

コントロール建屋の地震応答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

V-2-2-9「コントロール建屋の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙1 地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙2 地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトン曲線の設定

別紙3 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

(参考資料1) 計算機プログラム（解析コード）の概要

別紙1 地震応答解析における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. 地震応答解析モデル及び手法の比較 ..... 別紙1-2

別紙1-1 コントロール建屋の地震応答解析モデルの変更点について

別紙1-2 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について

## 1. 概要

本資料は、コントロール建屋の既工認時及び今回工認時の地震応答解析モデル及び手法の比較を示すものである。

## 2. 地震応答解析モデル及び手法の比較

コントロール建屋の地震応答解析モデル及び手法の比較を表2-1に示す。鉛直モデルの諸元の設定方法を表2-2に示す。また、今回工認時の地震応答解析モデルを図2-1及び図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、建設工認である。

表2-1 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	既工認*1	今回工認	備考
入力地震動の算定法	水平	設計用模擬地震波を用いて、一次元波動論により算定	同左	—
	鉛直	—*2	設計用模擬地震波を用いて、一次元波動論により算定	—
解析コード		D Y N A 2	D Y N A 2 E , S o i l P l u s	—
建屋のモデル化	モデル	多質点系SRモデル	同左	—
	材料物性	検討時の各規準に基づき設定 ・コンクリートのヤング係数 建屋部 E = 26.5kN/mm <sup>2</sup> (SI換算) 基礎スラブ E = 25.5kN/mm <sup>2</sup> (SI換算) ・コンクリートのポアソン比 $\nu = 0.167$	適用規準の見直しによる再設定 ・コンクリートのヤング係数 建屋部 E = 28.8kN/mm <sup>2</sup> 基礎スラブ E = 27.9kN/mm <sup>2</sup> ・コンクリートのポアソン比 $\nu = 0.2$	①
	剛性評価	耐震壁を考慮（設計基準強度）	耐震壁及び補助壁を考慮（実強度）	②, ③
	減衰定数	・水平方向：5%	・水平方向：5% ・鉛直方向：5%	—
地盤のモデル化	底面ばね	振動アドミッタンス理論に基づく近似法 ・水平方向：水平及び回転ばねを考慮	振動アドミッタンス理論に基づく近似法 ・水平方向：水平及び回転ばねを考慮 ・鉛直方向：鉛直ばねを考慮	④
	側面ばね	Novakの方法により設定 ・水平ばねのみ考慮	Novakの方法により設定 ・水平及び回転ばね考慮（表層の新期砂層は無視）	⑤, ⑥
非線形特性	耐震壁	・水平方向：考慮せず	・水平方向：非線形特性を考慮 ・鉛直方向：考慮せず	④, ⑦
	底面ばね	・水平方向：考慮せず	・水平方向：接地率75%を下回る場合、基礎浮上りによる幾何学的非線形特性考慮 ・鉛直方向：考慮せず	
誘発上下動		・考慮せず	・接地率65%を下回る場合、考慮する	—
地盤3次元FEM		・考慮せず	・接地率50%を下回る場合、地盤を3次元FEMでモデル化	⑧

注記\*1： 柏崎刈羽原子力発電所6号機『既工事計画認可申請書 添付資料IV-2-2-1「コントロール建屋の耐震性についての計算書」（4資庁第8732号平成4年10月13日認可）』

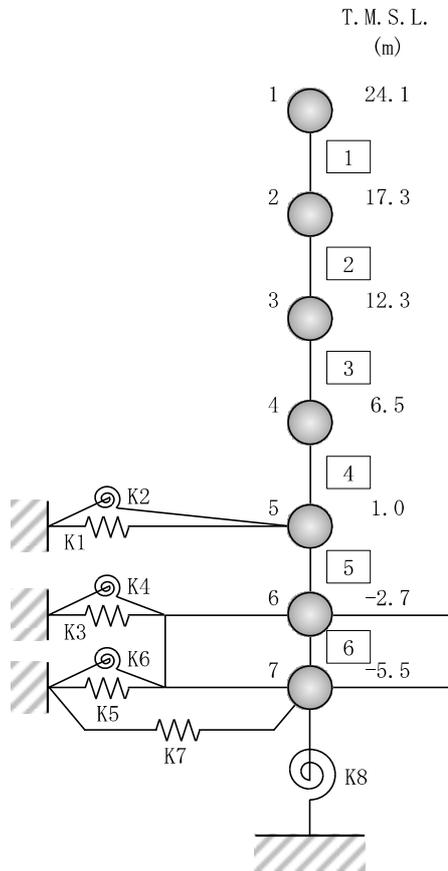
\*2： 既工認時は、水平方向のみ地震応答解析を実施し、鉛直方向は静的地震力を考慮。

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- ① コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、「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－」（（社）日本建築学会，1999改定）に基づく。
- ② 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため，実際には耐震壁として考慮可能であると考えられる壁を補助壁として，その分の剛性を考慮。補助壁の評価方法については，原子炉建屋の地震応答計算書についての補足説明資料 別紙1-3「地震応答解析モデルにおける補助壁の評価方法について」に示す。
- ③ 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため，建屋剛性の評価においてコンクリート実強度に基づき評価される実剛性を考慮。コンクリート実剛性の採用については，原子炉建屋の地震応答計算書についての補足説明資料別紙1-4「地震応答解析モデルにおけるコンクリート実剛性の採用について」に示す。
- ④ 「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」（（社）日本電気協会）に基づく。
- ⑤ 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため，建屋側面地盤回転ばね（以下「側面回転ばね」という。）を考慮。側面回転ばねの適用性については別紙1-2に示す。
- ⑥ 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため，地盤表層部（新期砂層）の地盤ばねを考慮しない。地盤表層部（新期砂層）の地盤ばねの取扱いについては，原子炉建屋の地震応答計算書についての補足説明資料 別紙1-6「表層ばねの取扱いについて」に示す。
- ⑦ 耐震壁の非線形特性の設定については別紙2に示す。
- ⑧ 地盤3次元FEMのモデル化については別紙3に示す。

表2-2 鉛直モデルの諸元の設定方法

部位	質量	剛性
耐震壁 補助壁 柱	鉛直モデルに対応する 水平モデルの質点の質量	水平方向モデルにおいて剛性を考慮している耐震壁及び補助壁の全軸断面積及び鉛直剛性として考慮できる柱の軸断面積の和より軸剛性を算出



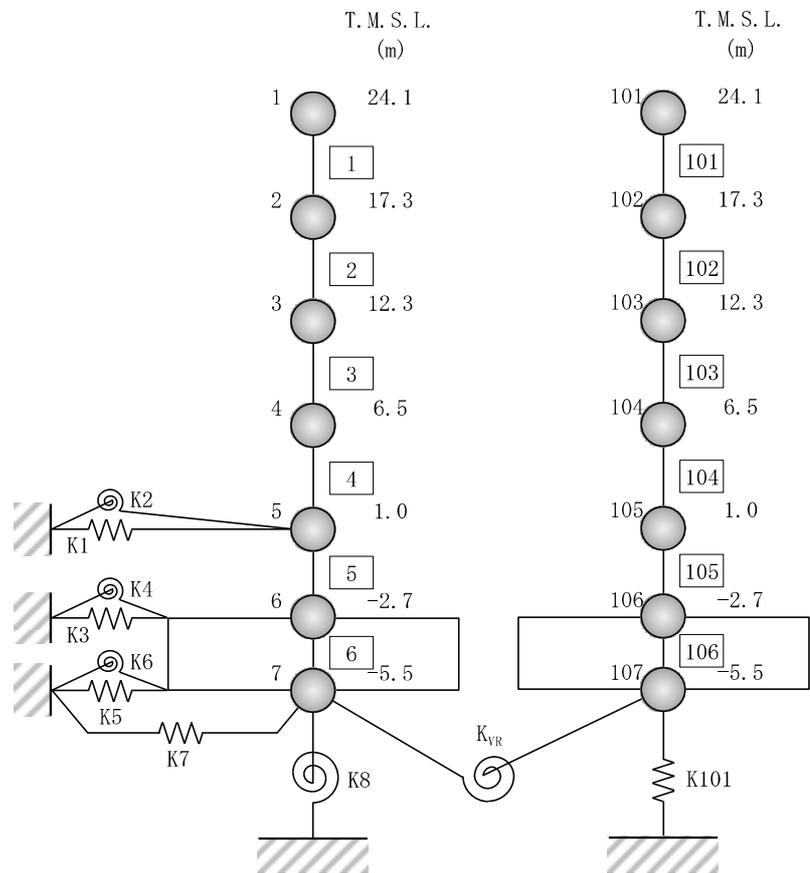
注 1：数字は質点番号を示す。

注 2：□内は部材番号を示す。

注 3：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

(a) 誘発上下動を考慮しない場合

図2-1 地震応答解析モデル（水平方向）（1/3）

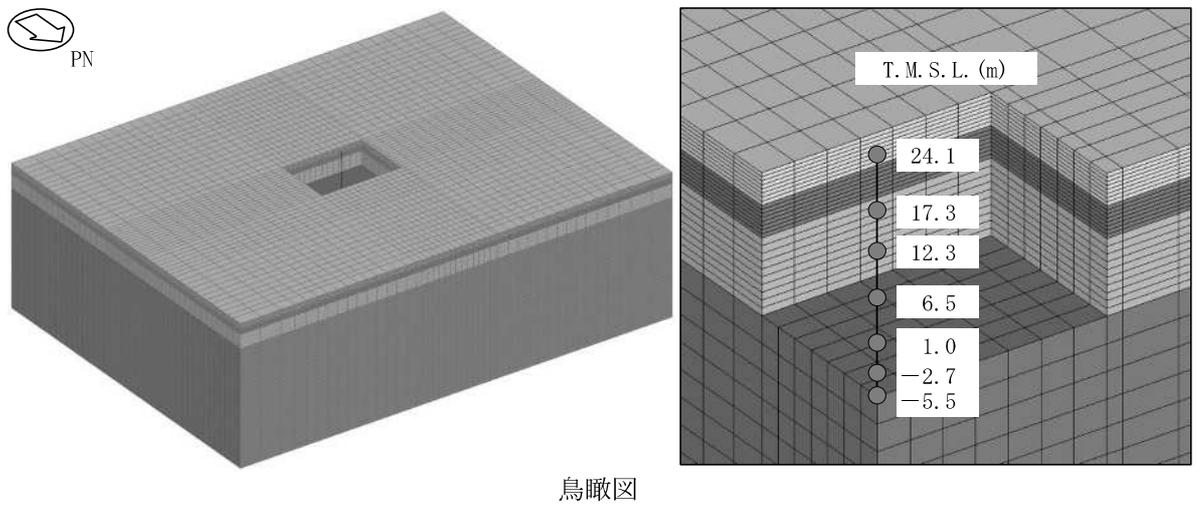


注 1 : 数字は質点番号を示す。

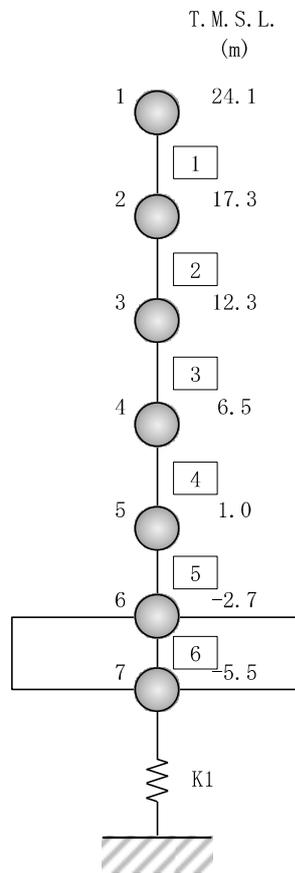
注 2 : □内は部材番号を示す。

(b) 誘発上下動を考慮する場合

図2-1 地震応答解析モデル (水平方向) (2/3)



(c) 基礎浮上りを詳細に評価する場合  
 図2-1 地震応答解析モデル（水平方向）（3/3）



注 1 : 数字は質点番号を示す。  
注 2 : □内は部材番号を示す。

図2-2 地震応答解析モデル（鉛直方向）

別紙1-1 コントロール建屋の地震応答解析モデルの変更点  
について

## 目 次

1. 概要	別紙1-1-1
2. コントロール建屋の地震応答解析モデルの変更について	別紙1-1-1
2.1 補助壁の考慮	別紙1-1-1
2.2 コンクリート実剛性の考慮	別紙1-1-7
2.3 建屋側面地盤回転ばねの考慮	別紙1-1-8
2.4 表層地盤ばねの変更	別紙1-1-9
2.5 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較	別紙1-1-10

## 1. 概要

今回工認におけるコントロール建屋の水平方向の地震応答解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）は基本的には既工認時の地震応答解析モデル（以下「既工認モデル」という。）に基づいて設定しているが、解析モデルの精緻化を目的とし、既工認モデルから変更を行っている。本資料では、変更の概要を示す。

## 2. コントロール建屋の地震応答解析モデルの変更について

### 2.1 補助壁の考慮

今回工認においては、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、動的地震荷重算定時の地震応答解析において使用する建屋剛性の評価に関して、既工認モデルでは耐震要素として考慮しなかったが、実際には耐震壁として考慮可能であると考えられる壁を補助壁として、その分の剛性を考慮する。

補助壁の選定基準の設定に当たっては、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005制定）」を参考にした。図2-1に補助壁として剛性を考慮する範囲を示す。

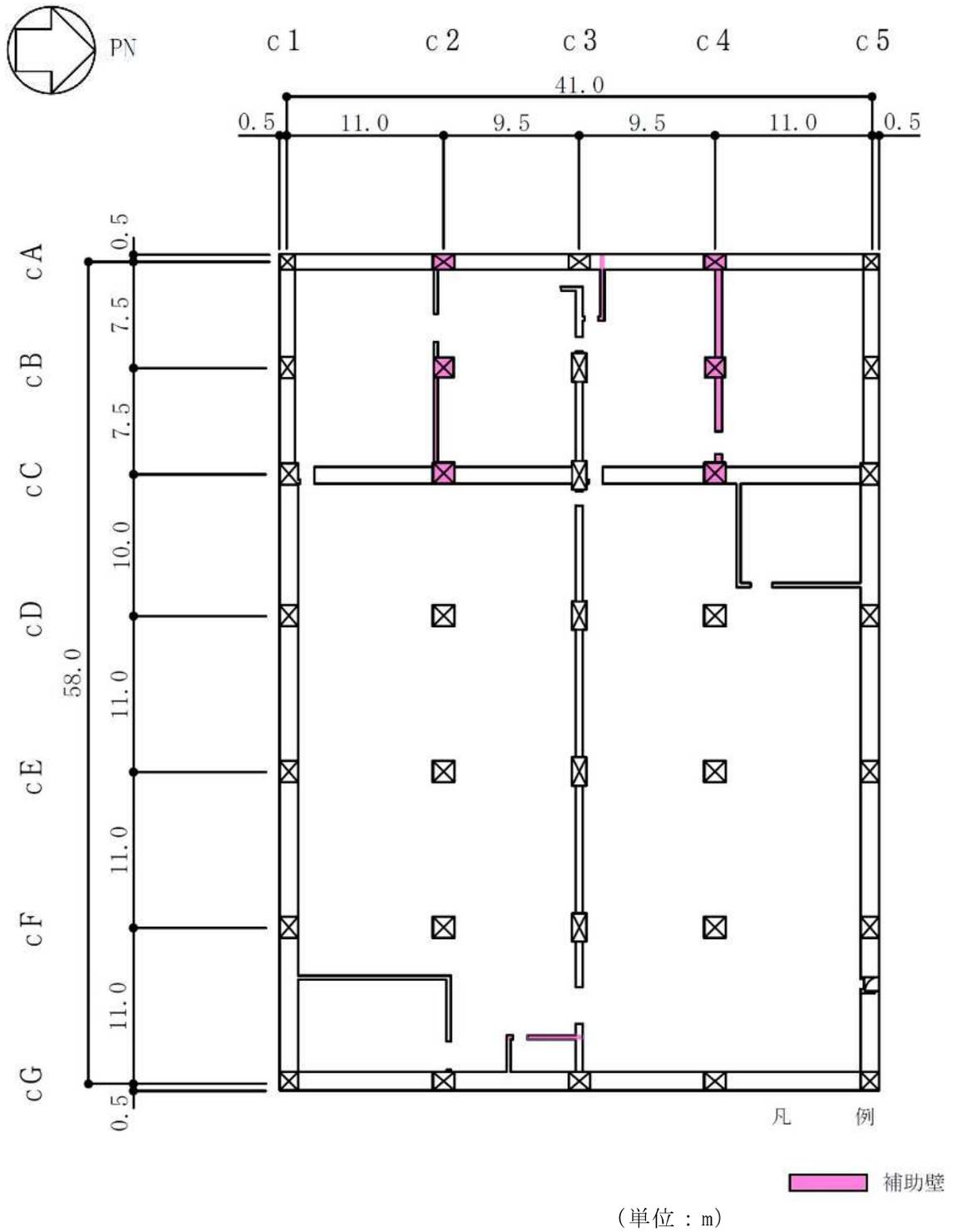
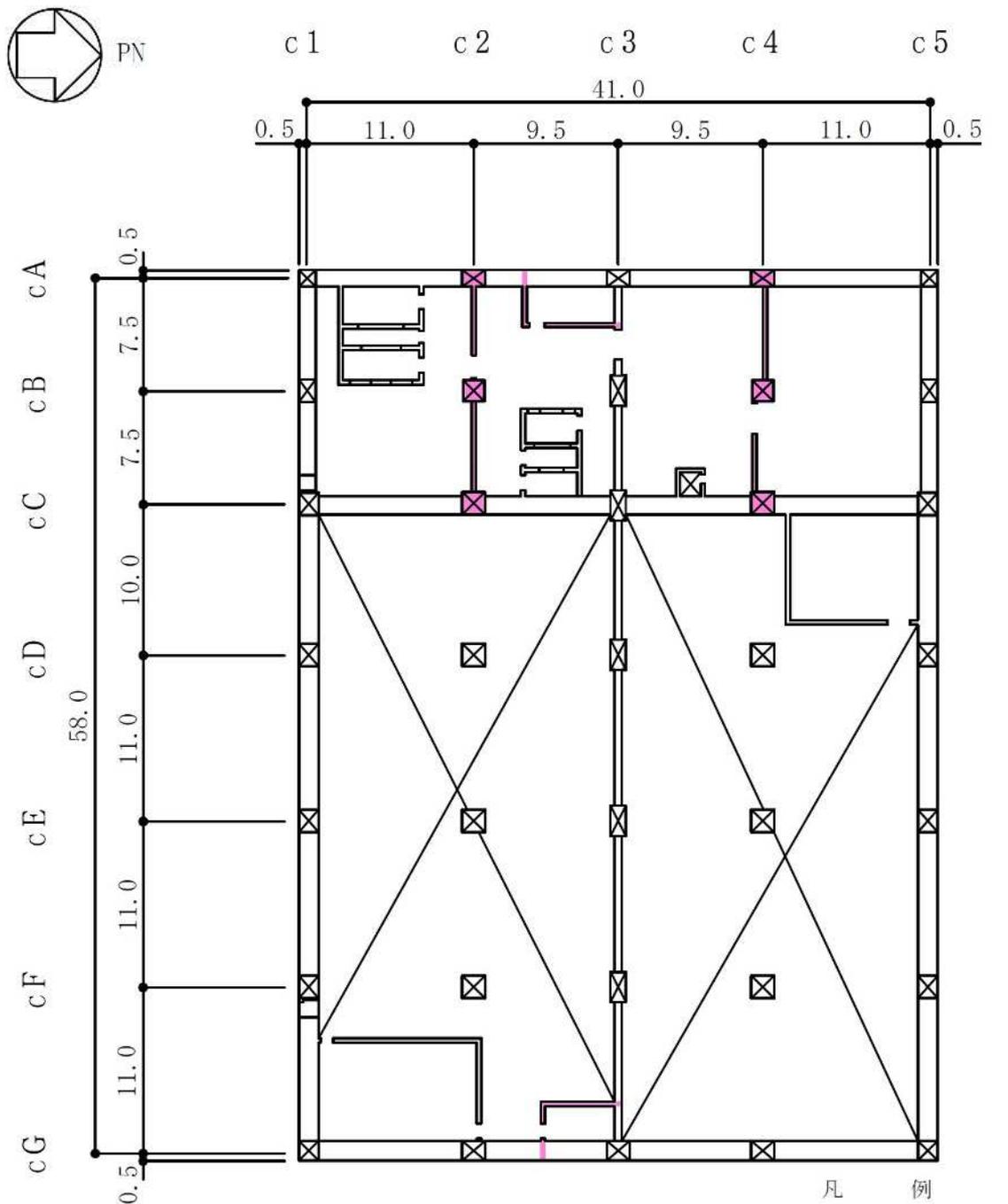


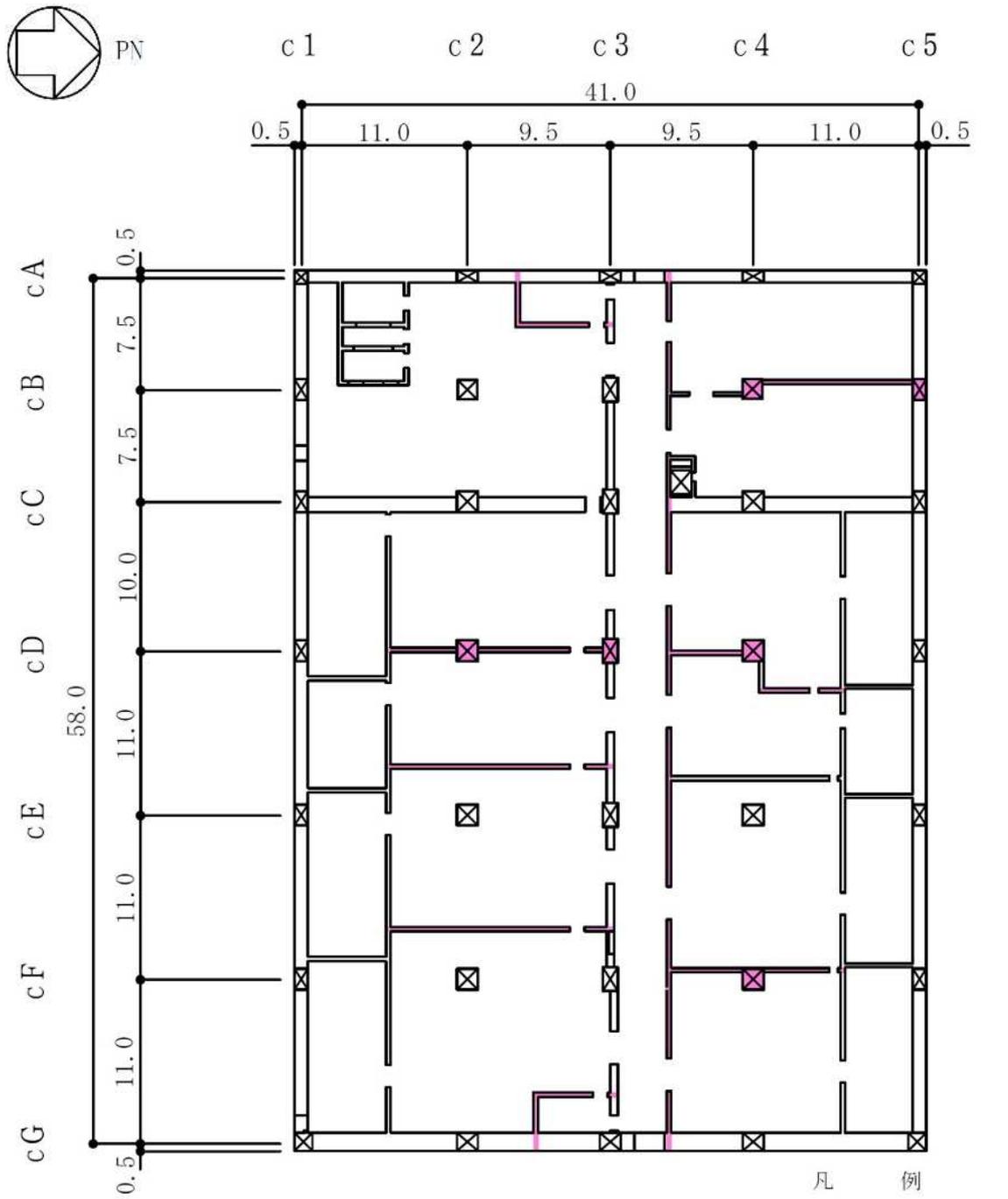
図2-1 補助壁の考慮範囲 (B2F, T.M.S.L. -2.7m) (1/5)



補助壁

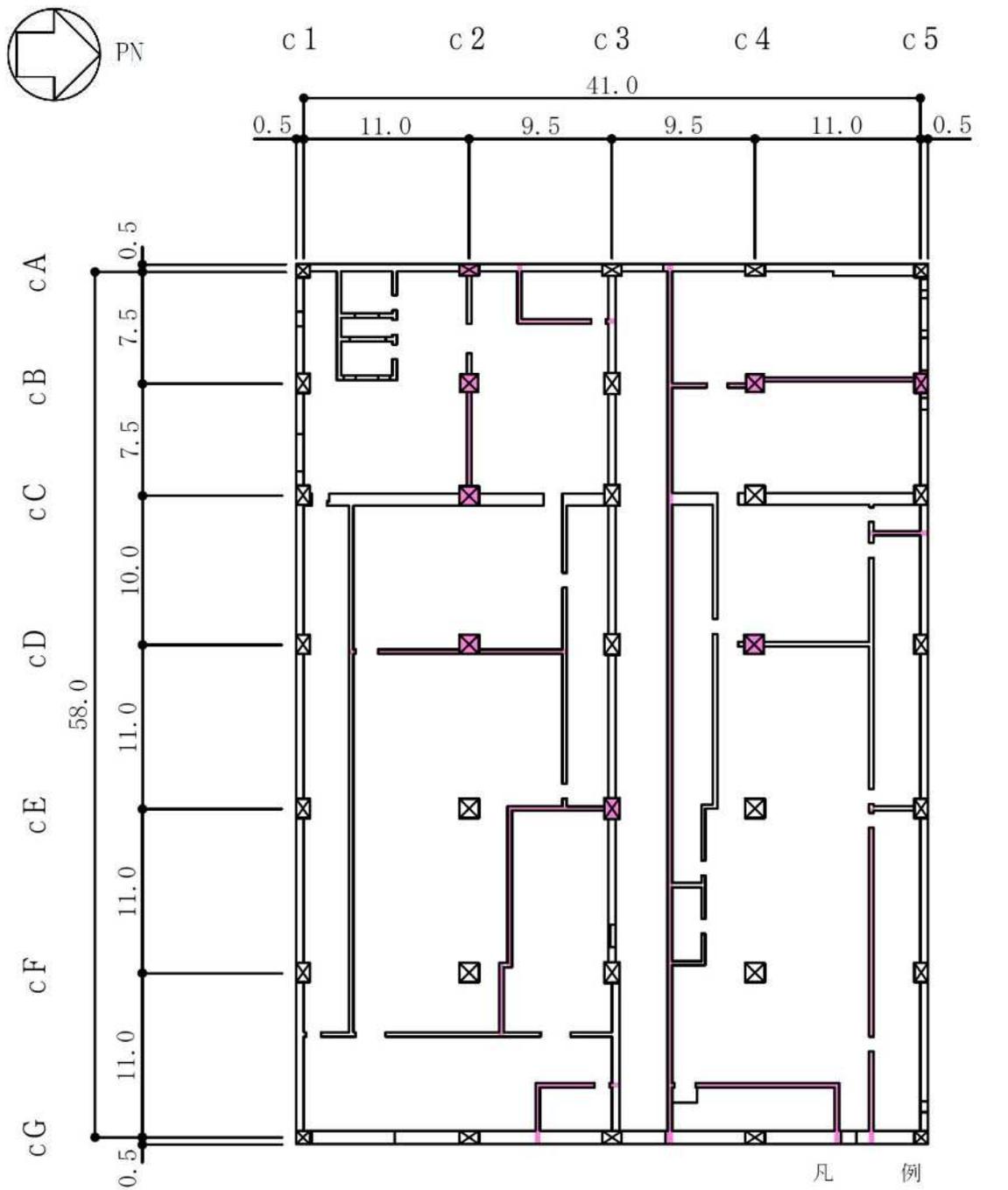
(単位：m)

図2-1 補助壁の考慮範囲 (MB2F, T.M.S.L. 1.0m) (2/5)



(単位：m)

図2-1 補助壁の考慮範囲 (B1F, T.M.S.L. 6.5m) (3/5)



(単位：m)

図2-1 補助壁の考慮範囲 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/5)

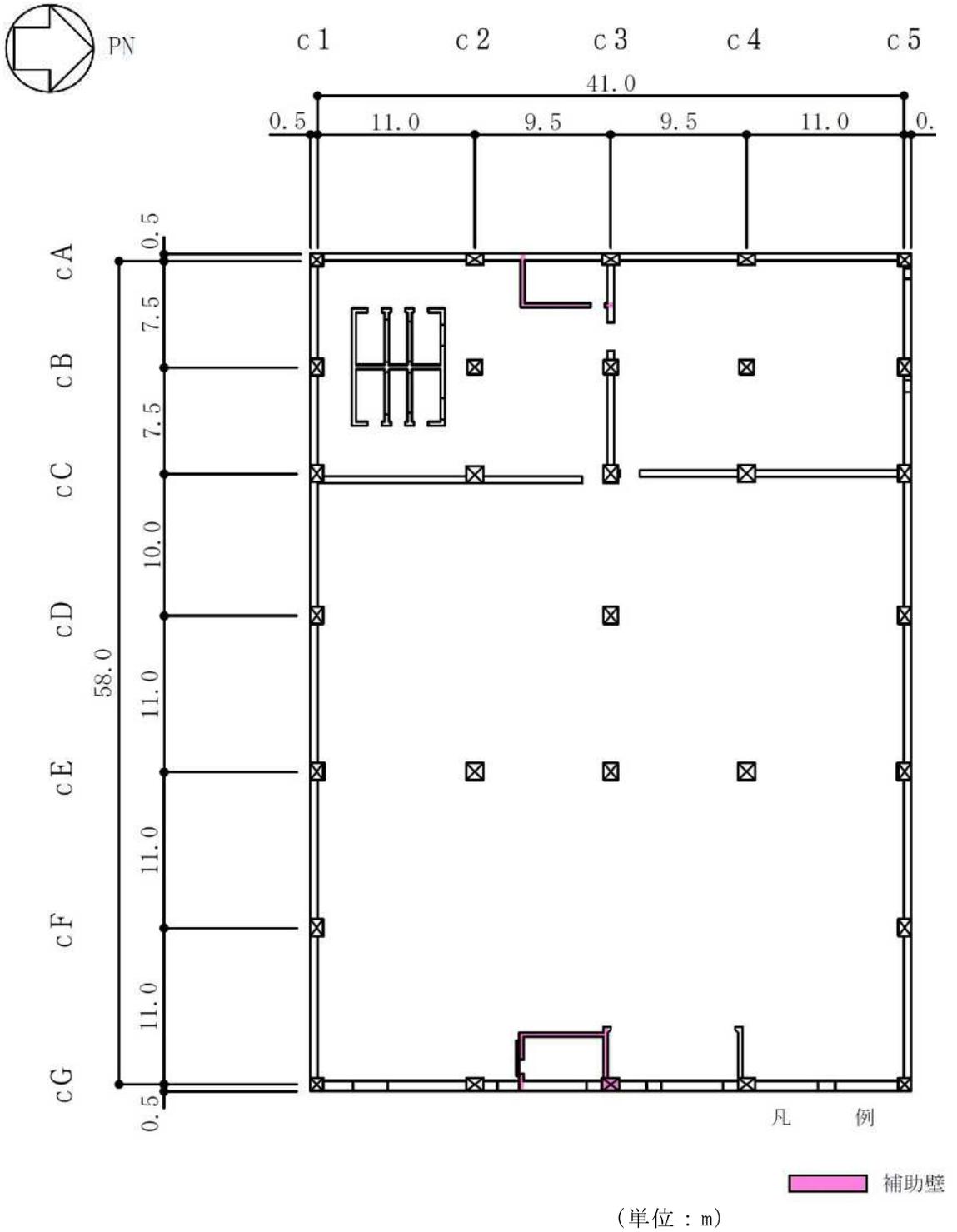


図2-1 補助壁の考慮範囲 (2F, T.M.S.L. 17.3m) (5/5)

## 2.2 コンクリート実剛性の考慮

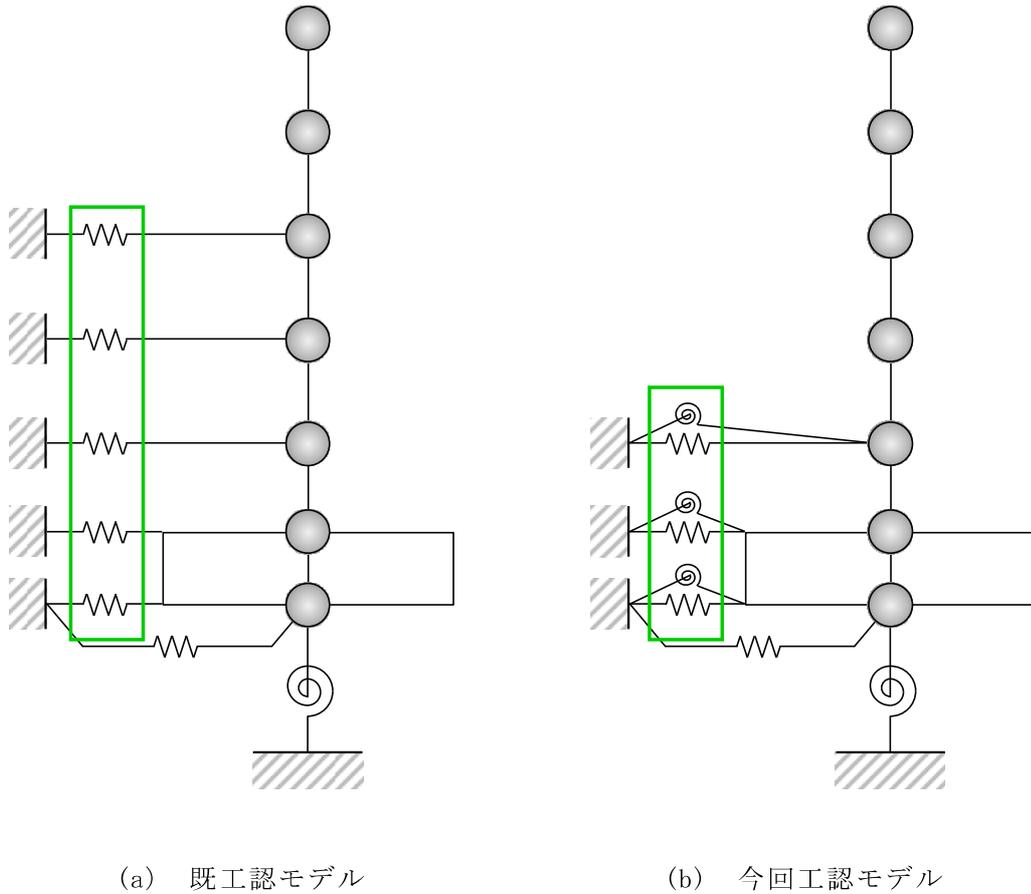
今回工認においては、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、動的地震荷重算定時の地震応答解析において使用する建屋剛性の評価に関して、コンクリート実強度に基づき評価される実剛性を用いる。ただし、許容値の算定に当たっては、設計基準強度（330kgf/cm<sup>2</sup>：32.3N/mm<sup>2</sup>）を用いる。表2-1に既工認モデル及び今回工認モデルで用いるコンクリートの材料物性値を示す。

表2-1 既工認モデル及び今回工認モデルで用いるコンクリートの材料物性値

材料物性値	既工認モデル	今回工認モデル
コンクリート強度 F <sub>c</sub>	設計基準強度 建屋部 : 32.3(N/mm <sup>2</sup> ) (330(kgf/cm <sup>2</sup> )) 基礎スラブ : 29.4(N/mm <sup>2</sup> ) (300(kgf/cm <sup>2</sup> ))	実強度 建屋部 : 43.1(N/mm <sup>2</sup> ) (440(kgf/cm <sup>2</sup> )) 基礎スラブ : 39.2(N/mm <sup>2</sup> ) (400(kgf/cm <sup>2</sup> ))
コンクリートの単位体積重量 γ	22.6(kN/m <sup>3</sup> ) (2.3(tf/m <sup>3</sup> ))	23.5(kN/m <sup>3</sup> ) (2.4(tf/m <sup>3</sup> ))
ヤング係数 E	$2.1 \times 10^5 \times \left(\frac{\gamma}{2.3}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{F_c}{200}}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$ (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$\frac{E}{2(1+\nu)}$	$\frac{E}{2(1+\nu)}$
ポアソン比 ν	0.167	0.2
適用規準	鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1988改定）	原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005制定）

### 2.3 建屋側面地盤回転ばねの考慮

今回工認モデルにおいては、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、建屋側面地盤回転ばね（以下「側面回転ばね」という。）を考慮する。図2-2に地震応答解析モデルにおける側面回転ばねの考慮の概念図を示す。

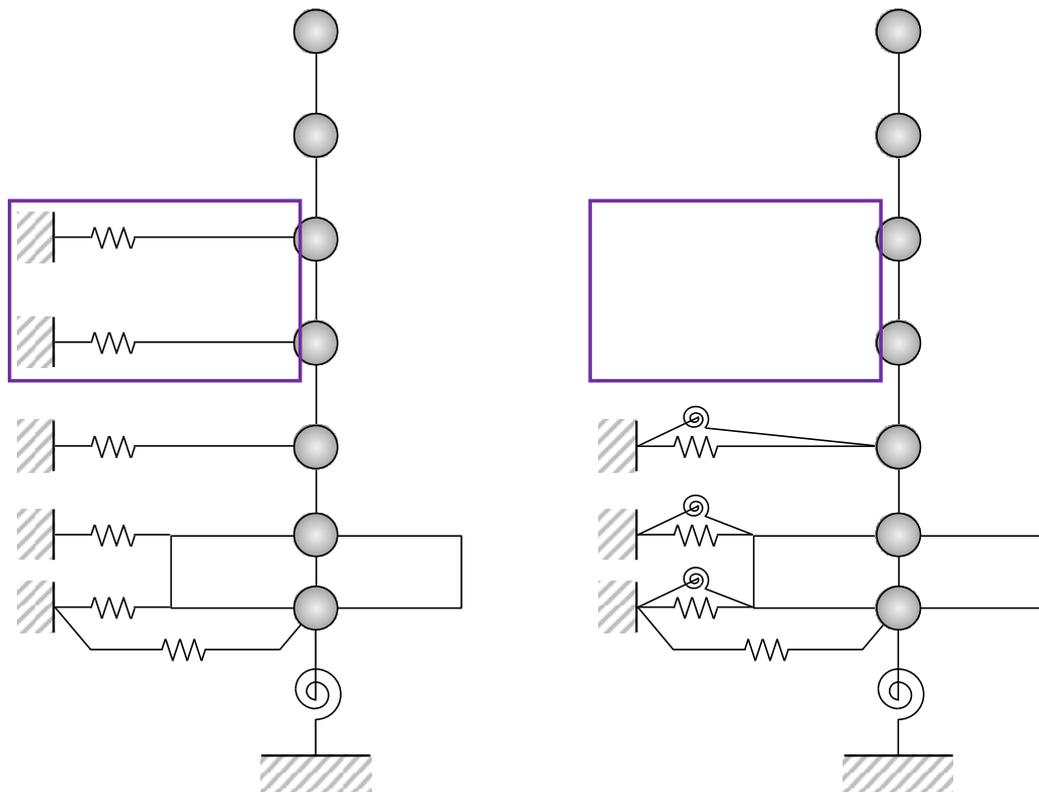


 : 側面回転ばねの考慮による変更箇所

図2-2 側面回転ばねの考慮（概念図）

## 2.4 表層地盤ばねの変更

既工認モデルでは地盤表層部（新期砂層）についても地盤ばねとして考慮していたが，今回工認モデルでは，基準地震動  $S_s$  による地盤応答レベルを踏まえ，表層部では建屋－地盤相互作用が見込めないと判断し，地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため，この部分の地盤ばねを考慮しない。図2-3に地震応答解析モデルにおける表層地盤ばねの変更の概念図を示す。



(a) 既工認モデル

(b) 今回工認モデル

: 表層地盤ばねの変更箇所

図2-3 表層地盤ばねの変更（概念図）

## 2.5 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較

表2-2に既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較を示す。

表2-2 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (NS方向) (1/2)

(a) 既工認モデル

質点番号	質点重量 W (t)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^4 t \cdot m^2$ )	部材番号	せん断断面積 $A_s$ (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	6950	111.0			
2	9423	150.9	①	73.3	24000
3	10595	189.2	②	92.7	27400
4	12316	230.7	③	122.2	41700
5	6646	141.6	④	153.7	53200
6	12678	202.7	⑤	152.5	53200
7	8326	122.5	⑥	2478.0	364300
合計	66934				

① 建屋部

ヤング係数 E	$2.7 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.2 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.167

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

② 基礎スラブ

ヤング係数 E	$2.6 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.1 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.167

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

(b) 今回工認モデル

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^6 kN \cdot m^2$ )	部材番号	せん断断面積 $A_s$ (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	68160	10.9			
2	92410	14.8	①	76.7	24000
3	103900	18.6	②	112.1	27400
4	120780	22.6	③	151.7	41700
5	65170	13.9	④	156.8	53200
6	124330	19.9	⑤	153.6	53200
7	81650	12.0	⑥	2478.0	364300
合計	656400				

① 建屋部

ヤング係数 E	$2.88 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.20 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

② 基礎スラブ

ヤング係数 E	$2.79 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.16 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

  : 「2.1 補助壁の考慮」による変更箇所

  : 「2.2 コンクリート実剛性の考慮」による変更箇所

表2-2 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (EW方向) (2/2)

(a) 既工認モデル

質点番号	質点重量 W (t)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^4 t \cdot m^2$ )	部材番号	せん断断面積 $A_s$ (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	6950	230.9			
2	9423	306.5	①	64.9	38100
3	10595	338.2	②	97.9	61100
4	12316	381.7	③	138.2	84100
5	6646	253.5	④	184.1	109100
6	12678	394.8	⑤	182.4	107800
7	8326	241.7	⑥	2478.0	718800
合計	66934				

① 建屋部

ヤング係数 E	$2.7 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.2 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.167

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

② 基礎スラブ

ヤング係数 E	$2.6 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.1 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.167

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

(b) 今回工認モデル

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^6 kN \cdot m^2$ )	部材番号	せん断断面積 $A_s$ (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	68160	22.6			
2	92410	30.1	①	68.9	38100
3	103900	33.2	②	129.8	61100
4	120780	37.4	③	151.7	84100
5	65170	24.9	④	204.1	109100
6	124330	38.7	⑤	202.3	107800
7	81650	23.7	⑥	2478.0	718800
合計	656400				

① 建屋部

ヤング係数 E	$2.88 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.20 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

② 基礎スラブ

ヤング係数 E	$2.79 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数 G	$1.16 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比 $\nu$	0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

  : 「2.1 補助壁の考慮」による変更箇所

  : 「2.2 コンクリート実剛性の考慮」による変更箇所

別紙1-2 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について

## 目 次

1. はじめに	別紙1-2-1
2. 確認事項の整理と検討方針	別紙1-2-2
2.1 側面回転ばねを採用する目的・効果について	別紙1-2-2
2.2 建屋の設置状況を踏まえた確認事項と検討方針	別紙1-2-6
2.2.1 確認事項	別紙1-2-6
2.2.2 検討方針	別紙1-2-12
3. 確認事項に対する検討	別紙1-2-14
3.1 検討概要	別紙1-2-14
3.1.1 検討内容	別紙1-2-14
3.1.2 検討用地震動	別紙1-2-17
3.1.3 解析モデル	別紙1-2-18
3.2 建屋拘束効果の検討	別紙1-2-29
3.2.1 2次元FEMモデルによる検討	別紙1-2-29
3.2.2 側面地盤反力に関する検討	別紙1-2-38
3.3 建屋応答の比較	別紙1-2-44
4. まとめ	別紙1-2-48

別紙1-2-1 Novakばねの適用性について

別紙1-2-2 側面回転ばねのEW方向への適用について

## 1. はじめに

本資料は、今回工認における、コントロール建屋の地下部分の埋込みを考慮した水平方向の地震応答解析モデル（以下「埋込みSRモデル」という。）に採用するコントロール建屋地下外壁部の側面回転ばね（以下「側面回転ばね」という。）の妥当性に関して説明するものである。

原子炉建屋の補足説明資料である「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙1-5 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について」（以下「原子炉建屋における検討」という。）においても同様の検討が実施されているため、本資料ではコントロール建屋固有の確認事項を抽出する。

「原子炉建屋における検討」では、確認事項として次の3項目を抽出している。

- ① 建屋側面に防水層が存在する場合に防水層と地盤間で摩擦力が伝達可能か
- ② 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ、埋込みSRモデルへ回転ばねを適用することが妥当か
- ③ 隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しないか

このうち、確認事項①の防水層に関する項目については、図2-7及び表2-2のとおりコントロール建屋の防水層も原子炉建屋と同様の仕様で施工されていることから、検討項目として取り扱わないこととする。また、確認事項③の隣接建屋等の影響については、「原子炉建屋における検討」により建屋の拘束効果に与える影響は小さいことを確認していることから、検討項目として取り扱わないこととする。

一方、確認事項②については、コントロール建屋は原子炉建屋に比べて埋込深さが浅く建屋の規模も小さいことから、地下外壁と側面地盤の間の接触・剥離による建屋の拘束効果がどの程度期待できるかを確認することは重要である。

したがって、コントロール建屋では上記の確認事項②に着目し、「原子炉建屋における検討」と同様に地盤を2次元FEM、建屋を質点モデルでモデル化した詳細な解析モデルによる地震応答解析を行い、側面地盤による建屋の拘束効果を検討する。その上で、埋込みSRモデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答と2次元FEMモデルによる建屋応答を比較し、埋込みSRモデルによる建屋応答が妥当であることを確認する。

## 2. 確認事項の整理と検討方針

側面回転ばねを考慮することの目的・効果を説明した上で、側面回転ばねを考慮するに当たっての確認事項に対する検討方針を設定する。

### 2.1 側面回転ばねを採用する目的・効果について

今回工認のコントロール建屋の水平方向の地震応答解析モデルでは、原子炉建屋と同様に埋込みSRモデルを用いるものとする。既工認から考慮しているNovakの側面水平ばねに加え、図2-1に示すようにNovakの側面回転ばねを採用する。

これは、2007年新潟県中越沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋のシミュレーション解析において、ほかの項目（コンクリート実剛性等）と併せて、側面回転ばねを採用したモデルによる解析結果が、観測記録を精度良く再現できたことを踏まえ、より実状に近い建屋応答を再現するという観点から、側面回転ばねによる効果を考慮することとしたものである。また、側面回転ばねを考慮することにより、埋込みSRモデル適用の判定基準として用いる接地率の改善効果も期待できる。

側面回転ばねを考慮することが建屋応答に与える影響を定量的に把握するために検討を実施した。検討に当たっては、①既工認ベースのモデル（以下「側面回転ばね非考慮モデル」という。）、②既工認ベースのモデルに側面回転ばねを追加したモデル（以下「側面回転ばね考慮モデル」という。）のそれぞれの解析モデルについて、建屋応答が大きい基準地震動  $S_s$  のうち  $S_s-1H$  を代表波として動的解析を実施し、結果を比較することとした。表2-1に接地率、図2-2に床応答スペクトル、図2-3に建屋の最大応答せん断ひずみについての比較結果を示す。

まず、表2-1から側面回転ばねを考慮することによって接地率が大きく改善することが確認できる。接地率は前述のとおり、埋込みSRモデル適用の判定基準として用いる指標である。「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 -2008」（（社）日本電気協会）を参考に、接地率が50%を下回った場合においては、埋込みSRモデルの適用範囲外とし、特別な検討が必要になると考えている。

図2-2の床応答スペクトルについては、側面回転ばねを考慮することにより、短周期側の応答スペクトルを多少低減する効果が認められる。側面回転ばねは、建屋の地下側面と地盤の間の摩擦力による建屋の回転方向の拘束効果をモデル化したものであるため、その効果で短周期側の振動が低減したものと考えられる。

図2-3の建屋のせん断ひずみは、耐震壁の耐震安全性評価の評価基準値として参照する応答値であるが、側面回転ばね非考慮モデル及び側面回転ばね考慮モデルともに評価基準値に対して十分な余裕がある。

以上で説明したとおり、側面回転ばねを考慮することの主要な目的としては、「側面の摩擦力による拘束効果をモデルに取り込むことによってより実状に近い応答を模擬すること」にあると考えており、結果として埋込みSRモデル適用の判定基準として用いる接地率が改善することとなる。

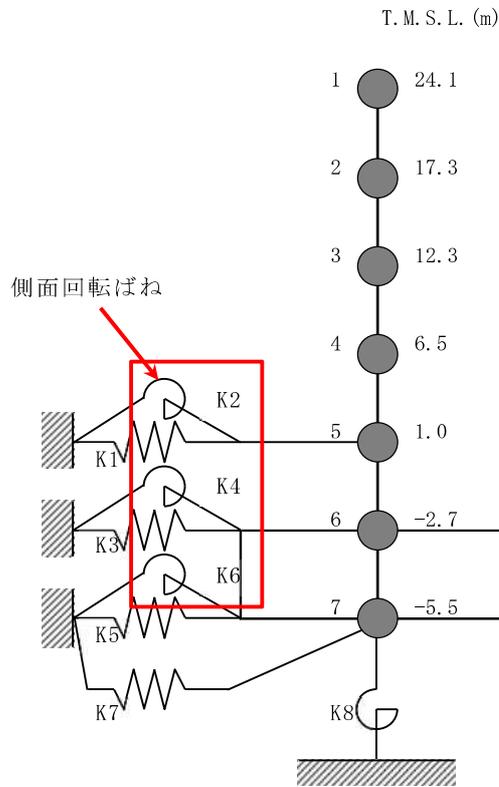
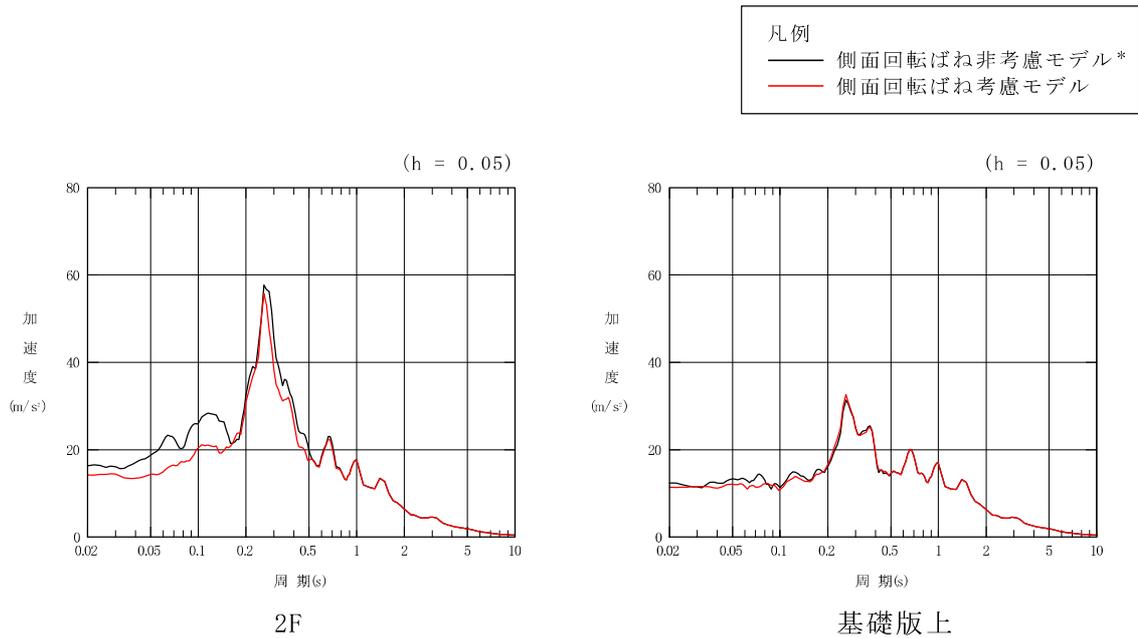


図2-1 コントロール建屋の地震応答解析モデル（水平方向）

表2-1 側面回転ばねが建屋底面の接地率に与える影響（Ss-1）

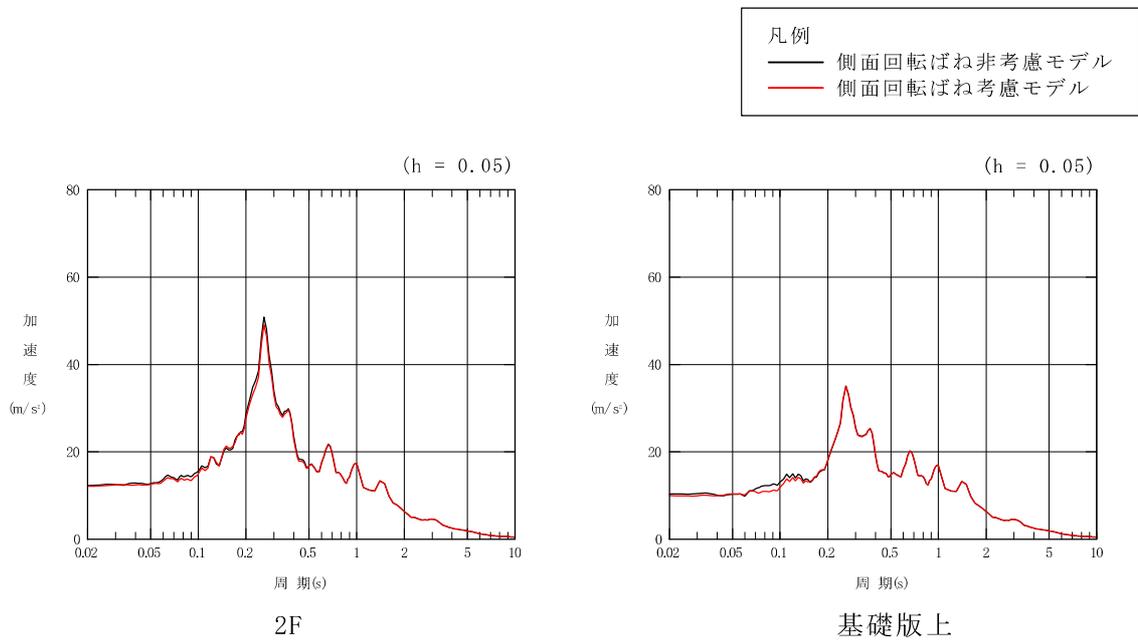
解析ケース	接地率	
	NS方向	EW方向
①側面回転ばね非考慮モデル	38%*	68%
②側面回転ばね考慮モデル	55%	76%

注記\*：「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 -2008」における埋込みSRモデル適用の判定基準である接地率50%を下回っているため、参考値とする。



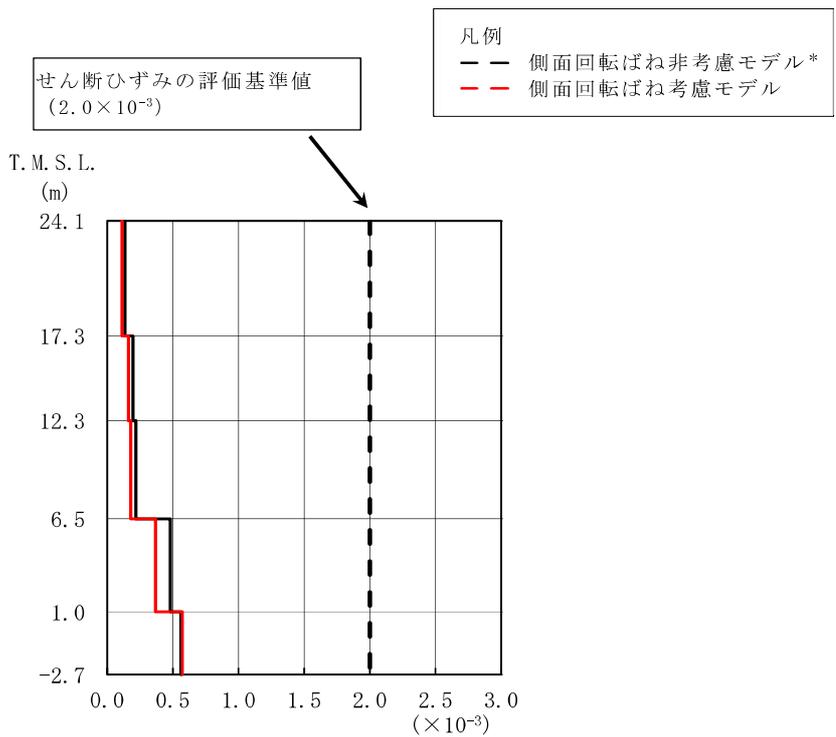
注記\* : 「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 -2008」における埋込み SR モデル適用の判定基準である接地率 50%を下回っているため、参考とする。

(a) NS方向



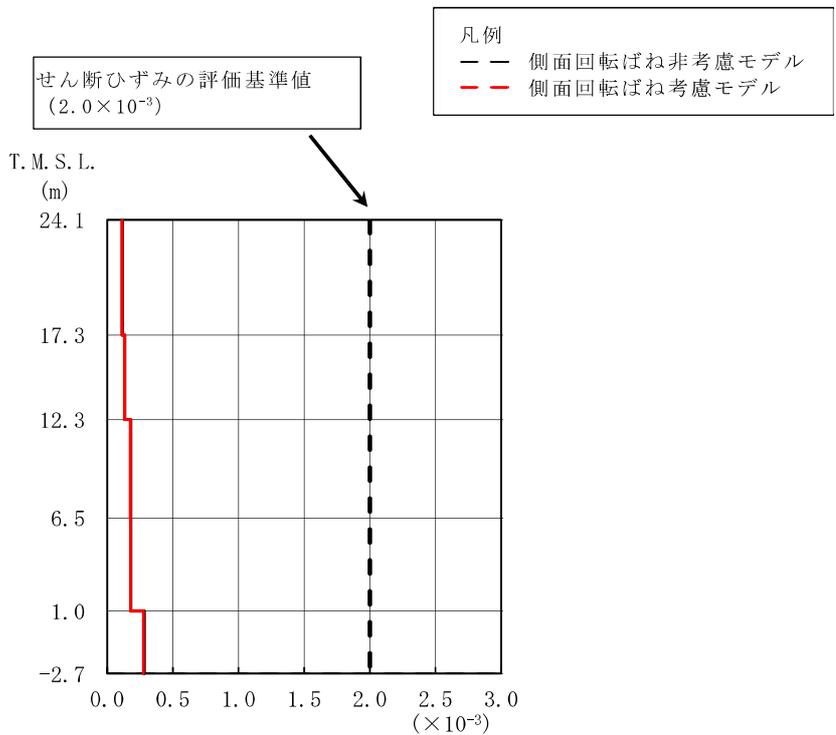
(b) EW方向

図2-2 側面回転ばねが床応答スペクトルに与える影響 (Ss-1)



注記\* : 「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 -2008」における埋込み SR モデル適用の判定基準である接地率 50%を下回っているため、参考とする。

(a) NS方向



(b) EW方向

図2-3 側面回転ばねが応答せん断ひずみに与える影響 (Ss-1)

## 2.2 建屋の設置状況を踏まえた確認事項と検討方針

### 2.2.1 確認事項

Novakの側面回転ばねは、図2-4に示すように、建屋地下外壁部と側面地盤との間に作用するせん断力による建屋の回転方向の変形に対する拘束効果を表現したものであり、側面回転ばねを採用することの妥当性・適用性の確認に当たっては、埋め込みの状況や建屋周辺部の状況を適切に考慮した上で、側面回転ばねの反力を負担できることを確認する必要があると考えられる。

コントロール建屋の地盤及び周辺建屋の設置状況の詳細について、図2-5に平面図、図2-6に断面図を示す。

地下外壁部については図2-7及び表2-2に詳細を示すとおり、原子炉建屋と同じ仕様の防水層が設けられており、建屋地下外壁が防水層を介しておおむね西山モルタル（マンメイドロック）と接する状況にある。防水層を介した場合に建屋地下外壁部と側面地盤との間でせん断力が伝達可能かどうかについては、「原子炉建屋における検討」において実験的検討により確認している。

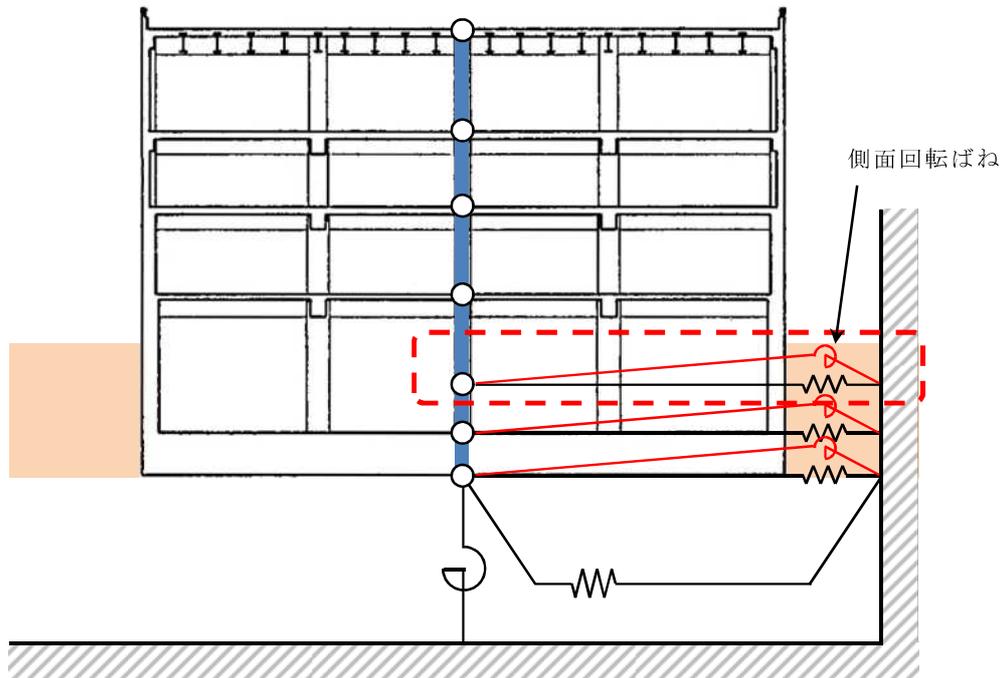
また、今回工認で採用する地震応答解析モデル（埋込みSRモデル）への適用性の検討に当たっては、コントロール建屋の検討に用いる基準地震動 $S_s$ を想定した場合でも側面回転ばねが機能することを確認することが必要と考えられる。地震時には建屋地下外壁面と側面地盤の境界部で、地盤の接触剥離の発生や土圧変動が発生することにより、建屋外壁と地盤との間に作用して建屋の動きを抑える力（せん断力や軸圧等）、すなわち、側面地盤による建屋の拘束効果が影響を受けることが想定されることから、それらの影響を考慮した上での適用性を示すことが必要であると考えられる。具体的には、地震時に建屋と地盤間がどの程度接触しているか、建屋と地盤間の摩擦でどの程度応力伝達ができるか、側面地盤反力の観点ではどうかについて検討し、力のやりとり（＝拘束効果）が得られることを確認する。

その上で、埋込みSRモデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答が、2次元FEMモデルと比較して妥当かどうかを確認する。

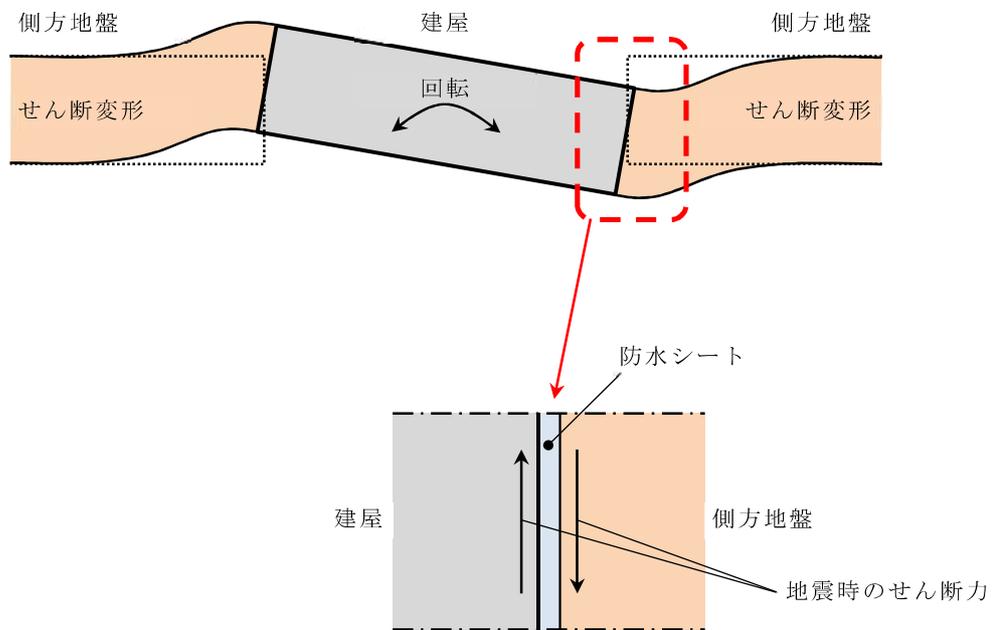
なお、図2-5、図2-6に示したとおり、コントロール建屋の周辺には原子炉建屋等の各種建屋が隣接しているが、「原子炉建屋における検討」で隣接建屋等が建屋の拘束効果に与える影響は小さいことを確認している。

以上のことから、コントロール建屋では、下記の確認を実施する。

確認事項：地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ、埋込みSRモデルへ回転ばねを適用することが妥当か



(a) コントロール建屋の埋め込み状況の概要



(b) Novakばねの効果イメージ

図2-4 側面回転ばねの作用機構概念

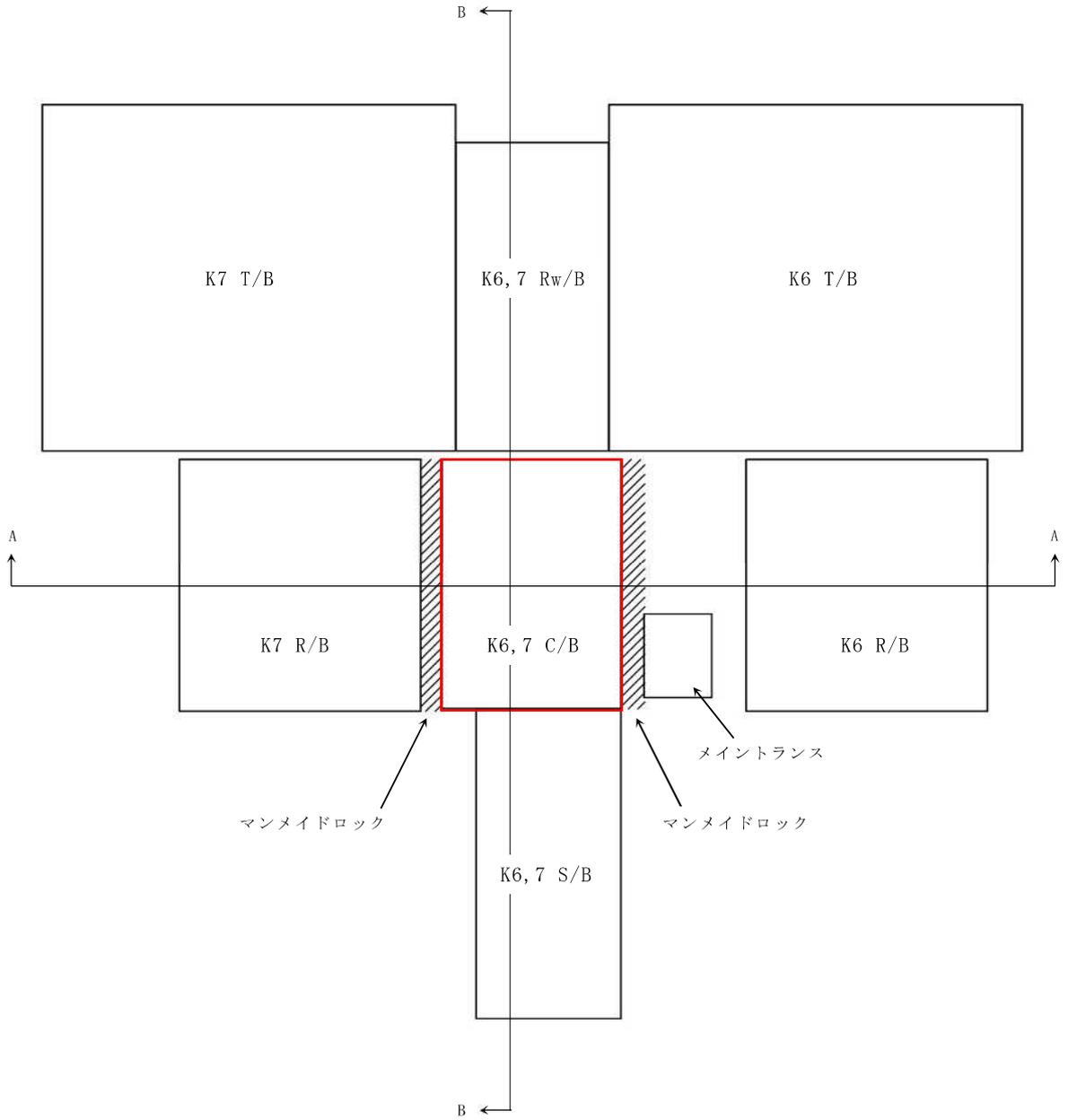
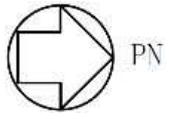


図2-5 コントロール建屋の設置状況（平面図）

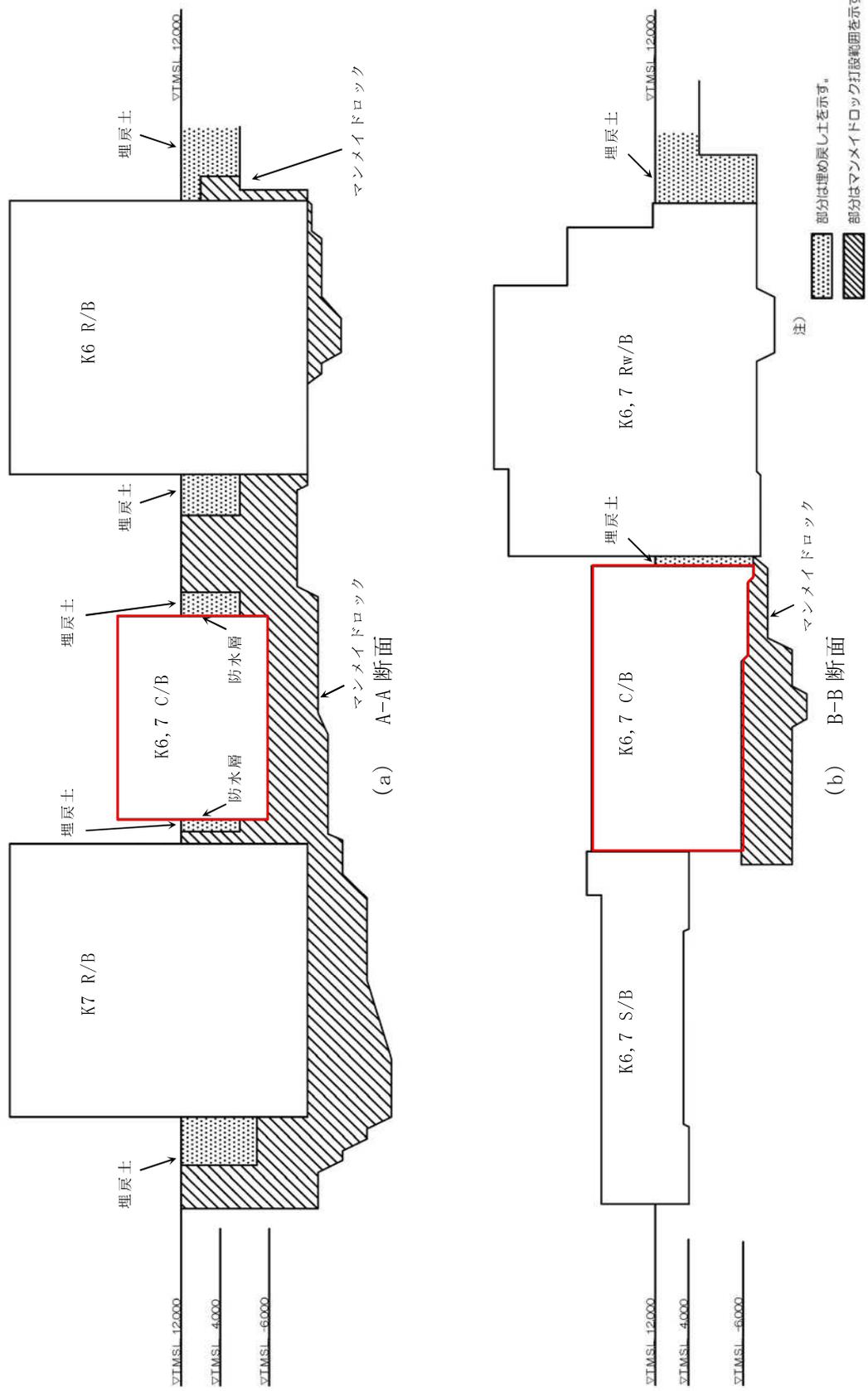


図 2-6 コントロール建屋の設置状況 (断面図) (単位：mm)

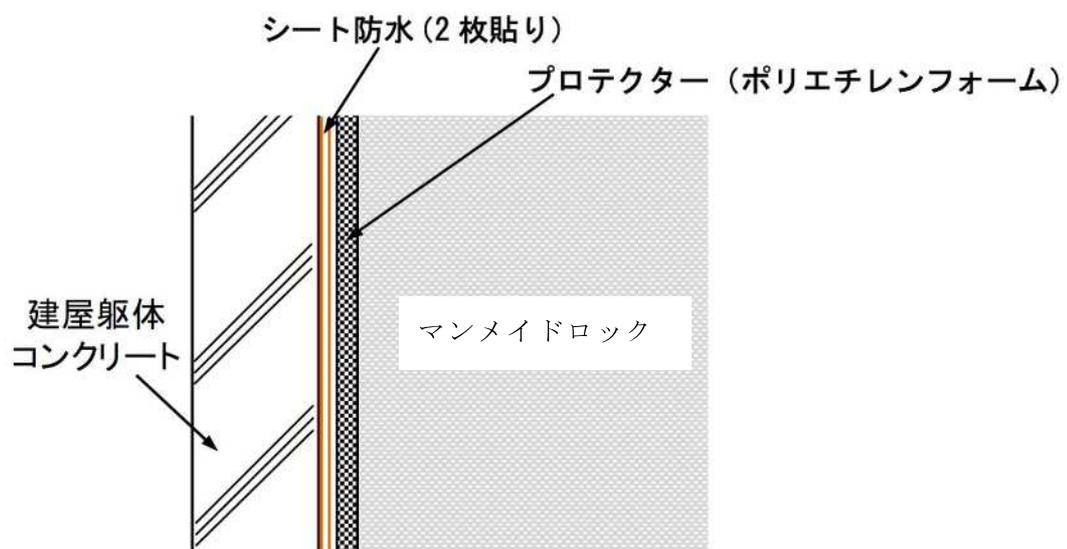


図2-7 地下外壁の防水施工状況

表2-2 コントロール建屋及び7号機原子炉建屋における防水層の仕様

使用材料		7号機原子炉建屋	コントロール建屋
1	プライマー	サンタックプライマーSR-200 〈早川ゴム(株)〉	同左
2	接着剤	サンタックボンド T 〈早川ゴム(株)〉	同左
3	1層目 防水シート	サンタックルーFR-400 t=1.5mm 〈早川ゴム(株)〉	同左
4	接着剤	サンタックボンド T 〈早川ゴム(株)〉	同左
5	2層目 防水シート	サンタックルーFTY-400 t=1.5mm 〈早川ゴム(株)〉	同左
6	接着剤	水性ボンド 〈(株)エイ・アール・センター〉	同左
7	保護層	テラタイトプロテクター+ポリエチレン フォーム t=7mm 〈奥山化工業(株)〉	同左
8	マンメイド ドロック	西山泥岩を細かく砕いた ものと砂をセメント系固化材 と水で固化させたもの	同左

## 2.2.2 検討方針

地震時には建屋地下外壁面と側面地盤の境界部で、地盤の接触剥離の発生や土圧変動が発生することにより、外壁側面の摩擦抵抗力が影響を受ける。そこで、FEMモデルを用いた地震応答解析を行い、基準地震動  $S_s$  時における建屋－側面地盤の境界部の接触剥離及び摩擦を検討する。FEMモデルには図2-8に破線で示す建屋－地盤境界部に接触剥離や摩擦を考慮したジョイント要素（軸ばねとせん断ばね）を設ける。なお、地盤の接触剥離の発生や地盤摩擦試験結果に基づく滑りを伴う動摩擦特性を考慮した解析を行うため、ここでは解析演算上の利便性の良い2次元FEMモデルを用いることとした。

検討に用いるモデルを図2-9に示す。図2-9に示す解析モデルは、建屋を質点系モデルとし、地盤を成層地盤としてモデル化するが、建屋周囲に存在するマンメイドロックも考慮する。

上記の2次元FEMモデルによる詳細な地震応答解析を行い、地震時に建屋と地盤間がどの程度接触しているか、建屋と地盤間の摩擦でどの程度応力伝達ができるか、側面地盤反力の観点ではどうかについて検討し、力のやりとり（＝拘束効果）が得られることを確認する。

その上で、埋込みSRモデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答が、2次元FEMモデルと比較して妥当かどうかを確認する。

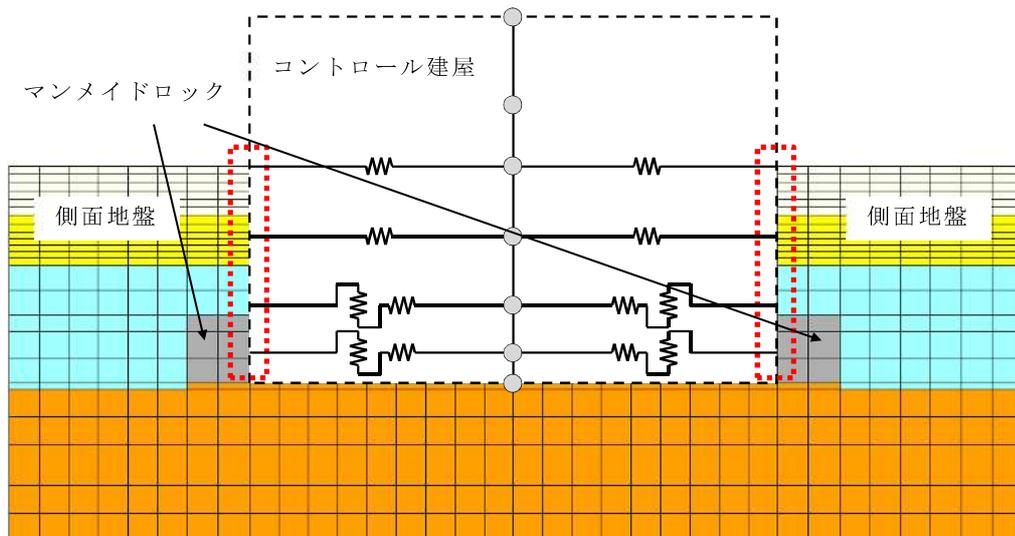
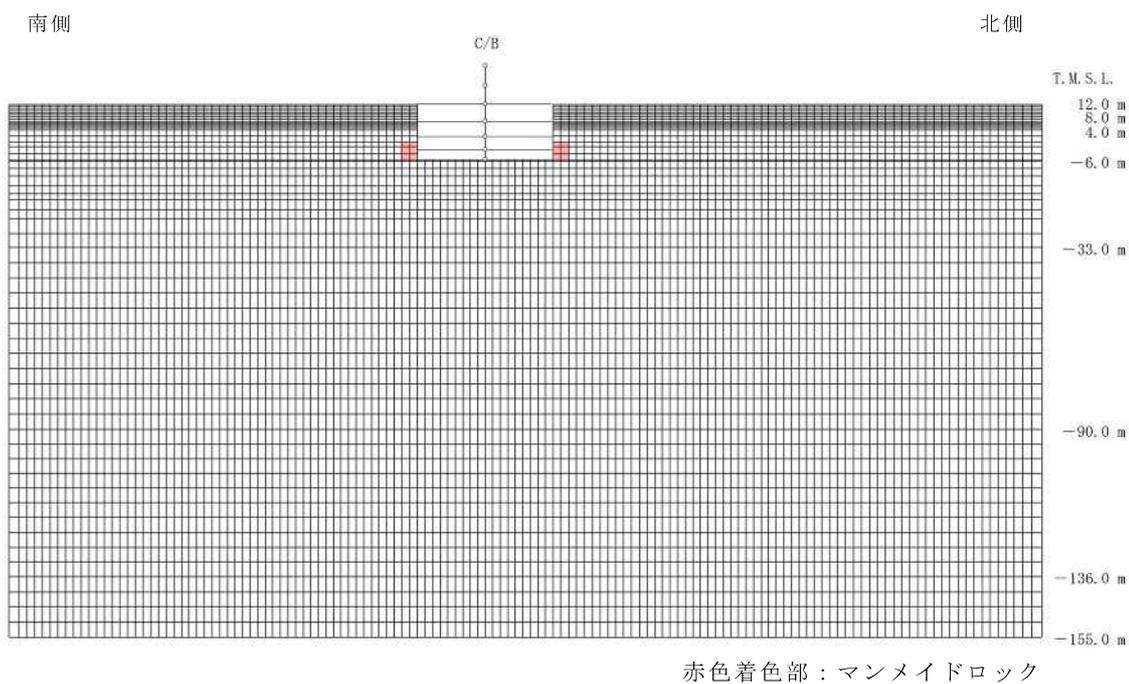


図2-8 建屋と隣接地盤の剥離・接触の検討箇所



赤色着色部：マンメイドロック

図 2-9 コントロール建屋 解析モデル図 (NS 方向)

### 3. 確認事項に対する検討

確認事項「地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ、埋込みSRモデルへ回転ばねを適用することが妥当か」について検討を行う。

#### 3.1 検討概要

##### 3.1.1 検討内容

下記の2項目について検討を行う。

##### (1) 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮した建屋拘束効果の検討

剥離や土圧変動を考慮した2次元FEMモデルによる地震応答解析を実施し、地震時に建屋と地盤間がどの程度接触しているか、建屋と地盤間の摩擦でどの程度応力伝達ができるかを確認する。更に、建屋の回転に対する側面地盤反力の観点より、2次元FEMモデルによる反力を算定し、埋込みSRモデルによる結果と比較検討を行う。これらより、地震時に建屋－地盤間の剥離や土圧変動を考慮しても、側面地盤の拘束効果が得られることを確認する。

##### (2) 2次元FEMモデルと埋込みSRモデルによる建屋応答比較

Novakばねで表現した埋込みSRモデルによる地震応答解析を実施し、2次元FEMモデルによる建屋応答の比較検討を行う。これにより、Novakばねで表現した埋込みSRモデルによる建屋応答解析の妥当性を確認する。なお、建屋と地盤間の摩擦を期待するのは建屋外壁とマンメイドロック間であることから、解析対象はNS方向とする。

検討フローを図3-1及び図3-2に示す。

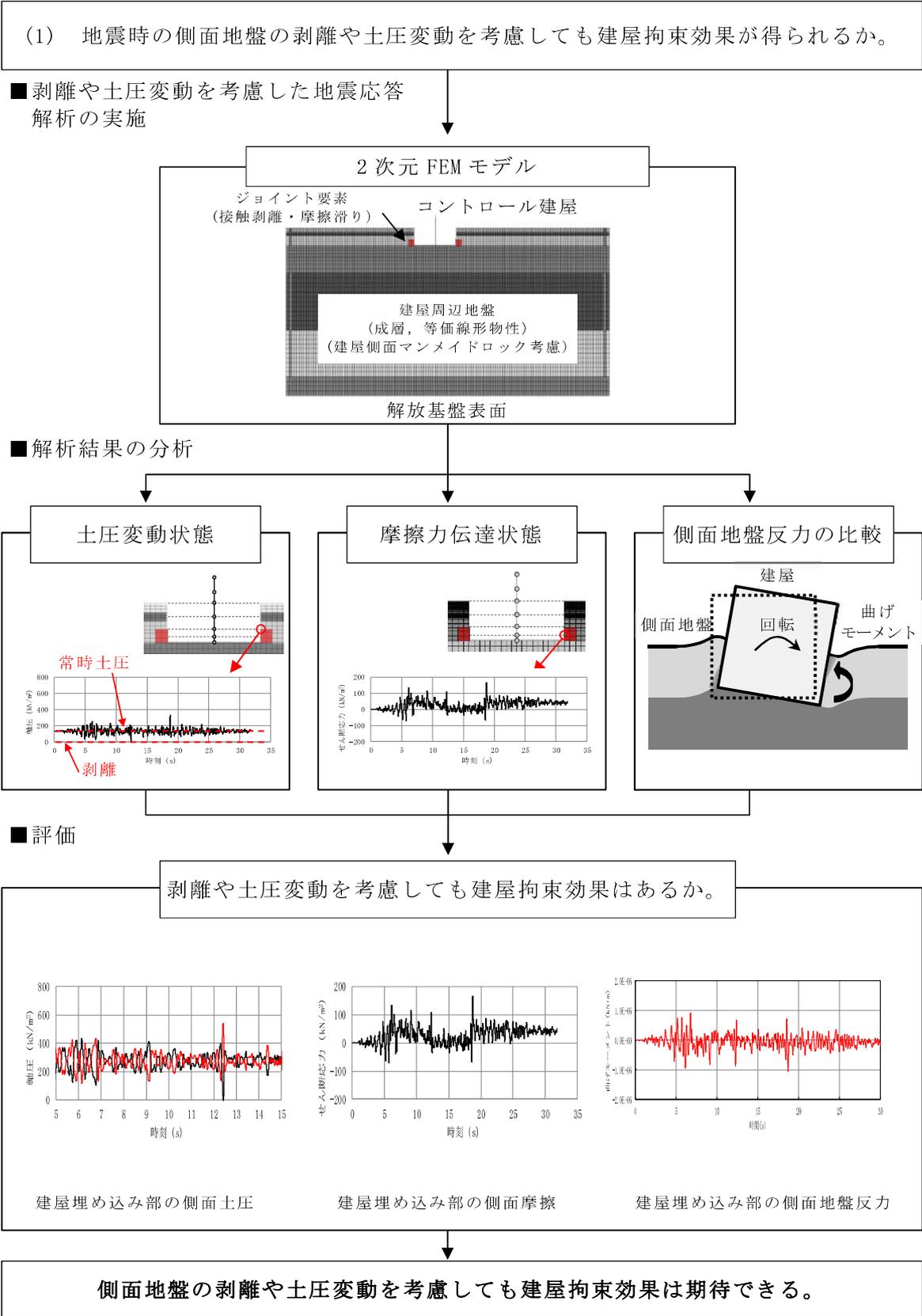
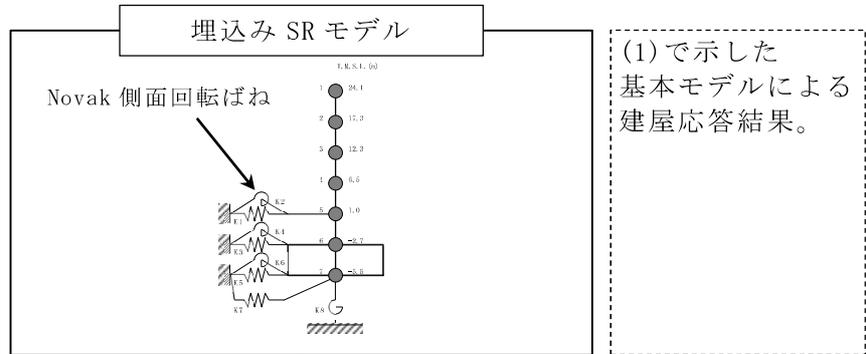


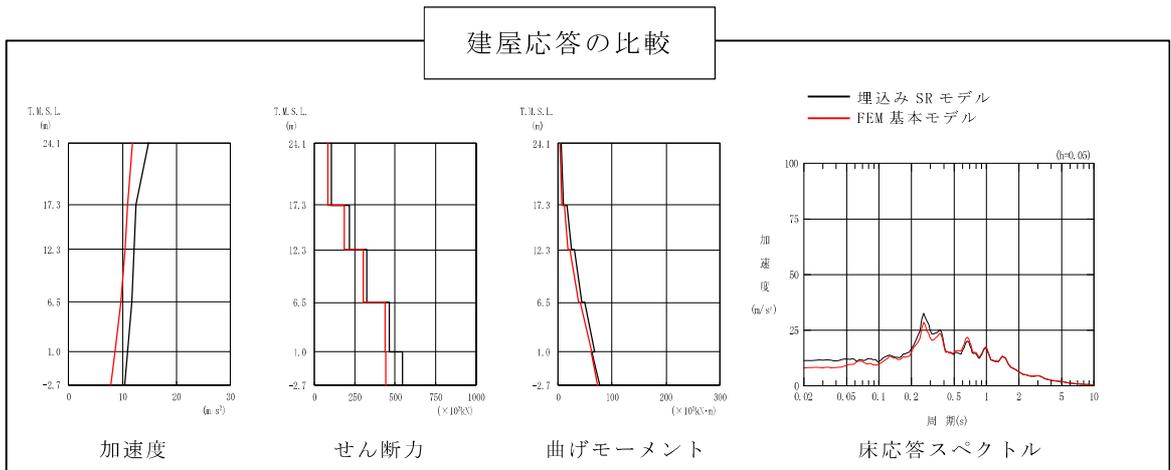
図3-1 確認事項に対する検討フロー (その1)

(2) 2次元 FEM モデルと埋込み SR モデルによる建屋応答を比較しても Novak ばねで表現した埋込み SR モデルによる建屋応答は妥当か。

■ 側面回転ばね考慮の埋込み SR モデルによる地震応答解析の実施



■ 解析結果の分析



■ 評価

埋込み SR モデルへの側面回転ばねのモデル方法の妥当性。

埋込み SR モデルへ側面回転ばねを適用することは妥当である。

図3-2 確認事項に対する検討フロー (その2)

### 3.1.2 検討用地震動

対象とする地震動は、基準地震動S<sub>s</sub>-1Hとする。図3-3に基準地震動S<sub>s</sub>-1Hの加速度波形を示す。

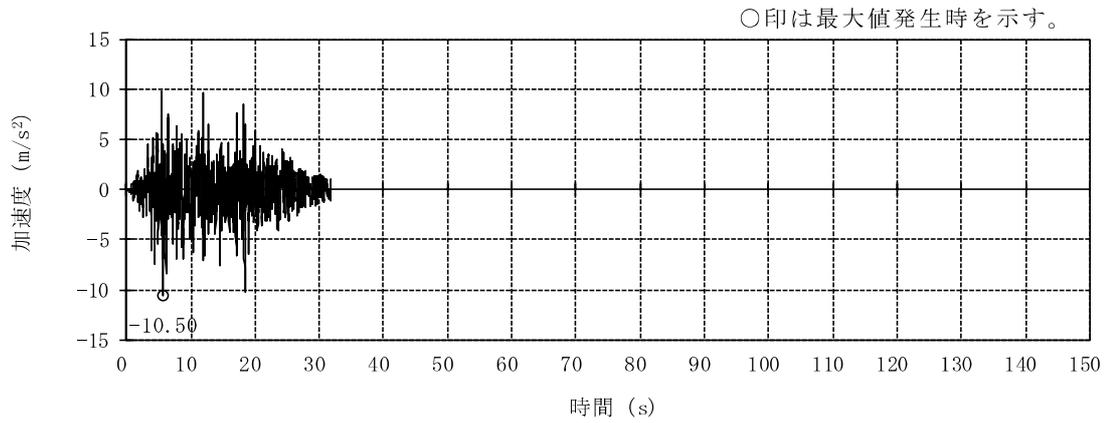


図3-3 基準地震動S<sub>s</sub>-1Hの加速度波形（解放基盤表面）

### 3.1.3 解析モデル

#### (1) 2次元FEMモデル

コントロール建屋を質点系モデル，地盤を2次元FEMモデルとし，コントロール建屋地下外壁と側面地盤の間の接触剥離や鉛直方向の摩擦滑り及び建屋基礎底面の浮上りを考慮した詳細なモデルを用いて非線形地震応答解析を行い，応答性状を把握する。解析コード「Soil Plus」を用いる。地震応答解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

なお，本検討で2次元FEMモデルを用いた理由は以下のとおりである。

- ・ 2次元FEMモデルでは外壁周辺の側面地盤の剥離や摩擦力，外壁に作用する変動土圧は振動方向に直交する面（2面）に考慮されるが，振動方向に並行となる面（2面）に対しては，剥離や変動土圧に伴う摩擦力は考慮しないことになる。したがって，地盤を3次元FEMとする場合よりも地盤による建屋の拘束効果は小さ目に考慮されると考えられる。
- ・ 2次元FEM解析に比べて3次元FEM解析は解析時間が多大に要する。このため，解析条件を変えた影響検討を含めた解析を行う場合は，2次元FEM解析のほうが有用である。

#### a. 地盤のモデル化

成層地盤に加えて建屋地下外壁側面のマンメイドロックを考慮した地盤とする。成層地盤の物性は，図3-3に示すSs-1Hを対象に，既工認における地盤物性値（せん断波速度，単位体積重量等）と非線形特性（剛性低下率 $G/G_0 \sim \gamma$ 及び減衰定数 $h \sim \gamma$ ）を用いて，地盤のひずみ依存特性を考慮した一次元波動論による等価線形解析の結果に基づく等価物性とする。地盤の減衰特性はレーリー減衰とし，各地盤の減衰定数を与える。

地盤の境界条件は，地盤の半無限的な広がりを表現するために，底面を粘性境界，側面を粘性境界かつ周期境界とする。また，境界条件の影響を受けないように，地盤のモデル化範囲を大きく設定し，水平方向はコントロール建屋の建屋幅の6倍程度，深さ方向は地表面から解放基盤表面までとした。

表3-1に成層地盤の物性を，表3-2にマンメイドロックの物性を示す。図3-4～図3-5に地盤のメッシュ図を示す。

b. 建屋地下外壁と側面地盤のジョイント部のモデル化

建屋地下外壁と側面地盤の間は、側面地盤の剥離・接触を表す軸ばね（水平方向）及びせん断抵抗を表すせん断ばね（鉛直方向）で接続する。

軸ばねは、側面地盤が剥離した時には剛性（引張り方向）を0とし、接触中の剛性（圧縮方向）は剛とした。また、軸ばねには静止土圧による初期応力を考慮する。軸ばねは側面地盤モデルのFEMメッシュの砂層を除いた各節点に設置する。

せん断ばねは、軸ばねと連成させて、側面地盤の剥離が生じている間は摩擦を0とする。また、せん断ばねの力が動摩擦力に達すると滑りが発生するものとし、軸ばねの圧縮軸力に応じて動摩擦力が変動するようにした（動摩擦力＝動摩擦係数×圧縮軸力）。なお、動摩擦係数及びせん断ばねのせん断剛性は摩擦試験結果から設定した。なお、せん断ばねは摩擦試験により摩擦力の存在が確認できたマンメイドロックと接触しているFEMメッシュの節点にのみに設定する。

図3-6に地下外壁と側面地盤要素接合及び建物基礎と底面地盤要素接合の概念図を示す。また、図3-7にせん断ばねの特性を示す。

c. 建屋基礎底面と地盤のジョイント部のモデル化

建屋基礎底面部分は浮上りを考慮する。基礎底面の地盤のFEMメッシュの各節点には浮上りを表す鉛直方向の軸ばねを設定する。鉛直方向の軸ばねについては、引張り側の剛性は0、圧縮側の剛性は剛とした。初期状態では基礎底面に建屋の自重による長期軸力を考慮する。なお、地盤・基礎各節点の水平自由度は多点拘束とする。

d. コントロール建屋のモデル化

コントロール建屋は後述する埋込みSRモデルと同様に質点系モデルとする。

表3-1 地盤物性

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	減衰 定数 $h$ (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.0996	0.369	0.27	23
+8.0		200	16.1	0.308	0.0788	0.657	0.12	28
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.01	1.92	0.53	6
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.22	4.75	0.89	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.28	6.14	0.86	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
-155.0	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	-
$\infty$								

表3-2 マンメイドロックの物性

単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 (%)
17.2	0.36	1910.0	5195.2	2.0

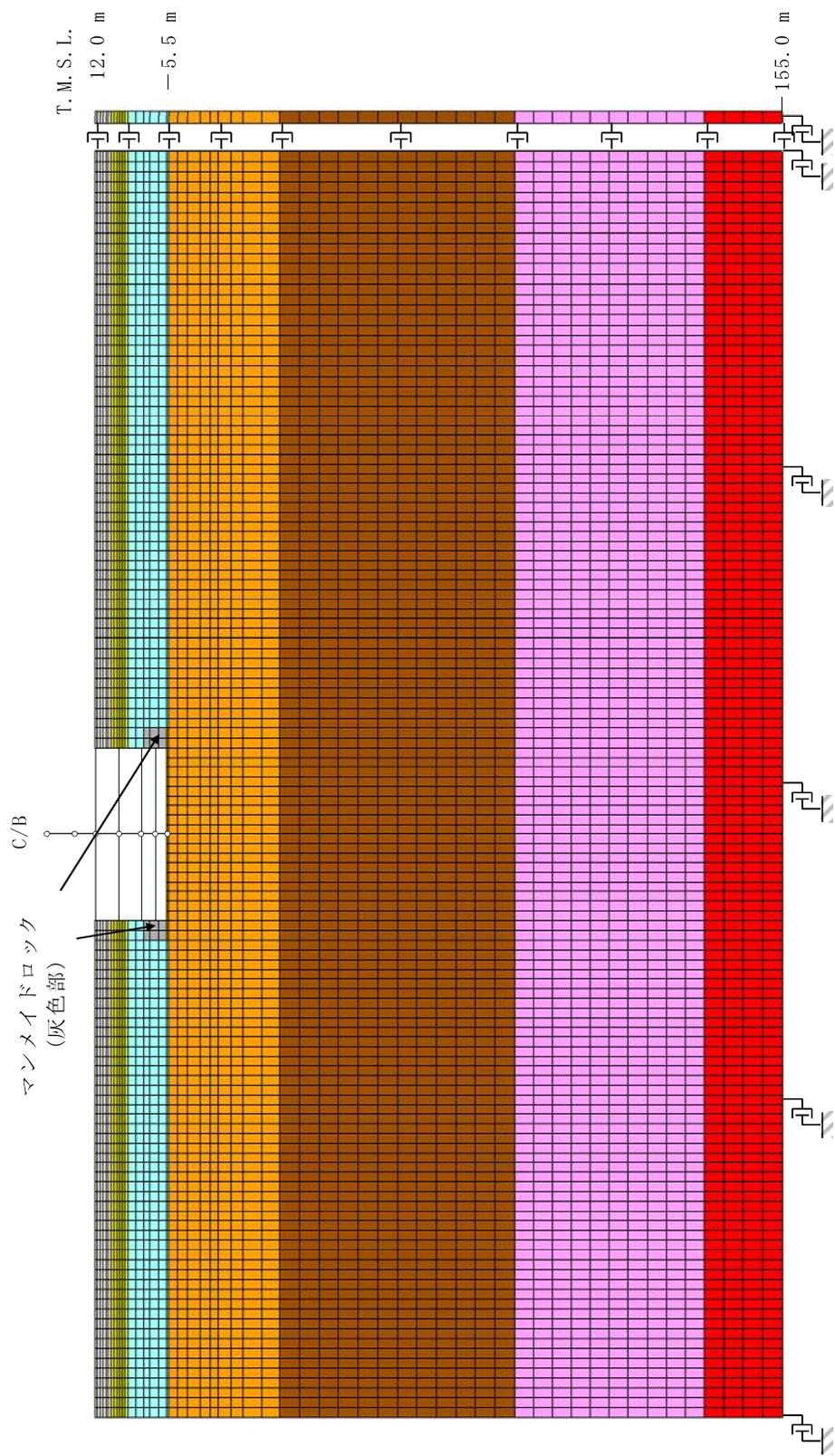


図 3-4 地盤メッシュ図

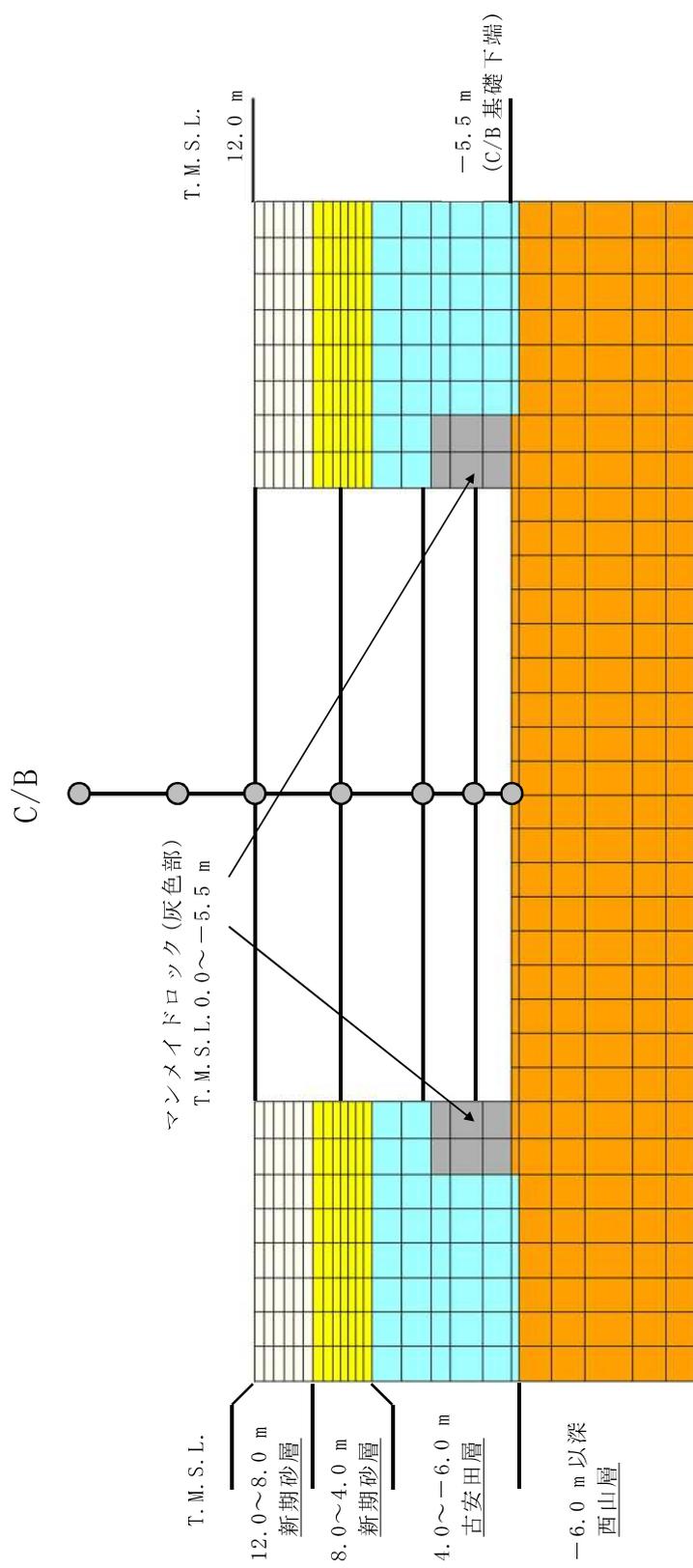


図 3-5 建屋周辺の地盤メッシュの詳細

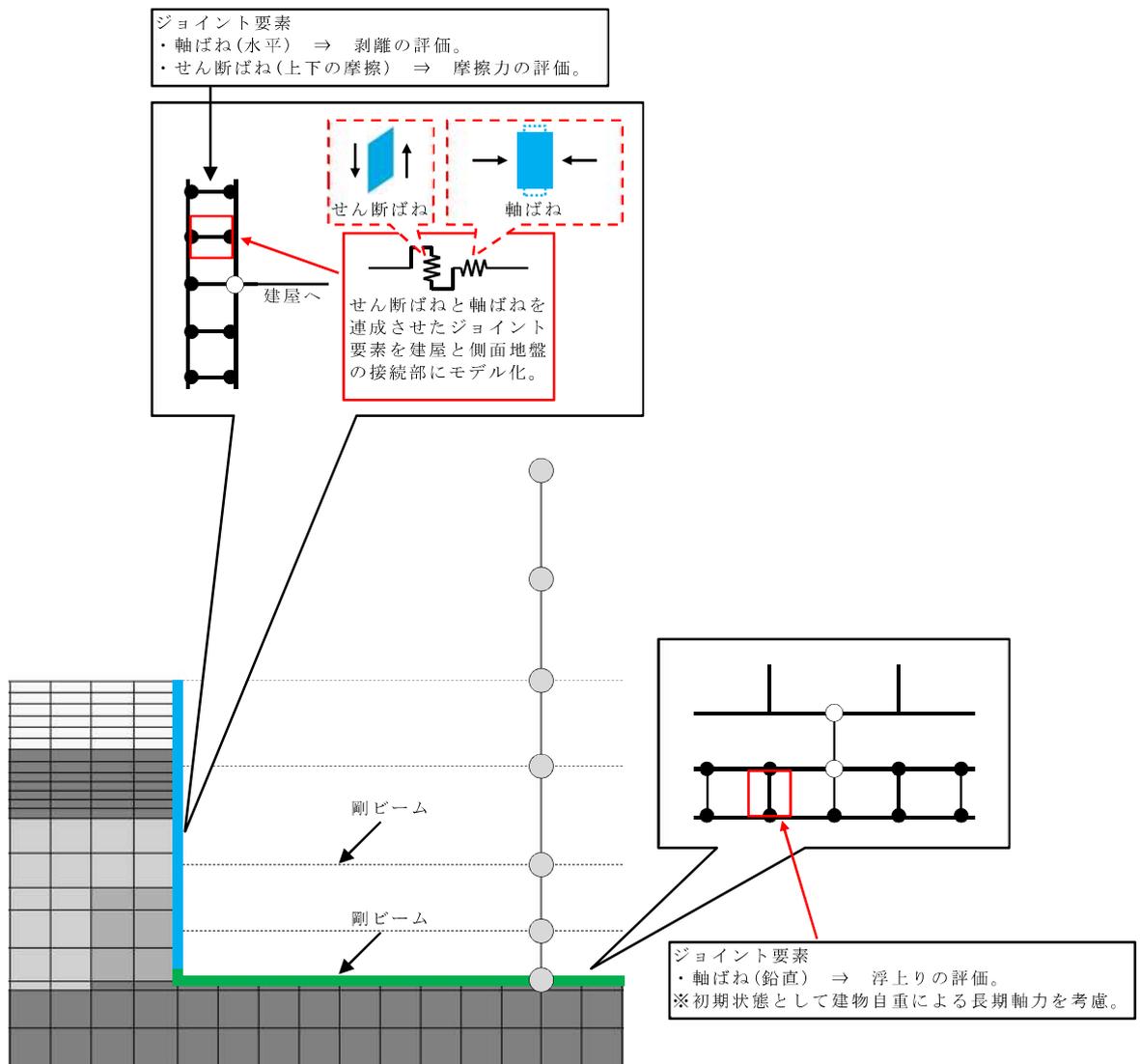
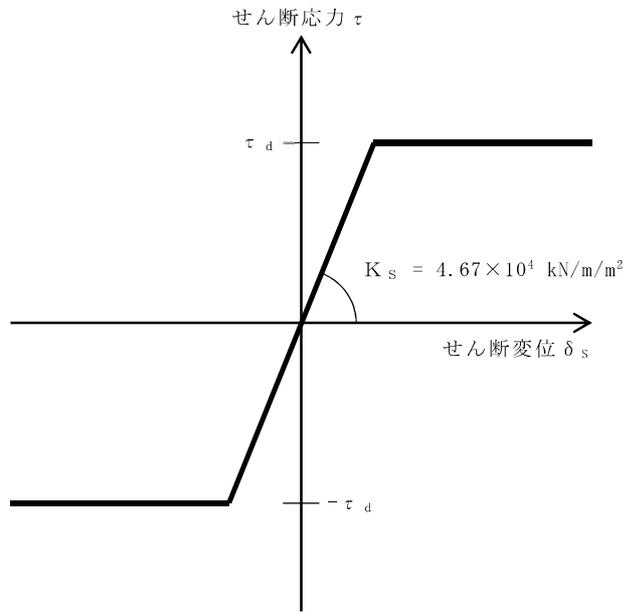


図3-6 建屋地下外壁と側面地盤要素及び建屋基礎と  
底面地盤要素との接合部のモデル化概要



せん断応力（摩擦力）－せん断変位関係

$$\tau_d = \text{動摩擦力} = 0.35 \times \text{垂直圧}$$

$$K_s = 4.67 \times 10^4 \text{ kN/m/m}^2 \text{ (単位面積当たり。)}$$

注：動摩擦係数と剛性  $K_s$  は摩擦試験結果をもとに設定。

図3-7 建屋地下外壁と側面地盤の間のせん断ばねの特性

(2) 埋込みSRモデル

今回工認の水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を質点系モデルとした埋込みSRモデルである。埋込み効果を考慮するため、コントロール建屋の地下外壁側面部分には側面水平ばねと側面回転ばねを取付けている。側面水平ばねと側面回転ばねはいずれもNovakばねとして、表3-1の地盤物性に基づき算定している。

コントロール建屋のせん断剛性及び曲げ剛性は非線形とし、今回工認で用いる建屋諸元を有するものとする。また、建屋の減衰は今回工認と同じひずみエネルギー比例減衰とし、減衰定数は $h = 5\%$ とする。

図3-8に建屋のモデル図を、表3-3及び表3-4に諸元を示す。コンクリートの実強度 ( $43.1\text{N/mm}^2$ ) に基づく剛性を反映し、かつ補助壁を考慮した今回工認モデルに対応したモデルとなっている。

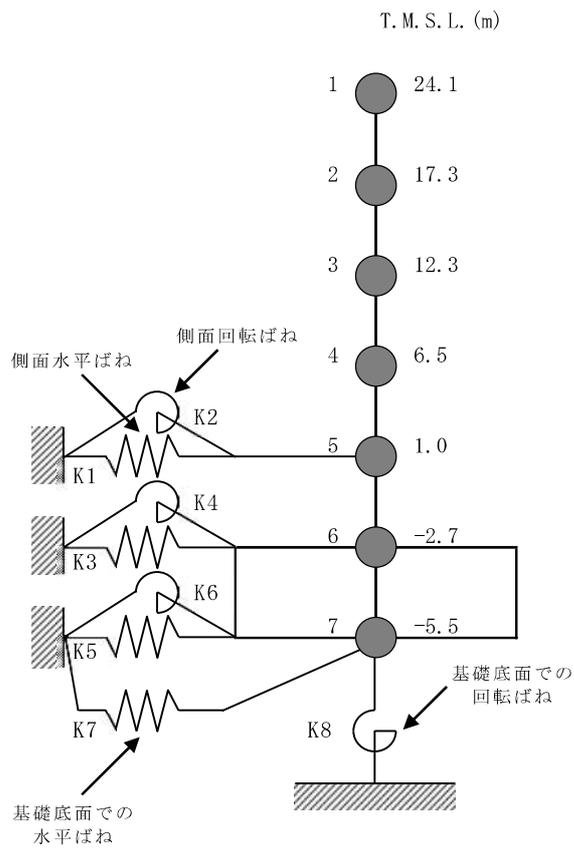


図3-8 埋込みSRモデル（水平方向）

表3-3 埋込みSRモデルの諸元 (NS方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント I ( $\text{m}^4$ )
1	68160	10.9			
			①	76.7	24000
2	92410	14.8			
			②	112.1	27400
3	103900	18.6			
			③	151.7	41700
4	120780	22.6			
			④	156.8	53200
5	65170	13.9			
			⑤	153.6	53200
6	124330	19.9			
			⑥	2478.0	364300
7	81650	12.0			
合計	656400				

① 建屋部

ヤング係数 E  $2.88 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.20 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

② 基礎スラブ

ヤング係数 E  $2.79 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.16 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

基礎形状 42.0m(NS方向) × 59.0m(EW方向) × 2.8m(厚さ)

表3-4 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS方向)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	5	側面・並進	$2.12 \times 10^6$	$7.71 \times 10^5$
K2	5	側面・回転	$1.21 \times 10^9$	$1.36 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$1.42 \times 10^6$	$5.17 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$8.11 \times 10^8$	$9.15 \times 10^7$
K5	7	側面・並進	$6.12 \times 10^5$	$2.23 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$3.49 \times 10^8$	$3.94 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.18 \times 10^7$	$2.17 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$3.50 \times 10^{10}$	$3.34 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7はkN/m K2, K4, K6, K8はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7はkN・s/m K2, K4, K6, K8はkN・m・s/rad

## 3.2 建屋拘束効果の検討

### 3.2.1 2次元FEMモデルによる検討

図3-9及び図3-10に地下外壁と側面地盤の間を接続する軸ばねの軸圧の時刻歴を、高さ方向に領域を設定しその領域ごとにまとめて、単位面積当たりの応力に換算して示す。ここで、各領域は埋込みSRモデルにおける各質点にとりつく側面回転ばねの支配領域に対応する。また、図3-11に上記の両側の地下外壁にある軸ばねの軸圧の時刻歴を応答の比較的大きい時刻について重ね描きしたものを示す。

これらの結果から以下が明らかである。

- ・ 軸圧は深度が増すほど大きくなる傾向にあり、ごく短時間の剥離が生じた場合に0になることもあるが、大部分の時間帯で軸圧が作用した状態となる。
- ・ 外壁両側の軸圧の時刻歴には逆位相の傾向がみられ、片側が剥離（軸圧0）してもその反対側では軸圧が作用している。
- ・ 軸圧は最大500kN/m<sup>2</sup>程度であり、摩擦試験で対象とした垂直圧の範囲と整合する。

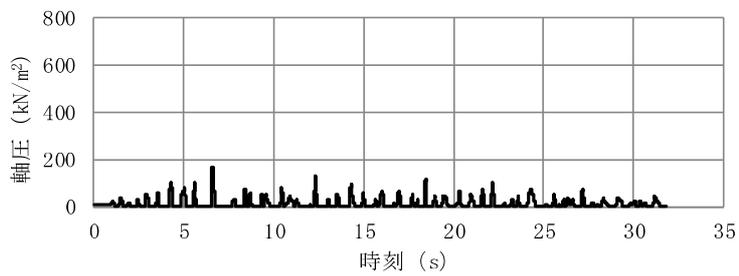
図3-12及び図3-13に地下外壁と側面地盤の間を接続するせん断ばねのせん断応力（摩擦力）の時刻歴を、建屋の南側及び北側について、高さ方向に領域をとりその領域ごとにまとめて、単位面積当たりの応力に換算して示す。ここで、各領域は埋込みSRモデルにおける各質点にとりつく側面回転ばねの支配領域に対応する。また、図3-14及び図3-15に領域ごとに平均化したせん断ばねのせん断変位の時刻歴を示す。

これらの結果から以下が明らかである。

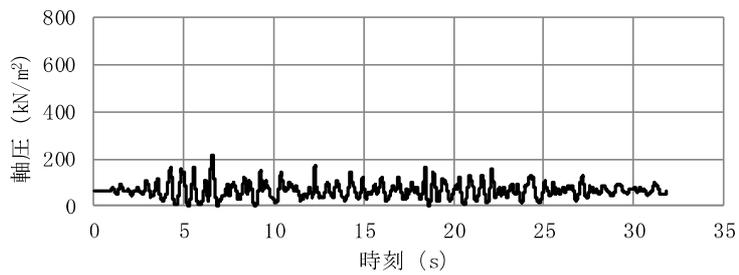
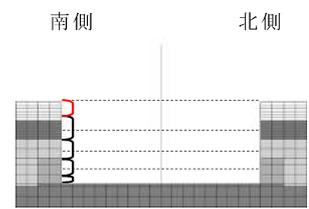
- ・ 軸圧の時間変化と建物の振動性状との組合せによるものとなり、ばねのせん断応力は、時間領域で細かく変動している。
- ・ 建屋が側面地盤よりも沈み込む方向をせん断ばねの正側にとると、建屋のロッキングにより沈み込むと考えられる正側でせん断力が大きくなる傾向を示している。
- ・ せん断変位分布は地表に近いほど大きい傾向にある。
- ・ せん断ばねの最大変位は4mm程度である。

せん断ばねは、軸圧の変化に応じて保持できる最大せん断力が変化する。ある軸圧下で最大せん断力に達した後は、一定の力を保ちながら滑る設定である。また、軸ばねに剥離が生じた際にはせん断力は作用しない。

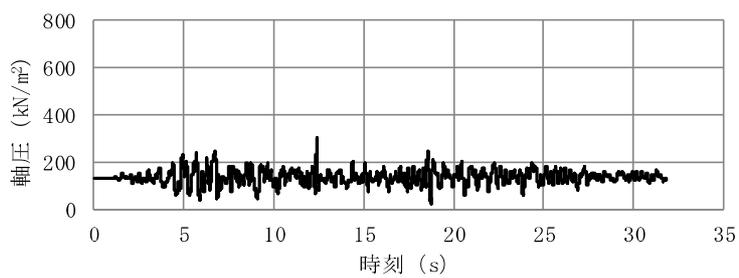
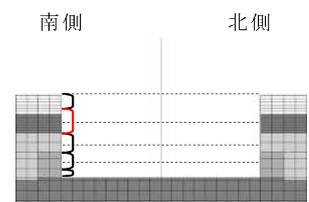
せん断変位は，せん断力作用時においてはせん断力と線形関係にあるが，せん断ばねに滑りが生じた場合や剥離が生じた場合には線形関係にはない。



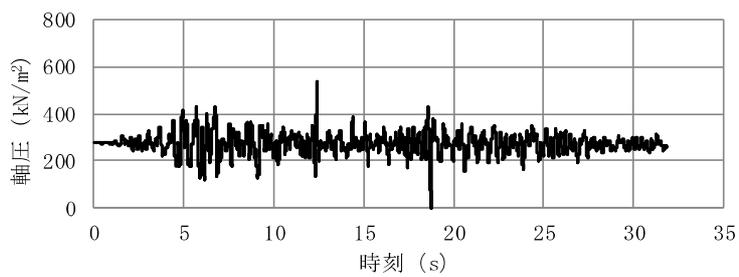
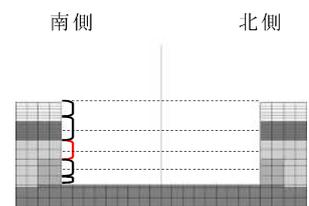
1F床位置 (T. M. S. L. 12.3m)



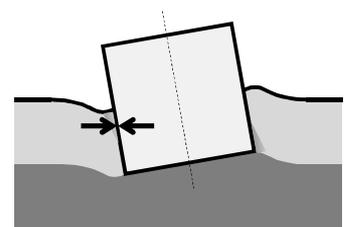
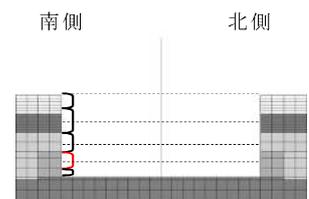
B1F床位置 (T. M. S. L. 6.5m)



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)

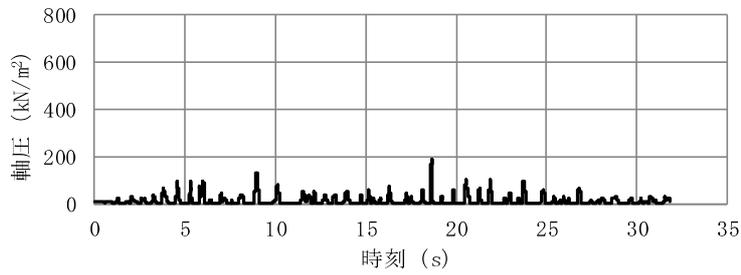


B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)

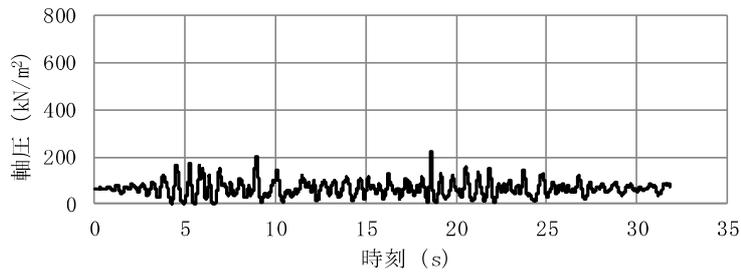
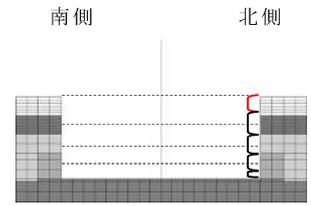


軸圧は、地盤を圧縮する方向を正とする。

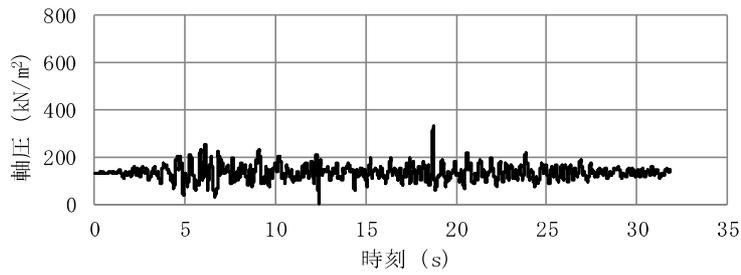
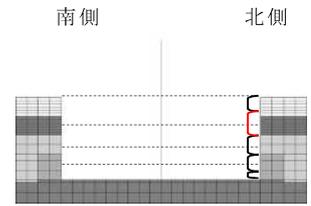
図3-9 軸ばねの軸圧の時刻歴(南側)



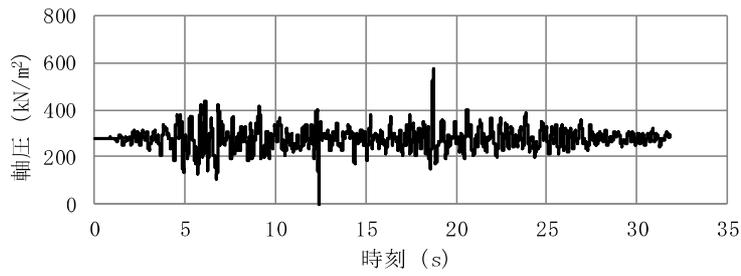
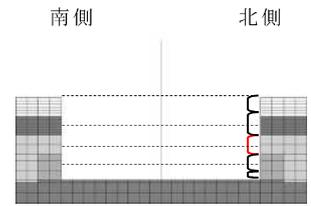
1F床位置 (T. M. S. L. 12.3m)



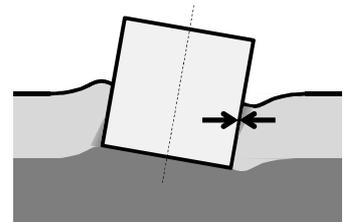
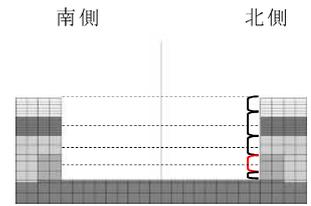
B1F床位置 (T. M. S. L. 6.5m)



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)



B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)



軸圧は、地盤を圧縮する方向を正とする。

図3-10 軸ばねの軸圧の時刻歴(北側)

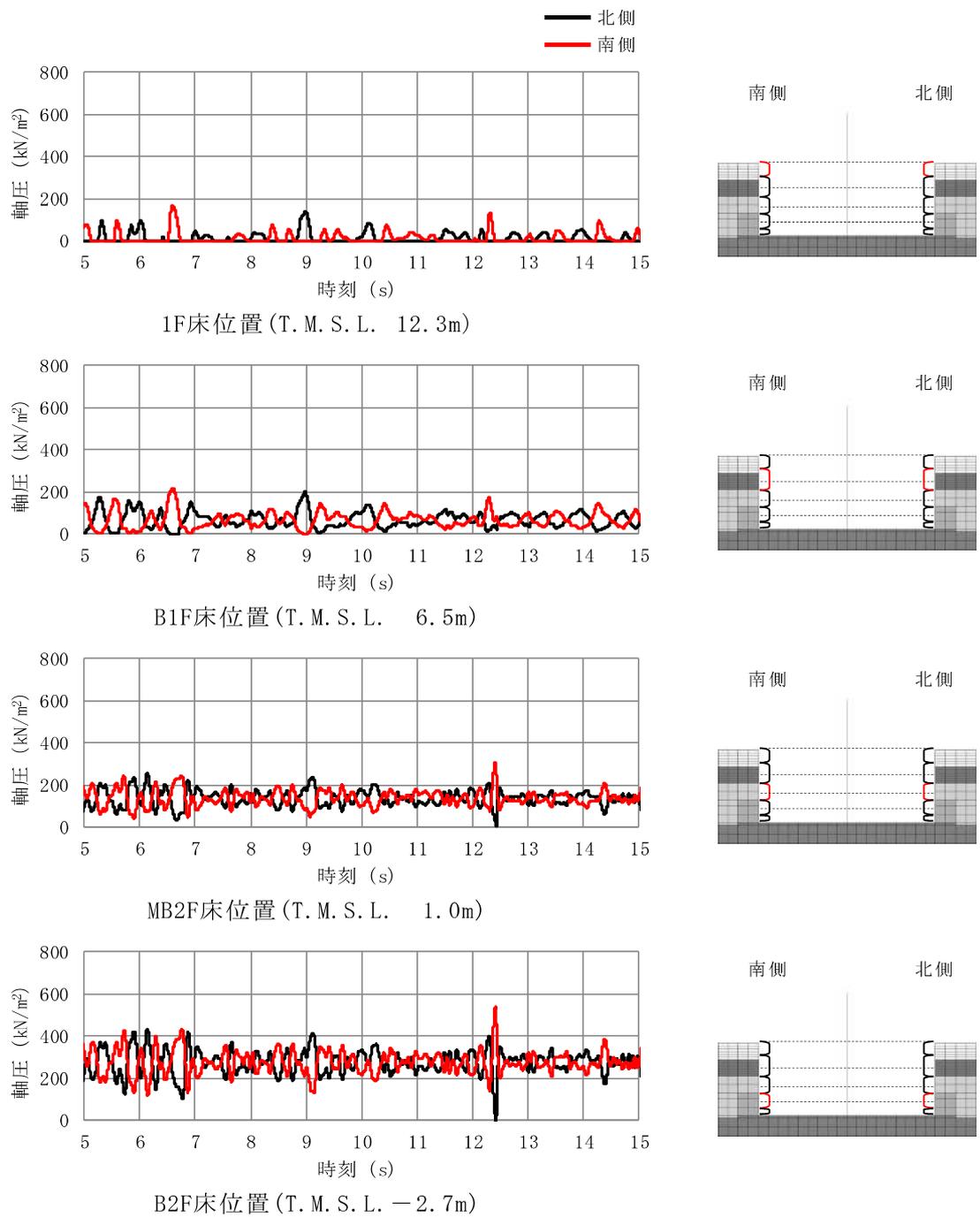
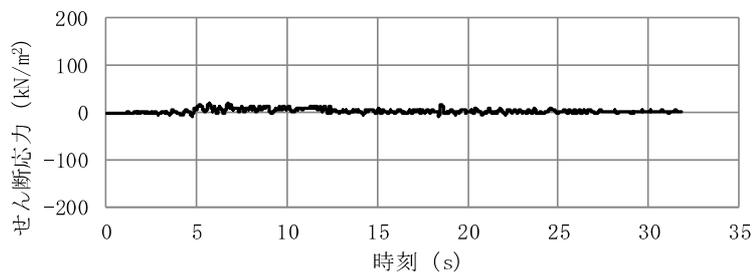
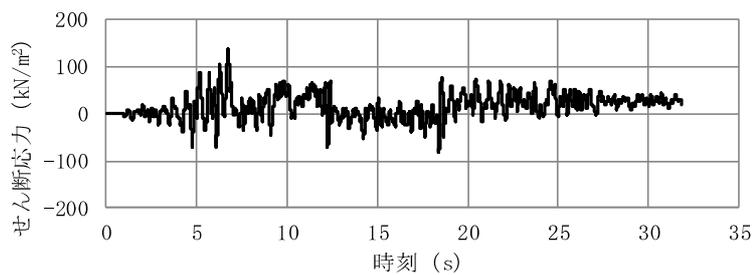


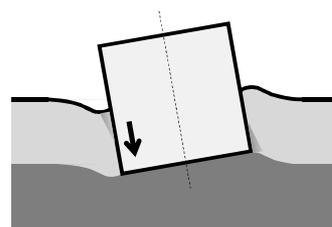
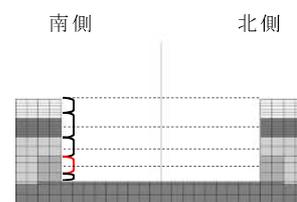
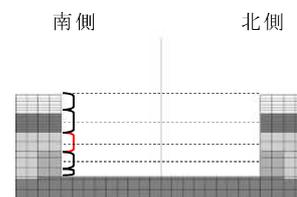
図3-11 南側と北側の軸ばねの軸圧の時刻歴の比較



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)



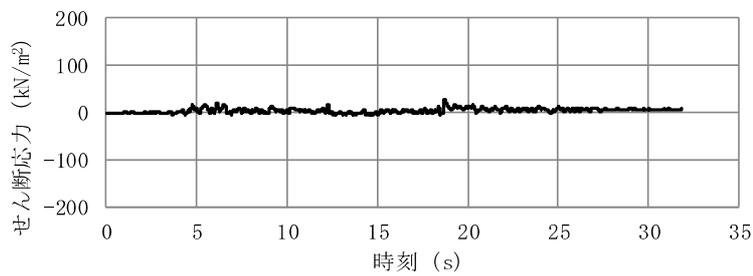
B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)



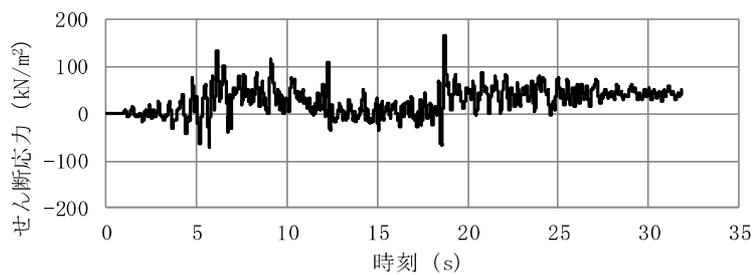
せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする。

注記：せん断ばねをモデル化しているMB2FおよびB2Fのみを示している。

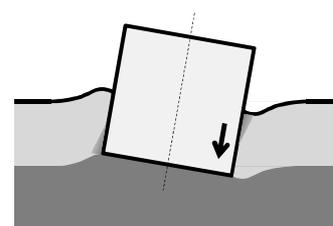
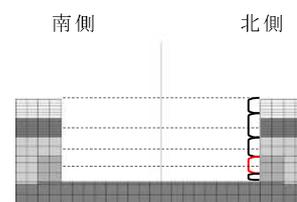
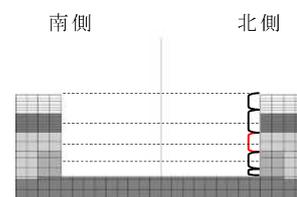
図3-12 せん断ばねのせん断応力の時刻歴(南側)



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)



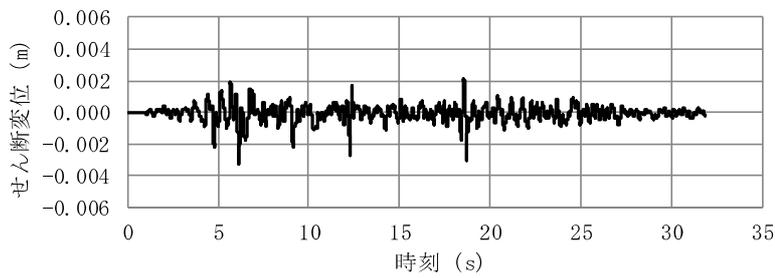
B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)



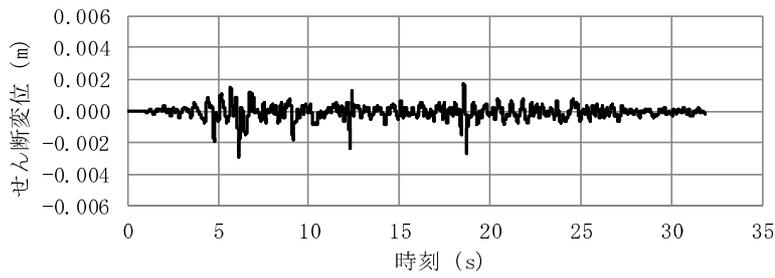
せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする。

注記：せん断ばねをモデル化しているMB2FおよびB2Fのみを示している。

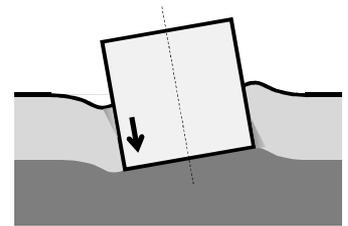
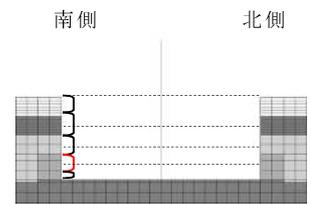
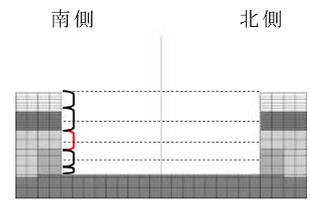
図3-13 せん断ばねのせん断応力の時刻歴(北側)



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)



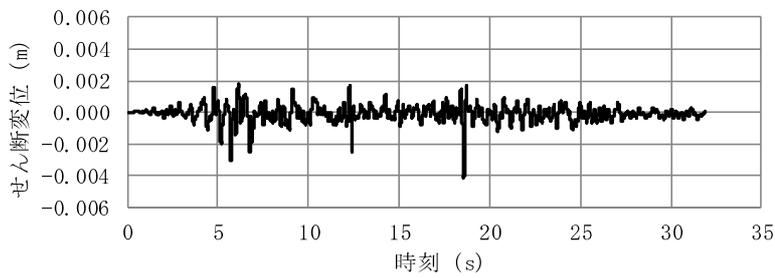
B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)



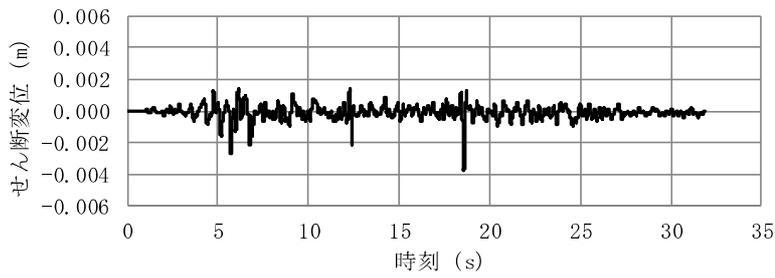
せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする。

注記：せん断ばねをモデル化しているMB2FおよびB2Fのみを示している。

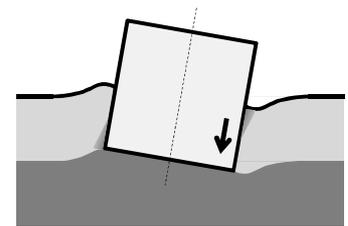
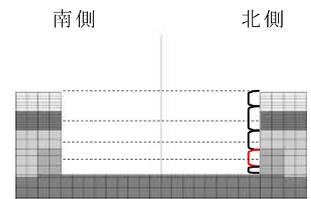
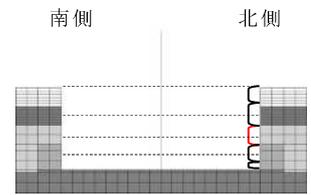
図3-14 せん断ばねのせん断変位の時刻歴(南側)



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)



B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)



せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする。

注記：せん断ばねをモデル化しているMB2FおよびB2Fのみを示している。

図3-15 せん断ばねのせん断変位の時刻歴(北側)

### 3.2.2 側面地盤反力に関する検討

#### (1) 検討概要

ここではまず、図3-16に示す建屋の回転に対する側面地盤反力について、埋込みSRモデルの側面回転ばね（Novakばね）に生じる地盤反力と2次元FEMモデルの側面地盤ばねに生じる地盤反力を算定し比較する。2次元FEMモデルの側面地盤ばねに生じる地盤反力については、2次元FEMモデルの解析結果を用い、建屋外壁と側面地盤間のジョイント要素に生じる力から側面地盤反力を算定する。その結果を埋込みSRモデルのNovakばねに生じる側面地盤反力と比較する。

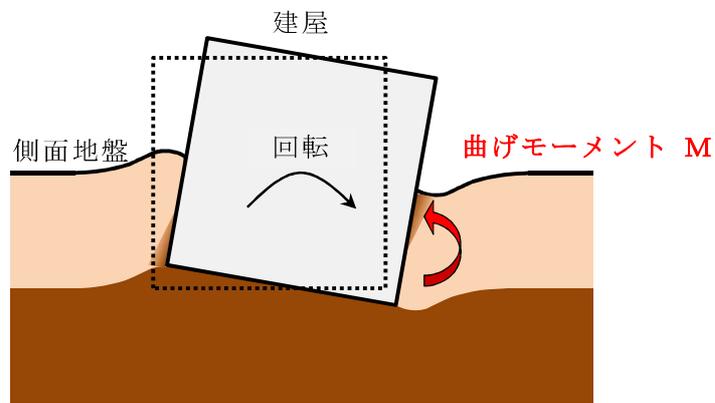


図3-16 建屋の回転に対する側面地盤反力のイメージ

(2) 検討条件

a. 解析モデル

解析モデルは、「3.1.3 解析モデル」に示した2次元FEMモデル及び埋込みSRモデルを用いる。

c. 検討用地震動

対象とする地震動は「3.1.2 検討用地震動」に示した基準地震動 $S_s-1H$ とする。

d. 側面地盤反力算定方法

図3-17に示すように、埋込みSRモデルのNovakの側面地盤回転ばねに対応する2次元FEMモデルの領域を区切り、建屋の回転に対する側面地盤反力（曲げモーメントM）を算定する。

