

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0098_改0
提出年月日	2021年3月15日

VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書

02 ③ VI-2-2-21 R1

2021年 3月
東北電力株式会社

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	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 解析方法	9
3.1 設計に用いる地震波	9
3.2 地震応答解析モデル	17
3.3 解析方法	29
3.4 解析条件	32
4. 解析結果	42
4.1 動的解析	42
4.2 必要保有水平耐力	68

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づく緊急用電気品建屋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出した各種応答値は、添付書類「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

緊急用電気品建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

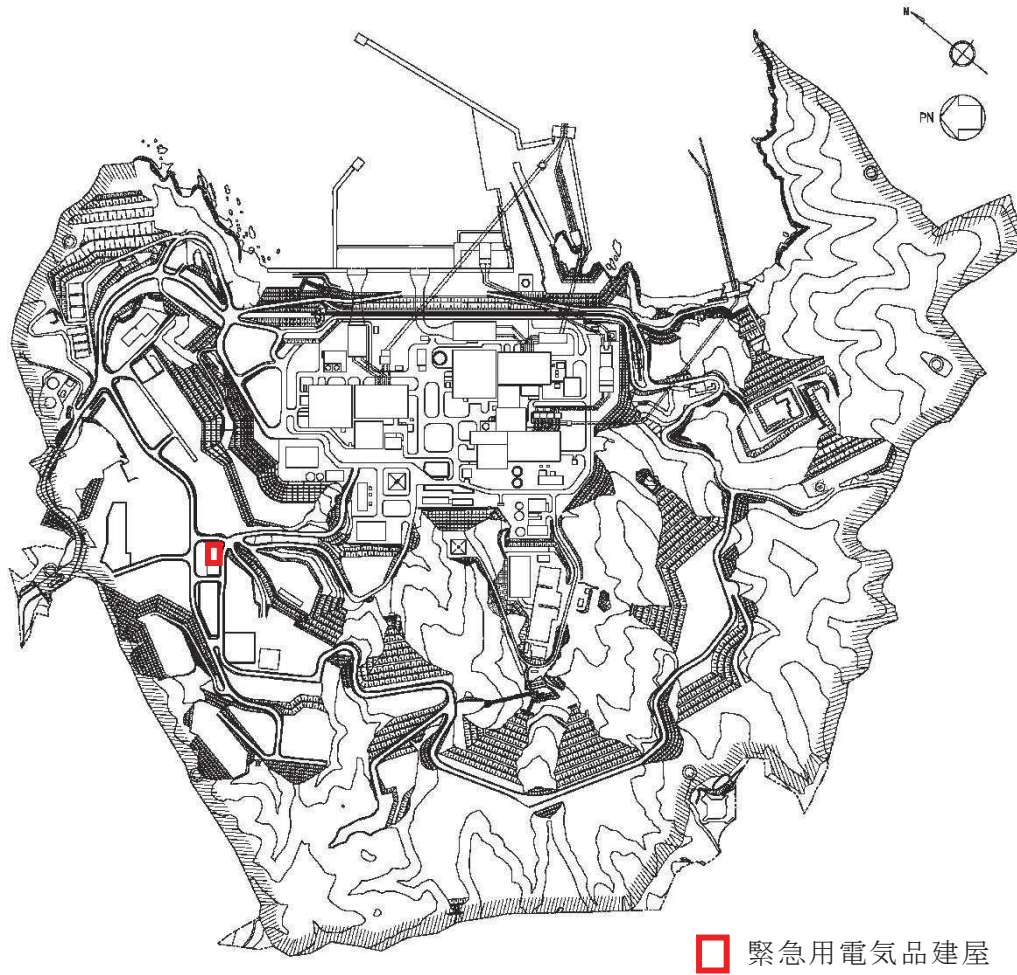


図 2-1 緊急用電気品建屋の設置位置

2.2 構造概要

緊急用電気品建屋は、地下1階、地上1階で、基礎底面からの高さは16.0mであり、平面は下部で南北方向25.2m、東西方向30.0m*である。建屋の構造は鉄骨造及び鉄筋コンクリート造である。

緊急用電気品建屋の基礎は、厚さ3.5mで、支持地盤である砂岩に岩着している。

建屋の地上部分は鉄骨造の柱及び大ばりでフレームを形成しており、これらの柱及びはりは、地下部分の鉄骨柱及び耐震壁とつながってラーメン構造を形成している。地上部分に加わる地震時の水平力はすべてこれらのフレームで負担する。

地下部分の耐震壁は基礎版から1階床面まで連続しており、壁厚は0.8m～1.5mである。建屋の地下部分は全体として非常に剛性が高く、地下部分に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。地下部分のラーメン構造部材は地震時の建屋層間変形に追従可能な設計とする。

緊急用電気品建屋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* : 建屋寸法は壁外面押えとする。

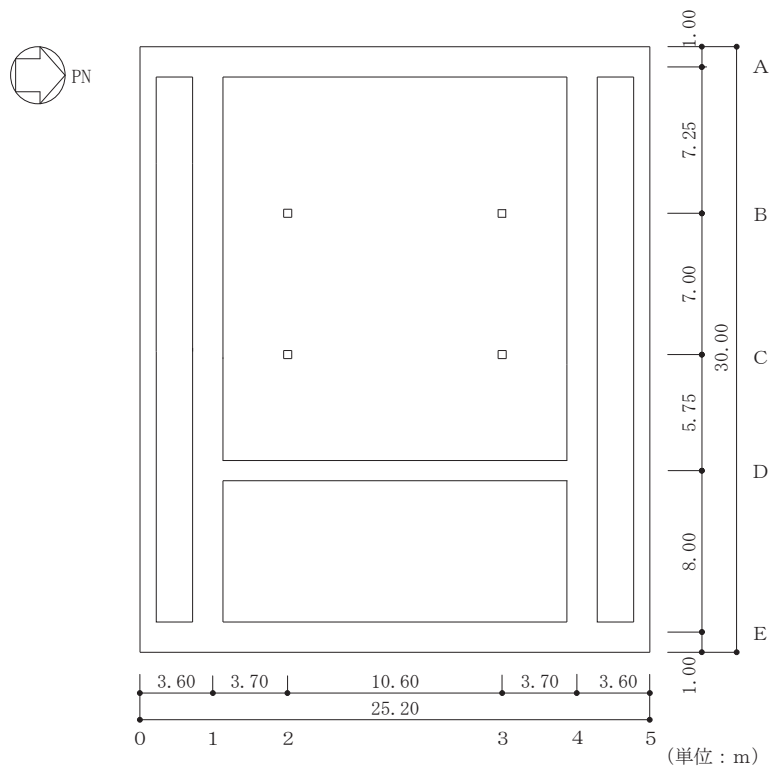


図 2-2(1) 緊急用電気品建屋の概略平面図(0. P. * 56. 4m)

注記* : 0. P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面(T. P.)-0. 74mである。

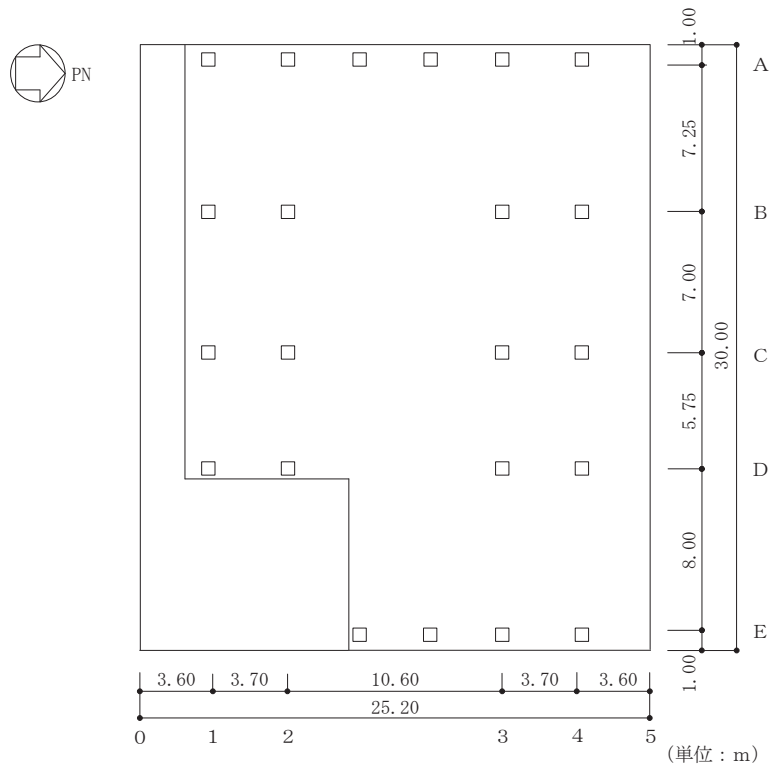


図 2-2(2) 緊急用電気品建屋の概略平面図(0. P. 62. 9m)

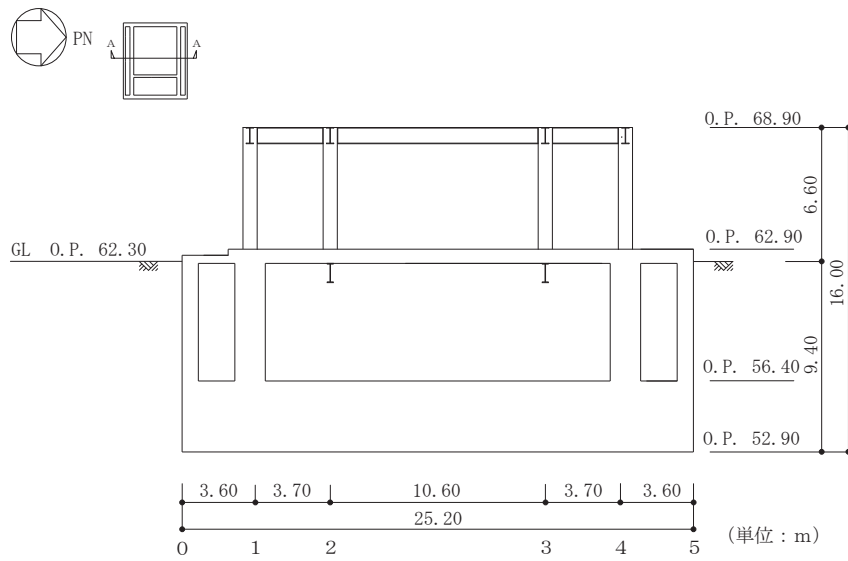


図 2-3(1) 緊急用電気品建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

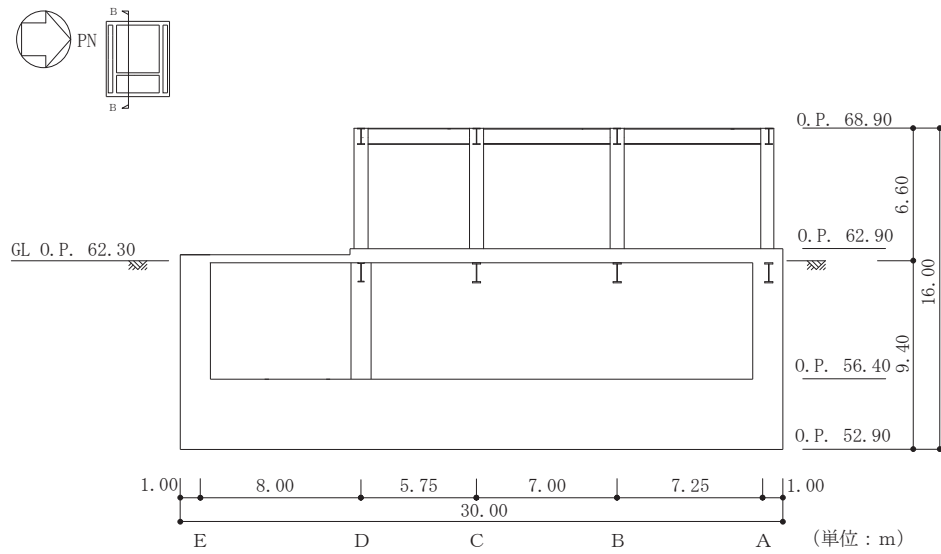


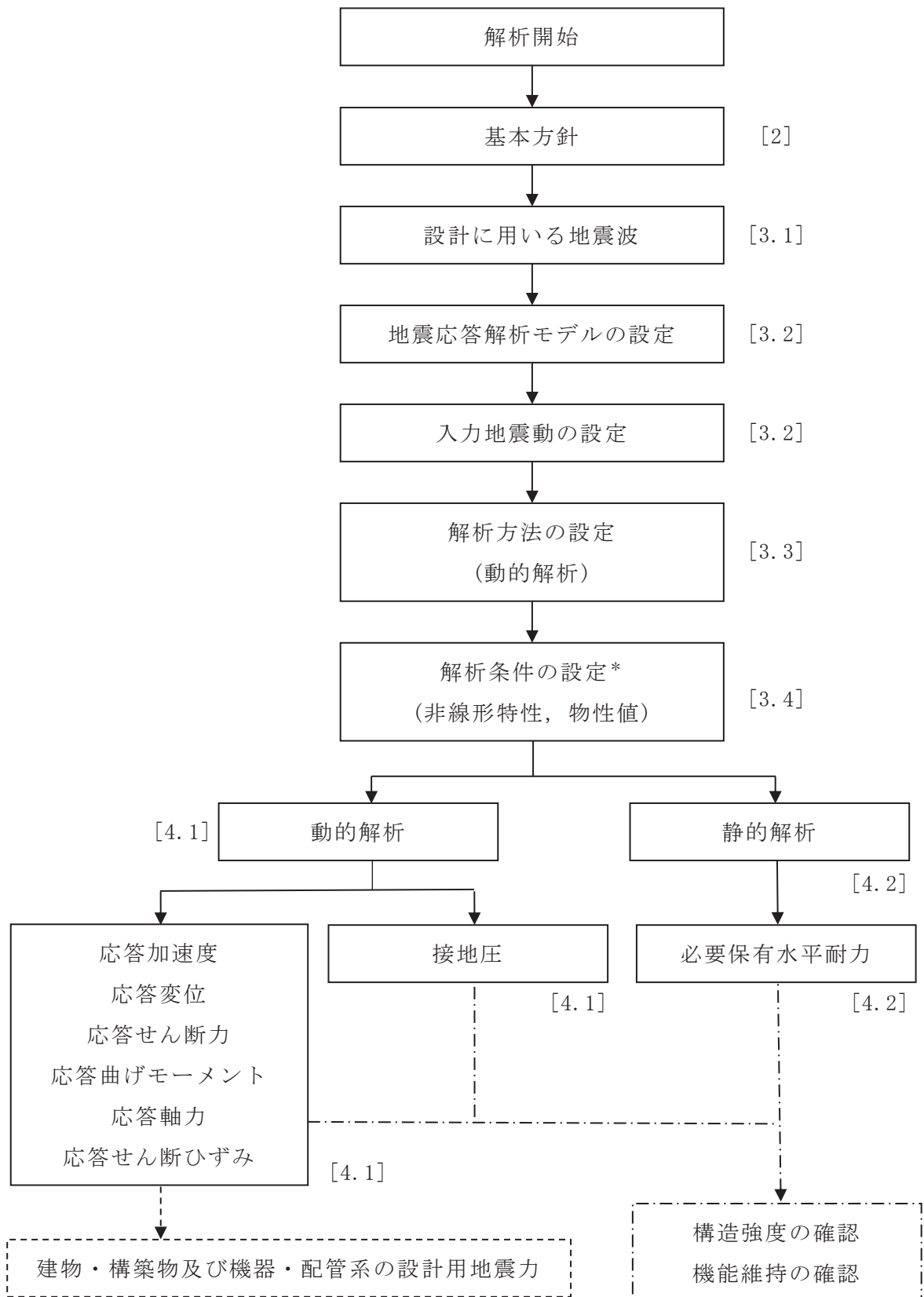
図 2-3(2) 緊急用電気品建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

2.3 解析方針

緊急用電気品建屋の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図 2-4 に緊急用電気品建屋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、「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出する。



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 緊急用電気品建屋の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

緊急用電気品建屋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。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）

3. 解析方法

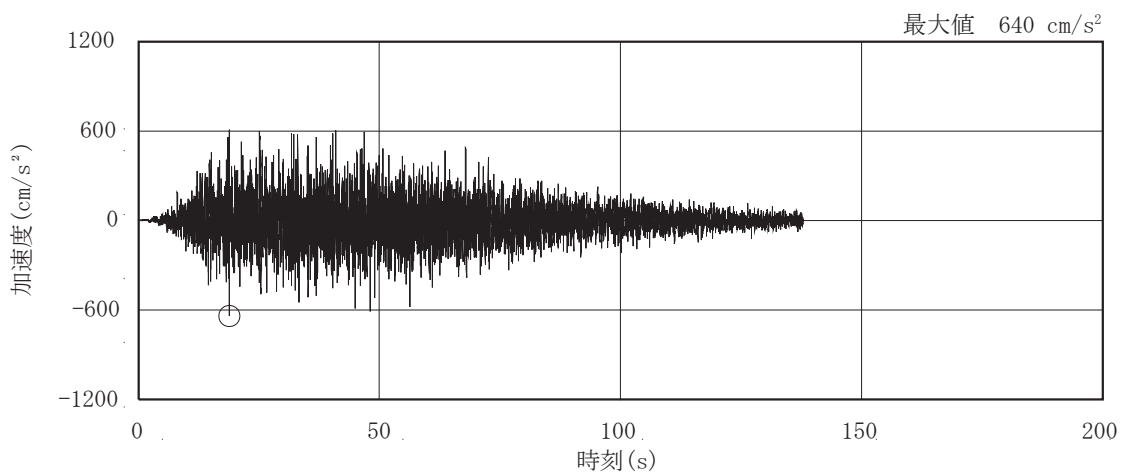
3.1 設計に用いる地震波

緊急用電気品建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この連成モデルへの入力地震動は、添付書類「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で定義された基準地震動 S_s から、地盤の振動特性を考慮して算定した地震動を用いる。

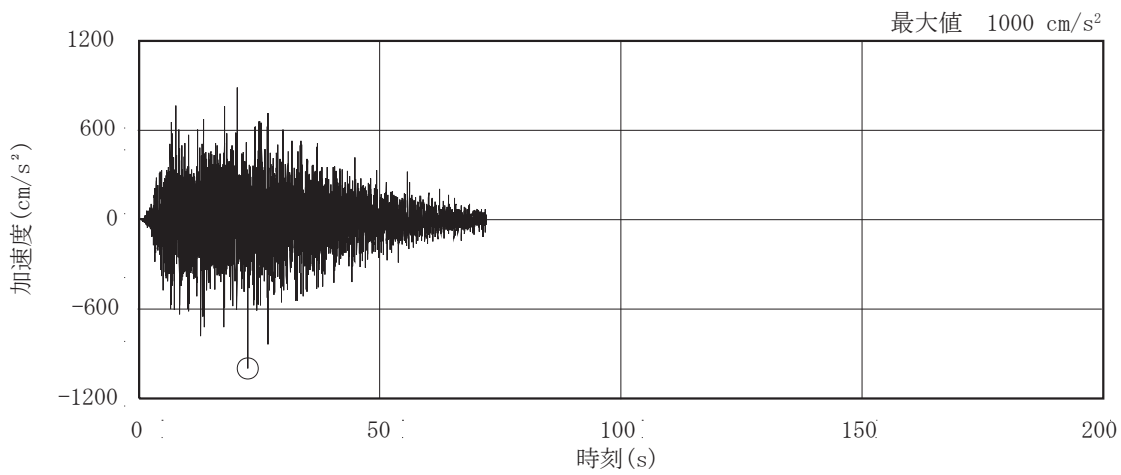
基準地震動 S_s の最大加速度一覧を表 3-1 に、加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-1 及び図 3-2 に示す。

