

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-002-16
提出年月日	2022年2月14日

VI-2-2-16 ガスタービン発電機建物の地震応答計算書

2022年2月

中国電力株式会社

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 解析方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 解析方法	10
3.1 設計に用いる地震波	10
3.2 地震応答解析モデル	19
3.2.1 水平方向	20
3.2.2 鉛直方向	28
3.3 解析方法	33
3.3.1 動的解析	33
3.3.2 必要保有水平耐力	33
3.4 解析条件	35
3.4.1 建物・構築物の復元力特性	35
3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性	41
3.4.3 材料物性の不確かさ等	42
4. 解析結果	44
4.1 動的解析	44
4.1.1 固有値解析結果	44
4.1.2 地震応答解析結果	44
4.2 必要保有水平耐力	66

## 1. 概要

本資料は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」及びVI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づくガスタービン発電機建物の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算定した各種応答値は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。また、必要保有水平耐力については建物・構築物の構造強度の確認に用いる。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

ガスタービン発電機建物の設置位置を図 2-1 に示す。

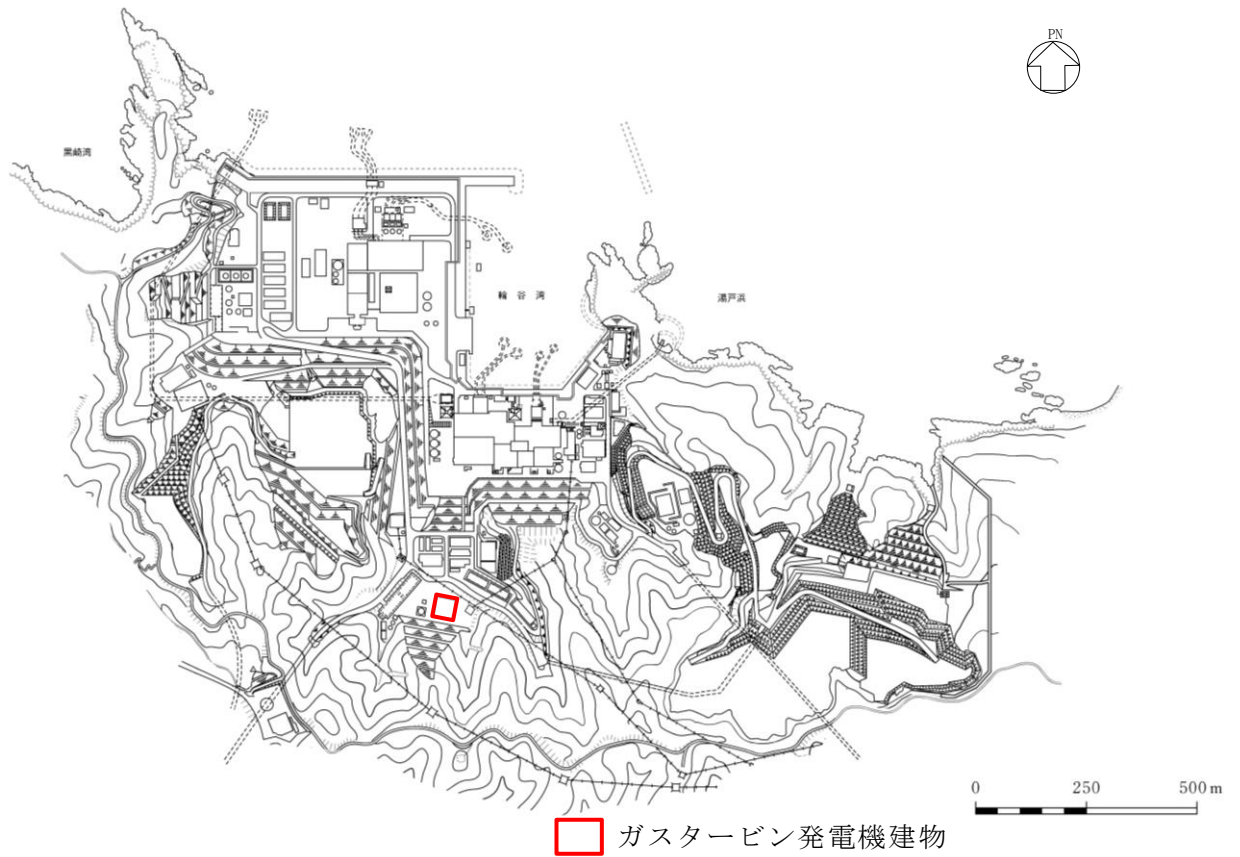


図 2-1 ガスタービン発電機建物の設置位置

## 2.2 構造概要

ガスタービン発電機建物は、地上 2 階建の鉄骨鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。

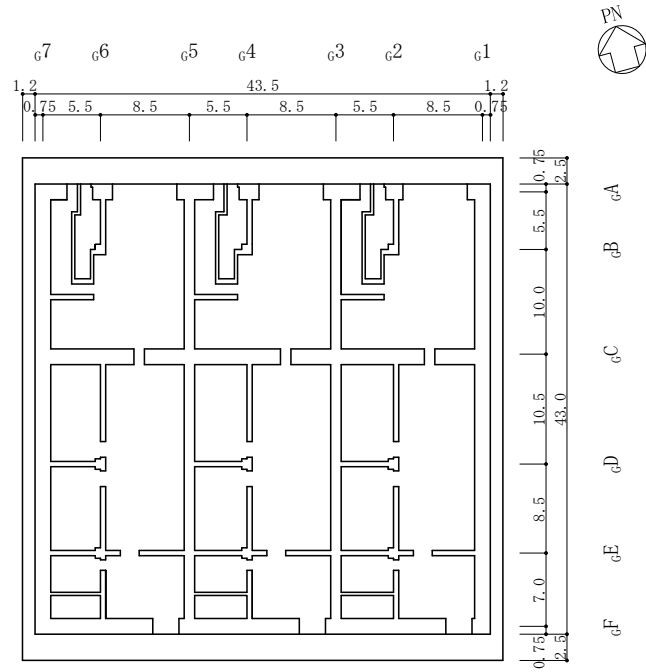
ガスタービン発電機建物の平面寸法は、43.0m\*（N S）×43.5m\*（E W）である。基礎スラブ底面からの高さは 17.5m である。

ガスタービン発電機建物の基礎は厚さ 3.5m のべた基礎で、岩盤に直接設置している。

建物に加わる地震時の水平力はすべて耐震壁に負担させている。

ガスタービン発電機建物の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

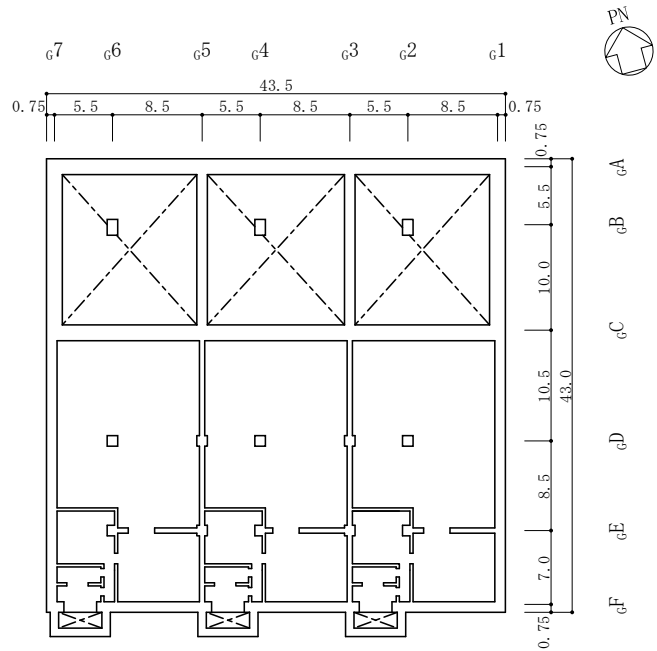
注記\*：建物寸法は壁外面寸法とする。



(単位:m)

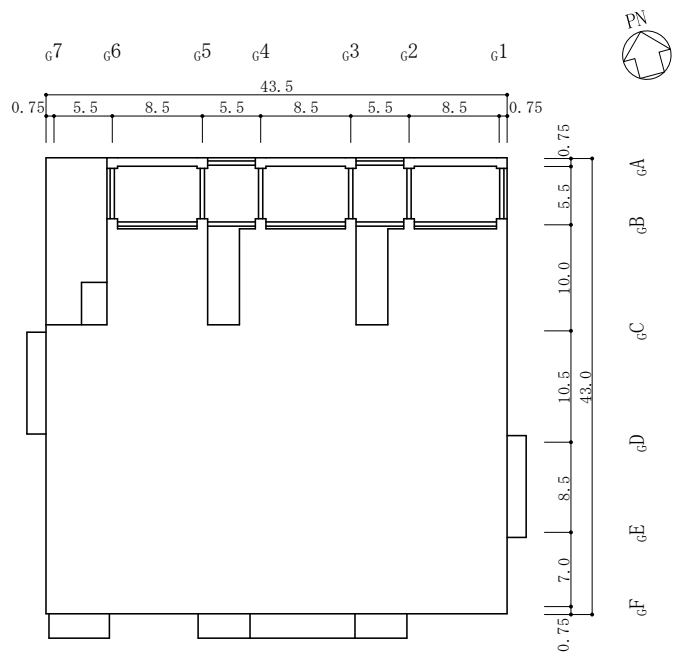
図 2-2(1) ガスタービン発電機建物の概略平面図 (EL 47.5m\*)

注記\* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。



(単位:m)

図 2-2(2) ガスタービン発電機建物の概略平面図 (EL 54.5m)



(単位:m)

図 2-2(3) ガスタービン発電機建物の概略平面図 (EL 61.5m)

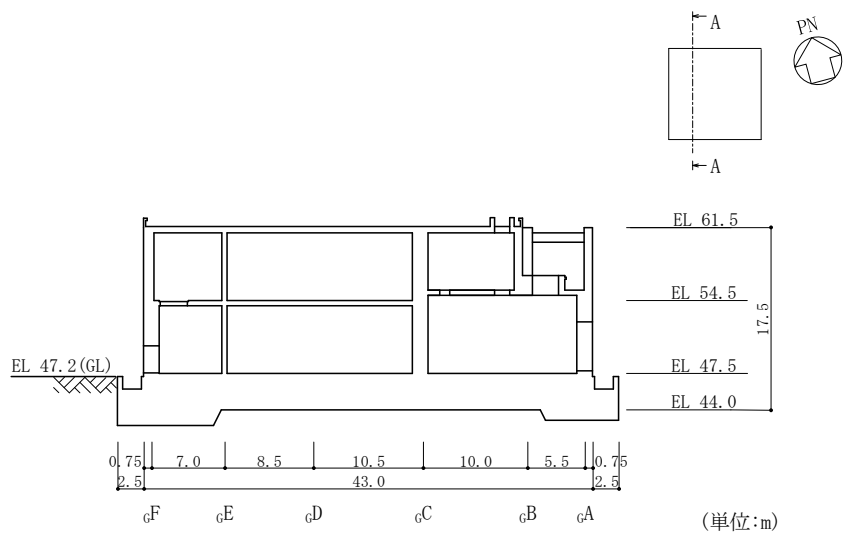


図 2-3(1) ガスタービン発電機建物の概略断面図 (A-A断面, N S 方向)

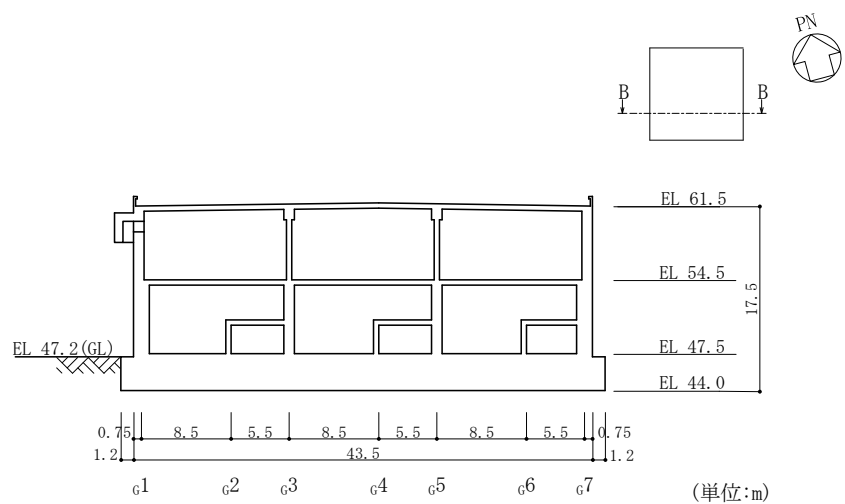


図 2-3(2) ガスタービン発電機建物の概略断面図 (B-B断面, E W 方向)



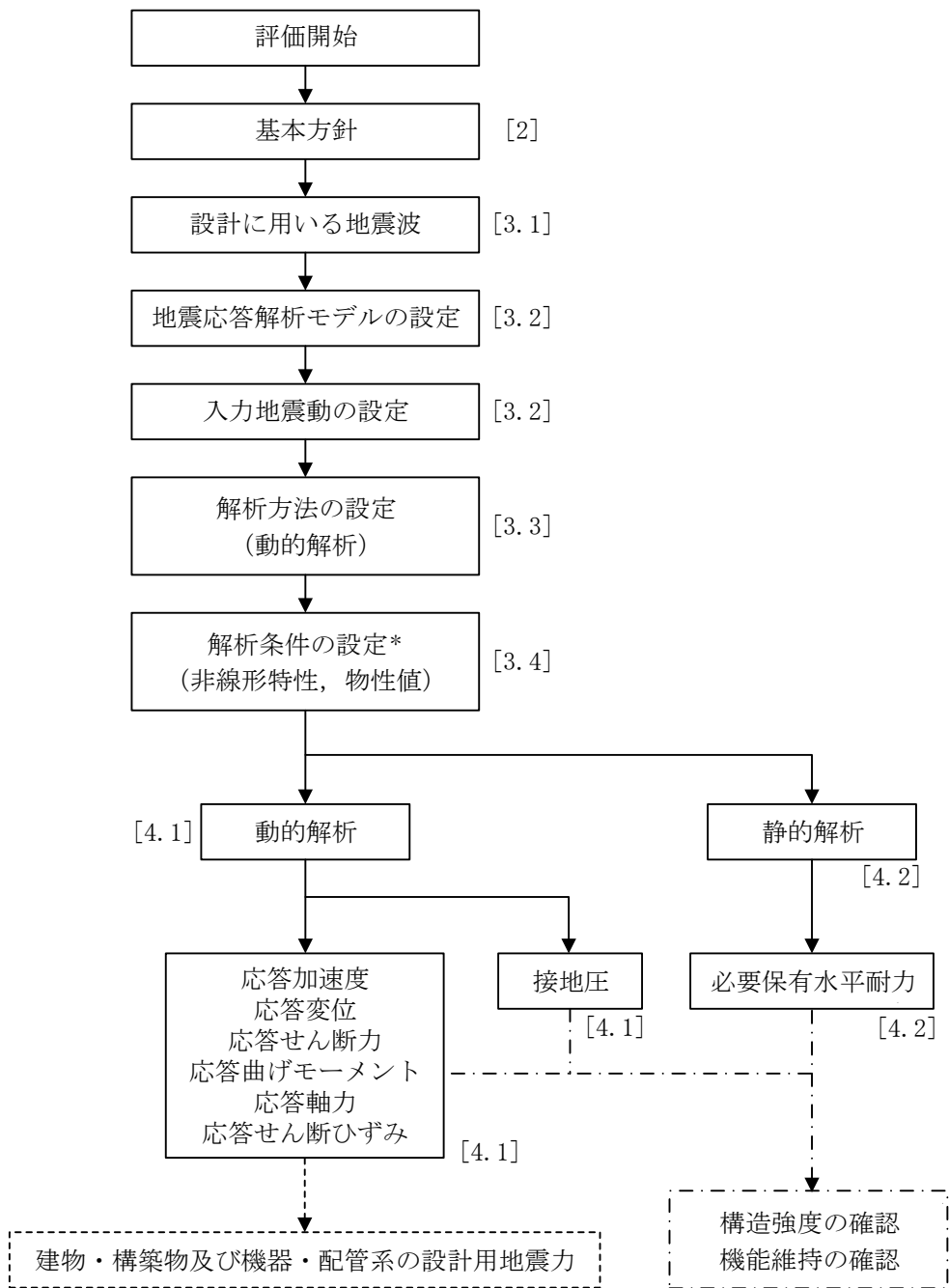
## 2.3 解析方針

ガスタービン発電機建物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図2-4にガスタービン発電機建物の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 設計に用いる地震波」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」及び「3.4 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては、材料物性の不確かさを考慮し、加速度、変位、せん断ひずみ、接地圧等を含む各種応答値を算定する。

「4.2 必要保有水平耐力」においては必要保有水平耐力を算定する。



注：[ ]内は，本資料における章番号を示す。

注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-4 ガスタービン発電機建物の地震応答解析フロー

## 2.4 適用規格・基準等

ガスタービン発電機建物の地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

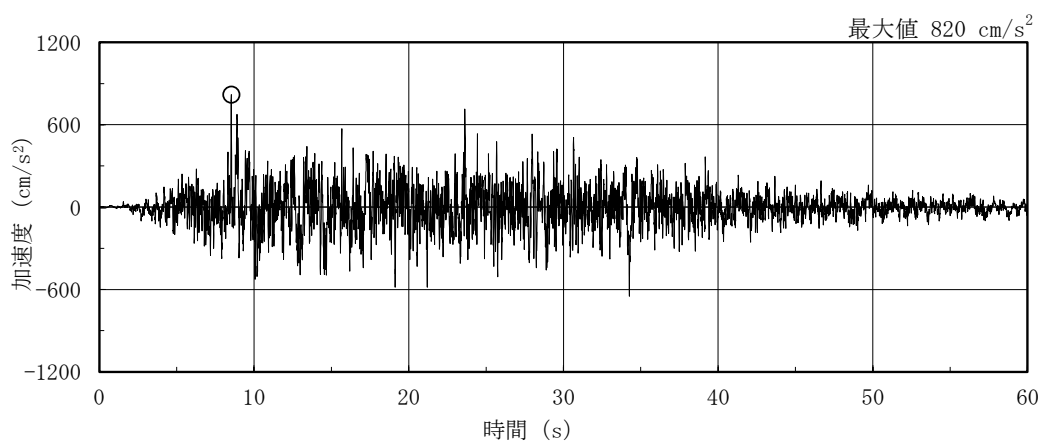
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

### 3. 解析方法

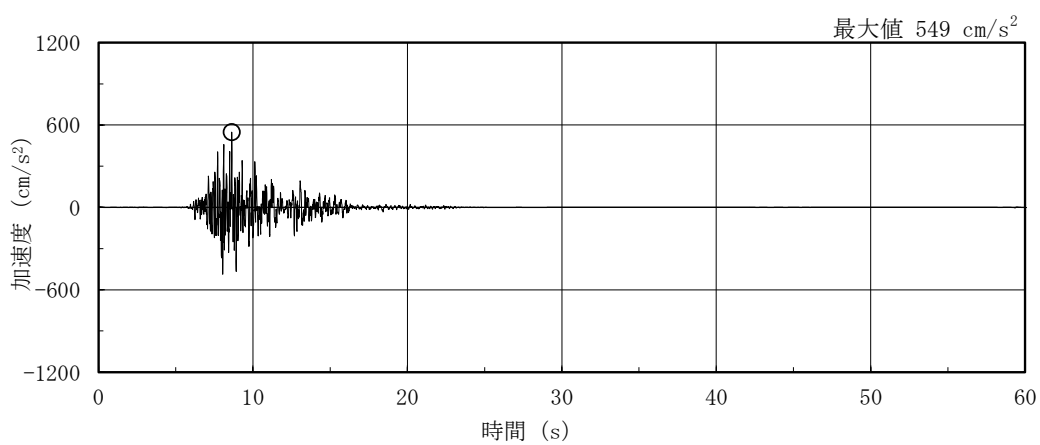
#### 3.1 設計に用いる地震波

ガスタービン発電機建物の地震応答解析モデルは、建物と地盤の相互作用を評価した建物－地盤連成モデルとする。この建物－地盤連成モデルへの入力地震動は、VI-2-1-2「基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波を用いることとする。

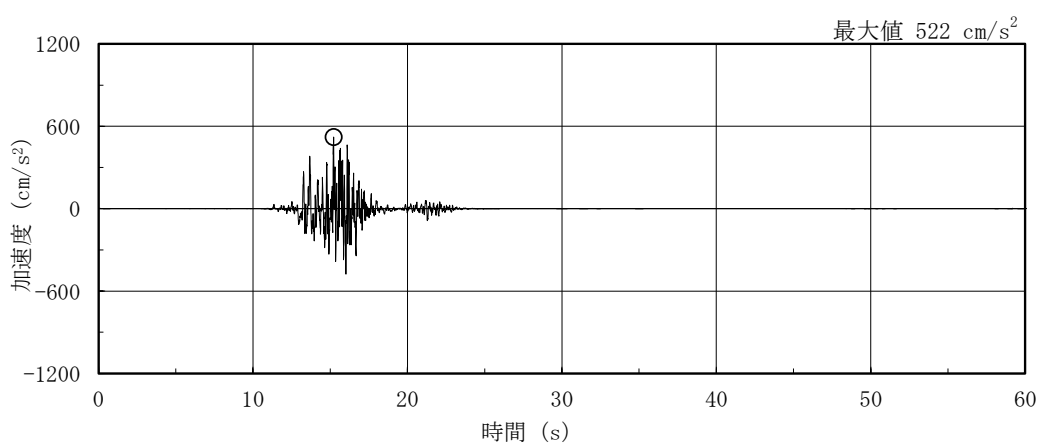
基準地震動  $S_s$  の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-1～図 3-4 に示す。