表3-5に側面地盤反力を算定する領域を示す。地下中2階（T.M.S.L. 1.0m）レベルの地盤ばねに相当する領域③と地下2階（T.M.S.L. -2.7m）レベルの地盤ばねに相当する領域④とする。

図3-18に側面地盤反力の算定方法の概要を示す。

埋込みSRモデルの側面地盤反力 $M_{SR}$ は、Novakの水平ばね反力 $P_H$ に基礎下端からの高さ $h$ を掛けた曲げモーメント $M_p (= P_H \cdot h)$ とNovakの回転ばね反力 $M$ の和として算定する。

2次元FEMモデルの側面地盤反力 $M_{FEM}$ については、軸ばね反力 $P_H$ に基礎下端からの高さ $h$ を掛けた曲げモーメントの合計 $M_{p_h} (= \sum P_H \cdot h)$ とせん断ばね反力 $P_v$ に基礎中心から基礎端部までの長さ $L$ を掛けた合計 $M_{p_v} (= \sum P_v \cdot L)$ との和として、埋込みSRモデルのNovakばねの支配領域ごとに算定する。

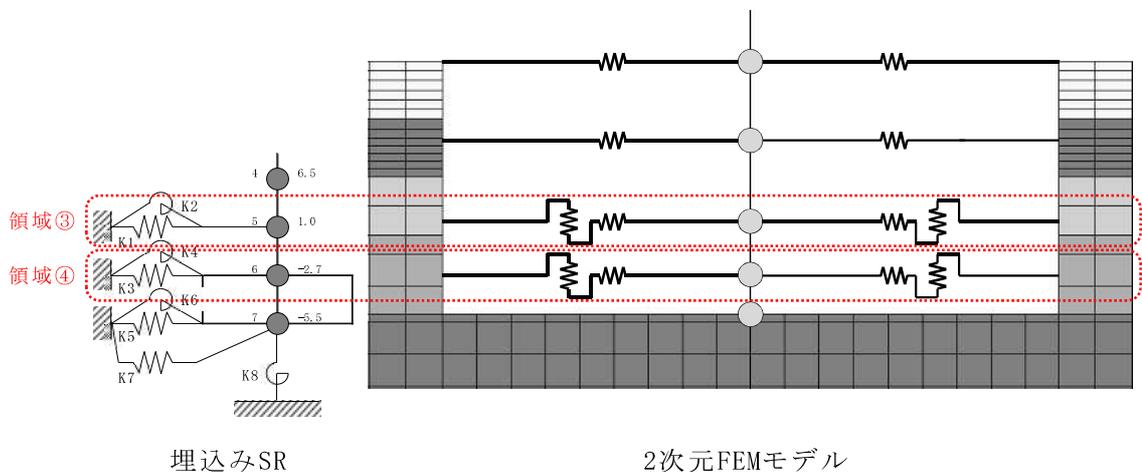
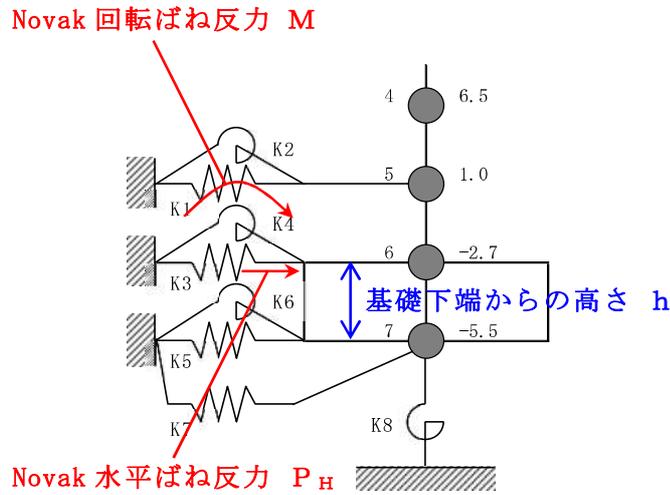


図3-17 2次元FEMモデルの領域区分

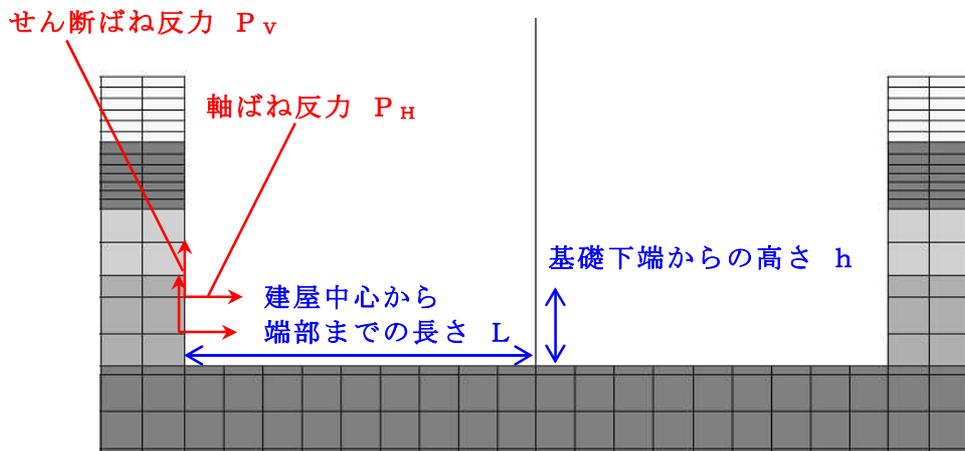
表3-5 領域区分(対象とする建屋-地盤間モデル化部分)

領域名	埋込みSRモデル	2次元FEMモデル
領域③	T.M.S.L. 1.0mのNovakばね	T.M.S.L. 2.0m~0.0mに位置する地盤ばね
領域④	T.M.S.L. -2.7mのNovakばね	T.M.S.L. -1.3m~-3.5mに位置する地盤ばね



埋込み SR モデルの側面地盤反力  $M_{SR}$   
 $= \text{Novak 水平ばね反力 } P_H \times \text{基礎下端からの高さ } h$   
 $+ \text{Novak 回転ばね反力 } M$

(a) 埋込みSRモデル



2次元 FEM モデルの側面地盤反力  $M_{FEM}$   
 $= \Sigma (\text{せん断ばね反力 } P_v \times \text{建屋中心から端部までの長さ } L)$   
 $+ \Sigma (\text{軸ばね反力 } P_H \times \text{基礎下端からの高さ } h)$

(b) 2次元FEMモデル

図3-18 側面地盤反力算定方法の概要

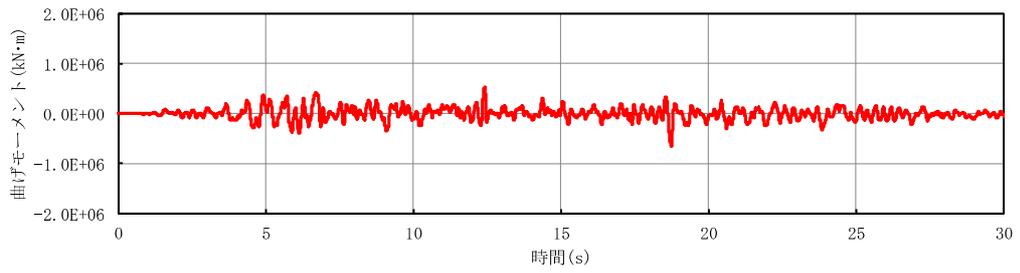
### (3) 検討結果

領域③（T. M. S. L. 1.0mレベル）及び領域④（T. M. S. L. -2.7mレベル）の側面地盤反力（曲げモーメント）の算定結果を図3-19及び図3-20に示す。2次元FEMモデルの側面地盤反力と埋込みSRモデルの側面地盤反力とともに、建屋応答（曲げモーメント）と同等オーダー（ $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$ ）の比較的大きな値を示しており、建屋の拘束効果が認められる。

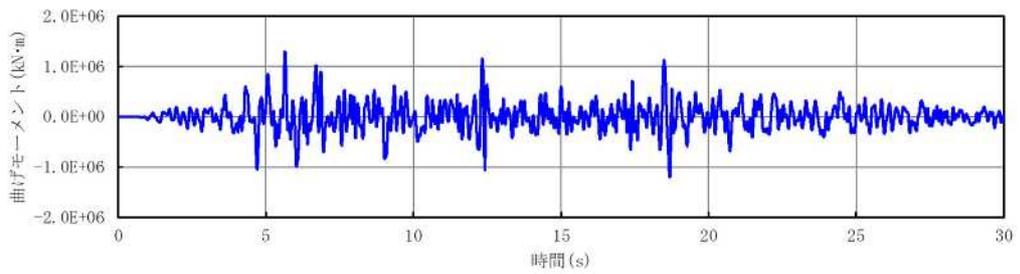
なお、2次元FEMモデルにおける側面地盤反力が、領域④に比べて領域③で小さくなっている理由として、以下のことが考えられる。

- ・ 領域④は側面地盤にマンメイドロックが全面的に存在する一方で、領域③の側面地盤に存在するマンメイドロックは一部となっている。すなわち、マンメイドロックの領域が小さい領域③のせん断ばね反力は、領域④に比べて小さくなっている。
- ・ せん断ばね反力と軸ばね反力から求める側面地盤反力のうちせん断ばね反力による側面地盤反力が占める割合は、軸ばね反力による側面地盤反力が占める割合に対して大きくなっていることから、領域④に比べて領域③の側面地盤反力が小さい結果となっている。

以上より、地震時の側面地盤の剥離や土圧変動が考慮されている2次元FEMモデルの側面地盤反力と埋込みSRモデルの側面地盤反力を比較した結果、両者は同様に建屋を拘束する効果を与えていることが確認できた。

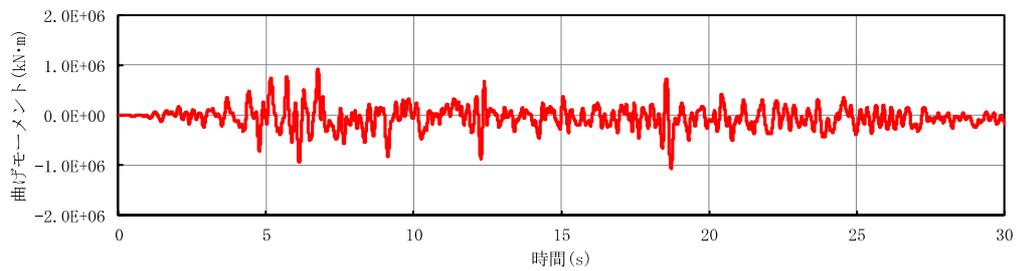


(a) 2次元FEMモデル

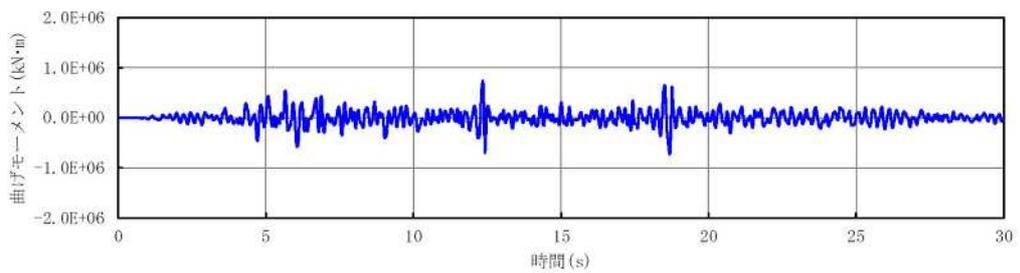


(b) 埋込みSRモデル

図3-19 側面地盤反力(曲げモーメント)の時刻歴(領域③)



(a) 2次元FEMモデル



(b) 埋込みSRモデル

図3-20 側面地盤反力(曲げモーメント)の時刻歴(領域④)

### 3.3 建屋応答の比較

建屋地下外壁と側面地盤の接触剥離や摩擦滑り等を考慮した2次元FEMモデルによる建屋応答を、今回工認で用いる埋込みSRモデルによる建屋応答を比較することにより、両者のモデルによる結果が同等であれば、埋込みSRモデルに用いる側面回転ばねは有効であると考ええる。

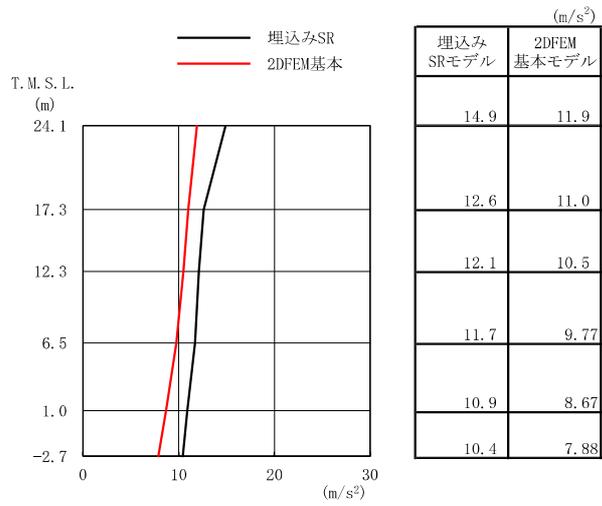
図3-21に建屋の最大応答分布を比較して示す。全体的には埋込みSRモデルのほうが若干大きくなっているが、大きな差異は認められない。

図3-22及び図3-23に床応答スペクトルを比較して示す。全体的には埋込みSRモデルはおおむね同等か大きくなっている。

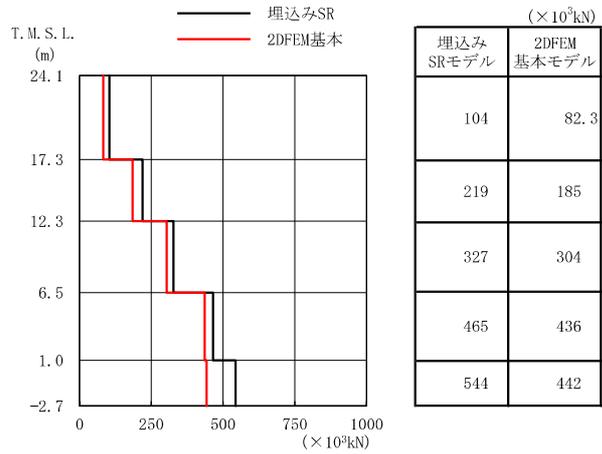
表3-6に接地率の最小値を比較して示す。

表3-6 底面の接地率の最小値一覧

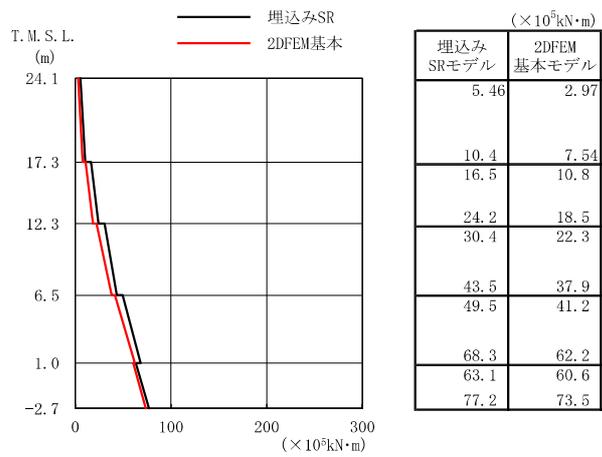
解析モデル	接地率
埋込みSRモデル	55 %
2次元FEMモデル	80 %



(a) 加速度



(b) せん断力



(c) 曲げモーメント

図3-21 建屋の最大応答分布の比較 (基本モデルと埋込みSRモデル)

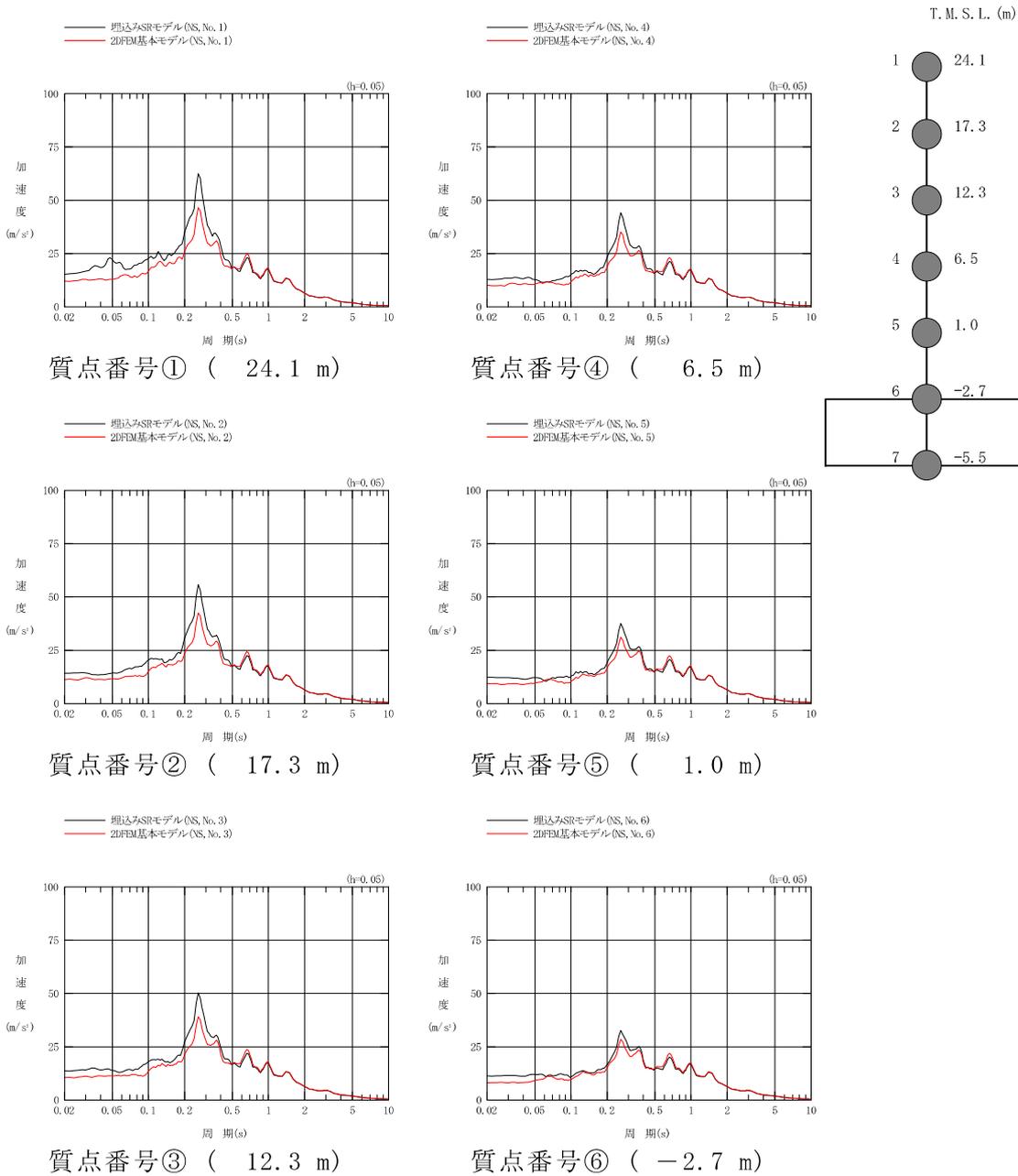


図3-22 床応答スペクトルの比較（基本モデルと埋込みSRモデル）（減衰5%）

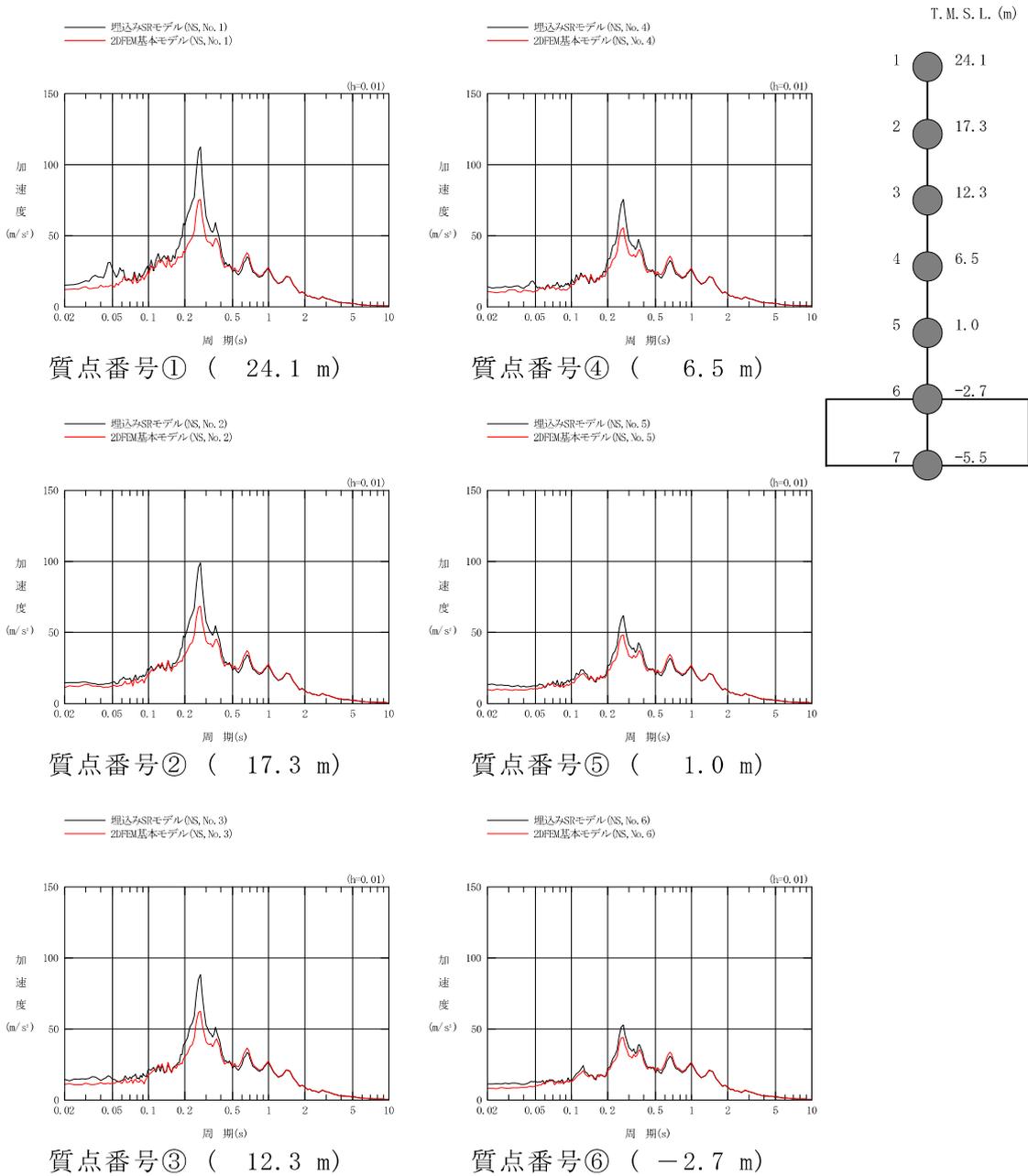


図3-23 床応答スペクトルの比較（基本モデルと埋込みSRモデル）（減衰1%）

#### 4. まとめ

##### (1) 建屋拘束効果の検討

地盤を2次元FEMモデル，建屋を質点系モデルとして，建屋地下外壁と側面地盤の剥離や摩擦を考慮した解析モデルを用いて基準地震動Ss-1Hに対する地震応答解析を実施した。

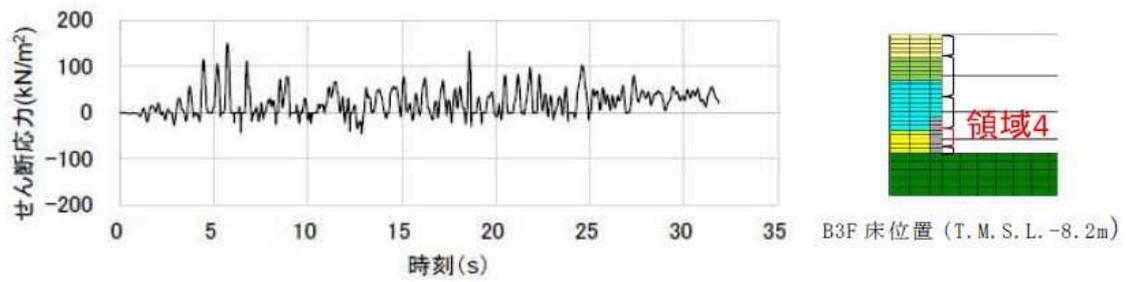
この結果，建屋－側面地盤間に剥離が生じる場合でも，地震継続中の大半の時間において，地下外壁には土圧及びせん断応力が作用する結果が示された。2次元FEMモデルでは，建屋－地盤間の摩擦を介したせん断力の伝達が比較的小さい場合であっても，Novakのばねに考慮されていない水平方向のせん断抵抗による軸方向の力が作用すること等により側面地盤の拘束効果が得られることが分かった。

更に，埋込みSRモデルのNovakばねに作用する側面地盤反力を，2次元FEMモデルの側面地盤反力と比較した結果，Novakばねに作用する側面地盤反力と2次元FEMモデルの側面地盤反力はともに，建屋応答（曲げモーメント）と同等オーダー（ $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$ ）の比較的大きな値を示し，建屋を相応に拘束していることが確認された。これらのことから，地震時において建屋－地盤間の力の伝達が生じ，原子炉建屋と同様に，側面地盤による建屋の拘束効果が期待できることがわかった（図4-1）。

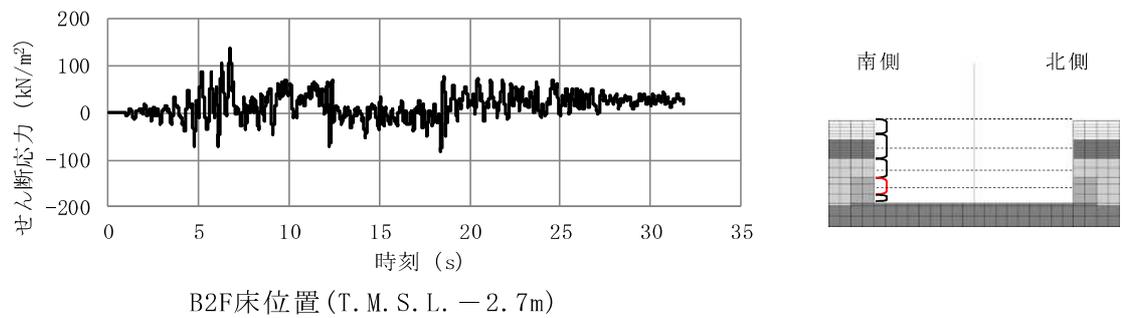
##### (2) 建屋応答の比較

2次元FEMモデルによる建屋応答と側面回転ばねを有する埋込みSRモデルの建屋応答を比較した。この結果，両者のモデルによる建屋応答や床応答スペクトルの差異は僅かであり，埋込みSRモデルに側面回転ばねを考慮することは妥当であると考えられる。また，側面回転ばねは先に述べたように接地率の改善に効果があるものの地震応答解析結果の差異は小さい傾向がある。

以上のように，コントロール建屋に対しても原子炉建屋と同様に，建屋地下外壁と側面地盤の剥離や摩擦を考慮した解析モデルを用いた検討を行った結果，埋込みSRモデルに側面回転ばねを用いることは妥当であることを確認した。



(a) 原子炉建屋 (NS方向, 南側)



(b) コントロール建屋 (NS方向, 南側)

せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする。

図4-1 せん断ばねのせん断応力の時刻歴の比較

別紙1-2-1 Novakばねの適用性について

## 目 次

1. 概要 ..... 別紙1-2-1-1
2. 辺長比が1.4である矩形建屋へのNovakばねの適用性 ..... 別紙1-2-1-2
3. 3面が地盤に接している建屋へのNovakばねの適用性 ..... 別紙1-2-1-20

## 1. 概要

コントロール建屋は地盤に埋め込まれていることから，周辺の地盤状況を考慮した上で側面地盤ばねとして，Novakばねを採用している。Novakばねは円形基礎を仮定したばねであるのに対し，コントロール建屋は図1-1に示すように42.0m (NS) × 59.0m (EW)の矩形の平面形状であり，辺長比が1.4となっている。また，コントロール建屋の西側には廃棄物処理建屋が位置しているため，建屋が地盤に接しているのは3面である。

このことから，本資料では次の2点に着目して，コントロール建屋へのNovakばねの適用性について検討する。

- ① 辺長比が1.4である矩形建屋へのNovakばねの適用性
- ② 3面が地盤に接している建屋へのNovakばねの適用性

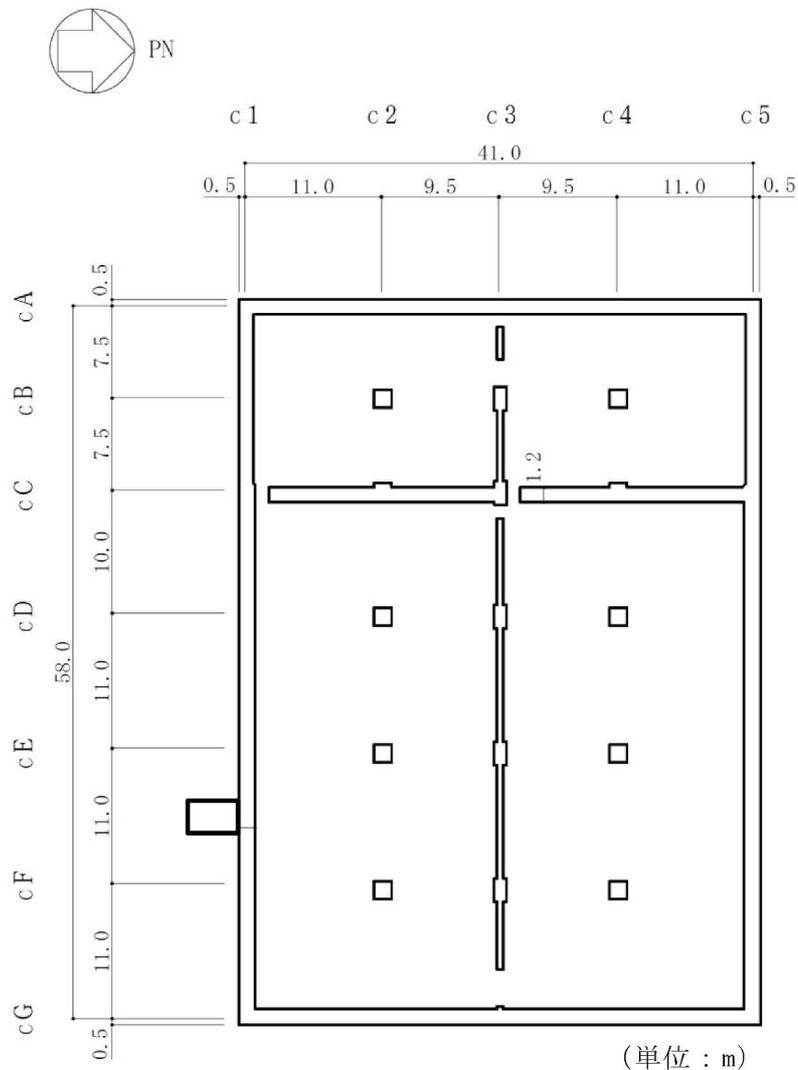


図1-1 コントロール建屋地下部分の平面図 (T. M. S. L. -2.7m)

## 2. 辺長比が 1.4 である矩形建屋への Novak ばねの適用性

矩形建屋への Novak ばねの適用性については，J E A G 4 6 0 1-1991 追補版において引用されている原子力発電耐震設計特別調査委員会調査報告書 Vol. 12 「建屋埋込み効果の評価法の標準化に関する調査報告書」（昭和 62 年 6 月）（以下「標準化報告書」という。）及び既往の文献で検討されていることから，これを概観した上で，コントロール建屋にも同様の解析を実施し，円形仮定の妥当性について検討する。

### (1) 「標準化報告書」の内容

Novak の側面ばねは建屋の平面形が円形として導かれたものであるのに対し，一般に建屋は矩形のものが多いことから，「標準化報告書」では，平面形が矩形の建屋への適用性について検討を実施している。具体的には，矩形平面に関する地盤ばねを二次元境界要素法（BEM）で計算し，このばねの値と面積が等価な円半径（等価円半径）を用いた地盤ばねの値とを比較・検討している。

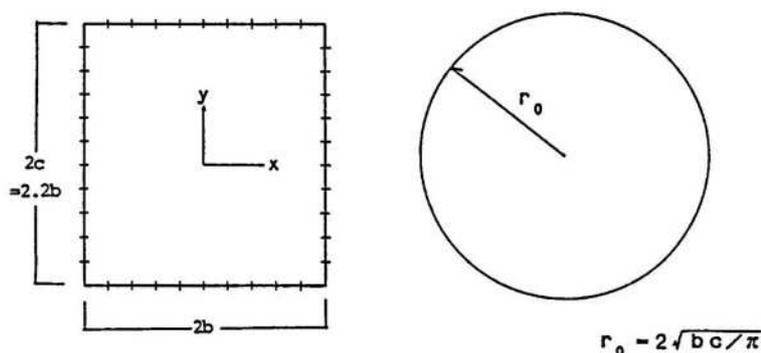
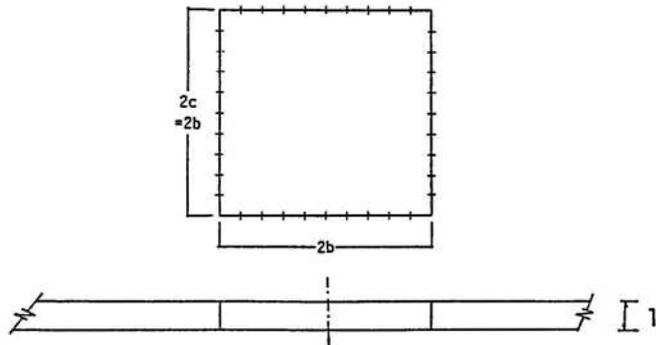


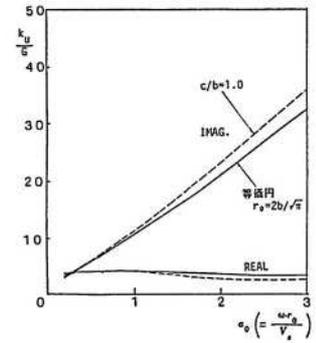
図2-1 矩形平面と等価円半径

「標準化報告書」における，正方形平面の場合と等価円の場合を比較して図2-2に示す。この結果より，正方形平面の地盤ばねの虚部が等価円の場合の虚部より若干大きくなる傾向にあるが，正方形平面の地盤ばねを，等価円半径を用いて Novak の方法により算定しても実用上問題ないものと考えられるとしている。

「標準化報告書」において，長辺と短辺が異なり正方形でない場合での等価円半径を用いた Novak の側面ばねの適用性について検討した結果を図2-3，図2-4に示す。この結果より長辺と短辺の比（辺長比）が 1.1 程度の長方形平面であれば，等価円半径を用いて地盤ばねを算定しても実用上ほぼ問題ないものと考えられるとしている。

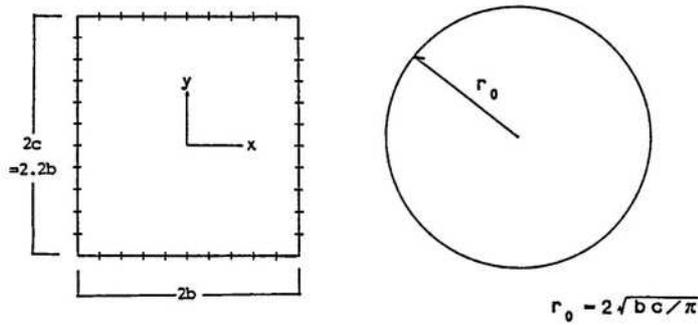


(a) 解析対象 (BEM)

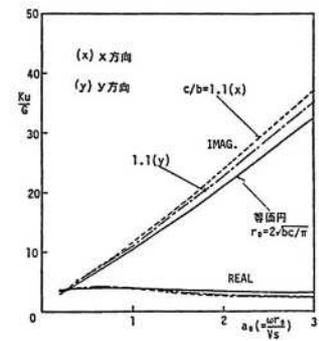


(b) 解析結果

図2-2 正方形平面と等価円の比較 (「標準化報告書」に加筆。)

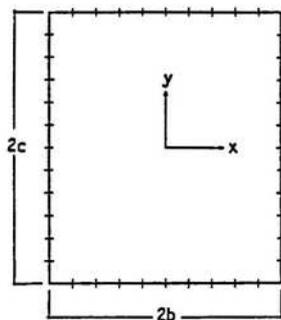


(a) 解析対象 (BEMとNovak)

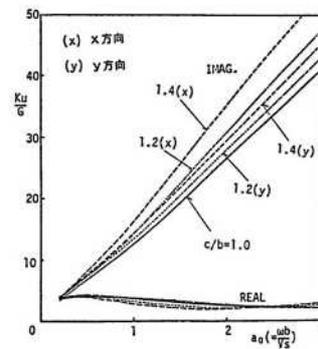


(b) 解析結果

図2-3 長方形平面と等価円の比較 (辺長比1.1の場合) (「標準化報告書」に加筆。)



(a) 解析対象 (BEM)

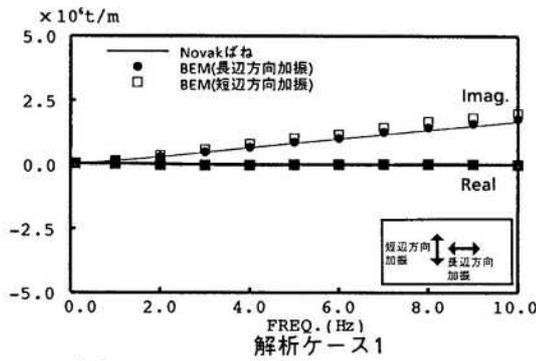


(b) 解析結果

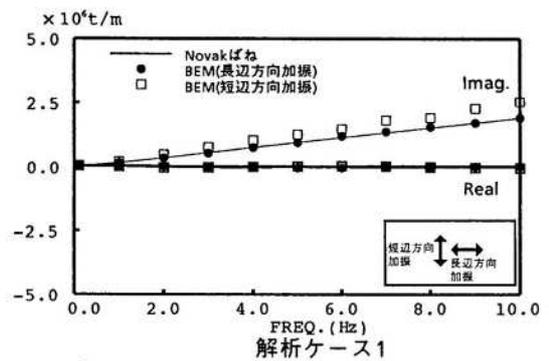
図2-4 辺長比に関する検討事例 (「標準化報告書」に加筆。)

(2) 既往文献の内容

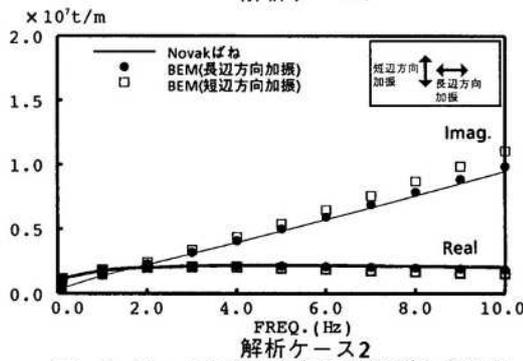
滝田 博章ほか「埋込まれた矩形建物の側面地盤ばねの検討」(日本建築学会学術講演梗概集1995年8月)では、図2-5に示すように主要周期帯が5Hz以下の建屋を設計する場合には、辺長比1.7程度まで等価円を用いてNovakの方法を用いてよいとしている。



解析ケース1

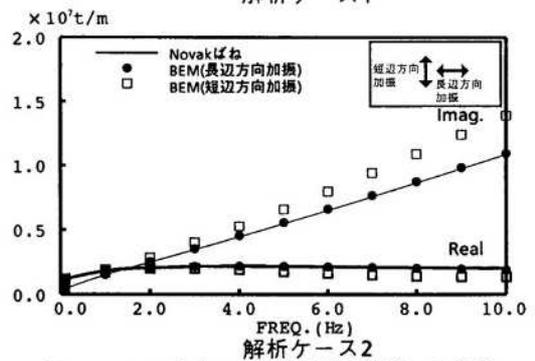


解析ケース1



解析ケース2

図-3 NovakとBEMの側面地盤ばねの比較 (辺長比1.3の場合)



解析ケース2

図-4 NovakとBEMの側面地盤ばねの比較 (辺長比1.7の場合)

図2-5 辺長比に関する検討事例 (辺長比1.3, 1.7の場合) (滝田 博章ほか「埋込まれた矩形建物の側面地盤ばねの検討」(日本建築学会学術講演梗概集1995年8月)より。)

(3) コントロール建屋に対する検討

コントロール建屋は辺長比が1.4であり「標準化報告書」の検討範囲外となっているため、コントロール建屋の平面形状及び地盤条件に対して、NovakばねとBEMによる地盤ばねを計算し比較検討する。

a. 解析条件

辺長比の影響を確認するため、側面地盤ばねの違いによる影響に着目することから、入力地震動は弾性設計用地震動Sd-1を用いる。なお、基礎浮上り及び建屋非線形性の影響を確認するため、基準地震動Ss-1に対しても同様の検討を実施する。表2-1にBEMの解析で用いた地盤物性（古安田層）と矩形孔寸法を示す。

表2-1 BEMの解析で用いた地盤物性（古安田層）と矩形孔寸法

地震動	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	ポアソン 比	単位層厚 (m)	矩形孔寸法 (m)
弾性設計用 地震動 Sd-1	17.3	267	0.462	1.0	42.0(NS)×59.0(EW) コントロール建屋の 平面
基準地震動 Ss-1	17.3	239	0.462	1.0	42.0(NS)×59.0(EW) コントロール建屋の 平面

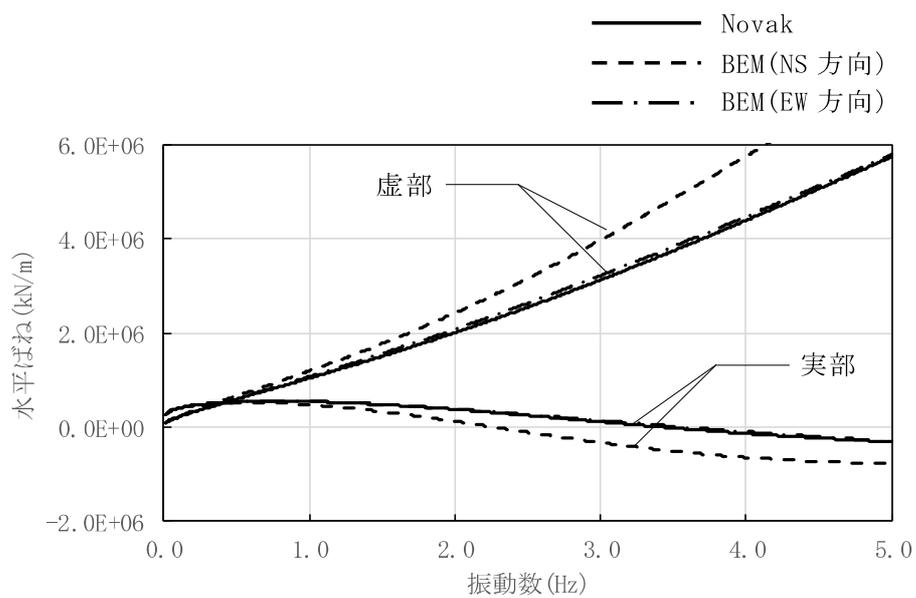
b. 解析結果

NovakとBEMの地盤ばね（水平ばね、回転ばね）の比較を図2-6及び図2-7に示す。

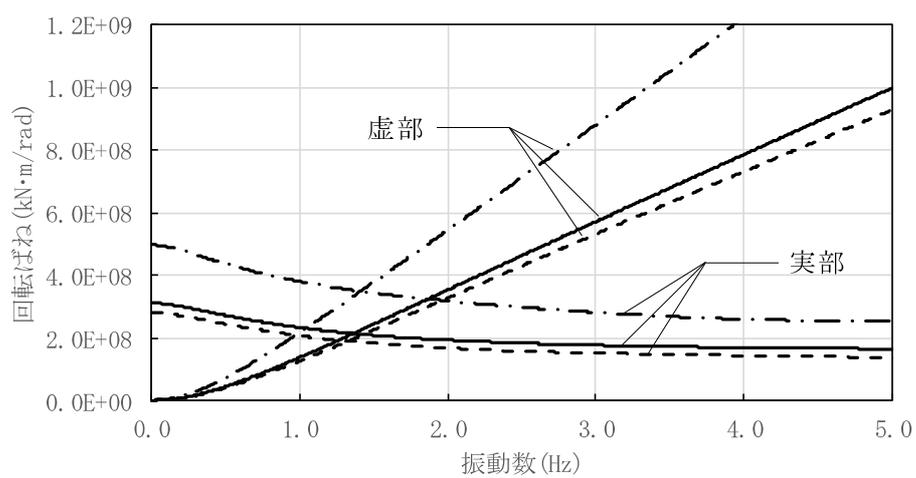
水平ばねについては、コントロール建屋の長辺方向であるEW方向では、NovakとBEMの地盤ばねはほぼ同等となる結果であり、短辺方向であるNS方向では、振動数が高くなるにつれ、NovakとBEMの地盤ばねに差が見られる。この短辺方向の差異は滝田ほか(1995)と同様の傾向である。

一方、回転ばねについては、コントロール建屋の短辺方向であるNS方向では、NovakとBEMの地盤ばねはほぼ同等となる結果が得られたが、長辺方向であるEW方向では、Novakと比較してBEMの地盤ばねは大きな値となっている。これは、図2-8に示すように等価な円形で地盤ばねを求めるNovakと建屋形状をそのままに地盤ばねを求めるBEMとで、算定条件（孔の形状）が異なるためと考えられる。つまり、円形及び矩形の断面係数の大小関係は、BEM（長辺EW方向）>Novak（円形）≒BEM（短辺NS方向）となっており、図2-6及び図2-7の回転ばねの大小関係と対応している。

なお、地盤ばねの虚部の値については、水平ばね・回転ばねともにNovakの地盤ばねがBEMの地盤ばねに比べて、同等もしくは小さく評価していることがわかる。

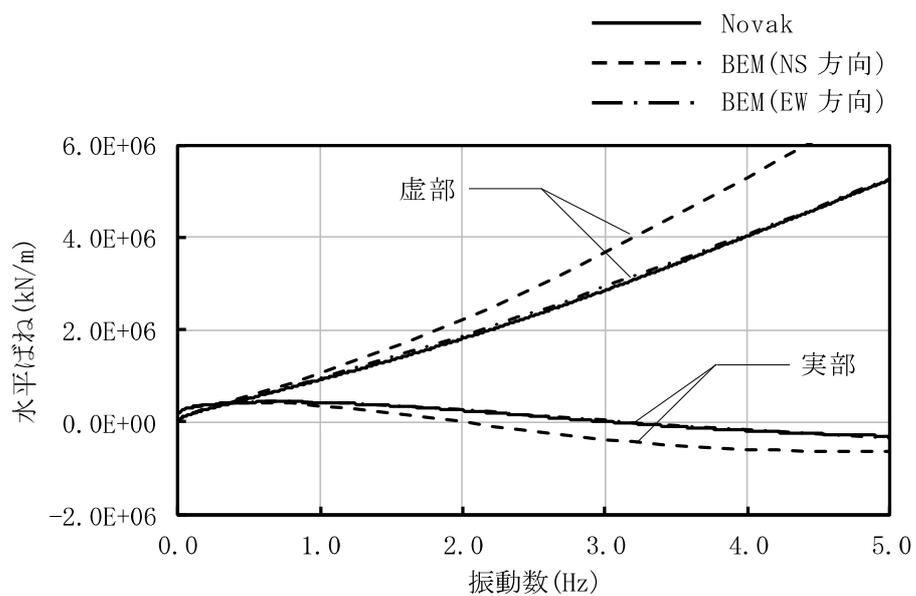


(a) 水平ばね

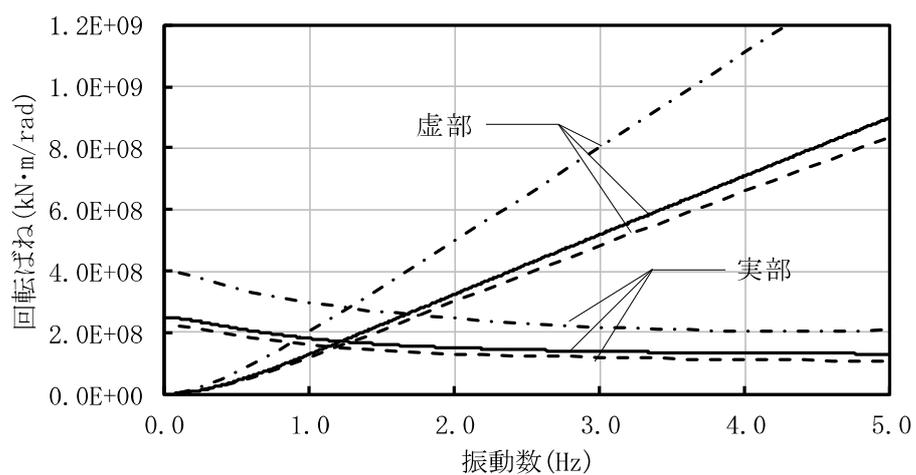


(b) 回転ばね

図2-6 コントロール建屋におけるNovakとBEMの側面地盤ばねの比較 (Sd-1)

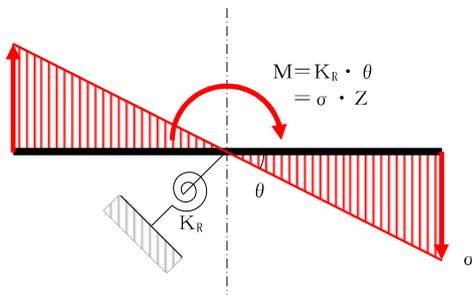
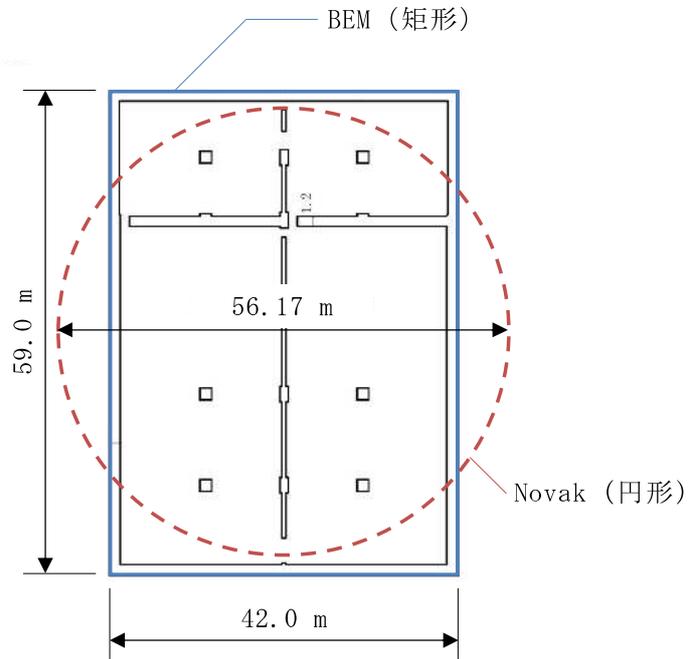


(a) 水平ばね



(b) 回転ばね

図2-7 コントロール建屋におけるNovakとBEMの側面地盤ばねの比較 (Ss-1)



$M$  : モーメント (kN・m)  
 $K_R$  : 回転ばね (kN・m/rad)  
 $\theta$  : 回転角 (rad)  
 $Z$  : 断面係数 (m<sup>3</sup>)  
 $\sigma$  : 縁応力 (kN/m<sup>2</sup>)

断面係数の計算		比率*
$Z_{\text{円形}}$	$= \frac{\pi \cdot D^3}{32} = 1.74 \times 10^4 \text{ (m}^3\text{)}$	1.00
$Z_{\text{矩形 NS}}$	$= \frac{L_{\text{EW}} \cdot L_{\text{NS}}^2}{6} = 1.73 \times 10^4 \text{ (m}^3\text{)}$	0.99
$Z_{\text{矩形 EW}}$	$= \frac{L_{\text{NS}} \cdot L_{\text{EW}}^2}{6} = 2.44 \times 10^4 \text{ (m}^3\text{)}$	1.40

ここで、

$Z_{\text{円形}}, Z_{\text{矩形 NS}}, Z_{\text{矩形 EW}}$  : 断面係数 (m<sup>3</sup>)  
 $D$  : 等価な円の直径 (m)  
 (= 56.17 (m))  
 $L_{\text{NS}}$  : NS方向の躯体寸法 (m)  
 (= 42.0 (m))  
 $L_{\text{EW}}$  : NS方向の躯体寸法 (m)  
 (= 59.0 (m))

注記\* : 円形の断面係数に対する比率。

図2-8 NovakとBEMの側面地盤ばね算定条件(形状)の違いについて

c. 地震応答解析による影響検討

b. 解析結果で求めたNovakとBEMの側面地盤ばねをコントロール建屋の振動モデルに適用し、地震応答解析を実施することにより、側面地盤ばねの相違が建屋応答に与える影響を検討する。なお、地盤ばねは表2-2に示すように近似法により定数化した地盤ばねとする。

図2-9に解析モデルの概要を示す。

弾性設計用地震動Sd-1Hに対する地震応答解析結果の比較を図2-10～図2-12に、基準地震動Ss-1Hに対する地震応答解析結果の比較を図2-13～図2-15に示す。これらの図より、地震動のレベルに係らず、NovakとBEMの側面地盤ばねによる応答差はほとんどないことが分かる。

表2-2 地盤ばね定数と減衰係数 (Sd-1)

(a) NS方向

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	Novak (今回工認)		BEM	
			ばね定数*1	減衰係数*2	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	5	側面・並進	$2.65 \times 10^6$	$8.47 \times 10^5$	$2.56 \times 10^6$	$1.11 \times 10^6$
K2	5	側面・回転	$1.51 \times 10^9$	$1.51 \times 10^8$	$1.36 \times 10^9$	$1.41 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$1.77 \times 10^6$	$5.68 \times 10^5$	$1.71 \times 10^6$	$7.43 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$1.01 \times 10^9$	$1.01 \times 10^8$	$9.14 \times 10^8$	$9.44 \times 10^7$
K5	7	側面・並進	$7.64 \times 10^5$	$2.45 \times 10^5$	$7.38 \times 10^5$	$3.20 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$4.36 \times 10^8$	$4.37 \times 10^7$	$3.94 \times 10^8$	$4.07 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.54 \times 10^7$	$2.23 \times 10^6$	$6.54 \times 10^7$	$2.23 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$3.71 \times 10^{10}$	$3.44 \times 10^8$	$3.71 \times 10^{10}$	$3.43 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7はkN/m K2, K4, K6, K8はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7はkN・s/m K2, K4, K6, K8はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	Novak (今回工認)		BEM	
			ばね定数*1	減衰係数*2	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	5	側面・並進	$2.65 \times 10^6$	$8.58 \times 10^5$	$2.65 \times 10^6$	$8.72 \times 10^5$
K2	5	側面・回転	$1.51 \times 10^9$	$1.52 \times 10^8$	$2.41 \times 10^9$	$2.38 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$1.77 \times 10^6$	$5.75 \times 10^5$	$1.77 \times 10^6$	$5.84 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$1.01 \times 10^9$	$1.02 \times 10^8$	$1.62 \times 10^9$	$1.59 \times 10^8$
K5	7	側面・並進	$7.64 \times 10^5$	$2.48 \times 10^5$	$7.64 \times 10^5$	$2.52 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$4.36 \times 10^8$	$4.39 \times 10^7$	$6.97 \times 10^8$	$6.86 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.35 \times 10^7$	$2.10 \times 10^6$	$6.35 \times 10^7$	$2.10 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$6.12 \times 10^{10}$	$8.03 \times 10^8$	$6.12 \times 10^{10}$	$8.05 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7はkN/m K2, K4, K6, K8はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7はkN・s/m K2, K4, K6, K8はkN・m・s/rad

表2-3 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1)

(a) NS方向

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	Novak (今回工認)		BEM	
			ばね定数* <sup>1</sup>	減衰係数* <sup>2</sup>	ばね定数* <sup>1</sup>	減衰係数* <sup>2</sup>
K1	5	側面・並進	$2.12 \times 10^6$	$7.71 \times 10^5$	$2.05 \times 10^6$	$1.01 \times 10^6$
K2	5	側面・回転	$1.21 \times 10^9$	$1.36 \times 10^8$	$1.09 \times 10^9$	$1.27 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$1.42 \times 10^6$	$5.17 \times 10^5$	$1.37 \times 10^6$	$6.80 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$8.11 \times 10^8$	$9.15 \times 10^7$	$7.32 \times 10^8$	$8.51 \times 10^7$
K5	7	側面・並進	$6.12 \times 10^5$	$2.23 \times 10^5$	$5.91 \times 10^5$	$2.93 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$3.49 \times 10^8$	$3.94 \times 10^7$	$3.15 \times 10^8$	$3.66 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.18 \times 10^7$	$2.17 \times 10^6$	$6.18 \times 10^7$	$2.17 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$3.50 \times 10^{10}$	$3.34 \times 10^8$	$3.50 \times 10^{10}$	$3.34 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7はkN/m K2, K4, K6, K8はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7はkN・s/m K2, K4, K6, K8はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	Novak (今回工認)		BEM	
			ばね定数* <sup>1</sup>	減衰係数* <sup>2</sup>	ばね定数* <sup>1</sup>	減衰係数* <sup>2</sup>
K1	5	側面・並進	$2.12 \times 10^6$	$7.81 \times 10^5$	$2.12 \times 10^6$	$7.90 \times 10^5$
K2	5	側面・回転	$1.21 \times 10^9$	$1.37 \times 10^8$	$1.93 \times 10^9$	$2.14 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$1.42 \times 10^6$	$5.23 \times 10^5$	$1.42 \times 10^6$	$5.30 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$8.11 \times 10^8$	$9.19 \times 10^7$	$1.30 \times 10^9$	$1.44 \times 10^8$
K5	7	側面・並進	$6.12 \times 10^5$	$2.25 \times 10^5$	$6.12 \times 10^5$	$2.28 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$3.49 \times 10^8$	$3.96 \times 10^7$	$5.58 \times 10^8$	$6.19 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.00 \times 10^7$	$2.04 \times 10^6$	$6.00 \times 10^7$	$2.04 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$5.77 \times 10^{10}$	$7.79 \times 10^8$	$5.77 \times 10^{10}$	$7.81 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7はkN/m K2, K4, K6, K8はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7はkN・s/m K2, K4, K6, K8はkN・m・s/rad

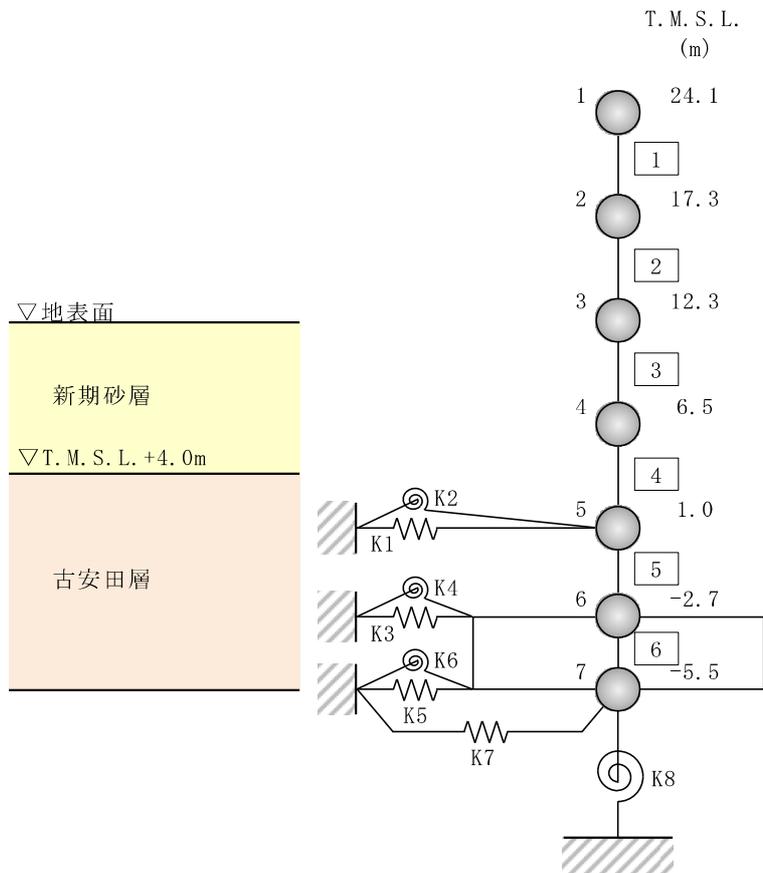
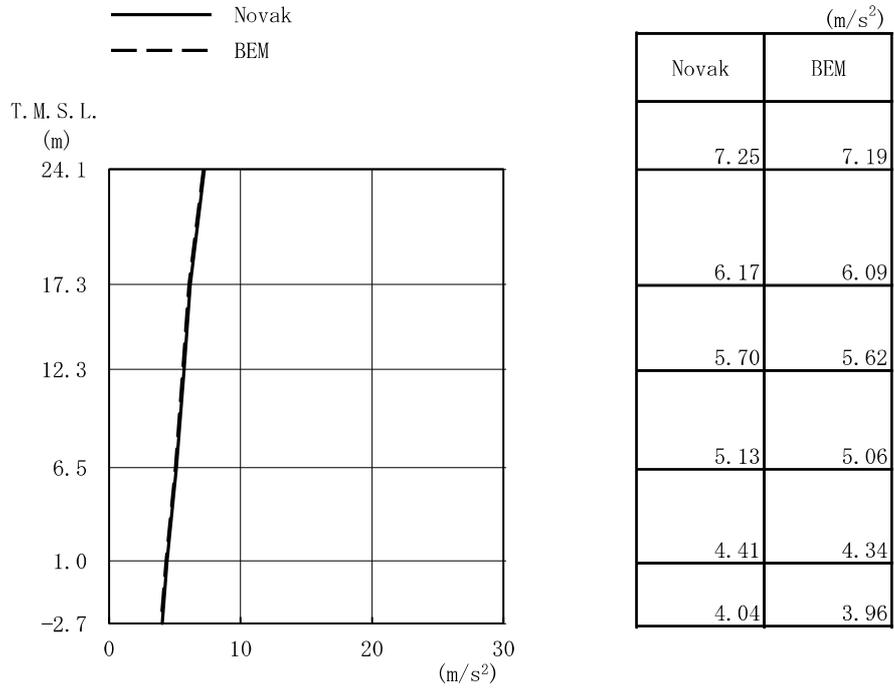
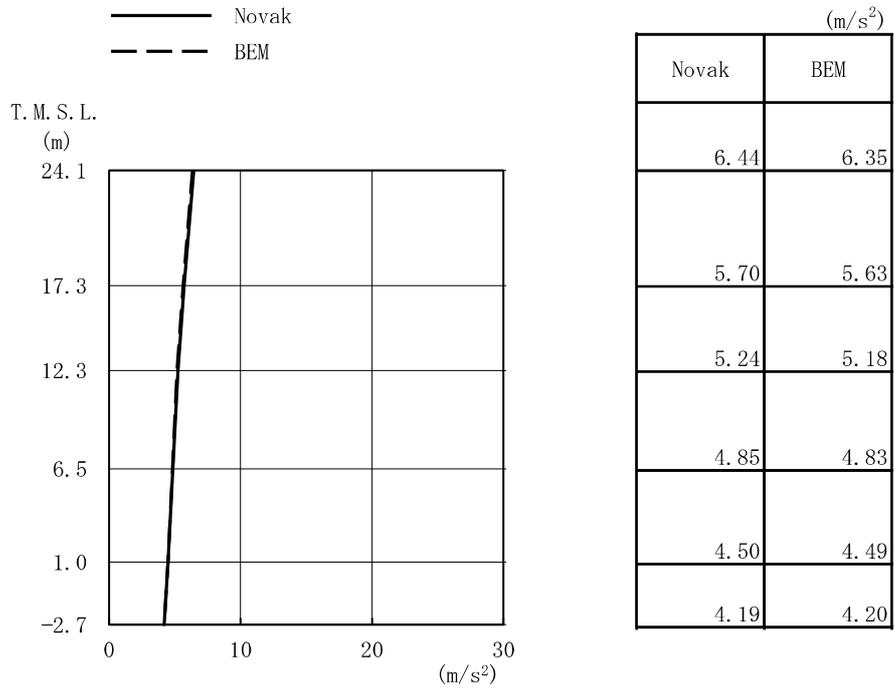


図2-9 コントロール建屋 解析モデルの概要

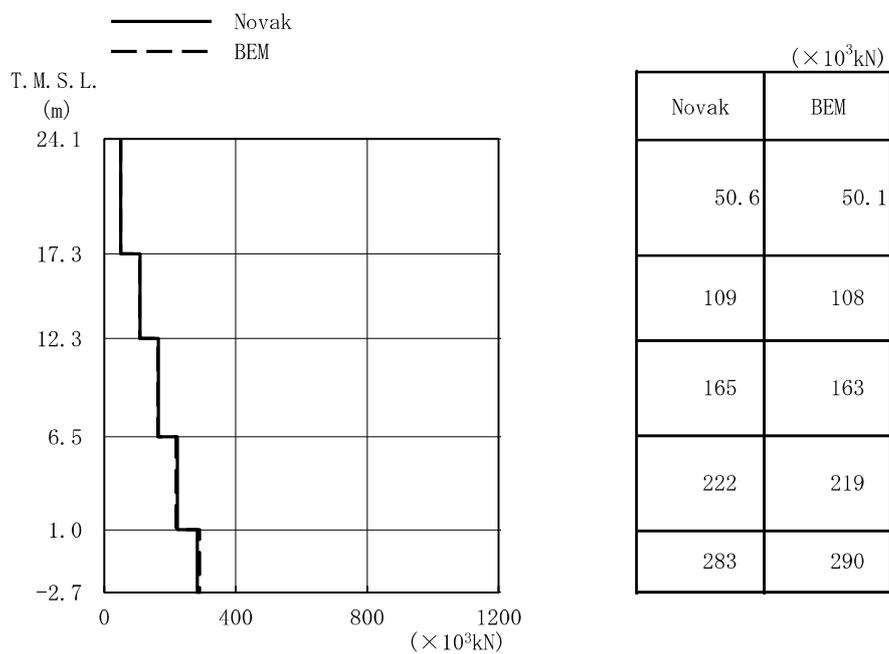


(a) NS方向

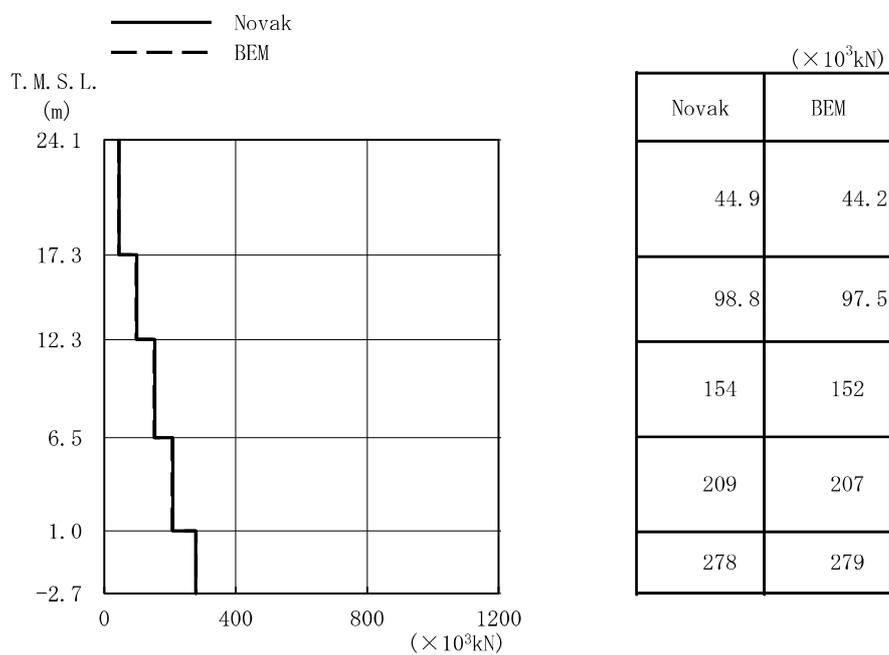


(b) EW方向

図2-10 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(加速度, 弾性設計用地震動Sd-1H)

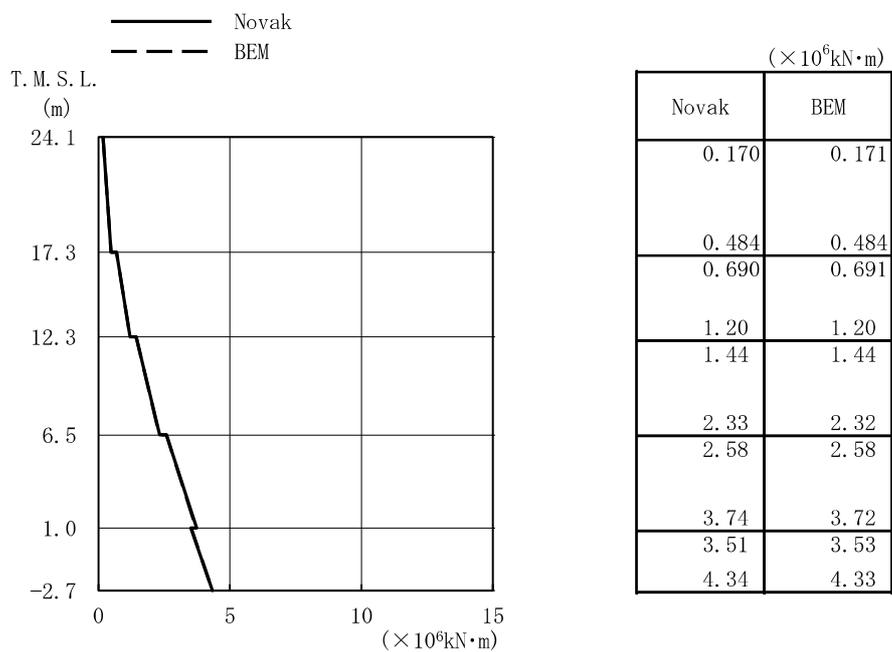


(a) NS方向

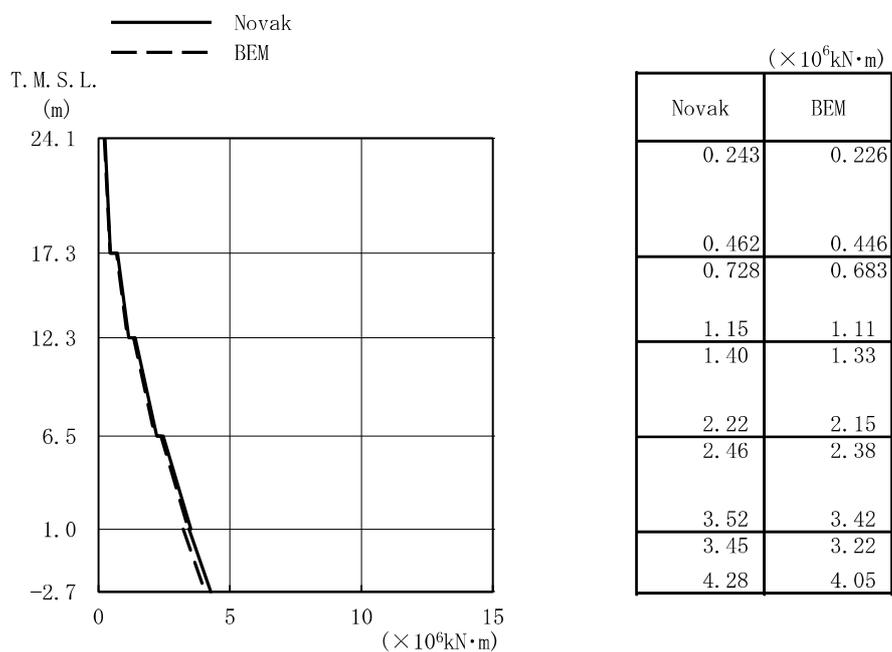


(b) EW方向

図2-11 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(せん断力, 弾性設計用地震動Sd-1H)

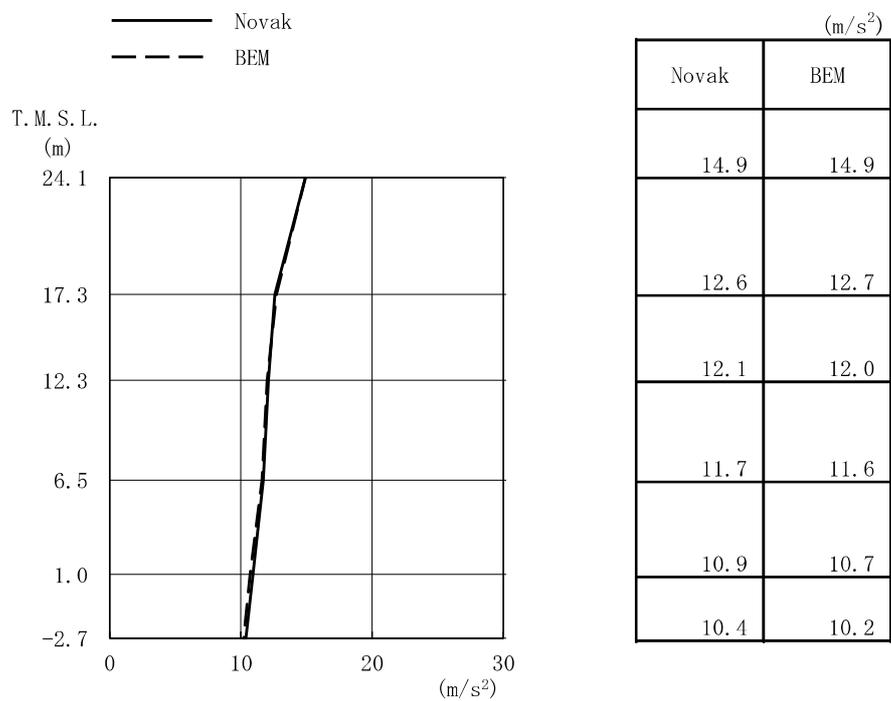


(a) NS方向

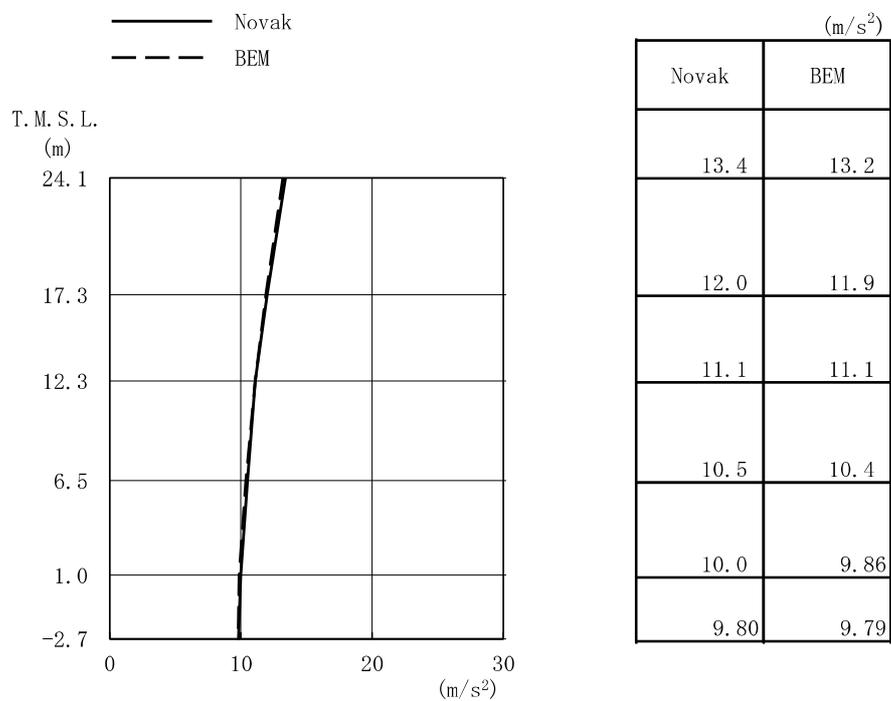


(b) EW方向

図2-12 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(曲げモーメント, 弾性設計用地震動Sd-1H)

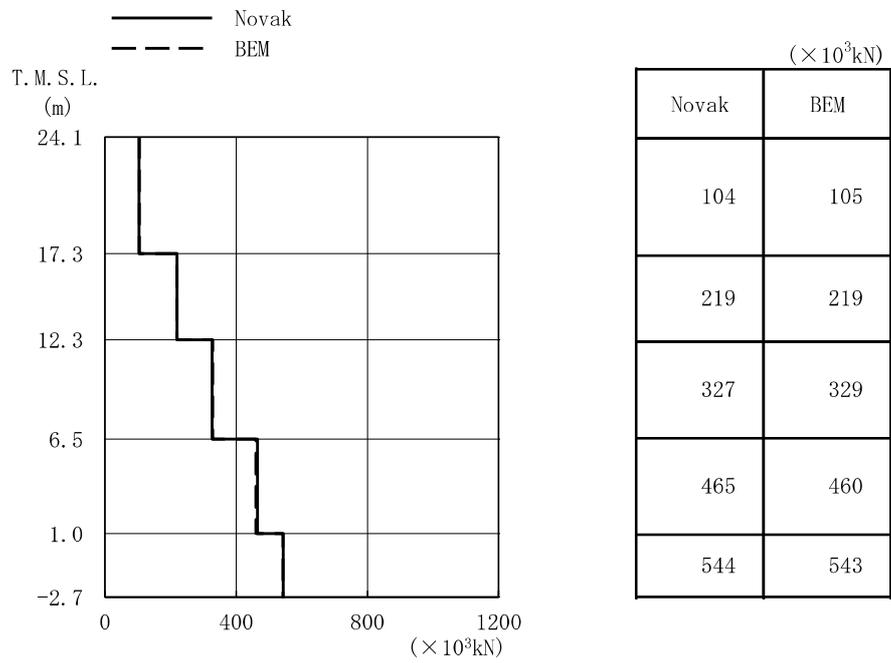


(a) NS方向

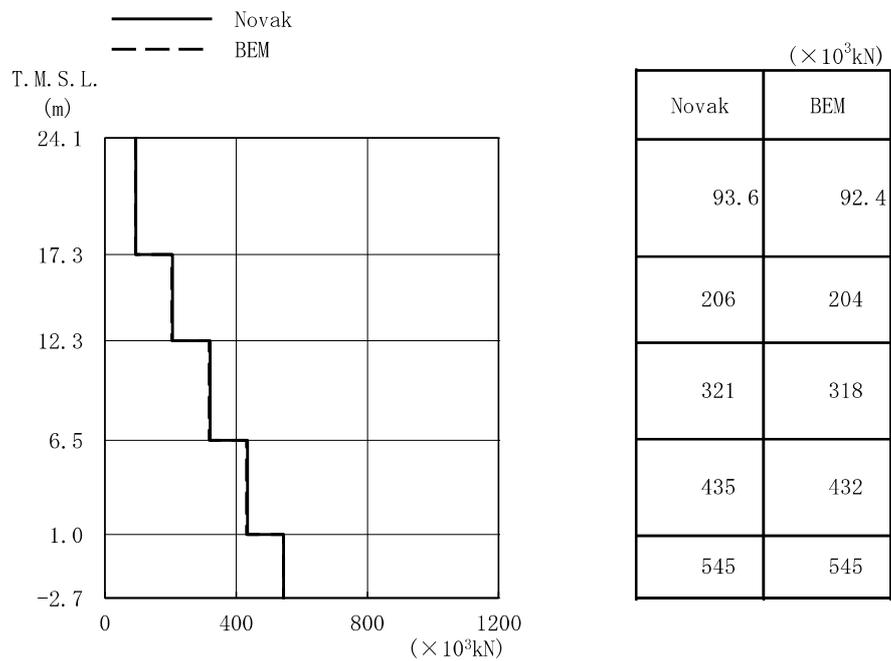


(b) EW方向

図2-13 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(加速度, 基準地震動Ss-1H)

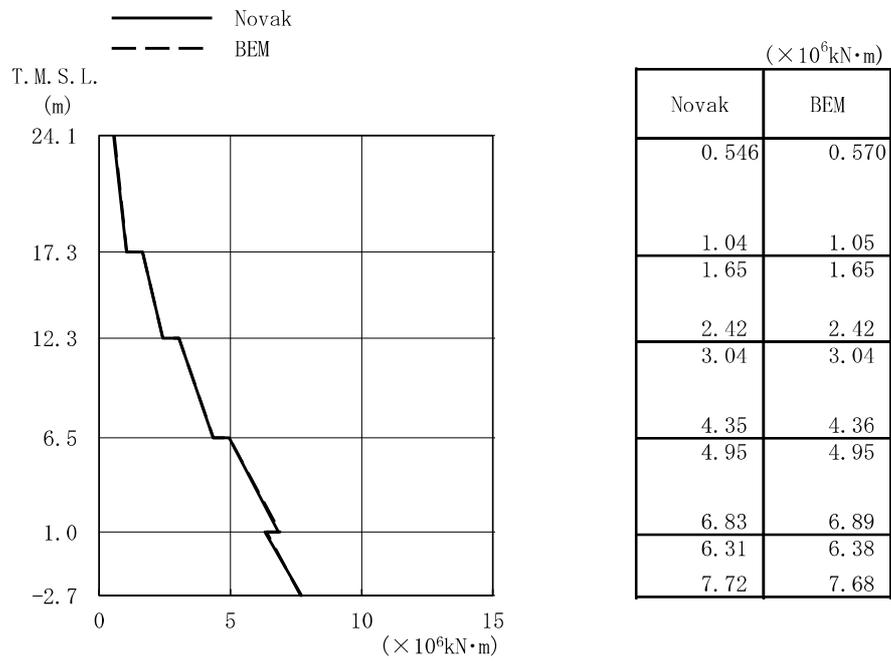


(a) NS方向

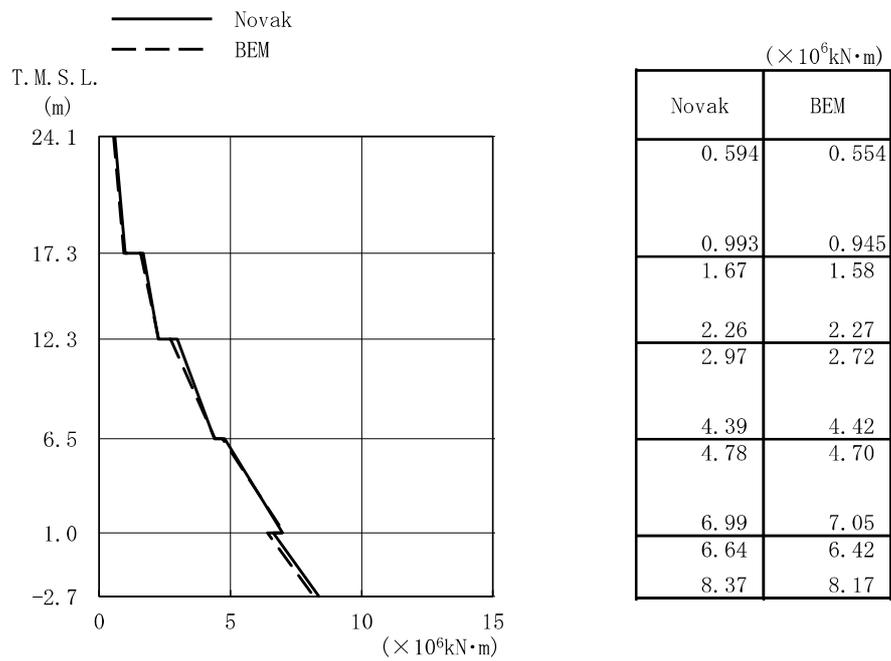


(b) EW方向

図2-14 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(せん断力, 基準地震動 $S_S-1H$ )



(a) NS方向



(b) EW方向

図2-15 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(曲げモーメント, 基準地震動Ss-1H)

#### (4) まとめ

Novakの側面地盤ばねと境界要素法（BEM）の側面地盤ばねを比較した結果、水平地盤ばねは短辺方向（NS方向）で若干差異が認められるという既往の文献と同様の傾向となっていることを確認した。また、回転地盤ばねは長辺方向（EW方向）でやや大きな差異が認められたが、Novakの側面地盤ばねはBEMの側面地盤ばねに比べて減衰をほぼ同等もしくは小さめに評価していることを確認した。これは、Novakの側面地盤ばねを採用することが地震応答解析結果の保守的な評価につながるものと考えられる。

Novakの側面地盤ばね及びBEMの側面地盤ばねを用いて地震応答解析を実施したところ、建屋応答の差は僅かであり、コントロール建屋に対しNovakの側面地盤ばねを適用することは妥当であることを確認した。なお、弾性設計用地震動Sd-1と基準地震動Ss-1の地震応答解析結果は同様の傾向が得られていることから、側面地盤ばねの違いで基礎浮上り及び建屋非線形性が建屋応答に及ぼす影響は小さいことを確認した。

### 3. 3面が地盤に接している建屋への Novak ばねの適用性

図3-1に示すように、コントロール建屋の西側には廃棄物処理建屋が設置されており実際に地盤とは接触していない。なお、コントロール建屋の東側にはサービス建屋が隣接しているが、サービス建屋基礎下端レベルはT.M.S.L.+5.1mであり、今回工認モデルで側面地盤ばねとして考慮している古安田層上面レベルT.M.S.L.+4.0mより浅いレベルに位置していることから、東側は全て地盤に接していると考えられる。

以上のことから、建屋側面の地盤ばねの剛性が単純に3/4倍に低減すると仮定し、低減した地盤ばねを考慮した地震応答解析を行い、その影響について考察する。

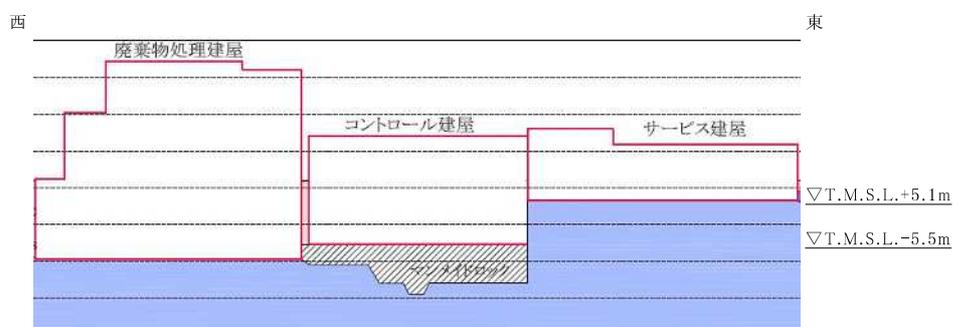


図3-1 コントロール建屋周辺の東西断面

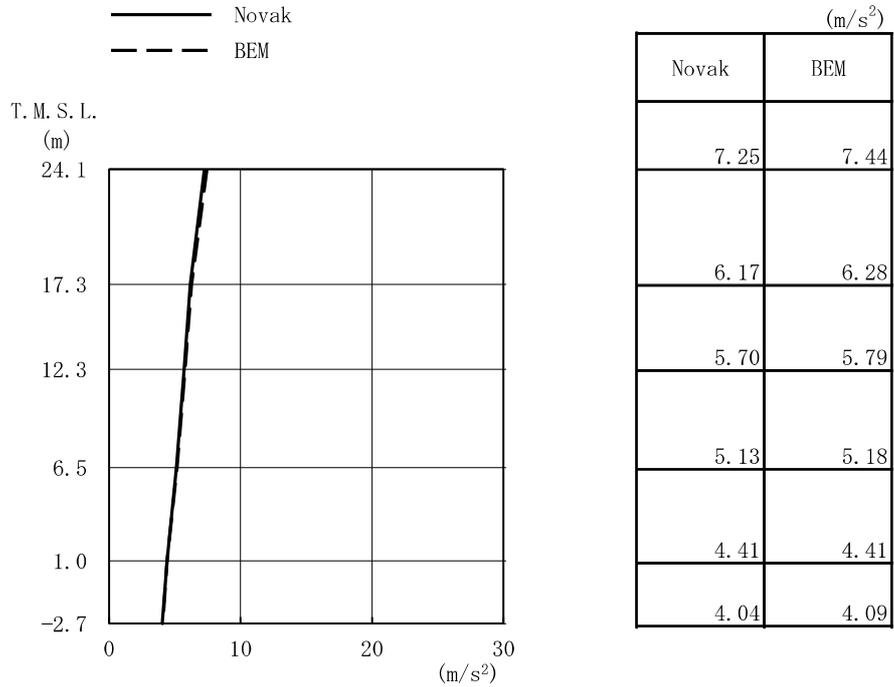
#### (1) 地盤ばねの設定

周辺地盤との接触状況を踏まえ、75%に低減したBEMの地盤ばねを設定する。なお、低減したBEMの地盤ばねは前章「2. 辺長比が1.4である矩形建屋へのNovakばねの適用性」で算定した地盤ばね（図2-6）を0.75倍したものを近似法により定数化したばねとする。

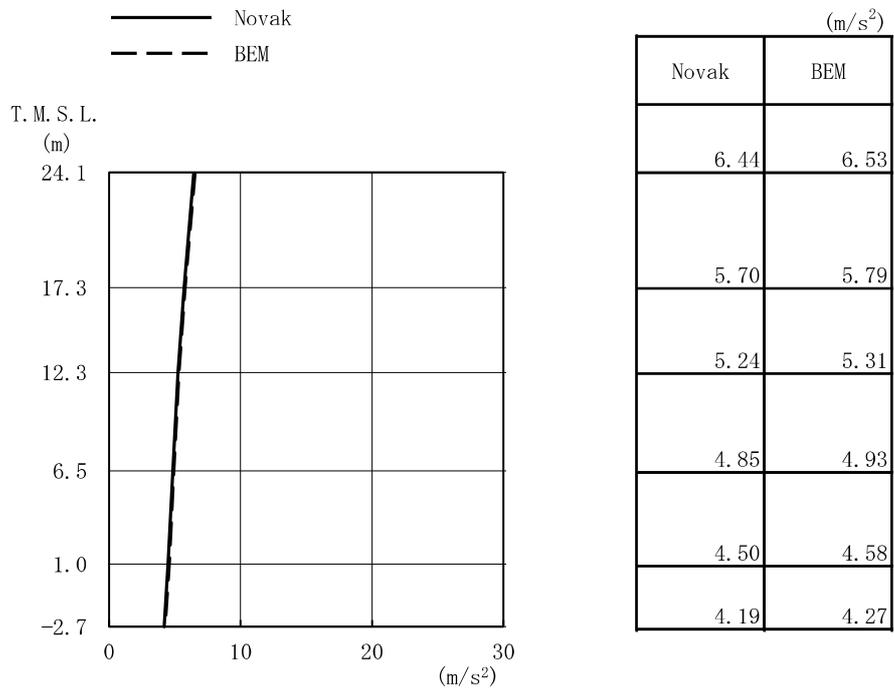
#### (2) 地震応答解析結果

入力地震動は弾性設計用地震動Sd-1Hとした。地震応答解析結果の比較を図3-2～図3-4に示す。図において「Novak」が今回工認で採用している地盤ばねによる結果で、「BEM」が前章で求めたBEMによる地盤ばねを0.75倍した地盤ばねによる結果である。

これらの図より、今回工認モデルの地震応答解析結果とBEMによる地盤ばねを低減した結果は、ほぼ同等であることが分かる。

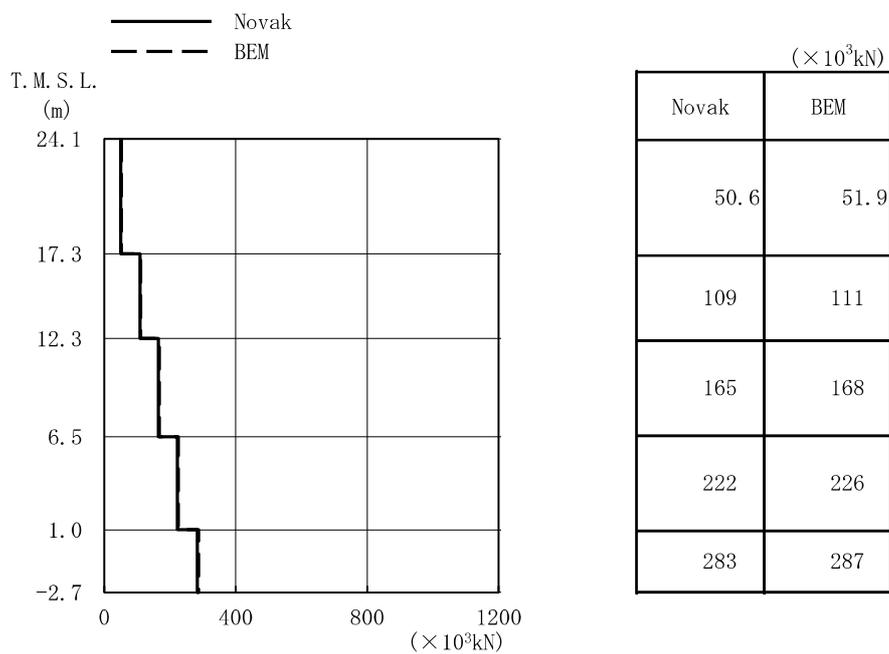


(a) NS方向

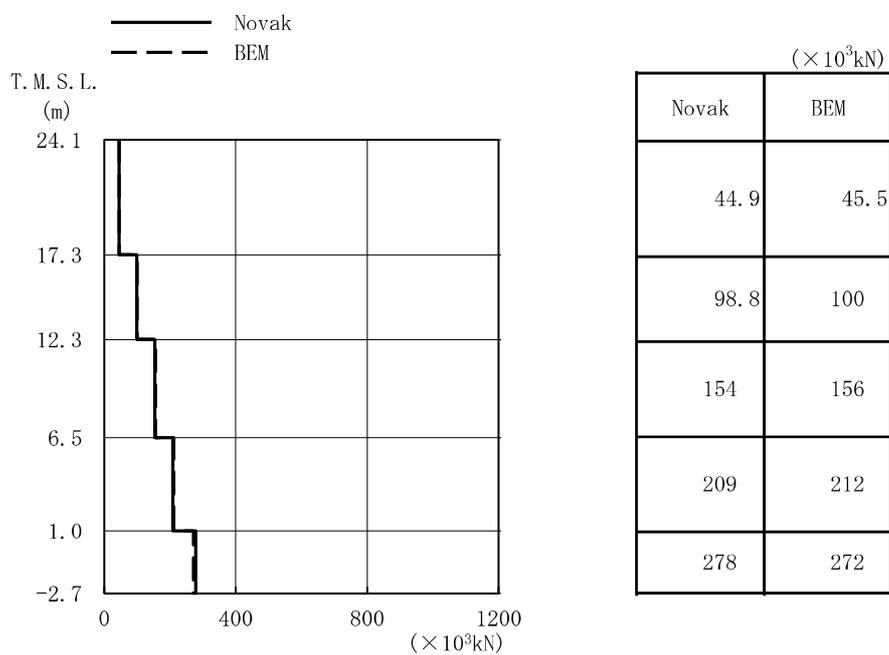


(b) EW方向

図3-2 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(加速度, 弾性設計用地震動Sd-1H)

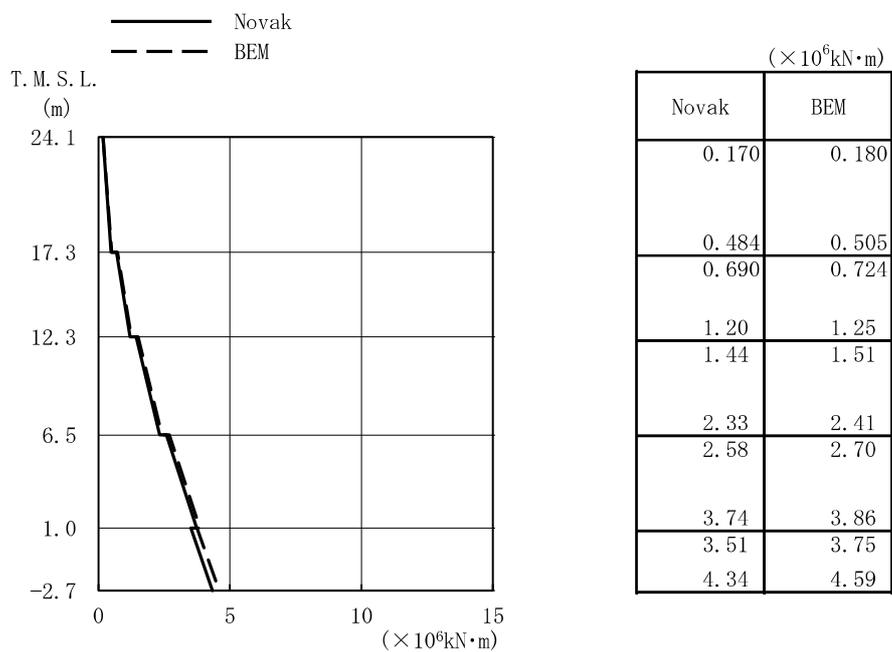


(a) NS方向

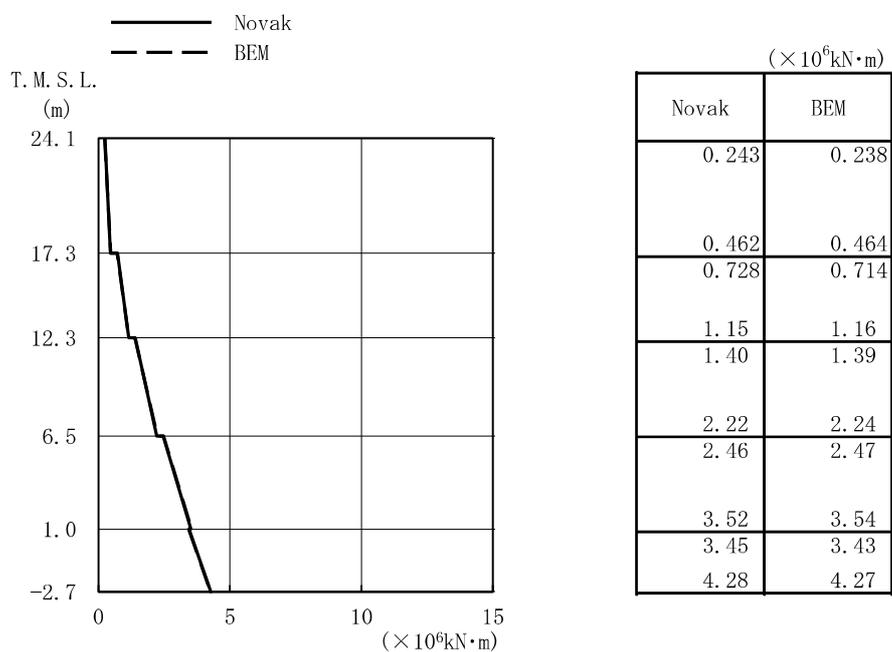


(b) EW方向

図3-3 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(せん断力, 弾性設計用地震動Sd-1H)



(a) NS方向



(b) EW方向

図3-4 コントロール建屋の地震応答解析結果  
(曲げモーメント, 弾性設計用地震動Sd-1H)

(3) まとめ

コントロール建屋地下外壁の地盤との接触状況を踏まえ側面地盤ばねを低減させた地震応答解析結果が、今回工認モデルの地震応答解析結果とほぼ同等であることから、コントロール建屋の地震応答解析においてNovakの側面地盤ばねを採用した埋込みSRモデルを用いることは妥当であることを確認した。

別紙1-2-2 側面回転ばねのEW方向への適用について

## 目 次

1. 概要 .....	別紙1-2-2-1
2. 検討方針 .....	別紙1-2-2-2
3. 確認事項に対する検討 .....	別紙1-2-2-6
3.1 解析モデル .....	別紙1-2-2-6
3.2 検討用地震動 .....	別紙1-2-2-16
3.3 検討結果 .....	別紙1-2-2-17
4. まとめ .....	別紙1-2-2-22

## 1. 概要

本資料は、「別紙1-2 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について」を補足し、コントロール建屋のEW方向の地震応答解析モデルにおいても側面地盤回転ばねを適用できることを示すものである。

## 2. 検討方針

今回工認のコントロール建屋の地震応答解析モデルでは、図2-1に示すようにEW方向についてもNS方向と同様に、Novakの側面水平ばねと側面回転ばねを採用している。また、表2-1に示すように側面回転ばねを考慮することにより、NS方向と同様に接地率が改善することを確認している。

しかし、EW方向については、図2-2及び図2-3に示すように西側には廃棄物処理建屋が東側にはサービス建屋があることから、側面回転ばねによる効果が南北方向と比較して小さいのではないかという懸念がある。そこで本資料では、周辺建屋や地盤状況を考慮した場合でも建屋拘束効果が得られ、埋込みSRモデルに側面回転ばねを適用することが妥当であることを確認する。なお、解析モデルはEW方向の断面に対して周辺建屋や地盤状況を適切に考慮することができる2次元FEMモデルを採用する。

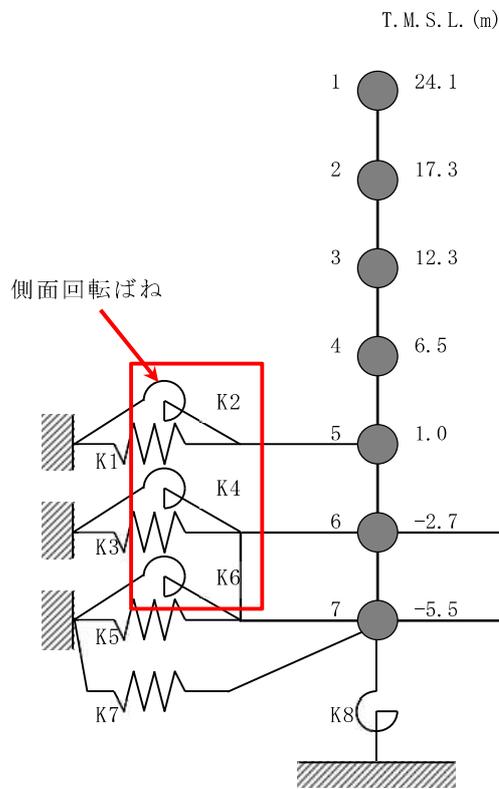


図2-1 コントロール建屋の地震応答解析モデル (EW方向)

表2-1 接地率 (S<sub>s</sub>-1, EW方向)

解析ケース	接地率
①側面回転ばね非考慮モデル	68%
②側面回転ばね考慮モデル	76%

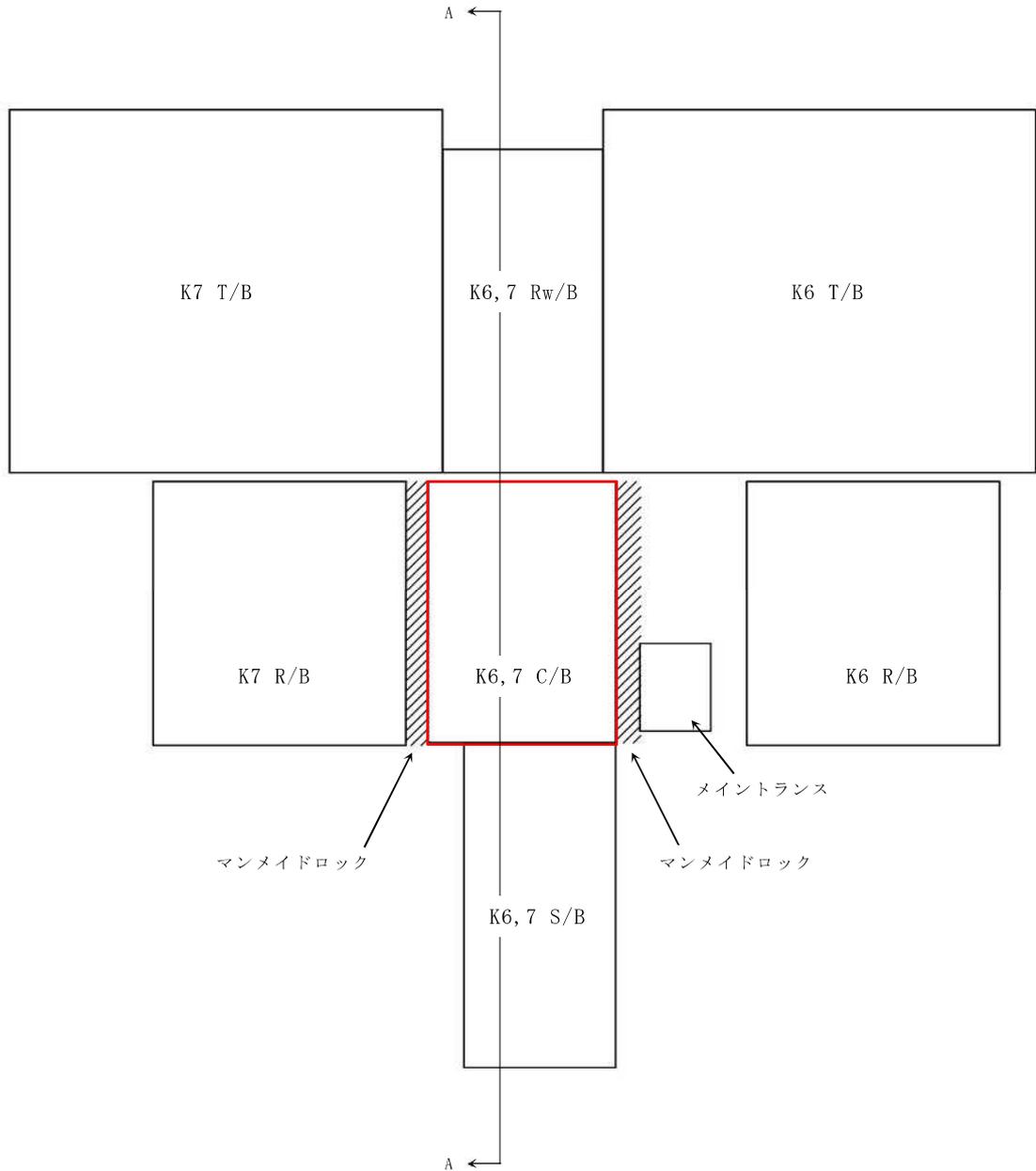
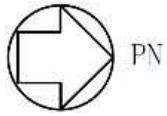


図2-2 コントロール建屋の設置状況（平面図）

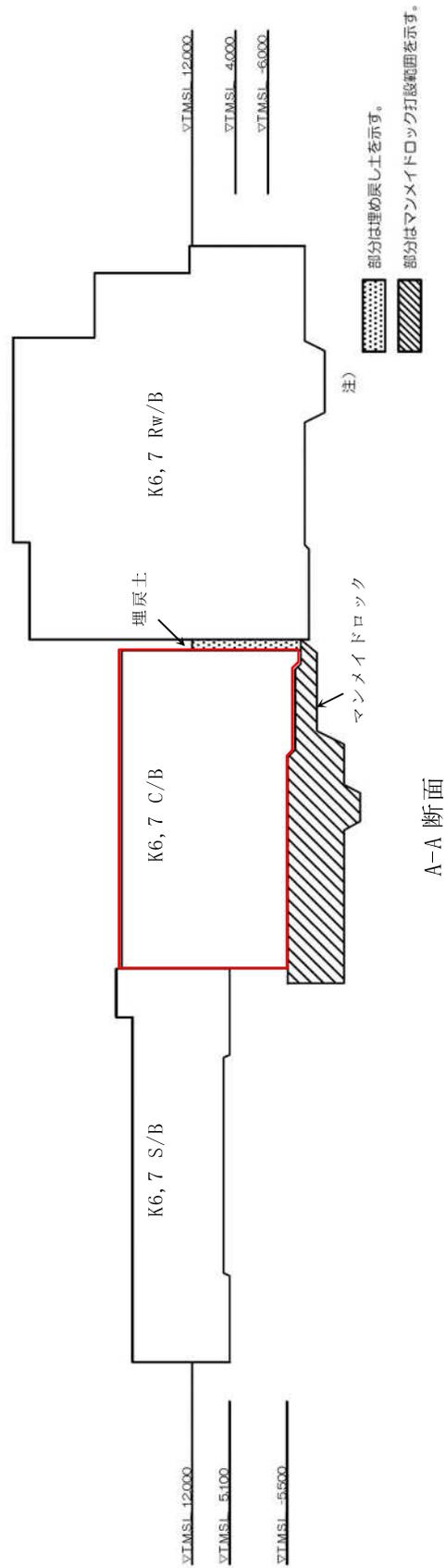


図 2-3 コントロール建屋の設置状況 (断面図) (単位: mm)

### 3. 確認事項に対する検討

コントロール建屋に隣接する廃棄物処理建屋，サービス建屋及びコントロール建屋周辺にある地盤の影響について，それらを考慮した2次元FEMモデルを用いて地震応答解析を行い，EW方向についても埋込みSRモデルに側面回転ばねを適用することが妥当であることを確認する。

#### 3.1 解析モデル

##### (1) 地盤のモデル化

地盤は表3-1に示す水平成層地盤モデルとする。地盤の境界条件は，地盤の半無限的な広がりを表現するために，底面を粘性境界，側面を粘性境界とする。また，境界条件の影響を受けないように，地盤のモデル化範囲を大きく設定し，水平方向はコントロール建屋の建屋幅の6倍程度，深さ方向は地表面から解放基盤表面までとした。

図3-1に地盤のメッシュ図を，図3-2に建屋周辺のメッシュの詳細を示す。なお，埋戻土は力の伝達を期待していないためモデル化していない。

##### (2) 建屋地下外壁と側面地盤のジョイント部のモデル化

建屋地下外壁と側面地盤の間は，側面地盤の剥離・接触を表す軸ばね（水平方向）で接続する。

軸ばねは，側面地盤が剥離した時には剛性（引張り方向）を0とし，接触中の剛性（圧縮方向）は剛とした。また，軸ばねには静止土圧による初期応力を考慮する。軸ばねは側面地盤モデルのFEMメッシュの地盤と接する各節点に設置する（図3-3）。

##### (3) 建屋基礎底面と地盤のジョイント部のモデル化

建屋基礎底面部分は浮上りを考慮する。基礎底面の地盤のFEMメッシュの各節点には浮上りを表す鉛直方向の軸ばねを設定する（図3-3）。鉛直方向の軸ばねについては，引張り側の剛性は0，圧縮側の剛性は剛とした。初期状態では基礎底面に建屋の自重による長期軸力を考慮する。

##### (4) コントロール建屋と廃棄物処理建屋とサービス建屋のモデル化

コントロール建屋は図2-1に示した質点系モデルであり，廃棄物処理建屋及びサービス建屋も同様の質点系モデルとした。コントロール建屋及びサービス建屋は非線形モデルとして今回工認で用いる建屋諸元を有するものとし，廃棄物処理建屋は線形モデルとする。また，建屋の減衰は今回工認と同様にひずみエネルギー比例減衰とし，減衰定数は $h = 5\%$ とする。コントロール建屋，廃棄物処理建屋及びサービス建屋のモデル諸元を表3-2及び表3-3に示す。

表3-1 地盤物性

(a) コントロール建屋及び廃棄物処理建屋

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	減衰 定数 $h$ (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.0996	0.369	0.27	23
+8.0		200	16.1	0.308	0.0788	0.657	0.12	28
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.01	1.92	0.53	6
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.22	4.75	0.89	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.28	6.14	0.86	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
-155.0	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	-
$\infty$								

表3-1 地盤物性

(b) サービス建屋

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単体体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	減衰 定数 $h$ (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.36	1.92	0.71	4
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.18	4.75	0.88	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.21	6.14	0.85	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
$\infty$	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	—

注記\* : T. M. S. L. -6.0m以深の西山層についてはコントロール建屋及び廃棄物処理建屋の地盤物性を用いる。

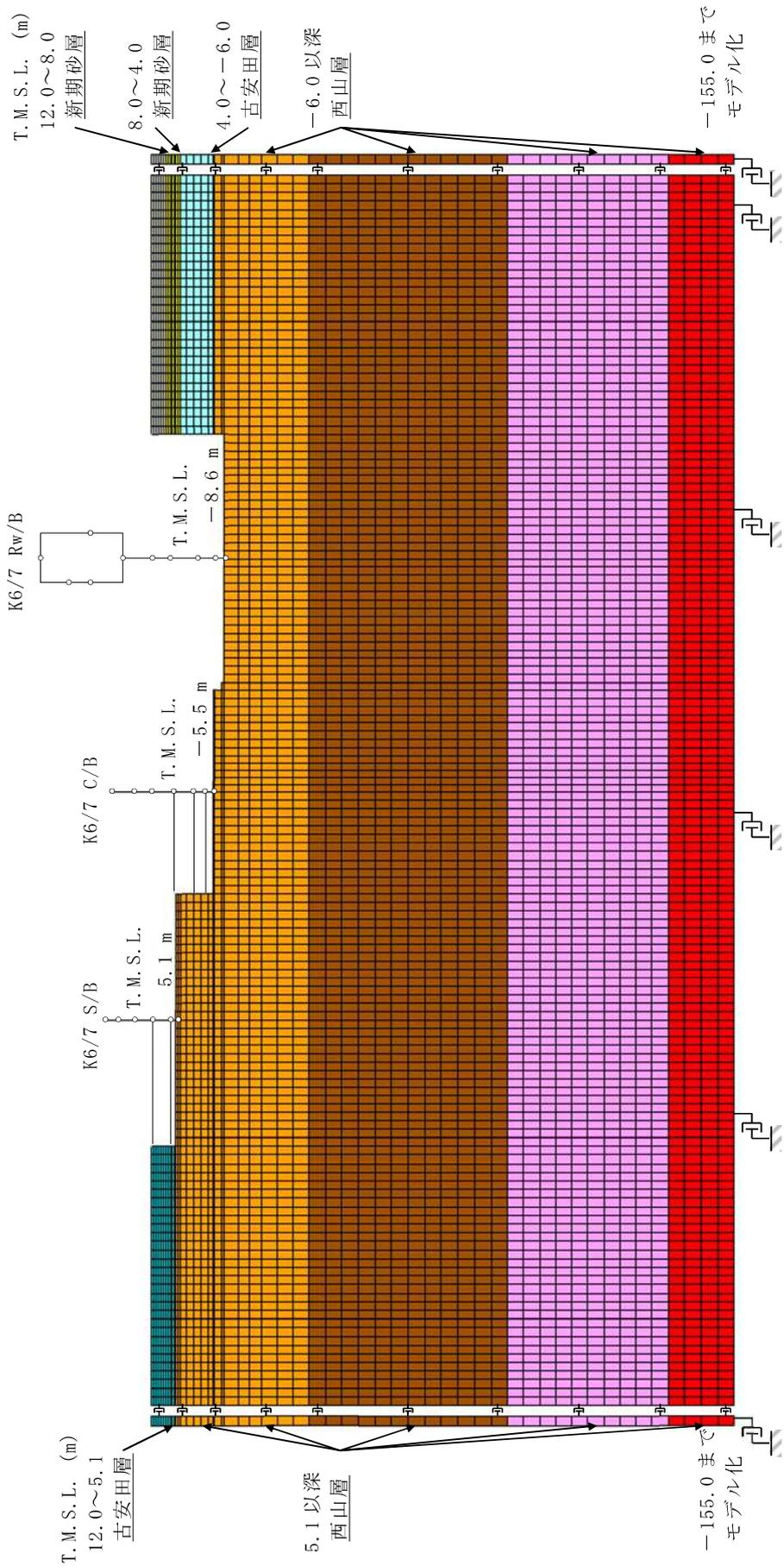


図 3-1 隣接建屋連成を考慮した 2 次元 FEM モデルのメッシュ図 (EW 方向)

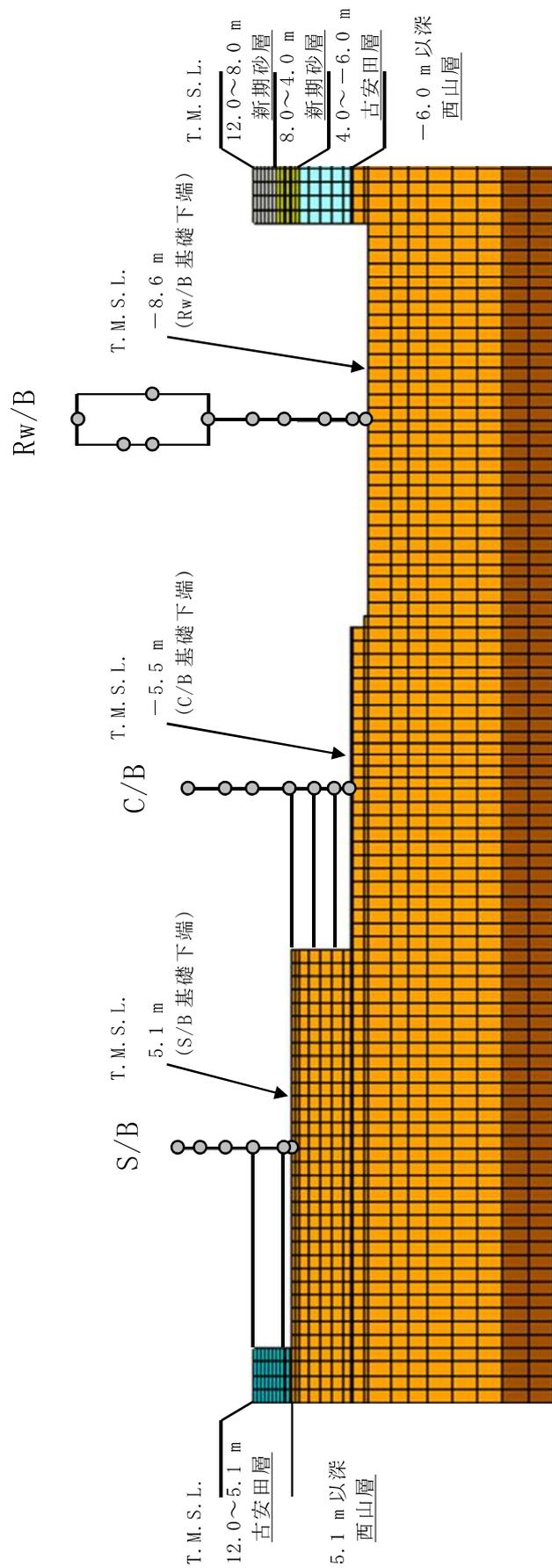


図 3-2 隣接建屋連成を考慮した 2 次元 FEM モデルの建屋周辺の拡大図 (EW 方向)

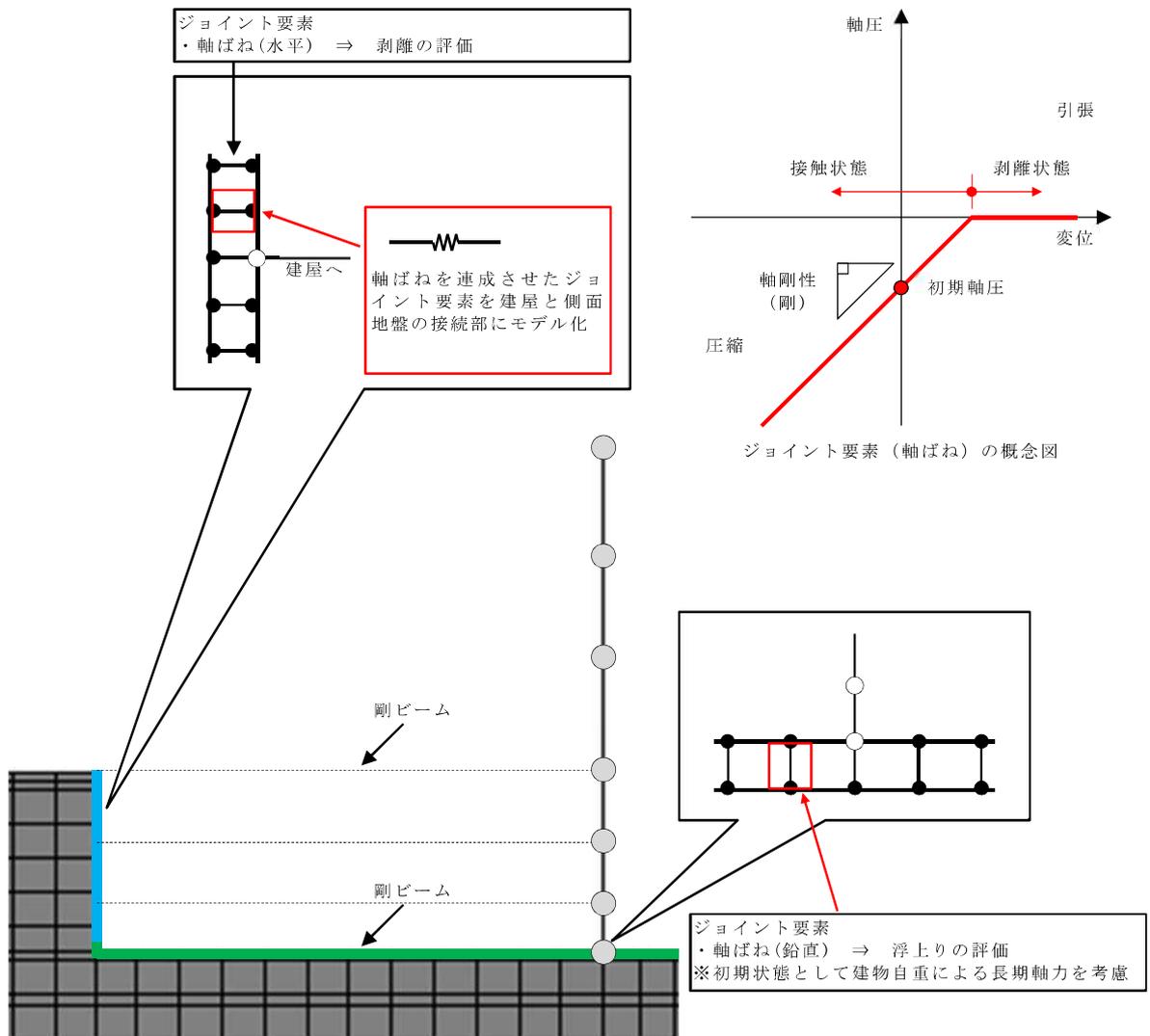


図3-3 建屋地下外壁と側面地盤要素及び建屋基礎と底面地盤要素との接合部のモデル化概要

表3-2 埋込みSRモデルの諸元 (EW方向)

(a) コントロール建屋

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	せん断断面積 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )	断面二次モーメント I ( $\text{m}^4$ )
1	68160	22.6			
			①	68.9	38100
2	92410	30.1			
			②	129.8	61100
3	103900	33.2			
			③	151.7	84100
4	120780	37.4			
			④	204.1	109100
5	65170	24.9			
			⑤	202.3	107800
6	124330	38.7			
			⑥	2478.0	718800
7	81650	23.7			
合計	656400				

①建屋部

ヤング係数 E  $2.88 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.20 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

②基礎スラブ

ヤング係数 E  $2.79 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.16 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

基礎形状 42.0m(NS方向) × 59.0m(EW方向) × 2.8m(厚さ)

表3-2 埋込みSRモデルの諸元 (EW方向)

(b) 廃棄物処理建屋

重量・回転慣性重量

T. M. S. L. (m)	建屋	
44.3	10	11
	33020	
	0.4	
36.7	9	-
	21950	
	0.6	
30.9	7	-
	33800	
	1.3	
30.4	-	8
	-	19940
	-	0.2
20.4	6	-
	125570	
	115.5	
12.3	5	-
	167720	
	67.4	
6.5	4	-
	185670	
	78.2	
-1.1	3	-
	209330	
	86.1	
-6.1	2	-
	138300	
	66.5	
-8.6	1	-
	76880	
	34.2	

質点番号
重量(kN)
回転慣性重量(×10 <sup>6</sup> kN・m <sup>2</sup> )

せん断断面積・断面二次モーメント

T. M. S. L. (m)	建屋	
44.3	1	2
	0.40	0.03
	-	
3		
36.7	0.49	-
	-	
	4	
30.9	47.9	-
	-	
30.4	5	-
	1775	
	24.6	
20.4	6	-
	187.7	
	82380	
12.3	7	-
	329.8	
	163990	
6.5	8	-
	381.7	
	214550	
-1.1	9	-
	416.2	
	228710	
-6.1	10	-
	2613.4	
	1160600	

①コンクリート部 建屋  
ヤング係数 E 2.88 × 10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
せん断弾性係数 G 1.20 × 10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
ポアソン比 ν 0.20  
減衰定数 h 5%

②コンクリート部 基礎スラブ  
ヤング係数 E 2.79 × 10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
せん断弾性係数 G 1.16 × 10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
ポアソン比 ν 0.20  
減衰定数 h 5%

③鉄骨部  
ヤング係数 E 2.05 × 10<sup>5</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
せん断弾性係数 G 7.90 × 10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)  
ポアソン比 ν 0.30  
減衰定数 h 2%

基礎形状 35.8m(NS方向)×73.0m(EW方向)×2.5m(厚さ)

部材番号
せん断断面積(m <sup>2</sup> )
断面二次モーメント(m <sup>4</sup> )

表3-2 埋込みSRモデルの諸元 (EW方向)

(c) サービス建屋

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2)$	部材 番号	等価せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント I ( $\text{m}^4$ )
1	9970	4.3			
			①	4.2	—
2	49470	219.7			
			②	23.7	—
3	52630	233.8			
			③	42.1	—
4	64940	288.5			
			④	53.3	—
5	86130	382.6			
			⑤	2482.0	1102000
6	41700	185.2			
合計	304840	1314.1			

① 建屋部

ヤング係数 E  $2.88 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.20 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

② 基礎スラブ

ヤング係数 E  $2.79 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.16 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

基礎形状 34.0m(NS 方向) × 73.0m(EW 方向) × 1.4m(厚さ)

表3-3 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW方向)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	5	側面・並進	$2.12 \times 10^6$	$7.81 \times 10^5$
K2	5	側面・回転	$1.21 \times 10^9$	$1.37 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$1.42 \times 10^6$	$5.23 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$8.11 \times 10^8$	$9.19 \times 10^7$
K5	7	側面・並進	$6.12 \times 10^5$	$2.25 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$3.49 \times 10^8$	$3.96 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.00 \times 10^7$	$2.04 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$5.77 \times 10^{10}$	$7.79 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7はkN/m K2, K4, K6, K8はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7はkN・s/m K2, K4, K6, K8はkN・m・s/rad

### 3.2 検討用地震動

対象とする地震動はNS方向の解析と同様に基準地震動Ss-1Hとする。

図3-4に基準地震動Ss-1Hの加速度時刻歴波形を示す。

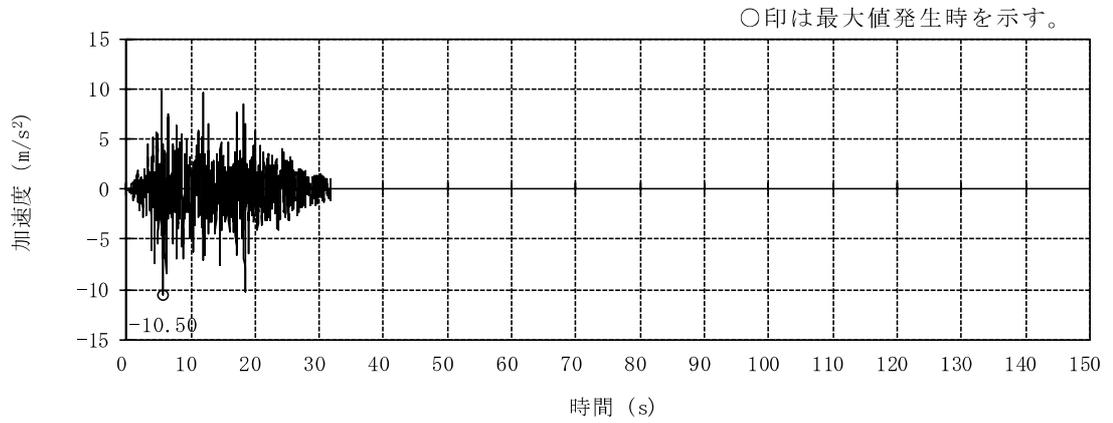


図3-4 基準地震動Ss-1Hの加速度波形 (解放基盤表面)

### 3.3 検討結果

#### (1) 建屋拘束効果の検討

EW方向の断面では、西側に廃棄物処理建屋が隣接していることから、西側地盤による拘束効果を見込めないため、東側の軸ばねのみを考慮している。東側の軸ばねから求めた軸圧の時刻歴を図3-5に示す。各領域の軸圧は埋込みSRモデルにおける各質点にとりつく側面ばねの支配領域に応じた値を算定している。

図3-5より、軸圧はごく短時間の剥離が生じた場合に0になることもあるが、大部分の時間帯で軸圧が作用した状態となっている。また、最大軸圧は500kN/m<sup>2</sup>程度である。これらの傾向はNS方向の結果と同様であり、鉛直方向の摩擦滑りを考えていないものの同等の拘束効果が期待できると考えられる。

#### (2) 建屋応答の比較

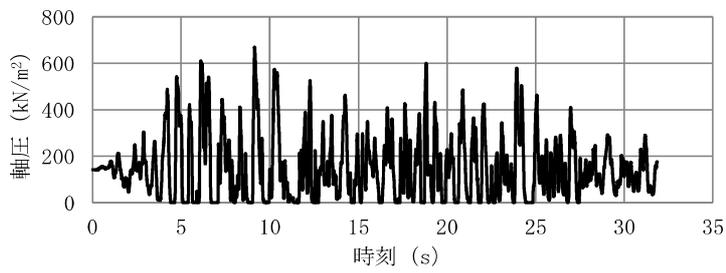
コントロール建屋に隣接する建屋と地盤状況を考慮した2次元FEMモデルによる建屋応答を、側面回転ばねを有する埋込みSRモデルの建屋応答を比較する。両者のモデルによる結果が同等であれば、埋込みSRモデルに側面回転ばねを考慮することは妥当であると考えられる。

図3-6に建屋の最大応答分布を、図3-7及び図3-8に床応答スペクトルをそれぞれ比較して示す。また、接地率の最小値を表3-4に比較して示す。

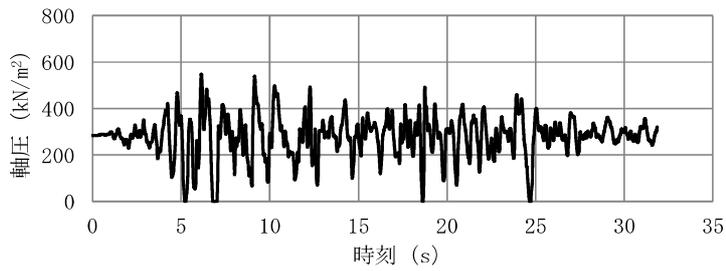
これらの結果から、埋込みSRモデルはおおむね同等の応答を与えることが分かる。

表3-4 接地率の最小値一覧

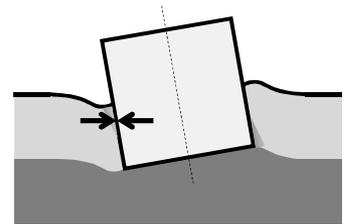
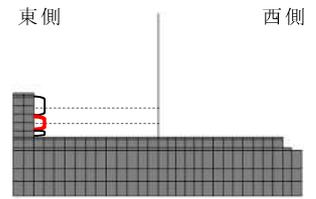
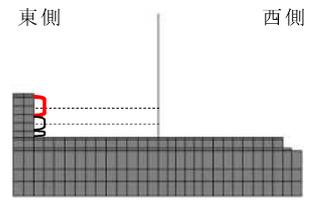
解析モデル	接地率
埋込みSRモデル	76 %
2次元FEMモデル	85 %



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)

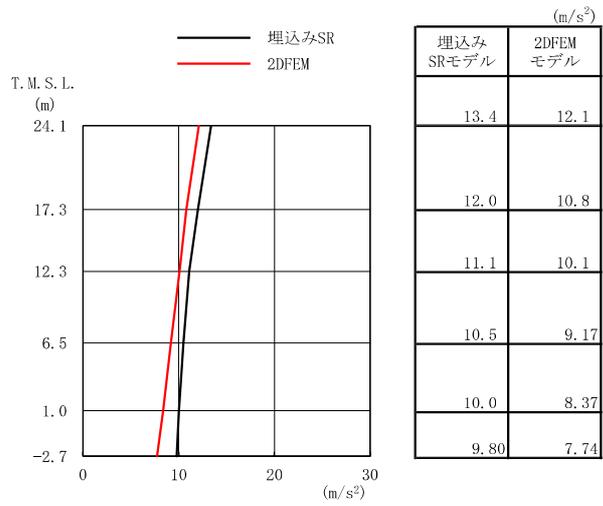


B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)

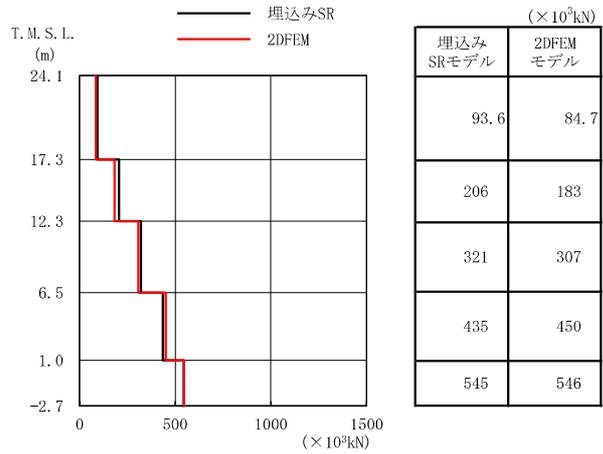


軸圧は、地盤を圧縮する方向を正とする。

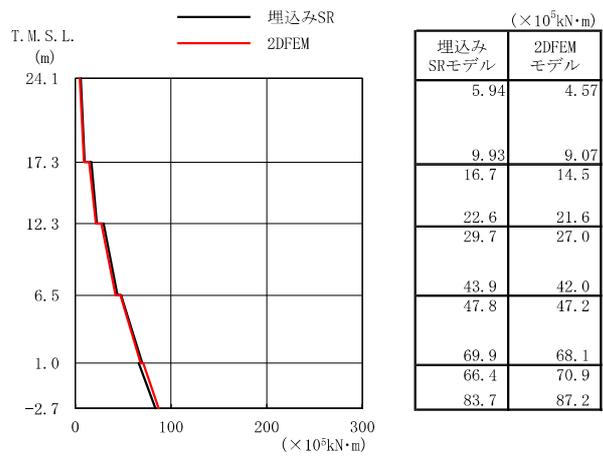
図3-5 軸ばねの軸圧の時刻歴 (EW方向, 東側)  
(隣接建屋を考慮したモデル)



(a) 加速度



(b) せん断力



(c) 曲げモーメント

図3-6 建屋の最大応答分布の比較 (EW方向)

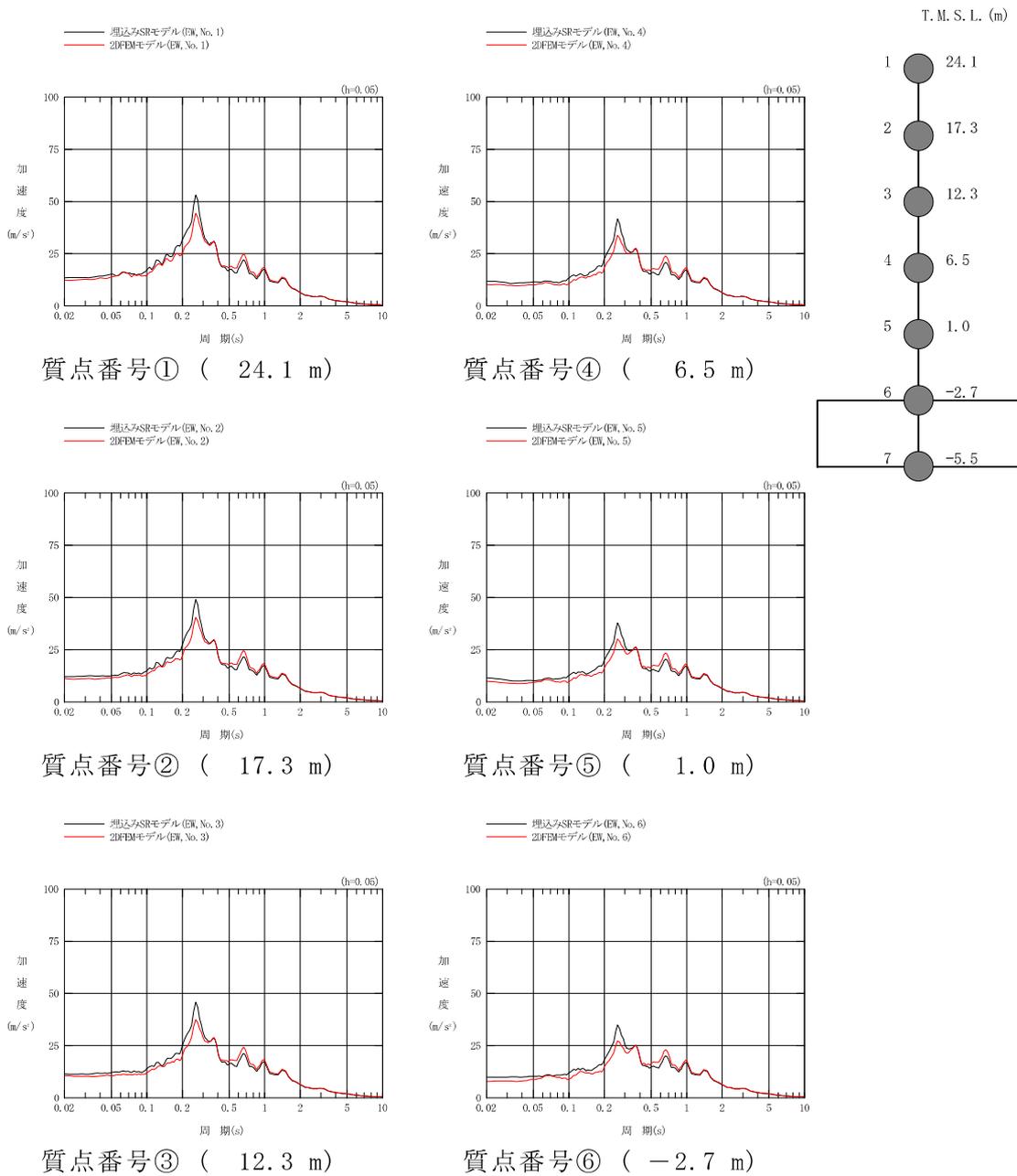


図3-7 床応答スペクトルの比較 (EW方向, 減衰5%)

