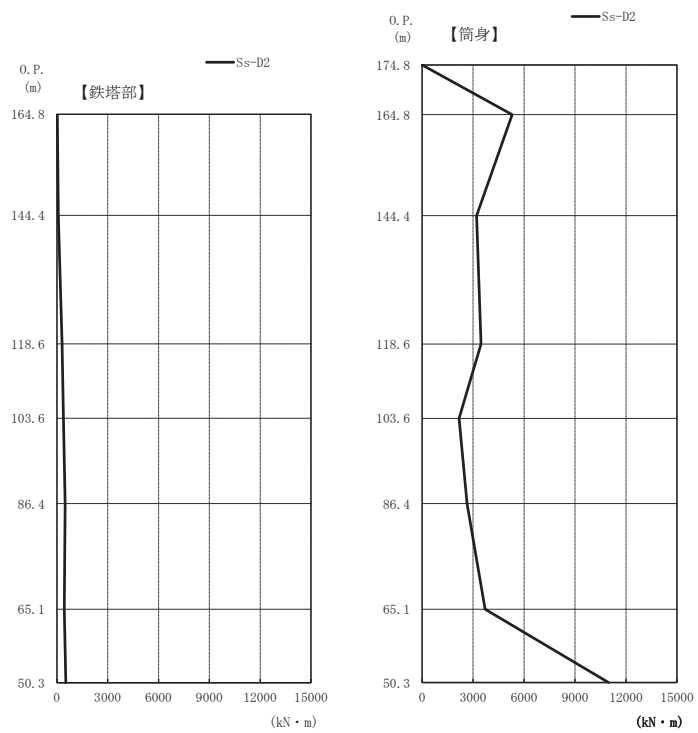


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

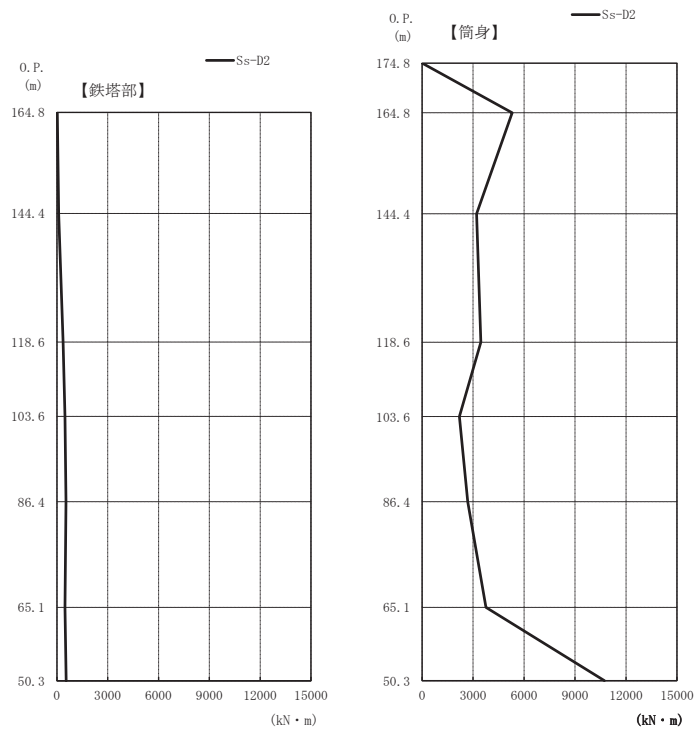


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-4(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②) (1/2)

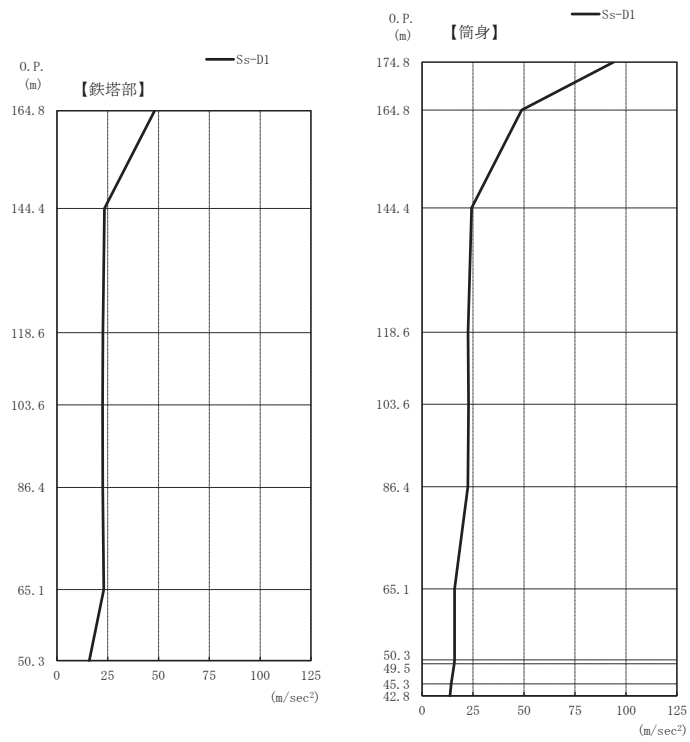


(c) S s - D 2 ( I 方向)

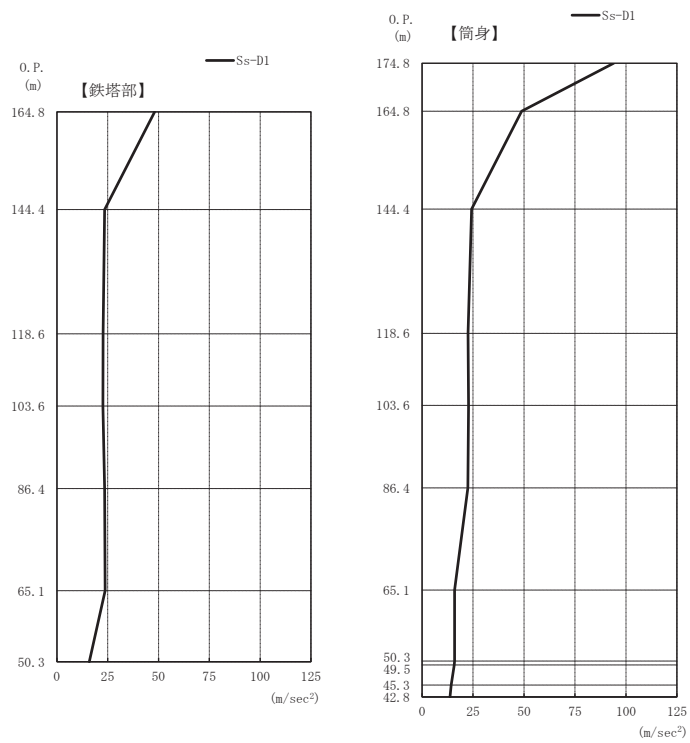


(d) S s - D 2 ( II 方向)

図 2-4(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②) (2/2)

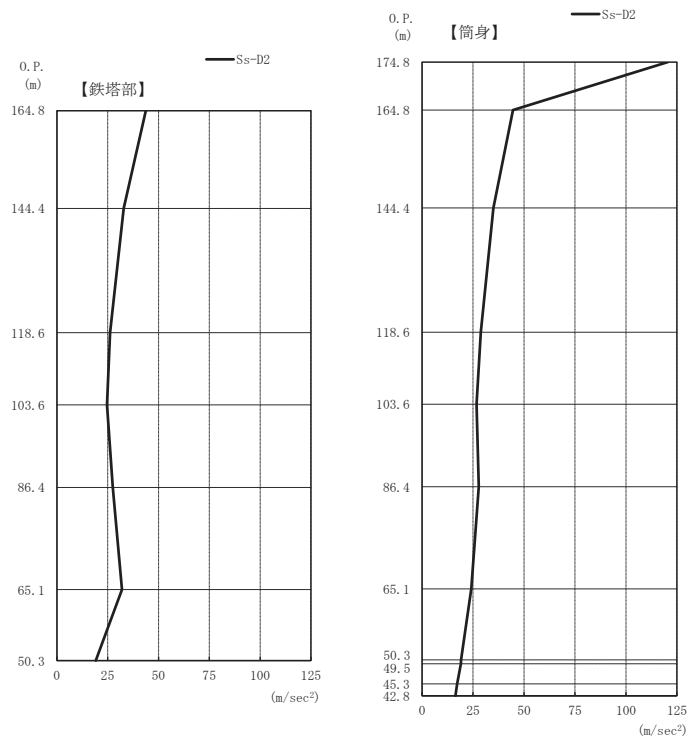


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

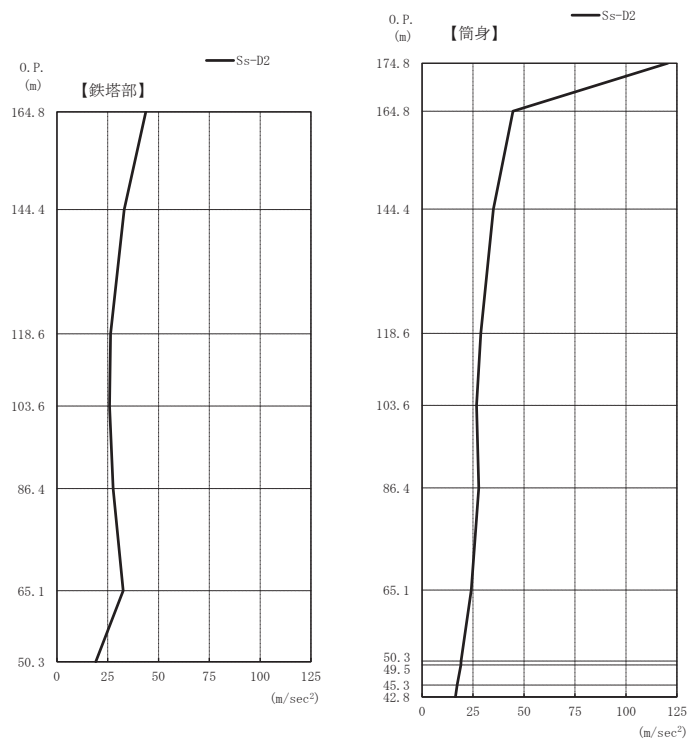


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-5(1) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース③ ) ( 1/2 )



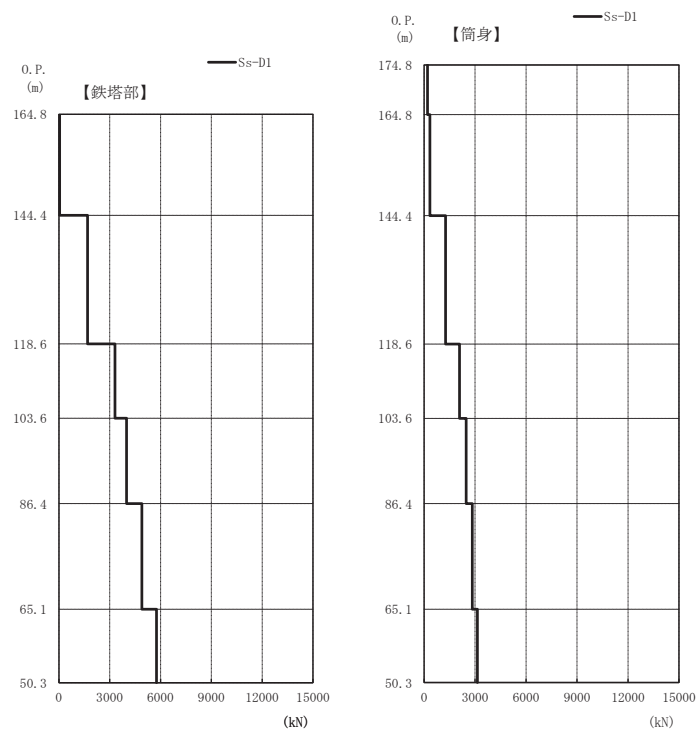
(c) S s - D 2 ( I 方向 )



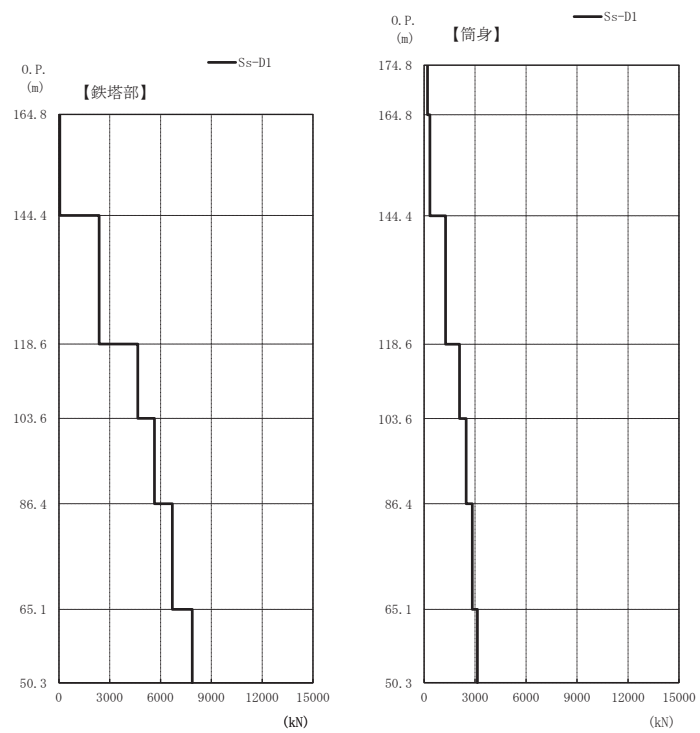
(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-5(2) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース③ ) ( 2/2 )



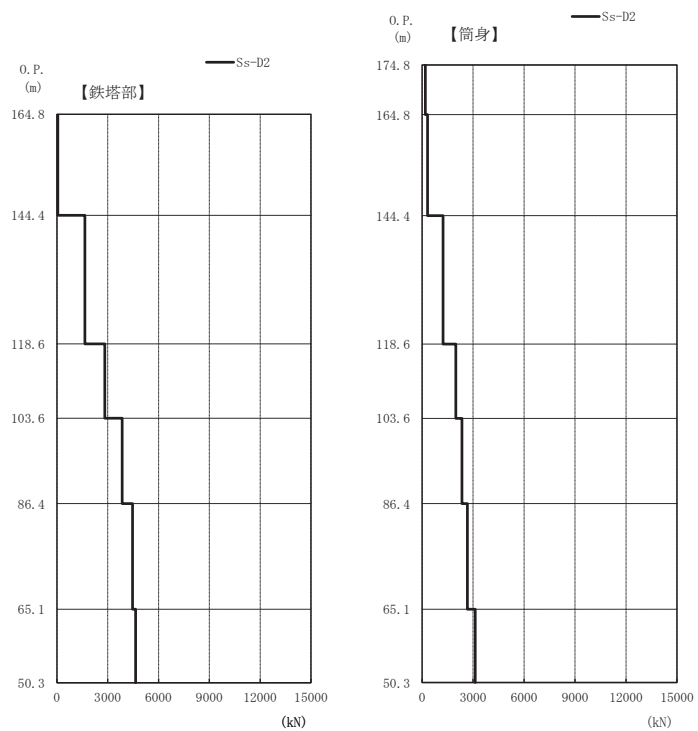


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

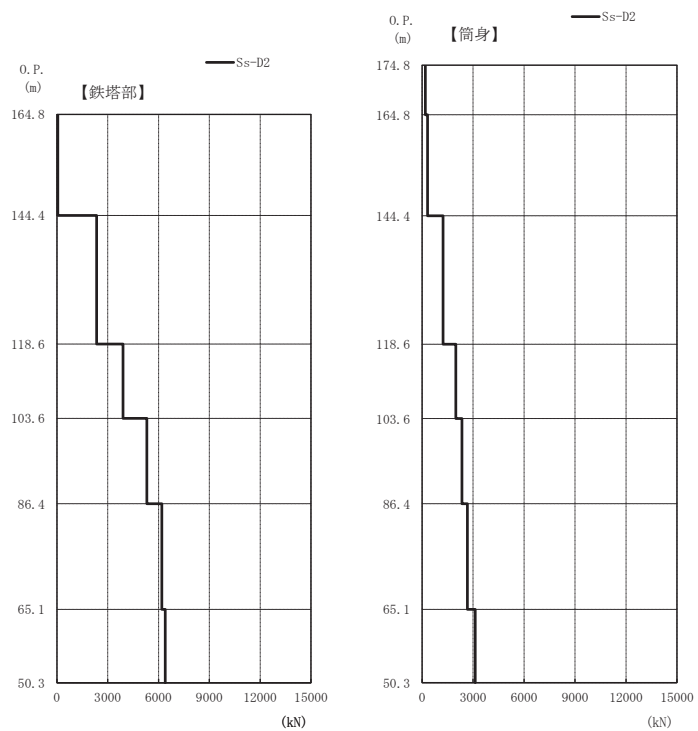


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-6(1) 最大応答軸力 ( S s ばらつき, ケース③ ) ( 1/2 )

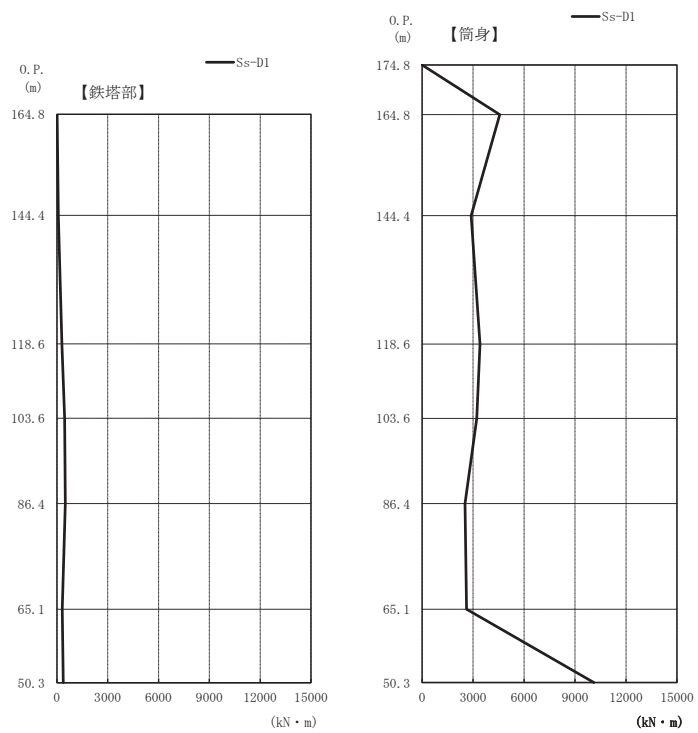


(c) S s - D 2 ( I 方向)

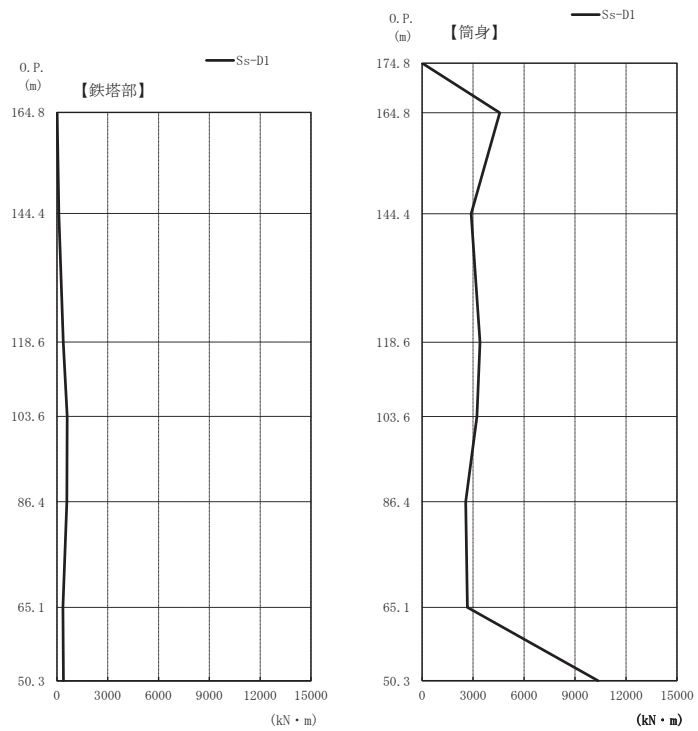


(d) S s - D 2 ( II 方向)

図 2-6(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース③) (2/2)

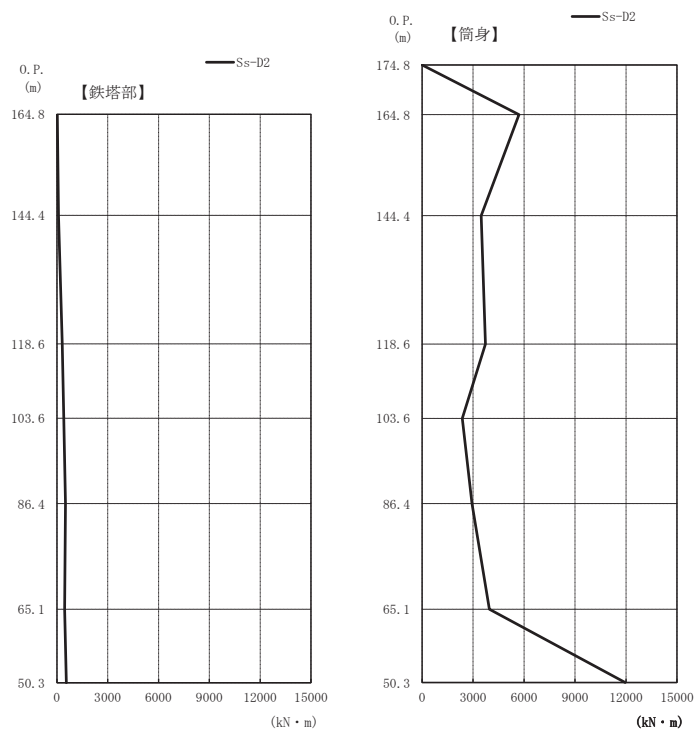


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

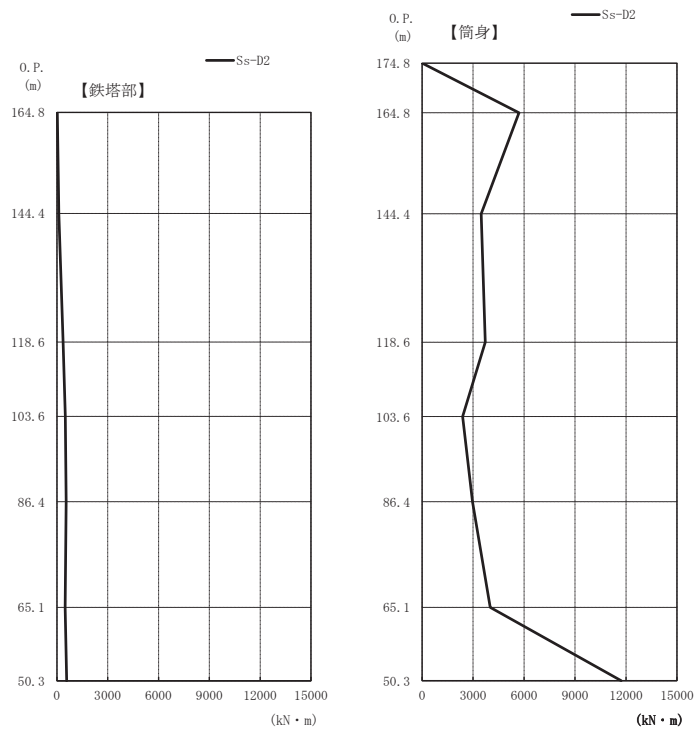


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-7(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③) (1/2)

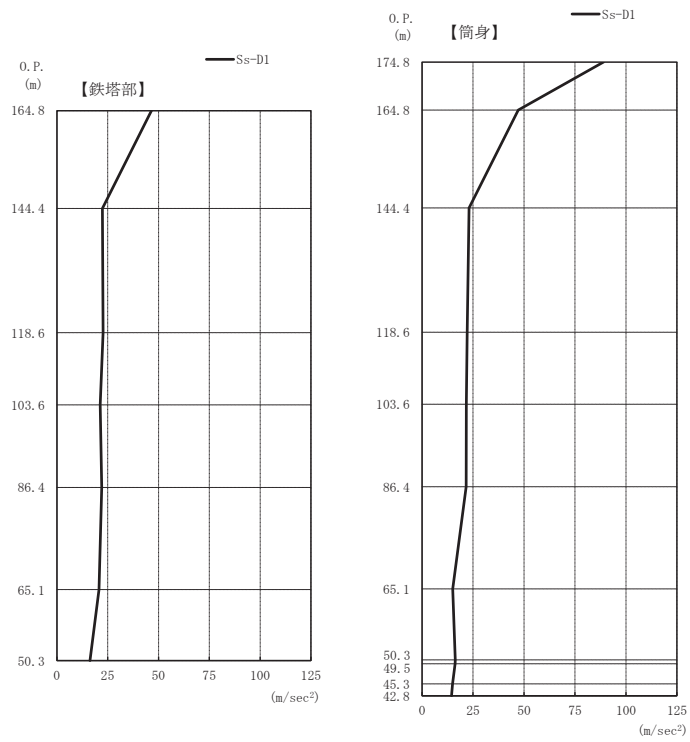


(c) S s - D 2 ( I 方向 )

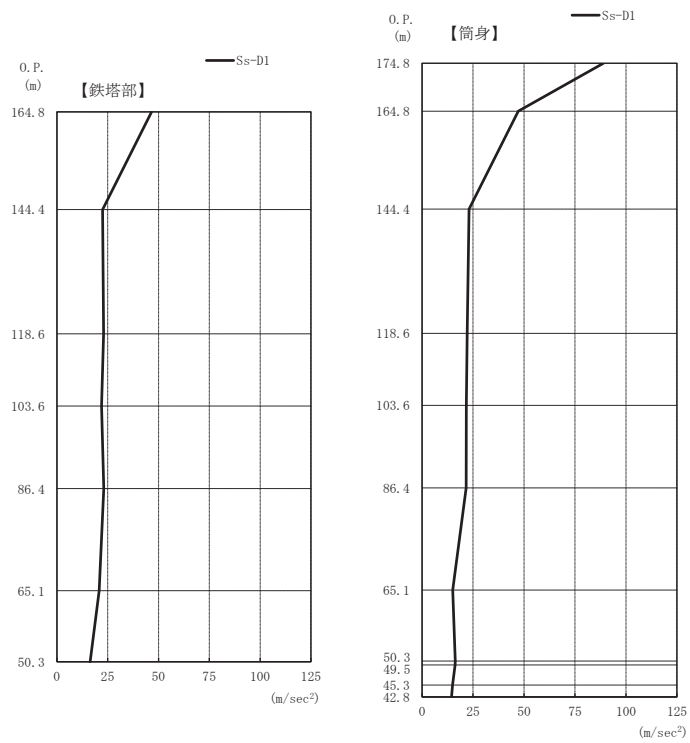


(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-7(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③) (2/2)

