

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-370-15 改0
提出年月日	平成30年6月15日

建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料

補足-370-15 【サービス建屋の耐震性評価に関する補足説明】

平成30年6月

日本原子力発電株式会社

## 目次

1. 概要.....	1
2. 耐震補強箇所について.....	2
3. 地震応答解析モデルのモデル化について.....	5
3.1 解析モデル.....	5
3.2 地盤ばねについて.....	6
3.3 非線形特性の設定方法について.....	8
3.4 入力地震動について.....	11
4. 地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果.....	12
4.1 地盤物性のばらつきの設定.....	12
4.2 固有値解析結果.....	12
4.3 地震応答解析結果.....	15
5. 原子炉建屋への影響の評価.....	22
5.1 建屋間の最大相対変位.....	22
5.2 原子炉建屋のねじれを考慮した検討.....	24

## 1. 概要

本資料は、サービス建屋の耐震性評価についての補足説明資料であり、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料V-2-11-2-12「サービス建屋の耐震計算書」

## 2. 耐震補強箇所について

サービス建屋については、耐震性向上の観点から耐震補強を実施する予定としている。耐震補強は耐震壁の新設もしくは既設耐震壁の増厚を行い、層剛性及び強度を向上させることで、サービス建屋の地震時変形を抑制する。追加または増厚する耐震壁の位置を図2-1 耐震壁の追加位置（1階）図2-1～図2-4に示す。

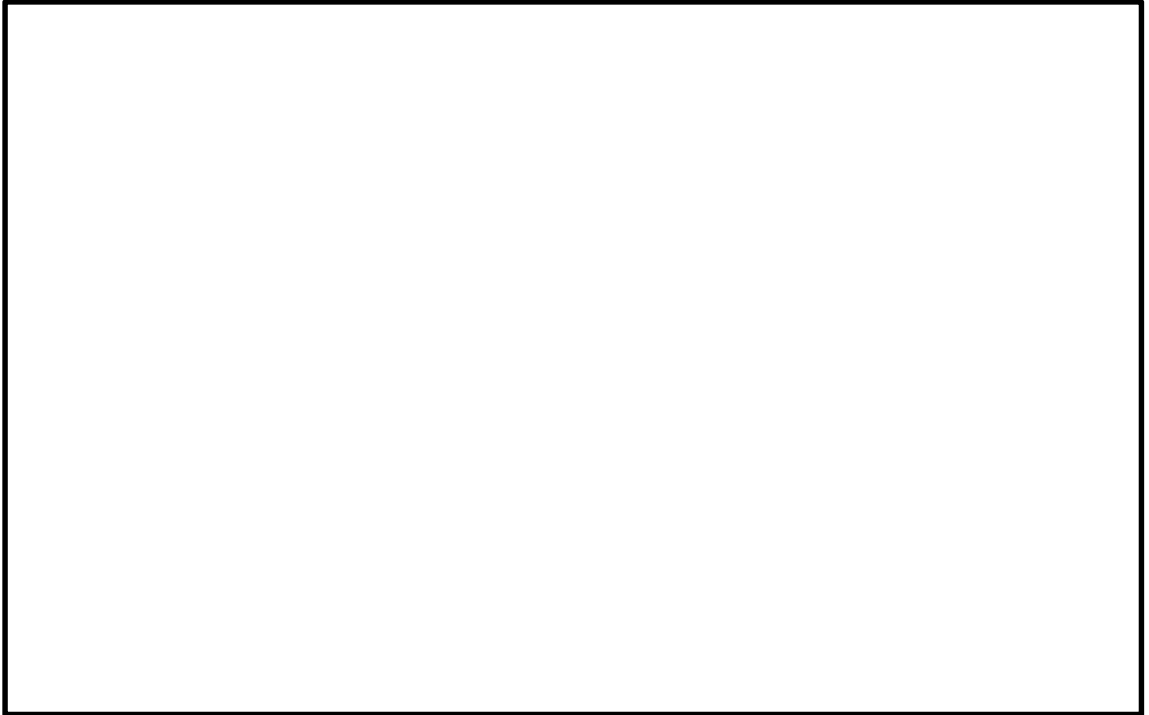


図 2-1 耐震壁の追加位置 (1 階)

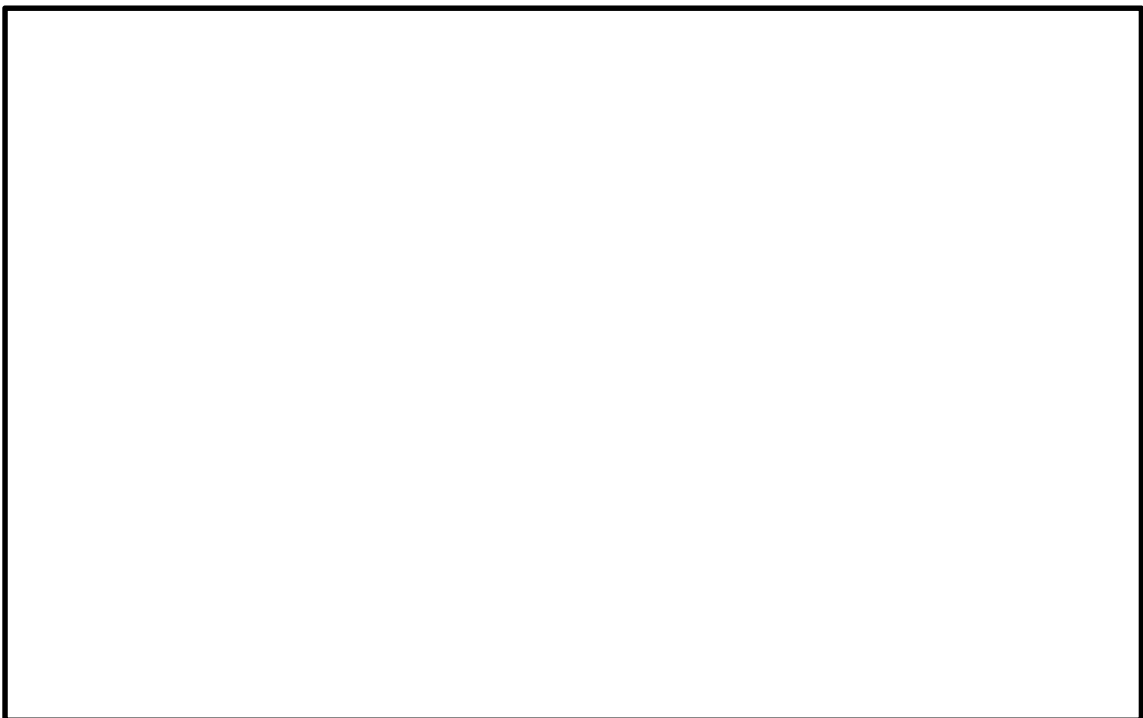


図 2-2 耐震壁の追加位置 (中 2 階)