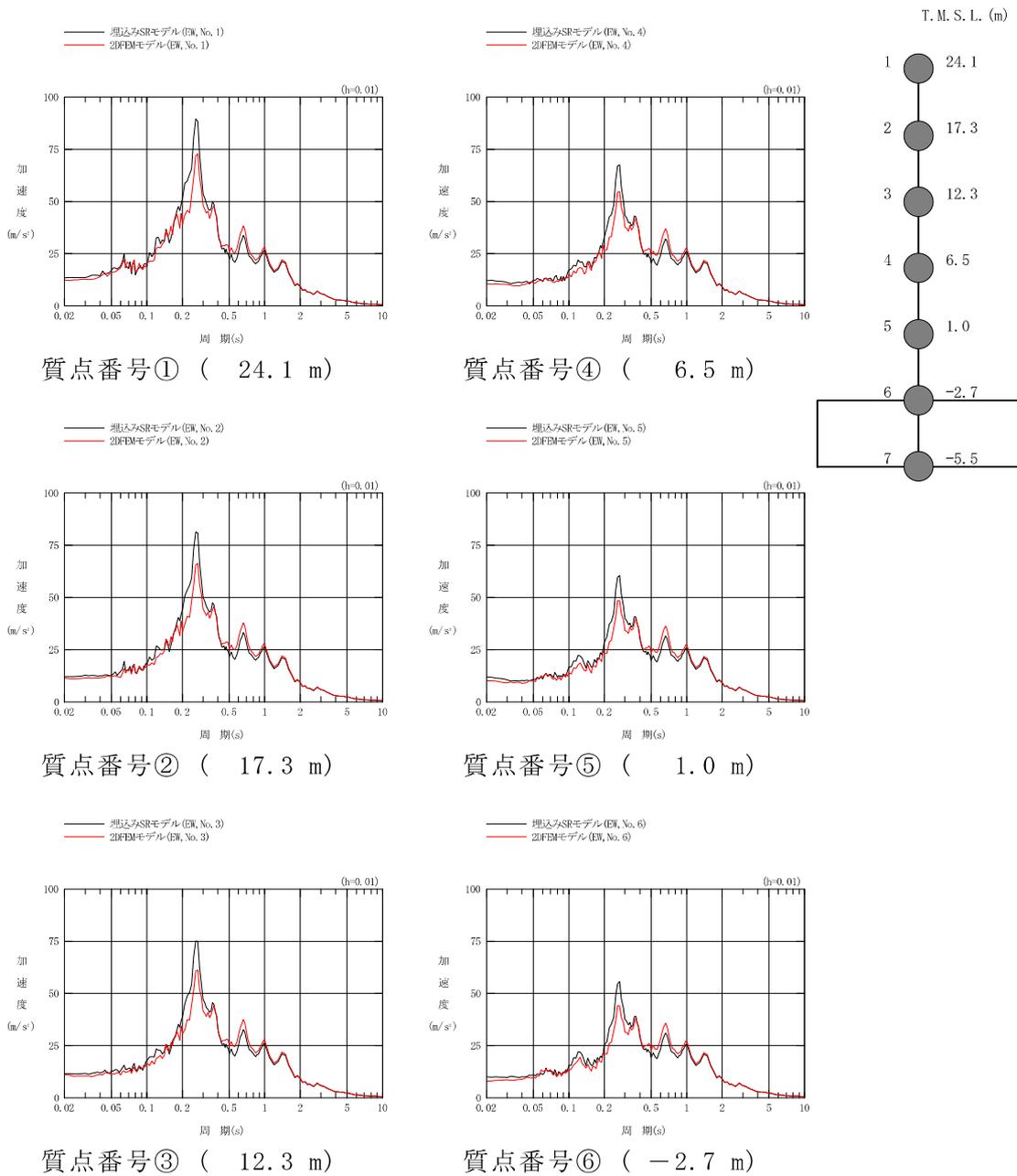


図3-8 床応答スペクトルの比較 (EW方向, 減衰1%)

#### 4. まとめ

##### (1) 建屋拘束効果の検討

コントロール建屋に隣接する建屋と地盤状況を考慮した2次元FEMモデルによる解析を行い、建屋の拘束効果について検討した。

この結果、建屋一側面地盤間に剥離が生じる場合でも、地震継続中の大半の時間において地下外壁には土圧が作用し、側面地盤による拘束効果が得られることを確認した。

##### (2) 建屋応答の比較

コントロール建屋に隣接する建屋と地盤状況を考慮した2次元FEMモデルによる建屋応答と側面回転ばねを有する埋込みSRモデルの建屋応答を比較した。この結果、埋込みSRモデルによる建屋応答や床応答スペクトルは、2次元FEMモデルの結果と同等であることを確認した。

以上より、EW方向に対しても埋込みSRモデルに側面回転ばねを考慮することは妥当であると考えられる。

別紙2 地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトン曲線の  
設定

## 目 次

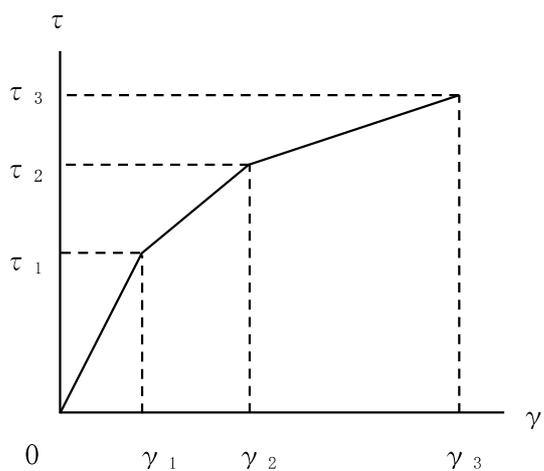
1. 概要	別紙2-1
2. 耐震壁の非線形特性の設定について	別紙2-2
2.1 第1折点の設定	別紙2-3
2.2 第2折点の設定	別紙2-3
2.3 終局点の設定	別紙2-4
3. 補助壁の非線形特性の設定について	別紙2-5
3.1 第1折点の設定	別紙2-6
4. せん断スケルトン曲線の設定について	別紙2-7
4.1 コントロール建屋	別紙2-7
4.1.1 水平方向モデル	別紙2-7
4.1.2 使用材料の物性値	別紙2-10
4.1.3 RC造耐震壁のせん断スケルトン曲線の諸数値	別紙2-11
4.1.4 RC造補助壁のせん断スケルトン曲線の諸数値	別紙2-19
5. まとめ	別紙2-22

## 1. 概要

柏崎刈羽原子力発電所のコントロール建屋については、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体とした構造物である。このため、これらの建物・構築物の地震応答解析においては、鉄筋コンクリート造耐震壁（以下「RC造耐震壁」という。）及び鉄筋コンクリート造補助壁（以下「RC造補助壁」という。）の非線形特性を考慮している。本資料は、これらの耐震壁のせん断スケルトン曲線の設定について説明するものである。

## 2. 耐震壁の非線形特性の設定について

RC造耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$  関係）は、「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（(社) 日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。せん断応力度－せん断ひずみ関係を図2-1に示す。



- $\tau_1$  : 第1折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第2折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第1折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第2折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $4.0 \times 10^{-3}$ )

図2-1 せん断応力度－せん断ひずみ関係

## 2.1 第1折点の設定

RC造耐震壁におけるせん断スケルトン曲線の第1折点は，J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき，以下の式より算出している。

$$\tau_1 = \sqrt{\sqrt{F_c} \left( \sqrt{F_c + \sigma_v} \right)}$$
$$\gamma_1 = \tau_1 / G$$

ここで，

- F<sub>c</sub> : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- G : コンクリートのせん断弾性係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- σ<sub>v</sub> : 縦軸応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>) (圧縮を正とする。)

## 2.2 第2折点の設定

RC造耐震壁におけるせん断スケルトン曲線の第2折点は，J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき，以下の式より算出している。

$$\tau_2 = 1.35 \tau_1$$
$$\gamma_2 = 3 \gamma_1$$

### 2.3 終局点の設定

RC造耐震壁におけるせん断スケルトン曲線の終局点は、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき、以下の式より算出している。

$$\tau_s \leq 4.5\sqrt{F_c} \text{ の場合}$$

$$\tau_3 = \left( 1 - \frac{\tau_s}{4.5\sqrt{F_c}} \right) \tau_0 + \tau_s$$

$$\tau_s > 4.5\sqrt{F_c} \text{ の場合}$$

$$\tau_3 = 4.5\sqrt{F_c}$$

$$\gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3}$$

ここで、

$$\tau_0 = \left( 3 - \frac{1.8M}{QD} \right) \sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/(QD) > 1$  のとき  $M/(QD) = 1$

$$\tau_s = \frac{(P_V + P_H) \cdot s \sigma_y}{2} + \frac{(\sigma_V + \sigma_H)}{2}$$

ここで、

$F_c$  : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$P_V, P_H$  : 縦, 横筋比 (実数)

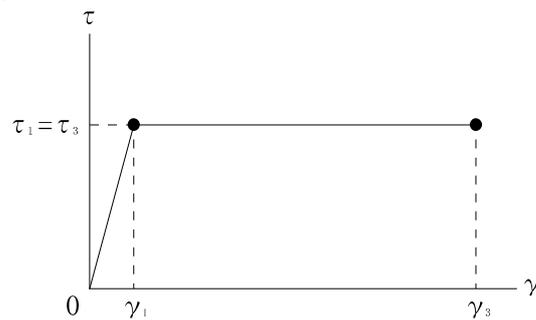
$\sigma_V, \sigma_H$  : 縦, 横軸応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>) (圧縮を正とする。)

$s \sigma_y$  : 鉄筋降伏応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$M/(QD)$  : シアスパン比

### 3. 補助壁の非線形特性の設定について

RC造補助壁のせん断応力度—せん断ひずみ関係（ $\tau$ — $\gamma$  関係）は，J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版で評価される第1折点で降伏する，完全弾塑性型のスケルトン曲線として評価する方針とする。終局点を与えるせん断ひずみについても J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の記載による値を採用する。せん断応力度—せん断ひずみ関係を図3-1に示す。



$\tau_1$  : 第1折点のせん断応力度

$\tau_3$  : 終局点のせん断応力度 ( $\tau_3 = \tau_1$ )

$\gamma_1$  : 第1折点のせん断ひずみ

$\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $4.0 \times 10^{-3}$ )

図3-1 せん断応力度—せん断ひずみ関係

### 3.1 第1折点の設定

RC造補助壁におけるせん断スケルトン曲線の第1折点は、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき、以下の式より算出している。

$$\tau_1 = \sqrt{\sqrt{F_c} \left( \sqrt{F_c + \sigma_v} \right)}$$

$$\gamma_1 = \tau_1 / G$$

ここで、

$F_c$  : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$G$  : コンクリートのせん断弾性係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)

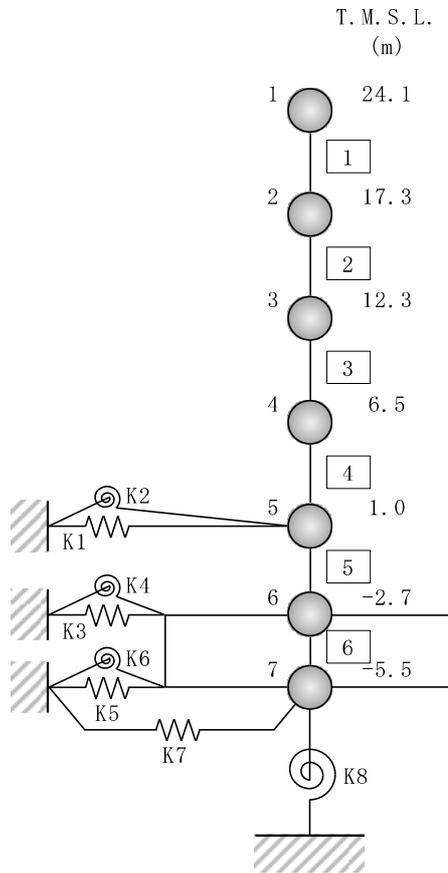
$\sigma_v$  : 縦軸応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>) (圧縮を正とする。)

#### 4. せん断スケルトン曲線の設定について

##### 4.1 コントロール建屋

##### 4.1.1 水平方向モデル

水平方向は，地盤との相互作用を考慮し，耐震壁等の曲げ及びせん断剛性を評価した多質点系モデルとしている。地震応答解析モデルを図4-1に，解析モデルの諸元を表4-1に示す。



注 1：数字は質点番号を示す。

注 2：□内は部材番号を示す。

注 3：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図4-1 地震応答解析モデル（水平方向）

表4-1 地震応答解析モデル諸元 (NS方向) (1/2)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>G</sub> (×10 <sup>6</sup> kN・m <sup>2</sup> )	部材番号	せん断断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	68160	10.9			
			①	76.7	24000
2	92410	14.8			
			②	112.1	27400
3	103900	18.6			
			③	151.7	41700
4	120780	22.6			
			④	156.8	53200
5	65170	13.9			
			⑤	153.6	53200
6	124330	19.9			
			⑥	2478.0	364300
7	81650	12.0			
合計	656400				

①建屋部

ヤング係数 E 2.88×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G 1.20×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

②基礎スラブ

ヤング係数 E 2.79×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G 1.16×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

表4-1 地震応答解析モデル諸元 (EW方向) (2/2)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>G</sub> (×10 <sup>6</sup> kN・m <sup>2</sup> )	部材番号	せん断断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	68160	22.6			
			①	68.9	38100
2	92410	30.1			
			②	129.8	61100
3	103900	33.2			
			③	151.7	84100
4	120780	37.4			
			④	204.1	109100
5	65170	24.9			
			⑤	202.3	107800
6	124330	38.7			
			⑥	2478.0	718800
7	81650	23.7			
合計	656400				

①建屋部

ヤング係数 E 2.88×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G 1.20×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

②基礎スラブ

ヤング係数 E 2.79×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G 1.16×10<sup>4</sup> (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

基礎形状 42.0m(NS方向)×59.0m(EW方向)×2.8m(厚さ)

#### 4.1.2 使用材料の物性値

地震応答解析に用いるコントロール建屋の使用材料の物性値を表4-2及び表4-3に示す。

表4-2 使用材料の物性値（コンクリート）

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 (%)
コンクリート*： $\sigma_c = 43.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ( $\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$ )	$2.88 \times 10^4$	$1.20 \times 10^4$	5

注記\*：実強度に基づくコンクリート強度。

表4-3 使用材料の物性値（鉄筋）

使用材料	降伏応力度 $\sigma_y \text{ (N/mm}^2\text{)}$
鉄筋：SD35（SD345相当*）	345

注記\*：建設当時の鉄筋の種類はSD35であるが、現在の規格（SD345）に読み替えた降伏応力度を示す。

#### 4.1.3 RC造耐震壁のせん断スケルトン曲線の諸数値

##### (1) 第1折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトン曲線の第1折点の設定根拠を表4-4に示す。

表4-4 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 第1折点) (1/2)

(a) NS方向

部材番号	通り	コンクリート 強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	せん断弾性 係数 $G$ ( $\times 10^4 N/mm^2$ )	断面積 $A_s$ ( $m^2$ )	縦軸応力度 $\sigma_v$ ( $N/mm^2$ )	$\tau_1$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	cA	43.1	1.20	22.8	0.34	2.22	0.186
	cC	43.1	1.20	24.0	0.80	2.42	0.202
	cG	43.1	1.20	26.5	0.47	2.28	0.190
2	cA	43.1	1.20	22.5	0.78	2.41	0.202
	cC	43.1	1.20	33.1	1.20	2.59	0.216
	cG	43.1	1.20	37.1	0.79	2.42	0.202
3	cA	43.1	1.20	33.0	0.84	2.44	0.204
	cC	43.1	1.20	39.9	1.59	2.74	0.229
	cG	43.1	1.20	49.3	1.03	2.52	0.210
4	cA	43.1	1.20	46.2	0.87	2.45	0.205
	cC	43.1	1.20	52.9	1.70	2.78	0.232
	cG	43.1	1.20	54.6	1.36	2.65	0.221
5	cA	43.1	1.20	46.2	1.11	2.55	0.213
	cC	43.1	1.20	51.7	2.07	2.91	0.244
	cG	43.1	1.20	54.6	1.61	2.75	0.230

表4-4 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 第1折点) (2/2)

(b) EW方向

部材番号	通り	コンクリート 強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	せん断弾性 係数 $G$ ( $\times 10^4 N/mm^2$ )	断面積 $A_s$ ( $m^2$ )	縦軸応力度 $\sigma_v$ ( $N/mm^2$ )	$\tau_1$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	c1	43.1	1.20	32.6	0.48	2.28	0.191
	c3	43.1	1.20	0.0	0.00	2.06	0.172
	c5	43.1	1.20	32.3	0.48	2.29	0.191
2	c1	43.1	1.20	31.3	0.94	2.48	0.208
	c3	43.1	1.20	33.8	1.27	2.62	0.219
	c5	43.1	1.20	32.8	0.88	2.46	0.205
3	c1	43.1	1.20	53.1	0.97	2.50	0.209
	c3	43.1	1.20	32.0	2.08	2.92	0.244
	c5	43.1	1.20	53.1	0.99	2.51	0.209
4	c1	43.1	1.20	73.8	1.10	2.55	0.213
	c3	43.1	1.20	36.5	2.51	3.06	0.256
	c5	43.1	1.20	73.8	1.10	2.55	0.213
5	c1	43.1	1.20	73.7	1.34	2.64	0.221
	c3	43.1	1.20	35.0	2.99	3.22	0.269
	c5	43.1	1.20	73.7	1.37	2.66	0.222

(2) 第2折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトン曲線の第2折点の設定根拠を表4-5に示す。

表4-5 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 第2折点) (1/2)

(a) NS方向

部材番号	通り	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	cA	3.00	0.557
	cC	3.27	0.607
	cG	3.08	0.571
2	cA	3.26	0.605
	cC	3.49	0.649
	cG	3.27	0.607
3	cA	3.30	0.612
	cC	3.70	0.687
	cG	3.40	0.631
4	cA	3.31	0.616
	cC	3.75	0.697
	cG	3.58	0.664
5	cA	3.45	0.640
	cC	3.93	0.731
	cG	3.71	0.689

表4-5 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 第2折点) (2/2)

(b) EW方向

部材番号	通り	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	c1	3.08	0.572
	c3	2.78	0.516
	c5	3.09	0.573
2	c1	3.35	0.623
	c3	3.53	0.656
	c5	3.32	0.616
3	c1	3.37	0.626
	c3	3.94	0.731
	c5	3.38	0.628
4	c1	3.44	0.639
	c3	4.14	0.768
	c5	3.44	0.639
5	c1	3.57	0.663
	c3	4.35	0.808
	c5	3.58	0.666

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。 $\sigma_H$ は安全側に0.0としている。

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトン曲線の終局点の設定根拠を表4-6に示す。また、コントロール建屋のT.M.S.L. 6.5 m~T.M.S.L. 12.3 mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図4-2に示す。

表4-6 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 終局点) (1/2)

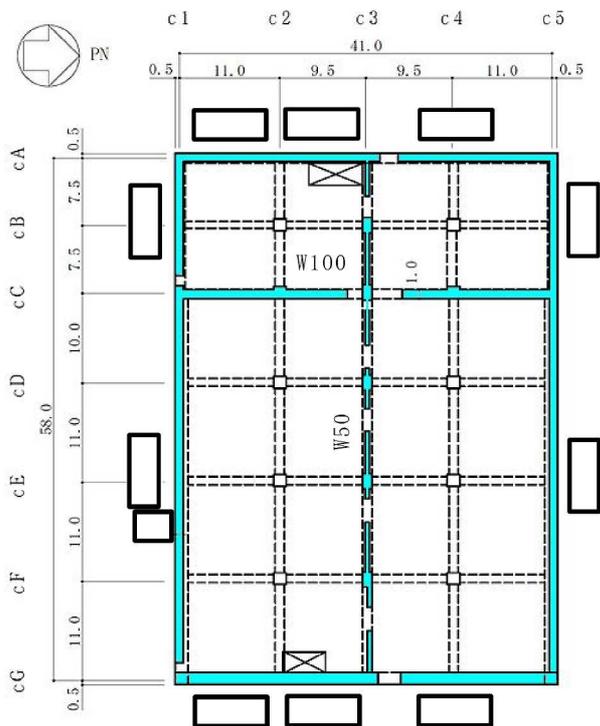
(a) NS方向

部材番号	通り	$P_V$	$P_H$	縦軸応力度	M/QD	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
				$\sigma_V$ (N/mm <sup>2</sup> )			
1	cA	0.0067	0.0067	0.34	0.199	6.56	4.000
	cC	0.0067	0.0067	0.80	0.215	6.61	4.000
	cG	0.0067	0.0067	0.47	0.204	6.57	4.000
2	cA	0.0067	0.0067	0.78	0.242	6.54	4.000
	cC	0.0063	0.0063	1.20	0.234	6.58	4.000
	cG	0.0067	0.0067	0.79	0.222	6.59	4.000
3	cA	0.0066	0.0095	0.84	0.286	6.67	4.000
	cC	0.0064	0.0064	1.59	0.319	6.47	4.000
	cG	0.0064	0.0085	1.03	0.291	6.60	4.000
4	cA	0.0064	0.0076	0.87	0.341	6.36	4.000
	cC	0.0066	0.0066	1.70	0.387	6.37	4.000
	cG	0.0064	0.0122	1.36	0.375	6.82	4.000
5	cA	0.0064	0.0076	1.11	0.470	6.10	4.000
	cC	0.0066	0.0066	2.07	0.405	6.42	4.000
	cG	0.0064	0.0122	1.61	0.441	6.75	4.000

表4-6 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 終局点) (2/2)

(b) EW方向

部材番号	通り	$P_v$	$P_H$	縦軸応力度	M/QD	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
				$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )			
1	c1	0.0067	0.0067	0.48	0.154	6.70	4.000
	c3	0.0000	0.0000	0.00	0.000	6.17	4.000
	c5	0.0067	0.0067	0.48	0.162	6.68	4.000
2	c1	0.0067	0.0067	0.94	0.204	6.67	4.000
	c3	0.0067	0.0067	1.27	0.123	6.93	4.000
	c5	0.0067	0.0067	0.88	0.200	6.66	4.000
3	c1	0.0067	0.0104	0.97	0.218	6.93	4.000
	c3	0.0067	0.0067	2.08	0.226	6.85	4.000
	c5	0.0067	0.0104	0.99	0.219	6.93	4.000
4	c1	0.0064	0.0110	1.10	0.253	6.91	4.000
	c3	0.0077	0.0077	2.51	0.306	6.94	4.000
	c5	0.0064	0.0110	1.10	0.254	6.91	4.000
5	c1	0.0064	0.0110	1.34	0.283	6.90	4.000
	c3	0.0077	0.0077	2.99	0.343	6.98	4.000
	c5	0.0064	0.0110	1.37	0.283	6.90	4.000



記号*	縦筋	横筋
	内：D25@200（2段） 外：D25@200（2段）	内：D25@200+D25@400 外：D25@200+D25@400
	内：D25@200（2段） 外：D25@200（2段）	内：D25@200（2段） 外：D25@200（2段）
	内：D25@200+D25@400 外：D25@200+D25@400	内：D22@200+D19@400 外：D22@200+D19@400
	内：D25@200+D25@400 外：D25@200+D25@400	内：D25@200+D25@400 外：D25@200+D25@400
	内：D25@200（2段） 外：D25@200（2段）	内：D25@200+D16@400 外：D25@200+D16@400
	内：D25@200+D22@400 外：D25@200+D22@400	内：D25@200+D16@400 外：D25@200+D16@400
W100	内：D29@200 外：D29@200	内：D29@200 外：D29@200
W50	内：D19, D22交互@200 外：D19, D22交互@200	内：D19, D22交互@200 外：D19, D22交互@200

注記\*：記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。  
 (例：W120なら120 cm)

図4-2 耐震壁の配筋図 (T.M.S.L. 6.5 m~T.M.S.L. 12.3 m)

#### 4.1.4 RC造補助壁のせん断スケルトン曲線の諸数値

##### (1) 第1折点

RC造補助壁の各要素におけるせん断スケルトン曲線の第1折点の設定根拠を表4-7に示す。

表4-7 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 第1折点) (1/2)

(a) NS方向

部材番号	コンクリート 強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	せん断弾性 係数 $G$ ( $\times 10^4 N/mm^2$ )	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 ( $m^2$ )	縦軸応力度 $\sigma_v$ * ( $N/mm^2$ )	$\tau_1$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	43.1	1.20	68160	151.8	0.45	2.27	0.189
2	43.1	1.20	92410	240.0	0.39	1.39	0.116
3	43.1	1.20	103900	306.0	0.34	1.44	0.120
4	43.1	1.20	120780	350.0	0.35	2.22	0.185
5	43.1	1.20	65170	348.7	0.19	2.15	0.179

注記\* : 縦軸応力度  $\sigma_v$  = 当該部分が支える重量 / 断面積

表4-7 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係, 第1折点) (2/2)

(b) EW方向

部材番号	コンクリート 強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	せん断弾性 係数 $G$ ( $\times 10^4 N/mm^2$ )	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 ( $m^2$ )	縦軸応力度 $\sigma_v$ * ( $N/mm^2$ )	$\tau_1$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	43.1	1.20	68160	151.8	0.45	1.66	0.138
2	43.1	1.20	92410	240.0	0.39	1.95	0.162
3	43.1	1.20	103900	306.0	0.34	2.22	0.185
4	43.1	1.20	120780	350.0	0.35	0.92	0.077
5	43.1	1.20	65170	348.7	0.19	0.88	0.074

注記\* : 縦軸応力度  $\sigma_v$  = 当該部分が支える重量 / 断面積

## 5. まとめ

柏崎刈羽原子力発電所のコントロール建屋におけるせん断スケルトン曲線の設定について整理した。耐震壁及び補助壁について算出したせん断スケルトン曲線の諸数値を表5-1に示す。

表5-1 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (1/2)

(a) NS方向

部材番号	第1折点		第2折点		終局点	
	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	2.31	0.193	3.08	0.557	6.39	4.00
2	2.29	0.191	3.01	0.605	5.68	4.00
3	2.35	0.196	3.07	0.612	5.58	4.00
4	2.63	0.220	3.53	0.616	6.44	4.00
5	2.74	0.229	3.69	0.640	6.41	4.00

表5-1 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (2/2)

(b) EW方向

部材番号	第1折点		第2折点		終局点	
	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	2.25	0.188	3.00	0.516	6.40	4.00
2	2.38	0.199	3.05	0.616	5.58	4.00
3	2.56	0.214	3.39	0.626	6.50	4.00
4	2.48	0.207	3.32	0.639	6.33	4.00
5	2.58	0.215	3.45	0.663	6.32	4.00

### 別紙3 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

## 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. 材料物性の不確かさの分析	別紙3-2
2.1 建屋剛性の不確かさ	別紙3-2
2.2 地盤剛性の不確かさ	別紙3-2
3. 材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定	別紙3-3
3.1 設計用地震力の設定方法	別紙3-3
3.2 材料物性の不確かさの設定	別紙3-5
4. 地震応答解析による建屋剛性及び地盤剛性の不確かさの影響検討	別紙3-7
4.1 検討概要	別紙3-7
4.2 不確かさの影響検討	別紙3-16
4.2.1 建屋剛性及び地盤剛性の変動による影響	別紙3-16
4.2.2 建屋剛性の変動による影響	別紙3-45
4.2.3 側面回転ばねの変動による影響	別紙3-74
4.3 まとめ	別紙3-94
5. 機器・配管系評価への影響	別紙3-95

別紙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3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所7号機のコントロール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について説明するものである。

地震応答解析に用いる材料定数は材料物性の不確かさの変動幅を適切に考慮することとしているが、本資料では、地震応答解析に影響を及ぼす建屋剛性（コンクリート剛性）、地盤剛性（地盤のせん断波速度）及び建屋側面地盤回転ばね（以下「側面回転ばね」という。）の不確かさについて検討を行うとともに、その変動幅を設定し、地震応答解析結果における影響を検討する。また、検討結果を踏まえ、建物・構築物の耐震計算書において、材料物性の不確かさを考慮して設定する設計用地震力を検討する。更に、材料物性の不確かさの影響評価として、機器・配管系の評価への影響についても検討する。

### 1.2 検討方針

建物・構築物の動的地震力は、建物・構築物の地震応答解析（時刻歴応答解析法）により求められており、地盤剛性、建屋剛性、地盤のばね定数の算定及び減衰定数、地震動の位相特性などの影響を受ける。特に床応答スペクトルの変動に影響を及ぼす要因は、建屋剛性及び地盤剛性であることが確認されている。\*

地震応答解析モデルの建屋剛性は、建設時コンクリートの91日強度の平均値に基づく実強度を用いて算出しているが、平均値に対するばらつきを考慮する必要があると考えられる。また、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤のせん断波速度の不確かさと、側面地盤の回転ばねによる拘束効果の不確かさが建屋応答へ影響を及ぼすことが考えられる。

よって、建屋剛性の不確かさ要因としてはコンクリート剛性を、地盤剛性の不確かさ要因としては地盤のせん断波速度と側面回転ばねによる拘束効果を考慮することとし、それぞれの不確かさが建屋応答及び耐震安全性に及ぼす影響について考察を行い、耐震評価における材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定について検討する。また、建屋剛性及び地盤剛性の不確かさを考慮したモデルにより地震応答解析を実施し、建屋応答並びに建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性に及ぼす影響について確認する。

注記\*：日本電気協会「参考資料4.7 鉛直方向の設計用床応答スペクトルの拡張率」、第29回耐震設計分科会資料 No. 29-4-5-7，平成20年1月18日

## 2. 材料物性の不確かさの分析

### 2.1 建屋剛性の不確かさ

建屋剛性の不確かさとして、建屋剛性の算定に用いるコンクリート実強度のばらつきがある。コンクリート実強度については、91日強度の平均値に基づく値を基本ケースとし、プラス側とマイナス側を考慮する。

建屋剛性の不確かさを考慮することにより、部材の発生応力、変位及びせん断ひずみが不確かさを考慮しないケース（以下「基本ケース」という。）に対して変動すると考えられる。

よって、建物・構築物の耐震評価において、設計用地震力に建屋剛性の不確かさを考慮する。

### 2.2 地盤剛性の不確かさ

地盤剛性の不確かさについては、地盤のせん断波速度が変動することにより、地盤剛性が変動する。また、側面地盤の拘束効果としての側面回転ばねの不確かさがある。

これらの地盤剛性の不確かさを考慮することにより、部材の発生応力、変位及びせん断ひずみが基本ケースに対して変動すると考えられる。

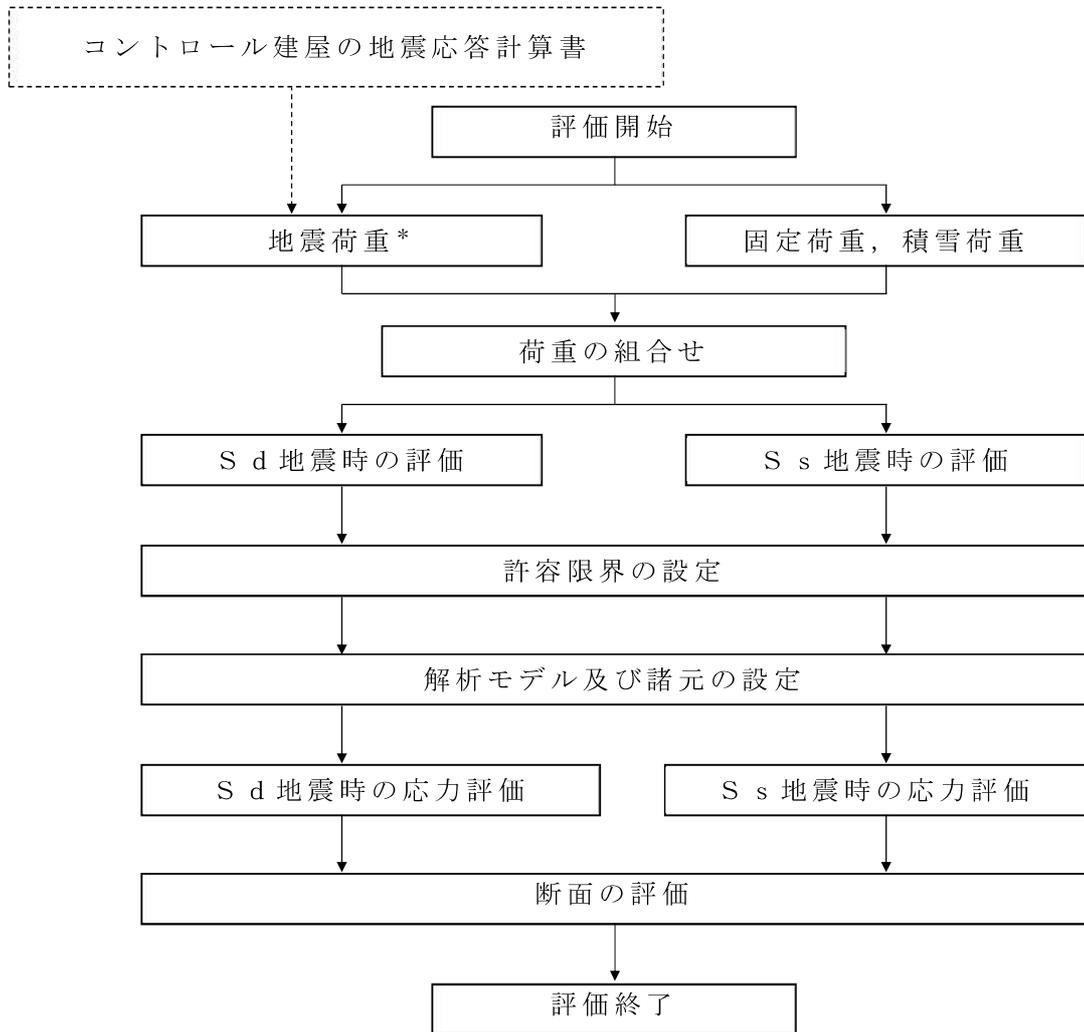
よって、建物・構築物の耐震評価において、設計用地震力に地盤剛性の不確かさと側面回転ばねの不確かさを考慮する。

### 3. 材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定

#### 3.1 設計用地震力の設定方法

基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケースの地震荷重を用いた解析を実施することで、材料物性の不確かさを設計用地震力として考慮する。不確かさを考慮したケースの質点系モデルの応答値の算出に当たっては、基本ケースにおける建屋応答を確認したうえで、建屋応答への影響の大きい波に対して実施する（別紙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」参照）。材料物性の不確かさを設計用地震力として考慮した建屋耐震性評価フローの例を図3-1に示す。

応力解析による耐震評価において、地震荷重は、質点系モデルによる地震応答解析より得られた最大応答値から算出するが、地震応答解析から得られた最大応答値は、Ss-1～Ss-8の入力地震動ごとに異なるため、保守的な評価として、入力地震動ごとに得られた応答値のうち最大の応答値から算出される地震荷重を採用することとする。なお、材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果は別紙3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。



注記\* : 建屋剛性及び地盤剛性の不確かさを考慮する。

図3-1 建屋耐震性評価フロー (応力解析による評価)

### 3.2 材料物性の不確かさの設定

材料物性の不確かさを考慮した質点系モデルの応答値の算出にあたり、建屋剛性（コンクリート強度）、地盤のせん断波速度及び地盤の拘束効果としての側面回転ばねの不確かさを設定する。

建屋の地震応答解析モデルにおける建屋剛性の算定に用いるコンクリート実強度の評価は、基本ケースでは建設時コンクリートの91日強度の平均値に基づき設定する。ここでは、保守的に材齢91日以降の強度上昇を無視している。不確かさの検討にあたっては、データベースである91日強度の分布を考慮し、平均値に対して $\pm 1\sigma$ のばらつきを考慮する。更に、実強度値のマイナス側については、91日強度の値として95%信頼区間の下限値に相当する値（平均値 $-2\sigma$ ）を、プラス側については、実機の経年後のコア強度の平均値を考慮する。

表3-1 コンクリート強度の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	コンクリート強度
基本ケース	実強度（91日強度） 43.1N/mm <sup>2</sup>
不確かさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>+1\sigma</math> 46.0N/mm<sup>2</sup></li> <li>• <math>-1\sigma</math> 40.2N/mm<sup>2</sup></li> <li>• コア強度平均 55.7N/mm<sup>2</sup></li> <li>• <math>-2\sigma</math> 37.2N/mm<sup>2</sup></li> </ul>

地盤剛性の不確かさの影響評価においては、弾性波速度試験結果に基づく地盤のせん断波速度の不確かさを考慮する。

基本ケースでは、地盤調査結果の平均値を元に設定した地盤のせん断波速度により地盤剛性を設定している。地盤剛性の不確かさ検討にあたっては、初期せん断波速度に対して、標準偏差に相当するばらつきを考慮する。

表3-2 地盤剛性の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	せん断波速度
基本ケース	標準地盤（平均値）
不確かさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +地盤 新期砂層（+13%）、古安田層（+25%）、 西山層（+10%）</li> <li>• -地盤 新期砂層（-13%）、古安田層（-25%）、 西山層（-10%）</li> </ul>

側面回転ばねについては，Novakの方法により算定されるばね値を100%見込む場合を基本として，極端なケースとして建屋の地下外壁と側面地盤の片側が完全に剥離した場合を考慮し，ばね値が50%の場合も考慮する。また，不確かさの検討に当たっては，地盤剛性の不確かさを考慮することで，回転ばね定数も変化することから，地盤剛性の不確かさの検討と併せて影響を確認する。

表3-3 側面回転ばね定数の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	側面回転ばね定数
基本ケース	100%
不確かさ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回転ばね定数を半減（50%）する</li> <li>・ 地盤剛性の変動を考慮</li> </ul>

#### 4. 地震応答解析による建屋剛性及び地盤剛性の不確かさの影響検討

##### 4.1 検討概要

建屋剛性（コンクリート強度）及び地盤剛性（地盤のせん断波速度，側面回転ばね定数）の不確かさを考慮したケースの建屋応答への影響を確認する。

検討ケースを表4-1に，地震応答解析モデル図を図4-1及び図4-2に示す。

なお，図4-1(c)に示す地盤を3次元FEMでモデル化した3次元FEM地盤モデルは，地盤を3次元FEMでモデル化し，建屋-地盤の一体モデルとする。建屋側面と側面地盤間は，建屋外壁節点-地盤側節点間に接触・剥離を考慮したジョイント要素を設ける。建屋外壁節点-地盤側節点間のジョイント要素のばね定数は，解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値とし， $5.7 \times 10^5 \sim 8.0 \times 10^5$  kN/m<sup>3</sup>とする。

ここで，地盤表層部（新期砂層）については，基準地震動  $S_s$  による地盤応答レベルを踏まえ，表層部では建屋-地盤相互作用が見込めないと判断し，この部分のジョイント要素は考慮しない。また，基礎スラブは剛版を仮定した多点拘束を設定する。

図4-1(c)のモデルにおいて，建屋については図4-1(b)のモデルと同様に誘発上下動を考慮できるモデルとする。また，地盤については成層補正後の物性値を用いて等価な一様地盤とし，3次元FEMでモデル化する。なお，基礎底面と地盤の各節点の間にはジョイント要素を設けることにより基礎の浮上りを評価する。基礎底面のジョイント要素のばね定数は，解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値とし， $1.3 \times 10^7$  kN/m<sup>3</sup>とする。

図4-1(c)のモデルへの入力地震動は，地盤を3次元FEMでモデル化していることから，基礎底面レベルにおける地盤の応答が図4-1(a)及び図4-1(b)に示すモデルへの入力地震動と一致するように補正した地震動をモデル底面に入力する。図4-3に，入力の補正方法を示す。

図4-1(c)のモデルへの入力地震動の算定には、解析コード「D-PROP」を用い、図4-1(c)のモデルの地震応答解析には、解析コード「Soil Plus」を用いる。解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

ここで、コンクリート剛性を実強度（43.1N/mm<sup>2</sup>）、地盤のせん断波速度を標準地盤、側面回転ばね定数を低減しない検討ケースを基本ケースとする。

建物のコンクリート強度の不確かさのうち、 $\pm 1\sigma$ のケースと地盤剛性の不確かさについては、建屋-地盤連成モデルの剛性が最も硬い側（全体系の固有周期が短い側）及び最も柔らかい側（全体系の固有周期が長い側）の組合せで検討を行う。

表4-1中の塗りつぶし部分は、基本ケースとの差異を示す。

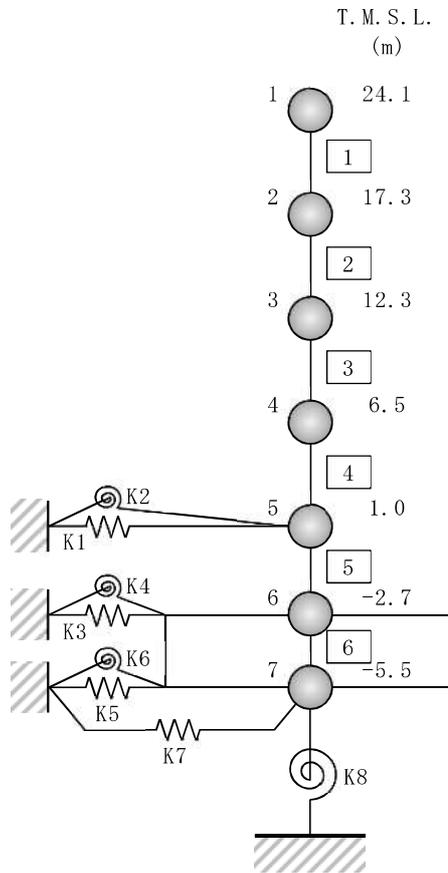
検討ケースのうち、コンクリート剛性を $\pm 1\sigma$ より大きく変動させたケース 4（コア平均 55.7N/mm<sup>2</sup>）及びケース 5（実強度 $-2\sigma$ ）においては、地盤剛性は標準地盤とする。

本資料においては、代表として、Ss-1による影響検討の結果を示す。なお、地盤3次元FEMモデルを用いた地震応答解析結果による接地圧及び接地率は、三角形の地盤反力分布を仮定して算定した。

また、水平方向の地震応答解析に採用した解析モデルの一覧表を表4-2に示す。

表4-1 検討ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	回転ばね 定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm <sup>2</sup> )	100%	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 (建屋剛性 + $\sigma$ , 地盤剛性 + $\sigma$ )	実強度 + $\sigma$ (46.0N/mm <sup>2</sup> )	100%	標準地盤 + $\sigma$ (新期砂層 + 13%, 古安田層 + 25%, 西山層 + 10%)	
③ケース 3 (建屋剛性 - $\sigma$ , 地盤剛性 - $\sigma$ )	実強度 - $\sigma$ (40.2N/mm <sup>2</sup> )	100%	標準地盤 - $\sigma$ (新期砂層 - 13%, 古安田層 - 25%, 西山層 - 10%)	
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm <sup>2</sup> )	100%	標準地盤	
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2 $\sigma$ )	実強度 - 2 $\sigma$ (37.2N/mm <sup>2</sup> )	100%	標準地盤	
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm <sup>2</sup> )	50%	標準地盤	



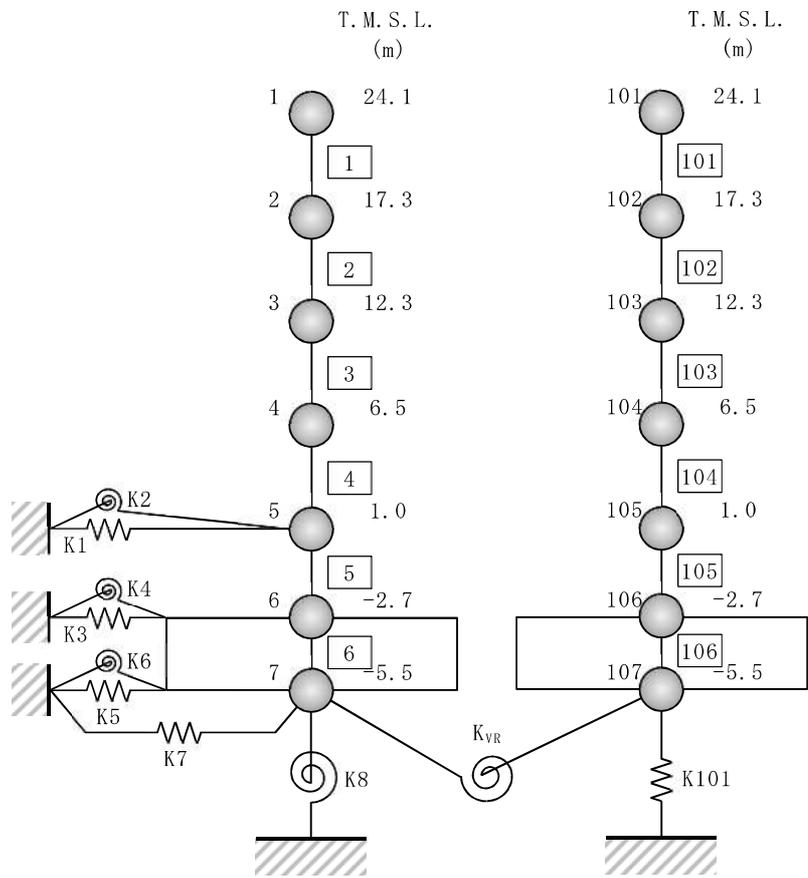
注 1：数字は質点番号を示す。

注 2：□内は部材番号を示す。

注 3：東京湾平均海面（以下「T. M. S. L.」という。）

(a) 誘発上下動を考慮しない場合

図4-1 コントロール建屋の地震応答解析モデル（水平方向）（1/3）

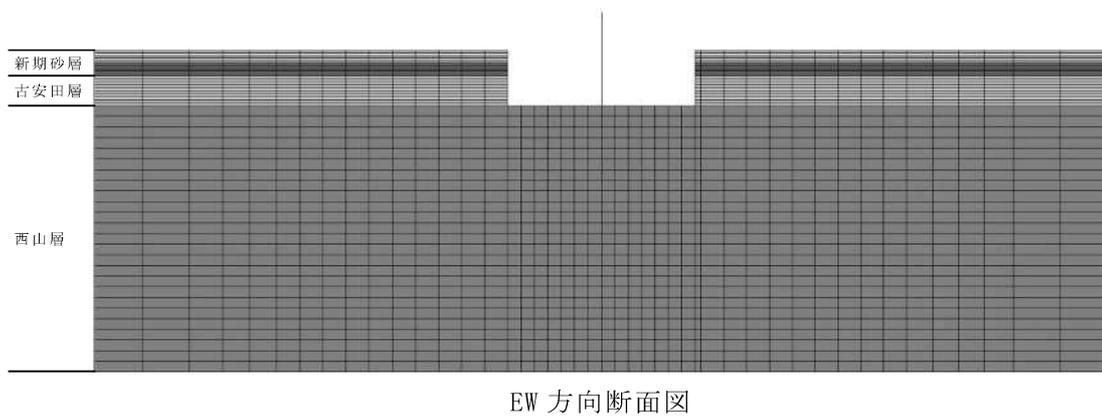
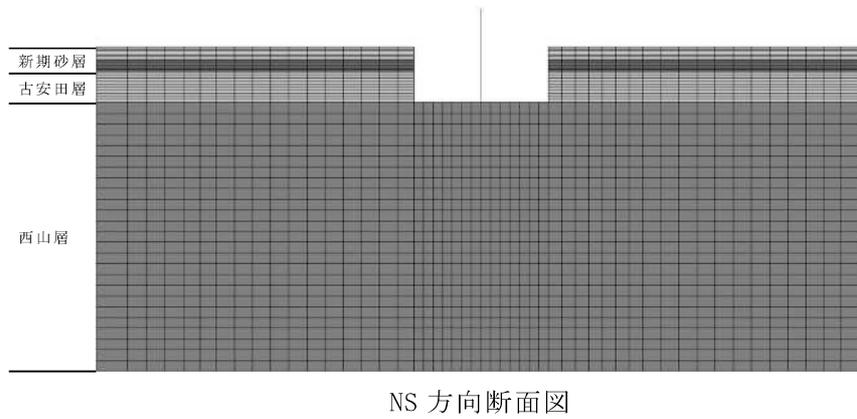
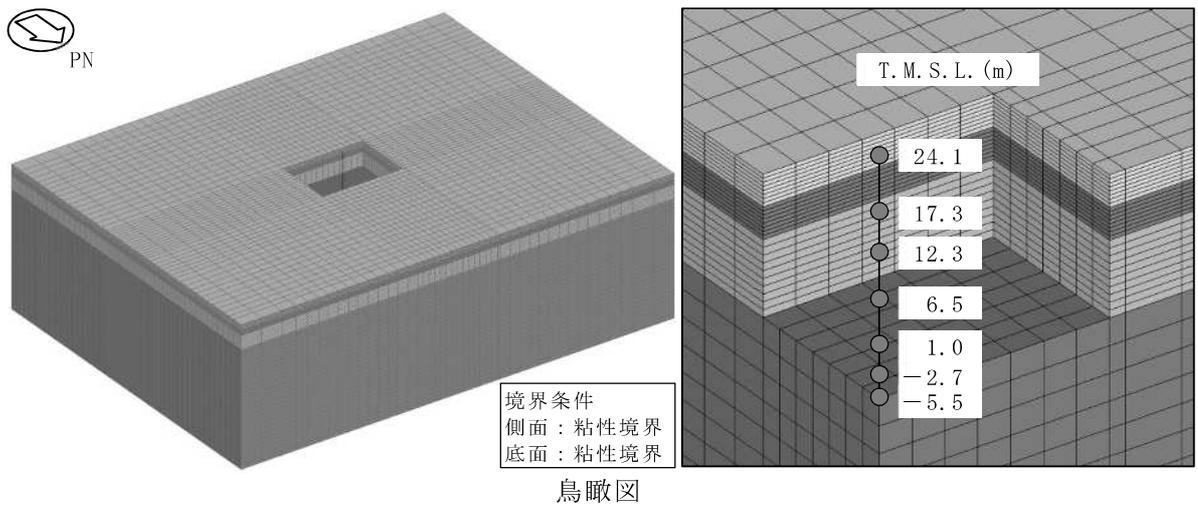


注 1 : 数字は質点番号を示す。

注 2 : □内は部材番号を示す。

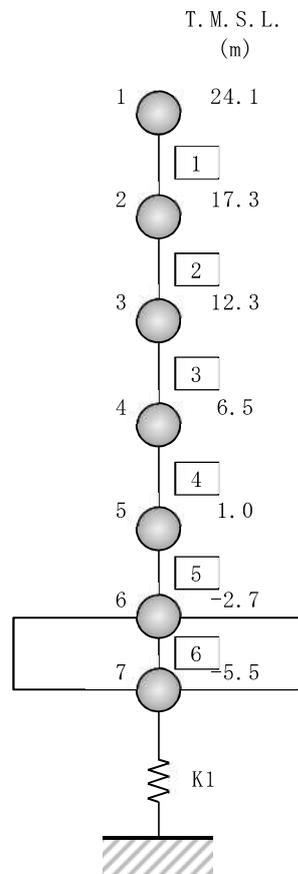
(b) 誘発上下動を考慮する場合

図4-1 コントロール建屋の地震応答解析モデル (水平方向) (2/3)



(c) 基礎浮上りを詳細に評価する場合

図4-1 コントロール建屋の地震応答解析モデル（水平方向）（3/3）



注 1：数字は質点番号を示す。

注 2：□内は部材番号を示す。

図4-2 コントロール建屋の地震応答解析モデル（鉛直方向）

- ① 一次元波動論に基づき，解放基盤表面に評価対象の基準地震動（2E）  
 $(A(\omega))$ とす）を入力したときのコントロール建屋基礎下レベルの自由地盤応答（E+F） $(B(\omega))$ とす）を求める。このときの伝達関数を $H1(\omega)=B(\omega)/A(\omega)$ とす）とする。
- ② 3次元FEMモデルに基づき，解析モデル底面に評価対象の基準地震動（2E）  
 $(C(\omega))$ とす）を入力したときのコントロール建屋基礎下レベルの自由地盤応答（E+F） $(D(\omega))$ とす）を求める。このときの伝達関数を $H2(\omega)=D(\omega)/C(\omega)$ とす）とする。
- ③  $B(\omega)$ と $D(\omega)$ を一致させるために， $C'(\omega)=A(\omega)\times H1(\omega)/H2(\omega)$ の補正を行う。

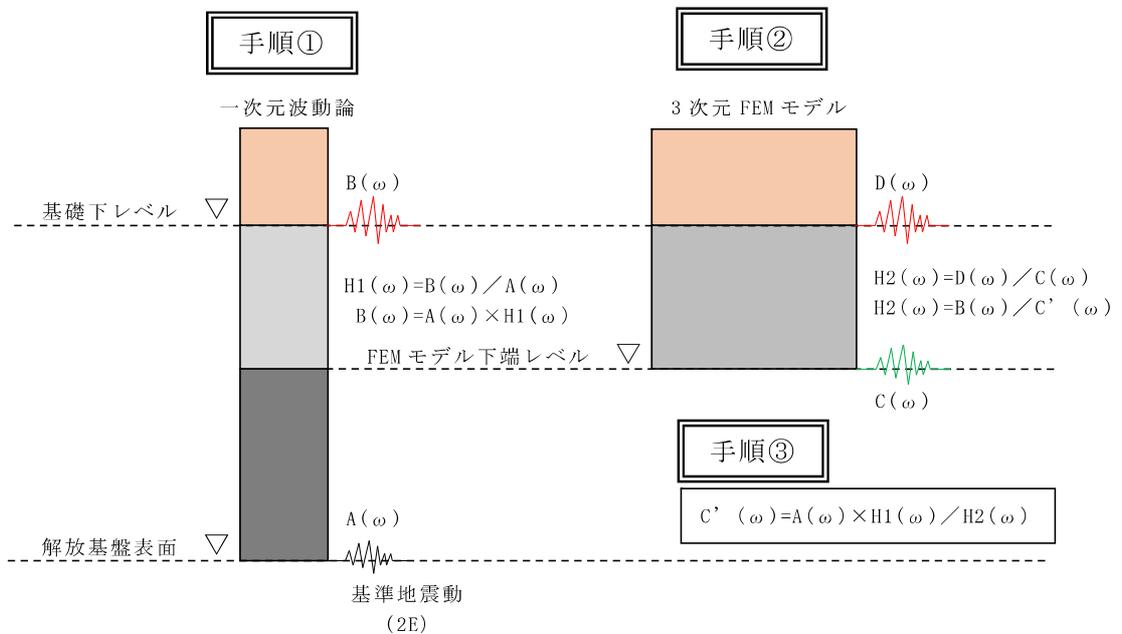


図 4-3 FEM モデルへの入力地震動の補正方法

表 4-2 地震応答解析に採用した解析モデル

(a) 基準地震動  $S_s$  (NS 方向)

検討ケース	$S_{S-1}$
ケース 1	③
ケース 2	②
ケース 3	④
ケース 4	③
ケース 5	③
ケース 6	③

(b) 基準地震動  $S_s$  (EW 方向)

検討ケース	$S_{S-1}$
ケース 1	②
ケース 2	②
ケース 3	②
ケース 4	②
ケース 5	②
ケース 6	②

凡例

- ②：誘発上下動を考慮しないモデル  
(基礎浮上り非線形モデル)
- ③：誘発上下動を考慮するモデル
- ④：地盤 3 次元 FEM モデル

## 4.2 不確かさの影響検討

### 4.2.1 建屋剛性及び地盤剛性の変動による影響

#### (1) 影響検討方針

表4-1に示した検討ケースのうち，建屋剛性及び地盤剛性を変動させたケース（ケース2及びケース3）の固有値解析及び地震応答解析を実施し，基本ケース（ケース1）の結果と比較する。入力地震動はSs-1とする。建屋剛性は，基本ケース（実強度 43.1N/mm<sup>2</sup>）に対して $\pm 1\sigma$ の変動を，地盤剛性は標準地盤に対して $\pm \sigma$ の変動を考慮する。なお，側面回転ばねは，地盤剛性の変動に伴う回転ばね定数の変動を考慮する。

#### (2) 固有値解析結果

建屋剛性及び地盤剛性を変動させた誘発上下動を考慮しない場合の地震応答解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表4-3，刺激関数図を図4-4～図4-9に示す。表，図中では基本ケースをケース1，建屋剛性 $+\sigma$ 地盤剛性 $+\sigma$ としたケースをケース2，建屋剛性 $-\sigma$ 地盤剛性 $-\sigma$ としたケースをケース3として示す。

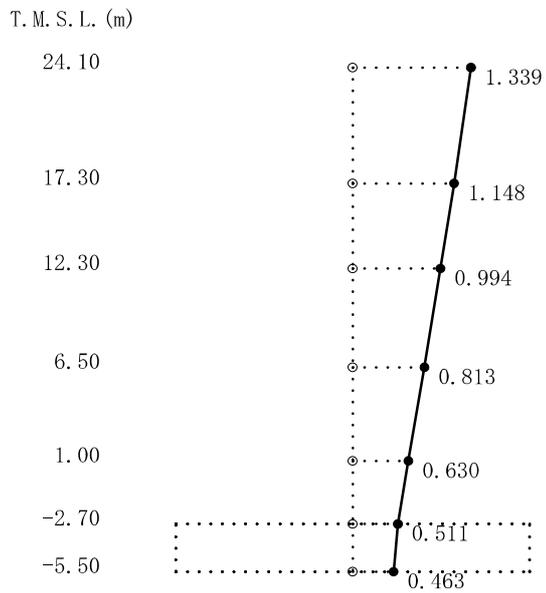
基本ケースに対する建屋剛性及び地盤剛性を変動させたモデルの固有振動数の変動幅は， $-10\% \sim +11\%$ 程度である。

表4-3 固有値解析結果（ケース1～3, Ss-1）

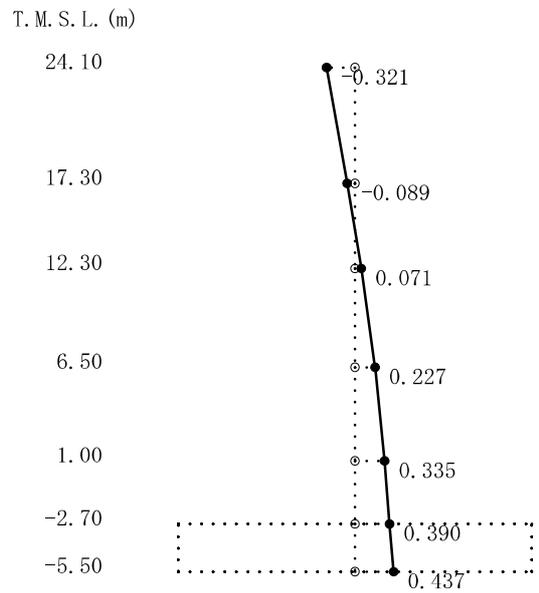
（単位：Hz）

次数	NS方向			EW方向			鉛直方向		
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース1	ケース2	ケース3	ケース1	ケース2	ケース3
1	3.85	4.26 (1.11)	3.45 (0.90)	4.08	4.53 (1.11)	3.66 (0.90)	5.92	6.49 (1.10)	5.34 (0.90)
2	8.11	9.01 (1.11)	7.28 (0.90)	7.86	8.73 (1.11)	7.05 (0.90)	31.19	31.64 (1.01)	30.69 (0.98)
3	17.92	18.44 (1.03)	17.45 (0.97)	16.97	17.41 (1.03)	16.57 (0.98)	54.36	54.96 (1.01)	53.66 (0.99)
4	22.45	22.87 (1.02)	22.05 (0.98)	23.81	24.20 (1.02)	23.42 (0.98)	78.22	79.04 (1.01)	77.25 (0.99)
5	32.11	32.77 (1.02)	31.48 (0.98)	30.82	31.41 (1.02)	30.25 (0.98)	105.04	106.13 (1.01)	103.75 (0.99)
6	34.56	35.01 (1.01)	34.10 (0.99)	36.36	36.85 (1.01)	35.88 (0.99)	144.78	146.29 (1.01)	143.00 (0.99)
7	46.67	47.25 (1.01)	46.07 (0.99)	48.82	49.43 (1.01)	48.20 (0.99)	356.43	360.29 (1.01)	351.90 (0.99)
8	52.22	52.91 (1.01)	51.47 (0.99)	50.81	51.45 (1.01)	50.11 (0.99)	—	—	—

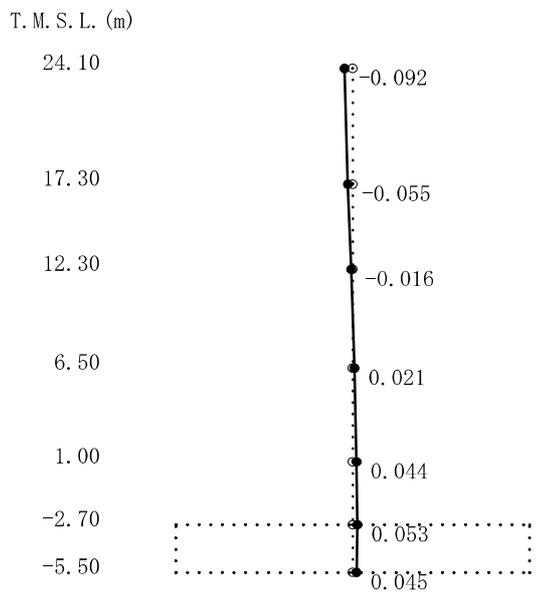
注：（ ）内は，ケース1に対する比率を示す。



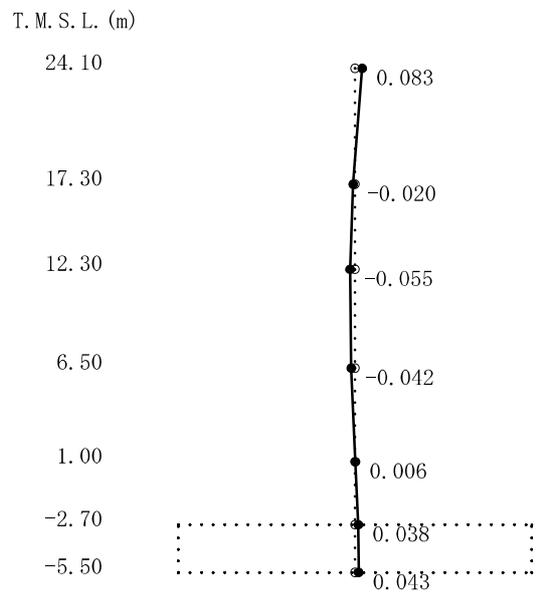
1次



2次

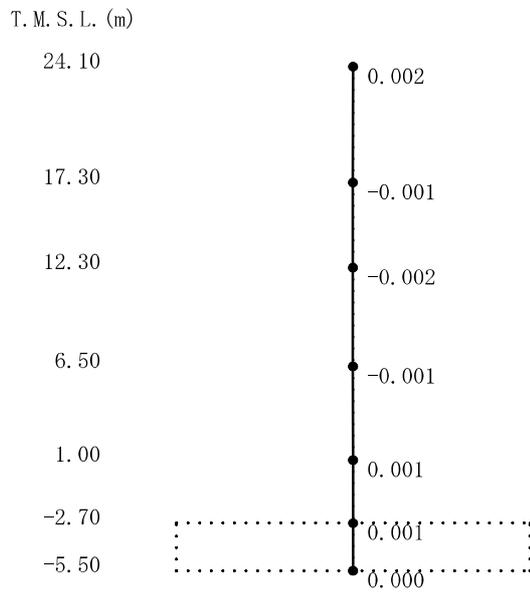


3次

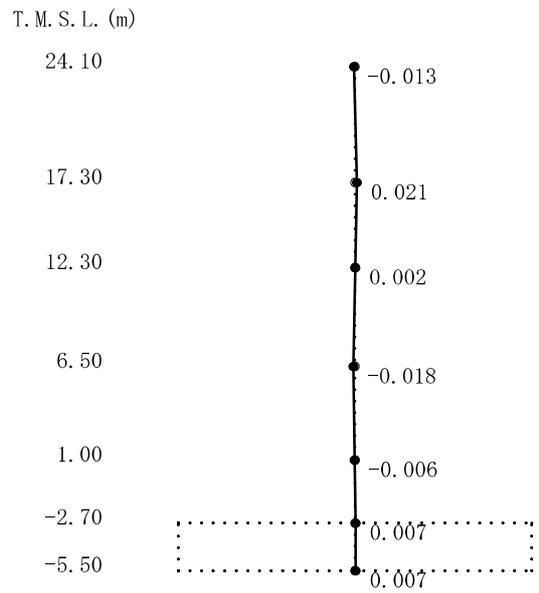


4次

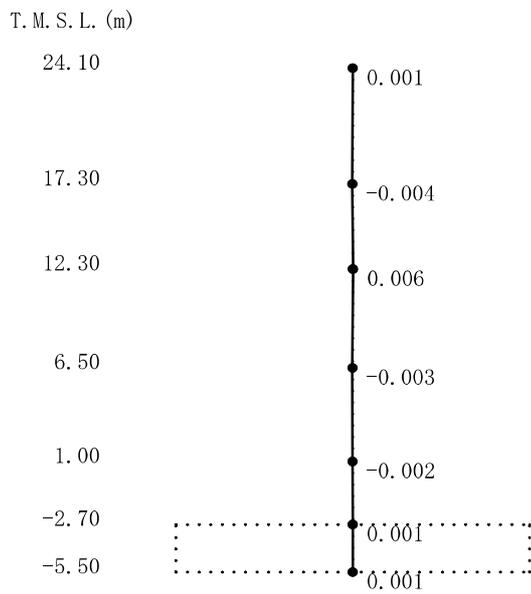
図4-4 刺激関数図 (ケース2)  
(NS方向, Ss-1) (1/2)



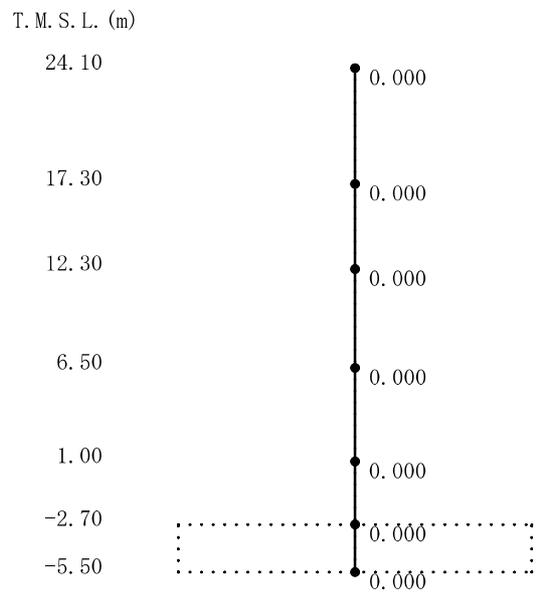
5次



6次

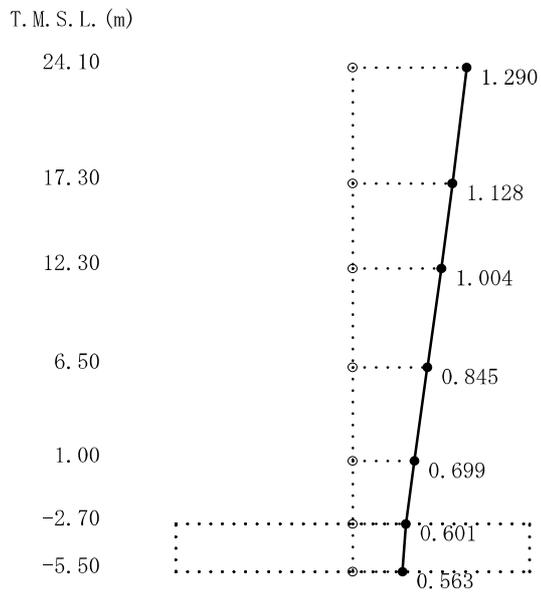


7次

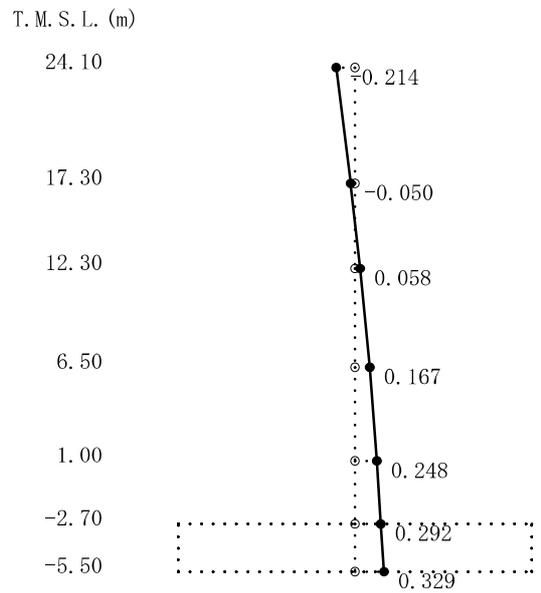


8次

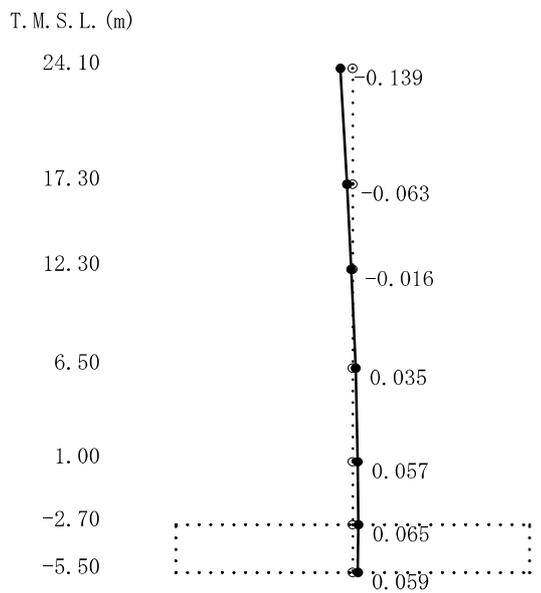
図4-4 刺激関数図 (ケース2)  
(NS方向, Ss-1) (2/2)



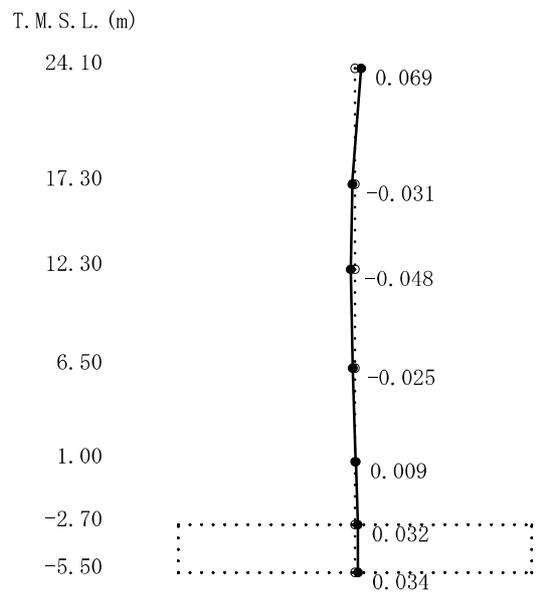
1次



2次

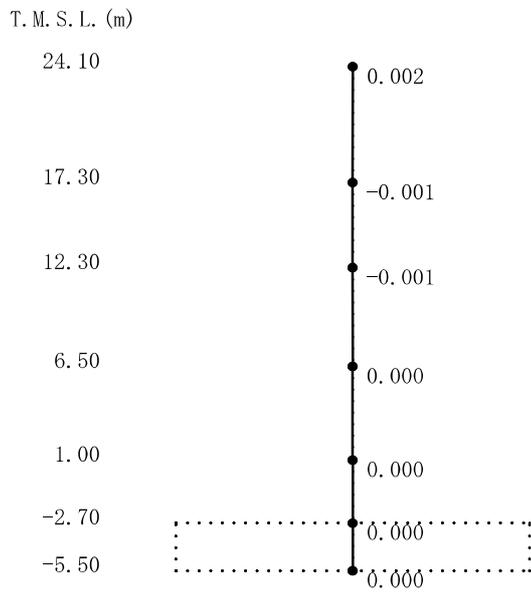


3次

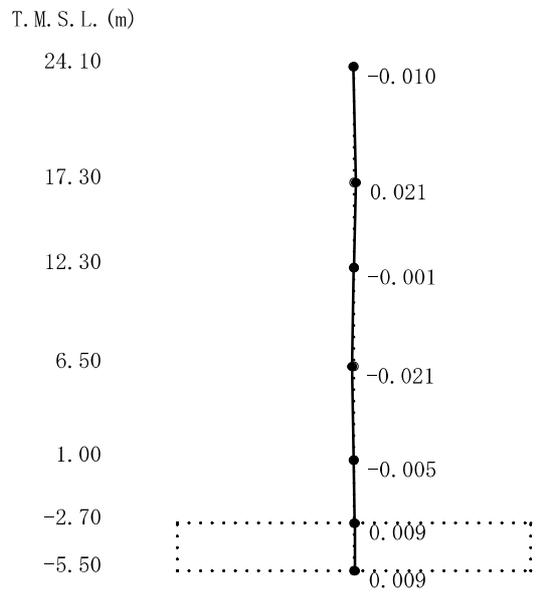


4次

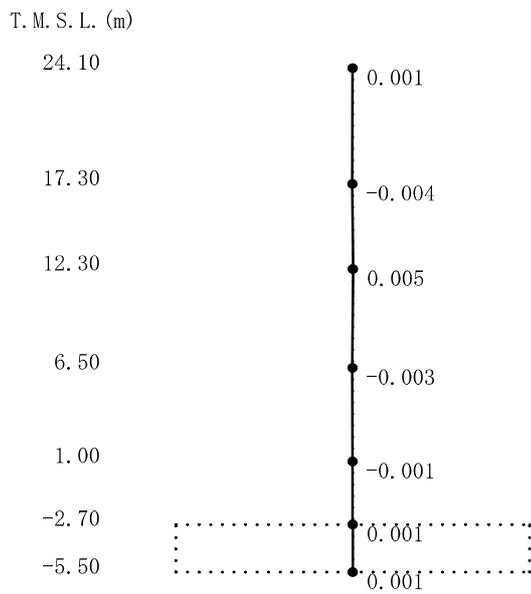
図4-5 刺激関数図 (ケース2)  
(EW方向, Ss-1) (1/2)



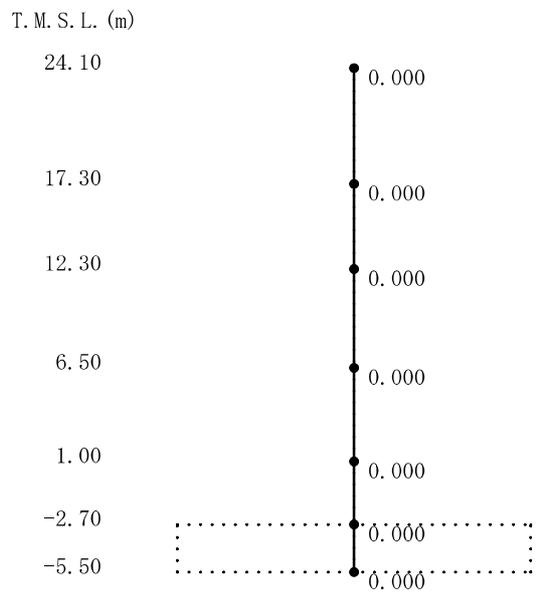
5次



6次



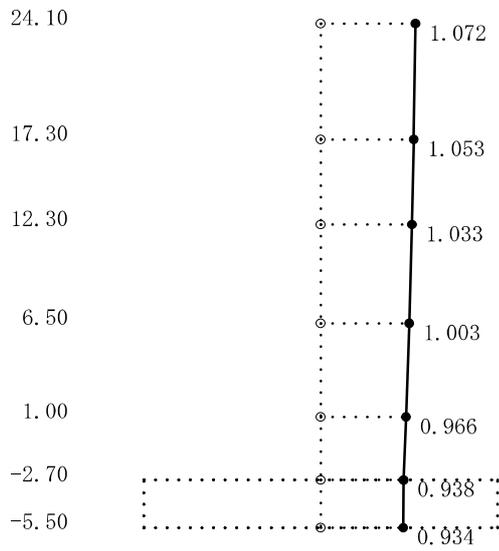
7次



8次

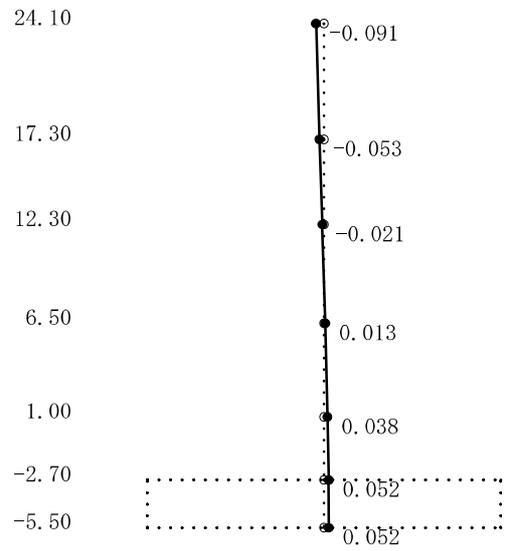
図4-5 刺激関数図 (ケース2)  
(EW方向, Ss-1) (2/2)

T. M. S. L. (m)



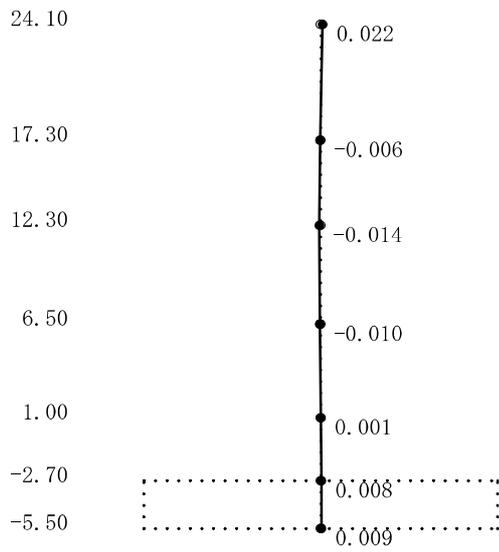
1次

T. M. S. L. (m)



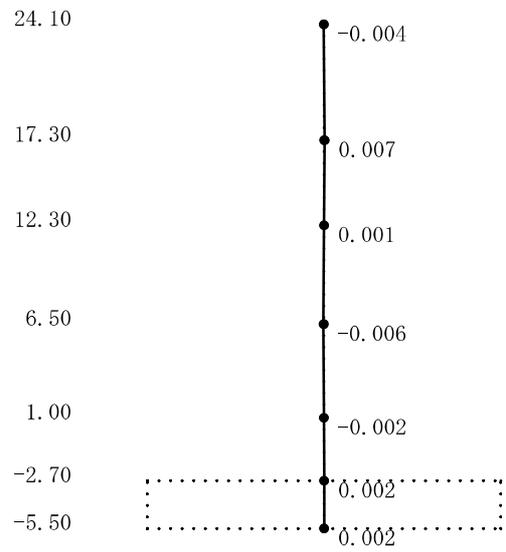
2次

T. M. S. L. (m)



3次

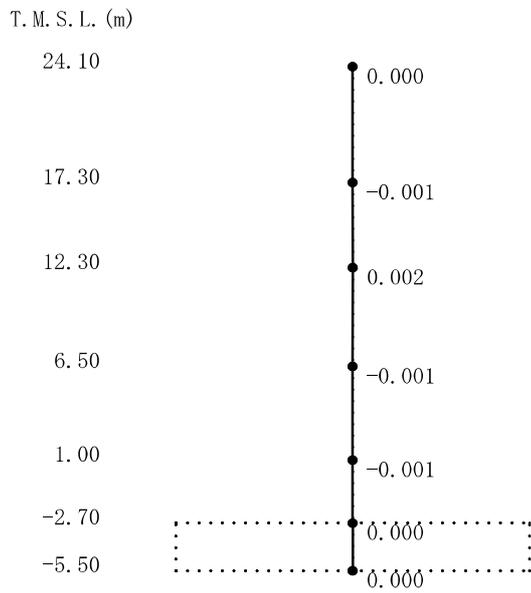
T. M. S. L. (m)



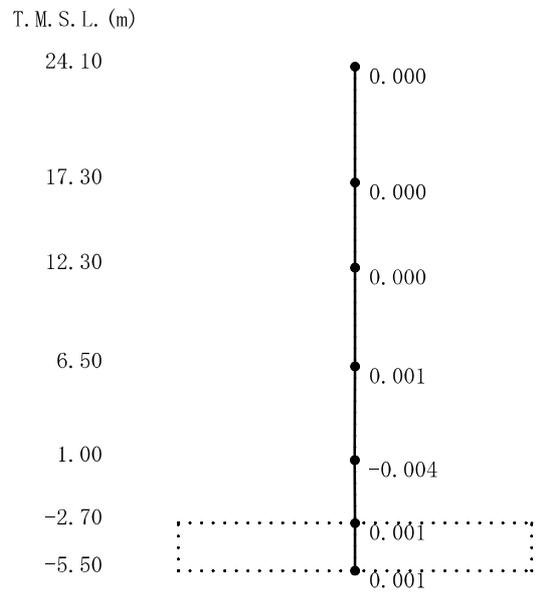
4次

図4-6 刺激関数図 (ケース2)

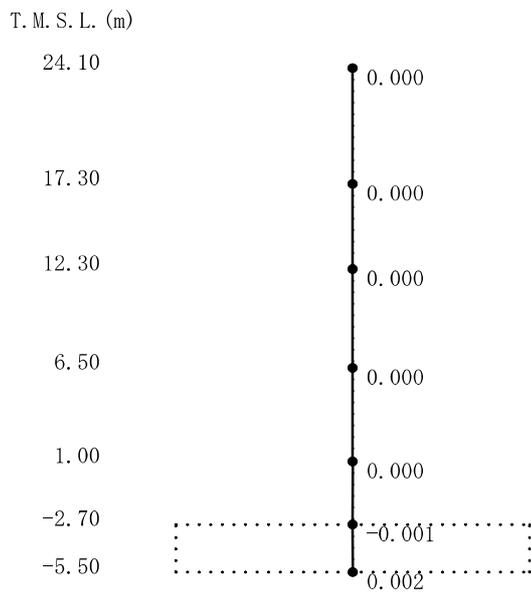
(鉛直方向,  $S_s-1$ ) (1/2)



5次

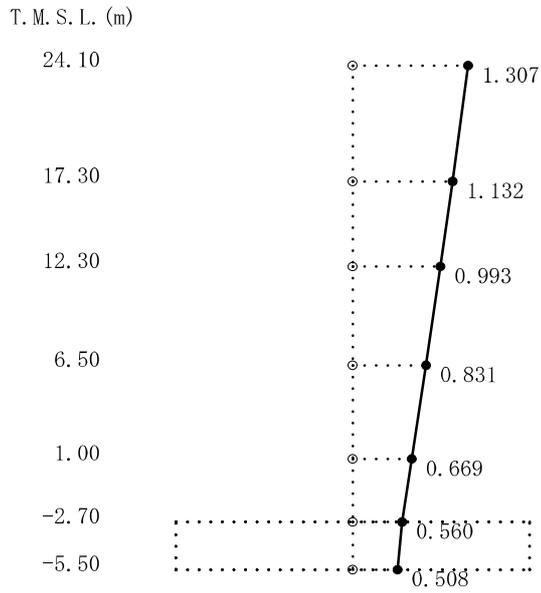


6次

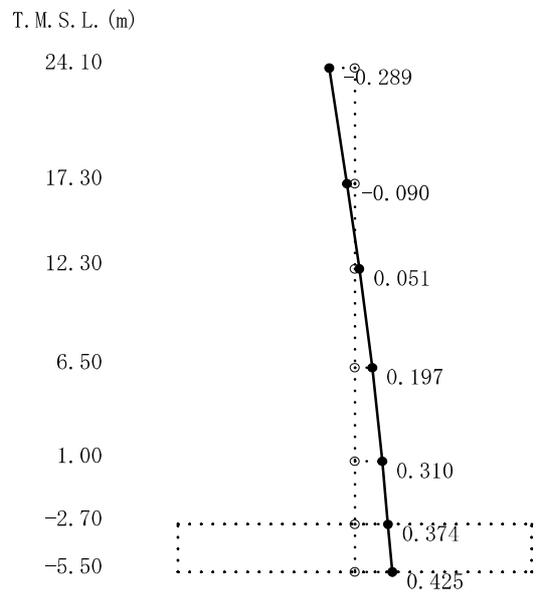


7次

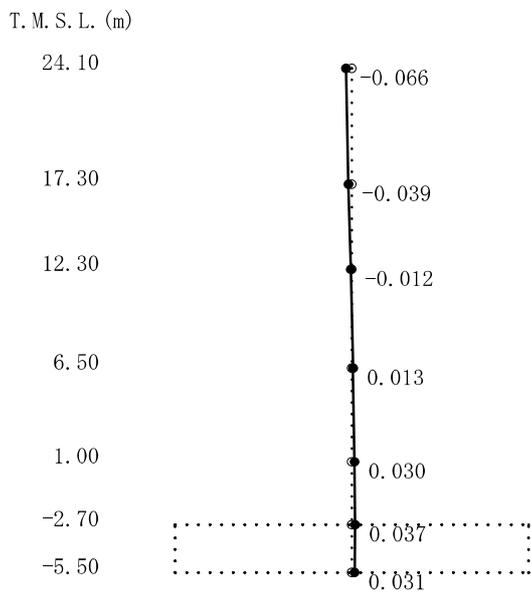
図4-6 刺激関数図 (ケース2)  
(鉛直方向, S<sub>S</sub>-1) (2/2)



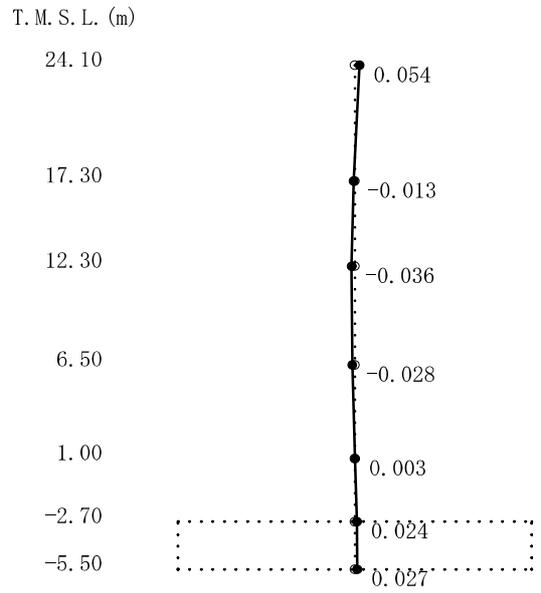
1次



2次



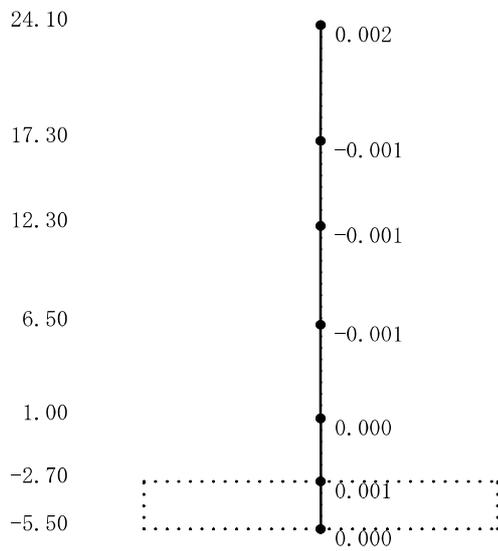
3次



4次

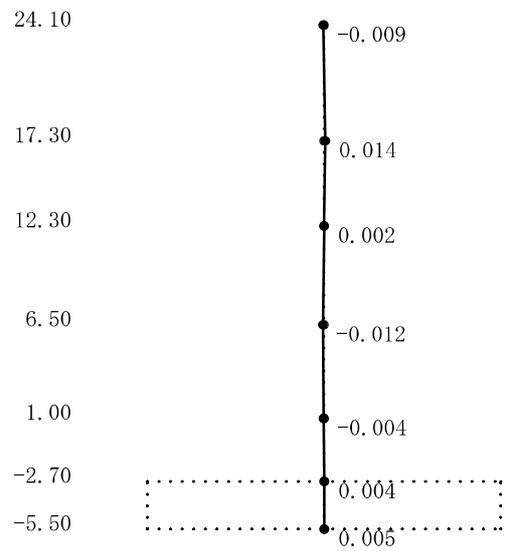
図4-7 刺激関数図 (ケース3)  
(NS方向, S<sub>s</sub>-1) (1/2)

T. M. S. L. (m)



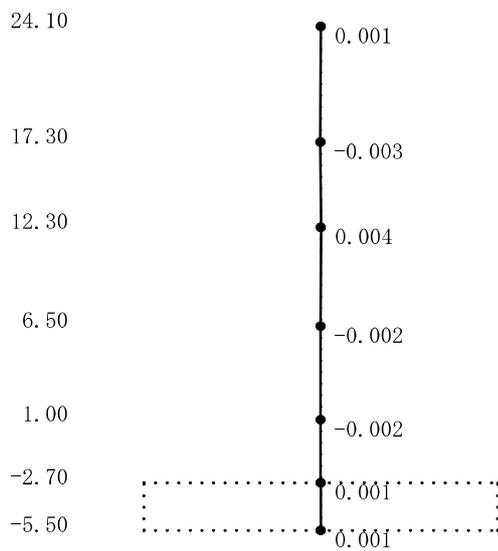
5次

T. M. S. L. (m)



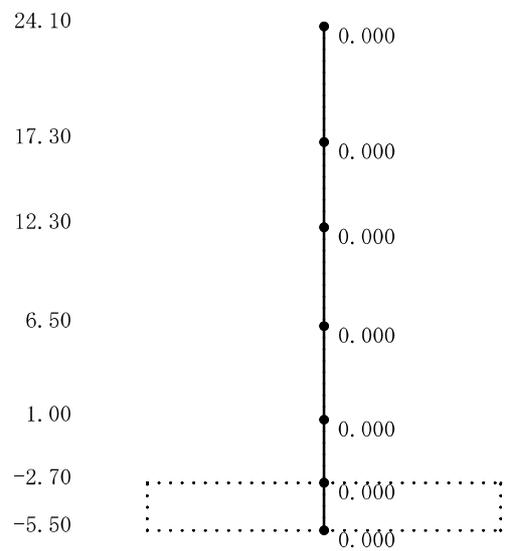
6次

T. M. S. L. (m)



7次

T. M. S. L. (m)



8次

図4-7 刺激関数図 (ケース3)

(NS方向, Ss-1) (2/2)

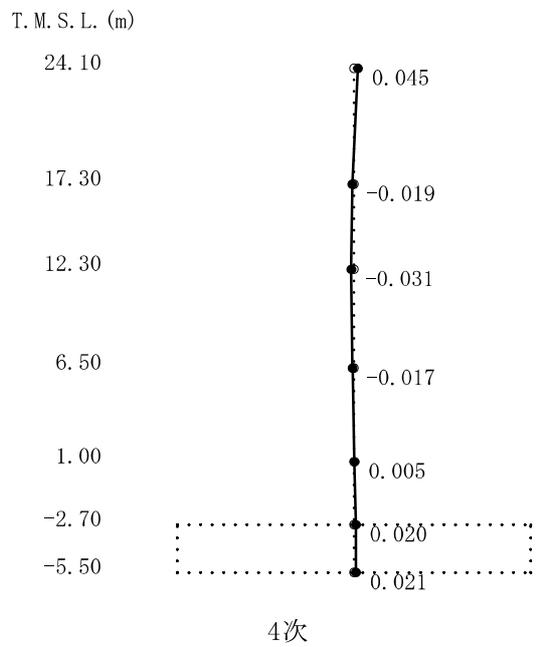
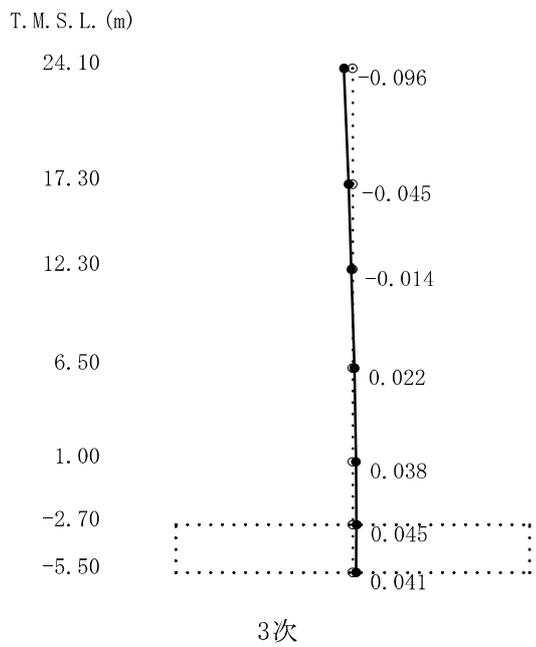
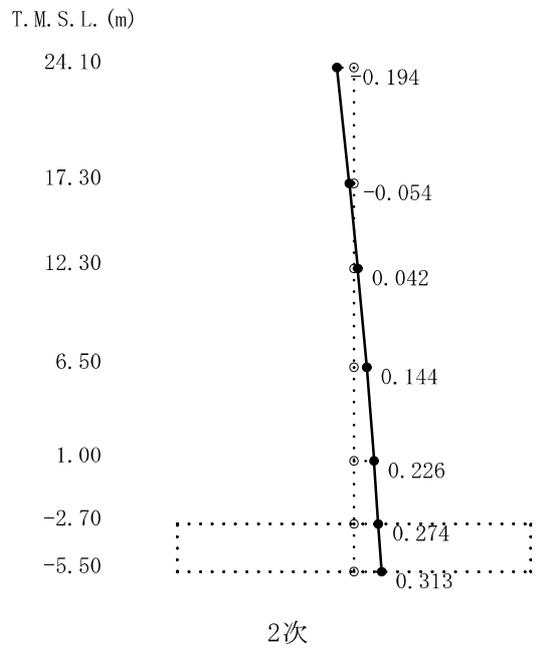
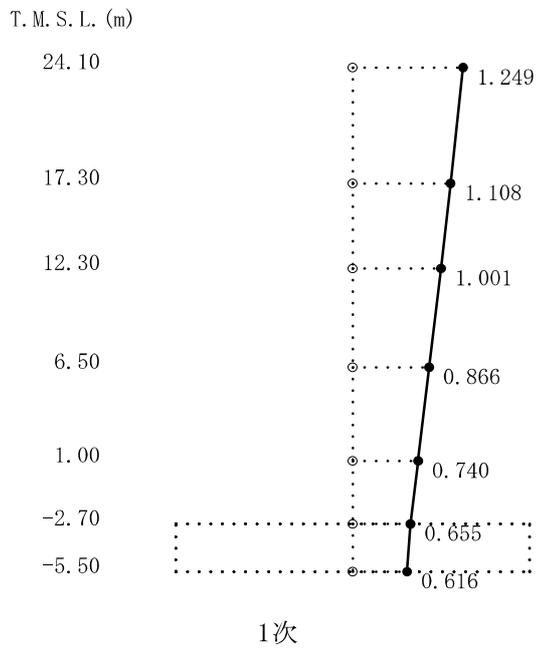
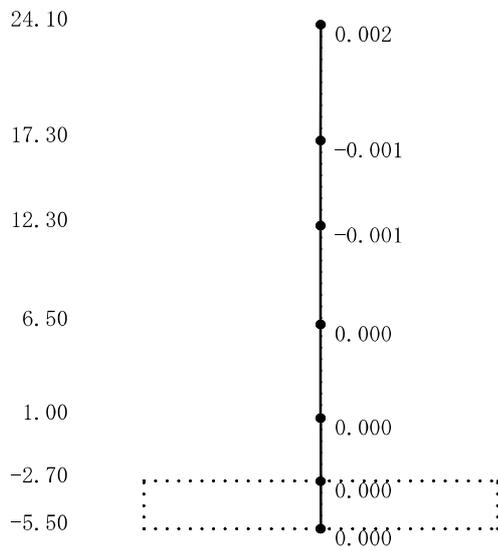


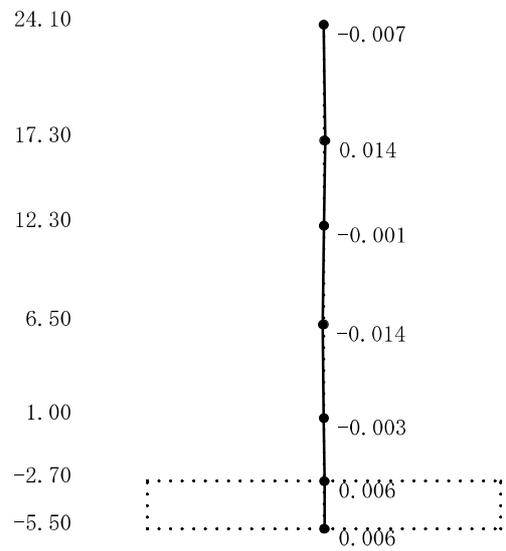
図4-8 刺激関数図 (ケース3)  
(EW方向, Ss-1) (1/2)

T. M. S. L. (m)



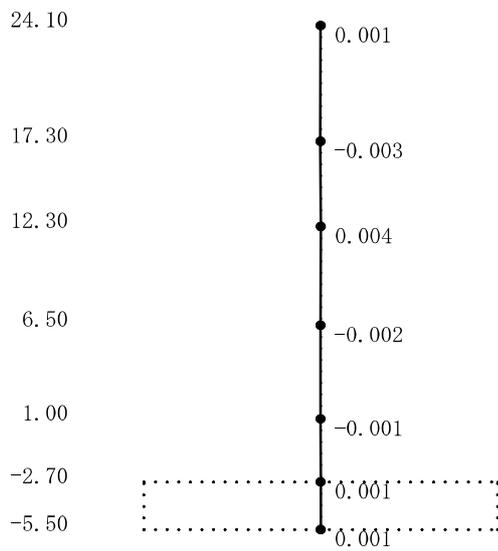
5次

T. M. S. L. (m)



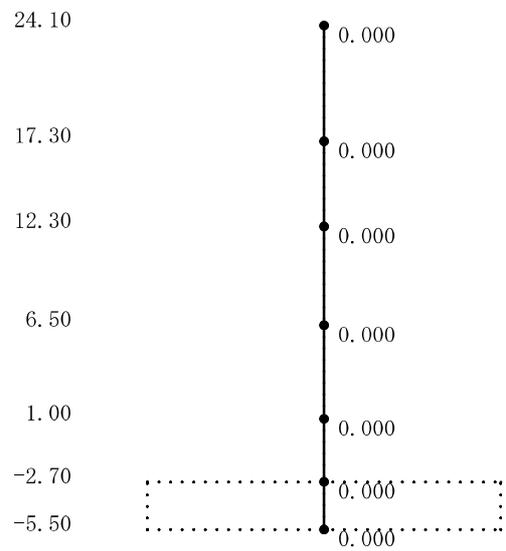
6次

T. M. S. L. (m)



7次

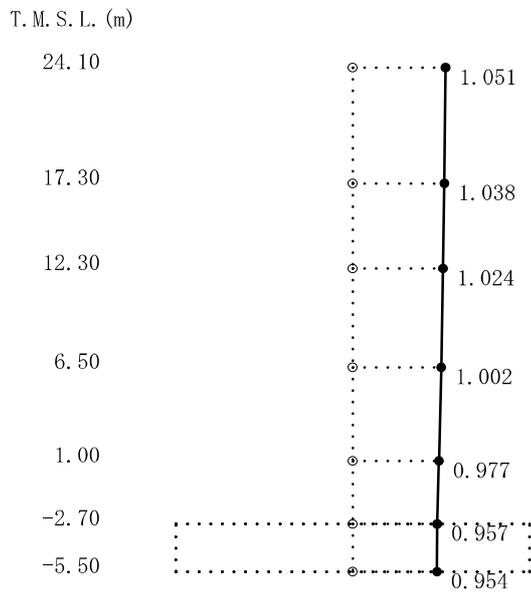
T. M. S. L. (m)



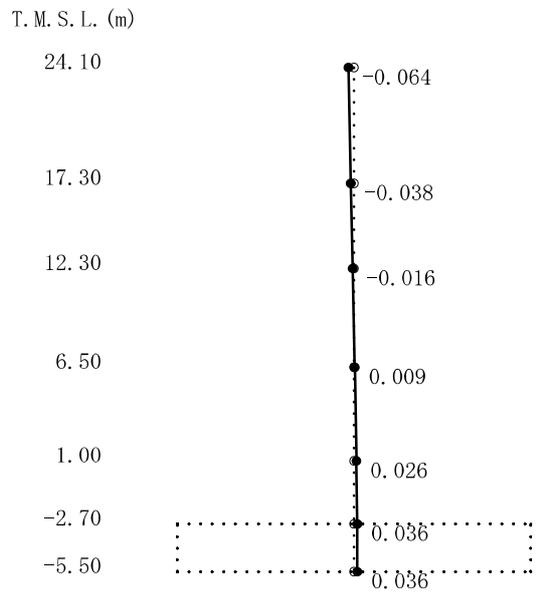
8次

図4-8 刺激関数図 (ケース3)

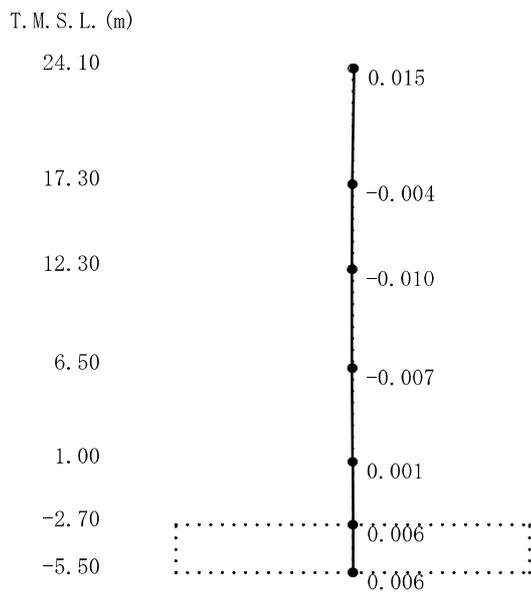
(EW方向, Ss-1) (2/2)



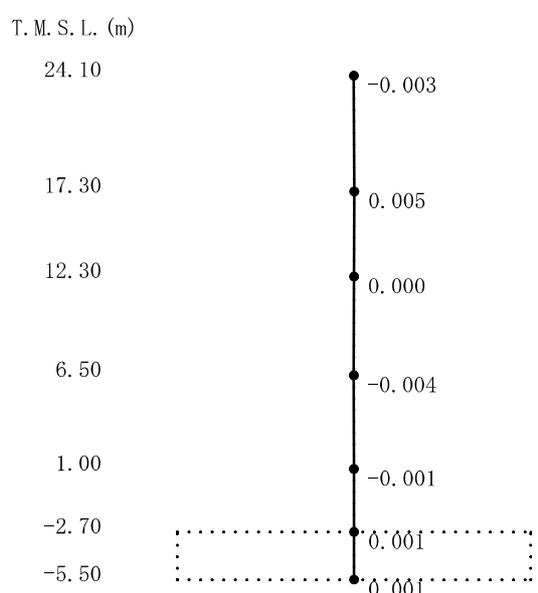
1次



2次

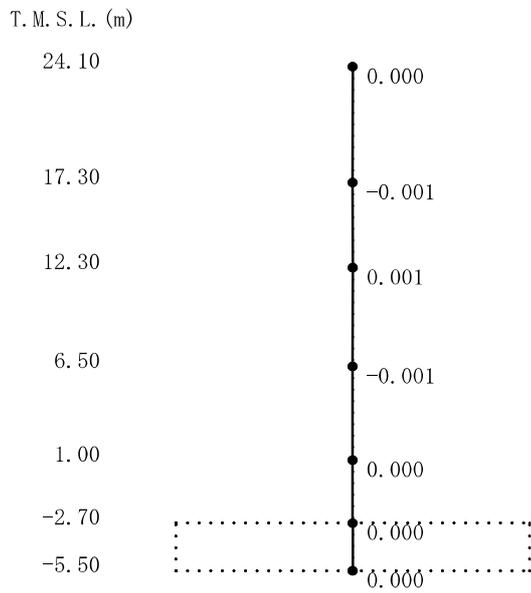


3次

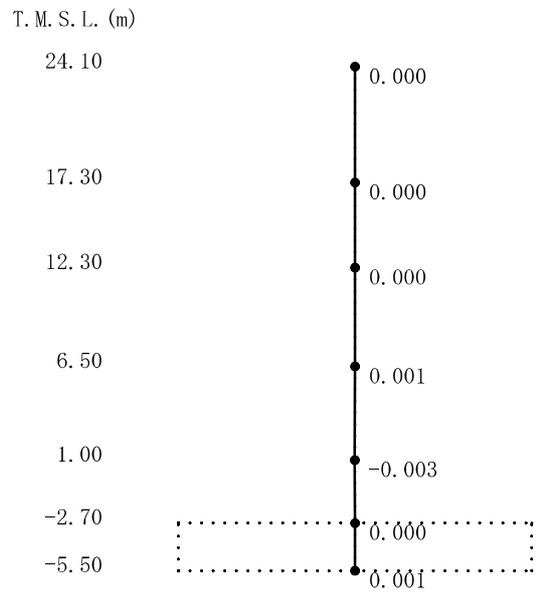


4次

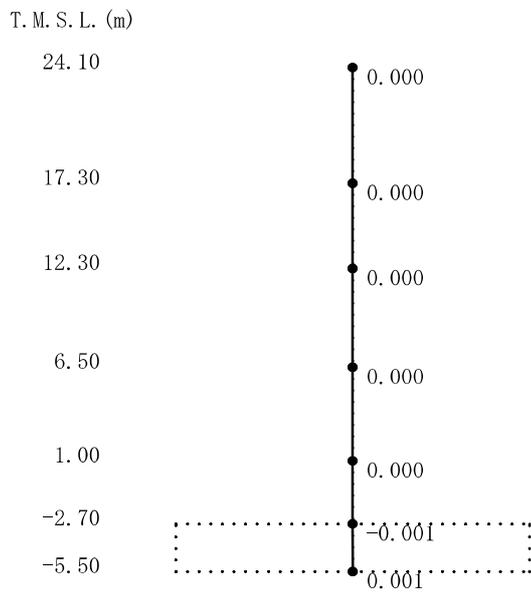
図4-9 刺激関数図 (ケース3)  
(鉛直方向,  $S_S-1$ ) (1/2)



5次



6次



7次

図4-9 刺激関数図 (ケース3)  
(鉛直方向, S<sub>S</sub>-1) (2/2)

(3) 地震応答解析結果

建屋剛性及び地盤剛性を変動させた地震応答解析モデルによる地震応答解析結果を基本ケースの結果と比較した。入力地震動はSs-1とする。最大応答値の比較を図4-10～図4-25に示す。

水平方向について、ケース1～3の最大応答加速度，最大応答せん断力，最大応答曲げモーメント，最大せん断ひずみはおおむね同等である。最大応答変位については，ケース2で小さくなり，ケース3で大きくなる傾向であることを確認した。

鉛直方向についても，水平方向と同様にケース1～3の最大応答加速度，最大応答軸力はおおむね同等であり，最大応答変位については，ケース2で小さくなり，ケース3で大きくなる傾向であることを確認した。

これらは，建屋剛性及び地盤剛性が大きくなる側に変動する場合は，モデル剛性の増加に伴い変位は小さくなり，小さくなる側に変動する場合は，モデル剛性の減少に伴い変位は大きくなったと考えられる。

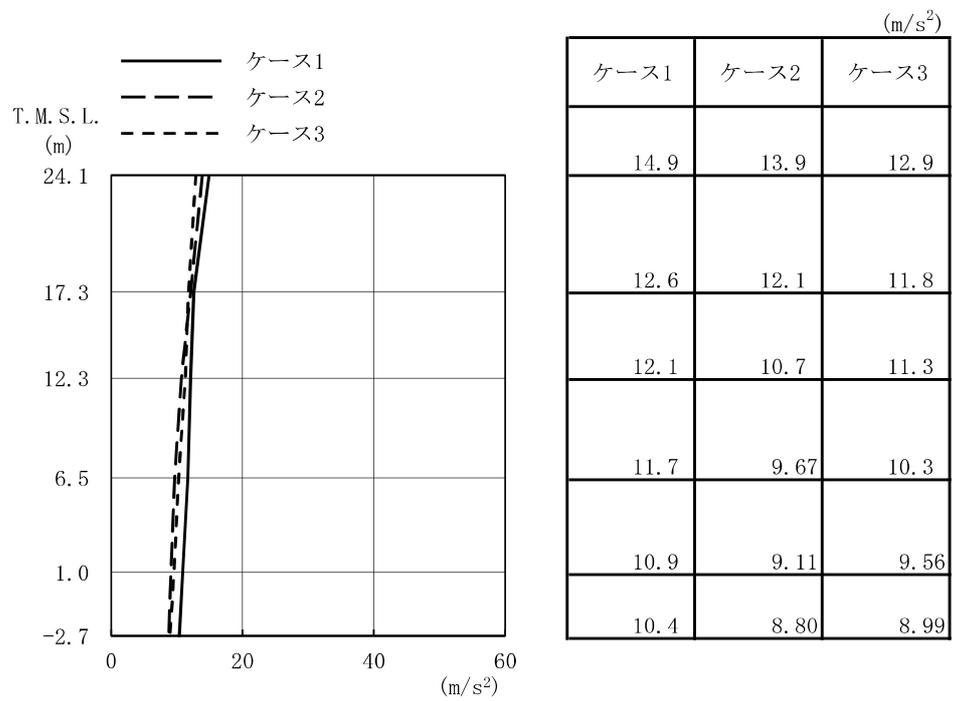


図4-10 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

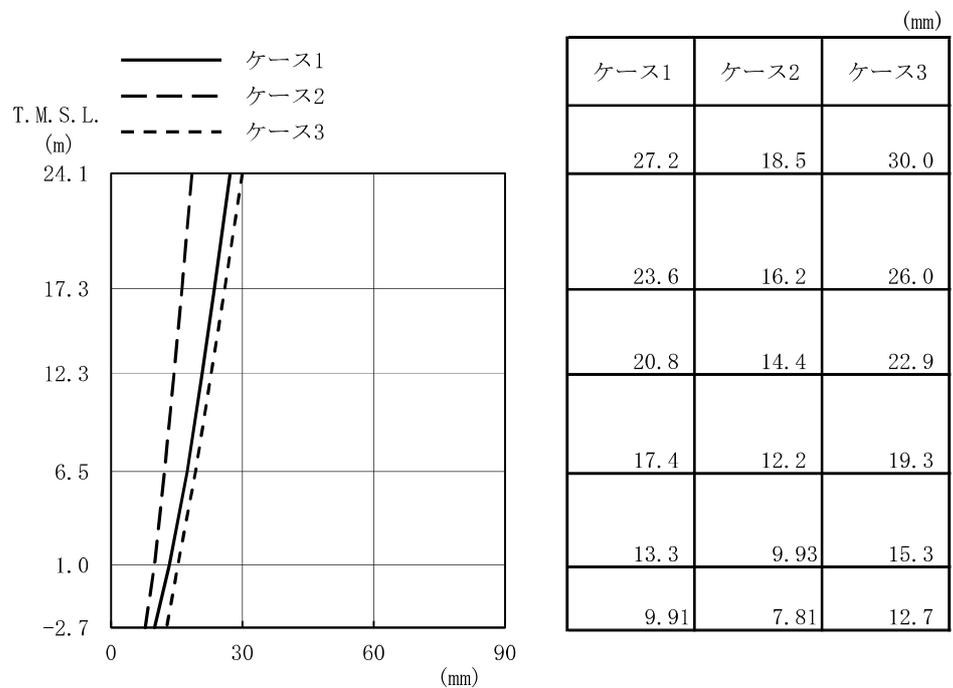


図4-11 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

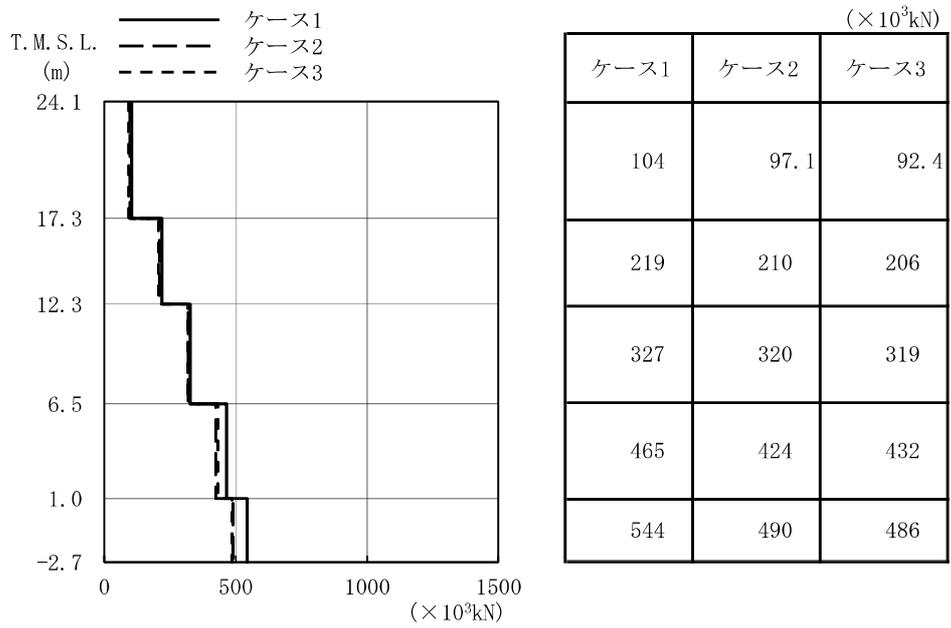


図4-12 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

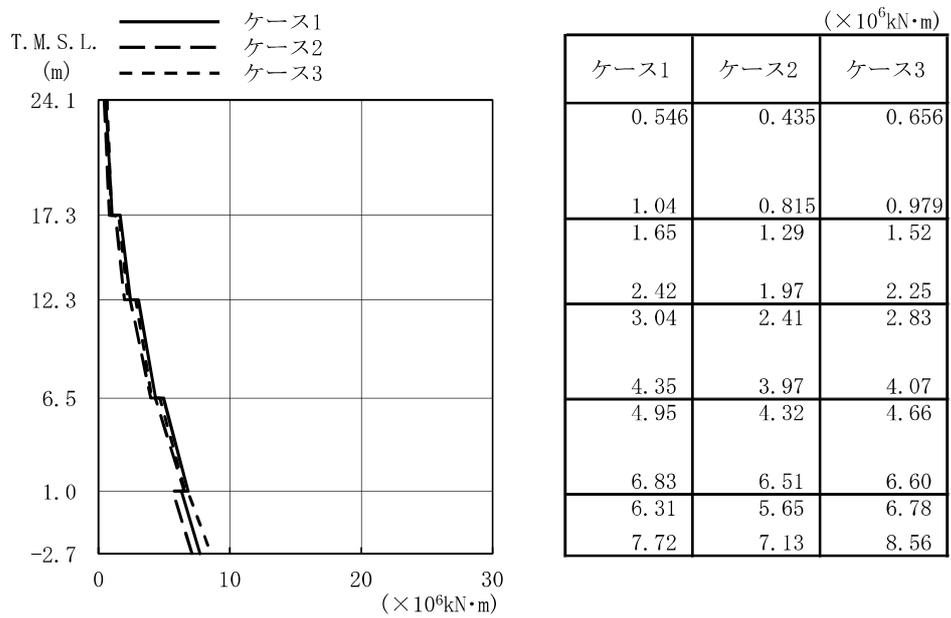


図4-13 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

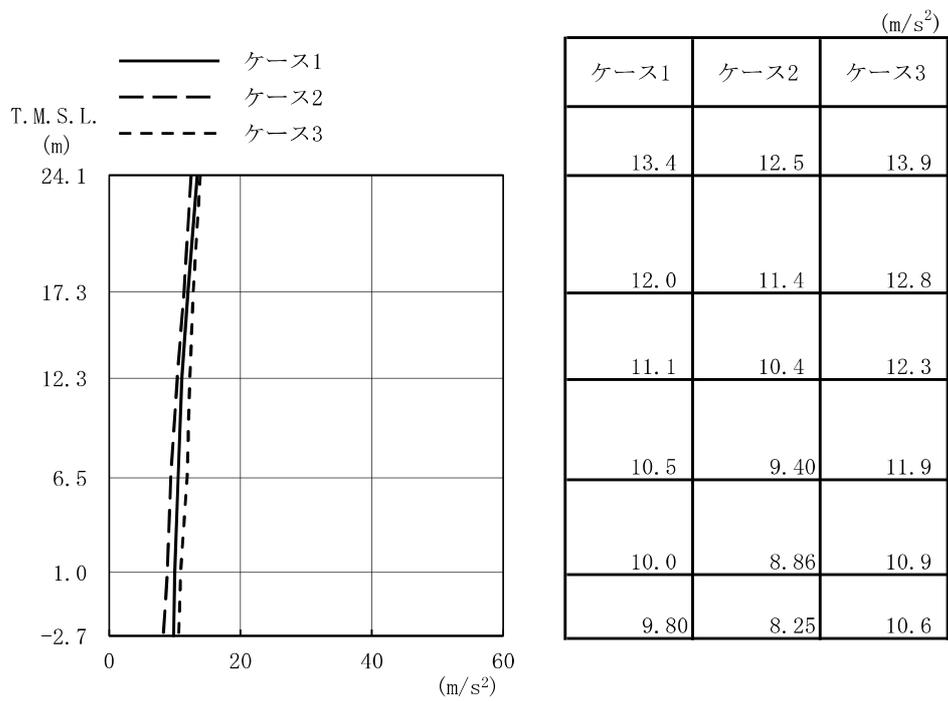


図4-14 最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

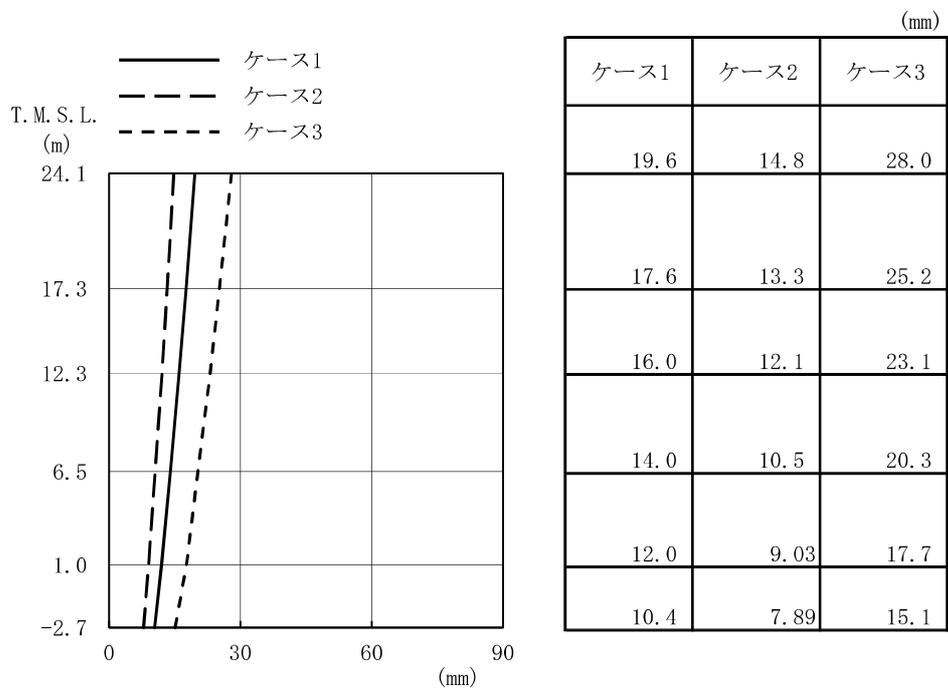


図4-15 最大応答変位 (Ss-1, EW方向)

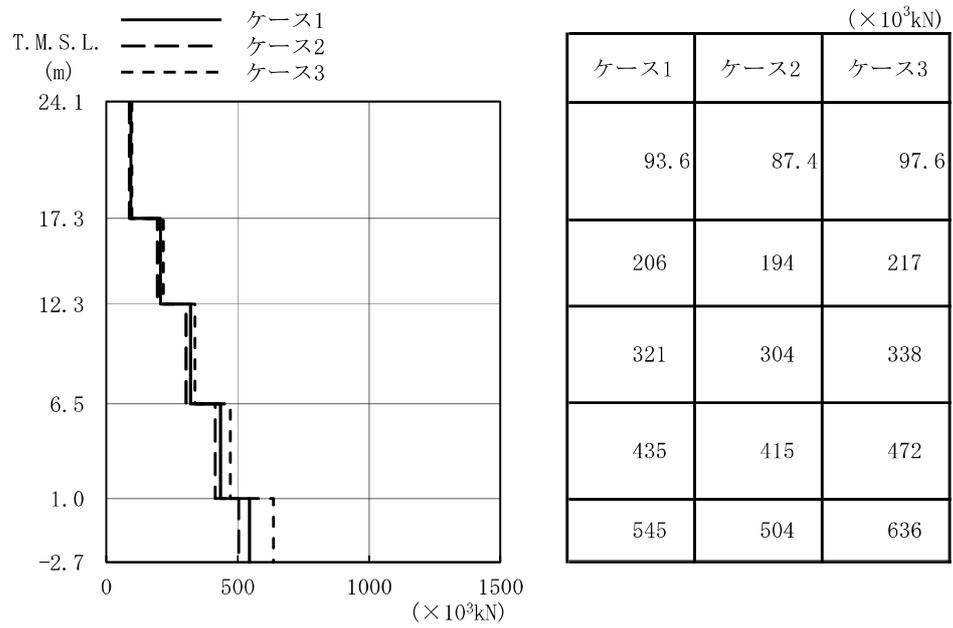


図4-16 最大応答せん断力 (Ss-1, EW方向)

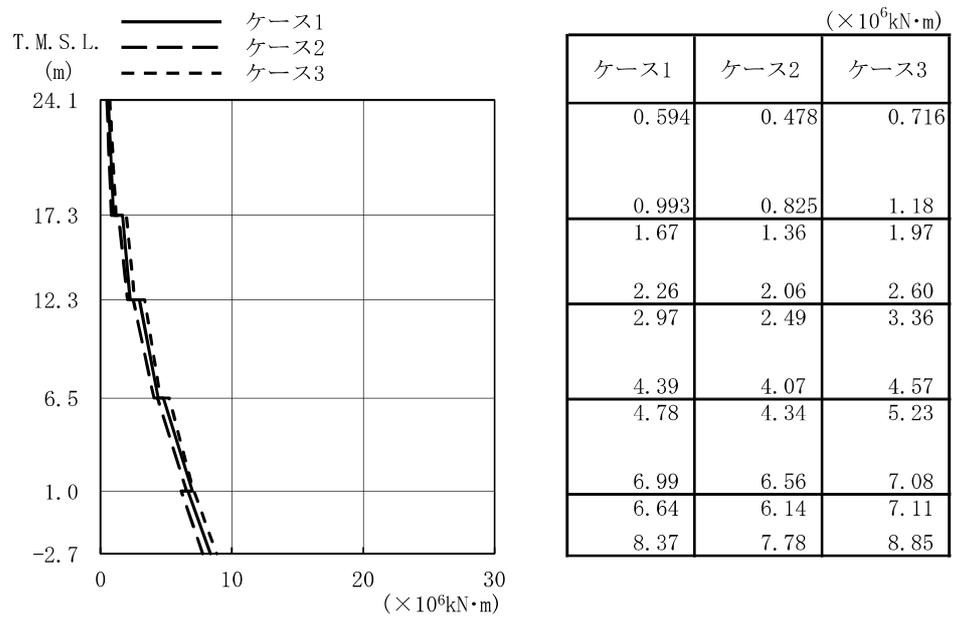


図4-17 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW方向)

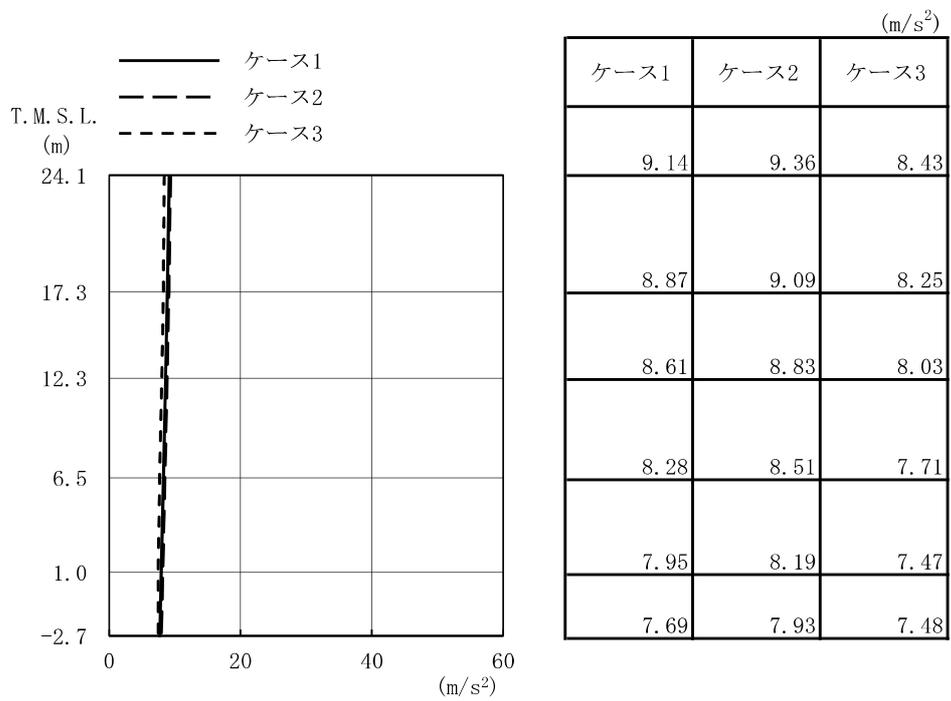


図4-18 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

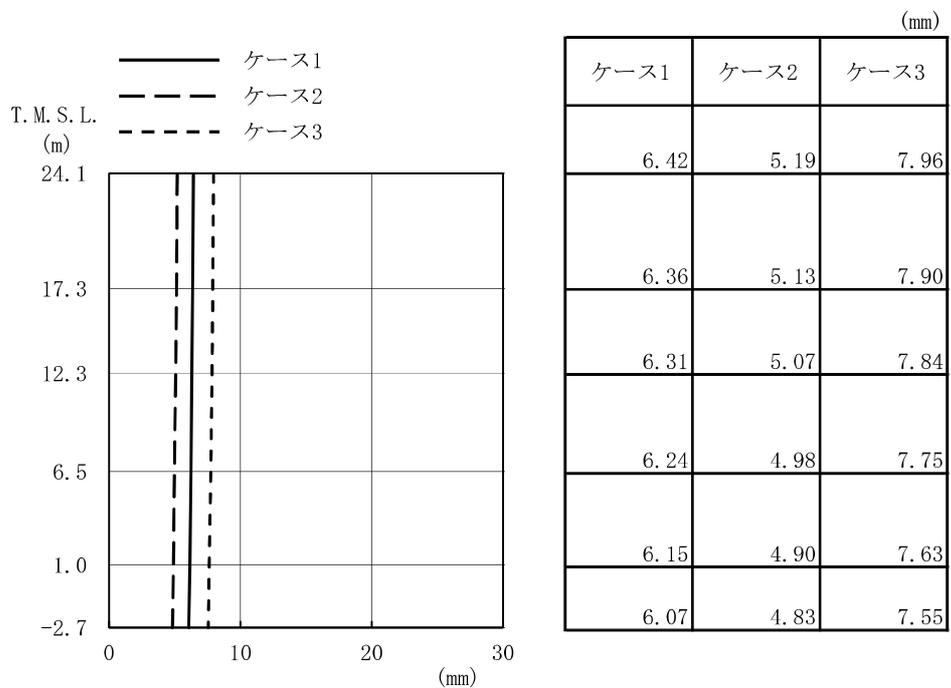


図4-19 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

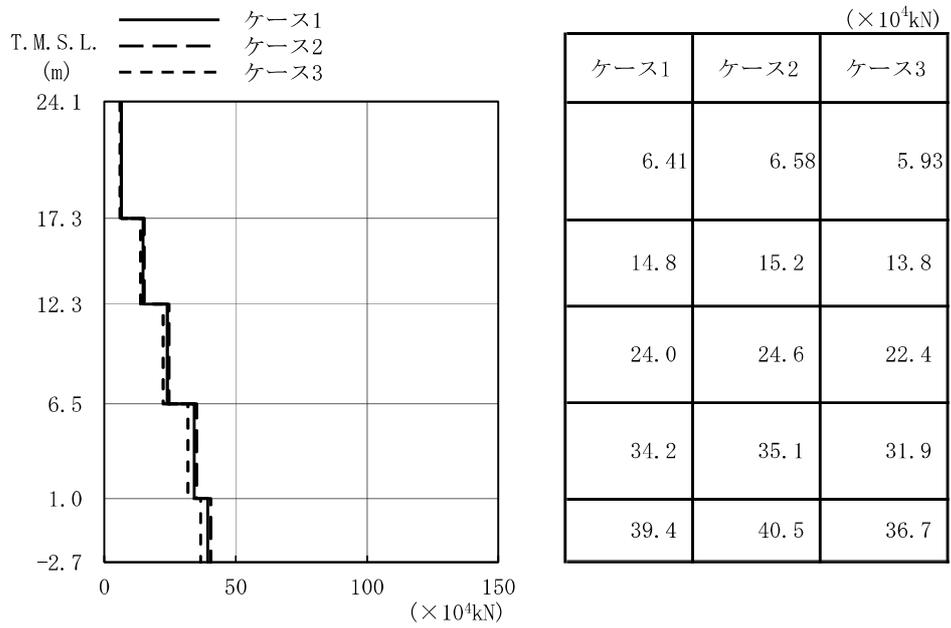


図4-20 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

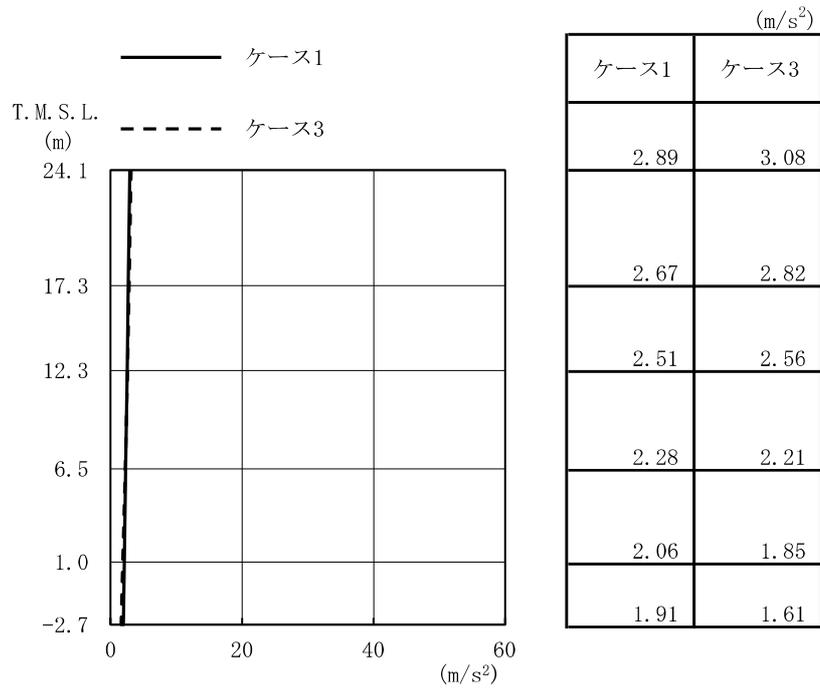


図4-21 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

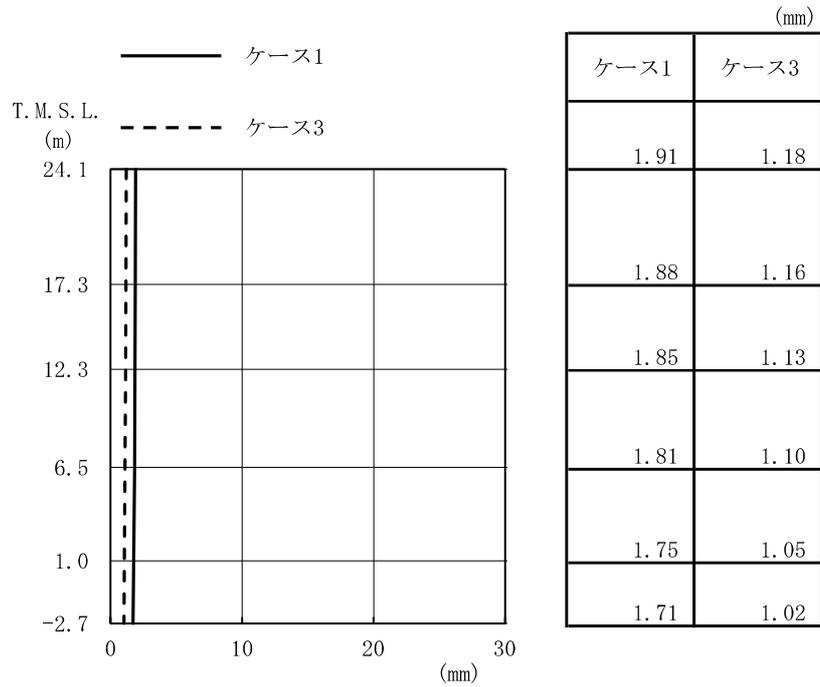


図4-22 最大応答変位 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

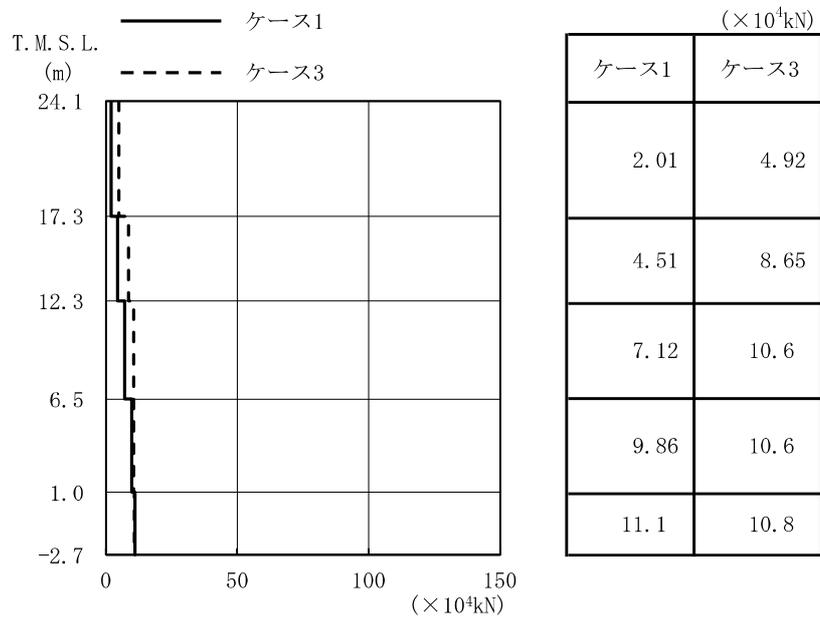


図4-23 最大応答軸力 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

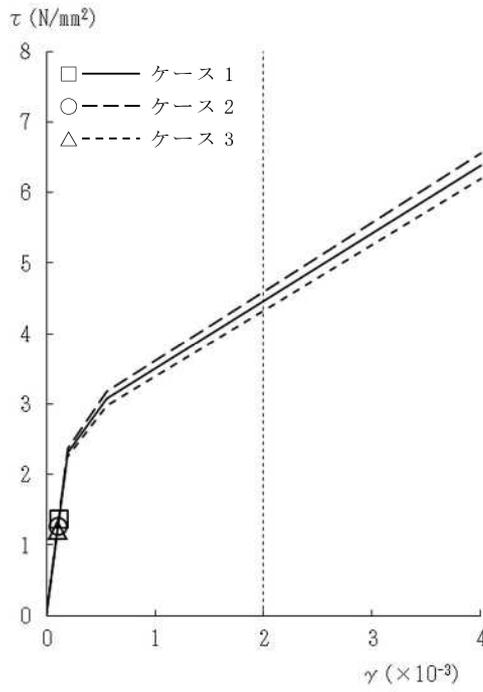


図4-24  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, 2F) (1/5)

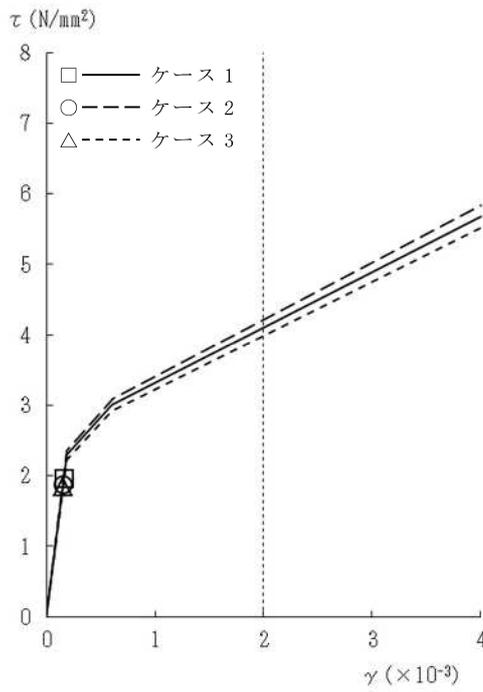


図4-24  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, 1F) (2/5)

