

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-18 改 02
提出年月日	2023年4月24日

排気筒モニタ室の耐震性についての計算書に関する
補足説明資料

2023年4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-2-11-2-1-6「排気筒モニタ室の耐震性についての計算書」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解析モデル及び手法

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 排気筒モニタ室の地震応答解析結果

別紙 4 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 4-1 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 4-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 1 地震応答解析における解析モデル及び手法

目 次

1. 概要……………別紙 1-1
2. 地震応答解析モデル及び手法……………別紙 1-2

1. 概要

本資料は，排気筒モニタ室の地震応答解析モデル及び手法を示すものである。

2. 地震応答解析モデル及び手法

排気筒モニタ室の地震応答解析モデル及び手法を表 2-1 に示す。また、地震応答解析モデルを図 2-1 に、排気筒モニタ室の設置状況を図 2-2 に示す。

表 2-1 地震応答解析モデル及び手法

項目	内容	既工認 ^{*1}	今回工認	備考
入力地震動の算定法		—	VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」で算定した基準地震動 S_s による排気筒（鉄塔）の基礎上端位置の応答を入力	—
解析コード		—	NUPP4	—
建物のモデル化	モデル	—	・水平：1質点系モデル ^{*2}	—
	材料物性	—	RC規準に基づき設定 ・コンクリートのヤング係数，ポアソン比 $E = 2.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.2$	①
	剛性評価	—	耐震壁を考慮	—
	減衰定数	—	・水平方向：RC：5%	—
非線形特性	耐震壁	—	・水平方向：考慮	②，③

注記*1：既工認なし

*2：排気筒モニタ室は排気筒の基礎に設置されていることから1階床面（EL 8.8m）を固定とする。

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- ① コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、「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—」（（社）日本建築学会，1999改定）に基づく。
- ② 「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）に基づく。
- ③ 耐震壁の非線形特性の設定については別紙 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」に示す。

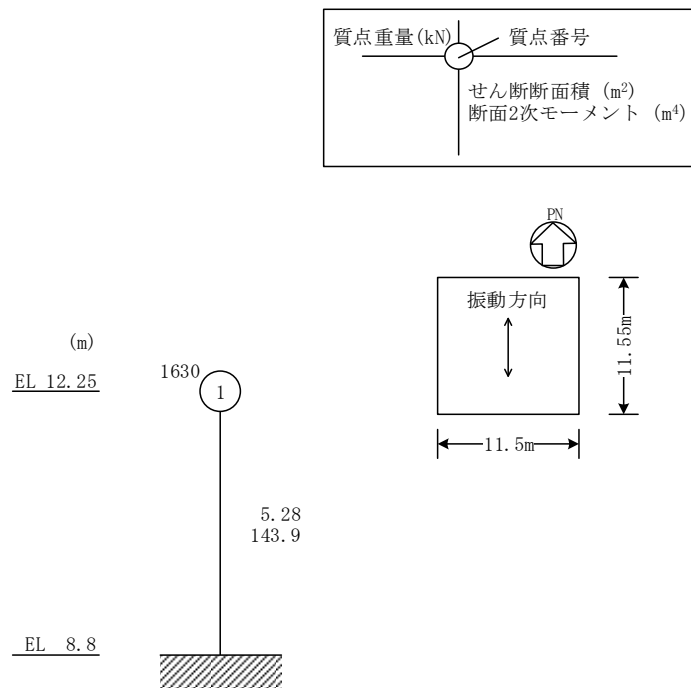


図 2-1 (1) 地震応答解析モデル (NS 方向)

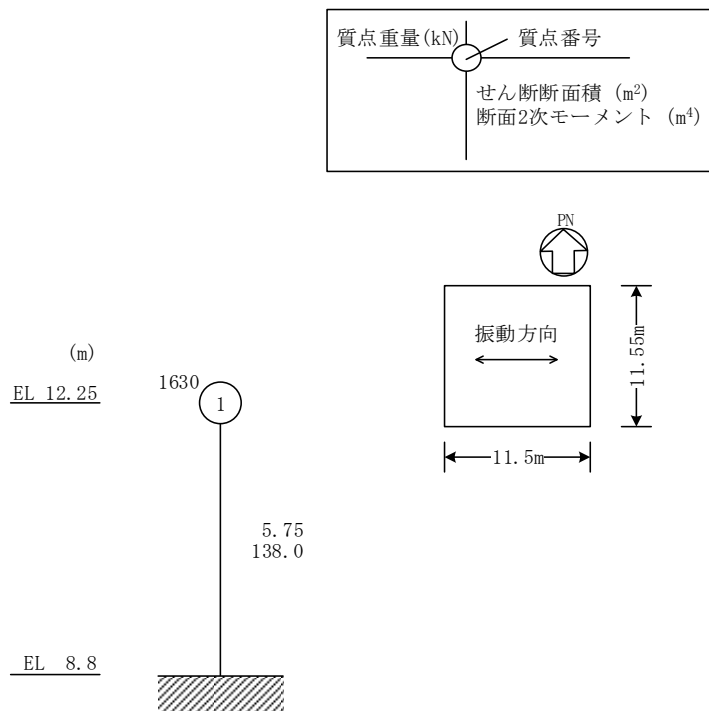


図 2-1 (2) 地震応答解析モデル (EW 方向)

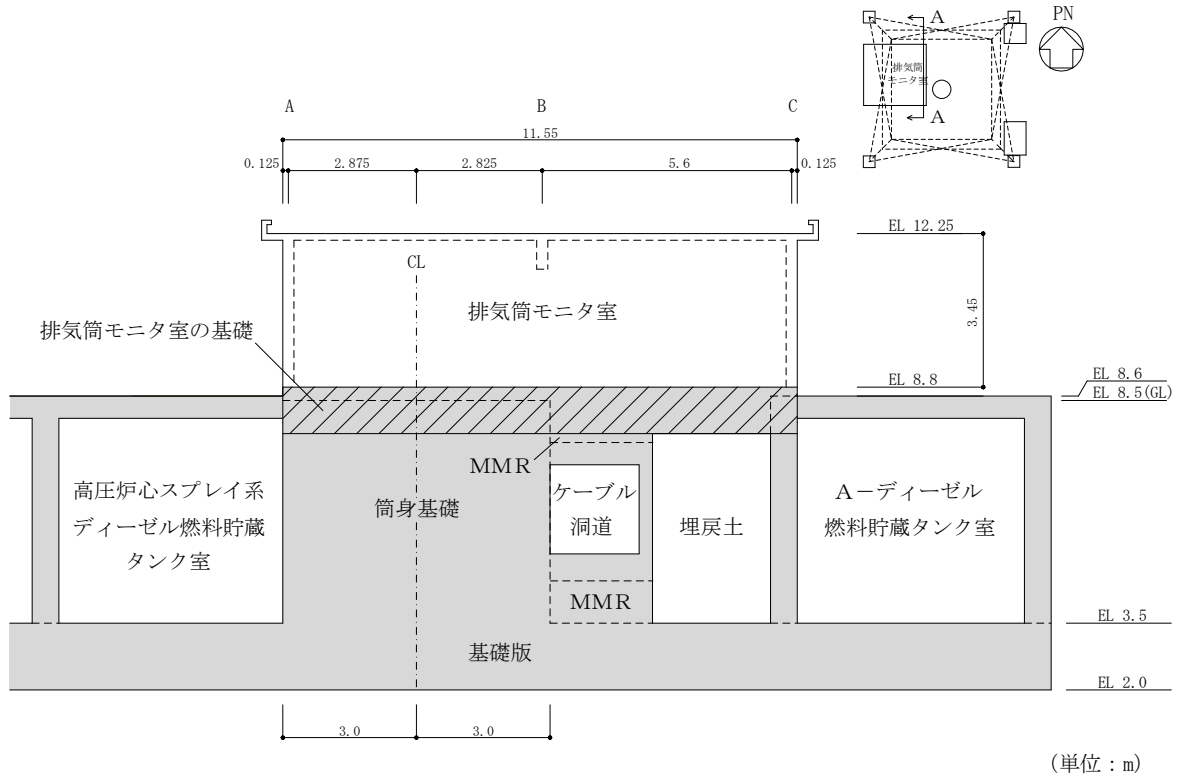


図 2-2(1) 排気筒モニタ室の設置状況 (A-A断面, NS方向)