(a) S s - D

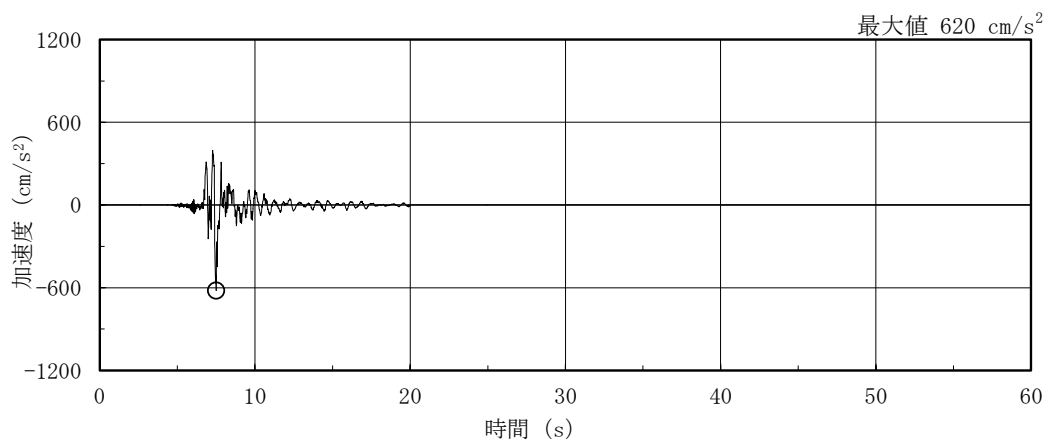


(b) S s - F 1

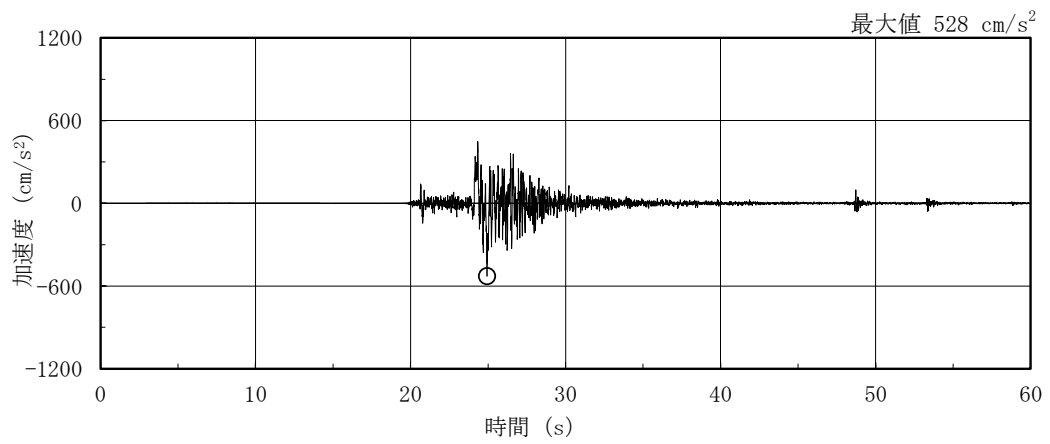


(c) S s - F 2

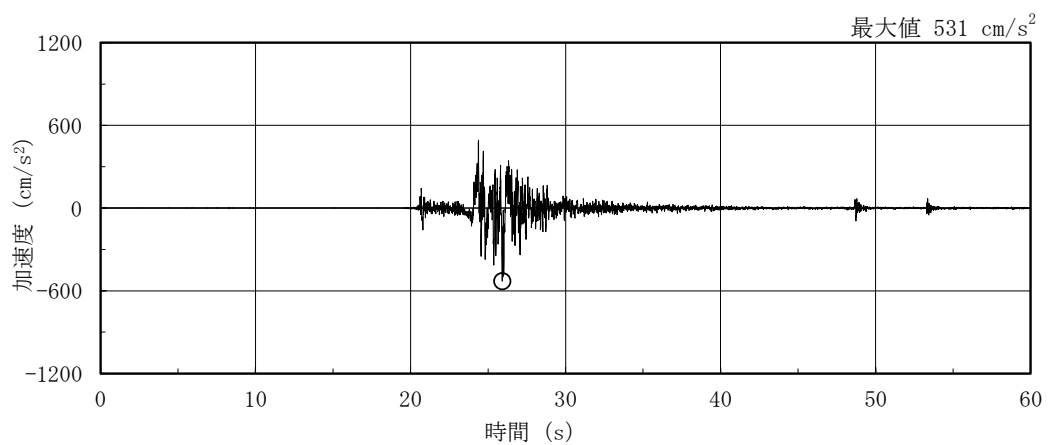
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

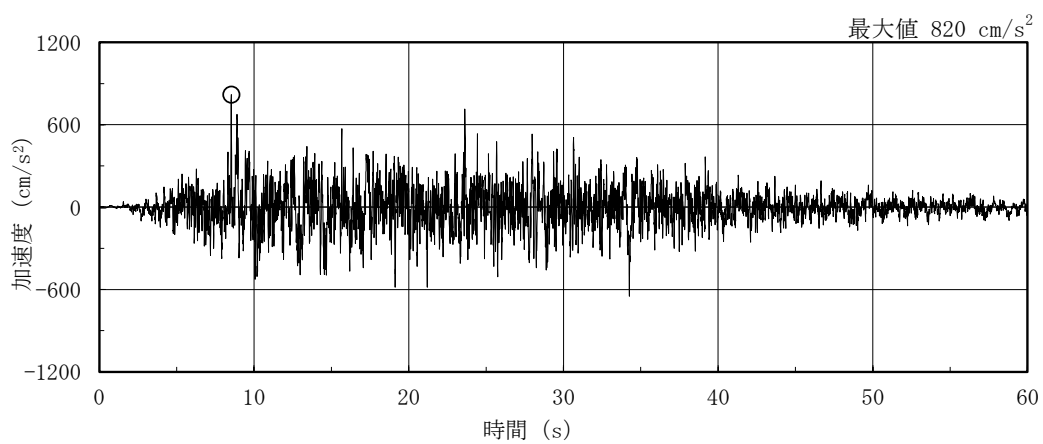


(e) S s - N 2 N S

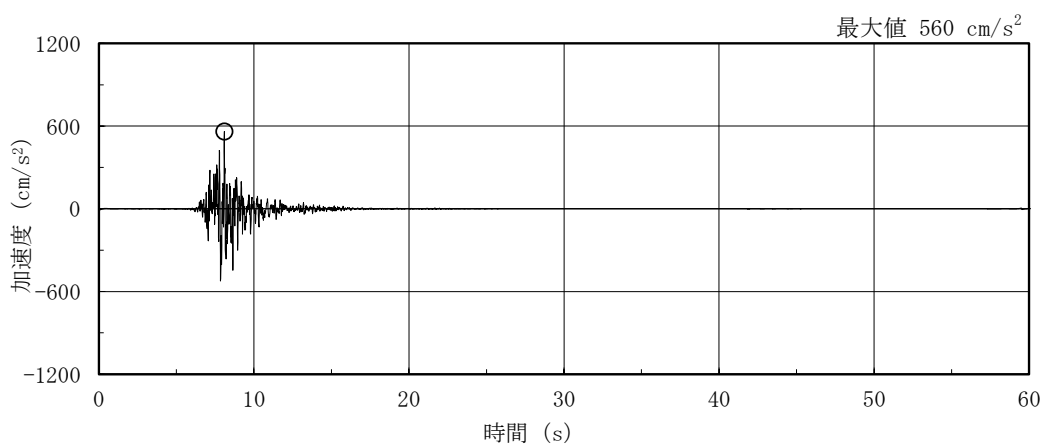


(f) S s - N 2 E W

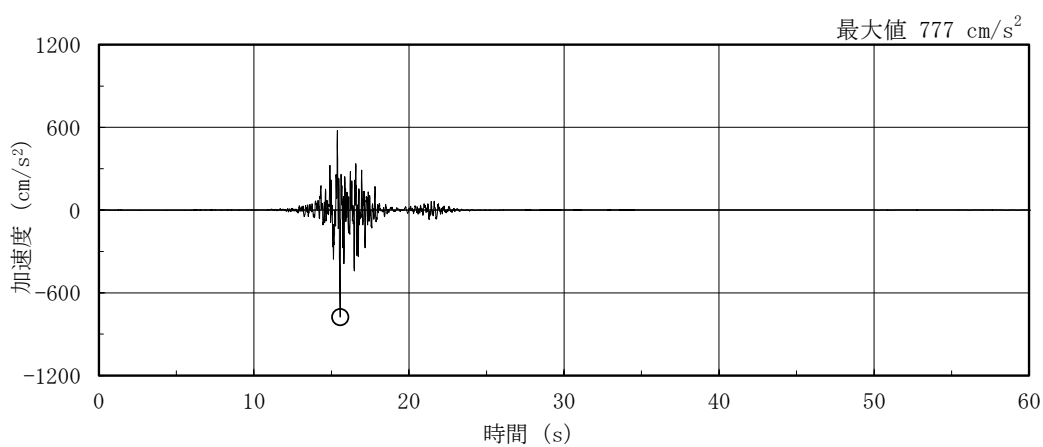
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

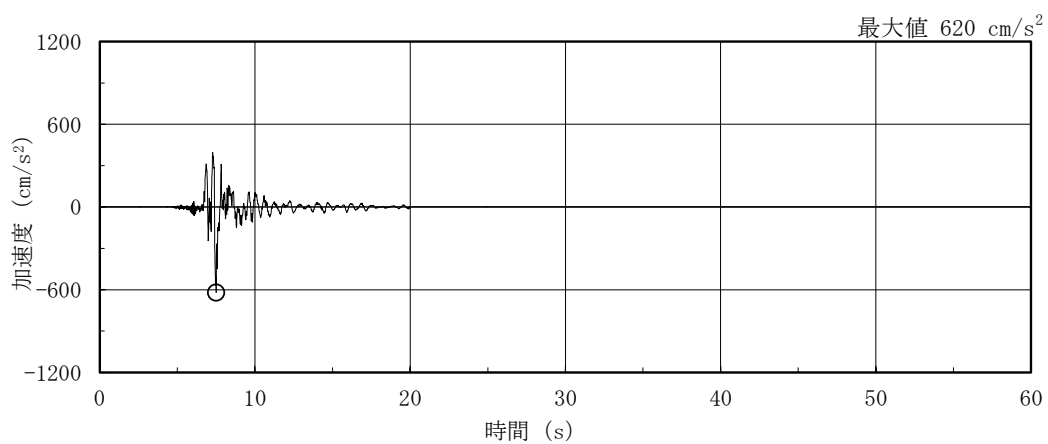


(b) S s - F 1

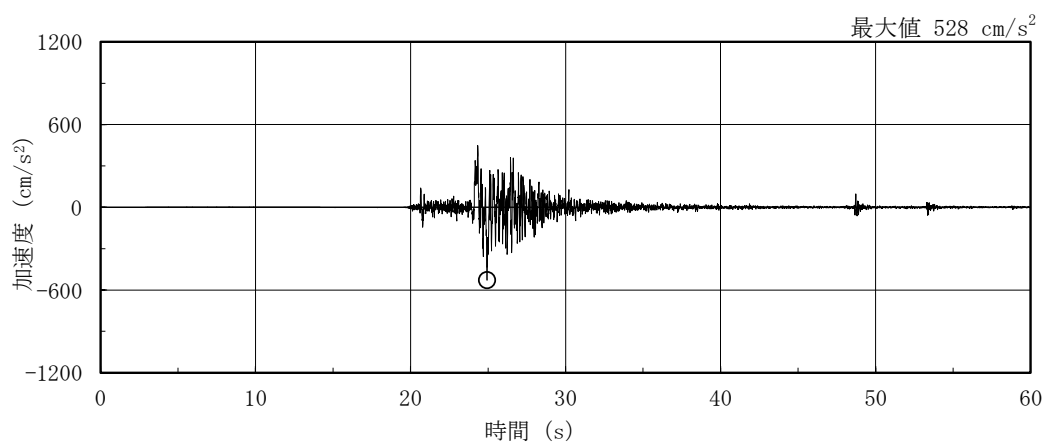


(c) S s - F 2

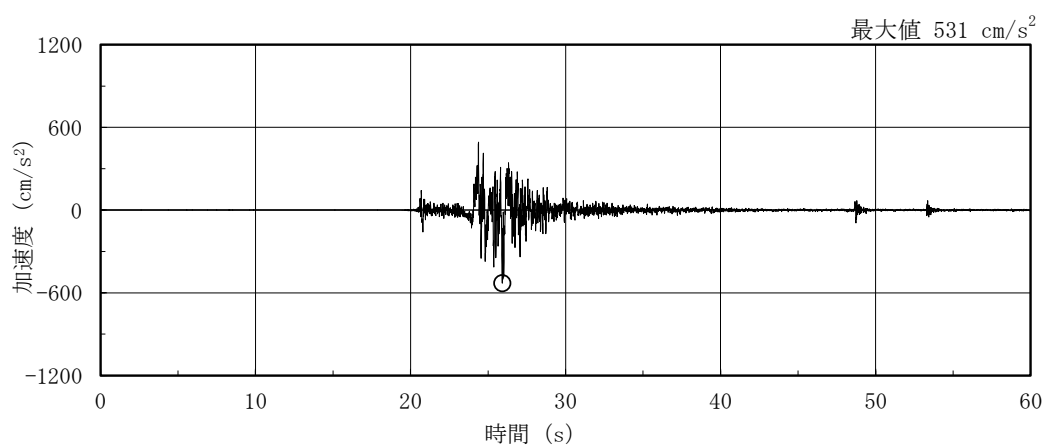
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)



(d) S s - N 1



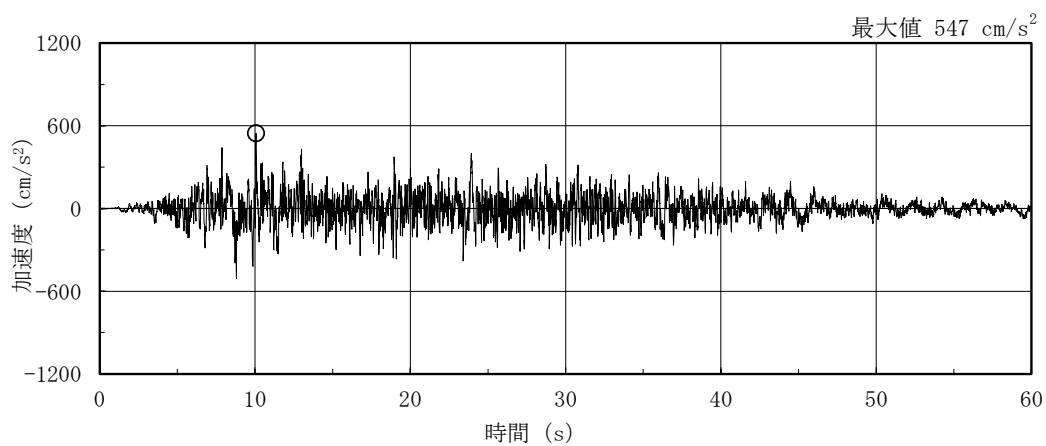
(e) S s - N 2 N S



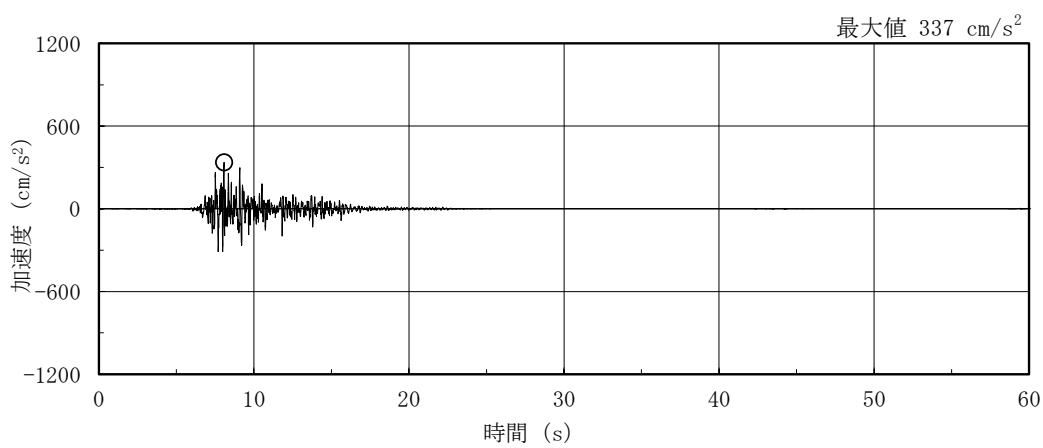
(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)

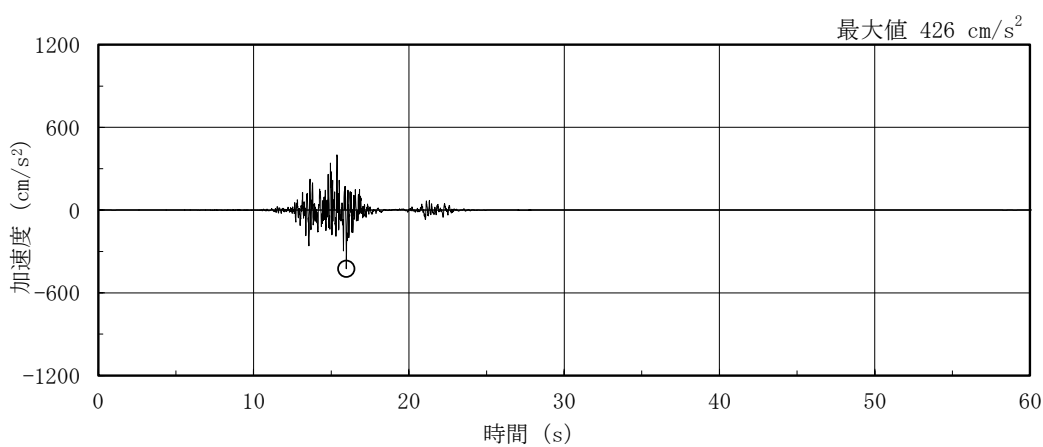




(a) S s - D

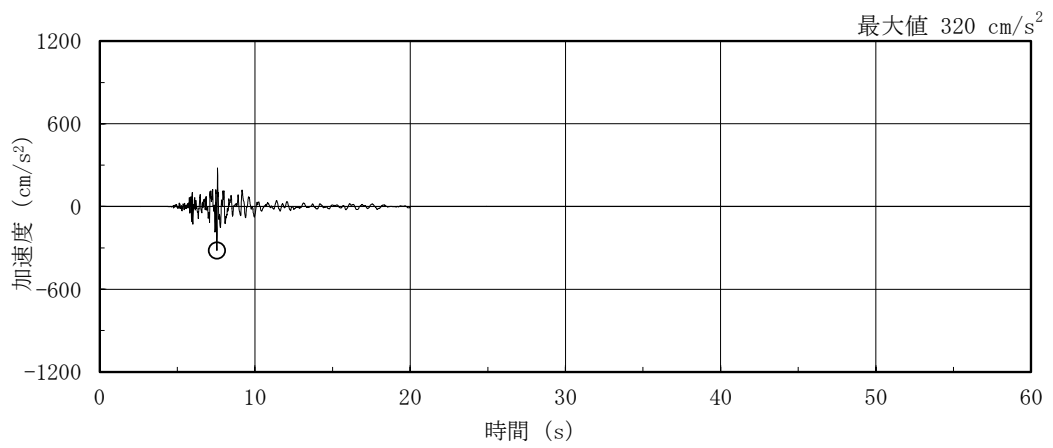


(b) S s - F 1

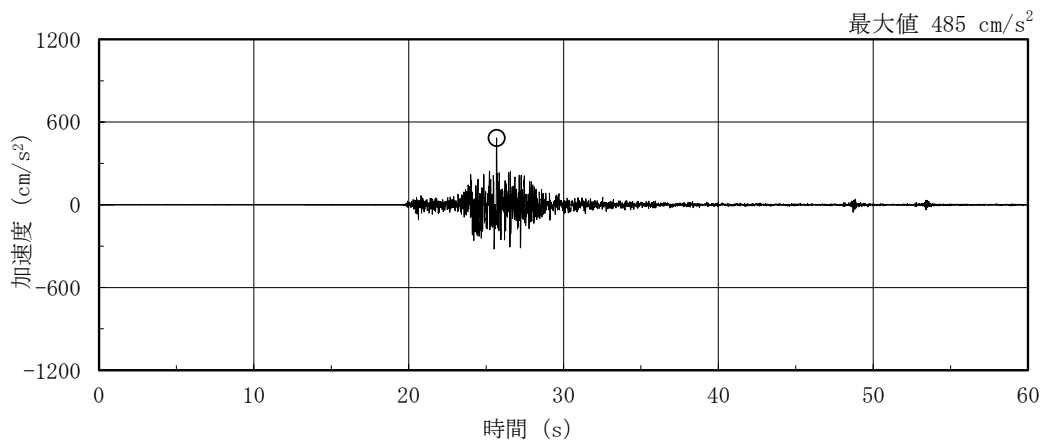


(c) S s - F 2

図 3-3(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向)