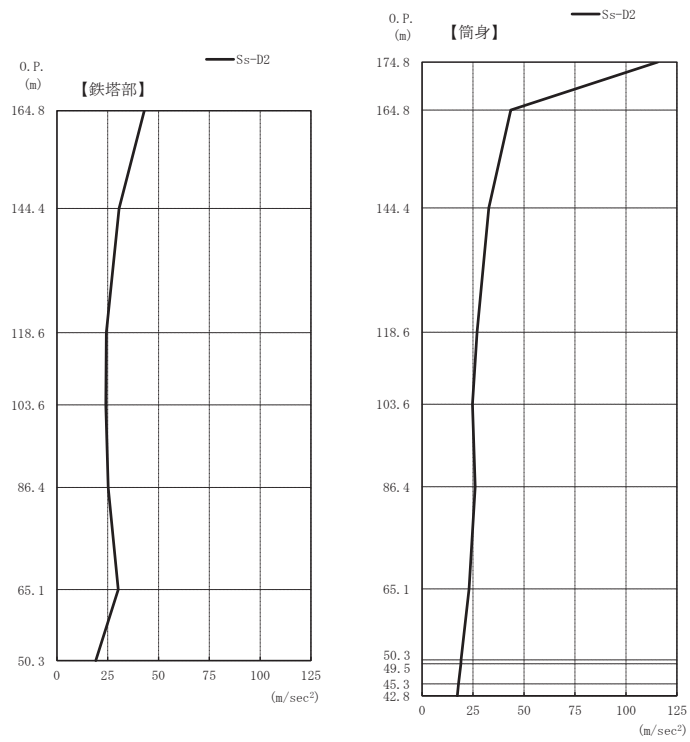


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

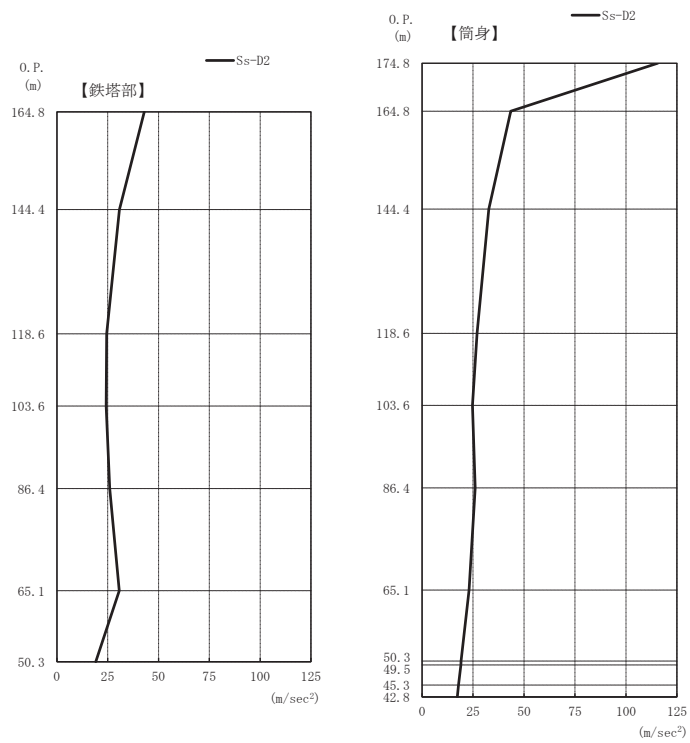


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-8(1) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース④ ) ( 1/2 )

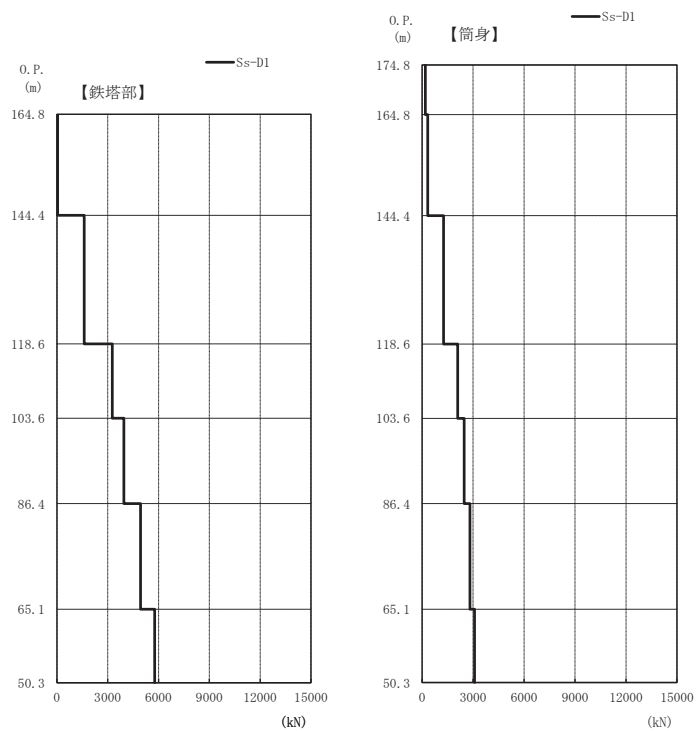


(c) S s - D 2 ( I 方向 )

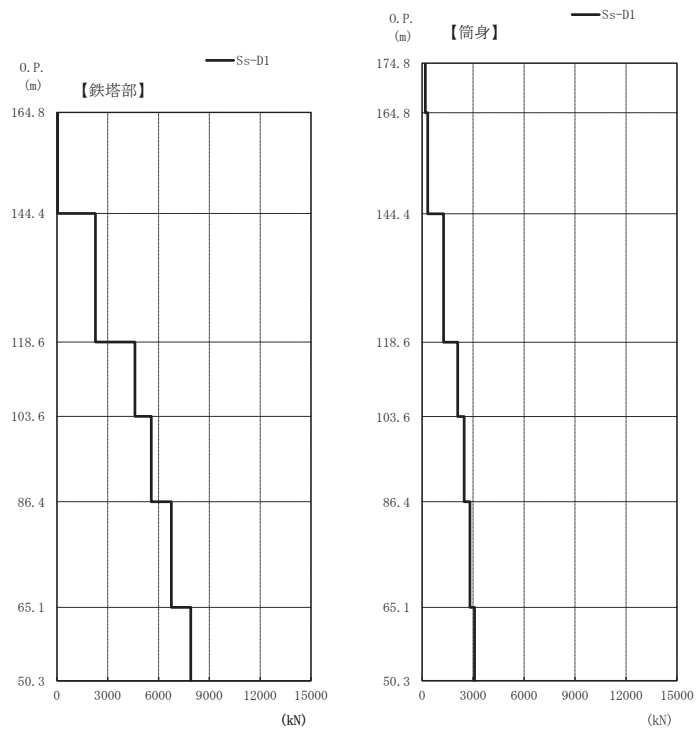


(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-8(2) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース④ ) ( 2/2 )

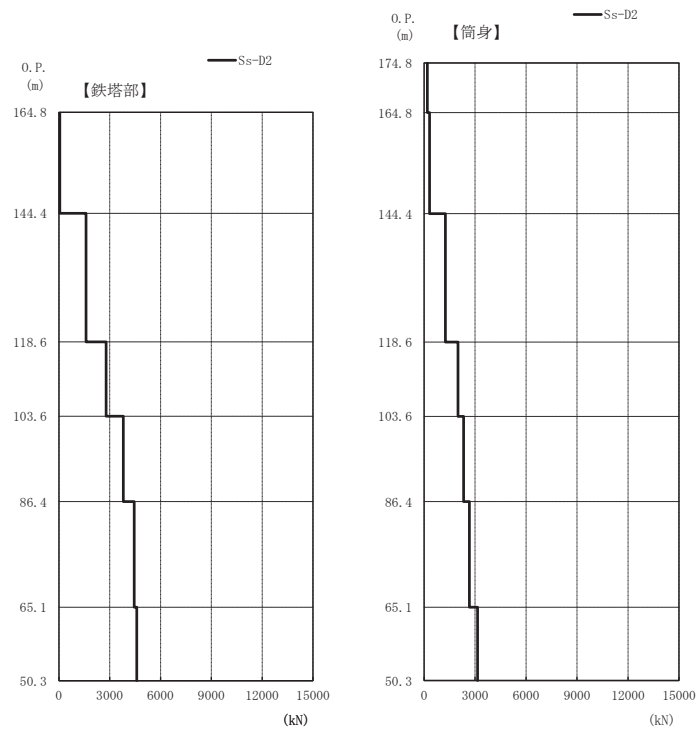


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

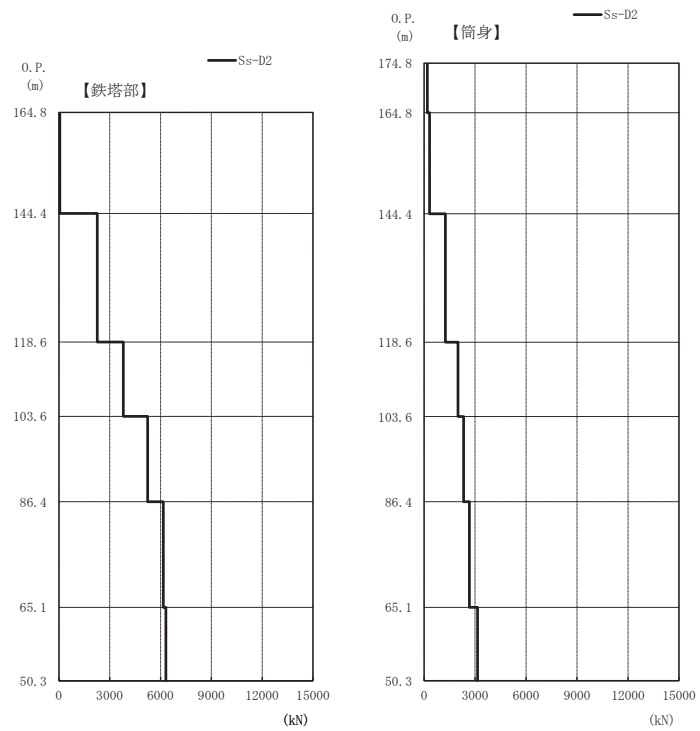


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-9(1) 最大応答軸力 ( S s ばらつき , ケース④ ) ( 1 / 2 )



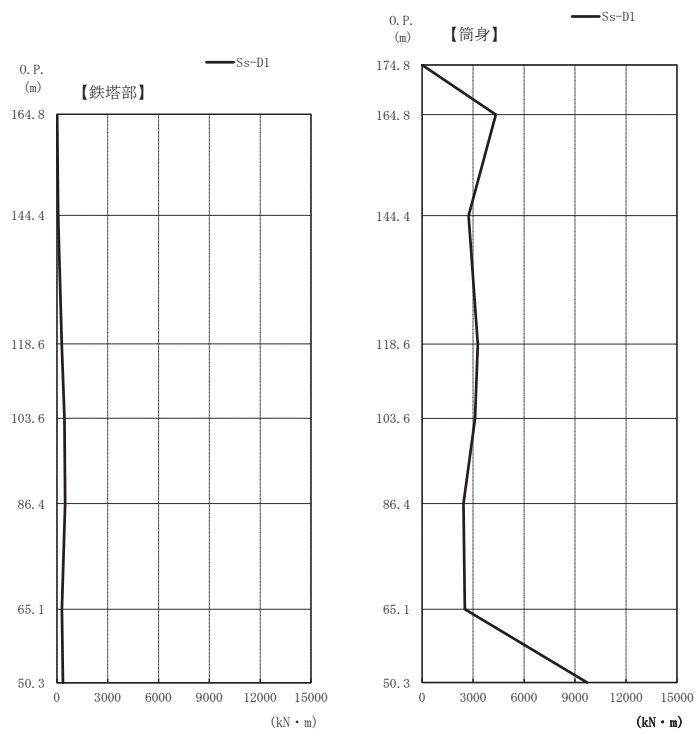
(c) S s - D 2 ( I 方向 )



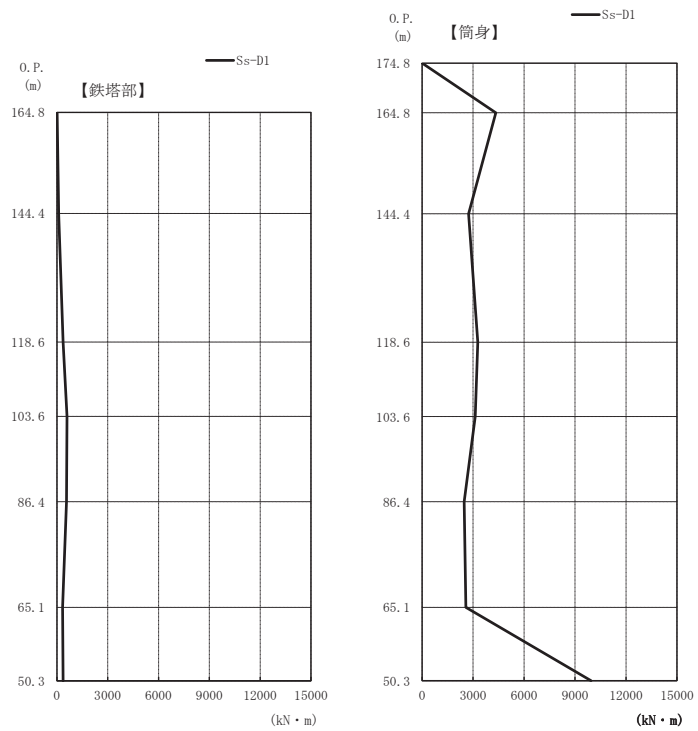
(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-9(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース④) (2/2)



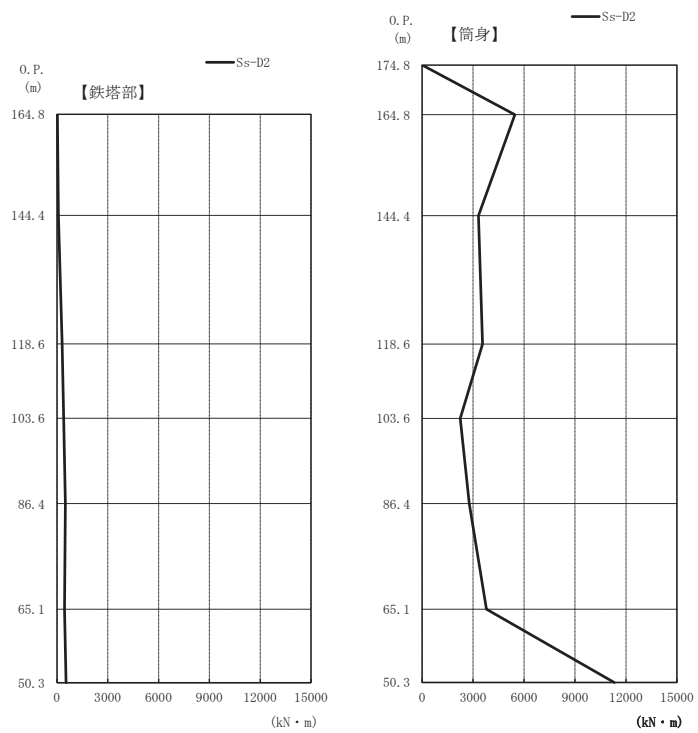


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

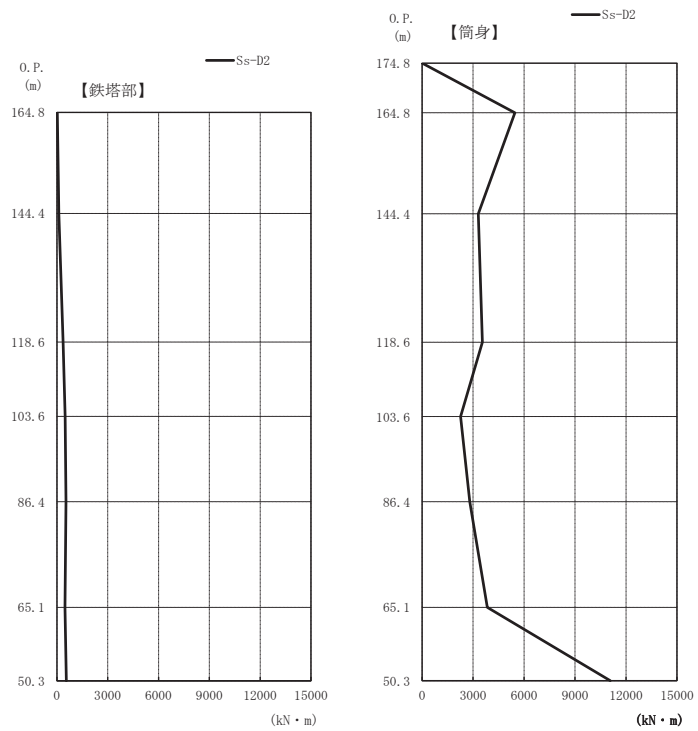


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-10(1) 最大応答曲げモーメント ( S s ばらつき, ケース④ ) ( 1 / 2 )

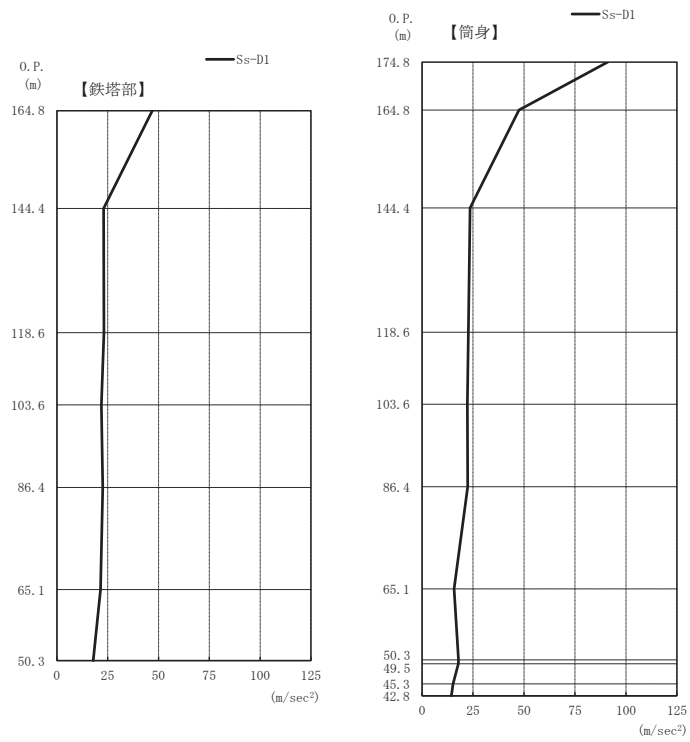


(c) S s - D 2 ( I 方向 )

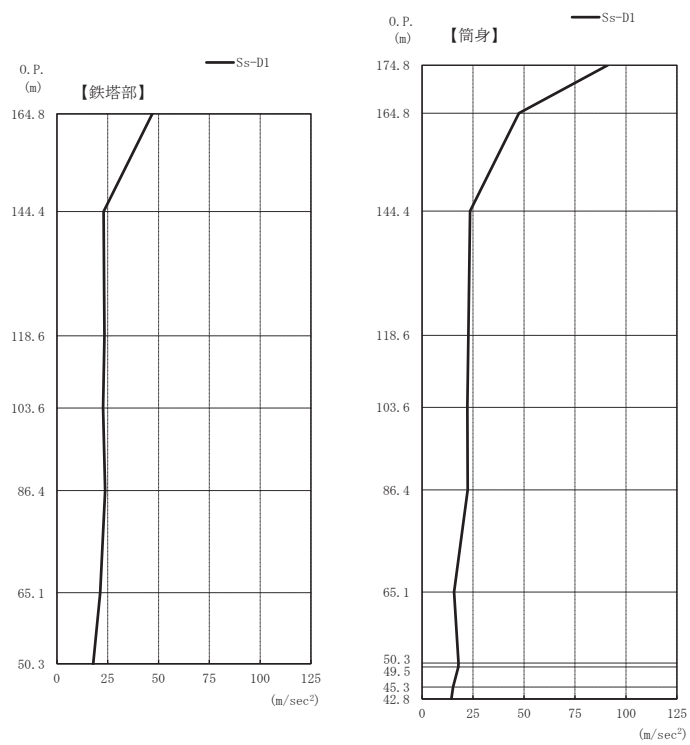


(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-10(2) 最大応答曲げモーメント ( S s ばらつき, ケース④ ) ( 2 / 2 )

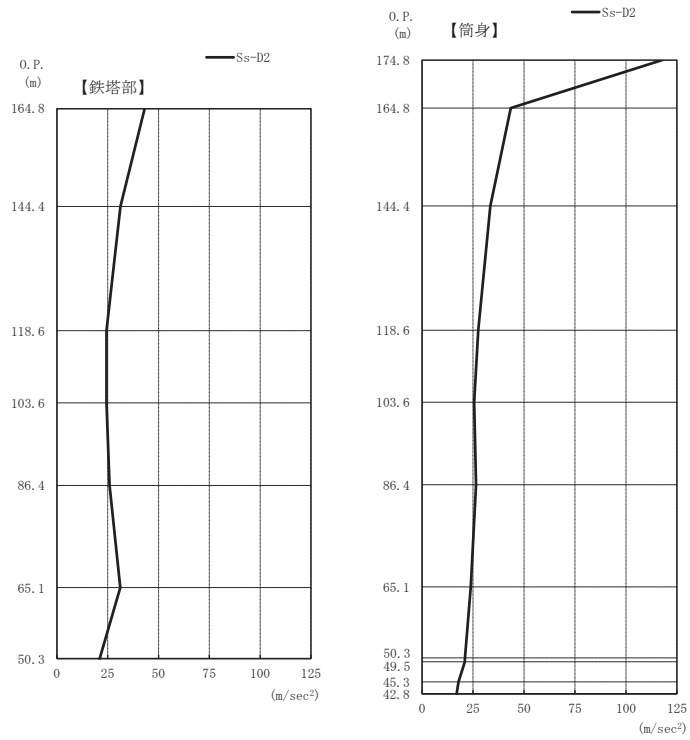


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

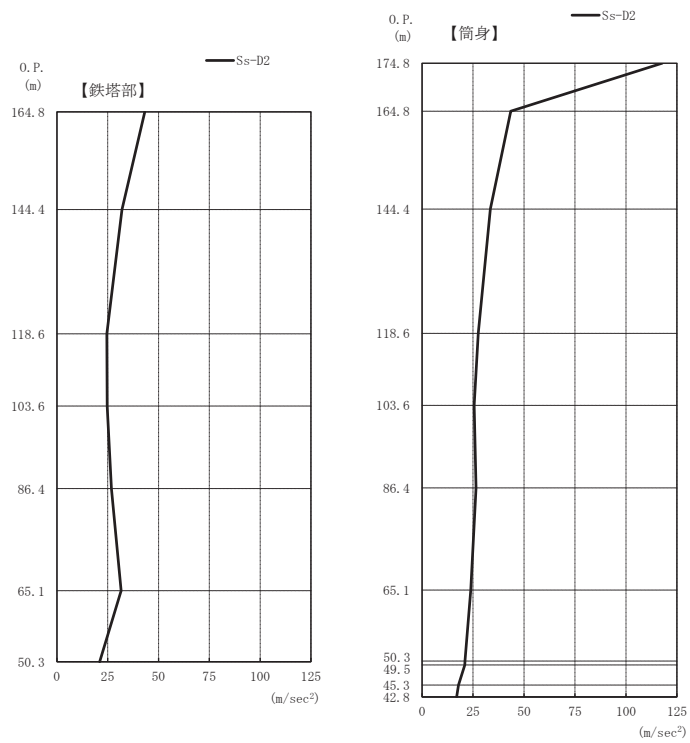


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-11(1) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース⑤ ) ( 1/2 )

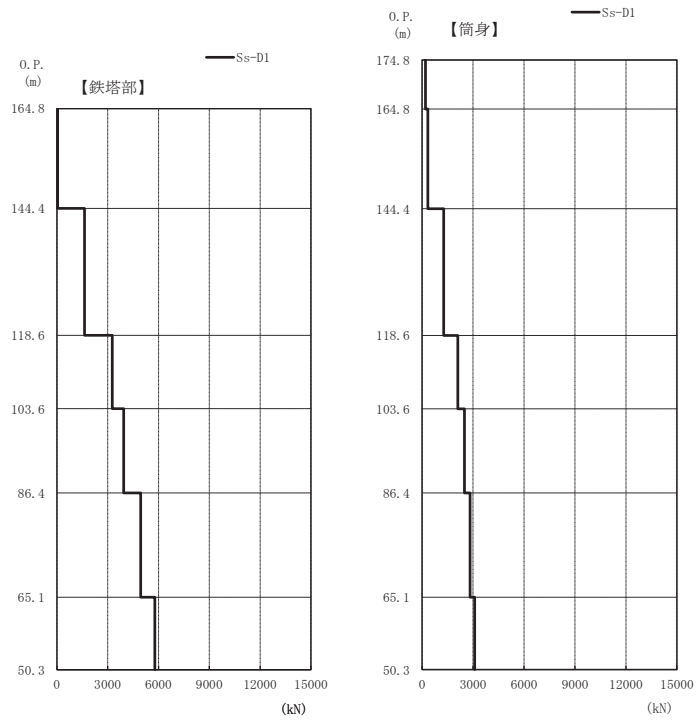


(c) S s - D 2 ( I 方向 )

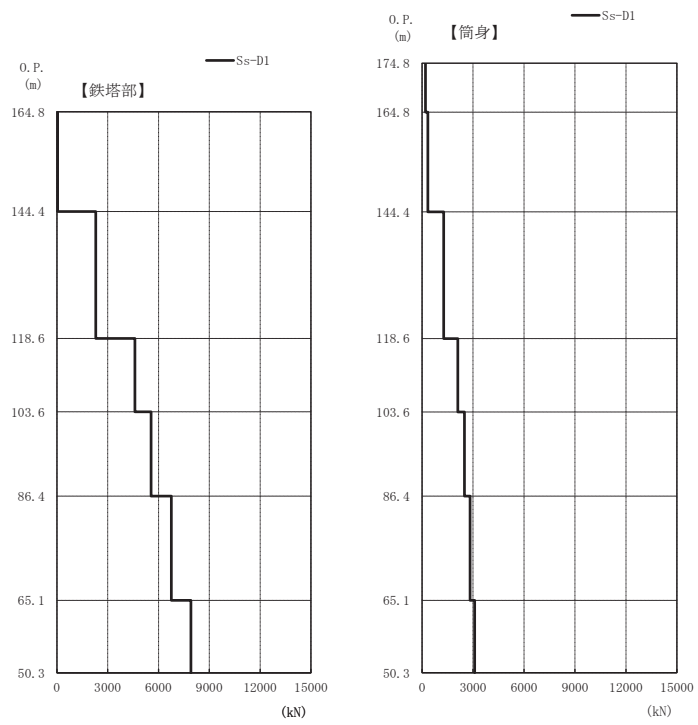


(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-11(2) 最大応答加速度 ( S s ばらつき, ケース⑤ ) ( 2 / 2 )

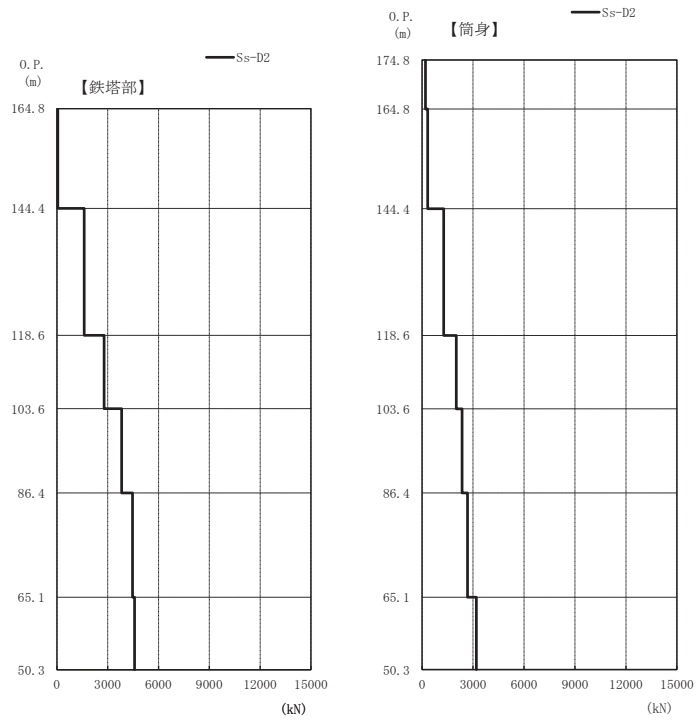


(a) S s - D 1 ( I 方向)