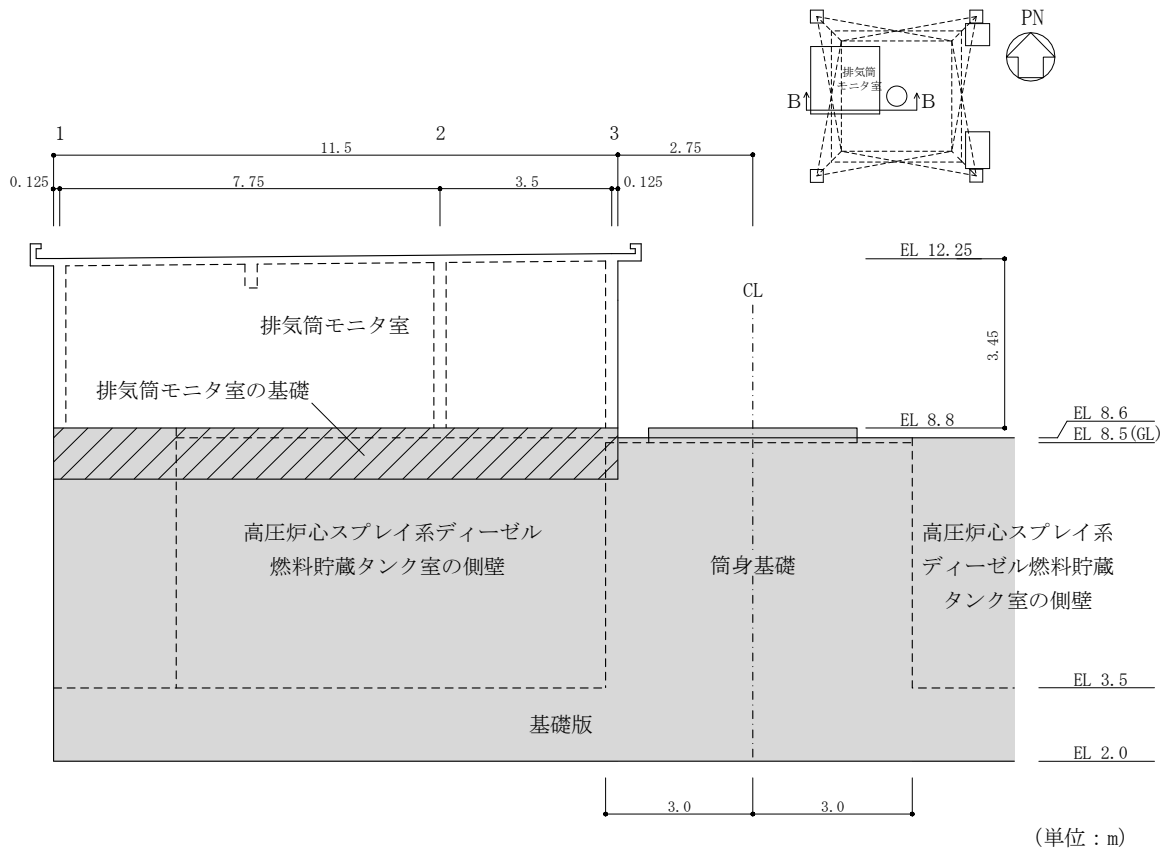


図 2-2(2) 排気筒モニタ室の設置状況 (B-B断面, EW方向)

別紙 3 排気筒モニタ室の地震応答解析結果

目次

1. 概要	別紙 3-1
2. 固有値解析結果	別紙 3-2
3. 地震応答解析結果	別紙 3-5

1. 概要

本資料は、排気筒モニタ室の波及的影響評価を行っているNS方向及びEW方向について、基準地震動S_sに基づく基本ケースの地震応答解析結果を示すものである。

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 2-1 に示す。刺激関数図を図 2-1 及び図 2-2 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。

固有値解析には, 解析コード「NUPP4」を用いる。

表 2-1 固有値解析結果

(a) N S 方向

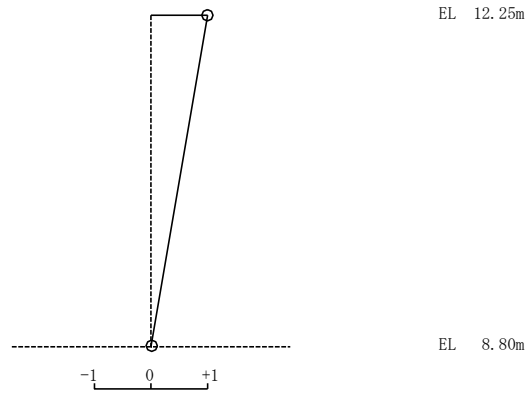
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.023	44.43	1.000	建物 1 次

(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	0.022	46.18	1.000	建物 1 次

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。

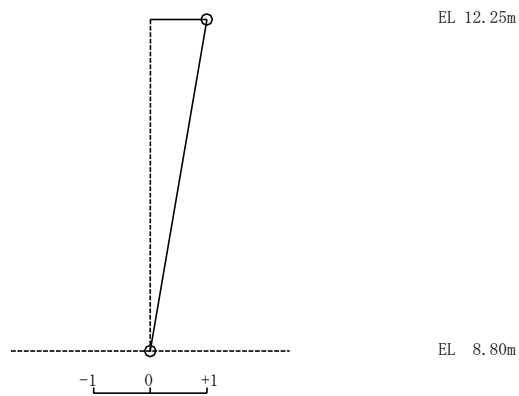
固有周期 0.023 s
固有振動数 44.43 Hz
刺激係数 1.000



1次 モード

図 2-1 刺激関数図 (NS 方向)

固有周期 0.022 s
固有振動数 46.18 Hz
刺激係数 1.000



1次 モード

図 2-2 刺激関数図 (EW 方向)

3. 地震応答解析結果

基準地震動 S_s による基本ケースの最大応答値を図 3-1～図 3-8 及び表 3-1～表 3-10 に示す。

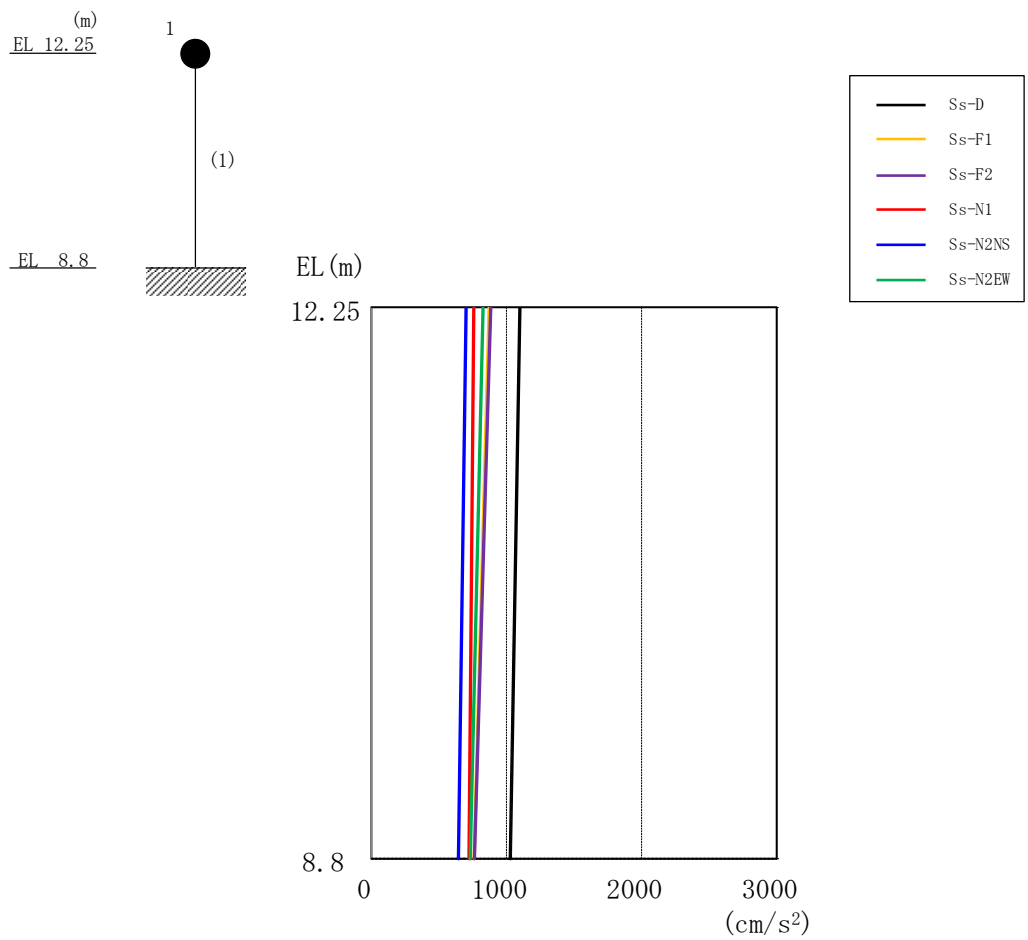


図 3-1 最大応答加速度（基準地震動 S_s ，NS 方向）

表 3-1 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
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
12.25	1	1099	871	885	758	702	828	1099