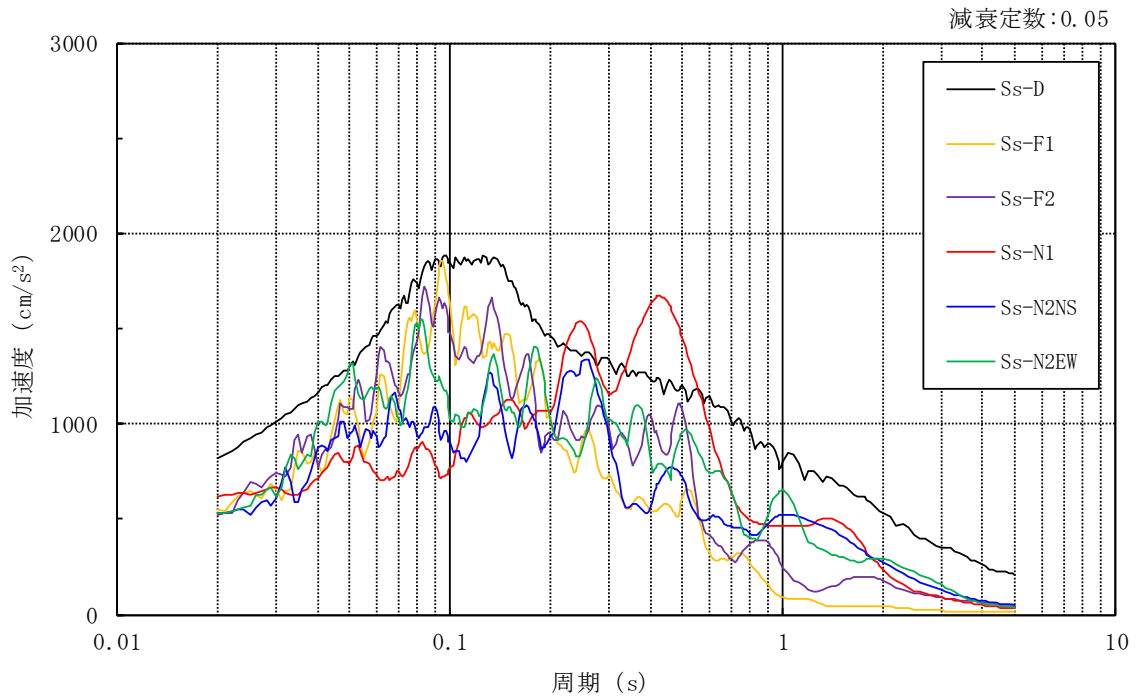


(d) S s - N 1

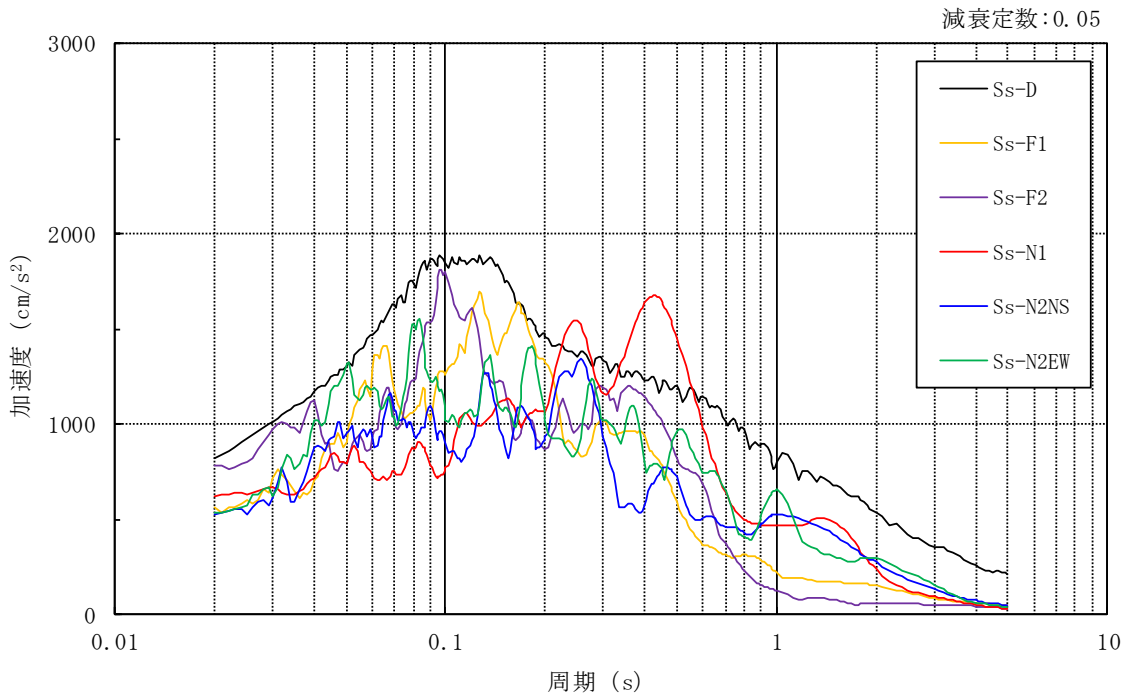


(e) S s - N 2

図 3-3(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向)



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-4(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

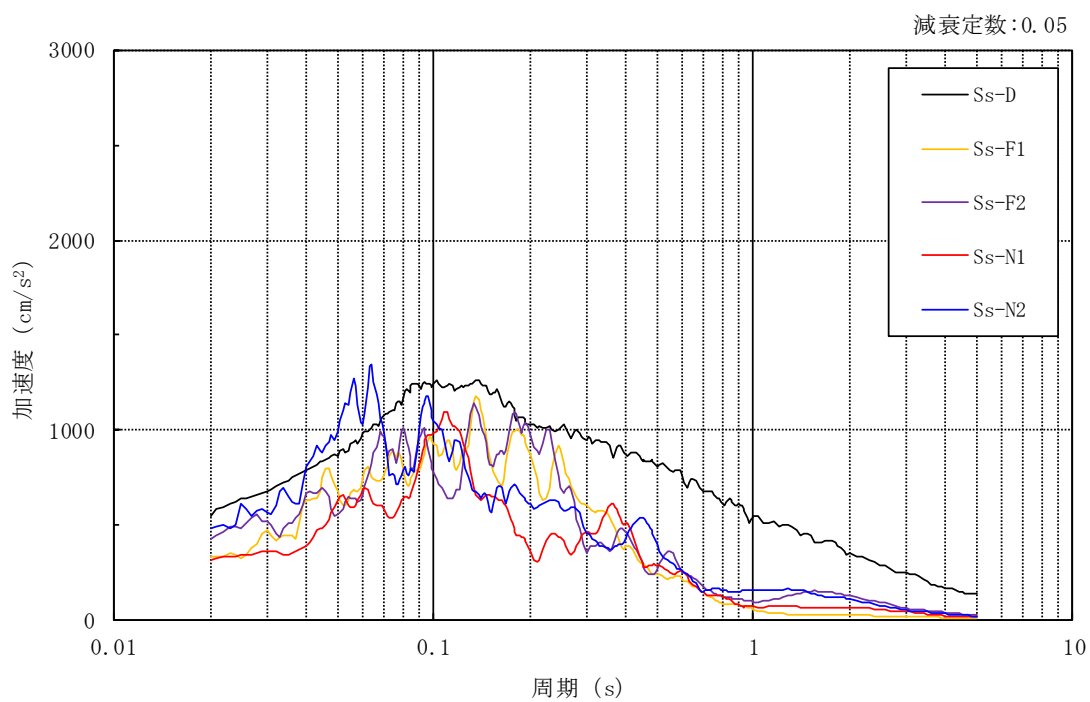


図 3-4(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

### 3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-1に示す。

表 3-1 使用材料の物性値

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 (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=30.0 (N/mm <sup>2</sup> ) 鉄筋：SD345	2.44×10 <sup>4</sup>	1.02×10 <sup>4</sup>	5	—

### 3.2.1 水平方向

#### (1) 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、NS方向及びEW方向それぞれについて行っている。

水平方向の地震応答解析モデルを図3-5に示す。

#### (2) 地盤ばね

基礎底面の地盤ばねについては、「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。)により、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤ばねの定数化の概要を図3-6に、地盤ばね定数及び減衰係数を表3-2に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価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、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

#### (3) 入力地震動

水平方向モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を1次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215mの入射波を算定する。算定したEL-215mの入射波を建物位置での地盤をモデル化した1次元地盤に入力して一次元波動論に基づく評価を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値を表3-3に示す。

なお、基準地震動 $S_s - F_1$ 及び $S_s - F_2$ に関しては、ガスタービン発電機建物の配置に応じて方位を補正した波形を用いる。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-7に、1次元地盤モデルを図3-8に、基礎底面位置(EL 44.0m)における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-9に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。評価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、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

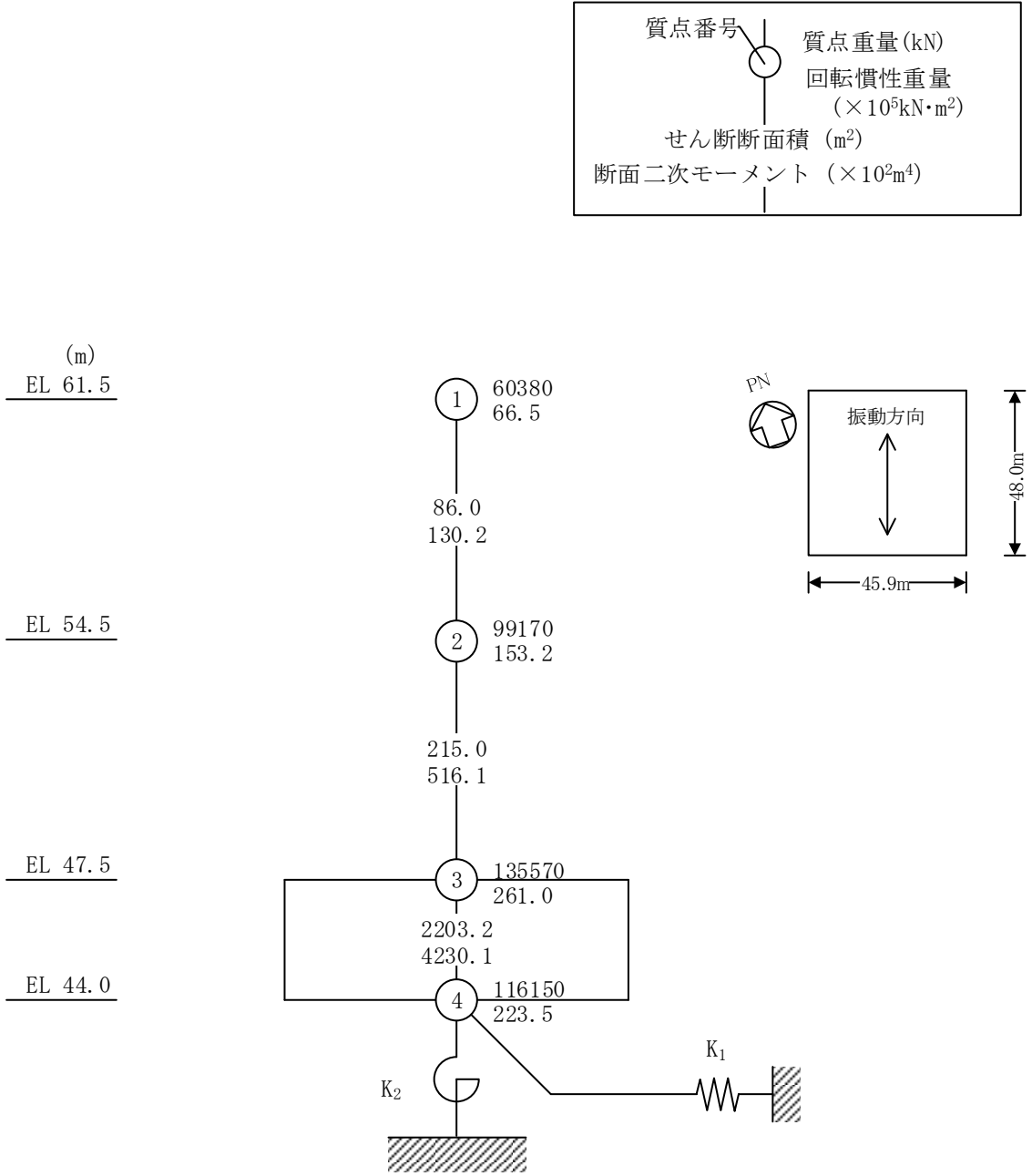


図 3-5(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)

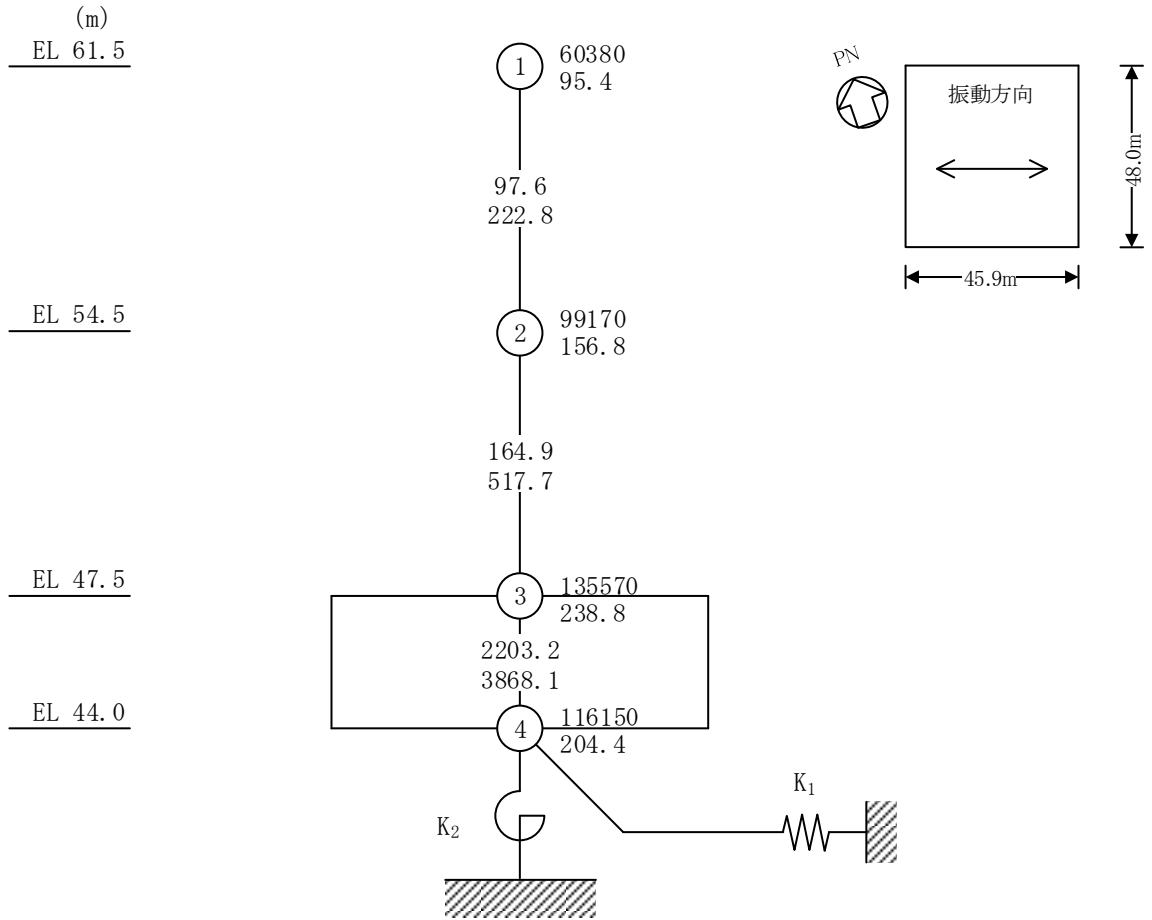
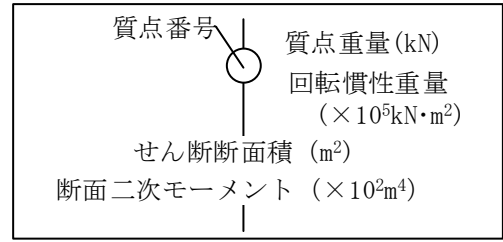
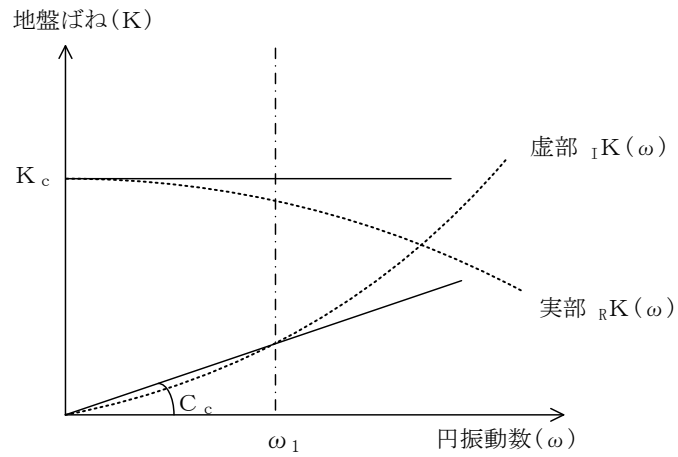


図 3-5(2) 地震応答解析モデル (EW方向)





ばね定数 : 0Hz のばね定数  $K_c$  で定数化

減衰係数 : 地盤-建物連成系の 1 次固有円振動数  $\omega_1$  に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き  $C_c$  で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-2 地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

(a) NS 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K1	底面・水平	$4.32 \times 10^8$ (kN/m)	$5.33 \times 10^6$ (kN・s/m)
K2	底面・回転	$3.21 \times 10^{11}$ (kN・m/rad)	$1.26 \times 10^9$ (kN・m・s/rad)

(b) EW 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K1	底面・水平	$4.34 \times 10^8$ (kN/m)	$5.38 \times 10^6$ (kN・s/m)
K2	底面・回転	$3.01 \times 10^{11}$ (kN・m/rad)	$1.11 \times 10^9$ (kN・m・s/rad)

表 3-3 ガスタービン発電機建物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値

層番号	S波速度 V <sub>s</sub> (m/s)	P波速度 V <sub>p</sub> (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

