

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-024-04 改 01
提出年月日	2023年2月17日

廃棄物処理建物の地震応答計算書に関する補足説明資料

2023年2月

中国電力株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

今回提出範囲：

別紙1 地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙1-1 地盤3次元FEMモデルによる地震応答解析について

別紙2 地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトン曲線の設定

別紙3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙4 地盤3次元FEMモデルにおける誘発上下動の影響について

別紙5 地震応答解析における建物基礎底面の付着力の検討

別紙6 地震応答解析モデルの選定プロセス

別紙7 地盤3次元FEMモデルを用いた弾性設計用地震動S_dに対する検討

別紙 1-1 地盤 3 次元 F E M モデルによる地震応答解析
について

目 次

1. 概要	別紙 1-1-1
2. 地盤 3 次元 F E Mモデルのモデル化方法	別紙 1-1-2
3. 入力地震動の補正方法	別紙 1-1-7

1. 概要

廃棄物処理建物の基準地震動 S_s に対する地震応答解析においては、地盤を 3 次元 FEM でモデル化した地震応答解析モデルを用いており、基礎底面レベルにおける地盤の応答が一次元波動論により算定した入力地震動と一致するように補正した地震動を、地盤モデル底面に入力して評価している。本資料では、地盤 3 次元 FEM モデルのモデル化方法及び入力地震動の補正方法について説明する。

2. 地盤 3次元FEMモデルのモデル化方法

基準地震動 S_s の評価に用いる地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。図 2-1 のモデルにおける地盤は、成層補正後の物性値を用いて等価な一様地盤とし、3次元FEMでモデル化する。

なお、基礎底面と地盤の各節点の間には付着力 0.40N/mm^2 を考慮したジョイント要素を設けることにより基礎の浮上りを評価する。付着力を考慮したジョイント要素の応力-変形関係を図 2-2 に示す。ジョイント要素は鉛直方向の引張力が付着力 0.40N/mm^2 を超過した時に剥離し、鉛直方向及びせん断方向ともに応力を伝達しない条件とする。また、一旦付着力を超過した後は、引張力が正となった場合に鉛直方向及びせん断方向ともに応力を伝達しない条件とする。基礎底面のジョイント要素のばね定数は、鉛直方向及びせん断方向ともに解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、振動アドミッタンス理論で求めた地盤ばねの 50 倍程度の値を設定している。

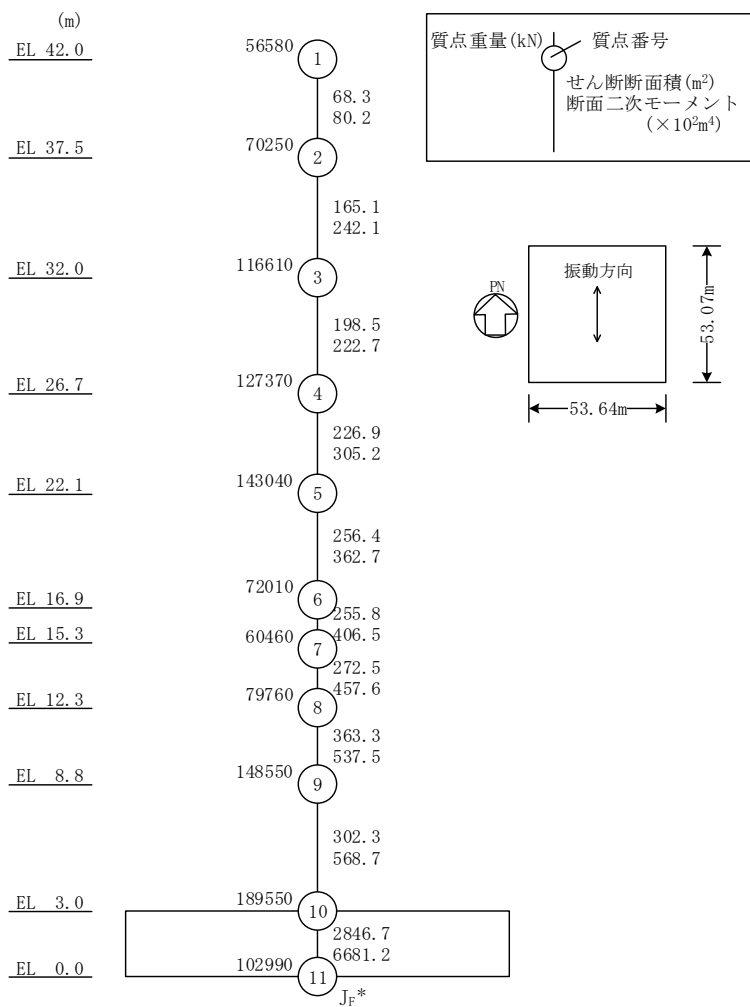
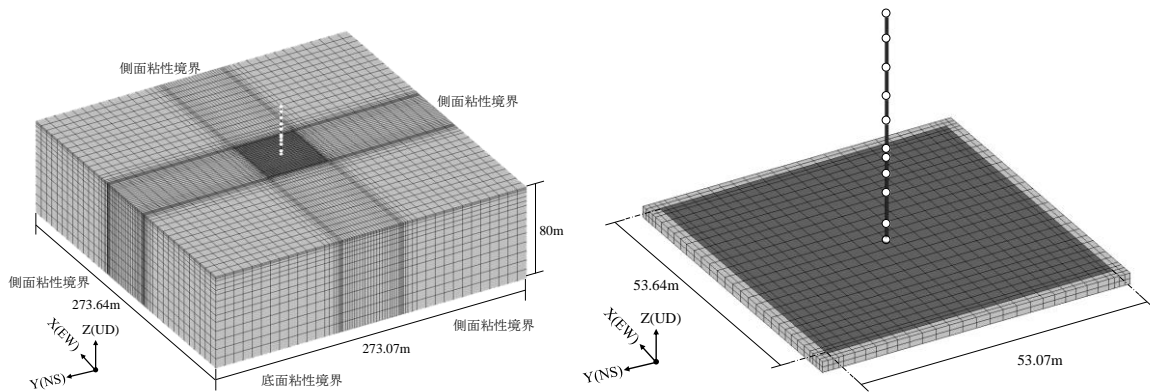


図 2-1(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)
(地盤を 3 次元 F E M でモデル化した場合 (基準地震動 S s))

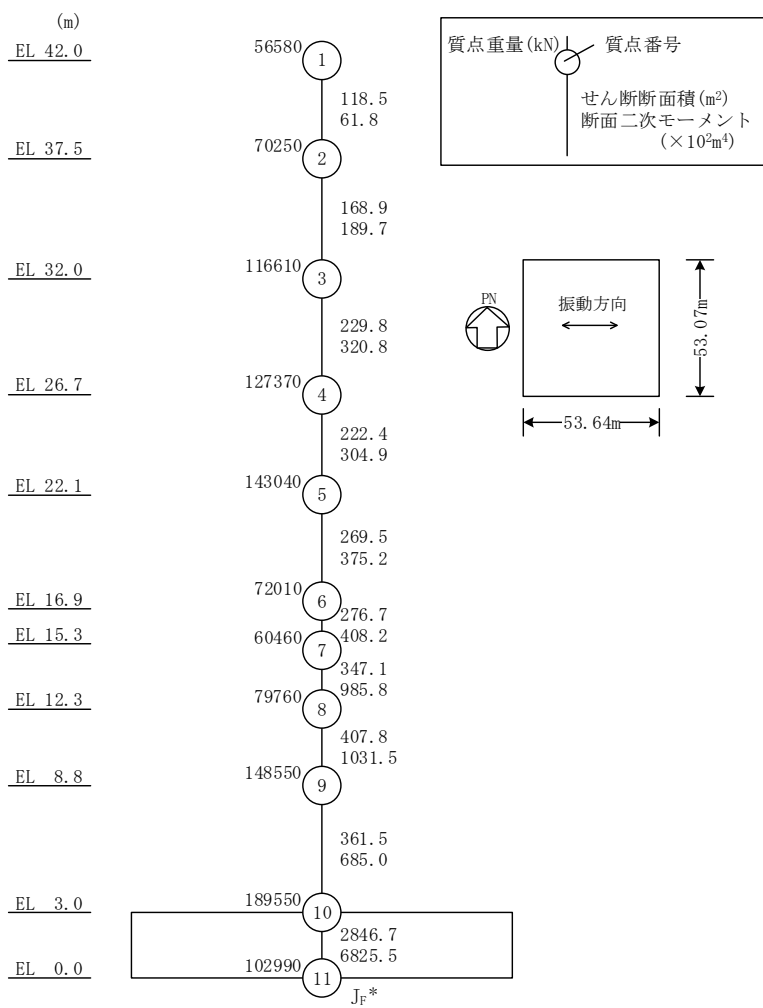
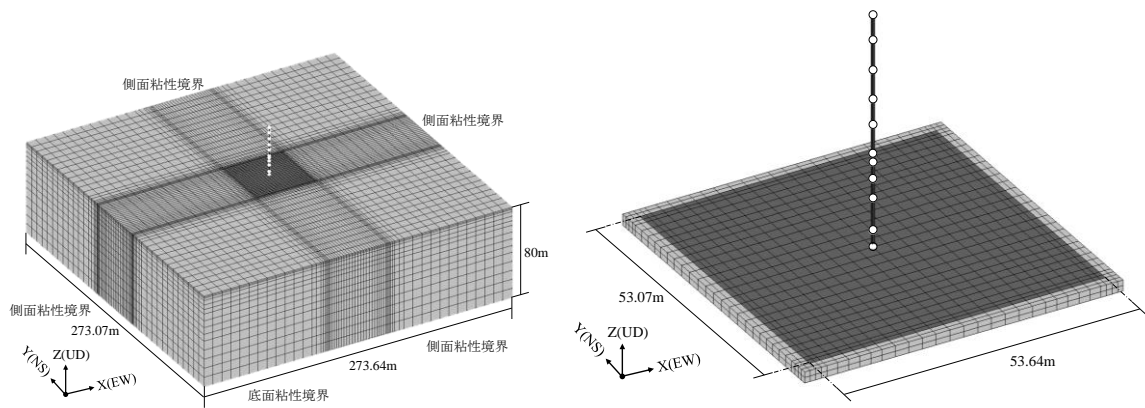


