

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-19-0610-10_改2
提出年月日	2021年8月23日

補足-610-10 緊急用電気品建屋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-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-2-22 緊急用電気品建屋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 1-1 緊急用電気品建屋の地震応答解析における今回工認の解析モデル及び手法

別紙 1-1-1 SRモデルを適用することの妥当性について

別紙 1-1-2 地震応答解析における地上鉄骨部のモデル化の妥当性について

別紙 1-1-3 側面回転地盤ばねを考慮した解析結果について

別紙 1-1-4 緊急用電気品建屋の構造詳細

別紙 1-2 緊急用電気品建屋の地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定

別紙 1-3 緊急用電気品建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 1-3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙 1-3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 1-4 建屋減衰を3%とした場合の影響検討

別紙 1-5 建屋剛性を実強度に基づく剛性とした場合の影響検討

別紙 1-6 影響検討ケースによる機器・配管系の耐震性への影響

別紙 2-1 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

別紙 2-2 地震荷重の入力方法

別紙 2-3 応力解析における断面の評価部位の選定

 本日の説明範囲

別紙 1-1-1 SRモデルを適用することの妥当性について

## 目 次

1. 概要.....	別紙 1-1-1-1
2. 解析方針.....	別紙 1-1-1-2
2.1 有効応力解析モデル.....	別紙 1-1-1-2
2.2 入力地震動.....	別紙 1-1-1-8
2.3 解析方法.....	別紙 1-1-1-8
2.4 解析条件.....	別紙 1-1-1-8
3. 解析結果.....	別紙 1-1-1-9

## 1. 概要

緊急用電気品建屋の地震応答解析は、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」（以下「地震応答計算書」という。）に示すとおり、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部及びせん断変形をする鉄骨部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデル（以下「SRモデル」という。）としている。一方、緊急用電気品建屋の設計用地下水位は、補足説明資料「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示すとおり、O.P.+62.3m（地表面）に設定している。

本資料では、地下水位を地表面とした場合の影響を考慮するために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、SRモデルによる地震応答解析結果と比較することで、緊急用電気品建屋にSRモデルを適用することの妥当性を確認するものである。

## 2. 解析方針

緊急用電気品建屋の有効応力解析は、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。

有効応力解析は、「2.1 有効応力解析モデル」において設定した有効応力解析モデルと「2.2 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、「2.3 解析方法」及び「2.4 解析条件」に基づき、「3. 解析結果」において建屋の各種応答値を算出する。

地下水位は地表面（O.P. 62.3m）に設定する。

### 2.1 有効応力解析モデル

有効応力解析モデルは、地盤との相互作用を考慮した2次元FEMモデルとする。建屋は曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部及びせん断変形をする鉄骨部からなる質点系モデルとし、建屋部の諸元は地震応答計算書と同一とする。

有効応力解析に用いる解析用物性値を表 2-1 に、地震応答解析モデルを図 2-1 及び図 2-2 に示す。

解析領域の境界部においては、底面及び側面に半無限性を考慮するための粘性境界を設ける。

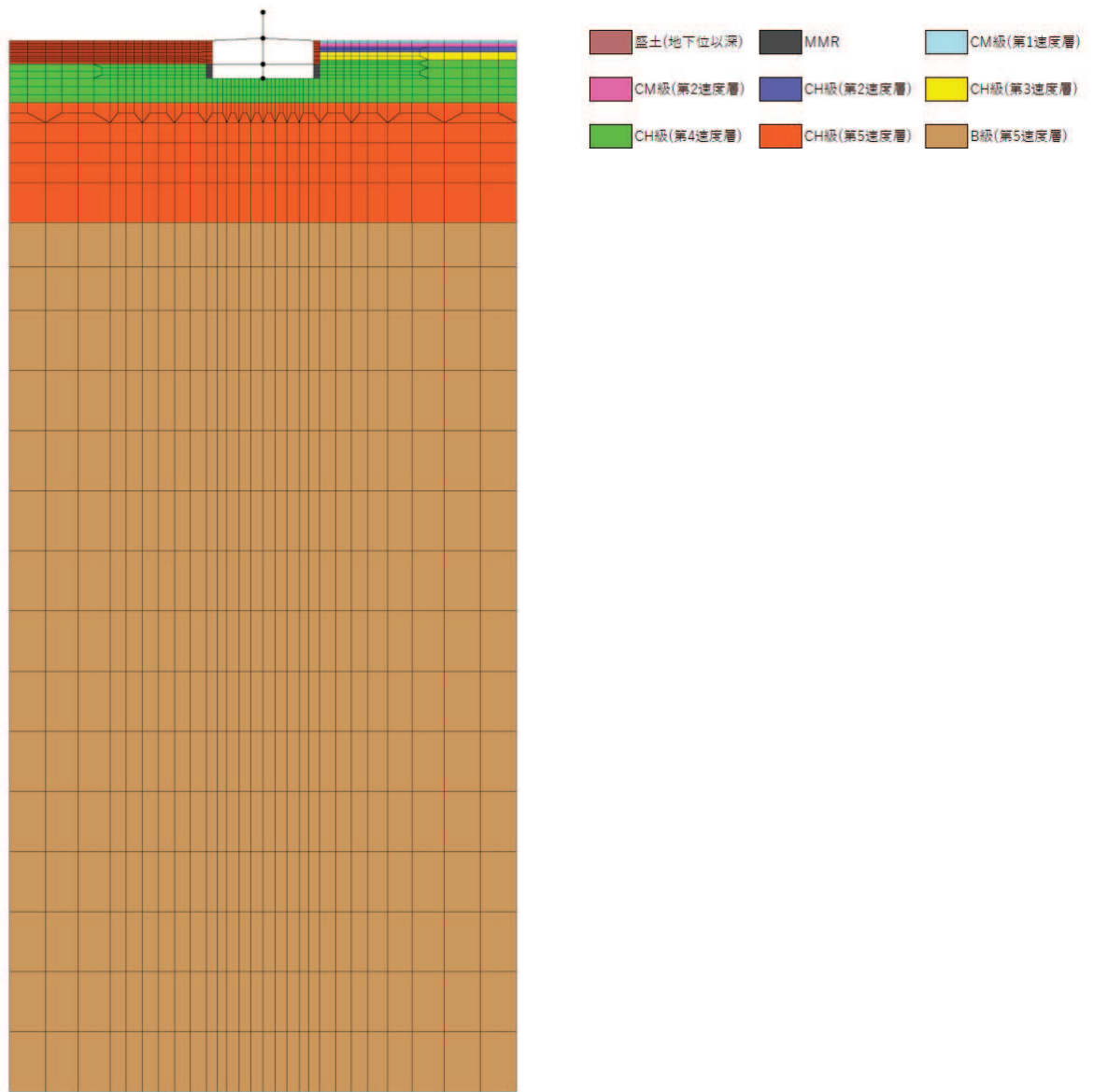
表 2-1 解析用物性値（有効応力解析）

(a) 原地盤（盛土）

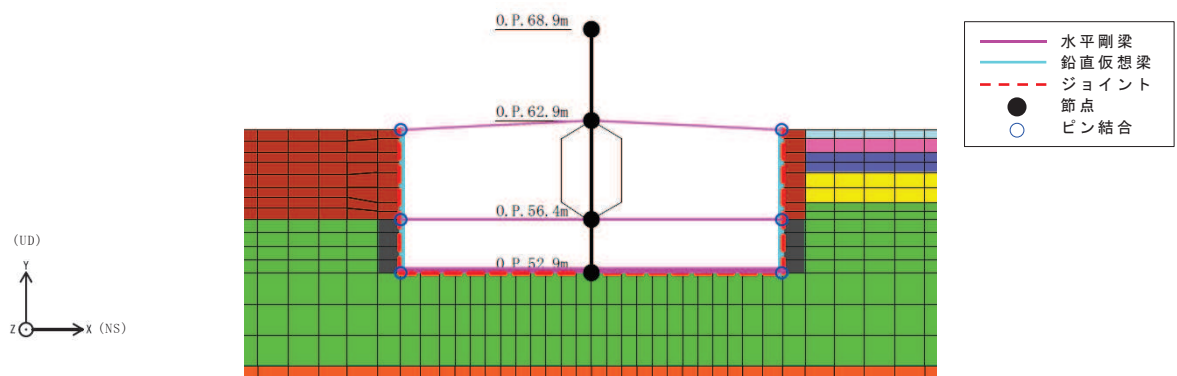
		盛土		
物理特性	密度	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.10	
	間隙率	n	0.363	
変形特性	動せん断弾性係数	G <sub>ma</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	7.429×10 <sup>4</sup>	
	基準平均有効拘束圧	$\sigma_{ma}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	1.00×10 <sup>3</sup>	
	ポアソン比	$\nu$	0.40	
	減衰定数の上限値	h <sub>max</sub>	0.183	
強度特性	粘着力 c'	(kN/m <sup>2</sup> )	0.0	
	内部摩擦角 $\phi'$	(°)	33.9	
	液状化パラメータ (FLIP)	w1		14.0
		p1		1.0
		p2		0.6
		c1		2.8
s1			0.005	

(b) 原地盤

物性値		地質区分	MMR	CM 級	CM 級	CH 級	CH 級	CH 級	CH 級	B 級
				(第 1 速度層)	(第 2 速度層)	(第 2 速度層)	(第 3 速度層)	(第 4 速度層)	(第 5 速度層)	(第 5 速度層)
物理特性	密度 $\rho_t$ (t/m <sup>3</sup> )		2.67	2.60	2.60	2.67	2.67	2.67	2.67	2.69
変形特性	動せん断弾性係数 G <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		12900	228	1340	1340	5280	12900	18800	18800
	動ポアソン比 $\nu_d$		0.34	0.48	0.45	0.45	0.41	0.34	0.33	0.33



(a) 全体モデル

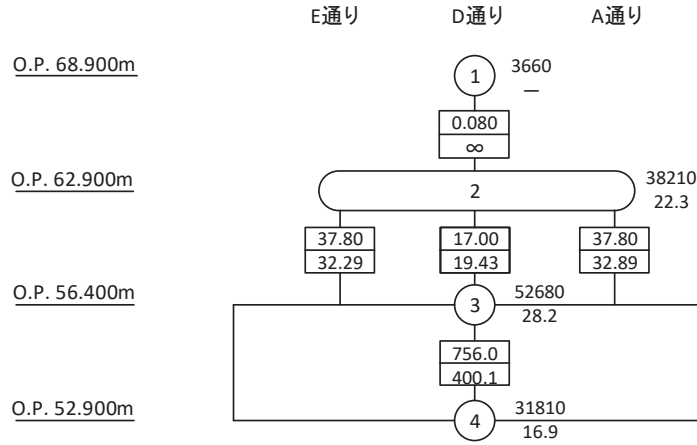
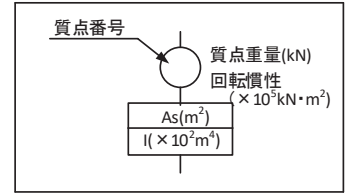


(b) 建屋周辺拡大図

図 2-1(1) 地震応答解析モデル (NS 方向) (1/2)



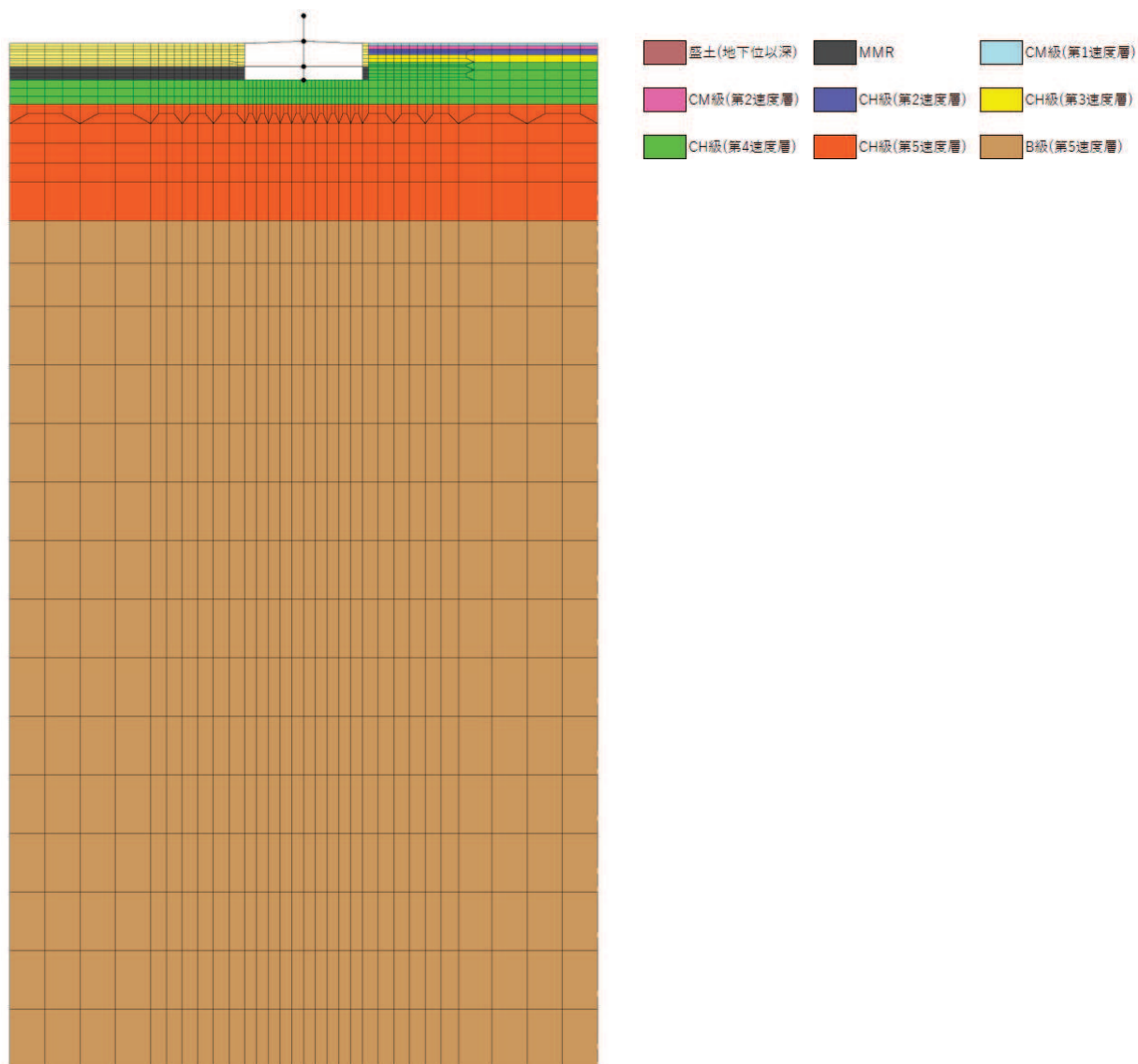
$E_c = 2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$   
 $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$  (地上鉄骨部)  
 $G_c = 1.02 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$   
 $7.90 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$  (地上鉄骨部)



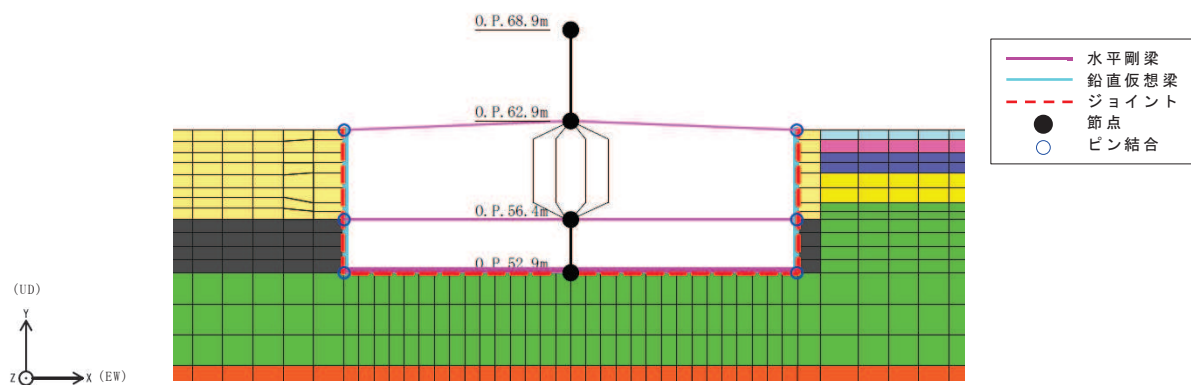
注：図中の値は建屋全幅の諸元を示すが，解析においては単位幅の値とする。

(c) 建屋部分詳細

図 2-1(2) 地震応答解析モデル (NS 方向) (2/2)

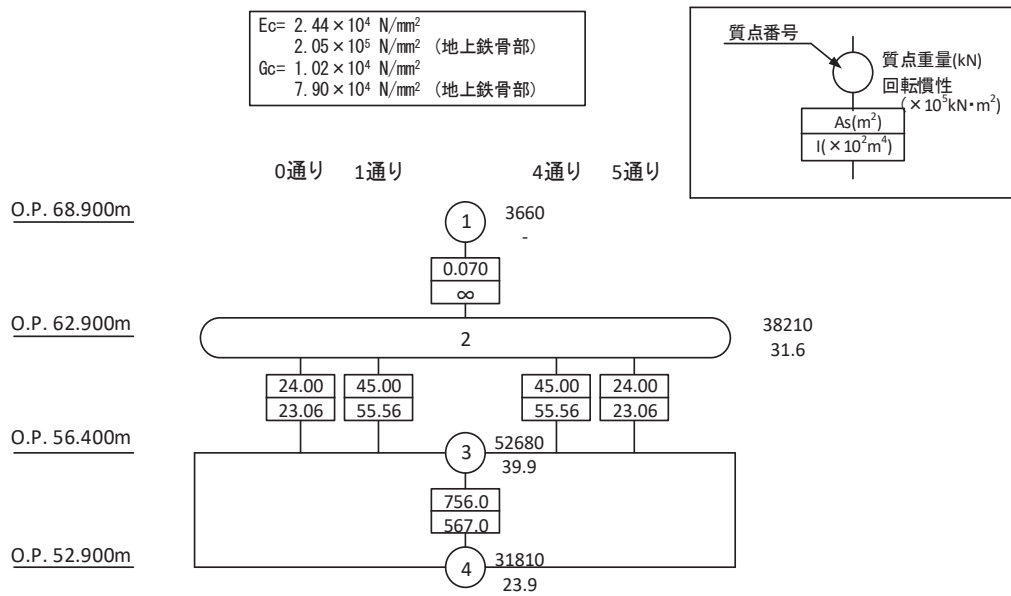


(a) 全体モデル



(b) 建屋周辺拡大図

図 2-2(1) 地震応答解析モデル (EW 方向) (1/2)



注：図中の値は建屋全幅の諸元を示すが，解析においては単位幅の値とする。

(c) 建部分詳細

図 2-2(2) 地震応答解析モデル (EW 方向) (2/2)

## 2.2 入力地震動

解析に用いる入力地震動は、地盤の有効応力を考慮した解析であることから、地盤のせん断ひずみが最も大きくなる地震動及びケースとして、基準地震動  $S_s - N1$ 、ケース2（地盤物性+ $\sigma$ ）の条件により評価した解析モデル下端レベル（O.P. -200.0m）の地盤応答波とする。有効応力解析は、解析モデル下端レベル（O.P. -200.0m）に入力地震動を水平方向（NS方向又はEW方向）に入力することで実施する。解析モデル下端レベル（O.P. -200.0m）の地盤応答波の算出は、地震応答計算書と同一の地盤モデル及び方法で実施する。

## 2.3 解析方法

建物・構築物の動的解析は、地盤の有効応力を考慮した時刻歴応答解析により実施する。解析では、地盤の最大応答加速度、最大応答せん断ひずみ、最大過剰間隙水圧比の他に、建屋の応答加速度、応答変位、応答せん断力及び応答曲げモーメントを算出する。なお、本検討では最大過剰間隙水圧比が95%を超えた場合に液状化を生じているものと判断する。

有効応力解析には、解析コード「FLIP」を用いる。

## 2.4 解析条件

緊急用電気品建屋の質量及び剛性は、地震応答計算書と同一とする（単位幅あたりの等価な値として設定する）。

### 3. 解析結果

有効応力解析結果のうち、地盤の最大応答加速度、最大応答せん断ひずみ及び最大過剰間隙水圧比を図3-1～図3-6に示す。最大過剰間隙水圧比は、95%以下となっており、液状化は生じていないものと判断される。

有効応力解析結果のうち、緊急用電気品建屋の最大応答値を図3-7～図3-14に、加速度応答スペクトルを図3-15及び図3-16に、SRモデルによる地震応答解析結果（地震応答計算書のケース2（+ $\sigma$ 地盤ケース））と比較して示す。有効応力解析の最大応答値は、最大応答変位を除き、いずれもSRモデルによる地震応答解析結果の応答値を下回っており、また、加速度応答スペクトルは、全周期帯でSRモデルによる地震応答解析結果の応答値を下回っている。

以上のことから、緊急用電気品建屋にSRモデルを適用することの妥当性を確認した。

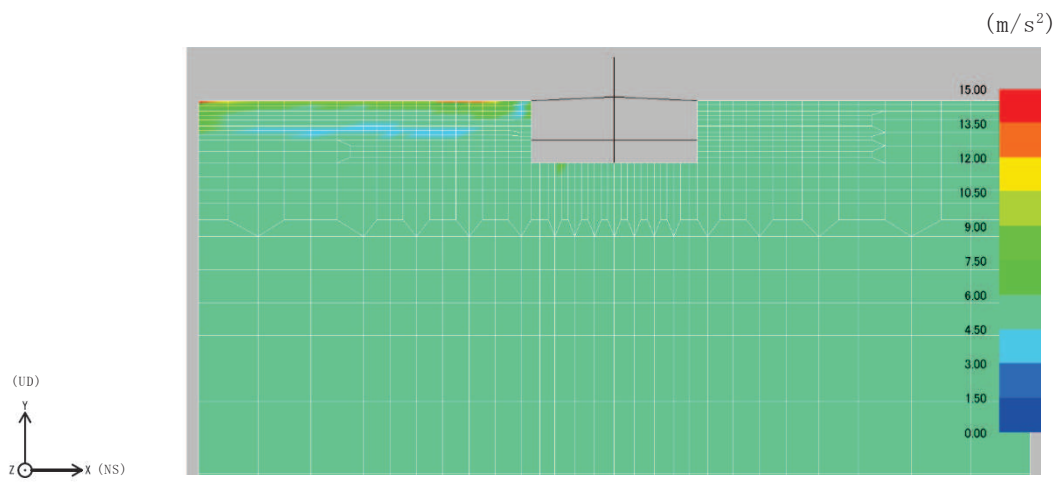


図 3-1 地盤の最大応答加速度 (S<sub>s</sub>-N1, NS 方向)

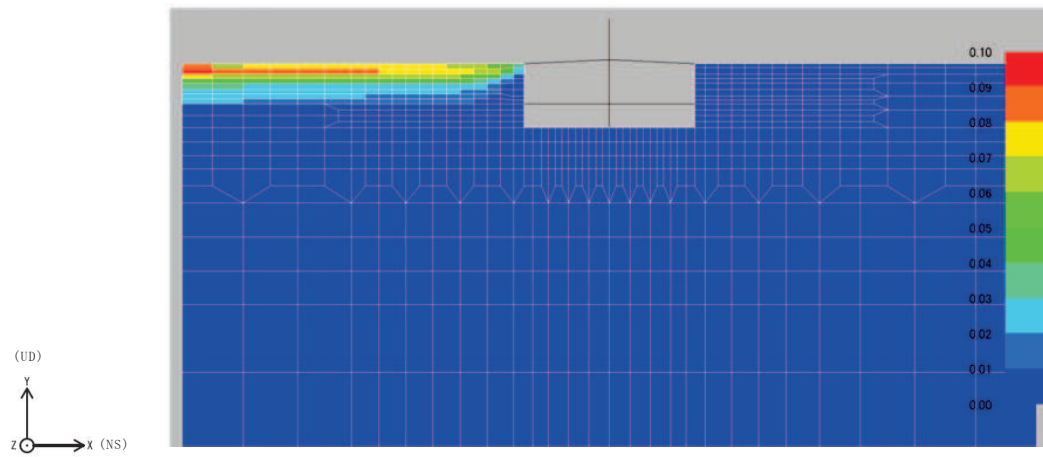


図 3-2 地盤の最大応答せん断ひずみ (S<sub>s</sub>-N1, NS 方向)

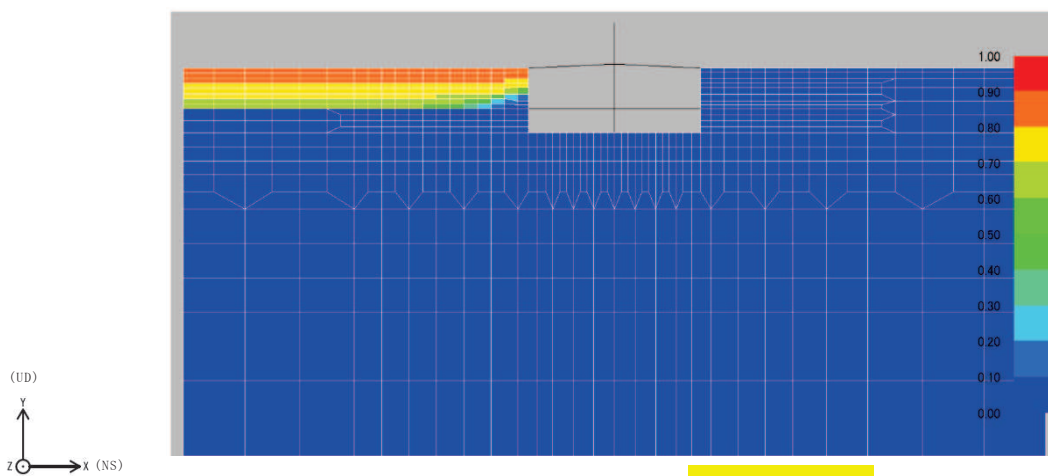


図 3-3 地盤の最大過剰間隙水圧比 (S<sub>s</sub>-N1, NS 方向)

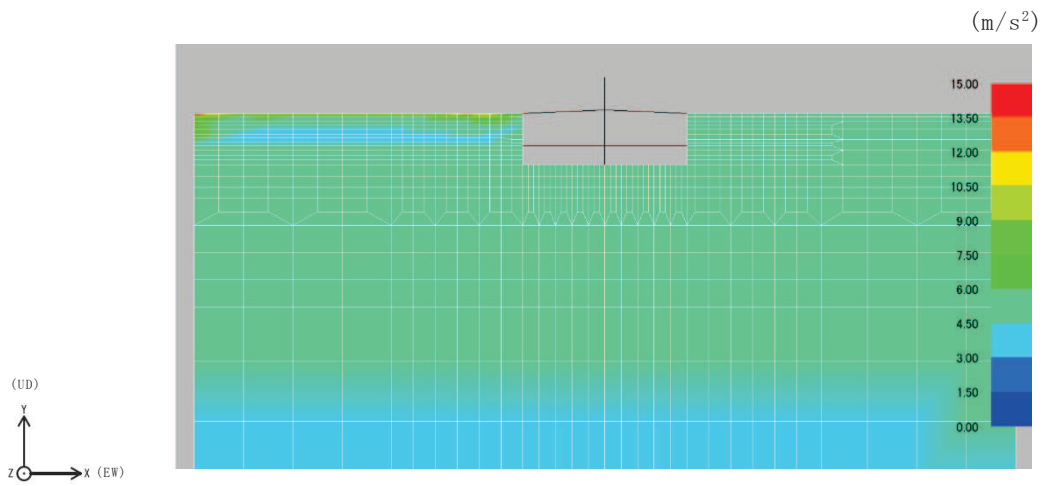


図 3-4 地盤の最大応答加速度 (S<sub>s</sub>-N1, EW 方向)

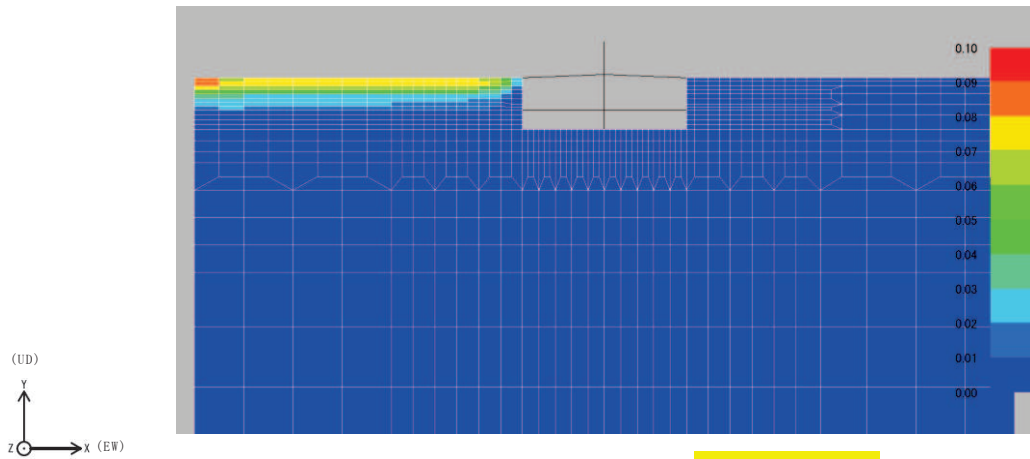


図 3-5 地盤の最大応答せん断ひずみ (S<sub>s</sub>-N1, EW 方向)

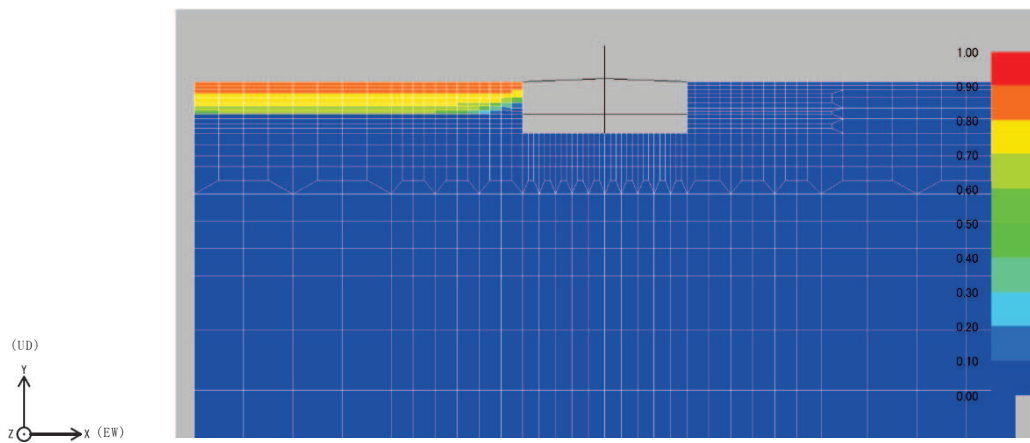
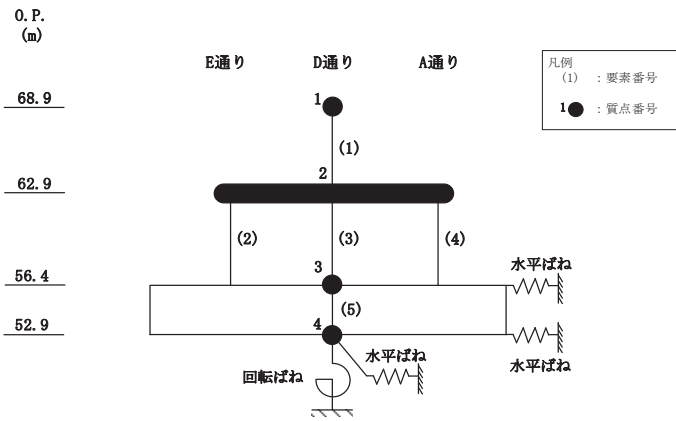


図 3-6 地盤の最大過剰間隙水圧比 (S<sub>s</sub>-N1, EW 方向)



E 通り		D 通り		A 通り	
O.P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )	O.P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )	O.P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )
有効応力解析	ケース2	有効応力解析	ケース2	有効応力解析	ケース2
68.9		68.9	891	1061	
62.9	499	62.9	499	610	610
56.4	489	56.4	489	579	579

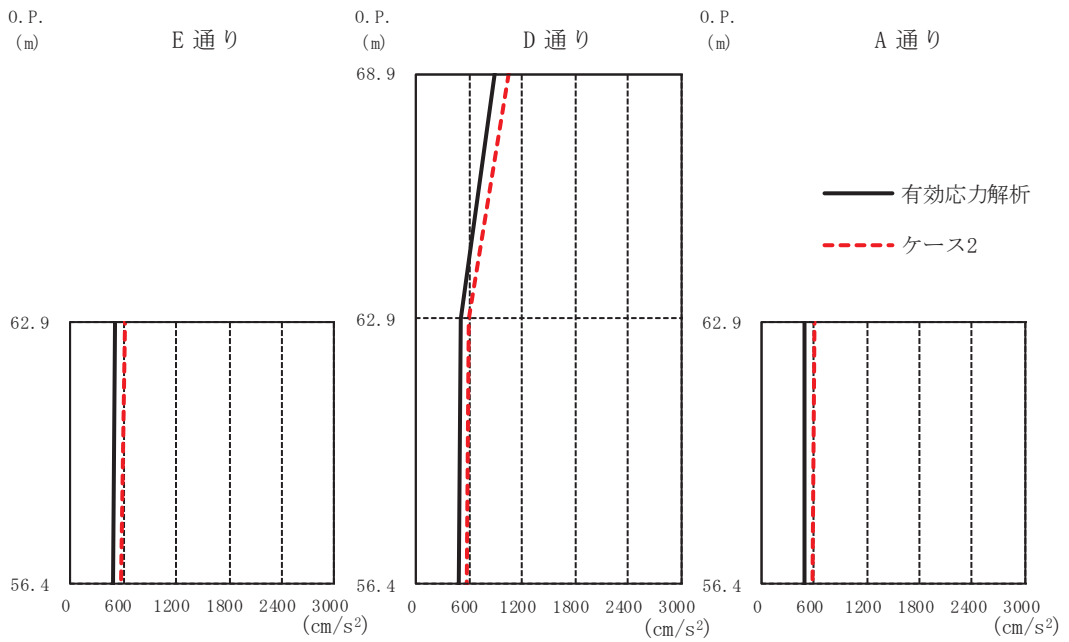
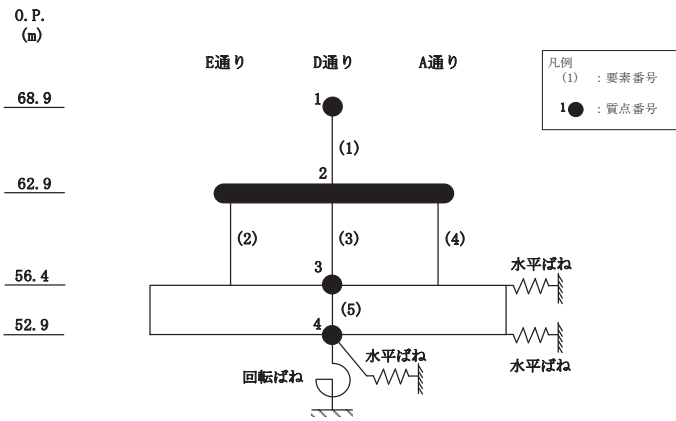


図 3-7 最大応答加速度 (S s - N 1, NS 方向)

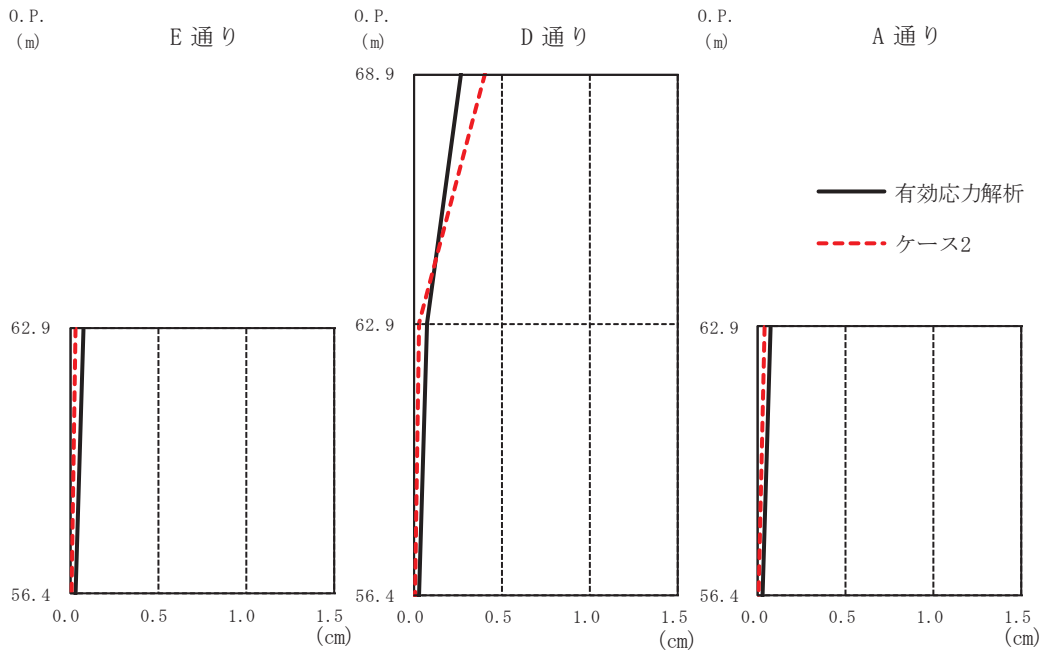




O.P. (m)	有効応力解析	ケース2
62.9	0.07	0.02
56.4	0.03	0.00

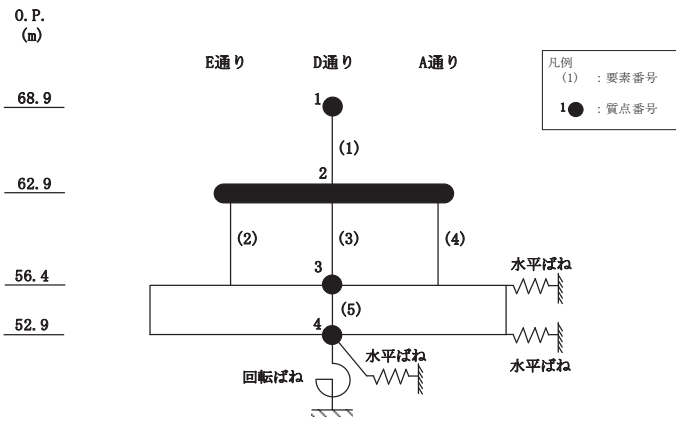
O.P. (m)	有効応力解析	ケース2
68.9	0.26	0.40
62.9	0.07	0.02
56.4	0.03	0.00

O.P. (m)	有効応力解析	ケース2
62.9	0.07	0.02
56.4	0.03	0.00



注：有効応力解析ではO.P. 52.9m（緊急用電気品建屋の基礎スラブ下端レベル）の地盤に対する相対変位を示す。

図 3-8 最大応答変位 (S<sub>s</sub>-N1, NS 方向)



O.P (m)	E 通り ( $\times 10^3 \text{kN}$ )	
	有効応力解析	ケース2
62.9		
56.4	10.60	10.61

O.P (m)	D 通り ( $\times 10^3 \text{kN}$ )	
	有効応力解析	ケース2
68.9		
62.9	3.29	3.96
56.4	4.79	4.79

