

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-補-E-19-0610-18_改0
提出年月日	2021年6月2日

補足-610-18 第1号機排気筒の耐震性についての計算書に関する
補足説明資料

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒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。

別紙1 既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙2 第1号機排気筒の地震応答解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

別紙3 第1号機排気筒の地震応答解析における地盤物性及び材料物性の不確かさに関する検討

別紙4 第1号機排気筒の接合部の耐震性について

別紙5 第1号機排気筒の斜面による地震動の増幅について

別紙6 第1号機排気筒斜面の安定性評価における第1号機排気筒のモデル化について

別紙7 第1号機排気筒斜面の安定性評価におけるすべり面の設定について

追而

- ・ **別紙4については，別途示す。**

別紙 1 既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

目次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1
2. 解析モデル及び手法の比較・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1

1. 概要

本資料は、第1号機排気筒の既工認時及び今回工認時の解析モデル及び手法の比較を示すものである。

2. 解析モデル及び手法の比較

第1号機排気筒の地震応答解析モデル及び手法の比較を表2-1に、応力解析モデル及び手法の比較を表2-2に示す。

比較に用いる既工認時の地震応答解析モデル及び手法は、女川原子力発電所第一号機「工事計画認可申請書」(56資庁第11510号 昭和56年12月24日認可)(以下「建設時工認(認可)」という。)のものである。

建設時工認(認可)と今回工認での大きな変更点は、建設時工認(認可)は基準地震動(エルセントロ1940(NS), タフト1952(EW), 女川1970(NS)の最大加速度を250galに基準化した設計用地震動)を基礎底面に直接入力しているのに対し、今回工認では、基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により算定し、入力地震動を基礎底面に入力している。

また、建設時工認(認可)は、鉄塔部と筒身を一体化した1軸多質点系の曲げ、せん断型モデルを用いた地震応答解析により算出した荷重を、三次元の応力解析モデルに入力しているのに対し、今回工認では、三次元立体フレームモデルを用いた地震応答解析により部材応力まで算出している。

図2-1に建設時工認(認可)の地震応答解析モデルを、図2-2に今回工認の入力地震動算定法を、図2-3に今回工認の地震応答解析モデルを示す。

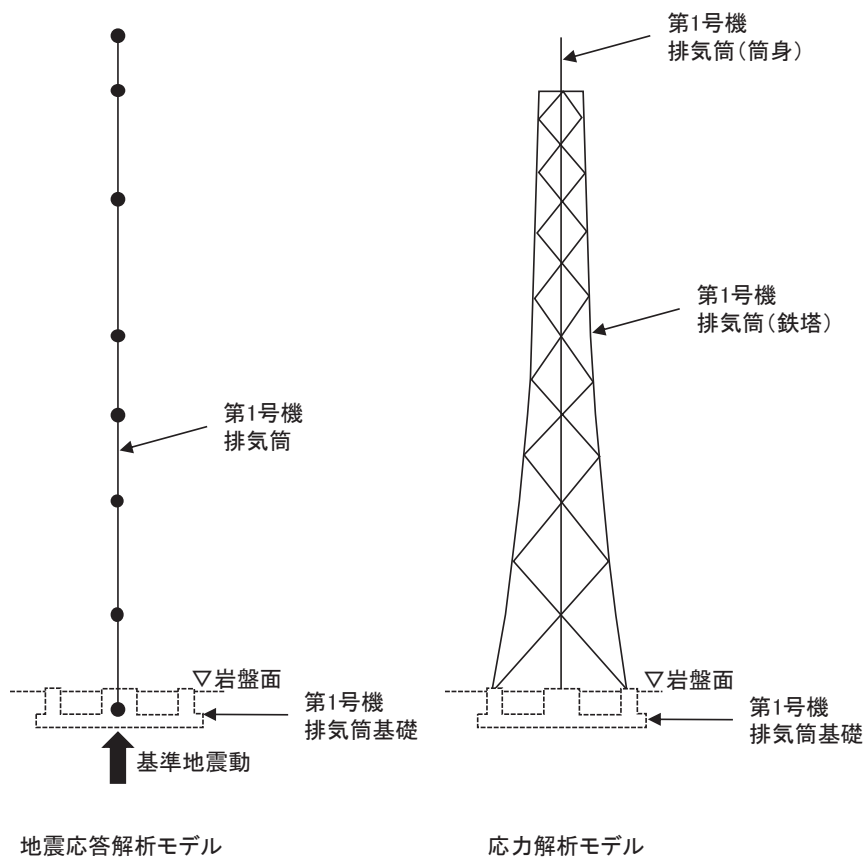


図 2-1 建設時工認（認可）の解析モデル

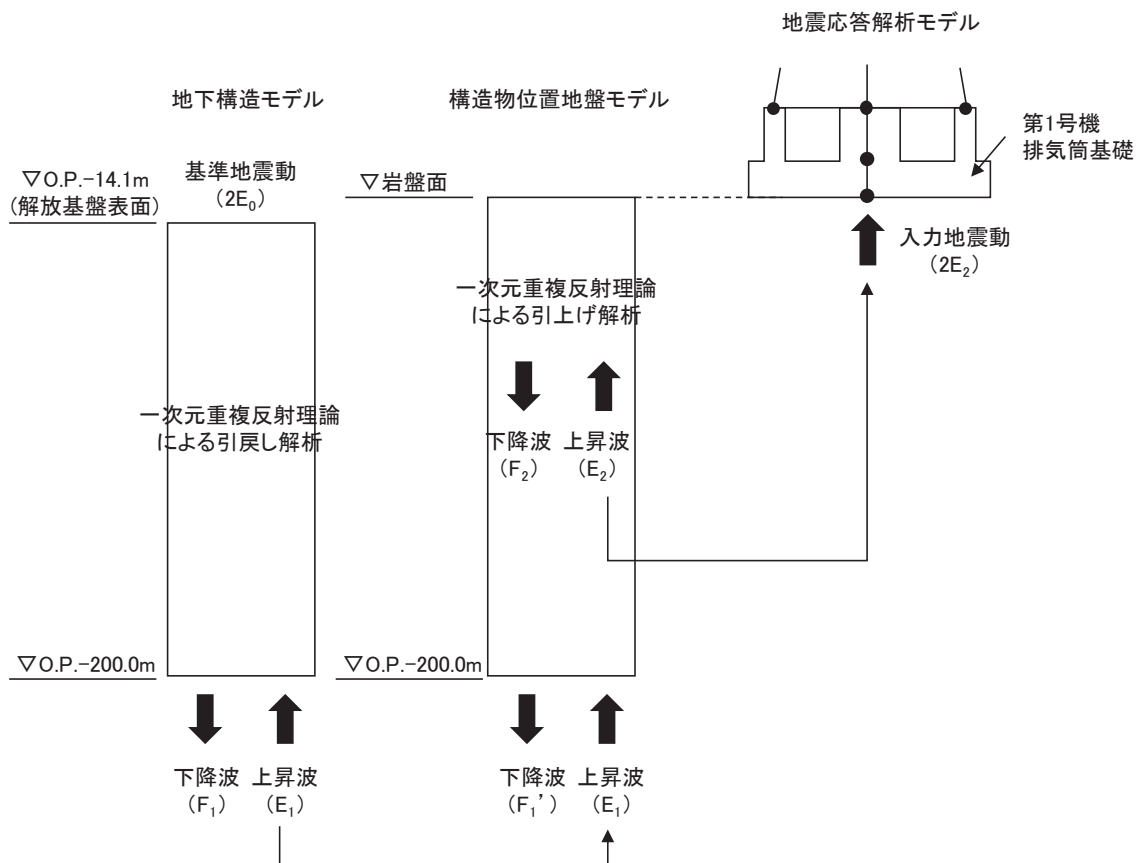


図 2-2 今回工認の入力地震動算定法

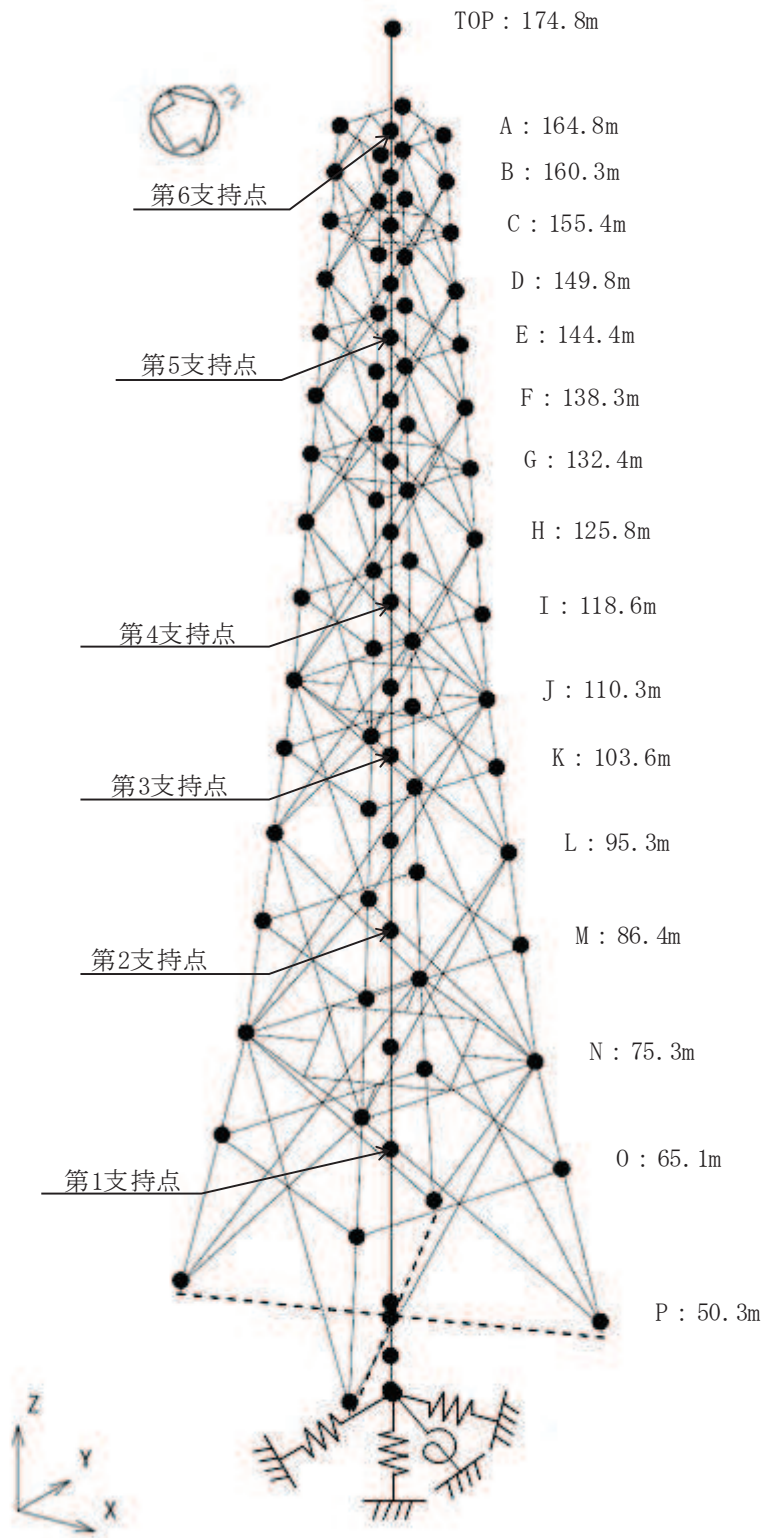


図 2-3 今回工認の地震応答解析モデル

表2-1 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）*1	今回工認	備考
入力地震動の算定法	水平	基準地震動を基礎底面に直接入力	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により算定	(1)
	鉛直	—	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により算定	(1)
解析コード		NUPP	DYNA2E	—
排気筒のモデル化	モデル	鉄塔部と筒身を一体化した1軸多質点系の曲げ、せん断型モデル（排気筒部と基礎部を一体化したSRモデル）	三次元立体フレームモデル（排気筒と基礎を一体化したSRモデル）	(2)
	材料物性	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材のヤング係数，ポアソン比 $E = 2100 \text{ t/cm}^2$ $\nu = 0.3$ コンクリートのヤング係数，ポアソン比 $E = 2.15 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ $\nu = 0.2$ 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材のヤング係数，ポアソン比 $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$ コンクリートのヤング係数，ポアソン比 $E = 2.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.2$ 	(3)
	要素分割	・曲げ・せん断型のばね要素	・はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身及び基礎	—
	減衰定数	鋼材（筒身，鉄塔）1%，コンクリート5%	筒身1%，鉄塔2%，コンクリート5%	(4)
	減衰	ひずみエネルギー比例型減衰	同左	—
	筒身支持点	0.P. 164.8m, 0.P. 144.4m, 0.P. 118.6m, 0.P. 103.6m, 0.P. 86.4m, 0.P. 65.1m	同左	—
地盤のモデル化	底面ばね	水平ばね，回転ばねを考慮（水平ばね：バルカン式 回転ばね：チモシェンコ式）	水平ばね，回転ばね，鉛直ばねを考慮	(5)
	側面ばね	考慮せず	同左	
非線形特性	底面ばね	—	—	—
誘発上下動		—	—	—

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- (1) 建設時工認（認可）は基準地震動を基礎底面に直接入力しているのに対し，今回工認では，基準地震動を用いて，一次元重複反射理論により算定し，入力地震動を基礎底面に入力している。
- (2) 建設時工認（認可）は，鉄塔部と筒身を一体化した1軸多質点系モデルを用いた地震応答解析により応力解析モデルに入力する荷重を算出しているのに対し，今回工認では，三次元立体フレームモデルを用いた地震応答解析により部材応力まで算出している。
- (3) 建設時工認（認可）は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1979）」に基づく。今回工認は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1999）」に基づく。
- (4) 今回工認では，「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）」に基づき，溶接構造（筒身）は減衰1%，ボルト及びリベット構造物（鉄塔部）は減衰2%とした。
- (5) 「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）」に基づく。

表2-2 応力解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認（認可）	今回工認	備考
排気筒 （上部構 造物）	解析手法	鉄塔部トラス構造と筒身曲げ・せん断型とした立体モデル応力解析	三次元フレームモデルを用いた応力解析（但し、地震荷重は地震応答解析から直接算出）	(1)
	解析コード	SAP-V	DYNA2E	—
	要素種別	はり要素	同左	—
	地震荷重との組み合わせ	荷重状態①：G + K 荷重状態②：G + W G：固定荷重 K：地震荷重 W：風荷重	荷重状態：G + S _s + P _k G：固定荷重 S _s ：地震荷重 P _k ：風荷重	(2)
評価方法	発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認	発生応力が弾性限強度を超えないことを確認	—	

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- (1) 建設時工認（認可）は、地震応答解析により算出した荷重を、応力解析モデルに入力しているのに対し、今回工認では、三次元立体フレームモデルを用いた地震応答解析により部材応力まで算出している。
- (2) 今回工認においては、地震荷重と風荷重の組み合わせを考慮した。地震と重畳させる風荷重の算出の際には、ガスト影響係数を1.0に設定。

別紙 2 第 1 号機排気筒の地震応答解析におけるモデル化，境界条件
及び拘束条件の考え方

目次

1. 概要…………… 別紙 2-1
2. モデル化, 境界条件及び拘束条件…………… 別紙 2-1

1. 概要

本資料は、第1号機排気筒におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

2. モデル化、境界条件及び拘束条件

第1号機排気筒のモデル化、境界条件及び拘束条件を表2-1に示す。

鉄塔の接合形式は以下の通りとなっている。

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件 (1/4)

モデル概要 (1/2)

○モデル化範囲, 対象部材

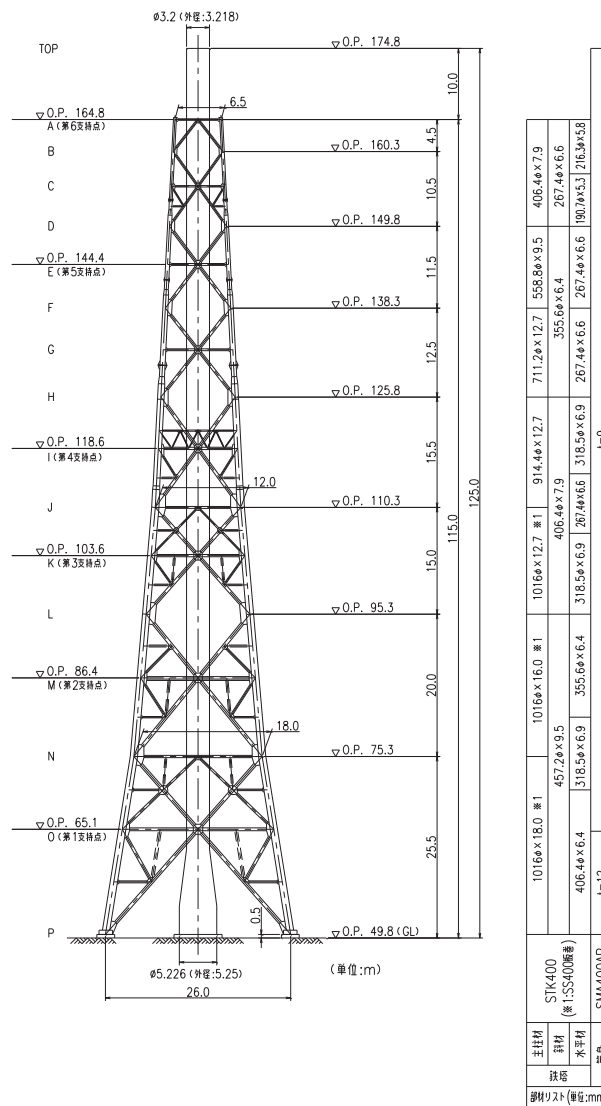
- ・ 第 1 号機排気筒基礎上端レベル (O.P. 50.3m) より上部の範囲
- ・ 筒身部, 鉄塔部 (支柱材, 斜材, 水平材), 基礎部

○使用要素

- ・ はり要素 : 筒身部, 鉄塔部 (支柱材, 水平材, 斜材), 基礎部*¹
- ・ ばね要素 : 支持点 (筒身, 鉄塔の支持金物), 基礎底面*²

注記*1: 基礎部は, 筒身受台, 鉄塔受台, 地中梁及びスラブの剛性を, 構造物中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する梁要素と等価な質量を有する質点でモデル化している。

注記*2: 地盤と構造物の相互作用を基礎底面の地盤ばねで評価している。



モデル化範囲

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件 (2/4)

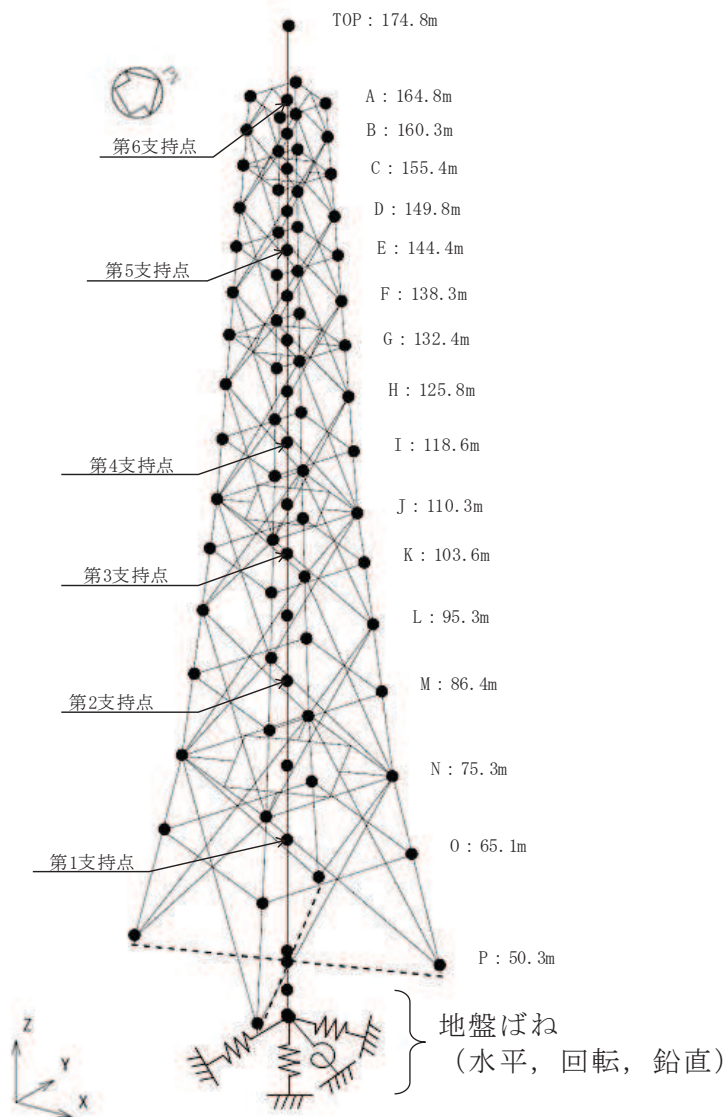
モデル概要 (2/2)

○要素分割

- ・ 鉄塔部はトラス構造であり, 部材交点ごとに要素を分割する。

○解析モデルの使い分け

- ・ 地震荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた地震応答解析により, 各部材の応力が出力される。この応力を用いて, 各部材について断面算定を実施する。
- ・ 風荷重 : 下図に示す解析モデルを用いた静的応力解析により, 各部材の応力が出力される。この応力を初期応力 (固定荷重を含む) として, 地震応答解析を実施する。