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。

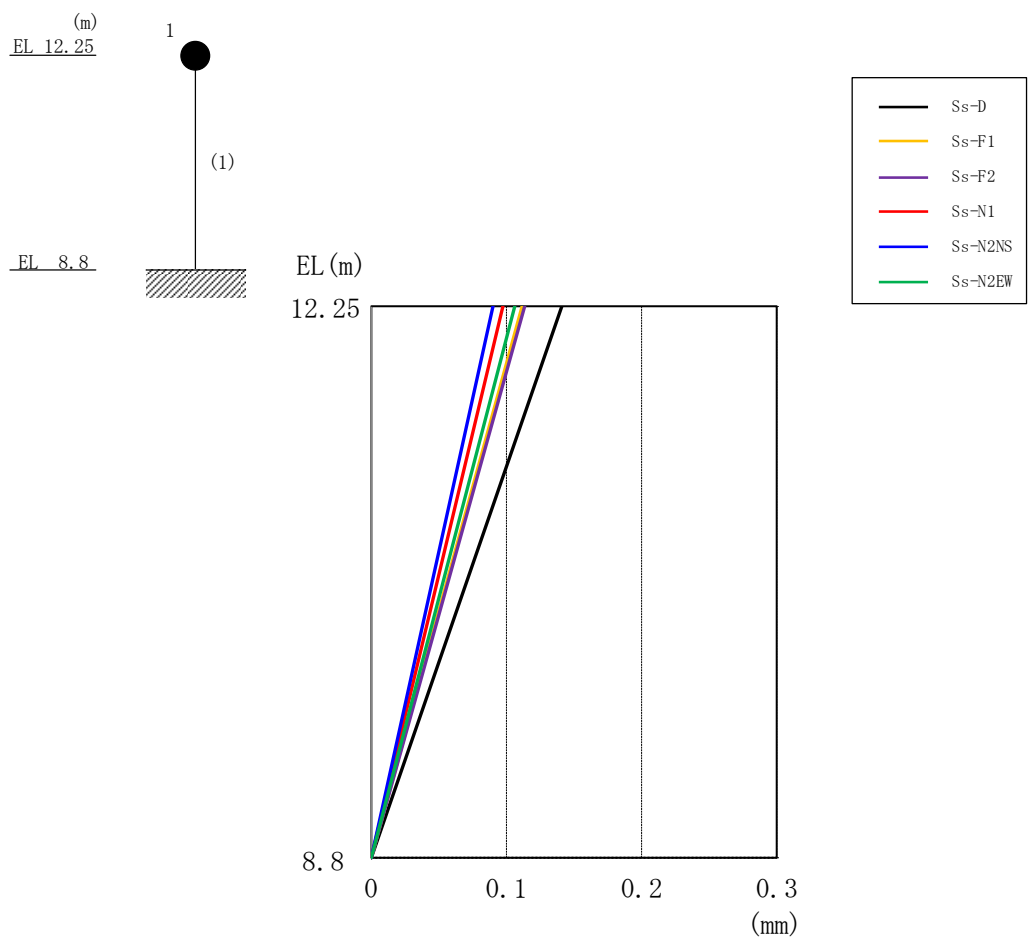


図 3-2 最大応答変位 (基準地震動 S_s , NS 方向)

表 3-2 最大応答変位一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向)

EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
12.25	1	0.14	0.11	0.11	0.10	0.09	0.11	0.14

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。

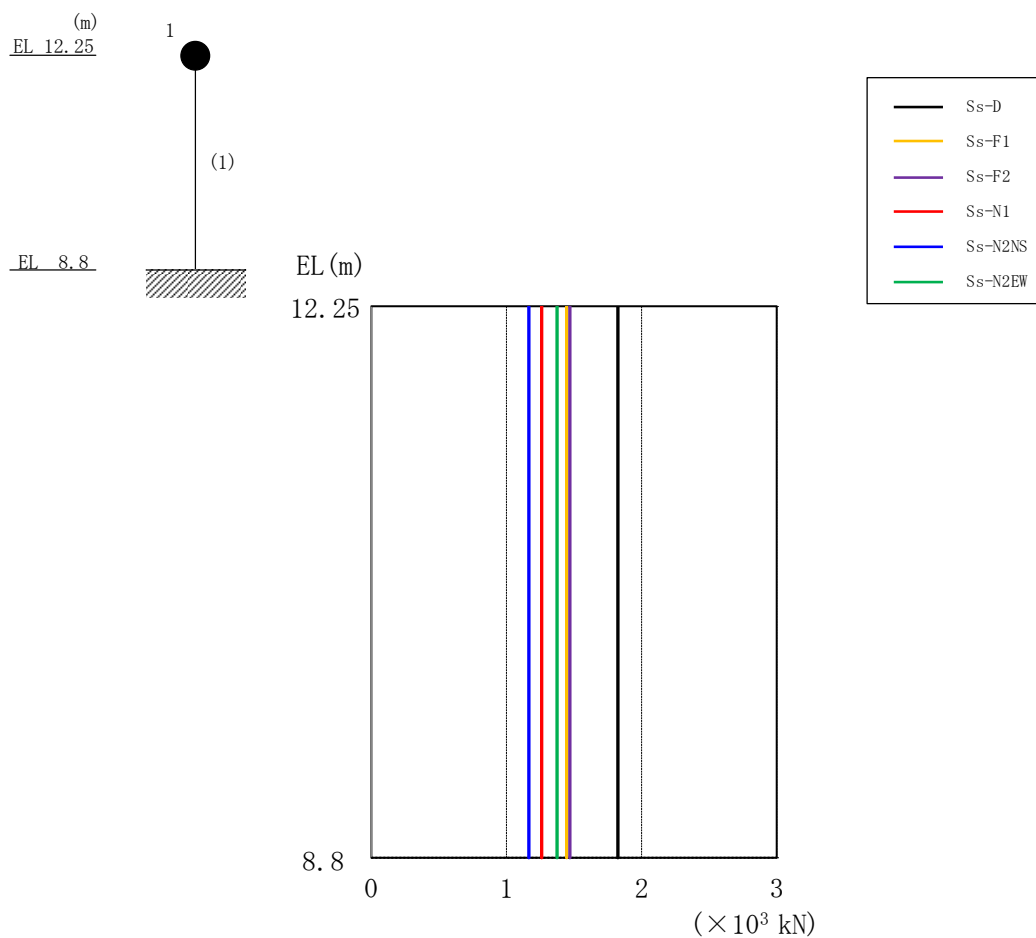


図 3-3 最大応答せん断力（基準地震動 S_s ，NS 方向）

表 3-3 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 ($\times 10^3$ kN)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
12.25~8.8	1	1.83	1.45	1.47	1.26	1.17	1.37	1.83

