

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-19-0610-17_改5

補足-610-17 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-2-7-2-1 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。また、排気筒基礎及び排気筒の解析フローに対する、補足説明箇所を図-1 及び図-2 に示す。

なお、別紙 1 は「補足-610-16 排気筒基礎の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」と同一の内容となるが、既工認との比較や全体構成を示すため、再掲している。

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 1-1 排気筒における部材補強

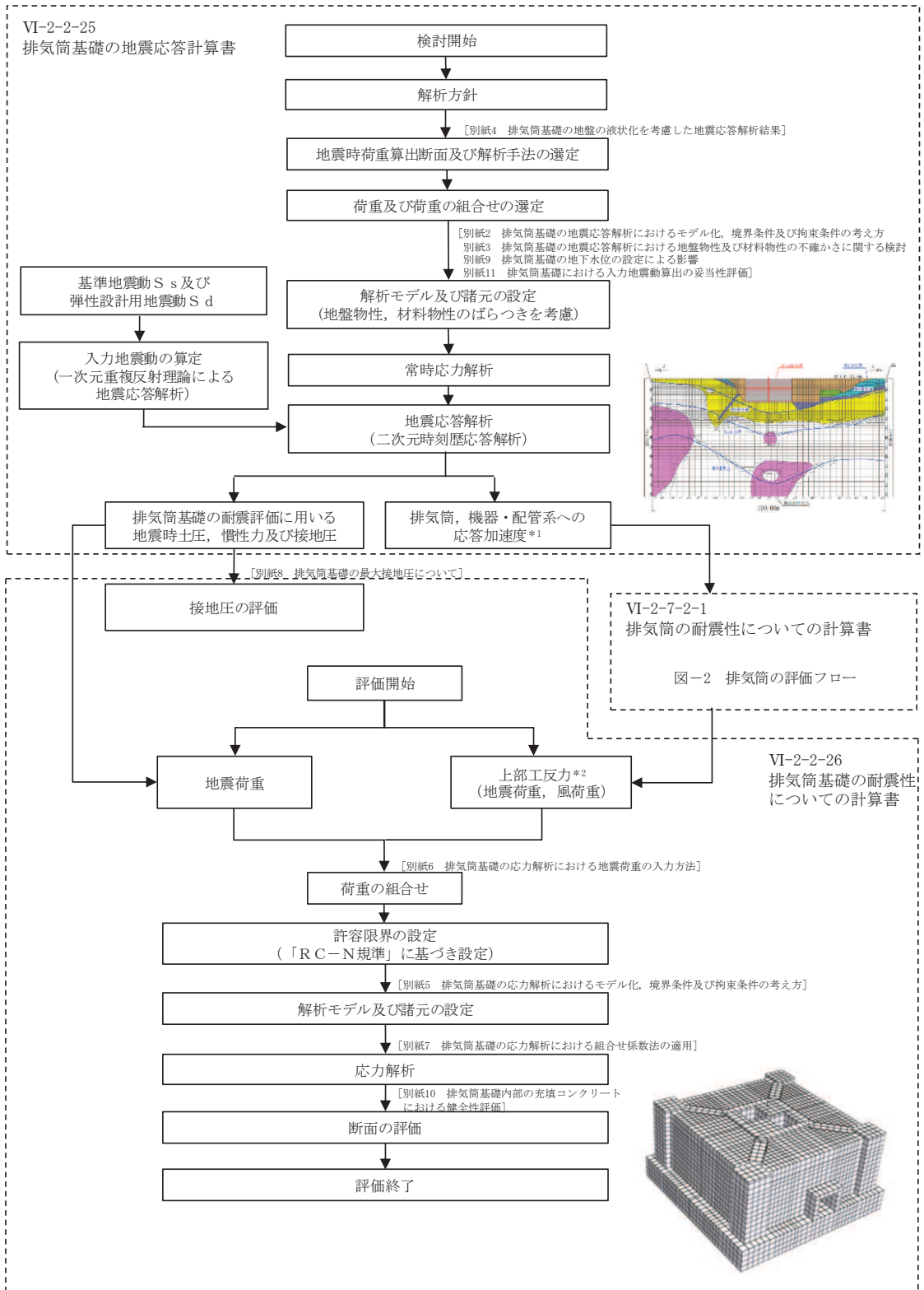
別紙 2 排気筒の地震応答解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 3 排気筒の地震応答解析における地盤物性、材料物性及び水平方向の位相反転の不確かさに関する検討

別紙 4 排気筒の共振風速評価

別紙 5 排気筒の接合部の耐震性について

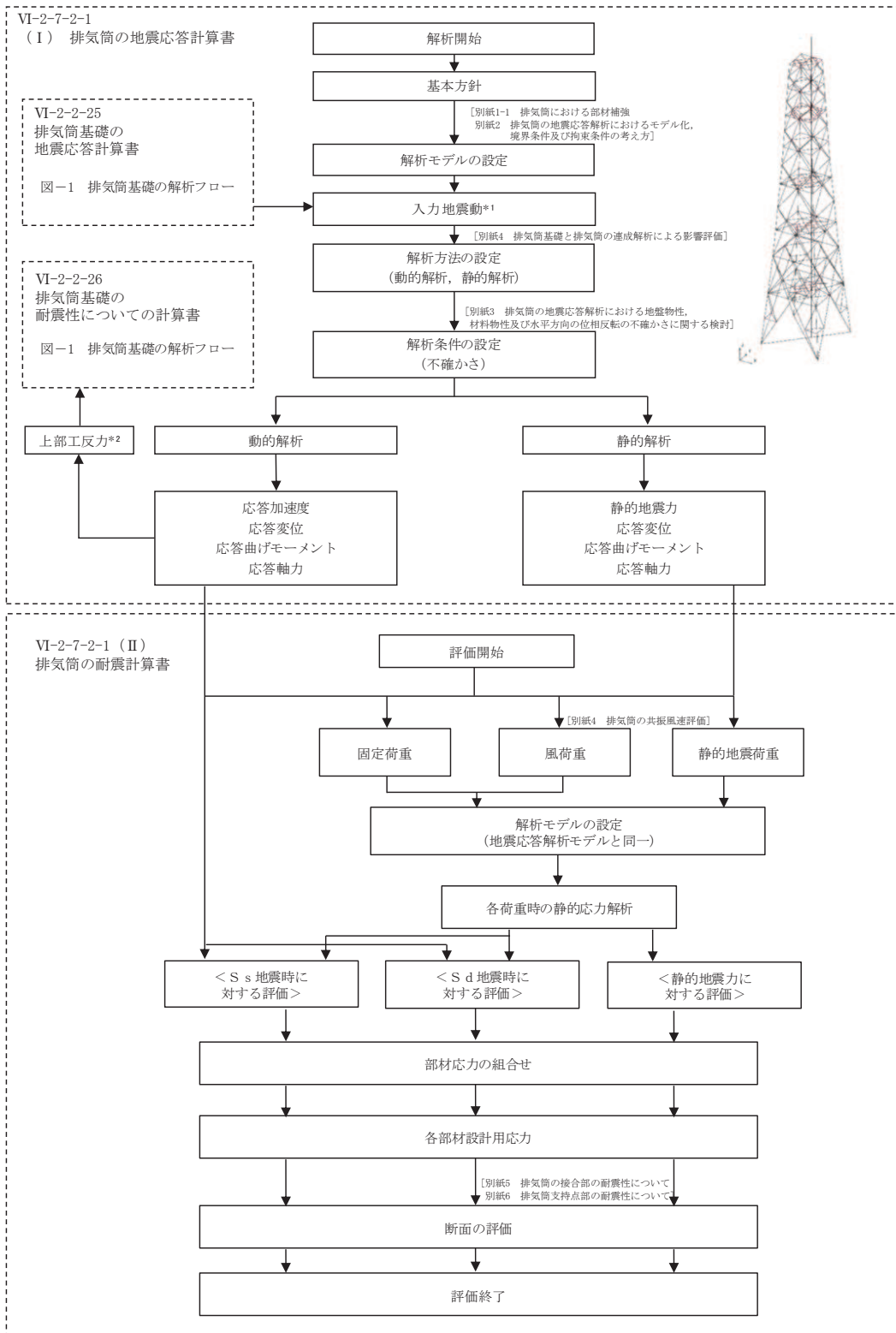
別紙 6 排気筒支持点部の耐震性について



注記*1：排気筒への応答加速度を示す。
*2：排気筒からの上部工反力を示す。

図-1 排気筒基礎の解析フロー

(補足-610-16 排気筒基礎の耐震性についての計算書に関する補足説明資料)



注記*1: 排気筒基礎からの応答加速度を示す。
*2: 排気筒基礎への上部工反力を示す。

図-2 排気筒の評価フロー

(補足-610-17 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)

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、排気筒及び排気筒基礎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

排気筒及び排気筒基礎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 2 号機「女川原子力発電所第 2 号機の工事計画の認可について」(3 資庁第 10518 号 平成 4 年 1 月 13 日) (以下「建設時工認 (認可)」という。) と女川原子力発電所第 2 号機「工事計画届出書」(東北電土火第 1 号 平成 21 年 7 月 31 日) (以下「耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出)」という。) のものである。

建設時工認 (認可) 及び耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時と今回工認での大きな変更点は、建設時工認 (認可) 及び耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時に用いた排気筒及び排気筒基礎を一体化した SR モデルを用いているのに対し、今回工認では、排気筒基礎を二次元 FEM モデル、排気筒を三次元立体フレームモデル (質点系) に変更している。

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 に耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時の地震応答解析モデルを、図 2-3 に今回工認モデルを示す。

建設時工認 (認可)、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時及び今回工認で共通となるのは、解放基盤表面 (O.P. -14.1m) で定義された基準地震動を用いて引戻しを行い、O.P. -200m の位置における地震動 (上昇波) となる。

建設時工認 (認可) は、地震動 (上昇波) を排気筒位置における地盤モデルに入力し、解析モデル底面位置 (O.P. -4.0m) における地震動を出力し、構造物-地震連成モデルへの入力地震動とする。

耐震設計審査指針の改定に伴う補強時 (届出) 時は、地震動 (上昇波) を排気筒位置における地盤モデルの入力は同じとなるが、排気筒基礎の埋込み部各位置の地盤応答 (E + F 波) 及び基礎底面位置の補正水平力 (切欠き力) を抽出して、これを構造物-地盤連成モデルへの入力地震動と変更している。

今回工認は、地震動 (上昇波) を排気筒位置における地盤モデルに入力し、二次元 FEM 解析モデル底面位置 (O.P. -80.0m) における地震動を出力し、排気筒基礎の二次元 FEM 解析モデルへの入力地震動と変更している。さらに、二次元 FEM 解析モデルにおける地震応答解析から得られる基礎天端レベル (O.P. 15.3m) の応答値を出力し、排気筒の三次元立体フレームモデル (質点系) への入力地震動と変更している。今回工認において二次元 FEM モデルによる入力地震動の作成に変更した理由として、硬質岩盤では「J E A

G 4 6 0 1 -1991 追補版」による側面地盤ばね（Novak ばね）の評価に課題があることを踏まえ、周辺地盤の応答を詳細に評価するため「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に示される評価方法の一つである二次元 FEM モデルにより、地盤のモデル化を行っている。

また、今回工認における地震応答解析では、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した評価を行っている。排気筒基礎、排気筒及び機器・配管系において考慮する不確かさを図 2-4 に示す。

今回工認において、排気筒の耐震重要度分類の整理を行ったことから、表 2-3 に耐震重要度分類と評価結果の記載箇所を示す。

今回工認の地震応答解析モデルを図 2-5～図 2-7 に、排気筒の地震応答解析モデルを図 2-8 に、排気筒基礎の応力解析モデルを図 2-9 及び図 2-10 に示す。

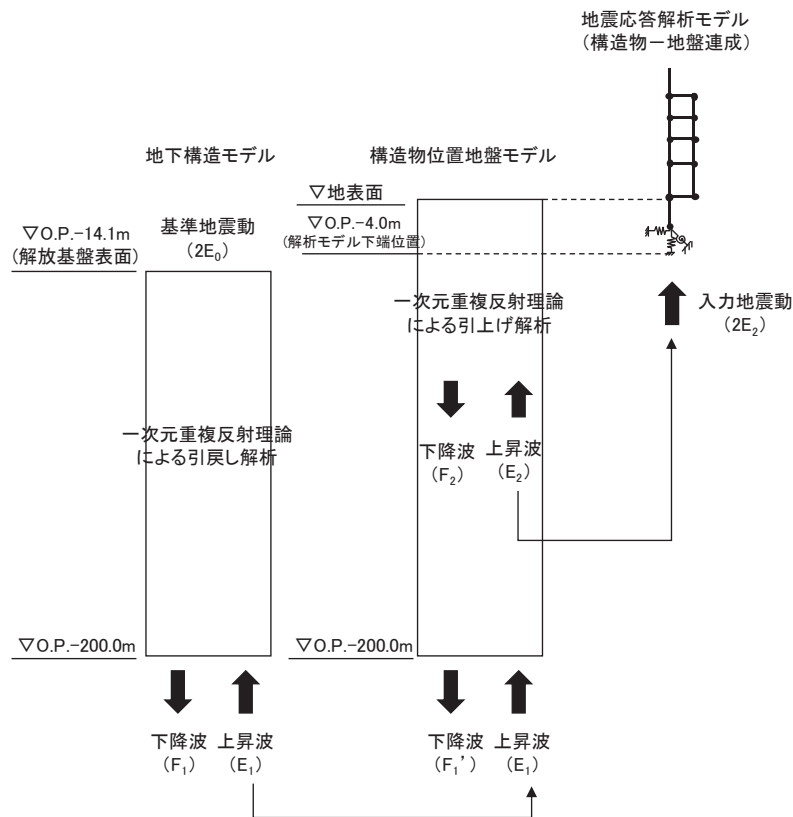


図 2-1 建設時工認（許可）の地震応答解析モデル

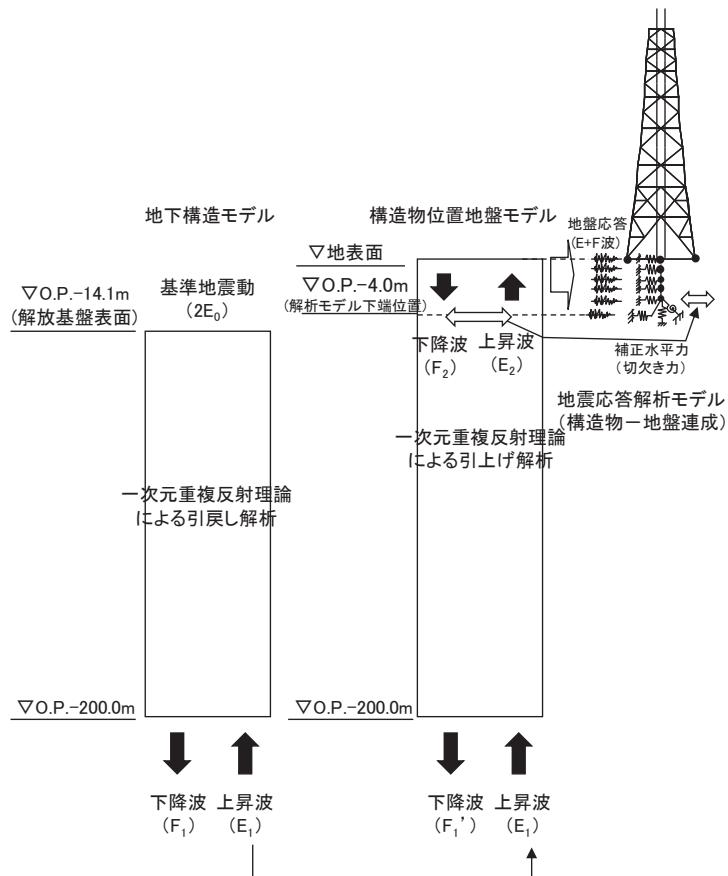


図 2-2 耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）時の地震応答解析モデル

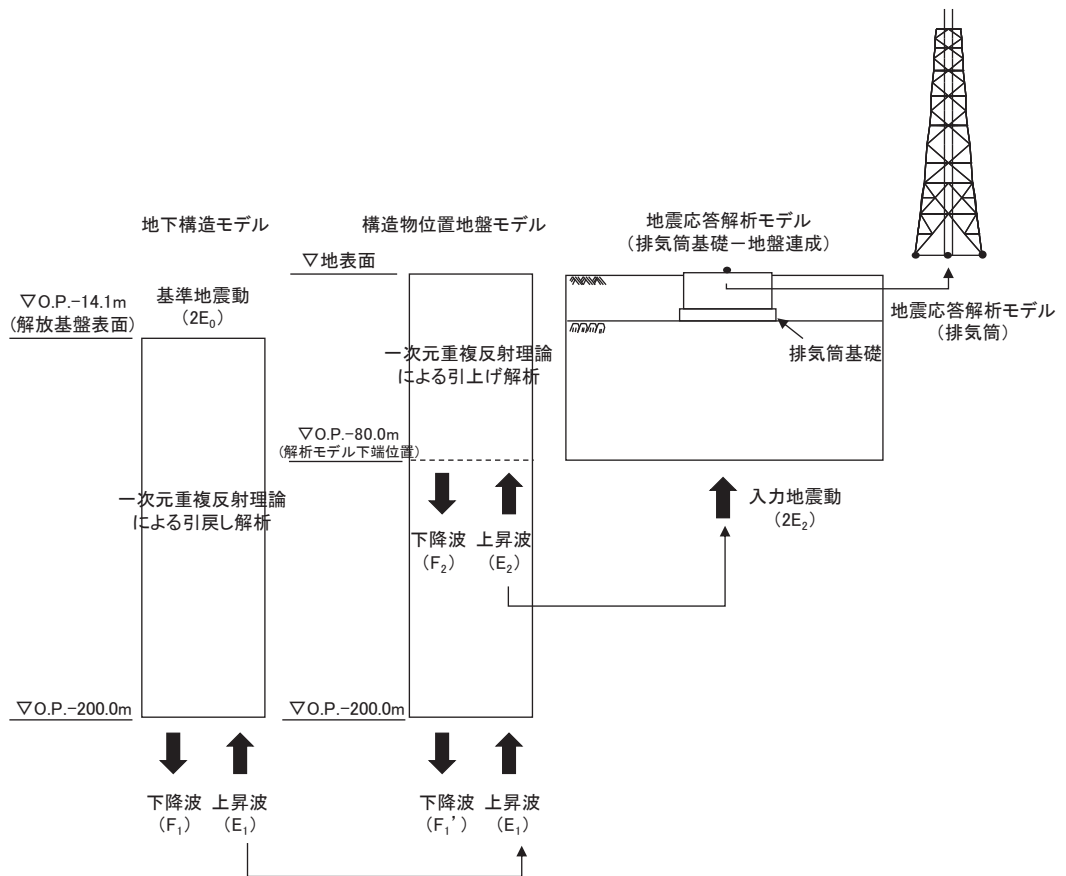


図 2-3 今回工認の地震応答解析モデル

表2-1 (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	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認		備考
				排気筒	基礎	
入力地震動の算定法	水平	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により、基礎下端（O.P.-4.0m）の応答値を抽出し、入力地震動を算定	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により、基礎下端及び基礎の埋込み部各位置（質点）での地盤応答、及び基礎底面位置での補正水平力（切欠き力）を抽出し、入力地震動を算定	基礎部の地震応答解析から得られる基礎天端レベル（O.P.15.3m）の応答値を抽出し、入力地震動を算定	基準地震動を用いて、一次元重複反射理論により、解析モデル下端（O.P.-80.0m）の応答値を抽出し、入力地震動を算定	(1)
	鉛直	—	基準地震動の最大加速度振幅の1/2より定まる震度			(1)
解析手法		質点系モデル（2軸）を用いた時刻歴応答解析（SRモデル）	三次元立体フレームモデル（質点系）を用いた時刻歴応答解析（SRモデル）	三次元立体フレームモデル（質点系）を用いた時刻歴応答解析	二次元FEMモデルを用いた時刻歴応答解析	(1)
解析コード		NUPP-II	SLAP	DYNA2E	TDAP	—

表 2-1 (2) 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）	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認		備考
				排気筒	基礎	
排気筒及び基礎のモデル化	モデル	鉄塔部と筒身部分けた質点系モデル（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（3号機筒身部を含む）（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（3号機筒身部を含む）	排気筒基礎は質点系モデル（構造物中心位置に構造梁でモデル化し、側方地盤との離隔を模擬するため、剛梁を水平方向に配置）とし、排気筒は質点でモデル化	—
	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*² $E = 2.35 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ $\nu = 0.2$ 	<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*² $E = 2.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ $E = 2.06 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ （基礎内側の充填コンクリート） $\nu = 0.2$ 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材のヤング係数，ポアソン比 $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$ 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートのヤング係数，ポアソン比*² $E = 2.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ $E = 2.06 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ （基礎内側の充填コンクリート） $\nu = 0.2$ 	—
	要素分割	<ul style="list-style-type: none"> はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身部及び基礎 	<ul style="list-style-type: none"> はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身部及び基礎，弾塑性ダンパ 	<ul style="list-style-type: none"> はり要素 鉄塔部（支柱材，水平材，斜材），筒身部，制震オイルダンパ 	<ul style="list-style-type: none"> はり要素 	—
	減衰定数	鋼材1%，コンクリート5%	筒身1%，鉄塔2%，コンクリート5%	筒身1%，鉄塔2%，	コンクリート5%	(2)
	減衰	ひずみエネルギー比例型減衰	同左	同左	Rayleigh減衰	—
	筒身支持点	0. P. 161. 8m， 0. P. 134. 8m， 0. P. 98. 8m， 0. P. 74. 8m， 0. P. 41. 8m	同左	0. P. 161. 8m， 0. P. 134. 8m， 0. P. 74. 8m， 0. P. 41. 8m （0. P. 98. 8mは解除）	—	—
	制震装置	—	弾塑性ダンパ （高さ方向5段の支持点位置に対し，各高さに8台設置）	制震オイルダンパ （0. P. 134. 8mに8台設置）	—	(3)

表2-1 (3) 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）	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認		備考
				排気筒	基礎	
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，回転ばね，鉛直ばねを考慮	—	平面ひずみ要素	(4)
	側面ばね	考慮せず	水平ばねを考慮（NOVAKの方法による）	—		
非線形特性	弾塑性ダンパ	—	・水平方向 弾塑性ダンパの荷重-変位の履歴特性を考慮	—	—	(3)

注記*1：建設時工認（認可）は，水平方向のみ地震応答解析を実施した。耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は，水平方向の地震応答解析を実施し，鉛直方向は静的地震力を考慮した。

*2：建設時工認（認可）は，「土木学会 1986年 コンクリート標準示方書[設計編]」に基づく。耐震設計審査指針の改訂時は，「日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-」に基づく。

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- （1）建設時工認（認可）及び耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は、基礎部と排気筒部を一体化したSRモデルとしており、解放基盤表面で定義される基準地震動を用いて、一次元波動論により算定し、基礎下端での応答波を入力した。今回工認では、基礎部と排気筒部を分けて入力地震動を算定しており、基礎部については、解放基盤表面で定義される基準地震動を用いて一次元波動論により算定し、地震応答解析モデル（二次元FEMモデル）の底面（O.P. -80.0m）位置での応答波を水平・鉛直同時入力した。また、排気筒部については、基礎部の地震応答解析により得られる基礎部天端での応答波を抽出し、地震応答解析モデル（三次元立体フレームモデル）の下端に入力した。
- （2）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）」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）は減衰2%とした。
- （3）耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は、耐震上の余裕を向上させることを目的として、支持鉄塔の補強（補強材の配置）及び基礎の内側の埋戻土を無筋コンクリートによる置換えを行うとともに、制震装置（弾塑性ダンパ）を各筒身支持点に設置した。今回工認では、O.P. 134.8mの支持点において、弾塑性ダンパを制震オイルダンパに変更し、O.P. +98.8mの支持点を解放し、その他の支持点を固定した。このことから、今回工認では、O.P. 134.8mの支持点の制震オイルダンパのばね－ダッシュポットの直列モデルを応答解析モデルに考慮した。
- （4）今回工認では、基礎部の地震応答解析モデル（二次元有限要素法）において、D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化し、盛土・旧表土、D級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。マルチスプリング要素を用いた地盤の非線形性を考慮した地震応答解析手法は、先行サイトの建物・構築物における有効応力解析において実績がある手法である。マルチスプリング要素は、変形方向に依存せず、多方向のせん断方向に対して等価な非線形性を考慮するものであることから、全応力解析及び有効応力解析の解析手法による適用性の違いはない。そのため、全応力解析に対してもマルチスプリングモデルは適用性を有すると考えられる。

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）	耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）	今回工認	備考
排気筒 （上部構造物）	解析手法	鉄塔部と筒身部分けした質点系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）	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）	同左	—
	解析コード	NASTRAN	SCOND	DYNA2E	—
	要素種別	はり要素	同左	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	(1)
	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	発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認（ただし、弾塑性ダンバは応答値が許容値以内であることを確認）	発生応力が弾性限強度を超えないことを確認（ただし、制震オイルダンバは応答値が許容値以内であることを確認）	—
排気筒 （基礎）	解析手法	三次元フレームモデル（質点系）を用いた応力解析	二次元FEMモデルを用いた応力解析	三次元FEMモデルを用いた応力解析	(2)
	解析コード	NASTRAN	SLAP	SLAP	—
	要素種別	・柱，はり：はり要素 ・基礎版：板要素 〔一部（基礎版上の排気筒連絡ダクト）はビーム要素〕	・柱，はり，基礎版：はり要素 ・充填コンクリート*1：ソリッド要素	柱，梁，基礎版，充填コンクリート：ソリッド要素	—
	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 + P _s G：固定荷重 S _s ：地震荷重*2 P _k ：風荷重*3 P _s ：積雪荷重	(1)
	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	同左	同左	(3)

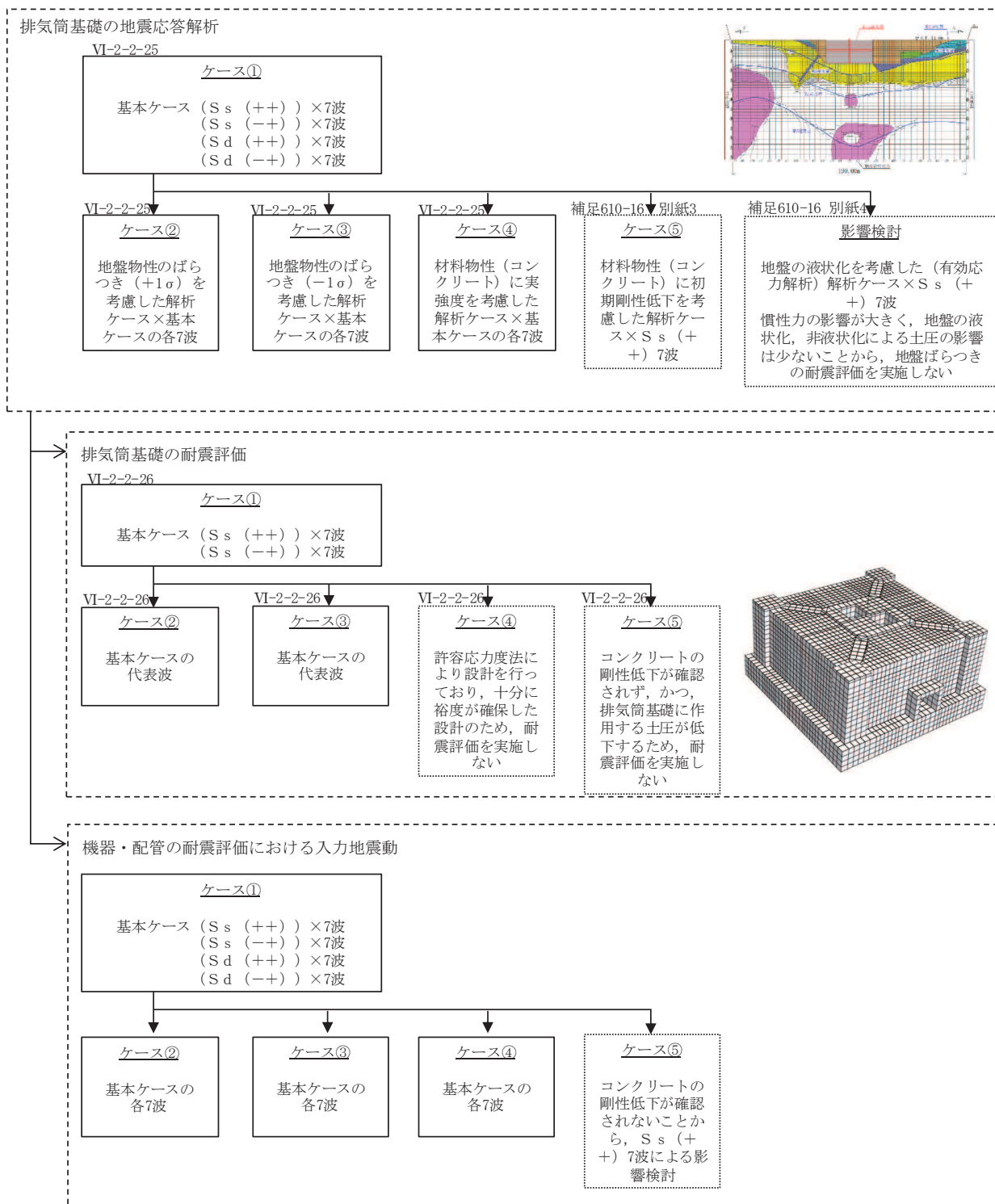
注記*1：耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）は，耐震上の余裕を向上させる対策として，鉄塔柱，梁，基礎版で囲まれる内側の埋戻土を無筋コンクリートによる置換えを実施した。

*2：地震荷重については，排気筒（上部構造物）の地震応答解析により，筒身，鉄塔それぞれについて上部工反力を算出している。

*3：風荷重については，排気筒（上部構造物）の静的応力解析により，筒身，鉄塔それぞれについて上部工反力を算出している。

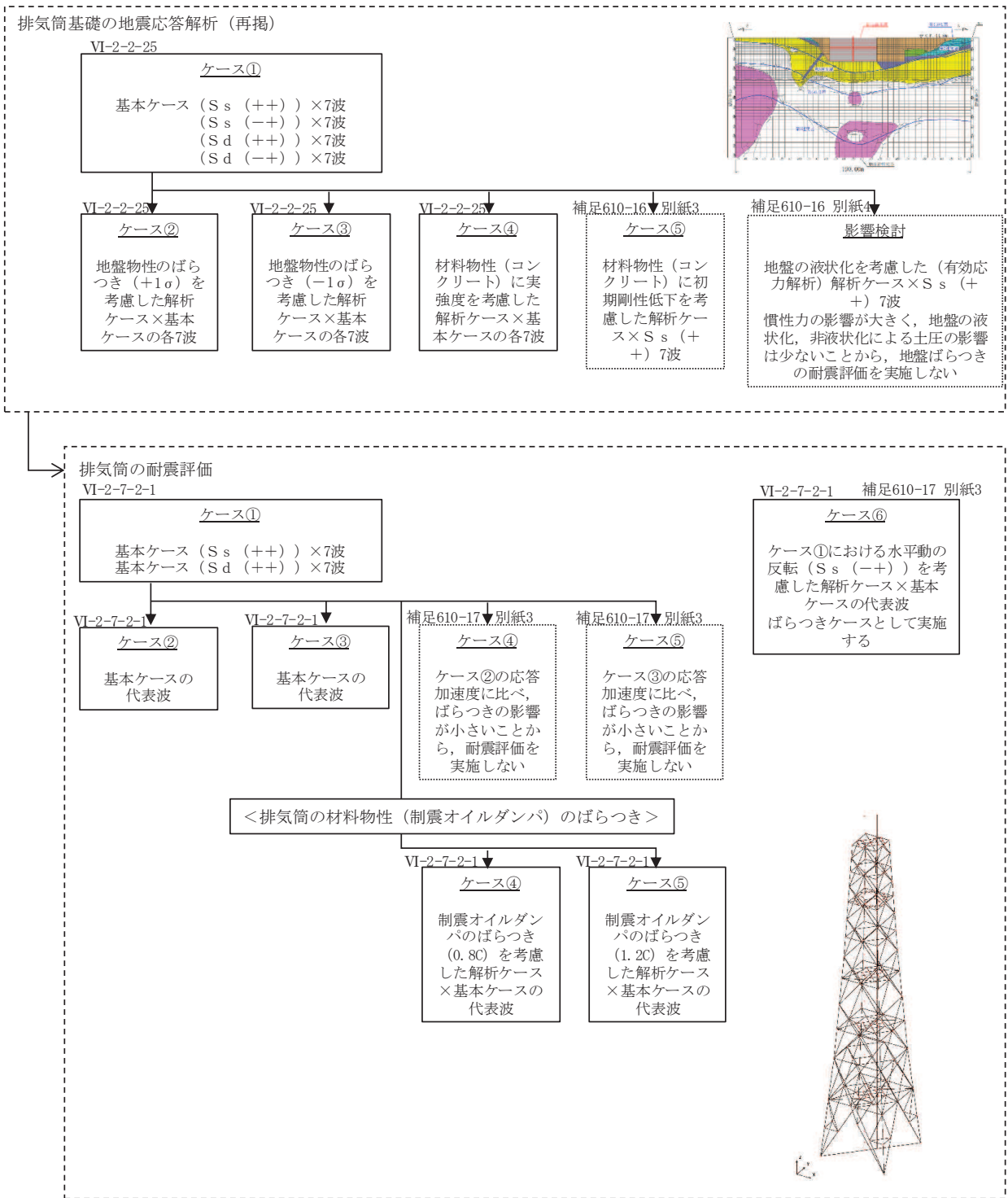
【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- （1）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。
- （2）今回工認においては，二次元FEMモデルから，より精緻な応力評価が可能となる三次元ソリッド要素に解析モデルを変更。
- （3）今回工認においては，非常用ガス処理系配管および排気筒の間接支持構造物として，短期許容応力度設計を行うこととおおむね弾性範囲内となることを確認。



注1: S_s は基準地震動 S_s, S_d は弾性設計用地震動 S_d を示す。
 2: 各ケースの黒枠は設計ケースを示し、破線は影響検討ケース又は評価対象外のケースを示す。

図 2-4(1) 排気筒基礎、排気筒及び機器・配管系において考慮する地盤物性及び材料物性の不確かさ



注1: S_s は基準地震動 S_s, S_d は弾性設計用地震動 S_d を示す。
 2: 各ケースの黒枠は設計ケースを示し、破線は影響検討ケース又は評価対象外のケースを示す。

図 2-4 (2) 排気筒基礎、排気筒及び機器・配管系において考慮する地盤物性及び材料物性の不確かさ

表 2-3(1) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の記載箇所
主要設備	Sクラス	S s 地震力* ¹ S d 地震力* ²	第 2 号機筒身		VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書
直接支持 構造物	Sクラス	S s 地震力* ¹ S d 地震力* ²	第 3 号機筒身	第 3 号機の工認申請において主要 設備に分類される	
			補強リング* ^{3,4}	第 2 号機及び第 3 号機筒身の地震 時荷重及び風荷重を直接的に受け る	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書* ^{3,5} 補足-610-17 排気筒の耐震 性についての計算書に關す る補足説明資料 別紙 6* ^{4,5}
			支持点アーム* ³	補強リングと溶接により接合して いることから, 補強リングを介して 第 2 号機及び第 3 号機筒身の荷重 を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書* ⁵
			筒身連結材* ³		
			鉄塔連結材 (筒身側 支持金物)* ⁴		補足-610-17 排気筒の耐震 性についての計算書に關す る補足説明資料 別紙 6* ⁵
			筒身脚部	第 2 号機及び第 3 号機筒身の筒身 の常時荷重, 地震時荷重及び風荷重 を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書

表 2-3(2) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度 分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の 記載箇所
間接支持 構造物	—	S s 地震力*1	鉄塔 (支柱材, 斜材, 水平材)	直接支持構造物からの地震時荷重 及び風荷重を鉄塔連結材(鉄塔側支 持金物)及び制震オイルダンパを介 して伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書
			鉄塔連結材 (鉄塔側 支持金物)*4	直接支持構造物からの地震時荷重 及び風荷重を伝達される	補足-610-17 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 別紙 6*5
			制震 オイルダンパ*3	直接支持構造物からの地震時荷重 及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書*5
			鉄塔脚部	間接支持構造物からの常時荷重, 地 震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性 についての計算書
			排気筒基礎	直接支持構造物及び間接支持構造 物からの常時荷重, 地震時荷重及び 風荷重を伝達される	VI-2-2-26 排気筒基礎の耐 震性についての計算書

注記*1: S s 地震力は基準地震動 S s による評価

2: S d 地震力は弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による評価

3: 第 3 支持点における支持部材

4: 第 1, 第 2 及び第 4 支持点における支持部材

5: 筒身と鉄塔の相互作用が生じる第 1~第 4 支持点については, 排気筒全体の動的挙動に大きな影響を及ぼす制震オイルダンパと, 制震オイルダンパと荷重の伝達を行う支持点アーム及び補強リング(第 3 支持点)を代表に添付書類で耐震評価を行う。その他の支持点部材については, 補足説明資料で耐震評価を行う。

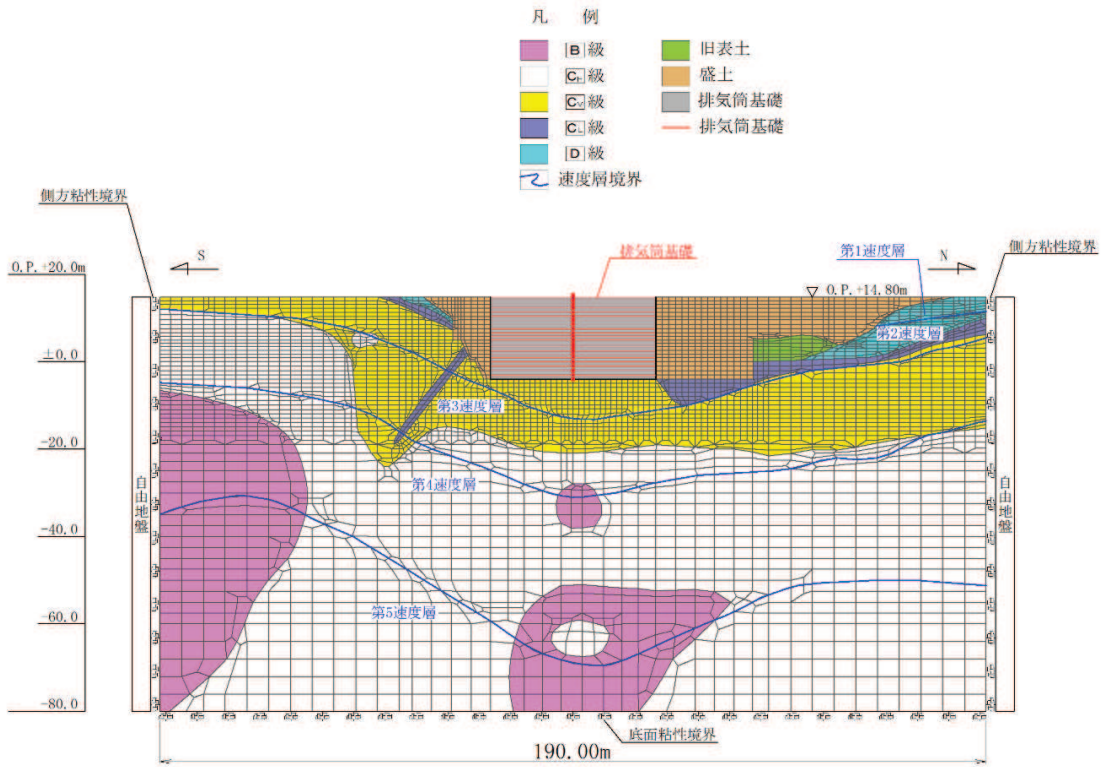


図2-5 排気筒基礎の地震応答解析モデル (NS断面)

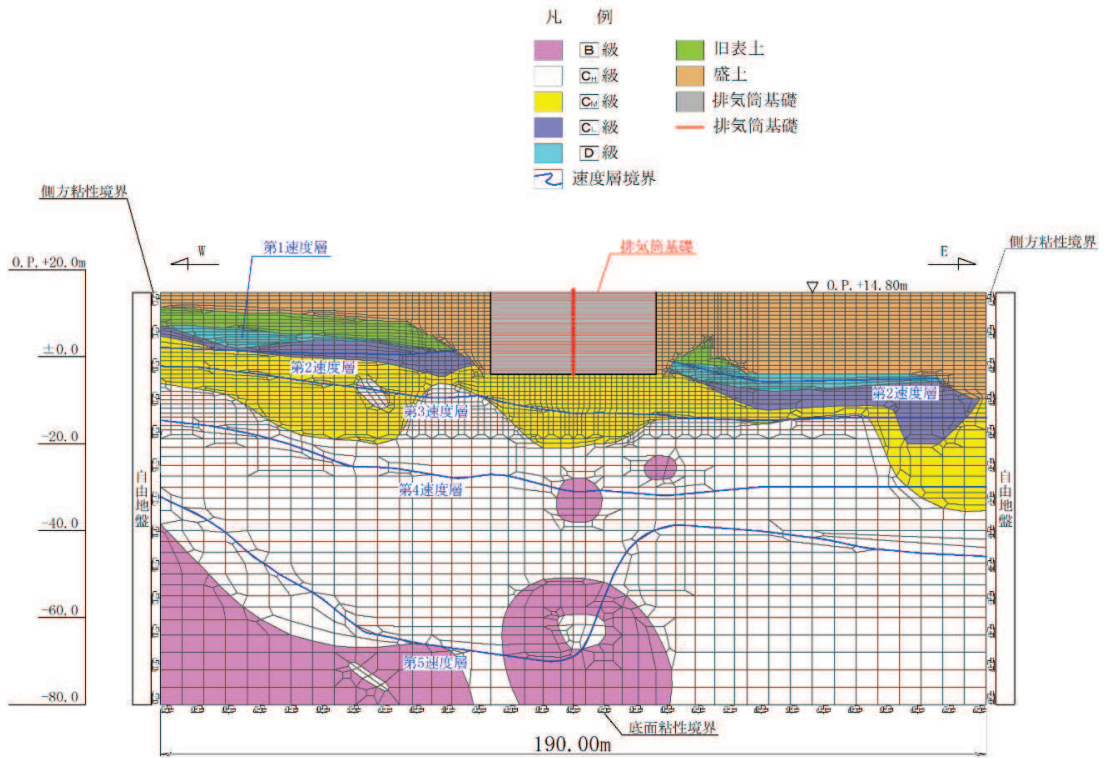


図2-6 排気筒基礎の地震応答解析モデル (EW断面)

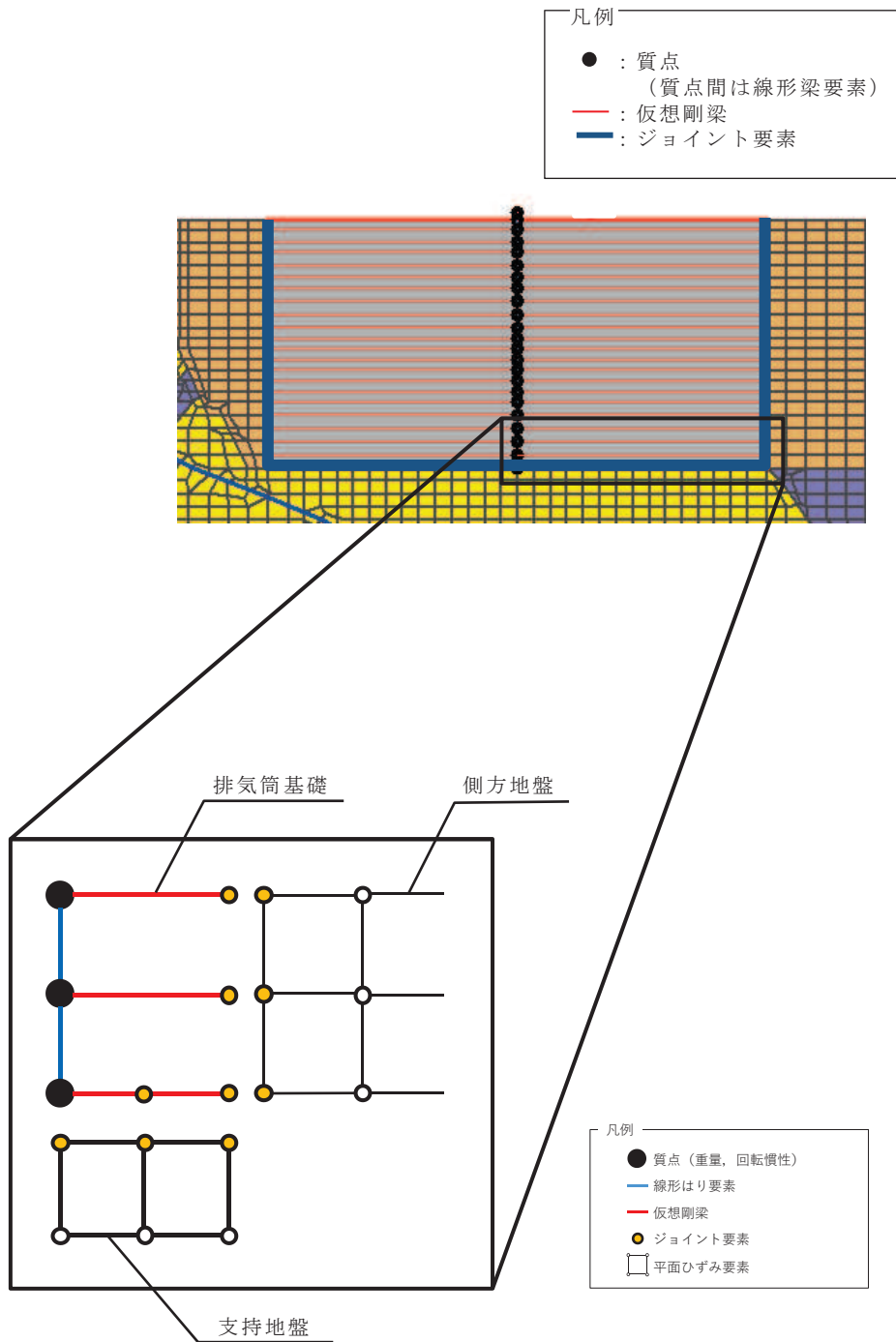
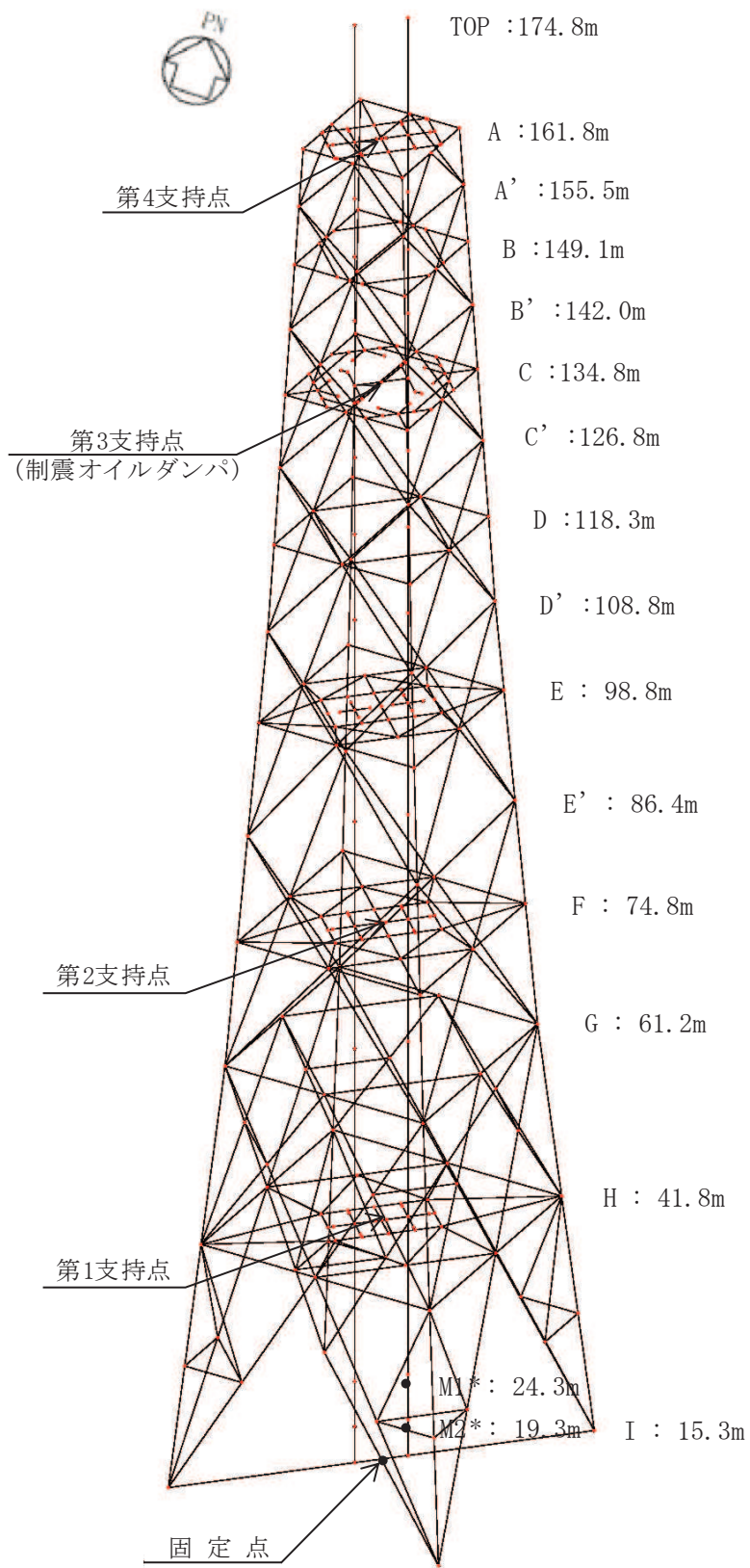


図 2-7 排気筒基礎の地震応答解析モデル (拡大図, 模式図)



注記* : M1 は筒身の内径 3.0m, M2 は筒身の内径 3.7m の位置を示す。

図2-8 排気筒の地震応答解析モデル

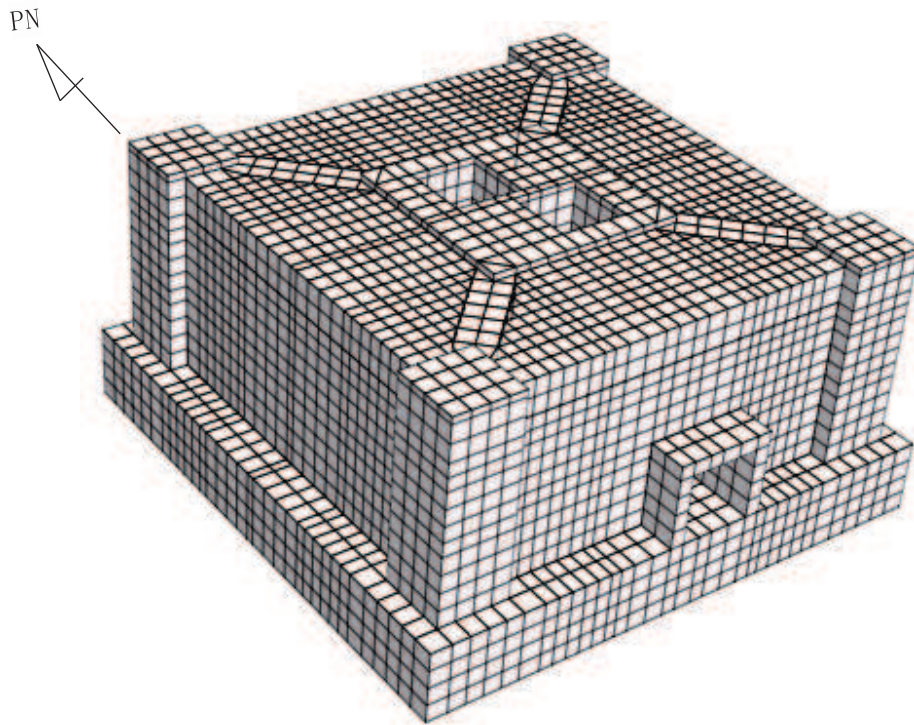


図 2-9 排気筒基礎の応力解析モデル（鳥瞰図）

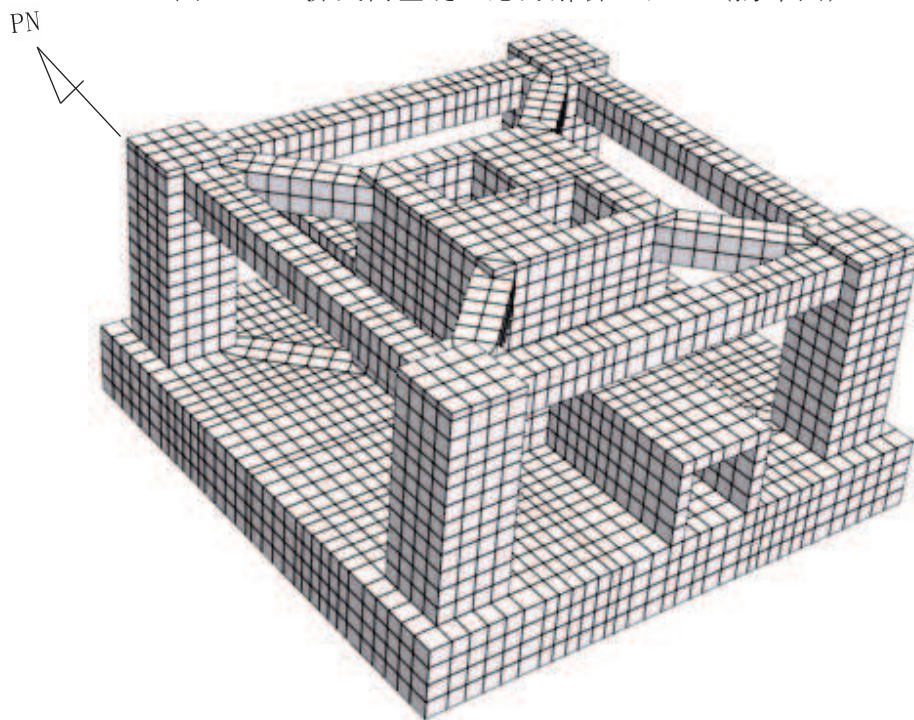


図 2-10 排気筒基礎の応力解析モデル（鳥瞰図（充填コンクリート非表示））

別紙 1-1 排気筒における部材補強

目次

1. 概要	別紙 1-1-1
2. 補強内容	別紙 1-1-1
3. 制震オイルダンパの仕様	別紙 1-1-4
3.1 制震オイルダンパの構造・特徴	別紙 1-1-4
3.1.1 解析モデル及び諸元	別紙 1-1-4
3.1.2 制震オイルダンパの設置状況	別紙 1-1-5
3.2 制震オイルダンパの特徴，決定根拠	別紙 1-1-6
3.3 制震オイルダンパの仕様	別紙 1-1-6
3.4 制震オイルダンパの材料物性のばらつき	別紙 1-1-7
4. まとめ	別紙 1-1-8

1. 概要

本資料は、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）に対し、排気筒の制震オイルダンパ取替、斜材取替及び当て板補強の追加を実施することから、補強概要を示すものである。

2. 補強内容

耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）からの変更箇所を表 2-1、図 2-1 及び以下に示す。

- ・排気筒の第 3 支持点（O.P. 134.8m）の支持方法として制震オイルダンパを設置
- ・O.P. 98.8m の支持点を解除
- ・O.P. 161.8m, O.P. 134.8m, O.P. 74.8m, O.P. 41.8m における弾塑性ダンパを撤去し、支持点を設置
- ・O.P. 15.3m～41.8m の斜材を STK400（ $t=12.7\text{mm}$ ）から STK490（ $t=16.0\text{mm}$ ）に取替
- ・支柱材、斜材、水平材の一部当て板補強

排気筒の補強設計の考え方として、地震に対しては制震オイルダンパをメインとした耐震補強を実施し、制震オイルダンパのみでは裕度が不足する部材に対しては斜材取替及び当て板補強を実施することとしている。

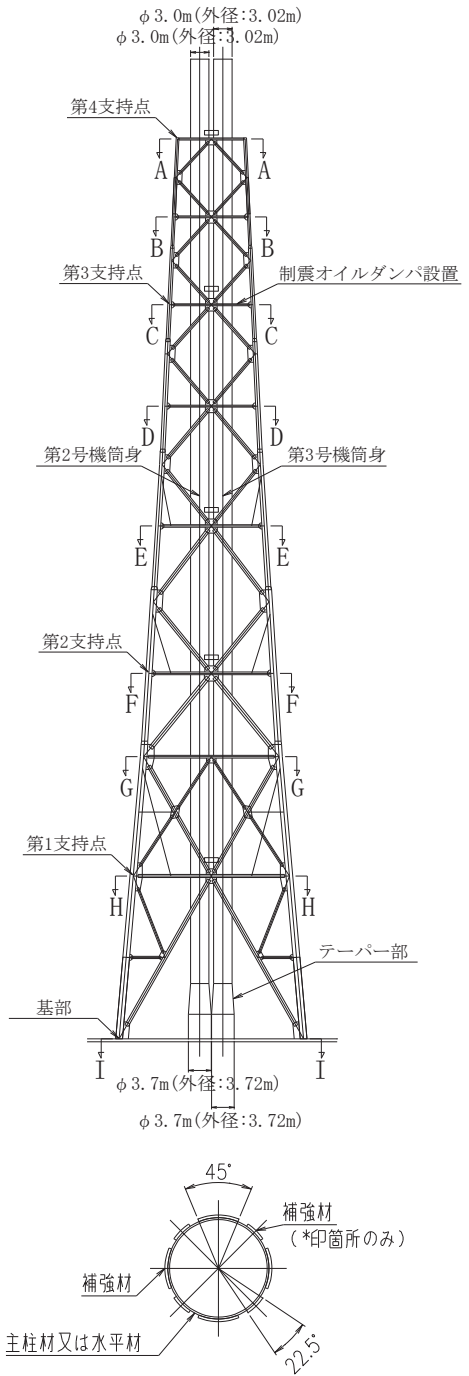
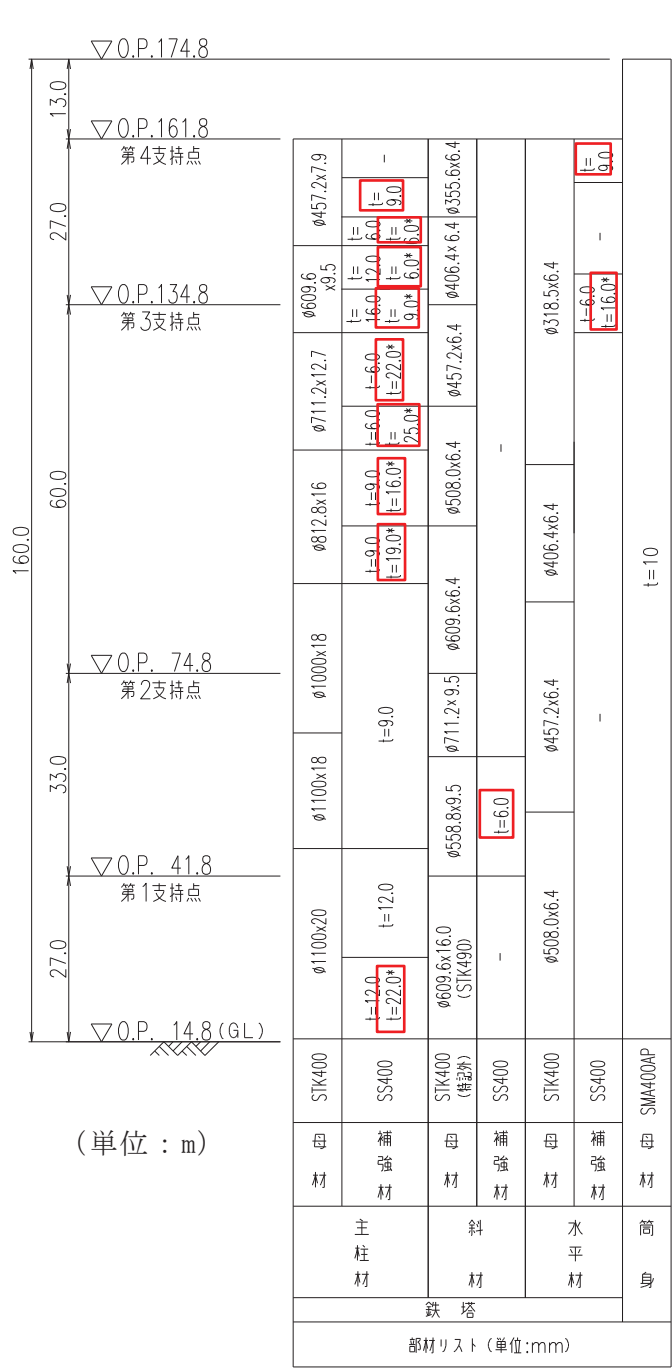
耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）において支持点となっていた O.P. 98.8m は、支持点を解除することにより、相対変位を大きく取れるように構造を変更し、オイルダンパが効果的に機能する設計となっている。

なお、耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）に設置した弾塑性ダンパは基準地震動 S_s に対して許容値を超過したことから、撤去を行った。

また、部材補強は当て板を基本とするが、十分な強度を確保することが難しい O.P. 15.3m～41.8m の斜材は取替を実施する。当て板補強は、4 方向に対して同様の鋼板を設置することから、振動方向によって断面 2 次モーメントが変わらない。

表 2-1 排気筒の補強箇所

	標高	耐震設計審査指針の 改定に伴う補強時 (届出)	今回工認
支持点	0. P. 41. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の設置
	0. P. 74. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の設置
	0. P. 98. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の解除
	0. P. 134. 8m	弾塑性ダンパ	制震オイルダンパの 設置
	0. P. 161. 8m	弾塑性ダンパ	支持点の設置
部材取替	0. P. 15. 3m～ 41. 8m	STK400 (t=12. 7mm)	STK490 (t=16. 0mm)
部材補強	図 2-1 に示す		



□ 今回工認の補強箇所

図 2-1 排気筒の概要図

3. 制震オイルダンパの仕様

3.1 制震オイルダンパの構造・特徴

3.1.1 解析モデル及び諸元

制震オイルダンパは、ピストン両側の油圧室を連結する流路にオリフィス（固定絞り）が設けてあり、ピストンの往復動に対して減衰力が発生する仕組みになっている。また、制震オイルダンパに採用されている調圧弁は、ばねにより圧力と流量の関係を調整することで、ピストン速度に比例した線形の減衰力を発生する役割を果たしている。制震オイルダンパの内部機構概念図を、図 3-1 に示す。

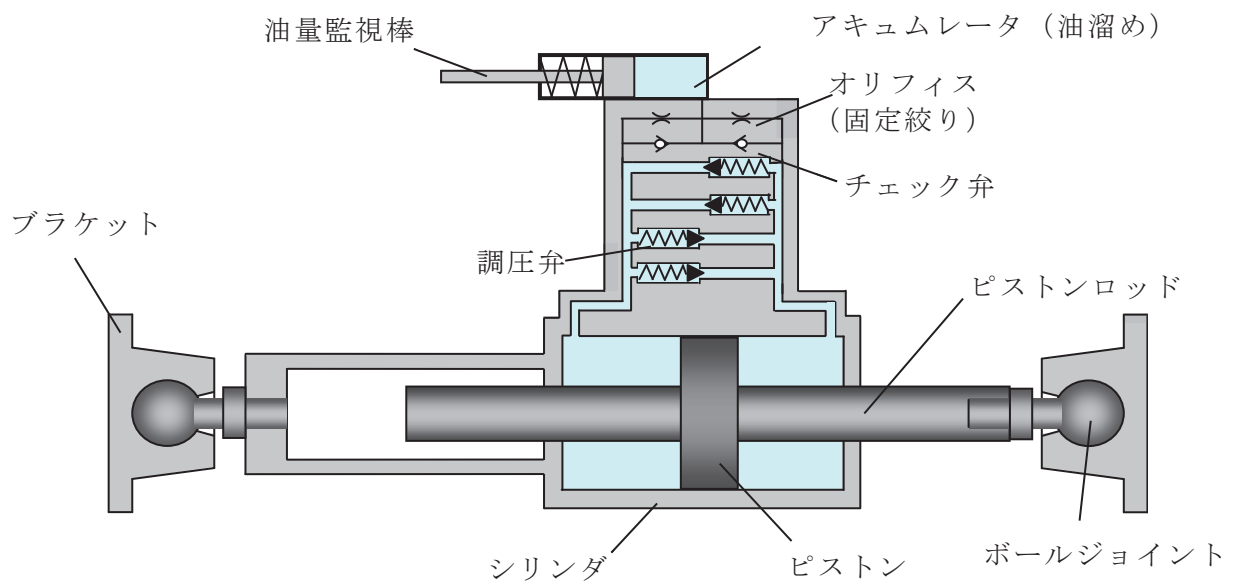


図 3-1 制震オイルダンパの内部機構概念図

3.1.2 制震オイルダンパの設置状況

排気筒に設置する制震オイルダンパの接続状況図を図3-2に示す。

- : 筒身部
- : 鉄塔部
- : 制震装置 (オイルダンパ) (計8台)

