

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4
提出年月日	2021年10月4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 1-1-2 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。

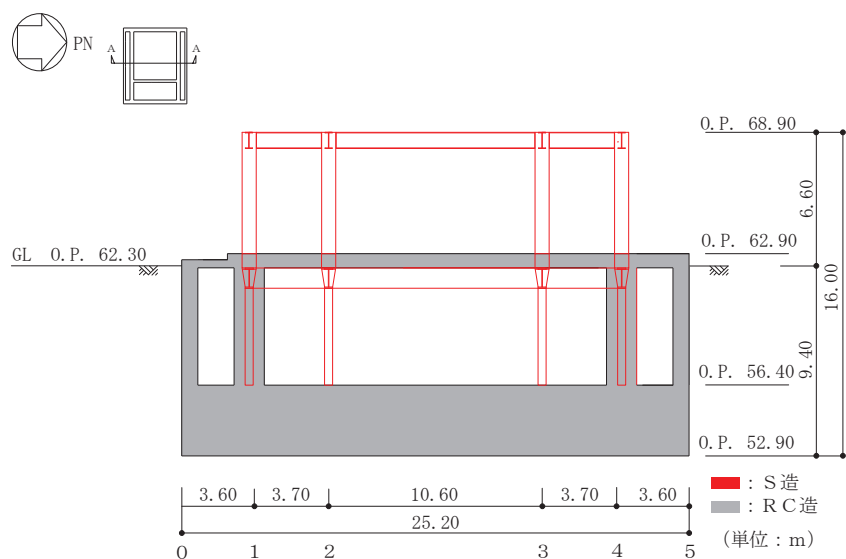
本資料は、鉄骨部分を線形部材としてモデル化することの妥当性について説明するものである。

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。

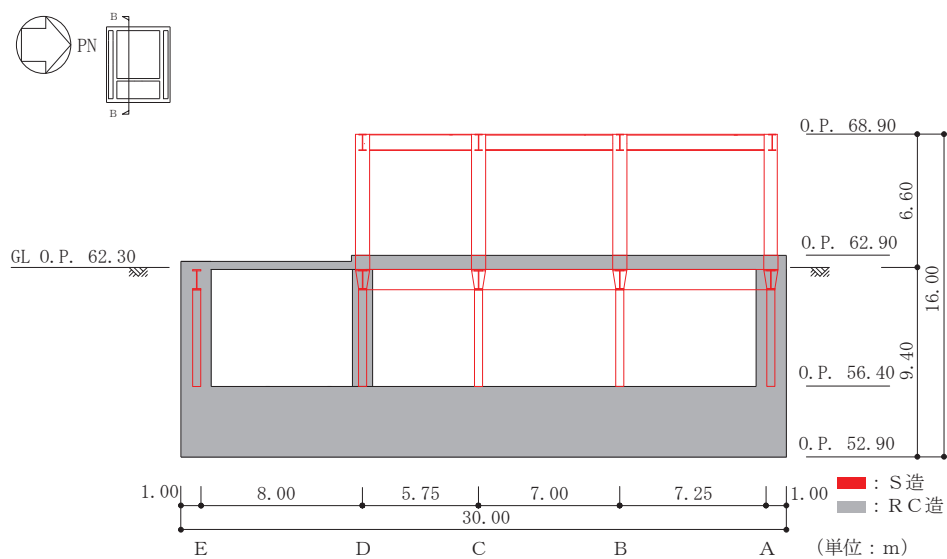
フレーム部の構造を図 2-1 に示す。静的漸増解析においては、地上部分の鉄骨柱及び鉄骨大ばりをモデル化する。境界条件は、評価するフレーム部分の脚部を固定とし、対象とする層に漸増する水平荷重を作用させる。静的漸増解析で得られる荷重(Q)－せん断変形角(γ)関係より、最初にヒンジが発生する位置を鉄骨部分の弾性限界として評価する。

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)

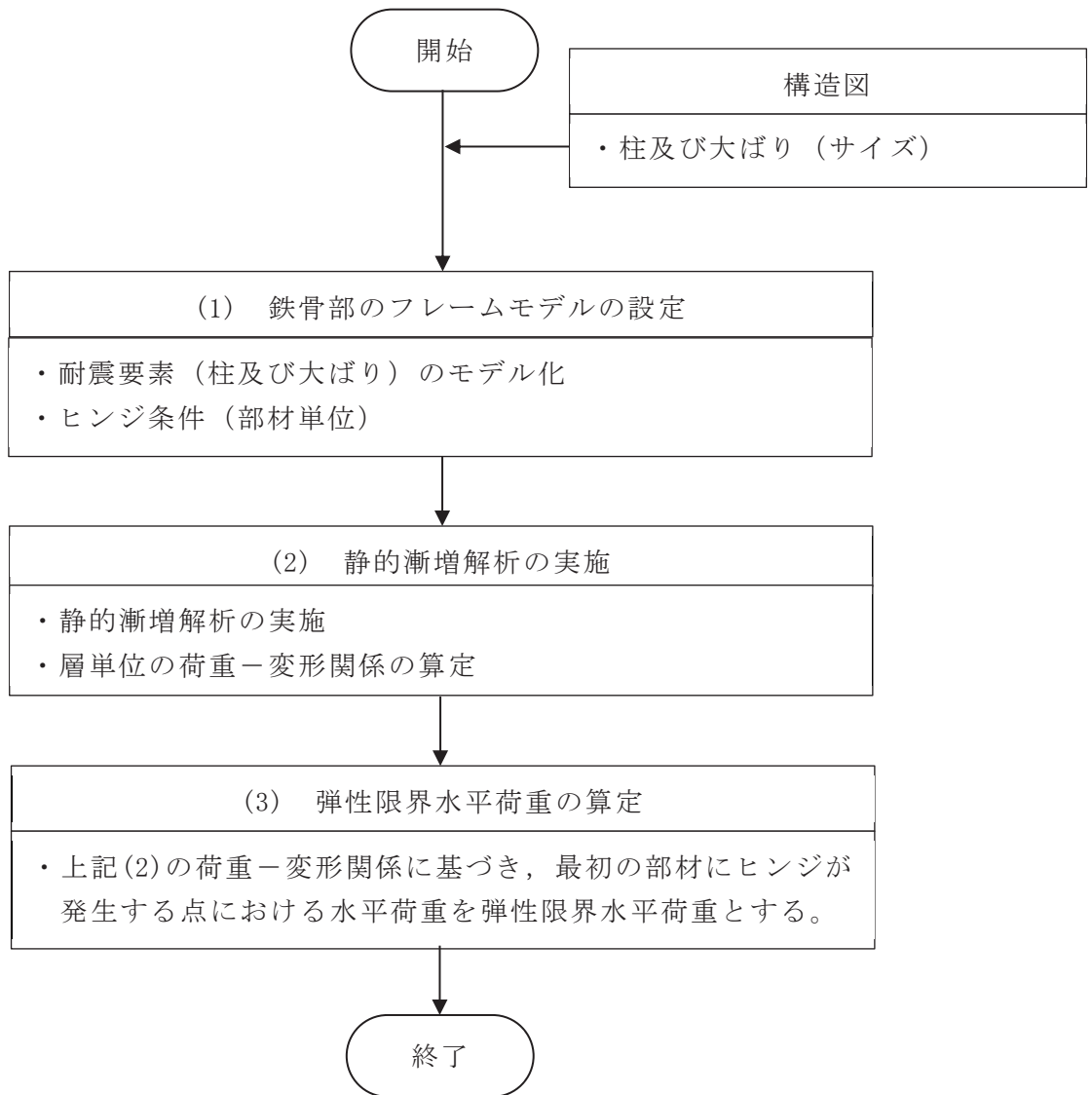


図 2-2 フレーム部の弾性限界となる水平荷重の設定フロー

(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のフレームモデルを作成する。フレーム頂部（O.P. 68.500m）については、各フレームが水平ブレースで結合されているため剛床を仮定する。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。フレーム部の構造詳細を「別紙 1-1-4 緊急用電気品建屋の構造詳細」に示す。

(2) 静的漸増解析の実施

上記のフレームモデルを用い、鉄骨大ばり中心位置（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（ γ ）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。

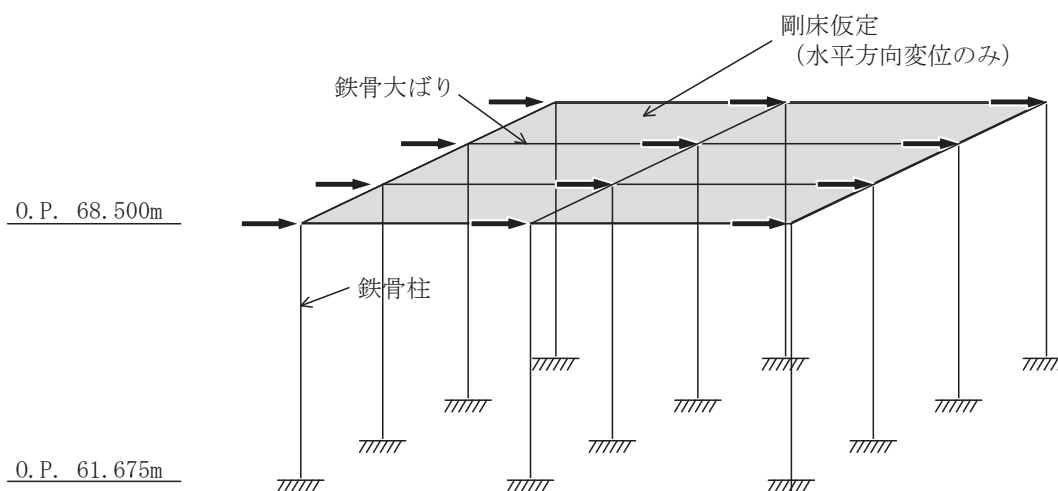


図 2-3 フレームの静的漸増解析の概要

(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。

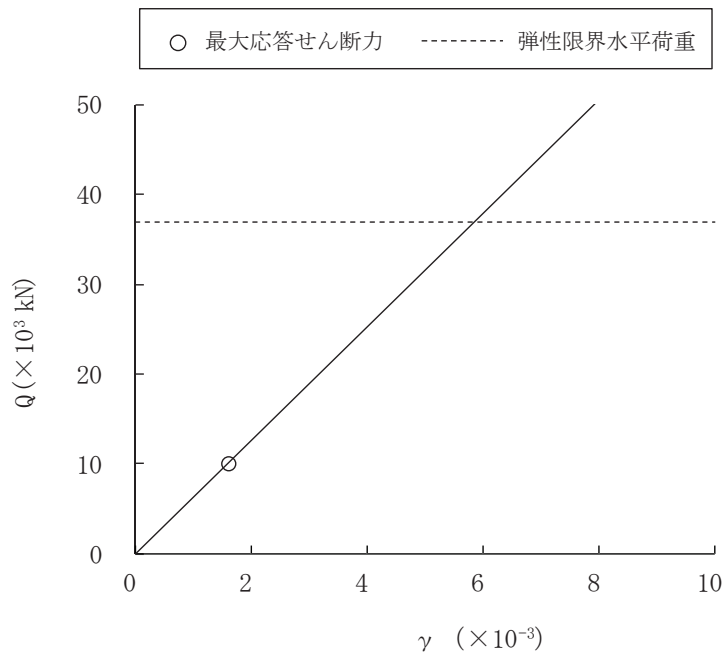
表 3-1 弾性限界水平荷重と S s 地震時の最大応答せん断力との比較

(a) NS 方向

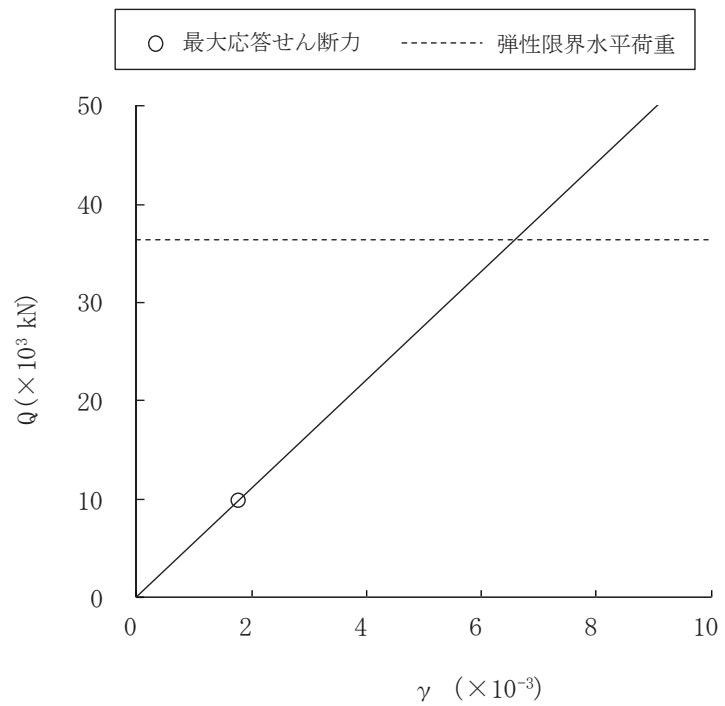
階	O.P. (m)	①弾性限界 水平荷重 $Q_E (\times 10^3 \text{kN})$	②最大応答せん断力 (ケース 5, S s - D 2) $Q (\times 10^3 \text{kN})$	②/①
1F	68.90 ~ 62.90	36.96	10.10	0.28

(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 1-4 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、また、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」に示す通り、基準地震動 S_s に対する応答がスケルトンカーブの第1折れ点に対しても非常に小さい応答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 ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	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 _c = 30 (N/mm ²) 鉄筋：SD390	2.44 × 10 ⁴	1.02 × 10 ⁴	3
建屋部 (1F)	鉄骨：BCP325, SN400B, SN490B	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	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

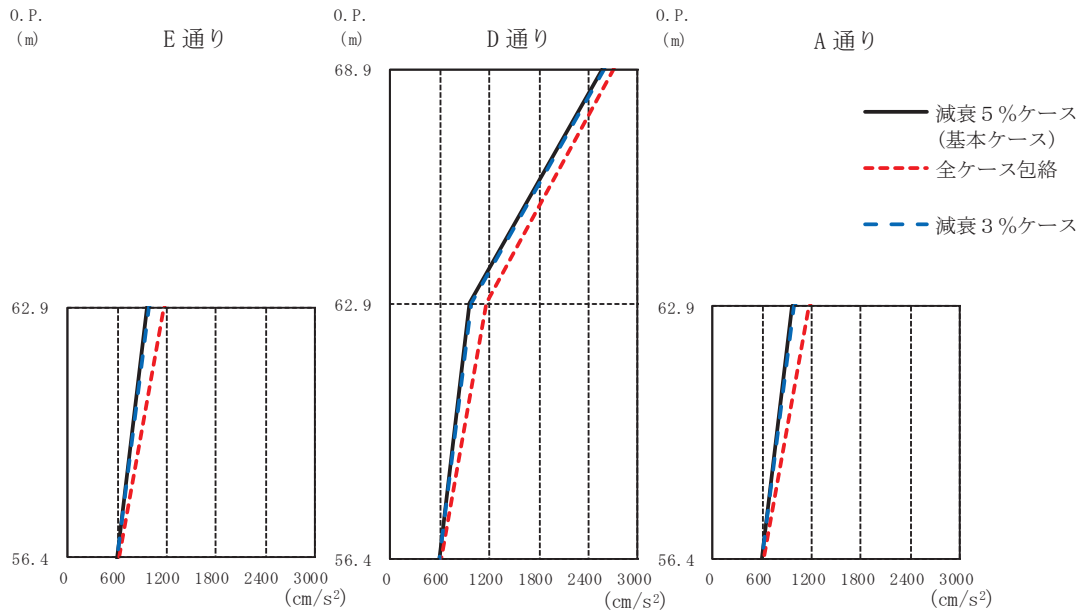
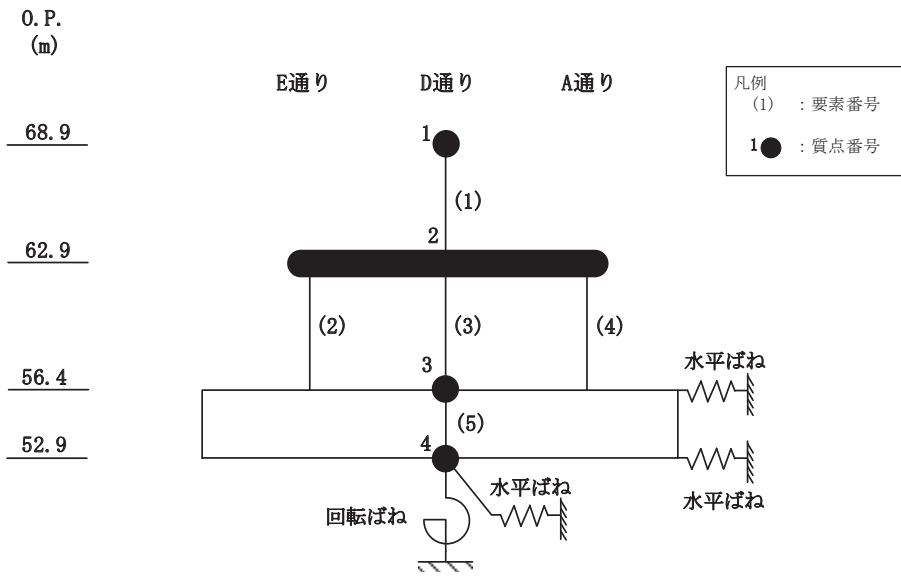
緊急用電気品建屋の復元力特性は、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」と同一とする。また、解析結果の比較にあたっては、基本ケース（減衰定数5%）との比較と合わせて、材料物性の不確かさを考慮したケースとの比較も行う。