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。

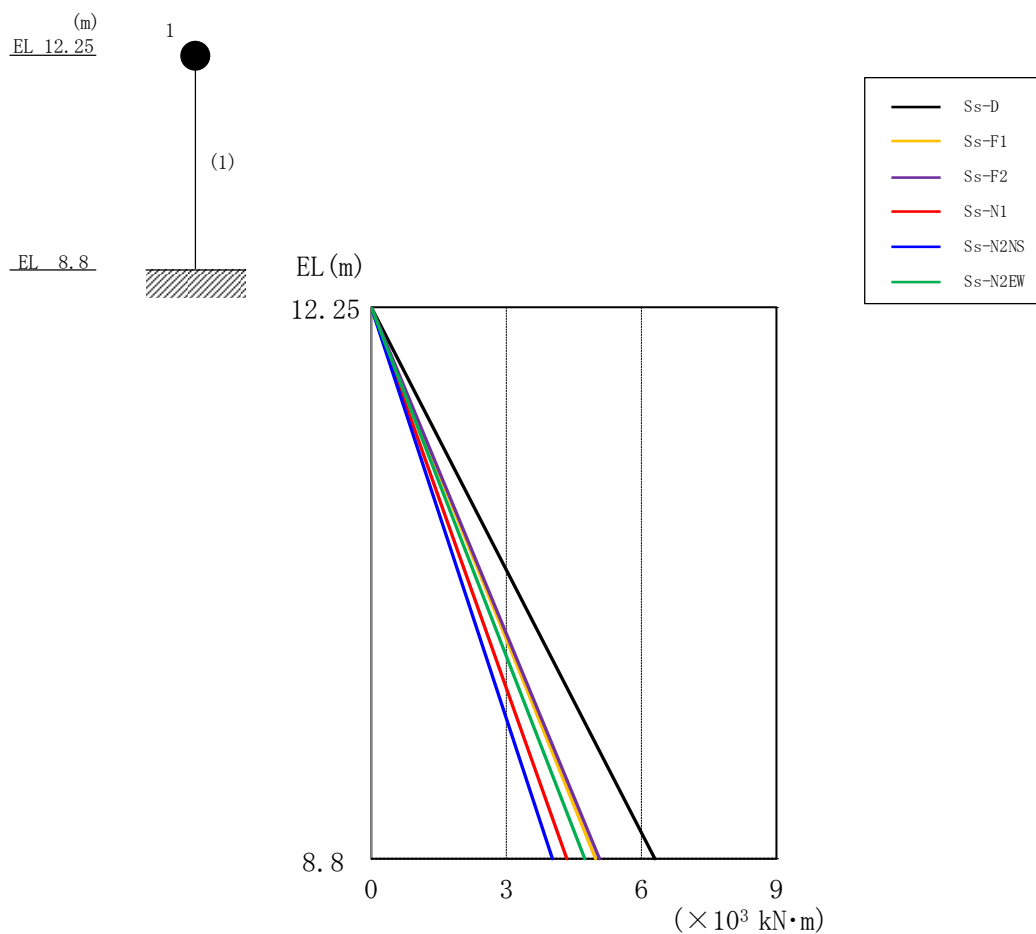


図 3-4 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s , NS 方向)

表 3-4 最大応答曲げモーメント一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向)

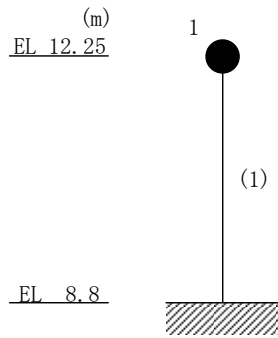
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^3$ kN·m)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
12.25~8.8	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		6.30	4.99	5.07	4.35	4.02	4.74	6.30

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。

表 3-5 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)						
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	最大値
12.25~8.8	1	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04

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。



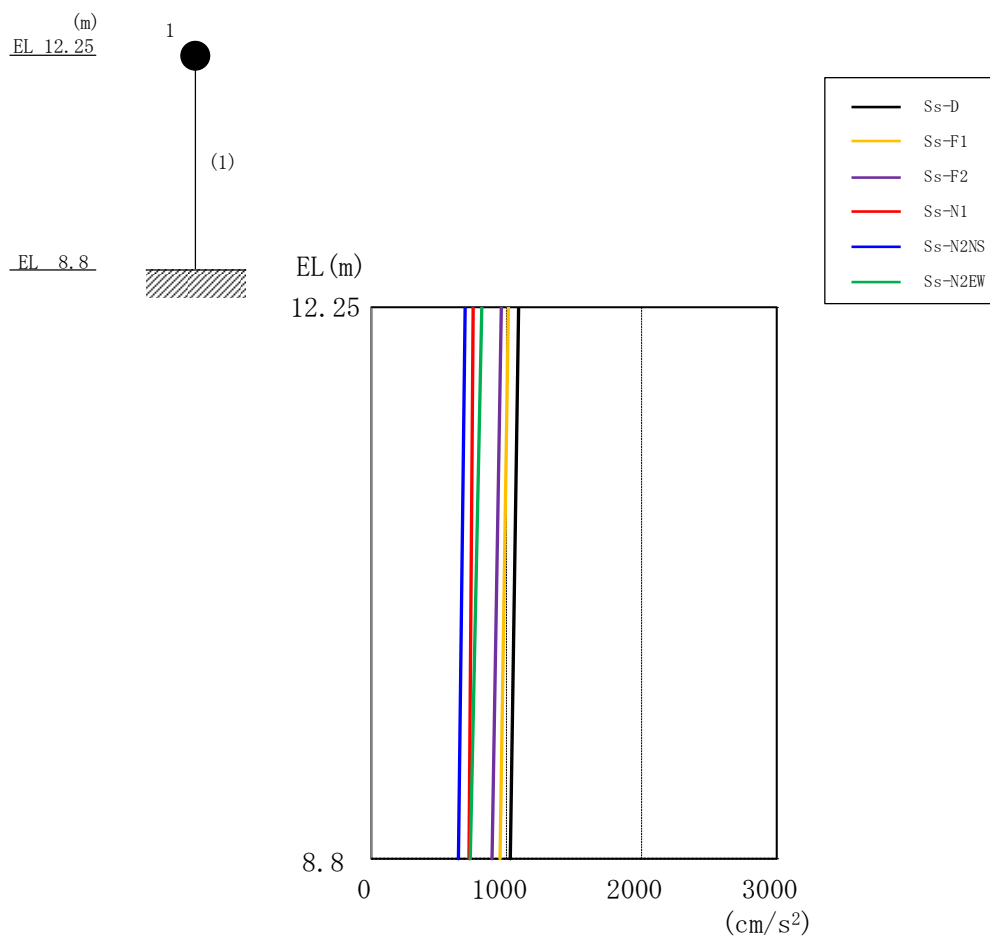


図 3-5 最大応答加速度（基準地震動 S_s ，EW 方向）

表 3-6 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	
12.25	1	1090	1015	961	753	695	816	1090