図 2-1(2) 地震応答解析モデル (EW方向)
 (地盤を 3 次元 FEM でモデル化した場合 (基準地震動 S_s))

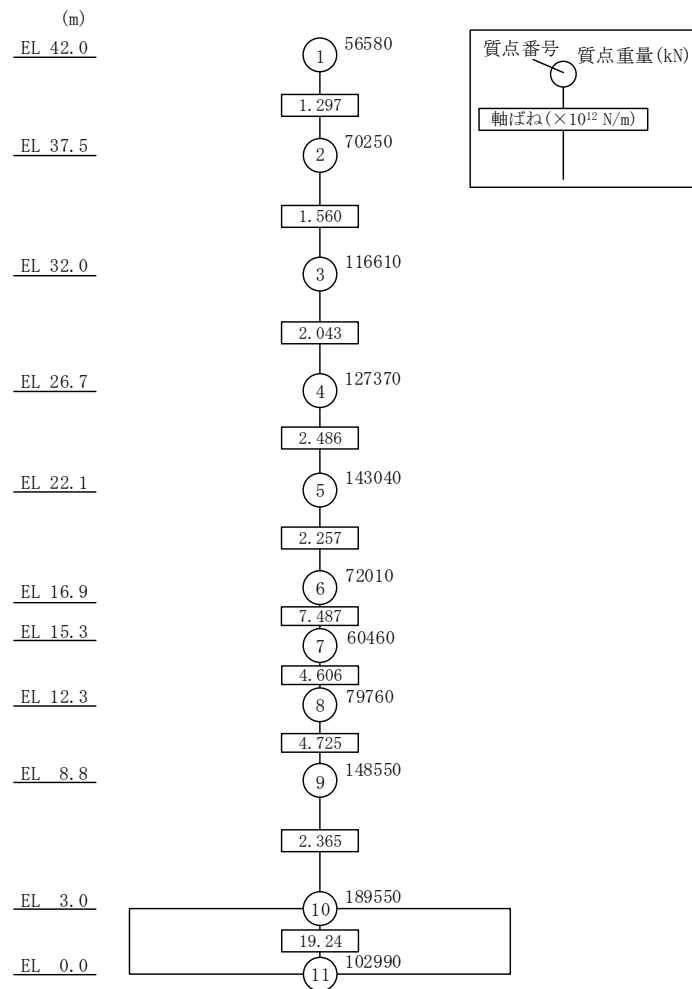
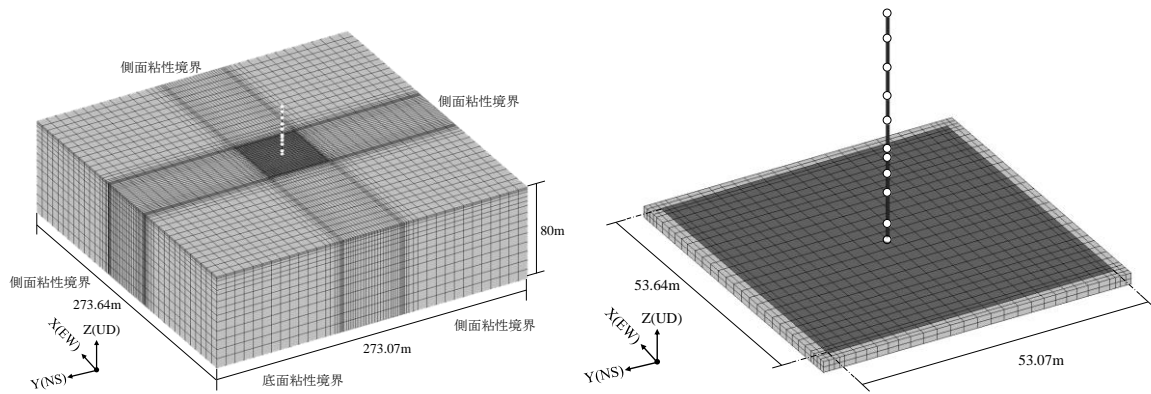
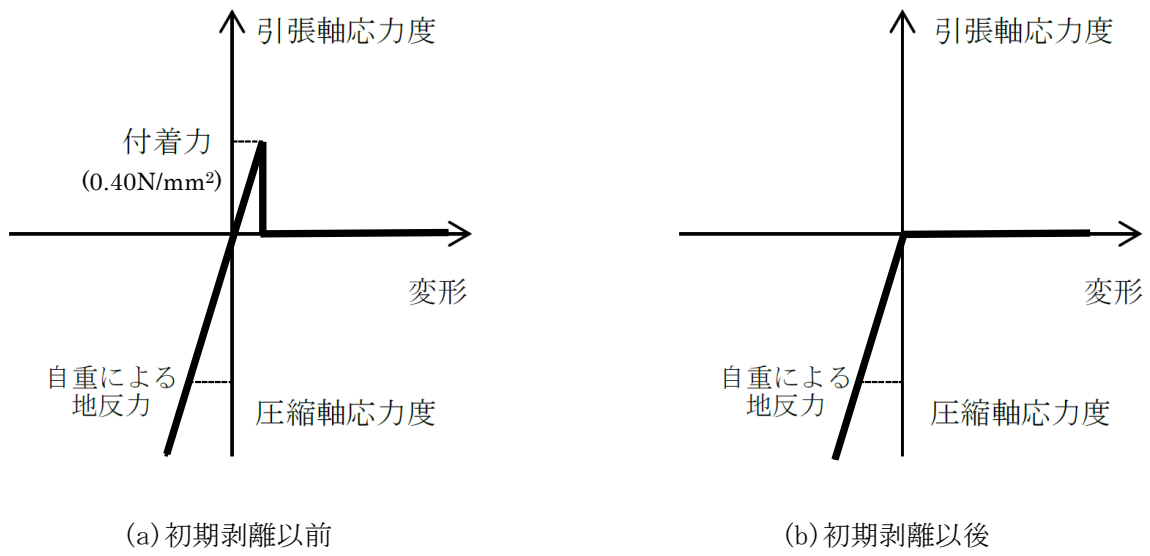


図 2-1(3) 地震応答解析モデル (鉛直方向)
 (地盤を 3 次元 F E M でモデル化した場合 (基準地震動 S s))



(鉛直方向)

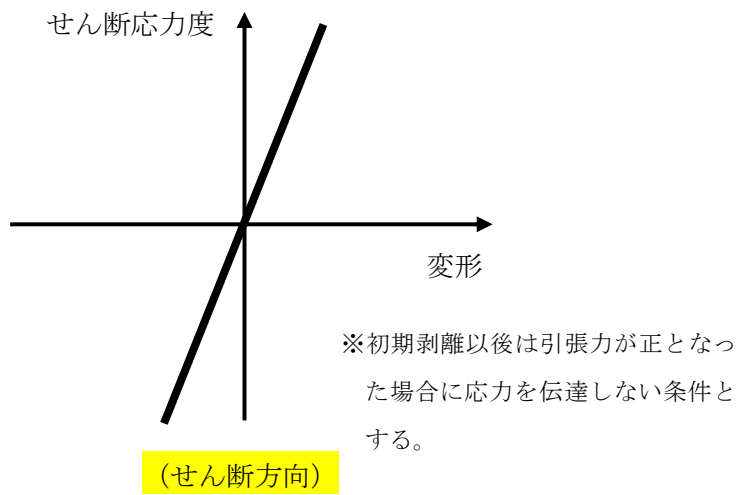


図 2-2 付着力を考慮したジョイント要素の応力-変形関係

3. 入力地震動の補正方法

地震応答解析モデルへの入力地震動は、地盤を 3 次元 FEM でモデル化していることから、以下に示す手順で基礎底面レベルにおける地盤の応答が一次元波動論に基づく評価により算定した入力地震動と一致するように補正し、補正した地震動を 3 次元 FEM モデル底面に入力する。図 3-1 に、入力地震動の補正方法を示す。

- 手順① 解放基礎表面以深の地盤を 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、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、基礎底面レベルにおけるせん断力または軸力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。
- 手順② 手順①で算定した入力地震動の時刻歴のフーリエ変換に、地盤 3 次元 FEM モデル底面 (EL-80.0m) から基礎底面位置 (EL 0.0m) への伝達関数の逆数を周波数領域で乗じることにより、地盤 3 次元 FEM モデル底面での補正波を算定する。

地盤 3 次元 FEM モデル底面に入力する地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「NAPISOS」を用いる。