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。

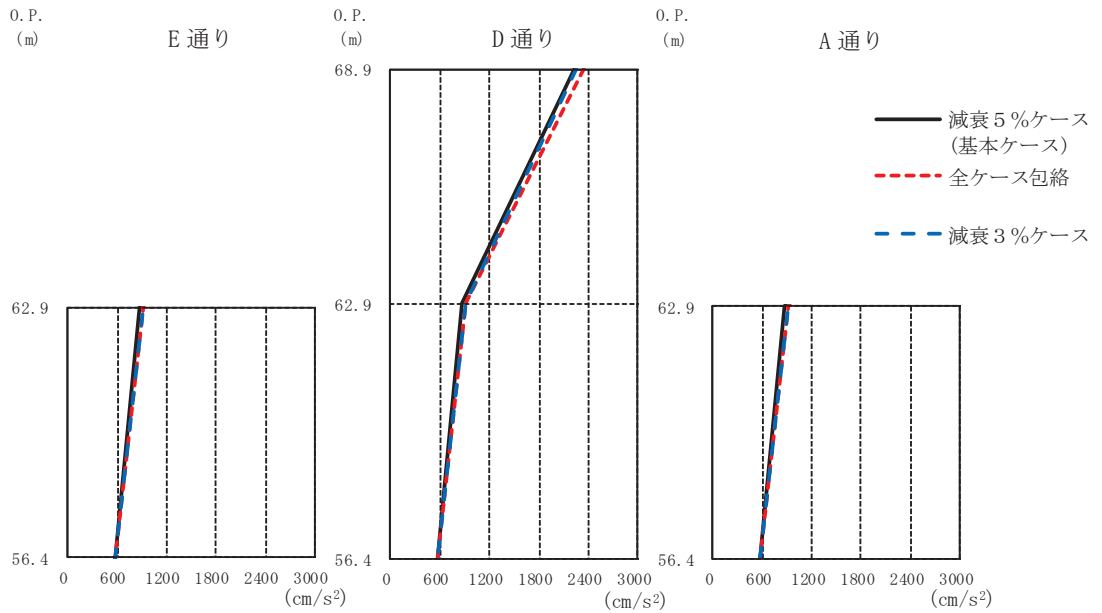
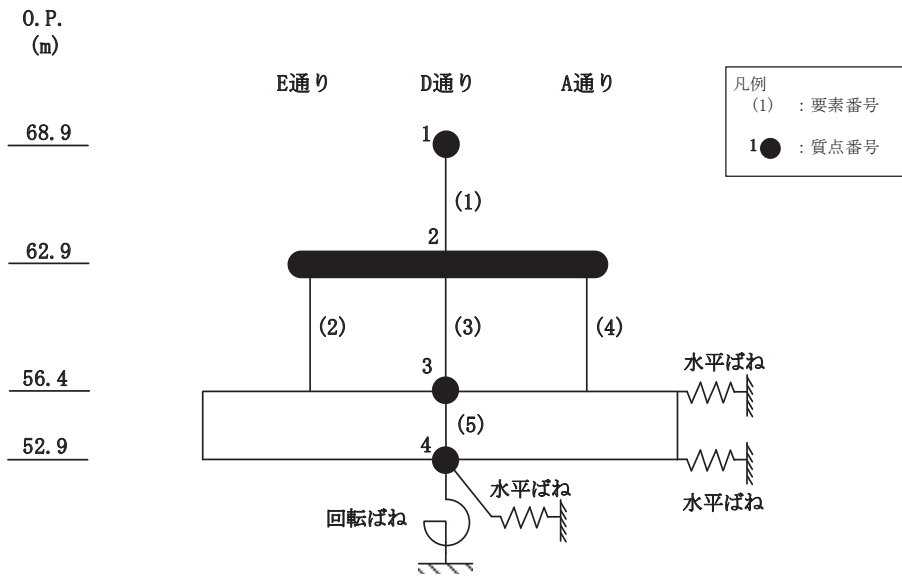
鉛直方向においても、減衰定数3%の応答値は、減衰定数5%の場合と比較してわずかに大きくなる傾向があることを確認した。また、全ケースの包絡値との比較では、応答加速度や応答軸力で一部上回る箇所があるものの、差異は極めて小さく、値はおおむね同等であることを確認した。



E 通り			D 通り			A 通り			
			(cm/s ²)						
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			2580	2710	2586	68.9			
62.9	957	1162	957	1162	986	62.9	957	1162	986
56.4	594	614	594	614	595	56.4	594	614	595

(a) S_s-D2

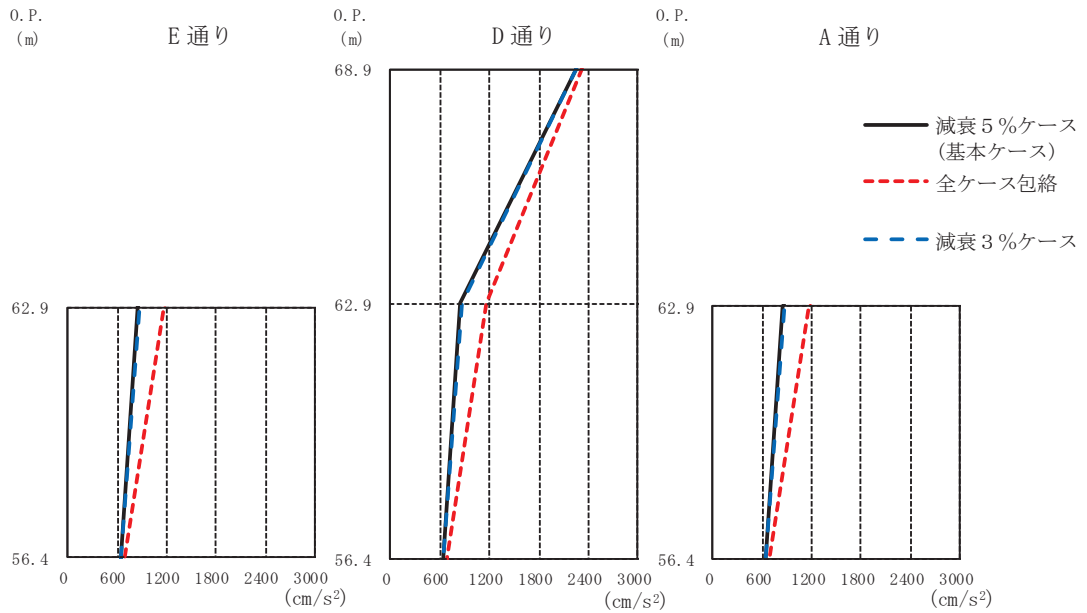
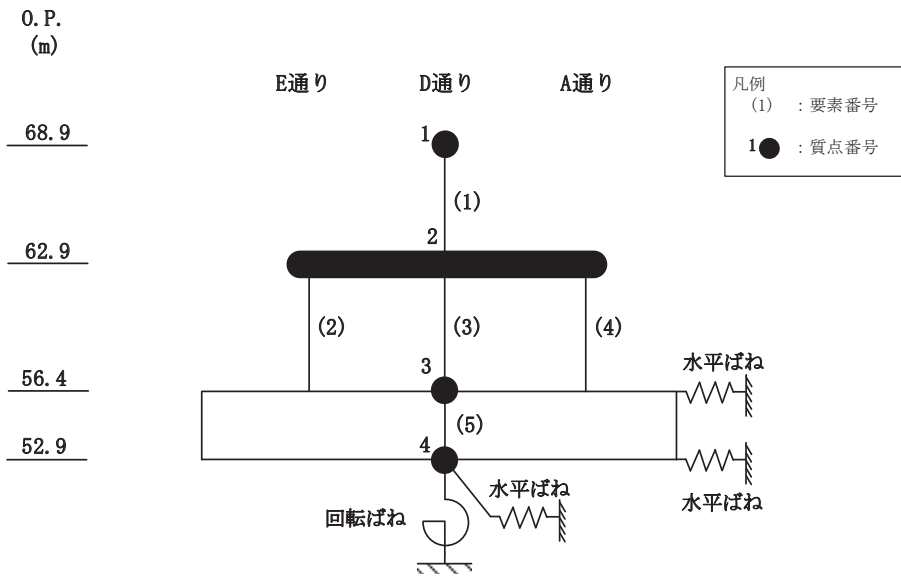
図3-1(1) 最大応答加速度 (基準地震動S_s, NS方向) (1/3)



E 通り			D 通り			A 通り			
			(cm/s ²)						
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_s-D3

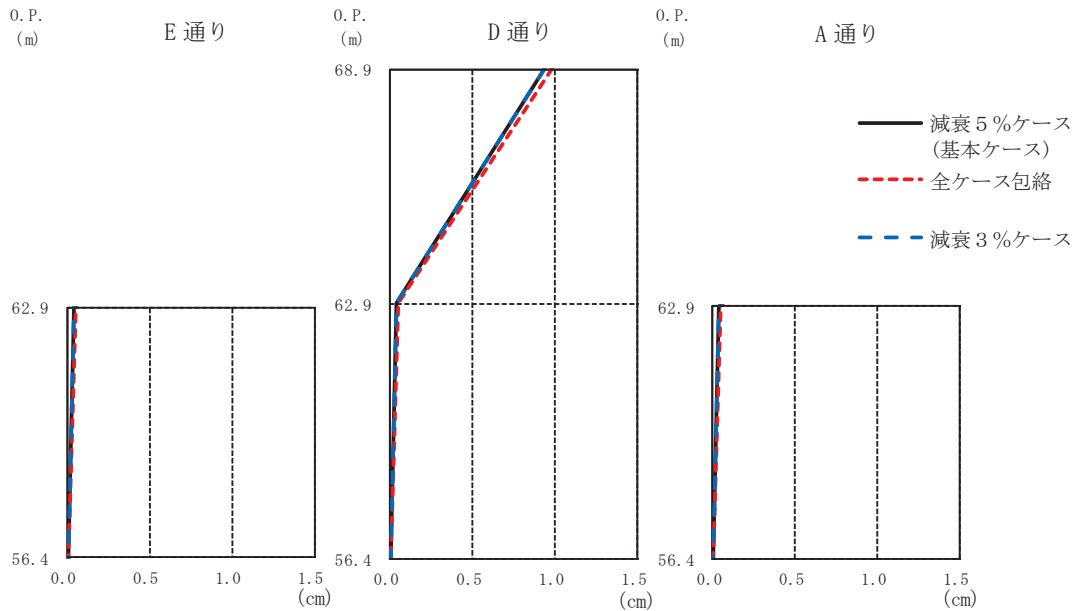
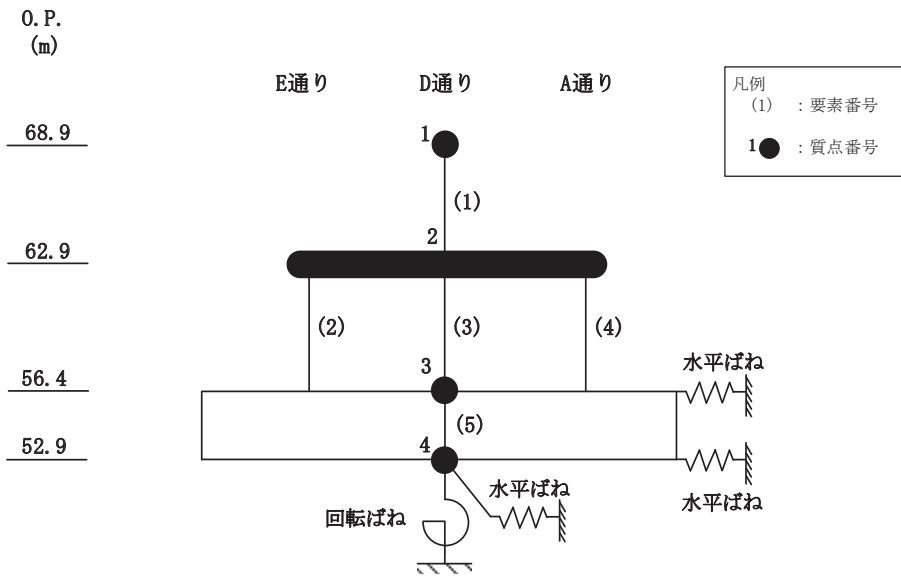
図3-1(2) 最大応答加速度 (基準地震動S_s, NS方向) (2/3)



E 通り			D 通り			A 通り			
			(cm/s ²)						
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_s - F 3

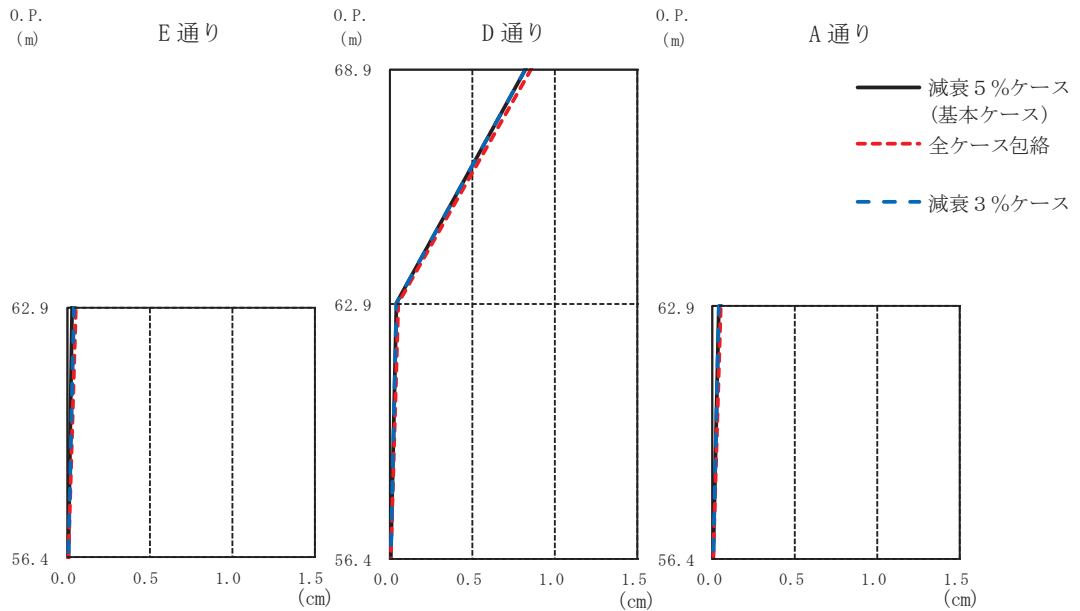
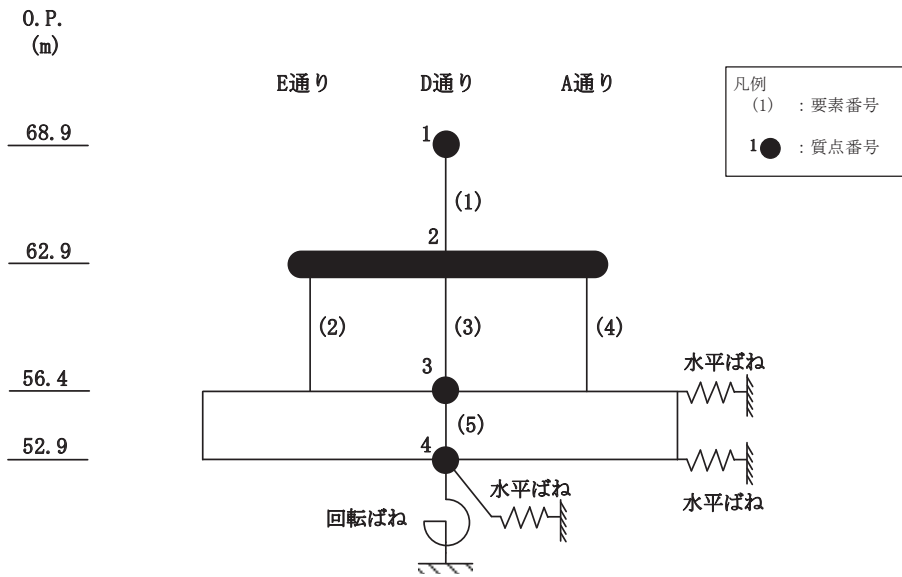
図 3-1(3) 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, NS 方向) (3/3)



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	0.93	0.98	0.93	68.9			
62.9	0.03	0.05	0.04	62.9	0.03	0.05	0.04	62.9	0.03	0.05	0.04
56.4	0.00	0.01	0.00	56.4	0.00	0.01	0.00	56.4	0.00	0.01	0.00

(a) $S_s - D2$

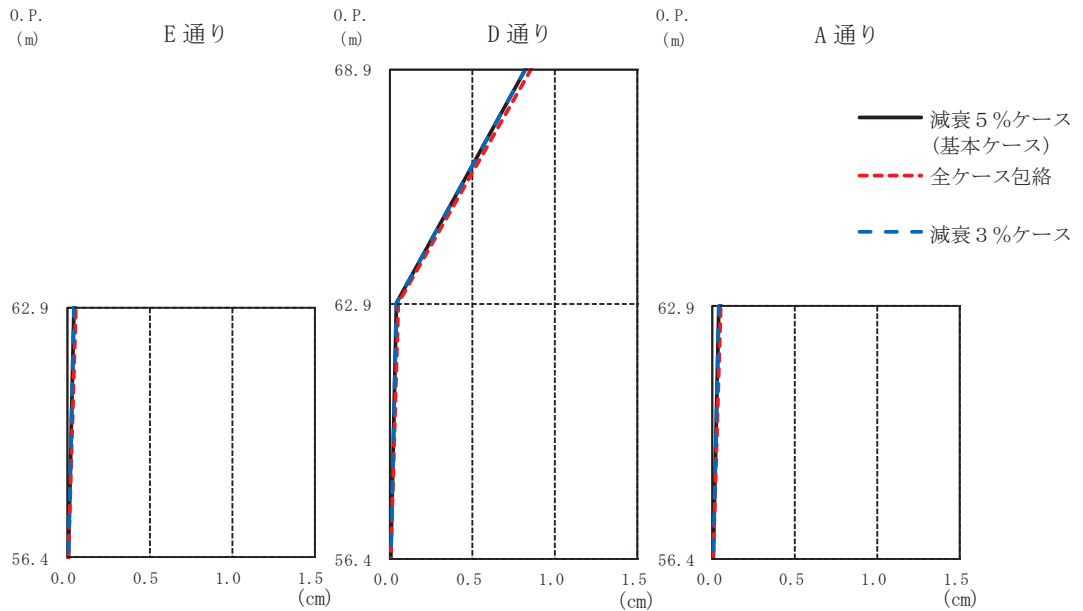
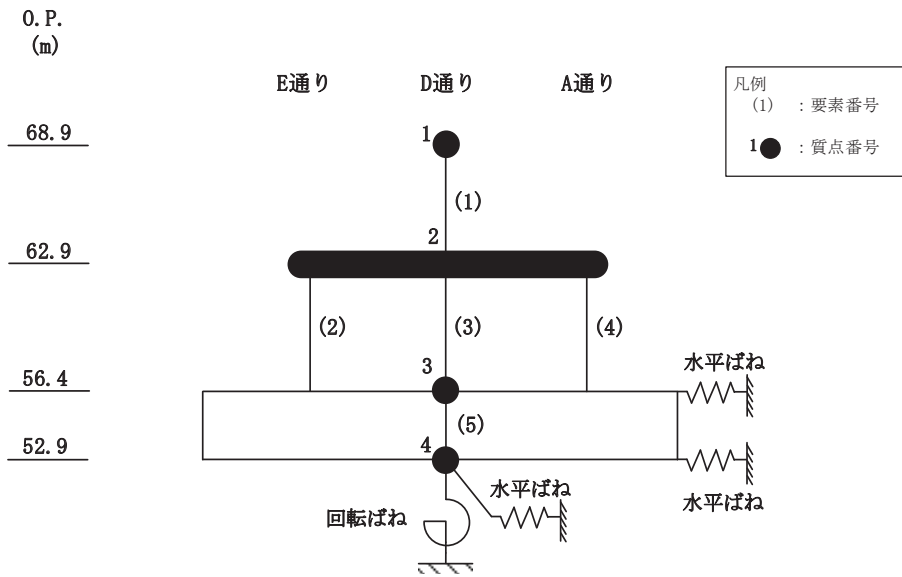
図 3-2(1) 最大応答変位 (基準地震動 S_s , NS 方向) (1/3)