表 3-1 基準地震動 S_s の最大加速度一覧

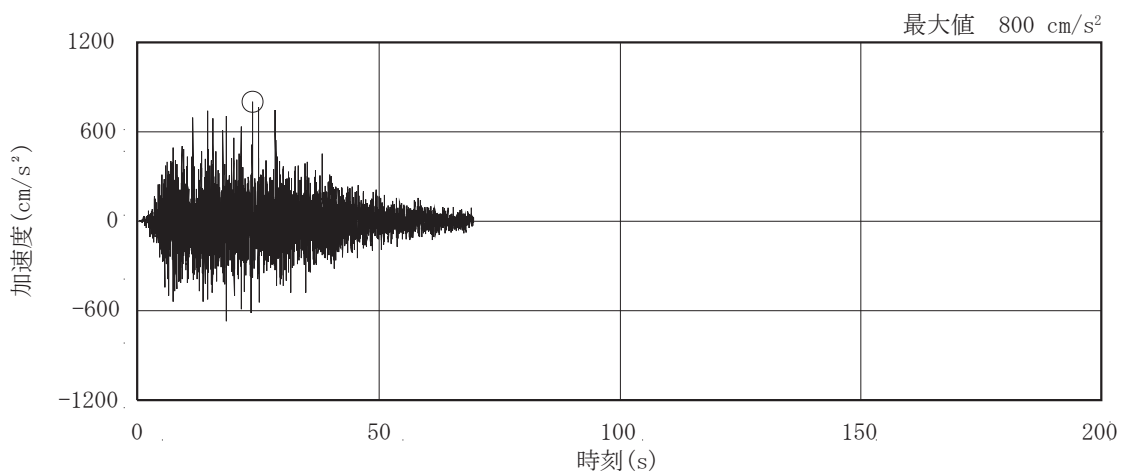
基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)	
		水平方向	鉛直方向
S _s -D1	プレート間地震の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	640	430
S _s -D2	海洋プレート内地震 (SMGA マントル内) の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	1000	600
S _s -D3	海洋プレート内地震 (SMGA 地殻内) の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	800	500
S _s -F1	プレート間地震の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (応力降下量 (短周期レベル) の不確かさ)	717	393
S _s -F2	プレート間地震の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (SMGA 位置と応力降下量 (短周期レベル) の不確かさの重畳)	722	396
S _s -F3	海洋プレート内地震 (SMGA マントル内) の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (SMGA マントル内集約)	835	443
S _s -N1	2004 年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET 港町) の検討結果に保守性を考慮した地震動	620	320



(a) S s - D 1

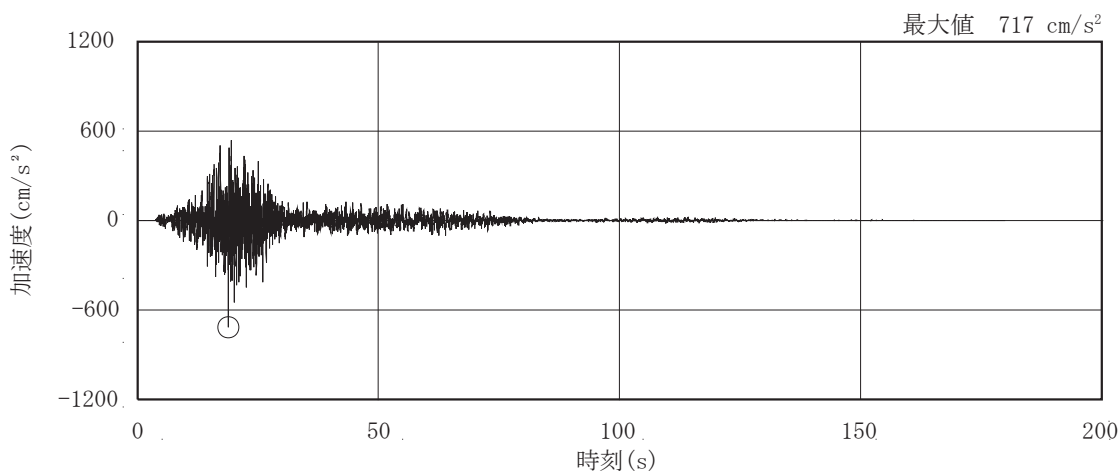


(b) S s - D 2

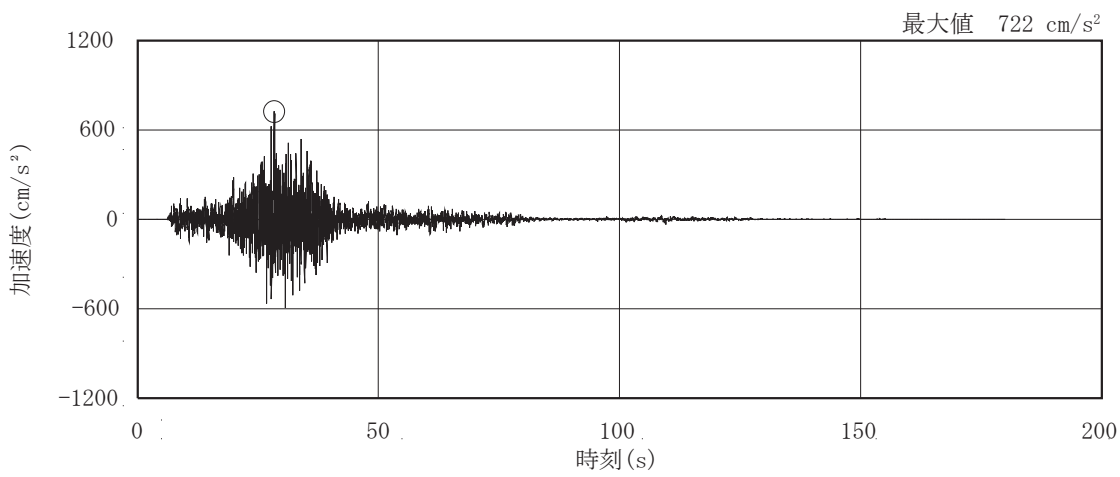


(c) S s - D 3

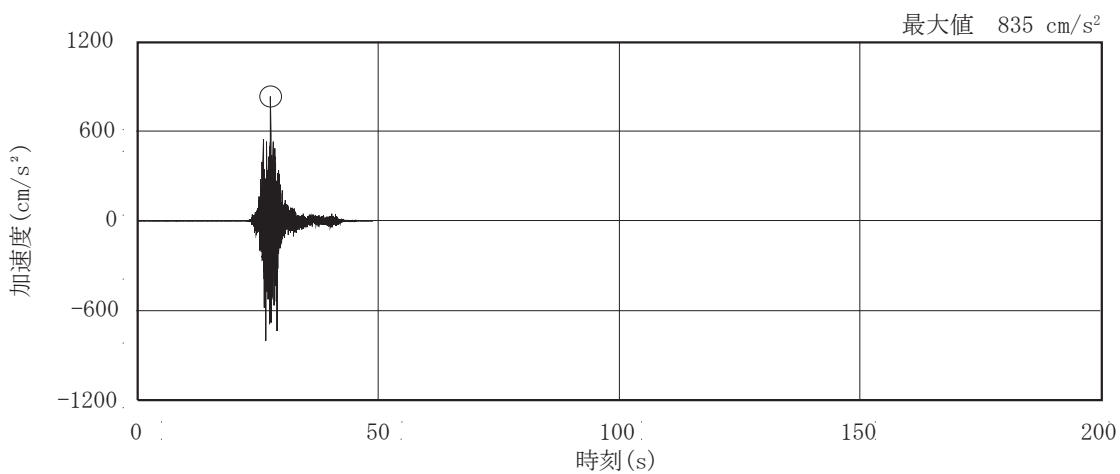
图 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

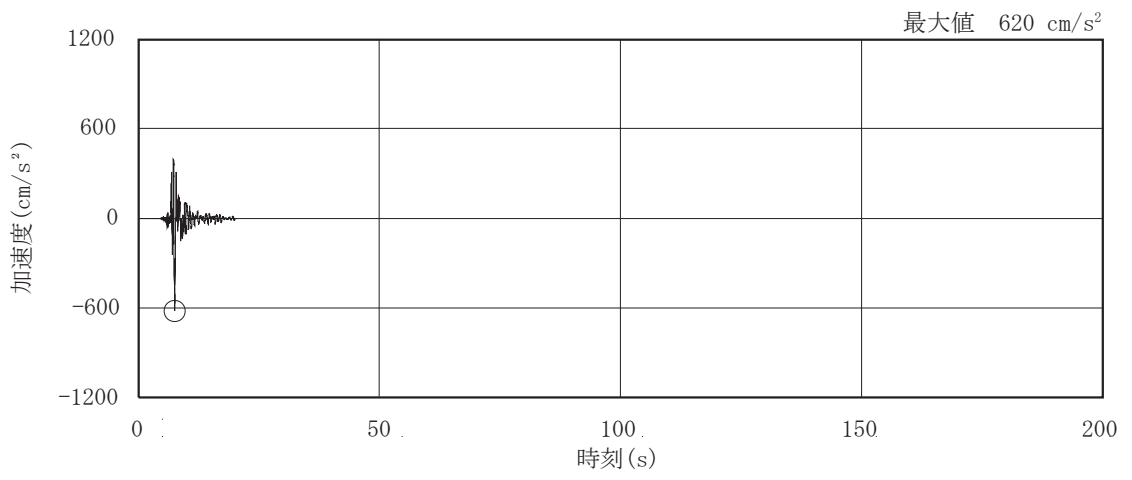


(e) S s - F 2



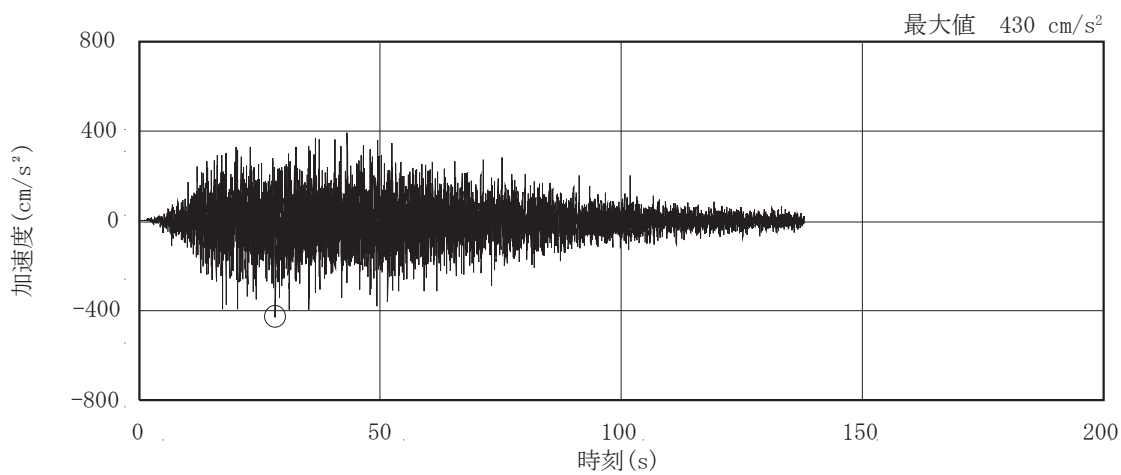
(f) S s - F 3

图 3-1(2) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (2/3)

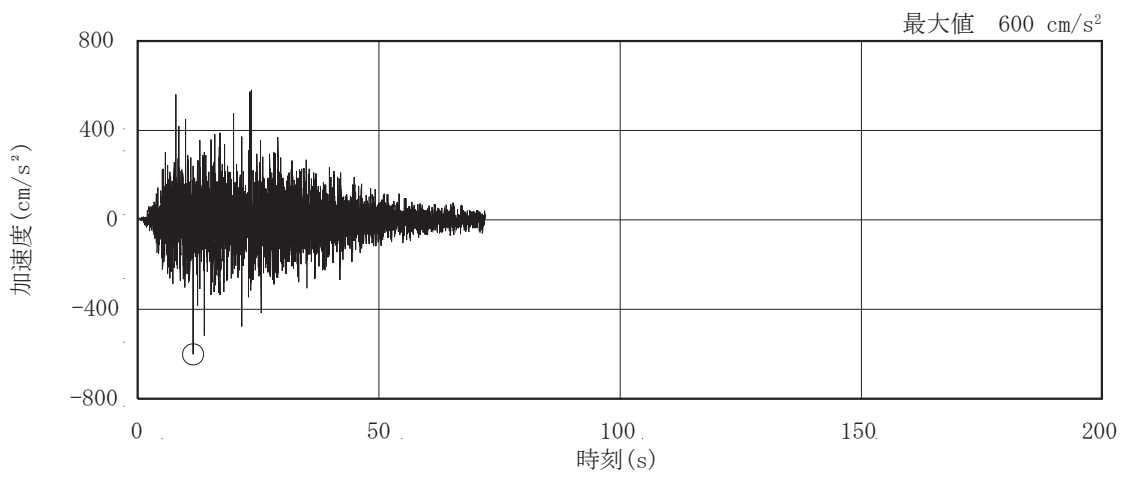


(g) S s - N 1

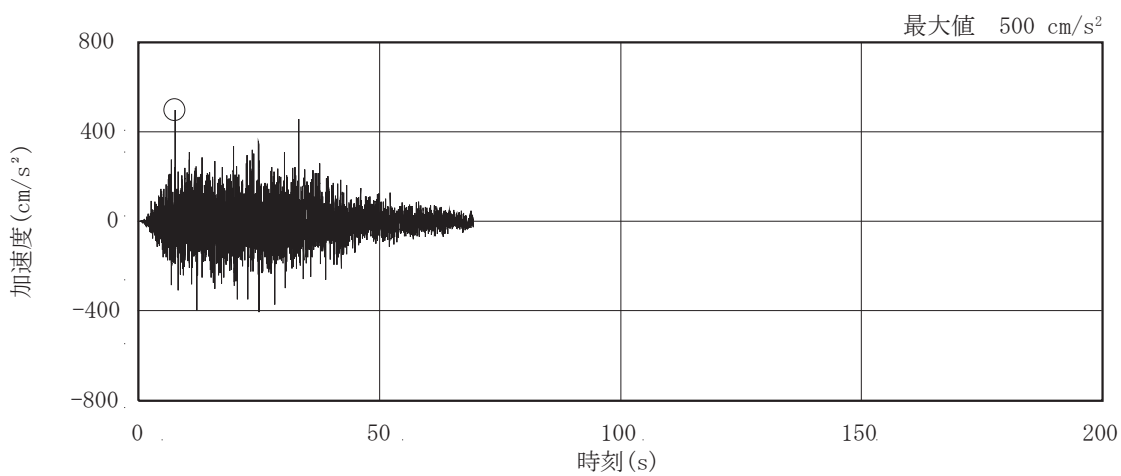
图 3-1(3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (3/3)



(a) S s - D 1

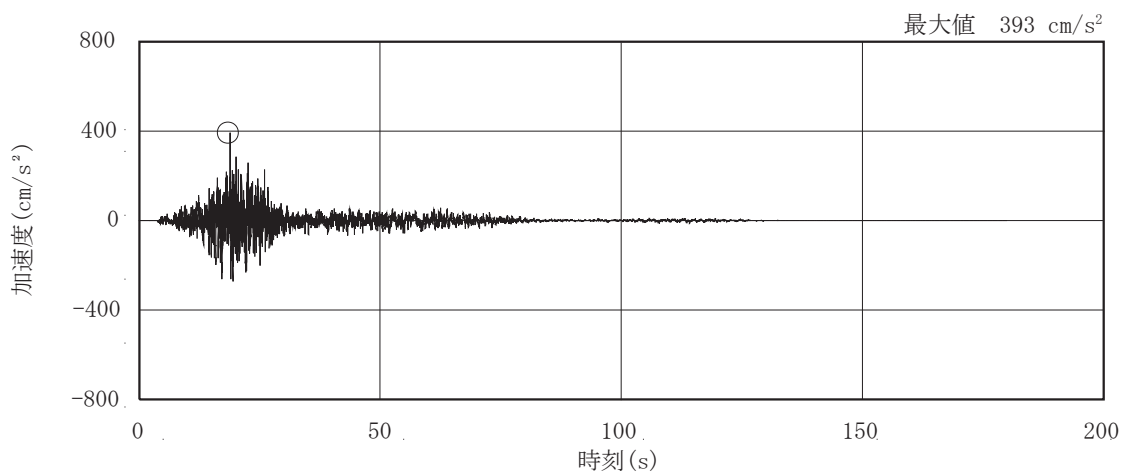


(b) S s - D 2

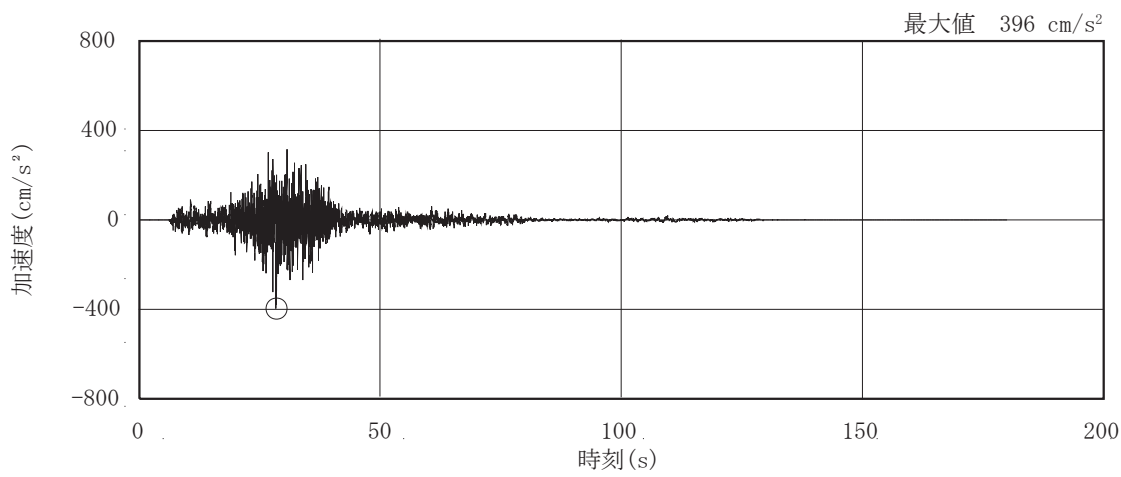


(c) S s - D 3

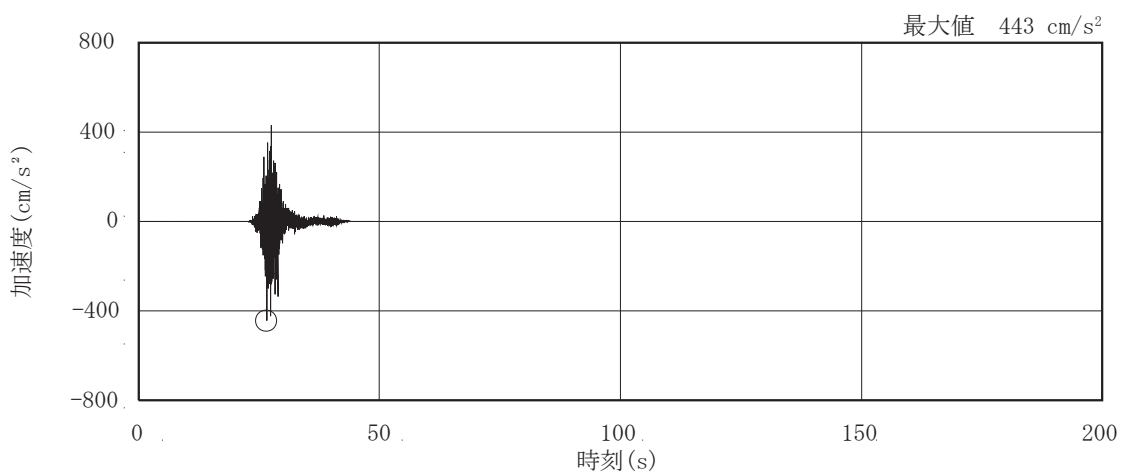
图 3-1(4) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (1/3)