O.P (m)	A 通り ( $\times 10^3 \text{kN}$ )	
	有効応力解析	ケース2
62.9		
56.4	10.60	10.61

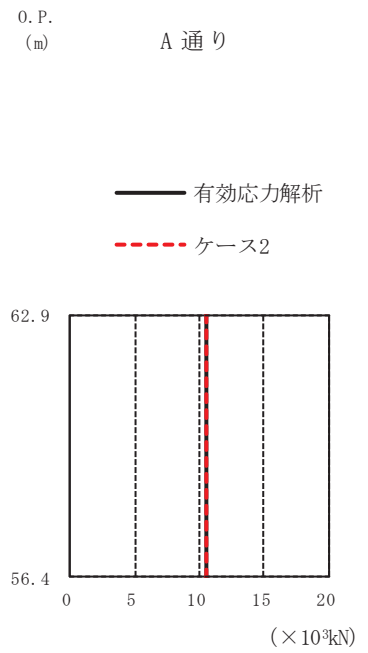
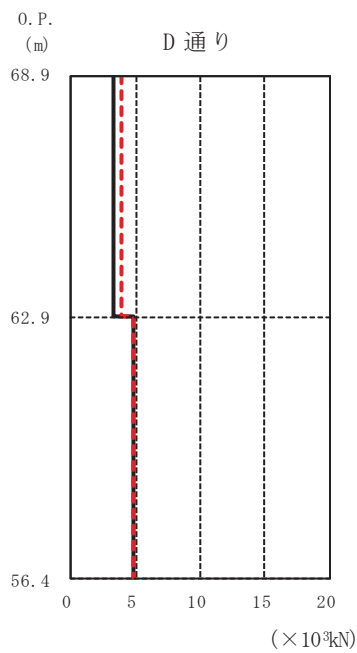
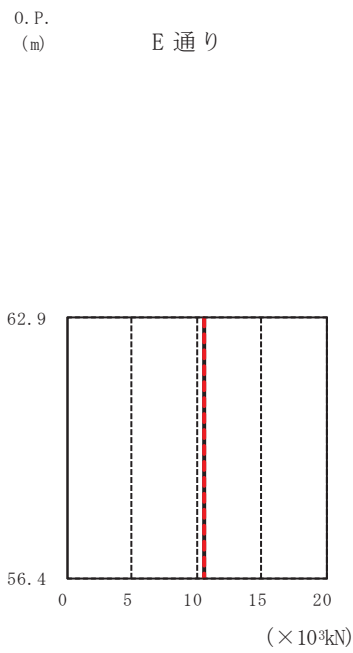
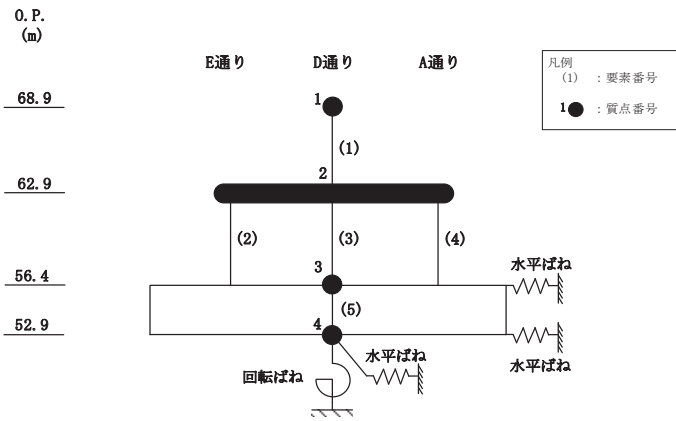


図 3-9 最大応答せん断力 (  $S_s - N 1$ , NS 方向)



O.P. (m)

E 通り		(×10 <sup>4</sup> kN・m)	
有効応力解析	ケース2		
62.9	0.52	0.71	
56.4	7.40	7.45	

O.P. (m) D 通り (×10<sup>4</sup>kN・m)

	有効応力解析	ケース2
68.9	0.00	0.00
62.9	1.97	2.37
56.4	3.94	3.98

O.P. (m) A 通り (×10<sup>4</sup>kN・m)

	有効応力解析	ケース2
62.9	0.59	0.78
56.4	7.48	7.53

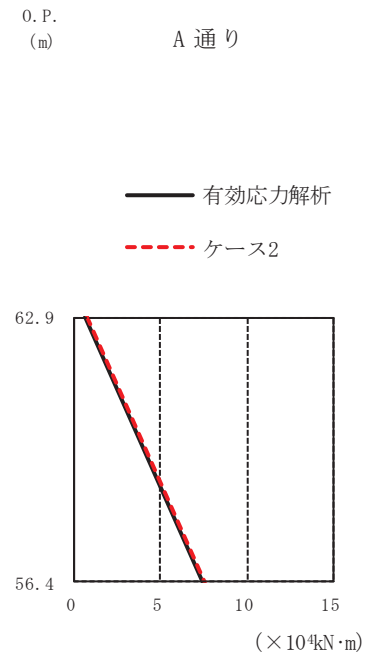
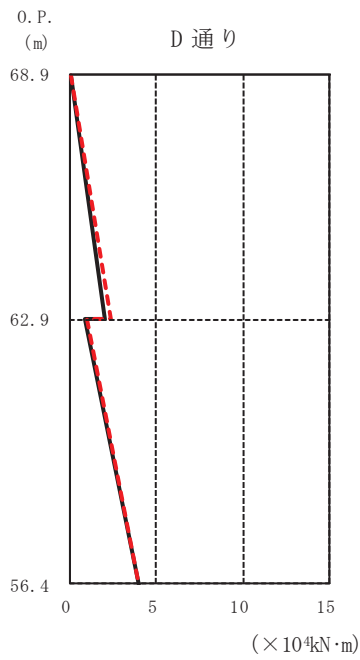
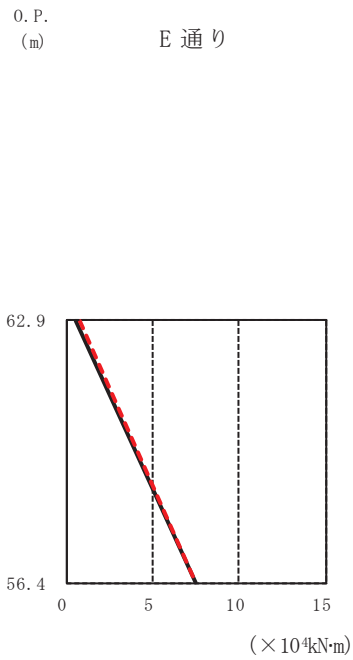
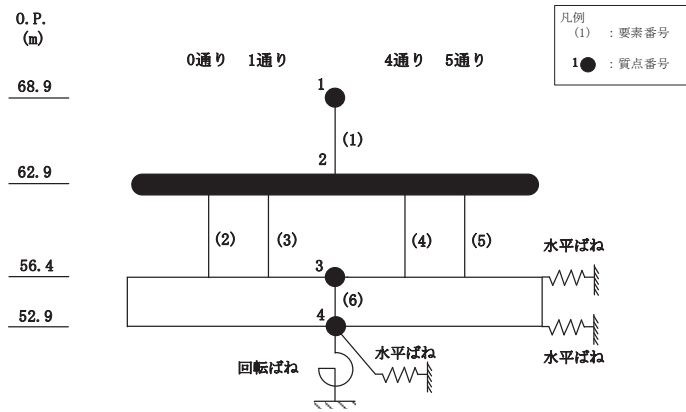


図 3-10 最大応答曲げモーメント (S<sub>s</sub> - N 1, NS 方向)



0 通り		1 通り		4 通り		5 通り		
O.P. (m)	有効応力解析 (cm/s <sup>2</sup> )	ケース2 (cm/s <sup>2</sup> )	O.P. (m)	有効応力解析 (cm/s <sup>2</sup> )	ケース2 (cm/s <sup>2</sup> )	O.P. (m)	有効応力解析 (cm/s <sup>2</sup> )	ケース2 (cm/s <sup>2</sup> )
68.9			68.9	804	939	68.9		
62.9	457	603	62.9	457	603	62.9	457	603
56.4	454	576	56.4	454	576	56.4	454	576

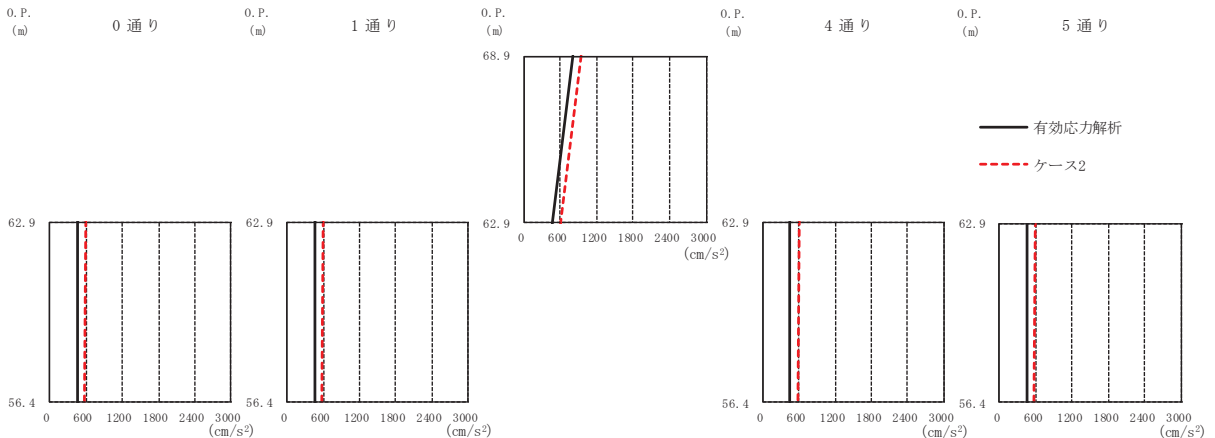
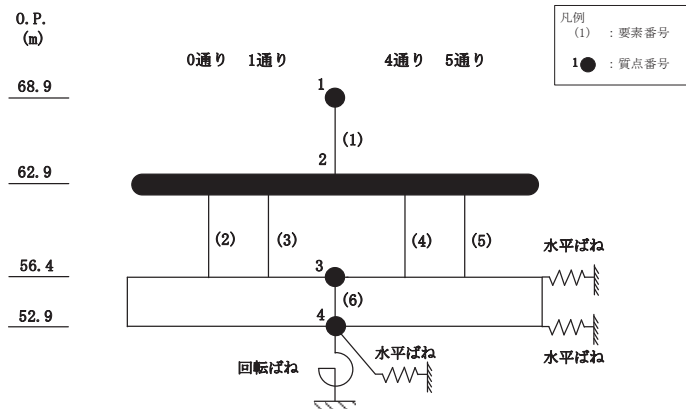
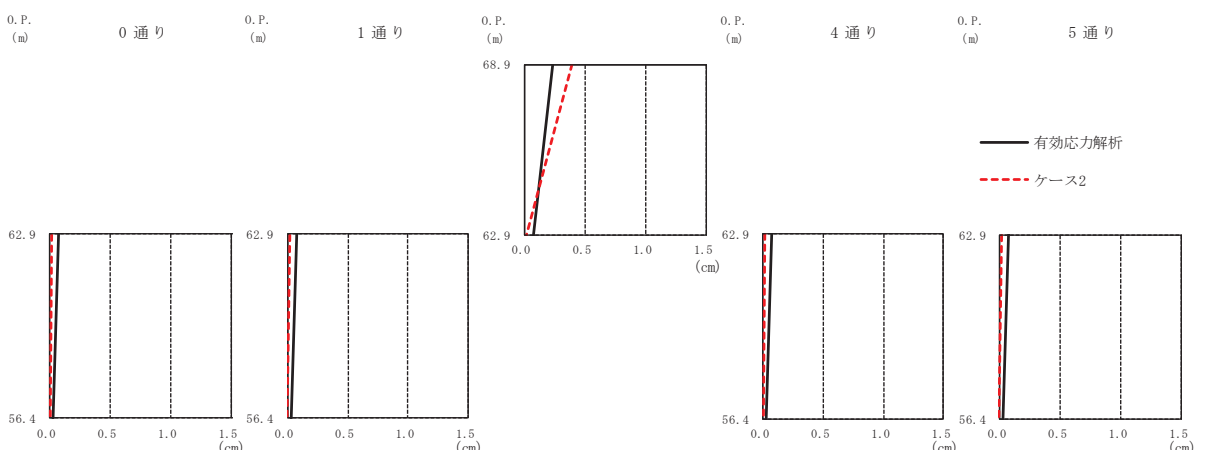


図 3-11 最大応答加速度 (S<sub>s</sub> - N1, EW 方向)



0 通り			1 通り			4 通り			5 通り		
O.P. (m)	有効応力解析	ケース2	O.P. (m)	有効応力解析	ケース2	O.P. (m)	有効応力解析	ケース2	O.P. (m)	有効応力解析	ケース2
68.9			68.9	0.23	0.40	68.9	0.23	0.40	68.9	0.23	0.40
62.9	0.07	0.01	62.9	0.07	0.01	62.9	0.07	0.01	62.9	0.07	0.01
56.4	0.03	0.00	56.4	0.03	0.00	56.4	0.03	0.00	56.4	0.03	0.00



注：有効応力解析ではO.P. 52.9m（緊急用電気品建屋の基礎スラブ下端レベル）の地盤に対する相対変位を示す。

図 3-12 最大応答変位 (S<sub>s</sub>-N1, EW 方向)

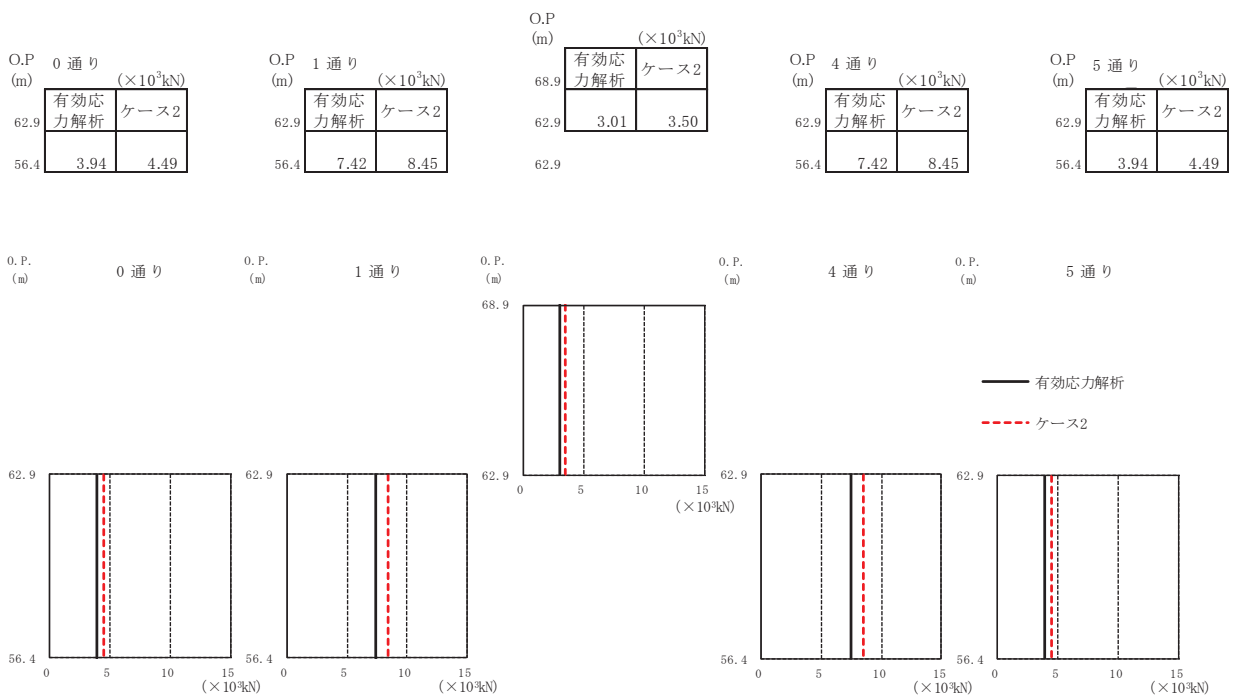
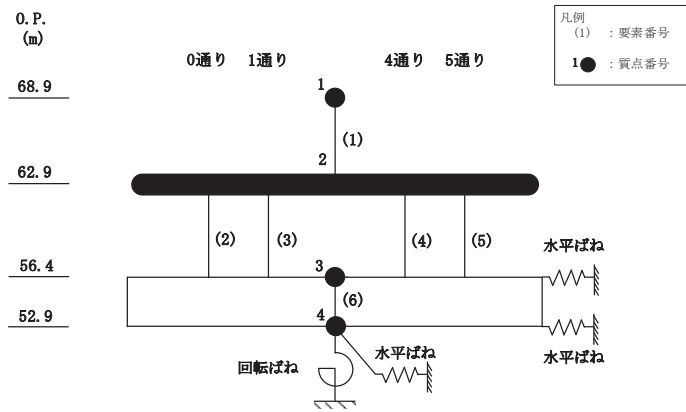


図 3-13 最大応答せん断力 (  $S_s - N 1$ , EW 方向)

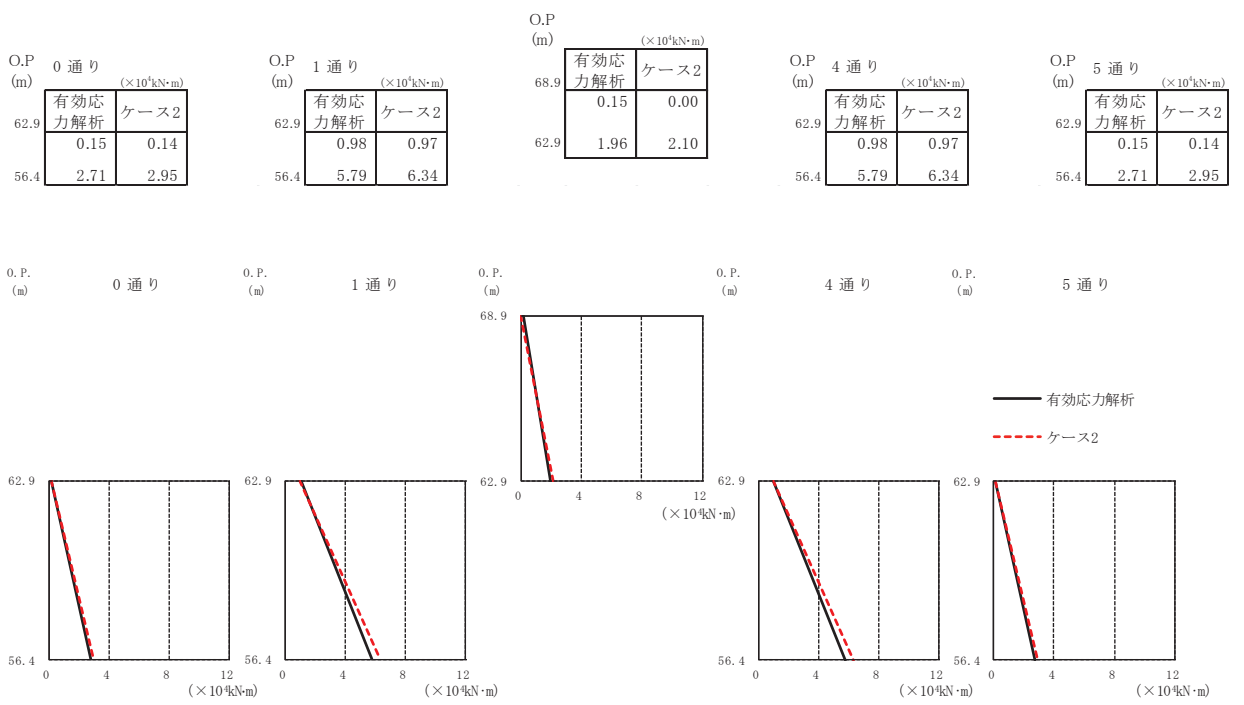
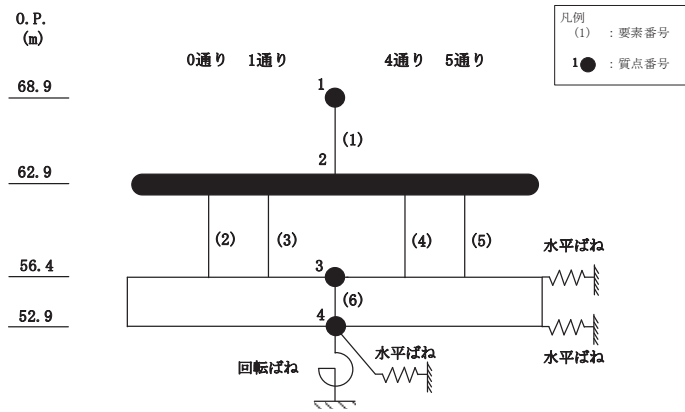


図 3-14 最大応答曲げモーメント (  $S_s - N_1$ , EW 方向)

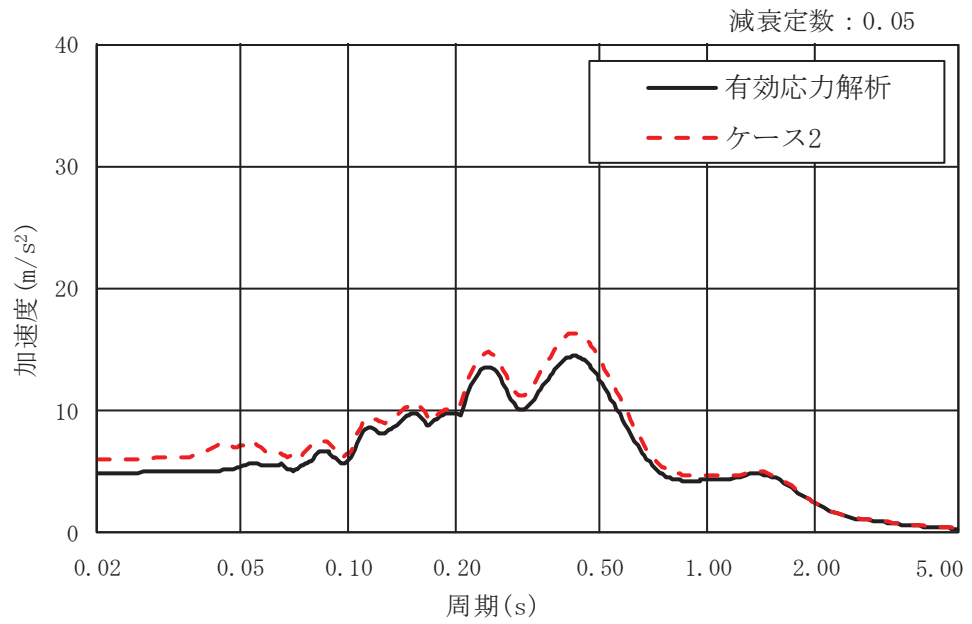
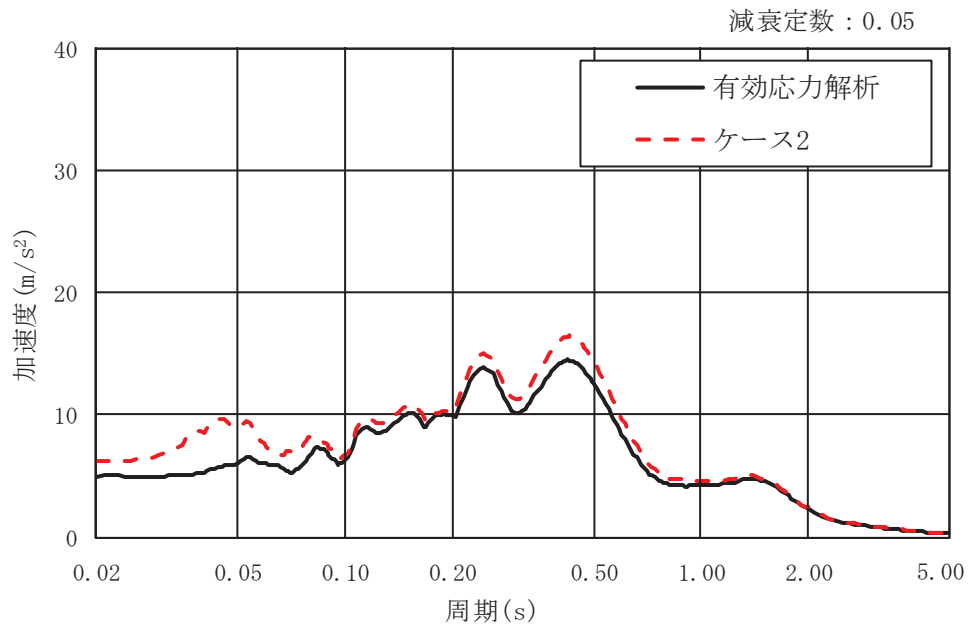


図 3-15 加速度応答スペクトル (  $S_s - N 1$  , NS 方向)



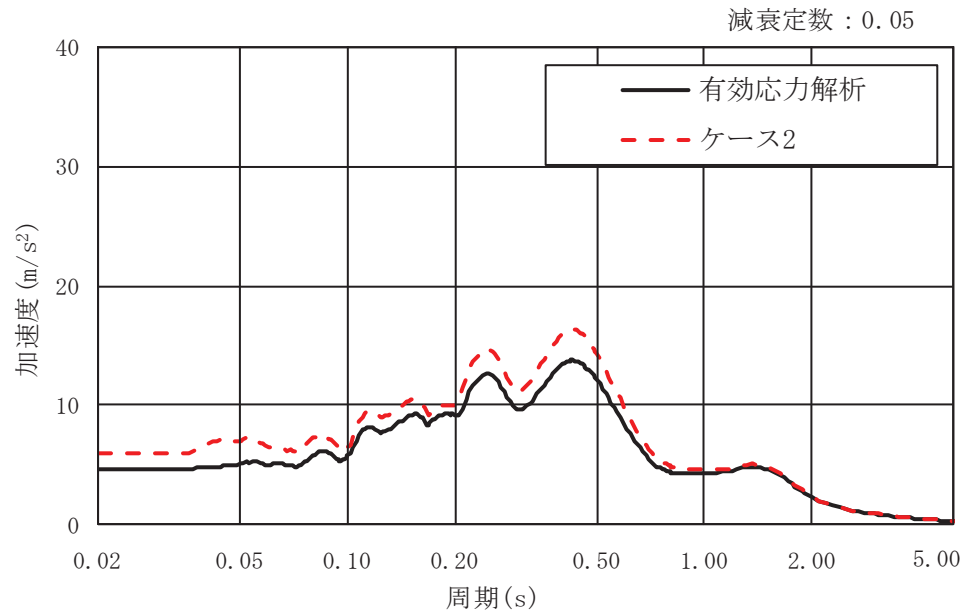
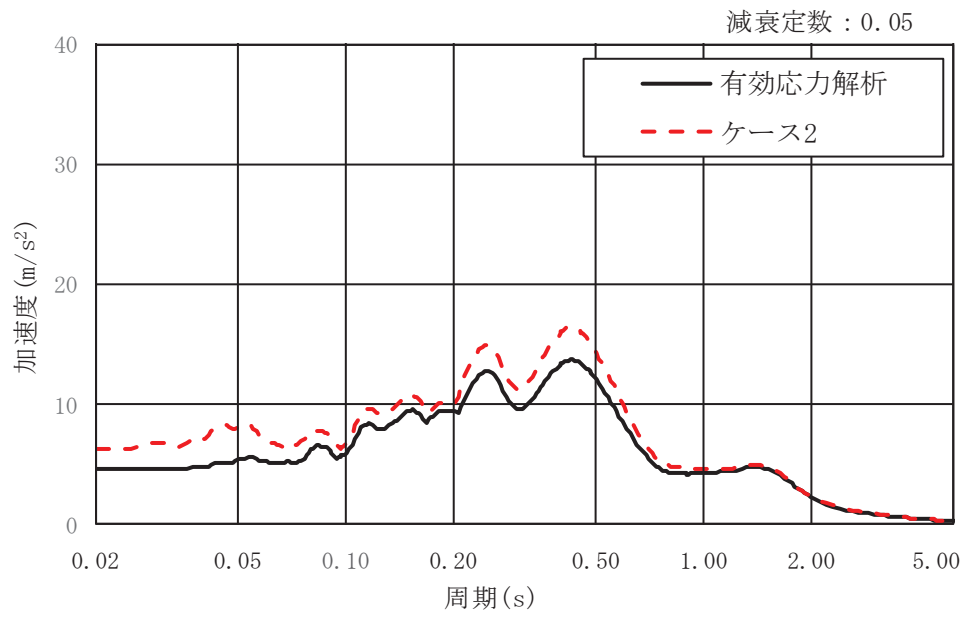


図 3-16 加速度応答スペクトル (  $S_s - N1$ , EW 方向)

別紙 1-1-2 地震応答解析における地上鉄骨部のモデル化の妥当性について

## 目 次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1-2-1
2. 鉄骨フレームの弾性限界の算定について・・・・・・・・ 別紙 1-1-2-2
3. 弾性限界水平荷重の算定結果及び応答値との比較・・・・ 別紙 1-1-2-6

## 1. 概要

緊急用電気品建屋の地上部分は、鉄骨造のフレーム架構の構造物である。鉄骨部分は基準地震動  $S_s$  に対して短期許容応力度設計を行っていることから地震応答解析においても線形の等価せん断要素でモデル化している。

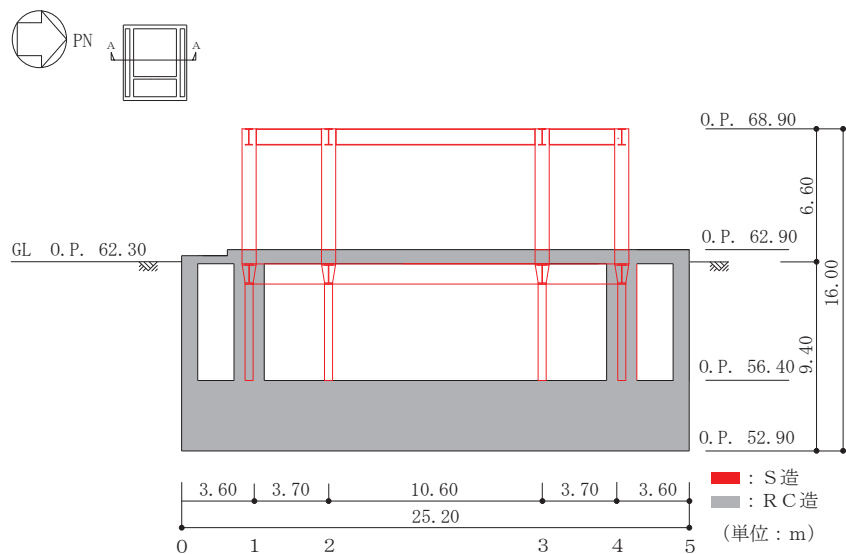
本資料は、鉄骨部分を線形部材としてモデル化することの妥当性について説明するものである。

## 2. 鉄骨フレームの弾性限界の算定について

鉄骨フレーム部の弾性限界となる水平力を算定するために、当該部分の柱及び梁の弾塑性特性を考慮に入れたフレームモデルを作成した上で静的漸増解析を行う。フレームの変形には、曲げ変形とせん断変形による水平変位が生じるが、地震応答解析では等価なせん断モデルとしており、層間変位と層せん断力の関係性を評価する。フレームの漸増解析には解析コード「fappase」を用いる。評価に用いる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。

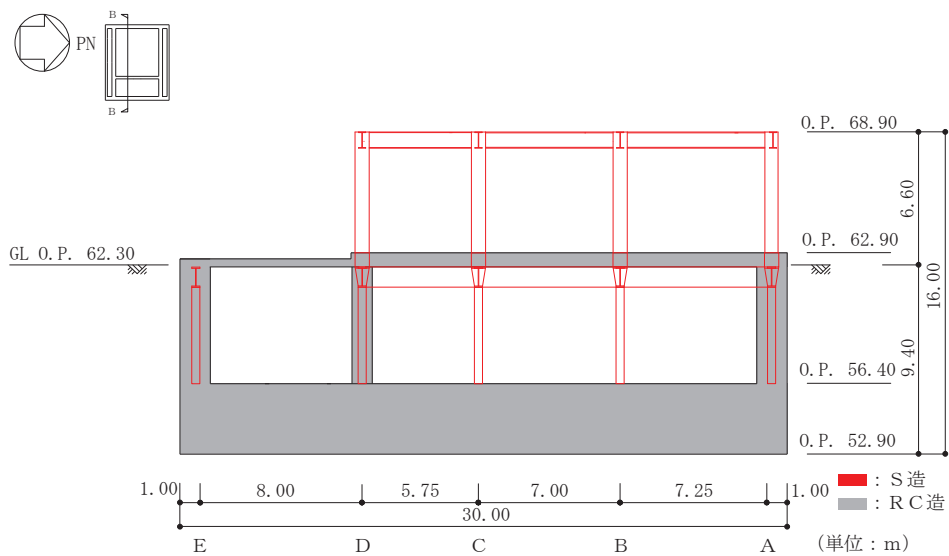
フレーム部の構造を図 2-1 に示す。静的漸増解析においては、地上部分の鉄骨柱及び鉄骨大ばりをモデル化する。境界条件は、評価するフレーム部分の脚部を固定とし、対象とする層に漸増する水平荷重を作用させる。静的漸増解析で得られる荷重(Q)－せん断変形角( $\gamma$ )関係より、最初にヒンジが発生する位置を鉄骨部分の弾性限界として評価する。

フレーム部の等価せん断スケルトンの設定フローを図 2-2 に示す。



(単位 : m)

図 2-1(1) フレーム部の構造概要 (A-A 断面, NS 方向)



(単位 : m)

図 2-1(2) フレーム部の構造概要 (B-B 断面, EW 方向)

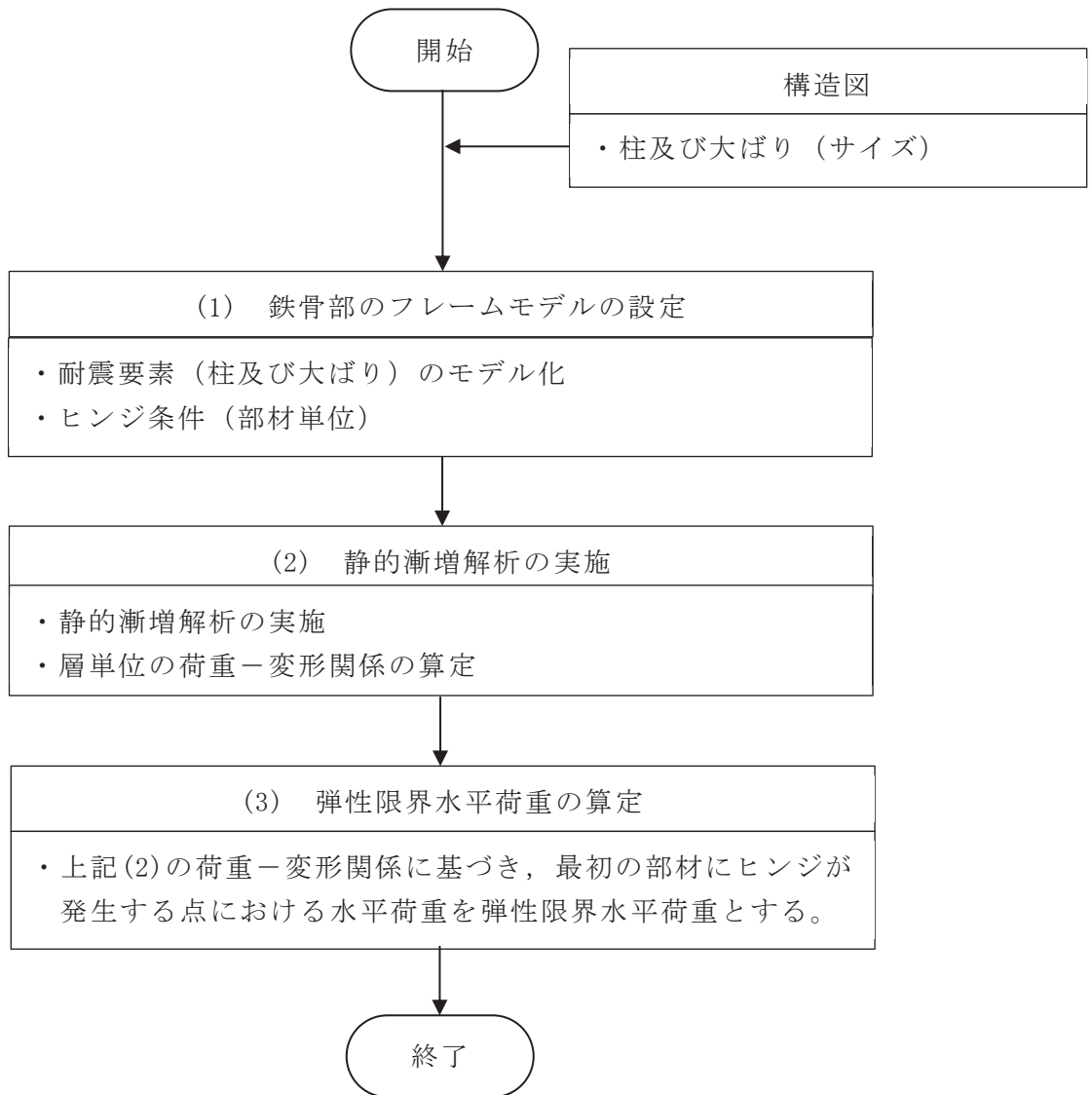


図 2-2 フレーム部の弾性限界となる水平荷重の設定フロー

(1) 建屋のフレームモデルの設定

フレーム部のモデルは地震応答解析の弾性剛性を評価する際に作成した各構面毎のフレームモデルをもとに、NS方向、EW方向それぞれについて全構面のフレームモデルを作成する。耐震要素（柱及び大ばり）を部材単位でモデル化した全構面モデルについて、水平ブレースで結合されるRFについては剛床を仮定する。本検討では鉄骨部の弾性限界を算定するため、フレームモデルの柱及び大ばりに鉄骨の降伏耐力に基づいて材端の塑性ヒンジを設定する。鉄骨柱の柱脚部は固定とする。なお、本検討の目的を踏まえ、各部材の降伏耐力の算定においては鉄骨の規格降伏点強度（F値）を用い、1.1倍は考慮しない。

(2) 静的漸増解析の実施

上記のフレームモデルを用い、RF大ばり中心位置（O.P.68.500m）に水平荷重を作用させて静的漸増解析を実施し、層単位の荷重（Q）－変形（ $\gamma$ ）関係を求める。このとき、柱部材に生じる長期の曲げ応力は小さいことから考慮していない。