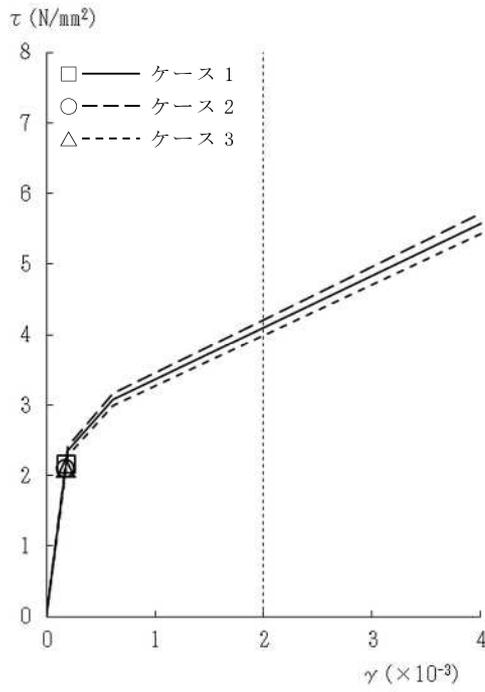


図4-24  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, B1F) (3/5)

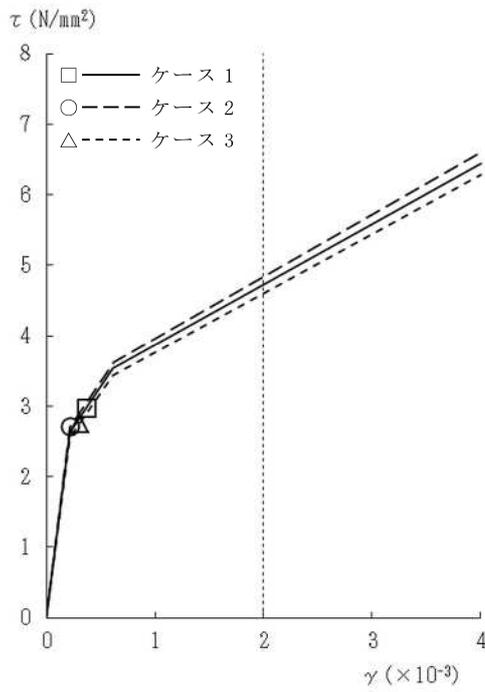


図4-24  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, MB2F) (4/5)

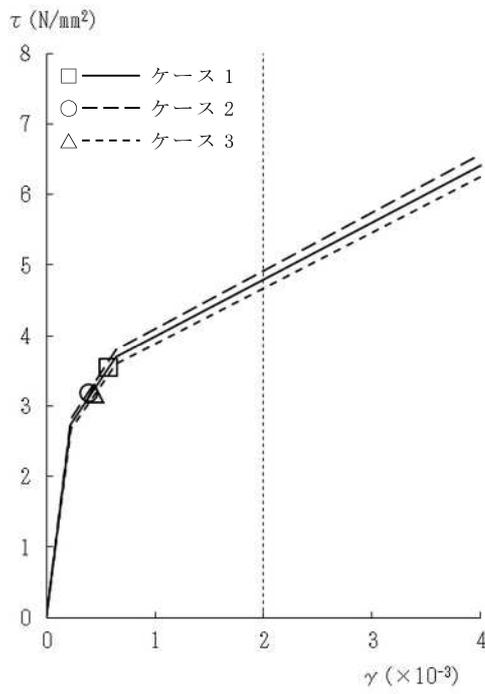


図4-24  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, B2F) (5/5)

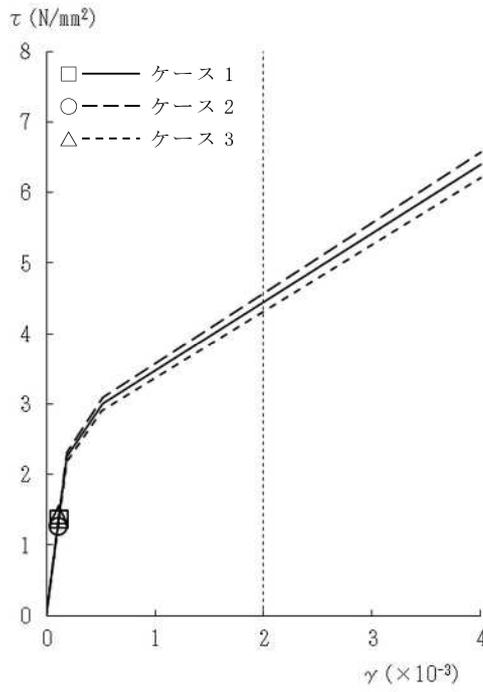


図4-25  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, 2F) (1/5)

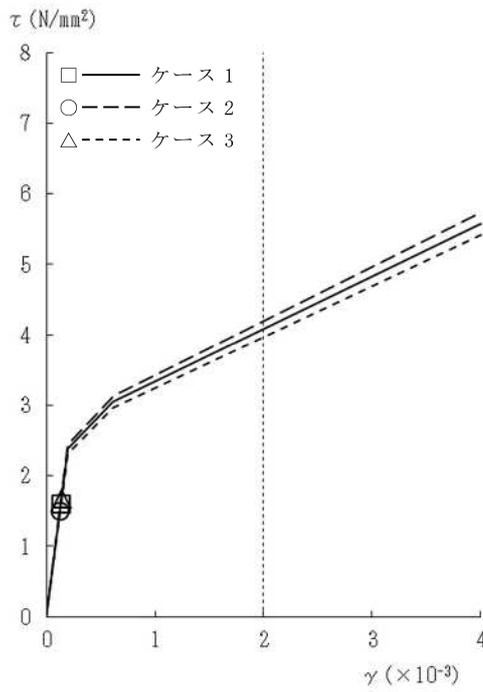


図4-25  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, 1F) (2/5)

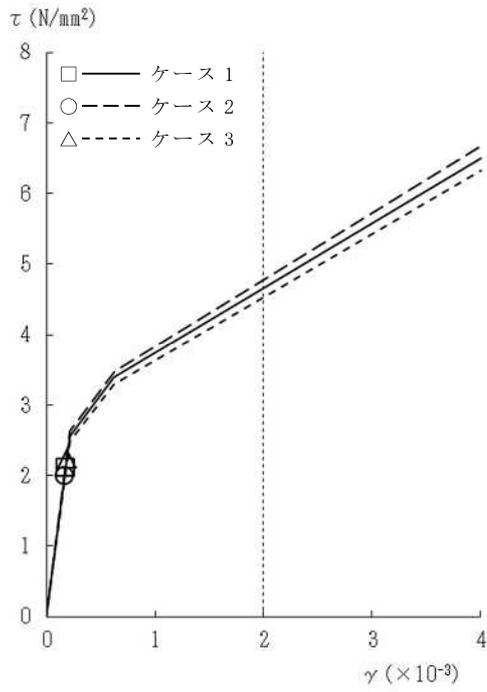


図4-25 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, B1F) (3/5)

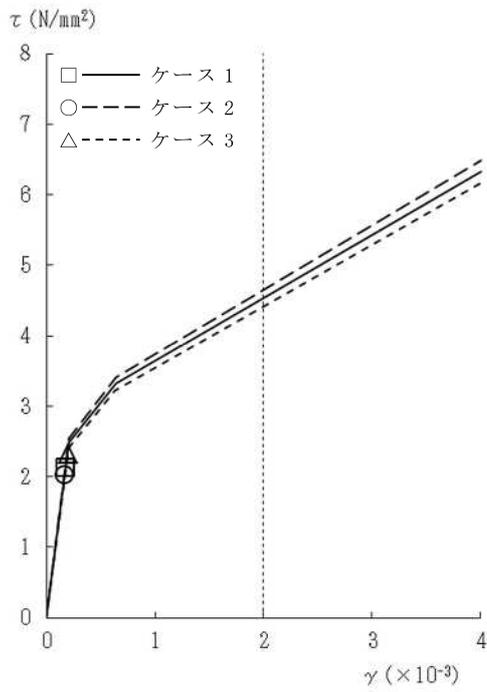


図4-25 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, MB2F) (4/5)

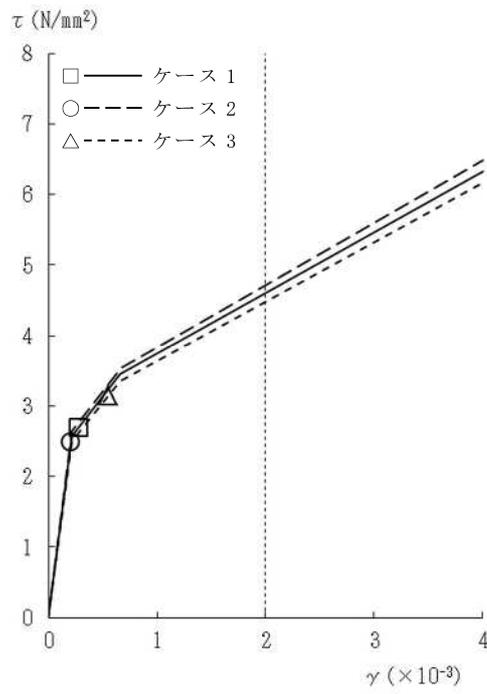


図4-25 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, B2F) (5/5)

表 4-4 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1350	8.69	55.4

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	808	9.44	76.8

表 4-5 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 2)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	912	7.75	65.6

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	756	8.72	82.4

表 4-6 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 3)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1670	10.40	36.7

注記\* : 地盤 3 次元 FEM モデルによる結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	894	10.70	67.4

#### 4.2.2 建屋剛性の変動による影響

##### (1) 影響検討方針

表4-1に示した検討ケースのうち、建屋剛性を変動させたケース（ケース4及びケース5）の固有値解析及び地震応答解析を実施し、基本ケース（ケース1）の結果と比較する。入力地震動はSs-1とする。建屋剛性は、基本ケース（実強度 $43.1\text{N/mm}^2$ ）に対してコア強度平均（ $55.7\text{N/mm}^2$ ）及び実強度 $-2\sigma$ （ $37.2\text{N/mm}^2$ ）の変動を考慮する。なお、地盤剛性は基本ケースと同一とする。

##### (2) 固有値解析結果

建屋剛性を変動させた誘発上下動を考慮しない場合の地震応答解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表4-7、刺激関数図を図4-26～図4-31に示す。表、図中においては基本ケースをケース1、コンクリート強度をコア強度平均としたモデルをケース4、実強度 $-2\sigma$ としたモデルをケース5として示す。

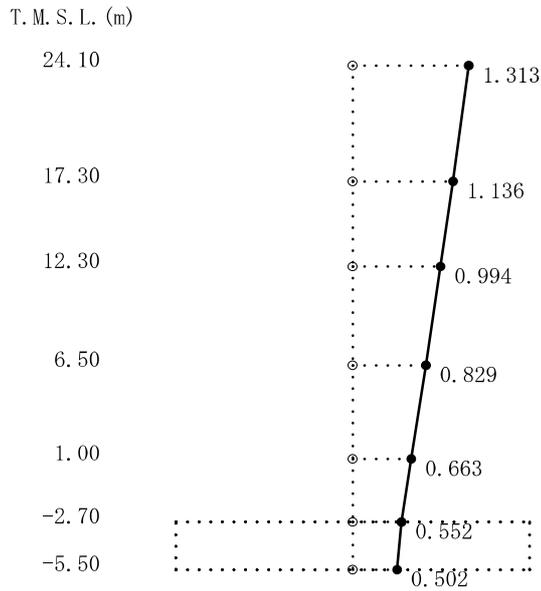
基本ケースに対する建屋剛性を変動させたモデルの固有振動数の変動幅は、 $-5\% \sim +7\%$ 程度である。

表4-7 固有値解析結果 (ケース1, ケース4, ケース5)

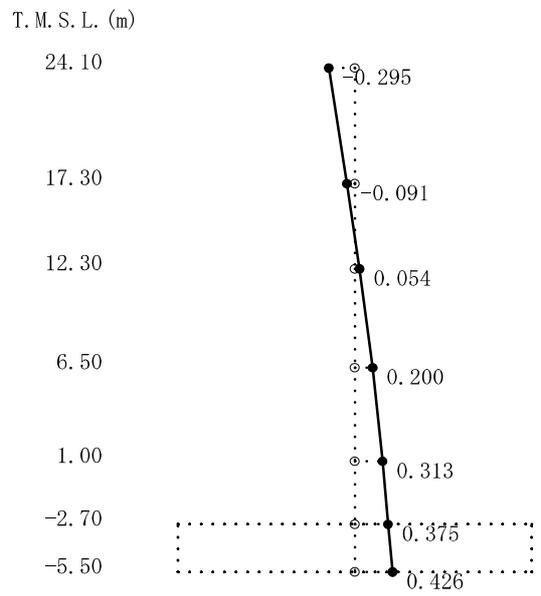
(単位 : Hz)

次数	NS方向			EW方向			鉛直方向		
	ケース1	ケース4	ケース5	ケース1	ケース4	ケース5	ケース1	ケース4	ケース5
1	3.85	3.89 (1.01)	3.83 (0.99)	4.08	4.12 (1.01)	4.06 (1.00)	5.92	5.94 (1.00)	5.91 (1.00)
2	8.11	8.18 (1.01)	8.09 (1.00)	7.86	7.91 (1.01)	7.84 (1.00)	31.19	33.15 (1.06)	30.45 (0.98)
3	17.92	18.93 (1.06)	17.53 (0.98)	16.97	17.95 (1.06)	16.59 (0.98)	54.36	57.90 (1.07)	53.03 (0.98)
4	22.45	23.82 (1.06)	21.92 (0.98)	23.81	25.29 (1.06)	23.23 (0.98)	78.22	83.34 (1.07)	76.29 (0.98)
5	32.11	34.05 (1.06)	31.37 (0.98)	30.82	32.70 (1.06)	30.11 (0.98)	105.04	111.93 (1.07)	102.45 (0.98)
6	34.56	36.78 (1.06)	33.69 (0.97)	36.36	38.69 (1.06)	35.45 (0.97)	144.78	154.27 (1.07)	141.18 (0.98)
7	46.67	49.68 (1.06)	45.49 (0.97)	48.82	51.97 (1.06)	47.59 (0.97)	356.43	379.90 (1.07)	340.28 (0.95)
8	52.22	55.56 (1.06)	50.96 (0.98)	50.81	54.09 (1.06)	49.58 (0.98)	—	—	—

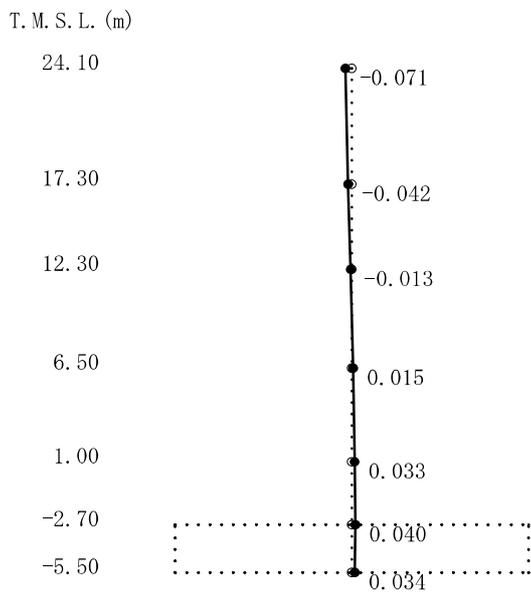
注 : ( ) 内は, ケース1に対する比率を示す。



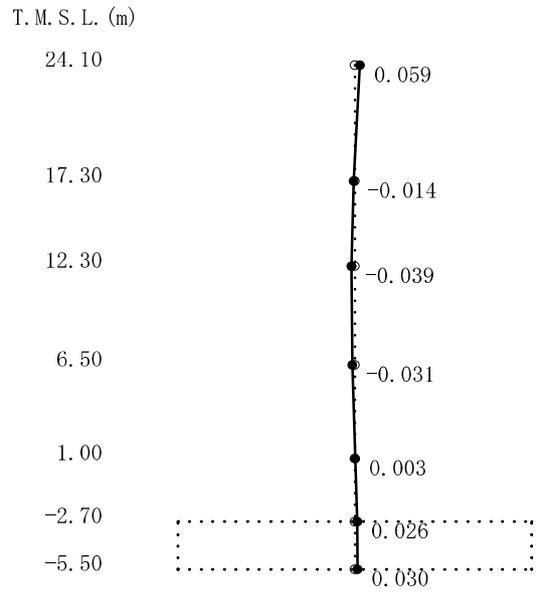
1次



2次



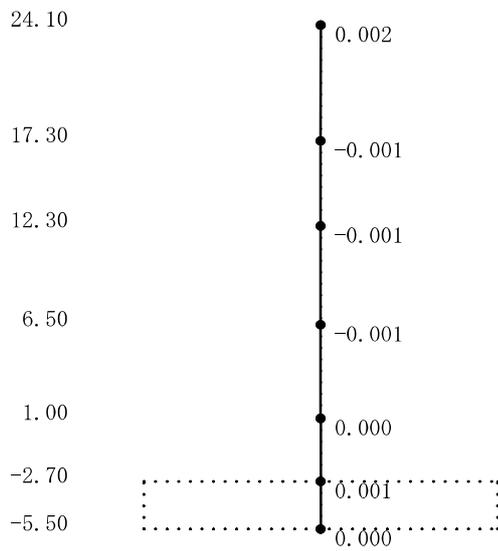
3次



4次

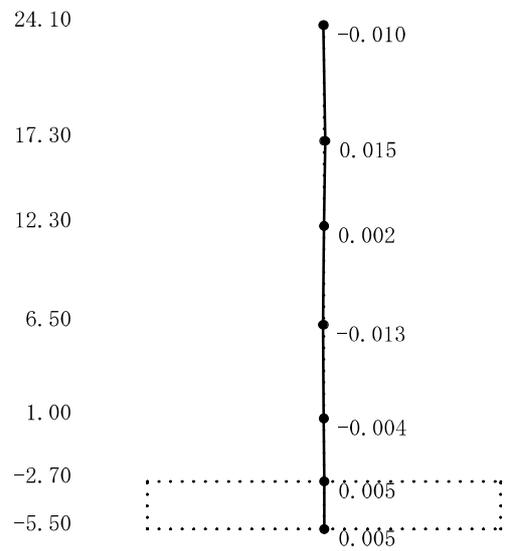
図4-26 刺激関数図 (ケース4)  
(NS方向, Ss-1) (1/2)

T. M. S. L. (m)



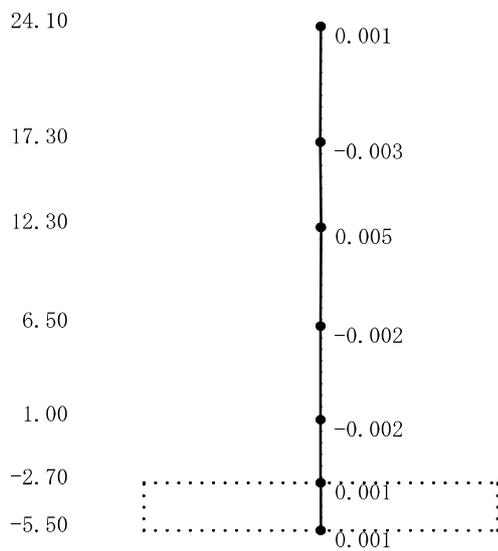
5次

T. M. S. L. (m)



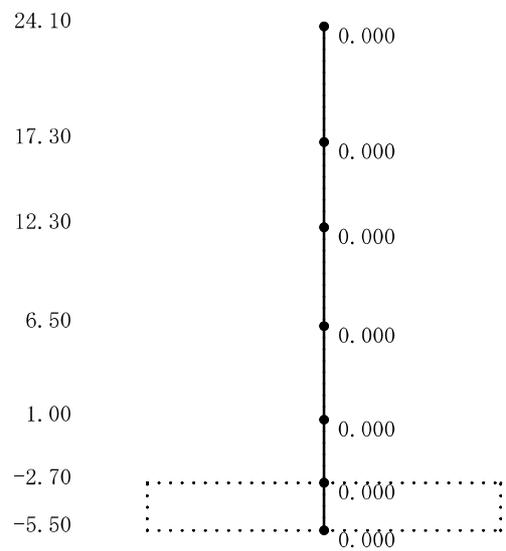
6次

T. M. S. L. (m)



7次

T. M. S. L. (m)



8次

図4-26 刺激関数図 (ケース4)

(NS方向, Ss-1) (2/2)

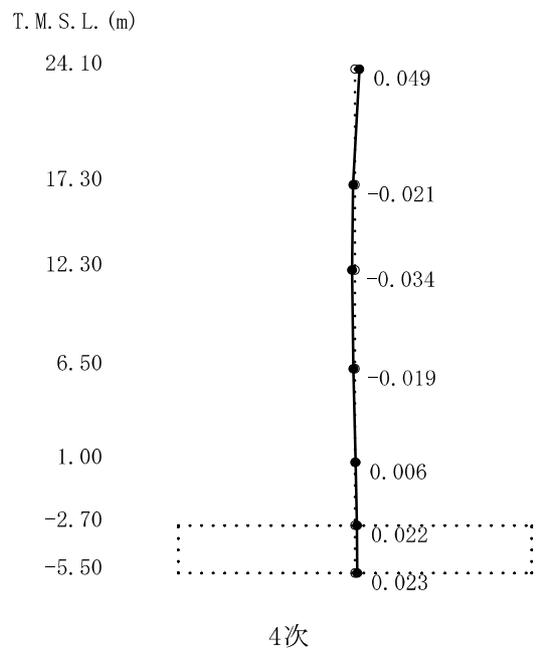
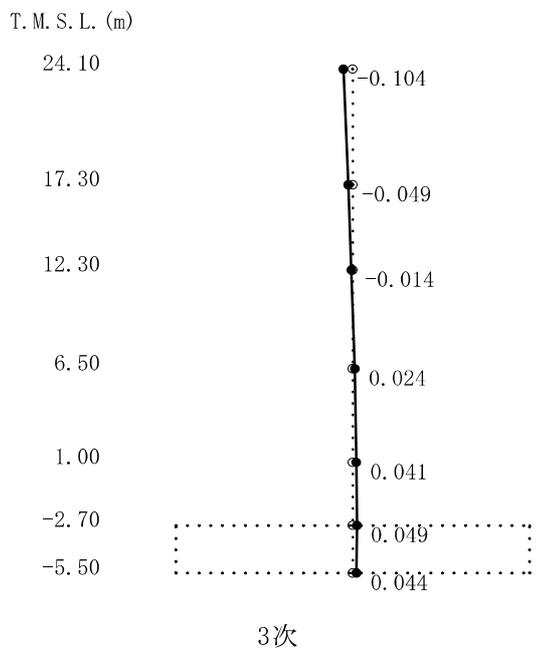
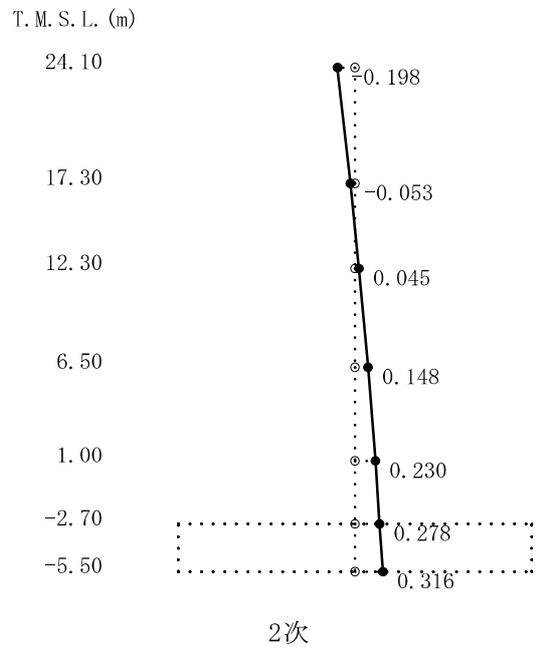
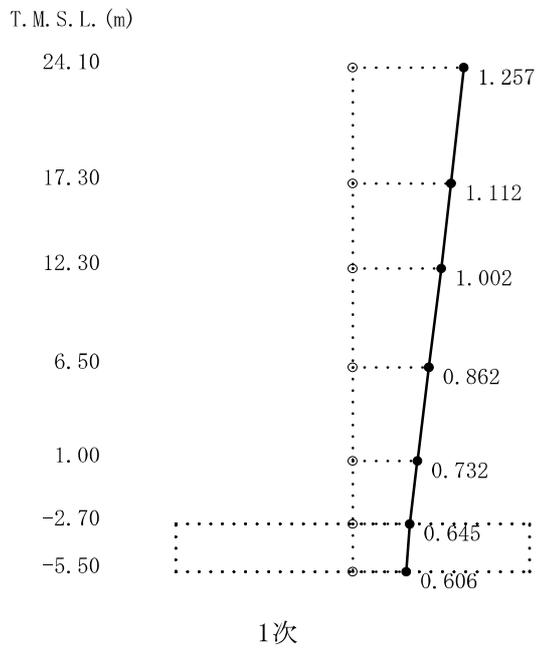
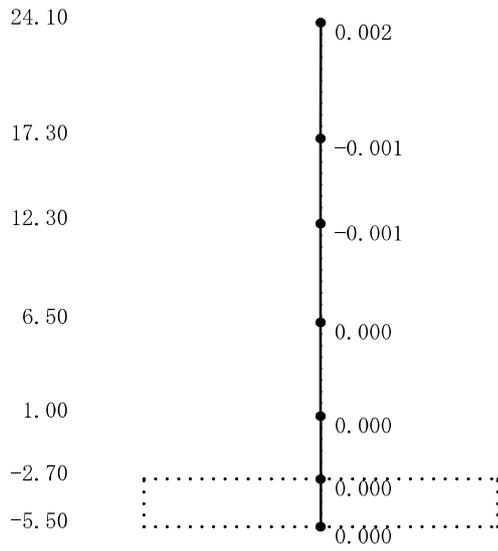


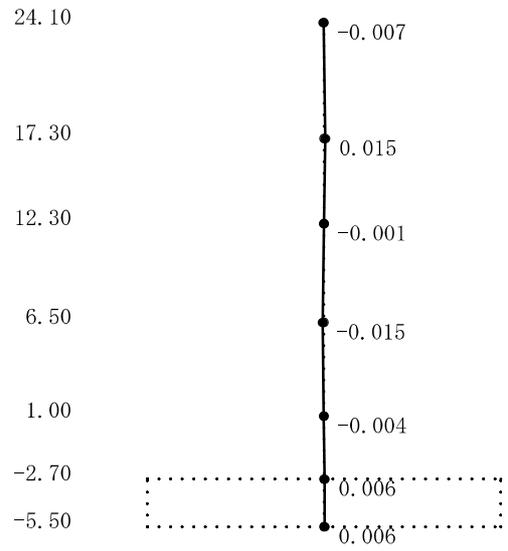
図4-27 刺激関数図 (ケース4)  
(EW方向, Ss-1) (1/2)

T. M. S. L. (m)



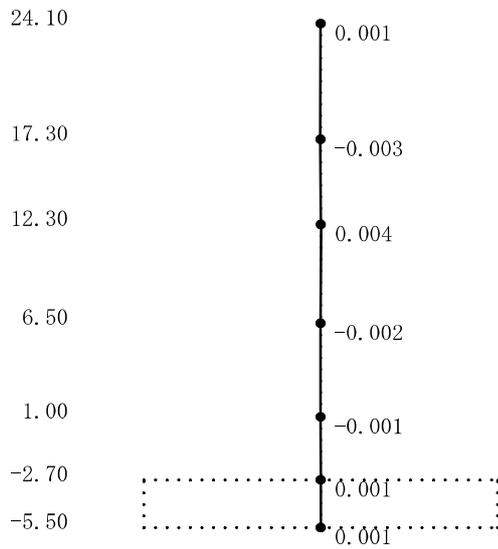
5次

T. M. S. L. (m)



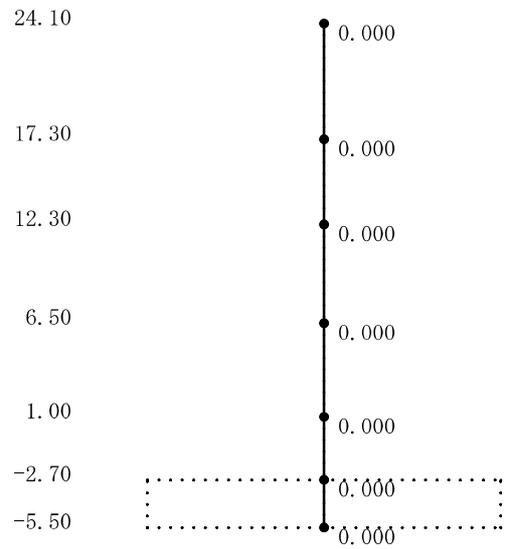
6次

T. M. S. L. (m)



7次

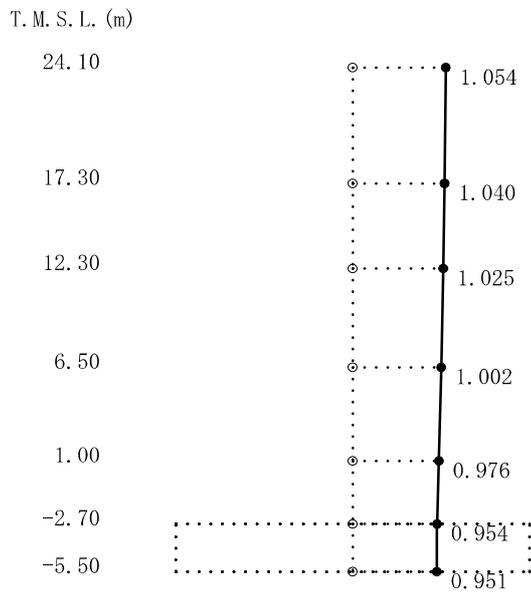
T. M. S. L. (m)



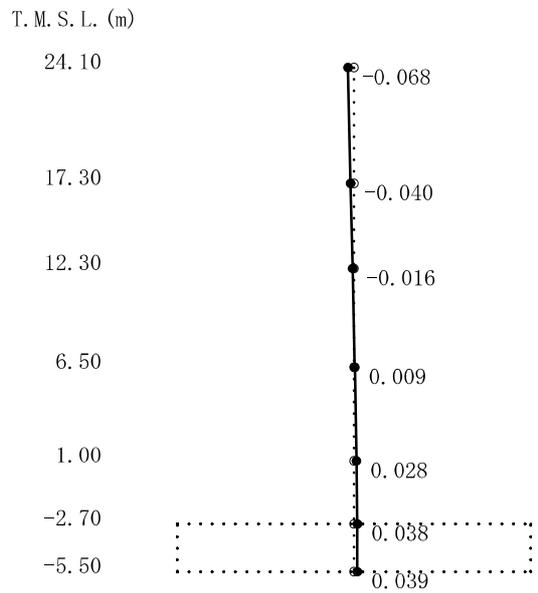
8次

図4-27 刺激関数図 (ケース4)

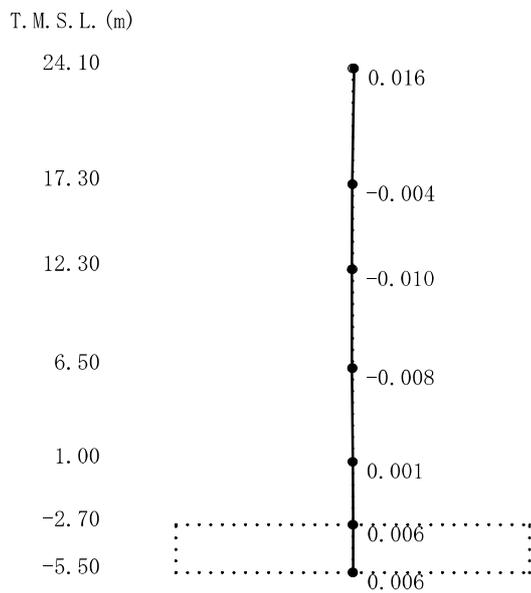
(EW方向, Ss-1) (2/2)



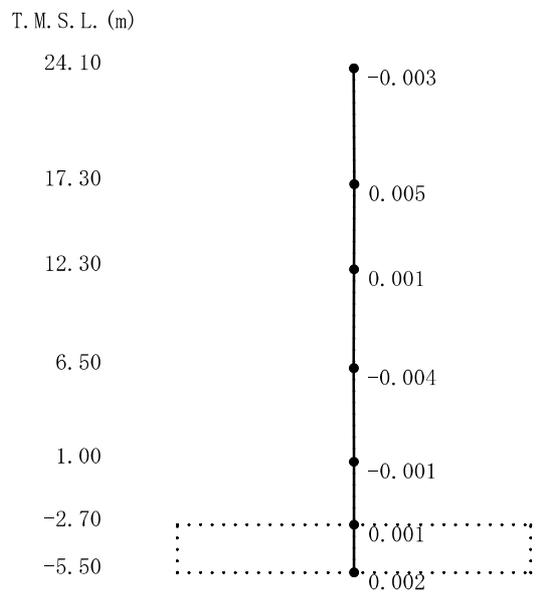
1次



2次

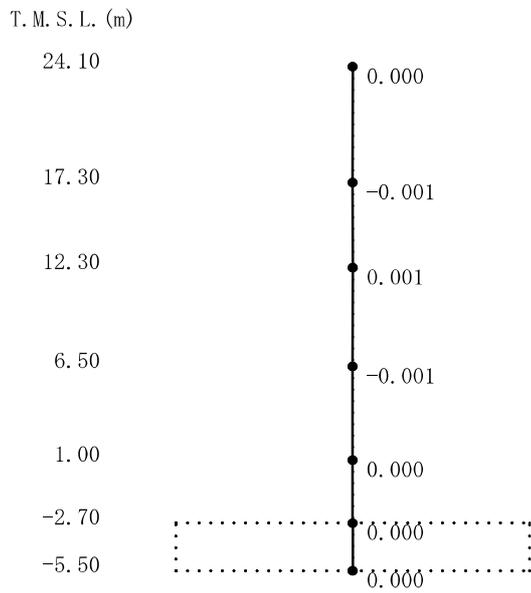


3次

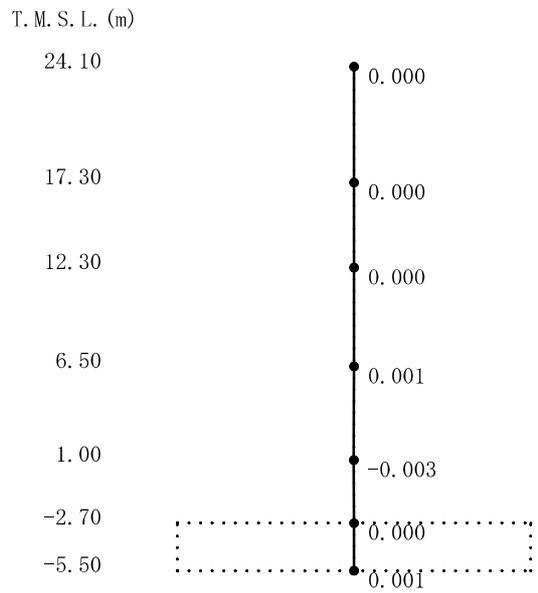


4次

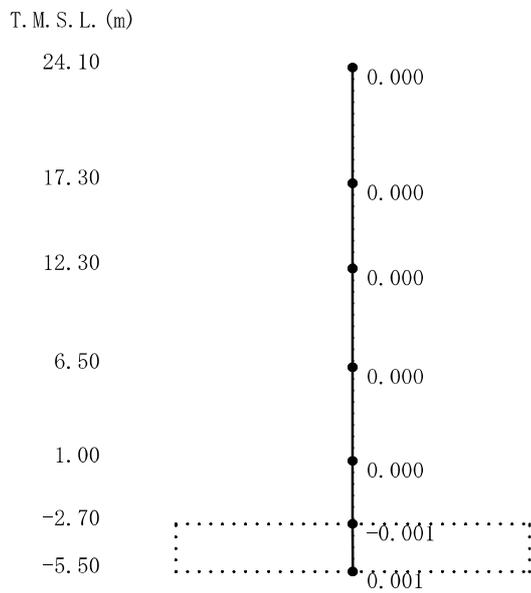
図4-28 刺激関数図 (ケース4)  
(鉛直方向,  $S_S-1$ ) (1/2)



5次



6次



7次

図4-28 刺激関数図 (ケース4)  
(鉛直方向, S<sub>S</sub>-1) (2/2)

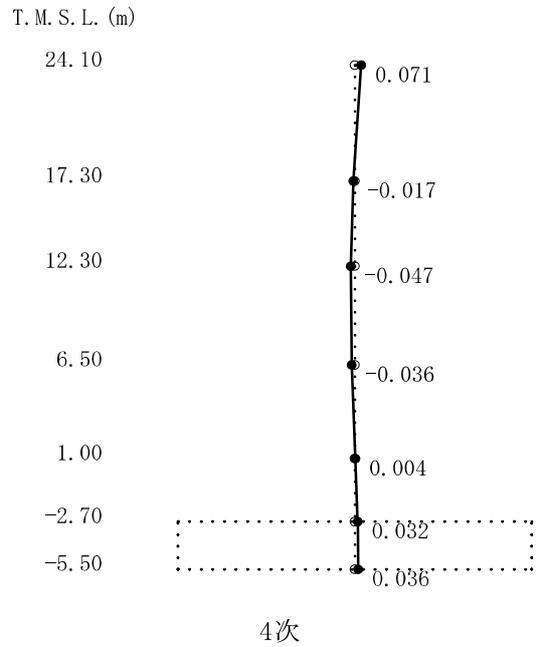
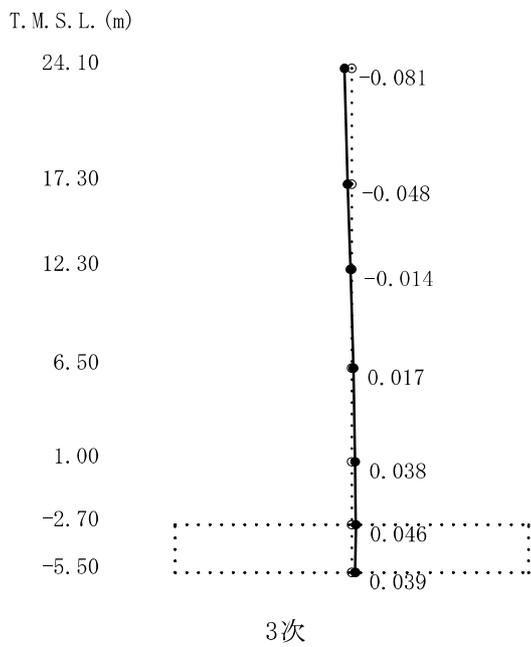
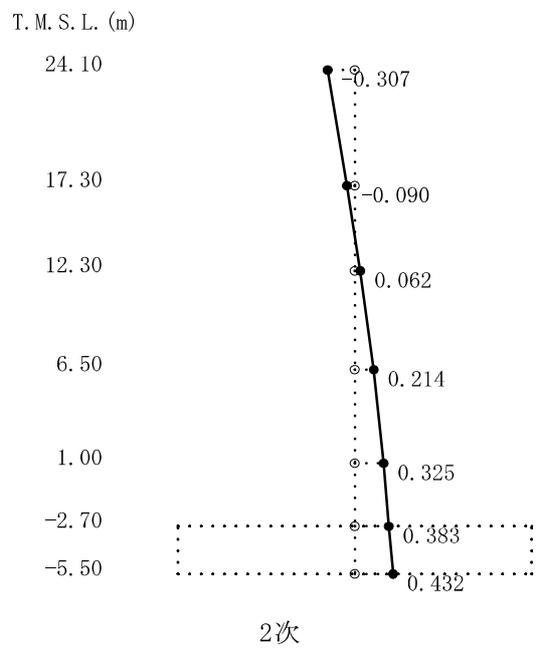
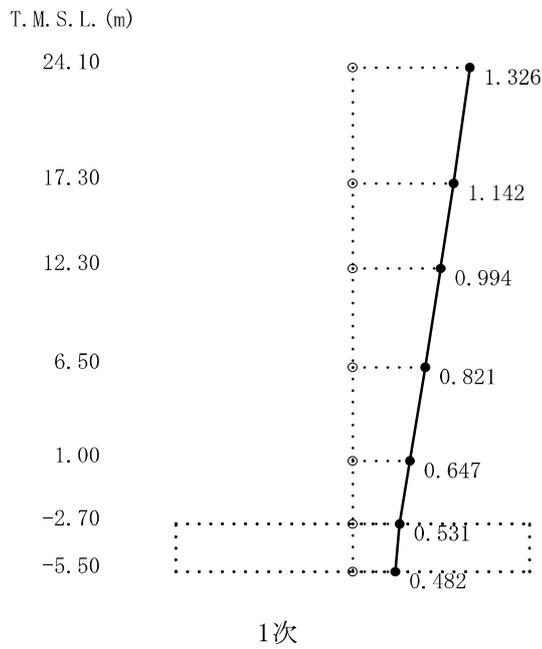
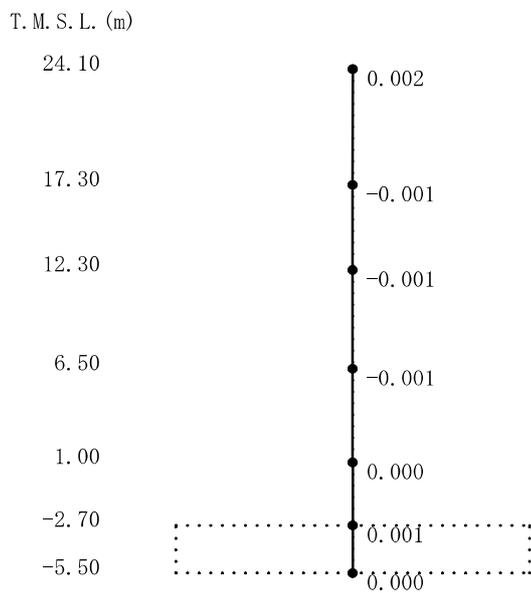
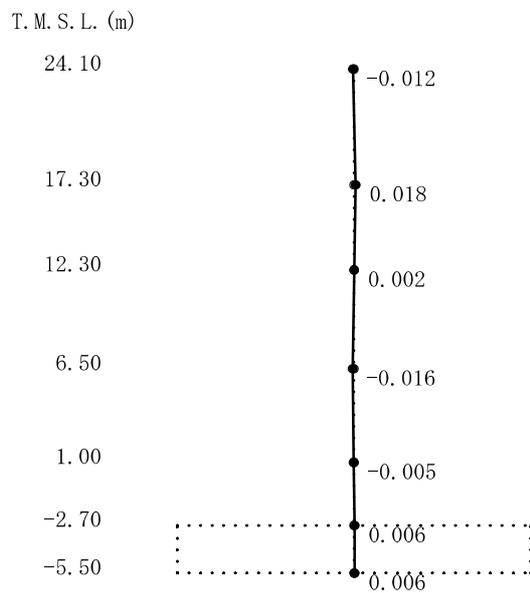


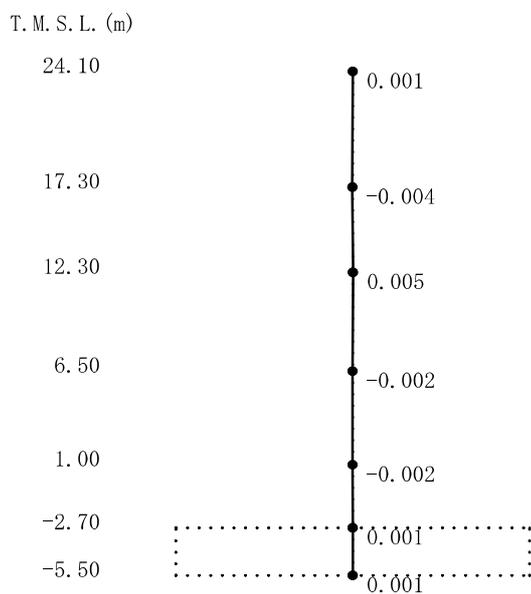
図4-29 刺激関数図 (ケース5)  
(NS方向, Ss-1) (1/2)



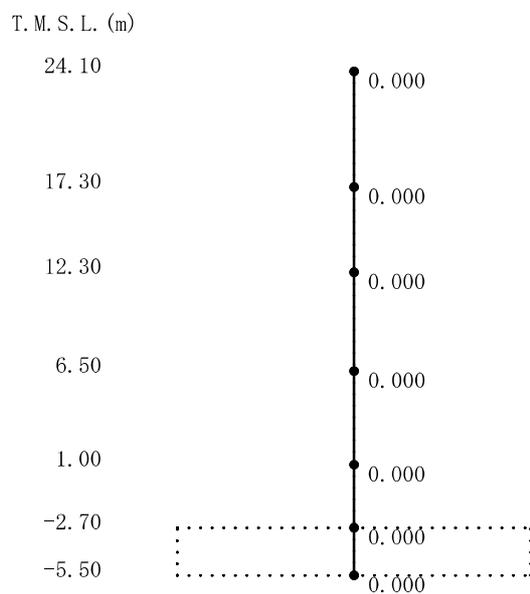
5次



6次

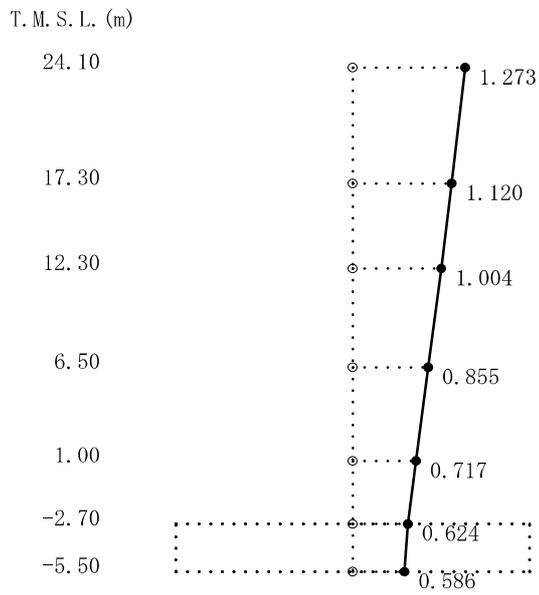


7次

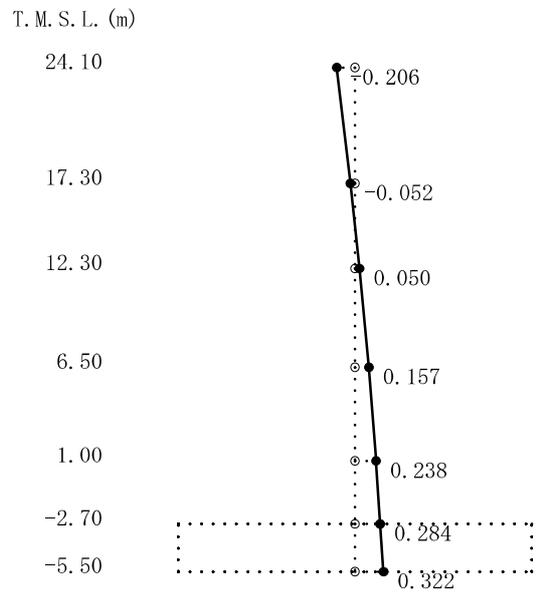


8次

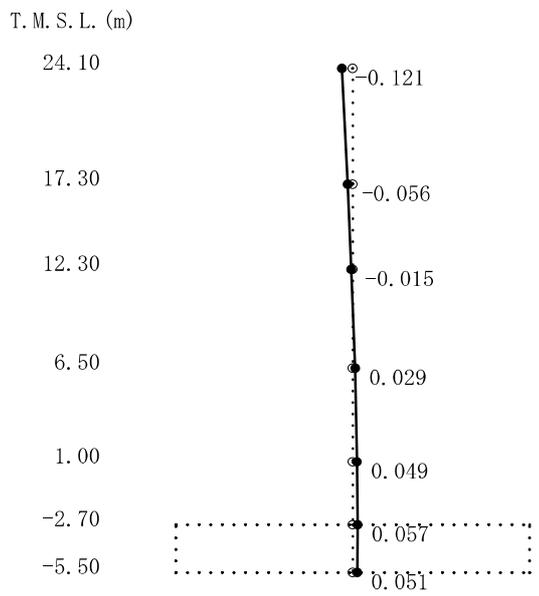
図4-29 刺激関数図 (ケース5)  
(NS方向, S<sub>S</sub>-1) (2/2)



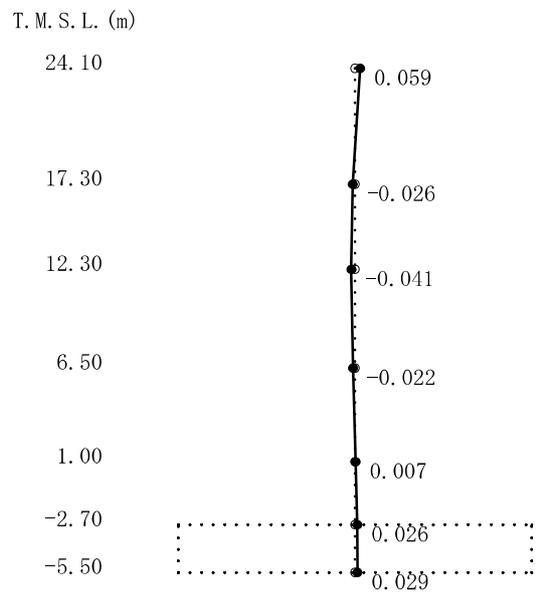
1次



2次



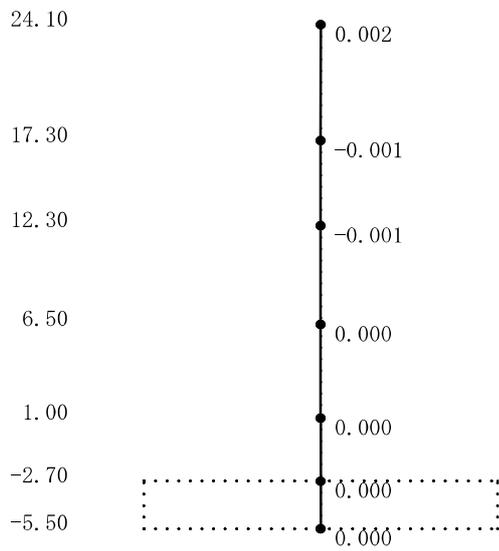
3次



4次

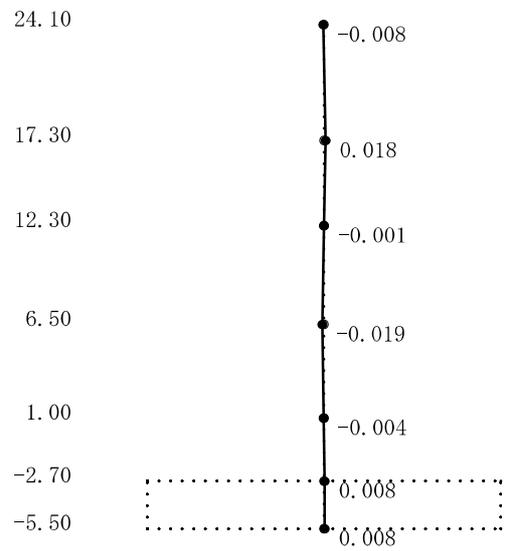
図4-30 刺激関数図 (ケース5)  
(EW方向, Ss-1) (1/2)

T. M. S. L. (m)



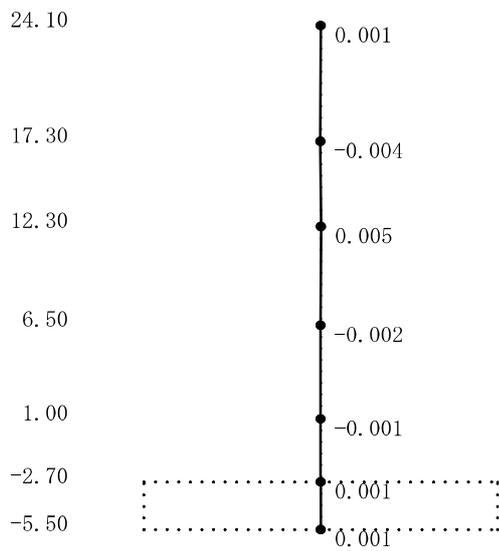
5次

T. M. S. L. (m)



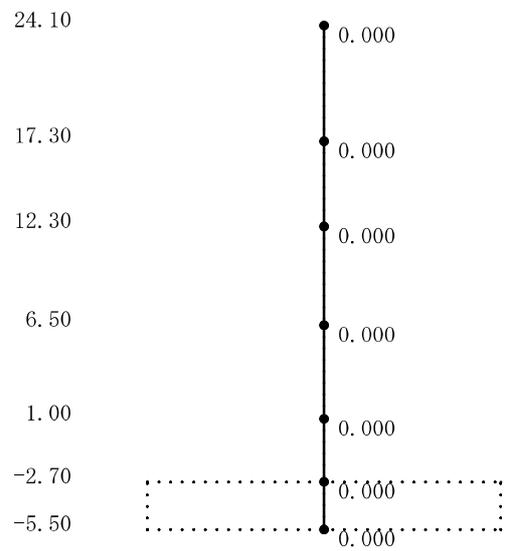
6次

T. M. S. L. (m)



7次

T. M. S. L. (m)

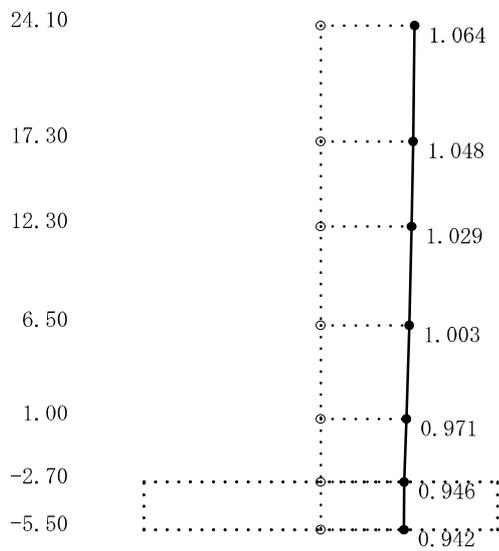


8次

図4-30 刺激関数図 (ケース5)

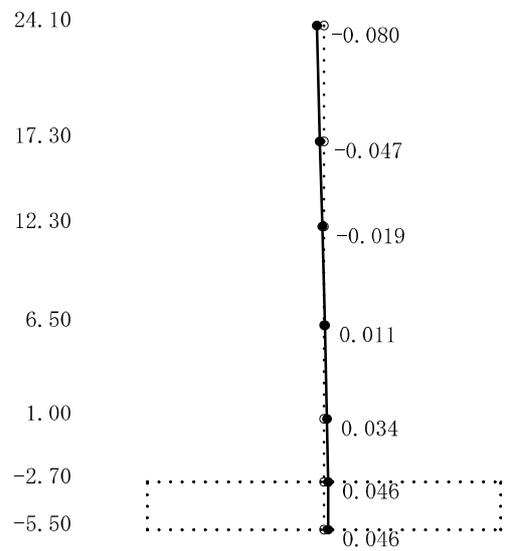
(EW方向, Ss-1) (2/2)

T. M. S. L. (m)



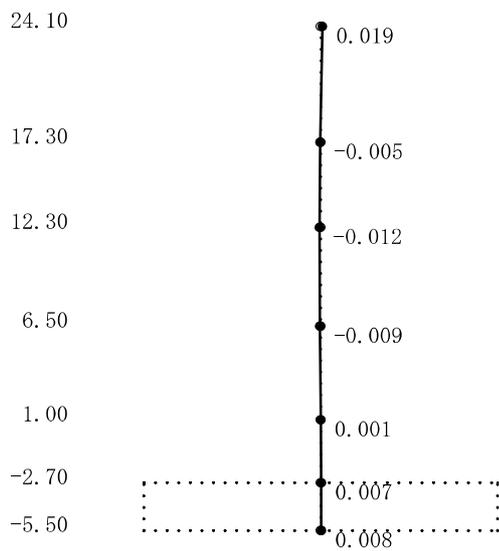
1次

T. M. S. L. (m)



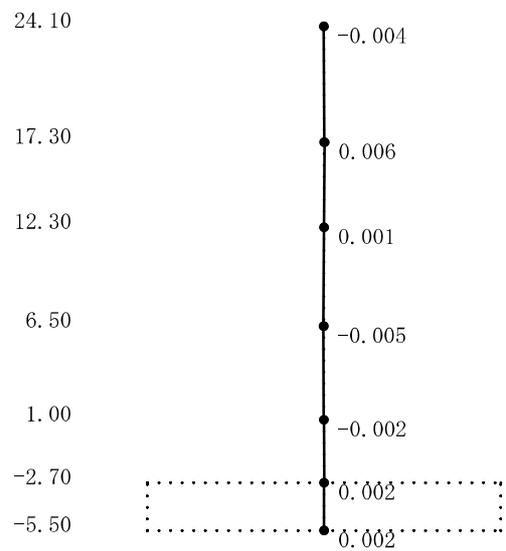
2次

T. M. S. L. (m)



3次

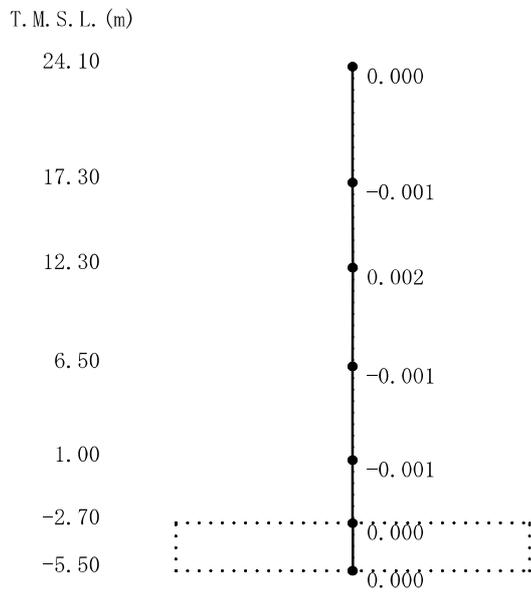
T. M. S. L. (m)



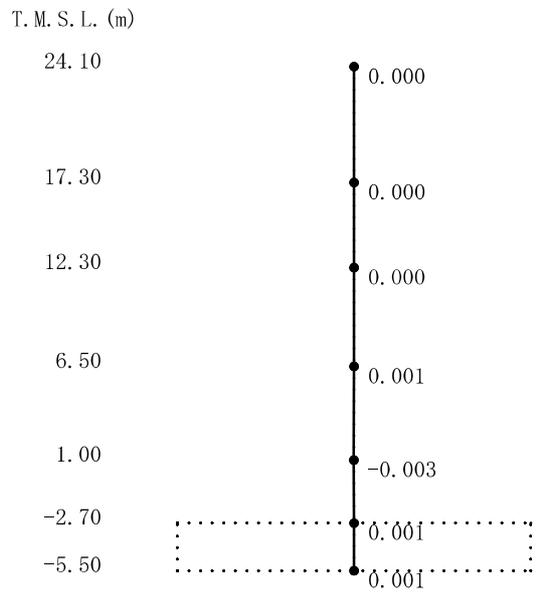
4次

図4-31 刺激関数図 (ケース5)

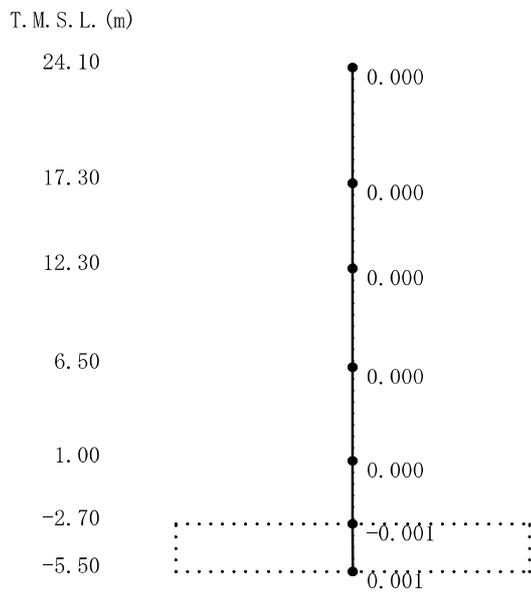
(鉛直方向,  $S_s-1$ ) (1/2)



5次



6次



7次

図4-31 刺激関数図 (ケース5)  
(鉛直方向, S<sub>S</sub>-1) (2/2)

(3) 地震応答解析結果

建屋剛性を変動させた地震応答解析モデルによる地震応答解析結果を基本ケースの結果と比較した。入力地震動はSs-1とする。最大応答値の比較を図4-32～図4-47に示す。

水平方向について、ケース1, 4, 5の最大応答加速度, 最大応答変位, 最大応答せん断力, 最大応答曲げモーメント, 最大せん断ひずみはおおむね同等である。なお, NS方向の最大応答変位については若干差異があり, ケース4で小さくなり, ケース5で大きくなる傾向であることを確認した。

これは, 建屋剛性が大きくなる側に変動する場合は, 剛性の増加に伴い変位は小さくなり, 小さくなる側に変動する場合は, 剛性の減少に伴い変位は大きくなったと考えられる。

鉛直方向についても, 水平方向と同様にケース1, 4, 5の最大応答加速度, 最大応答変位, 最大応答軸力はおおむね同等であることを確認した。

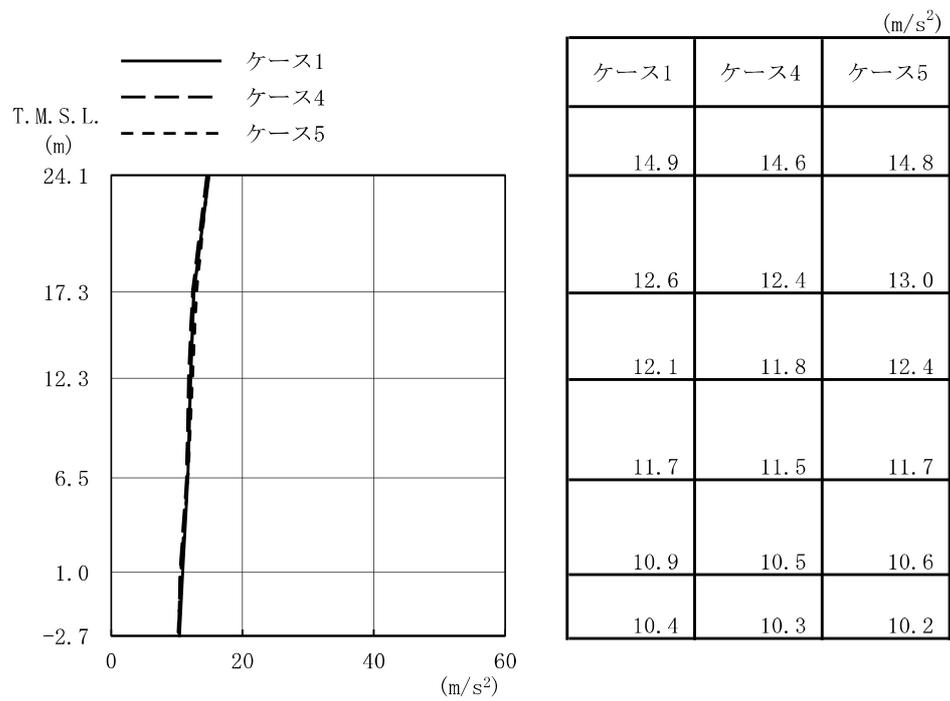


図4-32 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

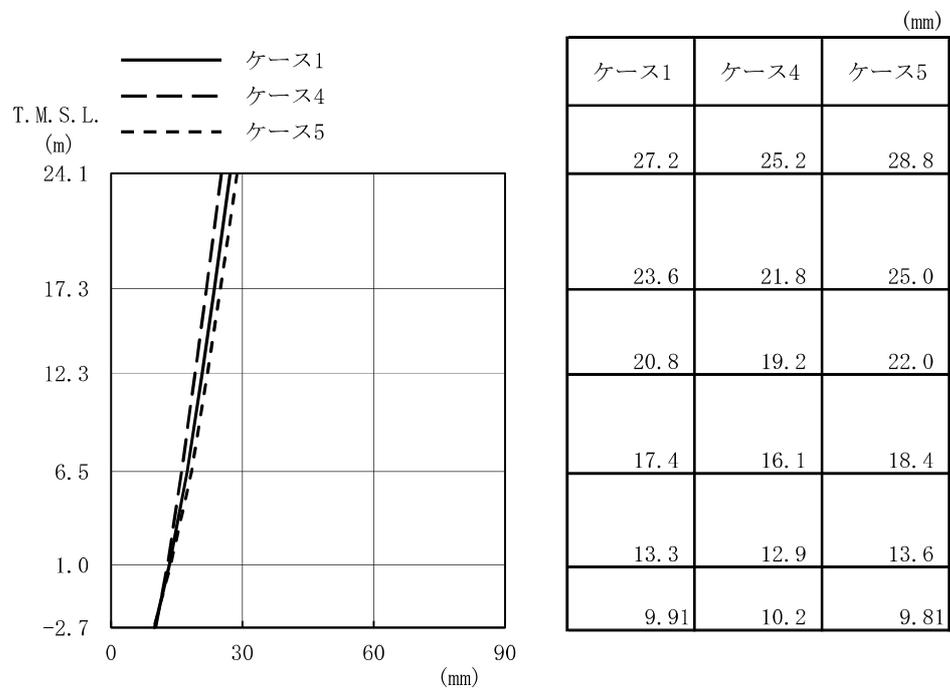


図4-33 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

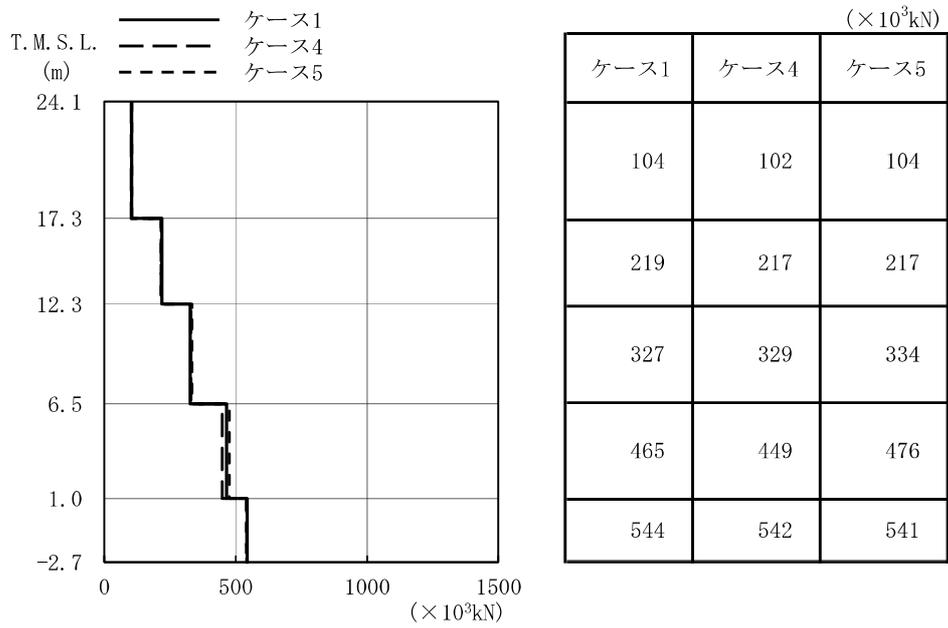


図4-34 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

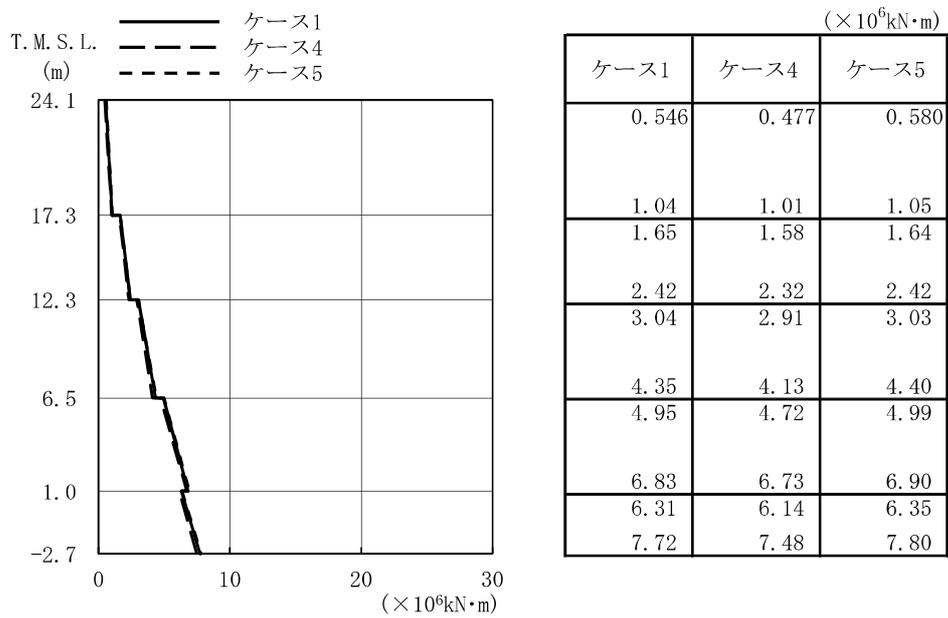


図4-35 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

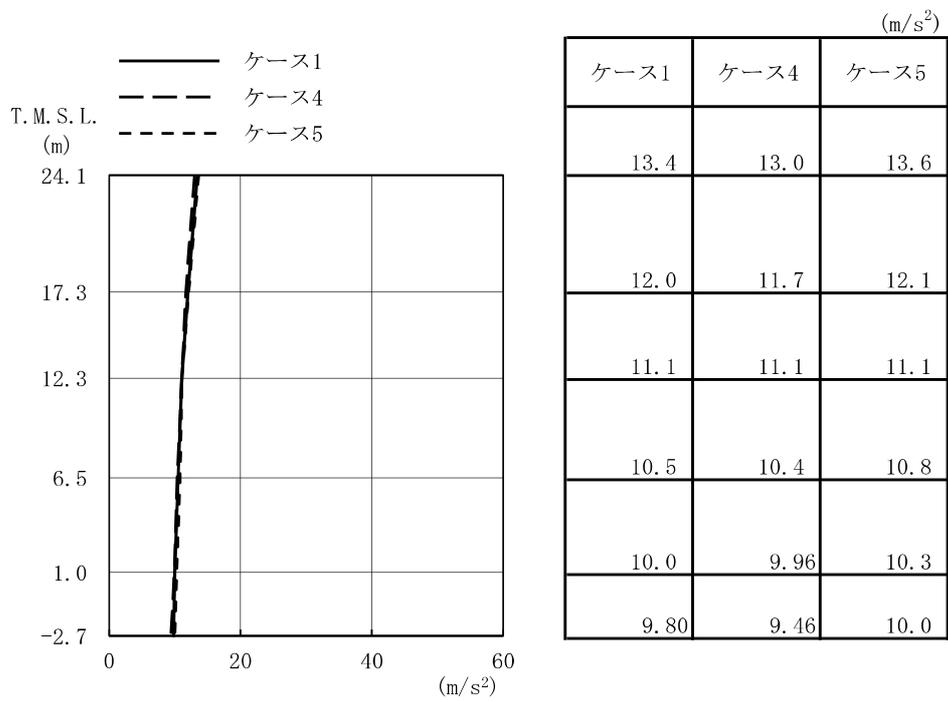


図4-36 最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

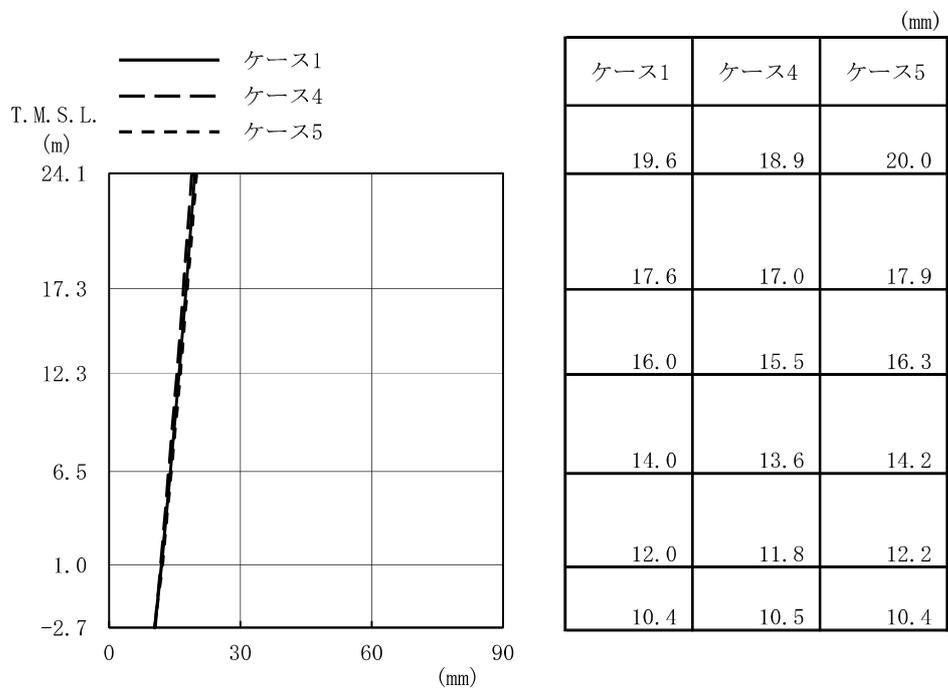


図4-37 最大応答変位 (Ss-1, EW方向)

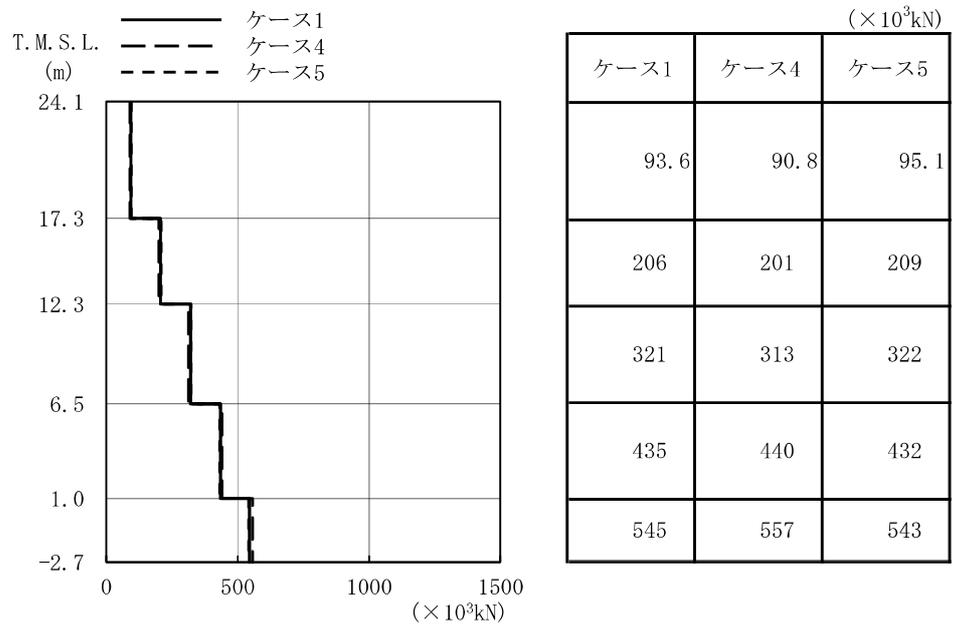


図4-38 最大応答せん断力 (Ss-1, EW方向)

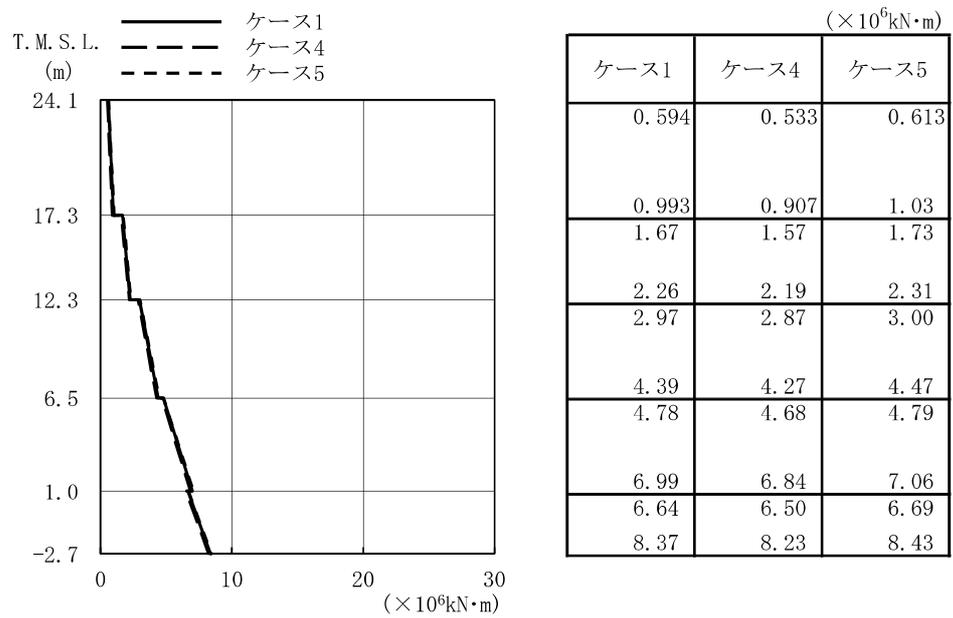


図4-39 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW方向)

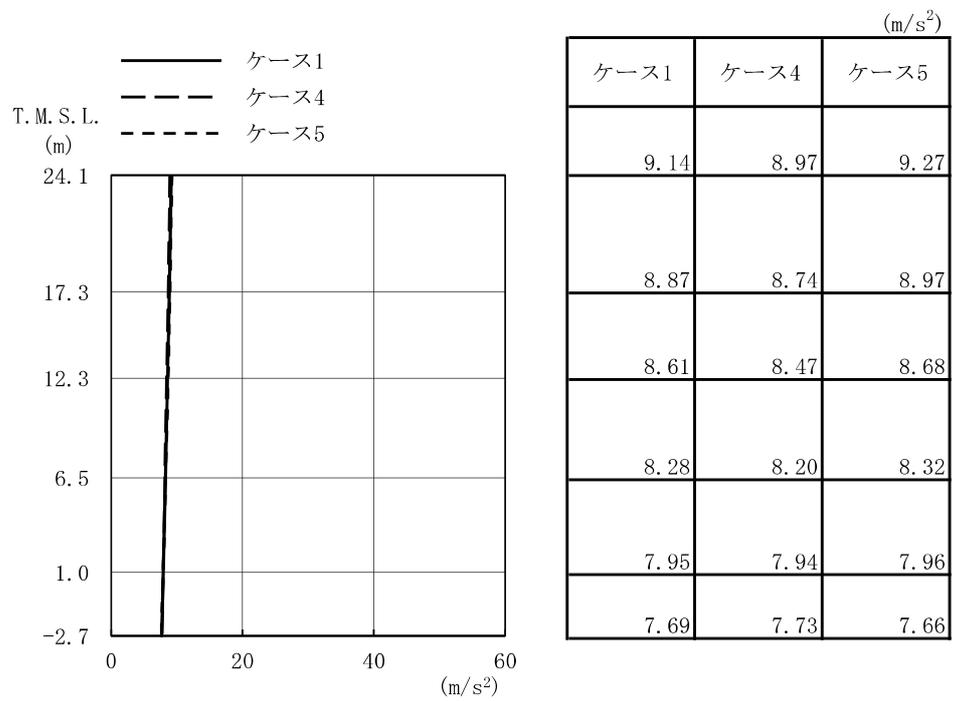


図4-40 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

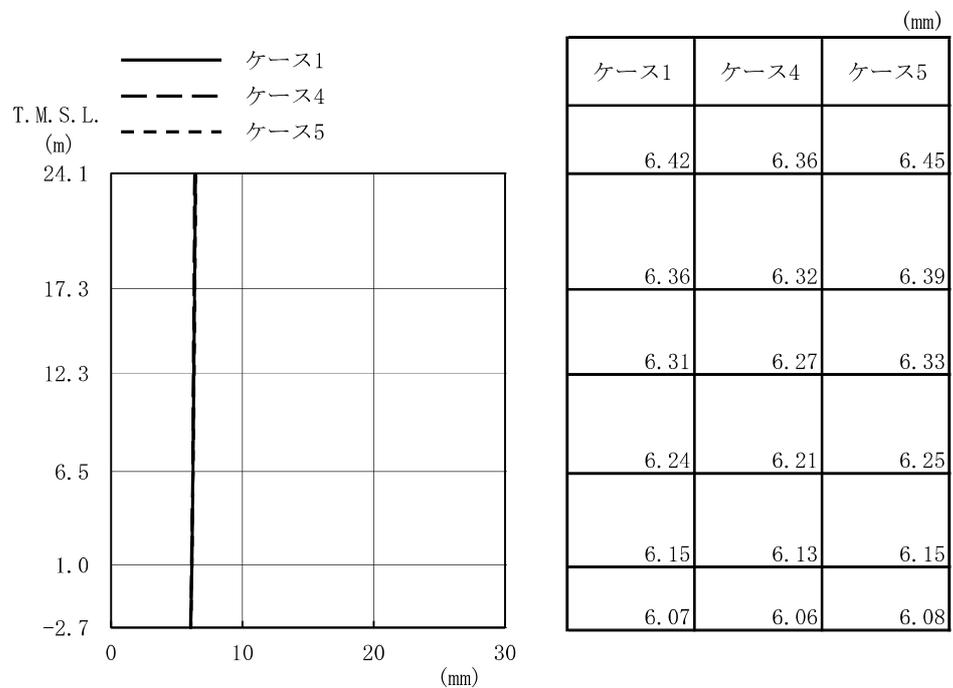


図4-41 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

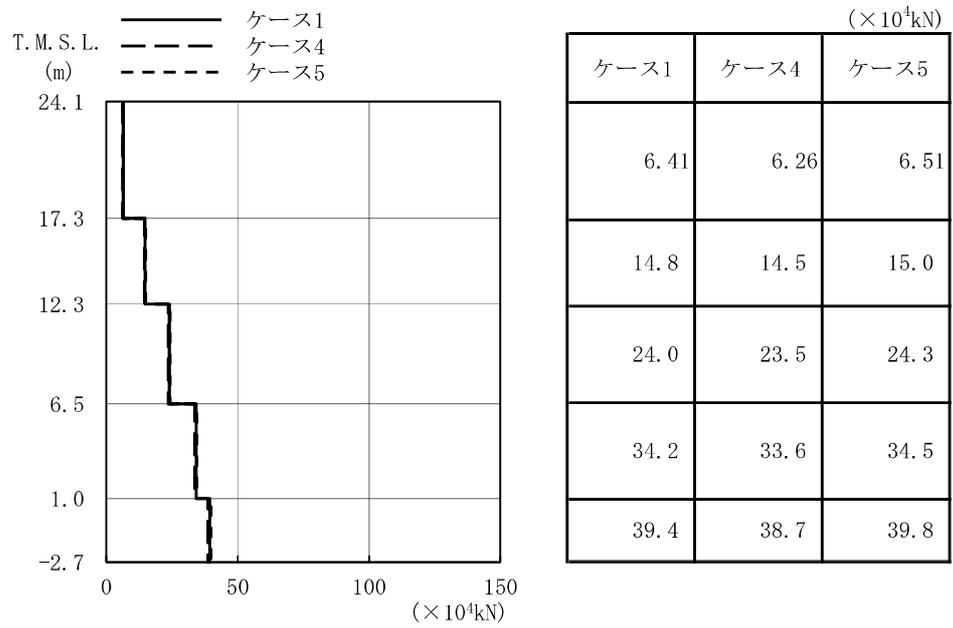


図4-42 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

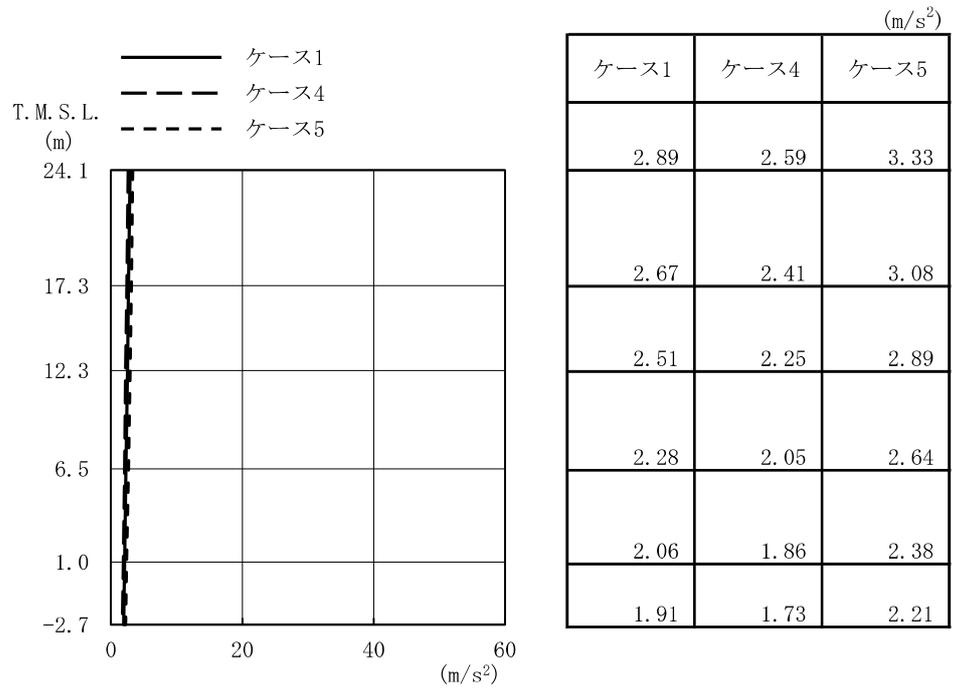


図4-43 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

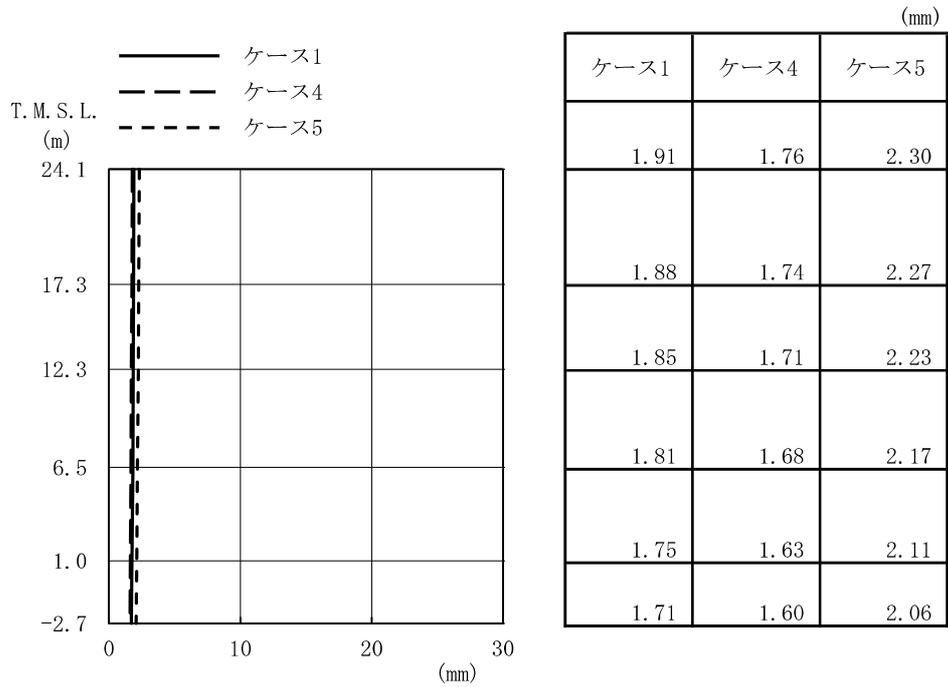


図4-44 最大応答変位 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

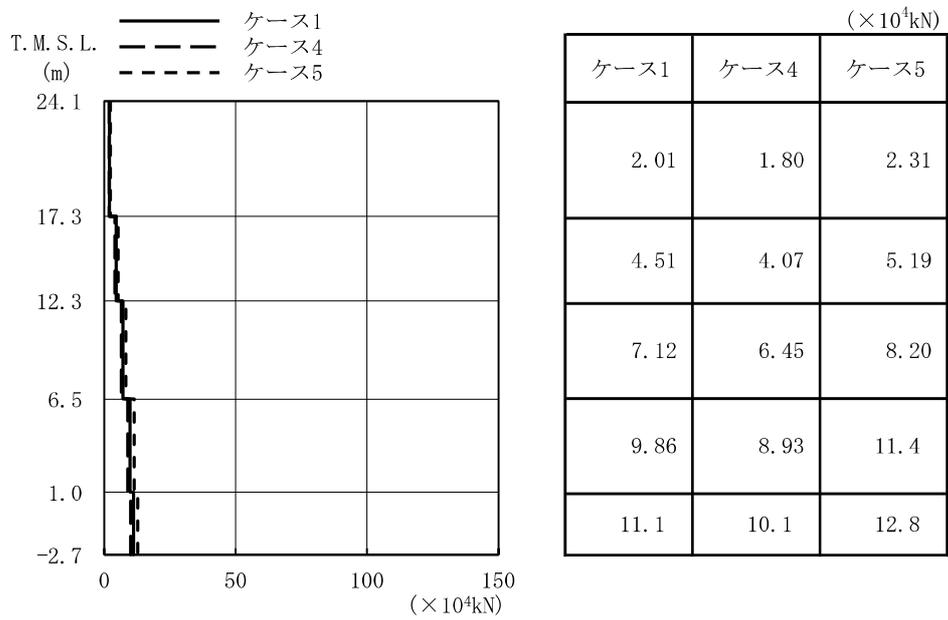


図4-45 最大応答軸力 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

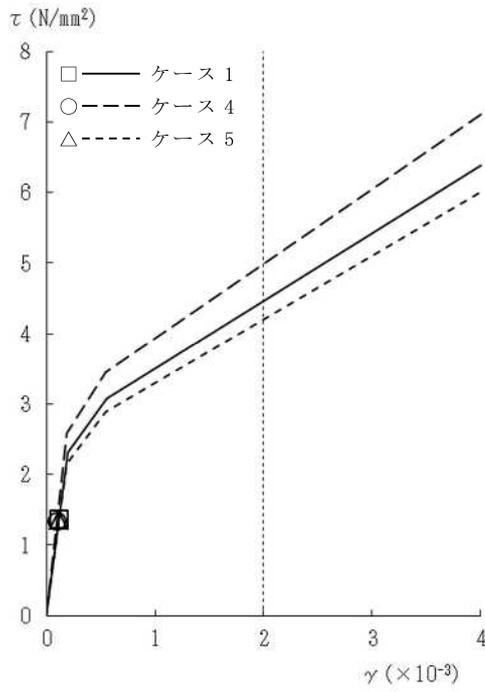


図4-46  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, 2F) (1/5)

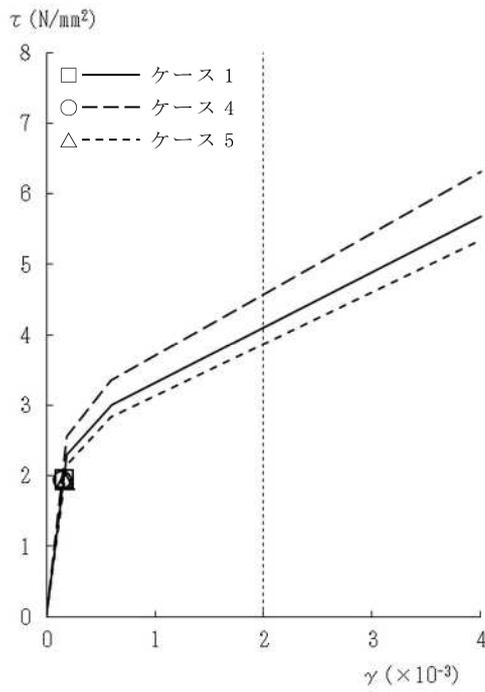


図4-46  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, 1F) (2/5)

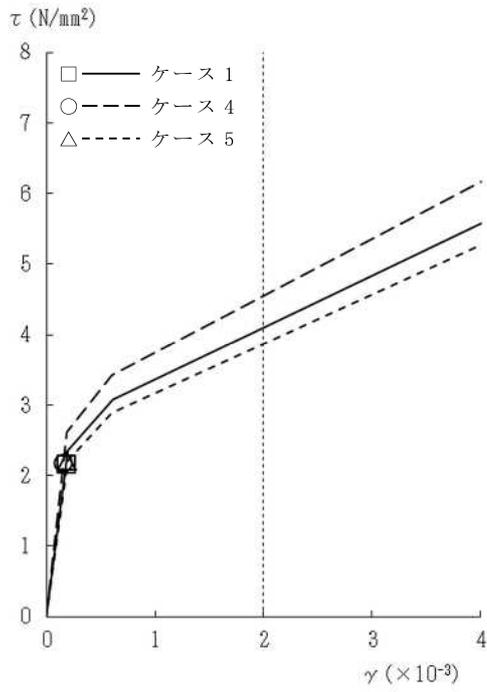


図4-46  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, B1F) (3/5)

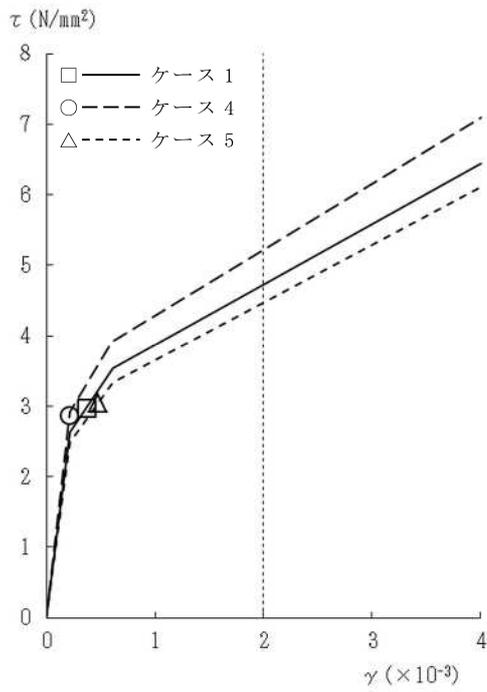


図4-46  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, MB2F) (4/5)

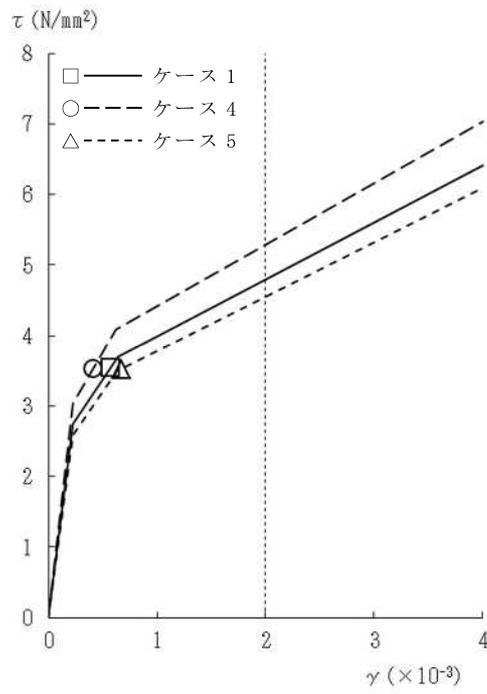


図4-46 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, B2F) (5/5)

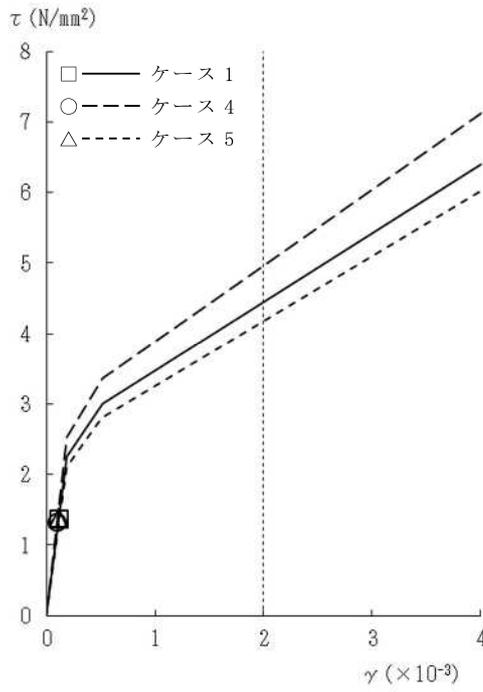


図4-47  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, 2F) (1/5)

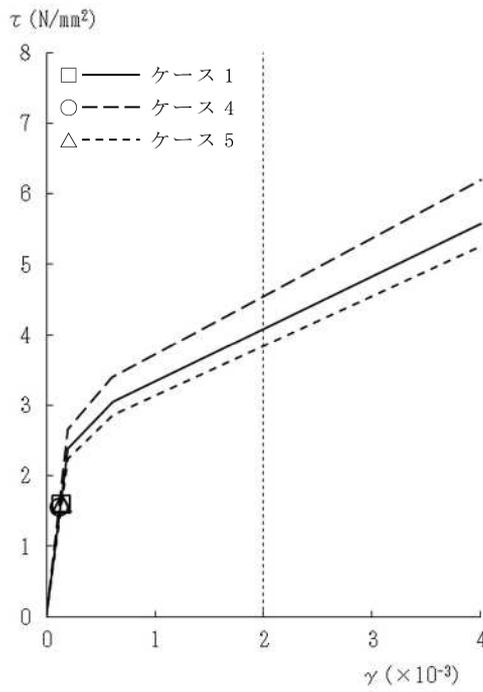


図4-47  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, 1F) (2/5)

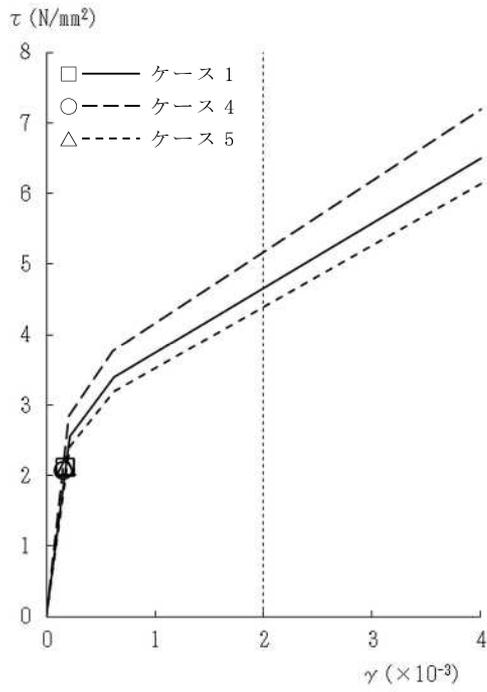


図4-47  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, B1F) (3/5)

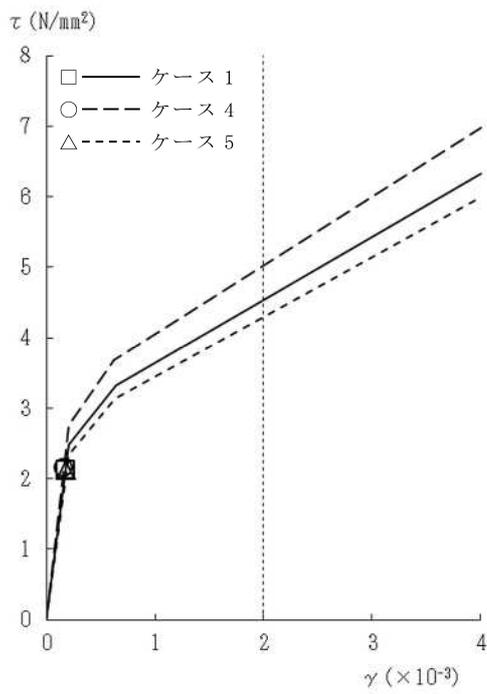


図4-47  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, MB2F) (4/5)

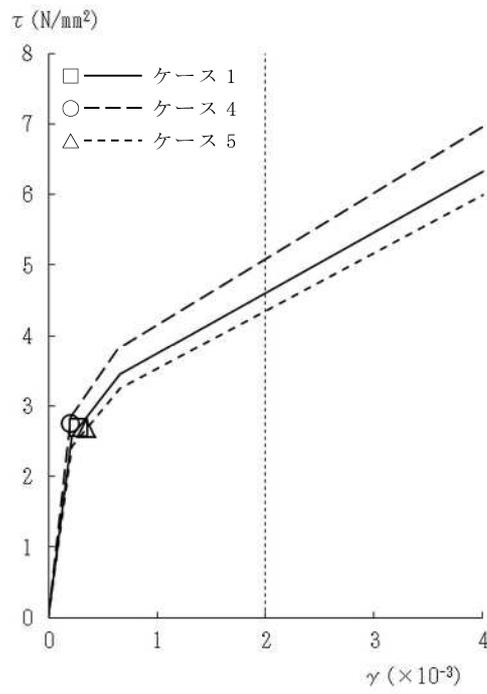


図4-47 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, B2F) (5/5)

表 4-8 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1350	8.69	55.4

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	808	9.44	76.8

表 4-9 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 4)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1330	8.60	56.4

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	797	9.34	77.6

表 4-10 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 5)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1380	8.83	53.8

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	812	9.49	76.5

#### 4.2.3 側面回転ばねの変動による影響

##### (1) 影響検討方針

表4-1に示した検討ケースのうち、側面回転ばねを変動させたケース（ケース6）の固有値解析及び地震応答解析を実施し、基本ケース（ケース1）の結果と比較する。入力地震動はSs-1とする。側面回転ばねによる回転拘束効果は50%に低減する。なお、建屋剛性及び地盤剛性は基本ケースと同一とする。

##### (2) 固有値解析結果

側面回転ばねを変動させた誘発上下動を考慮しない場合の地震応答解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表4-11、刺激関数図を図4-48～図4-49に示す。表、図中においては基本ケースをケース1、回転ばねを50%に低減したケースをケース6として示す。

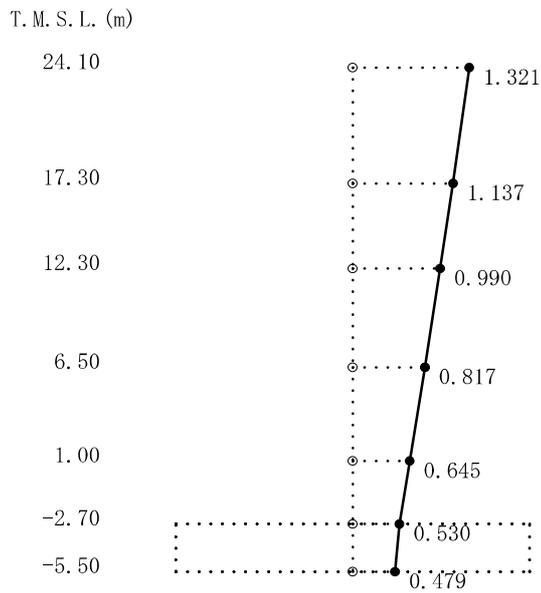
基本ケースに対する側面回転ばねを変動させたモデルの固有振動数の変動幅は、-1%程度である。

表4-11 固有値解析結果（ケース1，ケース6）

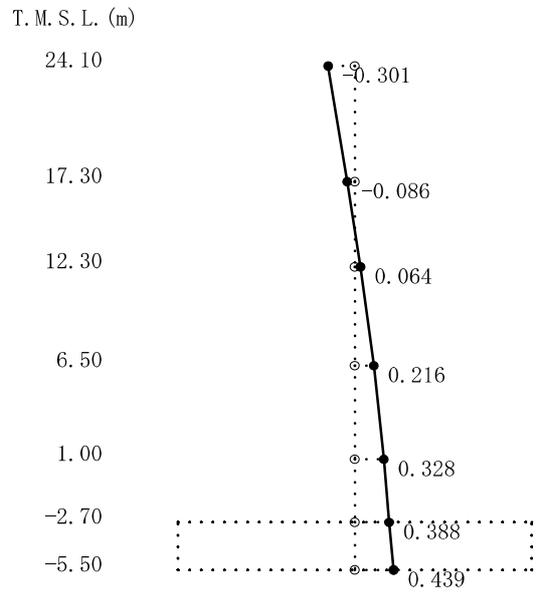
（単位：Hz）

次数	NS方向		EW方向	
	ケース1	ケース6	ケース1	ケース6
1	3.85	3.82 (0.99)	4.08	4.07 (1.00)
2	8.11	8.05 (0.99)	7.86	7.82 (0.99)
3	17.92	17.89 (1.00)	16.97	16.96 (1.00)
4	22.45	22.44 (1.00)	23.81	23.80 (1.00)
5	32.11	32.08 (1.00)	30.82	30.81 (1.00)
6	34.56	34.56 (1.00)	36.36	36.36 (1.00)
7	46.67	46.67 (1.00)	48.82	48.82 (1.00)
8	52.22	52.21 (1.00)	50.81	50.81 (1.00)

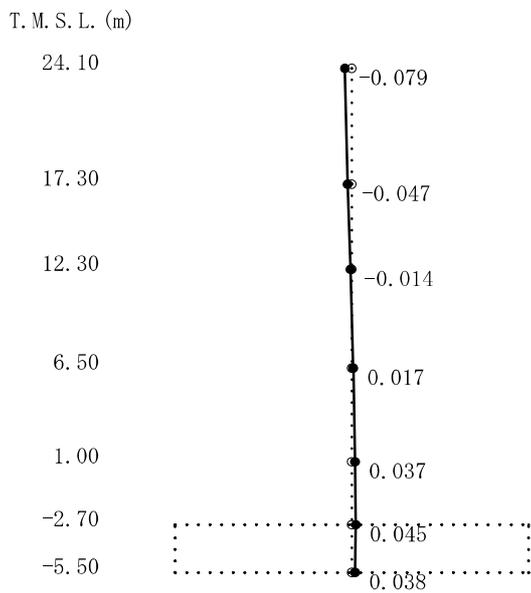
注：（ ）内は，ケース1に対する比率を示す。



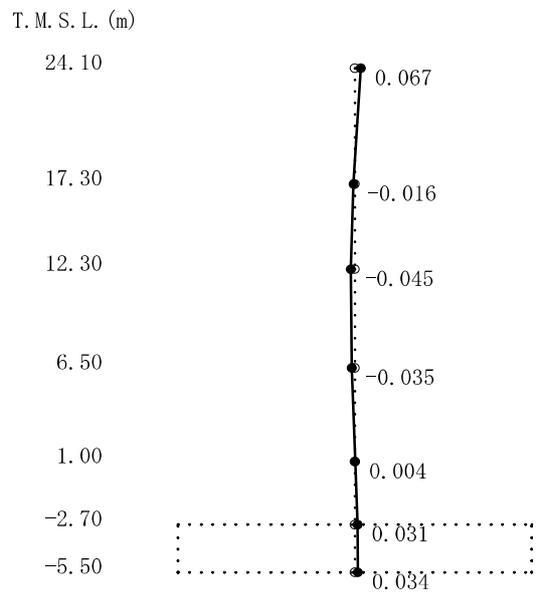
1次



2次



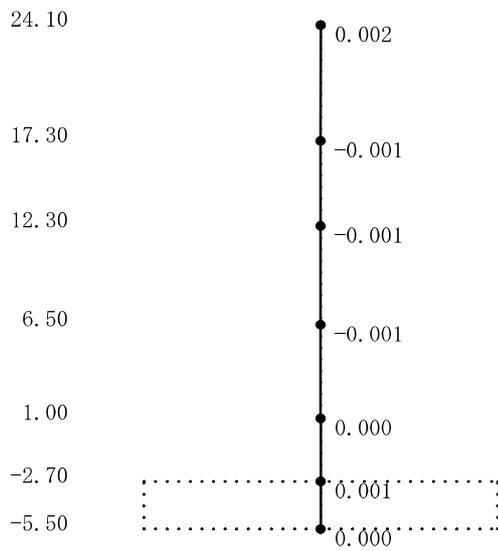
3次



4次

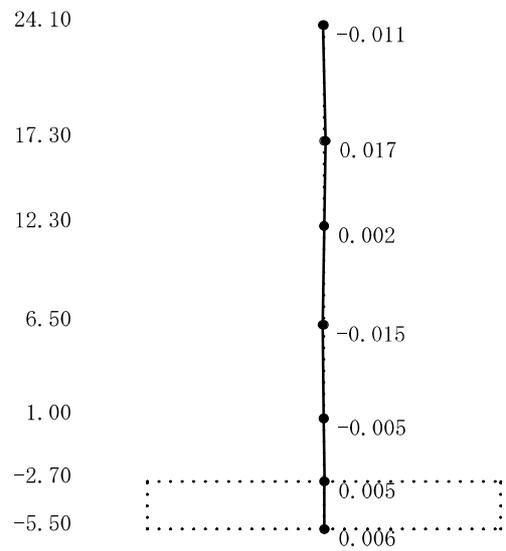
図4-48 刺激関数図 (ケース6)  
(NS方向, Ss-1) (1/2)

T. M. S. L. (m)



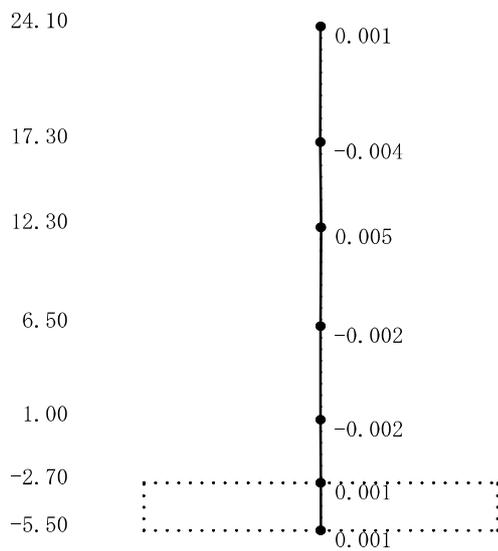
5次

T. M. S. L. (m)



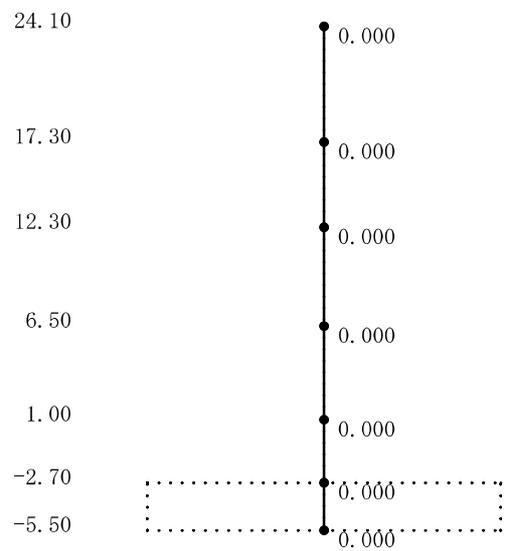
6次

T. M. S. L. (m)



7次

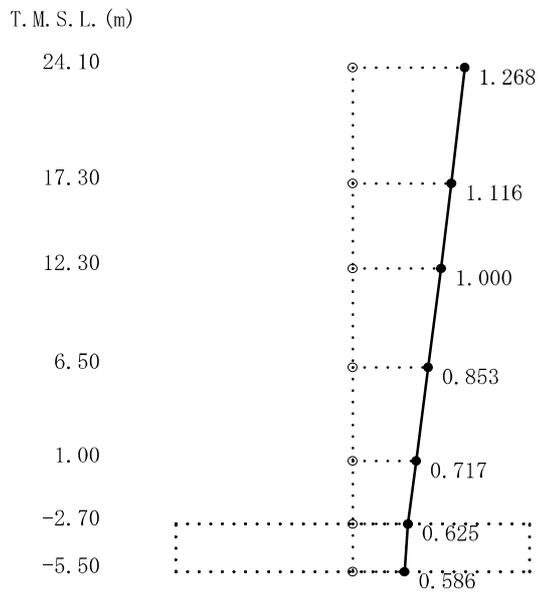
T. M. S. L. (m)



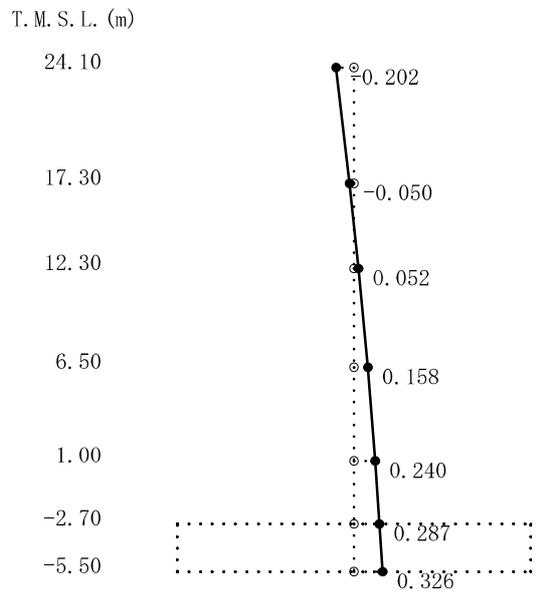
8次

図4-48 刺激関数図 (ケース6)

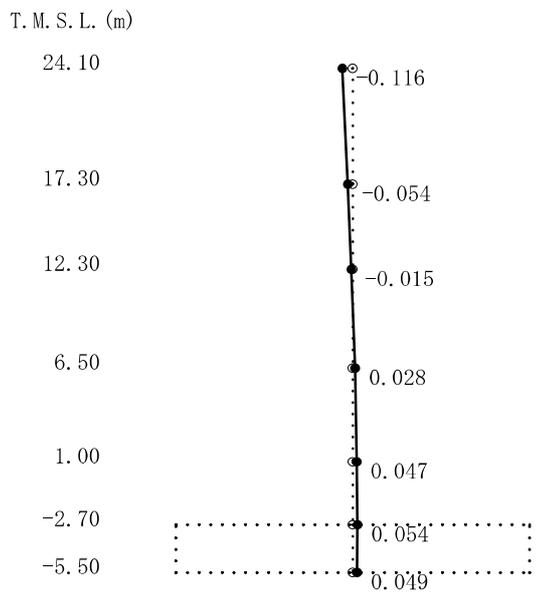
(NS方向, Ss-1) (2/2)



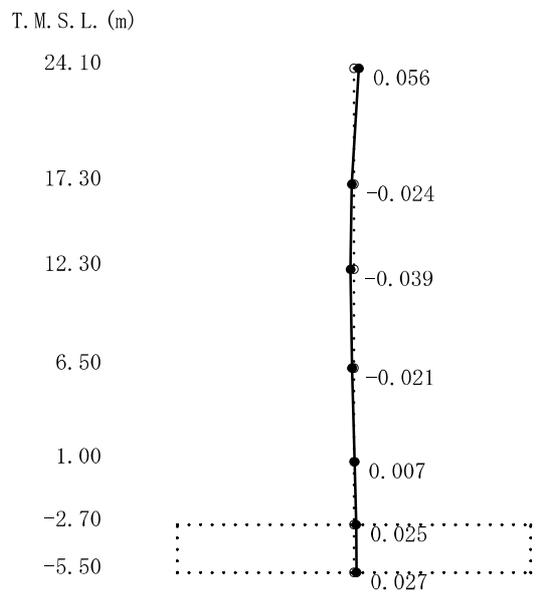
1次



2次

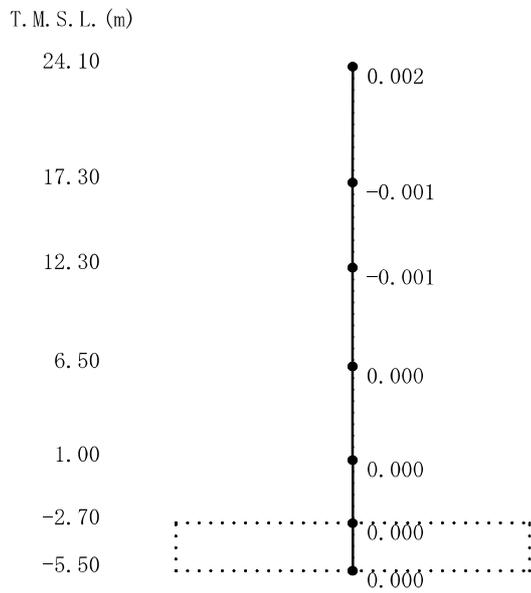


3次

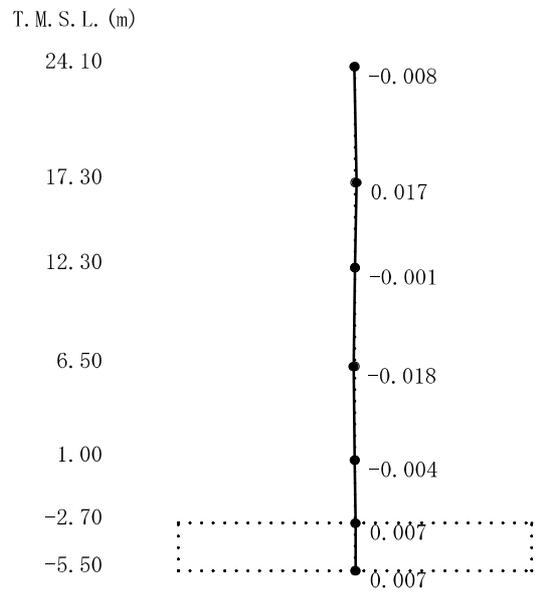


4次

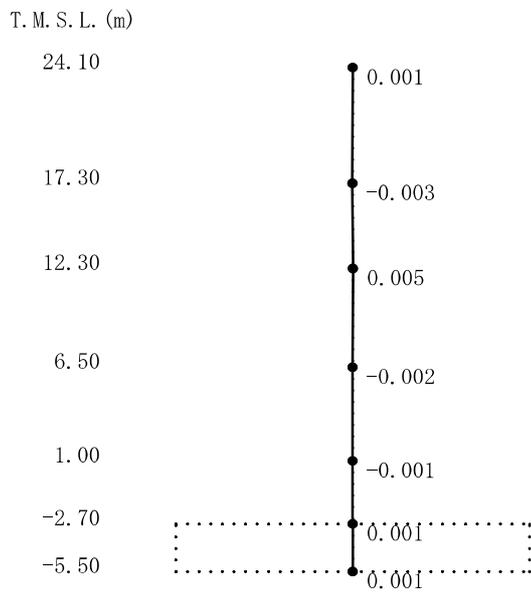
図4-49 刺激関数図 (ケース6)  
(EW方向, Ss-1) (1/2)



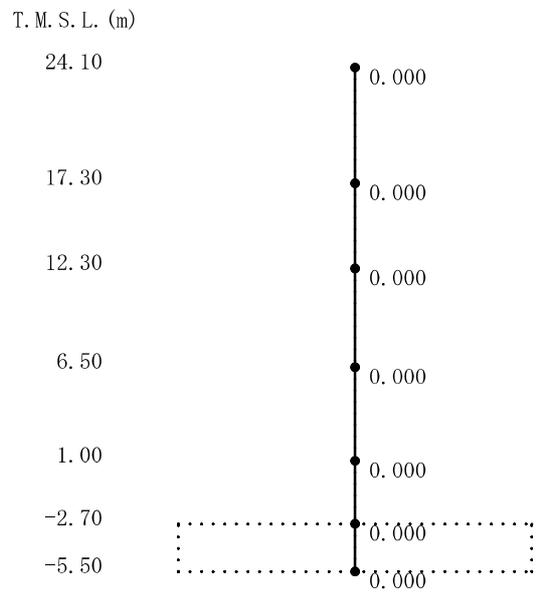
5次



6次



7次



8次

図4-49 刺激関数図 (ケース6)  
(EW方向, Ss-1) (2/2)

(3) 地震応答解析結果

側面回転ばねを変動させた地震応答解析モデルによる地震応答解析結果を基本ケースの結果と比較した。入力地震動はSs-1とする。最大応答値の比較を図4-50～図4-62に示す。

側面回転ばねを変動させたケース6では、最大応答加速度、最大応答変位、最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント、最大せん断ひずみはおおむね同等であることを確認した。

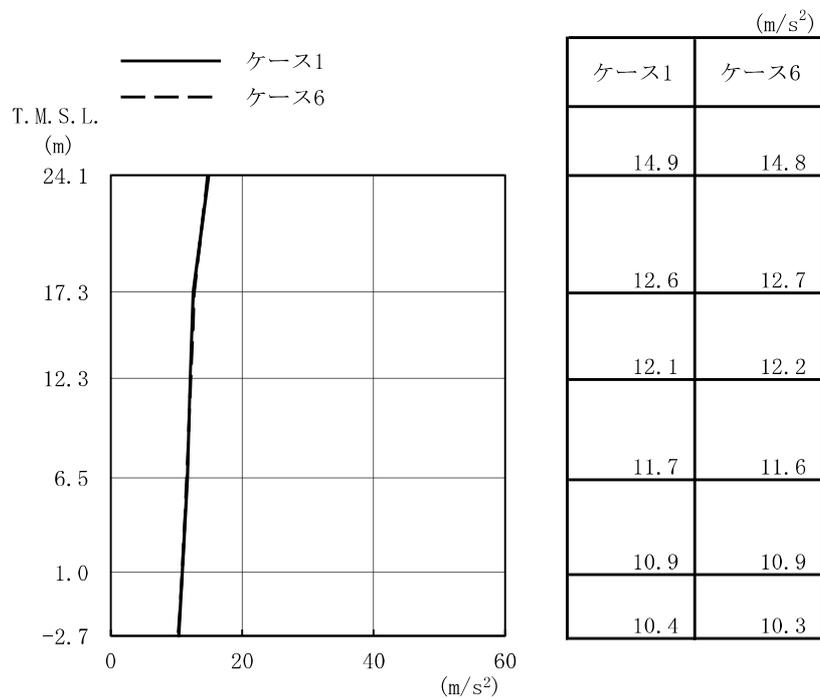


図4-50 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

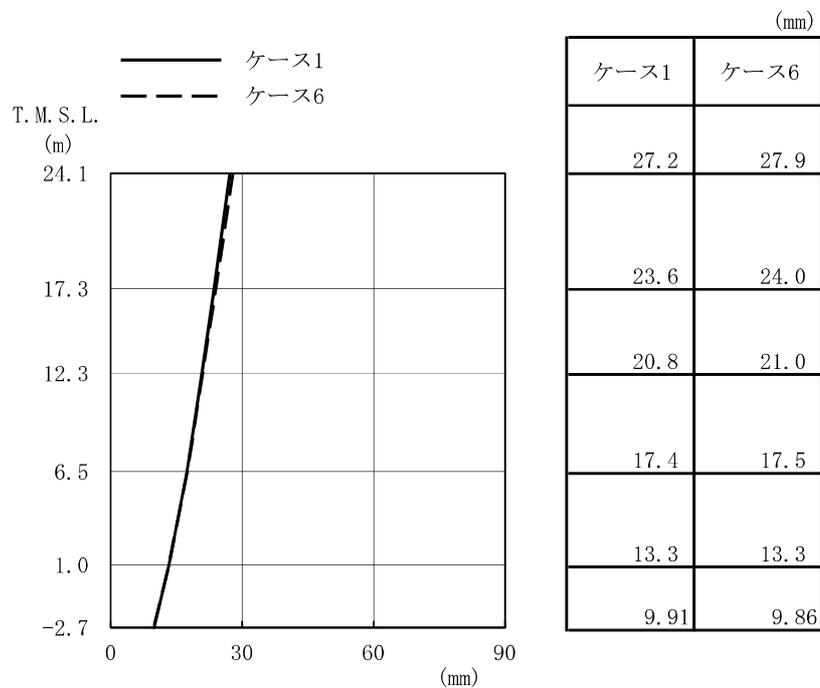


図4-51 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

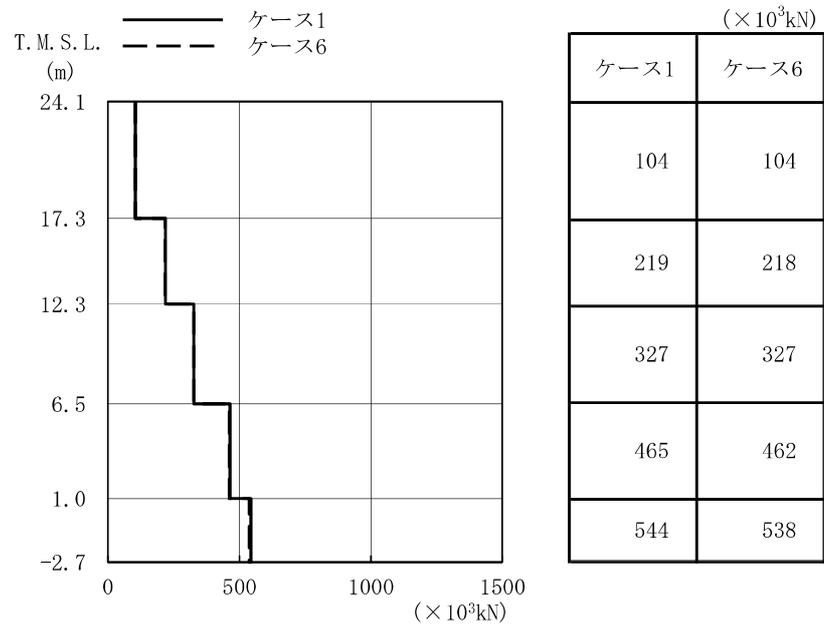


図4-52 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

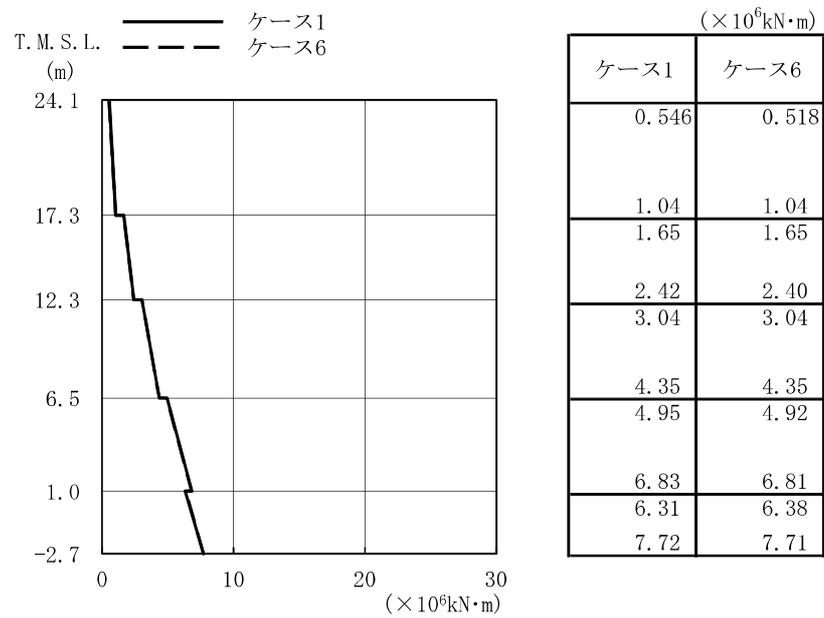


図4-53 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

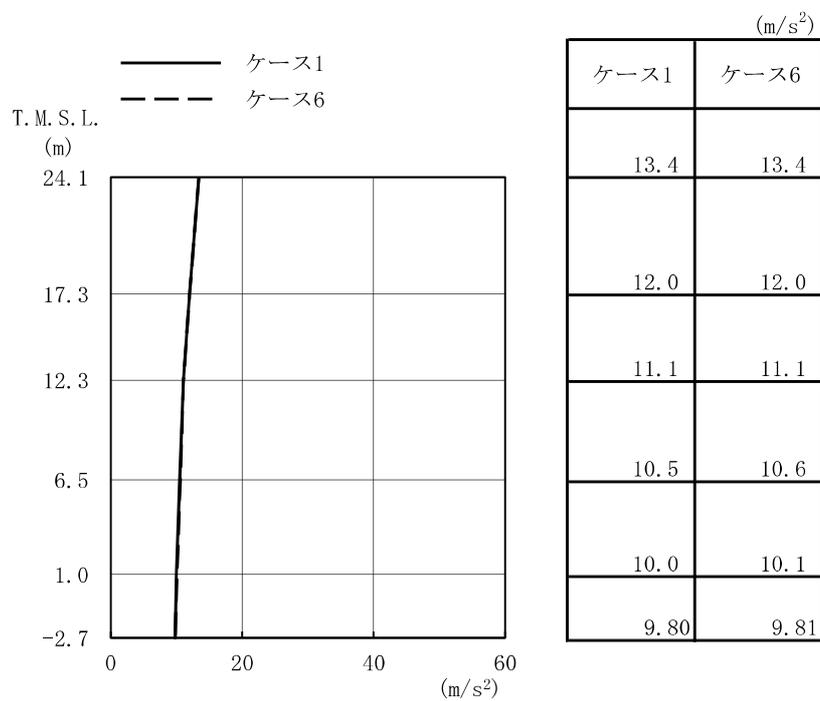


図4-54 最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

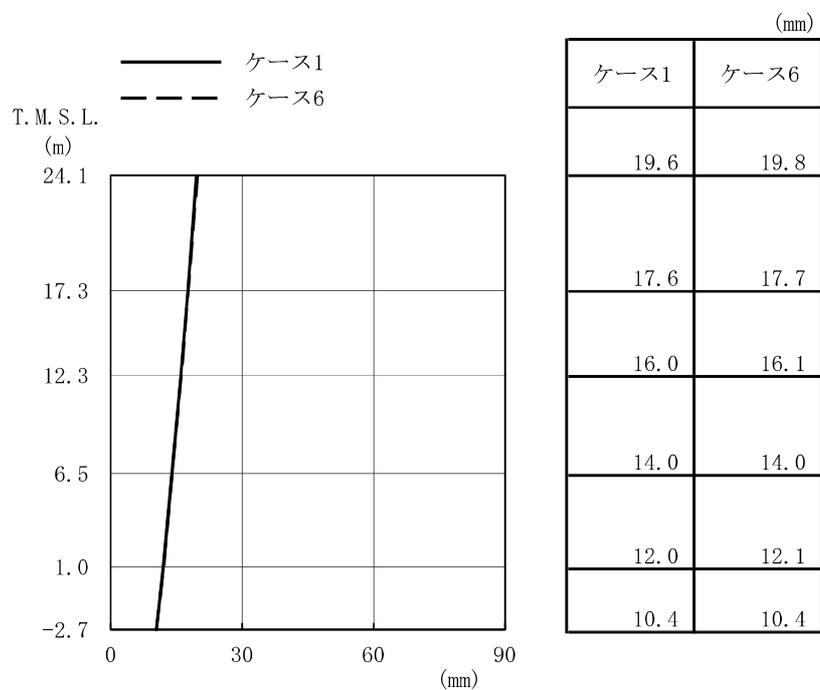


図4-55 最大応答変位 (Ss-1, EW方向)

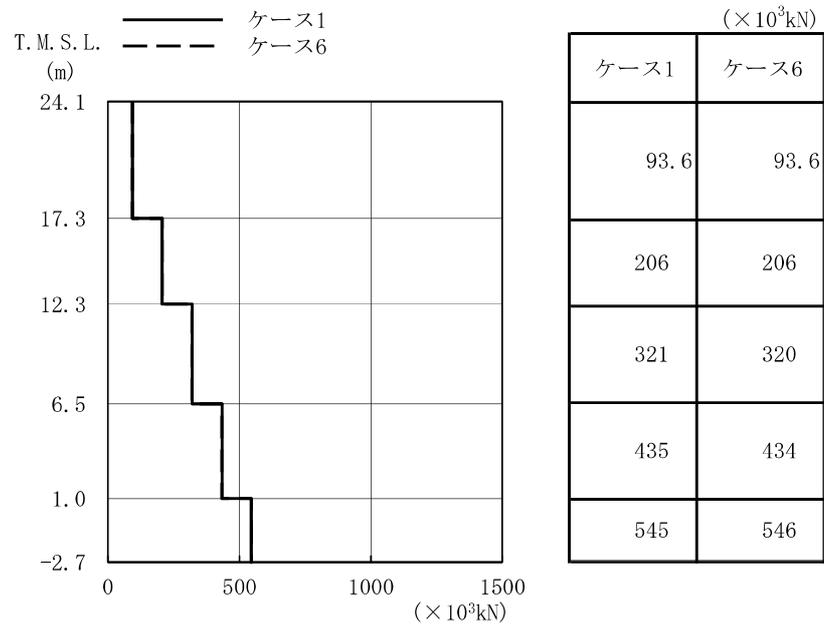


図4-56 最大応答せん断力 (Ss-1, EW方向)

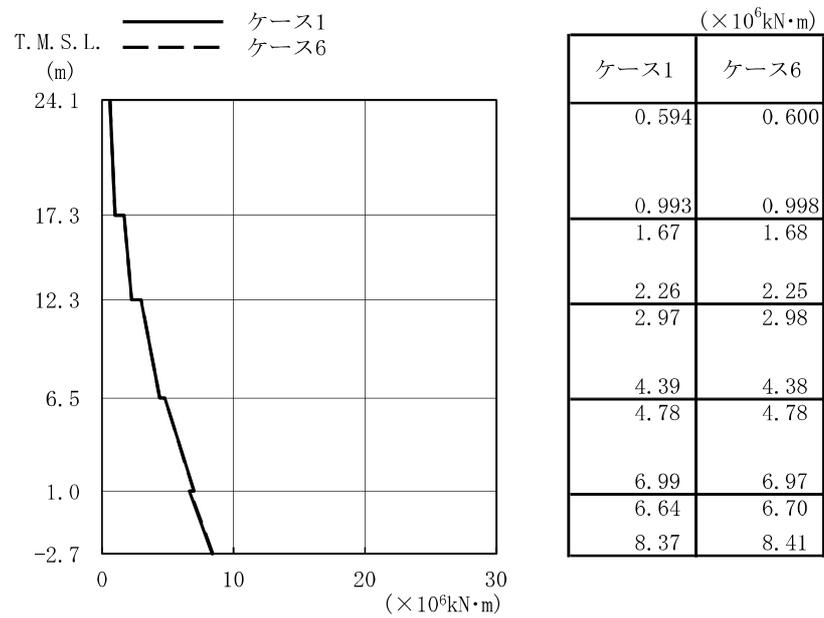


図4-57 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW方向)

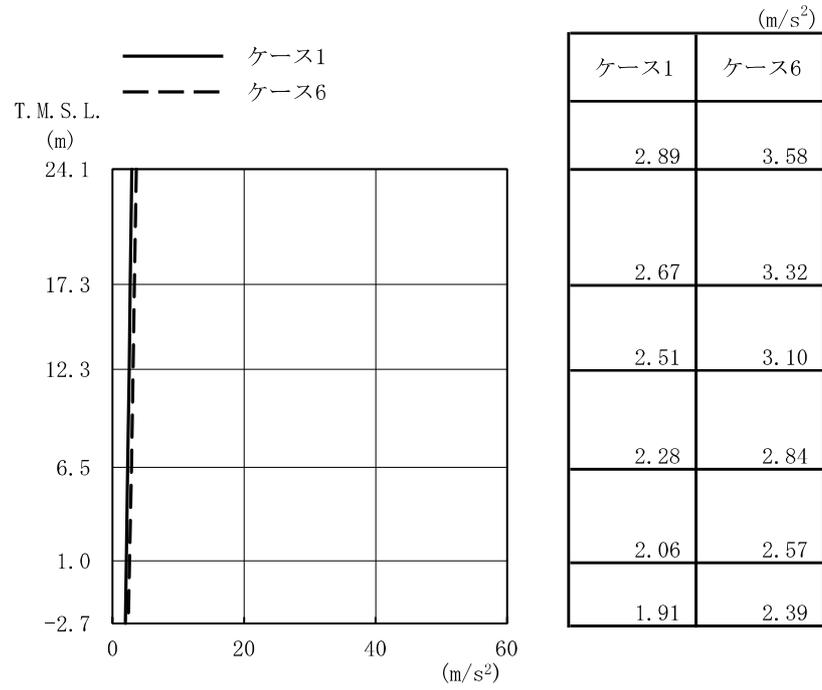


図4-58 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

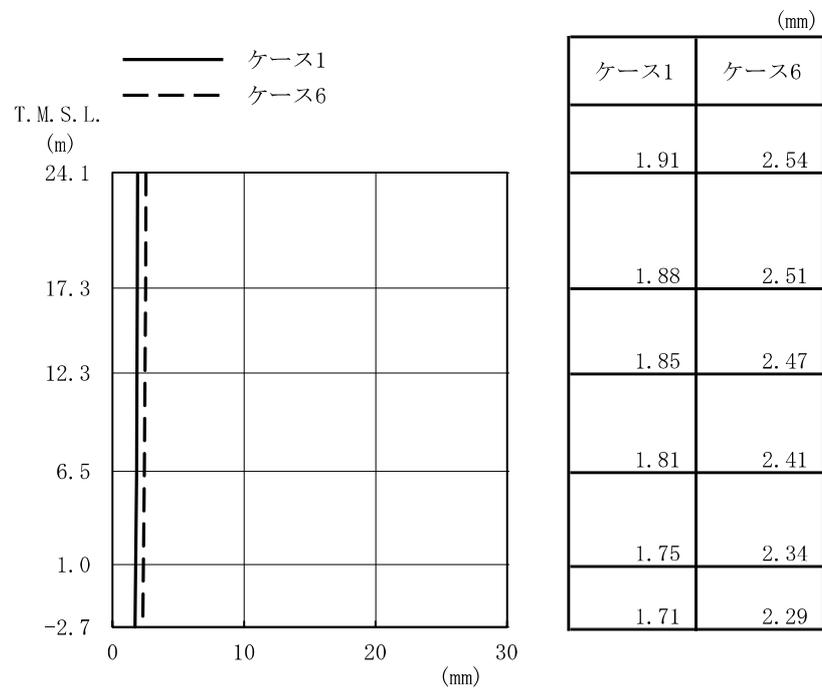


図4-59 最大応答変位 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

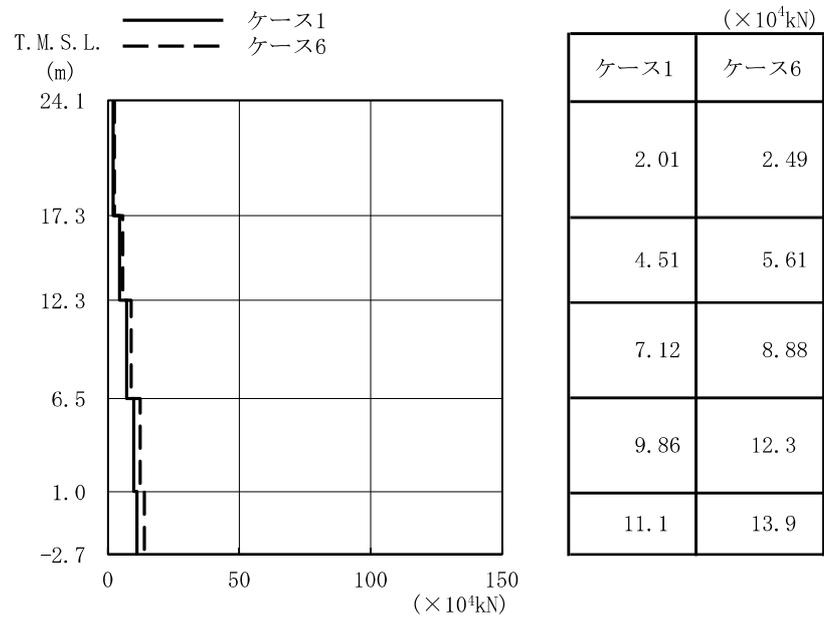


図4-60 最大応答軸力 (Ss-1, NS方向, 誘発上下動)