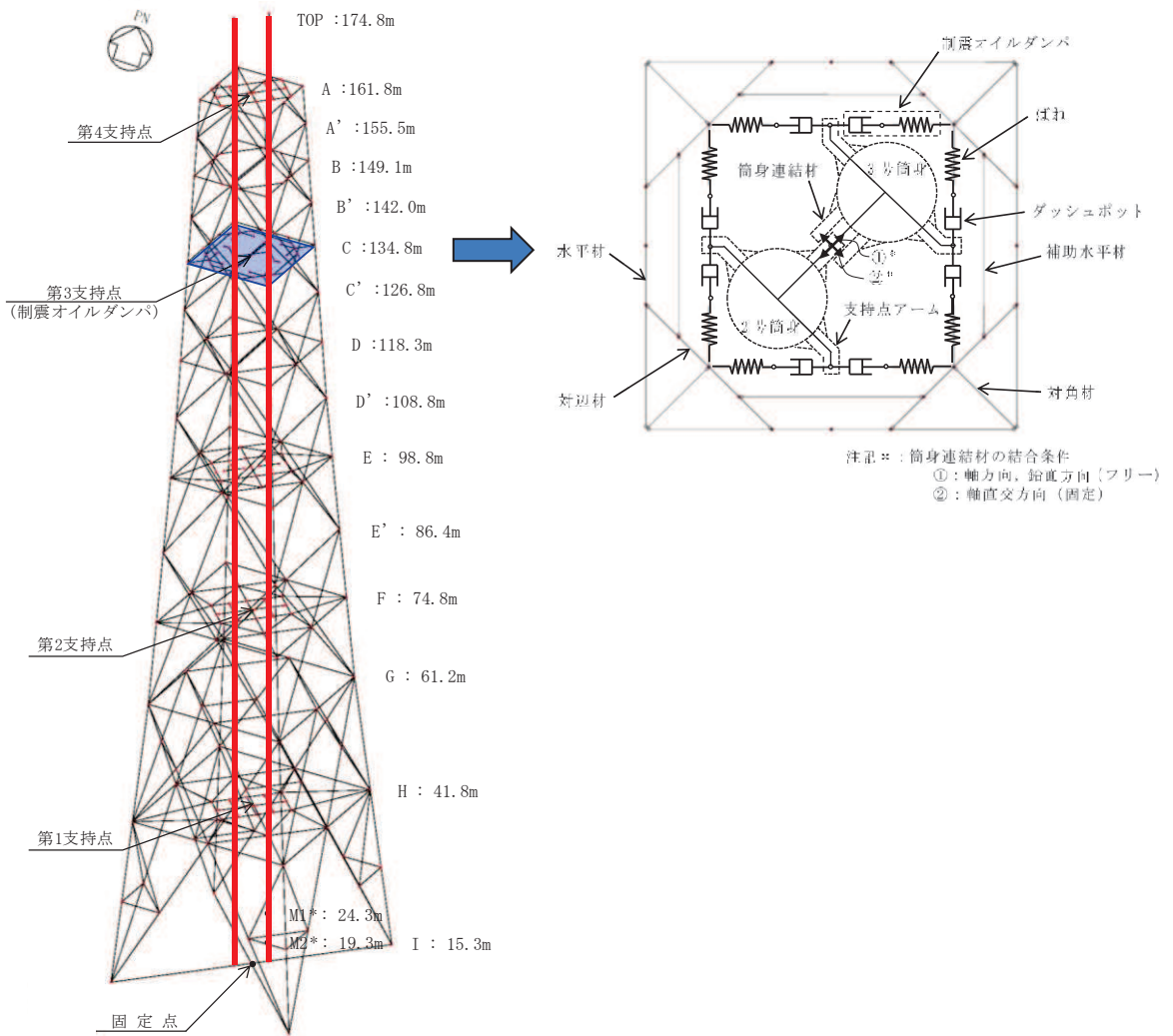


図3-2 制震オイルダンパの接続状況図

3.2 制震オイルダンパの特徴，決定根拠

制震オイルダンパの設置位置については，基準地震動に対する応答が厳しい2次モード（筒身2次，鉄塔2次）を対象とし，2次モードに対して変形が大きくなる第3支持点（O.P.134.8m）に制震オイルダンパを設置することとした。鉄塔－筒身間の相対変位を大きく取り，制震オイルダンパを効果的に機能させる構造とするため，O.P.98.8mの支持点を解除した。

制震オイルダンパは地震時に伸縮することで地震動を抑制することが出来るが，強風時はダンパとしては機能せず，風の強さに応じ静的に伸縮する。

3.3 制震オイルダンパの仕様

制震オイルダンパ1台当たりの仕様を表3-1に示す。排気筒には，1平面当たり8台の制震オイルダンパを設置しており，0°方向，90°方向に対して，それぞれ4台ずつ荷重を負担する設計としていることから，地震応答解析モデルに使用する各平面の制震オイルダンパの諸元は表3-2に示すとおりとなる。

表3-1 制震オイルダンパ設計仕様値（1台当たり）

項目	仕様値
減衰係数 (kN・s/m)	350
剛性 (kN/mm)	45
許容速度 (m/s)	1.20
最大許容荷重 (kN)	420
許容変位 (mm)	±400
取付長 (mm)	3080

表3-2 制震オイルダンパの諸元

標高 O.P. (m)	位置	減衰係数 (kN・s/m)	剛性 (kN/mm)	許容速度 (m/s)	許容変位 (mm)
134.8	C	350	45	1.20	±400

3.4 制震オイルダンパの材料物性のばらつき

制震オイルダンパは油の粘性に期待しない流体抵抗を利用しているため、温度依存性が小さいことが特徴である。図 3-3 は、同種の制震オイルダンパの試験結果の例であり、温度変化による減衰係数の変動幅は±10%に収まっている。また、荷重レベルが大きいくほど、温度が高くなるほど安定した特性となることが分かる。

なお、女川原子力発電所の制震オイルダンパは、図 3-3 の実験で使用した制震オイルダンパと同型であり、減衰定数が異なるものの、温度による性能変動は内部のオイルの特性に起因するため、図 3-3 に示す温度依存性の試験結果をそのまま適用することは可能である。

制震オイルダンパの性能変動に影響を及ぼす要因として、上述の温度変化の他に製品を製造する際の製造機差がある。製造機差については、製品の発注段階において、製造機差が±10%以内に収まることをクライテリアとして要求することで、変動幅を制御することとし、納入時には設計クライテリアを満たしていることを確認する。

以上を踏まえ、排気筒の地震応答計算書では、制震オイルダンパのばらつきとして、先行サイトと同様に温度変化による減衰係数の変動幅を±10%、製品を製造するときの製造機差を±10%として考慮し、制震オイルダンパのトータルの性能変動を±20%に設定する。

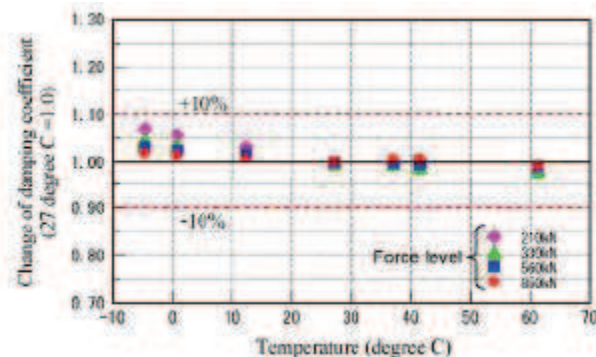


図 3-3 温度依存性の実験結果の例*

注記：Ryu Shimamoto, Takafumi Hiraki, Fukashi Mori, Eiji Ohara and Haruhiko Kurino, “Seismic-upgrading of Existing Stacks by Structural Control using Oil Dampers” 19th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT19), Toronto, Canada, August 12-17 2007 K17/1-2

4. まとめ

耐震設計審査指針の改定に伴う補強時（届出）に対し、排気筒の制震オイルダンパ取替、斜材取替及び当て板補強の追加実施内容を以下に示す。

排気筒の補強設計の考え方として、地震に対しては制震オイルダンパをメインとした耐震補強を実施し、制震オイルダンパのみでは裕度が不足する部材に対しては斜材取替及び当て板補強を実施することとしている。

部材補強は当て板を基本とするが、十分な強度を確保することが難しい O.P. 15. 3m～41. 8m の斜材は取替を実施する。

制震オイルダンパは 2 次モードに対して変形が大きくなる第 3 支持点（O.P. 134. 8m）に設置し、制震オイルダンパのばらつきとして、温度変化による減衰係数の変動幅を±10%、製品を製造するときの製造機差を±10%として考慮し、制震オイルダンパのトータルの性能変動を±20%に設定する。

別紙 2 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、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

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(1) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

モデル概要 (1/2)

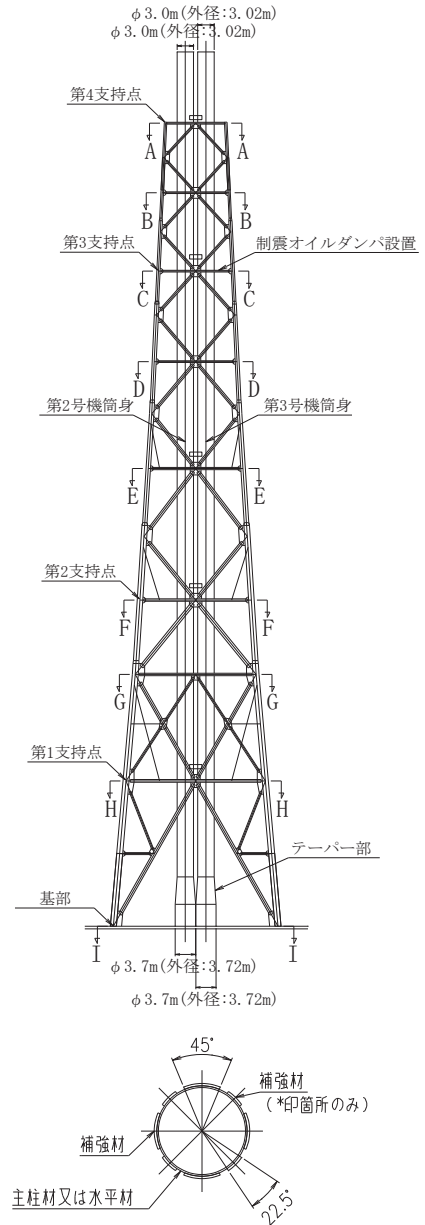
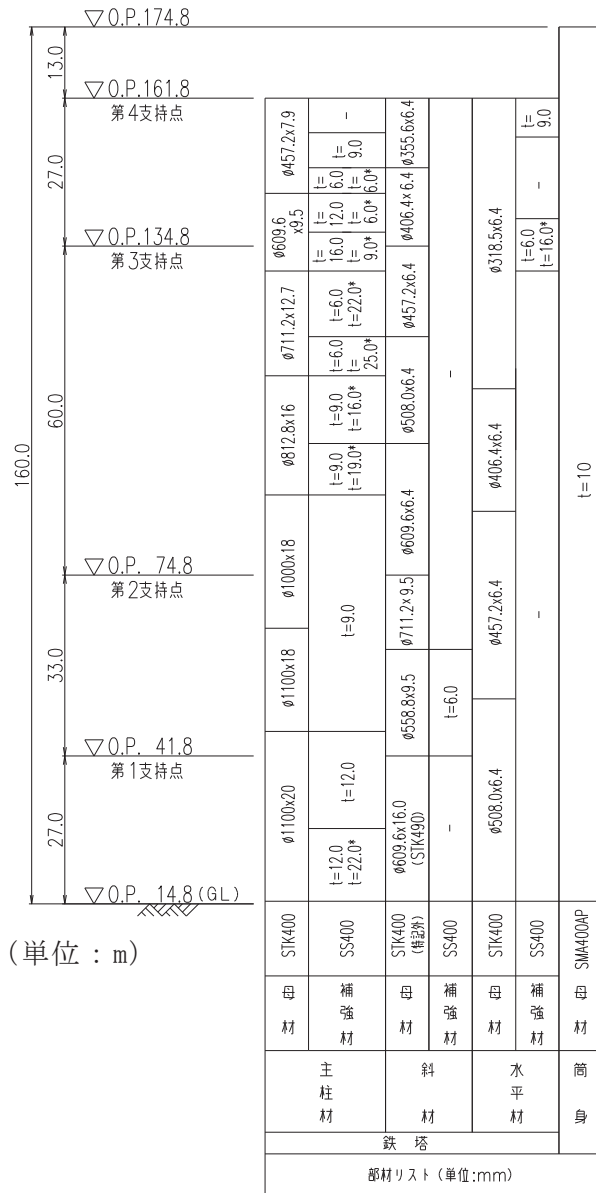
○モデル化範囲, 対象部材

- ・排気筒基礎上端レベル (O.P. 15.3m) より上部の範囲
- ・筒身部, 鉄塔部 (主柱材, 斜材, 水平材), 制震装置 (制震オイルダンパ)

○使用要素

- ・はり要素 : 筒身部, 鉄塔部 (主柱材, 水平材, 斜材)
- ・ばね要素 : 制震装置 (制震オイルダンパ*), 支持点 (筒身, 鉄塔の支持金物)

注記* : 制震オイルダンパは, ばね要素とダッシュポットを直列し, モデル化している。



モデル化範囲

表 2-1(2) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

モデル概要 (2/2)

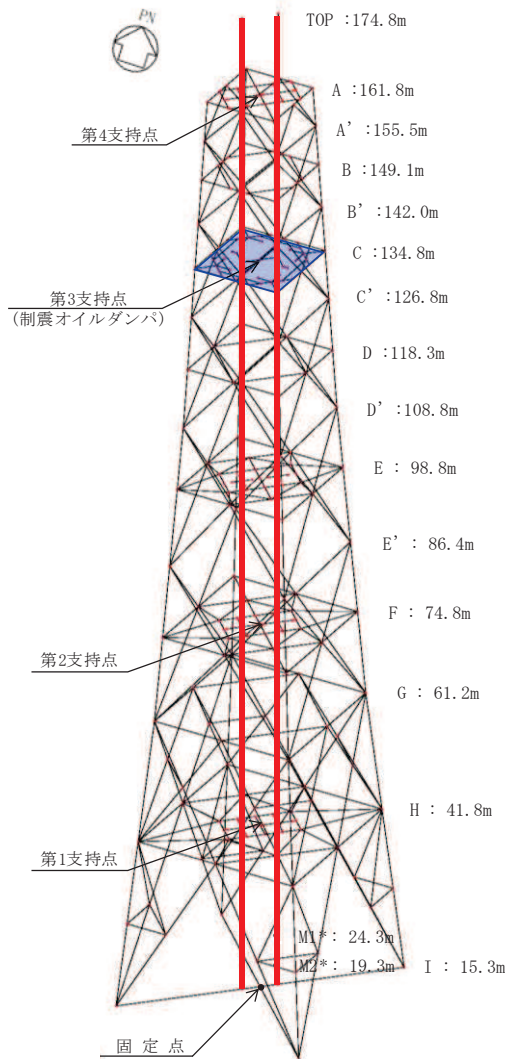
○要素分割

- ・ 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。

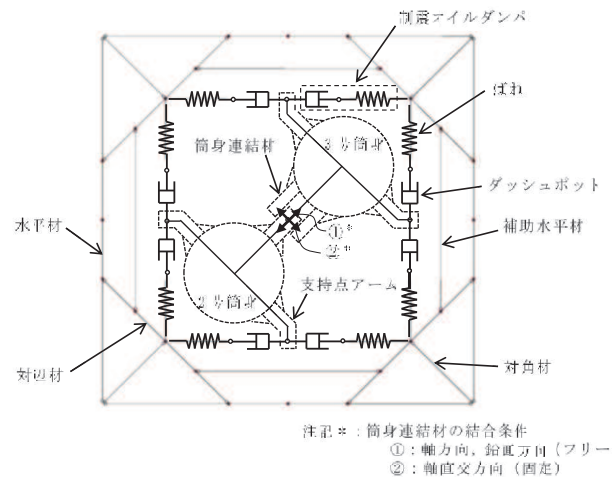
○解析モデルの使い分け

- ・ 動的地震荷重 : 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。この応力を用いて, 荷重の組合せを行う。このと
き, 制震装置 (制震オイルダンパ) は考慮しないものとして設定し
た。

- (赤線) : 筒身部
- (黒線) : 鉄塔部
- (青) : 制震装置 (オイルダンパ) (計8台)



解析モデル



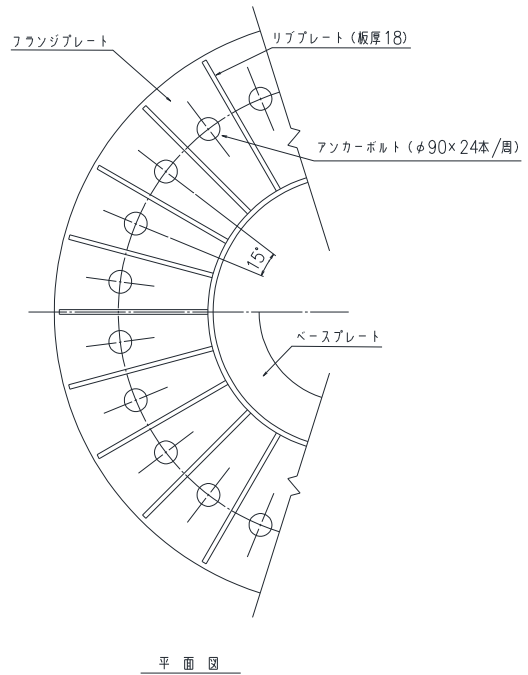
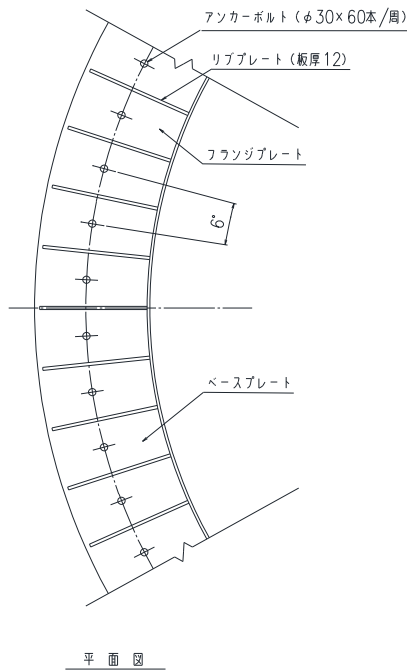
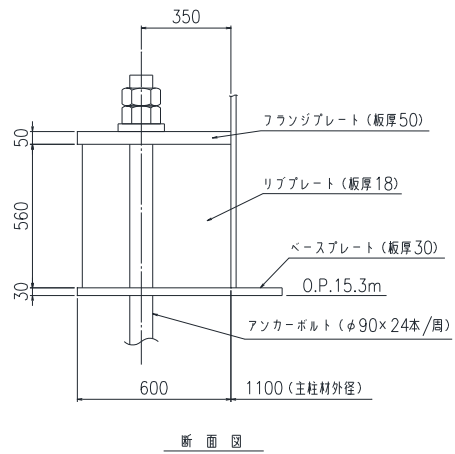
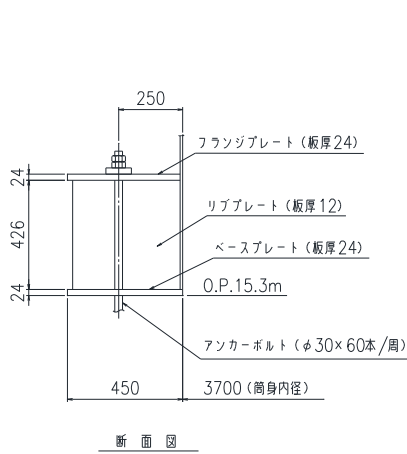
平面図 (O. P. 134.8m)

表 2-1(3) 排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件

境界条件, 拘束条件 (1/2)

○排気筒基礎上端と排気筒の境界 (O.P. 15.3m)

- ・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。



排気筒基礎と排気筒の境界

表 2-1(4) 排気筒のモデル化，境界条件及び拘束条件

境界条件，拘束条件 (2/2)	
○部材の部材の接合条件	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 	
<p>注記*：制震オイルダンパ設置支持点を除く。</p>	
荷重の入力方法	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉛直荷重：鉛直荷重は排気筒の自重を入力する。 ・ 静的地震荷重：静的地震力は，地震層せん断力係数を用いて算出する。 ・ 動的地震荷重：排気筒基礎の地震応答解析から得られる排気筒基礎上端レベル（O.P. 15.3m）における応答値を入力地震動とし，排気筒の基礎を固定として入力する。 ・ 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 排気筒の地震応答解析における地盤物性，材料物性
及び水平方向の位相反転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. 排気筒の入力地震動に対する排気筒基礎の応答の不確かさ影響	別紙 3-2
2.1 排気筒基礎の地盤物性，材料物性のばらつき及び水平方向の位相反転の影響検討	別紙 3-2
2.2 排気筒基礎の地盤物性及び材料物性のばらつき選定結果	別紙 3-3
2.3 水平方向の位相反転の影響検討	別紙 3-81
3. 排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性，材料物性の不確かさ及び水平動反転の影響検討	別紙 3-105
3.1 排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース	別紙 3-105
3.2 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 3-107
3.3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	別紙 3-114

1. 概要

1.1 検討概要

本資料では、排気筒の地震応答解析における排気筒基礎の地盤物性、材料物性、排気筒の材料物性の不確かさ及び入力地震動の水平方向の位相反転の影響について説明するものである。

本資料では、地盤物性、材料物性の不確かさを考慮した排気筒基礎の応答を用いた排気筒の地震応答解析、及び排気筒の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析を行い、各不確かさが排気筒の耐震性に及ぼす影響について確認する。また、水平方向の位相を反転させた入力地震動に対して排気筒基礎の地震応答解析を行い、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

添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」では、排気筒基礎の応答の不確かさを考慮するため、入力地震動には、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した排気筒基礎の地震応答解析結果から得られる基礎上端レベル (O.P. 15.3m) における応答を用いている。

そのため、本検討における排気筒基礎の不確かさ及びその変動幅は、「排気筒基礎の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」のうち、別紙 3「排気筒基礎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」に準拠し、排気筒の地震応答解析モデルに対しては排気筒基礎における不確かさを考慮する。

また、排気筒基礎の不確かさは、地盤物性及び材料物性のばらつきがあり、排気筒に対する影響の程度を確認し、不確かさを考慮する物性を選定する。

上記により選定した排気筒基礎の不確かさに加えて、排気筒の不確かさとして制震オイルダンパのばらつきを考慮する。

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排気筒の評価結果を確認したうえで、排気筒の評価結果への影響が大きい波に対して実施する。

なお、各解析の方法及び諸元については、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」と同一である。

2. 排気筒の入力地震動に対する排気筒基礎の応答の不確かさ影響

2.1 排気筒基礎の地盤物性，材料物性のばらつき及び水平方向の位相反転の影響検討

排気筒基礎の不確かさ検討ケースを表 2-1 に示す。

地盤物性のばらつきについて，排気筒基礎は，岩盤上に直接構築され，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）。

水平方向の位相反転を考慮する（ケース⑥）。

表 2-1 排気筒基礎の解析ケース

解析ケース	地震動 (位相)	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性
			旧表土，盛土，D級岩盤 C _L 級岩盤，C _M 級岩盤， C _H 級岩盤，B級岩盤 (G: せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	++* ¹	設計基準強度	平均値
ケース②	++* ¹	設計基準強度	平均値 + 1σ
ケース③	++* ¹	設計基準強度	平均値 - 1σ
ケース④	++* ¹	実強度に基づく 圧縮強度* ²	平均値
ケース⑤	++* ¹	設計基準強度 × 0.75* ²	平均値
ケース⑥	-+* ¹	設計基準強度	平均値

注記*1: 水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

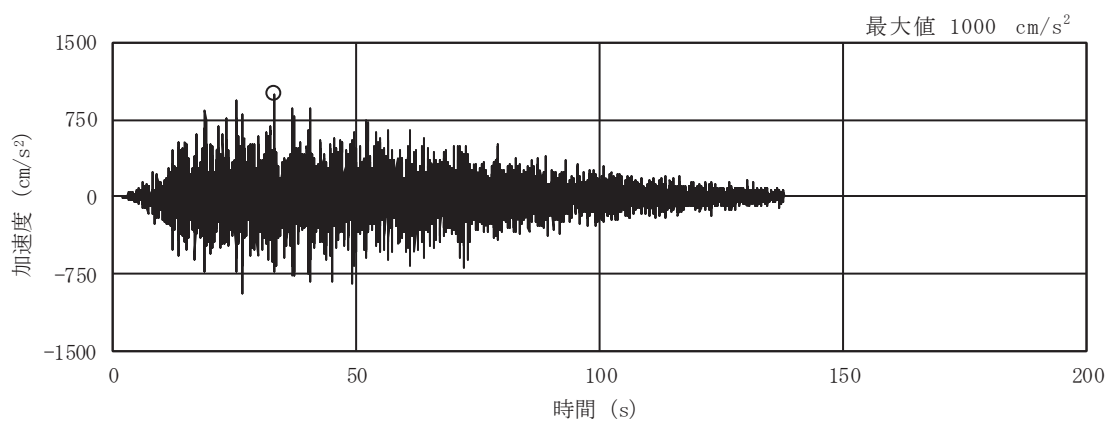
*2: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

*3: 原子炉建屋の剛性低下率のうち特異的なオペフロの値を除いた中で最大となる NS 方向の剛性低下率を設定する。

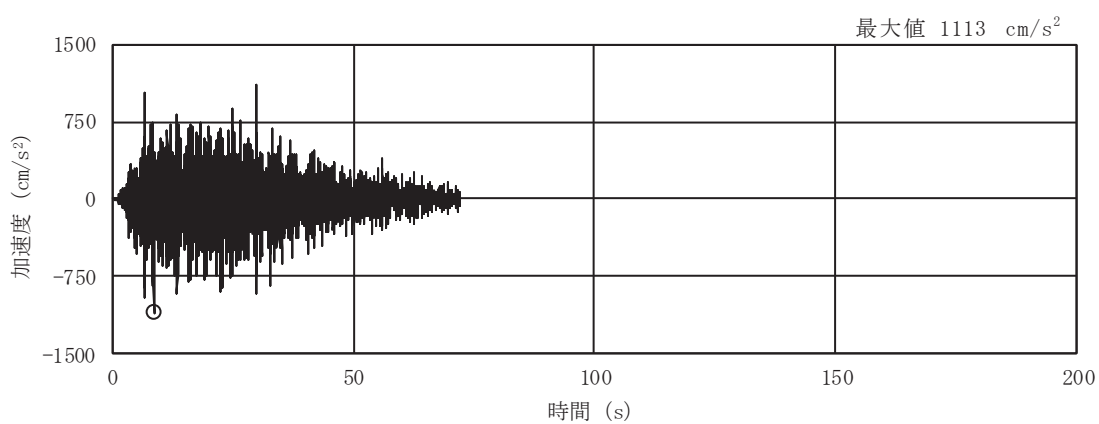
2.2 排気筒基礎の地盤物性及び材料物性のばらつき選定結果

地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮した排気筒基礎の地震応答解析結果から得られる基礎上端レベル（O. P. 15. 3m）における加速度時刻歴波形を図 2-1～図 2-4 に示す。また、基準地震動 S s 7 波を包絡した応答スペクトルを図 2-5 に、応答スペクトルの比較結果を表 2-2 に示す。応答スペクトルに記載の 1 次モード～5 次モードの線は、排気筒の主要モードにおける固有周期を示す。

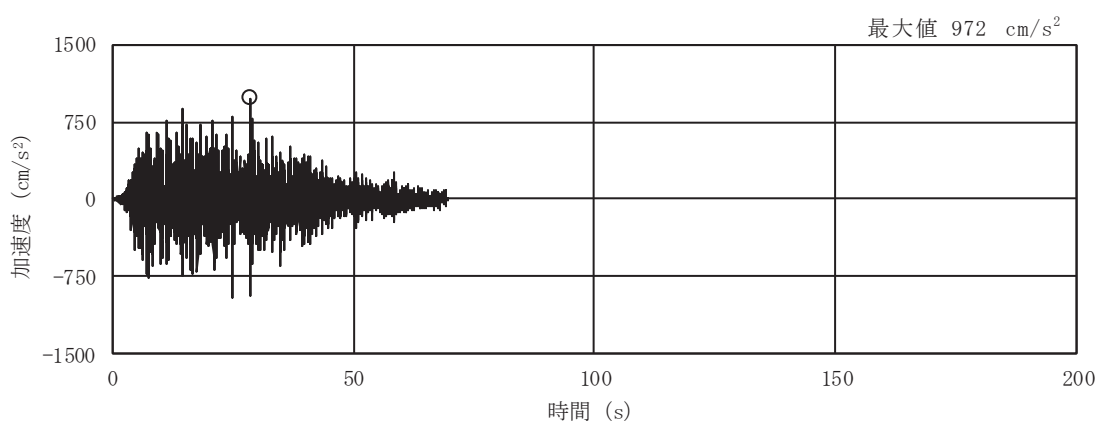
排気筒の評価において影響の大きい並進成分を示す、表 2-2(1)及び表 2-2(2)において、基本ケースに対しケース②の応答が小さくなり（ケース①>ケース④>ケース②）、基本ケースに対しケース③の応答が大きくなる（ケース③>ケース⑤>ケース①）。そのため、排気筒の耐震評価に用いる入力地震動に対する排気筒基礎の応答の不確かさは、ケース②及びケース③を用いて実施することとし、評価結果を 3 章に示す。



(a) S s - D 1

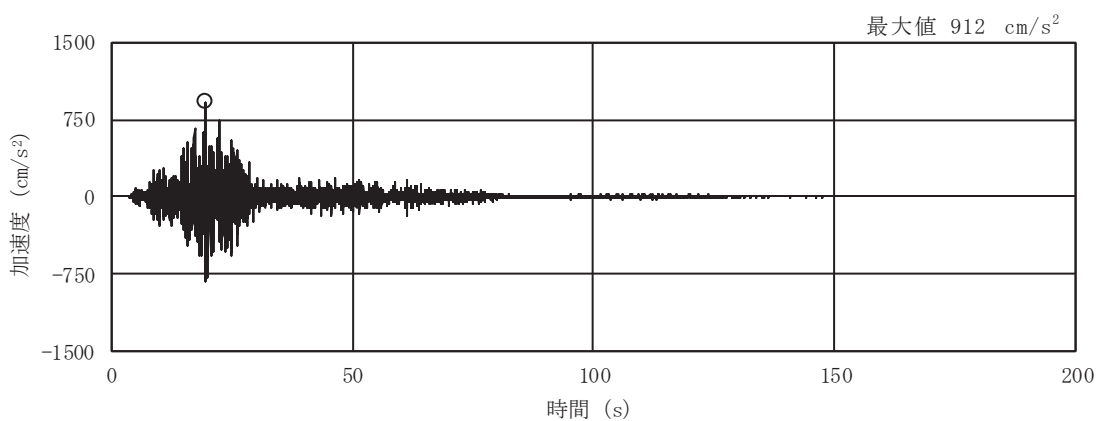


(b) S s - D 2

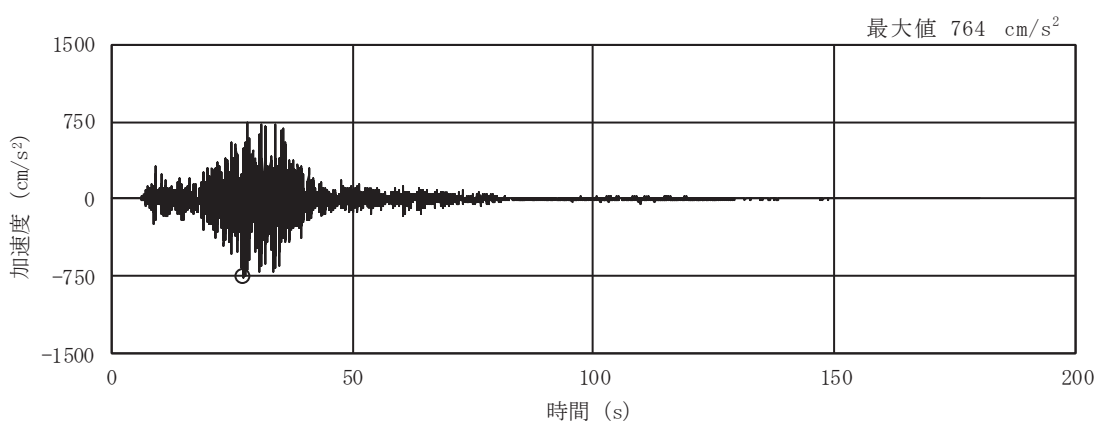


(c) S s - D 3

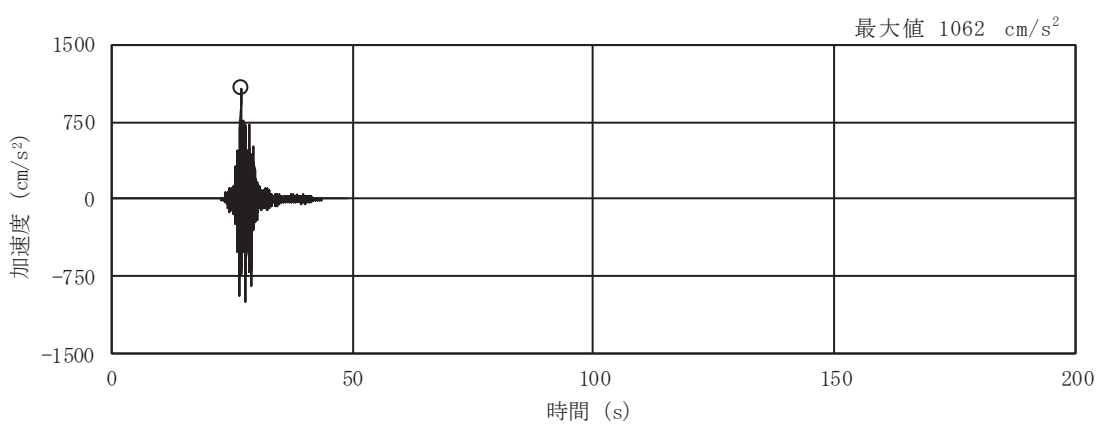
図 2-1(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

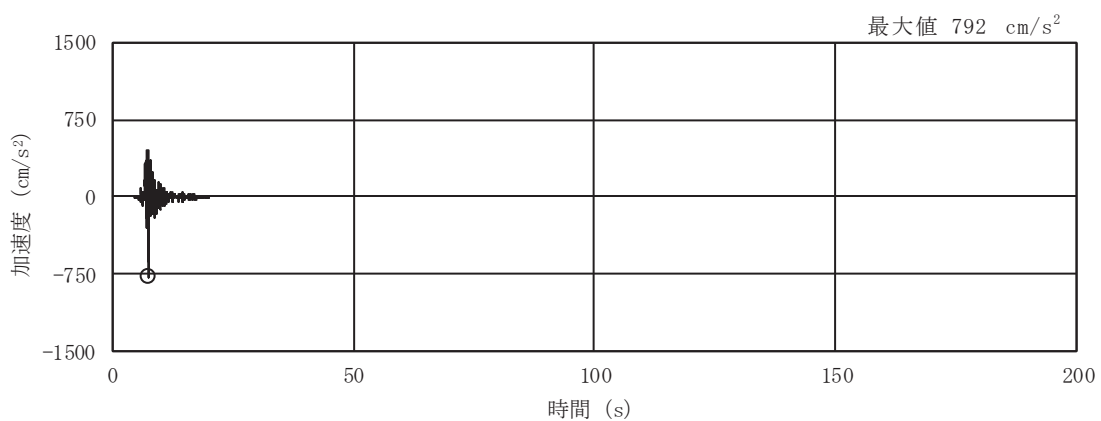


(e) S s - F 2



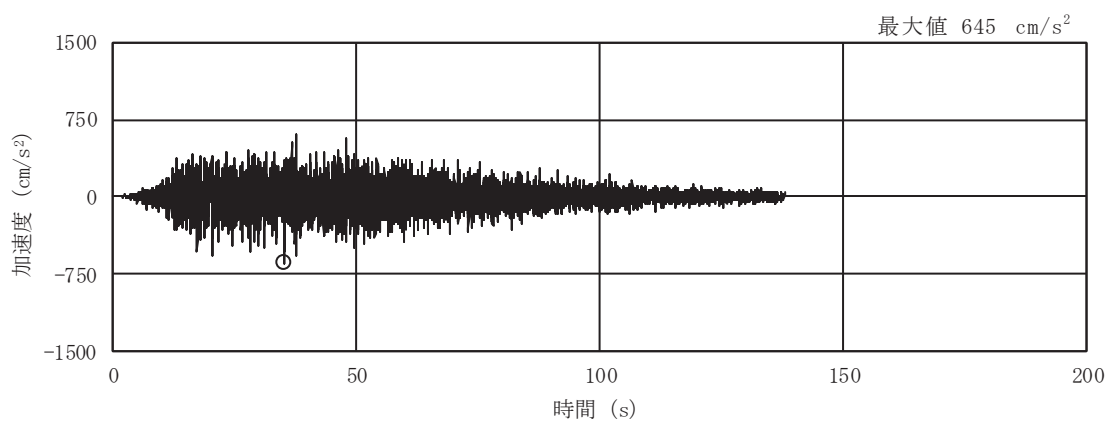
(f) S s - F 3

図 2-1(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 並進成分) (2/3)

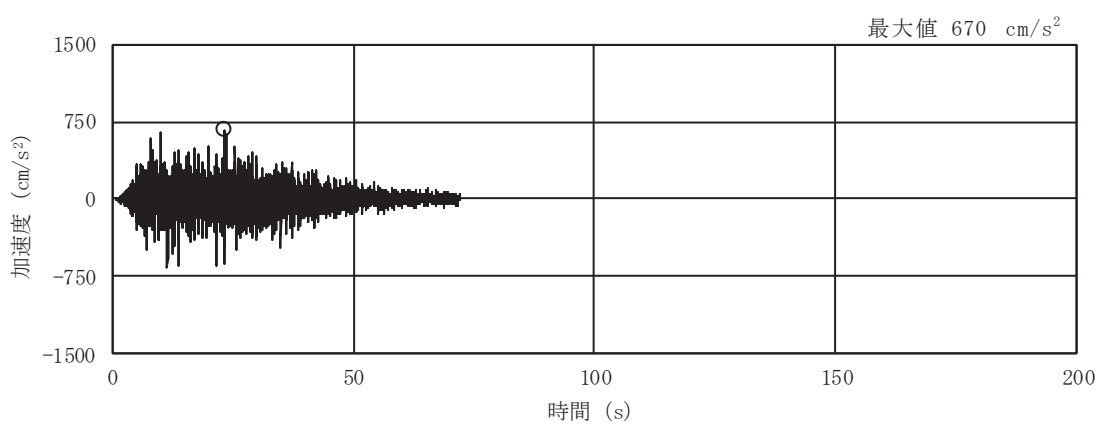


(g) S s - N 1

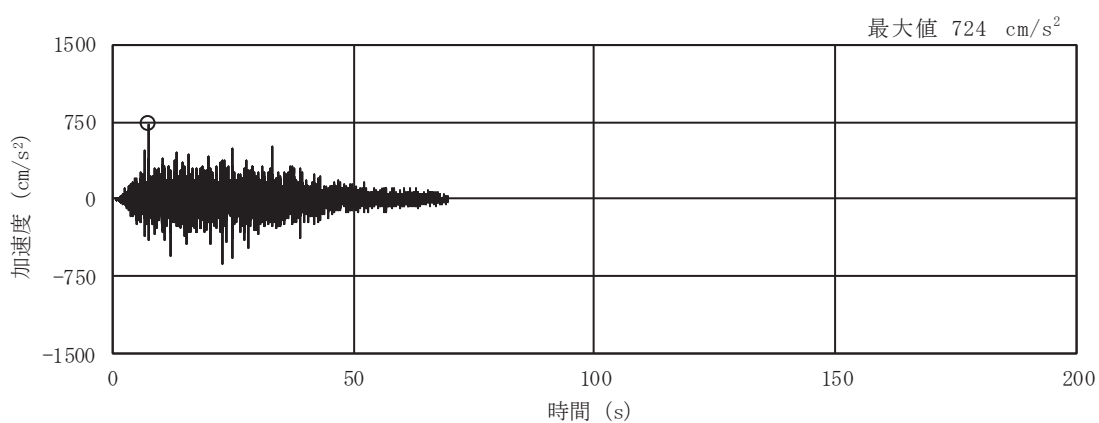
図 2-1(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース②, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

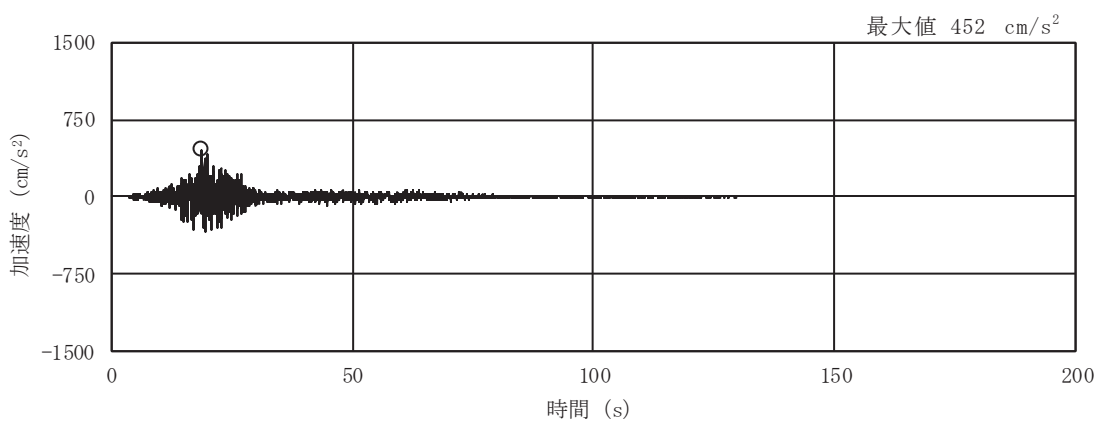


(b) S s - D 2

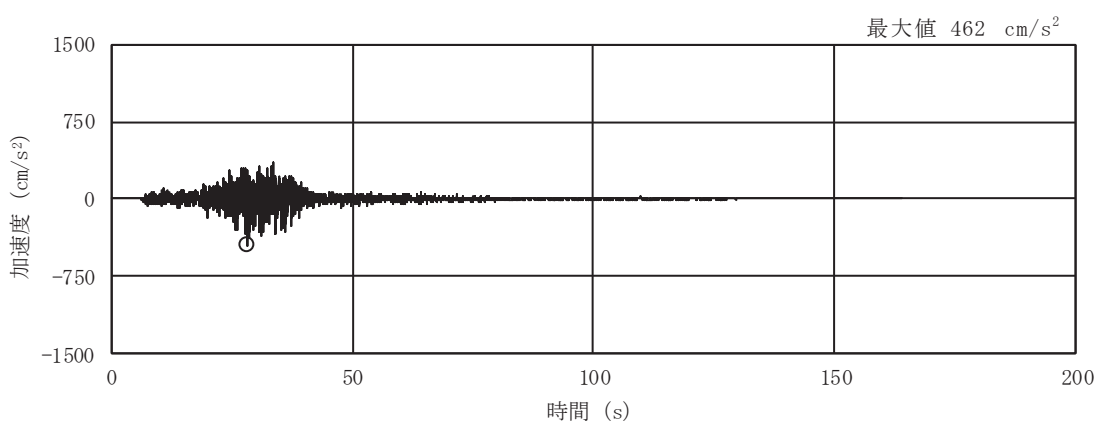


(c) S s - D 3

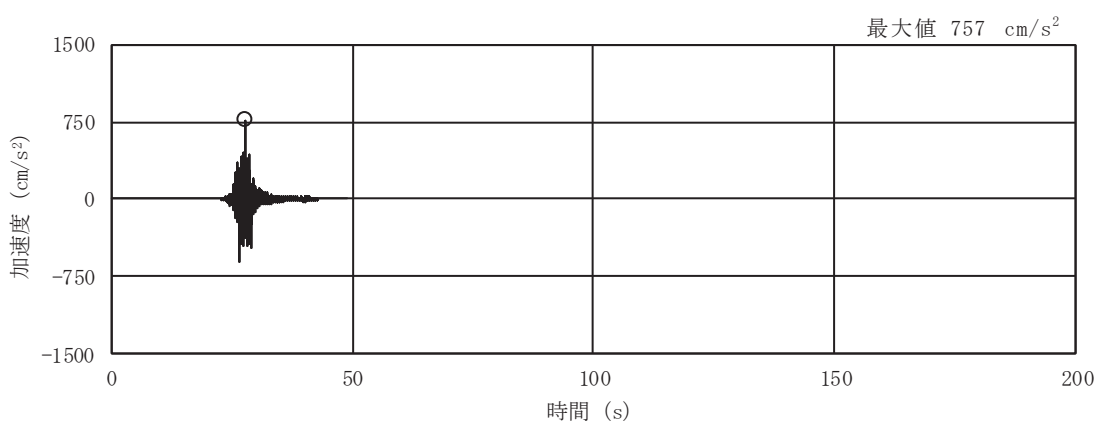
図 2-1(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

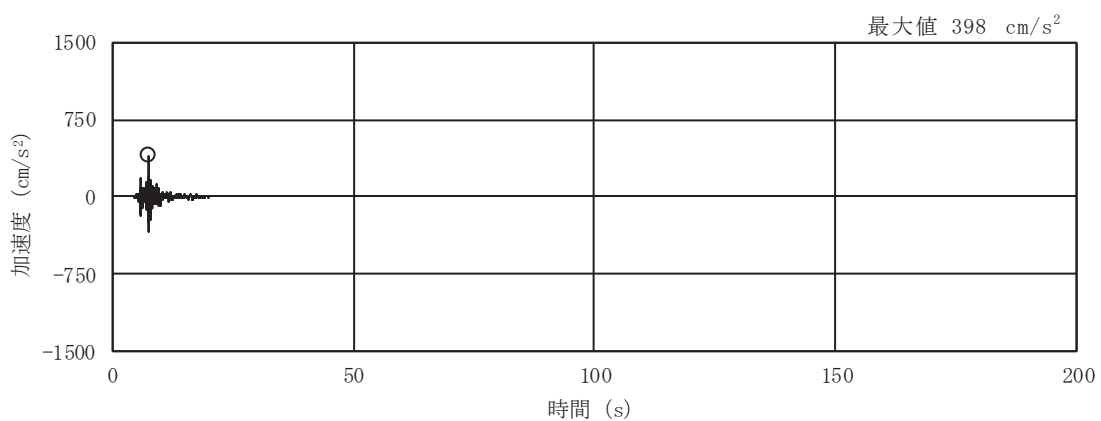


(e) S s - F 2



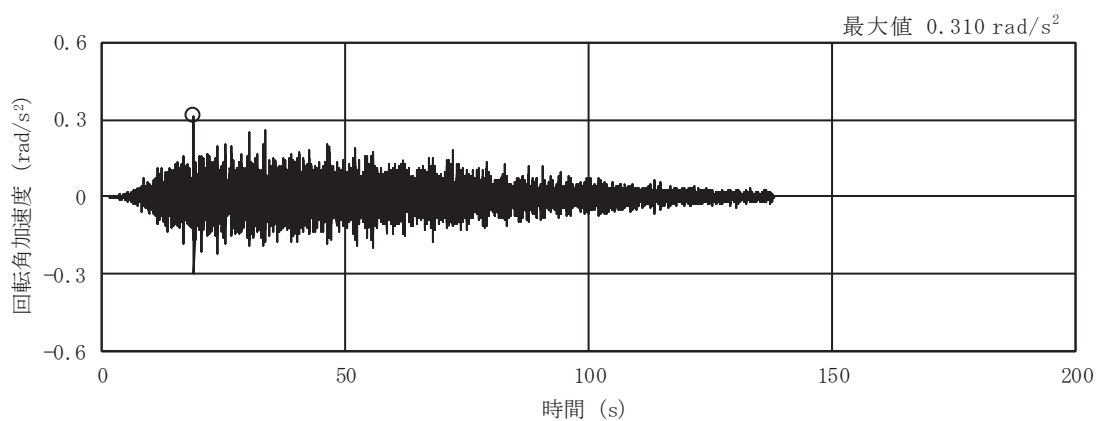
(f) S s - F 3

図 2-1(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

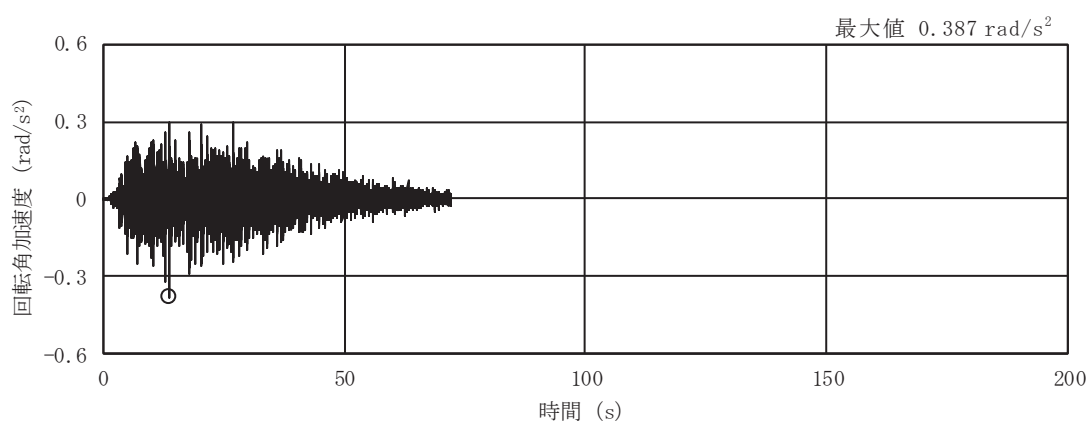


(g) S s - N 1

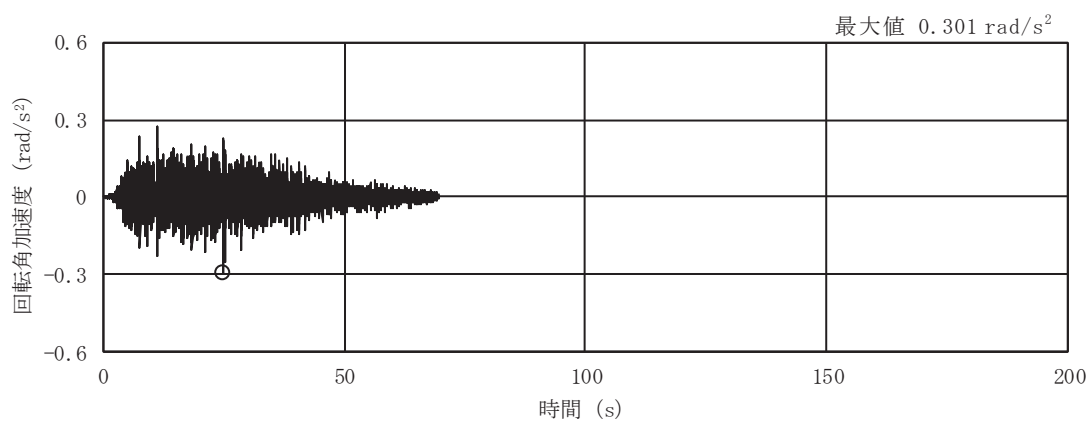
図 2-1(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース②, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

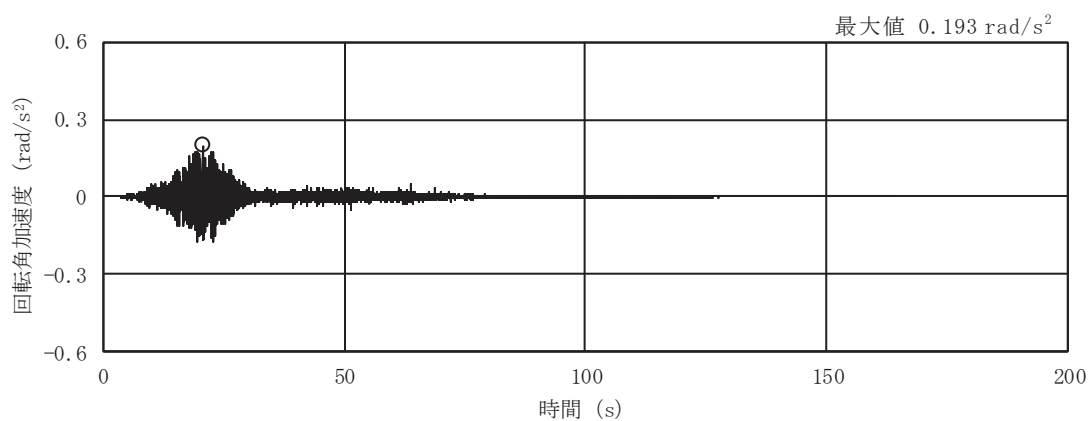


(b) S s - D 2

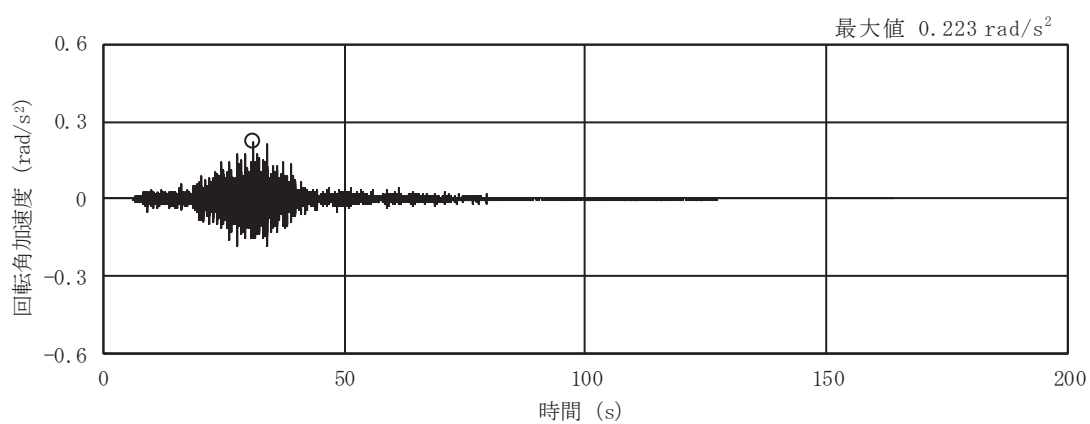


(c) S s - D 3

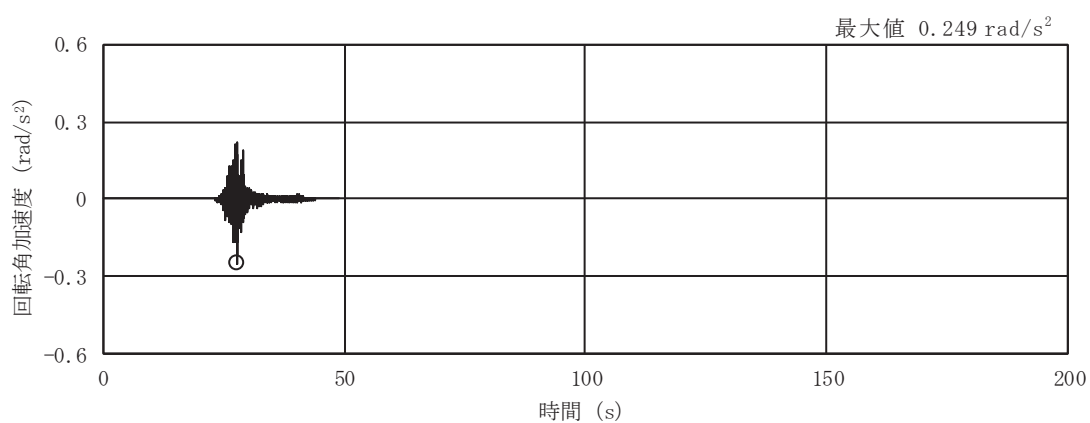
図 2-1(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

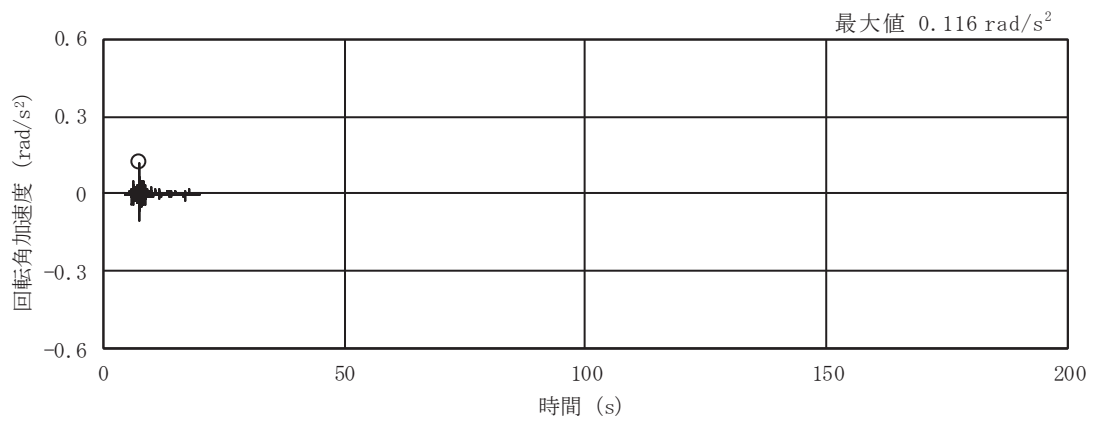


(e) S s - F 2



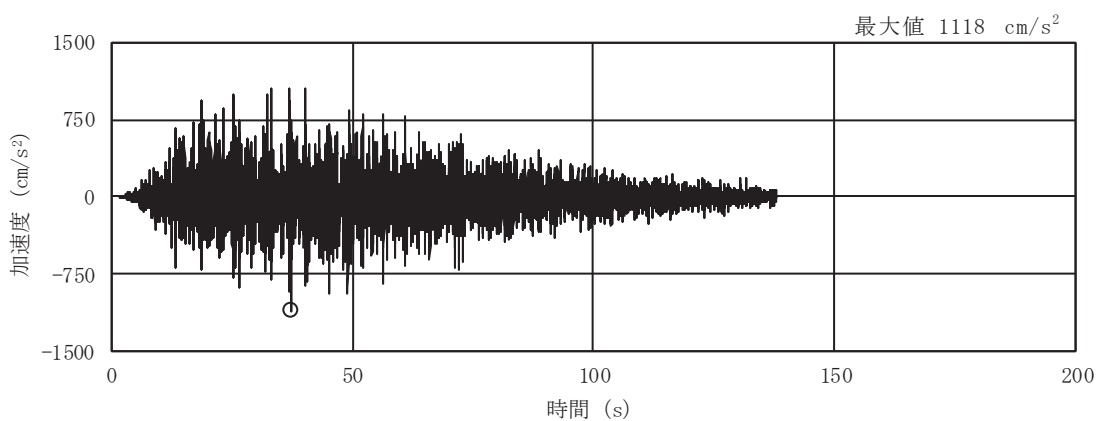
(f) S s - F 3

図 2-1(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 回転成分) (2/3)

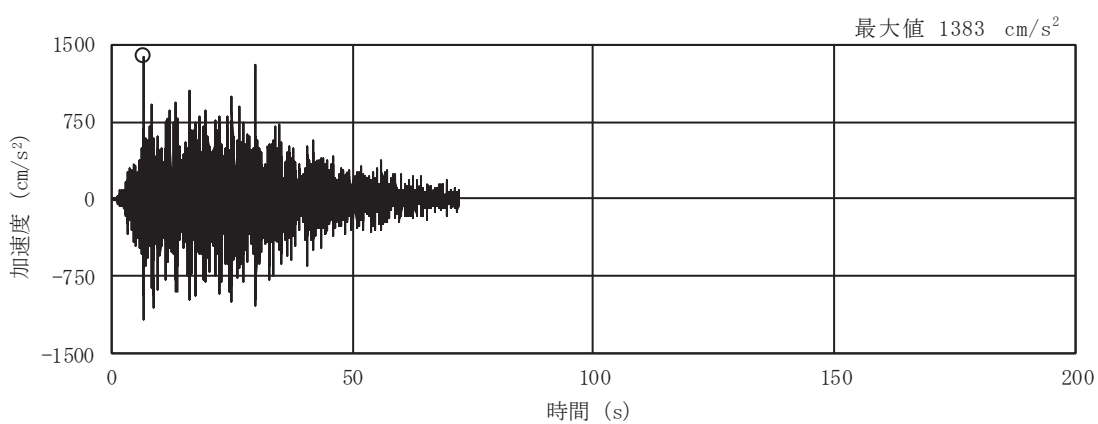


(g) S s - N 1

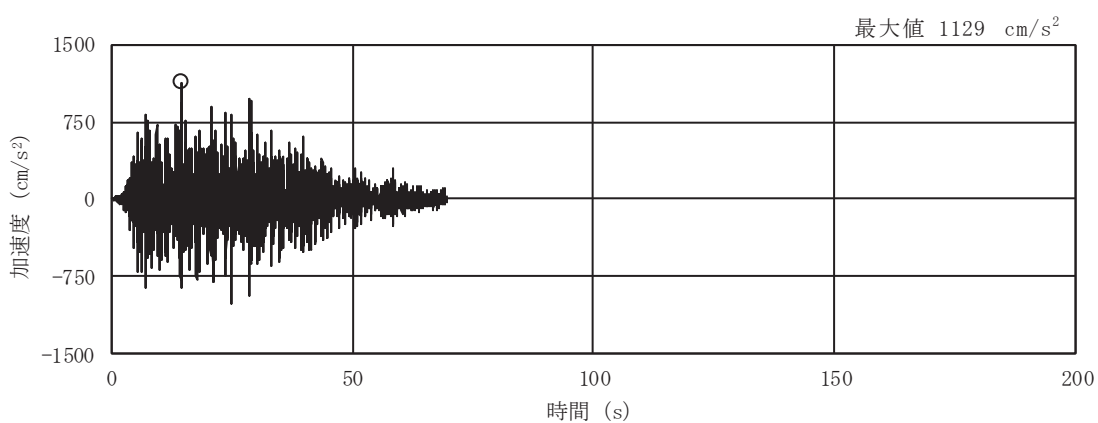
図 2-1(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

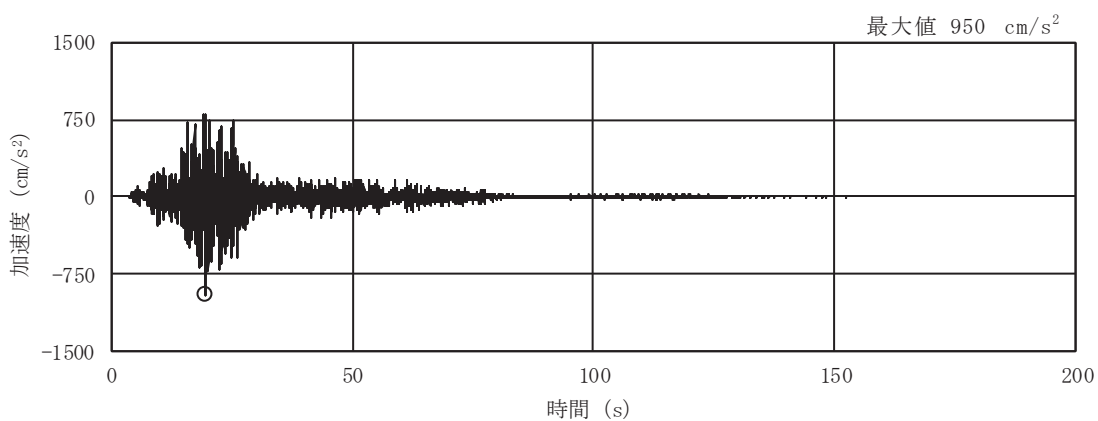


(b) S s - D 2

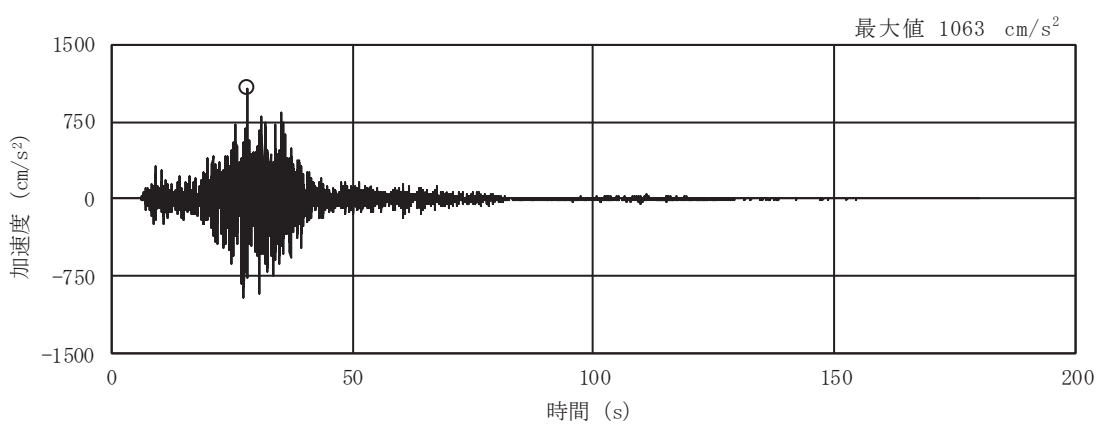


(c) S s - D 3

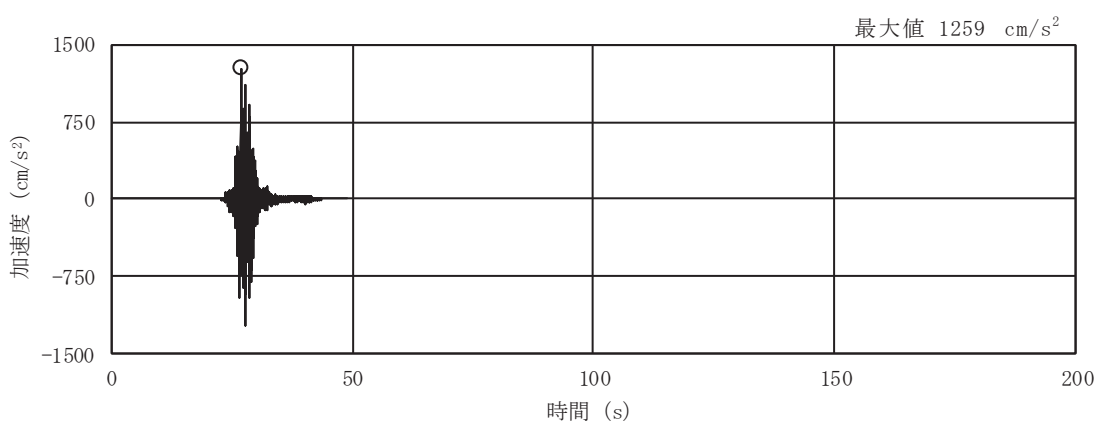
図 2-1(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