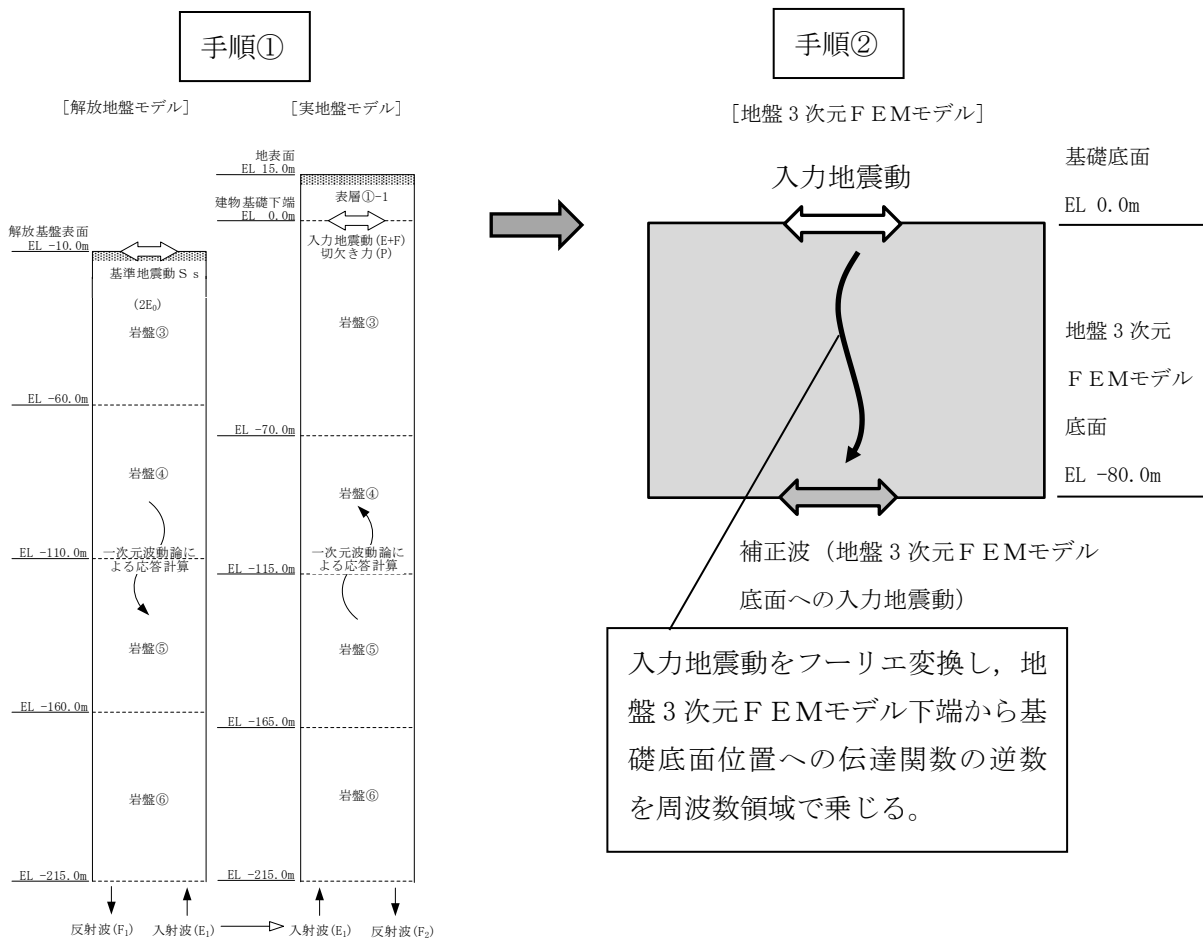


図 3-1 地盤 3 次元 FEM モデルへの入力地震動の補正方法

別紙 7 地盤 3 次元 F E M モデルを用いた弾性設計用
地震動 S d に対する検討

目 次

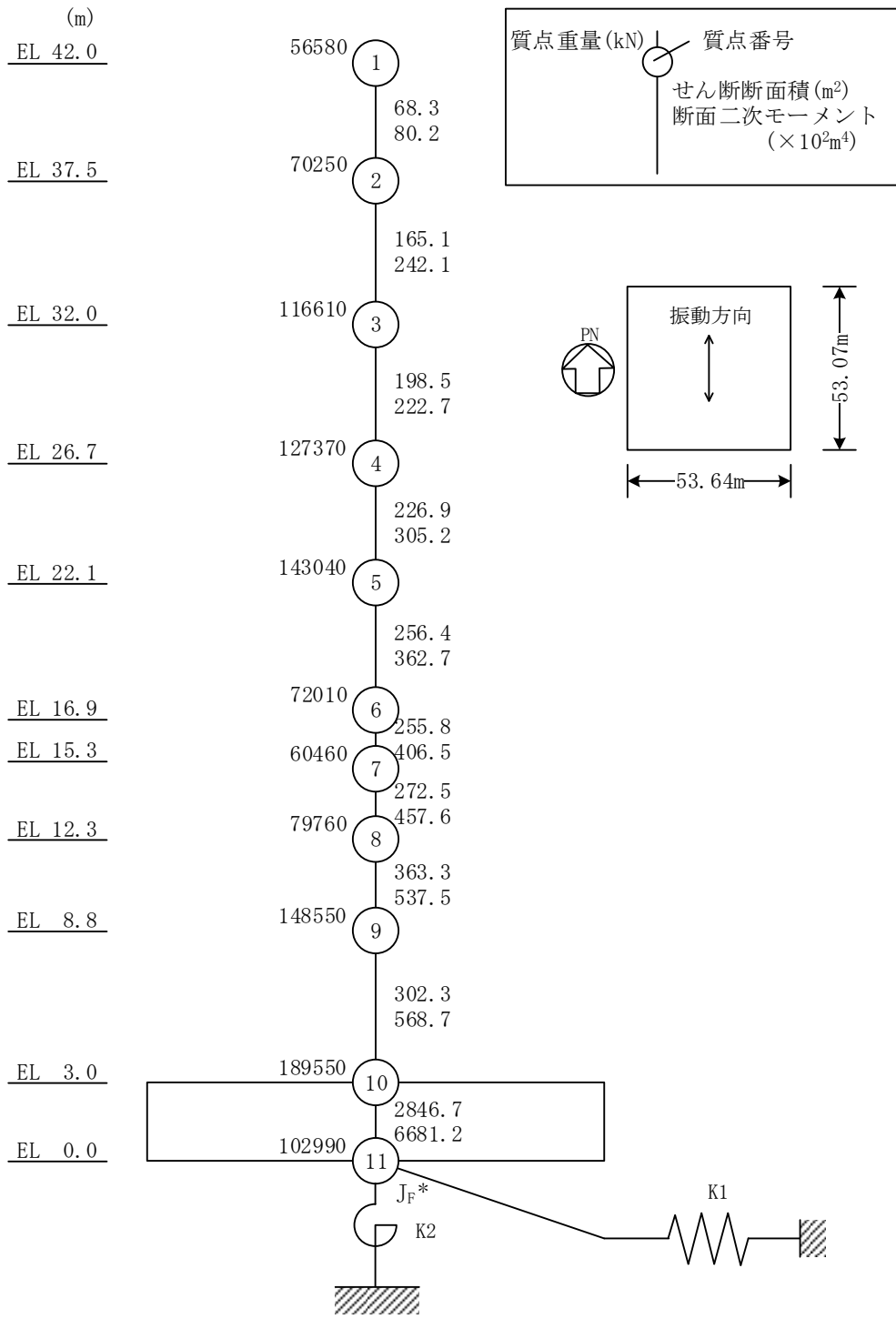
1. 検討概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・別紙 7-1
2. 地震応答解析結果の比較・・・・・・・・・・・・・・・・別紙 7-6

1. 検討概要

VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」においては、別紙6「地震応答解析モデルの選定プロセス」に基づき、建物の基礎底面の付着力を考慮したうえで、基準地震動 S_s に対する評価では地盤を3次元FEMでモデル化した地震応答解析モデル（以下「地盤3次元FEMモデル」という。）を、弾性設計用地震動 S_d に対する評価では地盤をスウェイ・ロッキングばねでモデル化した地震応答解析モデル（以下「SRモデル」という。）を用いている。