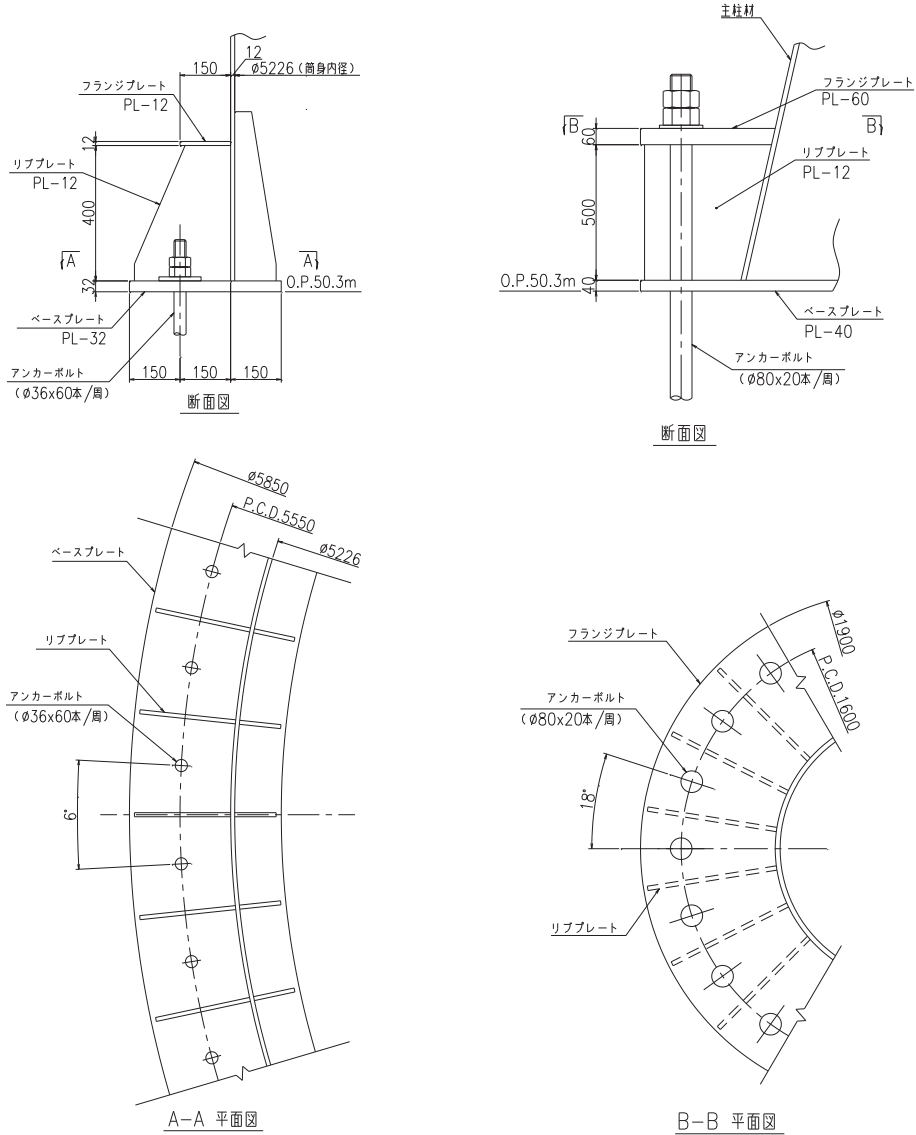
解析モデル

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件 (3/4)

境界条件, 拘束条件 (1/2)

○第 1 号機排気筒と基礎上端の境界 (O. P. 50. 3m)

- ・筒身脚部及び鉄塔脚部は基礎（鉄塔柱及び筒身柱）とアンカーボルトで一体化しているため、完全固定とする。



第 1 号機排気筒と基礎上端の境界

表 2-1 第 1 号機排気筒のモデル化，境界条件及び拘束条件（4/4）

境界条件，拘束条件（2/2）	
○部材の部材の接合条件	
・ 主柱材－主柱材	: 剛接合
・ 主柱材－斜材	: ピン接合
・ 主柱材－水平材	: ピン接合
・ 筒身－鉄塔の支持点	: 水平方向固定，鉛直方向フリー
荷重の入力方法	
・ 鉛直荷重	: 鉛直荷重は第 1 号機排気筒の自重および歩廊等の付属設備の荷重を入力する。
・ 地震荷重	: 一次元重複反射理論により得られる第 1 号機排気筒基礎底面レベル（0. P. 42. 8m）における加速度時刻歴波形を入力地震動とし，第 1 号機排気筒の基礎底面レベルに入力する。
・ 風荷重	: 解析モデルにおける鉄塔部及び筒身部の質点位置に対し，風荷重を分配し載荷する。

別紙 3 第 1 号機排気筒の地震応答解析における地盤物性
及び材料物性の不確かさに関する検討

目次

1. 概要	別紙 3-1
1.1 検討概要	別紙 3-1
1.2 検討方針	別紙 3-1
2. 第1号機排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性及び材料物性の不確かさの影響検討	別紙 3-2
2.1 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース	別紙 3-2
2.2 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討に用いる地震動の選定	別紙 3-3
2.3 第1号機地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	別紙 3-6

1. 概要

1.1 検討概要

本資料では、第1号機排気筒の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析を行い、各不確かさが第1号機排気筒の耐震性に及ぼす影響について確認する。

1.2 検討方針

第1号機排気筒の不確かさを考慮した検討は、基本ケースにおける評価結果を確認し、評価結果への影響が大きい基準地震動 S_s に対して実施する。

なお、各解析の方法及び諸元については、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同一である。

2. 第1号機排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性及び材料物性の不確かさの影響検討

2.1 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース

第1号機排気筒の不確かさ検討ケースを表2-1に示す。第1号機排気筒の耐震評価に対する不確かさ検討では、地盤物性及び材料物性を考慮する。

地盤物性のばらつきについて、第1号機排気筒は、岩盤上に直接基礎が構築され、基礎の質量が大きく、作用する慣性力が主たる荷重となる他、盛土等の土圧も主たる荷重となることから、すべての地盤のせん断弾性係数のばらつきを考慮する（ケース②，ケース③）。

材料物性のばらつきについて、コンクリートの実強度及び初期剛性低下を考慮したばらつきを考慮する（ケース④，ケース⑤）。

表2-1 第1号機排気筒の不確かさ検討ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性
		盛土, 旧表土, C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤 (G : せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1σ
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値
ケース⑤	設計基準強度 × 0.75	平均値

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

2.2 第1号機排気筒の耐震評価における不確かさ検討に用いる地震動の選定

第1号機排気筒の耐震評価において不確かさを考慮したケースの応答値の算出に当たっては、基本ケースにおける評価結果を確認し、評価結果への影響が大きい基準地震動 S_s に対して実施する。基本ケースにおける第1号機排気筒の評価結果（I方向及びII方向の包絡値）を表2-2～表2-3に示す。なお、表2-2～表2-3の評価結果は、図2-1のI方向及びII方向加振の包絡値を記載している。

第1号機排気筒の耐震評価において不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定方法を以下に示す。

- ① 基準地震動 S_s 7波の基本ケースについて、第1号機排気筒の地震応答解析を行い、断面算定を行う（添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」による）。
- ② ①から得られた断面算定結果を比較し、筒身及び支柱材の照査値が最大となる基準地震動 S_s を不確かさ検討に用いる入力地震動とする。

第1号機排気筒の筒身及び支柱材の評価結果から、筒身着目として $S_s - D2$ 地震動、支柱材着目として $S_s - D1$ 地震動を用いて、不確かさを考慮した検討を行う。

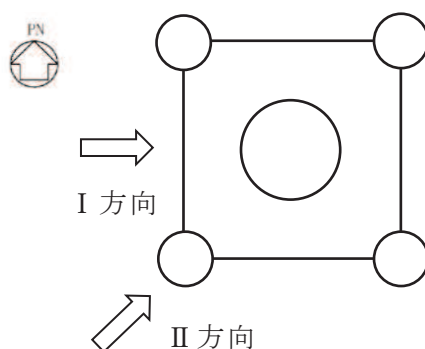


図2-1 風荷重作用方向の説明

表2-2 筒身の評価結果

高さ 0.P. (m)	位置	使用部材 (mm)	検定値							
			S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1	
164.8	A	φ 3200×9	0.40	0.50	0.45	0.41	0.44	0.46	0.17	
160.3	B	φ 3200×9	0.41	0.51	0.47	0.42	0.45	0.47	0.18	
155.4	C	φ 3200×9	0.39	0.50	0.49	0.37	0.45	0.49	0.15	
149.8	D	φ 3200×9	0.38	0.49	0.47	0.35	0.43	0.47	0.15	
144.4	E	φ 3200×9	0.33	0.38	0.35	0.31	0.33	0.37	0.17	
138.3	F	φ 3200×9	0.39	0.41	0.34	0.36	0.26	0.37	0.18	
132.4	G	φ 3200×9	0.44	0.48	0.39	0.40	0.30	0.44	0.19	
125.8	H	φ 3200×9	0.46	0.50	0.40	0.41	0.31	0.45	0.21	
118.6	I	φ 3200×9	0.43	0.45	0.36	0.38	0.28	0.44	0.22	
110.3	J	φ 3200×9	0.44	0.35	0.33	0.32	0.27	0.31	0.24	
103.6	K	φ 3200×9	0.45	0.37	0.33	0.33	0.28	0.33	0.24	
95.3	L	φ 3200×9	0.42	0.43	0.33	0.36	0.33	0.39	0.24	
86.4	M	φ 3200×9	0.42	0.44	0.34	0.38	0.35	0.41	0.26	
75.3	N	φ 3200×9	0.44	0.54	0.39	0.39	0.37	0.45	0.29	
65.1	O	φ 3200×9	0.45	<u>0.56</u>	0.41	0.43	0.39	0.46	0.30	
50.3	P	φ 5226×12	0.35	0.39	0.33	0.34	0.34	0.36	0.23	

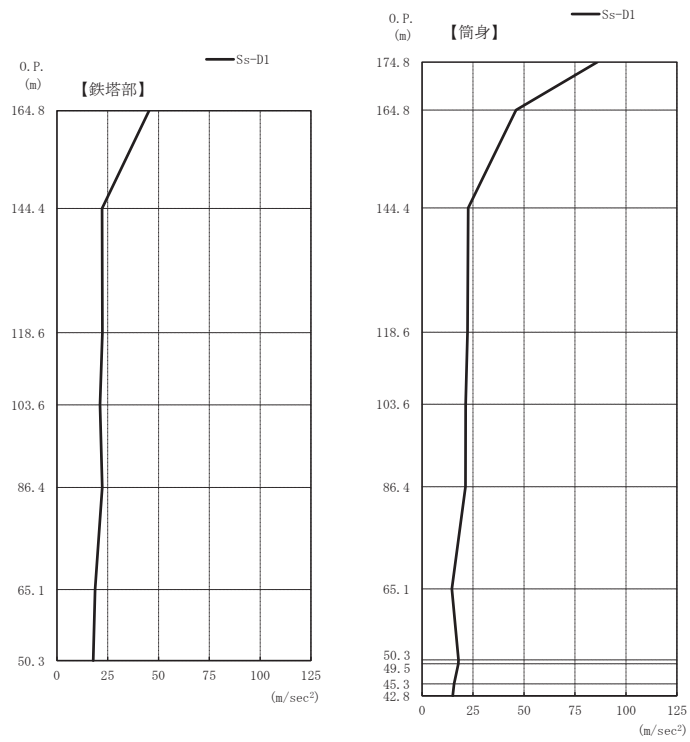
表2-3 主柱材の評価結果

高さ 0.P. (m)	区間	使用部材 (mm)	検定値							
			S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1	
164.8-160.3	A-B	φ 406.4×7.9	0.12	0.13	0.11	0.09	0.11	0.11	0.08	
160.3-155.4	B-C	φ 406.4×7.9	0.68	0.67	0.53	0.63	0.47	0.59	0.29	
155.4-149.8	C-D	φ 406.4×7.9	0.80	0.81	0.64	0.72	0.55	0.68	0.43	
149.8-144.4	D-E	φ 558.8×9.5	0.83	0.83	0.64	0.77	0.57	0.72	0.38	
144.4-138.3	E-F	φ 558.8×9.5	0.84	0.84	0.65	0.78	0.59	0.72	0.41	
138.3-132.4	F-G	φ 711.2×12.7	0.68	0.67	0.52	0.65	0.48	0.51	0.42	
132.4-125.8	G-H	φ 711.2×12.7	0.75	0.74	0.59	0.68	0.54	0.58	0.52	
125.8-118.6	H-I	φ 914.4×12.7	0.73	0.63	0.54	0.60	0.52	0.52	0.48	
118.6-110.3	I-J	φ 914.4×12.7	0.75	0.65	0.55	0.62	0.53	0.54	0.50	
110.3-103.6	J-K	φ 1016.0×12.7	0.84	0.76	0.63	0.74	0.71	0.53	0.55	
103.6-95.3	K-L	φ 1016.0×12.7	<u>0.85</u>	0.79	0.67	0.80	0.75	0.54	0.60	
95.3-86.4	L-M	φ 1016.0×16.0	0.75	0.69	0.60	0.75	0.69	0.46	0.52	
86.4-75.3	M-N	φ 1016.0×16.0	0.73	0.70	0.59	0.76	0.70	0.47	0.50	
75.3-65.1	N-O	φ 1016.0×18.0	0.67	0.59	0.55	0.66	0.56	0.44	0.44	
65.1-50.3	O-P	φ 1016.0×18.0	0.70	0.64	0.58	0.70	0.62	0.49	0.48	

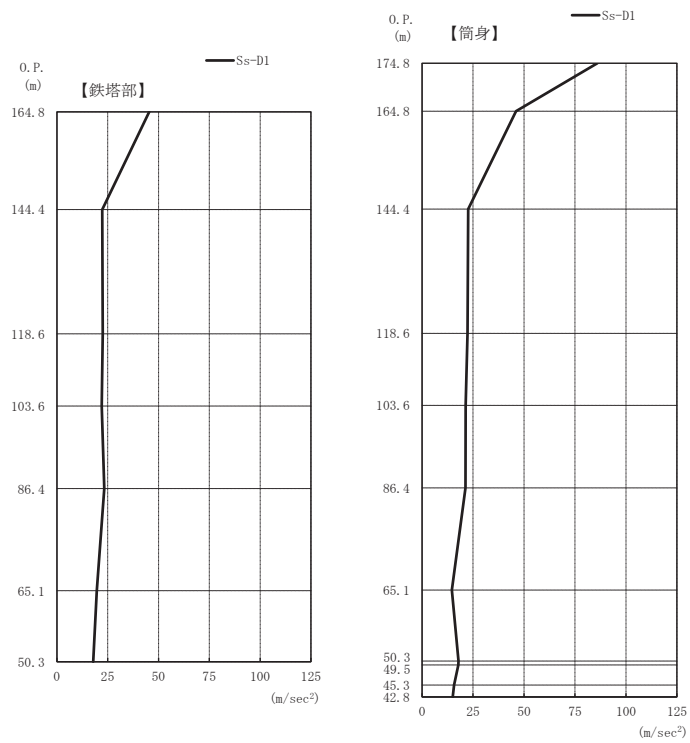
2.3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

基本ケースの地震応答解析結果は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」に示していることから、ここでは地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を図 2-1～図 2-12 に示す。また、筒身及び支柱材のうち検定値が最大となる支柱材（L 位置）を代表に、 $S_s - D1$ の最大応答値（I 方向及びII 方向の包絡値）を表 2-4 に示す。

表 2-4 に示す地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果より、各検討ケースの最大応答加速度、最大応答軸力、最大応答曲げモーメントはおおむね同等であることを確認した。

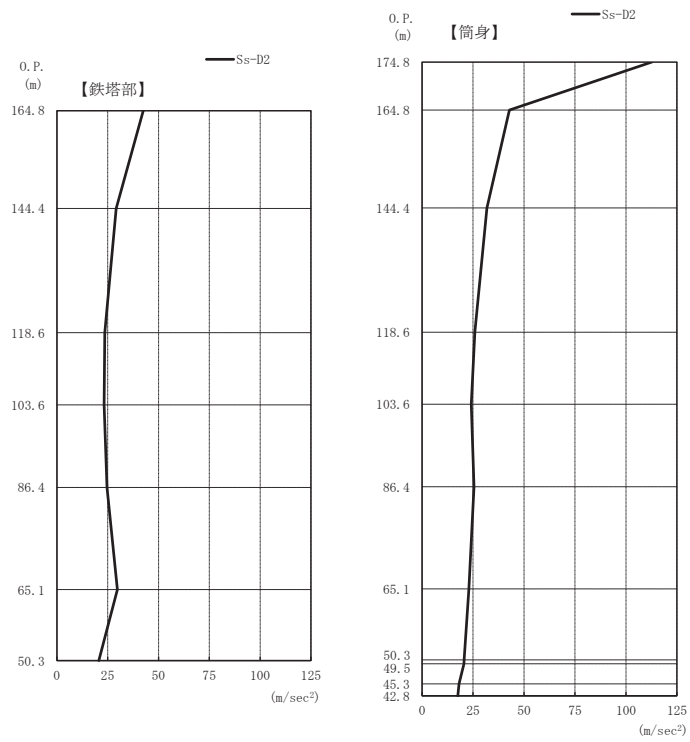


(a) S s - D 1 (I 方向)

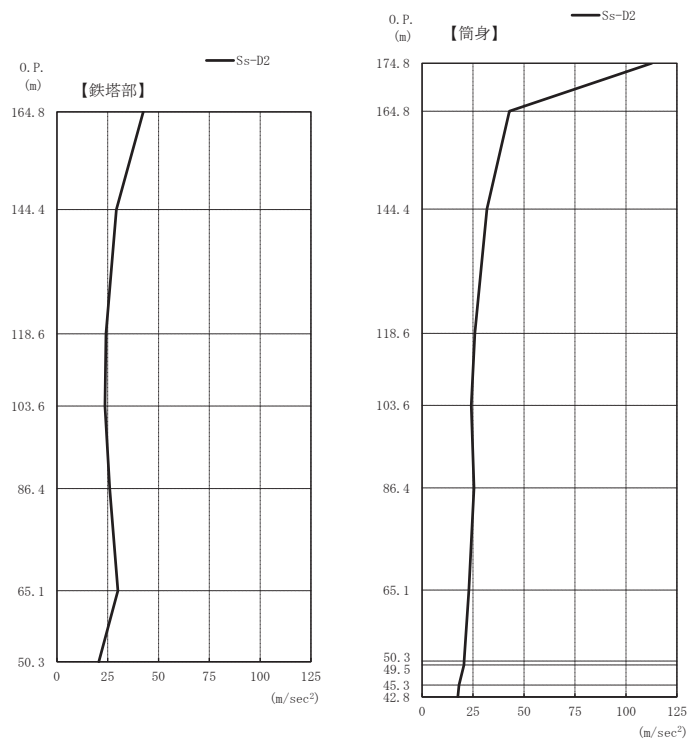


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-2(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース②) (1/2)

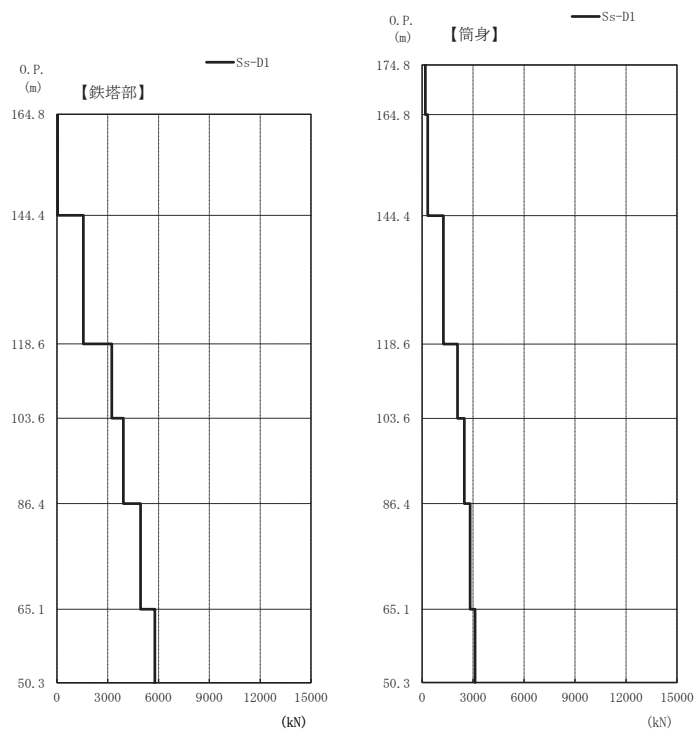


(c) S s - D 2 (I 方向)

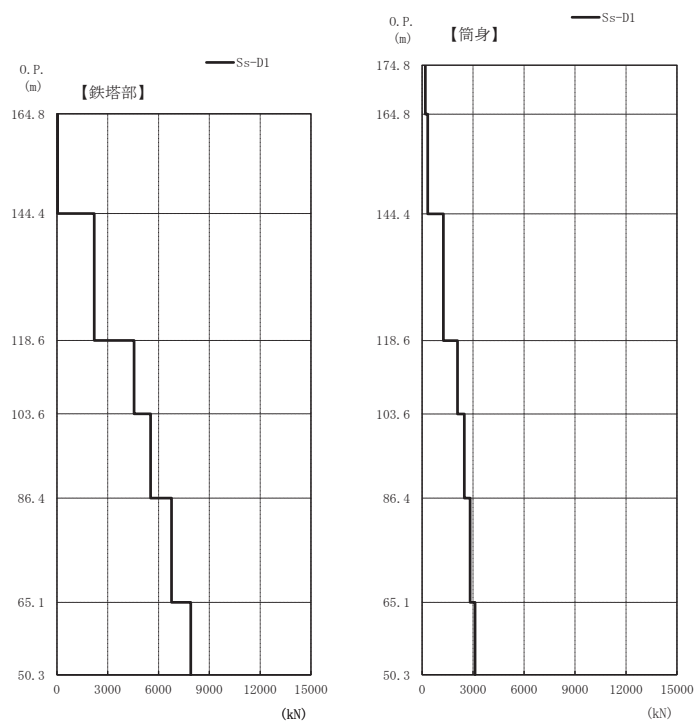


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-2(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース②) (2/2)

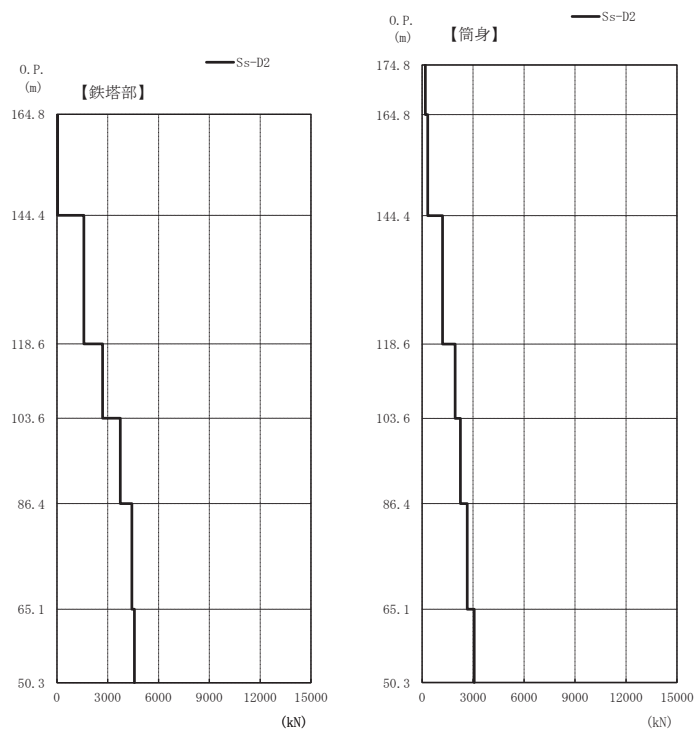


(a) S s - D 1 (I 方向)