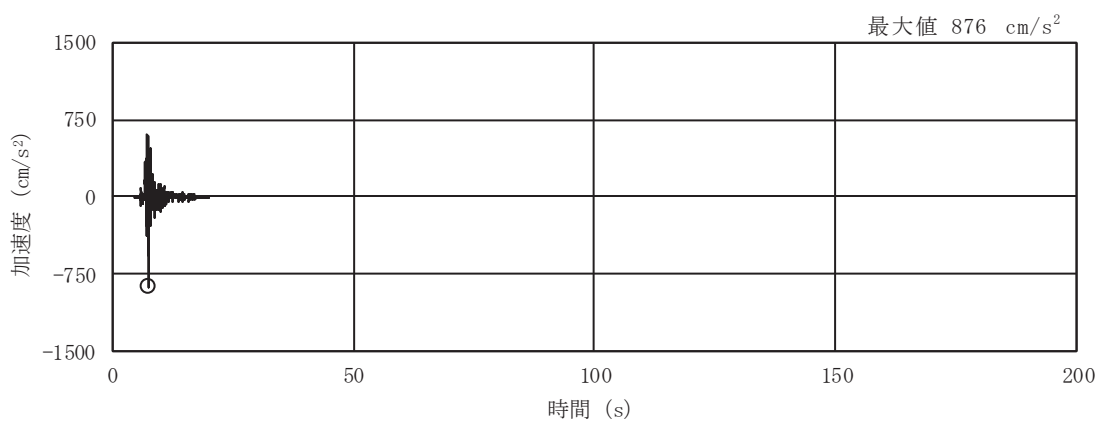


(e) S s - F 2



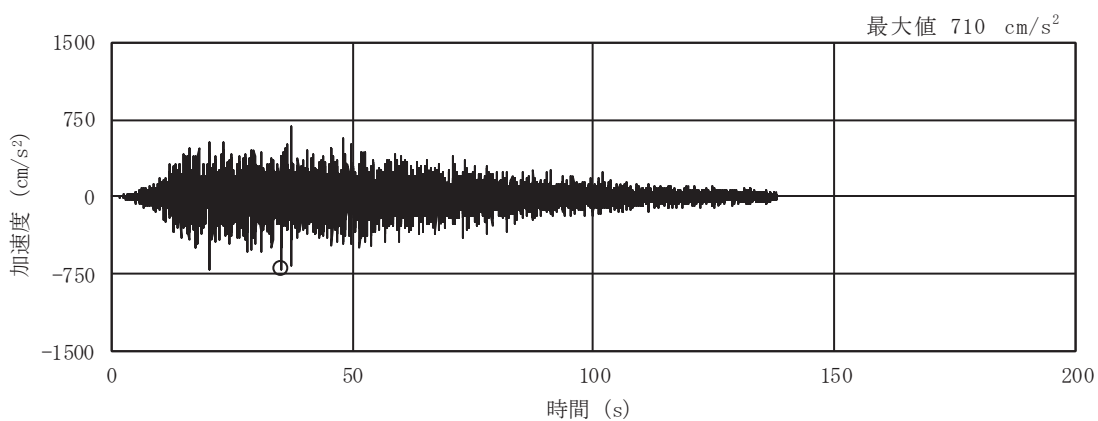
(f) S s - F 3

図 2-1(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 並進成分) (2/3)

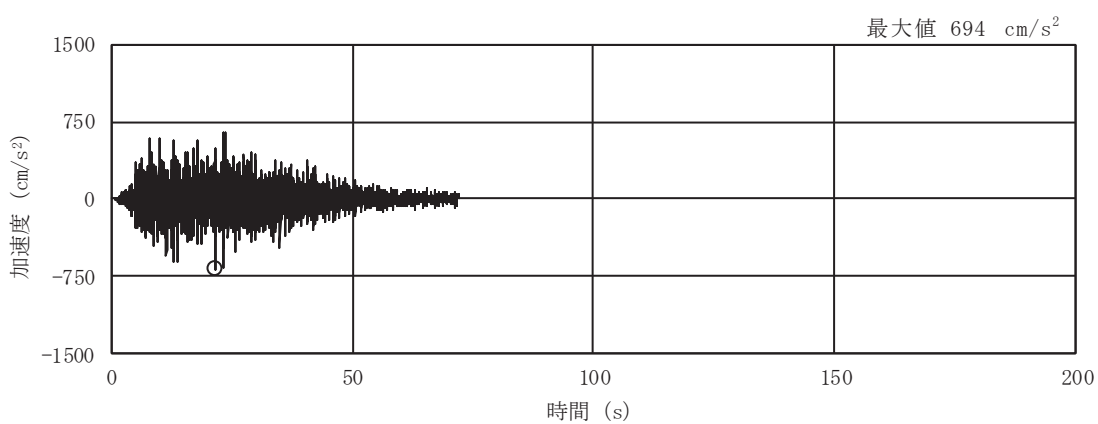


(g) S s - N 1

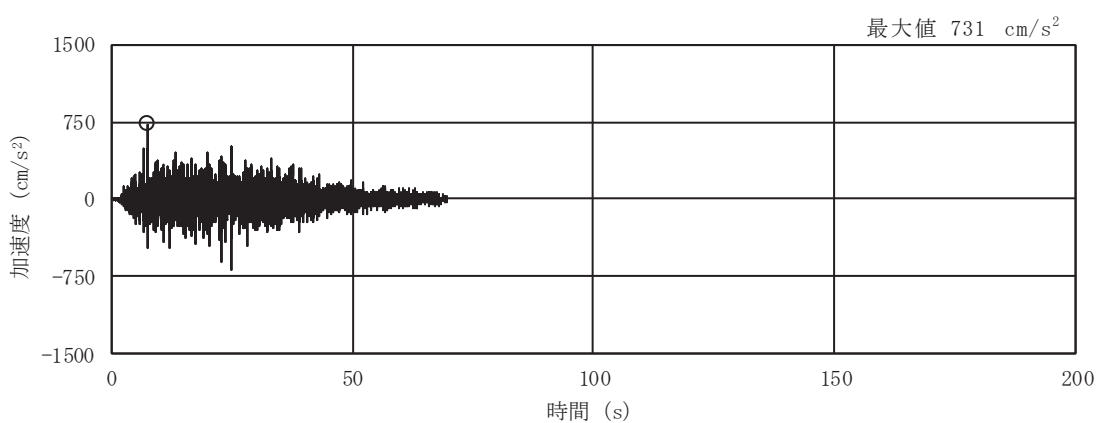
図 2-1(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース②, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

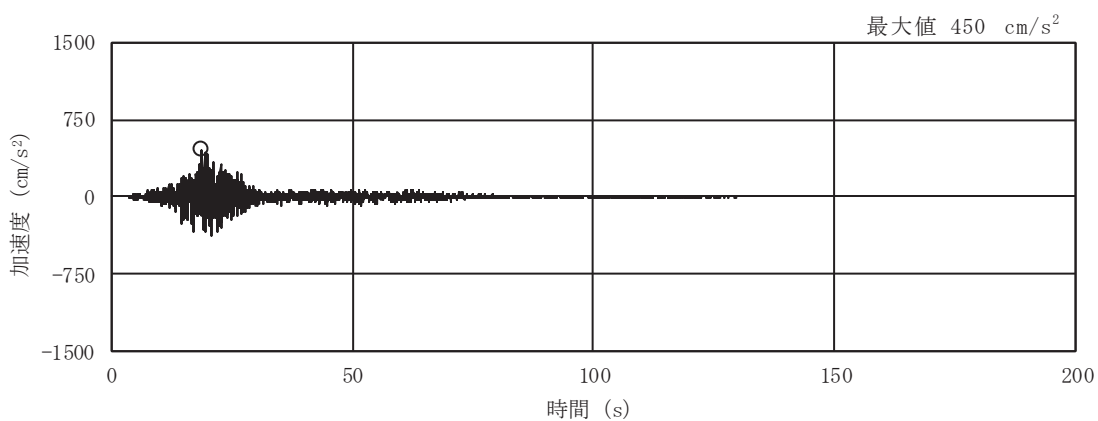


(b) S s - D 2

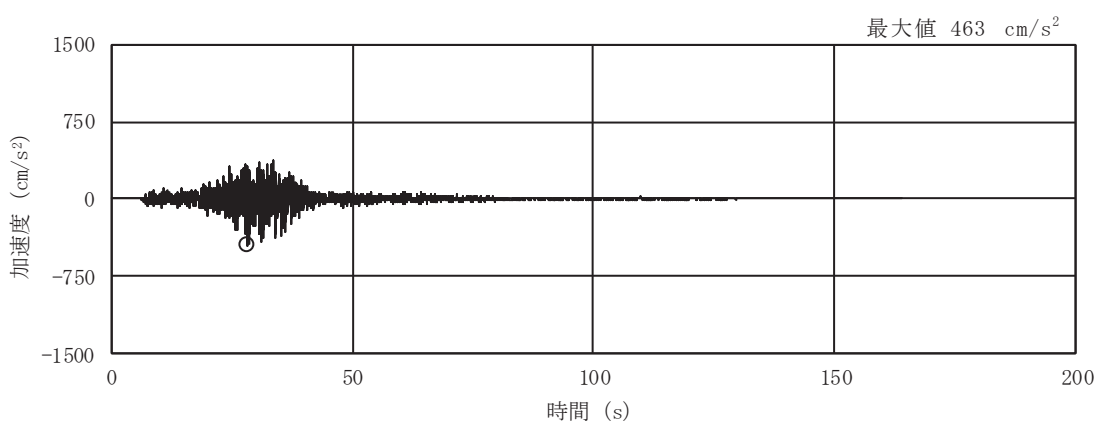


(c) S s - D 3

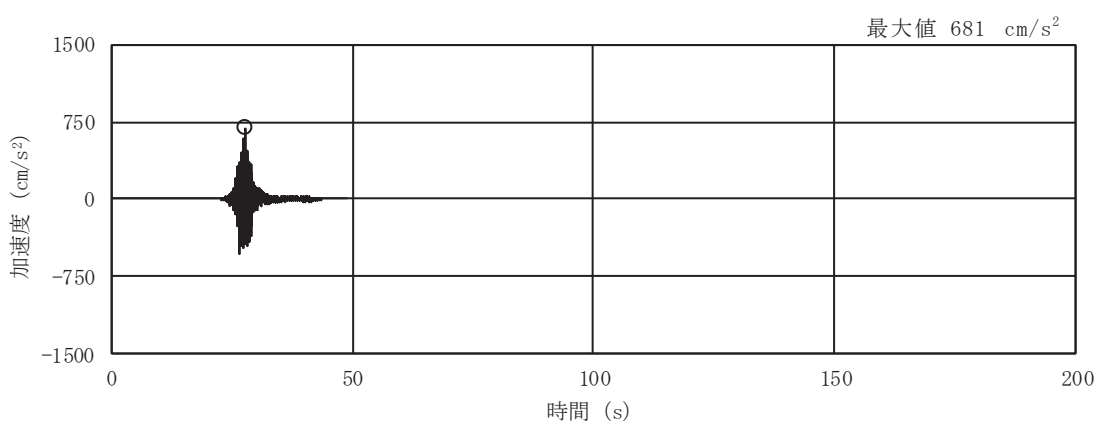
図 2-1(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

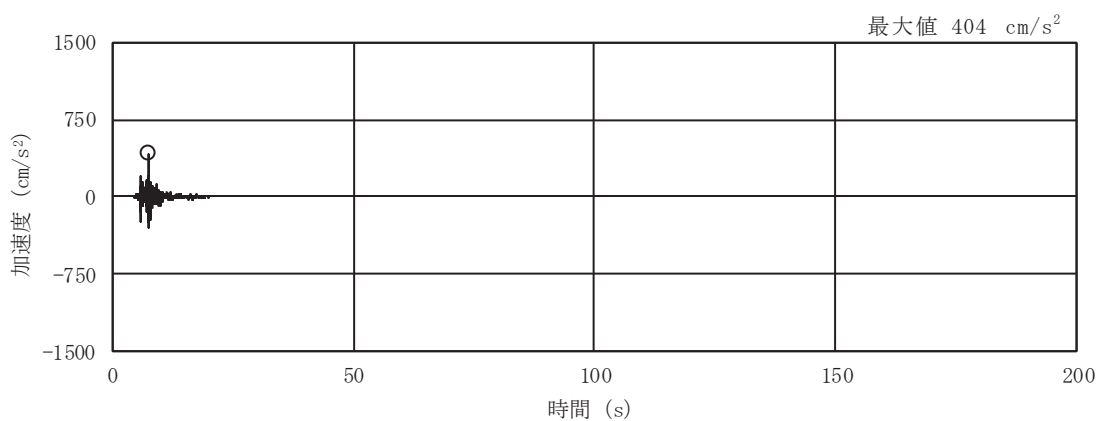


(e) S s - F 2



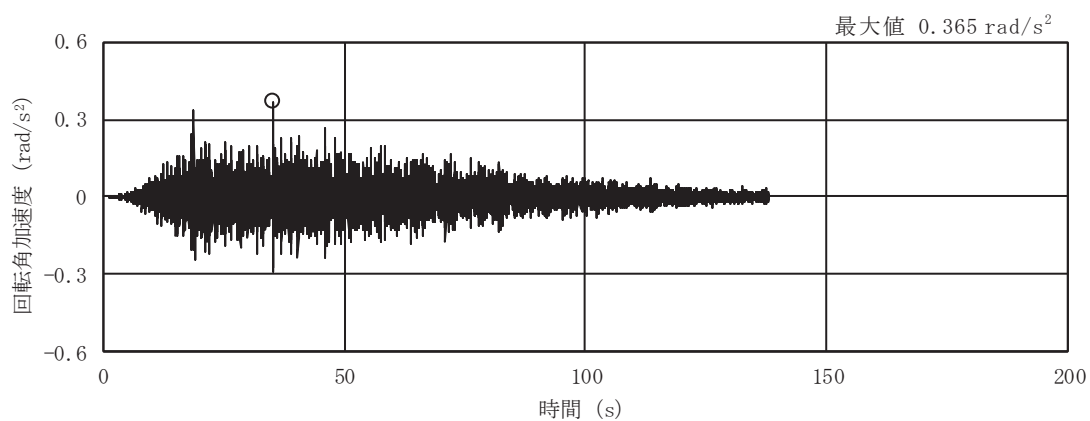
(f) S s - F 3

図 2-1(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

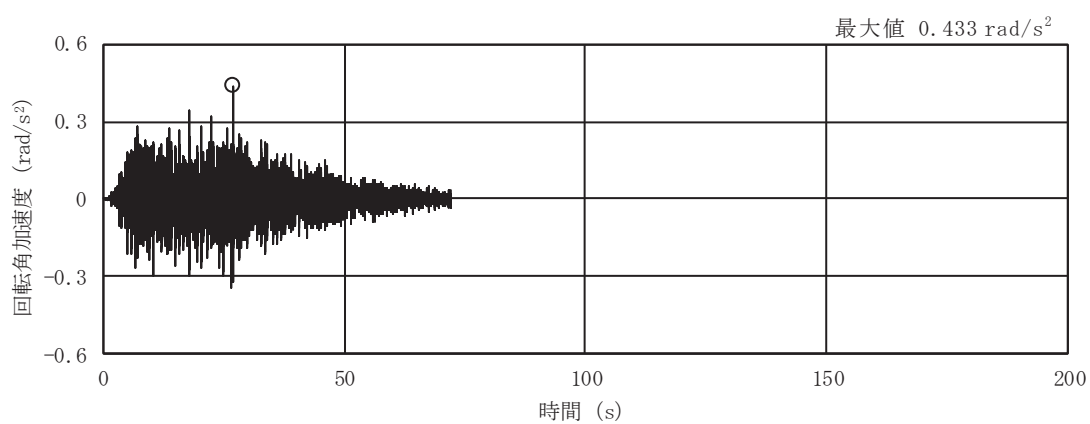


(g) S s - N 1

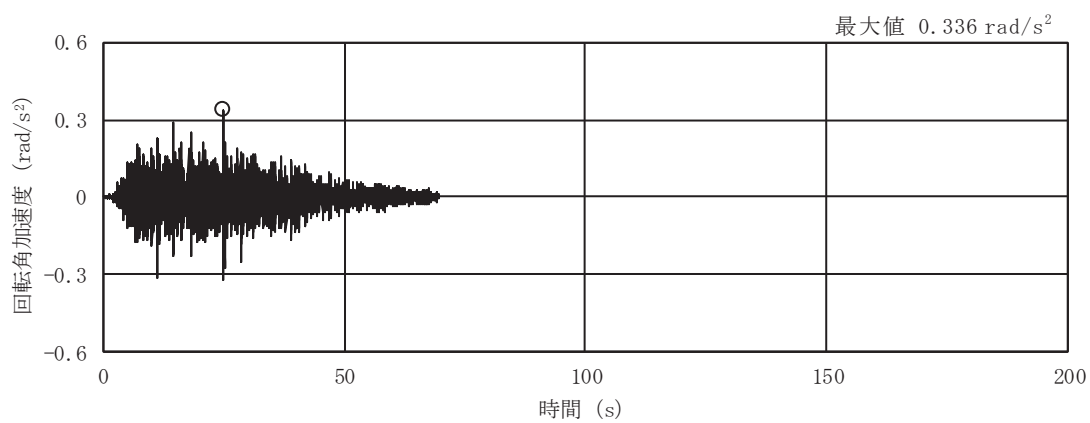
図 2-1(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース②, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

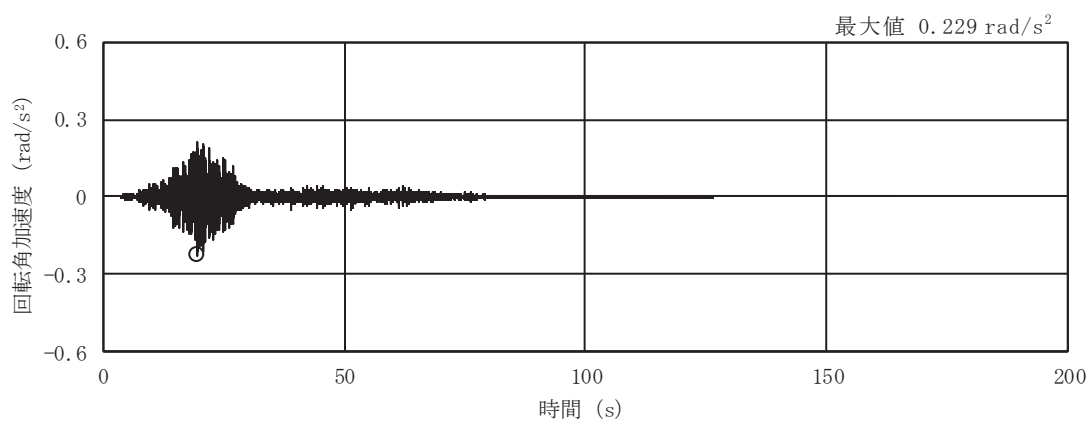


(b) S s - D 2

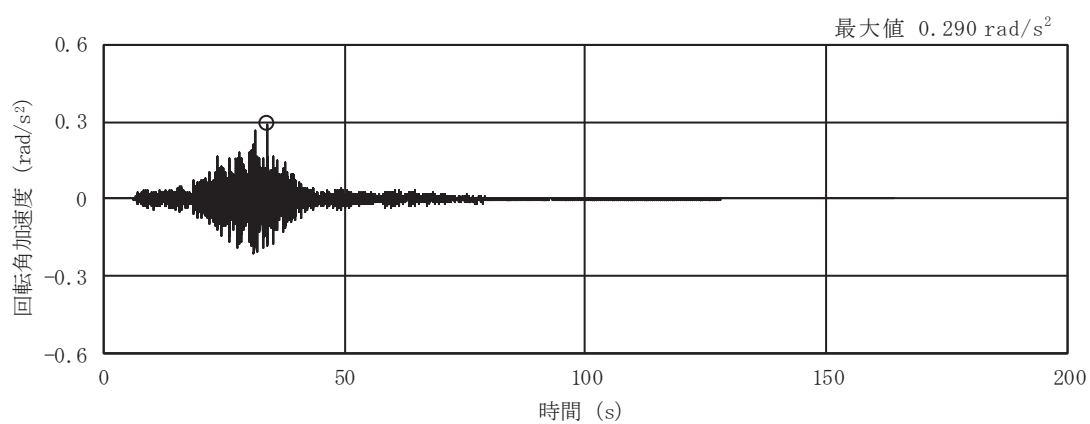


(c) S s - D 3

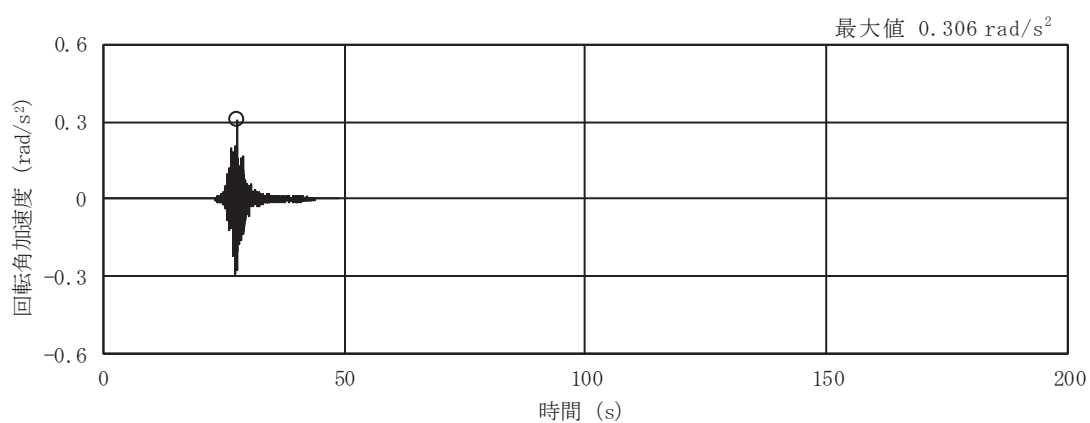
図 2-1(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

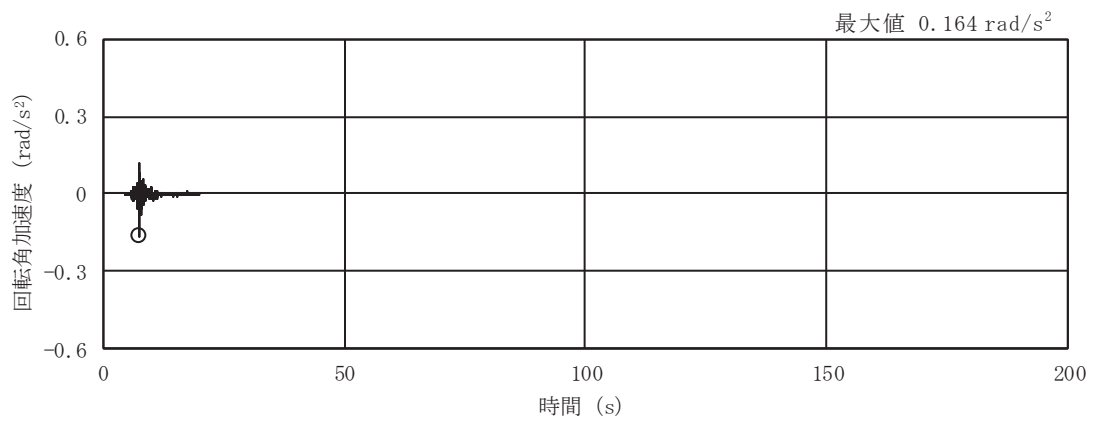


(e) S s - F 2



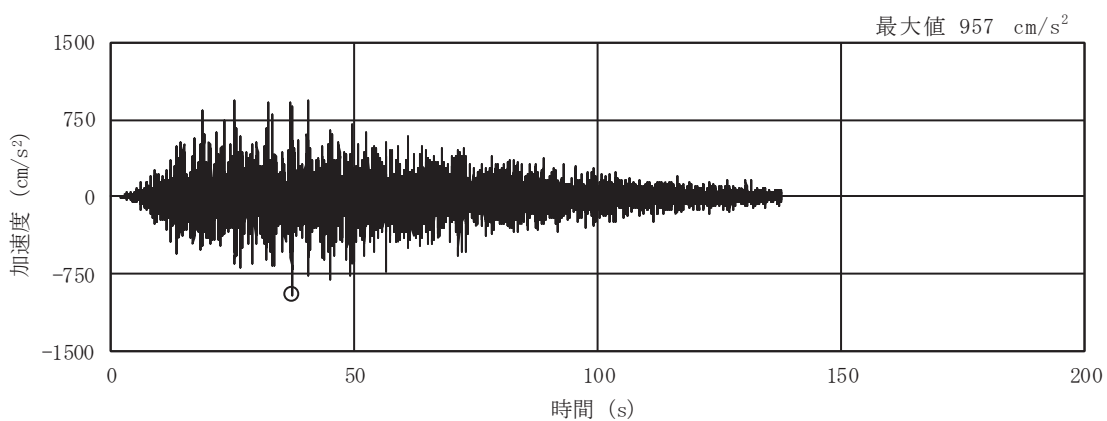
(f) S s - F 3

図 2-1(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 回転成分) (2/3)

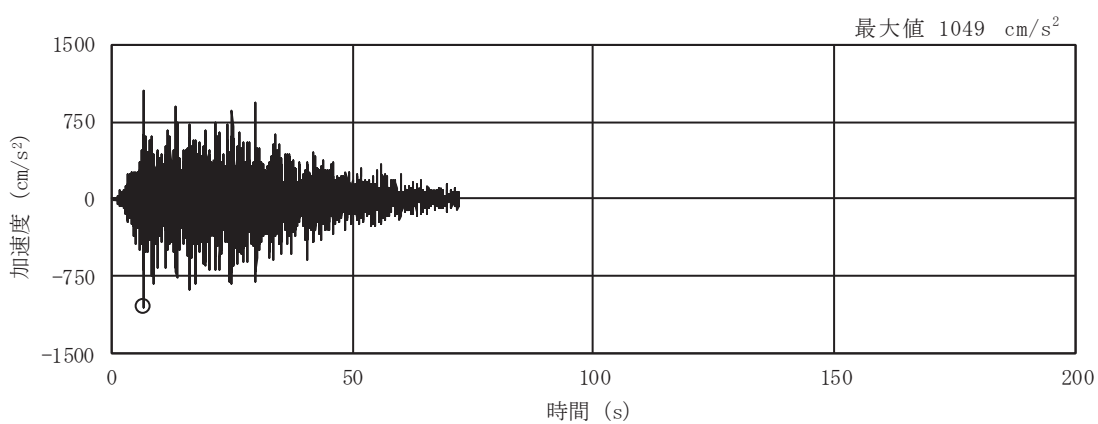


(g) S s - N 1

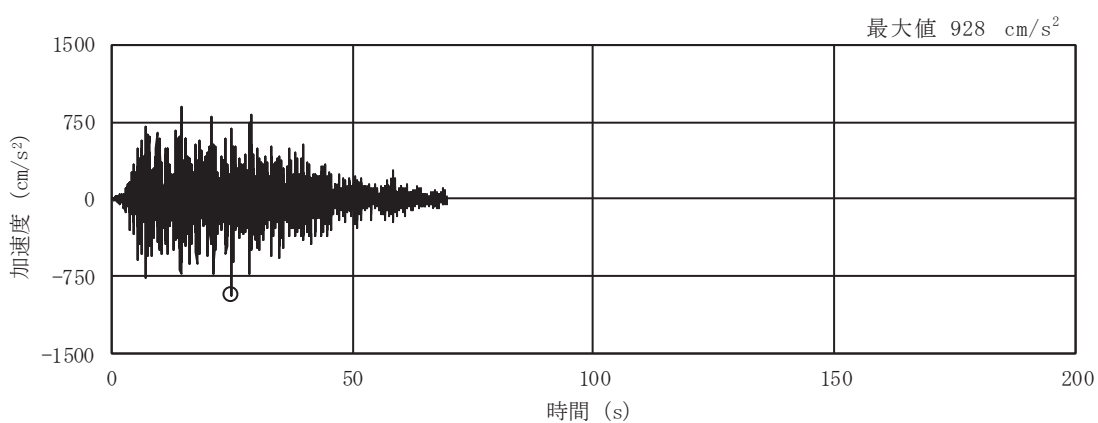
図 2-1(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース②, EW 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

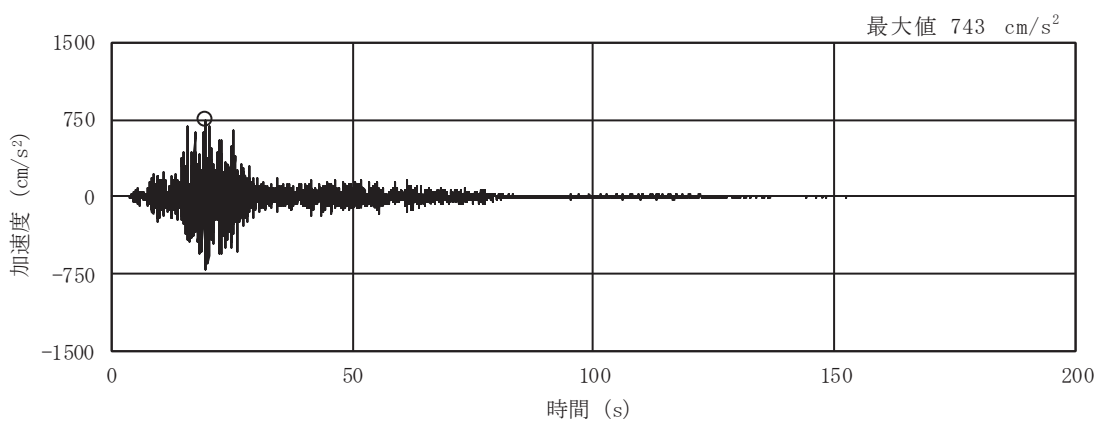


(b) S s - D 2

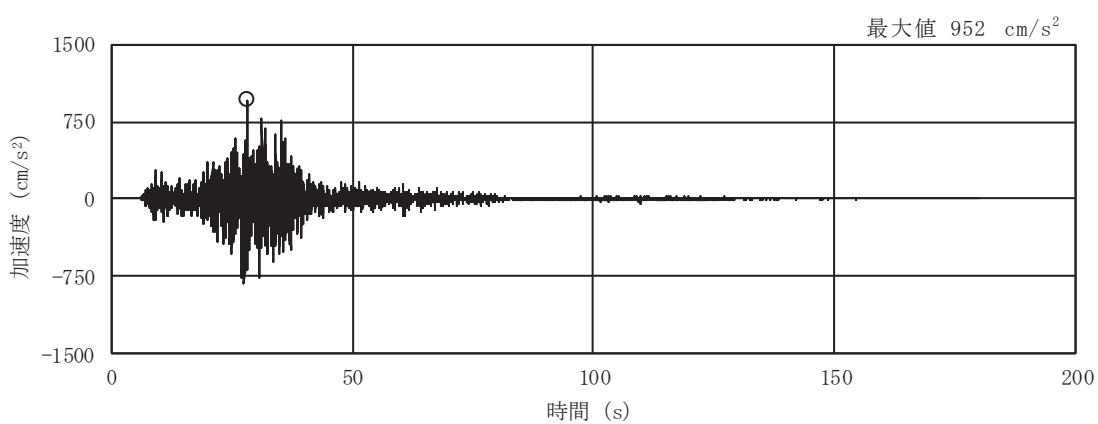


(c) S s - D 3

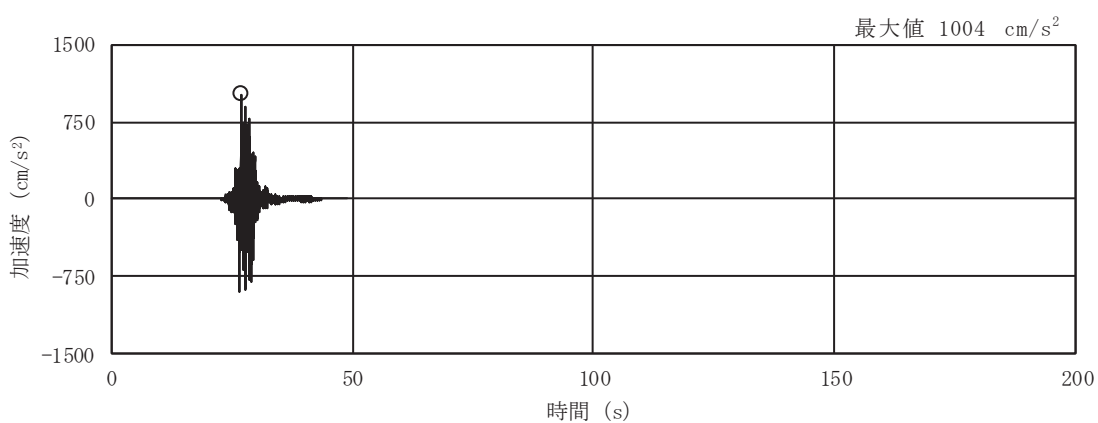
図 2-2(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

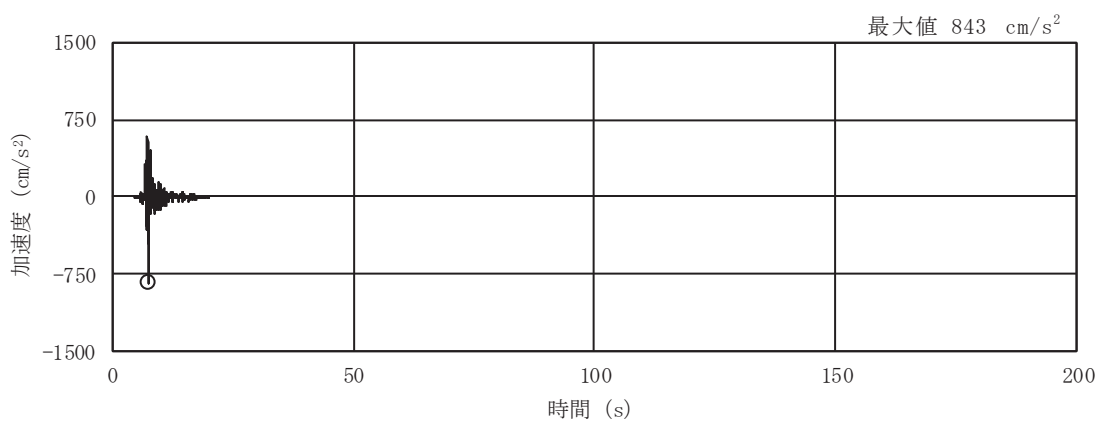


(e) S s - F 2



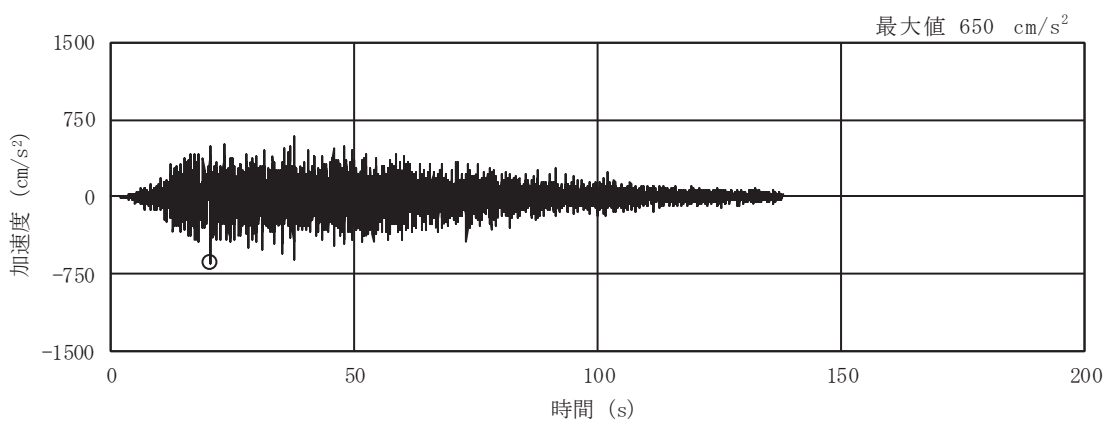
(f) S s - F 3

図 2-2(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 並進成分) (2/3)

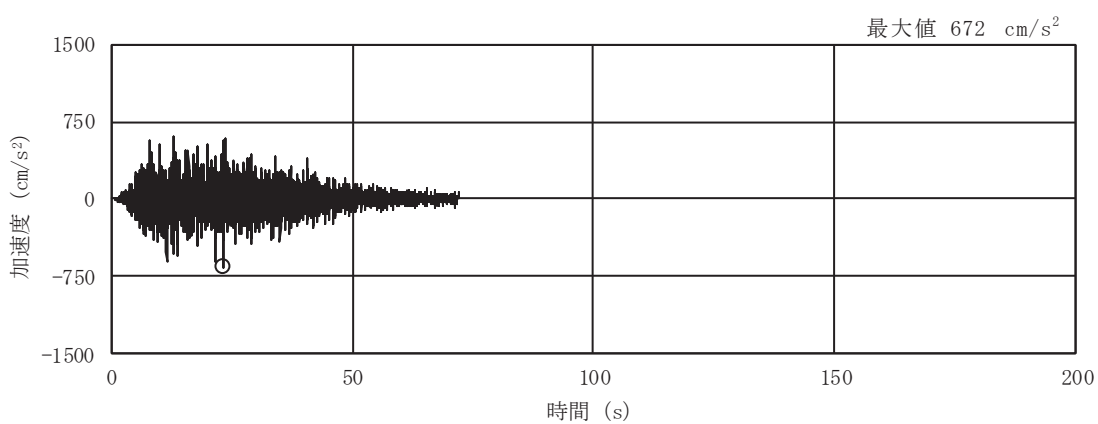


(g) S s - N 1

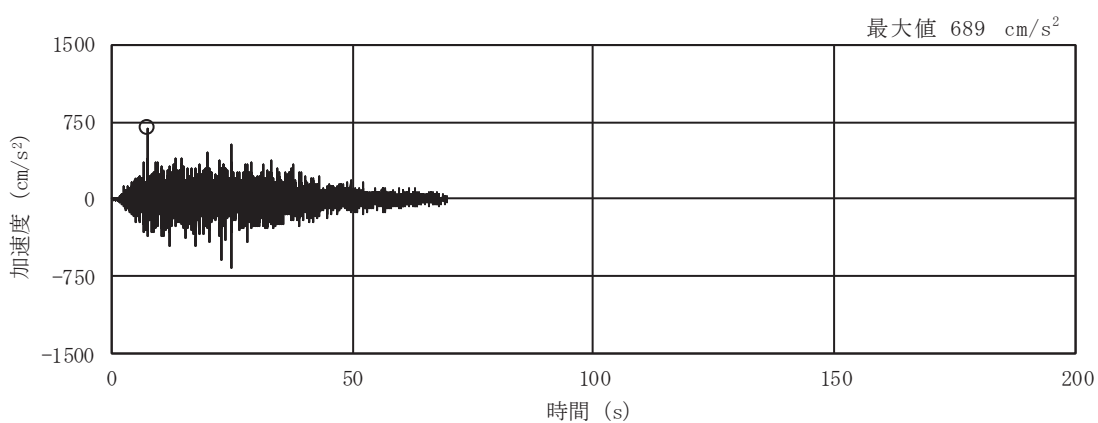
図 2-2(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース③, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

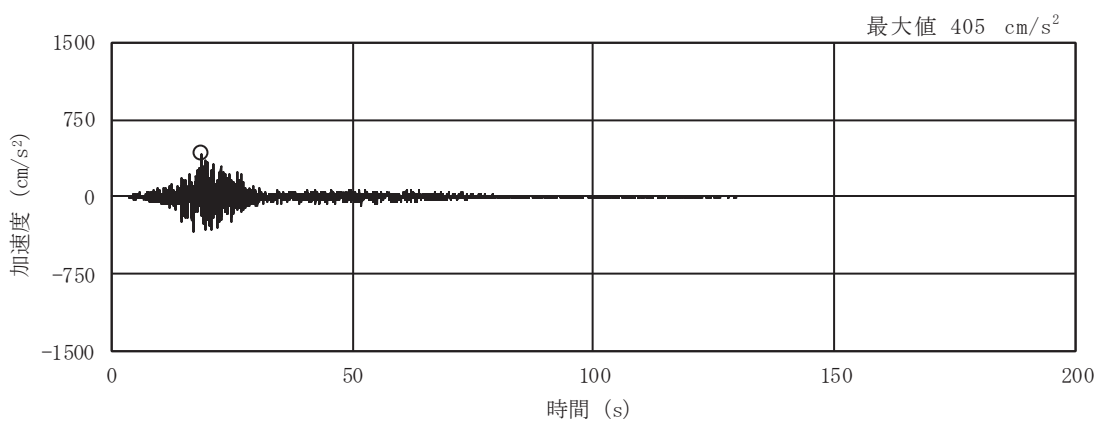


(b) S s - D 2

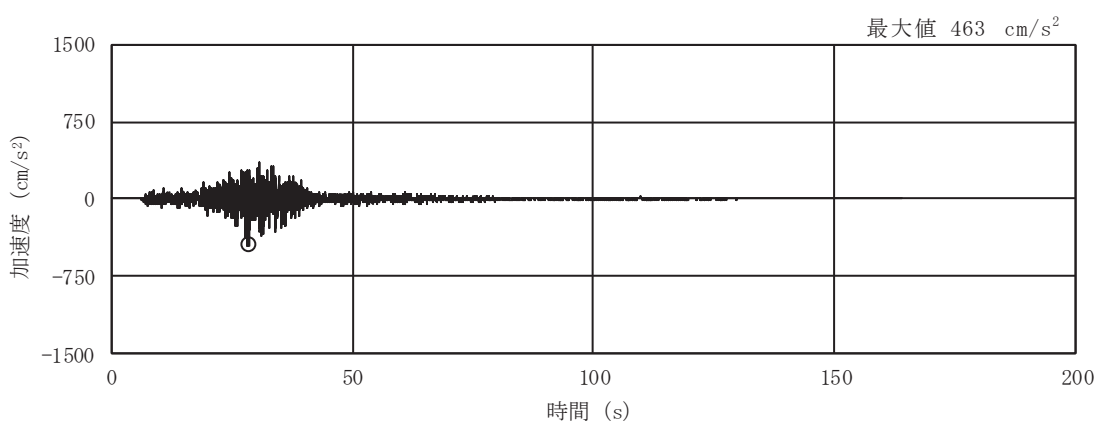


(c) S s - D 3

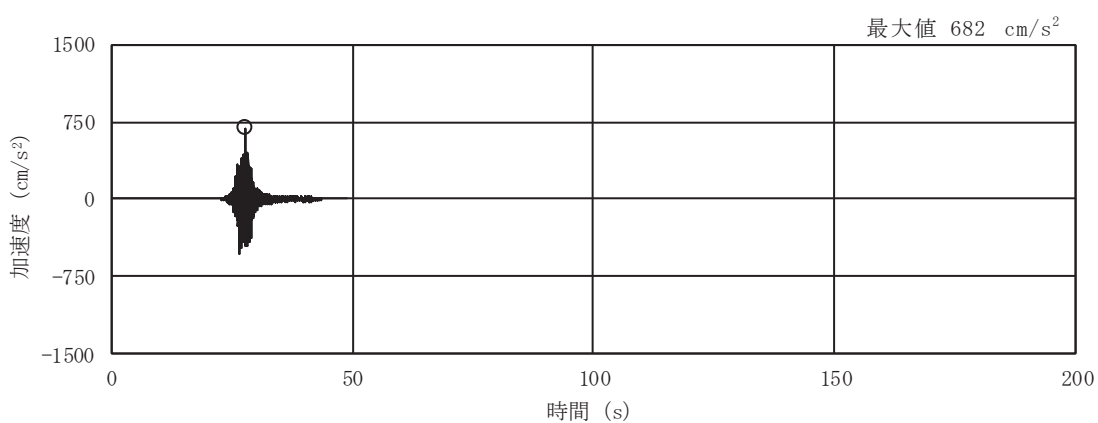
図 2-2(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

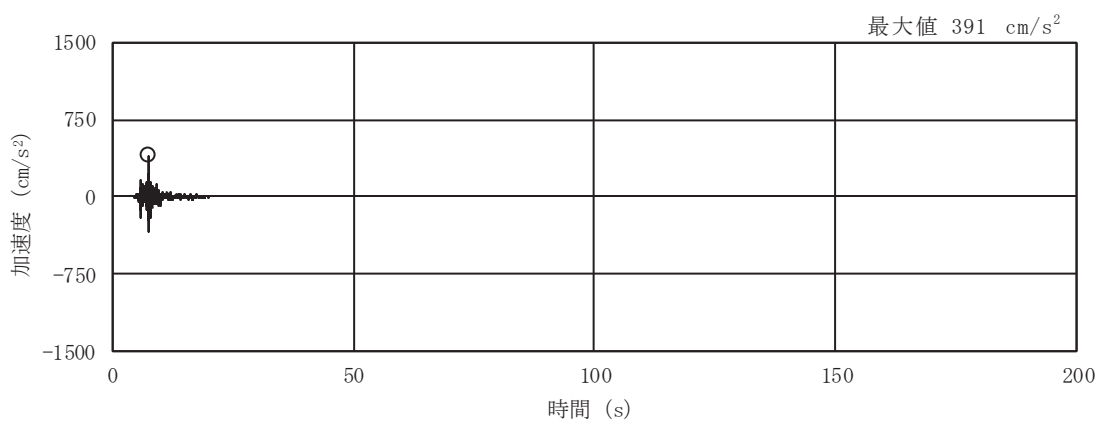


(e) S s - F 2



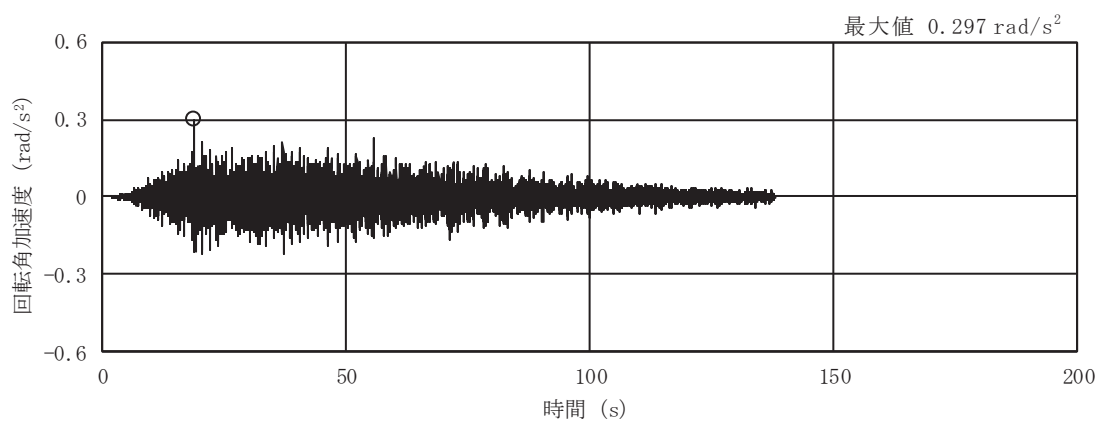
(f) S s - F 3

図 2-2(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

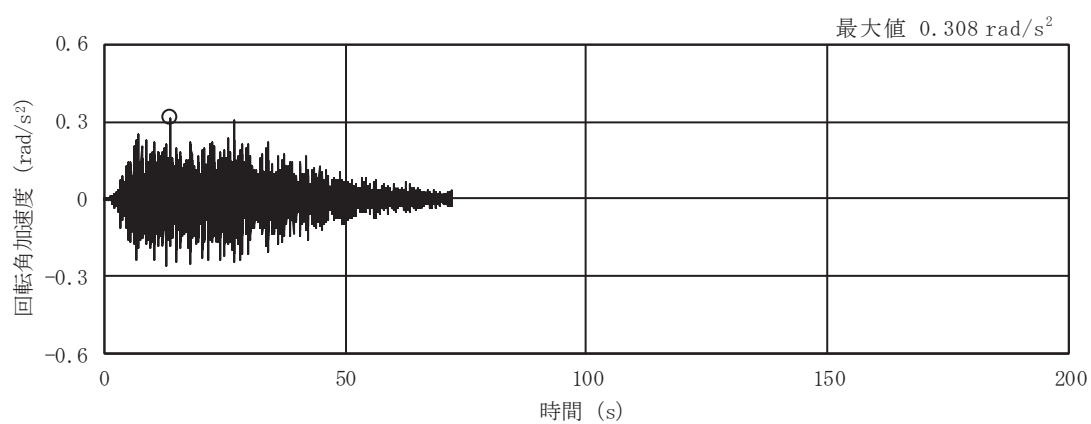


(g) S s - N 1

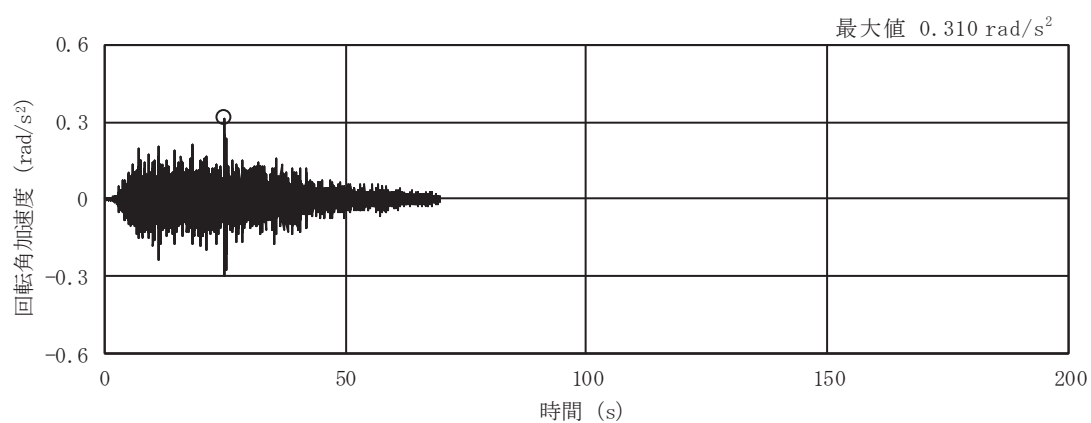
図 2-2(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース③, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

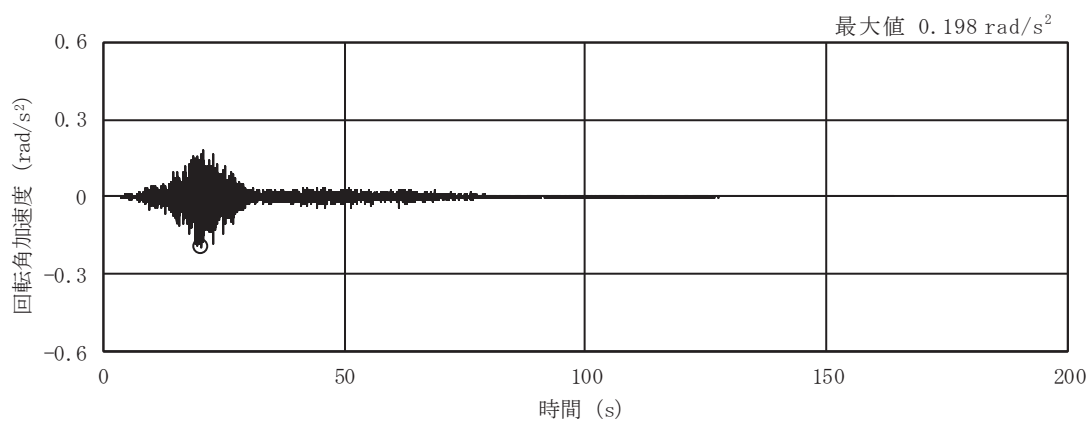


(b) S s - D 2

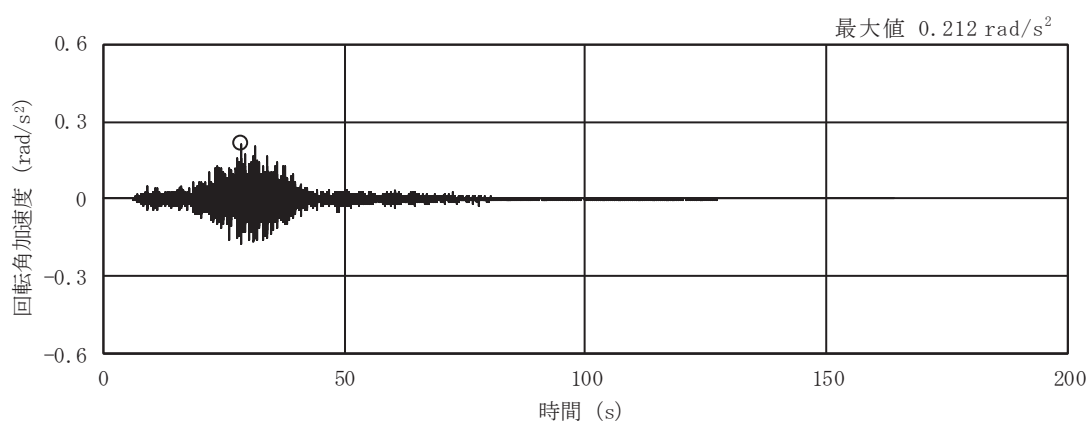


(c) S s - D 3

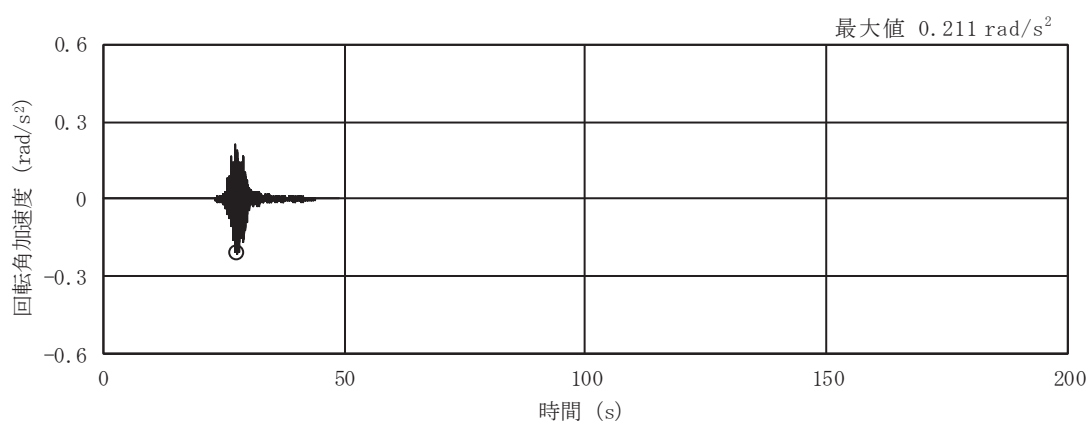
図 2-2(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

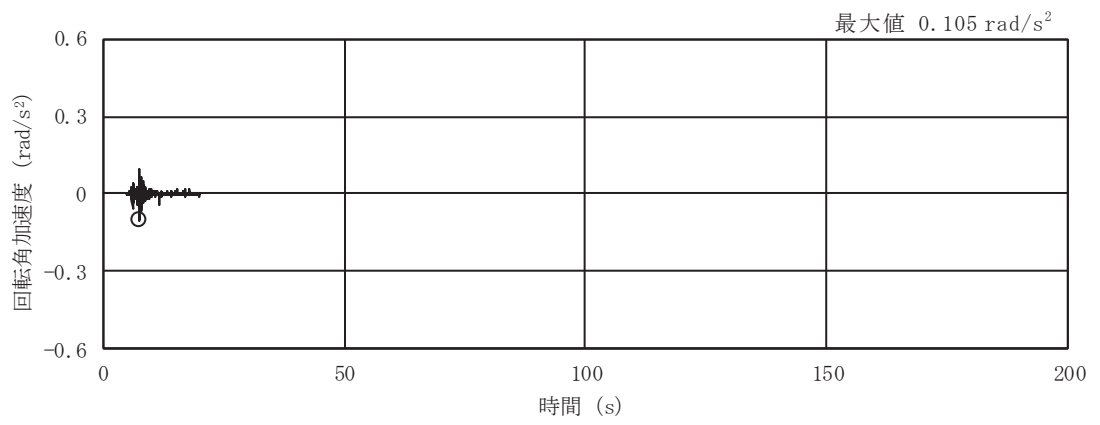


(e) S s - F 2



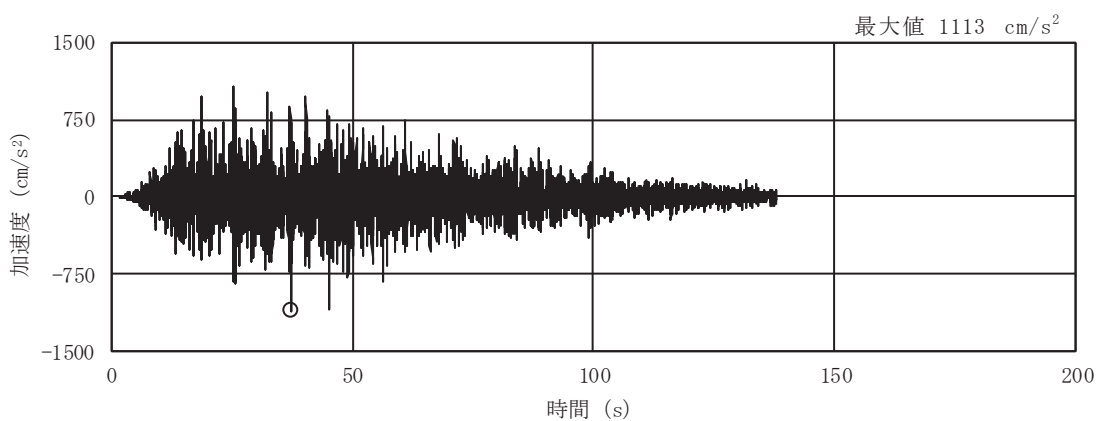
(f) S s - F 3

図 2-2(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 回転成分) (2/3)

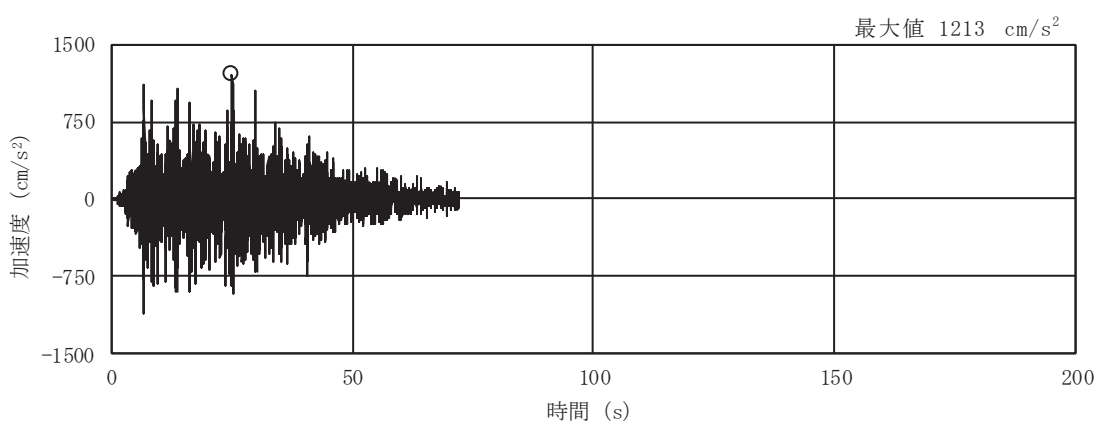


(g) S s - N 1

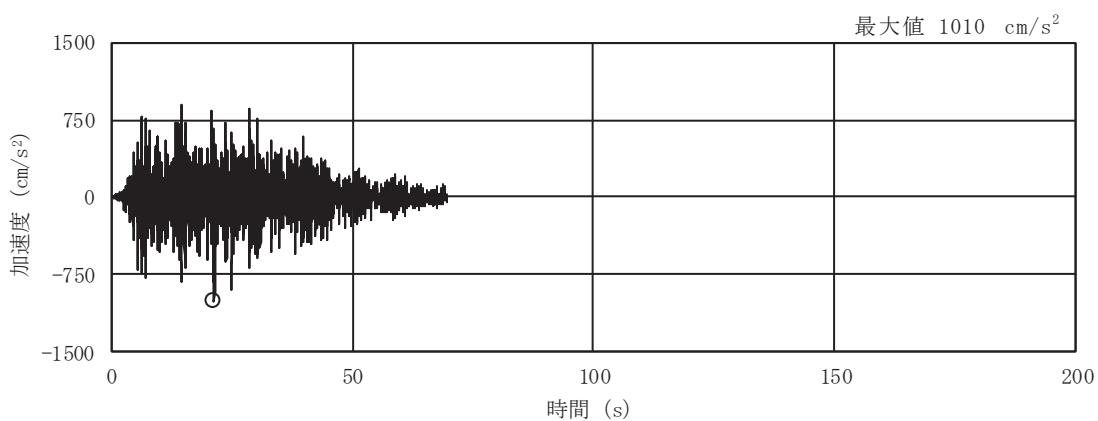
図 2-2(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

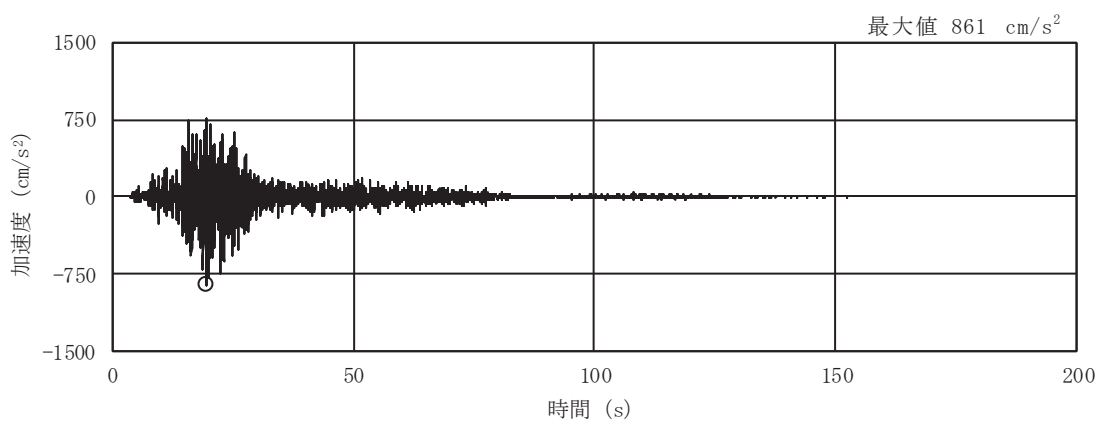


(b) S s - D 2

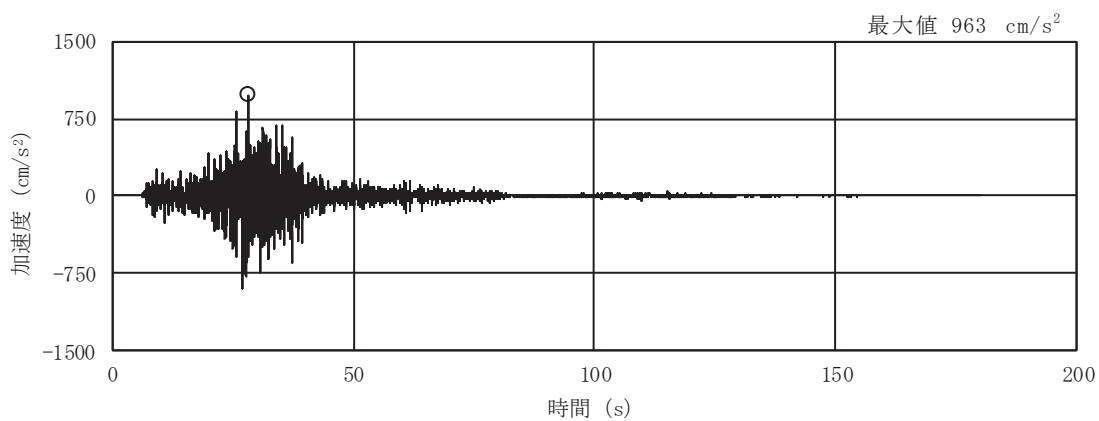


(c) S s - D 3

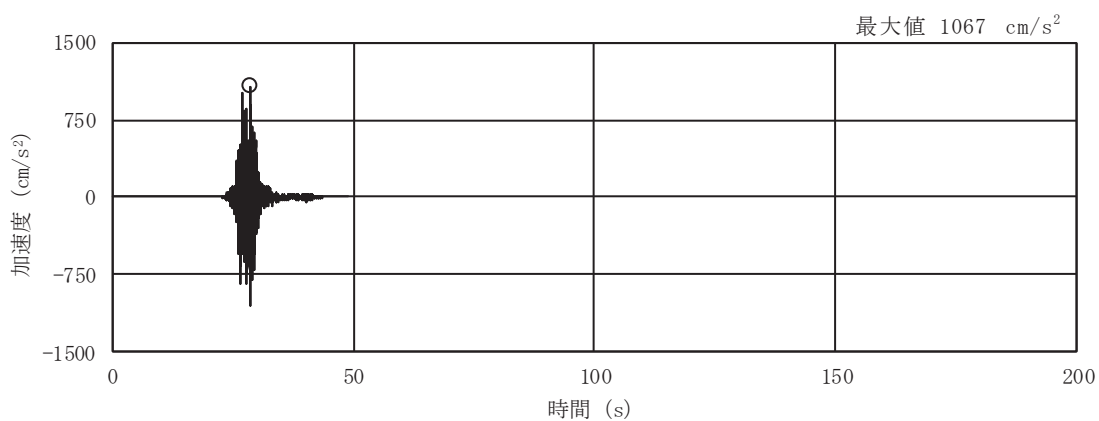
図 2-2(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