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。

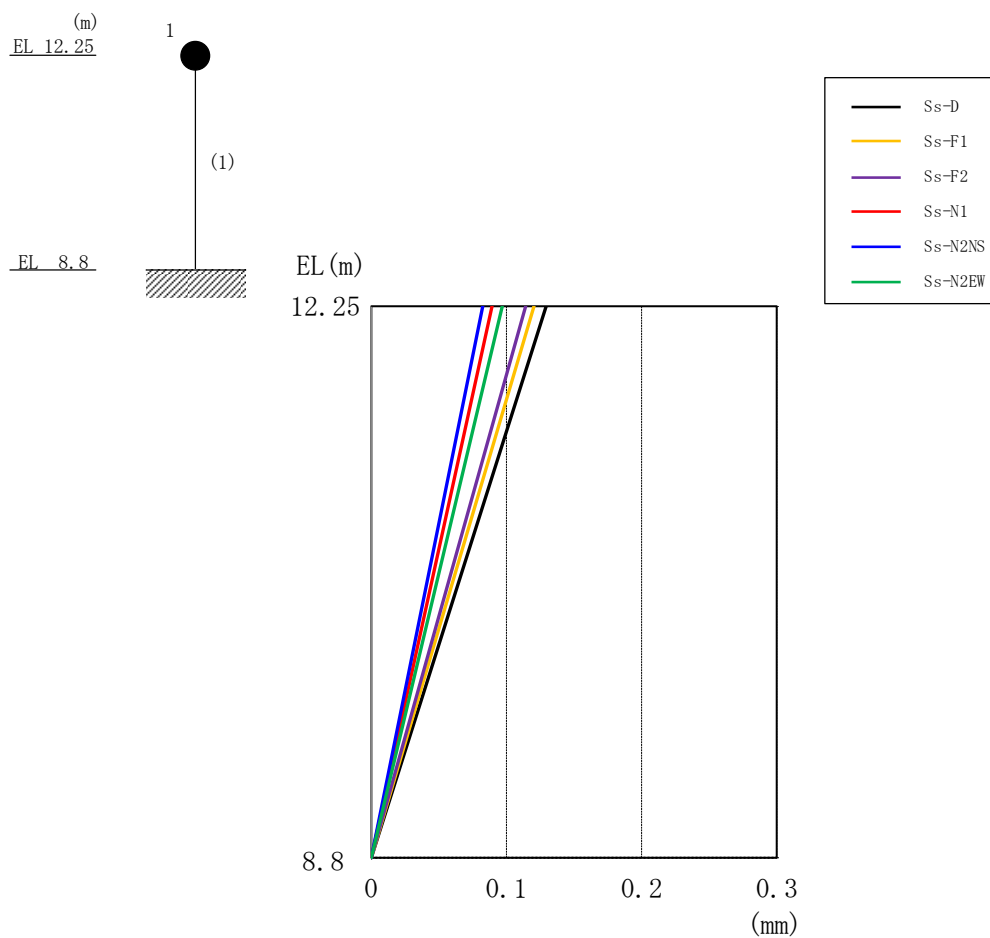


図 3-6 最大応答変位 (基準地震動 S_s , EW 方向)

表 3-7 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	
12.25	1	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08	0.10	0.13

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。

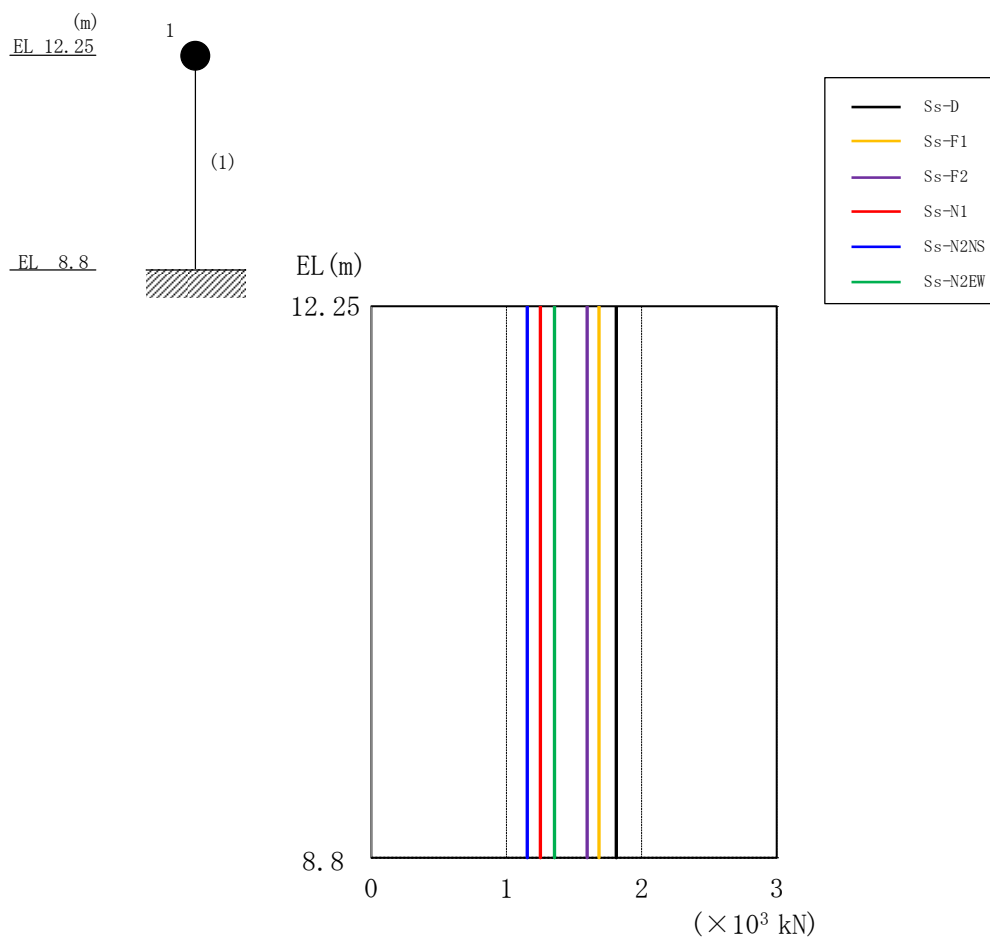


図 3-7 最大応答せん断力（基準地震動 S_s ，EW 方向）

表 3-8 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 ($\times 10^3$ kN)						最大値
		Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
12.25~8.8	1	1.81	1.69	1.60	1.25	1.15	1.36	1.81

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。

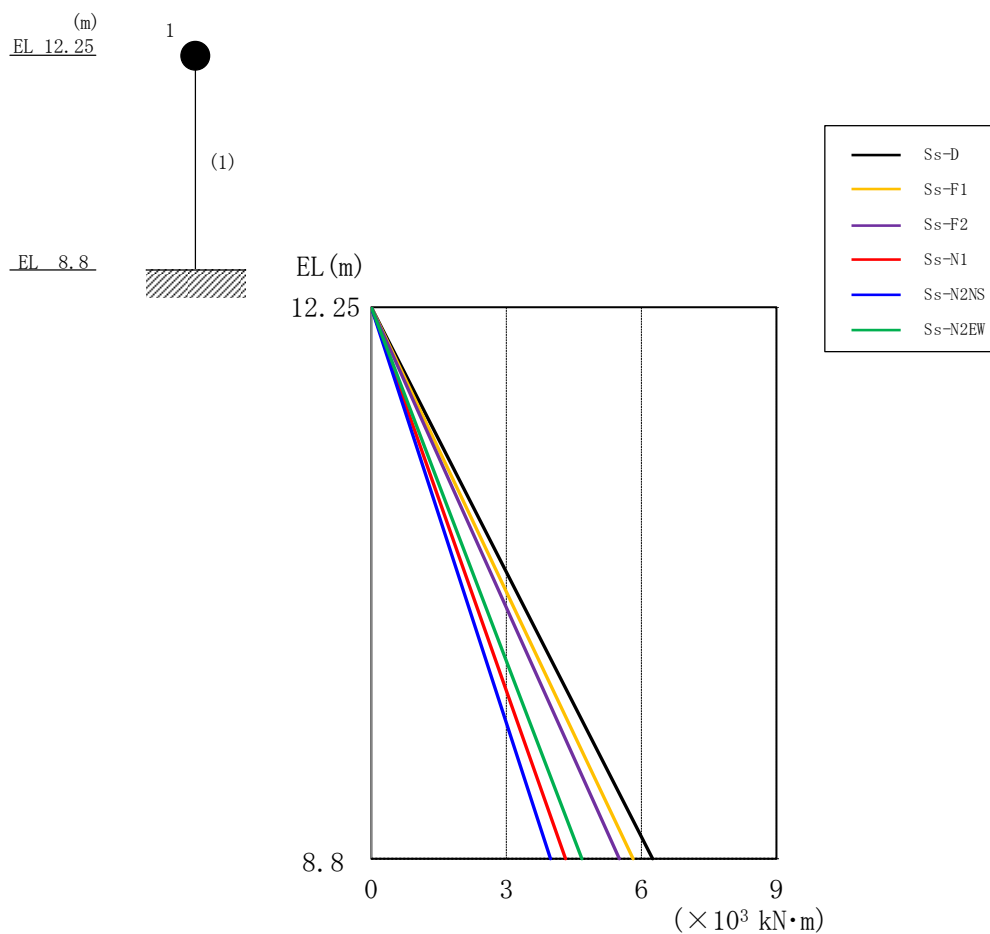


図 3-8 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s , EW 方向)

表 3-9 最大応答曲げモーメント一覧 (基準地震動 S_s , EW 方向)

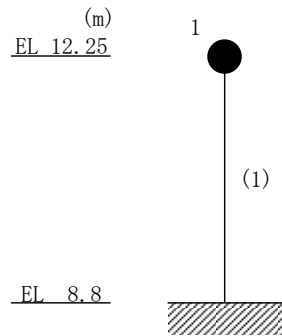
EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^3$ kN·m)						最大値
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	
12.25~8.8	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
		6.25	5.82	5.51	4.32	3.98	4.68	6.25