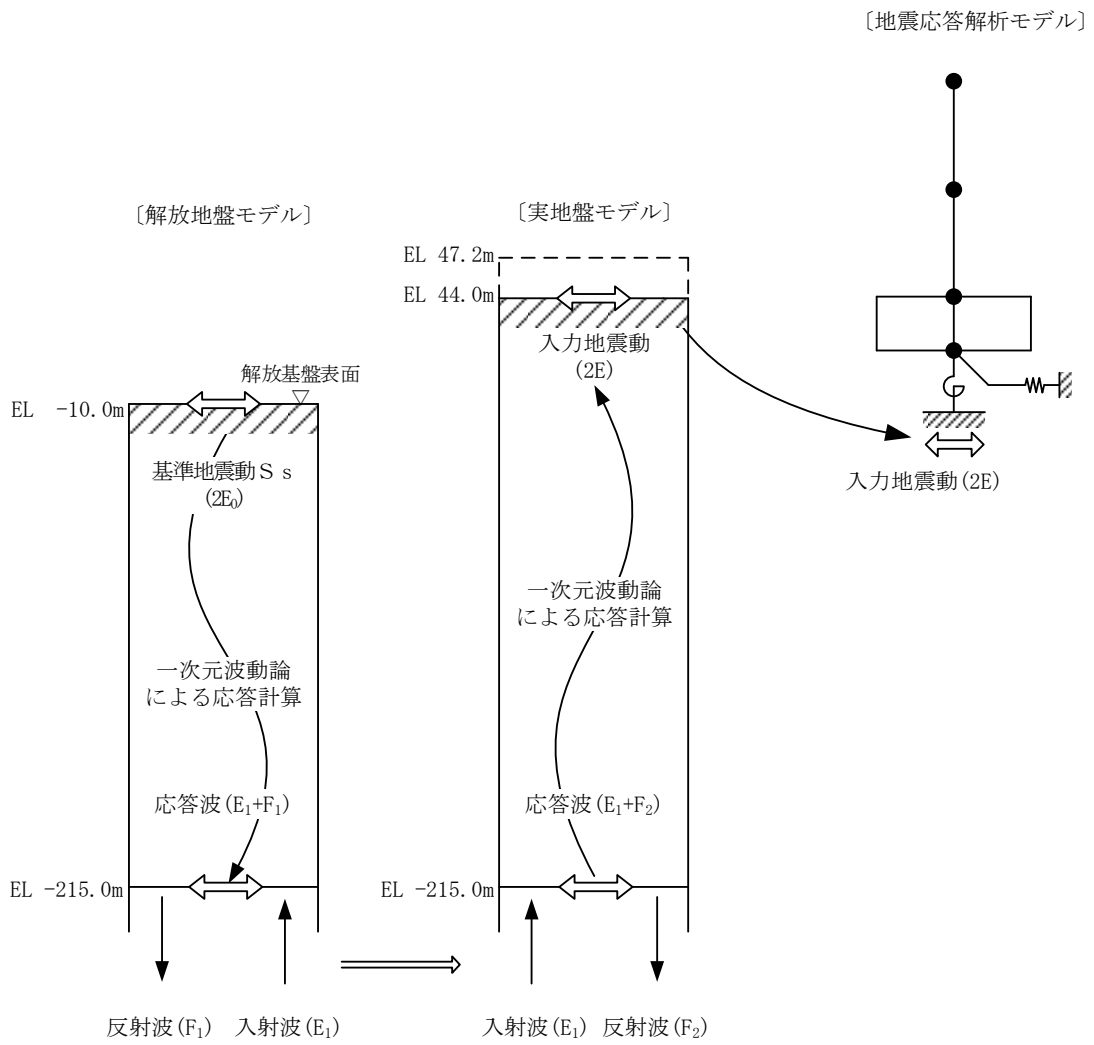


図 3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（水平方向）

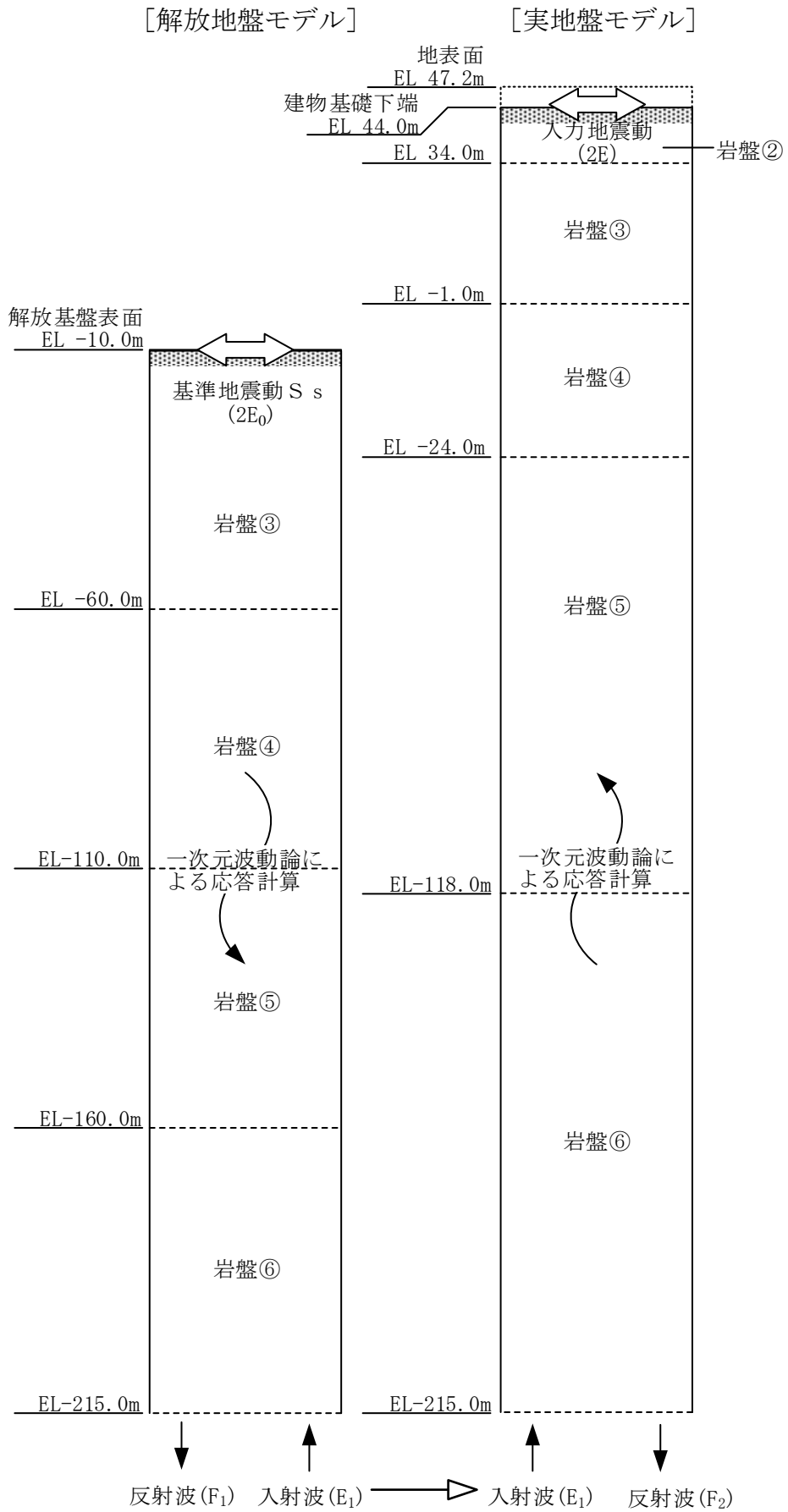


図 3-8 1次元地盤モデル (水平方向)

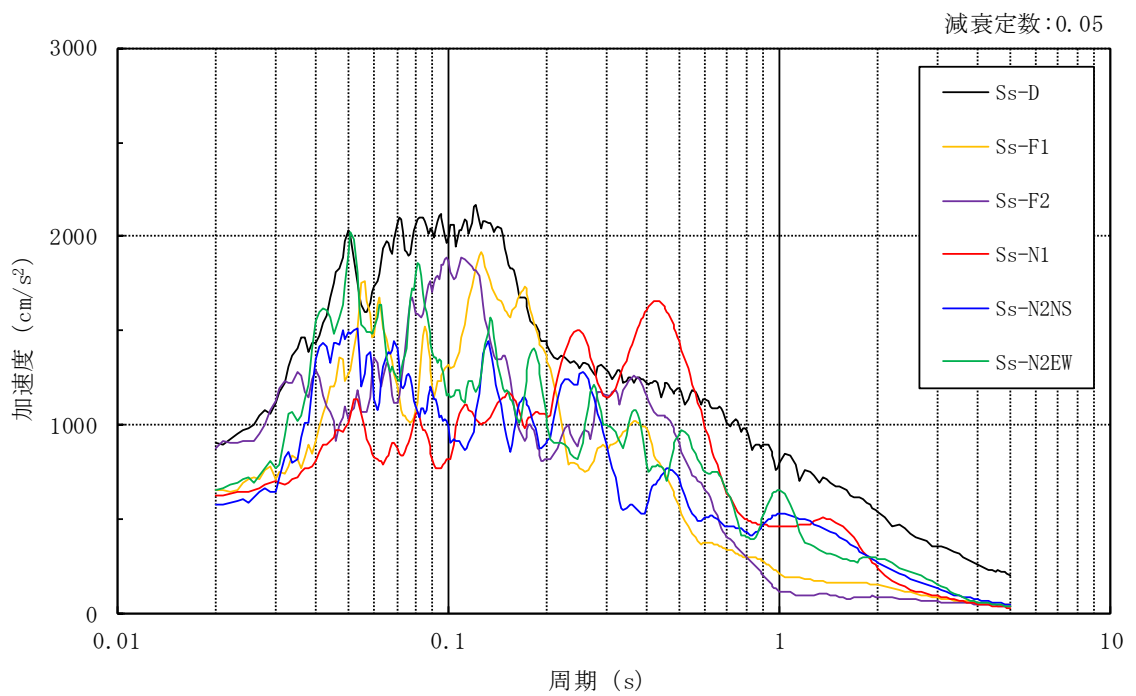
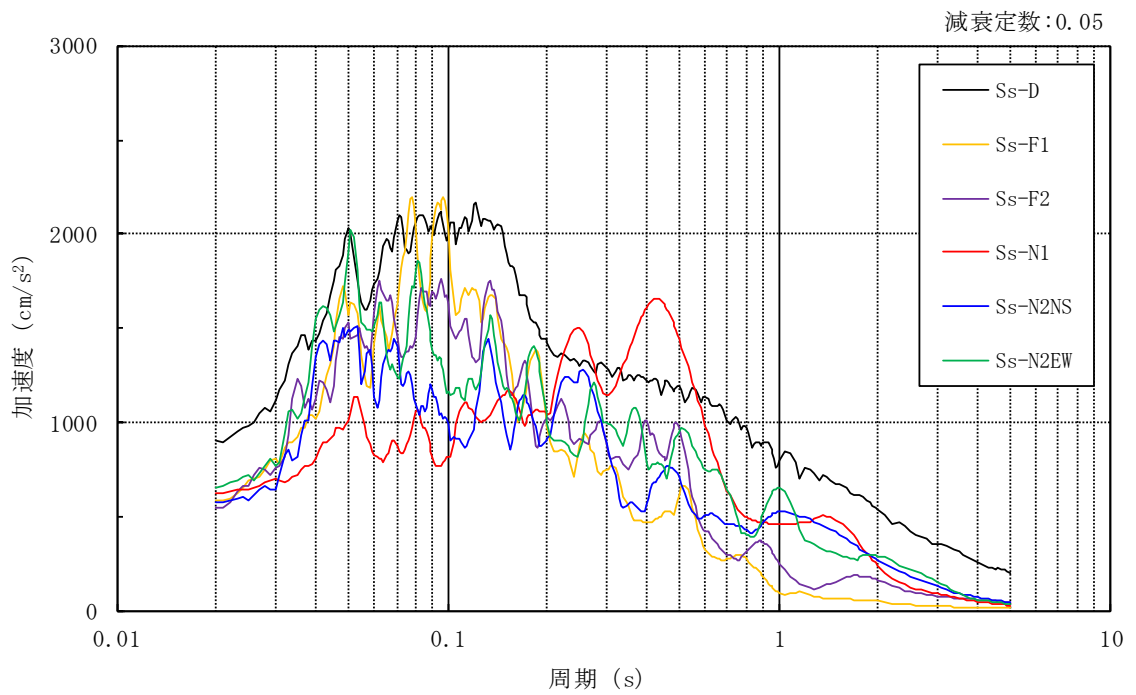


図 3-9 入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動  $S_s$ , EL 44.0m)

### 3.2.2 鉛直方向

#### (1) 地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、耐震壁の軸剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。

鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-10 に示す。

#### (2) 地盤ばね

基礎底面の地盤ばねについては、スウェイ及びロッキングばね定数の評価法と同様、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めた鉛直ばねを近似法により定数化して用いる。地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-4 に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### (3) 入力地震動

鉛直方向モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を 1 次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215m の入射波を算定する。算定した EL-215m の入射波を建物位置での地盤をモデル化した 1 次元地盤に入力して一次元波動論に基づく評価を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 3-11 に、1 次元地盤モデルを図 3-12 に、基礎底面位置 (EL 44.0m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-13 に示す。なお、地盤物性値は表 3-3 に示すとおりである。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。評価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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

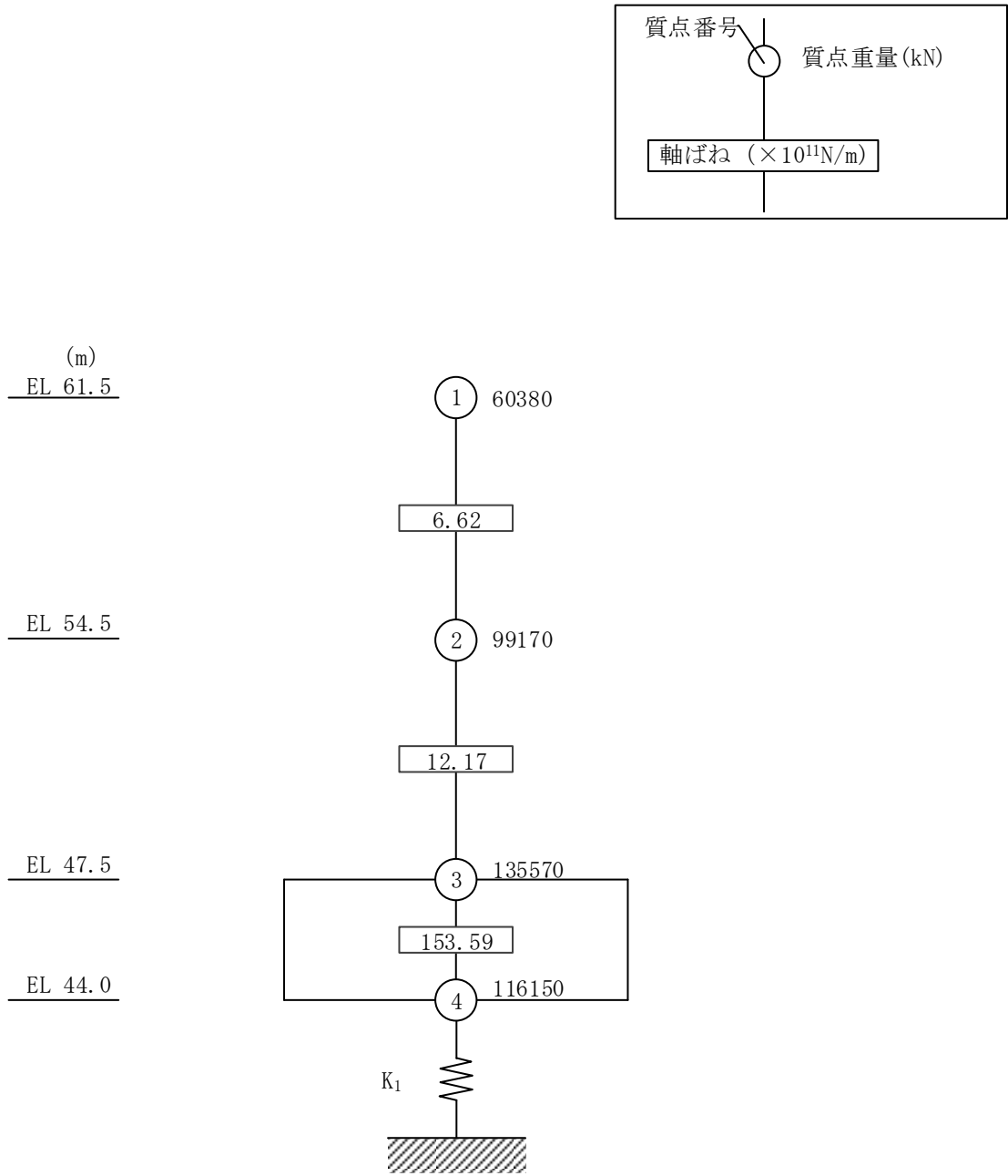


図 3-10 地震応答解析モデル (鉛直方向)

表 3-4 地盤ばね定数と減衰係数（鉛直方向）

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K c	減衰係数 C c
K1	底面・鉛直	$9.86 \times 10^8$ (kN/m)	$1.42 \times 10^7$ (kN・s/m)

S2 補 VI-2-2-16 R0

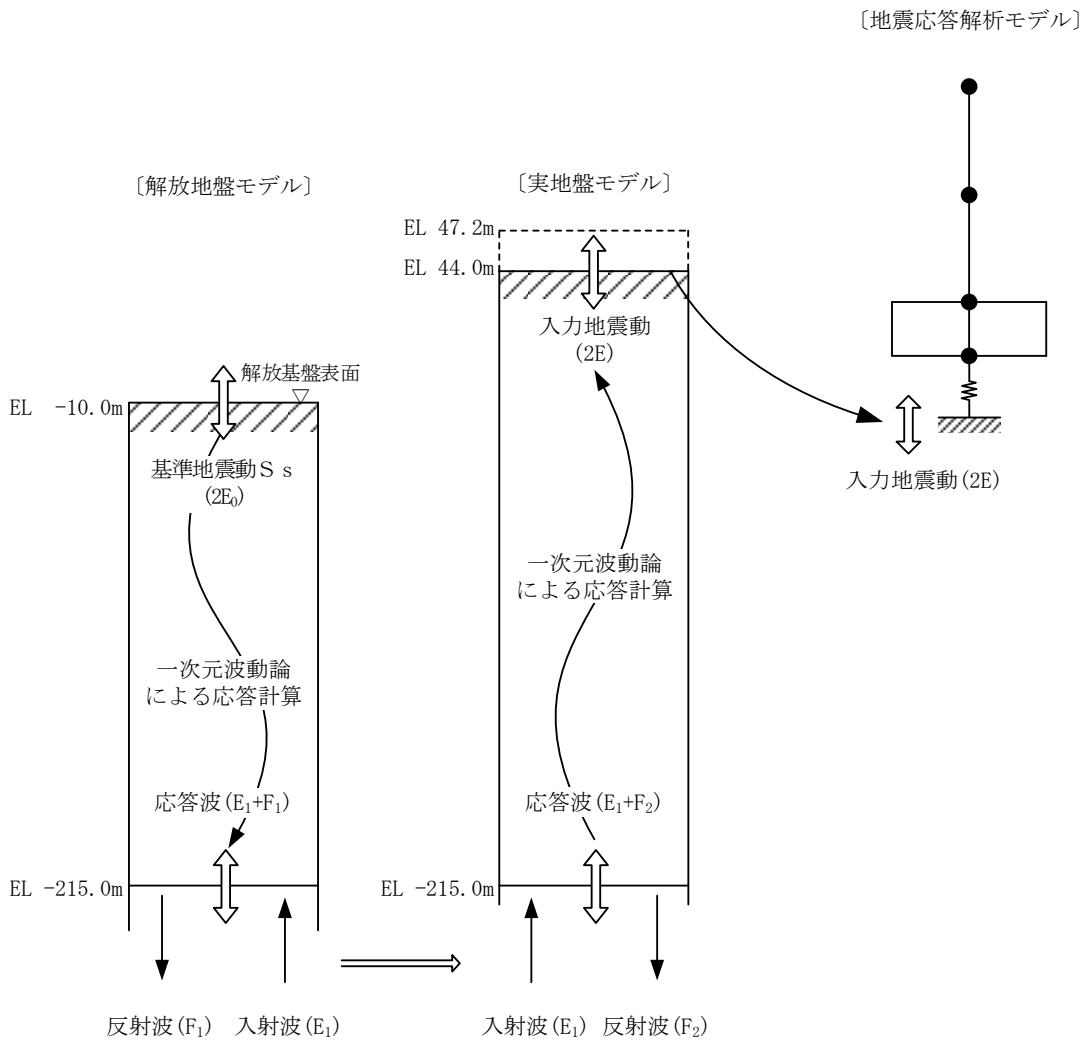


図 3-11 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）



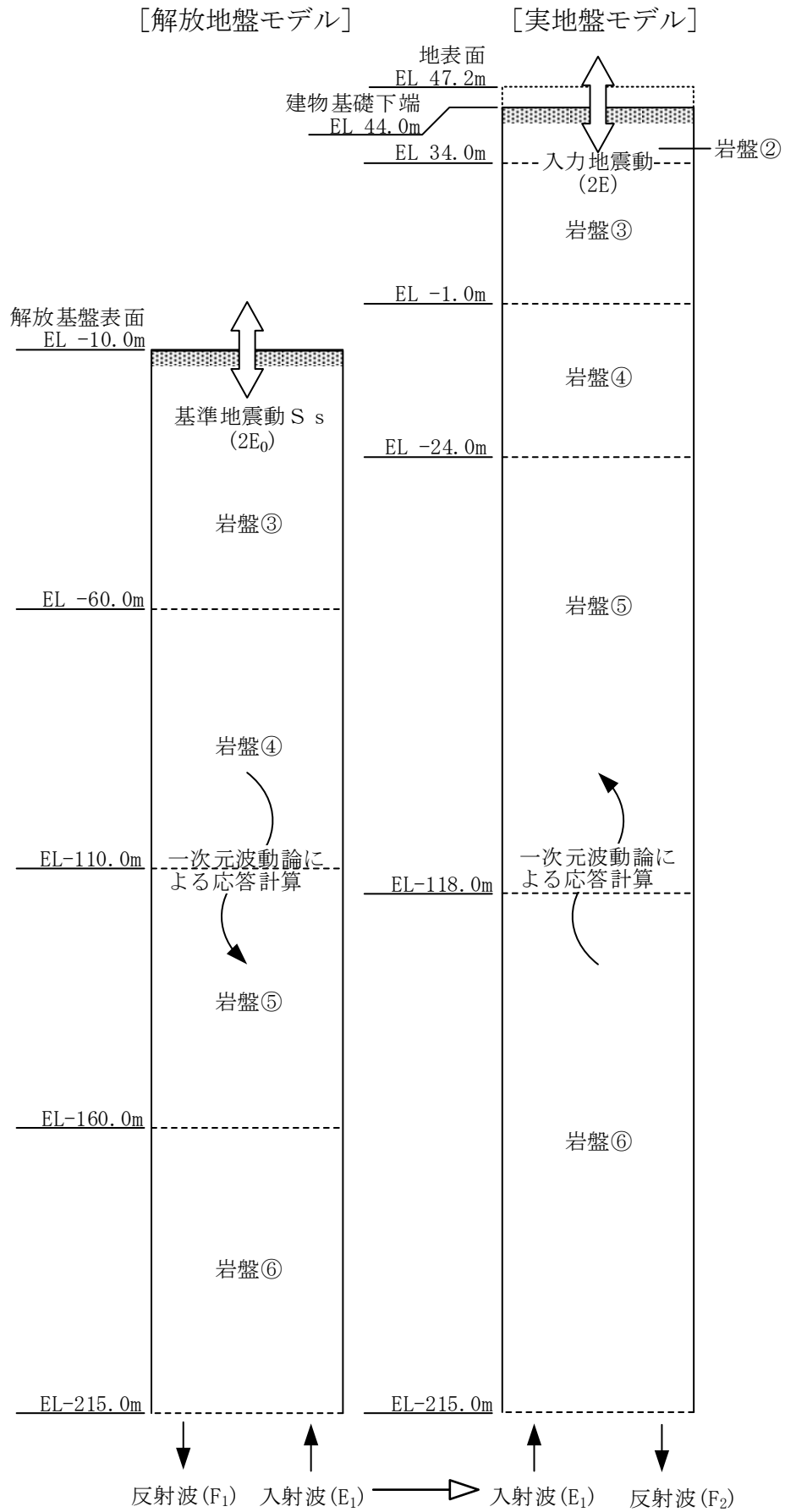


図 3-12 1次元地盤モデル (鉛直方向)

