

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1
提出年月日	2021年9月8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

別紙8 第1号機排気筒斜面の安定性評価における地質断面図の作成について

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。

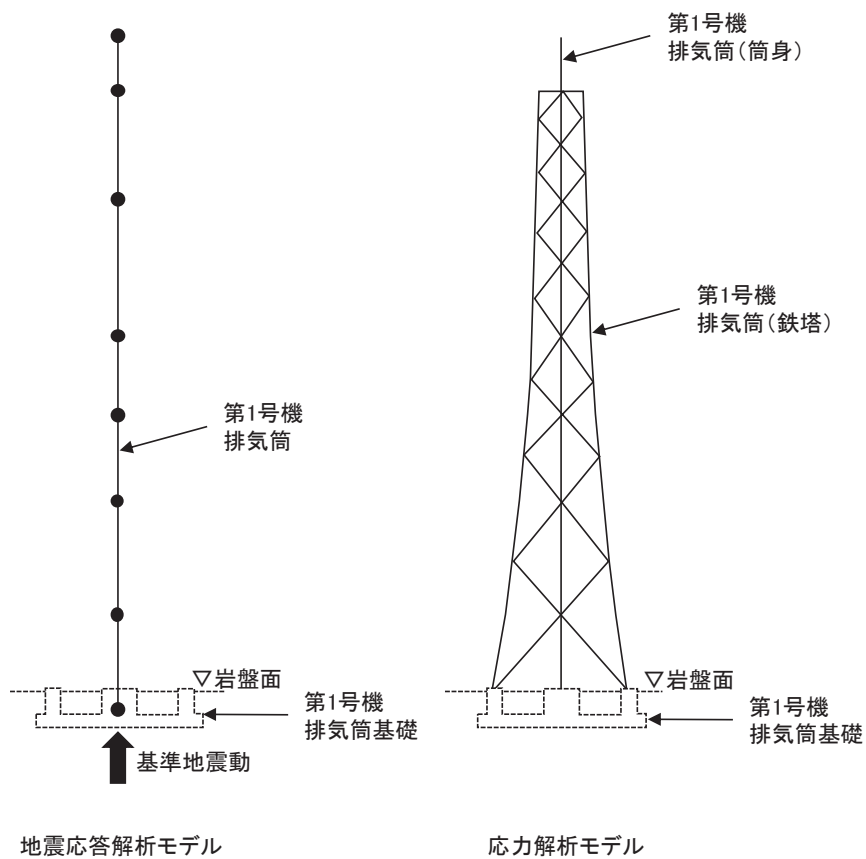


図 2-1 建設時工認（認可）の解析モデル

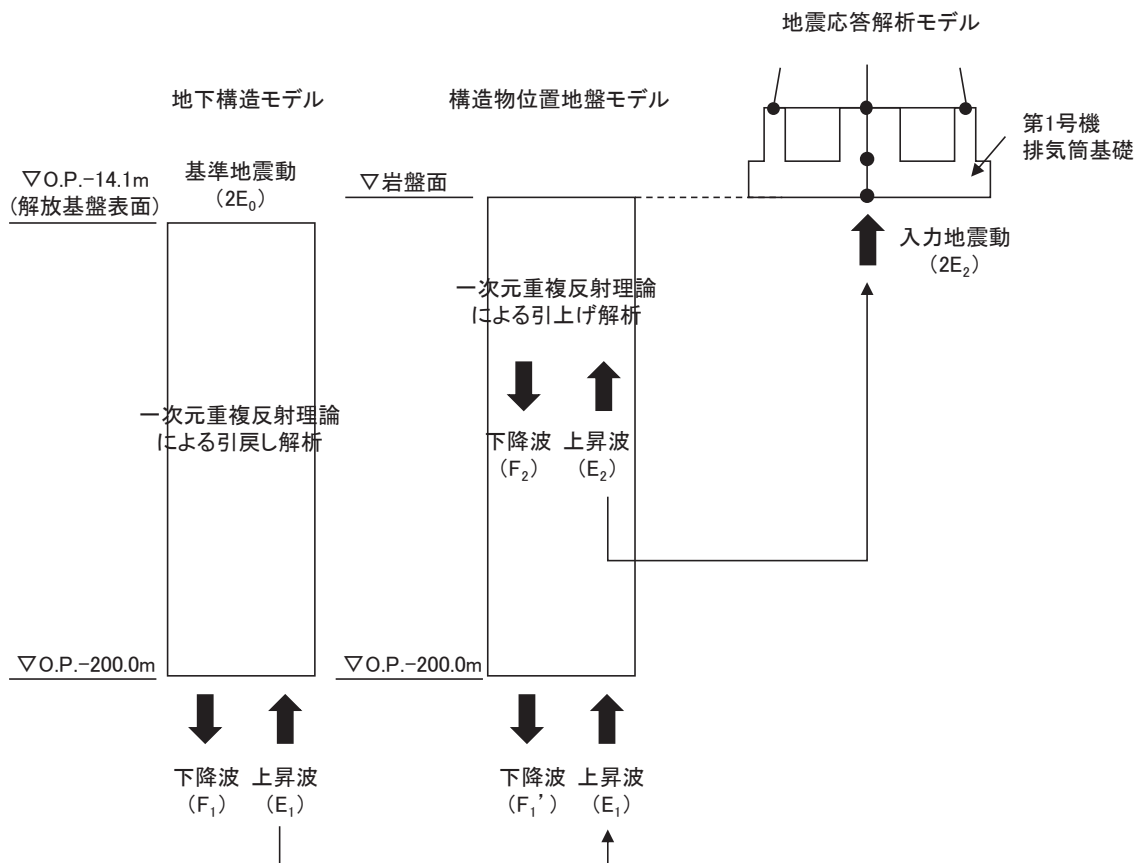


図 2-2 今回工認の入力地震動算定法

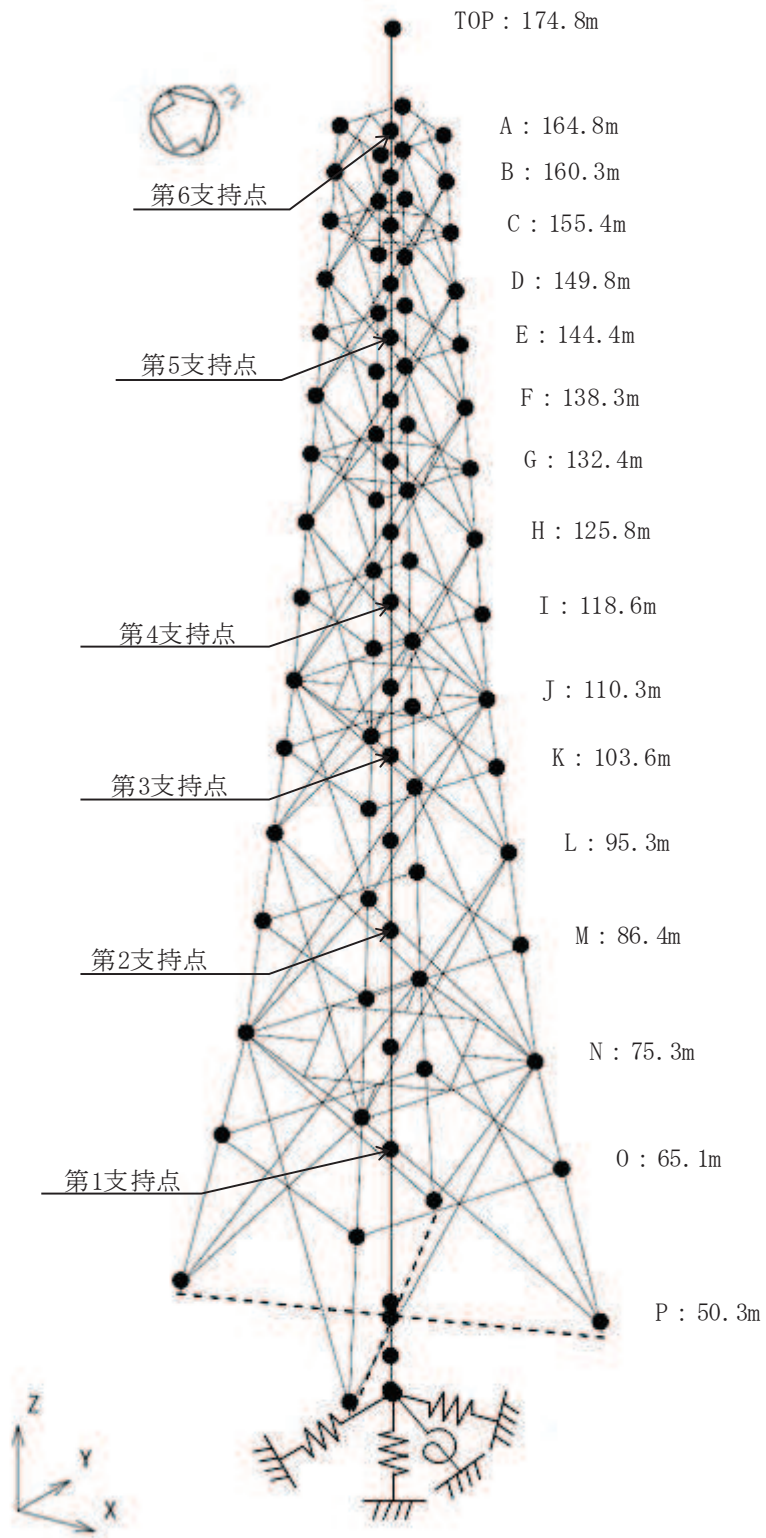


図 2-3 今回工認の地震応答解析モデル

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

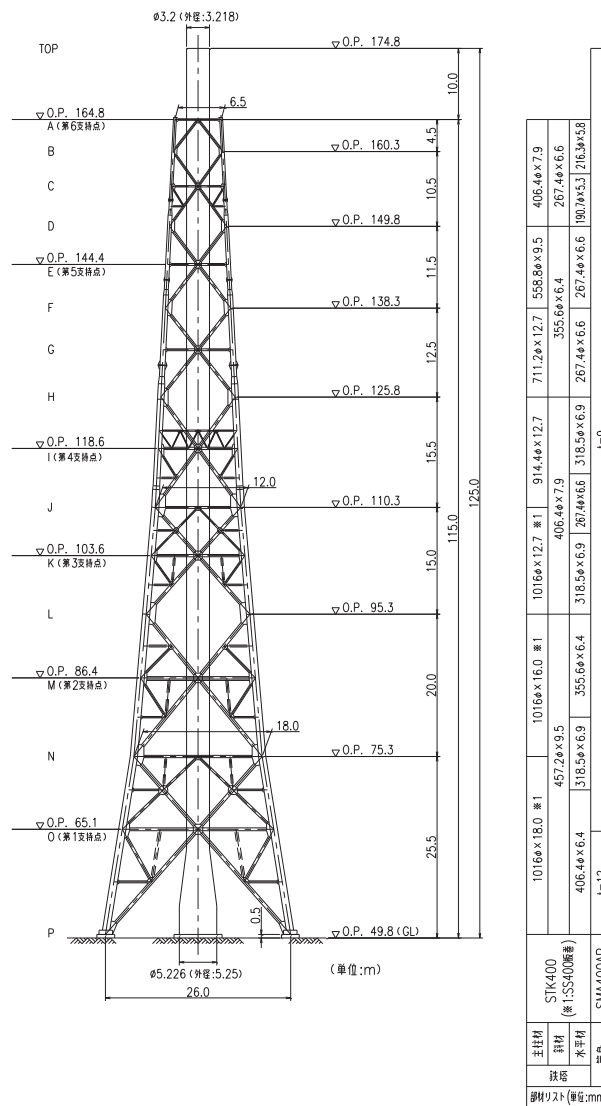
- ・第 1 号機排気筒基礎上端レベル (O.P. 50.3m) より上部の範囲
- ・筒身部, 鉄塔部 (支柱材, 斜材, 水平材), 基礎部

○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)

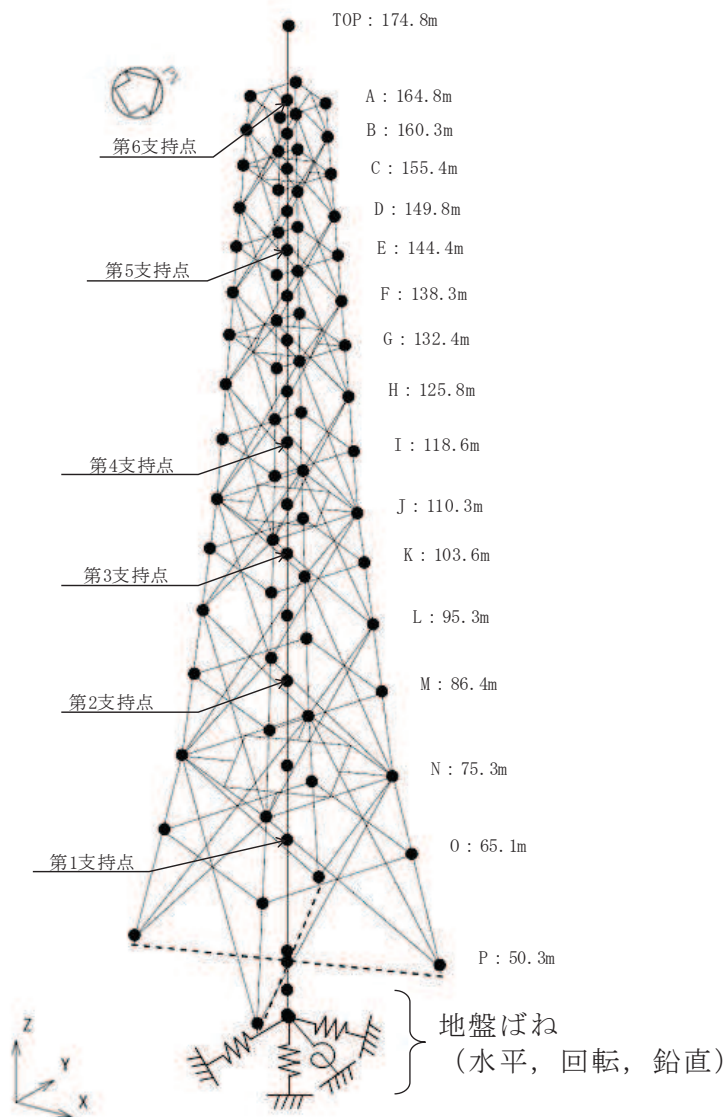
モデル概要 (2/2)

○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。



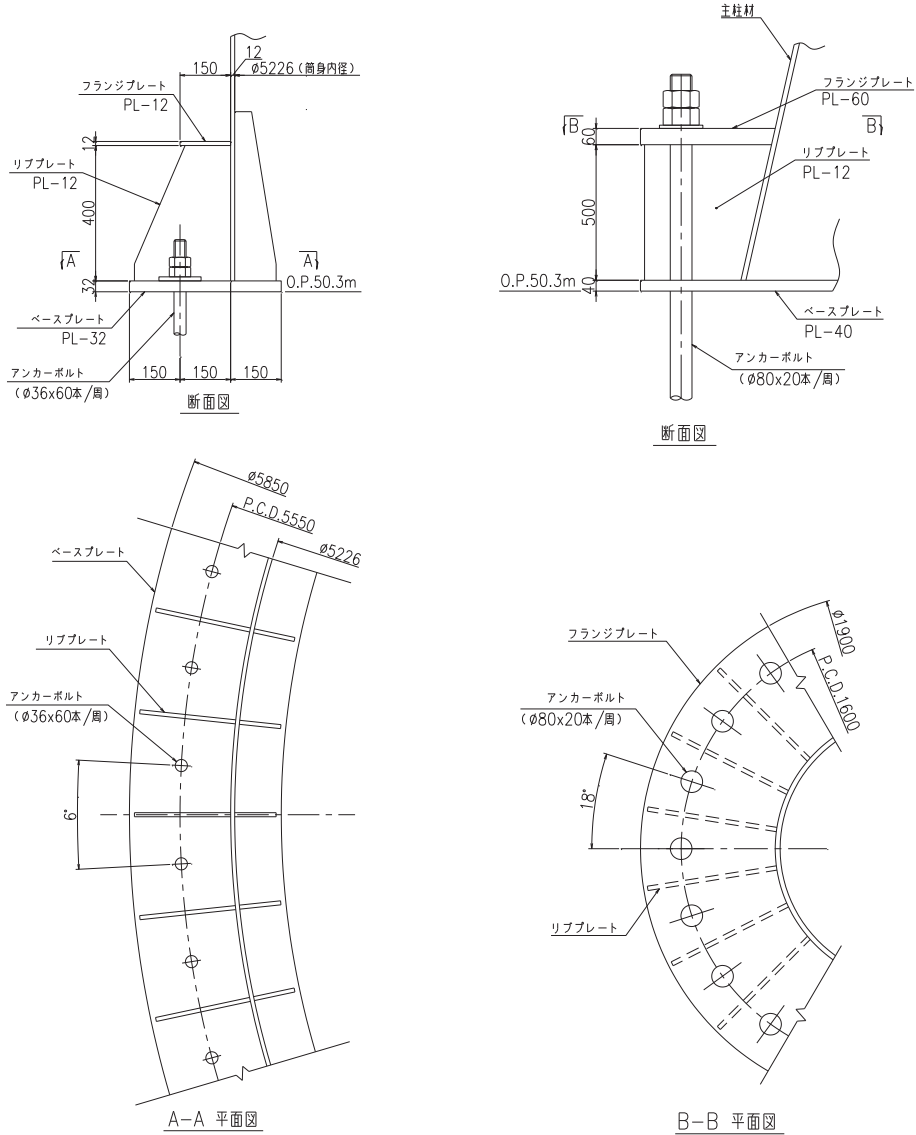
解析モデル

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号機排気筒の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 $\times 0.75$	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、図2-1に加振方向の説明図を示す。

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。

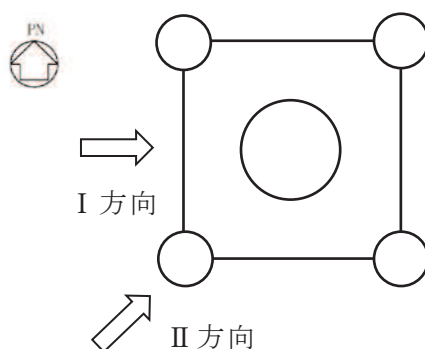


図2-1 加振方向の説明

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	

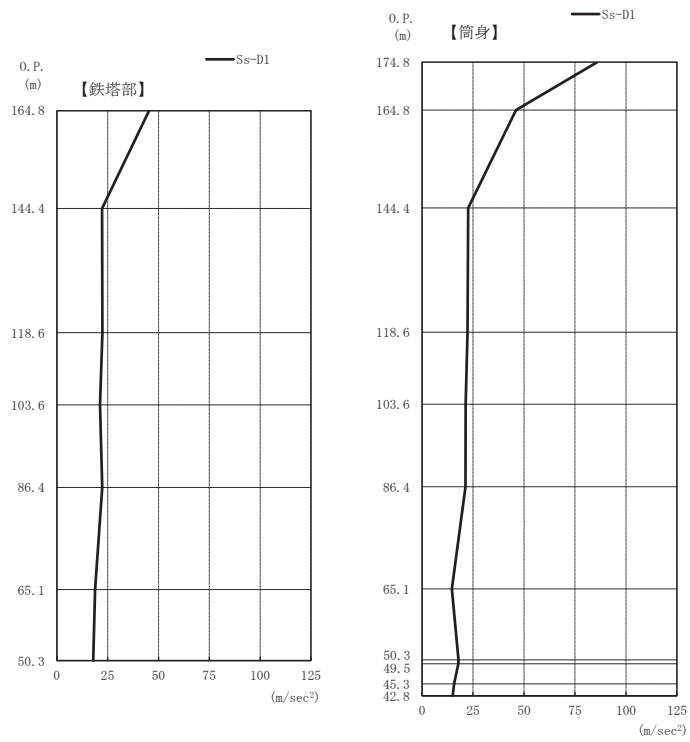
表2-3 主柱材の評価結果

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	0.11	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	0.59	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	0.68	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	0.72	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	0.72	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	0.51	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	0.58	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	0.52	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	0.54	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	0.53	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	0.54	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	0.46	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	0.47	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	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	0.49	0.48

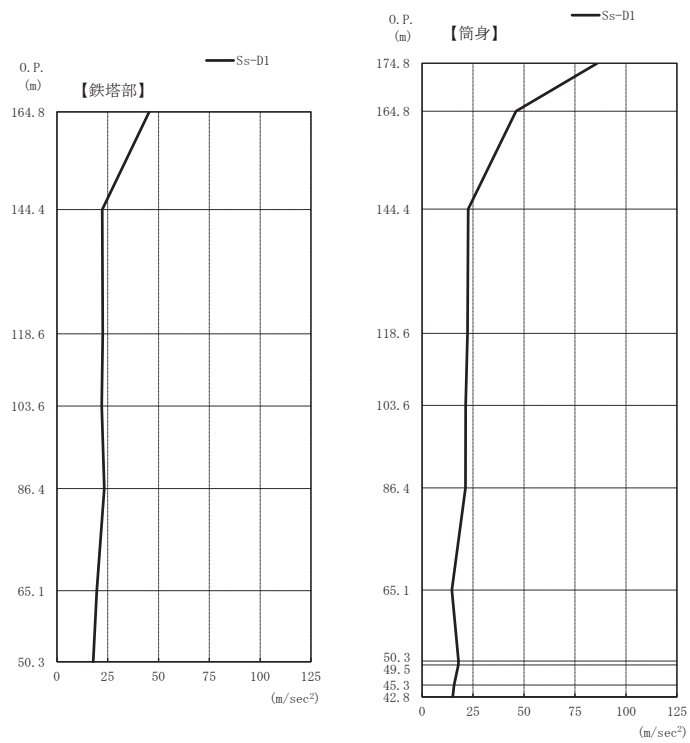
2.3 第1号機排気筒の地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

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2-2～図2-13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。

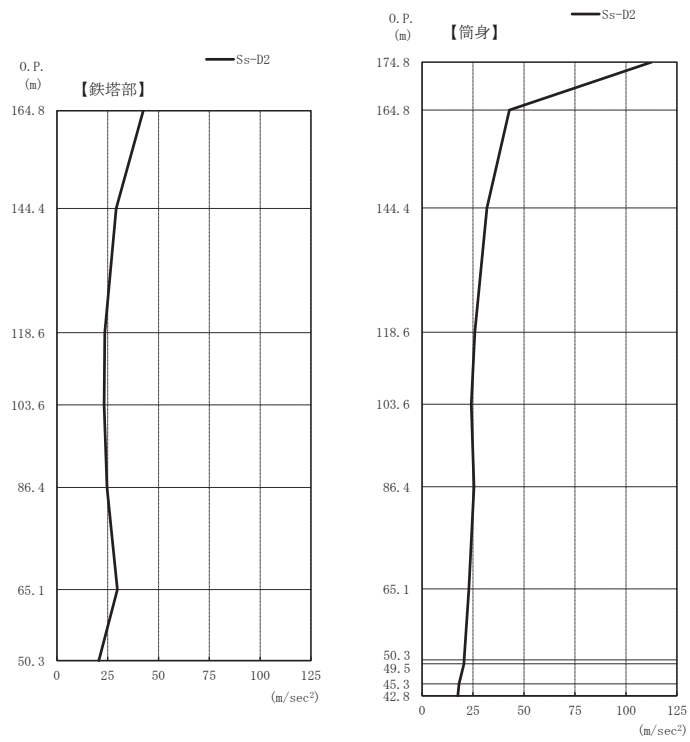


(a) S s - D 1 (I 方向)

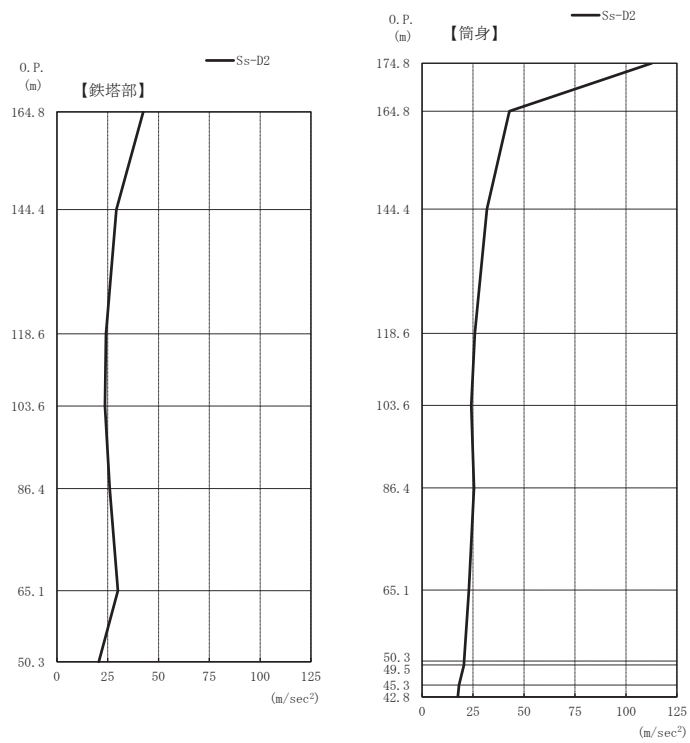


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

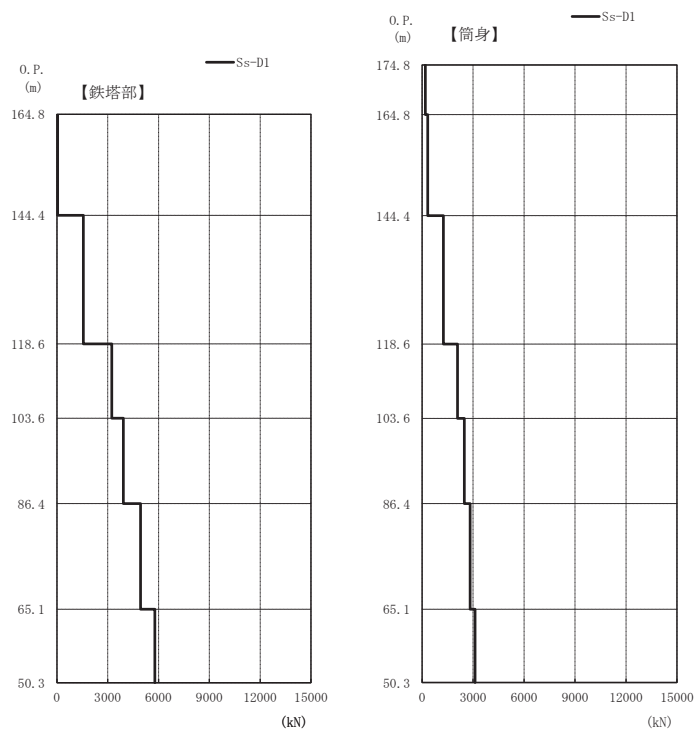


(c) S s - D 2 (I 方向)

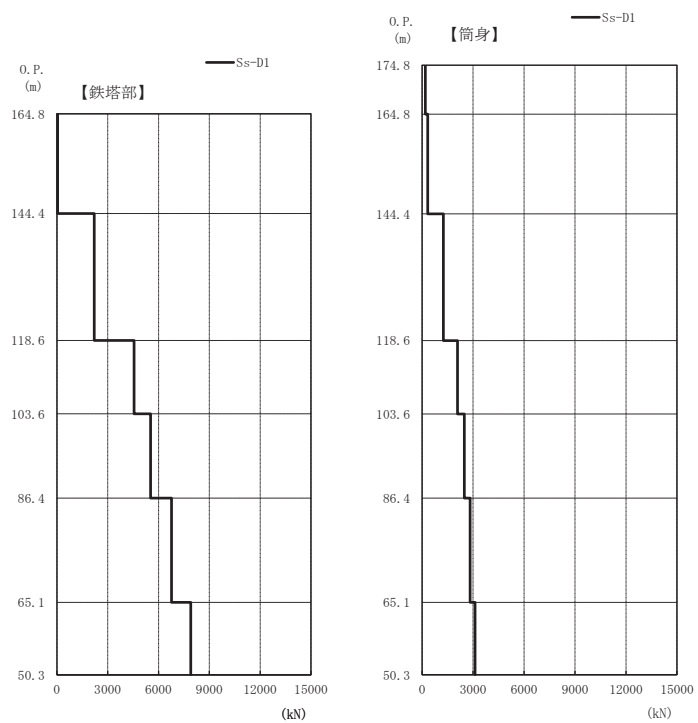


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

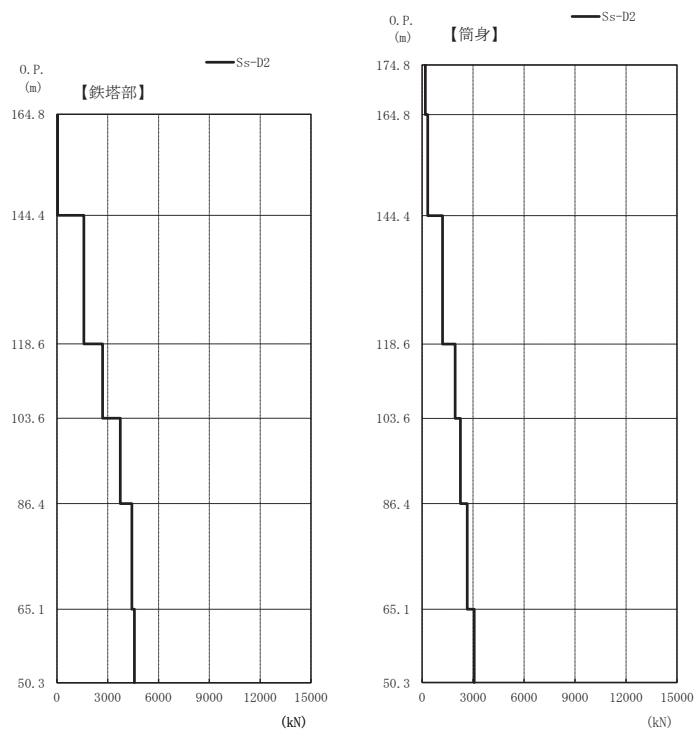


(a) S s - D 1 (I 方向)