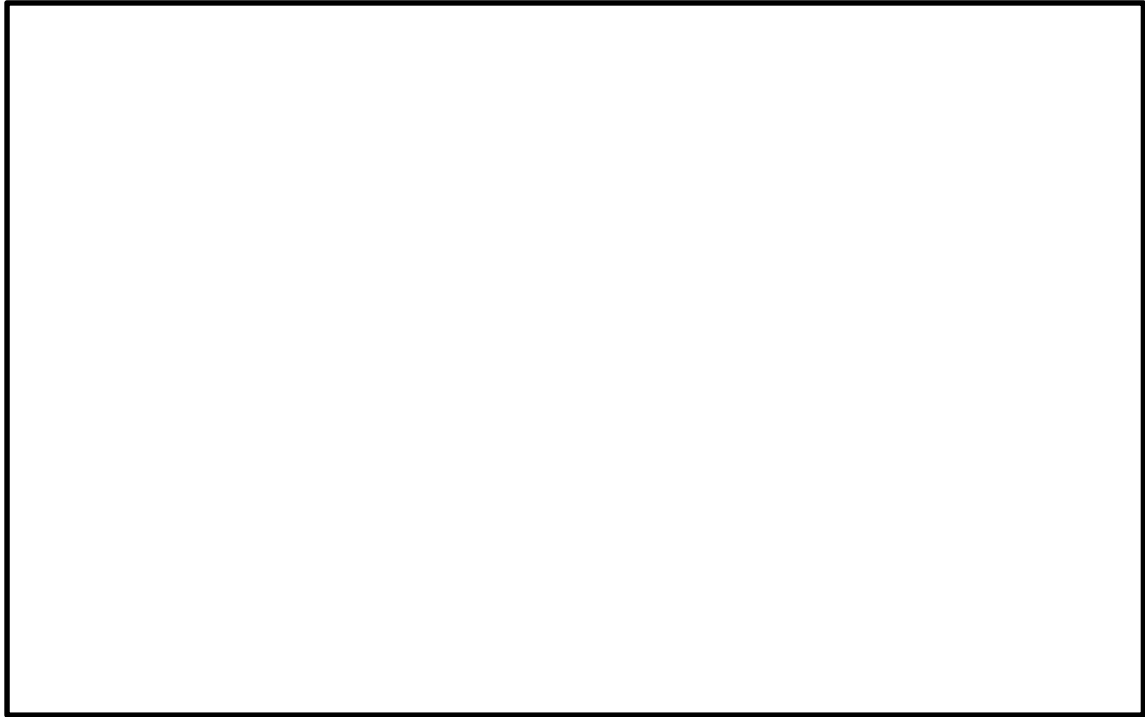


図 2-3 耐震壁の追加位置 (2 階)

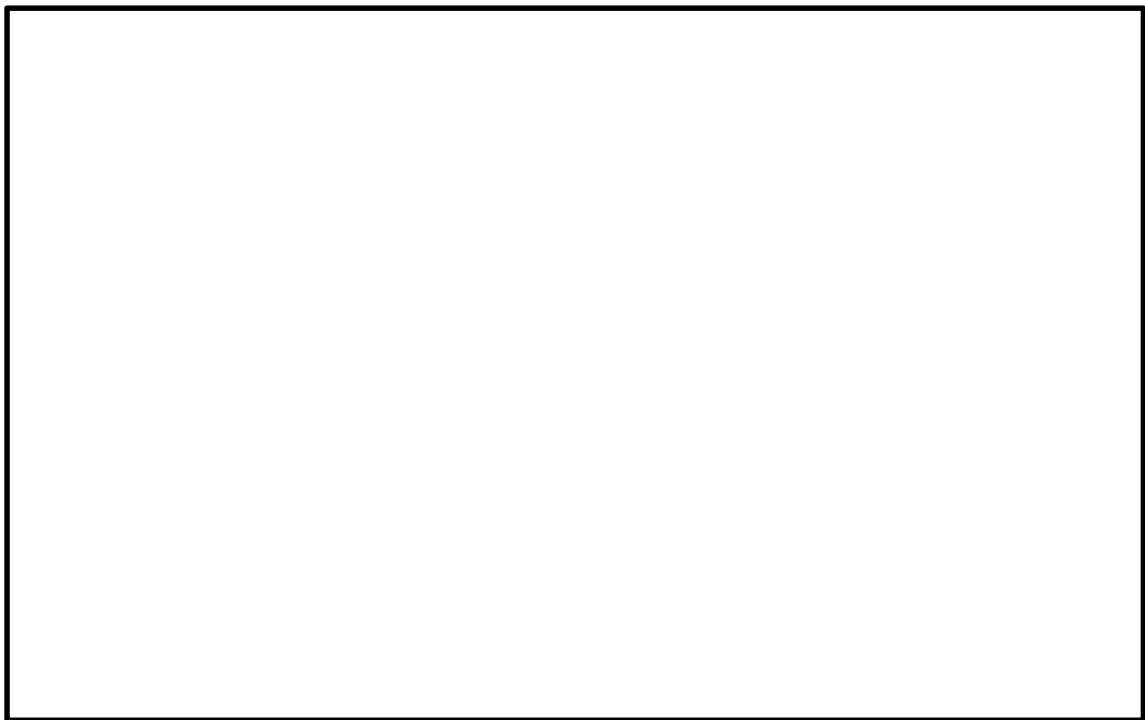


図 2-4 耐震壁の追加位置 (3 階)

### 3. 地震応答解析モデルのモデル化について

#### 3.1 解析モデル

サービス建屋の地震応答解析モデル（EW 方向）を図 3-1 に示す。建屋の剛性は荷重増分解析に基づき算定し、曲げ剛性を無限大とした曲げせん断棒によりモデル化する。地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮した、剛基礎を有する多質点系のせん断ばねモデルとする。

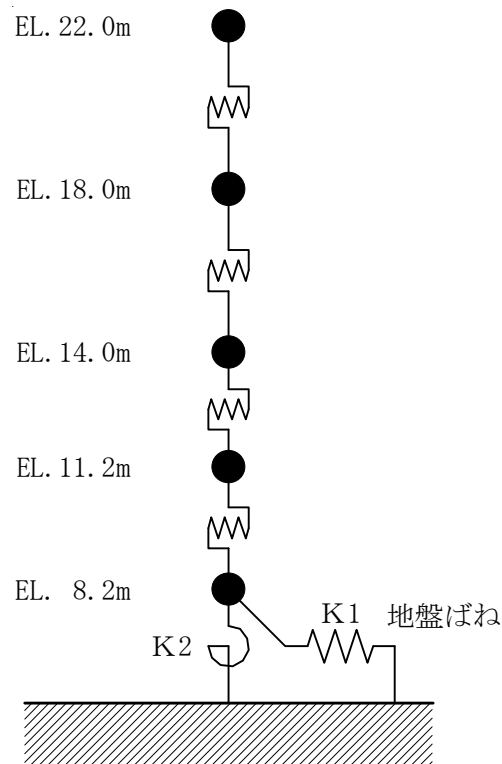


図 3-1 サービス建屋の地震応答解析モデル(EW 方向)

### 3.2 地盤ばねについて

サービス建屋の地震応答解析モデルの地盤ばねについて説明する。

サービス建屋の基礎は、厚さ約 1.2m の基礎スラブで場所打ちコンクリート杭を用いた杭基礎となっており、砂質泥岩である久米層に支持される。図 3-2 サービス建屋の杭配置図を示す。

地盤ばね（水平ばね及び回転ばね）は、地盤－杭－基礎系の動的インピーダンス（動的複素ばね）の計算を行い、基礎の地盤ばねの算定を行う。

動的インピーダンスは、薄層要素法と三次元有限要素法とを組み合わせた方法（以下、「サブストラクチャー法」と言う。）を用いて算定する。

サブストラクチャー法に基づいて振動数依存の実部と虚部を評価したうえで、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」による近似法によって、水平及び回転ばねを定数化する。