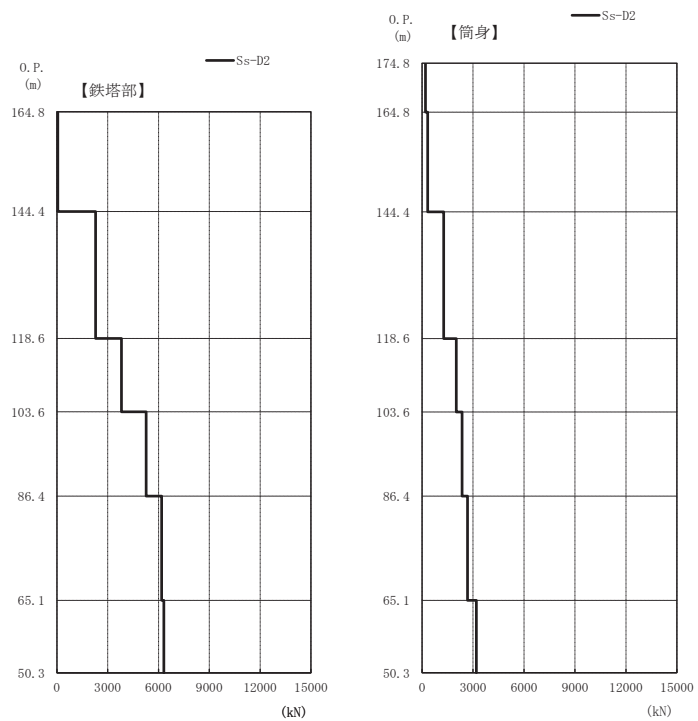


(b) S s - D 1 ( II 方向)

図 2-12(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑤) (1/2)

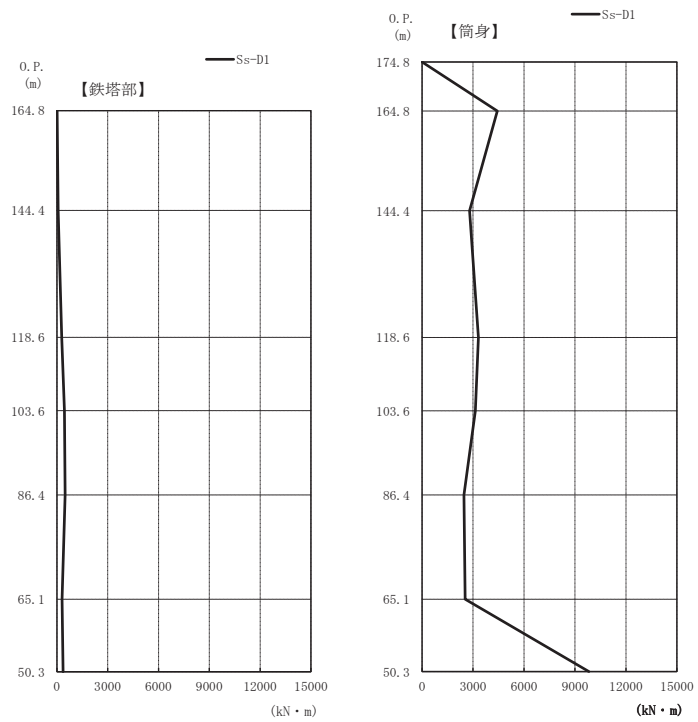


(c) S s - D 2 ( I 方向)

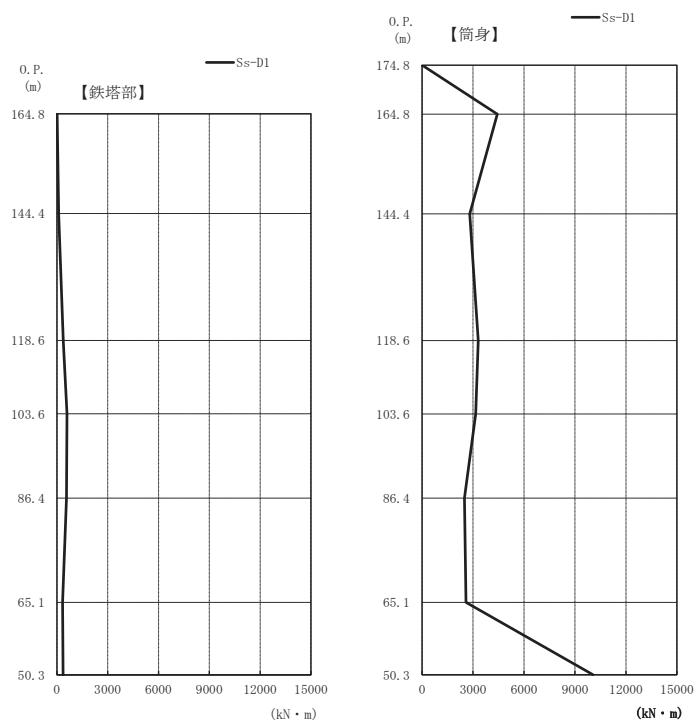


(d) S s - D 2 ( II 方向)

図 2-12(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑤) (2/2)

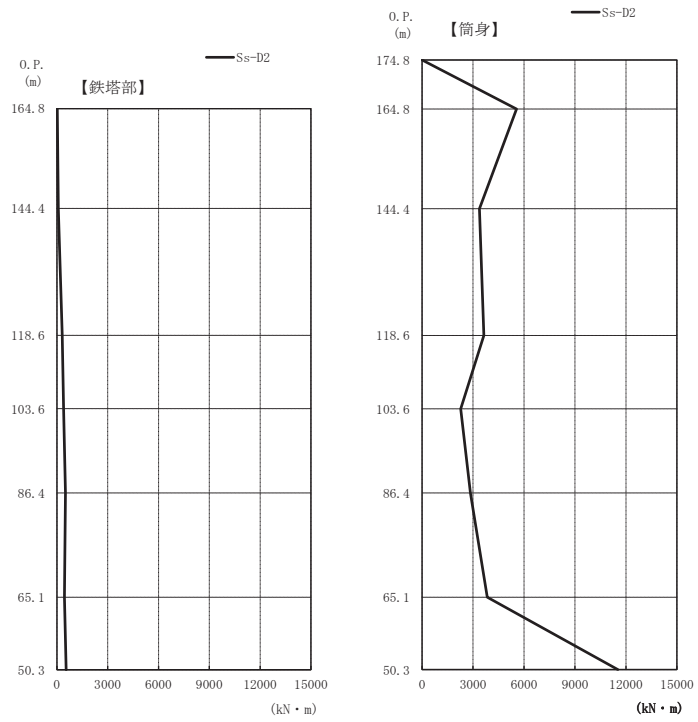


(a) S s - D 1 ( I 方向 )

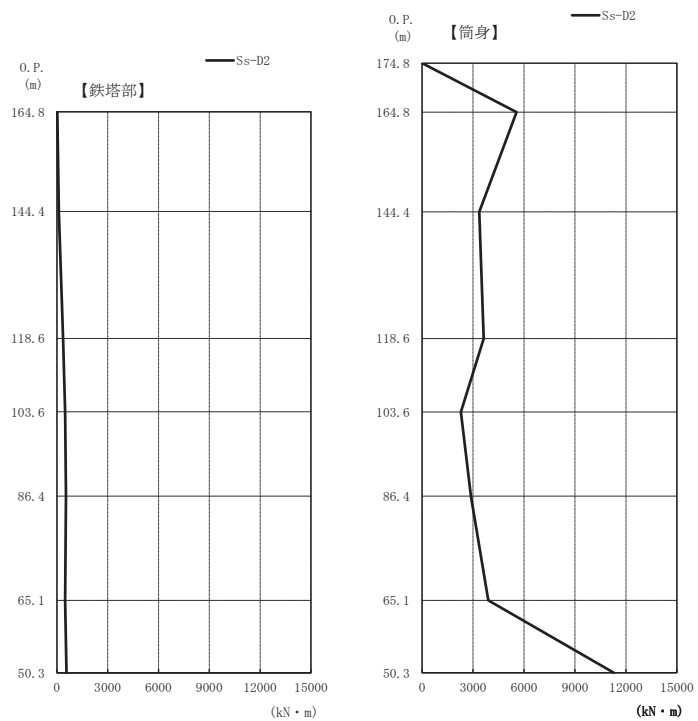


(b) S s - D 1 ( II 方向 )

図 2-13(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑤) (1/2)



(c) S s - D 2 ( I 方向 )



(d) S s - D 2 ( II 方向 )

図 2-13(2) 最大応答曲げモーメント ( S s ばらつき, ケース⑤ ) ( 2 / 2 )



表 2-4 主柱材 (L 位置) における  $S_s - D_1$  の最大応答値

	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )	最大応答軸力 (kN)	最大応答 曲げモーメント (kN・m)
ケース①	29.1	5565	597
ケース②	29.3	5531	578
ケース③	28.8	5637	612
ケース④	28.9	5569	597
ケース⑤	29.5	5559	599

別紙 4 第 1 号機排気筒の接合部の耐震性について

## 目次

1. 概要	別紙 4-1
2. 検討方針	別紙 4-1
2.1 主柱材	別紙 4-10
2.2 斜材及び水平材	別紙 4-11
3. 検討条件	別紙 4-14
4. 検討結果	別紙 4-21
4.1 検討用応力	別紙 4-21
4.2 検討結果	別紙 4-25

## 1. 概要

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」においては、第1号機排気筒を構成する筒身及び鉄塔の断面算定結果を示している。

本資料では、第1号機排気筒を構成する部材のうち、鉄塔の接合部における耐震性について確認した結果を示す。

## 2. 検討方針

鉄塔の支柱材、斜材、及び水平材について、地震時において接合部が破断しないことを確認する。

検討は、各部材の端部及び接合部の破断耐力が、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」で算定した $S_s$ 地震力による応力を上回っていることを確認する。

鉄塔の接合形式は以下のとおりとなっている。

- ・支柱材        : フランジ継手
- ・斜材           : 十字継手
- ・水平材        : 十字継手

各部材の接合部の位置及び詳細図を図2-1～図2-4に示す。また、フランジ継手及び十字継手の概要を図2-5に示す。

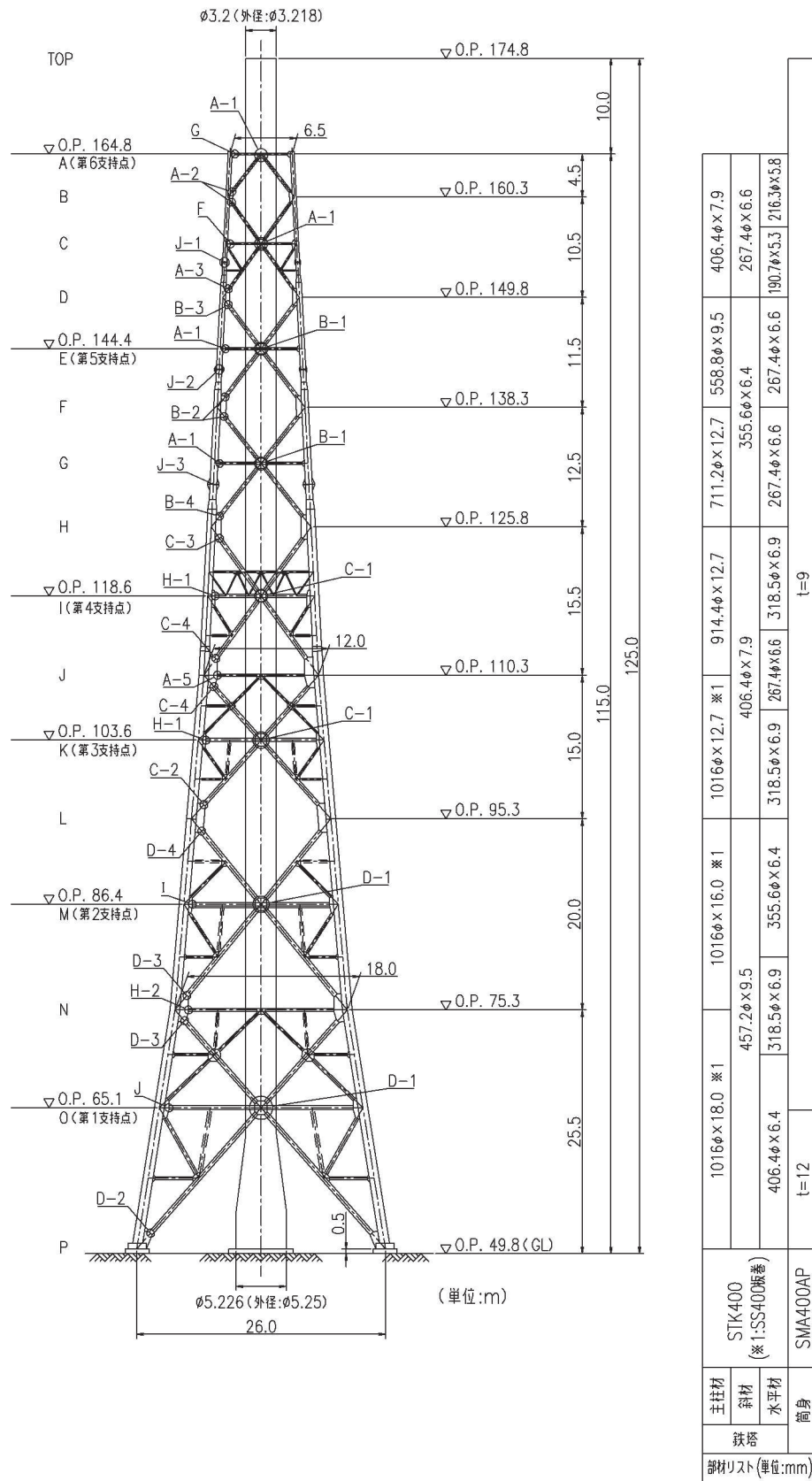


図 2-1 接合部の位置

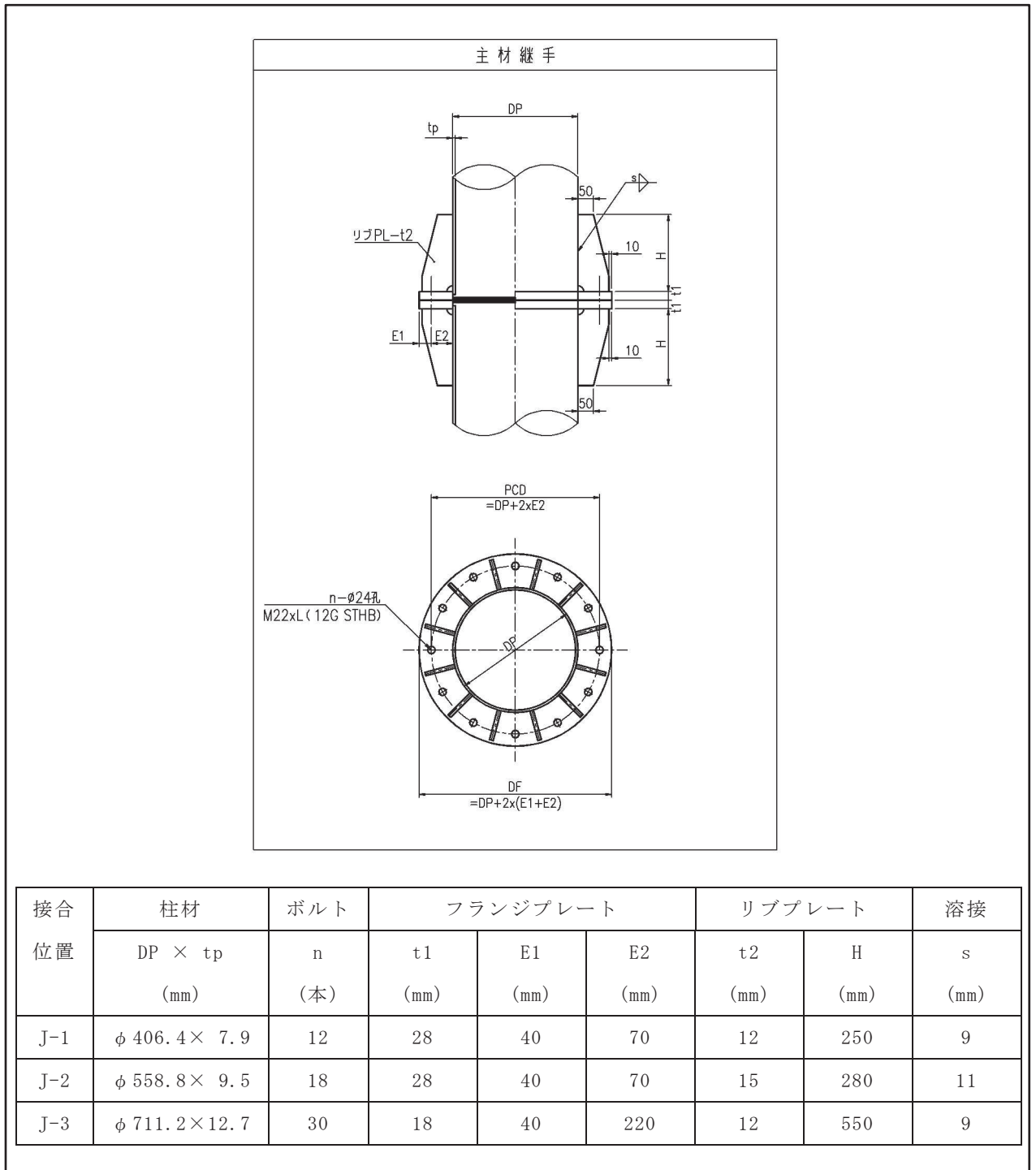


図 2-2 主柱材の接合部詳細

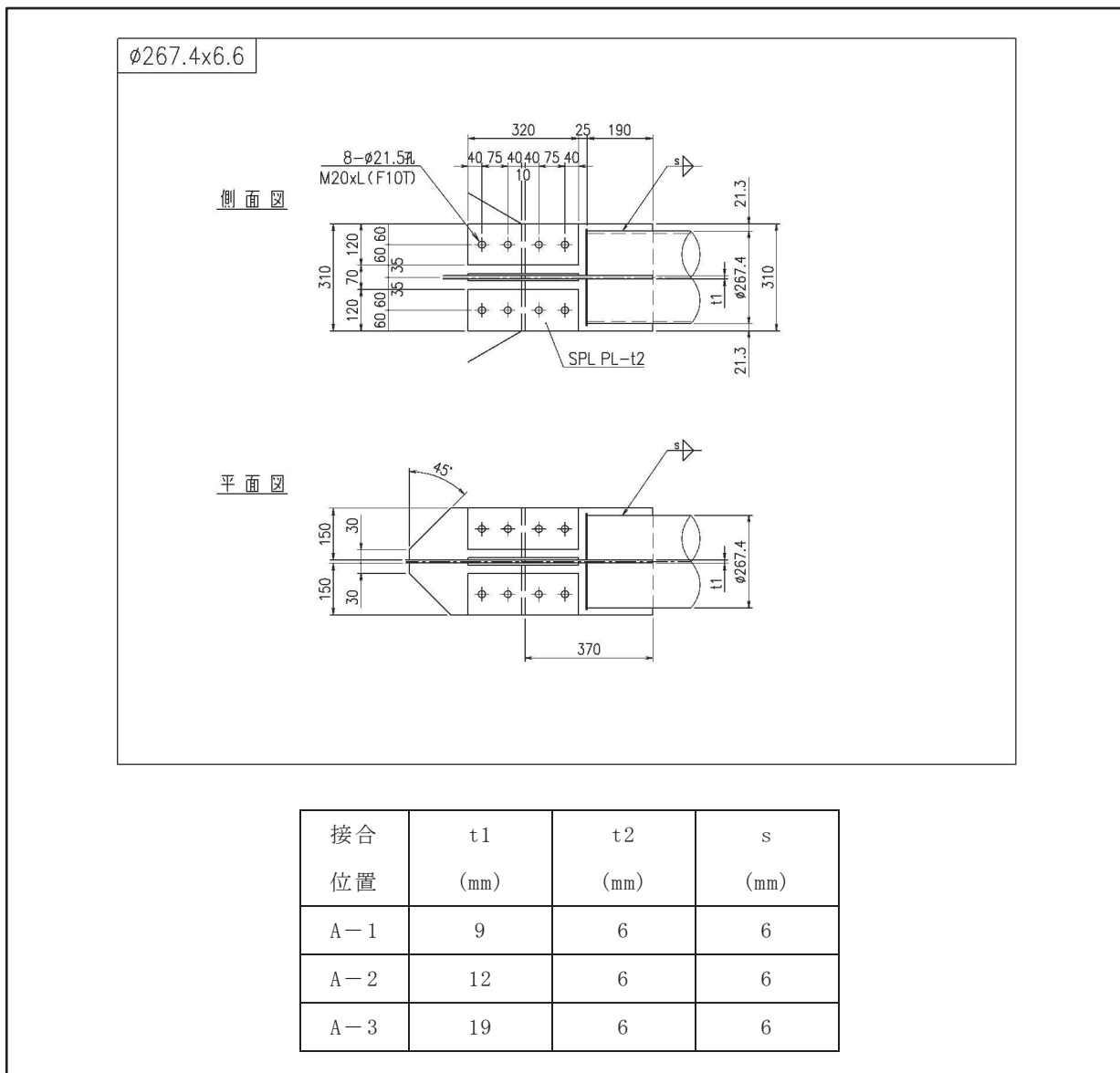
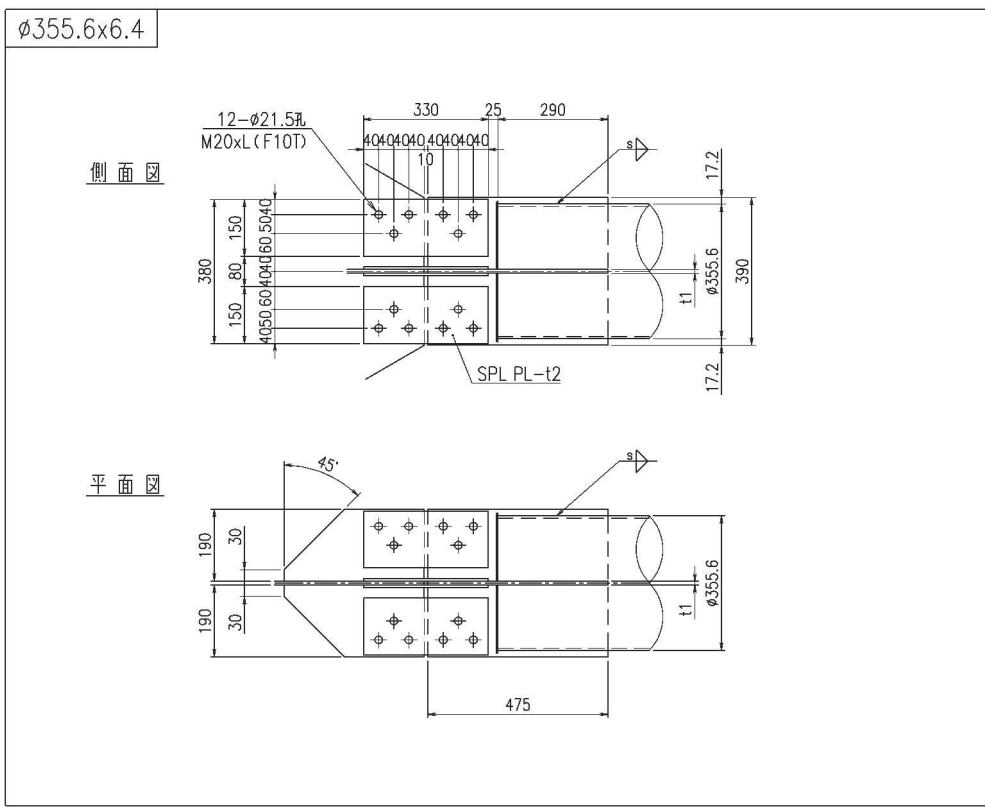


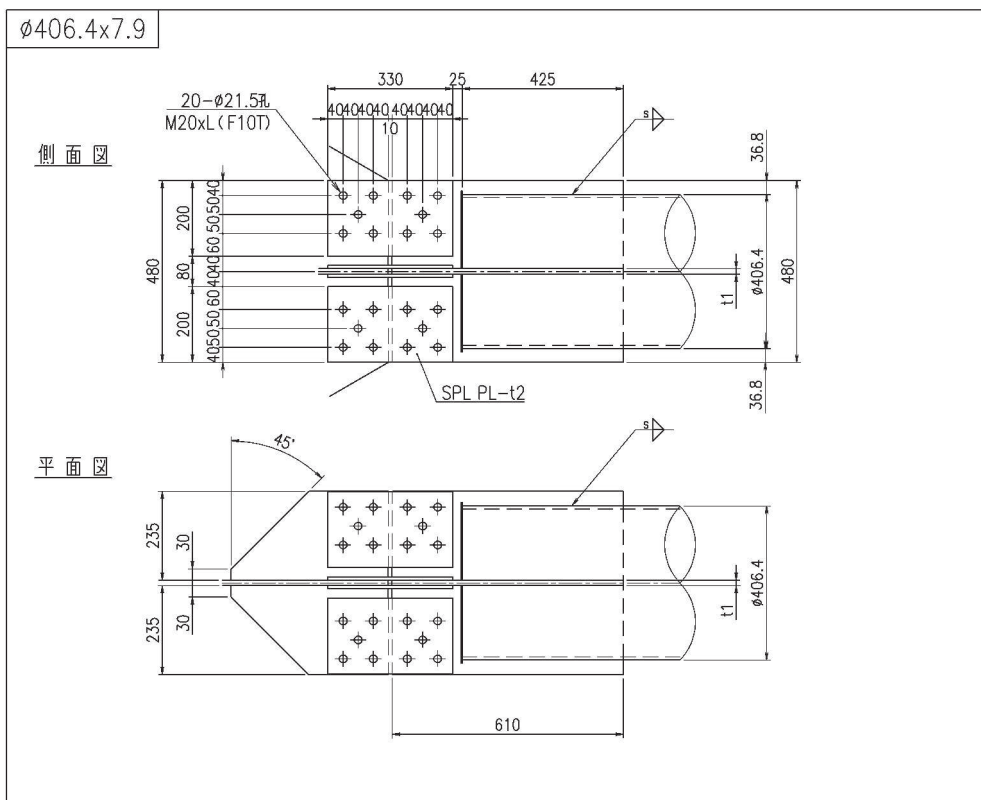
図 2-3(1) 斜材の接合部詳細



接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
B-1	10	7	6
B-2	16	7	6
B-3	19	7	6
B-4	28	7	6

