

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-002-05改01
提出年月日	2023年2月17日

VI-2-2-5 制御室建物の地震応答計算書

2023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	8
2.4 適用規格・基準等	10
3. 解析方法	11
3.1 設計に用いる地震波	11
3.2 地震応答解析モデル	30
3.2.1 水平方向	31
3.2.2 鉛直方向	40
3.3 解析方法	45
3.3.1 動的解析	45
3.3.2 静的解析	45
3.3.3 必要保有水平耐力	47
3.4 解析条件	48
3.4.1 建物・構築物の復元力特性	48
3.4.2 材料物性の不確かさ等	55
4. 解析結果	57
4.1 動的解析	57
4.1.1 固有値解析結果	57
4.1.2 地震応答解析結果	57
4.2 静的解析	97
4.3 必要保有水平耐力	101

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」に基づく制御室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及び静的地震力は、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

制御室建物の設置位置を図 2-1 に示す。

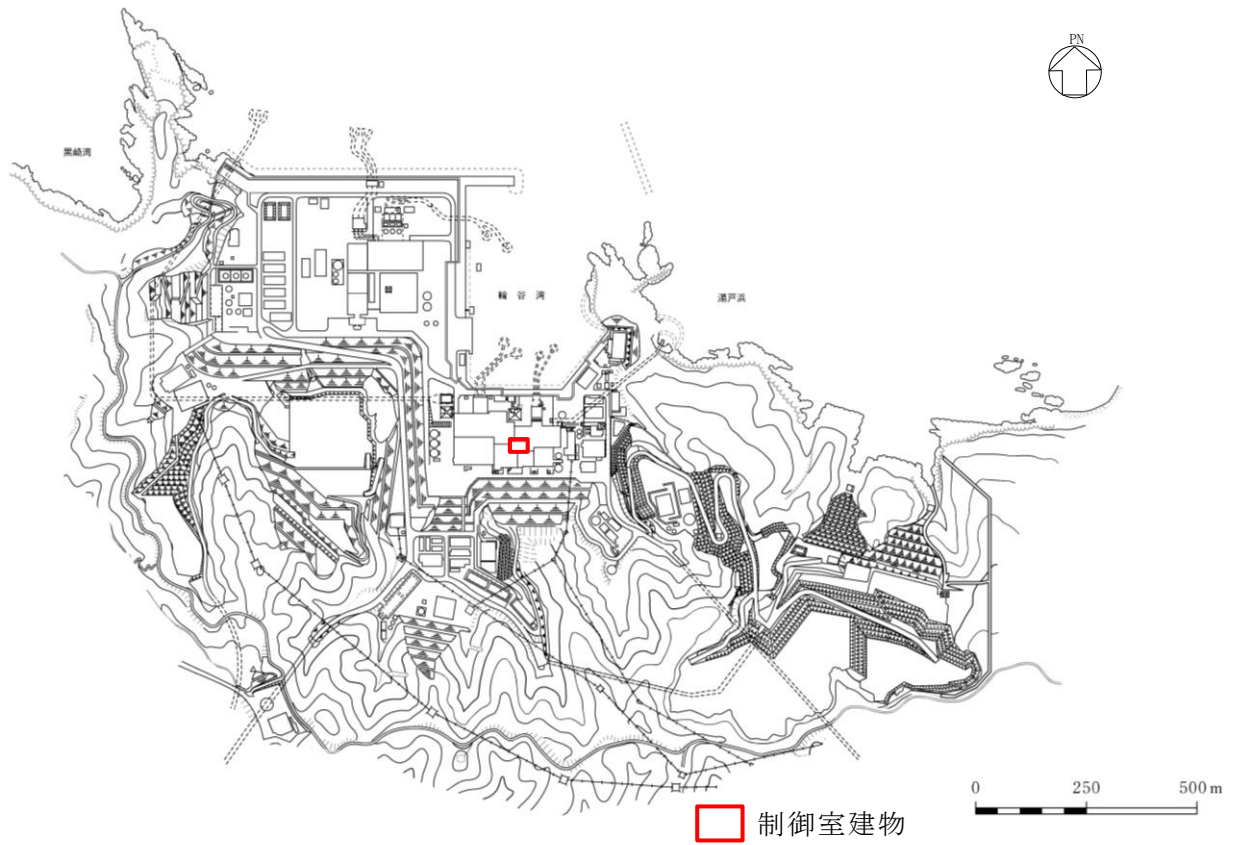


図 2-1 制御室建物の設置位置

2.2 構造概要

制御室建物は、4階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

制御室建物の平面寸法は、22.0m*（N S）×37.0m*（E W）である。基礎スラブ底面からの高さは21.95mである。また、制御室建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

制御室建物の基礎は厚さ1.5m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。

制御室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。

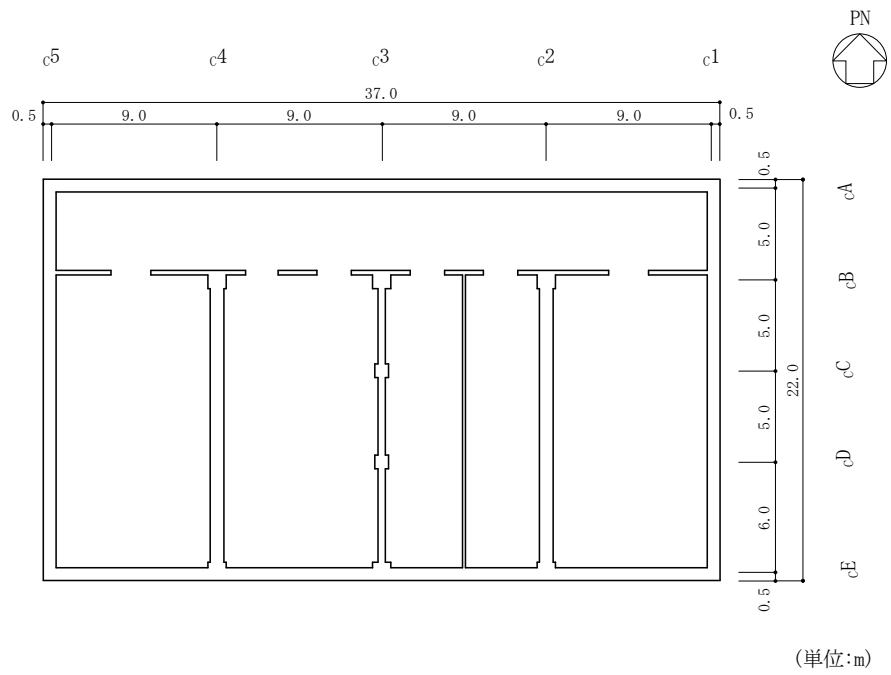


図 2-2(1) 制御室建物の概略平面図 (EL 1.6m*)

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。

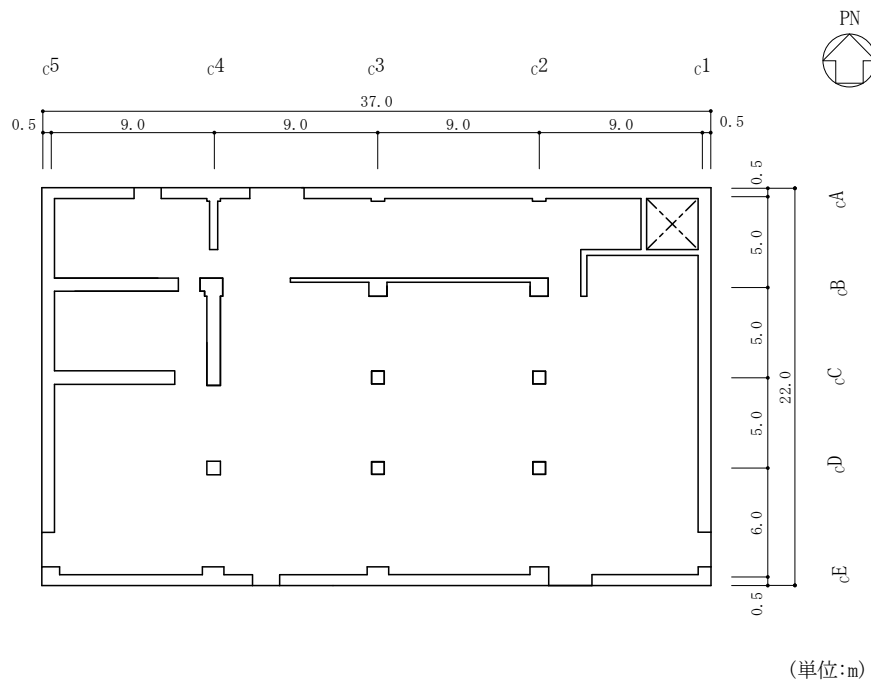


図 2-2(2) 制御室建物の概略平面図 (EL 8.8m)

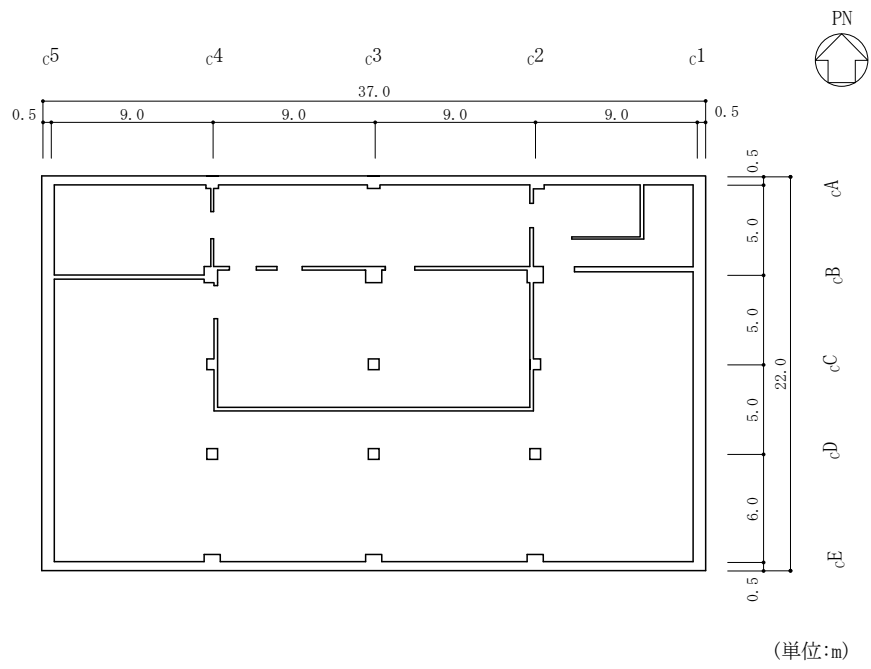


図 2-2(3) 制御室建物の概略平面図 (EL 12.8m)

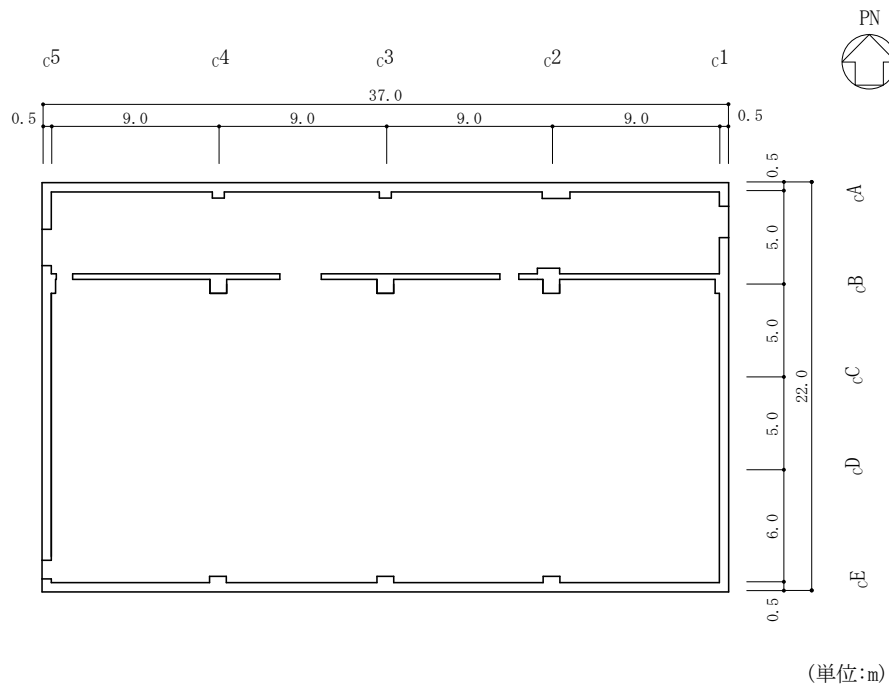


図 2-2(4) 制御室建物の概略平面図 (EL 16.9m)

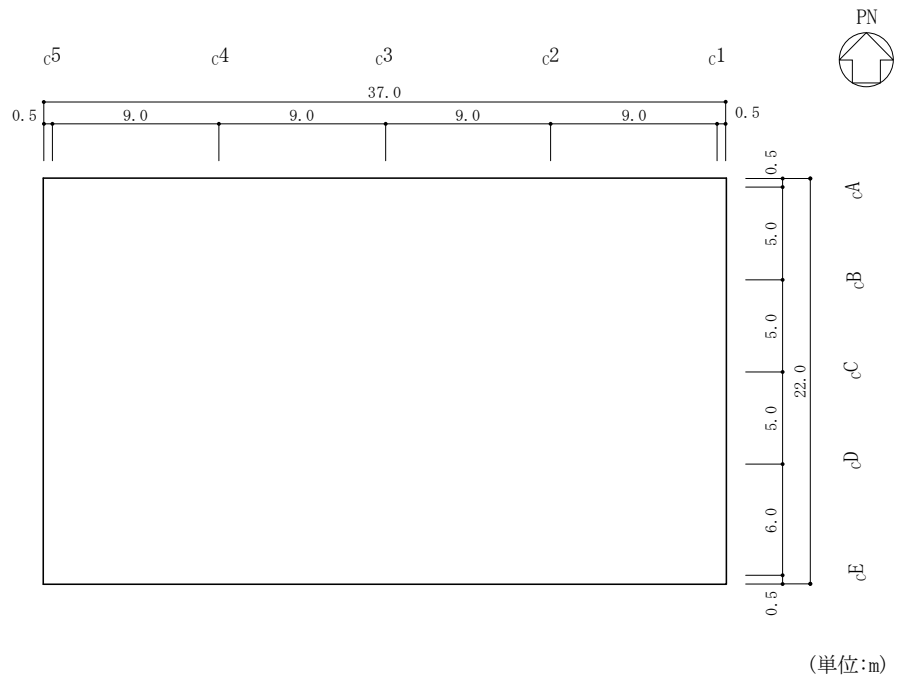


図 2-2(5) 制御室建物の概略平面図 (EL 22.05m)

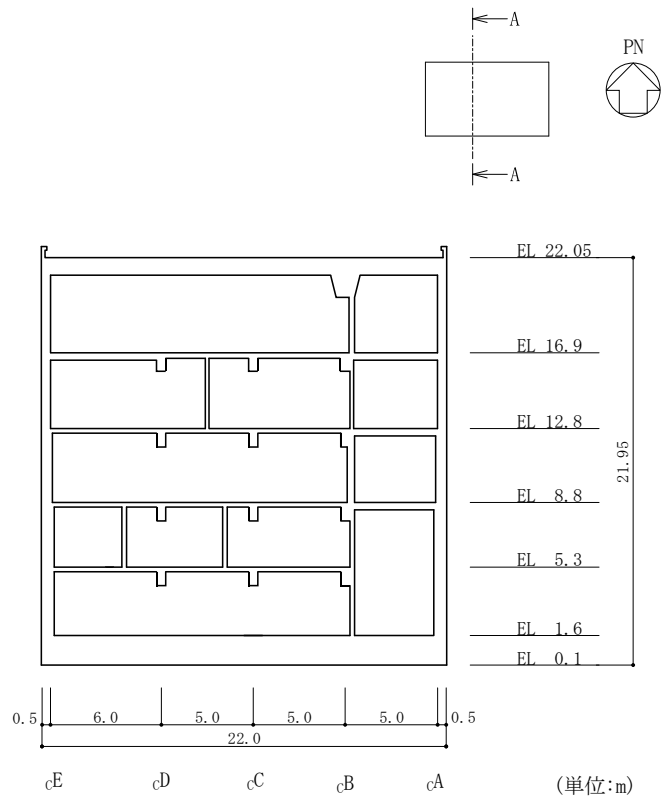


図 2-3(1) 制御室建物の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

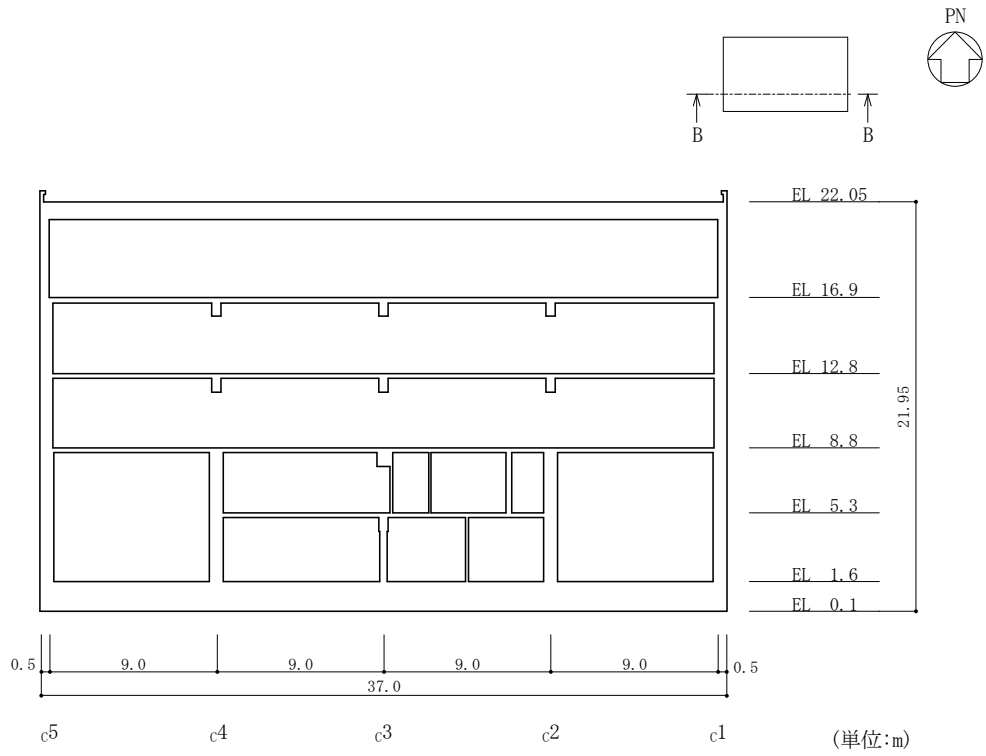


図 2-3(2) 制御室建物の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

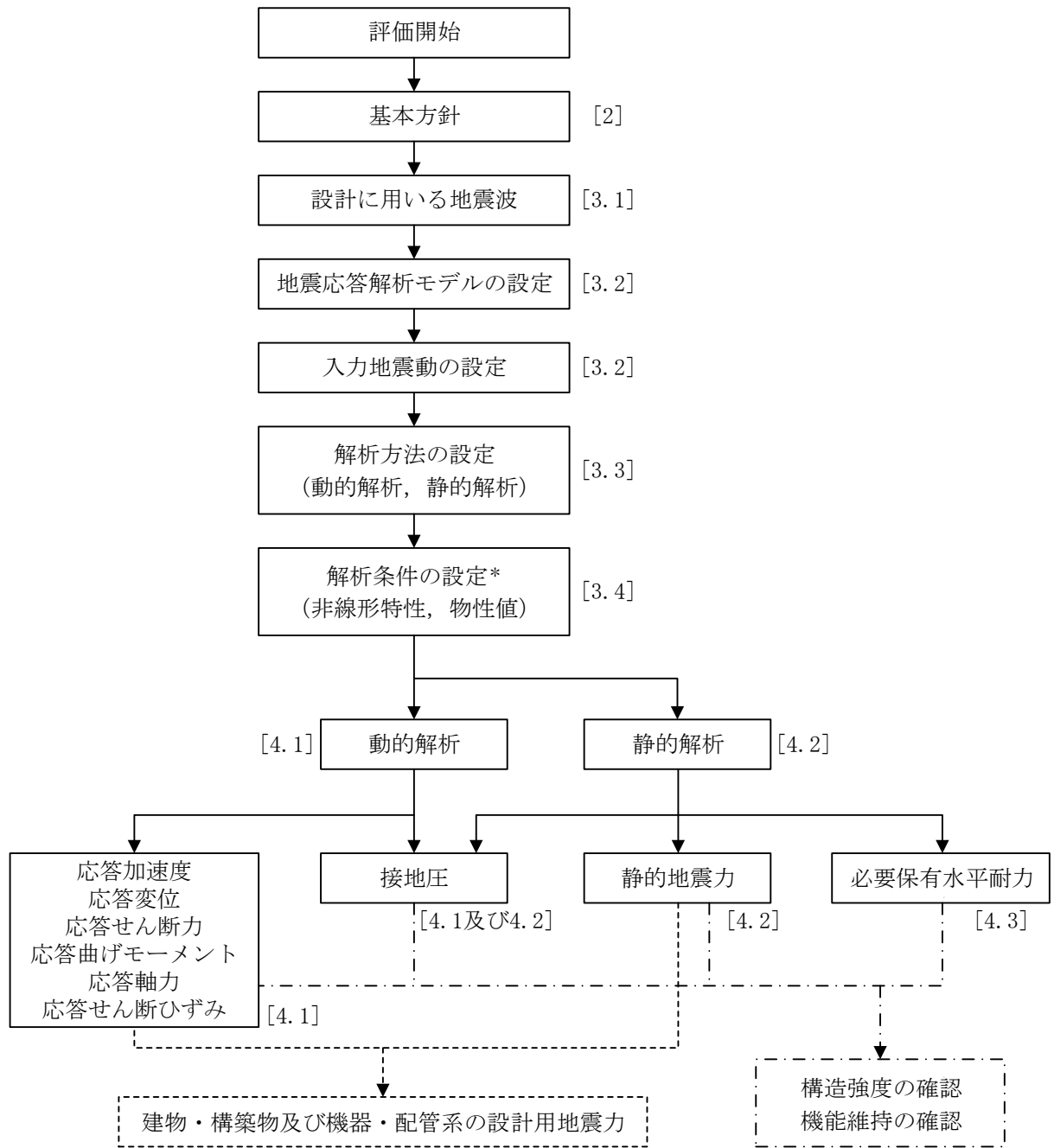
2.3 解析方針

制御室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に制御室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 静的解析」においては静的地震力及び接地圧を、「4.3 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 制御室建物の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

制御室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。

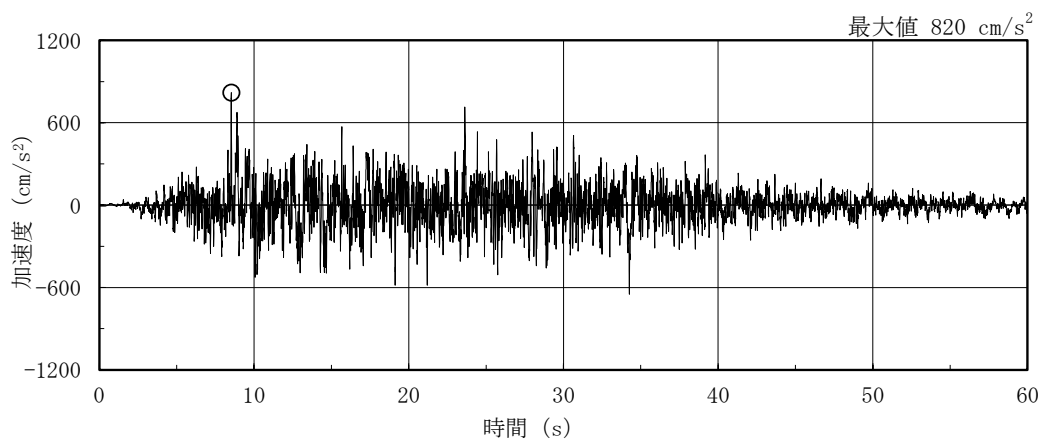
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構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

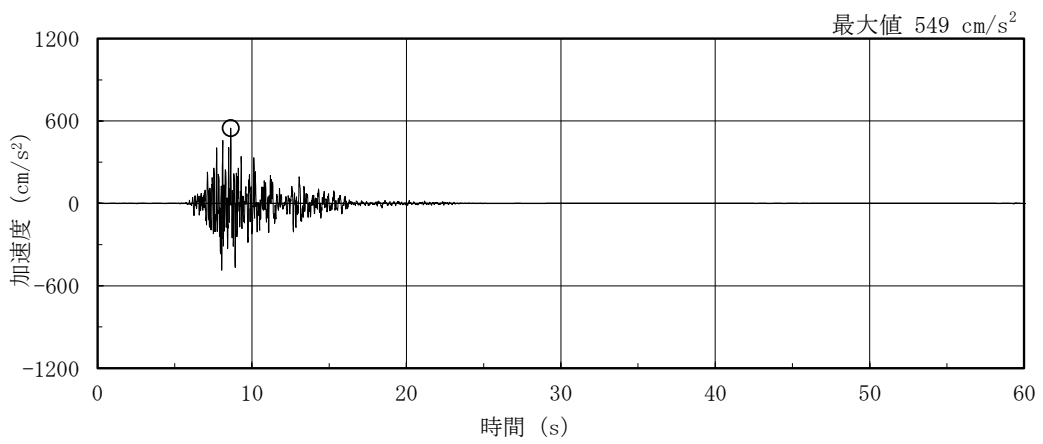
3.1 設計に用いる地震波

制御室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。

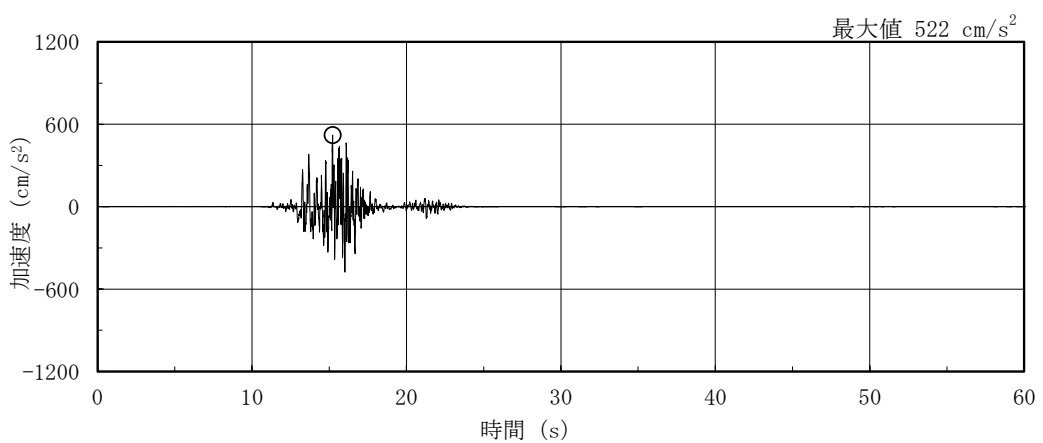
基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-1～図 3-8 に示す。



(a) S s - D

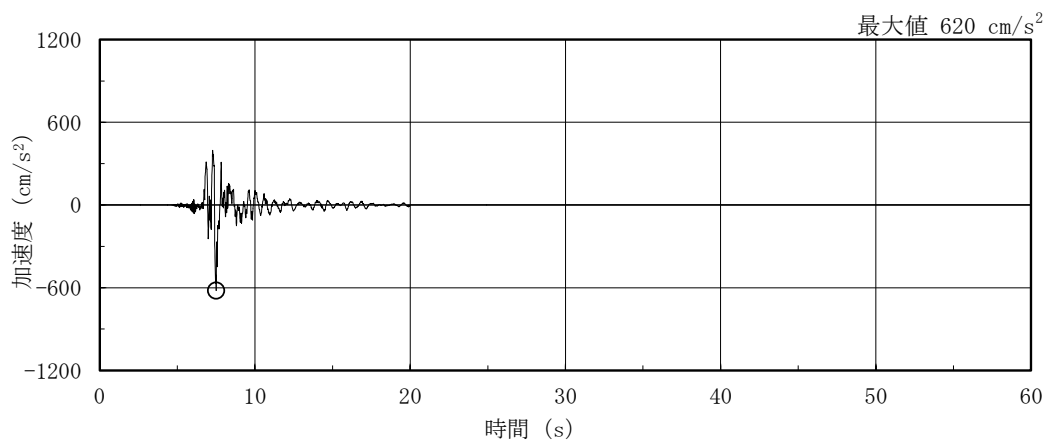


(b) S s - F 1

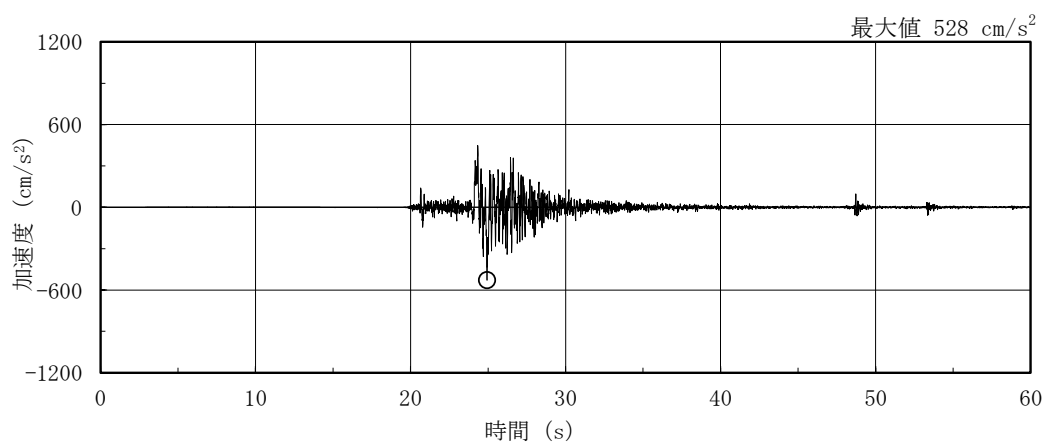


(c) S s - F 2

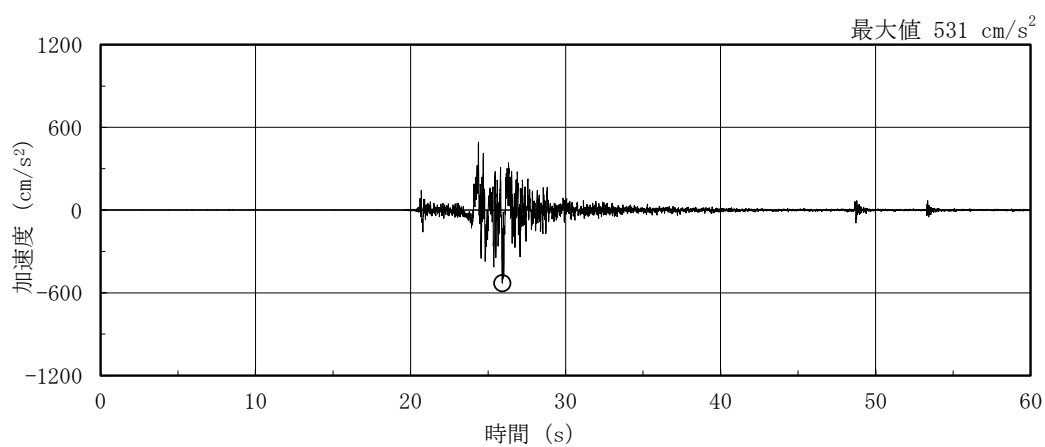
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

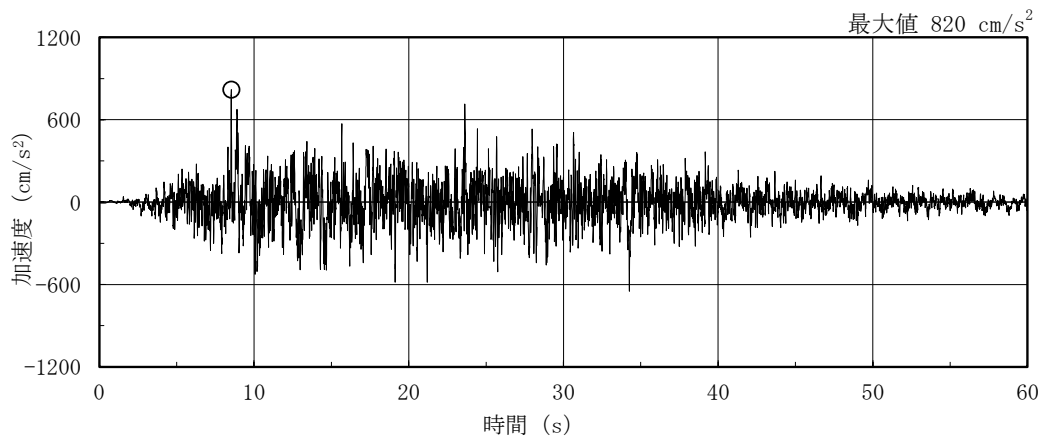


(e) S s - N 2 N S

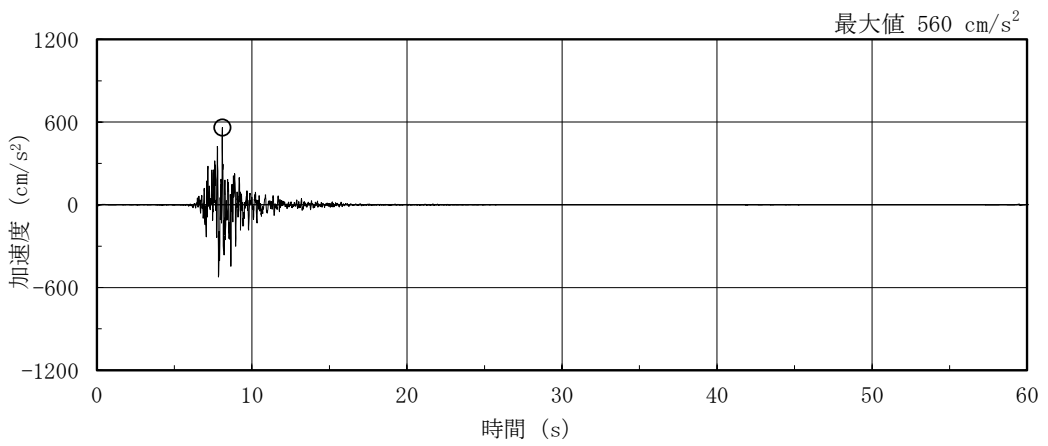


(f) S s - N 2 E W

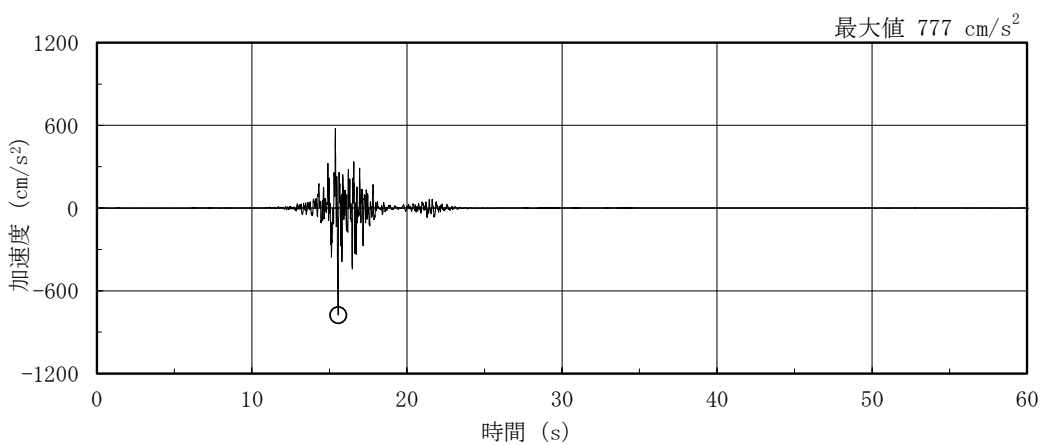
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