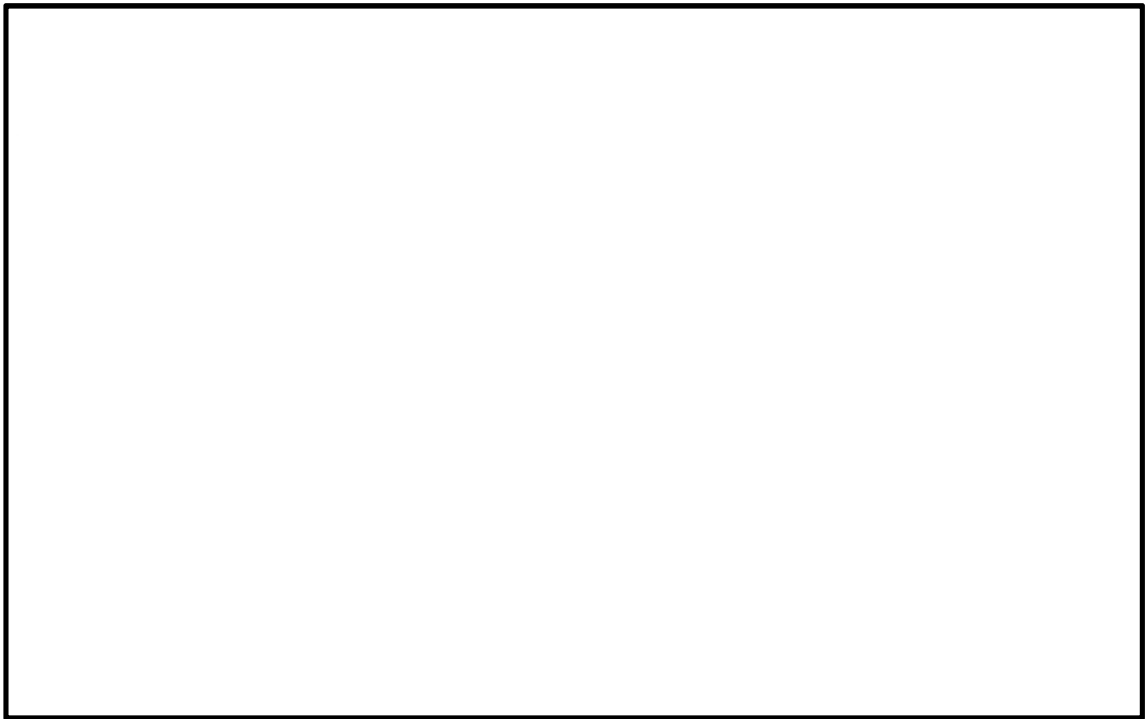


図 3-2 サービス建屋の杭配置図

### 3.3 非線形特性の設定方法について

サービス建屋は鉄筋コンクリート造の耐震壁付きラーメン構造である。このため、地震応答解析においては、鉄筋コンクリート造耐震壁と柱、梁のラーメン構造による等価剛性に対し、非線形特性を考慮している。

非線形特性は、3次元 FEM による荷重増分解析に基づき設定する。増分解析に用いた解析モデルを図 3-3 に、耐震壁として考慮した壁を図 3-4 に示す。

荷重増分解析に用いる外力分布は建築基準法の略算式による分布形状とし、各部材の終局耐力の評価法を表 3-1 に、使用材料を表 3-2 に示す。

加力方向は正加力と負加力について実施し、1 階の耐力が低くなる加力方向を採用する。加力方向は、EW 方向に正加力 (W→E) とした場合を採用した。

静的漸増解析より求めた荷重-変形関係から図 3-5 に示す方法により各階の非線形特性を算出した。

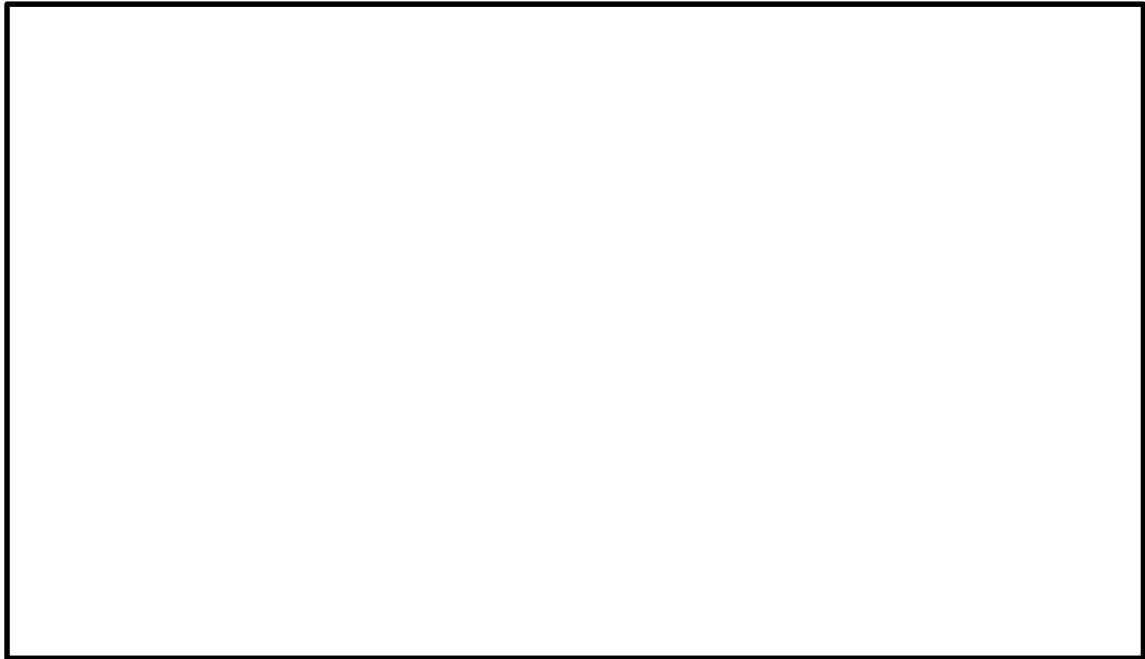


図 3-3 増分解析に用いた解析モデル

表 3-1 各部材の耐力評価方法

	曲げ	せん断
柱	ファイバーモデル	荒川 mean 式
梁*	$M_u=0.9a_t \sigma_y d$	荒川 mean 式
壁	—	荒川 mean 式

※ $a_t$ :引張り鉄筋の断面積,  $\sigma_y$ :鉄筋の降伏応力,  $d$ :梁の有効せい

表 3-2 使用材料

(1) コンクリート

Fc N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>	せん断弾性係数 N/mm <sup>2</sup>	単位体積重量 kN/mm <sup>3</sup>
17.7	$2.05 \times 10^4$	$8.5 \times 10^3$	24.0