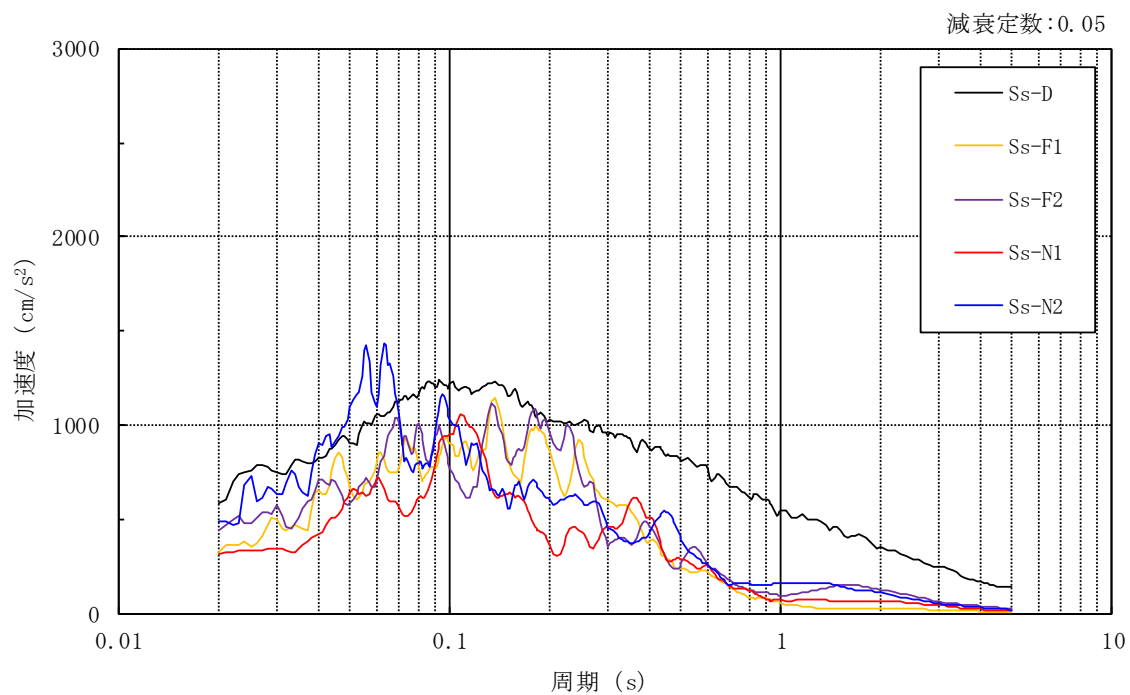


図 3-13 入力地震動の加速度応答スペクトル  
 (基準地震動 S s , 鉛直方向, EL 44.0m)

### 3.3 解析方法

ガスタービン発電機建物について、動的解析により応答加速度、応答変位、応答せん断力、応答曲げモーメント、応答軸力、応答せん断ひずみ及び接地圧を算定する。また、静的解析により必要保有水平耐力を算定する。

ガスタービン発電機建物の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。評価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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.3.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、最大接地圧は、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008（（社）日本電気協会）」を参考に、水平応答と鉛直応答から組合せ係数法（組合せ係数は1.0と0.4）を用いて算定する。

#### 3.3.2 必要保有水平耐力

各層の必要保有水平耐力 $Q_{un}$ は、次式により算定する。必要保有水平耐力算定用の基準面は基礎スラブ上端（EL 47.5m）とする。

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud}$$

ここで、

$D_s$  : 各層の構造特性係数

$F_{es}$  : 各層の形状特性係数

地震力によって各層に生じる水平力 $Q_{ud}$ は、次式により算定する。

$$Q_{ud} = n \cdot C_i \cdot W_i$$

ここで、

$n$  : 施設の重要度分類に応じた係数（1.0）

$C_i$  : 第*i*層の地震層せん断力係数

$W_i$  : 第*i*層が支える重量

地震層せん断力係数  $C_i$  は、次式により算定する。

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

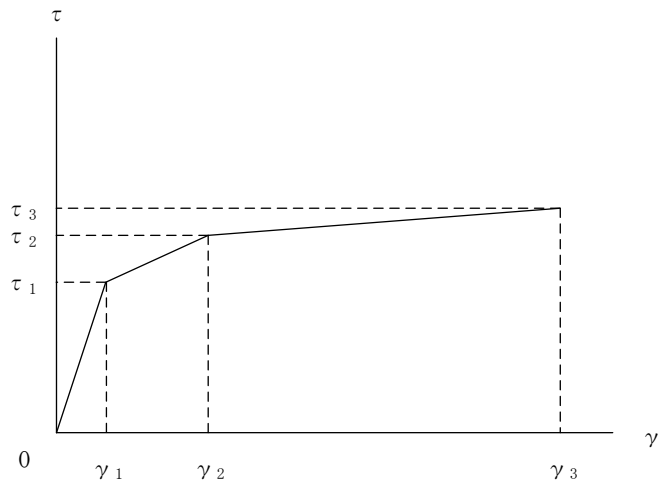
- $Z$  : 地震地域係数 (1.0)
- $R_t$  : 振動特性係数 (0.8)
- $A_i$  : 第  $i$  層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- $C_0$  : 標準せん断力係数 (1.0)

### 3.4 解析条件

#### 3.4.1 建物・構築物の復元力特性

##### (1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－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」に基づき，トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-14 に示す。

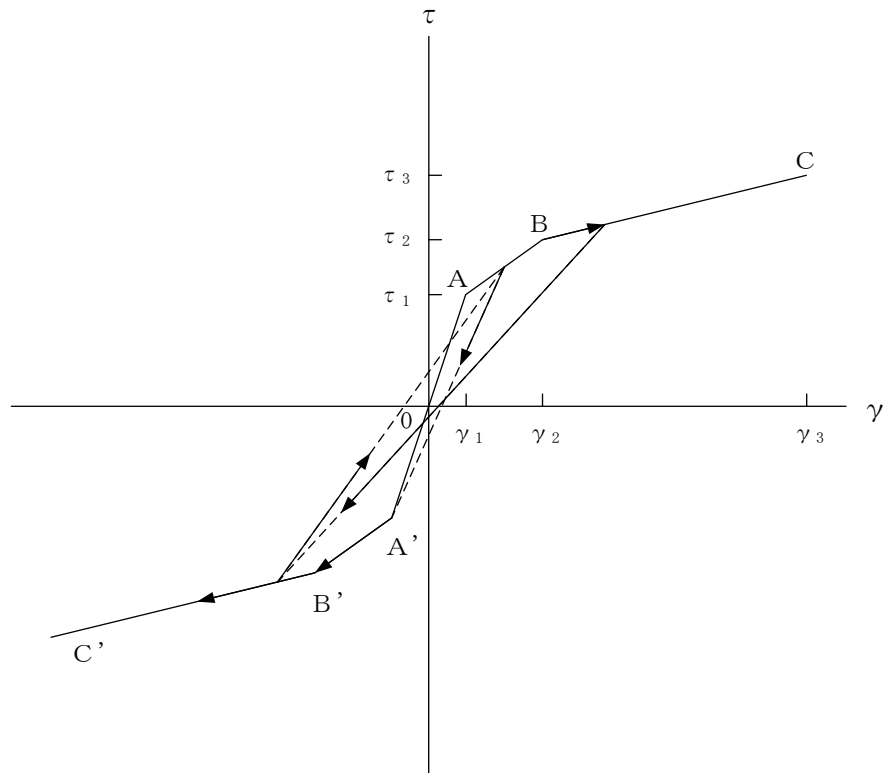


- $\tau_1$  : 第 1 折点のせん断応力度
- $\tau_2$  : 第 2 折点のせん断応力度
- $\tau_3$  : 終局点のせん断応力度
- $\gamma_1$  : 第 1 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_2$  : 第 2 折点のせん断ひずみ
- $\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $4.0 \times 10^{-3}$ )

図 3-14 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

## (2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-15 に示す。

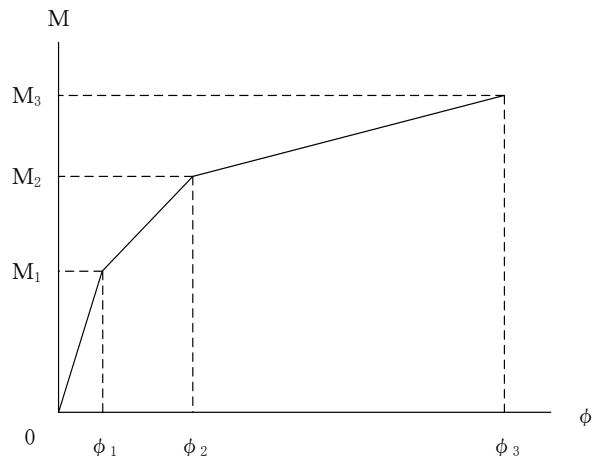


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-15 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- $\phi$  関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-16 に示す。



$M_1$  : 第 1 折点の曲げモーメント

$M_2$  : 第 2 折点の曲げモーメント

$M_3$  : 終局点の曲げモーメント

$\phi_1$  : 第 1 折点の曲率

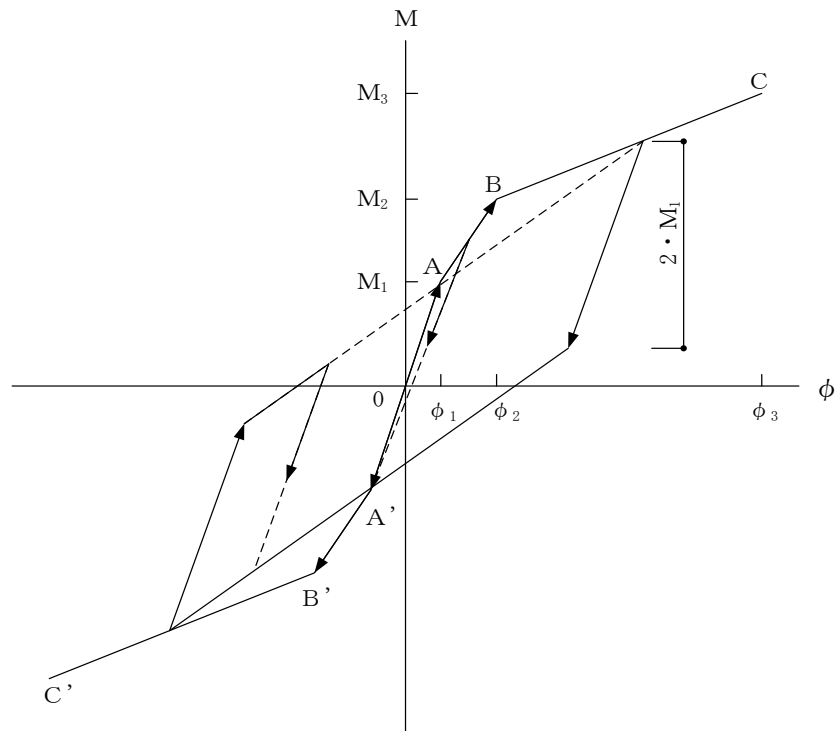
$\phi_2$  : 第 2 折点の曲率

$\phi_3$  : 終局点の曲率

図 3-16 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

## (4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-17 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から  $2 \cdot M_1$  を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を越えていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-17 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性



(5) スケルトン曲線の諸数値

ガスタービン発電機建物の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表 3-5～表 3-8 に示す。

表 3-5 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (N S 方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
61.5~54.5	1.85	2.50	6.06	0.181	0.543	4.00
54.5~47.5	1.91	2.58	6.15	0.188	0.563	4.00

表 3-6 せん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (E W 方向)

EL (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
61.5~54.5	1.85	2.50	6.11	0.181	0.544	4.00
54.5~47.5	1.91	2.58	6.13	0.188	0.562	4.00

表 3-7 曲げスケルトン曲線 ( $M - \phi$  関係) (N S 方向)

EL (m)	$M_1$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-6}$ /m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-6}$ /m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-6}$ /m)
61.5~54.5	2.04	4.16	6.39	6.41	65.3	1080
54.5~47.5	6.61	15.3	24.4	5.25	52.5	828

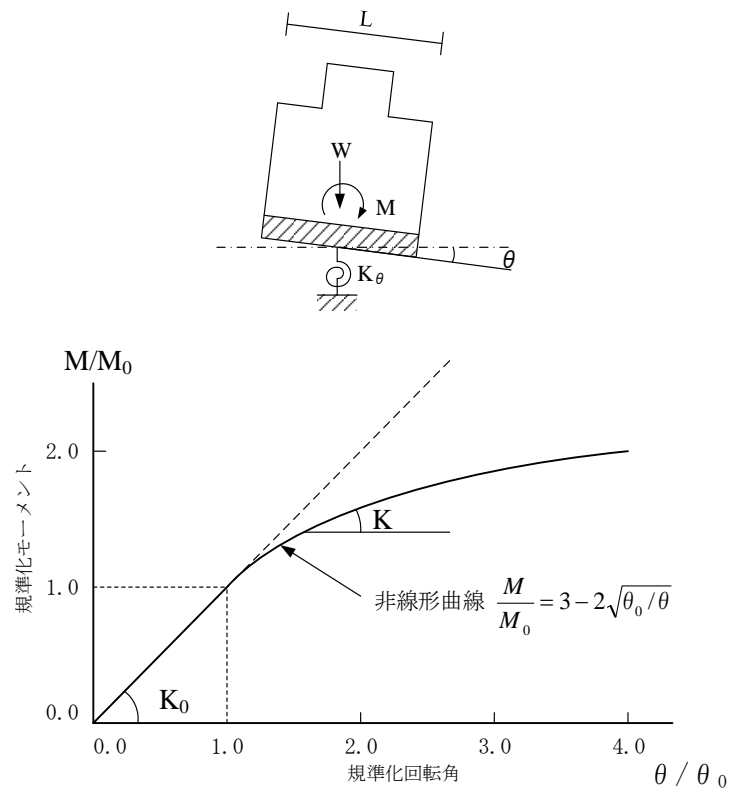
表 3-8 曲げスケルトン曲線 ( $M - \phi$  関係) (E W 方向)

EL (m)	$M_1$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$M_2$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$M_3$ ( $\times 10^6$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-6}$ /m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-6}$ /m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-6}$ /m)
61.5~54.5	2.71	5.82	9.21	4.99	48.8	976
54.5~47.5	6.65	13.8	20.6	5.26	48.7	974

### 3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-18 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は，図 3-18 の曲線で表され，減衰係数は，回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



$M$  : 転倒モーメント

$M_0$  : 浮上り限界転倒モーメント ( $=W \cdot L / 6$ )

$\theta$  : 回転角

$\theta_0$  : 浮上り限界回転角

$K_0$  : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)

$K$  : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)

$W$  : 建物総重量

$L$  : 建物基礎幅

図 3-18 地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角関係

### 3.4.3 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.2 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度及びP波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。なお、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-9に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-10に示す。

表3-9 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%, +20%)	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%, -20%)	
ケース4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

表 3-10 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

(a) S波速度

層番号	地盤の S 波速度 $V_s$ (m/s)		
	基本ケース	+ $\sigma$ 相当	- $\sigma$ 相当
岩盤②	900	1080	720
岩盤③	1600	1760	1440
岩盤④	1950	2145	1755
岩盤⑤	2000	2200	1800
岩盤⑥	2350	2585	2115

(b) P波速度

層番号	地盤の P 波速度 $V_p$ (m/s)		
	基本ケース	+ $\sigma$ 相当	- $\sigma$ 相当
岩盤②	2100	2520	1680
岩盤③	3600	3960	3240
岩盤④	4000	4400	3600
岩盤⑤	4050	4455	3645
岩盤⑥	4950	5445	4455

## 4. 解析結果

### 4.1 動的解析

本資料においては、代表として、基準地震動  $S_s$  の基本ケースの地震応答解析結果を示す。

#### 4.1.1 固有値解析結果

基本ケースの地震応答解析モデルの固有値解析結果（固有周期，固有振動数及び刺激係数）を表 4-1 に示す。刺激関数図を図 4-1～図 4-3 に示す。

なお，刺激係数は，モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。

#### 4.1.2 地震応答解析結果

基準地震動  $S_s$  による最大応答値を図 4-4～図 4-14 及び表 4-2～表 4-14 に示す。また，基準地震動  $S_s$  に対する最大応答値を図 4-15～図 4-18 の耐震壁のスケルトン曲線上にプロットして示す。

接地率を表 4-15 に示す。

表 4-1 固有値解析結果

(a) N S 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.080	12.52	1.587	建物—地盤連成 1 次
2	0.044	22.86	-0.624	

(b) E W 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.082	12.16	1.538	建物—地盤連成 1 次
2	0.043	23.02	-0.551	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.046	21.96	1.354	建物—地盤連成 1 次
2	0.020	49.39	-0.405	

注記\* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

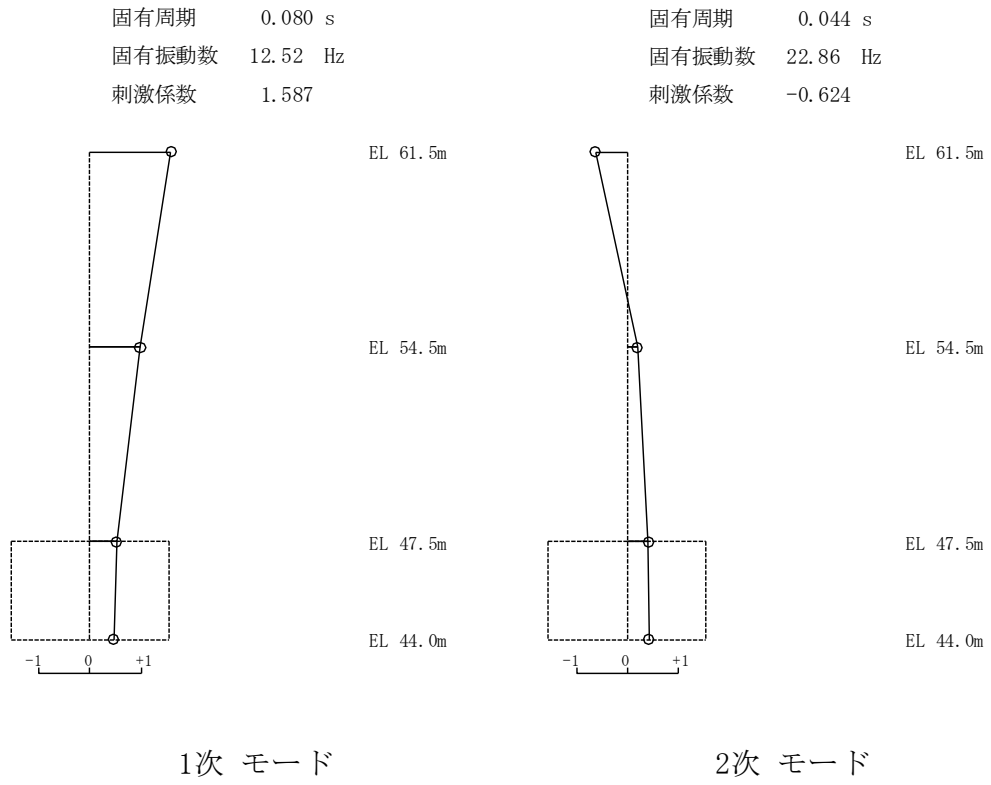


図 4-1 刺激関数図 (N S 方向)

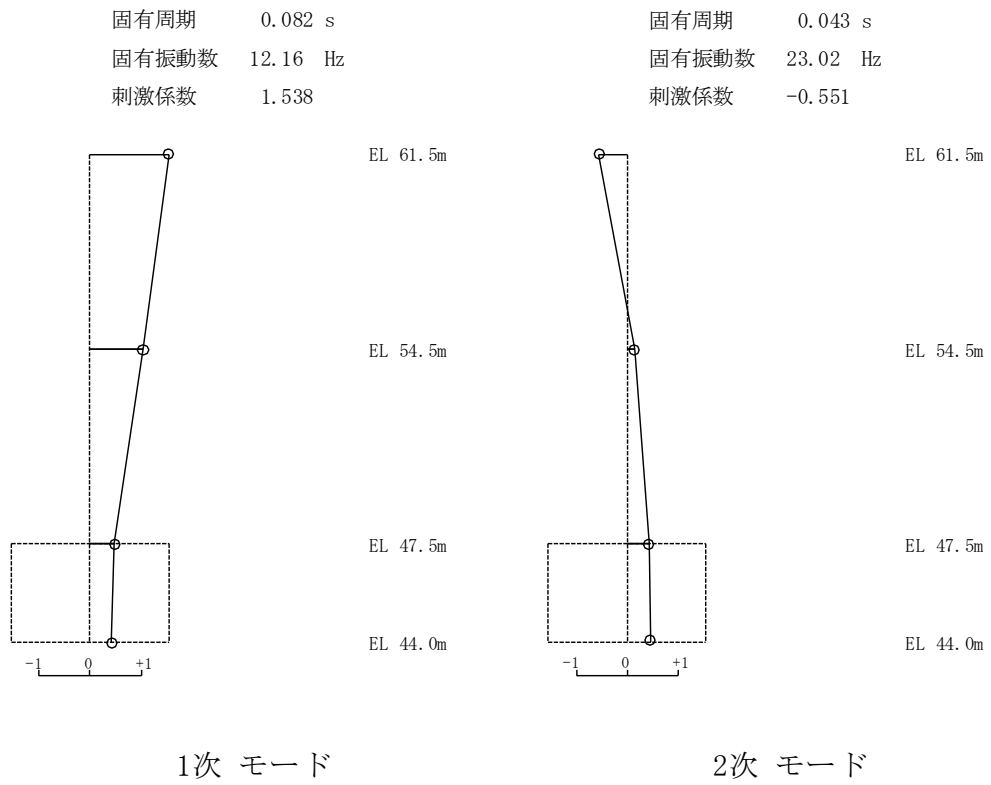
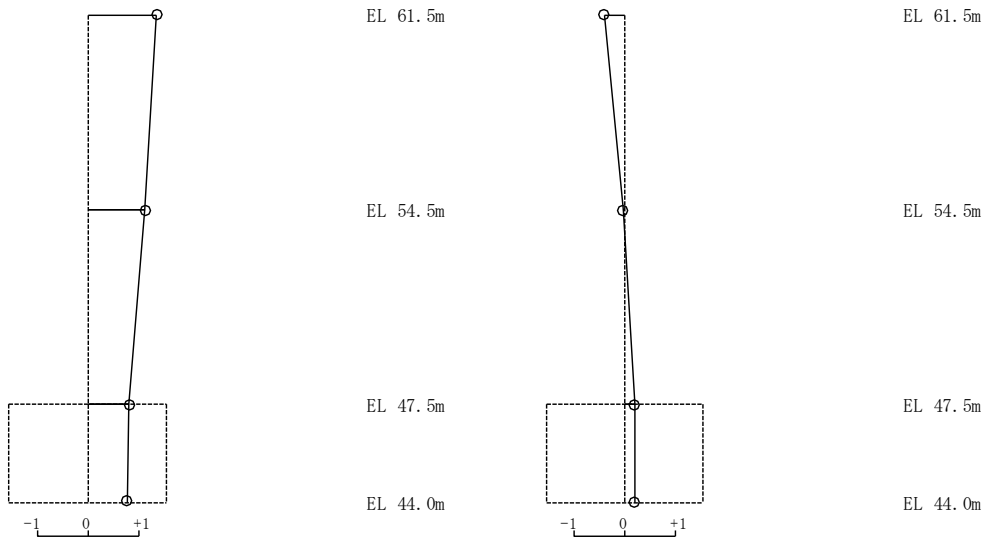