フレームの静的漸増解析の概要を図2-3に示す。

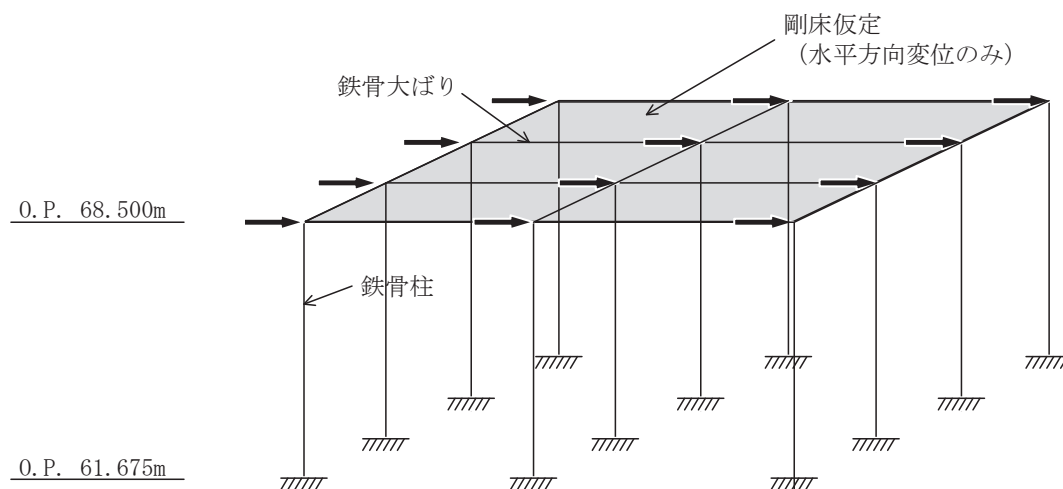


図 2-3 フレームの静的漸増解析の概要

(3) 弾性限界水平荷重の算定

上記の静的漸増解析を実施し、いずれかの部材にヒンジが発生したときの水平荷重を弾性限界水平荷重として算定する。



3. 弾性限界水平荷重の算定結果及び応答値との比較

緊急用電気品建屋の地上部について、弾性限界水平荷重の算定結果及びS s地震時の最大応答せん断力（ケース5，S s-D 2）との比較を表3-1及び図3-1に示す。S s地震時の最大応答せん断力は弾性限界水平荷重を大きく下回っており、緊急用電気品建屋の地震応答解析において地上部の鉄骨フレーム部分を線形要素としてモデル化することの妥当性を確認した。

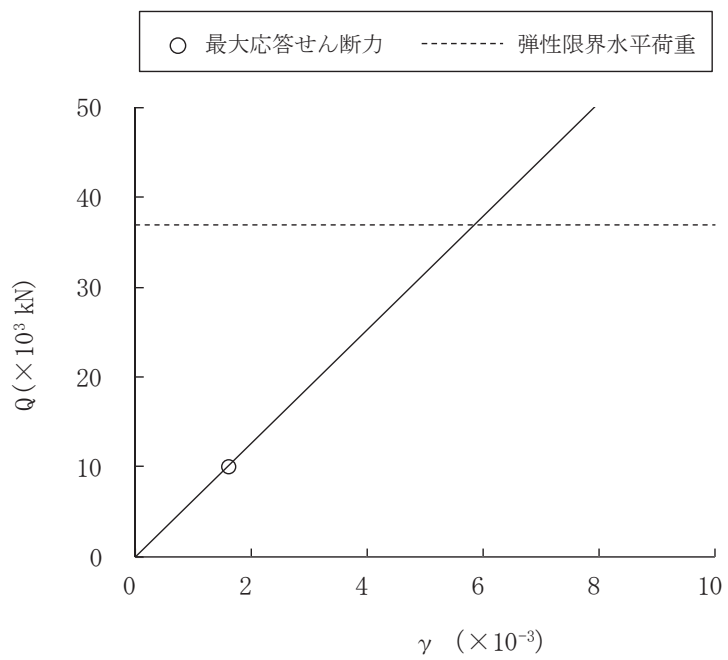
表 3-1 弾性限界水平荷重と S s 地震時の最大応答せん断力との比較

(a) NS 方向

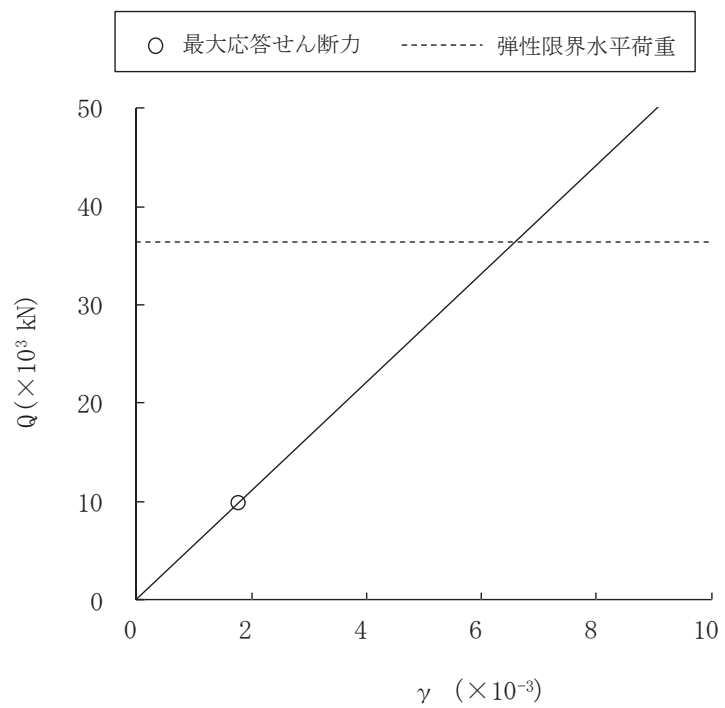
階	O. P. (m)	①弾性限界 水平荷重 $Q_E (\times 10^3 \text{kN})$	②最大応答せん断力 (ケース 5, S s - D 2) $Q (\times 10^3 \text{kN})$	②/①
1F	68.90 ~ 62.90	36.96	10.10	0.28

(b) EW 方向

階	O. P. (m)	①弾性限界 水平荷重 $Q_E (\times 10^3 \text{kN})$	②最大応答せん断力 (ケース 5, S s - D 2) $Q (\times 10^3 \text{kN})$	②/①
1F	68.90 ~ 62.90	36.44	9.80	0.27



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-1 弾性限界水平荷重と  $S_s$  地震時の最大応答せん断力との比較

別紙 1-1-3 側面回転地盤ばねを考慮した解析結果について

## 目 次

1. 概要..... 別紙 1-1-3-1
2. 検討に用いる地震波及び地震応答解析モデル..... 別紙 1-1-3-2
3. 側面回転地盤ばねを考慮した場合の解析結果..... 別紙 1-1-3-5

## 1. 概要

添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」(以下「地震応答計算書」という。)では、基礎版側面の側面回転地盤ばねは考慮しない地震応答解析モデルを採用して地震応答解析を行っている。

一方、緊急用電気品建屋の基礎版の応力解析においては、添付書類「VI-2-2-22 緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書」(以下「耐震計算書」という。)に示すとおり、基礎版をモデル化したシェル要素の建屋外周にあたる周囲部分に、基礎側面地盤の鉛直方向に対する拘束効果を考慮している。この鉛直方向の拘束効果は、基礎版側面をマンメイドロックで埋戻すことを考慮して設定しているばねであり、基礎版側面地盤の物性にに基づき Novak の手法により評価した回転ばねを等価な鉛直方向ばねに置換したものである。

本資料では、地震応答解析モデルに基礎版側面の側面回転地盤ばねを考慮した地震応答解析を行い、地震応答計算書に示す地震応答解析モデルに基づく最大応答値と比較することで、地震応答解析に基礎版側面の側面回転地盤ばねを考慮しないことが保守的な評価となることを確認する。

## 2. 検討に用いる地震波及び地震応答解析モデル

緊急用電気品建屋の地震応答解析結果のうち、基準地震動  $S_s - D2$  のケース 5（建屋剛性 0.8 倍， $+\sigma$  地盤）が建屋の応答に最も支配的なケースとなることから、側面回転地盤ばねを設定した検討ケースは基準地震動  $S_s - D2$  のケース 5 とし、NS 方向及び EW 方向モデルに対して実施する。

側面回転地盤ばねの算定に用いる解析用地盤物性値は補足説明資料「補足-610-10 緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」に示す  $+\sigma$  地盤物性値とする。また、側面回転地盤ばね以外の地震応答解析モデルの諸元は補足説明資料「補足-610-10 緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」に示すケース 5 と同一とする。

側面回転地盤ばねを含む地盤ばね定数と減衰係数の算定結果を表 2-1 に、地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。

表 2-1 地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

(a) NS 方向

地盤ばね 成分	質点 番号	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
側面・水平	3	$9.264 \times 10^7$ (kN/m)	$1.565 \times 10^6$ (kN·s/m)
側面・回転	3	$1.711 \times 10^{10}$ (kN·m/rad)	$9.720 \times 10^7$ (kN·m·s/rad)
側面・水平	4	$9.264 \times 10^7$ (kN/m)	$1.565 \times 10^6$ (kN·s/m)
側面・回転	4	$1.711 \times 10^{10}$ (kN·m/rad)	$9.720 \times 10^7$ (kN·m·s/rad)
底面・水平	4	$1.127 \times 10^9$ (kN/m)	$4.022 \times 10^6$ (kN·s/m)
底面・回転	4	$1.970 \times 10^{11}$ (kN·m/rad)	$1.375 \times 10^8$ (kN·m·s/rad)

(b) EW 方向

地盤ばね 成分	質点 番号	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
側面・水平	3	$9.264 \times 10^7$ (kN/m)	$1.553 \times 10^6$ (kN·s/m)
側面・回転	3	$1.711 \times 10^{10}$ (kN·m/rad)	$1.015 \times 10^8$ (kN·m·s/rad)
側面・水平	4	$9.264 \times 10^7$ (kN/m)	$1.553 \times 10^6$ (kN·s/m)
側面・回転	4	$1.711 \times 10^{10}$ (kN·m/rad)	$1.015 \times 10^8$ (kN·m·s/rad)
底面・水平	4	$1.112 \times 10^9$ (kN/m)	$3.927 \times 10^6$ (kN·s/m)
底面・回転	4	$2.523 \times 10^{11}$ (kN·m/rad)	$2.486 \times 10^8$ (kN·m·s/rad)

$E_c = 1.95 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$   
 $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$  (地上鉄骨部)  
 $G_c = 8.16 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  (地上鉄骨部)  
 $7.90 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$  (地上鉄骨部)

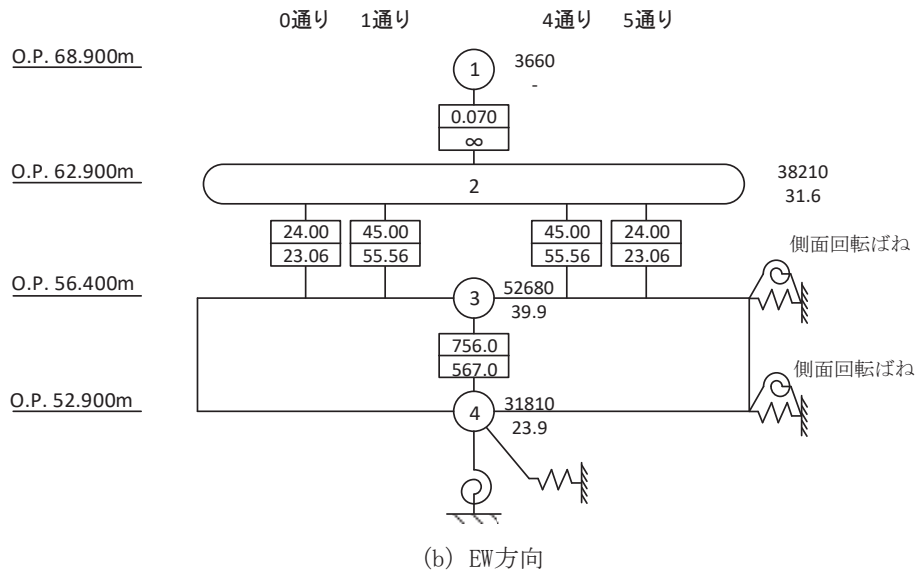
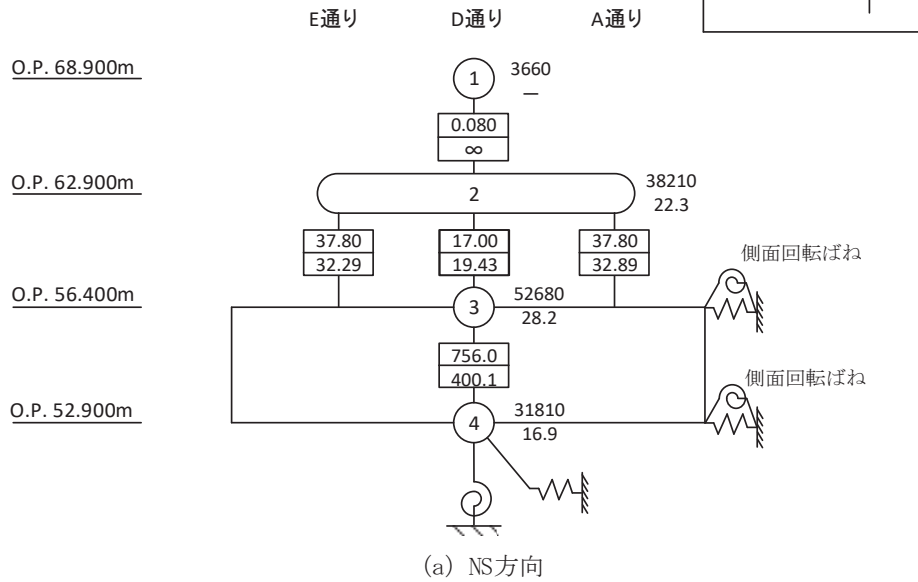
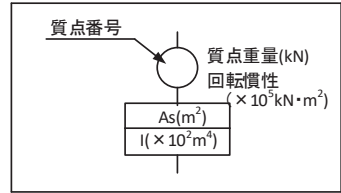


図 2-1 地震応答解析モデル



### 3. 側面回転地盤ばねを考慮した場合の解析結果

側面回転地盤ばね考慮モデルと今回工認の地震応答解析のケース 5, S<sub>s</sub>-D2 の応答値の比較結果を示す。最大応答加速度, 最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを図 3-1~図 3-6 に, B1F (O.P. 56.4m) と 1F (O.P. 62.9m) の床面における加速度応答スペクトルを図 3-7 及び図 3-8 に示す。

各応答成分の比較から, 側面回転地盤ばね考慮モデルの結果が今回工認モデルでの結果を包絡している。また, 床面における加速度応答スペクトルについても今回工認の値を概ね同等または上回っていることから, 地震応答解析において側面回転地盤ばねを考慮しないことは保守的であることを確認した。

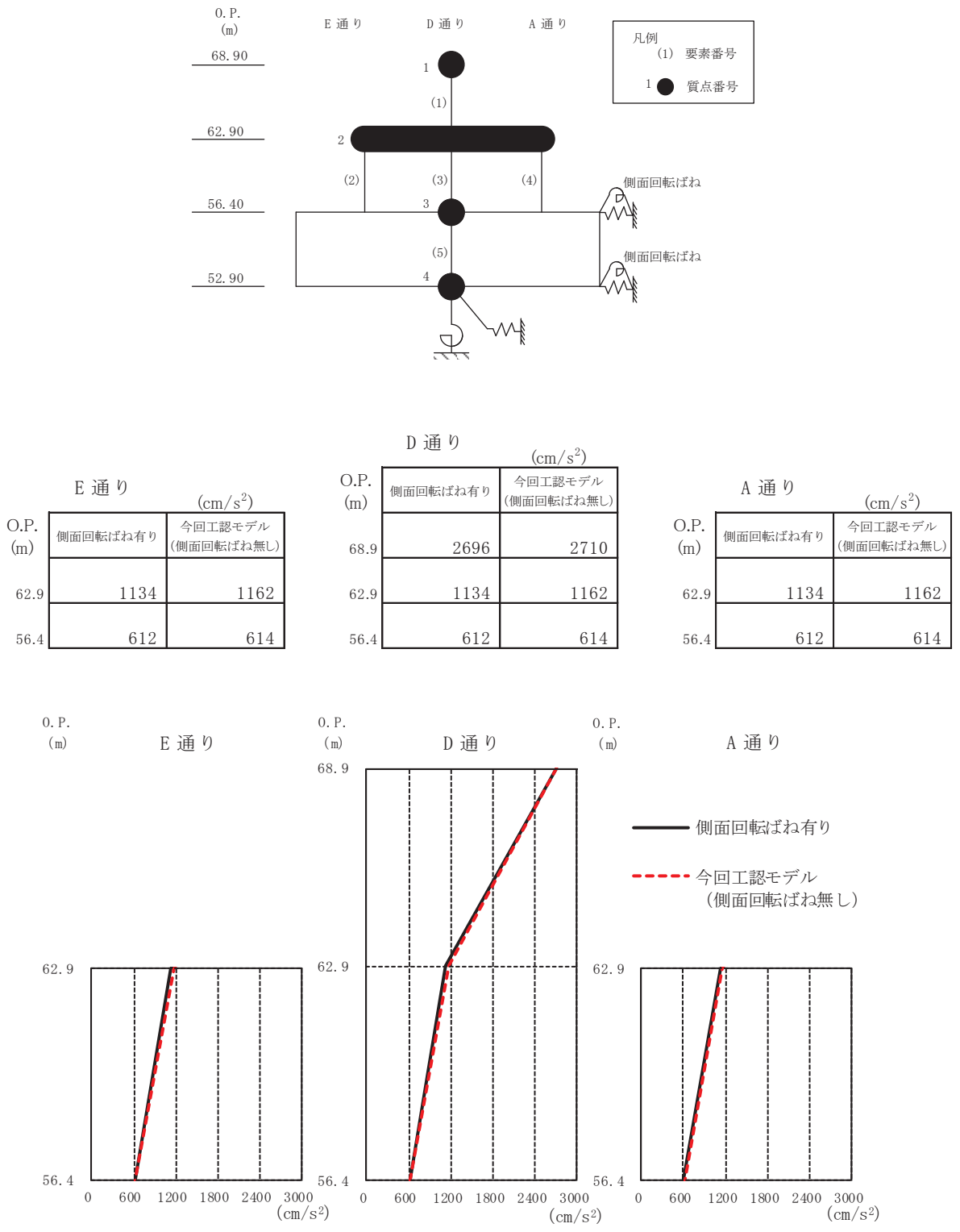
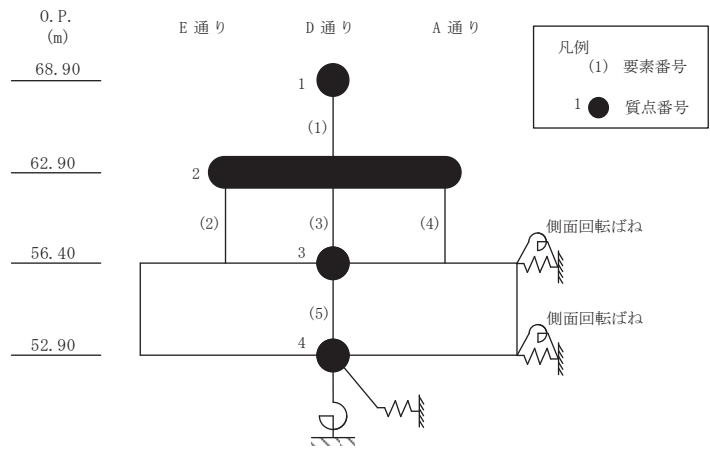


図 3-1 最大応答加速度 (S s - D 2, NS 方向)



E 通り		D 通り		A 通り	
O.P. (m)	( $\times 10^3$ kN)	O.P. (m)	( $\times 10^3$ kN)	O.P. (m)	( $\times 10^3$ kN)
68.9		68.9		68.9	
62.9	側面回転ばね有り	62.9	10.05	62.9	側面回転ばね有り
	今回工認モデル (側面回転ばね無し)		10.10		今回工認モデル (側面回転ばね無し)
56.4	17.79	56.4	8.03	56.4	17.79
	18.21		8.22		18.21

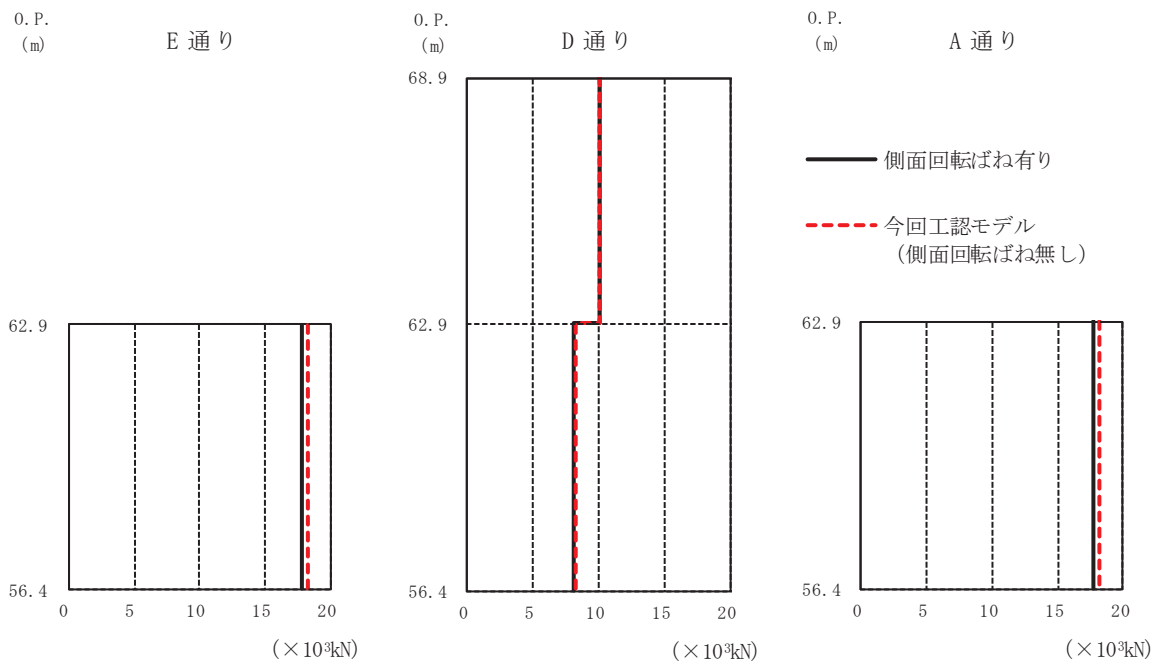
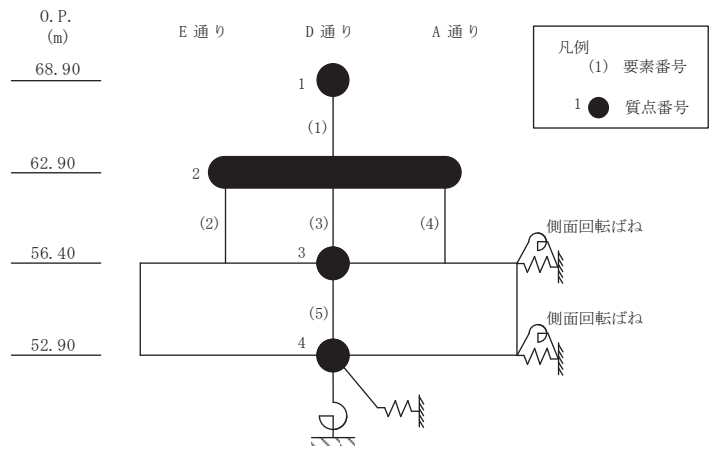


図 3-2 最大応答せん断力 (S<sub>s</sub> - D 2, NS 方向)



O.P. (m)	E 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )		D 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )		A 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )	
	側面回転ばね有り	今回工認モデル (側面回転ばね無し)	側面回転ばね有り	今回工認モデル (側面回転ばね無し)	側面回転ばね有り	今回工認モデル (側面回転ばね無し)
68.9			0.00	0.00		
62.9	2.47	2.54	6.03	6.06	2.56	2.62
56.4	13.76	14.26	7.41	7.70	13.91	14.42

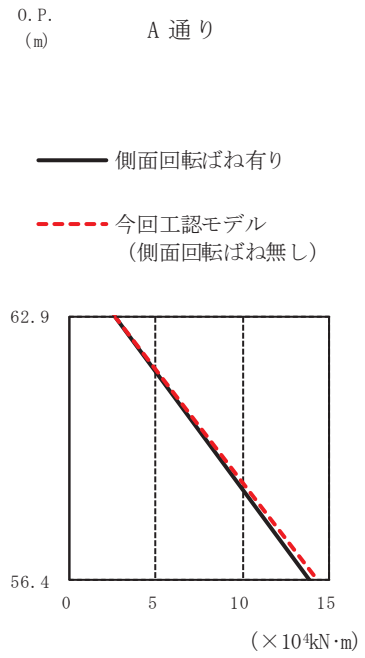
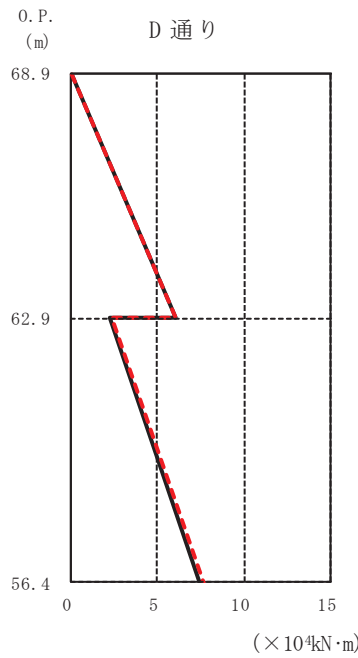
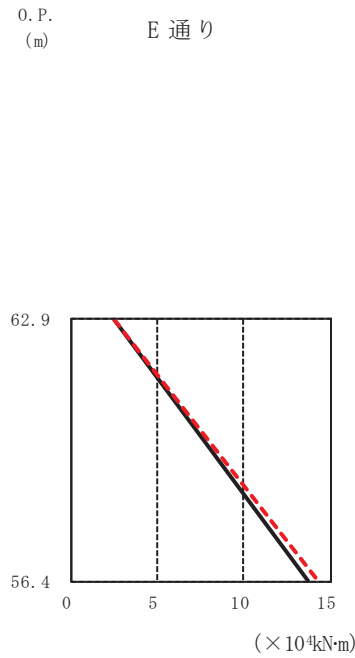
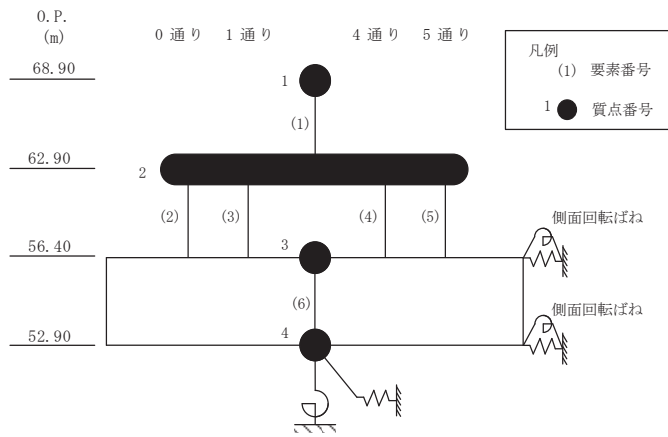


図 3-3 最大応答曲げモーメント (S s - D 2, NS 方向)



0 通り		1 通り		4 通り		5 通り	
(cm/s <sup>2</sup> )		(cm/s <sup>2</sup> )		(cm/s <sup>2</sup> )		(cm/s <sup>2</sup> )	
O.P. (m)		O.P. (m)		O.P. (m)		O.P. (m)	
側面回転ばね有り	側面回転ばね無し	側面回転ばね有り	側面回転ばね無し	側面回転ばね有り	側面回転ばね無し	側面回転ばね有り	側面回転ばね無し
62.9	898	62.9	898	62.9	898	62.9	898
56.4	602	56.4	602	56.4	602	56.4	602

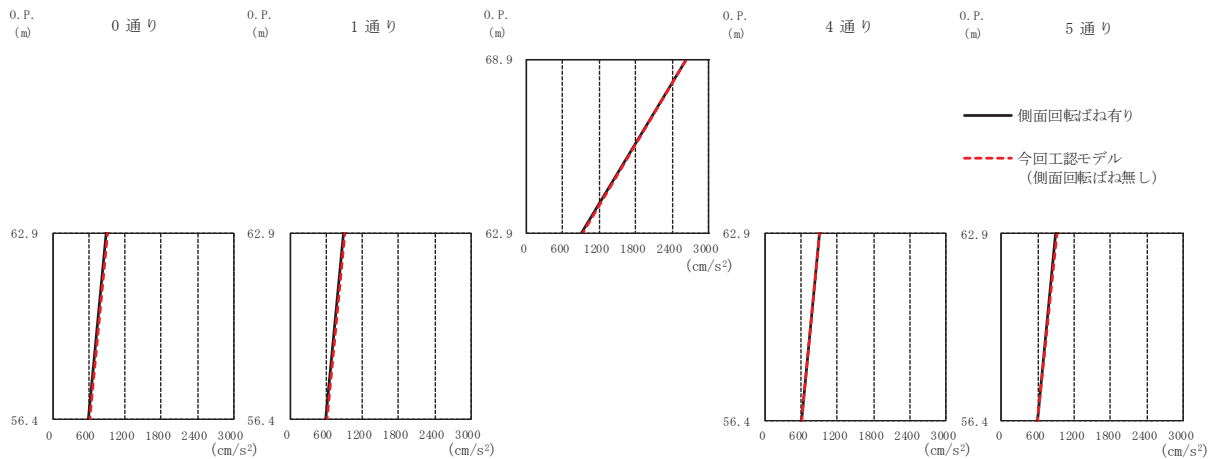


図 3-4 最大応答加速度 (S s - D 2, EW 方向)

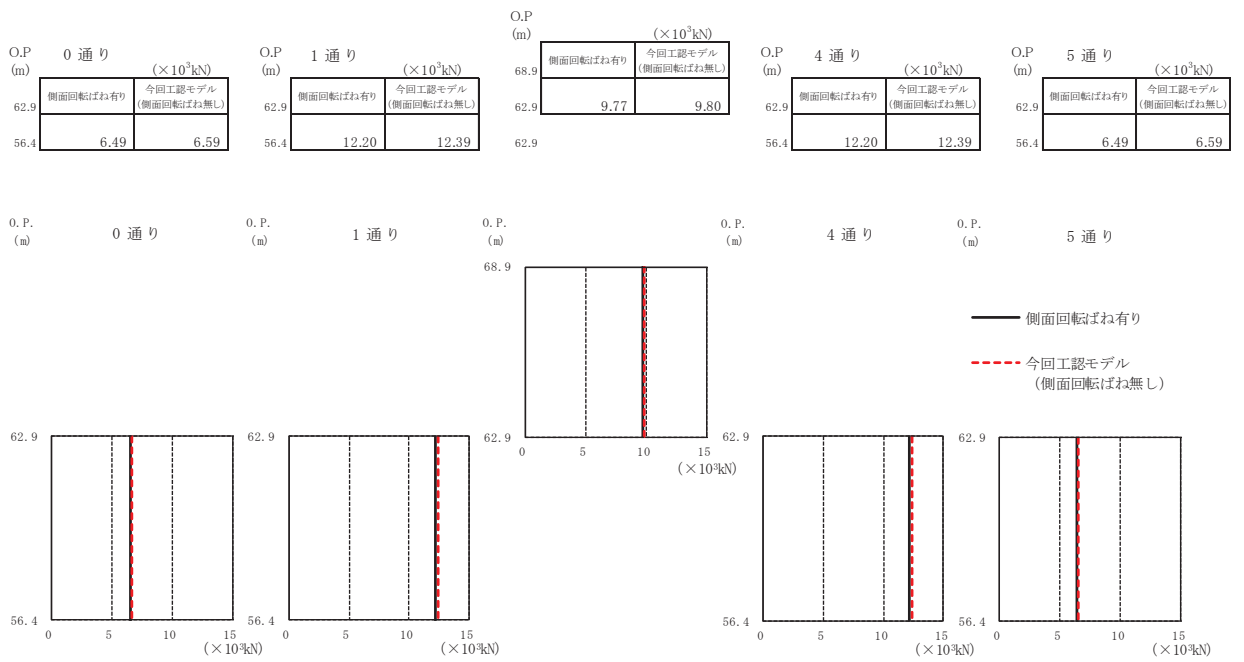
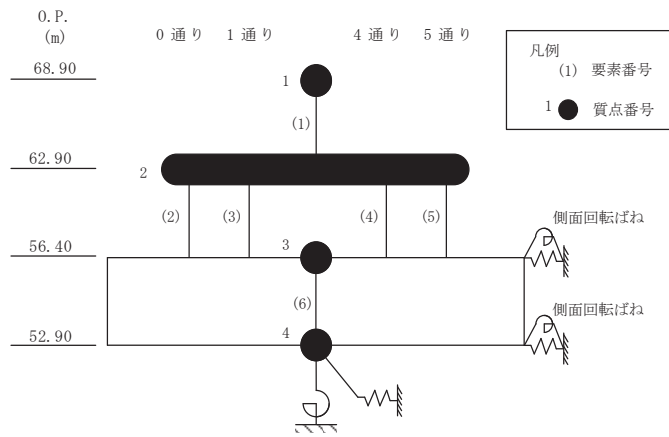
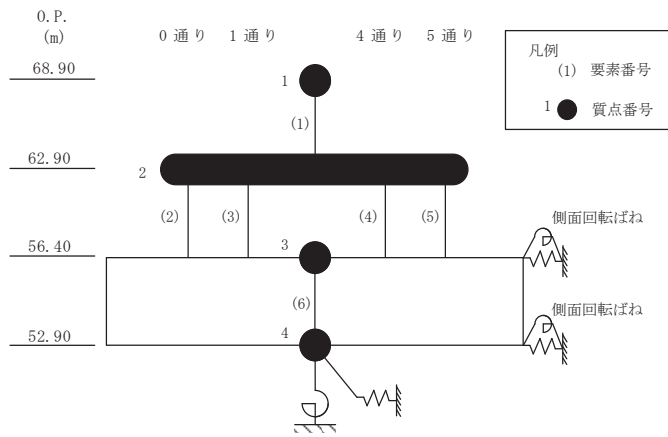


図 3-5 最大応答せん断力 (S s - D 2, EW 方向)



O.P. (m)	0 通り		1 通り		4 通り		5 通り	
	側面回転ばね有り	今回工認モデル (側面回転ばね無し)	側面回転ばね有り	今回工認モデル (側面回転ばね無し)	側面回転ばね有り	今回工認モデル (側面回転ばね無し)	側面回転ばね有り	今回工認モデル (側面回転ばね無し)
68.9					0.00	0.00		
62.9	0.88	0.95	2.59	2.71	2.59	2.71	0.88	0.95
56.4	4.56	4.69	9.87	10.18	9.87	10.18	4.56	4.69

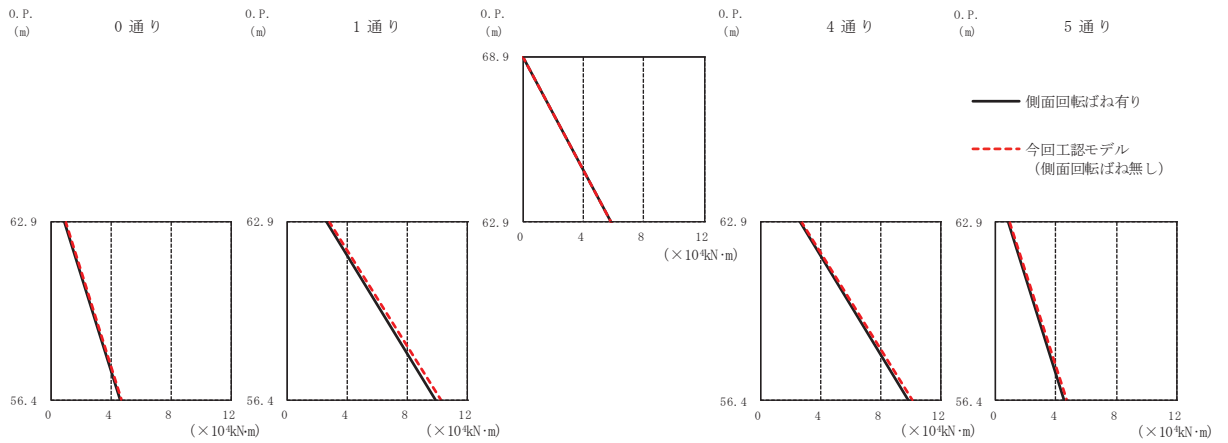


図 3-6 最大応答曲げモーメント (S s - D 2, EW 方向)

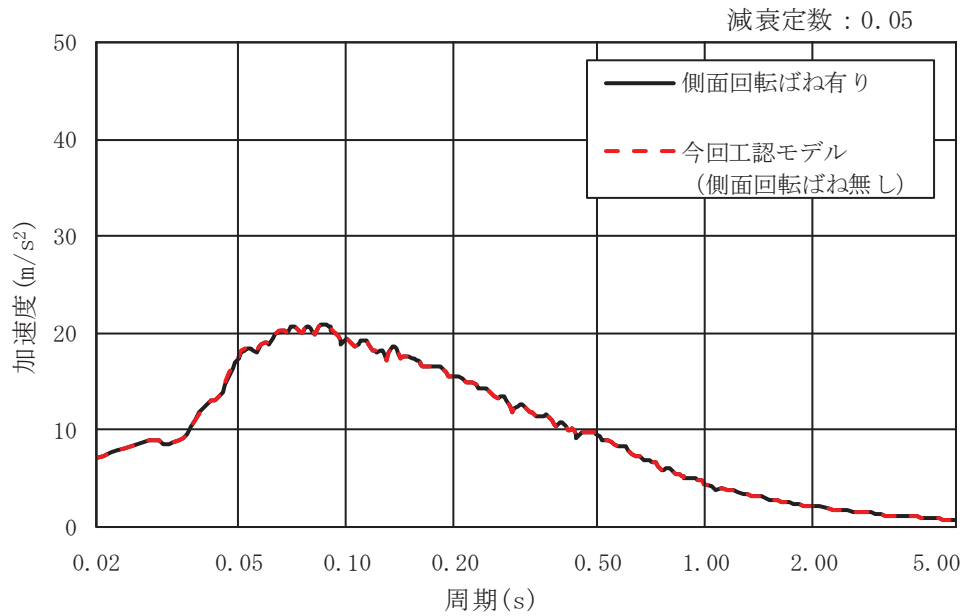
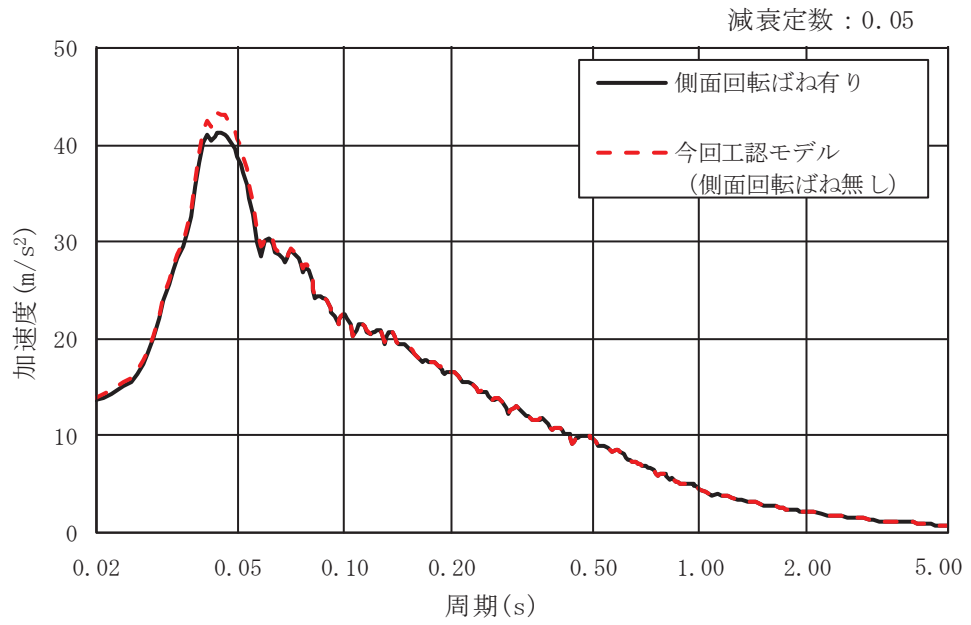