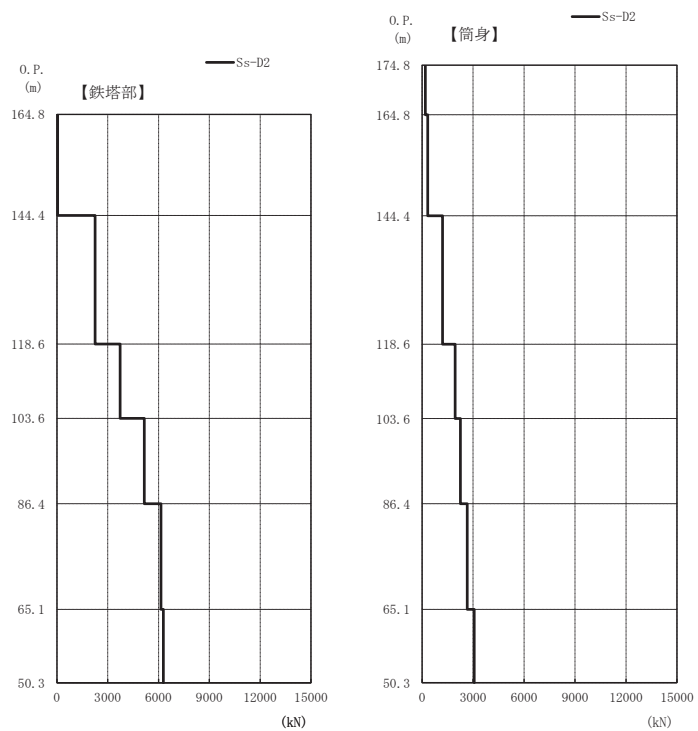


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

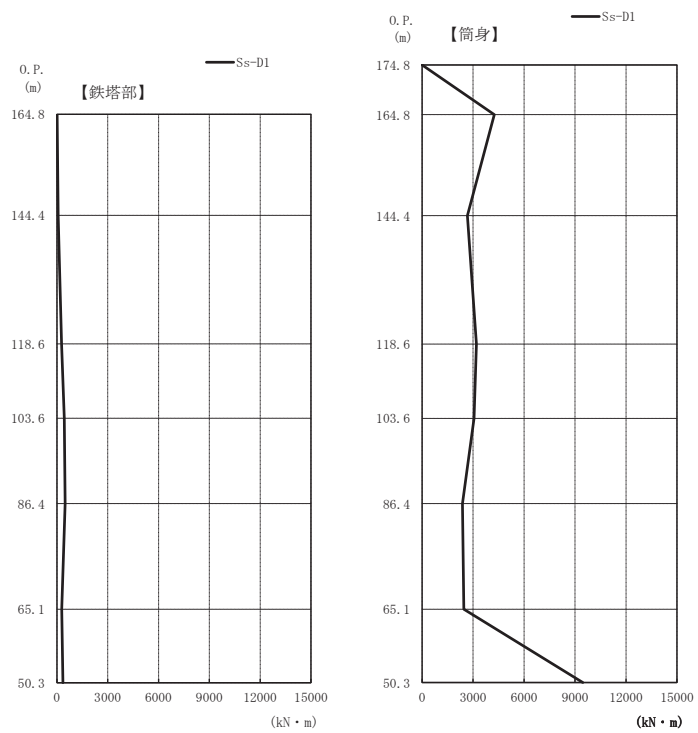


(c) S s - D 2 (I 方向)

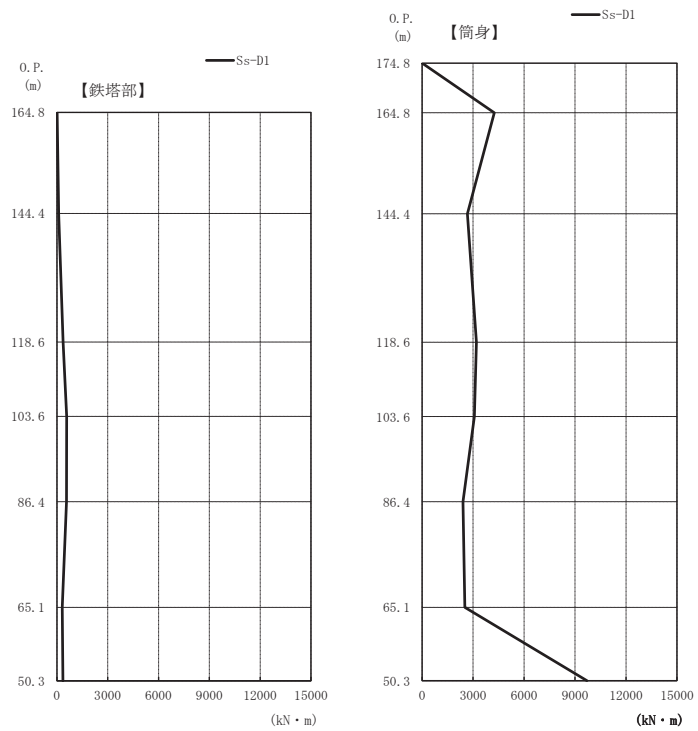


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

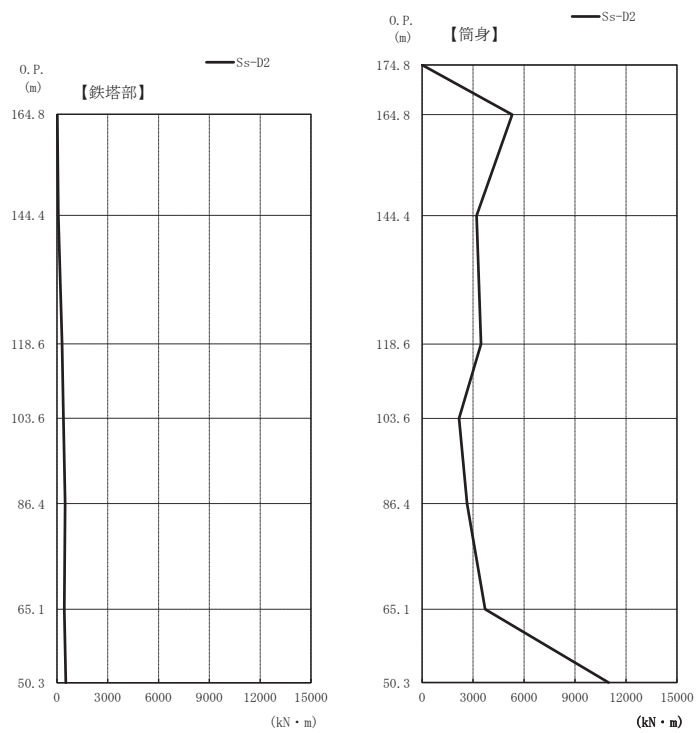


(a) S s - D 1 (I 方向)

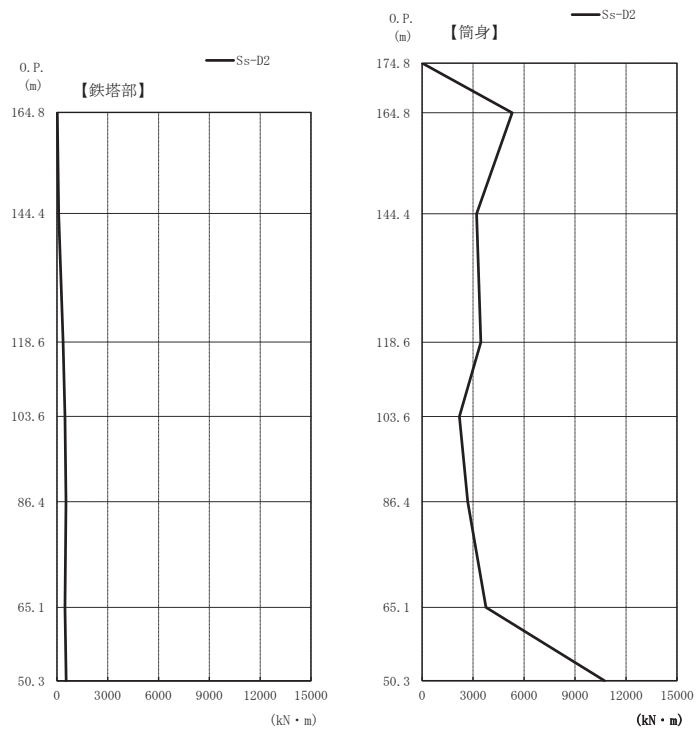


(b) S s - D 1 (II 方向)

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)

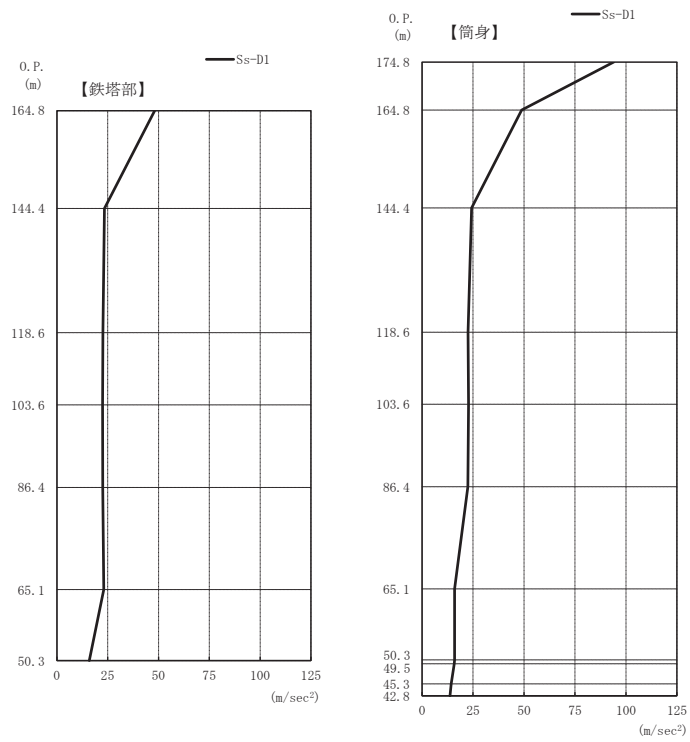


(c) S s - D 2 (I 方向)

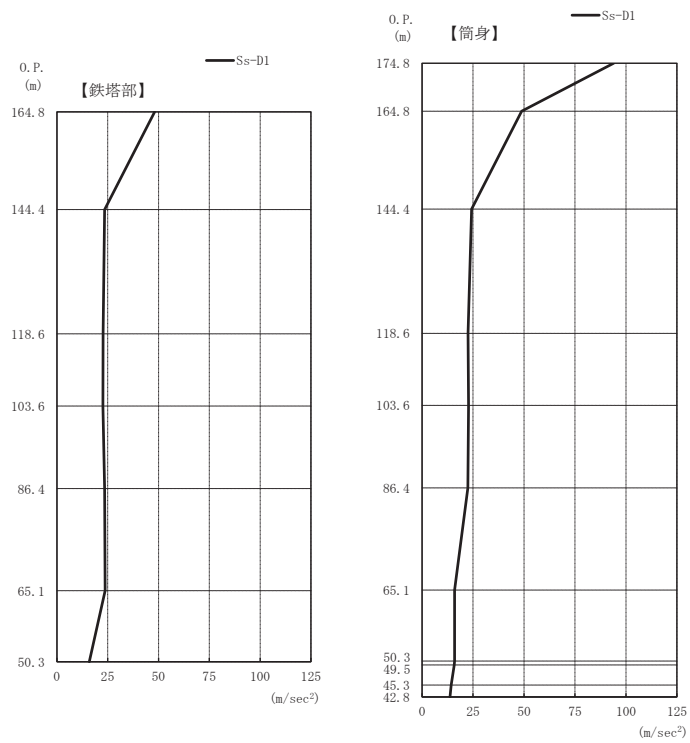


(d) S s - D 2 (II 方向)

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)

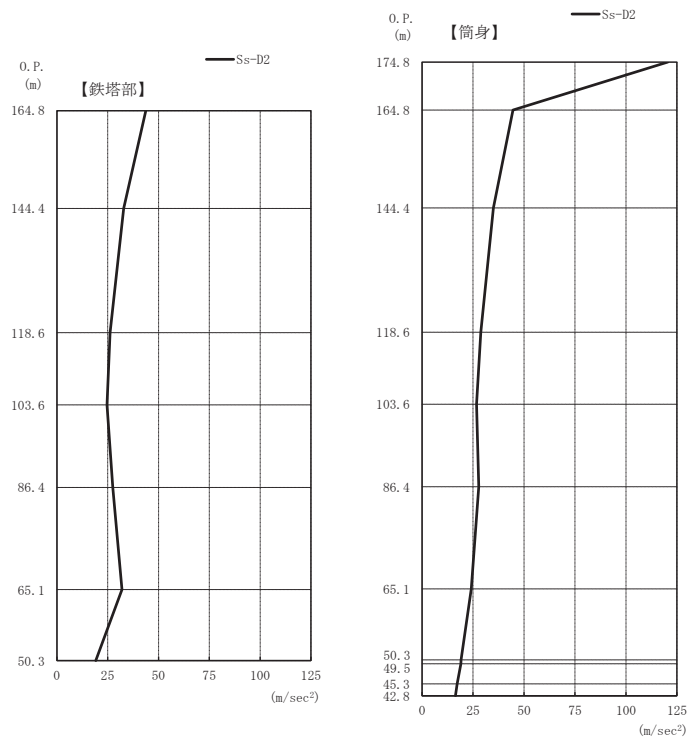


(a) S s - D 1 (I 方向)

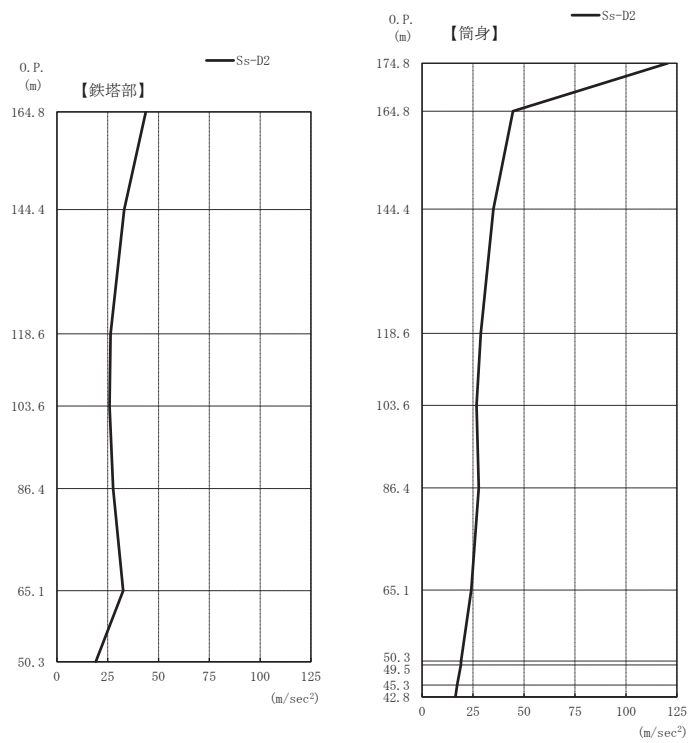


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

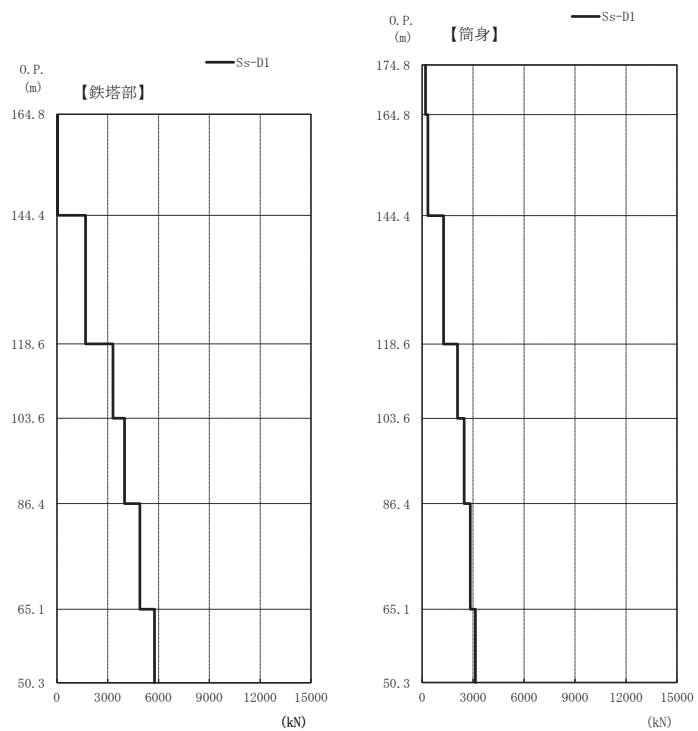


(c) S s - D 2 (I 方向)

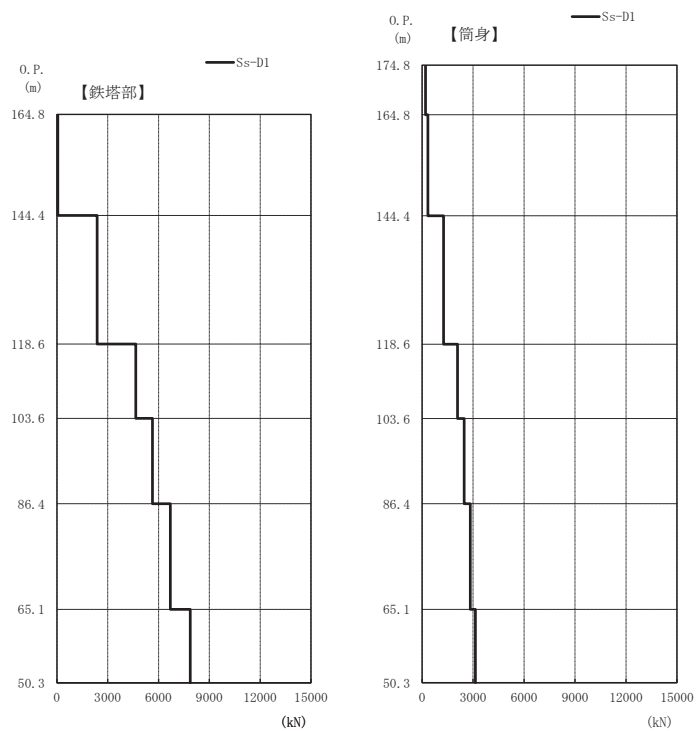


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

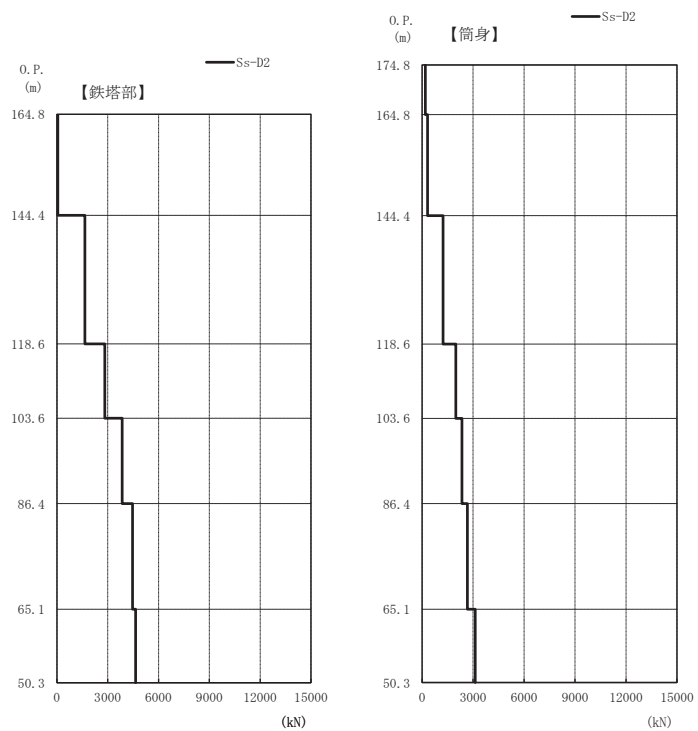


(a) S s - D 1 (I 方向)

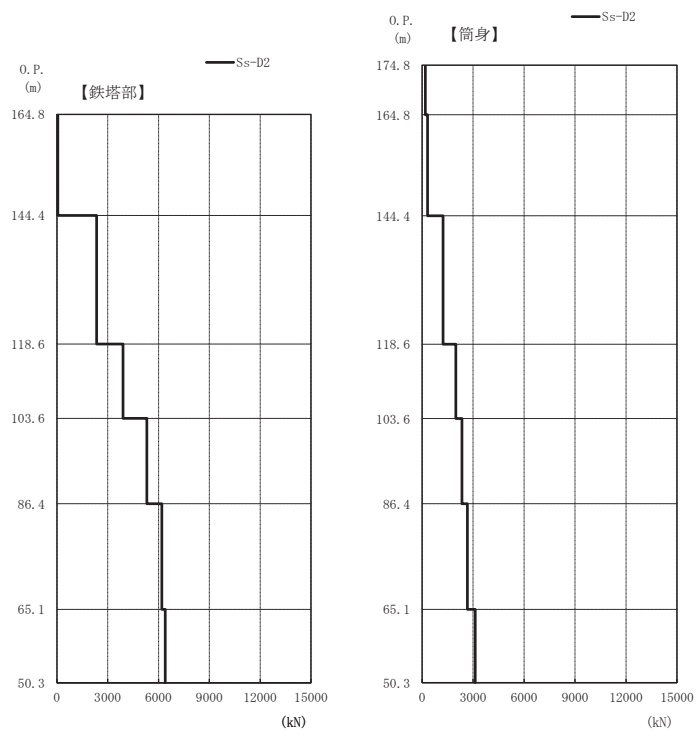


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

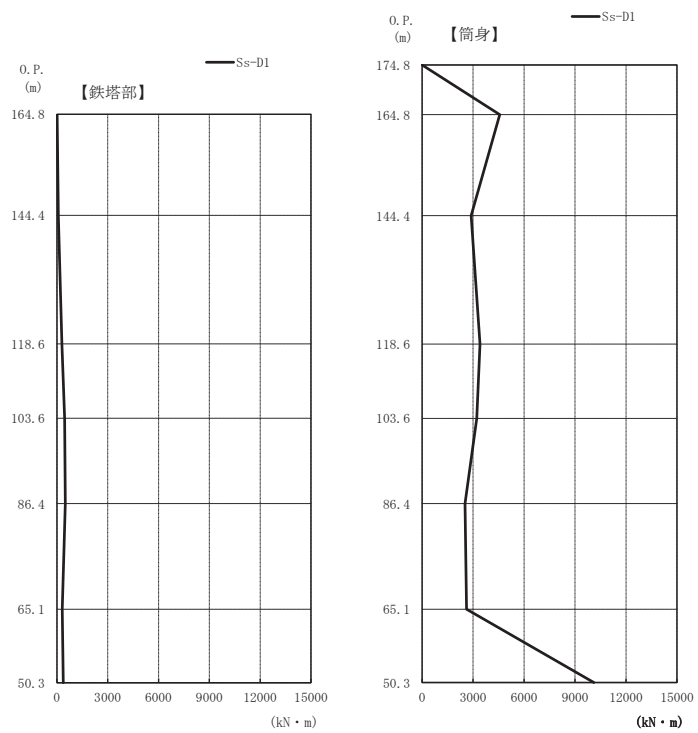


(c) S s - D 2 (I 方向)

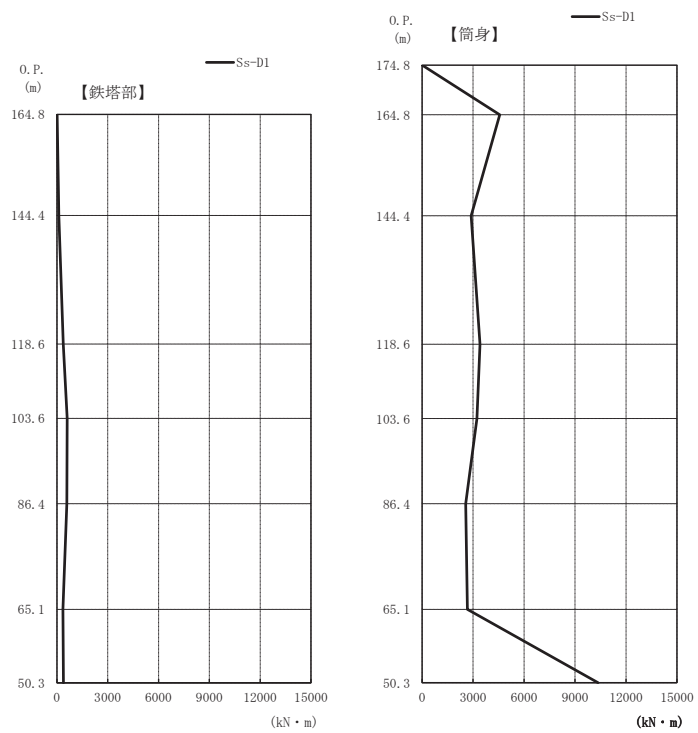


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

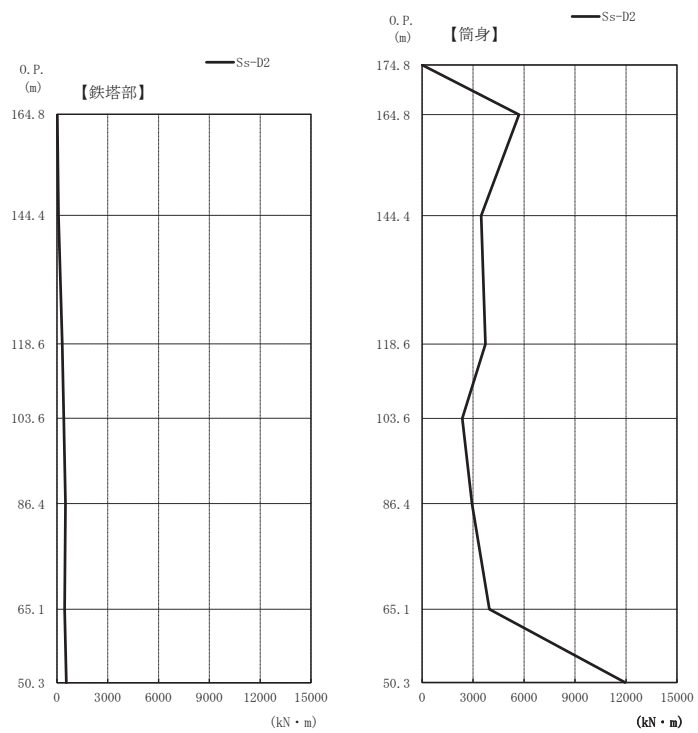


(a) S s - D 1 (I 方向)

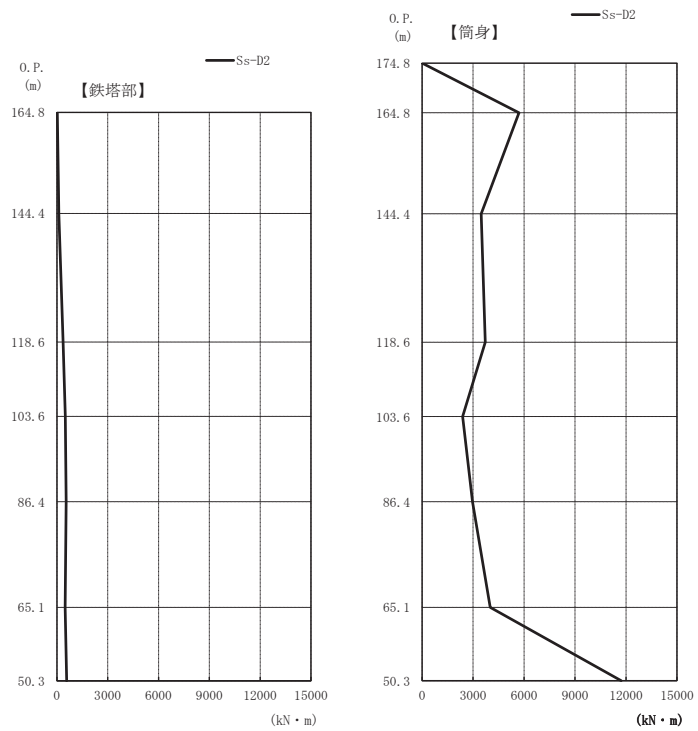


(b) S s - D 1 (II 方向)

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)

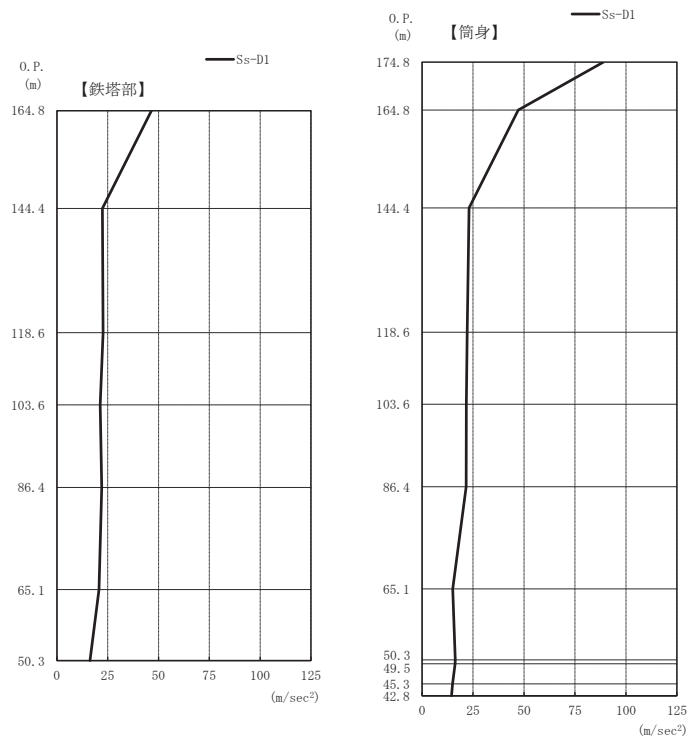


(c) S s - D 2 (I 方向)