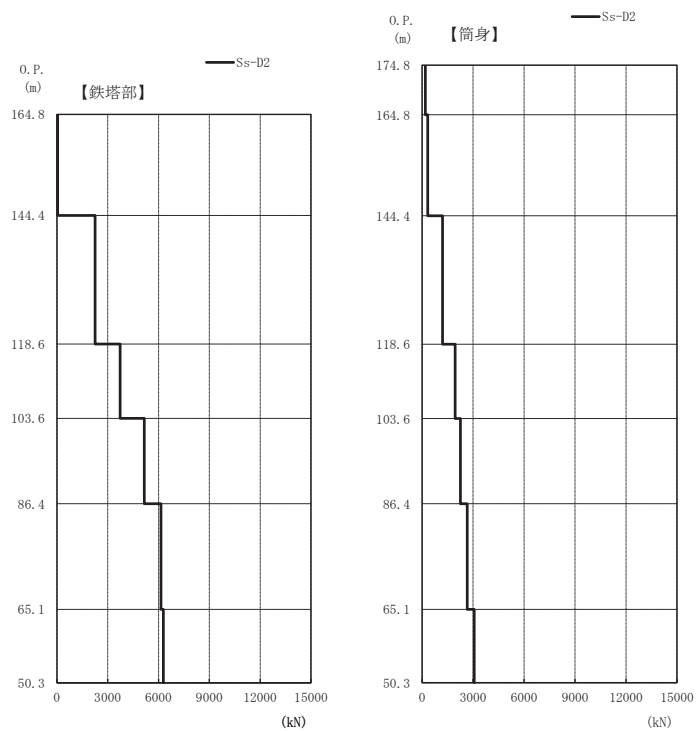


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-3(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき , ケース②) (1 / 2)

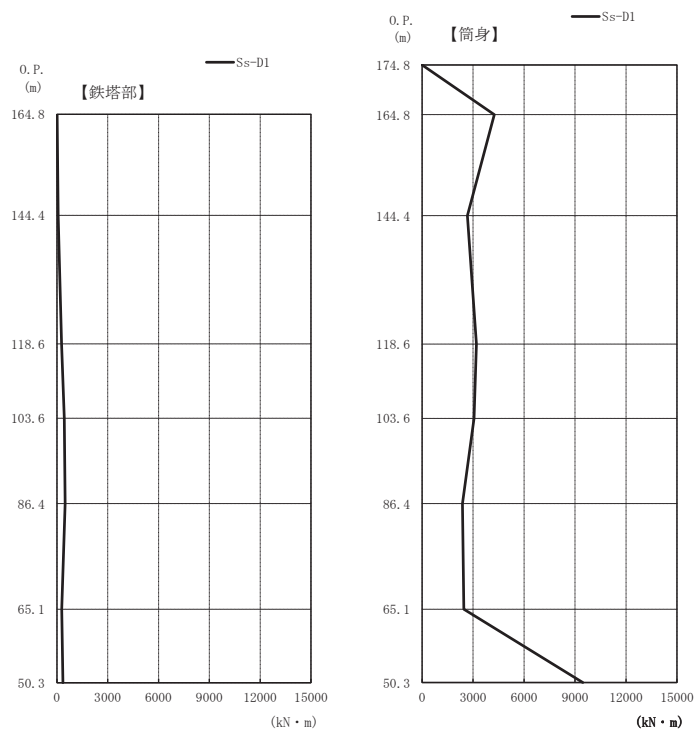


(c) S s - D 2 (I 方向)

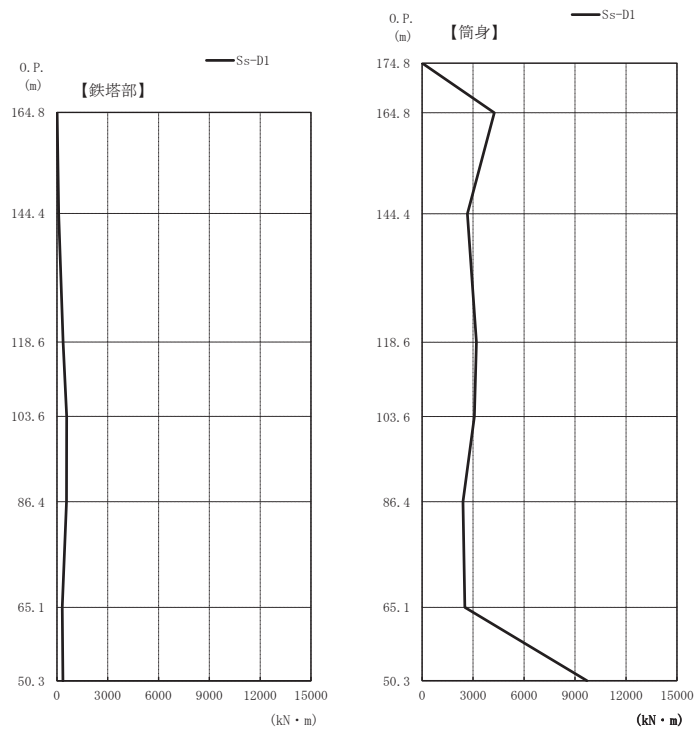


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-3(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース②) (2/2)

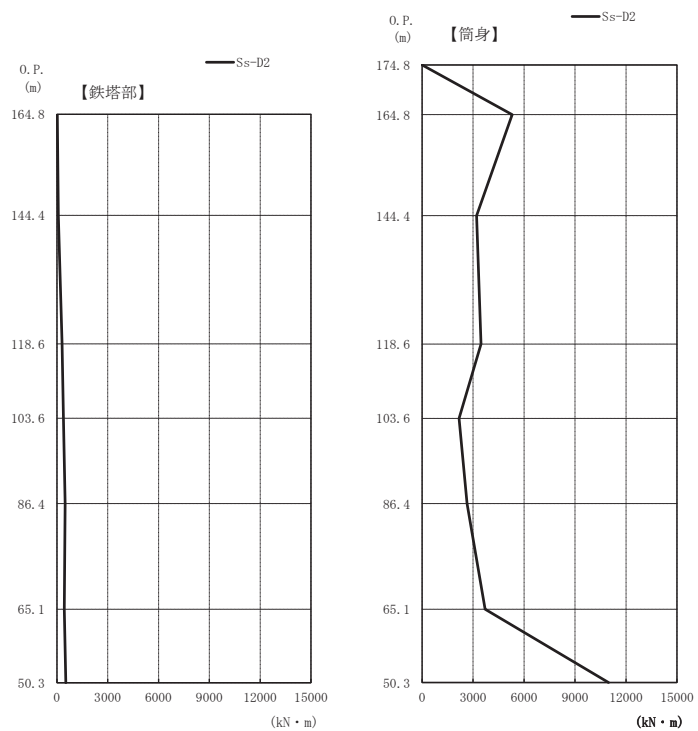


(a) S s - D 1 (I 方向)

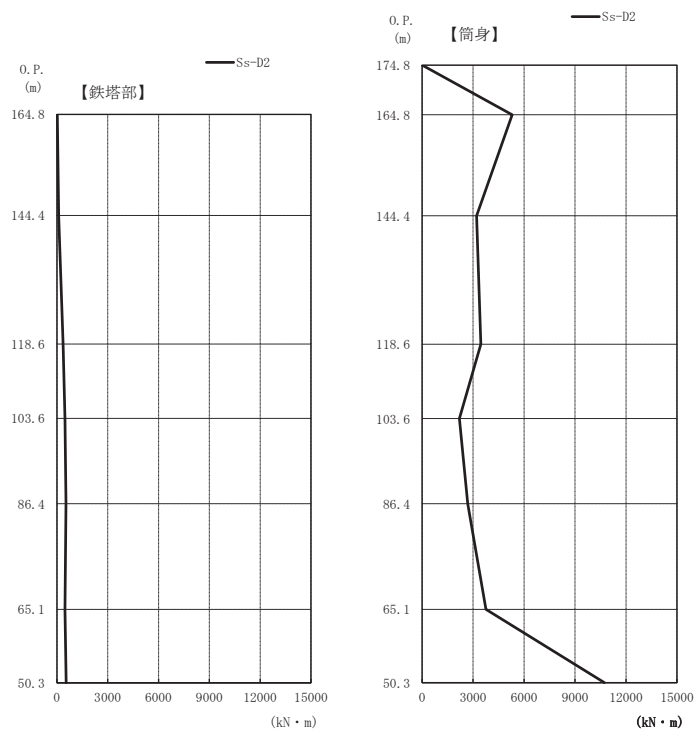


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-4(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②) (1/2)

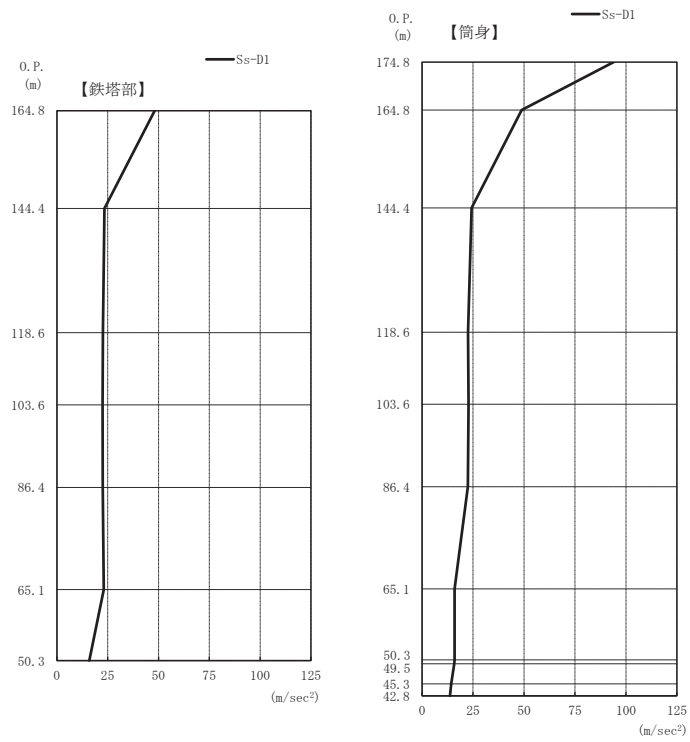


(c) S s - D 2 (I 方向)

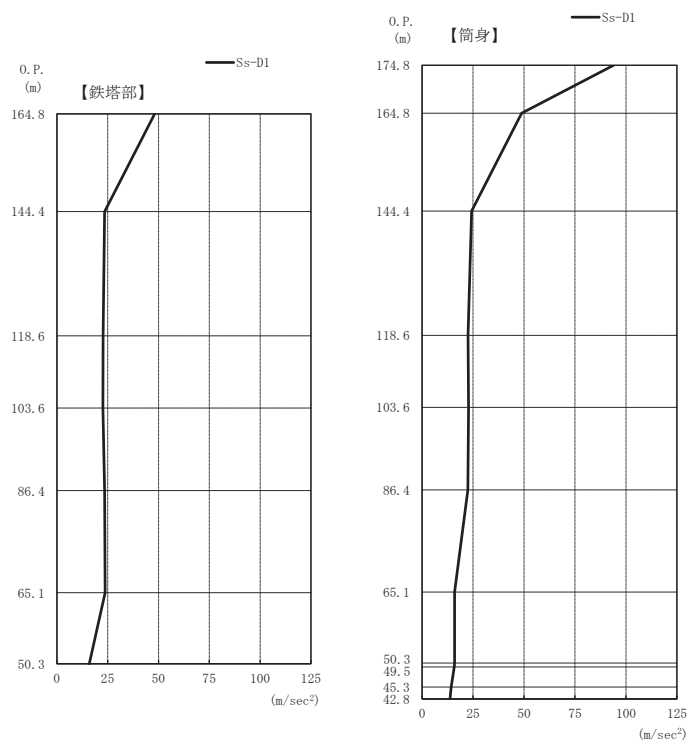


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-4(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②) (2/2)

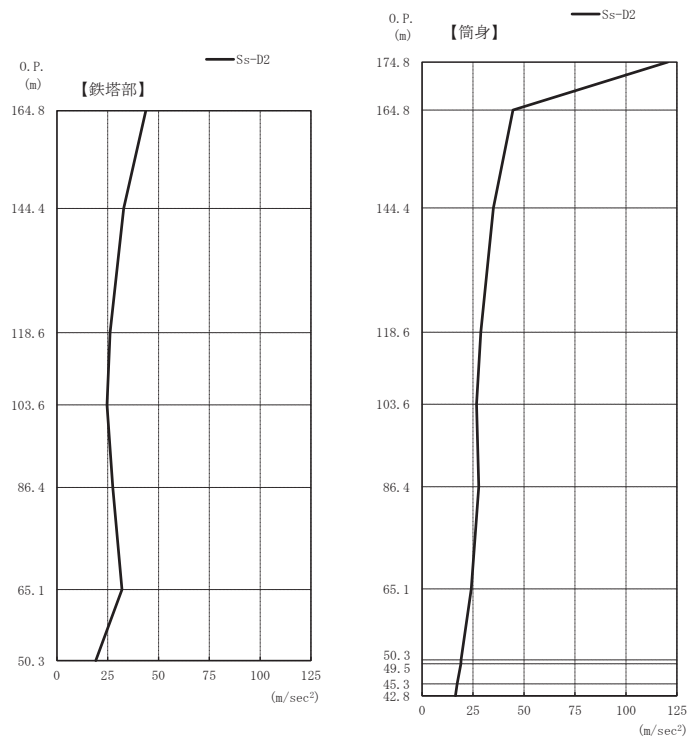


(a) S s - D 1 (I 方向)

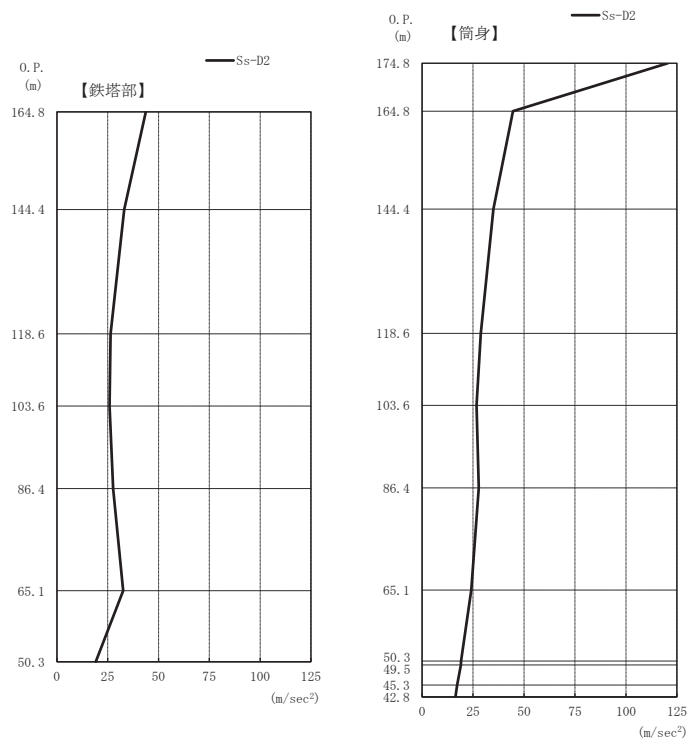


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-5(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース③) (1/2)

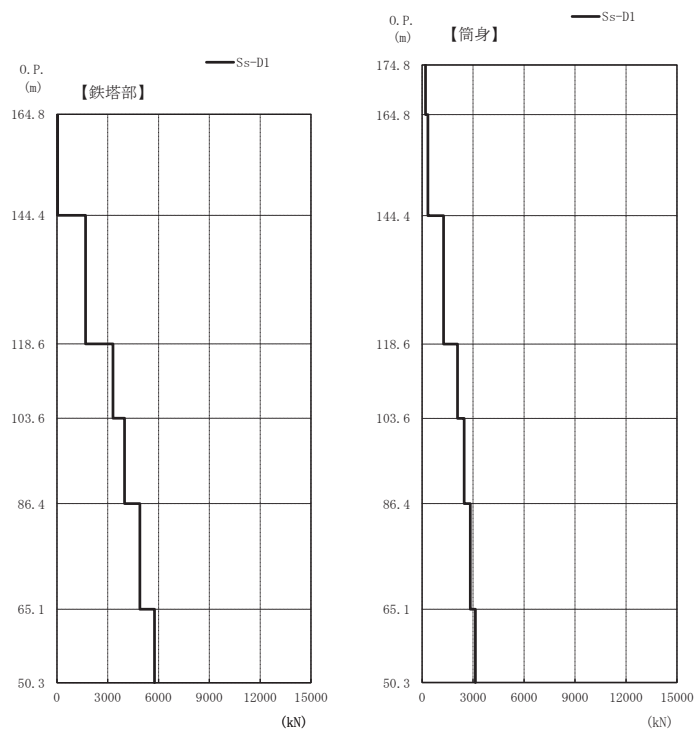


(c) S s - D 2 (I 方向)

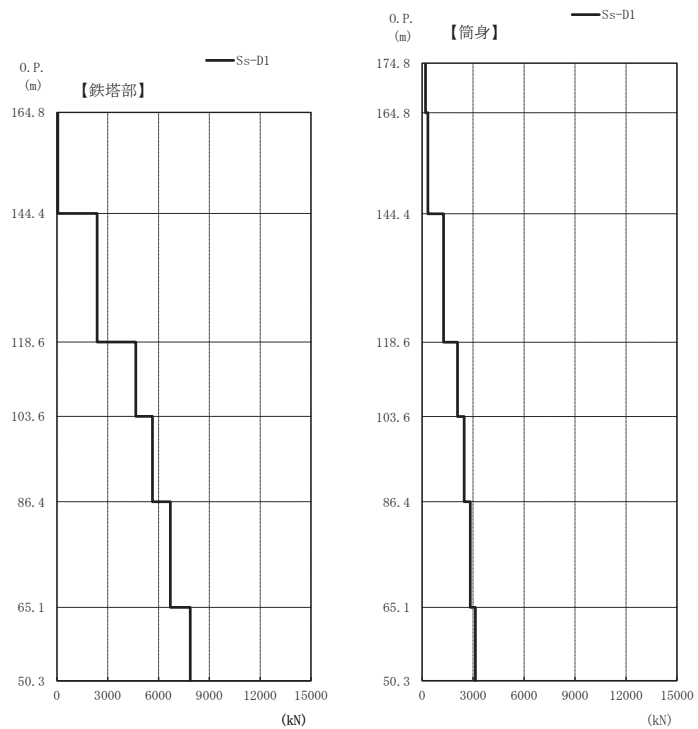


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-5(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース③) (2/2)

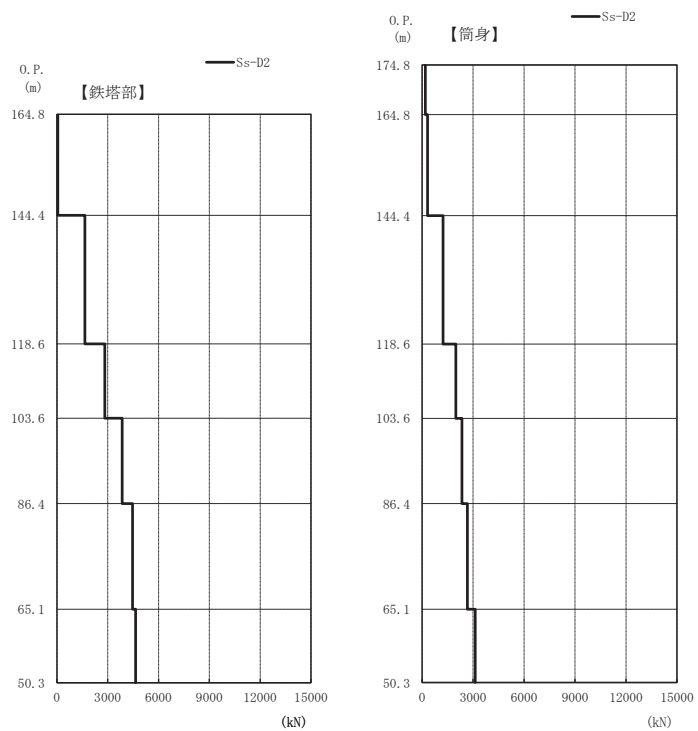


(a) S s - D 1 (I 方向)

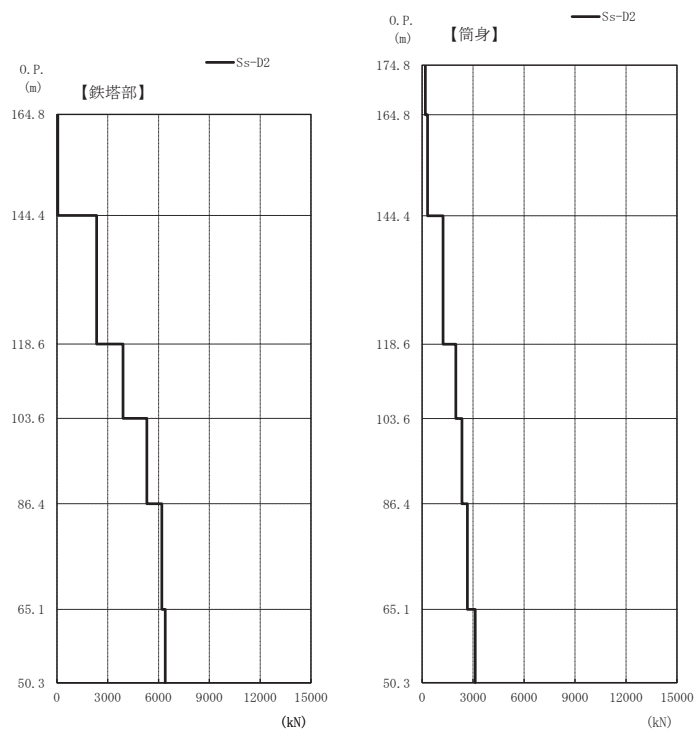


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-6(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき , ケース③) (1 / 2)

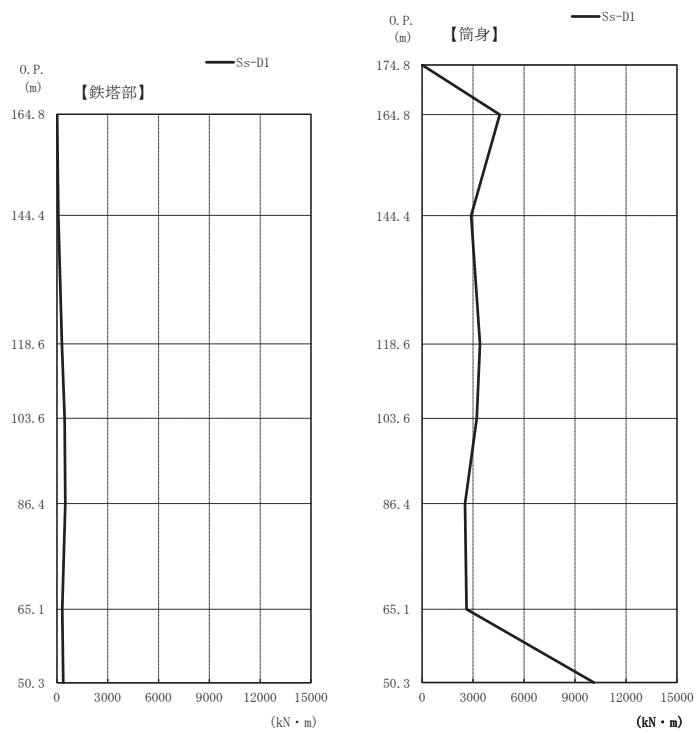


(c) S s - D 2 (I 方向)