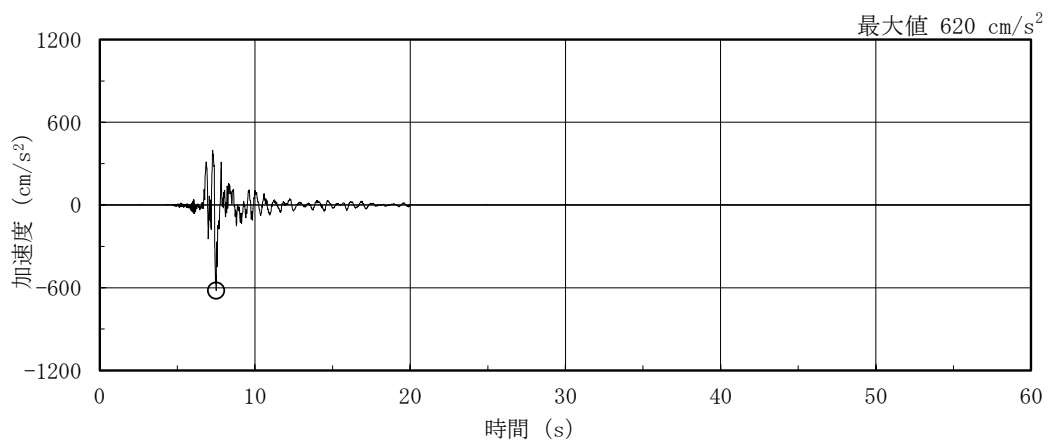


(b) S s - F 1

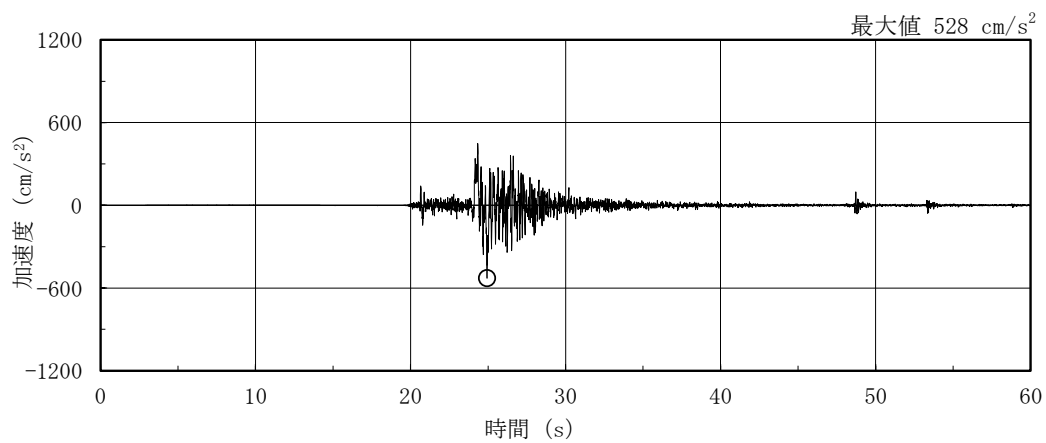


(c) S s - F 2

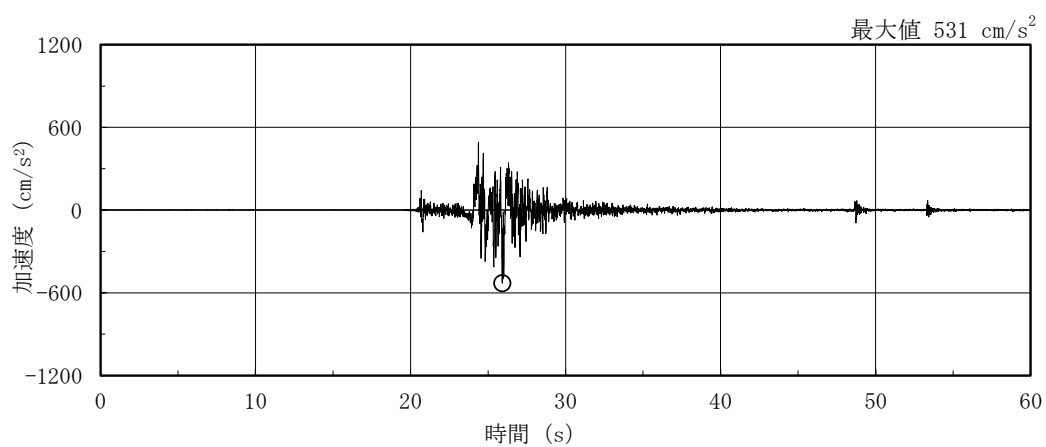
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(d) S s - N 1

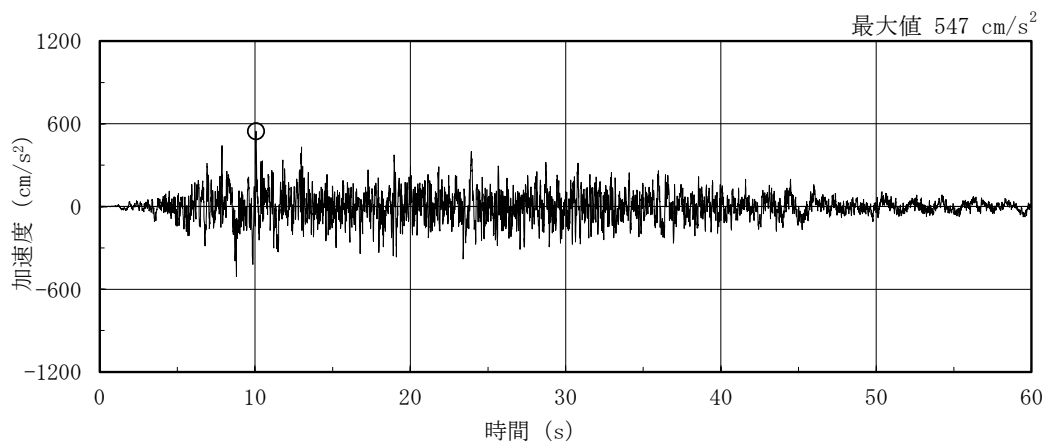


(e) S s - N 2 N S

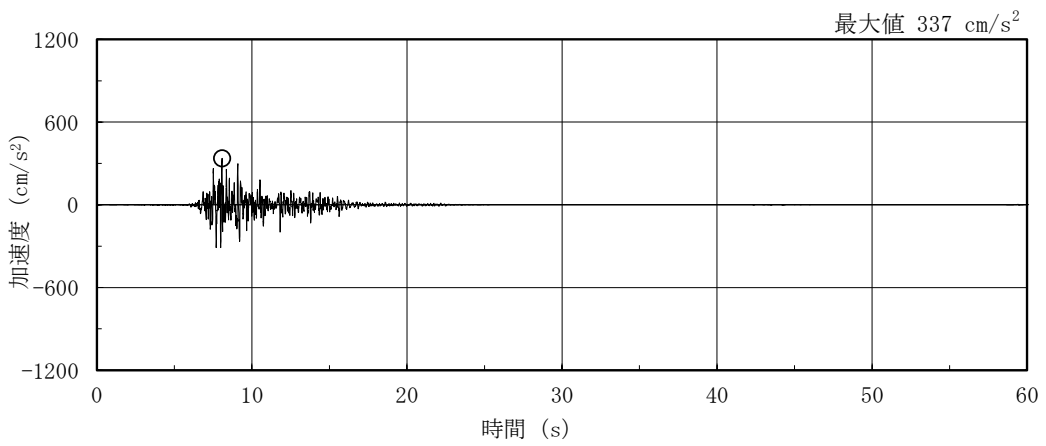


(f) S s - N 2 E W

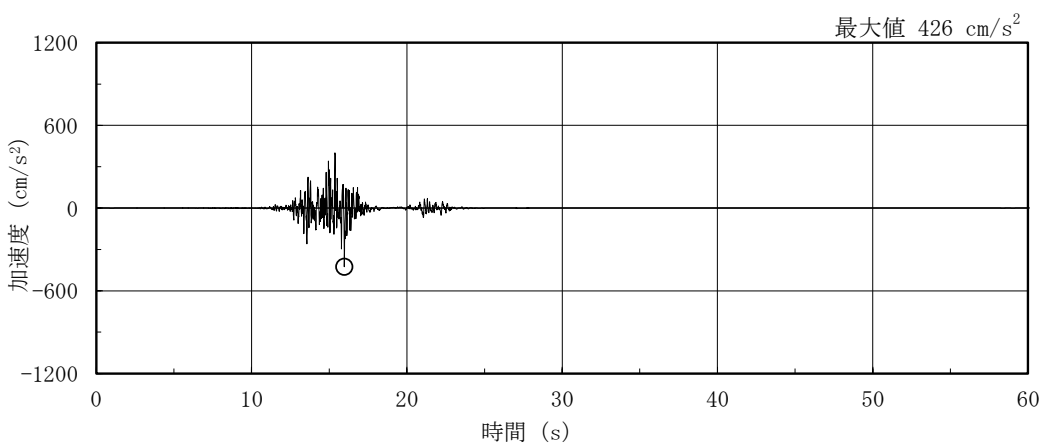
図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(a) S s - D

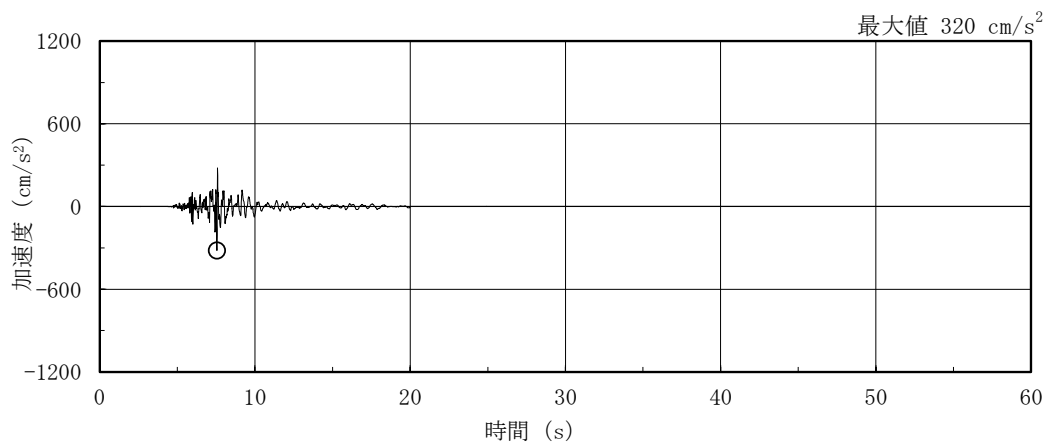


(b) S s - F 1

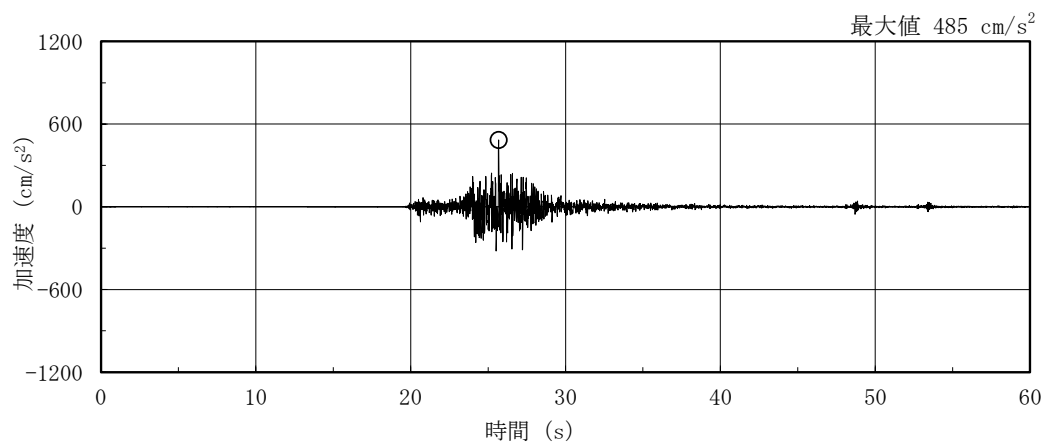


(c) S s - F 2

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)

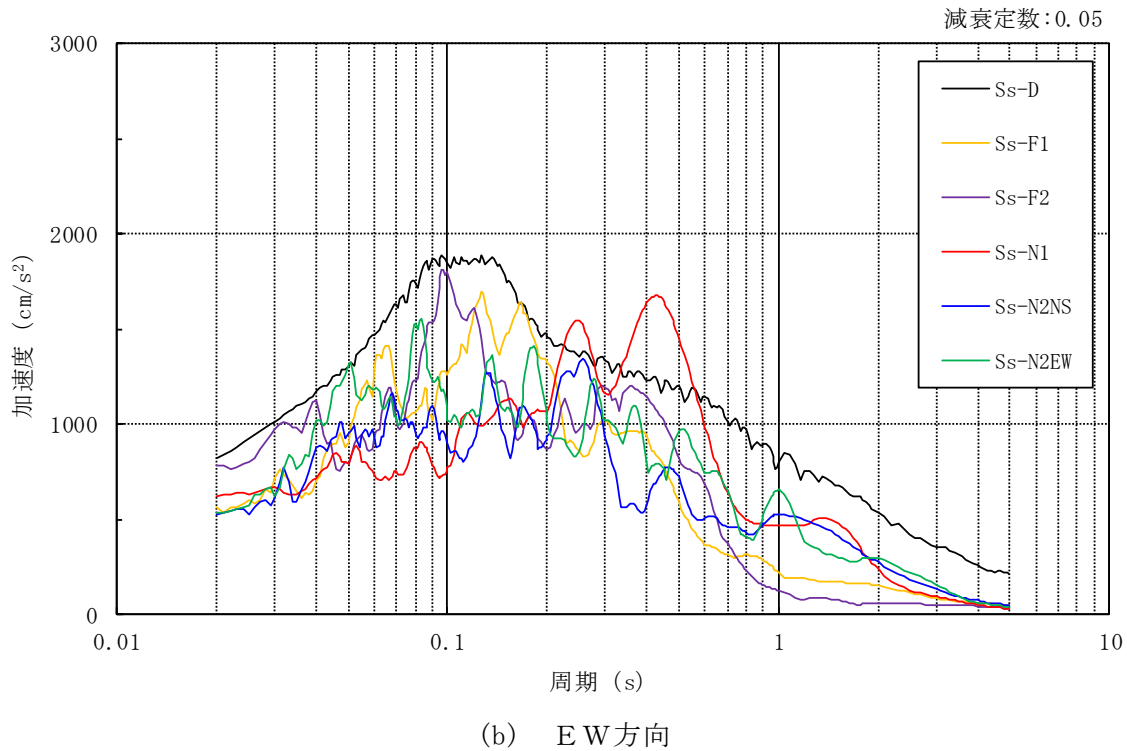
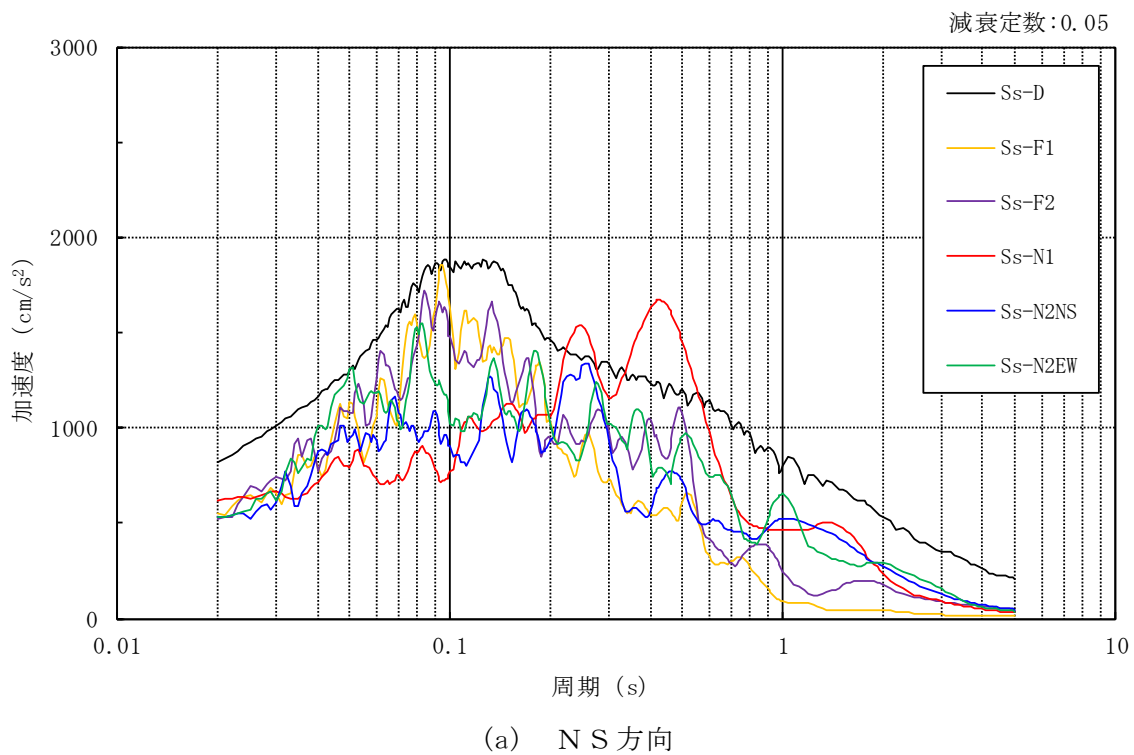


図 3-4(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

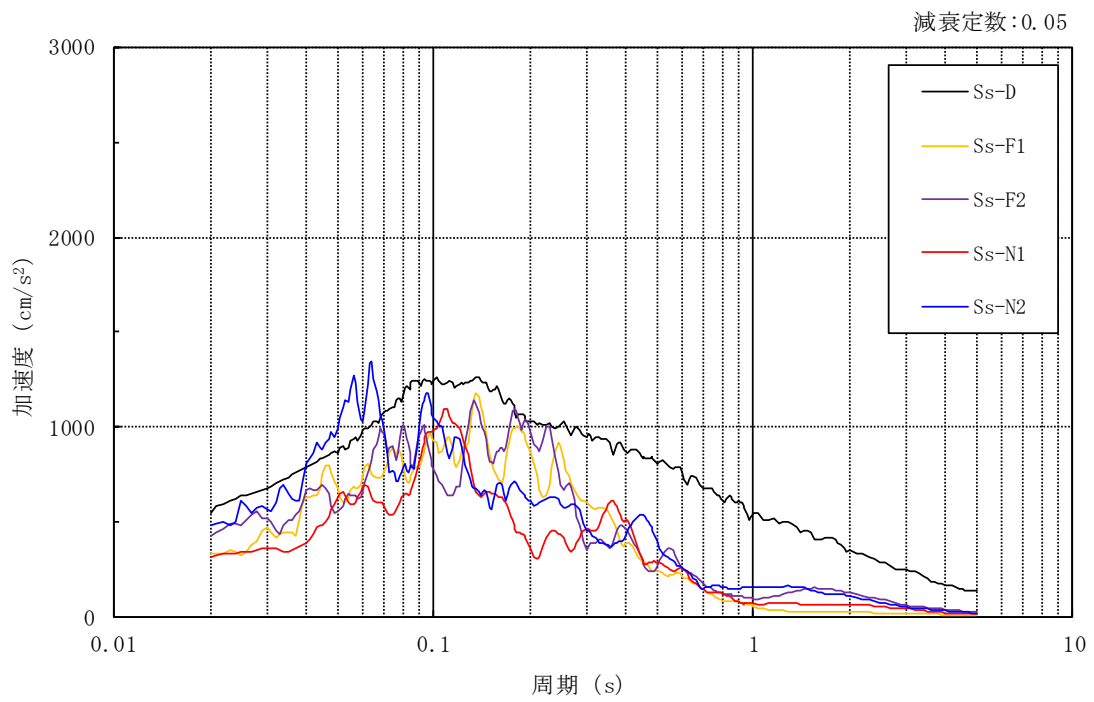
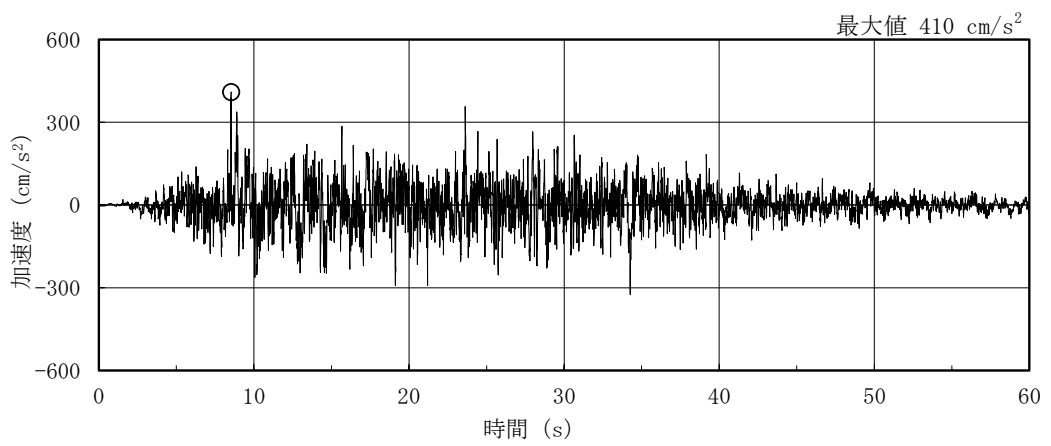
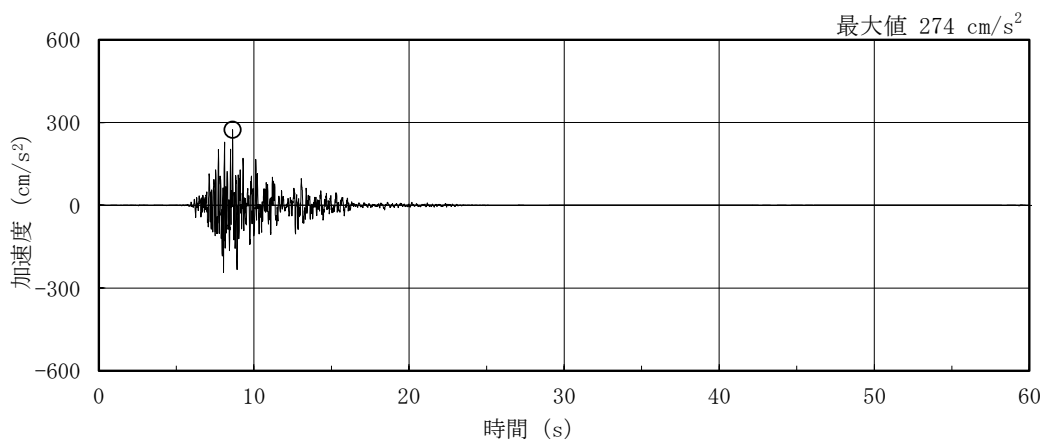


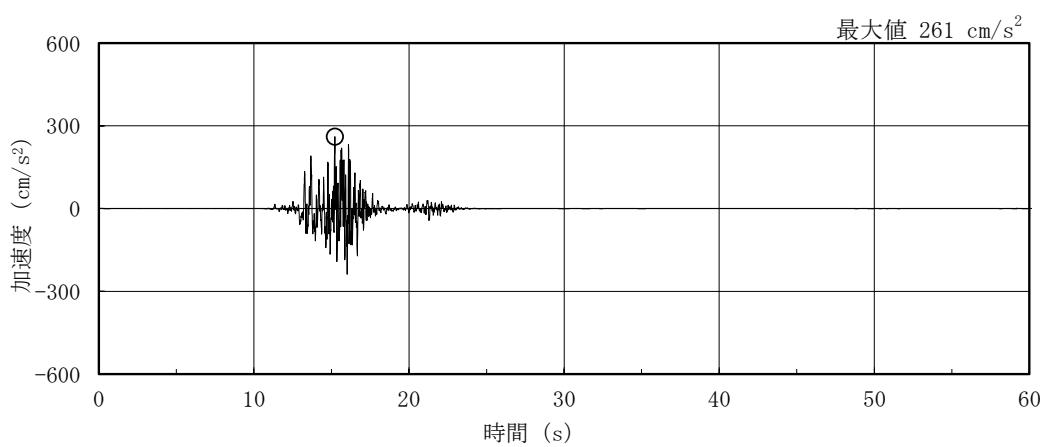
図 3-4(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)



(a) S d - D

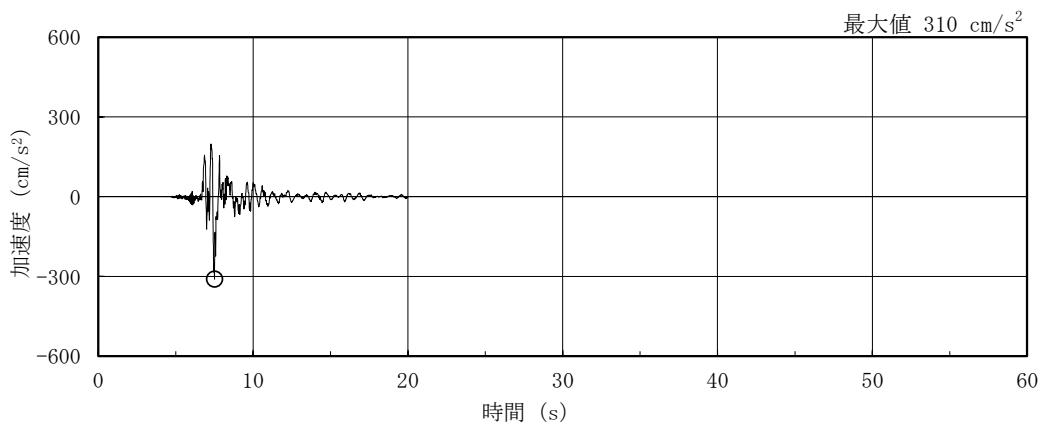


(b) S d - F 1

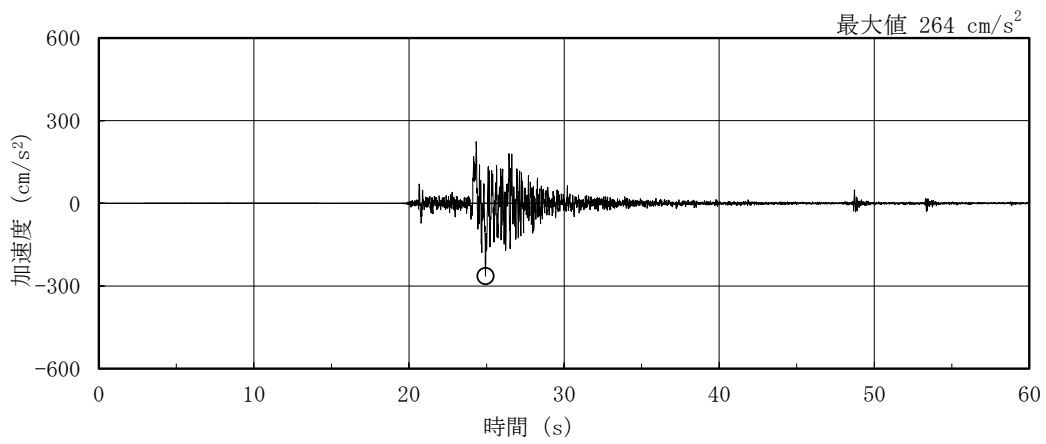


(c) S d - F 2

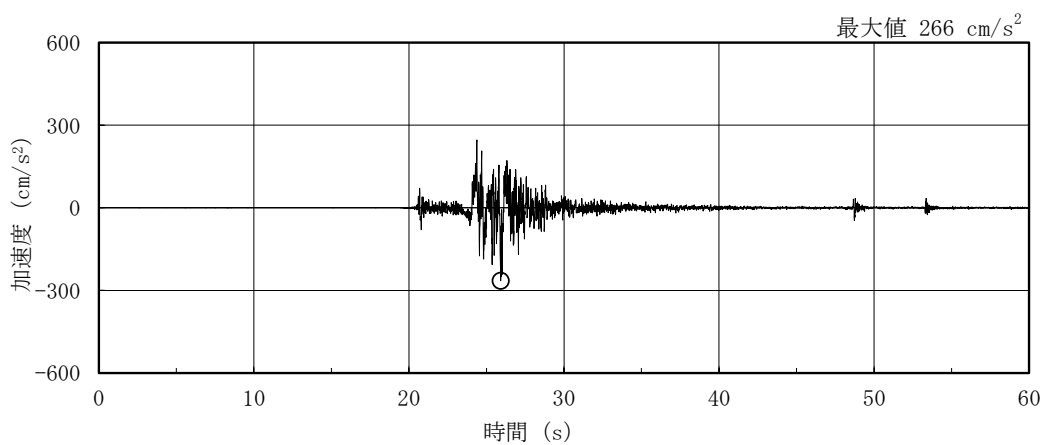
図 3-5(1) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, N S 方向)



(d) S d - N 1

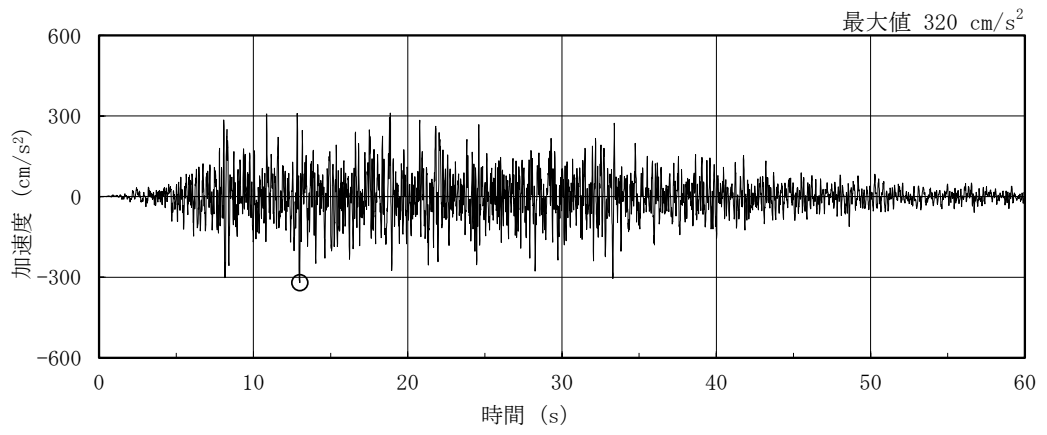


(e) S d - N 2 N S



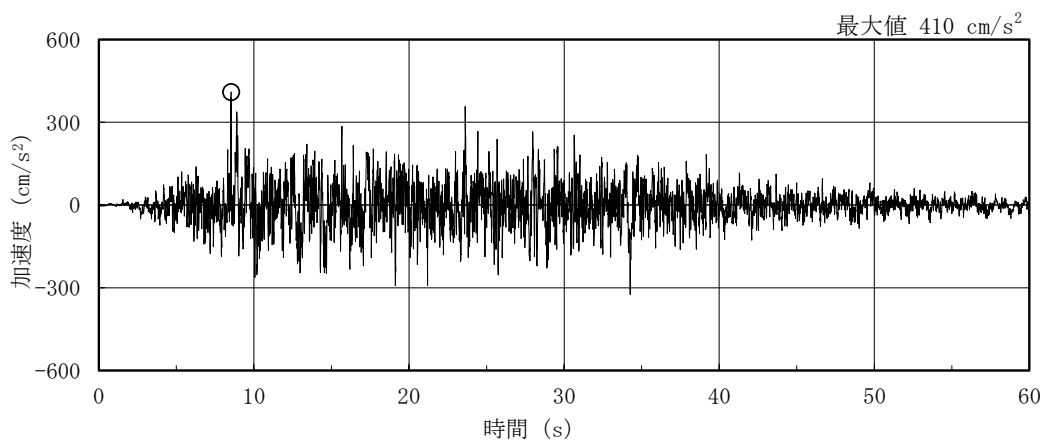
(f) S d - N 2 E W

図 3-5(2) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, N S 方向)

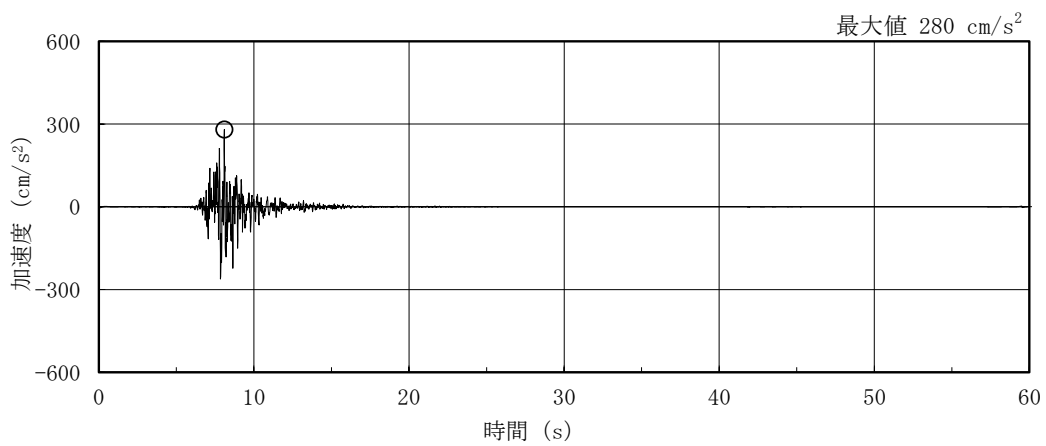


(g) S d - 1

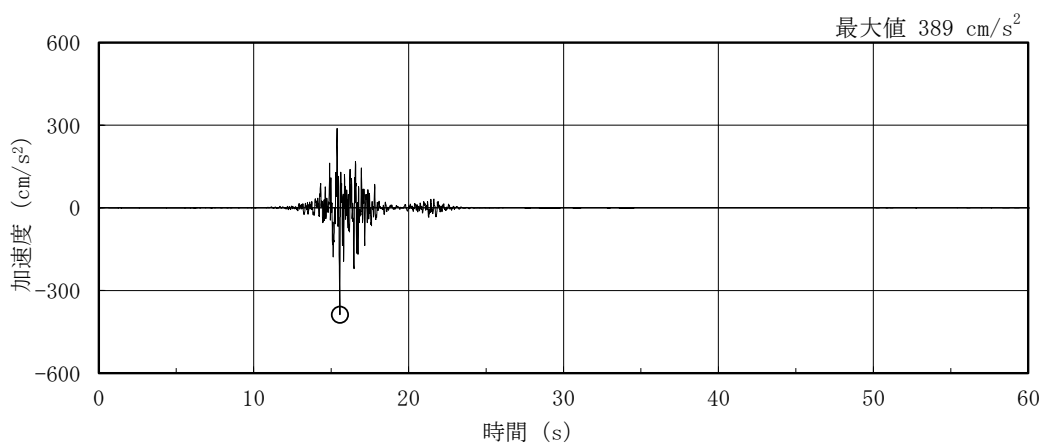
図 3-5(3) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, N S 方向)