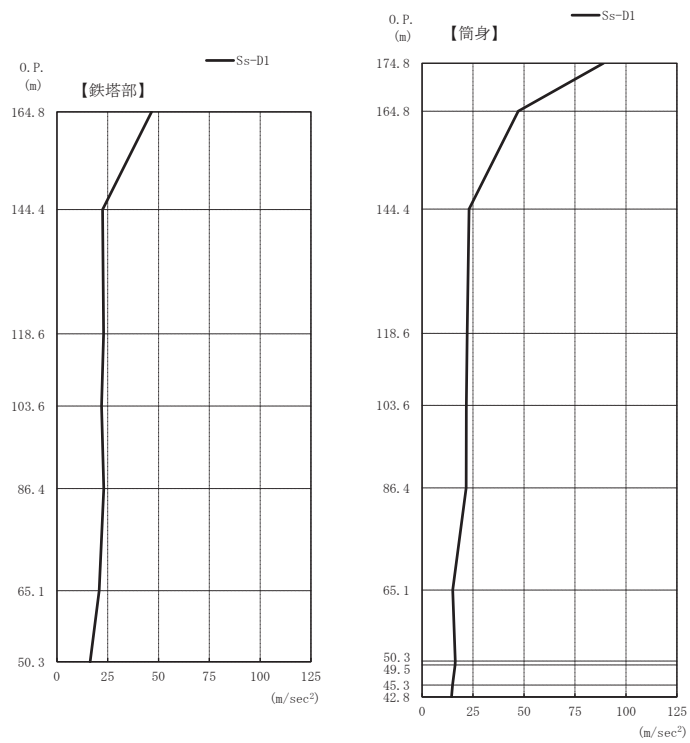


(d) S s - D 2 (II 方向)

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)

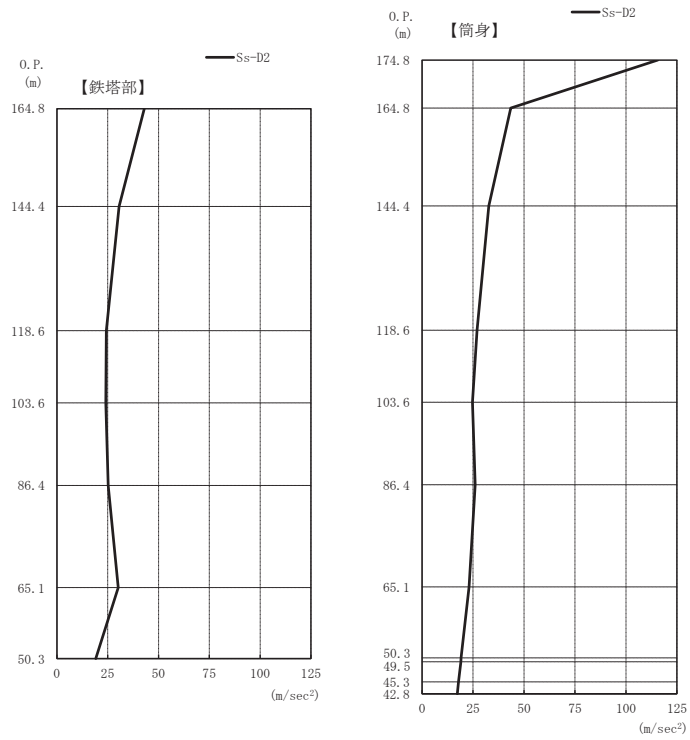


(a) S s - D 1 (I 方向)

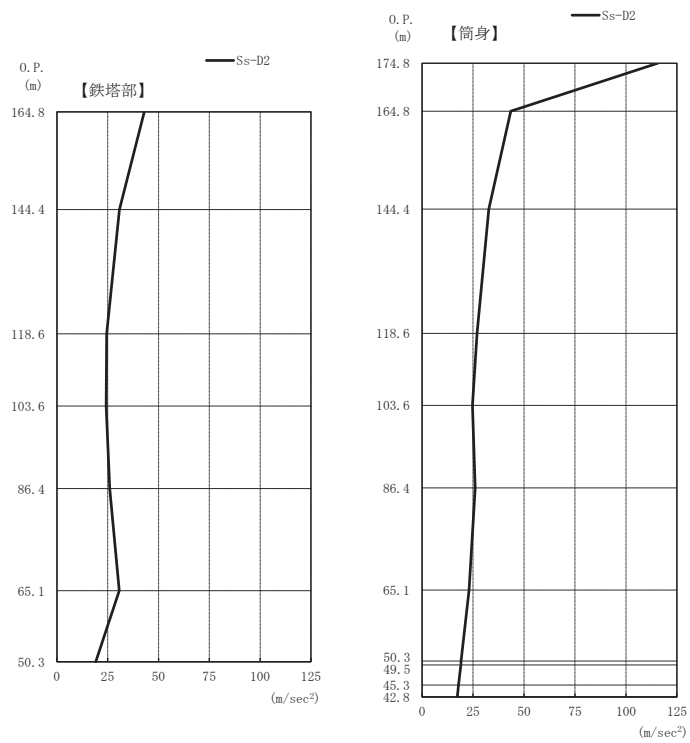


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

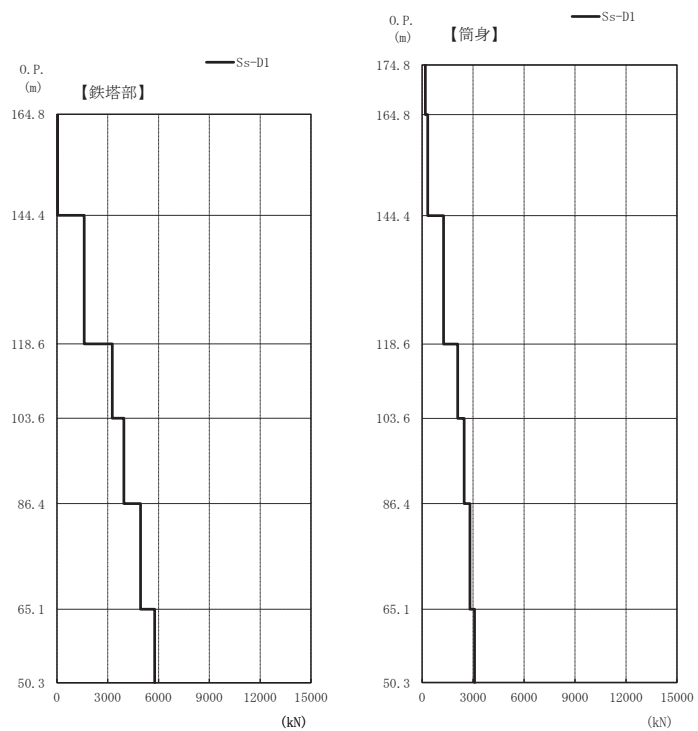


(c) S s - D 2 (I 方向)

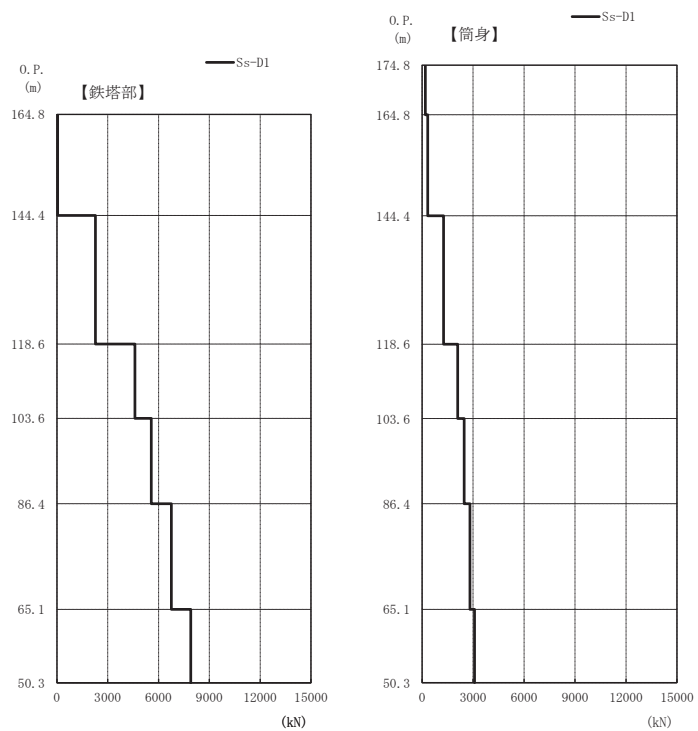


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

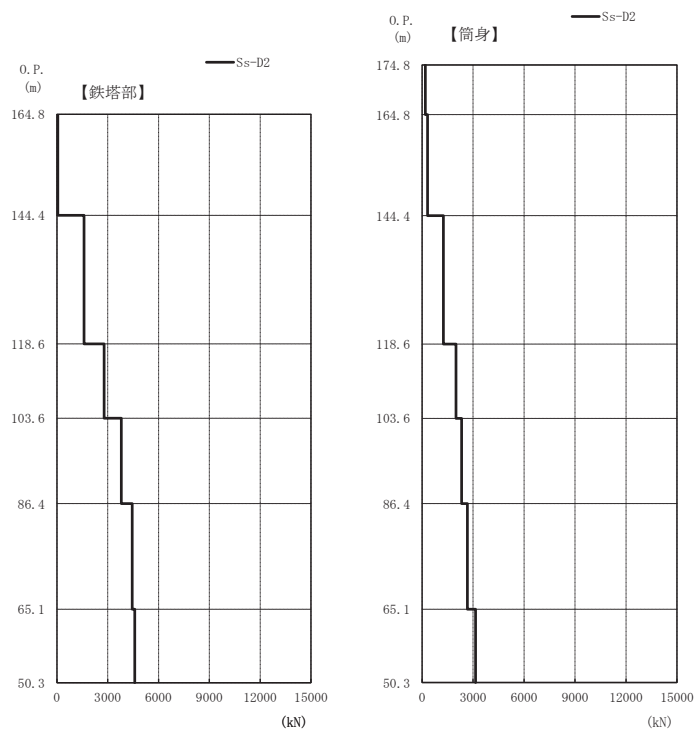


(a) S s - D 1 (I 方向)

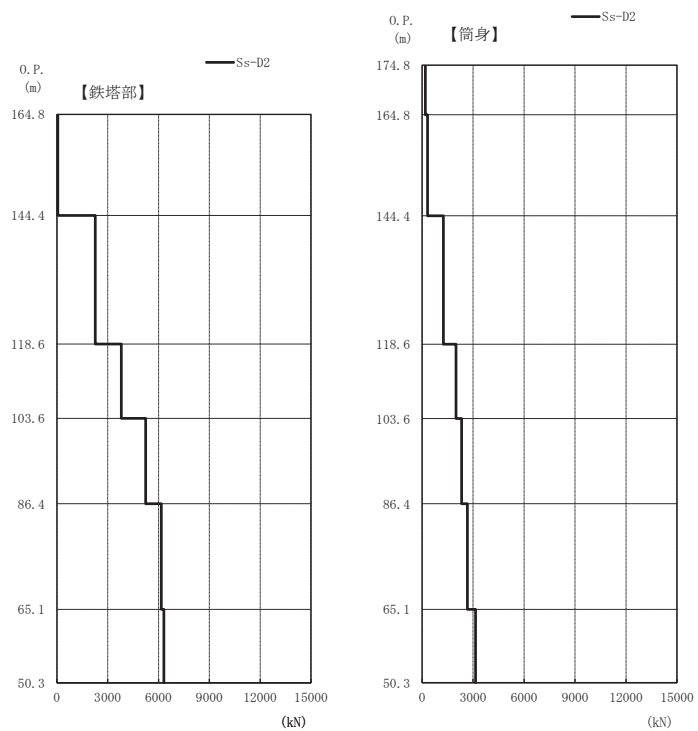


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

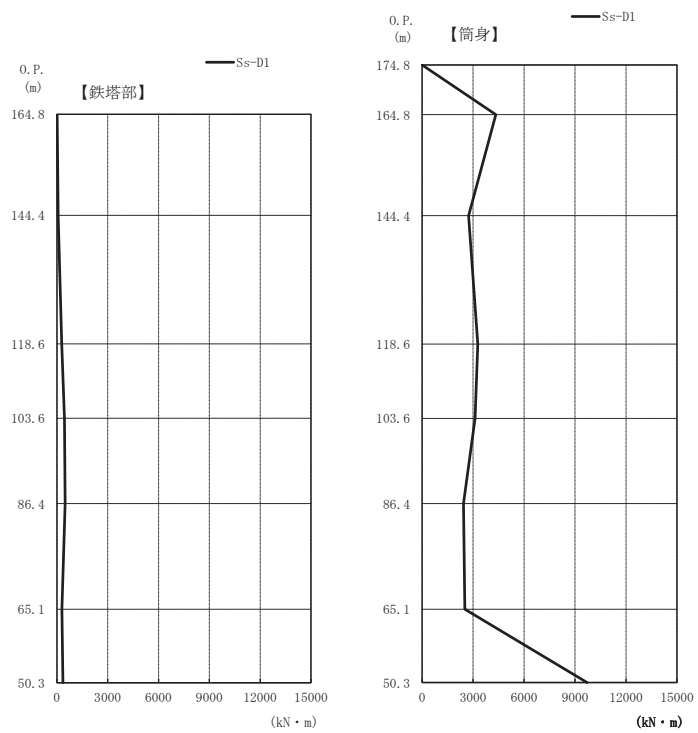


(c) S s - D 2 (I 方向)

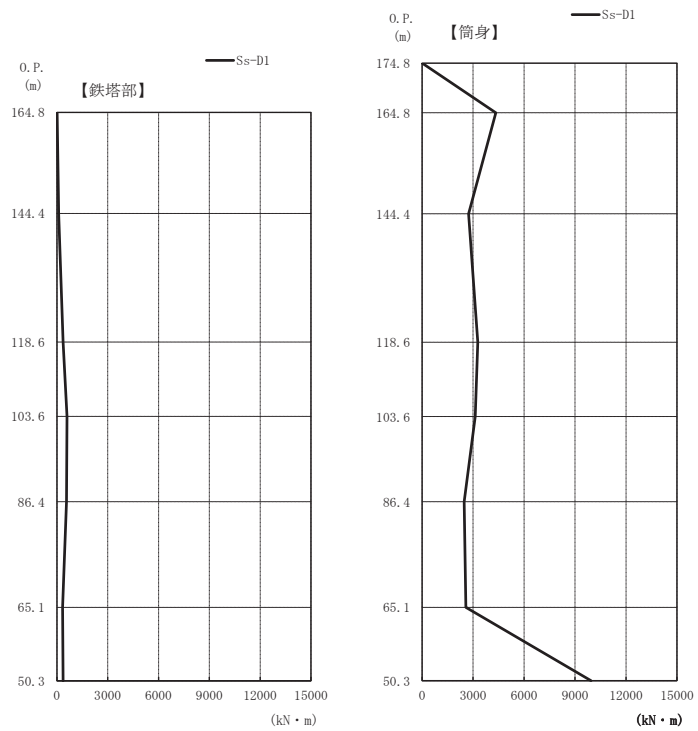


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

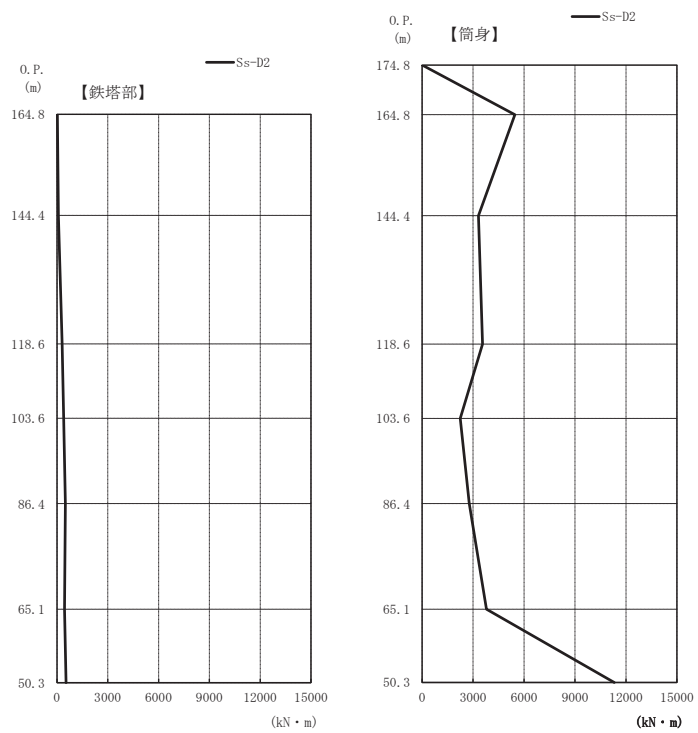


(a) S s - D 1 (I 方向)

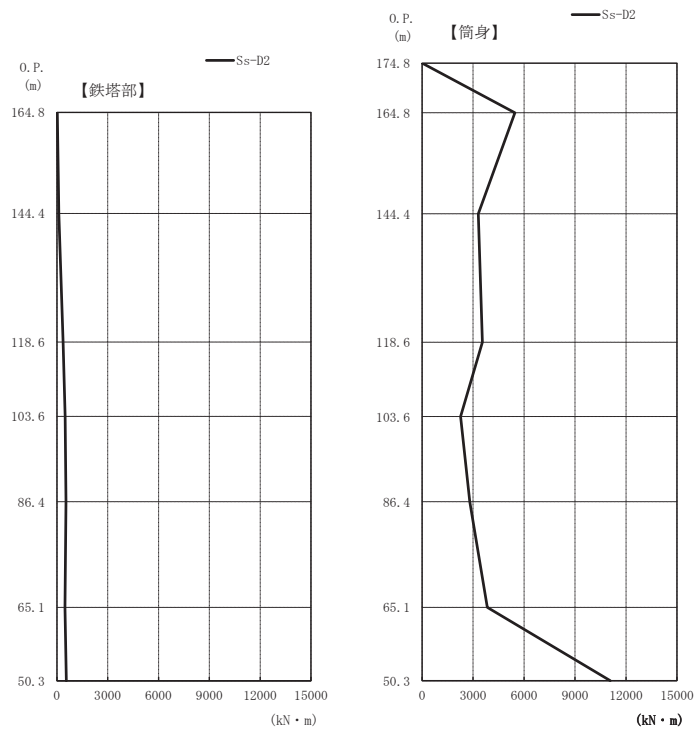


(b) S s - D 1 (II 方向)

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)

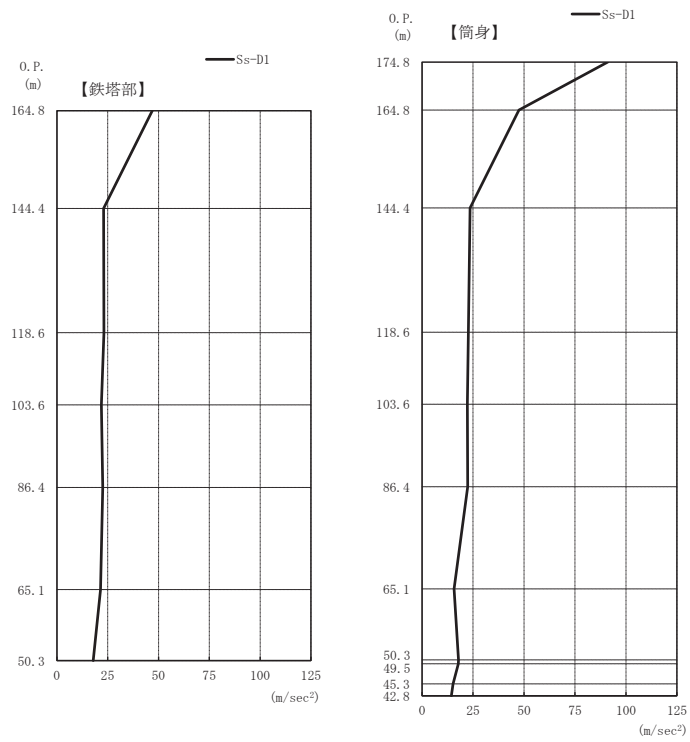


(c) S s - D 2 (I 方向)

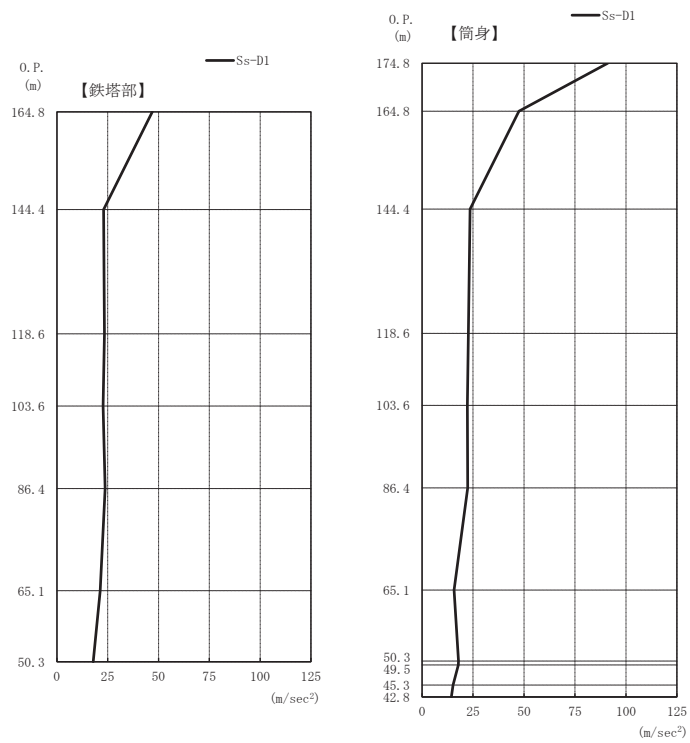


(d) S s - D 2 (II 方向)

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)

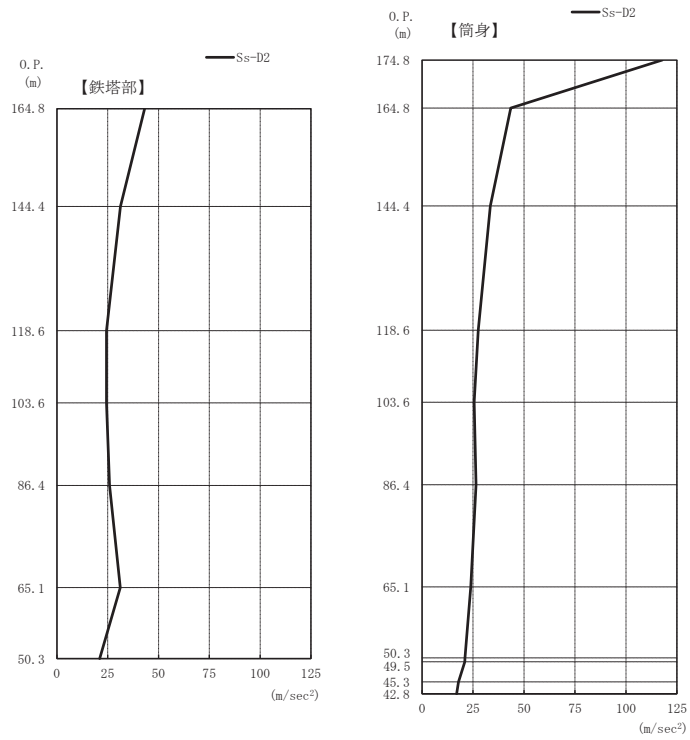


(a) S s - D 1 (I 方向)

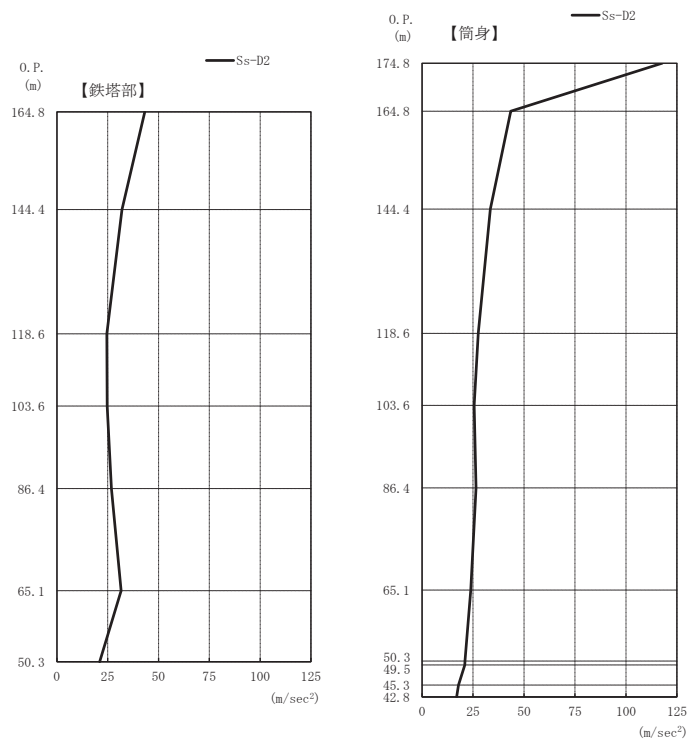


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

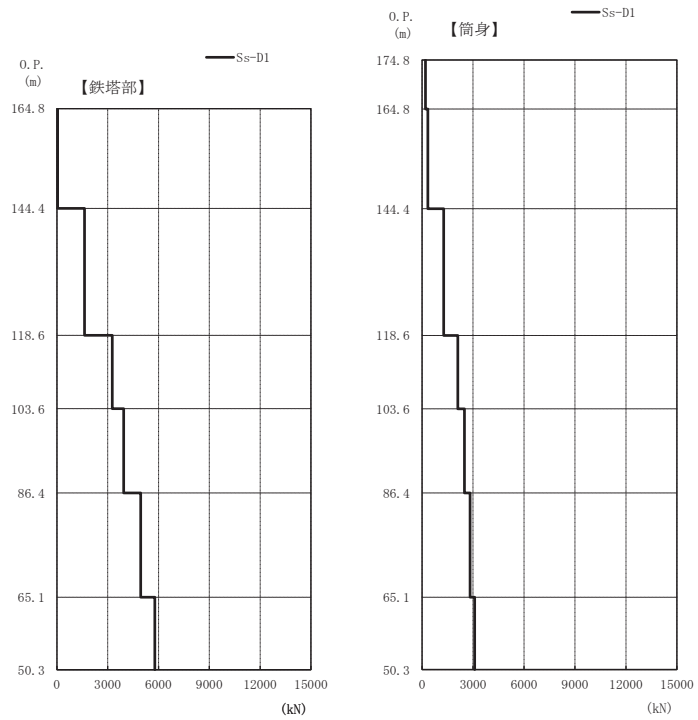


(c) S s - D 2 (I 方向)

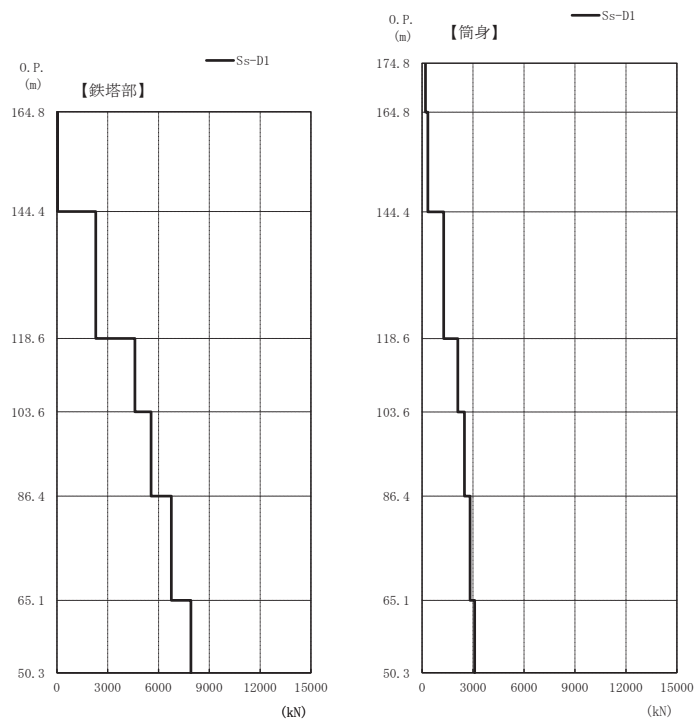


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

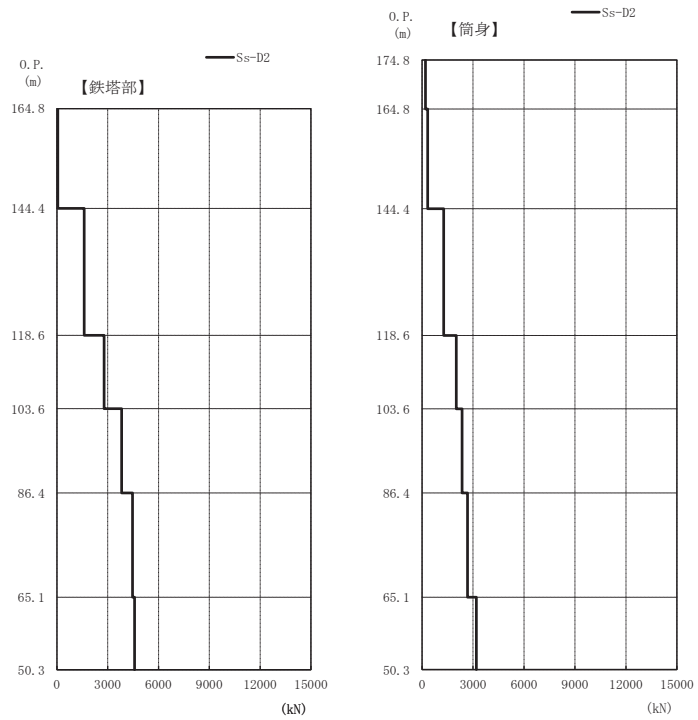


(a) S s - D 1 (I 方向)