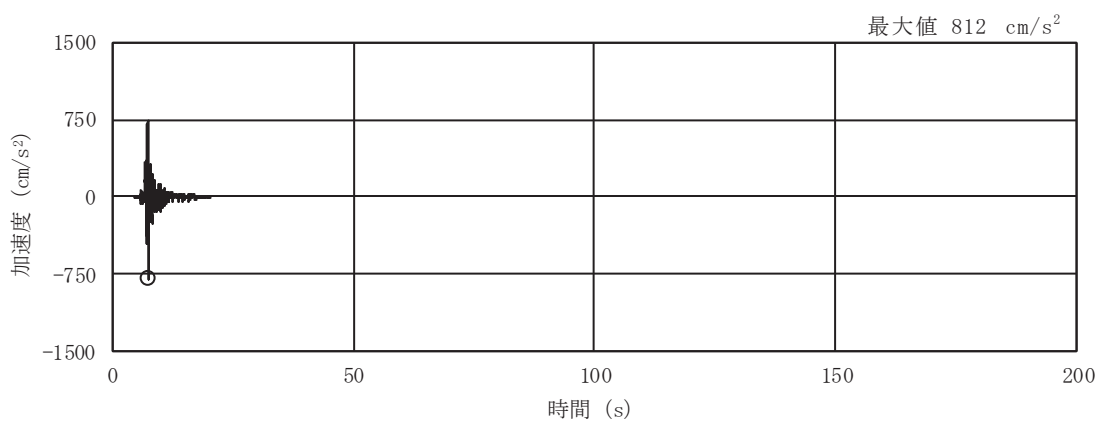


(e) S s - F 2



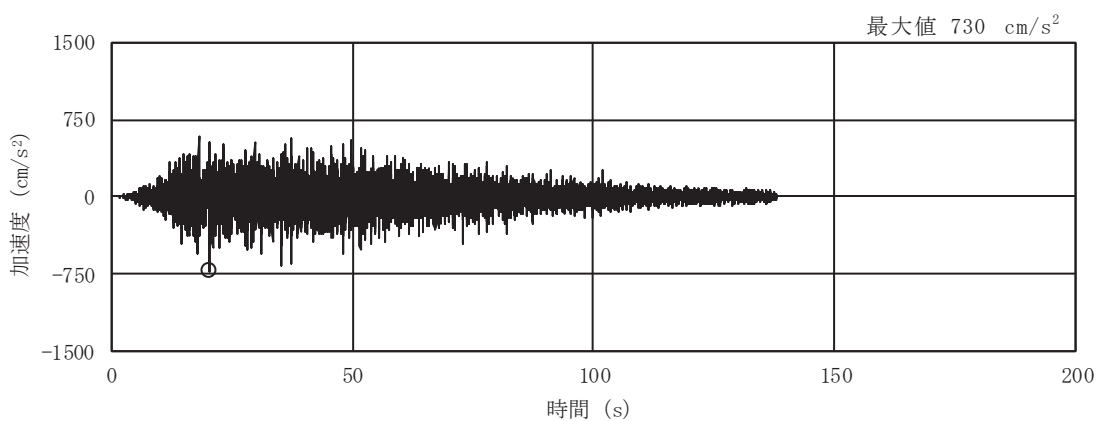
(f) S s - F 3

図 2-2(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 並進成分) (2/3)

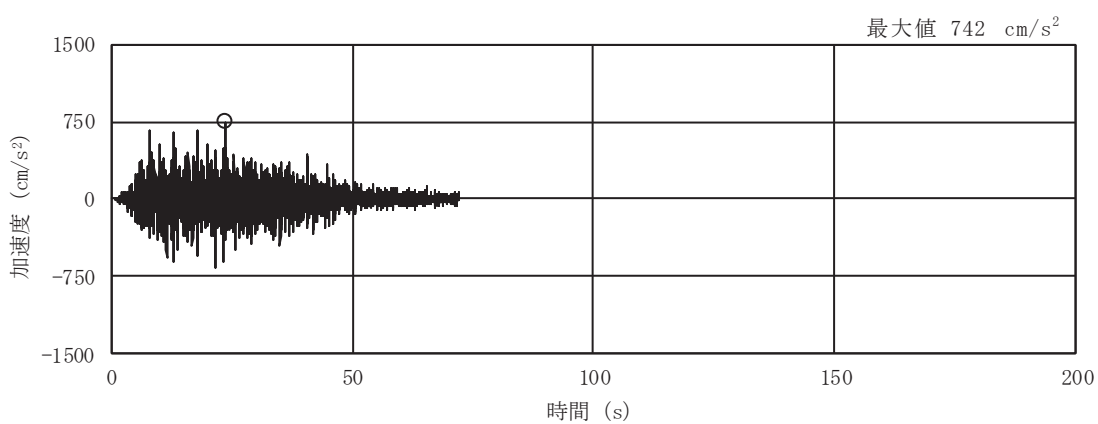


(g) S s - N 1

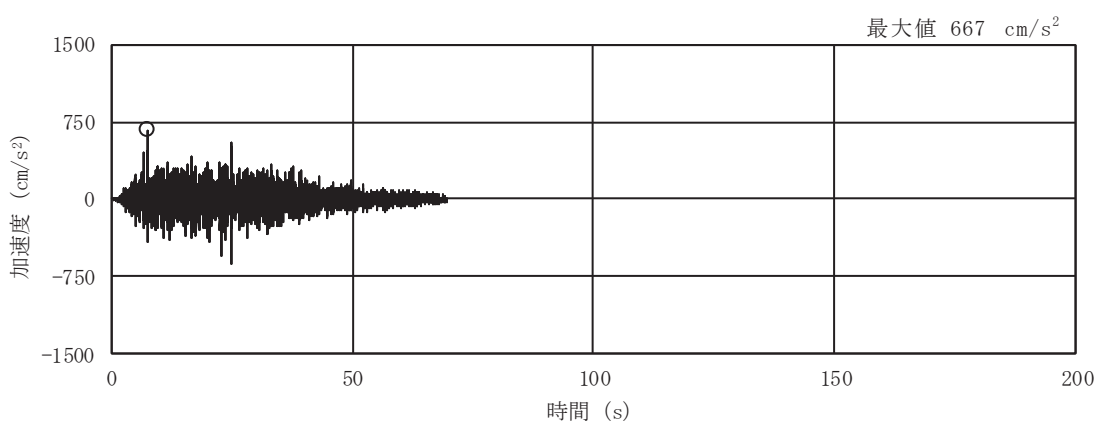
図 2-2(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース③, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

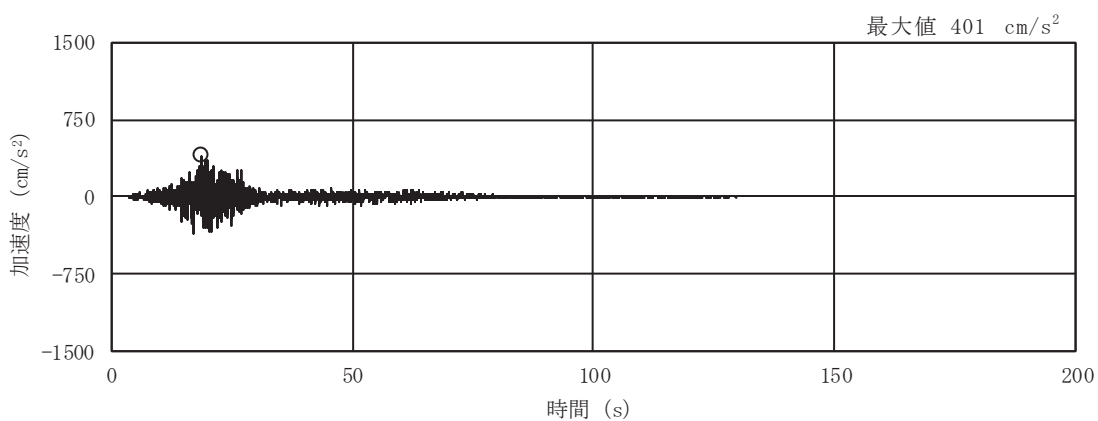


(b) S s - D 2

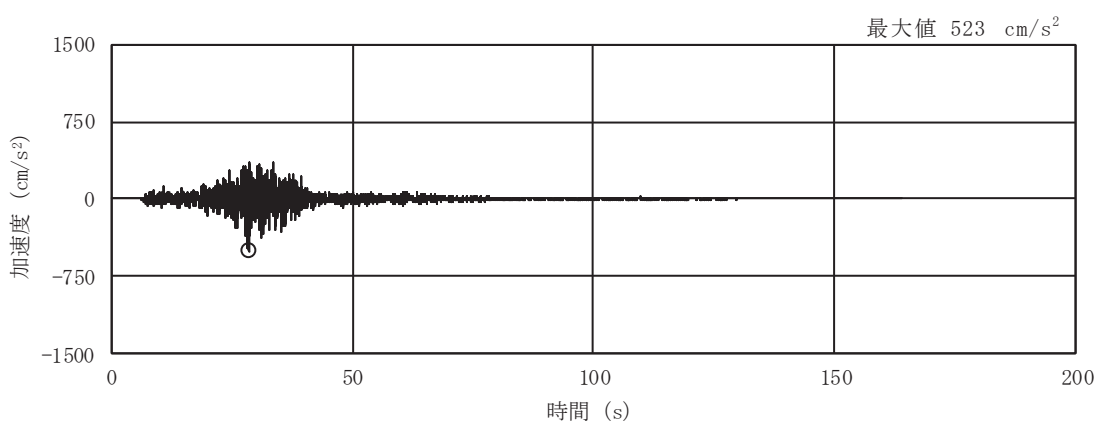


(c) S s - D 3

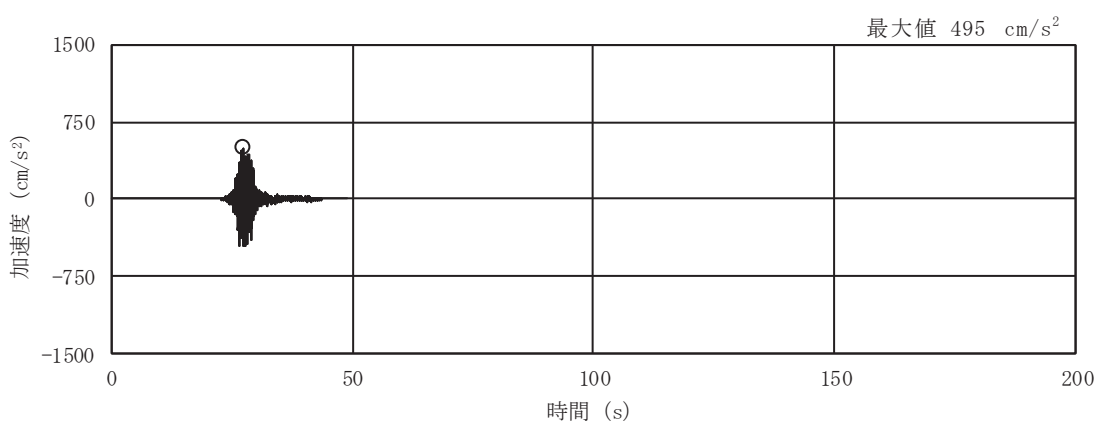
図 2-2(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

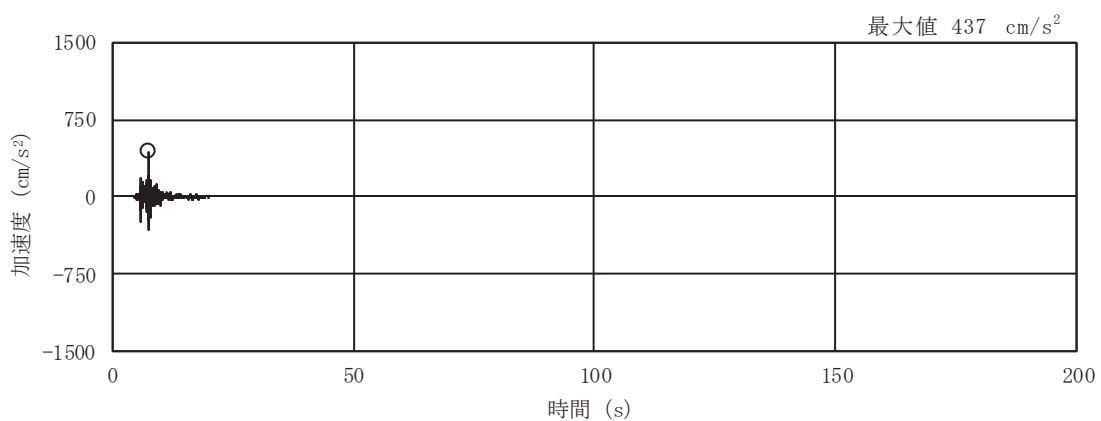


(e) S s - F 2



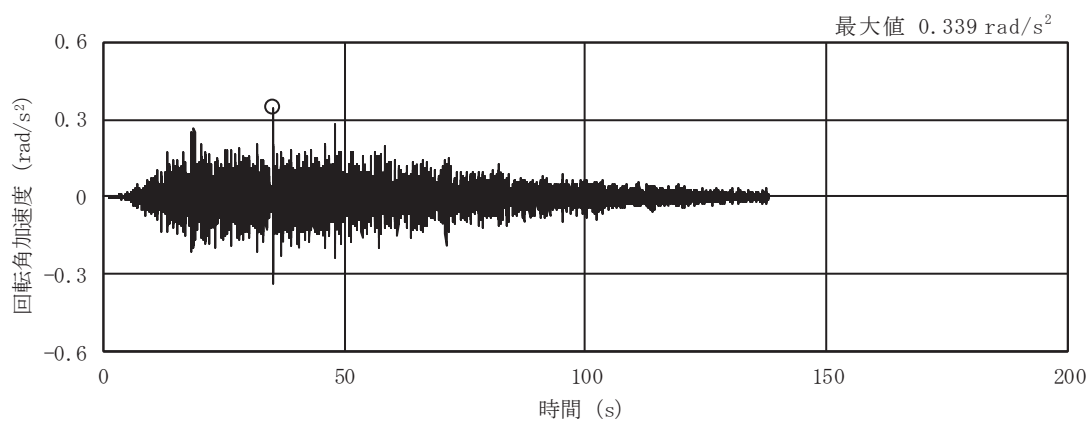
(f) S s - F 3

図 2-2(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

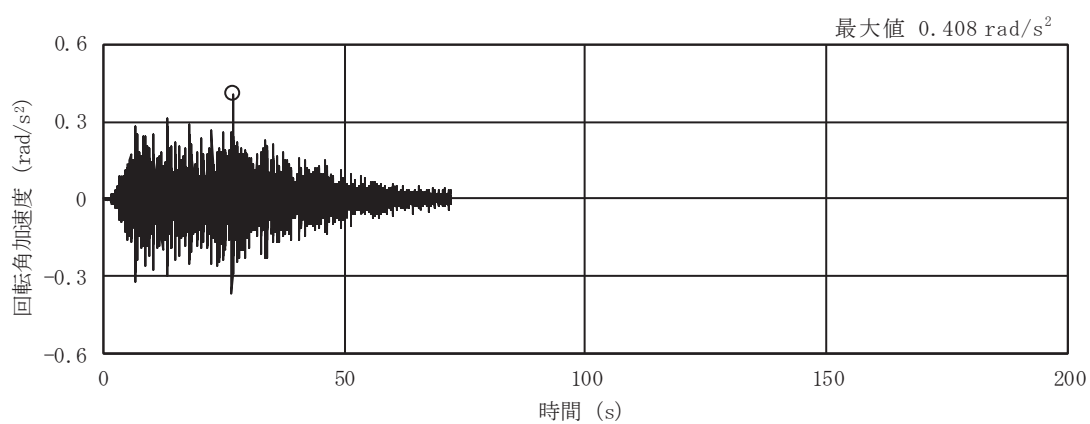


(g) S s - N 1

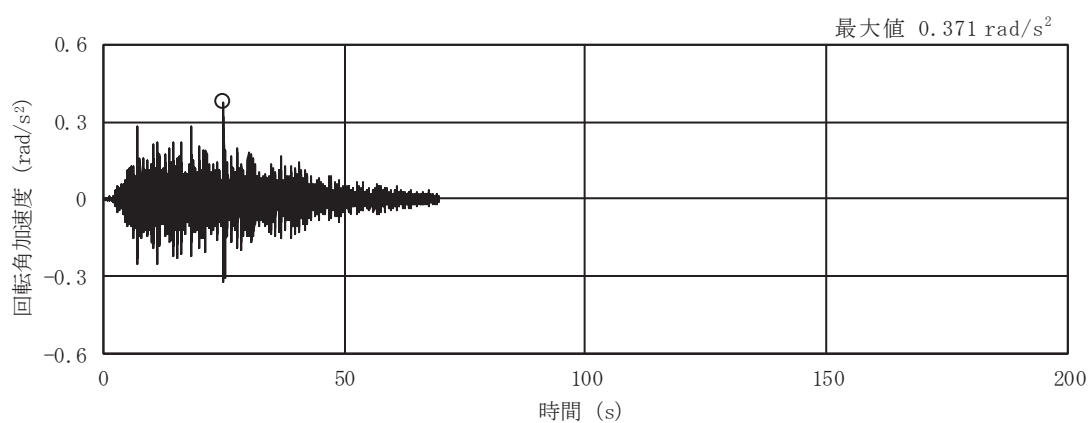
図 2-2(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース③, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

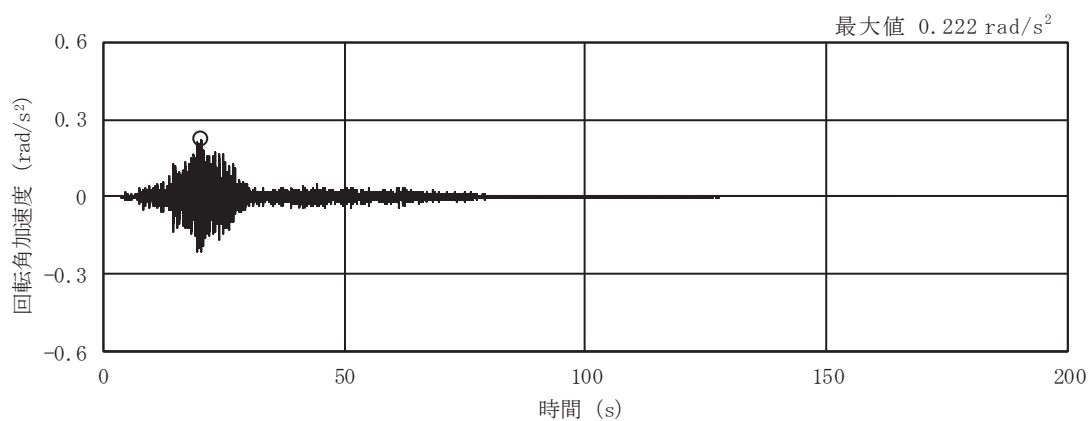


(b) S s - D 2

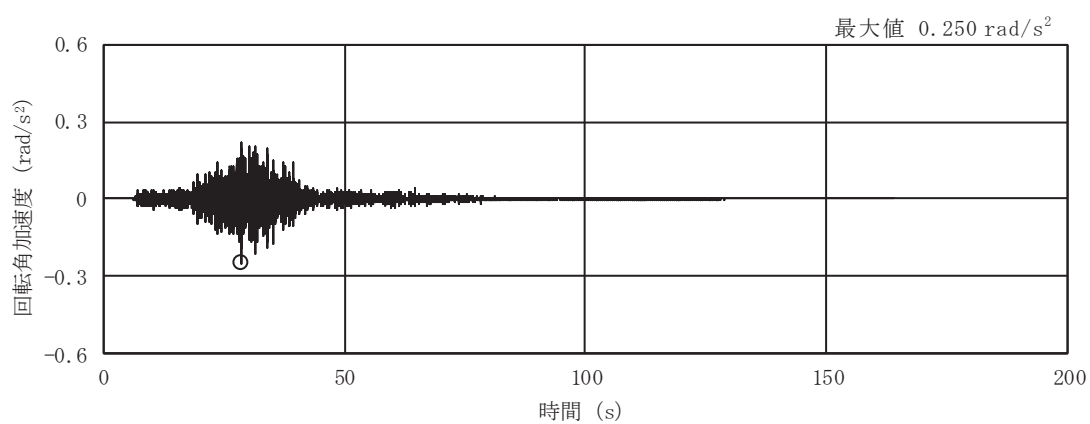


(c) S s - D 3

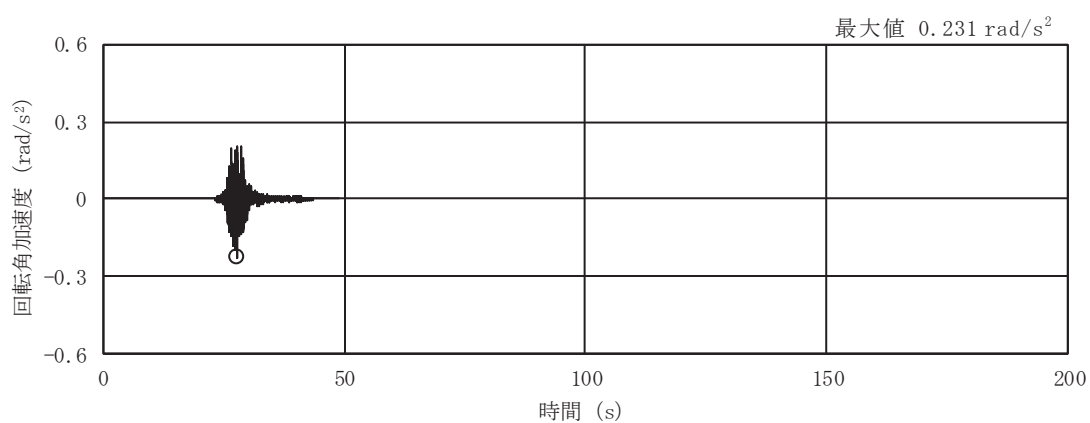
図 2-2(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

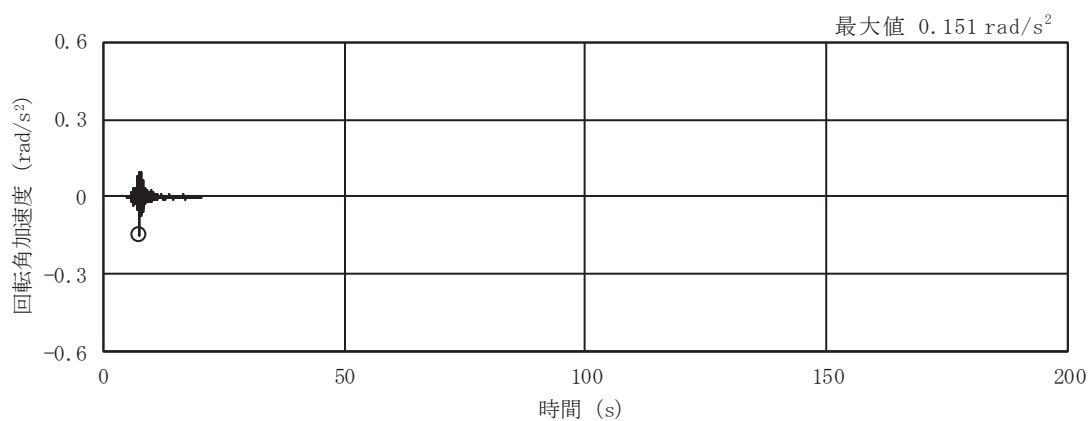


(e) S s - F 2



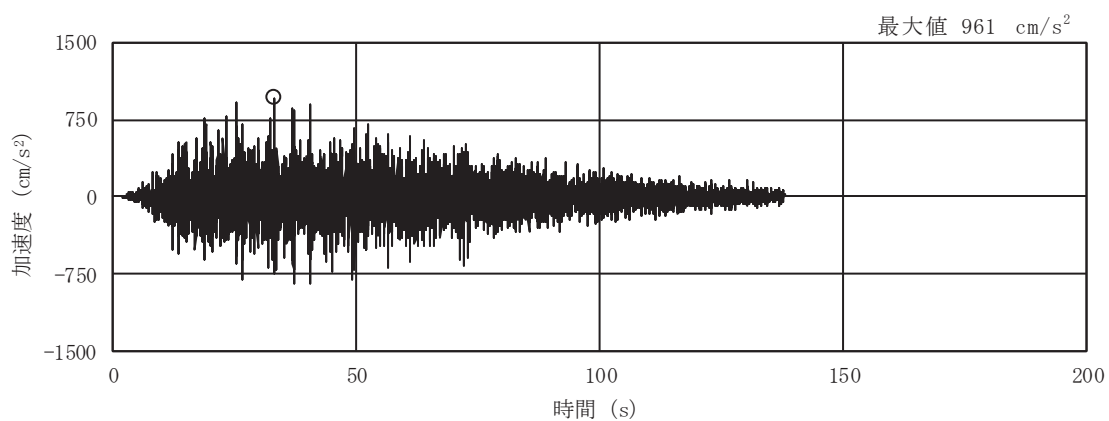
(f) S s - F 3

図 2-2(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 回転成分) (2/3)

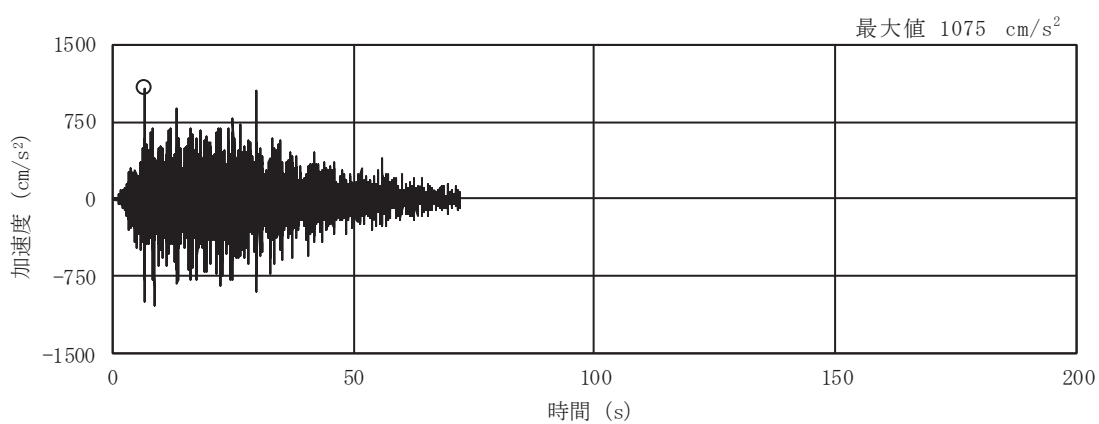


(g) S s - N 1

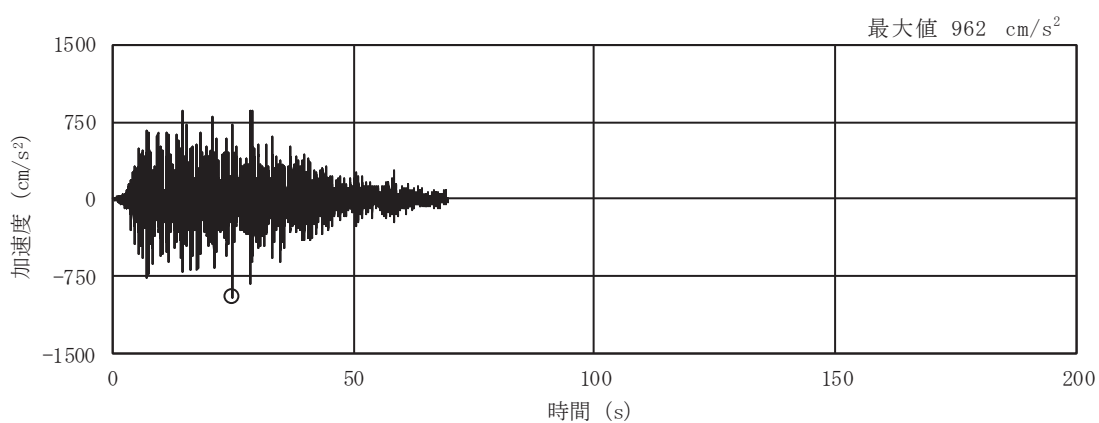
図 2-2(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース③, EW 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

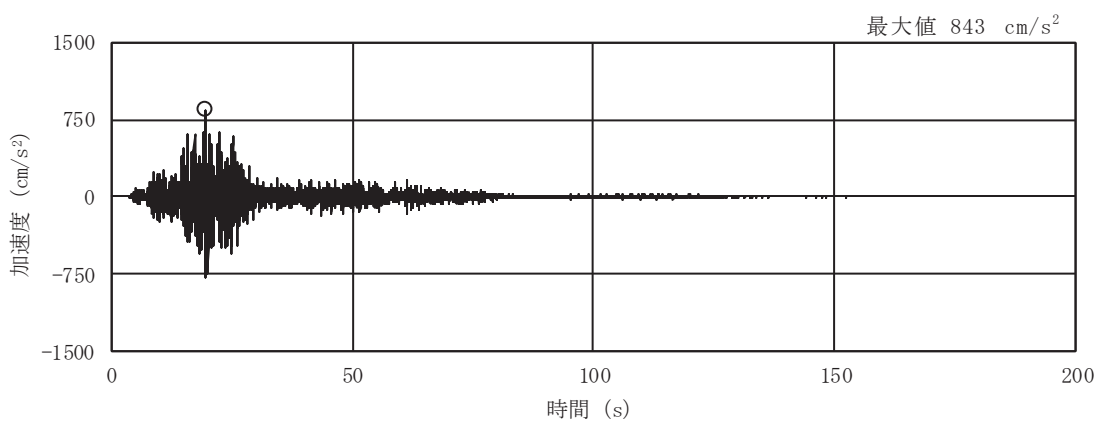


(b) S s - D 2

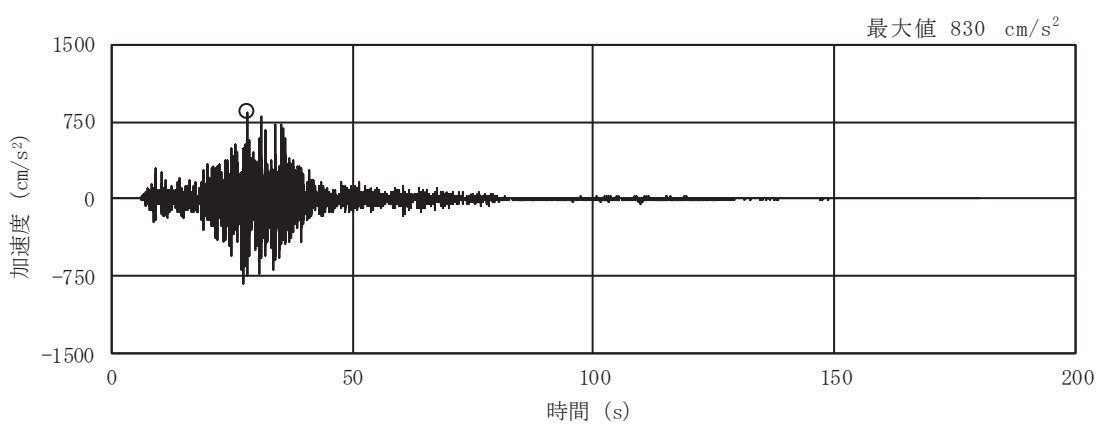


(c) S s - D 3

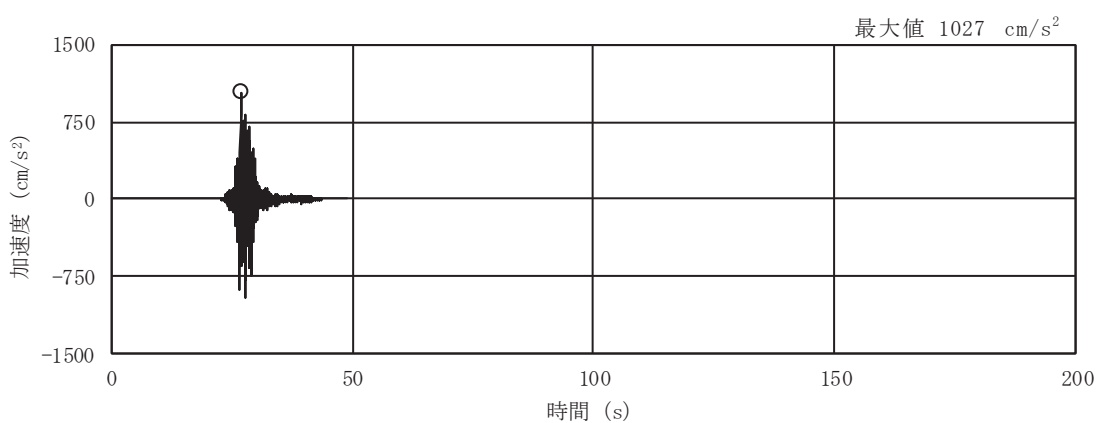
図 2-3(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

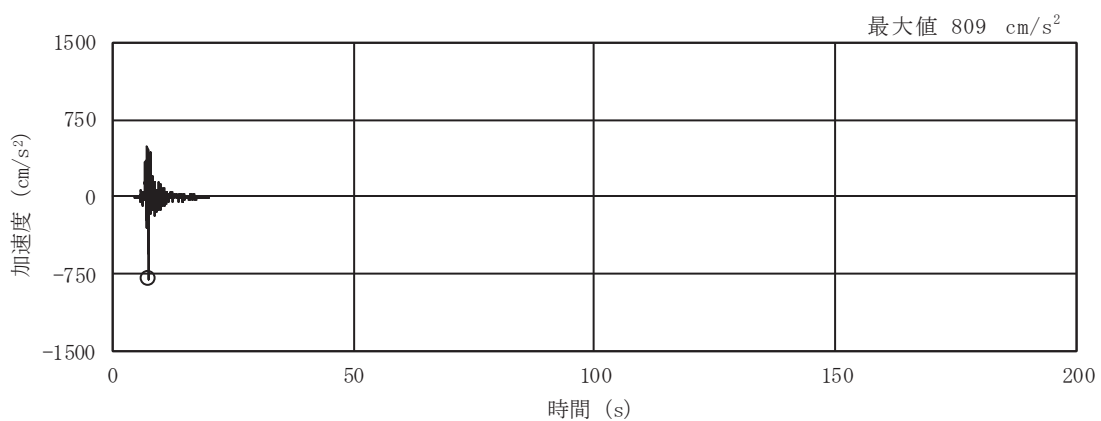


(e) S s - F 2



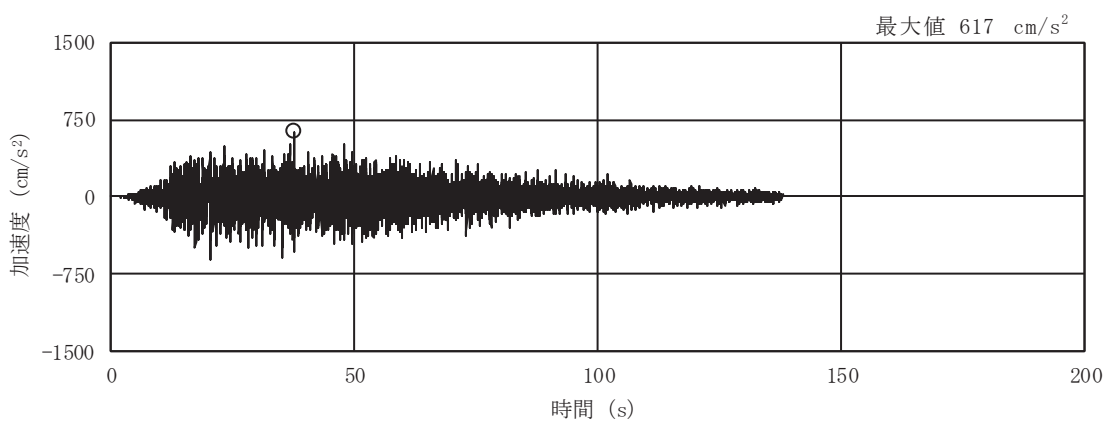
(f) S s - F 3

図 2-3(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 並進成分) (2/3)

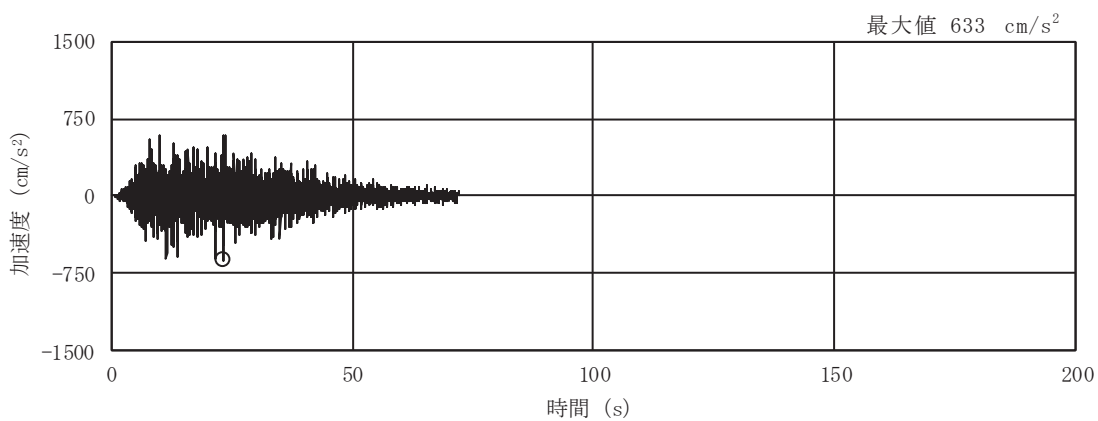


(g) S s - N 1

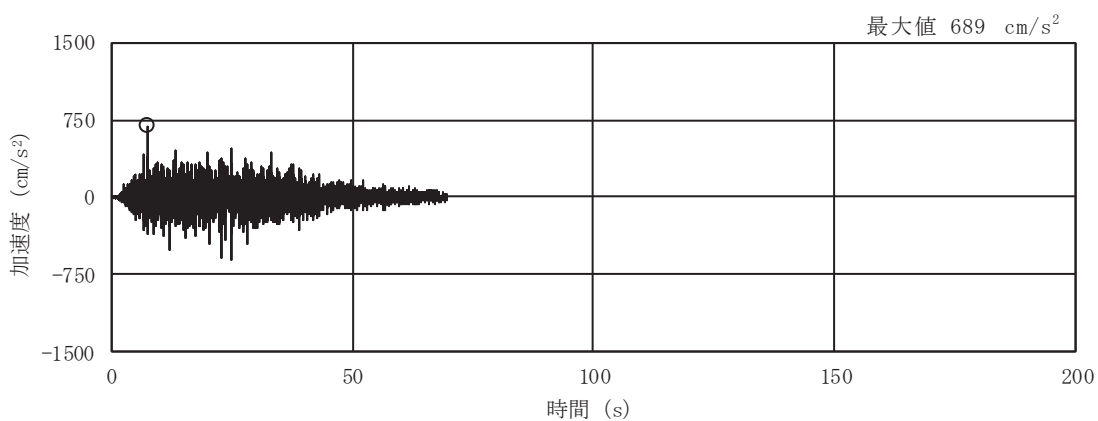
図 2-3(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 実剛性, ケース④, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

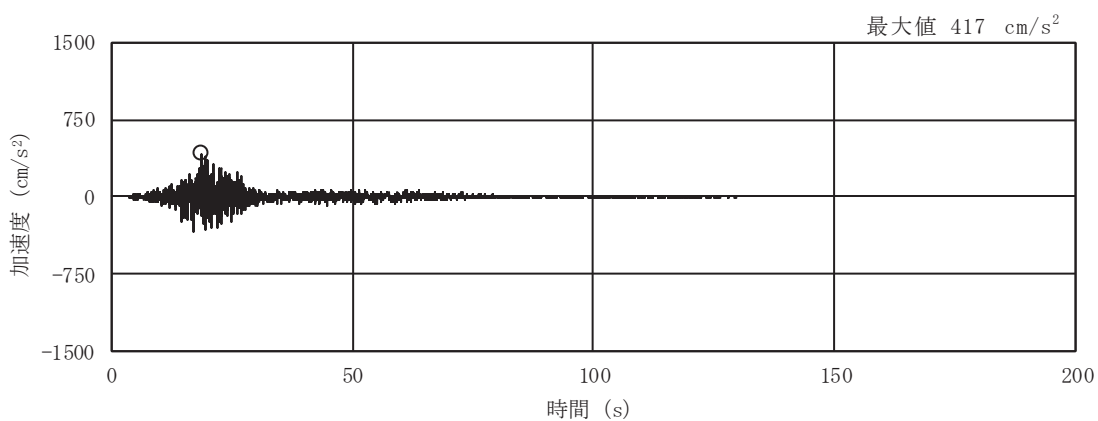


(b) S s - D 2

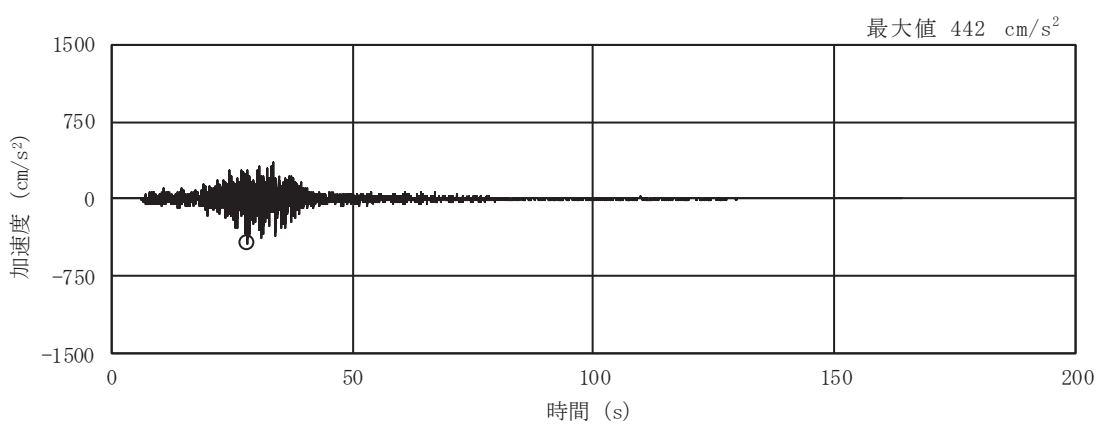


(c) S s - D 3

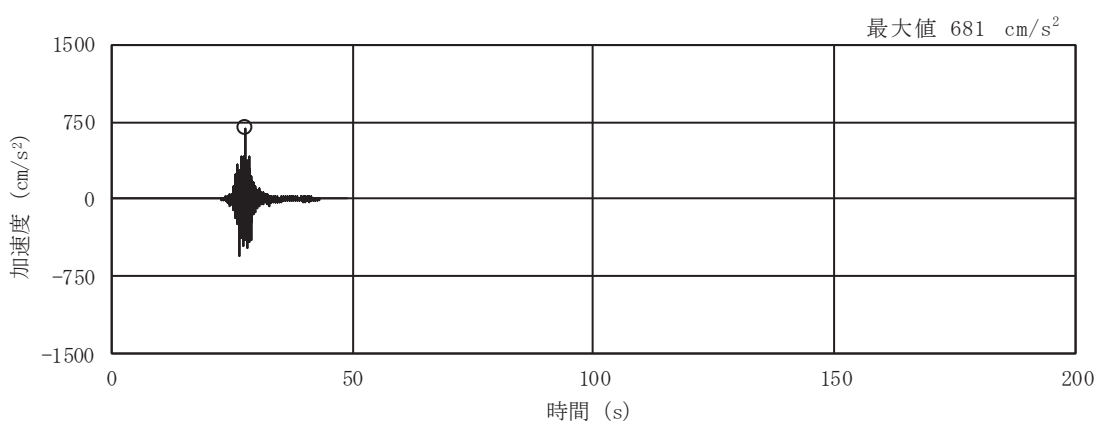
図 2-3(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

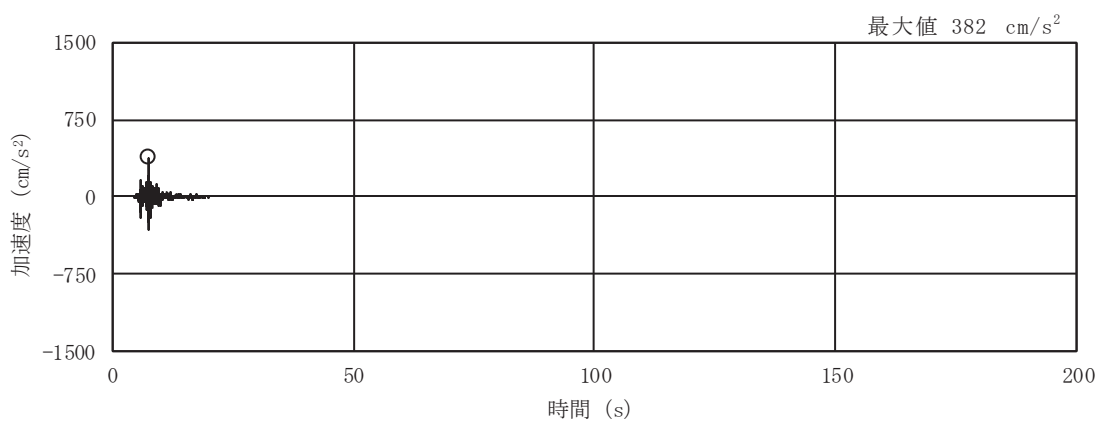


(e) S s - F 2



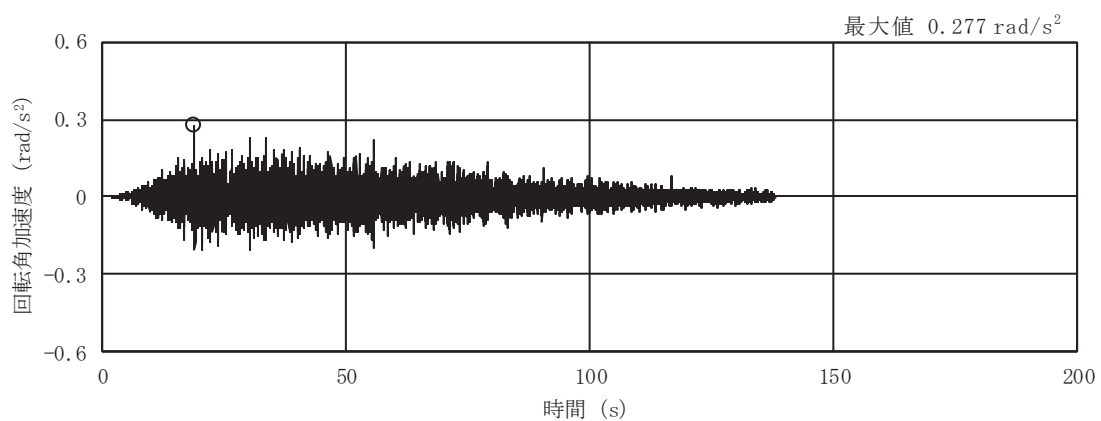
(f) S s - F 3

図 2-3(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

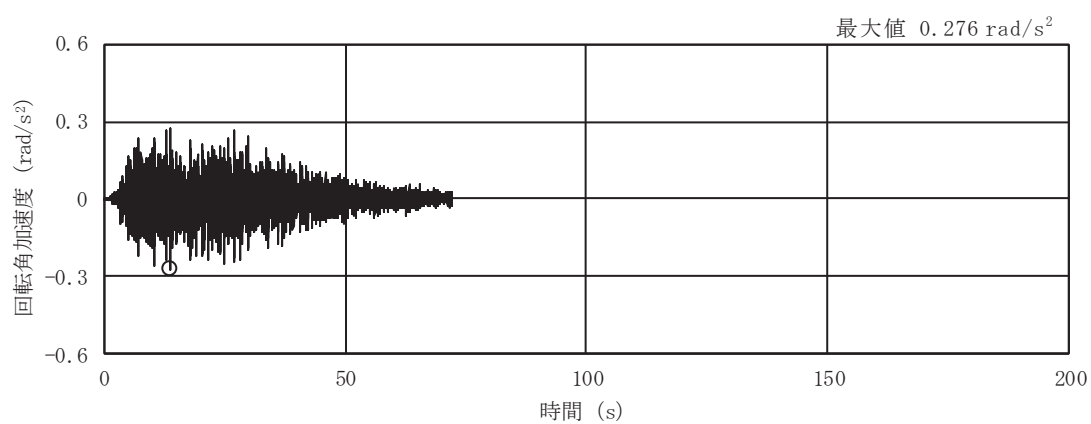


(g) S s - N 1

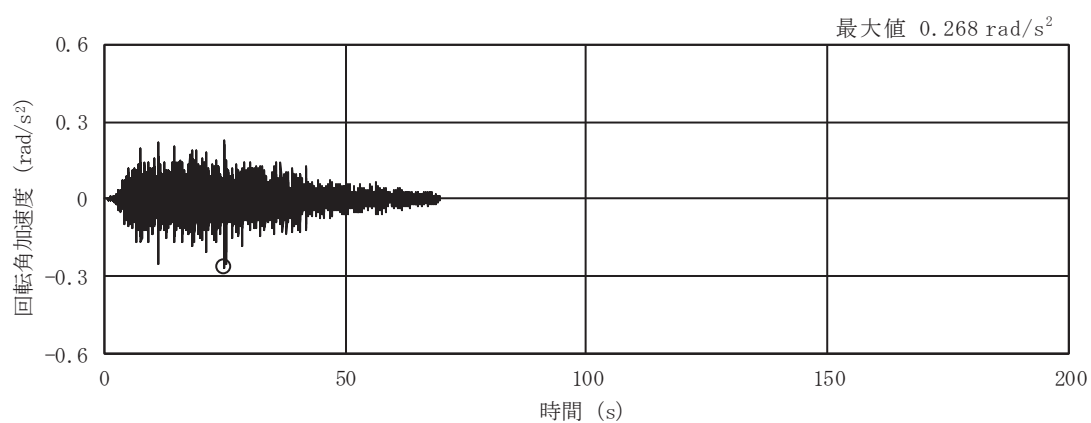
図 2-3(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 実剛性, ケース④, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

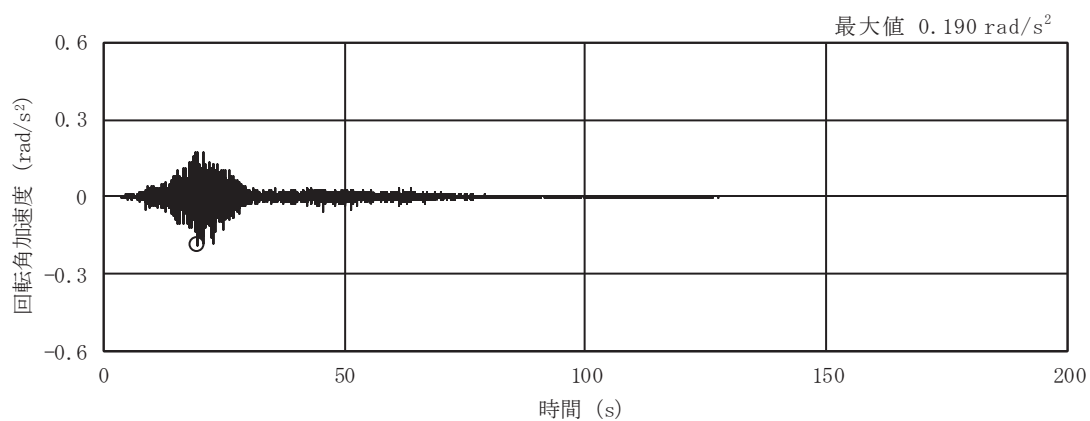


(b) S s - D 2

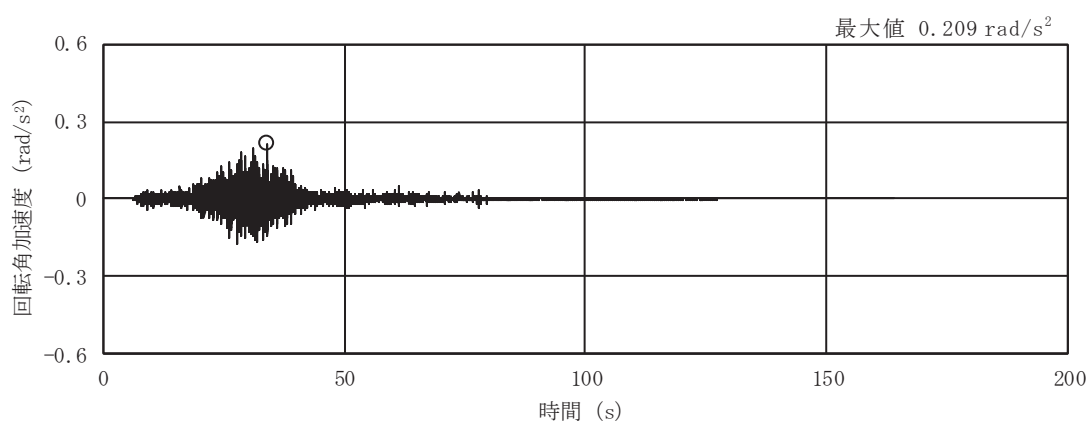


(c) S s - D 3

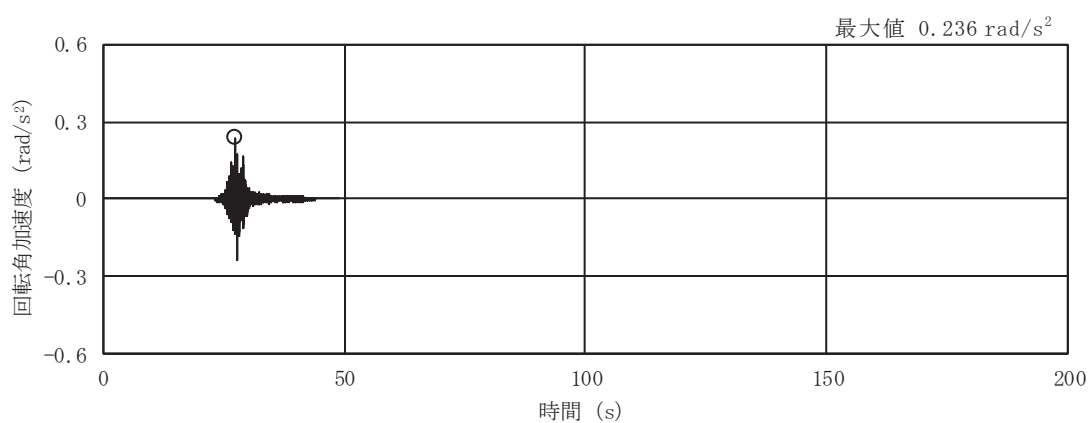
図 2-3(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

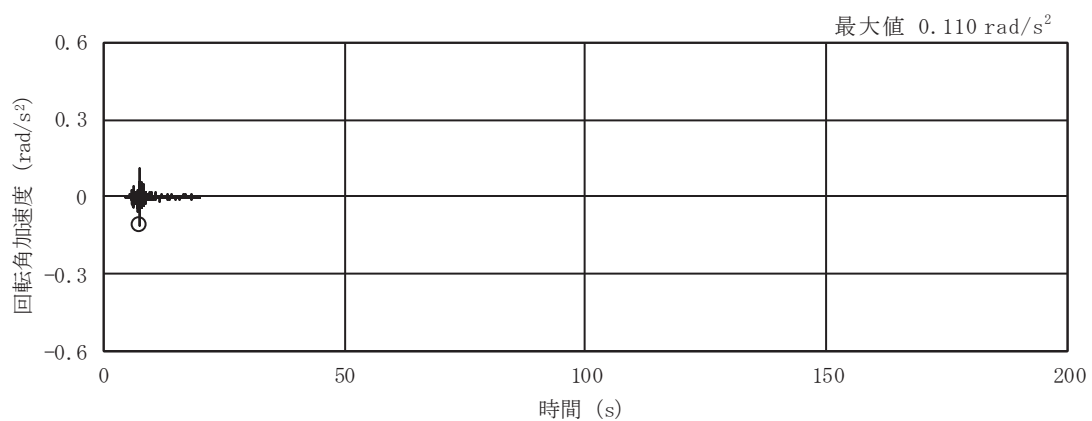


(e) S s - F 2



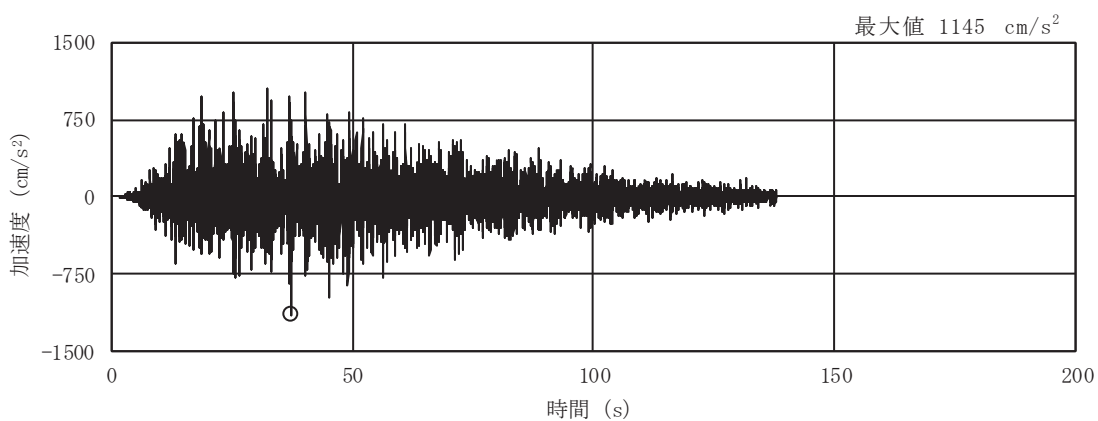
(f) S s - F 3

図 2-3(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, NS 断面 回転成分) (2/3)

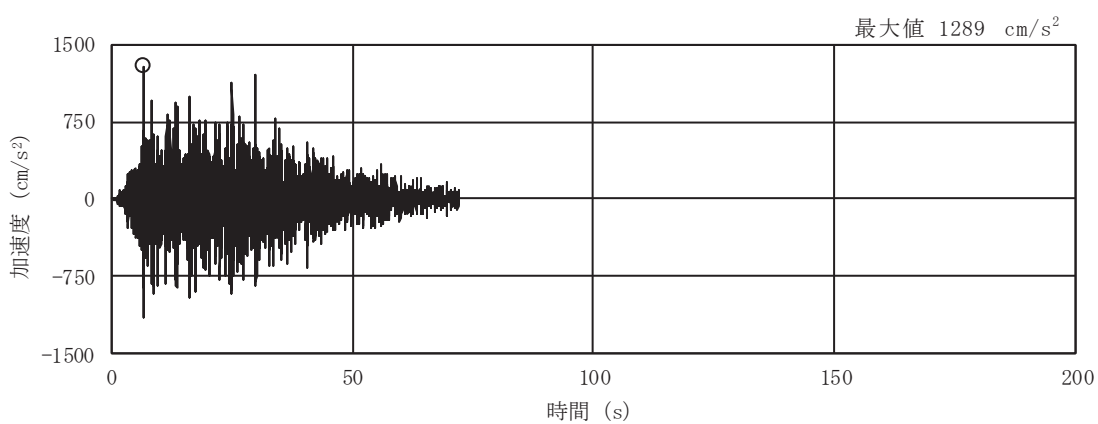


(g) S s - N 1

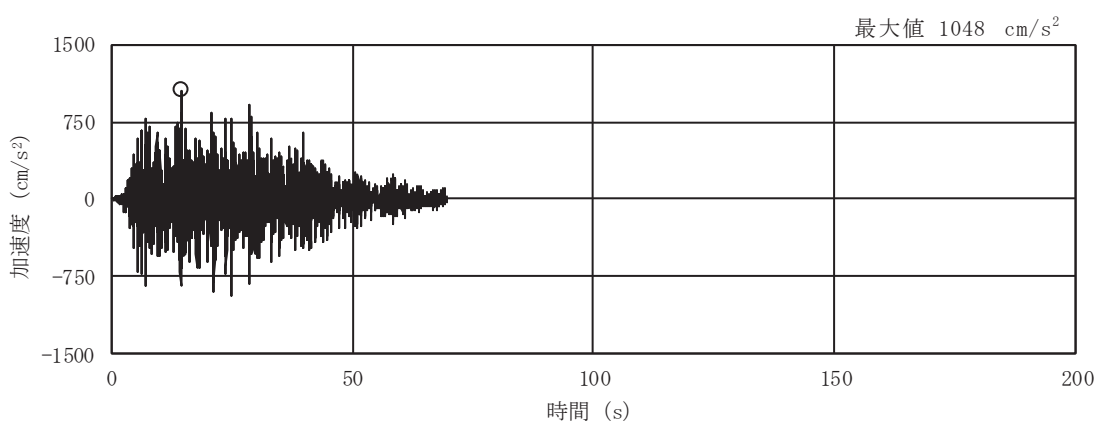
図 2-3(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 実剛性, ケース④, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

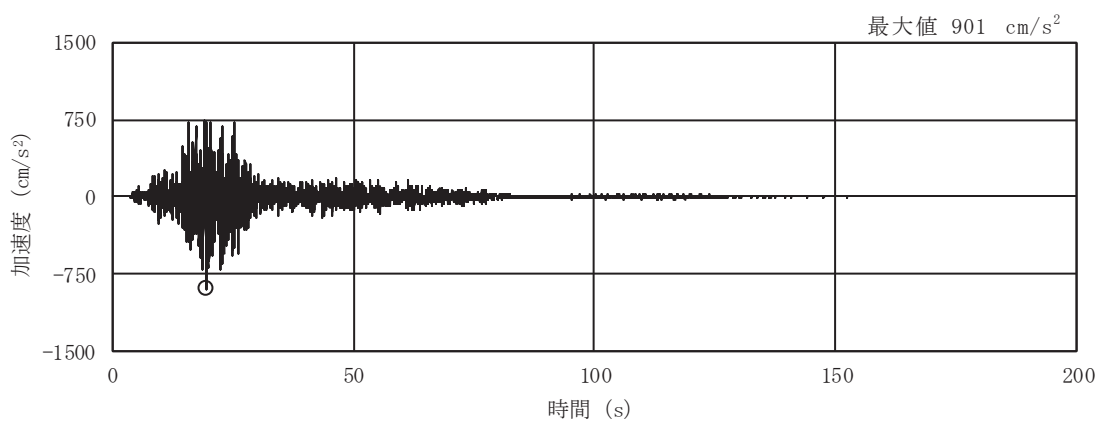


(b) S s - D 2

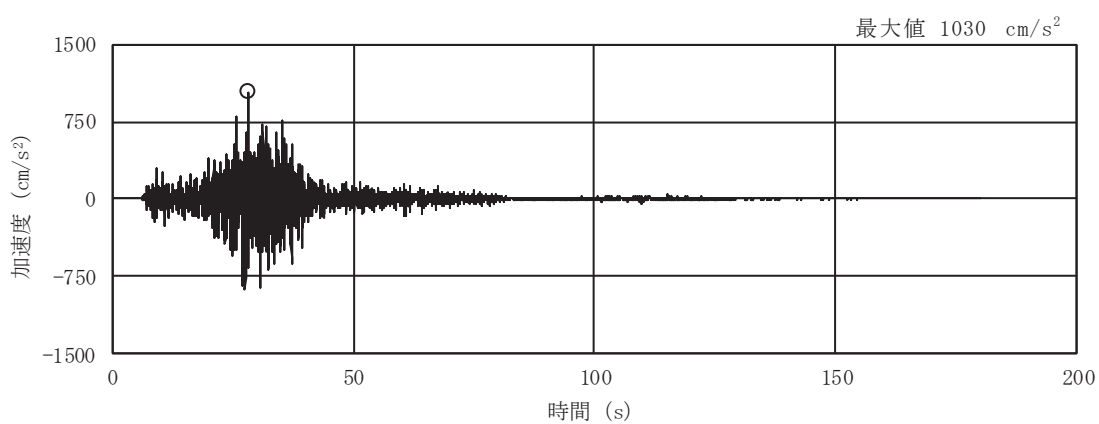


(c) S s - D 3

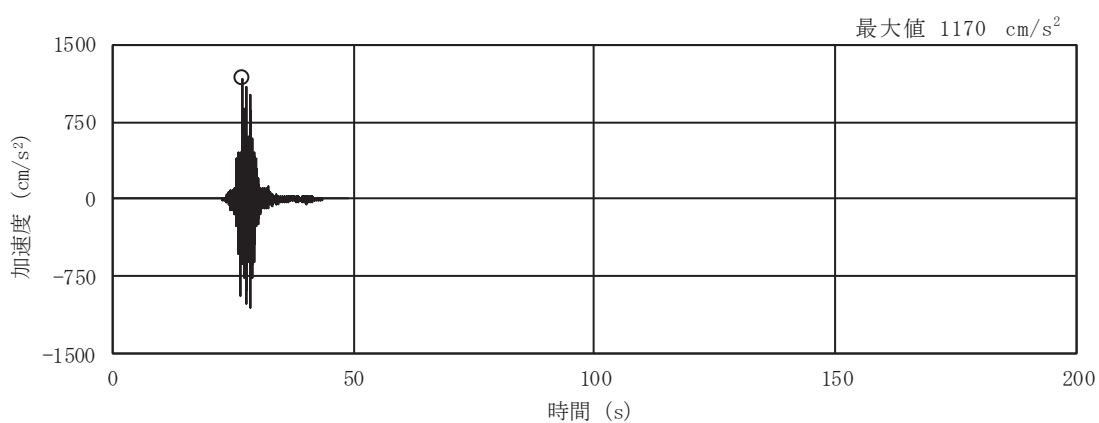
図 2-3(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