(d) S s - F 1

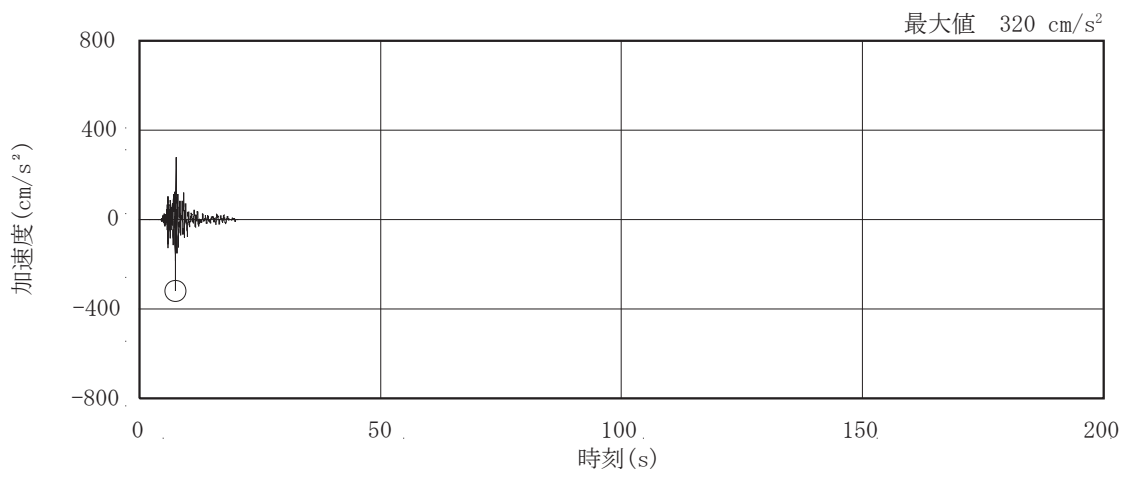


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

图 3-1(5) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (2/3)



(g) S s - N 1

图 3-1(6) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (3/3)

O 2 ③ VI-2-2-21 R 1

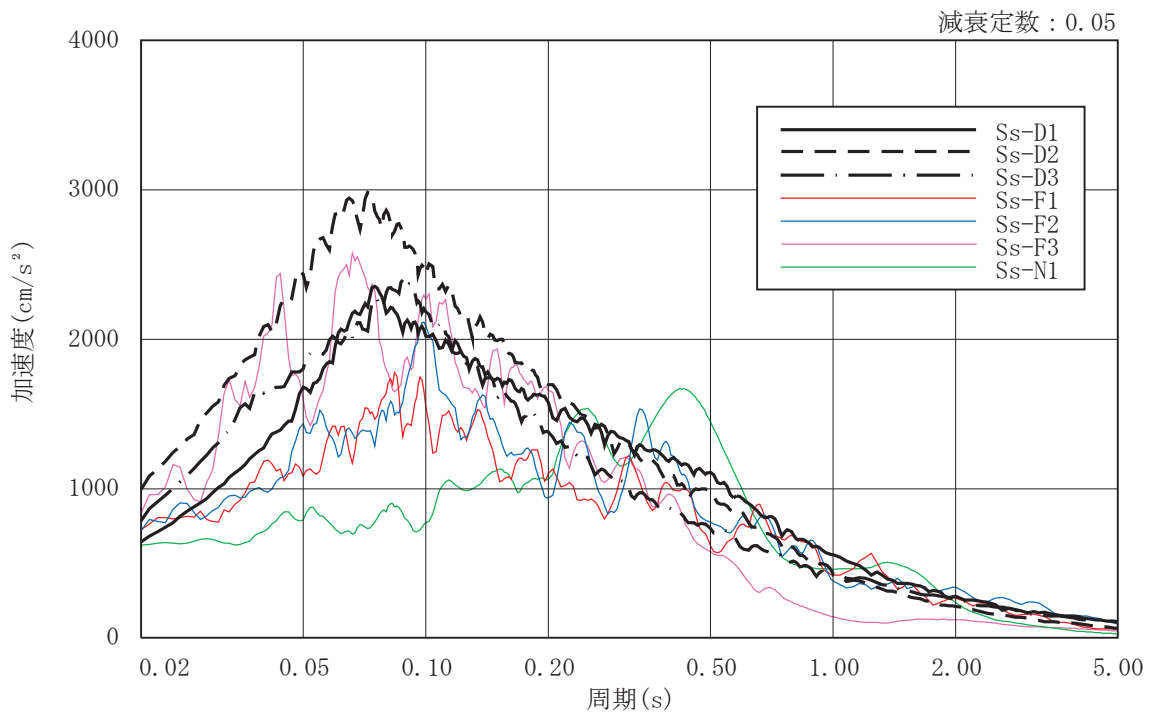


図 3-2(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向)

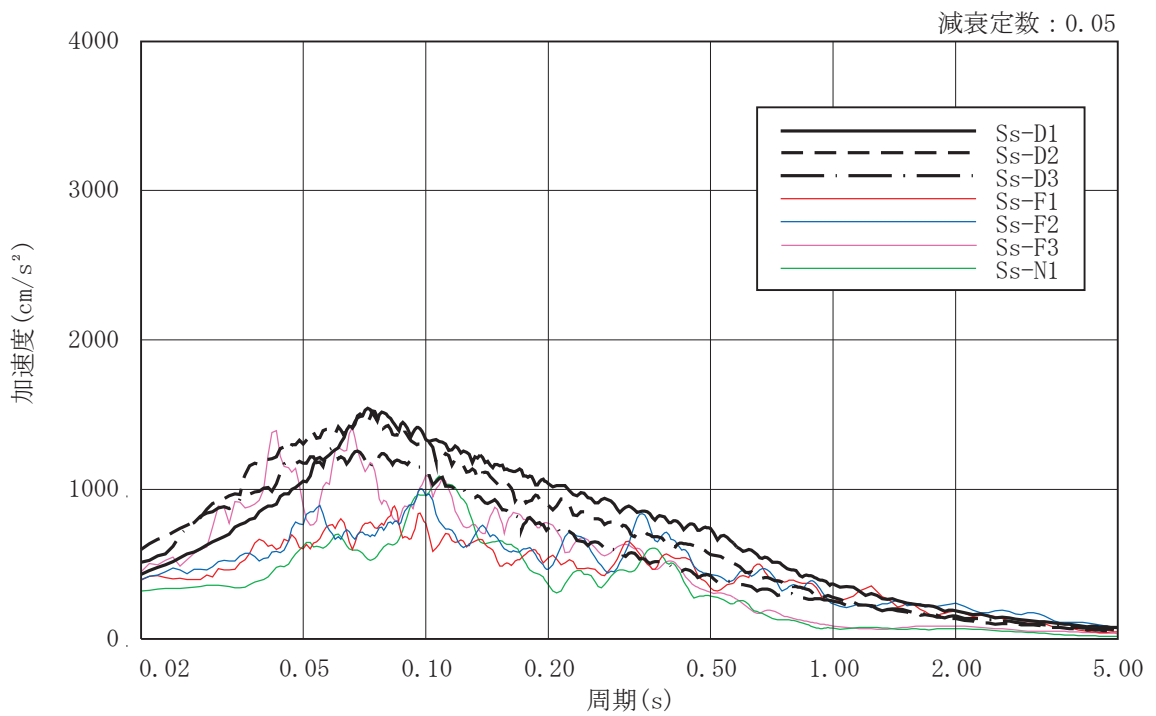


図 3-2(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向)

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に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 3-2 に示す。

表 3-2 使用材料の物性値

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

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、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部及びせん断変形をする鉄骨部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。

水平方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-3 に示す。

(2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、水平方向の地震応答解析モデルにおいては底面水平ばね及び底面回転ばねで置換している。この底面水平ばね及び底面回転ばねは、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミッタンス理論に基づいて評価している。いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図 3-4 に示すようにばね定数として、実部の静的な値(K_0)を、また、減衰係数(C_0)として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数(ω_1)に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。このうち、底面回転ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。

基礎版の埋込み部分の側面地盤ばねについては、基礎版の側面位置の地盤定数を用いて、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、Novak の方法に基づき求めた側面水平ばねを、基礎底面地盤ばねと同様に近似法により定数化して用いる。側面水平ばねの評価には、解析コード「NOVAK」を用いる。

評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

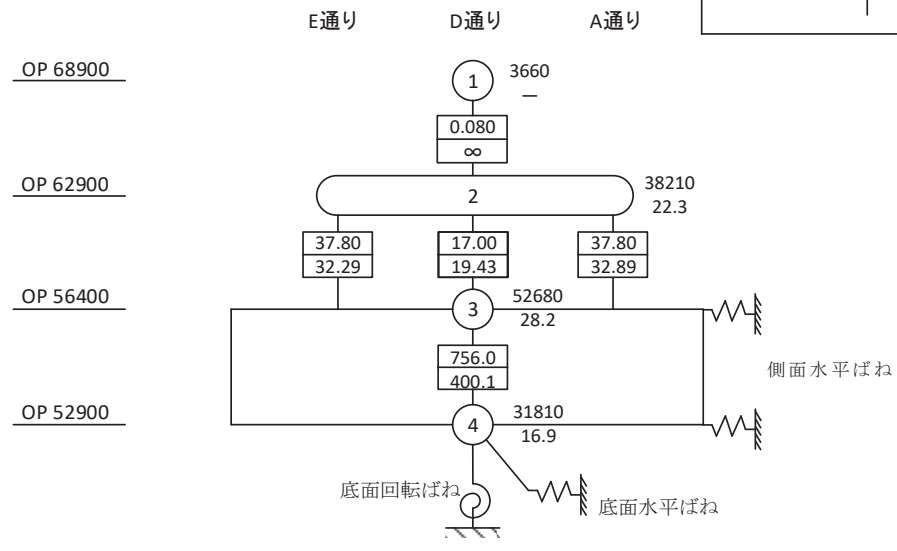
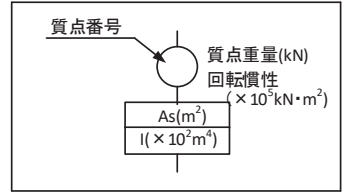
地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-3 に、地盤モデルの物性値を表 3-4 に示す。

(3) 入力地震動

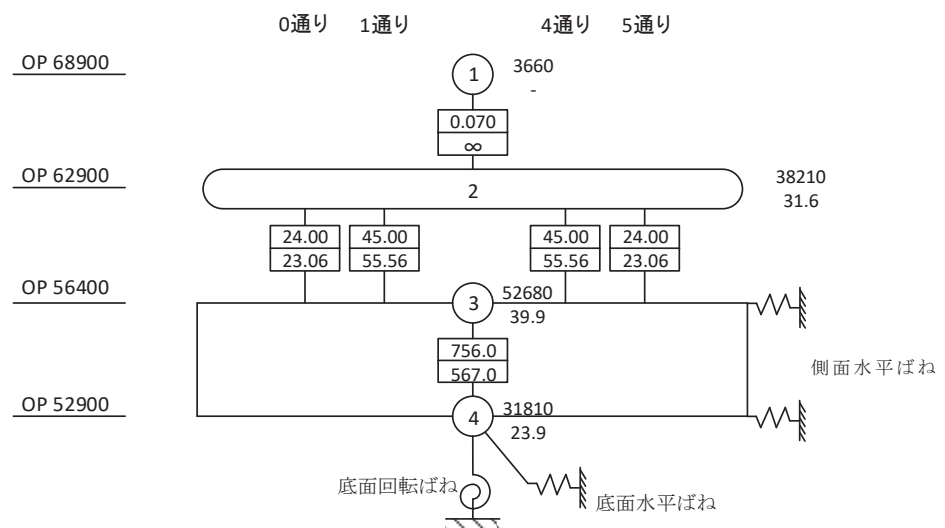
地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動 S_s から以下の手順で算定する。まず、地下構造モデルの解放基盤表面以深の地盤を一次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により O.P.-200m の入射波を算定する。算定した O.P.-200m の入射波を建屋位置地盤モデルに入力して線形解析を行い、建屋基礎底面レベルでの地盤及び基礎の上下端レベルの建屋側面の地盤の応答を評価して入力地震動とする。また、建屋基礎底面レベルにおける補正水平力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。図 3-5 に地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を、設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置 (O.P. 52.9m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-6 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及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

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



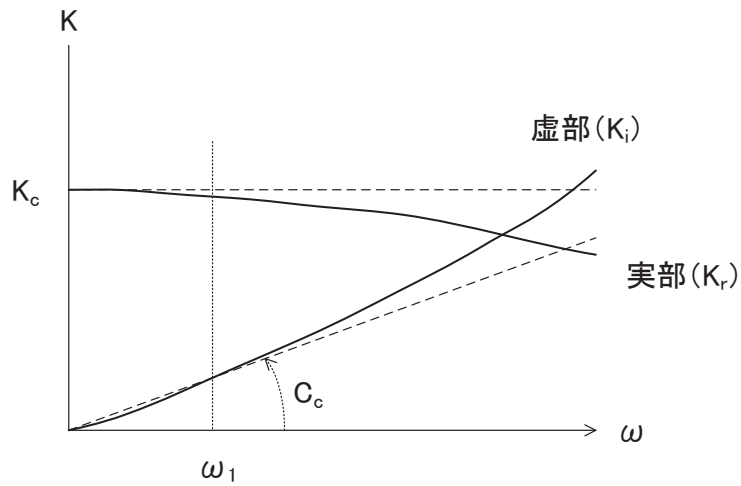
(a) NS方向



(b) EW方向

図 3-3 地震応答解析モデル及び諸元(水平方向)

O 2 ③ VI-2-2-21 R 1



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数：建屋—地盤連成系の 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 3-4 地盤ばねの定数化の概要

表 3-3 地盤ばね定数と減衰係数（水平方向）

(a) NS 方向

地盤ばね成分	質点番号	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
側面・水平	3	8.281×10^7 (kN/m)	1.470×10^6 (kN·s/m)
側面・水平	4	8.281×10^7 (kN/m)	1.470×10^6 (kN·s/m)
底面・水平	4	1.013×10^9 (kN/m)	3.844×10^6 (kN·s/m)
底面・回転	4	1.772×10^{11} (kN·m/rad)	1.508×10^8 (kN·m·s/rad)

(b) EW 方向

地盤ばね成分	質点番号	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
側面・水平	3	8.281×10^7 (kN/m)	1.463×10^6 (kN·s/m)
側面・水平	4	8.281×10^7 (kN/m)	1.463×10^6 (kN·s/m)
底面・水平	4	9.999×10^8 (kN/m)	3.752×10^6 (kN·s/m)
底面・回転	4	2.269×10^{11} (kN·m/rad)	2.628×10^8 (kN·m·s/rad)

表 3-4(1) 緊急用電気品建屋の地震応答解析に用いる地下構造モデルの地盤物性値

地層レベル O.P. (m)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h (%)
-14.1	26.1	1360	3
-27.0	26.4	2040	3
-50.0	26.5	2520	3
-200.0	26.5	2520	3

表 3-4(2) 緊急用電気品建屋の地震応答解析に用いる建屋位置地盤モデルの地盤物性値

	地層レベル O.P. (m)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h (%)
側面地盤	62.3	25.5	280	3
	61.7	25.5	680	3
	60.8	26.2	670	3
	59.5	26.2	1330	3
	57.5	26.2	2080	3
底面地盤	52.9	26.2	2080	3
	46.8	26.2	2510	3
	16.9	26.4	2500	3
	-200.0	26.4	2500	3