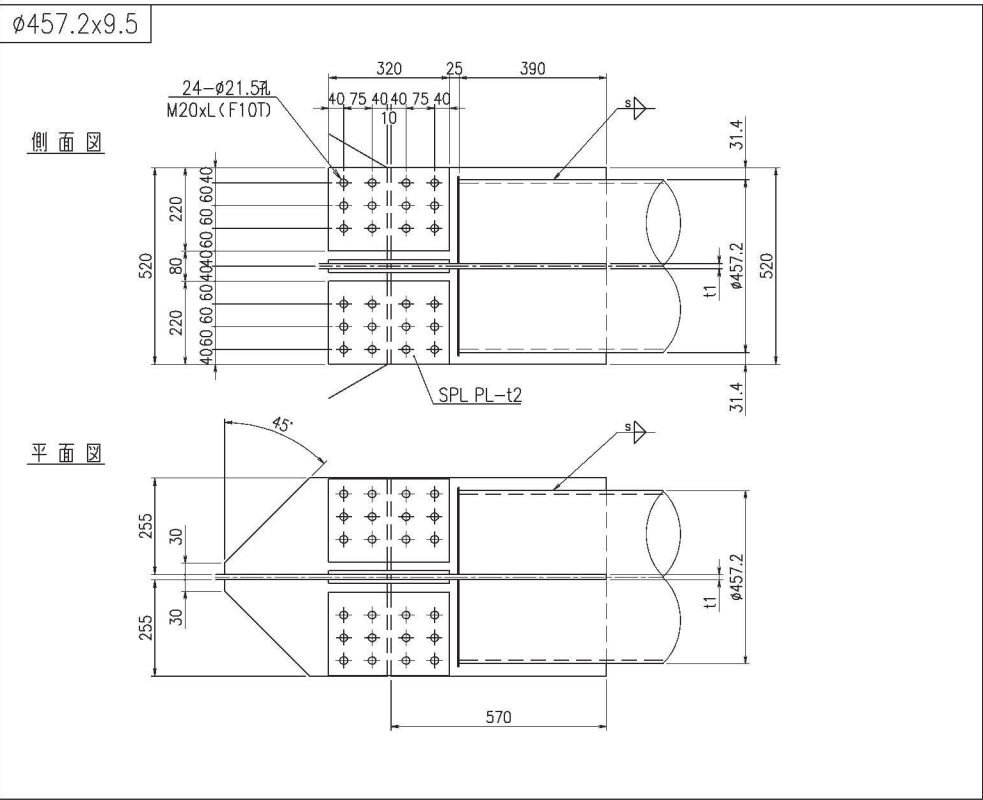
図 2-3(2) 斜材の接合部詳細





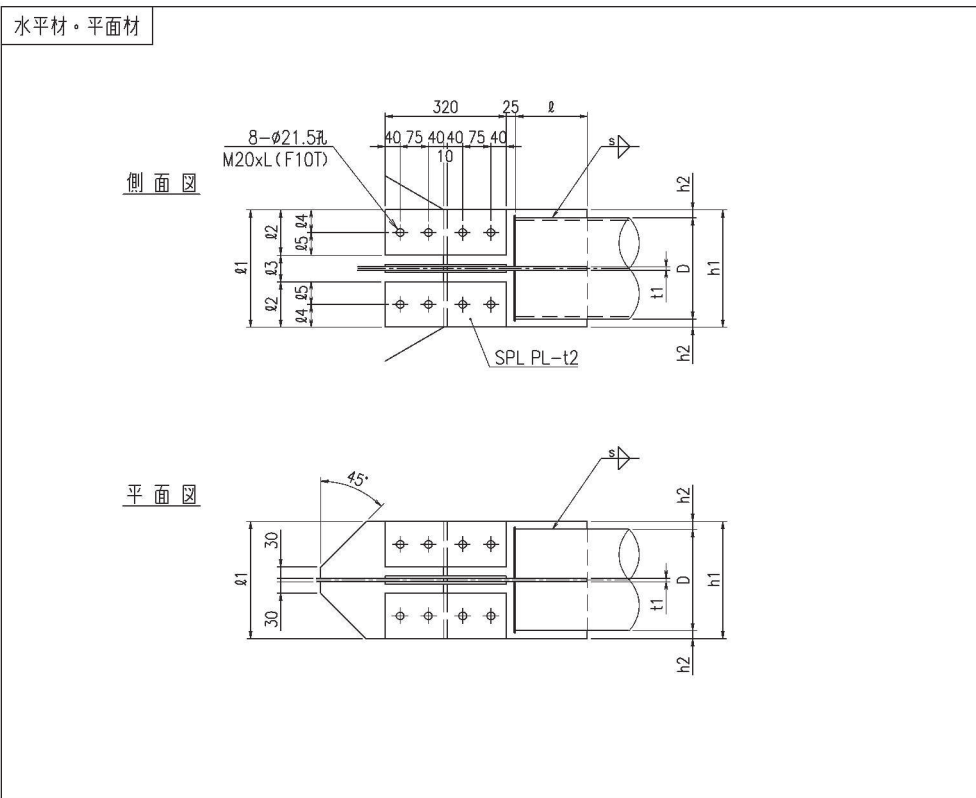
接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
C-1	14	9	7
C-2	25	9	7
C-3	28	9	7
C-4	32	9	7

図 2-3(3) 斜材の接合部詳細



接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
D-1	14	10	9
D-2	18	10	9
D-3	22	10	9
D-4	25	10	9

図 2-3(4) 斜材の接合部詳細



接合位置	部材 (mm)	ℓ (mm)	ℓ1 (mm)	ℓ2 (mm)	ℓ3 (mm)	ℓ4 (mm)	ℓ5 (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
F	φ 190.7×5.3	130	270	80	110	40	40	270	39.65	9	6	5
G	φ 216.3×5.8	165	270	90	90	40	50	270	26.85	9	6	5
A-1	φ 267.4×6.6	190	310	120	70	60	60	310	21.3	9	6	6
A-5	φ 267.4×6.6	190	310	120	70	60	60	310	21.3	32	6	6
H-1	φ 318.5×6.9	235	310	120	70	60	60	350	15.75	10	7	6
H-2	φ 318.5×6.9	235	310	120	70	60	60	350	15.75	22	7	6
I	φ 355.6×6.4	245	310	120	70	60	60	390	17.2	10	7	6
J	φ 406.4×6.4	275	350	140	70	70	70	440	16.8	12	7	6

図 2-4 水平材の接合部詳細

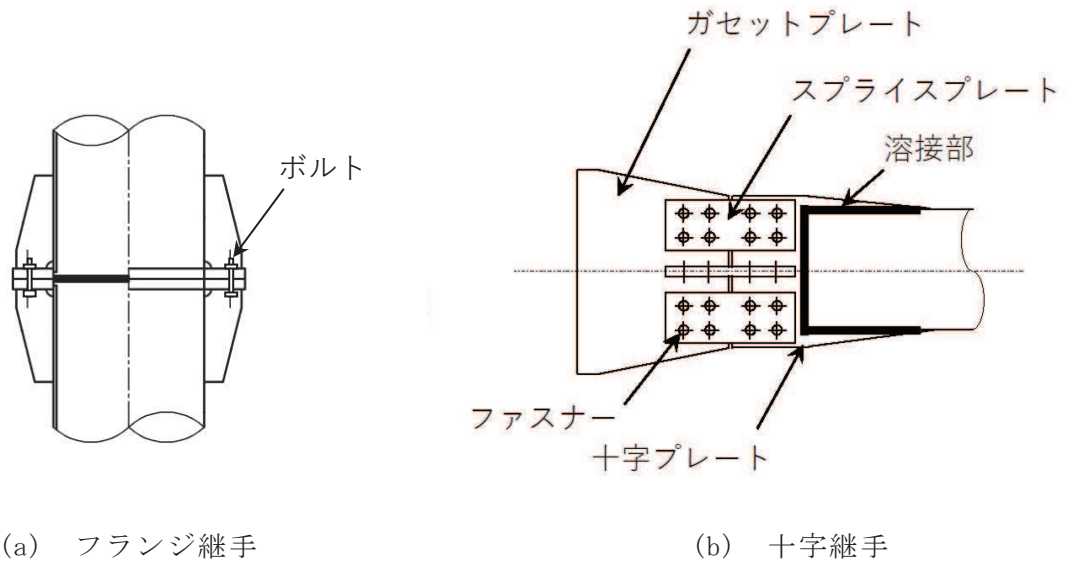


図 2-5 継手概要図

以下に各部位の検討方針を示す。

なお、検討に当たっては、「鋼構造設計規準 —許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005 年)」及び「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)」に準拠して算定する。

## 2.1 主柱材

フランジ継手部について、継手位置のボルトに生じる検討用応力が、破断耐力以下であることを確認する。

検討用応力  $N'$  は以下により算定する。

$$N' = \left( \frac{N}{A} + \frac{M}{Z} \right) \times A$$

ここで、

$N$  : 評価用応力（主柱材に発生する軸力の最大値）（kN）

$A$  : 主柱材の断面積（ $\text{mm}^2$ ）

$M$  : 評価用応力（主柱材に発生する曲げモーメントの最大値）（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

$Z$  : 主柱材の断面係数（ $\text{mm}^3$ ）

継手位置の破断耐力  $P_U$  は、以下により算定する。

$$P_U = T \times n$$

ここで、

$T$  : ボルト 1 本当りの引張破断耐力（kN）

$n$  : ボルト本数（本）

## 2.2 斜材及び水平材

十字継手について、接合部の部材端部（十字プレート、スプライスプレート）、接合ファスナー、ファスナーのはしあき部分及び溶接部に対して、破断形式に応じた破断耐力を算定し、部材に生じる応力が破断耐力以下であることを確認する。

以下に示す部材端部及び接合部の破断形式(1)～(5)の各々の場合について、破断耐力  $A_j \cdot \sigma_u$  を算定し、その最小の値を接合部の破断耐力とする。

### (1) 部材端部で破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_U = A_1 \cdot b \sigma_U$$

$$A_1 = A_g - A_d$$

ここで、

$b \sigma_U$  : 部材端部の破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_g$  : 部材端部の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_d$  : 部材端部の欠損断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_j \cdot \sigma_U$  : 部材端部の破断耐力 (N)

### (2) 部材の接合ファスナーで破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_U = 0.75 \times A_2 \cdot f \sigma_U$$

$$A_2 = n \cdot m \cdot f A$$

ここで、

$f \sigma_U$  : 接合ファスナーの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$n$  : ファスナーの数

$m$  : ファスナーがせん断を受ける面の数

$f A$  : ファスナー1つの断面積 (mm<sup>2</sup>)

ただし、ねじ部がせん断にかかる時は、

$$f A = 0.75 \cdot \pi \cdot (d/2)^2$$

$d$  : ファスナーの呼び径 (mm)

$A_j \cdot \sigma_U$  : 接合ファスナーの破断耐力 (N)

(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合

a. 十字プレートの場合

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_1 A_3 \cdot {}_b \sigma_U$$
$${}_1 A_3 = n \cdot {}_b e \cdot {}_b t$$

ここで,

- ${}_b \sigma_U$  : 十字プレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_b e$  : 十字プレートのはしあき距離 (mm)  
 ${}_b t$  : 十字プレートのファスナー接合部での板厚 (mm)  
 $n$  : ファスナーの数  
 $A_j \cdot \sigma_U$  : 十字プレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

b. スプライスプレート

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_2 A_3 \cdot {}_s \sigma_U$$
$${}_2 A_3 = n \cdot {}_s e \cdot {}_s t$$

ここで,

- ${}_s \sigma_U$  : スプライスプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_s e$  : スプライスプレートのはしあき距離 (mm)  
 ${}_s t$  : スプライスプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)  
 $n$  : ファスナーの数  
 $A_j \cdot \sigma_U$  : スプライスプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

c. ガセットプレート端部の場合

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_3 A_3 \cdot {}_g \sigma_U$$
$${}_3 A_3 = n \cdot {}_g e \cdot {}_g t$$

ここで,

- ${}_g \sigma_U$  : ガセットプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_g e$  : ガセットプレートのはしあき距離 (mm)  
 ${}_g t$  : ガセットプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)  
 $n$  : ファスナーの数  
 $A_j \cdot \sigma_U$  : ガセットプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

(4) ガセットプレートの破断による場合

$$A_j \cdot \sigma_U = A_4 \cdot g \sigma_U$$

$$A_4 = (2/\sqrt{3} \cdot \ell_1 + b) \cdot g t - A_d$$

ここで、

$g \sigma_U$  : ガセットプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell_1$  : 応力方向の両端ボルト間の距離 (mm)

$b$  : 応力直交方向の両端ボルト間の距離 (mm)

$g t$  : ガセットプレートの板厚 (mm)

$A_d$  : ガセットプレートのファスナー端部における欠損断面積  
(mm<sup>2</sup>)

$A_j \cdot \sigma_U$  : ガセットプレートの破断耐力 (N)

(5) 溶接部で破断する場合

接合部はすみ肉溶接であるため、次式より算出する。

$$A_j \cdot \sigma_U = 1/\sqrt{3} \cdot A_5 \cdot a \sigma_U$$

$$A_5 = 0.7 \cdot S \cdot \ell_e \cdot n_w$$

ここで、

$a \sigma_U$  : 接合される母材の破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell_e$  : すみ肉溶接の有効長さ (mm)

ただし、 $\ell_e = \ell - 2S$  とする。

$\ell$  : 1つの連続した隅肉溶接の長さ (mm)

$S$  : すみ溶接のサイズ (mm)

$n_w$  : 溶接線数 (本)

$A_j \cdot \sigma_U$  : 溶接部の破断耐力 (N)



3. 検討条件

各部材の接合部検討用の諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。

表 3-1 接合部検討用諸元（リブ付きフランジ継手：主柱材）

標高	O. P. (m)	155.4-149.8	144.4-138.3	132.4-125.8
符号		リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手
		J-1	J-2	J-3
使用部材	外径 (mm)	406.4	558.8	711.2
	板厚 (mm)	7.9	9.5	12.7
	材質	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22
		12G SHTB	12G SHTB	12G SHTB
検討用諸元				
A	mm <sup>2</sup>	8616	14641	25637
Z	×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	841.9	1976.8	4398.0
n	本	12	18	30
T	kN	222	222	222

記号の説明

- A : 断面積
- Z : 断面係数
- n : ボルト本数
- T : ボルト 1 本あたりの引張破断耐力

表 3-2(1) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2
	板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
$h_1$	mm	520	520	520	520	520
$h_2$	mm	528	524	532	524	535
$t$	mm	18	14	22	14	25
$A_g$	mm <sup>2</sup>	16480	12360	20600	12360	23690
$r$	列	3	3	3	3	3
$m$	面	2	2	2	2	2
$d_o$	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
$b_s$	mm	220	220	220	220	220
$t_s$	mm	10	10	10	10	10
$\sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- $h_1$  : 十字プレートの幅 (鉛直)
- $h_2$  : 十字プレートの幅 (水平)
- $t$  : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- $A_g$  : 十字プレートの断面積
- $r$  : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- $m$  : ファスナーがせん断を受ける面の数
- $d_o$  : 高力ボルト孔径
- $b_s$  : スプライスプレートの幅
- $t_s$  : スプライスプレートの板厚
- $\sigma_U$  : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$  : 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-2(2) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4
	板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
$h_1$	mm	480	480	480	480	480
$h_2$	mm	495	484	502	484	498
$t$	mm	25	14	32	14	28
$A_g$	mm <sup>2</sup>	21850	11400	28500	11400	24700
$r$	列	2	2	2	2	2
$m$	面	2	2	2	2	2
$d_o$	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
$b_s$	mm	200	200	200	200	200
$t_s$	mm	9	9	9	9	9
$\sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- $h_1$  : 十字プレートの幅 (鉛直)
- $h_2$  : 十字プレートの幅 (水平)
- $t$  : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- $A_g$  : 十字プレートの断面積
- $r$  : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- $m$  : ファスナーがせん断を受ける面の数
- $d_o$  : 高力ボルト孔径
- $b_s$  : スプライスプレートの幅
- $t_s$  : スプライスプレートの板厚
- $\sigma_U$  : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$  : 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-2(3) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
$h_1$	mm	390	390	390	390	390
$h_2$	mm	408	390	396	390	399
$t$	mm	28	10	16	10	19
$A_g$	mm <sup>2</sup>	20020	6160	10780	6160	13090
$r$	列	2	2	2	2	2
$m$	面	2	2	2	2	2
$d_o$	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
$b_s$	mm	150	150	150	150	150
$t_s$	mm	7	7	7	7	7
$\sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- $h_1$  : 十字プレートの幅 (鉛直)
- $h_2$  : 十字プレートの幅 (水平)
- $t$  : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- $A_g$  : 十字プレートの断面積
- $r$  : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- $m$  : ファスナーがせん断を受ける面の数
- $d_o$  : 高力ボルト孔径
- $b_s$  : スプライスプレートの幅
- $t_s$  : スプライスプレートの板厚
- $\sigma_U$  : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$  : 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-2(4) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径(mm)	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4
	板厚(mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元					
$h_1$	mm	310	310	310	310
$h_2$	mm	319	309	312	309
t	mm	19	9	12	9
$A_g$	mm <sup>2</sup>	10370	4270	6100	4270
r	列	1	1	1	1
m	面	2	2	2	2
$d_o$	mm	21.5	21.5	21.5	21.5
$b_s$	mm	120	120	120	120
$t_s$	mm	6	6	6	6
$\sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
$f\sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- $h_1$  : 十字プレートの幅 (鉛直)
- $h_2$  : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- $A_g$  : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- $d_o$  : 高力ボルト孔径
- $b_s$  : スプライスプレートの幅
- $t_s$  : スプライスプレートの板厚
- $\sigma_U$  : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f\sigma_U$  : 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-3(1) 接合部検討用諸元 (十字継手：水平材)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		J	H-2	I	H-1	A-5
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 318.5	φ 355.6	φ 318.5	φ 267.4
	板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
$h_1$	mm	440	350	390	350	310
$h_2$	mm	440	350	390	350	310
t	mm	12	22	10	10	32
$A_g$	mm <sup>2</sup>	8680	13560	6160	5520	17640
r	列	1	1	1	1	1
m	面	2	2	2	2	2
$d_o$	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
$b_s$	mm	140	120	120	120	120
$t_s$	mm	7	7	7	7	6
$\sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- $h_1$  : 十字プレートの幅 (鉛直)
- $h_2$  : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- $A_g$  : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- $d_o$  : 高力ボルト孔径
- $b_s$  : スプライスプレートの幅
- $t_s$  : スプライスプレートの板厚
- $\sigma_U$  : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$  : 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-3(2) 接合部検討用諸元 (十字継手：水平材)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		H-1	A-1	A-1	F	G
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 267.4	φ 267.4	φ 190.7	φ 216.3
	板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
$h_1$	mm	350	310	310	270	270
$h_2$	mm	350	310	310	270	270
$t$	mm	10	9	9	9	9
$A_g$	mm <sup>2</sup>	5520	4277	4277	3717	3717
$r$	列	1	1	1	1	1
$m$	面	2	2	2	2	2
$d_o$	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
$b_s$	mm	120	120	120	80	90
$t_s$	mm	7	6	6	6	6
$\sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- $h_1$  : 十字プレートの幅 (鉛直)
- $h_2$  : 十字プレートの幅 (水平)
- $t$  : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- $A_g$  : 十字プレートの断面積
- $r$  : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- $m$  : ファスナーがせん断を受ける面の数
- $d_o$  : 高力ボルト孔径
- $b_s$  : スプライスプレートの幅
- $t_s$  : スプライスプレートの板厚
- $\sigma_U$  : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$  : 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

#### 4. 検討結果

##### 4.1 検討用応力

各部材の接合部検討用の評価応力を表 4-1～表 4-3 を示す。

表 4-1 接合部検討用応力（主柱材）

標高 (m)	検討用応力			地震動 (ケース)	使用部材 (mm)	備考	
	N (kN)	M (kN・m)	N' (kN)			継手形式	符号
155.4-149.8	1165.7	58.3	1762.9	Ss-D1 (ケース③)	φ 406.4×7.9	リブ付き フランジ継手	J-1
144.4-138.3	2379.5	114.4	3228.4	Ss-D1 (ケース③)	φ 558.8×9.5	リブ付き フランジ継手	J-2
132.4-125.8	3214.3	299.7	4963.4	Ss-D1 (ケース③)	φ 711.2×12.7	リブ付き フランジ継手	J-3



表 4-2(1) 接合部検討用応力 (斜材)

標高	検討用応力		使用部材	備考	
	N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
0.P. (m)			寸法 (mm)		
164.8	480.9	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
160.3	502.2	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-2
155.4	555.0	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
149.8 上	555.0	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-3
149.8 下	468.2	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-3
144.4	529.4	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
138.3	544.3	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-2
132.4	601.4	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
125.8 上	601.4	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-4
125.8 下	598.2	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-3
118.6	916.1	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
110.3	916.1	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-4
103.6	956.8	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
95.3 上	956.8	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-2

表 4-2(2) 接合部検討用応力 (斜材)

標高	検討用応力		使用部材	備考	
	N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
0.P. (m)			寸法 (mm)		
95.3 下	1058.4	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-4
86.4	1487.4	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-1
75.3	1487.4	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-3
65.1	1489.9	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-1
50.3	1489.9	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-2

表 4-3 接合部検討用応力（水平材）

標高	検討用応力		使用部材	備考	
	N (kN)	地震動 水平方向		継手形式	符号
0.P. (m)			寸法 (mm)		
164.8	216.9	Ss-D3 (ケース①)	φ 216.3×5.8	十字継手	G
155.4	39.1	Ss-D3 (ケース①)	φ 190.7×5.3	十字継手	F
144.4	195.5	Ss-D3 (ケース①)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
132.4	72.9	Ss-D3 (ケース①)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
118.6	273.0	Ss-D3 (ケース①)	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
110.3	100.6	Ss-D3 (ケース①)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-5
103.6	259.7	Ss-D3 (ケース①)	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
86.4	411.1	Ss-D3 (ケース①)	φ 355.6×6.4	十字継手	I
75.3	167.7	Ss-D3 (ケース①)	φ 318.5×6.9	十字継手	H-2
65.1	344.5	Ss-D3 (ケース①)	φ 406.4×6.4	十字継手	J

※水平材は耐力比が 0.5 未満であるため基本ケースのみで評価

## 4.2 検討結果

各部材の接合部検討用の破断耐力の算定結果を表 4-4～表 4-6 に示す。

表 4-4 接合部検討用の破断耐力（主柱材：リブ付きフランジ継手）

標高	O.P. (m)	155.4-149.8	144.4-138.3	132.4-125.8
符号		リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手
		J-1	J-2	J-3
使用部材	外径 (mm)	406.4	558.8	711.2
	板厚 (mm)	7.9	9.5	12.7
	材質	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22
		12G SHTB	12G SHTB	12G SHTB
主柱継手部の検討				
n	本	12	18	30
T	kN	222	222	222
破断耐力				
$P_U$	kN	2664	3996	6660

表 4-5(1) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2
	板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	16480	12360	20600	12360	23690
$A_d$	mm <sup>2</sup>	4128	3096	5160	3096	5934
$A_1$	mm <sup>2</sup>	12352	9264	15440	9264	17756
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4940	3705	6176	3705	7102
b. スプライスプレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	15840	15840	15840	15840	15840
$A_d$	mm <sup>2</sup>	4644	4644	4644	4644	4644
$A_1$	mm <sup>2</sup>	11196	11196	11196	11196	11196
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4478	4478	4478	4478	4478
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	24	24	24	24	24
m	面	2	2	2	2	2
$f A$	mm <sup>2</sup>	235	235	235	235	235
$A_2$	mm <sup>2</sup>	11280	11280	11280	11280	11280
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	8460	8460	8460	8460	8460

表 4-5(2) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2
	板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40	40
$b t$	mm	18	14	22	14	25
$n$	箇所	24	24	24	24	24
${}_1 A_3$	mm <sup>2</sup>	15360	11520	19200	11520	22080
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6144	4608	7680	4608	8832
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)						
$s \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40	40
$s t$	mm	10	10	10	10	10
$n$	箇所	24	24	24	24	24
${}_2 A_3$	mm <sup>2</sup>	17280	17280	17280	17280	17280
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6912	6912	6912	6912	6912
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)						
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40	40
$g t$	mm	18	14	22	14	25
$n$	箇所	24	24	24	24	24
${}_3 A_3$	mm <sup>2</sup>	15360	11520	19200	11520	22080
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6144	4608	7680	4608	8832

表 4-5(3) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材		外径(mm)	$\phi$ 457.2	$\phi$ 457.2	$\phi$ 457.2	$\phi$ 457.2
		板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$\ell_1$	mm	75	75	75	75	75
b	mm	440	440	440	440	440
$g t$	mm	18	14	22	14	25
$A_d$	mm <sup>2</sup>	2064	1548	2580	1548	2967
$A_4$	mm <sup>2</sup>	12512	9384	15640	9384	17986
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	5004	3753	6256	3753	7194
(5) 溶接部で破断する場合						
$a \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
S	mm	9	9	9	9	9
$\ell$	mm	390	390	390	390	390
$\ell_e$	mm	372	372	372	372	372
n <sub>w</sub>	本	8	8	8	8	8
$A_5$	mm <sup>2</sup>	16665	16665	16665	16665	16665
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3848	3848	3848	3848	3848
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	3848	3705	3848	3705	3848

表 4-5(4) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4
	板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	21850	11400	28500	11400	24700
$A_d$	mm <sup>2</sup>	3956	2064	5160	2064	4472
$A_1$	mm <sup>2</sup>	17894	9336	23340	9336	20228
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7157	3734	9336	3734	8091
b. スプライスプレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	12800	12800	12800	12800	12800
$A_d$	mm <sup>2</sup>	2752	2752	2752	2752	2752
$A_1$	mm <sup>2</sup>	10048	10048	10048	10048	10048
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4019	4019	4019	4019	4019
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
${}_f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	20	20	20	20	20
m	面	2	2	2	2	2
${}_f A$	mm <sup>2</sup>	235	235	235	235	235
$A_2$	mm <sup>2</sup>	9400	9400	9400	9400	9400
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7050	7050	7050	7050	7050



表 4-5(5) 接合部検討用の破断耐力 (斜材: 十字継手)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4
	板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40	40
$b t$	mm	25	14	32	14	28
$n$	箇所	20	20	20	20	20
${}_1 A_3$	mm <sup>2</sup>	18400	9600	24000	9600	20800
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7360	3840	9600	3840	8320
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)						
$s \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40	40
$s t$	mm	9	9	9	9	9
$n$	箇所	20	20	20	20	20
${}_2 A_3$	mm <sup>2</sup>	12800	12800	12800	12800	12800
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	5120	5120	5120	5120	5120
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)						
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40	40
$g t$	mm	25	14	32	14	28
$n$	箇所	20	20	20	20	20
${}_3 A_3$	mm <sup>2</sup>	18400	9600	24000	9600	20800
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7360	3840	9600	3840	8320

表 4-5(6) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3
使用部材		外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4
		板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$l_1$	mm	80	80	80	80	80
b	mm	400	400	400	400	400
$g t$	mm	25	14	32	14	28
$A_d$	mm <sup>2</sup>	1978	1032	2580	1032	2236
$A_4$	mm <sup>2</sup>	18124	9456	23640	9456	20488
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7249	3782	9456	3782	8195
(5) 溶接部で破断する場合						
$a \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
S	mm	7	7	7	7	7
$l$	mm	425	425	425	425	425
$l_e$	mm	411	411	411	411	411
n <sub>w</sub>	本	8	8	8	8	8
$A_5$	mm <sup>2</sup>	13809	13809	13809	13809	13809
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3189	3189	3189	3189	3189
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	3189	3189	3189	3189	3189

表 4-5(7) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3
使用部材		外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6
		板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	20020	6160	10780	6160	13090
$A_d$	mm <sup>2</sup>	4472	1376	2408	1376	2924
$A_1$	mm <sup>2</sup>	15548	4784	8372	4784	10166
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6219	1913	3348	1913	4066
b. スプライスプレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	7200	7200	7200	7200	7200
$A_d$	mm <sup>2</sup>	2064	2064	2064	2064	2064
$A_1$	mm <sup>2</sup>	5136	5136	5136	5136	5136
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2054	2054	2054	2054	2054
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	12	12	12	12	12
m	面	2	2	2	2	2
$f A$	mm <sup>2</sup>	235	235	235	235	235
$A_2$	mm <sup>2</sup>	5640	5640	5640	5640	5640
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4230	4230	4230	4230	4230