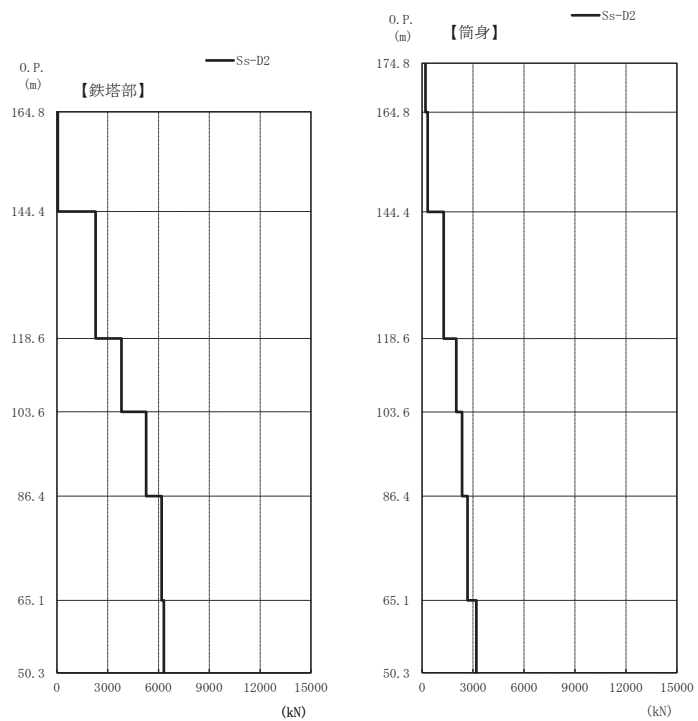


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

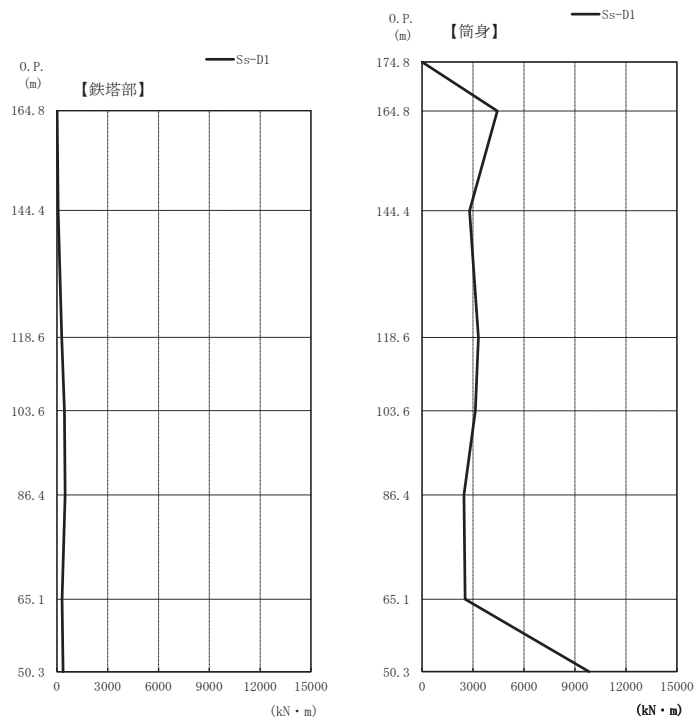


(c) $S_s - D2$ (I 方向)

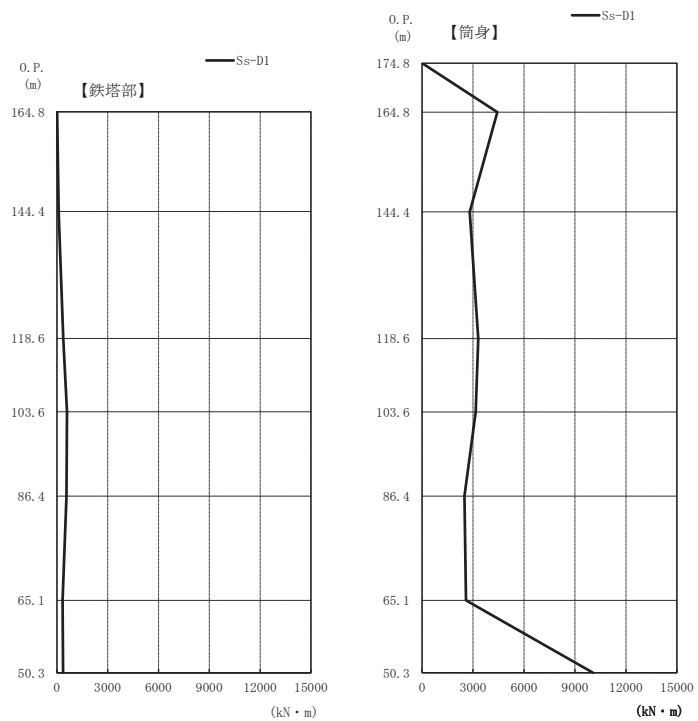


(d) $S_s - D2$ (II 方向)

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

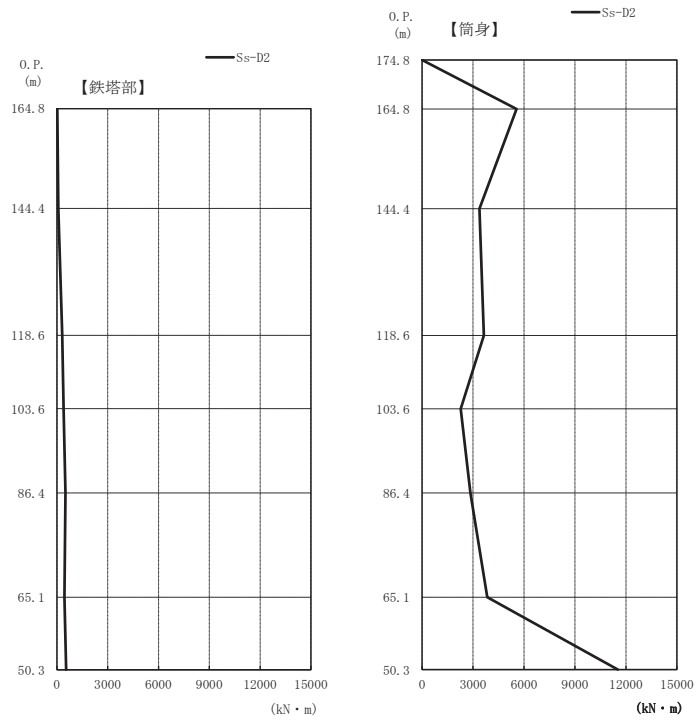


(a) S s - D 1 (I 方向)

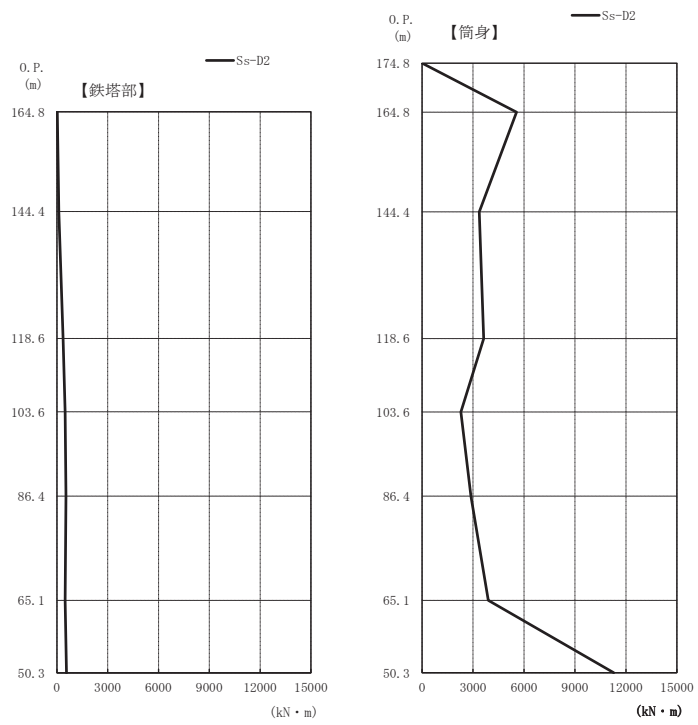


(b) S s - D 1 (II 方向)

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	29.1	5565	597
ケース②	29.3	5531	578
ケース③	28.8	5637	612
ケース④	28.9	5569	597
ケース⑤	29.5	5559	599

別紙 4 第 1 号機排気筒の接合部の耐震性について

目次

1. 概要	別紙 4-1
2. 検討方針	別紙 4-1
2.1 主柱材	別紙 4-10
2.2 斜材及び水平材	別紙 4-11
3. 検討条件	別紙 4-14
4. 検討結果	別紙 4-21
4.1 検討用応力	別紙 4-21
4.2 検討結果	別紙 4-25

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号機排気筒を構成する筒身及び鉄塔の断面算定結果を示している。

本資料では、第1号機排気筒を構成する部材のうち、鉄塔の接合部における耐震性について確認した結果を示す。

2. 検討方針

鉄塔の支柱材、斜材、及び水平材について、地震時において接合部が破断しないことを確認する。

検討は、各部材の端部及び接合部の破断耐力が、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」で算定した S_s 地震力による応力を上回っていることを確認する。

鉄塔の接合形式は以下のとおりとなっている。

- ・支柱材 : フランジ継手
- ・斜材 : 十字継手
- ・水平材 : 十字継手

各部材の接合部の位置及び詳細図を図2-1～図2-4に示す。また、フランジ継手及び十字継手の概要を図2-5に示す。

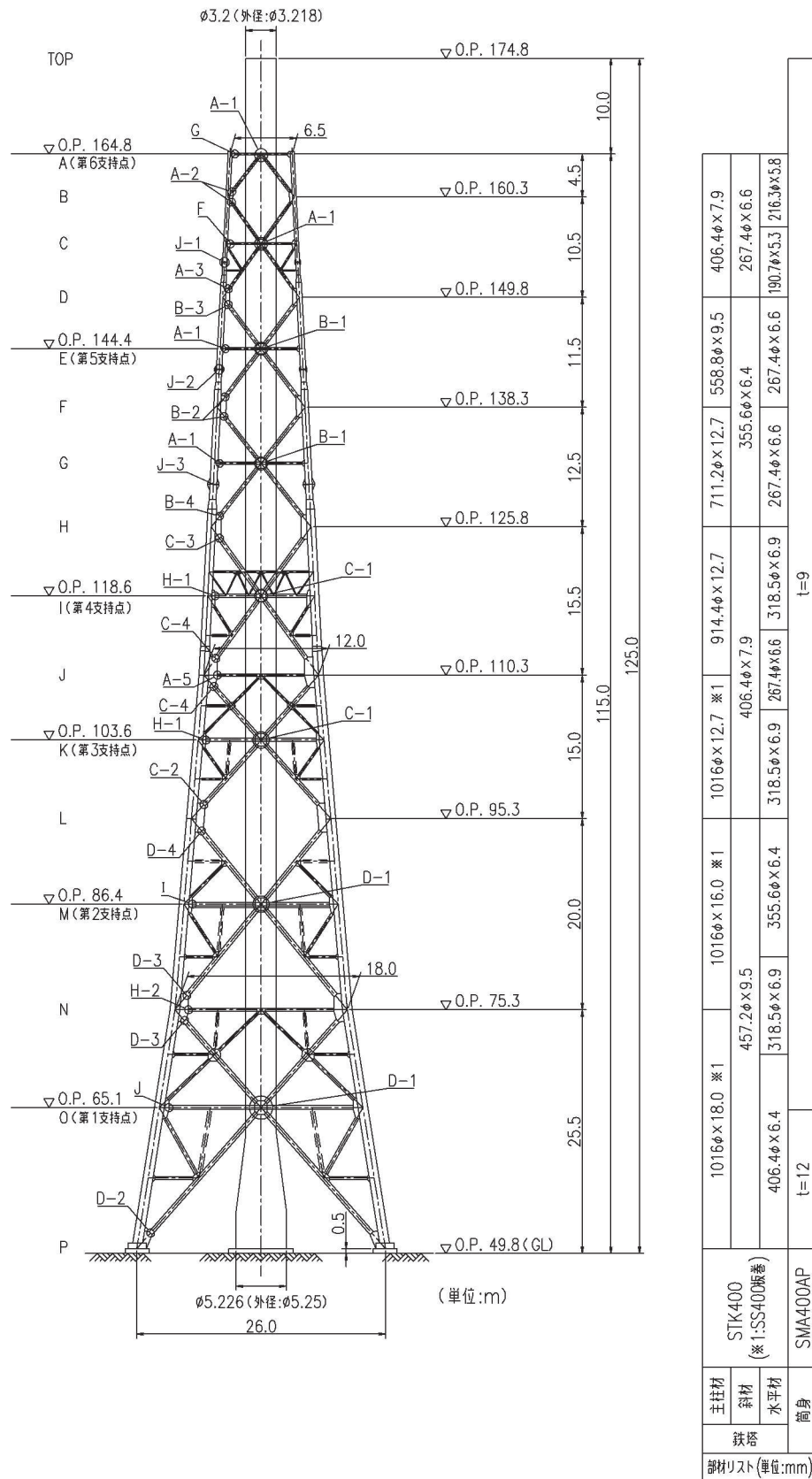


図 2-1 接合部の位置

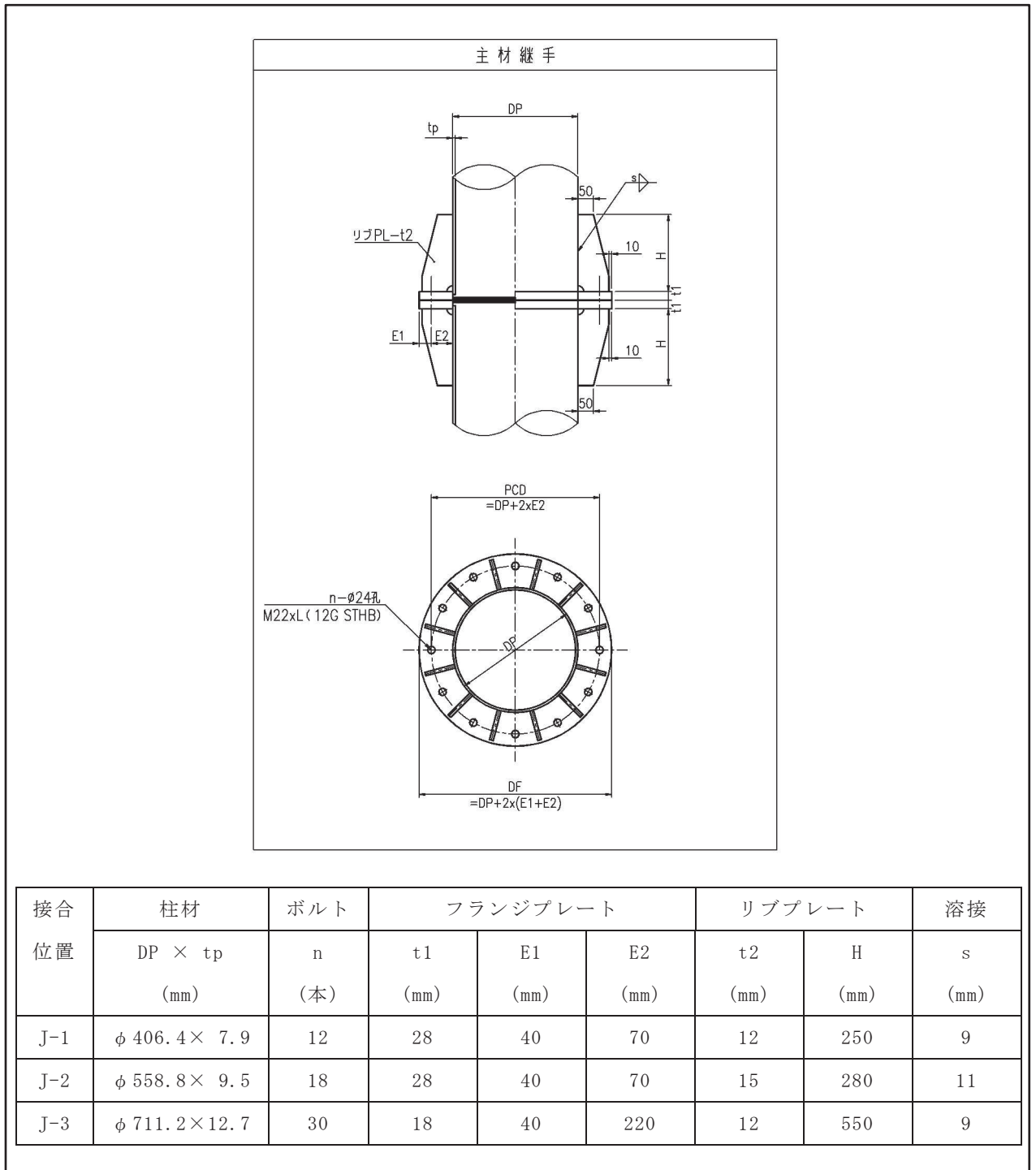
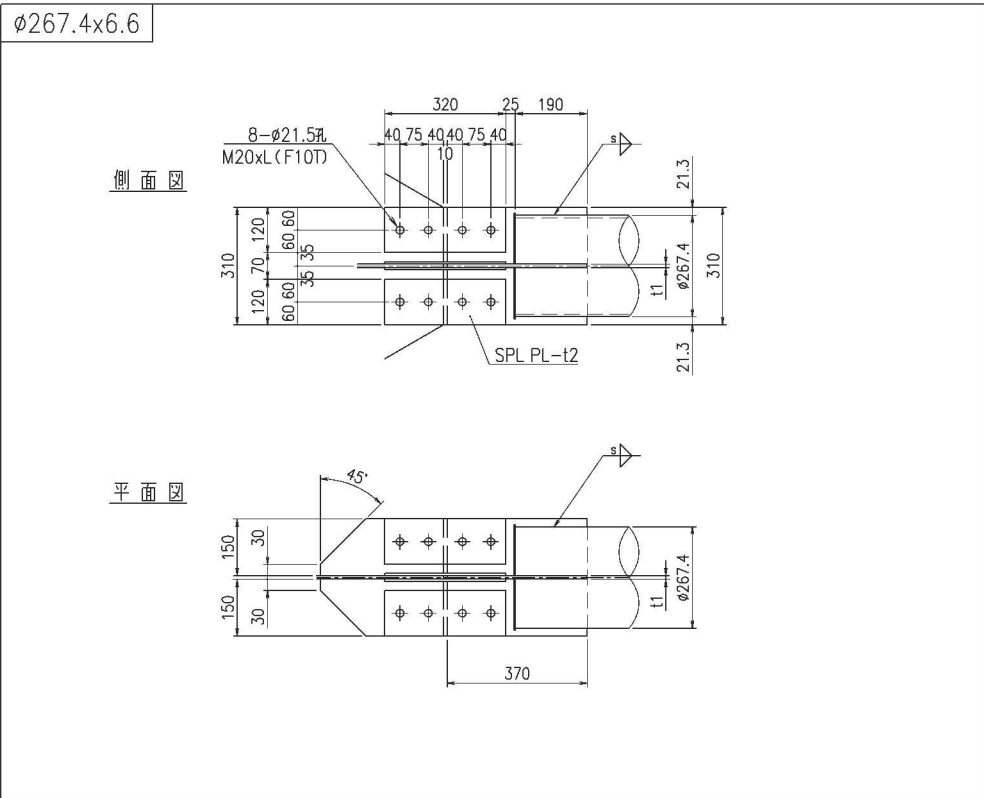
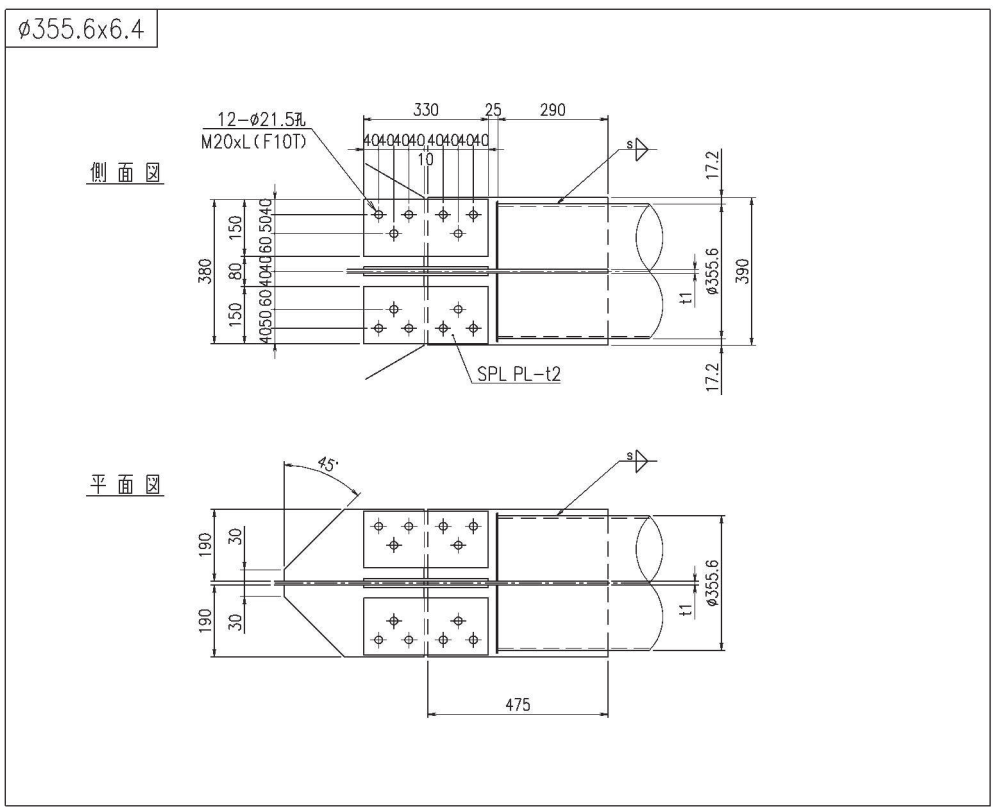


図 2-2 主柱材の接合部詳細



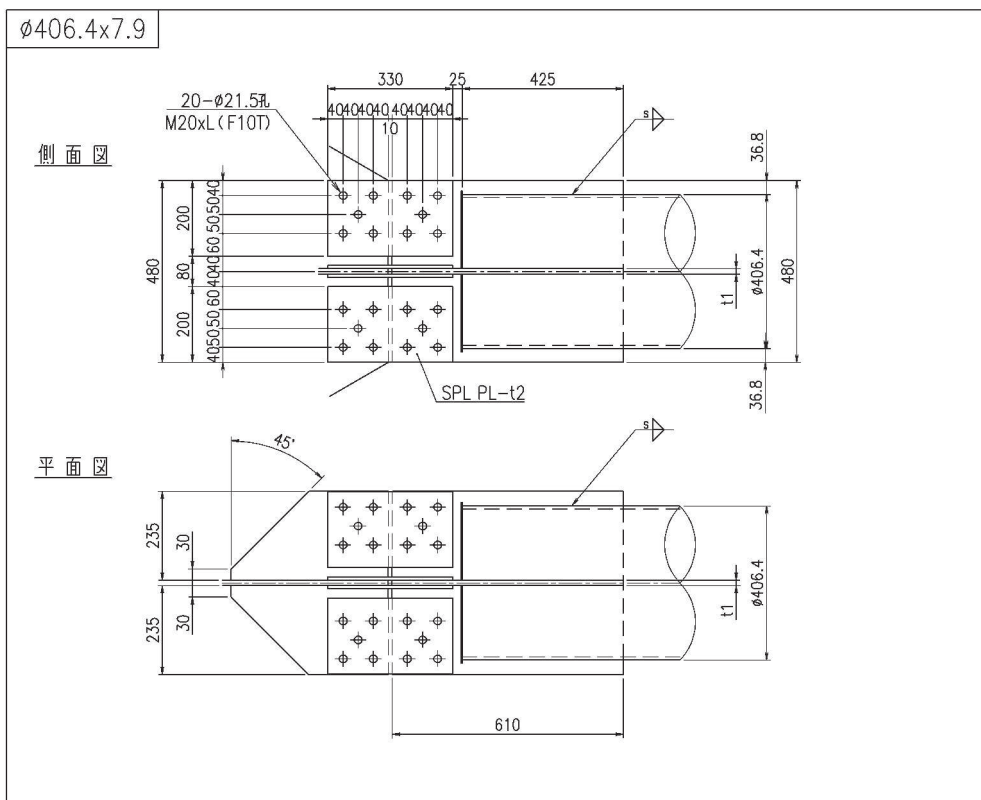
接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
A-1	9	6	6
A-2	12	6	6
A-3	19	6	6

図 2-3(1) 斜材の接合部詳細



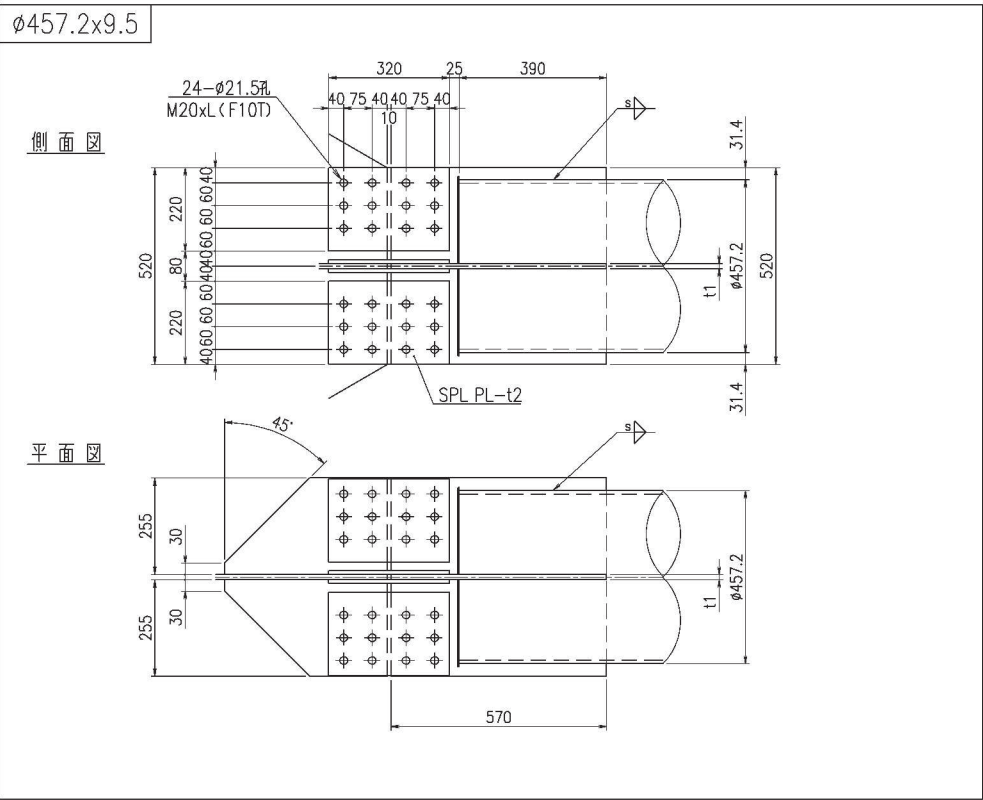
接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
B-1	10	7	6
B-2	16	7	6
B-3	19	7	6
B-4	28	7	6

図 2-3(2) 斜材の接合部詳細



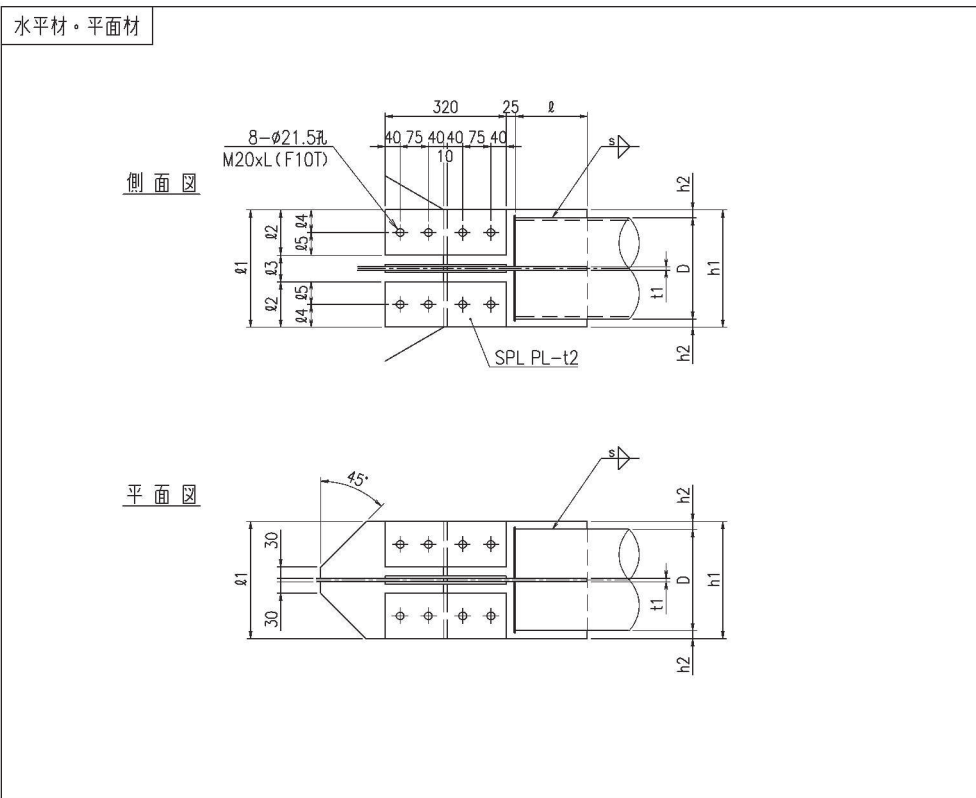
接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
C-1	14	9	7
C-2	25	9	7
C-3	28	9	7
C-4	32	9	7

図 2-3(3) 斜材の接合部詳細



接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
D-1	14	10	9
D-2	18	10	9
D-3	22	10	9
D-4	25	10	9