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) $S_s - D3$

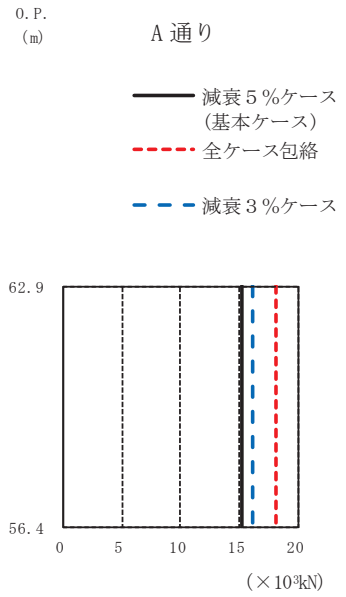
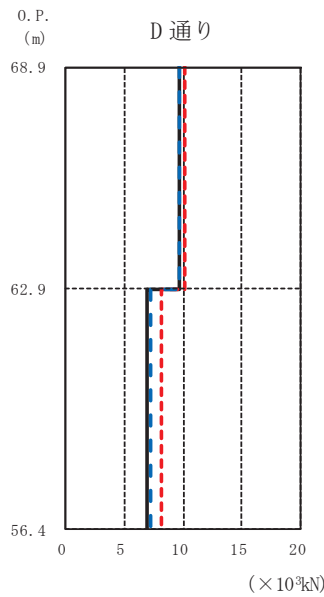
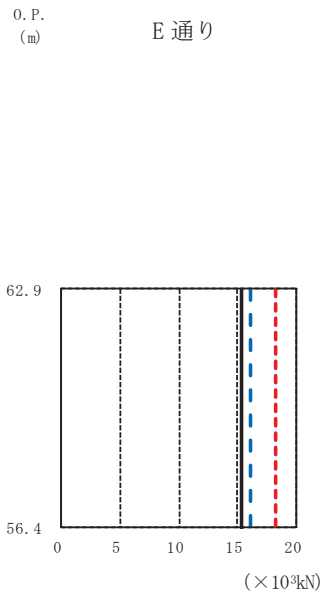
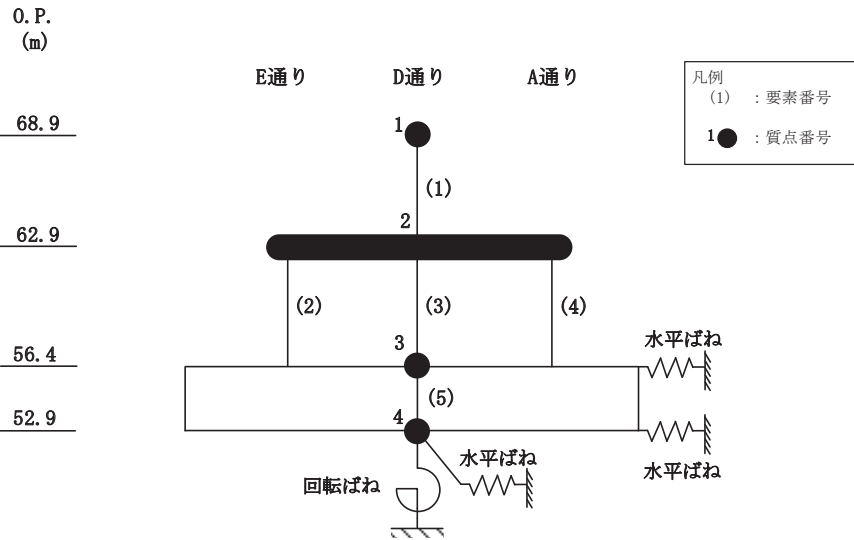
図 3-2(2) 最大応答変位 (基準地震動 S_s , NS 方向) (2/3)



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) $S_s - F3$

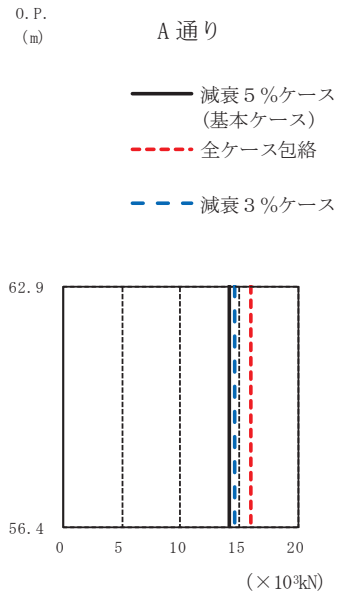
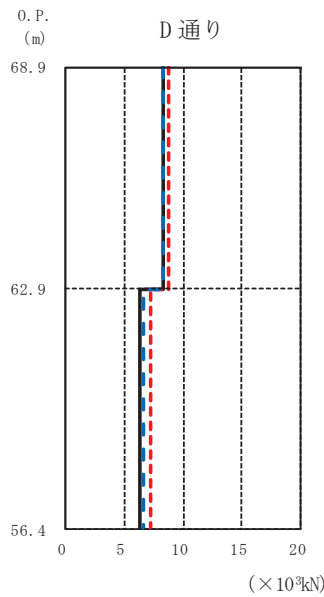
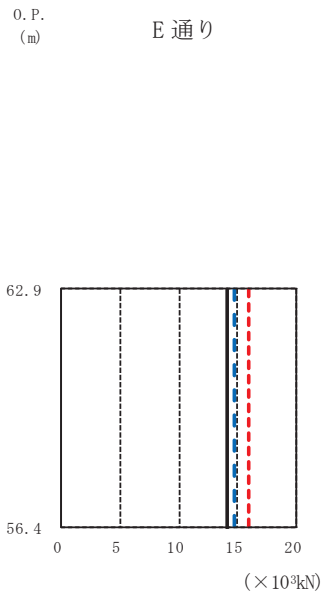
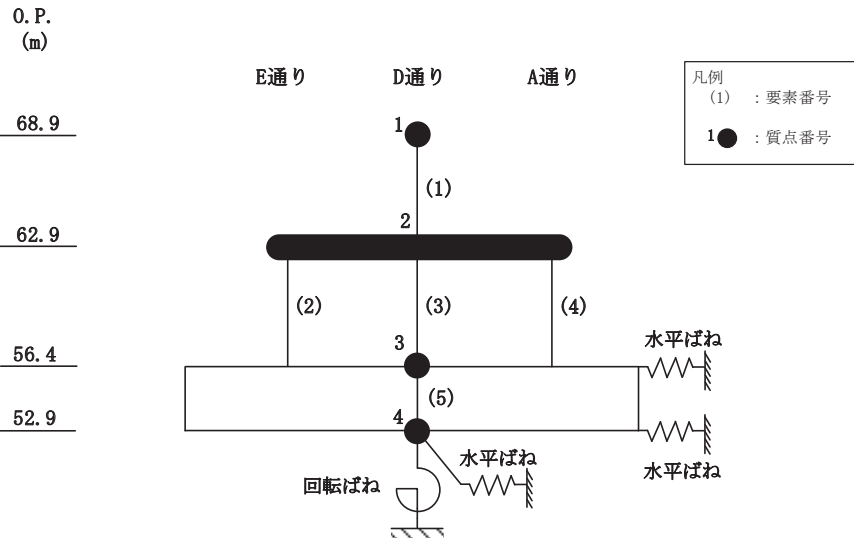
図3-2(3) 最大応答変位 (基準地震動 S_s , NS方向) (3/3)



O.P. (m)	E 通り			D 通り			A 通り		
	($\times 10^3$ kN)			($\times 10^3$ kN)			($\times 10^3$ 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

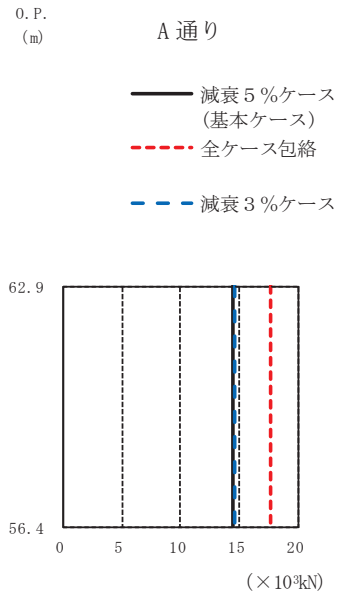
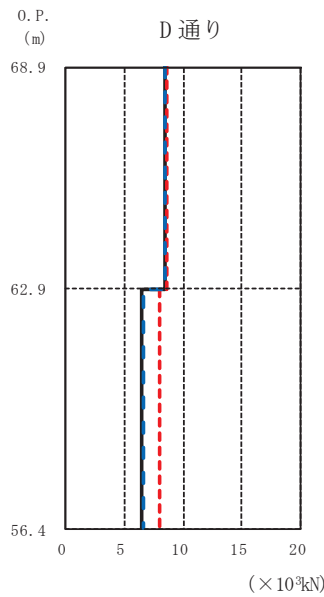
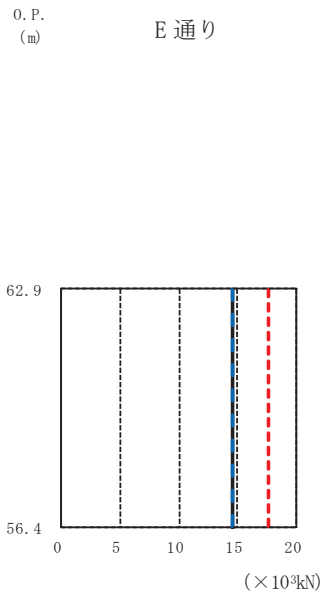
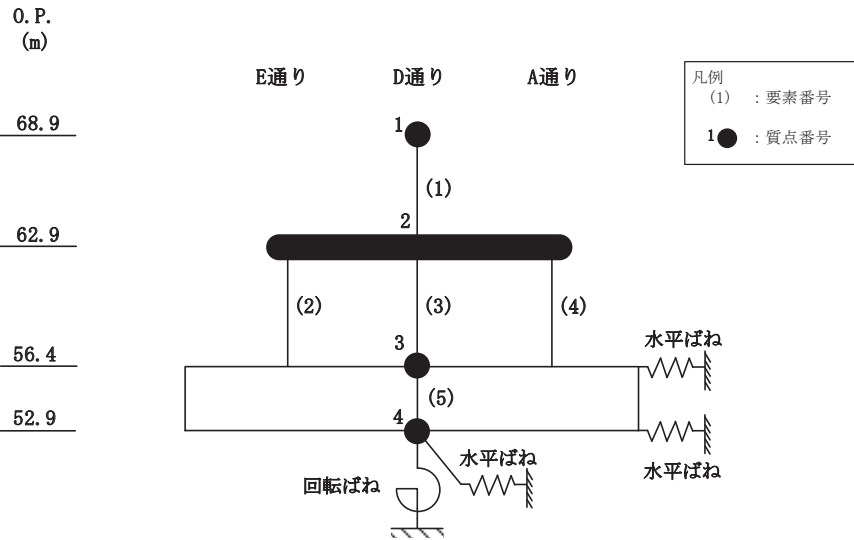
図 3-3(1) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s, NS 方向) (1/3)



O.P. (m)	E 通り			D 通り			A 通り		
	($\times 10^3$ kN)			($\times 10^3$ kN)			($\times 10^3$ 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				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

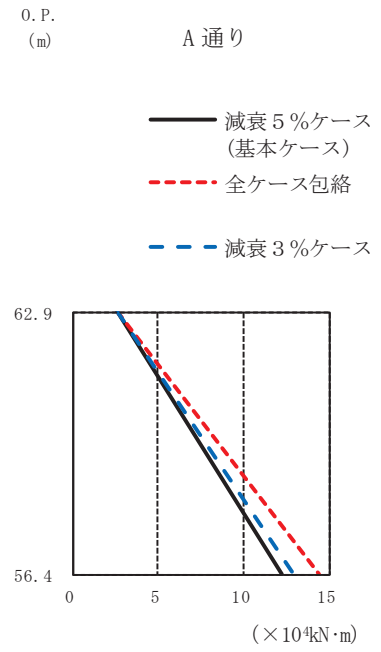
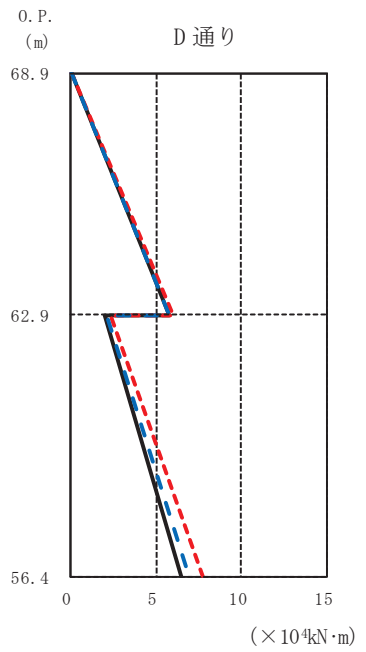
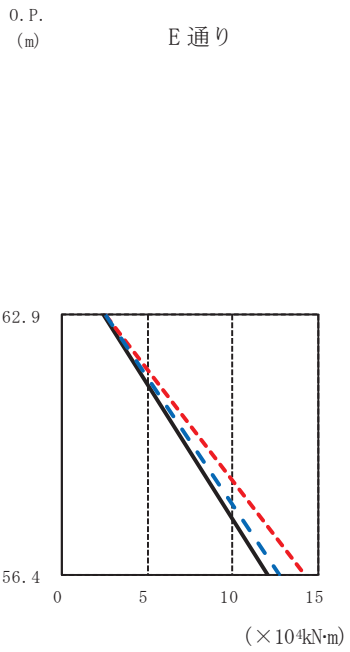
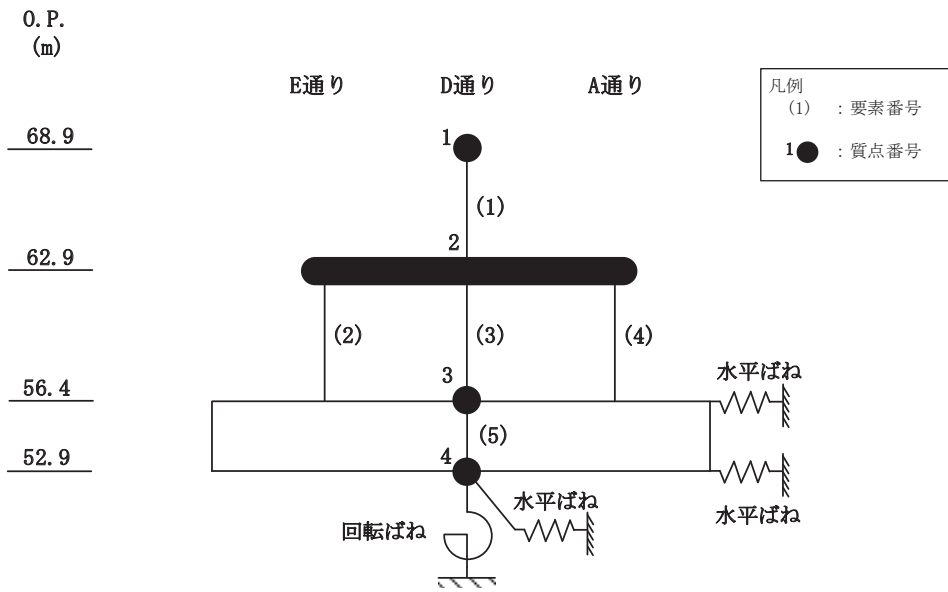
図 3-3(2) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s, NS 方向) (2/3)



O.P. (m)	E 通り			D 通り			A 通り		
	(×10 ³ kN)			(×10 ³ kN)			(×10 ³ 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 ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

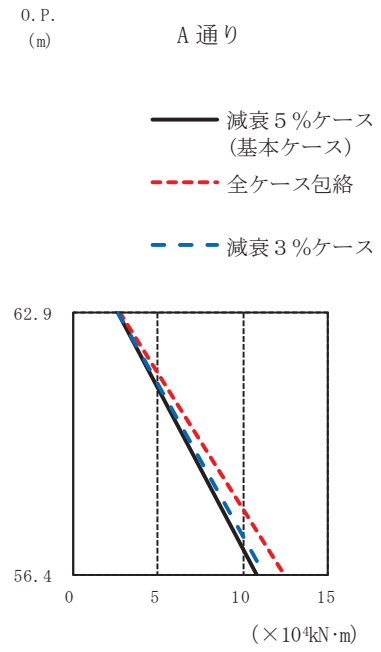
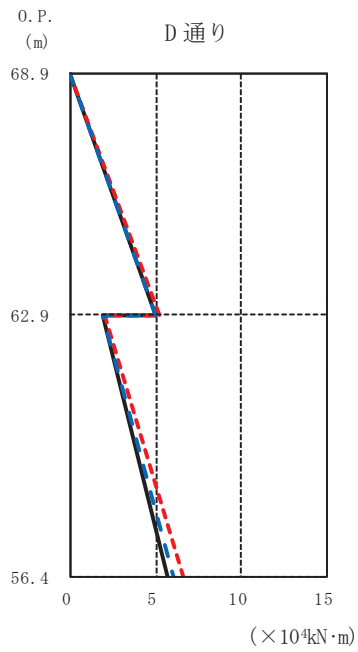
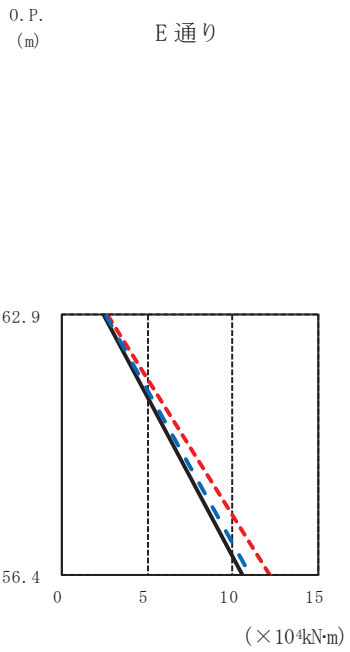
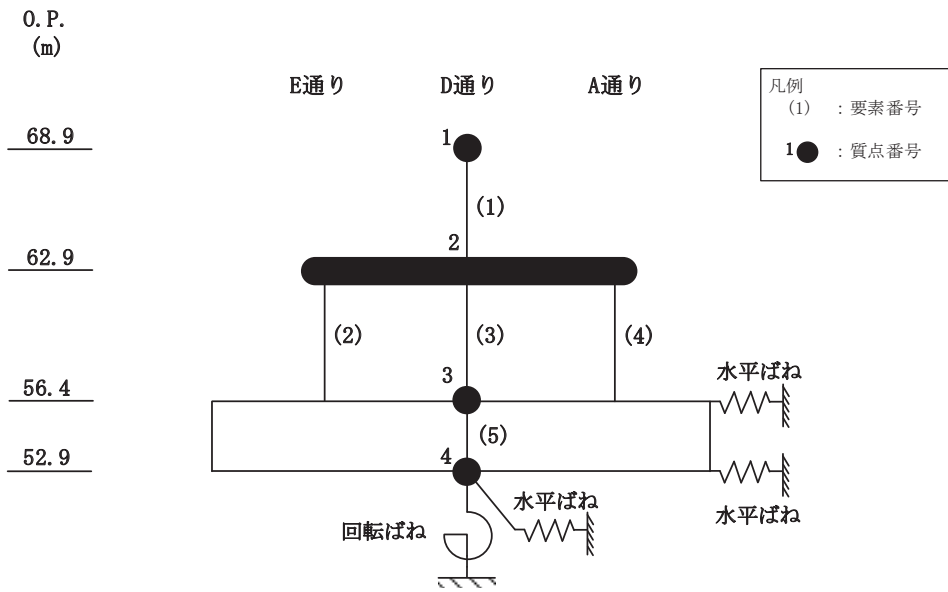
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	0.00	0.00	0.00
62.9	5.77	6.06	5.79
56.4	2.03	2.36	2.14
56.4	6.52	7.70	6.87

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 ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