図 4-2 刺激関数図 (E W 方向)



固有周期 0.046 s  
 固有振動数 21.96 Hz  
 刺激係数 1.354

固有周期 0.020 s  
 固有振動数 49.39 Hz  
 刺激係数 -0.405



1次モード

2次モード

図 4-3 刺激関数図 (鉛直方向)

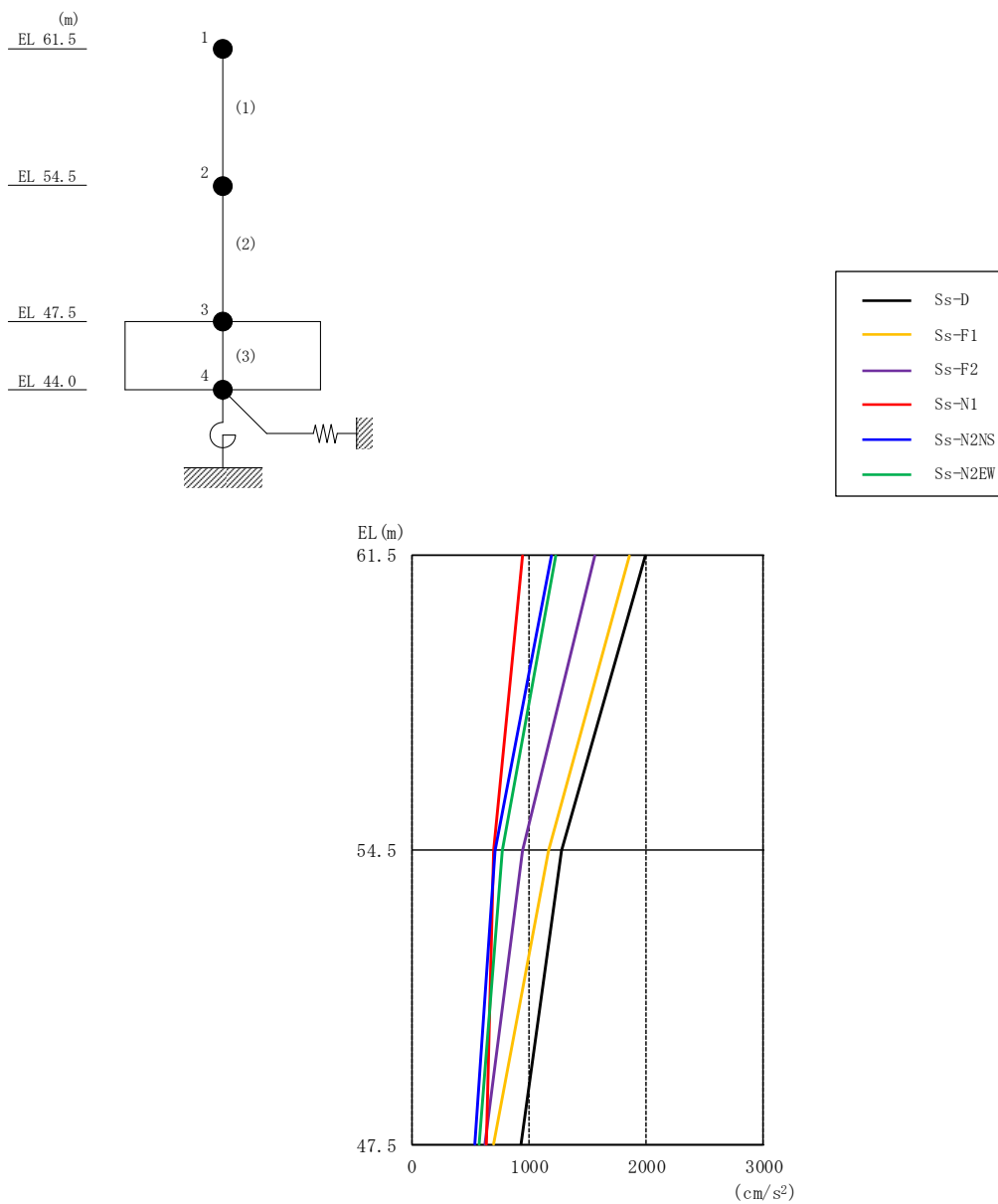


図 4-4 最大応答加速度 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)

表 4-2 最大応答加速度一覧 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)

EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
61.5	1	1990	1854	1555	944	1194	1222	1990
54.5	2	1281	1164	939	694	707	769	1281
47.5	3	927	700	626	631	532	571	927

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

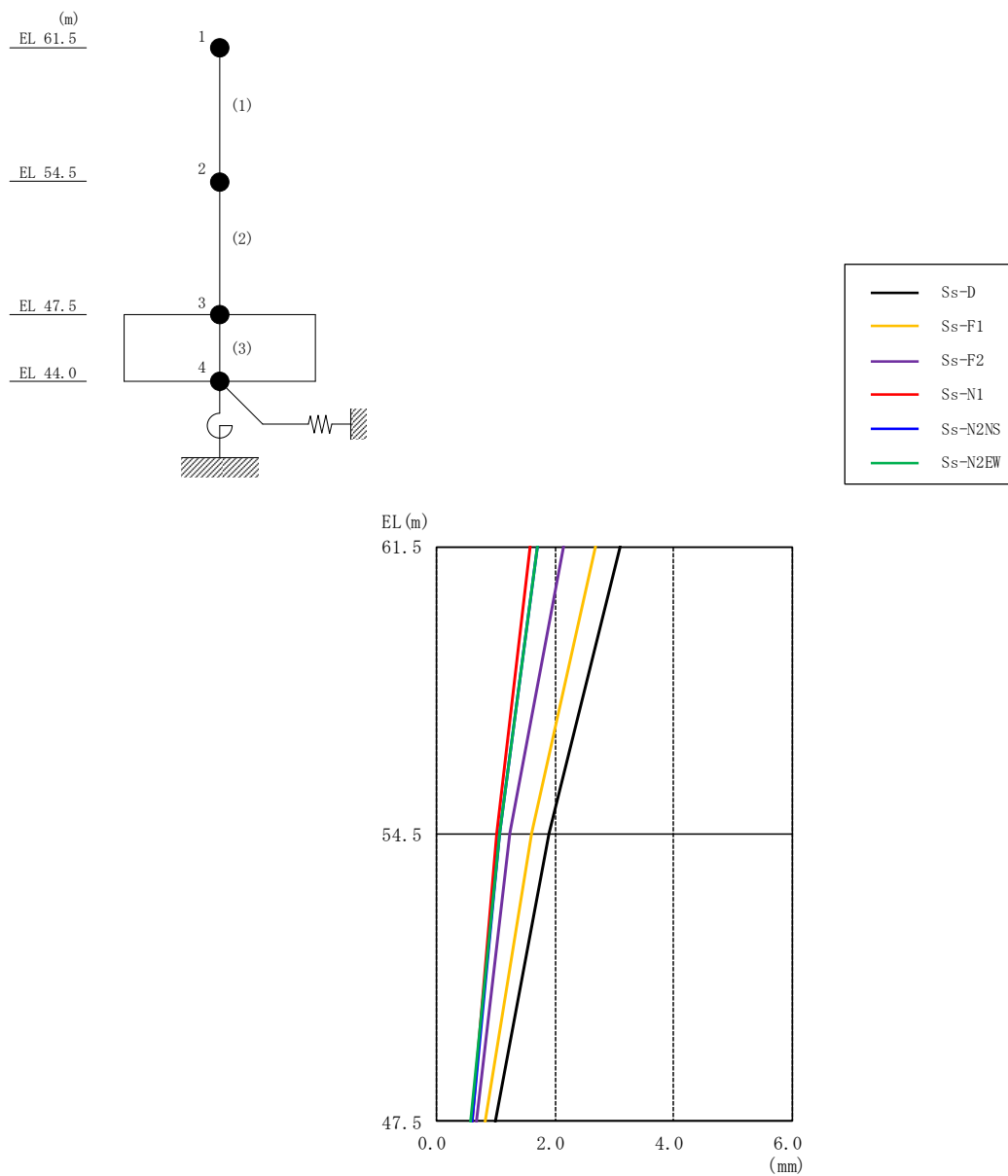


図 4-5 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)

表 4-3 最大応答変位一覧 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)

EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
61.5	1	3.09	2.69	2.14	1.58	1.69	1.71	3.09
54.5	2	1.91	1.59	1.22	1.01	1.07	1.06	1.91
47.5	3	0.99	0.81	0.66	0.60	0.58	0.58	0.99

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

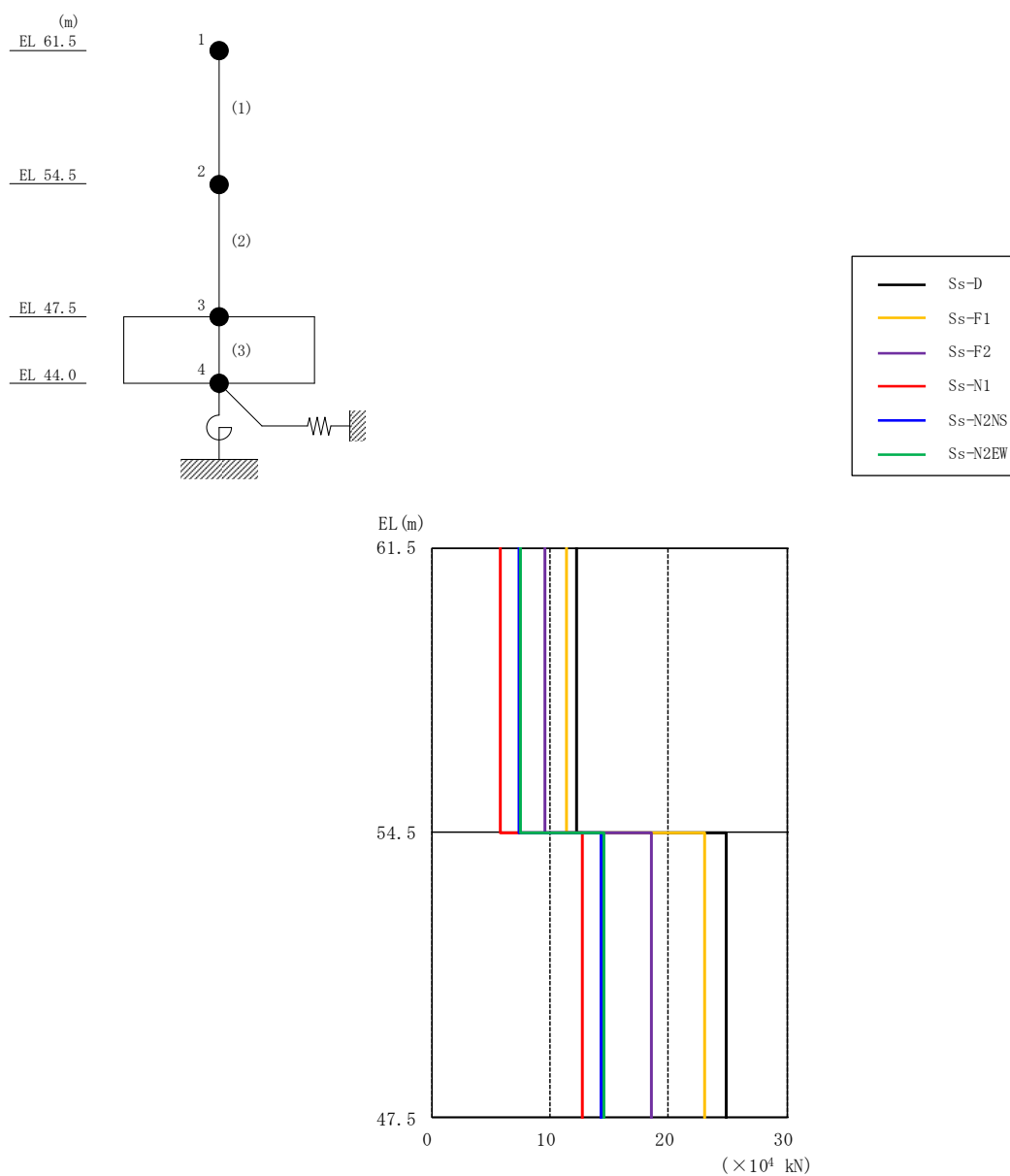


図 4-6 最大応答せん断力（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向）

表 4-4 最大応答せん断力一覧（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向）

EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 ( $\times 10^4$ kN)						最大値
		$S_s$ -D	$S_s$ -F1	$S_s$ -F2	$S_s$ -N1	$S_s$ -N2NS	$S_s$ -N2EW	
61.5~54.5	1	12.2	11.4	9.55	5.79	7.31	7.51	12.2
54.5~47.5	2	24.8	23.0	18.5	12.7	14.3	14.5	24.8

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

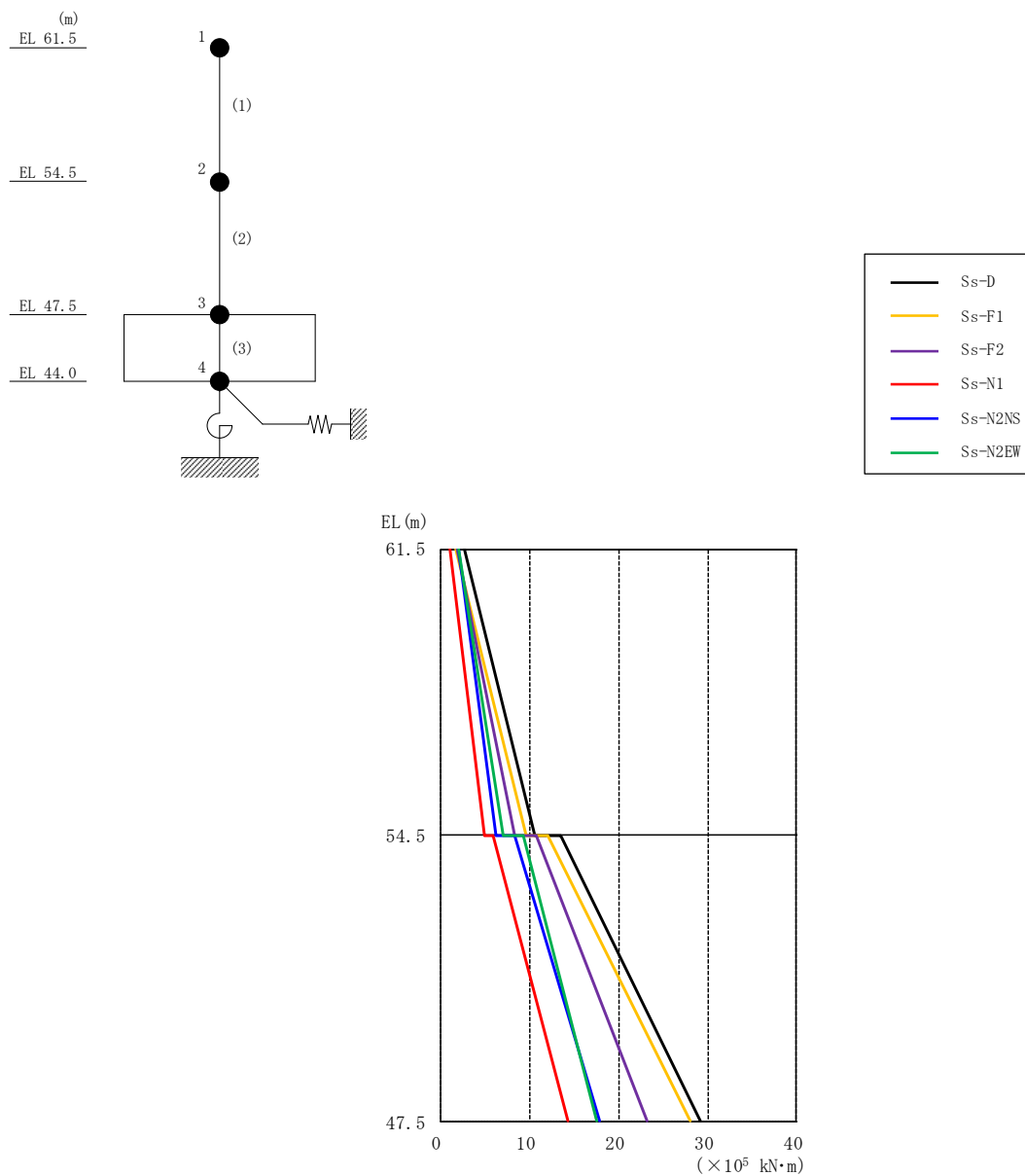


図 4-7 最大応答曲げモーメント（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向）

表 4-5 最大応答曲げモーメント一覧（基準地震動  $S_s$ ，NS 方向）

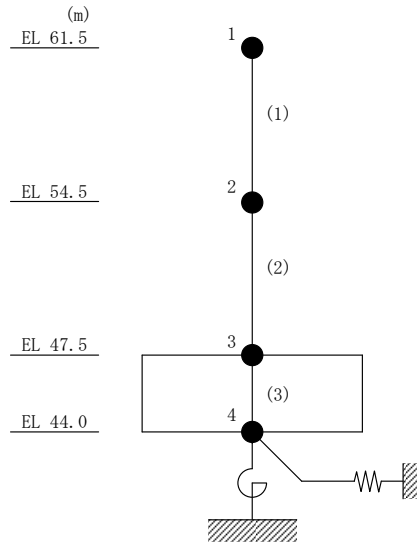
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ( $\times 10^5$ kN·m)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
61.5~54.5	1	2.63	1.70	1.77	1.02	1.93	1.98	2.63
		10.5	9.57	8.33	4.83	6.25	7.06	10.5
54.5~47.5	2	13.4	12.0	10.7	5.81	8.28	9.32	13.4
		29.1	28.1	23.1	14.2	17.8	17.5	29.1

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

表 4-6 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動  $S_s$ , NS 方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )						
		$S_s$ -D	$S_s$ -F1	$S_s$ -F2	$S_s$ -N1	$S_s$ -N2NS	$S_s$ -N2EW	最大値
61.5~54.5	1	0.14	0.13	0.11	0.07	0.08	0.09	0.14
54.5~47.5	2	0.11	0.11	0.08	0.06	0.07	0.07	0.11