図 3-7 加速度応答スペクトル (S s - D 2, NS 方向)



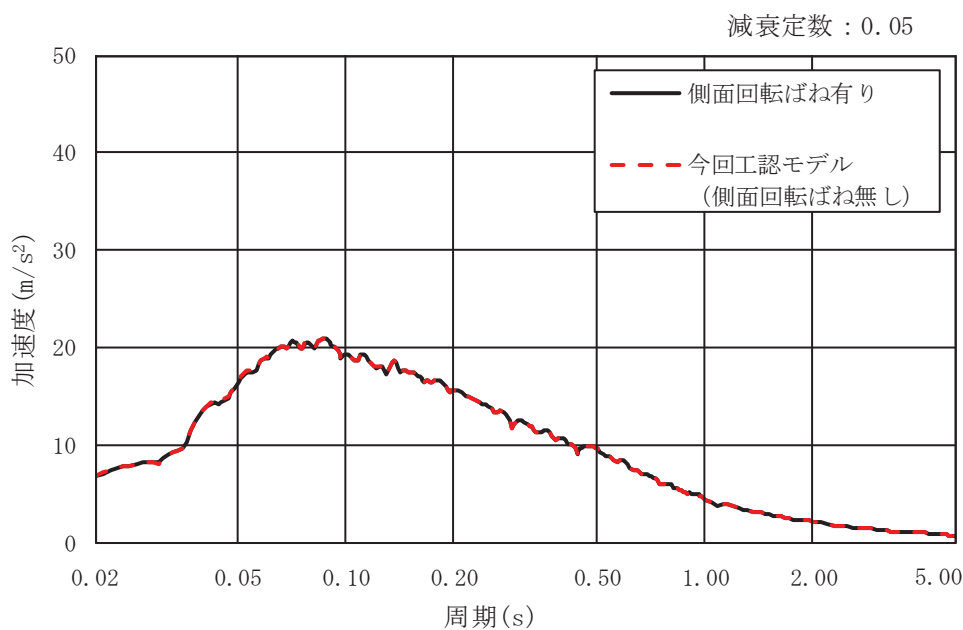
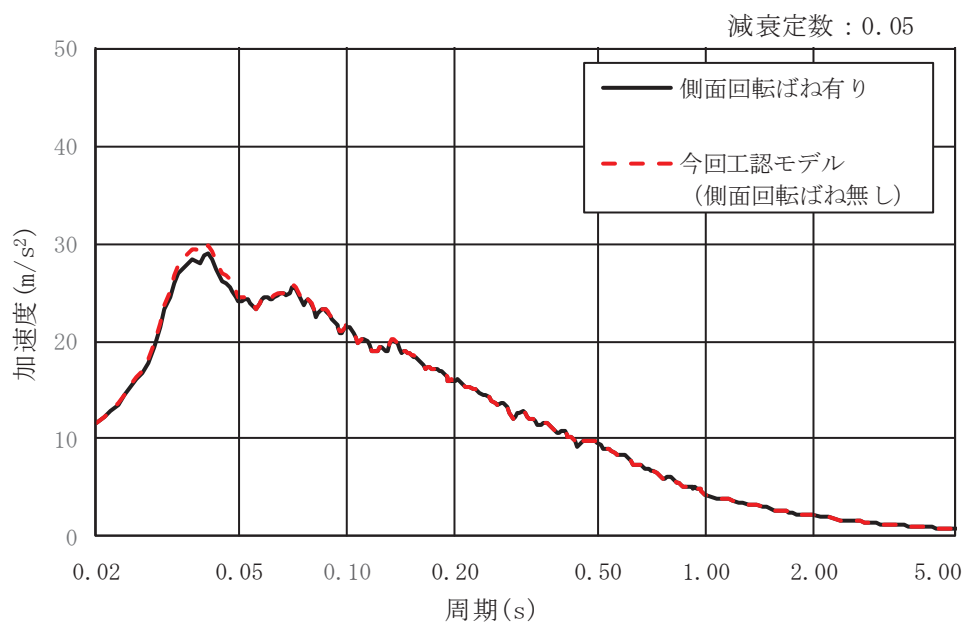


図 3-8 加速度応答スペクトル (S s - D 2, EW 方向)

別紙 1-1-4 緊急用電気品建屋の構造詳細

## 目 次

1. 緊急用電気品建屋の構造詳細…………… 別紙 1-1-4-1
2. 鉄骨フレーム部の剛性算定…………… 別紙 1-1-4-9

1. 緊急用電気品建屋の構造詳細

本資料は、緊急用電気品建屋の地下1階及び地上1階の構造詳細について、部材断面を説明するものである。緊急用電気品建屋の概略断面図を図1-1に、耐震壁及び鉄骨柱・鉄骨大ばりの配置概要図を図1-2に、鉄骨柱・鉄骨大ばりの配置概要図（見上げ図）を図1-3に、部材リストを図1-4～図1-7に示す。タービンミサイルの発生源であるガスタービン駆動補機を有するガスタービン発電機車の設置位置を図1-8に示す。また、ルーバパネル及び防護鉄板の詳細図を図1-9～図1-11に示す。

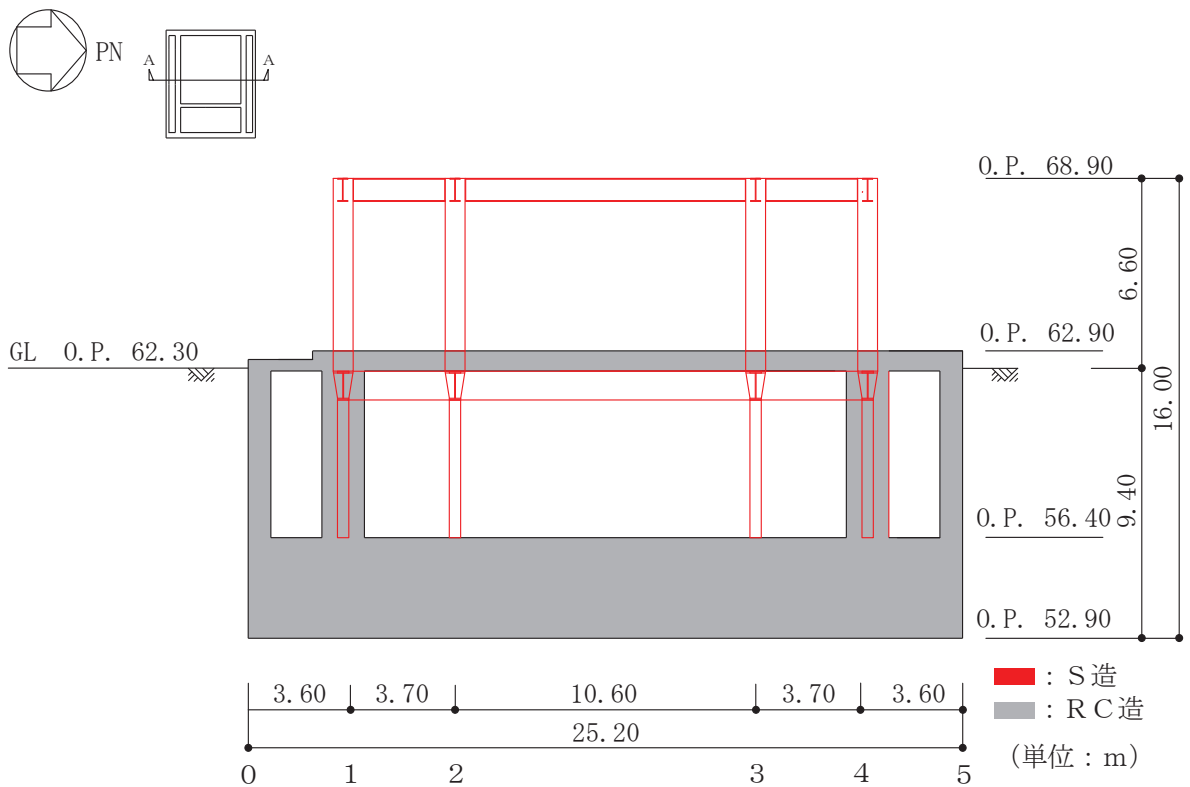


図 1-1 緊急用電気品建屋の概略断面図（C通り）

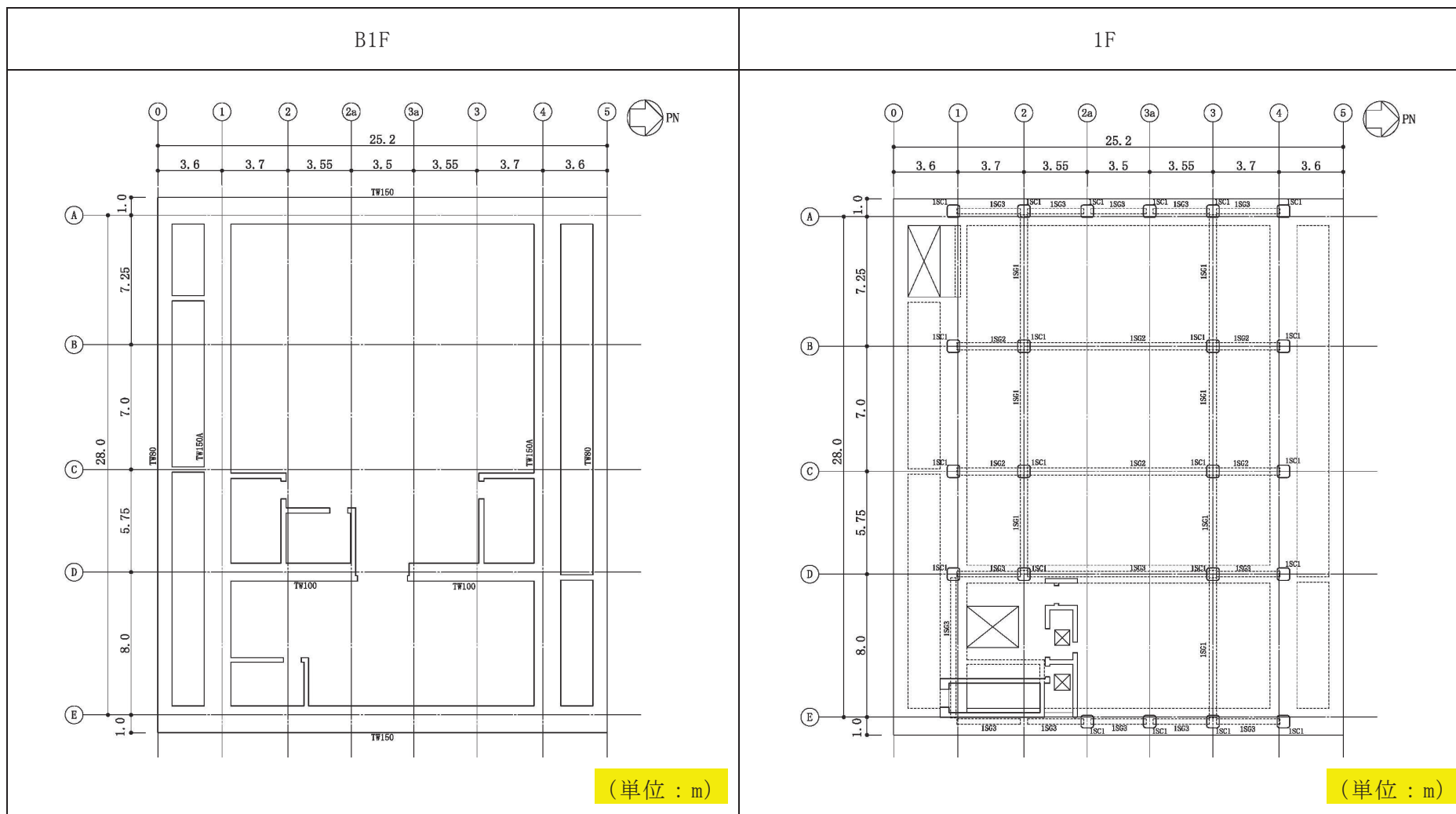


図 1-2 耐震壁及び鉄骨柱・鉄骨大ばりの配置概要図

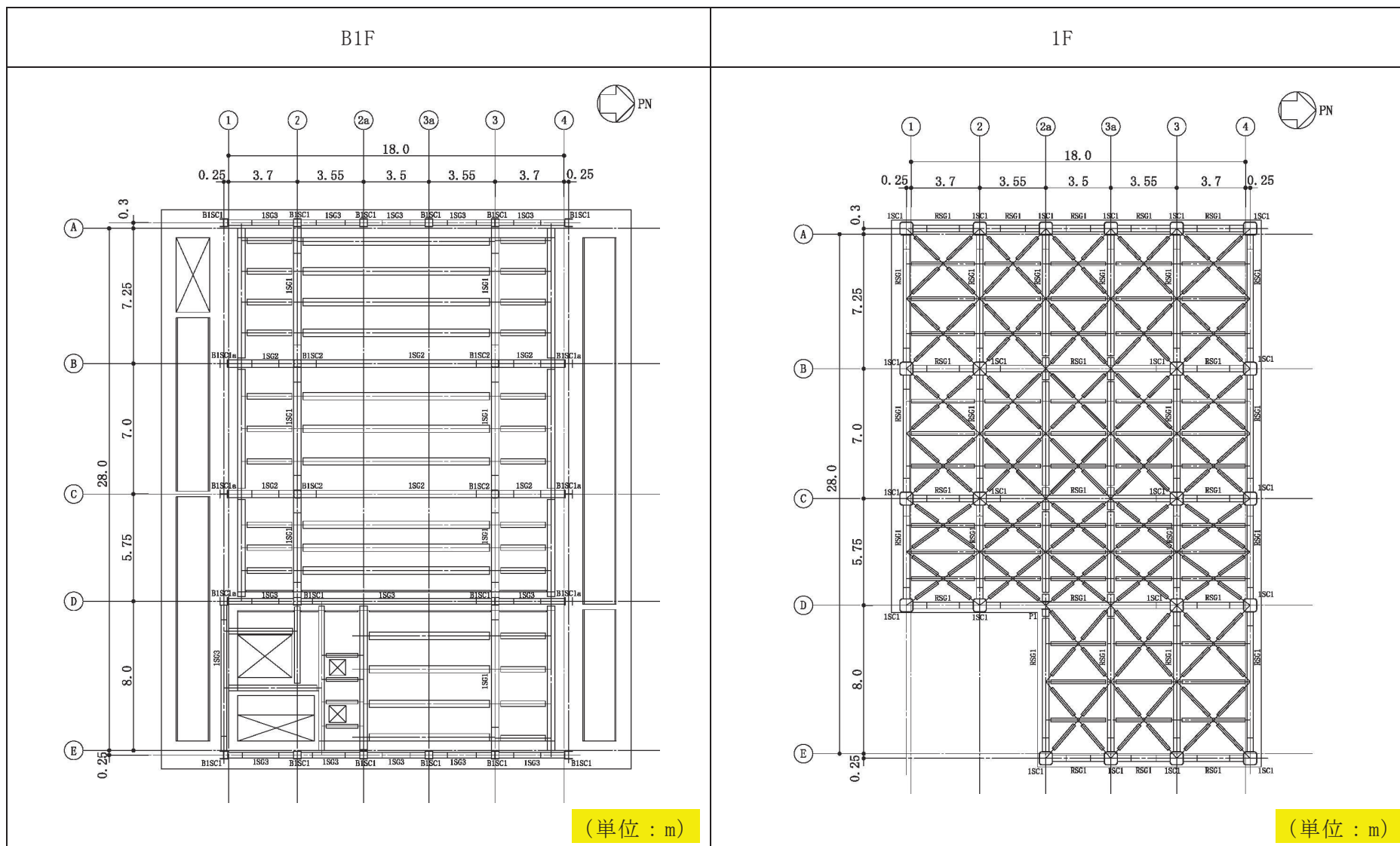



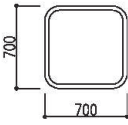
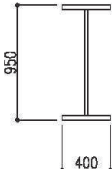
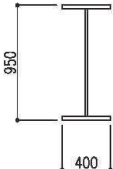
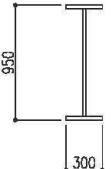
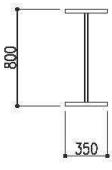


図 1-3 鉄骨柱・鉄骨大ばりの配置概要図 (見上げ図)

柱の断面	階	符号	BISC1	BISC1a	BISC2
	B 階	断面			
		主材	BH - 400 × 400 × 22 × 32	BH - 400 × 400 × 22 × 32	□ - 400 × 400 × 22
	階	符号	ISC1		
	I 階	断面			
		主材	□ - 700 × 700 × 36		

(単位 : mm)

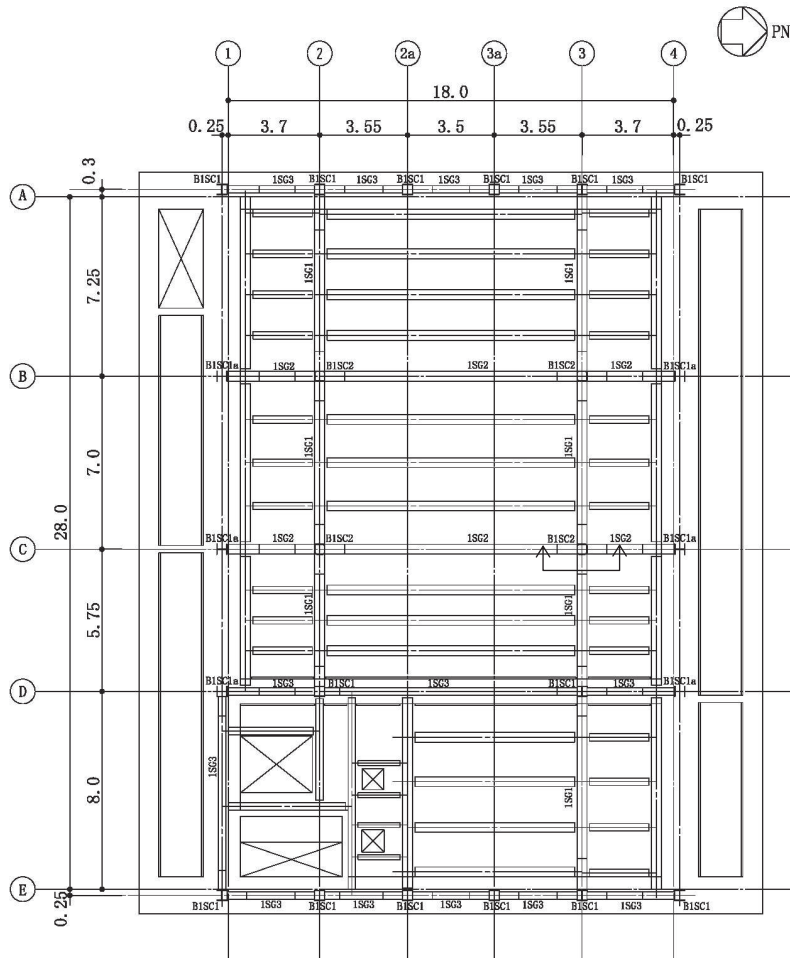
図 1-4 部材リスト (柱)

大ばりの断面	階	符号	ISG1	ISG2	ISG3
	I 階	断面			
		主材	BH - 950 × 400 × 25 × 36	BH - 950 × 400 × 22 × 32	BH - 950 × 300 × 28 × 32
	階	符号	RSG1		
	R 階	断面			
		主材	BH - 800 × 350 × 22 × 28		

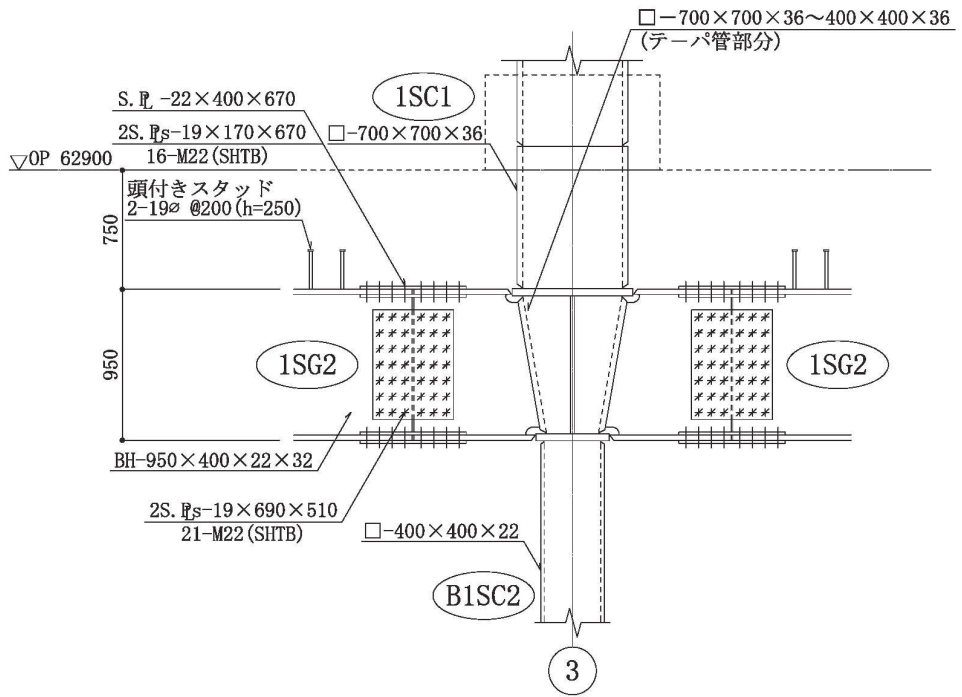
(単位 : mm)

図 1-5 部材リスト (大ばり)

鉄骨柱接続部詳細



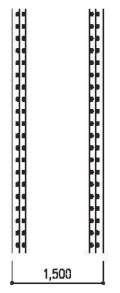
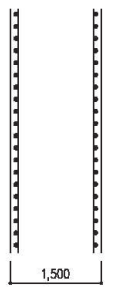
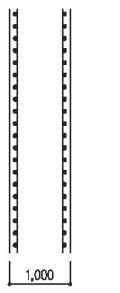
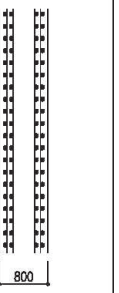
(単位 : m)



(単位 : mm)

図 1-6 詳細図 (地下 1 階柱-地上 1 階柱の接続部)



耐震壁の配筋	符号	TW150	TW150A	TW100	TW80
	断面				
タテ筋	4-D38@200	2-D38@200	2-D38@200	4-D38@200	
ヨコ筋	4-D38@200	2-D38@200	2-D38@200	4-D38@200	

(単位：mm)

図 1-7 部材リスト (耐震壁)

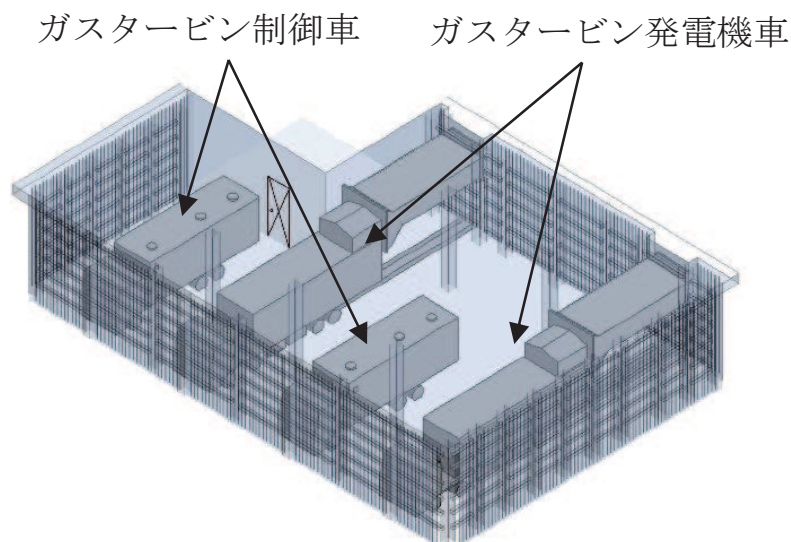


図 1-8 ガスタービン発電機車 (ガスタービン駆動補機) 設置位置

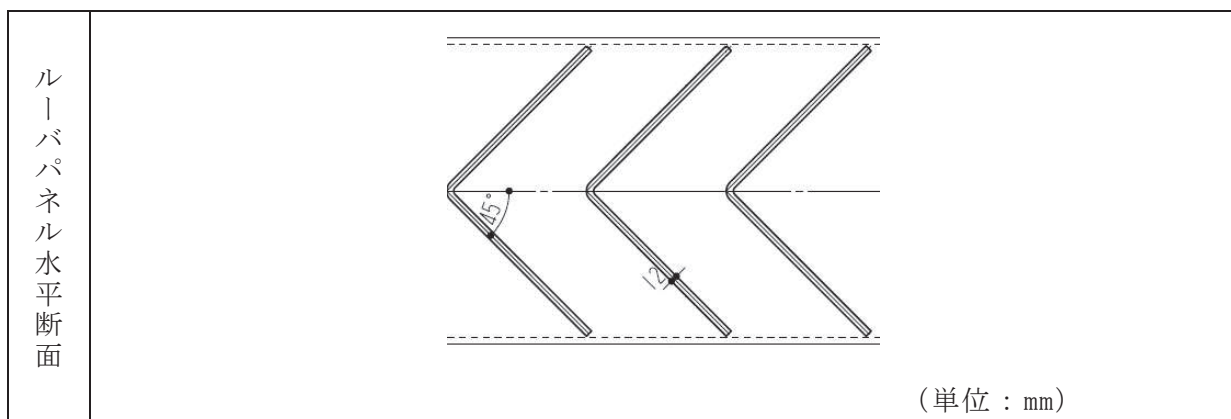


図 1-9 ルーバパネル詳細図 (ルーバパネル水平断面)

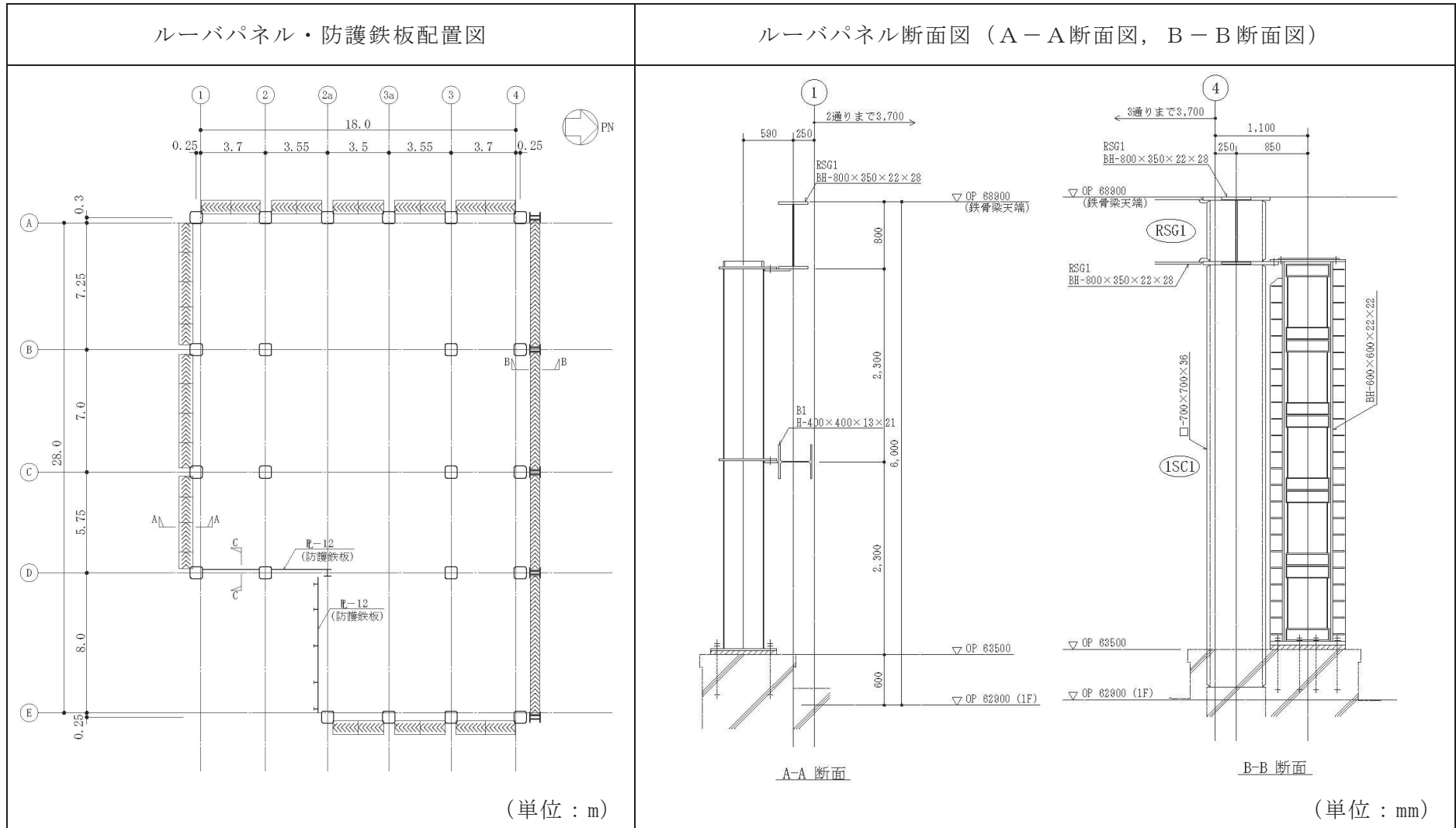


図 1-10 ルーバパネル詳細図（断面図）

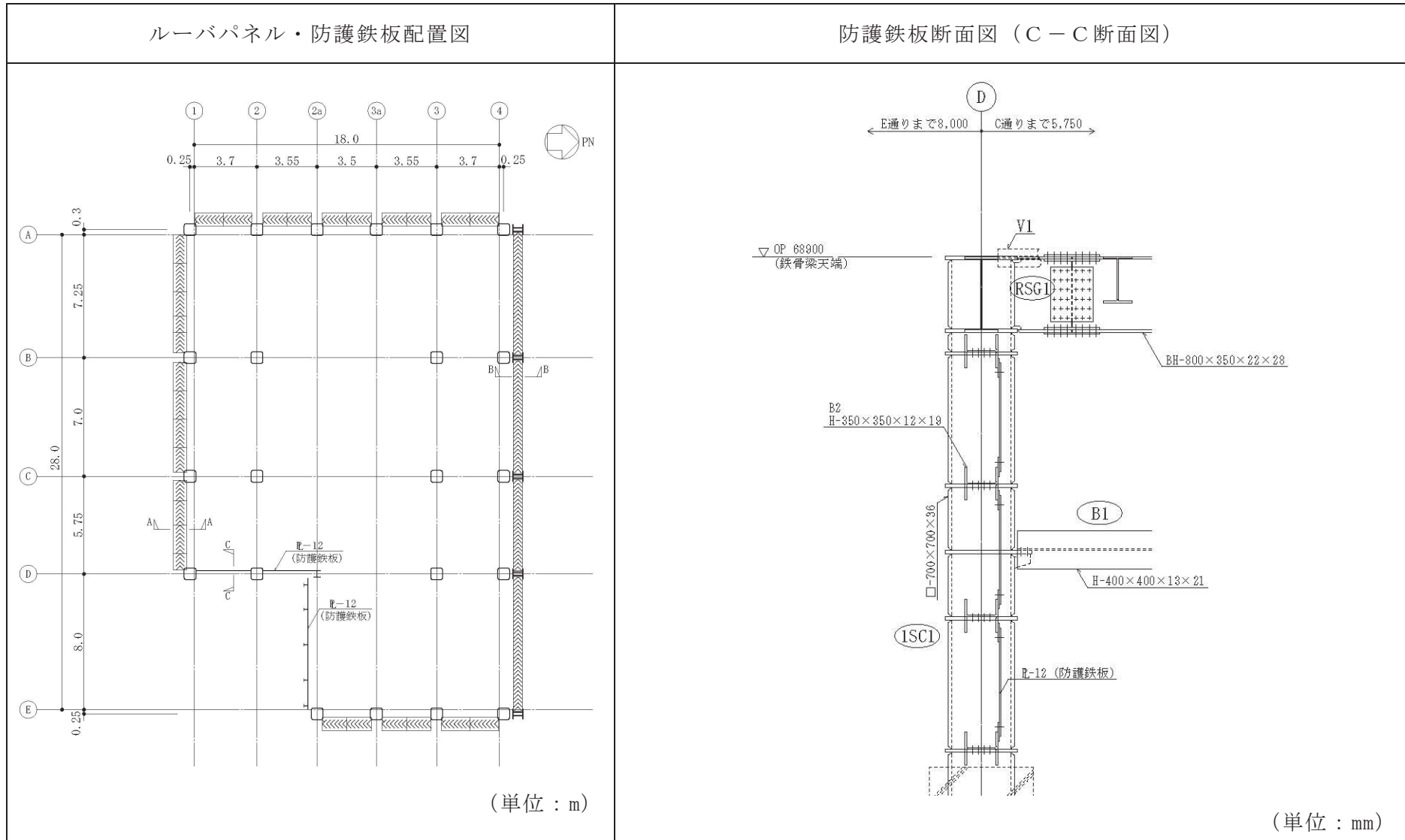


図 1-11 防護鉄板詳細図 (断面図)

## 2. 鉄骨フレーム部の剛性算定

緊急用電気品建屋の地上1階は鉄骨造の構造物である。このため、地震応答解析においては、鉄骨造フレーム（以下「S造フレーム」という。）の剛性は等価なせん断剛性として考慮している。

S造フレームについては、当該部分の柱及び梁の弾性特性を考慮に入れたフレームモデルを作成した上で一方向載荷による静的解析を行い、与える水平力と得られる変形量に基づいた剛性を定める。フレームの変形には、曲げ変形とせん断変形による水平変位が生じるが、これを等価なせん断剛性として評価する。フレームの漸増解析には解析コード「KANSAS」を用いる。評価に用いる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。

静的解析においては、構面ごとに柱及び大ばりをモデル化する。境界条件は、評価するS造フレーム部分の脚部を固定とする。なお、柱脚のレベルは、基本的に1Fの梁芯（O.P. 61.675m）とするが、地下1階の鉄筋コンクリート耐震壁に接続する柱はその剛性を考慮し、柱脚に1階基準床レベルまでの剛域を設定する。対象とする層に水平力(Q)を作用させた静的解析で得られる水平荷重(Q)－水平変位(δ)関係より、水平方向の剛性を等価なせん断剛性として評価する。地震応答解析においては、各構面の剛性を合算した値を用いる。

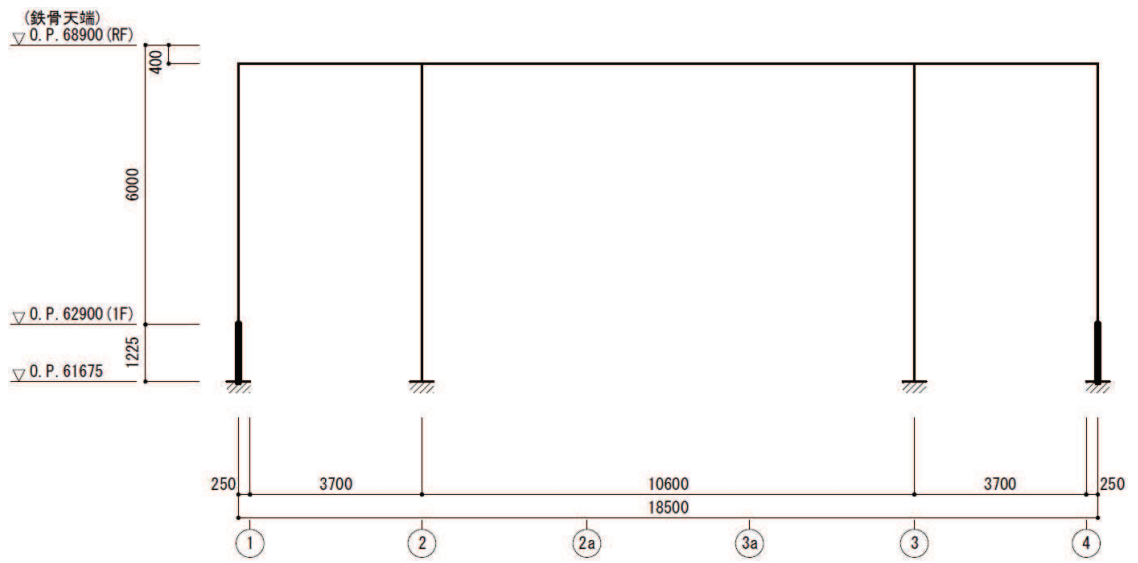
なお、緊急用電気品建屋は基準地震動 $S_s$ に対し弾性設計を行っており、地震応答解析において非線形特性は考慮せず線形要素として扱う。

$$A_s = Q \cdot H / G_s \cdot \delta$$

H : 質点系モデルの高さ

$G_s$  : 鋼材のせん断弾性係数 ( $0.79 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ )

図2-1にS造フレームの静的解析モデルの例（B，C通り）を示す。



太線は，下階耐震壁の剛性を考慮し剛域とした範囲を示す。

(単位：mm)

図 2-1 地上 1 階の S 造フレームの静的解析モデルの例 (B, C 通り)

別紙 1-4 建屋減衰を 3%とした場合の影響検討

## 目 次

1. 概要	別紙 1-4- 1
2. 解析方法	別紙 1-4- 1
2.1 地震応答解析モデル	別紙 1-4- 1
2.2 入力地震動	別紙 1-4- 2
2.3 解析方法	別紙 1-4- 2
2.4 解析条件	別紙 1-4- 2
3. 解析結果	別紙 1-4- 2
4. 減衰定数 3%の影響評価	別紙 1-4-36

## 1. 概要

建物・構築物の鉄筋コンクリート造部に用いる減衰定数は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の補足説明資料「補足-620-3 原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙4「地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数に関する検討」より、水平方向及び鉛直方向とも5%と整理している。

本資料では、緊急用電気品建屋が新設であり、基準地震動  $S_s$  に対する応答がおおむね弾性範囲であることを考慮し、念のため建屋鉄筋コンクリート造部の減衰定数を3%とした場合の地震応答解析を行い、耐震評価上の影響を確認する。なお、緊急用電気品建屋の地震応答解析においては、基礎版と接する部分のみ埋込効果を考慮しており、その保守性を踏まえ、減衰定数3%とした場合のケースについては影響検討ケースとして整理する。

## 2. 解析方法

### 2.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定し、原則として添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」と同一とし、建屋部及び基礎版については、鉄筋コンクリートの減衰定数を3%とする。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値について、表2-1に示す。

表 2-1 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
建屋部 (B1F) 基礎版	鉄筋コンクリート コンクリート： F <sub>c</sub> = 30 (N/mm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD390	2.44 × 10 <sup>4</sup>	1.02 × 10 <sup>4</sup>	3
建屋部 (1F)	鉄骨：BCP325, SN400B, SN490B	2.05 × 10 <sup>5</sup>	7.90 × 10 <sup>4</sup>	2



## 2.2 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」の補足説明資料「補足-610-10 緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙1-3-1「材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について」に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動  $S_s$  のうち  $S_s - D2$ 、 $S_s - D3$  及び  $S_s - F3$  とする。

## 2.3 解析方法

建物・構築物の動的解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施し、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」と同一とする。