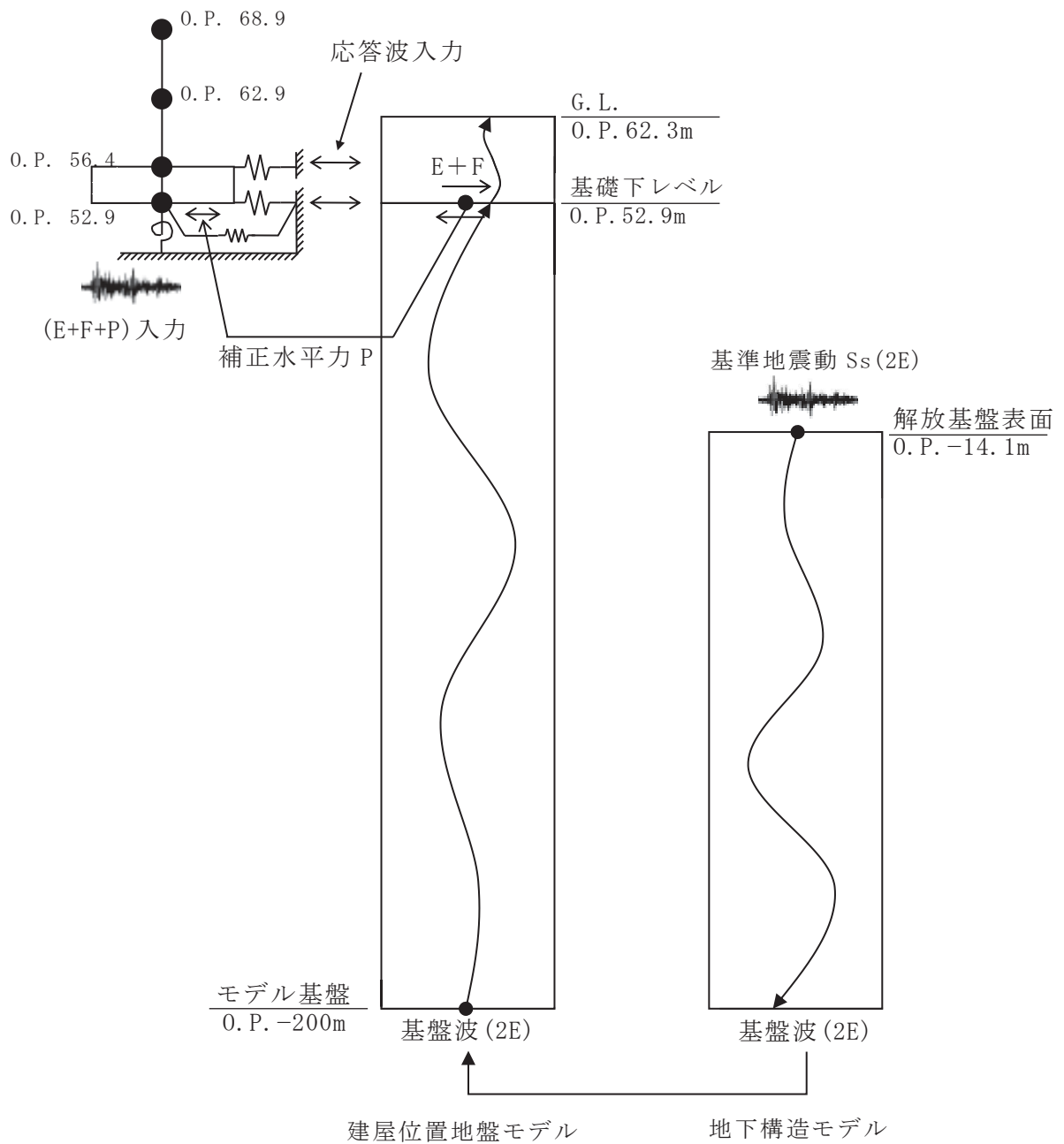


図 3-5 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

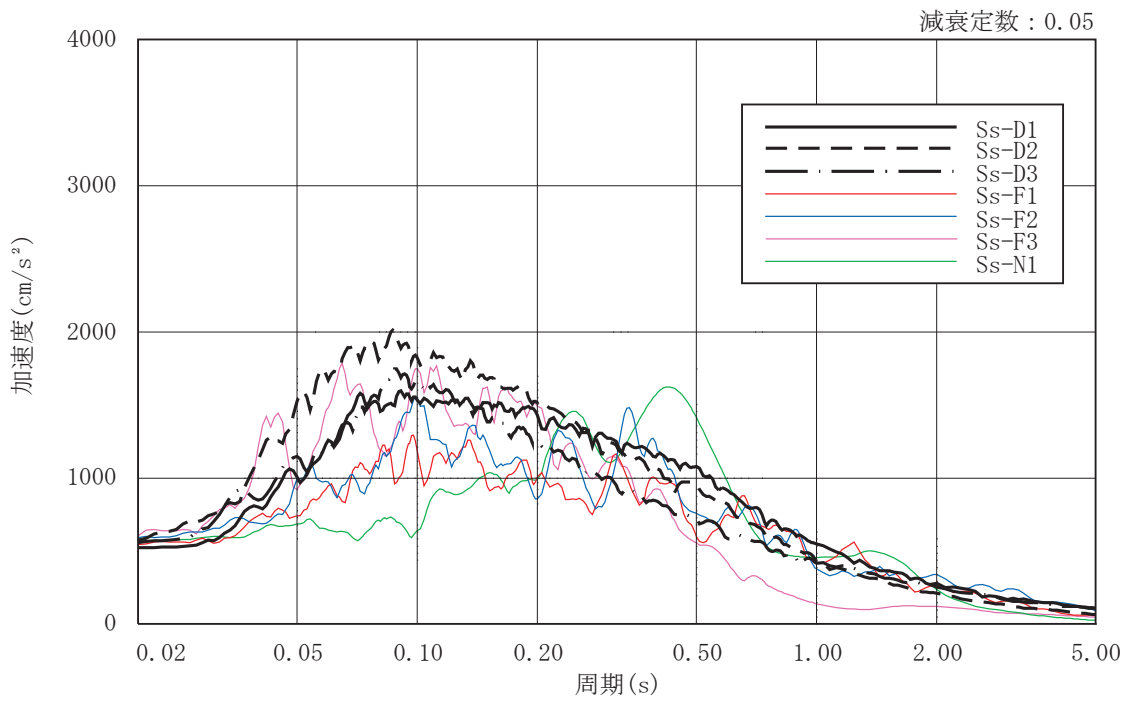


図 3-6 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s , 水平方向. O.P. 52.9m)

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、軸変形をする耐震壁部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。鉛直方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-7 に示す。

(2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、鉛直方向の地震応答解析モデルにおいては鉛直ばねで置換している。この鉛直ばねは、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミタンス理論に基づいて評価しており、振動数に依存した複素剛性として表現される。図 3-8 に示すようにばね定数として、実部の静的な値(K_0)を、また、減衰係数(C_0)として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数(ω_1)に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。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及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-5 に示す。

(3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面レベル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、解放基盤モデルの解放基盤表面以深の地盤を一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 O.P.-200m の入射波を算定する。算定した O.P.-200m の入射波を構造物位置地盤の一次元地盤モデルに入力して線形解析を行い、建屋基礎底面レベルでの地盤の応答を評価して入力地震動とする。図 3-9 に地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を、設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置 (O.P. 52.9m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-10 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及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

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

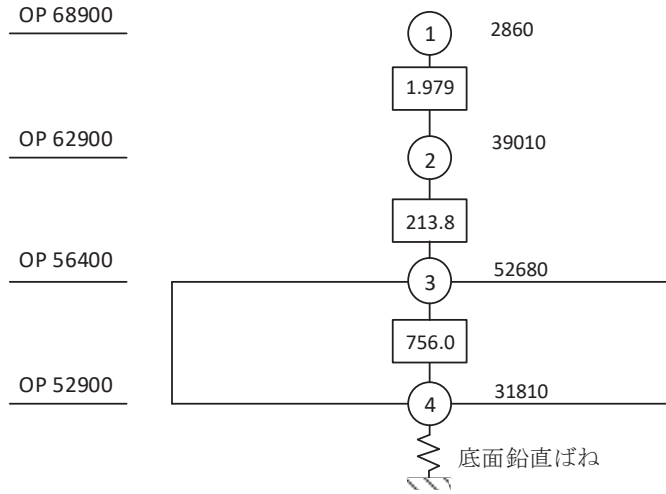
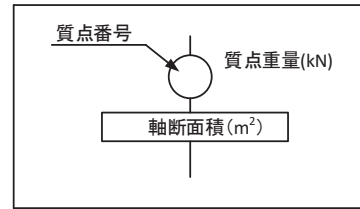
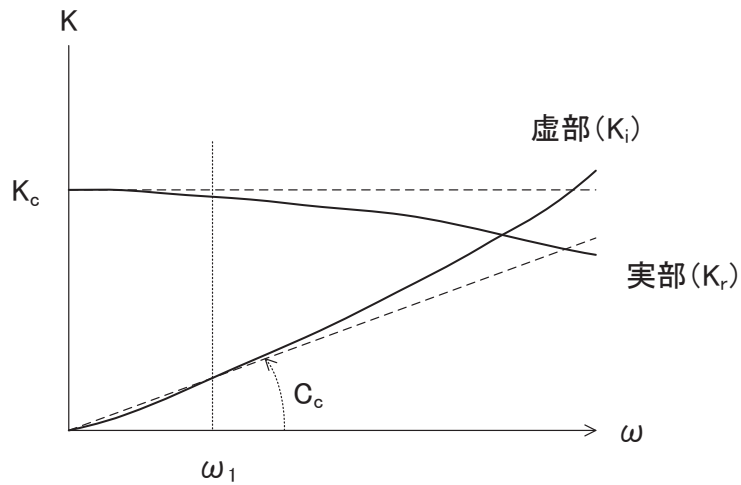


図 3-7 地震応答解析モデル及び諸元(鉛直方向)



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数：建屋—地盤連成系の 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 3-8 鉛直地盤ばねの定数化の概要

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数（鉛直方向）

地盤ばね成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
底面・鉛直	1.266×10^9 (kN/m)	6.934×10^6 (kN·s/m)

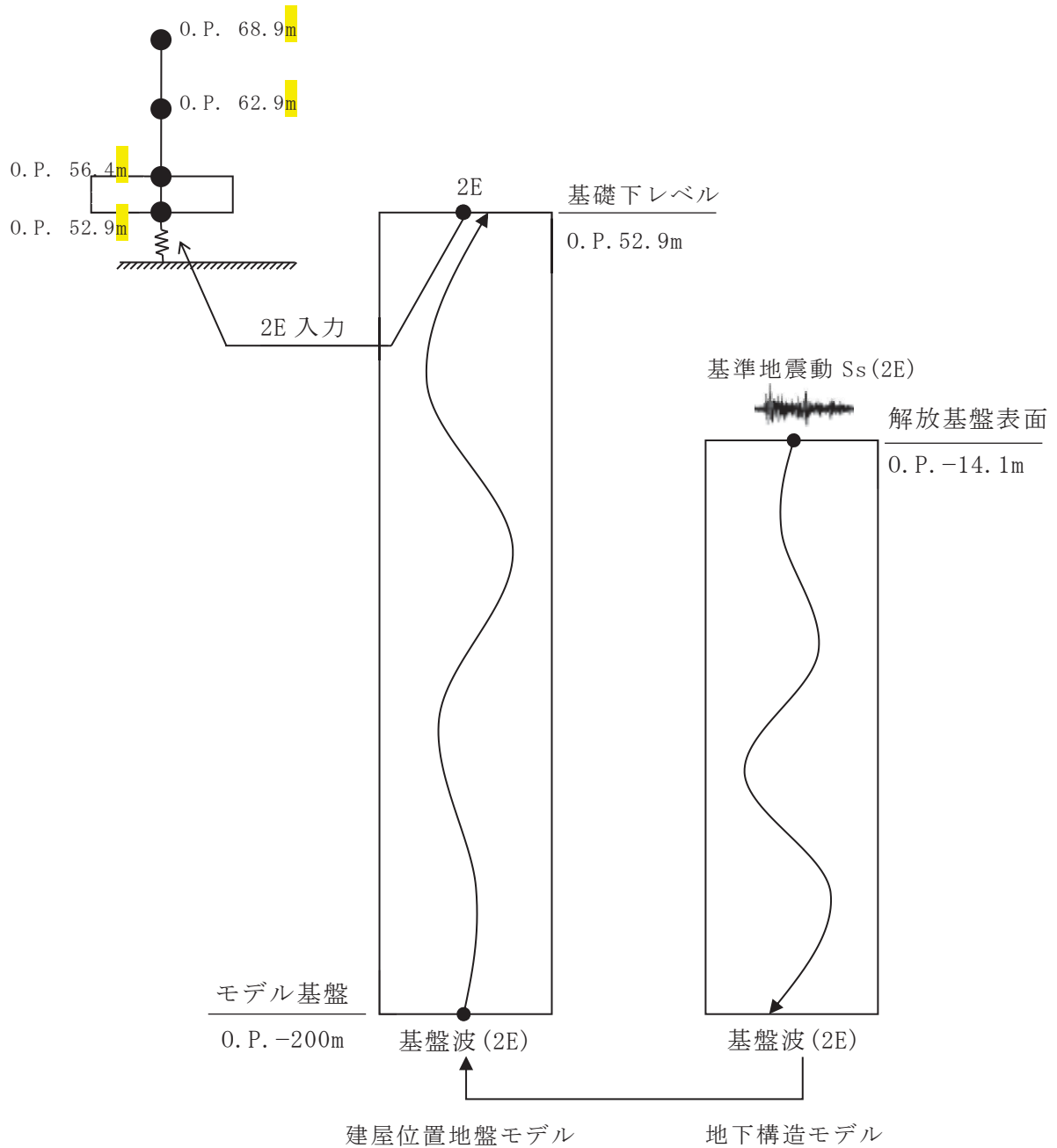


図 3-9 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）

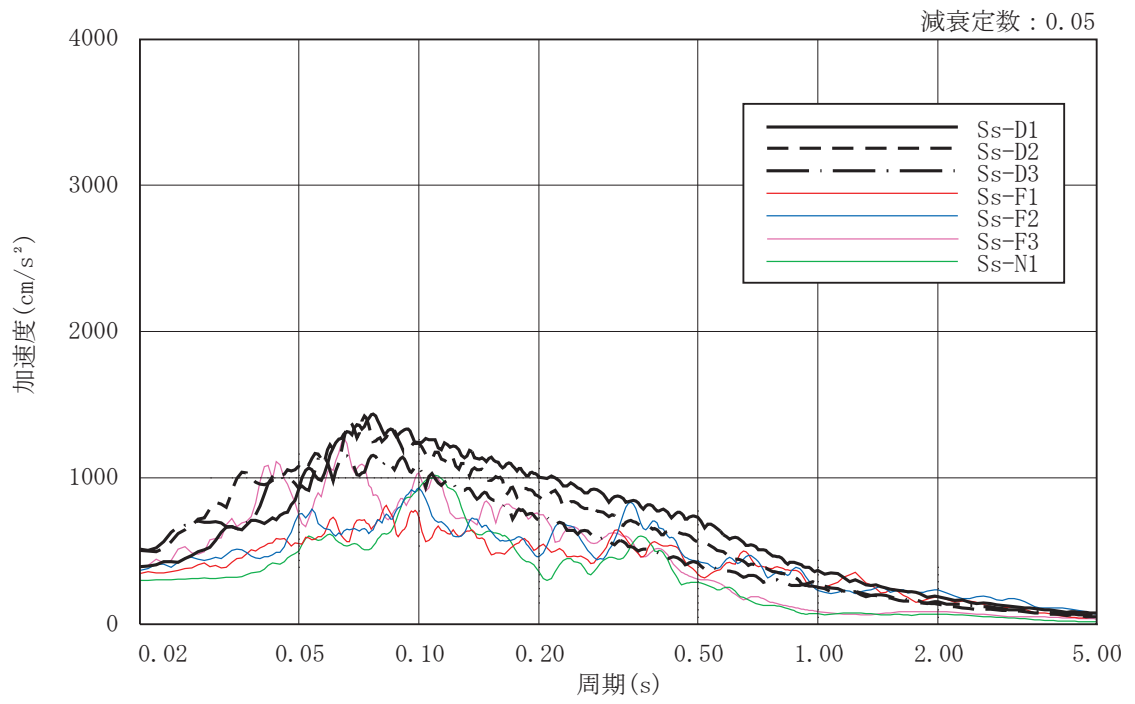


図 3-10 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s , 鉛直方向, 0.P. 52.9m)

3.3 解析方法

緊急用電気品建屋について、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出する。また、静的解析により必要保有水平耐力を算出する。

緊急用電気品建屋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及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に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 -2015）」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）を用いて算出する。

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、次式により算出する。

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

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、次式により算出する。

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

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、次式により算出する。

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

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)

なお、 A_i はモーダル解析により以下のとおり算出する。

$$A_i = A_i' / A_1'$$

$$A_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\sum_{m=i}^n w_m \cdot \beta_j \cdot U_{mj} \cdot R_t (T_j) \right)^2} / \sum_{m=i}^n w_m$$

ここで、

n : 建物・構築物の層数

w_m : 第 m 層の重量

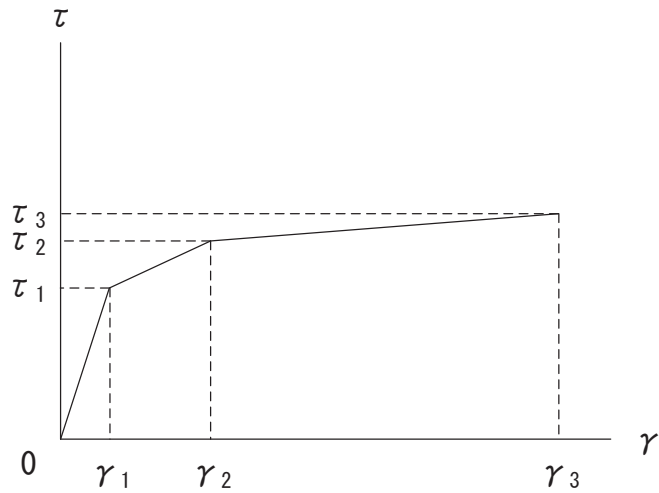
- $\beta_j \cdot U_{mj}$: 第 m 層の j 次刺激関数
- T_j : 固有値解析により得られる建物・構築物の j 次固有周期
- $R_t(T_j)$: 周期 T_j に対応する加速度応答スペクトルの値
(建築基準法施行令第88条第1項に与えられている振動特性係数 R_t の T_j に対する値とする。地盤種別は第1種地盤とする。)
- k : 考慮すべき最高次数

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カーブとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-11 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

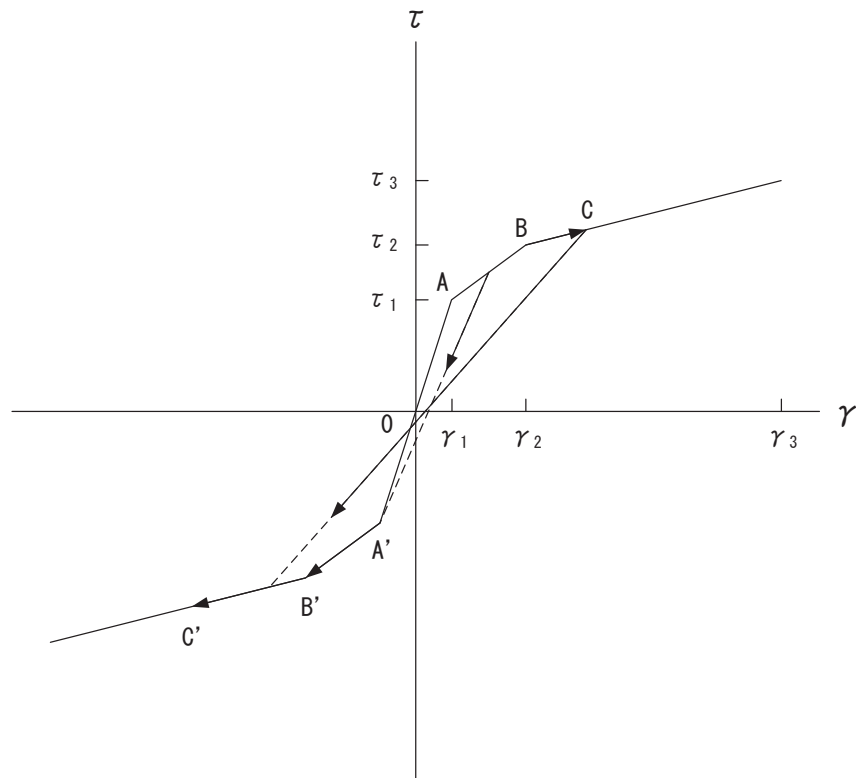
γ_2 : 第2折点のせん断ひずみ

γ_3 : 終局点のせん断ひずみ ($=4.0 \times 10^{-3}$)

図 3-11 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 3-12 に示す。

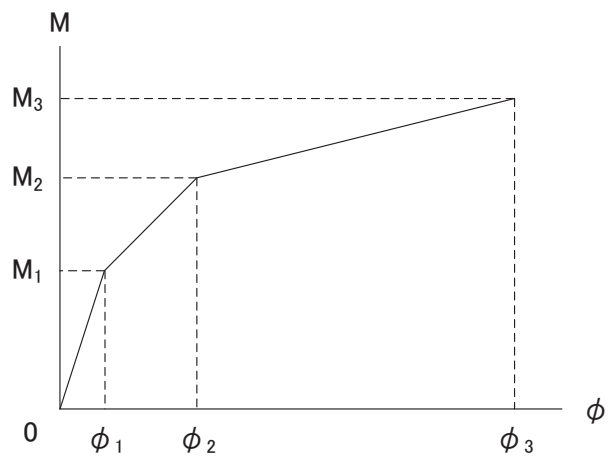


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-12 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カーブとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-13 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