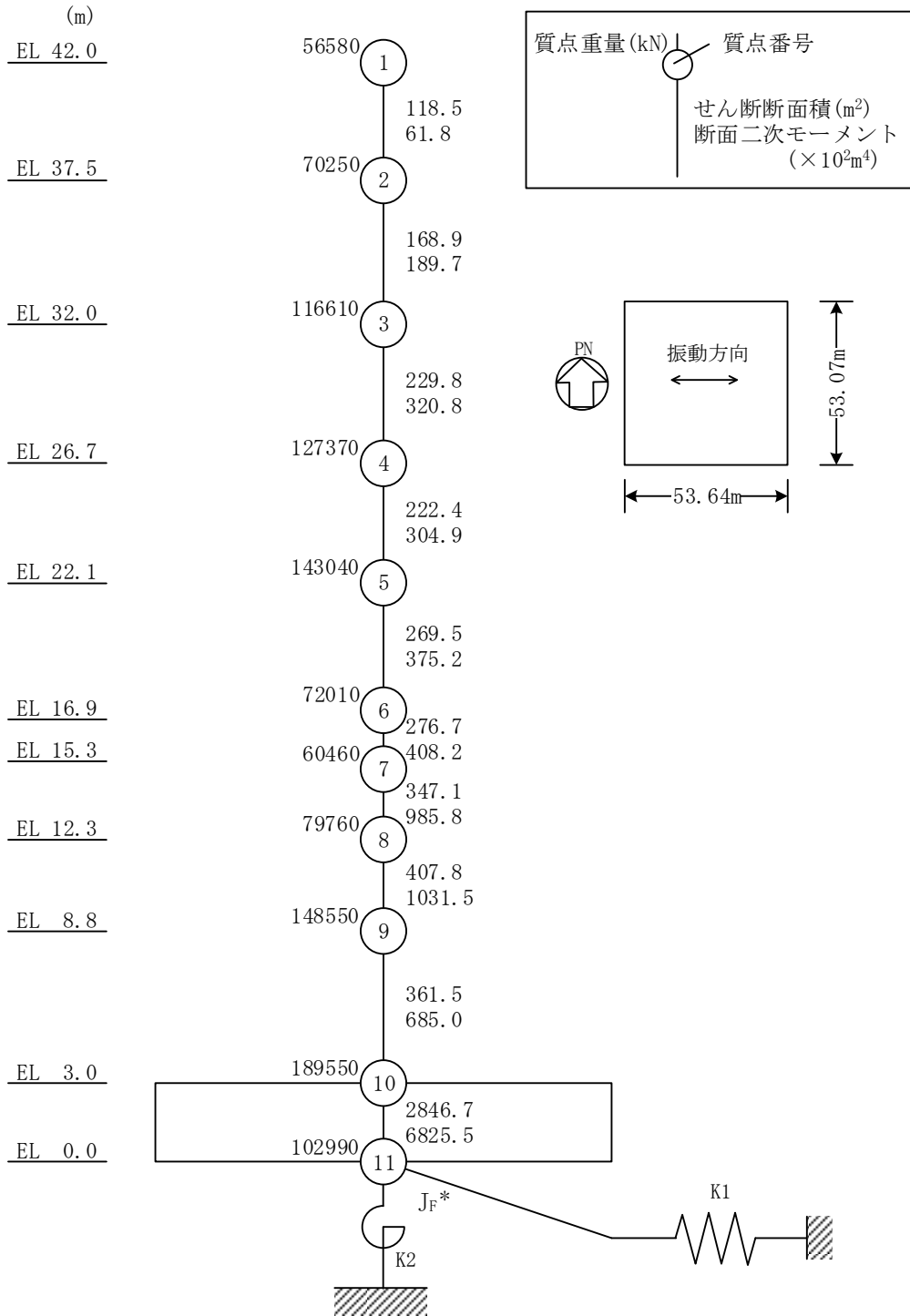
本資料では、基準地震動 S_s に対する評価に用いる地盤3次元FEMモデルを用いて弾性設計用地震動 S_d に対する評価を行い、SRモデルによる応答との比較を行う。

検討に用いる地震応答解析モデルを図1-1及び図1-2に示す。



注記* : 回転慣性重量 ($29.35 \times 10^7 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

図 1-1(1) SRモデル (NS方向)



注記* : 回転慣性重量 (31.61 × 10⁷ kN · m²)

図 1-1(2) SRモデル (EW方向)

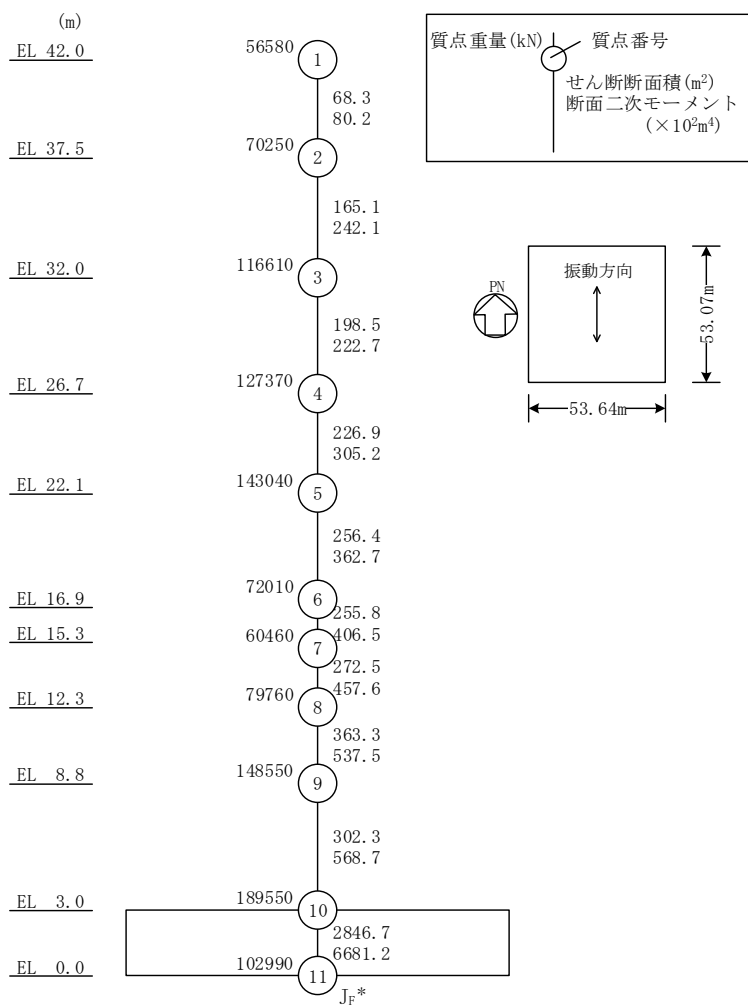
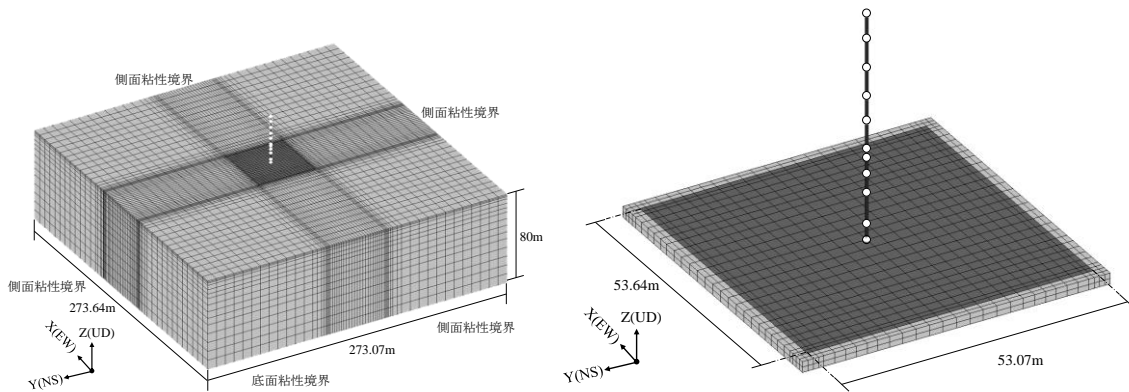
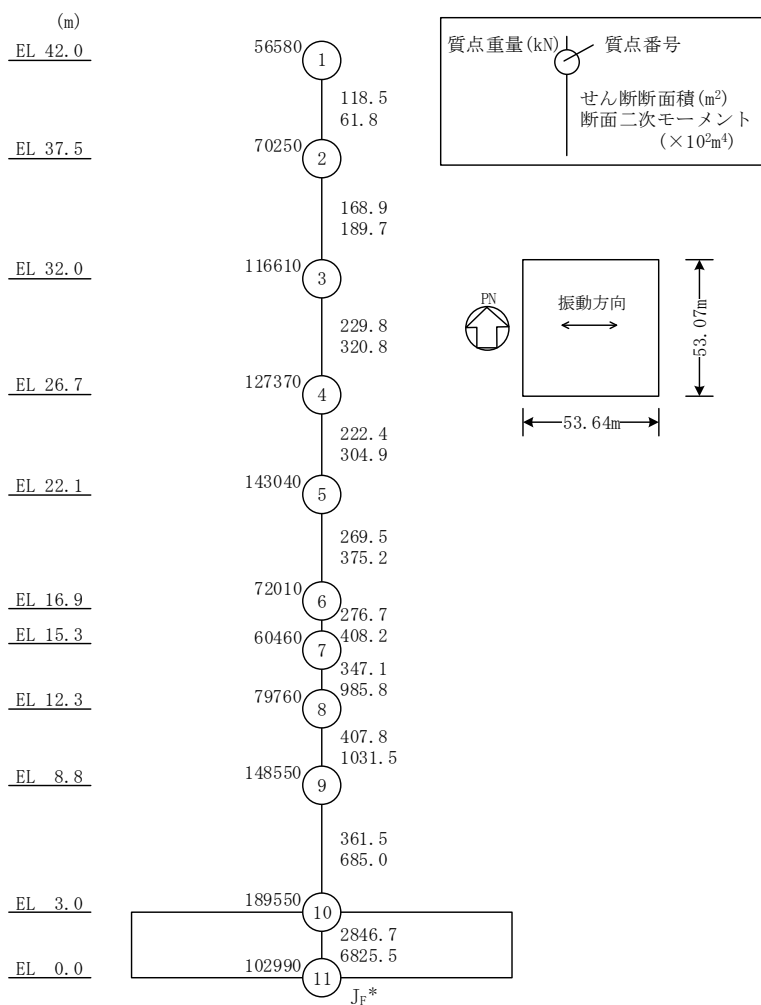
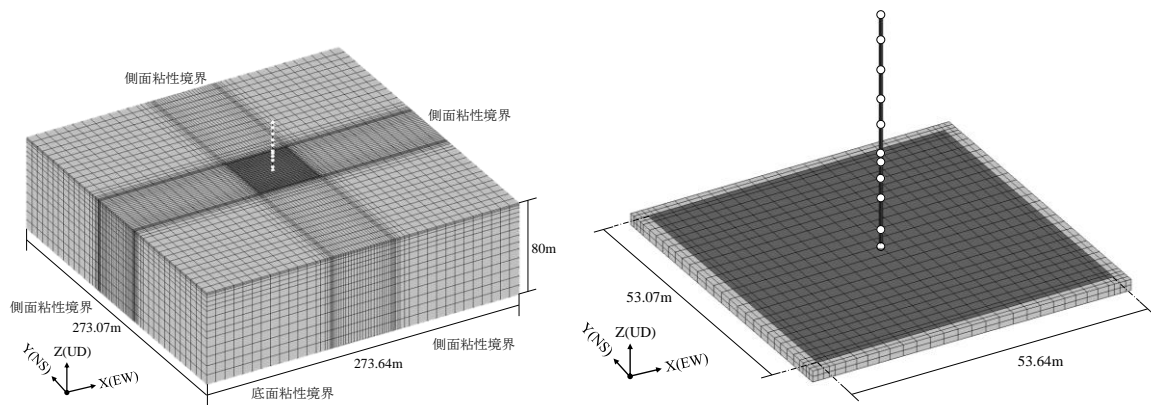