表 4-5(8) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3
使用部材		外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6
		板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40	40
$b t$	mm	28	10	16	10	19
$n$	箇所	12	12	12	12	12
${}_1 A_3$	mm <sup>2</sup>	12480	3840	6720	3840	8160
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4992	1536	2688	1536	3264
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)						
$s \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40	40
$s t$	mm	7	7	7	7	7
$n$	箇所	12	12	12	12	12
${}_2 A_3$	mm <sup>2</sup>	5760	5760	5760	5760	5760
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2304	2304	2304	2304	2304
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)						
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40	40
$g t$	mm	28	10	16	10	19
$n$	箇所	12	12	12	12	12
${}_3 A_3$	mm <sup>2</sup>	12480	3840	6720	3840	8160
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4992	1536	2688	1536	3264

表 4-5(9) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下	
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3	
使用部材		外径(mm)	$\phi$ 355.6	$\phi$ 355.6	$\phi$ 355.6	$\phi$ 355.6	
		板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	
(4) ガセットプレートの破断による場合							
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	
$l_1$	mm	80	80	80	80	80	
b	mm	300	300	300	300	300	
$g t$	mm	28	10	16	10	19	
$A_d$	mm <sup>2</sup>	2236	688	1204	688	1462	
$A_4$	mm <sup>2</sup>	15808	4864	8512	4864	10336	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6323	1945	3404	1945	4134	
(5) 溶接部で破断する場合							
$a \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	
S	mm	6	6	6	6	6	
$l$	mm	290	290	290	290	290	
$l_e$	mm	278	278	278	278	278	
n <sub>w</sub>	本	8	8	8	8	8	
$A_5$	mm <sup>2</sup>	7784	7784	7784	7784	7784	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1797	1797	1797	1797	1797	
破断耐力							
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1797	1536	1797	1536	1797	

表 4-5(10) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

標高	O.P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径 (mm)	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4
	板厚 (mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合					
a. 十字プレート端部					
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	10370	4270	6100	4270
$A_d$	mm <sup>2</sup>	1462	602	860	602
$A_1$	mm <sup>2</sup>	8908	3668	5240	3668
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3563	1467	2096	1467
b. スプライスプレート端部					
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	4800	4800	4800	4800
$A_d$	mm <sup>2</sup>	860	860	860	860
$A_1$	mm <sup>2</sup>	3940	3940	3940	3940
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1576	1576	1576	1576
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合					
$f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000
n	箇所	8	8	8	8
m	面	2	2	2	2
$f A$	mm <sup>2</sup>	235	235	235	235
$A_2$	mm <sup>2</sup>	3760	3760	3760	3760
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2820	2820	2820	2820

表 4-5(11) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O.P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径 (mm)	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4
	板厚 (mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合					
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)					
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40
$b t$	mm	19	9	12	9
$n$	箇所	8	8	8	8
${}_1 A_3$	mm <sup>2</sup>	5440	2240	3200	2240
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2176	896	1280	896
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)					
$s \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40
$s t$	mm	6	6	6	6
$n$	箇所	8	8	8	8
${}_2 A_3$	mm <sup>2</sup>	3200	3200	3200	3200
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1280	1280	1280	1280
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)					
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40
$g t$	mm	19	9	12	9
$n$	箇所	8	8	8	8
${}_3 A_3$	mm <sup>2</sup>	5440	2240	3200	2240
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2176	896	1280	896

表 4-5(12) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O.P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径 (mm)	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4
	板厚 (mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合					
${}_g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
$\ell_1$	mm	75	75	75	75
b	mm	190	189	190	189
${}_g t$	mm	19	9	12	9
$A_d$	mm <sup>2</sup>	731	301	430	301
$A_4$	mm <sup>2</sup>	7942	3256	4672	3256
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3176	1302	1868	1302
(5) 溶接部で破断する場合					
${}_a \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6
$\ell$	mm	190	190	190	190
$\ell_e$	mm	178	178	178	178
$n_w$	本	8	8	8	8
$A_5$	mm <sup>2</sup>	4984	4984	4984	4984
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1151	1151	1151	1151
破断耐力					
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1151	896	1151	896



表 4-6(1) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		J	H-2	I	H-1	A-5
使用部材	外径(mm)	$\phi$ 406.4	$\phi$ 318.5	$\phi$ 355.6	$\phi$ 318.5	$\phi$ 267.4
	板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	8680	13560	6160	5520	17640
$A_d$	mm <sup>2</sup>	860	1720	688	688	2580
$A_1$	mm <sup>2</sup>	7820	11840	5472	4832	15060
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3128	4736	2188	1932	6024
b. スプライスプレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	6720	5760	5760	5760	4800
$A_d$	mm <sup>2</sup>	1032	1032	1032	1032	860
$A_1$	mm <sup>2</sup>	5688	4728	4728	4728	3940
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2275	1891	1891	1891	1576
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
${}_f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	8	8	8	8	8
m	面	2	2	2	2	2
${}_f A$	mm <sup>2</sup>	235	235	235	235	235
$A_2$	mm <sup>2</sup>	3760	3760	3760	3760	3760
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2820	2820	2820	2820	2820

表 4-6(2) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3	
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	
		J	H-2	I	H-1	A-5	
使用部材		外径(mm)	φ 406.4	φ 318.5	φ 355.6	φ 318.5	φ 267.4
		板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合							
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)							
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	
$b e$	mm	40	40	40	40	40	
$b t$	mm	12	22	10	10	32	
$n$	箇所	8	8	8	8	8	
${}_1 A_3$	mm <sup>2</sup>	3200	6400	2560	2560	9600	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1280	2560	1024	1024	3840	
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)							
$s \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	
$s e$	mm	40	40	40	40	40	
$s t$	mm	7	7	7	7	6	
$n$	箇所	8	8	8	8	8	
${}_2 A_3$	mm <sup>2</sup>	3840	3840	3840	3840	3200	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1536	1536	1536	1536	1280	
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)							
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	
$g e$	mm	40	40	40	40	40	
$g t$	mm	12	22	10	10	32	
$n$	箇所	8	8	8	8	8	
${}_3 A_3$	mm <sup>2</sup>	3200	6400	2560	2560	9600	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1280	2560	1024	1024	3840	

表 4-6(3) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		J	H-2	I	H-1	A-5
使用部材	外径(mm)	$\phi$ 406.4	$\phi$ 318.5	$\phi$ 355.6	$\phi$ 318.5	$\phi$ 267.4
	板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
${}_g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$\ell_1$	mm	75	75	75	75	75
b	mm	210	190	190	190	190
${}_g t$	mm	12	22	10	10	32
$A_d$	mm <sup>2</sup>	430	860	344	344	1290
$A_4$	mm <sup>2</sup>	5072	9344	3737	3737	14016
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2028	3737	1494	1494	5606
(5) 溶接部で破断する場合						
${}_a \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6	6
$\ell$	mm	275	235	245	235	190
$\ell_e$	mm	263	223	233	223	178
n <sub>w</sub>	本	8	8	8	8	8
$A_5$	mm <sup>2</sup>	7364	6244	6524	6244	4984
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1700	1441	1506	1441	1151
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1280	1441	1024	1024	1151

表 4-6(4) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8	
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	
		H-1	A-1	A-1	F	G	
使用部材		外径(mm)	φ 318.5	φ 267.4	φ 267.4	φ 190.7	φ 216.3
		板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	
(1) 部材端部で破断する場合							
a. 十字プレート端部							
${}_b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	
$A_g$	mm <sup>2</sup>	5520	4277	4277	3717	3717	
$A_d$	mm <sup>2</sup>	688	602	602	602	602	
$A_1$	mm <sup>2</sup>	4832	3675	3675	3115	3115	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1932	1470	1470	1246	1246	
b. スプライスプレート端部							
${}_b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400	
$A_g$	mm <sup>2</sup>	5760	4800	4800	3200	3600	
$A_d$	mm <sup>2</sup>	1032	860	860	860	860	
$A_1$	mm <sup>2</sup>	4728	3940	3940	2340	2740	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1891	1576	1576	936	1096	
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合							
${}_f \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	
n	箇所	8	8	8	8	8	
m	面	2	2	2	2	2	
${}_f A$	mm <sup>2</sup>	235	235	235	235	235	
$A_2$	mm <sup>2</sup>	3760	3760	3760	3760	3760	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2820	2820	2820	2820	2820	

表 4-6(5) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		H-1	A-1	A-1	F	G
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 267.4	φ 267.4	φ 190.7	φ 216.3
	板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)						
$b \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40	40
$b t$	mm	10	9	9	9	9
$n$	箇所	8	8	8	8	8
${}_1 A_3$	mm <sup>2</sup>	2560	2240	2240	2240	2240
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1024	896	896	896	896
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)						
$s \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40	40
$s t$	mm	7	6	6	6	6
$n$	箇所	8	8	8	8	8
${}_2 A_3$	mm <sup>2</sup>	3840	3200	3200	3200	3200
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1536	1280	1280	1280	1280
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)						
$g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40	40
$g t$	mm	10	9	9	9	9
$n$	箇所	8	8	8	8	8
${}_3 A_3$	mm <sup>2</sup>	2560	2240	2240	2240	2240
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1024	896	896	896	896

表 4-6(6) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		H-1	A-1	A-1	F	G
使用部材	外径(mm)	$\phi$ 318.5	$\phi$ 267.4	$\phi$ 267.4	$\phi$ 190.7	$\phi$ 216.3
	板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
${}_g \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
$\ell_1$	mm	75	75	75	75	75
b	mm	190	190	190	190	190
${}_g t$	mm	10	9	9	9	9
$A_d$	mm <sup>2</sup>	344	301	301	301	301
$A_4$	mm <sup>2</sup>	3737	3270	3270	3178	3178
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1494	1308	1308	1271	1271
(5) 溶接部で破断する場合						
${}_a \sigma_U$	N/mm <sup>2</sup>	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	5	5
$\ell$	mm	235	190	190	130	165
$\ell_e$	mm	223	178	178	120	155
n <sub>w</sub>	本	8	8	8	8	8
$A_5$	mm <sup>2</sup>	6244	4984	4984	2688	3472
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1441	1151	1151	620	801
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1024	896	896	620	801

各部材について、検討用応力と接合部の破断耐力の比較を表 4-7～表 4-9 に示す。  
 検討用応力は、接合部の破断耐力以下であることを確認した。

表 4-7 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（主柱材）

標高 O.P. (m)	検討用 応力 N' (kN)	破断 耐力 Pu (kN)	検定値 N' /Pu	使用部材 寸法 (mm)	備考	
					継手形式	符号
155.4-149.8	1762.9	2664	0.67	φ 406.4×7.9	リブ付き フランジ継手	J-1
144.4-138.3	3228.4	3996	0.81	φ 558.8×9.5	リブ付き フランジ継手	J-2
132.4-125.8	4963.4	6660	0.75	φ 711.2×12.7	リブ付き フランジ継手	J-3

表 4-8 検討用応力と接合部の破断耐力の比較 (斜材)

標高 O. P. (m)	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 Pu (kN)	検定値 N/Pu	使用部材 寸法 (mm)	備考	
					継手形式	符号
164.8	480.9	896	0.54	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
160.3	502.2	1151	0.44	φ 267.4×6.6	十字継手	A-2
155.4	555.0	896	0.62	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
149.8 上	555.0	1151	0.49	φ 267.4×6.6	十字継手	A-3
149.8 下	468.2	1797	0.27	φ 355.6×6.4	十字継手	B-3
144.4	529.4	1536	0.35	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
138.3	544.3	1797	0.31	φ 355.6×6.4	十字継手	B-2
132.4	601.4	1536	0.40	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
125.8 上	601.4	1797	0.34	φ 355.6×6.4	十字継手	B-4
125.8 下	598.2	3189	0.19	φ 406.4×7.9	十字継手	C-3
118.6	916.1	3189	0.29	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
110.3	916.1	3189	0.29	φ 406.4×7.9	十字継手	C-4
103.6	956.8	3189	0.31	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
95.3 上	956.8	3189	0.31	φ 406.4×7.9	十字継手	C-2
95.3 下	1058.4	3848	0.28	φ 457.2×9.5	十字継手	D-4
86.4	1487.4	3705	0.41	φ 457.2×9.5	十字継手	D-1
75.3	1487.4	3848	0.39	φ 457.2×9.5	十字継手	D-3
65.1	1489.9	3705	0.41	φ 457.2×9.5	十字継手	D-1
50.3	1489.9	3848	0.39	φ 457.2×9.5	十字継手	D-2



表 4-9 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（水平材）

標高 O. P. (m)	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 Pu (kN)	検定値 N/Pu	使用部材 寸法 (mm)	備考	
					継手形式	符号
164.8	216.9	801	0.28	φ 216.3×5.8	十字継手	G
155.4	39.1	620	0.07	φ 190.7×5.3	十字継手	F
144.4	195.5	896	0.22	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
132.4	72.9	896	0.09	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
118.6	273.0	1024	0.27	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
110.3	100.6	1151	0.09	φ 267.4×6.6	十字継手	A-5
103.6	259.7	1024	0.26	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
86.4	411.1	1024	0.41	φ 355.6×6.4	十字継手	I
75.3	167.7	1441	0.12	φ 318.5×6.9	十字継手	H-2
65.1	344.5	1280	0.27	φ 406.4×6.4	十字継手	J

別紙 5 第 1 号機排気筒の斜面による地震動の増幅について

## 目次

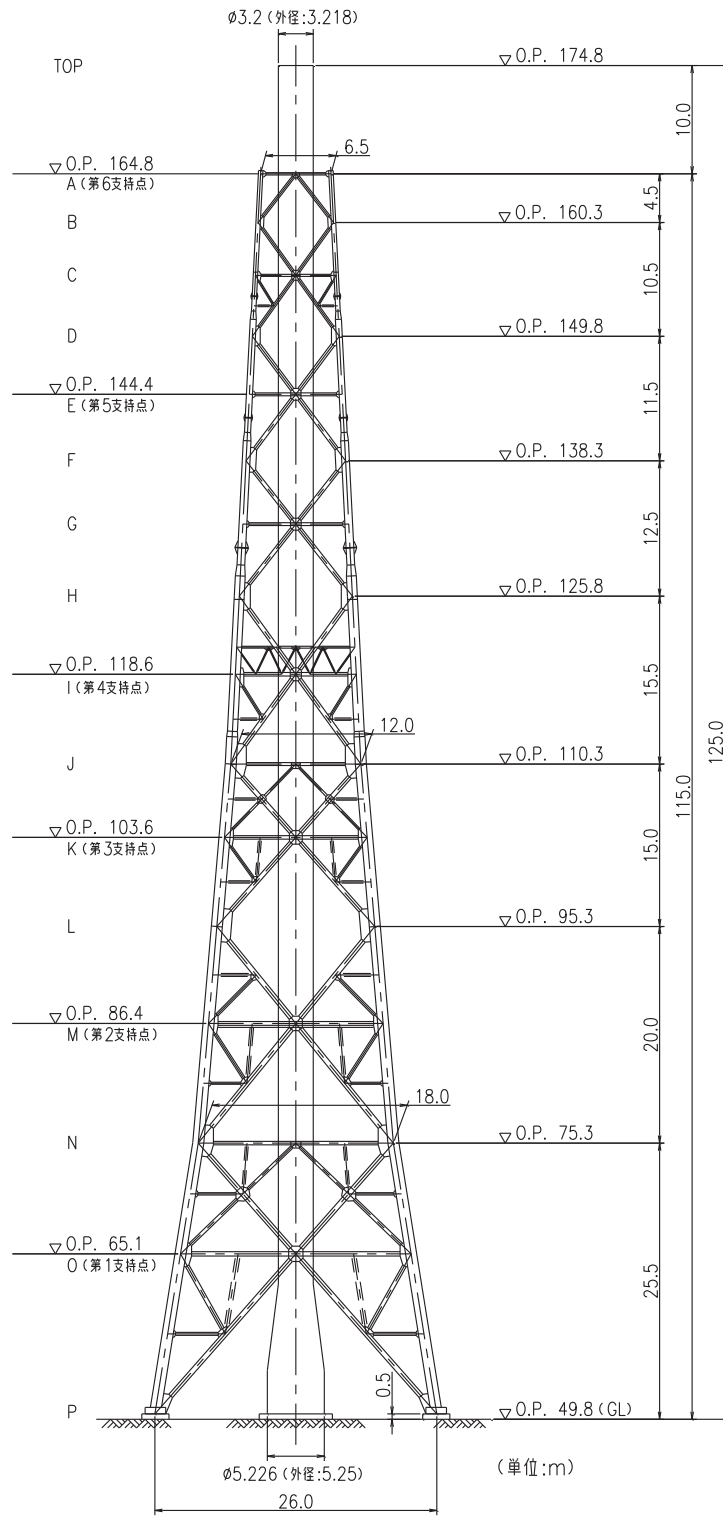
1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-1
3. 第1号機排気筒への入力地震動算出方法	別紙 5-4
3.1 入力地震動算出断面	別紙 5-4
3.2 評価に用いる地震波	別紙 5-5
3.3 解析方法	別紙 5-5
3.4 地震応答解析モデルへの入力地震動	別紙 5-5
3.5 解析モデル及び諸元	別紙 5-7
4. 解析モデルの妥当性検討	別紙 5-16
4.1 荷重及び荷重の組合せ	別紙 5-16
4.2 許容限界，使用材料及び材料の許容応力度	別紙 5-16
4.3 断面の評価方法	別紙 5-16
4.4 地震応答解析	別紙 5-17
4.5 評価結果	別紙 5-17

## 1. 概要

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」においては、第1号機排気筒への入力地震動の作成を一次元重複反射理論による引上げ解析により求めている。一方で、第1号機排気筒は斜面上に位置していることから、斜面による地震動の増幅の有無を確認し、入力地震動評価の妥当性についての検討を行う。

## 2. 検討方針

入力地震動評価の妥当性検討は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」の「別紙1 第1号機排気筒斜面の耐震性についての計算書」の方法を準用し、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、二次元動的有限要素法による等価線形解析を用いて算定し、第1号機排気筒への入力地震動を作成する。算出された入力地震動を用いて添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」の第1号機排気筒の解析モデルで地震応答解析及び断面算定を実施することで解析結果への影響を確認する。第1号機排気筒の概要図を図2-1に、耐震評価フローを図2-2に示す。



主柱材		1016φ×18.0 ※1	1016φ×12.7 ※1	914.4φ×12.7	711.2φ×12.7	558.8φ×9.5	406.4φ×7.9
斜材	鉄塔	457.2φ×9.5	406.4φ×7.9	355.6φ×6.4	355.6φ×6.4	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6
	水平材	318.5φ×6.9	267.4φ×6.6	318.5φ×6.9	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	190.7φ×5.3
筒身	SMA400AP	t=12	t=9				
部材リスト(単位:mm)							

図 2-1 第 1 号機排気筒の概要図

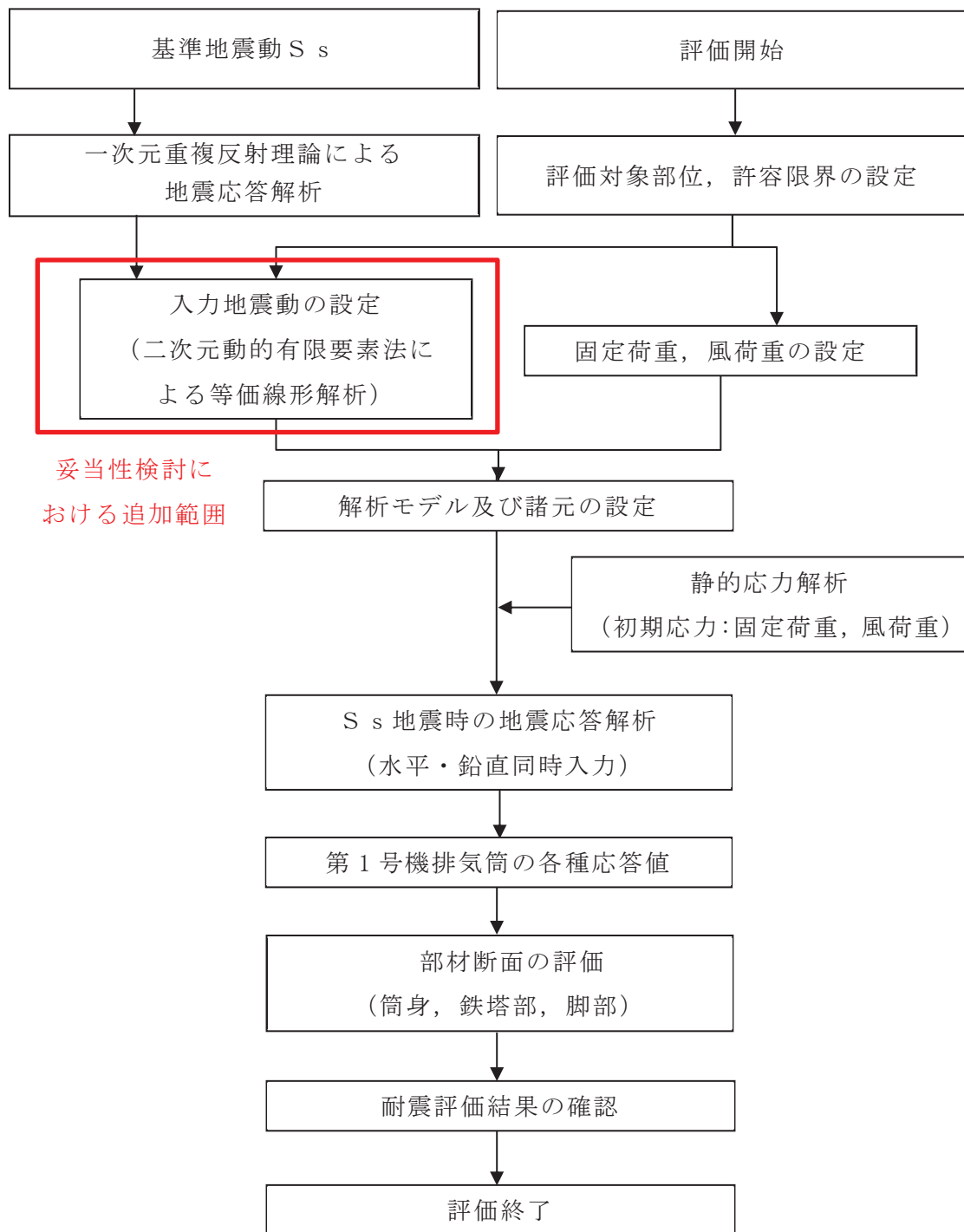


図 2-2 第 1 号機排気筒の耐震評価フロー

### 3. 第1号機排気筒への入力地震動算出方法

#### 3.1 入力地震動算出断面

入力地震動の算出断面は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」の「別紙1 第1号機排気筒斜面の耐震性についての計算書」と同様に、斜面の高さ、斜面の最急勾配の方向を考慮してEW断面とする。

入力地震動算出用の断面位置図を図3-1、入力地震動算出用の地質断面図を図3-2に示す。

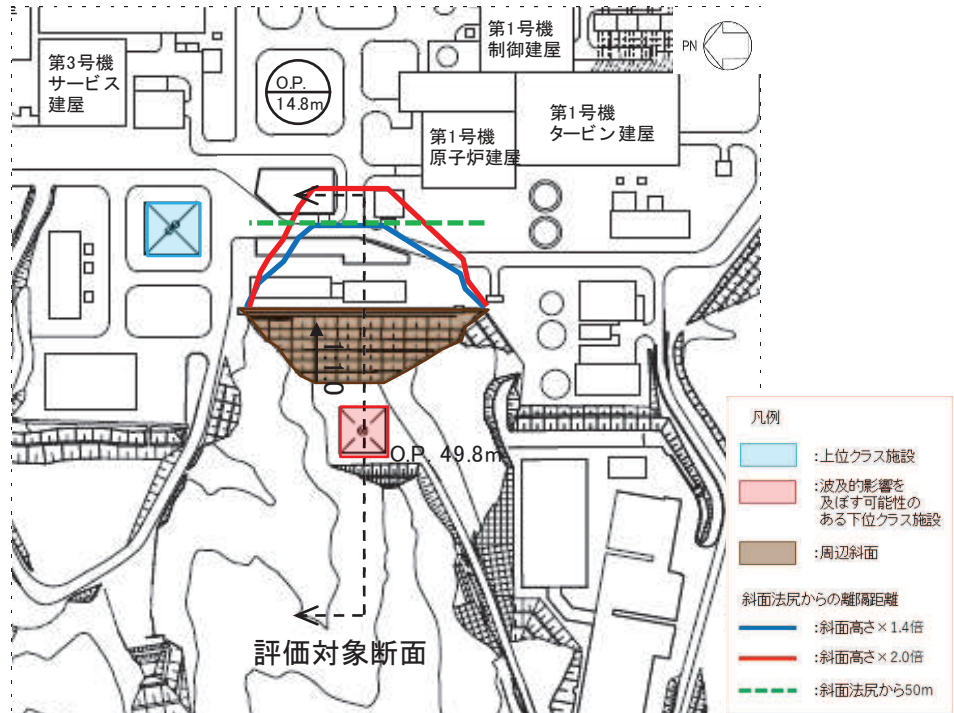


図3-1 第1号機排気筒の入力地震動算出用断面位置図

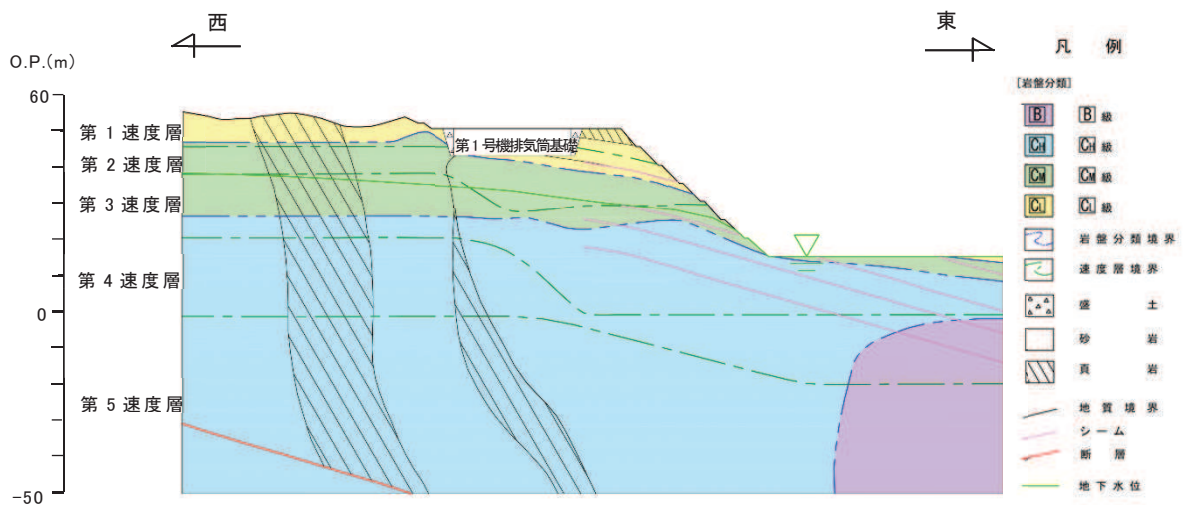


図3-2 第1号機排気筒 入力地震動算出用地質断面図

### 3.2 評価に用いる地震波

地震応答解析に用いる地震波は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同様に基準地震動  $S_s$  (7波) とする。