(2) 鉄筋

種別名	降伏応力度 N/mm <sup>2</sup>
SD295A	295

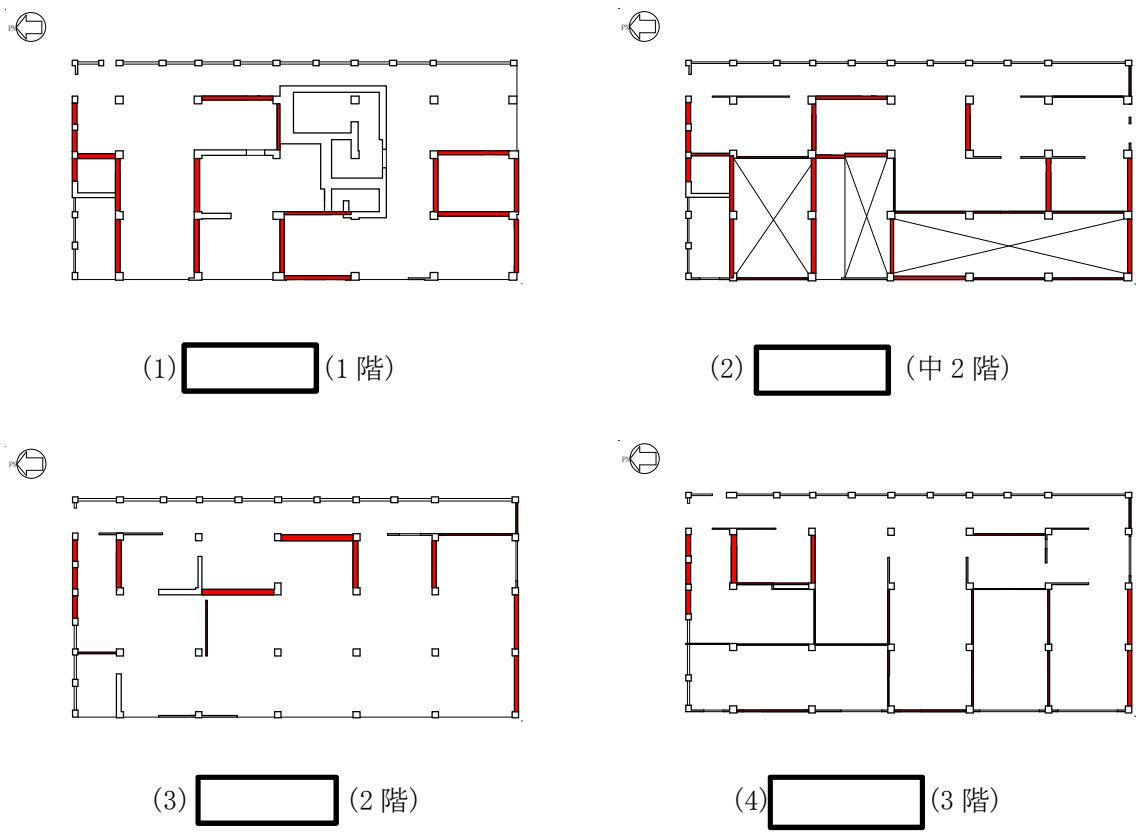


図3-4 静的漸増解析に考慮した耐震壁

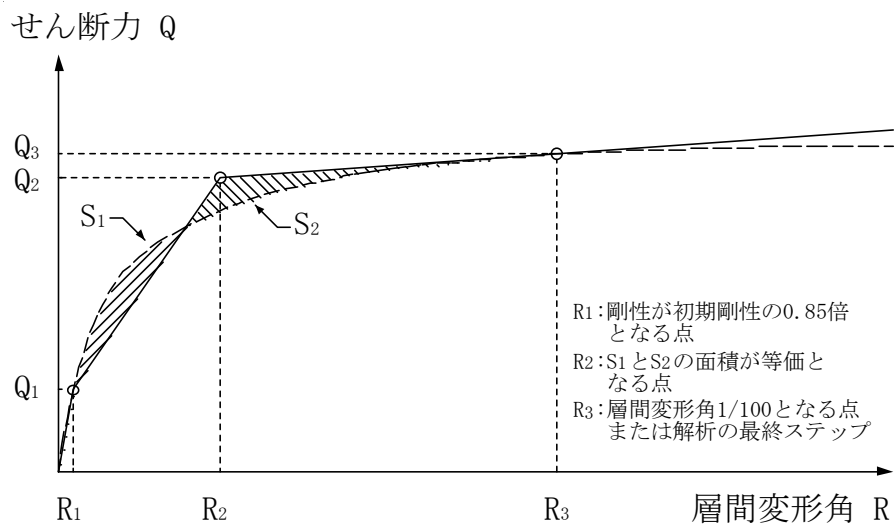


図3-5 せん断 ( $Q$ ) - 層間変形角 ( $R$ ) の関係

### 3.4 入力地震動について

入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動 $S_s$ に対する建屋基礎底面レベルでの地盤の応答として評価する。図 3-6 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。

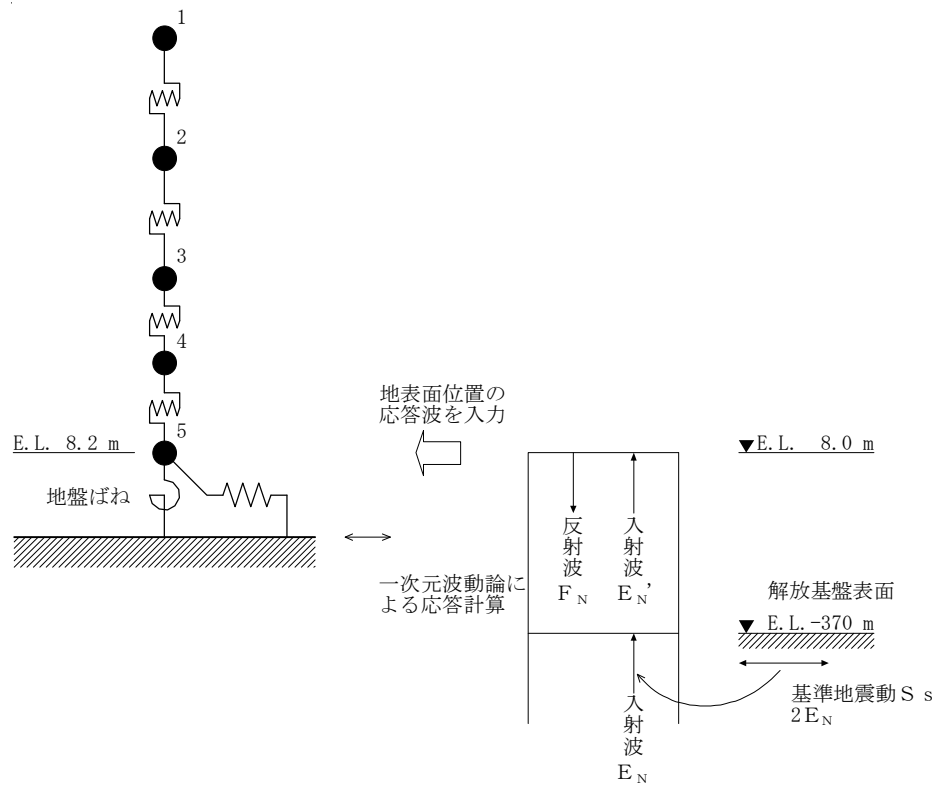


図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（水平方向）

#### 4. 地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果

##### 4.1 地盤物性のばらつきの設定

地盤物性のばらつきは、使用済燃料乾式貯蔵設備設置時に実施した弾性波速度試験結果に基づく地盤のせん断波速度を基本ケースとし、地盤のせん断波速度の変動係数から求めた変動の比率（ $\pm\sigma$ 相当）として考慮する。

サービス建屋における地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケースを表 4-1 に示す。

表 4-1 地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	モデル名称	地盤剛性
基本ケース	工認モデル	標準地盤
地盤剛性の変動による影響	地盤剛性+ $\sigma$ 考慮モデル	標準地盤+ $\sigma$ 相当
	地盤剛性- $\sigma$ 考慮モデル	標準地盤- $\sigma$ 相当

##### 4.2 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 4-2 に示す。

表 4-2 (1/2) 固有値解析結果 (EW 方向)

(a)  $S_s - D 1$

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.300	3.34	1.273
2	0.124	8.07	-0.286
3	0.061	16.49	0.000
4	0.047	21.49	-0.028