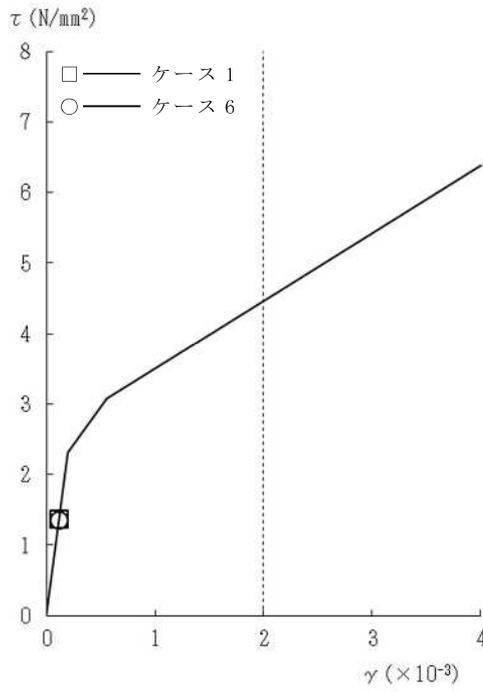


図4-61  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, 2F) (1/5)

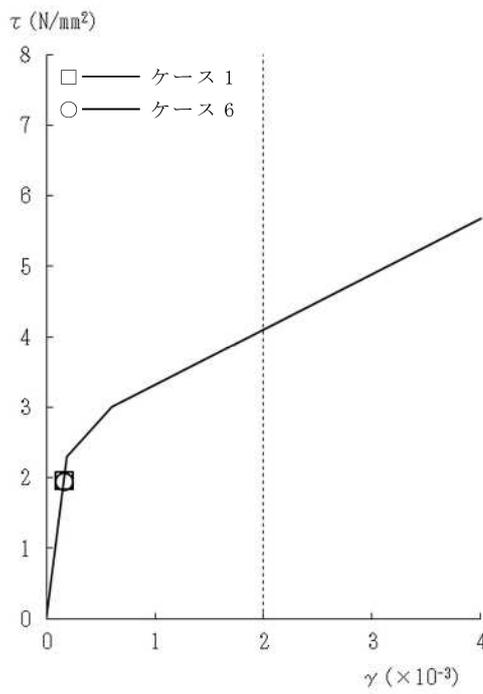


図4-61  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, 1F) (2/5)

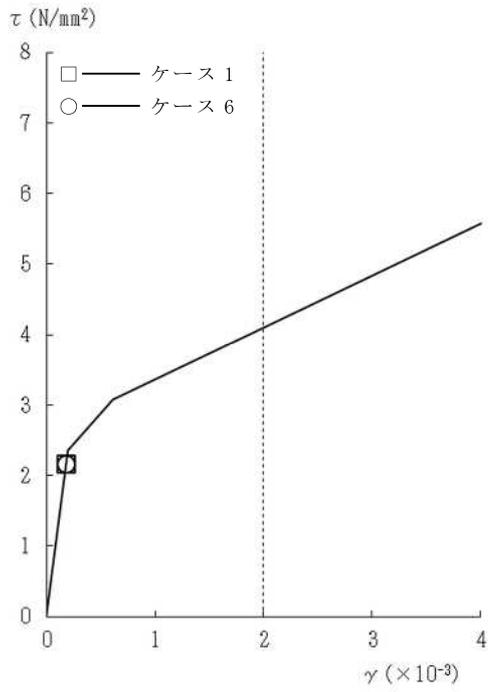


図4-61  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, B1F) (3/5)

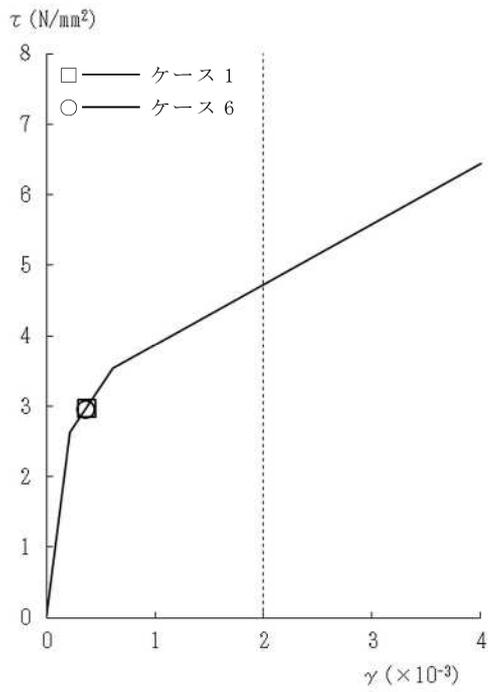


図4-61  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, MB2F) (4/5)

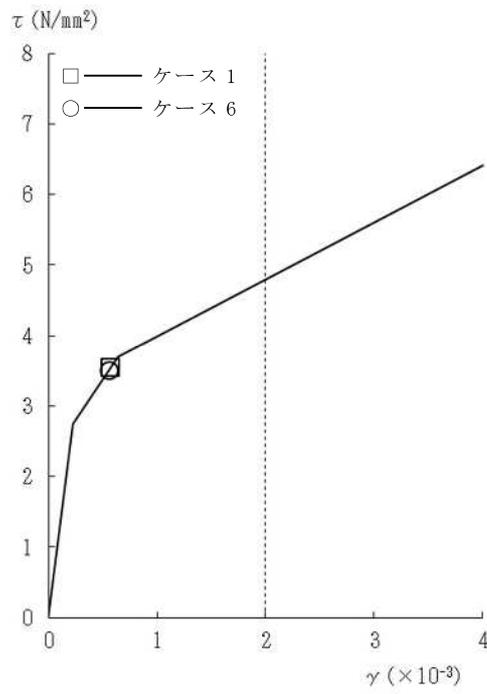


図4-61  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向, B2F) (5/5)

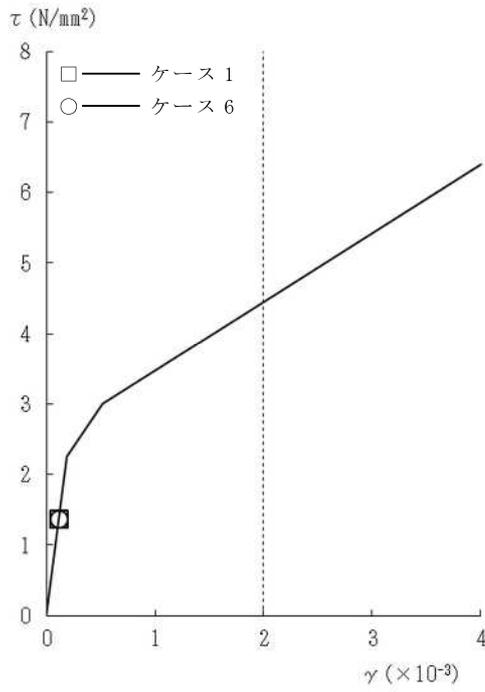


図4-62  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, 2F) (1/5)

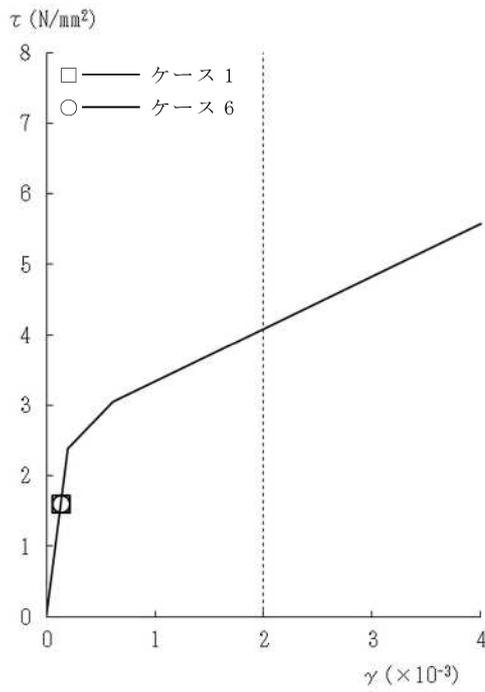


図4-62  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, 1F) (2/5)

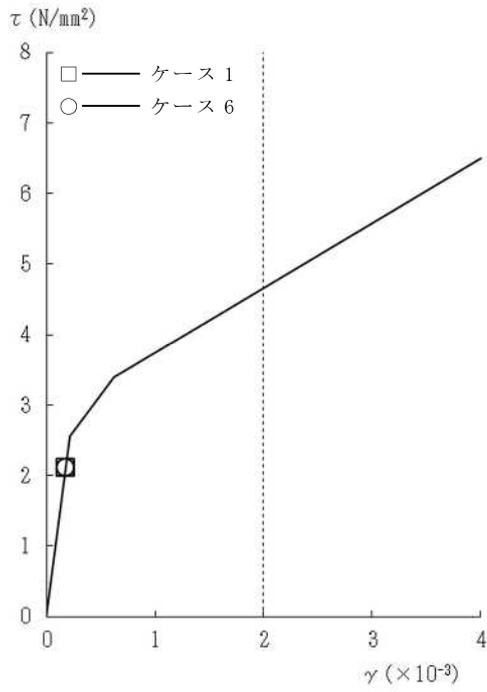


図4-62  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, B1F) (3/5)

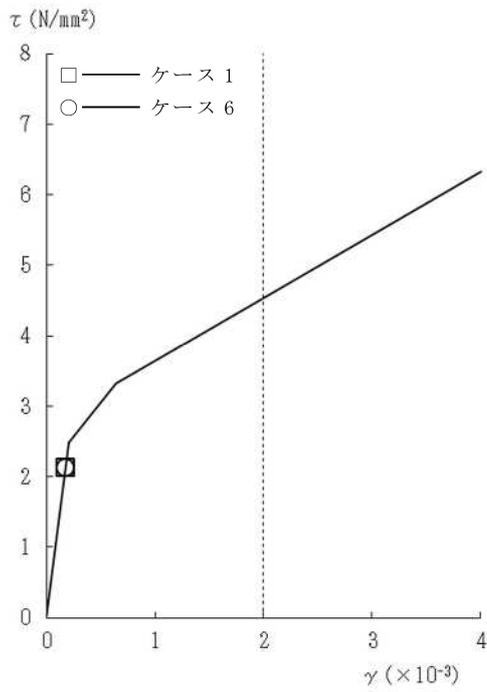


図4-62  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, MB2F) (4/5)

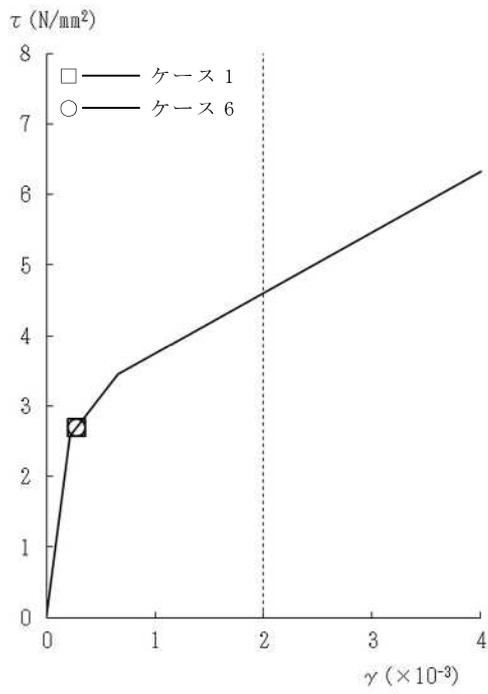


図4-62  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向, B2F) (5/5)

表 4-12 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1350	8.69	55.4

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	808	9.44	76.8

表 4-13 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 6)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1410	8.94	52.7

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	817	9.56	75.9

#### 4.3 まとめ

建屋剛性及び地盤剛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。

- 建屋剛性及び地盤剛性の不確かさ
  - ・発生応力は基本ケースとおおむね同等である。
  - ・建屋剛性及び地盤剛性を大きくなる側（実強度 $+\sigma$ ，地盤剛性 $+\sigma$ ）に変動させたケースの変位は基本ケースより小さく，小さくなる側（実強度 $-\sigma$ ，地盤剛性 $-\sigma$ ）に変動させたケースの変位は基本ケースより大きい。
  
- 建屋剛性の不確かさ
  - ・発生応力，変位は基本ケースとおおむね同等である。
  - ・NS方向については建屋剛性を大きくなる側（コア強度平均）に変動させたケースの変位は基本ケースより小さく，小さくなる側（実強度 $-2\sigma$ ）に変動させたケースの変位は基本ケースより大きい。
  
- 側面回転ばねの不確かさ
  - ・発生応力，変位は基本ケースとおおむね同等である。

地震応答解析結果の傾向については、以下の理由により発生したと考えられる。

建屋剛性及び地盤剛性の不確かさを考慮したケースについては、発生応力は変動があるもののおおむね同等であり、建屋－地盤連成モデルの剛性が変化するため、変位は変動する。建屋剛性及び地盤剛性が大きくなる側に変動する場合は、モデル剛性の増加に伴い変位は小さくなり、小さくなる側に変動する場合は、モデル剛性の減少に伴い変位は大きくなったと考えられる。

5. 機器・配管系評価への影響

材料物性の不確かさは、設計用床応答曲線等において、表4-1に示す全ての検討ケースの地震応答解析の結果を包絡させることにより考慮している。

別紙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

## 目 次

1. 概要 ..... 別紙3-1-1
2. 選定方法 ..... 別紙3-1-1
3. 地震動の選定 ..... 別紙3-1-3
4. 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動 ..... 別紙3-1-28

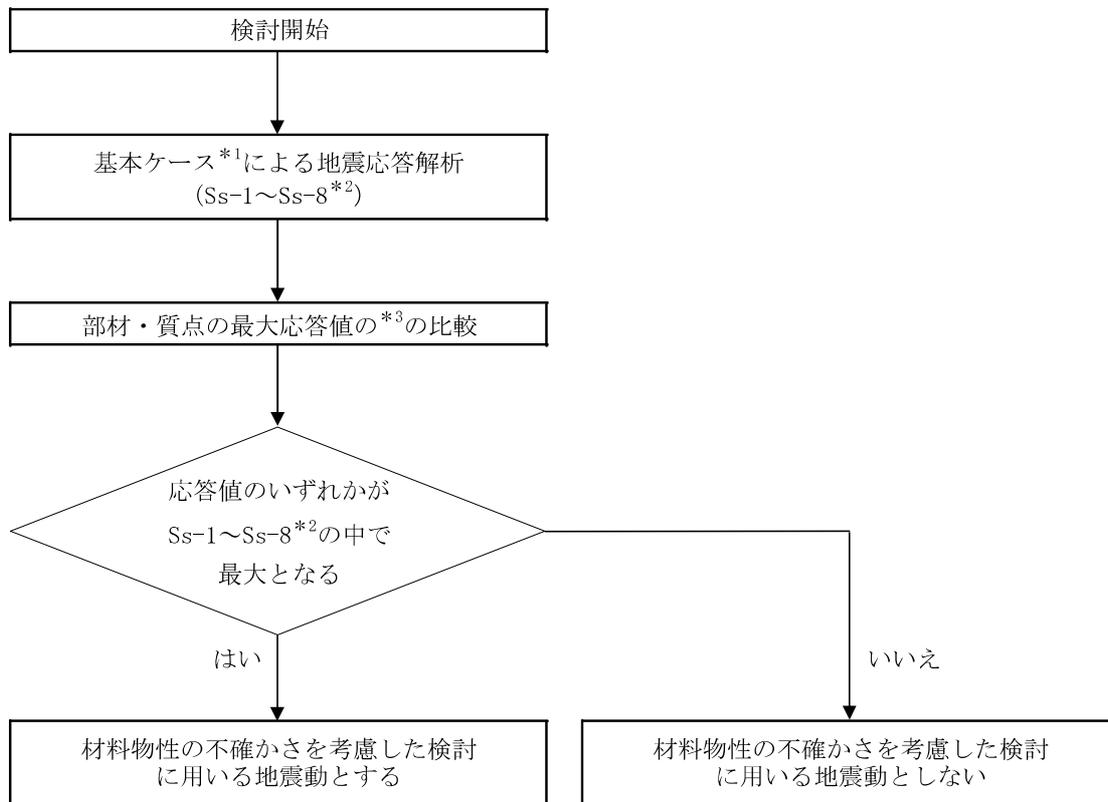
## 1. 概要

材料物性の不確かさの考慮に当たっては、建屋及び地震動（基準地震動  $S_s$  又は弾性設計用地震動  $S_d$ ）ごとの基本ケースにおける建屋応答を確認したうえで、建屋応答への影響の大きい波に対して検討を実施する。本資料では、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方法及び地震動の選定結果について説明する。

## 2. 選定方法

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方法を以下に示す。また、選定方法のフローを図2-1に示す。

- ① 基本ケース（コンクリート強度：実強度（ $43.1\text{N/mm}^2$ ），地盤のせん断波速度：標準地盤，側面回転ばね定数：100%考慮）による地震応答解析を行う。
- ② 地震応答解析結果より，部材及び質点の最大応答値の比較を行う。ここで用いる応答値は，基準地震動  $S_s$  については，加速度，変位，せん断力，曲げモーメント，軸力及びせん断ひずみとし，弾性設計用地震動  $S_d$  については，加速度，変位，せん断力，曲げモーメント及び軸力とする。
- ③ 応答値のいずれかが基準地震動  $S_s$  あるいは弾性設計用地震動  $S_d$  の中で最大となる波を，材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動とする。



- 注記\*1： コンクリート強度：実強度，地盤のせん断波速度：標準地盤，側面回転ばね定数：100%考慮，RC造部の減衰定数：5%  
 \*2： 弾性設計用地震動 S d による不確かさ検討に用いる地震動の選定の際は，「Ss-1~Ss-8」を「Sd-1~Sd-8」に読み替える。  
 \*3： 応答値は，基準地震動 S s については，加速度，変位，せん断力，曲げモーメント，軸力及びせん断ひずみとし，弾性設計用地震動 S d については，加速度，変位，せん断力，曲げモーメント及び軸力とする。

図 2-1 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法のフロー

### 3. 地震動の選定

コントロール建屋の基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震動の選定を以下に示す。コントロール建屋の基準地震動  $S_s$  に対する応答を表3-1～表3-13に、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する応答を表3-14～表3-24に示す。

「2. 選定方法」に基づき確認した結果、 $S_s$ -1及び $S_s$ -2については、応答値のいずれかが $S_s$ -1～ $S_s$ -8の中で最大となること、 $S_d$ -1及び $S_d$ -2については、応答値のいずれかが $S_d$ -1～ $S_d$ -8の中で最大となることから、不確かさ検討に用いる地震動とする。

表 3-1 最大応答加速度一覧表（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向）

部位	質点番号	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐震壁	1	14.9	14.1	10.3	6.47	5.94	7.01	5.66	9.86	14.9
	2	12.6	12.4	9.32	5.80	5.08	6.25	4.89	8.95	12.6
	3	12.1	10.4	8.55	5.27	4.49	5.65	4.36	8.47	12.1
	4	11.7	8.35	7.71	4.68	3.93	4.96	3.83	7.90	11.7
	5	10.9	6.18	6.93	4.12	3.57	4.29	3.44	7.25	10.9
基礎 上端		10.4	4.93	6.53	3.72	3.25	3.87	3.13	6.82	10.4

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-2 最大応答変位一覧表 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐震壁	1	27.2	17.7	16.1	11.3	9.32	12.0	9.02	19.0	27.2
	2	23.6	14.7	13.8	9.81	8.04	10.4	7.80	16.7	23.6
	3	20.8	12.4	11.9	8.65	7.02	9.17	6.82	14.8	20.8
	4	17.4	9.72	10.2	7.28	5.83	7.68	5.67	12.6	17.4
	5	13.3	7.51	8.51	5.88	4.64	6.17	4.52	10.2	13.3
基礎 上端		9.91	6.11	7.19	4.86	3.82	5.08	3.71	8.55	9.91

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-3 最大応答せん断力一覧表 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力 ( $\times 10^3\text{kN}$ )								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐 震 壁	1	104	99.2	71.6	45.1	41.4	48.8	39.5	68.7	104
	2	219	216	159	99.7	89.1	108	85.2	153	219
	3	327	326	250	155	136	167	131	241	327
	4	465	414	344	213	182	228	176	336	465
	5	544	397	379	265	218	277	210	418	544

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-4 最大応答曲げモーメント一覧表 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐 震 壁	1	1.04	0.988	0.603	0.390	0.395	0.426	0.377	0.536	1.04
	2	2.42	2.44	1.53	0.999	0.983	1.09	0.947	1.38	2.44
	3	4.35	4.70	3.08	2.03	1.93	2.21	1.87	2.84	4.70
	4	6.83	7.21	5.09	3.34	3.08	3.63	3.00	4.82	7.21
	5	7.72	7.56	5.99	4.10	3.65	4.40	3.48	5.88	7.72

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-5 最大応答せん断ひずみ一覧表（基準地震動  $S_s$ , NS 方向）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐 震 壁	1	0.114	0.108	0.0779	0.0490	0.0450	0.0531	0.0429	0.0747	0.114
	2	0.163	0.161	0.119	0.0741	0.0663	0.0801	0.0633	0.114	0.163
	3	0.180	0.179	0.138	0.0854	0.0747	0.0920	0.0719	0.133	0.180
	4	0.368	0.225	0.183	0.113	0.0967	0.122	0.0936	0.179	0.368
	5	0.573	0.216	0.206	0.144	0.119	0.151	0.114	0.227	0.573

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-6 最大応答加速度一覧表 (基準地震動  $S_s$ , EW 方向)

部位	質点番号	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐震壁	1	13.4	11.1	9.99	7.57	9.23	7.83	9.90	9.15	13.4
	2	12.0	9.30	9.24	6.79	7.90	7.05	9.14	8.52	12.0
	3	11.1	8.26	8.66	6.25	7.55	6.49	8.55	8.12	11.1
	4	10.5	8.06	7.93	5.59	7.08	5.81	7.81	7.60	10.5
	5	10.0	7.93	7.32	5.19	6.66	5.41	7.23	7.12	10.0
基礎 上端		9.80	7.77	6.95	4.97	6.34	5.15	6.76	6.85	9.80

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-7 最大応答変位一覧表 (基準地震動  $S_s$ , EW 方向)

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐震壁	1	19.6	16.2	13.4	10.7	13.8	11.1	15.1	15.4	19.6
	2	17.6	14.7	11.8	9.53	12.4	9.92	13.5	13.9	17.6
	3	16.0	13.6	10.5	8.64	11.3	8.99	12.2	12.7	16.0
	4	14.0	12.1	9.29	7.50	9.88	8.01	10.6	11.1	14.0
	5	12.0	10.7	8.15	6.71	8.54	7.18	9.12	9.68	12.0
基礎 上端		10.4	9.50	7.25	6.01	7.51	6.44	7.98	8.57	10.4

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-8 最大応答せん断力一覧表 (基準地震動  $S_s$ , EW 方向)

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力 ( $\times 10^3\text{kN}$ )								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐 震 壁	1	93.6	77.3	69.7	52.8	64.6	54.6	69.0	63.7	93.6
	2	206	164	157	117	139	121	155	144	206
	3	321	250	248	182	212	189	246	230	321
	4	435	332	345	249	299	259	341	323	435
	5	545	461	394	329	398	346	438	415	545

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-9 最大応答曲げモーメント一覧表 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐 震 壁	1	0.993	0.965	0.638	0.613	0.775	0.652	0.823	0.563	0.993
	2	2.26	2.30	1.63	1.48	1.89	1.57	1.99	1.45	2.30
	3	4.39	4.17	3.28	2.71	3.53	2.89	3.68	2.95	4.39
	4	6.99	6.34	5.39	4.14	5.47	4.44	5.67	4.90	6.99
	5	8.37	7.49	6.63	5.12	6.32	5.29	6.66	6.21	8.37

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-10 最大応答せん断ひずみ一覧表（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐 震 壁	1	0.114	0.0936	0.0843	0.0639	0.0781	0.0661	0.0835	0.0771	0.114
	2	0.133	0.106	0.101	0.0749	0.0890	0.0776	0.0997	0.0925	0.133
	3	0.177	0.138	0.137	0.100	0.117	0.104	0.135	0.127	0.177
	4	0.178	0.136	0.141	0.102	0.123	0.106	0.140	0.132	0.178
	5	0.277	0.190	0.163	0.136	0.164	0.143	0.181	0.171	0.277

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-11 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，鉛直方向）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐震壁	1	9.14	6.09	6.10	4.52	4.47	4.55	4.45	4.02	9.14
	2	8.87	5.93	5.92	4.26	4.33	4.33	4.29	3.83	8.87
	3	8.61	5.74	5.80	4.04	4.21	4.21	4.15	3.62	8.61
	4	8.28	5.48	5.75	3.82	4.06	4.13	3.98	3.32	8.28
	5	7.95	5.21	5.66	3.69	3.90	4.03	3.81	3.07	7.95
基礎 上端		7.69	5.10	5.55	3.62	3.85	3.95	3.68	2.99	7.69

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-12 最大応答変位一覧表（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐震壁	1	6.42	3.57	6.27	3.56	4.45	4.91	5.00	1.77	6.42
	2	6.36	3.54	6.23	3.53	4.42	4.89	4.98	1.75	6.36
	3	6.31	3.50	6.18	3.50	4.39	4.86	4.97	1.74	6.31
	4	6.24	3.44	6.11	3.46	4.35	4.83	4.94	1.71	6.24
	5	6.15	3.38	6.03	3.41	4.31	4.80	4.91	1.68	6.15
基礎 上端		6.07	3.34	5.97	3.37	4.27	4.78	4.89	1.66	6.07

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-13 最大応答軸力一覧表（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

部位	部 材 番 号	最大応答軸力（ $\times 10^4 \text{kN}$ ）								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
耐 震 壁	1	6.41	4.25	4.27	3.14	3.11	3.20	3.12	2.83	6.41
	2	14.8	9.85	9.87	7.15	7.20	7.30	7.19	6.47	14.8
	3	24.0	16.0	16.0	11.4	11.7	11.7	11.6	10.3	24.0
	4	34.2	22.7	23.0	16.1	16.7	16.6	16.5	14.4	34.2
	5	39.4	26.1	26.6	18.4	19.3	19.3	19.0	16.4	39.4

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-14 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐震壁	1	7.25	7.61	5.17	2.97	2.87	3.28	2.80	4.64	7.61
	2	6.17	6.28	4.71	2.69	2.47	2.92	2.38	4.16	6.28
	3	5.70	5.29	4.30	2.46	2.19	2.64	2.10	3.84	5.70
	4	5.13	4.23	3.81	2.19	1.91	2.33	1.86	3.53	5.13
	5	4.41	3.29	3.39	1.92	1.70	2.02	1.65	3.23	4.41
基礎 上端		4.04	2.78	3.20	1.74	1.57	1.82	1.50	3.00	4.04

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-15 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d, NS 方向）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐震壁	1	11.0	8.40	7.69	5.12	4.32	5.51	4.29	8.91	11.0
	2	9.67	7.07	6.59	4.47	3.71	4.81	3.71	7.88	9.67
	3	8.59	6.00	5.73	3.95	3.25	4.24	3.25	7.04	8.59
	4	7.31	4.76	4.70	3.33	2.73	3.56	2.71	6.04	7.31
	5	6.00	3.50	3.78	2.70	2.25	2.87	2.17	5.01	6.00
基礎 上端		5.01	2.69	3.18	2.22	1.88	2.35	1.78	4.21	5.01

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-16 最大応答せん断力一覧表（弾性設計用地震動 S d , NS 方向）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（ $\times 10^3\text{kN}$ ）								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐 震 壁	1	50.6	53.2	36.0	20.7	20.0	22.8	19.5	32.3	53.2
	2	109	112	80.4	46.0	43.3	50.4	41.9	71.6	112
	3	165	167	126	72.1	65.9	78.4	63.7	112	167
	4	222	218	173	99.0	87.9	107	84.9	156	222
	5	283	196	191	128	108	136	105	218	283

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-17 最大応答曲げモーメント一覧表 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐 震 壁	1	0.484	0.528	0.309	0.178	0.192	0.197	0.186	0.269	0.528
	2	1.20	1.31	0.792	0.455	0.475	0.502	0.468	0.691	1.31
	3	2.33	2.52	1.61	0.927	0.924	1.02	0.925	1.42	2.52
	4	3.74	3.98	2.66	1.53	1.47	1.67	1.49	2.35	3.98
	5	4.34	4.40	3.17	1.88	1.74	2.05	1.70	2.97	4.40

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-18 最大応答加速度一覧表 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐震壁	1	6.44	5.95	4.88	3.83	4.59	4.00	5.22	4.21	6.44
	2	5.70	4.95	4.54	3.52	3.95	3.66	4.73	3.79	5.70
	3	5.24	4.37	4.26	3.26	3.77	3.38	4.38	3.57	5.24
	4	4.85	3.78	3.89	2.94	3.55	3.04	3.98	3.35	4.85
	5	4.50	3.53	3.57	2.66	3.34	2.78	3.67	3.17	4.50
基礎 上端		4.19	3.45	3.41	2.59	3.18	2.72	3.45	3.06	4.19

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-19 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d, EW 方向）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐震壁	1	8.99	7.41	6.46	5.04	6.49	5.28	7.16	7.36	8.99
	2	8.10	6.78	5.68	4.47	5.81	4.69	6.34	6.66	8.10
	3	7.41	6.29	5.08	4.02	5.29	4.22	5.71	6.12	7.41
	4	6.55	5.63	4.29	3.44	4.59	3.62	4.89	5.43	6.55
	5	5.74	5.01	3.62	2.89	3.94	3.05	4.14	4.77	5.74
基礎 上端		5.07	4.48	3.20	2.53	3.43	2.67	3.58	4.23	5.07

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-20 最大応答せん断力一覧表（弾性設計用地震動 S d , EW 方向）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（×10 <sup>3</sup> kN）								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐 震 壁	1	44.9	41.7	34.0	26.8	32.1	28.0	36.4	29.3	44.9
	2	98.8	87.6	76.8	59.7	69.3	62.1	80.9	65.1	98.8
	3	154	132	122	94.2	106	97.9	127	103	154
	4	209	176	170	130	150	135	176	144	209
	5	278	227	194	162	199	169	220	211	278

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-21 最大応答曲げモーメント一覧表 (弾性設計用地震動 S d , EW 方向)

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐 震 壁	1	0.462	0.513	0.313	0.315	0.379	0.335	0.400	0.264	0.513
	2	1.15	1.22	0.802	0.754	0.923	0.803	0.968	0.671	1.22
	3	2.22	2.20	1.62	1.37	1.72	1.46	1.79	1.35	2.22
	4	3.52	3.31	2.67	2.08	2.66	2.22	2.78	2.23	3.52
	5	4.28	3.87	3.30	2.58	3.07	2.68	3.48	2.92	4.28

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-22 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐震壁	1	4.58	3.04	2.99	2.27	2.22	2.31	2.22	1.99	4.58
	2	4.46	2.96	2.93	2.14	2.14	2.20	2.14	1.91	4.46
	3	4.34	2.86	2.90	2.02	2.08	2.10	2.08	1.83	4.34
	4	4.23	2.73	2.84	1.88	2.00	2.04	1.99	1.70	4.23
	5	4.09	2.62	2.80	1.80	1.93	2.00	1.90	1.56	4.09
基礎 上端		3.98	2.56	2.76	1.79	1.89	1.97	1.83	1.45	3.98

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-23 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐震壁	1	3.01	1.68	2.82	1.71	2.13	2.40	2.43	0.836	3.01
	2	2.98	1.66	2.80	1.70	2.12	2.39	2.42	0.827	2.98
	3	2.95	1.64	2.78	1.69	2.10	2.38	2.41	0.817	2.95
	4	2.91	1.62	2.74	1.67	2.08	2.36	2.40	0.804	2.91
	5	2.85	1.58	2.70	1.65	2.06	2.35	2.39	0.791	2.85
基礎 上端		2.81	1.56	2.67	1.65	2.04	2.33	2.38	0.781	2.81

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-24 最大応答軸力一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）

部位	部 材 番 号	最大応答軸力（×10 <sup>4</sup> kN）								
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-6	Sd-7	Sd-8	最大値
耐 震 壁	1	3.21	2.13	2.08	1.58	1.55	1.61	1.55	1.41	3.21
	2	7.44	4.94	4.87	3.60	3.58	3.69	3.58	3.23	7.44
	3	12.0	7.99	7.95	5.75	5.79	5.93	5.79	5.19	12.0
	4	17.3	11.4	11.5	8.07	8.26	8.39	8.24	7.29	17.3
	5	20.0	13.1	13.3	9.22	9.53	9.64	9.49	8.31	20.0

注：網掛け部分は最大値を示す。

4. 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

建屋及び地震動ごとの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結果を表 4-1 に示す。地震動の選定にあたり、基本ケースにおける建屋応答の確認は、以下の資料に基づき実施した。

- ・ コントロール建屋の地震応答計算書

表 4-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

建屋名	材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動	
	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>
コントロール建屋	S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2	S <sub>d</sub> -1, S <sub>d</sub> -2

別紙3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

## 目 次

1. 概要 .....	別紙3-2-1
2. 地震応答解析結果 .....	別紙3-2-1
2.1 建屋剛性及び地盤剛性の不確かさ .....	別紙3-2-3
2.2 建屋剛性の不確かさ .....	別紙3-2-55
2.3 建屋側面地盤回転ばねの不確かさ .....	別紙3-2-107
3. まとめ .....	別紙3-2-153

## 1. 概要

本資料はコントロール建屋の地震応答解析において、材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を示すものである。

## 2. 地震応答解析結果

水平方向の地震応答解析に採用した解析モデルの一覧表を表 2-1 に示す。

表 2-1 地震応答解析に採用した解析モデル

(a) 基準地震動 S<sub>s</sub> (NS 方向)

検討ケース	S <sub>s</sub> -1	S <sub>s</sub> -2	S <sub>s</sub> -3	S <sub>s</sub> -4	S <sub>s</sub> -5	S <sub>s</sub> -6	S <sub>s</sub> -7	S <sub>s</sub> -8
ケース 1	③	③	②	②	②	②	②	②
ケース 2	②	③	—	—	—	—	—	—
ケース 3	④	②	—	—	—	—	—	—
ケース 4	③	③	—	—	—	—	—	—
ケース 5	③	③	—	—	—	—	—	—
ケース 6	③	③	—	—	—	—	—	—

(b) 基準地震動 S<sub>s</sub> (EW 方向)

検討ケース	S <sub>s</sub> -1	S <sub>s</sub> -2	S <sub>s</sub> -3	S <sub>s</sub> -4	S <sub>s</sub> -5	S <sub>s</sub> -6	S <sub>s</sub> -7	S <sub>s</sub> -8
ケース 1	②	②	②	②	②	②	②	②
ケース 2	②	②	—	—	—	—	—	—
ケース 3	②	②	—	—	—	—	—	—
ケース 4	②	②	—	—	—	—	—	—
ケース 5	②	②	—	—	—	—	—	—
ケース 6	②	②	—	—	—	—	—	—

(c) 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> (NS 方向)

検討ケース	S <sub>d</sub> -1	S <sub>d</sub> -2	S <sub>d</sub> -3	S <sub>d</sub> -4	S <sub>d</sub> -5	S <sub>d</sub> -6	S <sub>d</sub> -7	S <sub>d</sub> -8
ケース 1	①	①	①	①	①	①	①	①
ケース 2	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 3	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 4	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 5	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 6	①	①	—	—	—	—	—	—

(d) 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> (EW 方向)

検討ケース	S <sub>d</sub> -1	S <sub>d</sub> -2	S <sub>d</sub> -3	S <sub>d</sub> -4	S <sub>d</sub> -5	S <sub>d</sub> -6	S <sub>d</sub> -7	S <sub>d</sub> -8
ケース 1	①	①	①	①	①	①	①	①
ケース 2	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 3	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 4	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 5	①	①	—	—	—	—	—	—
ケース 6	①	①	—	—	—	—	—	—

凡例

- ①：誘発上下動を考慮しないモデル（基礎浮上り線形モデル）
- ②：誘発上下動を考慮しないモデル（基礎浮上り非線形モデル）
- ③：誘発上下動を考慮するモデル
- ④：地盤 3 次元 FEM モデル

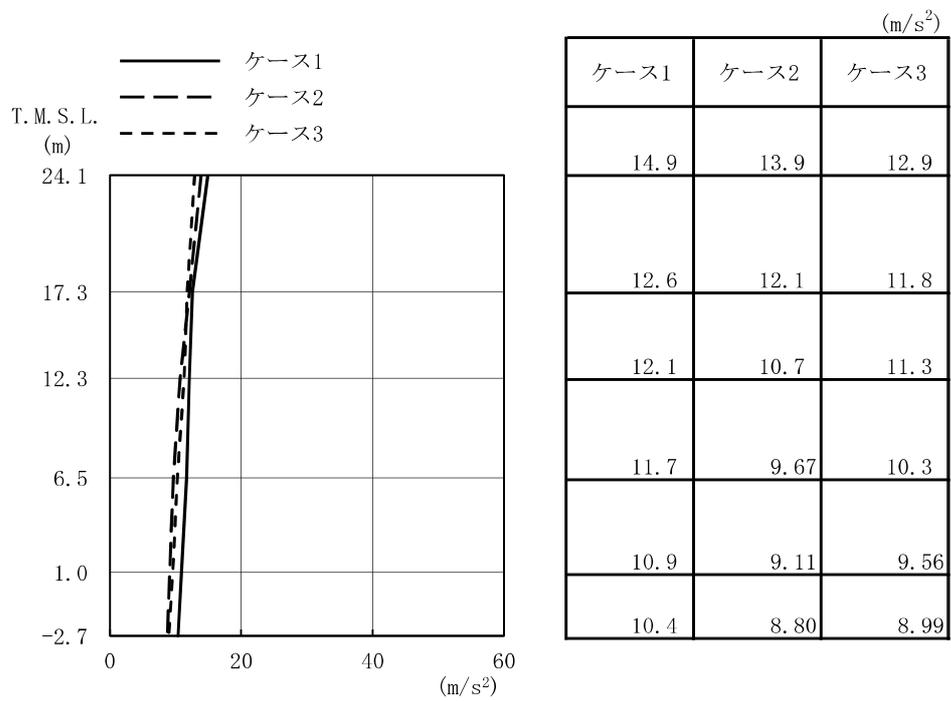
## 2.1 建屋剛性及び地盤剛性の不確かさ

建屋剛性及び地盤剛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2-1～図2-18に，接地率を表2-2～表2-4に，弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析結果を図2-19～図2-33に，接地率を表2-5～表2-7に示す。

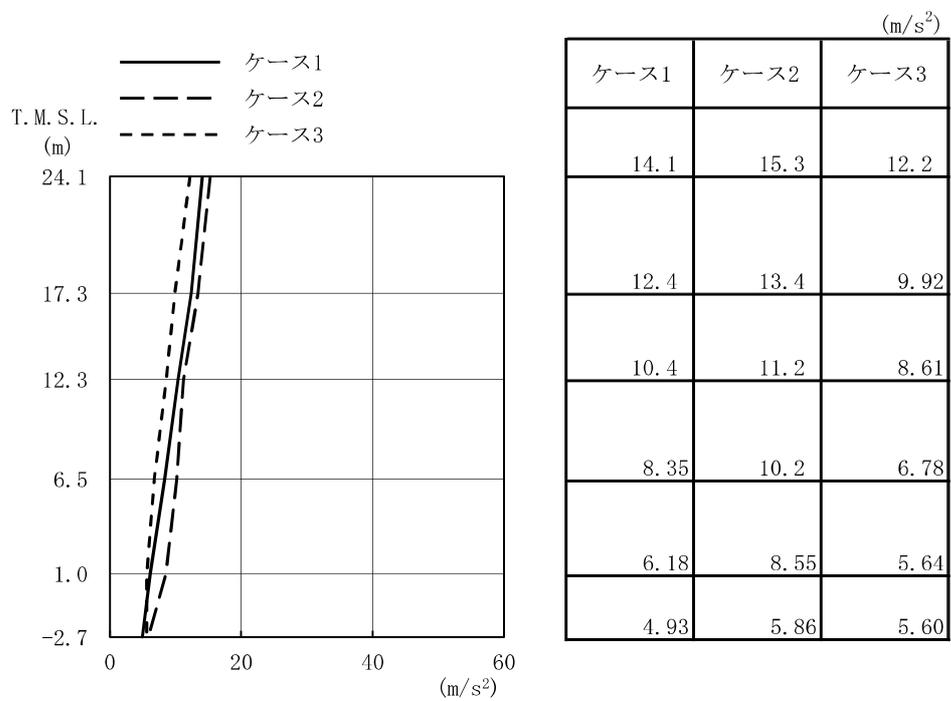
以後，基本ケースをケース1，建屋剛性+ $\sigma$  地盤剛性+ $\sigma$  としたケースをケース2，建屋剛性- $\sigma$  地盤剛性- $\sigma$  としたケースをケース3として示す。

なお，表2-4に示すように地盤3次元FEMモデルによる結果であるケース3（NS方向， $S_s$ -1）の接地率は36.7%となっている。地盤3次元FEMモデルによる地震応答解析の適用性については，JEAC4601-2008において引用されている文献\*で接地率35%以上ではその適応性が確認されており，また，最小接地率がより小さい廃棄物処理建屋において，地震応答計算書の補足説明資料別紙4「地盤3次元FEMモデルによる地震応答解析に関する検討」にて，接地率20%程度までの地盤3次元FEMモデルの適用性を確認している。

注記\*：Nakamura, N. et al. : An Estimation Method for Basemat Uplift Behavior of NPP Buildings, SMiRT18, K04/8, pp. 3105-3115, 2005



(a) S<sub>s</sub>-1



(b) S<sub>s</sub>-2

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

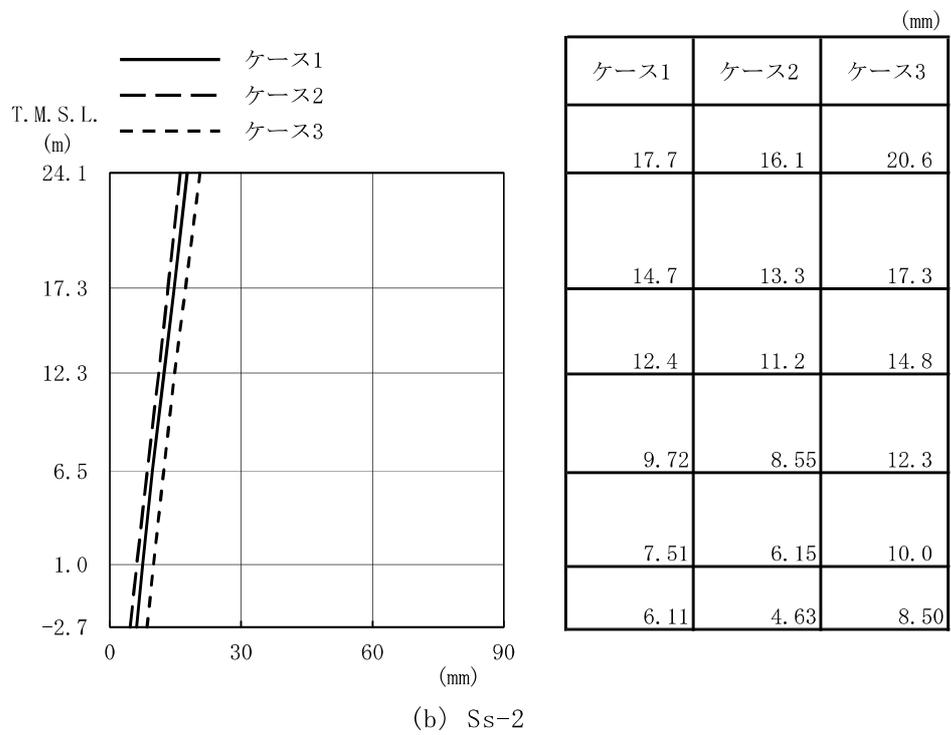
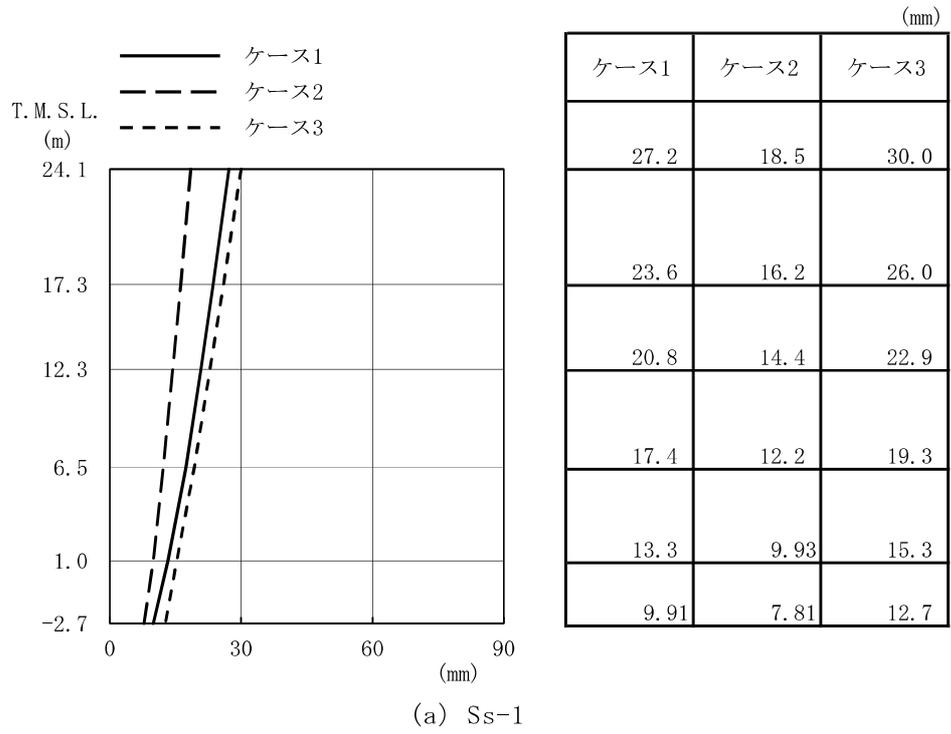
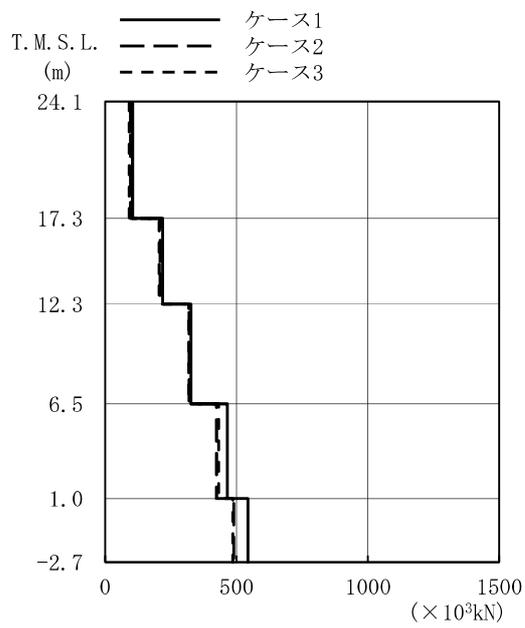


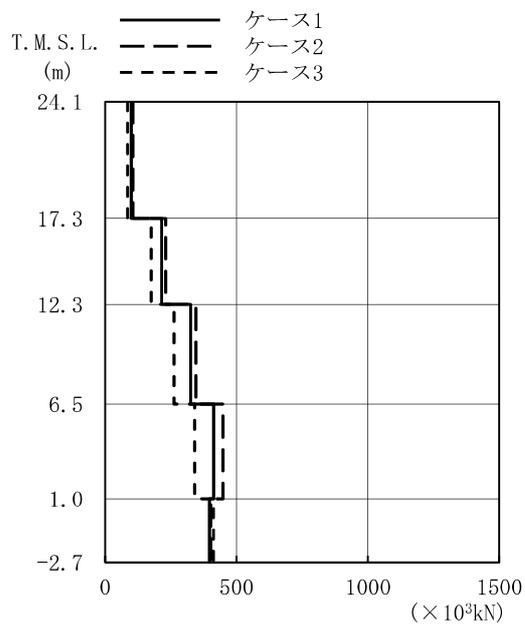
図 2-2 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
104	97.1	92.4
219	210	206
327	320	319
465	424	432
544	490	486

(a) Ss-1

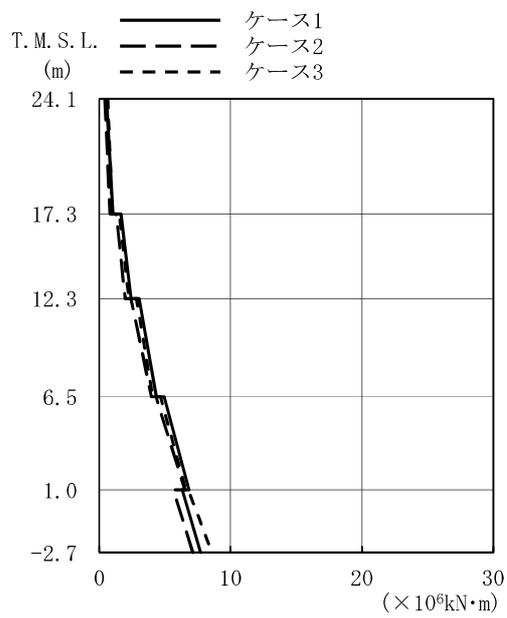


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
99.2	107	85.4
216	231	176
326	346	262
414	449	341
397	403	412

(b) Ss-2

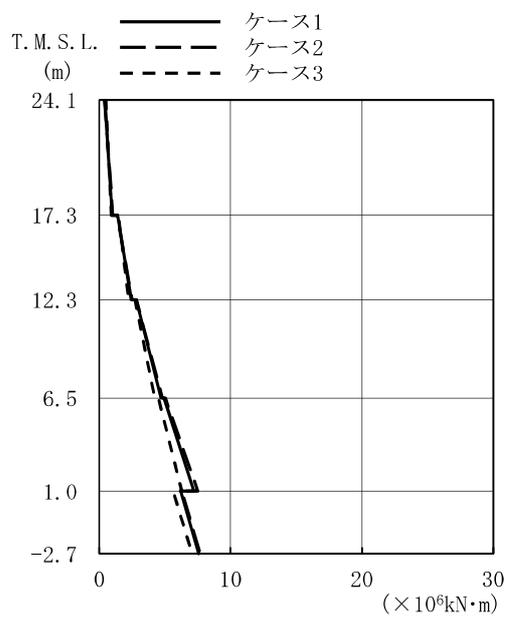
図 2-3 最大応答せん断力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)



( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
0.546	0.435	0.656
1.04	0.815	0.979
1.65	1.29	1.52
2.42	1.97	2.25
3.04	2.41	2.83
4.35	3.97	4.07
4.95	4.32	4.66
6.83	6.51	6.60
6.31	5.65	6.78
7.72	7.13	8.56

(a) Ss-1

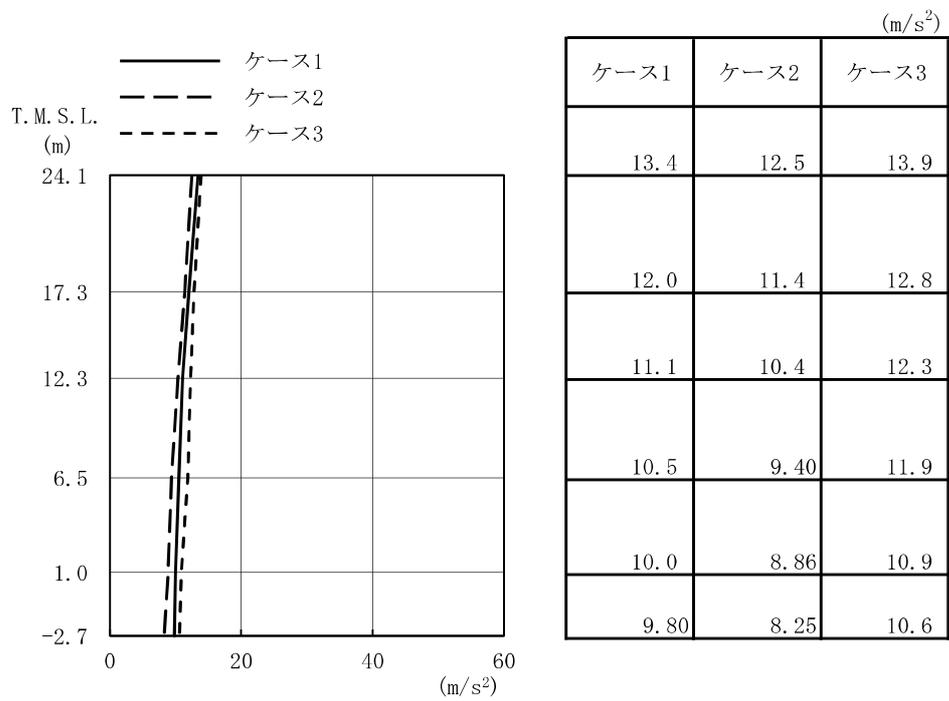


( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

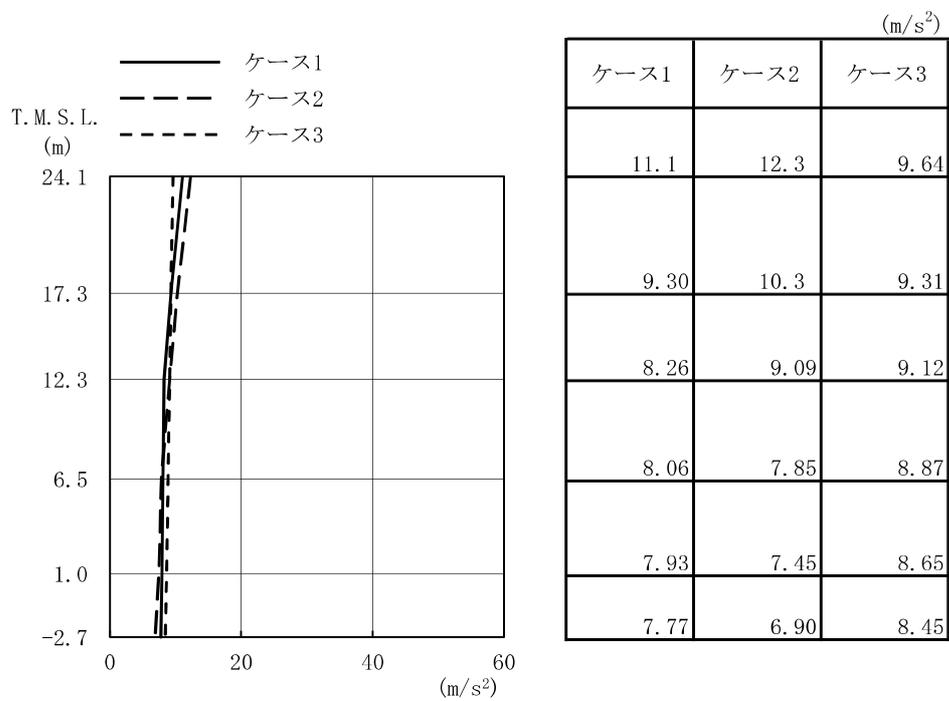
ケース1	ケース2	ケース3
0.437	0.402	0.507
0.988	1.03	0.913
1.40	1.37	1.45
2.44	2.50	2.24
2.81	2.82	2.72
4.70	4.81	4.22
4.93	5.04	4.50
7.21	7.50	6.28
6.20	6.28	5.63
7.56	7.69	7.07

(b) Ss-2

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



(a) S<sub>s</sub>-1



(b) S<sub>s</sub>-2

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

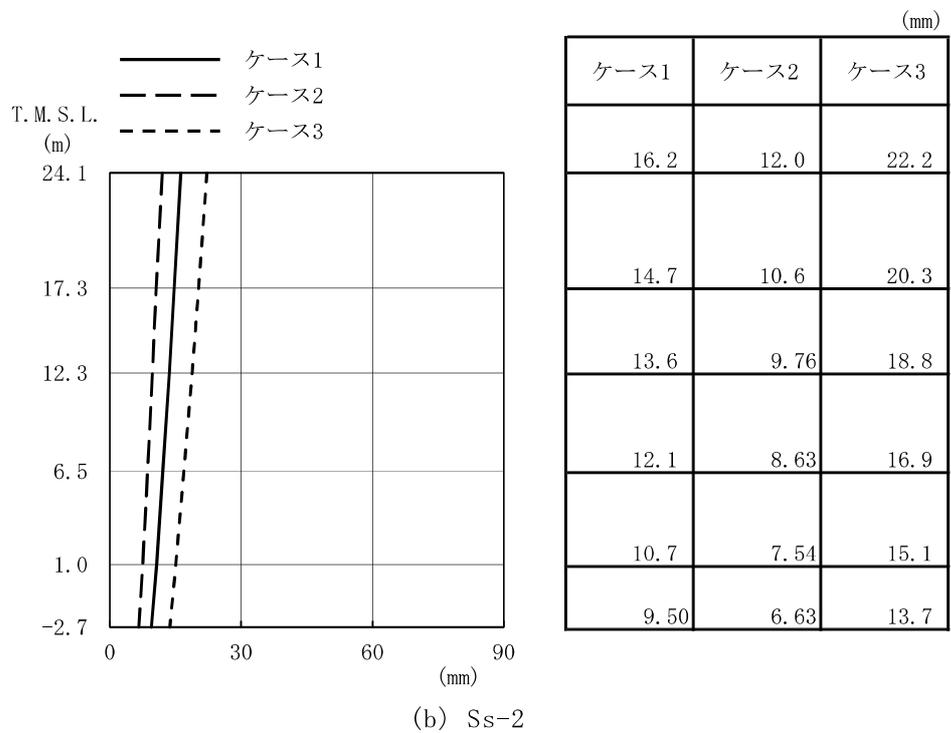
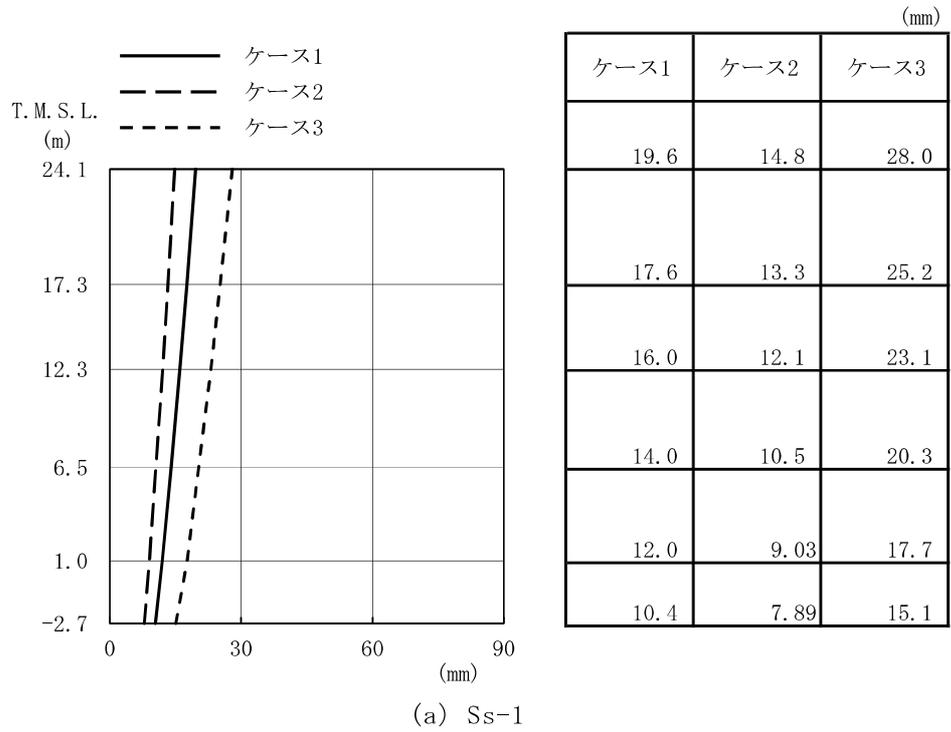
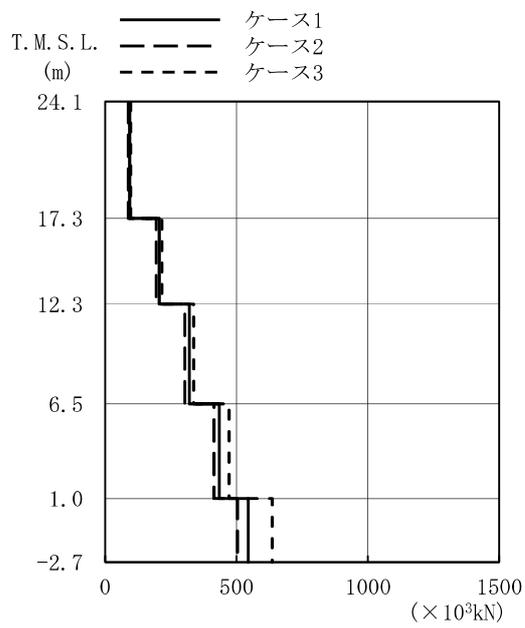


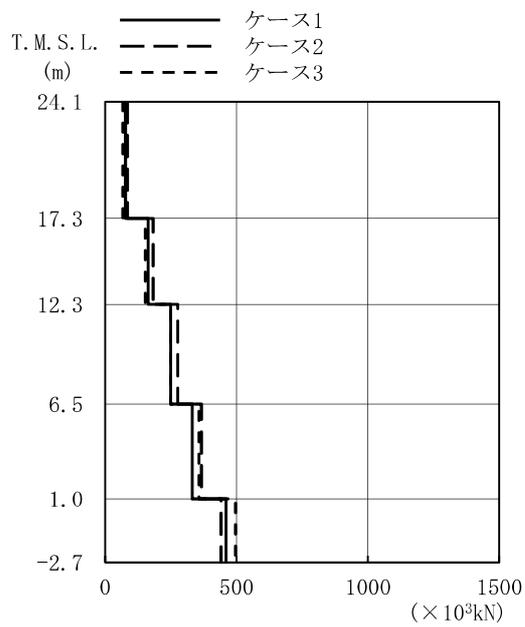
図 2-6 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
93.6	87.4	97.6
206	194	217
321	304	338
435	415	472
545	504	636

(a) Ss-1

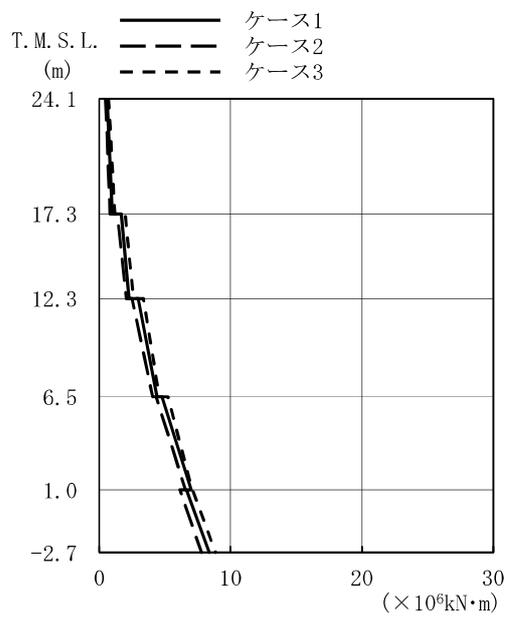


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
77.3	86.1	67.6
164	183	154
250	277	250
332	367	357
461	442	497

(b) Ss-2

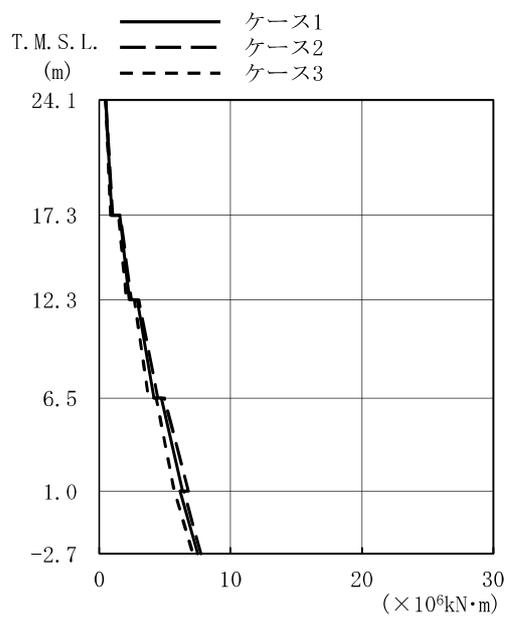
図 2-7 最大応答せん断力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)



( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
0.594	0.478	0.716
0.993	0.825	1.18
1.67	1.36	1.97
2.26	2.06	2.60
2.97	2.49	3.36
4.39	4.07	4.57
4.78	4.34	5.23
6.99	6.56	7.08
6.64	6.14	7.11
8.37	7.78	8.85

(a) Ss-1

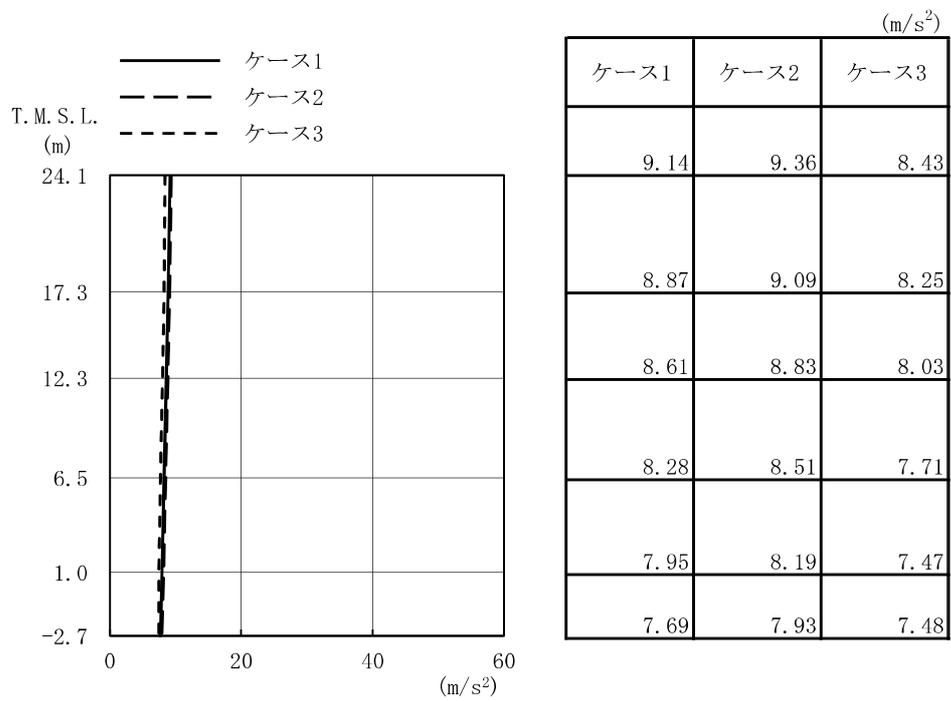


( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

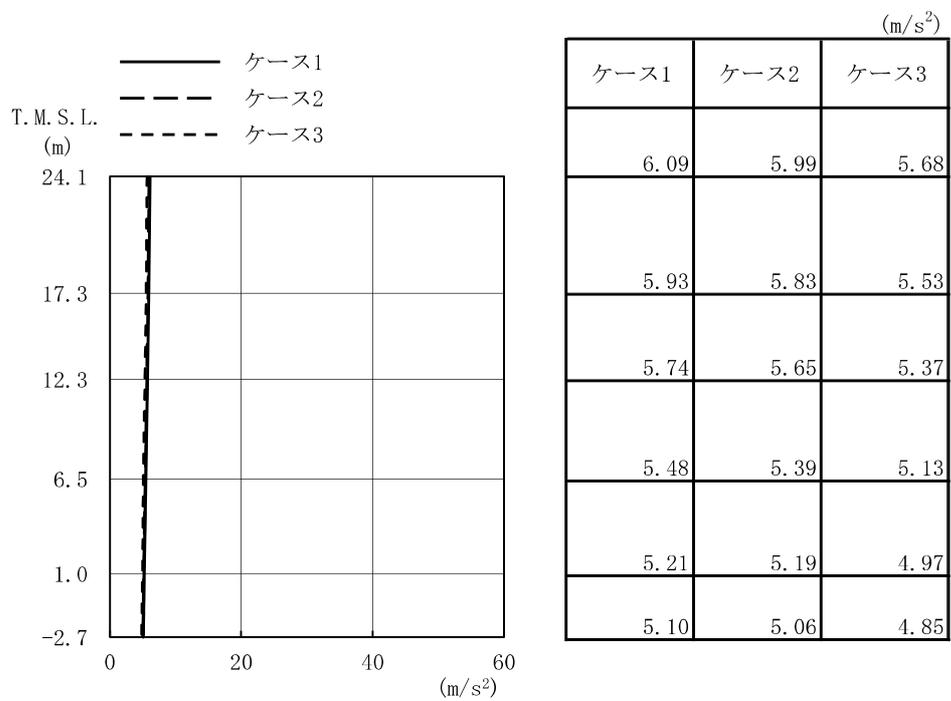
ケース1	ケース2	ケース3
0.503	0.493	0.483
0.965	1.02	0.870
1.57	1.61	1.47
2.30	2.44	2.07
2.89	3.00	2.67
4.17	4.46	3.75
4.73	4.96	4.34
6.34	6.79	5.71
6.15	6.43	5.72
7.49	7.75	7.12

(b) Ss-2

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



(a) S<sub>s</sub>-1



(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-9 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, 鉛直方向)

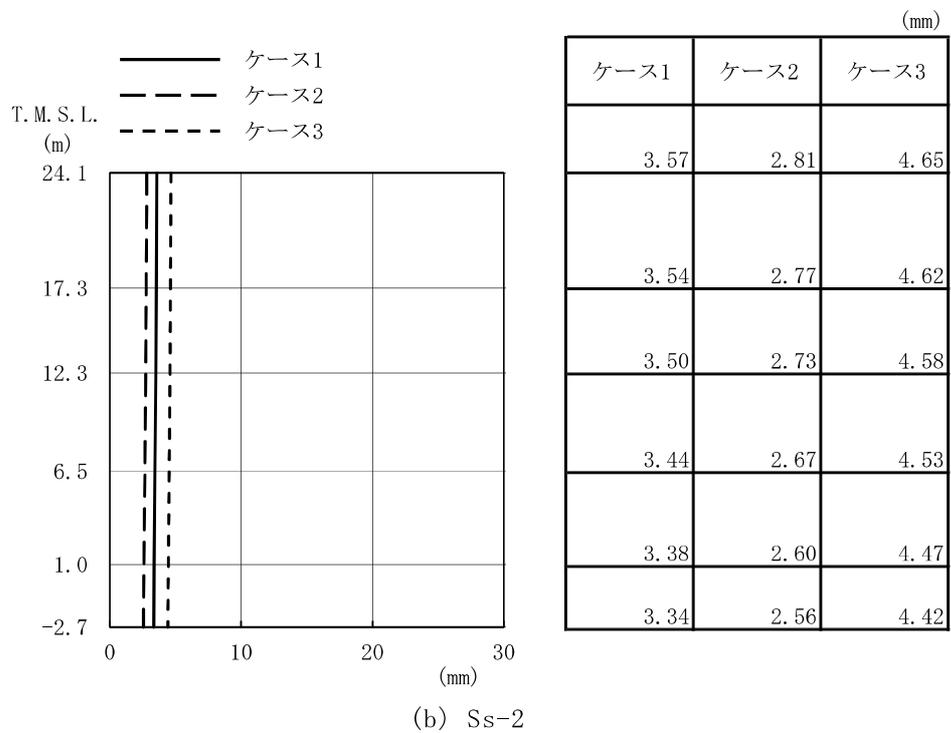
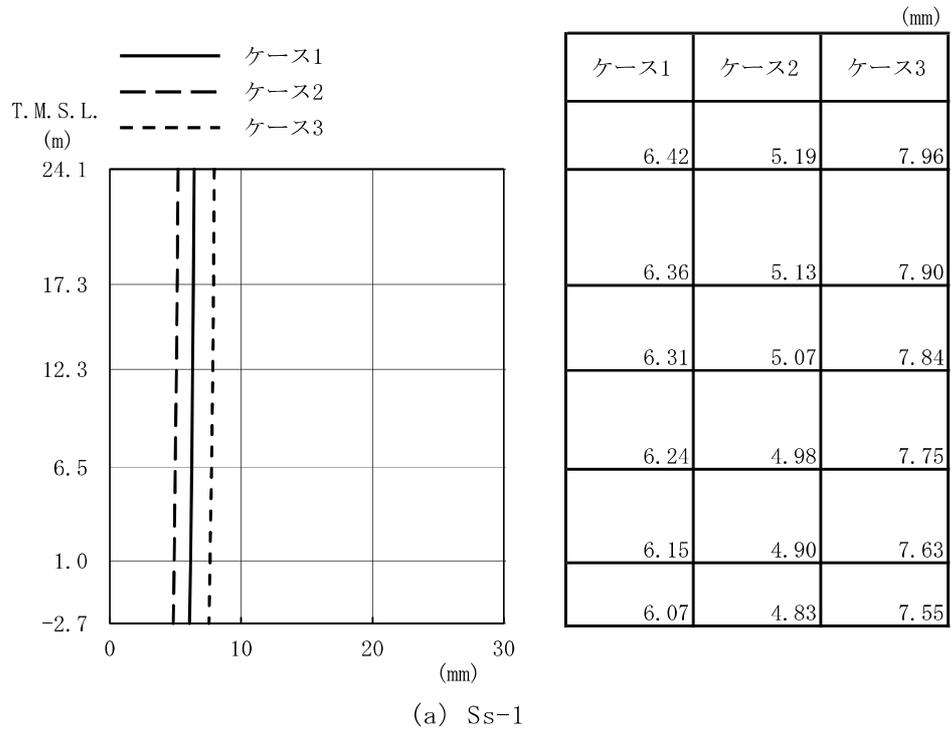
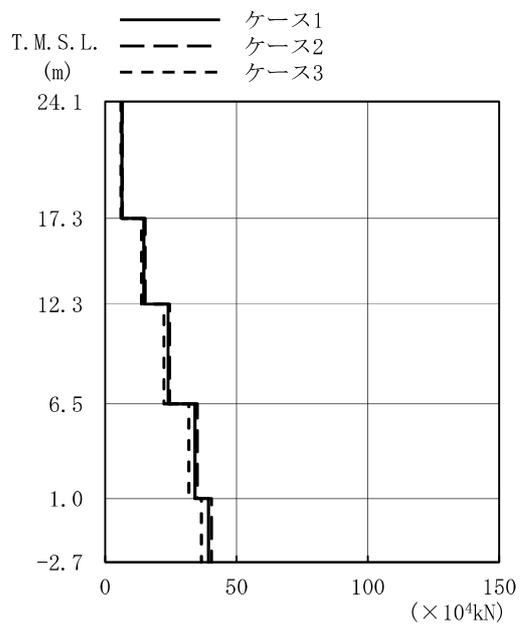


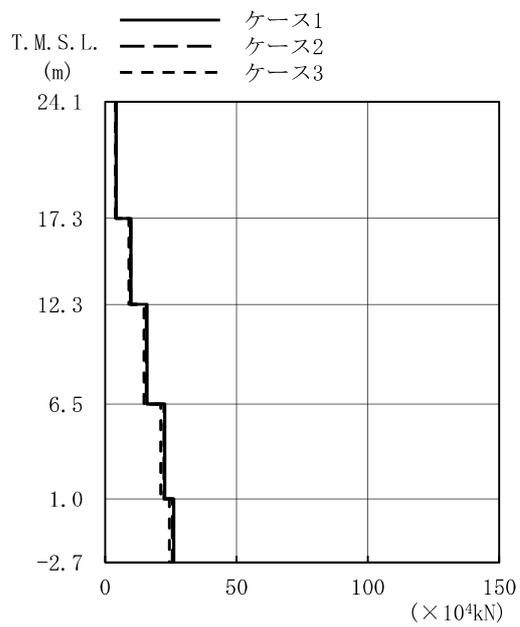
図 2-10 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, 鉛直方向)



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

ケース1	ケース2	ケース3
6.41	6.58	5.93
14.8	15.2	13.8
24.0	24.6	22.4
34.2	35.1	31.9
39.4	40.5	36.7

(a) S<sub>s</sub>-1



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

ケース1	ケース2	ケース3
4.25	4.18	3.97
9.85	9.70	9.19
16.0	15.7	14.9
22.7	22.4	21.2
26.1	25.7	24.5

(b) S<sub>s</sub>-2

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

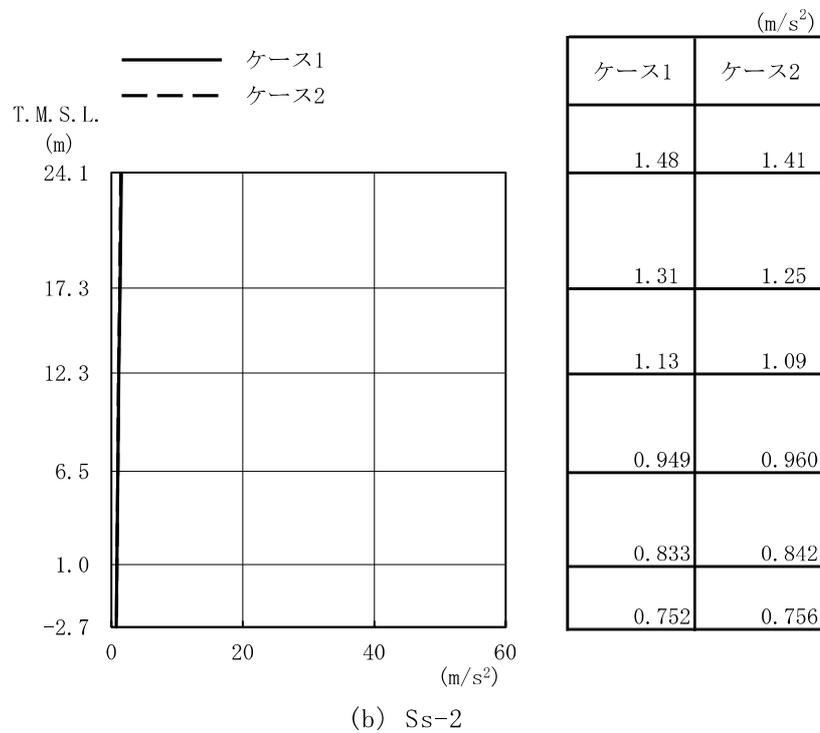
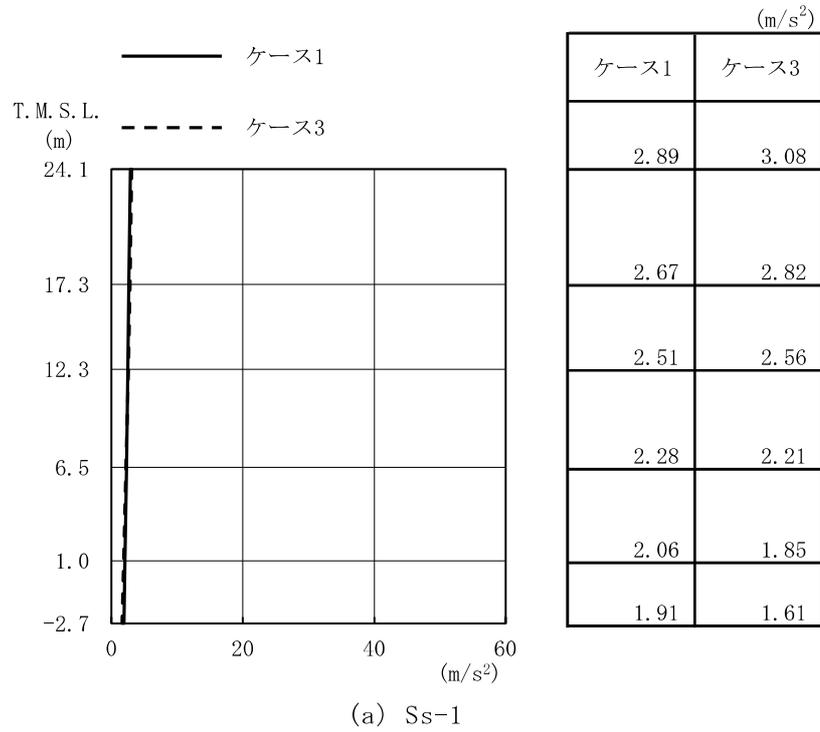


図 2-12 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)

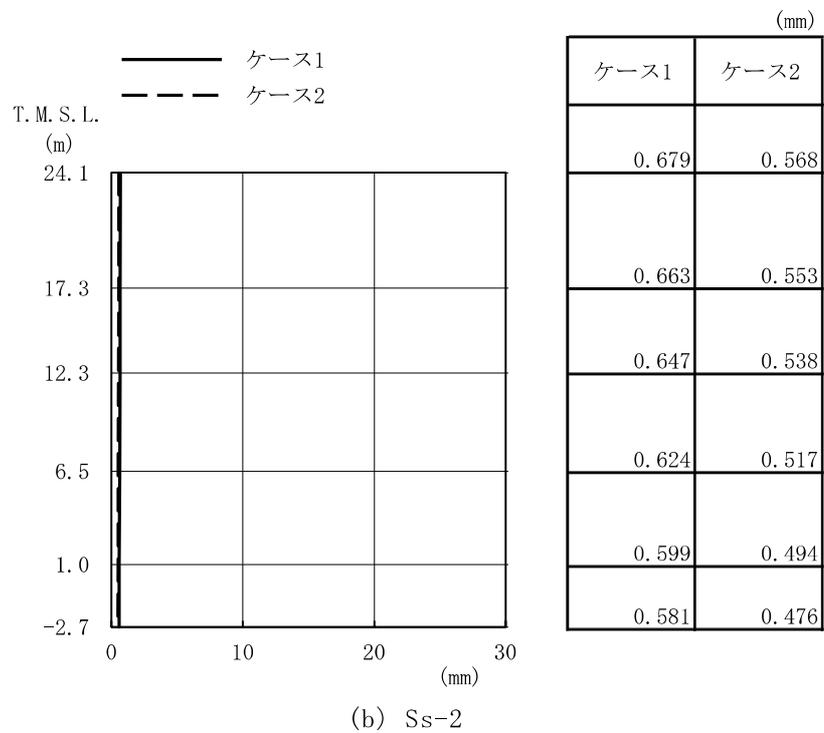
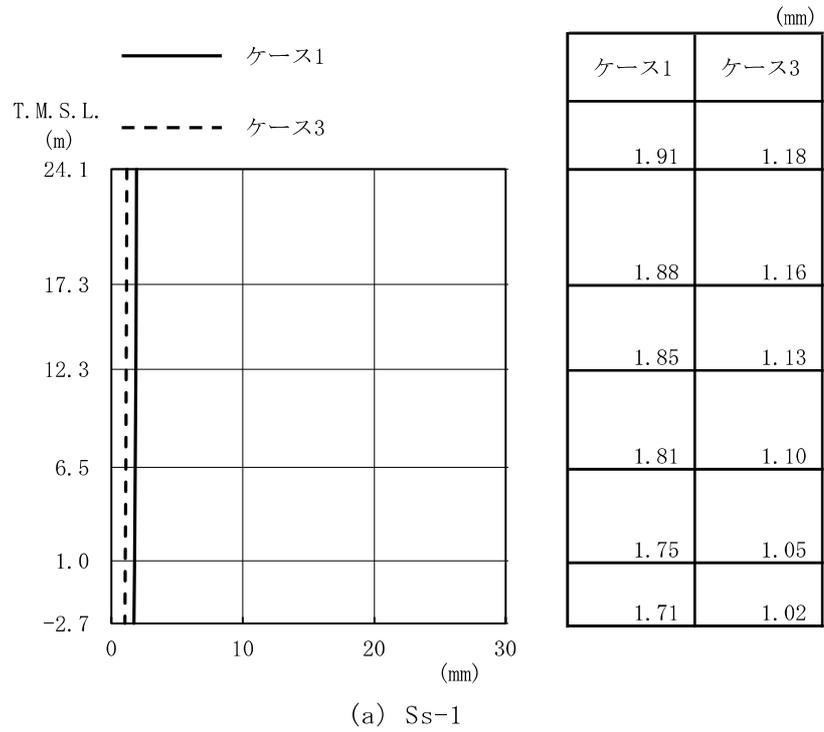
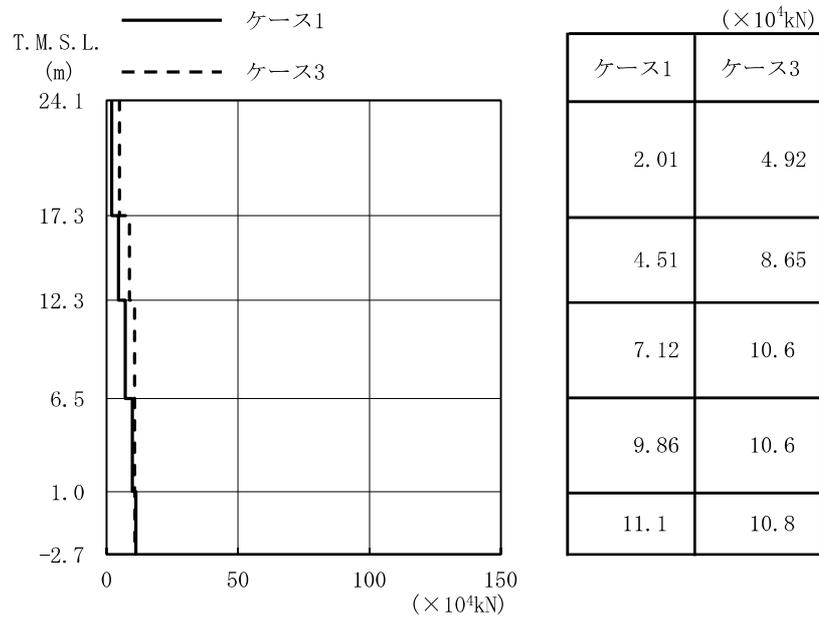
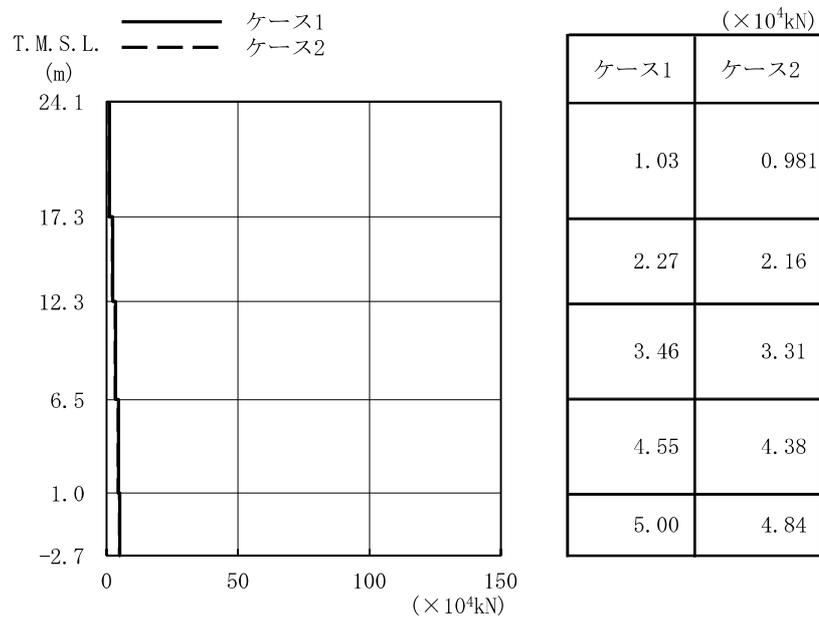


図 2-13 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)



(a) S<sub>s</sub>-1



(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-14 最大応答軸力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)

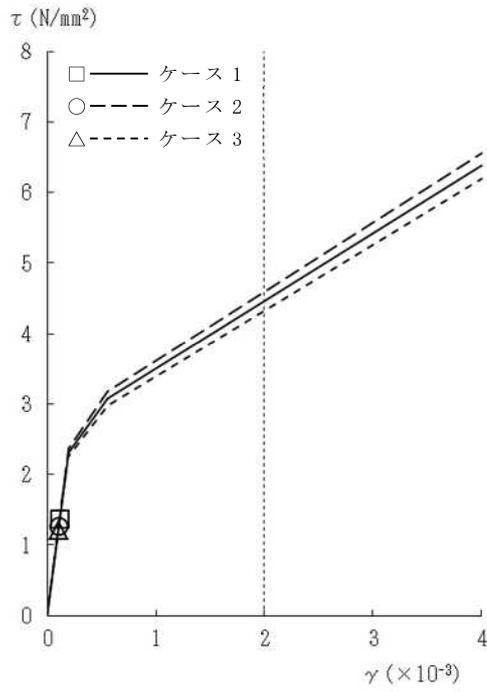


図 2-15  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, 2F) (1/5)

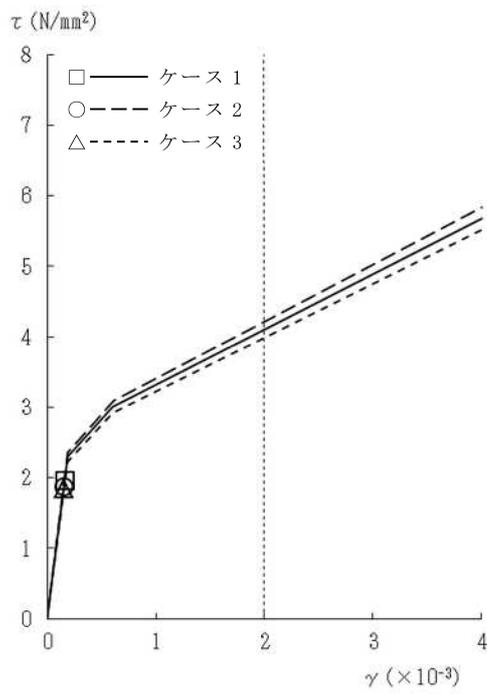


図 2-15  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, 1F) (2/5)

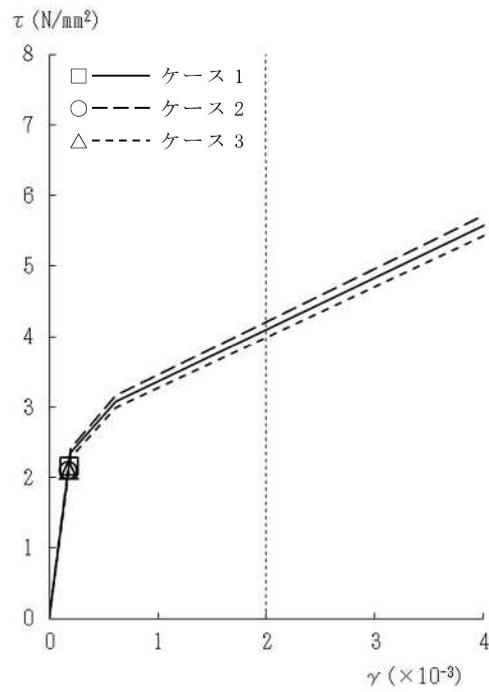


図 2-15  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, B1F) (3/5)

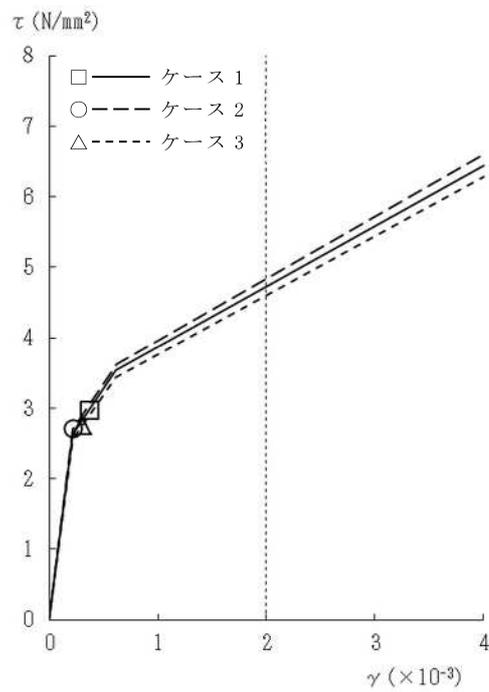


図 2-15  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, MB2F) (4/5)

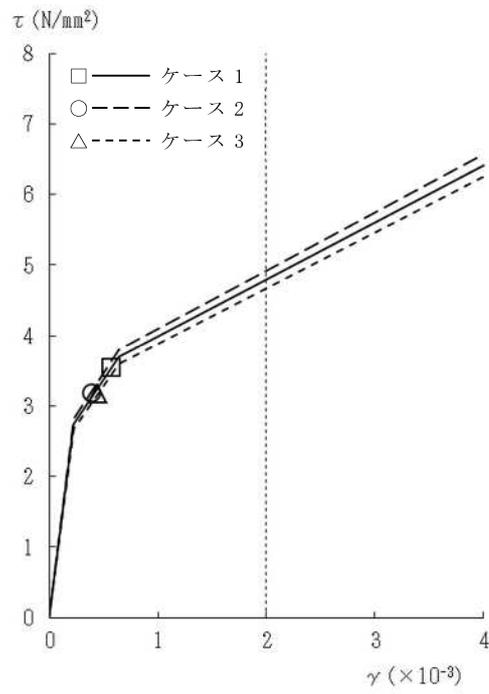


図 2-15  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, B2F) (5/5)

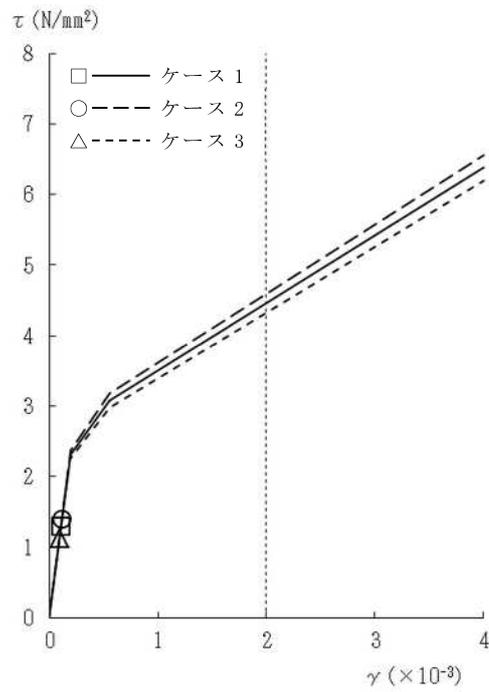


図 2-16  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, 2F) (1/5)

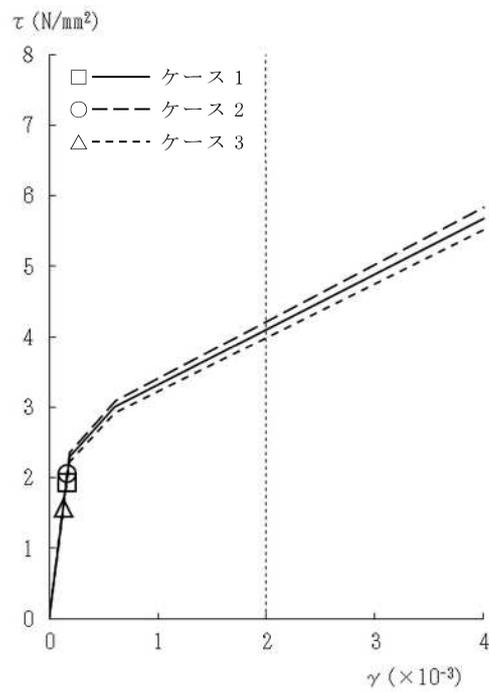


図 2-16  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, 1F) (2/5)

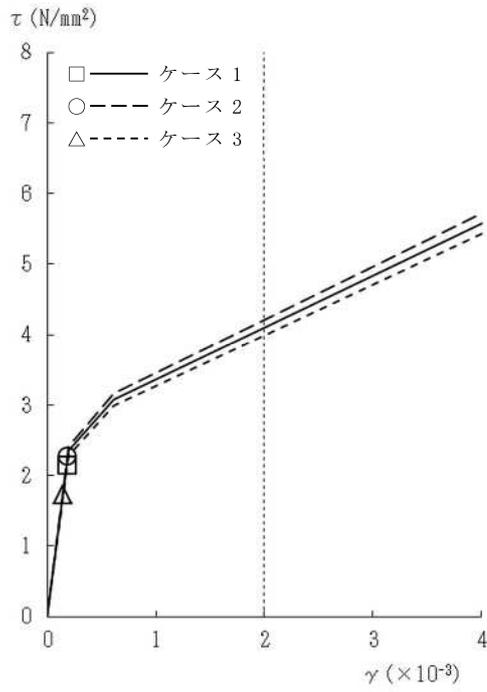


図 2-16  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, B1F) (3/5)

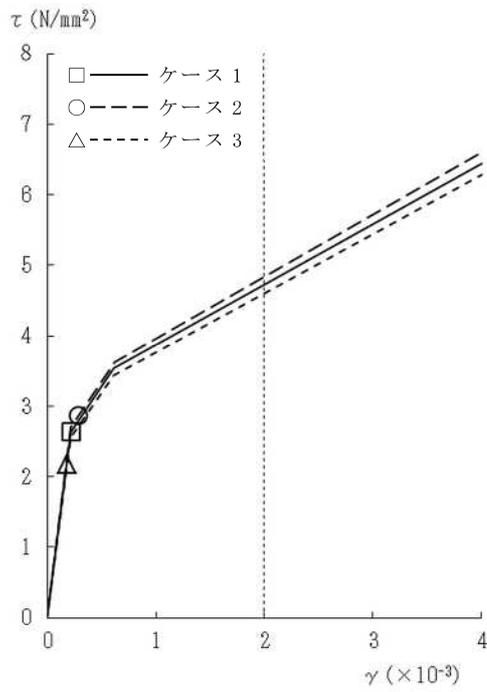


図 2-16  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, MB2F) (4/5)

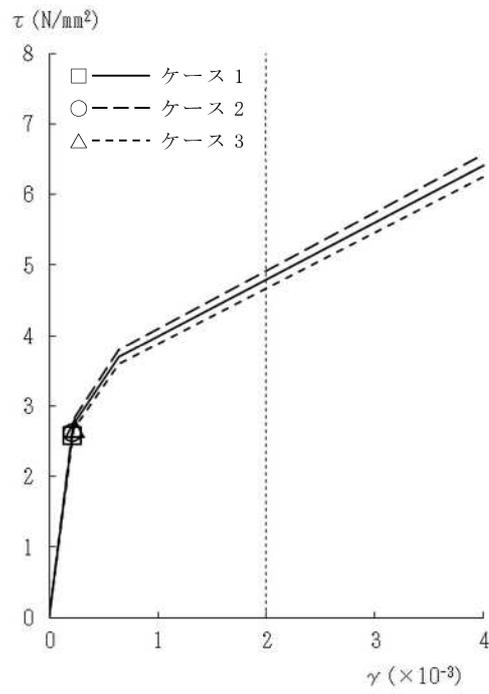


図 2-16  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, B2F) (5/5)

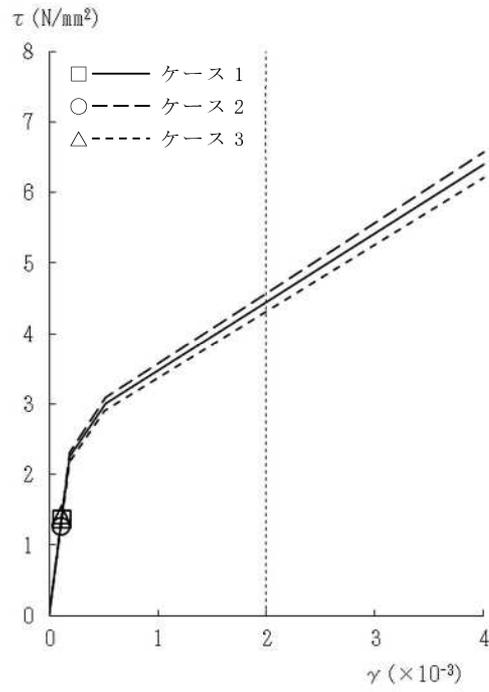


図 2-17  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, 2F) (1/5)

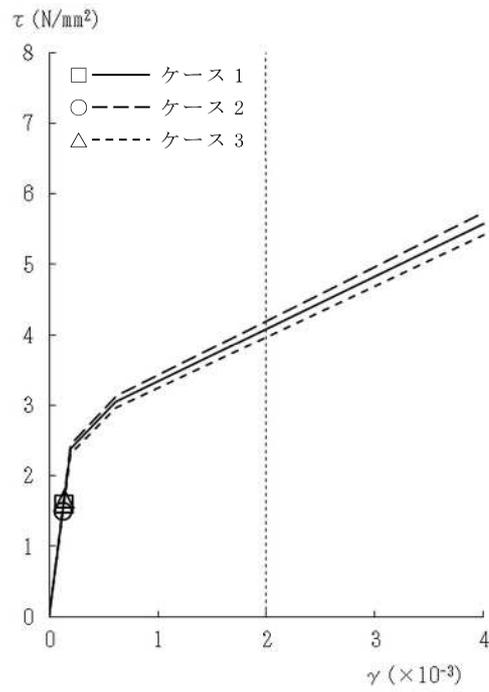


図 2-17  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, 1F) (2/5)

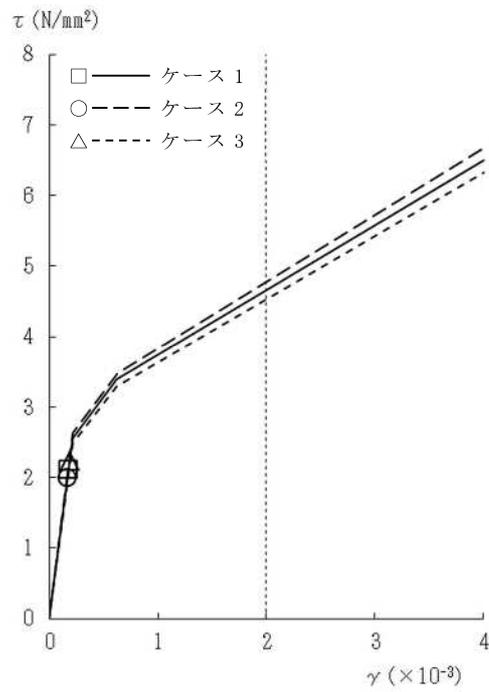


図 2-17  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, B1F) (3/5)

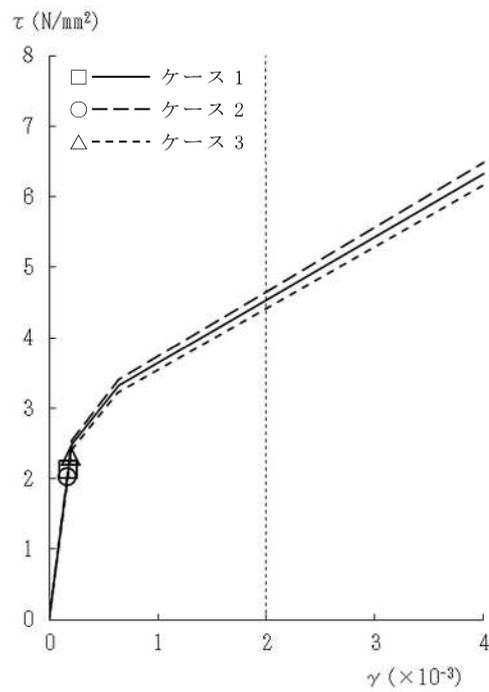


図 2-17  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, MB2F) (4/5)

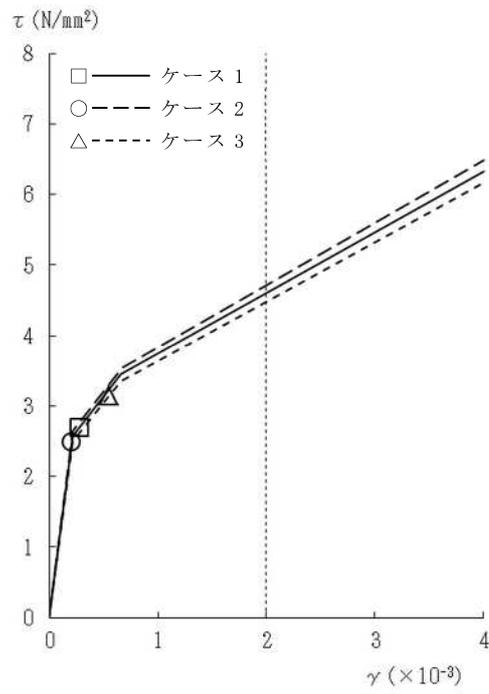


図 2-17  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, B2F) (5/5)

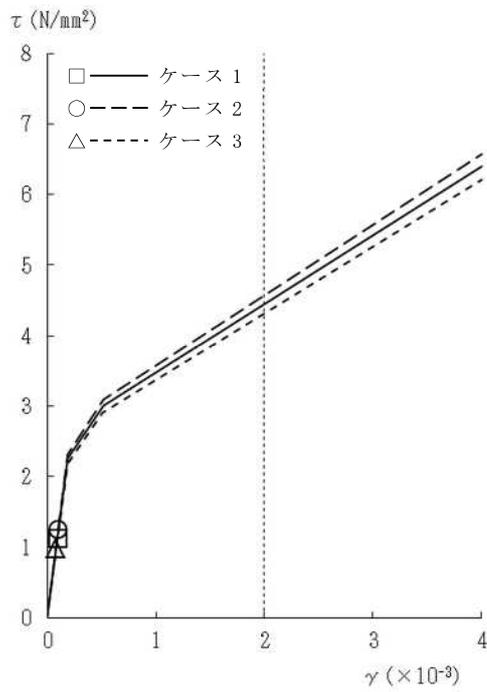


図 2-18  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, 2F) (1/5)

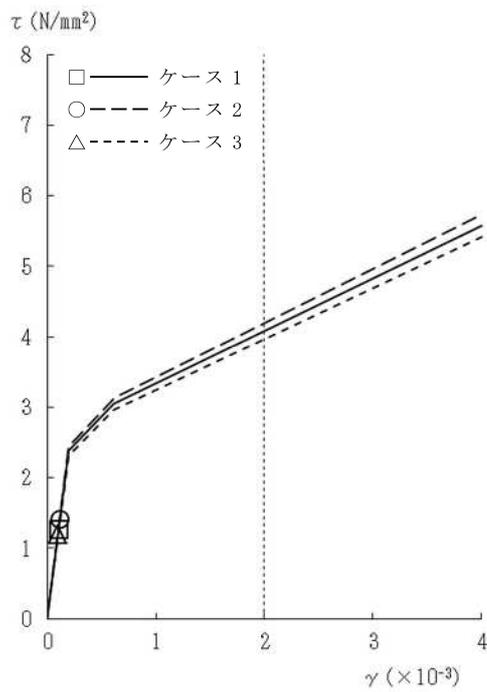


図 2-18  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, 1F) (2/5)

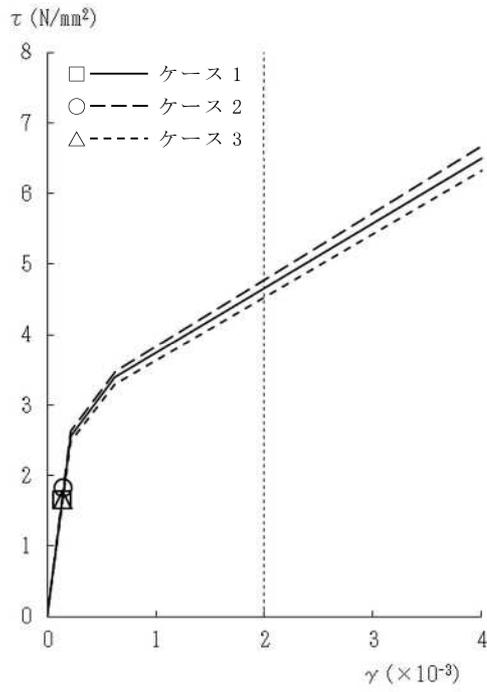


図 2-18  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, B1F) (3/5)

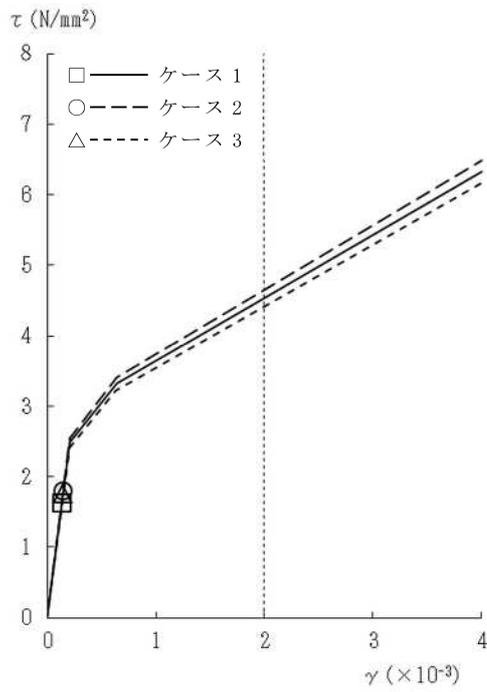


図 2-18  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, MB2F) (4/5)

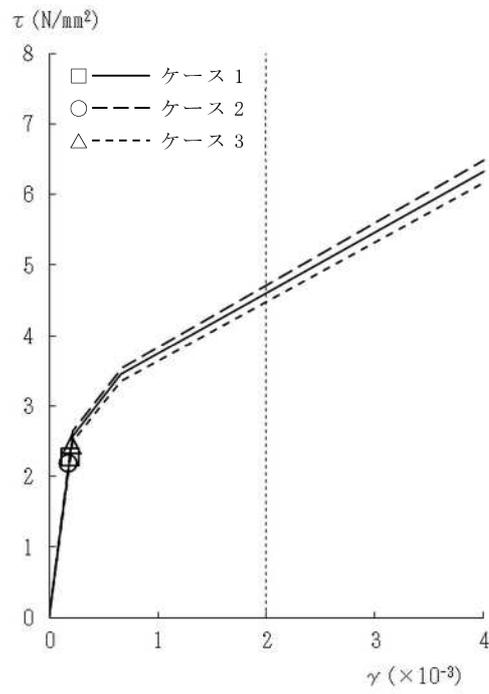


図 2-18 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, B2F) (5/5)

表 2-2 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1350	8.69	55.4
S <sub>s</sub> -2*	1200	8.09	61.9

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	808	9.44	76.8
S <sub>s</sub> -2	703	8.08	87.3

表 2-3 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 2)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	912	7.75	65.6
S <sub>s</sub> -2*	1190	8.03	62.6

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	756	8.72	82.4
S <sub>s</sub> -2	704	8.19	86.5

表 2-4 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 3)

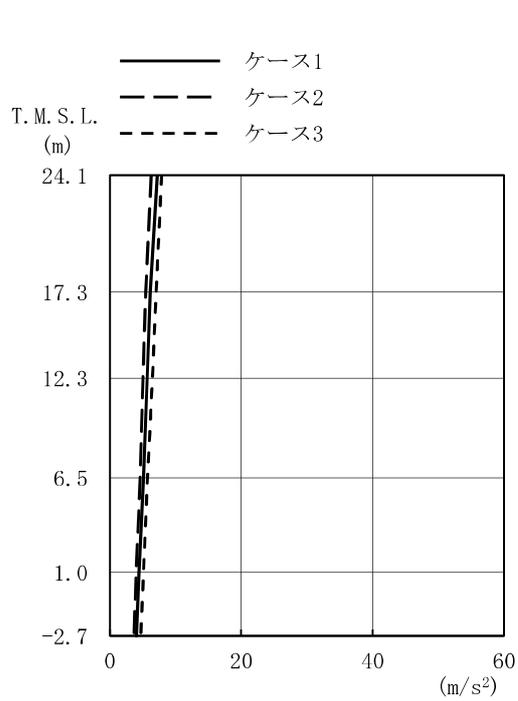
(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1670	10.40	36.7
S <sub>s</sub> -2	880	7.71	66.1

注記\* : 地盤 3 次元 FEM モデルによる結果を示す。

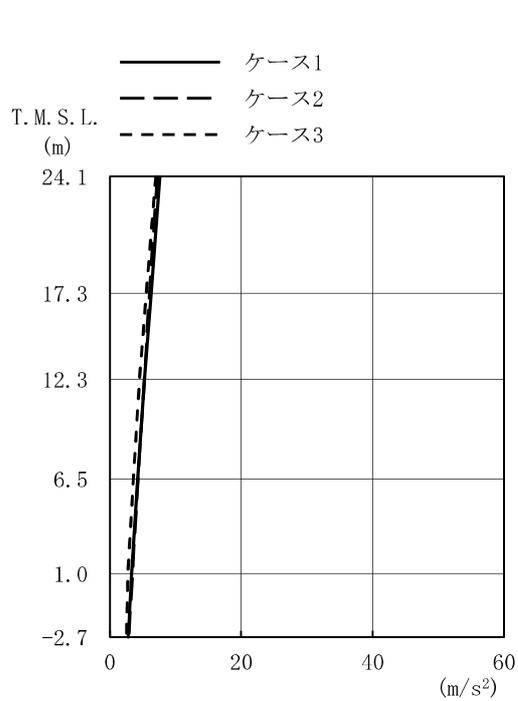
(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	894	10.70	67.4
S <sub>s</sub> -2	693	8.14	86.9



(m/s <sup>2</sup> )		
ケース1	ケース2	ケース3
7.25	6.32	7.91
6.17	5.48	7.04
5.70	5.02	6.48
5.13	4.63	5.75
4.41	4.01	5.13
4.04	3.67	4.69

(a) Sd-1



(m/s <sup>2</sup> )		
ケース1	ケース2	ケース3
7.61	7.22	6.99
6.28	6.02	5.53
5.29	5.25	4.52
4.23	4.30	3.57
3.29	3.42	2.75
2.78	2.87	2.53

(b) Sd-2

図 2-19 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

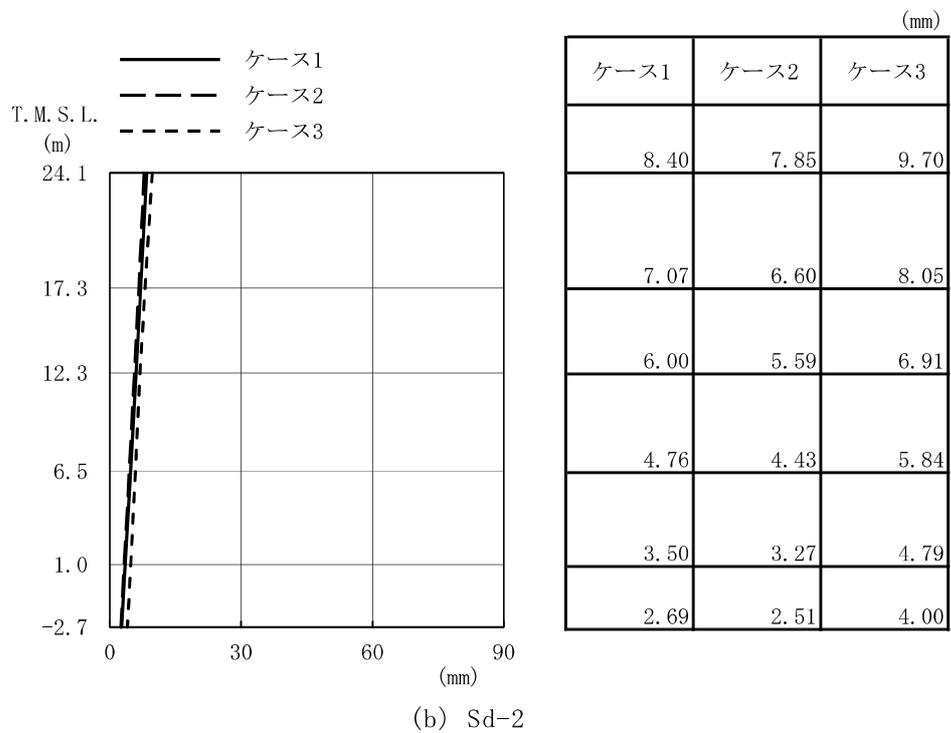
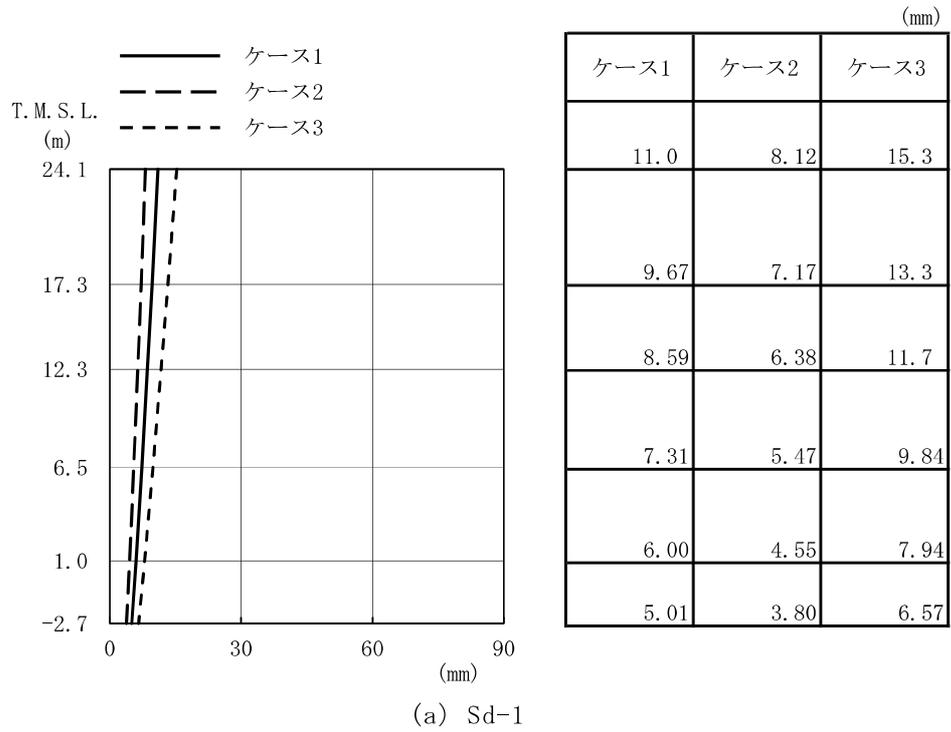
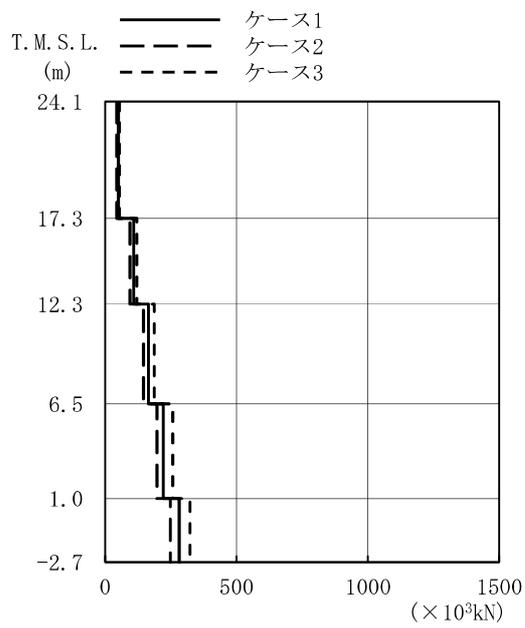


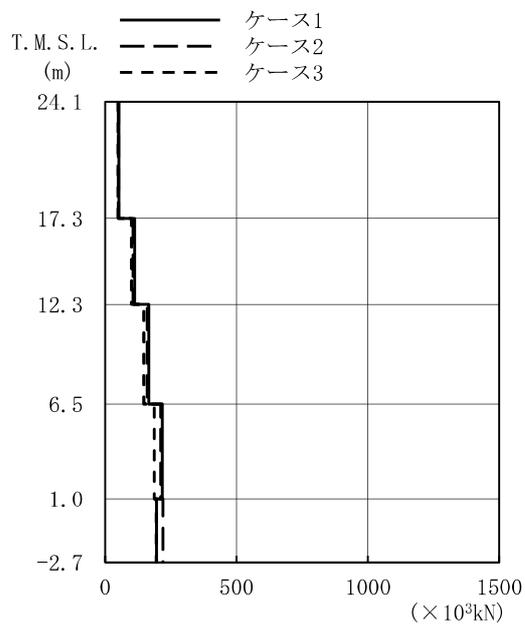
図 2-20 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
50.6	44.2	55.1
109	95.2	121
165	146	188
222	198	258
283	248	324

(a) Sd-1

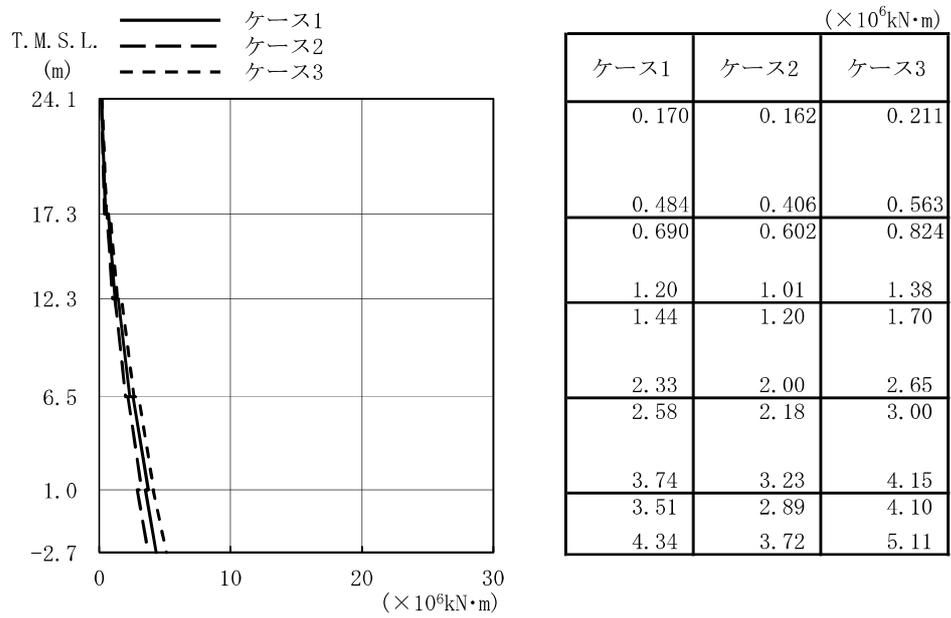


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

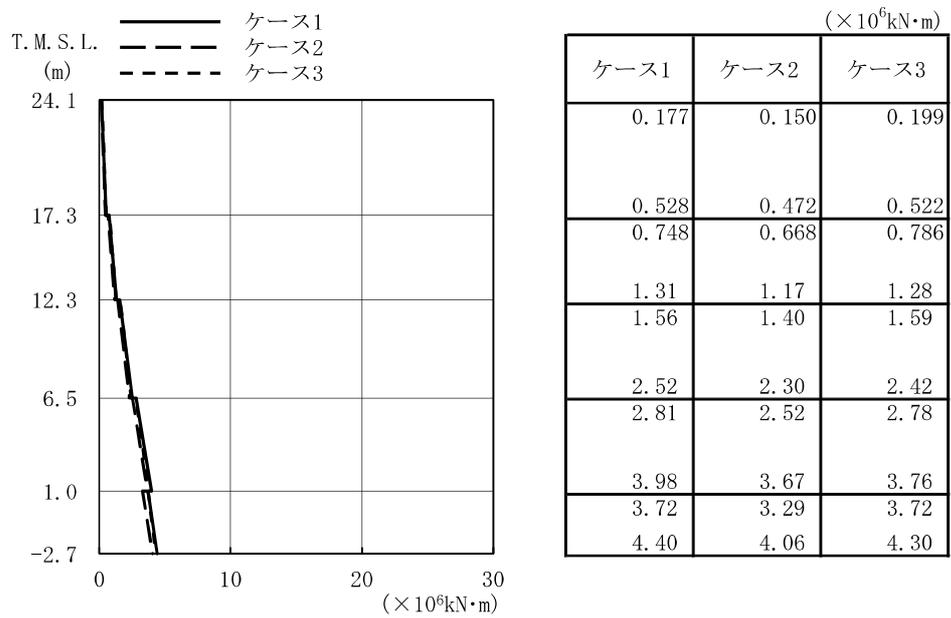
ケース1	ケース2	ケース3
53.2	50.3	48.8
112	107	101
167	161	148
218	212	187
196	220	195

(b) Sd-2

図 2-21 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

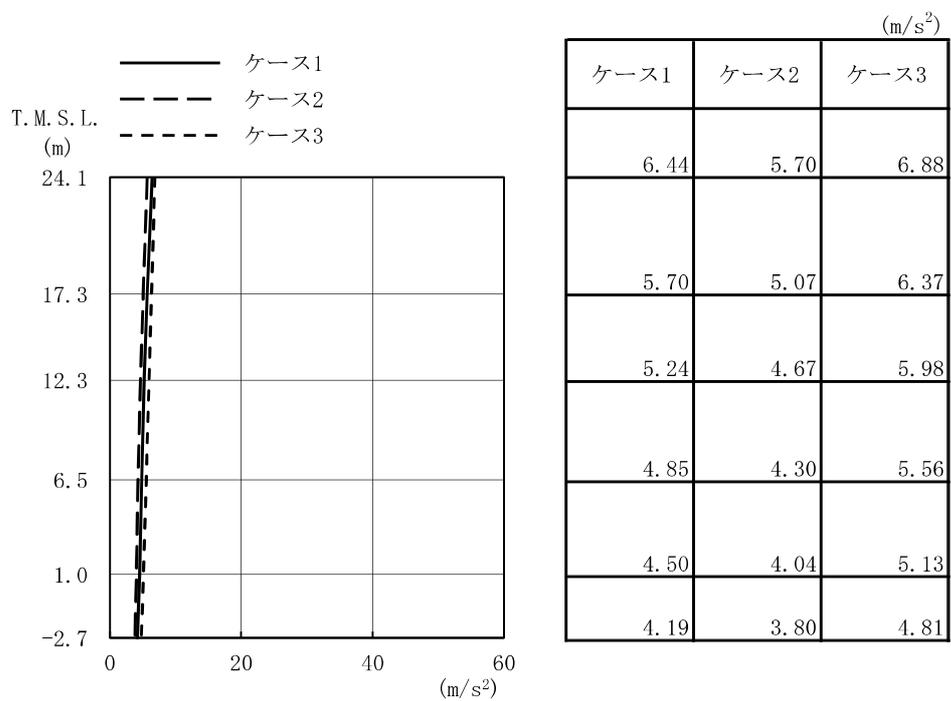


(a) Sd-1

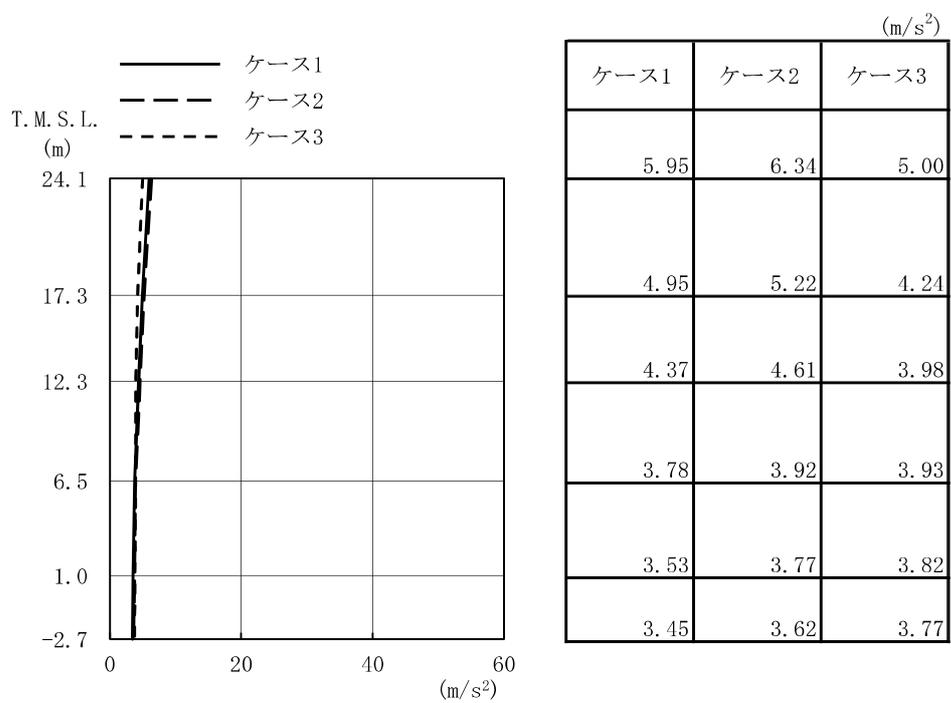


(b) Sd-2

図 2-22 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

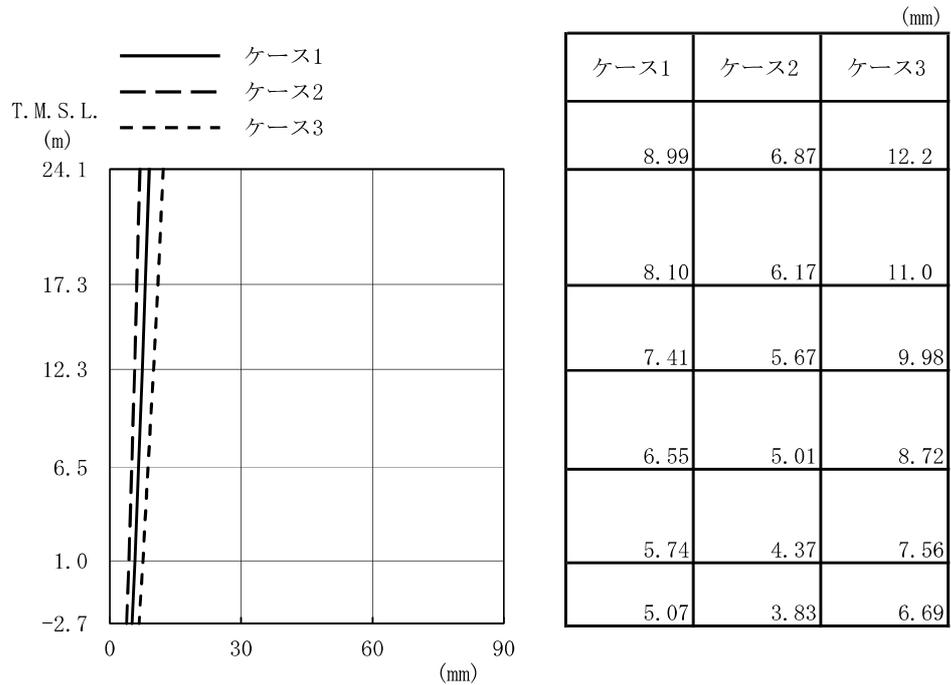


(a) Sd-1

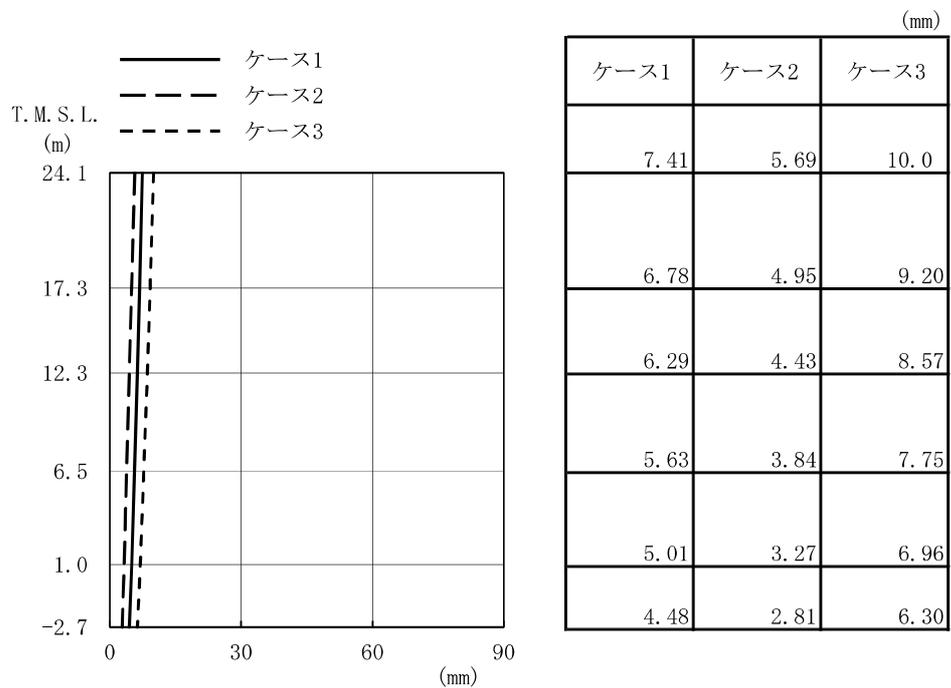


(b) Sd-2

図 2-23 最大応答加速度（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>, EW 方向）

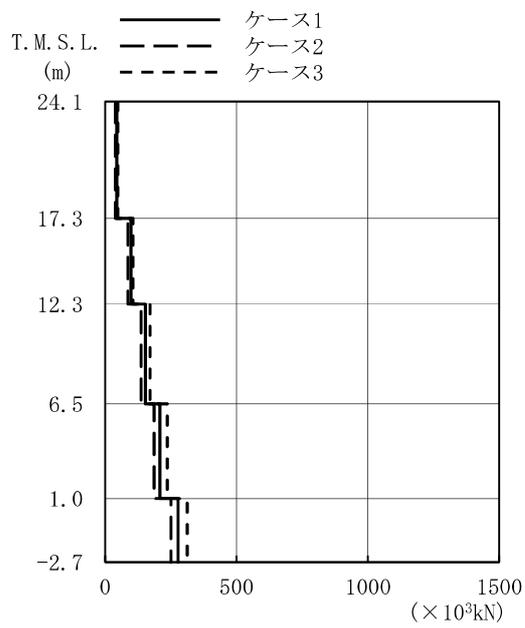


(a) Sd-1



(b) Sd-2

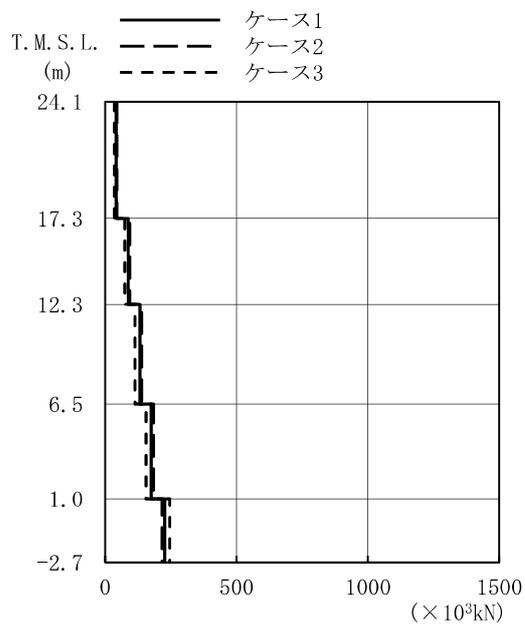
図 2-24 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>, EW 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース2	ケース3
44.9	39.7	48.0
98.8	87.3	107
154	137	171
209	186	237
278	251	313