図 2-3(4) 斜材の接合部詳細



接合位置	部材 (mm)	ℓ (mm)	ℓ1 (mm)	ℓ2 (mm)	ℓ3 (mm)	ℓ4 (mm)	ℓ5 (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
F	φ 190.7×5.3	130	270	80	110	40	40	270	39.65	9	6	5
G	φ 216.3×5.8	165	270	90	90	40	50	270	26.85	9	6	5
A-1	φ 267.4×6.6	190	310	120	70	60	60	310	21.3	9	6	6
A-5	φ 267.4×6.6	190	310	120	70	60	60	310	21.3	32	6	6
H-1	φ 318.5×6.9	235	310	120	70	60	60	350	15.75	10	7	6
H-2	φ 318.5×6.9	235	310	120	70	60	60	350	15.75	22	7	6
I	φ 355.6×6.4	245	310	120	70	60	60	390	17.2	10	7	6
J	φ 406.4×6.4	275	350	140	70	70	70	440	16.8	12	7	6

図 2-4 水平材の接合部詳細

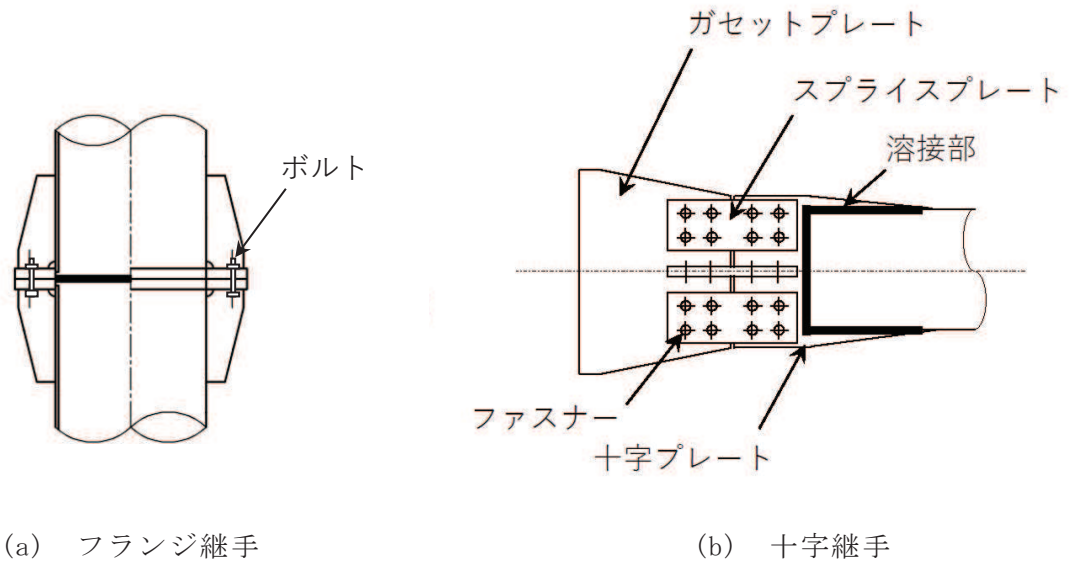


図 2-5 継手概要図

以下に各部位の検討方針を示す。

なお、検討に当たっては、「鋼構造設計規準 —許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005 年)」及び「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)」に準拠して算定する。

2.1 主柱材

フランジ継手部について、継手位置のボルトに生じる検討用応力が、破断耐力以下であることを確認する。

検討用応力 N' は以下により算定する。

$$N' = \left(\frac{N}{A} + \frac{M}{Z} \right) \times A$$

ここで、

N : 評価用応力（主柱材に発生する軸力の最大値）（kN）

A : 主柱材の断面積（mm²）

M : 評価用応力（主柱材に発生する曲げモーメントの最大値）（kN・m）

Z : 主柱材の断面係数（mm³）

継手位置の破断耐力 P_U は、以下により算定する。

$$P_U = T \times n$$

ここで、

T : ボルト 1 本当りの引張破断耐力（kN）

n : ボルト本数（本）

2.2 斜材及び水平材

十字継手について、接合部の部材端部（十字プレート、スプラインプレート）、接合ファスナー、ファスナーのはしあき部分及び溶接部に対して、破断形式に応じた破断耐力を算定し、部材に生じる応力が破断耐力以下であることを確認する。

以下に示す部材端部及び接合部の破断形式(1)～(5)の各々の場合について、破断耐力 $A_j \cdot \sigma_u$ を算定し、その最小の値を接合部の破断耐力とする。

(1) 部材端部で破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_U = A_1 \cdot b \sigma_U$$

$$A_1 = A_g - A_d$$

ここで、

$b \sigma_U$: 部材端部の破断応力度 (N/mm²)

A_g : 部材端部の断面積 (mm²)

A_d : 部材端部の欠損断面積 (mm²)

$A_j \cdot \sigma_U$: 部材端部の破断耐力 (N)

(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_U = 0.75 \times A_2 \cdot f \sigma_U$$

$$A_2 = n \cdot m \cdot f A$$

ここで、

$f \sigma_U$: 接合ファスナーの破断応力度 (N/mm²)

n : ファスナーの数

m : ファスナーがせん断を受ける面の数

$f A$: ファスナー1つの断面積 (mm²)

ただし、ねじ部がせん断にかかる時は、

$$f A = 0.75 \cdot \pi \cdot (d/2)^2$$

d : ファスナーの呼び径 (mm)

$A_j \cdot \sigma_U$: 接合ファスナーの破断耐力 (N)

(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合

a. 十字プレートの場合

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_1 A_3 \cdot {}_b \sigma_U$$
$${}_1 A_3 = n \cdot {}_b e \cdot {}_b t$$

ここで,

- ${}_b \sigma_U$: 十字プレートの破断応力度 (N/mm²)
 ${}_b e$: 十字プレートのはしあき距離 (mm)
 ${}_b t$: 十字プレートのファスナー接合部での板厚 (mm)
 n : ファスナーの数
 $A_j \cdot \sigma_U$: 十字プレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

b. スプライスプレート

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_2 A_3 \cdot {}_s \sigma_U$$
$${}_2 A_3 = n \cdot {}_s e \cdot {}_s t$$

ここで,

- ${}_s \sigma_U$: スプライスプレートの破断応力度 (N/mm²)
 ${}_s e$: スプライスプレートのはしあき距離 (mm)
 ${}_s t$: スプライスプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)
 n : ファスナーの数
 $A_j \cdot \sigma_U$: スプライスプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

c. ガセットプレート端部の場合

$$A_j \cdot \sigma_U = {}_3 A_3 \cdot {}_g \sigma_U$$
$${}_3 A_3 = n \cdot {}_g e \cdot {}_g t$$

ここで,

- ${}_g \sigma_U$: ガセットプレートの破断応力度 (N/mm²)
 ${}_g e$: ガセットプレートのはしあき距離 (mm)
 ${}_g t$: ガセットプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)
 n : ファスナーの数
 $A_j \cdot \sigma_U$: ガセットプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

(4) ガセットプレートの破断による場合

$$A_j \cdot \sigma_U = A_4 \cdot g \sigma_U$$

$$A_4 = (2/\sqrt{3} \cdot \ell_1 + b) \cdot g t - A_d$$

ここで,

$g \sigma_U$: ガセットプレートの破断応力度 (N/mm²)

ℓ_1 : 応力方向の両端ボルト間の距離 (mm)

b : 応力直交方向の両端ボルト間の距離 (mm)

$g t$: ガセットプレートの板厚 (mm)

A_d : ガセットプレートのファスナー端部における欠損断面積
(mm²)

$A_j \cdot \sigma_U$: ガセットプレートの破断耐力 (N)

(5) 溶接部で破断する場合

接合部はすみ肉溶接であるため、次式より算出する。

$$A_j \cdot \sigma_U = 1/\sqrt{3} \cdot A_5 \cdot a \sigma_U$$

$$A_5 = 0.7 \cdot S \cdot \ell_e \cdot n_w$$

ここで,

$a \sigma_U$: 接合される母材の破断応力度 (N/mm²)

ℓ_e : すみ肉溶接の有効長さ (mm)

ただし、 $\ell_e = \ell - 2S$ とする。

ℓ : 1つの連続した隅肉溶接の長さ (mm)

S : すみ溶接のサイズ (mm)

n_w : 溶接線数 (本)

$A_j \cdot \sigma_U$: 溶接部の破断耐力 (N)

3. 検討条件

各部材の接合部検討用の諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。

表 3-1 接合部検討用諸元（リブ付きフランジ継手：主柱材）

標高	O.P. (m)	155.4-149.8	144.4-138.3	132.4-125.8
符号		リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手
		J-1	J-2	J-3
使用部材	外径 (mm)	406.4	558.8	711.2
	板厚 (mm)	7.9	9.5	12.7
	材質	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22
		12G SHTB	12G SHTB	12G SHTB
検討用諸元				
A	mm ²	8616	14641	25637
Z	×10 ³ mm ³	841.9	1976.8	4398.0
n	本	12	18	30
T	kN	222	222	222

記号の説明

- A : 断面積
- Z : 断面係数
- n : ボルト本数
- T : ボルト 1 本あたりの引張破断耐力

表 3-2(1) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材	外径(mm)	ϕ 457.2	ϕ 457.2	ϕ 457.2	ϕ 457.2	ϕ 457.2
	板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
h_1	mm	520	520	520	520	520
h_2	mm	528	524	532	524	535
t	mm	18	14	22	14	25
A_g	mm ²	16480	12360	20600	12360	23690
r	列	3	3	3	3	3
m	面	2	2	2	2	2
d_o	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
b_s	mm	220	220	220	220	220
t_s	mm	10	10	10	10	10
σ_U	N/mm ²	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h_1 : 十字プレートの幅 (鉛直)
- h_2 : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_U : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$: 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-2(2) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4
	板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
h_1	mm	480	480	480	480	480
h_2	mm	495	484	502	484	498
t	mm	25	14	32	14	28
A_g	mm ²	21850	11400	28500	11400	24700
r	列	2	2	2	2	2
m	面	2	2	2	2	2
d_o	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
b_s	mm	200	200	200	200	200
t_s	mm	9	9	9	9	9
σ_U	N/mm ²	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h_1 : 十字プレートの幅 (鉛直)
- h_2 : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_U : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$: 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-2(3) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3
使用部材	外径(mm)	ϕ 355.6	ϕ 355.6	ϕ 355.6	ϕ 355.6	ϕ 355.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
h_1	mm	390	390	390	390	390
h_2	mm	408	390	396	390	399
t	mm	28	10	16	10	19
A_g	mm ²	20020	6160	10780	6160	13090
r	列	2	2	2	2	2
m	面	2	2	2	2	2
d_o	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
b_s	mm	150	150	150	150	150
t_s	mm	7	7	7	7	7
σ_U	N/mm ²	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h_1 : 十字プレートの幅 (鉛直)
- h_2 : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_U : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$: 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-2(4) 接合部検討用諸元 (十字継手：斜材)

標高	O. P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径(mm)	ϕ 267.4	ϕ 267.4	ϕ 267.4	ϕ 267.4
	板厚(mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元					
h_1	mm	310	310	310	310
h_2	mm	319	309	312	309
t	mm	19	9	12	9
A_g	mm ²	10370	4270	6100	4270
r	列	1	1	1	1
m	面	2	2	2	2
d_o	mm	21.5	21.5	21.5	21.5
b_s	mm	120	120	120	120
t_s	mm	6	6	6	6
σ_U	N/mm ²	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h_1 : 十字プレートの幅 (鉛直)
- h_2 : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_U : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$: 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-3(1) 接合部検討用諸元 (十字継手：水平材)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		J	H-2	I	H-1	A-5
使用部材	外径(mm)	ϕ 406.4	ϕ 318.5	ϕ 355.6	ϕ 318.5	ϕ 267.4
	板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
h_1	mm	440	350	390	350	310
h_2	mm	440	350	390	350	310
t	mm	12	22	10	10	32
A_g	mm ²	8680	13560	6160	5520	17640
r	列	1	1	1	1	1
m	面	2	2	2	2	2
d_o	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
b_s	mm	140	120	120	120	120
t_s	mm	7	7	7	7	6
σ_U	N/mm ²	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h_1 : 十字プレートの幅 (鉛直)
- h_2 : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_U : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$: 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

表 3-3(2) 接合部検討用諸元 (十字継手：水平材)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		H-1	A-1	A-1	F	G
使用部材	外径(mm)	ϕ 318.5	ϕ 267.4	ϕ 267.4	ϕ 190.7	ϕ 216.3
	板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
h_1	mm	350	310	310	270	270
h_2	mm	350	310	310	270	270
t	mm	10	9	9	9	9
A_g	mm ²	5520	4277	4277	3717	3717
r	列	1	1	1	1	1
m	面	2	2	2	2	2
d_o	mm	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
b_s	mm	120	120	120	80	90
t_s	mm	7	6	6	6	6
σ_U	N/mm ²	400	400	400	400	400
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h_1 : 十字プレートの幅 (鉛直)
- h_2 : 十字プレートの幅 (水平)
- t : 十字プレートの板厚 (ガセットプレートも同様)
- A_g : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群 1 箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_o : 高力ボルト孔径
- b_s : スプライスプレートの幅
- t_s : スプライスプレートの板厚
- σ_U : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- $f \sigma_U$: 高力ボルトの破断応力度 (F10T)

4. 検討結果

4.1 検討用応力

各部材の接合部検討用の評価応力を表 4-1～表 4-3 を示す。

表 4-1 接合部検討用応力（主柱材）

標高 (m)	検討用応力			地震動 (ケース)	使用部材 (mm)	備考	
	N (kN)	M (kN・m)	N' (kN)			継手形式	符号
155.4-149.8	1165.7	58.3	1762.9	Ss-D1 (ケース③)	φ 406.4×7.9	リブ付き フランジ継手	J-1
144.4-138.3	2379.5	114.4	3228.4	Ss-D1 (ケース③)	φ 558.8×9.5	リブ付き フランジ継手	J-2
132.4-125.8	3214.3	299.7	4963.4	Ss-D1 (ケース③)	φ 711.2×12.7	リブ付き フランジ継手	J-3

表 4-2(1) 接合部検討用応力 (斜材)

標高	検討用応力		使用部材	備考	
	N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
0.P. (m)			寸法 (mm)		
164.8	480.9	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
160.3	502.2	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-2
155.4	555.0	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
149.8 上	555.0	Ss-D2 (ケース③)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-3
149.8 下	468.2	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-3
144.4	529.4	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
138.3	544.3	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-2
132.4	601.4	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
125.8 上	601.4	Ss-D2 (ケース③)	φ 355.6×6.4	十字継手	B-4
125.8 下	598.2	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-3
118.6	916.1	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
110.3	916.1	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-4
103.6	956.8	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
95.3 上	956.8	Ss-D2 (ケース③)	φ 406.4×7.9	十字継手	C-2

表 4-2(2) 接合部検討用応力 (斜材)

標高	検討用応力		使用部材	備考	
	N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
0.P. (m)	N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	継手形式	符号
95.3 下	1058.4	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-4
86.4	1487.4	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-1
75.3	1487.4	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-3
65.1	1489.9	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-1
50.3	1489.9	Ss-D2 (ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	十字継手	D-2

表 4-3 接合部検討用応力（水平材）

標高 (m)	検討用応力		使用部材 (mm)	備考	
	N (kN)	地震動 水平方向		継手形式	符号
164.8	216.9	Ss-D3 (ケース①)	φ 216.3×5.8	十字継手	G
155.4	39.1	Ss-D3 (ケース①)	φ 190.7×5.3	十字継手	F
144.4	195.5	Ss-D3 (ケース①)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
132.4	72.9	Ss-D3 (ケース①)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
118.6	273.0	Ss-D3 (ケース①)	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
110.3	100.6	Ss-D3 (ケース①)	φ 267.4×6.6	十字継手	A-5
103.6	259.7	Ss-D3 (ケース①)	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
86.4	411.1	Ss-D3 (ケース①)	φ 355.6×6.4	十字継手	I
75.3	167.7	Ss-D3 (ケース①)	φ 318.5×6.9	十字継手	H-2
65.1	344.5	Ss-D3 (ケース①)	φ 406.4×6.4	十字継手	J

※水平材は耐力比が 0.5 未満であるため基本ケースのみで評価

4.2 検討結果

各部材の接合部検討用の破断耐力の算定結果を表 4-4～表 4-6 に示す。

表 4-4 接合部検討用の破断耐力（主柱材：リブ付きフランジ継手）

標高	0. P. (m)	155. 4-149. 8	144. 4-138. 3	132. 4-125. 8
符号		リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手	リブ付き フランジ継手
		J-1	J-2	J-3
使用部材	外径 (mm)	406. 4	558. 8	711. 2
	板厚 (mm)	7. 9	9. 5	12. 7
	材質	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22
		12G SHTB	12G SHTB	12G SHTB
主柱継手部の検討				
n	本	12	18	30
T	kN	222	222	222
破断耐力				
P_U	kN	2664	3996	6660

表 4-5(1) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2
	板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	16480	12360	20600	12360	23690
A_d	mm ²	4128	3096	5160	3096	5934
A_1	mm ²	12352	9264	15440	9264	17756
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4940	3705	6176	3705	7102
b. スプライスプレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	15840	15840	15840	15840	15840
A_d	mm ²	4644	4644	4644	4644	4644
A_1	mm ²	11196	11196	11196	11196	11196
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4478	4478	4478	4478	4478
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	24	24	24	24	24
m	面	2	2	2	2	2
$f A$	mm ²	235	235	235	235	235
A_2	mm ²	11280	11280	11280	11280	11280
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	8460	8460	8460	8460	8460

表 4-5(2) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2	φ 457.2
	板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)						
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40	40
$b t$	mm	18	14	22	14	25
n	箇所	24	24	24	24	24
${}_1 A_3$	mm ²	15360	11520	19200	11520	22080
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6144	4608	7680	4608	8832
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)						
$s \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40	40
$s t$	mm	10	10	10	10	10
n	箇所	24	24	24	24	24
${}_2 A_3$	mm ²	17280	17280	17280	17280	17280
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6912	6912	6912	6912	6912
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)						
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40	40
$g t$	mm	18	14	22	14	25
n	箇所	24	24	24	24	24
${}_3 A_3$	mm ²	15360	11520	19200	11520	22080
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6144	4608	7680	4608	8832

表 4-5(3) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	50.3	65.1	75.3	86.4	95.3 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		D-2	D-1	D-3	D-1	D-4
使用部材		外径(mm)	ϕ 457.2	ϕ 457.2	ϕ 457.2	ϕ 457.2
		板厚(mm)	9.5	9.5	9.5	9.5
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
l_1	mm	75	75	75	75	75
b	mm	440	440	440	440	440
$g t$	mm	18	14	22	14	25
A_d	mm ²	2064	1548	2580	1548	2967
A_4	mm ²	12512	9384	15640	9384	17986
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	5004	3753	6256	3753	7194
(5) 溶接部で破断する場合						
$a \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
S	mm	9	9	9	9	9
l	mm	390	390	390	390	390
l_e	mm	372	372	372	372	372
n_w	本	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	16665	16665	16665	16665	16665
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3848	3848	3848	3848	3848
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	3848	3705	3848	3705	3848

表 4-5(4) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4
	板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	21850	11400	28500	11400	24700
A_d	mm ²	3956	2064	5160	2064	4472
A_1	mm ²	17894	9336	23340	9336	20228
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7157	3734	9336	3734	8091
b. スプライスプレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	12800	12800	12800	12800	12800
A_d	mm ²	2752	2752	2752	2752	2752
A_1	mm ²	10048	10048	10048	10048	10048
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4019	4019	4019	4019	4019
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
${}_f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	20	20	20	20	20
m	面	2	2	2	2	2
${}_f A$	mm ²	235	235	235	235	235
A_2	mm ²	9400	9400	9400	9400	9400
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7050	7050	7050	7050	7050

表 4-5(5) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4
	板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)						
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40	40
$b t$	mm	25	14	32	14	28
n	箇所	20	20	20	20	20
${}_1 A_3$	mm ²	18400	9600	24000	9600	20800
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7360	3840	9600	3840	8320
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)						
$s \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40	40
$s t$	mm	9	9	9	9	9
n	箇所	20	20	20	20	20
${}_2 A_3$	mm ²	12800	12800	12800	12800	12800
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	5120	5120	5120	5120	5120
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)						
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40	40
$g t$	mm	25	14	32	14	28
n	箇所	20	20	20	20	20
${}_3 A_3$	mm ²	18400	9600	24000	9600	20800
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7360	3840	9600	3840	8320

表 4-5(6) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	95.3 上	103.6	110.3	118.6	125.8 下	
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	
		C-2	C-1	C-4	C-1	C-3	
使用部材		外径(mm)	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	φ 406.4	
		板厚(mm)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	
(4) ガセットプレートの破断による場合							
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
l_1	mm	80	80	80	80	80	
b	mm	400	400	400	400	400	
$g t$	mm	25	14	32	14	28	
A_d	mm ²	1978	1032	2580	1032	2236	
A_4	mm ²	18124	9456	23640	9456	20488	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	7249	3782	9456	3782	8195	
(5) 溶接部で破断する場合							
$a \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
S	mm	7	7	7	7	7	
l	mm	425	425	425	425	425	
l_e	mm	411	411	411	411	411	
n_w	本	8	8	8	8	8	
A_5	mm ²	13809	13809	13809	13809	13809	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3189	3189	3189	3189	3189	
破断耐力							
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	3189	3189	3189	3189	3189	

表 4-5(7) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	20020	6160	10780	6160	13090
A_d	mm ²	4472	1376	2408	1376	2924
A_1	mm ²	15548	4784	8372	4784	10166
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6219	1913	3348	1913	4066
b. スプライスプレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	7200	7200	7200	7200	7200
A_d	mm ²	2064	2064	2064	2064	2064
A_1	mm ²	5136	5136	5136	5136	5136
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2054	2054	2054	2054	2054
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
${}_f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	12	12	12	12	12
m	面	2	2	2	2	2
${}_f A$	mm ²	235	235	235	235	235
A_2	mm ²	5640	5640	5640	5640	5640
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4230	4230	4230	4230	4230

表 4-5(8) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3
使用部材		外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6	φ 355.6
		板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)						
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40	40
$b t$	mm	28	10	16	10	19
n	箇所	12	12	12	12	12
${}_1 A_3$	mm ²	12480	3840	6720	3840	8160
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4992	1536	2688	1536	3264
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)						
$s \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40	40
$s t$	mm	7	7	7	7	7
n	箇所	12	12	12	12	12
${}_2 A_3$	mm ²	5760	5760	5760	5760	5760
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2304	2304	2304	2304	2304
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)						
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40	40
$g t$	mm	28	10	16	10	19
n	箇所	12	12	12	12	12
${}_3 A_3$	mm ²	12480	3840	6720	3840	8160
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	4992	1536	2688	1536	3264

表 4-5(9) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	125.8 上	132.4	138.3	144.4	149.8 下
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		B-4	B-1	B-2	B-1	B-3
使用部材		外径(mm)	ϕ 355.6	ϕ 355.6	ϕ 355.6	ϕ 355.6
		板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
l_1	mm	80	80	80	80	80
b	mm	300	300	300	300	300
$g t$	mm	28	10	16	10	19
A_d	mm ²	2236	688	1204	688	1462
A_4	mm ²	15808	4864	8512	4864	10336
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	6323	1945	3404	1945	4134
(5) 溶接部で破断する場合						
$a \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6	6
l	mm	290	290	290	290	290
l_e	mm	278	278	278	278	278
n_w	本	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	7784	7784	7784	7784	7784
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1797	1797	1797	1797	1797
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1797	1536	1797	1536	1797

表 4-5(10) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O.P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径 (mm)	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4
	板厚 (mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合					
a. 十字プレート端部					
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400
A_g	mm ²	10370	4270	6100	4270
A_d	mm ²	1462	602	860	602
A_1	mm ²	8908	3668	5240	3668
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3563	1467	2096	1467
b. スプライスプレート端部					
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400
A_g	mm ²	4800	4800	4800	4800
A_d	mm ²	860	860	860	860
A_1	mm ²	3940	3940	3940	3940
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1576	1576	1576	1576
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合					
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000
n	箇所	8	8	8	8
m	面	2	2	2	2
$f A$	mm ²	235	235	235	235
A_2	mm ²	3760	3760	3760	3760
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2820	2820	2820	2820

表 4-5(11) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O. P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径 (mm)	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4	φ 267.4
	板厚 (mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合					
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)					
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400
$b e$	mm	40	40	40	40
$b t$	mm	19	9	12	9
n	箇所	8	8	8	8
${}_1 A_3$	mm ²	5440	2240	3200	2240
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2176	896	1280	896
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)					
$s \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400
$s e$	mm	40	40	40	40
$s t$	mm	6	6	6	6
n	箇所	8	8	8	8
${}_2 A_3$	mm ²	3200	3200	3200	3200
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1280	1280	1280	1280
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)					
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400
$g e$	mm	40	40	40	40
$g t$	mm	19	9	12	9
n	箇所	8	8	8	8
${}_3 A_3$	mm ²	5440	2240	3200	2240
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2176	896	1280	896

表 4-5(12) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

標高	O.P. (m)	149.8 上	155.4	160.3	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		A-3	A-1	A-2	A-1
使用部材	外径 (mm)	ϕ 267.4	ϕ 267.4	ϕ 267.4	ϕ 267.4
	板厚 (mm)	6.6	6.6	6.6	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合					
${}_g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400
ℓ_1	mm	75	75	75	75
b	mm	190	189	190	189
${}_g t$	mm	19	9	12	9
A_d	mm ²	731	301	430	301
A_4	mm ²	7942	3256	4672	3256
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3176	1302	1868	1302
(5) 溶接部で破断する場合					
${}_a \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6
ℓ	mm	190	190	190	190
ℓ_e	mm	178	178	178	178
n_w	本	8	8	8	8
A_5	mm ²	4984	4984	4984	4984
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1151	1151	1151	1151
破断耐力					
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1151	896	1151	896

表 4-6(1) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		J	H-2	I	H-1	A-5
使用部材	外径(mm)	φ 406.4	φ 318.5	φ 355.6	φ 318.5	φ 267.4
	板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	8680	13560	6160	5520	17640
A_d	mm ²	860	1720	688	688	2580
A_1	mm ²	7820	11840	5472	4832	15060
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	3128	4736	2188	1932	6024
b. スプライスプレート端部						
${}_b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	6720	5760	5760	5760	4800
A_d	mm ²	1032	1032	1032	1032	860
A_1	mm ²	5688	4728	4728	4728	3940
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2275	1891	1891	1891	1576
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
${}_f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	8	8	8	8	8
m	面	2	2	2	2	2
${}_f A$	mm ²	235	235	235	235	235
A_2	mm ²	3760	3760	3760	3760	3760
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2820	2820	2820	2820	2820

表 4-6(2) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3	
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	
		J	H-2	I	H-1	A-5	
使用部材		外径(mm)	φ 406.4	φ 318.5	φ 355.6	φ 318.5	φ 267.4
		板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合							
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)							
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
$b e$	mm	40	40	40	40	40	
$b t$	mm	12	22	10	10	32	
n	箇所	8	8	8	8	8	
${}_1 A_3$	mm ²	3200	6400	2560	2560	9600	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1280	2560	1024	1024	3840	
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)							
$s \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
$s e$	mm	40	40	40	40	40	
$s t$	mm	7	7	7	7	6	
n	箇所	8	8	8	8	8	
${}_2 A_3$	mm ²	3840	3840	3840	3840	3200	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1536	1536	1536	1536	1280	
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)							
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
$g e$	mm	40	40	40	40	40	
$g t$	mm	12	22	10	10	32	
n	箇所	8	8	8	8	8	
${}_3 A_3$	mm ²	3200	6400	2560	2560	9600	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1280	2560	1024	1024	3840	

表 4-6(3) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	65.1	75.3	86.4	103.6	110.3
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		J	H-2	I	H-1	A-5
使用部材	外径(mm)	ϕ 406.4	ϕ 318.5	ϕ 355.6	ϕ 318.5	ϕ 267.4
	板厚(mm)	6.4	6.9	6.4	6.9	6.6
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
${}_g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
ℓ_1	mm	75	75	75	75	75
b	mm	210	190	190	190	190
${}_g t$	mm	12	22	10	10	32
A_d	mm ²	430	860	344	344	1290
A_4	mm ²	5072	9344	3737	3737	14016
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2028	3737	1494	1494	5606
(5) 溶接部で破断する場合						
${}_a \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6	6
ℓ	mm	275	235	245	235	190
ℓ_e	mm	263	223	233	223	178
n_w	本	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	7364	6244	6524	6244	4984
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1700	1441	1506	1441	1151
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1280	1441	1024	1024	1151

表 4-6(4) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		H-1	A-1	A-1	F	G
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 267.4	φ 267.4	φ 190.7	φ 216.3
	板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	5520	4277	4277	3717	3717
A_d	mm ²	688	602	602	602	602
A_1	mm ²	4832	3675	3675	3115	3115
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1932	1470	1470	1246	1246
b. スプライスプレート端部						
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	5760	4800	4800	3200	3600
A_d	mm ²	1032	860	860	860	860
A_1	mm ²	4728	3940	3940	2340	2740
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1891	1576	1576	936	1096
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
$f \sigma_U$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	8	8	8	8	8
m	面	2	2	2	2	2
$f A$	mm ²	235	235	235	235	235
A_2	mm ²	3760	3760	3760	3760	3760
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	2820	2820	2820	2820	2820

表 4-6(5) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8	
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	
		H-1	A-1	A-1	F	G	
使用部材		外径(mm)	φ 318.5	φ 267.4	φ 267.4	φ 190.7	φ 216.3
		板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20	
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合							
a. 部材端部の場合 (十字プレートのはしあき)							
$b \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
$b e$	mm	40	40	40	40	40	
$b t$	mm	10	9	9	9	9	
n	箇所	8	8	8	8	8	
${}_1 A_3$	mm ²	2560	2240	2240	2240	2240	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1024	896	896	896	896	
b. 部材端部の場合 (スプライスプレートのはしあき)							
$s \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
$s e$	mm	40	40	40	40	40	
$s t$	mm	7	6	6	6	6	
n	箇所	8	8	8	8	8	
${}_2 A_3$	mm ²	3840	3200	3200	3200	3200	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1536	1280	1280	1280	1280	
c. 部材端部の場合 (ガセットプレートのはしあき)							
$g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400	
$g e$	mm	40	40	40	40	40	
$g t$	mm	10	9	9	9	9	
n	箇所	8	8	8	8	8	
${}_3 A_3$	mm ²	2560	2240	2240	2240	2240	
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1024	896	896	896	896	