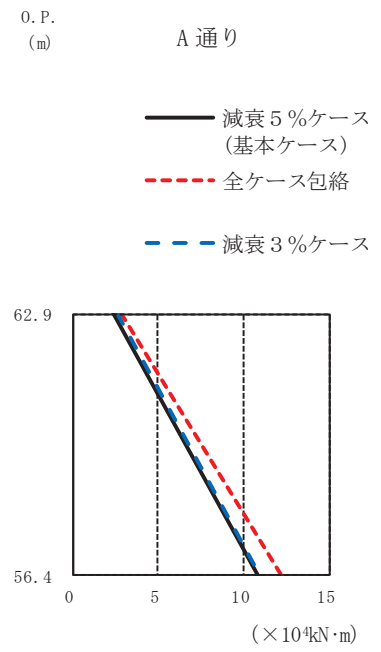
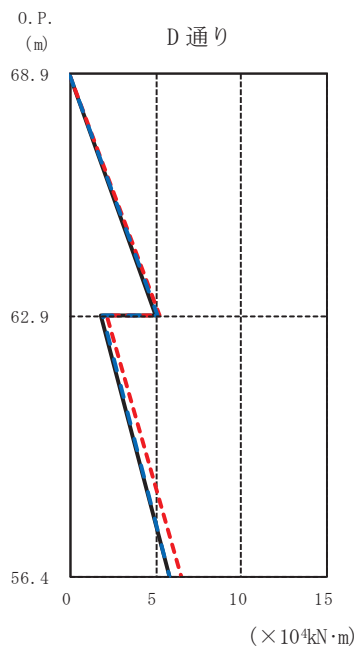
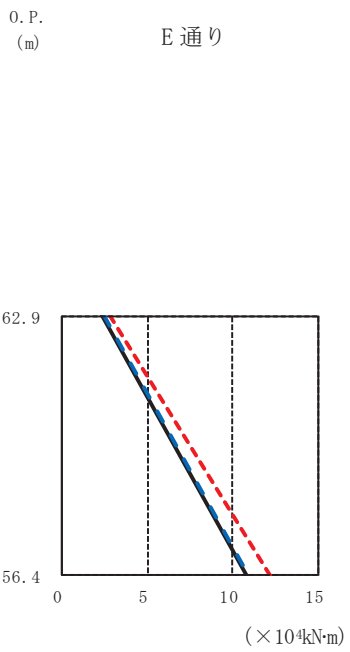
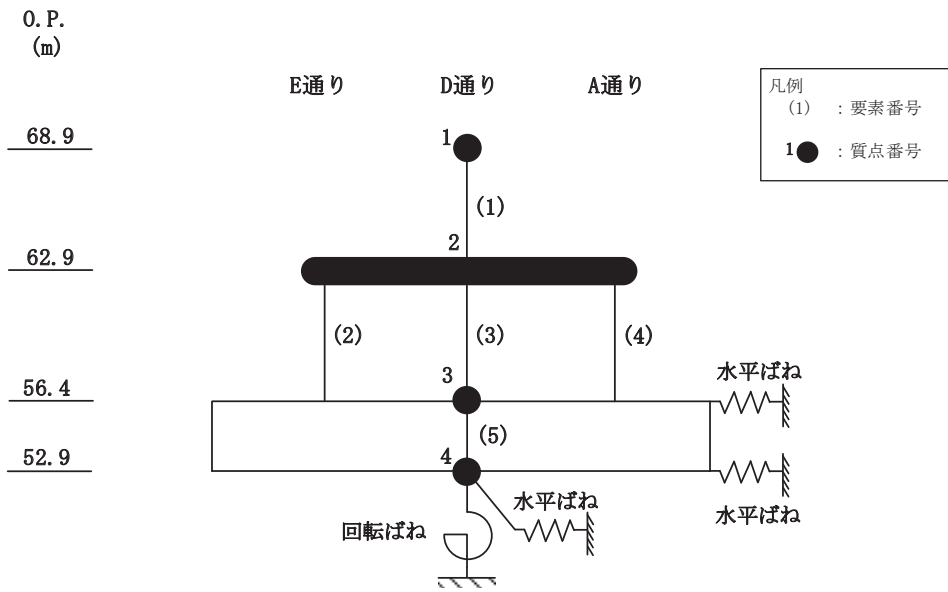
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	0.00	0.00	0.00
62.9	5.00	5.22	5.01
56.4	1.90	2.06	1.95
52.9	5.71	6.57	5.97

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_s-D3

図3-4(2) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s, 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 ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)

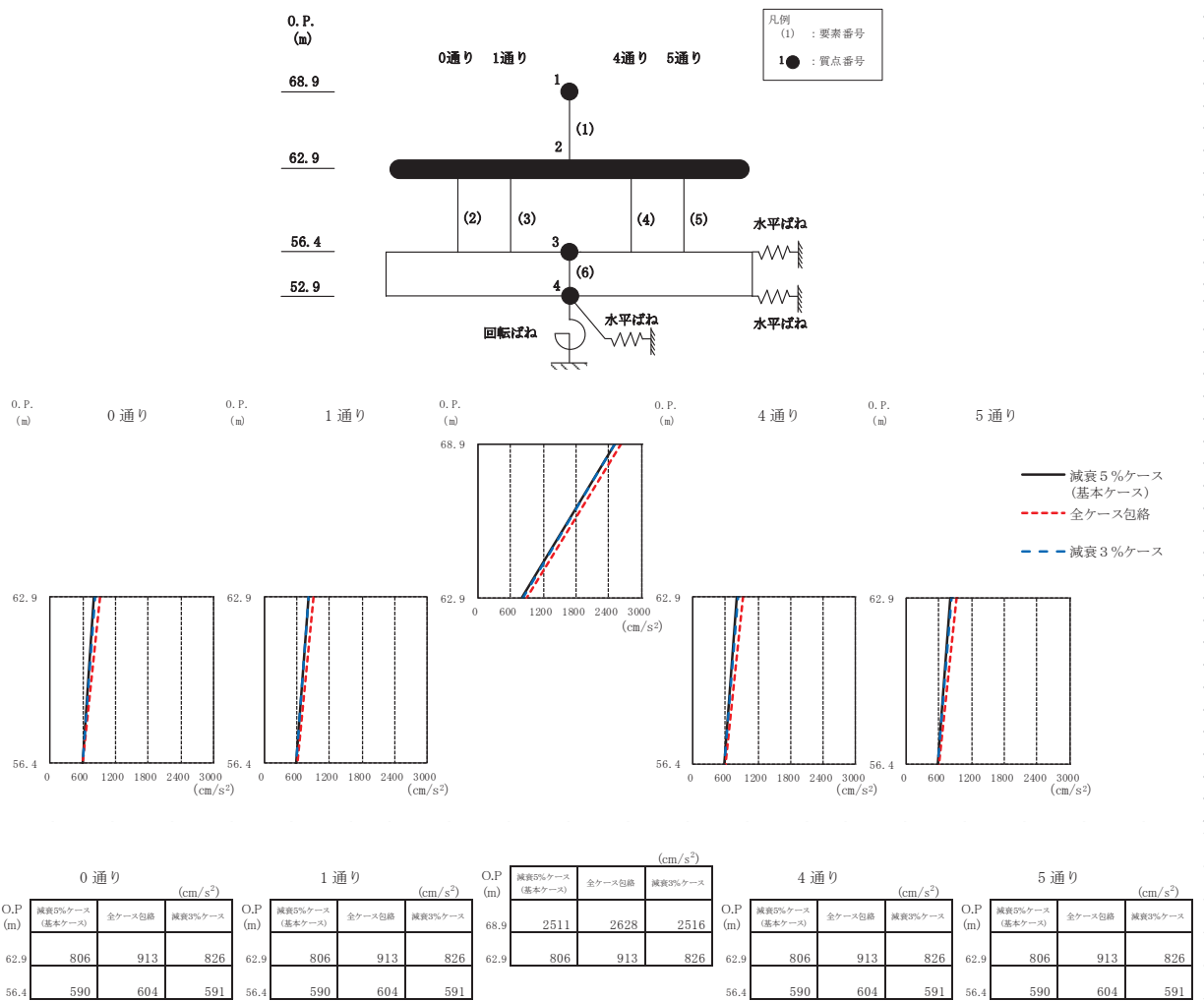
O.P. (m)	減衰5%ケース (基本ケース)	全ケース包絡	減衰3%ケース
68.9	0.00	0.00	0.00
62.9	5.04	5.21	5.07
56.4	1.78	2.15	1.89
56.4	5.79	6.52	5.83