## 2.4 解析条件

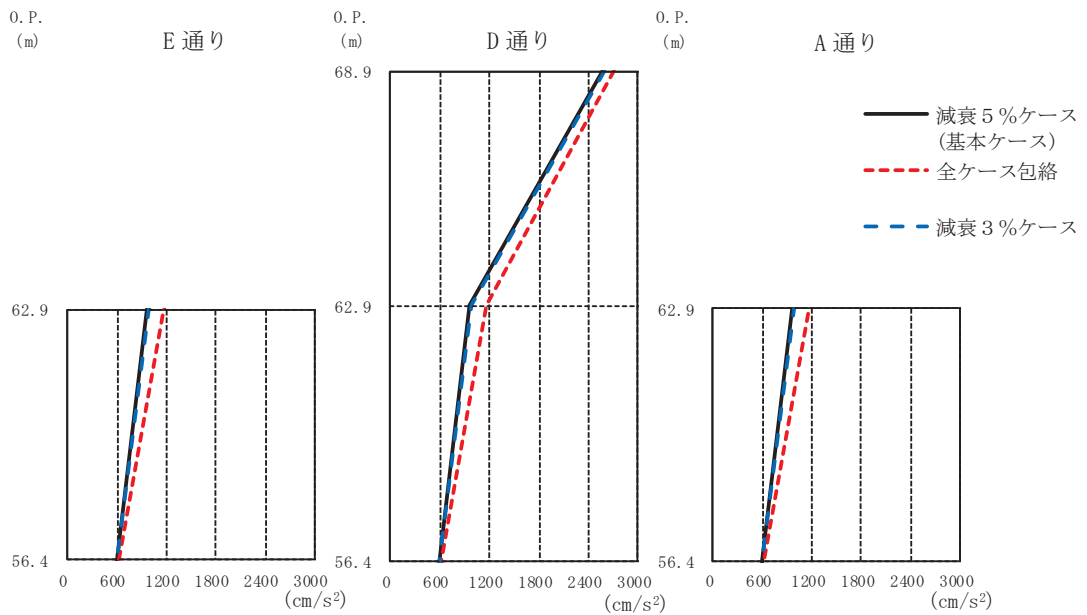
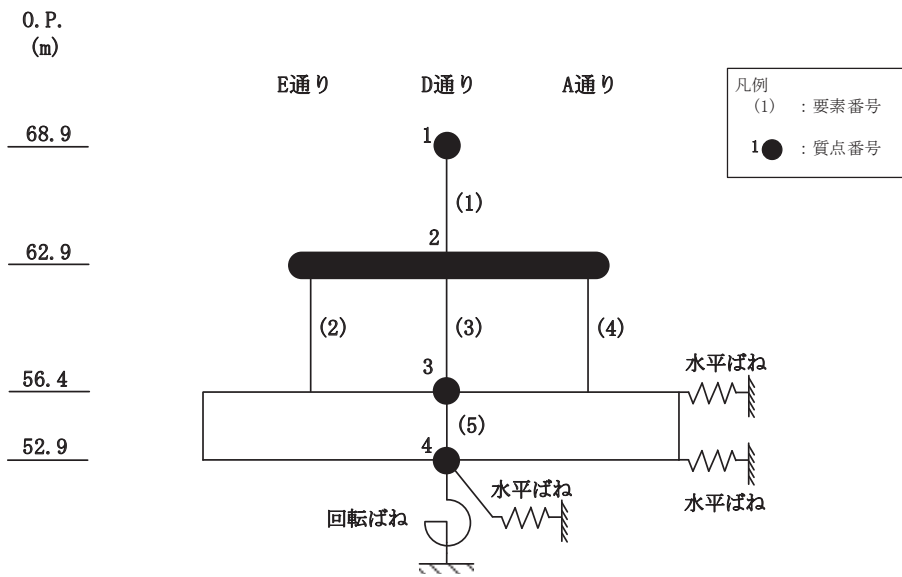
緊急用電気品建屋の復元力特性は、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」と同一とする。また、解析結果の比較にあたっては、基本ケース（減衰定数5%）との比較と合わせて、材料物性の不確かさを考慮したケースとの比較も行う。

## 3. 解析結果

地震応答解析結果を図3-1～図3-11に示す。

NS方向及びEW方向における減衰定数3%の応答値は、減衰定数5%の場合と比較してわずかに大きくなる傾向があることを確認した。また、不確かさを考慮した解析ケースを含む全ケースの包絡値との比較では、曲げモーメントの応答値のうち耐震壁の頂部で一部上回る箇所があるものの、差異は極めて小さく、これ以外の箇所では下回っていることを確認した。

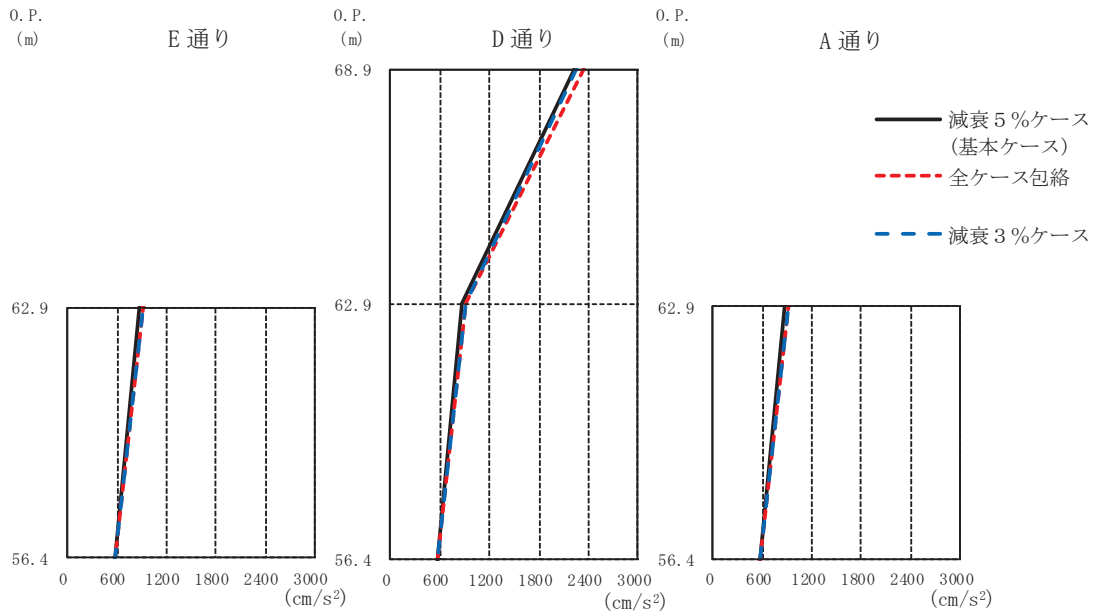
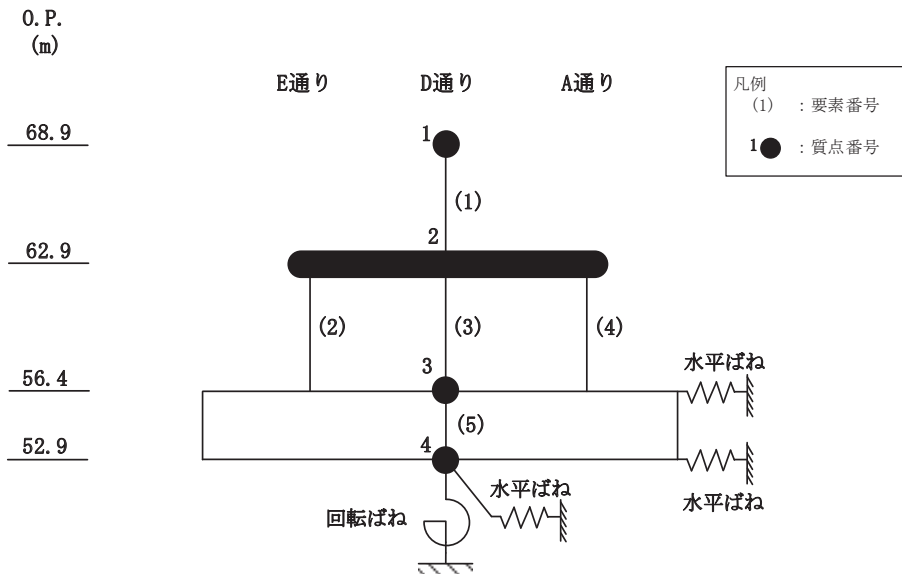
鉛直方向においても、減衰定数3%の応答値は、減衰定数5%の場合と比較してわずかに大きくなる傾向があることを確認した。また、全ケースの包絡値との比較では、応答加速度や応答軸力で一部上回る箇所があるものの、差異は極めて小さく、値はおおむね同等であることを確認した。



		D 通り			A 通り			
		(cm/s <sup>2</sup> )			(cm/s <sup>2</sup> )			
O.P. (m)		減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	E 通り	2580	2710	2586	68.9	957	1162	986
62.9		957	1162	986	62.9	594	614	595
56.4		594	614	595	56.4			

(a) S<sub>s</sub> - D 2

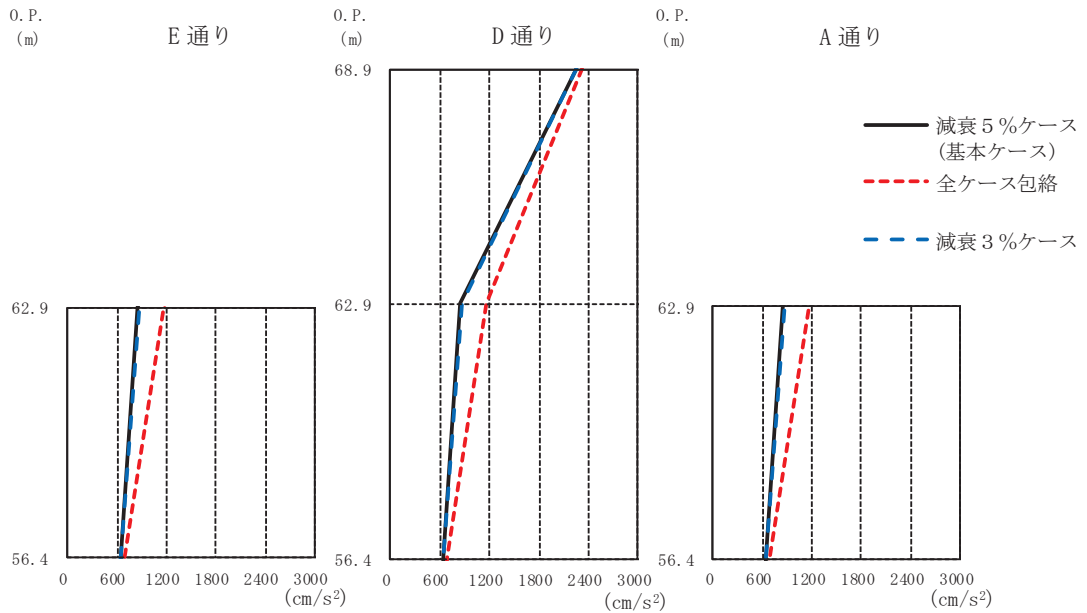
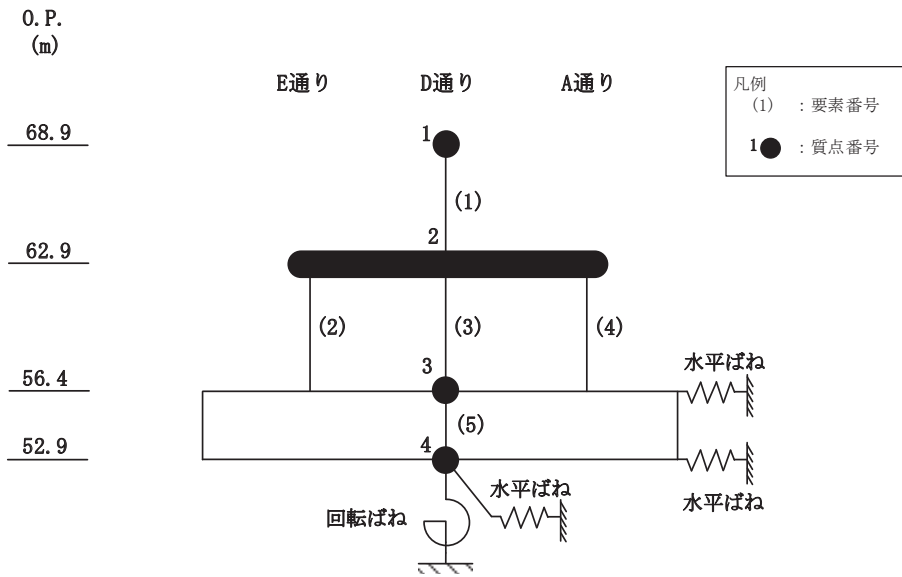
図 3-1(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向) (1/3)



E 通り			D 通り			A 通り			
			(cm/s <sup>2</sup> )						
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9			2235	2336	2243	68.9			
62.9	877	922	877	922	913	62.9	877	922	913
56.4	563	575	563	575	564	56.4	563	575	564

(b) S<sub>s</sub> - D 3

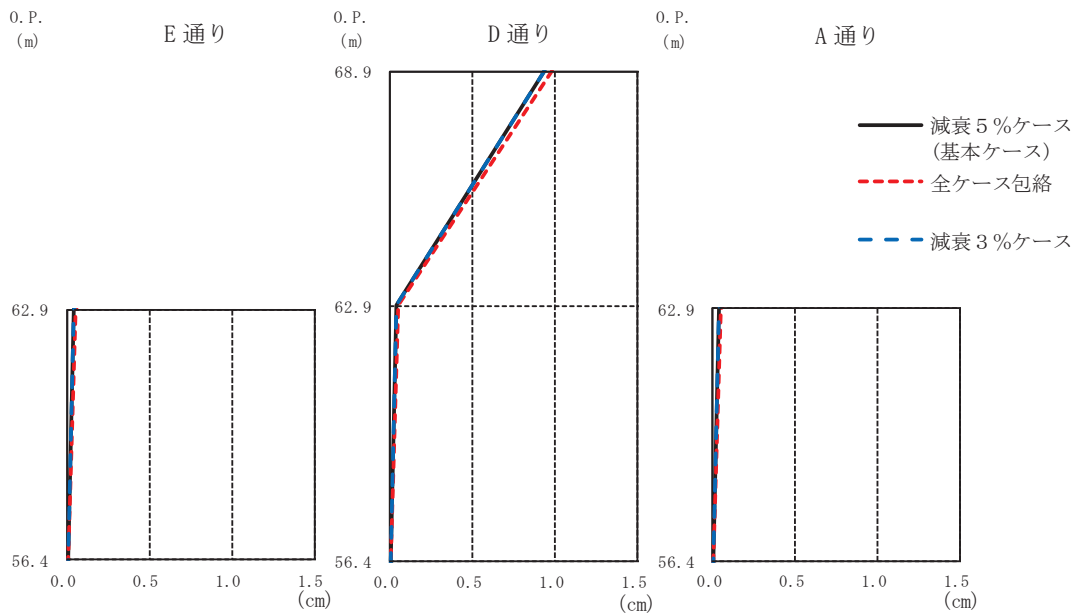
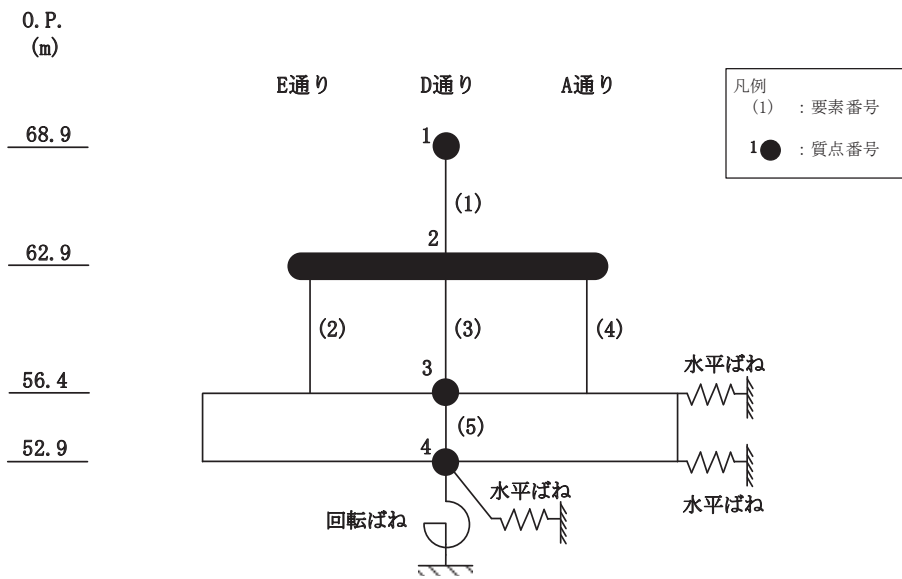
図 3-1(2) 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向) (2/3)



E 通り			D 通り			A 通り			
			(cm/s <sup>2</sup> )						
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9			2253	2331	2265	68.9			
62.9	838	1159	838	1159	873	62.9	838	1159	873
56.4	644	686	644	686	647	56.4	644	686	647

(c) S<sub>s</sub> - F 3

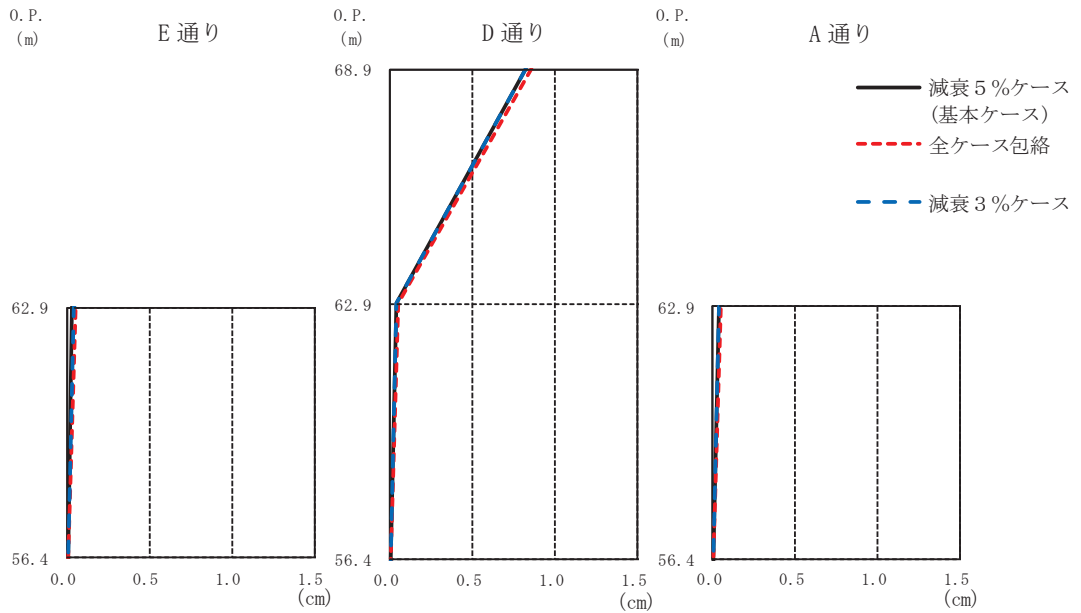
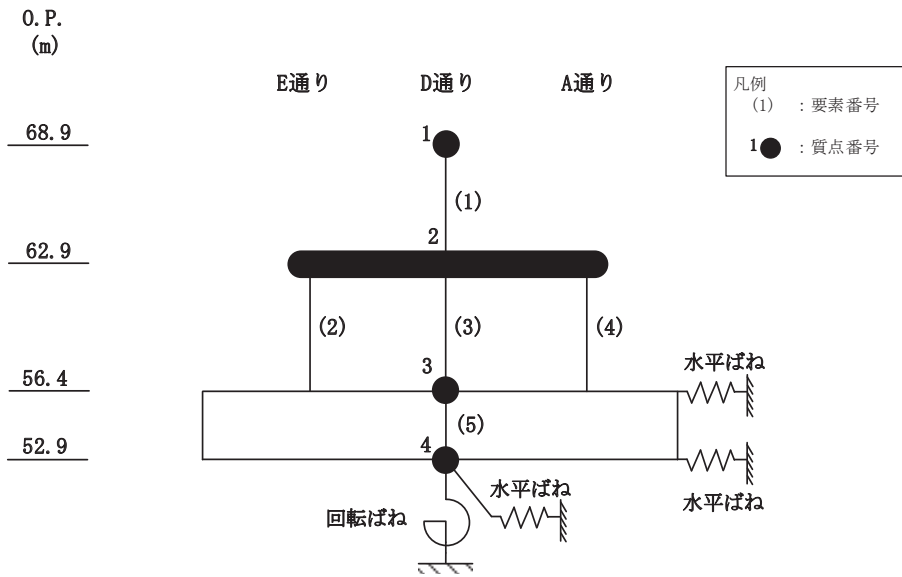
図 3-1(3) 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向) (3/3)



		D 通り (cm)					A 通り (cm)			
		E 通り (cm)			O.P. (m)			A 通り (cm)		
		減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
O.P. (m)	68.9	0.93	0.98	0.93	68.9	0.93	0.98	0.93	68.9	0.93
	62.9	0.03	0.05	0.04	62.9	0.03	0.05	0.04	62.9	0.03
	56.4	0.00	0.01	0.00	56.4	0.00	0.01	0.00	56.4	0.00

(a)  $S_s - D2$

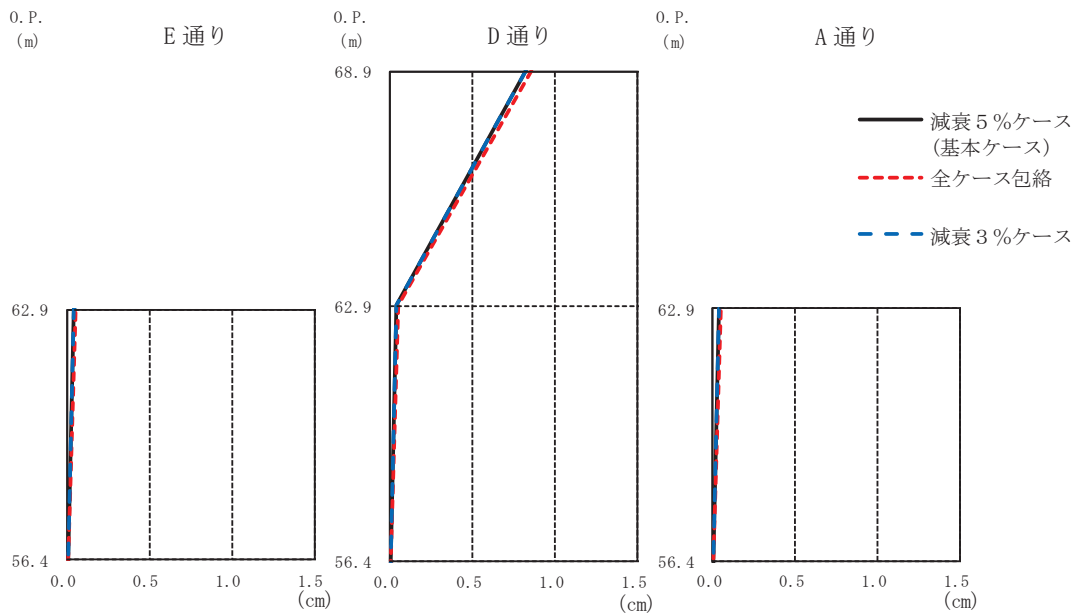
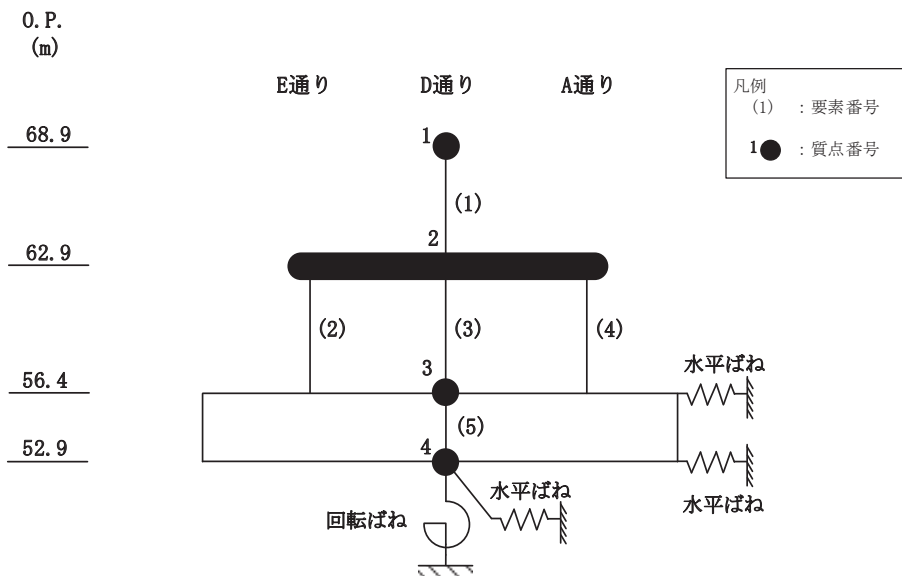
図 3-2(1) 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向) (1/3)



E 通り				D 通り			A 通り				
				(cm)							
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9				68.9	0.81	0.85	0.82	68.9			
62.9	0.03	0.04	0.03	62.9	0.03	0.04	0.03	62.9	0.03	0.04	0.03
56.4	0.00	0.00	0.00	56.4	0.00	0.00	0.00	56.4	0.00	0.00	0.00

(b)  $S_s - D3$

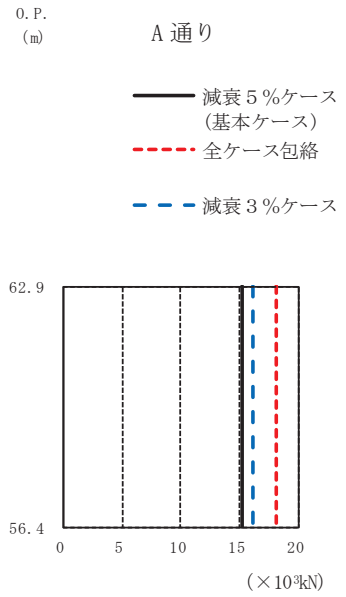
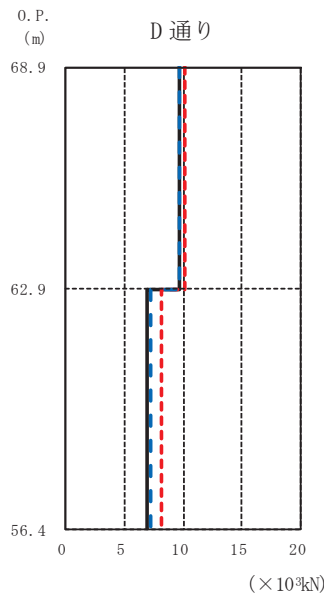
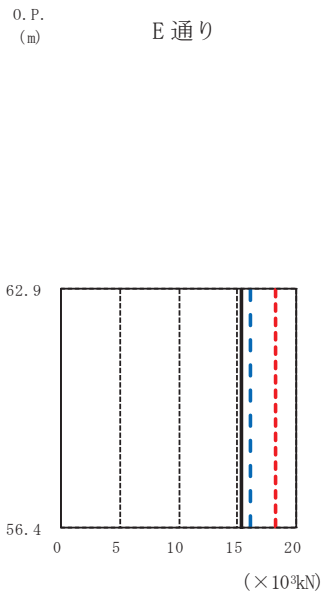
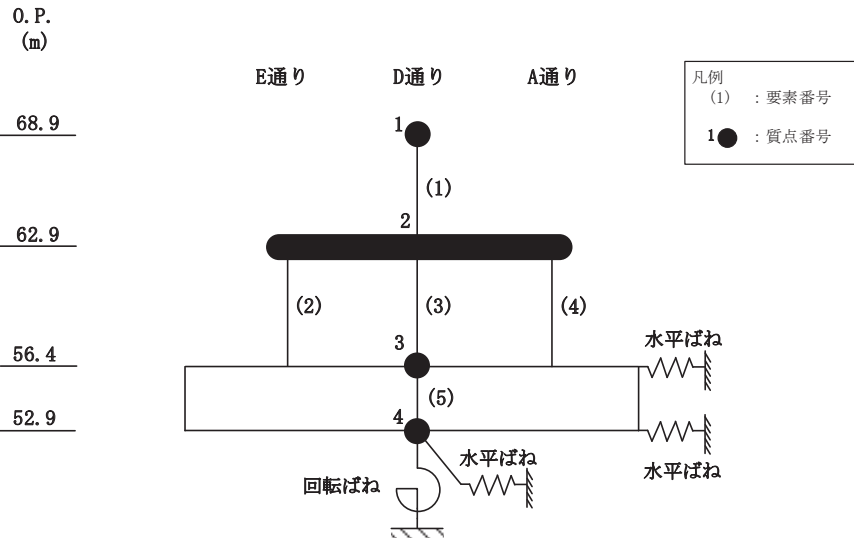
図 3-2(2) 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向) (2/3)



E 通り				D 通り				A 通り			
				(cm)							
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9				68.9	0.82	0.85	0.82	68.9			
62.9	0.03	0.05	0.03	62.9	0.03	0.05	0.03	62.9	0.03	0.05	0.03
56.4	0.00	0.00	0.00	56.4	0.00	0.00	0.00	56.4	0.00	0.00	0.00

(c)  $S_s - F3$

図3-2(3) 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , NS方向) (3/3)

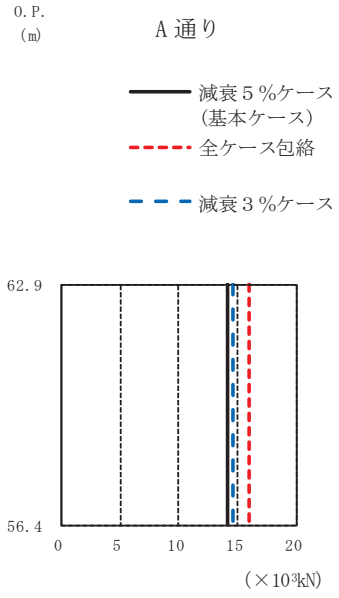
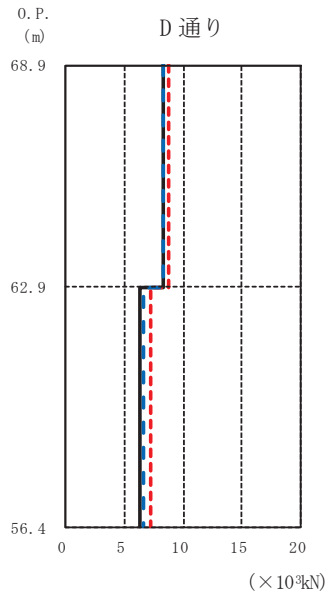
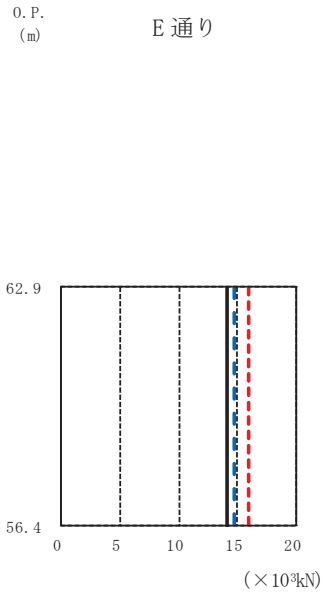
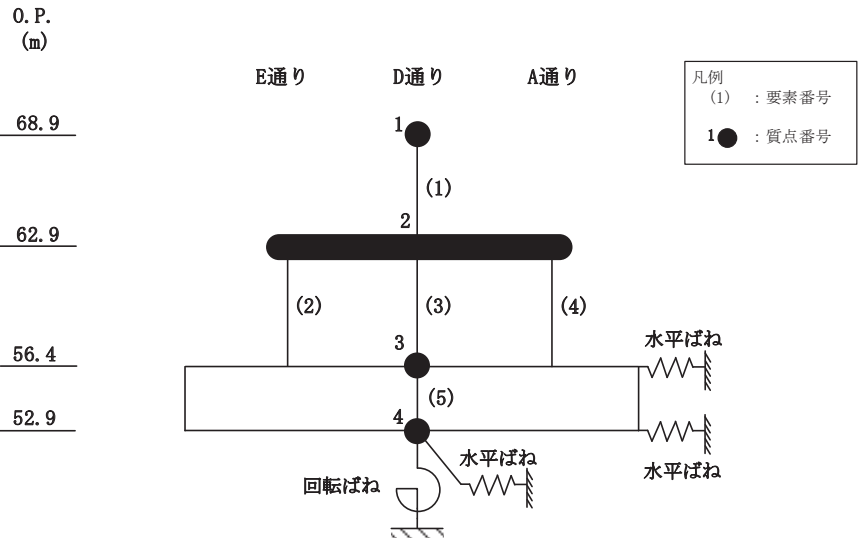


O.P. (m)	E 通り			D 通り			A 通り		
	(×10 <sup>3</sup> kN)			(×10 <sup>3</sup> kN)			(×10 <sup>3</sup> kN)		
	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
62.9				9.62	10.10	9.65			
56.4	15.29	18.21	16.12	6.91	8.22	7.28	15.29	18.21	16.12

(a) S s - D 2

図 3-3(1) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s, NS 方向) (1/3)

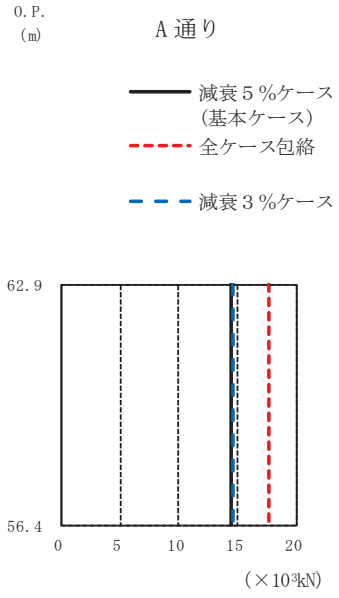
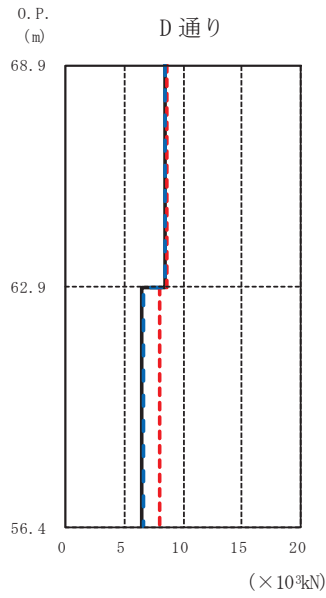
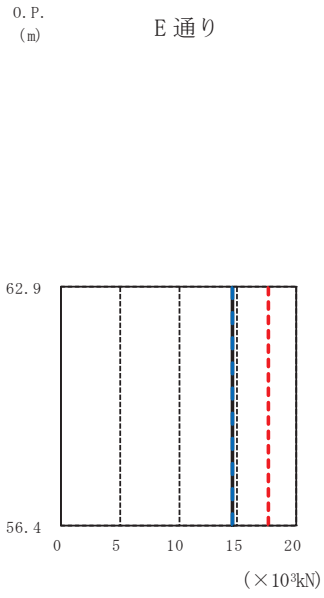
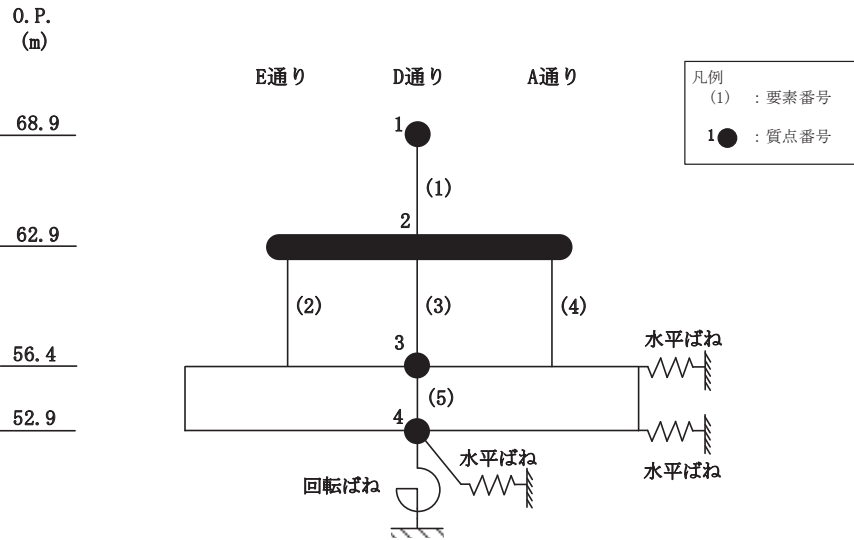




O.P. (m)	E 通り			D 通り			A 通り		
	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9									
62.9				8.33	8.70	8.36			
56.4	14.10	15.95	14.69	6.37	7.20	6.64	14.10	15.96	14.70

(b) S s - D 3

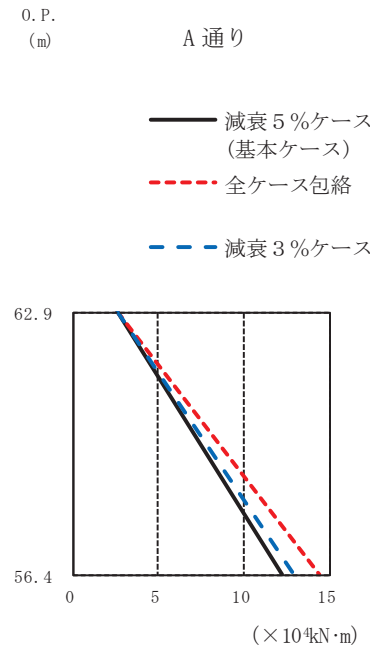
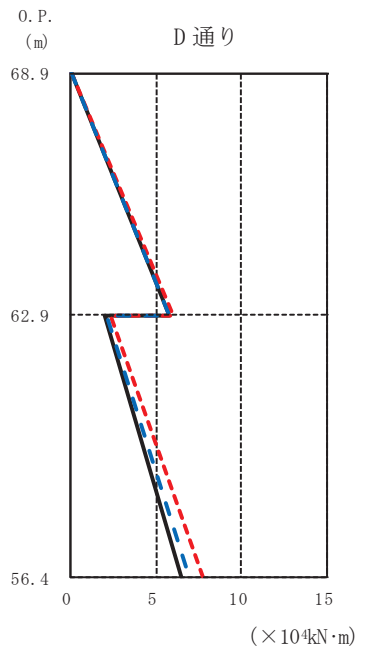
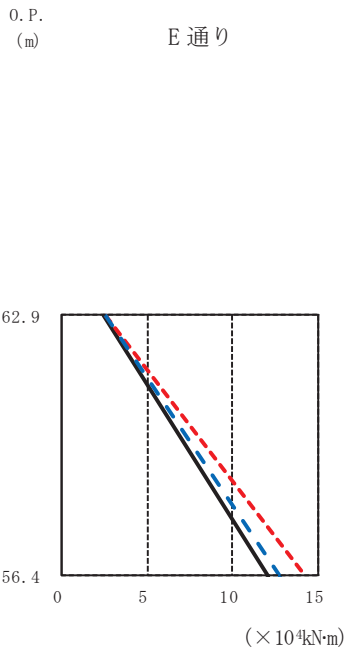
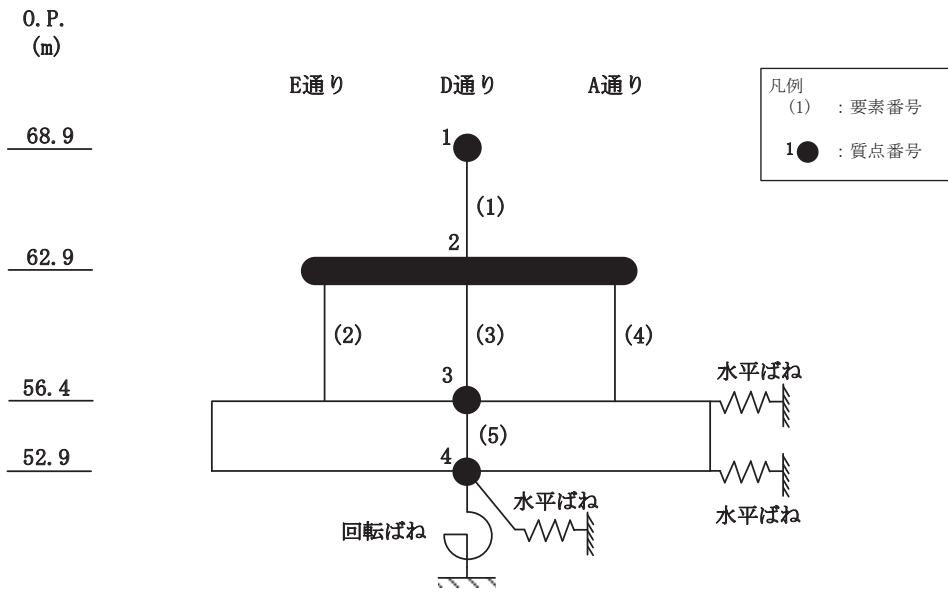
図 3-3(2) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s, NS 方向) (2/3)