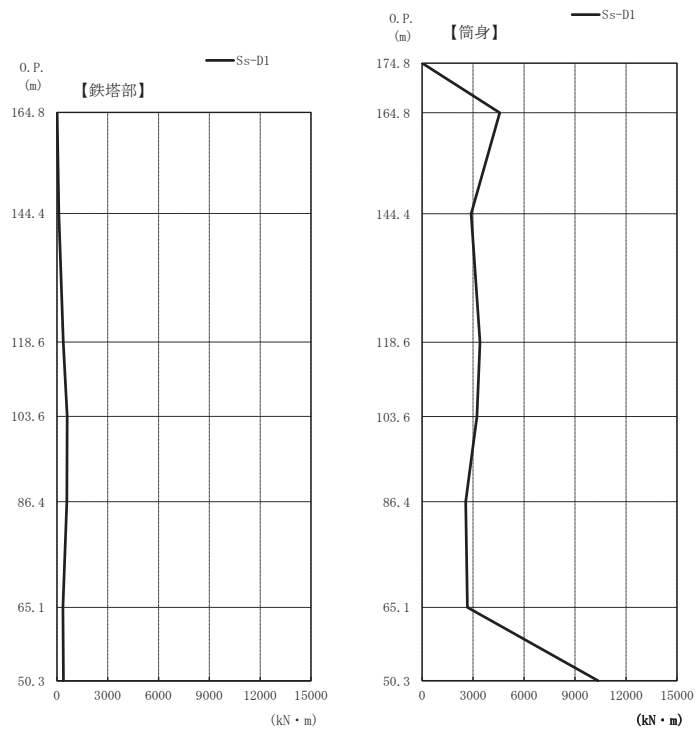


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-6(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき , ケース③) (2 / 2)

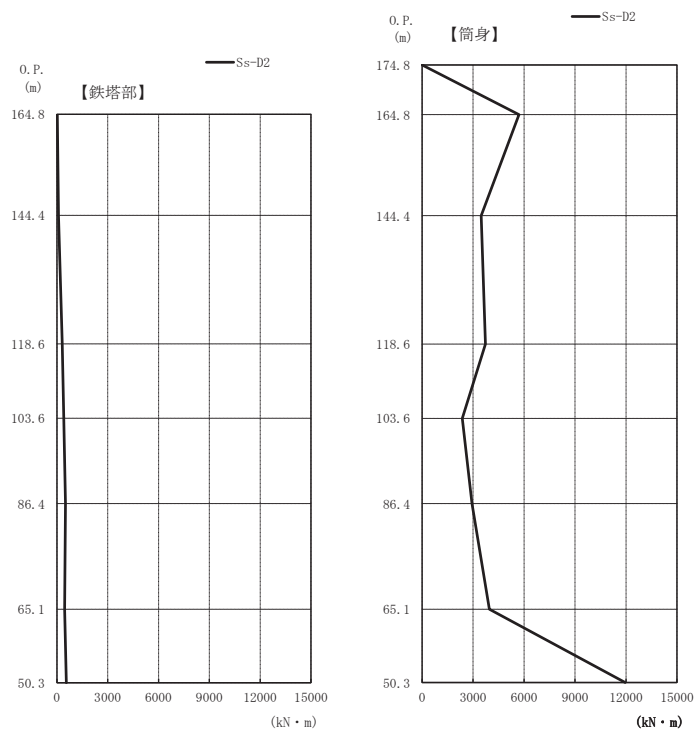


(a) S s - D 1 (I 方向)

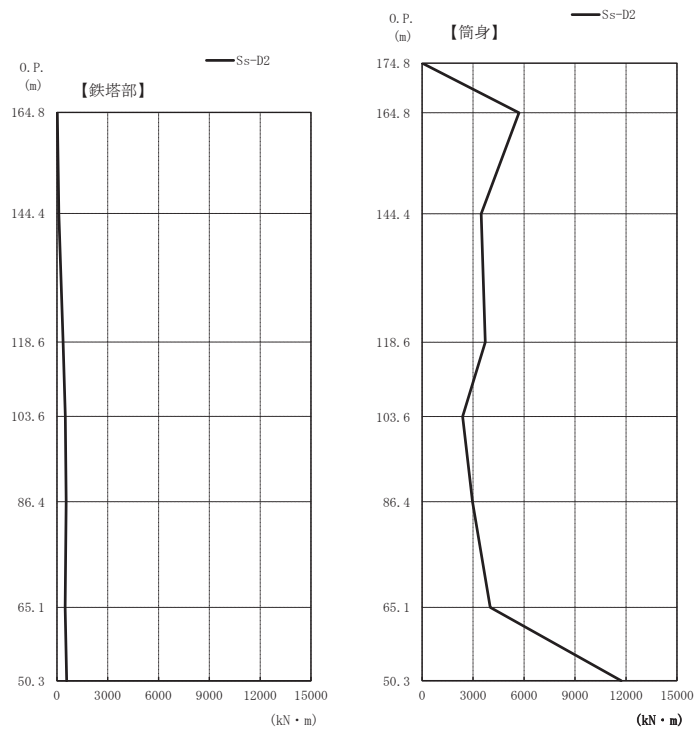


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-7(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③) (1/2)

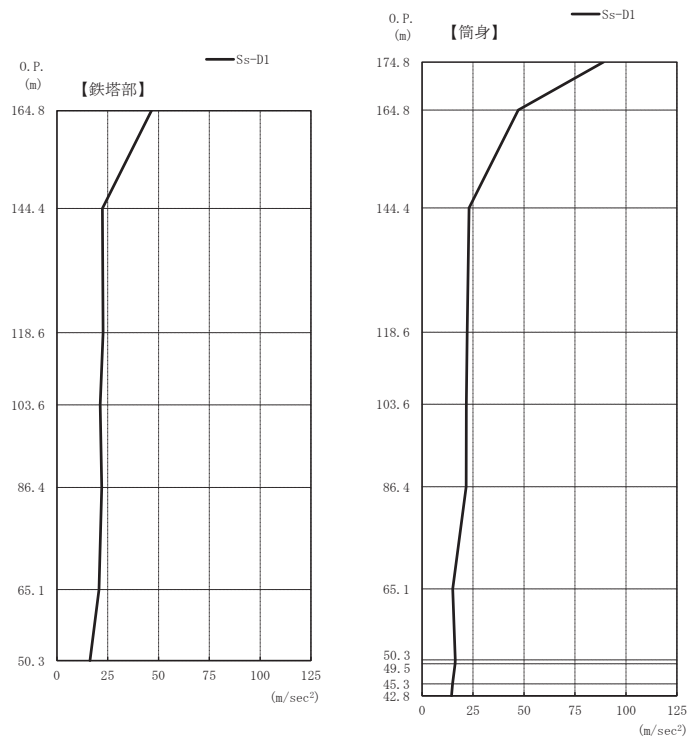


(c) S s - D 2 (I 方向)

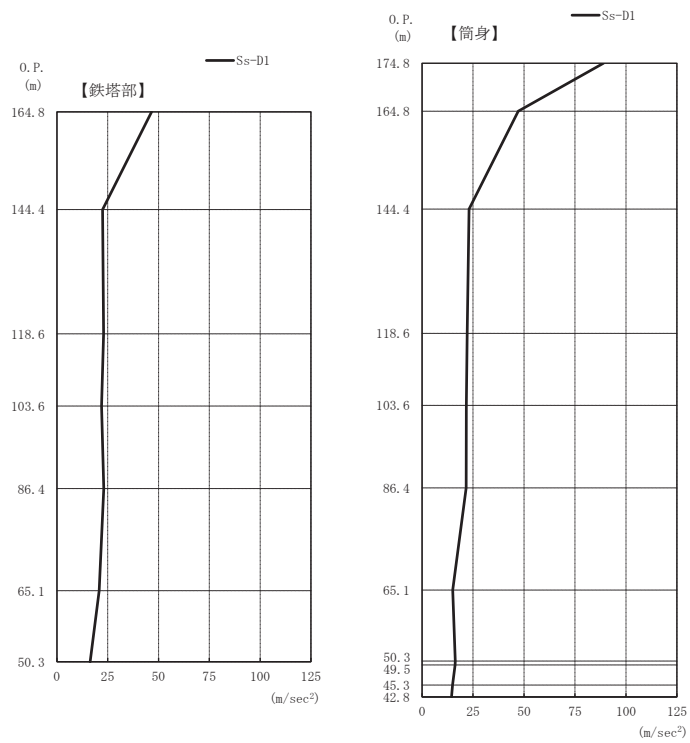


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-7(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③) (2/2)

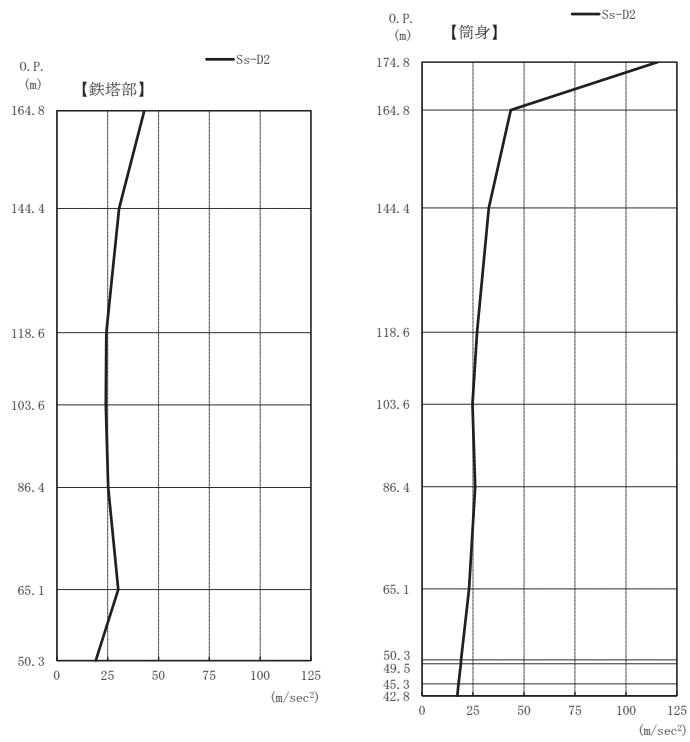


(a) S s - D 1 (I 方向)

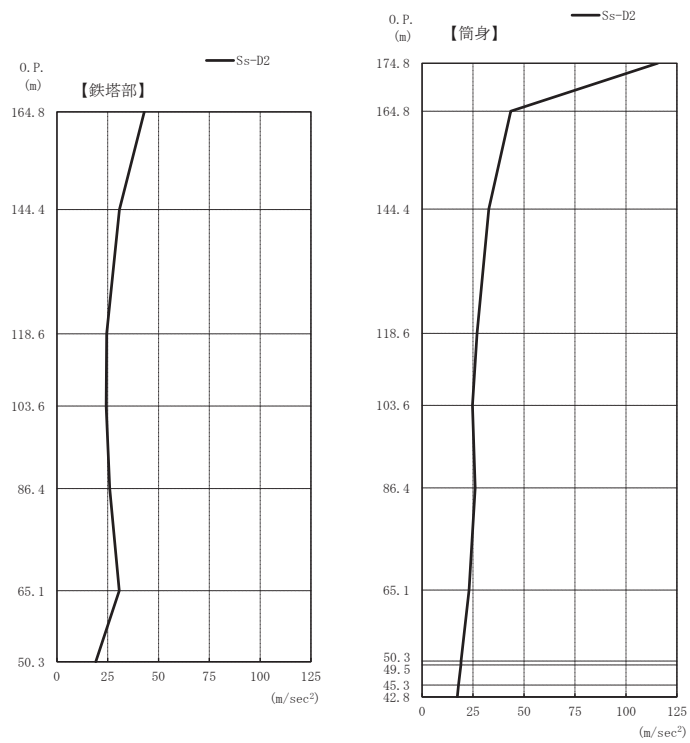


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-8(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース④) (1/2)

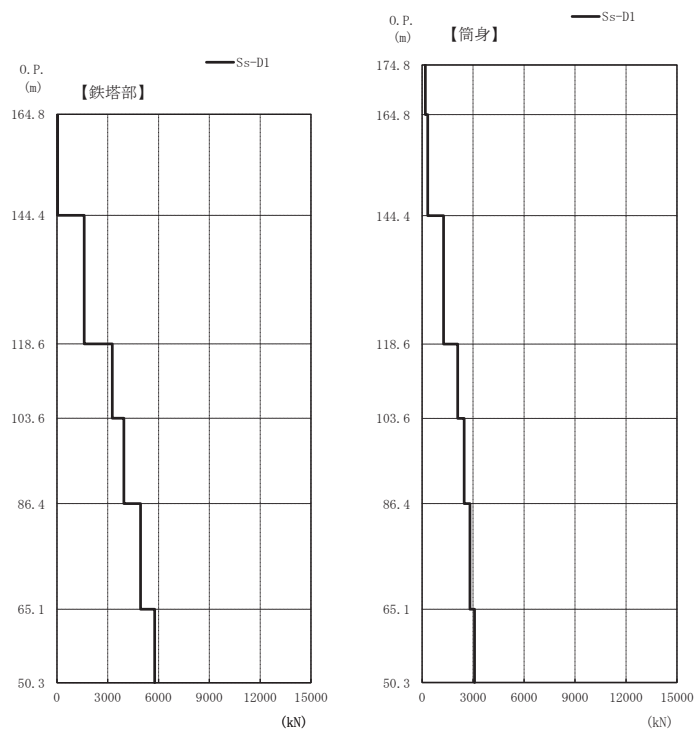


(c) S s - D 2 (I 方向)

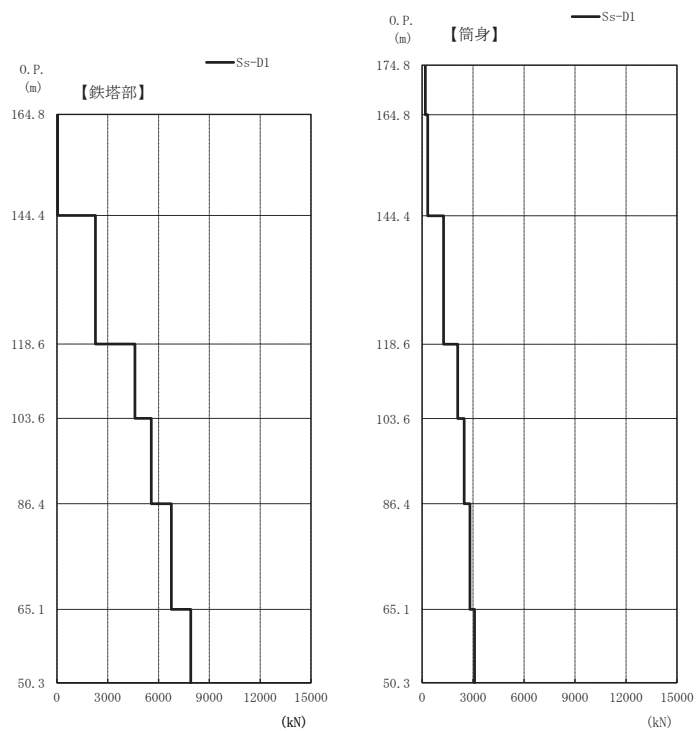


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-8(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース④) (2 / 2)

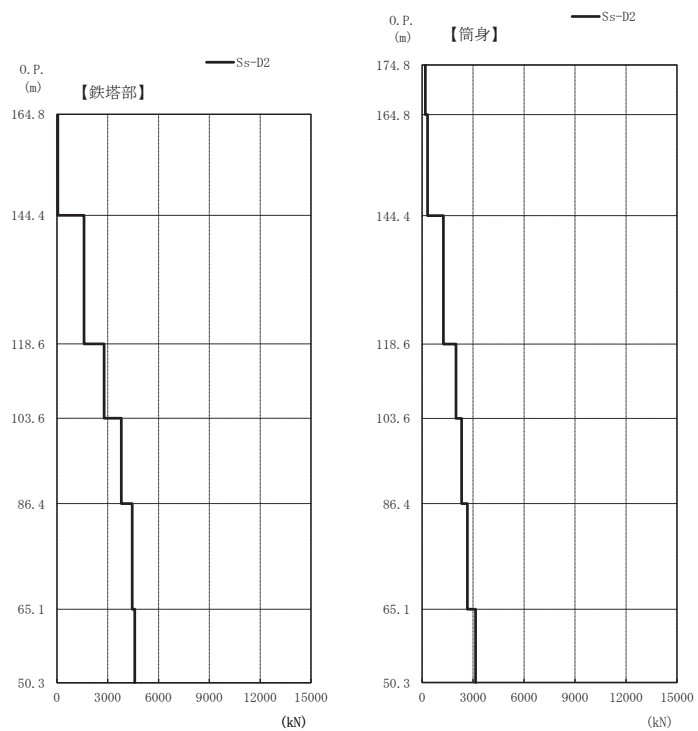


(a) S s - D 1 (I 方向)

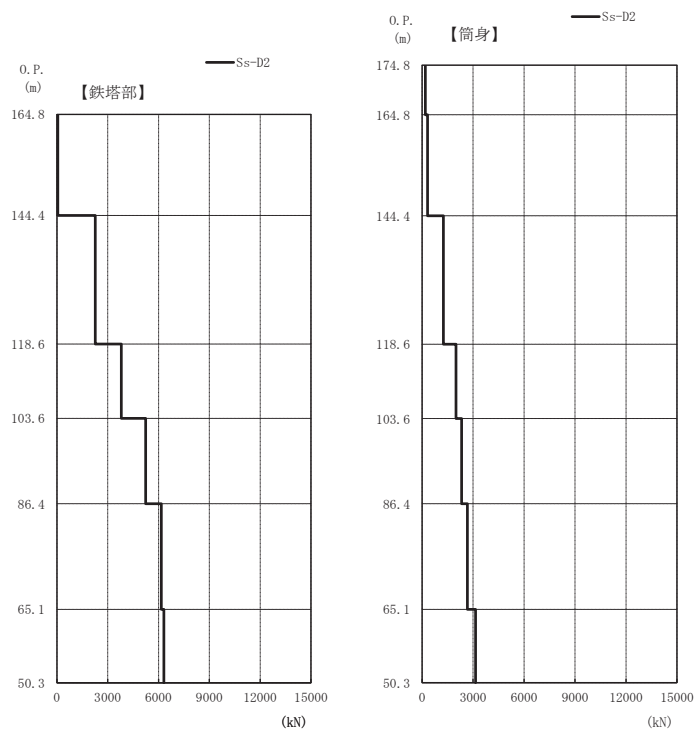


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-9(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき , ケース④) (1 / 2)

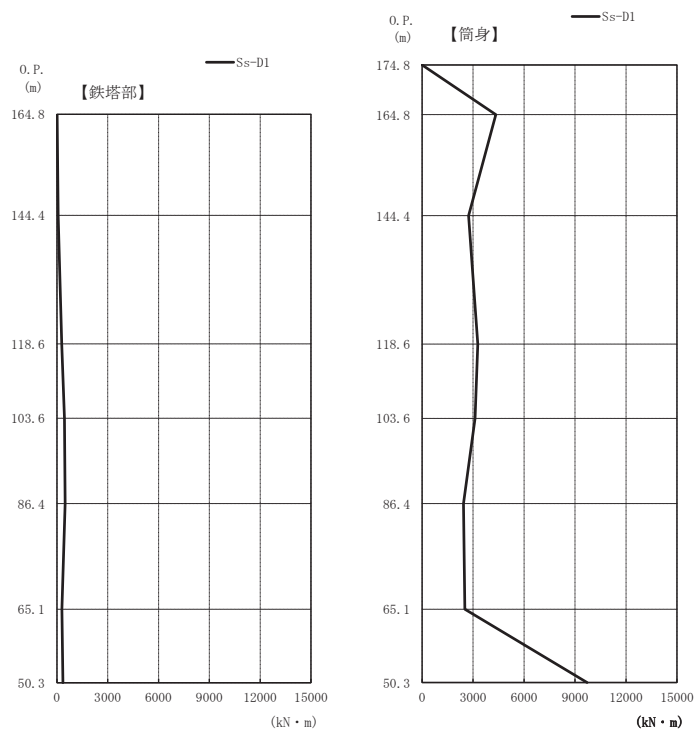


(c) S s - D 2 (I 方向)

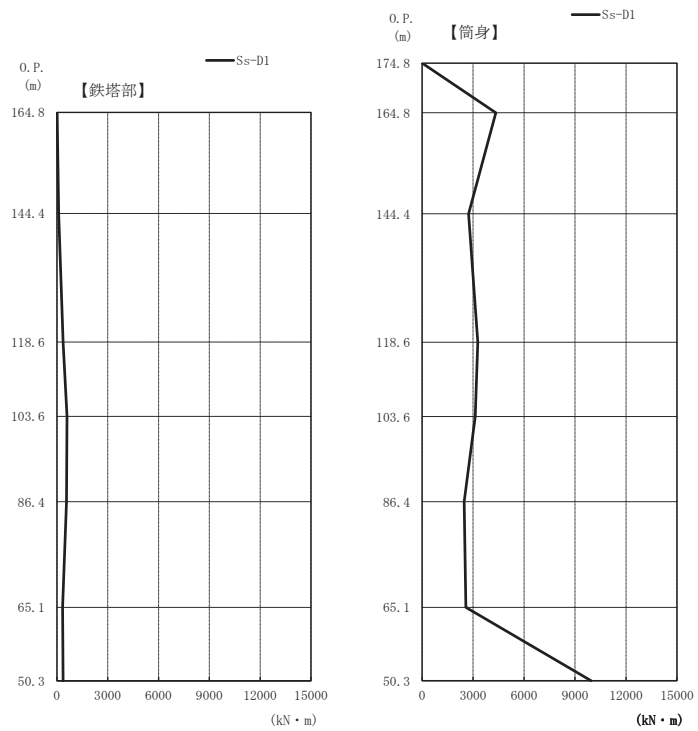


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-9(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース④) (2/2)