表 4-6(6) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

標高	O. P. (m)	118.6	132.4	144.4	155.4	164.8
符号		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		H-1	A-1	A-1	F	G
使用部材	外径(mm)	ϕ 318.5	ϕ 267.4	ϕ 267.4	ϕ 190.7	ϕ 216.3
	板厚(mm)	6.9	6.6	6.6	5.3	5.8
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M20	M20	M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
${}_g \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
ℓ_1	mm	75	75	75	75	75
b	mm	190	190	190	190	190
${}_g t$	mm	10	9	9	9	9
A_d	mm ²	344	301	301	301	301
A_4	mm ²	3737	3270	3270	3178	3178
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1494	1308	1308	1271	1271
(5) 溶接部で破断する場合						
${}_a \sigma_U$	N/mm ²	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	5	5
ℓ	mm	235	190	190	130	165
ℓ_e	mm	223	178	178	120	155
n_w	本	8	8	8	8	8
A_5	mm ²	6244	4984	4984	2688	3472
$A_j \cdot \sigma_U$	kN	1441	1151	1151	620	801
破断耐力						
$P_U = \min\{A_j \cdot \sigma_U\}$	kN	1024	896	896	620	801

各部材について、検討用応力と接合部の破断耐力の比較を表 4-7～表 4-9 に示す。
 検討用応力は、接合部の破断耐力以下であることを確認した。

表 4-7 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（主柱材）

標高 O.P. (m)	検討用 応力 N' (kN)	破断 耐力 Pu (kN)	検定値 N' /Pu	使用部材 寸法 (mm)	備考	
					継手形式	符号
155.4-149.8	1762.9	2664	0.67	φ 406.4×7.9	リブ付き フランジ継手	J-1
144.4-138.3	3228.4	3996	0.81	φ 558.8×9.5	リブ付き フランジ継手	J-2
132.4-125.8	4963.4	6660	0.75	φ 711.2×12.7	リブ付き フランジ継手	J-3

表 4-8 検討用応力と接合部の破断耐力の比較 (斜材)

標高 O. P. (m)	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 Pu (kN)	検定値 N/Pu	使用部材 寸法 (mm)	備考	
					継手形式	符号
164.8	480.9	896	0.54	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
160.3	502.2	1151	0.44	φ 267.4×6.6	十字継手	A-2
155.4	555.0	896	0.62	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
149.8 上	555.0	1151	0.49	φ 267.4×6.6	十字継手	A-3
149.8 下	468.2	1797	0.27	φ 355.6×6.4	十字継手	B-3
144.4	529.4	1536	0.35	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
138.3	544.3	1797	0.31	φ 355.6×6.4	十字継手	B-2
132.4	601.4	1536	0.40	φ 355.6×6.4	十字継手	B-1
125.8 上	601.4	1797	0.34	φ 355.6×6.4	十字継手	B-4
125.8 下	598.2	3189	0.19	φ 406.4×7.9	十字継手	C-3
118.6	916.1	3189	0.29	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
110.3	916.1	3189	0.29	φ 406.4×7.9	十字継手	C-4
103.6	956.8	3189	0.31	φ 406.4×7.9	十字継手	C-1
95.3 上	956.8	3189	0.31	φ 406.4×7.9	十字継手	C-2
95.3 下	1058.4	3848	0.28	φ 457.2×9.5	十字継手	D-4
86.4	1487.4	3705	0.41	φ 457.2×9.5	十字継手	D-1
75.3	1487.4	3848	0.39	φ 457.2×9.5	十字継手	D-3
65.1	1489.9	3705	0.41	φ 457.2×9.5	十字継手	D-1
50.3	1489.9	3848	0.39	φ 457.2×9.5	十字継手	D-2

表 4-9 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（水平材）

標高 O. P. (m)	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 Pu (kN)	検定値 N/Pu	使用部材 寸法 (mm)	備考	
					継手形式	符号
164.8	216.9	801	0.28	φ 216.3×5.8	十字継手	G
155.4	39.1	620	0.07	φ 190.7×5.3	十字継手	F
144.4	195.5	896	0.22	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
132.4	72.9	896	0.09	φ 267.4×6.6	十字継手	A-1
118.6	273.0	1024	0.27	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
110.3	100.6	1151	0.09	φ 267.4×6.6	十字継手	A-5
103.6	259.7	1024	0.26	φ 318.5×6.9	十字継手	H-1
86.4	411.1	1024	0.41	φ 355.6×6.4	十字継手	I
75.3	167.7	1441	0.12	φ 318.5×6.9	十字継手	H-2
65.1	344.5	1280	0.27	φ 406.4×6.4	十字継手	J

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

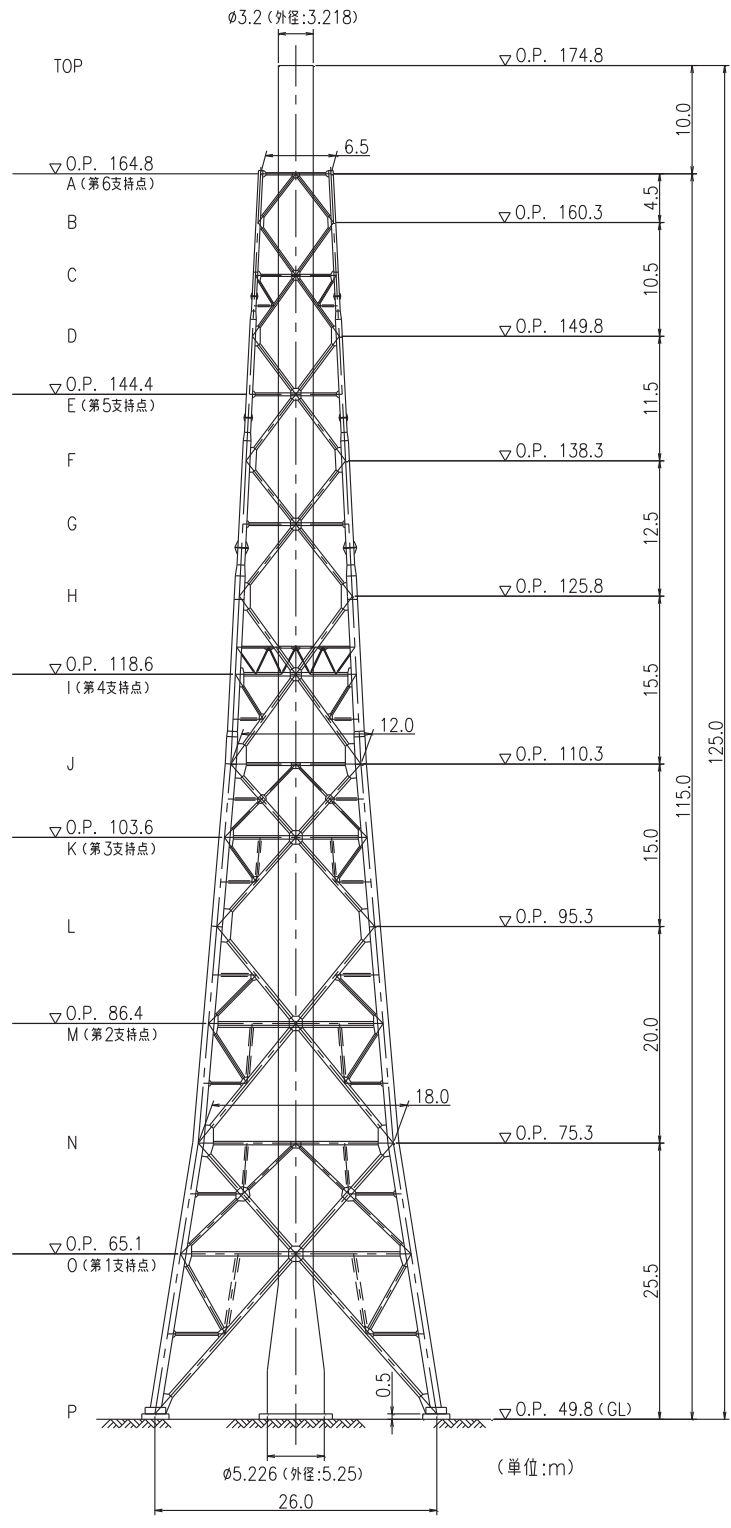
1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-1
3. 第1号機排気筒への入力地震動算出方法	別紙 5-4
3.1 入力地震動算出断面	別紙 5-4
3.2 評価に用いる地震波	別紙 5-5
3.3 解析方法	別紙 5-5
3.4 地震応答解析モデルへの入力地震動	別紙 5-5
3.5 解析モデル及び諸元	別紙 5-7
4. 解析モデルの妥当性検討	別紙 5-16
4.1 荷重及び荷重の組合せ	別紙 5-16
4.2 許容限界，使用材料及び材料の許容応力度	別紙 5-16
4.3 断面の評価方法	別紙 5-16
4.4 地震応答解析	別紙 5-17
4.5 評価結果	別紙 5-17

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		1016φ×18.0 ※1	1016φ×12.7 ※1	914.4φ×12.7	711.2φ×12.7	558.8φ×9.5	406.4φ×7.9
斜材	鉄塔	457.2φ×9.5	406.4φ×7.9	355.6φ×6.4	355.6φ×6.4	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6
	水平材	406.4φ×6.4	318.5φ×6.9	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	190.7φ×5.3
筒身	SMA400AP	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

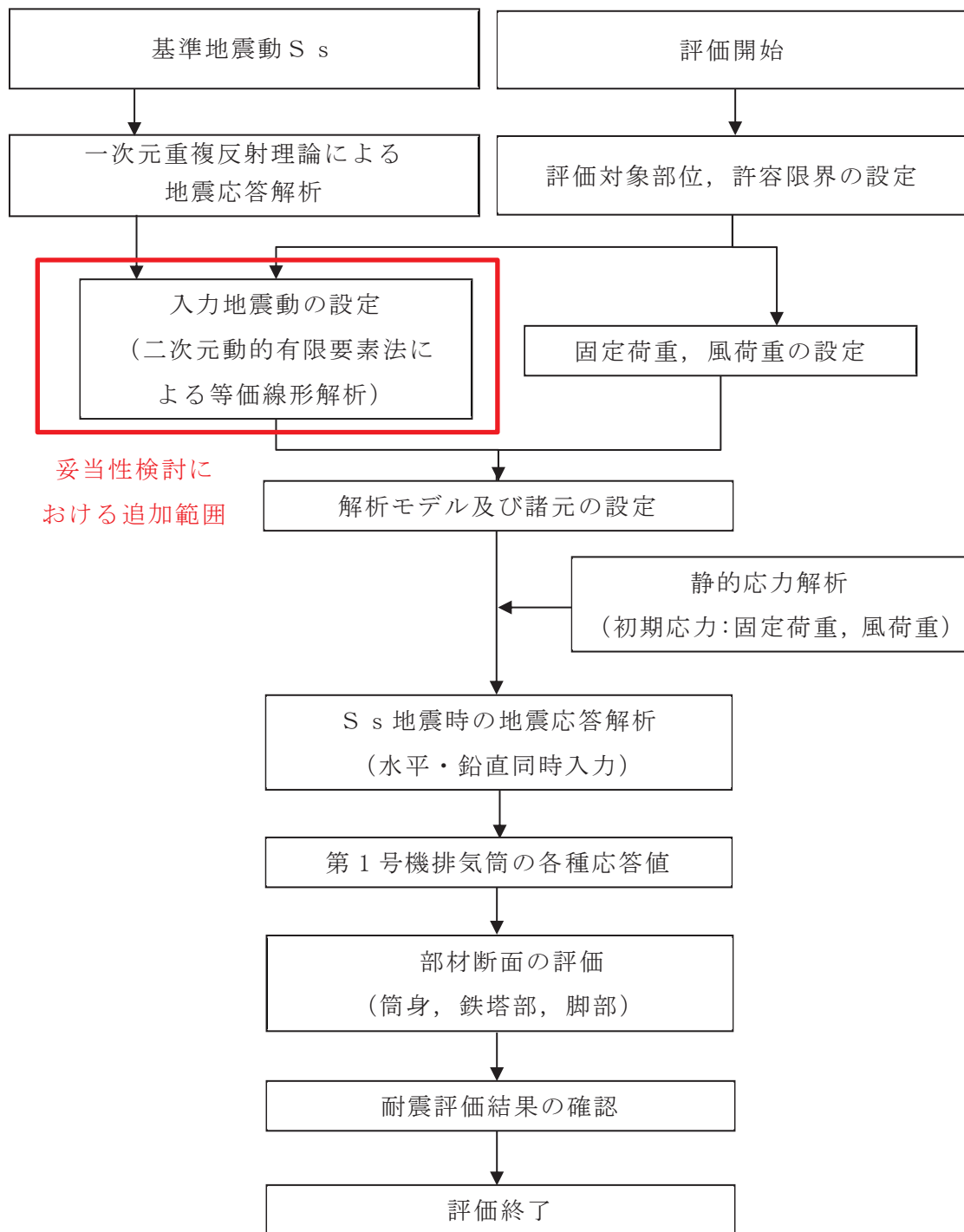


図 2-2 第 1 号機排気筒の耐震評価フロー

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。

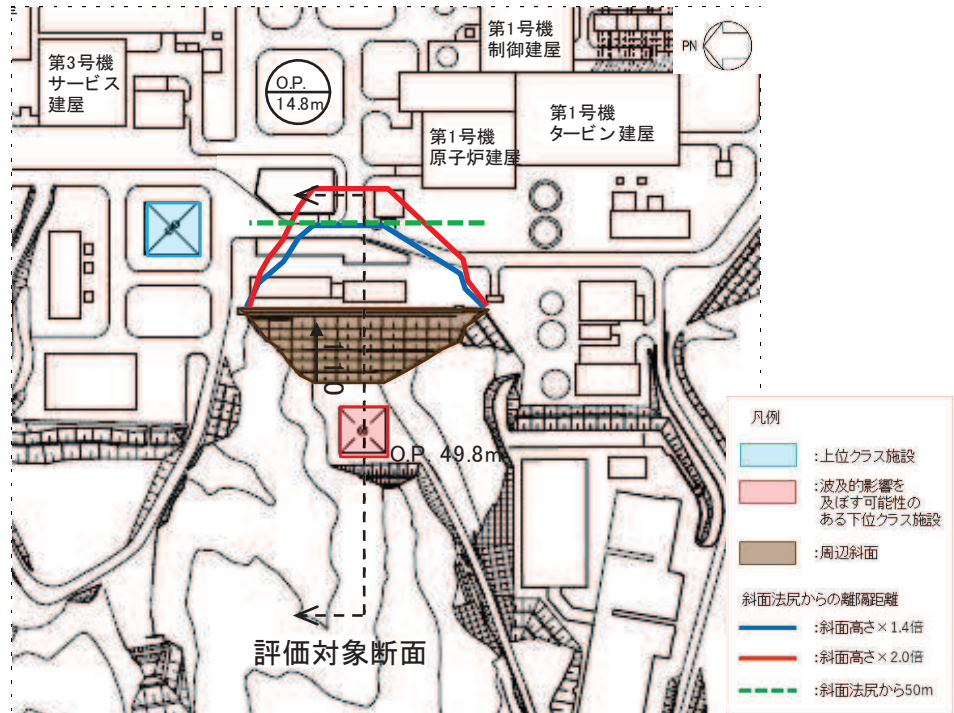


図3-1 第1号機排気筒の入力地震動算出用断面位置図

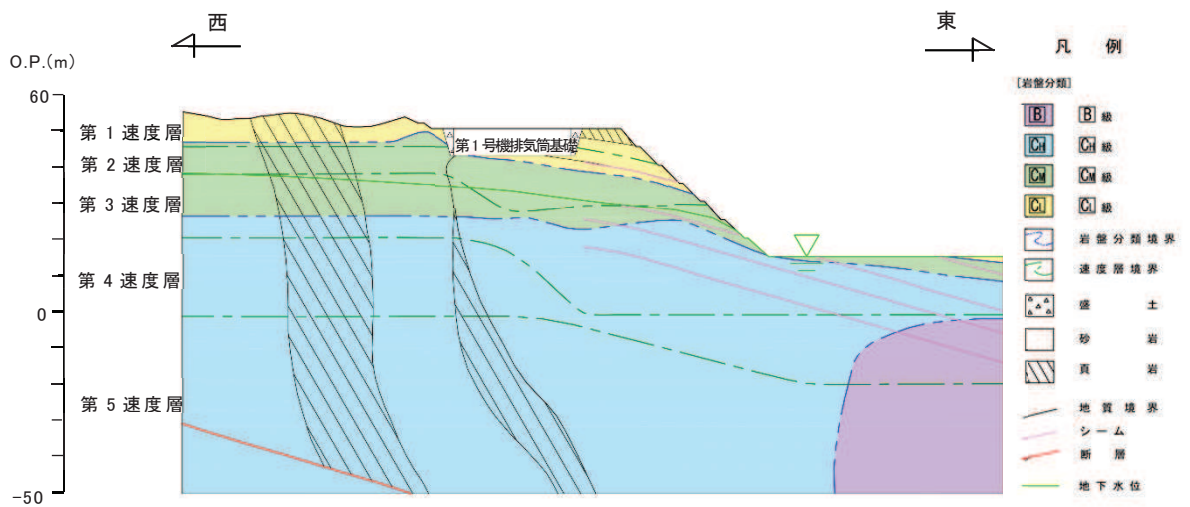


図3-2 第1号機排気筒 入力地震動算出用地質断面図

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。

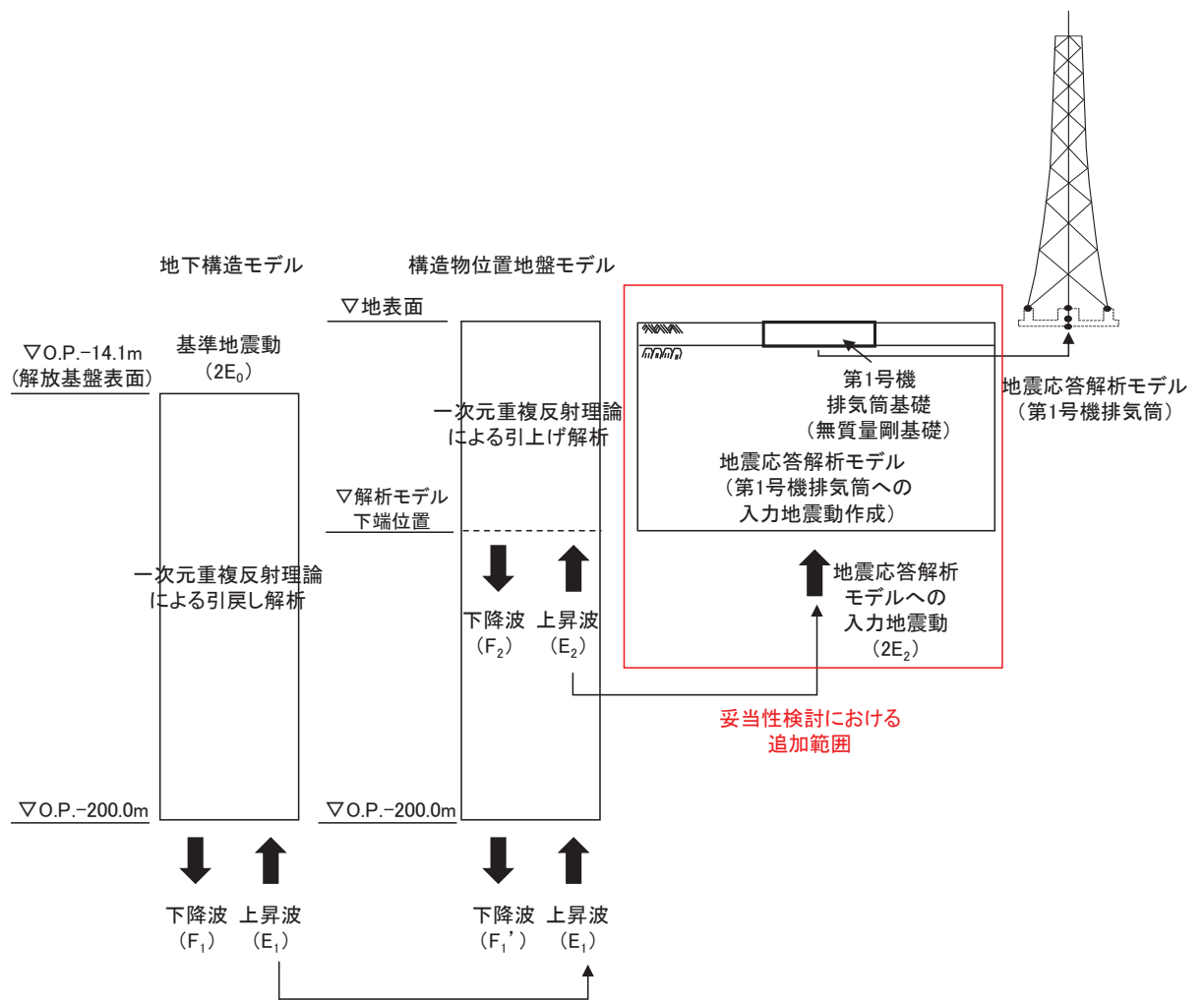


図 3-3 入力地震動の算定方法

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。

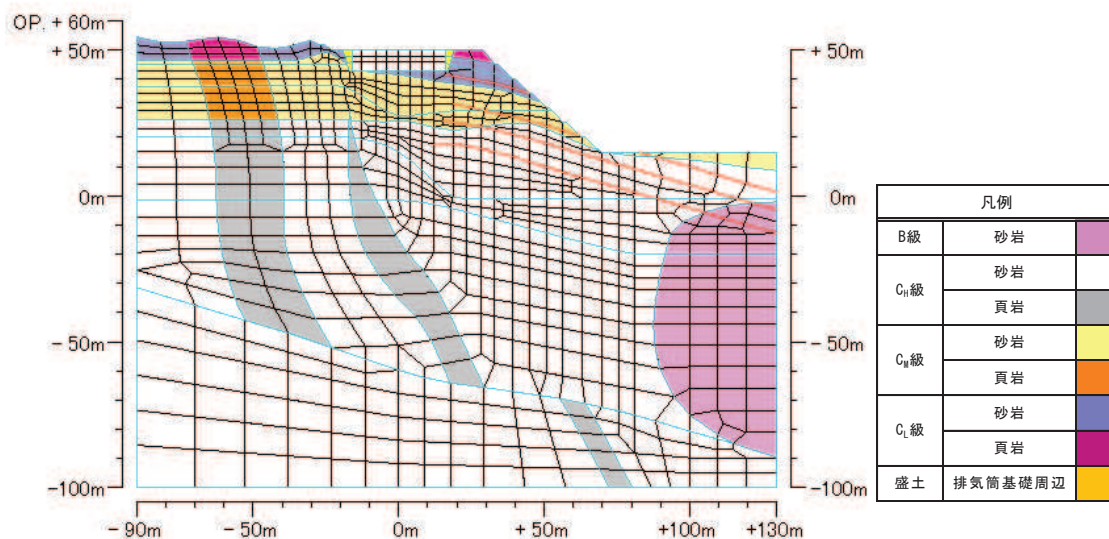


図3-4 第1号機排気筒の地震応答解析モデル図

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。

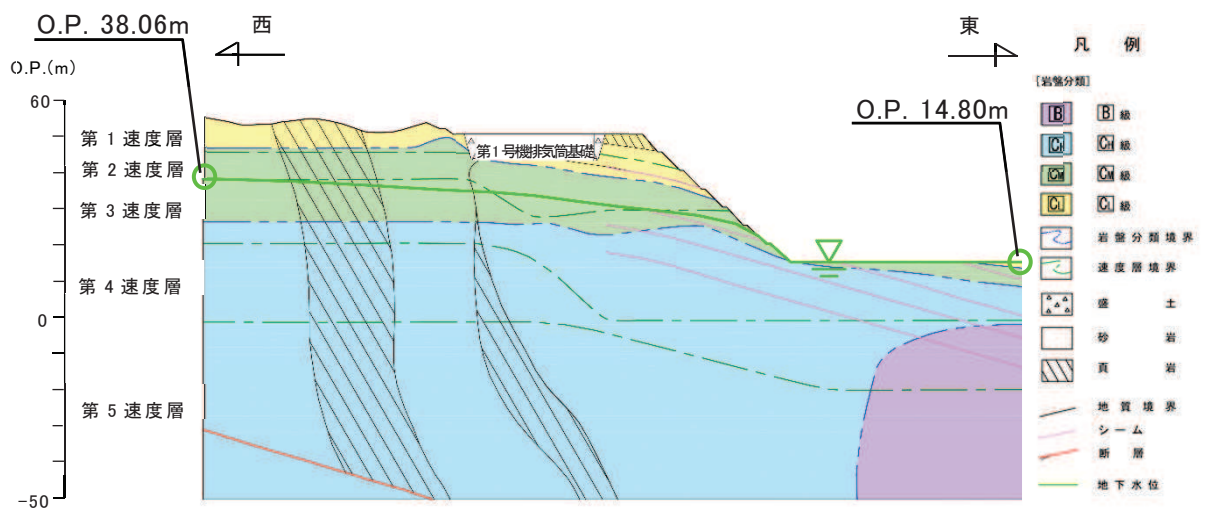
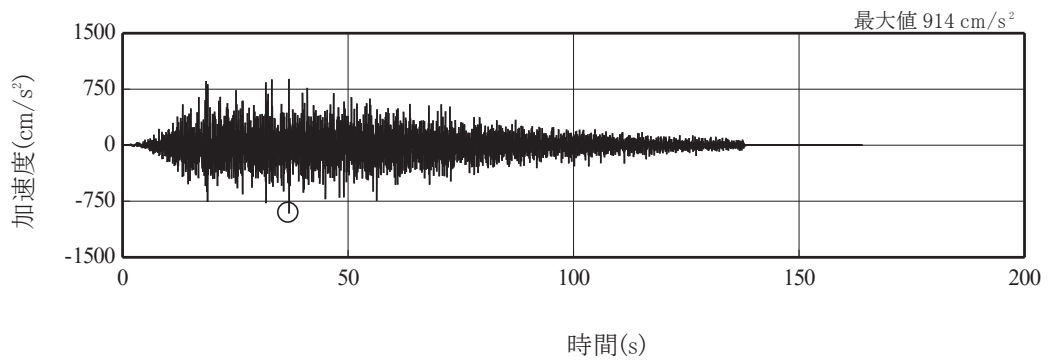


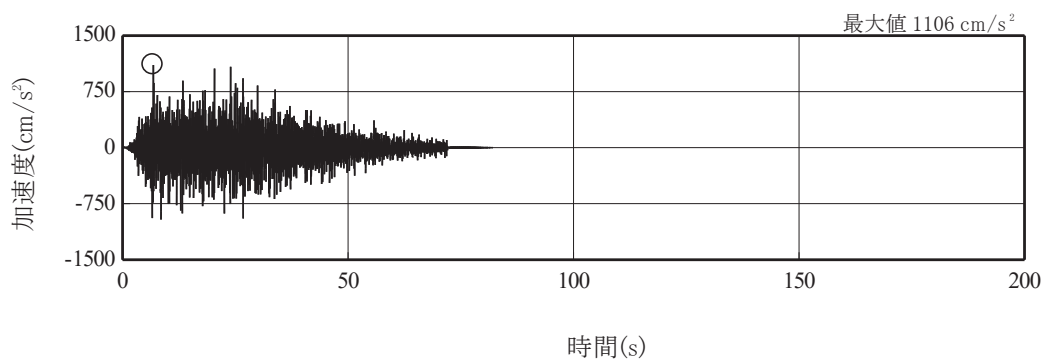
図3-5 設計用地下水位

3.6 入力地震動算出結果

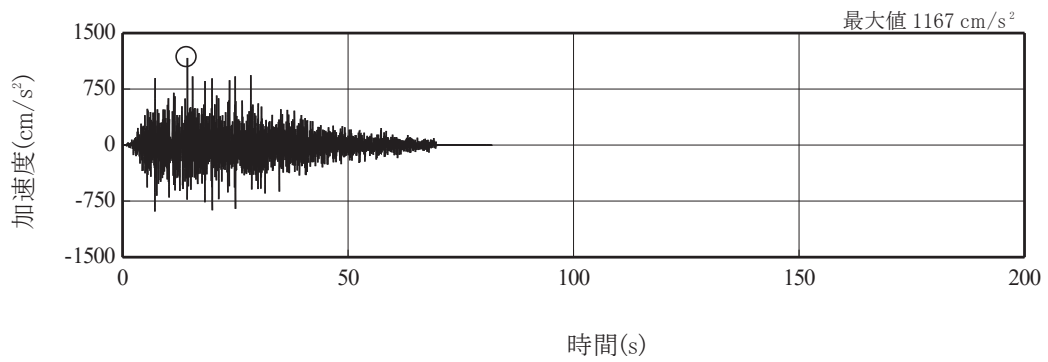
第1号機排気筒における入力地震動の加速度時刻歴波形を図3-6、加速度応答スペクトルを図3-7に示す。