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

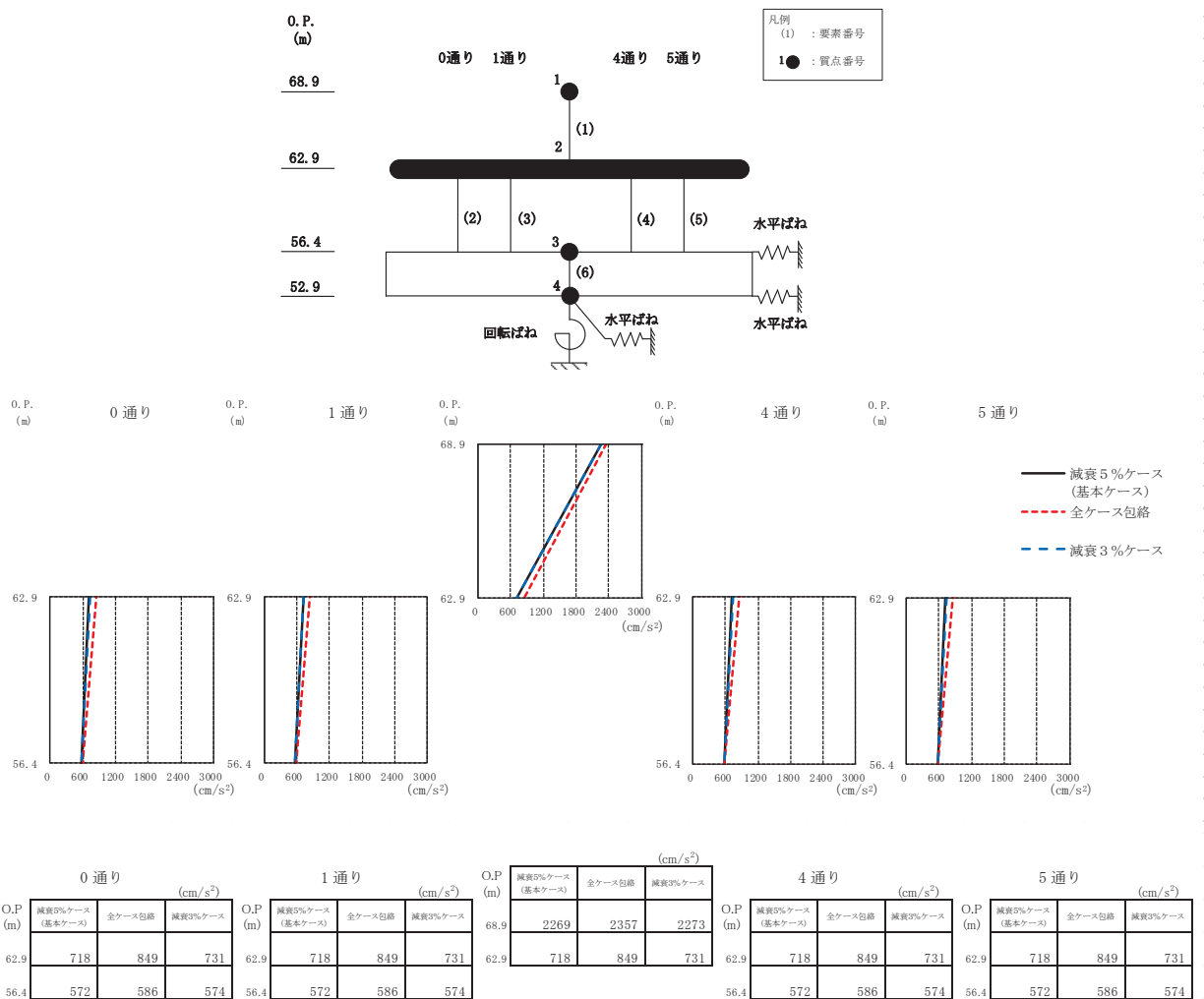
(c) S s - F 3

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



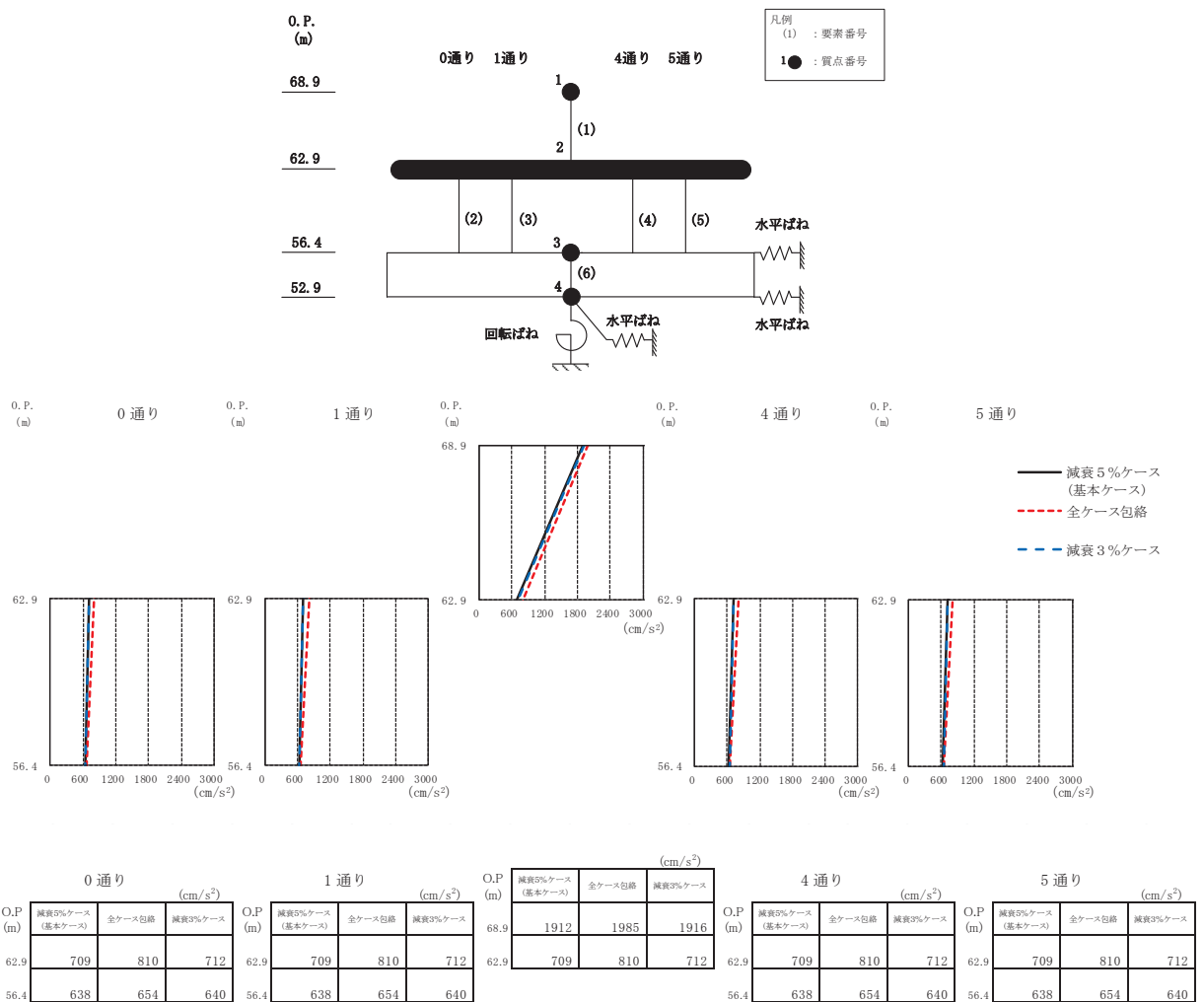
(a) S s - D 2

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



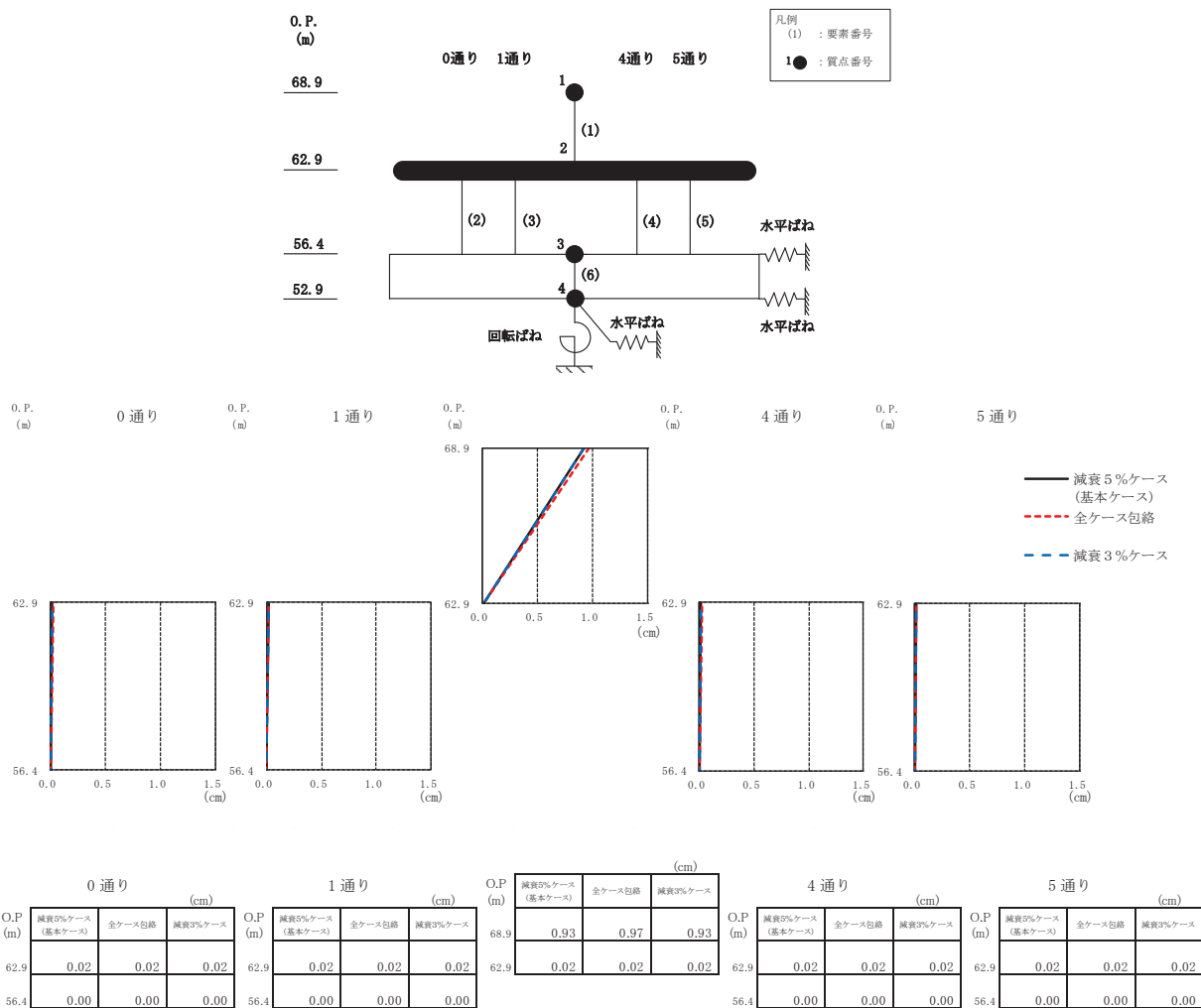
(b) S s - D 3

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



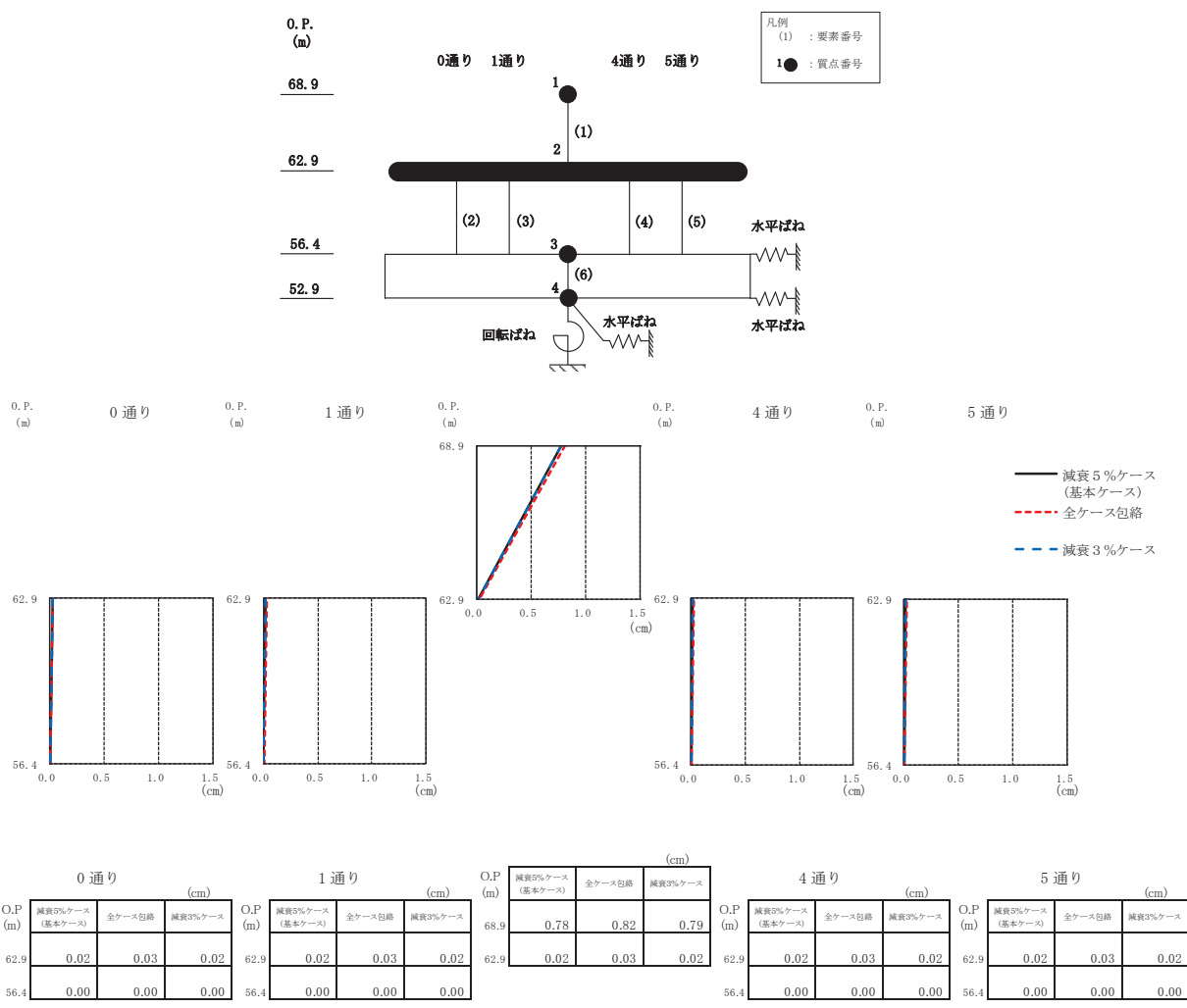
(c) S_s - F3

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



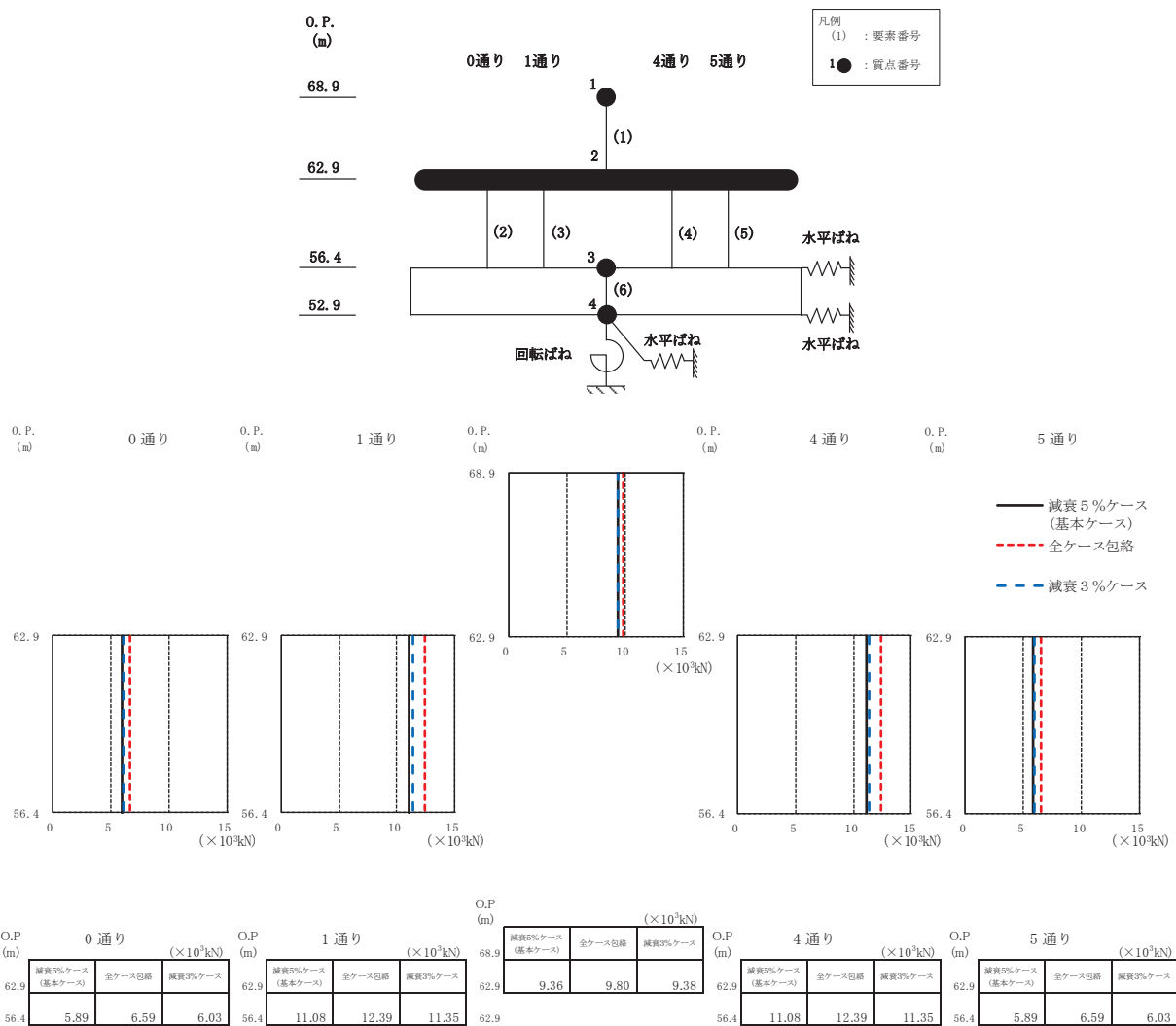
(b) $S_s - D3$

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



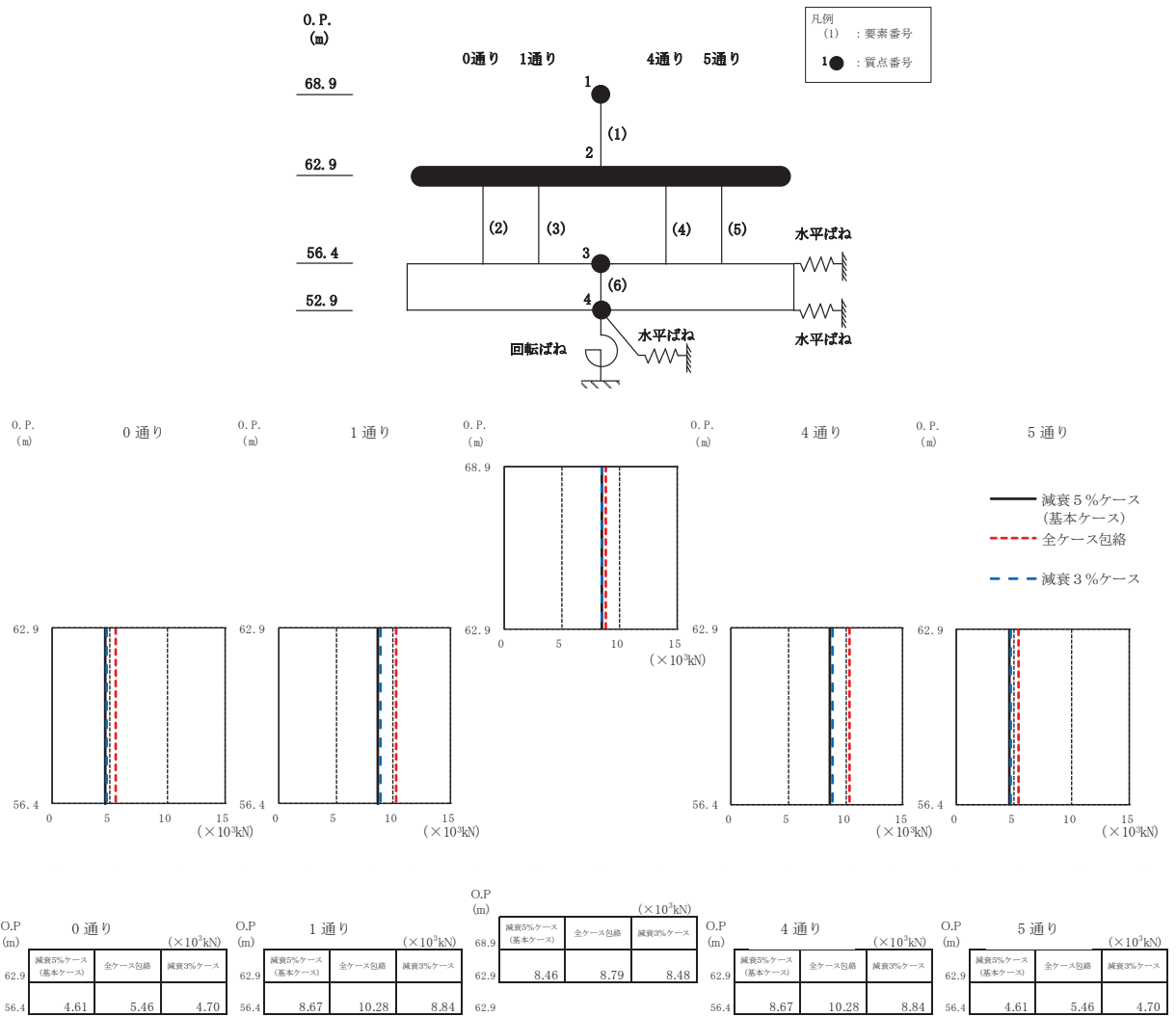
(c) S s - F 3

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



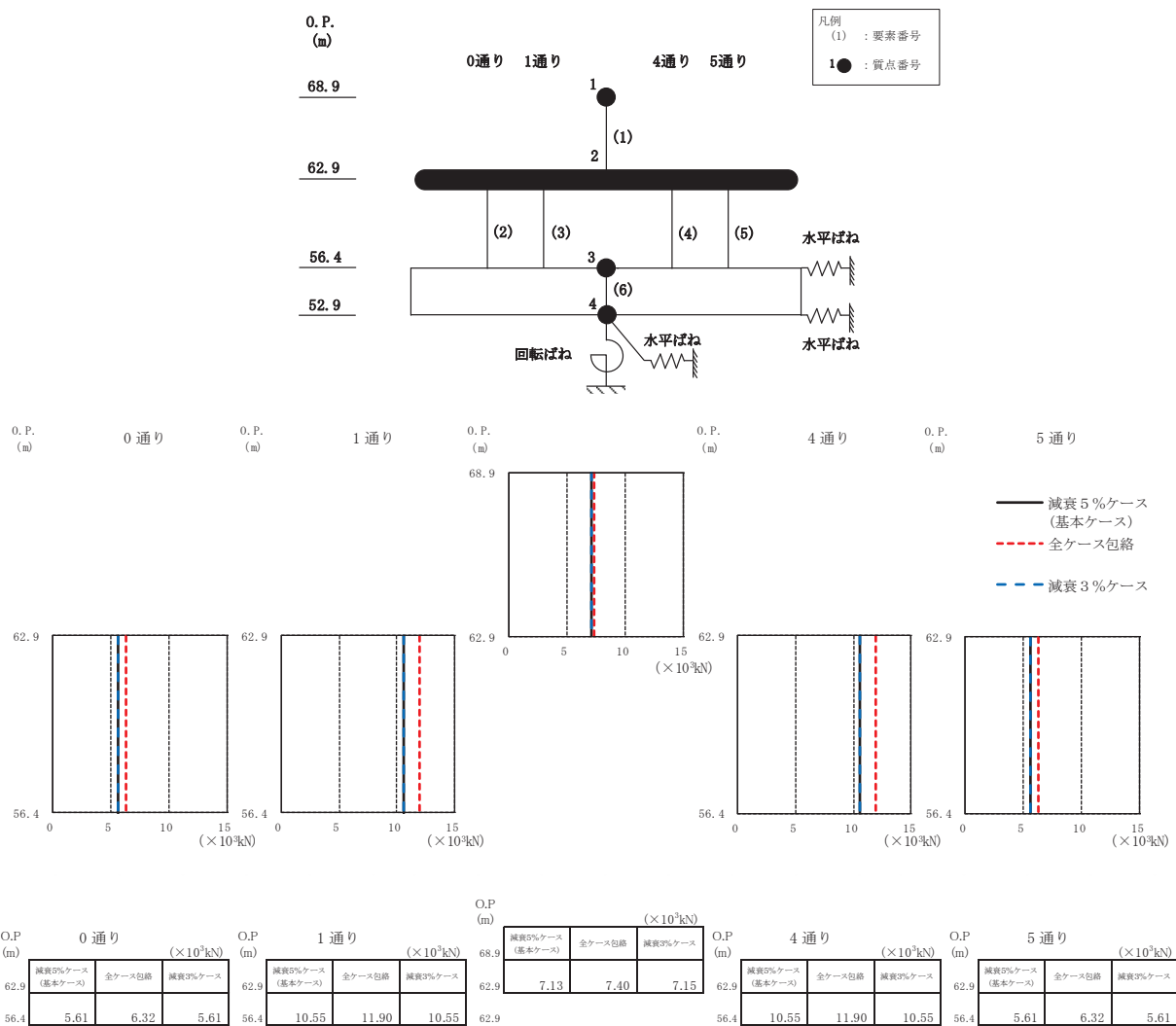
(a) S_s-D2

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



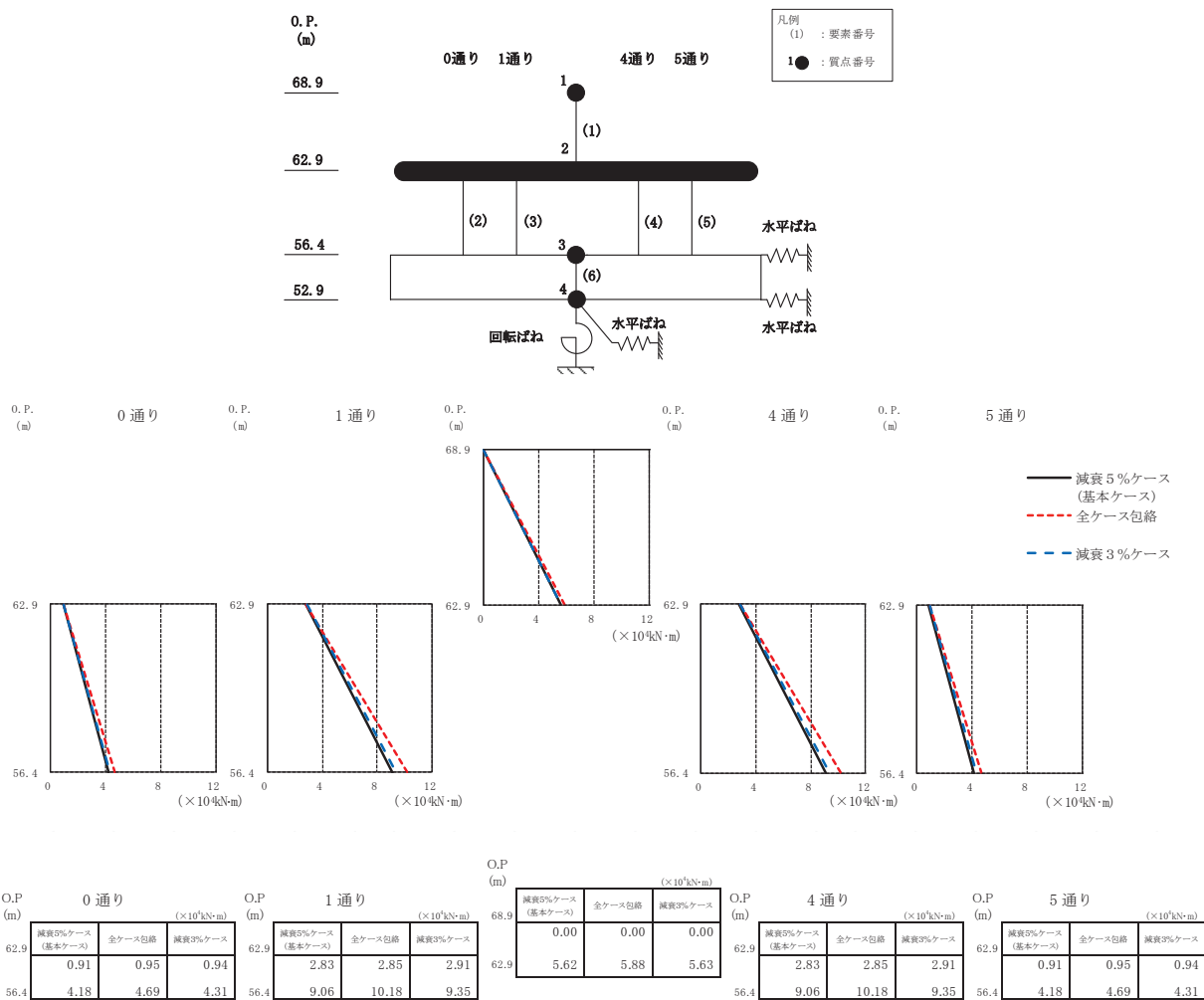
(b) S_s-D3

図3-7(2) 最大応答せん断力 (基準地震動S_s, EW方向) (2/3)