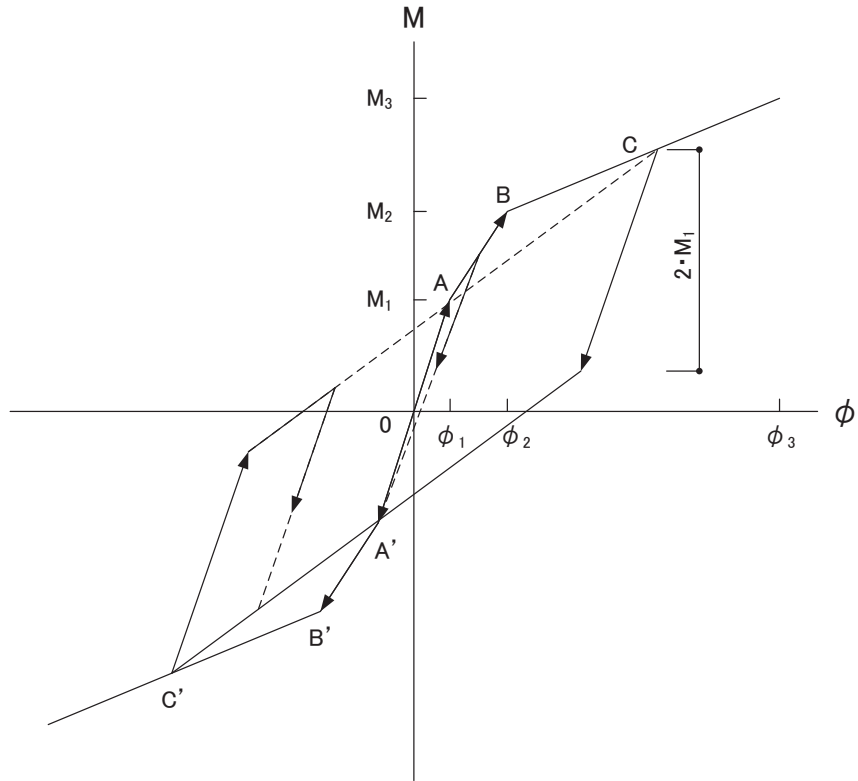
ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-13 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 3-14 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 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：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 折点を超えていなければ、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 3-14 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトンカーブの諸数値

緊急用電気品建屋の各耐震壁について算出したせん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-6(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係) NS 方向

O. P. (m)	通り	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 ($\times 10^{-3}$)
56.40~62.90	A	1.78	2.40	6.91	0.174	0.523	4.00
	D	1.80	2.42	6.01	0.176	0.528	4.00
	E	1.77	2.39	6.91	0.174	0.521	4.00

表 3-6(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係) EW 方向

O. P. (m)	通り	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 ($\times 10^{-3}$)
56.40~62.90	0	1.75	2.36	7.67	0.171	0.514	4.00
	1	1.77	2.39	5.61	0.173	0.520	4.00
	4	1.77	2.39	5.62	0.174	0.521	4.00
	5	1.75	2.36	7.67	0.172	0.515	4.00

表 3-7(1) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係) NS 方向

O. P. (m)	通り	M_1 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}/\text{m}$)
56.40~62.90	A	6.54	24.46	35.65	8.15	100.65	1347.70
	D	4.74	9.13	11.84	10.00	116.18	2323.60
	E	6.40	24.24	35.39	8.12	100.73	1345.82

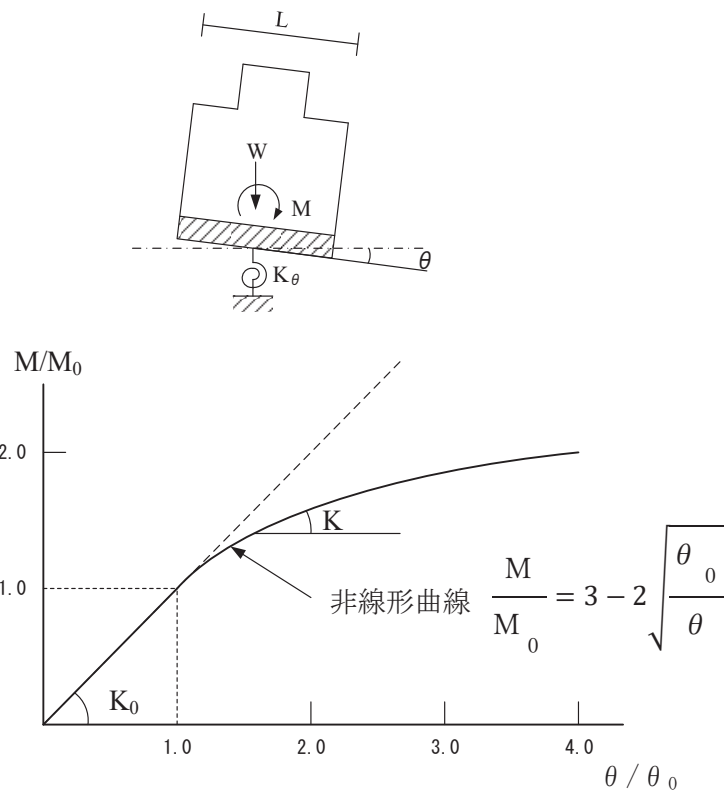
表 3-7(2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係) EW 方向

O. P. (m)	通り	M_1 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}/\text{m}$)
56.40~62.90	0	4.00	20.89	33.11	7.12	91.79	642.52
	1	8.67	23.22	31.99	6.40	80.19	1603.76
	4	8.70	23.27	32.04	6.42	80.23	1604.52
	5	4.01	20.90	33.12	7.13	91.81	642.16

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 3-15 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は、図 3-15 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
- M₀ : 浮上り限界転倒モーメント (=W・L/6)
- θ : 回転角
- θ₀ : 浮上り限界回転角
- K₀ : 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 : 建屋総重量
- L : 建屋基礎幅

図 3-15 地盤の回転ばねの曲げモーメントと回転角の関係

3.4.3 材料物性の不確かさ

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、すべての基準地震動 S_s につい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もとに設定した数値を基本ケースとし、支持地盤のせん断波速度の不確かさは、 $\pm\sigma$ 相当として、変動係数 5.7% を考慮する。

建屋剛性の不確かさについては、既設建屋は 3.11 地震等の影響を踏まえて初期剛性の低下を考慮しているものの、緊急用電気品建屋は新設建屋であり地震の影響を受けていないこと、また評価基準値（耐震壁のせん断ひずみ： 2.0×10^{-3} ）に対して十分な余裕を有しているため、耐震安全性は基本ケースの解析で確認可能と考えるが、念のため初期剛性の不確かさとして 0.8 倍を考慮することで設計における保守性を確保する。

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 3-8 に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性を表 3-9 に示す。

表 3-8 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

ケース名	建屋減衰	コンクリート剛性		地盤のせん断波速度
		初期剛性	終局耐力	
ケース 1 (基本ケース)	5%	設計基準強度に基づき JEAG 式で評価		平均値
ケース 2	同上	同上		$+\sigma$ 相当
ケース 3	同上	同上		$-\sigma$ 相当
ケース 4 (水平のみ)	同上	基本ケースの 0.8 倍	設計基準強度に基づき JEAG 式で評価	平均値
ケース 5 (水平のみ)	同上	同上	同上	$+\sigma$ 相当
ケース 6 (水平のみ)	同上	同上	同上	$-\sigma$ 相当

表 3-9(1) 地盤物性の不確かさを考慮した地下構造モデルの解析用地盤物性

O. P. (m)	地盤のせん断波速度 (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
-14.1	1360	1460	1260
-27.0	2040	2190	1890
-50.0	2520	2700	2340
-200.0	2520	2700	2340

表 3-9(2) 地盤物性の不確かさを考慮した建屋位置地盤モデルの解析用地盤物性

	O. P. (m)	地盤のせん断波速度 (m/s)		
		基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
側面地盤	62.3	280	300	260
	61.7	680	720	640
	60.8	670	710	630
	59.5	1330	1410	1250
	57.5	2080	2200	1960
底面地盤	52.9	2080	2200	1960
	46.8	2510	2650	2370
	16.9	2500	2640	2360
	-200.0	2500	2640	2360

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 に示す。

なお, 刺激係数は, 各次の固有ベクトル $\{u\}$ に対し, 最大振幅が 1.0 となるように規準化した値を示す。

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 4-2~図 4-12 及び表 4-2~表 4-15 に示す。また, 基準地震動 S_s に対する最大応答値を耐震壁のスケルトンカーブ上にプロットして図 4-13 及び図 4-14 に示す。

表 4-1 固有值解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.119	8.39	1.160
2	0.039	25.52	1.205
3	0.019	52.90	0.138
4	0.017	60.37	0.722

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.127	7.87	1.104
2	0.034	29.30	1.260
3	0.018	55.41	0.225
4	0.015	64.84	0.517

(c) UD 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数
1	0.024	42.00	1.791
2	0.013	76.72	1.198
3	0.010	98.09	0.407
4	0.004	271.70	0.089

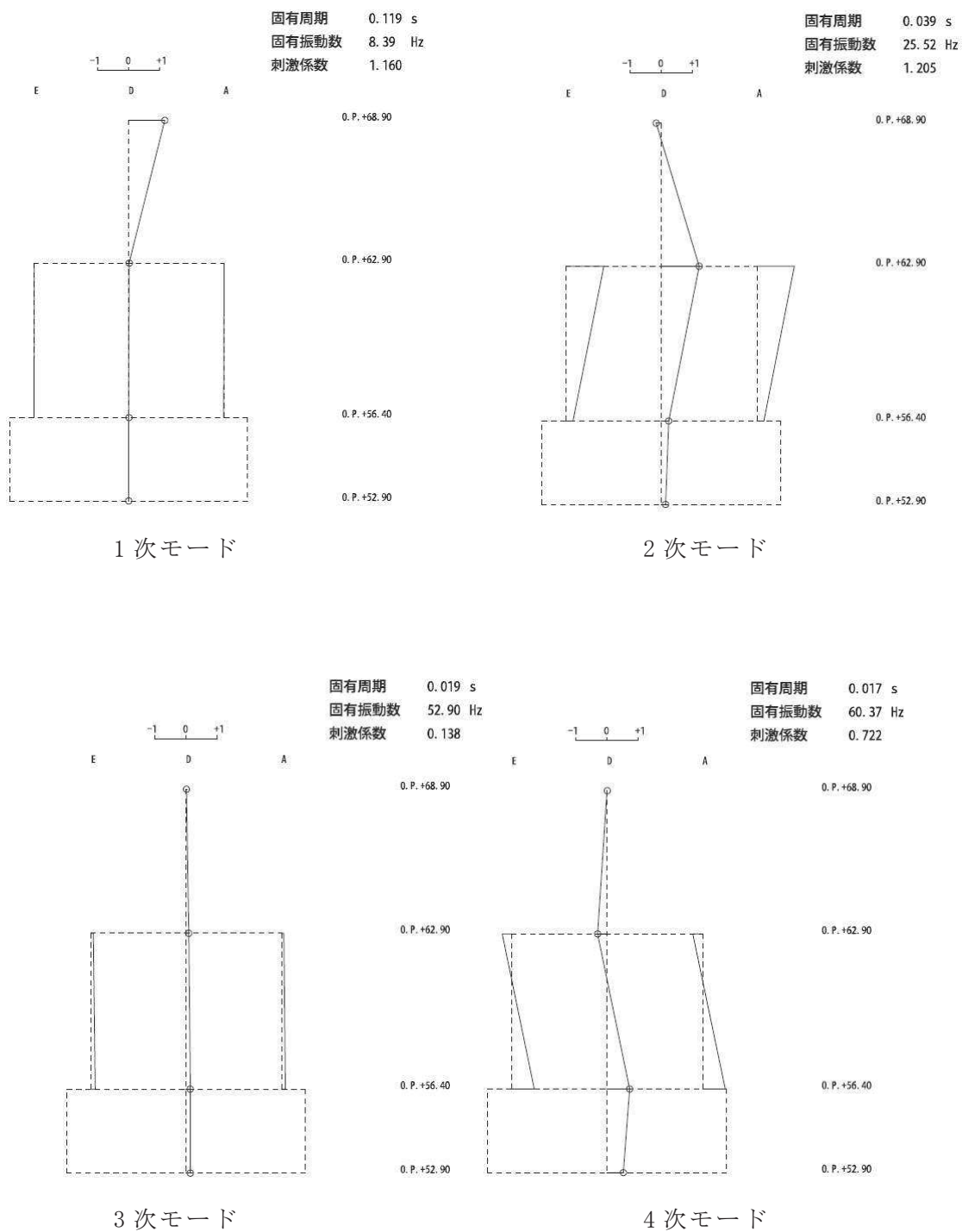


図 4-1(1) 刺激関数図 (NS 方向)

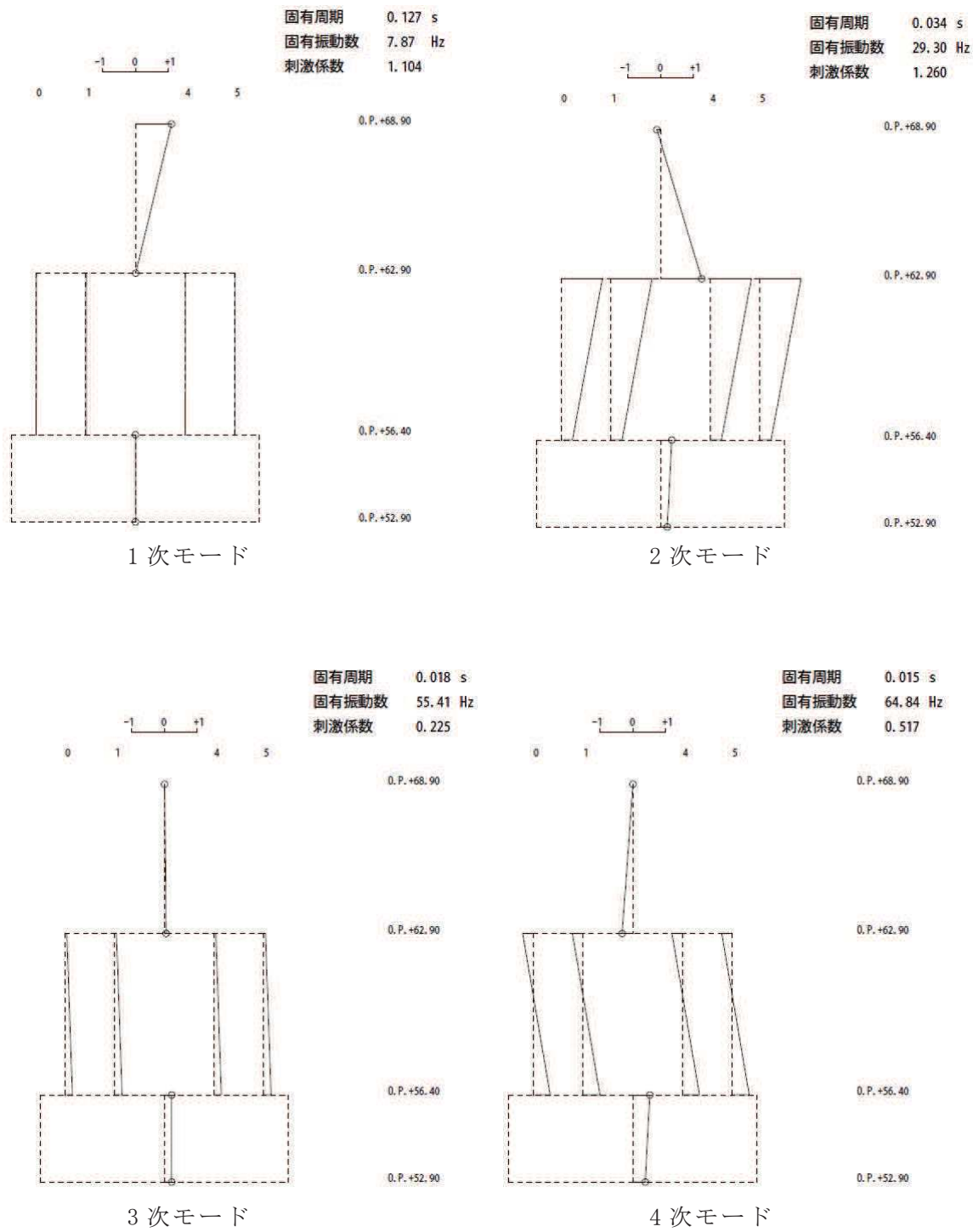


図 4-1(2) 刺激関数図 (EW 方向)

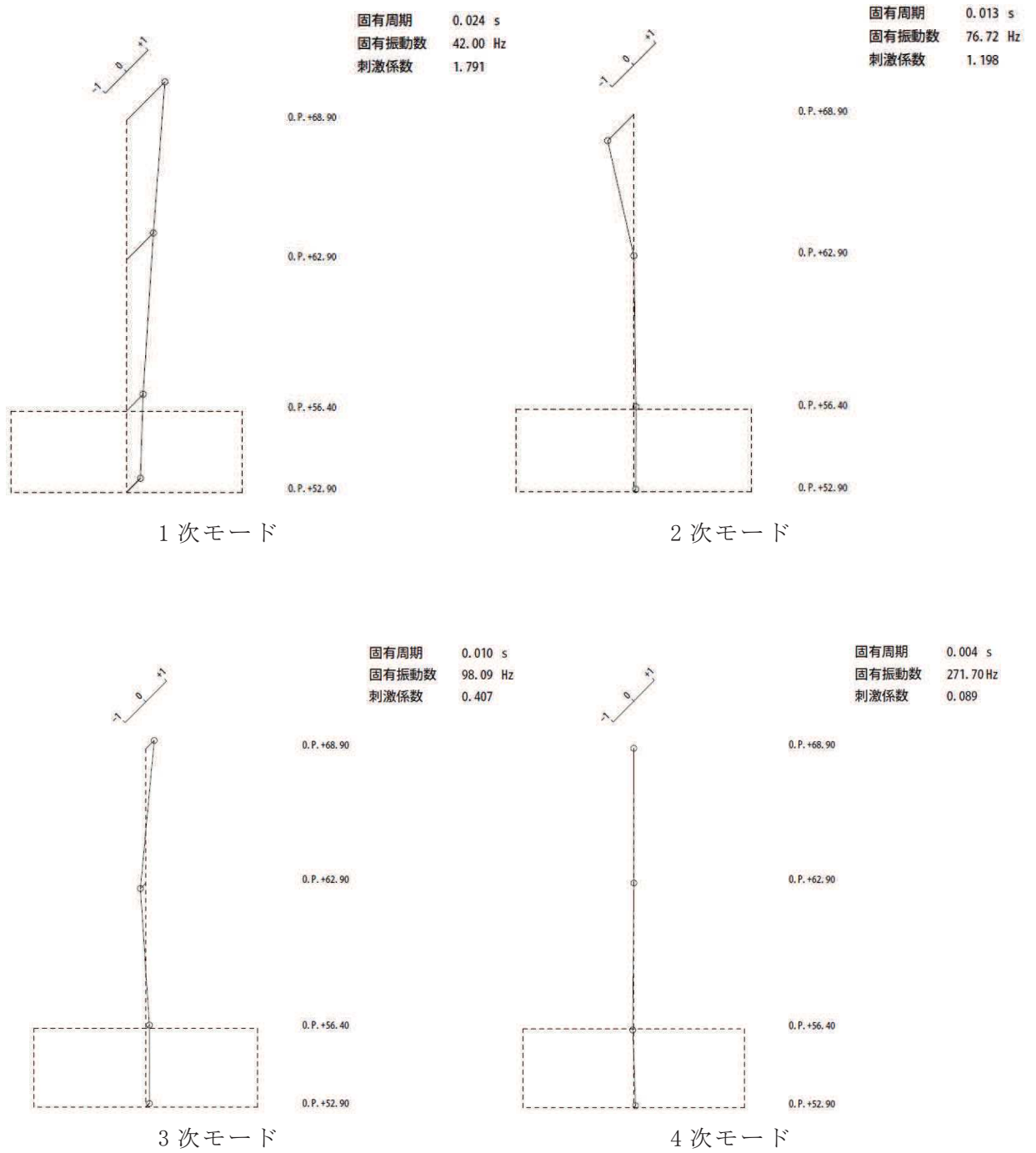


図 4-1(3) 刺激関数図 (UD 方向)