(b)  $S_s - 1 1$

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.261	3.84	1.349
2	0.117	8.53	-0.369
3	0.058	17.12	0.003
4	0.046	21.59	-0.040

(c)  $S_s - 1 2$

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.262	3.82	1.346
2	0.118	8.51	-0.366
3	0.059	17.08	0.003
4	0.046	21.58	-0.039

(d)  $S_s - 1 3$

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.263	3.80	1.343
2	0.118	8.49	-0.362
3	0.059	17.06	0.003
4	0.046	21.58	-0.039

表 4-2 (2/2) 固有値解析結果 (EW 方向)

(e) Ss-14

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.256	3.91	1.361
2	0.116	8.60	-0.383
3	0.058	17.19	0.004
4	0.046	21.60	-0.042

(f) Ss-21

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.287	3.49	1.294
2	0.121	8.23	-0.309
3	0.060	16.77	0.001
4	0.046	21.52	-0.031

(g) Ss-22

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.295	3.39	1.280
2	0.123	8.15	-0.294
3	0.060	16.63	0.000
4	0.047	21.50	-0.030

(f) Ss-31

次 数	固有周期(s)	振動数(Hz)	刺激係数
1	0.304	3.29	1.267
2	0.125	8.03	-0.279
3	0.061	16.42	-0.001
4	0.047	21.48	-0.028



#### 4.3 地震応答解析結果

サービス建屋の地盤物性のばらつきを考慮した基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果について、最大応答変位を表 4-3～表 4-5 及び図 4-1～図 4-3 に、層間変形角を図 4-4～図 4-6 に示す。

表 4-3 最大応答変位一覧 (基準地震動 Ss, 工認モデル, EW 方向)

EL. (m)	質点 番号	最大応答変位 (cm)							
		Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31
22.00	1	4.46	1.59	1.50	1.50	1.33	2.64	3.84	5.11
18.00	2	3.57	1.27	1.20	1.21	1.01	2.05	3.06	4.20
14.00	3	2.26	0.85	0.80	0.82	0.64	1.25	1.91	2.69
11.20	4	1.65	0.63	0.61	0.62	0.46	0.88	1.36	2.02
8.20	5	1.01	0.38	0.38	0.38	0.27	0.49	0.77	1.32

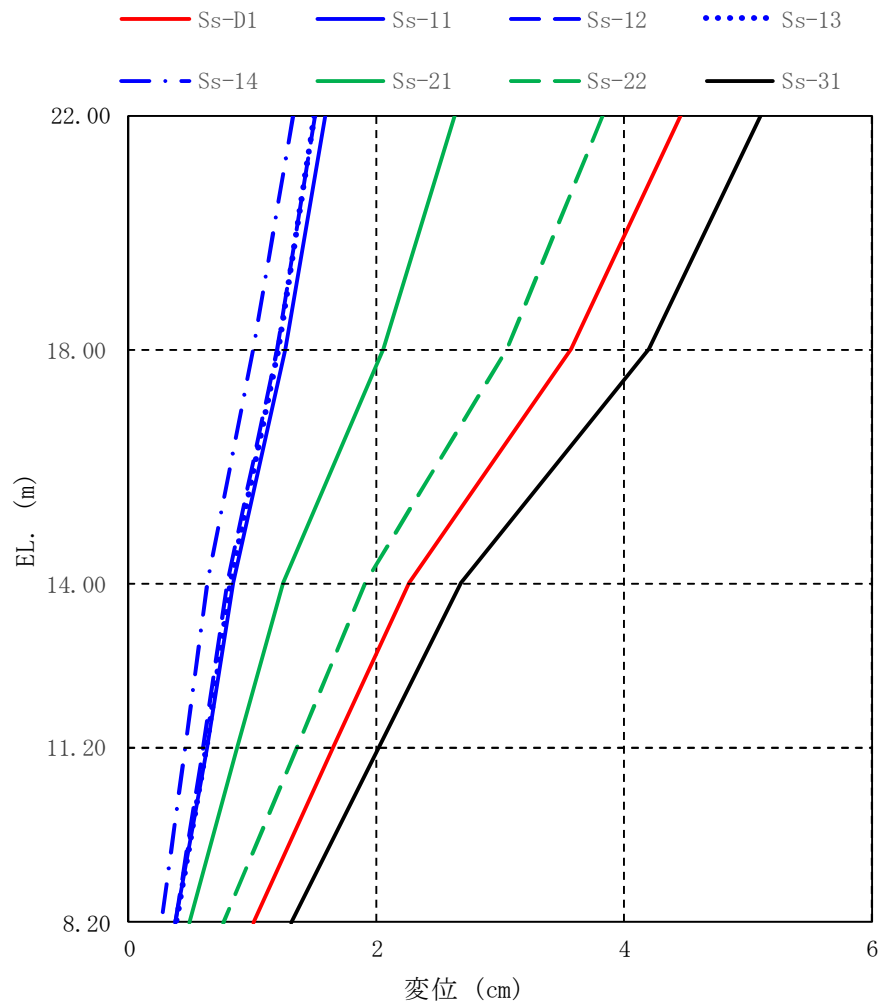


図 4-1 最大応答変位 (基準地震動 Ss, 工認モデル, EW 方向)

表 4-4 最大応答変位一覧（基準地震動 Ss, 地盤剛性+ $\sigma$  考慮モデル, EW 方向）

EL. (m)	質点 番号	最大応答変位 (cm)			
		Ss-D1	Ss-21	Ss-22	Ss-31
22.00	1	4.55	2.62	4.05	4.97
18.00	2	3.59	2.04	3.22	4.07
14.00	3	2.17	1.26	1.99	2.56
11.20	4	1.57	0.88	1.41	1.89
8.20	5	0.92	0.49	0.77	1.18