図 1-2(1) 地盤 3次元 FEMモデル (NS方向)



注記* : 回転慣性重量(31.61×10⁷ kN・m²)

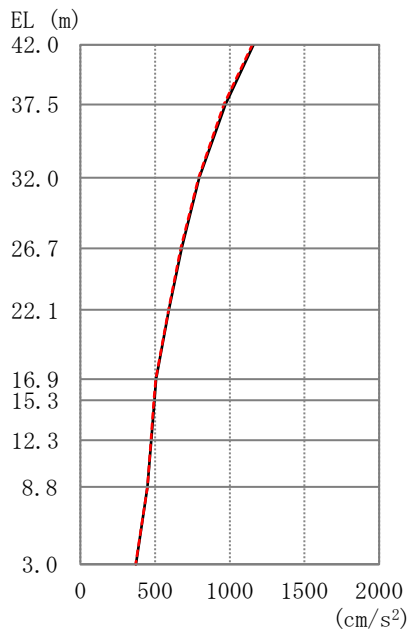
図 1-2(2) 地盤 3次元 FEMモデル (EW方向)

2. 地震応答解析結果の比較

地盤 3次元 FEMモデルによる解析条件及び比較する S Rモデルを用いた評価結果はVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」と同様とし、対象とする地震動は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる弾性設計用地震動 S d - Dとする。弾性設計用地震動 S d - Dに対する最大応答値の比較を図 2-1～図 2-4 に、床応答スペクトルの比較を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

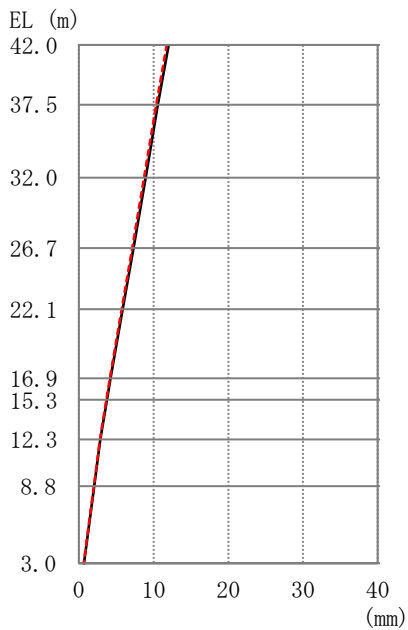
なお、本検討はモデルの違いによる応答傾向の把握が目的であることから、建物及び浮上りに対する非線形性を考慮している水平方向に対して実施する。

地盤 3次元 FEMモデルを用いた解析結果と S Rモデルを用いた解析結果は概ね一致していることを確認した。



EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0	1	1158	1151
37.5	2	972	961
32.0	3	796	791
26.7	4	677	670
22.1	5	591	590
16.9	6	506	503
15.3	7	496	491
12.3	8	474	472
8.8	9	448	448
3.0	10	372	369

(a) 最大応答加速度

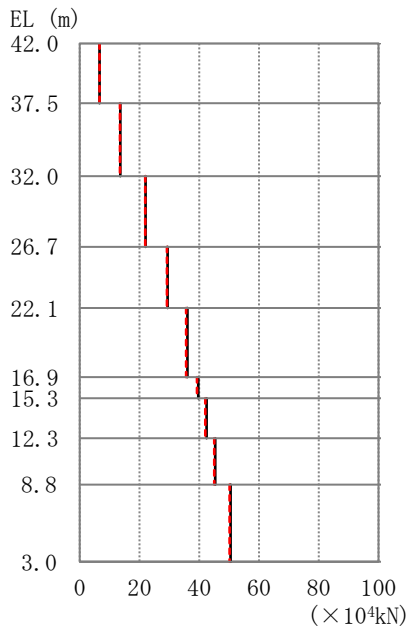


EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0	1	12.02	11.74
37.5	2	10.57	10.32
32.0	3	8.94	8.73
26.7	4	7.30	7.12
22.1	5	5.86	5.71
16.9	6	4.24	4.14
15.3	7	3.75	3.67
12.3	8	2.87	2.81
8.8	9	2.03	1.99
3.0	10	0.66	0.64

(b) 最大応答変位

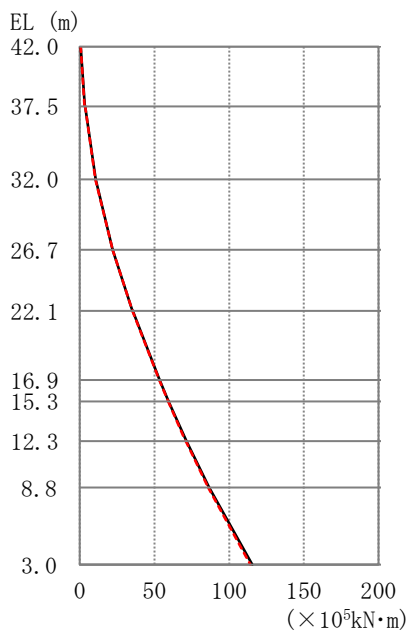
図2-1(1) 弾性設計用地震動Sd-Dに対する最大応答値の比較
(基本ケース, NS方向)

— SRモデル
--- 地盤3次元FEMモデル



EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 ($\times 10^4$ kN)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0~37.5	1	6.64	6.61
37.5~32.0	2	13.5	13.4
32.0~26.7	3	22.0	21.9
26.7~22.1	4	29.4	29.2
22.1~16.9	5	36.0	35.6
16.9~15.3	6	39.7	39.2
15.3~12.3	7	42.5	42.0
12.3~8.8	8	45.4	45.0
8.8~3.0	9	50.5	50.2

(c) 最大応答せん断力

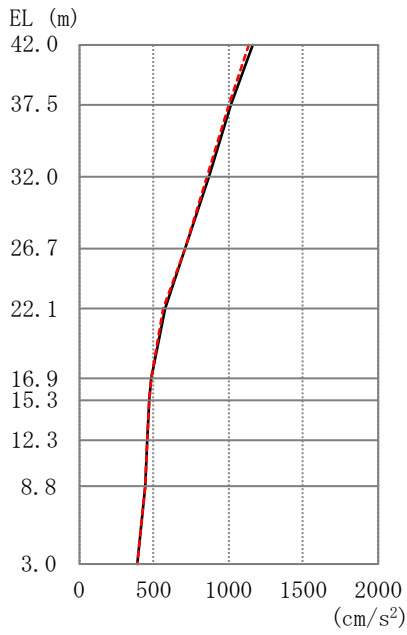


EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0~37.5	1	0.486 3.29	0.463 3.22
37.5~32.0	2	3.54 10.6	3.46 10.5
32.0~26.7	3	10.7 22.0	10.5 21.9
26.7~22.1	4	22.0 35.3	21.9 35.2
22.1~16.9	5	35.4 53.4	35.3 53.2
16.9~15.3	6	53.5 59.4	53.2 59.1
15.3~12.3	7	59.5 71.3	59.1 70.9
12.3~8.8	8	71.5 86.7	71.0 85.9
8.8~3.0	9	86.7 115	85.9 114

(d) 最大応答曲げモーメント

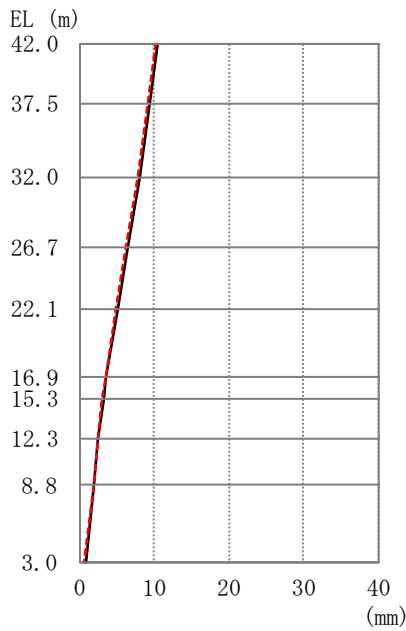
図2-2(2) 弾性設計用地震動Sd-Dに対する最大応答値の比較
(基本ケース, NS方向)