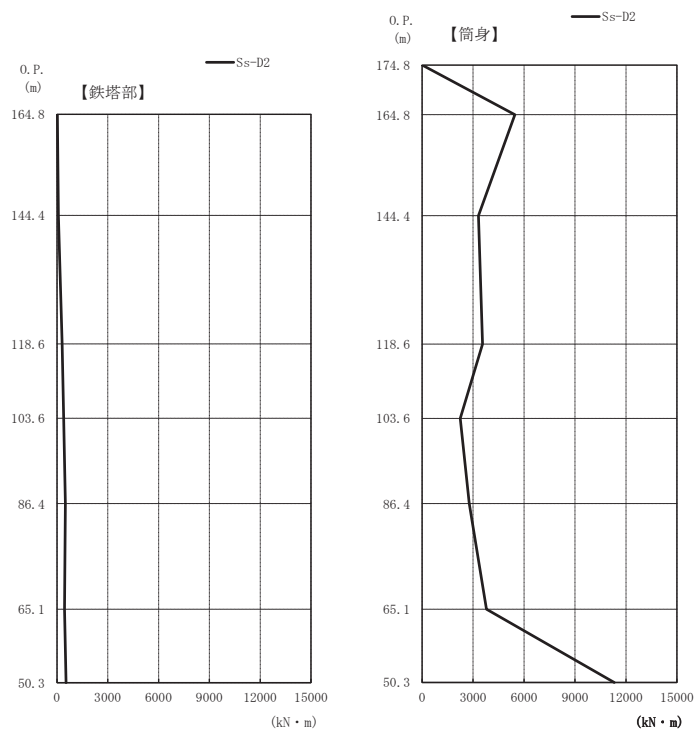


(a) S s - D 1 (I 方向)

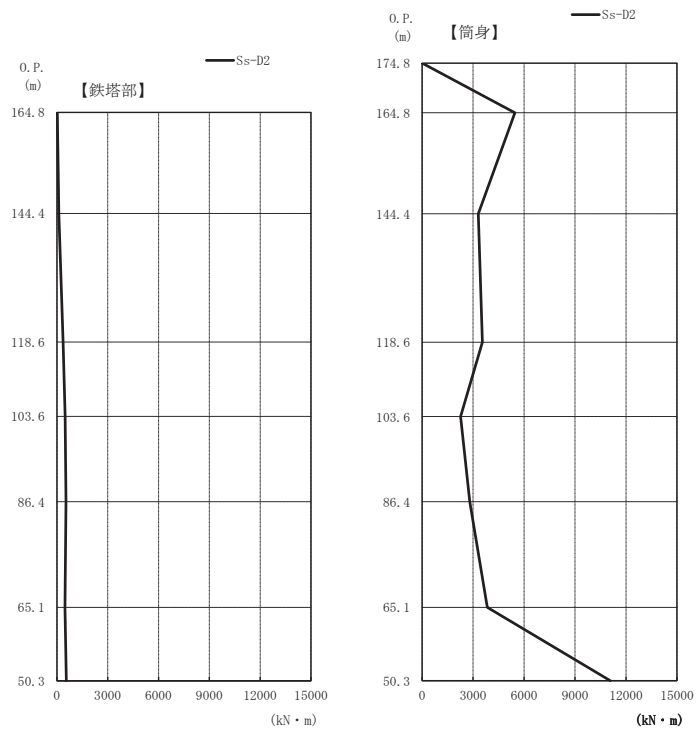


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-10(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース④) (1 / 2)

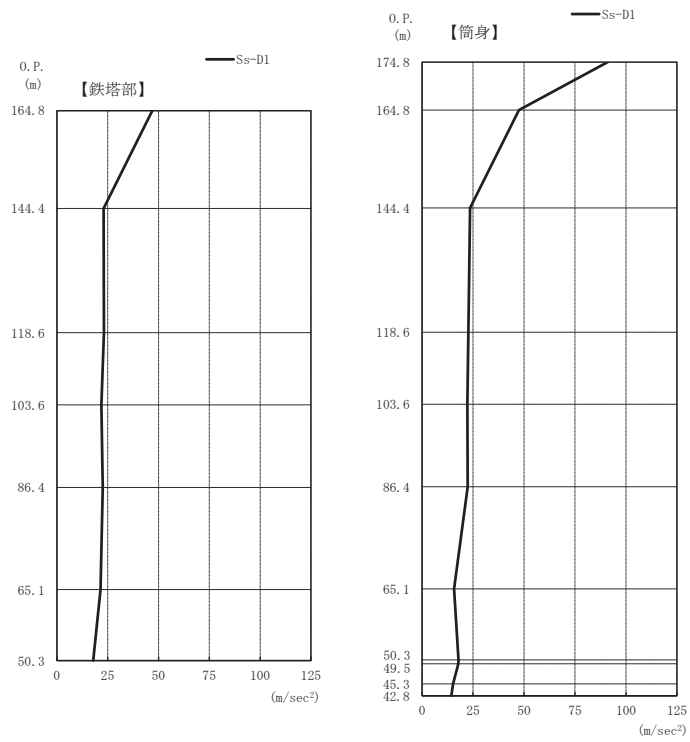


(c) S s - D 2 (I 方向)

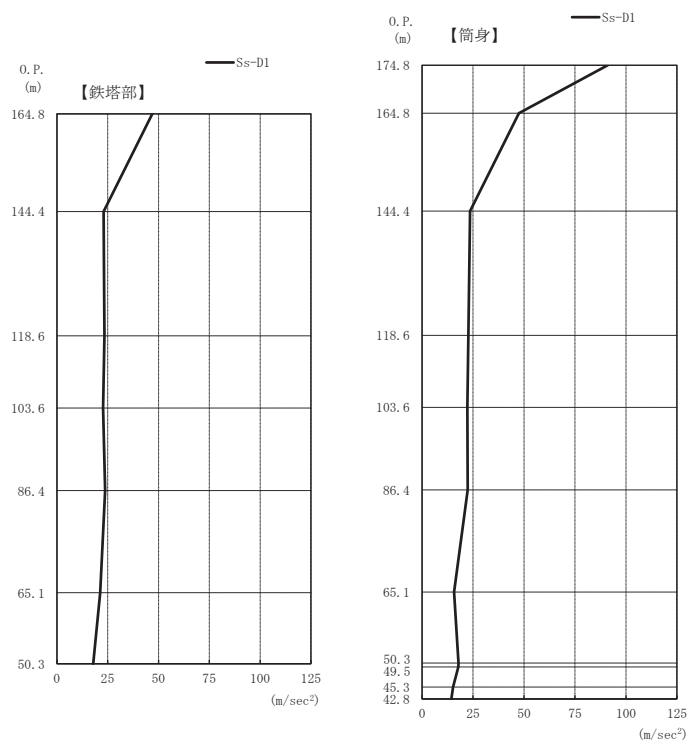


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-10(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース④) (2/2)

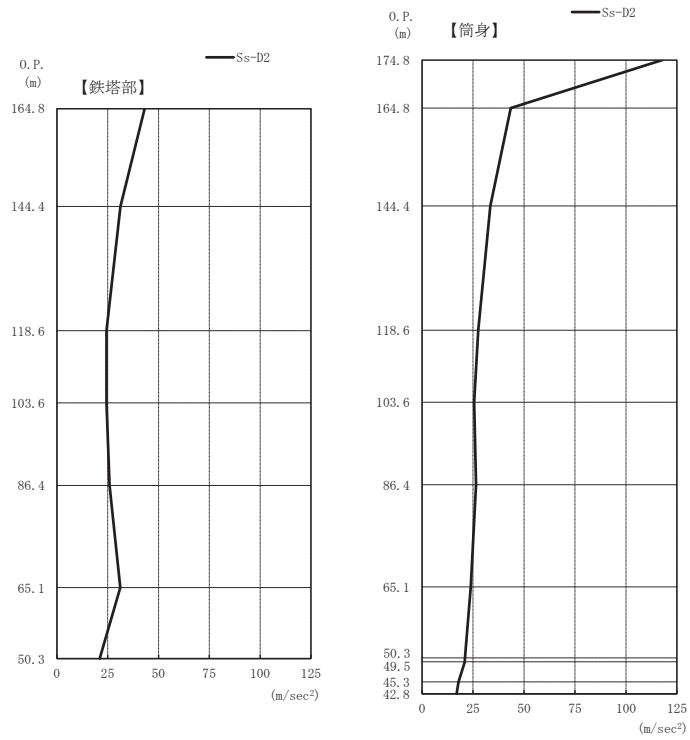


(a) S s - D 1 (I 方向)

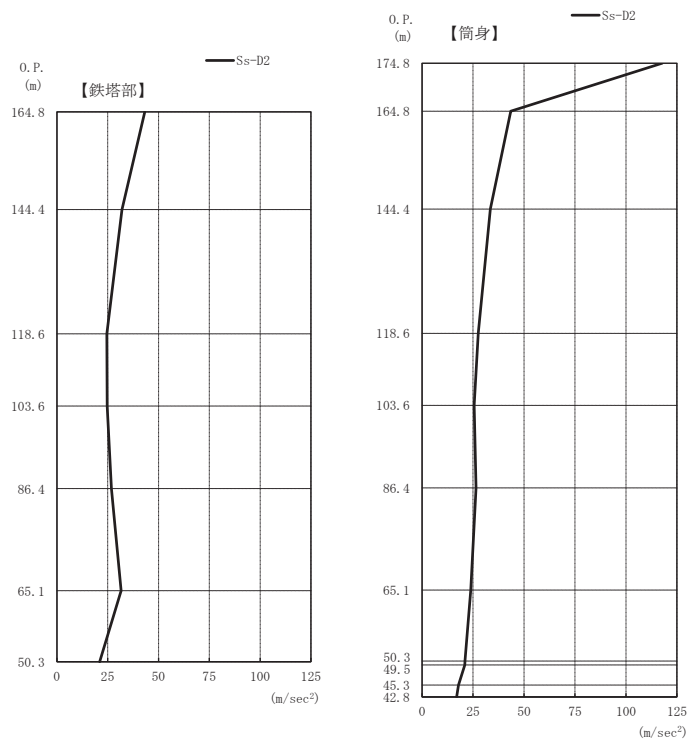


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-11(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑤) (1 / 2)

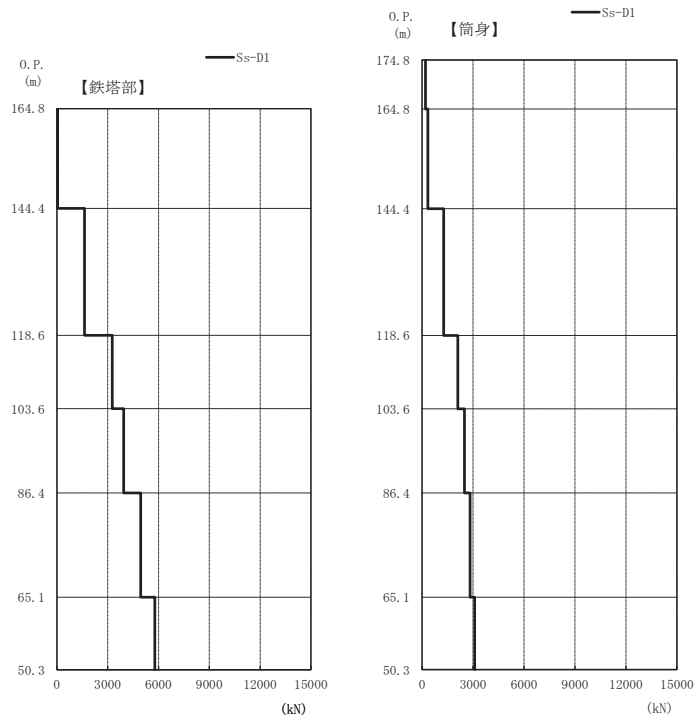


(c) S s - D 2 (I 方向)

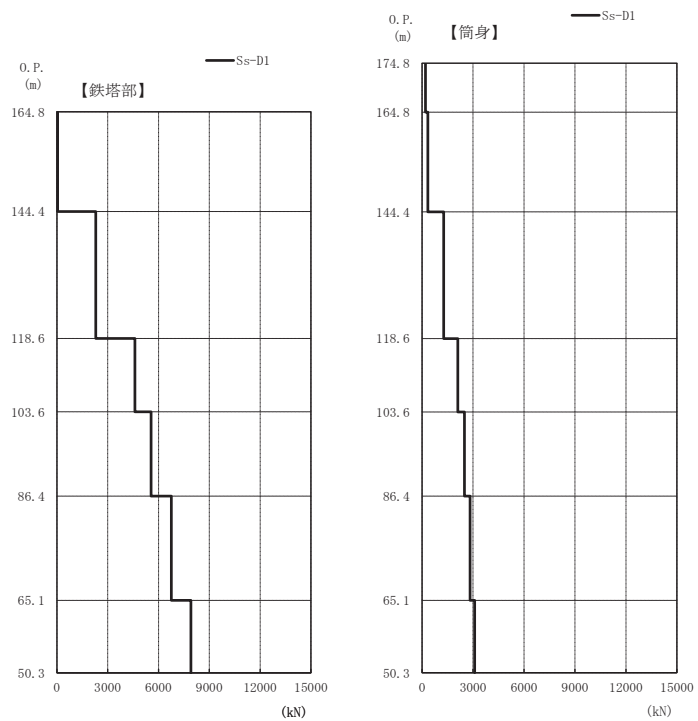


(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-11(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑤) (2 / 2)

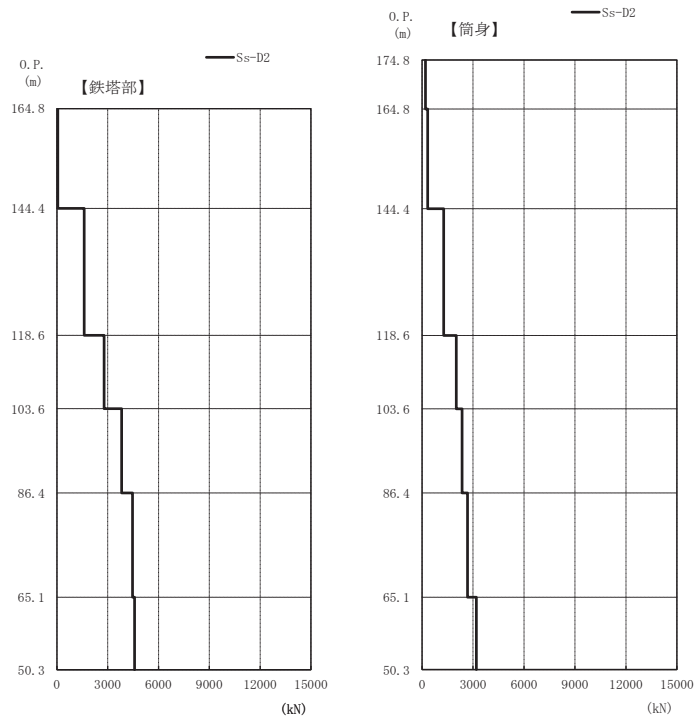


(a) S s - D 1 (I 方向)

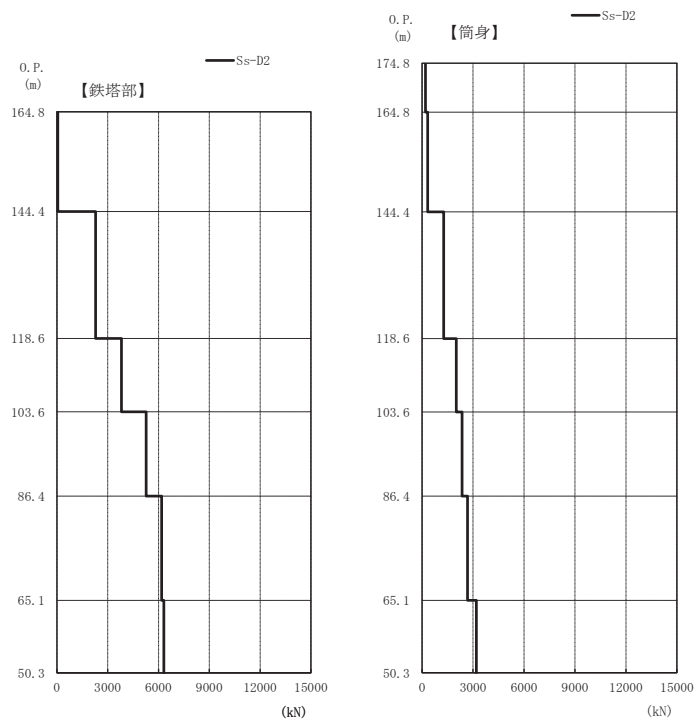


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-12(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑤) (1/2)

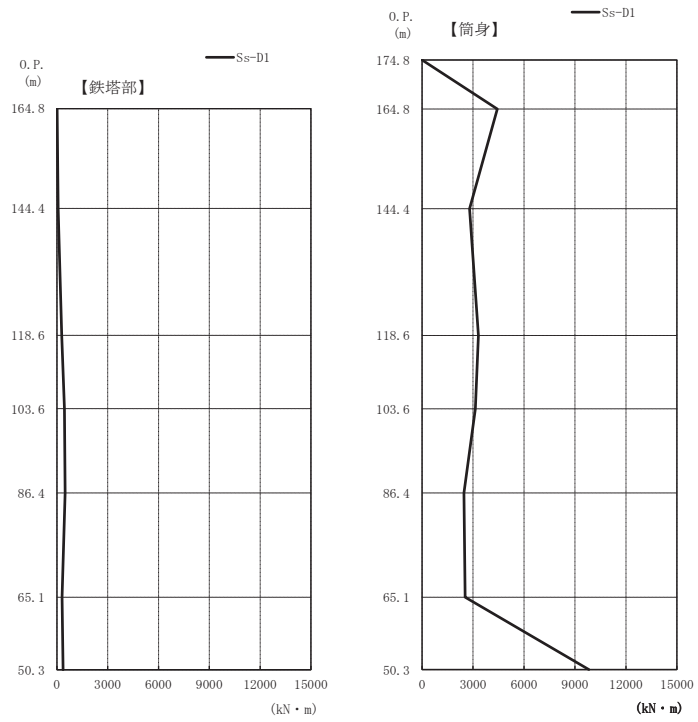


(c) $S_s - D2$ (I 方向)

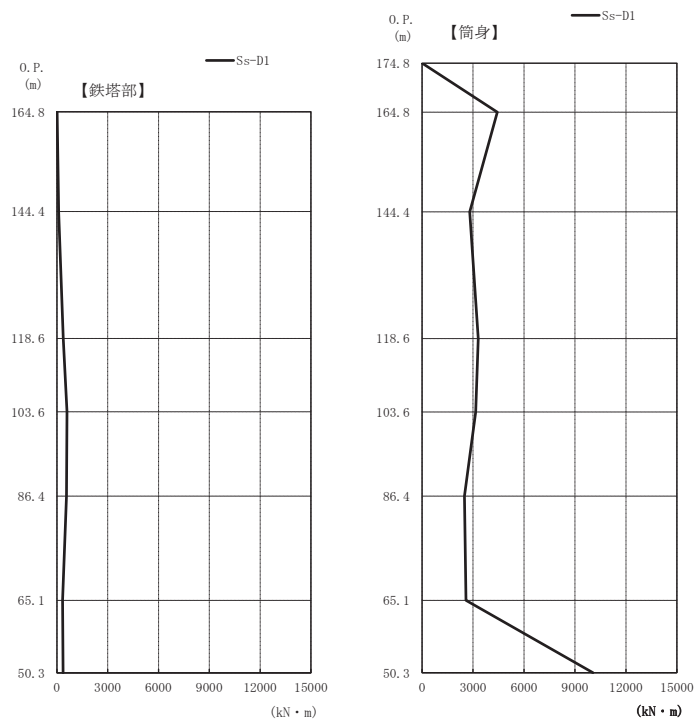


(d) $S_s - D2$ (II 方向)

図 2-12(2) 最大応答軸力 (S_s ばらつき, ケース⑤) (2/2)

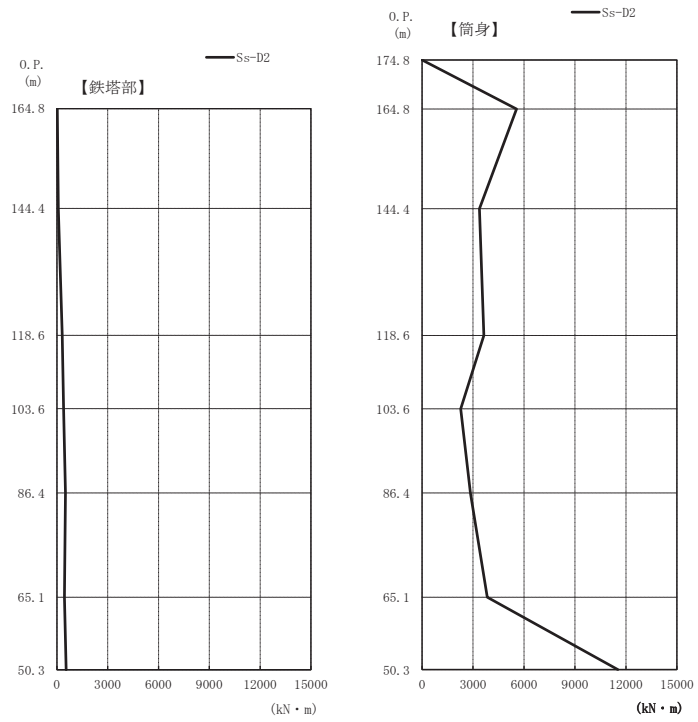


(a) S s - D 1 (I 方向)

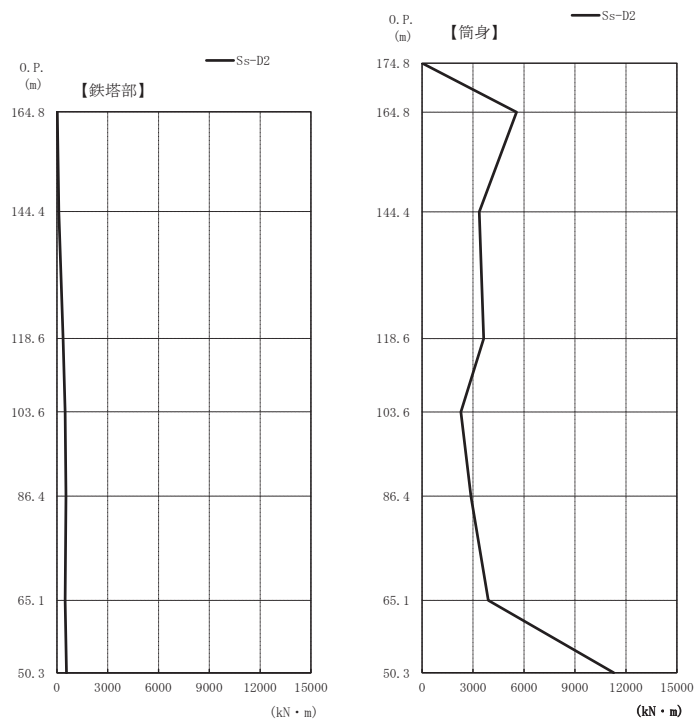


(b) S s - D 1 (II 方向)

図 2-13(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑤) (1 / 2)