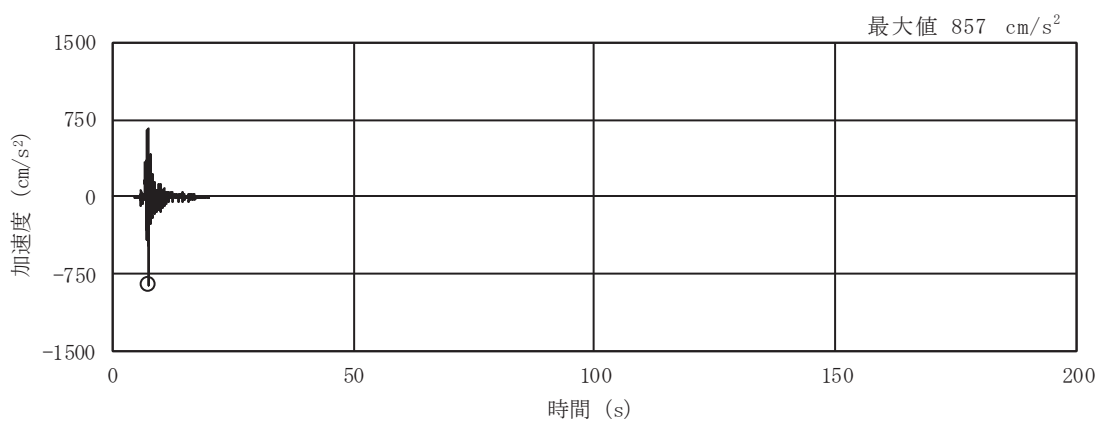


(e) S s - F 2



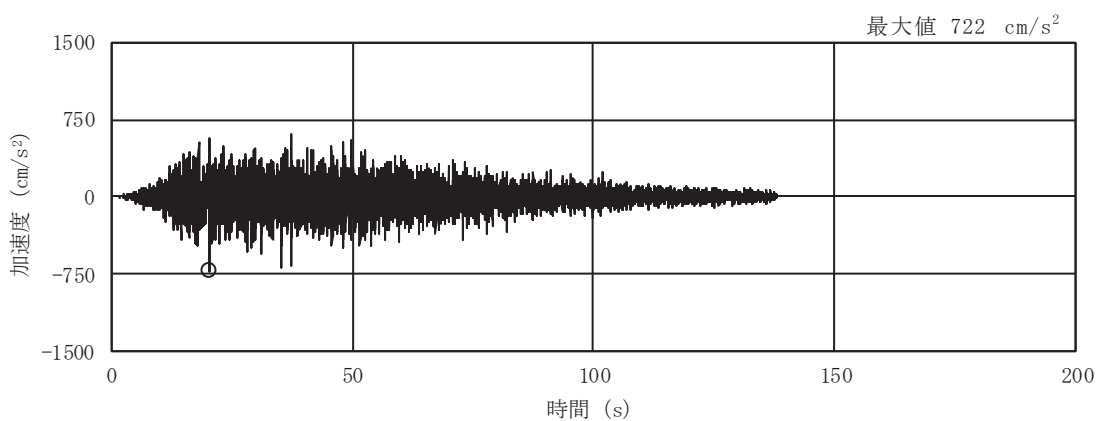
(f) S s - F 3

図 2-3(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 並進成分) (2/3)

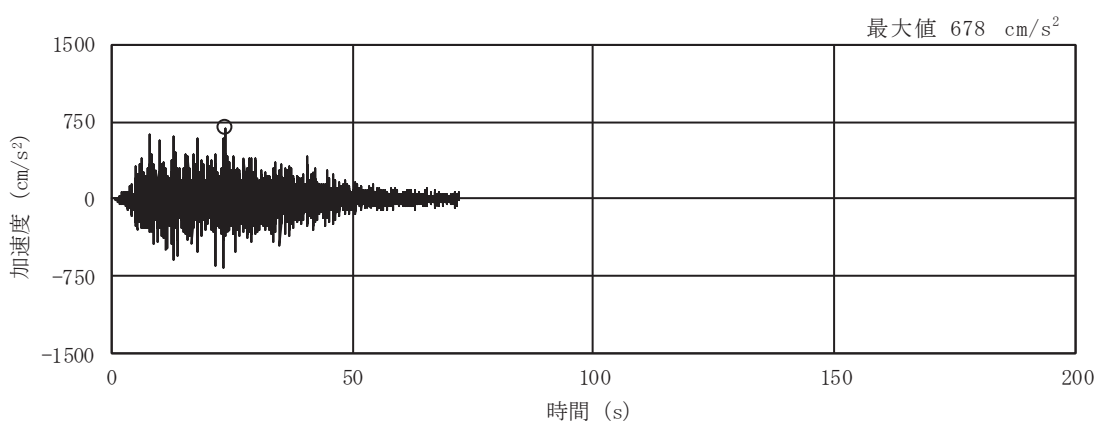


(g) S s - N 1

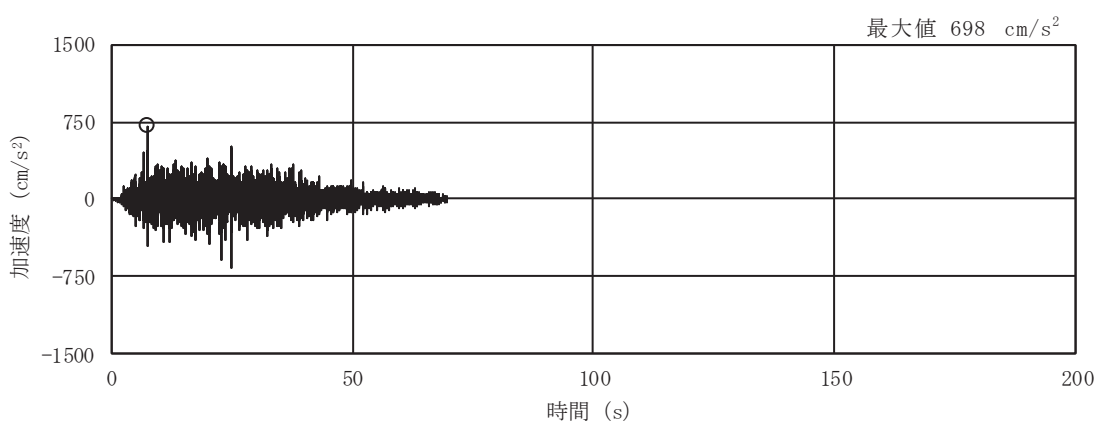
図 2-3(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 実剛性, ケース④, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

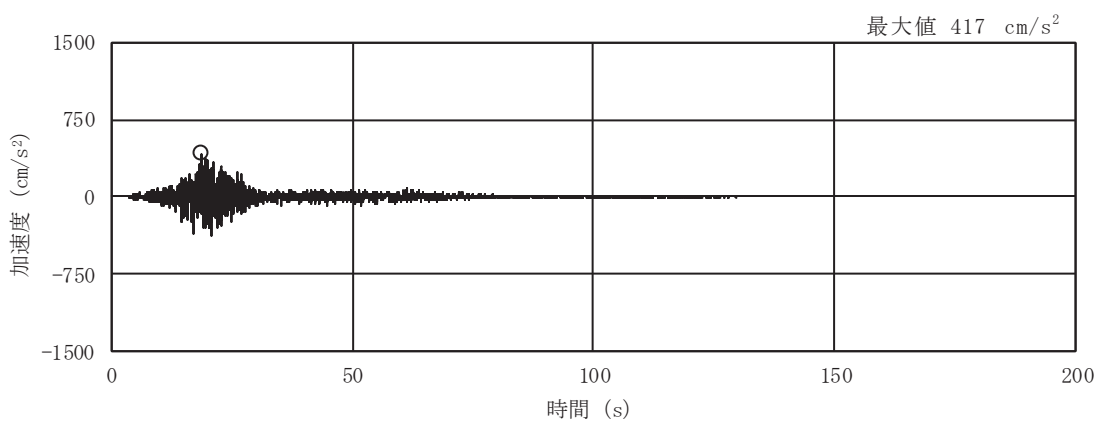


(b) S s - D 2

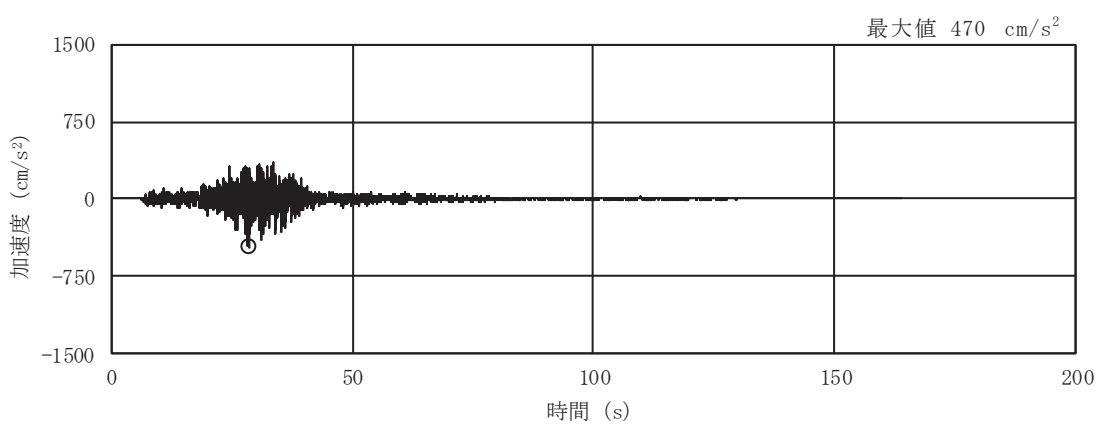


(c) S s - D 3

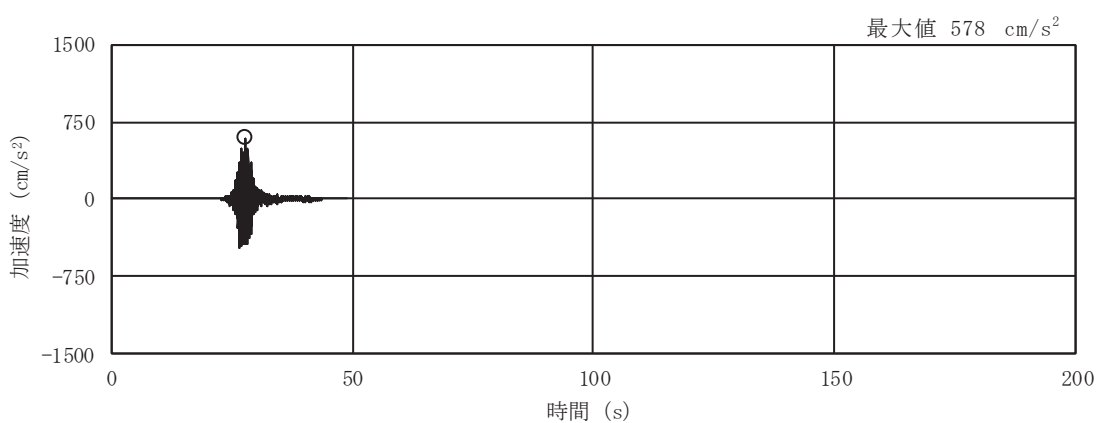
図 2-3(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

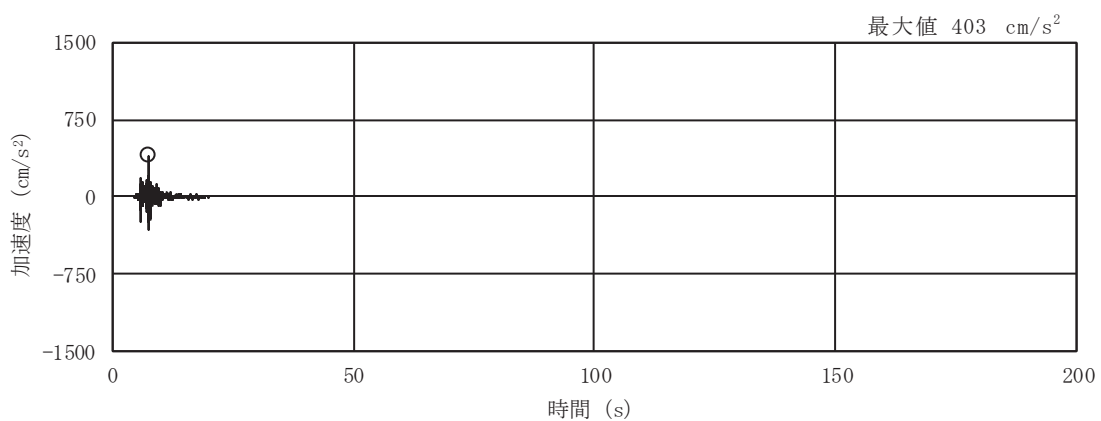


(e) S s - F 2



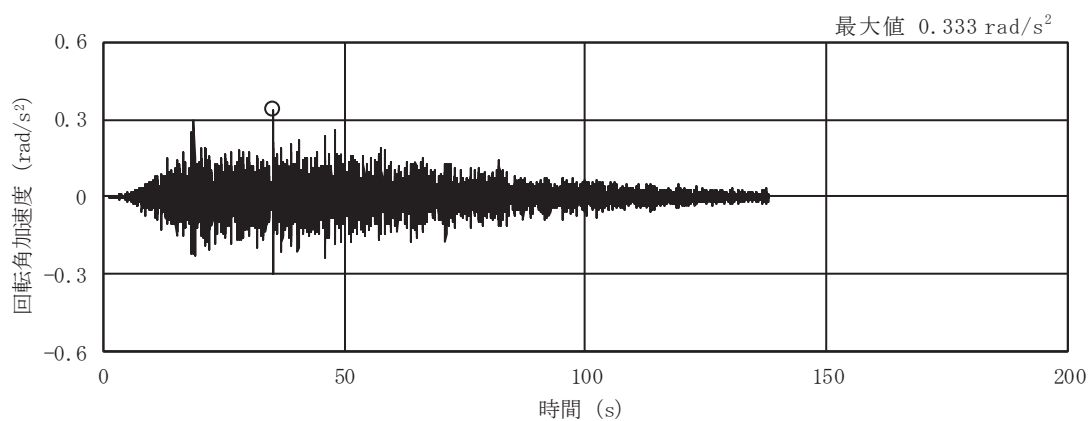
(f) S s - F 3

図 2-3(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

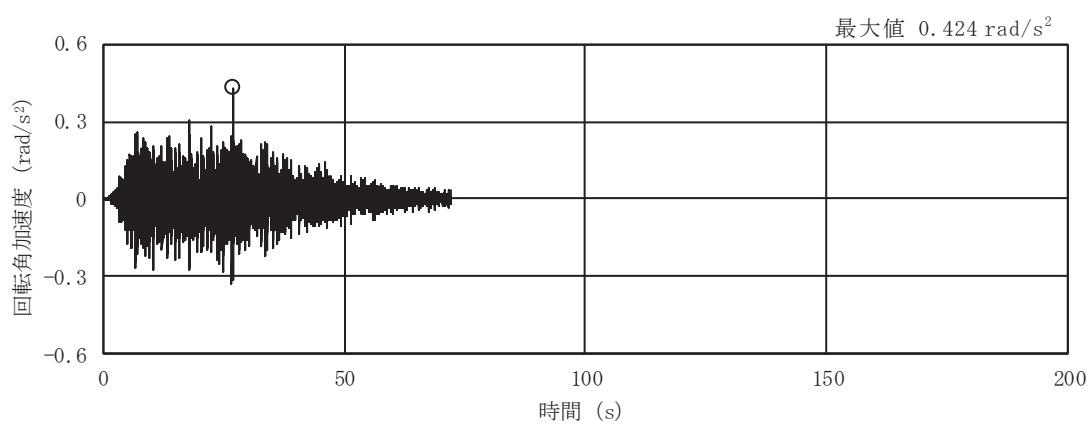


(g) S s - N 1

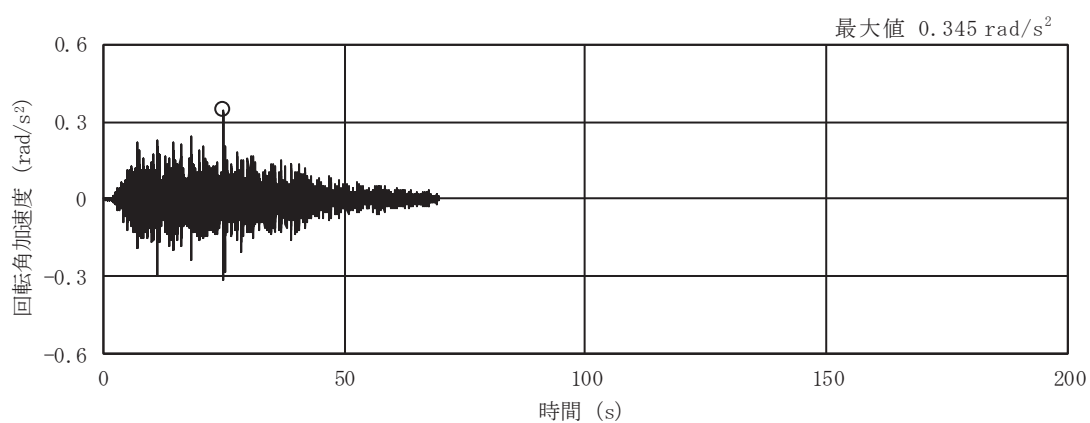
図 2-3(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 実剛性, ケース④, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

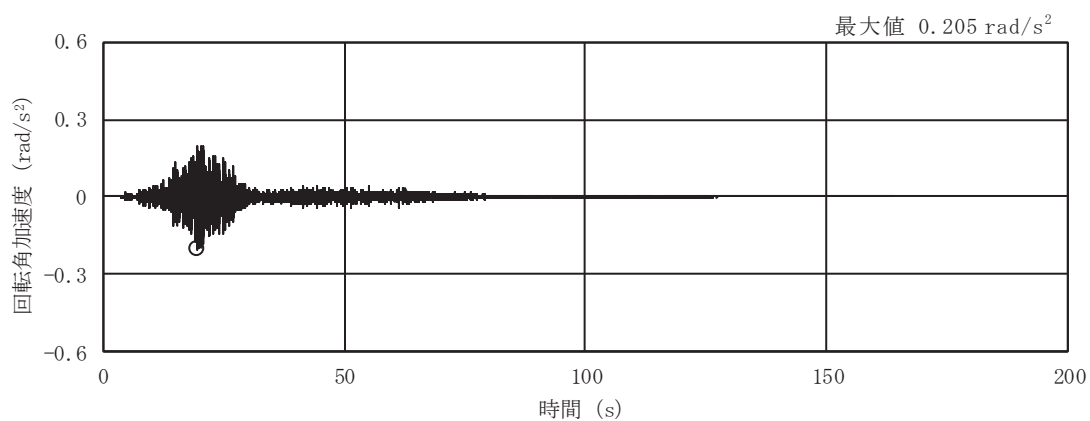


(b) S s - D 2

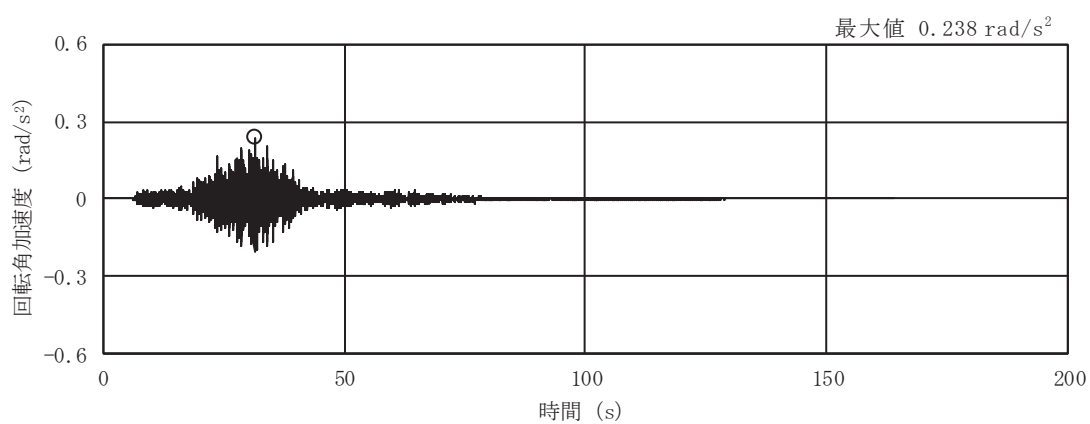


(c) S s - D 3

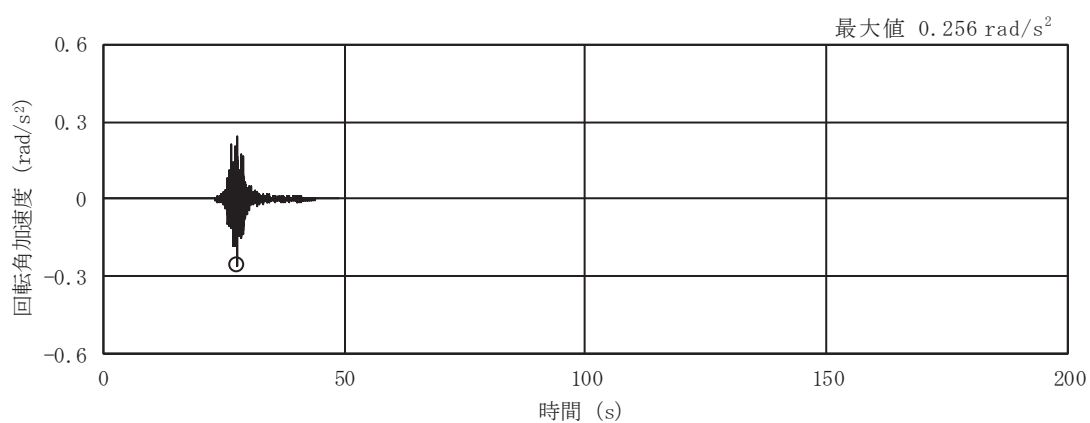
図 2-3(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

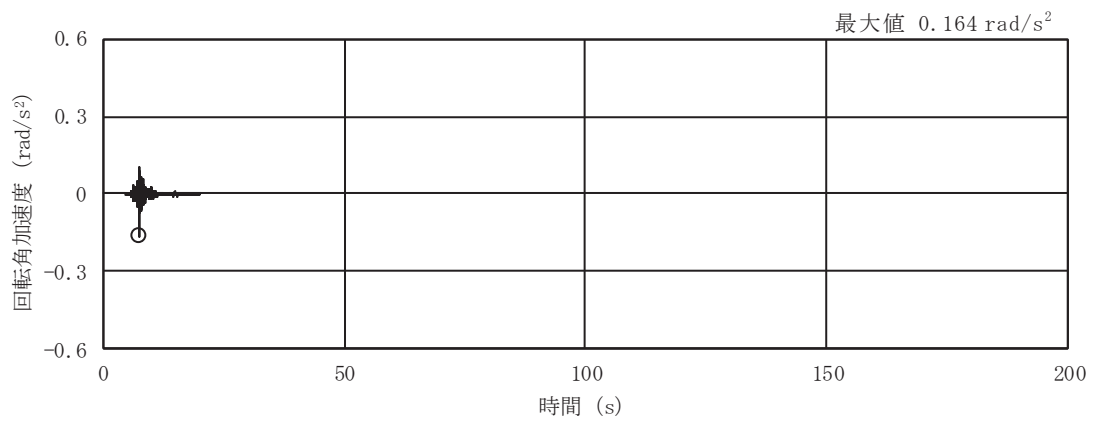


(e) S s - F 2



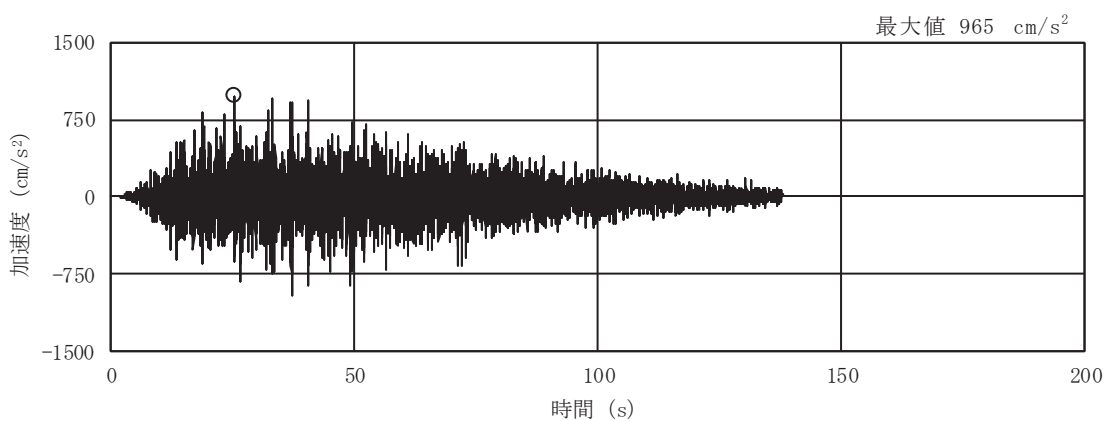
(f) S s - F 3

図 2-3(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 実剛性, ケース④, EW 断面 回転成分) (2/3)

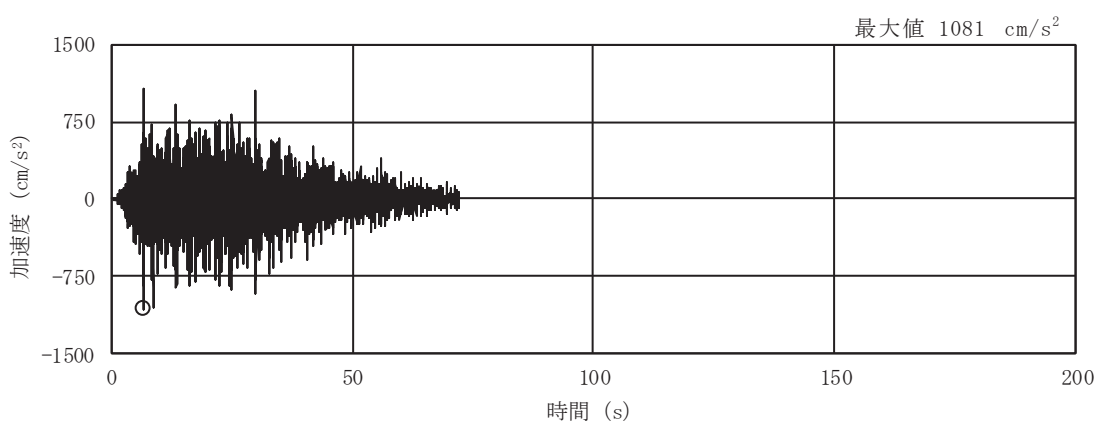


(g) S s - N 1

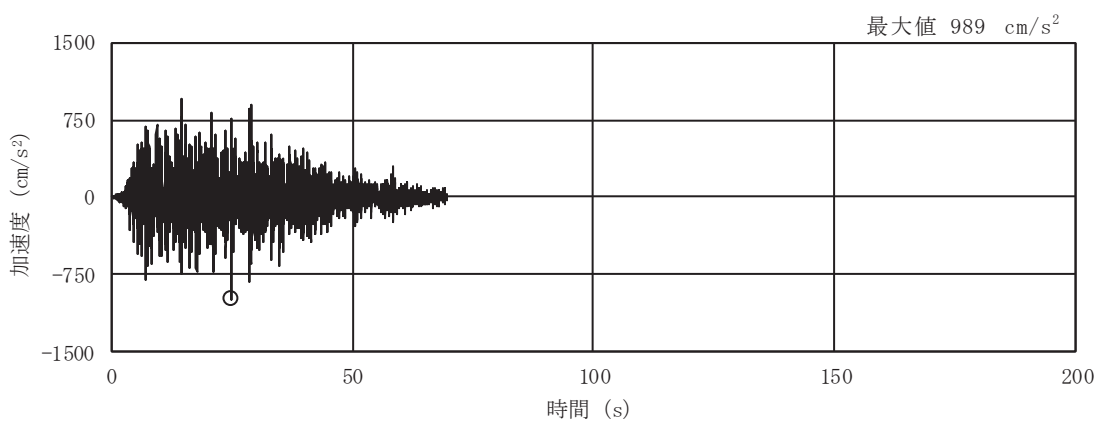
図 2-3(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 実剛性, ケース④, EW 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

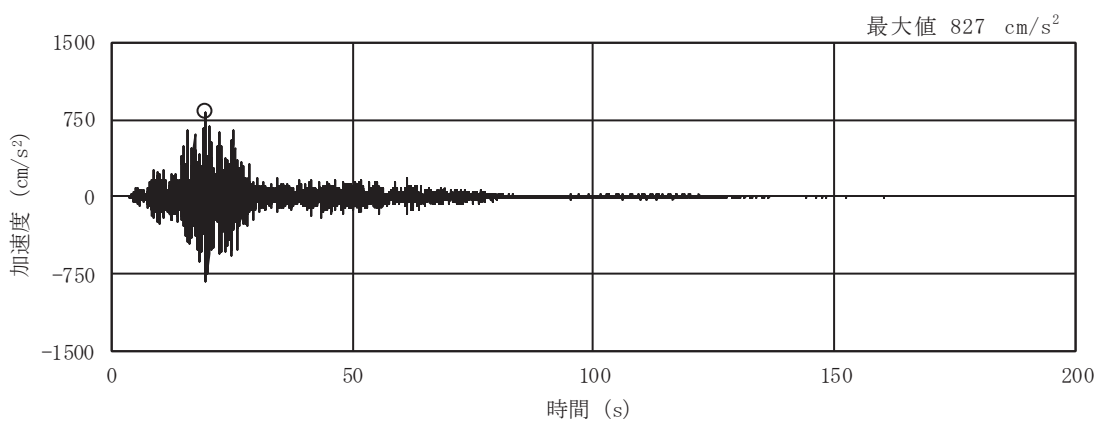


(b) S s - D 2

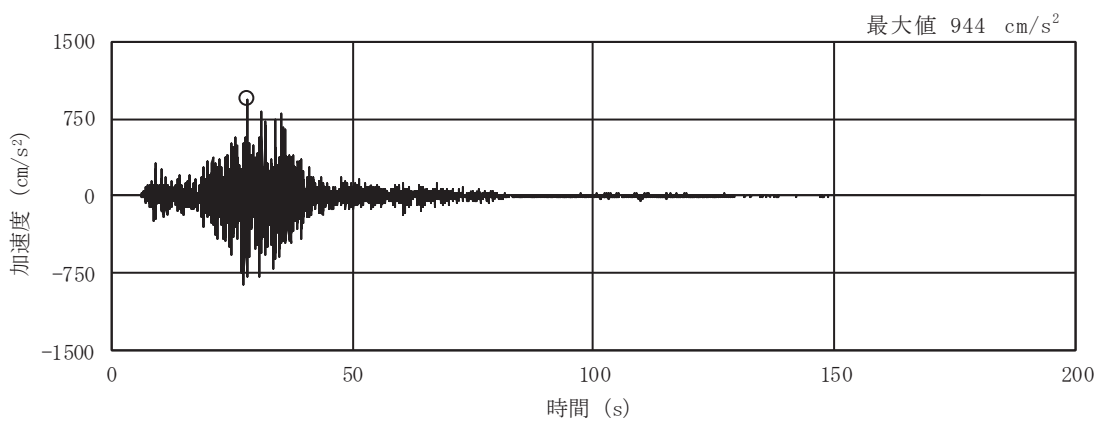


(c) S s - D 3

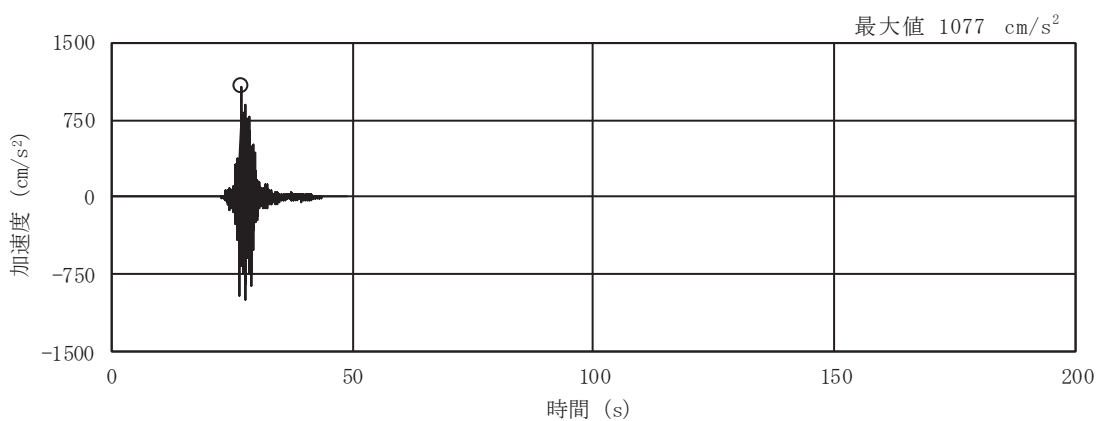
図 2-4(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

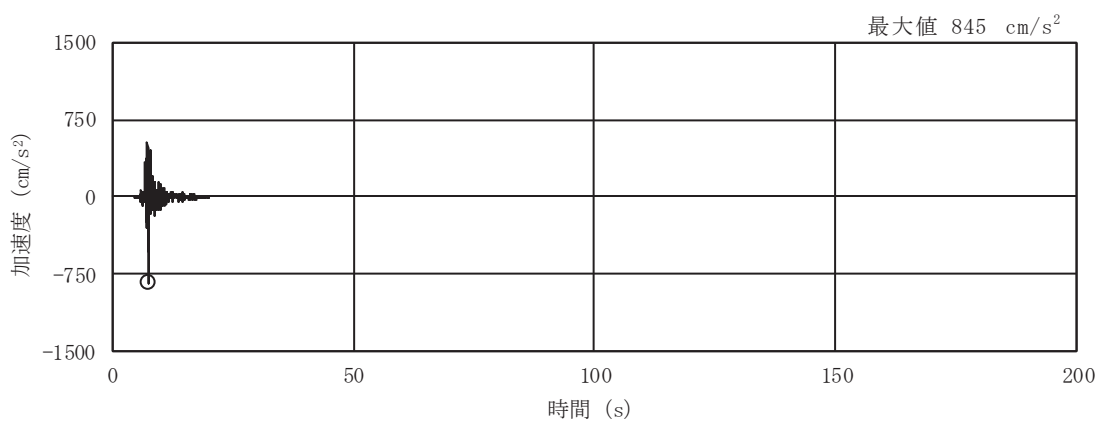


(e) S s - F 2



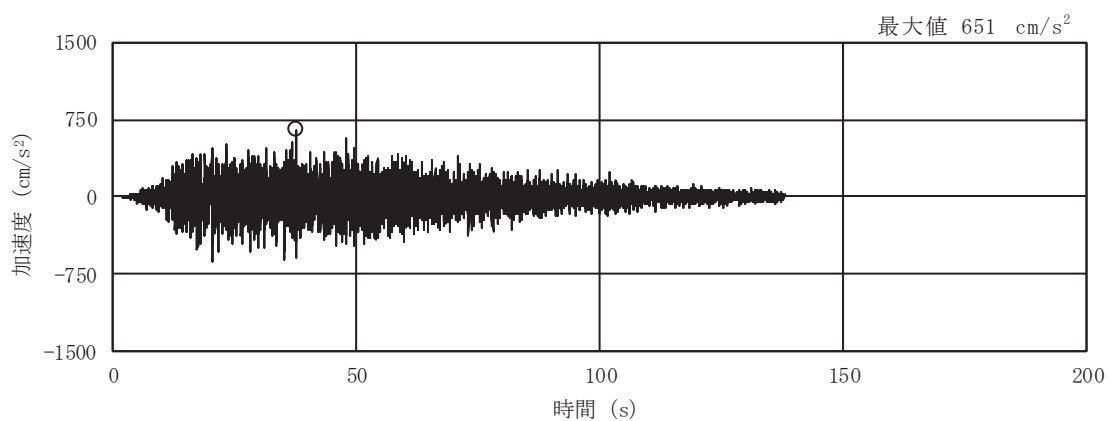
(f) S s - F 3

図 2-4(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 並進成分) (2/3)

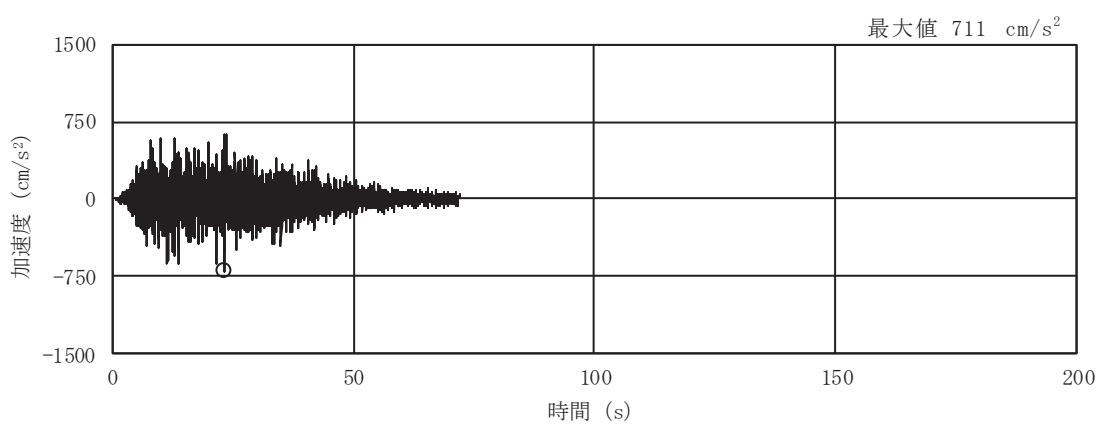


(g) S s - N 1

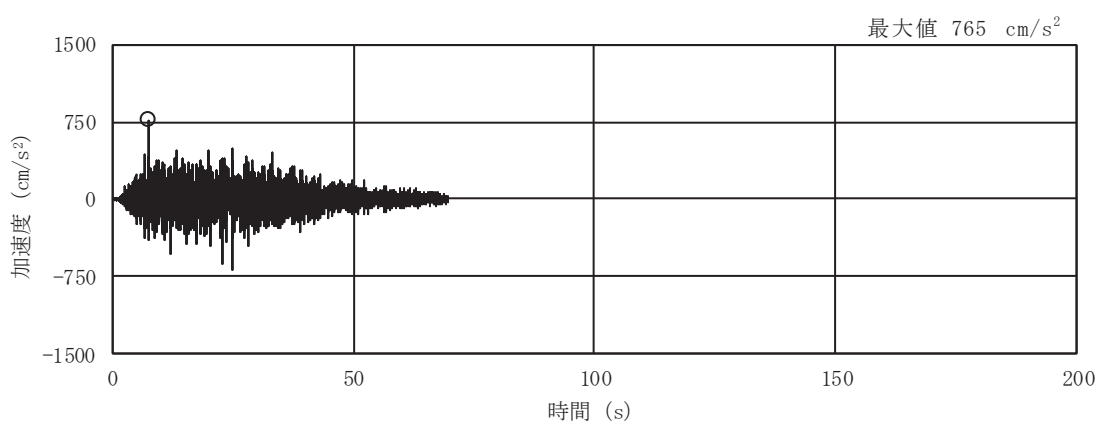
図 2-4(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

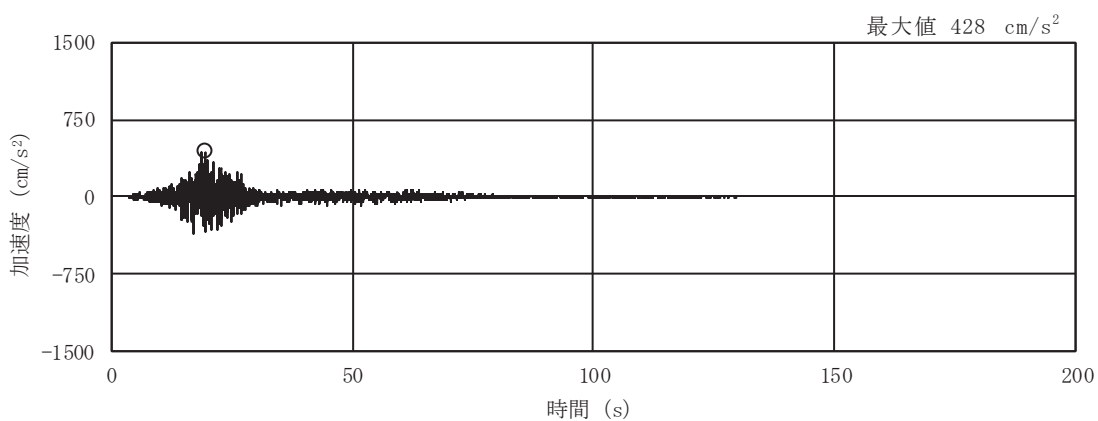


(b) S s - D 2

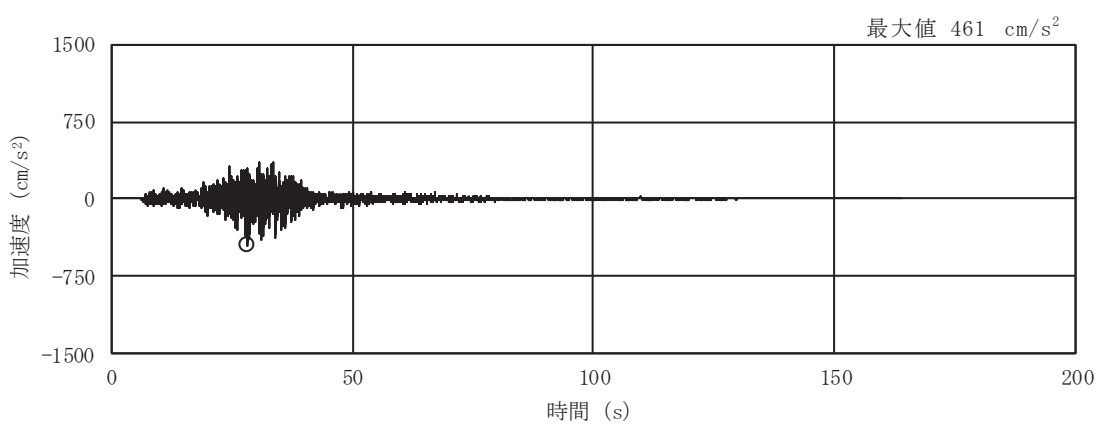


(c) S s - D 3

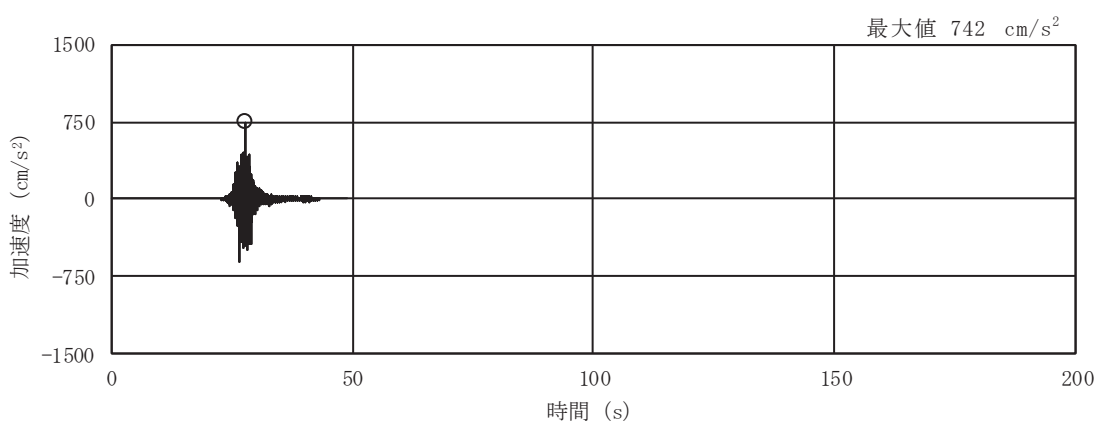
図 2-4(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

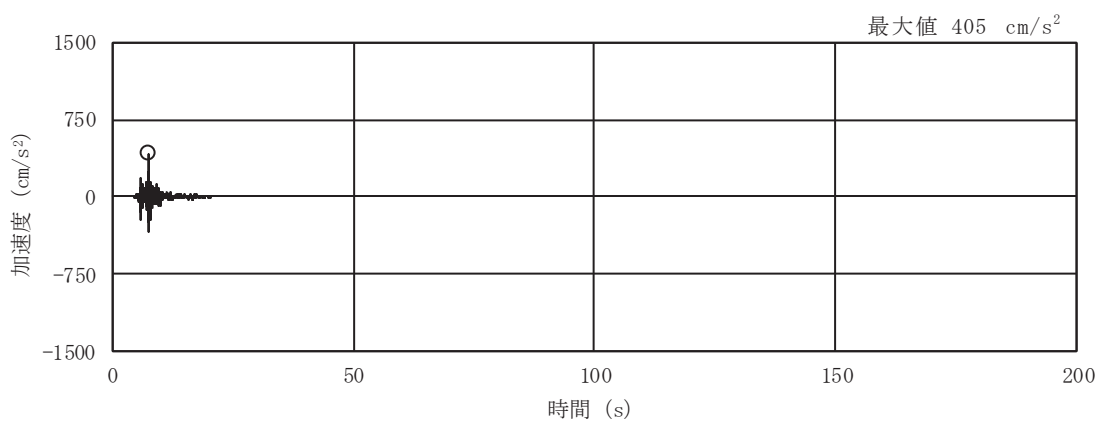


(e) S s - F 2



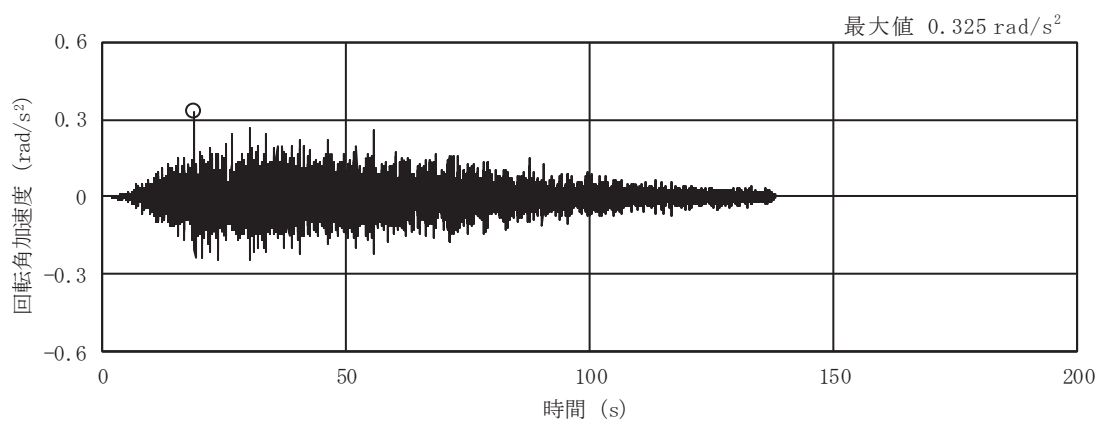
(f) S s - F 3

図 2-4(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

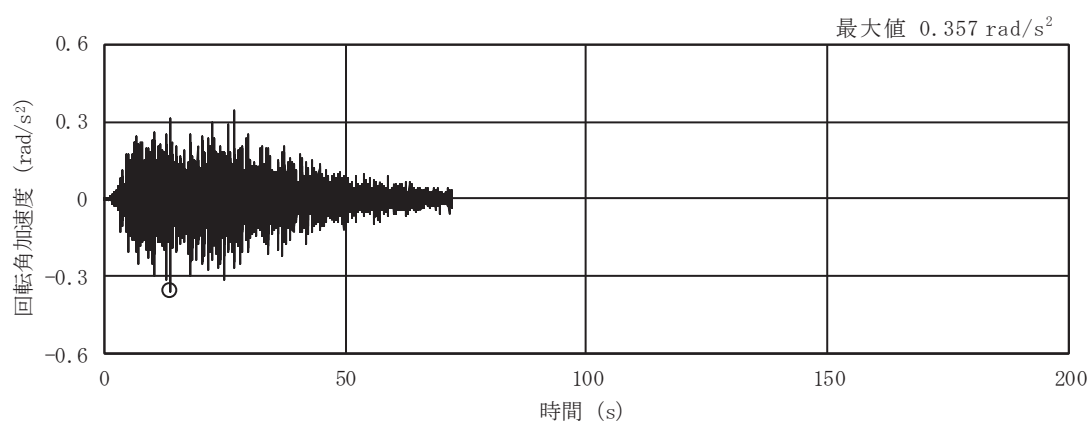


(g) S s - N 1

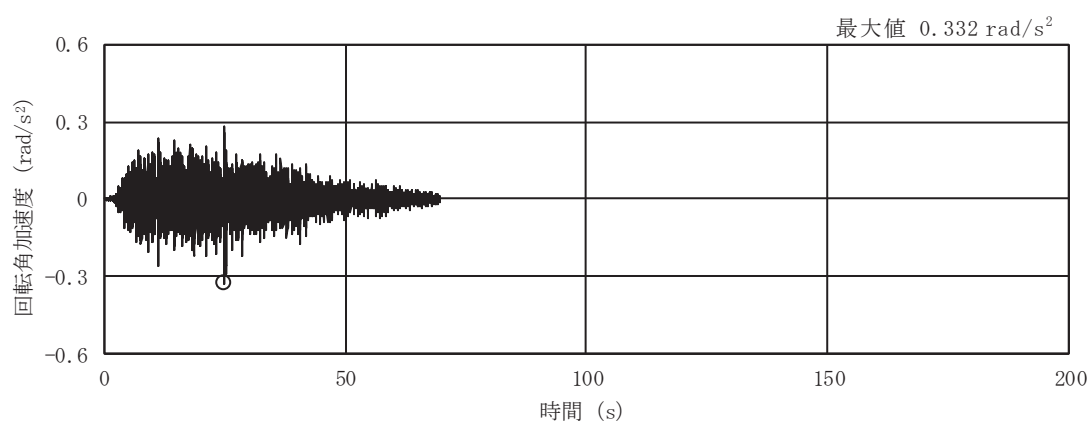
図 2-4(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

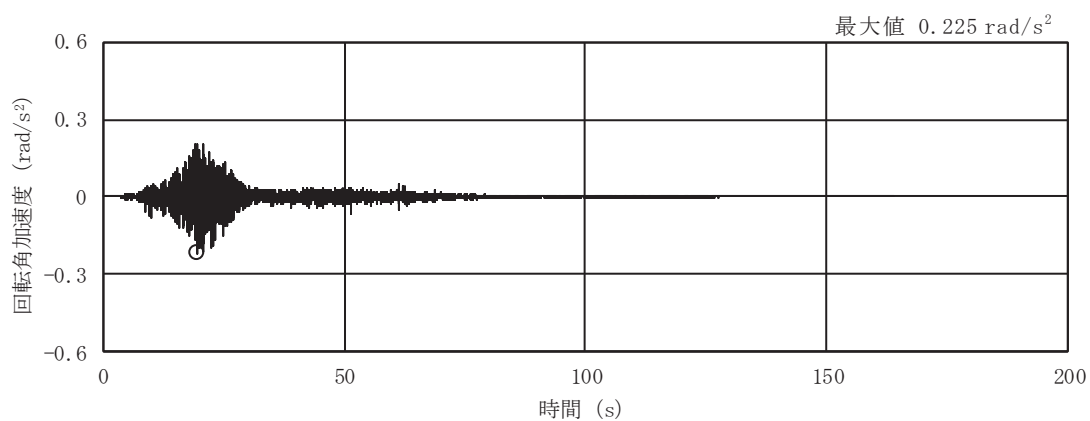


(b) S s - D 2

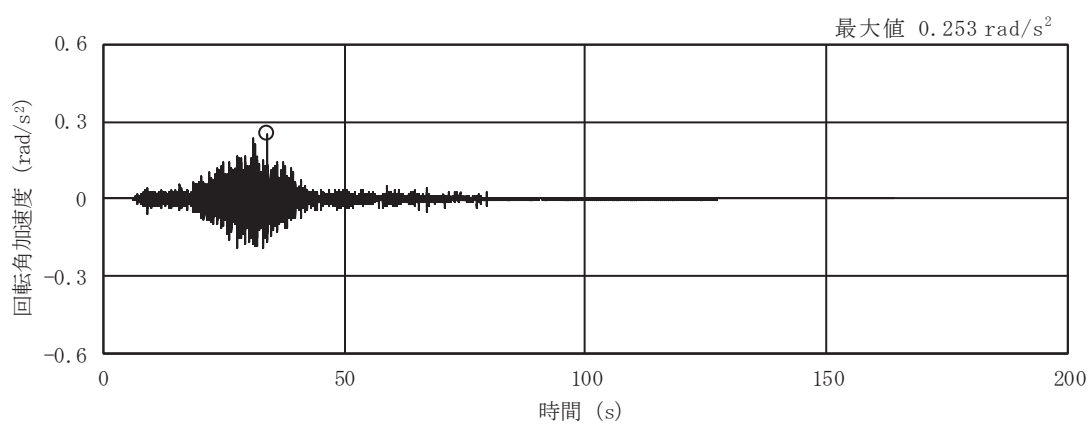


(c) S s - D 3

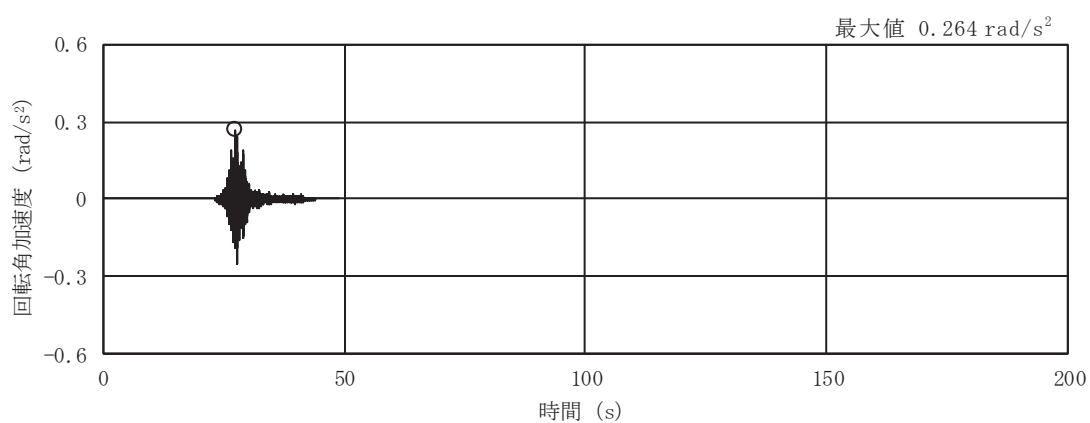
図 2-4(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

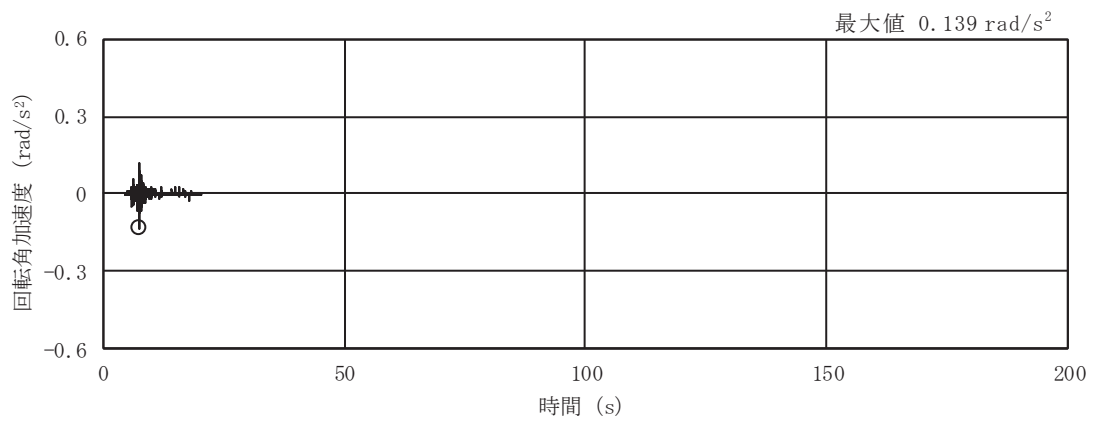


(e) S s - F 2



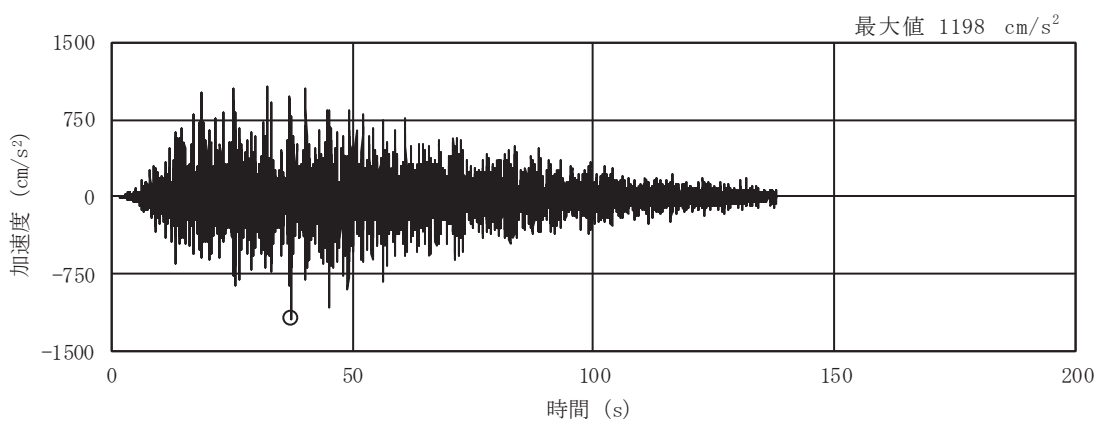
(f) S s - F 3

図 2-4(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 回転成分) (2/3)

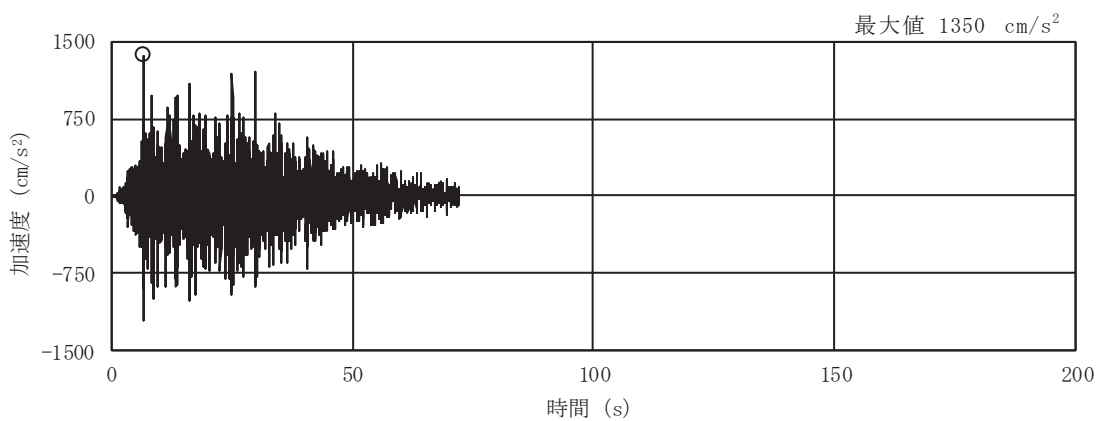


(g) S s - N 1

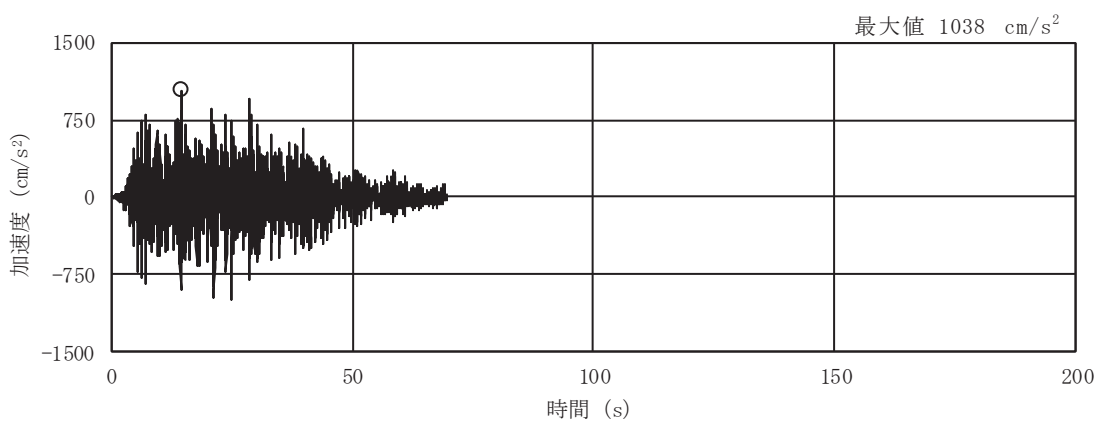
図 2-4(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 剛性低下, ケース⑤, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

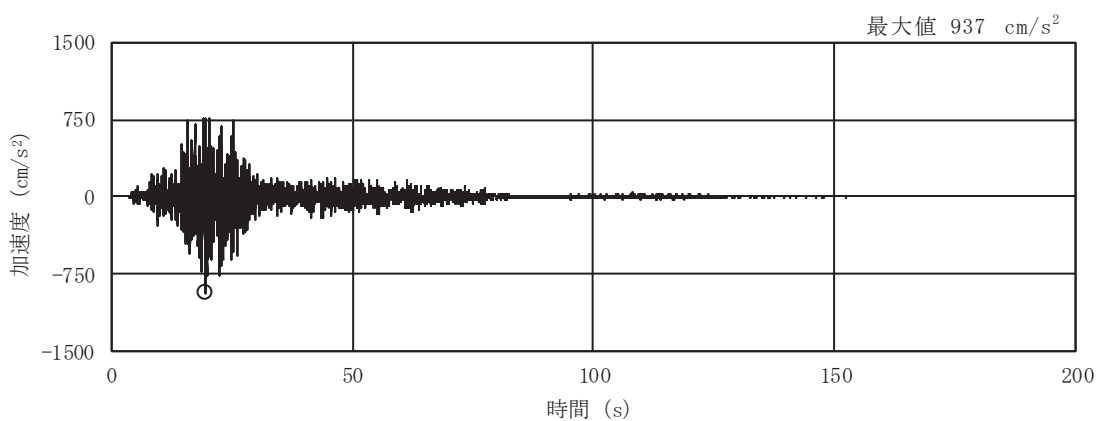


(b) S s - D 2

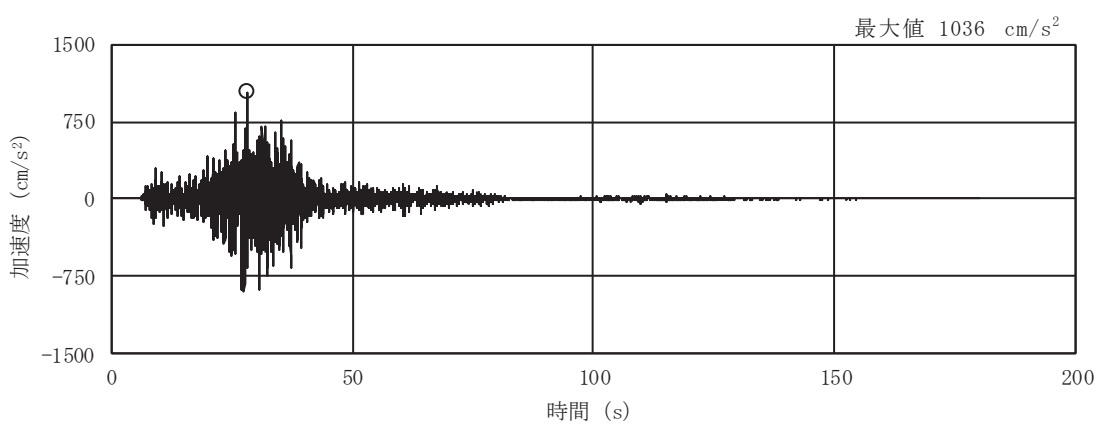


(c) S s - D 3

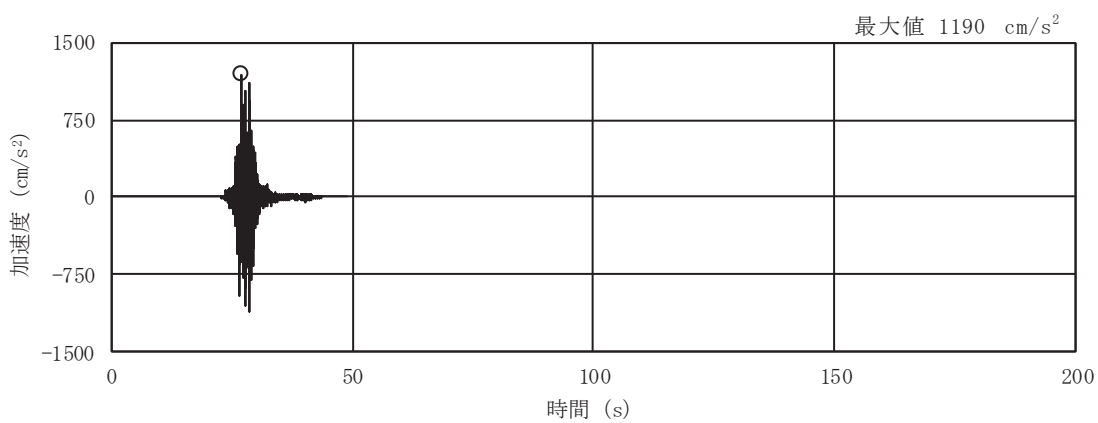
図 2-4(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