注：ハッチングは  $S_s$ -D~ $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。



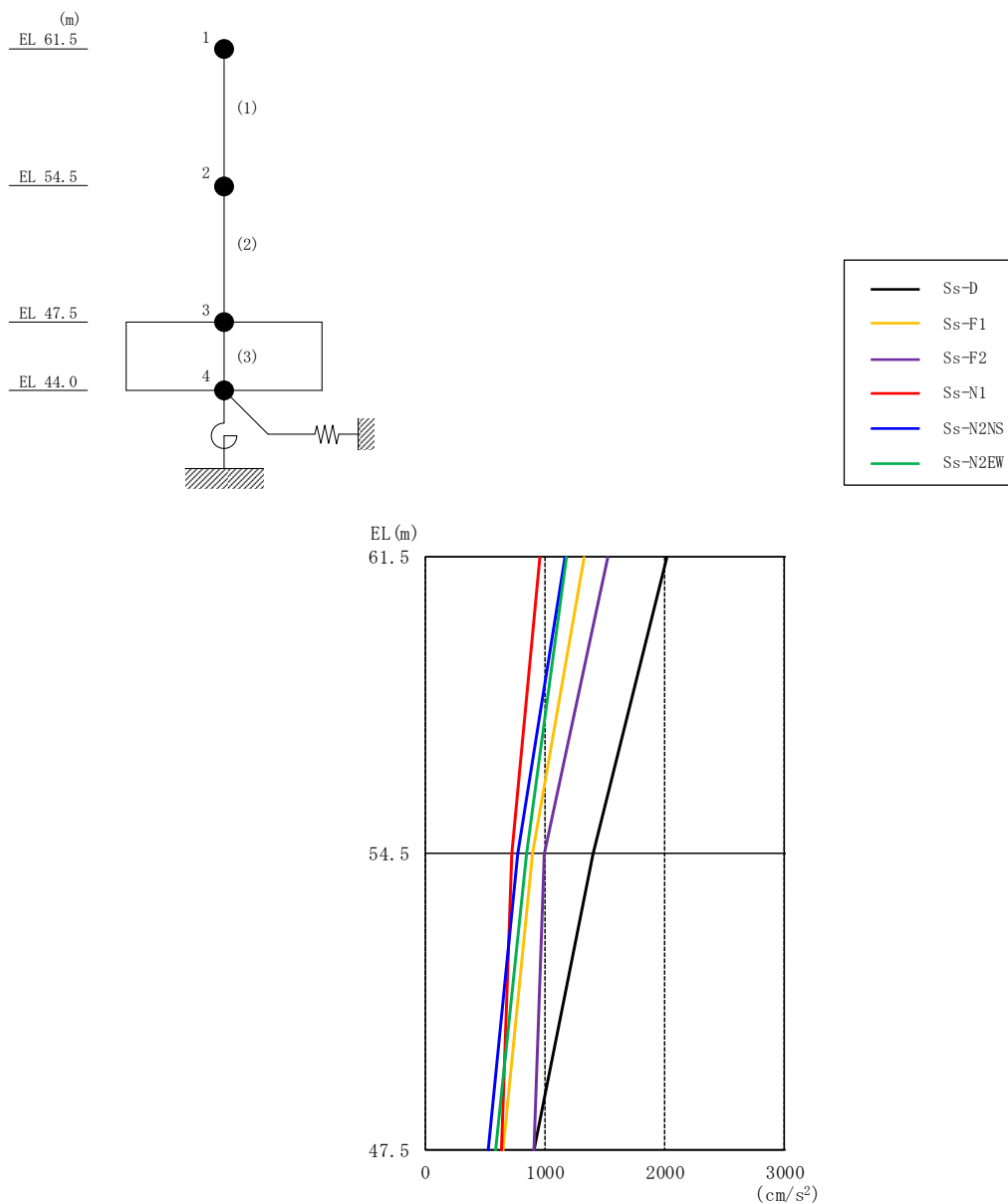


図 4-8 最大応答加速度 (基準地震動  $S_s$ , EW 方向)

表 4-7 最大応答加速度一覧 (基準地震動  $S_s$ , EW 方向)

EL (m)	質点番号	最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )						最大値
		$S_s$ -D	$S_s$ -F1	$S_s$ -F2	$S_s$ -N1	$S_s$ -N2NS	$S_s$ -N2EW	
61.5	1	2022	1326	1529	957	1160	1176	2022
54.5	2	1395	890	996	727	773	839	1395
47.5	3	909	648	908	629	529	582	909

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

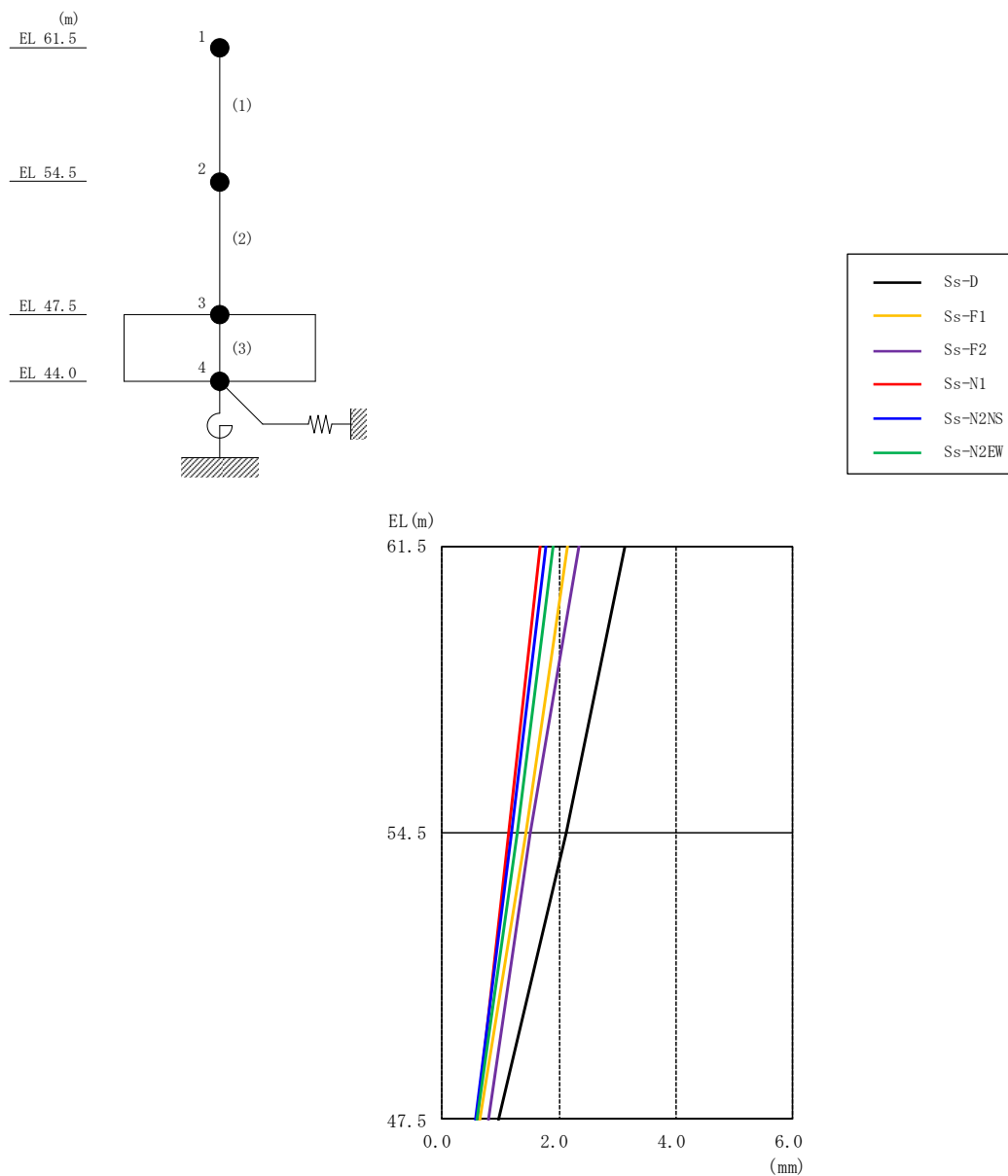


図 4-9 最大応答変位 (基準地震動  $S_s$ , EW 方向)

表 4-8 最大応答変位一覧 (基準地震動  $S_s$ , EW 方向)

EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
61.5	1	3.14	2.16	2.33	1.67	1.77	1.91	3.14
54.5	2	2.12	1.44	1.50	1.15	1.18	1.28	2.12
47.5	3	0.97	0.65	0.80	0.59	0.57	0.59	0.97

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。



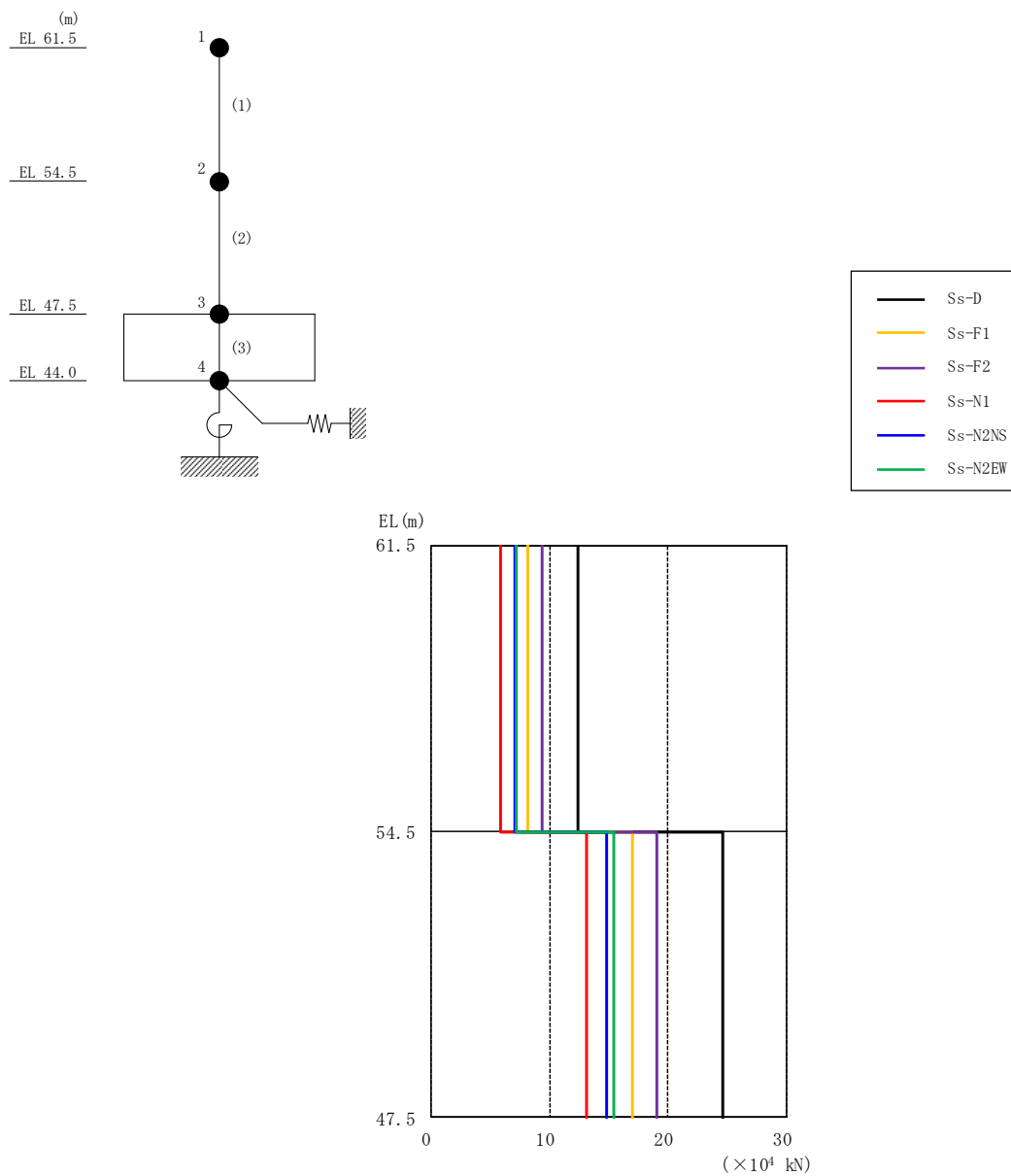


図 4-10 最大応答せん断力（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）

表 4-9 最大応答せん断力一覧（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）

EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 ( $\times 10^4$ kN)						最大値
		$S_s$ -D	$S_s$ -F1	$S_s$ -F2	$S_s$ -N1	$S_s$ -N2NS	$S_s$ -N2EW	
61.5~54.5	1	12.4	8.13	9.39	5.88	7.09	7.22	12.4
54.5~47.5	2	24.7	17.0	19.0	13.1	14.8	15.4	24.7

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

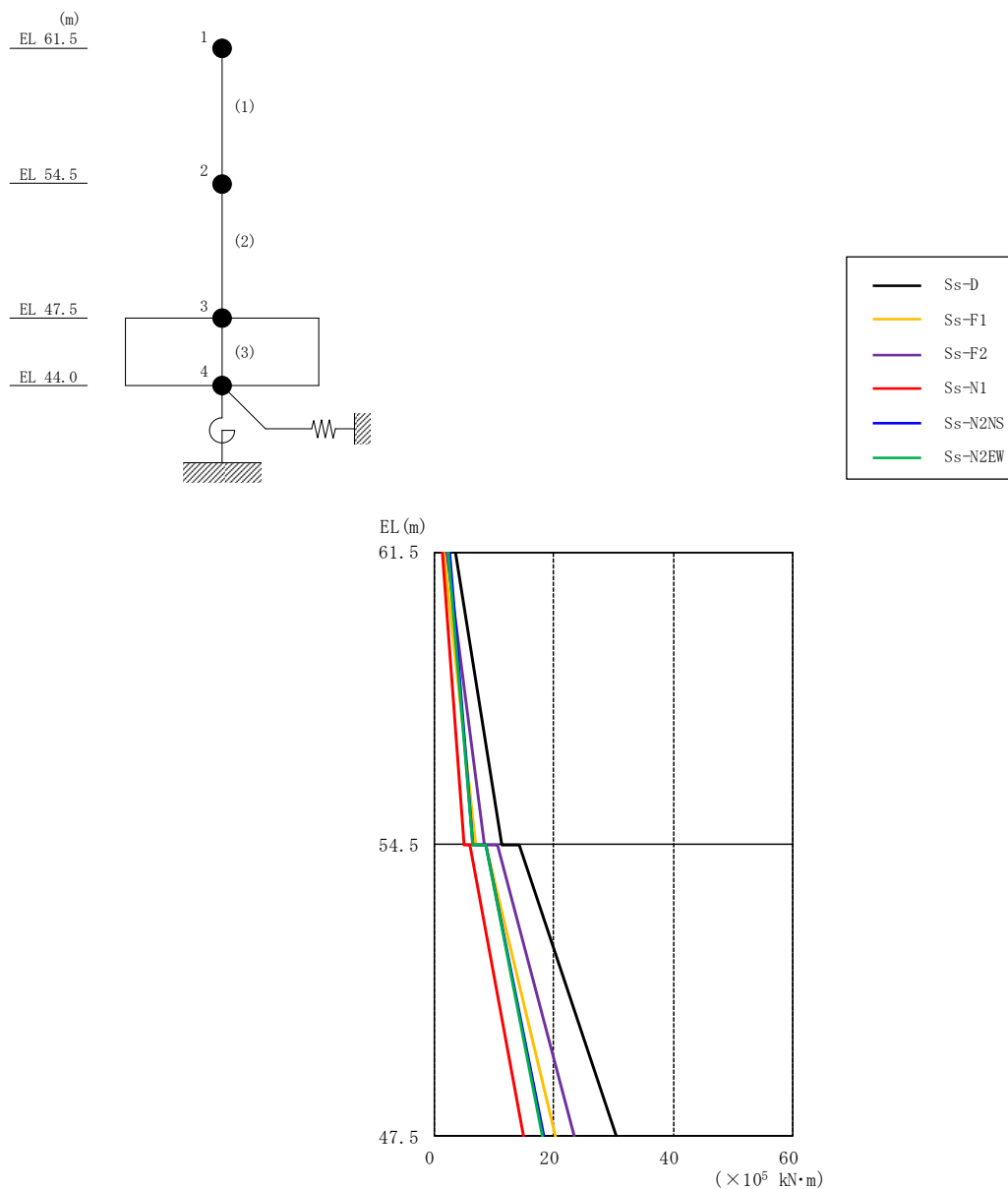


図 4-11 最大応答曲げモーメント（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）

表 4-10 最大応答曲げモーメント一覧（基準地震動  $S_s$ ，EW 方向）

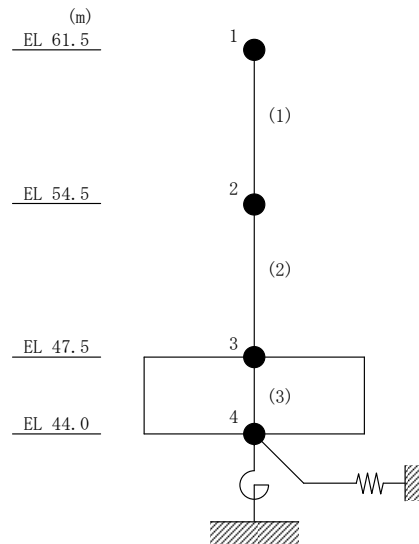
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ( $\times 10^5$ kN·m)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
61.5~54.5	1	3.51	1.62	2.07	1.31	2.42	2.37	3.51
		11.3	6.99	8.38	4.94	6.35	6.44	11.3
54.5~47.5	2	14.2	8.73	10.7	5.98	8.54	8.73	14.2
		30.6	20.3	23.5	14.8	18.3	18.1	30.6

注：ハッチングは  $S_s$ -D ~  $S_s$ -N2EW の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

表 4-11 最大応答せん断ひずみ一覧（基準地震動  $S_s$ ，EW方向）

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )						最大値
		$S_s$ -D	$S_s$ -F1	$S_s$ -F2	$S_s$ -N1	$S_s$ -N2NS	$S_s$ -N2EW	
61.5~54.5	1	0.12	0.08	0.09	0.06	0.07	0.07	0.12
54.5~47.5	2	0.15	0.10	0.11	0.08	0.09	0.09	0.15

注：ハッチングは  $S_s$ -D~ $S_s$ -N2EWの最大応答値のうち最も大きい値を表示。



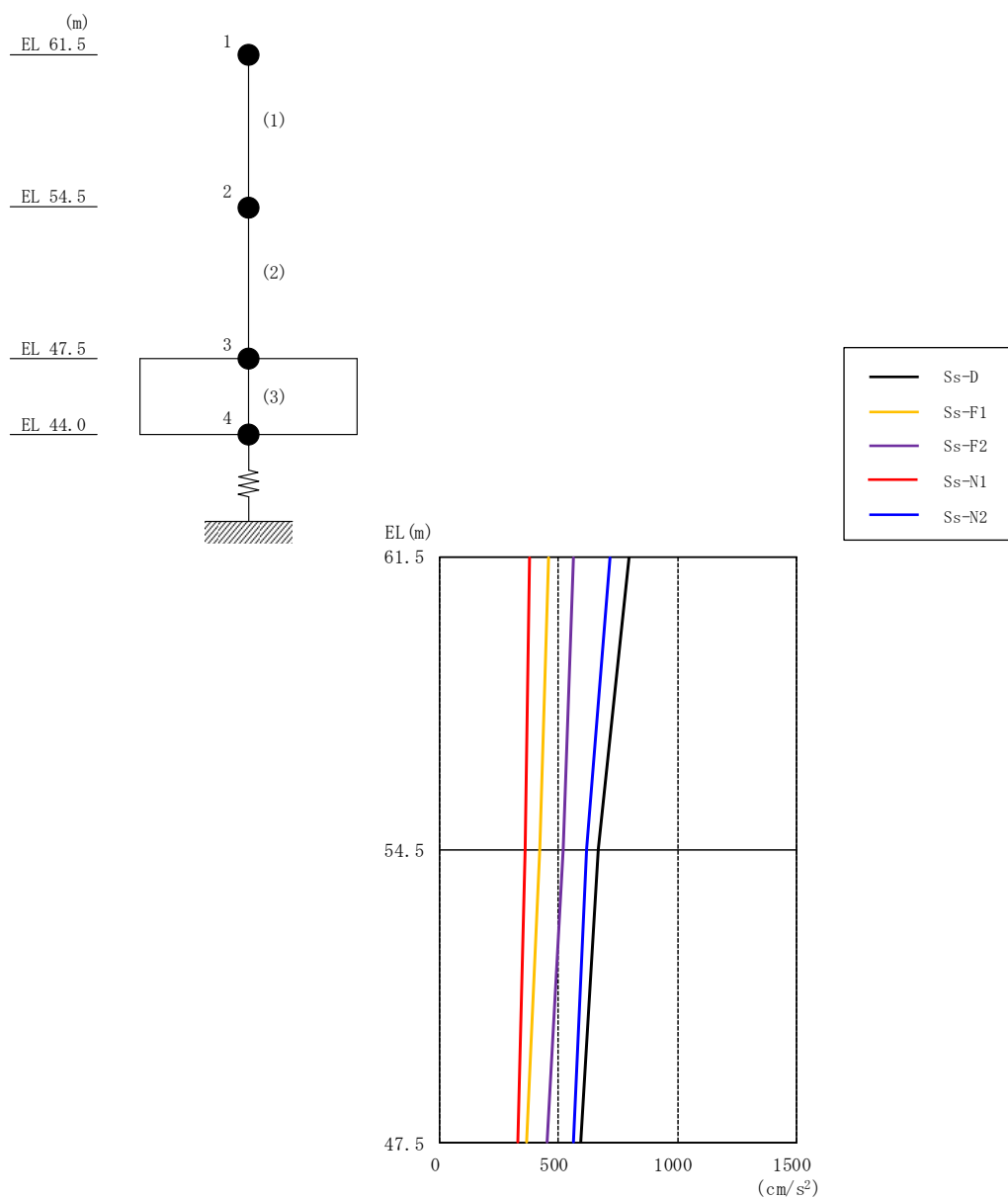


図 4-12 最大応答加速度（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

表 4-12 最大応答加速度一覧（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )					最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
61.5	1	795	455	564	376	716	795
54.5	2	667	422	516	357	618	667
47.5	3	594	362	452	327	560	594

注：ハッチングは  $S_s-D \sim S_s-N2$  の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