(c) S s - D 2 (I 方向)



(d) S s - D 2 (II 方向)

図 2-13(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑤) (2/2)

表 2-4 主柱材 (L 位置) における $S_s - D_1$ の最大応答値

	最大応答加速度 (m/s^2)	最大応答軸力 (kN)	最大応答 曲げモーメント (kN・m)
ケース①	23.3	6756	571
ケース②	23.3	6767	567
ケース③	23.5	6699	584
ケース④	23.1	6754	570
ケース⑤	23.7	6760	571

別紙 5 第 1 号機排気筒の斜面による地震動の増幅について

目次

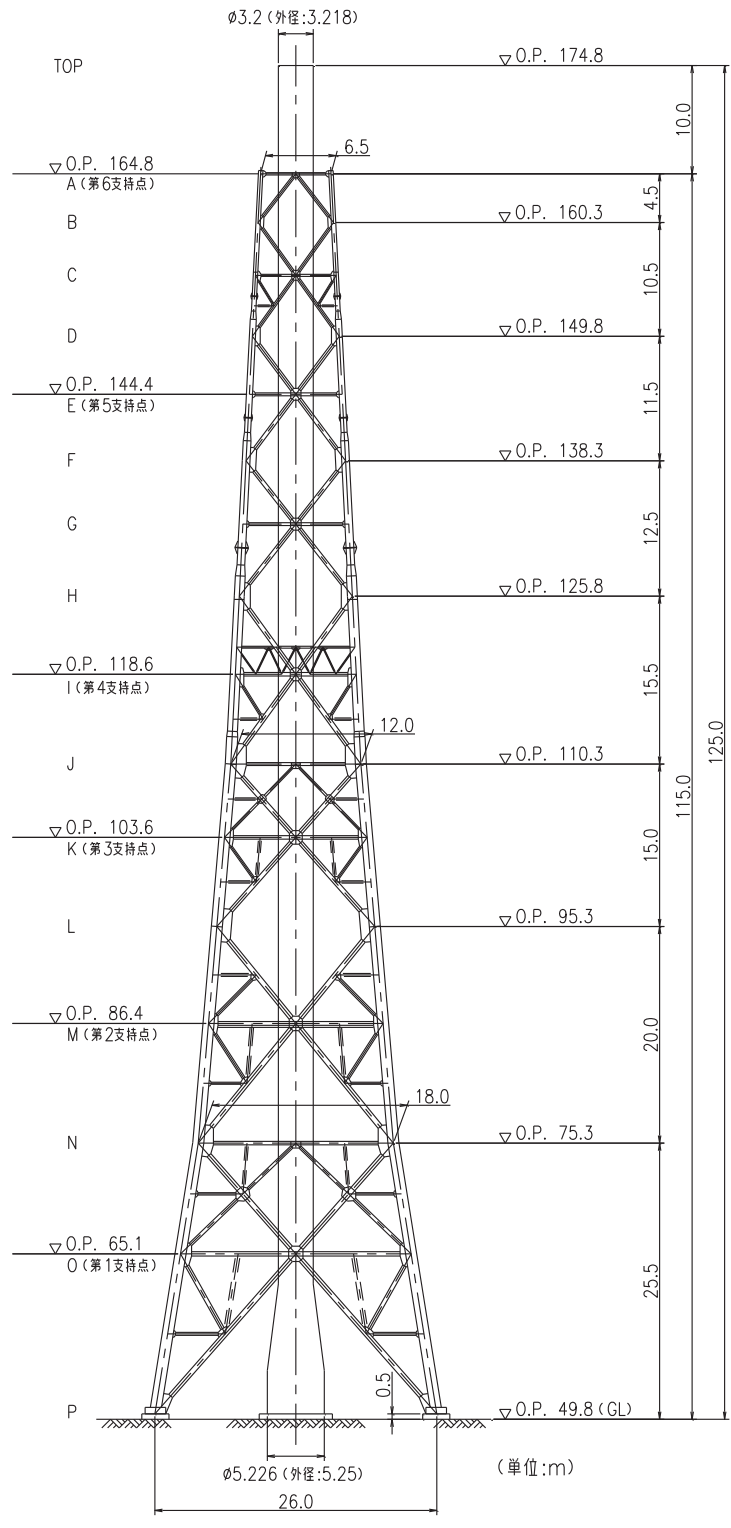
1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-1
3. 第 1 号機排気筒への入力地震動算出方法	別紙 5-4
3.1 入力地震動算出断面	別紙 5-4
3.2 評価に用いる地震波	別紙 5-5
3.3 解析方法	別紙 5-5
3.4 地震応答解析モデルへの入力地震動	別紙 5-6
3.5 解析モデル及び諸元	別紙 5-7
4. 解析モデルの妥当性検討	別紙 5-16
4.1 荷重及び荷重の組合せ	別紙 5-16
4.2 許容限界，使用材料及び材料の許容応力度	別紙 5-16
4.3 断面の評価方法	別紙 5-16
4.4 地震応答解析	別紙 5-16
4.5 評価結果	別紙 5-17

1. 概要

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」においては、第1号機排気筒への入力地震動の作成を一次元重複反射理論による引上げ解析により求めている。一方で、第1号機排気筒は斜面上に位置していることから、斜面による地震動の増幅の有無を確認し、入力地震動評価の妥当性についての検討を行う。

2. 検討方針

入力地震動評価の妥当性検討は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」の「別紙1 第1号機排気筒斜面の耐震性についての計算書」の方法を準用し、解放基盤表面で定義される地震動を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用い、二次元動的有限要素法による等価線形解析を用いて算定し、第1号機排気筒への入力地震動を作成する。算出された入力地震動を用いて添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」の第1号機排気筒の解析モデルで地震応答解析及び断面算定を実施することで解析結果への影響を確認する。第1号機排気筒の概要図を図2-1に、耐震評価フローを図2-2に示す。



主柱材		1016 ϕ ×18.0 ※1	1016 ϕ ×12.7 ※1	711.2 ϕ ×12.7	558.8 ϕ ×9.5	406.4 ϕ ×7.9
鉄骨	斜材	457.2 ϕ ×9.5	406.4 ϕ ×7.9	355.6 ϕ ×6.4	267.4 ϕ ×6.6	216.3 ϕ ×5.8
	水平材	318.5 ϕ ×6.9	267.4 ϕ ×6.6	267.4 ϕ ×6.6	267.4 ϕ ×6.6	190.7 ϕ ×5.3
筒身		t=12	t=9			
部材リスト(単位:mm)						

図 2-1 第 1 号機排気筒の概要図

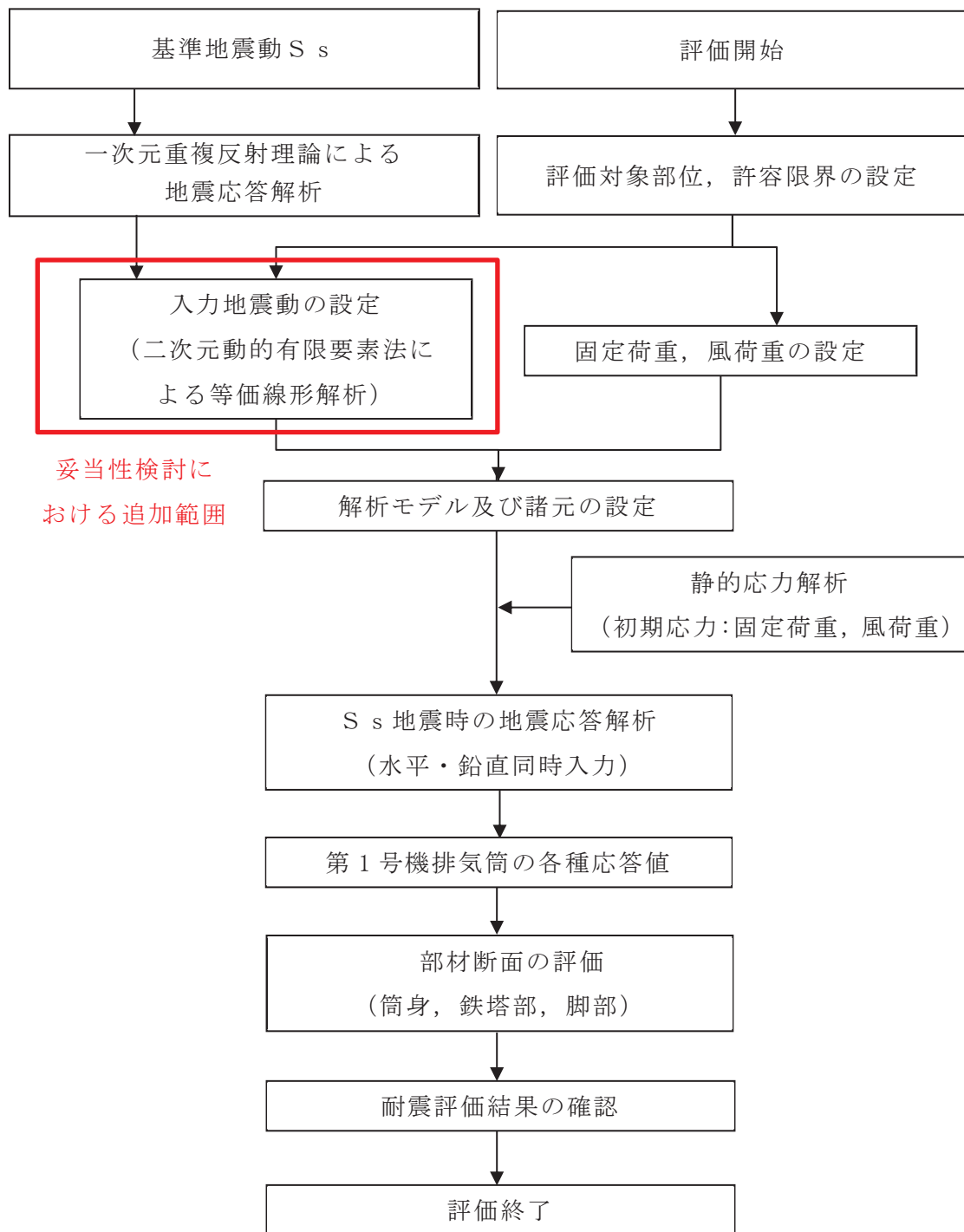


図 2-2 第 1 号機排気筒の耐震評価フロー

3. 第1号機排気筒への入力地震動算出方法

3.1 入力地震動算出断面

入力地震動の算出断面は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」の「別紙1 第1号機排気筒斜面の耐震性についての計算書」と同様に、斜面の高さ、斜面の最急勾配の方向を考慮してEW断面とする。

入力地震動算出用の断面位置図を図3-1、入力地震動算出用の地質断面図を図3-2に示す。

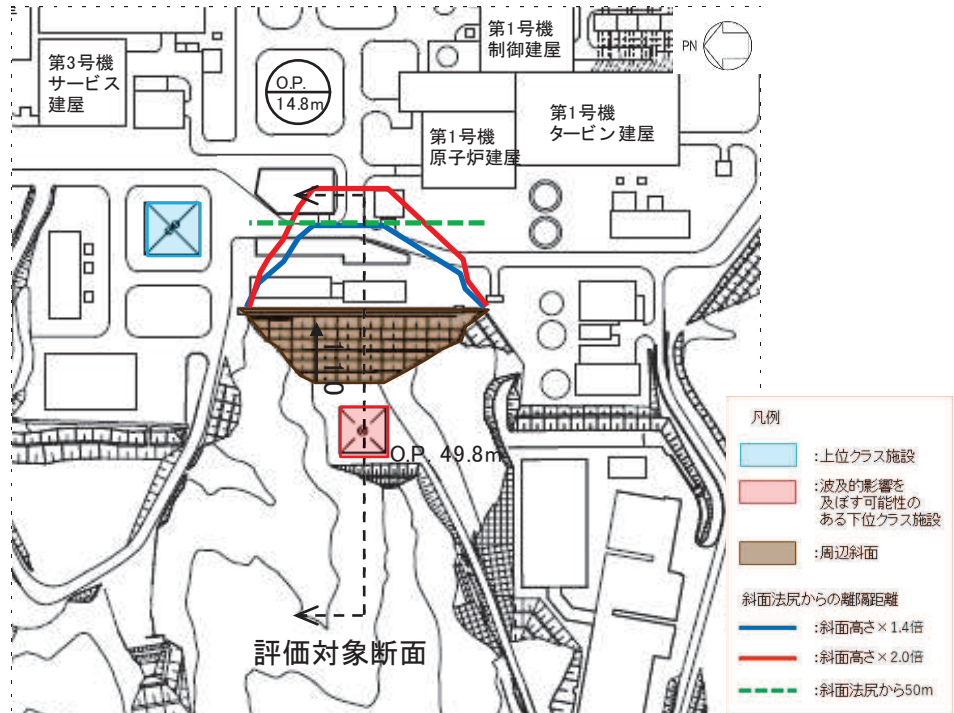


図3-1 第1号機排気筒の入力地震動算出用断面位置図

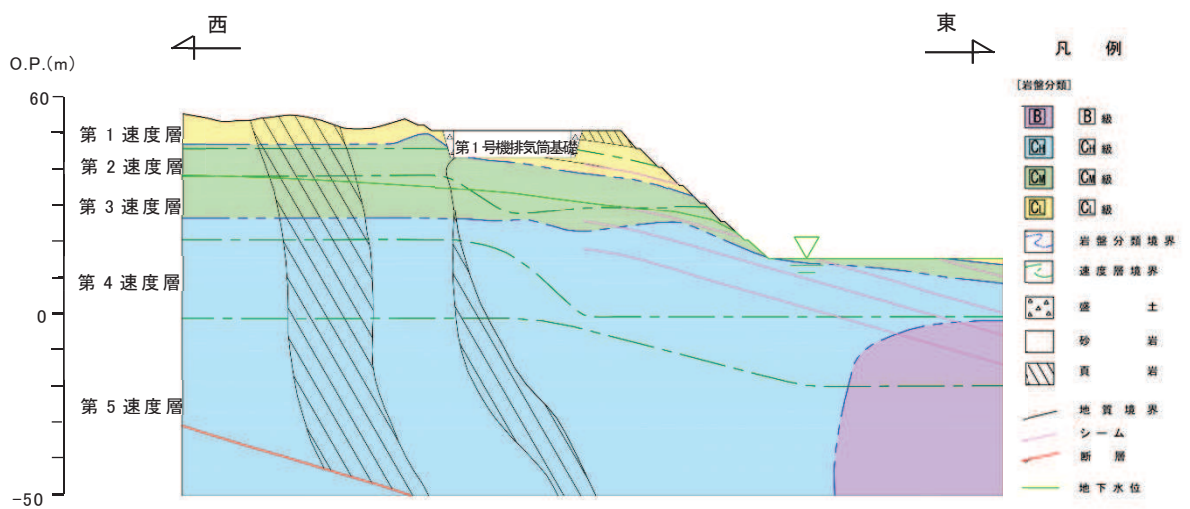


図3-2 第1号機排気筒 入力地震動算出用地質断面図

3.2 評価に用いる地震波

地震応答解析に用いる地震波は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同様に基準地震動 S_s (7波) とする。

3.3 解析方法

地震応答解析による入力地震動算出は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.1 建物・構築物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による周波数領域による複素応答解析により行う。地盤と構造物の相互作用は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同様に S_R モデルを用いることとし、入力地震動の評価は、構造物を取り除いた地盤のみの離散系モデル（二次元有限要素法）により行う。

地震応答解析については、解析コード「SuperFLUSH/2D Ver. 6.1」を使用する。なお、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。

減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「3. 設計用減衰定数」に示される排気筒の減衰定数を、地盤については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」に示される狐崎部層の減衰定数を使用する。

3.4 地震応答解析モデルへの入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.1 建物・構築物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE 導入時 Ver.」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、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。

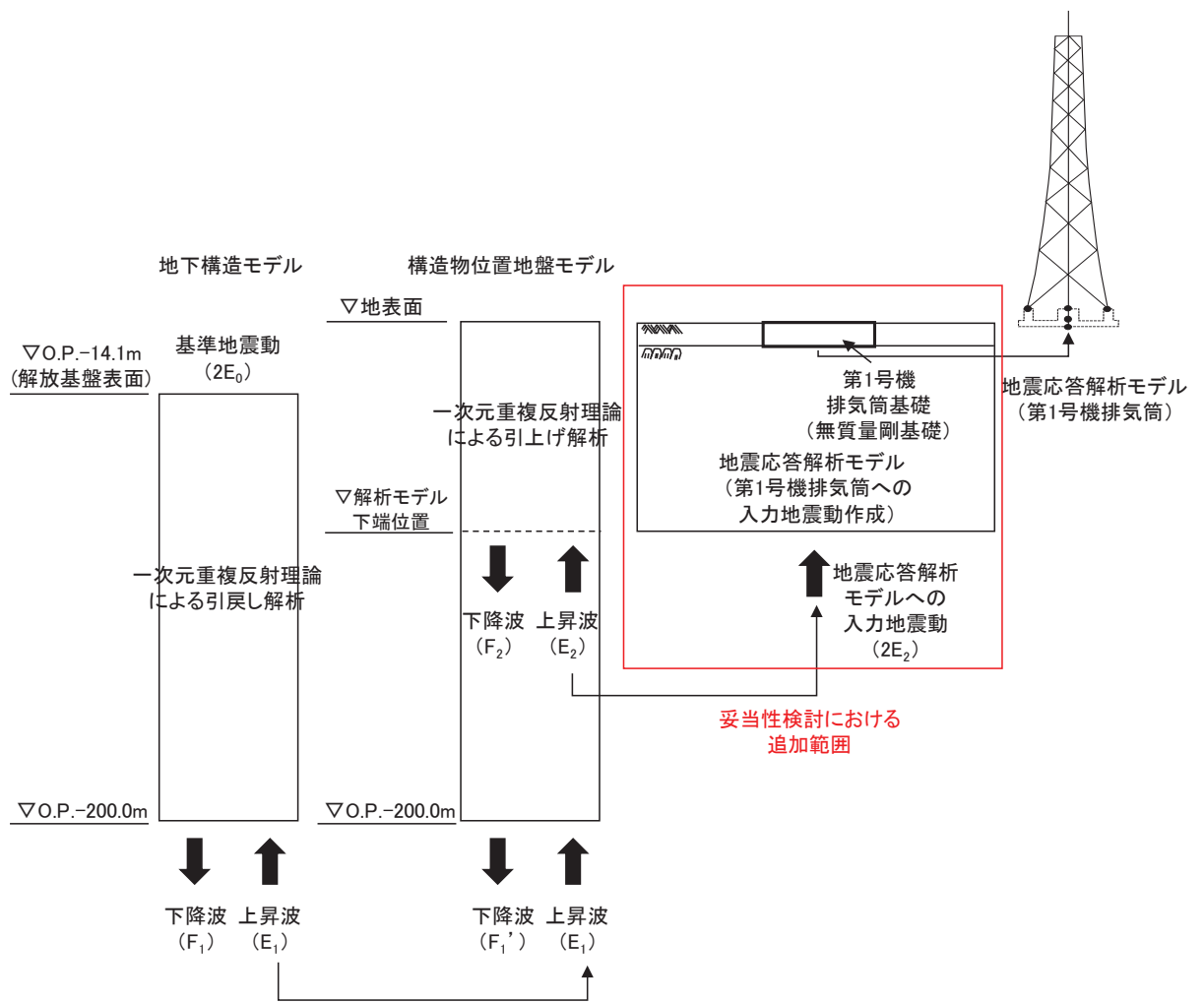


図 3-3 入力地震動の算定方法

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

第1号機排気筒の地震応答解析モデルを図3-4に示す。

(1) 解析領域

二次元動的有限要素法による等価線形解析の解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

(2) 境界条件

二次元動的有限要素法による等価線形解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、底面に粘性境界を、側面にエネルギー伝達境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

第1号機排気筒上部構造はモデル化していないが、第1号機排気筒基礎は無質量の剛要素としてモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土は、等価線形化法により、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

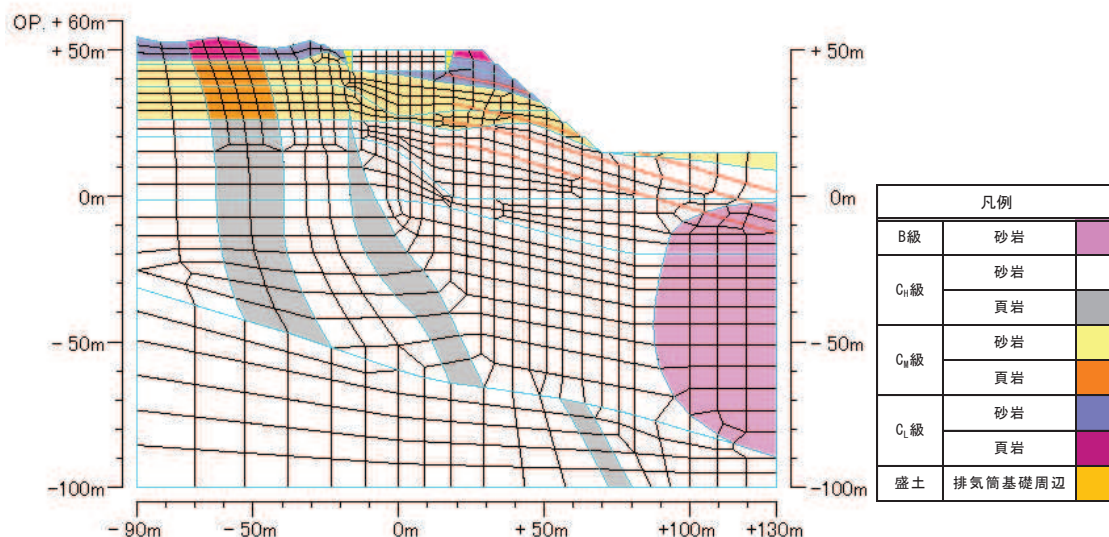


図3-4 第1号機排気筒の地震応答解析モデル図

3.5.2 使用材料の物性値及び地盤の物性値

構造物の使用材料及び地盤の物性値は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」と同様とする。

3.5.3 地下水位

設計用地下水位は、添付書類「VI-1-1-6-別添1 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に従い設定する。設計用地下水位を図3-5に示す。