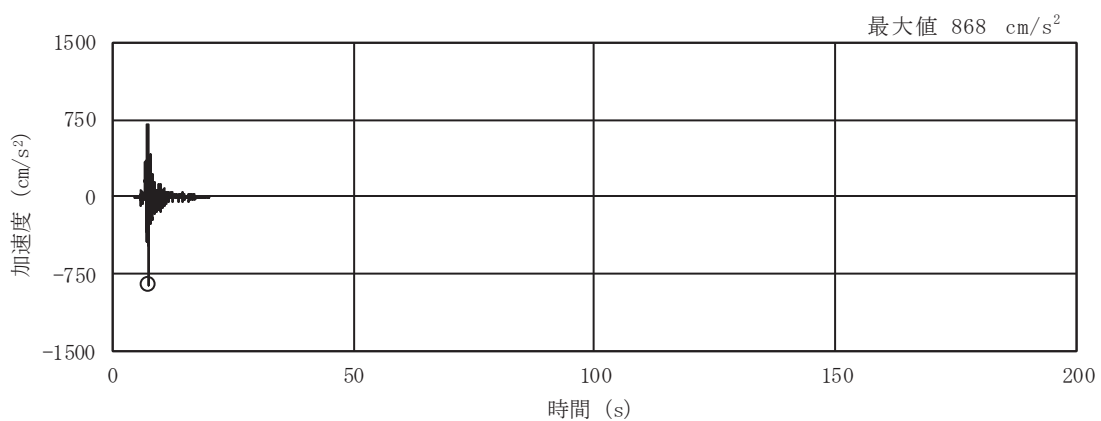


(e) S s - F 2



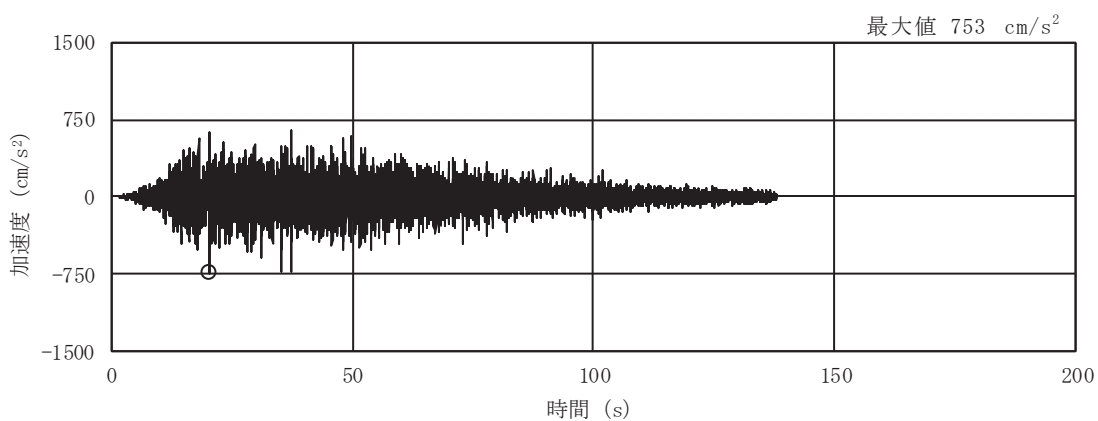
(f) S s - F 3

図 2-4(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 並進成分) (2/3)

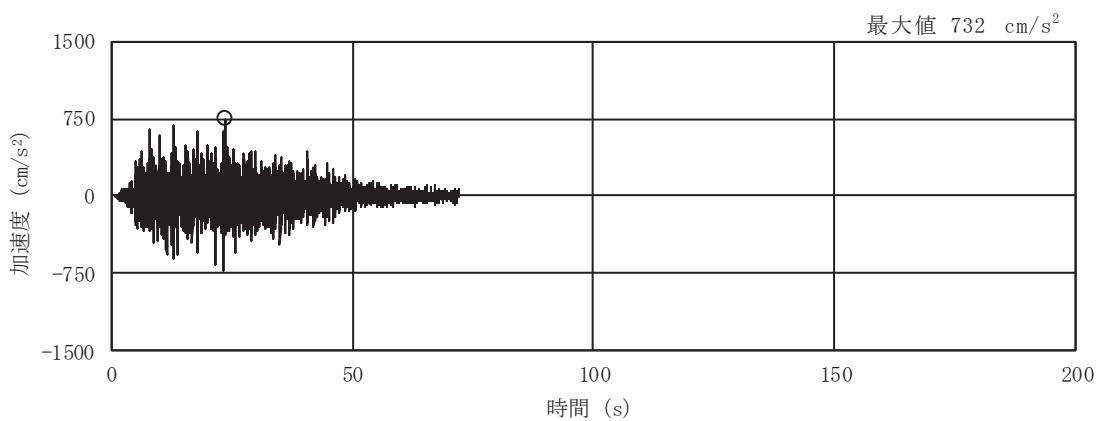


(g) S s - N 1

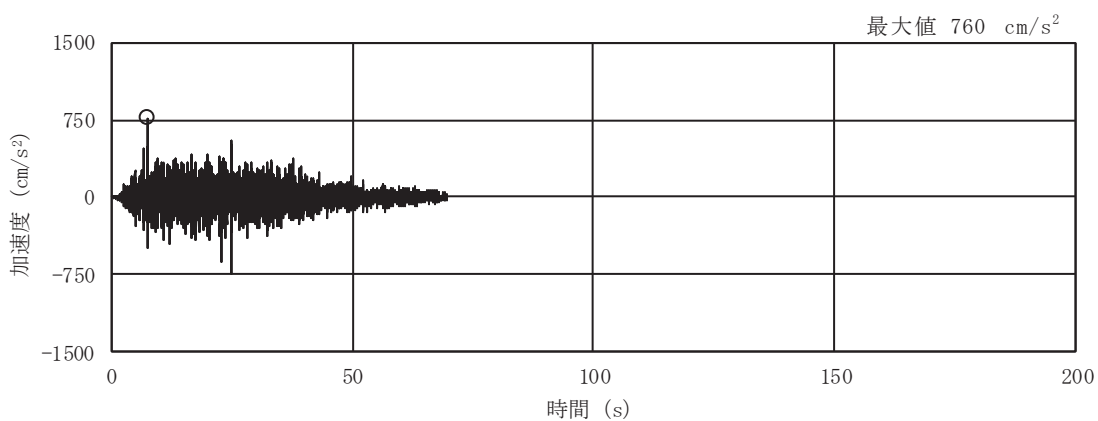
図 2-4(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

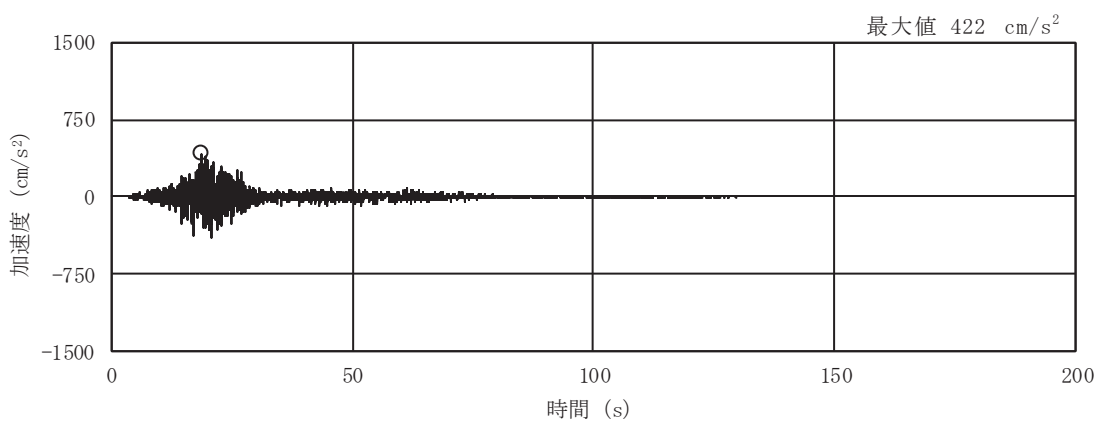


(b) S s - D 2

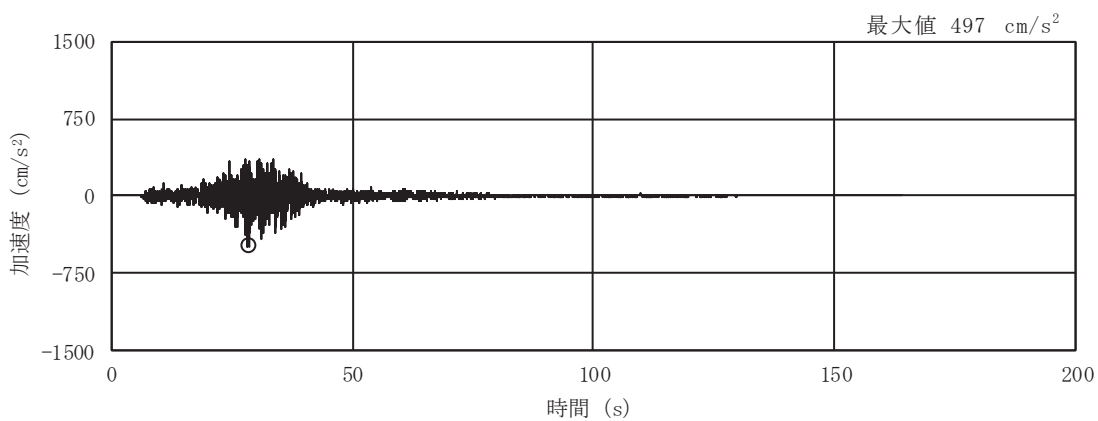


(c) S s - D 3

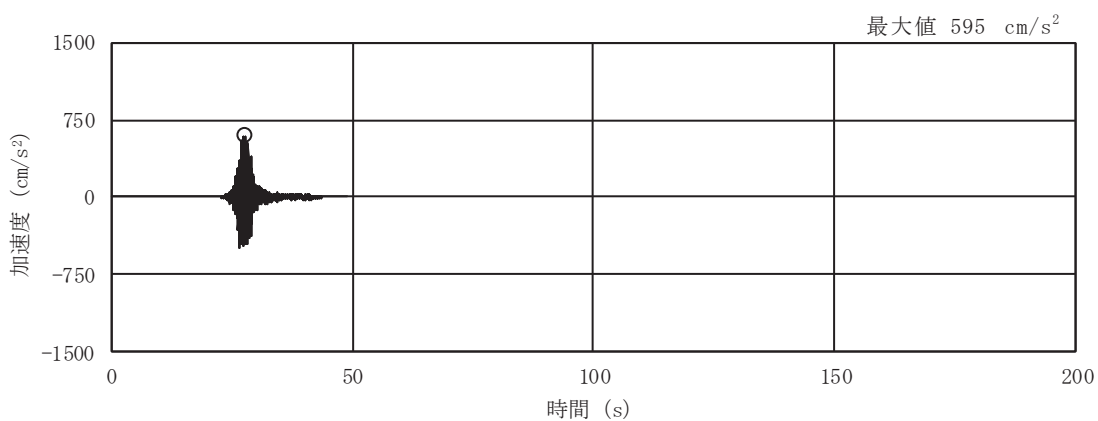
図 2-4(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

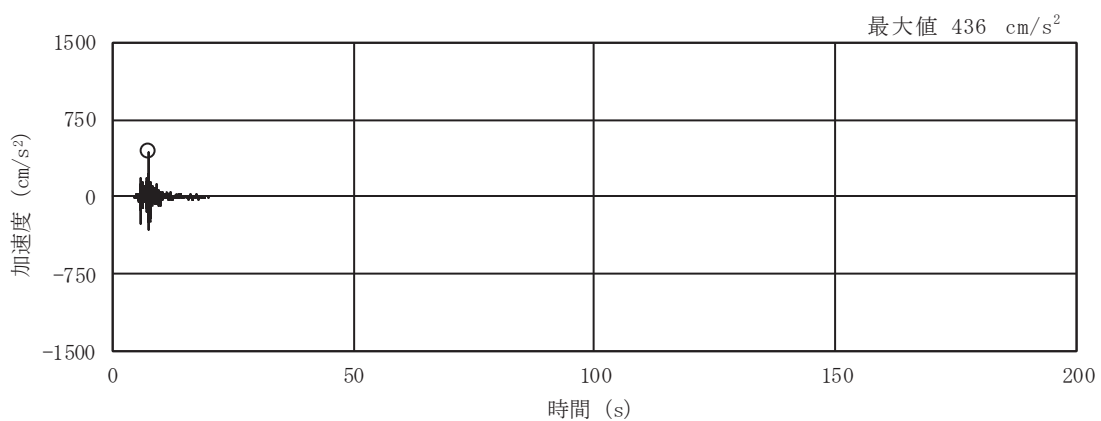


(e) S s - F 2



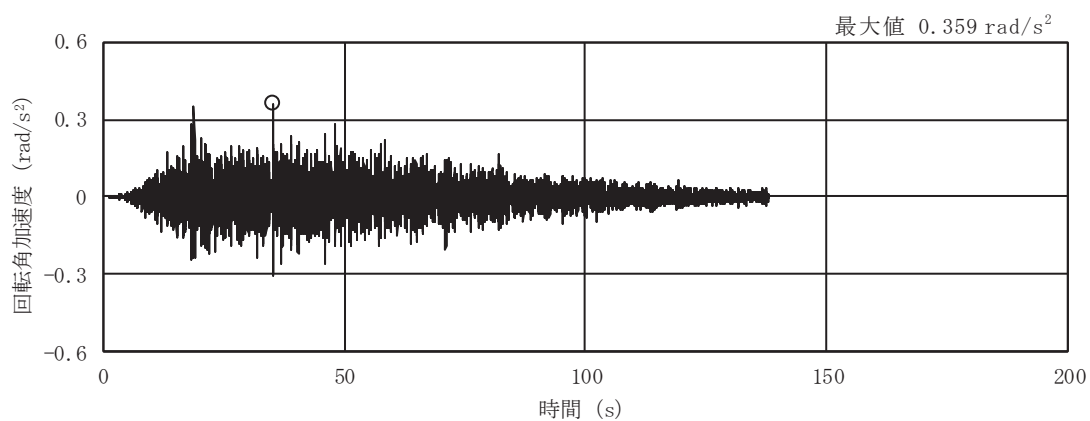
(f) S s - F 3

図 2-4(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

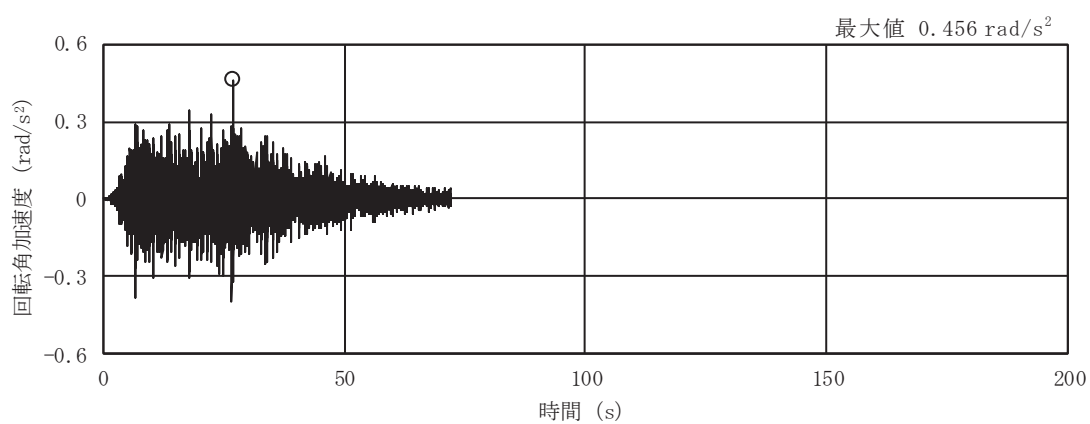


(g) S s - N 1

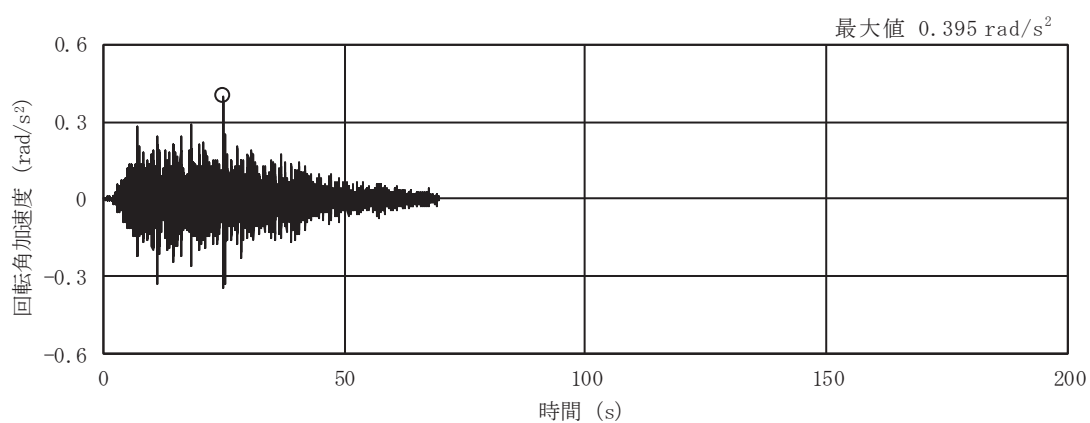
図 2-4(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

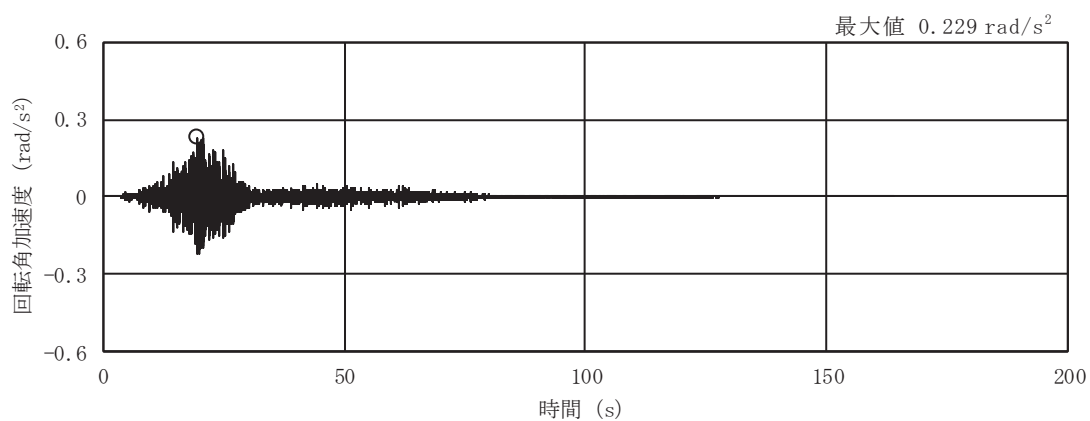


(b) S s - D 2

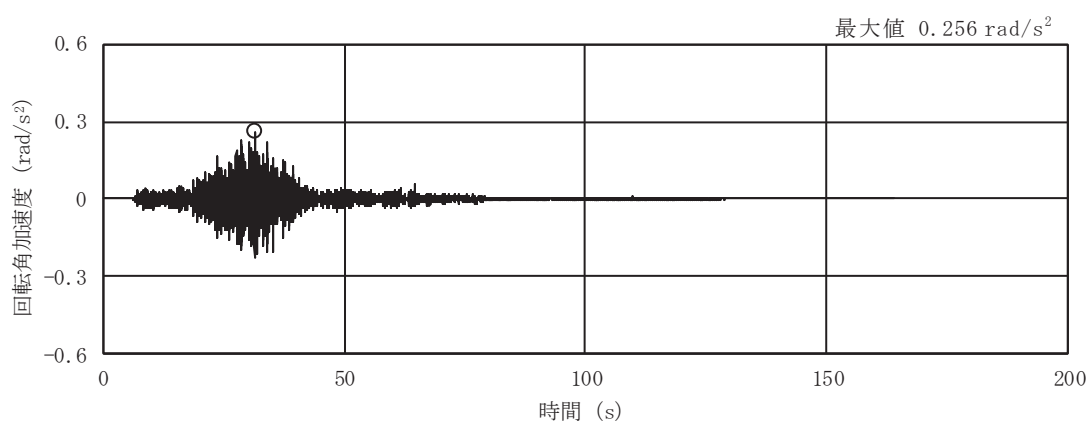


(c) S s - D 3

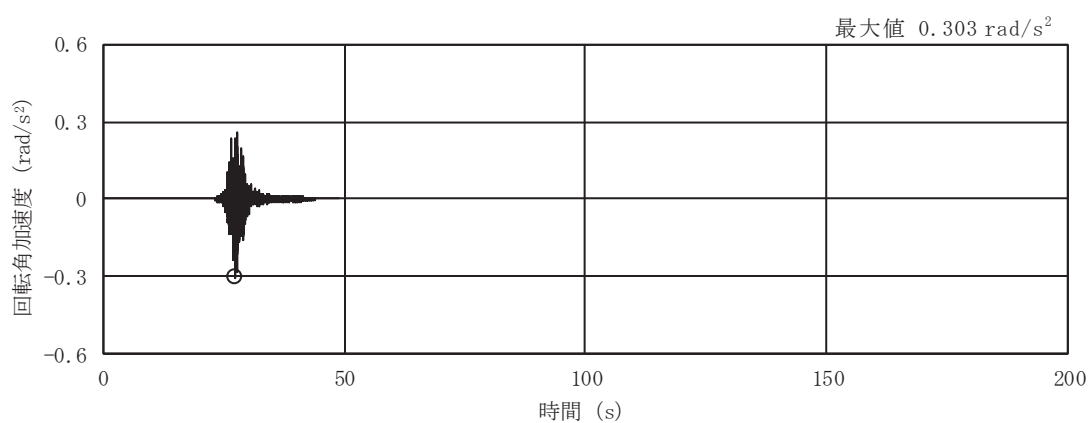
図 2-4(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

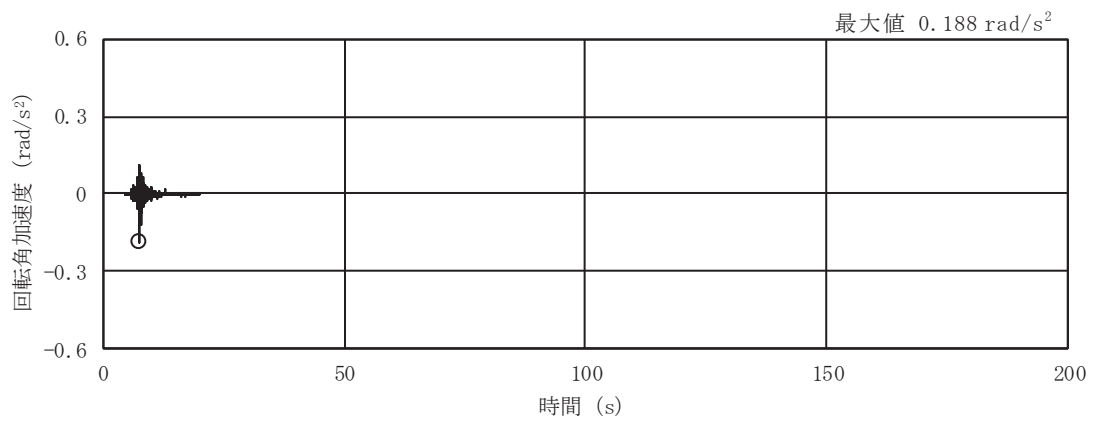


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 2-4(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 回転成分) (2/3)



(g) S s - N 1

図 2-4(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s 剛性低下, ケース⑤, EW 断面 回転成分) (3/3)

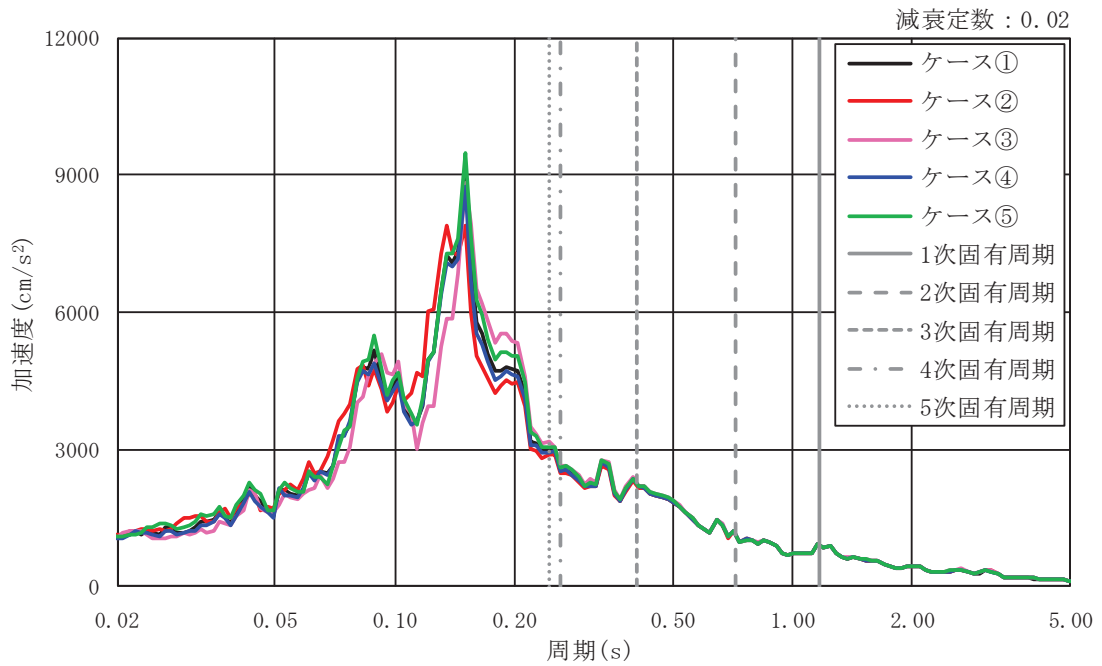


図 2-5(1) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面, 並進成分)

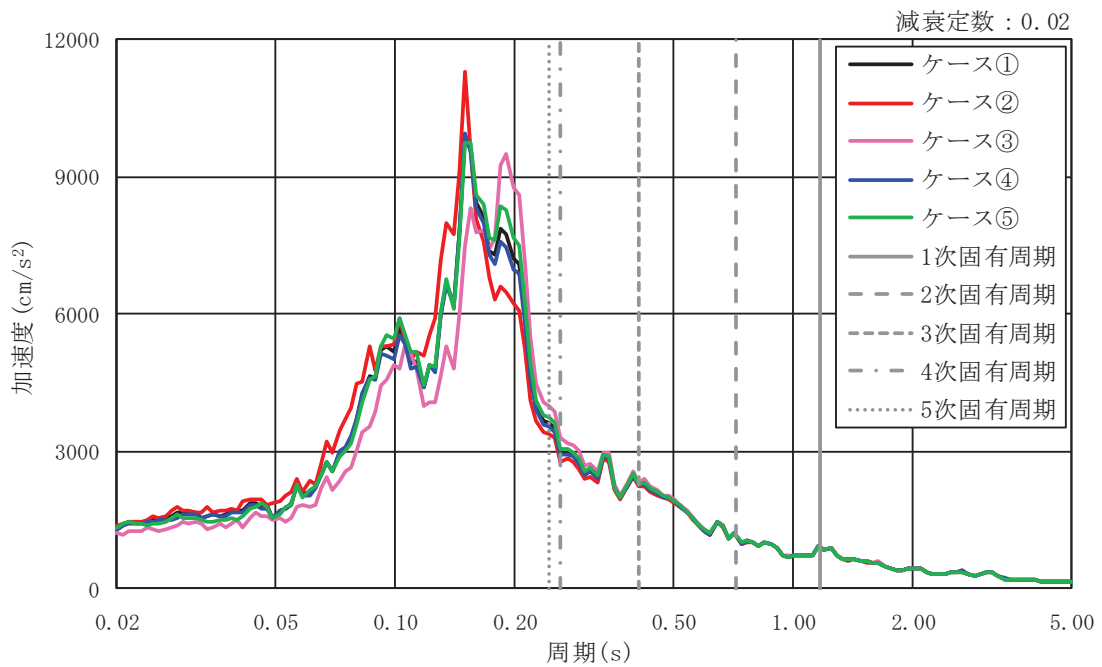


図 2-5(2) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, 並進成分)

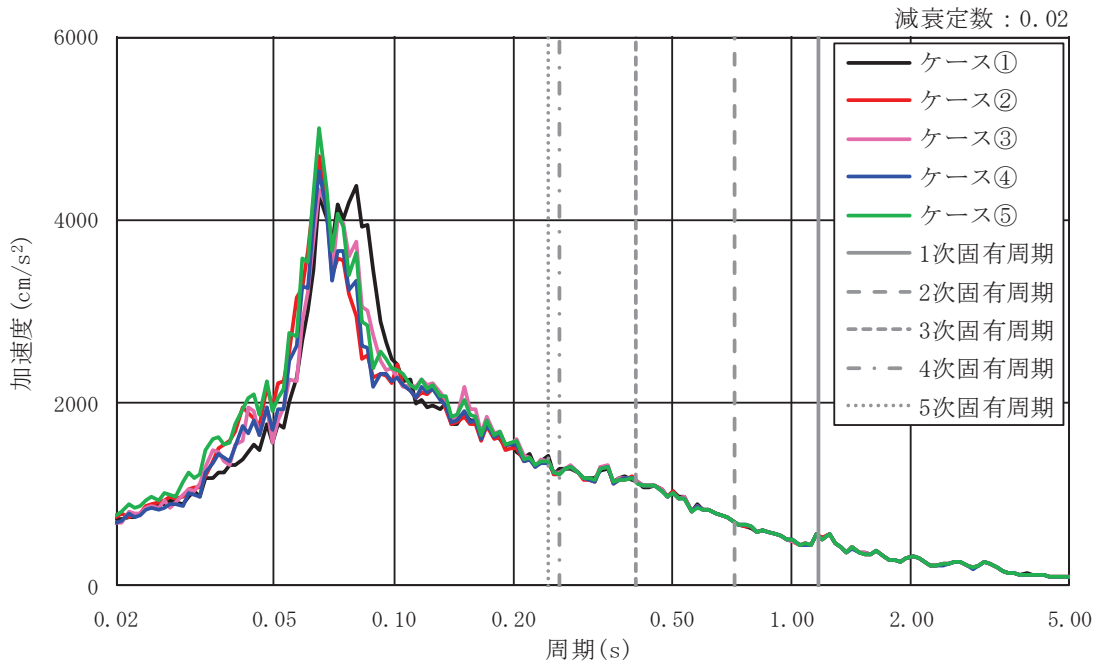


図 2-5(3) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面, 鉛直成分)

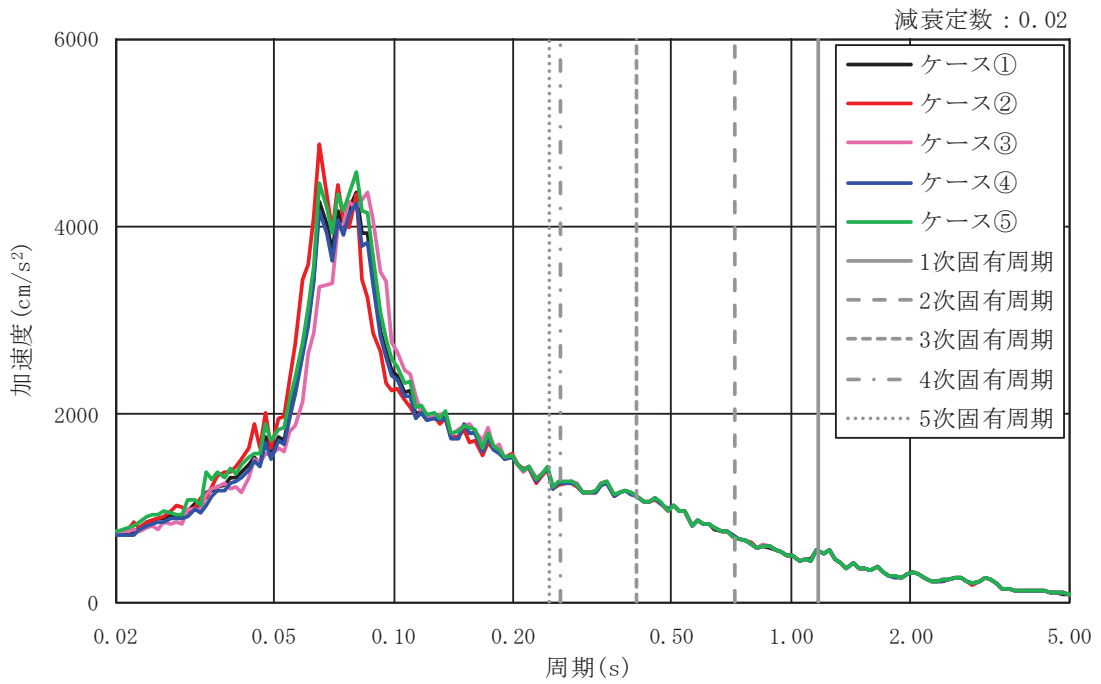


図 2-5(4) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, 鉛直成分)

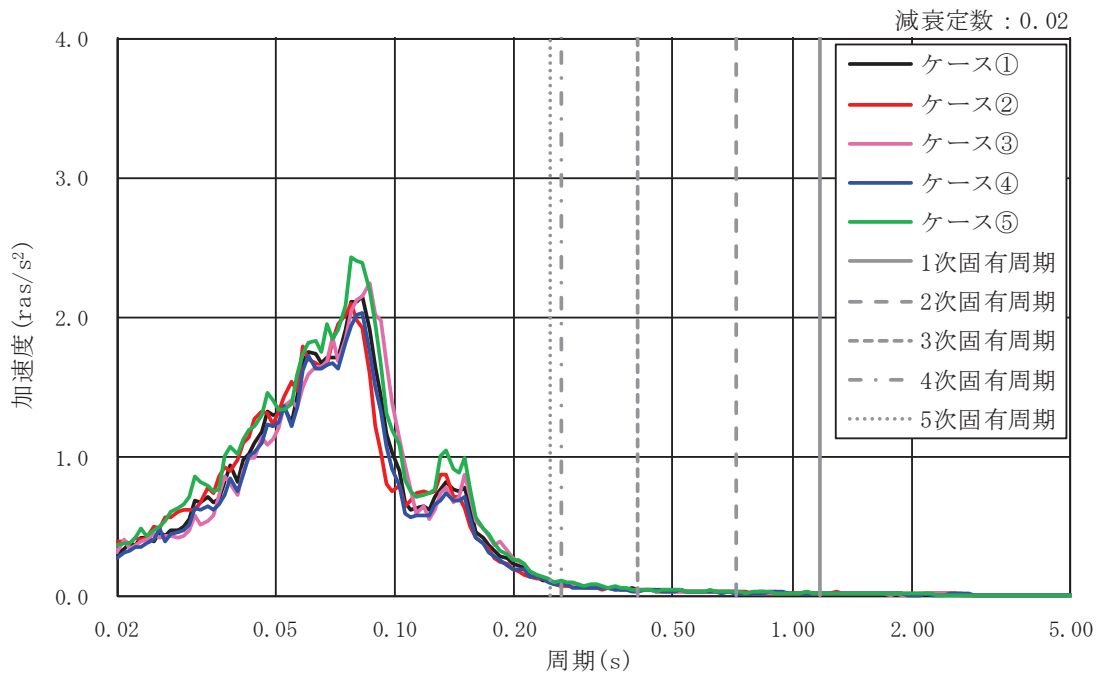


図 2-5(5) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (NS 断面, 回転成分)

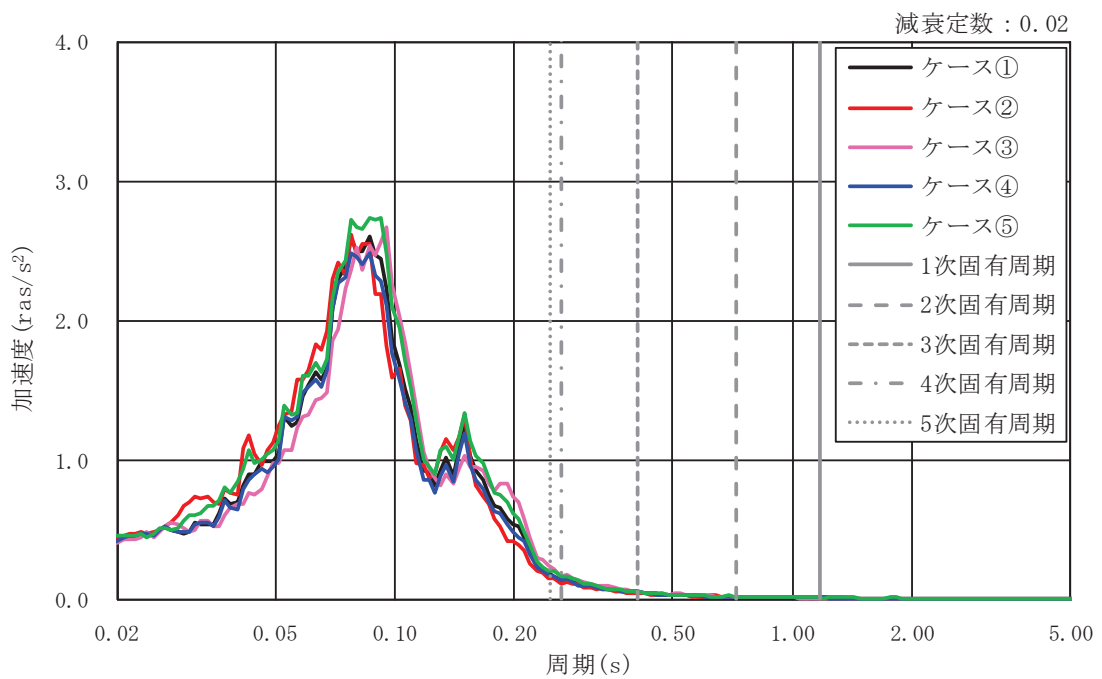


図 2-5(6) 基準地震動 S s 7 波による応答スペクトル (EW 断面, 回転成分)

表 2-2(1) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	894	899	899	894	898
2	0.721	1148	1149	1162	1149	1150
3	0.408	2220	2187	2228	2207	2233
4	0.262	2524	2461	2636	2508	2595
5	0.245	2967	2896	3138	2915	3047

表 2-2(2) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	896	893	895	894	897
2	0.721	1171	1164	1179	1168	1172
3	0.408	2307	2277	2374	2300	2329
4	0.262	2967	2768	3279	2925	3067
5	0.245	3604	3373	3988	3541	3743

表 2-2(3) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	548	551	546	547	548
2	0.721	699	700	705	698	698
3	0.408	1141	1142	1148	1134	1136
4	0.262	1273	1229	1241	1215	1229
5	0.245	1401	1340	1349	1332	1346

表 2-2(4) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	548	548	546	548	548
2	0.721	699	700	699	700	700
3	0.408	1141	1128	1142	1141	1136
4	0.262	1273	1251	1278	1266	1281
5	0.245	1401	1387	1400	1395	1418

表 2-2(5) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 回転成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (rad/s ²)				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	0.021	0.018	0.020	0.017	0.024
2	0.721	0.025	0.026	0.027	0.025	0.029
3	0.408	0.047	0.040	0.039	0.036	0.050
4	0.262	0.094	0.073	0.093	0.085	0.110
5	0.245	0.106	0.107	0.115	0.093	0.121

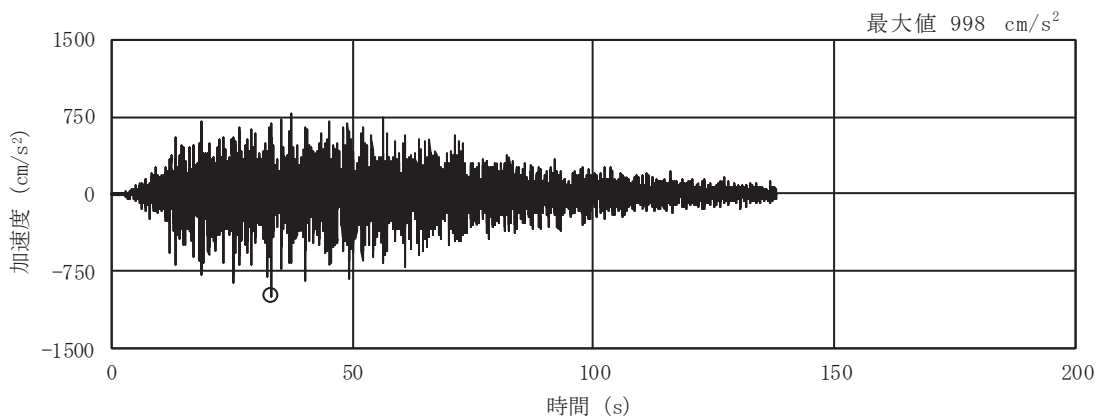
表 2-2(6) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 回転成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (rad/s ²)				
		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④	ケース ⑤
1	1.175	0.012	0.012	0.012	0.013	0.013
2	0.721	0.020	0.019	0.019	0.017	0.021
3	0.408	0.053	0.050	0.061	0.055	0.056
4	0.262	0.140	0.119	0.170	0.143	0.163
5	0.245	0.189	0.154	0.243	0.172	0.204

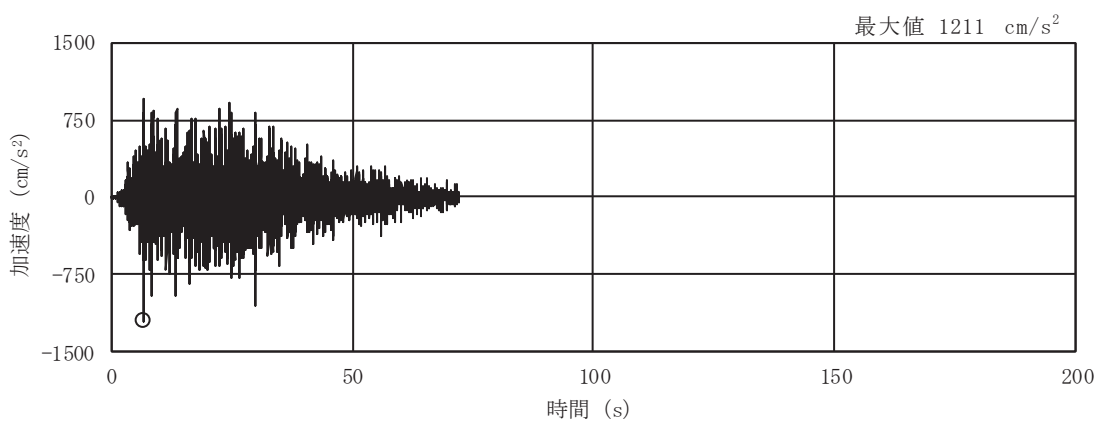
2.3 水平方向の位相反転の影響検討

水平方向の位相を反転させた入力地震動に対する排気筒基礎の地震応答解析結果から得られる基礎上端レベル(0. P. 15. 3m)における加速度時刻歴波形を図 2-6 に示す。

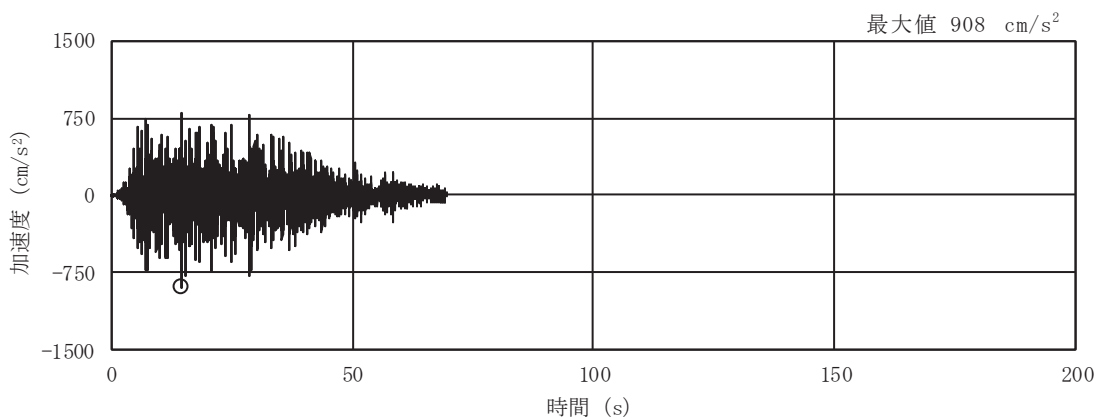
また、ケース①と⑥の応答スペクトルの比較を図 2-7 に、応答スペクトルの比較結果を表 2-3 に示す。応答スペクトルに記載の 1 次モード～5 次モードの線は、排気筒の主要モードにおける固有周期を示す。基本ケースと比べケース⑥の応答はほとんど変わらないことを確認した。



(a) S s - D 1

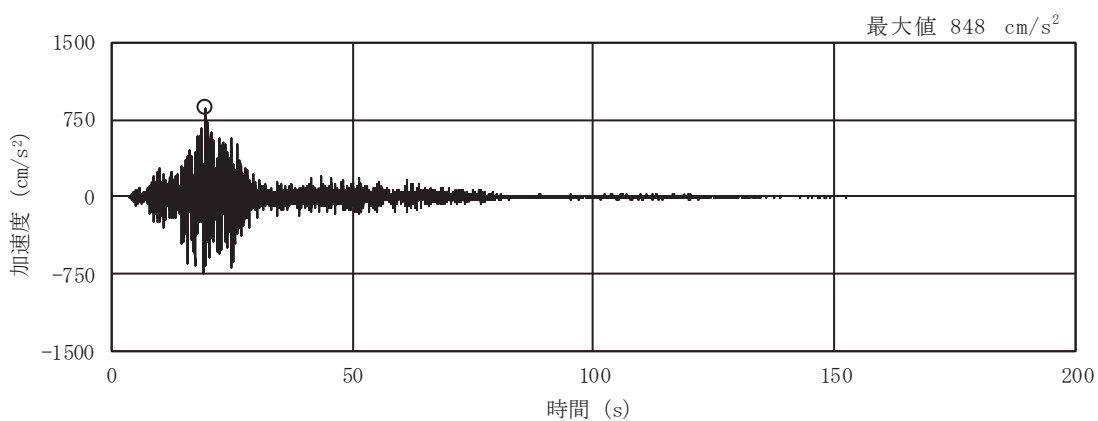


(b) S s - D 2

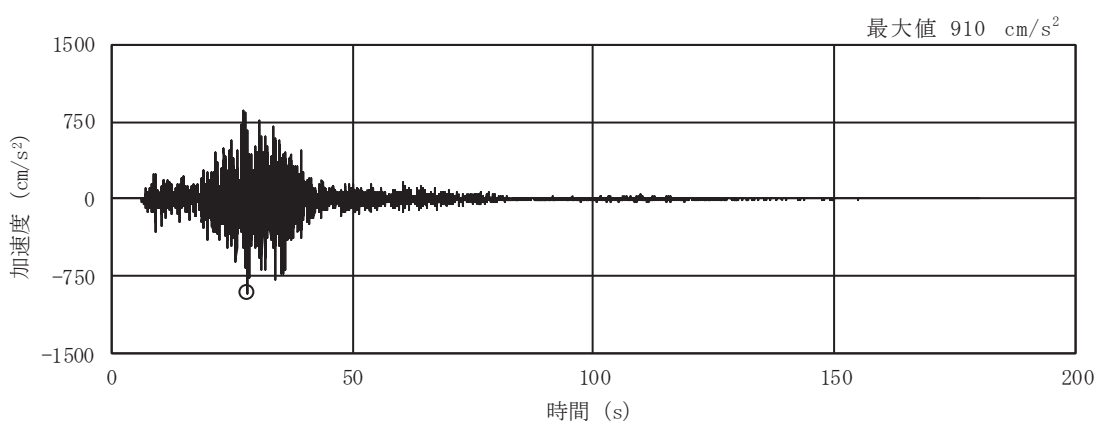


(c) S s - D 3

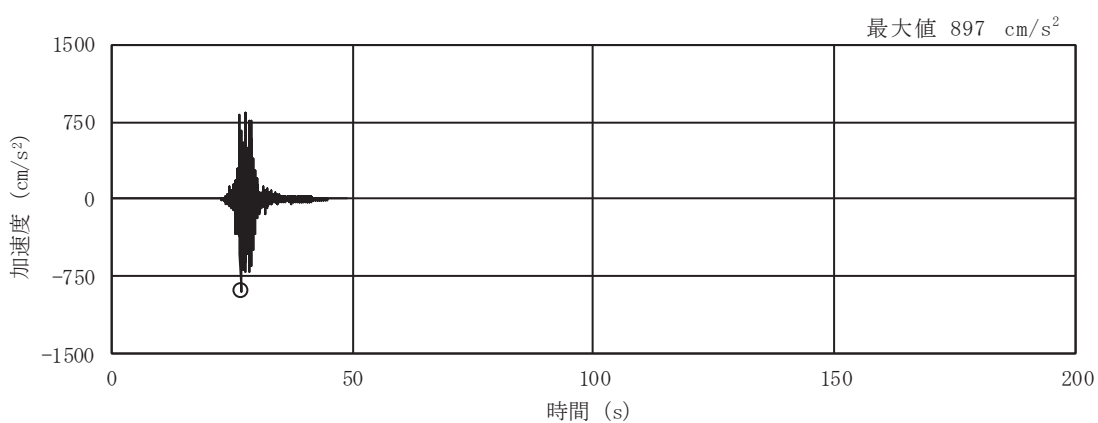
図 2-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

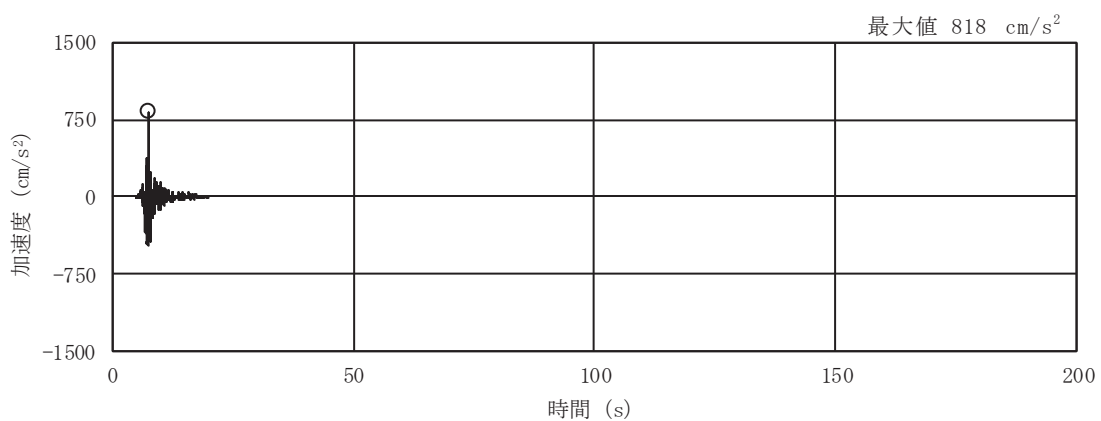


(e) S s - F 2



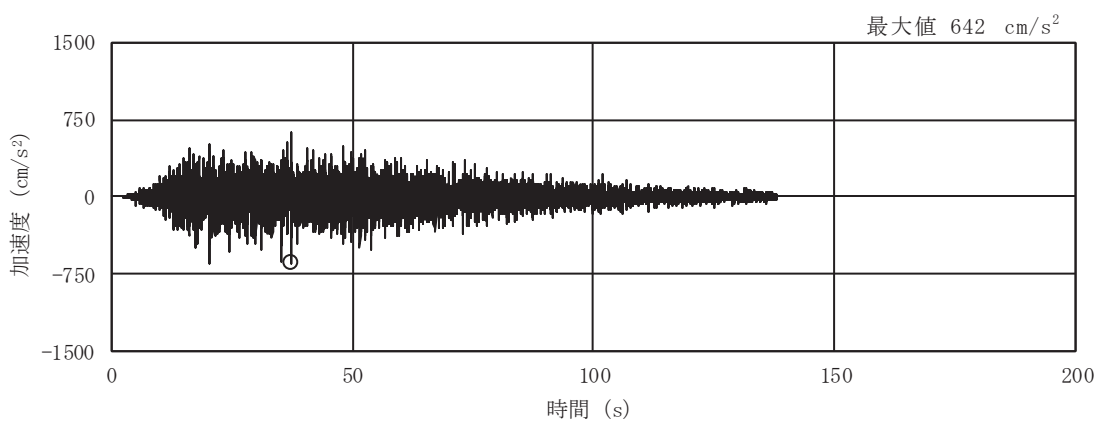
(f) S s - F 3

図 2-6(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 並進成分) (2/3)

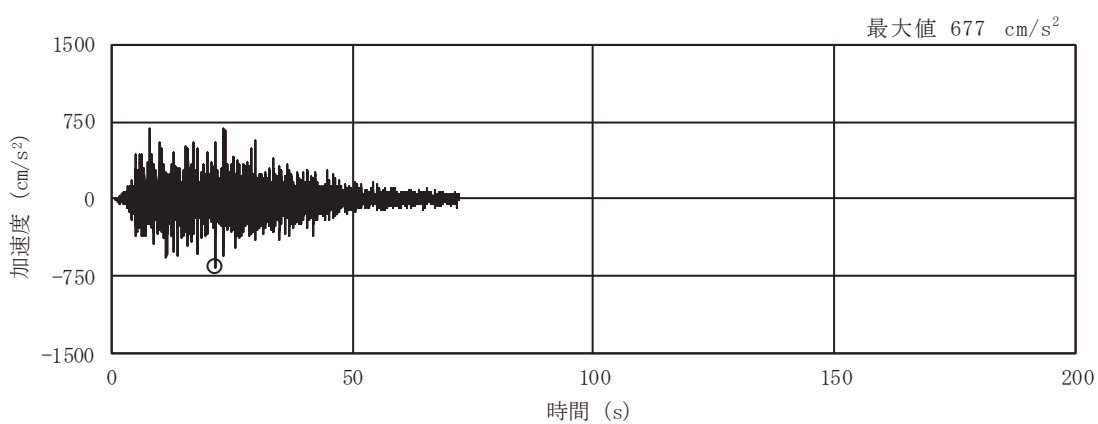


(g) S s - N 1

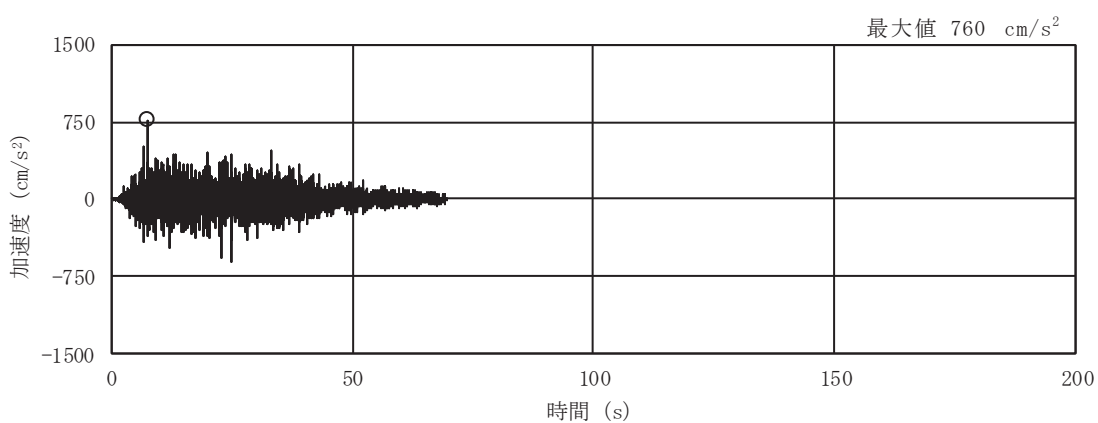
図 2-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

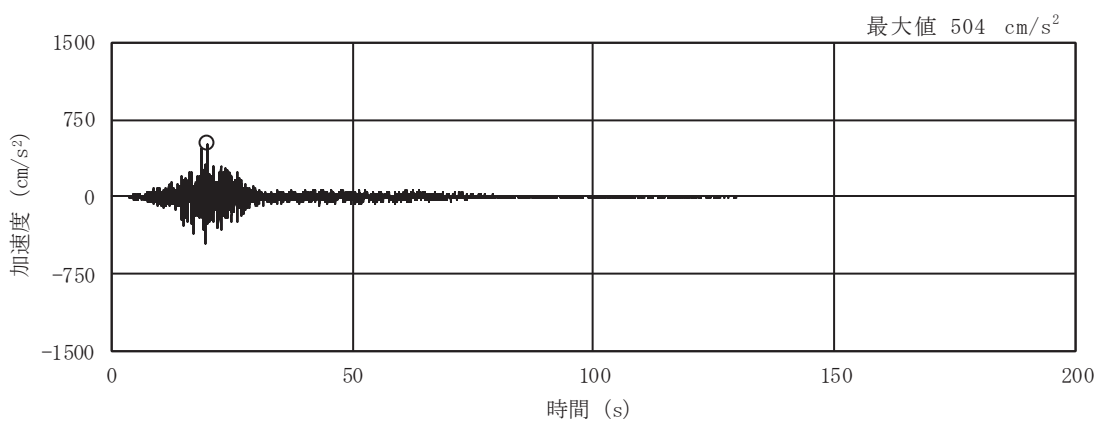


(b) S s - D 2

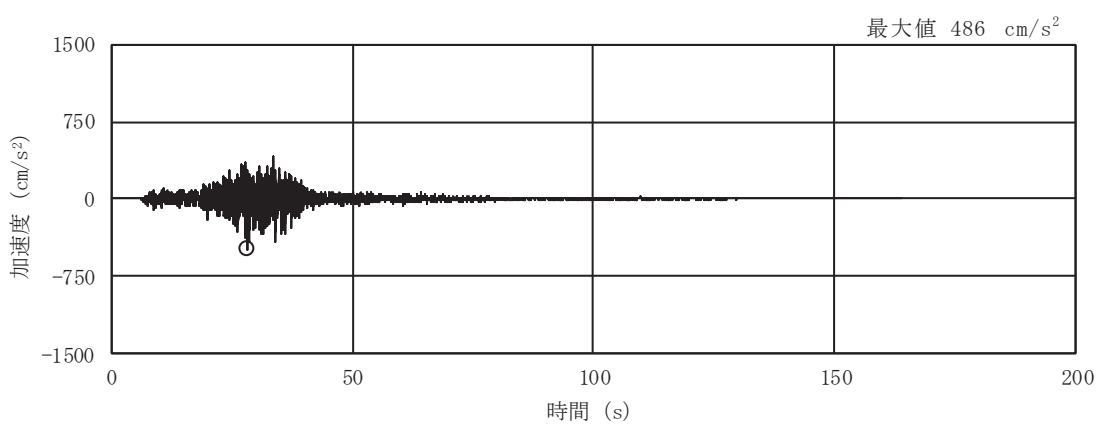


(c) S s - D 3

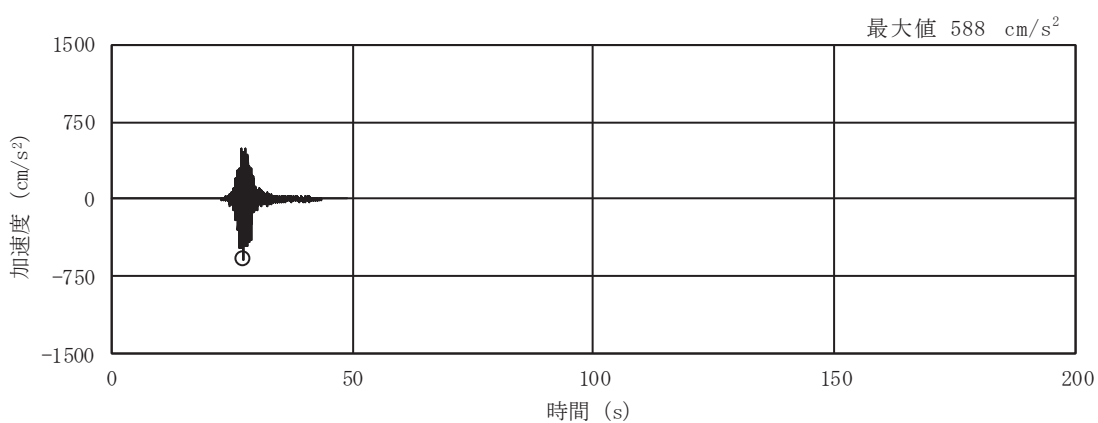
図 2-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