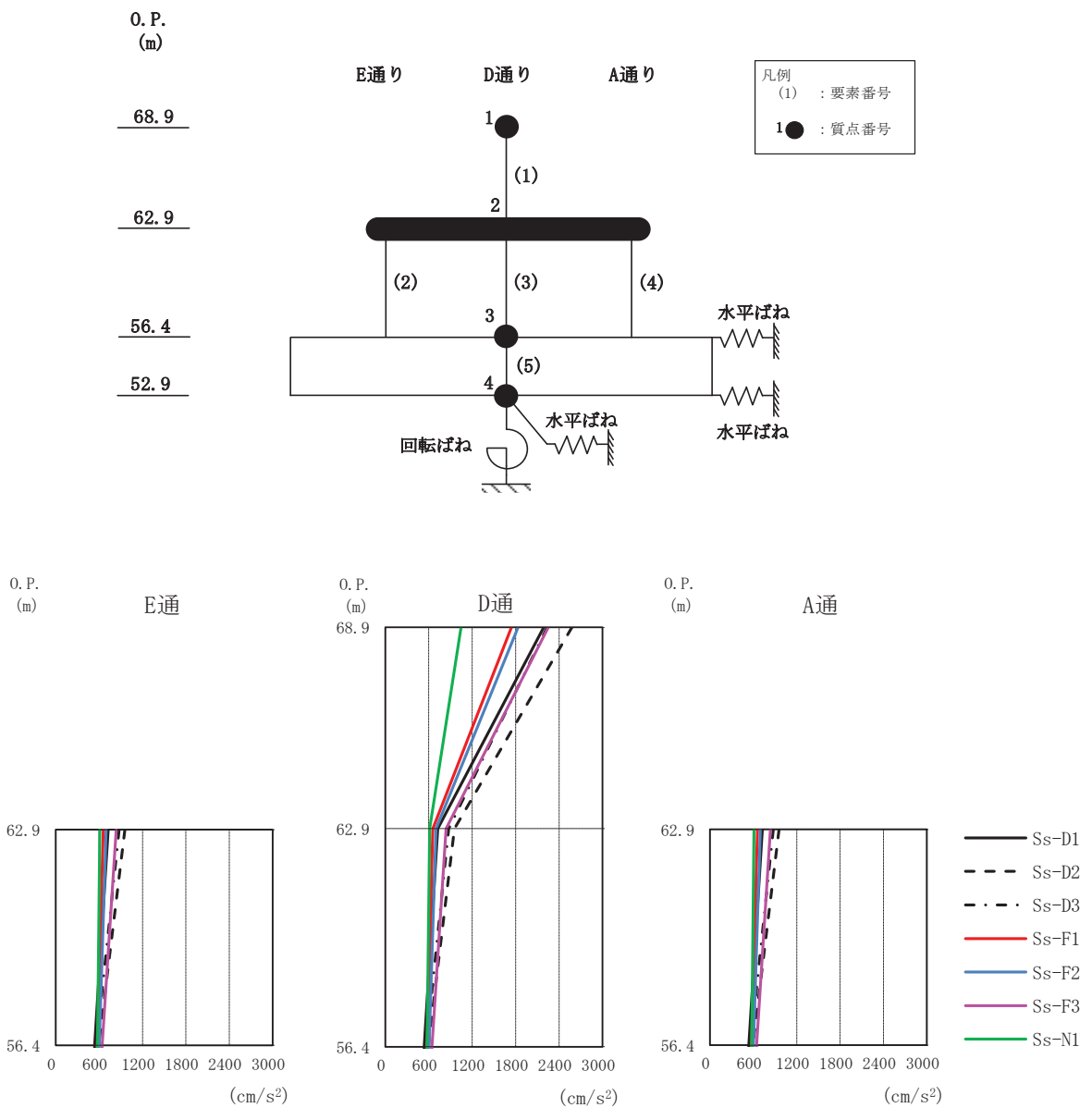


図 4-2 最大応答加速度（基準地震動 S_s，NS 方向）

表 4-2 最大応答加速度一覧（基準地震動 S_s，NS 方向）

質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
1	2190	2580	2235	1742	1834	2253	1047	2580
2	724	957	877	657	698	838	611	957
3	537	594	563	576	603	644	577	644

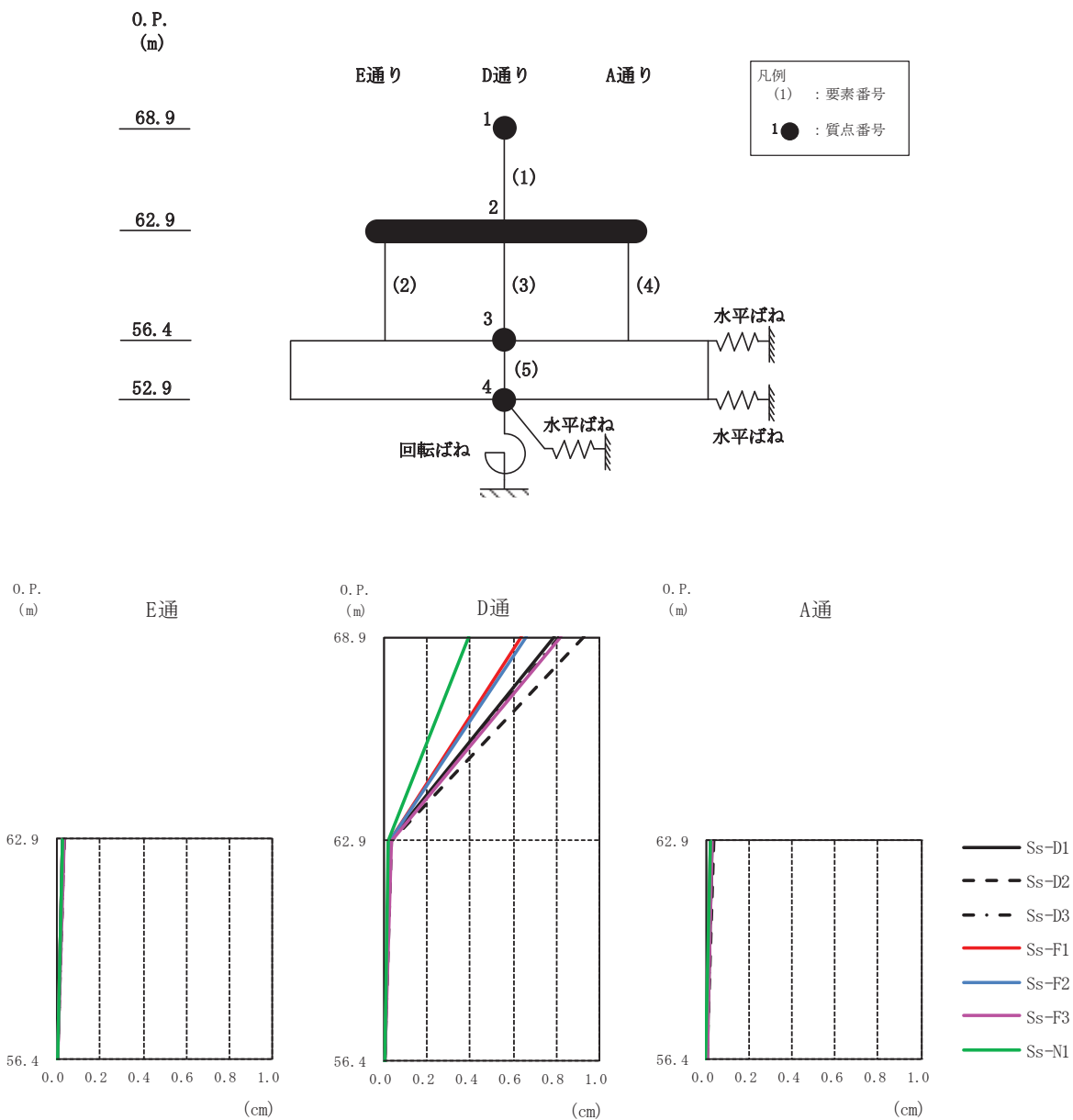


図 4-3 最大応答変位 (基準地震動 S_s , NS 方向)

表 4-3 最大応答変位一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向)

質点番号	最大応答変位 (cm)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
1	0.79	0.93	0.81	0.64	0.66	0.82	0.39	0.93
2	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

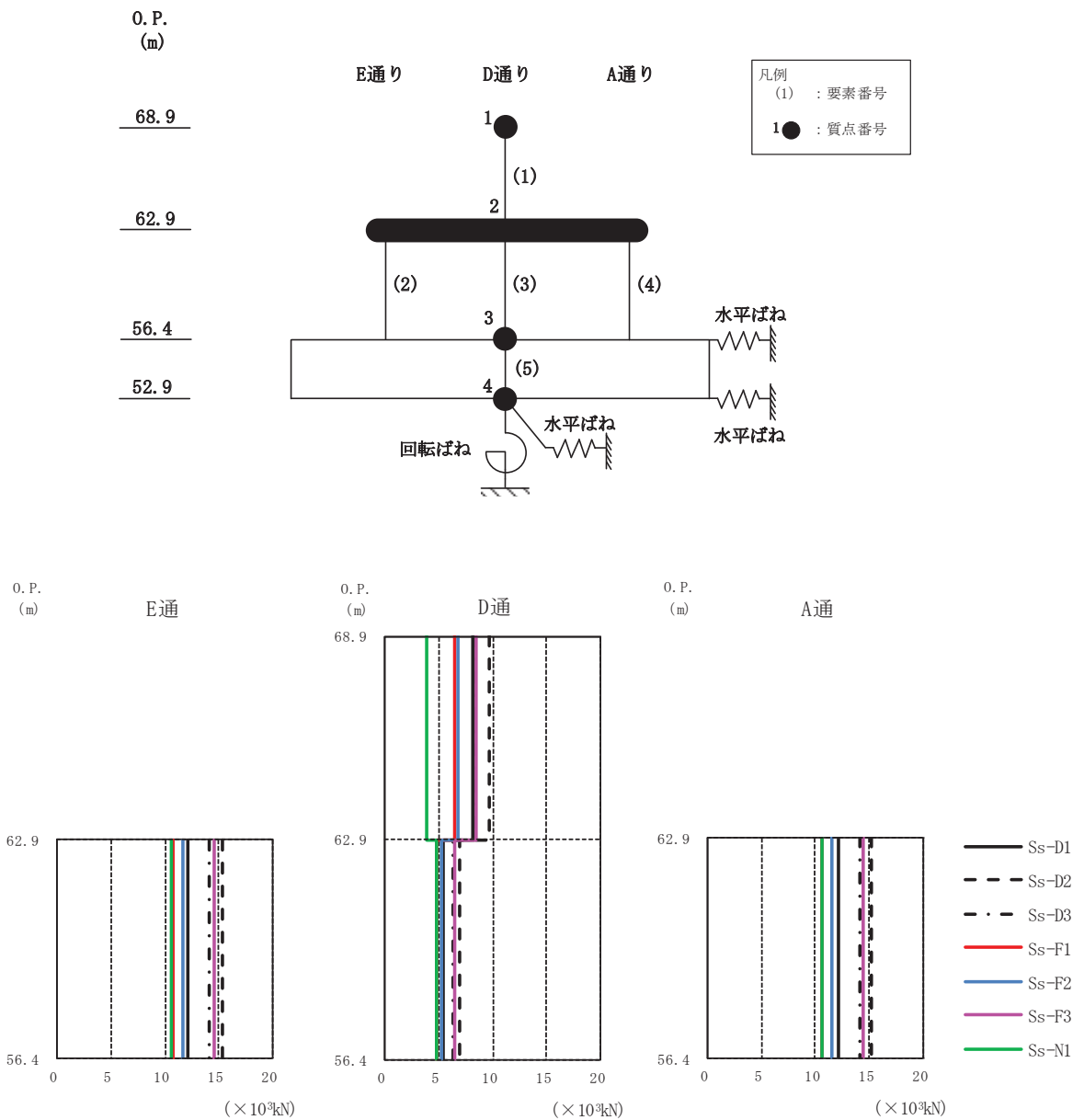


図 4-4 最大応答せん断力（基準地震動 S_s ，NS 方向）

表 4-4 最大応答せん断力一覧（基準地震動 S_s ，NS 方向）

要素番号	最大応答せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
(1)	8.17	9.62	8.33	6.50	6.84	8.40	3.91	9.62
(2)	12.13	15.29	14.10	10.69	11.59	14.52	10.62	15.29
(3)	5.48	6.91	6.37	4.83	5.23	6.56	4.80	6.91
(4)	12.14	15.29	14.10	10.70	11.59	14.52	10.63	15.29

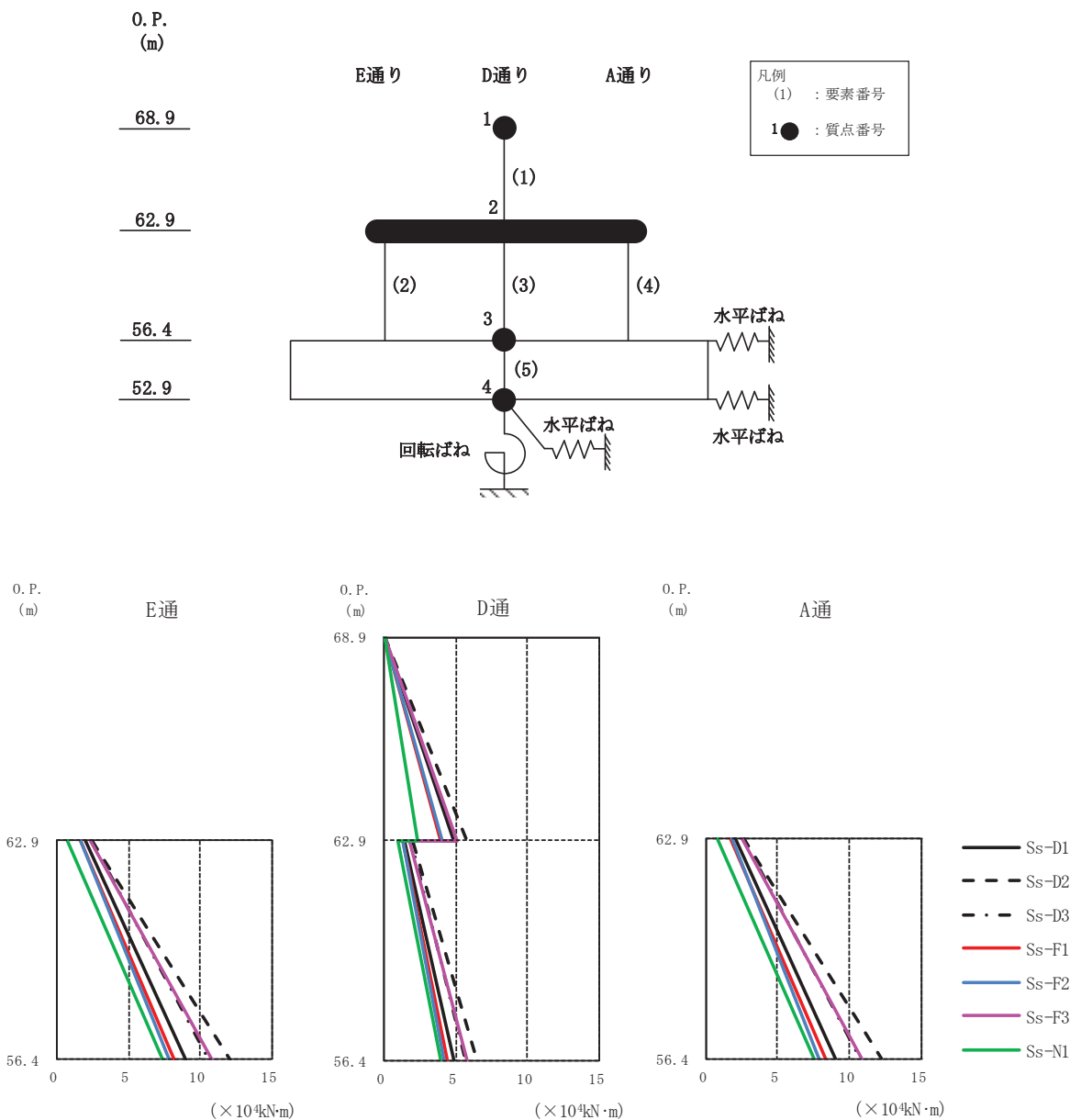


図 4-5 最大応答曲げモーメント（基準地震動 S_s ，NS 方向）

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）

要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
(1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.90	5.77	5.00	3.90	4.10	5.04	2.34	5.77
(2)	1.96	2.49	2.46	1.59	1.68	2.36	0.71	2.49
	8.95	12.08	10.60	8.20	7.82	10.79	7.40	12.08
(3)	1.48	2.03	1.90	1.36	1.35	1.78	0.92	2.03
	4.82	6.52	5.71	4.42	4.15	5.79	3.95	6.52
(4)	2.01	2.57	2.56	1.64	1.74	2.44	0.78	2.57
	9.04	12.21	10.71	8.29	7.90	10.91	7.48	12.21

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）

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(2)	0.0315	0.0397	0.0366	0.0277	0.0301	0.0377	0.0276	0.0397
(3)	0.0316	0.0398	0.0367	0.0279	0.0302	0.0378	0.0277	0.0398
(4)	0.0315	0.0397	0.0366	0.0277	0.0301	0.0377	0.0276	0.0397