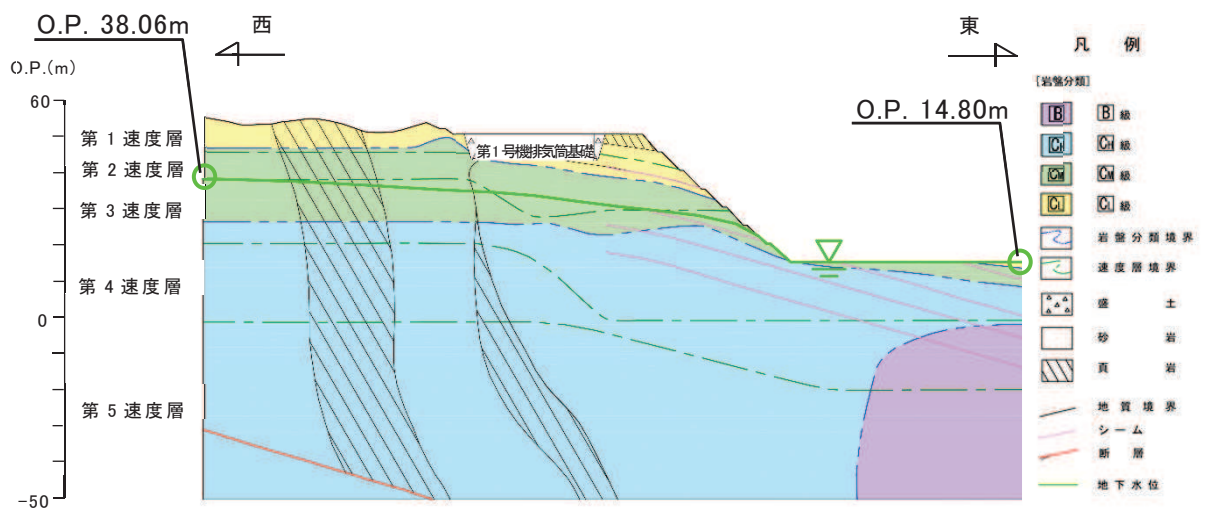
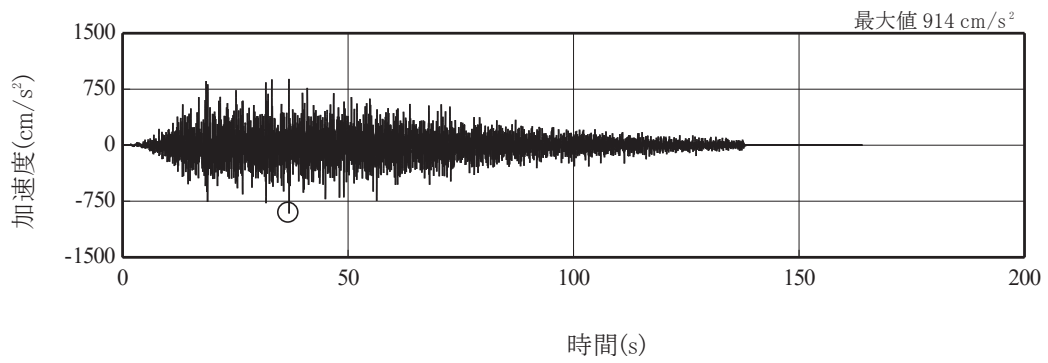


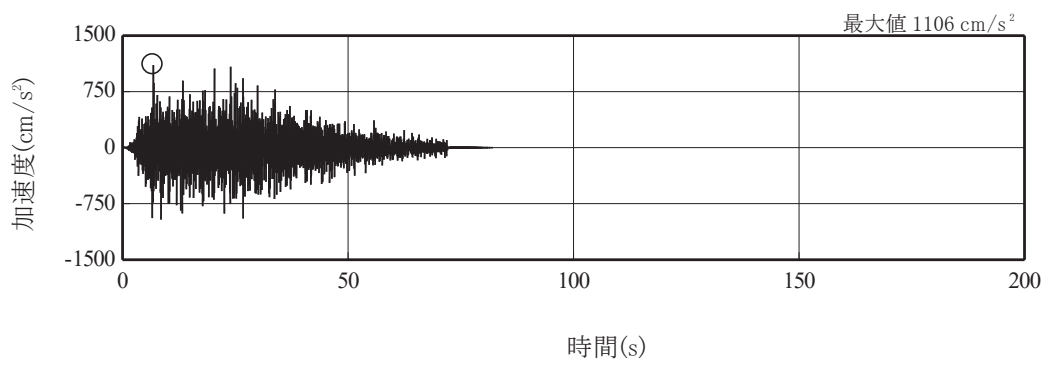
図3-5 設計用地下水位

3.6 入力地震動算出結果

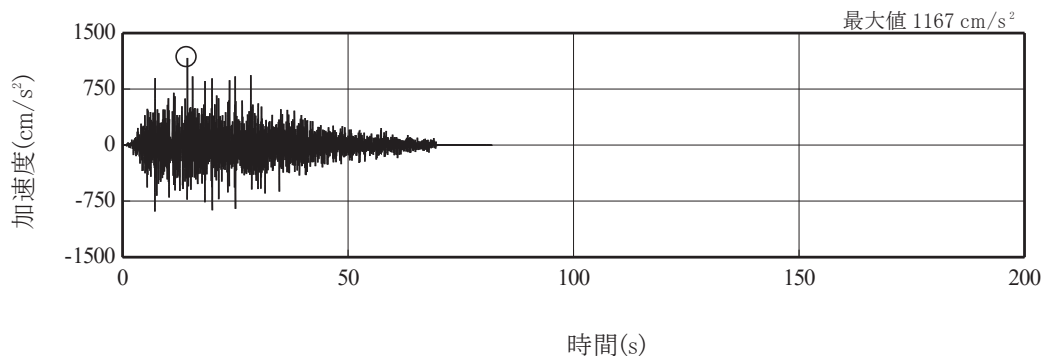
第1号機排気筒における入力地震動の加速度時刻歴波形を図3-6、加速度応答スペクトルを図3-7に示す。



(a) S s - D 1

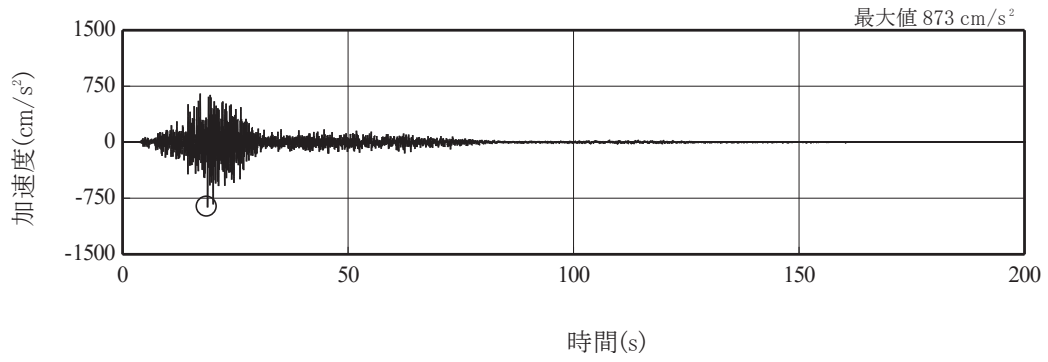


(b) S s - D 2

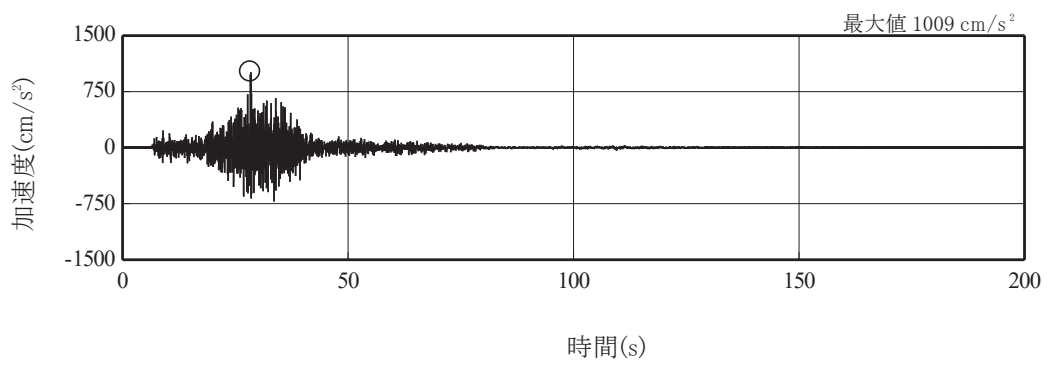


(c) S s - D 3

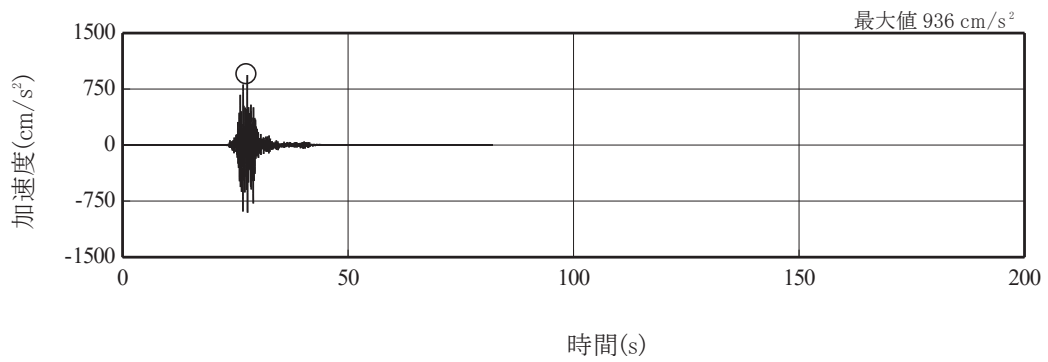
図 3-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s, 水平成分) (1/3)



(d) S s - F 1



(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-6(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (2/3)

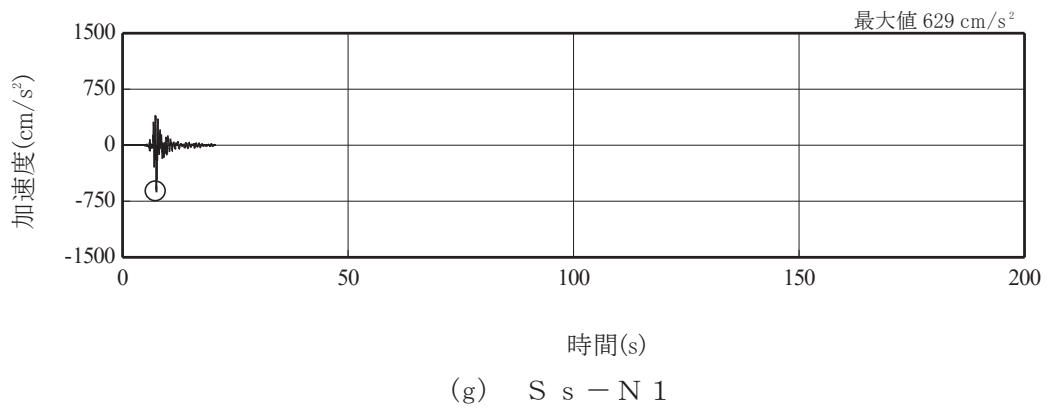
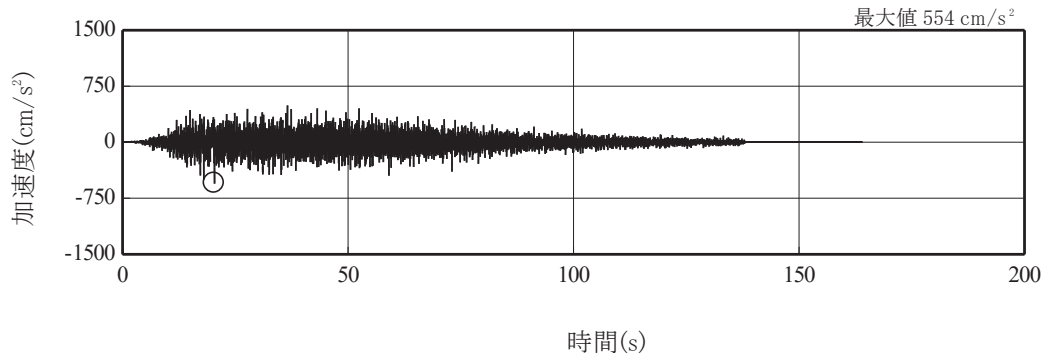
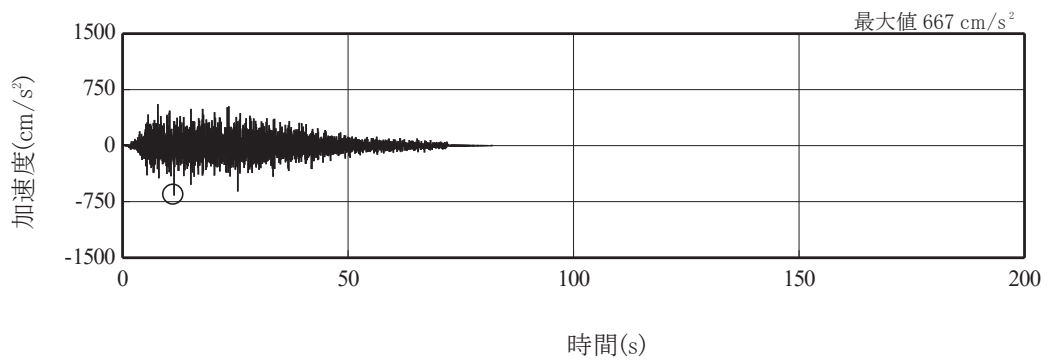


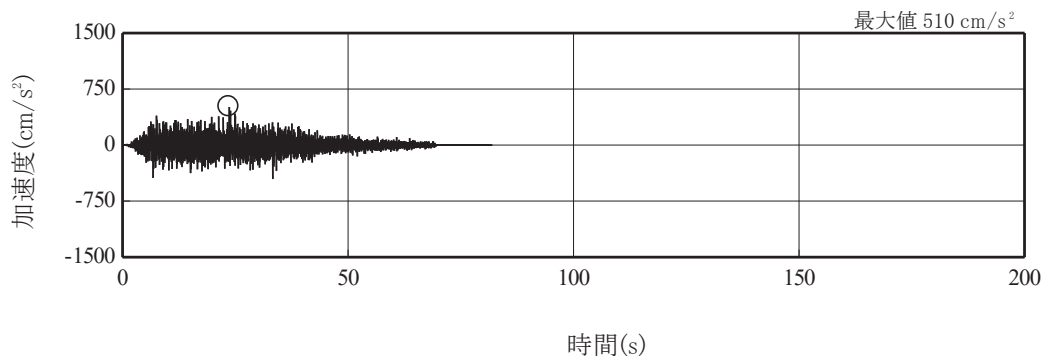
図 3-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (基準地震動 S s , 水平成分) (3/3)



(a) S s - D 1

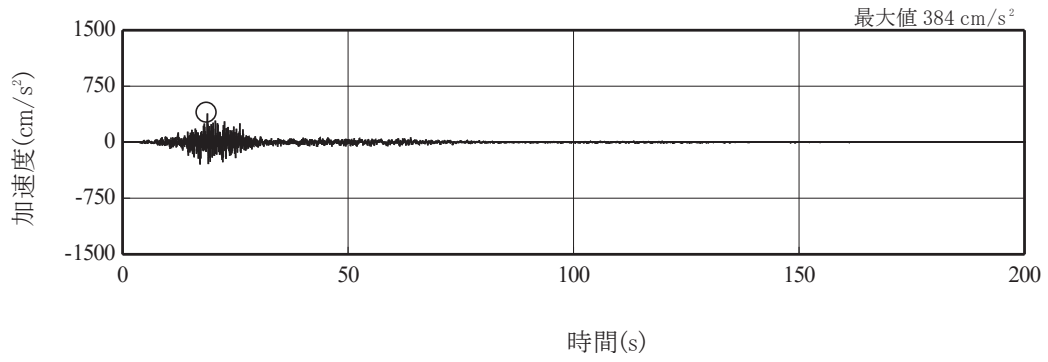


(b) S s - D 2

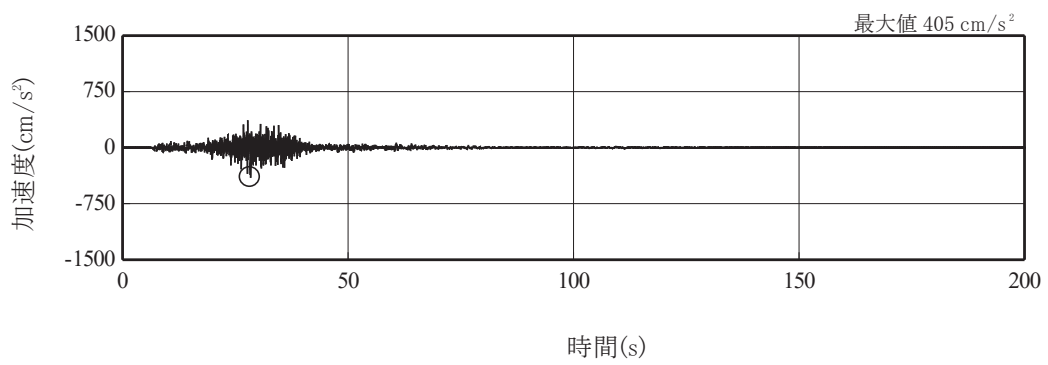


(c) S s - D 3

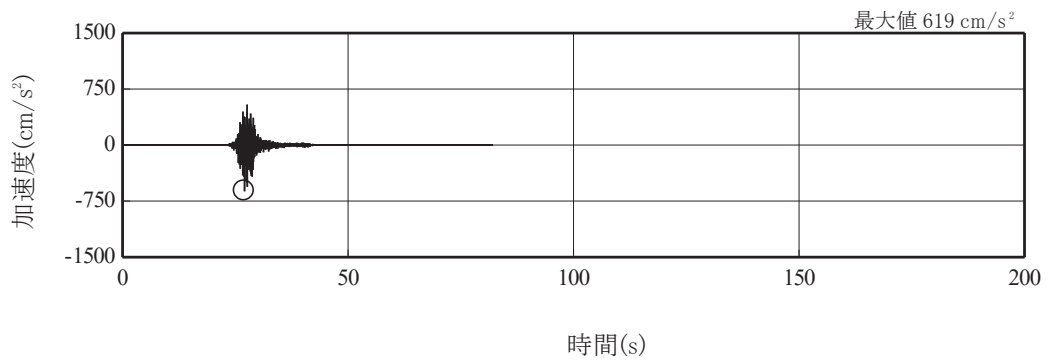
図 3-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s, 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1



(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-6(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (2/3)

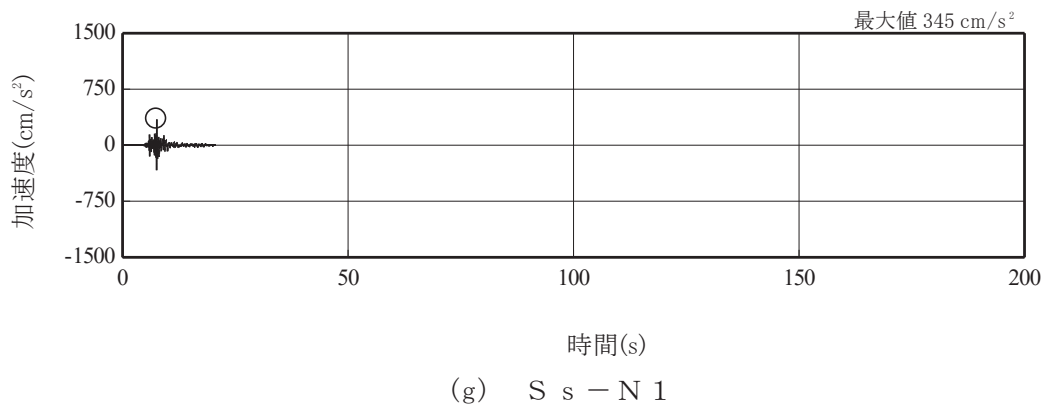


図 3-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (基準地震動 S s , 鉛直成分) (3/3)

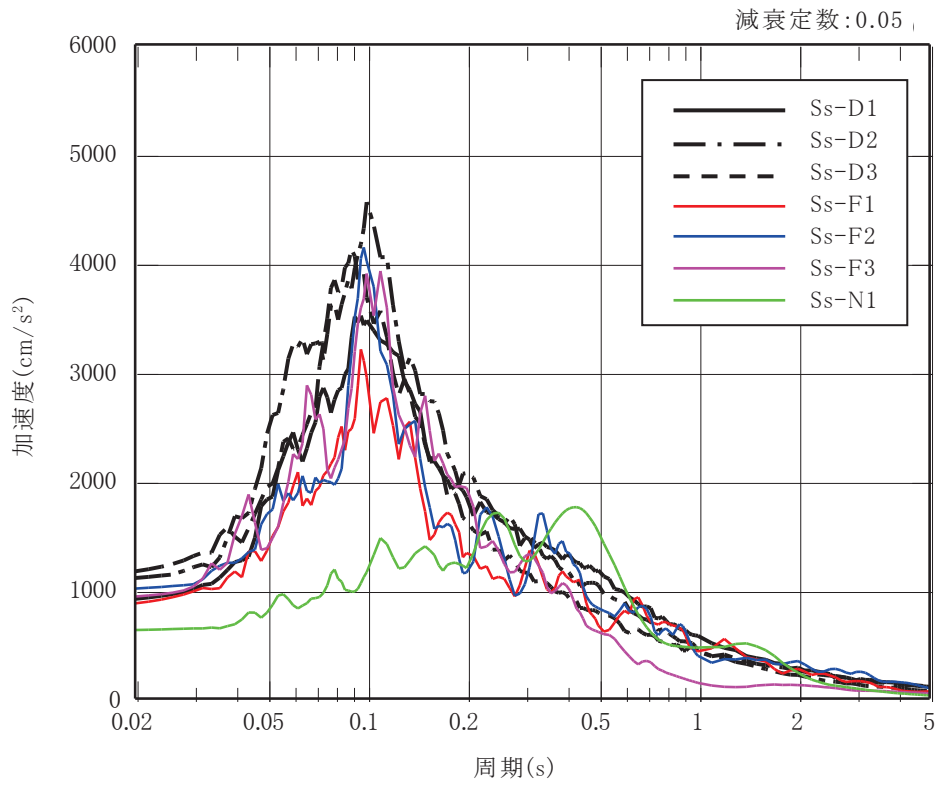


図 3-7(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 水平成分)