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 3-10 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 ($\times 10^{-3}$)						
		S_s -D	S_s -F1	S_s -F2	S_s -N1	S_s -N2NS	S_s -N2EW	最大値
12.25~8.8	1	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04

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。



別紙 4 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

目次

1. 概要	別紙 4-1
1.1 検討概要	別紙 4-1
1.2 検討方針	別紙 4-2
2. 材料物性の不確かさの分析	別紙 4-3
2.1 建物剛性の不確かさ	別紙 4-3
2.2 地盤物性の不確かさ	別紙 4-3
2.3 積雪荷重との組合せ	別紙 4-3
3. 材料物性の不確かさの設定	別紙 4-4
3.1 不確かさを考慮した地震応答解析	別紙 4-4
3.2 材料物性の不確かさの設定	別紙 4-6
3.2.1 積雪荷重との組合せの設定	別紙 4-6
4. 地震応答解析による材料物性の不確かさの影響検討	別紙 4-7
4.1 検討概要	別紙 4-7
4.2 不確かさの影響検討	別紙 4-12
4.2.1 積雪荷重との組合せによる影響	別紙 4-12
4.3 まとめ	別紙 4-14

別紙 4-1 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 4-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

1. 概要

1.1 検討概要

本資料は、排気筒モニタ室の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について、「NS2-補-023-13 地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因の整理」に基づき説明するものである。

地震応答解析に用いる材料定数は材料物性の不確かさの変動幅を適切に考慮することとしているが、本資料では、地震応答解析結果に影響を及ぼす建物・構築物の剛性（コンクリート強度、補助壁）及び地盤物性（地盤のS波速度）の不確かさについて検討を行うとともに、その変動幅を設定し、地震応答解析結果における影響を検討する。なお、本資料では積雪荷重との組合せを考慮したケース（以下「積雪ケース」という。）による影響についても検討する。

1.2 検討方針

建物・構築物の耐震性評価に用いる動的地震力は、各建物・構築物の地震応答解析（時刻歴応答解析法）により求められており、地盤物性、建物・構築物の剛性、地盤のばね定数及び減衰定数、地震動の位相特性などの影響を受ける。特に床応答スペクトルの変動に影響を及ぼす要因は、建物・構築物の剛性及び地盤物性であることが確認されている。*

地震応答解析モデルの建物・構築物の剛性について、鉄筋コンクリート構造物においては、コンクリートの設計基準強度を用いて算出しているが、構造体コンクリートの強度が設計基準強度を上回るよう施工されるため、実構造物と地震応答解析モデルとで剛性が異なることが考えられる。また、地震応答解析モデルの設定に際して、耐震壁として考慮していない壁（以下「補助壁」という。）は剛性算定対象外としていることから、実現象においては補助壁が剛性に寄与することが考えられる。また、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤物性は地盤調査結果の平均値を基に算出していることから、地盤のS波速度の不確かさが建物・構築物の応答へ影響を及ぼすことが考えられる。

以上より、建物・構築物の剛性（以下「建物剛性」という。）の不確かさ要因としてはコンクリート強度及び補助壁を、地盤物性の不確かさ要因としては地盤のS波速度を考慮することとし、それぞれの不確かさが建物・構築物の地震応答に及ぼす影響について考察を行う。また、積雪荷重との組合せを考慮した場合についても考察を行う。

注記*：第29回耐震設計分科会資料 No. 29-4-5-7「参考資料 4.7 鉛直方向の設計用床応答スペクトルの拡幅率」（（社）日本電気協会（平成20年1月18日））

2. 材料物性の不確かさの分析

2.1 建物剛性の不確かさ

建物剛性の不確かさについては、コンクリート強度を実強度とし、補助壁を剛性に考慮することから、せん断スケルトン曲線の設定諸元のうち、コンクリート強度を実強度とすることによるコンクリート強度及び弾性係数の増加並びに補助壁を加えて設定することにより、剛性が上昇する。

部材の発生応力については、剛性の不確かさを考慮することにより、不確かさを考慮しないケース（以下「基本ケース」という。）に対して変動すると考えられるが、耐力については上昇する。また、変位及びせん断ひずみについては、剛性が上昇することから、基本ケースよりも小さくなると考えられる。

よって、建物・構築物の応答評価において、建物剛性の不確かさを考慮しない。

2.2 地盤物性の不確かさ

排気筒モニタ室は、排気筒の基礎に設置されており1階床面（EL 8.8m）を固定とした地震応答解析モデルにより評価を実施するため地盤ばねの変動はなく、また、地盤物性のばらつきに伴う排気筒基礎からの入力地震動による影響は小さい。よって、排気筒モニタ室の応答評価において、地盤物性の不確かさを考慮しない。

2.3 積雪荷重との組合せ

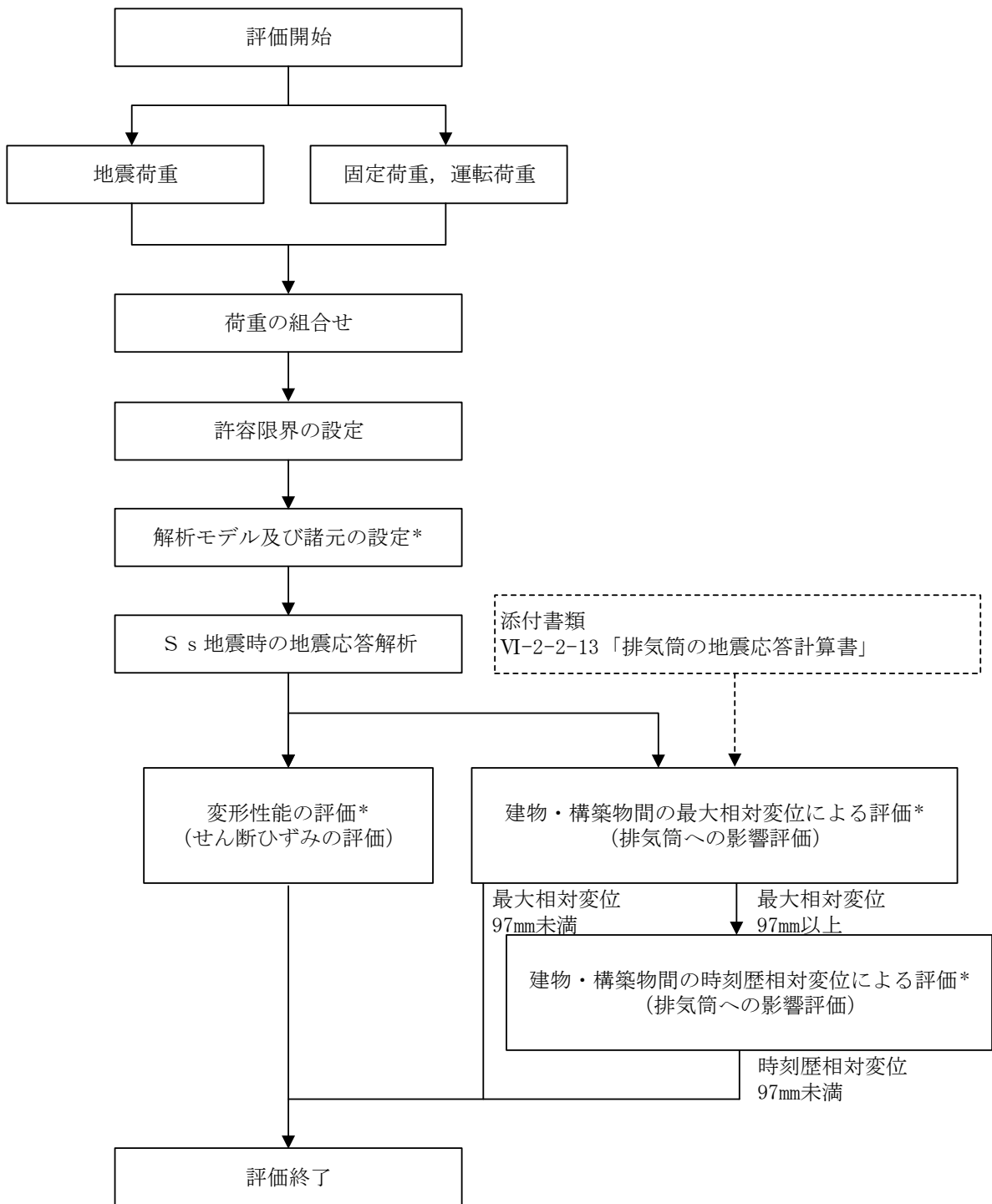
VI-2-1-9「機能維持の基本方針」において、積雪荷重については、積雪による受圧面積が小さい施設、又は埋設構造物等、常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除き、地震荷重と組み合わせることとしており、排気筒モニタ室を地震荷重と積雪荷重の組合せの検討対象としている。よって、排気筒モニタ室の応答評価において、地震荷重と積雪荷重との組合せを考慮する。