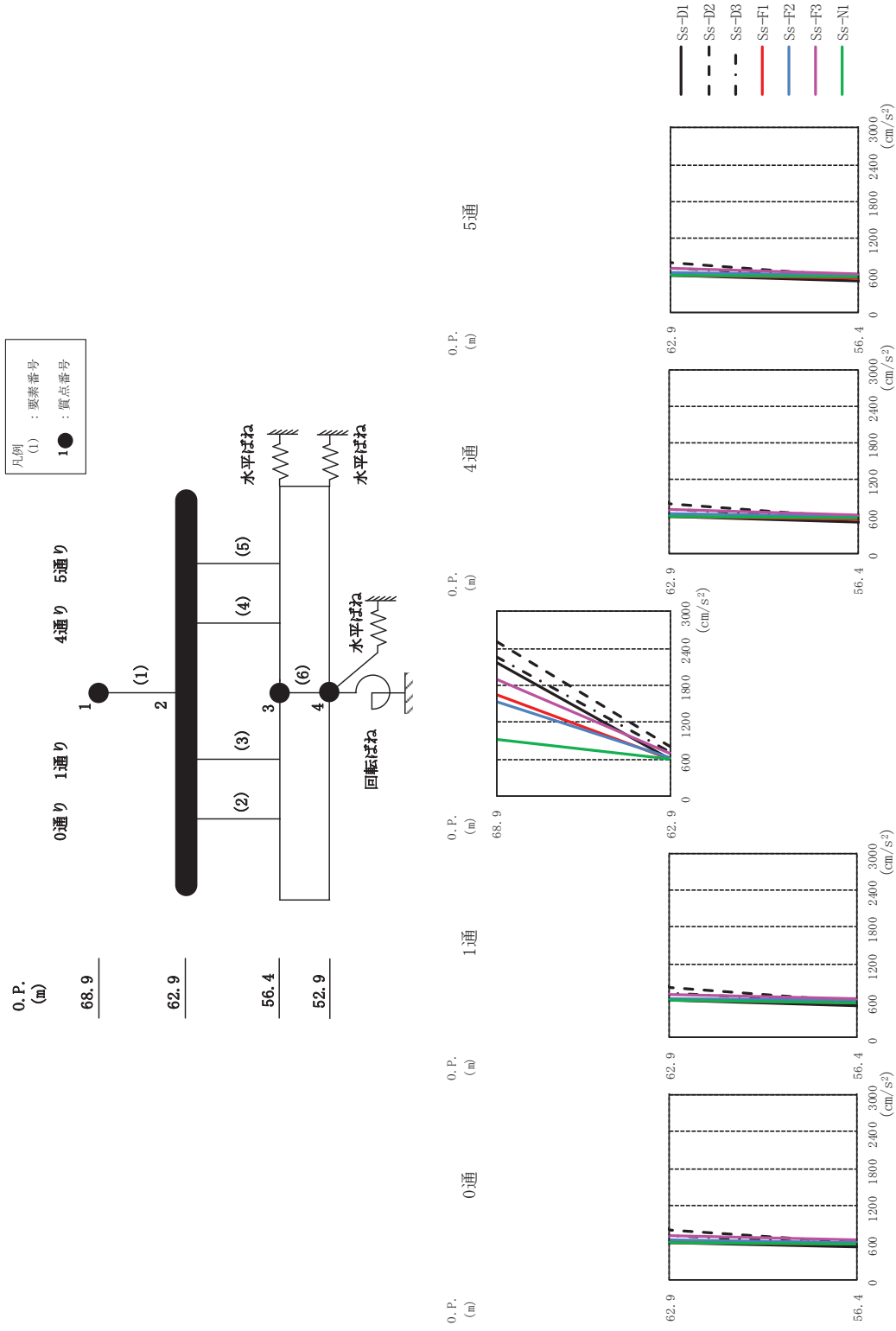


図 4-6 最大応答加速度 (基準地震動 S s, EW 方向)

表 4-7 最大応答加速度一覧（基準地震動 S_s ，EW 方向）

質点 番号	最大応答加速度 (cm/s^2)							
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	最大値
1	2184	2511	2269	1659	1532	1912	930	2511
2	602	806	718	601	641	709	602	806
3	522	590	572	564	602	638	575	638

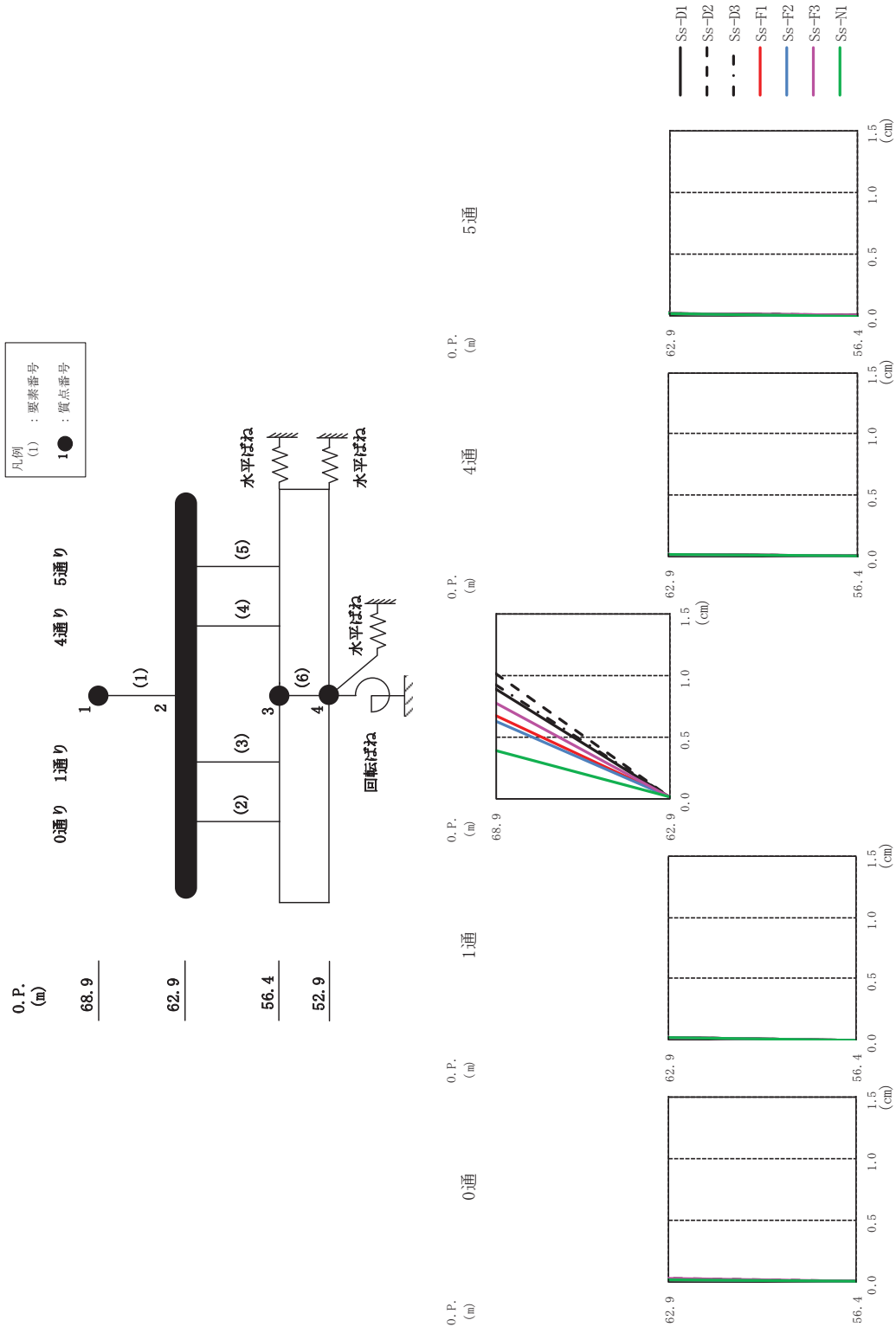


図 4-7 最大応答変位 (基準地震動 Ss, EW 方向)

表 4-8 最大応答変位一覧（基準地震動 S_s ，EW 方向）

質点 番号	最大応答変位 (cm)							
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	最大値
1	0.90	1.02	0.93	0.68	0.63	0.78	0.39	1.02
2	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

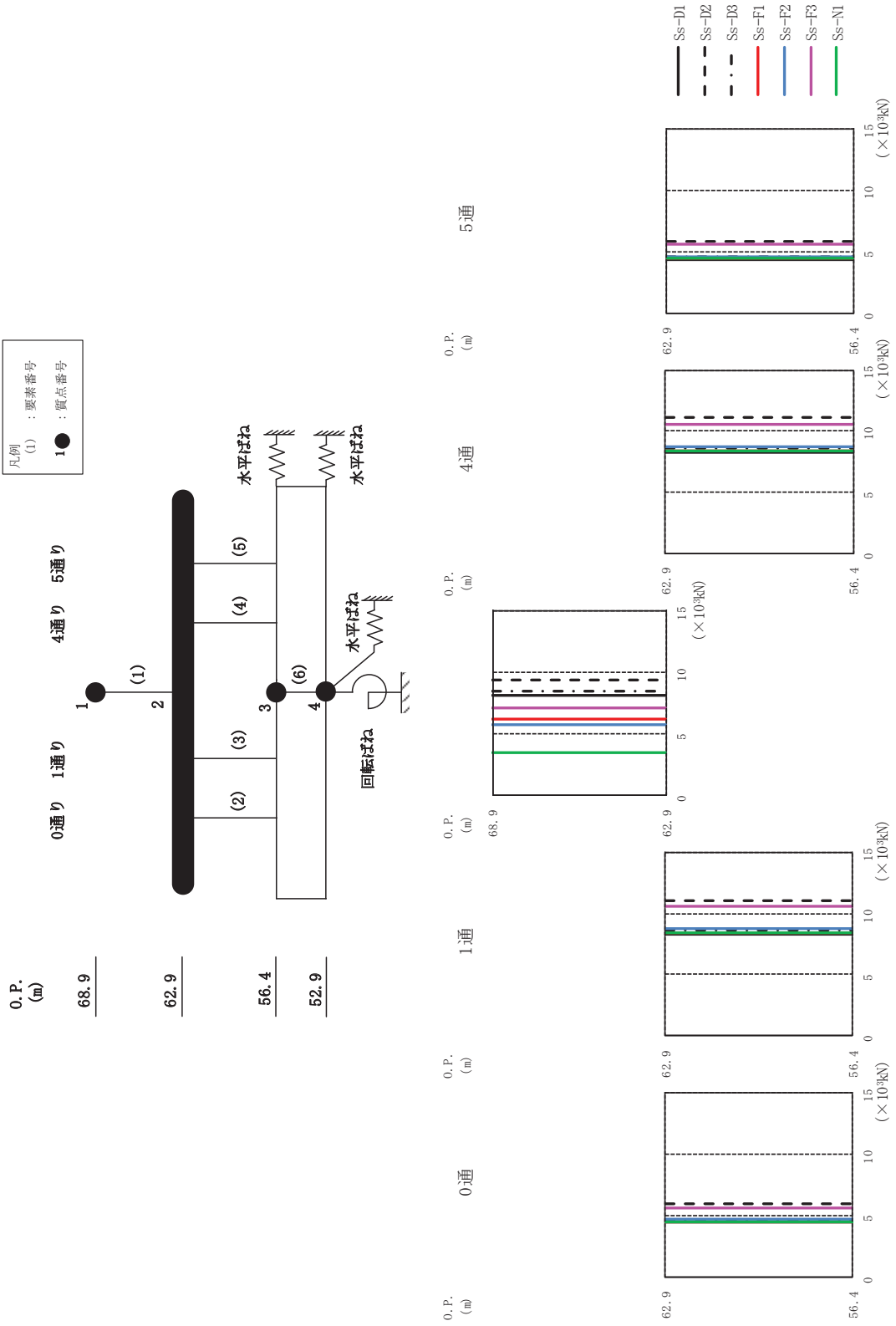


図 4-8 最大応答せん断力 (基準地震動 S s, EW 方向)

表 4-9 最大応答せん断力一覧（基準地震動 S_s ，EW 方向）

要素 番号	最大応答せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
(1)	8.15	9.36	8.46	6.19	5.71	7.13	3.47	9.36
(2)	4.41	5.89	4.61	4.48	4.65	5.61	4.48	5.89
(3)	8.29	11.08	8.67	8.42	8.75	10.55	8.44	11.08
(4)	8.29	11.08	8.67	8.42	8.75	10.55	8.44	11.08
(5)	4.41	5.89	4.61	4.48	4.65	5.61	4.48	5.89

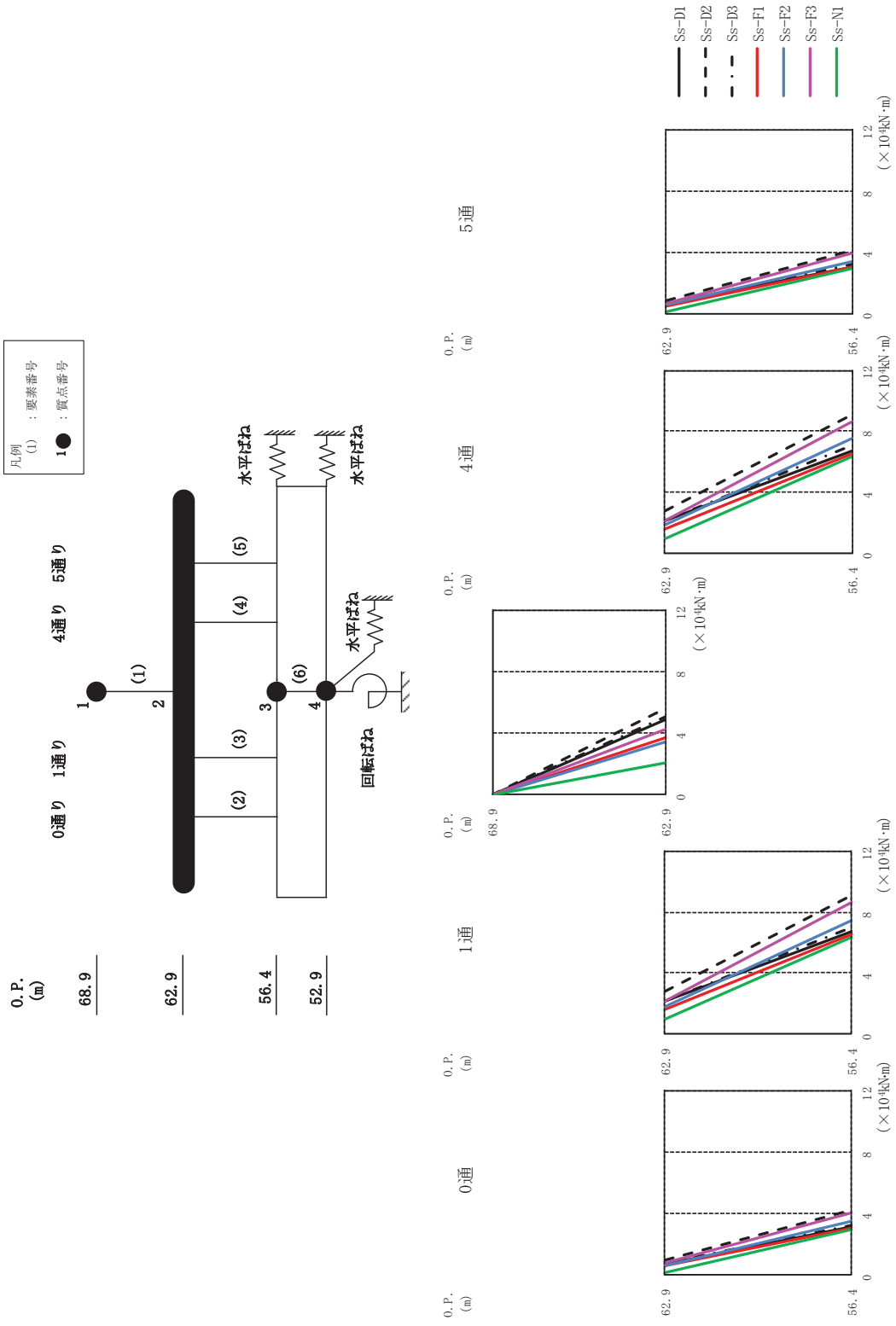


図 4-9 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s, EW 方向)

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）

要素 番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)							最大値
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.89	5.62	5.08	3.71	3.43	4.28	2.08	5.62
(2)	0.67	0.91	0.72	0.54	0.58	0.70	0.14	0.91
	3.09	4.18	3.21	3.04	3.44	3.99	2.95	4.18
(3)	2.13	2.83	2.19	1.58	1.84	2.19	0.96	2.83
	6.74	9.06	7.04	6.56	7.50	8.66	6.33	9.06
(4)	2.13	2.83	2.19	1.58	1.84	2.19	0.96	2.83
	6.74	9.06	7.04	6.56	7.50	8.66	6.33	9.06
(5)	0.67	0.91	0.72	0.54	0.58	0.70	0.14	0.91
	3.09	4.18	3.21	3.04	3.44	3.99	2.95	4.18

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）

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(2)	0.0180	0.0241	0.0188	0.0183	0.0190	0.0229	0.0183	0.0241
(3)	0.0181	0.0241	0.0189	0.0183	0.0191	0.0230	0.0184	0.0241
(4)	0.0181	0.0241	0.0189	0.0183	0.0191	0.0230	0.0184	0.0241
(5)	0.0180	0.0241	0.0188	0.0183	0.0190	0.0229	0.0183	0.0241

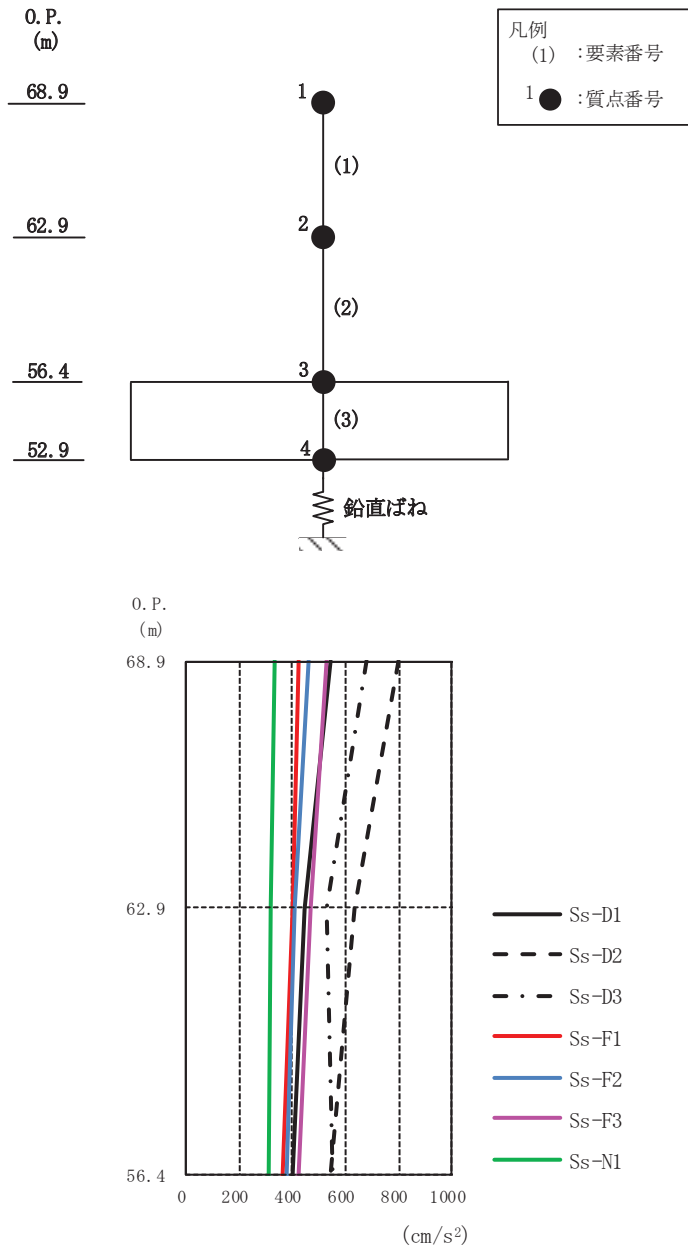


図 4-10 最大応答加速度（基準地震動 S_s ，UD 方向）

表 4-12 最大応答加速度一覧（基準地震動 S_s ，UD 方向）

質点 番号	最大応答加速度 (m/s^2)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
1	542	801	680	422	464	531	334	801
2	443	631	531	397	405	471	316	631
3	402	546	548	366	382	422	308	548