(a) S d - D

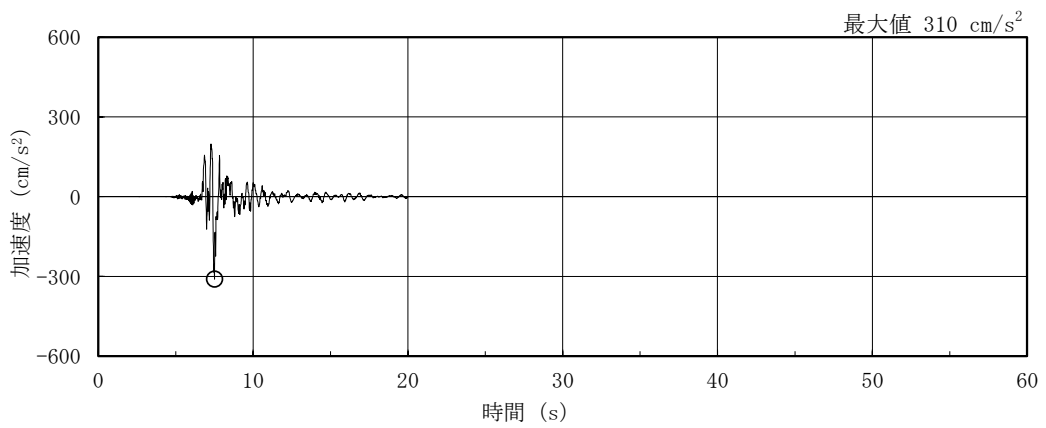


(b) S d - F 1

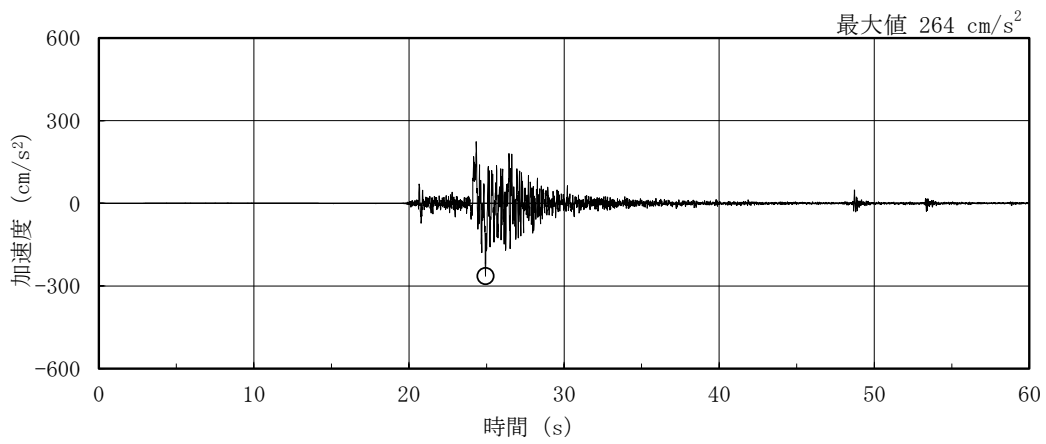


(c) S d - F 2

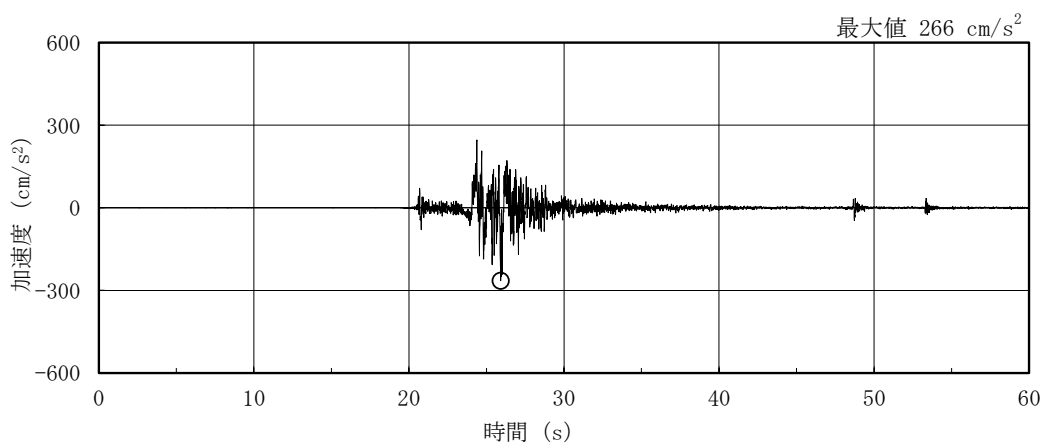
図 3-6(1) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, E W 方向)



(d) S d - N 1

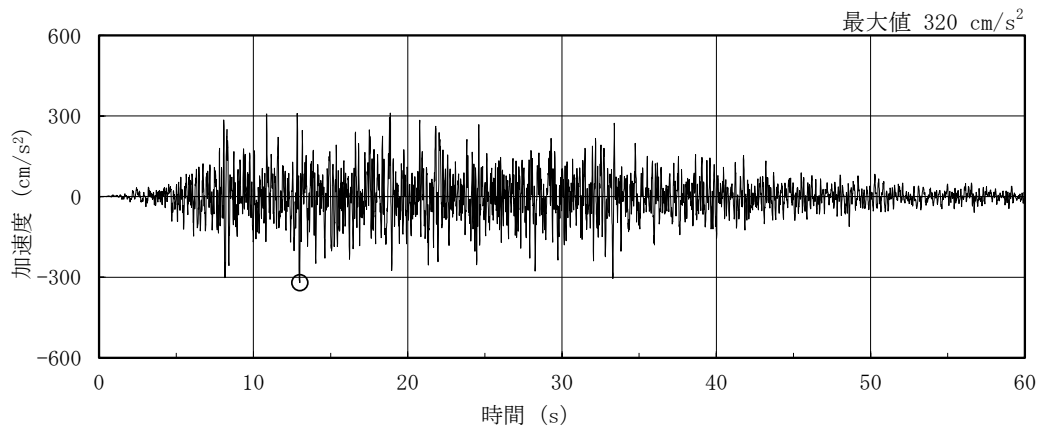


(e) S d - N 2 N S



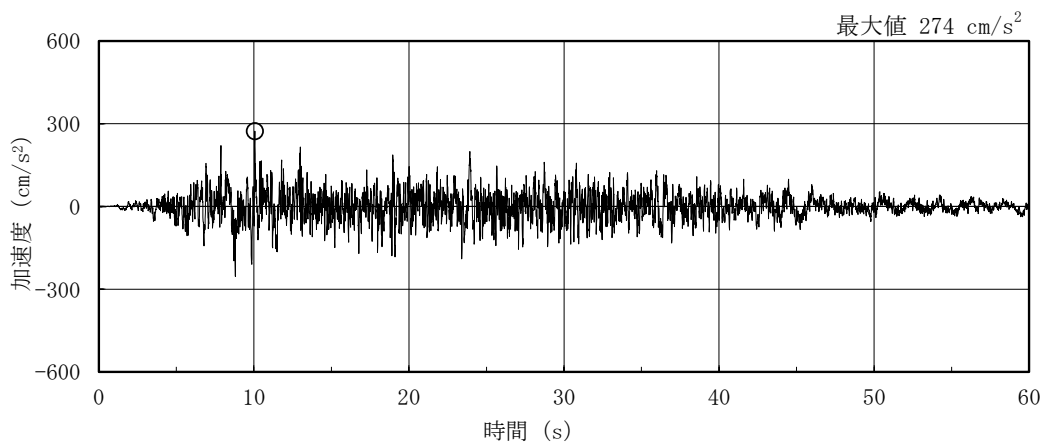
(f) S d - N 2 E W

図 3-6(2) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, E W 方向)

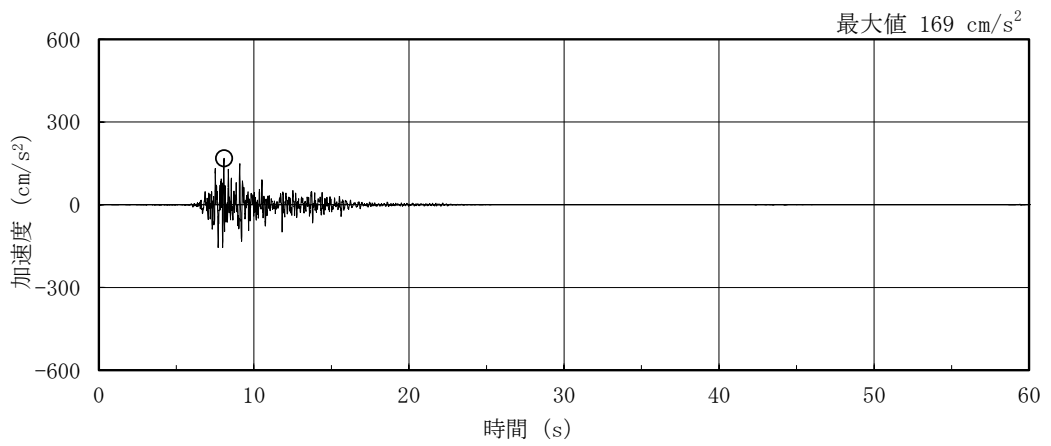


(g) S d - 1

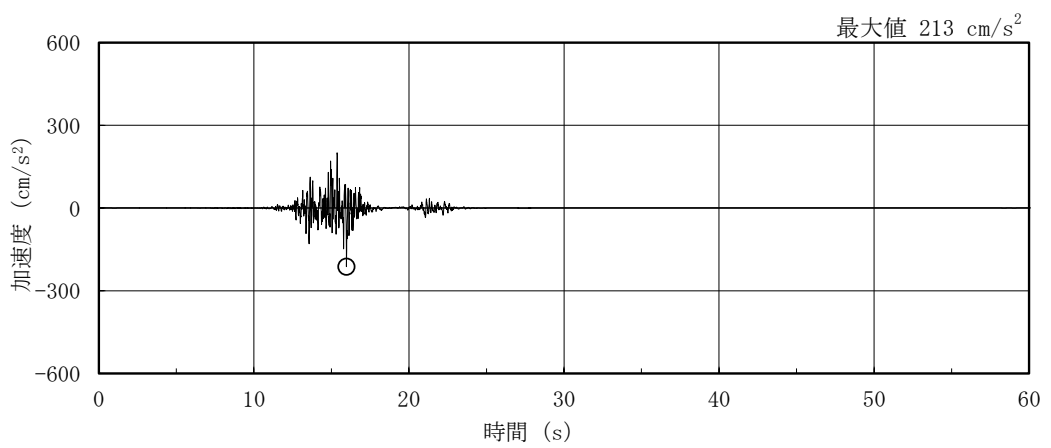
図 3-6(3) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, E W 方向)



(a) S d - D

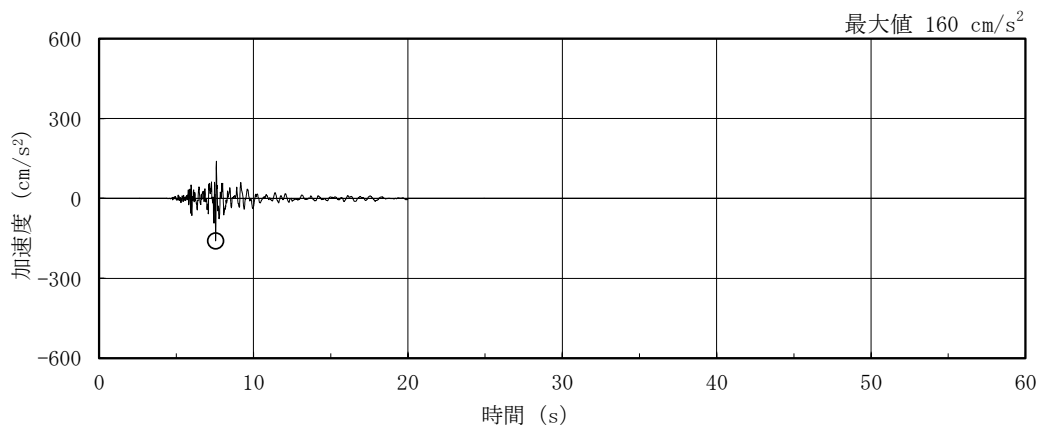


(b) S d - F 1

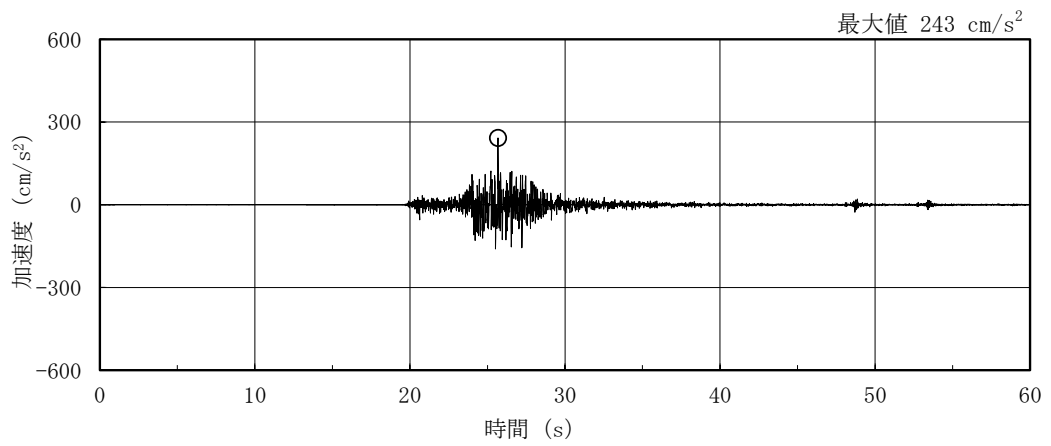


(c) S d - F 2

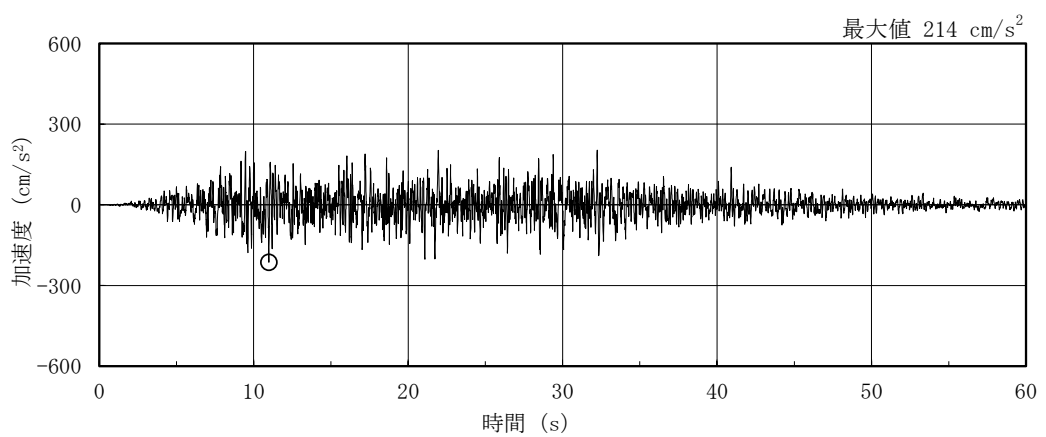
図 3-7(1) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向)



(d) S d - N 1



(e) S d - N 2



(f) S d - 1

図 3-7(2) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向)

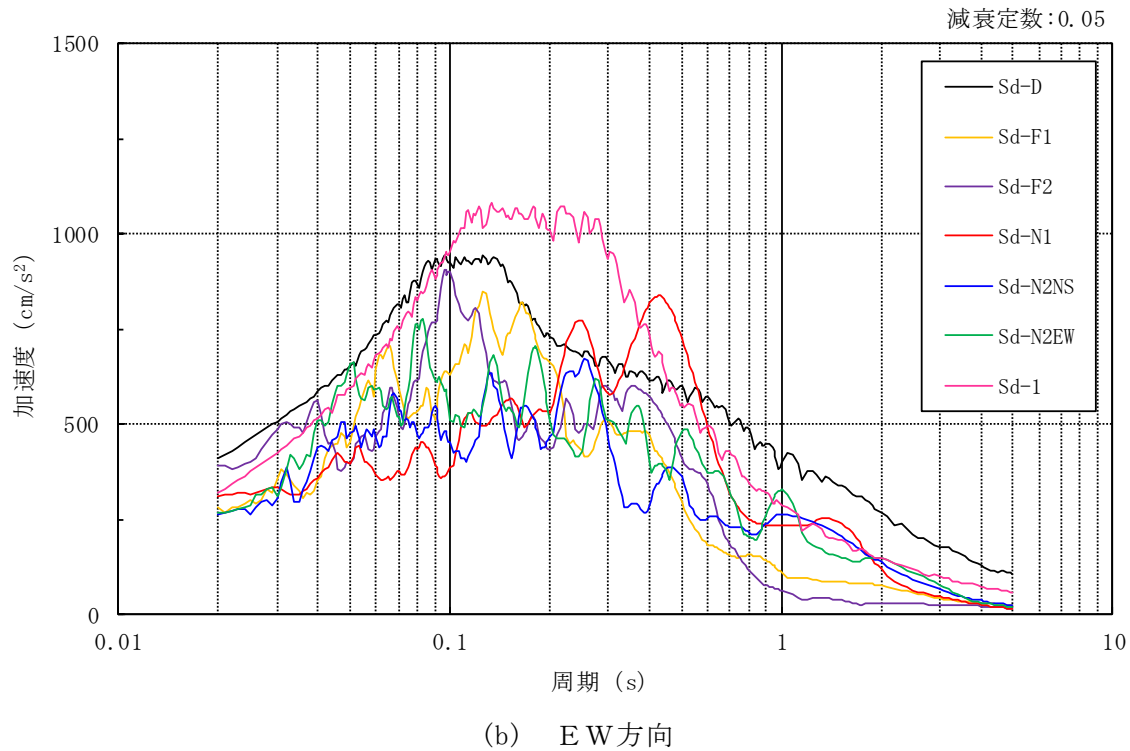
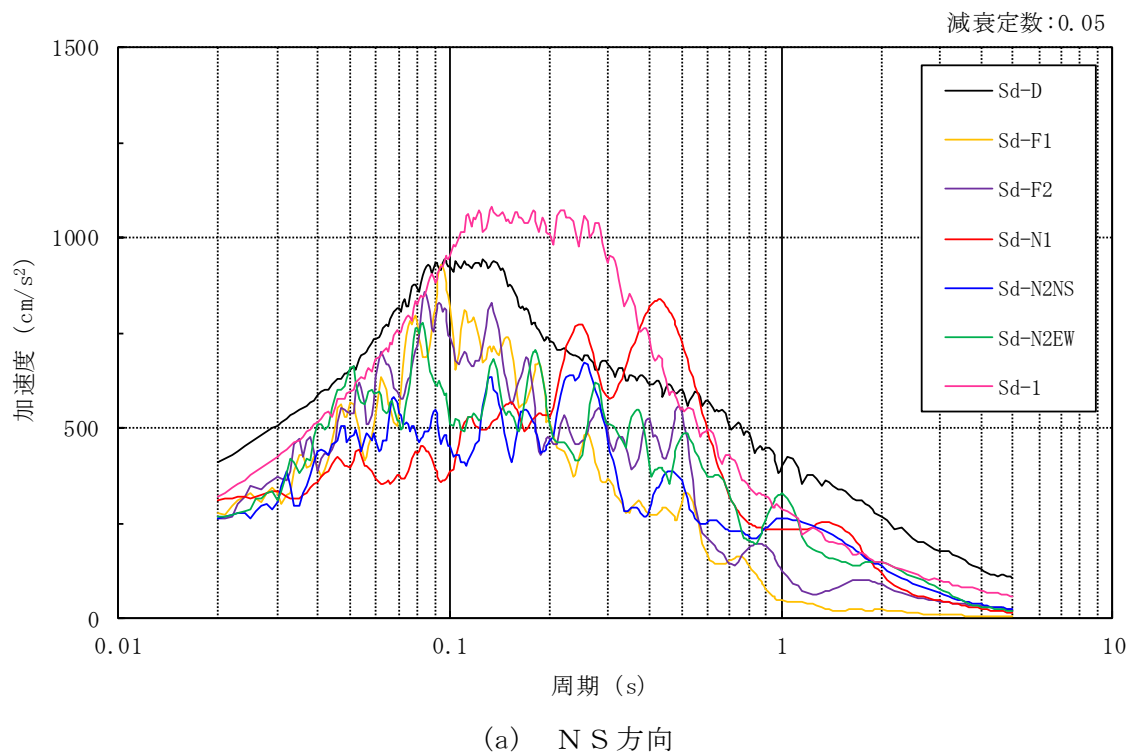


図 3-8(1) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d)

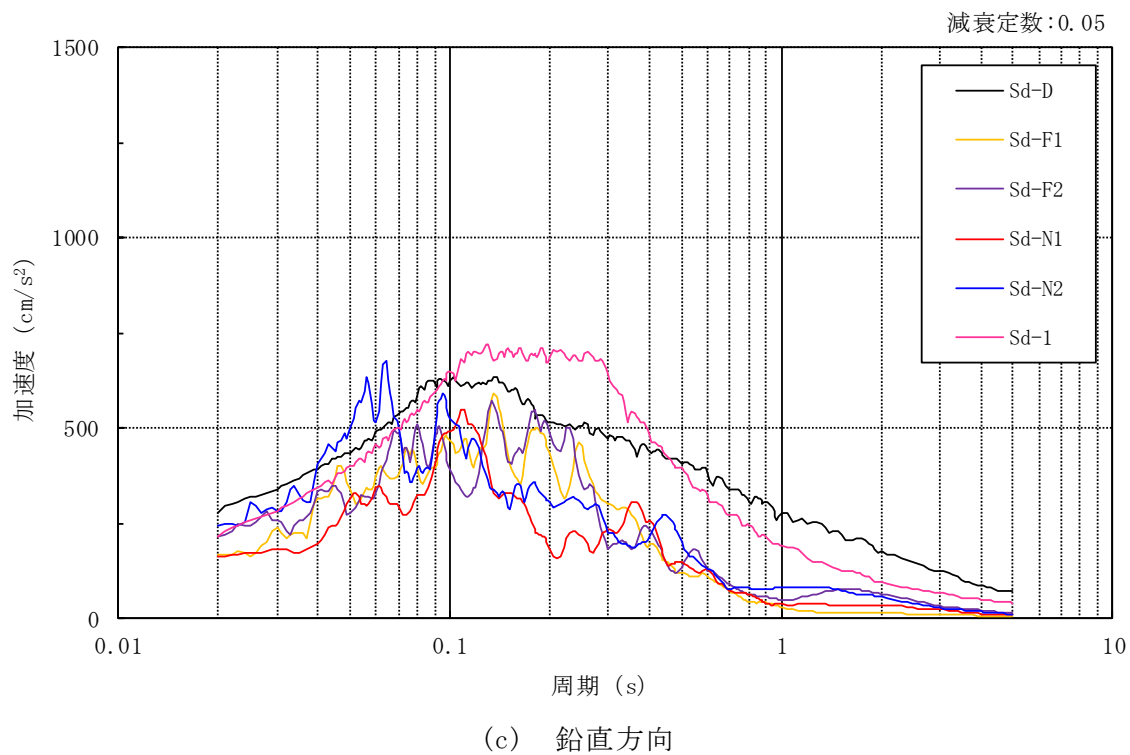


図 3-8(2) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d)

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 ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.20×10 ⁴	9.18×10 ³	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3-9に示す。

(2) 地盤ばね

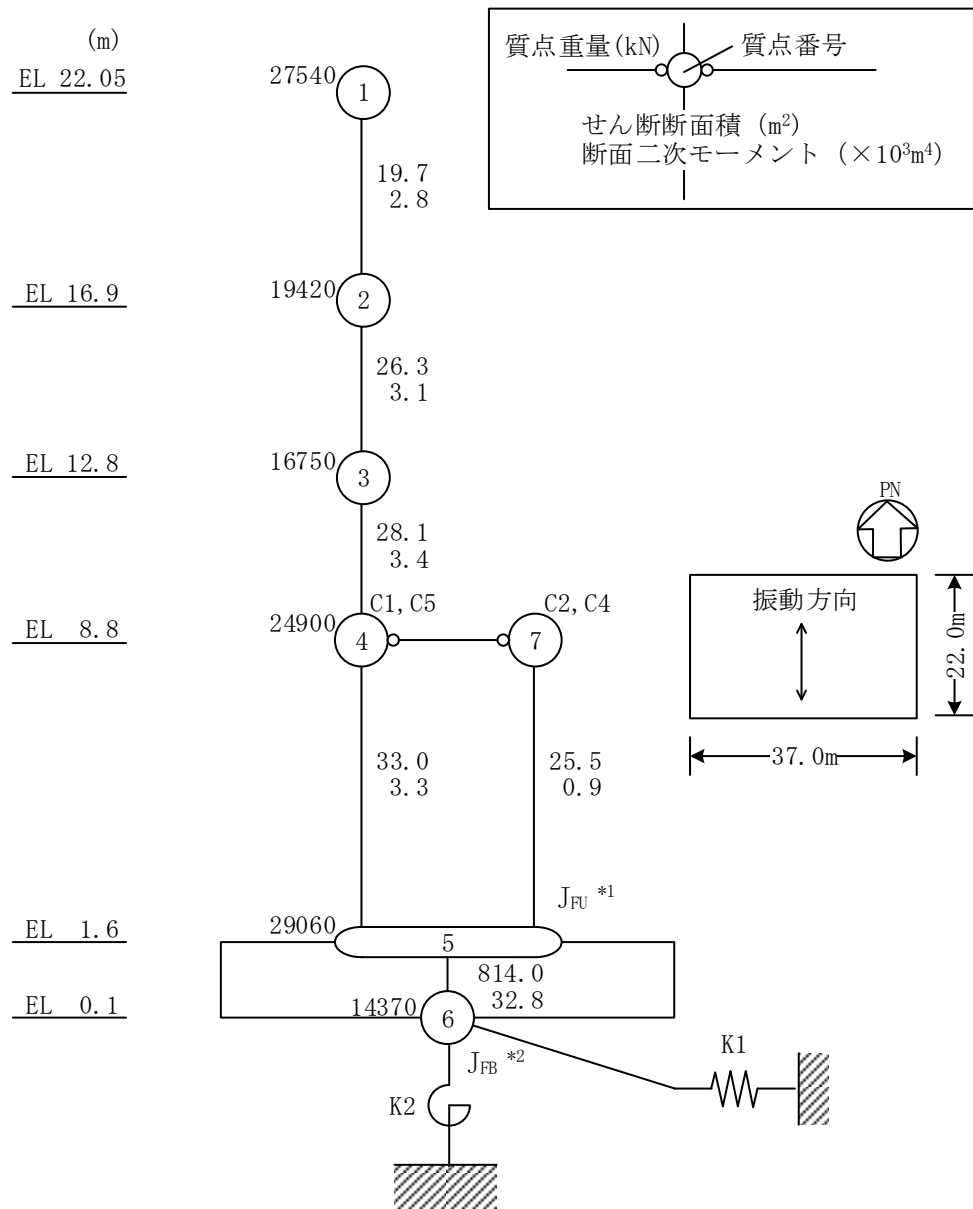
基礎底面の地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」(以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。)により、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねに基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮したモデル及び誘発上下動を考慮したモデルによる地震応答解析に基づく接地率が適用範囲を満足しないことから、基礎底面のロッキング地盤ばねは、建物基礎底面と地盤の間の付着力 0.40N/mm^2 を考慮し、線形とする。地盤ばねの定数化の概要を図3-10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 及び弾性設計用地震動 S_d 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、1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2次元地盤に入力して有限要素法による応答計算を行い、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。表3-3に示す地盤物性値のうち、表層①-1については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値とする。

なお、2次元FEM地盤モデルの側面はエネルギー伝達境界、底面は粘性境界を設けることにより、遠方地盤への波動の逸散を考慮する。

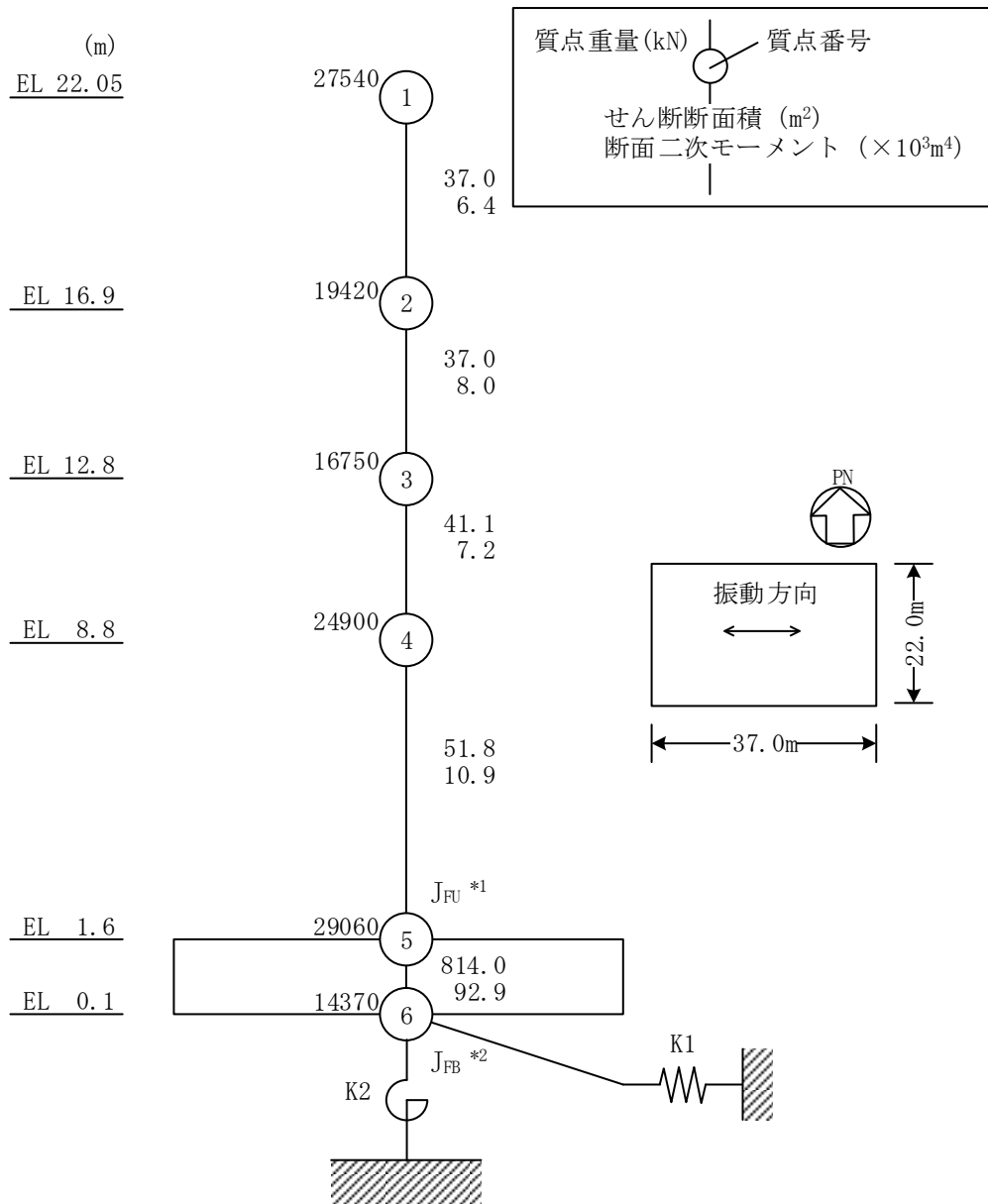
地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-11に、2次元FEM地盤モデルを図3-12に、基礎底面位置(EL0.1m)における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-13及び図3-14に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「SuperFLUSH」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



注記 *1 : 回転慣性重量 (基礎スラブ上端) ($47.46 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

*2 : 回転慣性重量 (基礎スラブ下端) ($5.79 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

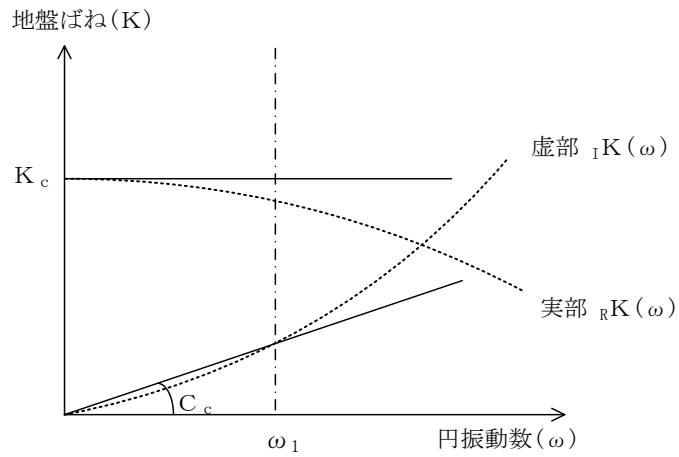
図 3-9(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)



注記*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）（ $13.42 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

*2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）（ $1.64 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

図 3-9(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 ω_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 3-10 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	5.10×10^8 (kN/m)	2.84×10^6 (kN・s/m)
K2	底面・回転	7.45×10^{10} (kN・m/rad)	2.13×10^7 (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	4.86×10^8 (kN/m)	2.58×10^6 (kN・s/m)
K2	底面・回転	1.57×10^{11} (kN・m/rad)	1.19×10^8 (kN・m・s/rad)

表 3-3 制御室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 _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	S _s	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
	S _d	156*	516*	20.7	0.45	0.512*	7*
岩盤①-2		250	800	20.6	0.446	1.31	3
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