3. 材料物性の不確かさの設定

3.1 不確かさを考慮した地震応答解析

不確かさを考慮したケースの質点系モデルの応答値の算出に当たっては、基本ケースにおける建物応答を確認したうえで、建物応答への影響の大きい波に対して実施する（別紙 4-1「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」参照）。材料物性の不確かさを考慮した波及的影響の評価フローの例を図 3-1 に示す。

なお、材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果は別紙 4-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 波及的影響の評価フロー

3.2 材料物性の不確かさの設定

3.2.1 積雪荷重との組合せの設定

地震荷重と組み合わせる積雪荷重は、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」の「4. 組合せ」のとおり、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮して算出する。

4. 地震応答解析による材料物性の不確かさの影響検討

本章では、積雪荷重との組合せを考慮したモデルによる地震応答解析を実施し、材料物性の不確かさが建物の応答に及ぼす影響について確認する。

4.1 検討概要

積雪荷重との組合せを考慮して検討ケースを定め、建物応答への影響を確認する。

検討ケースを表 4-1 に、排気筒モニタ室の地震応答解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に示す。ここで、コンクリート強度を設計基準強度とした検討ケースを基本ケースとする。表中の塗りつぶし部分は、基本ケースと異なる設定をしているパラメータである。

表 4-1 検討ケース

検討ケース	建物剛性	地盤物性	備考
	コンクリート強度		
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	—	基本ケース
ケース 2 (積雪)	設計基準強度	—	積雪荷重との 組合せを考慮

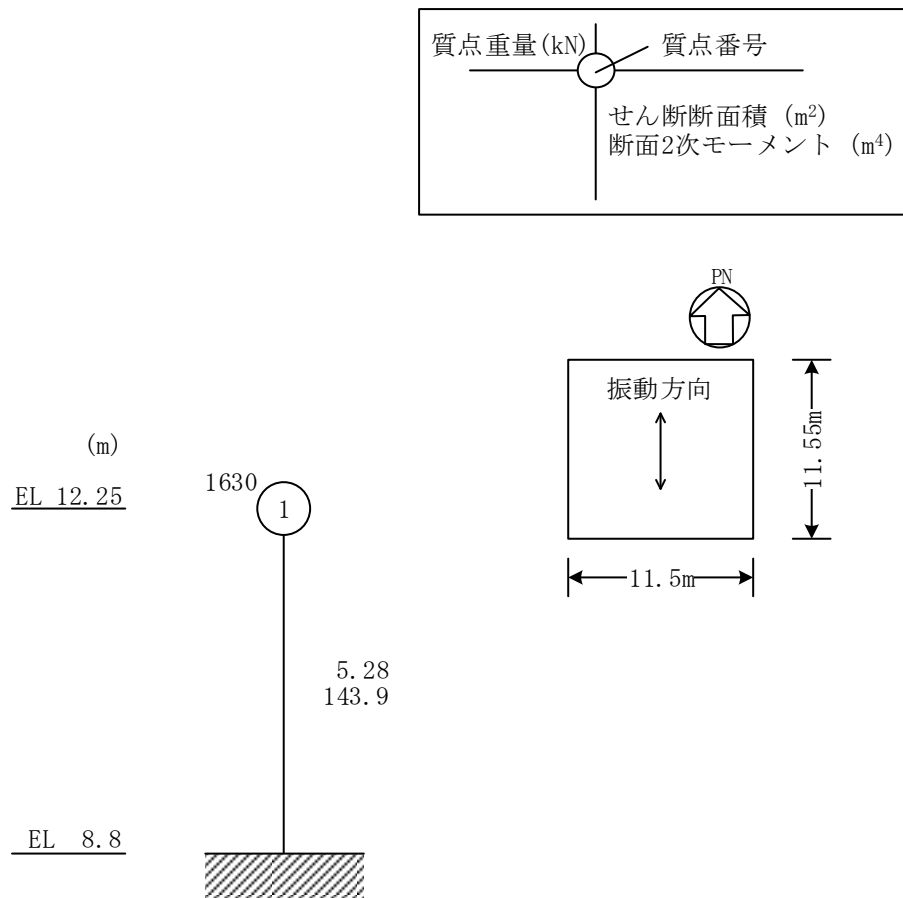


図 4-1(1) 排気筒モニタ室の地震応答解析モデル (ケース 1) (NS 方向)

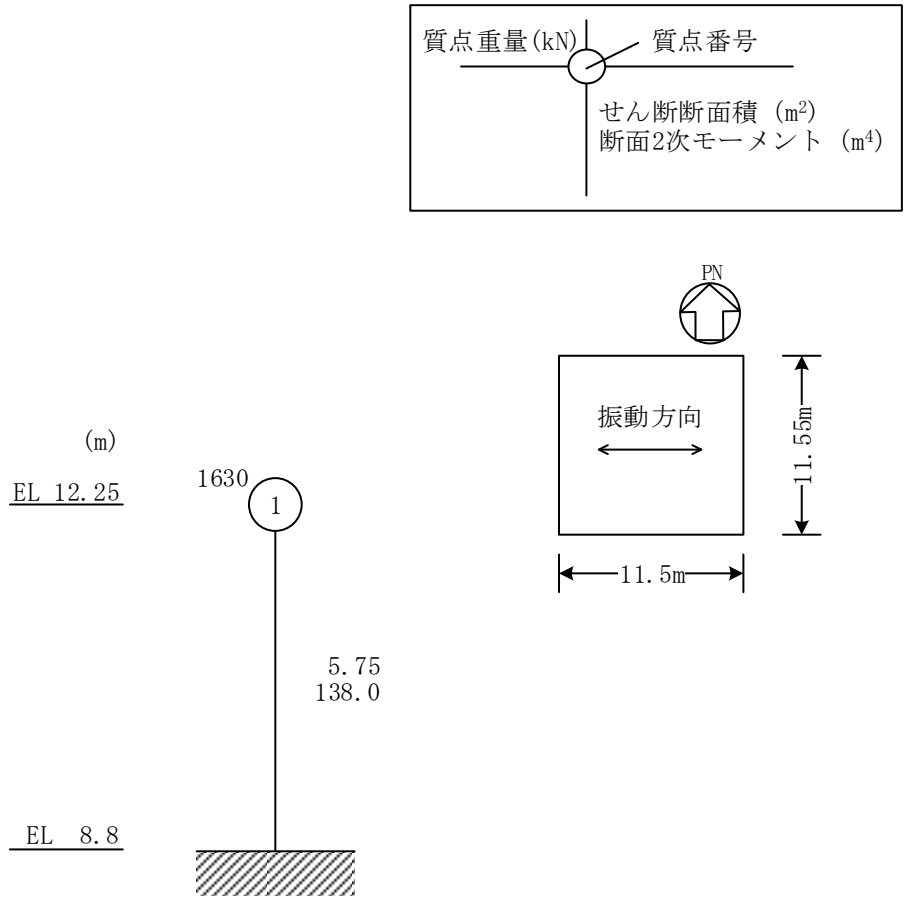


図 4-1(2) 排気筒モニタ室の地震応答解析モデル (ケース 1) (EW方向)