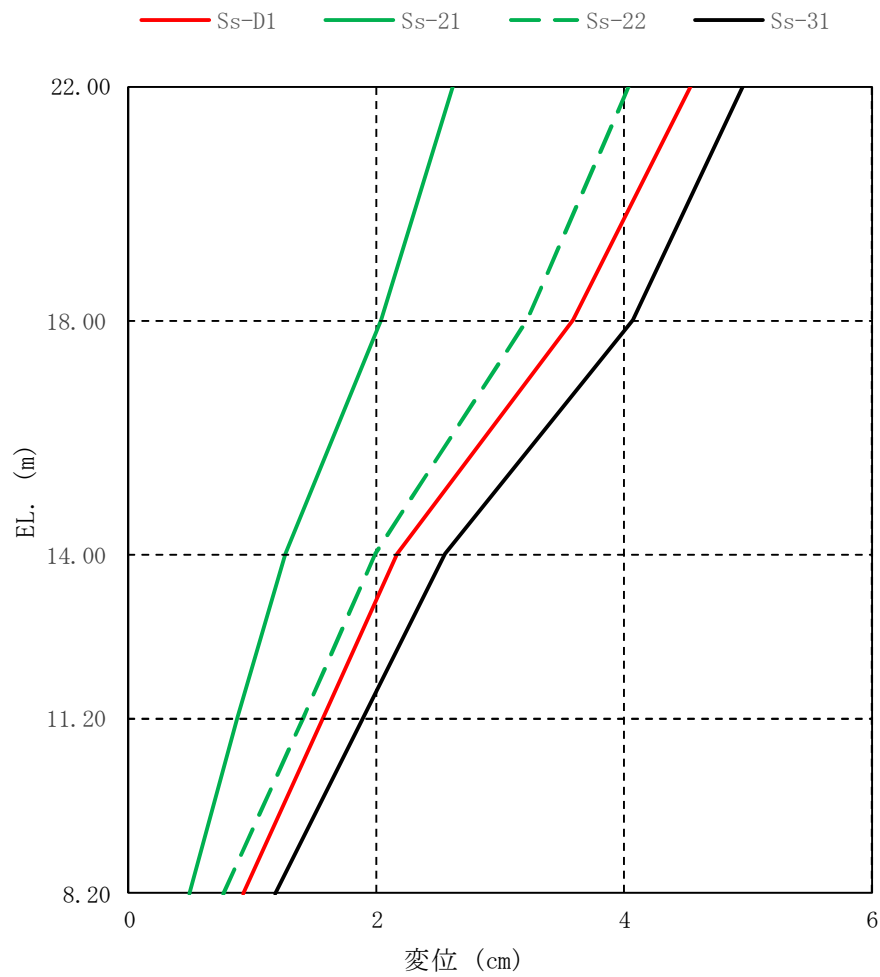


図 4-2 最大応答変位（基準地震動 Ss, 地盤剛性+ $\sigma$  考慮モデル, EW 方向）

表 4-5 最大応答変位一覧（基準地震動 Ss, 地盤剛性- $\sigma$  考慮モデル, EW 方向）

EL. (m)	質点 番号	最大応答変位 (cm)			
		Ss-D1	Ss-21	Ss-22	Ss-31
22.00	1	4.54	2.55	3.56	5.22
18.00	2	3.64	1.99	2.83	4.33
14.00	3	2.37	1.20	1.78	2.96
11.20	4	1.75	0.83	1.27	2.32
8.20	5	1.11	0.48	0.73	1.65

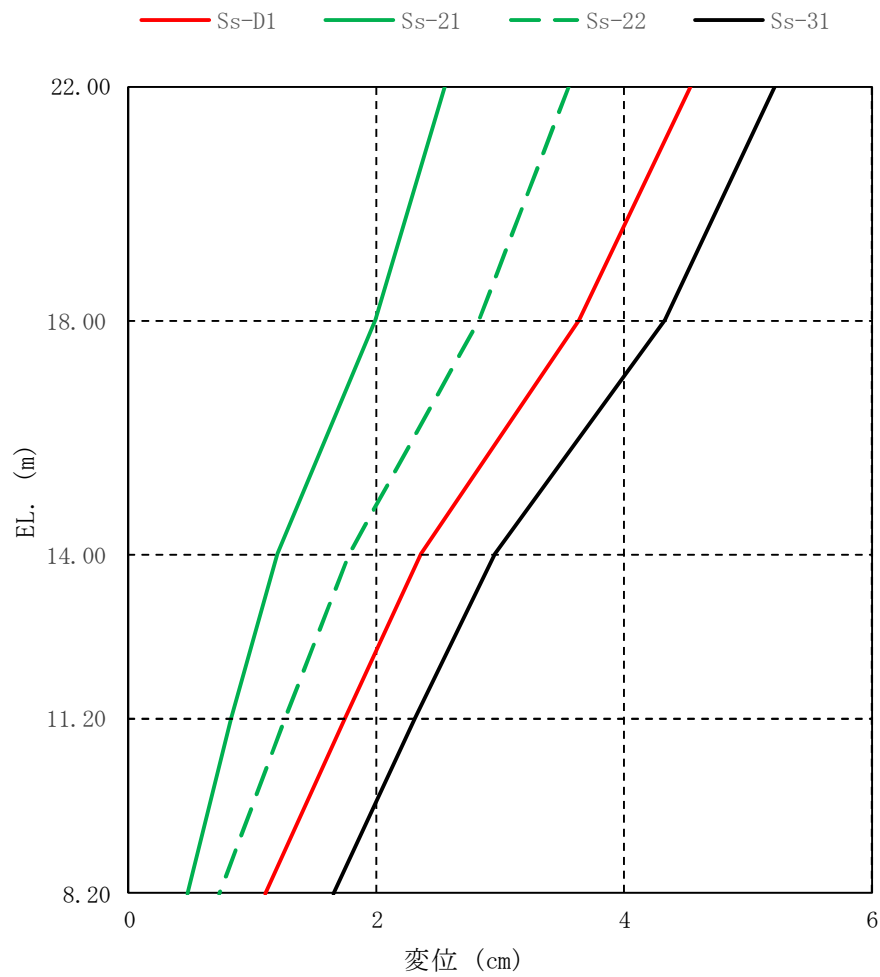


図 4-3 最大応答変位（基準地震動 Ss, 地盤剛性- $\sigma$  考慮モデル, EW 方向）

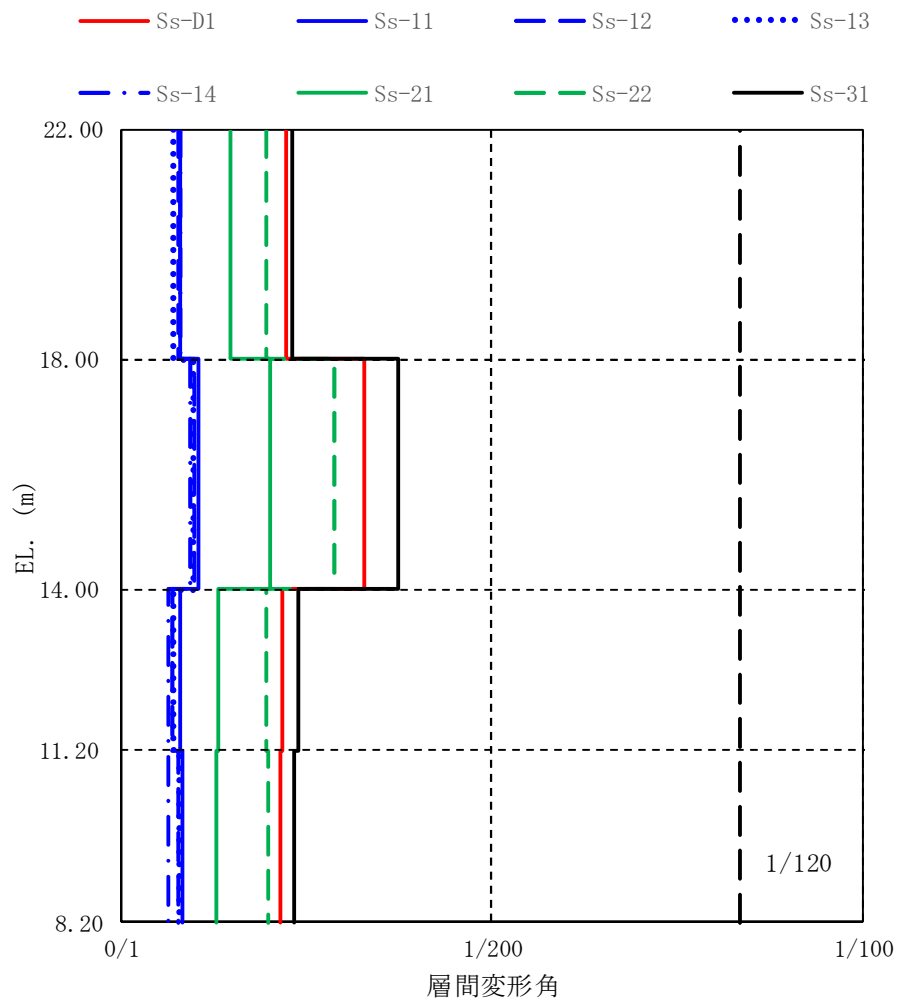


図 4-4 最大層間変形角 (基準地震動 Ss, 工認モデル, EW 方向)