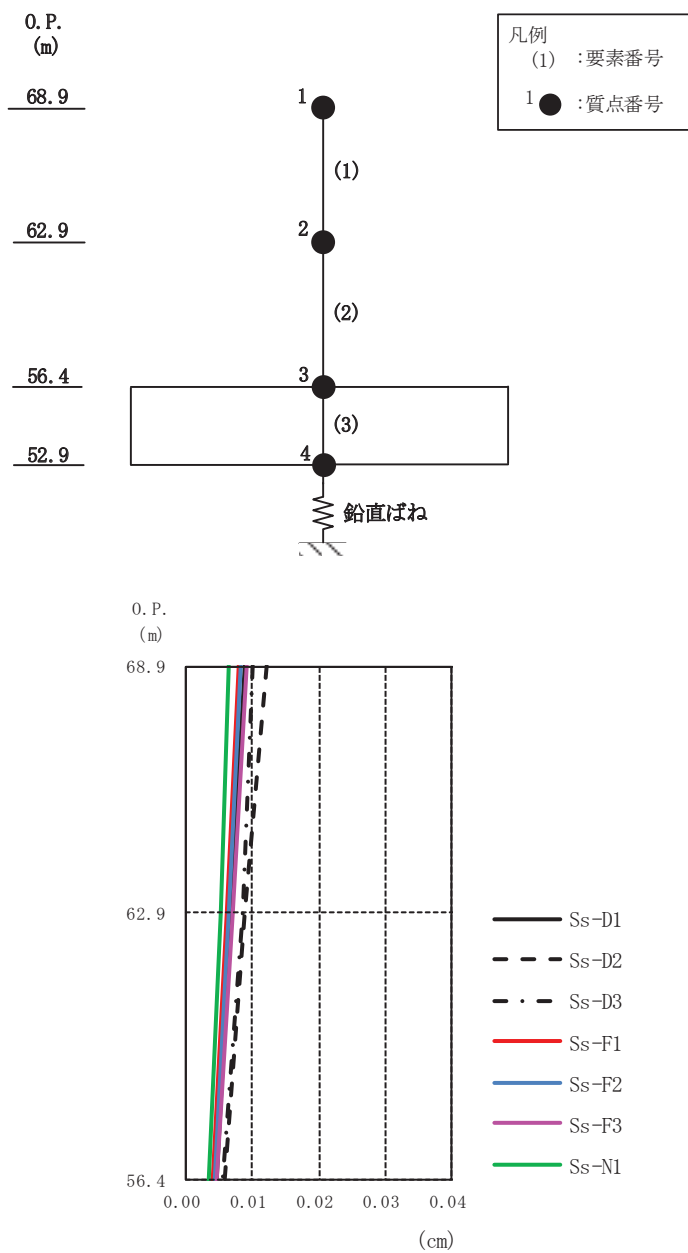


図 4-11 最大応答変位（基準地震動 S_s ，UD 方向）

表 4-13 最大応答変位一覧（基準地震動 S_s ，UD 方向）

質点番号	最大応答変位 (cm)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01

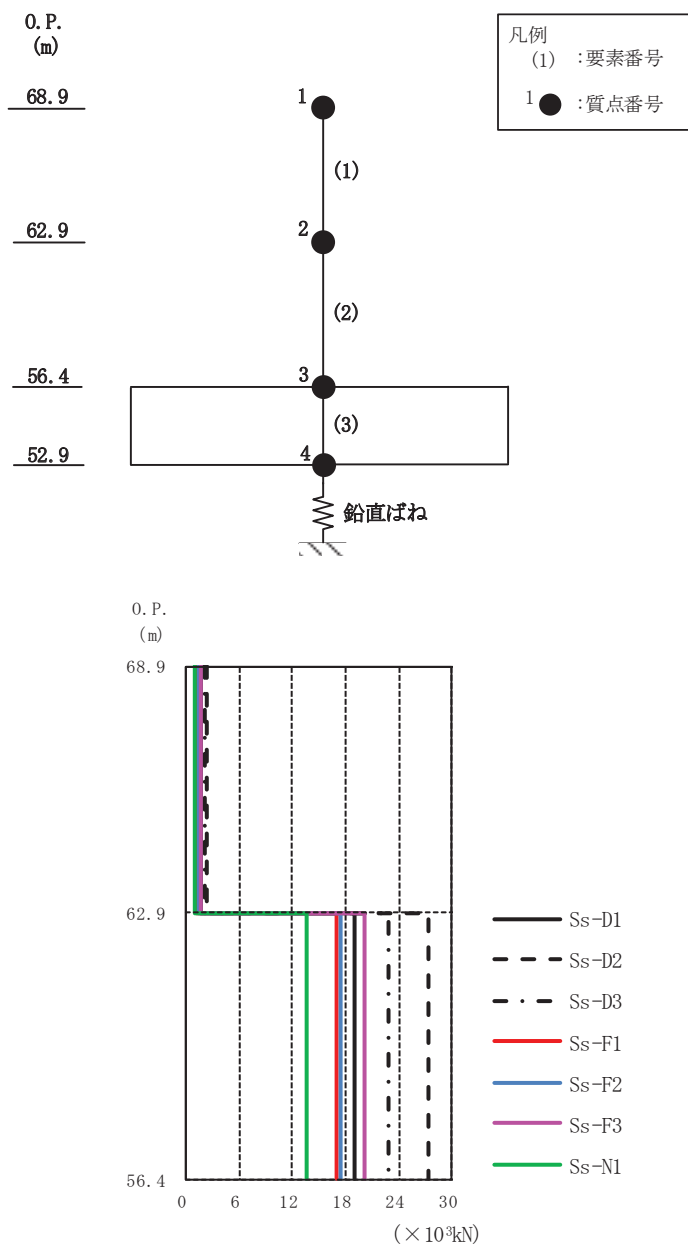
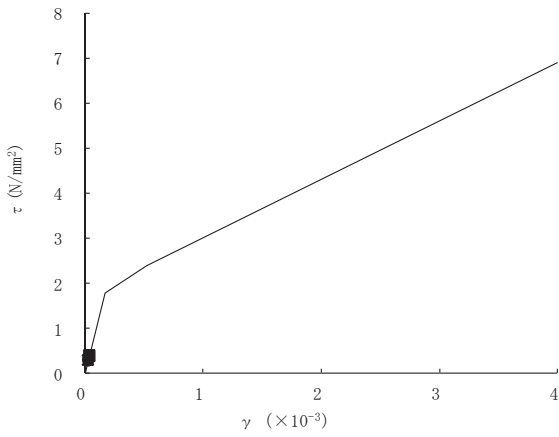


図 4-12 最大応答軸力（基準地震動 S_s ，UD 方向）

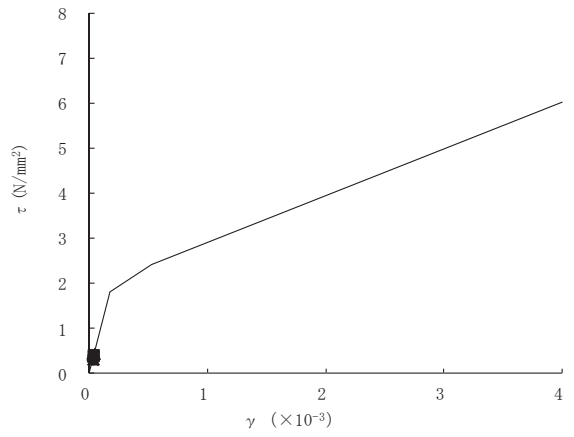
表 4-14 最大応答軸力一覧（基準地震動 S_s ，UD 方向）

要素番号	最大応答軸力 ($\times 10^3\text{kN}$)							最大値
	Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1	
(1)	1.58	2.33	1.97	1.23	1.35	1.55	0.97	2.33
(2)	19.07	27.29	22.89	16.94	17.43	20.08	13.50	27.29

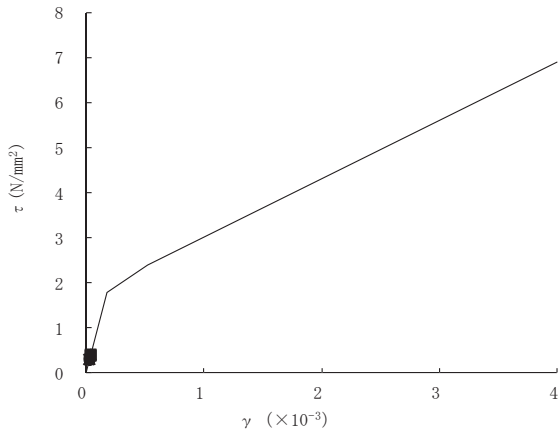
○ S_s-D1 △ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



要素番号(2)



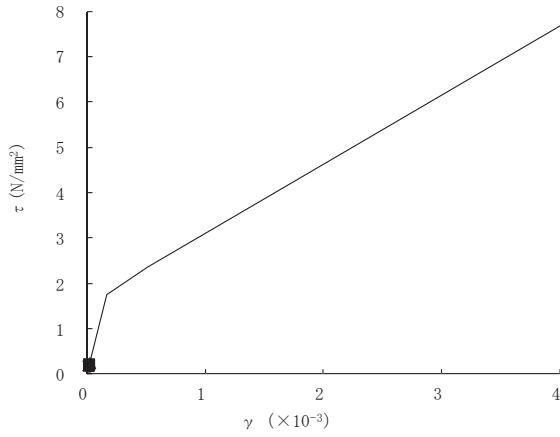
要素番号(3)



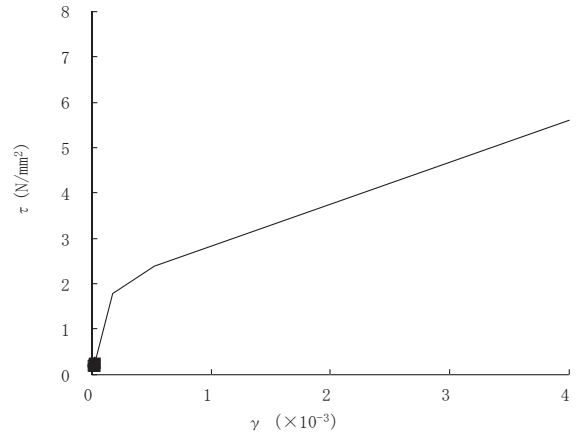
要素番号(4)

図 4-13(1) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向)

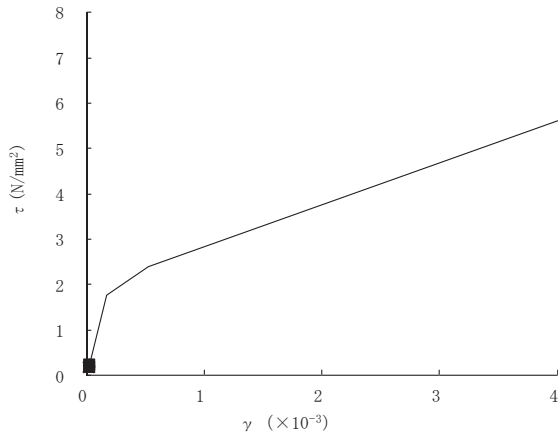
○ S_s-D1 Δ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



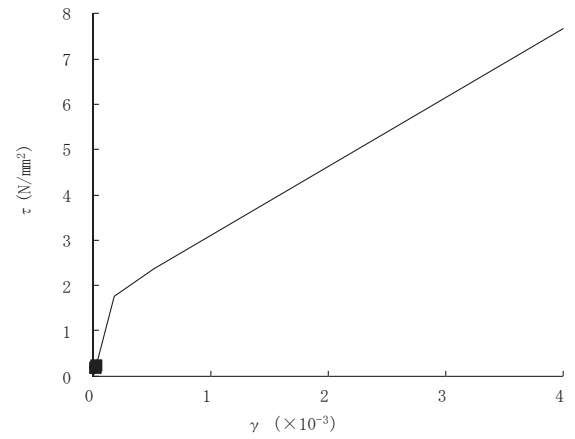
要素番号(2)



要素番号(3)



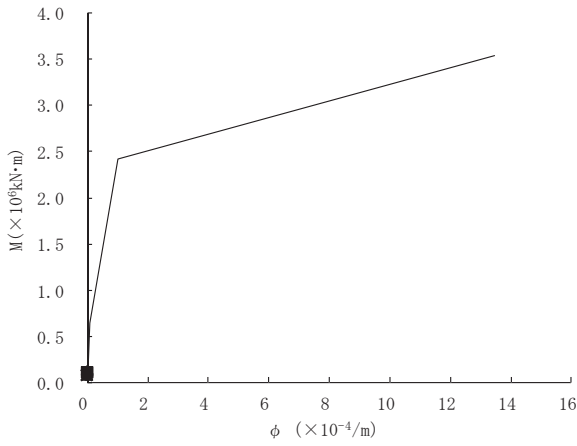
要素番号(4)



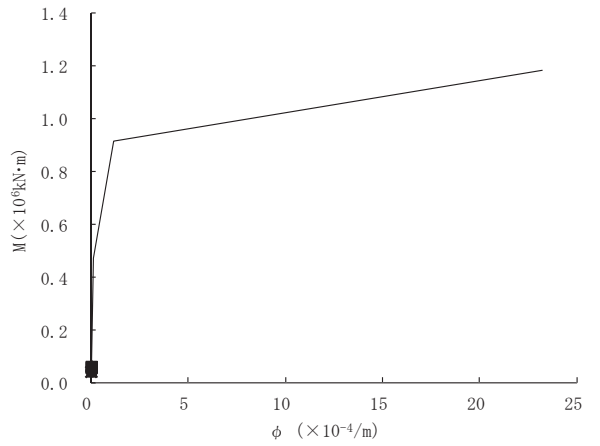
要素番号(5)

図 4-13(2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向)

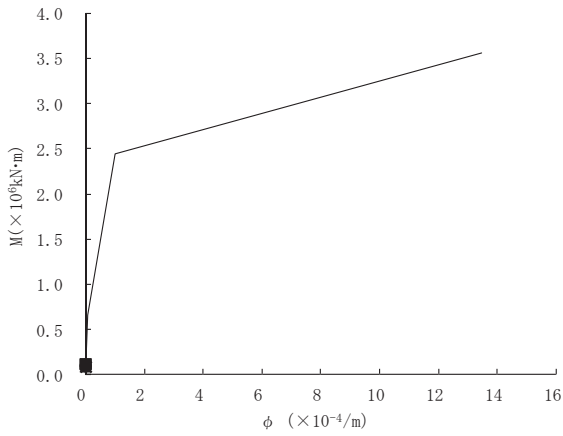
○ S_s-D1 Δ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



要素番号(2)



要素番号(3)



要素番号(4)

図 4-14(1) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向)

○ 2 ③ VI-2-2-21 R 1

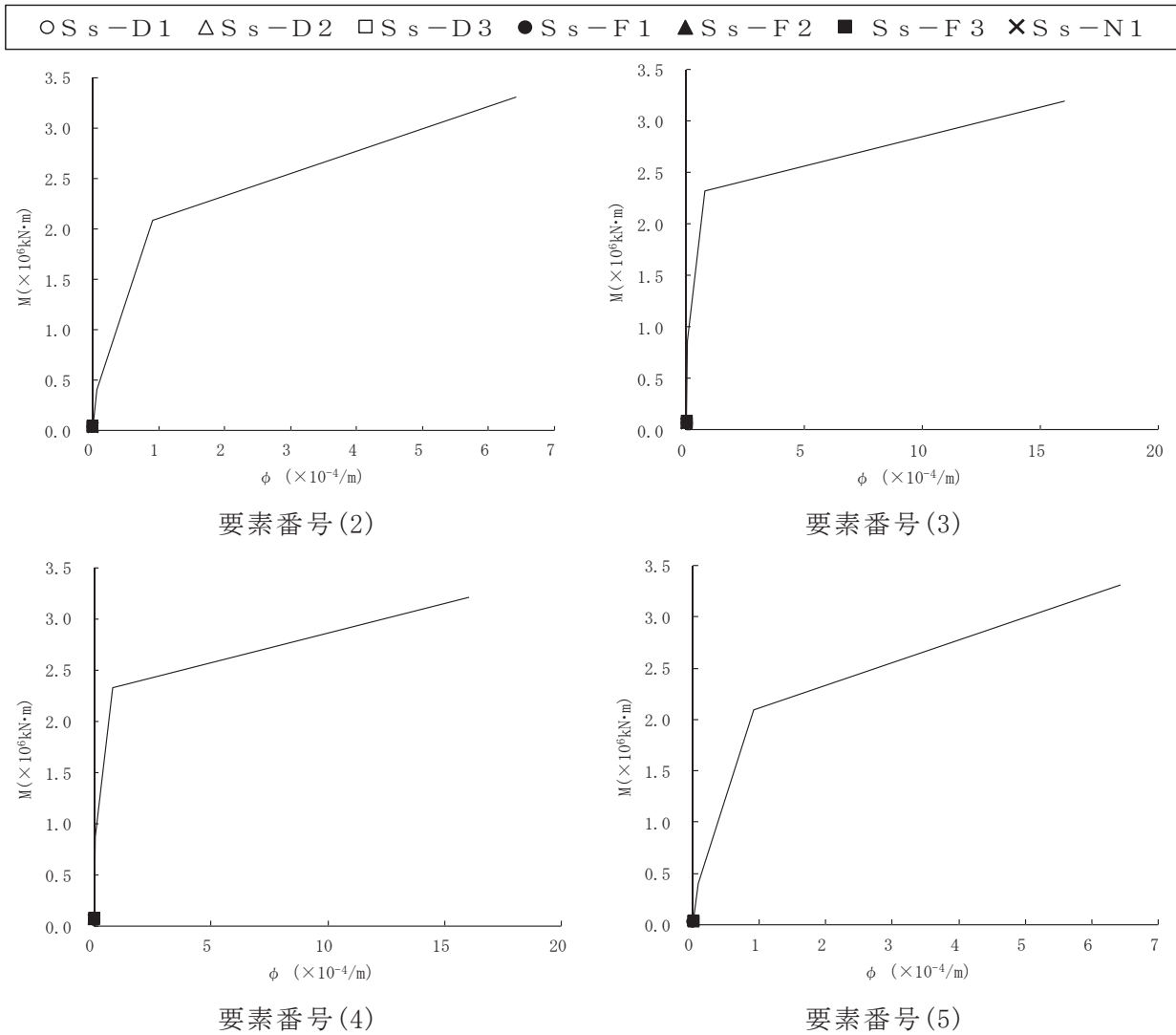


図 4-14(2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向)

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

地震動	最大接地圧 (kN/m^2)	最大転倒モーメント ($\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}$)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1$	332	4.34	100.0
$S_s - D 2$	363	5.03	100.0
$S_s - D 3$	358	4.89	100.0
$S_s - F 1$	316	3.91	100.0
$S_s - F 2$	325	4.17	100.0
$S_s - F 3$	365	5.34	99.7
$S_s - N 1$	313	3.95	100.0

(b) EW 方向

地震動	最大接地圧 (kN/m^2)	最大転倒モーメント ($\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}$)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1$	296	3.81	100.0
$S_s - D 2$	341	5.09	100.0
$S_s - D 3$	309	3.95	100.0
$S_s - F 1$	297	3.93	100.0
$S_s - F 2$	301	4.05	100.0
$S_s - F 3$	331	5.04	100.0
$S_s - N 1$	292	3.94	100.0

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出した必要保有水平耐力 Q_{un} を表 4-16 に示す。

表 4-16 必要保有水平耐力

(a) NS 方向

階	O. P. (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} (kN)
1F	62.90 ~ 68.90	0.25	1.00	763
B1F	56.40 ~ 62.90	0.55	1.00	18423

(b) EW 方向

階	O. P. (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} (kN)
1F	62.90 ~ 68.90	0.25	1.00	687
B1F	56.40 ~ 62.90	0.55	1.00	18423