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

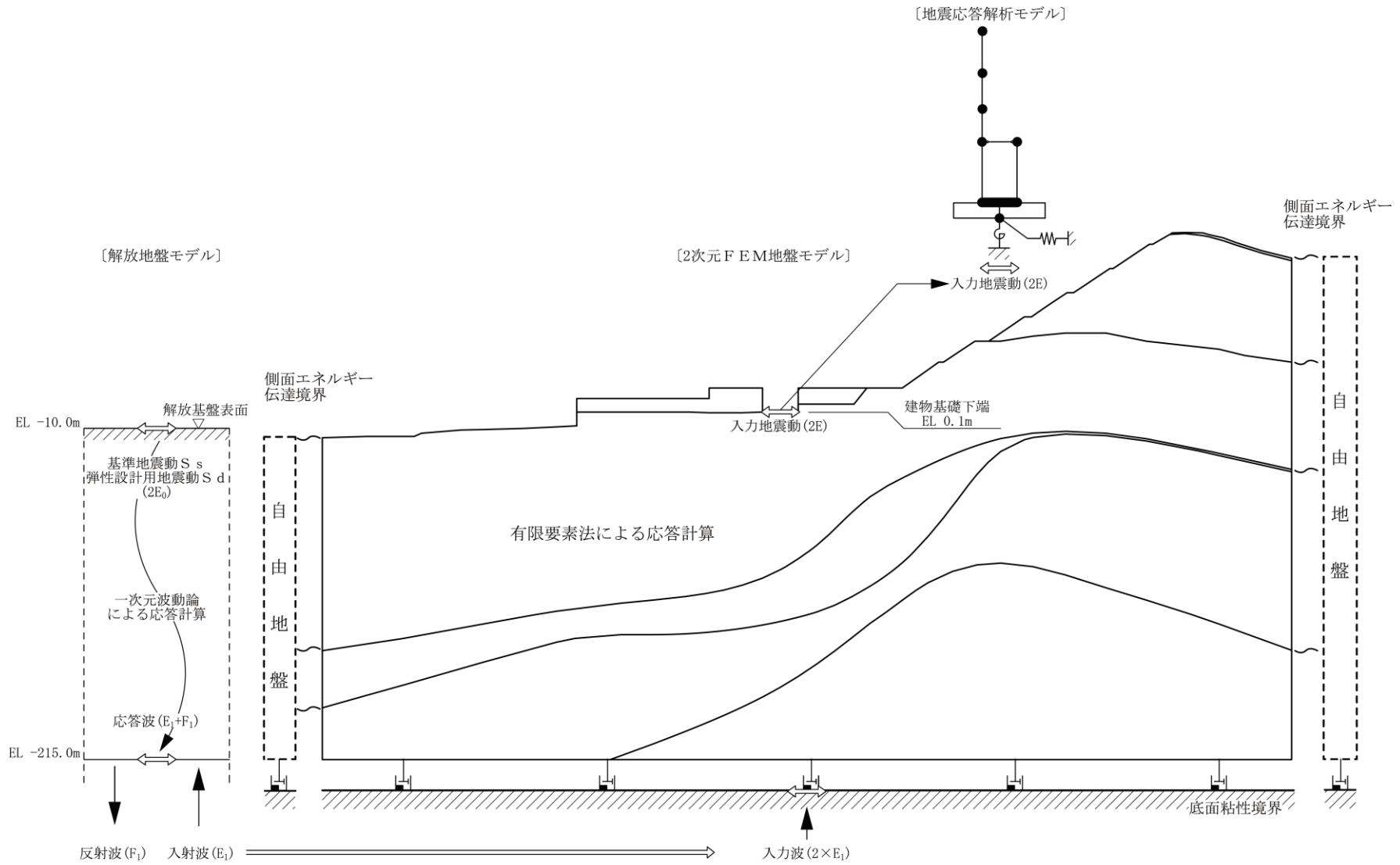
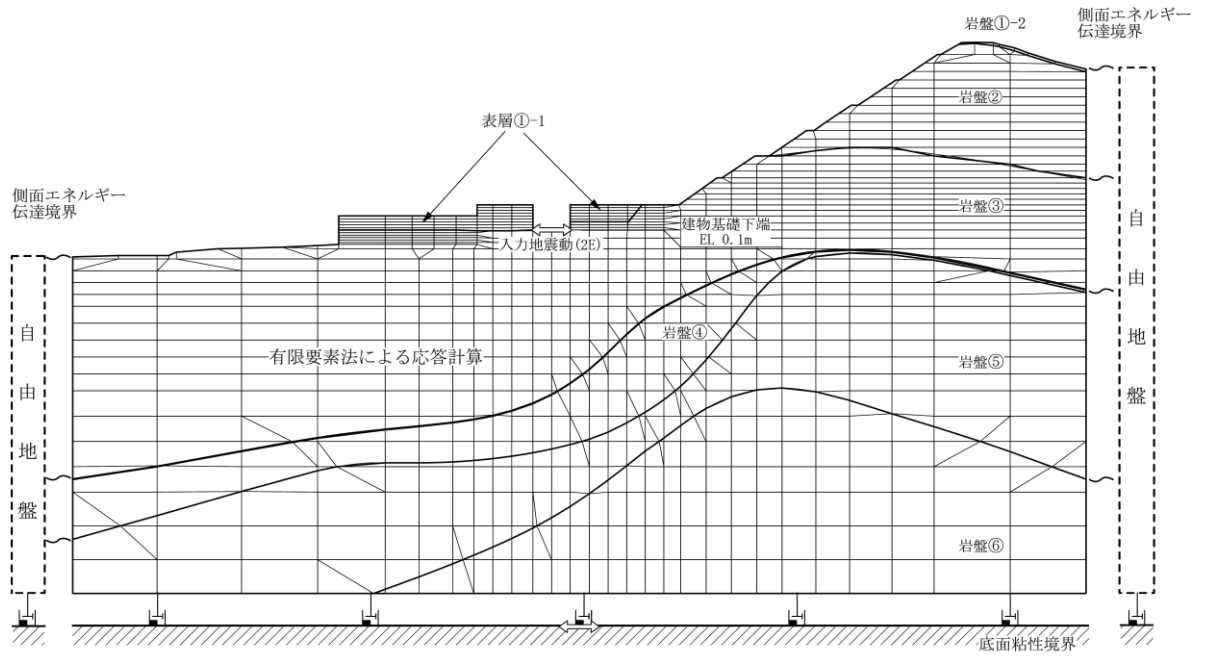
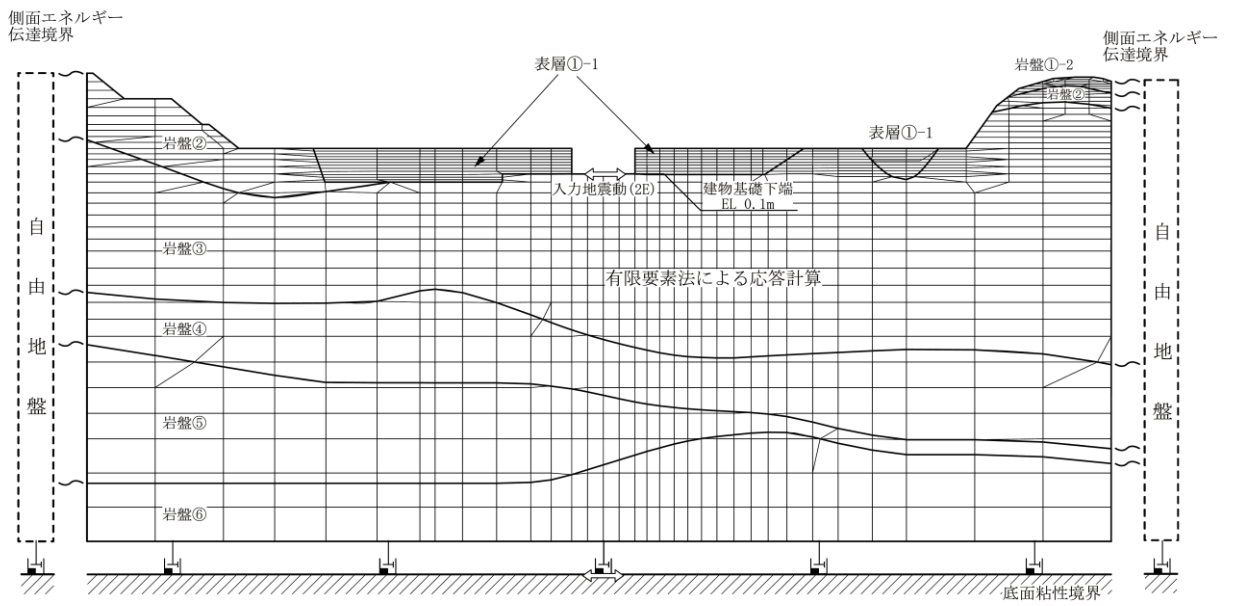


図 3-11 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

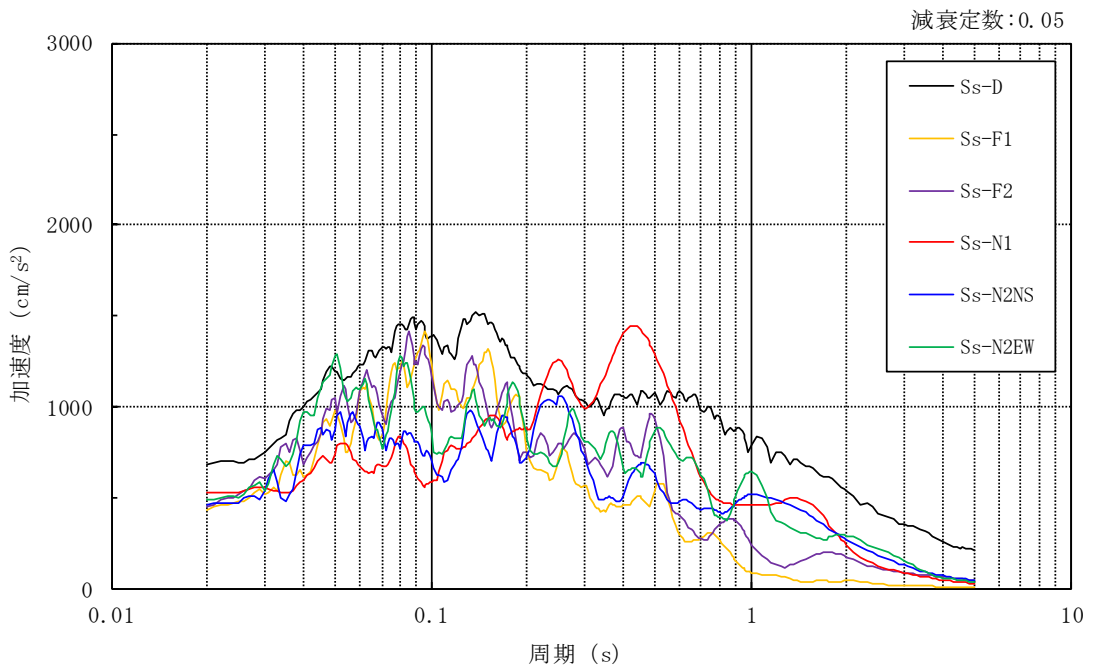


(a) NS方向

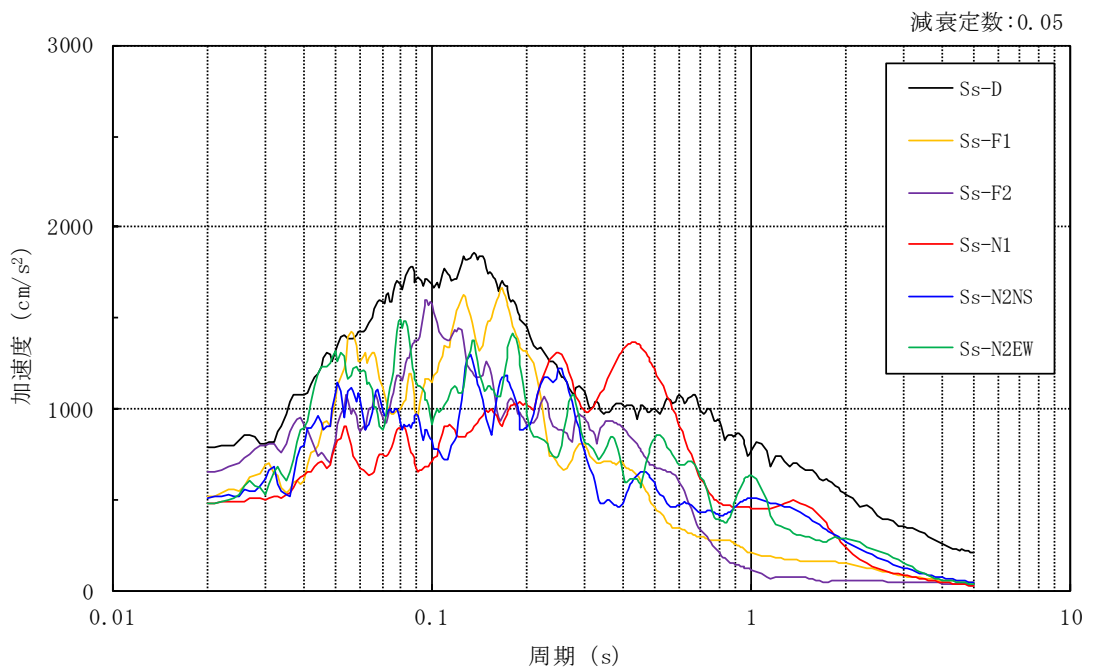


(b) EW方向

図 3-12 2次元FEM地盤モデル



(a) N S 方向



(b) E W 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 , EL 0.1m)

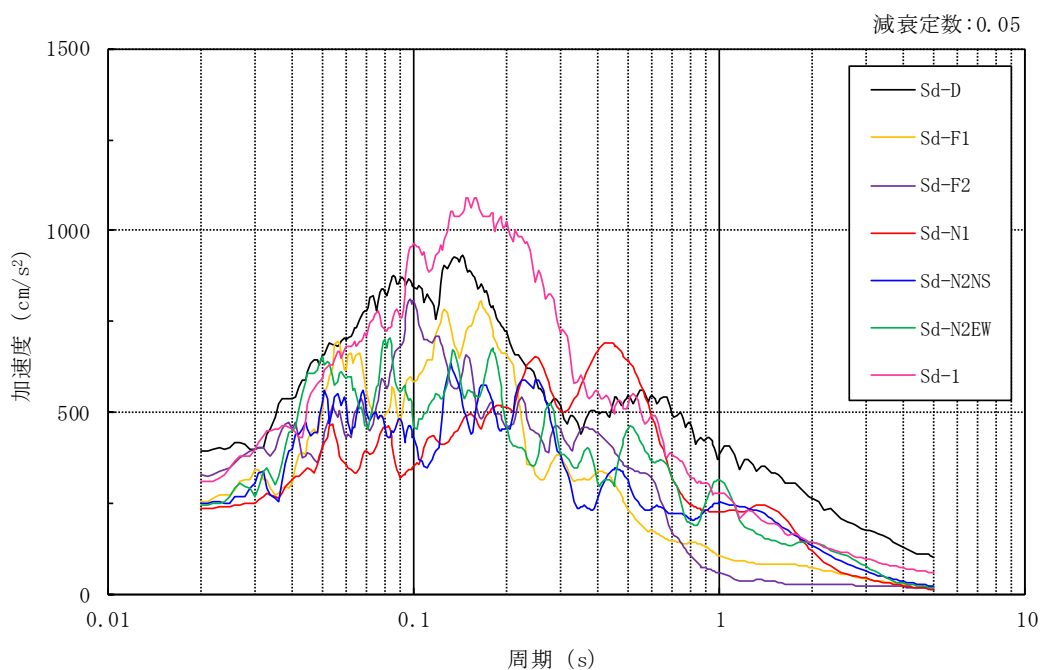
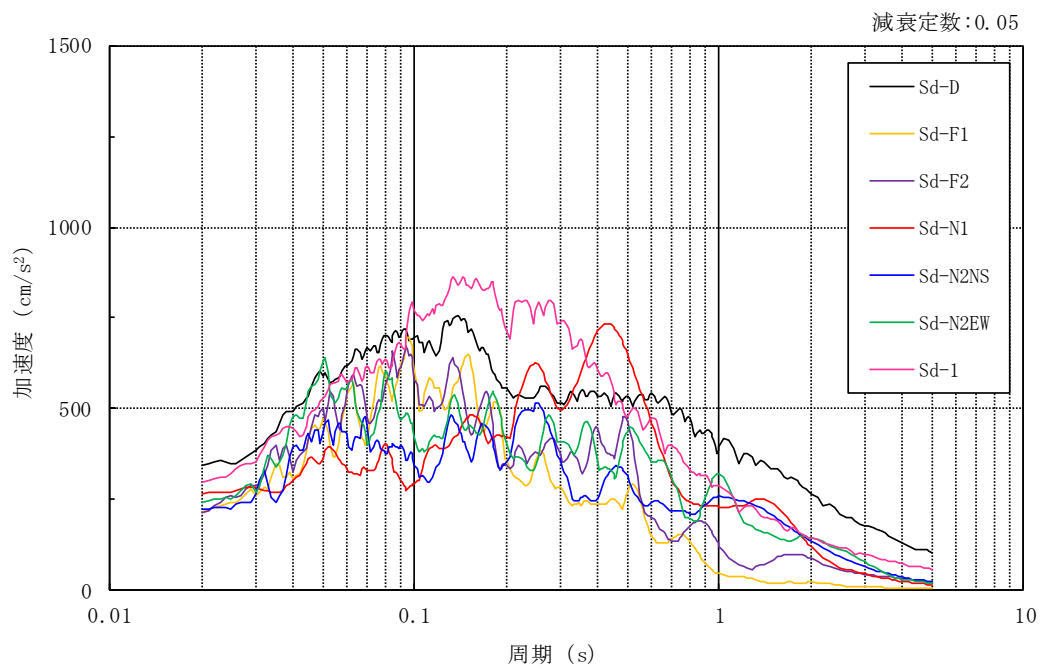


図 3-14 入力地震動の加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d, EL 0.1m)

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 3-15 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 及び弾性設計用地震動 S_d 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。また、建物基礎底面レベルにおける軸力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 3-16 に、1 次元地盤モデルを図 3-17 に、基礎底面位置（EL 0.1m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-18 及び図 3-19 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。

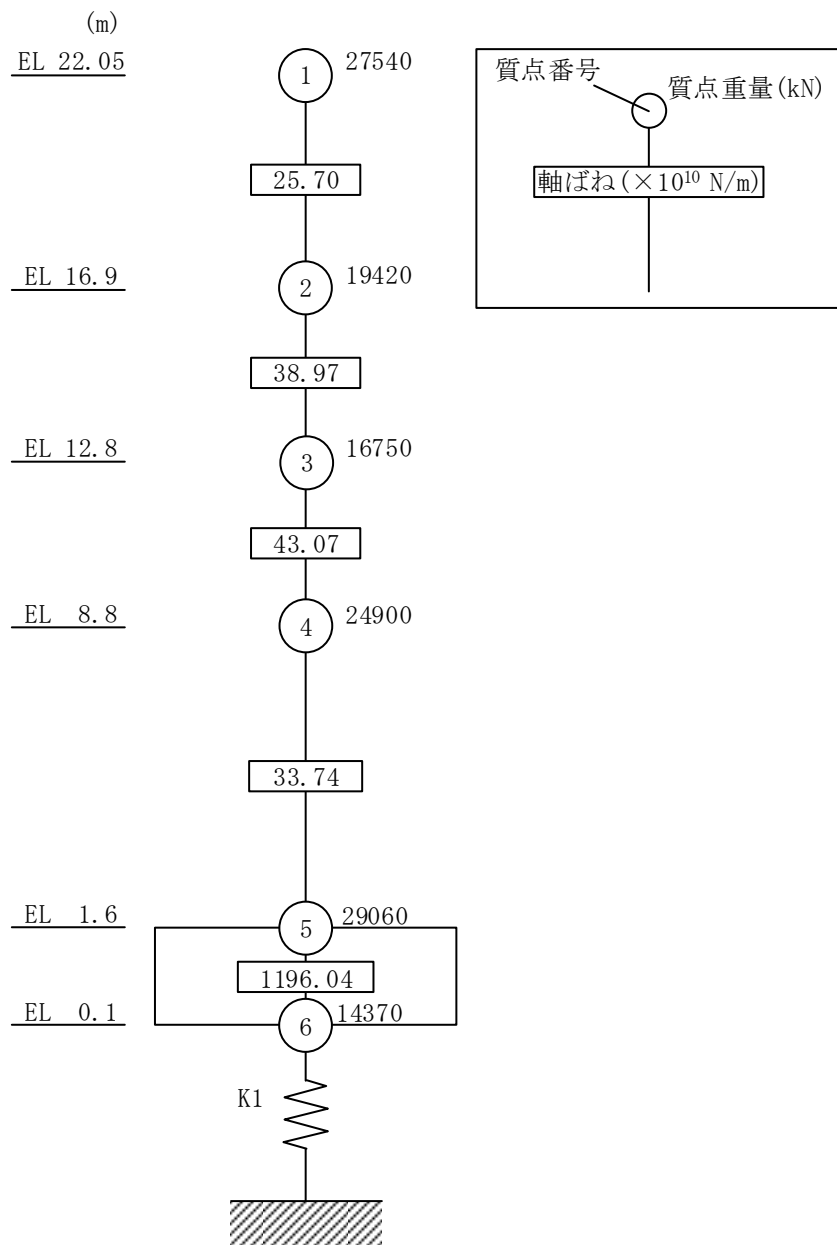


図 3-15 地震応答解析モデル (鉛直方向)

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	6.80×10^8 (kN/m)	5.14×10^6 (kN・s/m)

S2 補 VI-2-2-5 R0

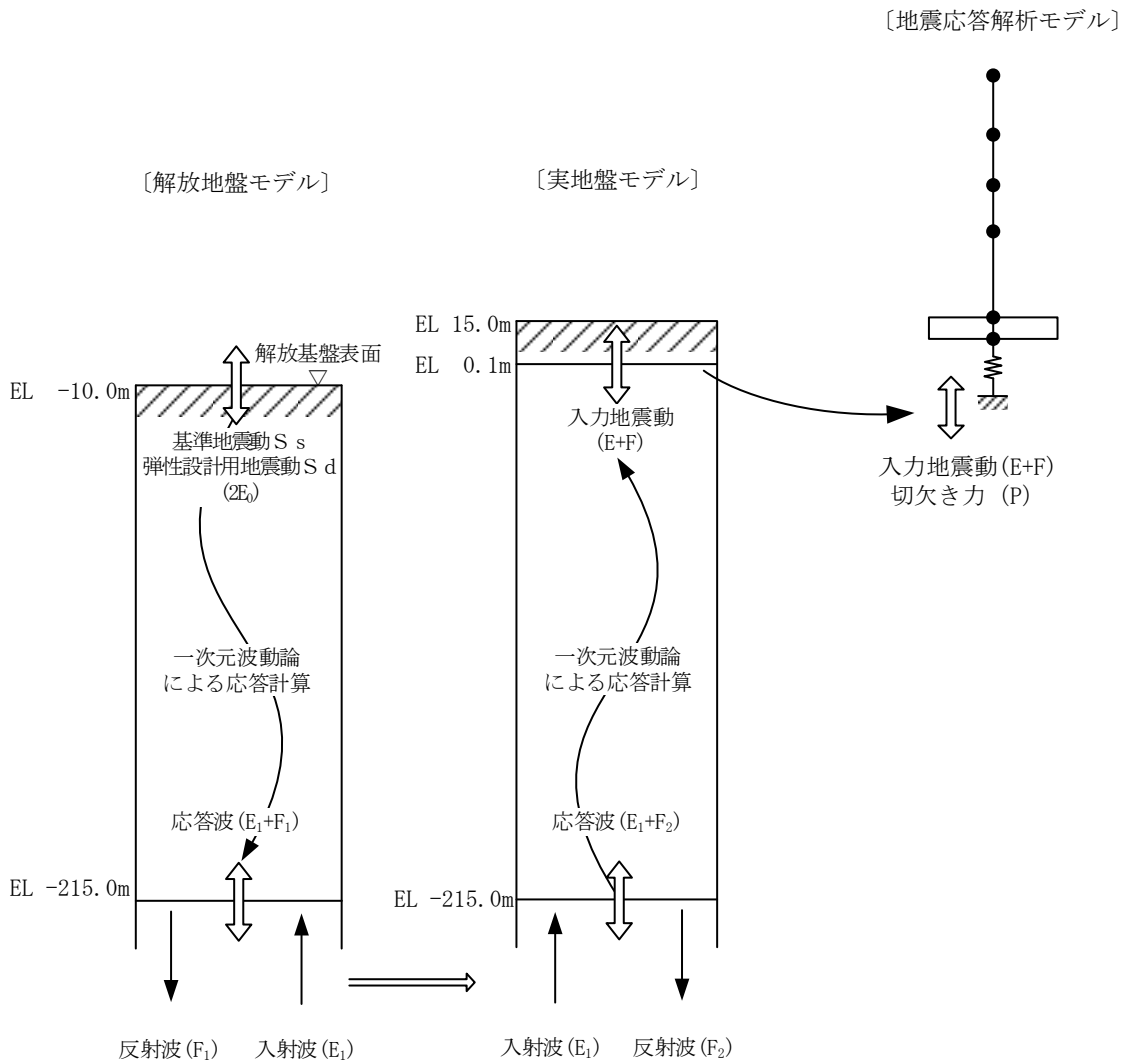


図 3-16 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）

[解放地盤モデル]

[実地盤モデル]

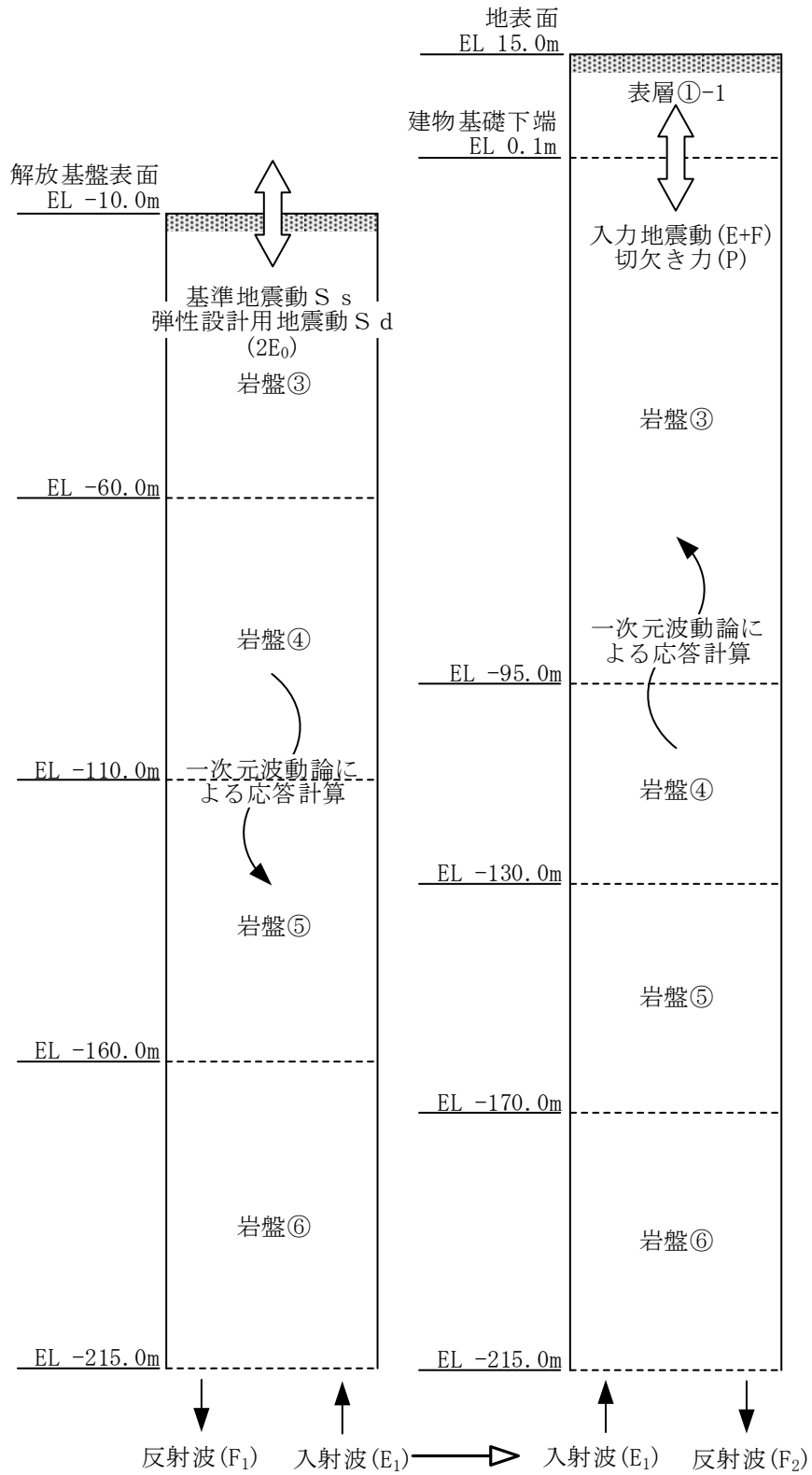


図 3-17 1次元地盤モデル

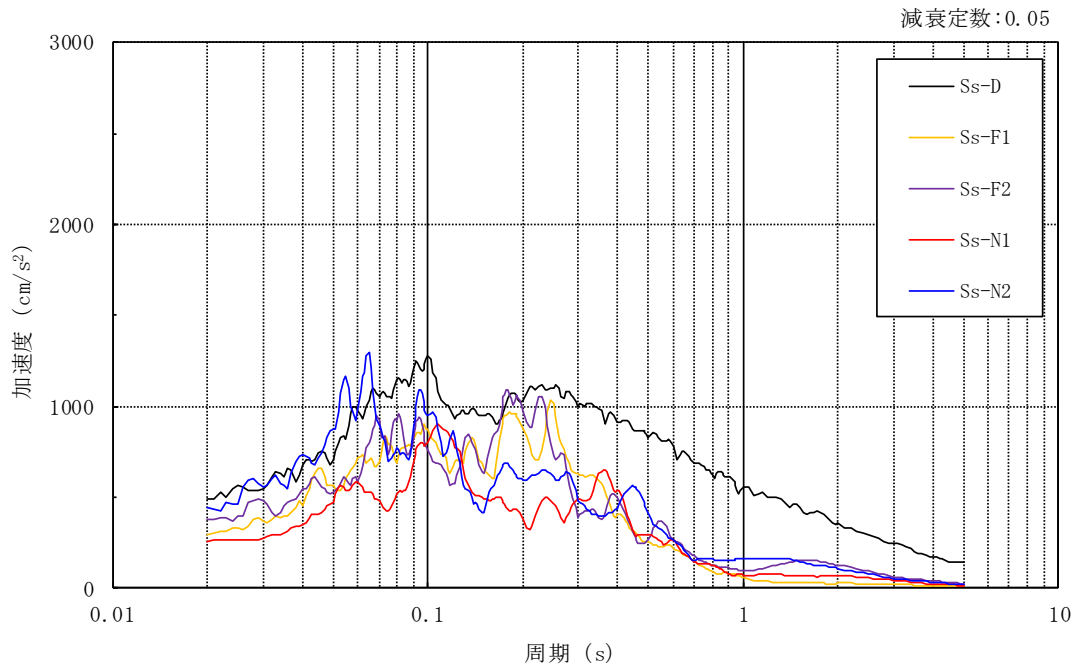


図 3-18 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s , 鉛直方向, EL 0.1m)

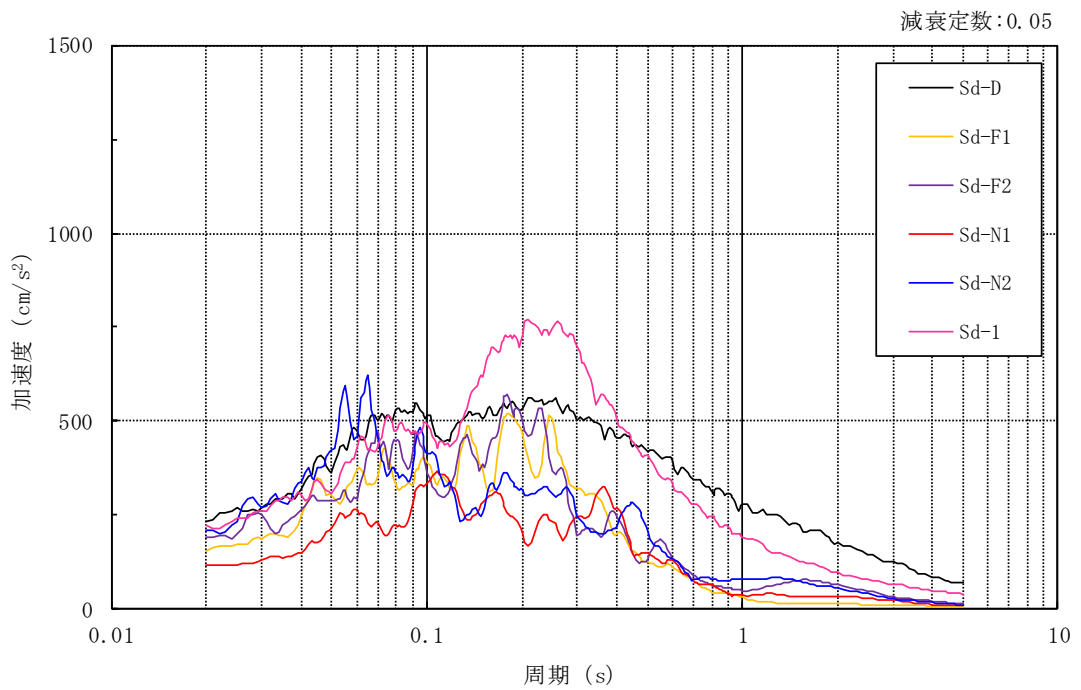


図 3-19 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向, EL 0.1m)

3.3 解析方法

制御室建物について、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、静的解析により静的地震力、接地圧及び必要保有水平耐力を算定する。

制御室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 静的解析

(1) 水平地震力

水平地震力算定用の基準面は基礎スラブ上端（EL 1.6m）とし、基準面より上の部分（地上部分）の地震力は、地震層せん断力係数を用いて、次式により算定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

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

ここで、

- Q_i : 第 i 層に生じる水平地震力
- n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)
- 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
- 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 (0.2)

基準面より下の部分（地下部分）の地震力は、当該部分の重量に、次式によって算定する地下震度を乗じて定める。

$$K = 0.1 \cdot n \cdot (1 - H/40) \cdot Z \cdot \alpha$$

ここで、

- K : 地下部分の水平震度
n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)
H : 地下の各部分の基準面からの深さ (m)
Z : 地震地域係数 (1.0)
 α : 建物・構築物側方地盤の影響を考慮した水平地下震度の補正係数 (1.0)

(2) 鉛直地震力

鉛直地震力は、鉛直震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して、次式によって算定する鉛直震度を用いて定める。

$$C_v = R_v \cdot 0.3$$

ここで、

- C_v : 鉛直震度
 R_v : 鉛直方向振動特性係数 (0.8)

3.3.3 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。

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

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

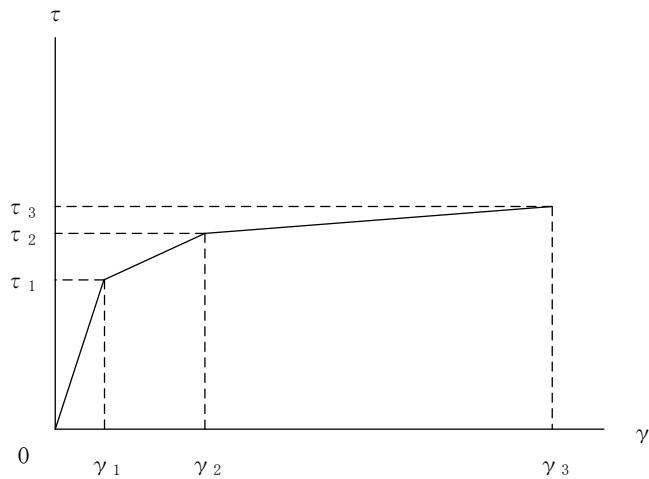
C_0 : 標準せん断力係数 (1.0)

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 3-20 に示す。

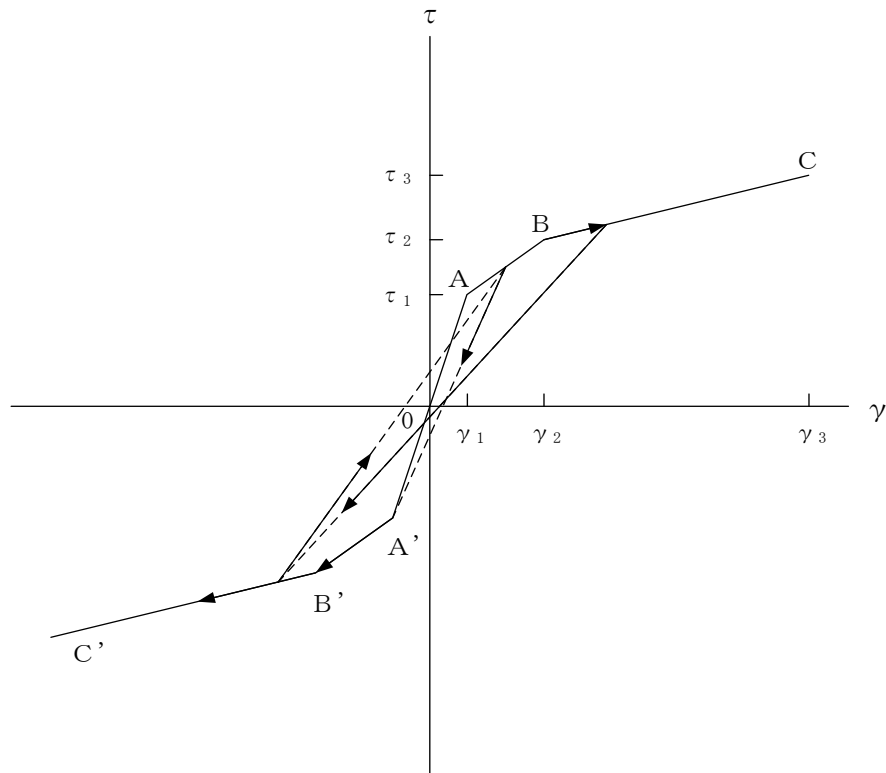


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-20 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 3-21 に示す。

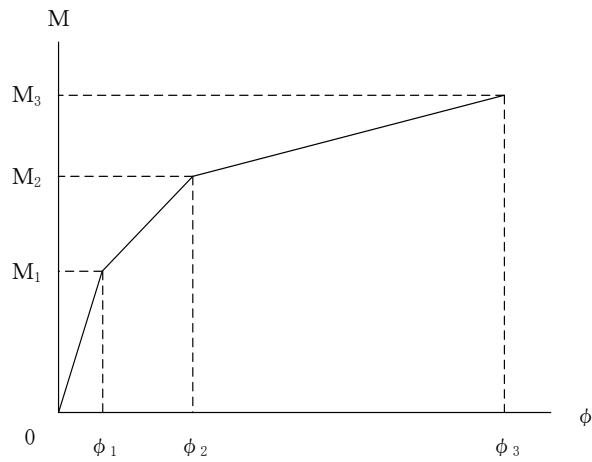


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-21 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- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 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 3-22 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

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

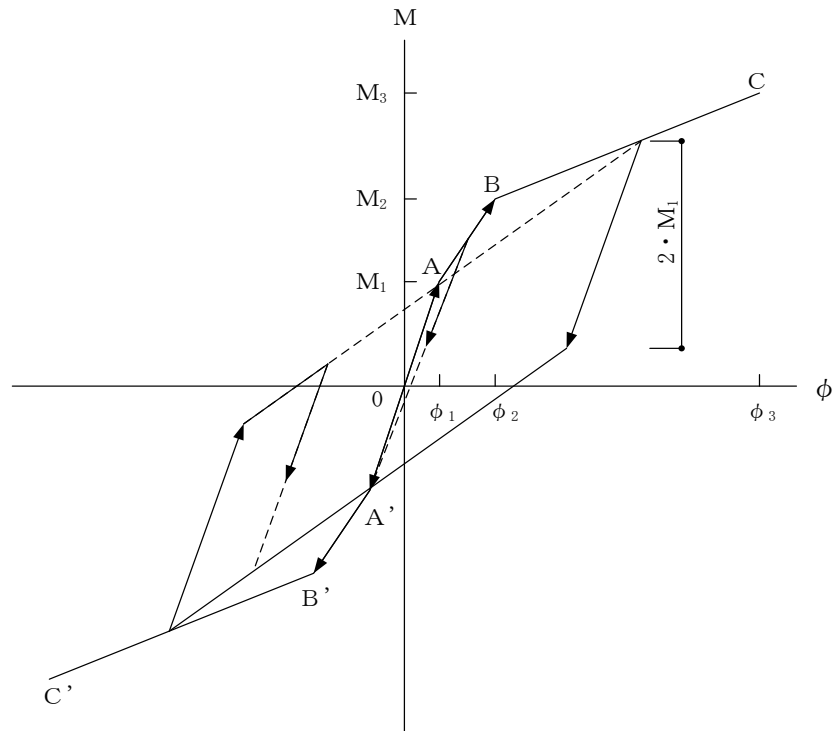
ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-22 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 3-23 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折点を過ぎていなければ、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折点を過ぎていなければ、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 3-23 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