(a) Sd-1

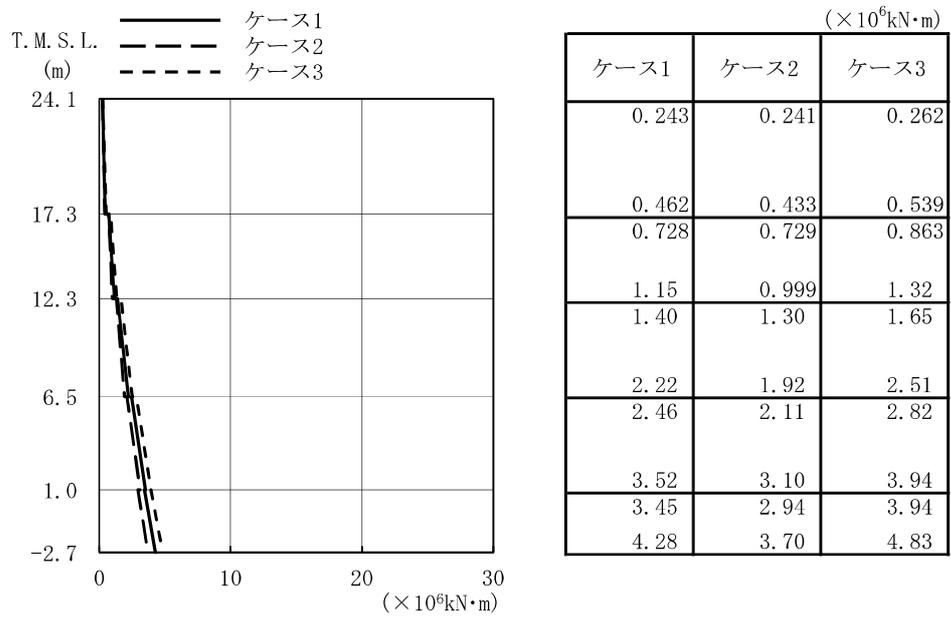


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

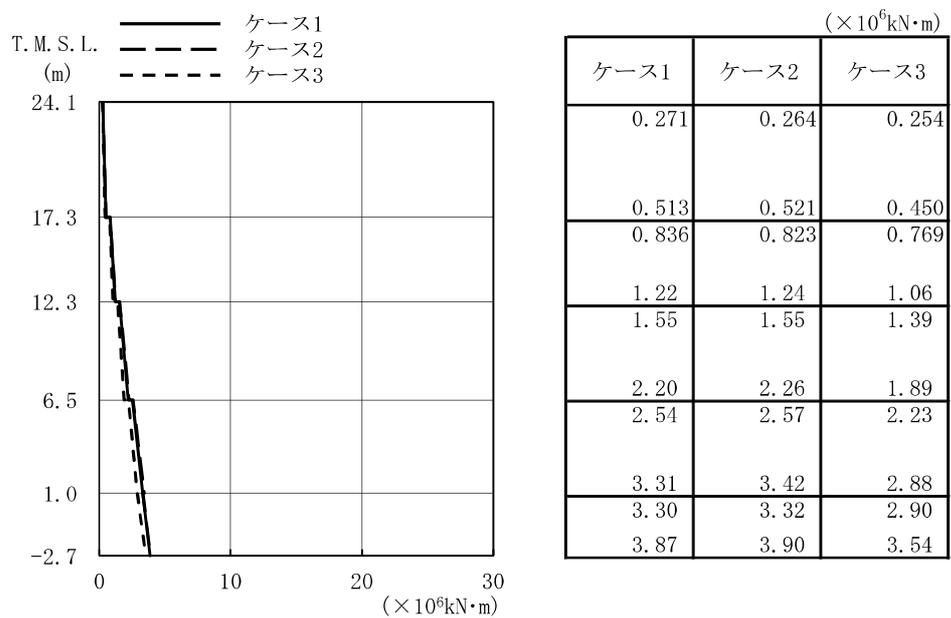
ケース1	ケース2	ケース3
41.7	44.2	34.9
87.6	93.7	75.1
132	140	114
176	184	156
227	217	246

(b) Sd-2

図 2-25 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

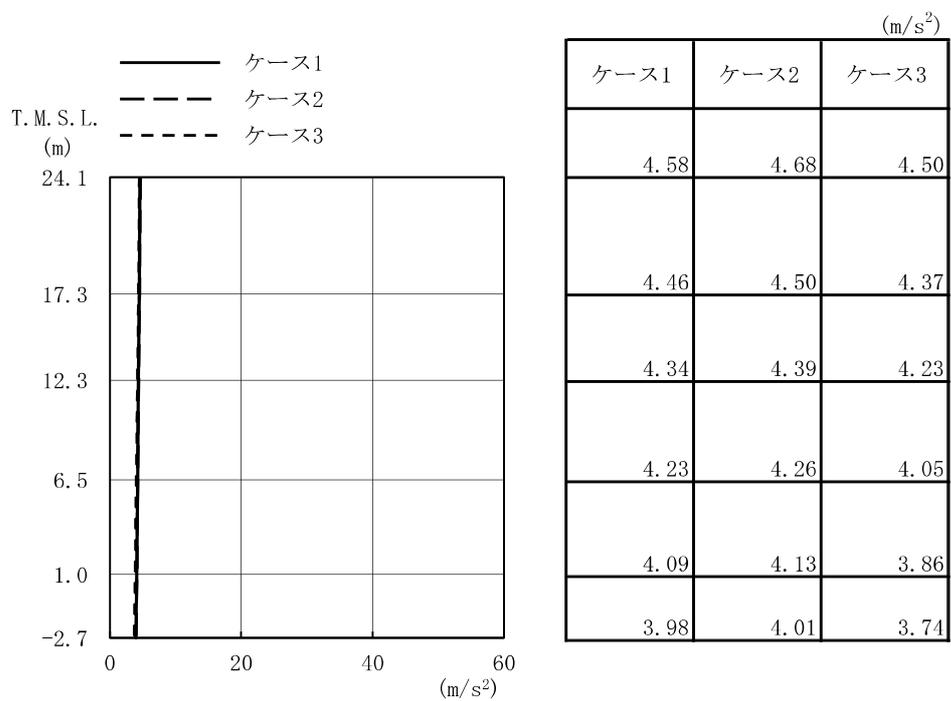


(a) Sd-1

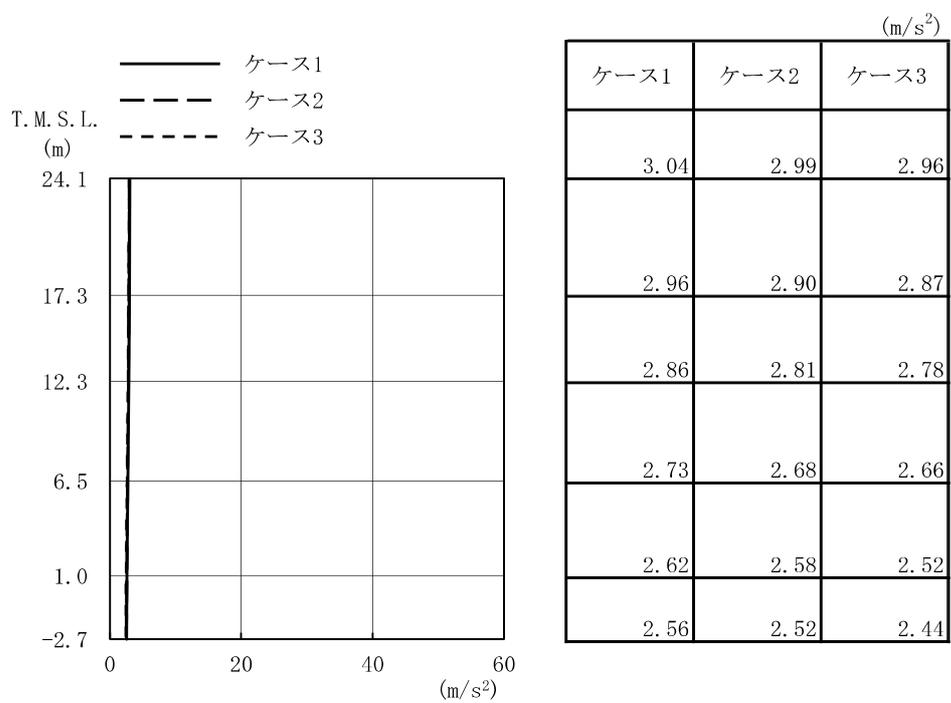


(b) Sd-2

図 2-26 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)



(a) Sd-1



(b) Sd-2

図 2-27 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向)

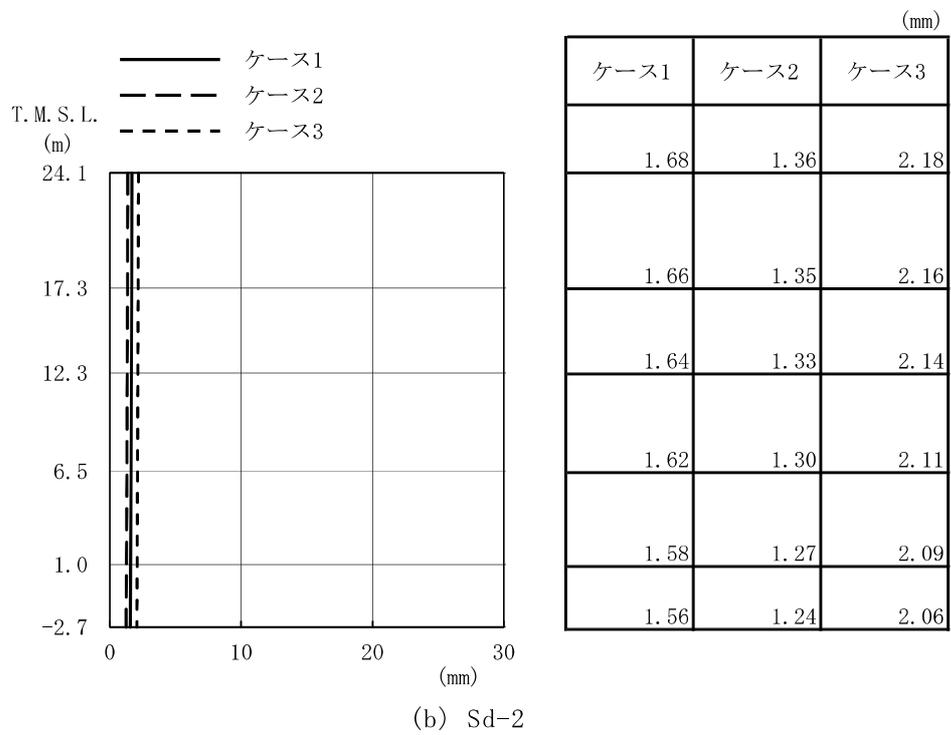
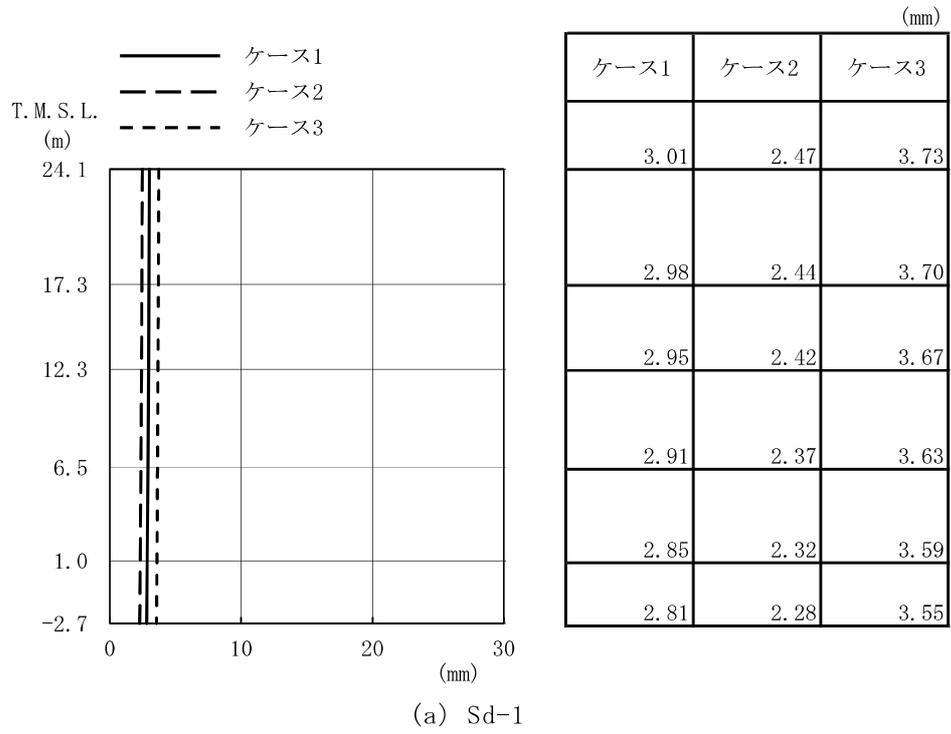
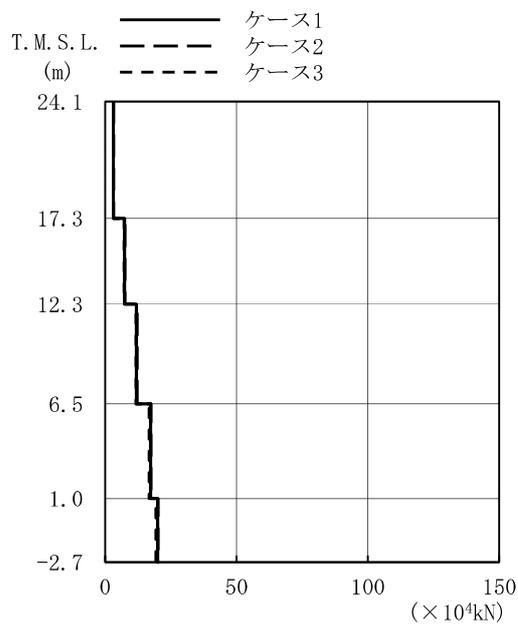


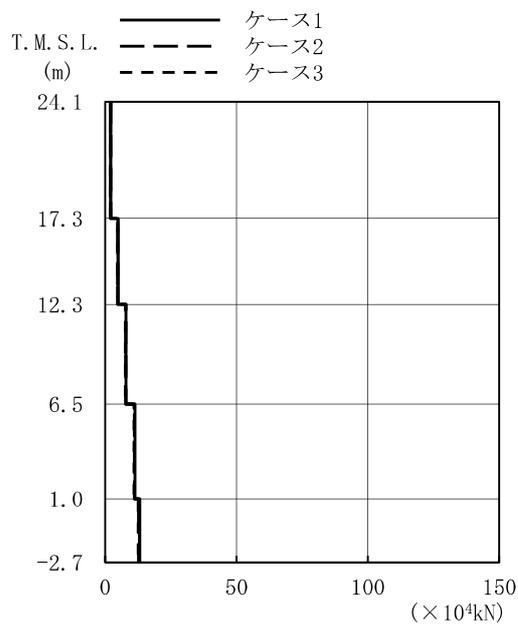
図 2-28 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向)



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

ケース1	ケース2	ケース3
3.21	3.28	3.14
7.44	7.56	7.28
12.0	12.2	11.8
17.3	17.5	16.8
20.0	20.2	19.3

(a) Sd-1



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

ケース1	ケース2	ケース3
2.13	2.09	2.06
4.94	4.84	4.78
7.99	7.84	7.74
11.4	11.1	11.0
13.1	12.8	12.7

(b) Sd-2

図 2-29 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向)

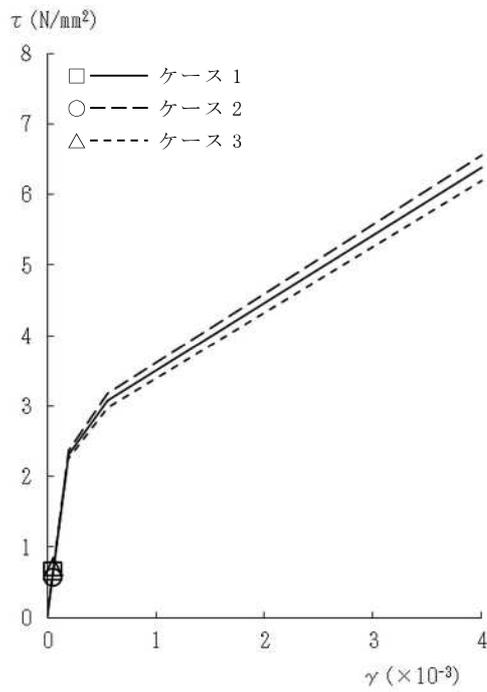


図 2-30  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, 2F) (1/5)

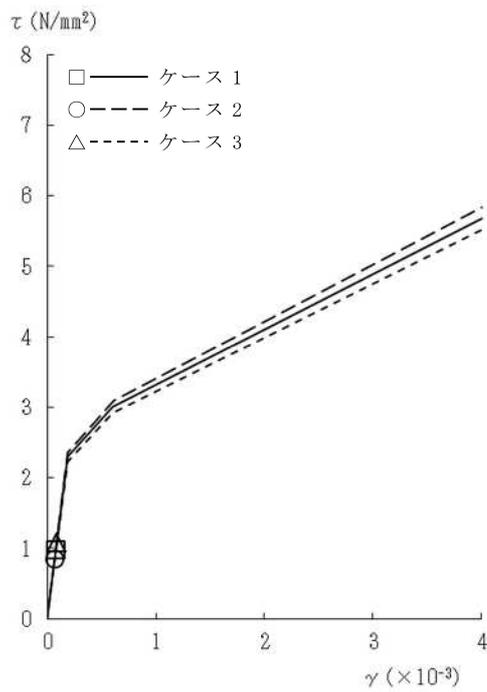


図 2-30  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, 1F) (2/5)

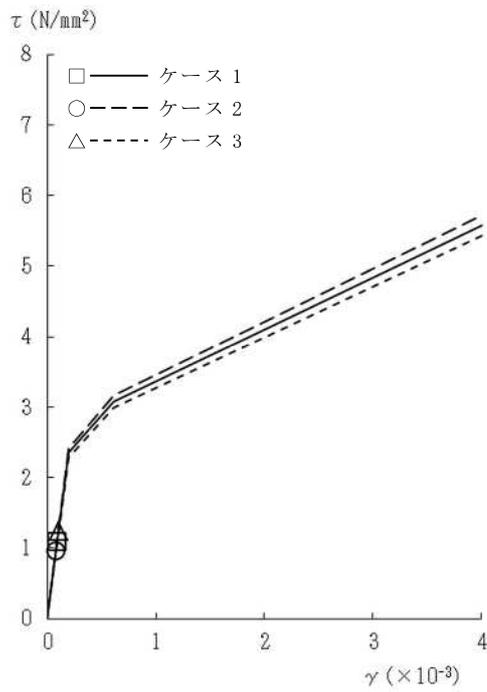


図 2-30  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, B1F) (3/5)

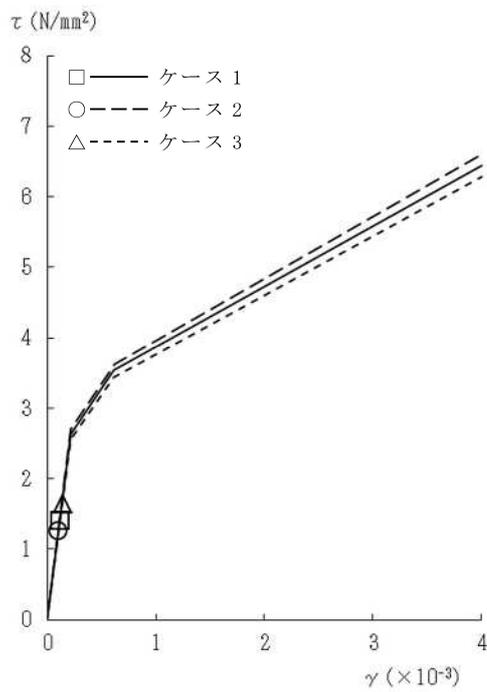


図 2-30  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, MB2F) (4/5)

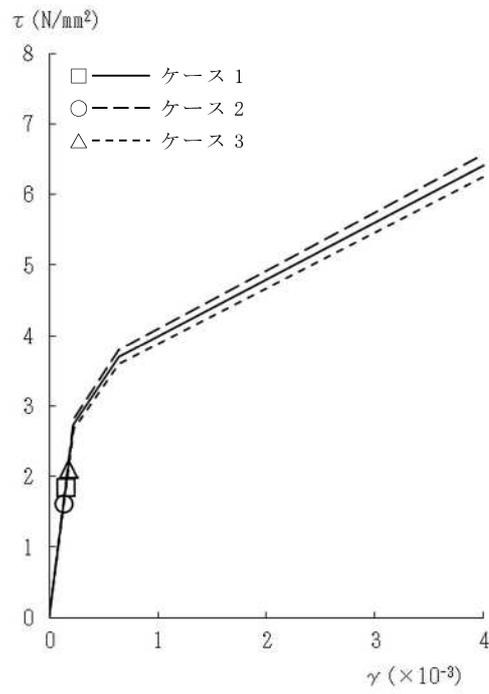


図 2-30 τ - γ 関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, B2F) (5/5)

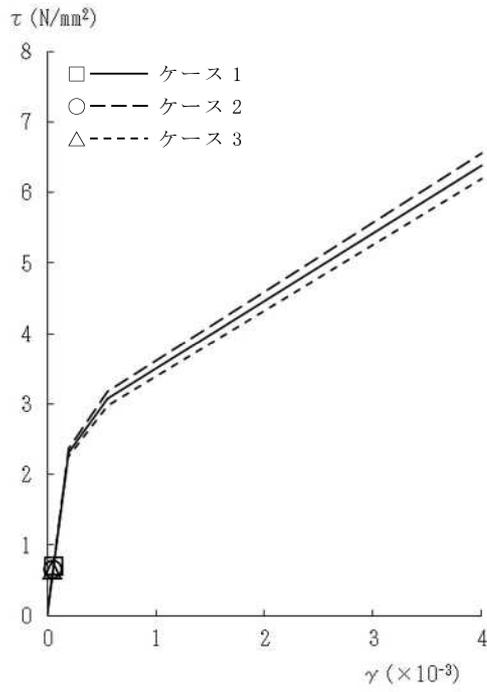


図 2-31  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, 2F) (1/5)

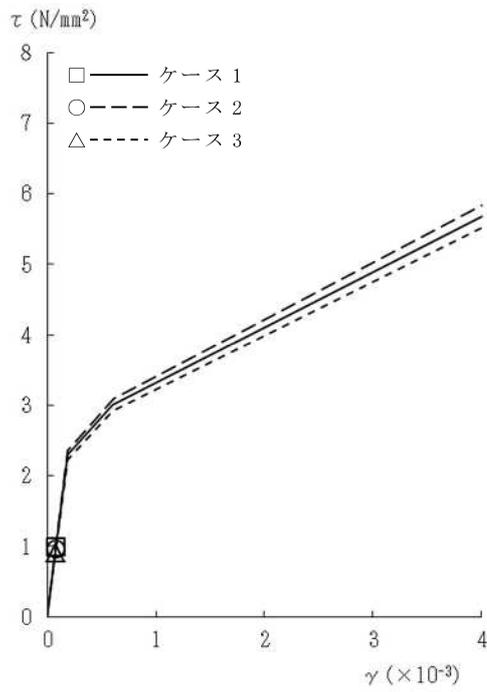


図 2-31  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, 1F) (2/5)

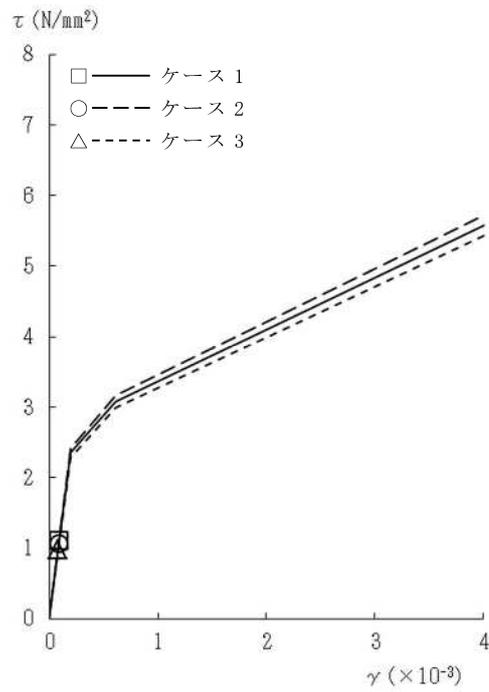


図 2-31  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, B1F) (3/5)

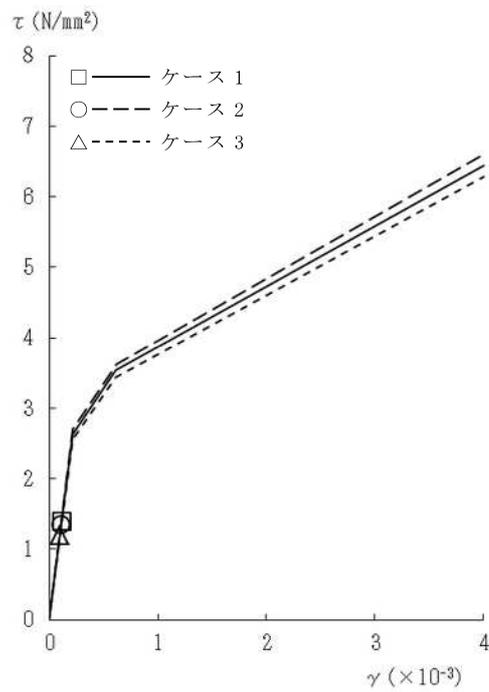


図 2-31  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, MB2F) (4/5)

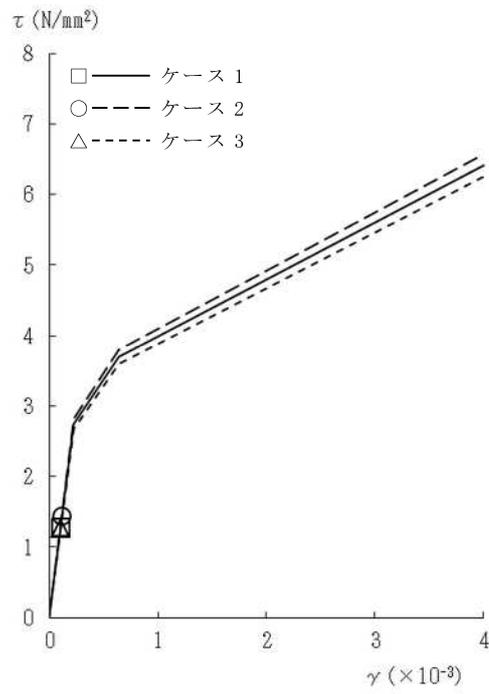


図 2-31 τ - γ 関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, B2F) (5/5)

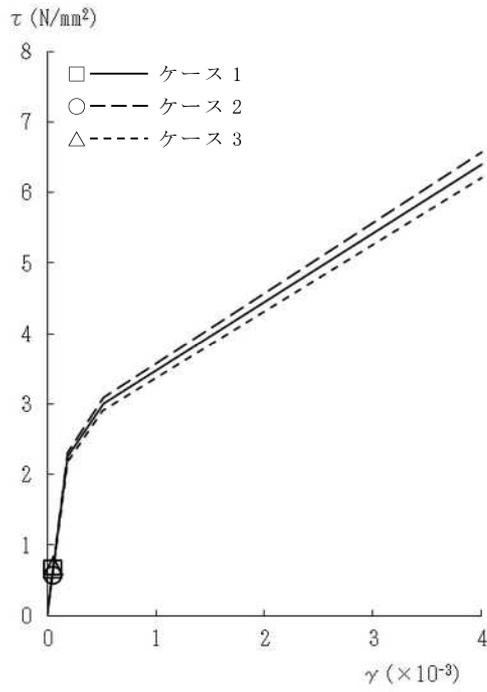


図 2-32  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, 2F) (1/5)

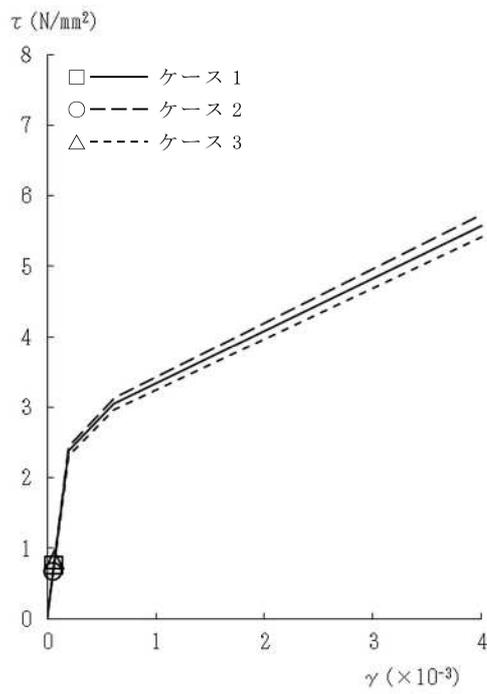


図 2-32  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, 1F) (2/5)

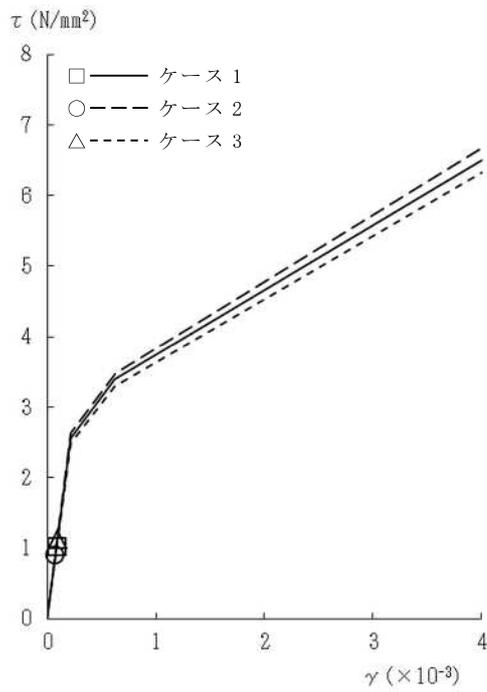


図 2-32  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, B1F) (3/5)

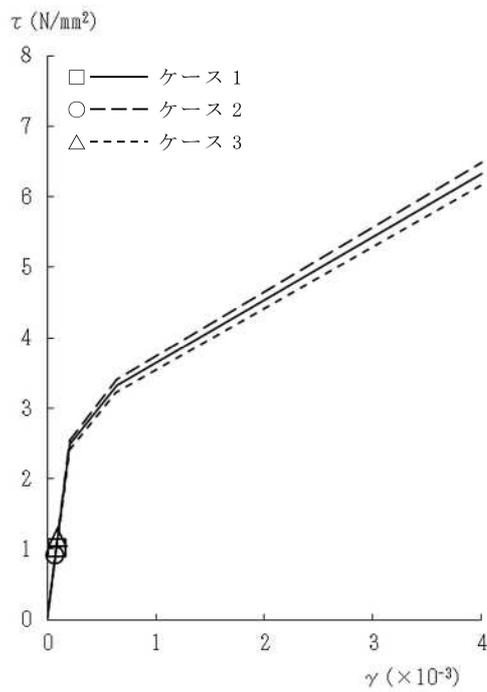


図 2-32  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, MB2F) (4/5)

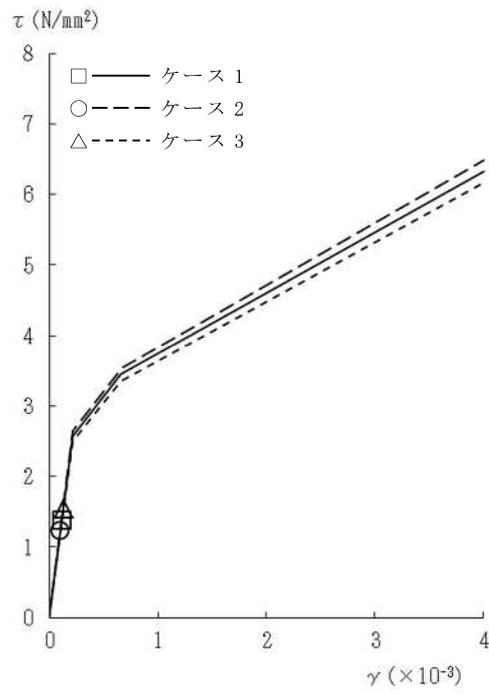


図 2-32  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, B2F) (5/5)

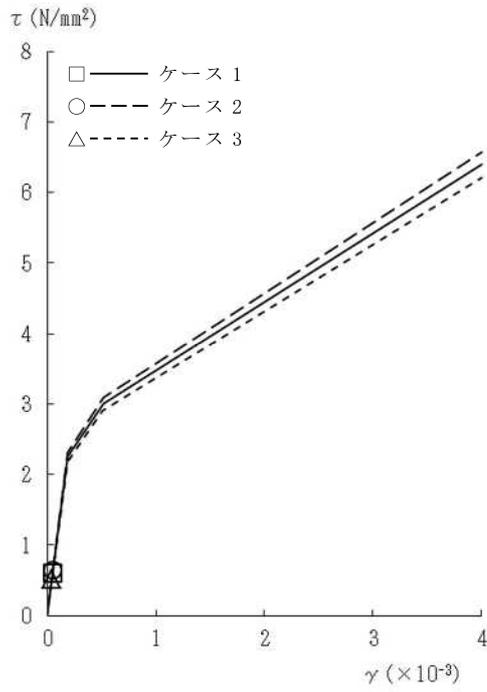


図 2-33  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, 2F) (1/5)

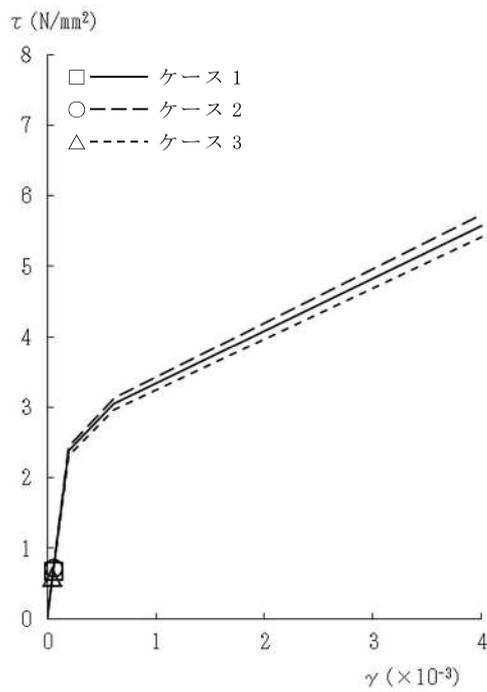


図 2-33  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, 1F) (2/5)

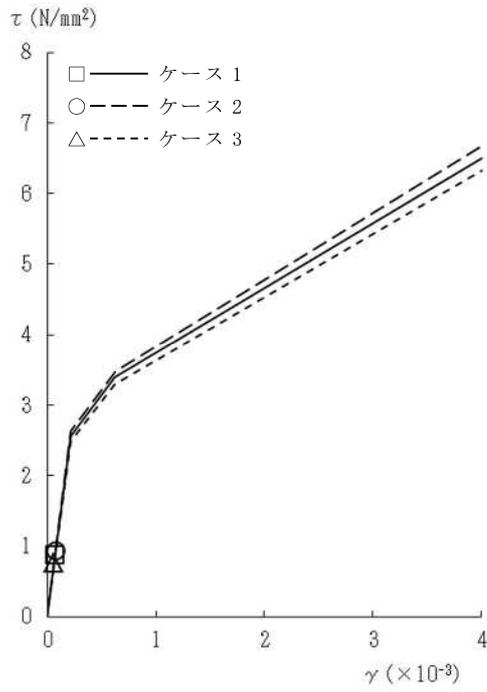


図 2-33  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, B1F) (3/5)

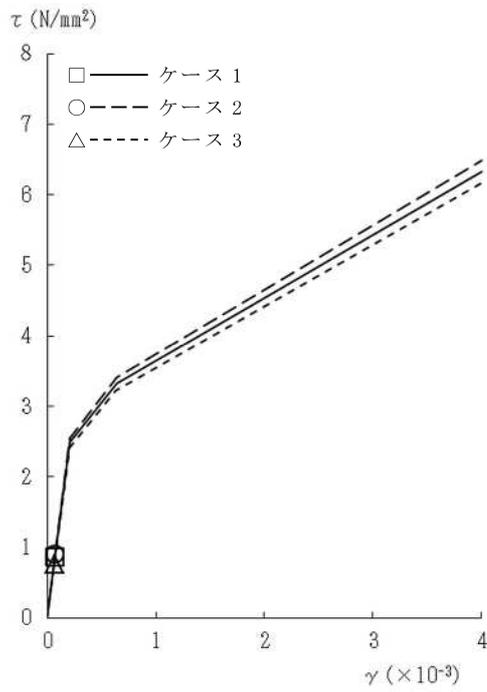


図 2-33  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, MB2F) (4/5)

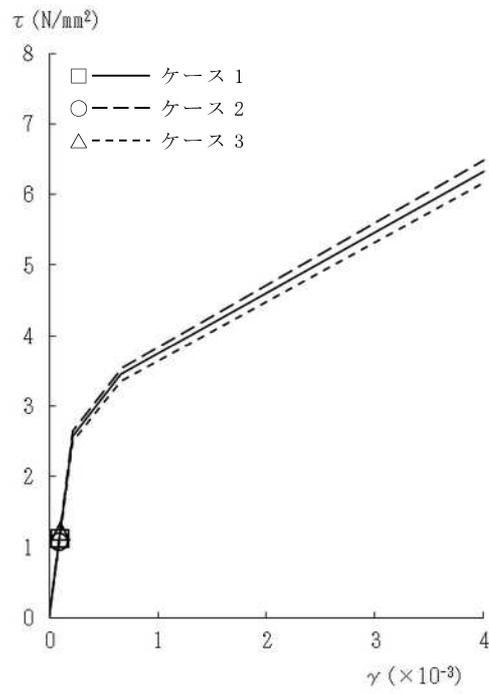


図 2-33 τ - γ 関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, B2F) (5/5)

表 2-5 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	597	4.81	97.6
Sd-2	575	4.70	98.8

(b) EW 方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	521	4.81	100.0
Sd-2	484	4.22	100.0

表 2-6 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 2)

(a) NS 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	555	4.14	100.0
Sd-2	558	4.41	100.0

(b) EW 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	493	4.21	100.0
Sd-2	479	4.16	100.0

表 2-7 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 3)

(a) NS 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	676	5.92	85.6
Sd-2	580	4.73	98.5

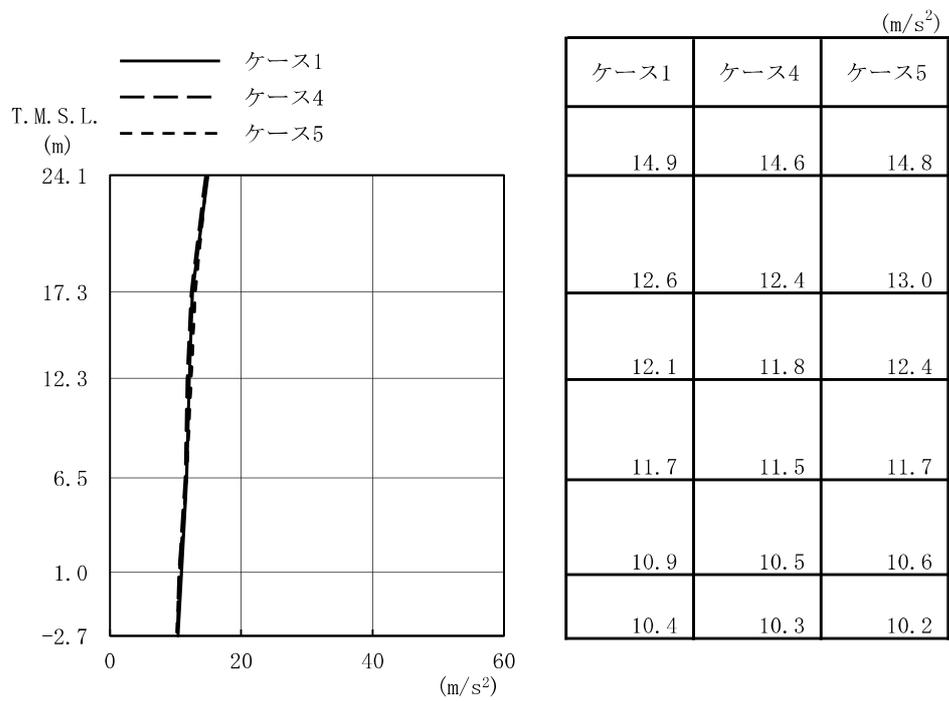
(b) EW 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	552	5.60	100.0
Sd-2	472	3.98	100.0

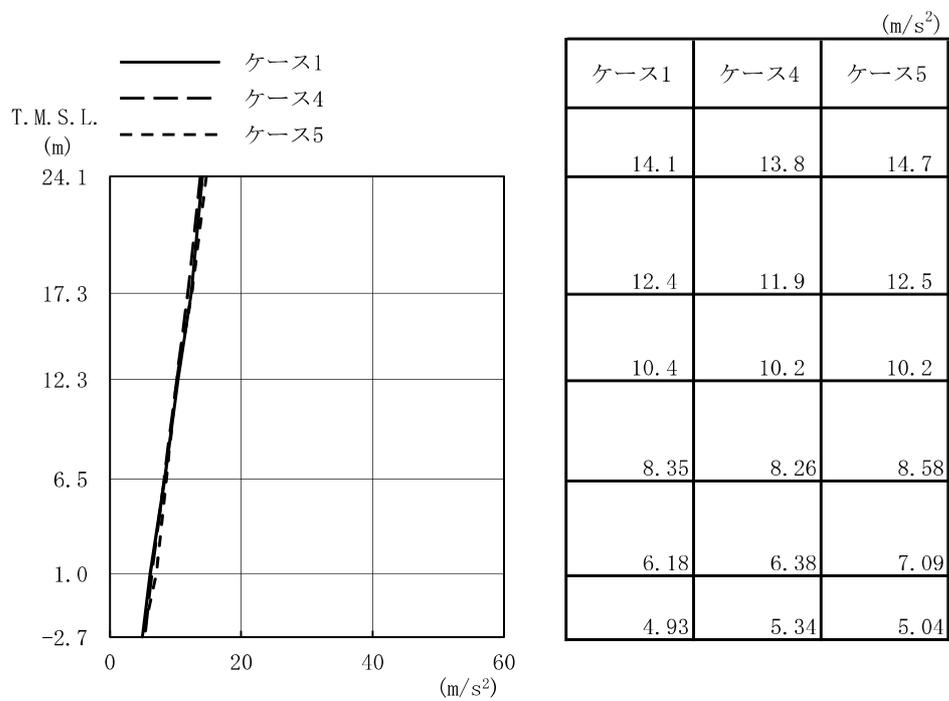
## 2.2 建屋剛性の不確かさ

建屋剛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 2-34～図 2-51 に、接地率を表 2-8～表 2-10 に、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析結果を図 2-52～図 2-66 に、接地率を表 2-11～表 2-13 に示す。

以後、基本ケースをケース 1、コンクリート実強度をコア強度平均 ( $55.7\text{N/mm}^2$ ) とする場合をケース 4、コンクリート実強度を実強度  $-2\sigma$  ( $37.2\text{N/mm}^2$ ) をケース 5 として示す。

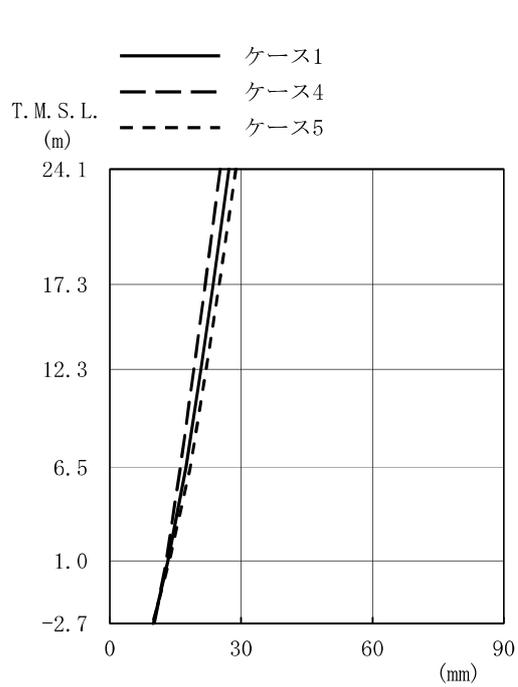


(a) S<sub>s</sub>-1



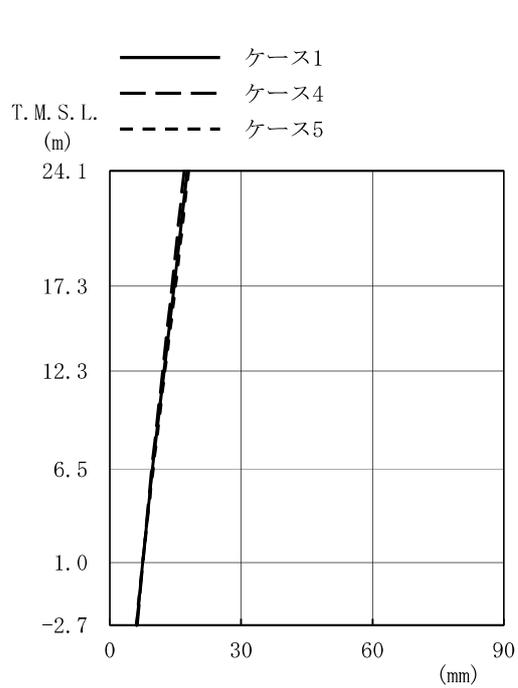
(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-34 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)



(mm)		
ケース1	ケース4	ケース5
27.2	25.2	28.8
23.6	21.8	25.0
20.8	19.2	22.0
17.4	16.1	18.4
13.3	12.9	13.6
9.91	10.2	9.81

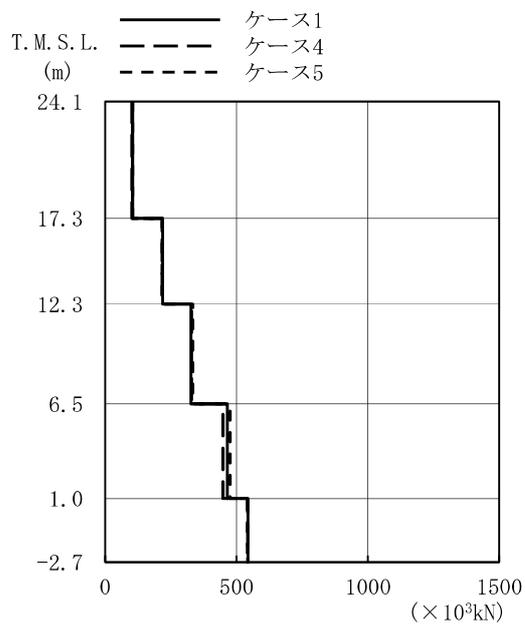
(a) S<sub>s</sub>-1



(mm)		
ケース1	ケース4	ケース5
17.7	17.0	18.0
14.7	14.2	15.0
12.4	12.1	12.6
9.72	9.58	9.87
7.51	7.56	7.48
6.11	6.24	6.04

(b) S<sub>s</sub>-2

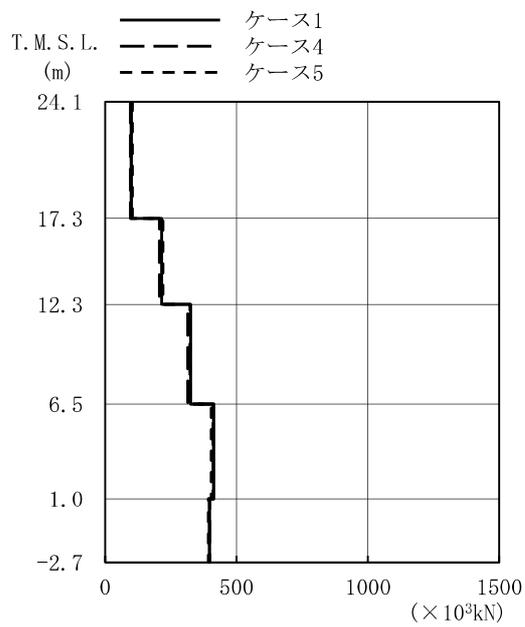
図 2-35 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
104	102	104
219	217	217
327	329	334
465	449	476
544	542	541

(a) Ss-1

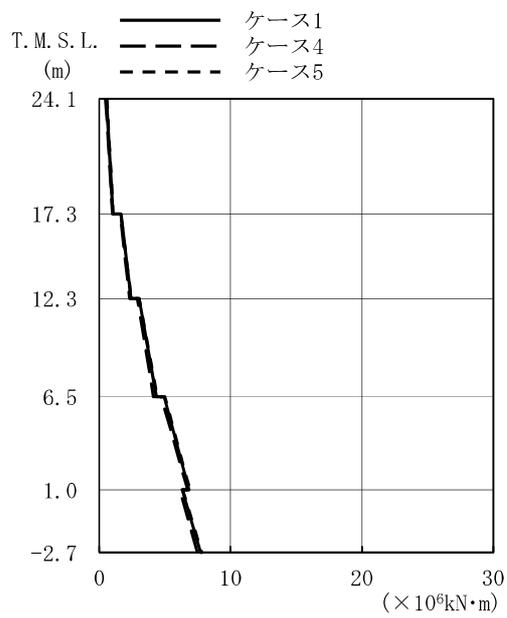


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
99.2	96.9	103
216	208	220
326	315	324
414	411	404
397	398	394

(b) Ss-2

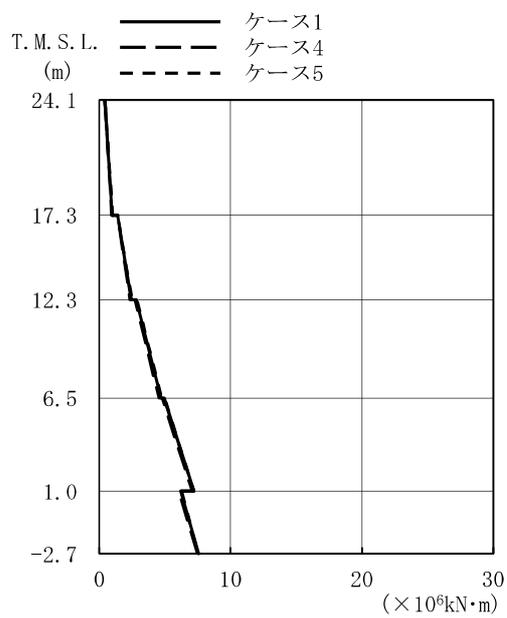
図 2-36 最大応答せん断力 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)



( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
0.546	0.477	0.580
1.04	1.01	1.05
1.65	1.58	1.64
2.42	2.32	2.42
3.04	2.91	3.03
4.35	4.13	4.40
4.95	4.72	4.99
6.83	6.73	6.90
6.31	6.14	6.35
7.72	7.48	7.80

(a) Ss-1

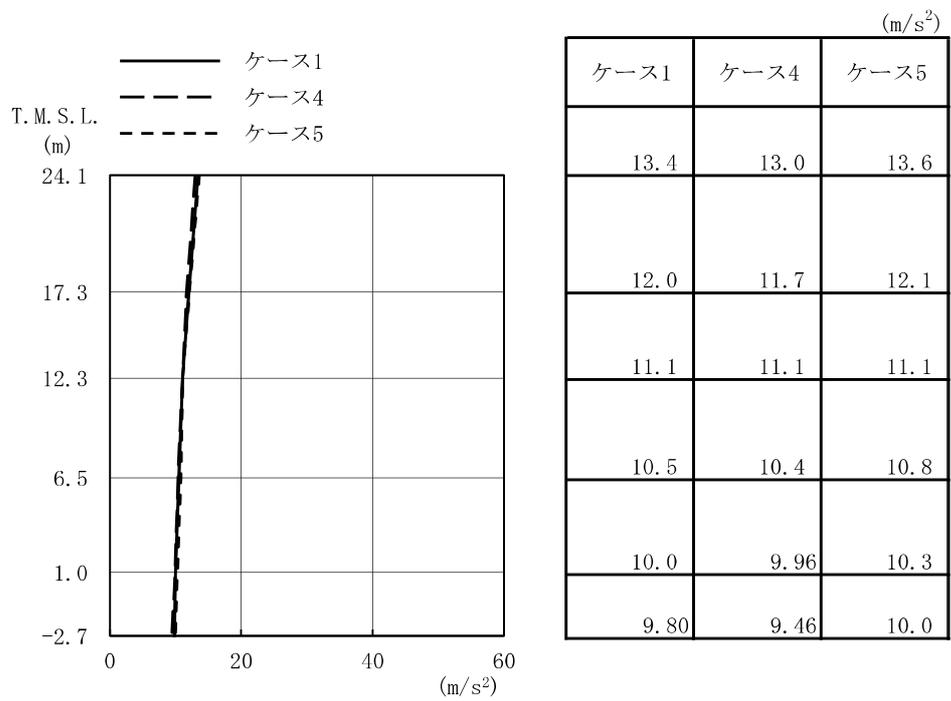


( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

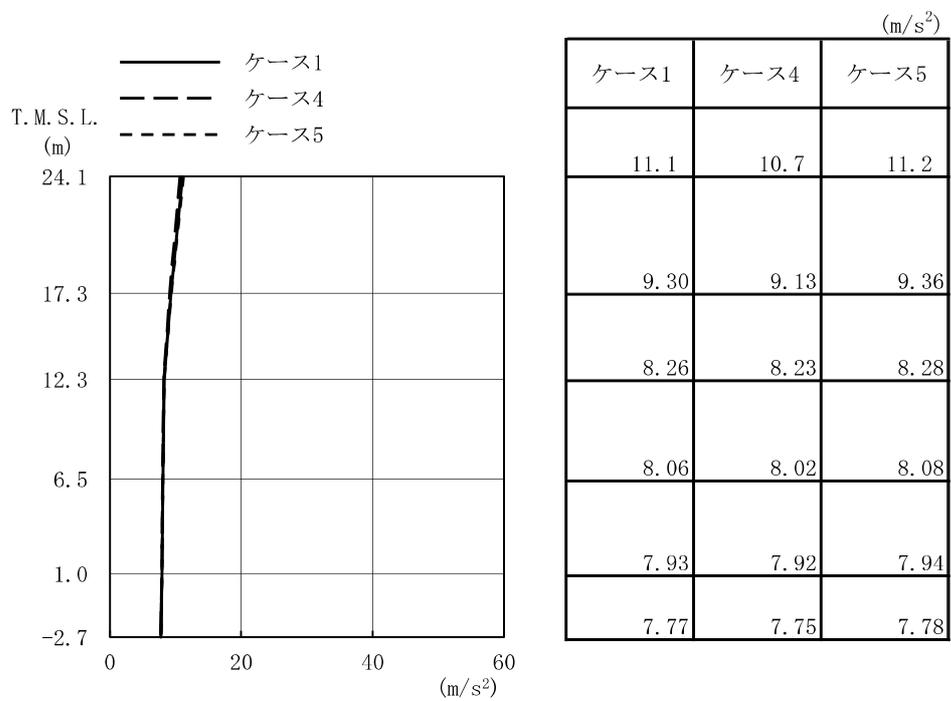
ケース1	ケース4	ケース5
0.437	0.428	0.430
0.988	0.944	1.02
1.40	1.40	1.40
2.44	2.34	2.49
2.81	2.73	2.87
4.70	4.55	4.75
4.93	4.81	4.98
7.21	7.07	7.20
6.20	6.03	6.27
7.56	7.47	7.51

(b) Ss-2

図 2-37 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)

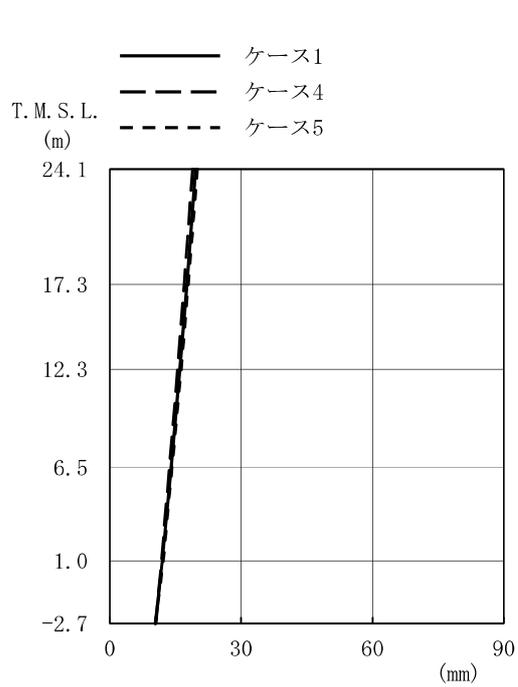


(a) S<sub>s</sub>-1



(b) S<sub>s</sub>-2

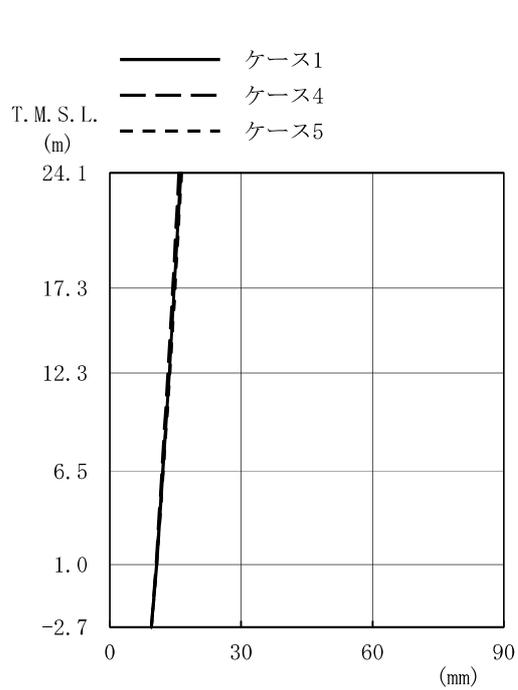
図 2-38 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)



(mm)

ケース1	ケース4	ケース5
19.6	18.9	20.0
17.6	17.0	17.9
16.0	15.5	16.3
14.0	13.6	14.2
12.0	11.8	12.2
10.4	10.5	10.4

(a) S<sub>s</sub>-1

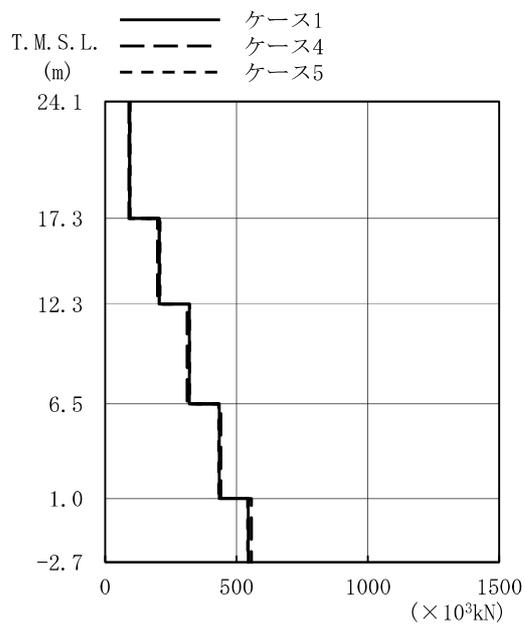


(mm)

ケース1	ケース4	ケース5
16.2	15.8	16.4
14.7	14.4	14.9
13.6	13.3	13.7
12.1	11.9	12.2
10.7	10.6	10.7
9.50	9.51	9.50

(b) S<sub>s</sub>-2

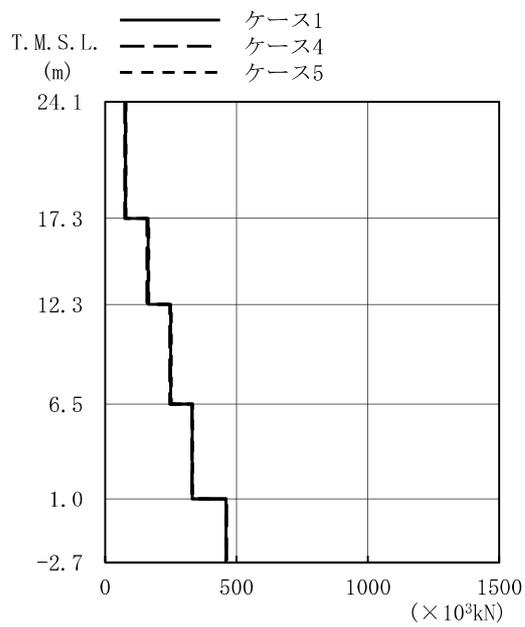
図 2-39 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
93.6	90.8	95.1
206	201	209
321	313	322
435	440	432
545	557	543

(a) Ss-1

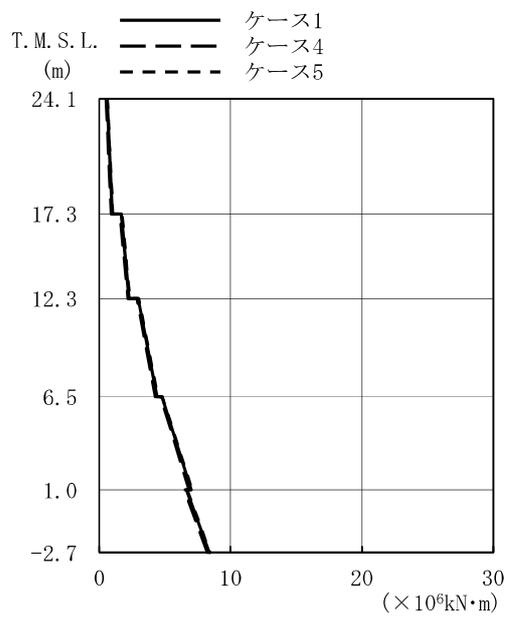


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
77.3	74.7	78.4
164	160	166
250	246	252
332	330	333
461	463	460

(b) Ss-2

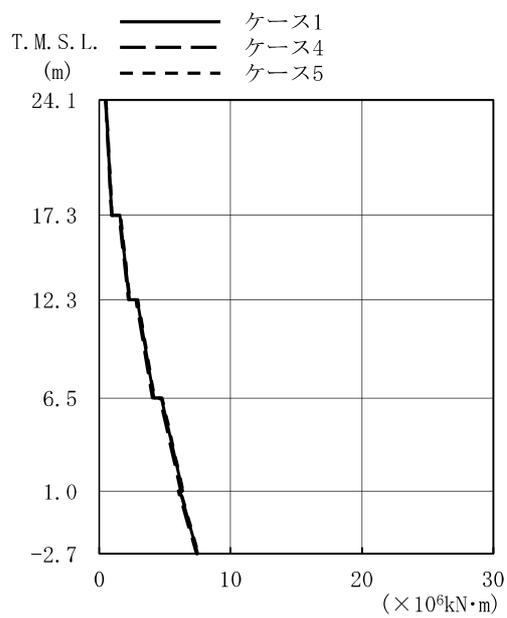
図 2-40 最大応答せん断力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)



( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
0.594	0.533	0.613
0.993	0.907	1.03
1.67	1.57	1.73
2.26	2.19	2.31
2.97	2.87	3.00
4.39	4.27	4.47
4.78	4.68	4.79
6.99	6.84	7.06
6.64	6.50	6.69
8.37	8.23	8.43

(a) Ss-1

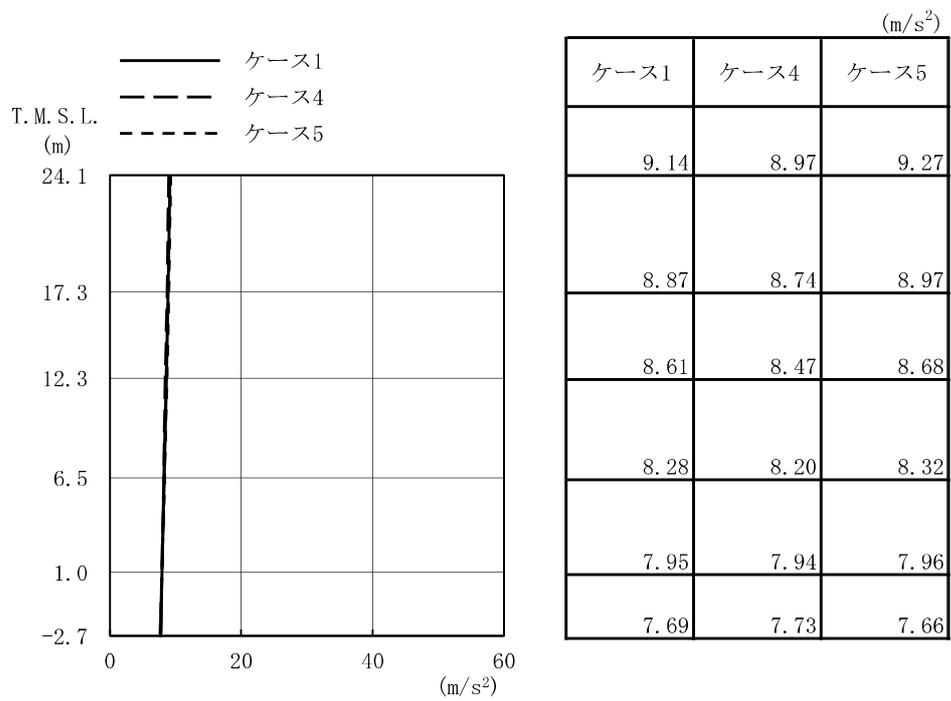


( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

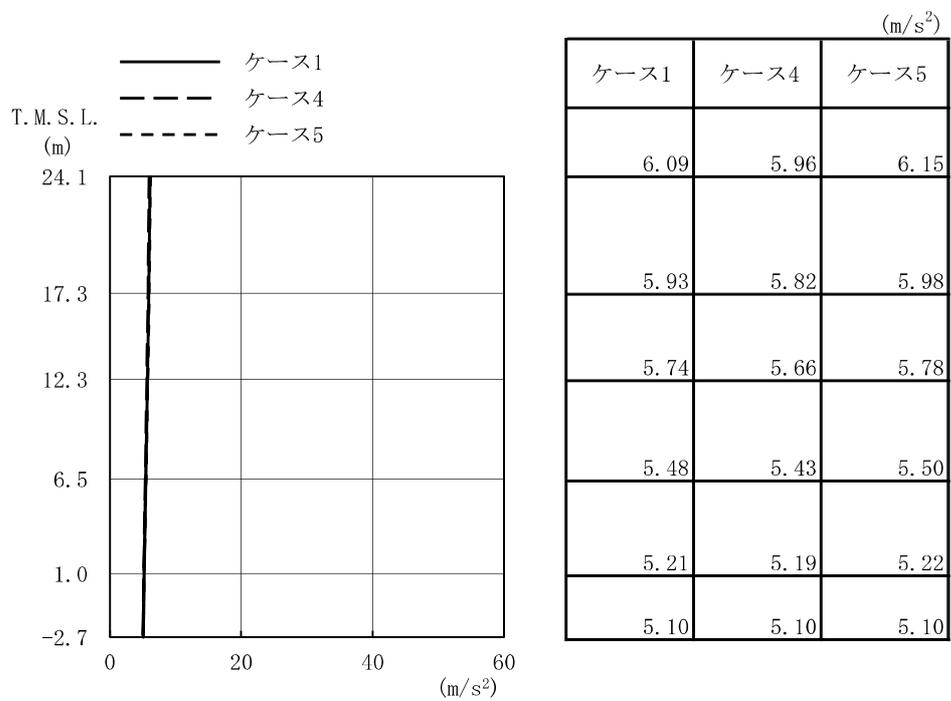
ケース1	ケース4	ケース5
0.503	0.478	0.514
0.965	0.926	0.982
1.57	1.51	1.60
2.30	2.22	2.33
2.89	2.79	2.93
4.17	4.05	4.22
4.73	4.60	4.78
6.34	6.20	6.39
6.15	6.02	6.20
7.49	7.39	7.53

(b) Ss-2

図 2-41 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)

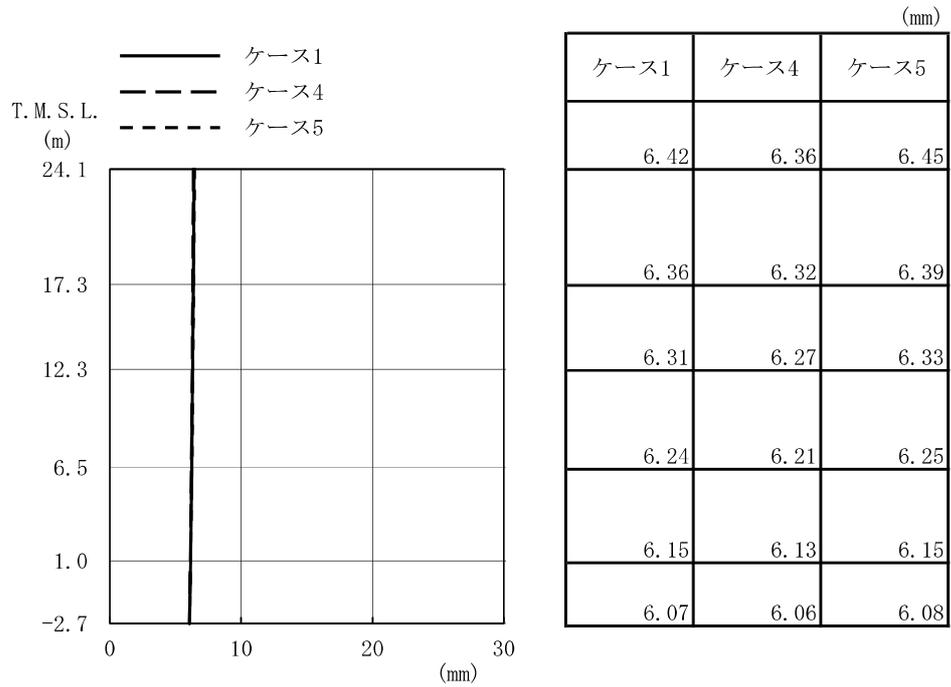


(a) S<sub>s</sub>-1

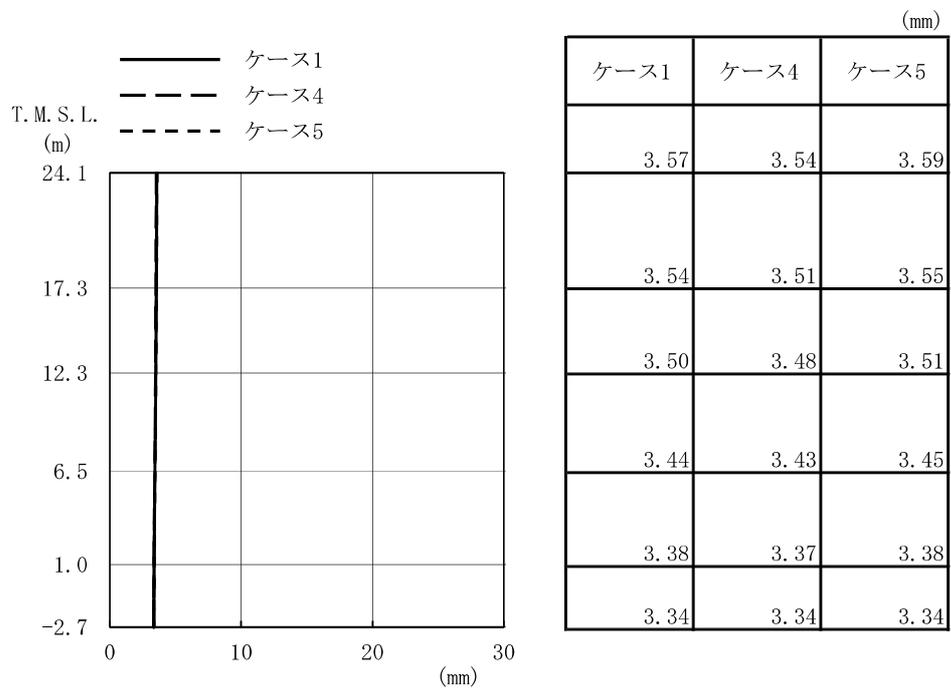


(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-42 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, 鉛直方向)

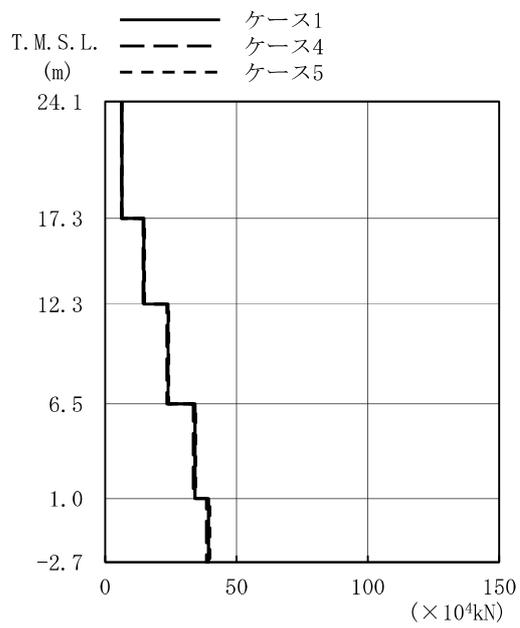


(a) S<sub>s</sub>-1



(b) S<sub>s</sub>-2

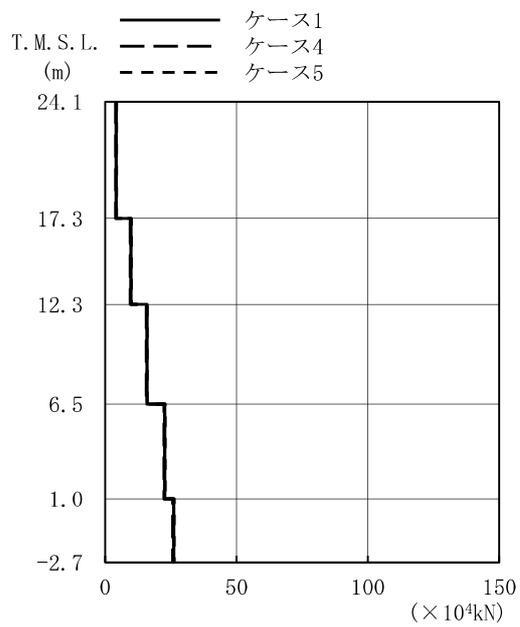
図 2-43 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, 鉛直方向)



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

ケース1	ケース4	ケース5
6.41	6.26	6.51
14.8	14.5	15.0
24.0	23.5	24.3
34.2	33.6	34.5
39.4	38.7	39.8

(a) S<sub>s</sub>-1



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

ケース1	ケース4	ケース5
4.25	4.16	4.29
9.85	9.66	9.94
16.0	15.7	16.1
22.7	22.4	22.9
26.1	25.8	26.3

(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-44 最大応答軸力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, 鉛直方向)

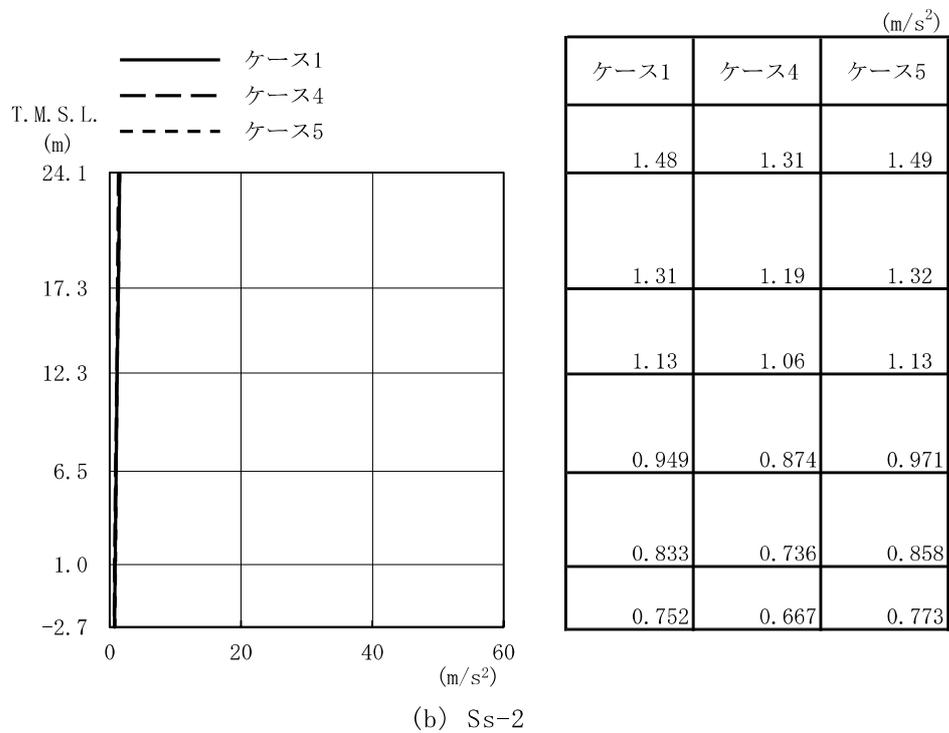
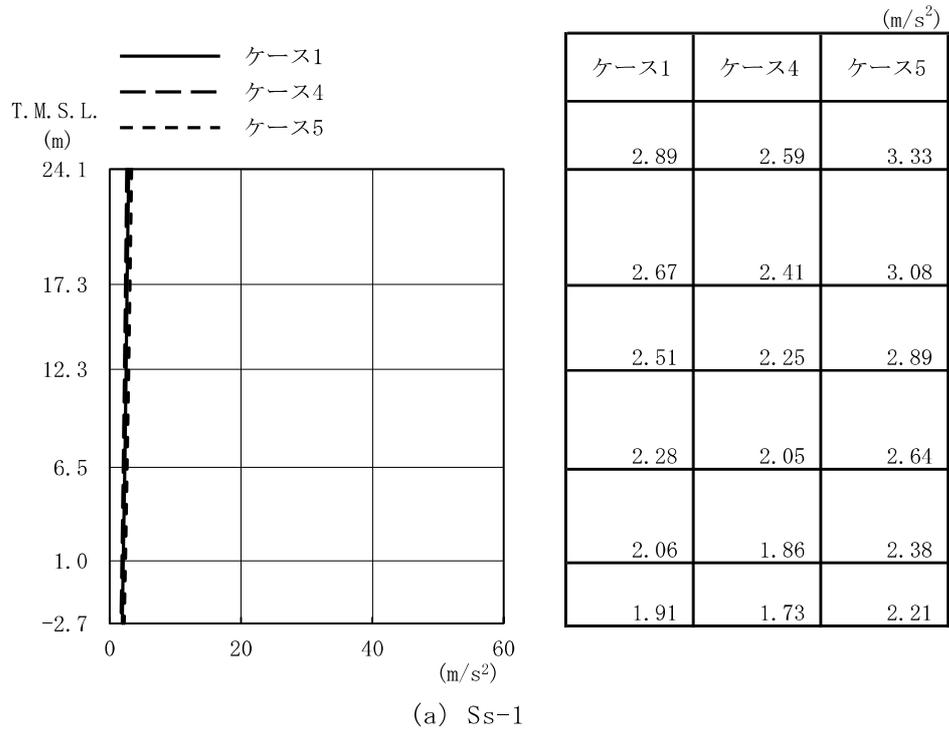


図 2-45 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)

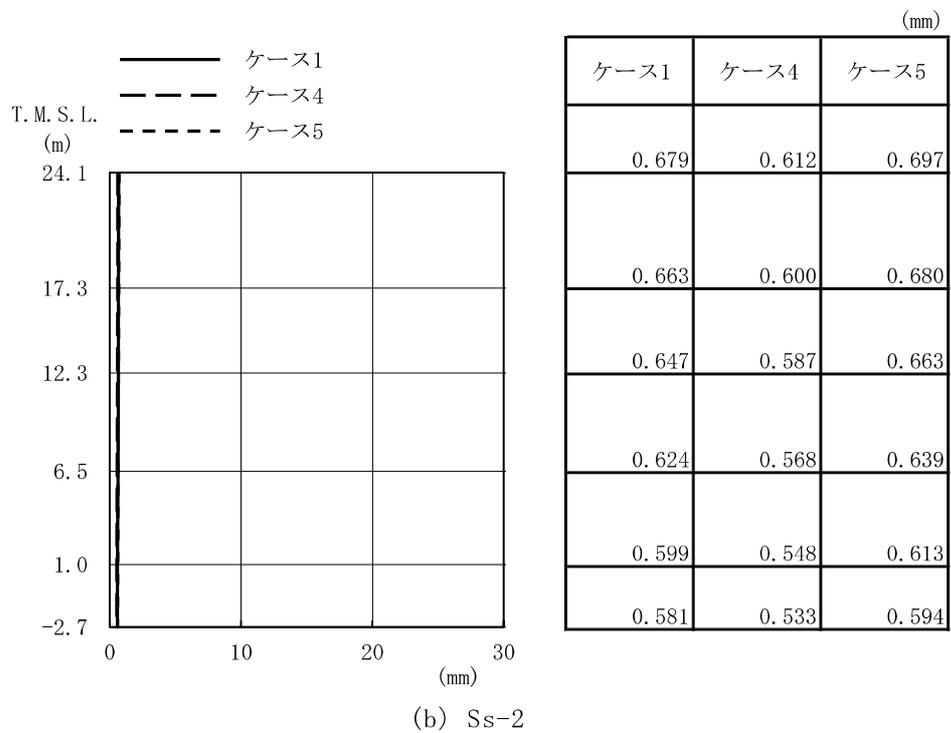
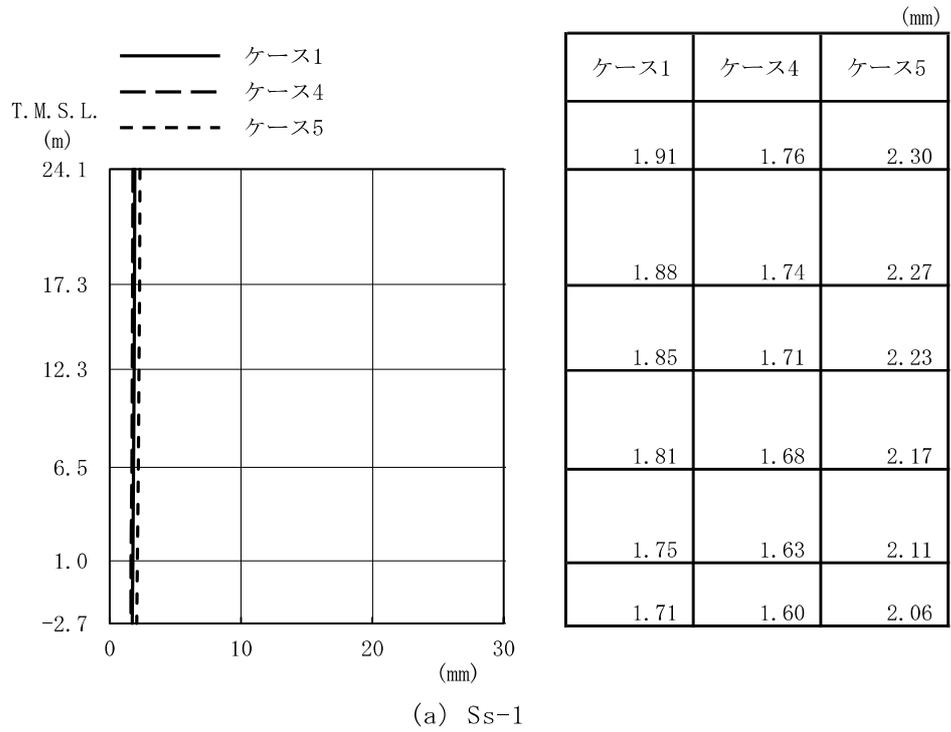
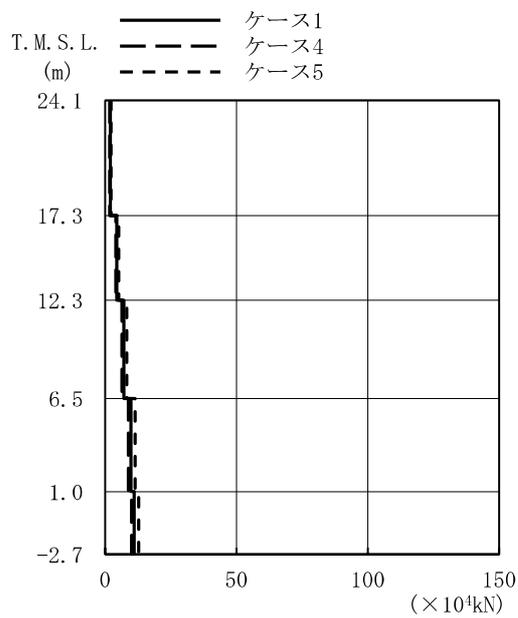


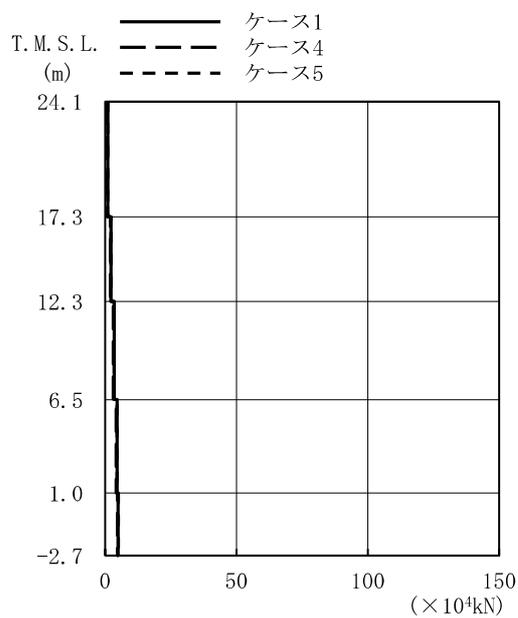
図 2-46 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)



( $\times 10^4$ kN)

ケース1	ケース4	ケース5
2.01	1.80	2.31
4.51	4.07	5.19
7.12	6.45	8.20
9.86	8.93	11.4
11.1	10.1	12.8

(a) Ss-1



( $\times 10^4$ kN)

ケース1	ケース4	ケース5
1.03	0.909	1.03
2.27	2.03	2.28
3.46	3.15	3.47
4.55	4.22	4.56
5.00	4.67	5.01

(b) Ss-2

図 2-47 最大応答軸力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)

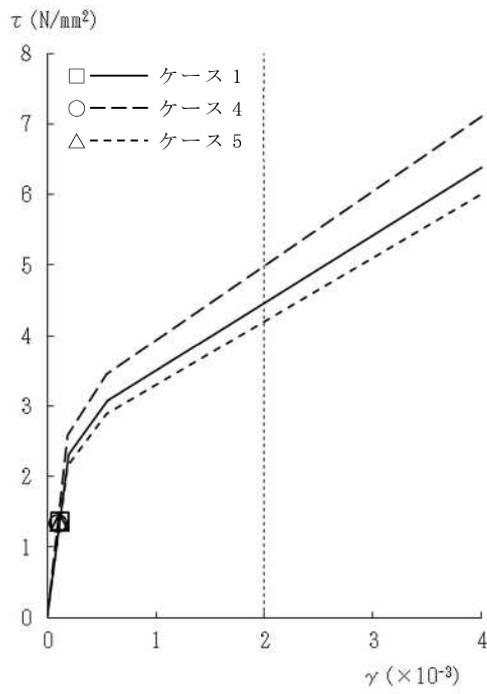


図 2-48  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, 2F) (1/5)

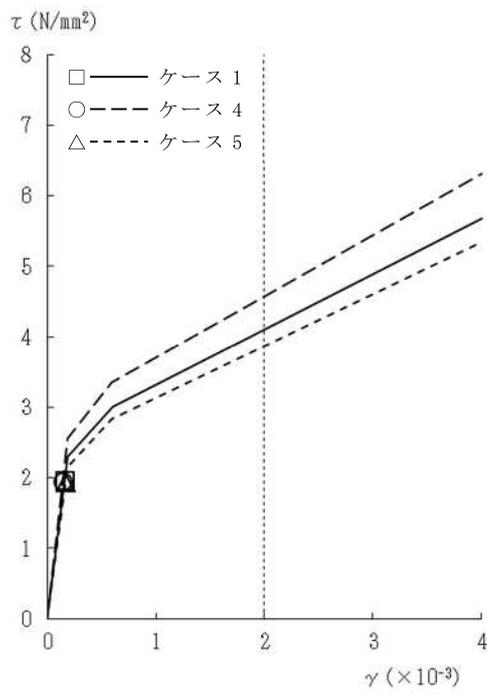


図 2-48  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, 1F) (2/5)

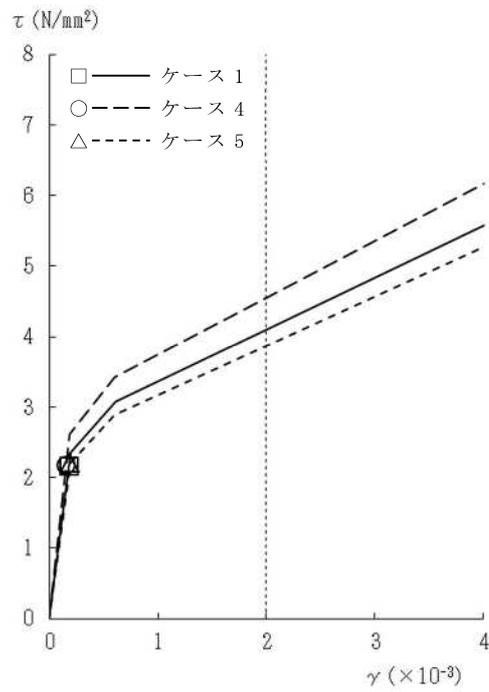


図 2-48  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, B1F) (3/5)

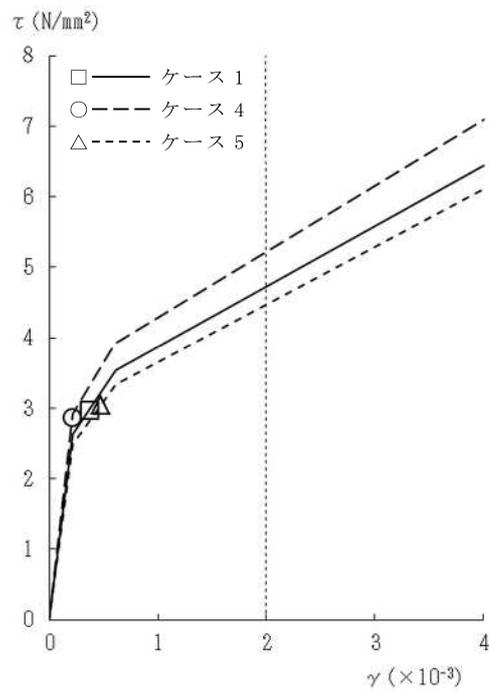


図 2-48  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, MB2F) (4/5)

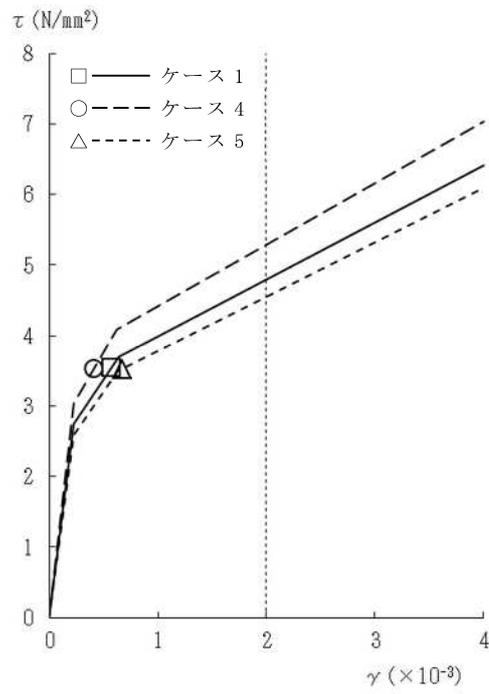


図 2-48  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, B2F) (5/5)

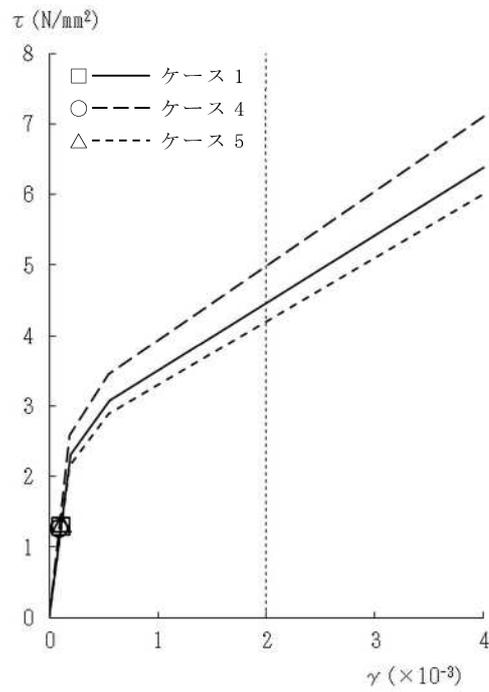


図 2-49 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, 2F) (1/5)

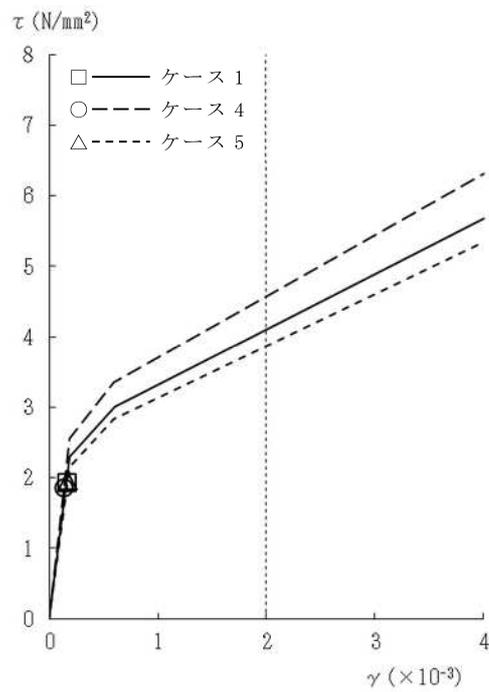


図 2-49 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, 1F) (2/5)

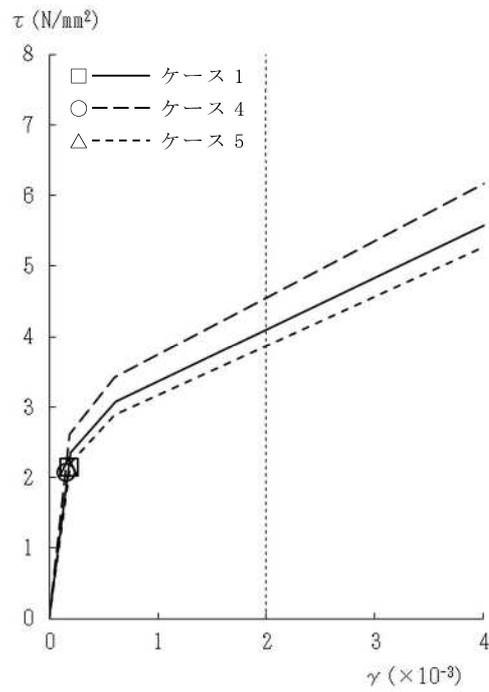


図 2-49  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, B1F) (3/5)

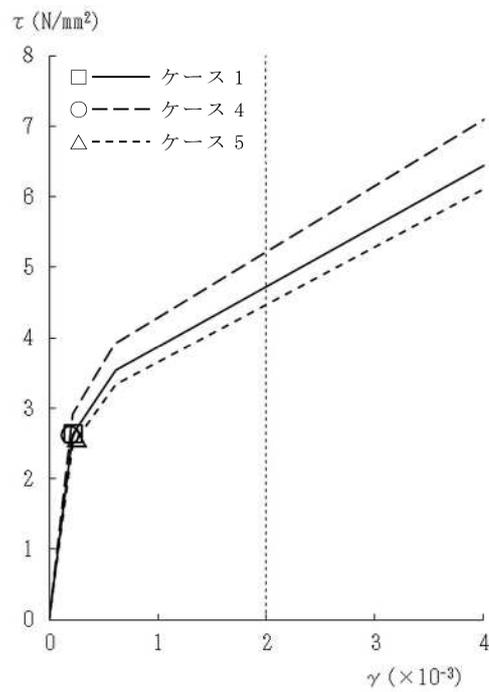


図 2-49  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, MB2F) (4/5)

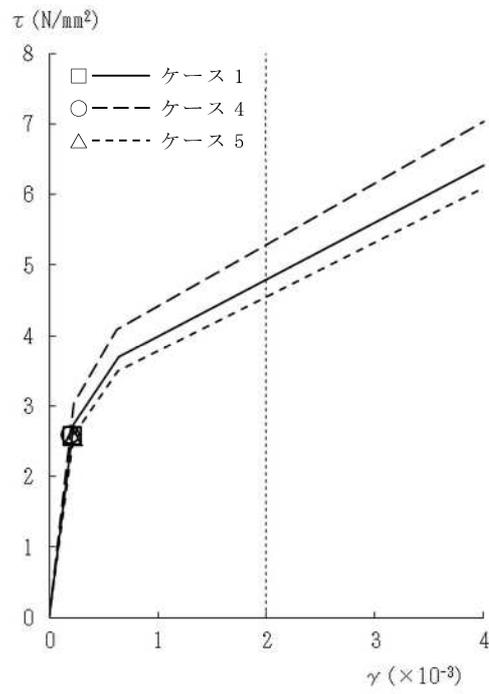


図 2-49  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, B2F) (5/5)

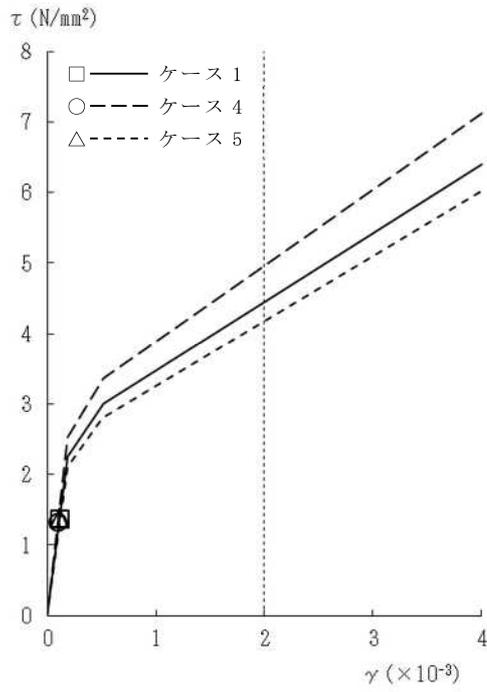


図 2-50  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, 2F) (1/5)

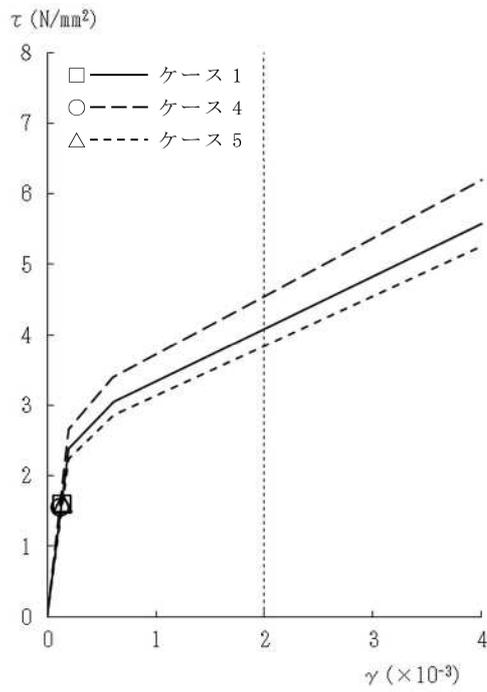


図 2-50  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, 1F) (2/5)

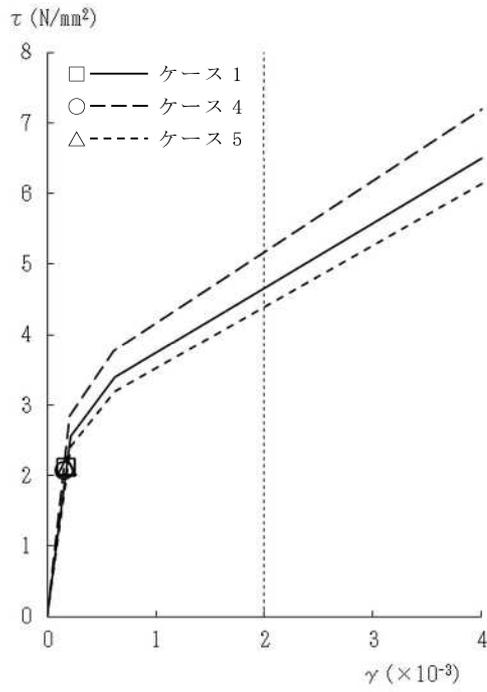


図 2-50 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, B1F) (3/5)

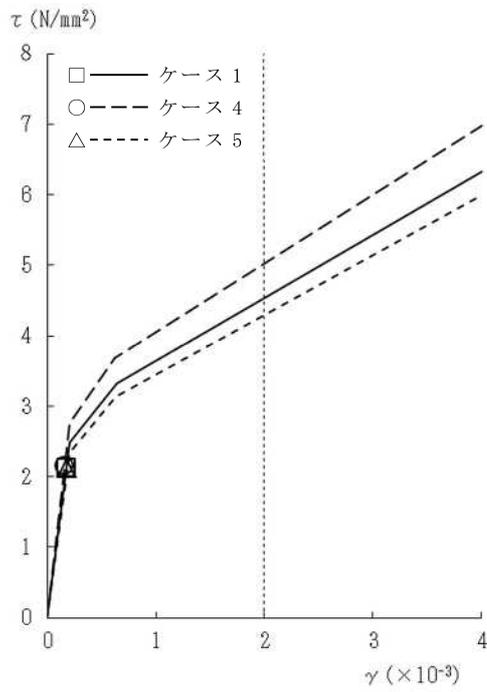


図 2-50 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, MB2F) (4/5)

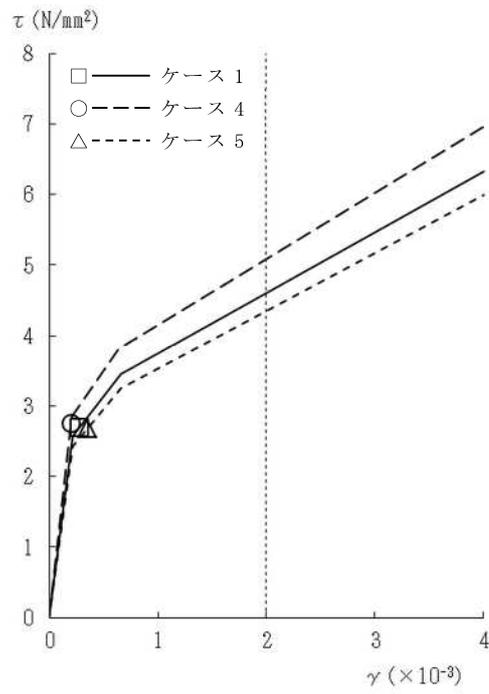


図 2-50 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, B2F) (5/5)

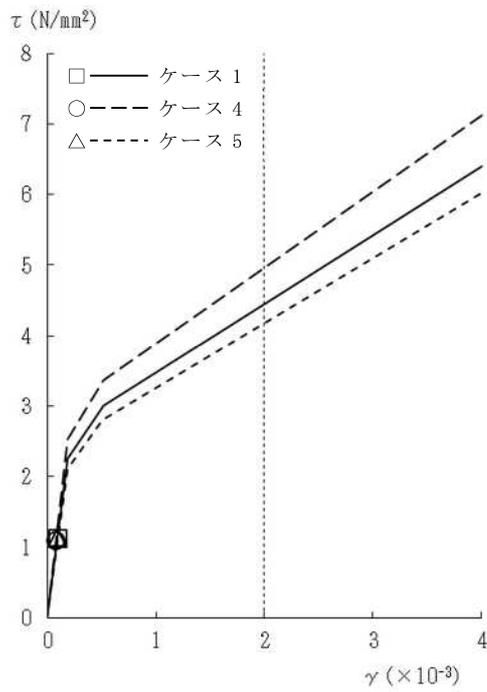


図 2-51  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, 2F) (1/5)

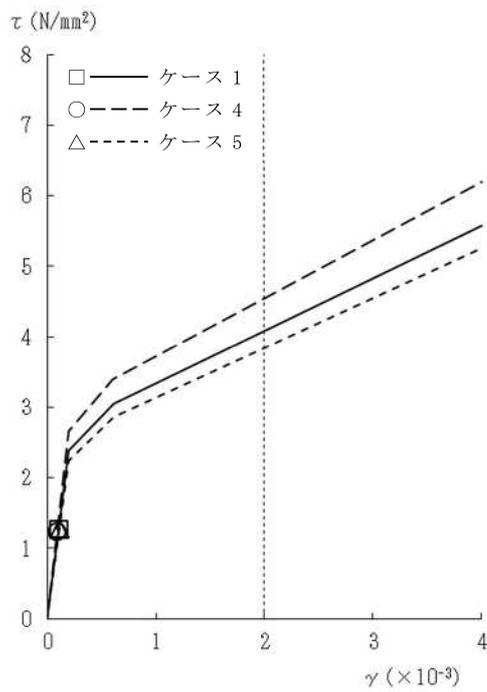


図 2-51  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, 1F) (2/5)

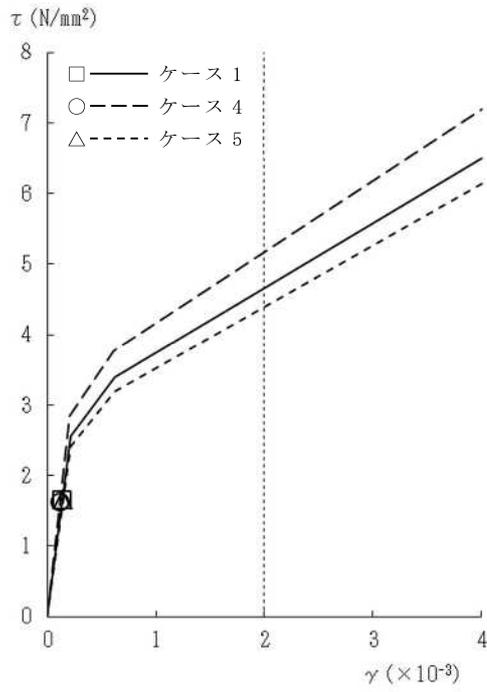


図 2-51  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, B1F) (3/5)

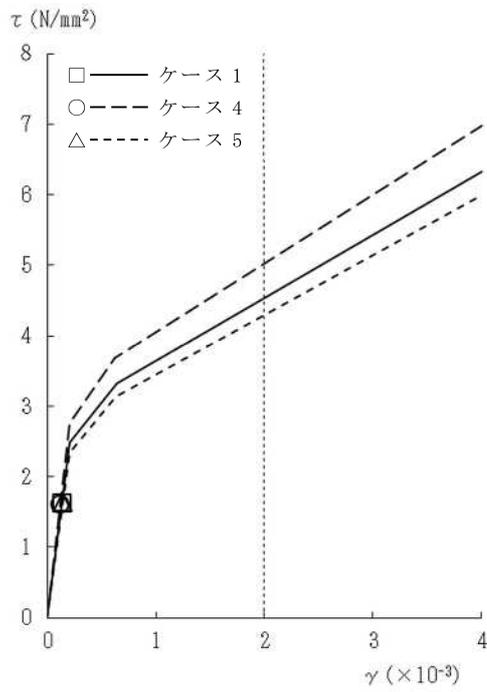


図 2-51  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, MB2F) (4/5)

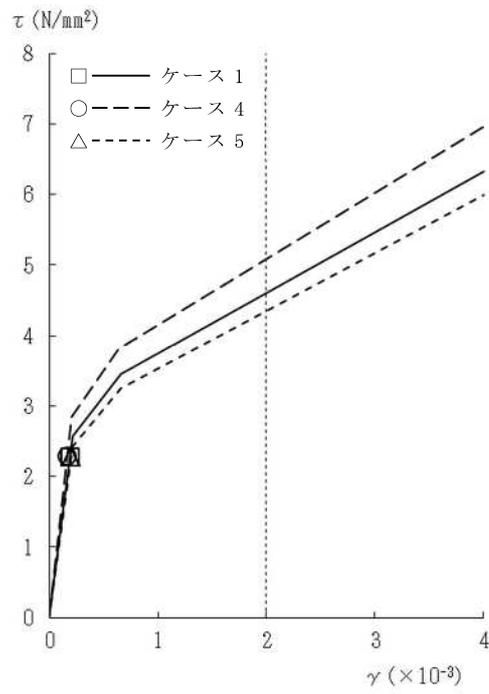


図 2-51  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, B2F) (5/5)

表 2-8 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1350	8.69	55.4
S <sub>s</sub> -2*	1200	8.09	61.9

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	808	9.44	76.8
S <sub>s</sub> -2	703	8.08	87.3

表 2-9 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 4)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1330	8.60	56.4
S <sub>s</sub> -2*	1190	8.01	62.8

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	797	9.34	77.6
S <sub>s</sub> -2	699	8.01	87.9

表 2-10 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 5)

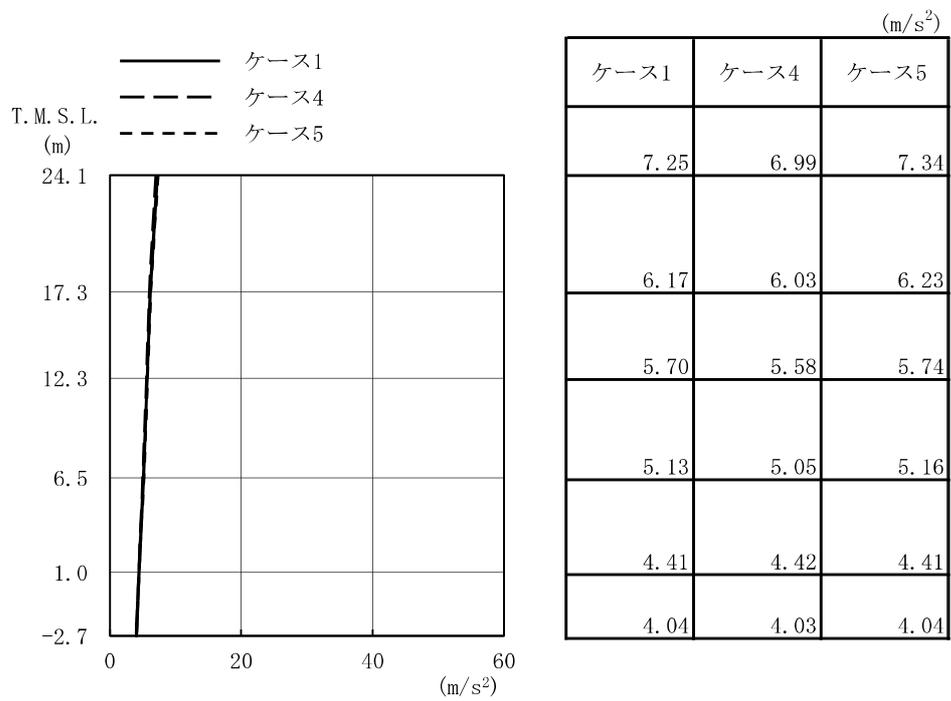
(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1380	8.83	53.8
S <sub>s</sub> -2*	1210	8.10	61.8

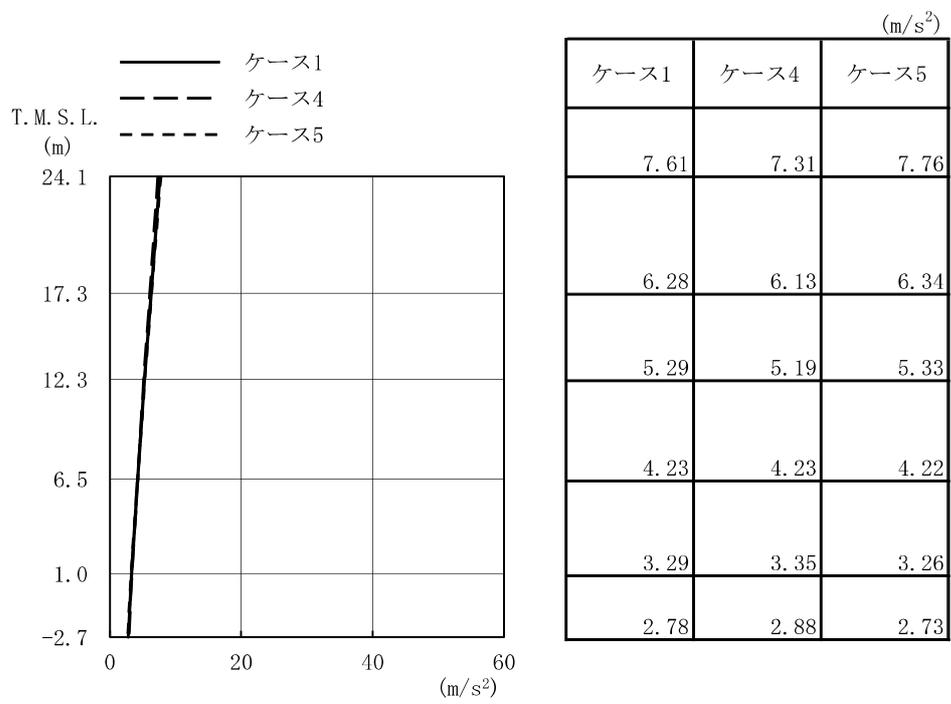
注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	812	9.49	76.5
S <sub>s</sub> -2	704	8.12	87.1

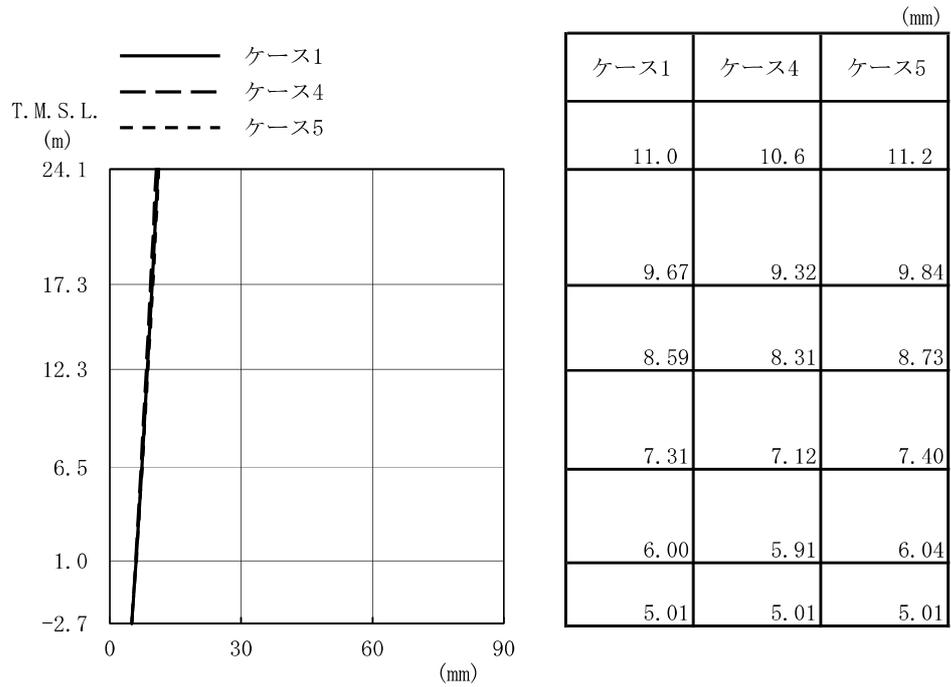


(a) Sd-1

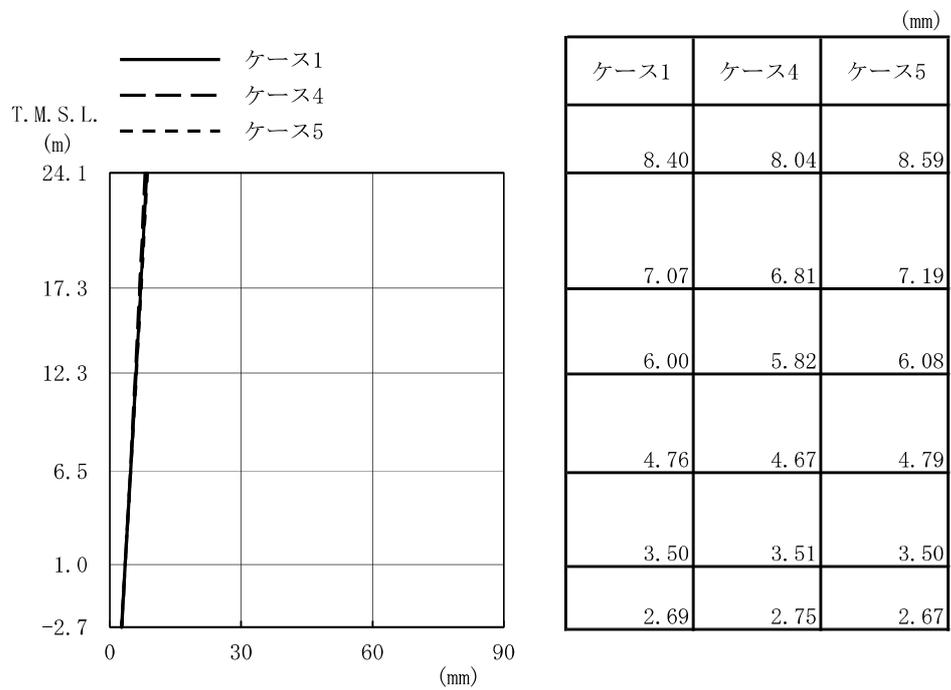


(b) Sd-2

図 2-52 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

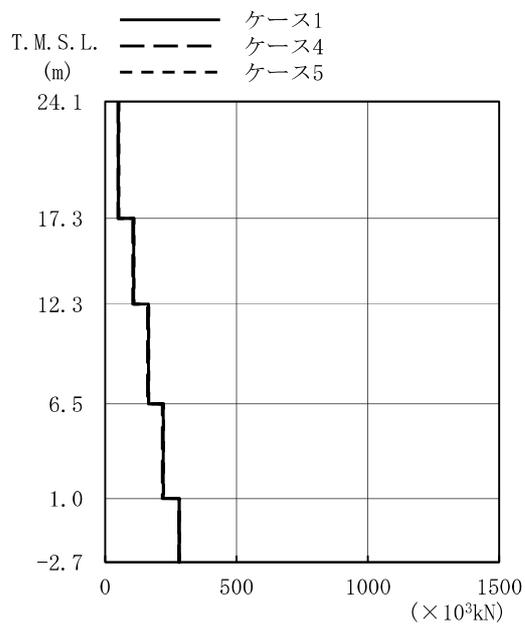


(a) Sd-1



(b) Sd-2

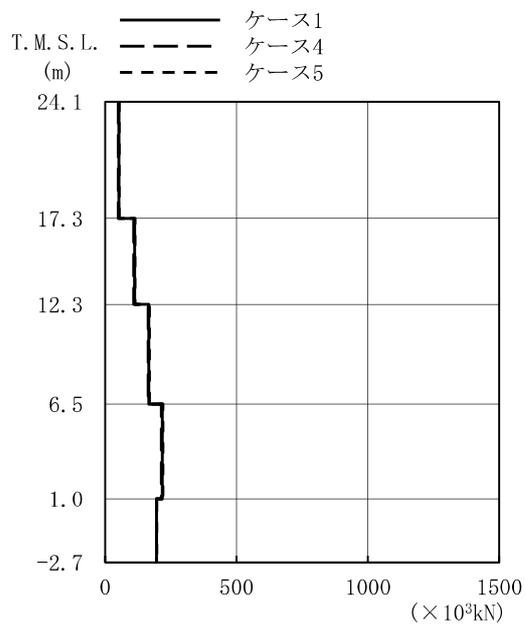
図 2-53 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
50.6	48.8	51.2
109	105	110
165	162	167
222	218	223
283	281	284

(a) Sd-1

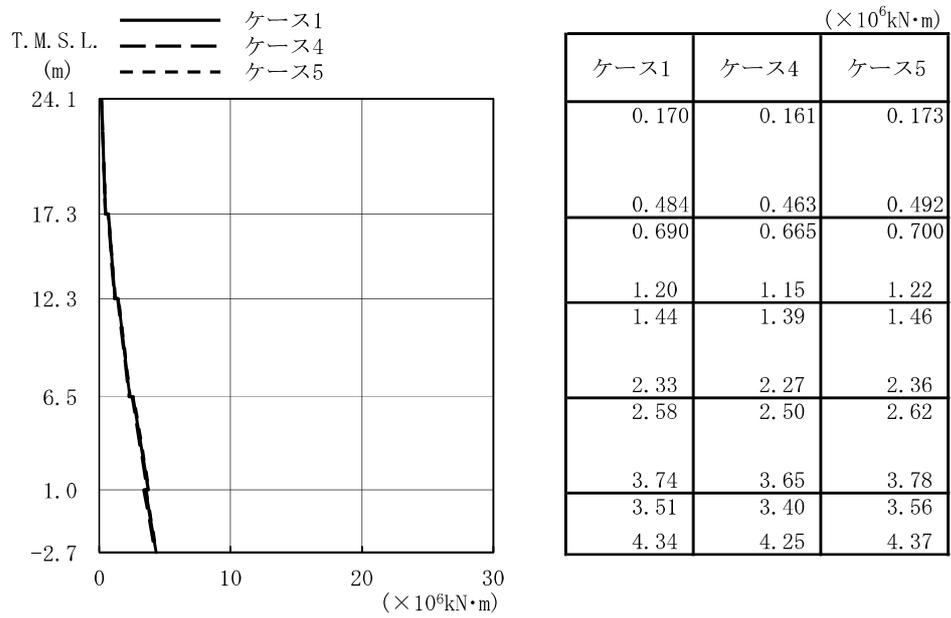


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

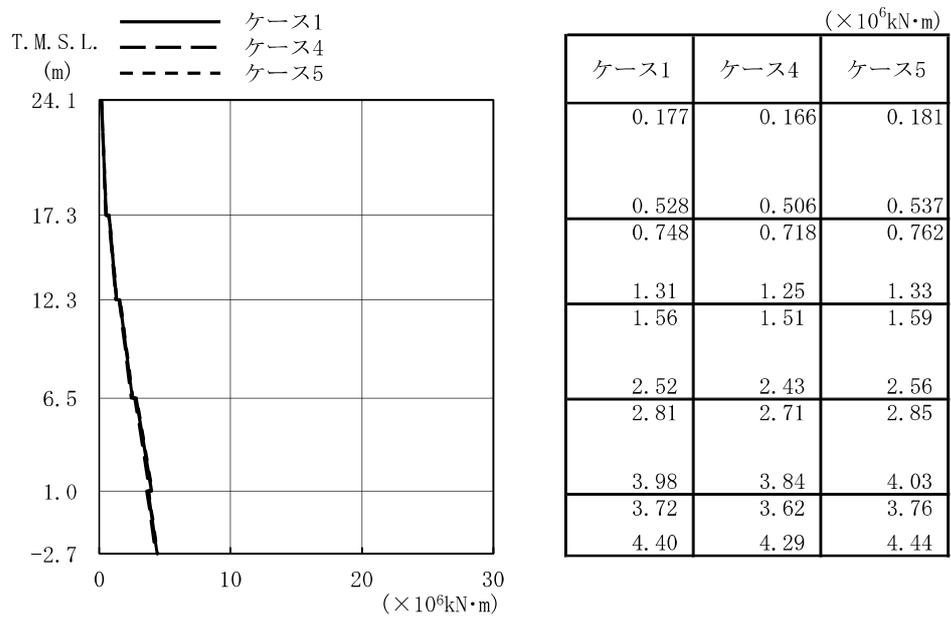
ケース1	ケース4	ケース5
53.2	50.8	54.2
112	109	114
167	164	169
218	214	220
196	196	197

(b) Sd-2

図 2-54 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

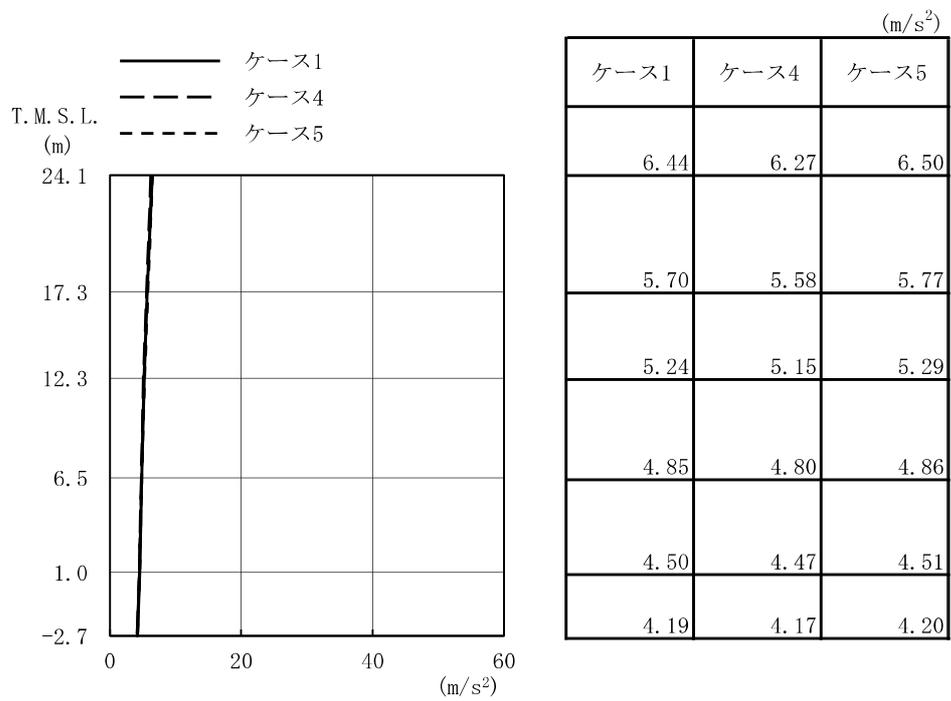


(a) Sd-1

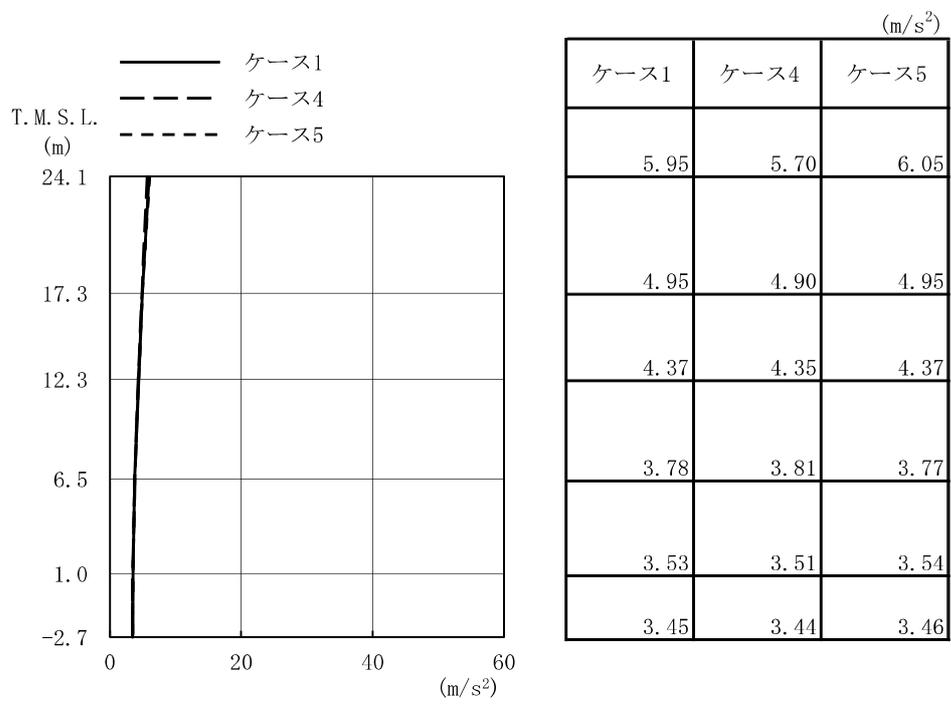


(b) Sd-2

図 2-55 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

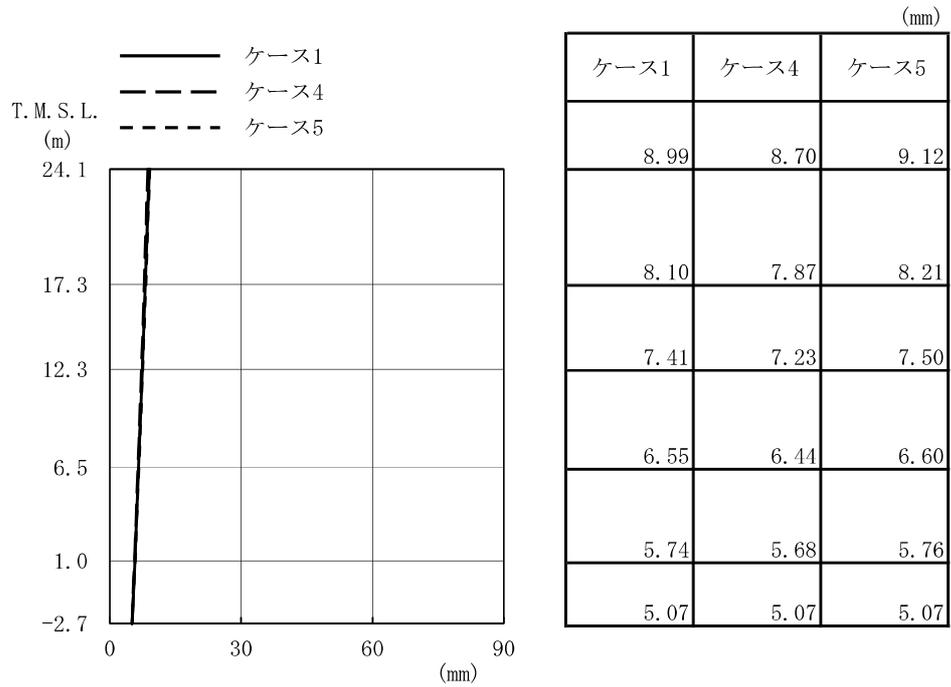


(a) Sd-1

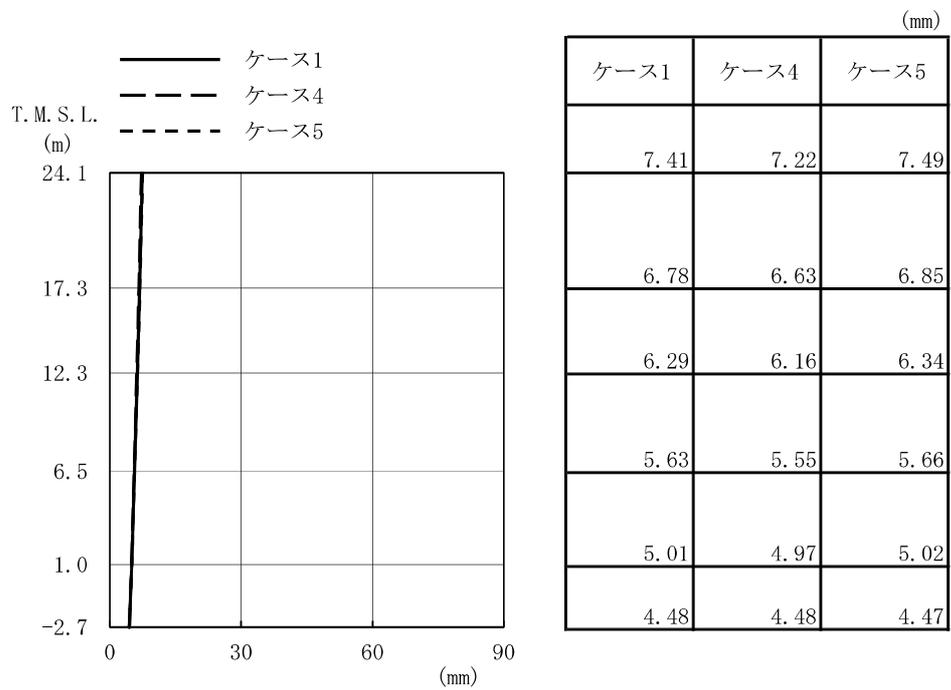


(b) Sd-2

図 2-56 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

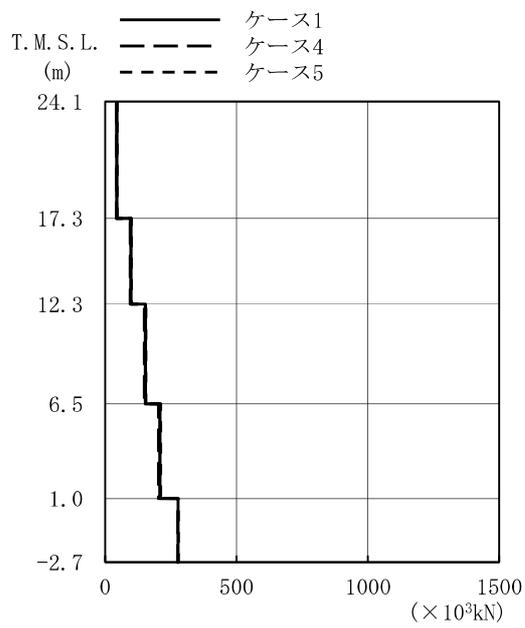


(a) Sd-1



(b) Sd-2

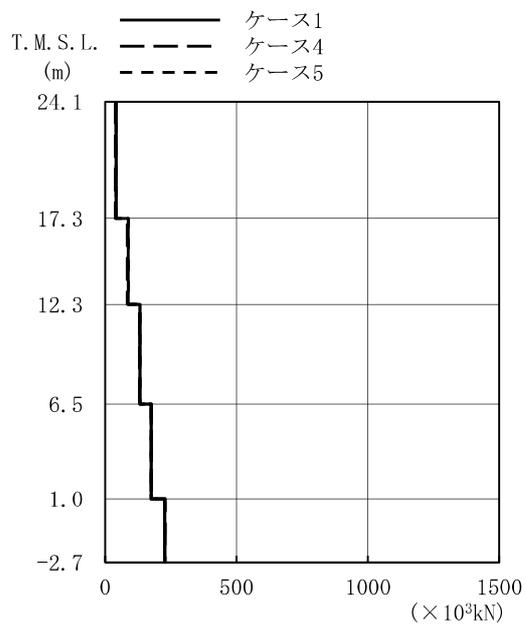
図 2-57 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>, EW 方向)



( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
44.9	43.7	45.3
98.8	96.5	99.7
154	150	155
209	204	211
278	277	279

(a) Sd-1

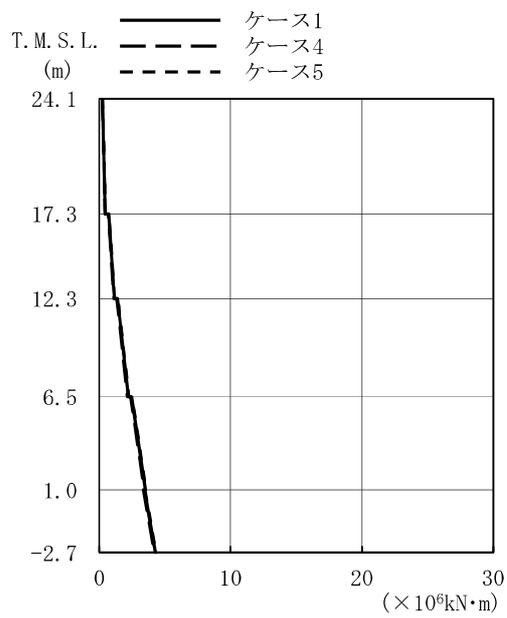


( $\times 10^3 \text{kN}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
41.7	40.1	42.4
87.6	84.8	88.9
132	131	132
176	176	176
227	229	227

(b) Sd-2

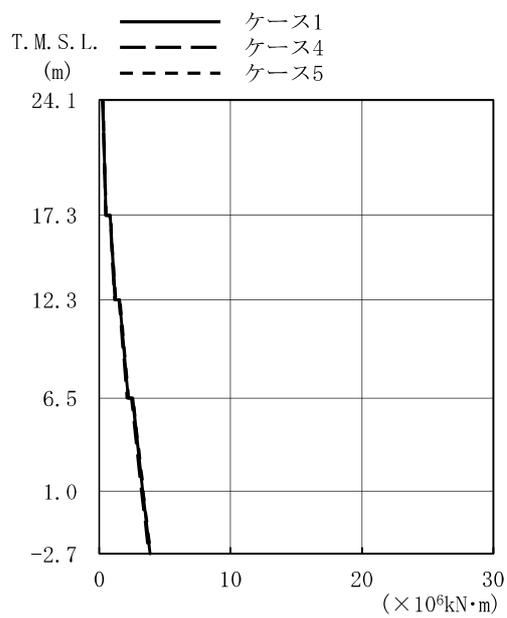
図 2-58 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)



( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

ケース1	ケース4	ケース5
0.243	0.231	0.247
0.462	0.446	0.470
0.728	0.689	0.742
1.15	1.11	1.16
1.40	1.34	1.42
2.22	2.15	2.25
2.46	2.39	2.49
3.52	3.42	3.56
3.45	3.36	3.48
4.28	4.18	4.32