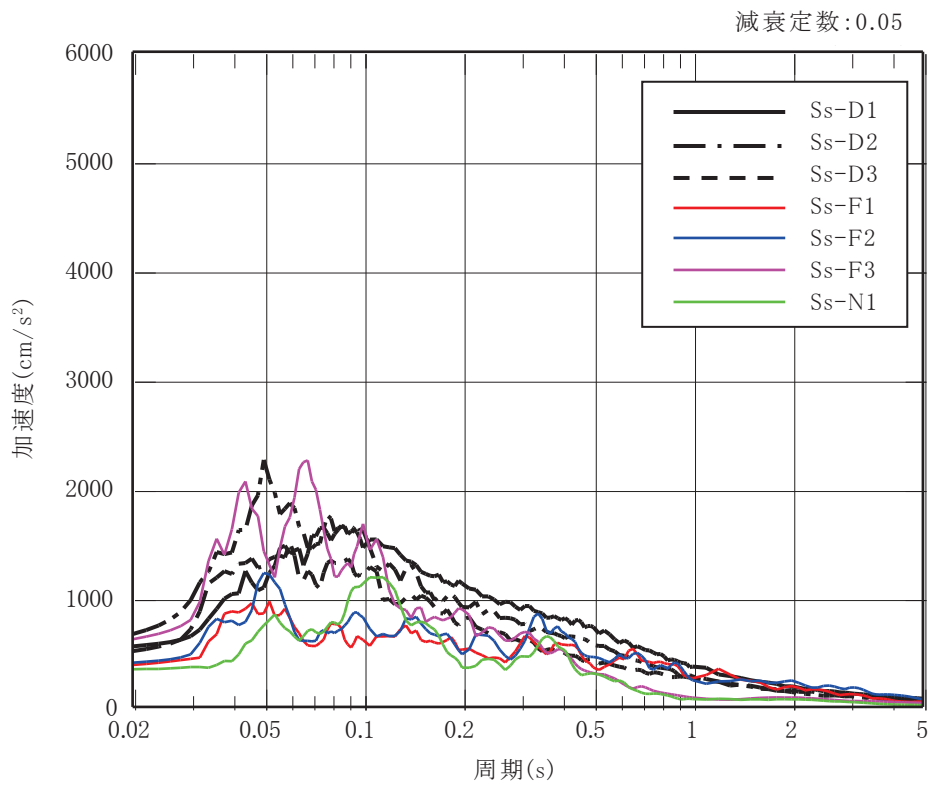


図 3-7(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 鉛直成分)

4. 解析モデルの妥当性検討

4.1 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.3 荷重及び荷重の組合せ」を基本とするが、風荷重及び地震力の作用方向は、支柱材の応力度比が厳しいⅡ方向を用いて検討を行う。

表4-1に荷重の組合せを、図4-1に荷重の作用方向の説明を示す。

表4-1 荷重の組合せ

外力の状態	ケース名	荷重の組合せ
S _s 地震力	Ⅱ方向	G + P _k (Ⅱ) + S _s (Ⅱ)

注：記号の説明

- G : 固定荷重
- P_k(Ⅱ) : Ⅱ方向からの風荷重
- S_s(Ⅱ) : 基準地震動S_sのⅡ方向加振により定まる地震力

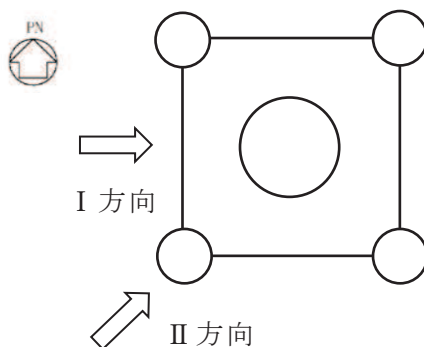


図4-1 荷重作用方向の説明

4.2 許容限界，使用材料及び材料の許容応力度

許容限界は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.4 許容限界」、使用材料及び材料の許容応力度は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.5 使用材料及び材料の許容応力度」と同様とする。

4.3 断面の評価方法

断面の評価方法は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.6 断面の評価方法」と同様とする。

4.4 地震応答解析

地震応答解析は、添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」のうち「3.7 地震応答解析」を基本とするが、地震応答解析は二次元動的有限要素法による等価線形解析によって求めた「3.6 入力地震動算出結果」の入力地震動を用いる。また、検討ケースは基準地震動 S_s の内、最も応力度比が厳しい地震動の基本ケースとする。

4.5 評価結果

「4.3 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。断面の評価結果を記載する解析ケースは、基本ケースの断面検定において、応力度比が最大となる入力地震動を採用する。

一次元重複反射理論 (SHAKE) と二次元動的有限要素法 (FLUSH) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図4-2に、各々の応答スペクトルの値を表4-2に示す。加速度応答スペクトル図を見ると、地盤のモデル化の違いにより、0.1秒以下の加速度応答スペクトルに違いは見られるものの、排気筒の主要モードの周期となる0.1秒以上の加速度応答スペクトルはおおむね同等となり、斜面による地震動の増幅は見られなかった。

基準地震動 S_s に対する評価結果 (応力度比) を表4-3～表4-4に示す。

一次元重複反射理論と二次元動的有限要素法の結果を比較すると応力度比が多少増加することを確認した。部材の評価結果の違いについては、第1号機排気筒の2次モードに対応する加速度応答スペクトルの違いにより生じたことが分かった。

以上により、第1号排気筒の入力地震動を一次元重複反射理論により求めることで、地盤のモデル化の違いにより評価結果が多少増加するものの、斜面による地震動の増幅は見られず、入力地震動評価は妥当だと言える。

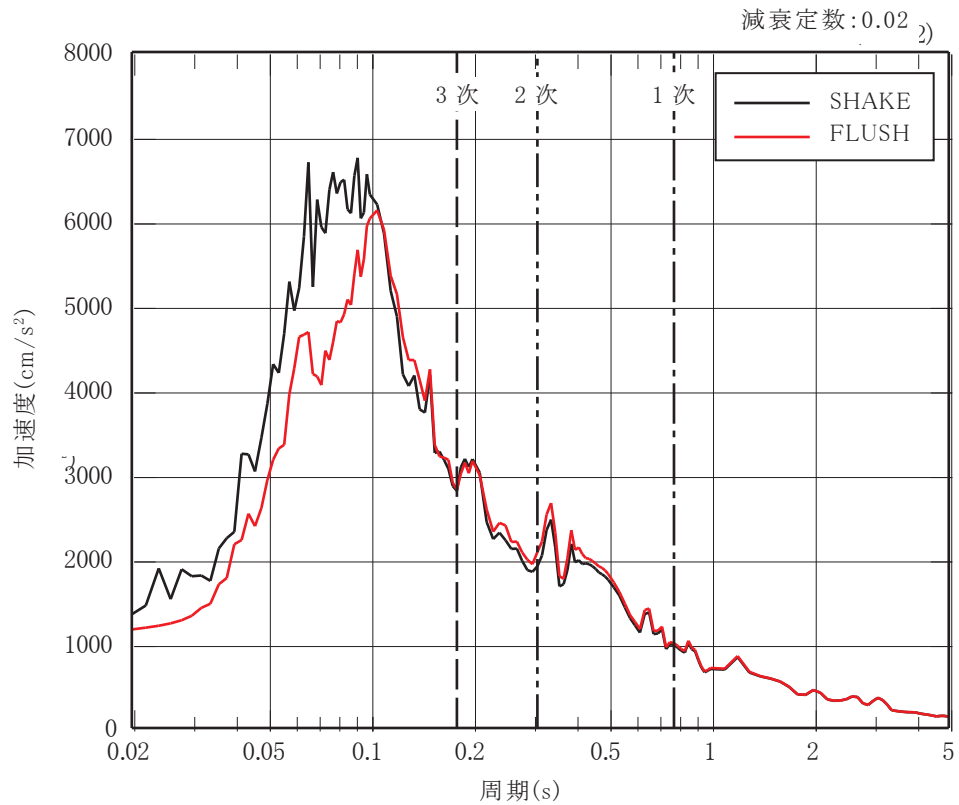


図 4-2 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s 7 波包絡, 水平成分)

表 4-2 応答スペクトルの比較結果 (h = 0.02)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (cm/s ²)		(b)/(a)
		SHAKE (a)	FLUSH (b)	
1	0.778	985	1006	1.02
2	0.306	1914	2082	1.09
3	0.179	2807	2823	1.01

表4-3 支柱材の評価結果（S_s7波包絡，ケース①）

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	一次元重複 反射理論		二次元動的 有限要素法	
			地震動	評価結果	地震動	評価結果
164.8-160.3	A-B	φ 406.4×7.9	S _s -D 2	0.12	S _s -D 2	0.16
160.3-155.4	B-C	φ 406.4×7.9	S _s -D 1	0.68	S _s -D 2	0.72
155.4-149.8	C-D	φ 406.4×7.9	S _s -D 2	0.81	S _s -D 2	0.83
149.8-144.4	D-E	φ 558.8×9.5	S _s -D 2	0.83	S _s -D 2	0.87
144.4-138.3	E-F	φ 558.8×9.5	S _s -D 2	0.84	S _s -D 2	<u>0.89</u>
138.3-132.4	F-G	φ 711.2×12.7	S _s -D 1	0.68	S _s -D 2	0.70
132.4-125.8	G-H	φ 711.2×12.7	S _s -D 1	0.75	S _s -D 1	0.78
125.8-118.6	H-I	φ 914.4×12.7	S _s -D 1	0.73	S _s -D 1	0.78
118.6-110.3	I-J	φ 914.4×12.7	S _s -D 1	0.75	S _s -D 1	0.79
110.3-103.6	J-K	φ 1016.0×12.7	S _s -D 1	0.84	S _s -D 1	0.86
103.6-95.3	K-L	φ 1016.0×12.7	S _s -D 1	<u>0.85</u>	S _s -D 1	0.87
95.3-86.4	L-M	φ 1016.0×16.0	S _s -F 1	0.75	S _s -D 1	0.78
86.4-75.3	M-N	φ 1016.0×16.0	S _s -F 1	0.76	S _s -F 1	0.77
75.3-65.1	N-O	φ 1016.0×18.0	S _s -D 1	0.67	S _s -D 1	0.69
65.1-50.3	O-P	φ 1016.0×18.0	S _s -F 1	0.70	S _s -F 1	0.73

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

表4-4 鉄塔脚部の評価結果（S_s-F 1，ケース①）

評価部位	応力分類	一次元重複 反射理論	二次元動的 有限要素法
アンカーボルト	引張	0.42	0.44
	せん断	0.28	0.29
	組合せ	0.42	0.44
コンクリート（コーン状破壊）	引張	0.65	0.69
コンクリート（圧縮）	圧縮	0.21	0.22
ベースプレート	面外曲げ	0.42	0.29
フランジプレート	面外曲げ	<u>0.77</u>	<u>0.81</u>
リブプレート	圧縮	0.33	0.34
	せん断	0.49	0.50

別紙 6 第 1 号機排気筒斜面の安定性評価における第 1 号機排気筒
のモデル化について

目次

1. 概要…………… 別紙 6-1
2. 第 1 号機排気筒のモデル化…………… 別紙 6-1

1. 概要

本資料は、第1号機排気筒斜面の安定性評価における第1号機排気筒のモデル化について説明するものである。

2. 第1号機排気筒のモデル化

第1号機排気筒斜面の安定性評価に用いる第1号機排気筒の解析モデルについては、女川原子力発電所第一号機「工事計画認可申請書」(56資庁第11510号 昭和56年12月24日認可)(以下、「建設時工認(認可)」という。)の質点系モデルを使用する。第1号機排気筒の解析モデル図を図2-1に示す。

第1号機排気筒の解析モデルは、各部材の重量を質点に集約し、水平方向の荷重に対する剛性を曲げせん断はり要素により考慮する。鉛直方向については、剛体として挙するものとみなし各節点間に剛な鉛直ばねを設置する。

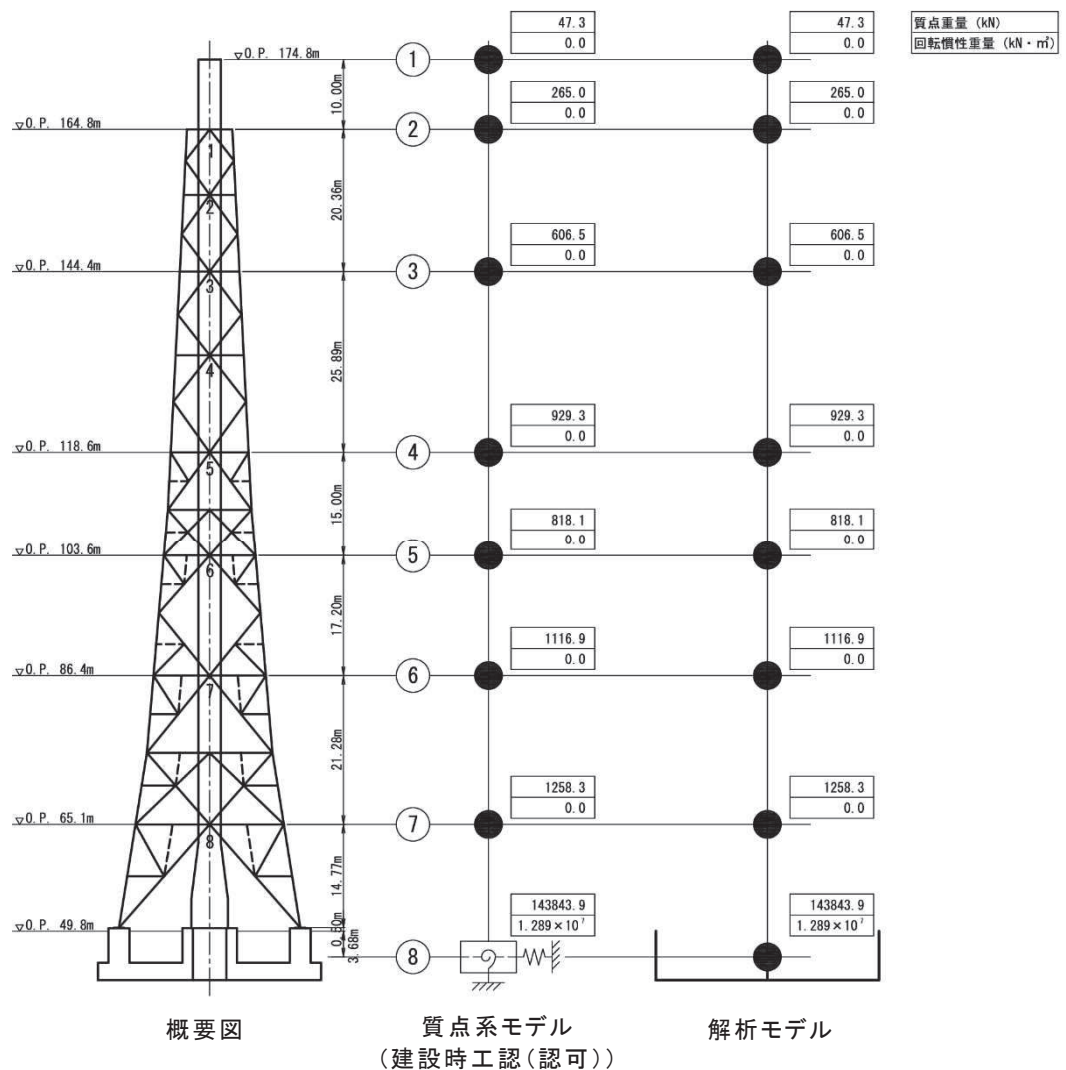


図2-1 第1号機排気筒の解析モデル図

別紙 7 第 1 号機排気筒斜面の安定性評価における
すべり面の設定について

目次

1. 概要…………… 別紙 7-1
2. すべり面の設定方法…………… 別紙 7-1
3. すべり面の設定結果…………… 別紙 7-1

1. 概要

添付書類「VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書」において、第1号機排気筒斜面の安定性を示している。

本資料では、第1号機排気筒斜面の安定性評価に係るすべり面の設定について説明する。

2. すべり面の設定方法

すべり安全率を算定するすべり面については、地盤強度の小さい領域（盛土、断層・シーム）や要素の局所安全係数が小さい領域、モビライズド面の向き等の応力状態*を考慮して設定する。

注記*：基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（平成25年6月制定）

3. すべり面の設定結果

図3-1に示すとおり、第1号機排気筒斜面は地盤強度の小さいシームが分布している。

地盤強度の小さいシームを考慮して設定したすべり面及び応力状態を考慮して設定したすべり面を図3-2に示す。

設定したすべり面のうち、すべり安全率が最小となる時刻の局所安全係数の分布及び応力状態を考慮したすべり面を図3-3に示す。

図3-3に示すすべり面は、シーム及び引張応力が発生している岩盤要素を長く通過しており、すべり安全率が最小となっている。

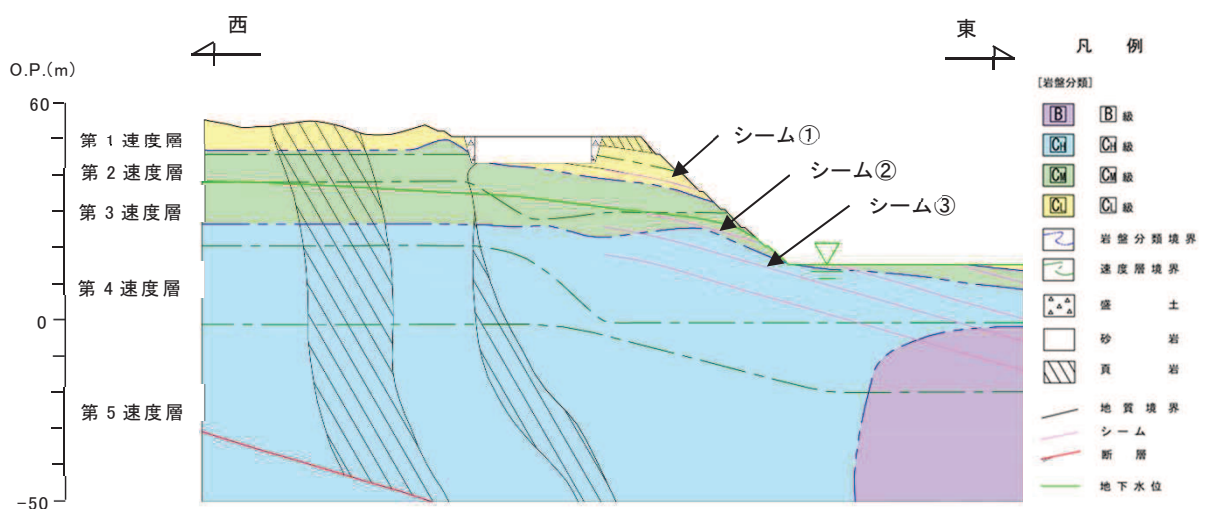


図3-1 第1号機排気筒斜面の地質断面図

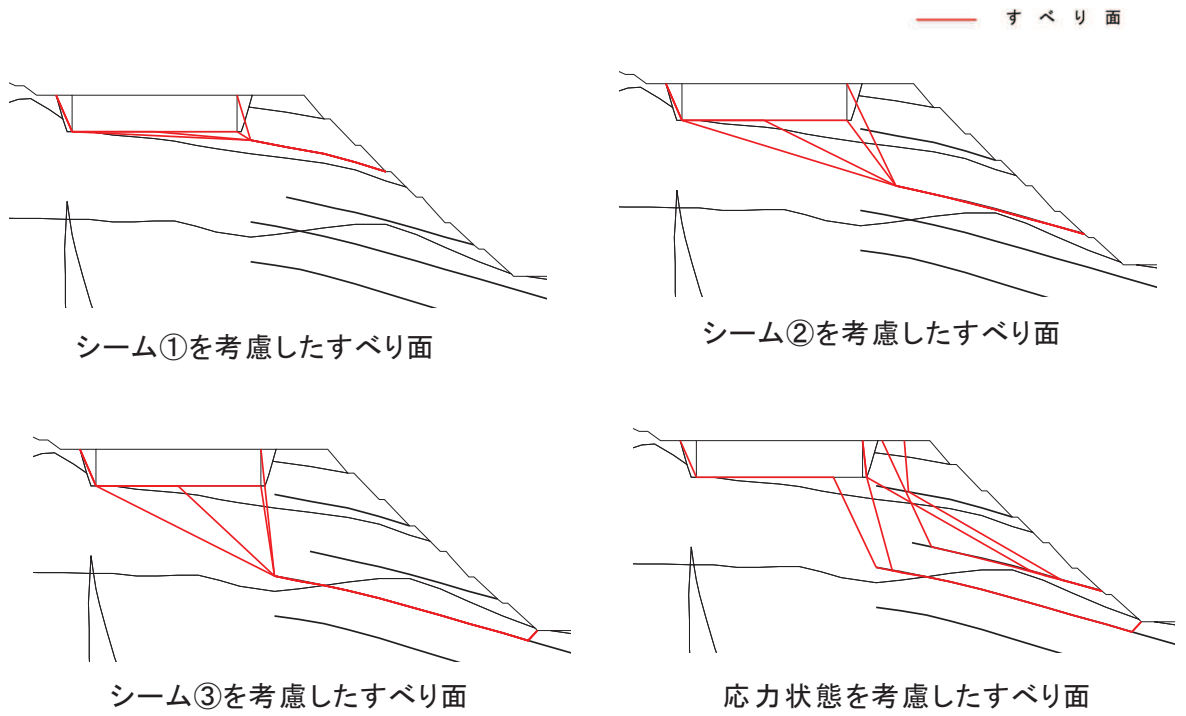


図 3-2 設定したすべり面

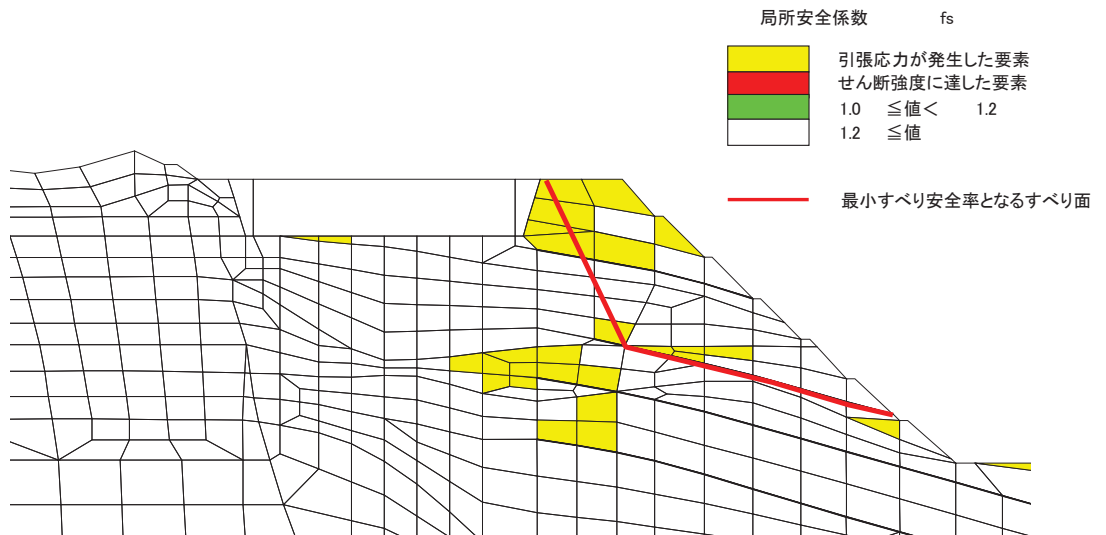


図 3-3 局所安全係数の分布及び応力状態を考慮したすべり面 (S s - F 2 (- +))