— SRモデル
--- 地盤3次元FEMモデル



EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0	1	1166	1142
37.5	2	1012	997
32.0	3	862	853
26.7	4	712	705
22.1	5	573	566
16.9	6	478	480
15.3	7	469	465
12.3	8	454	448
8.8	9	439	435
3.0	10	387	381

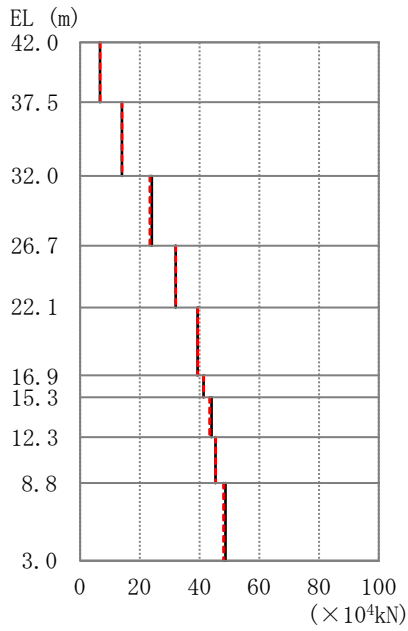
(a) 最大応答加速度



EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0	1	10.44	10.14
37.5	2	9.35	9.08
32.0	3	7.89	7.67
26.7	4	6.42	6.24
22.1	5	5.02	4.87
16.9	6	3.57	3.46
15.3	7	3.15	3.04
12.3	8	2.46	2.38
8.8	9	1.77	1.72
3.0	10	0.67	0.63

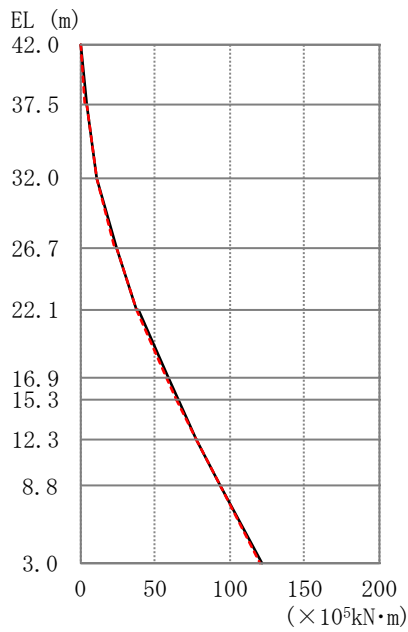
(b) 最大応答変位

図2-2(1) 弾性設計用地震動Sd-Dに対する最大応答値の比較
(基本ケース, EW方向)



EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 ($\times 10^4$ kN)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0~37.5	1	6.82	6.67
37.5~32.0	2	14.0	13.8
32.0~26.7	3	23.9	23.6
26.7~22.1	4	32.2	32.0
22.1~16.9	5	39.4	39.1
16.9~15.3	6	41.7	41.5
15.3~12.3	7	43.8	43.4
12.3~8.8	8	45.7	45.4
8.8~3.0	9	49.0	48.3

(c) 最大応答せん断力



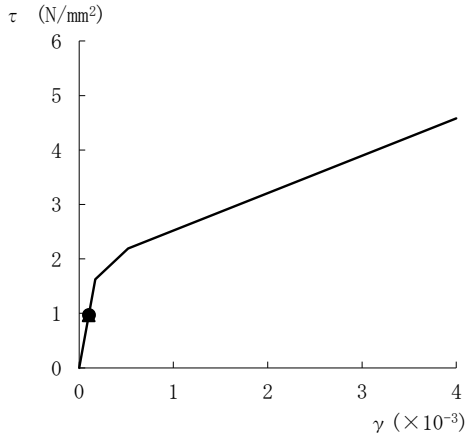
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)	
		Sd-D	
		SR	FEM
42.0~37.5	1	0.354	0.305
37.5~32.0	2	3.28	3.13
32.0~26.7	3	10.9	10.7
26.7~22.1	4	23.5	23.0
22.1~16.9	5	37.9	37.6
16.9~15.3	6	58.1	57.7
15.3~12.3	7	64.8	64.3
12.3~8.8	8	77.9	77.2
8.8~3.0	9	93.9	93.0
		122	121

(d) 最大応答曲げモーメント

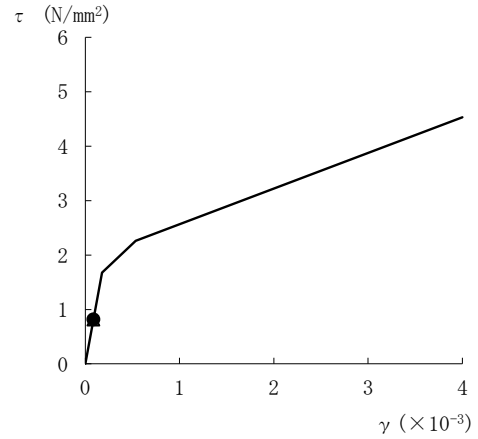
図2-2(2) 弾性設計用地震動Sd-Dに対する最大応答値の比較
(基本ケース, EW方向)

● SRモデル

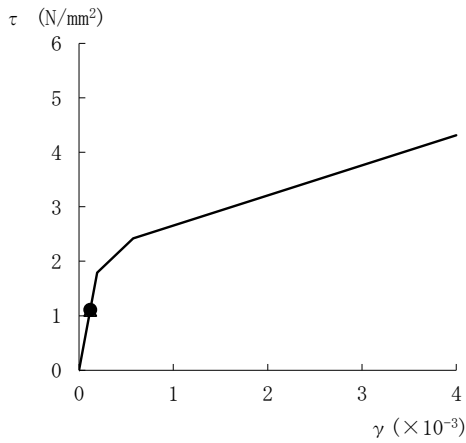
▲ 地盤3次元FEMモデル



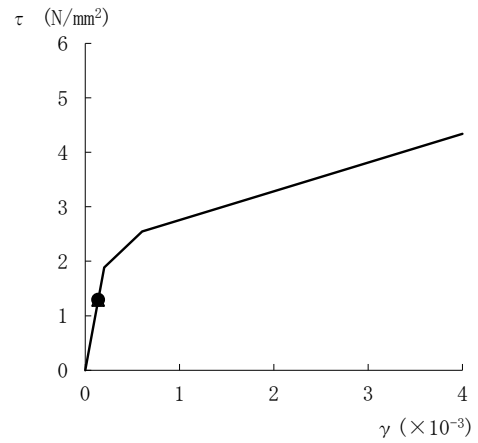
要素番号 (1)



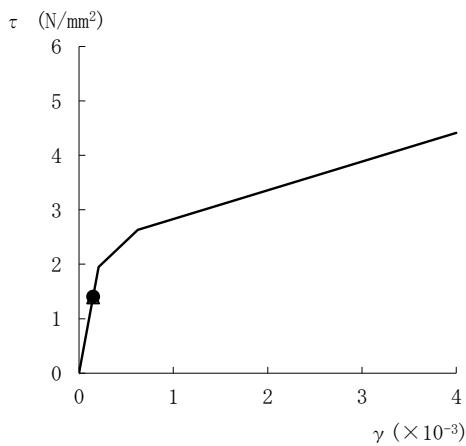
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)

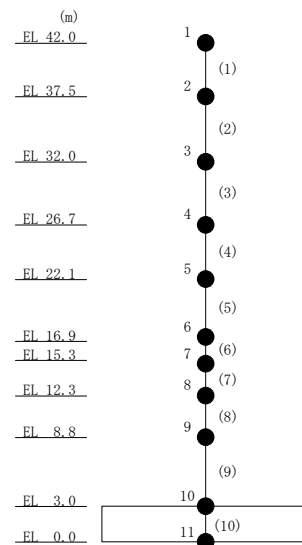
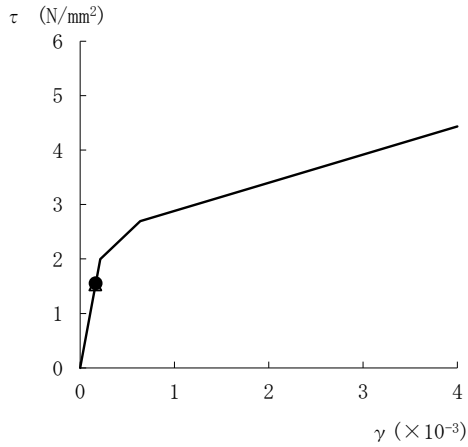


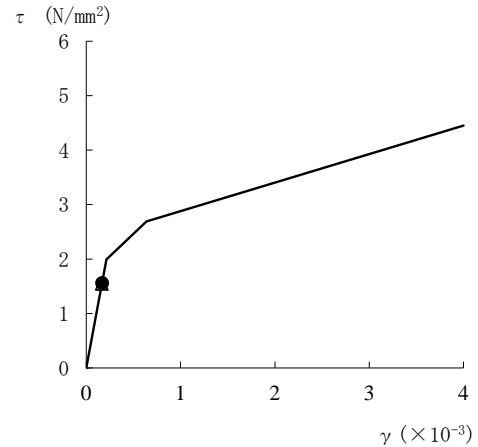
図 2-3(1) せん断スケルトン曲線上の最大応答値の比較
(弾性設計用地震動S d-D, 基本ケース, NS方向)