制御室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) (NS 方向)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1.70	2.29	4.72	0.185	0.554	4.00
16.9~12.8	1.80	2.44	4.83	0.196	0.589	4.00
12.8~8.8	1.88	2.53	4.69	0.204	0.613	4.00
8.8~1.6 (C1, C5)	1.83	2.47	4.16	0.199	0.597	4.00
8.8~1.6 (C2, C4)	1.83	2.47	3.82	0.199	0.597	4.00

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

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1.70	2.29	4.74	0.185	0.554	4.00
16.9~12.8	1.80	2.44	4.80	0.196	0.589	4.00
12.8~8.8	1.88	2.53	4.83	0.204	0.613	4.00
8.8~1.6	1.83	2.47	4.45	0.199	0.597	4.00

表 3-7 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (NS 方向)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
22.05~16.9	6.04	6.69	8.37	9.73	86.6	1730
16.9~12.8	7.50	10.5	13.3	10.9	91.0	1820
12.8~8.8	8.45	13.6	16.8	11.2	93.7	1870
8.8~1.6 (C1, C5)	7.26	11.6	15.0	9.95	90.6	1810
8.8~1.6 (C2, C4)	2.51	4.56	6.60	12.3	117	2330

表 3-8 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (EW 方向)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
22.05~16.9	8.17	13.6	19.4	5.79	55.6	1110
16.9~12.8	11.3	18.1	23.8	6.46	54.9	1100
12.8~8.8	11.0	19.3	26.4	6.94	57.6	1150
8.8~1.6	15.9	26.3	34.4	6.61	56.6	1130

3.4.2 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	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	S s	127	153	102
	S d	156	187	125
岩盤①-2		250	300	200
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	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	S s	422	506	338
	S d	516	620	413
岩盤①-2		800	960	640
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 及び弾性設計用地震動 S_d 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

(1) 基準地震動 S_s

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。

(2) 弾性設計用地震動 S_d

弾性設計用地震動 S_d による最大応答値を図 4-19～図 4-29 及び表 4-16～表 4-28 に示す。また，弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答値を図 4-30～図 4-33 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 4-29 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	0.140	7.17	1.324	建物—地盤連成 1 次
2	0.047	21.28	0.569	

(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	0.116	8.65	1.299	建物—地盤連成 1 次
2	0.040	25.22	0.515	

(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	0.052	19.39	1.338	建物—地盤連成 1 次
2	0.020	50.32	0.532	

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。

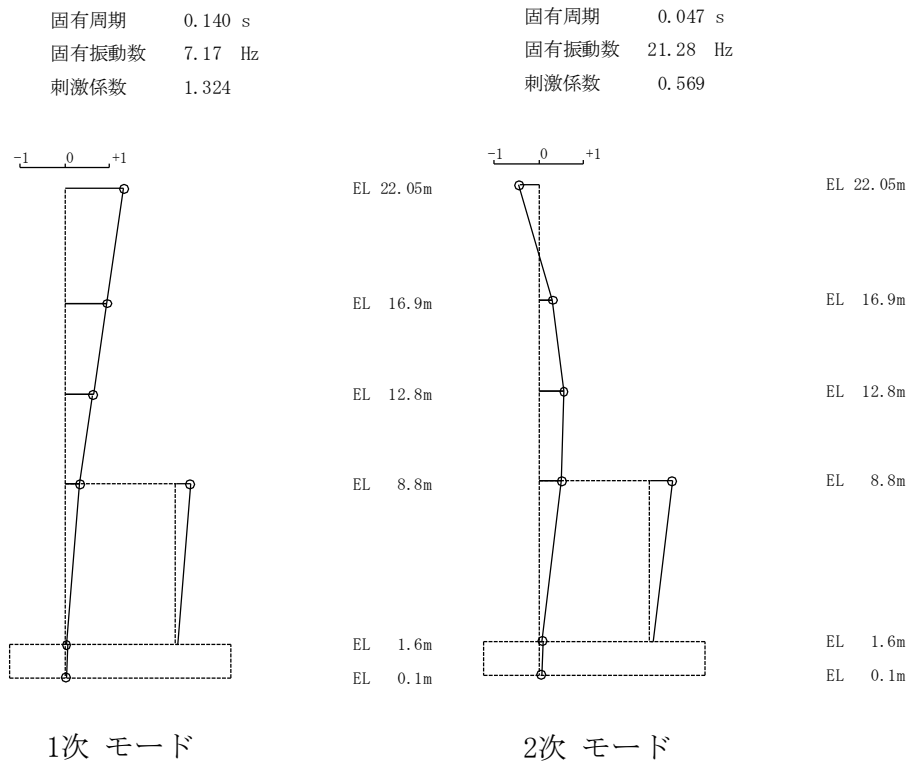


図 4-1 刺激関数図 (N S 方向)

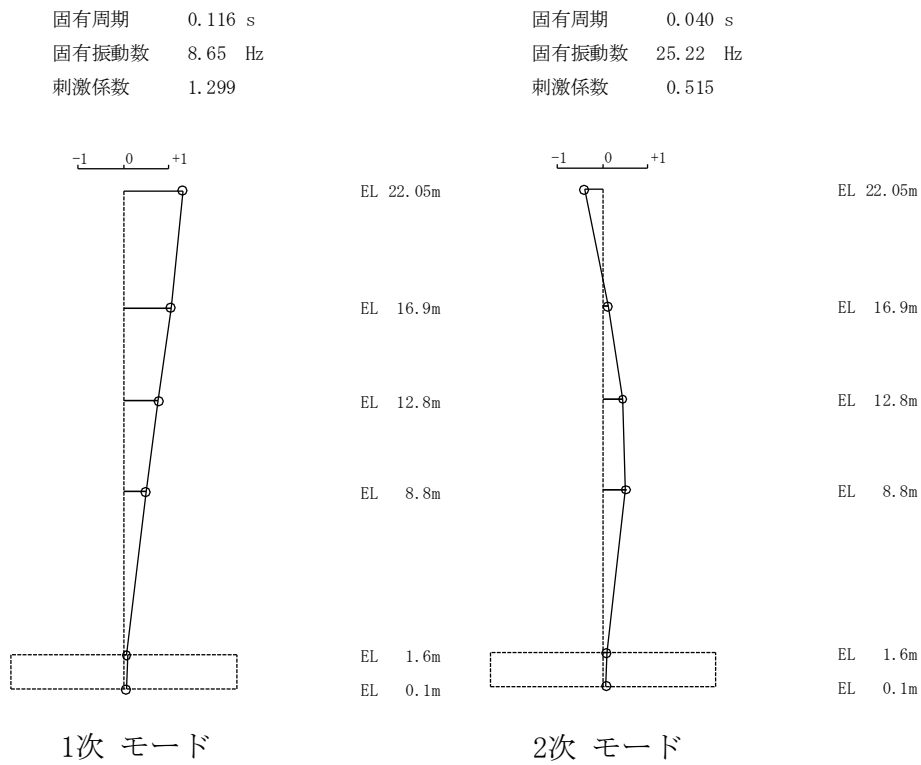
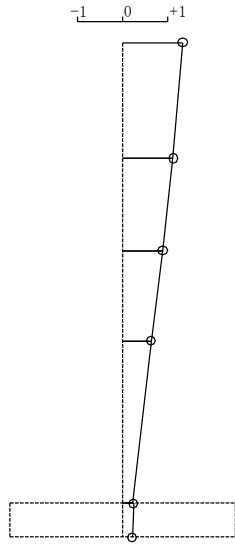


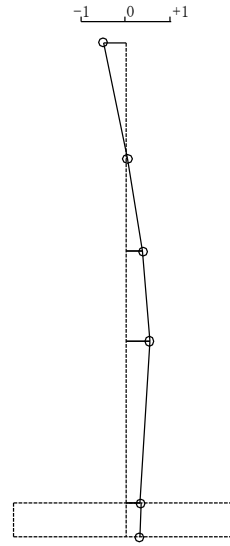
図 4-2 刺激関数図 (E W 方向)

固有周期 0.052 s
 固有振動数 19.39 Hz
 刺激係数 1.338

固有周期 0.020 s
 固有振動数 50.32 Hz
 刺激係数 0.532



EL 22.05m
 EL 16.9m
 EL 12.8m
 EL 8.8m
 EL 1.6m
 EL 0.1m



EL 22.05m
 EL 16.9m
 EL 12.8m
 EL 8.8m
 EL 1.6m
 EL 0.1m

1次 モード

2次 モード

図 4-3 刺激関数図 (鉛直方向)

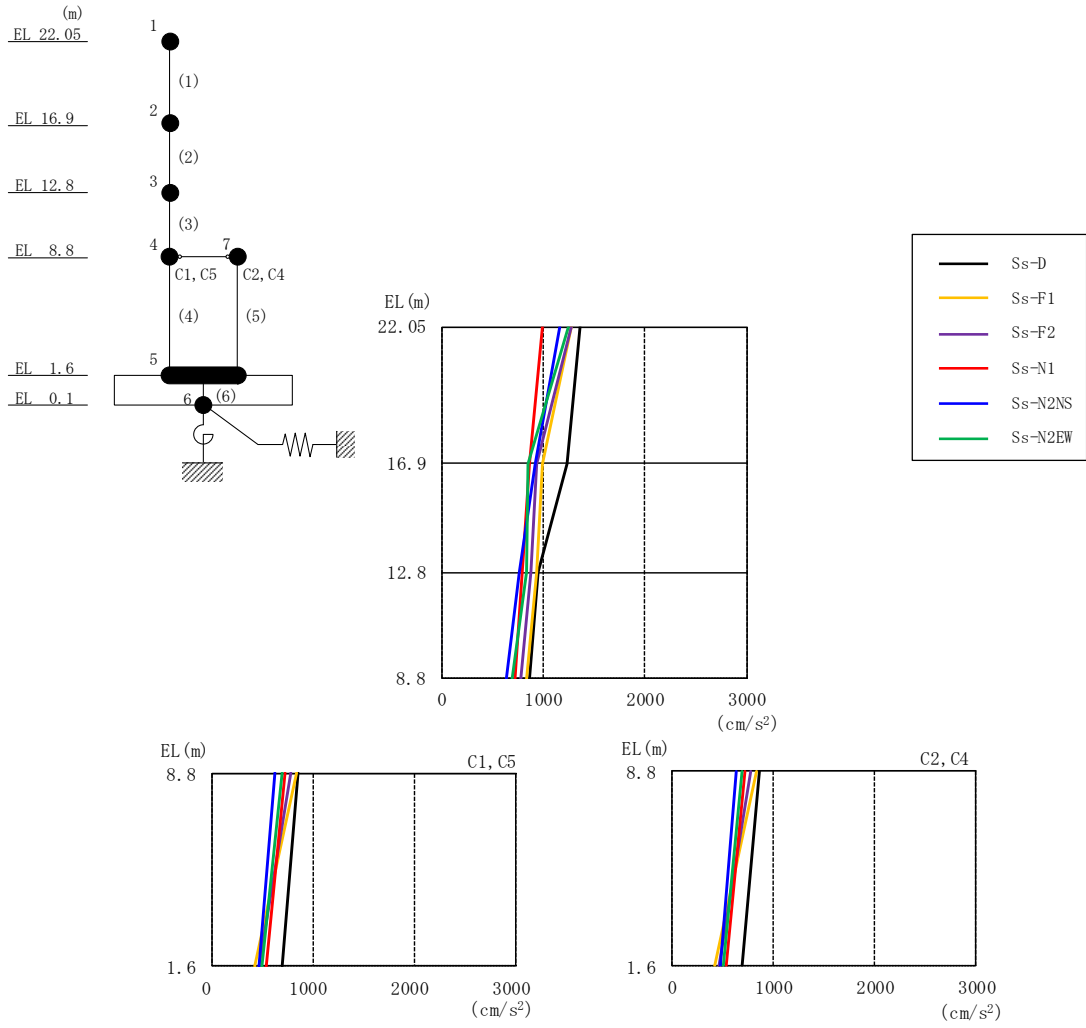


図 4-4 最大応答加速度 (基準地震動 S_s , NS 方向)

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^2)						最大値
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	
22.05	1	1367	1282	1272	985	1169	1251	1367
16.9	2	1229	994	940	861	927	843	1229
12.8	3	955	932	877	791	765	832	955
8.8 (C1, C5)	4	858	838	783	719	629	692	858
1.6	5	698	424	465	537	474	500	698
8.8 (C2, C4)	7	858	838	783	719	629	692	858

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。

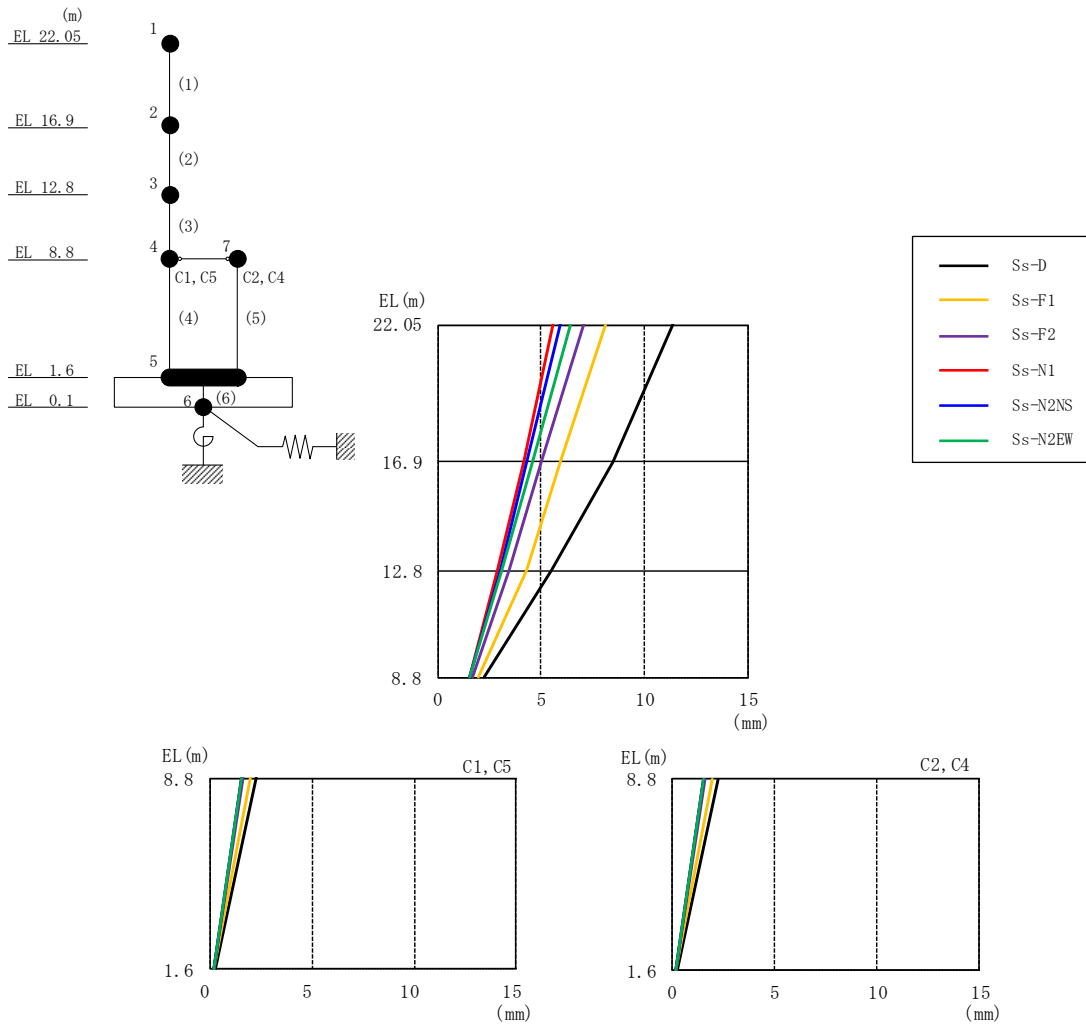


図 4-5 最大応答変位 (基準地震動 S_s , NS 方向)

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
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	
22.05	1	11.36	8.15	7.04	5.60	5.93	6.41	11.36
16.9	2	8.45	5.91	5.03	4.13	4.31	4.59	8.45
12.8	3	5.52	4.27	3.44	2.91	3.01	3.12	5.52
8.8(C1, C5)	4	2.26	1.97	1.65	1.57	1.56	1.55	2.26
1.6	5	0.24	0.23	0.21	0.22	0.21	0.19	0.24
8.8(C2, C4)	7	2.26	1.97	1.65	1.57	1.56	1.55	2.26

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。

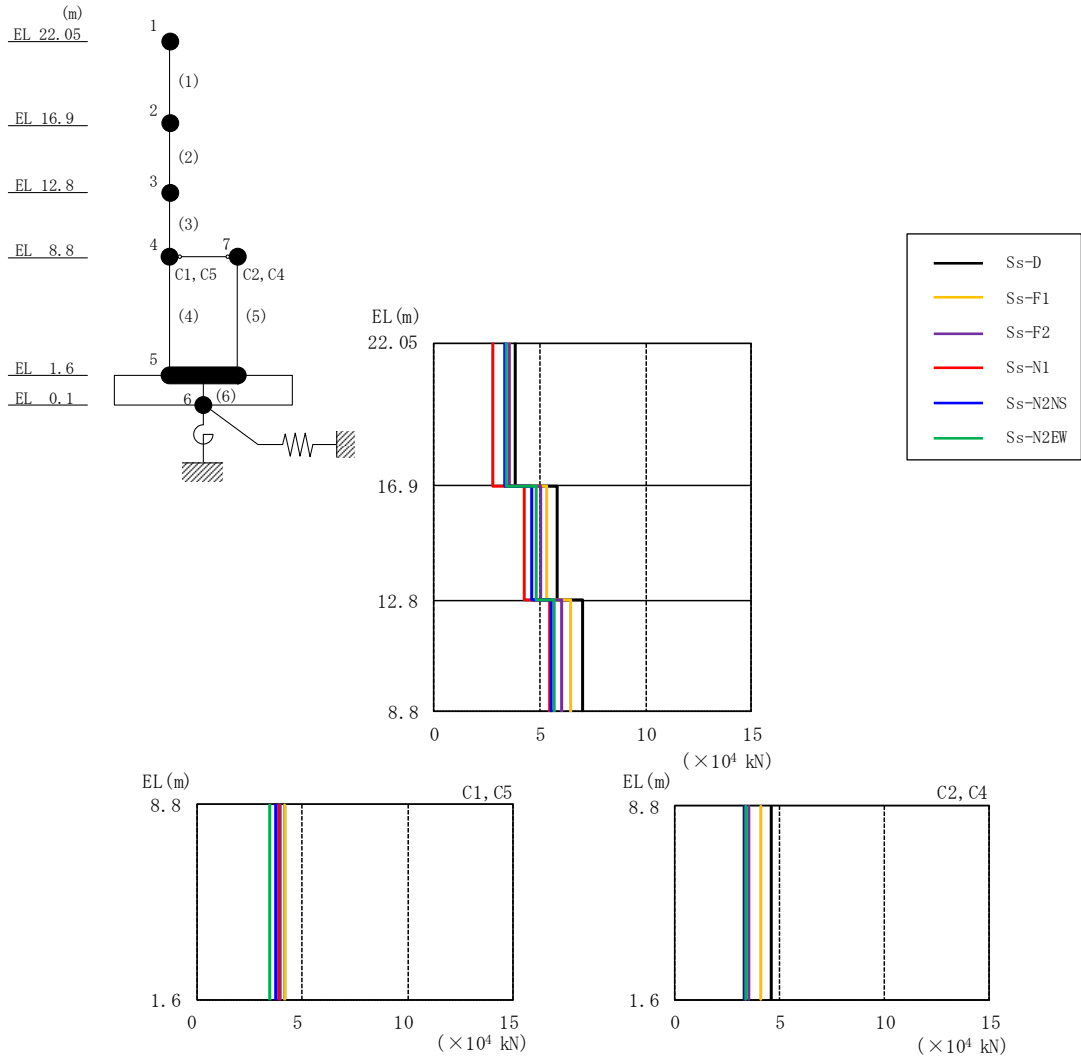


図 4-6 最大応答せん断力（基準地震動 S_s ，NS 方向）

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
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
22.05~16.9	1	3.80	3.57	3.54	2.77	3.31	3.42	3.80
16.9~12.8	2	5.80	5.28	5.04	4.26	4.58	4.84	5.80
12.8~8.8	3	7.04	6.46	5.99	5.46	5.56	5.67	7.04
8.8~1.6 (C1, C5)	4	4.13	4.16	3.94	3.86	3.71	3.43	4.16
8.8~1.6 (C2, C4)	5	4.57	4.12	3.53	3.31	3.33	3.37	4.57

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

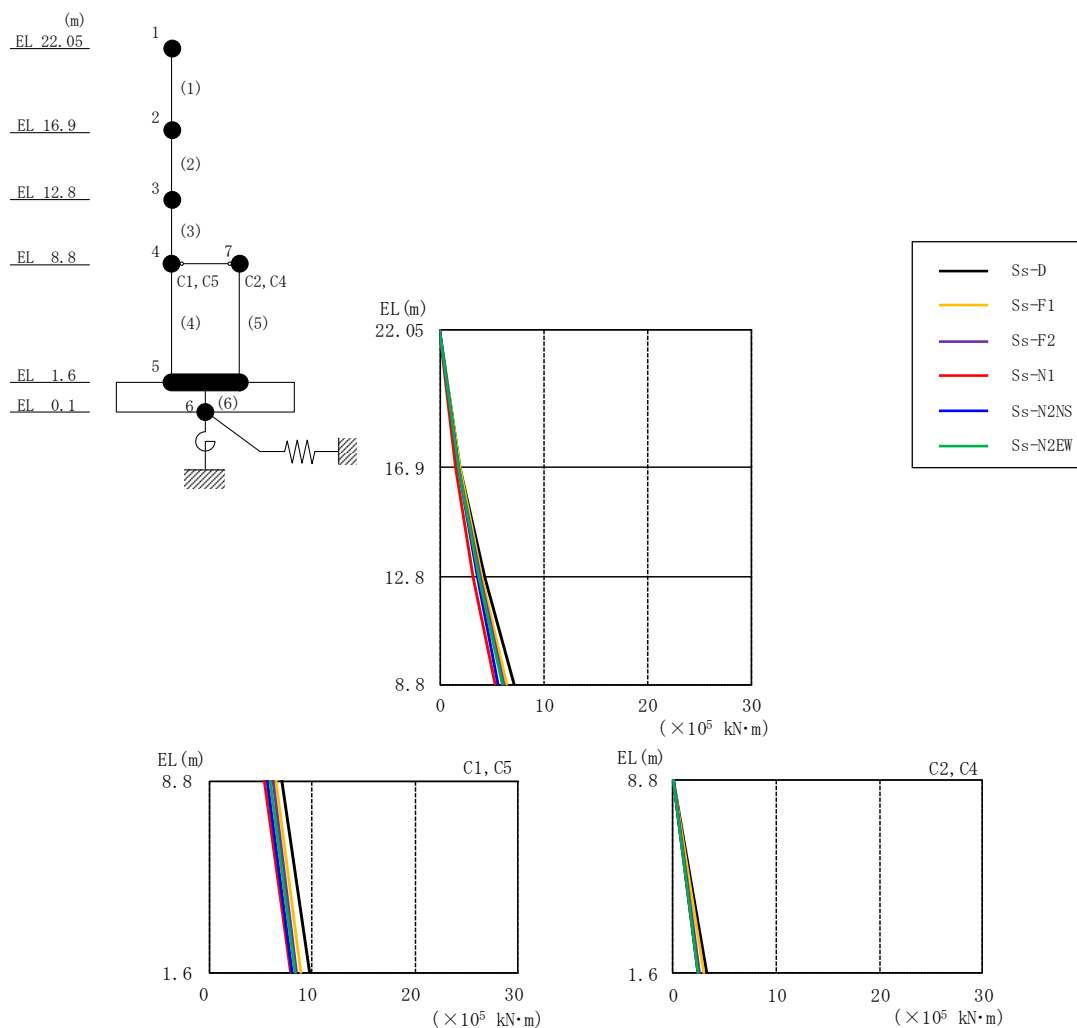


図 4-7 最大応答曲げモーメント（基準地震動 S_s ，NS 方向）

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）

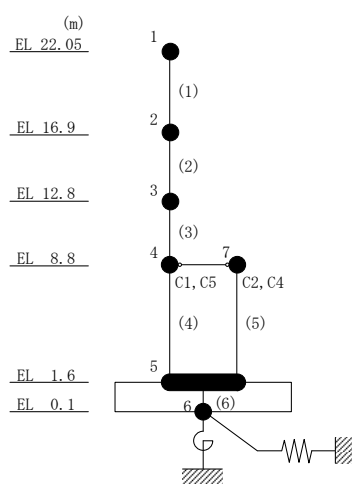
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
22.05~16.9	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		1.96	1.84	1.82	1.43	1.70	1.76	1.96
16.9~12.8	2	1.96	1.84	1.82	1.43	1.70	1.76	1.96
		4.32	4.00	3.89	3.17	3.58	3.74	4.32
12.8~8.8	3	4.32	4.00	3.89	3.17	3.58	3.74	4.32
		7.12	6.48	6.21	5.36	5.62	5.97	7.12
8.8~1.6(C1, C5)	4	7.12	6.48	6.21	5.36	5.62	5.97	7.12
		9.75	8.95	8.44	7.95	8.12	8.34	9.75
8.8~1.6(C2, C4)	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		3.29	2.97	2.54	2.38	2.40	2.43	3.29

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 ($\times 10^{-3}$)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
22.05~16.9	1	0.30	0.24	0.23	0.15	0.18	0.20	0.30
16.9~12.8	2	0.43	0.30	0.26	0.18	0.19	0.22	0.43
12.8~8.8	3	0.55	0.44	0.36	0.25	0.26	0.27	0.55
8.8~1.6 (C1, C5)	4	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.14
8.8~1.6 (C2, C4)	5	0.20	0.18	0.15	0.14	0.14	0.14	0.20

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



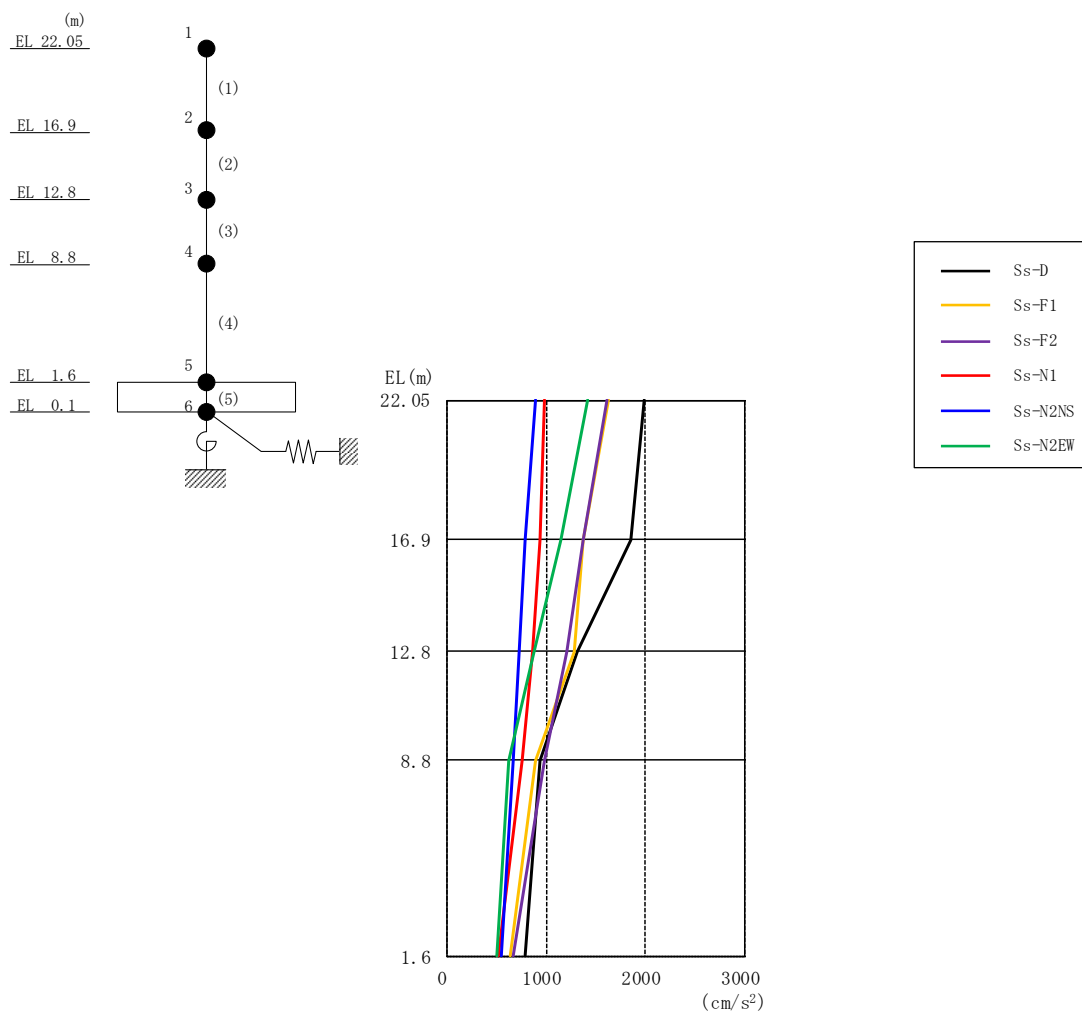


図 4-8 最大応答加速度 (基準地震動 S_s , EW 方向)

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 (cm/s^2)						最大値
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	
22.05	1	1979	1631	1604	981	893	1417	1979
16.9	2	1849	1376	1370	933	787	1148	1849
12.8	3	1315	1283	1201	861	729	870	1315
8.8	4	938	890	986	754	665	626	986
1.6	5	790	633	664	518	543	503	790

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。

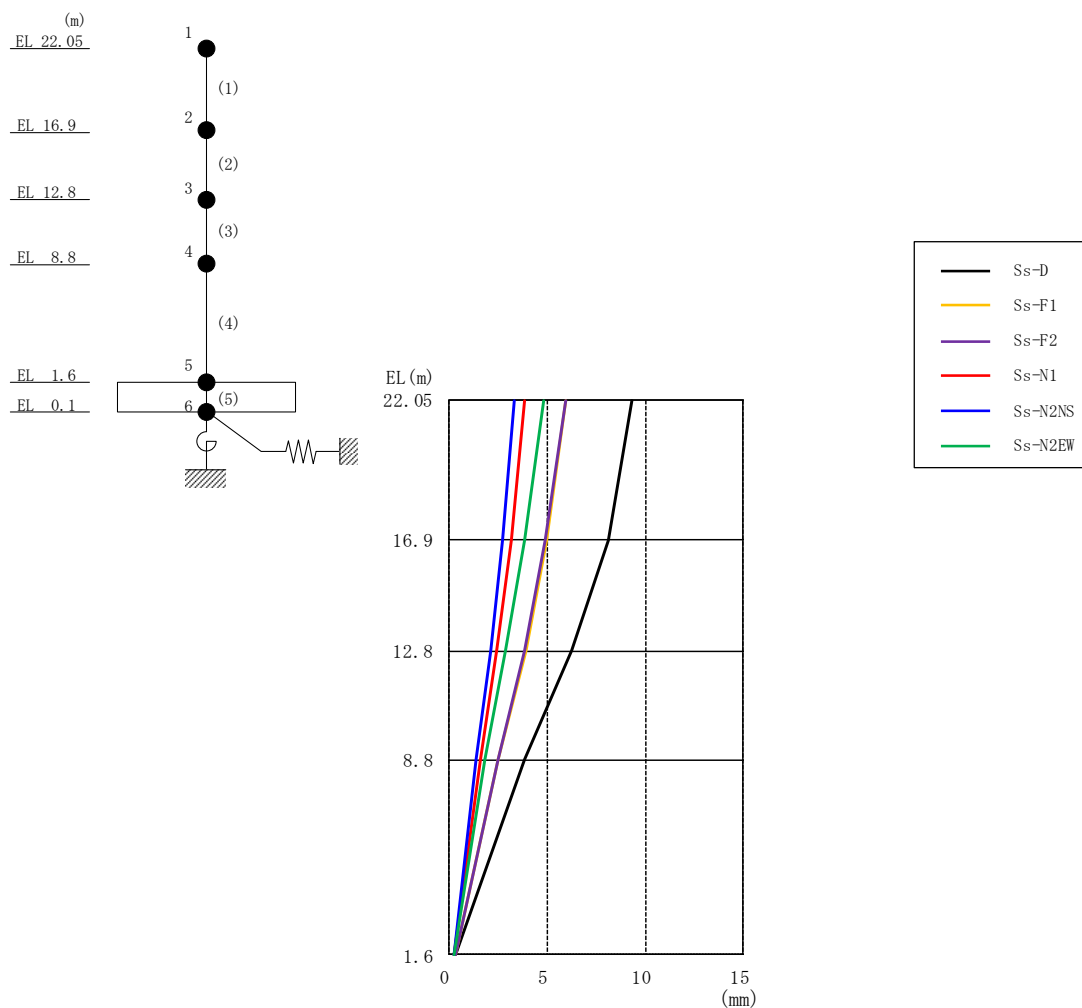


図 4-9 最大応答変位（基準地震動 S_s ，EW 方向）

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
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	
22.05	1	9.34	5.97	5.97	3.86	3.32	4.82	9.34
16.9	2	8.12	4.96	4.90	3.17	2.73	3.86	8.12
12.8	3	6.24	3.91	3.81	2.41	2.08	2.84	6.24
8.8	4	3.82	2.50	2.50	1.61	1.39	1.82	3.82
1.6	5	0.31	0.29	0.29	0.24	0.21	0.23	0.31