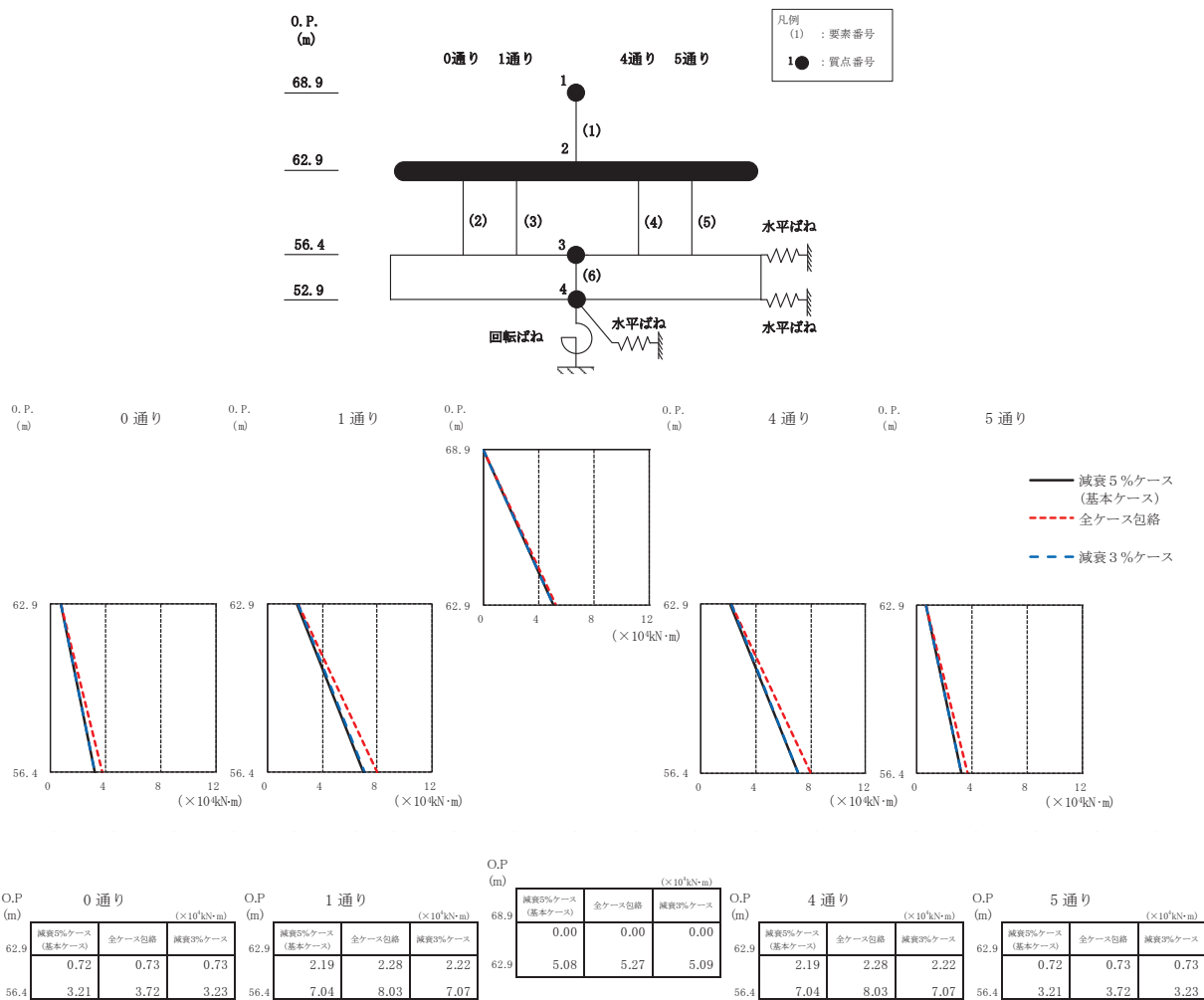
(c) S_s - F 3

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



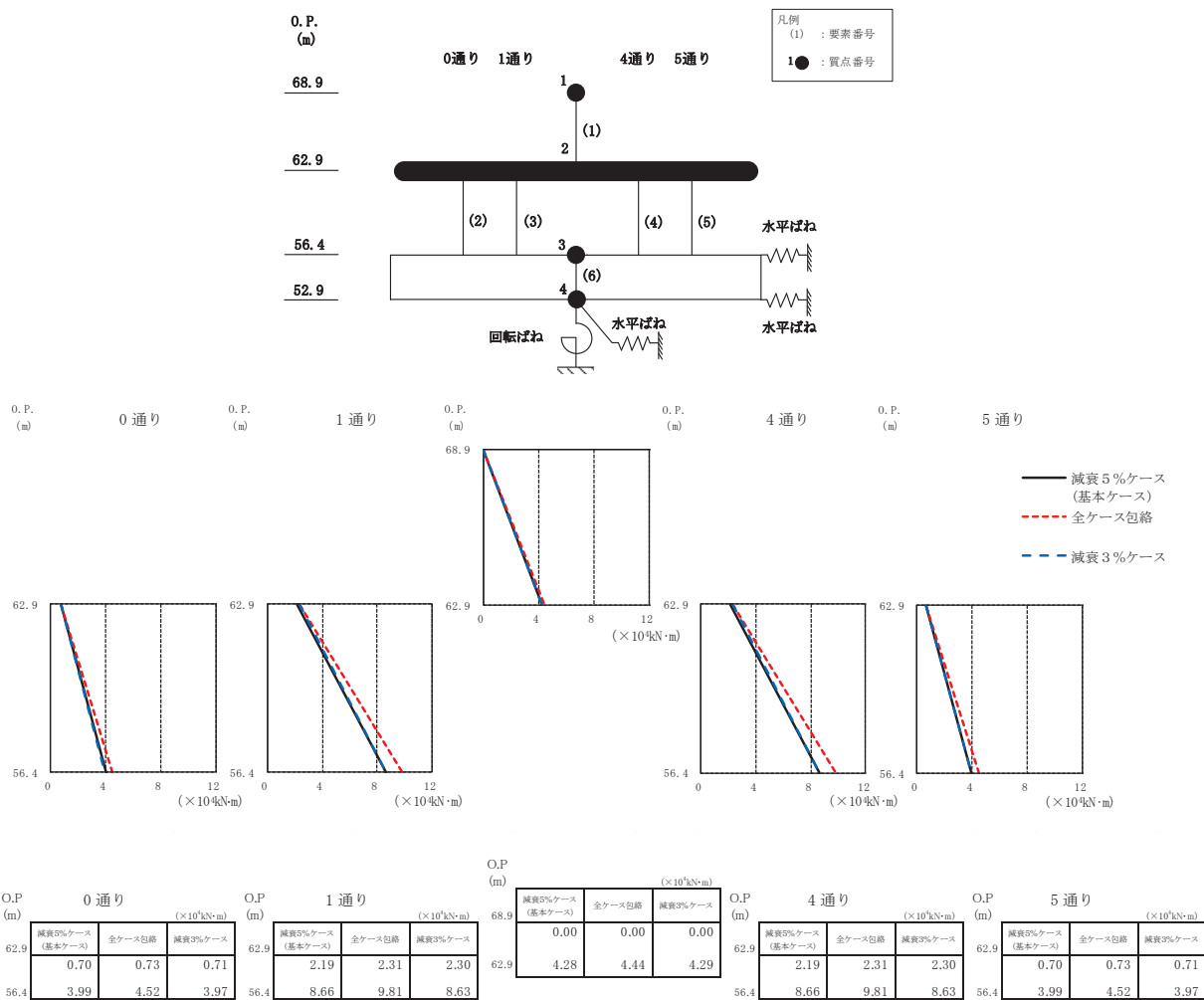
(a) S s - D 2

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)



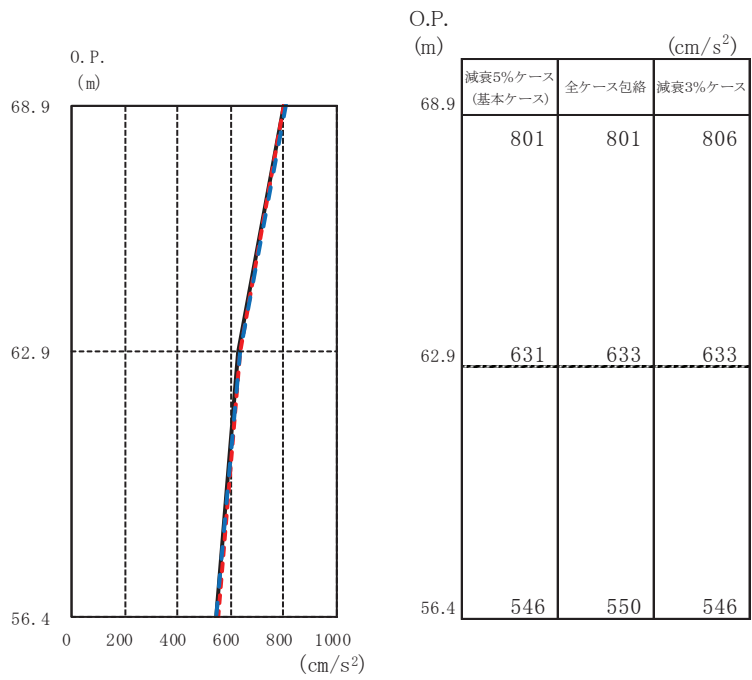
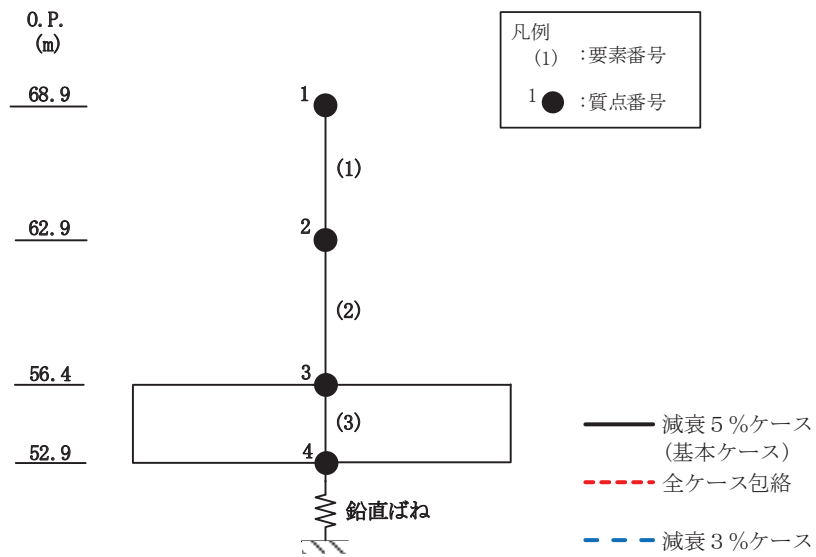
(b) S s - D 3

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)



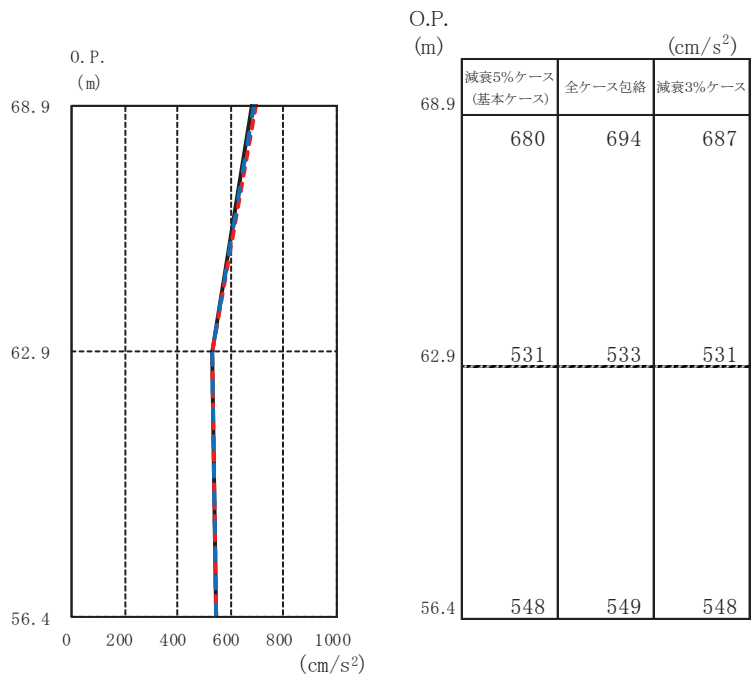
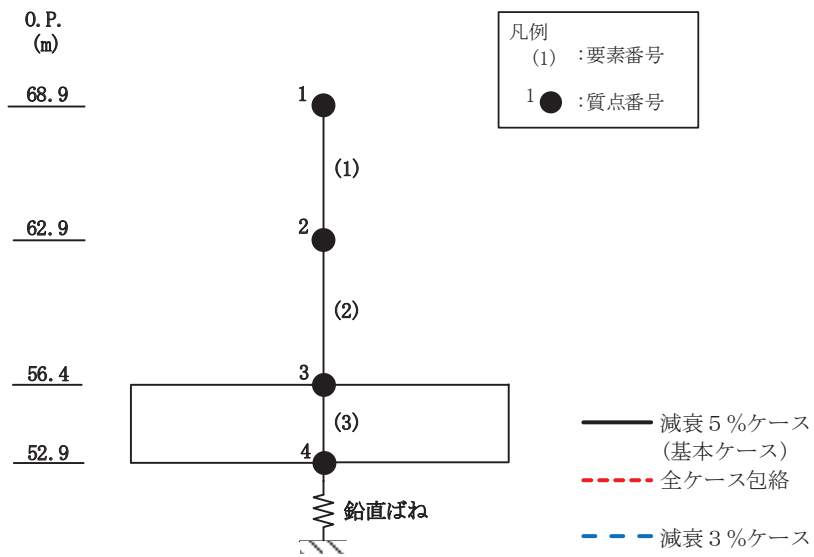
(c) S s - F 3

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)



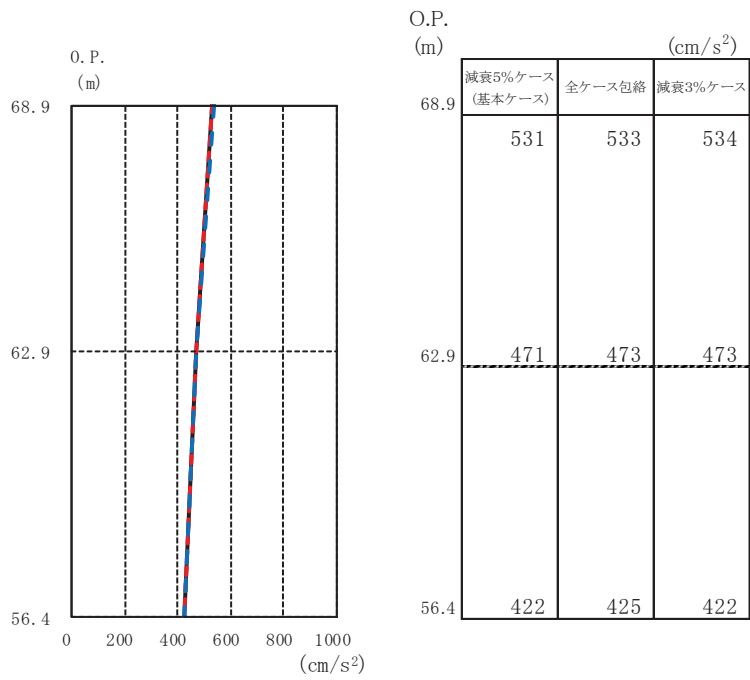
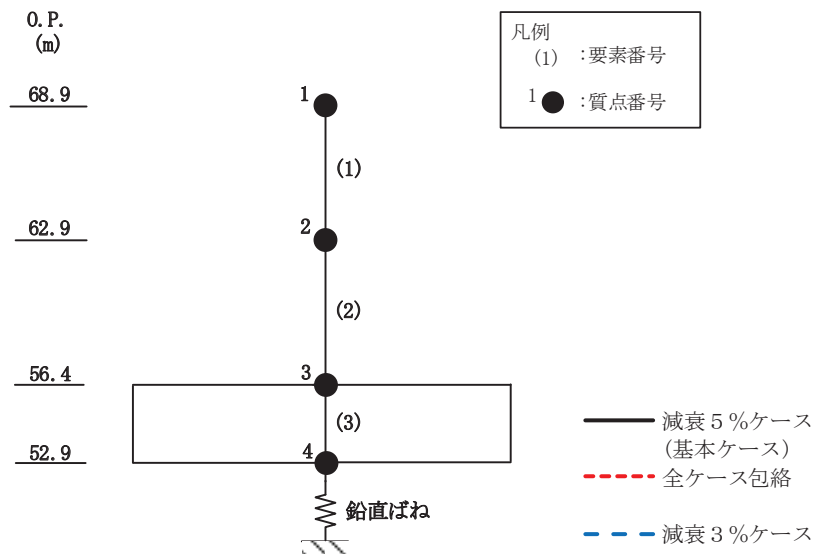
(a) $S_s - D_2$

図3-9(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S_s , UD 方向) (1/3)



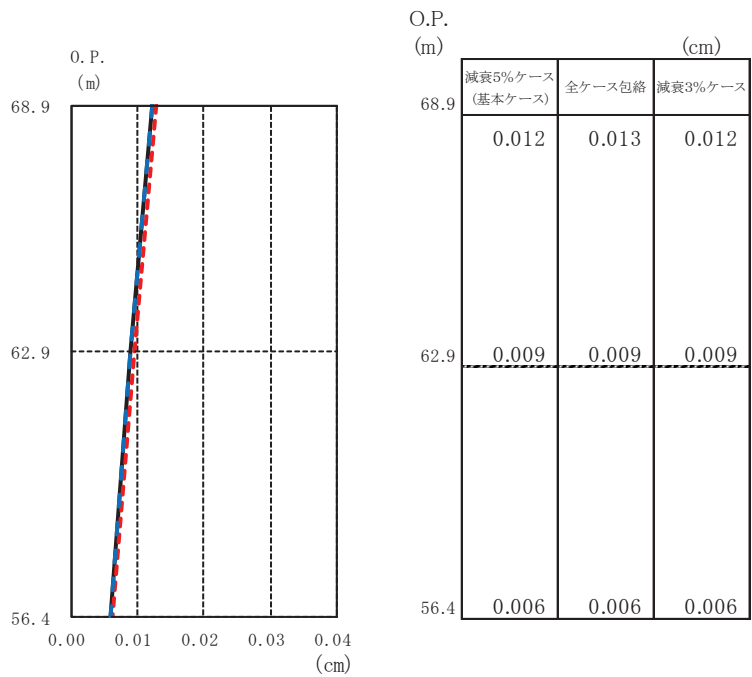
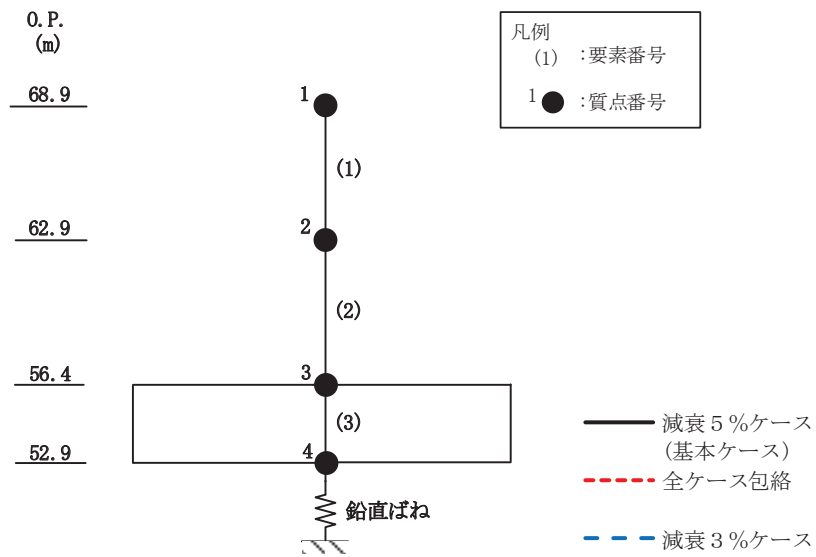
(b) $S_s - D3$