● SRモデル

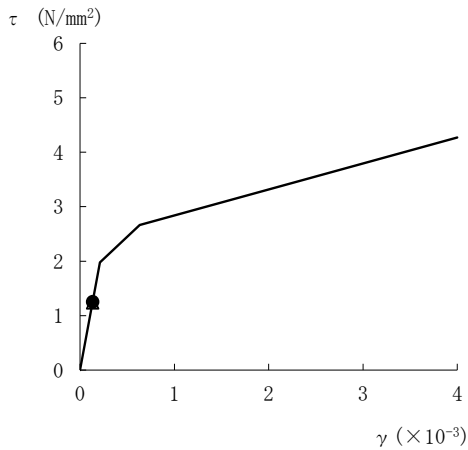
▲ 地盤3次元FEMモデル



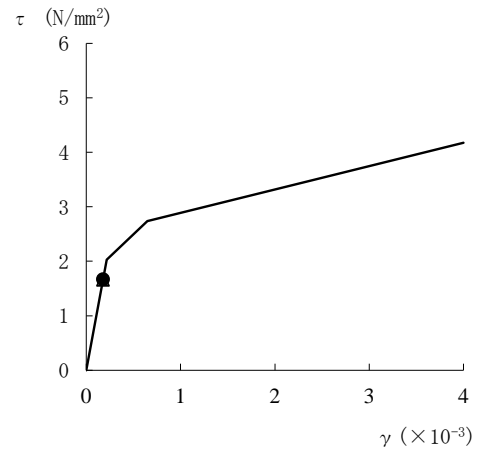
要素番号 (6)



要素番号 (7)



要素番号 (8)



要素番号 (9)

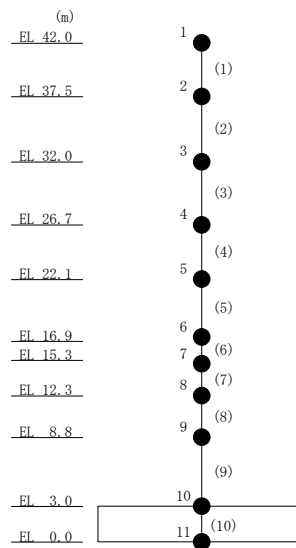
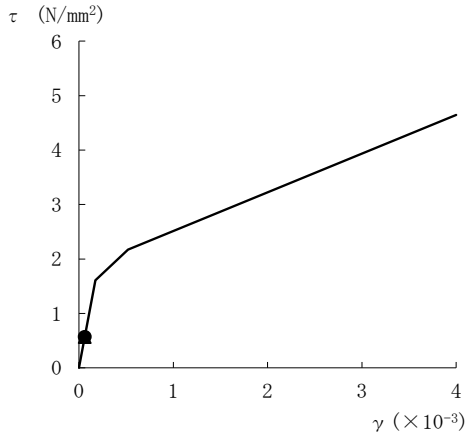
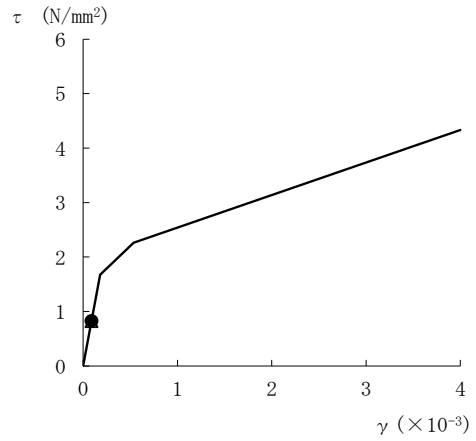


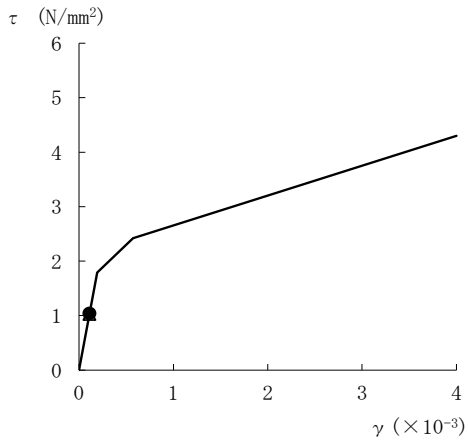
図 2-3(2) せん断スケルトン曲線上の最大応答値の比較
(弾性設計用地震動S d-D, 基本ケース, NS方向)



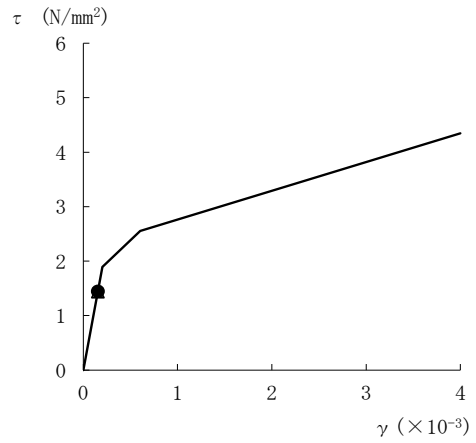
要素番号 (1)



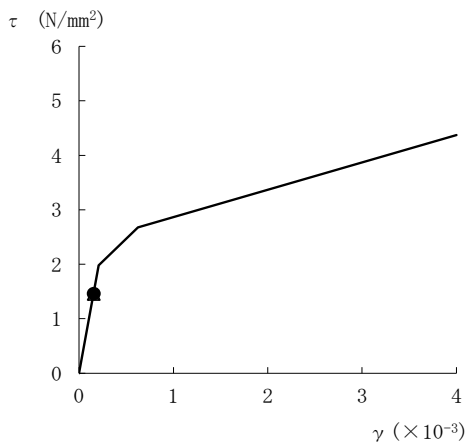
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)

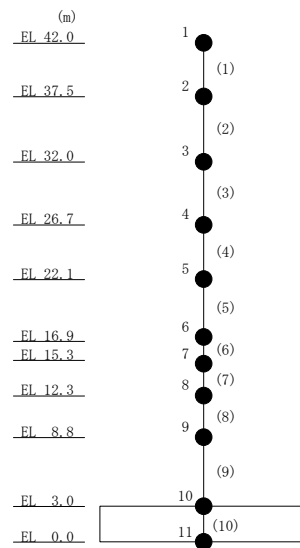
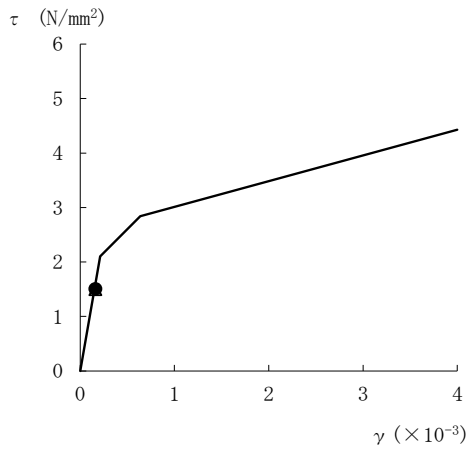


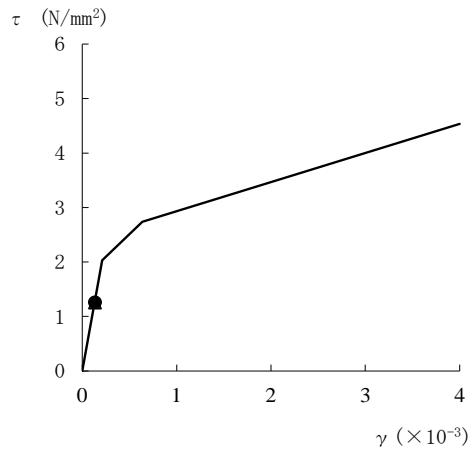
図 2-4(1) せん断スケルトン曲線上の最大応答値の比較
 (弾性設計用地震動 S d - D, 基本ケース, EW方向)

● SRモデル

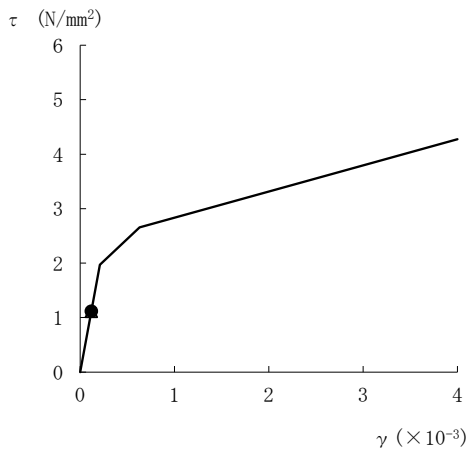
▲ 地盤3次元FEMモデル



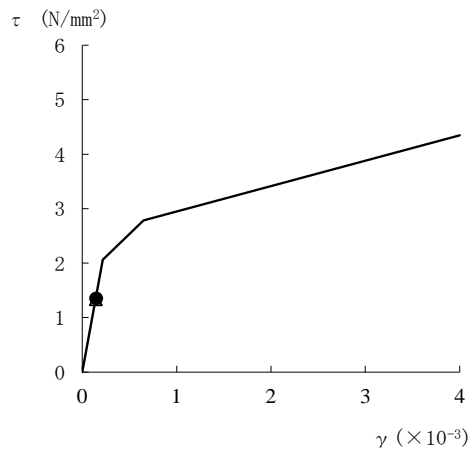
要素番号 (6)