(a) Sd-1

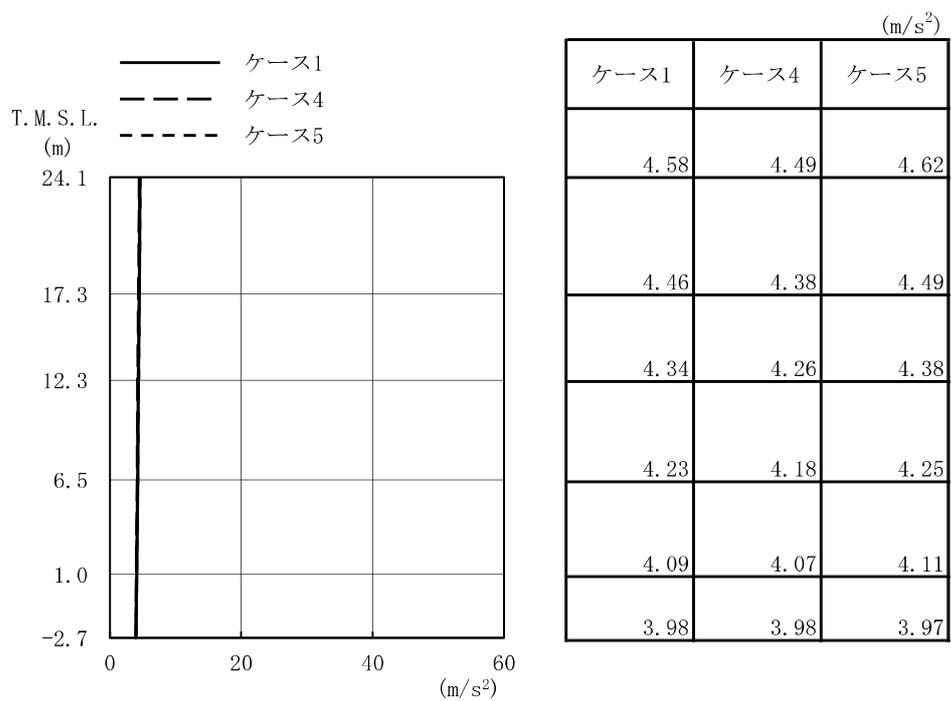


( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

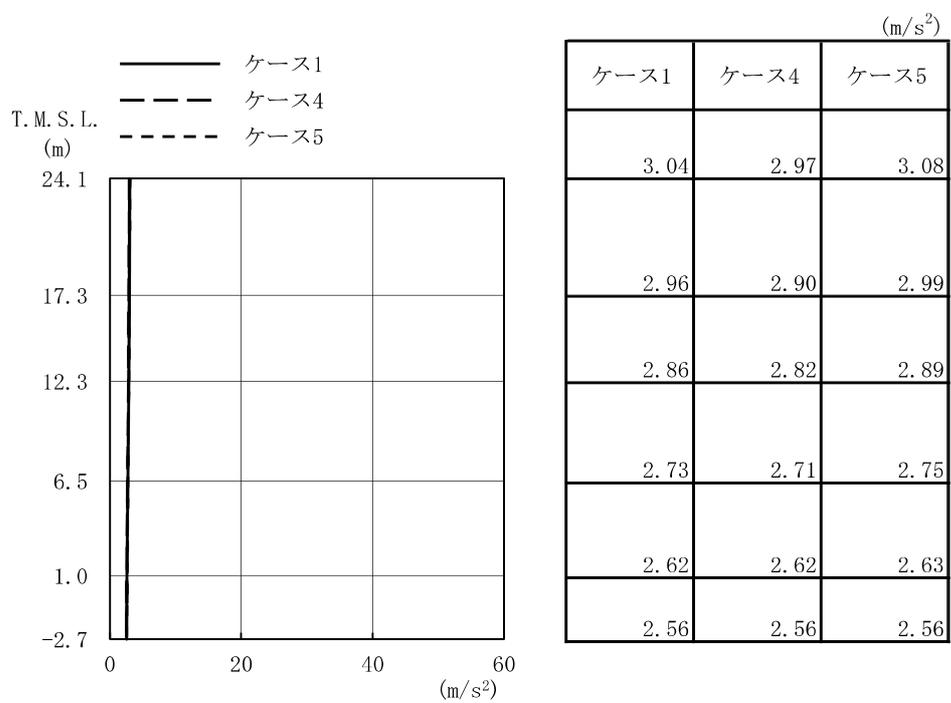
ケース1	ケース4	ケース5
0.271	0.254	0.277
0.513	0.493	0.521
0.836	0.813	0.844
1.22	1.17	1.24
1.55	1.51	1.57
2.20	2.12	2.23
2.54	2.46	2.56
3.31	3.21	3.36
3.30	3.21	3.33
3.87	3.79	3.91

(b) Sd-2

図 2-59 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)



(a) Sd-1



(b) Sd-2

図 2-60 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向)

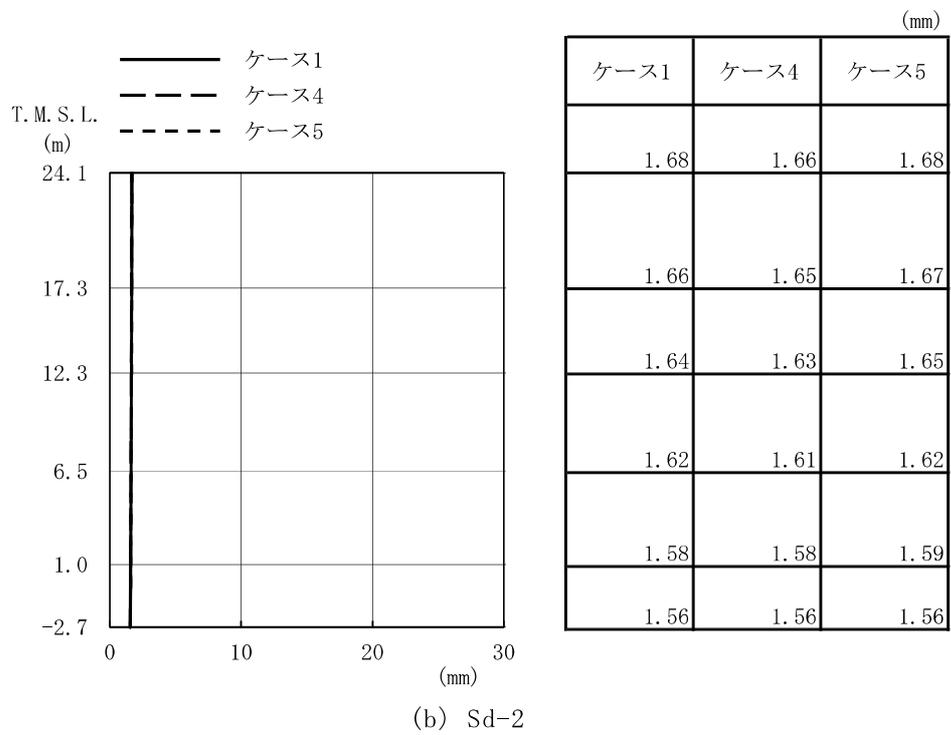
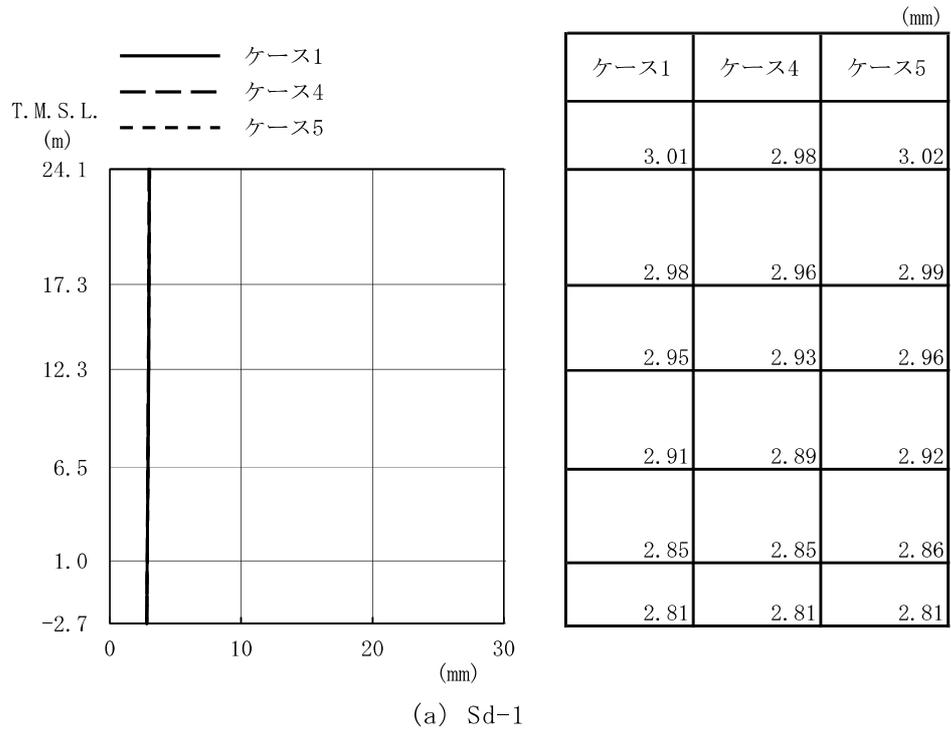
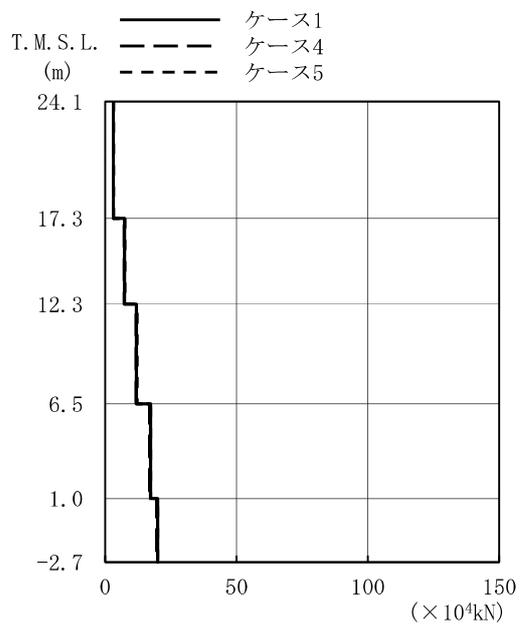


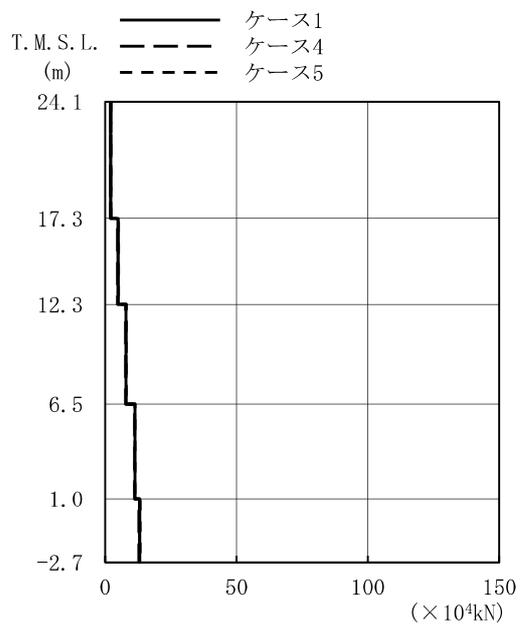
図 2-61 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向)



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

ケース1	ケース4	ケース5
3.21	3.15	3.24
7.44	7.31	7.52
12.0	11.8	12.2
17.3	16.9	17.4
20.0	19.6	20.1

(a) Sd-1



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

ケース1	ケース4	ケース5
2.13	2.08	2.16
4.94	4.83	4.99
7.99	7.83	8.06
11.4	11.2	11.4
13.1	12.9	13.2

(b) Sd-2

図 2-62 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向)

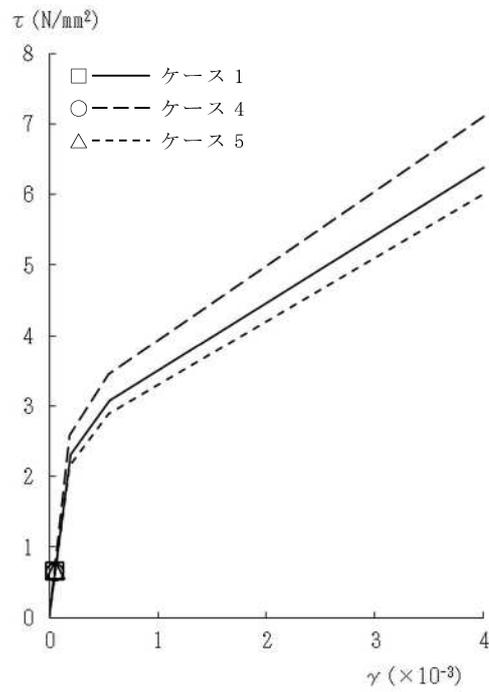


図 2-63  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, 2F) (1/5)

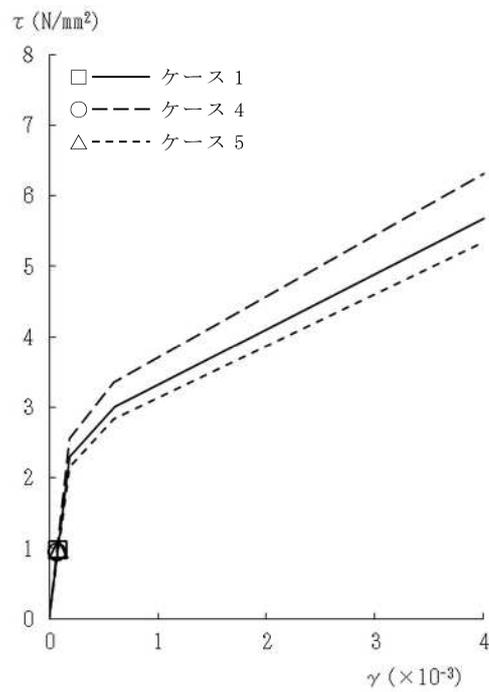


図 2-63  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, 1F) (2/5)

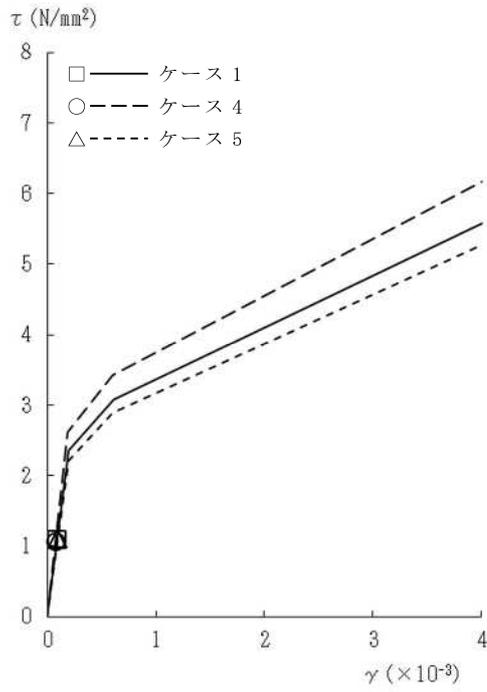


図 2-63  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, B1F) (3/5)

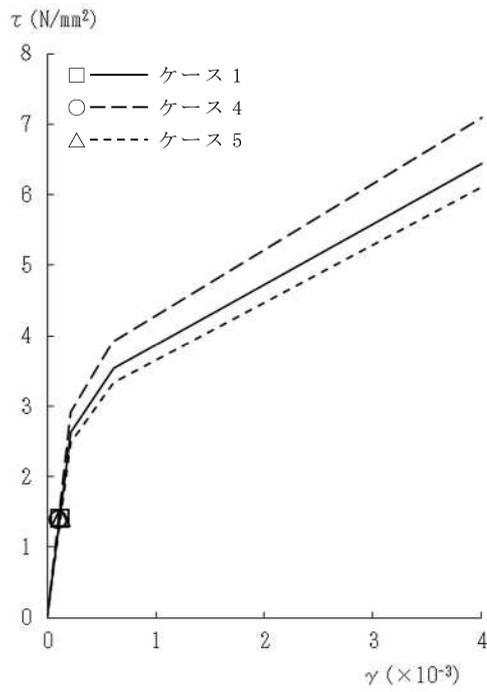


図 2-63  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, MB2F) (4/5)

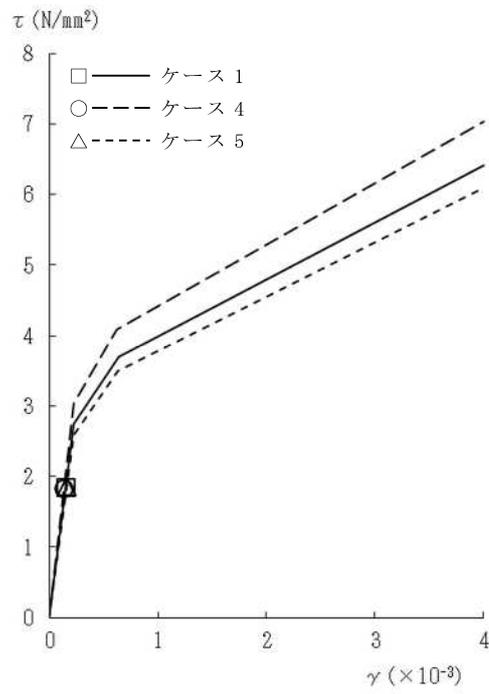


図 2-63  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, B2F) (5/5)

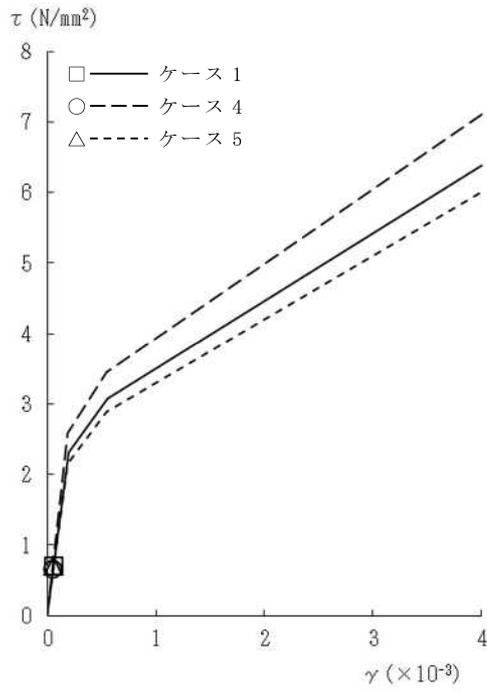


図 2-64  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, 2F) (1/5)

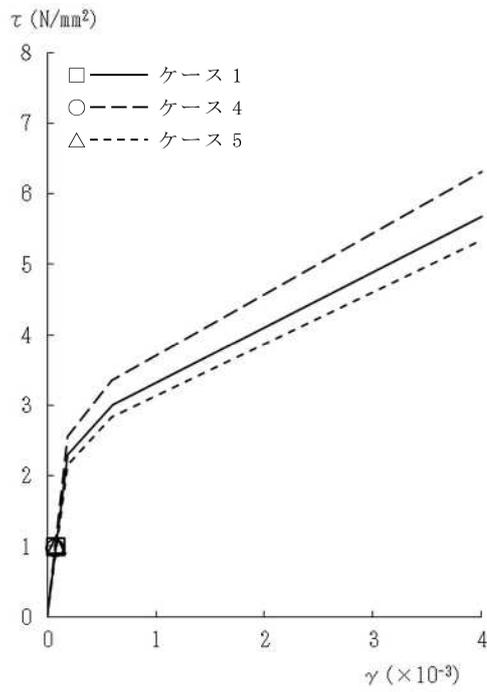


図 2-64  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, 1F) (2/5)

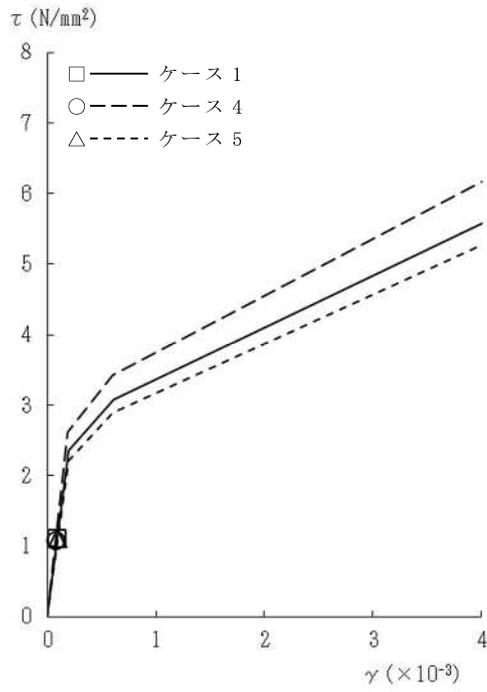


図 2-64  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, B1F) (3/5)

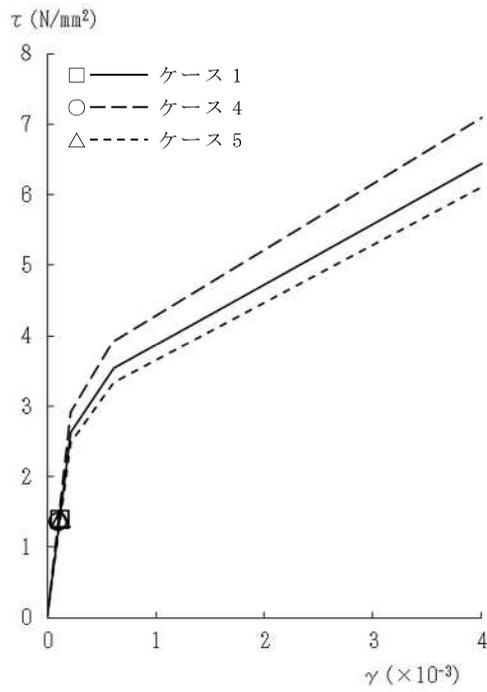


図 2-64  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, MB2F) (4/5)

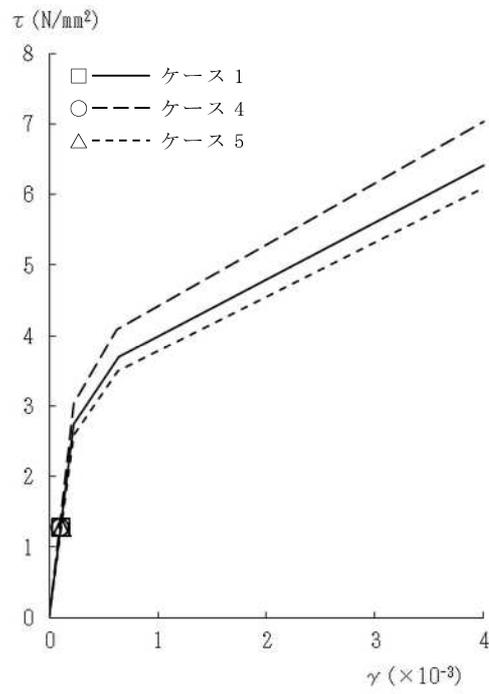


図 2-64  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, B2F) (5/5)

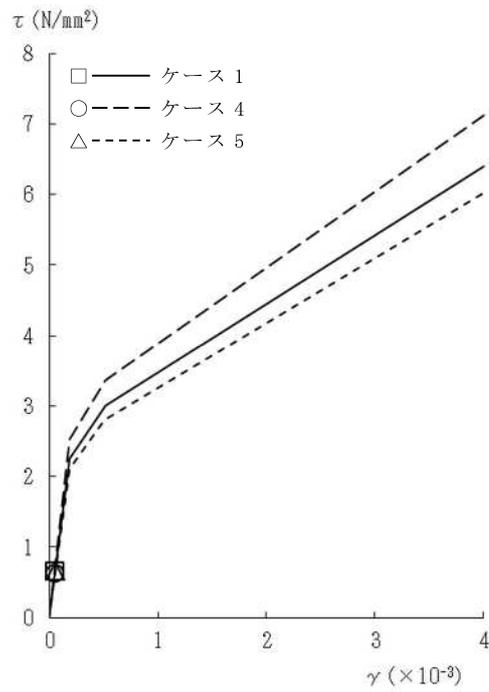


図 2-65  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, 2F) (1/5)

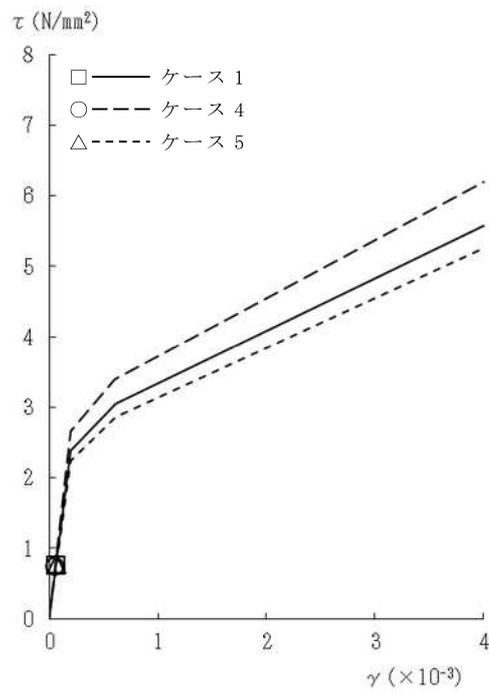


図 2-65  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, 1F) (2/5)

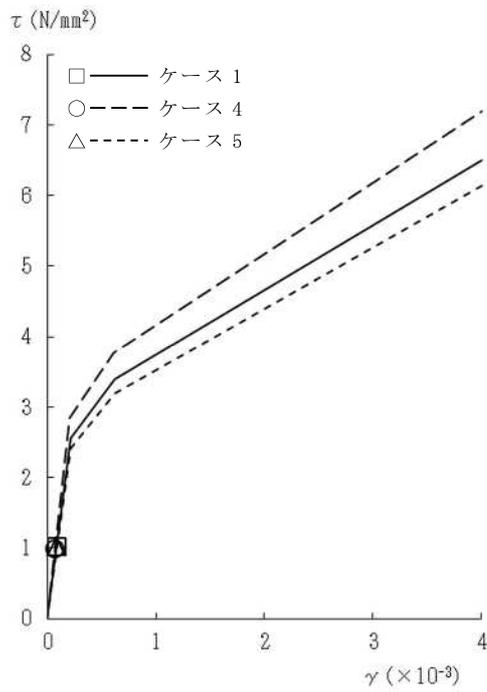


図 2-65  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, B1F) (3/5)

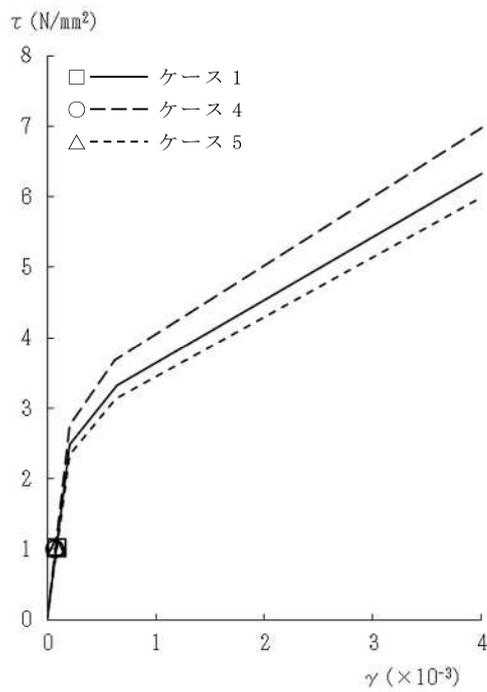


図 2-65  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, MB2F) (4/5)

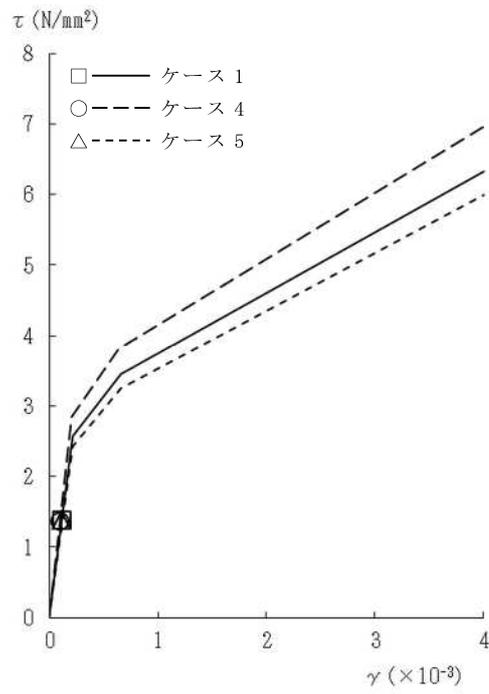


図 2-65  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, B2F) (5/5)

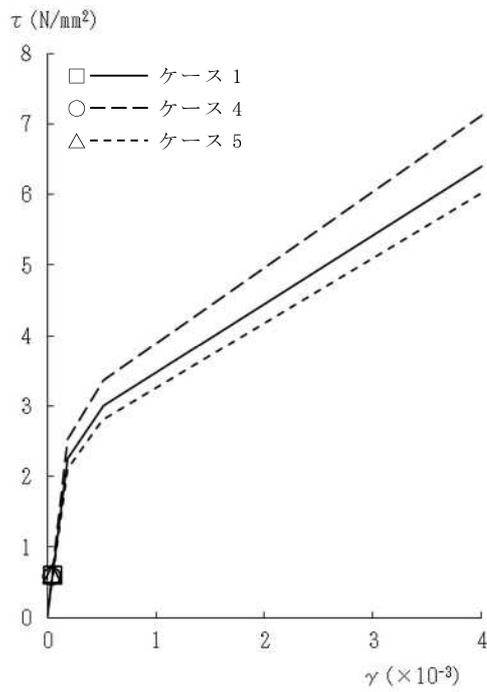


図 2-66  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, 2F) (1/5)

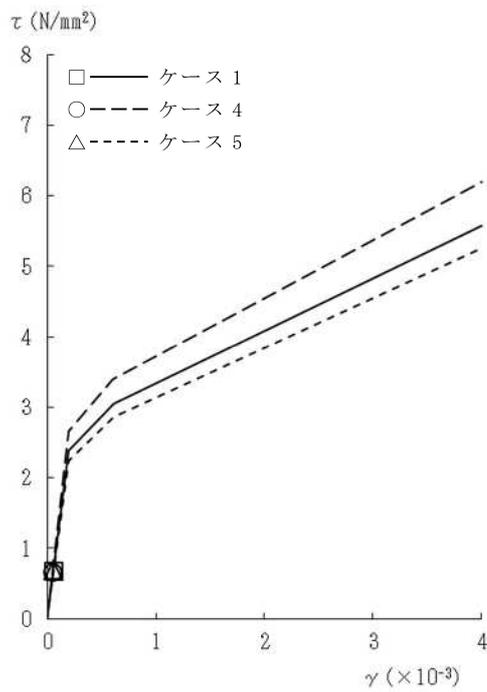


図 2-66  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, 1F) (2/5)

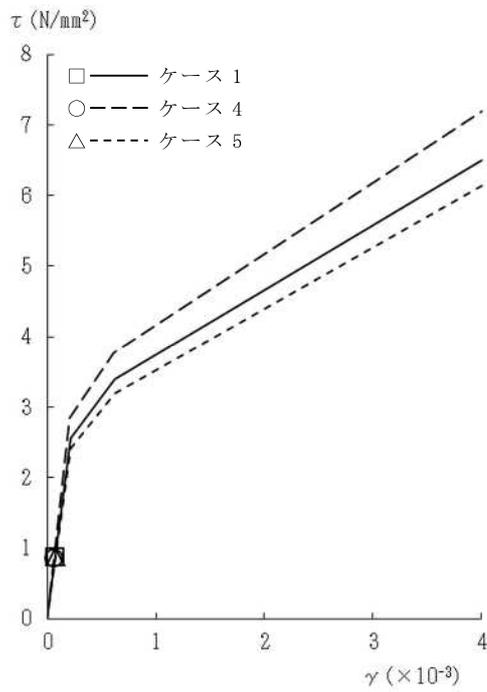


図 2-66  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, B1F) (3/5)

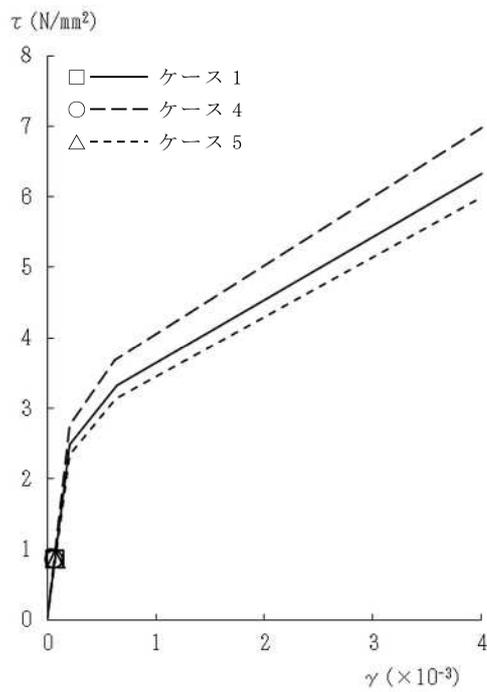


図 2-66  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, MB2F) (4/5)

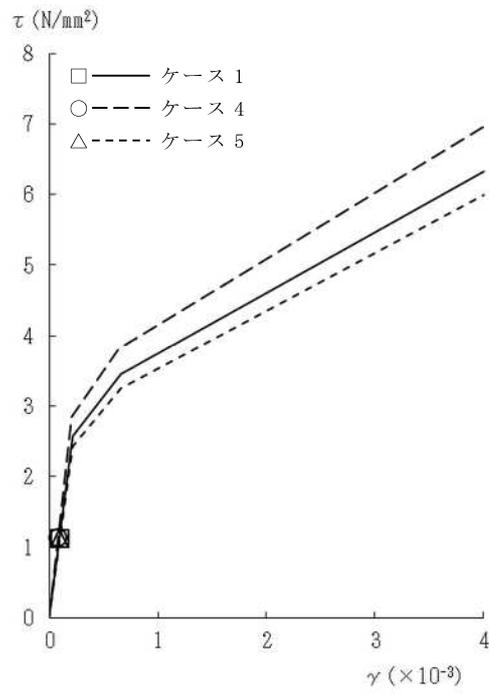


図 2-66  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, B2F) (5/5)

表 2-11 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	597	4.81	97.6
Sd-2	575	4.70	98.8

(b) EW 方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	521	4.81	100.0
Sd-2	484	4.22	100.0

表 2-12 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 4)

(a) NS 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	591	4.73	98.5
Sd-2	570	4.61	99.8

(b) EW 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	516	4.72	100.0
Sd-2	481	4.17	100.0

表 2-13 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 5)

(a) NS 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	600	4.84	97.3
Sd-2	577	4.73	98.5

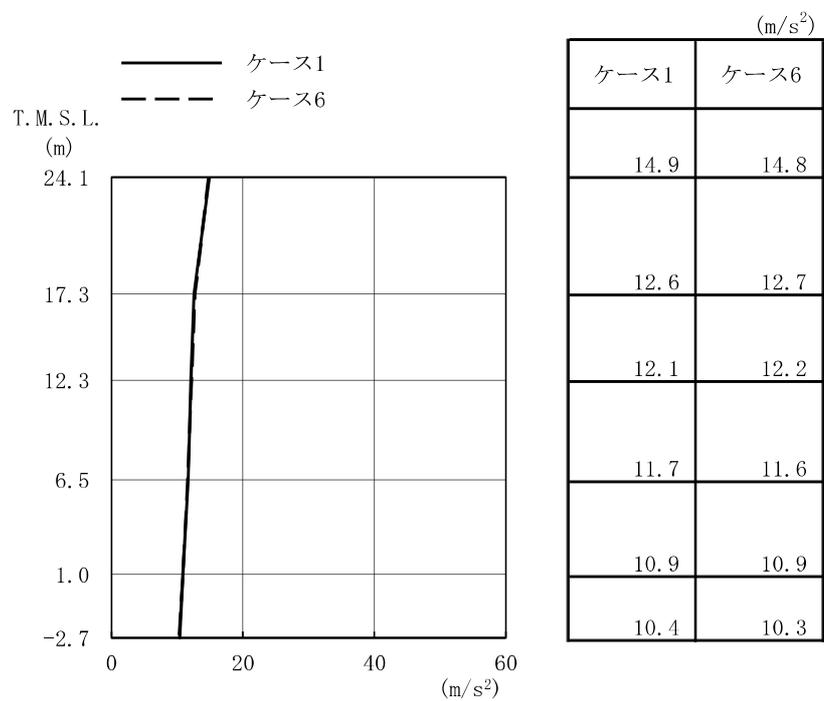
(b) EW 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	523	4.85	100.0
Sd-2	485	4.24	100.0

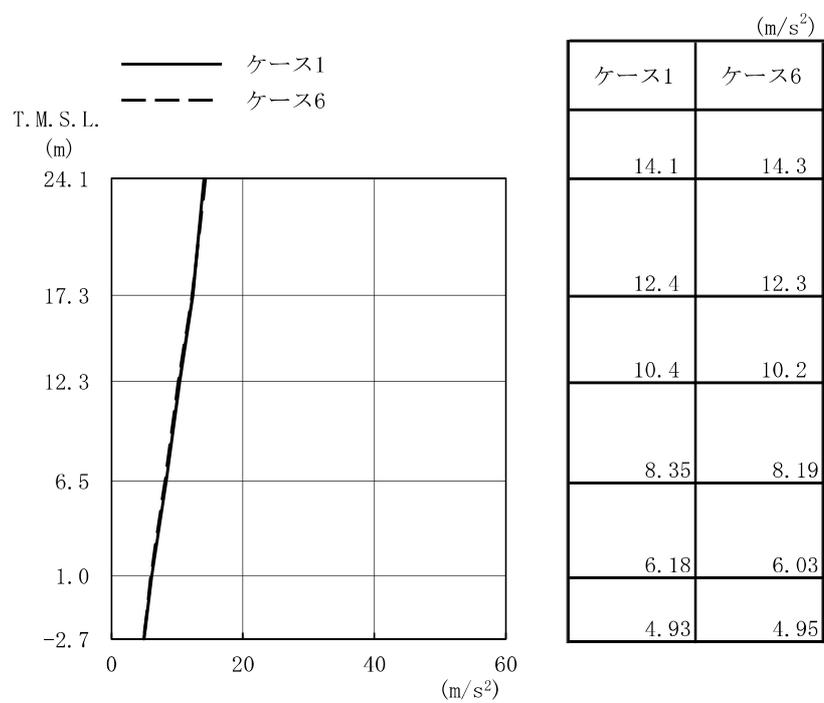
### 2.3 建屋側面地盤回転ばねの不確かさ

建屋側面地盤回転ばね（以下「側面回転ばね」という。）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 2-67～図 2-81 に，接地率を表 2-14～表 2-15 に，弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析結果を図 2-82～図 2-93 に，接地率を表 2-16～表 2-17 に示す。

以後，基本ケースをケース 1，側面回転ばねを 50%に低減したケースをケース 6 として示す。

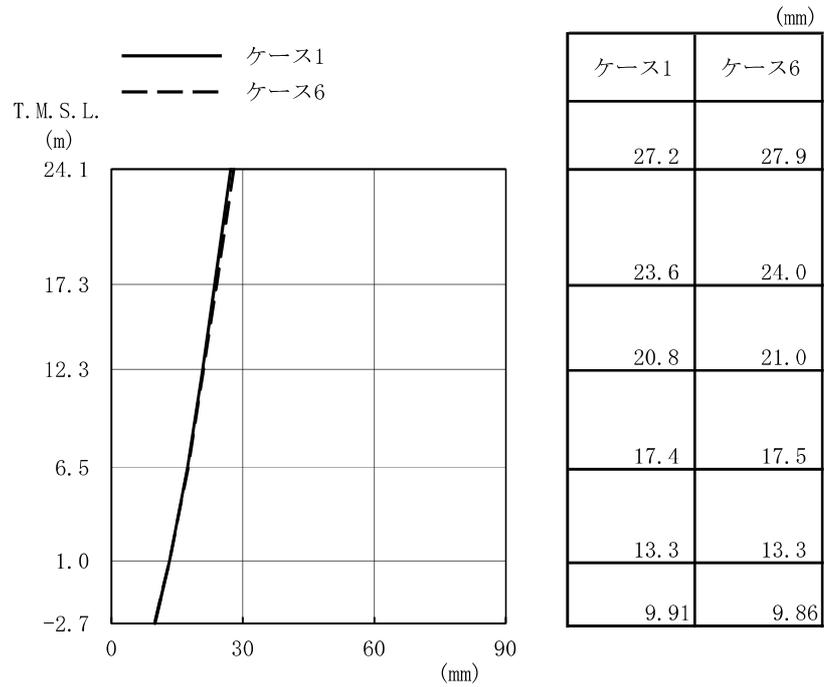


(a) S<sub>s</sub>-1

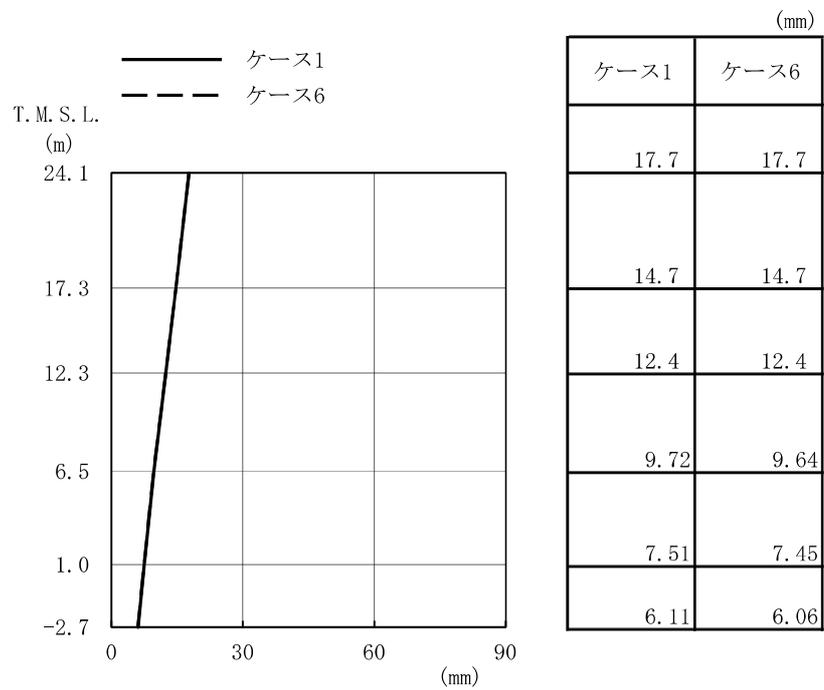


(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-67 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)

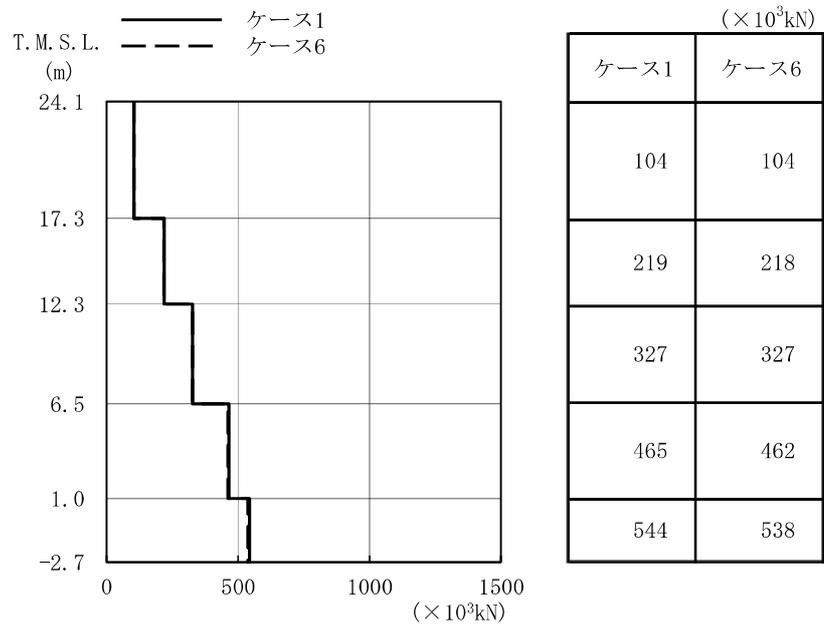


(a) S<sub>s</sub>-1

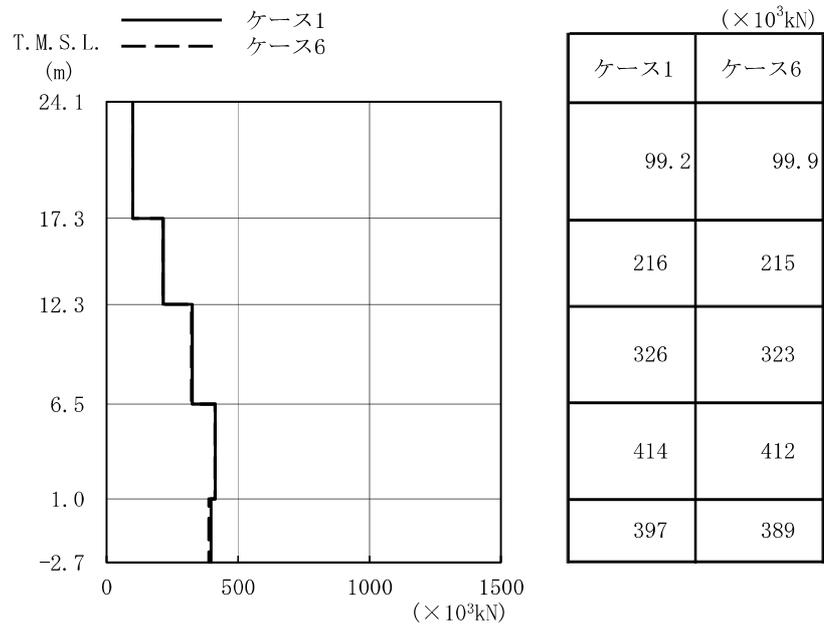


(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-68 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)

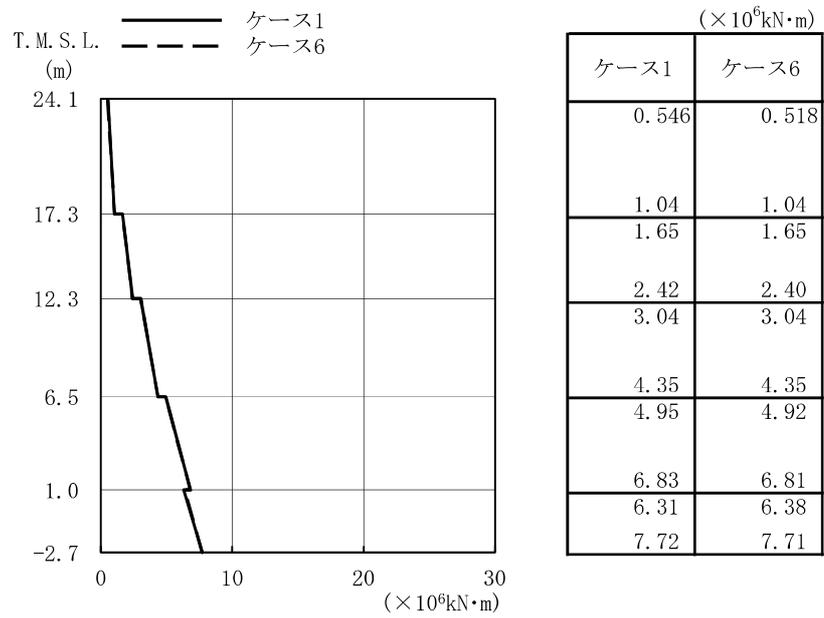


(a) Ss-1

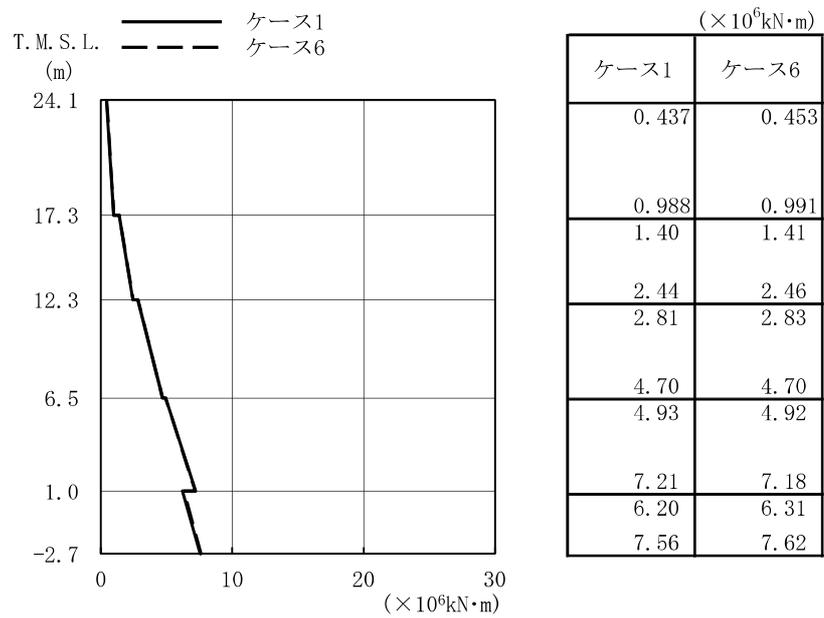


(b) Ss-2

図 2-69 最大応答せん断力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)

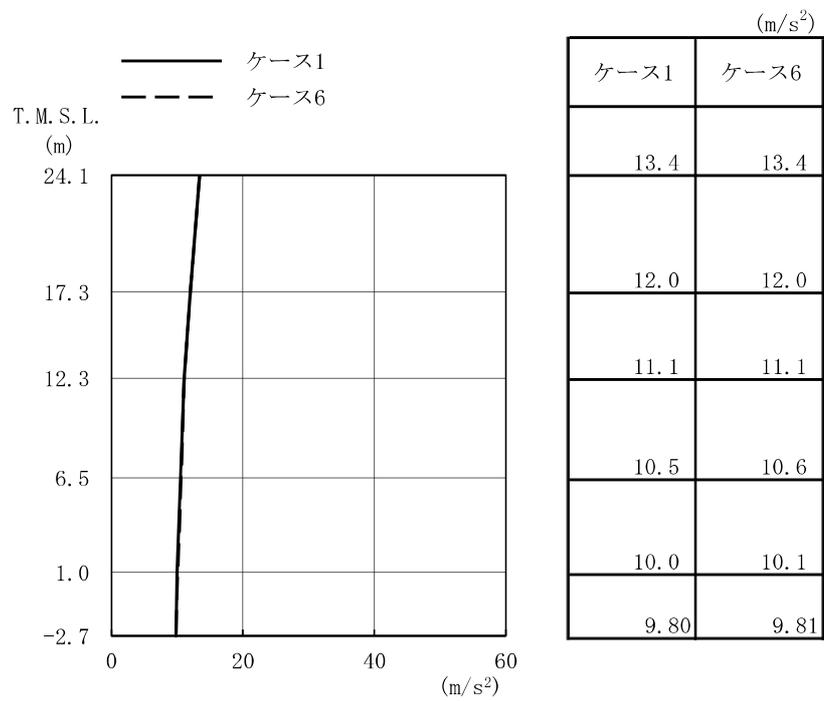


(a) S<sub>s</sub>-1

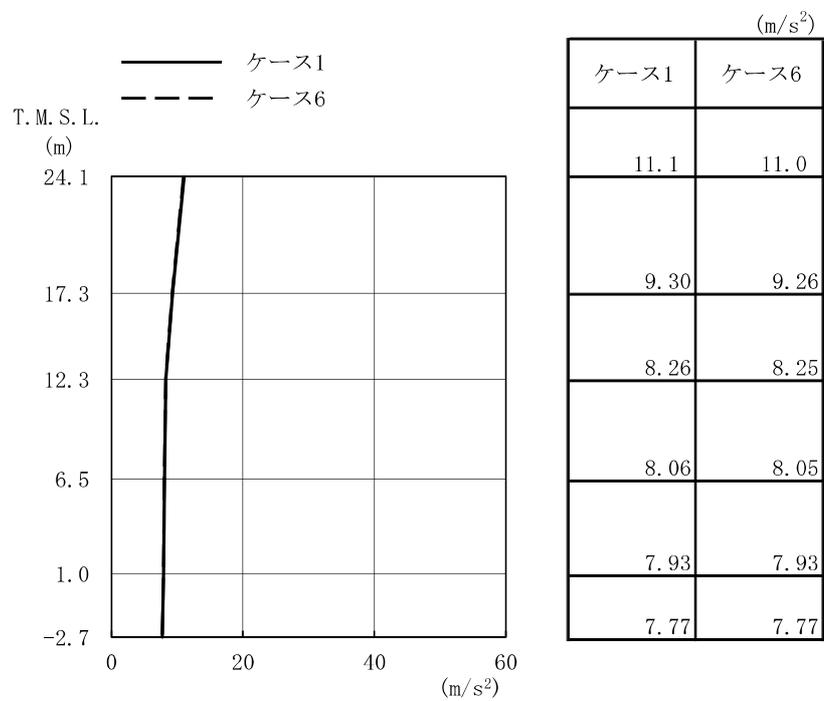


(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-70 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)

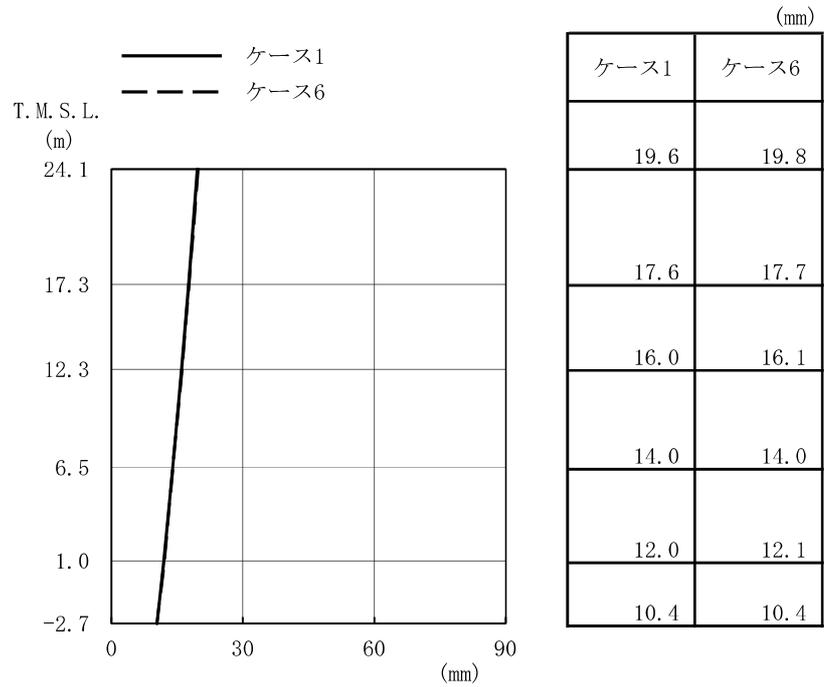


(a) S<sub>s</sub>-1

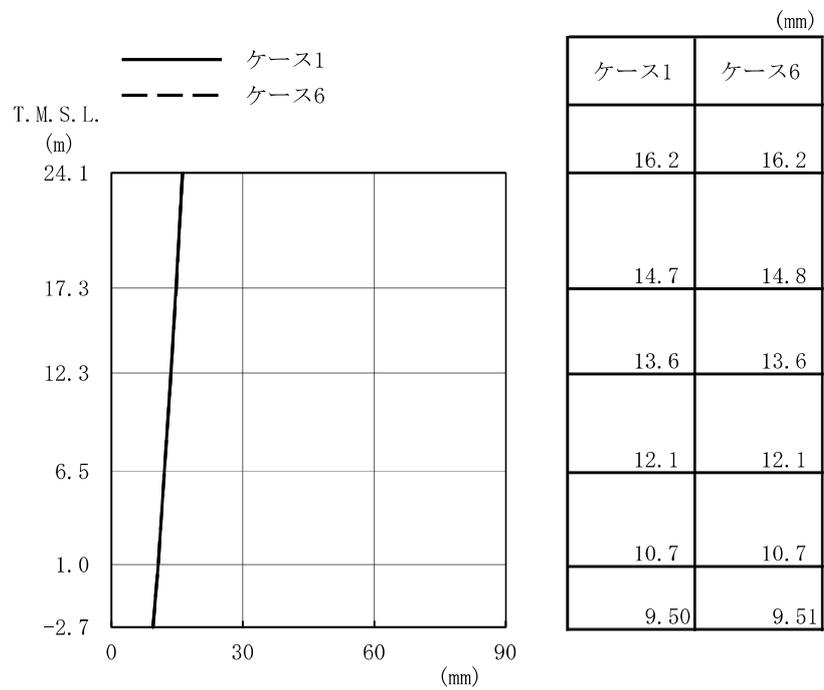


(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-71 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)

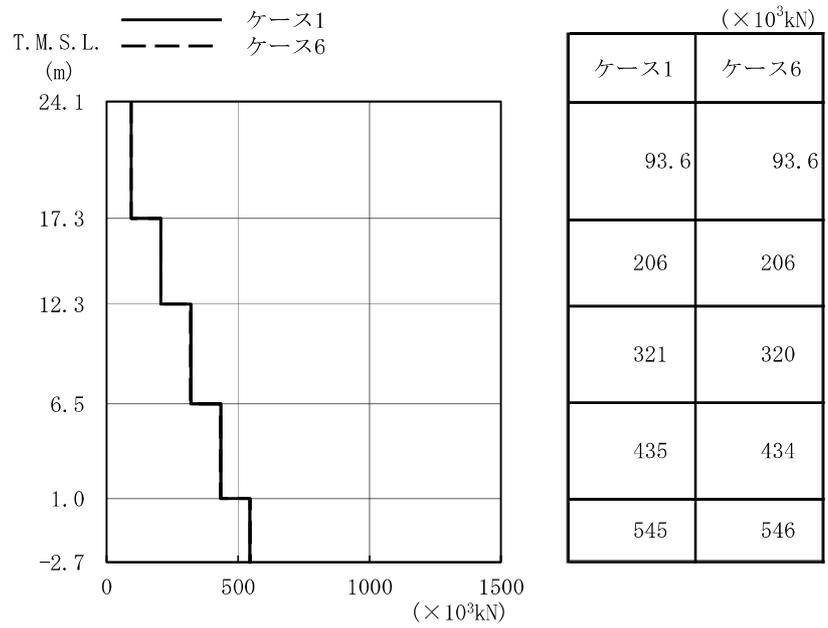


(a) S<sub>s</sub>-1

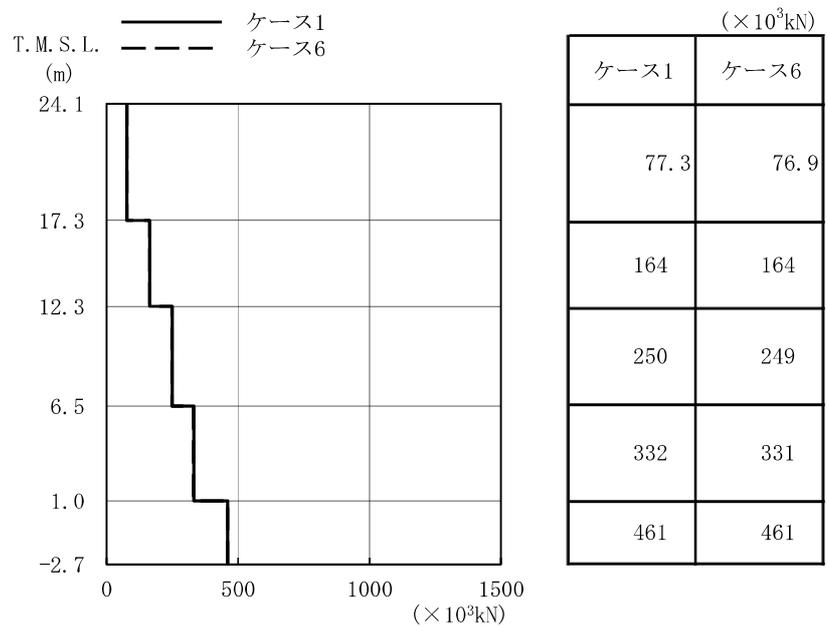


(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-72 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)

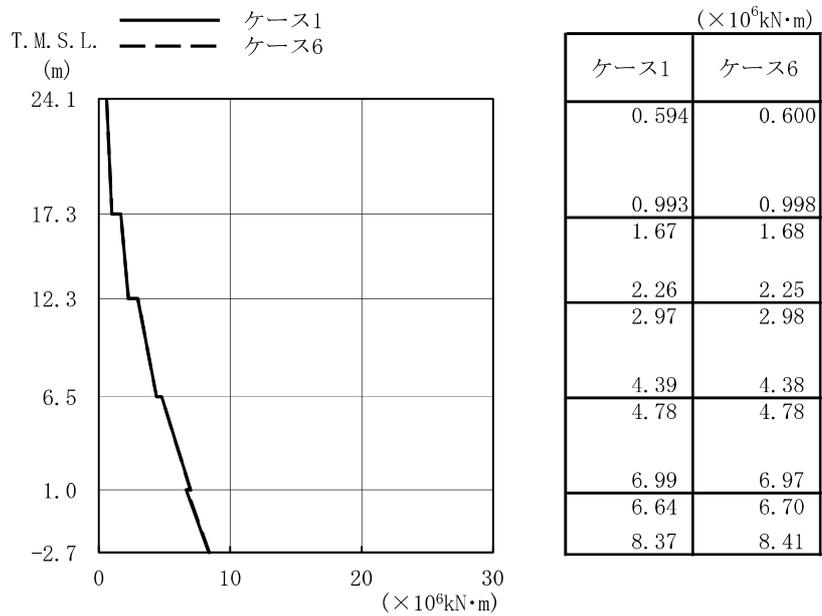


(a) Ss-1

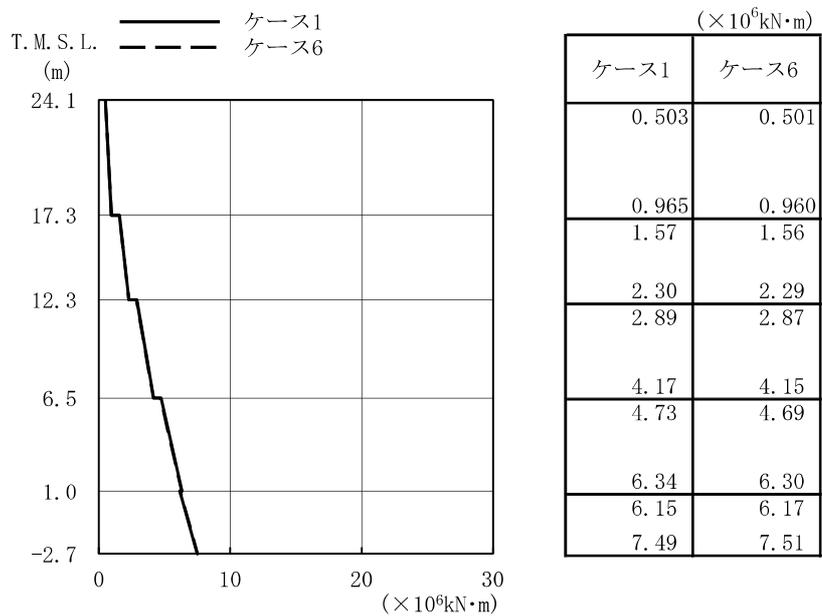


(b) Ss-2

図 2-73 最大応答せん断力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向)



(a) Ss-1



(b) Ss-2

図 2-74 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s , EW 方向)

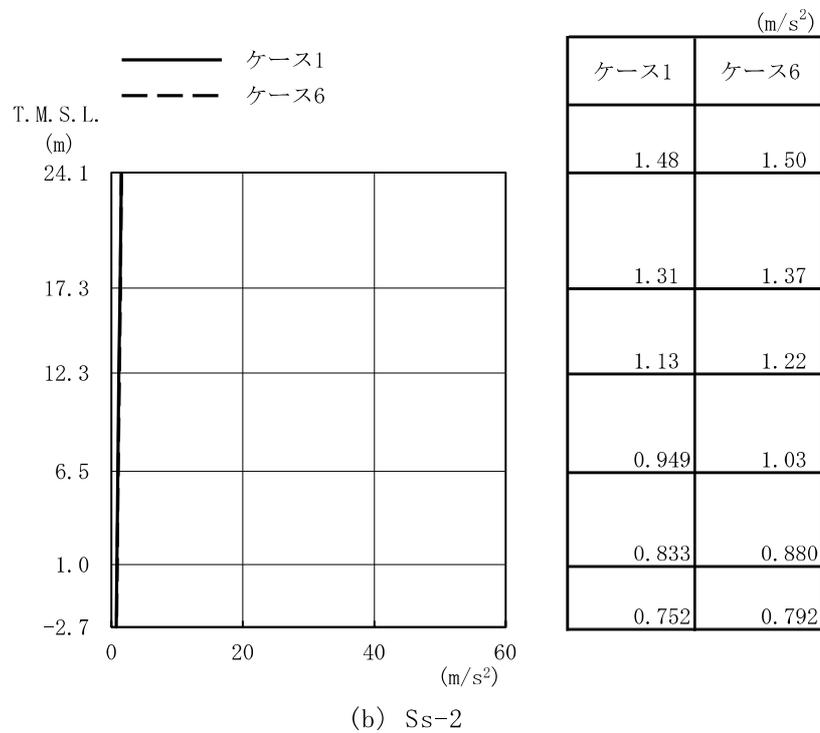
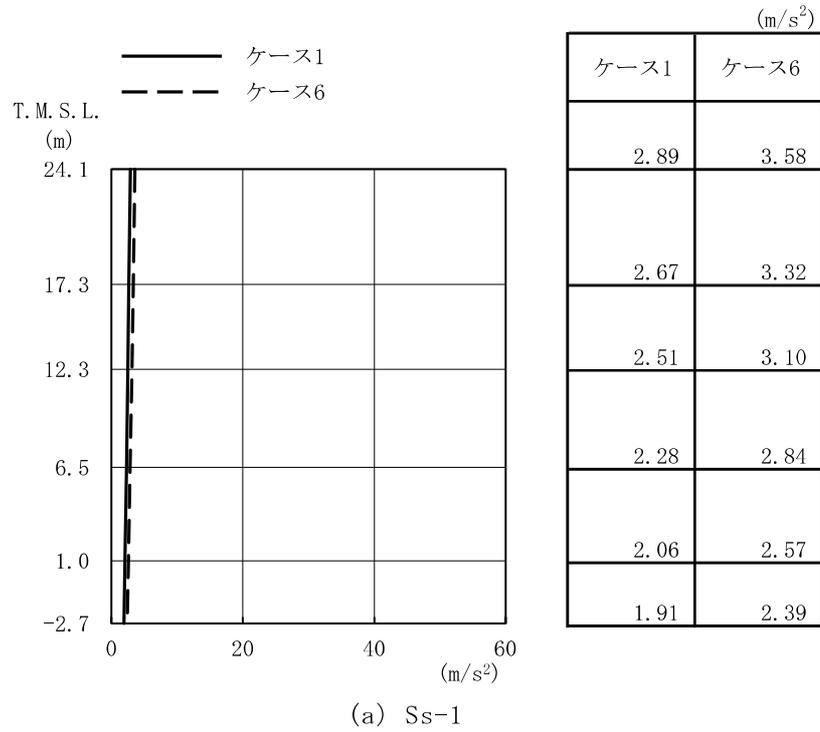
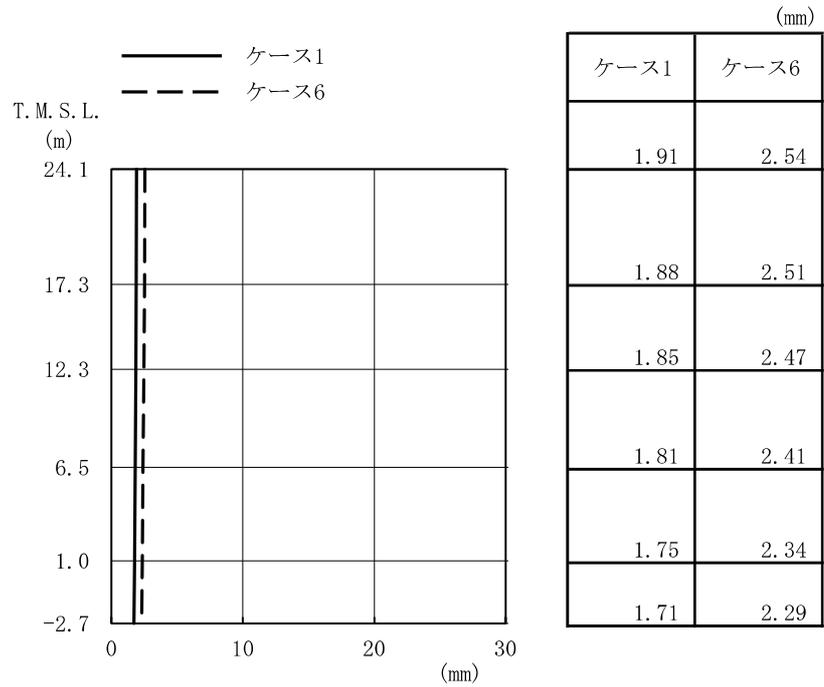
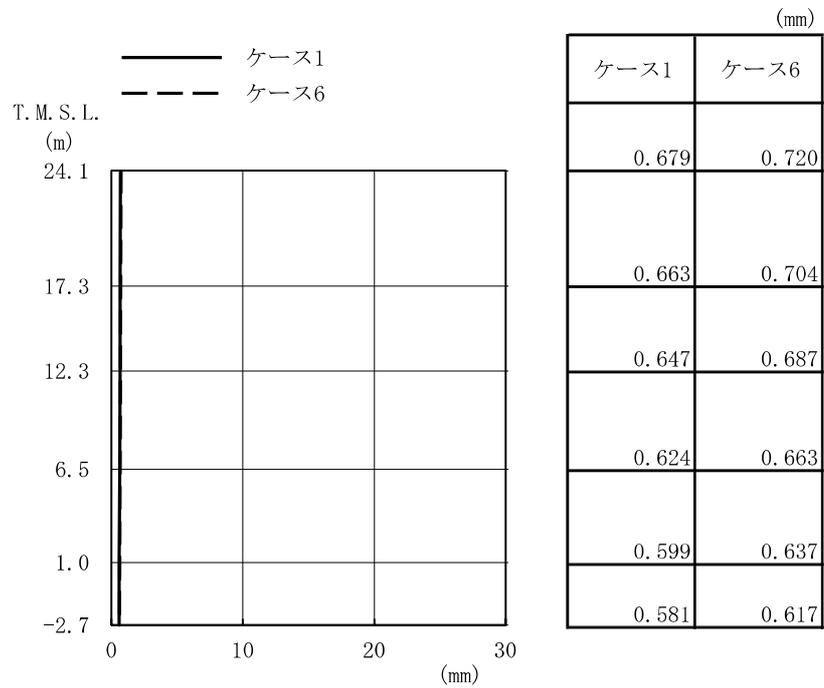


図 2-75 最大応答加速度 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)

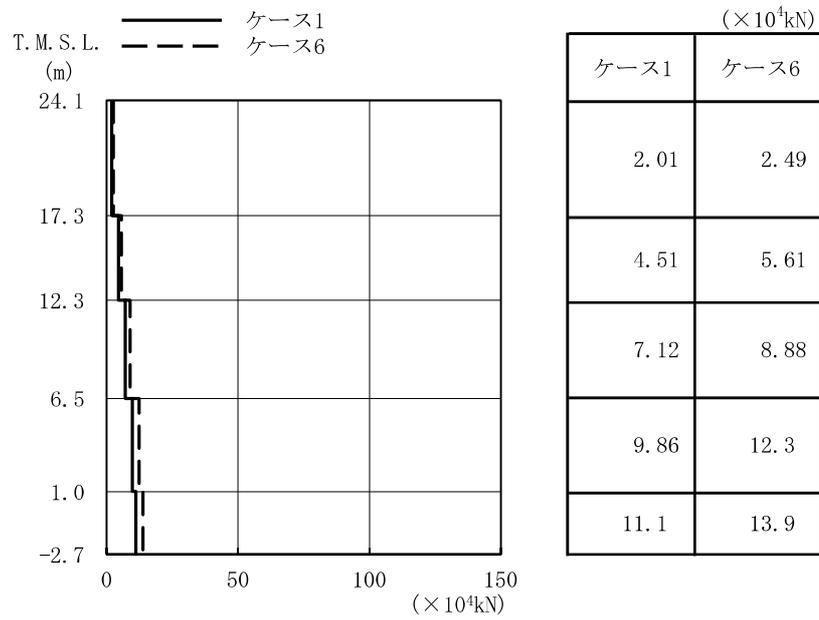


(a) S<sub>s</sub>-1

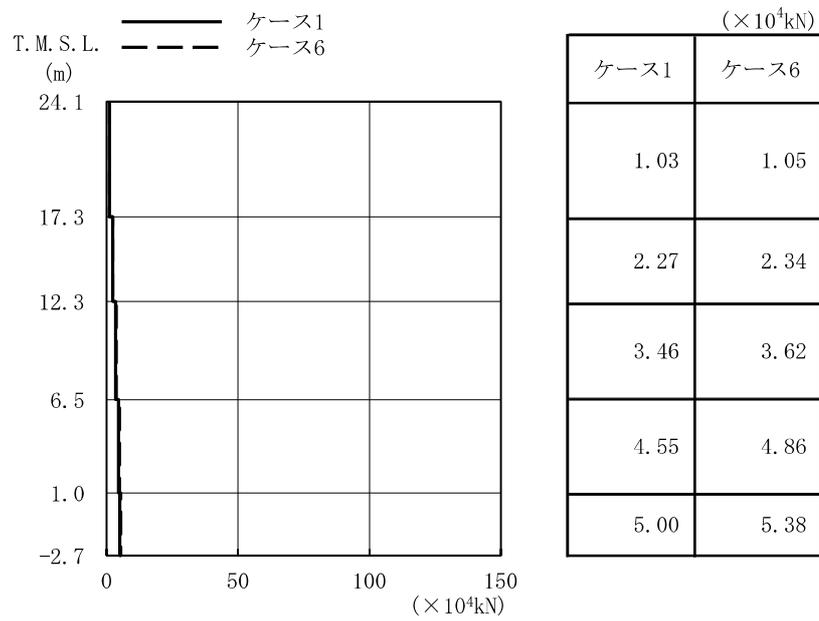


(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-76 最大応答変位 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)



(a) S<sub>s</sub>-1



(b) S<sub>s</sub>-2

図 2-77 最大応答軸力 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向, 誘発上下動)

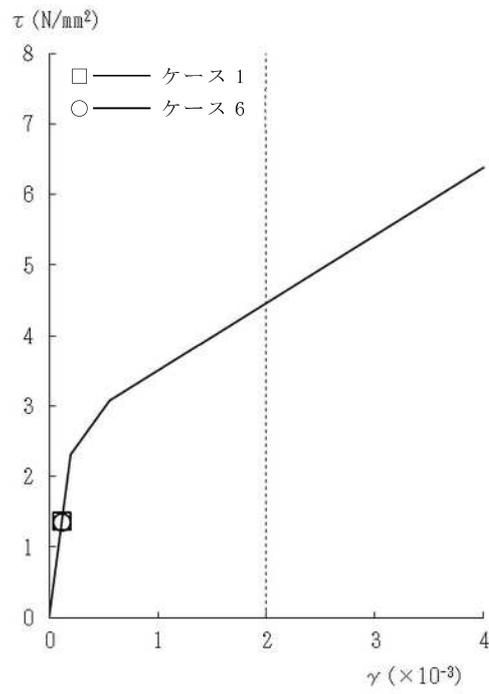


図 2-78  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, 2F) (1/5)

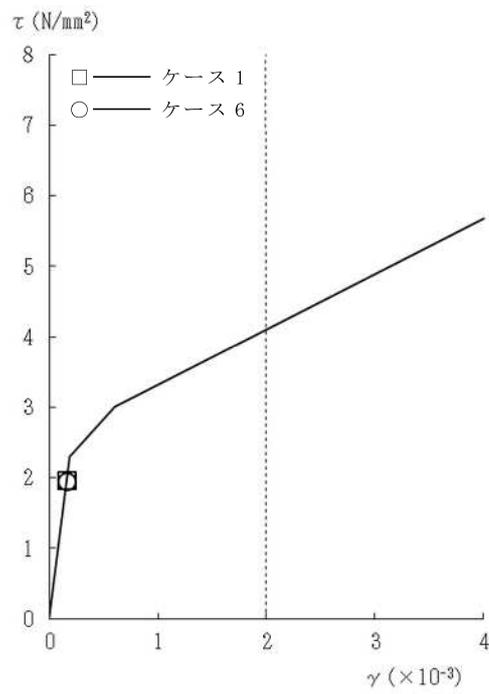


図 2-78  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, 1F) (2/5)

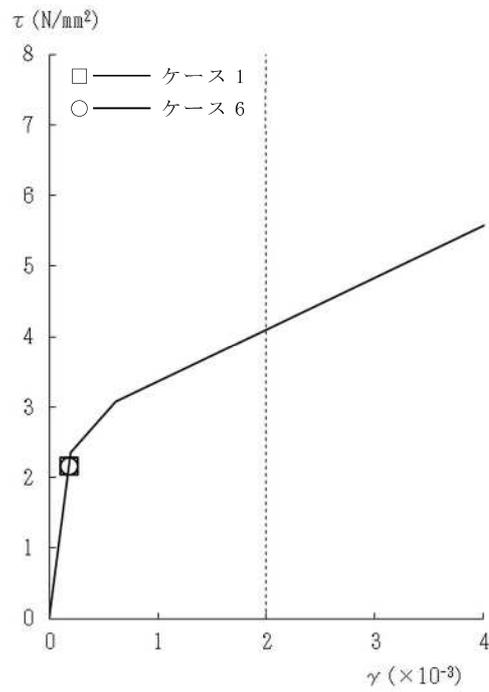


図 2-78  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, B1F) (3/5)

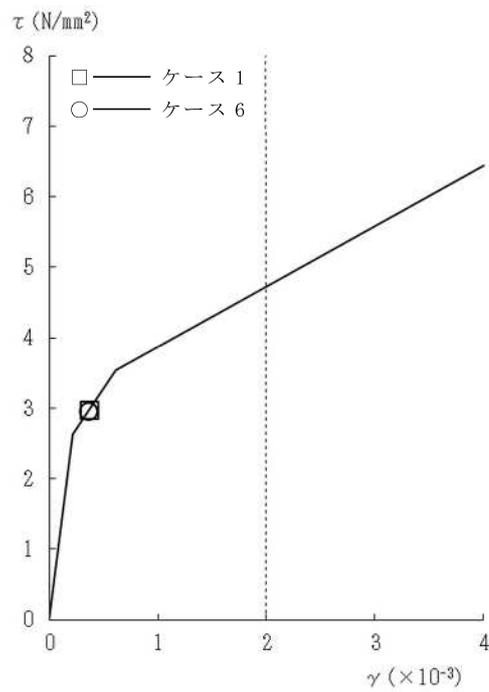


図 2-78  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, MB2F) (4/5)

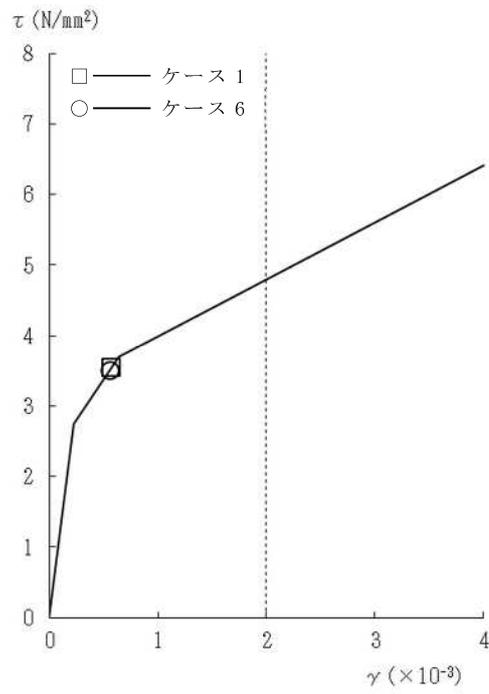


図 2-78  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, NS 方向, B2F) (5/5)

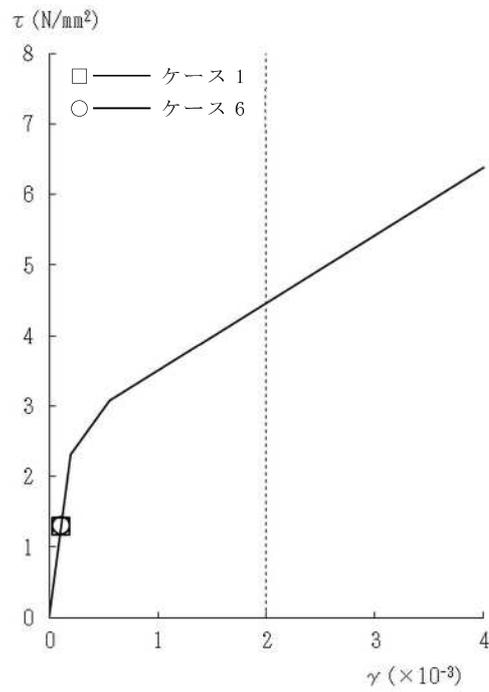


図 2-79  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, 2F) (1/5)

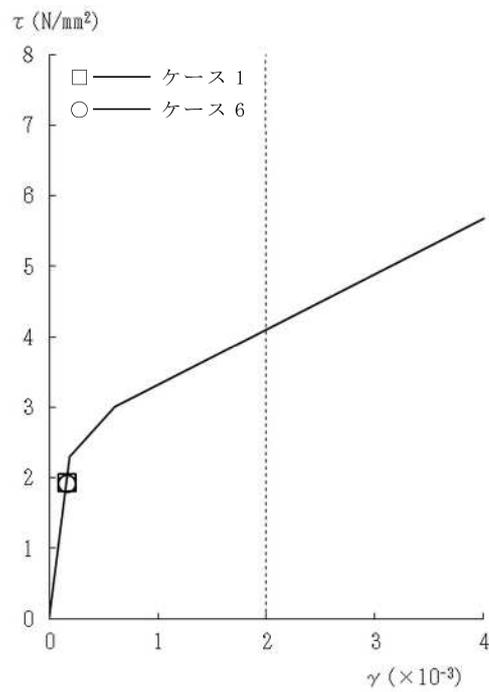


図 2-79  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, 1F) (2/5)

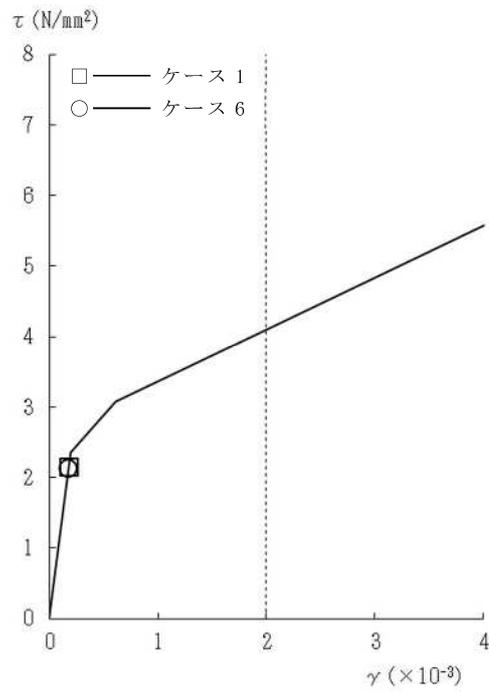


図 2-79  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, B1F) (3/5)

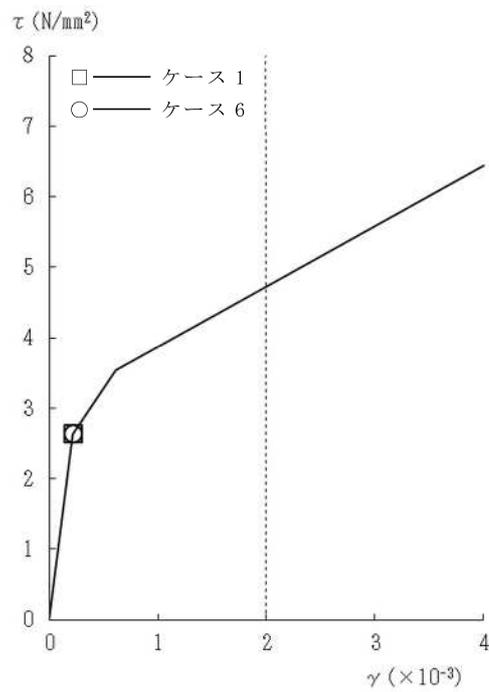


図 2-79  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, MB2F) (4/5)

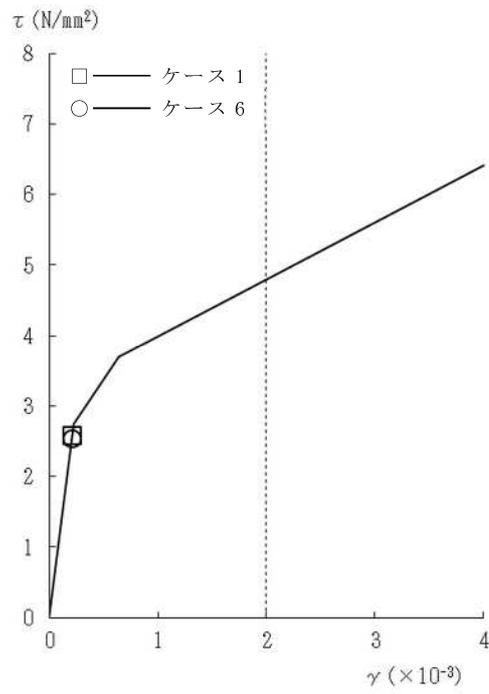


図 2-79  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, NS 方向, B2F) (5/5)

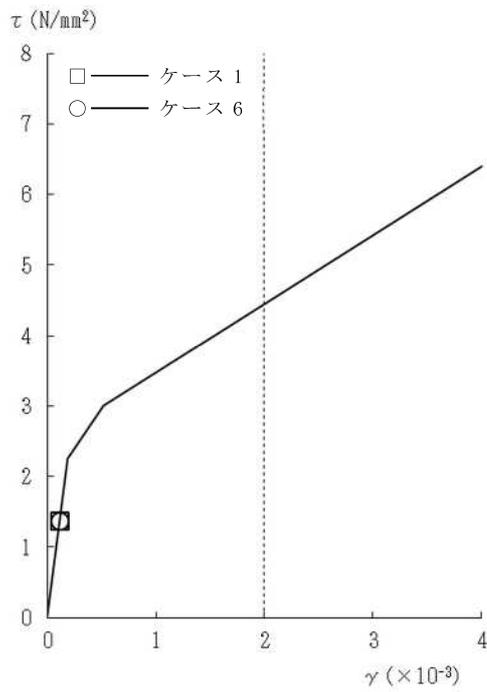


図 2-80  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, 2F) (1/5)

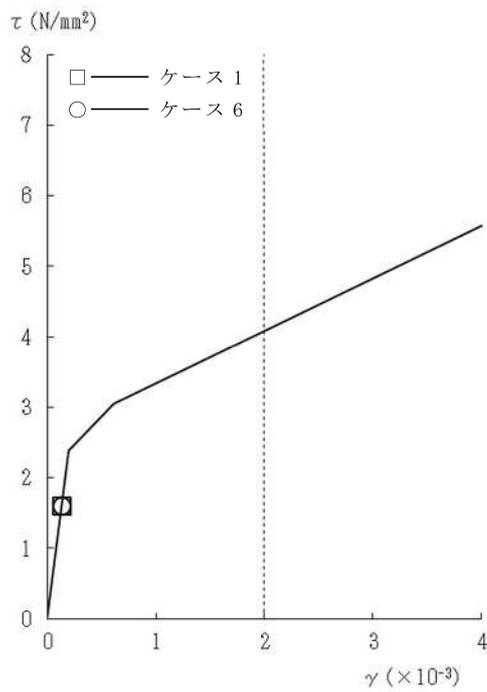


図 2-80  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, 1F) (2/5)

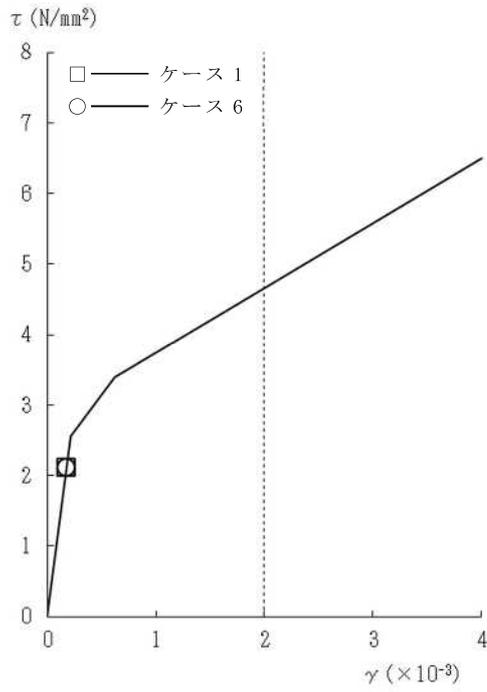


図 2-80  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, B1F) (3/5)

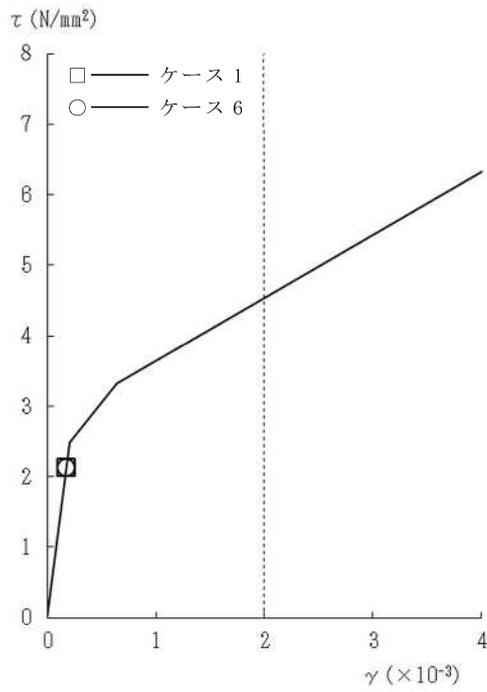


図 2-80  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, MB2F) (4/5)

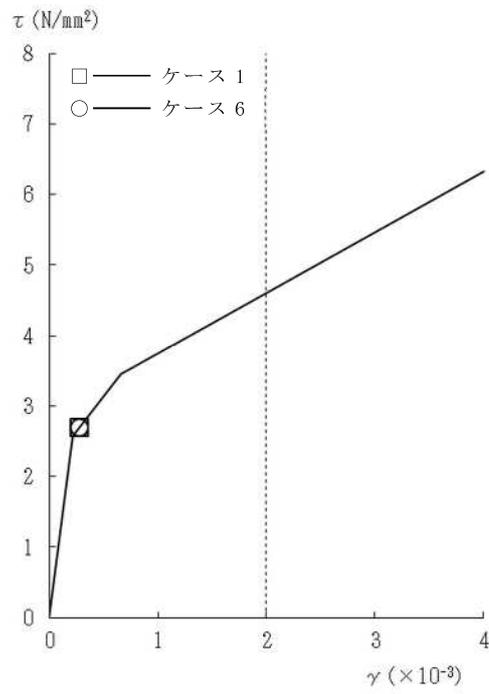


図 2-80  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-1, EW 方向, B2F) (5/5)

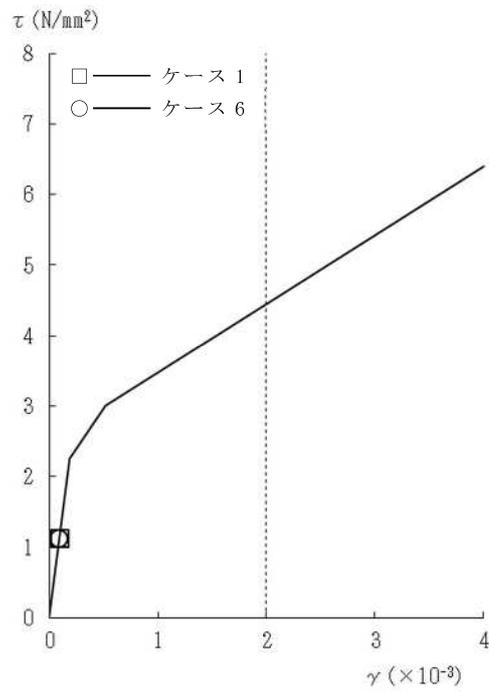


図 2-81  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, 2F) (1/5)

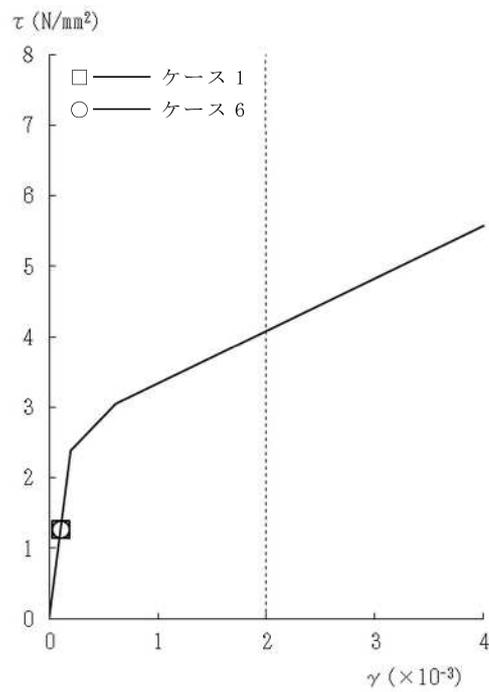


図 2-81  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, 1F) (2/5)

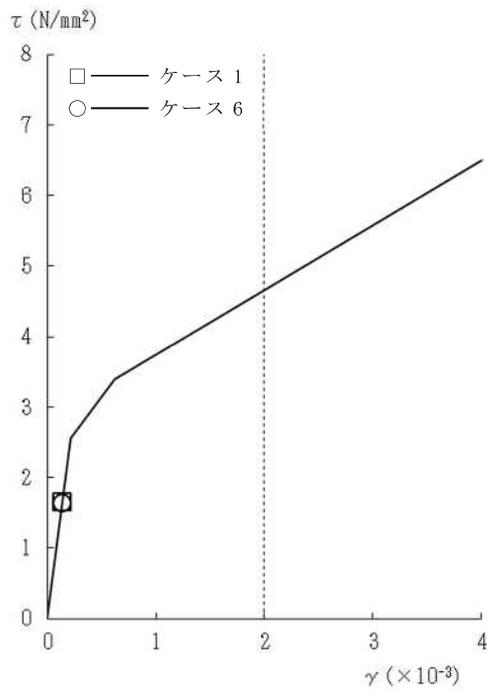


図 2-81  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, B1F) (3/5)

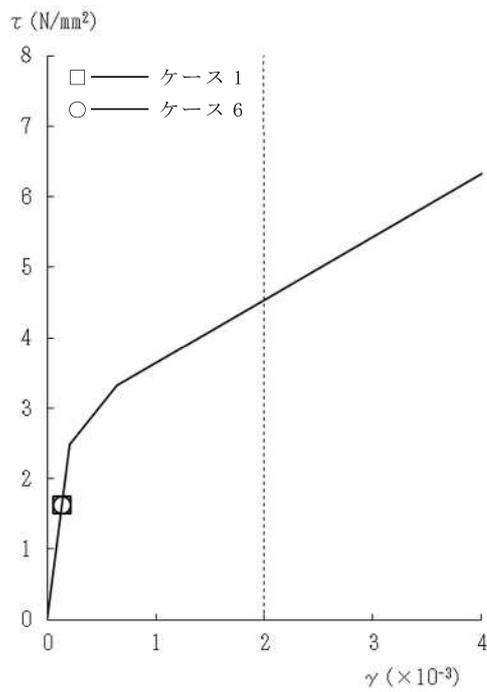


図 2-81  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, MB2F) (4/5)

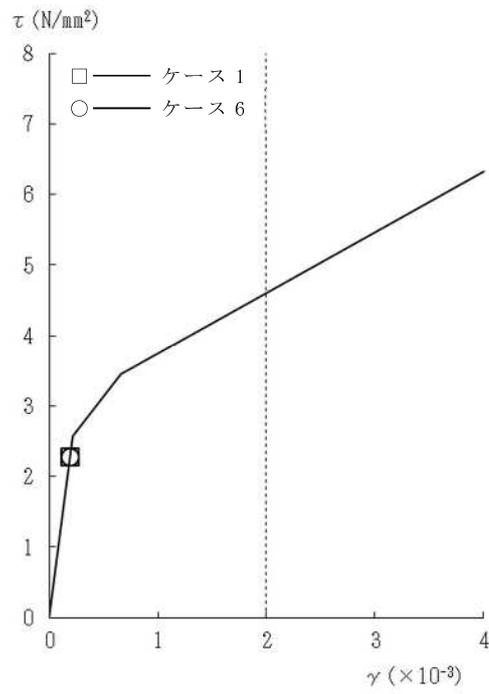


図 2-81  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Ss-2, EW 方向, B2F) (5/5)

表 2-14 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1350	8.69	55.4
S <sub>s</sub> -2*	1200	8.09	61.9

注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	808	9.44	76.8
S <sub>s</sub> -2	703	8.08	87.3

表 2-15 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 6)

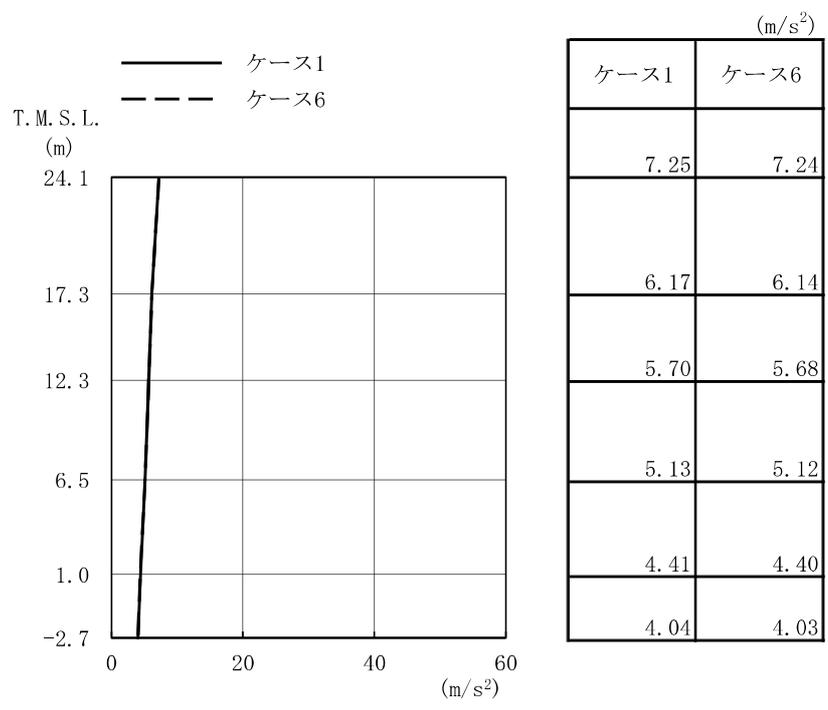
(a) NS 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1*	1410	8.94	52.7
S <sub>s</sub> -2*	1210	8.09	61.9

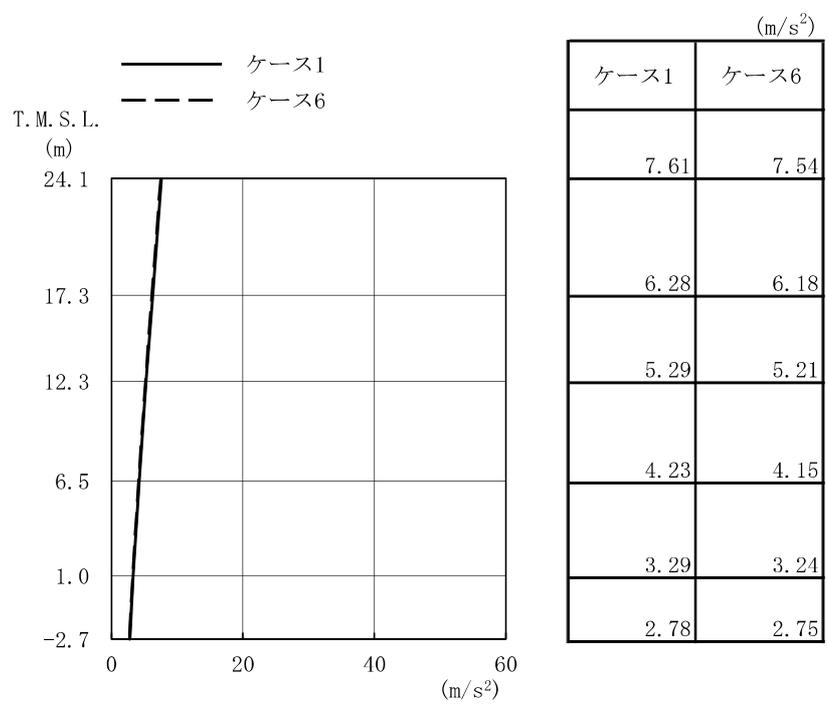
注記\* : 誘発上下動考慮の結果を示す。

(b) EW 方向

基準地震動 S <sub>s</sub>	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
S <sub>s</sub> -1	817	9.56	75.9
S <sub>s</sub> -2	707	8.16	86.8

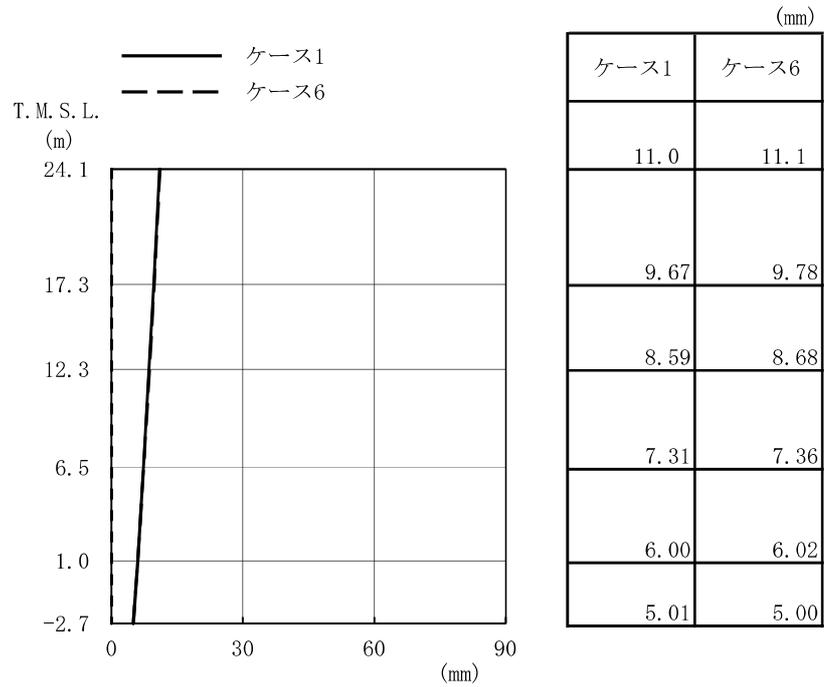


(a) Sd-1

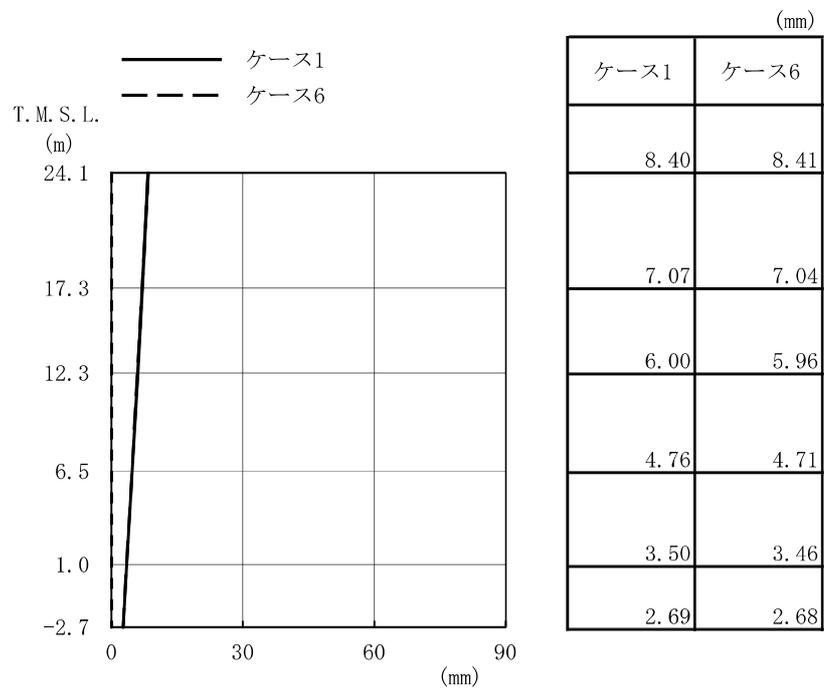


(b) Sd-2

図 2-82 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)



(a) Sd-1



(b) Sd-2

図 2-83 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

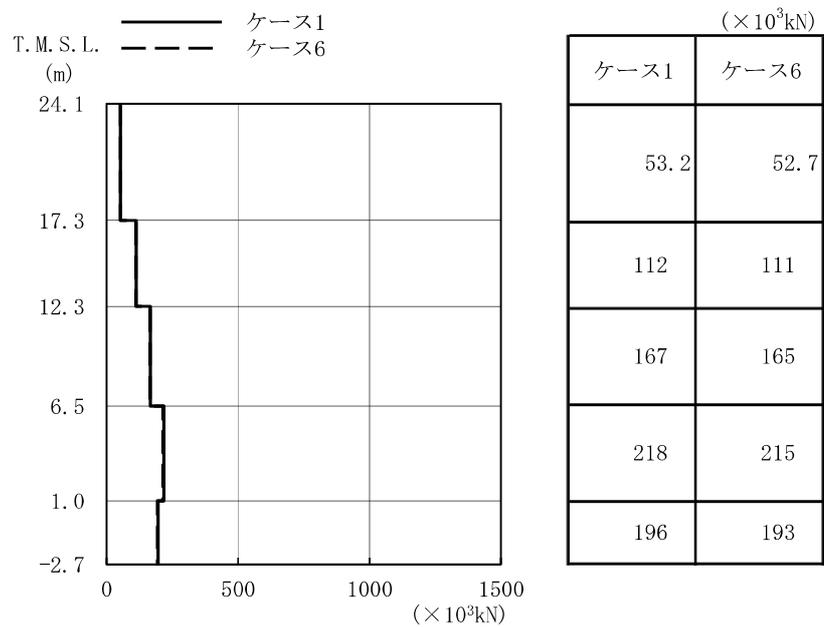
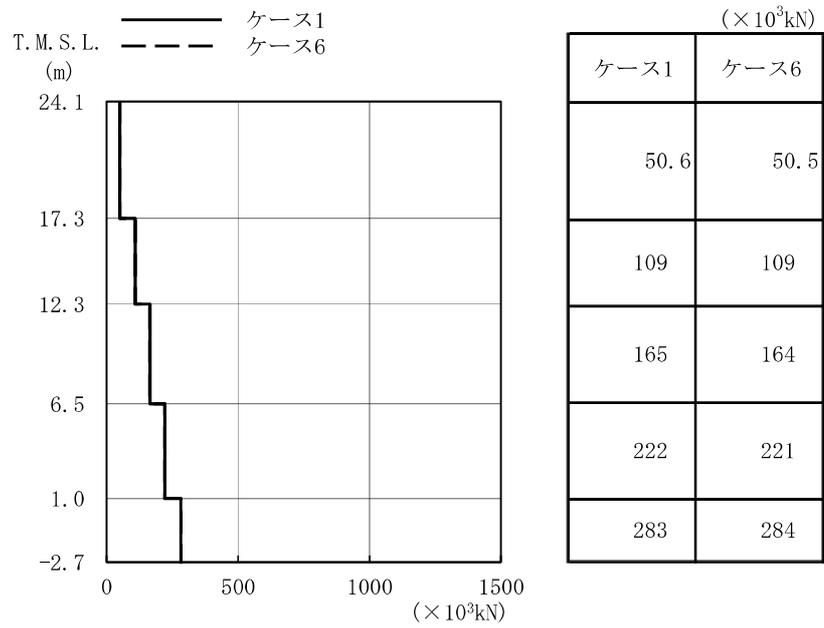
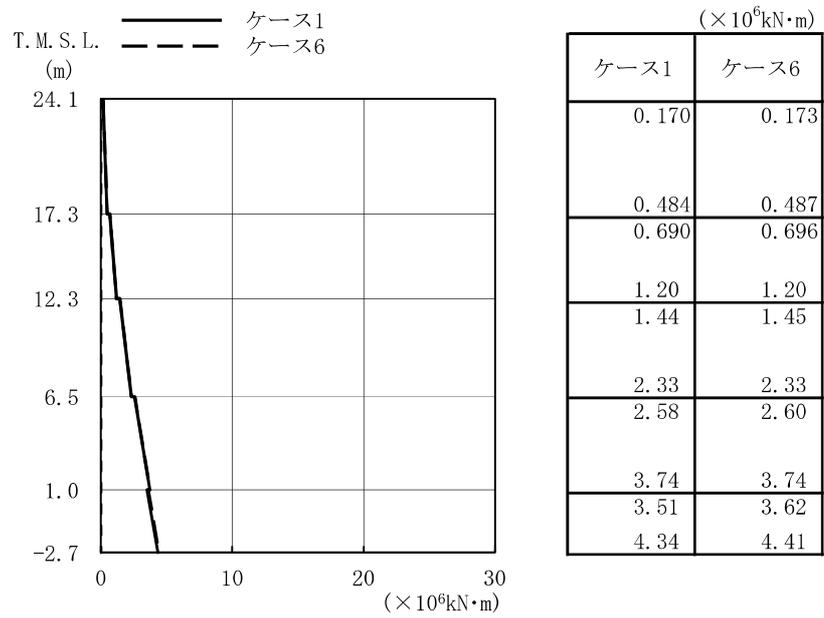
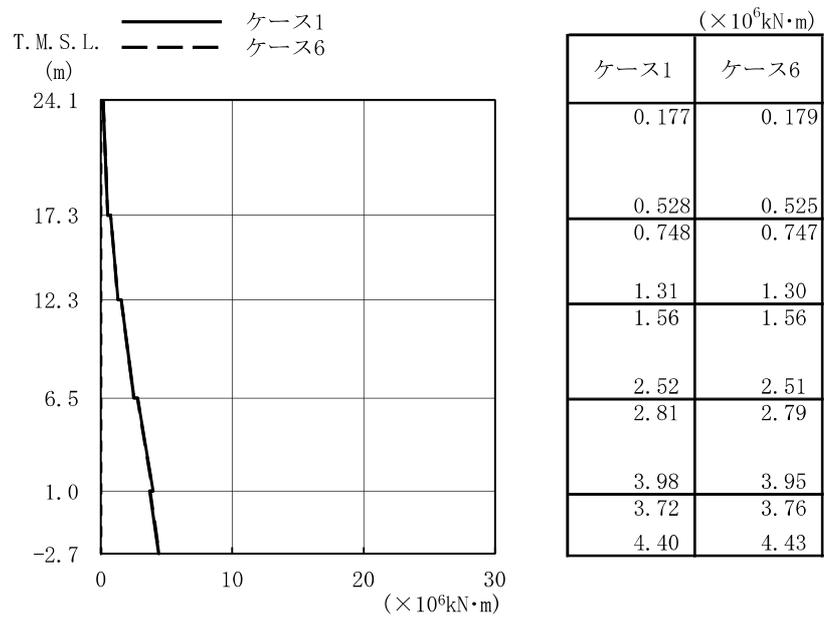


図 2-84 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

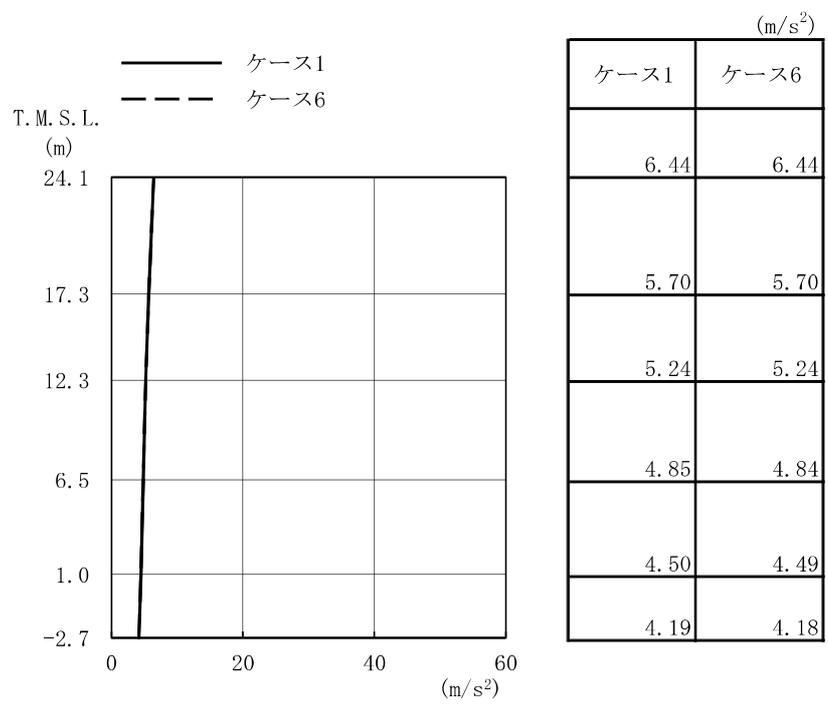


(a) Sd-1

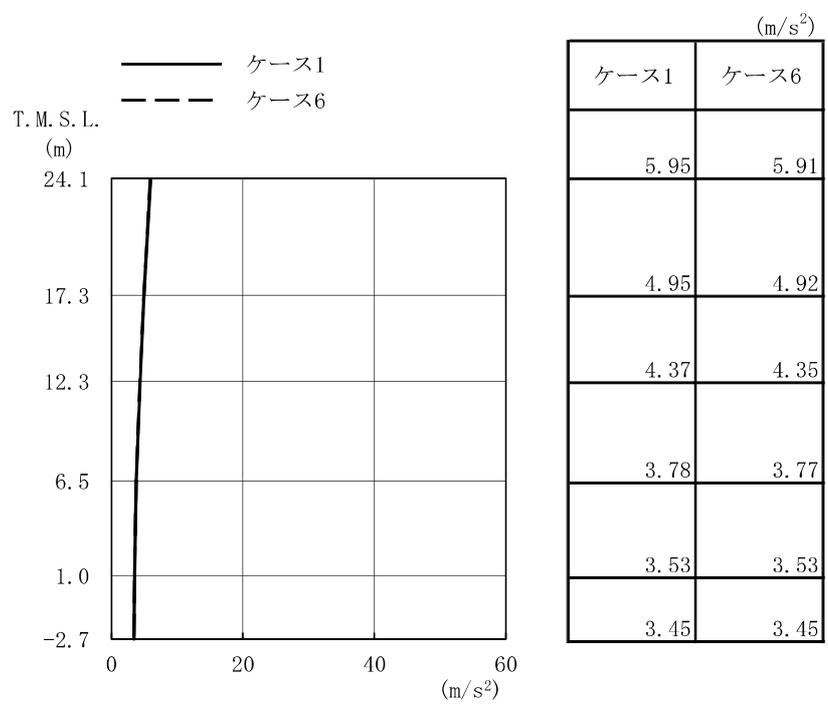


(b) Sd-2

図 2-85 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)



(a) Sd-1



(b) Sd-2

図 2-86 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>, EW 方向)

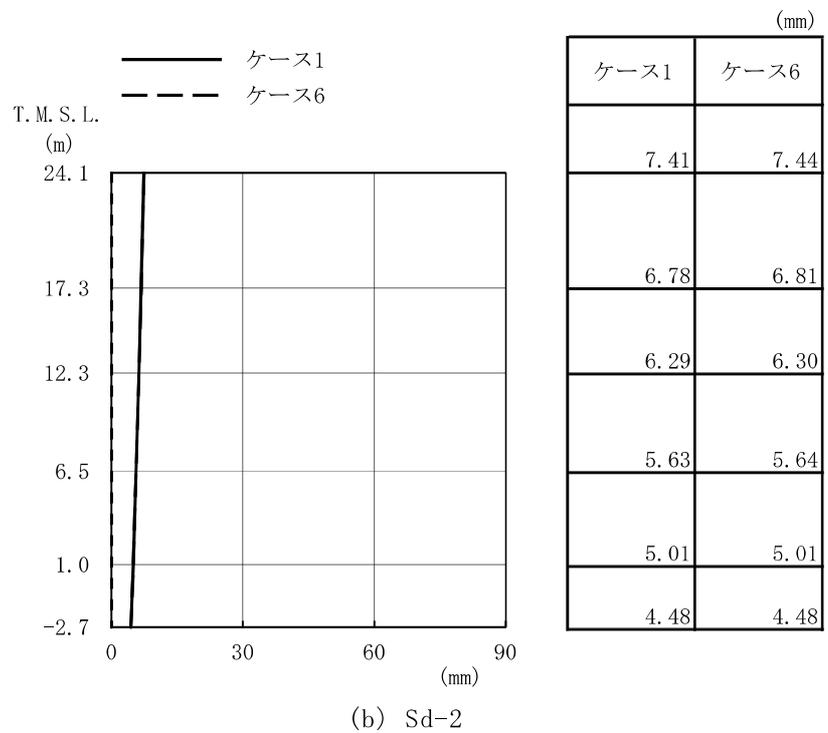
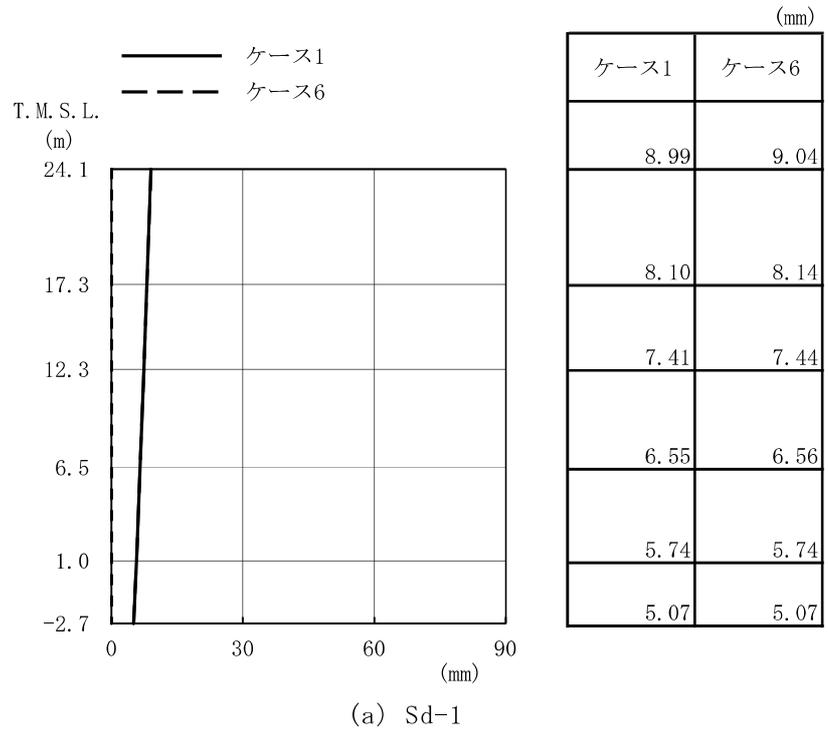
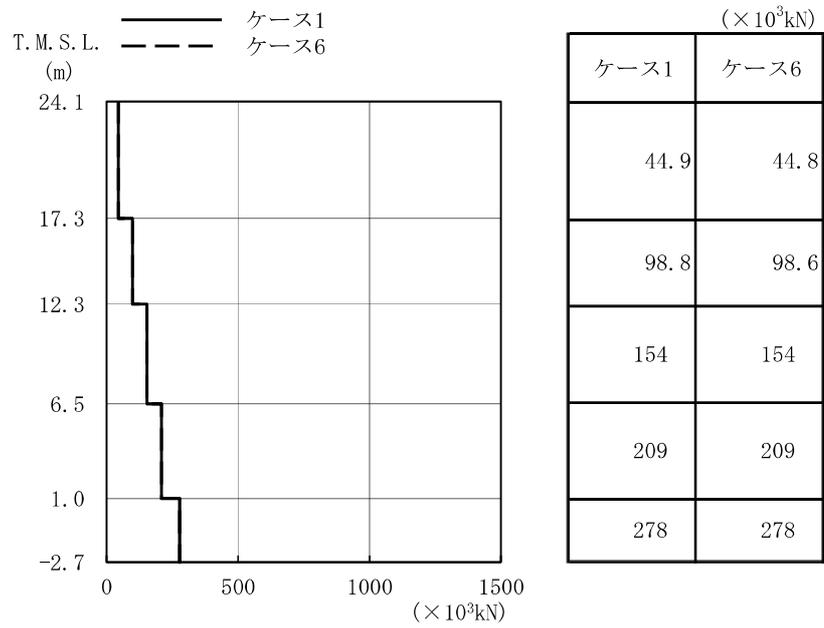
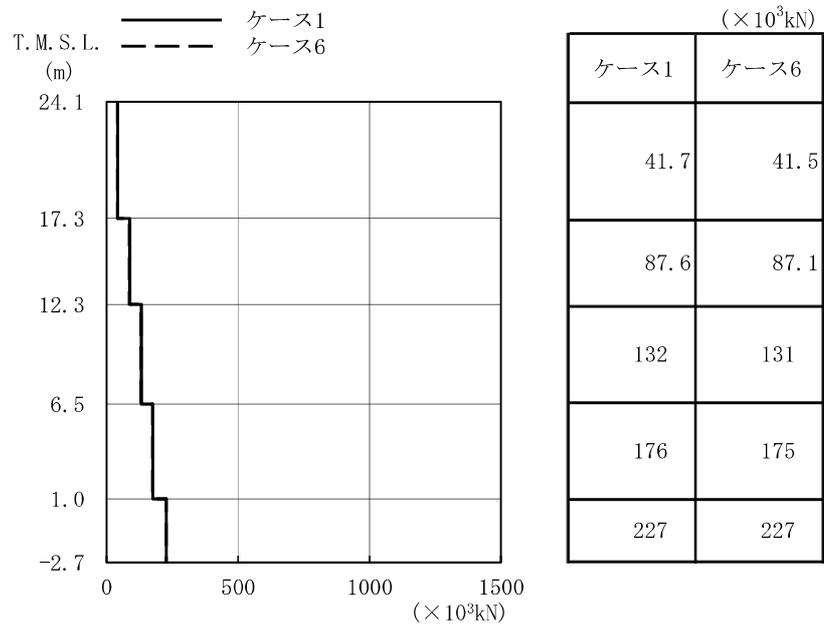


図 2-87 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

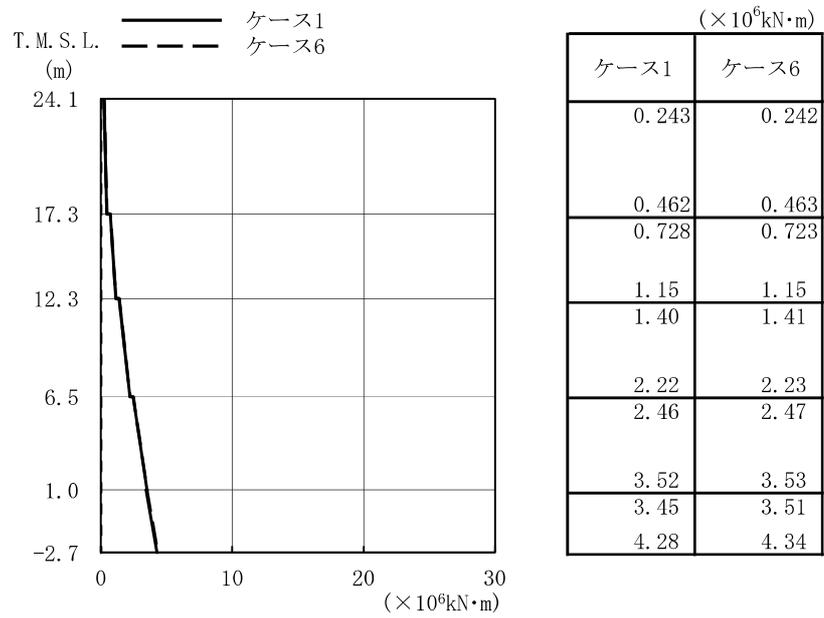


(a) Sd-1

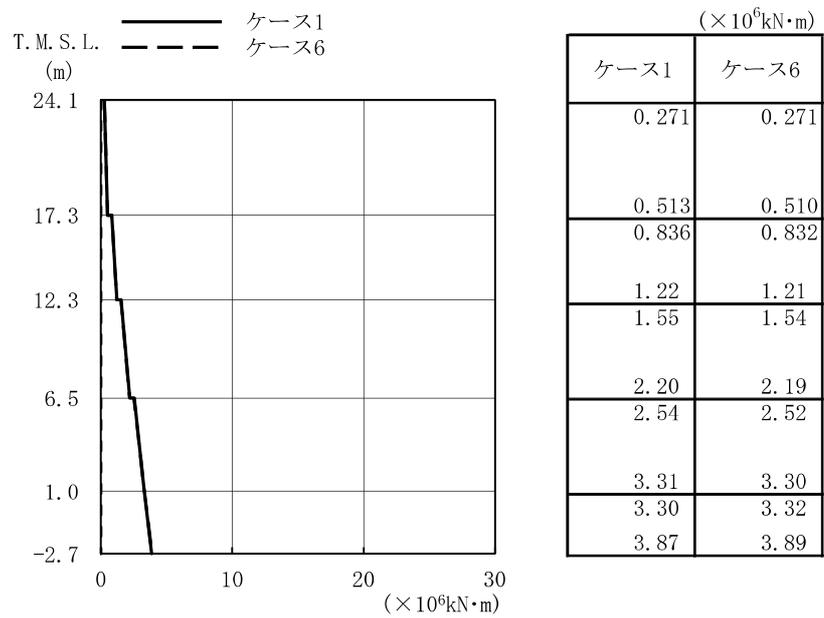


(b) Sd-2

図 2-88 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)



(a) Sd-1



(b) Sd-2

図 2-89 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

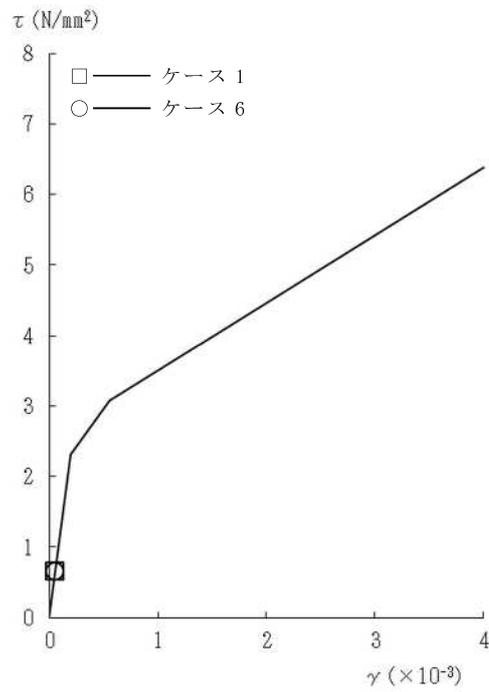


図 2-90  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, 2F) (1/5)

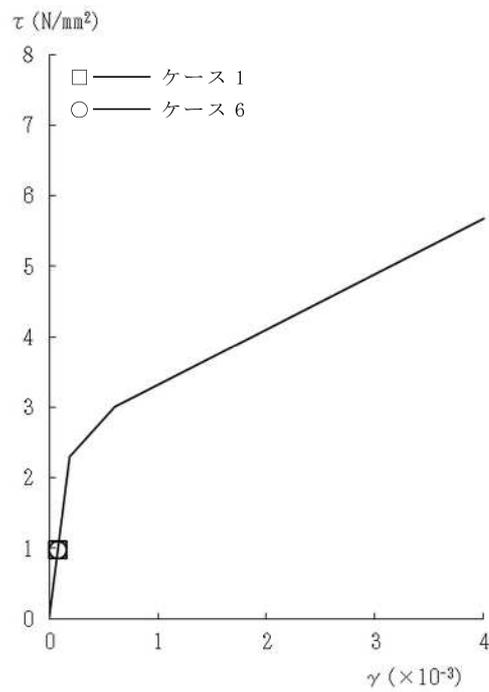


図 2-90  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, 1F) (2/5)

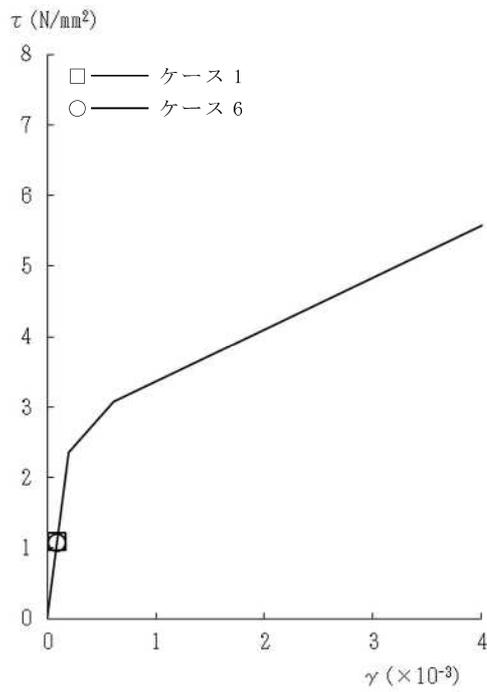


図 2-90  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, B1F) (3/5)

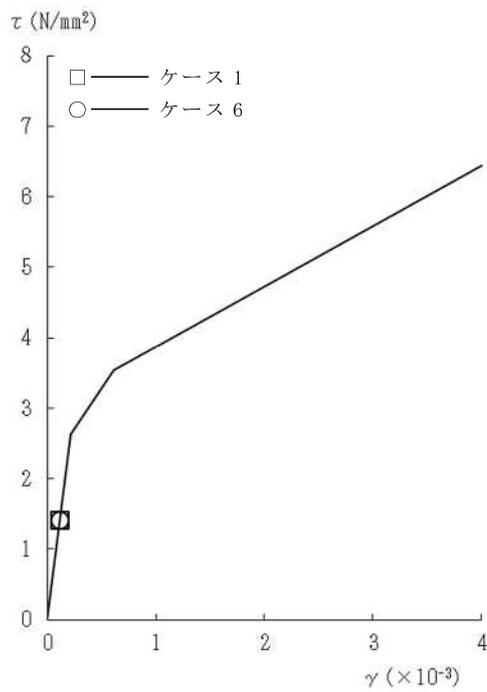


図 2-90  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, MB2F) (4/5)

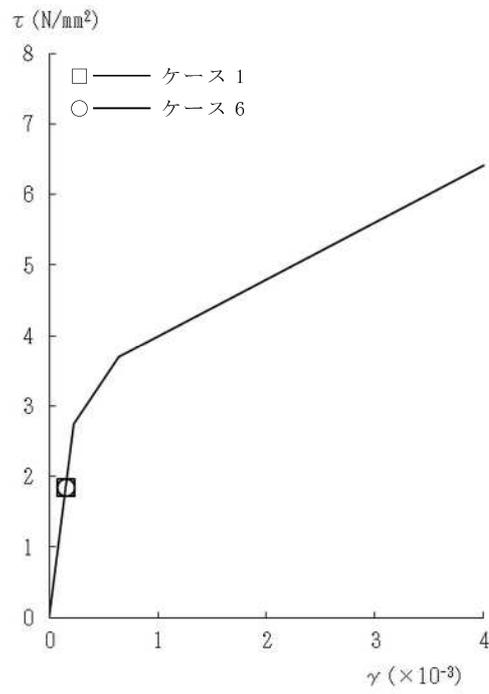


図 2-90  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, NS 方向, B2F) (5/5)

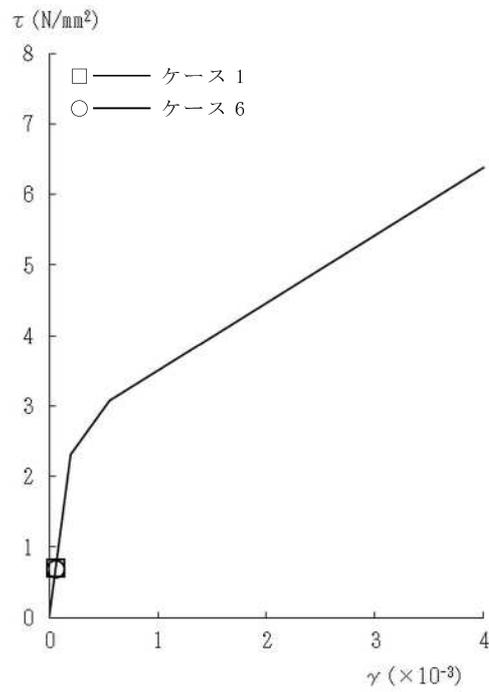


図 2-91  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, 2F) (1/5)

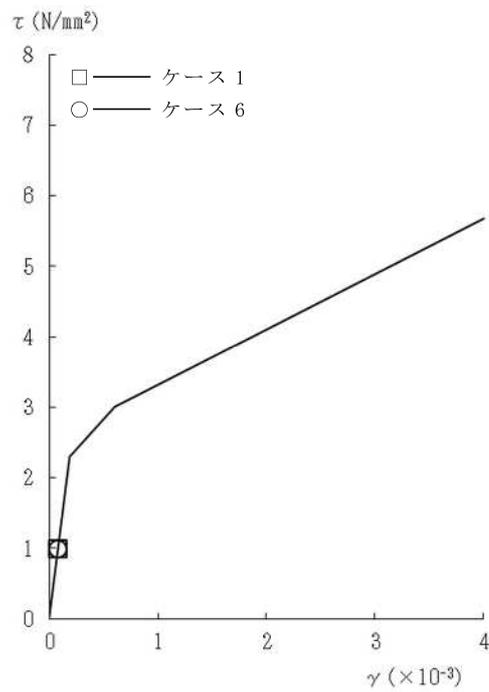


図 2-91  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, 1F) (2/5)

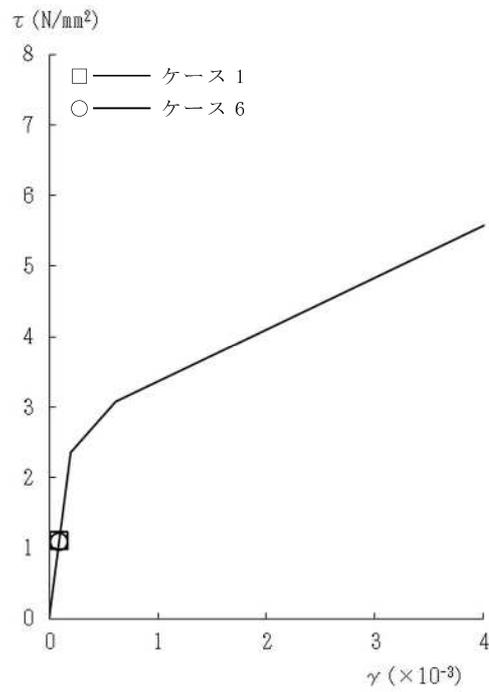


図 2-91  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, B1F) (3/5)

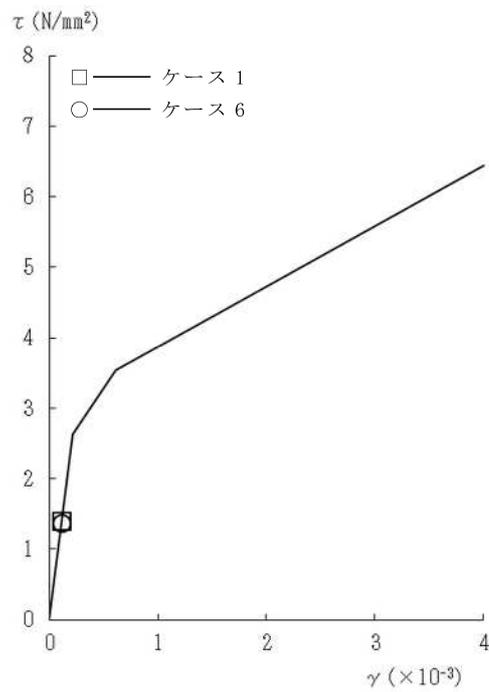


図 2-91  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, MB2F) (4/5)

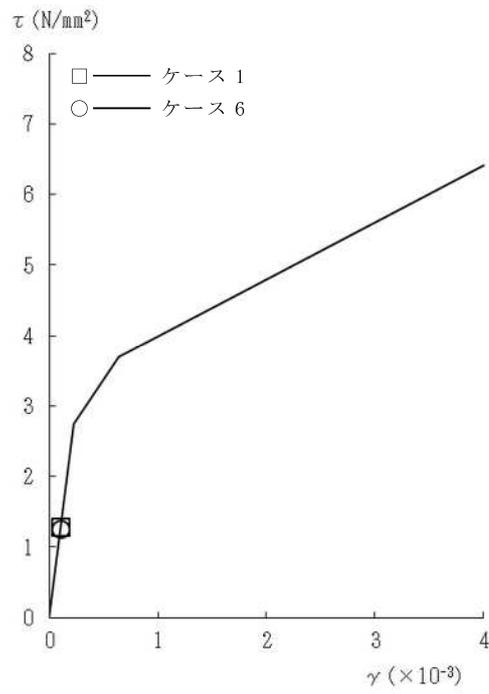


図 2-91  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, NS 方向, B2F) (5/5)

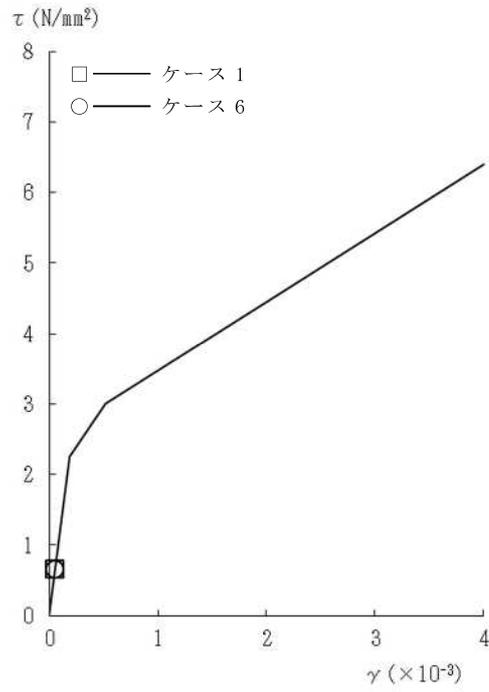


図 2-92  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, 2F) (1/5)

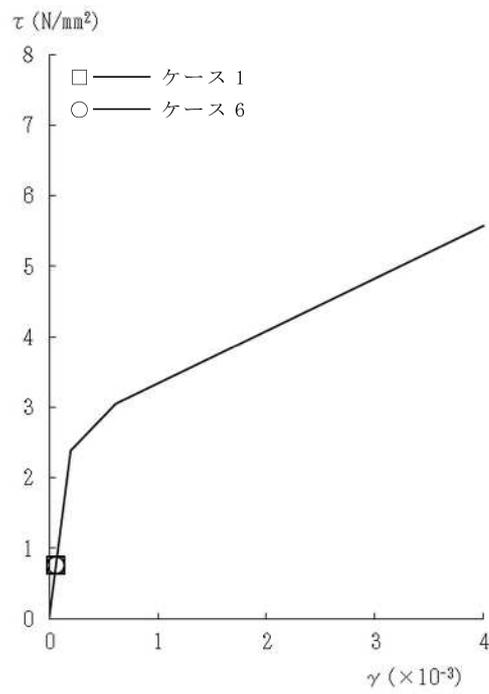


図 2-92  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, 1F) (2/5)