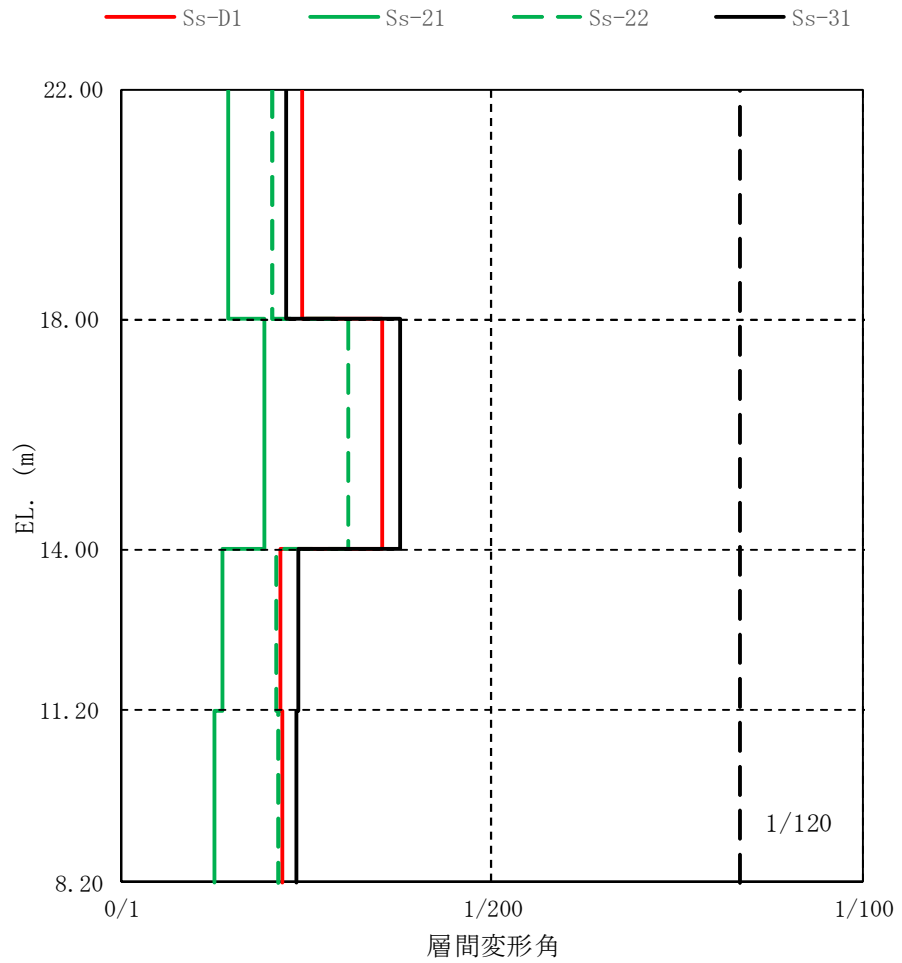


図 4-5 最大層間変形角（基準地震動 Ss，地盤剛性+ $\sigma$  考慮モデル，EW 方向）

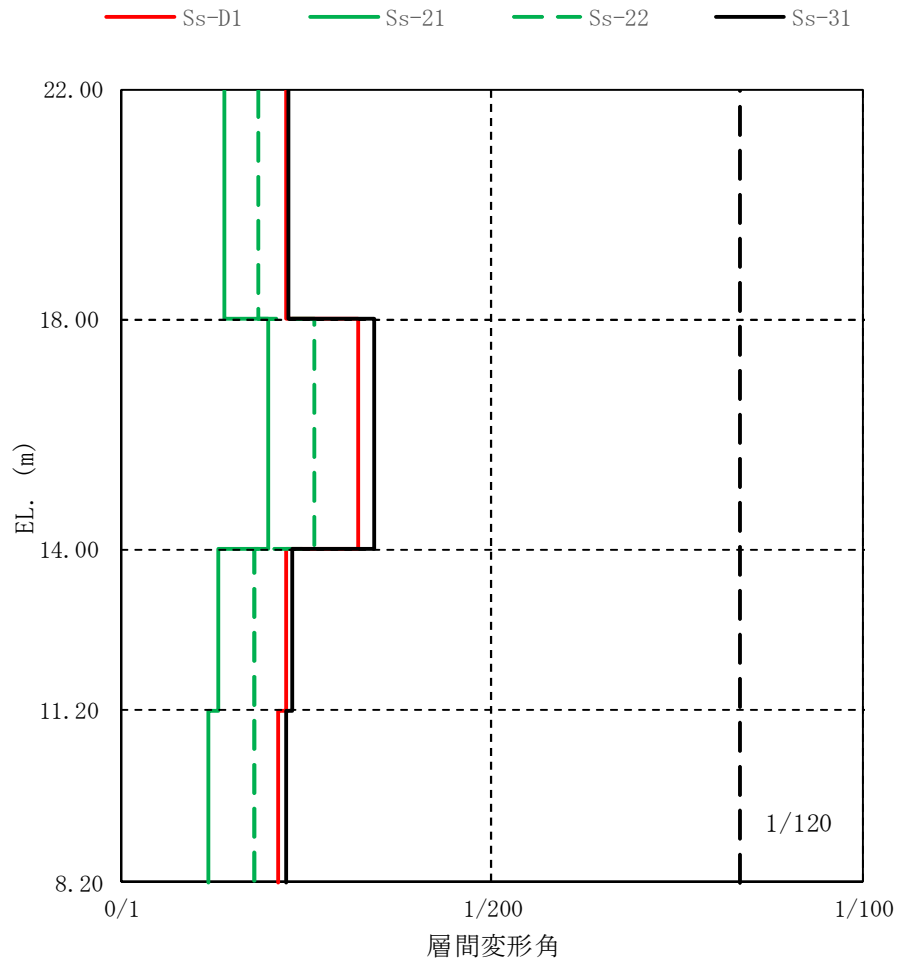


図 4-6 最大層間変形角（基準地震動 Ss，地盤剛性- $\sigma$  考慮モデル，EW 方向）

## 5. 原子炉建屋への影響の評価

### 5.1 建屋間の最大相対変位

最大相対変位は「地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果」に示すサービス建屋の最大変位と資料V-2-2-2「原子炉建屋の地震応答計算書」及び補足-400-3「地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」における地震応答解析結果から求める。

サービス建屋と原子炉建屋の最大相対変位を表 5-1 に示す。なお、最大相対変位は各建屋の最大変位の絶対値和として求める。

最大相対変位は、49.7mm (Ss-31, 地盤剛性- $\sigma$  考慮モデル) となり、サービス建屋と原子炉建屋間のクリアランス (50mm) 以下となるため、建屋間に衝突は起こらない。



表 5-1 サービス建屋と原子炉建屋との絶対値和による最大相対変位

(1) 工認モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)							
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D1	S <sub>s</sub> -11	S <sub>s</sub> -12	S <sub>s</sub> -13	S <sub>s</sub> -14	S <sub>s</sub> -21	S <sub>s</sub> -22	S <sub>s</sub> -31
1	22.00	※1	22.00	45.1	16.0	14.8	14.8	14.1	24.8	39.1	49.5
3	14.00	8	14.00	17.0	6.4	5.7	5.8	5.0	9.6	14.3	18.9

(2) 地盤剛性+σ考慮モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)			
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D1	S <sub>s</sub> -21	S <sub>s</sub> -22	S <sub>s</sub> -31
1	22.00	※1	22.00	45.5	24.9	41.1	49.4
3	14.00	8	14.00	16.5	9.7	14.3	18.7