O.P. (m)	E 通り			D 通り			A 通り		
	(×10 <sup>3</sup> kN)			(×10 <sup>3</sup> kN)			(×10 <sup>3</sup> kN)		
	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9									
62.9				8.40	8.69	8.44			
56.4	14.52	17.68	14.59	6.56	7.98	6.59	14.52	17.68	14.59

(c) S s - F 3

図 3-3(3) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s, NS 方向) (3/3)



O.P. (m) E 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
62.9	2.49	2.54	2.55
56.4	12.08	14.26	12.72

O.P. (m) D 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

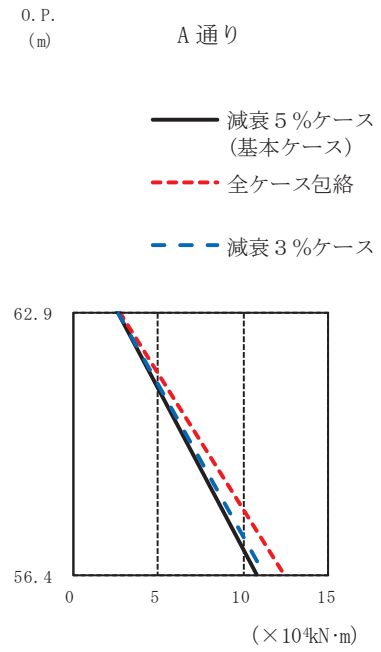
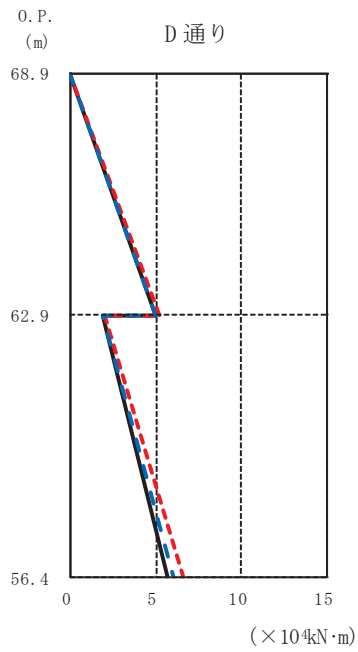
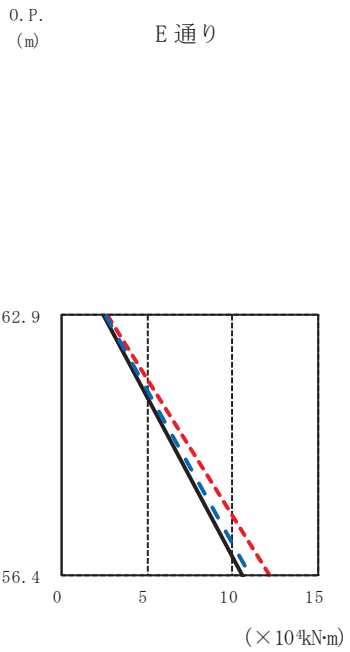
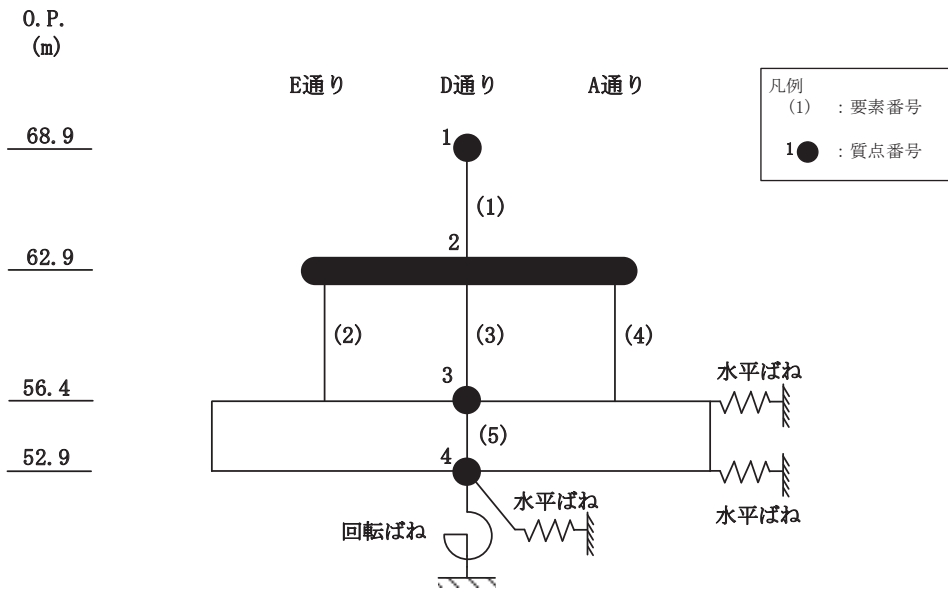
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	0.00	0.00	0.00
62.9	5.77	6.06	5.79
56.4	2.03	2.36	2.14
56.4	6.52	7.70	6.87

O.P. (m) A 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
62.9	2.57	2.62	2.63
56.4	12.21	14.42	12.86

(a) S s - D 2

図 3-4(1) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s, NS 方向) (1/3)



O.P. (m) E 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
62.9	2.46	2.65	2.53
56.4	10.60	12.21	11.09

O.P. (m) D 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

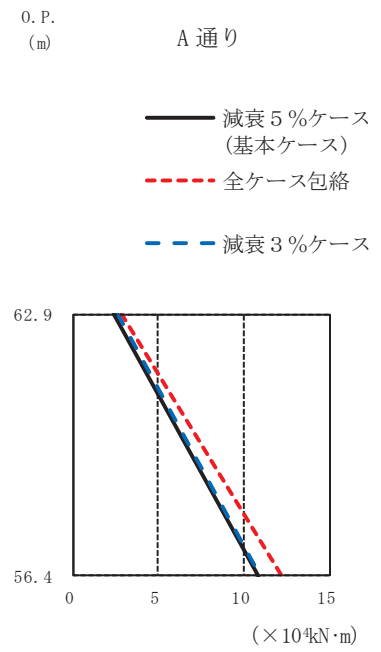
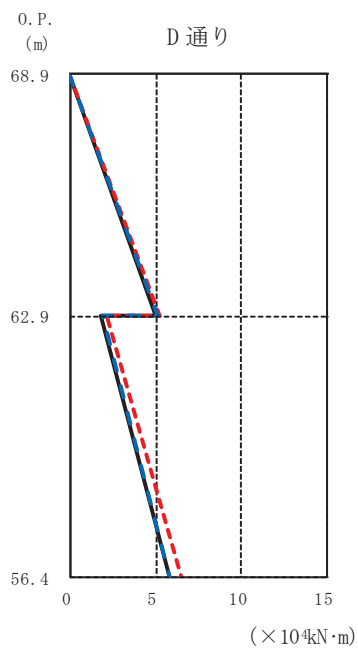
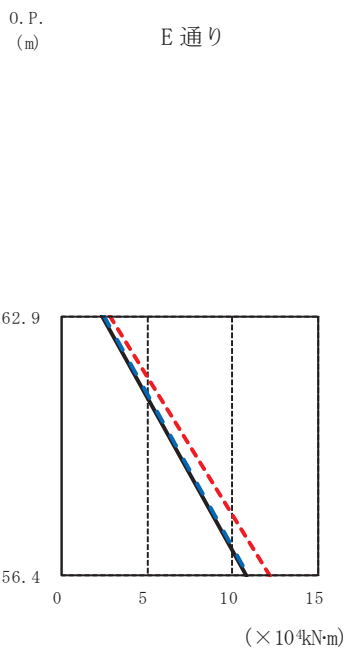
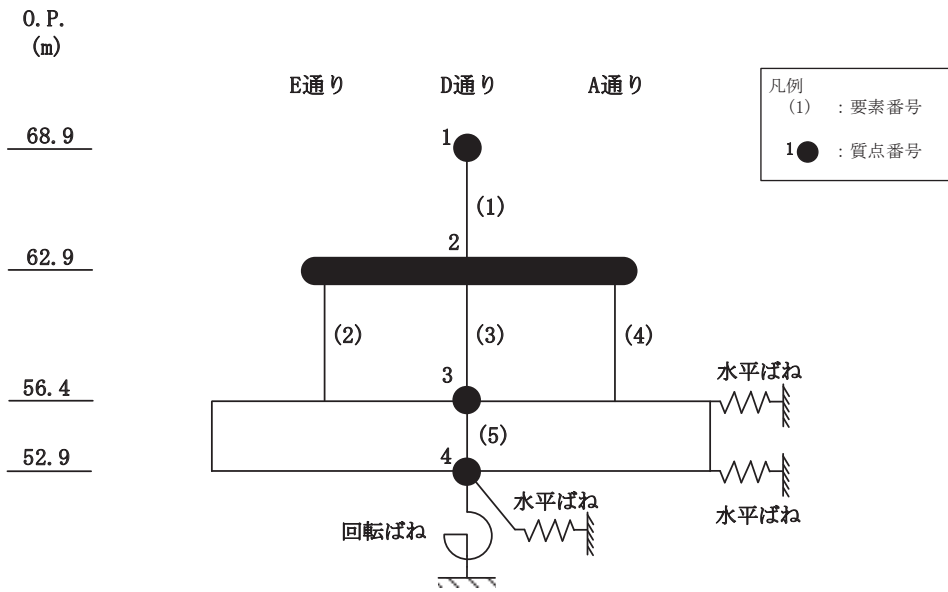
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	0.00	0.00	0.00
62.9	5.00	5.22	5.01
56.4	1.90	2.06	1.95
52.9	5.71	6.57	5.97

O.P. (m) A 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
62.9	2.56	2.75	2.63
56.4	10.71	12.35	11.21

(b) S<sub>s</sub>-D3

図3-4(2) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向) (2/3)



O.P. (m) E 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
62.9	2.36	2.76	2.48
56.4	10.79	12.17	10.88

O.P. (m) D 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

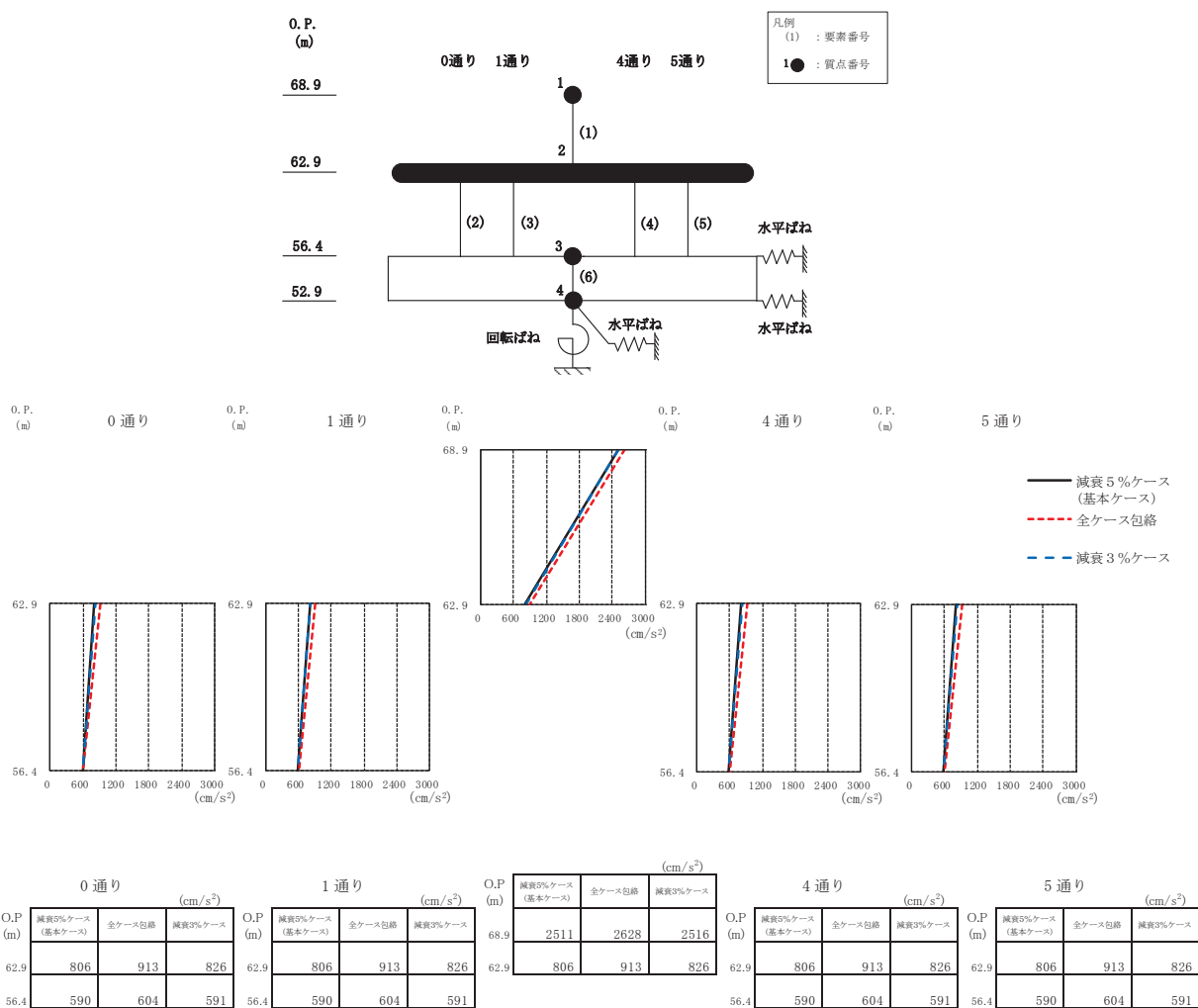
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	0.00	0.00	0.00
62.9	5.04	5.21	5.07
56.4	1.78	2.15	1.89
56.4	5.79	6.52	5.83

O.P. (m) A 通り ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
62.9	2.44	2.87	2.57
56.4	10.91	12.30	10.99

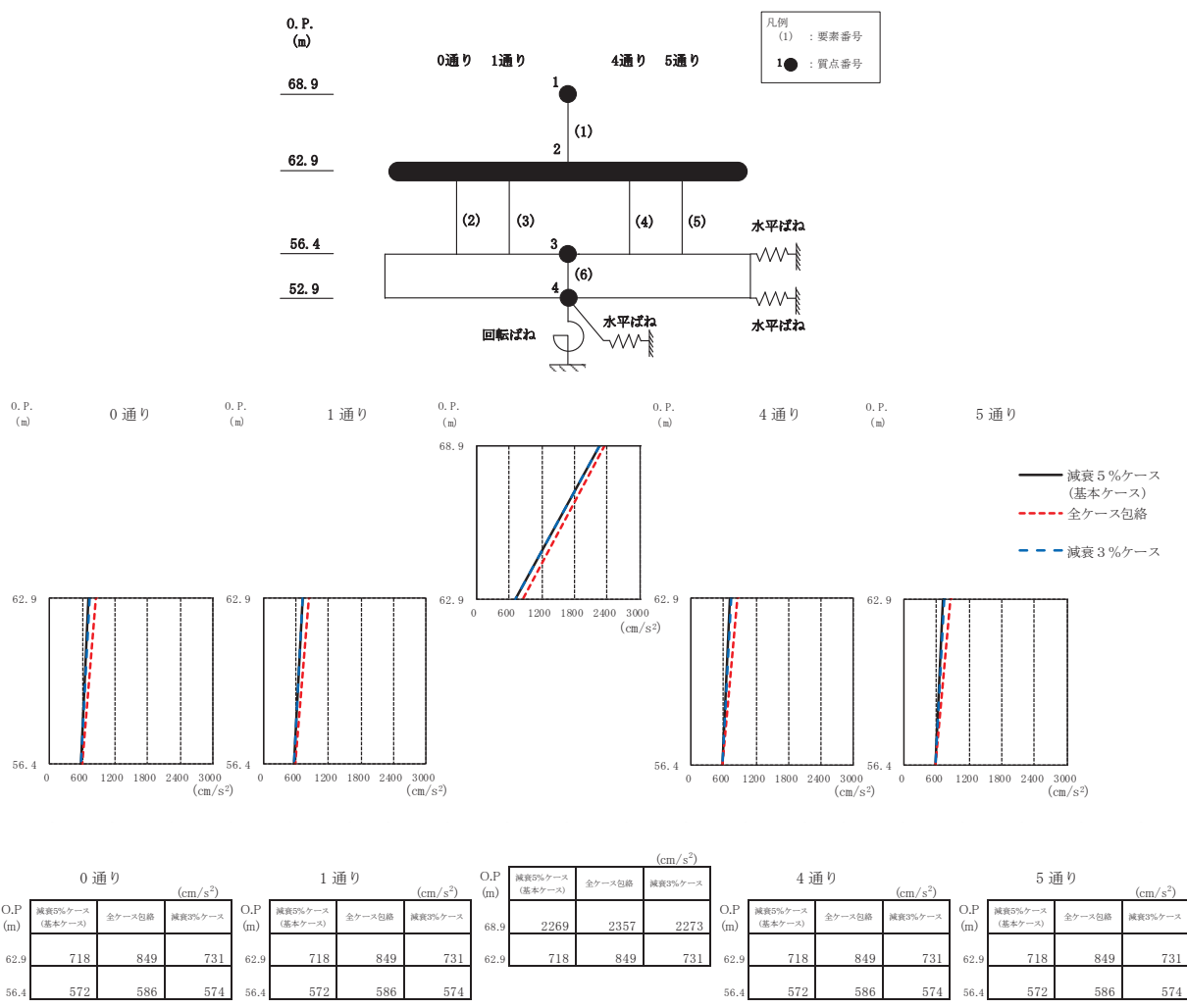
(c) S<sub>s</sub> - F 3

図 3-4(3) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向) (3/3)



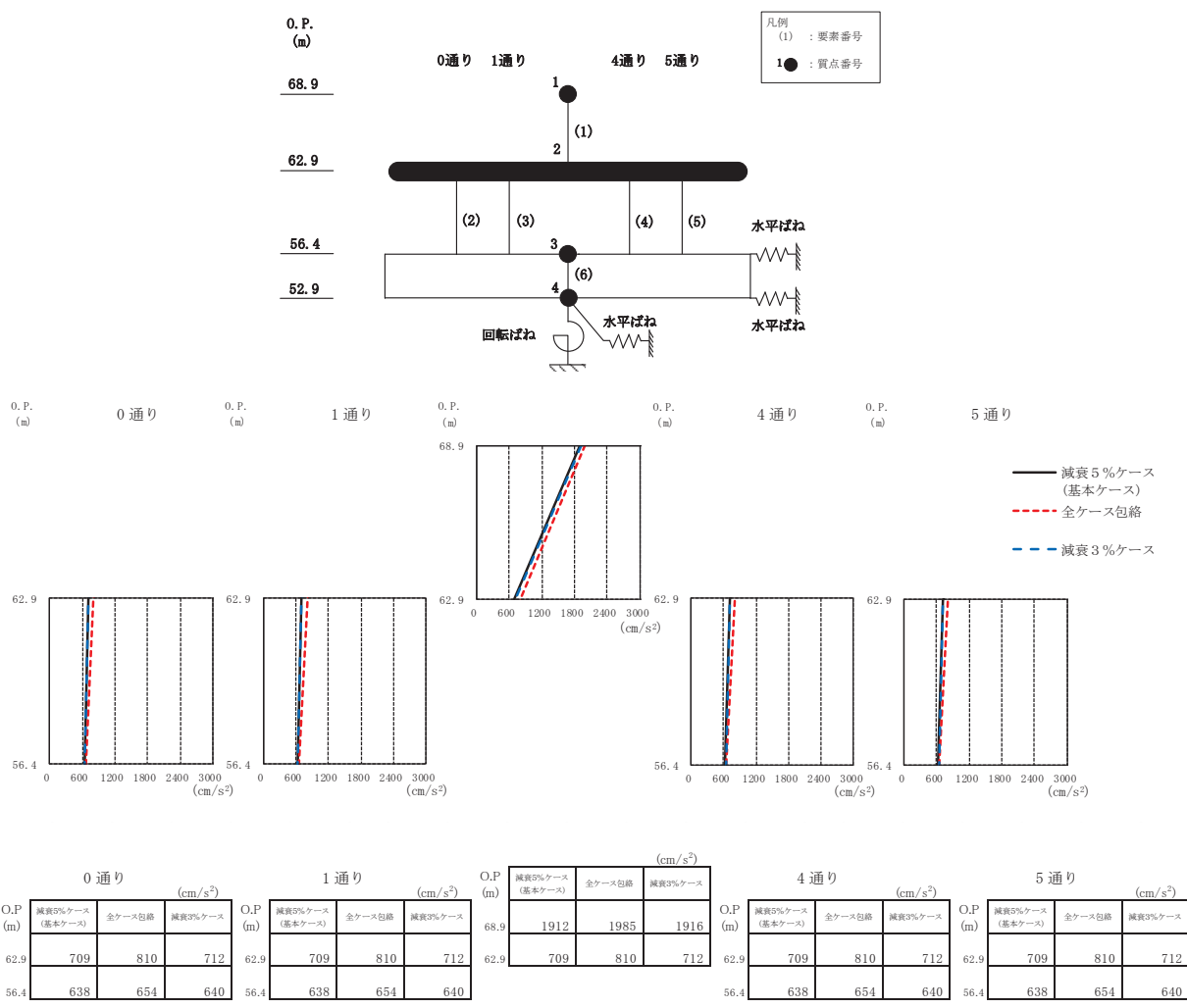
(a) S s - D 2

図3-5(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S s, EW 方向) (1/3)



(b) S s - D 3

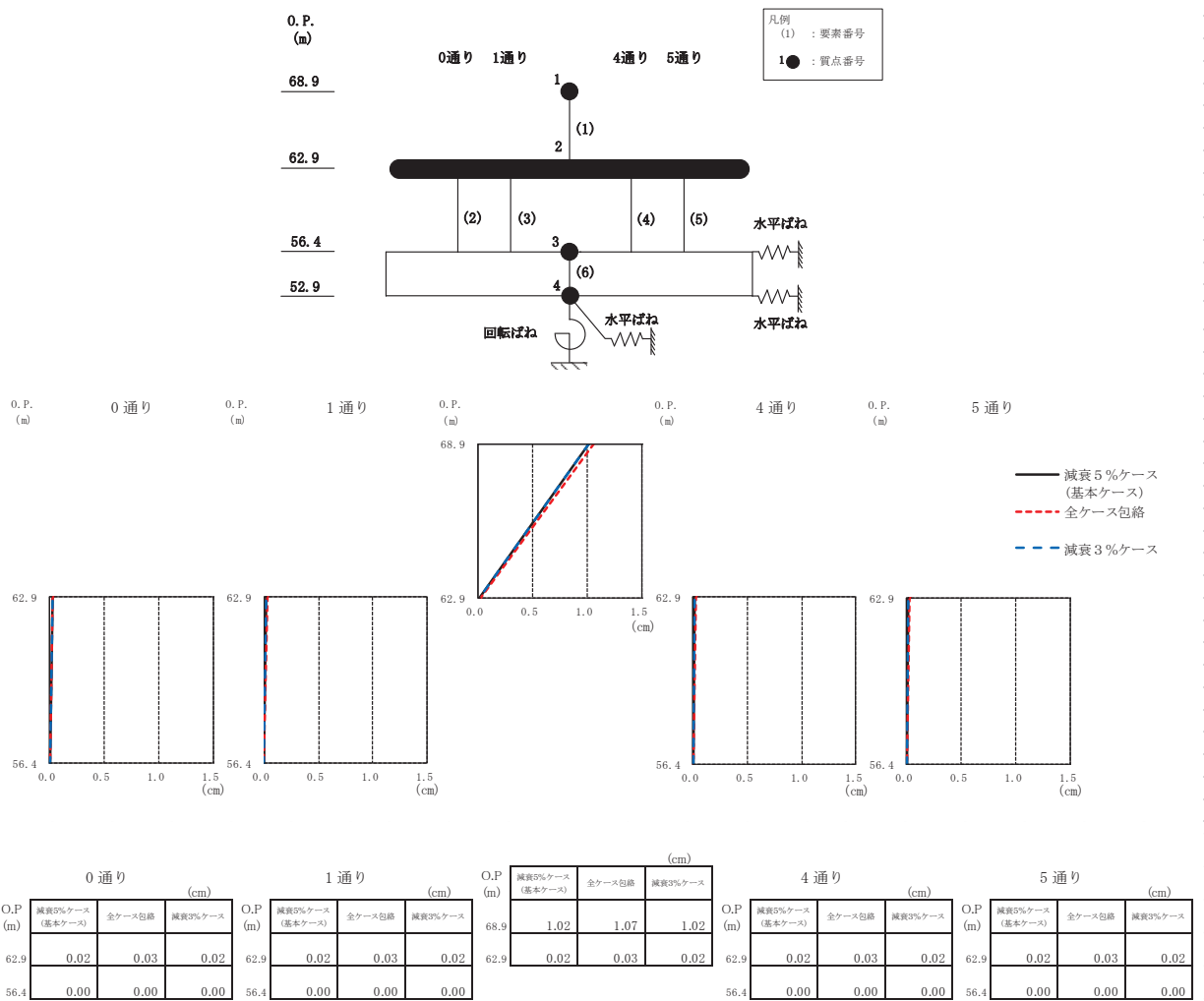
図3-5(2) 最大応答加速度 (基準地震動 S s, EW 方向) (2/3)



(c) S s - F 3

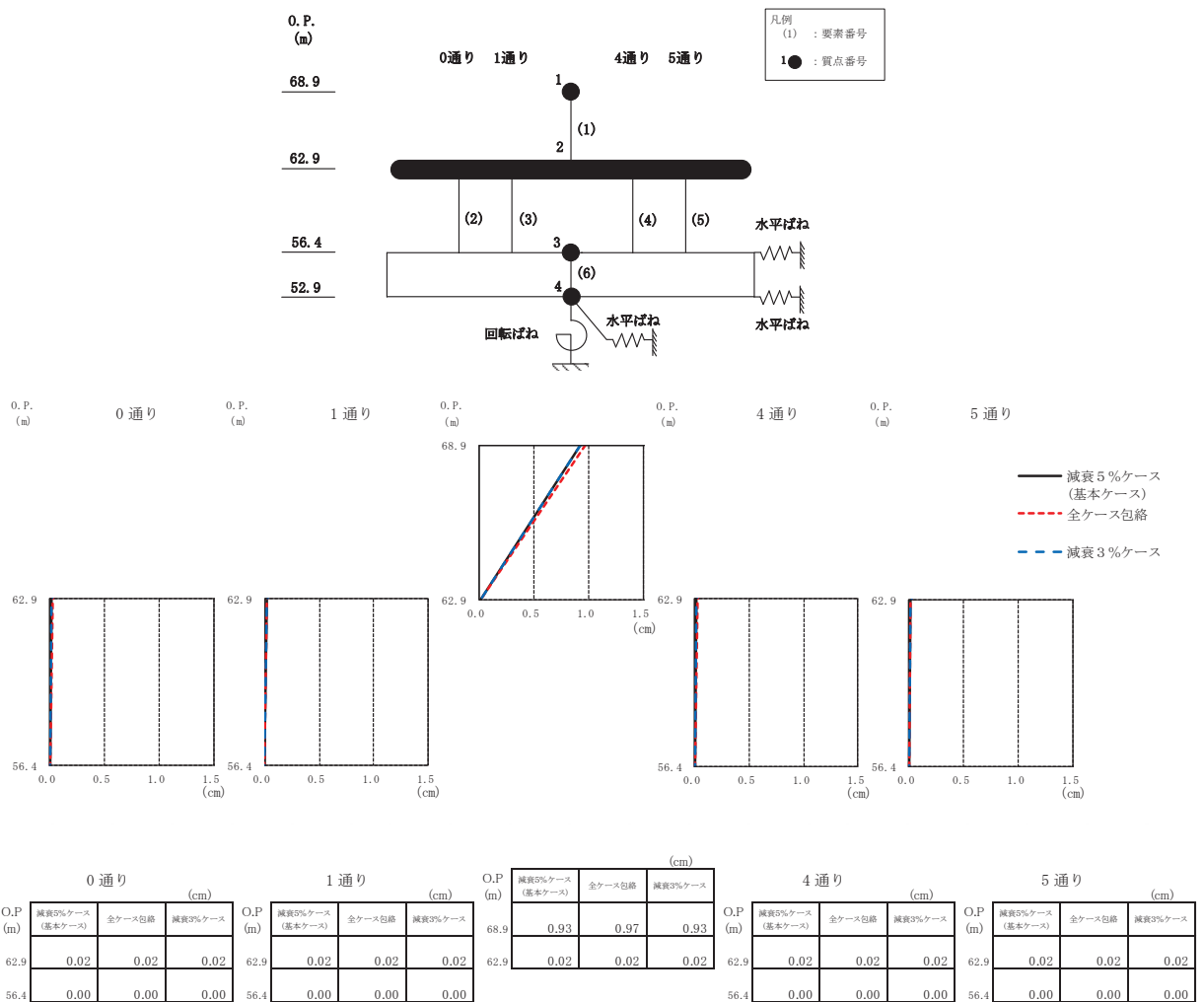
図3-5(3) 最大応答加速度 (基準地震動 S s, EW 方向) (3/3)





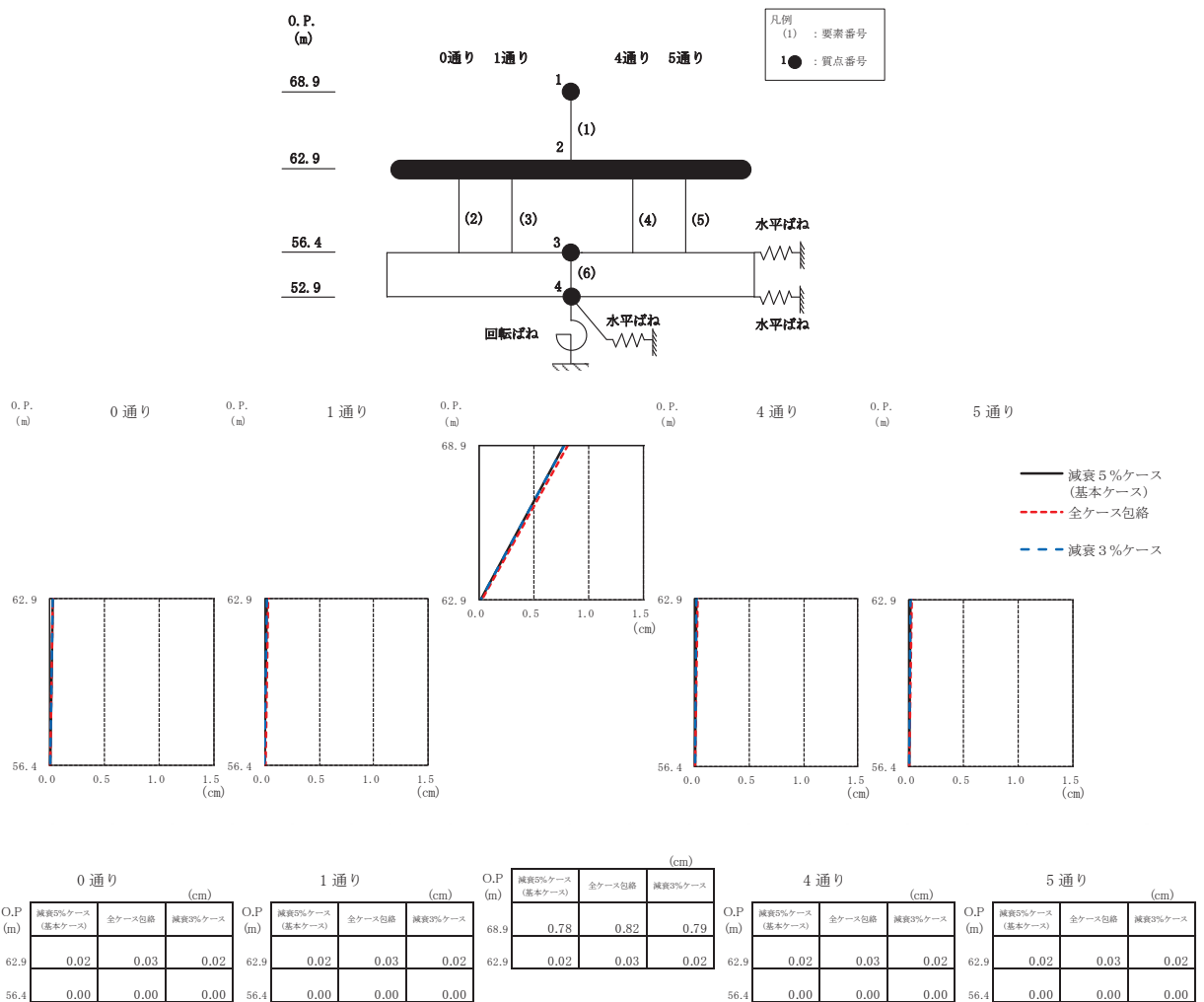
(a) S s - D 2

図 3-6(1) 最大応答変位 (基準地震動 S s, EW 方向) (1/3)



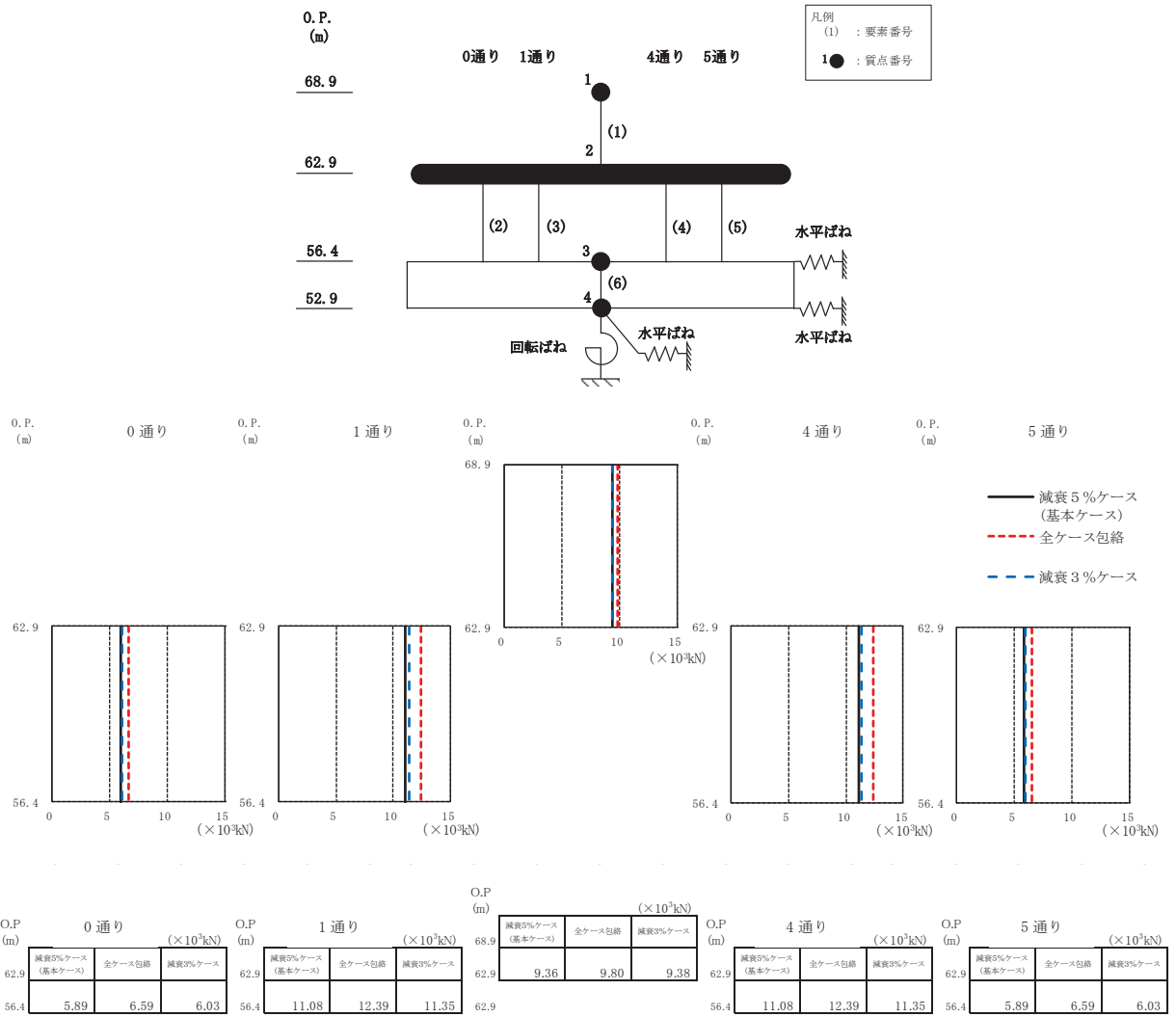
(b) S s - D 3

図 3-6(2) 最大応答変位 (基準地震動 S s, EW 方向) (2/3)