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



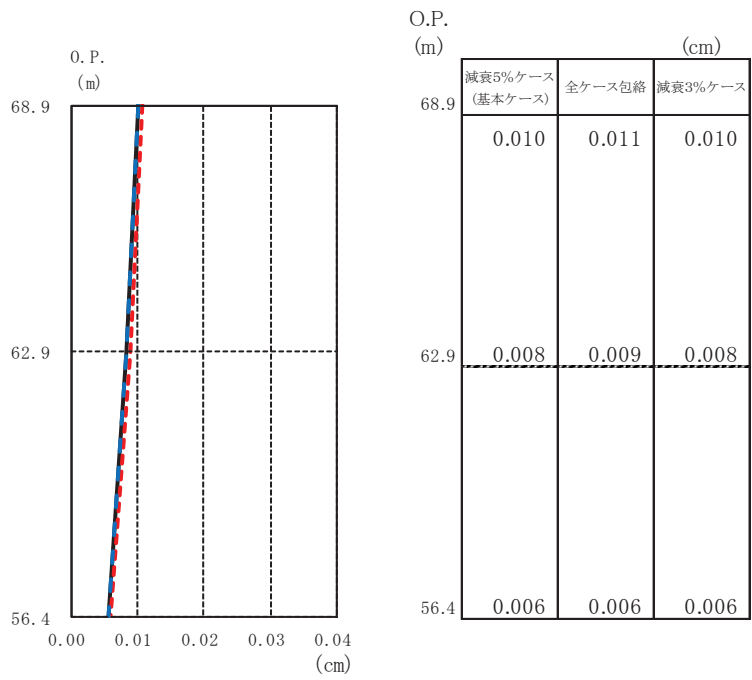
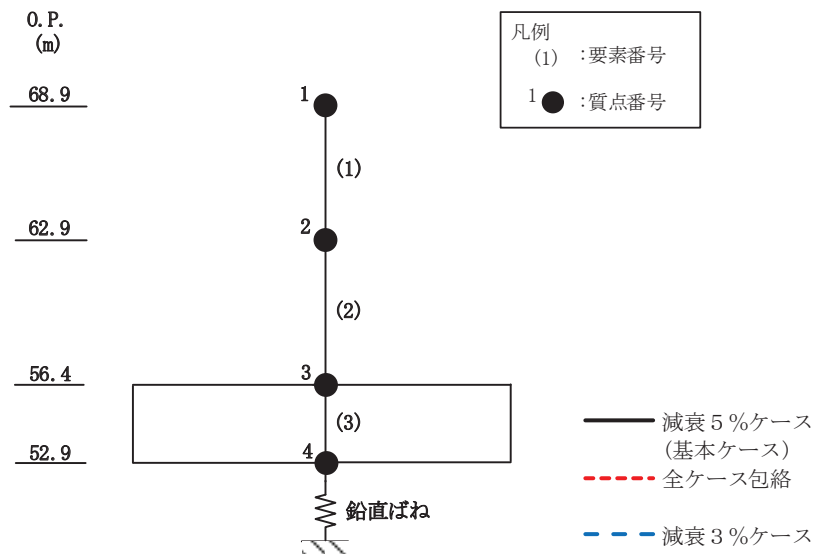
(c) $S_s - F_3$

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



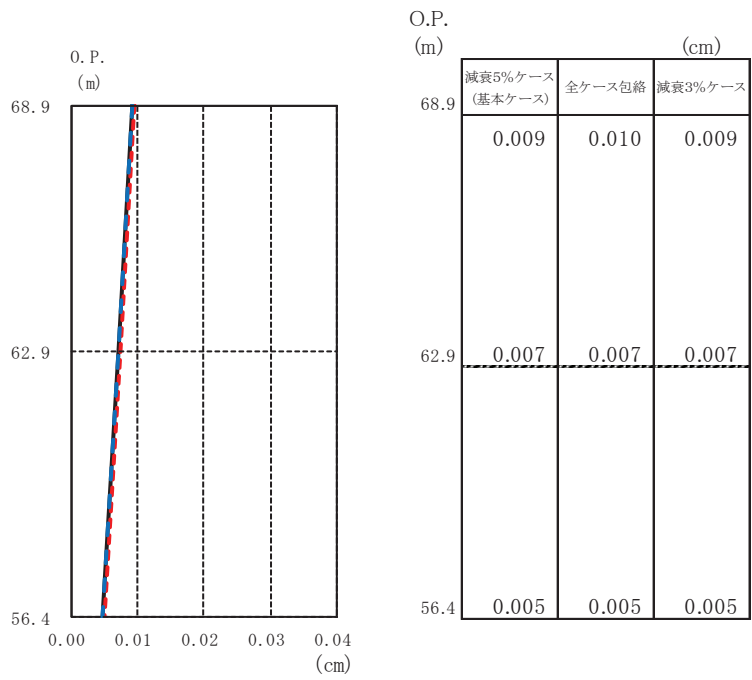
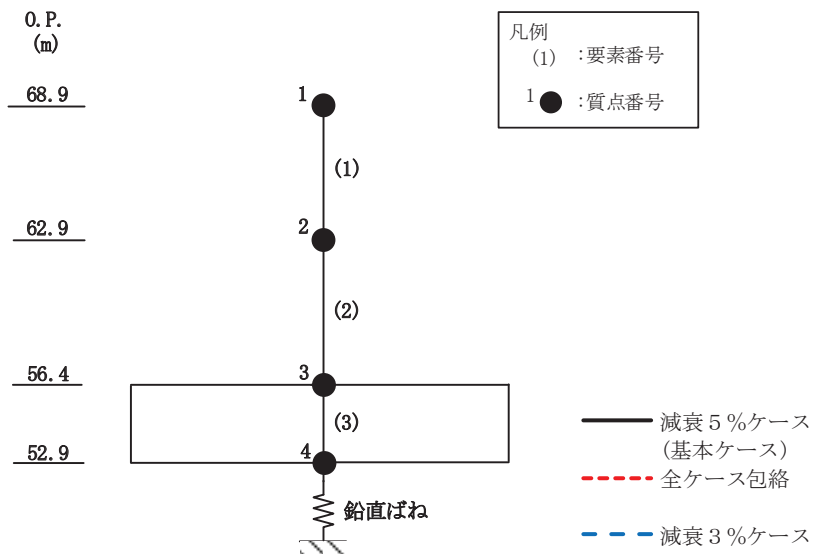
(a) $S_s - D_2$

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



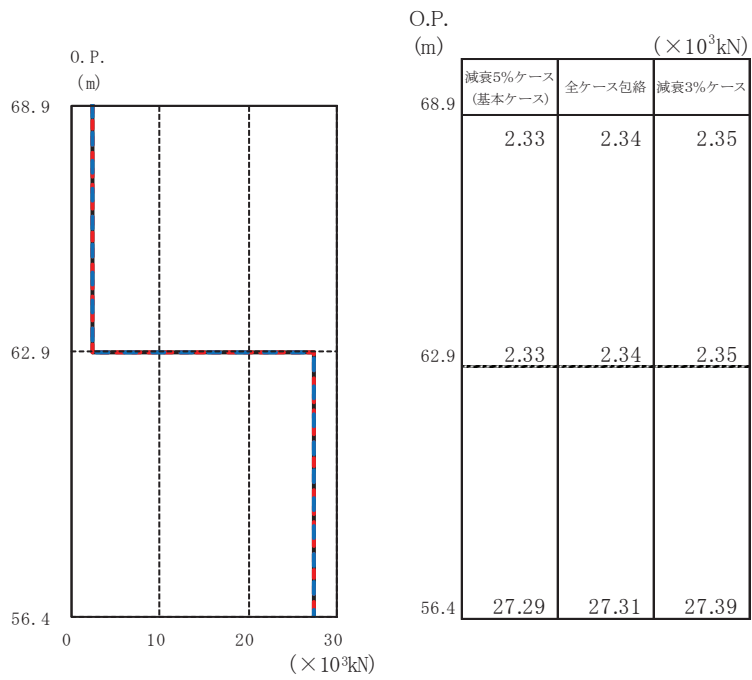
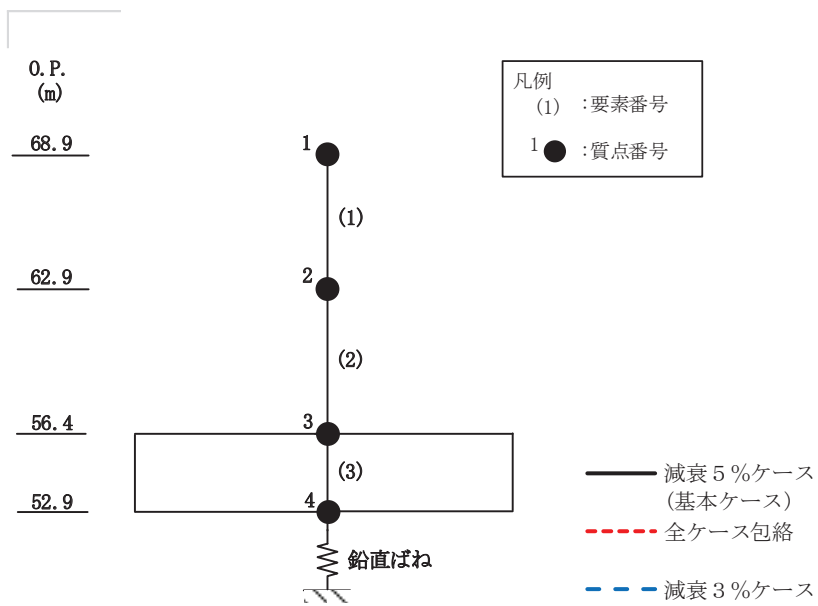
(b) $S_s - D3$

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



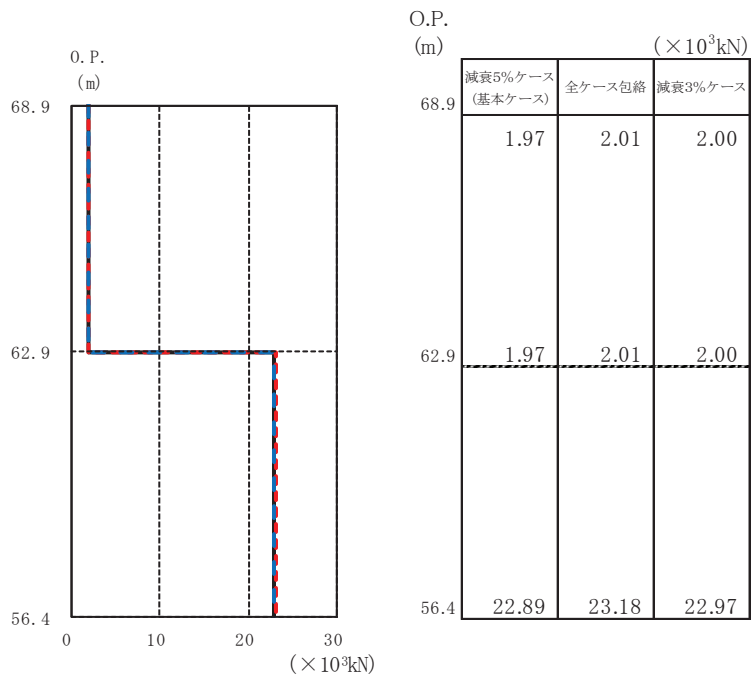
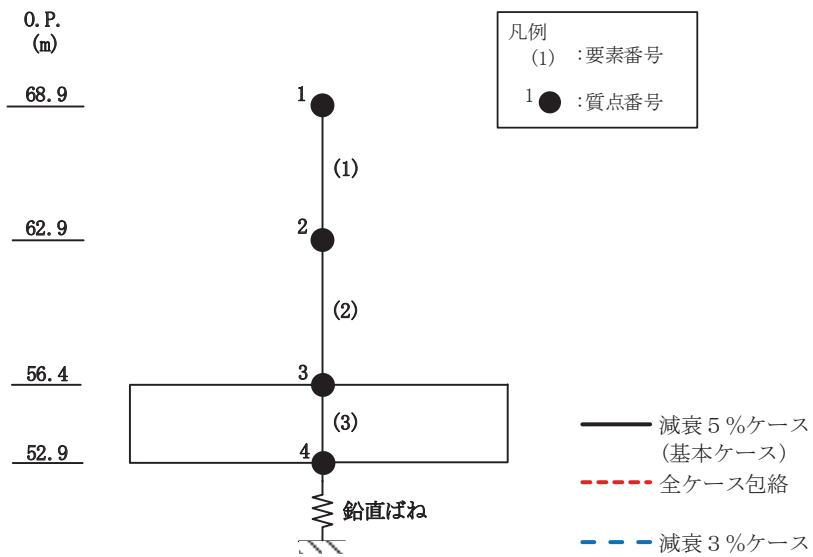
(c) $S_s - F_3$

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



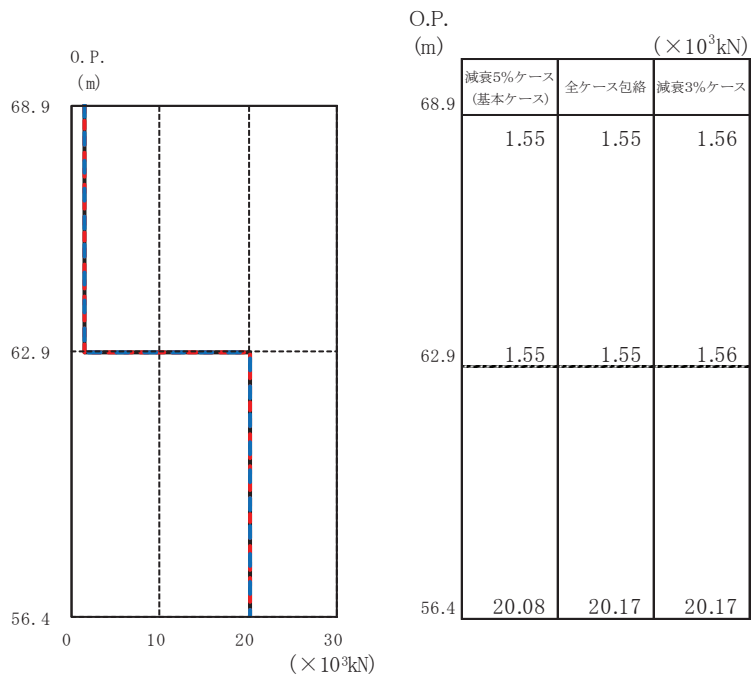
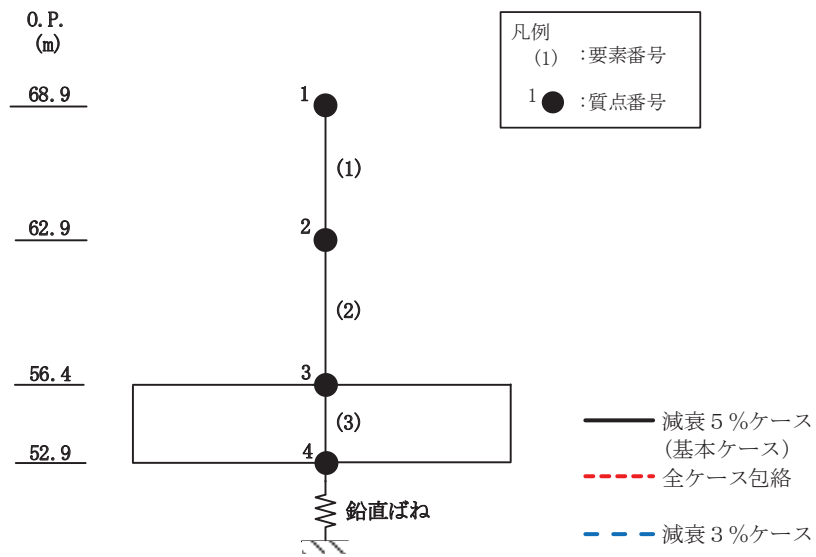
(a) S_s-D 2

図 3-11(1) 最大応答軸力 (基準地震動 S_s, UD 方向) (1/3)



(b) S_s-D3

図3-11(2) 最大応答軸力 (基準地震動 S_s, UD 方向) (2/3)



(c) $S_s - F_3$

図 3-11(3) 最大応答軸力 (基準地震動 S_s , 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：×10³ 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 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。

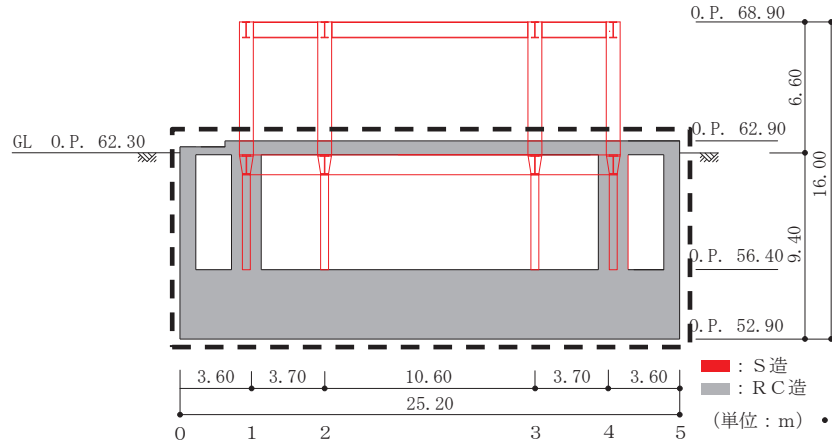
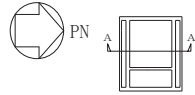
注記*：構造解析のための有限要素法実践ハンドブック（非線形 CAE 協会，2008 年）

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。



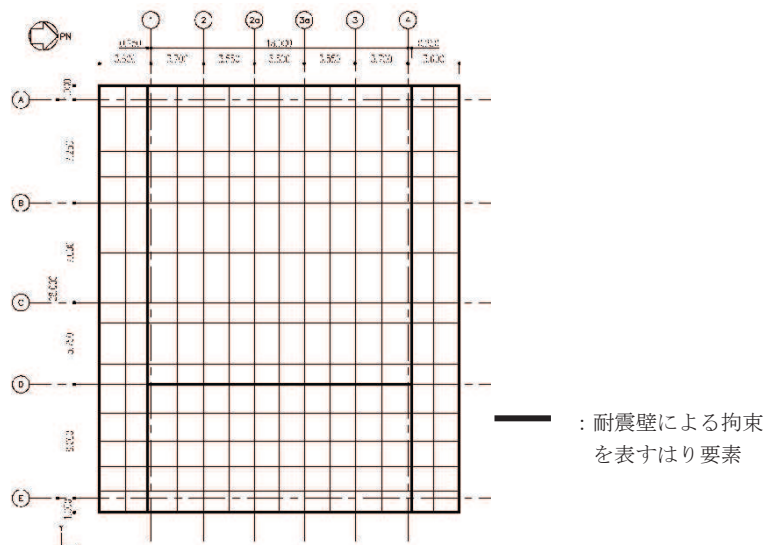
モデル化範囲

○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)