### 3.3 解析方法

地震応答解析による入力地震動算出は、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  $S_s$  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周波数領域による複素応答解析により行う。地盤と構造物の相互作用は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同様に  $S_R$  モデルを用いることとし、入力地震動の評価は、構造物を取り除いた地盤のみの離散系モデル（二次元有限要素法）により行う。

地震応答解析については、解析コード「SuperFLUSH/2D Ver. 6.1」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。

減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「3. 設計用減衰定数」に示される排気筒の減衰定数を、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」のうち「3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」に示される狐崎部層の減衰定数を使用する。

### 3.4 地震応答解析モデルへの入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、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 3-3 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE 導入時 Ver.」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



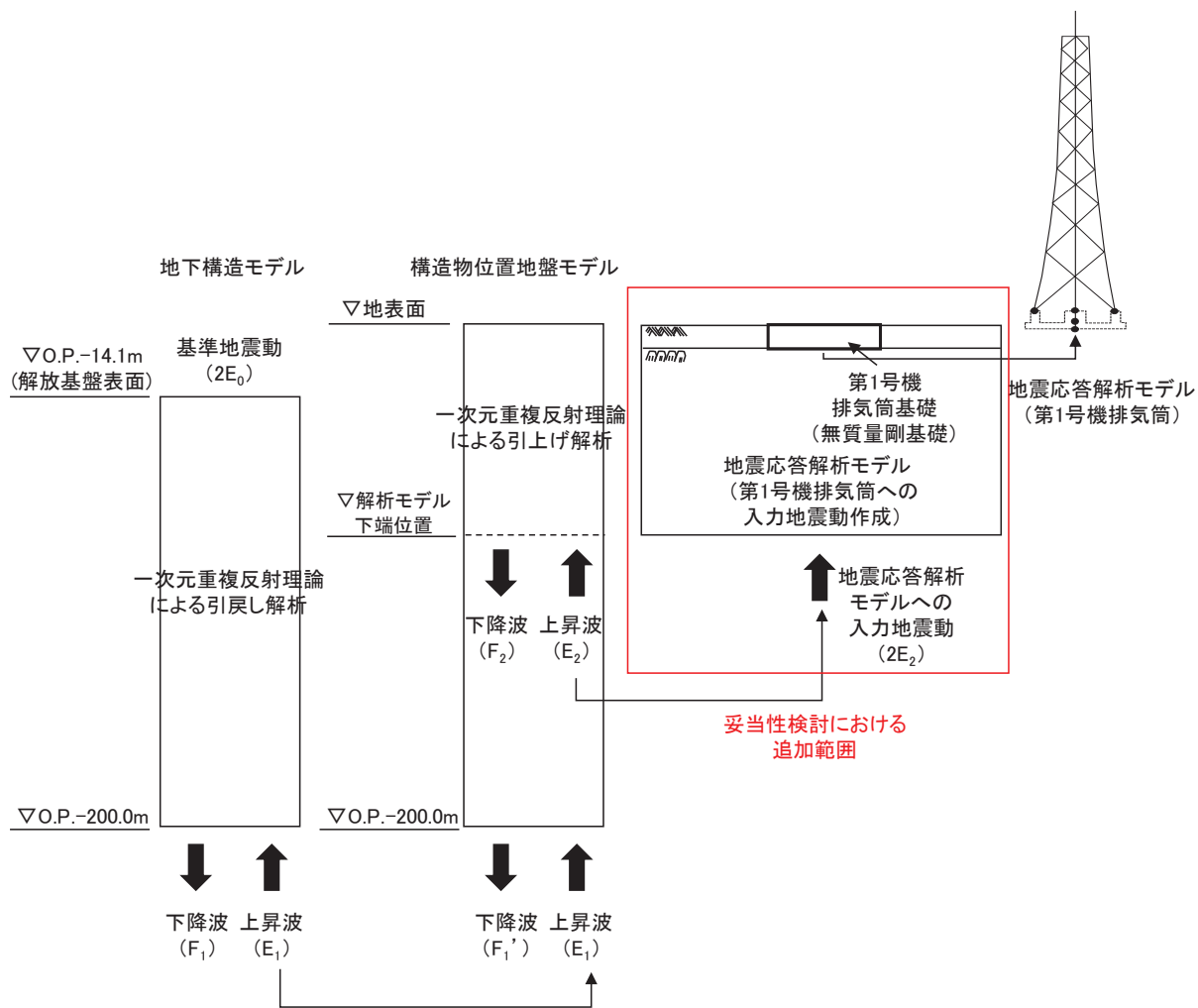


図 3-3 入力地震動の算定方法

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

第1号機排気筒の地震応答解析モデルを図3-4に示す。

##### (1) 解析領域

二次元動的有限要素法による等価線形解析の解析領域は、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

二次元動的有限要素法による等価線形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、底面に粘性境界を、側面にエネルギー伝達境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

第1号機排気筒上部構造はモデル化していないが、第1号機排気筒基礎は無質量の剛要素としてモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土は、等価線形化法により、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

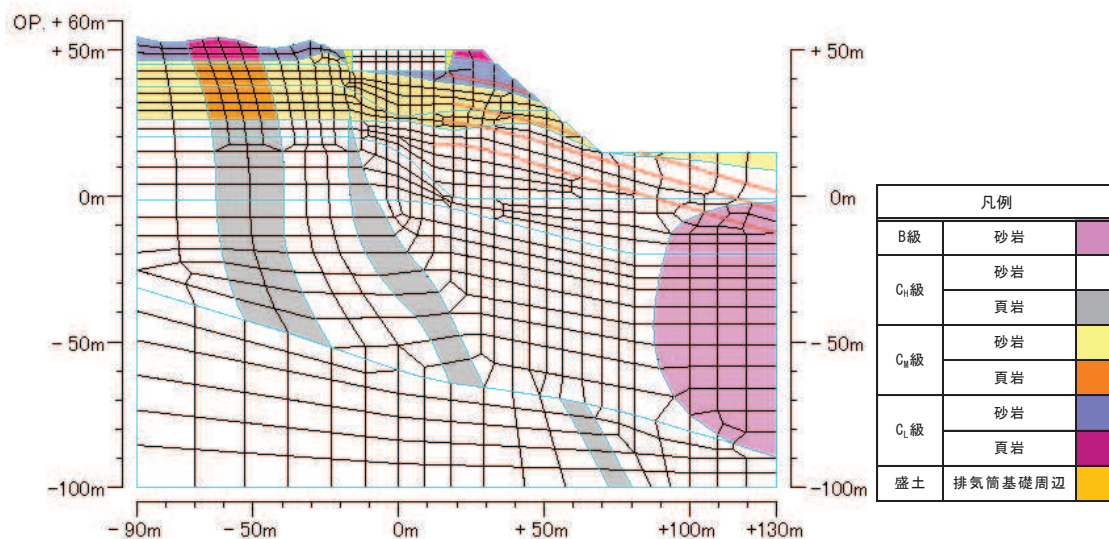


図3-4 第1号機排気筒の地震応答解析モデル図

### 3.5.2 使用材料の物性値及び地盤の物性値

構造物の使用材料及び地盤の物性値は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同様とする。

### 3.5.3 地下水位

設計用地下水位は、添付書類「VI-1-1-6-別添1 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に従い設定する。設計用地下水位を図3-5に示す。

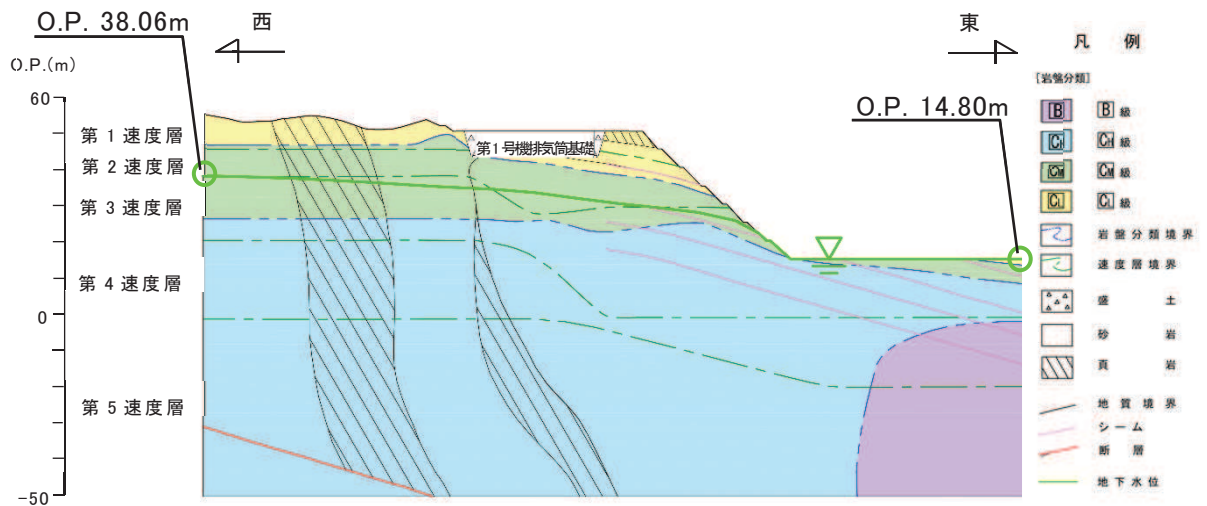
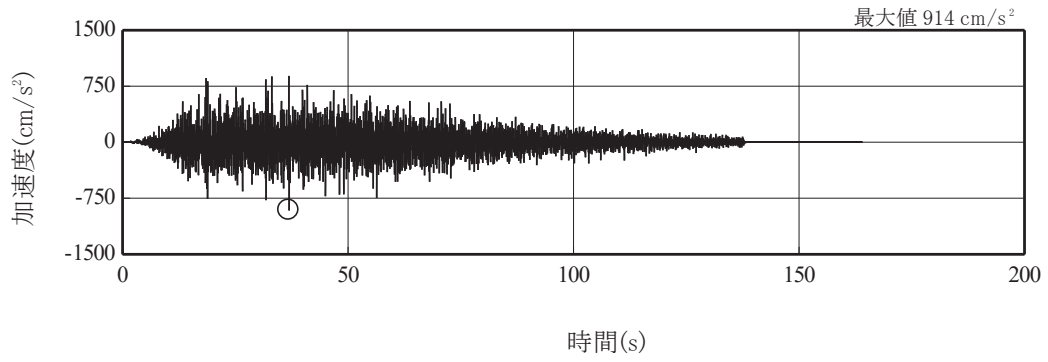


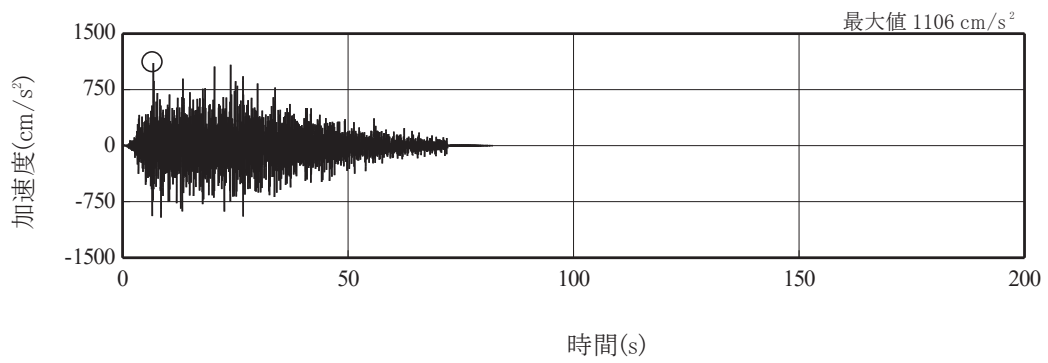
図3-5 設計用地下水位

### 3.6 入力地震動算出結果

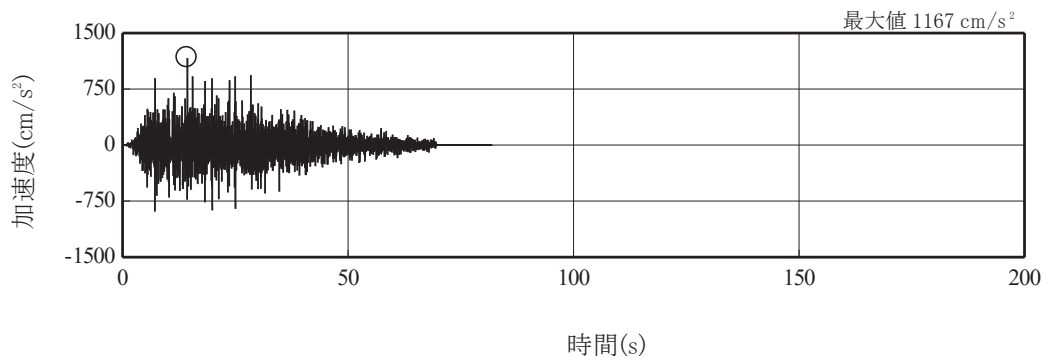
第1号機排気筒における入力地震動の加速度時刻歴波形を図3-6、加速度応答スペクトルを図3-7に示す。



(a) S s - D 1

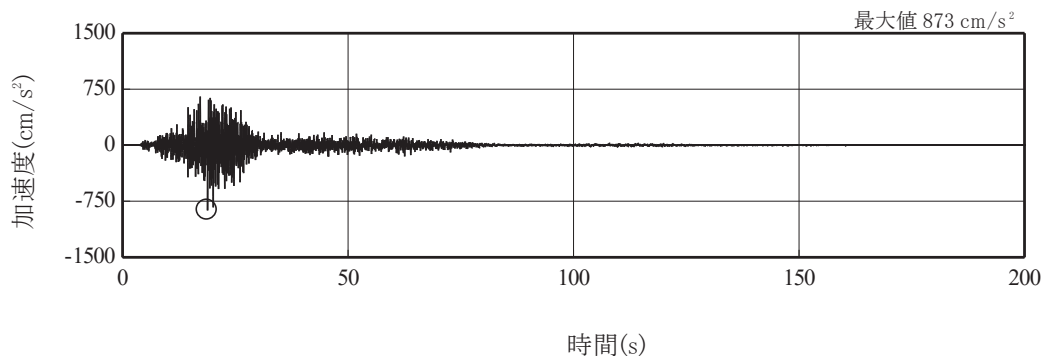


(b) S s - D 2

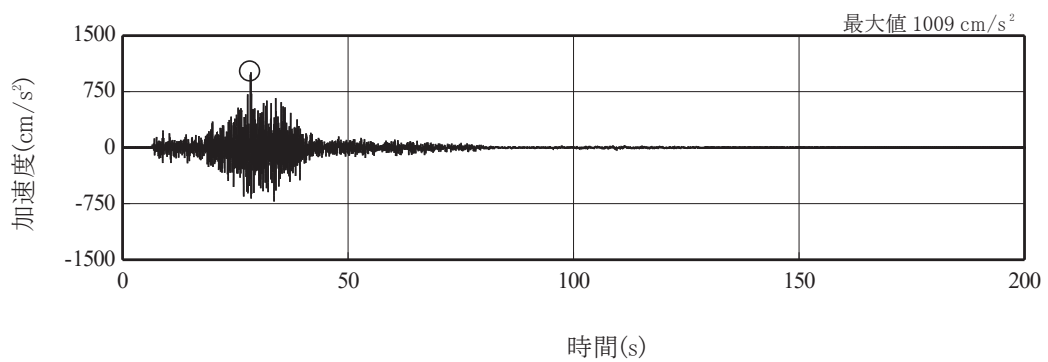


(c) S s - D 3

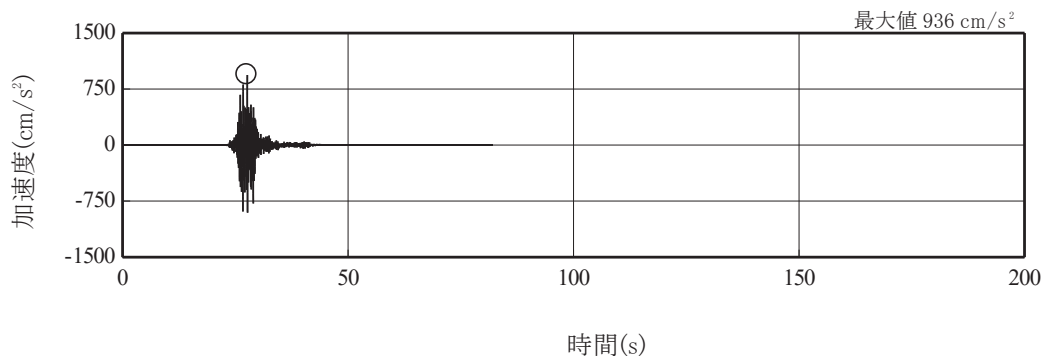
図 3-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(基準地震動 S s, 水平成分) (1/3)



(d) S s - F 1



(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-6(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)

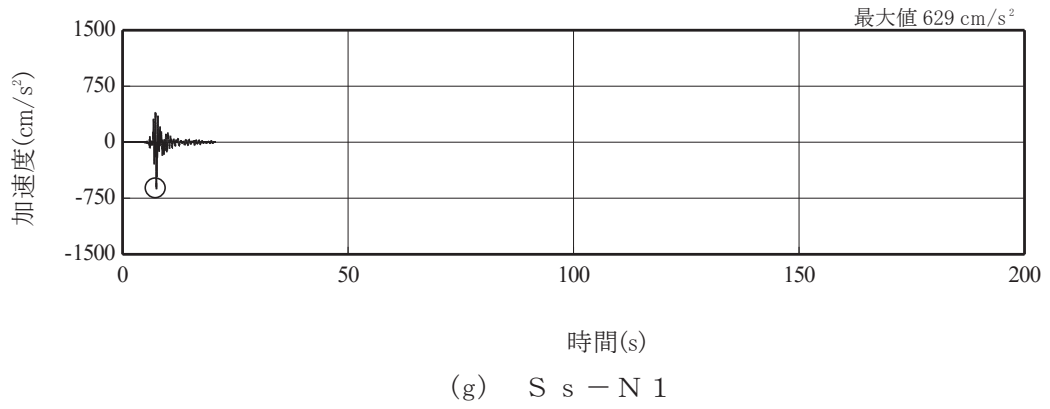
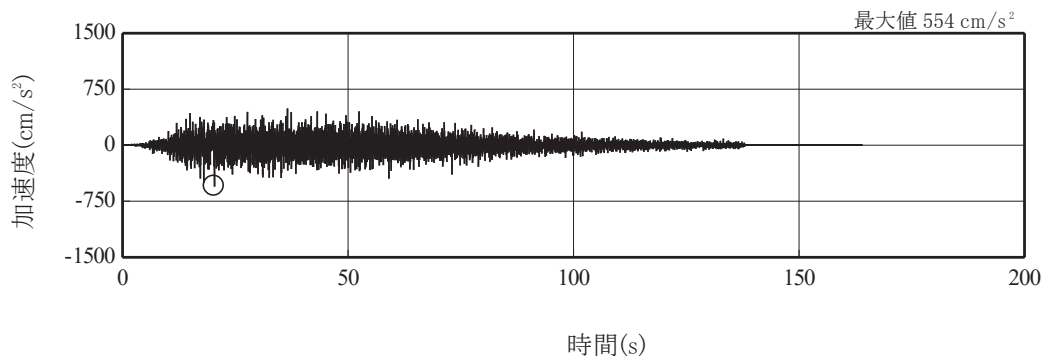
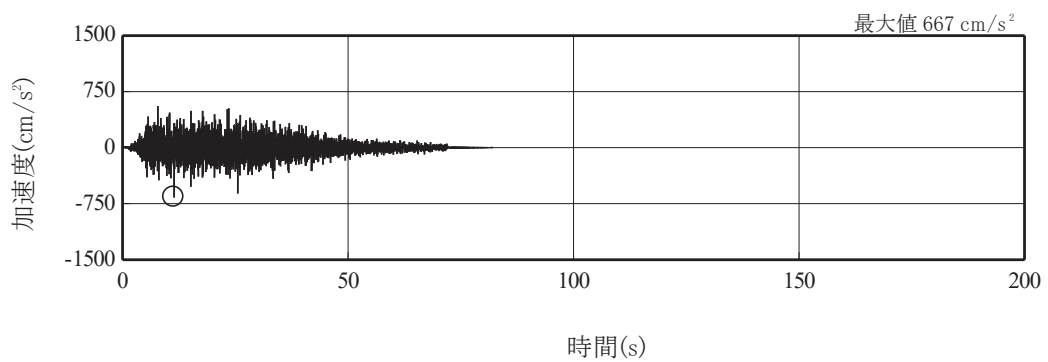


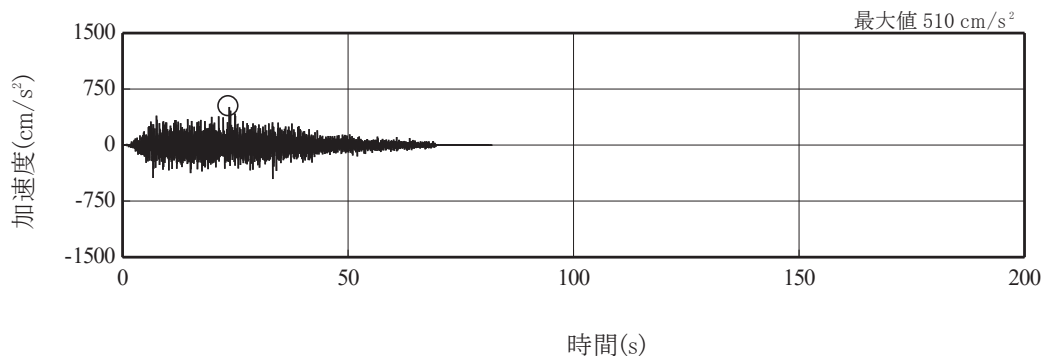
図 3-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (基準地震動 S s , 水平成分) (3/3)



(a) S s - D 1

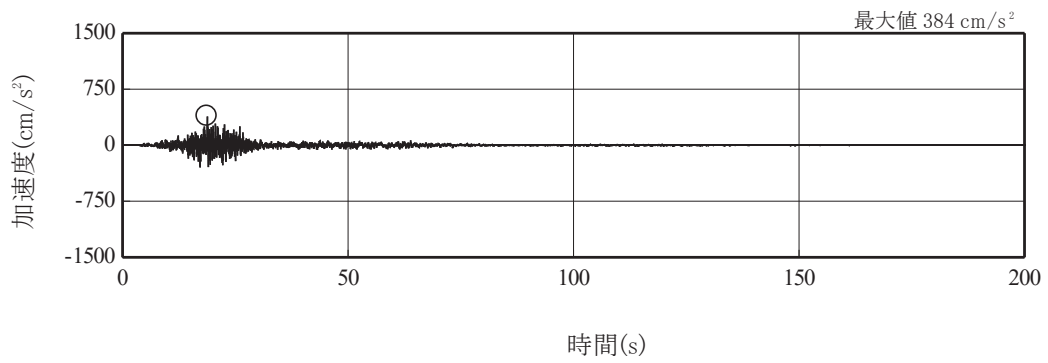


(b) S s - D 2

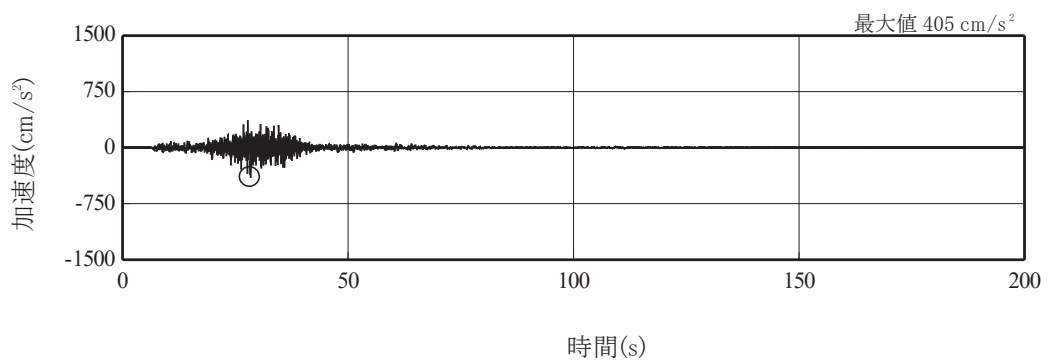


(c) S s - D 3

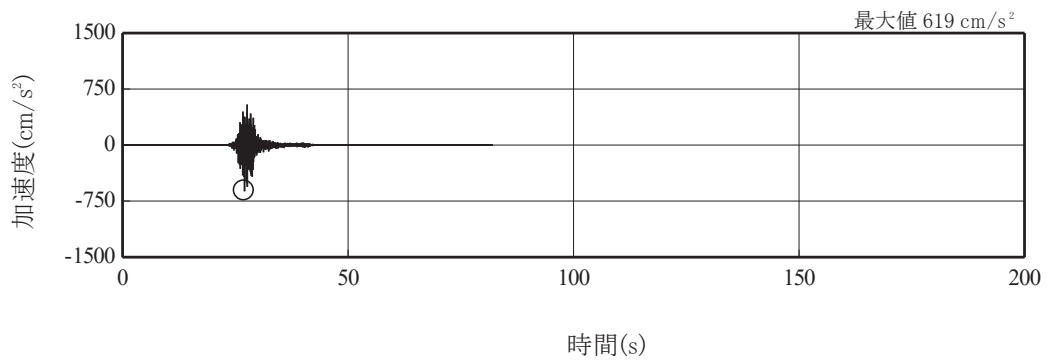
図 3-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
(基準地震動 S s, 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1



(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-6(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)



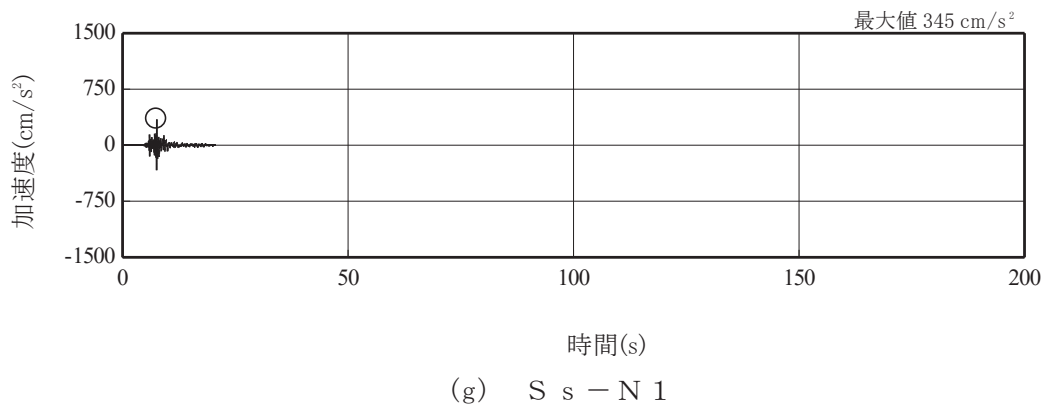


図 3-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形  
 (基準地震動 S s , 鉛直成分) (3/3)