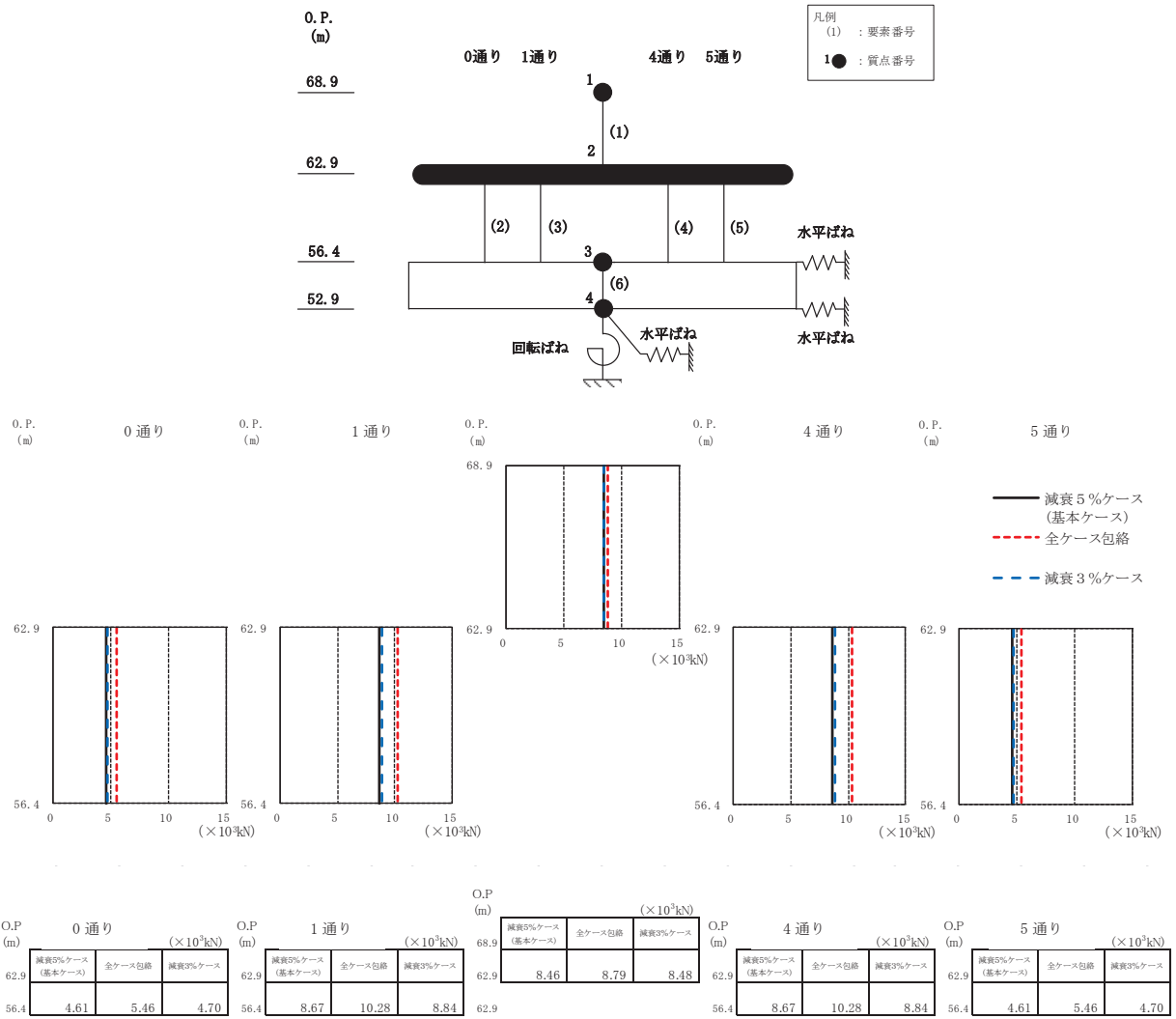
(c) S s - F 3

図 3-6(3) 最大応答変位 (基準地震動 S s, EW 方向) (3/3)



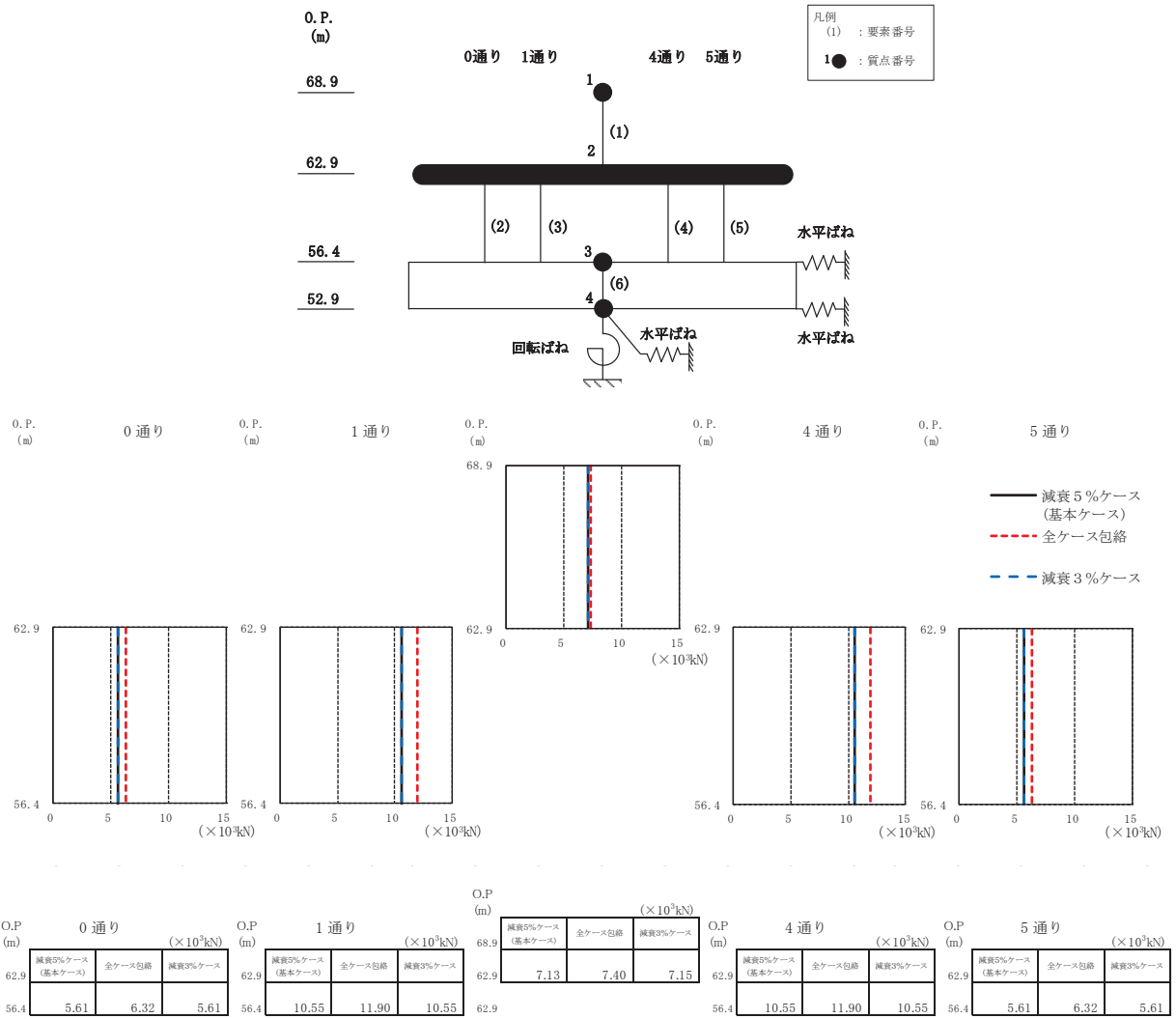
(a)  $S_s - D2$

図3-7(1) 最大応答せん断力 (基準地震動  $S_s$ , EW方向) (1/3)



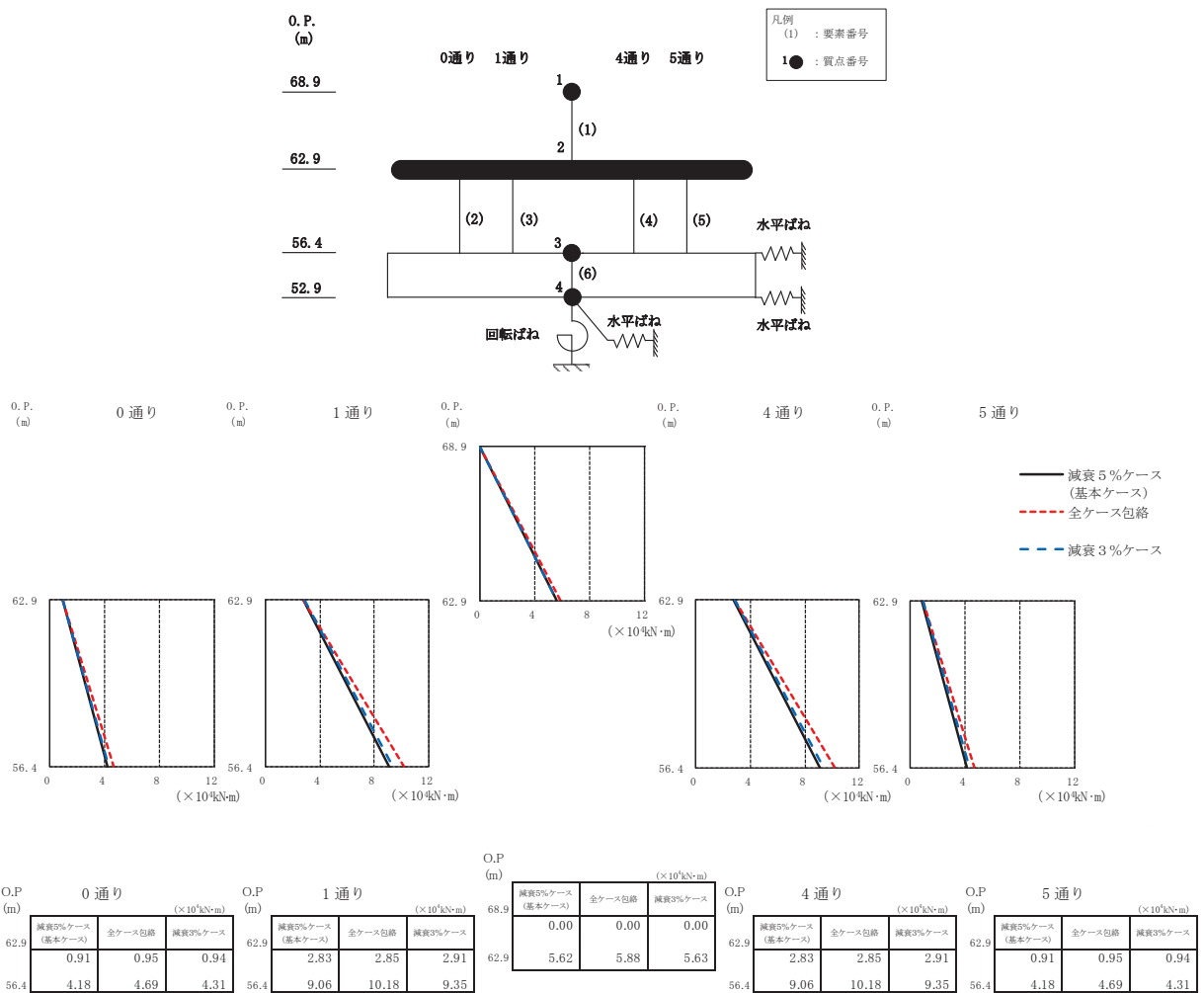
(b) S<sub>s</sub>-D3

図3-7(2) 最大応答せん断力 (基準地震動S<sub>s</sub>, EW方向) (2/3)



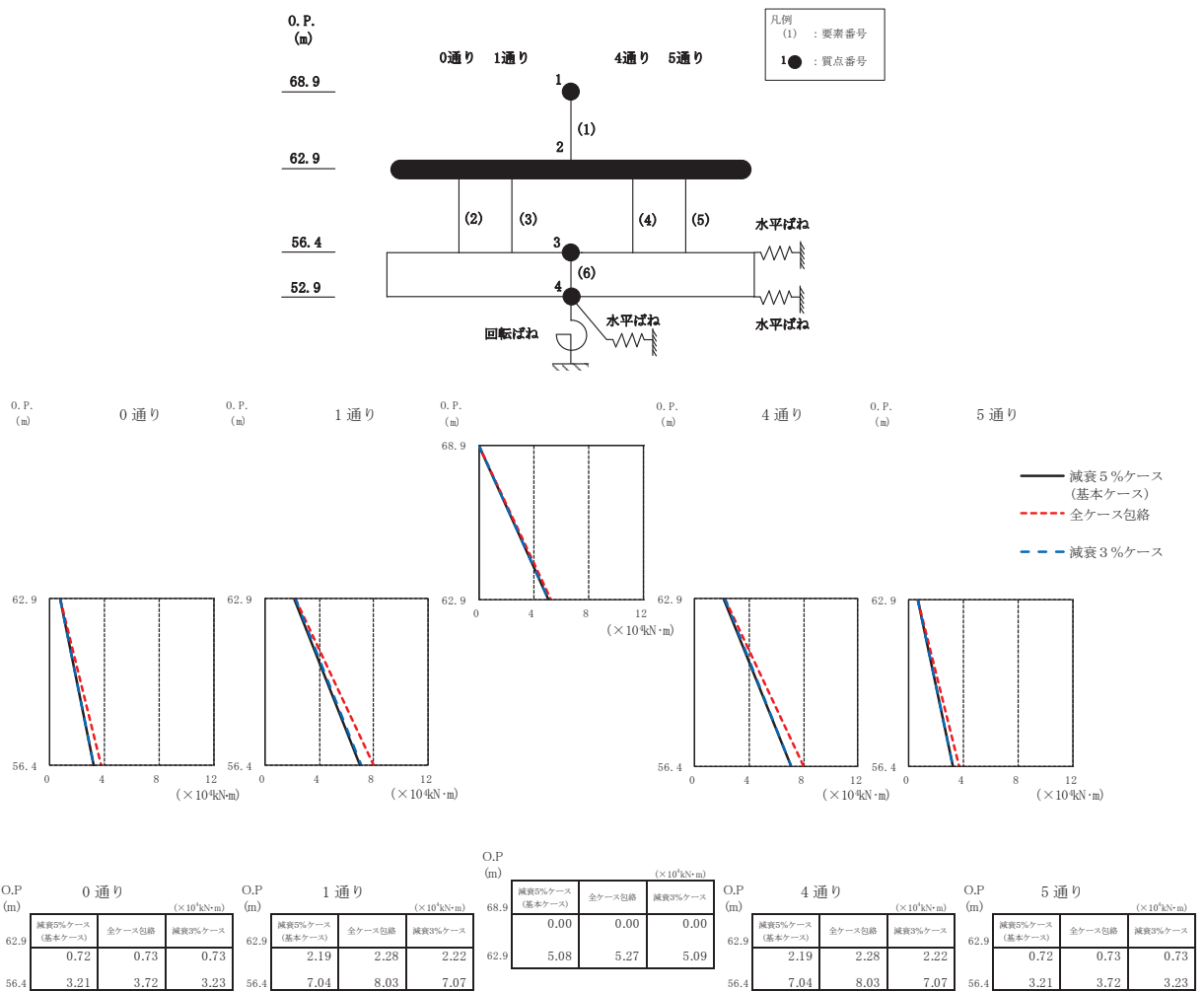
(c) S<sub>s</sub> - F 3

図3-7(3) 最大応答せん断力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向) (3/3)



(a) S s - D 2

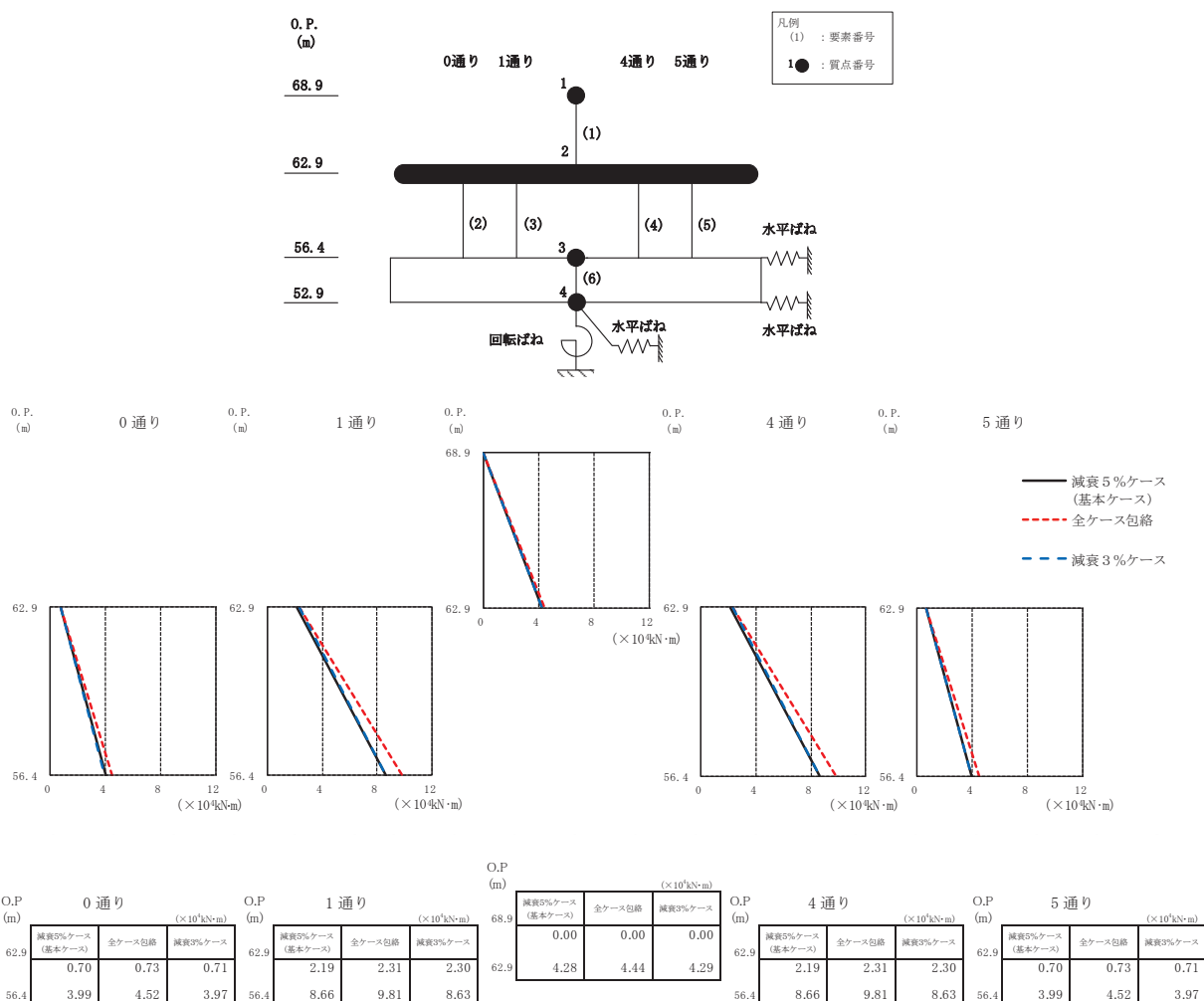
図3-8(1) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s, EW 方向) (1/3)



(b) S s - D 3

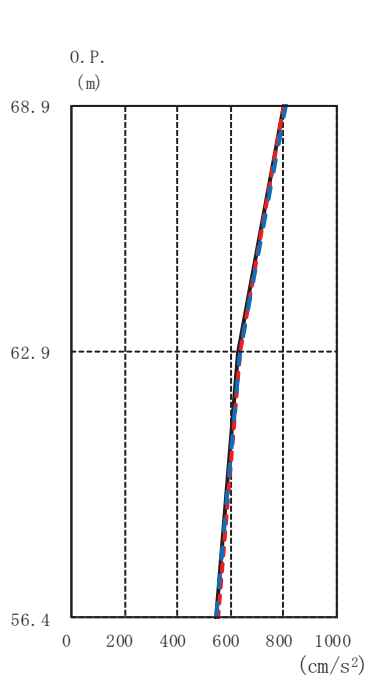
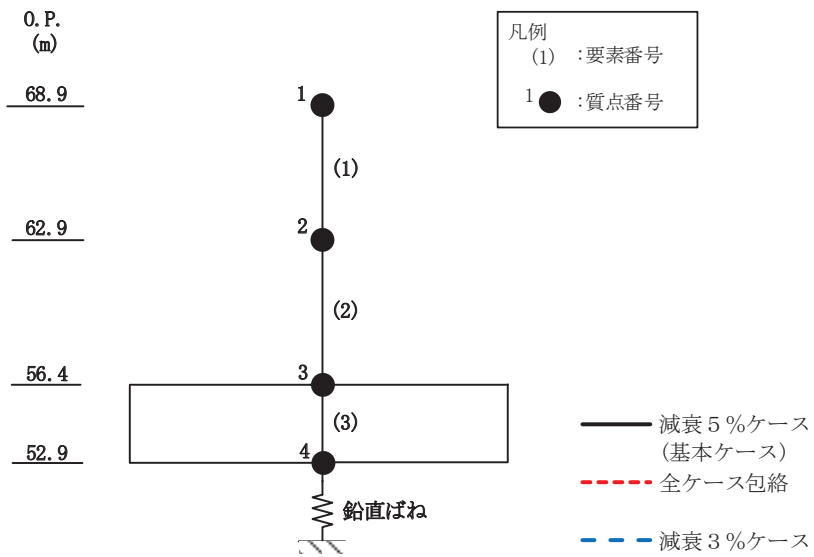
図 3-8(2) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s, EW 方向) (2/3)





(c) S s - F 3

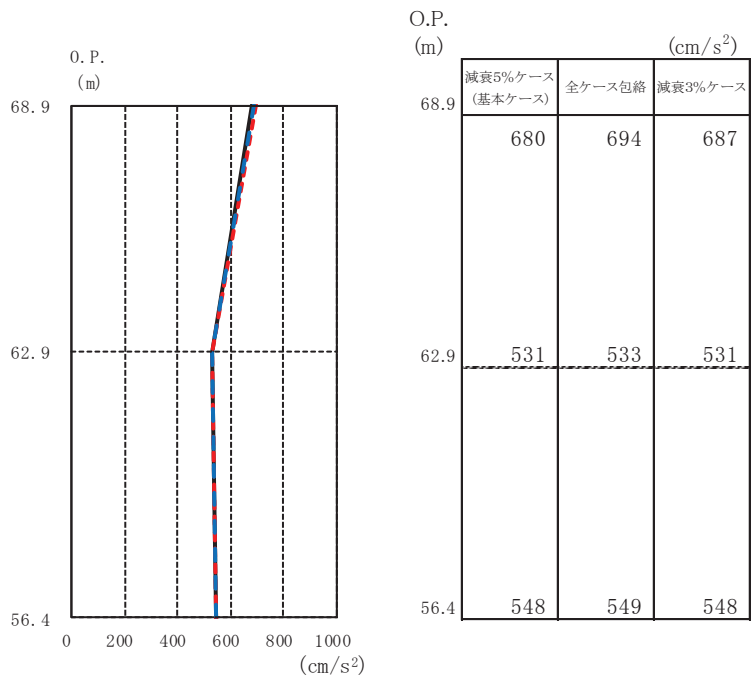
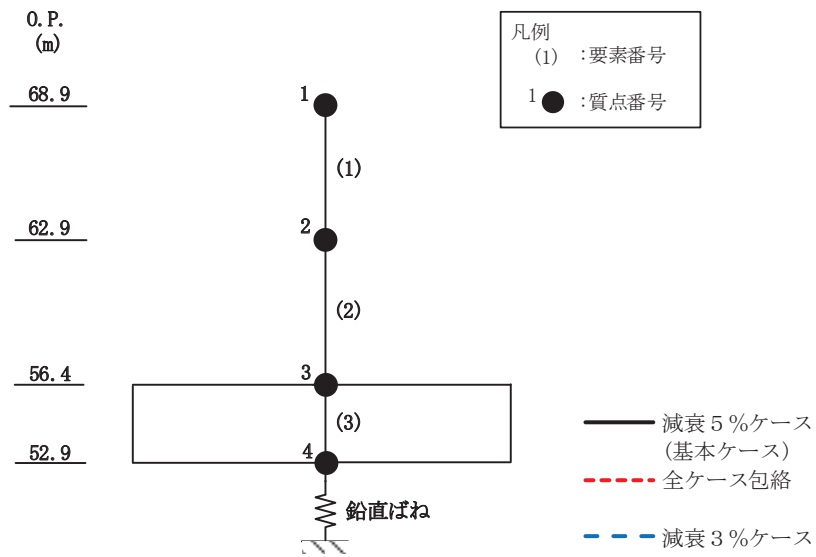
図 3-8(3) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s, EW 方向) (3/3)



O.P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )		
	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	801	801	806
62.9	631	633	633
56.4	546	550	546

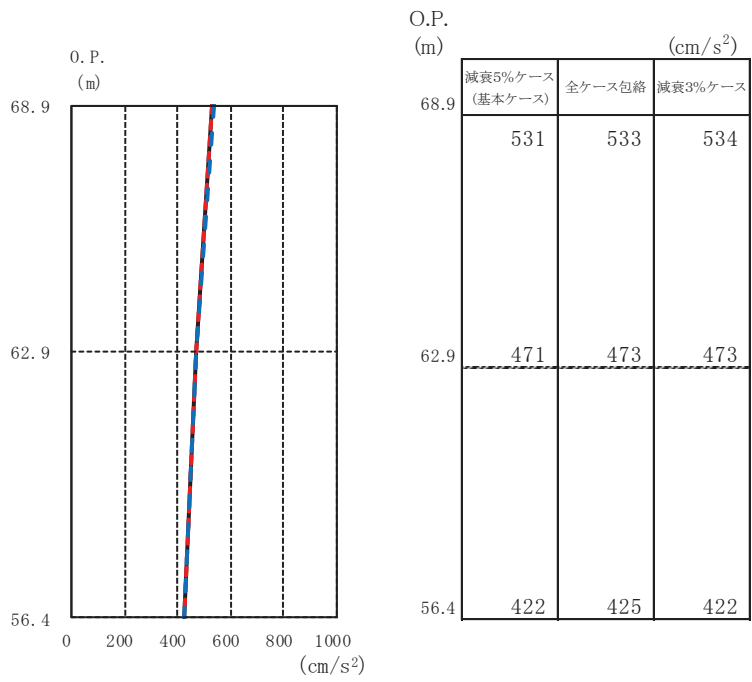
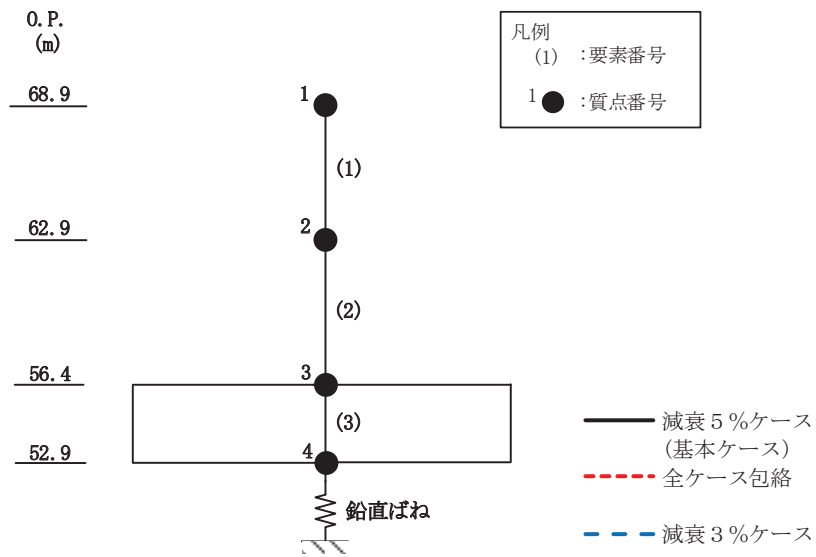
(a) S<sub>s</sub>-D 2

図 3-9(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, UD 方向) (1/3)



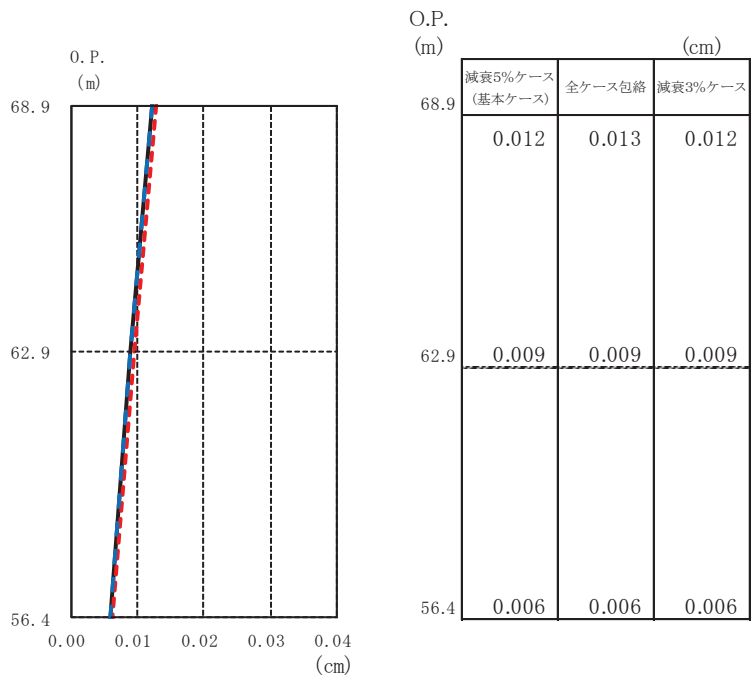
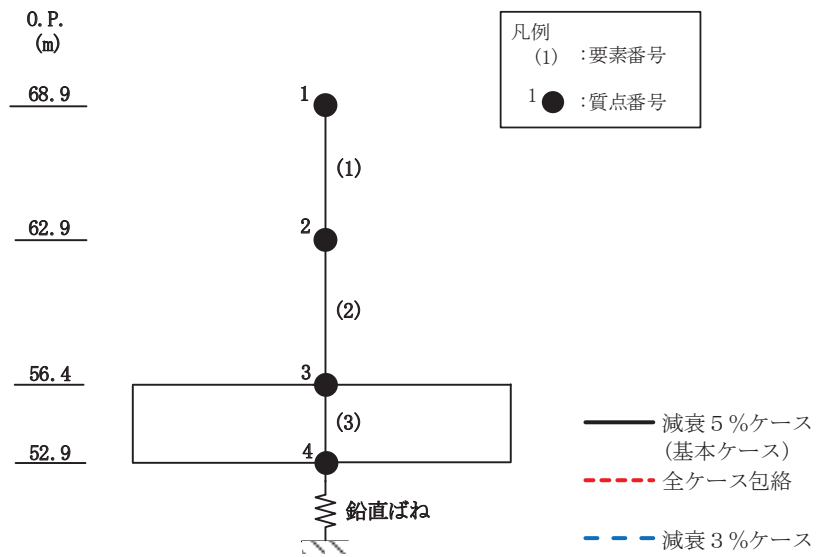
(b)  $S_s - D_3$

図 3-9(2) 最大応答加速度 (基準地震動  $S_s$ , UD 方向) (2/3)



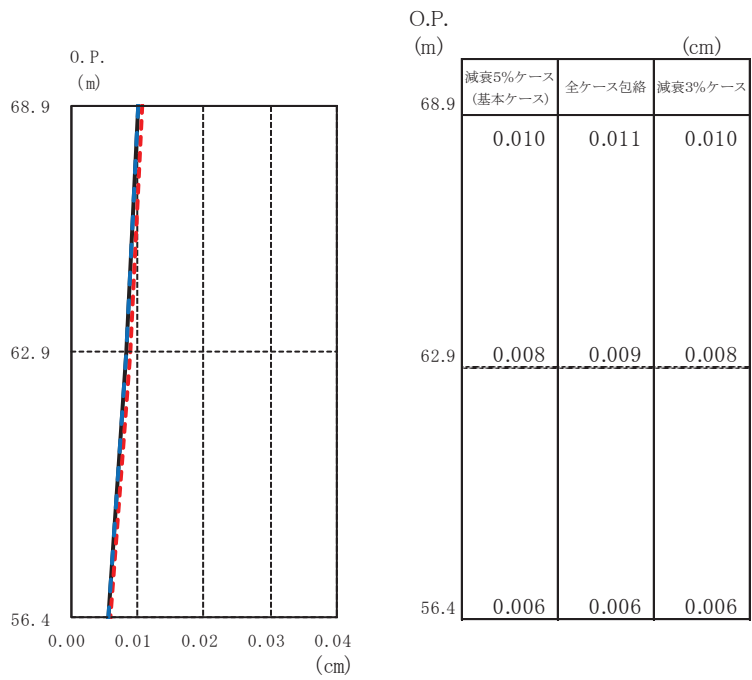
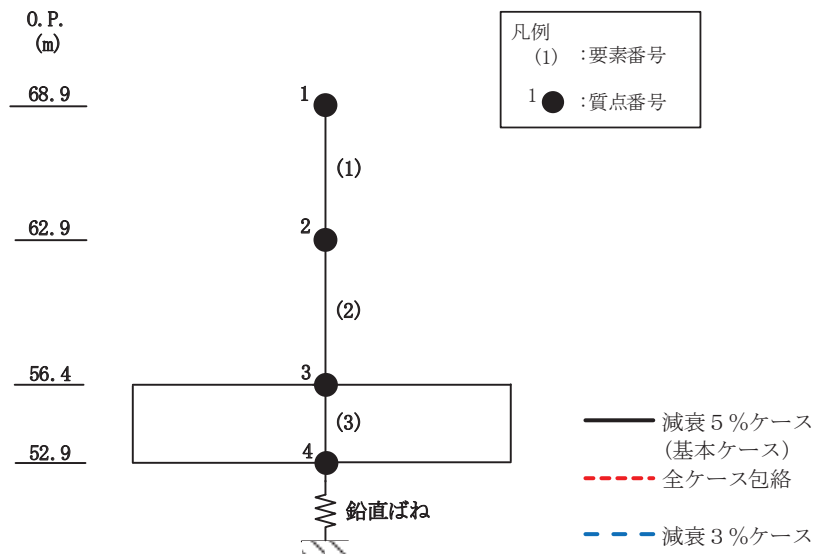
(c)  $S_s - F_3$

図3-9(3) 最大応答加速度 (基準地震動  $S_s$ , UD 方向) (3/3)



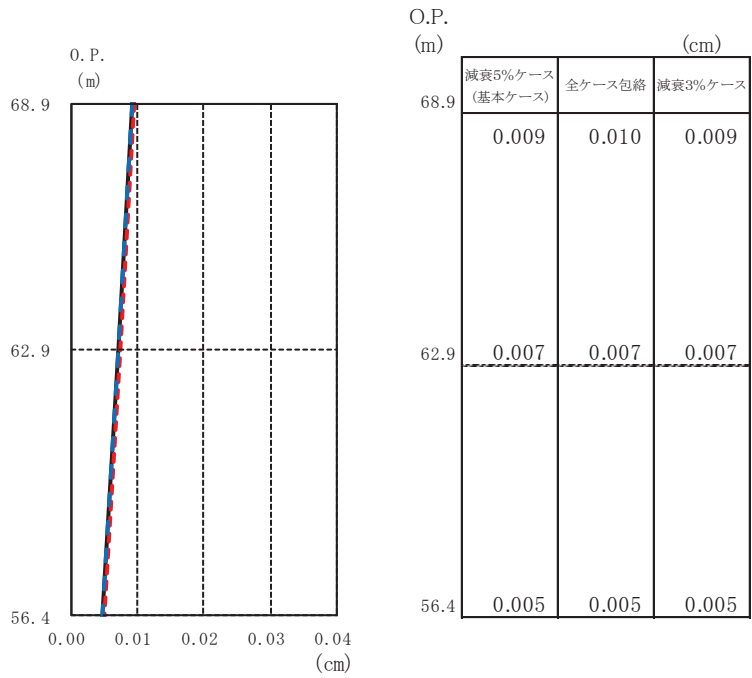
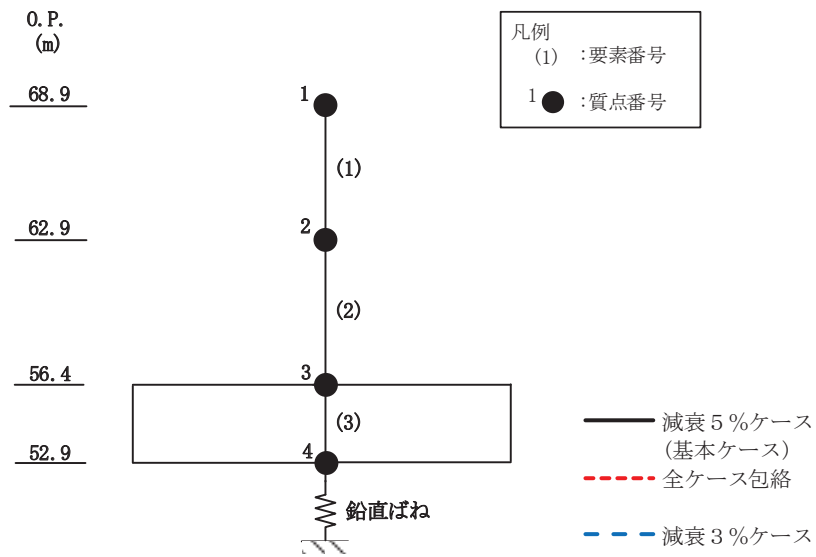
(a)  $S_s - D_2$

図3-10(1) 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , UD 方向) (1/3)



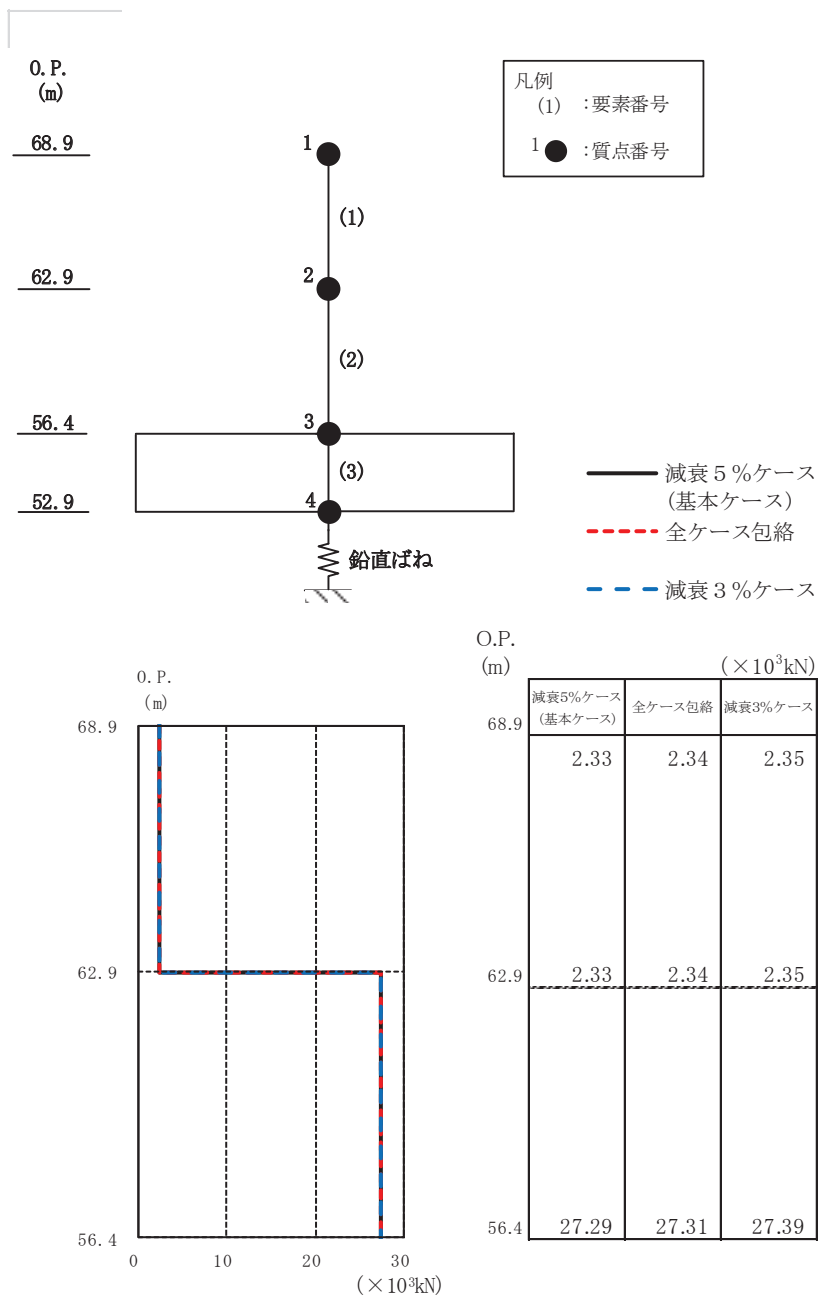
(b)  $S_s - D_3$

図3-10(2) 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , UD 方向) (2/3)