(a) S s - D 1

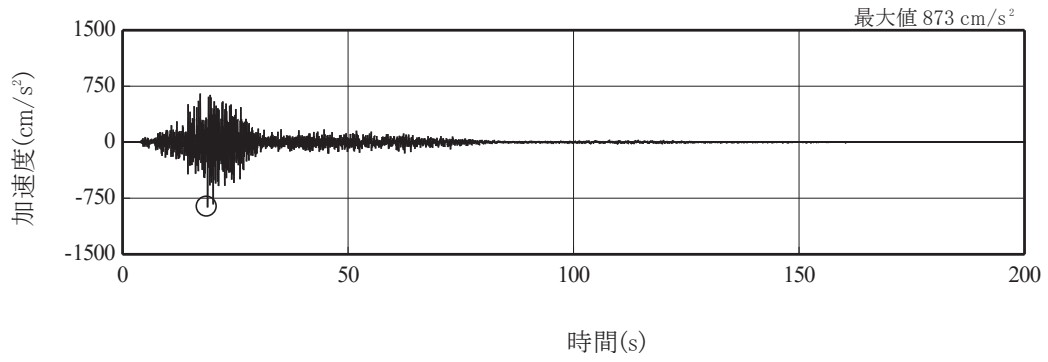


(b) S s - D 2

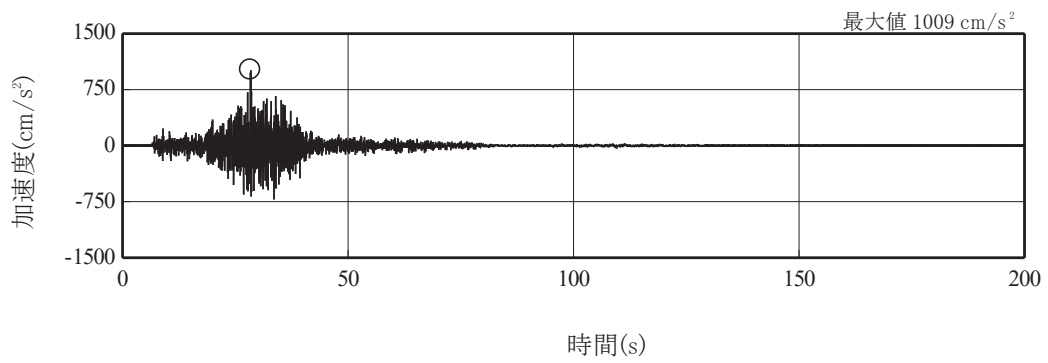


(c) S s - D 3

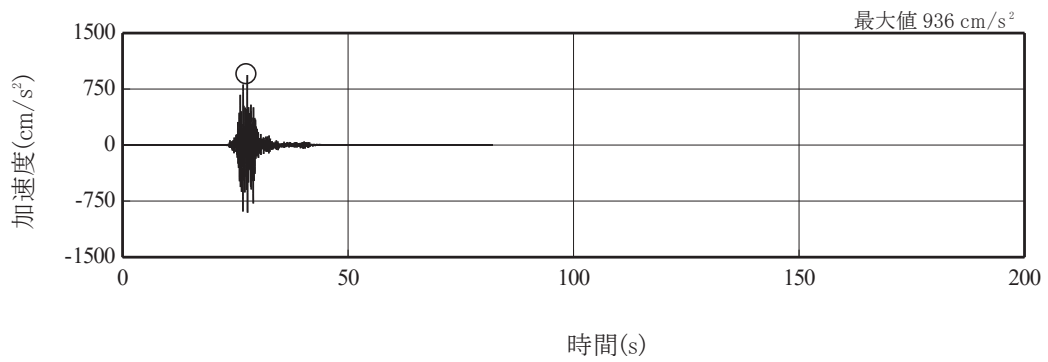
図 3-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s, 水平成分) (1/3)



(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)

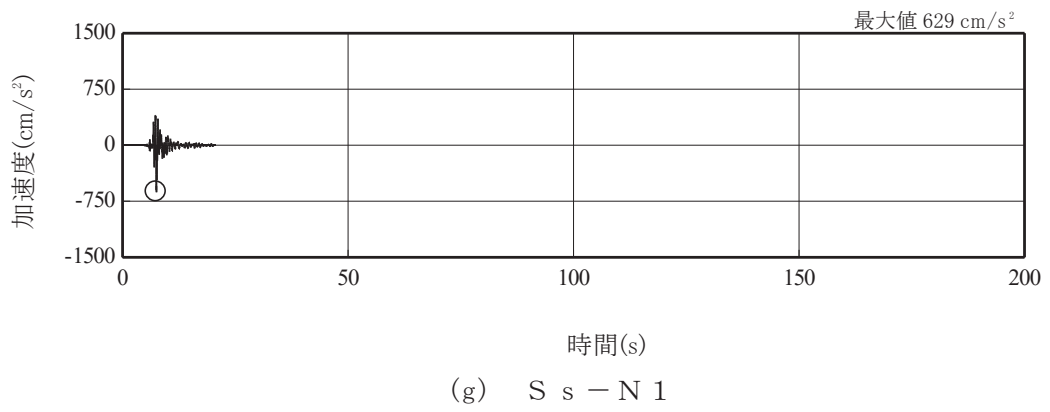
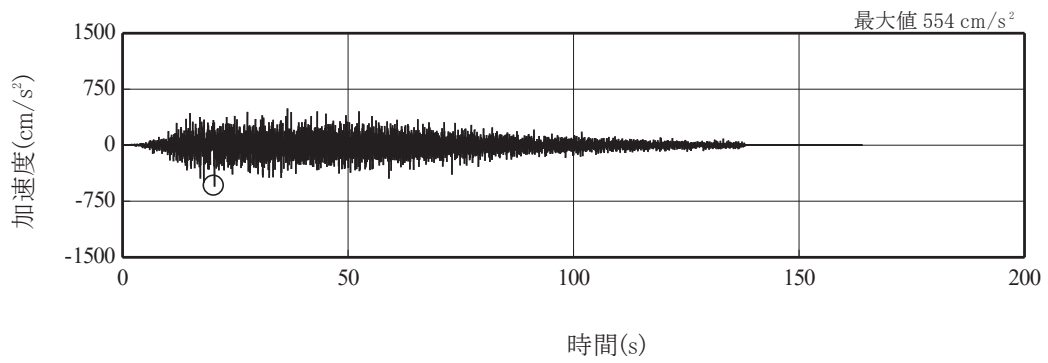
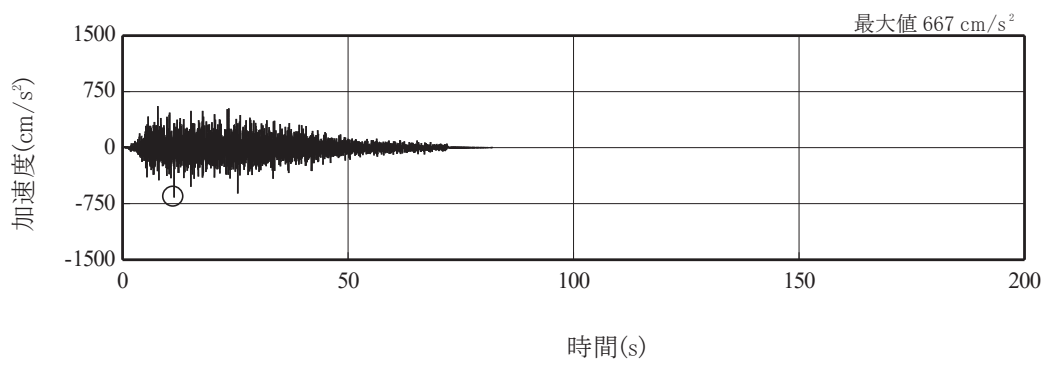


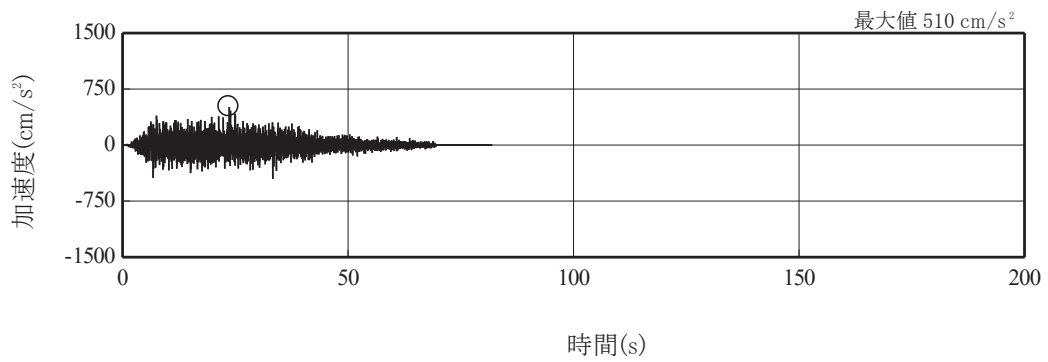
図 3-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (基準地震動 S s , 水平成分) (3/3)



(a) S s - D 1

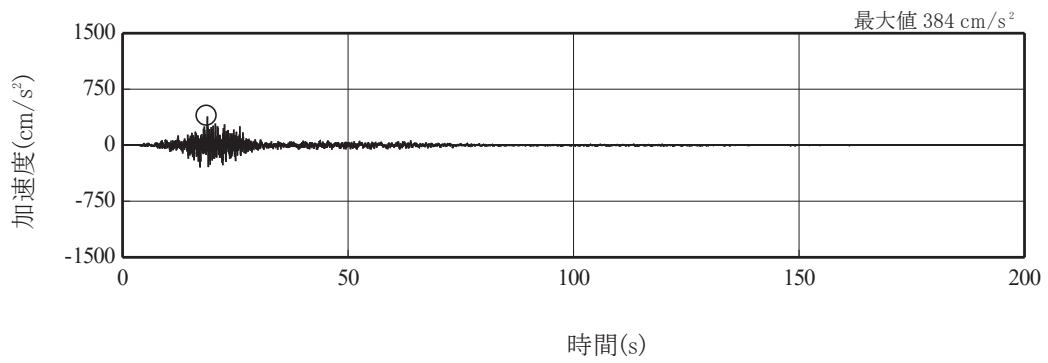


(b) S s - D 2

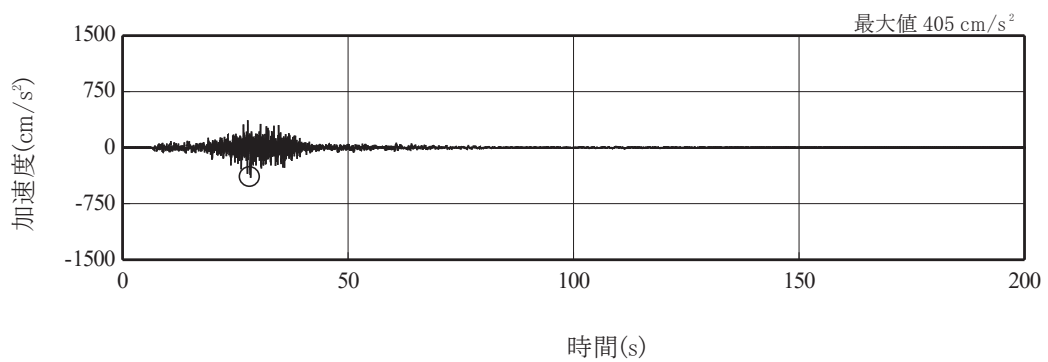


(c) S s - D 3

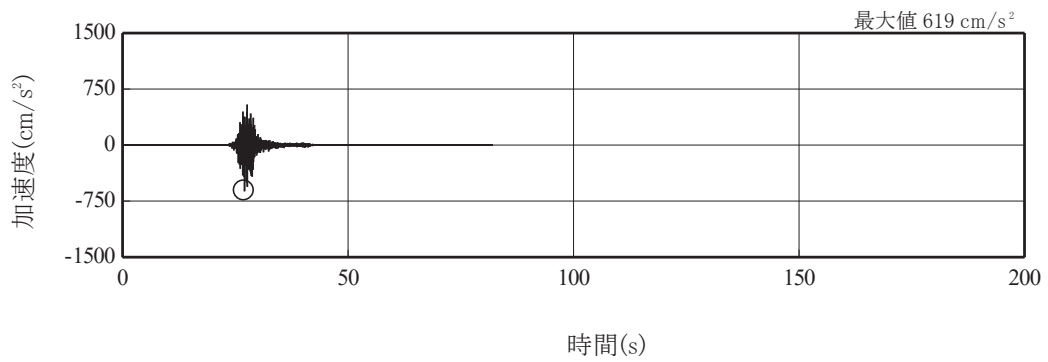
図 3-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (1/3)



(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)

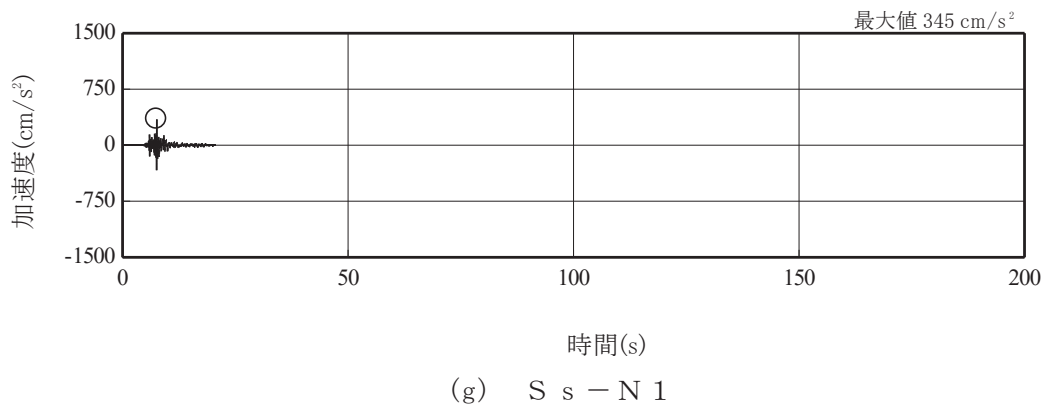


図 3-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (基準地震動 S s , 鉛直成分) (3/3)

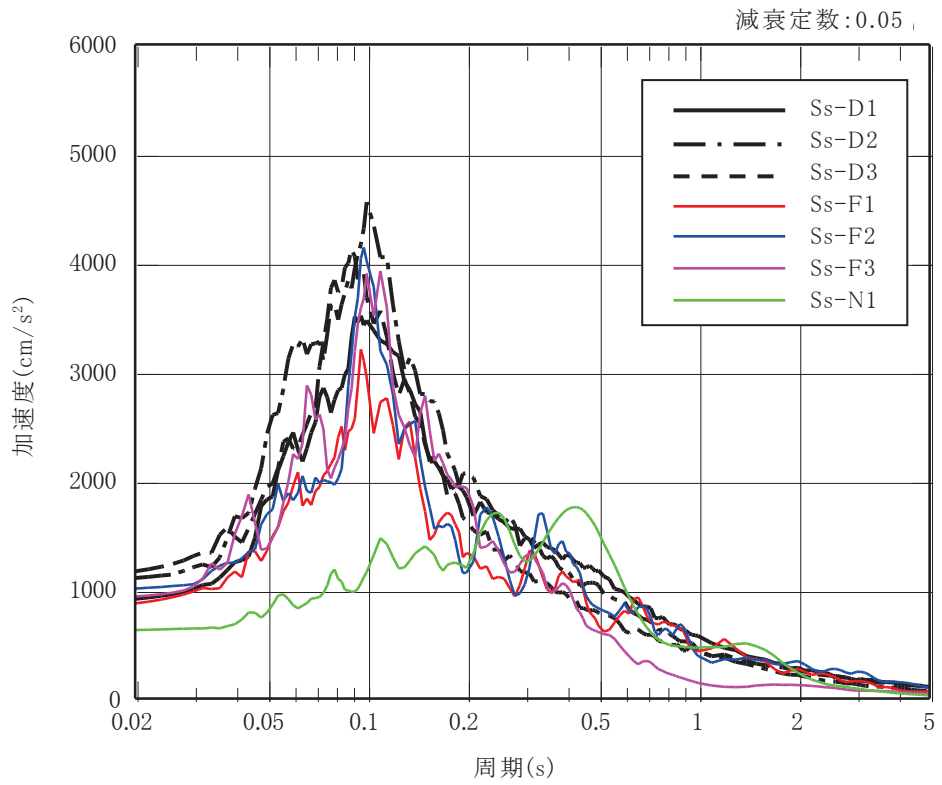


図 3-7(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 水平成分)

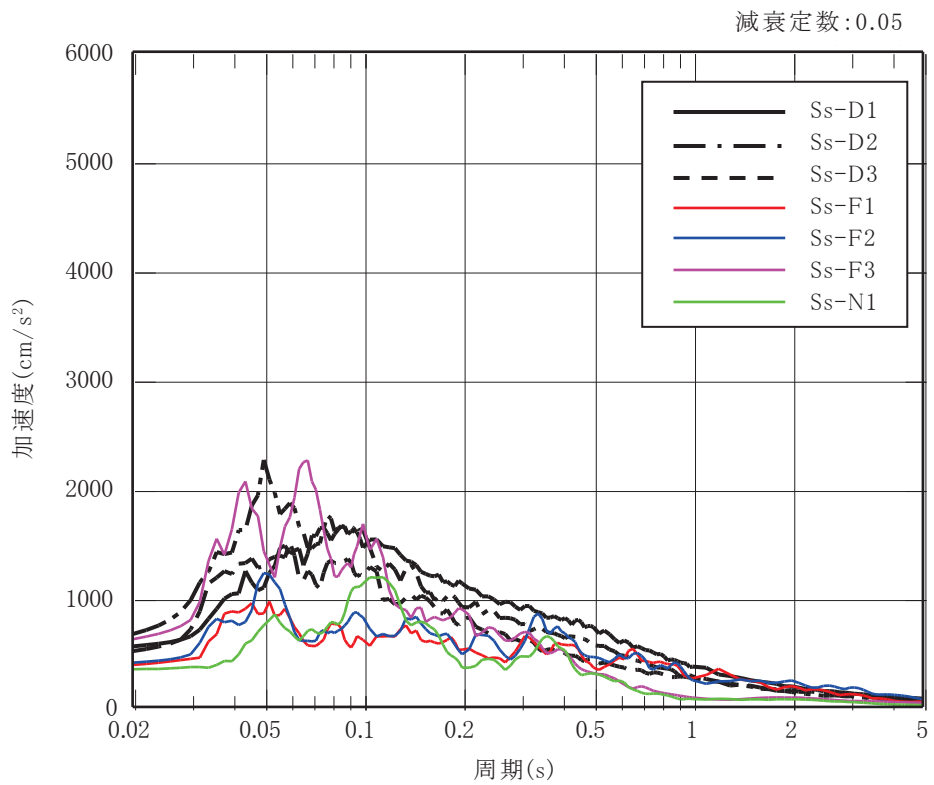


図 3-7(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 鉛直成分)

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

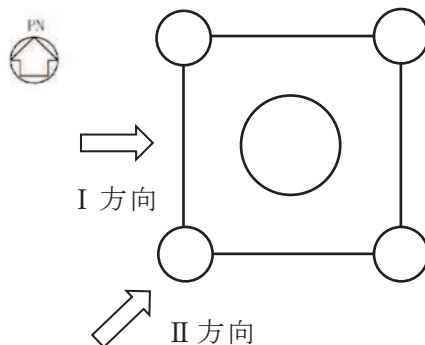


図4-1 荷重作用方向の説明

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。

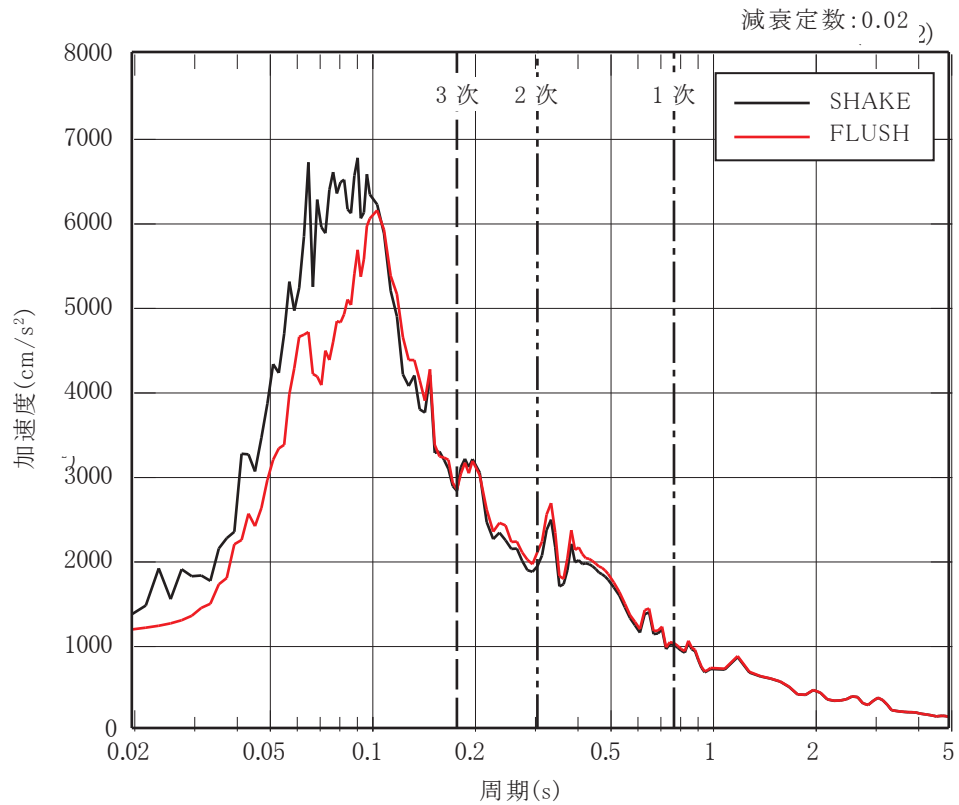


図 4-2 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s 7 波包絡, 水平成分)

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	0.43
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
3. 解析モデルの妥当性確認	別紙 6-2
3.1 確認方法	別紙 6-2
3.2 確認結果	別紙 6-5
3.3 まとめ	別紙 6-5

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（以下「解析モデル」という。）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。

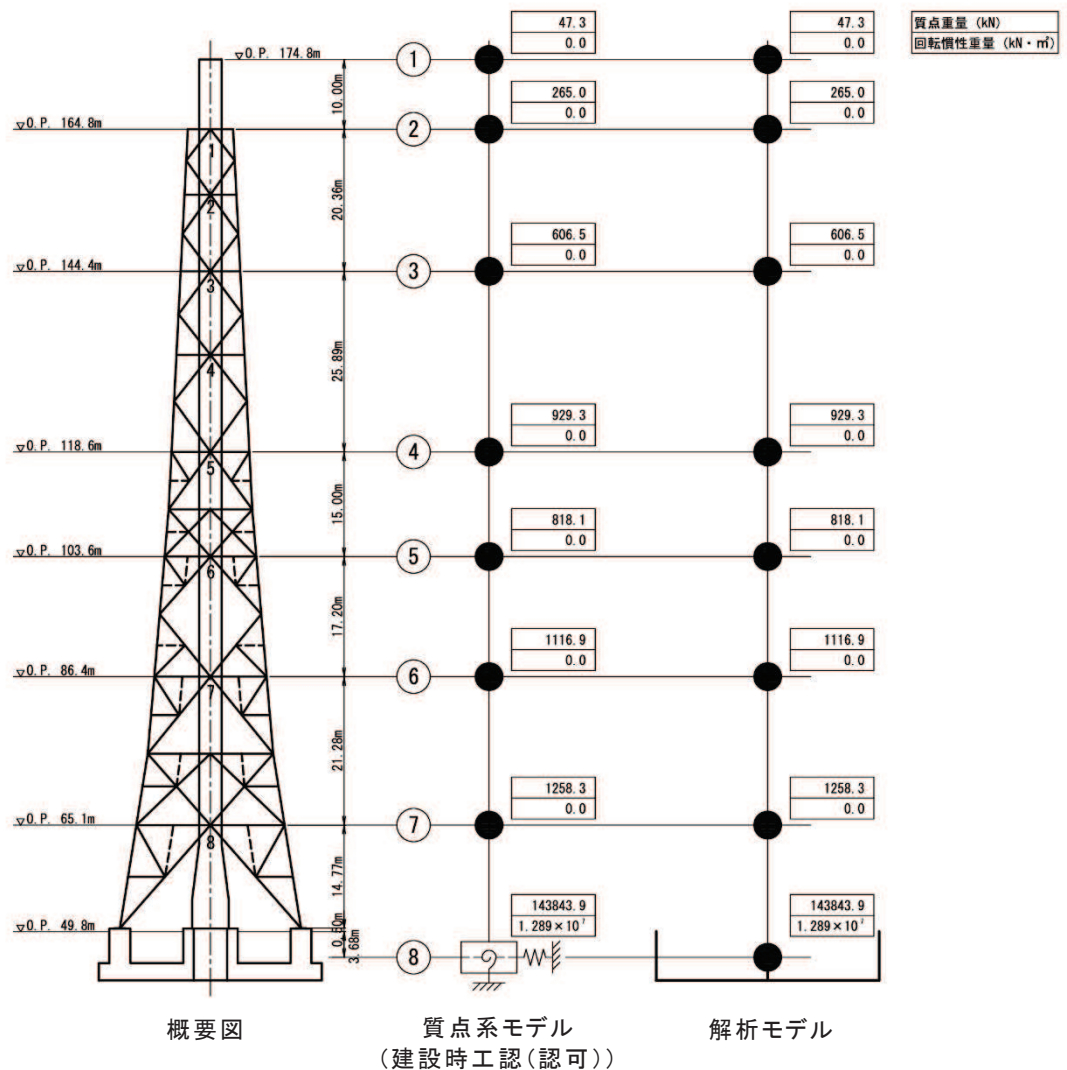


図 2-1 第1号機排気筒の解析モデル図

3. 解析モデルの妥当性確認

第1号機排気筒の耐震評価においては、地震応答解析モデルとして三次元立体フレームモデル（以下「三次元フレームモデル」という。）を使用している。一方、第1号機排気筒斜面の安定性評価においては、「2. 第1号機排気筒のモデル化」に示す解析モデルを使用していることから、両モデルの固有値解析結果及び地震時に発生する地盤ばね反力の比較を行い、解析モデルの妥当性を確認する。

3.1 確認方法

解析モデルの底面に、三次元フレームモデルと同様の地盤ばね（水平・回転・鉛直）を取付けた「質点系SRモデル」を用いて、固有値解析及び地震応答解析を行い、三次元フレームモデルと固有値解析結果及び地盤ばね反力の最大値を比較する。比較に用いる解析モデルを図3-1に示す。

地震応答解析における入力地震動は、「別紙5 第1号機排気筒斜面による地震動の増幅について」にて算定した地震動を用いる。

比較に用いる地震動は、第1号機排気筒の振動モードのうち、地盤への影響が大きい基礎の振動モード（以下「基礎モード」という。）において、入力レベルが卓越しているS_s-D₂を対象とする。第1号機排気筒における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-2に示す。

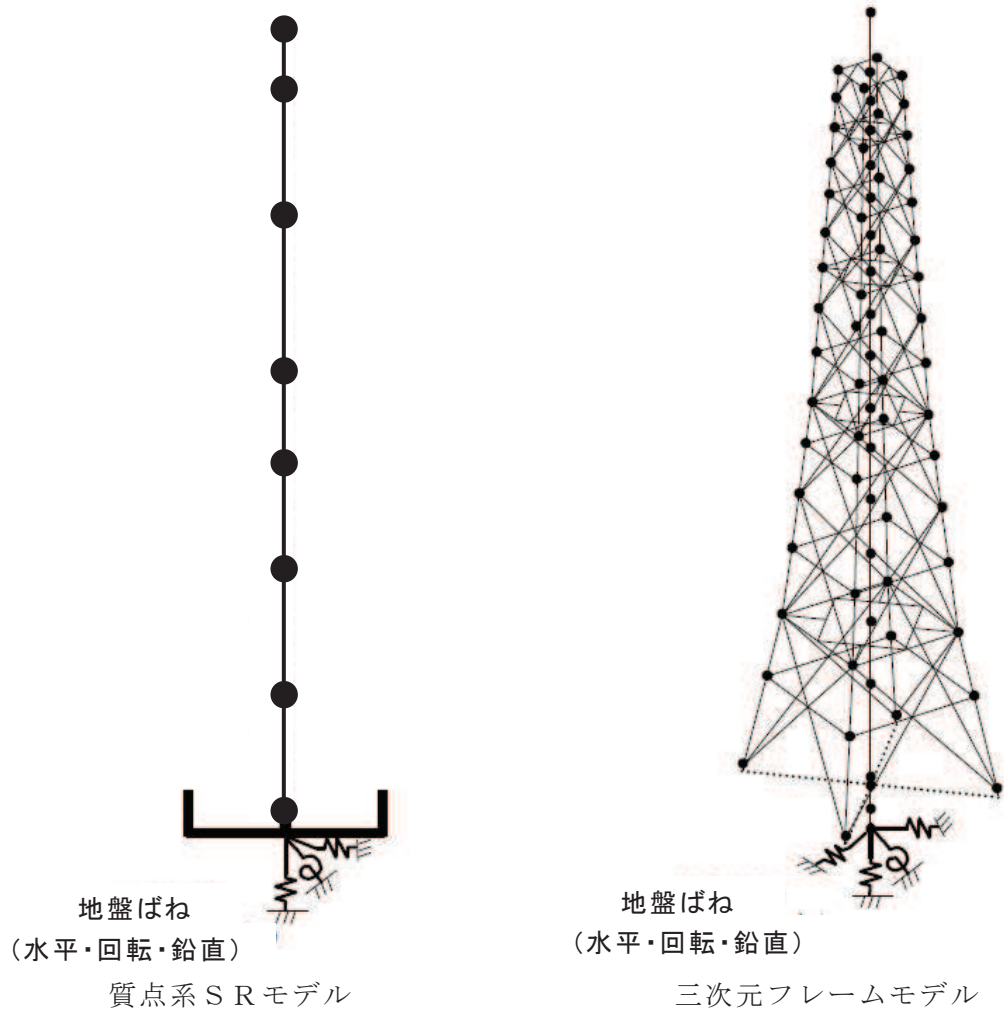


図 3-1 比較に用いる解析モデル

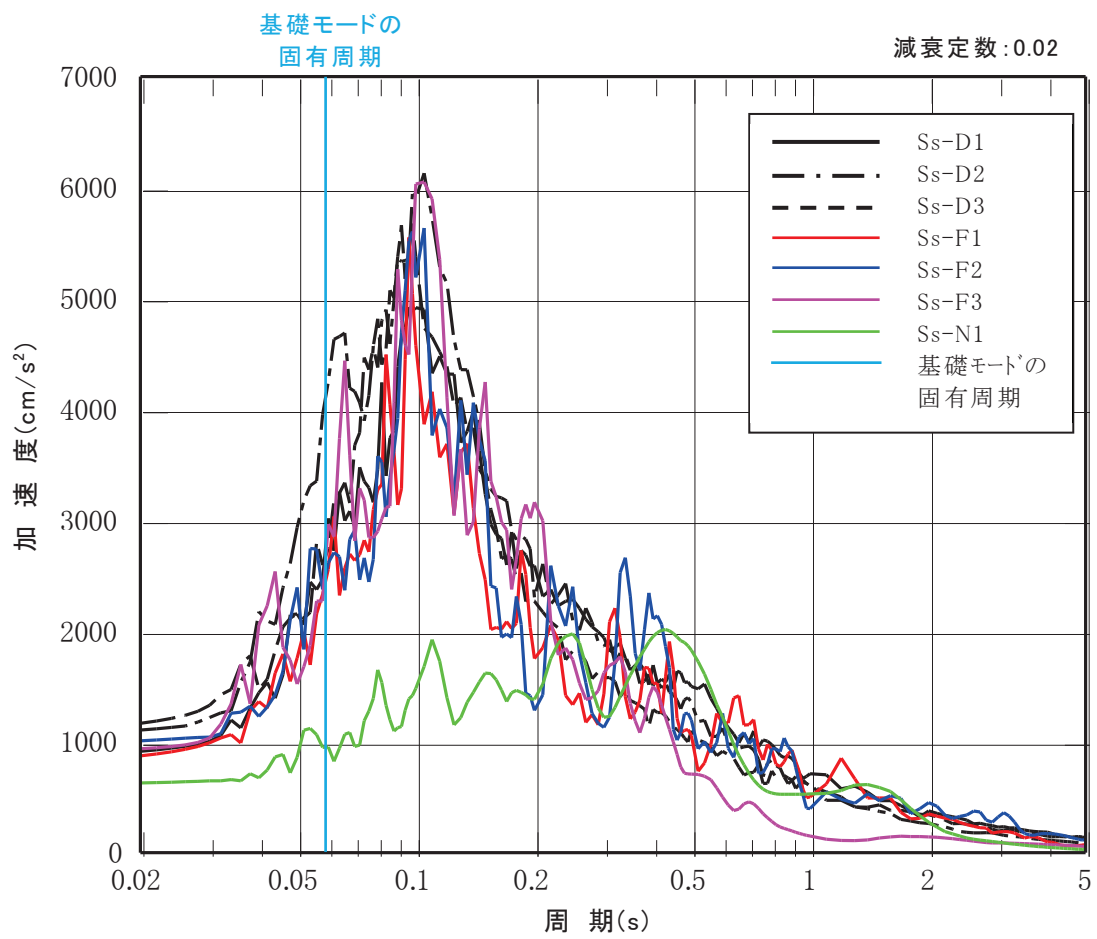


図 3-2 第 1 号機排気筒入力地震動の加速度応答スペクトル (水平方向)