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。

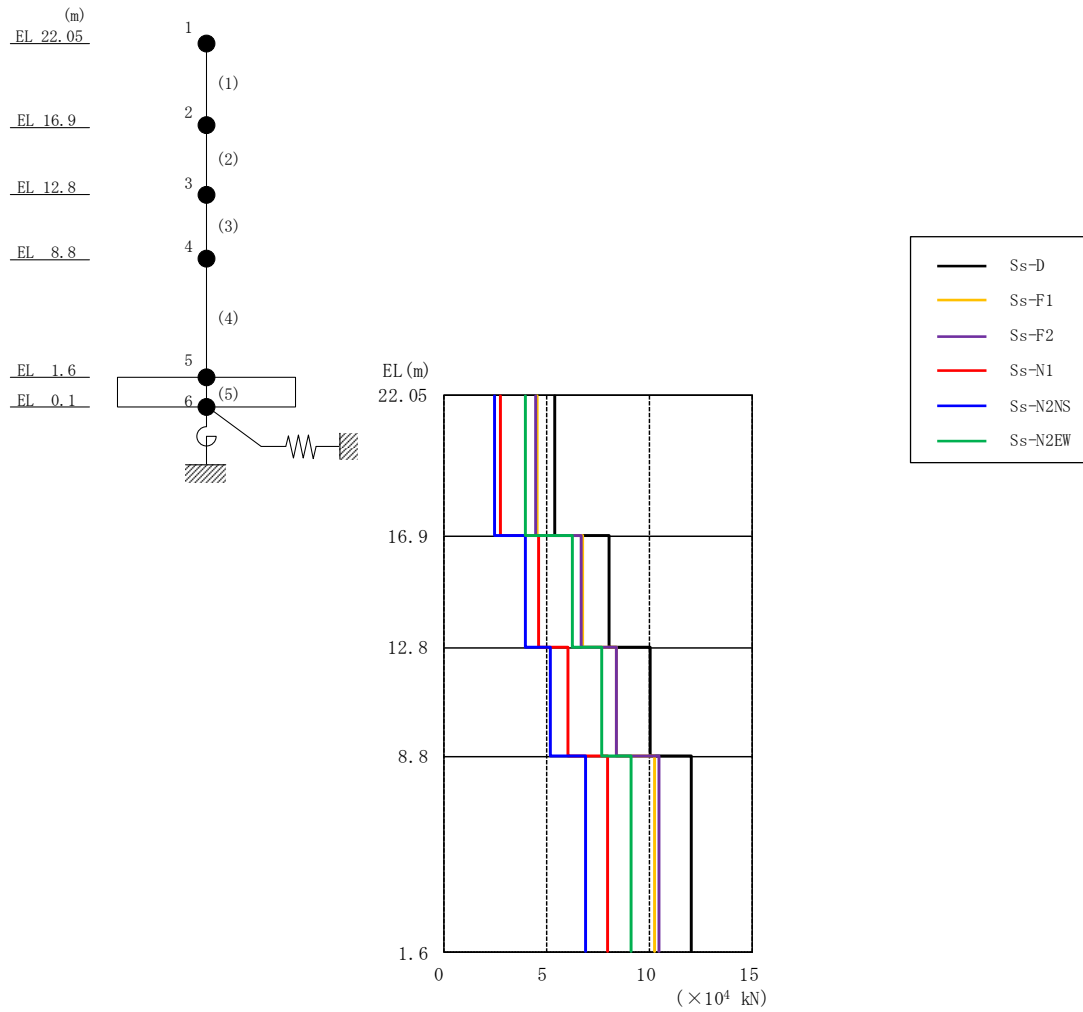


図 4-10 最大応答せん断力（基準地震動 S_s ，EW 方向）

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
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
22.05~16.9	1	5.42	4.53	4.49	2.74	2.48	3.98	5.42
16.9~12.8	2	8.05	6.73	6.70	4.59	3.93	6.23	8.05
12.8~8.8	3	10.0	8.36	8.39	6.05	5.17	7.68	10.0
8.8~1.6	4	12.0	10.2	10.4	7.96	6.85	9.12	12.0

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

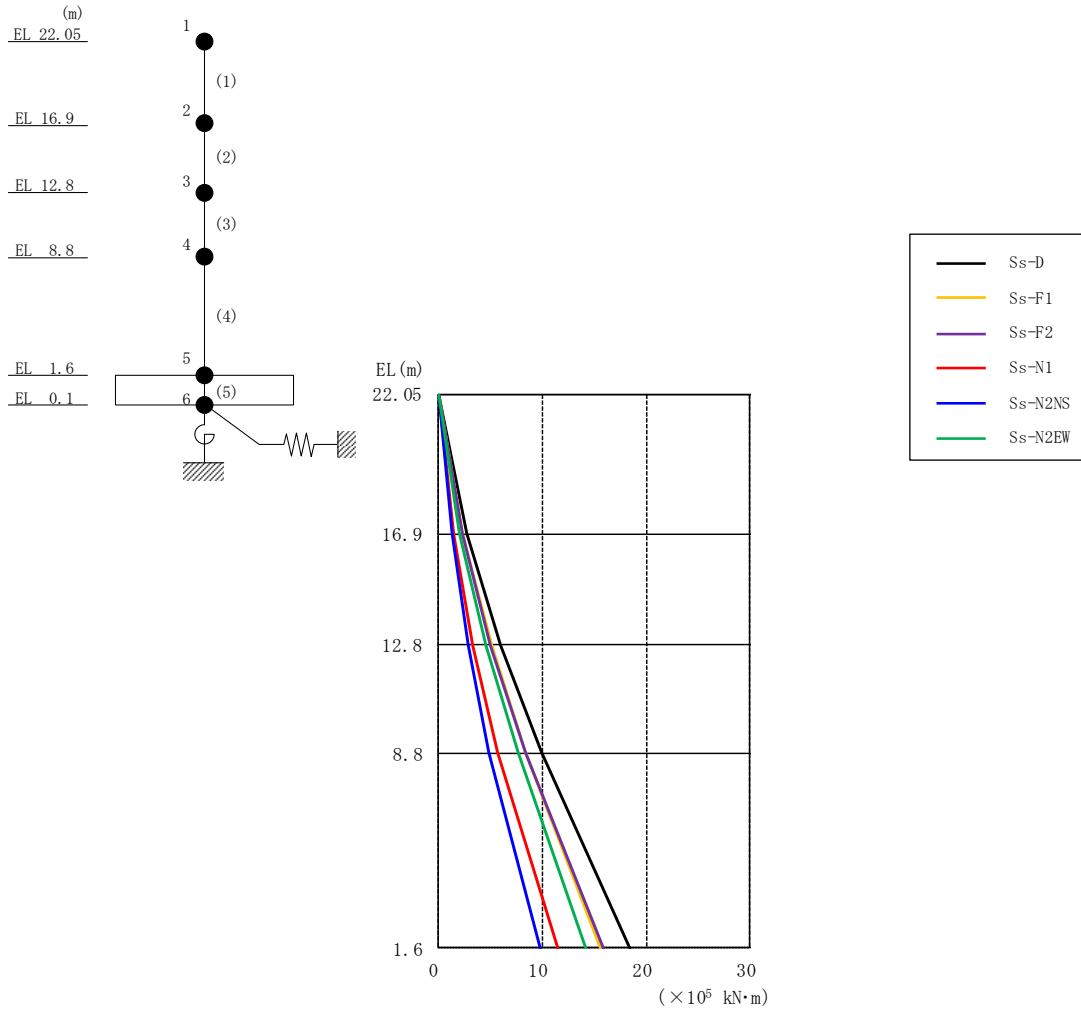


図 4-11 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s , EW 方向)

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)

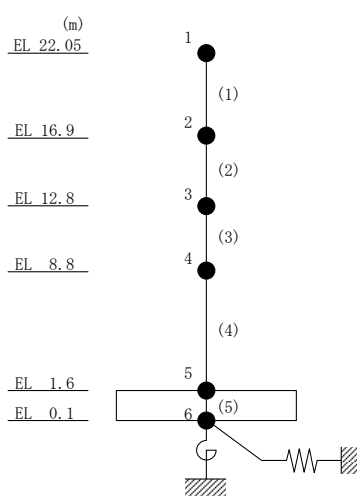
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)						最大値
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	
22.05~16.9	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		2.79	2.33	2.31	1.41	1.27	2.05	2.79
16.9~12.8	2	2.79	2.33	2.31	1.41	1.27	2.05	2.79
		5.98	5.09	5.04	3.29	2.84	4.60	5.98
12.8~8.8	3	5.98	5.09	5.04	3.29	2.84	4.60	5.98
		9.90	8.35	8.35	5.71	4.90	7.67	9.90
8.8~1.6	4	9.90	8.35	8.35	5.71	4.90	7.67	9.90
		18.5	15.6	15.8	11.4	9.82	14.2	18.5

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	
22.05~16.9	1	0.16	0.13	0.13	0.08	0.07	0.12	0.16
16.9~12.8	2	0.37	0.20	0.20	0.13	0.12	0.18	0.37
12.8~8.8	3	0.53	0.30	0.28	0.16	0.14	0.20	0.53
8.8~1.6	4	0.44	0.28	0.28	0.17	0.14	0.19	0.44

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。



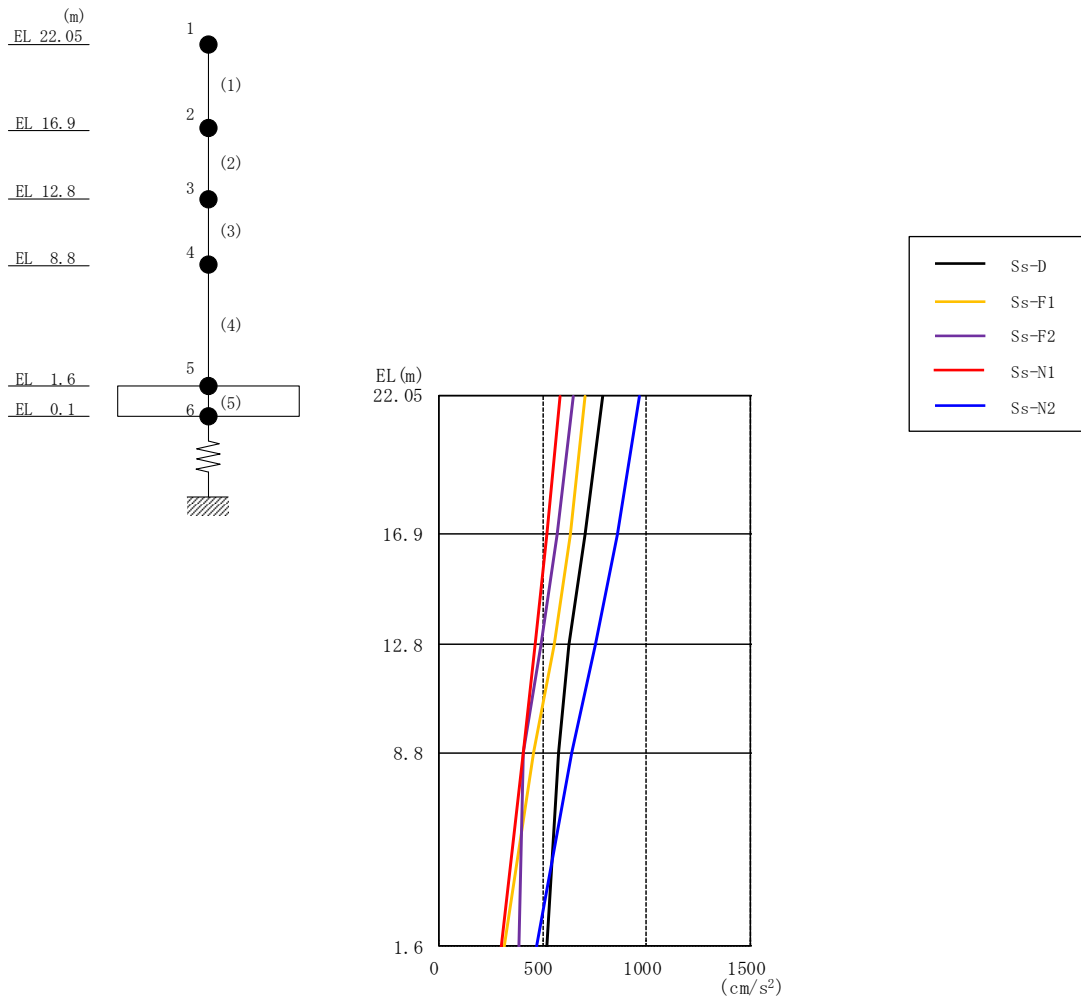


図 4-12 最大応答加速度（基準地震動 S_s ，鉛直方向）

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^2)					最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
22.05	1	786	704	645	585	964	964
16.9	2	701	629	571	517	858	858
12.8	3	627	551	493	465	753	753
8.8	4	573	452	405	404	642	642
1.6	5	518	314	383	302	471	518

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。

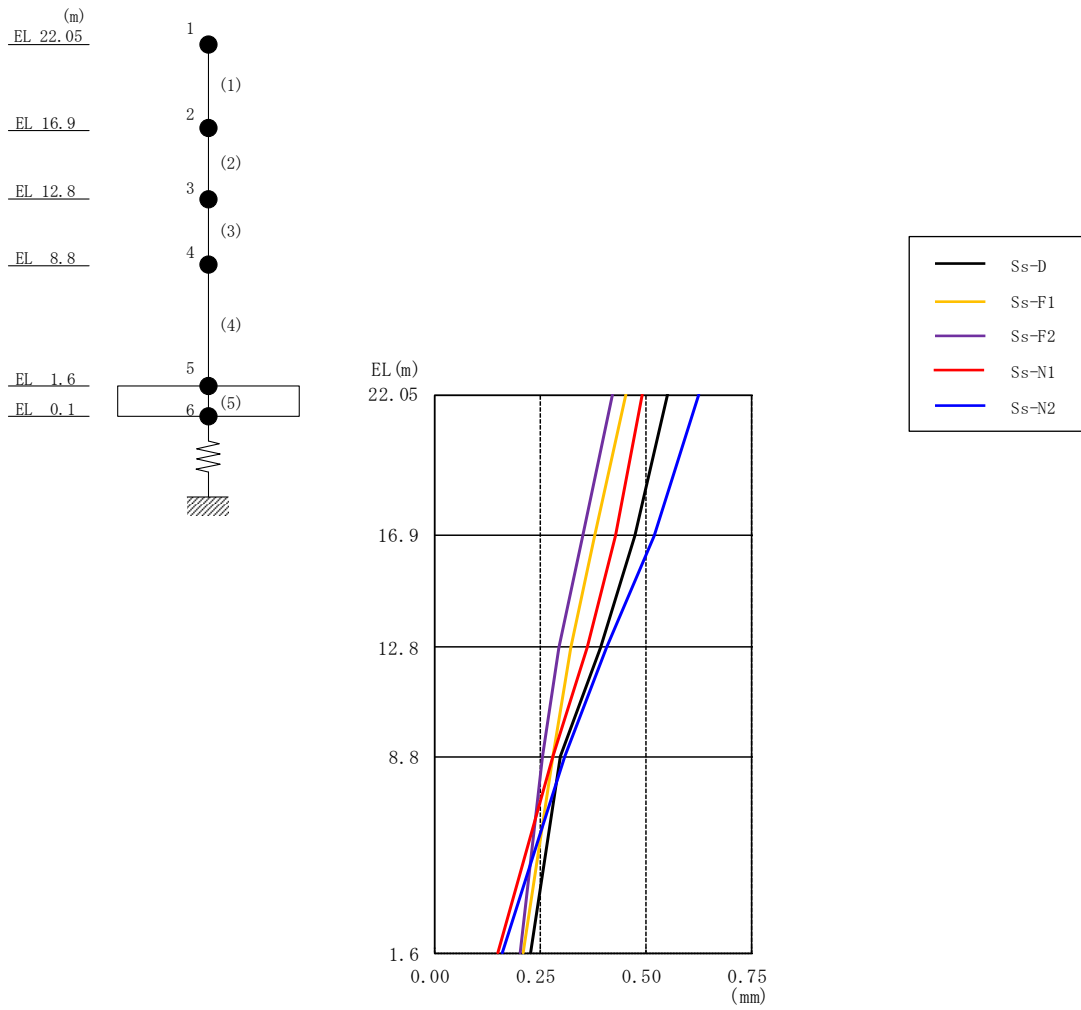


図 4-13 最大応答変位（基準地震動 S_s ，鉛直方向）

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	
22.05	1	0.55	0.45	0.42	0.49	0.63	0.63
16.9	2	0.47	0.38	0.35	0.43	0.52	0.52
12.8	3	0.39	0.32	0.29	0.36	0.41	0.41
8.8	4	0.30	0.28	0.26	0.28	0.31	0.31
1.6	5	0.23	0.21	0.20	0.15	0.16	0.23

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。

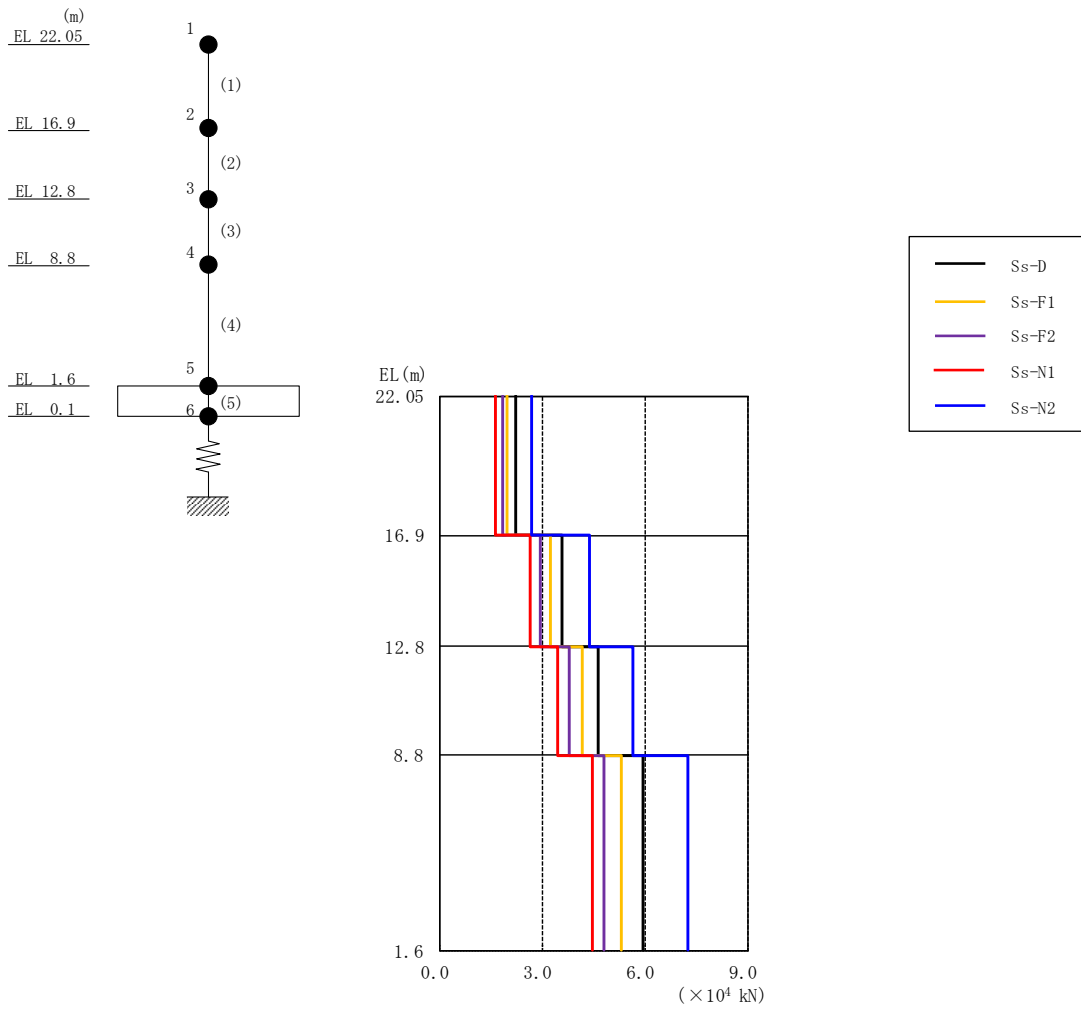
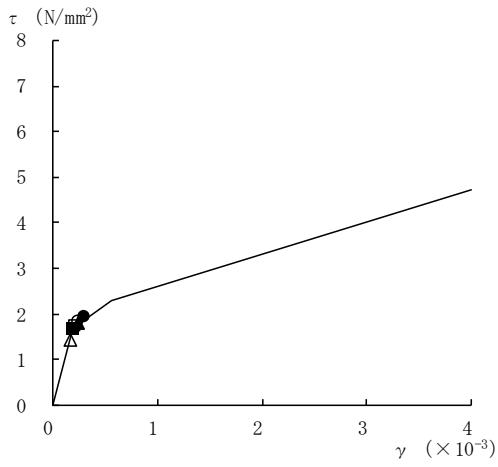


図 4-14 最大応答軸力（基準地震動 S_s ，鉛直方向）

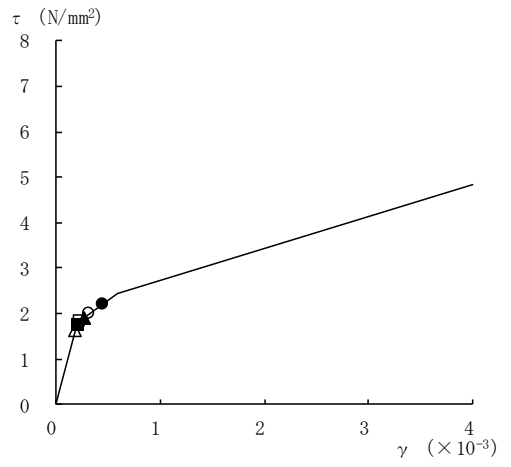
表 4-14 最大応答軸力一覧（基準地震動 S_s ，鉛直方向）

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	
22.05~16.9	1	2.20	1.97	1.81	1.64	2.70	2.70
16.9~12.8	2	3.57	3.22	2.95	2.65	4.40	4.40
12.8~8.8	3	4.62	4.16	3.79	3.45	5.67	5.67
8.8~1.6	4	5.95	5.31	4.80	4.47	7.27	7.27

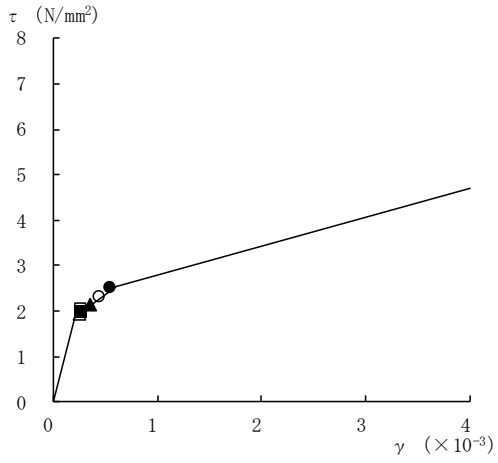
注：ハッチングは S_s -D ~ S_s -N2 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。



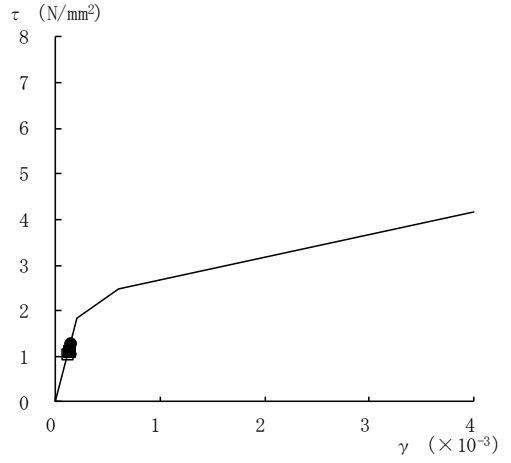
要素番号 (1)



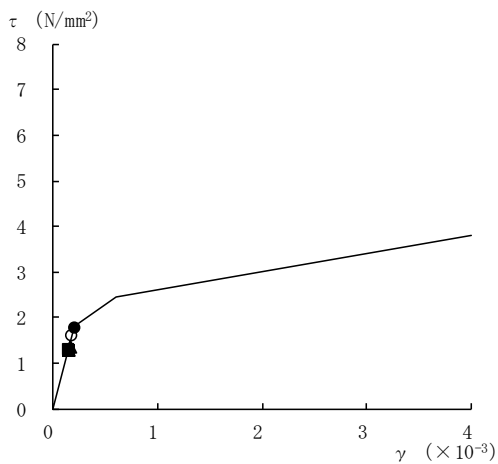
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)

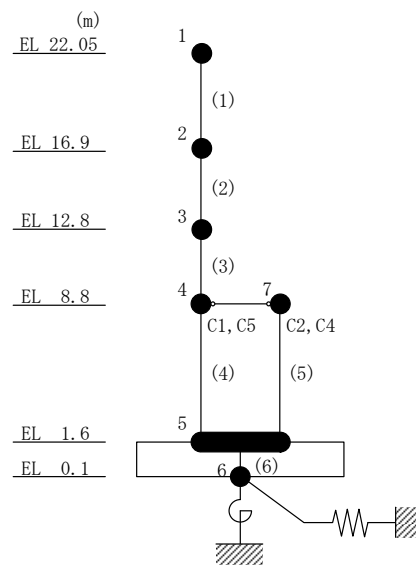
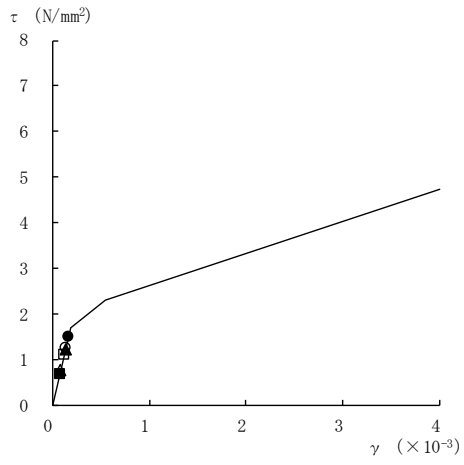
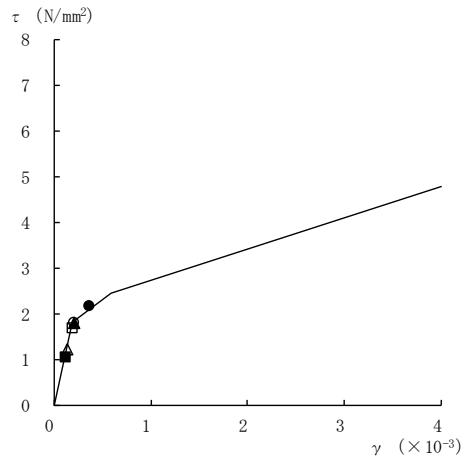


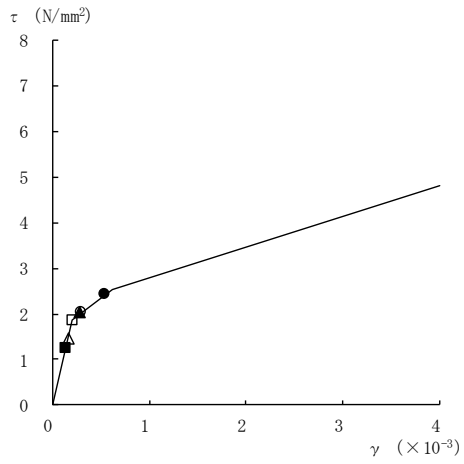
図 4-15 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向)



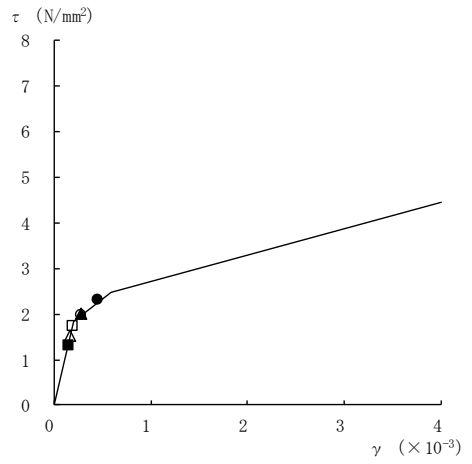
要素番号 (1)



要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)

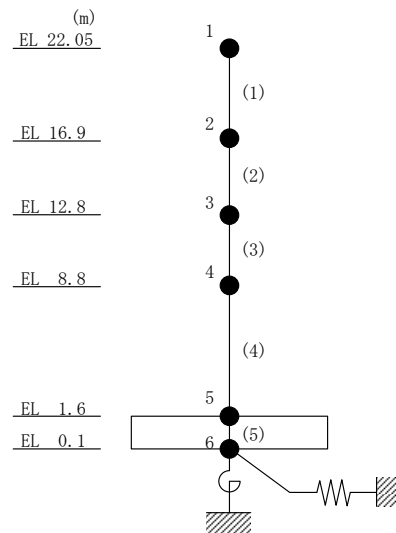
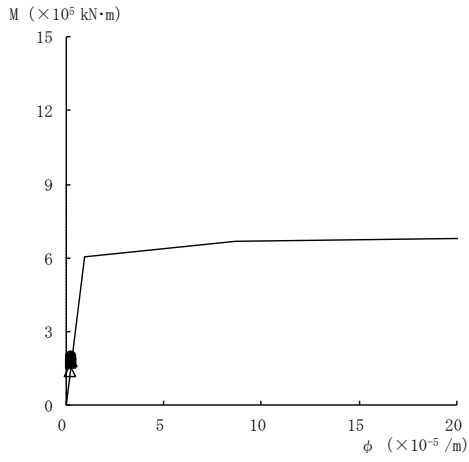
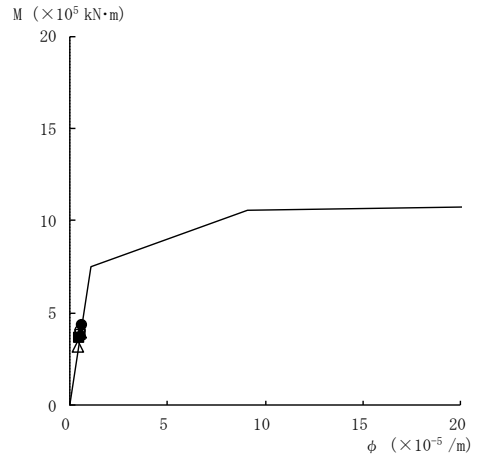


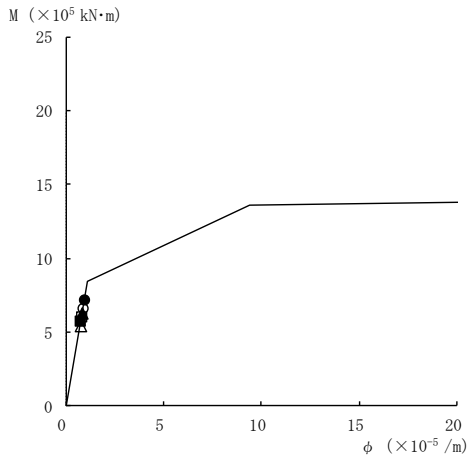
図 4-16 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(基準地震動 S_s, E W 方向)



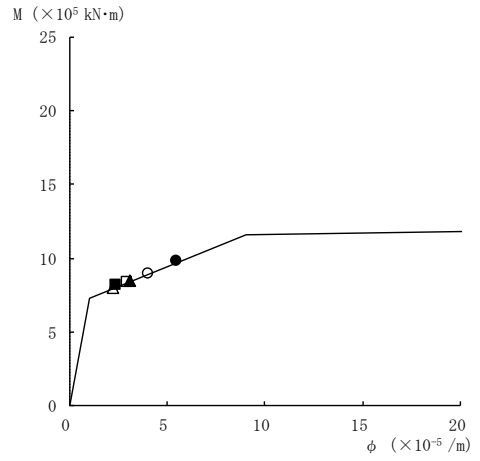
要素番号 (1)



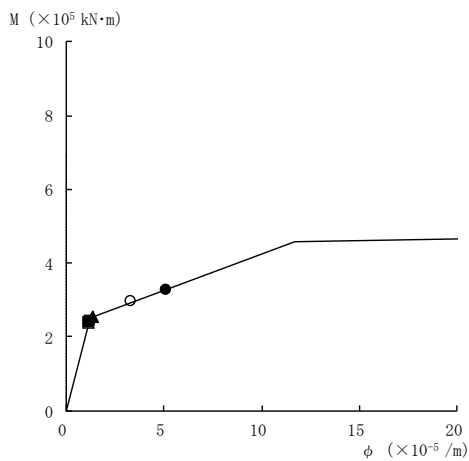
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)

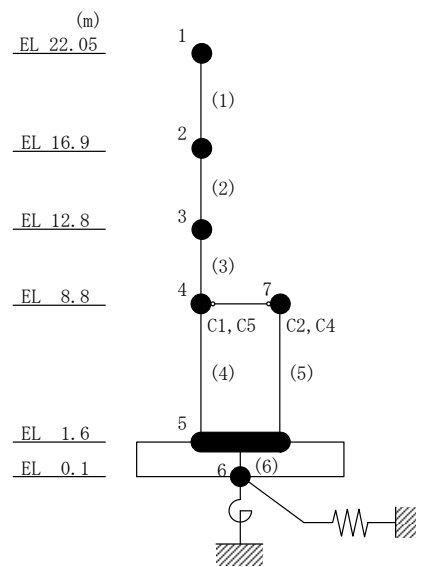
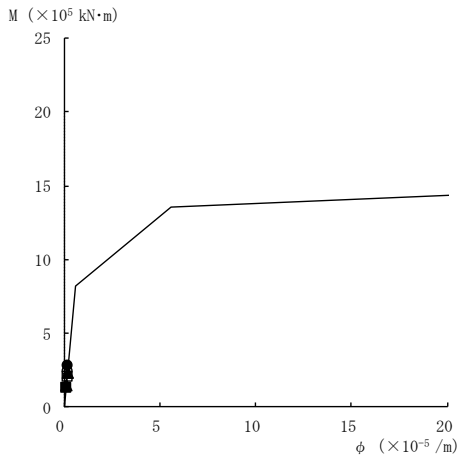
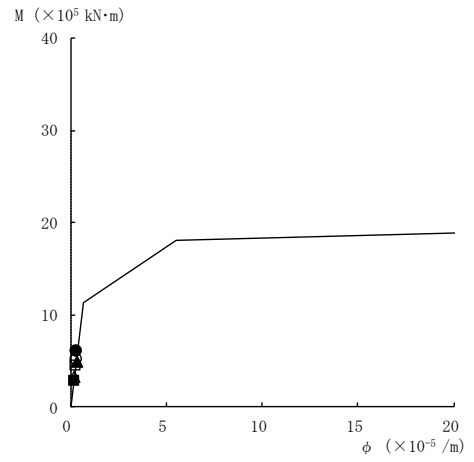


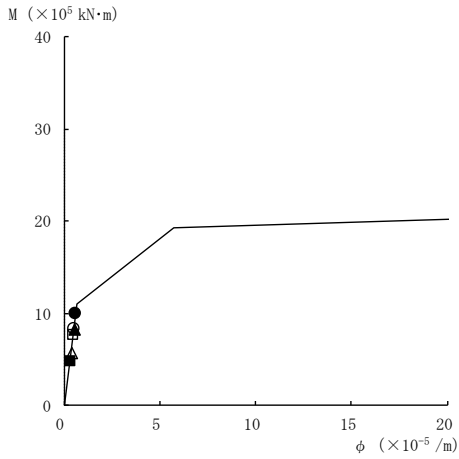
図 4-17 曲げスケルトン曲線上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向)



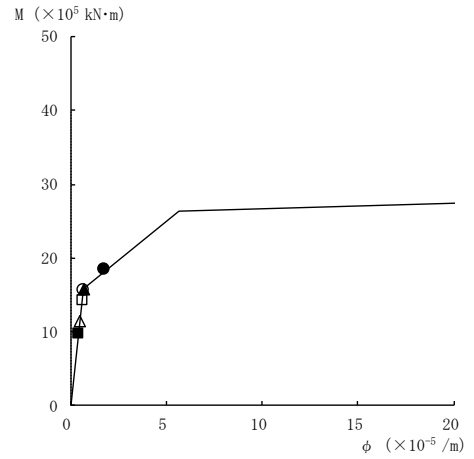
要素番号 (1)



要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)

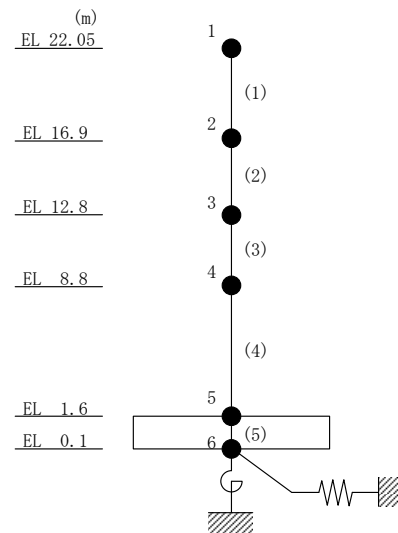


図 4-18 曲げスケルトン曲線上の最大応答値
(基準地震動 S_s, E W 方向)

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 ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	基礎浮上りが 発生しない ために必要な 付着力 (N/mm^2)	最小接地率* (%)
$S_s - D$	0.687	1.45	0.325	100
$S_s - F1$	0.652	1.36	0.295	100
$S_s - F2$	0.609	1.25	0.256	100
$S_s - N1$	0.582	1.17	0.230	100
$S_s - N2NS$	0.602	1.18	0.232	100
$S_s - N2EW$	0.606	1.19	0.236	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 ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	基礎浮上りが 発生しない ために必要な 付着力 (N/mm^2)	最小接地率* (%)
$S_s - D$	0.624	2.12	0.262	100
$S_s - F1$	0.554	1.80	0.197	100
$S_s - F2$	0.552	1.80	0.198	100
$S_s - N1$	0.450	1.31	0.098	100
$S_s - N2NS$	0.431	1.12	0.062	100
$S_s - N2EW$	0.529	1.61	0.160	100