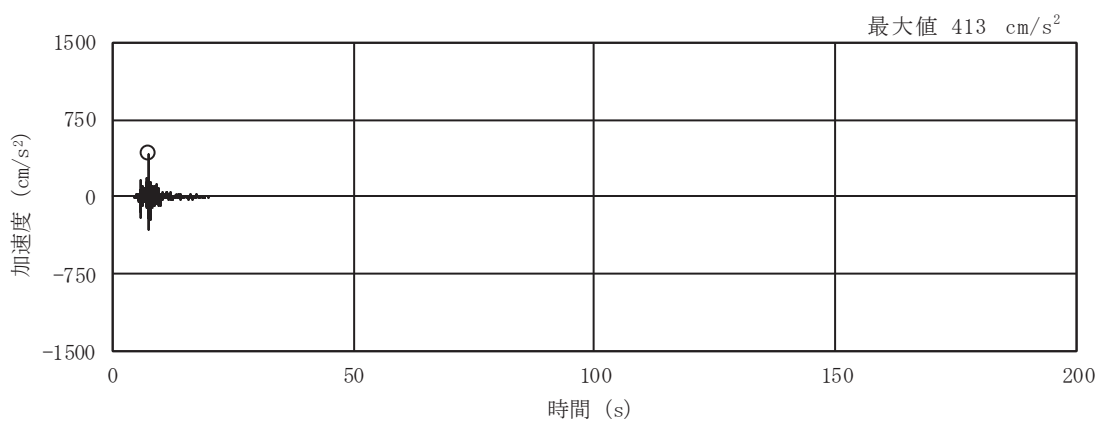


(e) S s - F 2



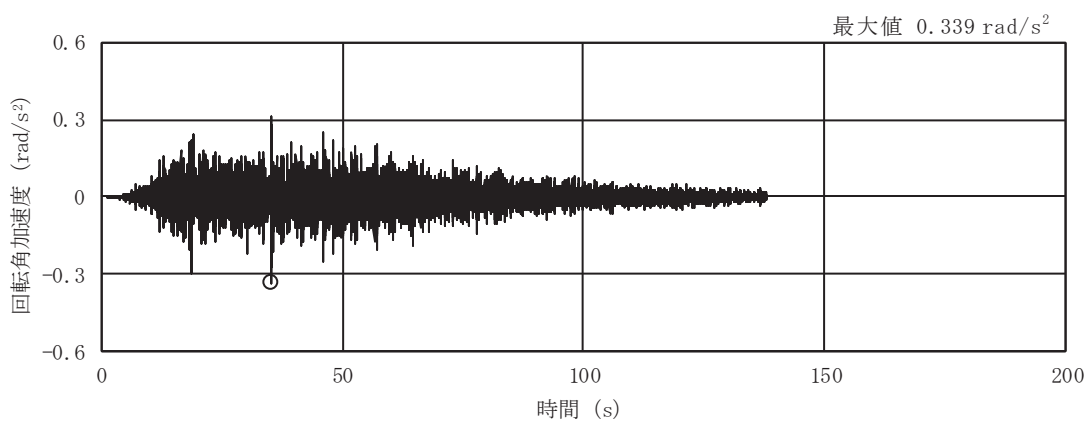
(f) S s - F 3

図 2-6(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

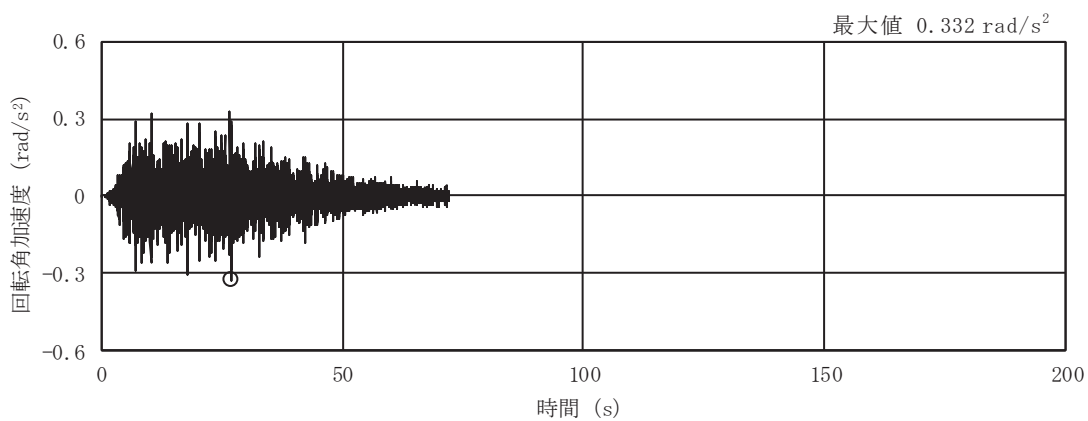


(g) S s - N 1

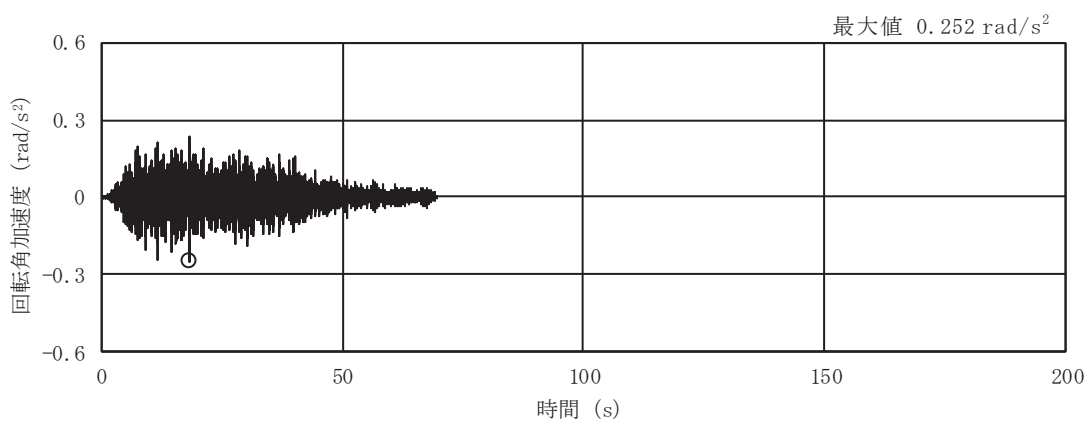
図 2-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

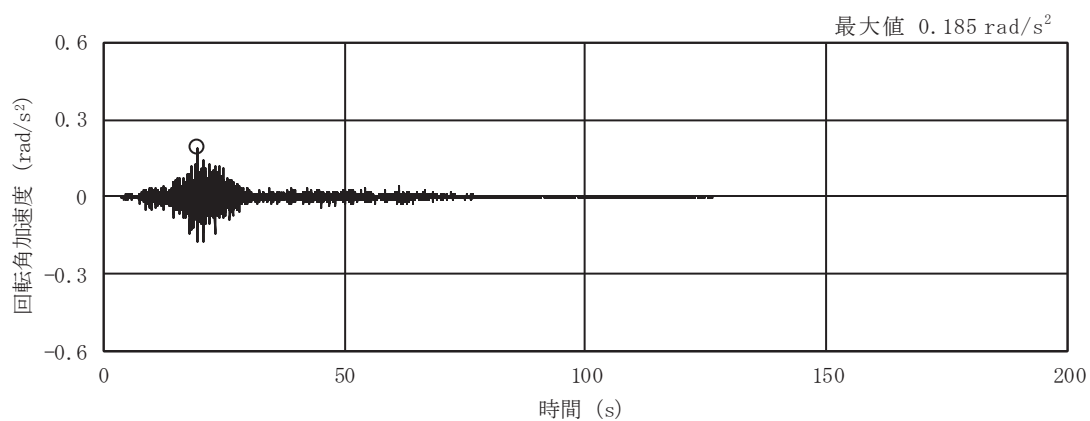


(b) S s - D 2

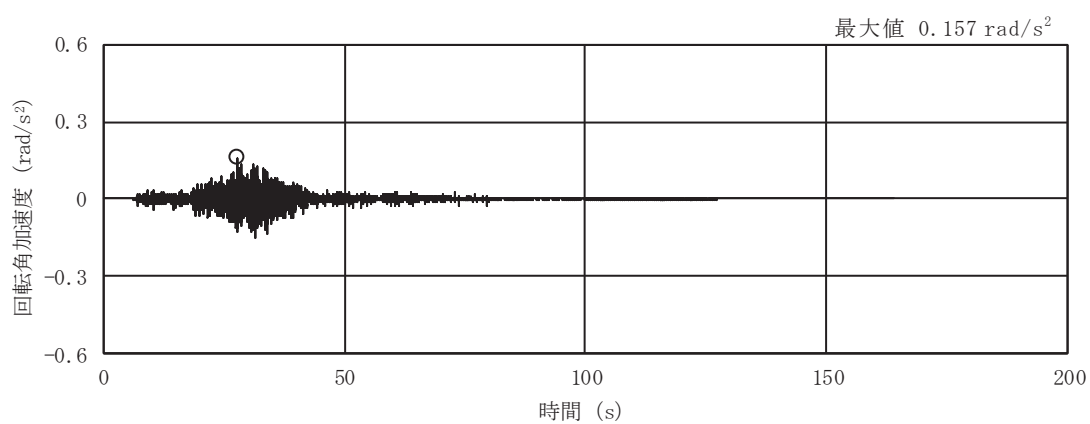


(c) S s - D 3

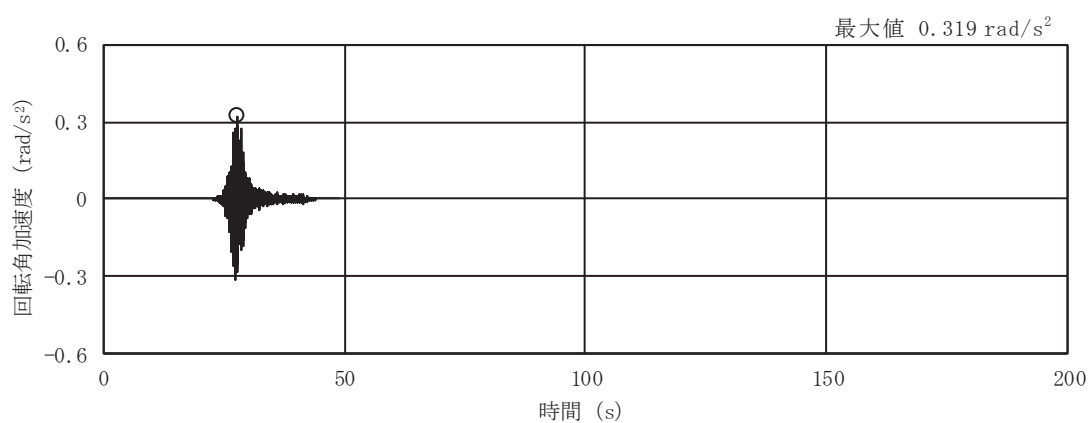
図 2-6(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

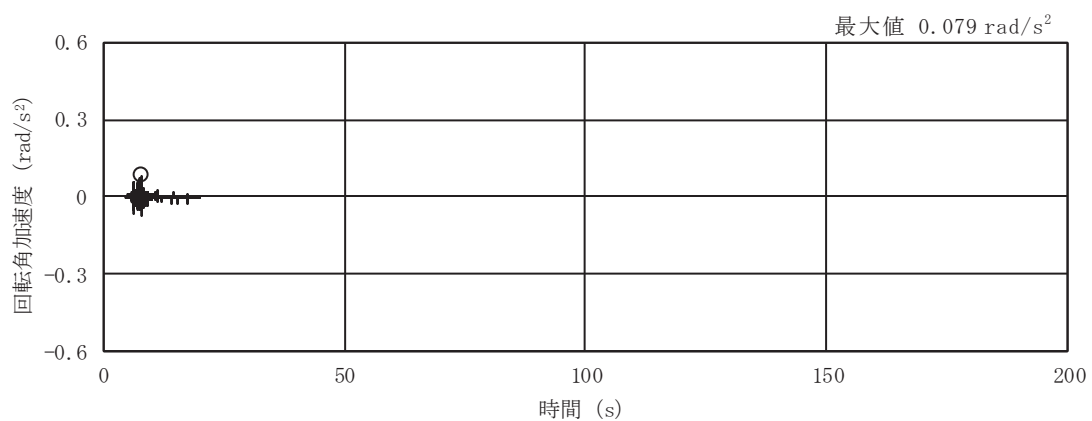


(e) S s - F 2



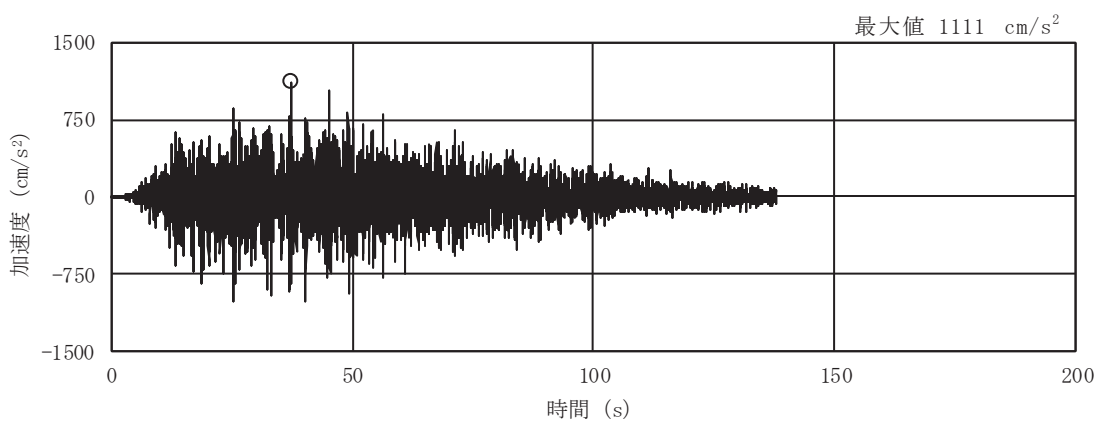
(f) S s - F 3

図 2-6(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 回転成分) (2/3)

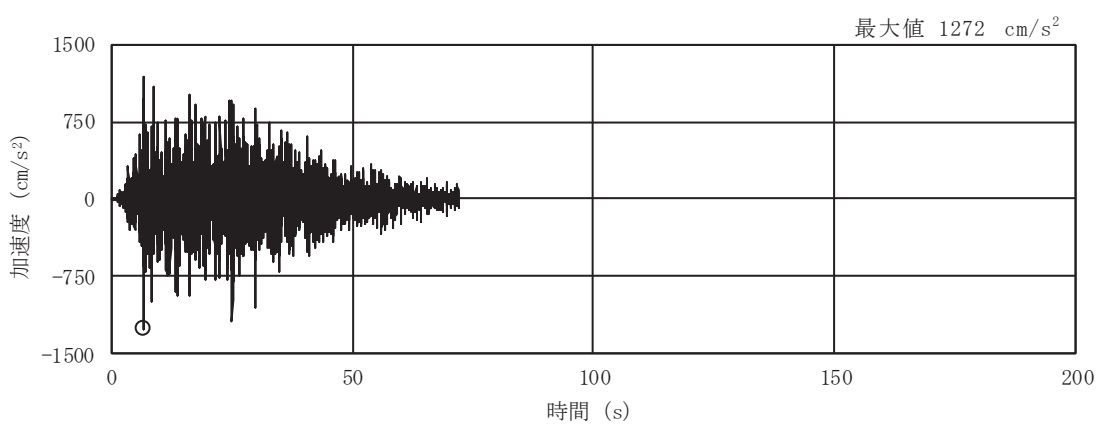


(g) S s - N 1

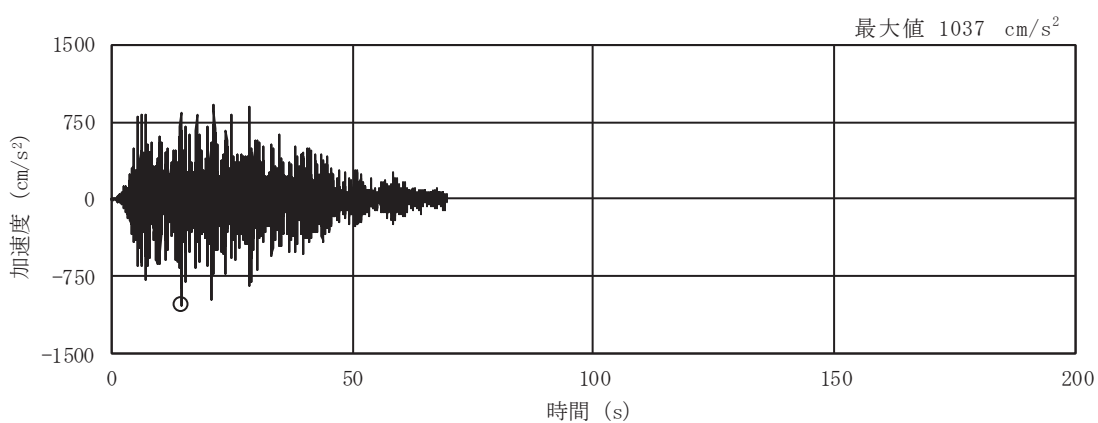
図 2-6(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

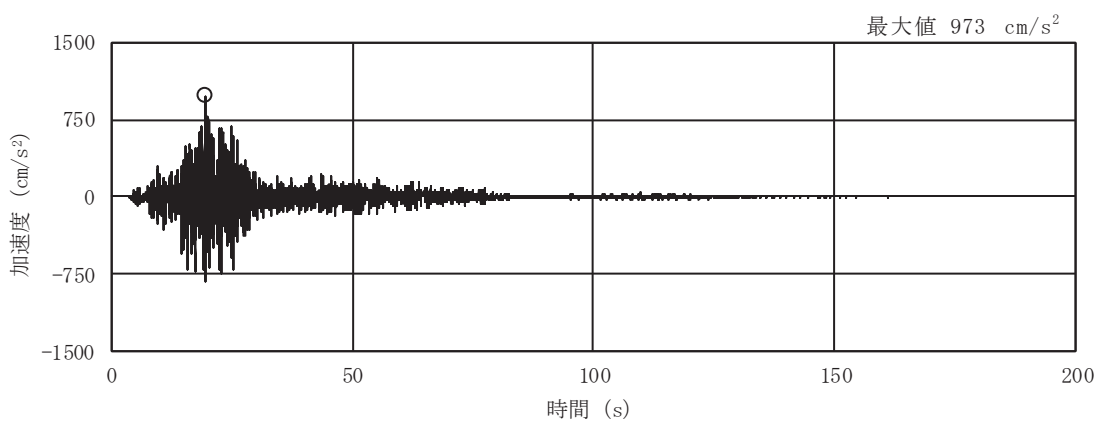


(b) S s - D 2

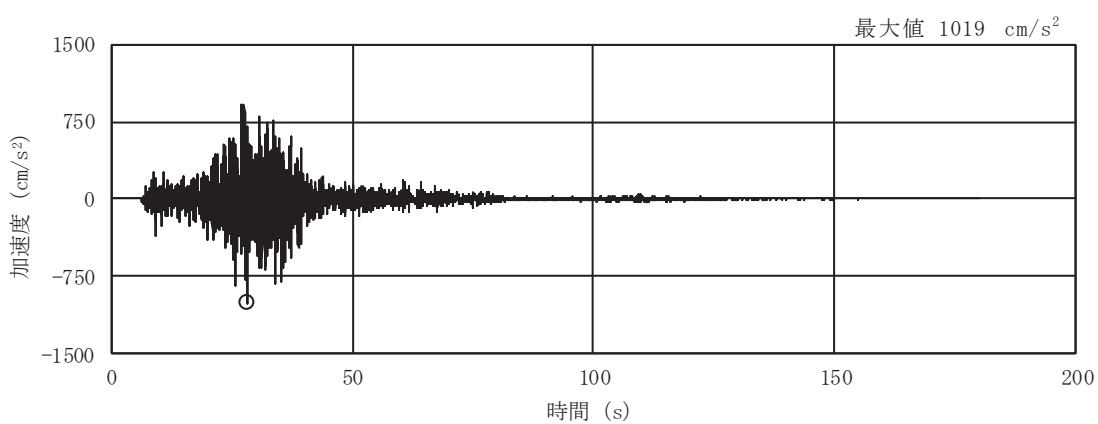


(c) S s - D 3

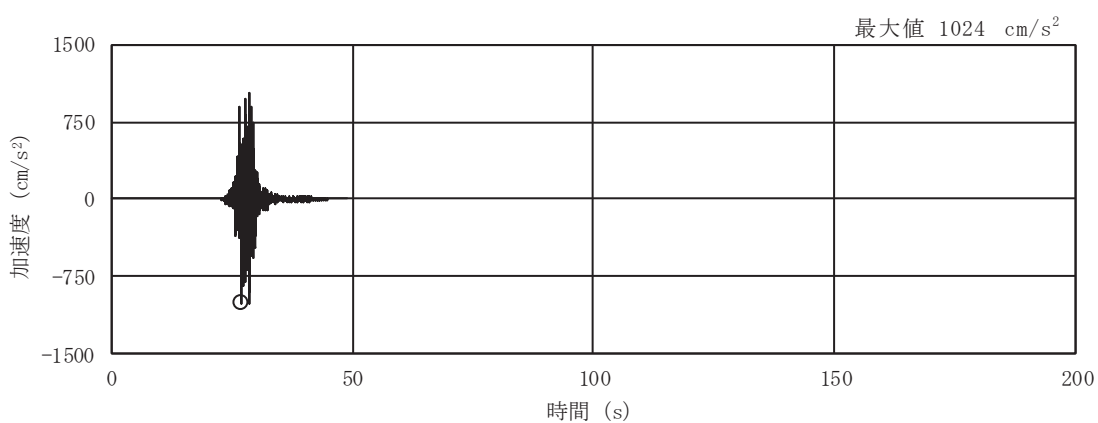
図 2-6(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

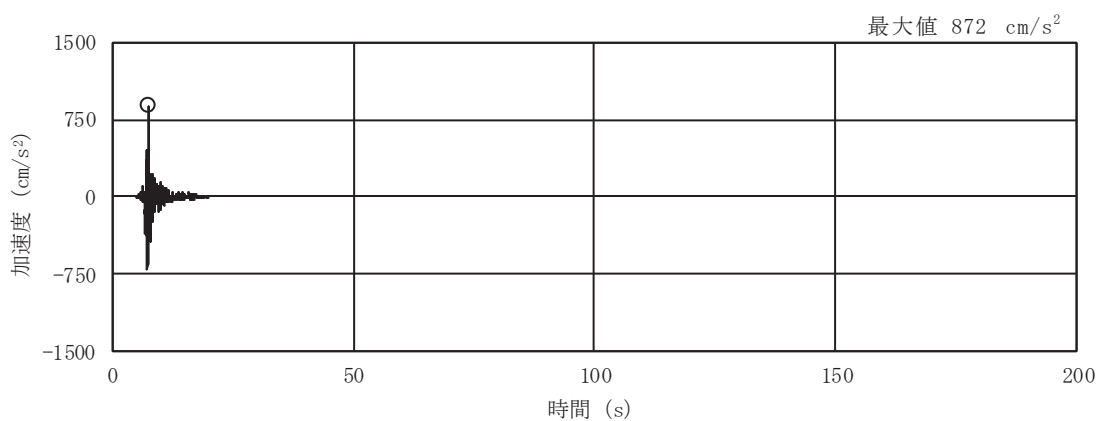


(e) S s - F 2



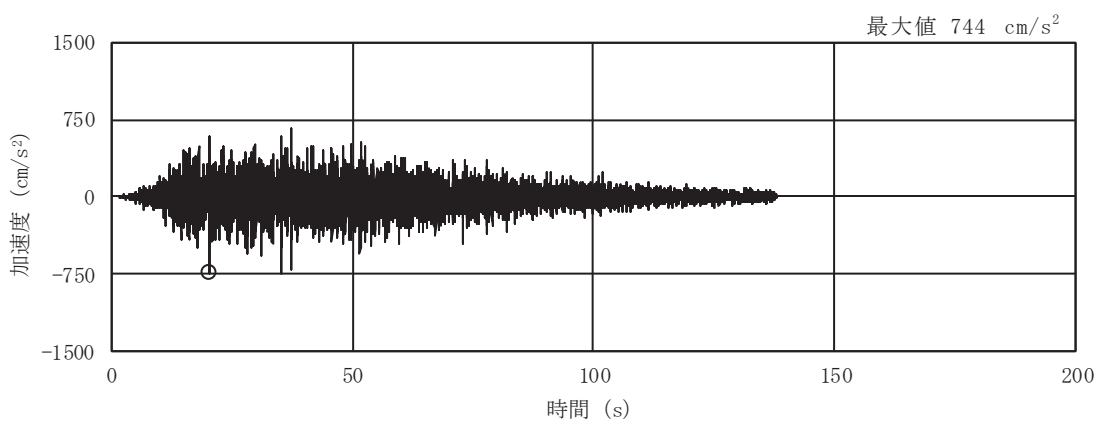
(f) S s - F 3

図 2-6(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 並進成分) (2/3)

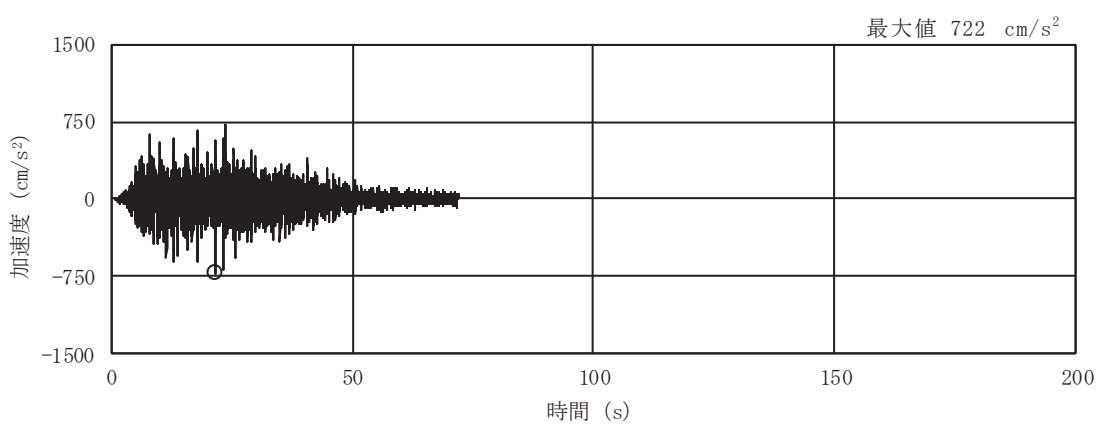


(g) S s - N 1

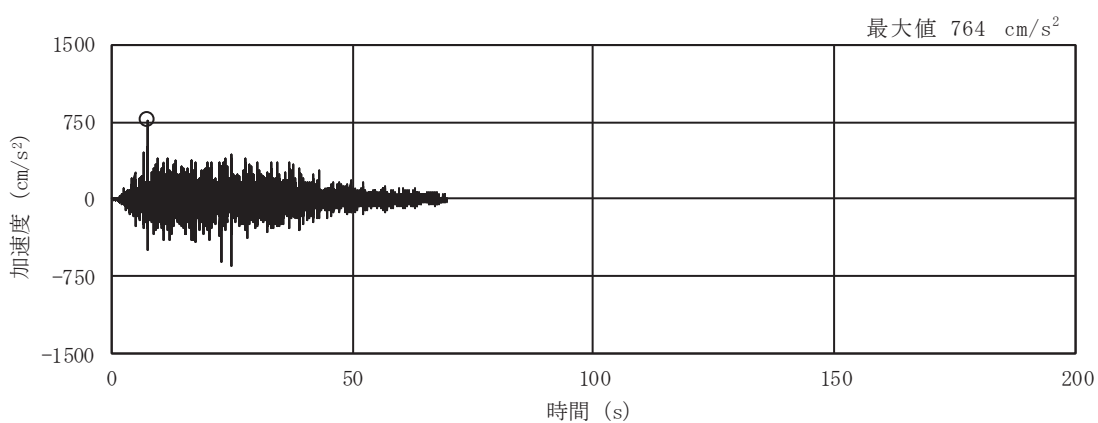
図 2-6(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

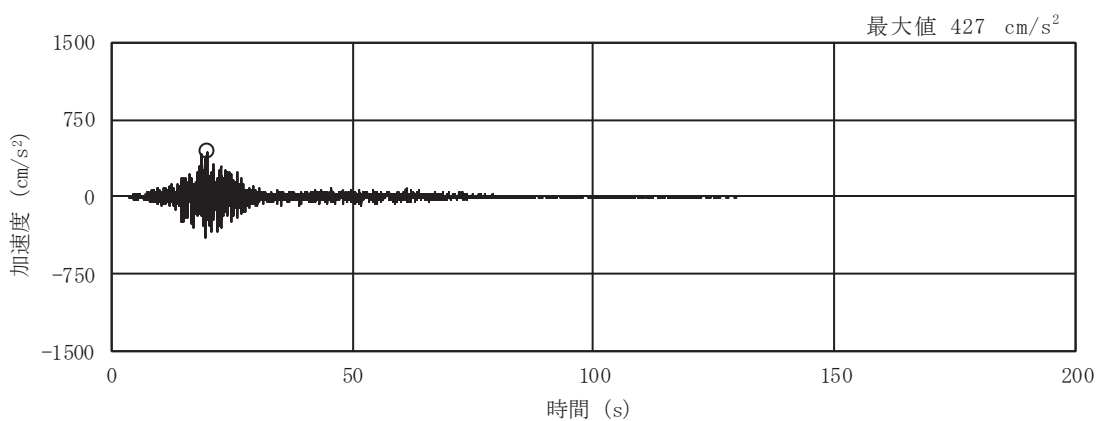


(b) S s - D 2

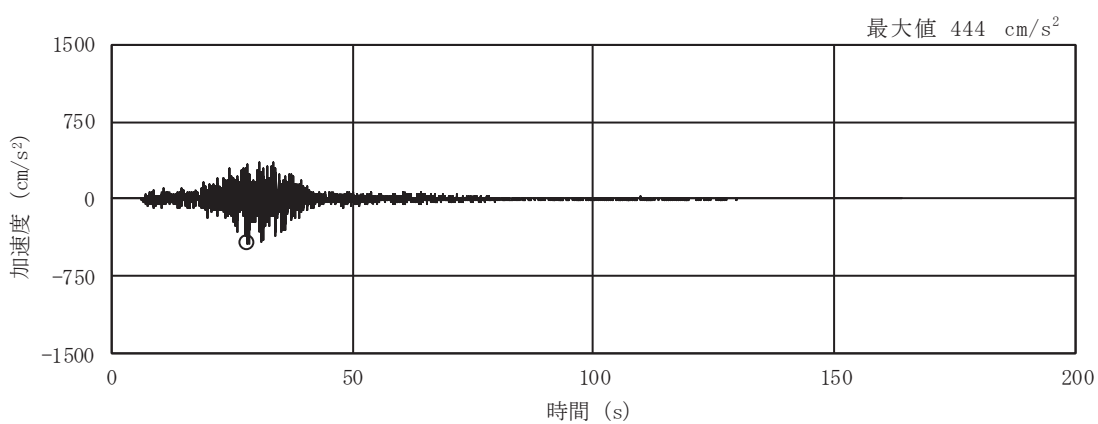


(c) S s - D 3

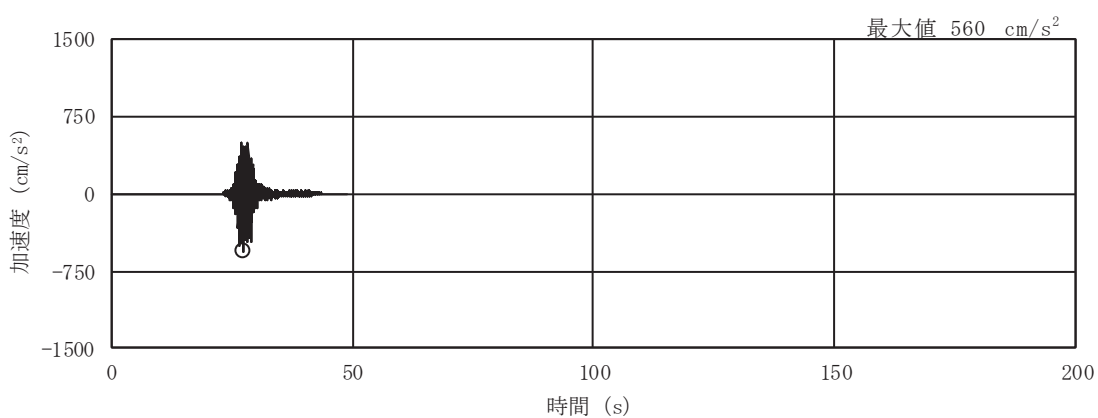
図 2-6(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

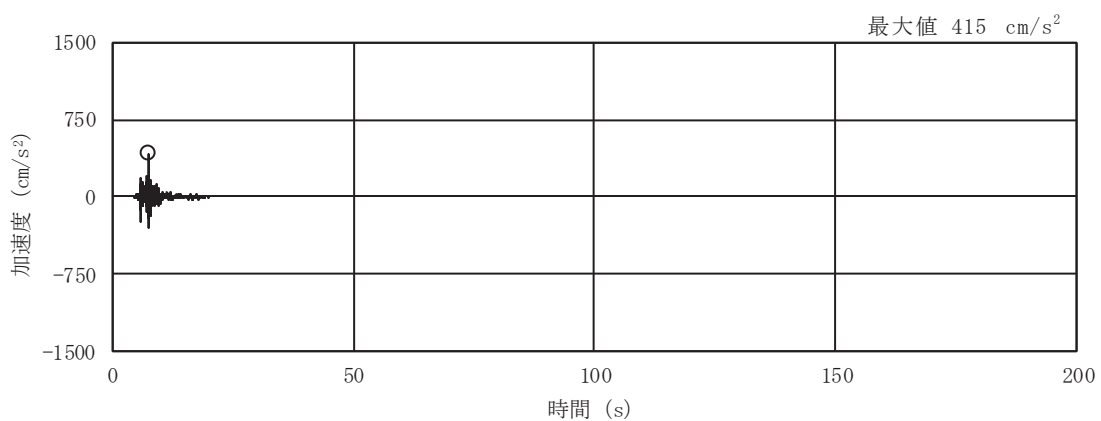


(e) S s - F 2



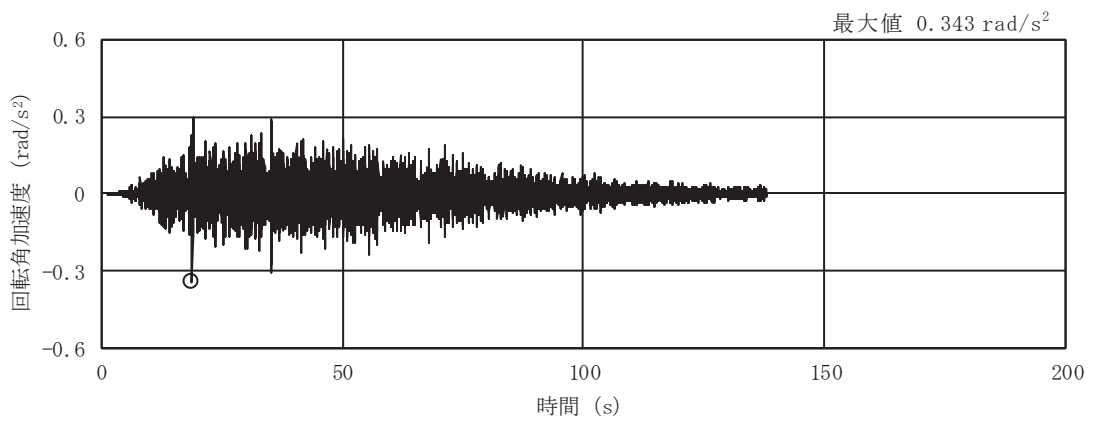
(f) S s - F 3

図 2-6(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

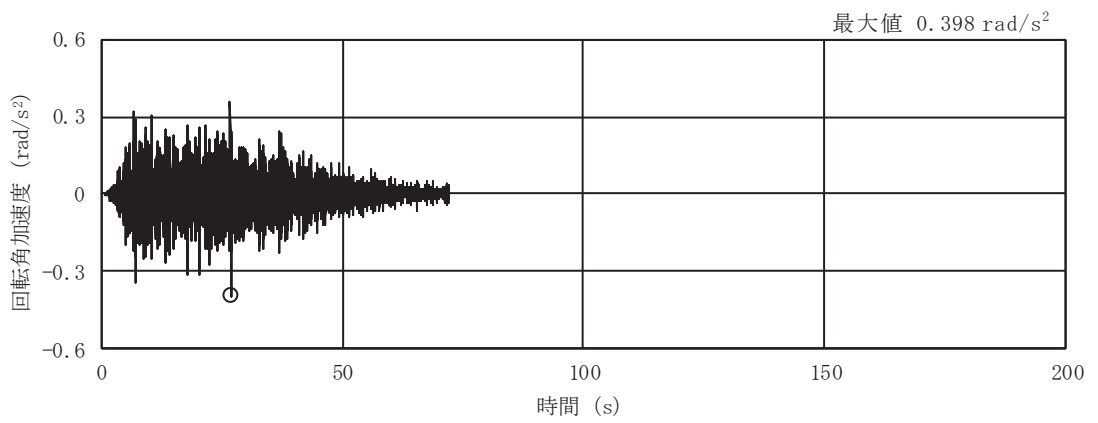


(g) S s - N 1

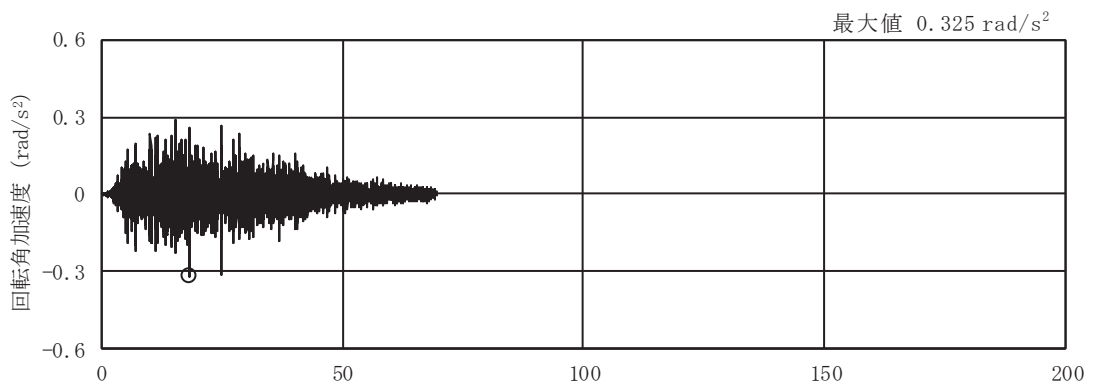
図 2-6(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

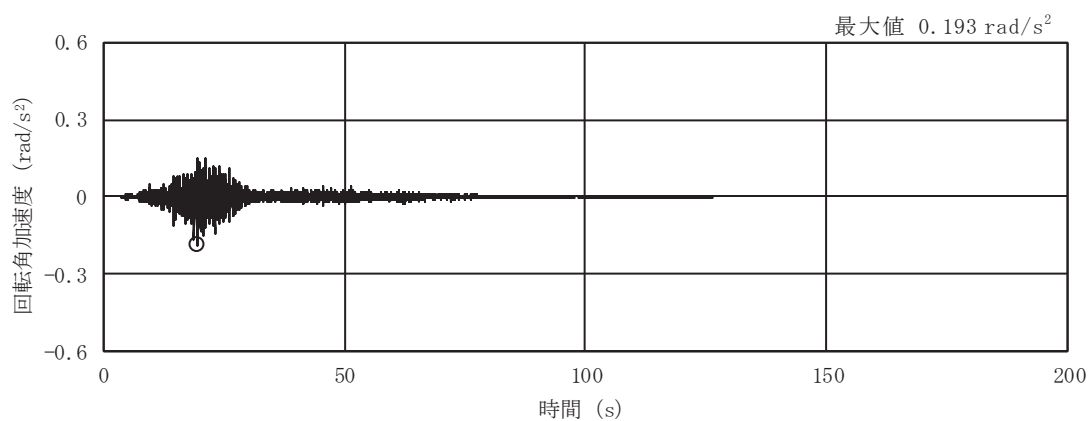


(b) S s - D 2

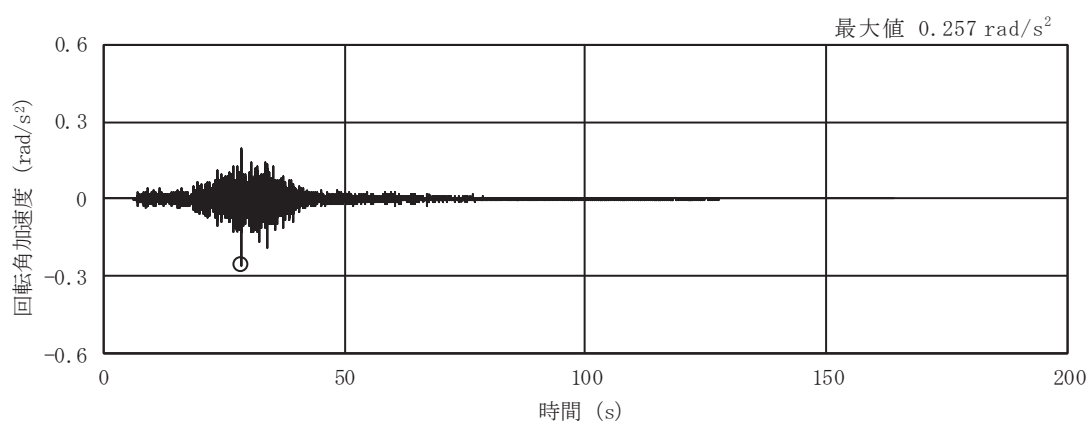


(c) S s - D 3

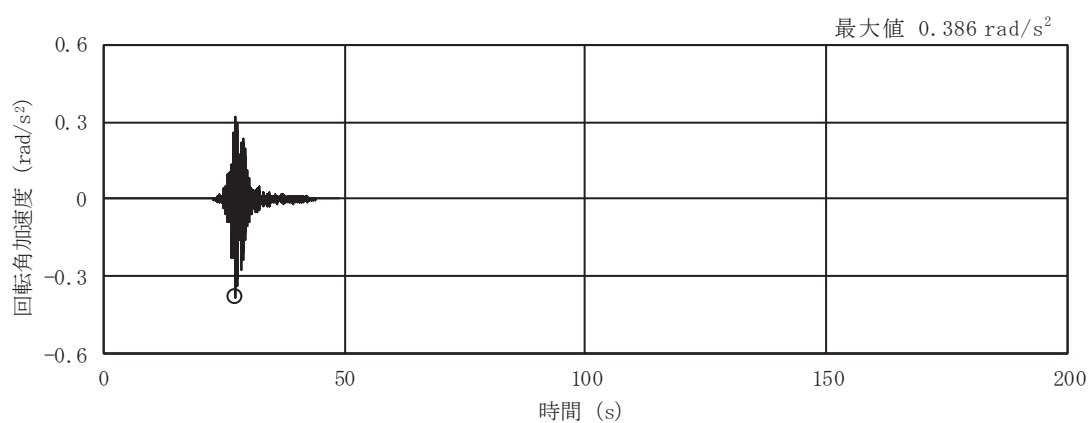
図 2-6(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S s - F 1

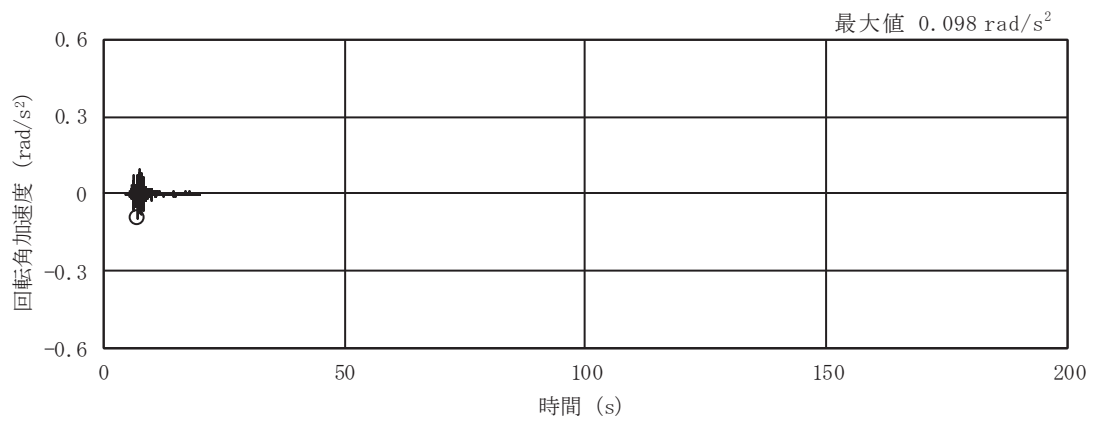


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 2-6(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 回転成分) (2/3)



(g) S s - N 1

図 2-6(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(S s ばらつき, ケース⑥, EW 断面 回転成分) (3/3)

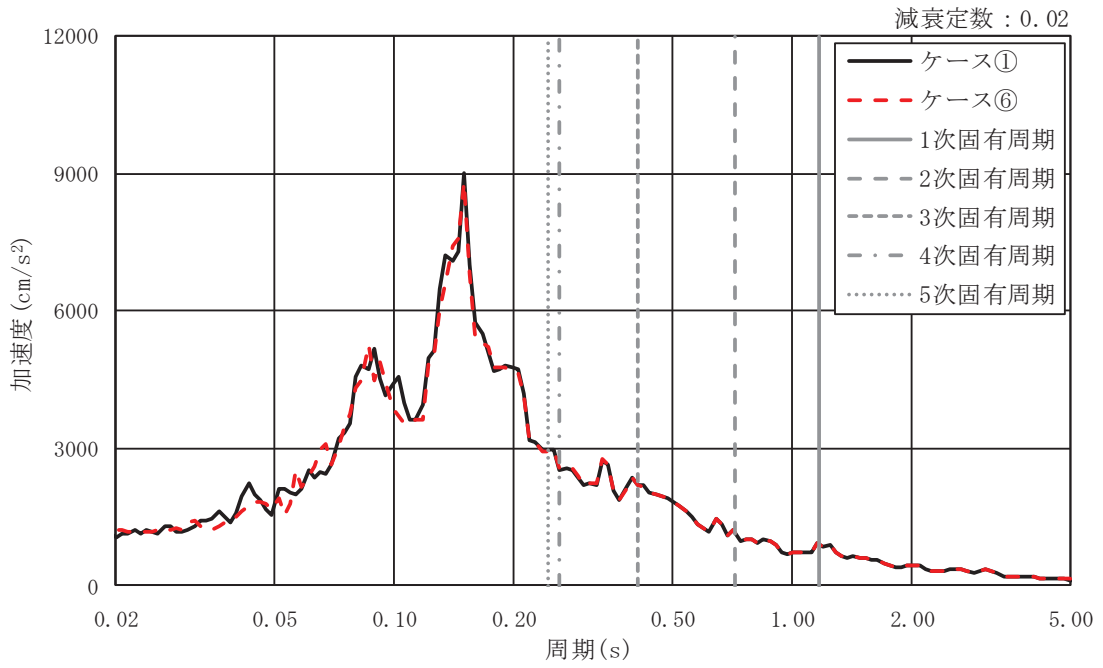


図 2-7(1) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (NS 断面, 並進成分)

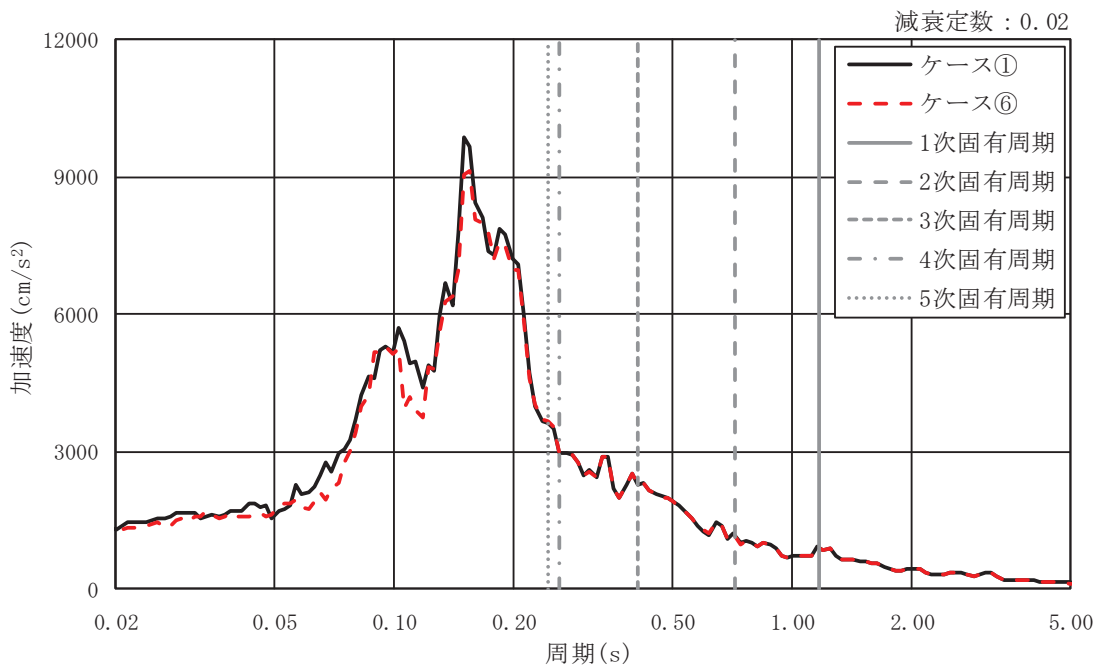


図 2-7(2) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (EW 断面, 並進成分)

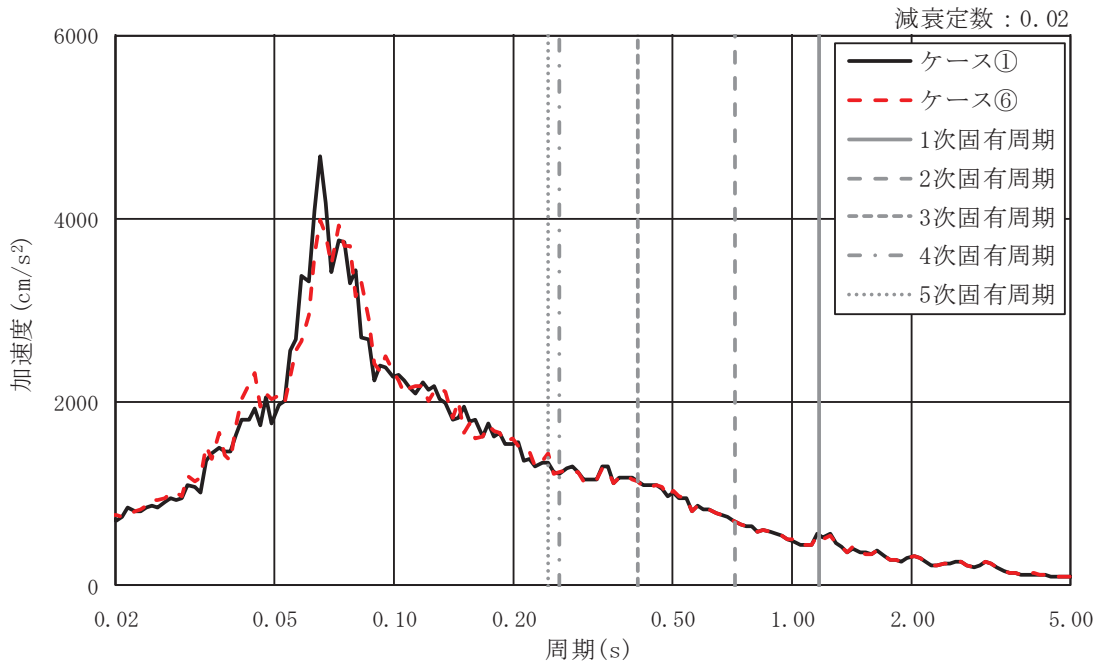


図 2-7(3) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (NS 断面, 鉛直成分)

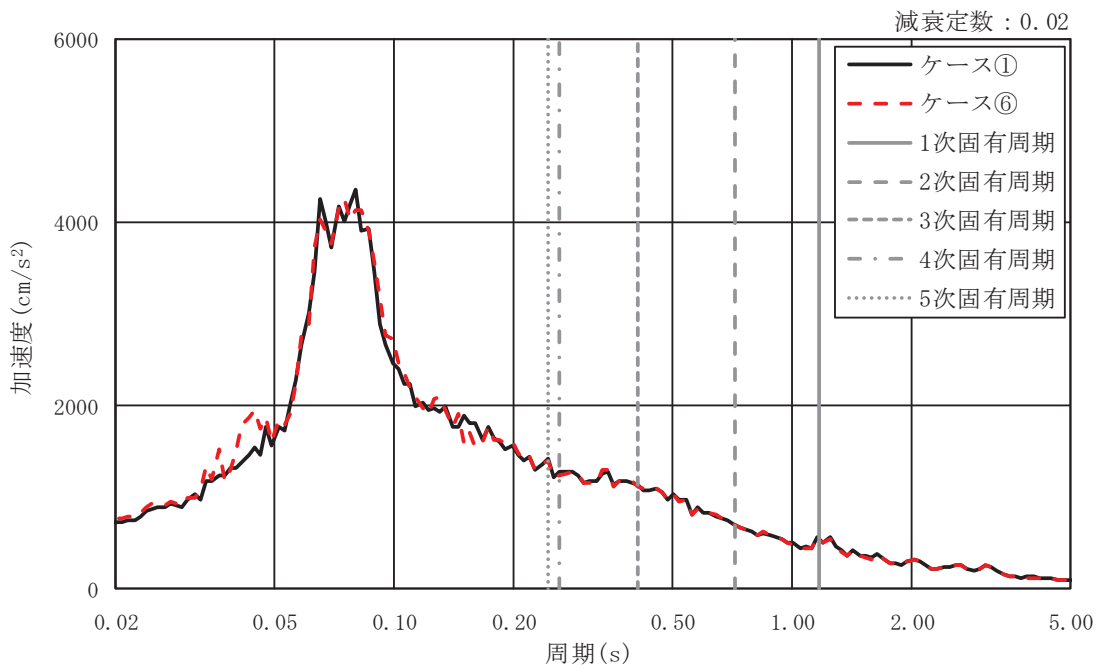


図 2-7(4) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (EW 断面, 鉛直成分)

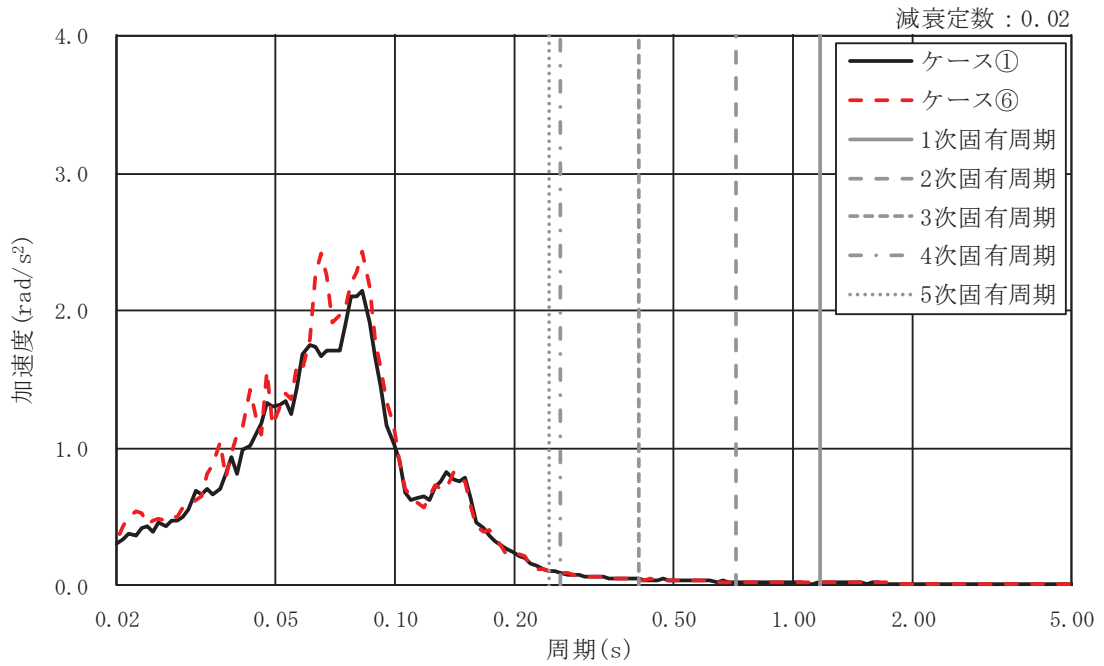


図 2-7(5) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (NS 断面, 回転成分)

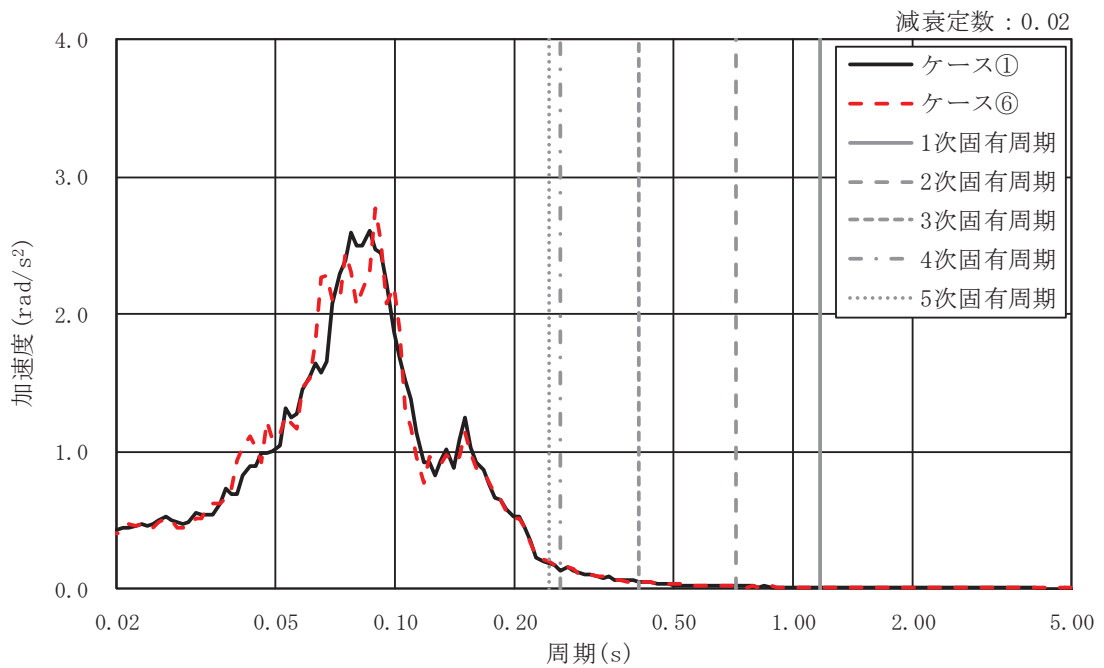


図 2-7(6) ケース①とケース⑥の応答スペクトル比較 (EW 断面, 回転成分)

表 2-3(1) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	894	907
2	0.721	1148	1155
3	0.408	2220	2218
4	0.262	2524	2564
5	0.245	2967	2937

表 2-3(2) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 並進成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	896	894
2	0.721	1171	1169
3	0.408	2307	2328
4	0.262	2967	2974
5	0.245	3604	3650

表 2-3(3) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	548	541
2	0.721	699	701
3	0.408	1141	1135
4	0.262	1273	1240
5	0.245	1401	1404

表 2-3(4) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 鉛直成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	548	542
2	0.721	699	699
3	0.408	1141	1135
4	0.262	1273	1250
5	0.245	1401	1383

表 2-3(5) 応答スペクトルの比較結果 (NS 断面, 回転成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	0.021	0.019
2	0.721	0.025	0.028
3	0.408	0.047	0.037
4	0.262	0.094	0.086
5	0.245	0.106	0.101

表 2-3(6) 応答スペクトルの比較結果 (EW 断面, 回転成分)

モード No.	固有周期 (s)	応答加速度 (m/s ²)	
		ケース①	ケース⑥
1	1.175	0.012	0.011
2	0.721	0.020	0.021
3	0.408	0.053	0.053
4	0.262	0.140	0.158
5	0.245	0.189	0.197

3. 排気筒の耐震評価に及ぼす地盤物性，材料物性の不確かさ及び水平動反転の影響検討
3.1 排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケース

排気筒の耐震評価における不確かさ検討ケースを表 3-1 に示す。排気筒の耐震評価に対する不確かさの影響は，地盤物性及び材料物性を考慮する。

地盤物性の不確かさについて，排気筒の入力地震動は排気筒基礎の地震応答解析における基礎天端の応答値を用いることから，ケース①～ケース③に基づく入力地震動を用いることにより考慮する。

材料物性の不確かさについて，排気筒に設置される制震オイルダンパの性能変動として減衰係数の不確かさを考慮する（ケース④，ケース⑤）。また，位相の水平動反転を考慮する（ケース⑥）。入力地震動は基本ケースのケース①を用いる。制震オイルダンパの性能変動は，製造時のばらつき±10%と使用環境下における温度によるばらつきとして±10%を考慮し設定する。

表 3-1 排気筒の不確かさ検討ケース

解析ケース*		地震動 (位相)	地盤物性 旧表土, 盛土, D級岩盤 C ₁ 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G:せん断弾性係数)	材料物性 (制震オイルダンパ) (C:減衰係数)	材料物性 (コンクリート) (E ₀ :ヤング係数)
ケース①	基本ケース	++	平均値	設計値	設計基準強度
ケース②	地盤物性のばらつき (+1σ)を考慮した 解析ケース	++	平均値+1σ	設計値	設計基準強度
ケース③	地盤物性のばらつき (-1σ)を考慮した 解析ケース	++	平均値-1σ	設計値	設計基準強度
ケース④	制震オイルダンパの ばらつき(0.8C)を 考慮した解析ケース	++	平均値	設計値×0.8	設計基準強度
ケース⑤	制震オイルダンパの ばらつき(1.2C)を 考慮した解析ケース	++	平均値	設計値×1.2	設計基準強度
ケース⑥	水平動反転を考慮し たケース	-+	平均値	設計値	設計基準強度

注記*: ケース①～③ケースは, 排気筒基礎の地震応答解析(地盤物性の不確かさ)に基づく入力地震動の
違いにより考慮。

3.2 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

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排気筒の評価結果を確認したうえで、排気筒の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排気筒の評価結果を表 3-2～表 3-4 に示す。なお、表 3-2～表 3-4 の評価結果は、図 3-1 の I 方向～IV 方向加振を包絡しており、NS 断面は I 方向、II 方向及び IV 方向の包絡値、EW 断面は II 方向、III 方向及び IV 方向の包絡値を記載している。

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、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-2-7-2-1 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、筒身と支柱材の照査値が最大となる基準地震動 S_s の不確かさを考慮した検討に用いる入力地震動とする。

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 EW 断面における $S_s - D2$ 地震動、支柱材着目として EW 断面における $S_s - N1$ 地震動を用いて、不確かさを考慮した検討を行う。

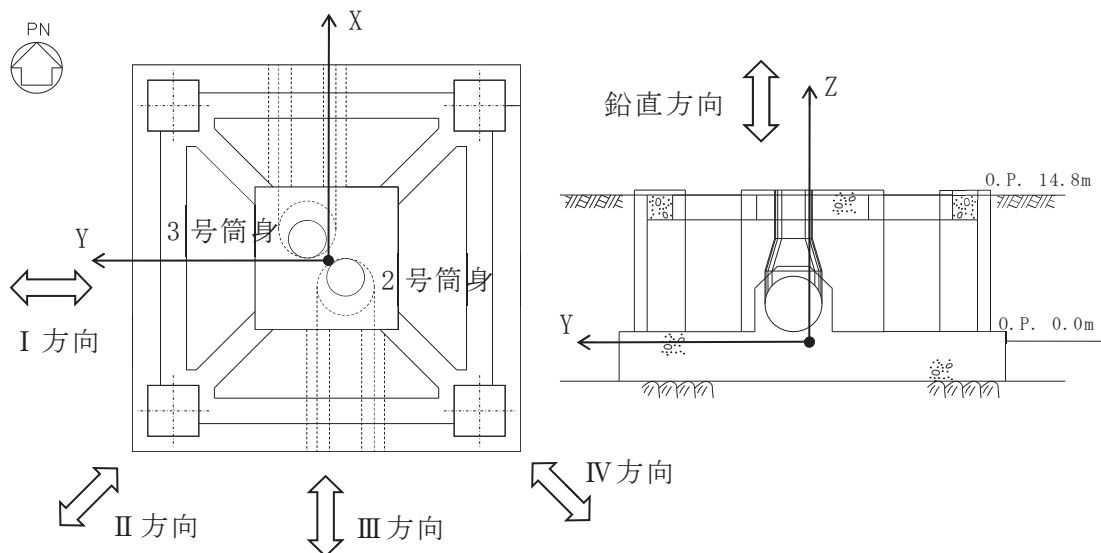


図 3-1 加振方向の説明

表3-2(1) 第2号機筒身の評価結果 (NS断面)

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	検定値						
			S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
161.8	A	φ 3020×10	0.26	0.30	0.21	0.24	0.35	0.27	0.32
155.5	A'	φ 3020×10	0.27	0.27	0.21	0.20	0.27	0.26	0.22
149.1	B	φ 3020×10	0.35	0.36	0.32	0.29	0.42	0.36	0.32
142.0	B'	φ 3020×10	0.44	0.42	0.42	0.41	0.50	0.42	0.39
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.49	0.50	0.49	0.53	0.45	0.46
126.8	C'	φ 3020×10	0.52	0.48	0.46	0.48	0.47	0.45	0.45
118.3	D	φ 3020×10	0.57	0.53	0.53	0.51	0.52	0.52	0.49
108.8	D'	φ 3020×10	0.59	0.58	0.53	0.50	0.55	0.55	0.55
98.8	E	φ 3020×10	0.53	0.53	0.45	0.41	0.50	0.52	0.48
86.4	E'	φ 3020×10	0.45	0.43	0.38	0.36	0.44	0.44	0.41
74.8	F	φ 3020×10	<u>0.74</u>	0.72	0.69	0.68	0.71	0.66	0.64
61.2	G	φ 3020×10	0.58	0.57	0.50	0.48	0.57	0.59	0.48
41.8	H	φ 3020×10	0.41	0.42	0.36	0.35	0.42	0.44	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.52	0.49	0.46	0.46	0.53	0.55	0.54
19.3	M2	φ 3720×10	0.48	0.46	0.43	0.42	0.50	0.52	0.50
15.3	I	φ 3720×10	0.53	0.50	0.48	0.47	0.57	0.58	0.58

表3-2(2) 第2号機筒身の評価結果 (EW断面)

高さ O.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
161.8	A	φ 3020×10	0.29	0.33	0.26	0.23	0.36	0.29	0.36
155.5	A'	φ 3020×10	0.31	0.29	0.25	0.23	0.29	0.28	0.25
149.1	B	φ 3020×10	0.38	0.39	0.35	0.30	0.42	0.37	0.34
142.0	B'	φ 3020×10	0.44	0.46	0.42	0.42	0.50	0.43	0.43
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.54	0.51	0.50	0.53	0.46	0.50
126.8	C'	φ 3020×10	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45	0.47	0.49
118.3	D	φ 3020×10	0.55	0.58	0.55	0.50	0.54	0.52	0.53
108.8	D'	φ 3020×10	0.60	0.64	0.56	0.52	0.58	0.60	0.60
98.8	E	φ 3020×10	0.55	0.56	0.46	0.43	0.56	0.55	0.52
86.4	E'	φ 3020×10	0.45	0.44	0.41	0.38	0.46	0.48	0.42
74.8	F	φ 3020×10	0.75	<u>0.77</u>	0.70	0.69	0.72	0.72	0.70
61.2	G	φ 3020×10	0.60	0.64	0.52	0.52	0.57	0.65	0.48
41.8	H	φ 3020×10	0.43	0.45	0.39	0.36	0.45	0.48	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.55	0.53	0.48	0.48	0.57	0.57	0.56
19.3	M2	φ 3720×10	0.51	0.49	0.43	0.44	0.52	0.54	0.53
15.3	I	φ 3720×10	0.57	0.55	0.48	0.50	0.60	0.59	0.61