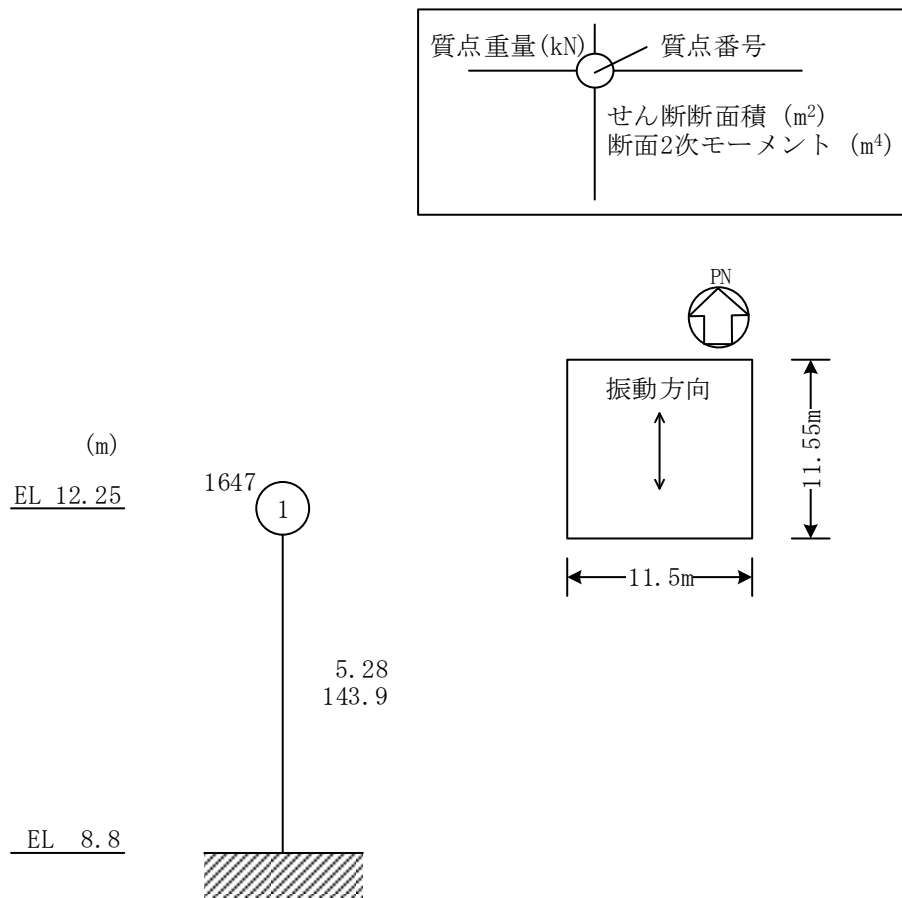


図 4-2(1) 排気筒モニタ室の地震応答解析モデル (ケース 2) (NS 方向)

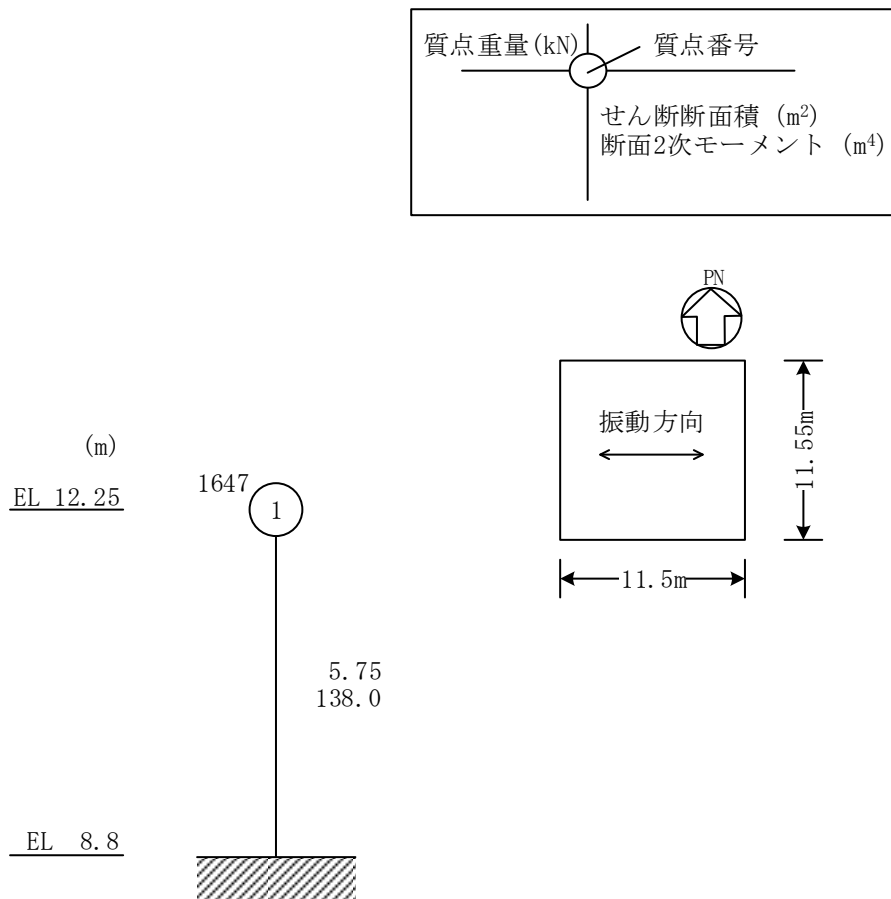


図 4-2(2) 排気筒モニタ室の地震応答解析モデル (ケース 2) (EW方向)

4.2 不確かさの影響検討

4.2.1 積雪荷重との組合せによる影響

(1) 影響評価方針

積雪荷重との組合せを考慮した解析モデルにより固有値解析を実施し、積雪ケース（ケース 2）と基本ケース（ケース 1）の比較を実施する。なお、材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果は別紙 4-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。

(2) 固有値解析結果

積雪荷重との組合せを考慮した解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表 4-2、刺激関数図を図 4-3～図 4-4 に示す。

基本ケースに対する積雪荷重との組合せを考慮した解析モデルの固有振動数の変動幅は、-1%程度である。

表 4-2 固有値解析結果の比較（ケース 1 及びケース 2）

(a) N S 方向

（単位：Hz）

次数	ケース 1	ケース 2
1	44.43	44.20 (0.99)

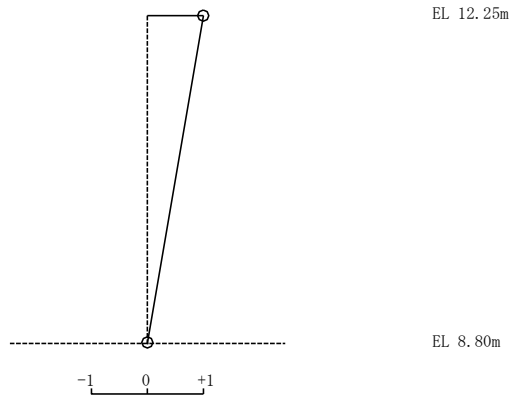
(b) E W 方向

（単位：Hz）

次数	ケース 1	ケース 2
1	46.18	45.94 (0.99)

注：（ ）内は基本ケース（ケース 1）に対する比率

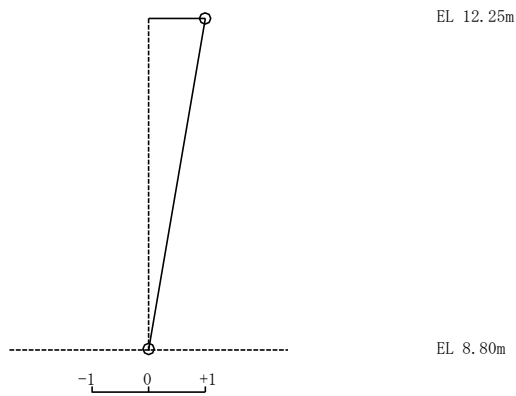
固有周期 0.023 s
 固有振動数 44.20 Hz
 刺激係数 1.000



1次 モード

図 4-3 刺激関数図 (ケース 2) (NS 方向)

固有周期 0.022 s
 固有振動数 45.94 Hz
 刺激係数 1.000



1次 モード

図 4-4 刺激関数図 (ケース 2) (EW 方向)

4.3 まとめ

積雪荷重との組合せを考慮した固有値解析結果より，以下の傾向を確認した。

- ・積雪荷重との組合せ

積雪荷重を組み合わせた場合の固有振動数は，やや小さくなる傾向であり，1%小さくなった。