注記*：基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値(0.40N/mm^2)を超えないため接地率は100%となる。

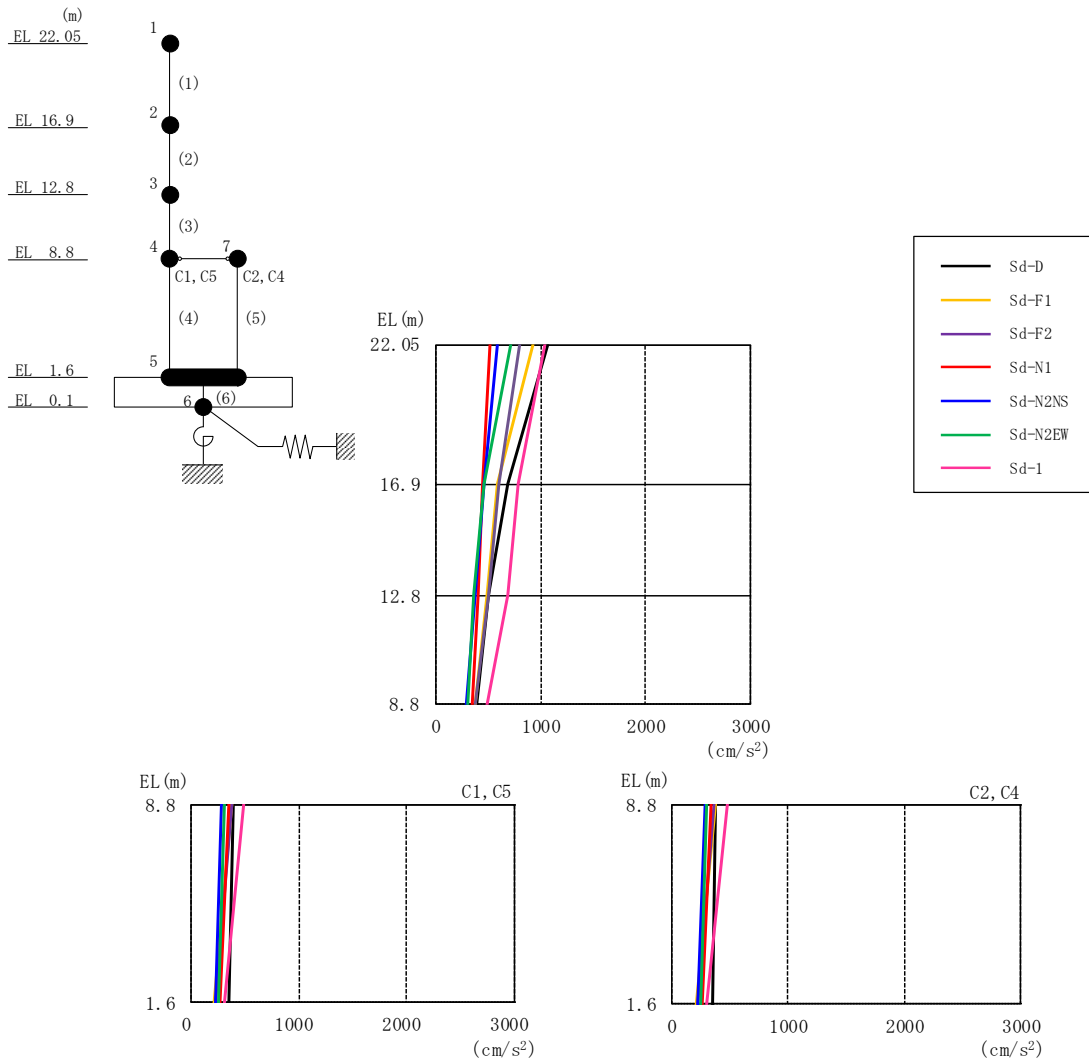


図 4-19 最大応答加速度（弾性設計用地震動 S d , N S 方向）

表 4-16 最大応答加速度一覧（弾性設計用地震動 S d , N S 方向）

EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05	1	1068	924	797	518	584	708	1032	1068
16.9	2	689	584	607	444	465	462	789	789
12.8	3	507	480	495	405	378	362	687	687
8.8 (C1, C5)	4	384	371	370	341	282	301	484	484
1.6	5	350	206	220	269	226	245	300	350
8.8 (C2, C4)	7	384	371	370	341	282	301	484	484

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

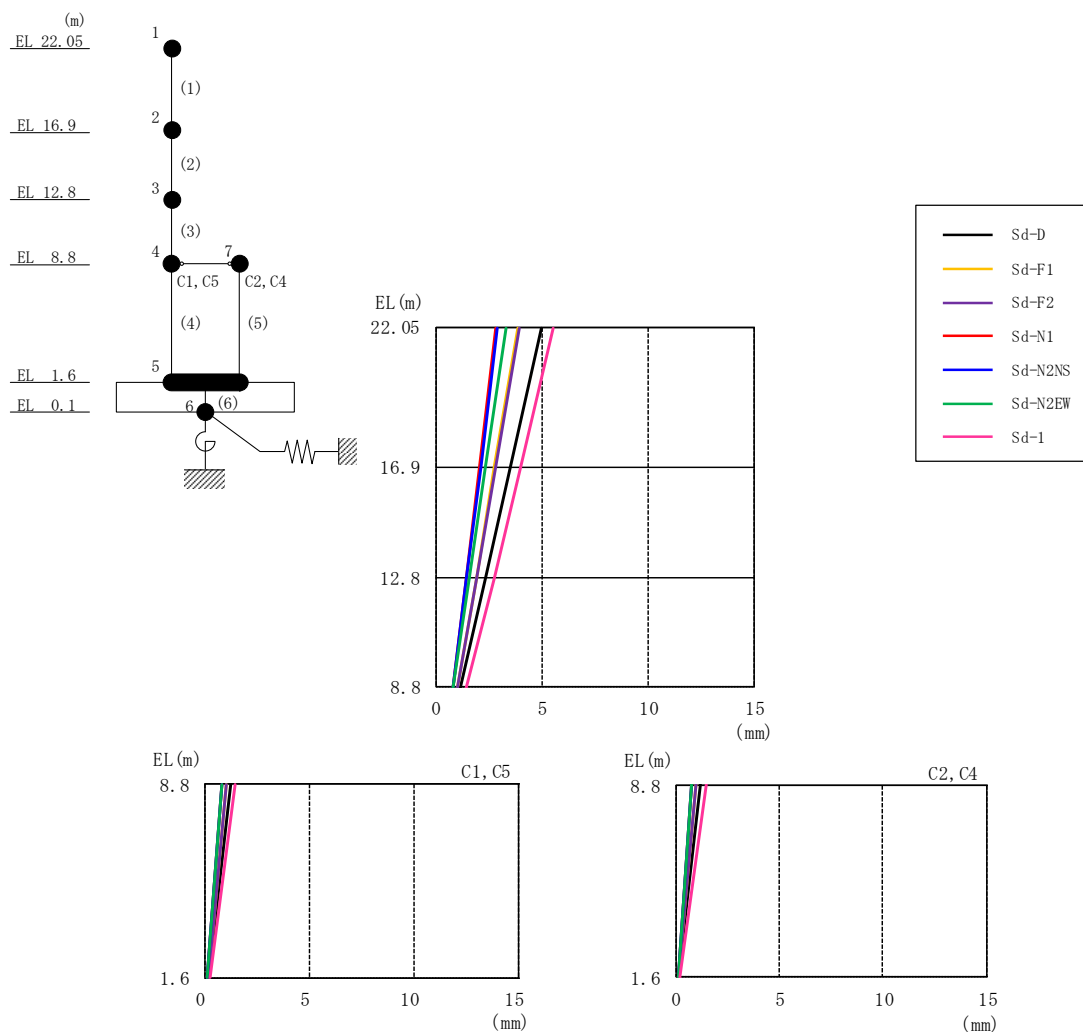


図 4-20 最大応答変位（弾性設計用地震動 S d， N S 方向）

表 4-17 最大応答変位一覧（弾性設計用地震動 S d， N S 方向）

EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05	1	4.99	3.85	3.92	2.81	2.90	3.30	5.52	5.52
16.9	2	3.51	2.77	2.84	2.07	2.10	2.33	4.01	4.01
12.8	3	2.32	1.88	1.93	1.45	1.44	1.55	2.76	2.76
8.8 (C1, C5)	4	1.18	1.00	1.02	0.80	0.78	0.81	1.45	1.45
1.6	5	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.19	0.19
8.8 (C2, C4)	7	1.18	1.00	1.02	0.80	0.78	0.81	1.45	1.45

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

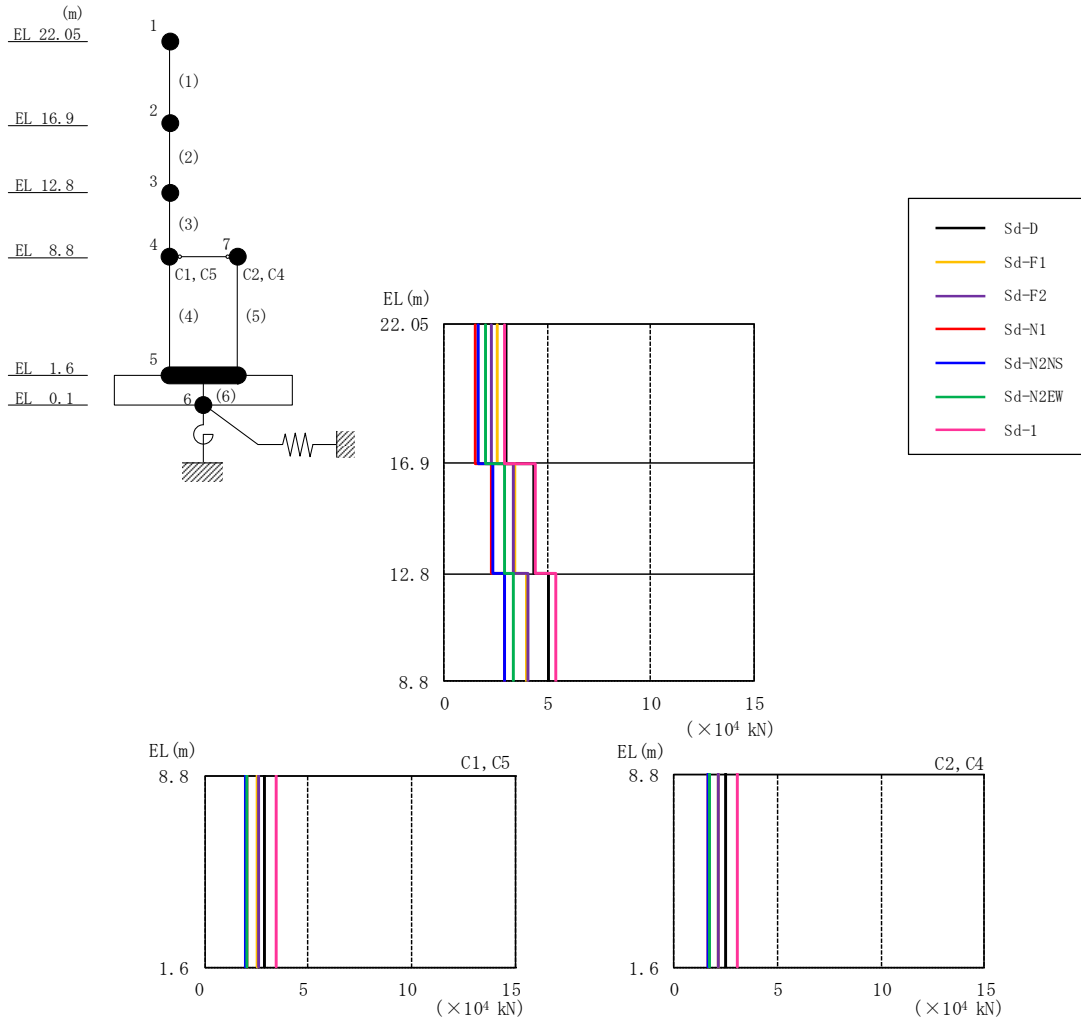


図 4-21 最大応答せん断力（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）

表 4-18 最大応答せん断力一覧（弾性設計用地震動 S d，NS 方向）

EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁴ kN)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05~16.9	1	2.99	2.59	2.26	1.46	1.65	1.97	2.89	2.99
16.9~12.8	2	4.34	3.41	3.34	2.28	2.37	2.88	4.41	4.41
12.8~8.8	3	5.02	3.97	4.06	2.89	2.91	3.33	5.38	5.38
8.8~1.6(C1, C5)	4	2.89	2.56	2.61	2.03	1.98	2.02	3.47	3.47
8.8~1.6(C2, C4)	5	2.52	2.13	2.18	1.67	1.65	1.71	3.09	3.09

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

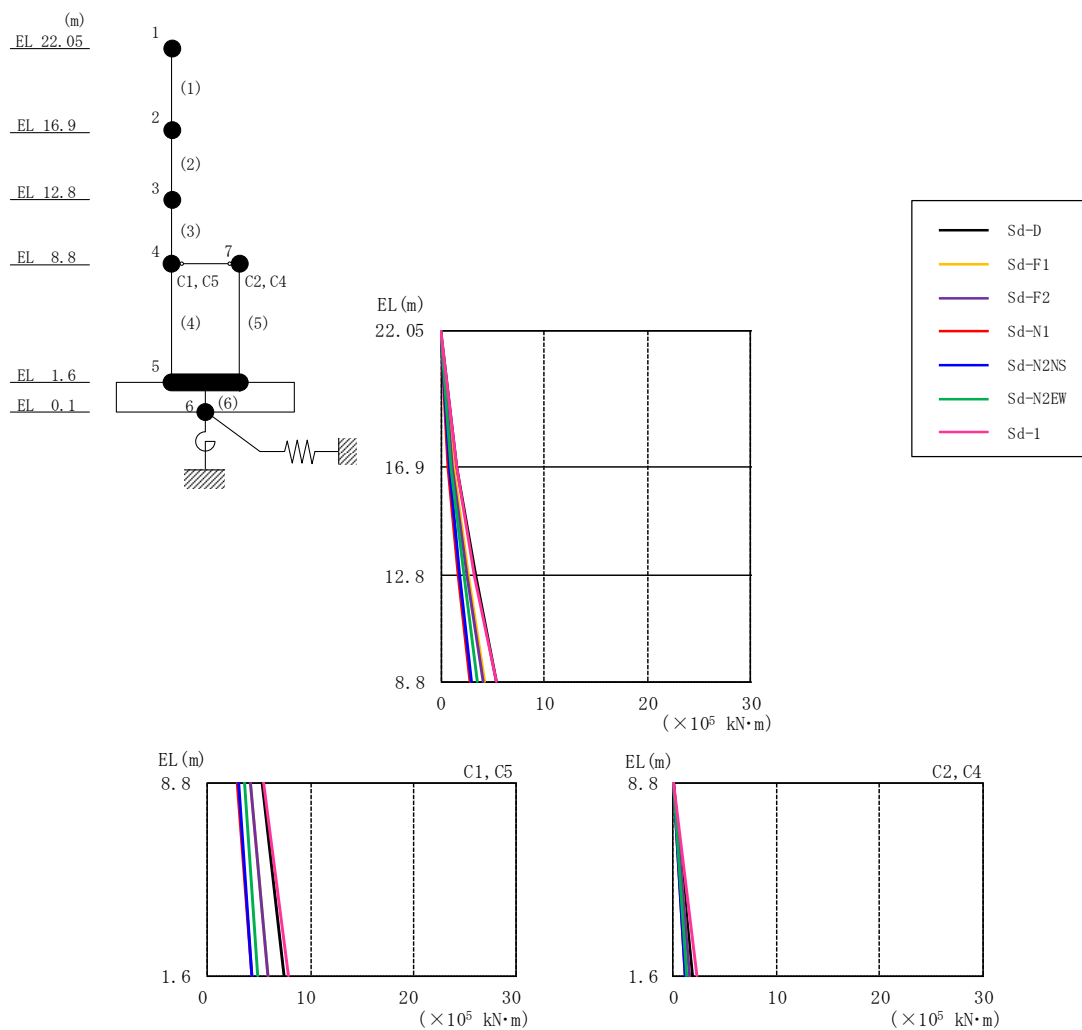


図 4-22 最大応答曲げモーメント（弾性設計用地震動 S d , N S 方向）

表 4-19 最大応答曲げモーメント一覧（弾性設計用地震動 S d , N S 方向）

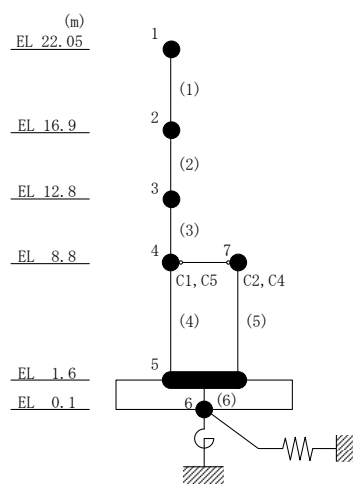
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 ⁵ kN·m)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05~16.9	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		1.54	1.34	1.16	0.754	0.851	1.02	1.49	1.54
16.9~12.8	2	1.54	1.34	1.16	0.754	0.851	1.02	1.49	1.54
		3.32	2.73	2.51	1.69	1.79	2.20	3.29	3.32
12.8~8.8	3	3.32	2.73	2.51	1.69	1.79	2.20	3.29	3.32
		5.33	4.20	4.10	2.83	2.95	3.53	5.43	5.43
8.8~1.6(C1, C5)	4	5.33	4.20	4.10	2.83	2.95	3.53	5.43	5.43
		7.40	5.79	5.91	4.25	4.36	4.92	7.92	7.92
8.8~1.6(C2, C4)	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		1.82	1.53	1.57	1.20	1.19	1.23	2.23	2.23

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

表 4-20 最大応答せん断ひずみ一覧（弾性設計用地震動 S d , N S 方向）

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05~16.9	1	0.17	0.14	0.12	0.08	0.09	0.11	0.16	0.17
16.9~12.8	2	0.18	0.14	0.14	0.09	0.10	0.12	0.18	0.18
12.8~8.8	3	0.19	0.15	0.16	0.11	0.11	0.13	0.23	0.23
8.8~1.6 (C1, C5)	4	0.10	0.08	0.09	0.07	0.07	0.07	0.11	0.11
8.8~1.6 (C2, C4)	5	0.11	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07	0.13	0.13

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。



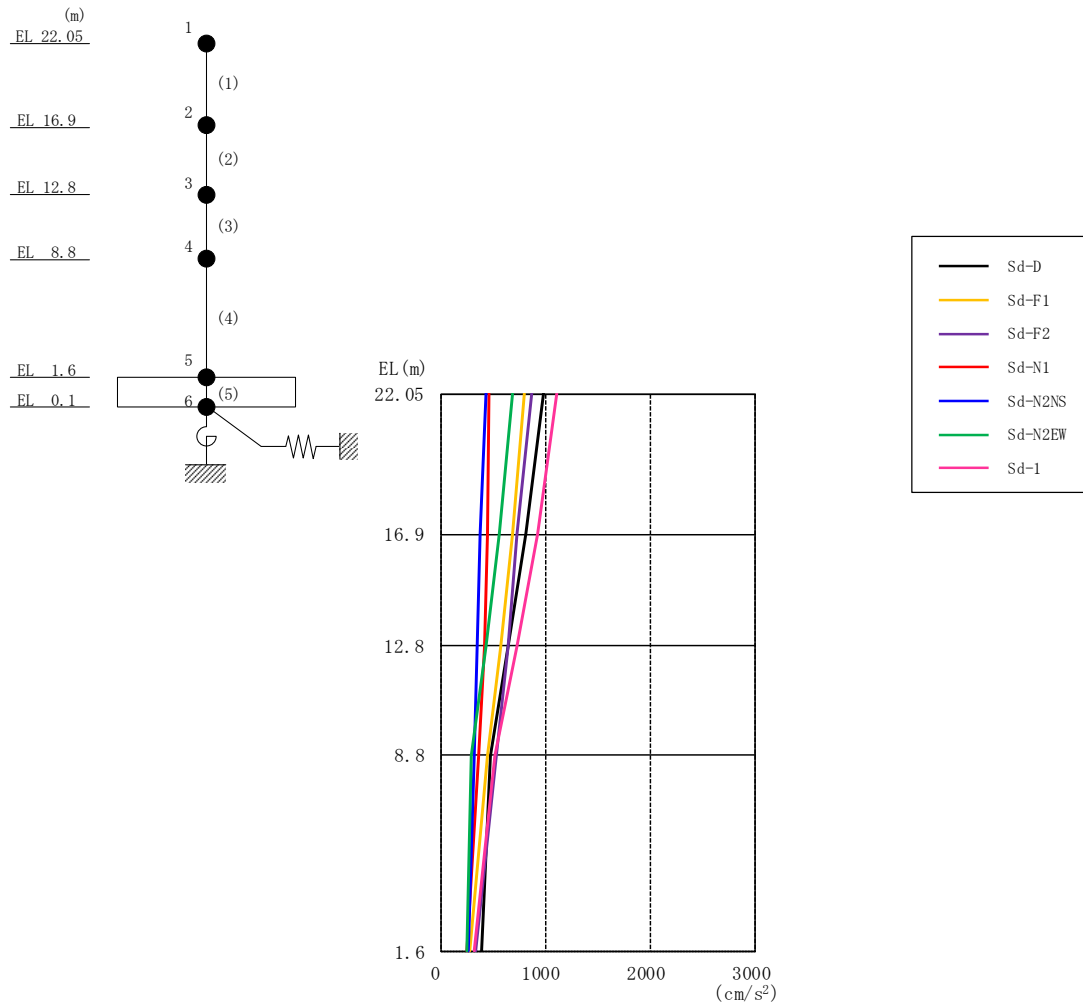


図 4-23 最大応答加速度（弾性設計用地震動 S d , E W 方向）

表 4-21 最大応答加速度一覧（弾性設計用地震動 S d , E W 方向）

EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05	1	977	795	870	467	428	692	1112	1112
16.9	2	816	689	731	447	380	564	925	925
12.8	3	646	570	648	415	352	428	724	724
8.8	4	473	446	531	365	322	300	515	531
1.6	5	393	278	329	254	265	247	318	393

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

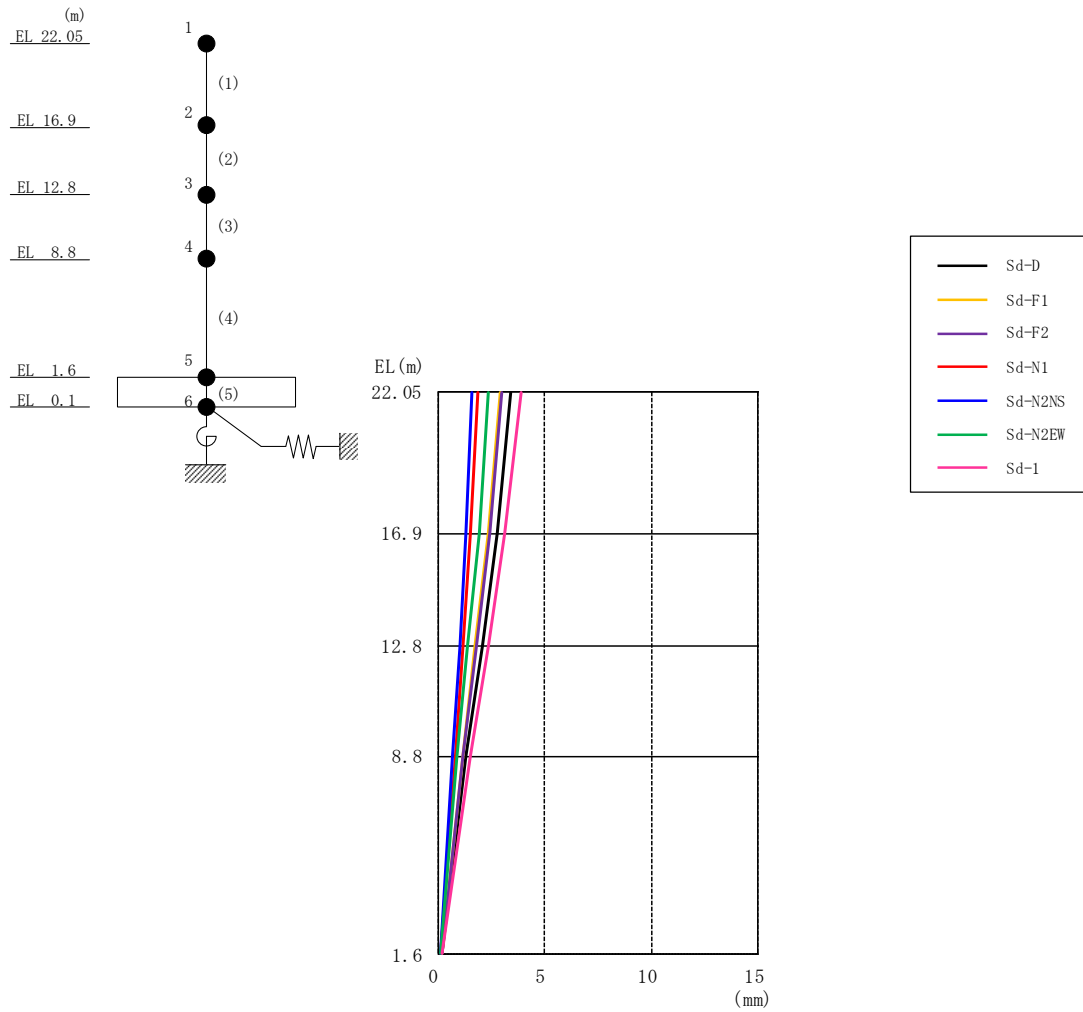


図 4-24 最大応答変位（弾性設計用地震動 S d ， E W 方向）

表 4-22 最大応答変位一覧（弾性設計用地震動 S d ， E W 方向）

EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05	1	3.41	2.88	2.99	1.84	1.60	2.36	3.87	3.87
16.9	2	2.75	2.33	2.42	1.52	1.32	1.89	3.12	3.12
12.8	3	2.04	1.74	1.81	1.15	1.00	1.40	2.31	2.31
8.8	4	1.31	1.14	1.18	0.77	0.67	0.89	1.49	1.49
1.6	5	0.17	0.15	0.16	0.11	0.10	0.11	0.19	0.19

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

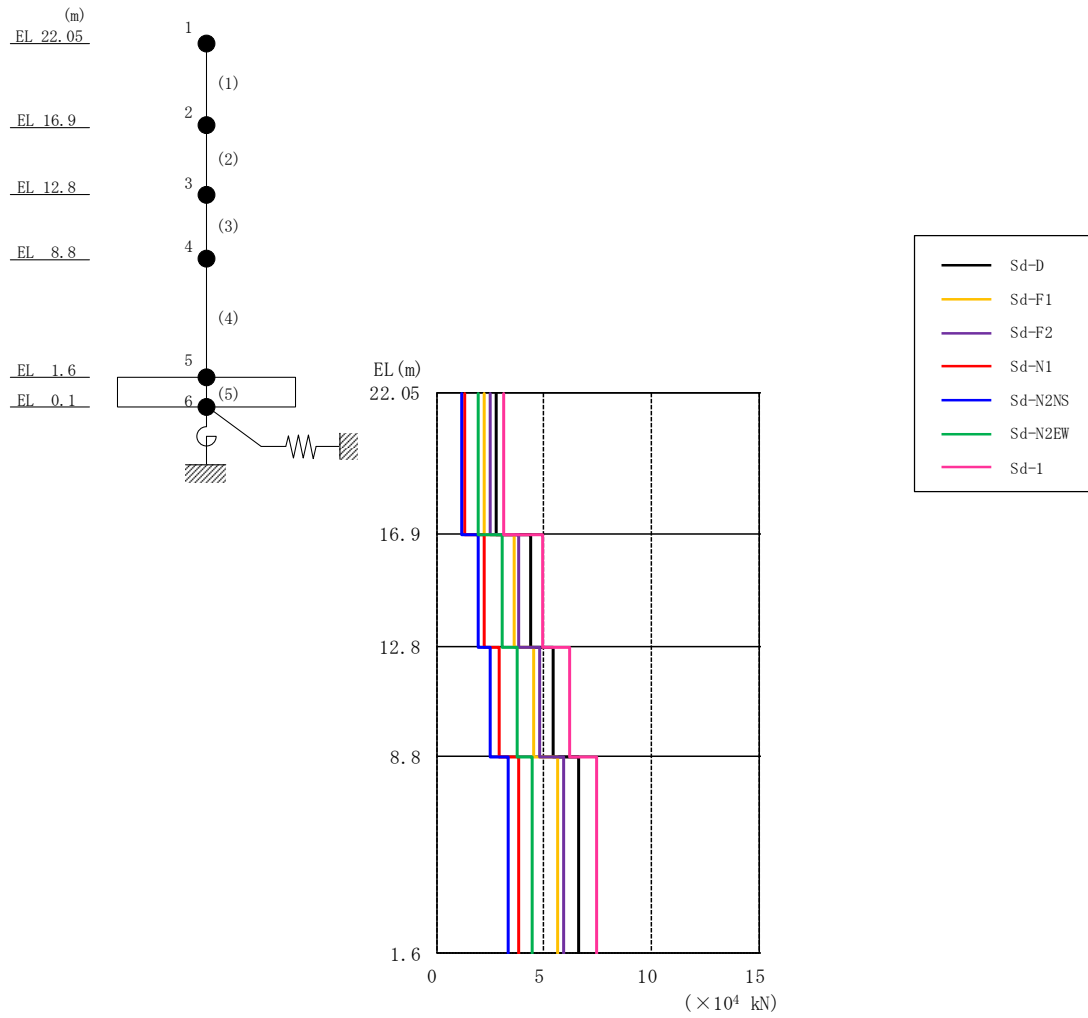


図 4-25 最大応答せん断力（弾性設計用地震動 S d ， E W 方向）

表 4-23 最大応答せん断力一覧（弾性設計用地震動 S d ， E W 方向）

EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁴ kN)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05~16.9	1	2.74	2.24	2.48	1.30	1.19	1.95	3.11	3.11
16.9~12.8	2	4.35	3.59	3.83	2.19	1.90	3.05	4.94	4.94
12.8~8.8	3	5.44	4.55	4.77	2.89	2.49	3.76	6.17	6.17
8.8~1.6	4	6.59	5.65	5.91	3.81	3.31	4.48	7.45	7.45

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

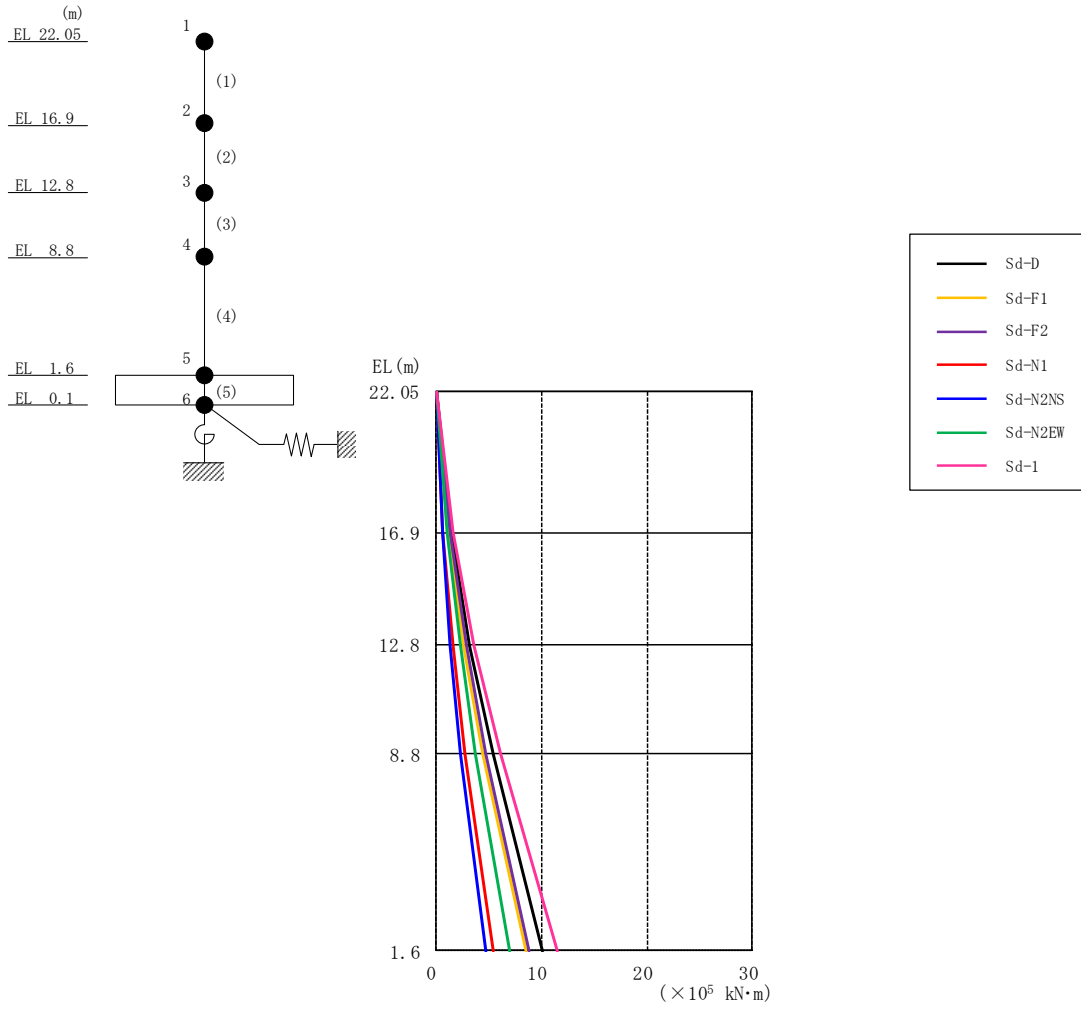


図 4-26 最大応答曲げモーメント（弾性設計用地震動 S d , E W 方向）

表 4-24 最大応答曲げモーメント一覧（弾性設計用地震動 S d , E W 方向）

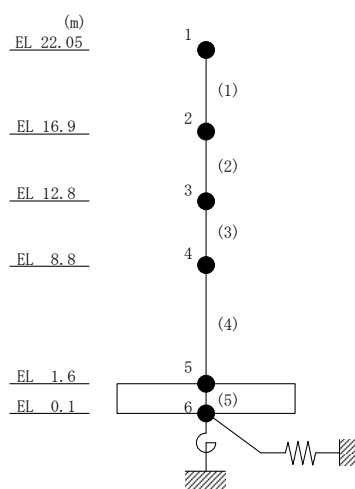
EL (m)	要素 番号	最大応答曲げモーメント (×10 ⁵ kN·m)							最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW	Sd-1	
22.05~16.9	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		1.41	1.15	1.28	0.671	0.610	1.00	1.60	1.60
16.9~12.8	2	1.41	1.15	1.28	0.671	0.610	1.00	1.60	1.60
		3.19	2.62	2.84	1.57	1.37	2.25	3.62	3.62
12.8~8.8	3	3.19	2.62	2.84	1.57	1.37	2.25	3.62	3.62
		5.37	4.44	4.72	2.72	2.37	3.76	6.09	6.09
8.8~1.6	4	5.37	4.44	4.72	2.72	2.37	3.76	6.09	6.09
		10.1	8.50	8.85	5.47	4.74	6.98	11.5	11.5

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

表 4-25 最大応答せん断ひずみ一覧（弾性設計用地震動 S d , E W 方向）

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							Sd-1	最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2NS	Sd-N2EW			
22.05~16.9	1	0.08	0.07	0.07	0.04	0.03	0.06	0.09	0.09	
16.9~12.8	2	0.13	0.11	0.11	0.06	0.06	0.09	0.15	0.15	
12.8~8.8	3	0.14	0.12	0.13	0.08	0.07	0.10	0.16	0.16	
8.8~1.6	4	0.14	0.12	0.12	0.08	0.07	0.09	0.16	0.16	