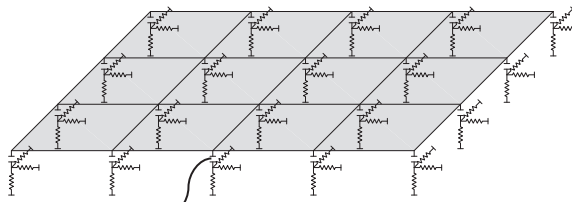
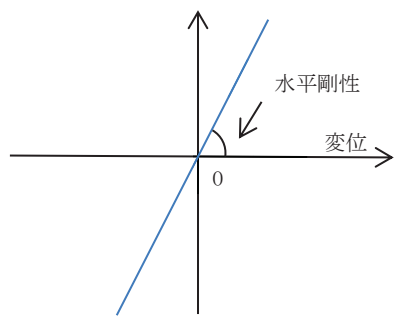
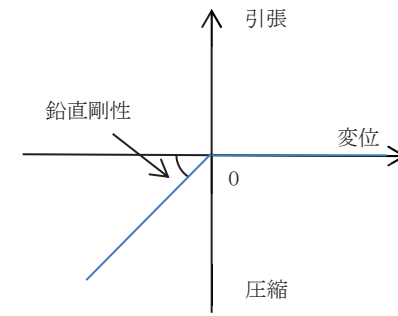
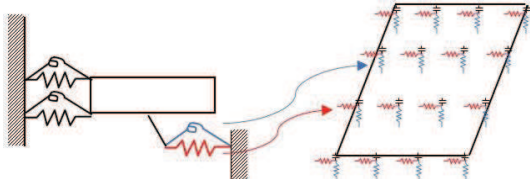
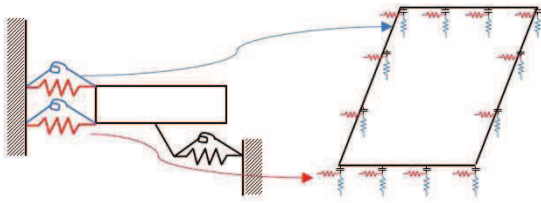
境界条件, 拘束条件	
上部構造物と基礎版の境界	
<ul style="list-style-type: none"> 基礎版と上部構造物の境界部においては, 上部構造物の剛性を考慮することで, 基礎版の応力・変形状態を評価する。 基礎版から立ち上がる鉄骨独立柱については, その剛性を考慮しない。 	
はり要素の剛性 (断面性能)	
<ul style="list-style-type: none"> 曲げ剛性 (断面二次モーメント) : $I = t \times h^3 / 12$ せん断剛性 (せん断断面積) : $A_s = t \times h$ 	<ul style="list-style-type: none"> t : 壁の厚さ h : モデル化する壁の高さ
基礎スラブと地盤の境界	
<ul style="list-style-type: none"> 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。 	 <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>添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルでは側面水平地盤ばねのみを考慮し, 保守的に側面回転地盤ばねは考慮しないが, 基礎版の応力解析モデルにおいては, 基礎版側面をマンメイドロックで埋戻すことを踏まえ, 側面水平地盤ばねに加えて, 鉛直方向に対する拘束効果として側面回転地盤ばねを考慮する。地震応答解析モデルに対して側面回転地盤ばねを考慮しないことの保守性については, 「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」に示す。</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"> 水平剛性: 振動アドミ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。 $K_{Hi} = (K_{H\ NS} / A + K_{H\ EW} / A) / 2 \times A_i \quad A: \text{基礎スラブの底面積}$ 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 K_R を節点支配面積 A_i で離散化。 $K_{Vi} = (K_{R\ NS} / I_{NS} + K_{R\ EW} / I_{EW}) / 2 \times A_i \quad I: \text{基礎スラブの断面二次モーメント}$  <p style="text-align: center;">底面地盤ばね</p> <p style="text-align: right;">基礎スラブ底面全体で 離散化</p> <ul style="list-style-type: none"> 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>○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"> 水平剛性: Novak の手法に基づく側面水平地盤ばね定数 ${}_sK_s$ を節点支配長さ L_i で離散化。 ${}_s k_{si} = ({}_s K_s / (2 \times L_{NS} + 2 \times L_{EW})) \times L_i$ $L_{NS}: \text{基礎スラブ辺長 (NS 方向)}, L_{EW}: \text{基礎スラブ辺長 (EW 方向)}$ 鉛直剛性: Novak の手法に基づく側面回転地盤ばね定数 ${}_sK_r$ を節点支配長さ L_i で離散化。 ${}_s k_{vi} = ({}_s K_r / I'_{NS} + {}_s K_r / I'_{EW}) / 2 \times L_i$ $I'_{NS(EW)} = L_{EW(NS)} \times L_{NS(EW)}^2 / 2 + L_{NS(EW)}^3 / 6$  <p style="text-align: center;">側面地盤ばね</p> <p style="text-align: right;">基礎スラブ外周で 離散化</p>

別紙 2-3 応力解析における断面の評価部位の選定

目 次

1. 概要 別紙 2-3-1
2. 断面の評価部位の選定 別紙 2-3-2

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断面の評価部位の選定に関し、工認記載の断面の評価要素の選定結果について示すものである。

2. 断面の評価部位の選定

基礎版の荷重の組合せケースを表 2-1 に，配筋領域図を図 2-1 に，配筋一覧を表 2-2 に示す。

各評価項目の検定値一覧を表 2-3 に，断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を図 2-2 に，断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図 2-3 に示す。また，せん断補強筋を配筋している箇所の断面の評価結果を図 2-4 に示す。

表 2-1 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	1	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ UD}$
	2	$G + P + 1.0 S_{s\ NS} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ DU}$
	4	$G + P + 1.0 S_{s\ NS} + 0.4 S_{s\ DU}$
	5	$G + P + 1.0 S_{s\ WE} + 0.4 S_{s\ UD}$
	6	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	7	$G + P + 1.0 S_{s\ WE} + 0.4 S_{s\ DU}$
	8	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ DU}$
	9	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ UD}$
	10	$G + P + 0.4 S_{s\ NS} + 1.0 S_{s\ UD}$
	11	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ DU}$
	12	$G + P + 0.4 S_{s\ NS} + 1.0 S_{s\ DU}$
	13	$G + P + 0.4 S_{s\ WE} + 1.0 S_{s\ UD}$
	14	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ UD}$
	15	$G + P + 0.4 S_{s\ WE} + 1.0 S_{s\ DU}$
	16	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ DU}$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_{s\ SN}$: S→N 方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)

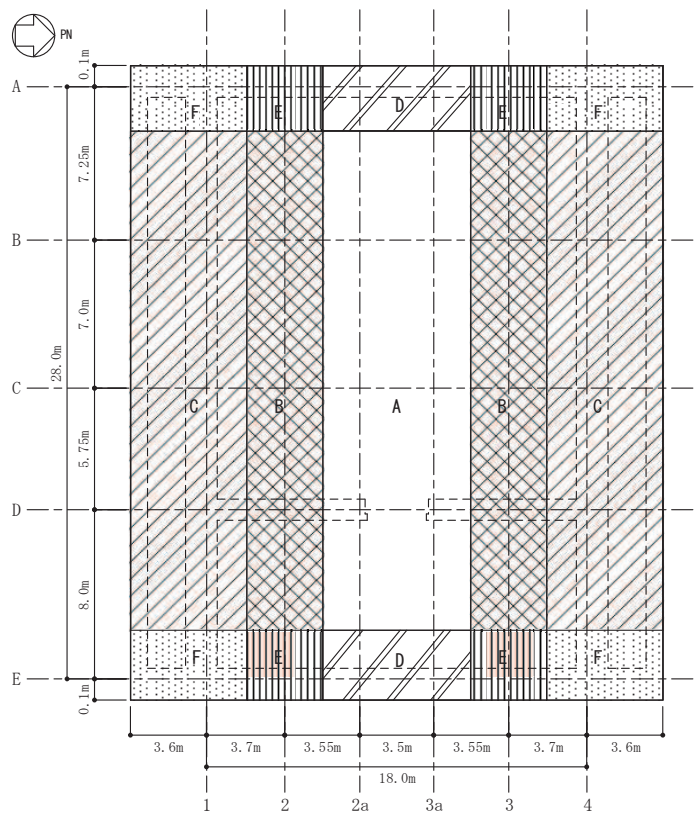
$S_{s\ NS}$: N→S 方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)

$S_{s\ EW}$: E→W 方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)

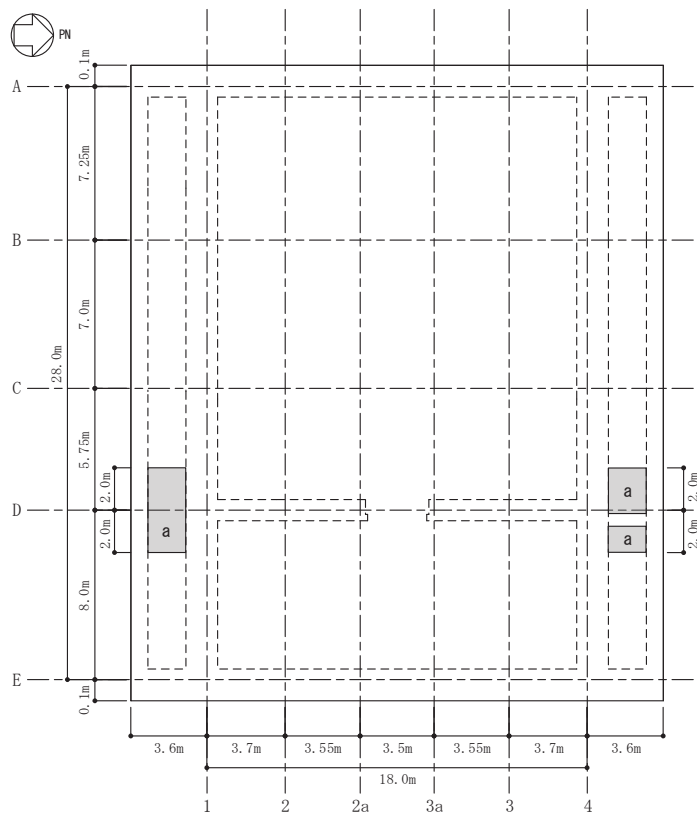
$S_{s\ WE}$: W→E 方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)

$S_{s\ UD}$: 鉛直方向 (下向き) S_s 地震荷重

$S_{s\ DU}$: 鉛直方向 (上向き) S_s 地震荷重



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

図 2-1 配筋領域図

表 2-2 配筋一覧

(a) 主筋

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
B	NS	3-D38@200	NS	3-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
C	NS	2-D51@200 + D38@200	NS	2-D51@200 + D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
D	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	3-D38@200
E	NS	3-D38@200	NS	3-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	3-D38@200
F	NS	2-D51@200 + D38@200	NS	2-D51@200 + D38@200
	EW	3-D38@200	EW	3-D38@200

注：D38 は機械式継手及び重ね継手とする。

D51 同士の継手，D51 と D38 との継手は機械式継手とする。

(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D22@600 × 200

表 2-3 各評価項目の検定値一覧

評価項目			要素 番号	荷重の 組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS 方向	必要鉄筋量/配筋量	225	3	0.07
	EW 方向	必要鉄筋量/配筋量	4	8	0.09
面外 せん断力	NS 方向	面外せん断応力度	225	2	0.111
	EW 方向	面外せん断応力度	249	6	0.114

注：□ は、検定値が最大となる要素を示す。

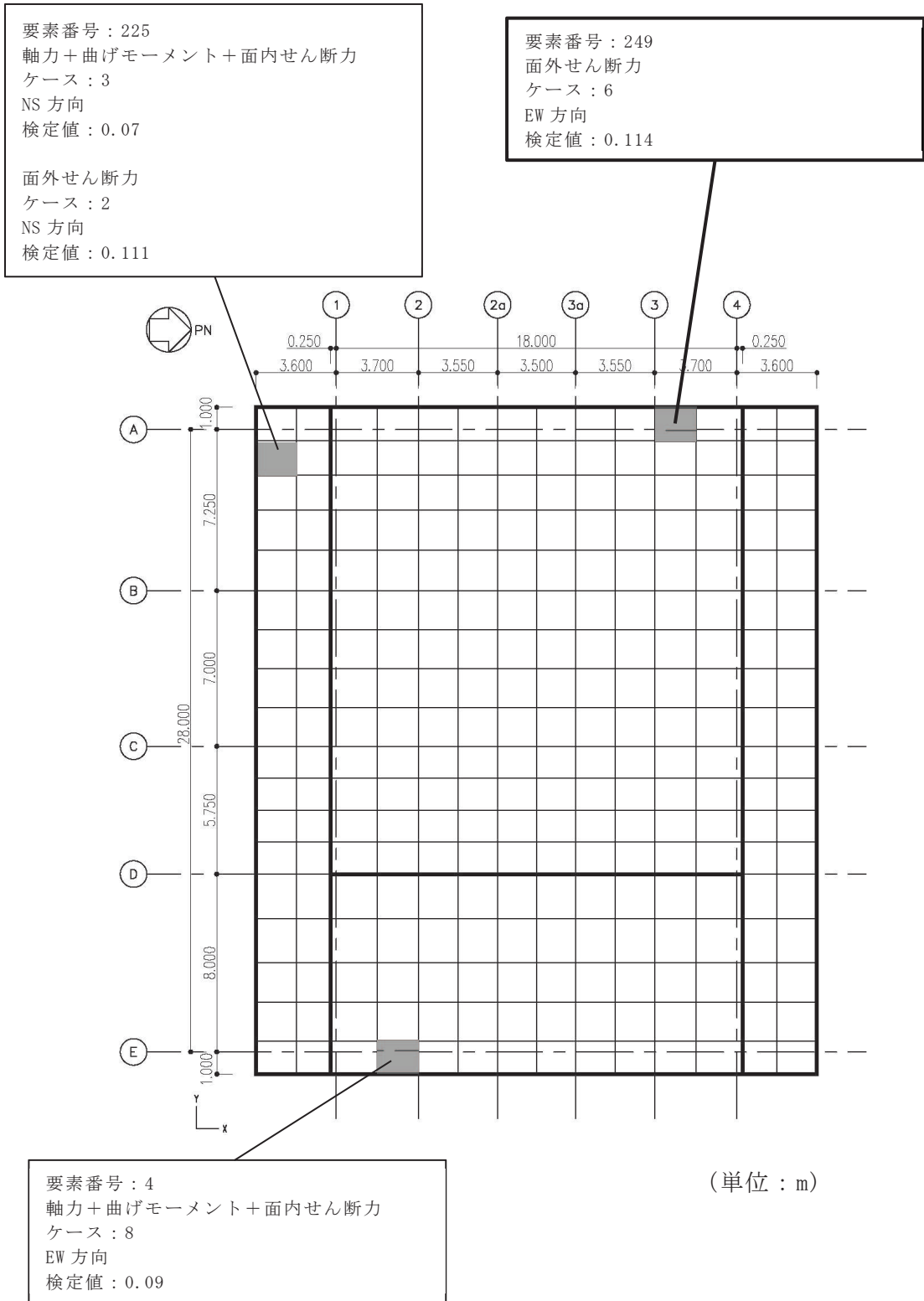
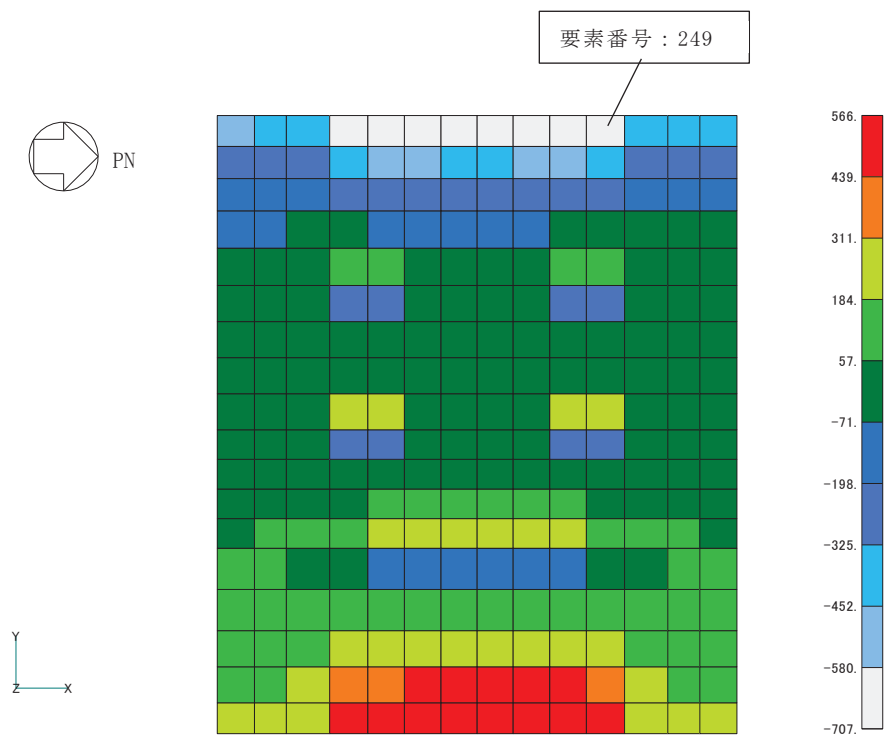


図 2-2 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果



面外せん断力 (EW 方向, ケース 6)

図 2-3 断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図

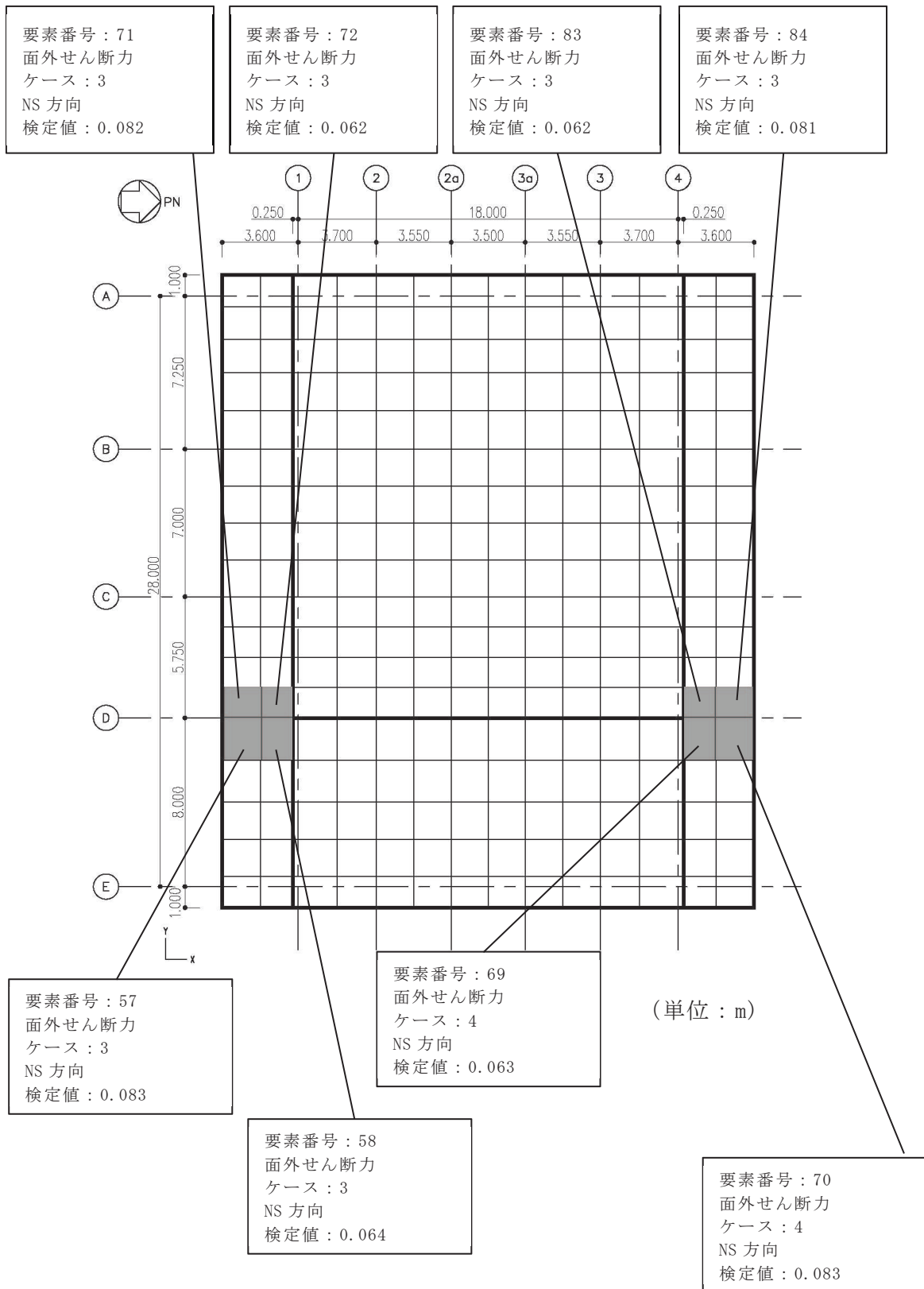


図 2-4 せん断補強筋を配筋した箇所の断面の評価結果