(c)  $S_s - F_3$

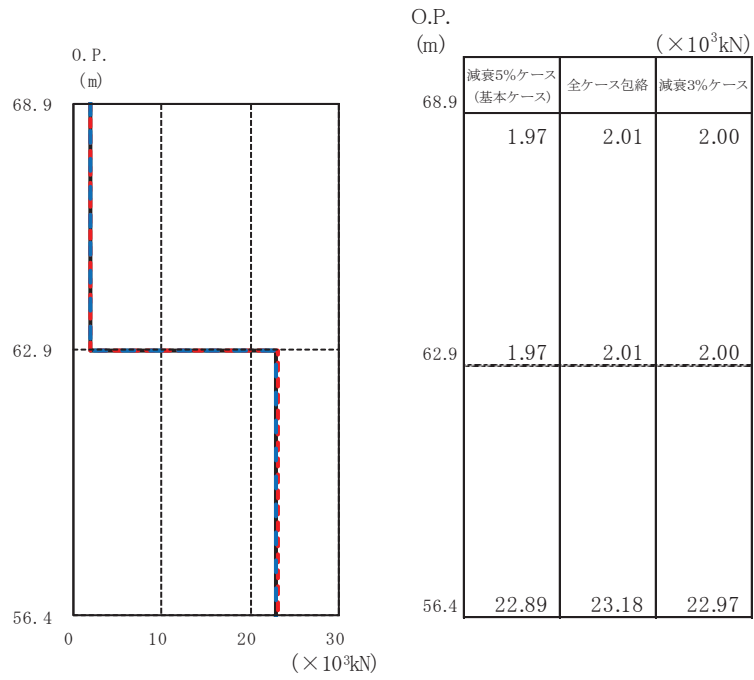
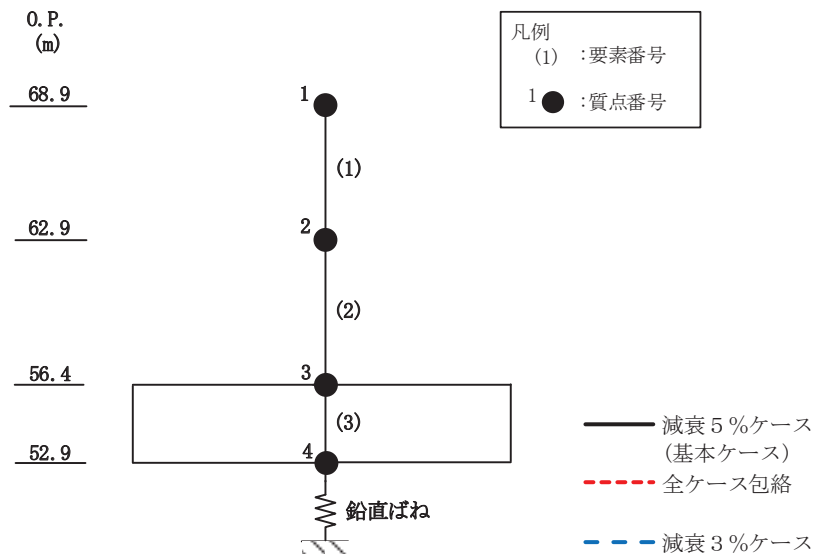
図3-10(3) 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , UD方向) (3/3)



(a) S<sub>s</sub>-D 2

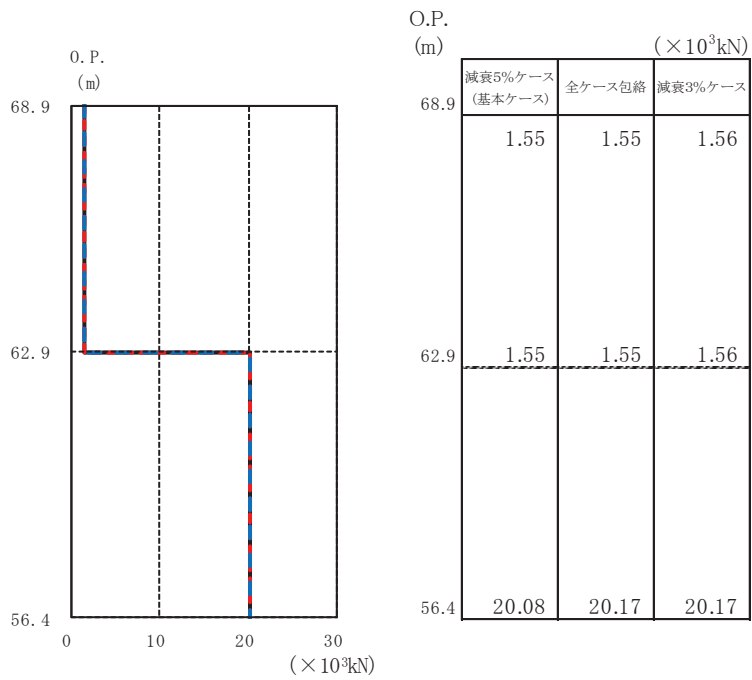
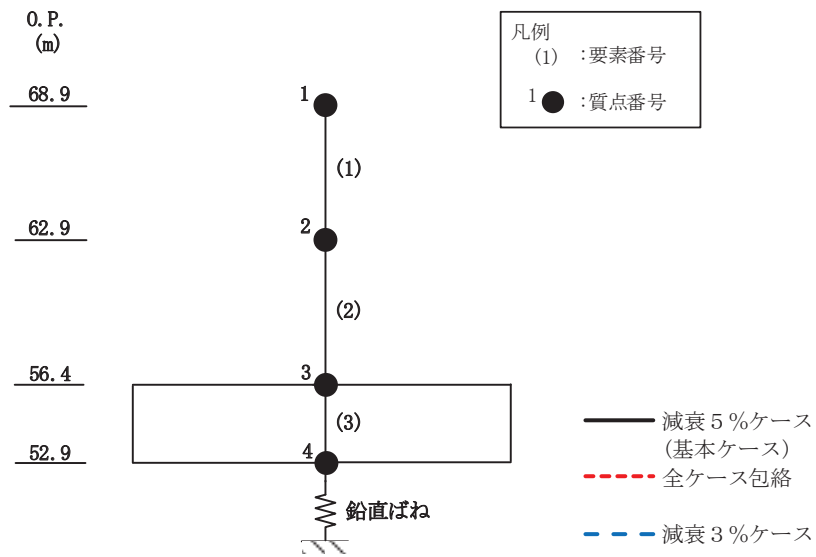
図 3-11(1) 最大応答軸力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, UD 方向) (1/3)





(b) S<sub>s</sub>-D 3

図 3-11(2) 最大応答軸力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, UD 方向) (2/3)



(c) S<sub>s</sub> - F 3

図 3-11(3) 最大応答軸力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, UD 方向) (3/3)

#### 4. 減衰定数 3%の影響評価

減衰定数5%による最大応答せん断力，減衰定数3%による最大応答せん断力及び設計用地震力の比較を表4-1に示す。

表4-1より，減衰定数5%の場合と比べて，減衰定数3%の場合の方が応答値はわずかに大きくなるものの，材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力には包絡されていることが確認できる。

以上より，減衰定数3%による解析結果が建屋の耐震安全性に影響を与えないことを確認した。

表 4-1 地震力の比較

(単位： $\times 10^3$  kN)

方向	要素 番号	減衰定数5%における 最大応答せん断力 ( $S_s$ -D1～ $S_s$ -N1の最大値)	減衰定数3%における 最大応答せん断力 ( $S_s$ -D2, $S_s$ -D3, $S_s$ -F3の最大値)	設計用 地震力
NS	1	9.62	9.65	10.10
	2	15.29	16.12	18.21
	3	6.91	7.28	8.22
	4	15.29	16.12	18.21
EW	1	9.36	9.38	9.80
	2	5.89	6.03	6.59
	3	11.08	11.35	12.39
	4	11.08	11.35	12.39
	5	5.89	6.03	6.59

別紙 1-6 影響検討ケースによる機器・配管系の耐震性への影響

目 次

1. 概要	別紙 1-6-1
2. 影響検討方法	別紙 1-6-1
3. 影響検討結果	別紙 1-6-1

## 1. 概要

本資料では、緊急用電気品建屋の影響検討として実施した、「別紙1-4 建屋減衰を3%とした場合の影響検討」及び「別紙1-5 建屋剛性を実強度に基づく剛性とした場合の影響検討」の地震応答解析結果を踏まえ、緊急用電気品建屋内に設置される機器・配管系の耐震性への影響を検討する。

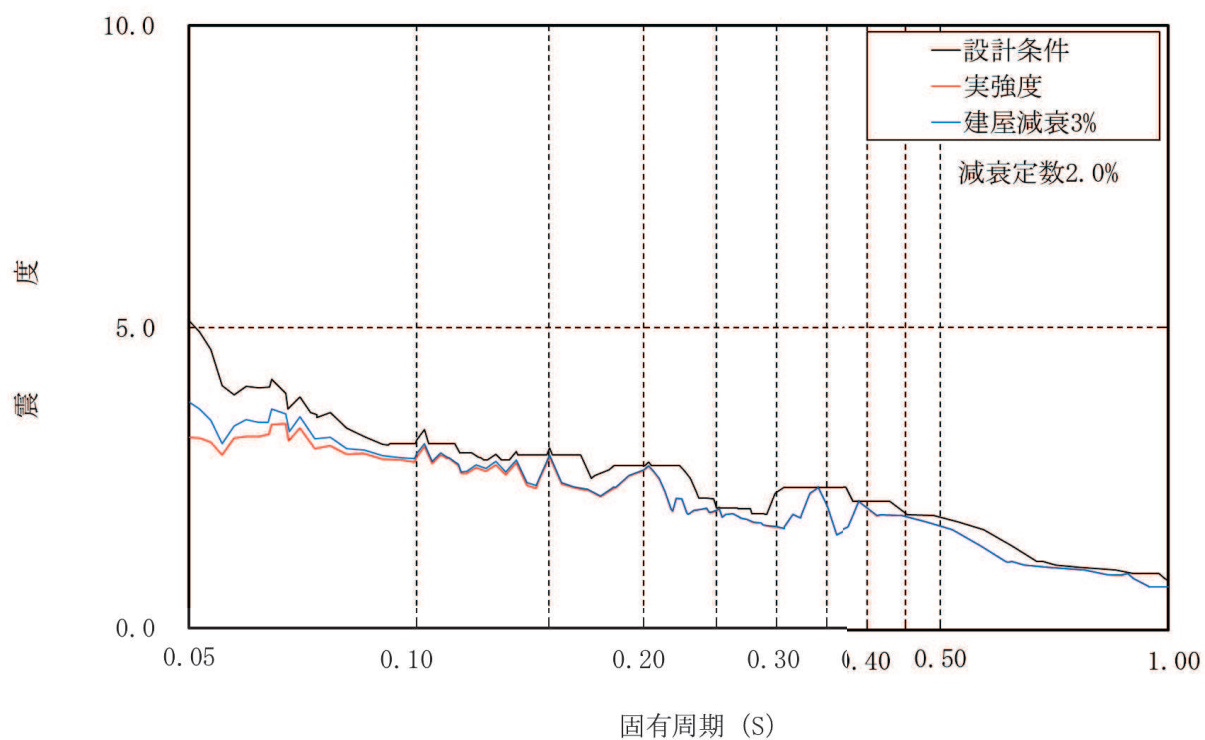
## 2. 影響検討方法

検討にあたっては、「別紙 1-4 建屋減衰を 3%とした場合の影響検討」及び「別紙 1-5 建屋剛性を実強度に基づく剛性とした場合の影響検討」の影響検討結果の床応答スペクトルと、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示される設計用床応答曲線を比較することにより影響検討を行う。床応答スペクトルの比較を図 2-1～図 2-4 に示す。

## 3. 影響検討結果

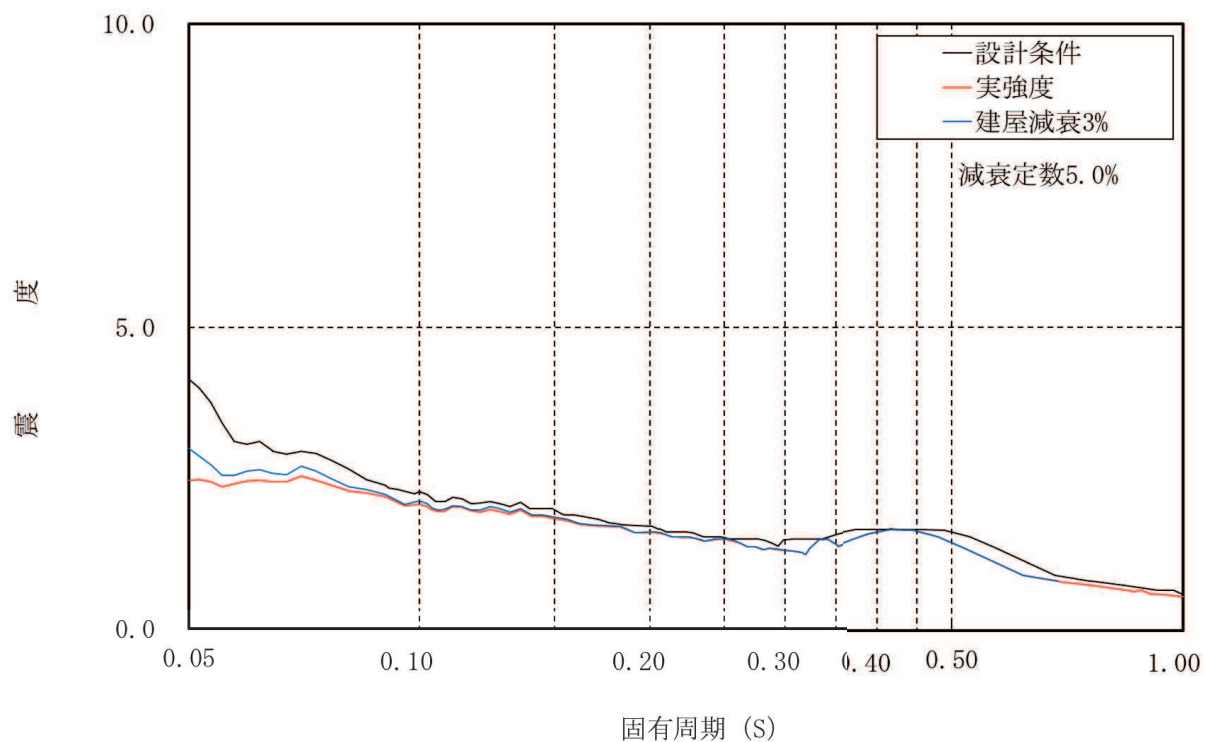
図 2-1～図 2-4 により、影響検討ケースは設計用床応答曲線に全周期帯で包絡されることから、機器・配管系の耐震性への影響は無いことを確認した。

なお、水平方向の地上 1 階 (O. P. 62. 9m) の応答には明瞭なピークが現れていないが、これは地上 1 階 (O. P. 62. 9m) の応答に支配的なモード (全体 2 次) の固有周期が 0. 05s 以下 (基本ケース, NS 方向 : 0. 039s, EW 方向 : 0. 034s) となっているためである。同様に、鉛直方向の地上 1 階 (O. P. 62. 9m) の応答には明瞭なピークが現れていないが、これは鉛直方向の固有周期が 0. 05s 以下 (基本ケース, 1 次 : 0. 024s) となっているためである。



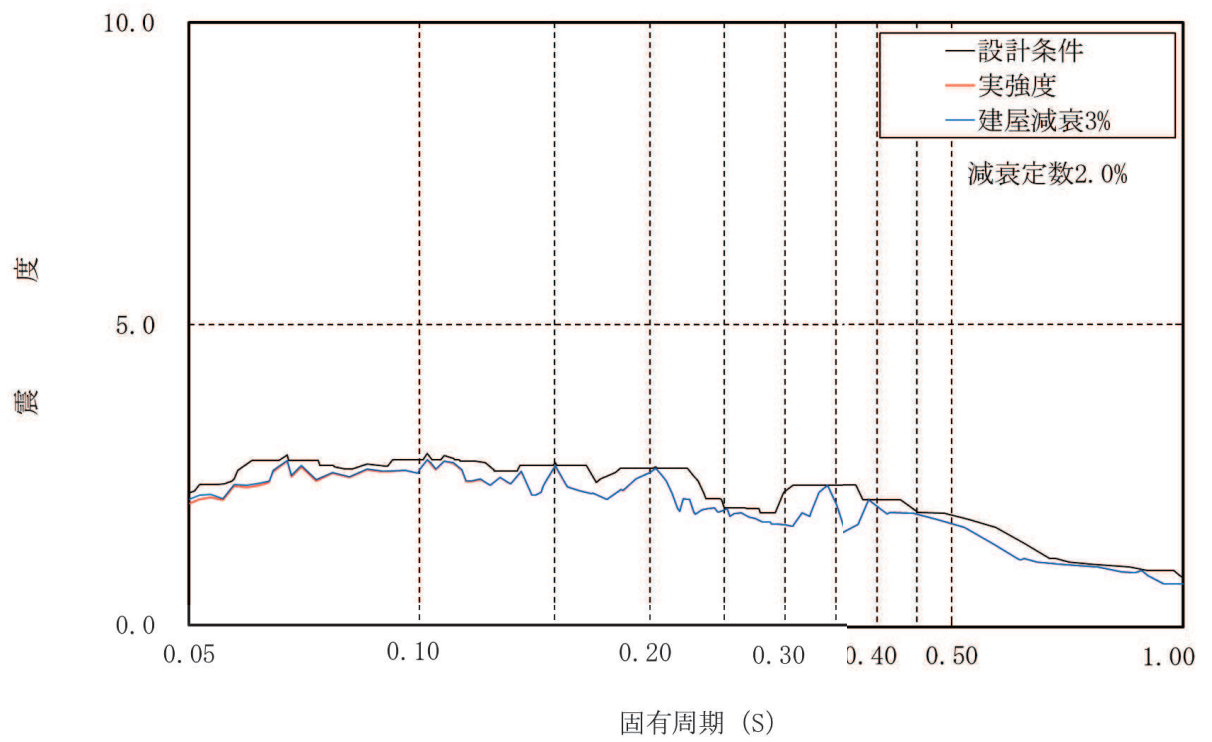
対象設備：配管（ガスタービン発電設備）

図 2-1(1) 床応答スペクトルの比較（水平方向，0. P. 62.9m）



対象設備：ガスタービン発電設備（機関・発電機，燃料小出槽，制御盤）

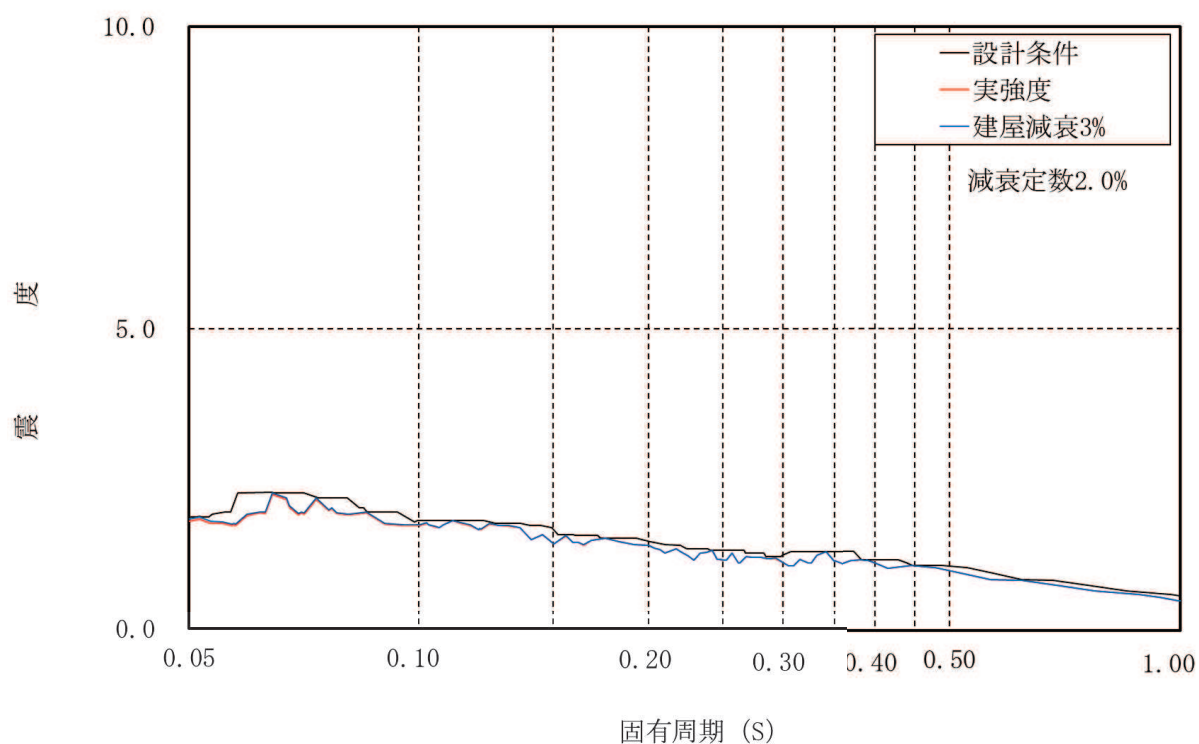
図 2-1(2) 床応答スペクトルの比較（水平方向，0. P. 62.9m）



対象設備：配管（ガスタービン発電設備）

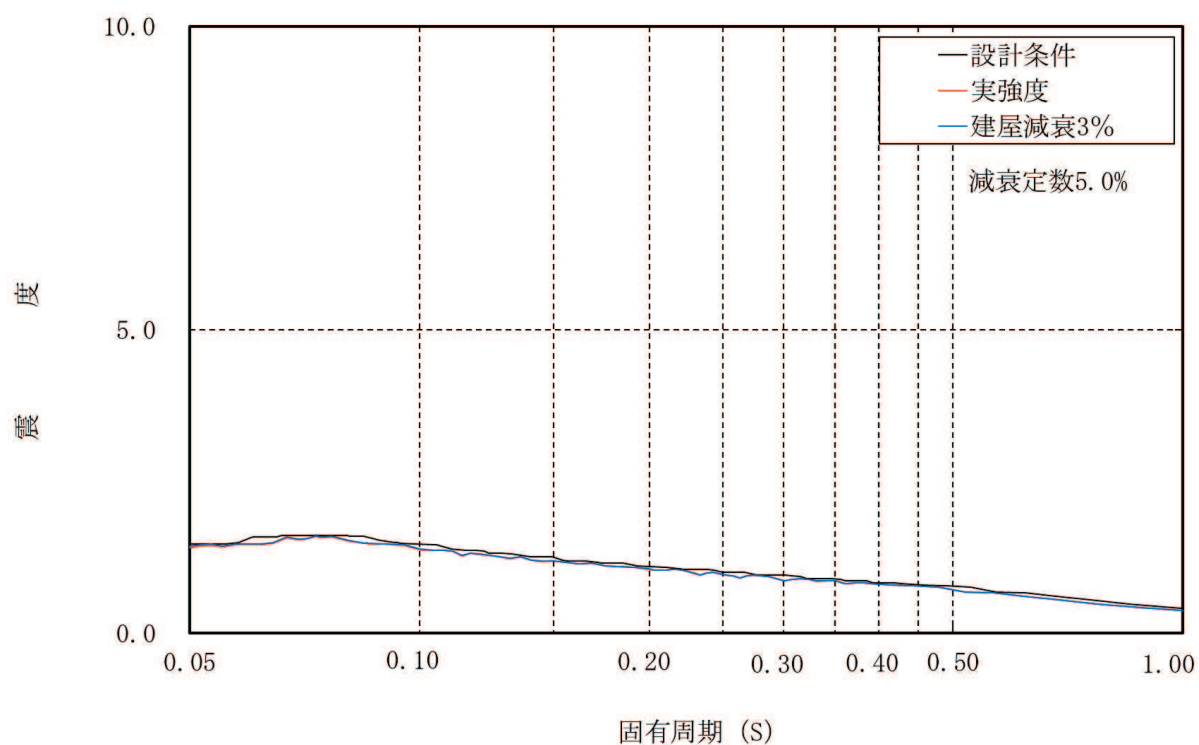
図 2-2 床応答スペクトルの比較（水平方向，O.P. 56.4m）





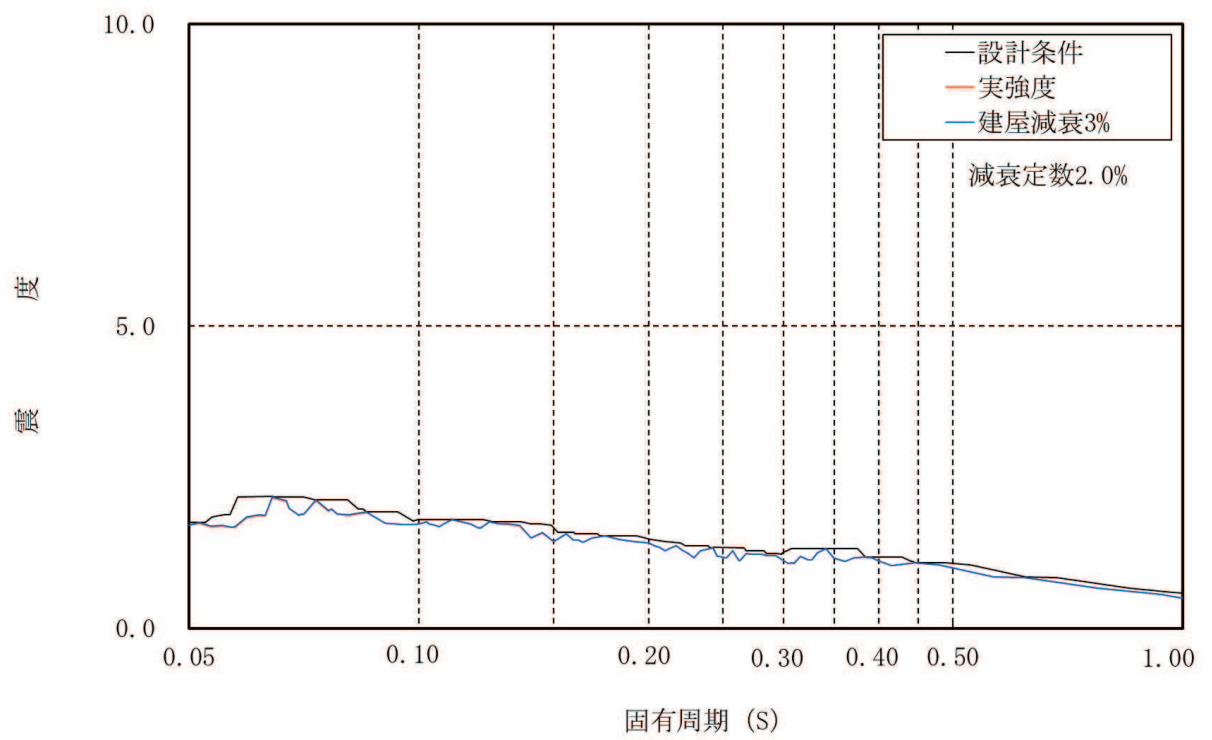
対象設備：配管（ガスタービン発電設備）

図 2-3(1) 床応答スペクトルの比較（鉛直方向，0. P. 62.9m）



対象設備：ガスタービン発電設備（機関・発電機，燃料小出槽，制御盤）

図 2-3(2) 床応答スペクトルの比較（鉛直方向，0. P. 62.9m）



対象設備：配管（ガスタービン発電設備）

図 2-4 床応答スペクトルの比較（鉛直方向，O.P. 56.4m）

別紙 2-1 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 2-1-1
2. 応力解析におけるモデル化, 境界条件及び拘束条件 ..... 別紙 2-1-2

## 1. 概要

本資料は、緊急用電気品建屋基礎版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. 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件

緊急用電気品建屋基礎版の応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件を表 2-1 に示す。

直接基礎の底面及び側面の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。なお，地震時の評価を行うことから，各荷重に共通で動的な地盤物性に基づく地盤ばねを用いる。

### (1) 底面地盤ばね

#### ・水平ばね

振動アドミタンス理論に基づく水平ばねより算出する。

#### ・鉛直ばね

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，振動アドミタンス理論に基づく回転ばねより算出する。

### (2) 側面地盤ばね

#### ・水平ばね

Novak の手法に基づく水平ばねにより算出する。

#### ・鉛直ばね

基礎版の埋込み部分については，基礎版の側面と接する部分にマンメイドロックを打設することとしている。地震応答解析モデルでは，保守的な評価となるように側面地盤の回転に対する拘束効果を考慮していないが，応力解析においては地震時の基礎版の転倒に対する拘束効果として側面回転ばねを考慮する。ばね値は Novak の手法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。

#### ・はり要素

はり要素の場合は，曲げの変位関数が 3 次で精度が高いため，基本的に要素分割の細分化は不要であるが，部材の接合点間で変位情報出力や荷重入力がある場合には複数要素に細分し，曲線部材がある場合は，その曲線が直線近似できる程度の分割にすることが一般的である。また，分布荷重がある場合や分布質量が関係する自重荷重などの計算では，要素分割することにより質量分布がより正確になり，解析結果の精度が向上する。更に，要素分割の細分化により，変形図やモード図で構造物の変形状態を容易に把握することが可能となる。

#### ・シェル要素

要素分割は，基本的には発生する応力状態によって決まり，構造形状と荷重条件より要素分割数を考慮する。要素形状の縦横比（アスペクト比）は，重要部分で 1:2 以下，その他の領域や応力変化が少ない領域では，1:3 程度までで，分割に際しては 4 角形要素を利用して格子状とするのが一般的である。曲面板構造の場合は，平板要素や軸対称シェル要素の大きさは，集中荷重や不連続部を含む曲面部近傍では  $2.5\sqrt{R/t}$  を 10~20 分割すると適切な応力分布が求められ，構造物の半径（R）と板厚（t）が考慮されている。また，面内曲げ・軸力及

び面外のせん断や曲げを受ける部材のシェル要素の辺の長さは、シェルの広がり方向の応力分布の状態から決まり、応力変化が大きい領域は要素を小さくする必要がある。

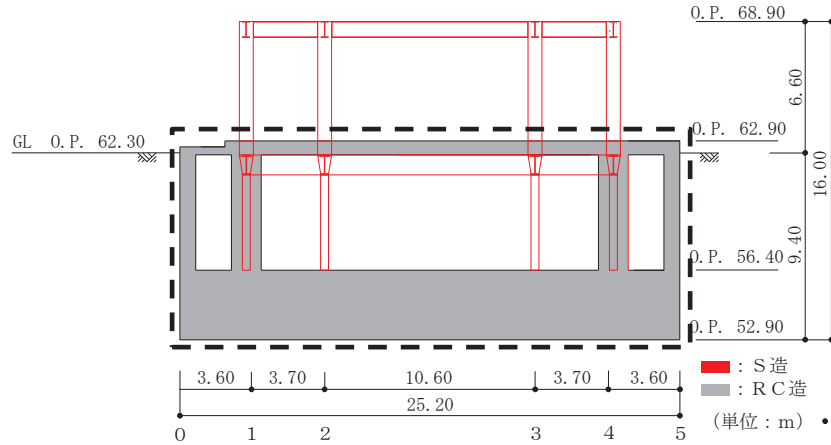
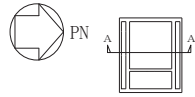
注記\*：構造解析のための有限要素法実践ハンドブック（非線形 CAE 協会，2008 年）

表 2-1(1) モデル化, 境界条件及び拘束条件 (1/3)

モデル概要

○モデル化範囲

- ・基礎版及び基礎版より立ち上がる O. P. 56. 4m~O. P. 62. 9m の耐震壁をモデル化する。
- ・外壁及び内部耐震壁の剛性を境界条件として考慮する。



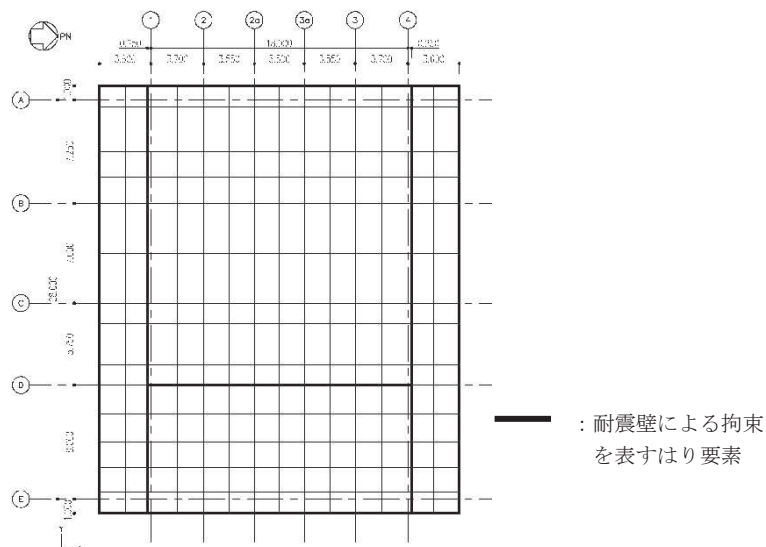
— 〰 — モデル化範囲

○使用要素

- ・基礎版: シェル要素
- ・耐震壁: はり要素

○要素分割

- ・要素の一边の長さを 1.5m~2.0m 程度とし, 耐震壁の配置を考慮して分割する。



モデル概要



表 2-1(2) モデル化, 境界条件及び拘束条件 (2/3)

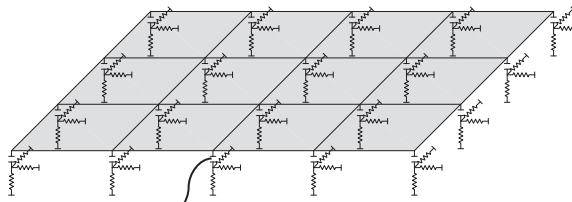
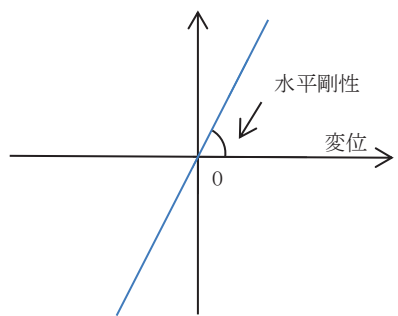
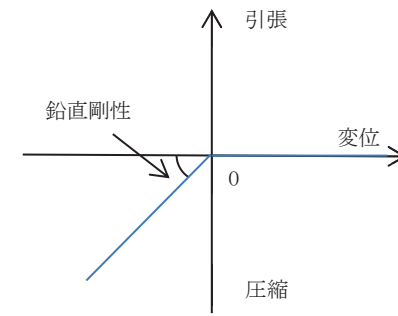
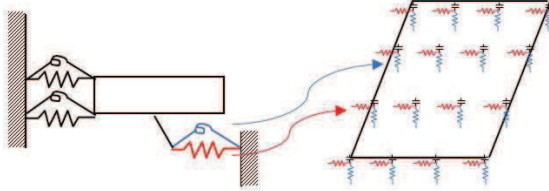
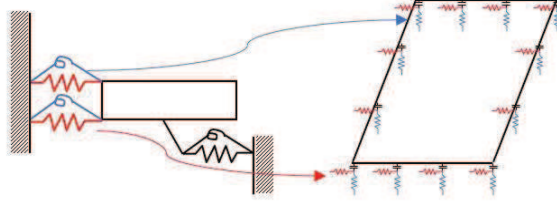
境界条件, 拘束条件	
上部構造物と基礎版の境界	
<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎版と上部構造物の境界部においては, 上部構造物の剛性を考慮することで, 基礎版の応力・変形状態を評価する。</li> <li>基礎版から立ち上がる鉄骨独立柱については, その剛性を考慮しない。</li> </ul>	
はり要素の剛性 (断面性能)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げ剛性 (断面二次モーメント) : <math>I = t \times h^3 / 12</math></li> <li>せん断剛性 (せん断断面積) : <math>A_s = t \times h</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>t : 壁の厚さ</li> <li>h : モデル化する壁の高さ</li> </ul>
基礎スラブと地盤の境界	
<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時の評価については, 基礎スラブと底面地盤との間に底面地盤を表現するギャップ要素を設け, 基礎スラブと底面地盤との間の剥離 (基礎スラブの浮上り) を考慮する。</li> </ul>	 <p style="text-align: center;">ギャップ要素</p> <p style="text-align: center;">モデル概要</p>
○ギャップ要素	
鉛直ばねに引張力が発生した際に, 水平剛性及び鉛直剛性をゼロとし, 浮上りを考慮する。	
<p style="text-align: center;">水平ばね応力</p>  <p style="text-align: center;">(a) 水平剛性</p>	<p style="text-align: center;">鉛直ばね応力</p>  <p style="text-align: center;">(b) 鉛直剛性</p>
注: 鉛直ばねに引張力が発生した場合には, 水平剛性もゼロとする。	
ギャップ要素の概念図	

表 2-1(3) モデル化, 境界条件及び拘束条件 (3/3)

境界条件, 拘束条件
<p>基礎スラブと地盤の境界</p> <p>○底面地盤ばね</p> <p>水平剛性及び鉛直剛性は以下のとおり設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水平剛性：振動アドミタンス理論による水平ばね <math>K_H</math> を節点支配面積 <math>A_i</math> で離散化。  <math display="block">K_{Hi} = (K_{H\ NS} / A + K_{H\ EW} / A) / 2 \times A_i \quad A: \text{基礎スラブの底面積}</math></li> <li>・ 鉛直剛性：地震時は、転倒モーメントが支配的となるため振動アドミタンス理論による回転ばね <math>K_R</math> を節点支配面積 <math>A_i</math> で離散化。  <math display="block">K_{Vi} = (K_{R\ NS} / I_{NS} + K_{R\ EW} / I_{EW}) / 2 \times A_i</math> <math display="block">I: \text{基礎スラブの断面二次モーメント}</math></li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>基礎スラブ底面全体で離散化</p> <p>底面地盤ばね</p> </div> <p style="background-color: yellow; padding: 2px;">・ 基礎版と側面地盤との間には剥離は考慮せず、側面地盤ばねは線形ばねとして設定する。</p> <p>○側面地盤ばね</p> <p>水平剛性及び鉛直剛性は以下のとおり設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水平剛性：Novak の手法に基づく側面水平地盤ばね定数 <math>{}_sK_s</math> を節点支配長さ <math>L_i</math> で離散化。  <math display="block">{}_s k_{si} = ({}_s K_s / (2 \times L_{NS} + 2 \times L_{EW})) \times L_i</math> <math display="block">L_{NS}: \text{基礎スラブ辺長 (NS 方向)}</math> <math display="block">L_{EW}: \text{基礎スラブ辺長 (EW 方向)}</math></li> <li>・ 鉛直剛性：Novak の手法に基づく側面回転地盤ばね定数 <math>{}_sK_r</math> を節点支配長さ <math>L_i</math> で離散化。  <math display="block">{}_s k_{vi} = ({}_s K_r / I'_{NS} + {}_s K_r / I'_{EW}) / 2 \times L_i</math> <math display="block">I'_{NS(EW)} = L_{EW(NS)} \times L_{NS(EW)}^2 / 2 + L_{NS(EW)}^3 / 6</math></li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>基礎スラブ外周で離散化</p> <p>側面地盤ばね</p> </div>