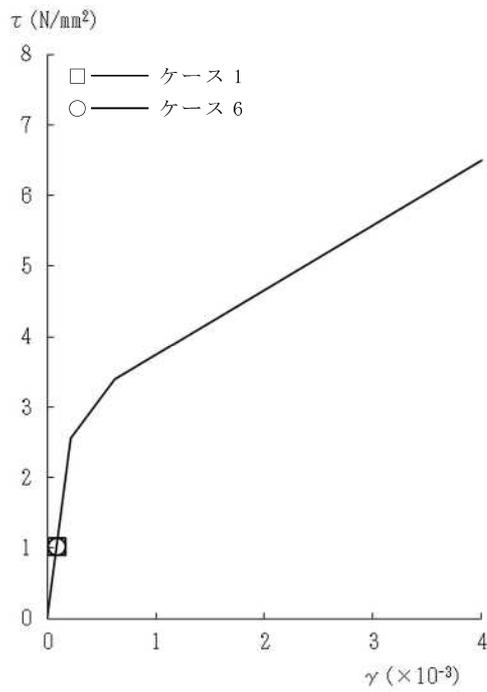


図 2-92  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, B1F) (3/5)

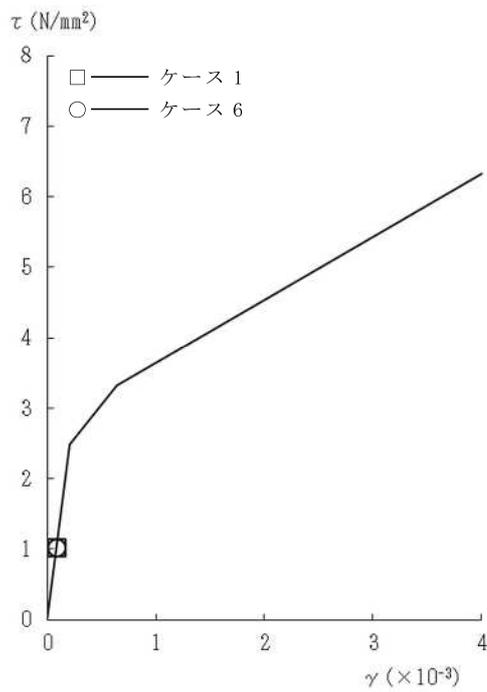


図 2-92  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, MB2F) (4/5)

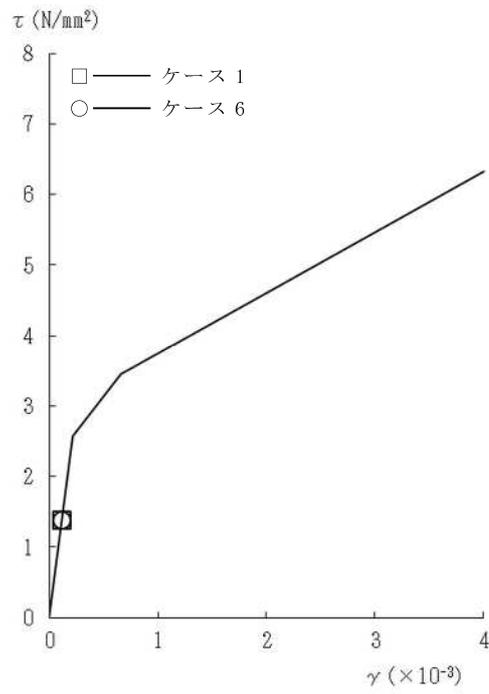


図 2-92  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-1, EW 方向, B2F) (5/5)

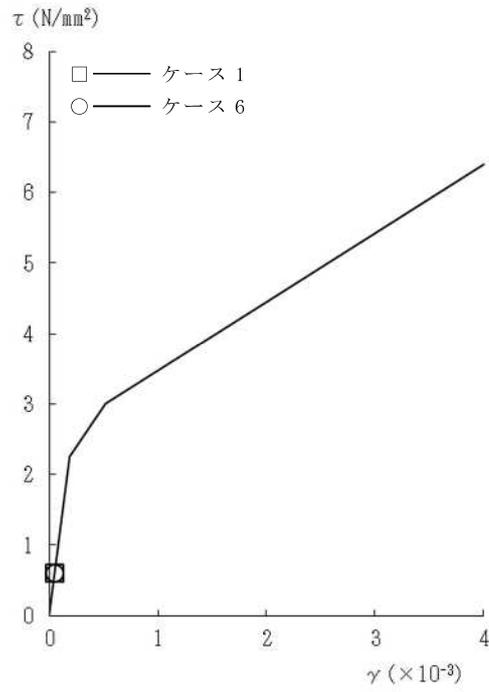


図 2-93  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, 2F) (1/5)

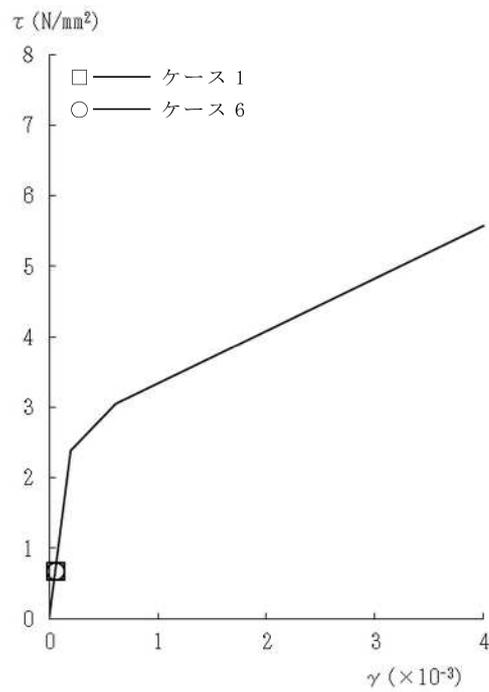


図 2-93  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, 1F) (2/5)

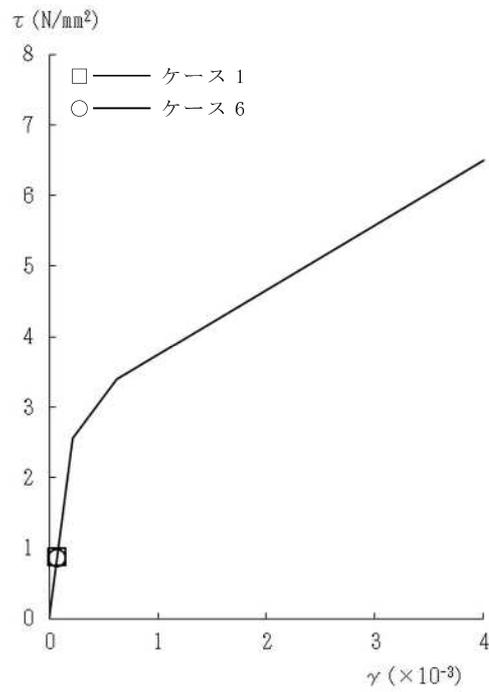


図 2-93  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, B1F) (3/5)

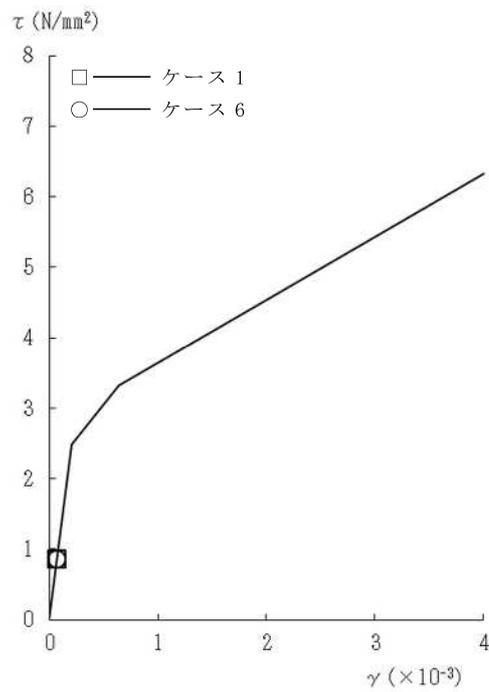


図 2-93  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, MB2F) (4/5)

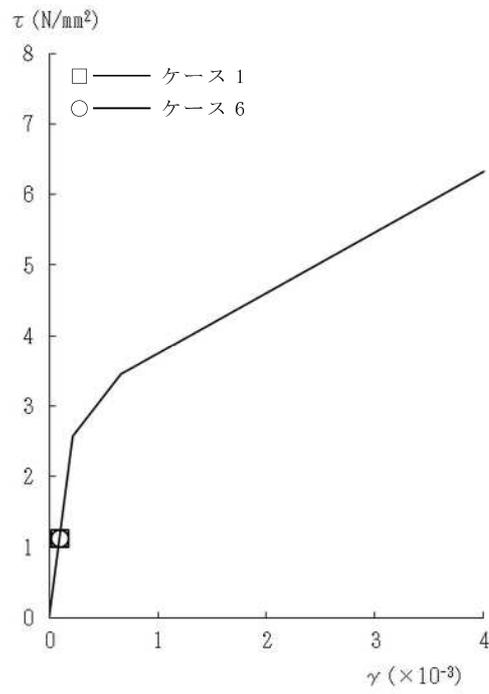


図 2-93  $\tau - \gamma$  関係と最大応答値 (Sd-2, EW 方向, B2F) (5/5)

表 2-16 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 1)

(a) NS 方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	597	4.81	97.6
Sd-2	575	4.70	98.8

(b) EW 方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	521	4.81	100.0
Sd-2	484	4.22	100.0

表 2-17 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率 (ケース 6)

(a) NS 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	609	4.95	96.1
Sd-2	581	4.78	98.0

(b) EW 方向

弾性設計用地震動 S d	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大転倒モーメント (×10 <sup>6</sup> kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-1	525	4.91	100.0
Sd-2	486	4.28	100.0

### 3. まとめ

前章で実施した材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を基本ケースと併せて以下に示す。

基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果を表 3-1～表 3-14 に，弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析結果を表 3-15～表 3-25 に示す。

表 3-1 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S s , NS 方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Ss-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	14.9	13.9	12.9	14.6	14.8	14.8	14.9	15.3	12.9	14.6	14.8	14.8
	2	12.6	12.1	11.8	12.4	13.0	12.7	12.6	13.4	11.8	12.4	13.0	12.7
	3	12.1	10.7	11.3	11.8	12.4	12.2	12.1	11.2	11.3	11.8	12.4	12.2
	4	11.7	9.67	10.3	11.5	11.7	11.6	11.7	10.2	10.3	11.5	11.7	11.6
	5	10.9	9.11	9.56	10.5	10.6	10.9	10.9	9.11	9.56	10.5	10.6	10.9
基礎上端		10.4	8.80	8.99	10.3	10.2	10.3	10.4	8.80	8.99	10.3	10.2	10.3

表 3-1 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S s , NS 方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Ss-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	14.1	15.3	12.2	13.8	14.7	14.3	14.9	15.3	12.9	14.6	14.8	14.8
	2	12.4	13.4	9.92	11.9	12.5	12.3	12.6	13.4	11.8	12.4	13.0	12.7
	3	10.4	11.2	8.61	10.2	10.2	10.2	12.1	11.2	11.3	11.8	12.4	12.2
	4	8.35	10.2	6.78	8.26	8.58	8.19	11.7	10.2	10.3	11.5	11.7	11.6
	5	6.18	8.55	5.64	6.38	7.09	6.03	10.9	9.11	9.56	10.5	10.6	10.9
基礎上端		4.93	5.86	5.60	5.34	5.04	4.95	10.4	8.80	8.99	10.3	10.2	10.3

表 3-2 最大応答変位一覧表 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向) (1/2)

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		S <sub>s</sub> -1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	27.2	18.5	30.0	25.2	28.8	27.9	27.2	18.5	30.0	25.2	28.8	27.9
	2	23.6	16.2	26.0	21.8	25.0	24.0	23.6	16.2	26.0	21.8	25.0	24.0
	3	20.8	14.4	22.9	19.2	22.0	21.0	20.8	14.4	22.9	19.2	22.0	21.0
	4	17.4	12.2	19.3	16.1	18.4	17.5	17.4	12.2	19.3	16.1	18.4	17.5
	5	13.3	9.93	15.3	12.9	13.6	13.3	13.3	9.93	15.3	12.9	13.6	13.3
基礎上端		9.91	7.81	12.7	10.2	9.81	9.86	9.91	7.81	12.7	10.2	9.81	9.86

表 3-2 最大応答変位一覧表 (基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向) (2/2)

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		S <sub>s</sub> -2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	17.7	16.1	20.6	17.0	18.0	17.7	27.2	18.5	30.0	25.2	28.8	27.9
	2	14.7	13.3	17.3	14.2	15.0	14.7	23.6	16.2	26.0	21.8	25.0	24.0
	3	12.4	11.2	14.8	12.1	12.6	12.4	20.8	14.4	22.9	19.2	22.0	21.0
	4	9.72	8.55	12.3	9.58	9.87	9.64	17.4	12.2	19.3	16.1	18.4	17.5
	5	7.51	6.15	10.0	7.56	7.48	7.45	13.3	9.93	15.3	12.9	13.6	13.3
基礎上端		6.11	4.63	8.50	6.24	6.04	6.06	9.91	7.81	12.7	10.2	9.81	9.86

表 3-3 最大応答せん断力一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，NS 方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（×10 <sup>3</sup> kN）											
		S <sub>s</sub> -1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	104	97.1	92.4	102	104	104	104	107	92.4	102	104	104
	2	219	210	206	217	217	218	219	231	206	217	220	218
	3	327	320	319	329	334	327	327	346	319	329	334	327
	4	465	424	432	449	476	462	465	449	432	449	476	462
	5	544	490	486	542	541	538	544	490	486	542	541	538

表 3-3 最大応答せん断力一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，NS 方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（×10 <sup>3</sup> kN）											
		S <sub>s</sub> -2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	99.2	107	85.4	96.9	103	99.9	104	107	92.4	102	104	104
	2	216	231	176	208	220	215	219	231	206	217	220	218
	3	326	346	262	315	324	323	327	346	319	329	334	327
	4	414	449	341	411	404	412	465	449	432	449	476	462
	5	397	403	412	398	394	389	544	490	486	542	541	538

表 3-4 最大応答曲げモーメント一覧表（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向）（1/2）

部位	部材番号	最大応答曲げモーメント（ $\times 10^6 \text{kNm}$ ）											
		$S_s-1$						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	1.04	0.815	0.979	1.01	1.05	1.04	1.04	1.03	0.979	1.01	1.05	1.04
	2	2.42	1.97	2.25	2.32	2.42	2.40	2.44	2.50	2.25	2.34	2.49	2.46
	3	4.35	3.97	4.07	4.13	4.40	4.35	4.70	4.81	4.22	4.55	4.75	4.70
	4	6.83	6.51	6.60	6.73	6.90	6.81	7.21	7.50	6.60	7.07	7.20	7.18
	5	7.72	7.13	8.56	7.48	7.80	7.71	7.72	7.69	8.56	7.48	7.80	7.71

表 3-4 最大応答曲げモーメント一覧表（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向）（2/2）

部位	部材番号	最大応答曲げモーメント（ $\times 10^6 \text{kNm}$ ）											
		$S_s-2$						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	0.988	1.03	0.913	0.944	1.02	0.991	1.04	1.03	0.979	1.01	1.05	1.04
	2	2.44	2.50	2.24	2.34	2.49	2.46	2.44	2.50	2.25	2.34	2.49	2.46
	3	4.70	4.81	4.22	4.55	4.75	4.70	4.70	4.81	4.22	4.55	4.75	4.70
	4	7.21	7.50	6.28	7.07	7.20	7.18	7.21	7.50	6.60	7.07	7.20	7.18
	5	7.56	7.69	7.07	7.47	7.51	7.62	7.72	7.69	8.56	7.48	7.80	7.71

表 3-5 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S s , EW 方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Ss-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	13.4	12.5	13.9	13.0	13.6	13.4	13.4	12.5	13.9	13.0	13.6	13.4
	2	12.0	11.4	12.8	11.7	12.1	12.0	12.0	11.4	12.8	11.7	12.1	12.0
	3	11.1	10.4	12.3	11.1	11.1	11.1	11.1	10.4	12.3	11.1	11.1	11.1
	4	10.5	9.40	11.9	10.4	10.8	10.6	10.5	9.40	11.9	10.4	10.8	10.6
	5	10.0	8.86	10.9	9.96	10.3	10.1	10.0	8.86	10.9	9.96	10.3	10.1
基礎上端		9.80	8.25	10.6	9.46	10.0	9.81	9.80	8.25	10.6	9.46	10.0	9.81

表 3-5 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S s , EW 方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Ss-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	11.1	12.3	9.64	10.7	11.2	11.0	13.4	12.5	13.9	13.0	13.6	13.4
	2	9.30	10.3	9.31	9.13	9.36	9.26	12.0	11.4	12.8	11.7	12.1	12.0
	3	8.26	9.09	9.12	8.23	8.28	8.25	11.1	10.4	12.3	11.1	11.1	11.1
	4	8.06	7.85	8.87	8.02	8.08	8.05	10.5	9.40	11.9	10.4	10.8	10.6
	5	7.93	7.45	8.65	7.92	7.94	7.93	10.0	8.86	10.9	9.96	10.3	10.1
基礎上端		7.77	6.90	8.45	7.75	7.78	7.77	9.80	8.25	10.6	9.46	10.0	9.81

表 3-6 最大応答変位一覧表 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向) (1/2)

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		S <sub>s</sub> -1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	19.6	14.8	28.0	18.9	20.0	19.8	19.6	14.8	28.0	18.9	20.0	19.8
	2	17.6	13.3	25.2	17.0	17.9	17.7	17.6	13.3	25.2	17.0	17.9	17.7
	3	16.0	12.1	23.1	15.5	16.3	16.1	16.0	12.1	23.1	15.5	16.3	16.1
	4	14.0	10.5	20.3	13.6	14.2	14.0	14.0	10.5	20.3	13.6	14.2	14.0
	5	12.0	9.03	17.7	11.8	12.2	12.1	12.0	9.03	17.7	11.8	12.2	12.1
基礎上端		10.4	7.89	15.1	10.5	10.4	10.4	10.4	7.89	15.1	10.5	10.4	10.4

表 3-6 最大応答変位一覧表 (基準地震動 S<sub>s</sub>, EW 方向) (2/2)

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		S <sub>s</sub> -2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	16.2	12.0	22.2	15.8	16.4	16.2	19.6	14.8	28.0	18.9	20.0	19.8
	2	14.7	10.6	20.3	14.4	14.9	14.8	17.6	13.3	25.2	17.0	17.9	17.7
	3	13.6	9.76	18.8	13.3	13.7	13.6	16.0	12.1	23.1	15.5	16.3	16.1
	4	12.1	8.63	16.9	11.9	12.2	12.1	14.0	10.5	20.3	13.6	14.2	14.0
	5	10.7	7.54	15.1	10.6	10.7	10.7	12.0	9.03	17.7	11.8	12.2	12.1
基礎上端		9.50	6.63	13.7	9.51	9.50	9.51	10.4	7.89	15.1	10.5	10.4	10.4

表 3-7 最大応答せん断力一覧表（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（ $\times 10^3 \text{kN}$ ）											
		$S_s-1$						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	93.6	87.4	97.6	90.8	95.1	93.6	93.6	87.4	97.6	90.8	95.1	93.6
	2	206	194	217	201	209	206	206	194	217	201	209	206
	3	321	304	338	313	322	320	321	304	338	313	322	320
	4	435	415	472	440	432	434	435	415	472	440	432	434
	5	545	504	636	557	543	546	545	504	636	557	543	546

表 3-7 最大応答せん断力一覧表（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（ $\times 10^3 \text{kN}$ ）											
		$S_s-2$						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	77.3	86.1	67.6	74.7	78.4	76.9	93.6	87.4	97.6	90.8	95.1	93.6
	2	164	183	154	160	166	164	206	194	217	201	209	206
	3	250	277	250	246	252	249	321	304	338	313	322	320
	4	332	367	357	330	333	331	435	415	472	440	432	434
	5	461	442	497	463	460	461	545	504	636	557	543	546

表 3-8 最大応答曲げモーメント一覧表（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント（ $\times 10^6 \text{kNm}$ ）											
		$S_s-1$						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	0.993	0.825	1.18	0.907	1.03	0.998	0.993	1.02	1.18	0.926	1.03	0.998
	2	2.26	2.06	2.60	2.19	2.31	2.25	2.30	2.44	2.60	2.22	2.33	2.29
	3	4.39	4.07	4.57	4.27	4.47	4.38	4.39	4.46	4.57	4.27	4.47	4.38
	4	6.99	6.56	7.08	6.84	7.06	6.97	6.99	6.79	7.08	6.84	7.06	6.97
	5	8.37	7.78	8.85	8.23	8.43	8.41	8.37	7.78	8.85	8.23	8.43	8.41

表 3-8 最大応答曲げモーメント一覧表（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント（ $\times 10^6 \text{kNm}$ ）											
		$S_s-2$						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	0.965	1.02	0.870	0.926	0.982	0.960	0.993	1.02	1.18	0.926	1.03	0.998
	2	2.30	2.44	2.07	2.22	2.33	2.29	2.30	2.44	2.60	2.22	2.33	2.29
	3	4.17	4.46	3.75	4.05	4.22	4.15	4.39	4.46	4.57	4.27	4.47	4.38
	4	6.34	6.79	5.71	6.20	6.39	6.30	6.99	6.79	7.08	6.84	7.06	6.97
	5	7.49	7.75	7.12	7.39	7.53	7.51	8.37	7.78	8.85	8.23	8.43	8.41

表 3-9 最大応答加速度一覧表（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )											
		Ss-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	9.14	9.36	8.43	8.97	9.27	9.14	9.14	9.36	8.43	8.97	9.27	9.14
	2	8.87	9.09	8.25	8.74	8.97	8.87	8.87	9.09	8.25	8.74	8.97	8.87
	3	8.61	8.83	8.03	8.47	8.68	8.61	8.61	8.83	8.03	8.47	8.68	8.61
	4	8.28	8.51	7.71	8.20	8.32	8.28	8.28	8.51	7.71	8.20	8.32	8.28
	5	7.95	8.19	7.47	7.94	7.96	7.95	7.95	8.19	7.47	7.94	7.96	7.95
基礎上端	7.69	7.93	7.48	7.73	7.66	7.69	7.69	7.93	7.48	7.73	7.66	7.69	

表 3-9 最大応答加速度一覧表（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )											
		Ss-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	6.09	5.99	5.68	5.96	6.15	6.09	9.14	9.36	8.43	8.97	9.27	9.14
	2	5.93	5.83	5.53	5.82	5.98	5.93	8.87	9.09	8.25	8.74	8.97	8.87
	3	5.74	5.65	5.37	5.66	5.78	5.74	8.61	8.83	8.03	8.47	8.68	8.61
	4	5.48	5.39	5.13	5.43	5.50	5.48	8.28	8.51	7.71	8.20	8.32	8.28
	5	5.21	5.19	4.97	5.19	5.22	5.21	7.95	8.19	7.47	7.94	7.96	7.95
基礎上端	5.10	5.06	4.85	5.10	5.10	5.10	7.69	7.93	7.48	7.73	7.66	7.69	

表 3-10 最大応答変位一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，鉛直方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		S <sub>s</sub> -1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	6.42	5.19	7.96	6.36	6.45	6.42	6.42	5.19	7.96	6.36	6.45	6.42
	2	6.36	5.13	7.90	6.32	6.39	6.36	6.36	5.13	7.90	6.32	6.39	6.36
	3	6.31	5.07	7.84	6.27	6.33	6.31	6.31	5.07	7.84	6.27	6.33	6.31
	4	6.24	4.98	7.75	6.21	6.25	6.24	6.24	4.98	7.75	6.21	6.25	6.24
	5	6.15	4.90	7.63	6.13	6.15	6.15	6.15	4.90	7.63	6.13	6.15	6.15
基礎上端	6.07	4.83	7.55	6.06	6.08	6.07	6.07	4.83	7.55	6.06	6.08	6.07	

表 3-10 最大応答変位一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，鉛直方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		S <sub>s</sub> -2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	3.57	2.81	4.65	3.54	3.59	3.57	6.42	5.19	7.96	6.36	6.45	6.42
	2	3.54	2.77	4.62	3.51	3.55	3.54	6.36	5.13	7.90	6.32	6.39	6.36
	3	3.50	2.73	4.58	3.48	3.51	3.50	6.31	5.07	7.84	6.27	6.33	6.31
	4	3.44	2.67	4.53	3.43	3.45	3.44	6.24	4.98	7.75	6.21	6.25	6.24
	5	3.38	2.60	4.47	3.37	3.38	3.38	6.15	4.90	7.63	6.13	6.15	6.15
基礎上端	3.34	2.56	4.42	3.34	3.34	3.34	6.07	4.83	7.55	6.06	6.08	6.07	

表 3-11 最大応答軸力一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，鉛直方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答軸力（×10 <sup>4</sup> kN）											
		S <sub>s</sub> -1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	6.41	6.58	5.93	6.26	6.51	6.41	6.41	6.58	5.93	6.26	6.51	6.41
	2	14.8	15.2	13.8	14.5	15.0	14.8	14.8	15.2	13.8	14.5	15.0	14.8
	3	24.0	24.6	22.4	23.5	24.3	24.0	24.0	24.6	22.4	23.5	24.3	24.0
	4	34.2	35.1	31.9	33.6	34.5	34.2	34.2	35.1	31.9	33.6	34.5	34.2
	5	39.4	40.5	36.7	38.7	39.8	39.4	39.4	40.5	36.7	38.7	39.8	39.4

表 3-11 最大応答軸力一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，鉛直方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答軸力（×10 <sup>4</sup> kN）											
		S <sub>s</sub> -2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	4.25	4.18	3.97	4.16	4.29	4.25	6.41	6.58	5.93	6.26	6.51	6.41
	2	9.85	9.70	9.19	9.66	9.94	9.85	14.8	15.2	13.8	14.5	15.0	14.8
	3	16.0	15.7	14.9	15.7	16.1	16.0	24.0	24.6	22.4	23.5	24.3	24.0
	4	22.7	22.4	21.2	22.4	22.9	22.7	34.2	35.1	31.9	33.6	34.5	34.2
	5	26.1	25.7	24.5	25.8	26.3	26.1	39.4	40.5	36.7	38.7	39.8	39.4

表 3-12 最大応答加速度一覧表（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向，誘発上下動）

部位	質点番号	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )									
		Ss-1					Ss-2				
		ケース1	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	2.89	3.08	2.59	3.33	3.58	1.48	1.41	1.31	1.49	1.50
	2	2.67	2.82	2.41	3.08	3.32	1.31	1.25	1.19	1.32	1.37
	3	2.51	2.56	2.25	2.89	3.10	1.13	1.09	1.06	1.13	1.22
	4	2.28	2.21	2.05	2.64	2.84	0.949	0.960	0.874	0.971	1.03
	5	2.06	1.85	1.86	2.38	2.57	0.833	0.842	0.736	0.858	0.880
基礎上端		1.91	1.61	1.73	2.21	2.39	0.752	0.756	0.667	0.773	0.792

表 3-13 最大応答変位一覧表（基準地震動 S<sub>s</sub>，NS 方向，誘発上下動）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)									
		S <sub>s</sub> -1					S <sub>s</sub> -2				
		ケース1	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	1.91	1.18	1.76	2.30	2.54	0.679	0.568	0.612	0.697	0.720
	2	1.88	1.16	1.74	2.27	2.51	0.663	0.553	0.600	0.680	0.704
	3	1.85	1.13	1.71	2.23	2.47	0.647	0.538	0.587	0.663	0.687
	4	1.81	1.10	1.68	2.17	2.41	0.624	0.517	0.568	0.639	0.663
	5	1.75	1.05	1.63	2.11	2.34	0.599	0.494	0.548	0.613	0.637
基礎上端		1.71	1.02	1.60	2.06	2.29	0.581	0.476	0.533	0.594	0.617

表 3-14 最大応答軸力一覧表 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向, 誘発上下動)

部位	部 材 番 号	最大応答軸力 ( $\times 10^4 \text{kN}$ )									
		$S_{s-1}$					$S_{s-2}$				
		ケース1	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	2.01	4.92	1.80	2.31	2.49	1.03	0.981	0.909	1.03	1.05
	2	4.51	8.65	4.07	5.19	5.61	2.27	2.16	2.03	2.28	2.34
	3	7.12	10.6	6.45	8.20	8.88	3.46	3.31	3.15	3.47	3.62
	4	9.86	10.6	8.93	11.4	12.3	4.55	4.38	4.22	4.56	4.86
	5	11.1	10.8	10.1	12.8	13.9	5.00	4.84	4.67	5.01	5.38

表 3-15 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	7.25	6.32	7.91	6.99	7.34	7.24	7.61	7.22	7.91	7.31	7.76	7.54
	2	6.17	5.48	7.04	6.03	6.23	6.14	6.28	6.02	7.04	6.13	6.34	6.18
	3	5.70	5.02	6.48	5.58	5.74	5.68	5.70	5.25	6.48	5.58	5.74	5.68
	4	5.13	4.63	5.75	5.05	5.16	5.12	5.13	4.63	5.75	5.05	5.16	5.12
	5	4.41	4.01	5.13	4.42	4.41	4.40	4.41	4.01	5.13	4.42	4.41	4.40
基礎上端		4.04	3.67	4.69	4.03	4.04	4.03	4.04	3.67	4.69	4.03	4.04	4.03

表 3-15 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	7.61	7.22	6.99	7.31	7.76	7.54	7.61	7.22	7.91	7.31	7.76	7.54
	2	6.28	6.02	5.53	6.13	6.34	6.18	6.28	6.02	7.04	6.13	6.34	6.18
	3	5.29	5.25	4.52	5.19	5.33	5.21	5.70	5.25	6.48	5.58	5.74	5.68
	4	4.23	4.30	3.57	4.23	4.22	4.15	5.13	4.63	5.75	5.05	5.16	5.12
	5	3.29	3.42	2.75	3.35	3.26	3.24	4.41	4.01	5.13	4.42	4.41	4.40
基礎上端		2.78	2.87	2.53	2.88	2.73	2.75	4.04	3.67	4.69	4.03	4.04	4.03

表 3-16 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	11.0	8.12	15.3	10.6	11.2	11.1	11.0	8.12	15.3	10.6	11.2	11.1
	2	9.67	7.17	13.3	9.32	9.84	9.78	9.67	7.17	13.3	9.32	9.84	9.78
	3	8.59	6.38	11.7	8.31	8.73	8.68	8.59	6.38	11.7	8.31	8.73	8.68
	4	7.31	5.47	9.84	7.12	7.40	7.36	7.31	5.47	9.84	7.12	7.40	7.36
	5	6.00	4.55	7.94	5.91	6.04	6.02	6.00	4.55	7.94	5.91	6.04	6.02
基礎上端		5.01	3.80	6.57	5.01	5.01	5.00	5.01	3.80	6.57	5.01	5.01	5.00

表 3-16 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	8.40	7.85	9.70	8.04	8.59	8.41	11.0	8.12	15.3	10.6	11.2	11.1
	2	7.07	6.60	8.05	6.81	7.19	7.04	9.67	7.17	13.3	9.32	9.84	9.78
	3	6.00	5.59	6.91	5.82	6.08	5.96	8.59	6.38	11.7	8.31	8.73	8.68
	4	4.76	4.43	5.84	4.67	4.79	4.71	7.31	5.47	9.84	7.12	7.40	7.36
	5	3.50	3.27	4.79	3.51	3.50	3.46	6.00	4.55	7.94	5.91	6.04	6.02
基礎上端		2.69	2.51	4.00	2.75	2.67	2.68	5.01	3.80	6.57	5.01	5.01	5.00

表 3-17 最大応答せん断力一覧表（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（ $\times 10^3\text{kN}$ ）											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	50.6	44.2	55.1	48.8	51.2	50.5	53.2	50.3	55.1	50.8	54.2	52.7
	2	109	95.2	121	105	110	109	112	107	121	109	114	111
	3	165	146	188	162	167	164	167	161	188	164	169	165
	4	222	198	258	218	223	221	222	212	258	218	223	221
	5	283	248	324	281	284	284	283	248	324	281	284	284

表 3-17 最大応答せん断力一覧表（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（ $\times 10^3\text{kN}$ ）											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	53.2	50.3	48.8	50.8	54.2	52.7	53.2	50.3	55.1	50.8	54.2	52.7
	2	112	107	101	109	114	111	112	107	121	109	114	111
	3	167	161	148	164	169	165	167	161	188	164	169	165
	4	218	212	187	214	220	215	222	212	258	218	223	221
	5	196	220	195	196	197	193	283	248	324	281	284	284

表 3-18 最大応答曲げモーメント一覧表（弾性設計用地震動 S d, NS 方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント（×10 <sup>6</sup> kNm）											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	0.484	0.406	0.563	0.463	0.492	0.487	0.528	0.472	0.563	0.506	0.537	0.525
	2	1.20	1.01	1.38	1.15	1.22	1.20	1.31	1.17	1.38	1.25	1.33	1.30
	3	2.33	2.00	2.65	2.27	2.36	2.33	2.52	2.30	2.65	2.43	2.56	2.51
	4	3.74	3.23	4.15	3.65	3.78	3.74	3.98	3.67	4.15	3.84	4.03	3.95
	5	4.34	3.72	5.11	4.25	4.37	4.41	4.40	4.06	5.11	4.29	4.44	4.43

表 3-18 最大応答曲げモーメント一覧表（弾性設計用地震動 S d, NS 方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント（×10 <sup>6</sup> kNm）											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	0.528	0.472	0.522	0.506	0.537	0.525	0.528	0.472	0.563	0.506	0.537	0.525
	2	1.31	1.17	1.28	1.25	1.33	1.30	1.31	1.17	1.38	1.25	1.33	1.30
	3	2.52	2.30	2.42	2.43	2.56	2.51	2.52	2.30	2.65	2.43	2.56	2.51
	4	3.98	3.67	3.76	3.84	4.03	3.95	3.98	3.67	4.15	3.84	4.03	3.95
	5	4.40	4.06	4.30	4.29	4.44	4.43	4.40	4.06	5.11	4.29	4.44	4.43

表 3-19 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	6.44	5.70	6.88	6.27	6.50	6.44	6.44	6.34	6.88	6.27	6.50	6.44
	2	5.70	5.07	6.37	5.58	5.77	5.70	5.70	5.22	6.37	5.58	5.77	5.70
	3	5.24	4.67	5.98	5.15	5.29	5.24	5.24	4.67	5.98	5.15	5.29	5.24
	4	4.85	4.30	5.56	4.80	4.86	4.84	4.85	4.30	5.56	4.80	4.86	4.84
	5	4.50	4.04	5.13	4.47	4.51	4.49	4.50	4.04	5.13	4.47	4.51	4.49
基礎上端		4.19	3.80	4.81	4.17	4.20	4.18	4.19	3.80	4.81	4.17	4.20	4.18

表 3-19 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	5.95	6.34	5.00	5.70	6.05	5.91	6.44	6.34	6.88	6.27	6.50	6.44
	2	4.95	5.22	4.24	4.90	4.95	4.92	5.70	5.22	6.37	5.58	5.77	5.70
	3	4.37	4.61	3.98	4.35	4.37	4.35	5.24	4.67	5.98	5.15	5.29	5.24
	4	3.78	3.92	3.93	3.81	3.77	3.77	4.85	4.30	5.56	4.80	4.86	4.84
	5	3.53	3.77	3.82	3.51	3.54	3.53	4.50	4.04	5.13	4.47	4.51	4.49
基礎上端		3.45	3.62	3.77	3.44	3.46	3.45	4.19	3.80	4.81	4.17	4.20	4.18

表 3-20 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	8.99	6.87	12.2	8.70	9.12	9.04	8.99	6.87	12.2	8.70	9.12	9.04
	2	8.10	6.17	11.0	7.87	8.21	8.14	8.10	6.17	11.0	7.87	8.21	8.14
	3	7.41	5.67	9.98	7.23	7.50	7.44	7.41	5.67	9.98	7.23	7.50	7.44
	4	6.55	5.01	8.72	6.44	6.60	6.56	6.55	5.01	8.72	6.44	6.60	6.56
	5	5.74	4.37	7.56	5.68	5.76	5.74	5.74	4.37	7.56	5.68	5.76	5.74
基礎上端		5.07	3.83	6.69	5.07	5.07	5.07	5.07	3.83	6.69	5.07	5.07	5.07

表 3-20 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	7.41	5.69	10.0	7.22	7.49	7.44	8.99	6.87	12.2	8.70	9.12	9.04
	2	6.78	4.95	9.20	6.63	6.85	6.81	8.10	6.17	11.0	7.87	8.21	8.14
	3	6.29	4.43	8.57	6.16	6.34	6.30	7.41	5.67	9.98	7.23	7.50	7.44
	4	5.63	3.84	7.75	5.55	5.66	5.64	6.55	5.01	8.72	6.44	6.60	6.56
	5	5.01	3.27	6.96	4.97	5.02	5.01	5.74	4.37	7.56	5.68	5.76	5.74
基礎上端		4.48	2.81	6.30	4.48	4.47	4.48	5.07	3.83	6.69	5.07	5.07	5.07

表 3-21 最大応答せん断力一覧表（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（×10 <sup>3</sup> kN）											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	44.9	39.7	48.0	43.7	45.3	44.8	44.9	44.2	48.0	43.7	45.3	44.8
	2	98.8	87.3	107	96.5	99.7	98.6	98.8	93.7	107	96.5	99.7	98.6
	3	154	137	171	150	155	154	154	140	171	150	155	154
	4	209	186	237	204	211	209	209	186	237	204	211	209
	5	278	251	313	277	279	278	278	251	313	277	279	278

表 3-21 最大応答せん断力一覧表（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答せん断力（×10 <sup>3</sup> kN）											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	41.7	44.2	34.9	40.1	42.4	41.5	44.9	44.2	48.0	43.7	45.3	44.8
	2	87.6	93.7	75.1	84.8	88.9	87.1	98.8	93.7	107	96.5	99.7	98.6
	3	132	140	114	131	132	131	154	140	171	150	155	154
	4	176	184	156	176	176	175	209	186	237	204	211	209
	5	227	217	246	229	227	227	278	251	313	277	279	278

表 3-22 最大応答曲げモーメント一覧表（弾性設計用地震動 S d, EW 方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>6</sup> kNm)											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	0.462	0.433	0.539	0.446	0.470	0.463	0.513	0.521	0.539	0.493	0.521	0.510
	2	1.15	0.999	1.32	1.11	1.16	1.15	1.22	1.24	1.32	1.17	1.24	1.21
	3	2.22	1.92	2.51	2.15	2.25	2.23	2.22	2.26	2.51	2.15	2.25	2.23
	4	3.52	3.10	3.94	3.42	3.56	3.53	3.52	3.42	3.94	3.42	3.56	3.53
	5	4.28	3.70	4.83	4.18	4.32	4.34	4.28	3.90	4.83	4.18	4.32	4.34

表 3-22 最大応答曲げモーメント一覧表（弾性設計用地震動 S d, EW 方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>6</sup> kNm)											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	0.513	0.521	0.450	0.493	0.521	0.510	0.513	0.521	0.539	0.493	0.521	0.510
	2	1.22	1.24	1.06	1.17	1.24	1.21	1.22	1.24	1.32	1.17	1.24	1.21
	3	2.20	2.26	1.89	2.12	2.23	2.19	2.22	2.26	2.51	2.15	2.25	2.23
	4	3.31	3.42	2.88	3.21	3.36	3.30	3.52	3.42	3.94	3.42	3.56	3.53
	5	3.87	3.90	3.54	3.79	3.91	3.89	4.28	3.90	4.83	4.18	4.32	4.34

表 3-23 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	4.58	4.68	4.50	4.49	4.62	4.58	4.58	4.68	4.50	4.49	4.62	4.58
	2	4.46	4.50	4.37	4.38	4.49	4.46	4.46	4.50	4.37	4.38	4.49	4.46
	3	4.34	4.39	4.23	4.26	4.38	4.34	4.34	4.39	4.23	4.26	4.38	4.34
	4	4.23	4.26	4.05	4.18	4.25	4.23	4.23	4.26	4.05	4.18	4.25	4.23
	5	4.09	4.13	3.86	4.07	4.11	4.09	4.09	4.13	3.86	4.07	4.11	4.09
基礎上端	3.98	4.01	3.74	3.98	3.97	3.98	3.98	4.01	3.74	3.98	3.97	3.98	

表 3-23 最大応答加速度一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s <sup>2</sup> )											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	3.04	2.99	2.96	2.97	3.08	3.04	4.58	4.68	4.50	4.49	4.62	4.58
	2	2.96	2.90	2.87	2.90	2.99	2.96	4.46	4.50	4.37	4.38	4.49	4.46
	3	2.86	2.81	2.78	2.82	2.89	2.86	4.34	4.39	4.23	4.26	4.38	4.34
	4	2.73	2.68	2.66	2.71	2.75	2.73	4.23	4.26	4.05	4.18	4.25	4.23
	5	2.62	2.58	2.52	2.62	2.63	2.62	4.09	4.13	3.86	4.07	4.11	4.09
基礎上端	2.56	2.52	2.44	2.56	2.56	2.56	3.98	4.01	3.74	3.98	3.97	3.98	

表 3-24 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）（1/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	3.01	2.47	3.73	2.98	3.02	3.01	3.01	2.47	3.73	2.98	3.02	3.01
	2	2.98	2.44	3.70	2.96	2.99	2.98	2.98	2.44	3.70	2.96	2.99	2.98
	3	2.95	2.42	3.67	2.93	2.96	2.95	2.95	2.42	3.67	2.93	2.96	2.95
	4	2.91	2.37	3.63	2.89	2.92	2.91	2.91	2.37	3.63	2.89	2.92	2.91
	5	2.85	2.32	3.59	2.85	2.86	2.85	2.85	2.32	3.59	2.85	2.86	2.85
基礎上端		2.81	2.28	3.55	2.81	2.81	2.81	2.28	3.55	2.81	2.81	2.81	

表 3-24 最大応答変位一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）（2/2）

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外壁部	1	1.68	1.36	2.18	1.66	1.68	1.68	3.01	2.47	3.73	2.98	3.02	3.01
	2	1.66	1.35	2.16	1.65	1.67	1.66	2.98	2.44	3.70	2.96	2.99	2.98
	3	1.64	1.33	2.14	1.63	1.65	1.64	2.95	2.42	3.67	2.93	2.96	2.95
	4	1.62	1.30	2.11	1.61	1.62	1.62	2.91	2.37	3.63	2.89	2.92	2.91
	5	1.58	1.27	2.09	1.58	1.59	1.58	2.85	2.32	3.59	2.85	2.86	2.85
基礎上端		1.56	1.24	2.06	1.56	1.56	1.56	2.81	2.28	3.55	2.81	2.81	2.81

表 3-25 最大応答軸力一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）（1/2）

部位	部 材 番 号	最大応答軸力（×10 <sup>4</sup> kN）											
		Sd-1						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	3.21	3.28	3.14	3.15	3.24	3.21	3.21	3.28	3.14	3.15	3.24	3.21
	2	7.44	7.56	7.28	7.31	7.52	7.44	7.44	7.56	7.28	7.31	7.52	7.44
	3	12.0	12.2	11.8	11.8	12.2	12.0	12.0	12.2	11.8	11.8	12.2	12.0
	4	17.3	17.5	16.8	16.9	17.4	17.3	17.3	17.5	16.8	16.9	17.4	17.3
	5	20.0	20.2	19.3	19.6	20.1	20.0	20.0	20.2	19.3	19.6	20.1	20.0

表 3-25 最大応答軸力一覧表（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）（2/2）

部位	部 材 番 号	最大応答軸力（×10 <sup>4</sup> kN）											
		Sd-2						最大値					
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
外 壁 部	1	2.13	2.09	2.06	2.08	2.16	2.13	3.21	3.28	3.14	3.15	3.24	3.21
	2	4.94	4.84	4.78	4.83	4.99	4.94	7.44	7.56	7.28	7.31	7.52	7.44
	3	7.99	7.84	7.74	7.83	8.06	7.99	12.0	12.2	11.8	11.8	12.2	12.0
	4	11.4	11.1	11.0	11.2	11.4	11.4	17.3	17.5	16.8	16.9	17.4	17.3
	5	13.1	12.8	12.7	12.9	13.2	13.1	20.0	20.2	19.3	19.6	20.1	20.0

(参考資料1) 計算機プログラム (解析コード) の概要

D-PROP

1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
別紙 1-2	建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について	ver. 1. 1. 21
別紙 1-2-2	側面回転ばねの EW 方向への適用について	
別紙 3	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 3-2	材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	

2. 解析コードの概要

コード名	D-PROP
項目	
使用目的	入力地震動算定
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1997年
使用したバージョン	ver. 1.1.21
コードの概要	<p>本解析コードは、1次元波動論に基づき、多層地盤の地震応答解析を効率よく行うために開発されたプログラムである。等価線形解析を行うことができ、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等が求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動の策定において、基準地震動 <math>S_s</math> に対する地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>汎用コードである「Soil Plus ver.2012 (伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」による1次元地盤 FEM モデルの解析解と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 200px; height: 15px;"></span>と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本コードは、1次元波動論に基づき、多層地盤の地震応答解析を効率よく行うために開発されたプログラムである。本コードは、コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動策定のために、多層地盤の地震応答解析を行う。

#### 3.2 解析コードの特徴

本コードの主な特徴を以下に示す。

- ・ 1次元波動論に基づき、多層地盤の地震応答解析を効率よく行うことができる。
- ・ 等価線形解析を行うことができる。
- ・ 解析結果としては、地盤の各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等が求められる。

### 3.3 解析手法

図3-1に示す多層地盤における第m層の1次元波動方程式は、以下の式で表される。

$$\rho_m \cdot \frac{\partial^2 u_m}{\partial t^2} = G_m \cdot \frac{\partial^2 u_m}{\partial x^2} + \eta_m \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{\partial^2 u_m}{\partial x^2} \right] \quad (3.1)$$

ここで、

- $\rho_m$  : 第m層の単位体積重量
- $G_m$  : 第m層のせん断弾性係数
- $u_m$  : 第m層の変位
- $\eta_m$  : 第m層の粘性係数

ただし、第m層の位置xにおける時間tの変位 $u_m(x, t)$ は次式で表す。

$$u_m(x, t) = E_m \cdot e^{i(k_m \cdot x + \omega \cdot t)} + F_m \cdot e^{-i(k_m \cdot x - \omega \cdot t)} \quad (3.2)$$

ここで、

$E_m, F_m$  : 定数

$$k_m : k_m^2 = \frac{\rho_m \cdot \omega^2}{G_m + i \omega \cdot \eta_m} \left[ = \frac{\rho_m \cdot \omega^2}{G_m^*} \right]$$

$$G_m^* : G_m^* = G_m \cdot \left( 1 - 2h_m^2 + 2i h_m \sqrt{1 - h_m^2} \right)$$

$h_m$  : 第m層の減衰定数

(3.2)式の右辺第1項はxの負の方向、すなわち上昇波成分(入射波)を、また第2項はxの正の方向、すなわち下降波成分(反射波)を表すものである。

第m層と第n層の上端面の変位は(3.2)式から次のように表される。

$$u_m(x=0, t) = (E_m + F_m) \cdot e^{i \omega \cdot t} \quad (3.3)$$

$$u_n(x=0, t) = (E_n + F_n) \cdot e^{i \omega \cdot t} \quad (3.4)$$

第m層と第n層の上端面における変位の比(伝達関数)を考えると、

$$H_{m/n}(\omega) = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \quad (3.5)$$

ここで、

$H_{m/n}(\omega)$  : 伝達関数(周波数応答関数)

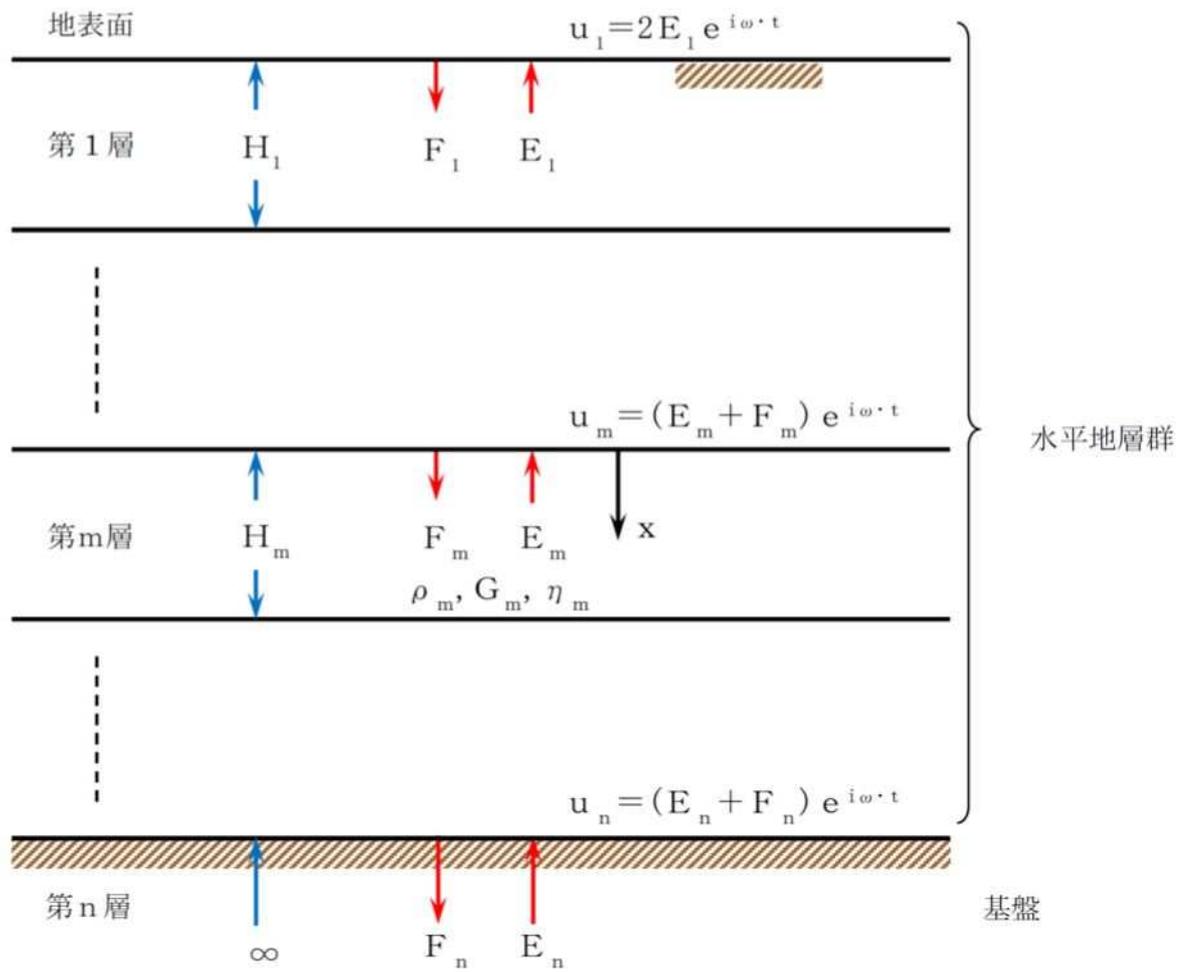
伝達関数 $H_{m/n}(\omega)$ は周波数領域で取り扱われるものであり、解析対象地盤の地盤構成が与えられると周波数毎に計算できる。従って、ある層の上端面での地震動が与えられると他の層の地震動（変位）は任意に計算できる。

実際に地盤の応答解析を行う場合の入力地震動は、等時間間隔（ $\Delta t$ ）で読み取られた離散型加速度履歴 $\ddot{u}(s, \Delta t)$ 、 $s=0, 1, 2, \dots, N-1$ であるので、これをフーリエ変換により $N/2$ 次の周波数別正弦波形に置き換えて計算を行う。(3.6)式にフーリエ変換による複素振幅 $C_k$ の算出式を示す。

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{N-1} \ddot{u}(s, \Delta t) \cdot e^{-i \omega_k \cdot s \cdot \Delta t} \quad (3.6)$$

この複素振幅 $C_k$ と伝達関数を用いて、第 $n$ 層に入力した地震波に対する第 $m$ 層の応答加速度 $\ddot{u}_m(t)$ は、次式で表される。

$$\ddot{u}_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} C_k \cdot H_{m/n}(\omega_k) \cdot e^{-i \omega_k \cdot s \cdot \Delta t} \quad (3.7)$$



記号

- $H_m$  : 第m層の層厚
- $\rho_m$  : 第m層の単位体積重量
- $G_m$  : 第m層のせん断弾性係数
- $\eta_m$  : 第m層の粘性係数
- $E_m$  : 第m層の上昇波成分 (入射波)
- $F_m$  : 第m層の下降波成分 (反射波)
- $u_m$  : 第m層の変位

図3-1 解析対象の多層地盤

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

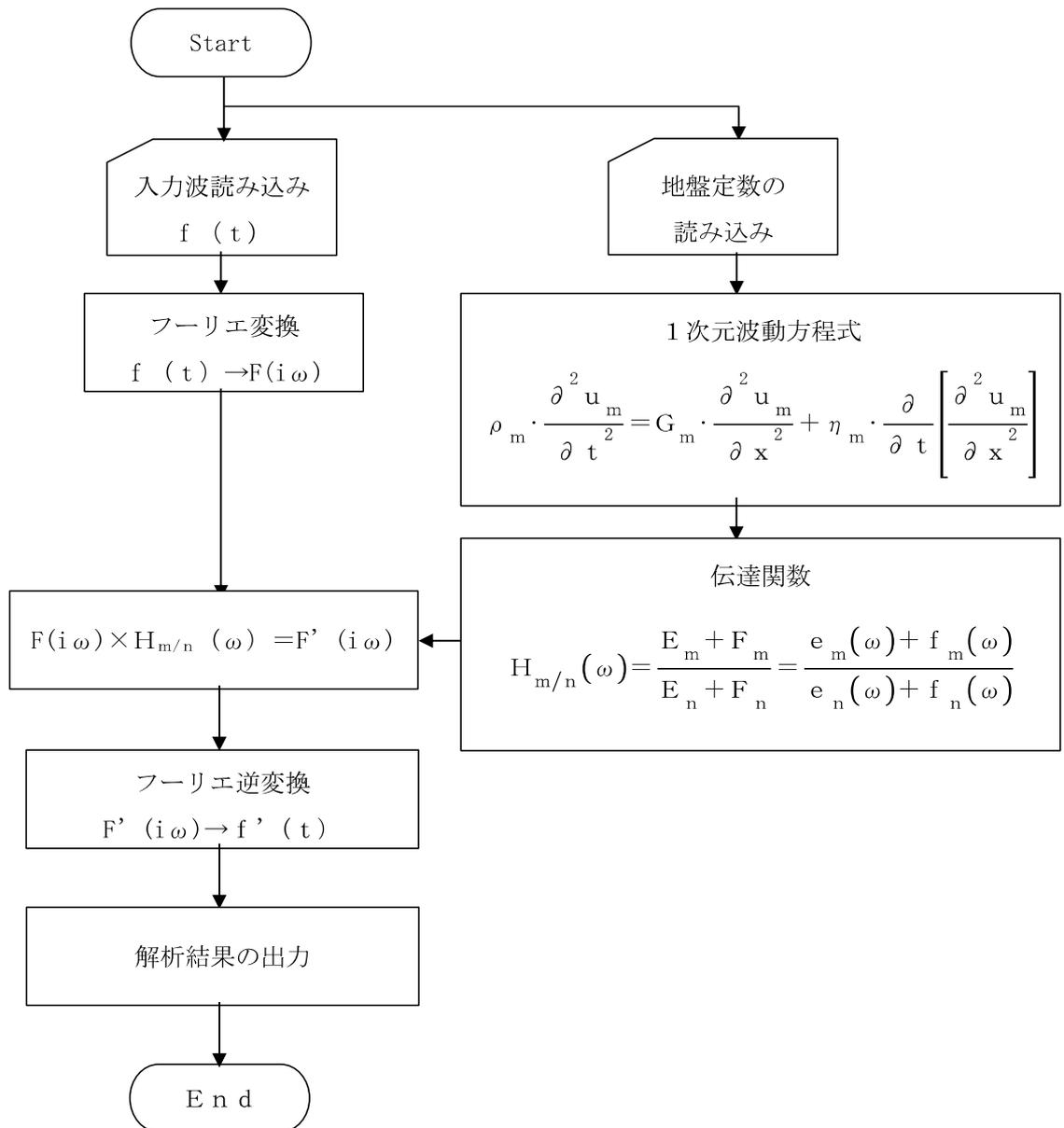


図3-2 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 既往論文との比較による検証

本コードについて、に記載されている地盤の解析結果（正弦波入力の結果）との比較を行う。

図 3-3 に検証解析の概要を、表 3-1 に検討用地盤モデルを示す。本検証では、基本固有周期が 2(s)で、減衰定数が 0.1 の地盤を対象に、工学的基盤面に正弦波を入力するケースに対し、解析を行うこととする。

入力地震動（正弦波）を図 3-4 に示す。

地盤応答解析の結果（地表面加速度，地表面変位，深さ 20.5m 位置のせん断ひずみ）を図 3-5 に示す。本検証解析の結果は，文献に記載の結果とほぼ一致しており，本コードによる地盤応答の結果が妥当であることが確認できる。

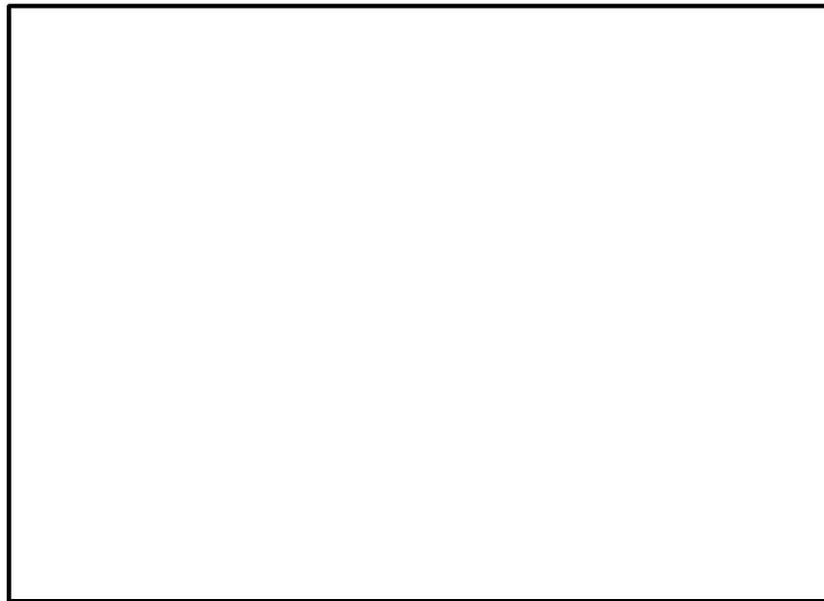


図3-3 検証解析の概要

表3-1 検討用地盤モデル

層番号	層区分	層厚 (m)	密度 $\rho$ ( $t/m^3$ )	せん断波速度 $V_s$ (m/s)	せん断弾性係数 $G$ ( $kN/m^2$ )	減衰 (%)
1	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 600px; height: 30px;"></span>					
2						

注記\*：基盤の物性は第1層（表層地盤）と同じ値とした。



図3-4 入力地震動（正弦波）

— 引用文献(1)の計算結果  
— SHAKE (引用文献(1))  
— D-PROP

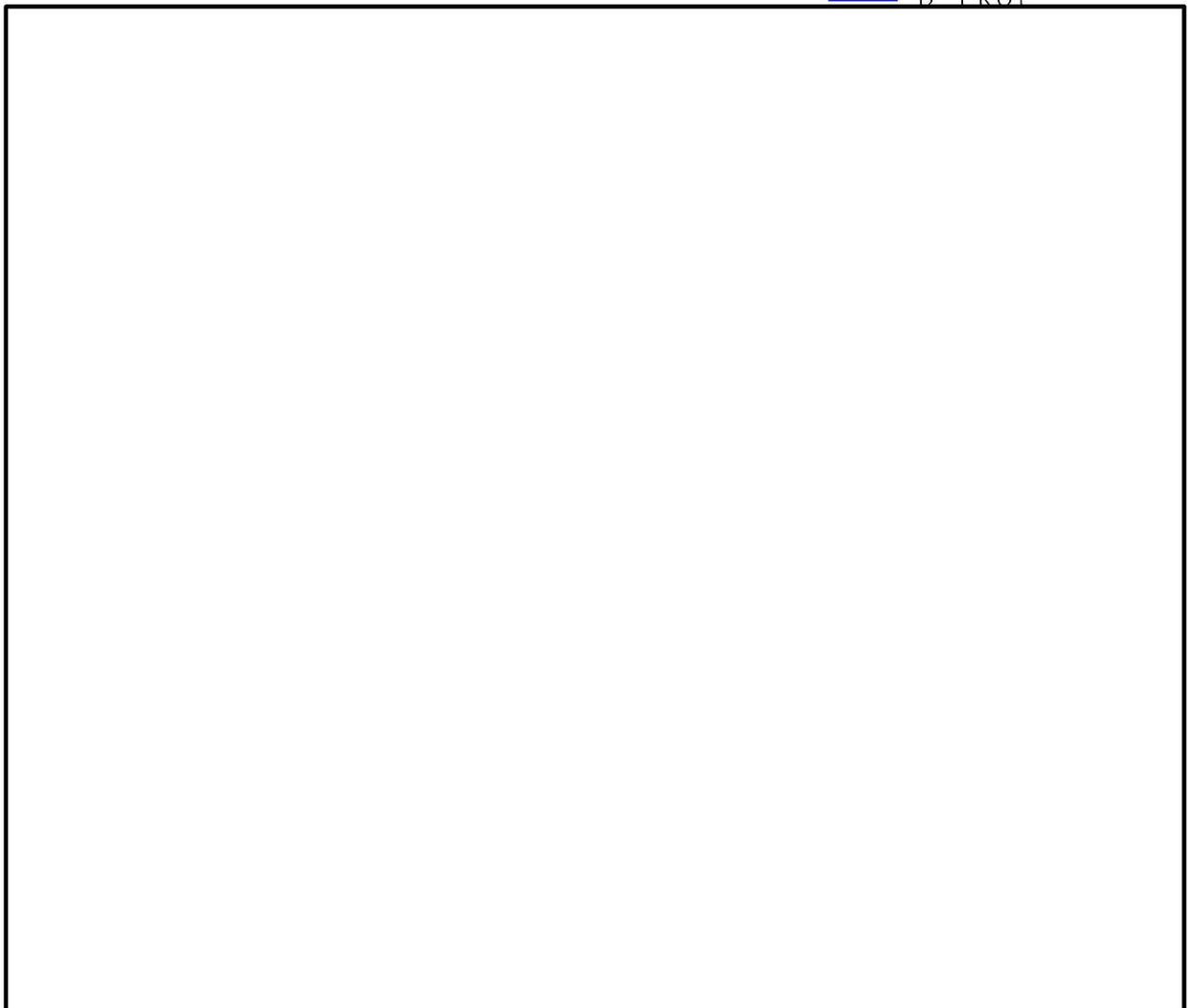


図3-5 解析結果の比較（地表面加速度，地表面変位，深さ20.5m位置のせん断ひずみ）

### 3.5.2 他コードとの比較による検証

本コードについて、市販されている有限要素法解析プログラム「S o i l P l u s ver. 2012」（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）との比較を行う。

1次元地盤モデルを対象に、等価線形解析を実施する。検討用地盤モデルを表 3-2 に、各地層の動的ひずみ依存特性を図 3-6 に示す。図 3-7 に示す入力地震動を、基盤面に入力した。なお、解析条件は以下の条件とした。

- ・ 考慮する振動数 : 25 Hz
- ・ 有効せん断ひずみの算定に用いる係数 : 0.65

解析結果の比較を図 3-8、表 3-3 に示す。

図及び表より、本コードの結果は S o i l P l u s による結果とおおむね一致していることが確認できる。

表 3-2 検討用地盤モデル

深度 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰 h (%)	ひずみ 依存 特性番号

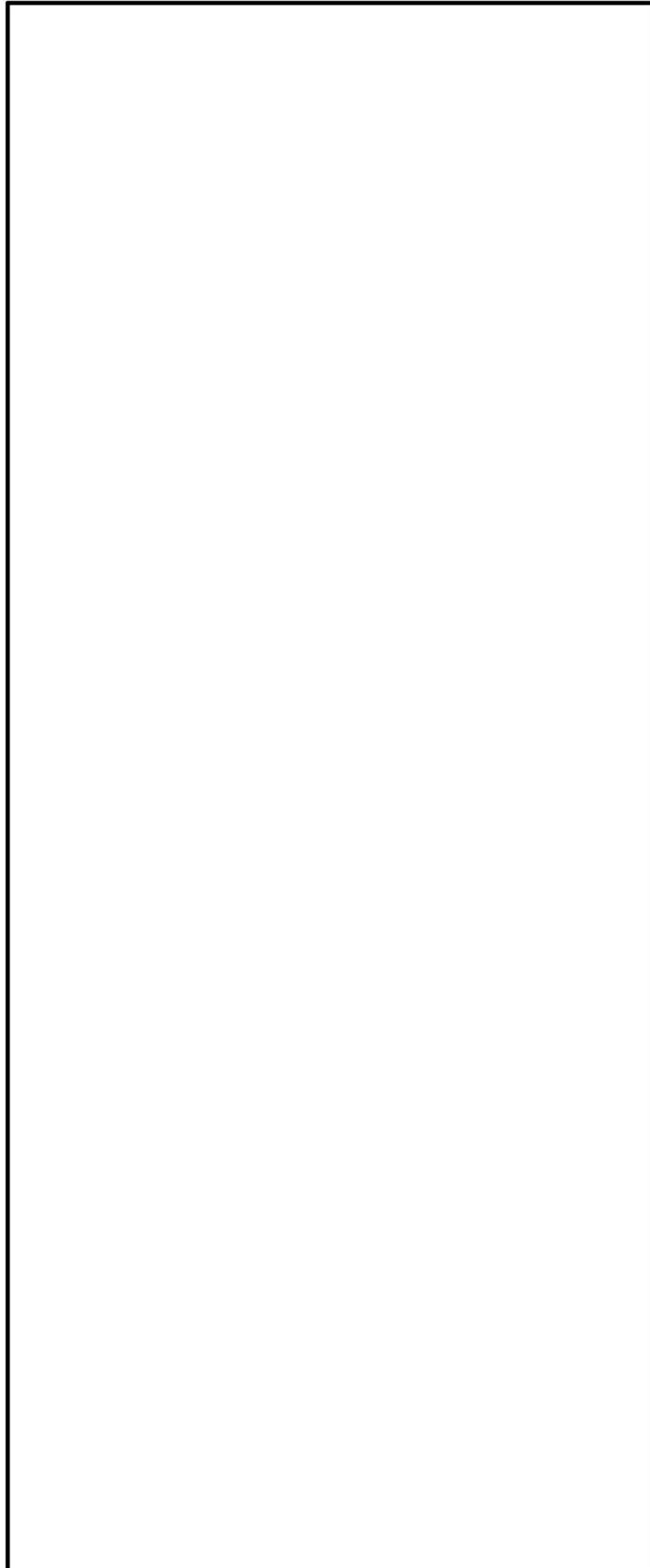


図 3-6 各地層の動的ひずみ依存特性

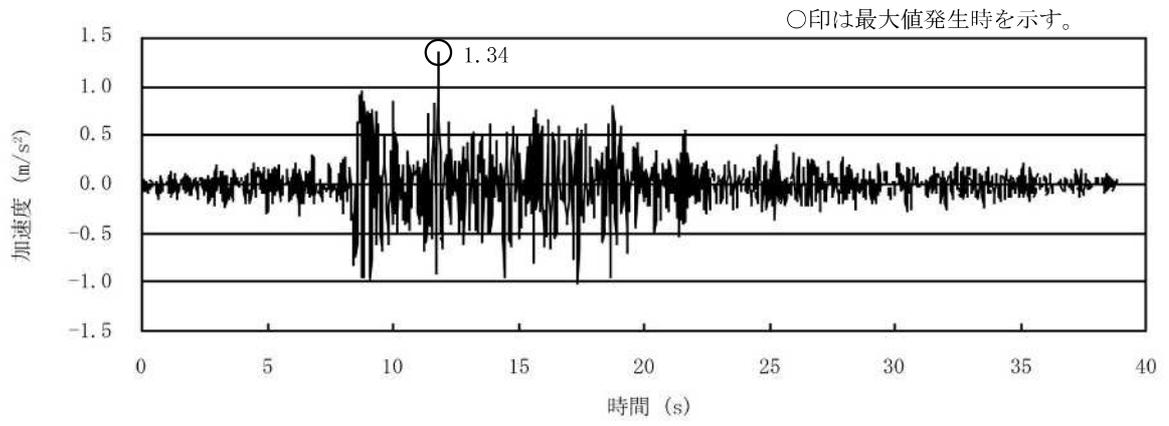
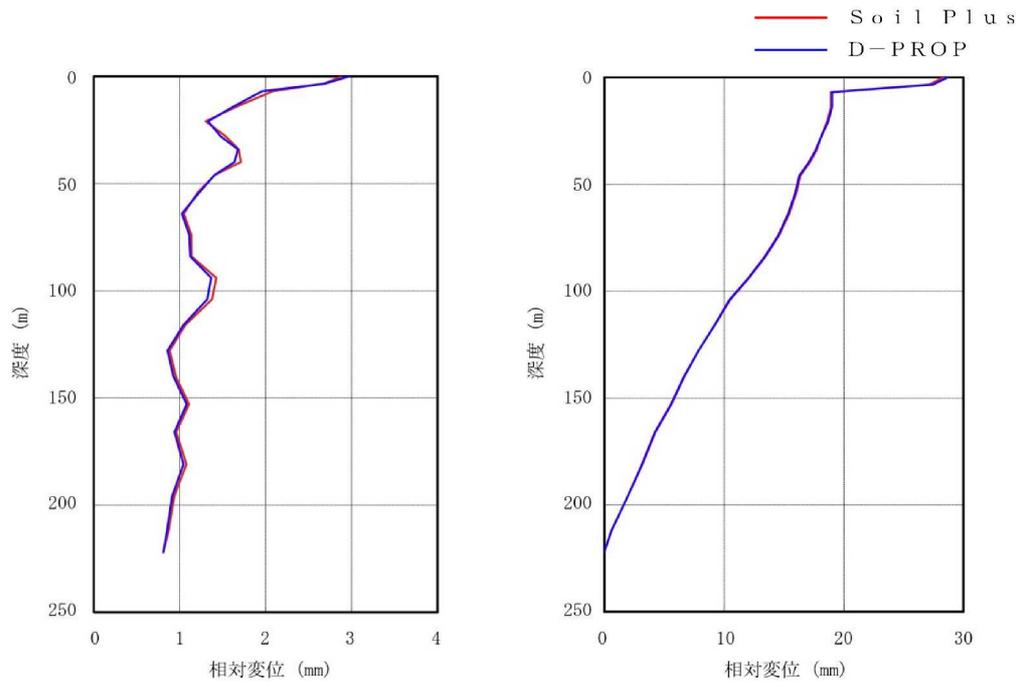


図 3-7 入力地震動



(a) 最大応答加速度

(b) 最大相対変位

図 3-8 解析結果の比較 (加速度, 相対変位)

表 3-3 解析結果の比較 (加速度, 相対変位)

深度 (m)	加速度 (m/s <sup>2</sup> )		比率*	相対変位 (mm)		比率*
	D-PROP	Soil Plus		D-PROP	Soil Plus	
[Empty table body]						

### 3.5.3 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動の策定に本コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 多層地盤の地震応答解析について、S o i l P l u s による解析結果と比較して、おおむね一致していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。
- ・ 検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。
- ・ 評価地盤を水平成層と仮定していることから、1次元重複反射理論の適用範囲である。

## 4. 引用文献

- (1)

# Soil Plus

## 1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
別紙 1-2	建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について	ver. 2015
別紙 1-2-2	側面回転ばねの EW 方向への適用について	
別紙 3	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 3-2	材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	

2. 解析コードの概要

コード名	S o i l P l u s
項目	
使用目的	建屋質点系ー地盤 FEM モデルによる地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2005 年
使用したバージョン	ver. 2015
コードの概要	<p>本解析コードは、伊藤忠テクノソリューションズ（株）による独自開発プログラムで、市販・保守されている汎用有限要素法解析プログラムである。</p> <p>有限要素法による構造物と地盤の連成モデルの解析を行うことができ、固有値、振動モード、各質点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、コントロール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のうち、接地率が 50%を下回るケースの地震応答解析に使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 汎用コードである <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span></li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 250px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> による解析解と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・ ソリッド要素を用いて評価した片持ち梁の変位が理論解とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・ 動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容のとおり、構造物と地盤の連成モデルの弾塑性地震応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. Soil Plusの解析手法について

#### 3.1 一般事項

Soil Plusは、有限要素法による構造物と地盤の連成モデルの解析を行うために開発されたプログラムである。Soil Plusは、コントロール建屋の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等を評価するために、使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

Soil Plusの主な特徴を以下に示す。

- ・ 2次元/3次元動的FEM解析を時間領域における数値積分により行うことができる。
- ・ 線材要素，平面要素，境界要素等を用いることができる。
- ・ ジョイント要素による構造物と地盤の相互作用を考慮することができる。
- ・ 解析結果としては，固有値，振動モード，各質点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が求められる。

### 3.3 解析手法

本プログラムの解析理論として有限要素法の基本的な考え方、非線形解析手法及び直接積分法動的解析について以下に示す。

#### 3.3.1 有限要素法の考え方

有限要素法では図3-1に示すように解析領域を複数の部分領域（要素 element）に分割し、その領域内において関数を重ね合わせることにより未知量を近似する。それぞれの要素はこれを構成する節点（node）において結合されている。要素の結合によって組み立てられる近似モデルのことを全体モデルと呼ぶ。

要素内の変位  $u_e$  はその要素  $e$  に属している節点の変位（要素節点変位ベクトル）  $d_e$  を用いて、以下のように近似される。

$$u_e = N_e \cdot d_e \quad (3.1)$$

ここで、

$u_e$  : 要素内の変位

$N_e$  : 形状関数であり、要素内の変位を補間する関数

$d_e$  : 節点の変位

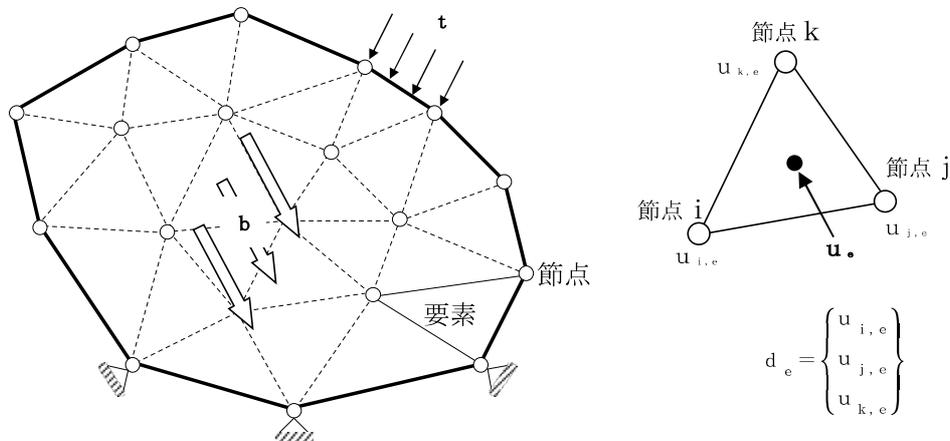


図3-1 有限要素モデル

有限要素法の基礎となる仮想仕事の原理は、次式で与えられる。

$$\delta U = \delta W \quad (3.2)$$

$\delta U$ は内部の応力の仮想仕事、 $\delta W$ は変形に対する外力による仮想仕事である。

$$\delta U = \int_V \delta \boldsymbol{\varepsilon}^T \cdot \boldsymbol{\sigma} dV \quad (3.3)$$

$$\delta W = \int_V \delta \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{b} dV + \int_S \delta \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{t} dS \quad (3.4)$$

ここで、

$V$  : 離散化した全体モデルの体積

$S$  : 離散化した全体モデルの表面積

$\delta$  : 変分

$\boldsymbol{\sigma}$  : 応力

$\boldsymbol{\varepsilon}$  : ひずみ

$\mathbf{u}$  : 物体点の変位

$\mathbf{b}$  : 単位体積あたりに作用する物体力

$\mathbf{t}$  : 単位面積あたりに作用する表面力

(3.3)式、(3.4)式は全体モデルについての積分を意味するが、個々の要素の寄与を総和することにより、(3.5)式、(3.6)式のように表すことができる。

$$\delta U = \sum_m \delta U_m \quad (3.5)$$

$$\delta W = \sum_m \delta W_m \quad (3.6)$$

ここで、添字 $m$ は $m$ 番目の要素の意味である。

$$\delta U_m = \int_{V_m} \delta \boldsymbol{\varepsilon}_m^T \cdot \boldsymbol{\sigma}_m dV \quad (3.7)$$

$$\delta W_m = \int_{V_m} \delta \mathbf{u}_m^T \cdot \mathbf{b} dV + \int_{S_m} \delta \mathbf{u}_m^T \cdot \mathbf{t} dS \quad (3.8)$$

ここで、

$V_m$  : 要素 $m$ の体積

$S_m$  : 要素 $m$ が表面 $S$ の一部を構成する場合の表面

### 3.3.2 要素剛性方程式の導入

ここでは任意の要素 $m$ について着目し、その力学的関係および要素剛性方程式の導出について説明する。

要素内の変位 $u_m$ と要素節点変位ベクトル $d_m$ の関係式は、(3.1)式より次式で近似される。

$$u_m \approx N_m \cdot d_m \quad (3.9)$$

要素内のひずみ $\varepsilon_m$ と要素節点変位ベクトル $d_m$ の関係は、次式で近似される。

$$\varepsilon_m = \partial u_m \approx \partial N_m \cdot d_m = B_m \cdot d_m \quad (3.10)$$

また、応力 $\sigma_m$ とひずみ $\varepsilon_m$ の関係を表す構成式は次式で与えられる。

$$\sigma_m = D_m \cdot \varepsilon_m \quad (3.11)$$

ここで、

$B_m$  : ひずみ-節点変位マトリックス

$D_m$  : 応力-ひずみマトリックス

要素 $m$ に対する仮想仕事の原理は、次式となる。

$$\delta U_m = \delta W_m \quad (3.12)$$

(3.12)式に(3.7)式及び(3.8)式を代入すると次式を得る。

$$\int_{V_m} \delta \varepsilon_m^T \cdot \sigma_m dV = \int_{V_m} \delta u_m^T \cdot b dV + \int_{S_m} \delta u_m^T \cdot t dS \quad (3.13)$$

次に(3.13)式に(3.9)式～(3.11)式を代入すると次式を得る。

$$\begin{aligned} \delta d_m^T \int_{V_m} B_m^T \cdot D_m \cdot B_m dV \cdot d_m = \\ \delta d_m^T \int_{V_m} N_m^T \cdot b dV + \delta d_m^T \int_{S_m} N_m^T \cdot t dS \end{aligned} \quad (3.14)$$

(3.14)式は $\delta d_m$ の任意性が成立することから、次の要素剛性方程式が得られる。

$$K_m \cdot d_m = F_m \quad (3.15)$$

ここで、 $K_m$ は要素剛性マトリックス、 $F_m$ は等価節点荷重ベクトルであり、それぞれ(3.16)式、(3.17)式で与えられる。

$$K_m = \int_{V_m} B_m^T \cdot D_m \cdot B_m dV \quad (3.16)$$

$$F_m = F_m^b + F_m^t = \int_{V_m} N_m^T \cdot b dV + \int_{S_m} N_m^T \cdot t dS \quad (3.17)$$

### 3.3.3 全体モデルの剛性方程式

前項で示した要素剛性マトリックスと等価節点荷重ベクトルについて、要素結合情報を用いて重ね合わせると全体系の剛性方程式が得られる。

$$K \cdot d = F \quad (3.18)$$

ここで、

K : 剛性マトリックス

d : 変位ベクトル

F : 荷重ベクトル

なお、剛性マトリックスには変位境界（拘束）条件を与える必要がある。

### 3.3.4 非線形解析手法

非線形解析手法である Newton-Raphson 法について以下に示す。

時刻  $t$  における内力ベクトルを  ${}^t\mathbf{Q}$ 、外力ベクトルを  ${}^t\mathbf{F}$  とすれば、非線形方程式は次式のように書くことができる。

$${}^t\mathbf{Q} = {}^t\mathbf{F} \quad (3.19)$$

ここで、簡単にするために  ${}^t\mathbf{Q}$  は時刻  $t$  における一般化変位ベクトル  ${}^t\mathbf{U}$  の関数、 ${}^t\mathbf{F}$  は構造物の変形に依存しないものとする。(3.19)式の時間微分を取れば(3.20)式となる。

$${}^t\dot{\mathbf{Q}} dt = {}^t\dot{\mathbf{F}} dt \quad (3.20)$$

現実の数値計算では(3.20)式の両辺は、ある有限な微小時間における増分として取り扱う。従って、

$${}^t\dot{\mathbf{Q}} dt = \left( \frac{\partial {}^t\mathbf{Q}}{\partial {}^t\mathbf{U}} \right) {}^t\dot{\mathbf{U}} dt \approx {}^t\mathbf{K} \cdot \Delta\mathbf{U} \quad (3.21)$$

$${}^t\dot{\mathbf{F}} dt \approx {}^{t+\Delta t}\mathbf{F} - {}^t\mathbf{F} = \Delta\mathbf{F} \quad (3.22)$$

と近似して(3.20)式に代入すれば、

$${}^t\mathbf{K} \cdot \Delta\mathbf{U} \approx \Delta\mathbf{F} \quad (3.23)$$

となり、時刻  $t$  から時刻  $t' = t + \Delta t$  までの間の線形化された方程式が得られる。

ここで、

${}^t\mathbf{K}$  : 時刻  $t$  における接線剛性マトリックス

$\Delta\mathbf{U}$  : 時刻  $t$  から  $t' = t + \Delta t$  までの間の一般化変位増分ベクトル

$\Delta\mathbf{F}$  : // 一般化荷重増分ベクトル

(3.23)式は、時刻  $t$  における平衡解が得られている時に、次の時刻の外力に対する変位が次式により近似できることを示している。

$${}^{t+\Delta t}U = {}^tU + \Delta U \quad (3.24)$$

$$\Delta U \approx {}^tK^{-1} \cdot \Delta F \quad (3.25)$$

非線形の場合、この解は一般的に時刻  $t' = t + \Delta t$  における平衡方程式を満たさないため、反復による解の補正が必要になる。

ここで、(3.25)式により得られる  $\Delta U$  を反復 1 回目の変位修正ベクトル  $\Delta U^{(1)}$  として、変位を更新し平衡方程式に代入すれば、(3.26)式、(3.27)式となる。

$${}^{t+\Delta t}U^{(1)} = {}^tU + \Delta U^{(1)} \quad (3.26)$$

$${}^{t+\Delta t}R^{(1)} = {}^{t+\Delta t}F - {}^{t+\Delta t}Q^{(1)} \cdot \left( {}^{t+\Delta t}U^{(1)} \right) \quad (3.27)$$

${}^{t+\Delta t}R$  は一般に残差荷重ベクトルと呼ばれており、 ${}^{t+\Delta t}R = 0$  を満たすものが平衡解となる。(3.27)式を  $\Delta U$  に関して線形化し残差が減少するように変位を修正するものとするれば、第  $i$  回目の反復における変位修正ベクトルは、(3.21)式を参照して次のように書くことができる。

$$\Delta U^{(i)} = {}^tK^{(i-1)-1} \cdot {}^{t+\Delta t}R^{(i-1)} \quad (3.28)$$

$${}^{t+\Delta t}R^{(i-1)} = {}^{t+\Delta t}F - {}^{t+\Delta t}Q^{(i-1)} \cdot \left( {}^{t+\Delta t}U^{(i-1)} \right) \quad (3.29)$$

$${}^{t+\Delta t}U^{(i)} = {}^{t+\Delta t}U^{(i-1)} + \Delta U^{(i)} \quad (3.30)$$

ここで、第 0 回目の反復時における値を時刻  $t$  における収束解、すなわち

$${}^{t+\Delta t}U^{(0)} = {}^tU \quad (3.31)$$

$${}^tK^{(0)} = {}^tK \quad (3.32)$$

$${}^{t+\Delta t}Q^{(0)} = {}^tR \left( = {}^tF \right) \quad (3.33)$$

のように定義する。

Newton-Raphson 法は、残差がなくなるまで(3.28)式～(3.30)式の手順を反復し、収束解を得る方法である。図3-2にNewton-Raphson法の概念図を示す。(3.28)式からもわかる

ように、Newton-Raphson法では反復ごとに接線剛性マトリックス  ${}^t K^{(i-1)}$  の更新を行う。

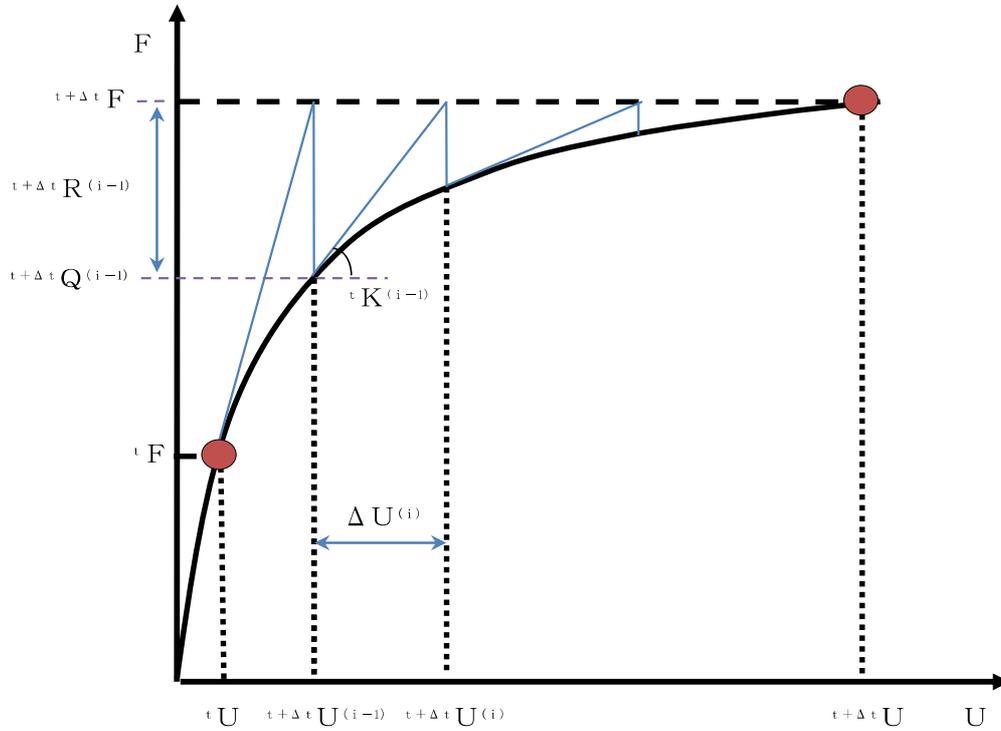


図3-2 Newton-Raphson法

### 3.3.5 直接積分法

直接積分法による動的応答解析とは、任意外力による強制振動の運動方程式を直接数値積分して2階の連立微分方程式を解き、解 $u$ を求める方法である。

運動方程式は次式で表される。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + \int_V B^T \cdot \sigma dV = f \quad (3.34)$$

ステップ $n$ での加速度，速度，変位を用いてステップ $n+1$ での加速度，速度，変位を次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \ddot{u}_{n+1} &= \ddot{u}_n + \Delta\ddot{u}_n \\ \dot{u}_{n+1} &= \dot{u}_n + \ddot{u}_n \cdot \Delta t + \beta_1 \cdot \Delta\ddot{u}_n \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (3.35)$$

$$u_{n+1} = u_n + \dot{u}_n \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{u}_n \cdot \Delta t^2 + \frac{1}{2} \beta_2 \cdot \Delta\ddot{u}_n \cdot \Delta t^2$$

変位を未知数とすると次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} u_{n+1} &= u_n + \Delta u_n \\ \dot{u}_{n+1} &= \frac{2\beta_1}{\beta_2 \cdot \Delta t} \cdot \Delta u_n + \left(1 - \frac{2\beta_1}{\beta_2}\right) \cdot \dot{u}_n + \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2}\right) \cdot \Delta t \cdot \ddot{u}_n \\ \ddot{u}_{n+1} &= \frac{2}{\beta_2 \cdot \Delta t^2} \cdot \left\{ \Delta u_n - \Delta t \cdot \dot{u}_n - \frac{1}{2}(1 - \beta_2) \cdot \Delta t^2 \cdot \ddot{u}_n \right\} \end{aligned} \quad (3.36)$$

ここで、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ は積分係数であり、数値積分の無条件安定は $\beta_2 \geq \beta_1 \geq 1/2$ である。(3.35)式中の $\beta_1 = \gamma = 1/2$ 、 $\beta_2 = 2\beta$ と仮定すると、通常のNewmark- $\beta$ 法となり次式で表される。

$$\begin{aligned} \ddot{u}_{n+1} &= \ddot{u}_n + \Delta\ddot{u}_n \\ \dot{u}_{n+1} &= \dot{u}_n + \Delta t \cdot \ddot{u}_n + \frac{\Delta t}{2} \cdot \Delta\ddot{u}_n \\ u_{n+1} &= u_n + \Delta t \cdot \dot{u}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \cdot \ddot{u}_n + \beta \cdot \Delta t^2 \cdot \Delta\ddot{u}_n \end{aligned} \quad (3.37)$$

変位を未知量とすると次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} u_{n+1} &= u_n + \Delta u_n \\ \dot{u}_{n+1} &= \frac{1}{2\beta \cdot \Delta t} \cdot \Delta u_n + \left(1 - \frac{1}{2\beta}\right) \cdot \dot{u}_n + \left(1 - \frac{1}{4\beta}\right) \cdot \Delta t \cdot \ddot{u}_n \\ \ddot{u}_{n+1} &= \frac{1}{\beta \cdot \Delta t^2} \cdot \left\{ \Delta u_n - \Delta t \cdot \dot{u}_n - \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \cdot \Delta t^2 \cdot \ddot{u}_n \right\} \end{aligned} \quad (3.38)$$

(3.38)式を(3.34)式に代入すると、次式が得られる。

$$\mathbf{K}_e \cdot \Delta \mathbf{u}_n = \mathbf{F}_{n+1} \quad (3.39)$$

ただし、

$$\mathbf{K}_e = \frac{1}{\beta \cdot \Delta t^2} \cdot \mathbf{M} + \frac{1}{2\beta \cdot \Delta t} \cdot \mathbf{C} + \mathbf{K} \quad (3.40)$$

$$\begin{aligned} P(\mathbf{u}_{n+1}) &= \left( \int_V \mathbf{B}^T \cdot \boldsymbol{\sigma} dV \right)_{n+1} = \int_V \mathbf{B}^T \cdot \Delta \boldsymbol{\sigma} dV + P(\mathbf{u}_n) \\ &= \mathbf{K} \cdot \Delta \mathbf{u} + P(\mathbf{u}_n) \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{n+1} &= \mathbf{f}_{n+1} - \left( \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}_n + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}}_n + P(\mathbf{u}_n) \right) \\ &+ \mathbf{M} \left( \frac{1}{\beta \cdot \Delta t} \cdot \dot{\mathbf{u}}_n + \frac{1}{2\beta} \cdot \ddot{\mathbf{u}}_n \right) + \mathbf{C} \left\{ \frac{1}{2\beta} \cdot \dot{\mathbf{u}}_n + \left( \frac{1}{4\beta} - 1 \right) \cdot \Delta t \cdot \ddot{\mathbf{u}}_n \right\} \end{aligned} \quad (3.42)$$

$$\mathbf{R}_n = \mathbf{f}_n - \left( \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}_n + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}}_n + P(\mathbf{u}_n) \right) \quad (3.43)$$

(3.42)式に対して(3.43)式を用いれば、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{n+1} &= \Delta \mathbf{f}_n + \mathbf{R}_n + \mathbf{M} \left( \frac{1}{\beta \cdot \Delta t} \cdot \dot{\mathbf{u}}_n + \frac{1}{2\beta} \cdot \ddot{\mathbf{u}}_n \right) \\ &+ \mathbf{C} \left\{ \frac{1}{2\beta} \cdot \dot{\mathbf{u}}_n + \left( \frac{1}{4\beta} - 1 \right) \cdot \Delta t \cdot \ddot{\mathbf{u}}_n \right\} \end{aligned} \quad (3.44)$$

ここで、Rはステップ毎に発生する残差となる。線形解析であればR=0となるが、非線形解析では一般的に残差が生じる。

残差の処理は、繰り返し計算により解消させるか、次のステップに残差を持ち越すことで対応する。

第k回目以降 ( $k \geq 2$ ) の繰り返し計算は次式により行う。

$$\mathbf{K}_e^{(k-1)} \cdot \delta \Delta \mathbf{u}_n^{(k)} = \mathbf{R}_n^{(k-1)} \quad (3.45)$$

ここで,

$$\Delta \mathbf{u}_n^{(k)} = \Delta \mathbf{u}_n^{(k-1)} + \delta \Delta \mathbf{u}_n^{(k)} \quad (3.46)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{n+1} &= \mathbf{u}_n + \Delta \mathbf{u}_n^{(k)} \\ \dot{\mathbf{u}}_{n+1} &= \dot{\mathbf{u}}_n + \frac{1}{2\beta \cdot \Delta t} \cdot \Delta \mathbf{u}_n^{(k)} \\ \ddot{\mathbf{u}}_{n+1} &= \ddot{\mathbf{u}}_n + \frac{1}{\beta \cdot \Delta t^2} \cdot \Delta \mathbf{u}_n^{(k)} \end{aligned} \quad (3.47)$$

繰り返し計算の詳細については、「3.3.4 非線形解析手法」を参照。

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-3に示す。

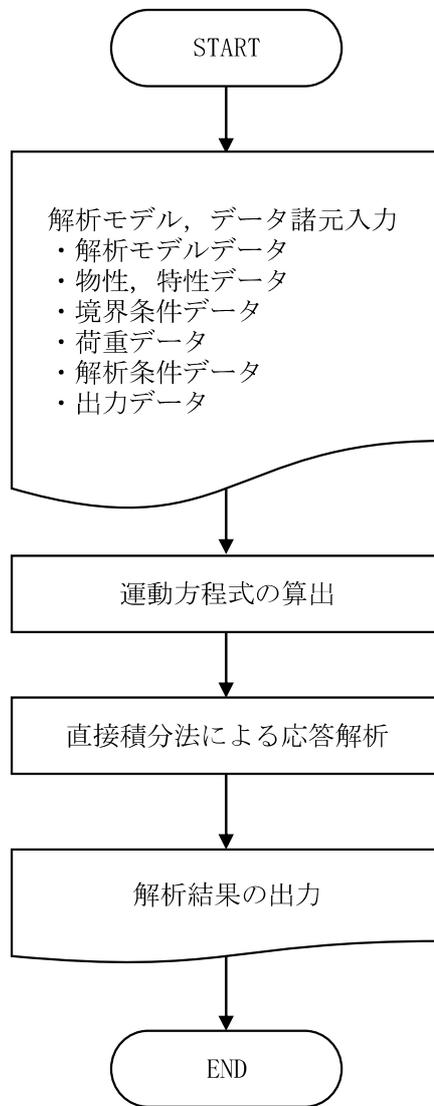


図3-3 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 他コードとの比較による検証 (建屋質点系-地盤 2次元 FEM モデル)

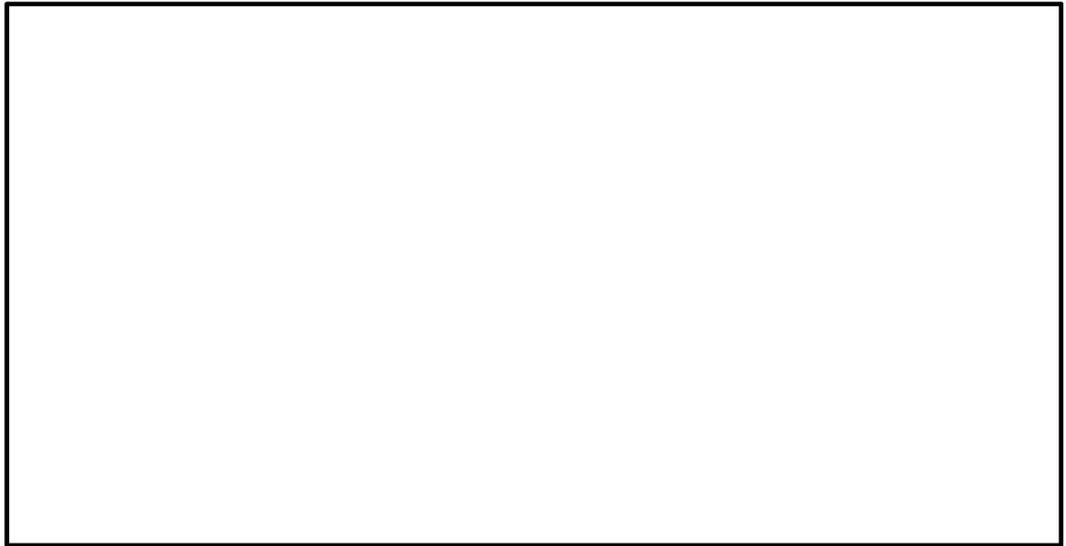
Soil Plus について、汎用コードである

との比較を行う。

建屋質点系-地盤 2次元 FEM モデルを対象に、地震応答解析を実施し、本解析コードによる解析結果 (加速度, せん断力, 曲げモーメント及びせん断ひずみ) との比較を行う。なお, 解析条件は以下の条件とした。

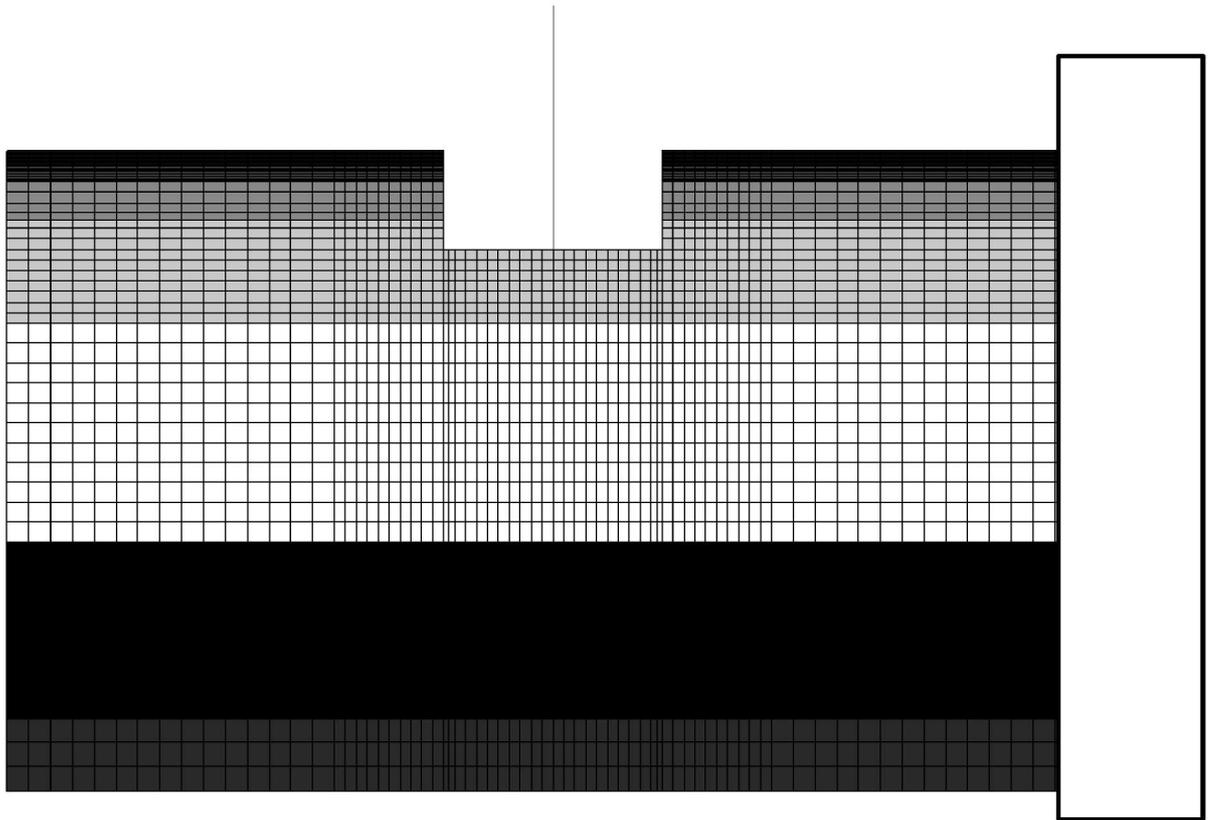
- ・ 解析モデル : 建屋質点系-地盤2次元FEMモデル

(図3-4, 表3-1及び表3-2参照)

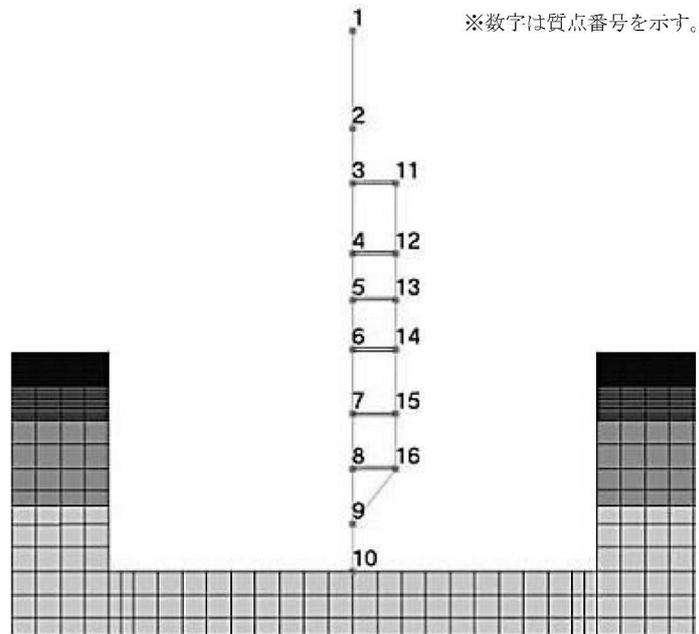


地震応答解析結果の比較を図 3-6~図 3-9 及び表 3-3 に示す。

図及び表より, Soil Plus の結果は  による結果とおおむね一致していることが確認できる。



(a) モデル全体



(b) 建屋周辺

図3-4 解析モデル

表 3-1 振動諸元 (1 / 2)

(a) NS 方向

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 W (kN)	回転慣性 重量 $I_G$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m $^2$ )	せん断 断面積 $A_s$ (m $^2$ )	断面2次 モーメント I (m $^4$ )	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 W (kN)	回転慣性 重量 $I_G$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m $^2$ )	せん断 断面積 $A_s$ (m $^2$ )	断面2次 モーメント I (m $^4$ )

※建屋の軸面積は、NS 方向のせん断断面積+EW 方向のせん断断面積とする。

(建屋部)

- ・ヤング係数 E :
- ・せん断弾性係数 G :
- ・減衰定数 h :
- ・ポアソン比  $\nu$  :

(基礎スラブ)

- ・ヤング係数 E :
- ・せん断弾性係数 G :
- ・減衰定数 h :
- ・ポアソン比  $\nu$  :

--	--

表 3-1 振動諸元 (2 / 2)

(b) EW 方向

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 W (kN)	回転慣性 重量 $I_G$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m $^2$ )	せん断 断面積 $A_s$ (m $^2$ )	断面2次 モーメント I (m $^4$ )	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	質量 W (kN)	回転慣性 重量 $I_G$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m $^2$ )	せん断 断面積 $A_s$ (m $^2$ )	断面2次 モーメント I (m $^4$ )

※建屋の軸面積は、NS 方向のせん断断面積+EW 方向のせん断断面積とする。

(建屋部)

- ・ヤング係数 E :
- ・せん断弾性係数 G :
- ・減衰定数 h :
- ・ポアソン比  $\nu$  :

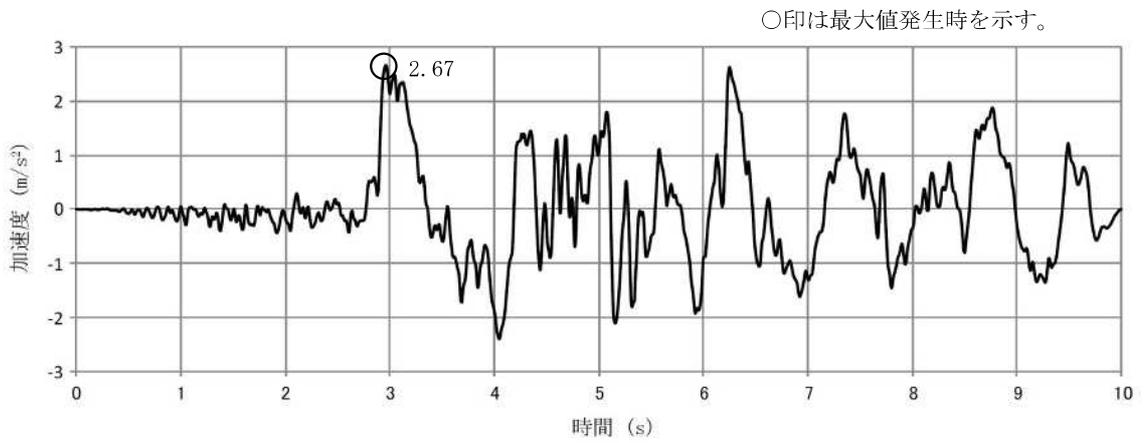
(基礎スラブ)

- ・ヤング係数 E :
- ・せん断弾性係数 G :
- ・減衰定数 h :
- ・ポアソン比  $\nu$  :

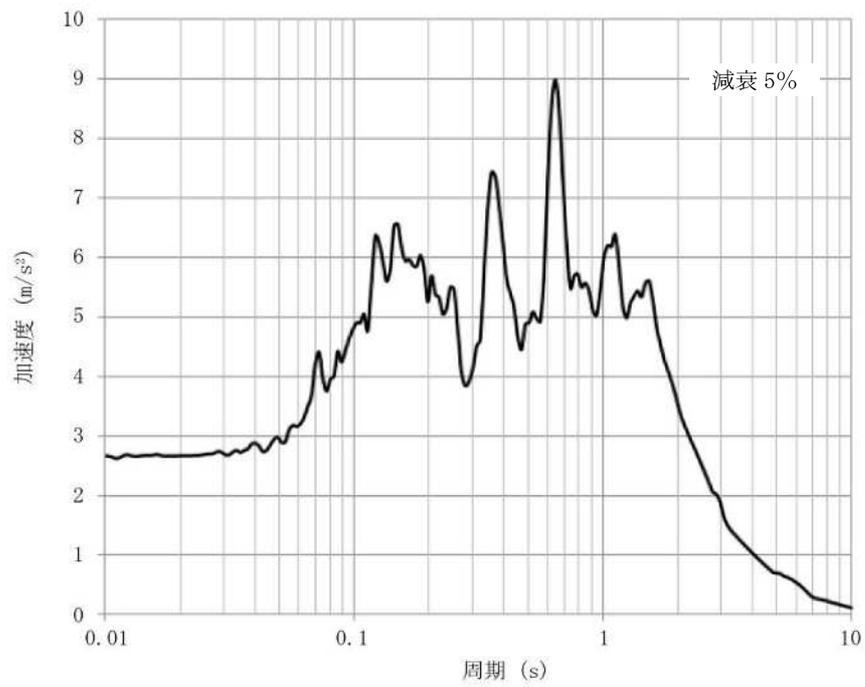


表 3-2 地盤物性

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	減衰定数 $h$ (%)

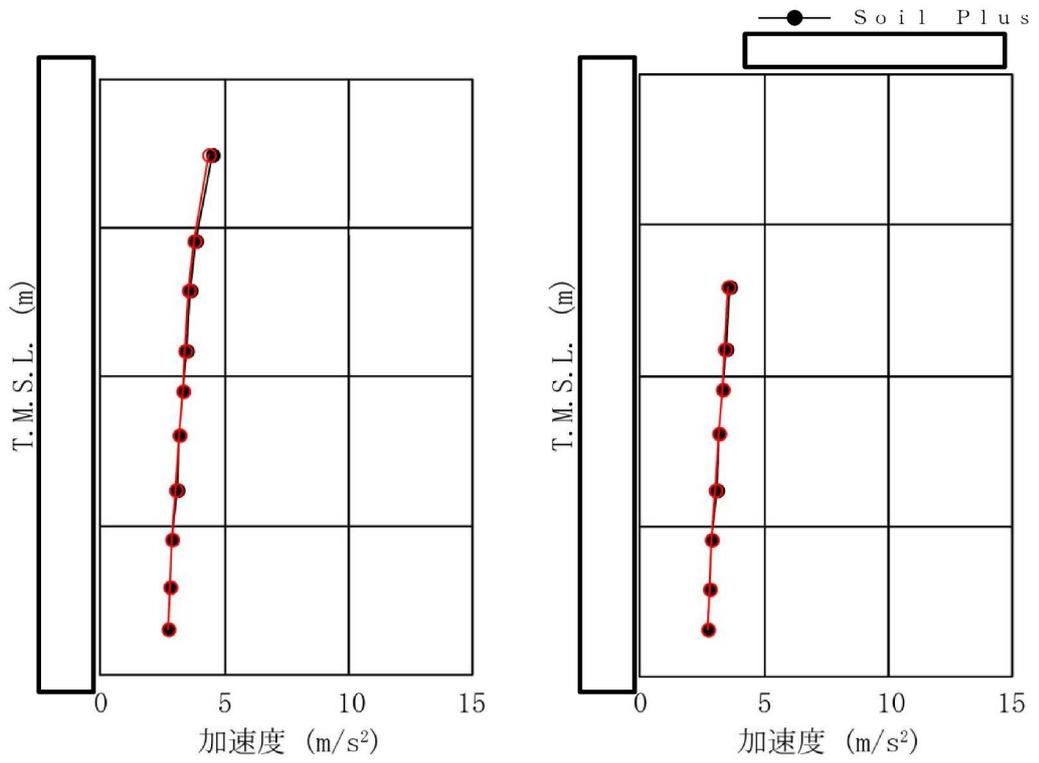


(a) 加速度時刻歴波形

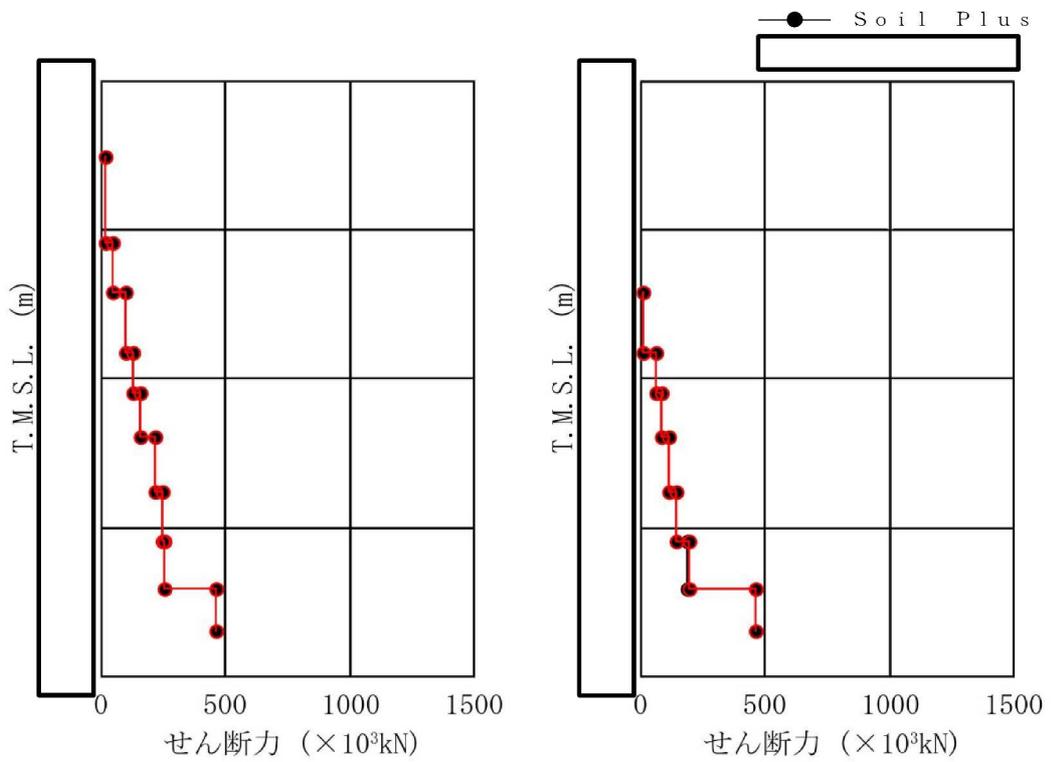


(b) 加速度応答スペクトル

図3-5 入力地震動

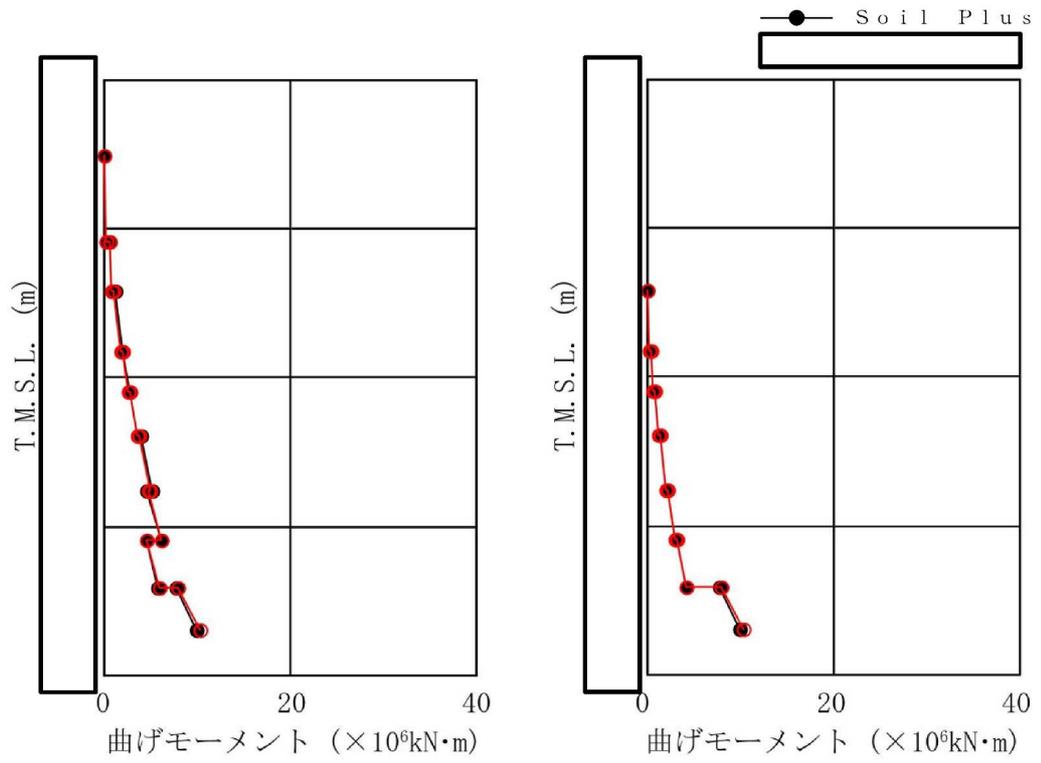


(a) 加加速度



(b) せん断力

図3-6 解析結果の比較 (1 / 2)

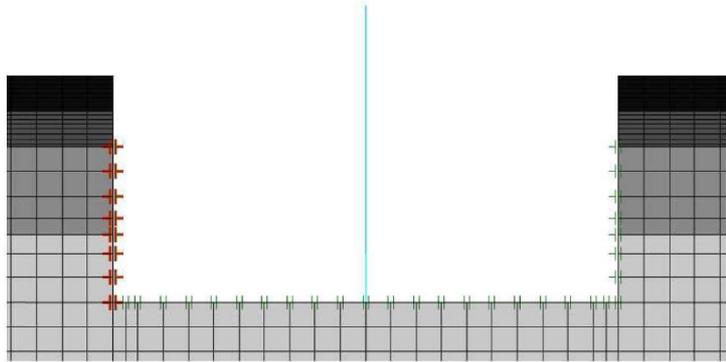


(c) 曲げモーメント

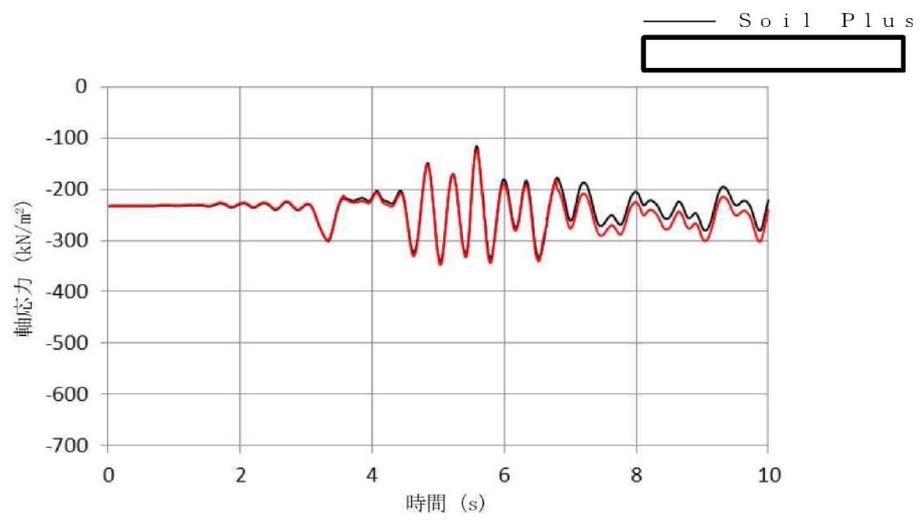
図3-6 解析結果の比較 (2 / 2)

表 3-3 接地率

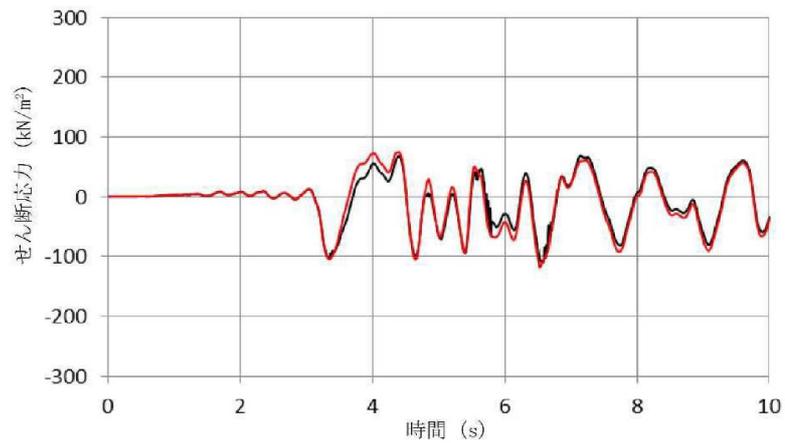
	S o i l P l u s	
接地率(%)		



(a) ジョイントの出力位置

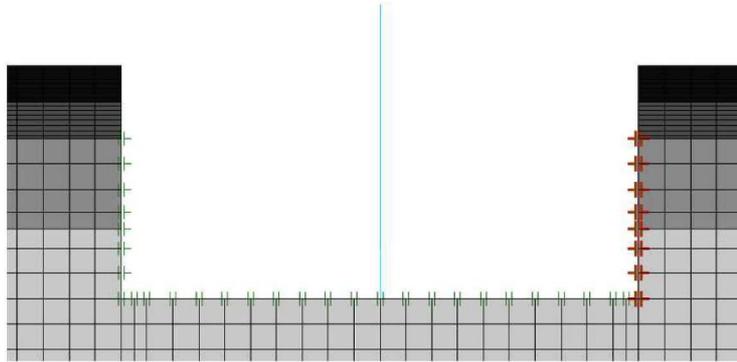


(b) 軸応力

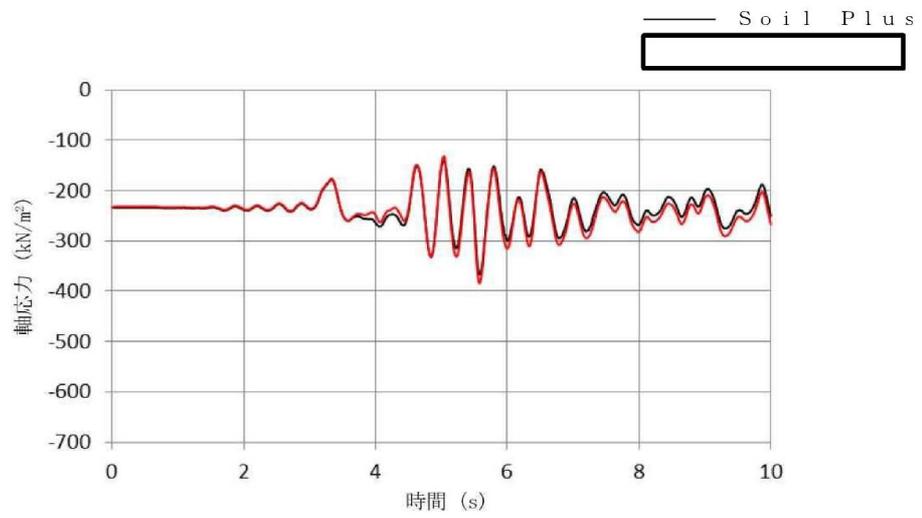


(c) せん断応力

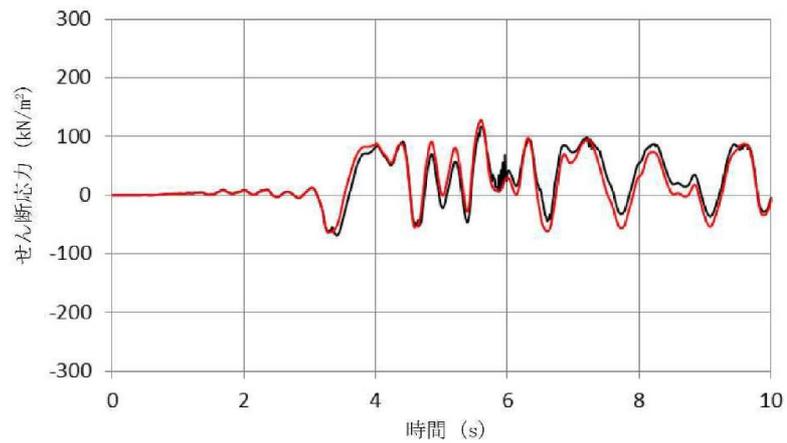
図 3-7 解析結果の比較 (ジョイントの時刻歴波形, 左側面)



(a) ジョイントの出力位置



(b) 軸応力



(c) せん断応力

図 3-8 解析結果の比較 (ジョイントの時刻歴波形, 右側面)

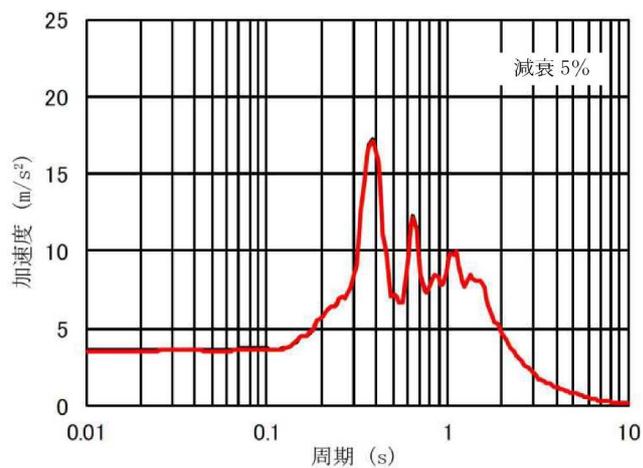
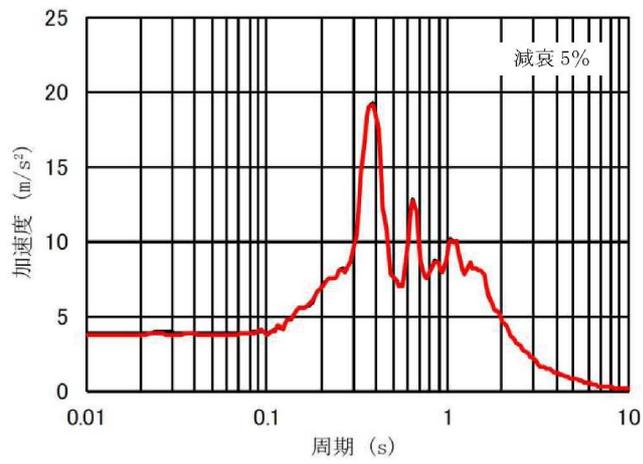
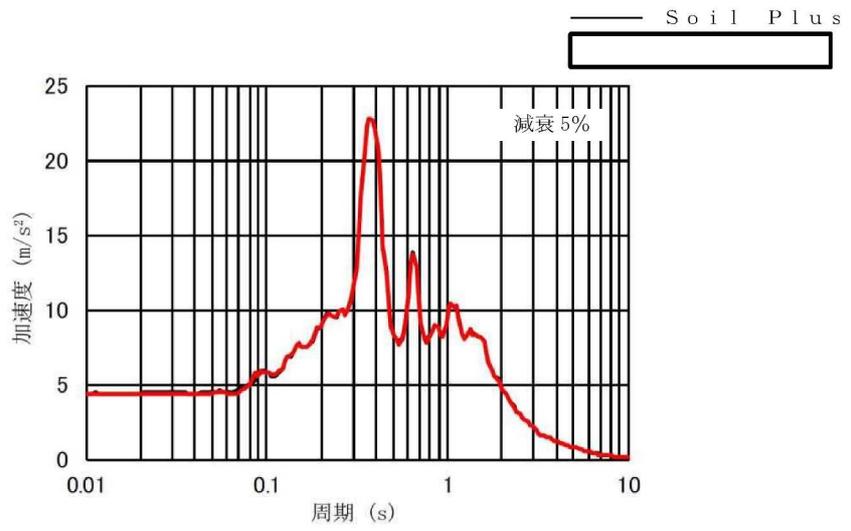
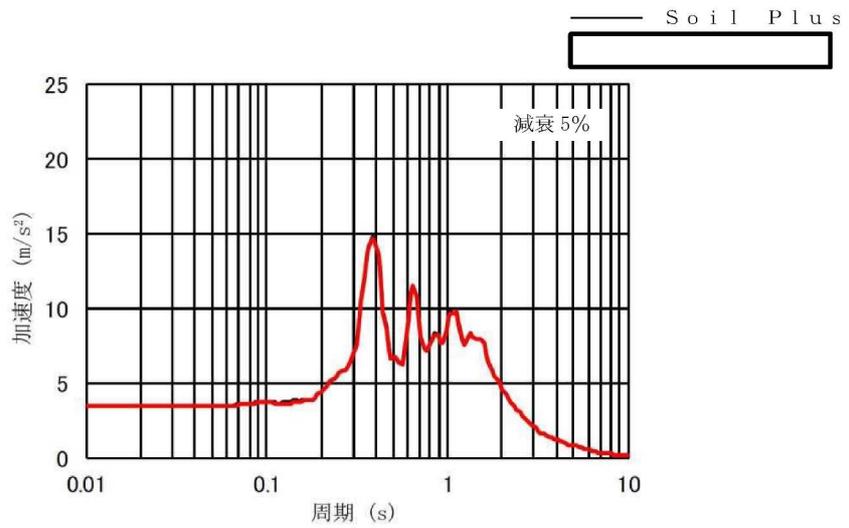
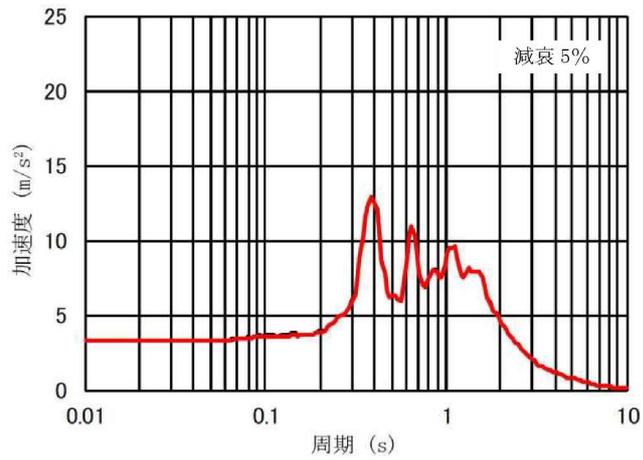


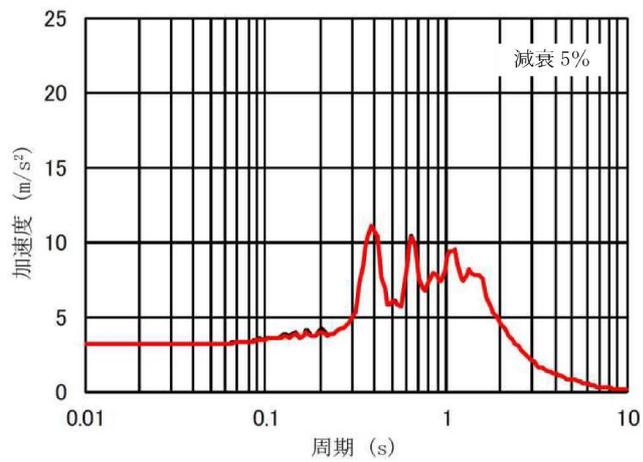
図 3-9 解析結果の比較 (加速度応答スペクトル) (1 / 3)



(d) 質点番号 4

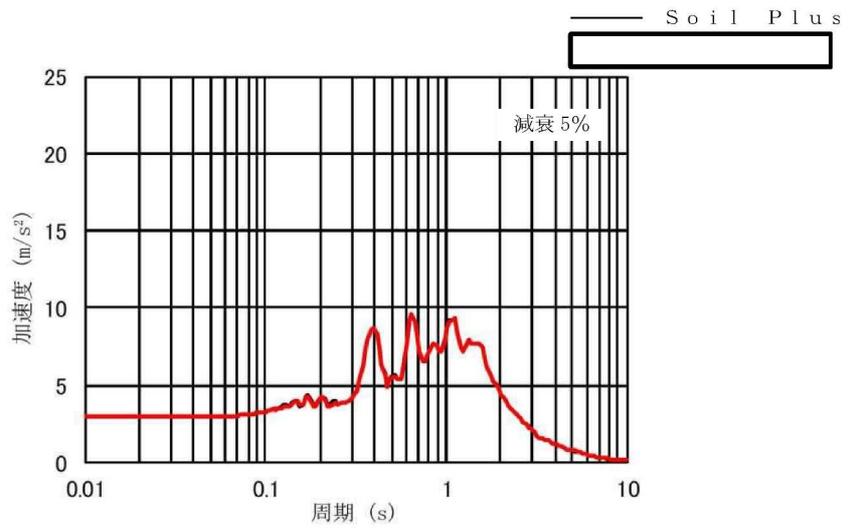


(e) 質点番号 5

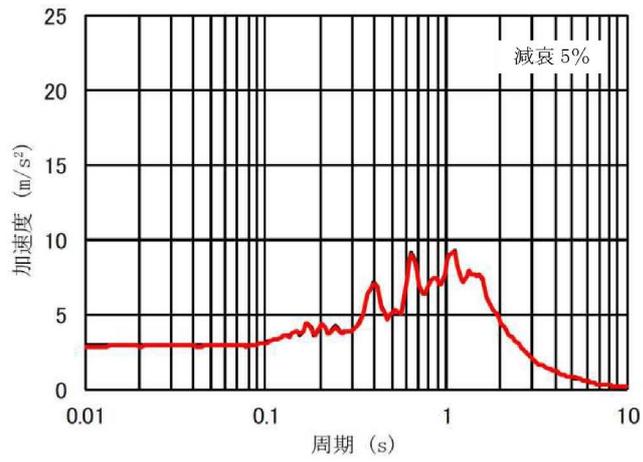


(f) 質点番号 6

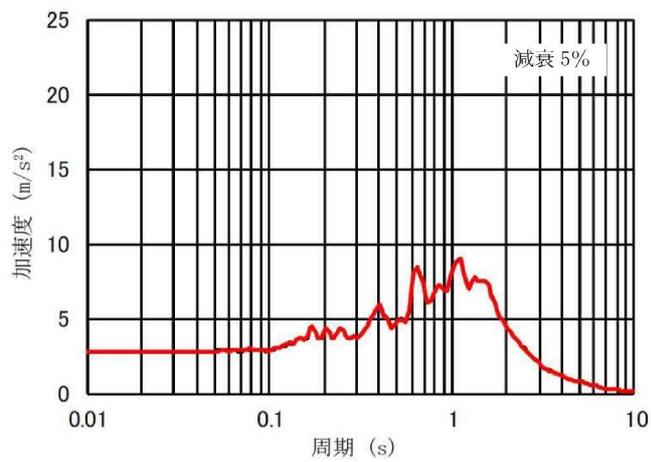
図 3-9 解析結果の比較 (加速度応答スペクトル) (2 / 3)



(g) 質点番号 7



(h) 質点番号 8



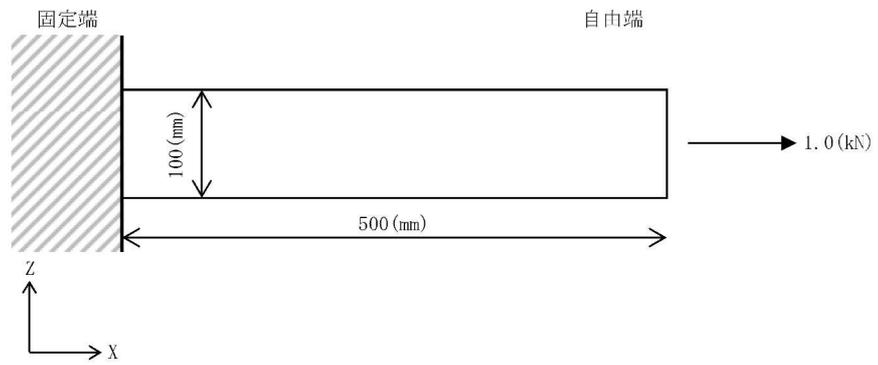
(i) 質点番号 9

図 3-9 解析結果の比較 (加速度応答スペクトル) (3 / 3)

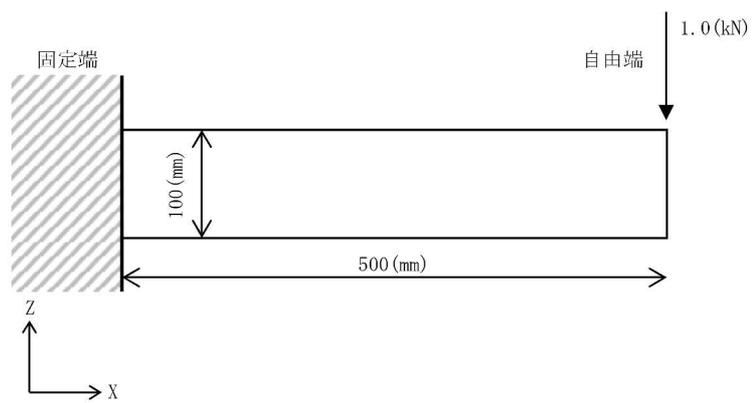




(a) 解析モデル概要



(b) 荷重ケース① (軸方向載荷)



(c) 荷重ケース② (せん断方向載荷)

図 3-10 解析モデル

表 3-4 解析モデル諸元

項目	記号	単位	値
部材長	L	(mm)	500
部材幅	b	(mm)	100
部材厚	t	(mm)	100
断面積	A	(mm <sup>2</sup> )	1.00×10 <sup>4</sup>
断面二次モーメント	I	(mm <sup>4</sup> )	8.33×10 <sup>6</sup>
ヤング係数	E	(N/mm <sup>2</sup> )	2.00×10 <sup>5</sup>
ポアソン比	ν	—	0.3

表 3-5 解析結果の比較

ケース	自由端変位 (mm)	
	理論解	Soil Plus
①	$\delta_x = \frac{P \cdot L}{E \cdot A} = \frac{1000 \times 500}{2.00 \times 10^5 \times 1.00 \times 10^4} = 2.50 \times 10^{-4}$	2.50×10 <sup>-4</sup>
②	$\delta_z = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{1000 \times 500^3}{3 \times 2.00 \times 10^5 \times 8.33 \times 10^6} = 2.50 \times 10^{-2}$	2.38×10 <sup>-2</sup>

### 3.5.3 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析に Soil Plus を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 建屋質点系-地盤 2 次元 FEM モデルの非線形地震応答解析について  による解析結果と比較して、おおむね一致していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。
- ・ ソリッド要素を用いて評価した片持ち梁の変位が、理論解とおおむね一致していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

## 4. 引用文献

- (1) O. C. Zienkiewicz, The Finite Element Method, McGraw-Hill, 1977
- (2) O. C. Zienkiewicz and K. Morgan, FINITE ELEMENTS AND APPROXIMATION, John Wiley & Sons, 1983
- (3) G. Strang and G. J. Fix, AN ANALYSIS OF THE FINITE ELEMENT METHOD, Prentice-Hall, 1973
- (4) 竹内則雄, 檜山和男, 寺田賢二郎, 計算力学 有限要素法の基礎, 森北出版株式会社, 2003
- (5) 川井忠彦, 岸正彦, 機械のための有限要素法入門, オーム社, 1983