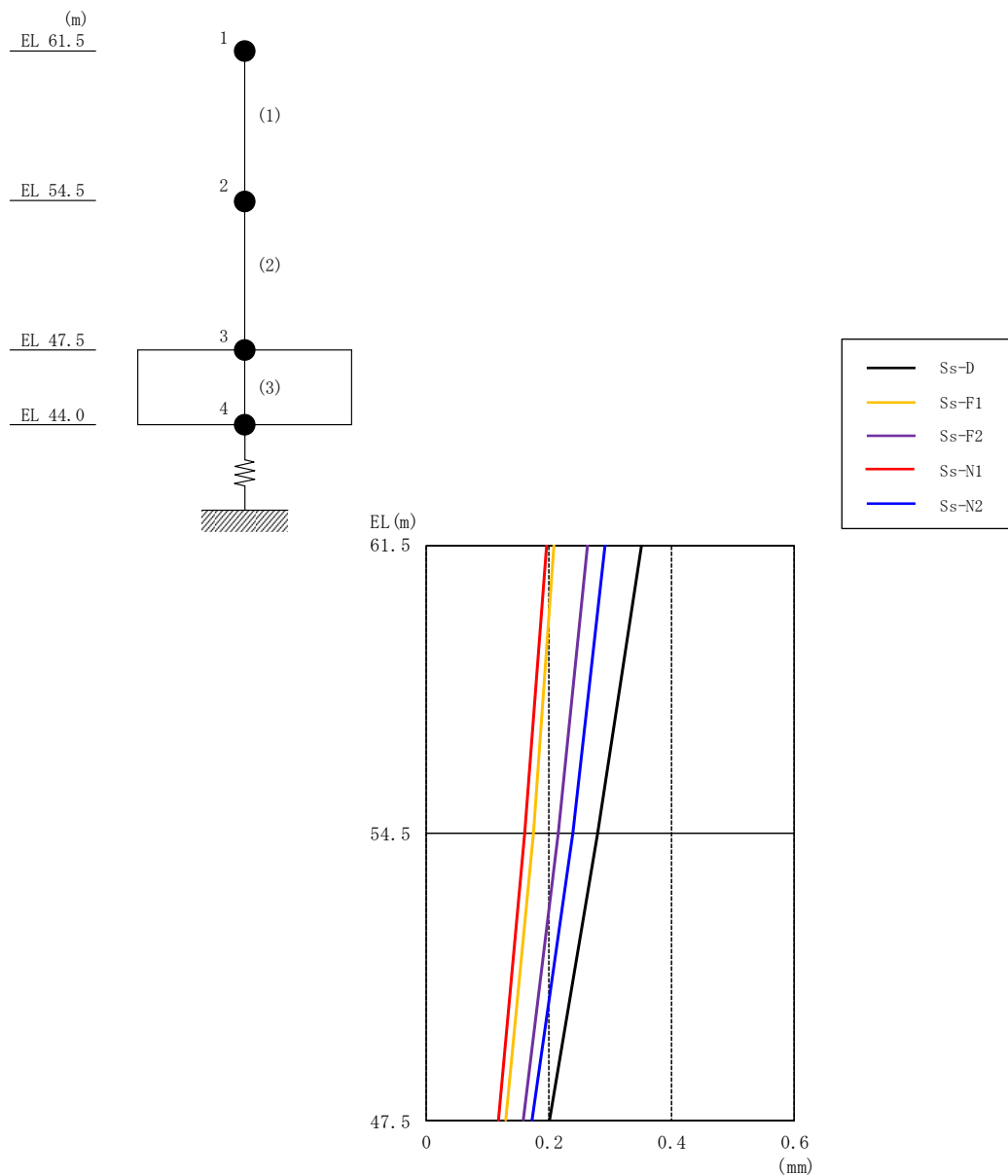


図 4-13 最大応答変位（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

表 4-13 最大応答変位一覧（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)					最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
61.5	1	0.35	0.21	0.26	0.20	0.29	0.35
54.5	2	0.28	0.17	0.22	0.16	0.24	0.28
47.5	3	0.20	0.13	0.16	0.12	0.17	0.20

注：ハッチングは  $S_s-D \sim S_s-N2$  の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

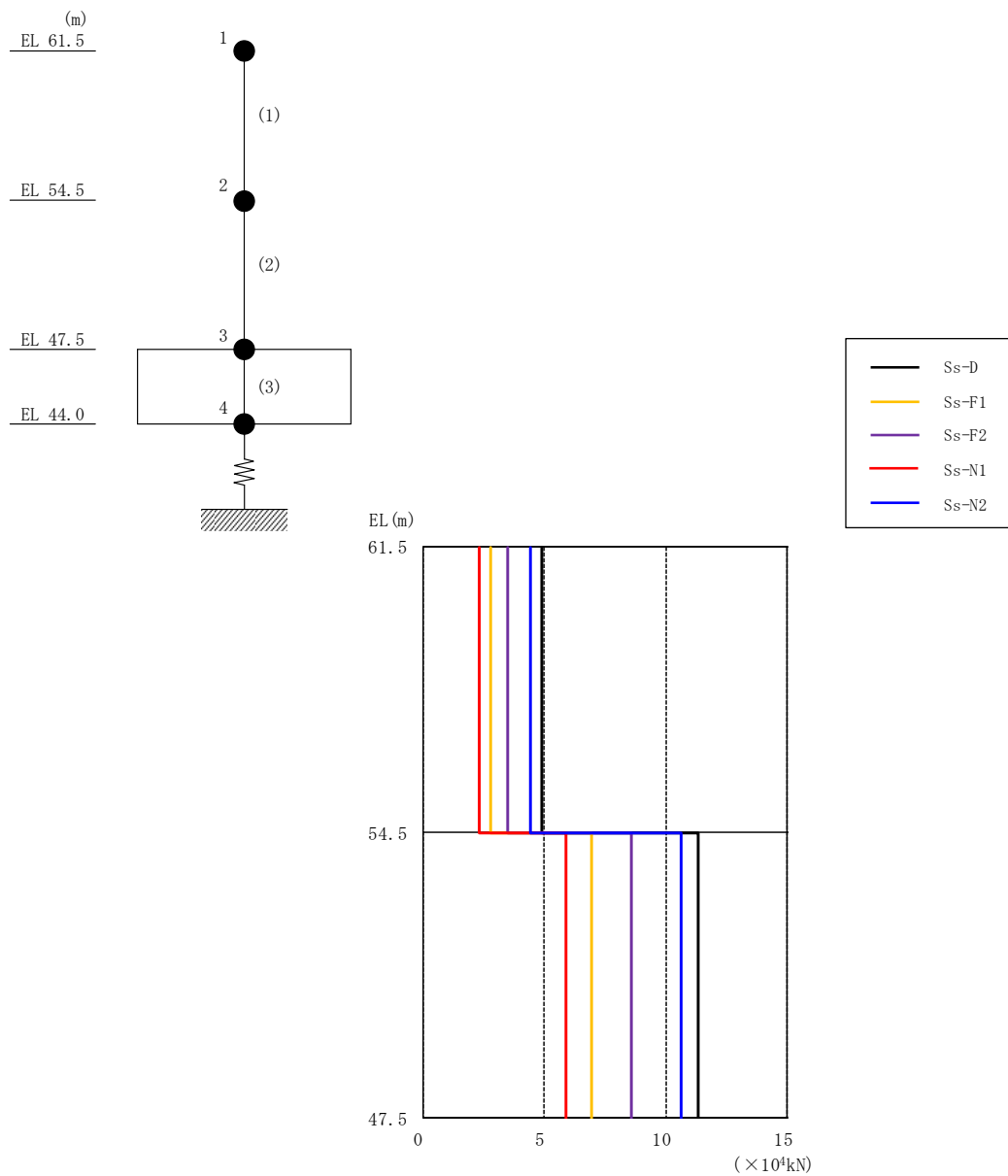


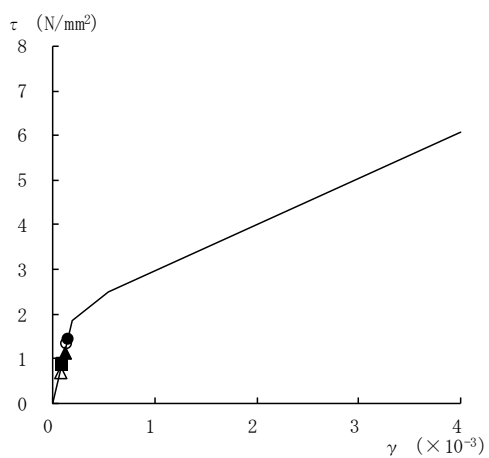
図 4-14 最大応答軸力（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

表 4-14 最大応答軸力一覧（基準地震動  $S_s$ ，鉛直方向）

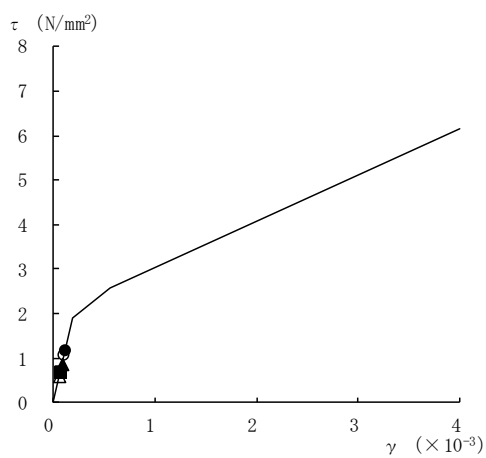
EL (m)	要素番号	最大応答軸力 ( $\times 10^4$ kN)					最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
61.5~54.5	1	4.91	2.82	3.49	2.33	4.43	4.91
54.5~47.5	2	11.3	6.96	8.61	5.90	10.7	11.3

注：ハッチングは  $S_s-D \sim S_s-N2$  の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

● S<sub>S</sub>-D    ○ S<sub>S</sub>-F1    ▲ S<sub>S</sub>-F2    △ S<sub>S</sub>-N1    ■ S<sub>S</sub>-N2NS    □ S<sub>S</sub>-N2EW



要素番号 (1)



要素番号 (2)

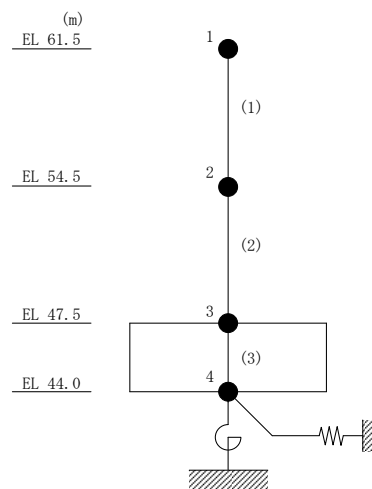
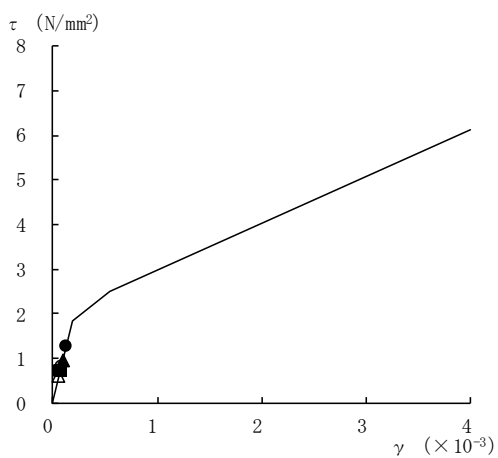
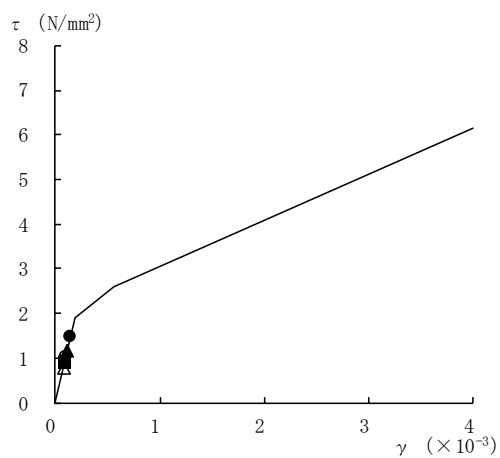


図 4-15 せん断スケルトン曲線上の最大応答値  
(基準地震動 S<sub>s</sub>, NS 方向)

● S<sub>s</sub>-D    ○ S<sub>s</sub>-F1    ▲ S<sub>s</sub>-F2    △ S<sub>s</sub>-N1    ■ S<sub>s</sub>-N2NS    □ S<sub>s</sub>-N2EW



要素番号 (1)



要素番号 (2)

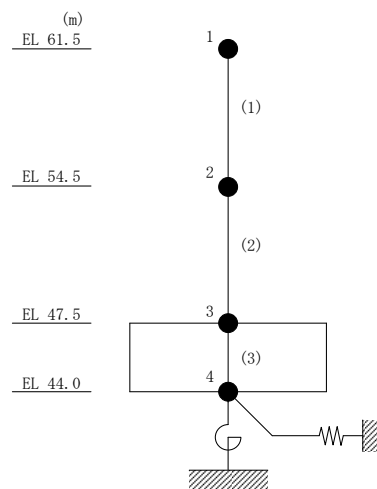
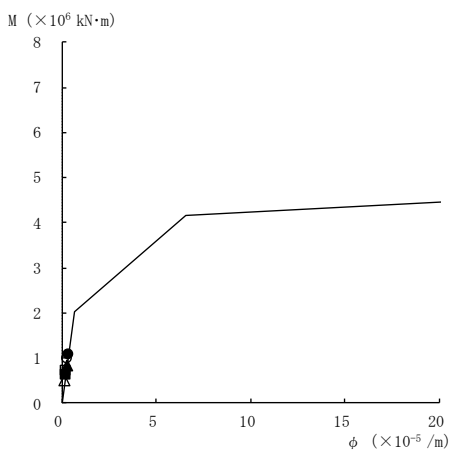


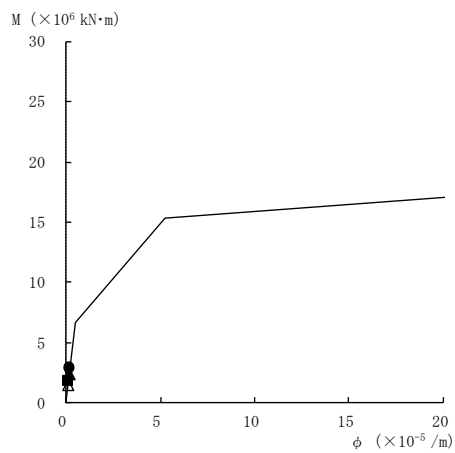
図 4-16 せん断スケルトン曲線上の最大応答値  
(基準地震動 S<sub>s</sub>, E W 方向)



● S<sub>S</sub>-D    ○ S<sub>S</sub>-F1    ▲ S<sub>S</sub>-F2    △ S<sub>S</sub>-N1    ■ S<sub>S</sub>-N2NS    □ S<sub>S</sub>-N2EW



要素番号 (1)



要素番号 (2)

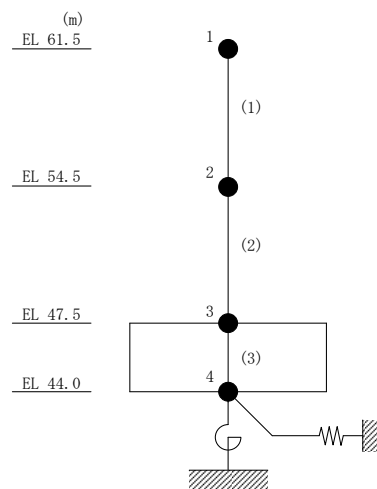
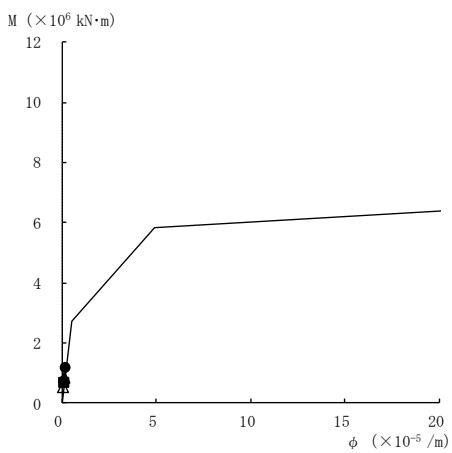
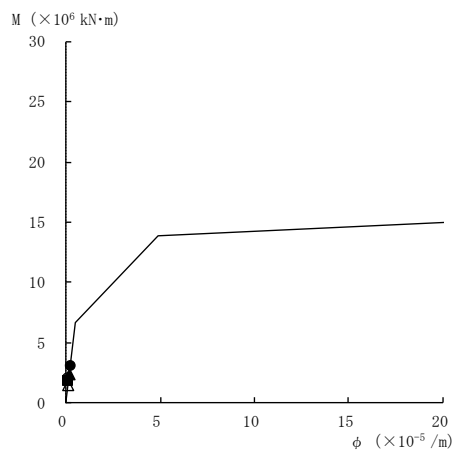


図 4-17 曲げスケルトン曲線上の最大応答値  
(基準地震動 S<sub>s</sub>, N S 方向)

● S<sub>s</sub>-D    ○ S<sub>s</sub>-F1    ▲ S<sub>s</sub>-F2    △ S<sub>s</sub>-N1    ■ S<sub>s</sub>-N2NS    □ S<sub>s</sub>-N2EW



要素番号 (1)



要素番号 (2)

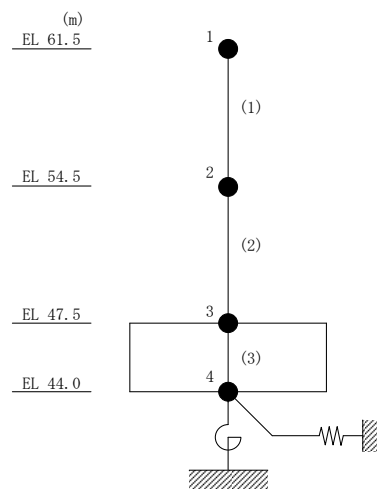


図 4-18 曲げスケルトン曲線上の最大応答値  
(基準地震動 S<sub>s</sub>, E W 方向)

表 4-15 基準地震動  $S_s$  による地震応答解析結果に基づく接地率

(a) NS方向

基準地震動 $S_s$	最大接地圧 ( $\times 10^3 \text{kN/m}^2$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
$S_s - D$	0.481	4.24	85.5
$S_s - F 1$	0.455	4.04	88.6
$S_s - F 2$	0.418	3.29	99.9
$S_s - N 1$	0.338	2.14	100
$S_s - N 2 \text{ NS}$	0.386	2.60	100
$S_s - N 2 \text{ EW}$	0.378	2.49	100

(b) EW方向

基準地震動 $S_s$	最大接地圧 ( $\times 10^3 \text{kN/m}^2$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	最小接地率 (%)
$S_s - D$	0.491	4.21	83.0
$S_s - F 1$	0.397	2.96	100
$S_s - F 2$	0.427	3.32	97.2
$S_s - N 1$	0.346	2.20	100
$S_s - N 2 \text{ NS}$	0.396	2.67	100
$S_s - N 2 \text{ EW}$	0.394	2.66	100

#### 4.2 必要保有水平耐力

「3.3 解析方法」による解析方法で算定した必要保有水平耐力 $Q_{un}$ を表 4-16 及び表 4-17, 図 4-19 及び図 4-20 に示す。

表 4-16 必要保有水平耐力 (N S 方向)

EL (m)	構造特性係数 $D_s$	形状特性係数 $F_{es}$	必要保有水平耐力 $Q_{un}$ ( $\times 10^3$ kN)
61.5~54.5	0.55	1.00	37.26
54.5~47.5	0.55	1.00	70.20

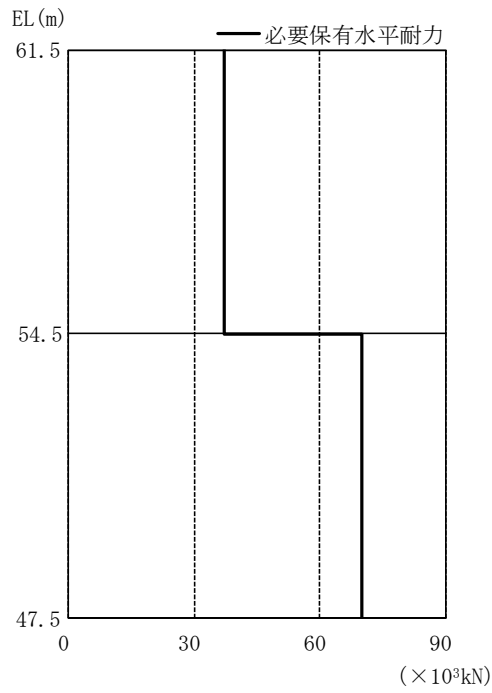


图 4-19 必要保有水平耐力 (N S 方向)

表 4-17 必要保有水平耐力 (E W 方向)

EL (m)	構造特性係数 $D_s$	形状特性係数 $F_{es}$	必要保有水平耐力 $Q_{un}$ ( $\times 10^3$ kN)
61.5~54.5	0.55	1.00	35.30
54.5~47.5	0.55	1.20	84.24

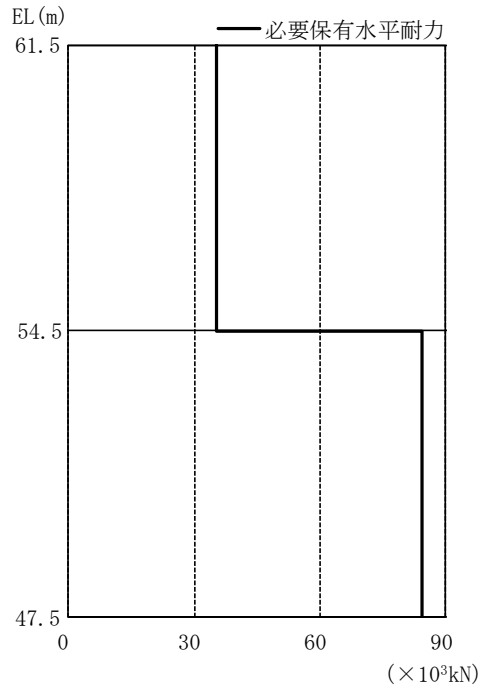


図 4-20 必要保有水平耐力 (E W 方向)