(3) 地盤剛性-σ考慮モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)			
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D1	S <sub>s</sub> -21	S <sub>s</sub> -22	S <sub>s</sub> -31
1	22.00	※1	22.00	44.3	24.8	36.1	49.7
3	14.00	8	14.00	17.2	9.5	13.7	19.4

※1：原子炉建屋の EL. 22.00m の応答は、質点番号 6 (EL. 29.00m) と質点番号 7 (EL. 20.30m) の応答を線形補間して算定する。

## 5.2 原子炉建屋のねじれを考慮した検討

補足-340-7「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について 別紙 3 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析」では、3 次元 FEM モデルによる 3 次元的な応答性状を踏まえた定量的な耐震評価を行うため、質点系モデルの応答を補正する補正比率を求めている。ここでは、原子炉建屋の応答変位にねじれ振動の応答補正比率  $\beta$  を乗じてねじれ振動を考慮した応答変位を求め、タービン建屋との層間変位を算出し、原子炉建屋のねじれ振動による影響を評価する。

ねじれ振動の応答補正係数  $\beta$  を表 5-2 に、サービス建屋と原子炉建屋の絶対値和による相対変位を表 5-3 に示す。表に示すように絶対値和による最大相対変位は建屋間のクリアランス 50 mm を超過する。最大相対変位が建屋間のクリアランスを超える箇所について、時刻歴応答変位による時刻歴相対変位の最大値を表 5-4 及び図 5-1 に示す。時刻歴相対変位は建屋間のクリアランス (50 mm) 以下となっている。

表 5-2 原子炉建屋の応答補正比率  $\beta$

地震応答 解析モデル 質点番号	EL. (m)	応答補正倍率 $\beta^*$
1	63.65	1.24
2	57.00	1.12
3	46.50	1.26
4	38.80	1.28
5	34.70	1.26
6	29.00	1.21
7	20.30	1.08
8	14.00	1.06
9	8.20	1.00
10	2.00	1.02

※ 1.0 を下回る場合は 1.0 とする。

表 5-3 サービス建屋と原子炉建屋との絶対値和による最大相対変位  
(原子炉建屋のねじれ影響考慮)

(1) 工認モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)							
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -1 1	S <sub>s</sub> -1 2	S <sub>s</sub> -1 3	S <sub>s</sub> -1 4	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
1	22.00	※1	22.00	46.6	16.7	15.5	15.6	14.6	25.5	40.1	<u>50.4</u>
3	14.00	8	14.00	17.5	6.6	6.0	6.1	5.2	9.9	14.6	21.4

(2) 地盤剛性+σ考慮モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)			
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
1	22.00	※1	22.00	47.1	25.6	42.2	49.9
3	14.00	8	14.00	17.1	9.9	14.7	21.2

(3) 地盤剛性-σ考慮モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)			
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
1	22.00	※1	22.00	46.2	25.4	37.2	<u>51.4</u>
3	14.00	8	14.00	18.0	9.7	14.1	22.4

※1：原子炉建屋の EL. 22.00m の応答は、質点番号 6 (EL. 29.00m) と質点番号 7 (EL. 20.30m) の応答を線形補間して算定する。

※2：アンダーラインは建屋間のクリアランス (50mm) を超える値を示す。

表 5-4 サービス建屋と原子炉建屋との時刻歴相対変位の最大値  
(原子炉建屋のねじれ影響考慮)

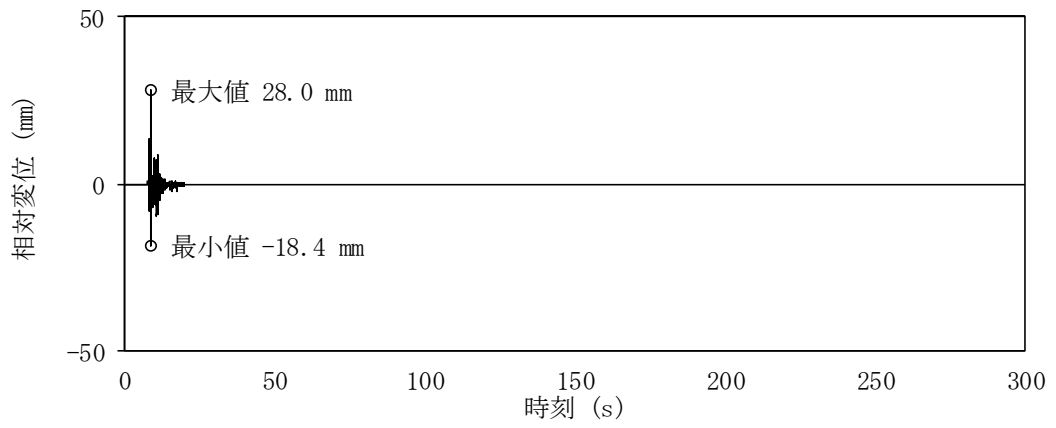
(1) 工認モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)							
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -1 1	S <sub>s</sub> -1 2	S <sub>s</sub> -1 3	S <sub>s</sub> -1 4	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
1	22.00	※1	22.00	—	—	—	—	—	—	—	28.0
3	14.00	8	14.00	—	—	—	—	—	—	—	—

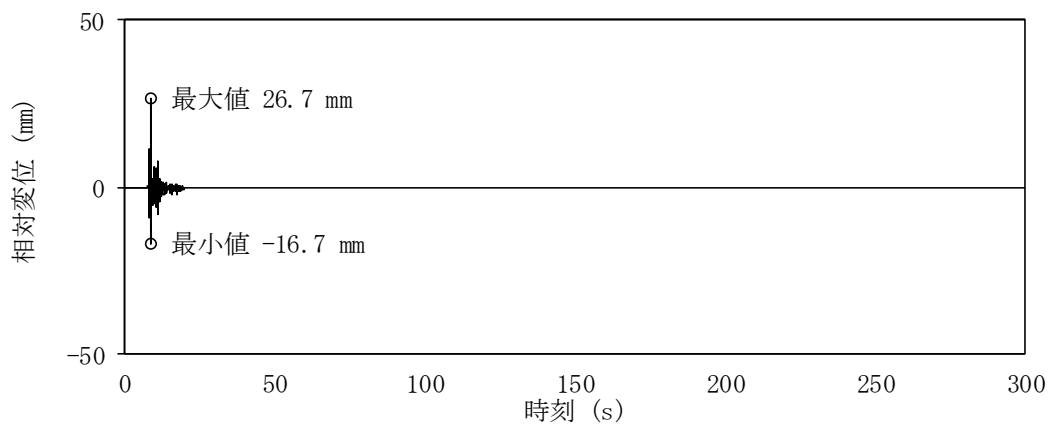
(2) 地盤剛性-σ考慮モデル

サービス建屋		原子炉建屋		最大相対変位 (mm)			
質点番号	高さ (EL. +m)	質点番号	高さ (EL. +m)	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
1	22.00	※1	22.00	—	—	—	26.7
3	14.00	8	14.00	—	—	—	—

※1 : 原子炉建屋の EL. 22.00m の応答は、質点番号 6 (EL. 29.00m) と質点番号 7 (EL. 20.30m) の応答を線形補間して算定する。



(1) S<sub>s</sub>-31, EL. 22.00 m (工認モデル)



(2) S<sub>s</sub>-31, EL. 22.0 m (地盤剛性-σ考慮モデル)

図 5-1 時刻歴相対変位