3.2 確認結果

3.2.1 固有値解析結果の比較

質点系 S R モデル及び三次元フレームモデルの固有値解析結果を表 3-1 に示す。地盤への影響の大きい排気筒の基礎モードにおいて、両モデルの固有周期及び刺激係数が概ね一致することを確認した。

表 3-1 固有値解析結果の比較

	質点系 S R モデル		三次元フレームモデル		備考
	固有周期 (s)	刺激係数 β	固有周期 (s)	刺激係数 β	
1 次	0.801	2.04	0.778	2.05	排気筒の 1 次モード
2 次	0.338	-1.85	0.306	-2.04	排気筒の 2 次モード
3 次	0.208	1.35	0.179	1.89	排気筒の 3 次モード
基礎	0.057	0.98	0.059	0.96	排気筒の基礎モード

3.2.2 地盤ばね反力の比較

S s - D 2 の水平・鉛直同時入力による地震応答解析により算出した地盤ばね反力（水平・回転・鉛直）の最大値の比較を表 3-2 に示す。両モデルの地盤ばね反力の最大値が概ね一致することを確認した。

表 3-2 地盤ばね反力の最大値の比較 (S s - D 2)

	質点系 S R モデル (①)	三次元フレーム モデル (②)	②/①
水平ばね (kN)	-1.541×10^3	-1.565×10^3	1.016
回転ばね (kN・m)	-7.482×10^3	-7.655×10^3	1.023
鉛直ばね (kN)	6.424×10^2	6.335×10^2	0.986

3.3 まとめ

第 1 号機排気筒斜面の安定性評価に用いる質点系の解析モデルについて、第 1 号機排気筒の耐震評価で用いている三次元フレームモデルと固有値解析結果及び地震時の地盤ばね反力の比較を行い、解析モデルの妥当性の確認を行った。

両モデルの固有値解析結果及び地震時の地盤ばね反力が概ね一致していることから、解析モデルの妥当性を確認した。

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 7-2

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

第1号機排気筒基礎地盤のすべりにより第1号機排気筒が排気筒へ波及的影響を及ぼさないことを確認するためには、第1号機排気筒基礎を含むすべり線を想定すれば十分だが、保守的に第1号機排気筒基礎を含まない斜面のすべりにも着目して最小すべり安全率となるすべり面を探索する。

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。

すべり安全率の算定フローを図2-1に示す。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除した値として時々刻々求め、最小すべり安全率のすべり面を選定する。

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）

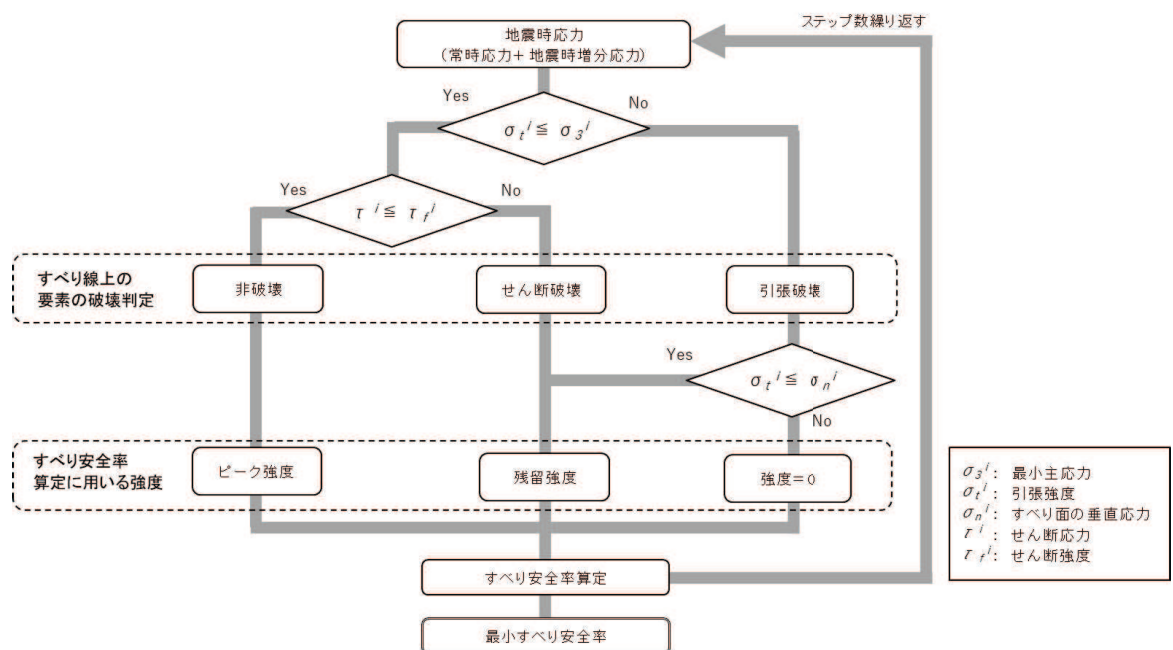


図2-1 すべり安全率の算定フロー

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～図 3-4 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。

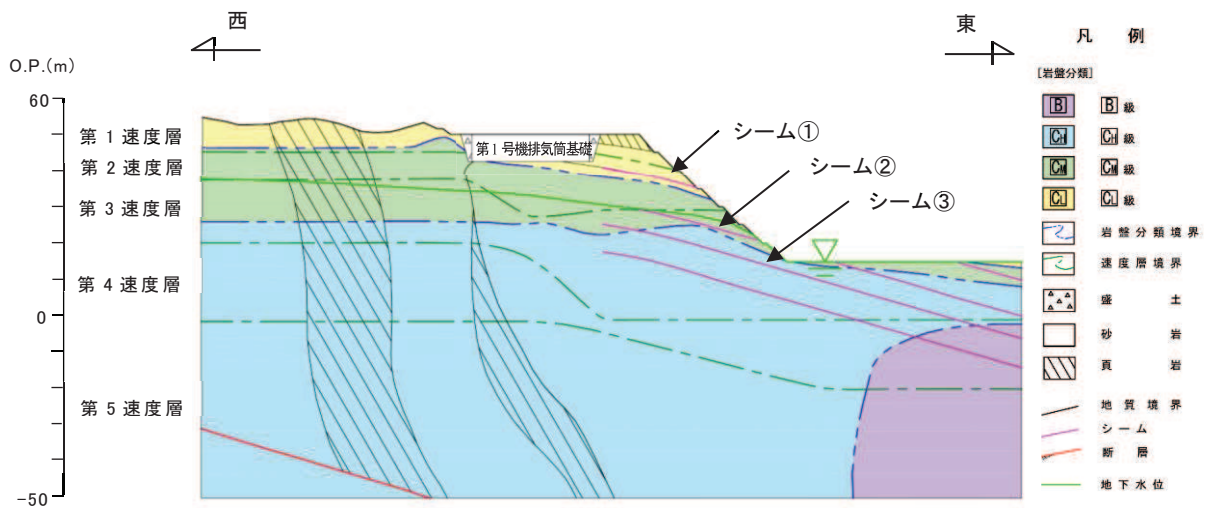


図 3-1 第 1 号機排気筒斜面の地質断面図

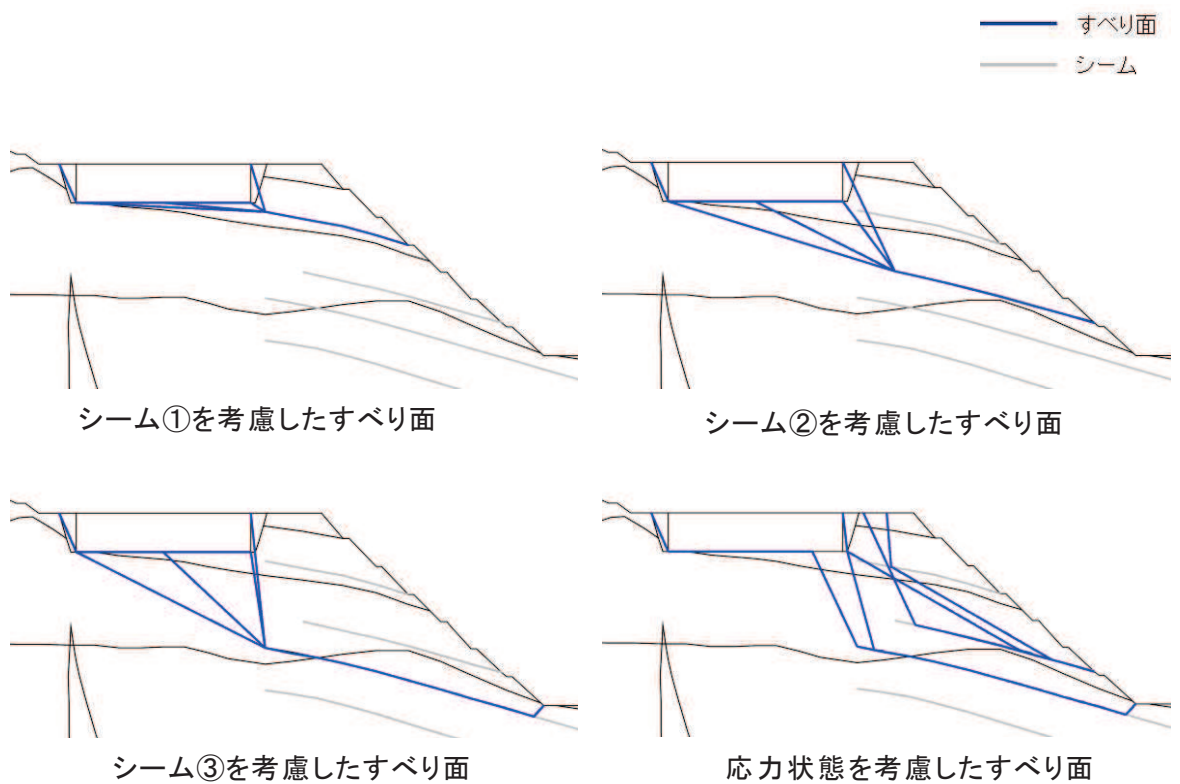


図 3-2 設定したすべり面

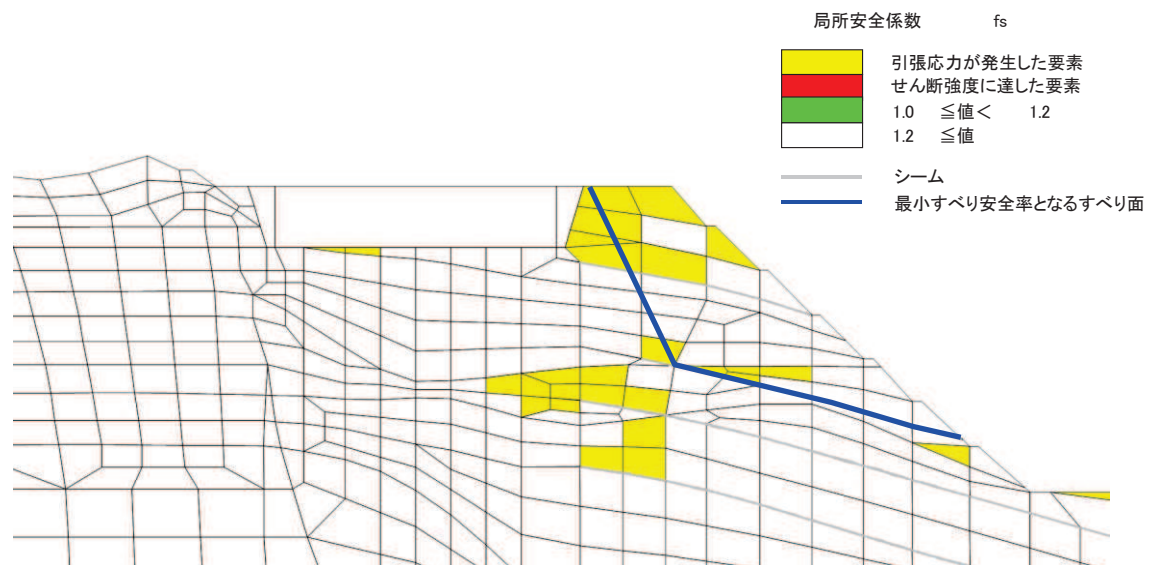


図 3-3 すべり安全率が最小となる時刻における局所安全係数の分布（平面ひずみ要素）及び応力状態を考慮したすべり面（S s - F 2 (-+))

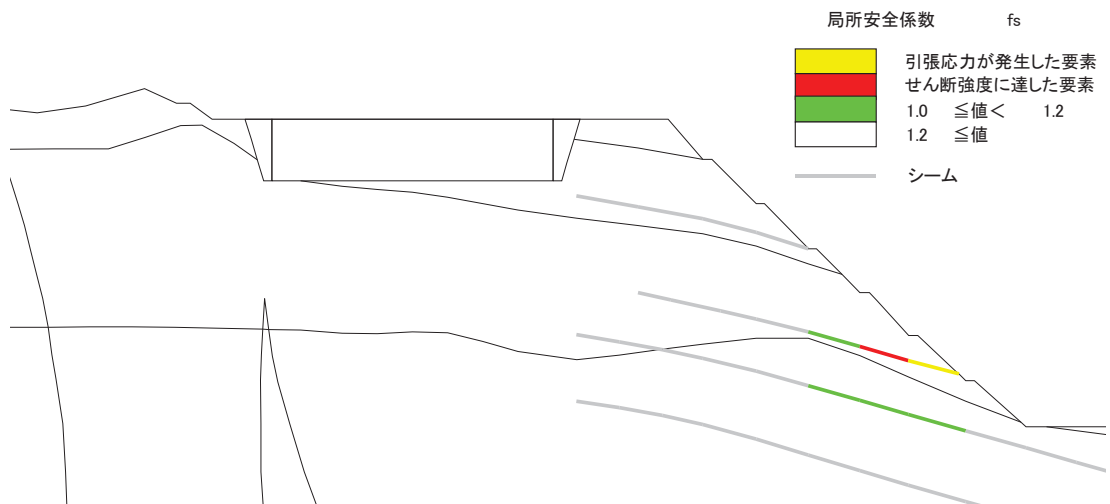


図3-4 すべり安全率が最小となる時刻における局所安全係数の分布（ジョイント要素）

(S s - F 2 (- +))

別紙 8 第 1 号機排気筒斜面の安定性評価における
地質断面図の作成について

目次

1. 概要…………… 別紙 8-1
2. 地質断面図の作成…………… 別紙 8-1
3. シームの分布…………… 別紙 8-3

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用いる地質断面図の作成について説明する。

2. 地質断面図の作成

第1号機排気筒斜面の安定性評価に用いる地質断面図については、評価対象地点近傍のボーリング調査等の結果に基づき作成している。図2-1に敷地内で実施したボーリング調査位置を示す。また、第1号機排気筒斜面の安定性評価に用いる地質断面図及び地質断面図作成にあたり参照したボーリング調査の代表位置を図2-2に示す。なお、代表位置におけるボーリング柱状図は「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示す。

第1号機排気筒斜面は発電所建設時に尾根部を掘削して造成していることから、掘削時のスケッチも地質断面図作成において参照している。第1号機排気筒斜面掘削時のスケッチを図2-3に示す。

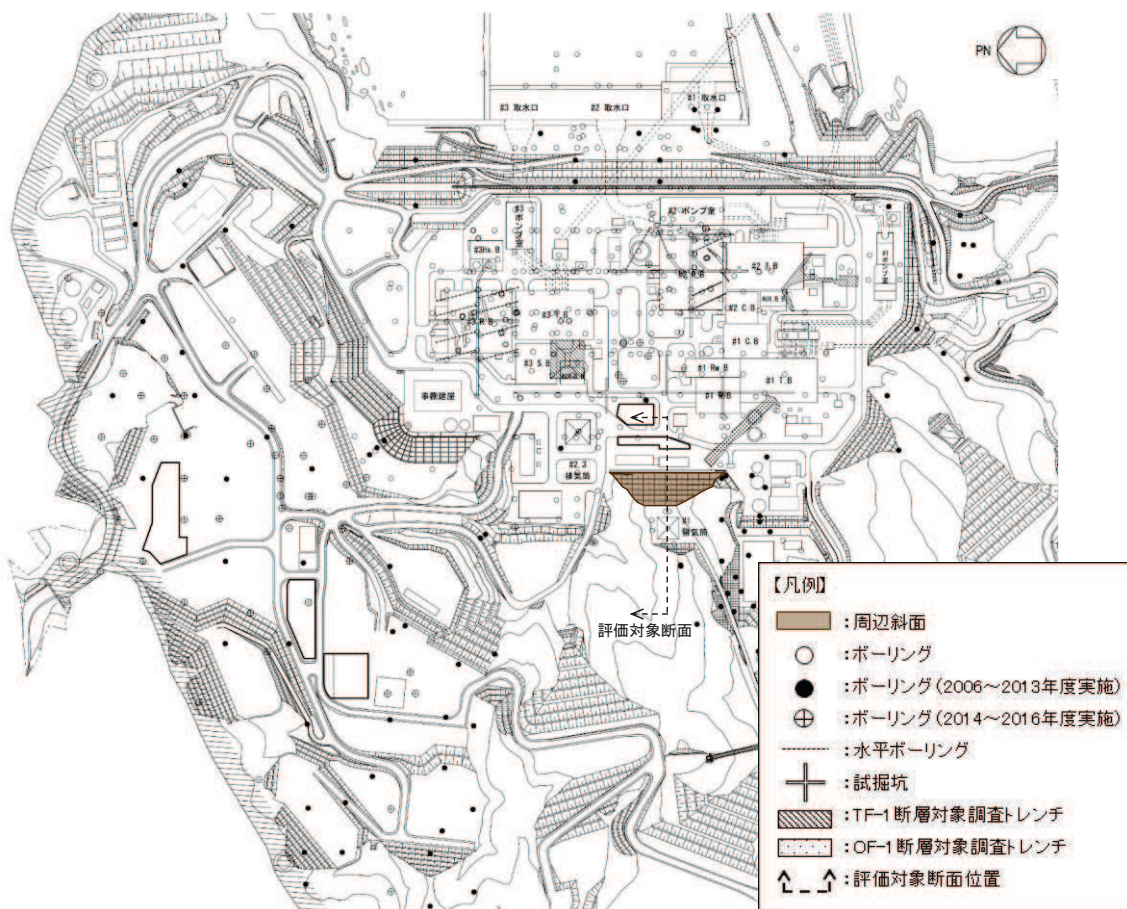


図2-1 ボーリング調査位置図

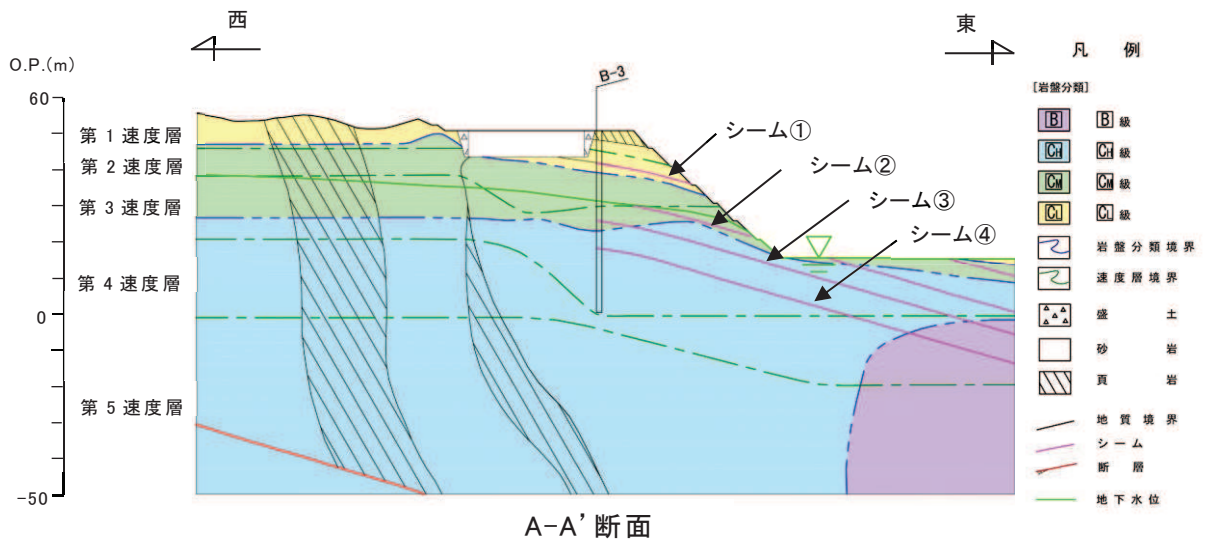
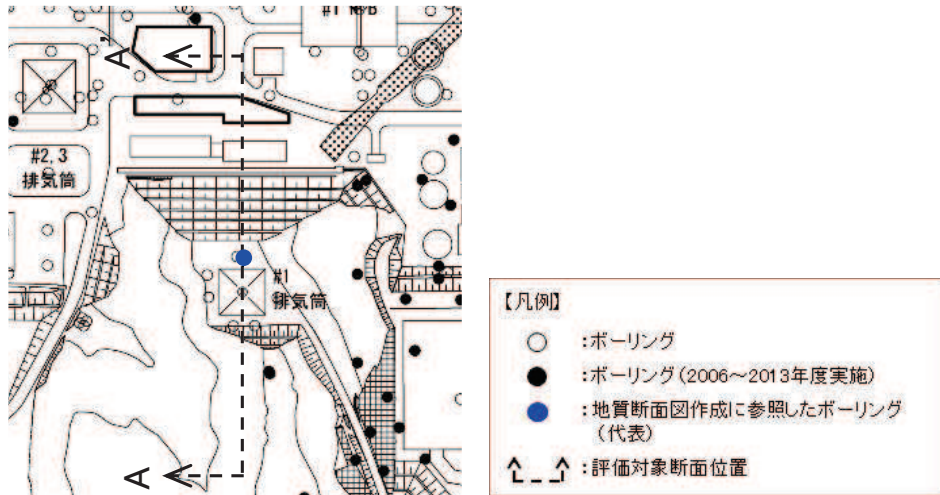


図 2-2 第 1 号機排気筒斜面の地質断面図

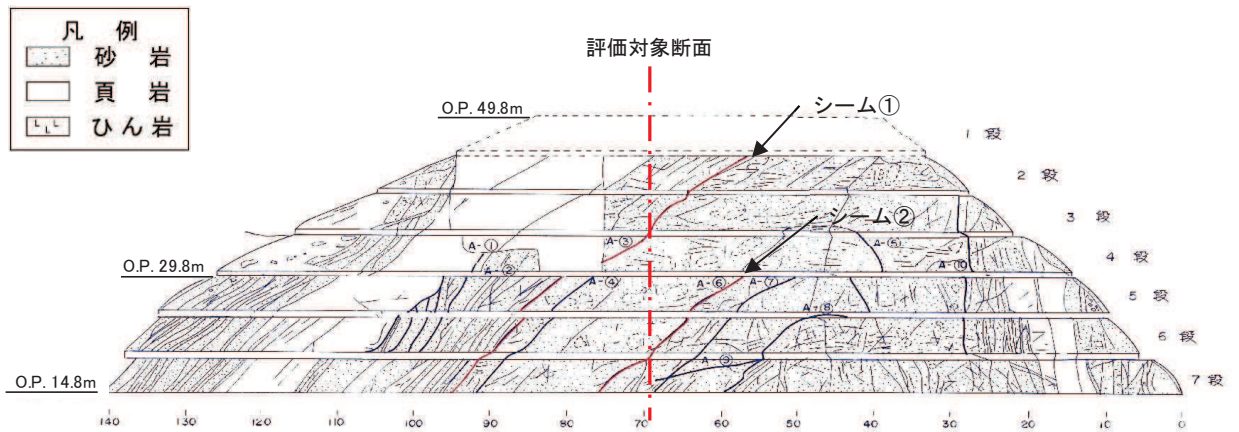


図 2-3 第 1 号機排気筒斜面掘削時のスケッチ

3. シームの分布

図 2-2 に示すとおり，第 1 号機排気筒斜面にはシーム*が分布している。シームは第 1 号排気筒斜面近傍のボーリング及び掘削時のスケッチにより確認されている。

シームは地層の傾斜に平行に分布することから，ボーリング及び掘削時のスケッチにより確認された位置より地層の傾斜に平行に分布図を作成する。また，分布範囲は，保守的にボーリング等でシームが分布しないことが確認できる位置までとしている。

図 2-4 に，地質断面図におけるシームの分布を示す。

シーム①，③，④については，ボーリング孔 (B-3) に分布しないことを確認しているため，保守的にボーリング孔 (B-3) まで分布することとしている。

シーム②については，図 2-3 に示すスケッチにより，O.P. 29.8m より高い位置には分布しないことが確認されていることから，地層の傾斜を考慮し O.P. 29.8m まで分布することとしている。また，ボーリング孔 (B-3) に分布しないことも確認している。

注記*：敷地の地質は，中世界ジュラ系の牡鹿層群荻の浜累層の砂岩，頁岩，砂岩頁岩互層が分布しており，小屋取背斜と鳴浜向斜に代表される顕著な複褶曲構造を形成している。主に砂岩と頁岩の境界には，褶曲構造が形成される過程で生じた「フレキシユラル・スリップ」によるものと考えられる，層理面と平行なシームが認められる。

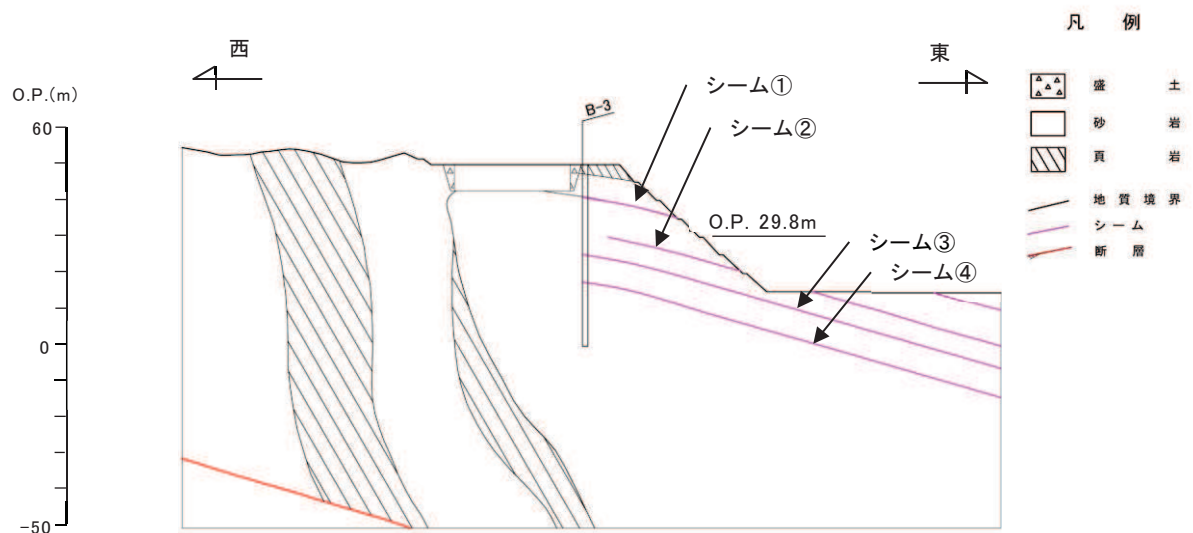


図 2-4 地質断面図におけるシームの分布