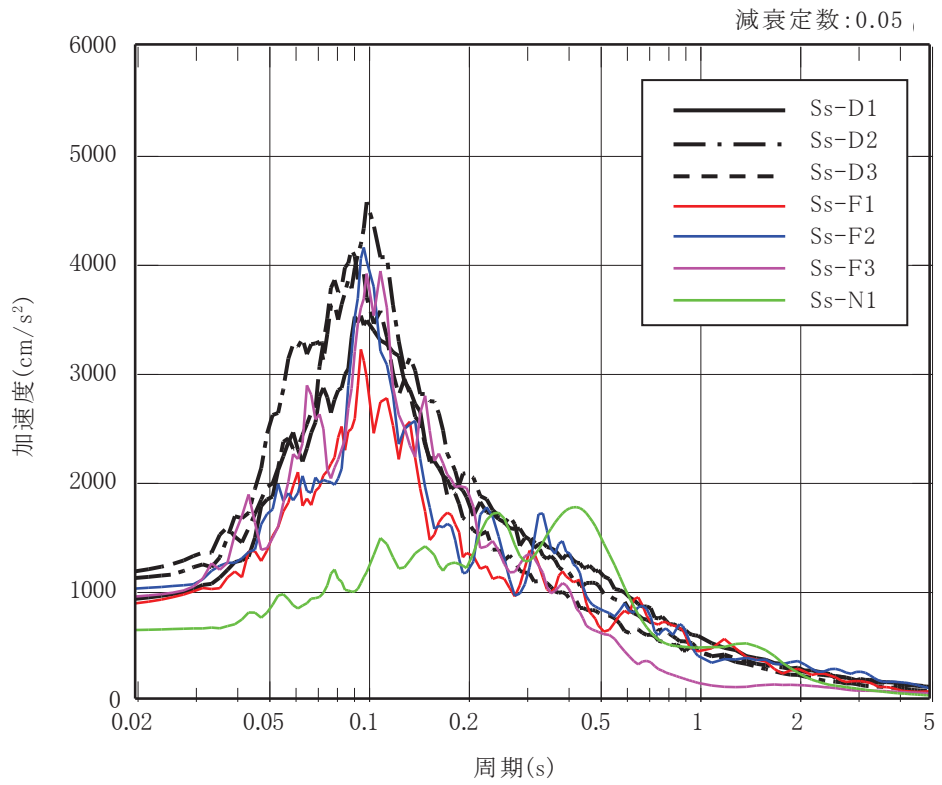


図 3-7(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル  
(基準地震動  $S_s$  , 水平成分)

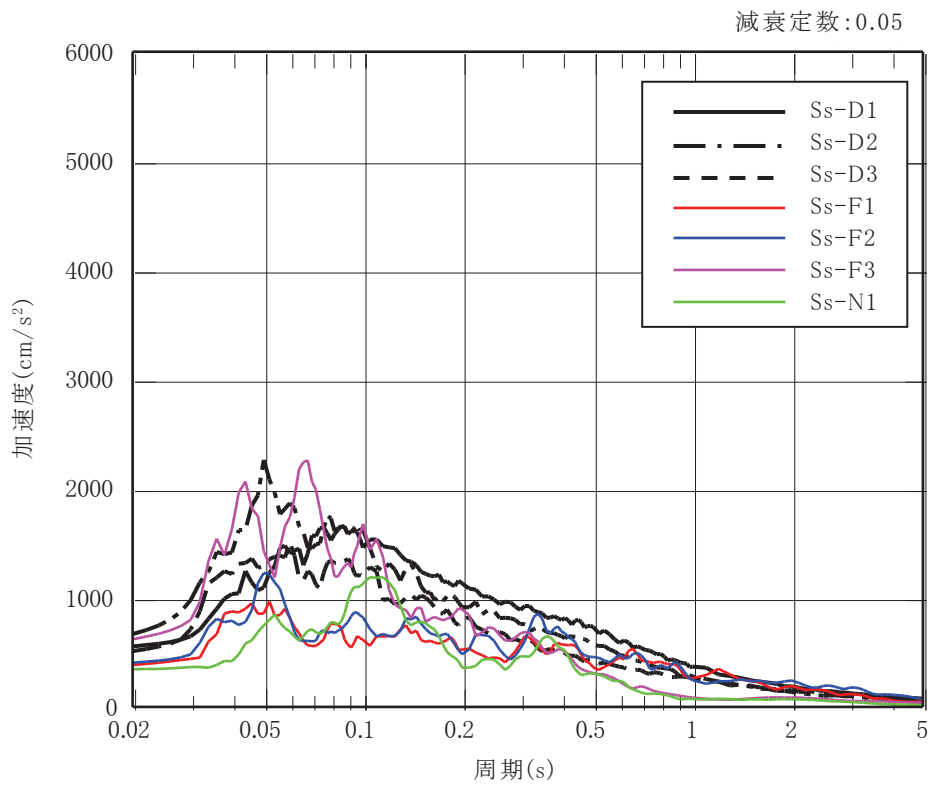


図 3-7(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル  
(基準地震動  $S_s$  , 鉛直成分)

#### 4. 解析モデルの妥当性検討

##### 4.1 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-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.3 荷重及び荷重の組合せ」を基本とするが、風荷重及び地震力の作用方向は、支柱材の応力度比が厳しいⅡ方向を用いて検討を行う。

表4-1に荷重の組合せを、図4-1に荷重の作用方向の説明を示す。

表4-1 荷重の組合せ

外力の状態	ケース名	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震力	Ⅱ方向	G + P <sub>k</sub> (Ⅱ) + S <sub>s</sub> (Ⅱ)

注：記号の説明

- G : 固定荷重
- P<sub>k</sub>(Ⅱ) : Ⅱ方向からの風荷重
- S<sub>s</sub>(Ⅱ) : 基準地震動S<sub>s</sub>のⅡ方向加振により定まる地震力

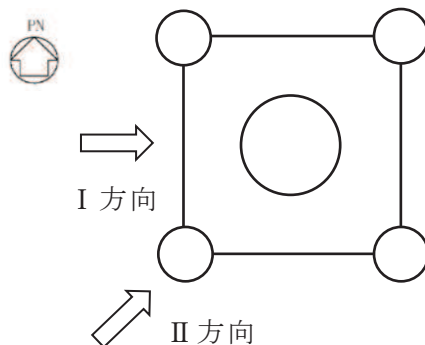


図4-1 荷重作用方向の説明

##### 4.2 許容限界，使用材料及び材料の許容応力度

許容限界は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.4 許容限界」、使用材料及び材料の許容応力度は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.5 使用材料及び材料の許容応力度」と同様とする。

##### 4.3 断面の評価方法

断面の評価方法は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.6 断面の評価方法」と同様とする。

#### 4.4 地震応答解析

地震応答解析は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.7 地震応答解析」を基本とするが、地震応答解析は二次元動的有限要素法による等価線形解析によって求めた「3.6 入力地震動算出結果」の入力地震動を用いる。また、検討ケースは基準地震動  $S_s$  の内、最も応力度比が厳しい地震動の基本ケースとする。

#### 4.5 評価結果

「4.3 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。断面の評価結果を記載する解析ケースは、基本ケースの断面検定において、応力度比が最大となる入力地震動を採用する。

一次元重複反射理論 (SHAKE) と二次元動的有限要素法 (FLUSH) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図4-2に、各々の応答スペクトルの値を表4-2に示す。加速度応答スペクトル図を見ると、地盤のモデル化の違いにより、0.1秒以下の加速度応答スペクトルに違いは見られるものの、排気筒の主要モードの周期となる0.1秒以上の加速度応答スペクトルはおおむね同等となり、斜面による地震動の増幅は見られなかった。

基準地震動  $S_s$  に対する評価結果 (応力度比) を表4-3～表4-4に示す。

一次元重複反射理論と二次元動的有限要素法の結果を比較すると応力度比が多少増加することを確認した。部材の評価結果の違いについては、第1号機排気筒の2次モードに対応する加速度応答スペクトルの違いにより生じたことが分かった。

以上により、第1号排気筒の入力地震動を一次元重複反射理論により求めることで、地盤のモデル化の違いにより評価結果が多少増加するものの、斜面による地震動の増幅は見られず、入力地震動評価は妥当だと言える。

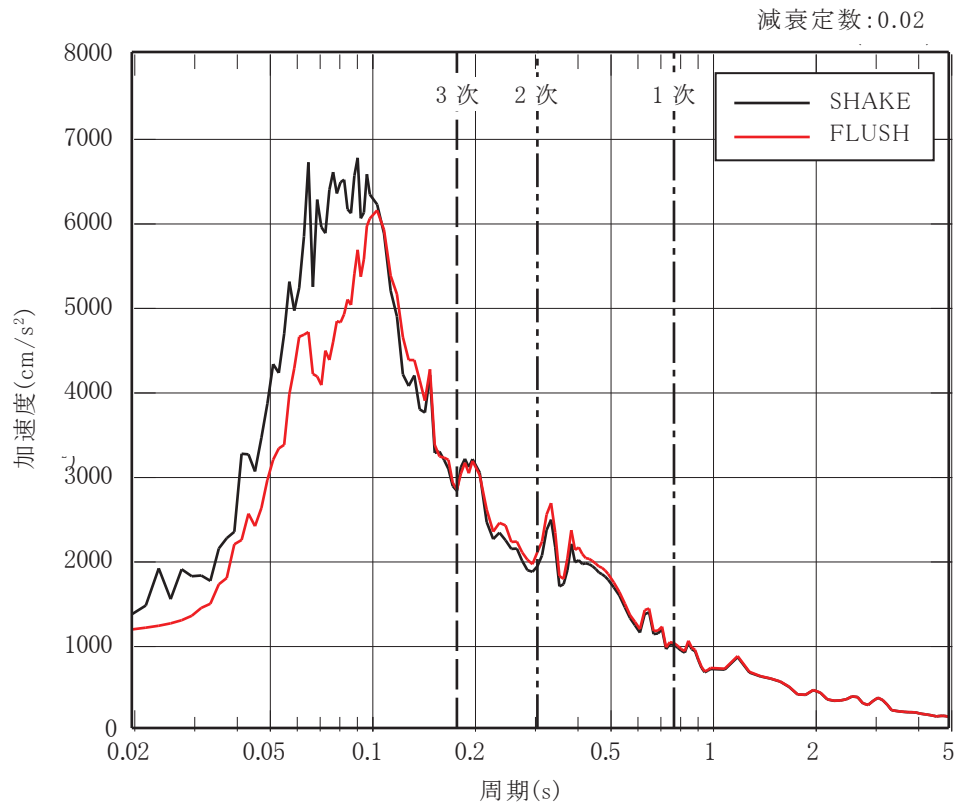


図 4-2 入力地震動の加速度応答スペクトル  
(基準地震動 S s 7 波包絡, 水平成分)

表 4-2 応答スペクトルの比較結果 (h = 0.02)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		(b)/(a)
		SHAKE (a)	FLUSH (b)	
1	0.778	985	1006	1.02
2	0.306	1914	2082	1.09
3	0.179	2807	2823	1.01

表4-3 主柱材の評価結果 (S<sub>s</sub>7波包絡, ケース①)

高さ O.P. (m)	区間	使用部材 (mm)	一次元重複 反射理論		二次元動的 有限要素法	
			地震動	評価結果	地震動	評価結果
164.8-160.3	A-B	φ 406.4×7.9	S <sub>s</sub> -D 2	0.12	S <sub>s</sub> -D 2	0.16
160.3-155.4	B-C	φ 406.4×7.9	S <sub>s</sub> -D 1	0.68	S <sub>s</sub> -D 2	0.72
155.4-149.8	C-D	φ 406.4×7.9	S <sub>s</sub> -D 2	0.81	S <sub>s</sub> -D 2	0.83
149.8-144.4	D-E	φ 558.8×9.5	S <sub>s</sub> -D 2	0.83	S <sub>s</sub> -D 2	0.87
144.4-138.3	E-F	φ 558.8×9.5	S <sub>s</sub> -D 2	0.84	S <sub>s</sub> -D 2	<u>0.89</u>
138.3-132.4	F-G	φ 711.2×12.7	S <sub>s</sub> -D 1	0.68	S <sub>s</sub> -D 2	0.70
132.4-125.8	G-H	φ 711.2×12.7	S <sub>s</sub> -D 1	0.75	S <sub>s</sub> -D 1	0.78
125.8-118.6	H-I	φ 914.4×12.7	S <sub>s</sub> -D 1	0.73	S <sub>s</sub> -D 1	0.78
118.6-110.3	I-J	φ 914.4×12.7	S <sub>s</sub> -D 1	0.75	S <sub>s</sub> -D 1	0.79
110.3-103.6	J-K	φ 1016.0×12.7	S <sub>s</sub> -D 1	0.84	S <sub>s</sub> -D 1	0.86
103.6-95.3	K-L	φ 1016.0×12.7	S <sub>s</sub> -D 1	<u>0.85</u>	S <sub>s</sub> -D 1	0.87
95.3-86.4	L-M	φ 1016.0×16.0	S <sub>s</sub> -F 1	0.75	S <sub>s</sub> -D 1	0.78
86.4-75.3	M-N	φ 1016.0×16.0	S <sub>s</sub> -F 1	0.76	S <sub>s</sub> -F 1	0.77
75.3-65.1	N-O	φ 1016.0×18.0	S <sub>s</sub> -D 1	0.67	S <sub>s</sub> -D 1	0.69
65.1-50.3	O-P	φ 1016.0×18.0	S <sub>s</sub> -F 1	0.70	S <sub>s</sub> -F 1	0.73

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

表4-4 鉄塔脚部の評価結果 (S<sub>s</sub>-F 1, ケース①)

評価部位	応力分類	一次元重複 反射理論	二次元動的 有限要素法
アンカーボルト	引張	0.42	0.44
	せん断	0.28	0.29
	組合せ	0.42	0.44
コンクリート (コーン状破壊)	引張	0.65	0.69
コンクリート (圧縮)	圧縮	0.27	0.28
ベースプレート	面外曲げ	0.42	0.43
フランジプレート	面外曲げ	<u>0.77</u>	<u>0.81</u>
リブプレート	圧縮	0.33	0.34
	せん断	0.49	0.50

別紙 6 第 1 号機排気筒斜面の安定性評価における第 1 号機排気筒  
のモデル化について

## 目次

1. 概要	別紙 6-1
2. 第1号機排気筒のモデル化	別紙 6-1
3. 解析モデルの妥当性確認	別紙 6-2
3.1 確認方法	別紙 6-2
3.2 確認結果	別紙 6-5
3.3 まとめ	別紙 6-5



1. 概要

本資料は、第1号機排気筒斜面の安定性評価における第1号機排気筒のモデル化について説明するものである。

2. 第1号機排気筒のモデル化

第1号機排気筒斜面の安定性評価に用いる第1号機排気筒の解析モデル（以下「解析モデル」という。）については、女川原子力発電所第一号機「工事計画認可申請書」（56資庁第11510号 昭和56年12月24日認可）（以下「建設時工認（認可）」という。）の質点系モデルを使用する。解析モデル図を図2-1に示す。

解析モデルは、各部材の重量を質点に集約し、水平方向の荷重に対する剛性を曲げせん断はり要素により考慮する。鉛直方向については、剛体として挙するものとみなし各節点間に剛な鉛直ばねを設置する。

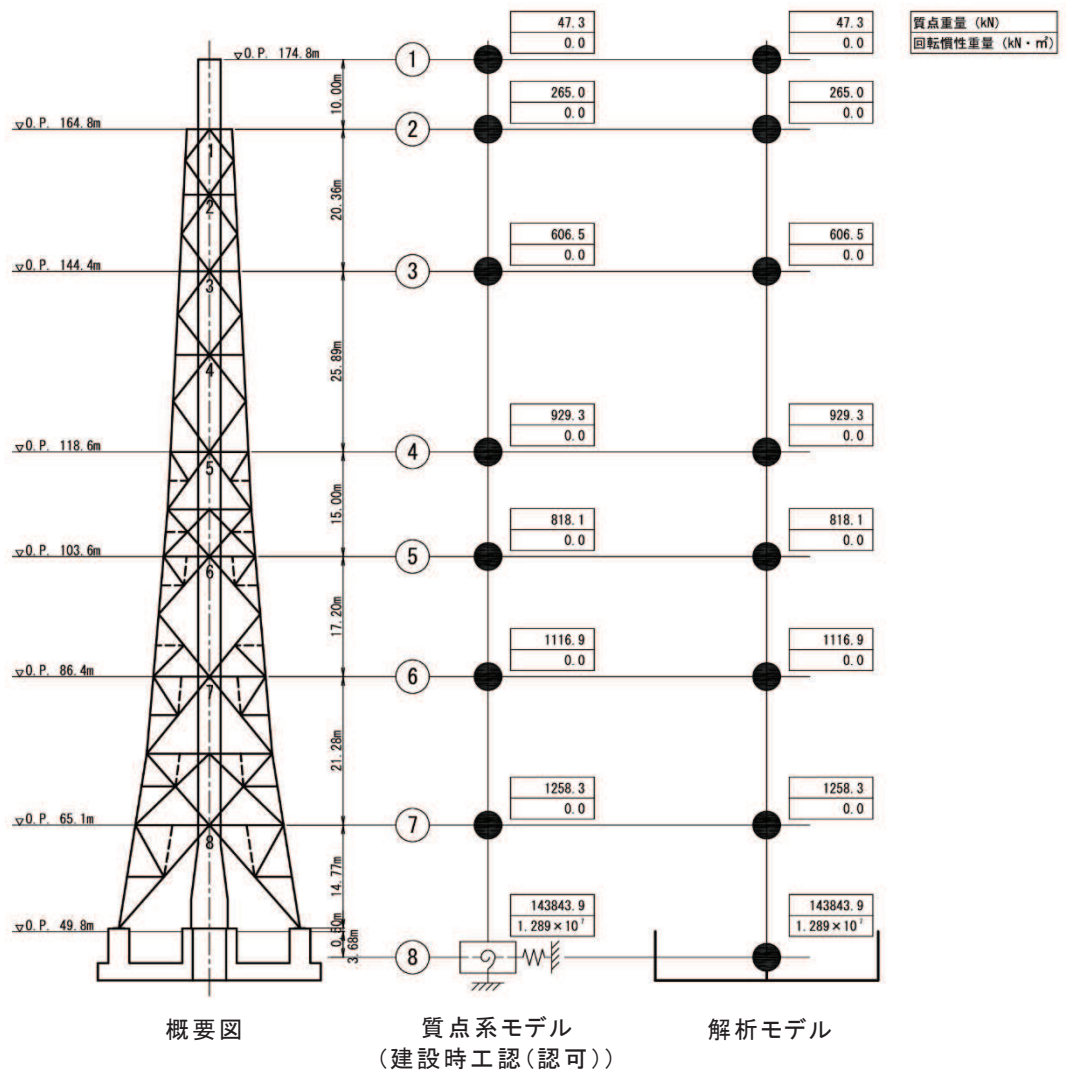


図 2-1 第1号機排気筒の解析モデル図

### 3. 解析モデルの妥当性確認

第1号機排気筒の耐震評価においては、地震応答解析モデルとして三次元立体フレームモデル（以下「三次元フレームモデル」という。）を使用している。一方、第1号機排気筒斜面の安定性評価においては、「2. 第1号機排気筒のモデル化」に示す解析モデルを使用していることから、両モデルの固有値解析結果及び地震時に発生する地盤ばね反力の比較を行い、解析モデルの妥当性を確認する。

#### 3.1 確認方法

解析モデルの底面に、三次元フレームモデルと同様の地盤ばね（水平・回転・鉛直）を取付けた「質点系SRモデル」を用いて、固有値解析及び地震応答解析を行い、三次元フレームモデルと固有値解析結果及び地盤ばね反力の最大値を比較する。比較に用いる解析モデルを図3-1に示す。

地震応答解析における入力地震動は、「別紙5 第1号機排気筒斜面による地震動の増幅について」にて算定した地震動を用いる。

比較に用いる地震動は、第1号機排気筒の振動モードのうち、地盤への影響が大きい基礎の振動モード（以下「基礎モード」という。）において、入力レベルが卓越しているS<sub>s</sub>-D<sub>2</sub>を対象とする。第1号機排気筒における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-2に示す。

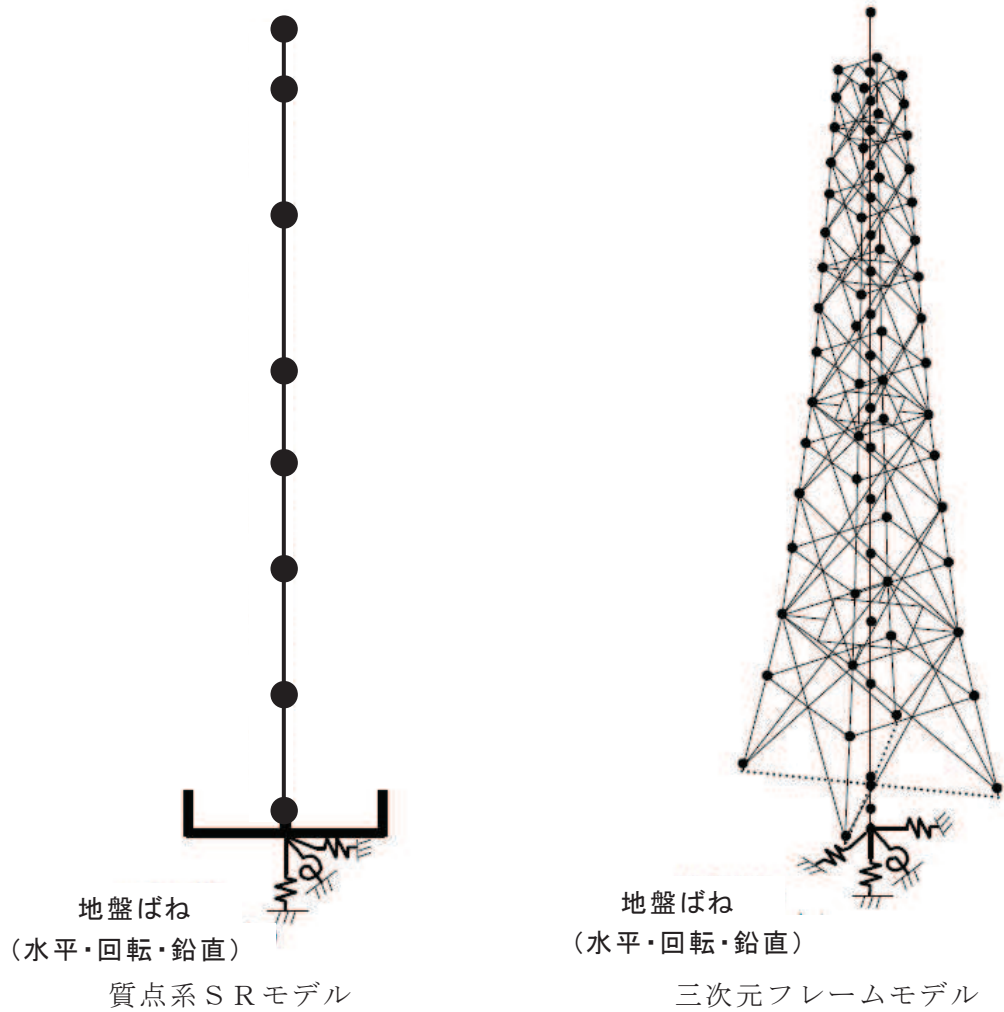


図 3-1 比較に用いる解析モデル

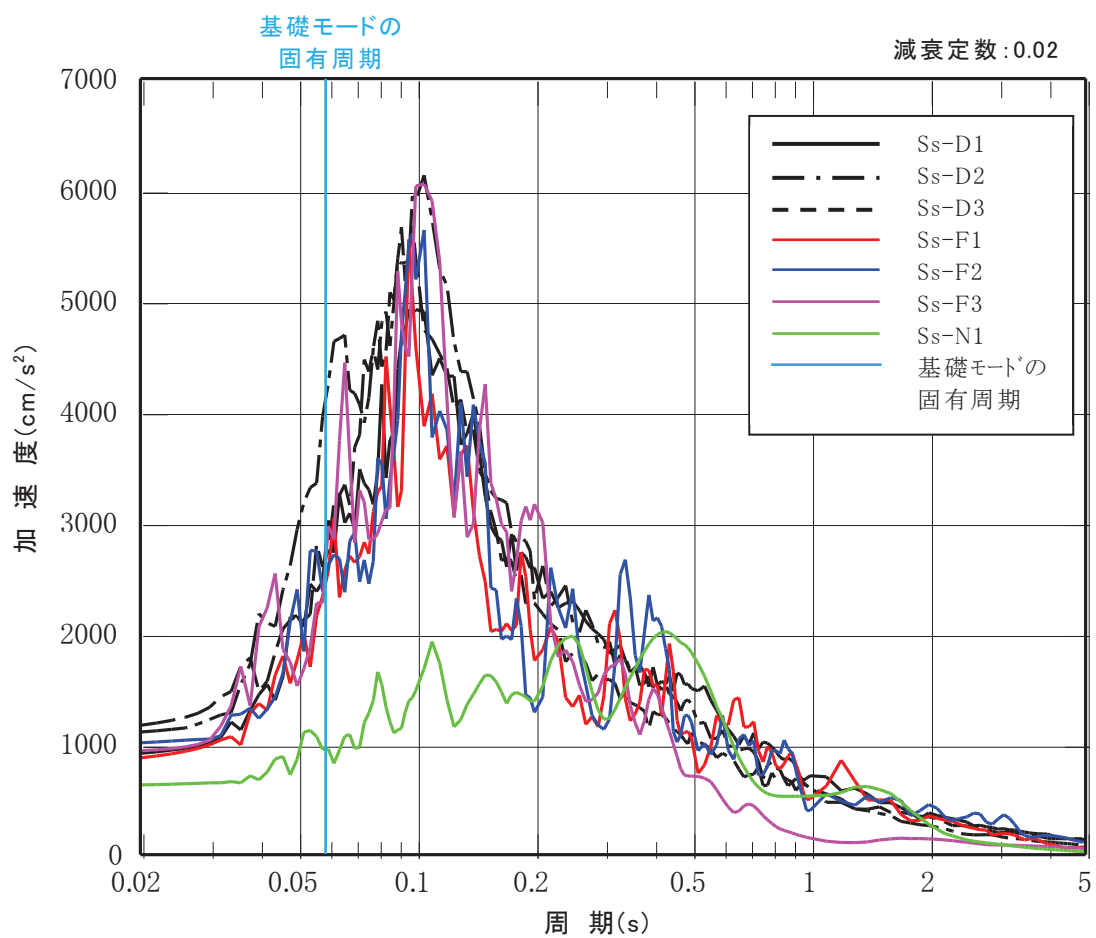


図 3-2 第 1 号機排気筒入力地震動の加速度応答スペクトル (水平方向)

### 3.2 確認結果

#### 3.2.1 固有値解析結果の比較

質点系 S R モデル及び三次元フレームモデルの固有値解析結果を表 3-1 に示す。地盤への影響の大きい排気筒の基礎モードにおいて、両モデルの固有周期及び刺激係数が概ね一致することを確認した。

表 3-1 固有値解析結果の比較

	質点系 S R モデル		三次元フレームモデル		備考
	固有周期 (s)	刺激係数 $\beta$	固有周期 (s)	刺激係数 $\beta$	
1 次	0.801	2.04	0.778	2.05	排気筒の 1 次モード
2 次	0.338	-1.85	0.306	-2.04	排気筒の 2 次モード
3 次	0.208	1.35	0.179	1.89	排気筒の 3 次モード
<b>基礎</b>	<b>0.057</b>	<b>0.98</b>	<b>0.059</b>	<b>0.96</b>	<b>排気筒の基礎モード</b>

#### 3.2.2 地盤ばね反力の比較

S s - D 2 の水平・鉛直同時入力による地震応答解析により算出した地盤ばね反力（水平・回転・鉛直）の最大値の比較を表 3-2 に示す。両モデルの地盤ばね反力の最大値が概ね一致することを確認した。

表 3-2 地盤ばね反力の最大値の比較 (S s - D 2)