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。



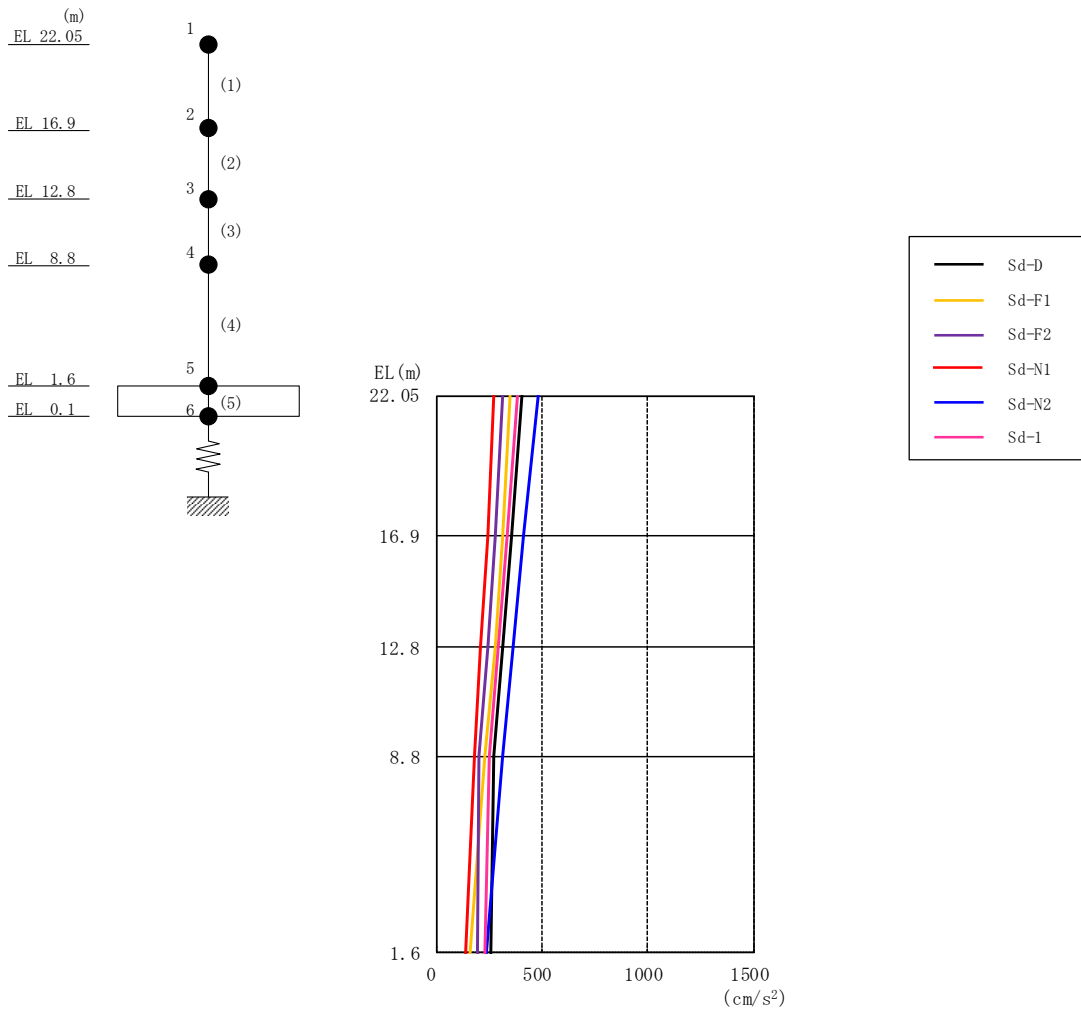


図 4-27 最大応答加速度（弾性設計用地震動 S d ，鉛直方向）

表 4-26 最大応答加速度一覧（弾性設計用地震動 S d ，鉛直方向）

EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)						最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2	Sd-1	
22.05	1	408	353	315	273	480	385	480
16.9	2	359	316	282	245	413	336	413
12.8	3	316	278	242	212	365	294	365
8.8	4	272	233	205	183	312	249	312
1.6	5	258	163	197	138	240	234	258

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

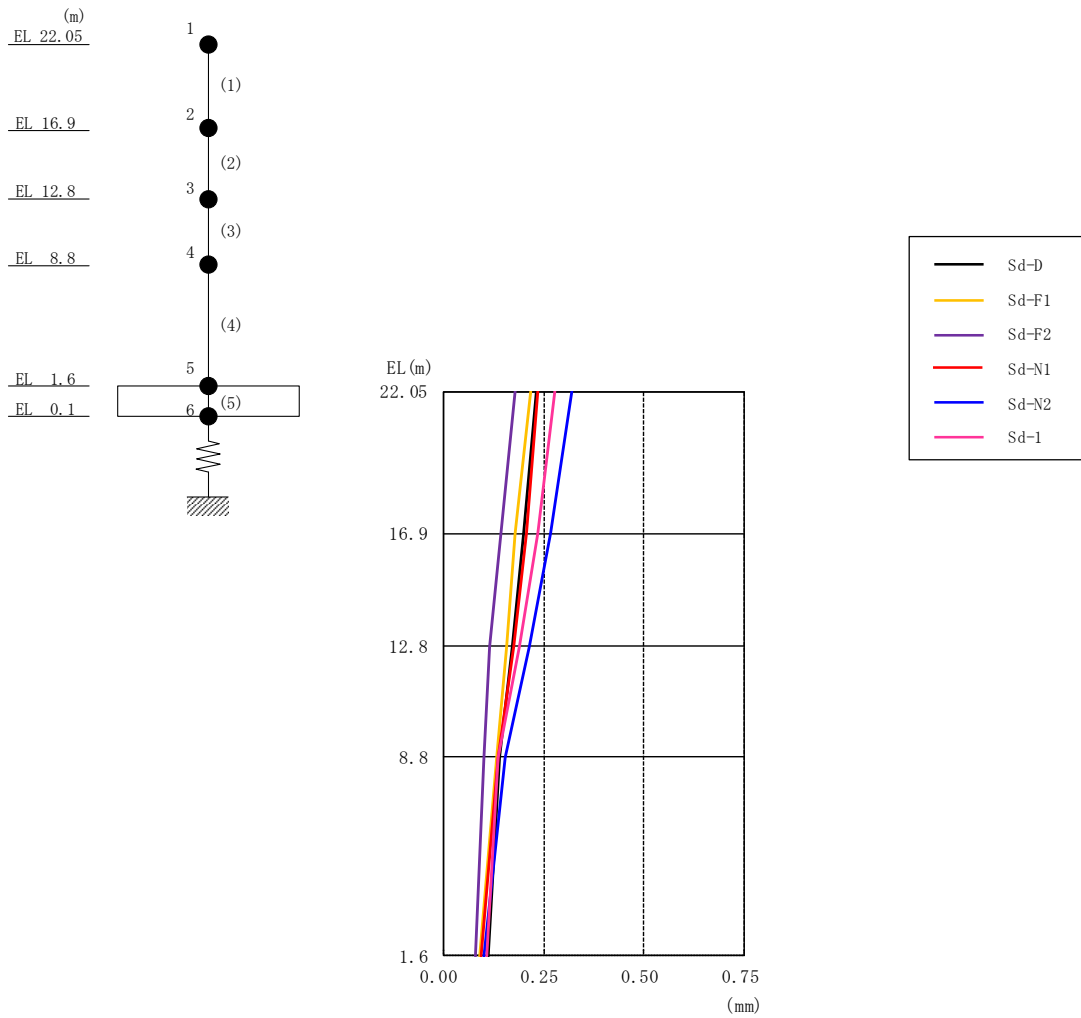


図 4-28 最大応答変位（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）

表 4-27 最大応答変位一覧（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）

EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)						最大値
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2	Sd-1	
22.05	1	0.23	0.22	0.18	0.24	0.32	0.28	0.32
16.9	2	0.20	0.18	0.15	0.21	0.27	0.23	0.27
12.8	3	0.17	0.16	0.11	0.18	0.21	0.19	0.21
8.8	4	0.14	0.13	0.10	0.14	0.15	0.14	0.15
1.6	5	0.11	0.09	0.08	0.10	0.10	0.11	0.11

注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。

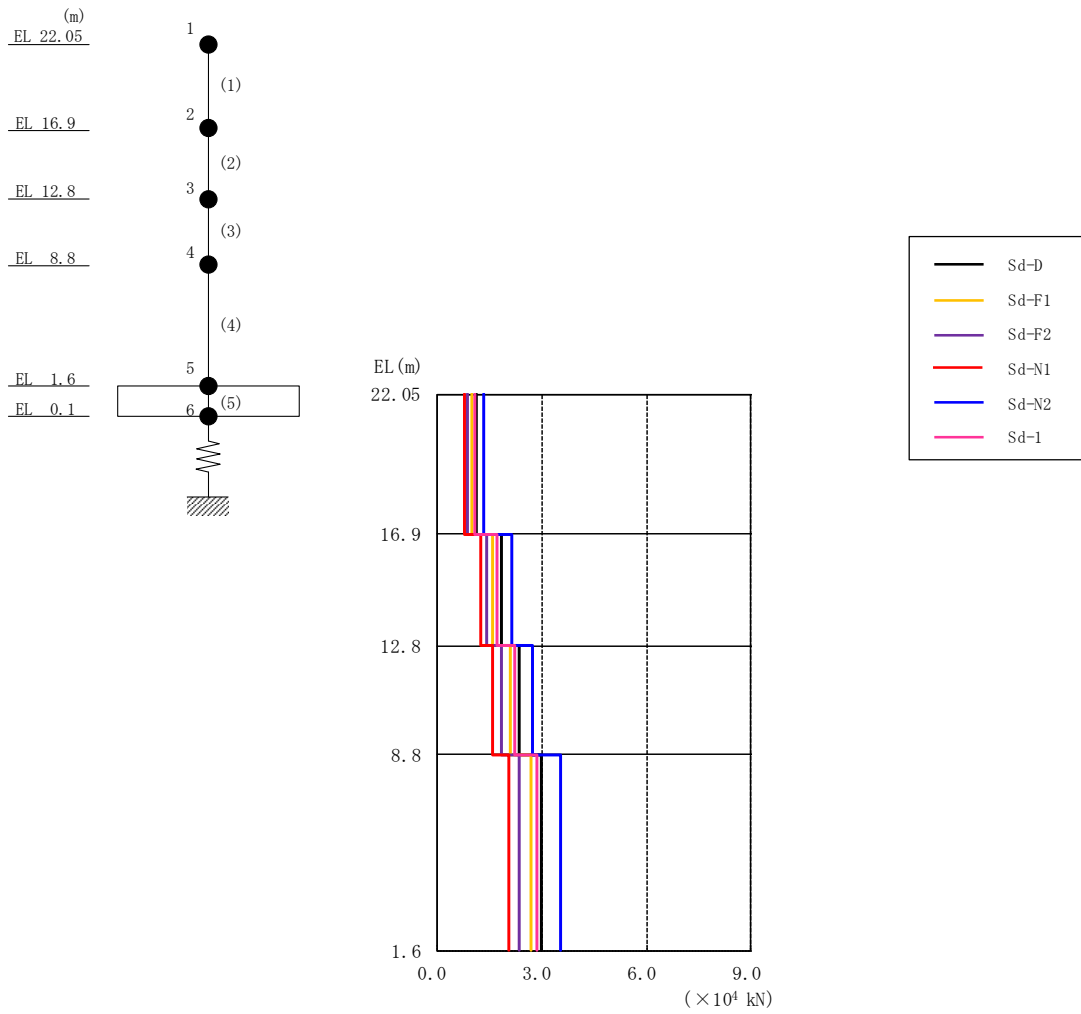
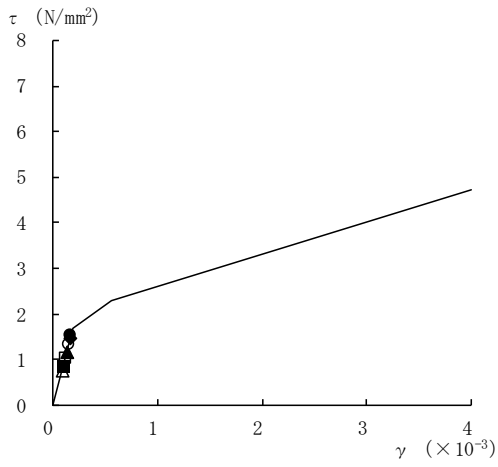
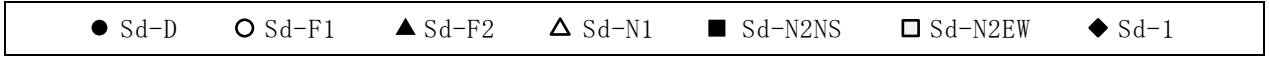


図 4-29 最大応答軸力（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）

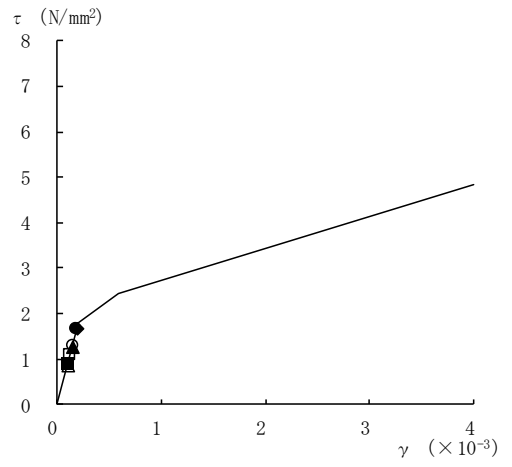
表 4-28 最大応答軸力一覧（弾性設計用地震動 S d，鉛直方向）

EL (m)	要素番号	最大応答軸力 (×10 ⁴ kN)						
		Sd-D	Sd-F1	Sd-F2	Sd-N1	Sd-N2	Sd-1	最大値
22.05~16.9	1	1.14	0.988	0.888	0.767	1.34	1.08	1.34
16.9~12.8	2	1.83	1.61	1.44	1.24	2.13	1.74	2.13
12.8~8.8	3	2.35	2.08	1.85	1.61	2.74	2.24	2.74
8.8~1.6	4	3.01	2.67	2.35	2.07	3.53	2.85	3.53

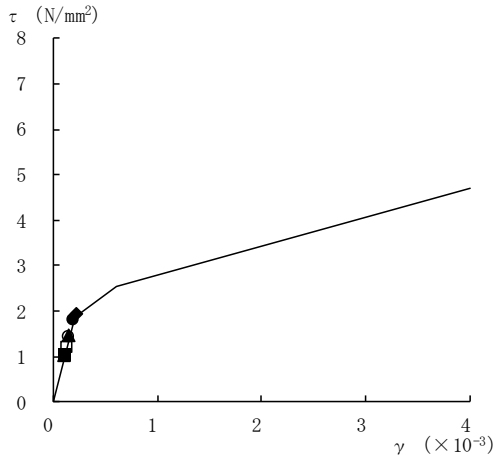
注：ハッチングは S d - D ~ S d - 1 の最大応答値のうち最も大きい値を表示。



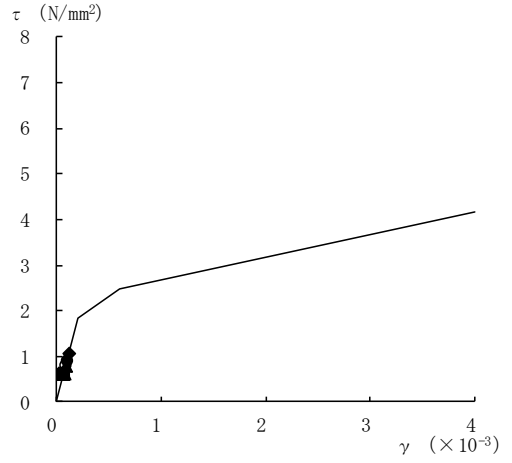
要素番号 (1)



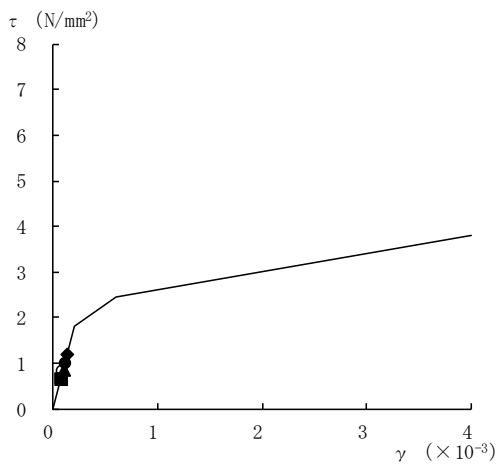
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)

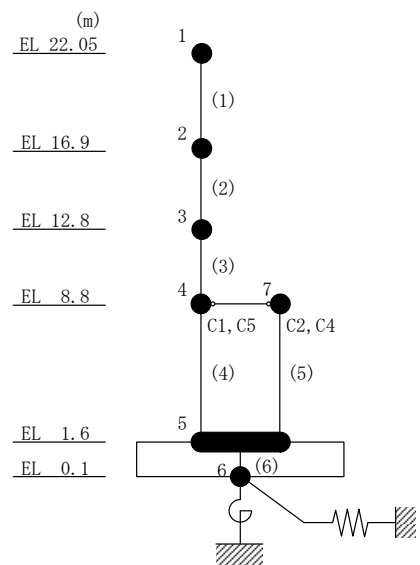
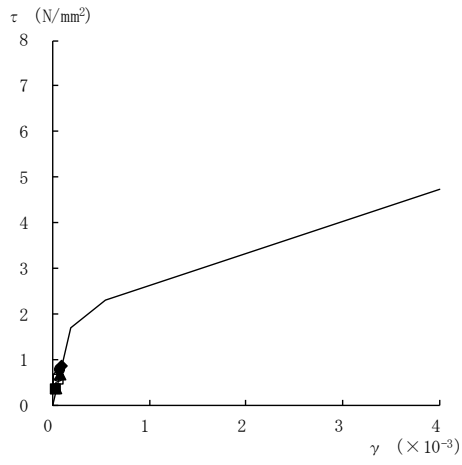
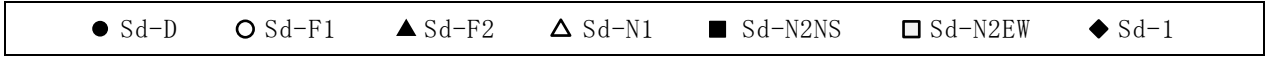
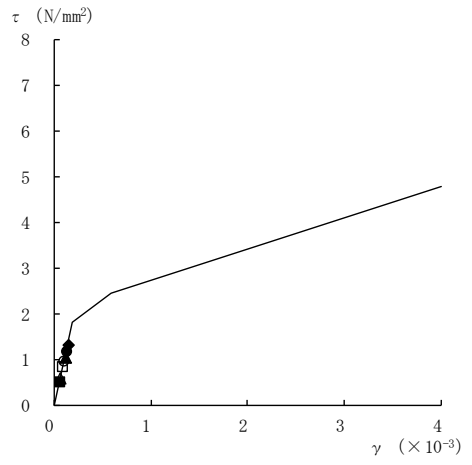


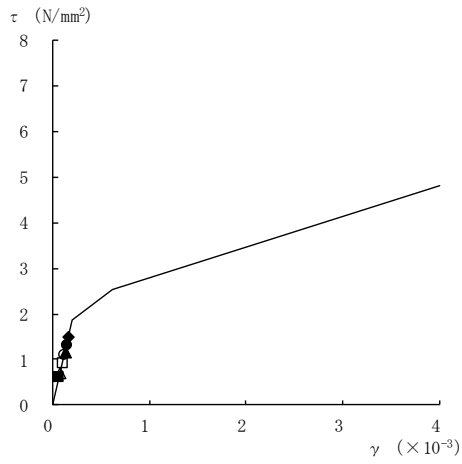
図 4-30 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(弾性設計用地震動 S d, N S 方向)



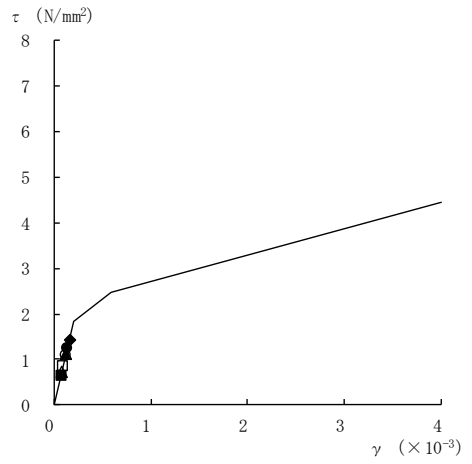
要素番号 (1)



要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)

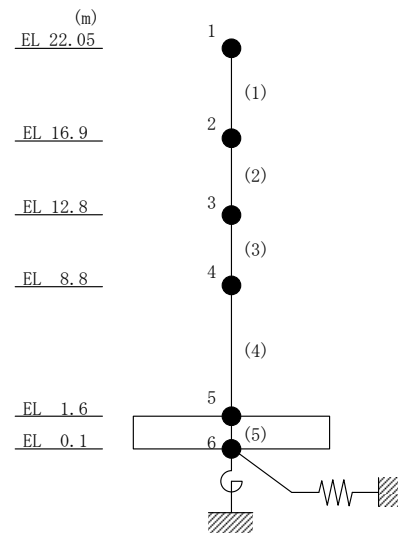
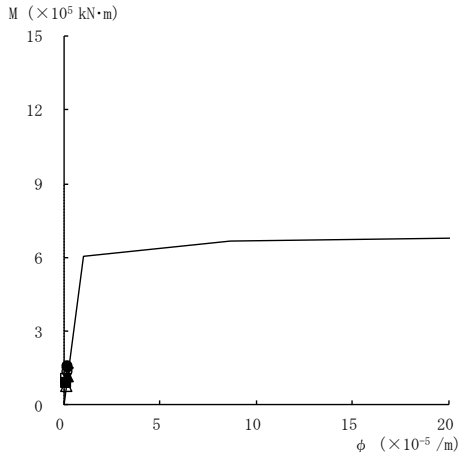
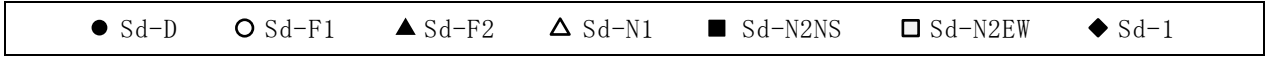
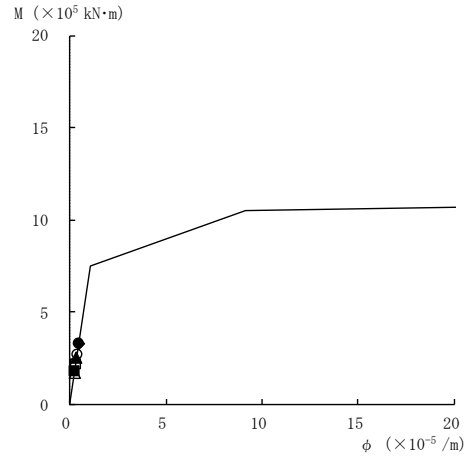


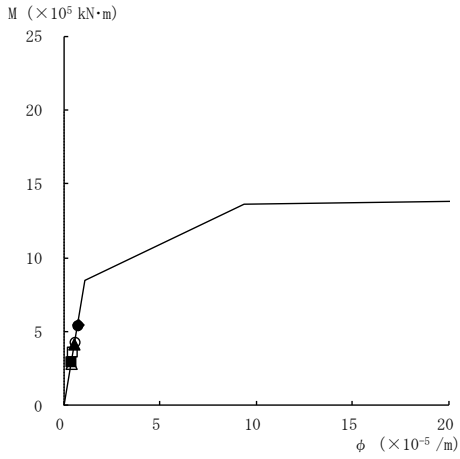
図 4-31 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(弾性設計用地震動 S d , E W 方向)



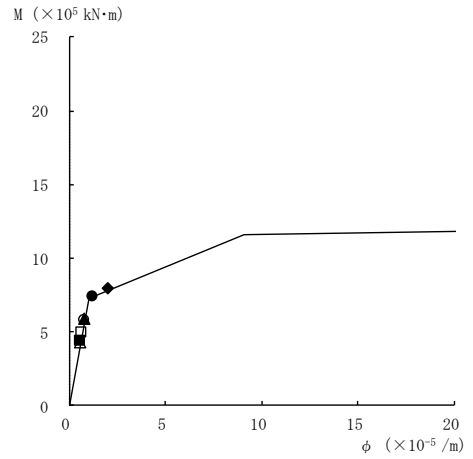
要素番号 (1)



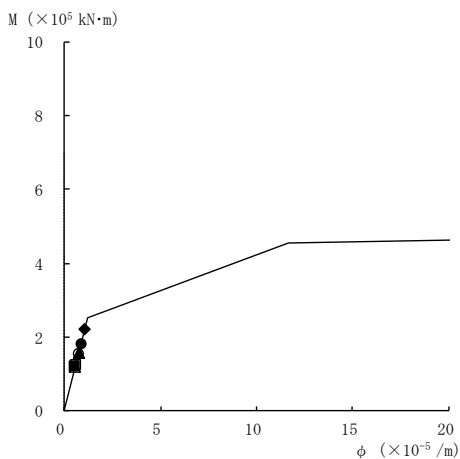
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)

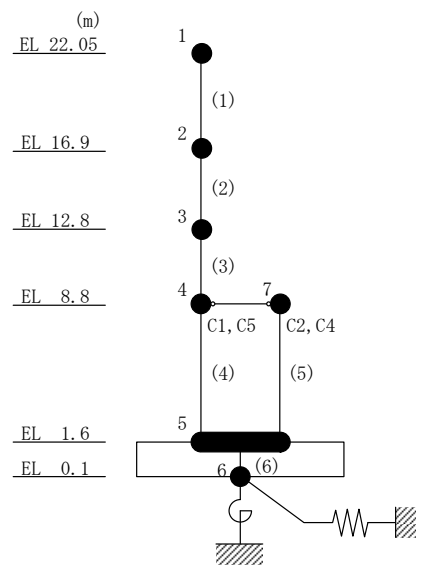
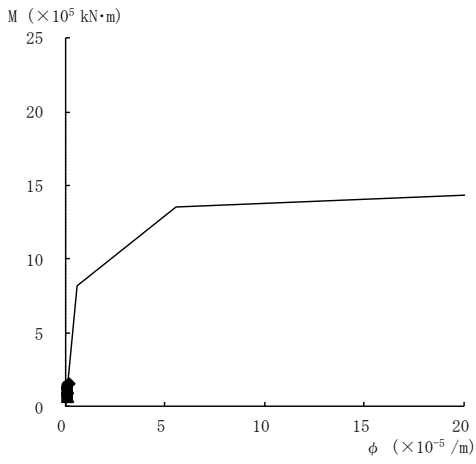
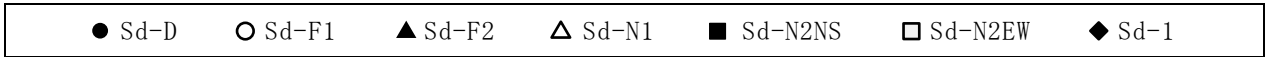
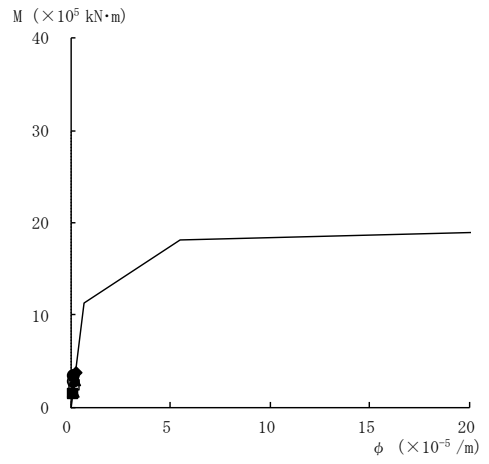


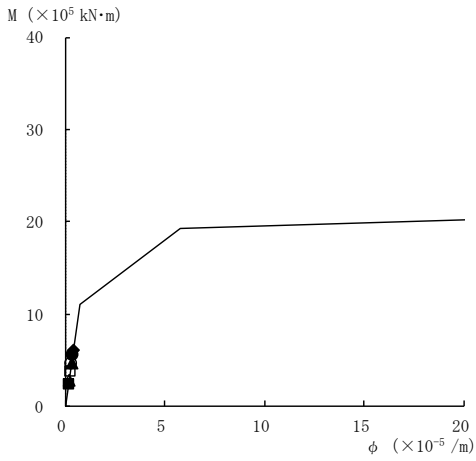
図 4-32 曲げスケルトン曲線上の最大応答値
(弾性設計用地震動 S d , N S 方向)



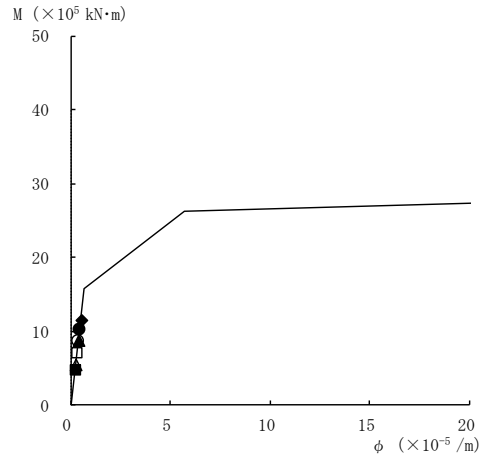
要素番号 (1)



要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)

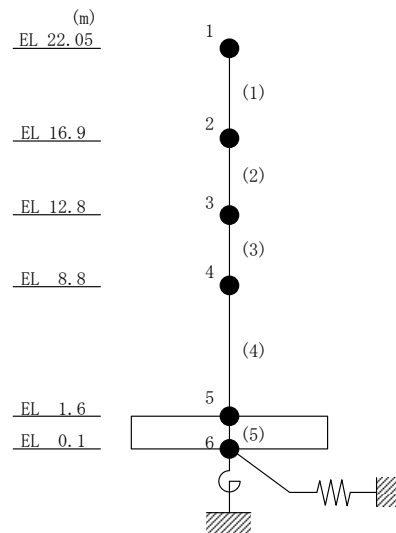


図 4-33 曲げスケルトン曲線上の最大応答値
(弾性設計用地震動 S d , E W 方向)

表 4-29 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

(a) N S 方向

弾性設計用地震動 S d	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 d - D	0.523	1.02	100
S d - F 1	0.451	0.813	100
S d - F 2	0.456	0.834	100
S d - N 1	0.381	0.615	100
S d - N 2 N S	0.393	0.623	100
S d - N 2 E W	0.412	0.680	100
S d - 1	0.560	1.14	100

(b) E W 方向

弾性設計用地震動 S d	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 d - D	0.410	1.15	100
S d - F 1	0.371	0.966	100
S d - F 2	0.377	1.01	100
S d - N 1	0.300	0.624	100
S d - N 2 N S	0.292	0.541	100
S d - N 2 E W	0.342	0.790	100
S d - 1	0.439	1.30	100

注記* : 基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値(0.40N/mm^2)を超えないため接地率は100%となる。

4.2 静的解析

「3.3 解析方法」による解析方法で算定した地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$ 及び静的地震力（水平地震力）を表 4-30 及び表 4-31，図 4-34 及び図 4-35 に，最大接地圧を表 4-32 に示す。

表 4-30 地震層せん断力係数 ($3.0 \cdot C_i$) 及び水平地震力 (NS 方向)

EL (m)	第 i 層が支える重量 W_i (kN)	地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$	水平地震力 Q_i ($\times 10^3$ kN)
22.05~16.9	27540	0.789	21.73
16.9~12.8	46960	0.663	31.13
12.8~8.8	63710	0.582	37.08
8.8~1.6	88610	0.480	42.53

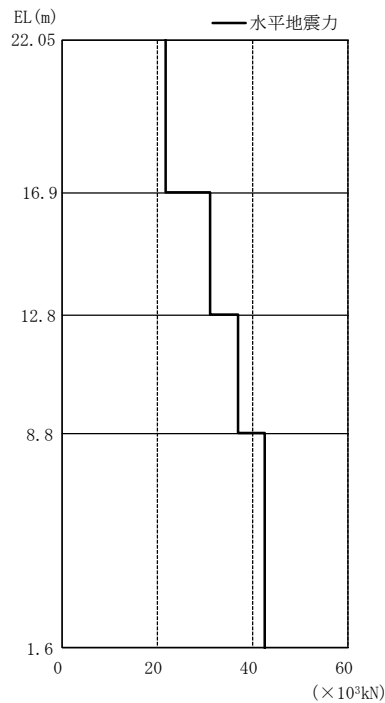


図 4-34 水平地震力 (NS 方向)

表 4-31 地震層せん断力係数 ($3.0 \cdot C_i$) 及び水平地震力 (EW方向)

EL (m)	第 i 層が支える重量 W_i (kN)	地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$	水平地震力 Q_i ($\times 10^3$ kN)
22.05~16.9	27540	0.711	19.58
16.9~12.8	46960	0.630	29.58
12.8~8.8	63710	0.561	35.74
8.8~1.6	88610	0.480	42.53

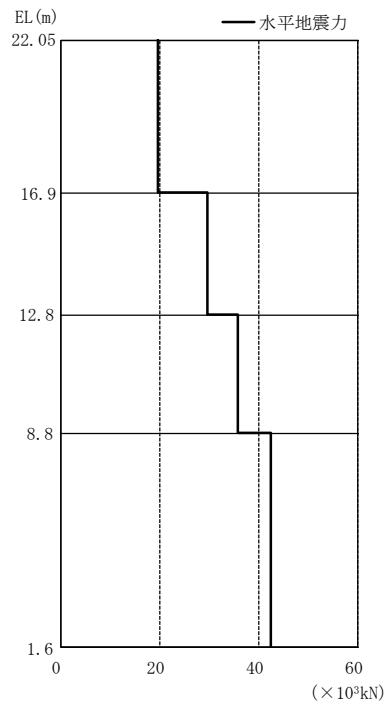


図 4-35 水平地震力 (EW方向)

表 4-32 最大接地压 (静的地震力)

方向	最大接地压 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)
N S	0.451
E W	0.345

4.3 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 4-33 及び表 4-34, 図 4-36 及び図 4-37 に示す。

表 4-33 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 $F_{e s}$	必要保有水平耐力 $Q_{u n}$ ($\times 10^3$ kN)
22.05~16.9	0.55	1.00	19.93
16.9~12.8	0.55	1.00	28.59
12.8~8.8	0.55	1.00	33.99
8.8~1.6	0.55	1.00	38.99

S2 補 VI-2-2-5 R0

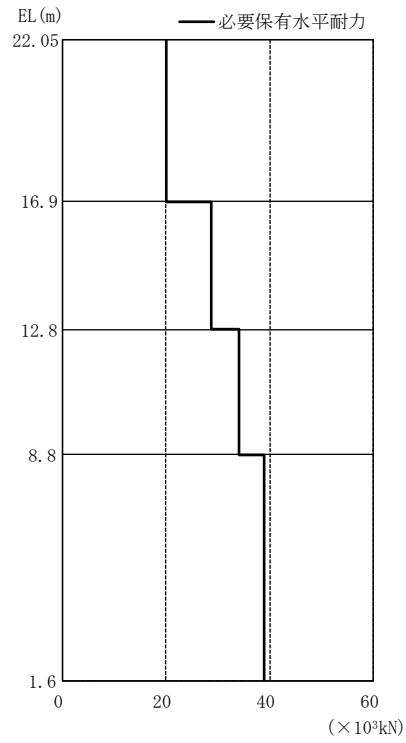


图 4-36 必要保有水平耐力 (N S 方向)

表 4-34 必要保有水平耐力 (EW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)
22.05~16.9	0.55	1.00	17.98
16.9~12.8	0.55	1.00	27.09
12.8~8.8	0.55	1.00	32.83
8.8~1.6	0.55	1.00	38.99

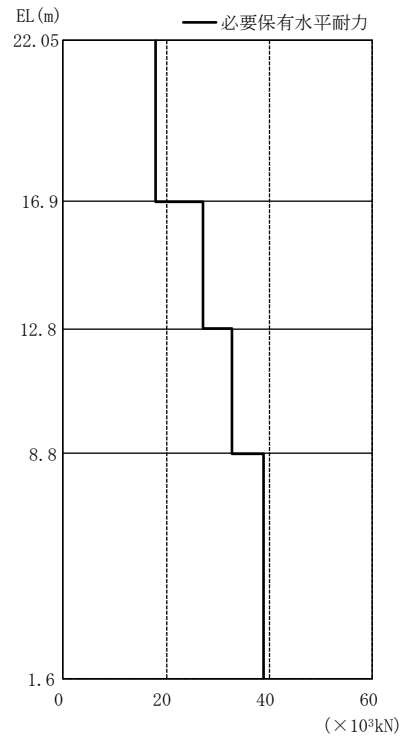


図 4-37 必要保有水平耐力 (EW方向)