要素番号 (7)



要素番号 (8)



要素番号 (9)

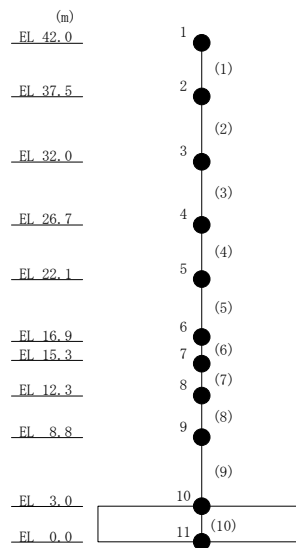


図 2-4(2) せん断スケルトン曲線上の最大応答値の比較
(弾性設計用地震動S d-D, 基本ケース, EW方向)

RwB01

建物略称 質点番号

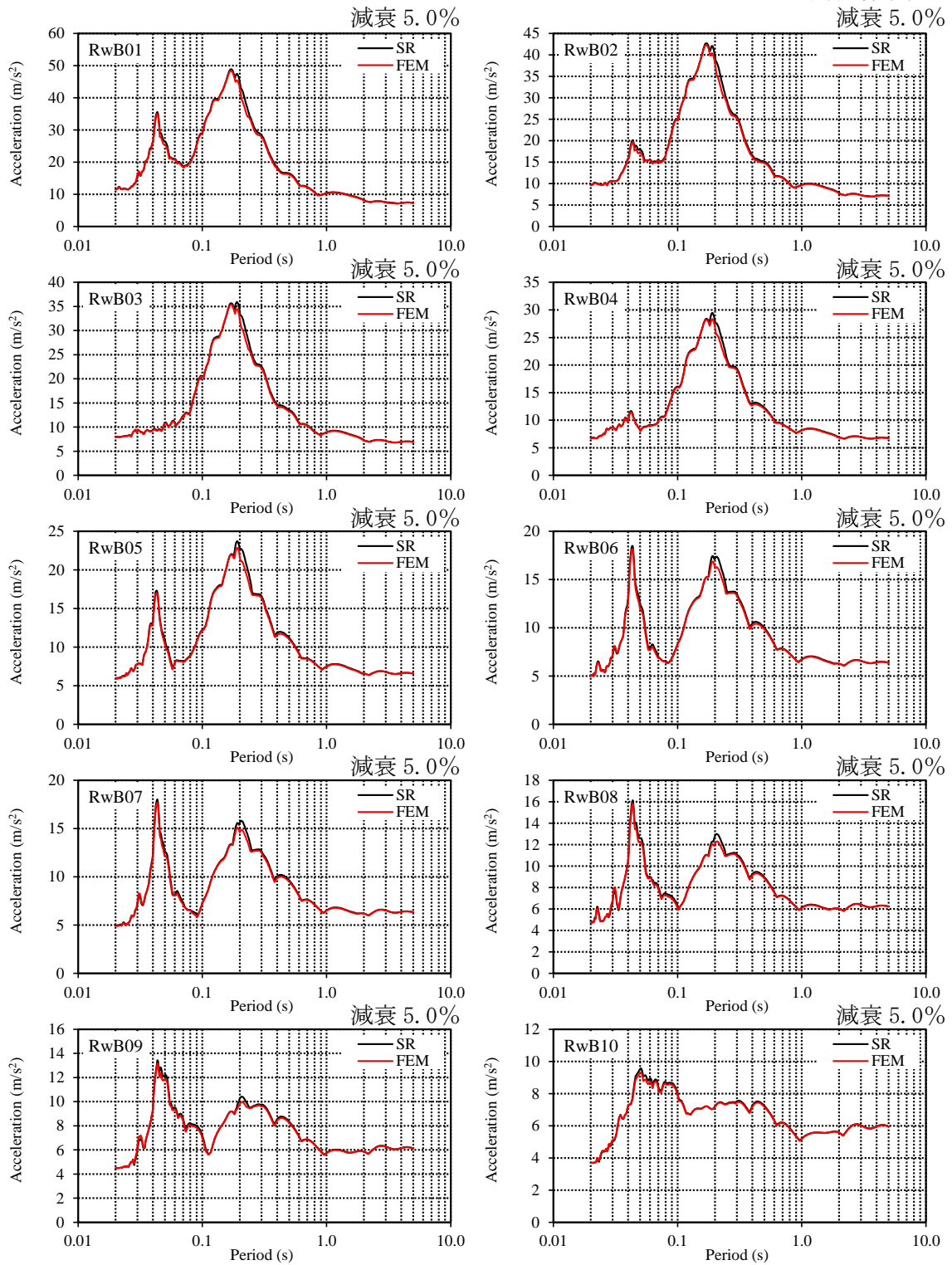


図 2-5 加速度応答スペクトルの比較
(弾性設計用地震動 S d-D, 基本ケース, NS 方向, 減衰 5.0%)

RwB01

建物略称 質点番号

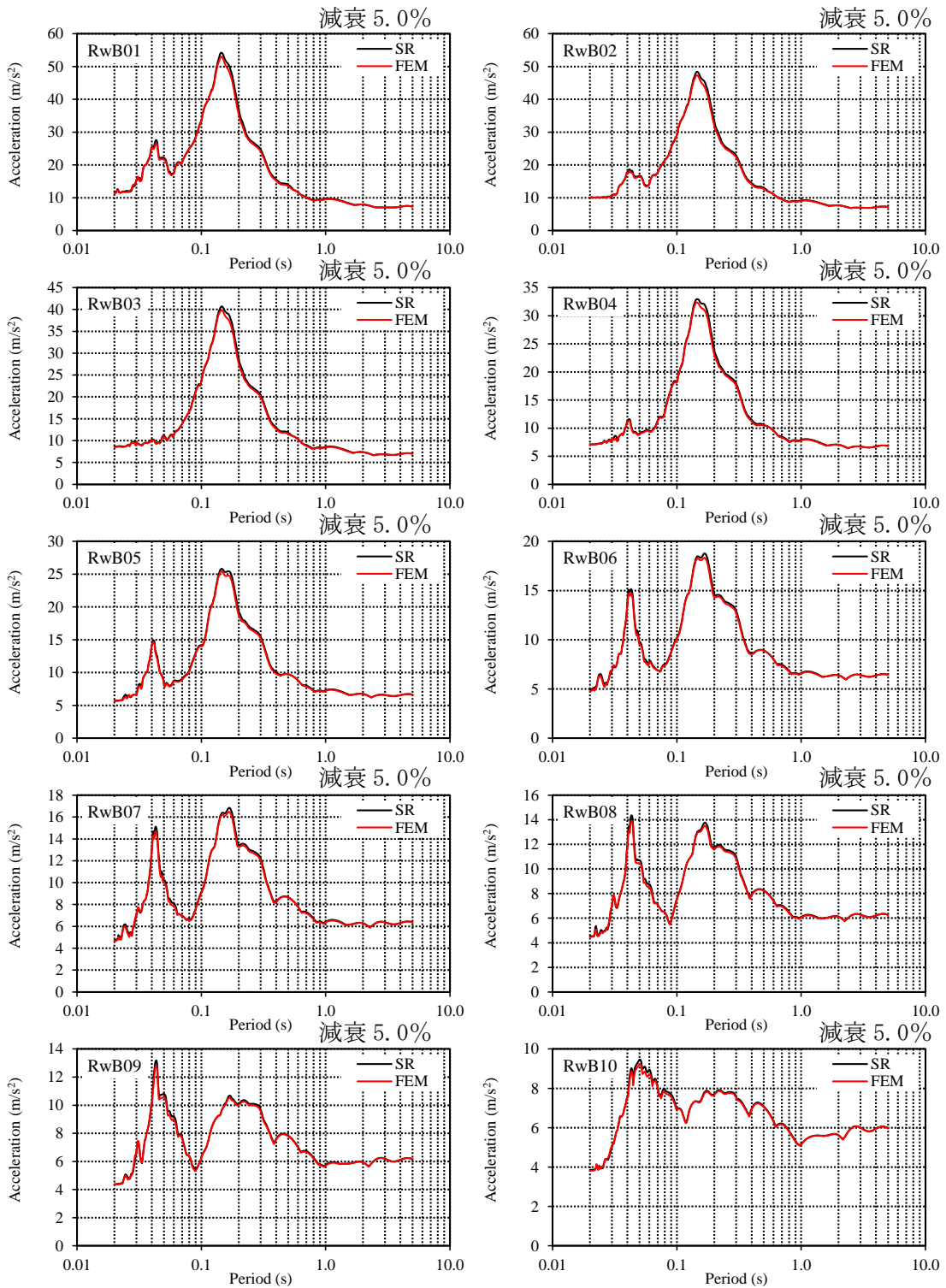


図 2-6 加速度応答スペクトルの比較

(弾性設計用地震動 S d-D, 基本ケース, E W 方向, 減衰 5.0%)