	質点系 S R モデル (①)	三次元フレーム モデル (②)	②/①
水平ばね (kN)	$-1.541 \times 10^5$	$-1.565 \times 10^5$	1.016
回転ばね (kN・m)	$-7.482 \times 10^5$	$-7.655 \times 10^5$	1.023
鉛直ばね (kN)	$6.424 \times 10^4$	$6.335 \times 10^4$	0.986

### 3.3 まとめ

第 1 号機排気筒斜面の安定性評価に用いる質点系の解析モデルについて、第 1 号機排気筒の耐震評価で用いている三次元フレームモデルと固有値解析結果及び地震時の地盤ばね反力の比較を行い、解析モデルの妥当性の確認を行った。

両モデルの固有値解析結果及び地震時の地盤ばね反力が概ね一致していることから、解析モデルの妥当性を確認した。

別紙 7 第 1 号機排気筒斜面の安定性評価における  
すべり面の設定について

## 目次

1. 概要…………… 別紙 7-1
2. すべり面の設定方法…………… 別紙 7-1
3. すべり面の設定結果…………… 別紙 7-2

1. 概要

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」において、第1号機排気筒斜面の安定性を示している。

本資料では、第1号機排気筒斜面の安定性評価に係るすべり面の設定について説明する。

2. すべり面の設定方法

第1号機排気筒基礎地盤のすべりにより第1号機排気筒が排気筒へ波及的影響を及ぼさないことを確認するためには、第1号機排気筒基礎を含むすべり線を想定すれば十分だが、保守的に第1号機排気筒基礎を含まない斜面のすべりにも着目して最小すべり安全率となるすべり面を探索する。

すべり安全率を算定するすべり面については、地盤強度の小さい領域（盛土、断層・シーム）や要素の局所安全係数が小さい領域、モビライズド面の向き等の応力状態\*を考慮して設定する。

すべり安全率の算定フローを図2-1に示す。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上の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面を選定する。

注記\*：基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（平成25年6月制定）

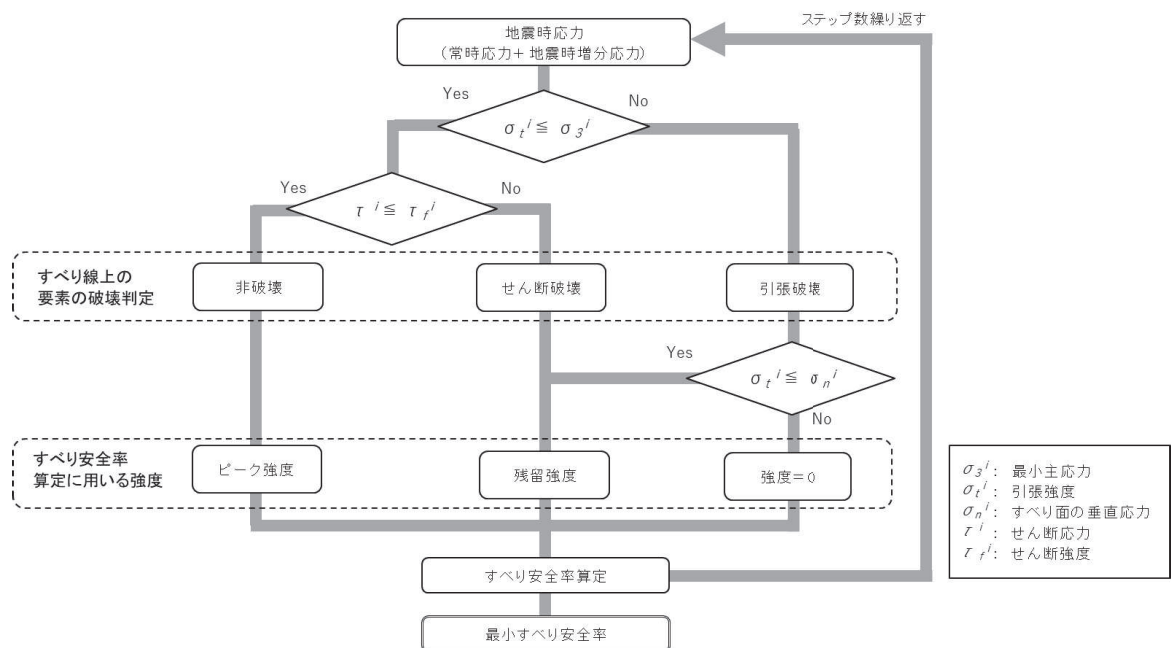


図2-1 すべり安全率の算定フロー



### 3. すべり面の設定結果

図 3-1 に示すとおり，第 1 号機排気筒斜面は地盤強度の小さいシームが分布している。

地盤強度の小さいシームを考慮して設定したすべり面及び応力状態を考慮して設定したすべり面を図 3-2 に示す。

設定したすべり面のうち，すべり安全率が最小となる時刻の局所安全係数の分布及び応力状態を考慮したすべり面を図 3-3～図 3-4 に示す。

図 3-3 に示すすべり面は，シーム及び引張応力が発生している岩盤要素を長く通過しており，すべり安全率が最小となっている。

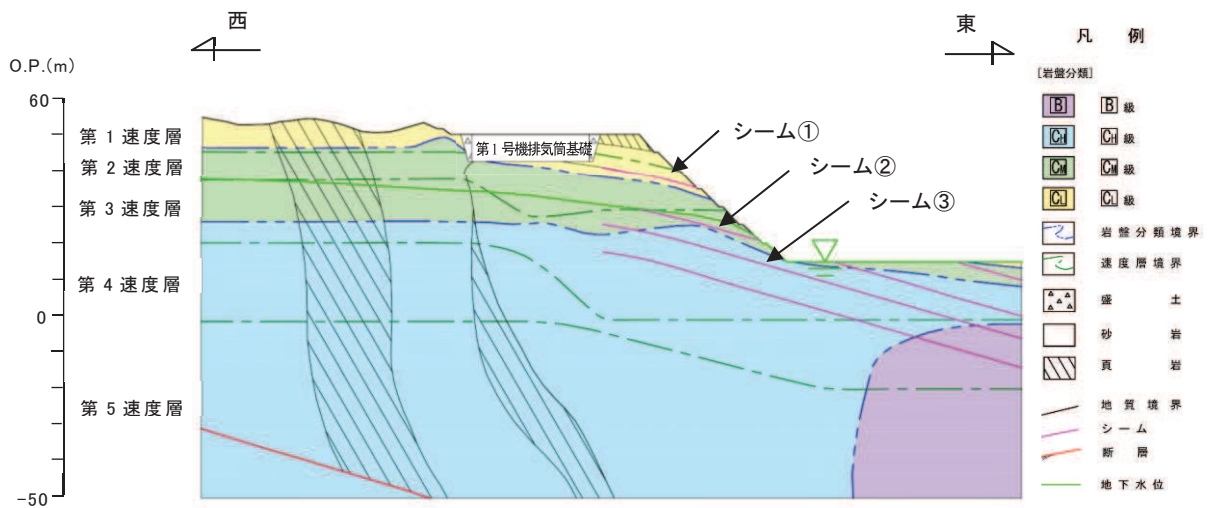


図 3-1 第 1 号機排気筒斜面の地質断面図

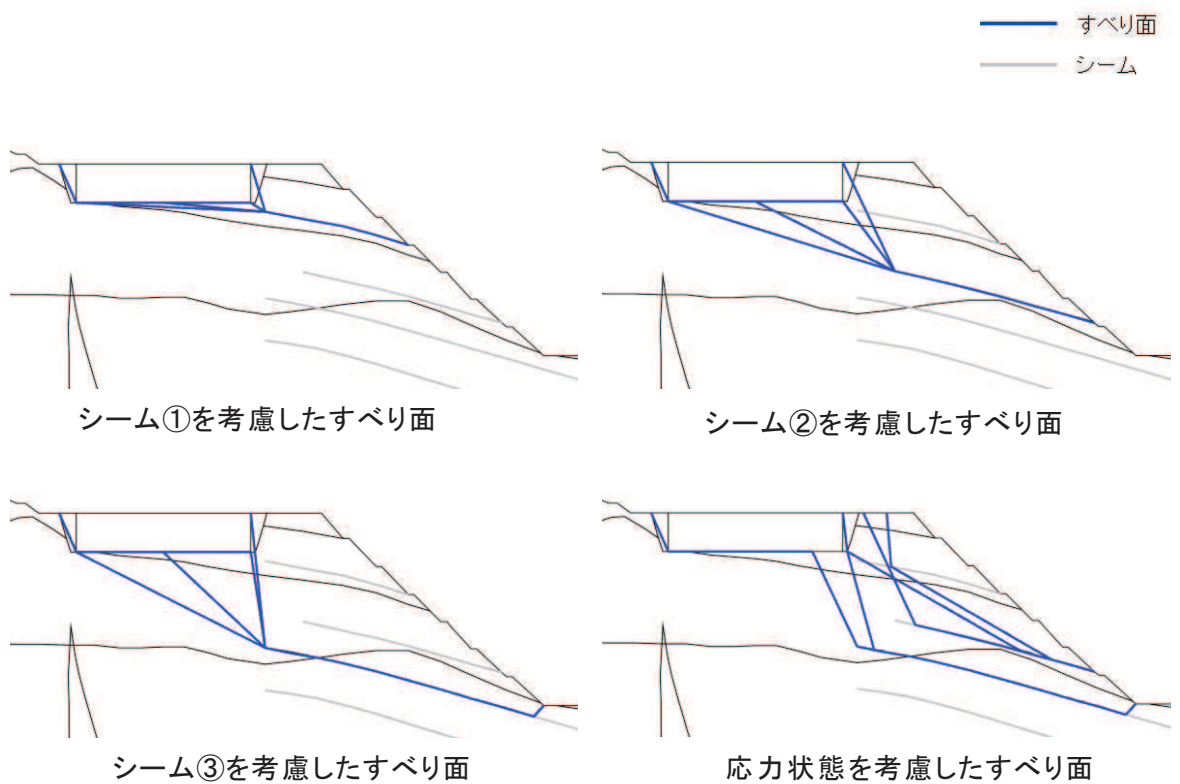


図 3-2 設定したすべり面

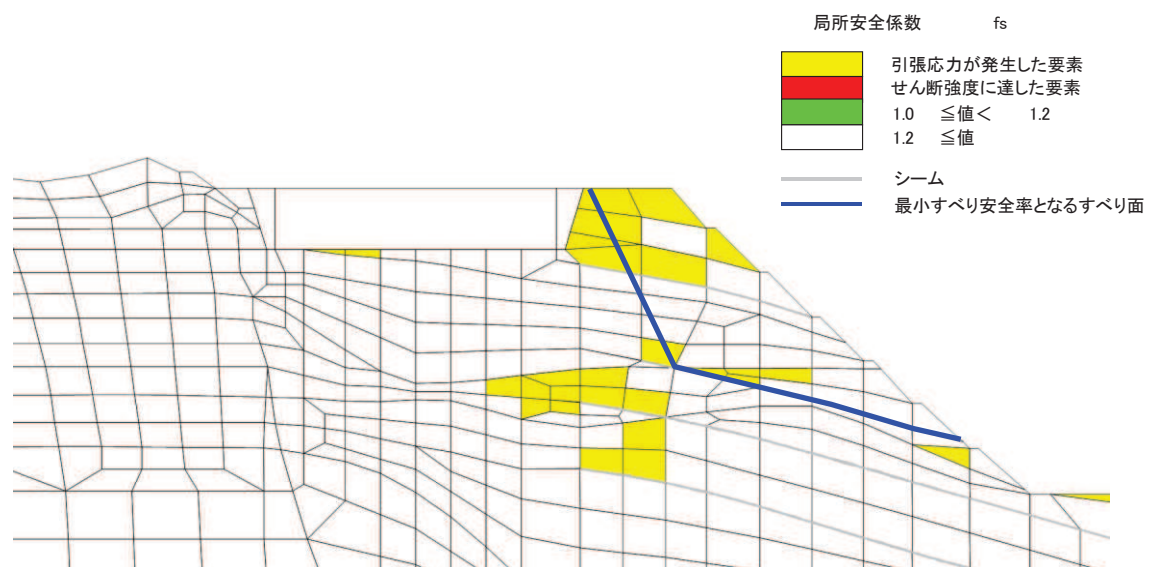


図 3-3 すべり安全率が最小となる時刻における局所安全係数の分布（平面ひずみ要素）及び応力状態を考慮したすべり面（S s - F 2 (-+)）

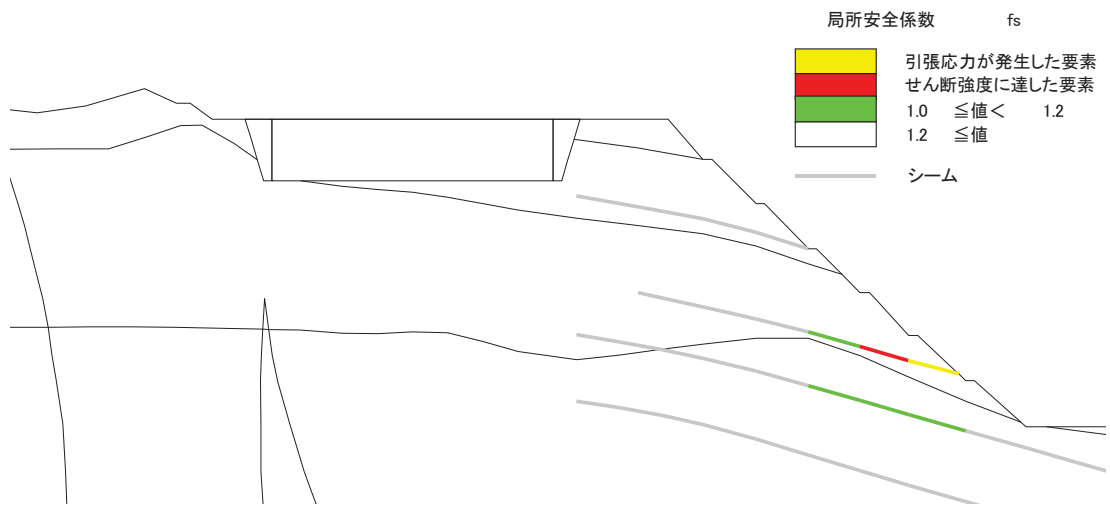


図3-4 すべり安全率が最小となる時刻における局所安全係数の分布 (ジョイント要素)  
 (S s - F 2 ( - + ) )

別紙 8 第 1 号機排気筒斜面の安定性評価における  
地質断面図の作成について

## 目次

1. 概要…………… 別紙 8-1
2. 地質断面図の作成…………… 別紙 8-1
3. シームの分布…………… 別紙 8-3

## 1. 概要

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」において、第1号機排気筒斜面の安定性を示している。

本資料では、第1号機排気筒斜面の安定性評価に用いる地質断面図の作成について説明する。

## 2. 地質断面図の作成

第1号機排気筒斜面の安定性評価に用いる地質断面図については、評価対象地点近傍のボーリング調査等の結果に基づき作成している。図2-1に敷地内で実施したボーリング調査位置を示す。また、第1号機排気筒斜面の安定性評価に用いる地質断面図及び地質断面図作成にあたり参照したボーリング調査の代表位置を図2-2に示す。なお、代表位置におけるボーリング柱状図は「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示す。

第1号機排気筒斜面は発電所建設時に尾根部を掘削して造成していることから、掘削時のスケッチも地質断面図作成において参照している。第1号機排気筒斜面掘削時のスケッチを図2-3に示す。

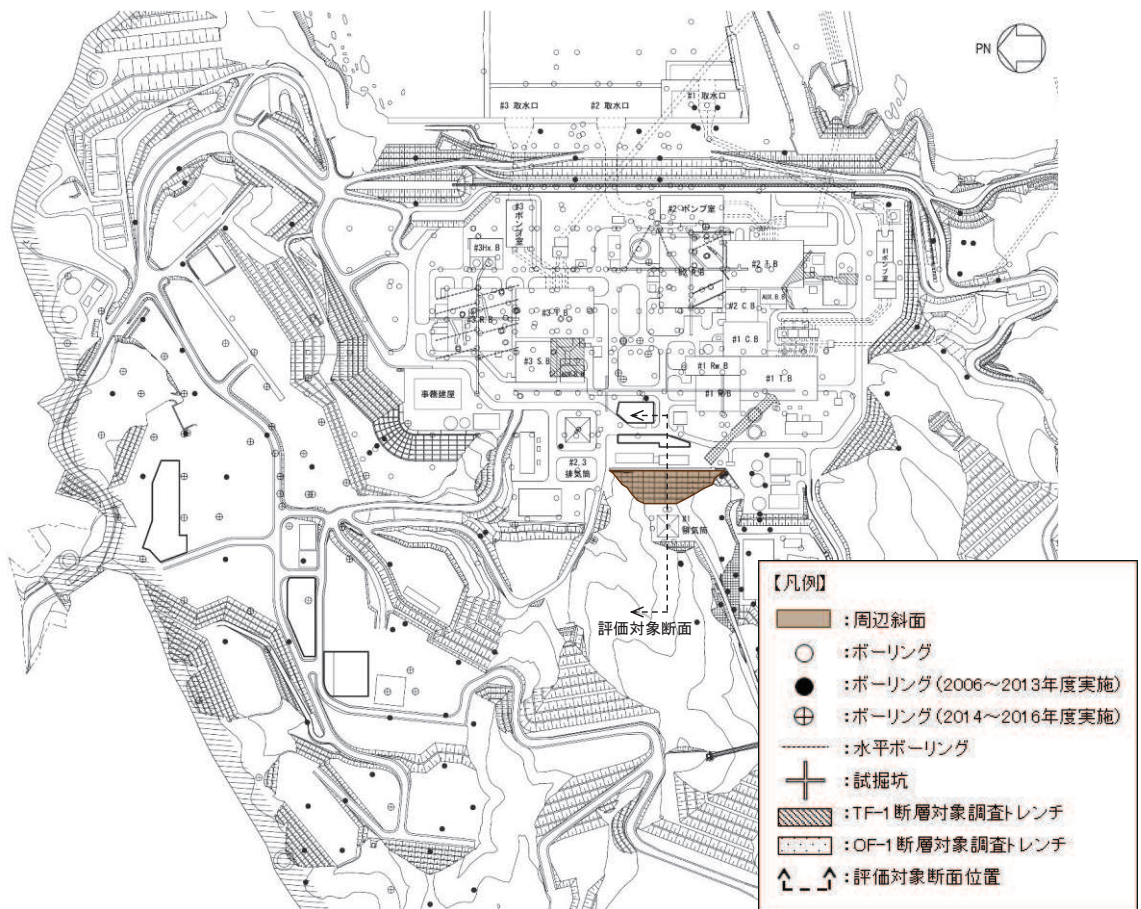


図2-1 ボーリング調査位置図

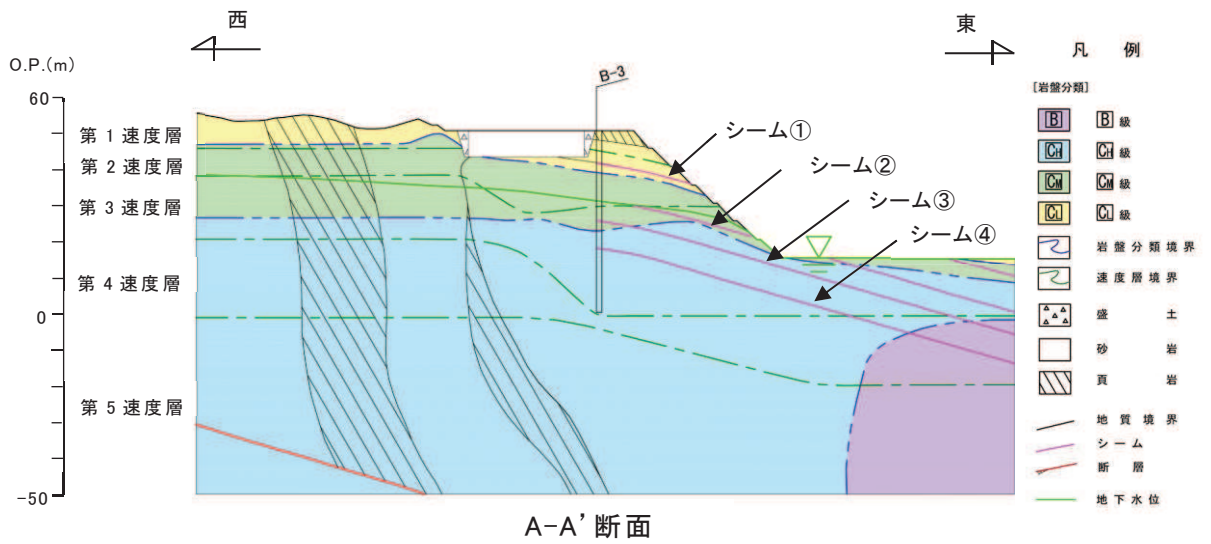
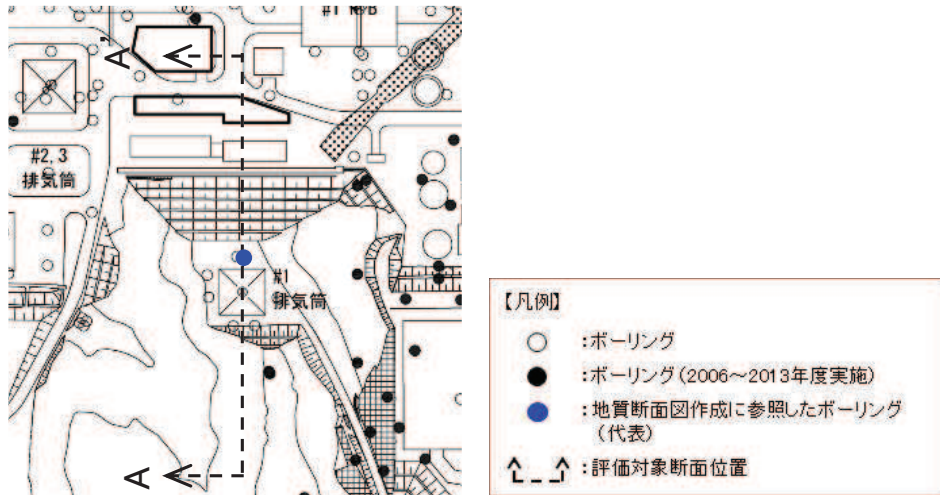


図 2-2 第 1 号機排気筒斜面の地質断面図

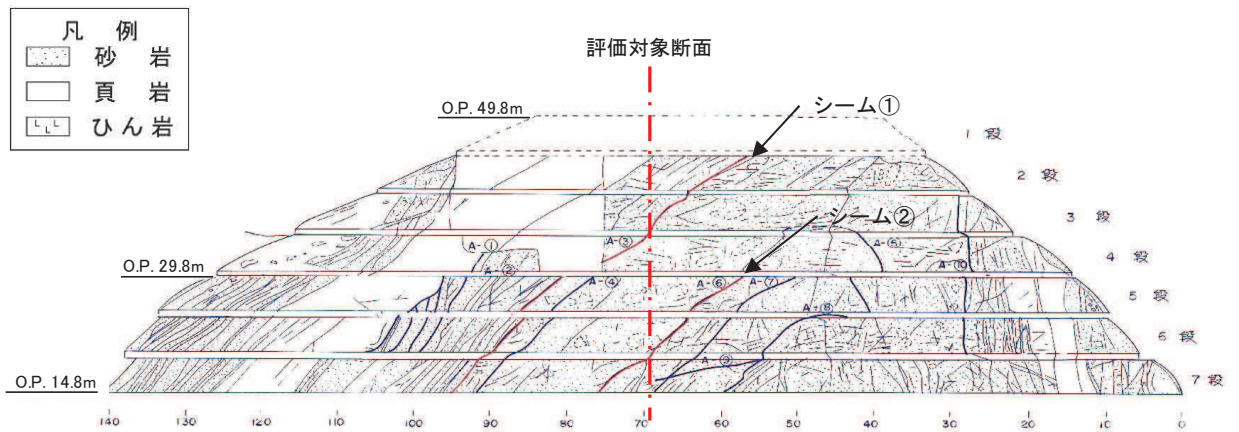


図 2-3 第 1 号機排気筒斜面掘削時のスケッチ

### 3. シームの分布

図 2-2 に示すとおり，第 1 号機排気筒斜面にはシーム\*が分布している。シームは第 1 号排気筒斜面近傍のボーリング及び掘削時のスケッチにより確認されている。

シームは地層の傾斜に平行に分布することから，ボーリング及び掘削時のスケッチにより確認された位置より地層の傾斜に平行に分布図を作成する。また，分布範囲は，保守的にボーリング等でシームが分布しないことが確認できる位置までとしている。

図 2-4 に，地質断面図におけるシームの分布を示す。

シーム①，③，④については，ボーリング孔 (B-3) に分布しないことを確認しているため，保守的にボーリング孔 (B-3) まで分布することとしている。

シーム②については，図 2-3 に示すスケッチにより，O.P. 29.8m より高い位置には分布しないことが確認されていることから，地層の傾斜を考慮し O.P. 29.8m まで分布することとしている。また，ボーリング孔 (B-3) に分布しないことも確認している。

注記\*：敷地の地質は，中世界ジュラ系の牡鹿層群荻の浜累層の砂岩，頁岩，砂岩頁岩互層が分布しており，小屋取背斜と鳴浜向斜に代表される顕著な複褶曲構造を形成している。主に砂岩と頁岩の境界には，褶曲構造が形成される過程で生じた「フレキシユラル・スリップ」によるものと考えられる，層理面と平行なシームが認められる。

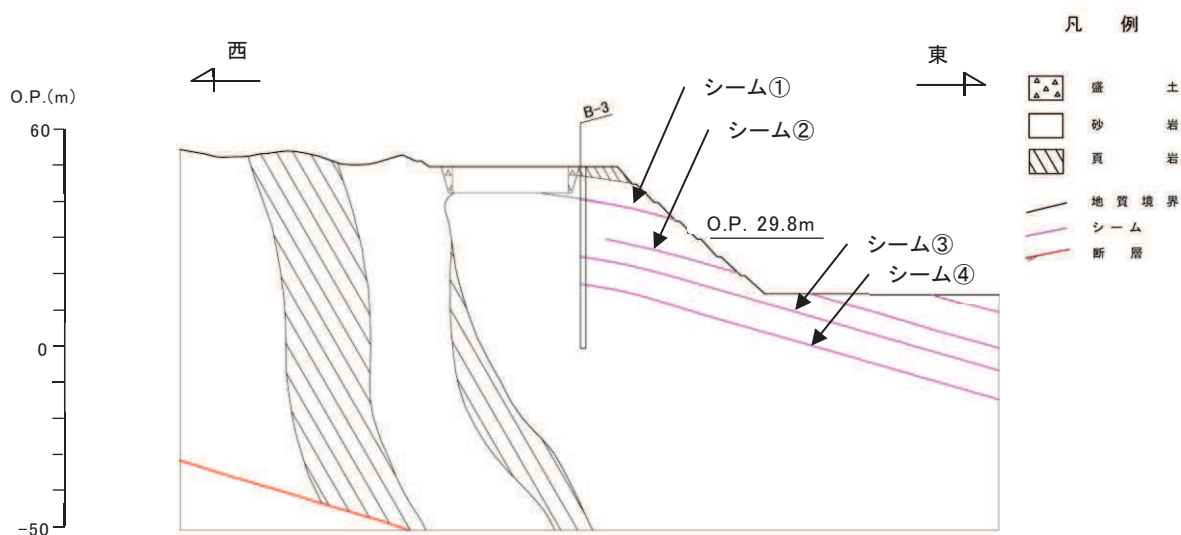


図 2-4 地質断面図におけるシームの分布