表3-3(1) 第3号機筒身の評価結果 (NS断面)

高さ O. 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
161.8	A	φ 3020×10	0.25	0.30	0.22	0.23	0.34	0.28	0.32
155.5	A'	φ 3020×10	0.27	0.27	0.22	0.19	0.27	0.27	0.22
149.1	B	φ 3020×10	0.34	0.36	0.32	0.29	0.41	0.37	0.32
142.0	B'	φ 3020×10	0.43	0.42	0.42	0.41	0.49	0.43	0.40
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.50	0.51	0.48	0.52	0.47	0.47
126.8	C'	φ 3020×10	0.51	0.49	0.47	0.46	0.46	0.47	0.45
118.3	D	φ 3020×10	0.56	0.53	0.54	0.50	0.51	0.54	0.49
108.8	D'	φ 3020×10	0.59	0.58	0.54	0.48	0.54	0.57	0.55
98.8	E	φ 3020×10	0.52	0.54	0.46	0.39	0.48	0.54	0.49
86.4	E'	φ 3020×10	0.45	0.43	0.40	0.36	0.41	0.48	0.41
74.8	F	φ 3020×10	<u>0.74</u>	0.73	0.70	0.66	0.69	0.69	0.64
61.2	G	φ 3020×10	0.58	0.57	0.52	0.46	0.56	0.61	0.48
41.8	H	φ 3020×10	0.41	0.44	0.37	0.33	0.39	0.47	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.52	0.51	0.49	0.44	0.49	0.59	0.54
19.3	M2	φ 3720×10	0.48	0.46	0.45	0.40	0.47	0.55	0.51
15.3	I	φ 3720×10	0.53	0.52	0.50	0.45	0.54	0.61	0.58

表3-3(2) 第3号機筒身の評価結果 (EW断面)

高さ O. 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
161.8	A	φ 3020×10	0.29	0.34	0.26	0.23	0.36	0.30	0.36
155.5	A'	φ 3020×10	0.32	0.29	0.25	0.23	0.29	0.29	0.25
149.1	B	φ 3020×10	0.39	0.38	0.35	0.30	0.42	0.37	0.34
142.0	B'	φ 3020×10	0.44	0.46	0.42	0.42	0.50	0.42	0.43
134.8	C	φ 3020×10	0.55	0.53	0.50	0.51	0.54	0.45	0.49
126.8	C'	φ 3020×10	0.51	0.50	0.47	0.48	0.46	0.46	0.49
118.3	D	φ 3020×10	0.56	0.57	0.54	0.52	0.56	0.51	0.53
108.8	D'	φ 3020×10	0.61	0.64	0.55	0.53	0.59	0.59	0.61
98.8	E	φ 3020×10	0.55	0.57	0.47	0.44	0.55	0.56	0.51
86.4	E'	φ 3020×10	0.44	0.46	0.42	0.39	0.44	0.50	0.43
74.8	F	φ 3020×10	0.75	<u>0.76</u>	0.69	0.71	0.72	0.71	0.70
61.2	G	φ 3020×10	0.59	0.64	0.52	0.51	0.57	0.65	0.49
41.8	H	φ 3020×10	0.43	0.44	0.39	0.37	0.42	0.49	0.34
24.3	M1	φ 3020×10	0.54	0.55	0.49	0.47	0.55	0.60	0.56
19.3	M2	φ 3720×10	0.50	0.50	0.45	0.44	0.51	0.56	0.53
15.3	I	φ 3720×10	0.57	0.56	0.50	0.49	0.57	0.63	0.61

表3-4(1) 主柱材の評価結果 (NS断面)

高さ O.P. (m)	区間	使用部材(mm)	検定値						
			S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
161.8-155.5	A-A'	φ 457.2×7.9	0.31	0.31	0.24	0.20	0.20	0.30	0.26
155.5-149.1	A'-B	φ 457.2×7.9	0.54	0.52	0.41	0.46	0.52	0.48	0.62
149.1-142.0	B-B'	φ 457.2×7.9	0.66	0.66	0.52	0.52	0.62	0.62	0.74
142.0-134.8	B'-C	φ 609.6×9.5	0.63	0.59	0.49	0.55	0.65	0.57	0.76
134.8-126.8	C-C'	φ 609.6×9.5	0.62	0.64	0.51	0.55	0.60	0.60	0.74
126.8-118.3	C'-D	φ 711.2×12.7	0.62	0.63	0.52	0.63	0.60	0.55	0.76
118.3-108.8	D-D'	φ 711.2×12.7	0.62	0.62	0.53	0.62	0.59	0.59	0.75
108.8- 98.8	D'-E	φ 812.8×16.0	0.66	0.65	0.56	0.70	0.63	0.58	0.80
98.8- 86.4	E-E'	φ 812.8×16.0	0.69	0.67	0.61	0.73	0.66	0.61	<u>0.82</u>
86.4- 74.8	E'-F	φ 1000×18.0	0.73	0.63	0.68	0.76	0.68	0.57	0.78
74.8- 61.2	F-G	φ 1000×18.0	0.76	0.67	0.72	0.78	0.71	0.61	<u>0.82</u>
61.2- 41.8	G-H	φ 1100×18.0	0.65	0.58	0.61	0.61	0.58	0.49	0.57
41.8- 28.6	H-H'	φ 1100×20.0	0.73	0.65	0.67	0.70	0.68	0.57	0.66
28.6- 15.3	H'-I	φ 1100×20.0	0.70	0.62	0.64	0.65	0.68	0.58	0.68

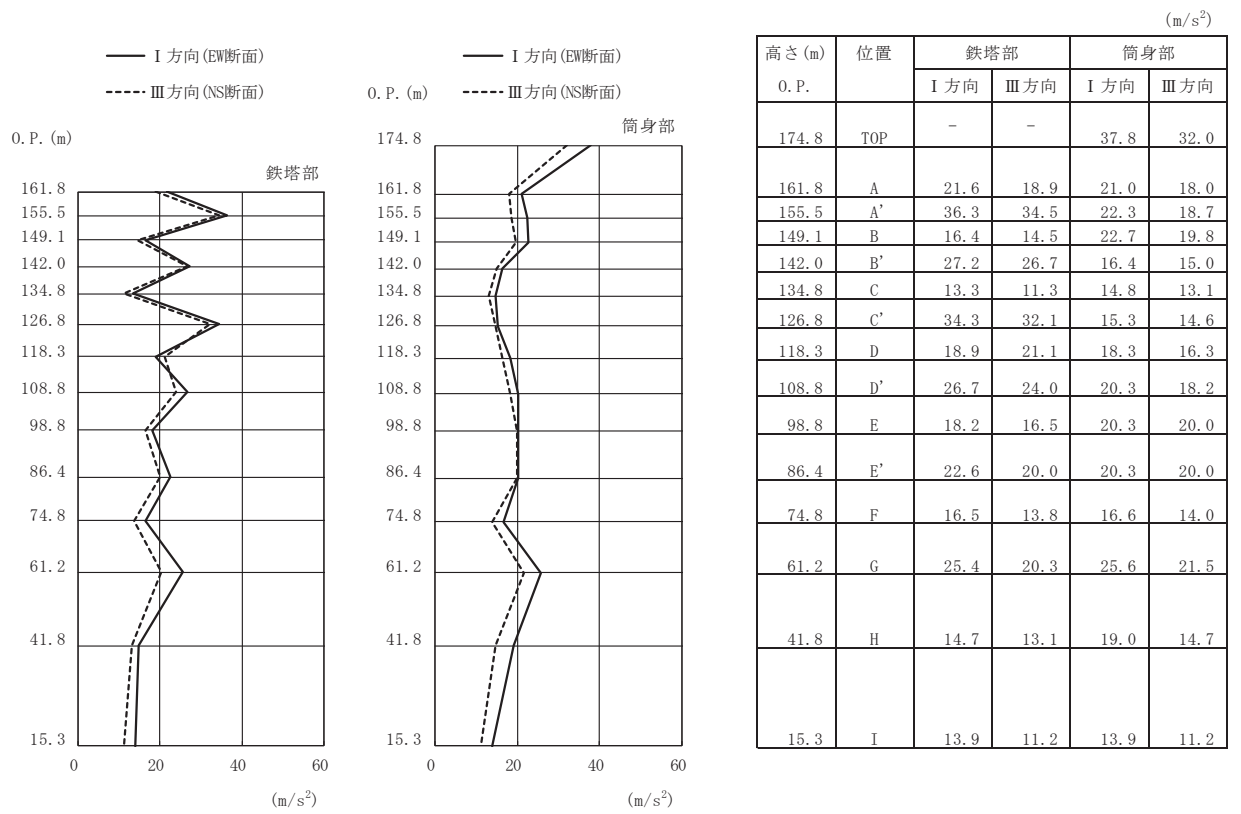
表3-4(2) 主柱材の評価結果 (EW断面)

高さ O.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
161.8-155.5	A-A'	φ 457.2×7.9	0.30	0.31	0.25	0.22	0.22	0.28	0.28
155.5-149.1	A' -B	φ 457.2×7.9	0.56	0.59	0.44	0.50	0.57	0.49	0.71
149.1-142.0	B-B'	φ 457.2×7.9	0.71	0.72	0.55	0.56	0.67	0.64	0.81
142.0-134.8	B' -C	φ 609.6×9.5	0.65	0.63	0.51	0.59	0.69	0.58	0.87
134.8-126.8	C-C'	φ 609.6×9.5	0.65	0.64	0.52	0.59	0.63	0.62	0.83
126.8-118.3	C' -D	φ 711.2×12.7	0.66	0.65	0.54	0.64	0.60	0.56	0.87
118.3-108.8	D-D'	φ 711.2×12.7	0.65	0.65	0.54	0.63	0.59	0.57	0.85
108.8- 98.8	D' -E	φ 812.8×16.0	0.68	0.67	0.55	0.71	0.62	0.57	0.88
98.8- 86.4	E-E'	φ 812.8×16.0	0.71	0.69	0.61	0.74	0.65	0.59	<u>0.90</u>
86.4- 74.8	E' -F	φ 1000×18.0	0.73	0.66	0.68	0.76	0.66	0.54	0.86
74.8- 61.2	F - G	φ 1000×18.0	0.75	0.70	0.72	0.79	0.69	0.58	0.89
61.2- 41.8	G - H	φ 1100×18.0	0.65	0.63	0.62	0.62	0.56	0.46	0.61
41.8- 28.6	H-H'	φ 1100×20.0	0.75	0.70	0.69	0.70	0.66	0.56	0.71
28.6- 15.3	H' -I	φ 1100×20.0	0.74	0.67	0.66	0.66	0.68	0.58	0.73

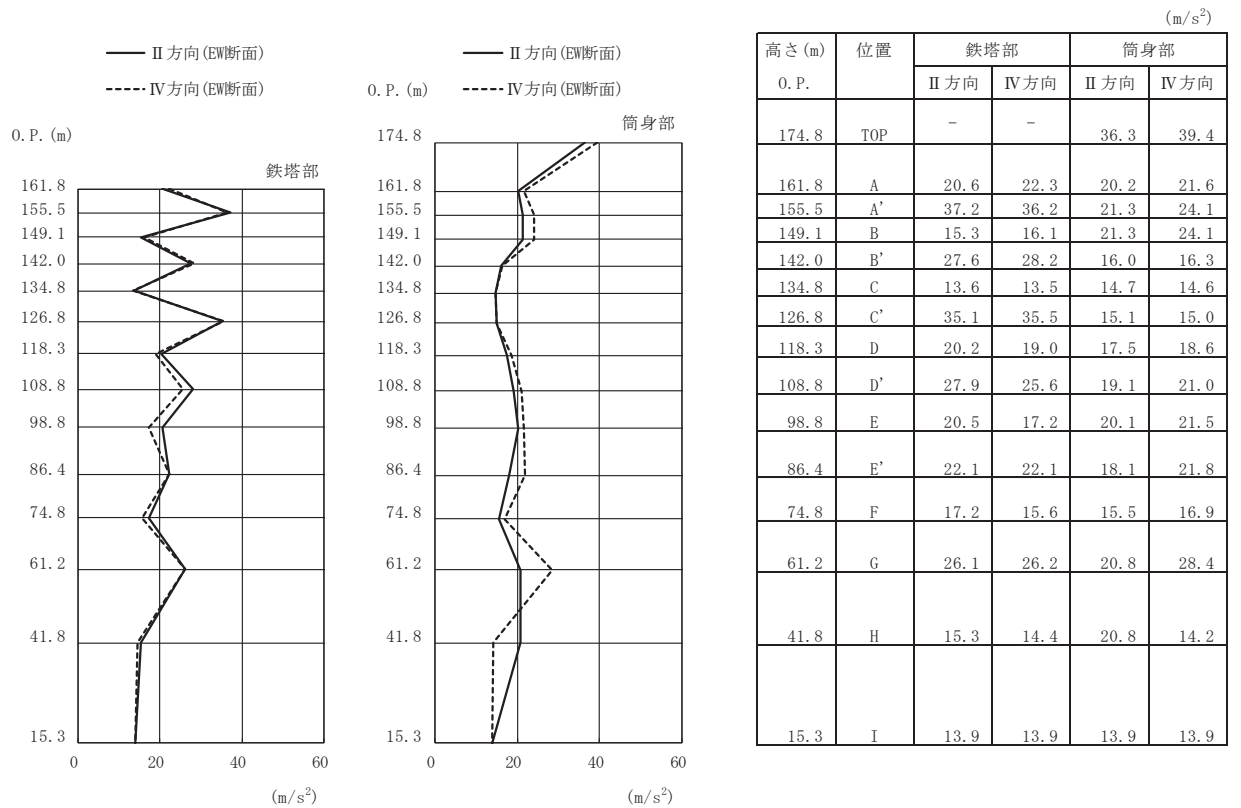
3.3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

基本ケースの地震応答解析結果は、添付書類「VI-2-7-2-1 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 3-2～図 3-21 に示す。また、検定値が最大となる支柱材（E' 位置）における $S_s - N1$ の最大応答値を表 3-5 に示す。

表 3-5 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、最大応答変位、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。

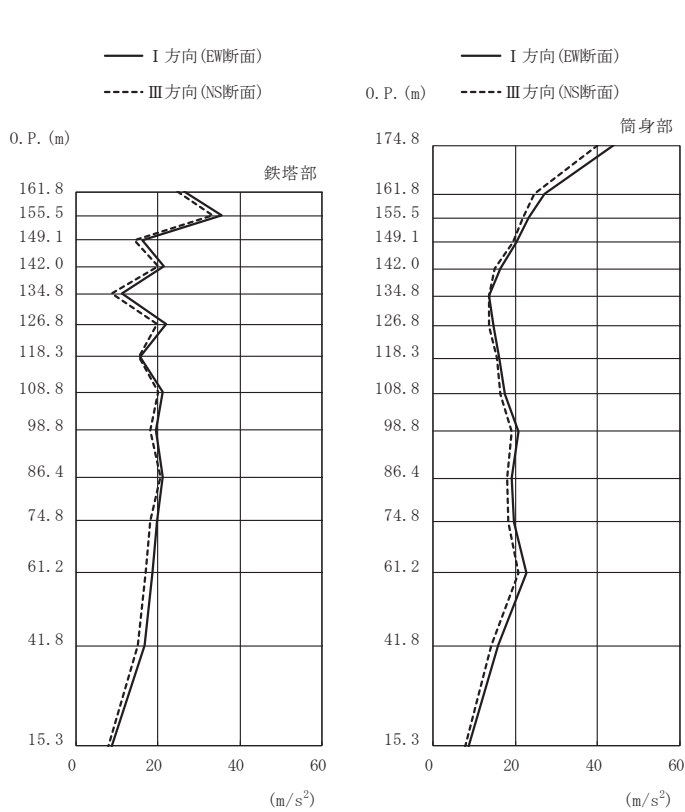


(a) S s - D 2 (直交方向)



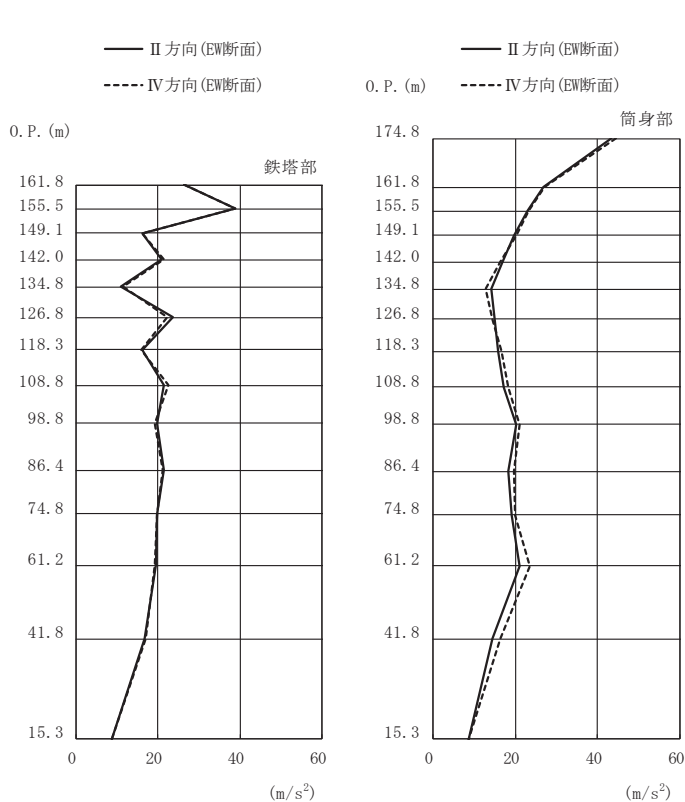
(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-2(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	43.9	40.1
161.8	A	26.4	24.7	27.1	24.6
155.5	A'	35.4	33.3	23.2	21.9
149.1	B	16.1	14.3	20.1	19.5
142.0	B'	21.4	19.9	16.5	15.1
134.8	C	11.1	8.81	13.5	13.5
126.8	C'	22.0	19.6	14.8	13.6
118.3	D	15.7	15.3	16.2	15.6
108.8	D'	21.2	20.1	17.6	16.5
98.8	E	19.5	18.1	20.7	19.0
86.4	E'	21.0	20.6	19.1	17.9
74.8	F	19.6	18.0	19.6	18.4
61.2	G	18.6	16.9	22.6	20.8
41.8	H	16.8	15.0	15.7	14.1
15.3	I	8.77	7.93	8.77	7.93

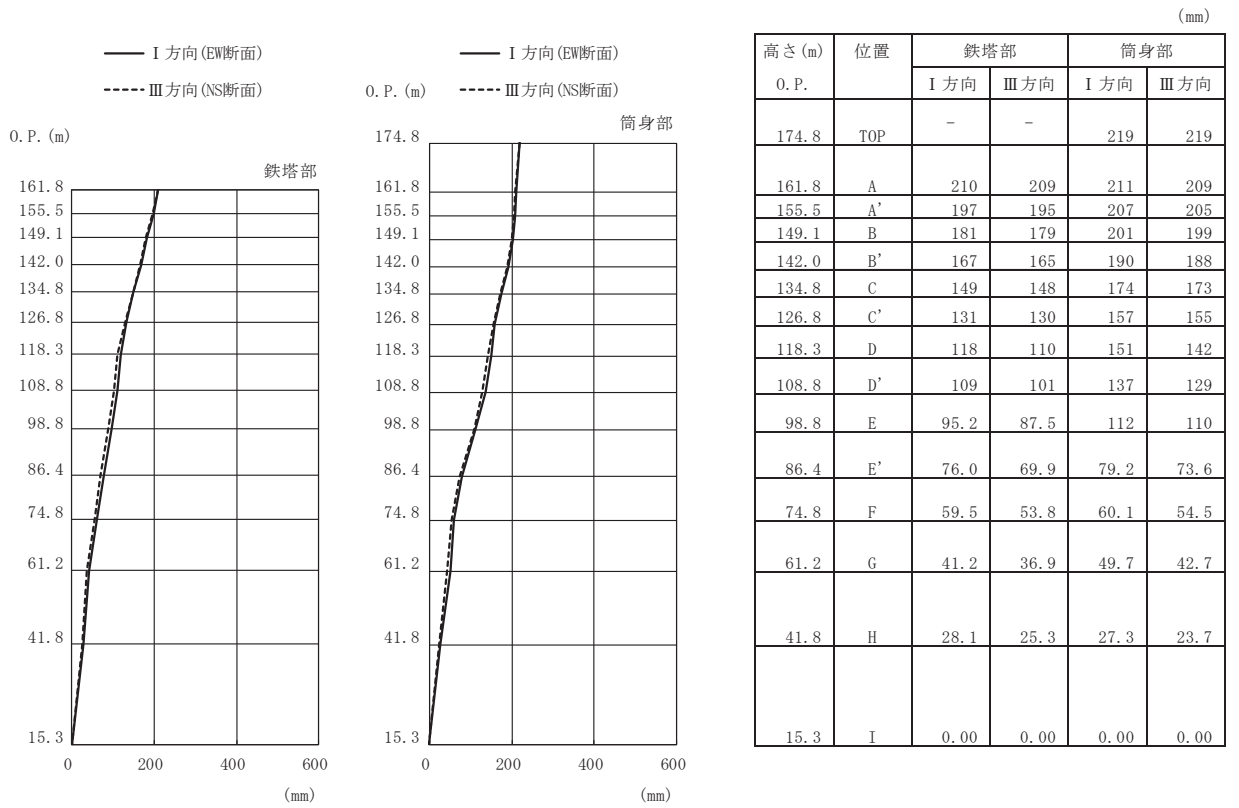
(c) S s - N 1 (直交方向)



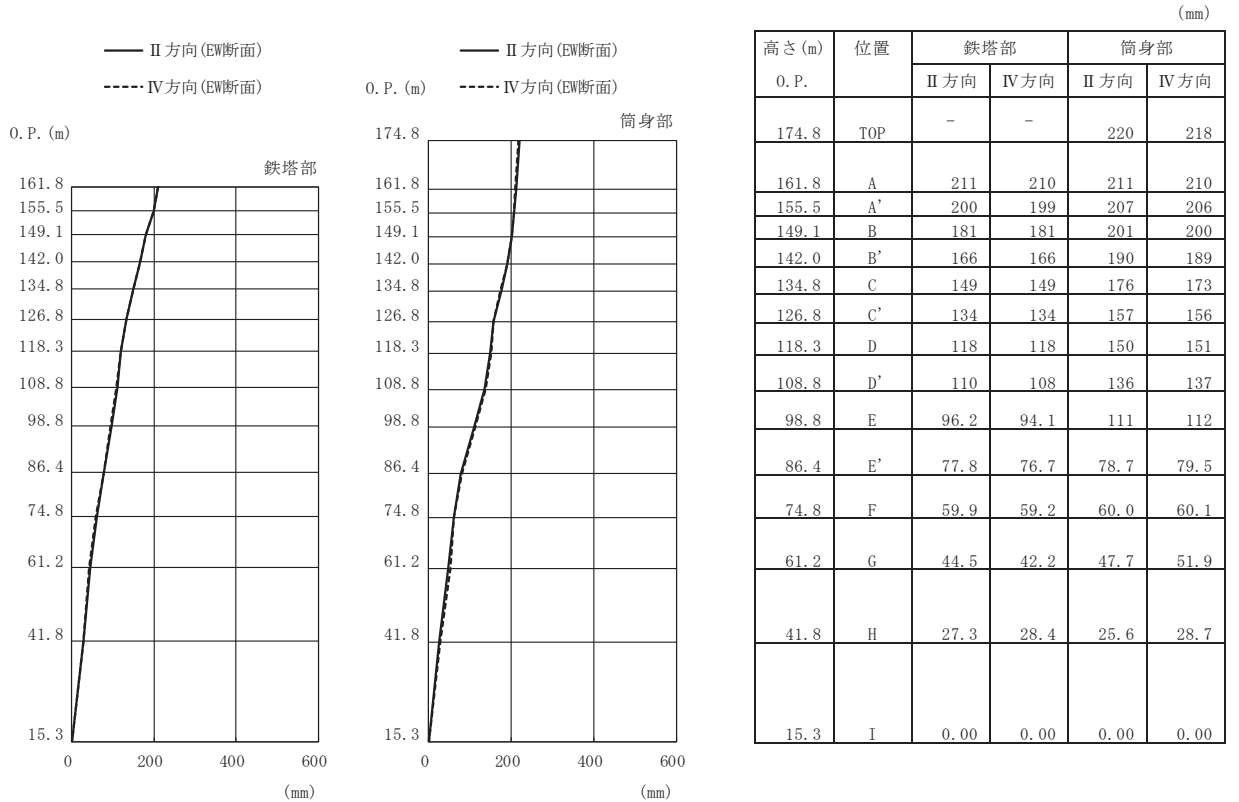
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	43.2	44.5
161.8	A	26.5	26.5	26.9	27.2
155.5	A'	38.9	38.8	22.9	23.3
149.1	B	16.1	16.1	19.8	20.3
142.0	B'	20.8	21.4	17.0	16.4
134.8	C	11.0	11.4	14.1	12.8
126.8	C'	23.6	22.2	15.1	14.4
118.3	D	16.2	16.0	15.9	16.6
108.8	D'	21.4	22.5	17.1	18.4
98.8	E	19.6	19.1	20.3	21.0
86.4	E'	21.3	21.0	18.4	19.7
74.8	F	19.6	19.8	19.2	20.0
61.2	G	19.4	19.1	21.1	23.5
41.8	H	16.8	17.1	14.4	16.3
15.3	I	8.77	8.77	8.77	8.77

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-2(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース②)

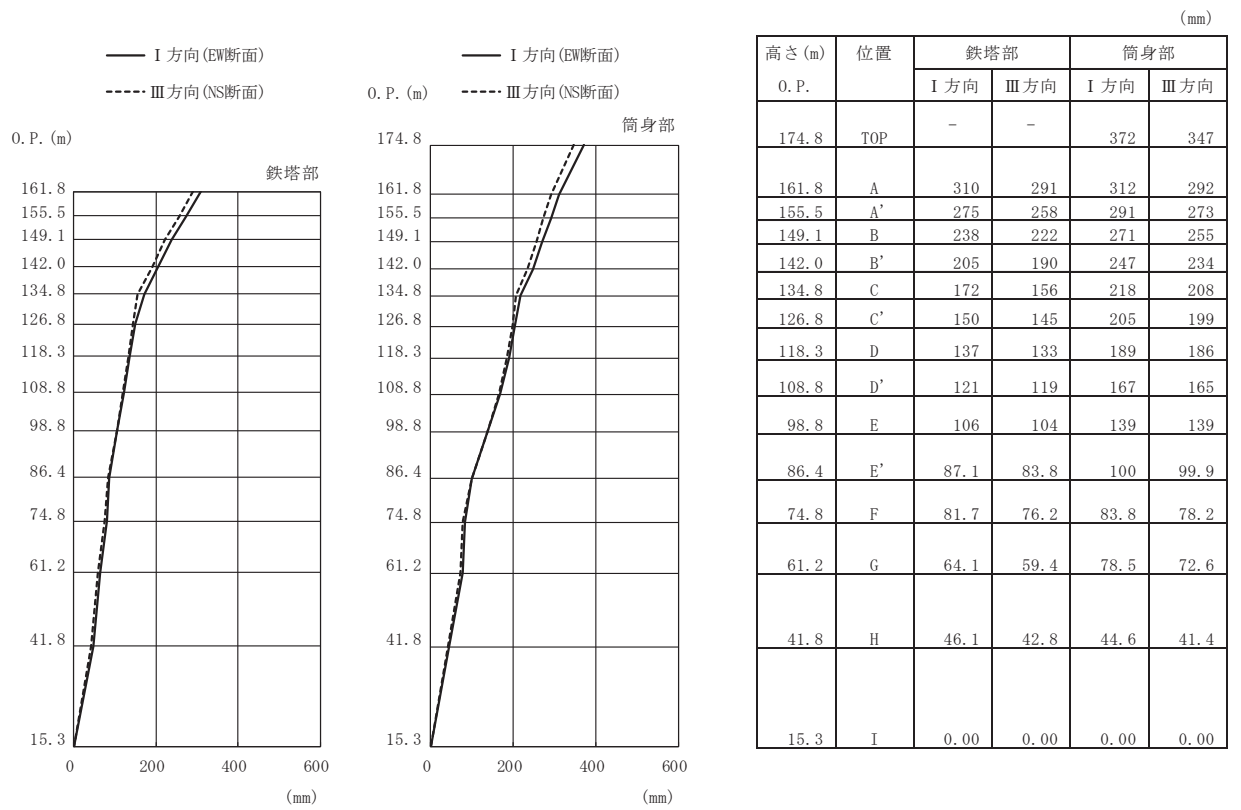


(a) S s - D 2 (直交方向)

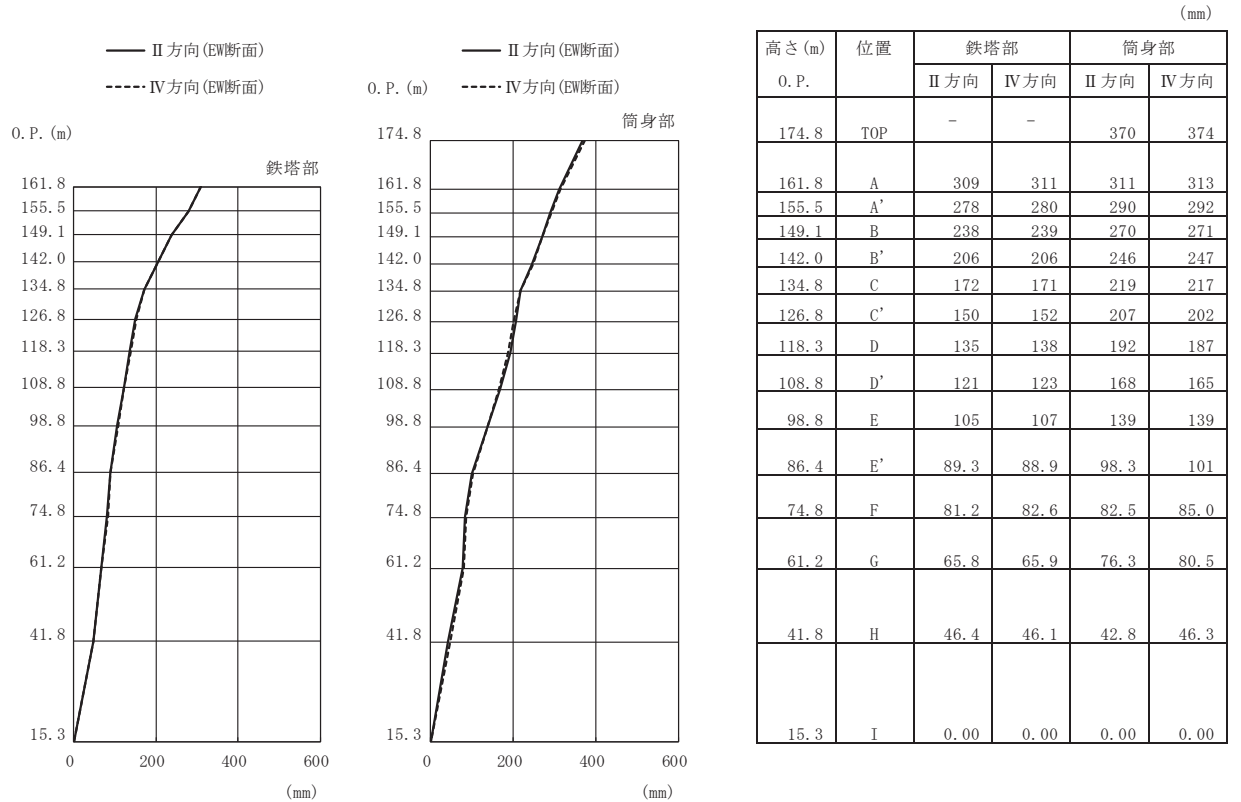


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-3(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース②)

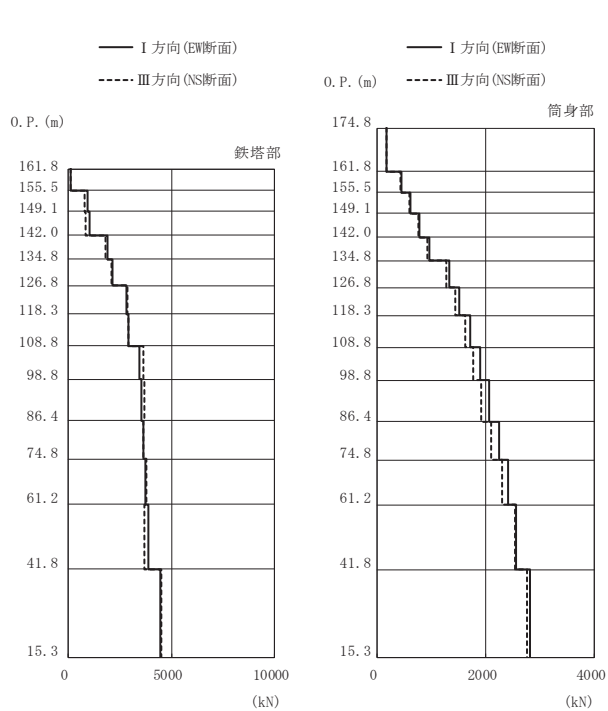


(c) S s - N 1 (直交方向)



(d) S s - N 1 (斜め方向)

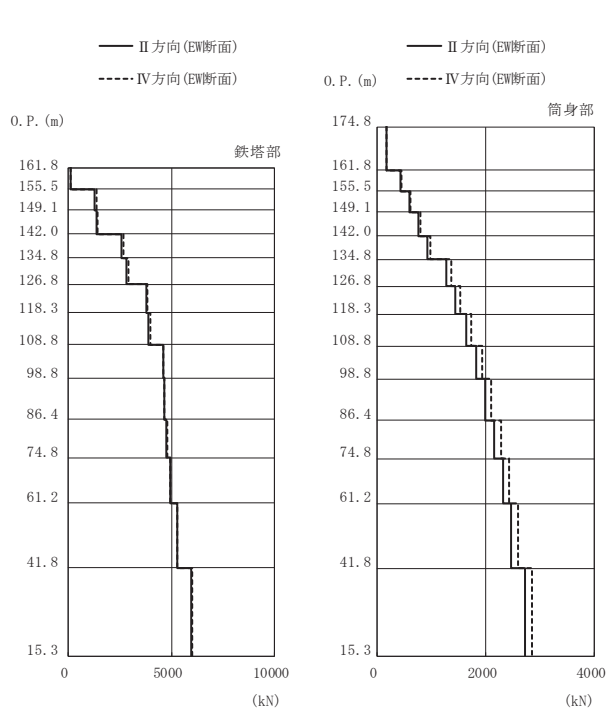
図 3-3(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	182	177
155.5	A'	A - A'	125	116	445	433
149.1	B	A' - B	950	773	615	597
142.0	B'	B - B'	1020	849	789	764
134.8	C	B' - C	1920	1830	966	932
126.8	C'	C - C'	2150	2080	1330	1280
118.3	D	C' - D	2820	2850	1510	1450
108.8	D'	D - D'	2920	2940	1710	1620
98.8	E	D' - E	3460	3630	1900	1780
86.4	E'	E - E'	3520	3700	2070	1910
74.8	F	E' - F	3620	3650	2250	2100
61.2	G	F - G	3760	3780	2410	2300
41.8	H	G - H	3860	3690	2560	2550
15.3	I	H - I	4480	4530	2820	2760

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

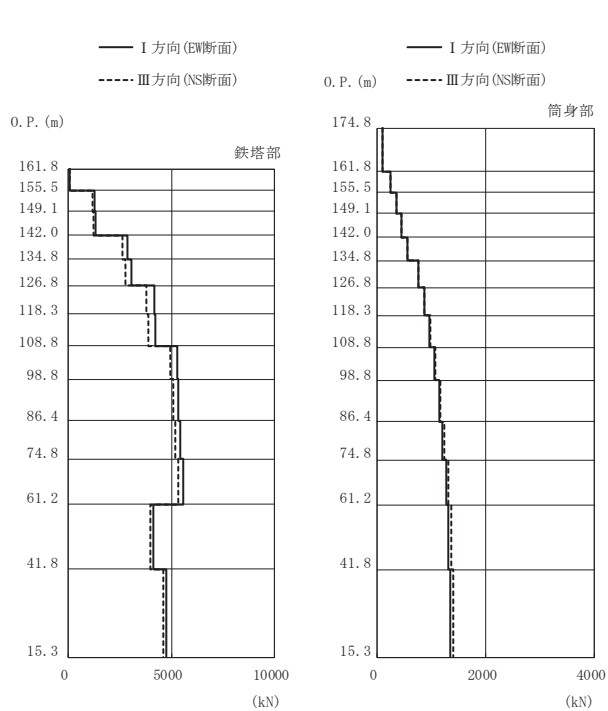


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	175	185
155.5	A'	A - A'	130	127	429	453
149.1	B	A' - B	1300	1350	592	626
142.0	B'	B - B'	1390	1430	760	804
134.8	C	B' - C	2570	2670	929	984
126.8	C'	C - C'	2840	2920	1280	1360
118.3	D	C' - D	3770	3850	1450	1540
108.8	D'	D - D'	3890	3960	1640	1740
98.8	E	D' - E	4600	4590	1830	1930
86.4	E'	E - E'	4660	4670	1990	2100
74.8	F	E' - F	4770	4780	2160	2280
61.2	G	F - G	4930	4940	2320	2440
41.8	H	G - H	5280	5260	2470	2600
15.3	I	H - I	5940	6020	2720	2860

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

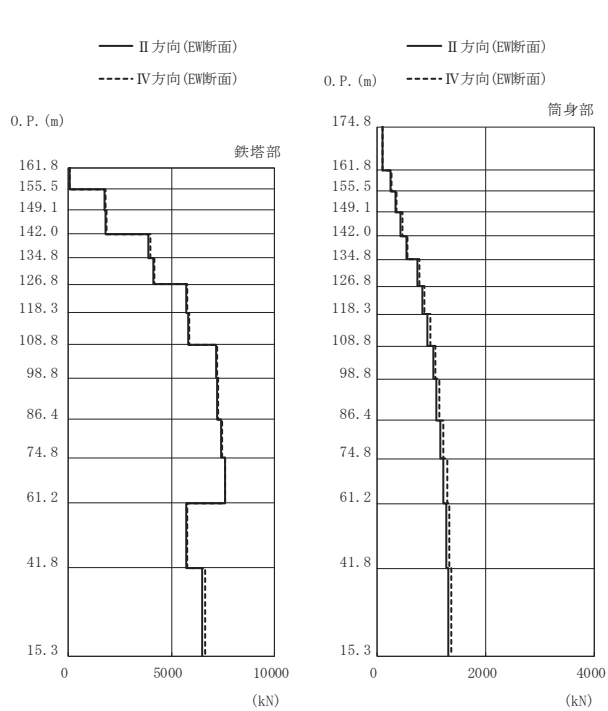
図 3-4(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	106	106
155.5	A'	A - A'	80.5	76.3	259	259
149.1	B	A' - B	1280	1180	357	357
142.0	B'	B - B'	1320	1220	458	459
134.8	C	B' - C	2890	2610	560	561
126.8	C'	C - C'	3080	2780	768	772
118.3	D	C' - D	4170	3780	869	874
108.8	D'	D - D'	4240	3870	967	975
98.8	E	D' - E	5270	4960	1060	1080
86.4	E'	E - E'	5340	5100	1140	1160
74.8	F	E' - F	5440	5180	1210	1240
61.2	G	F - G	5590	5350	1270	1310
41.8	H	G - H	4130	4000	1320	1370
15.3	I	H - I	4730	4620	1350	1410

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

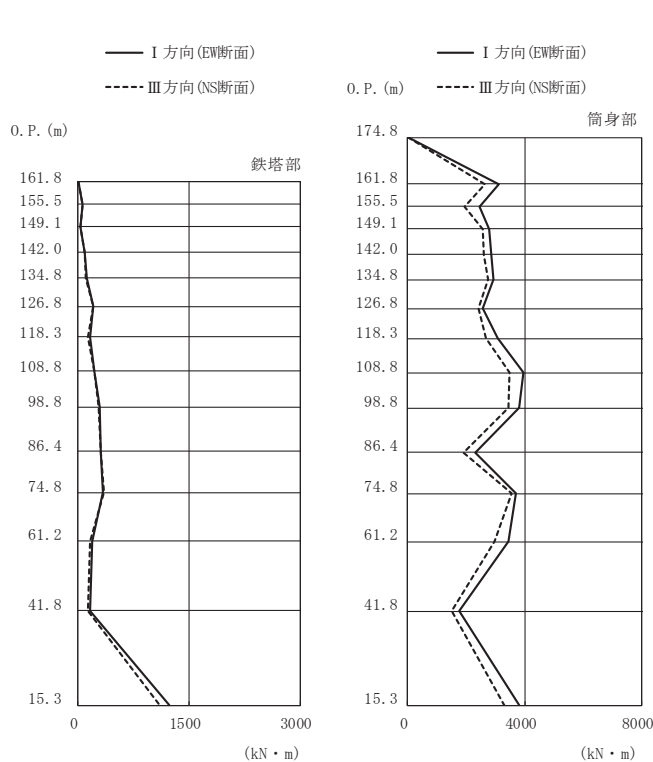


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	102	107
155.5	A'	A - A'	85.7	84.4	249	262
149.1	B	A' - B	1740	1790	344	362
142.0	B'	B - B'	1810	1840	442	465
134.8	C	B' - C	3900	3980	540	568
126.8	C'	C - C'	4110	4190	741	779
118.3	D	C' - D	5720	5770	838	882
108.8	D'	D - D'	5790	5850	933	981
98.8	E	D' - E	7160	7210	1030	1080
86.4	E'	E - E'	7210	7280	1100	1150
74.8	F	E' - F	7420	7450	1170	1230
61.2	G	F - G	7610	7620	1230	1290
41.8	H	G - H	5720	5780	1280	1340
15.3	I	H - I	6490	6620	1310	1370

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

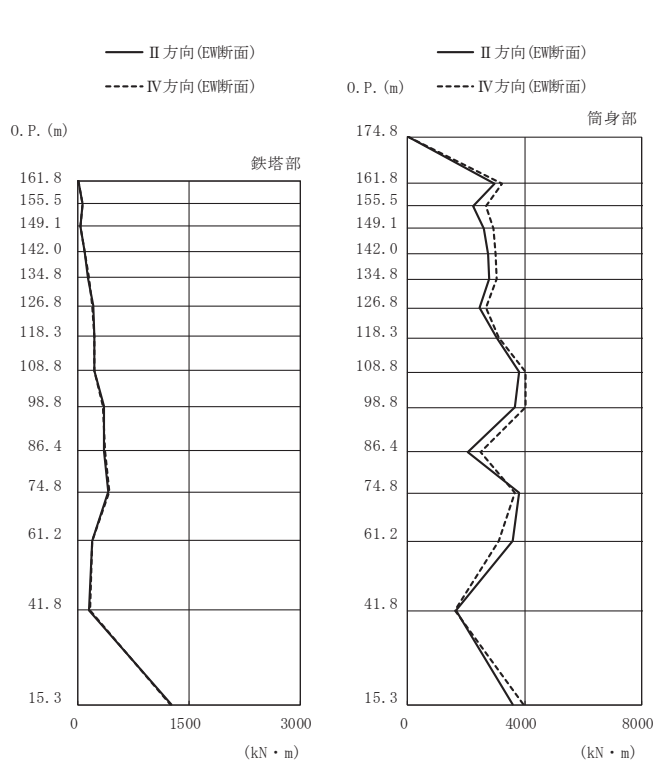
図 3-4(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.5	1.9	3110	2630
155.5	A'	58.8	57.4	2470	1950
149.1	B	28.4	25.7	2790	2550
142.0	B'	96.1	96.8	2870	2620
134.8	C	122	106	2920	2740
126.8	C'	201	207	2580	2410
118.3	D	166	135	3090	2680
108.8	D'	218	219	3950	3490
98.8	E	287	276	3830	3450
86.4	E'	309	313	2310	1890
74.8	F	339	345	3700	3560
61.2	G	193	163	3440	2970
41.8	H	161	131	1760	1500
15.3	I	1240	1100	3830	3300

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

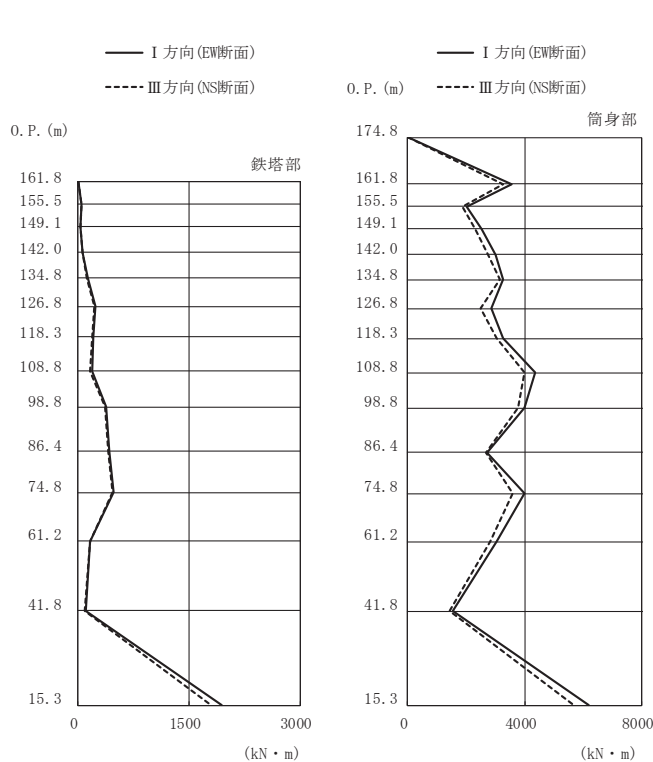


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.4	2970	3230
155.5	A'	57.8	58.0	2240	2670
149.1	B	35.9	38.1	2610	2930
142.0	B'	96.3	94.7	2760	3010
134.8	C	137	144	2790	3040
126.8	C'	200	199	2450	2690
118.3	D	220	219	3050	3100
108.8	D'	221	218	3830	4040
98.8	E	353	339	3670	4020
86.4	E'	351	359	2050	2510
74.8	F	416	421	3800	3680
61.2	G	193	199	3600	3110
41.8	H	155	160	1640	1620
15.3	I	1260	1250	3610	3950

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

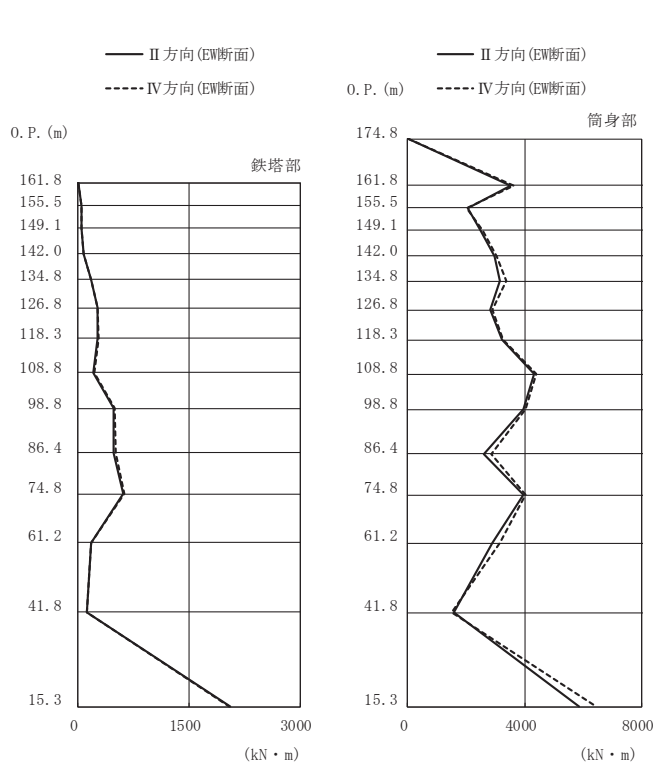
図 3-5(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.9	2.6	3570	3260
155.5	A'	49.6	45.8	2020	1870
149.1	B	37.2	35.8	2540	2310
142.0	B'	67.8	67.2	3010	2740
134.8	C	141	124	3270	3170
126.8	C'	234	222	2870	2510
118.3	D	200	193	3250	3050
108.8	D'	185	165	4350	4000
98.8	E	387	365	4010	3780
86.4	E'	419	404	2730	2660
74.8	F	479	461	3990	3610
61.2	G	163	157	3040	2810
41.8	H	107	97.0	1560	1440
15.3	I	1940	1800	6180	5680

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

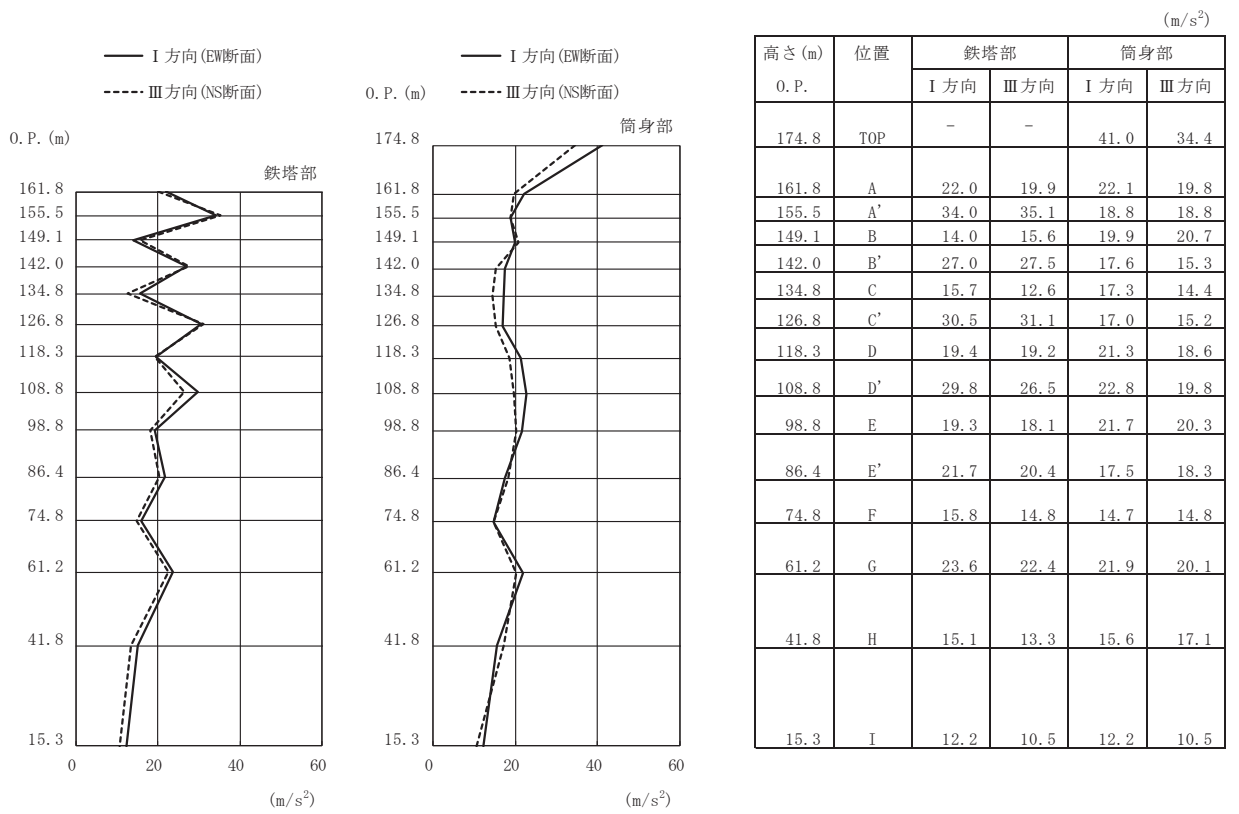


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.0	3.1	3510	3630
155.5	A'	51.6	52.5	2040	2000
149.1	B	45.4	48.0	2490	2560
142.0	B'	74.6	76.0	2960	3040
134.8	C	176	183	3160	3380
126.8	C'	259	267	2810	2910
118.3	D	268	273	3240	3270
108.8	D'	211	217	4330	4400
98.8	E	487	497	3960	4050
86.4	E'	481	507	2610	2860
74.8	F	615	629	3950	4050
61.2	G	172	181	2900	3150
41.8	H	120	114	1570	1490
15.3	I	2060	2050	5870	6450

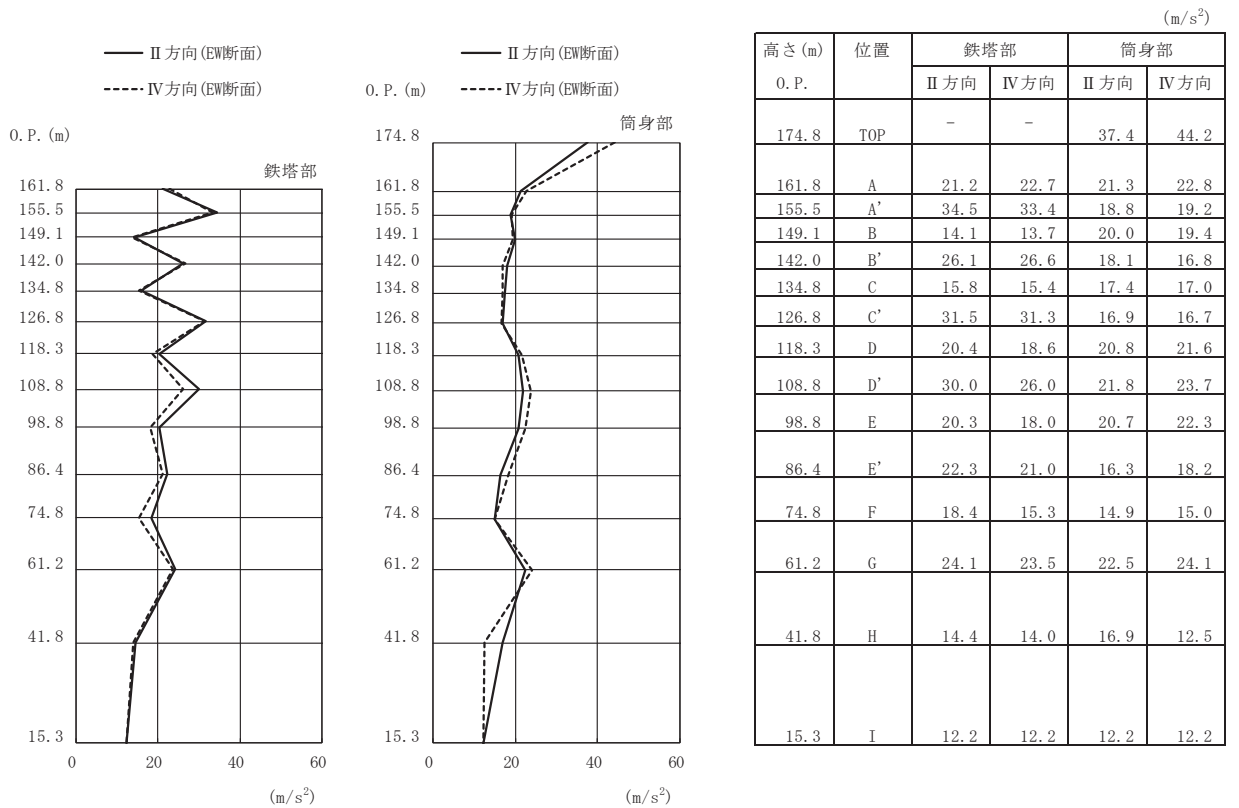
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-5(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース②)

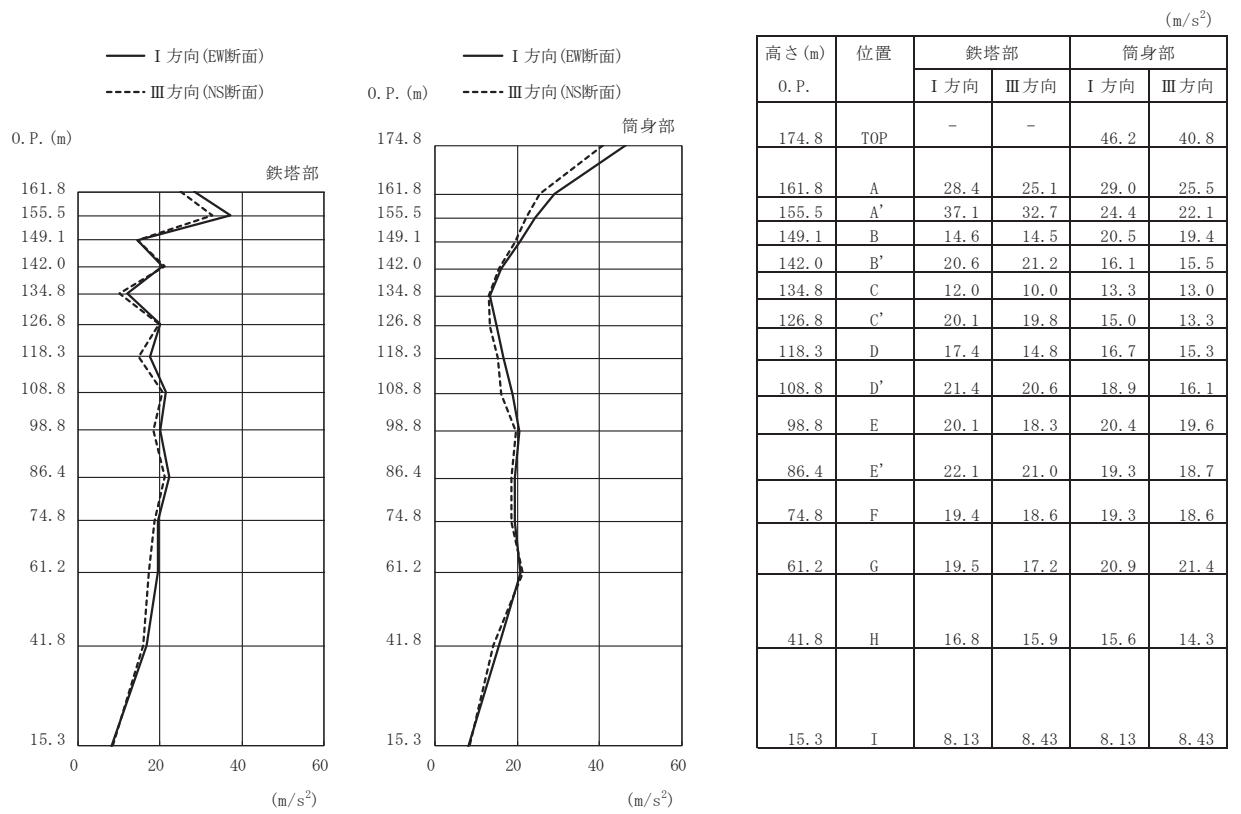


(a) S s - D 2 (直交方向)

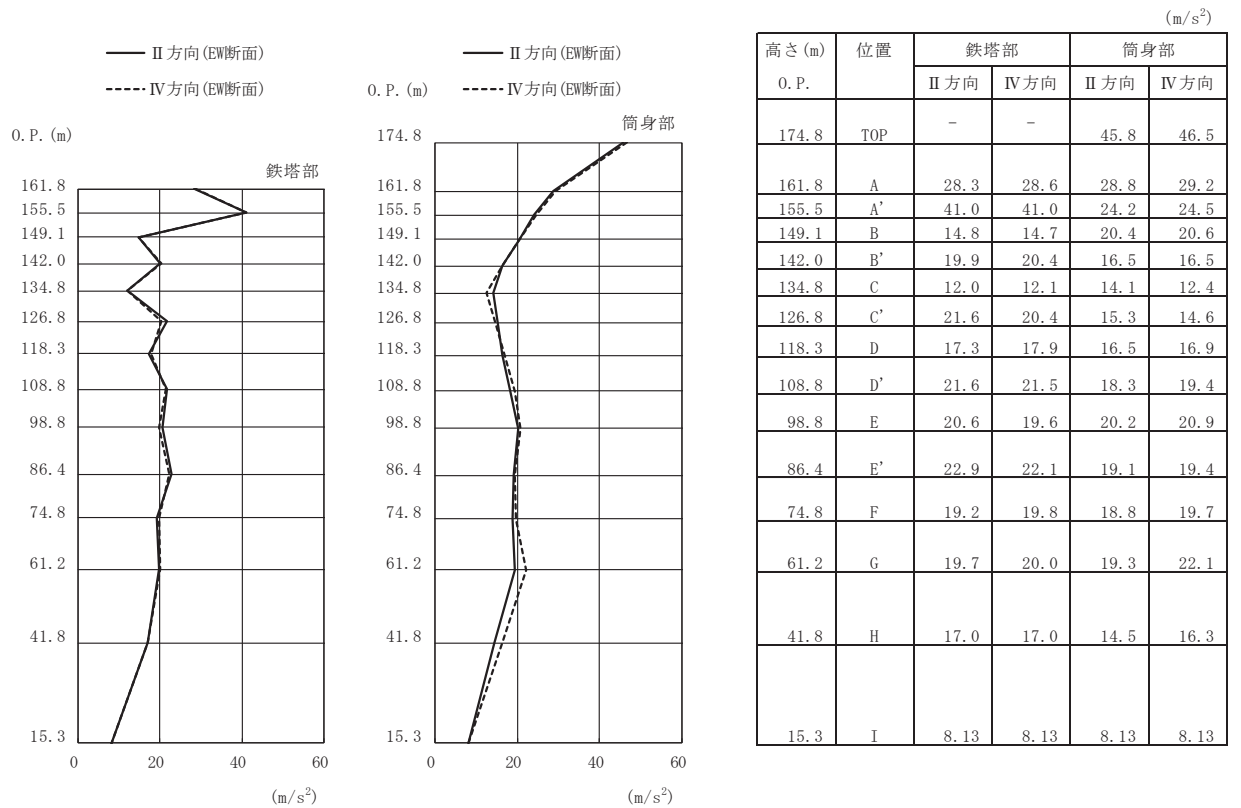


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-6(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース③)

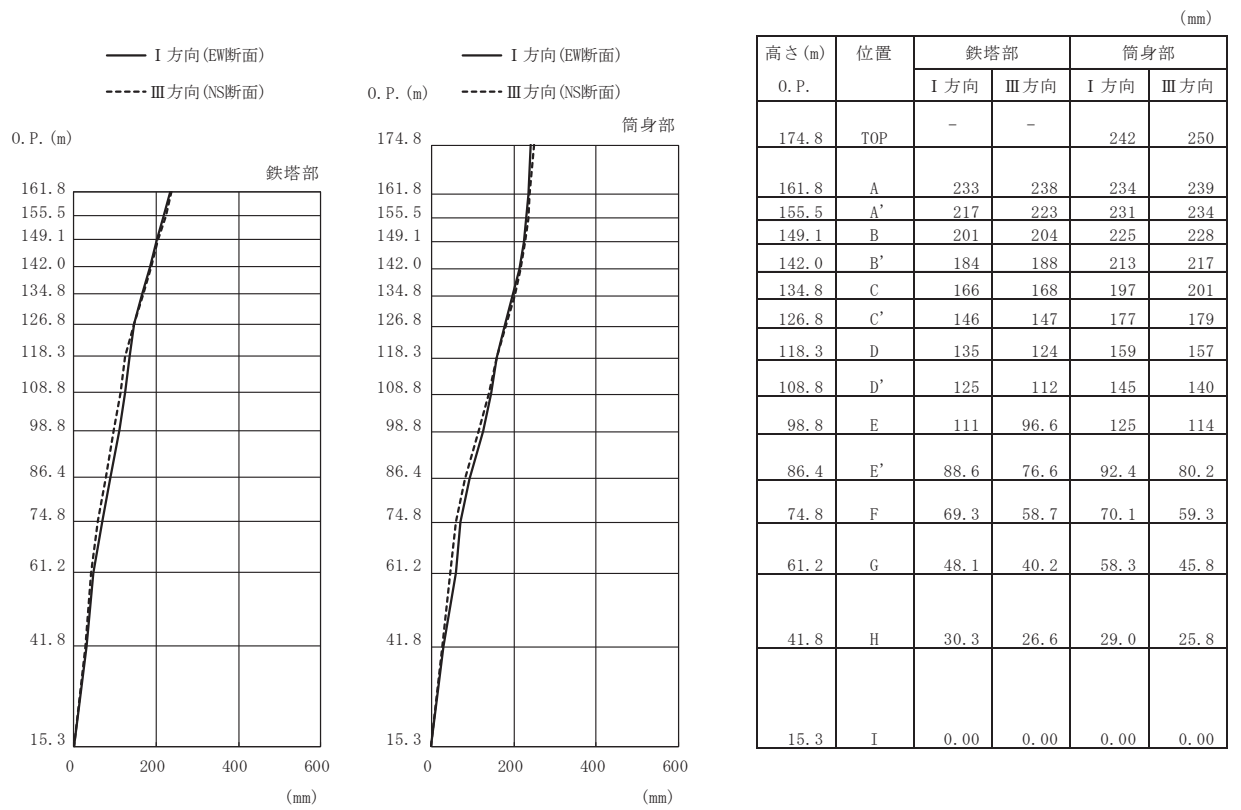


(c) S s - N 1 (直交方向)

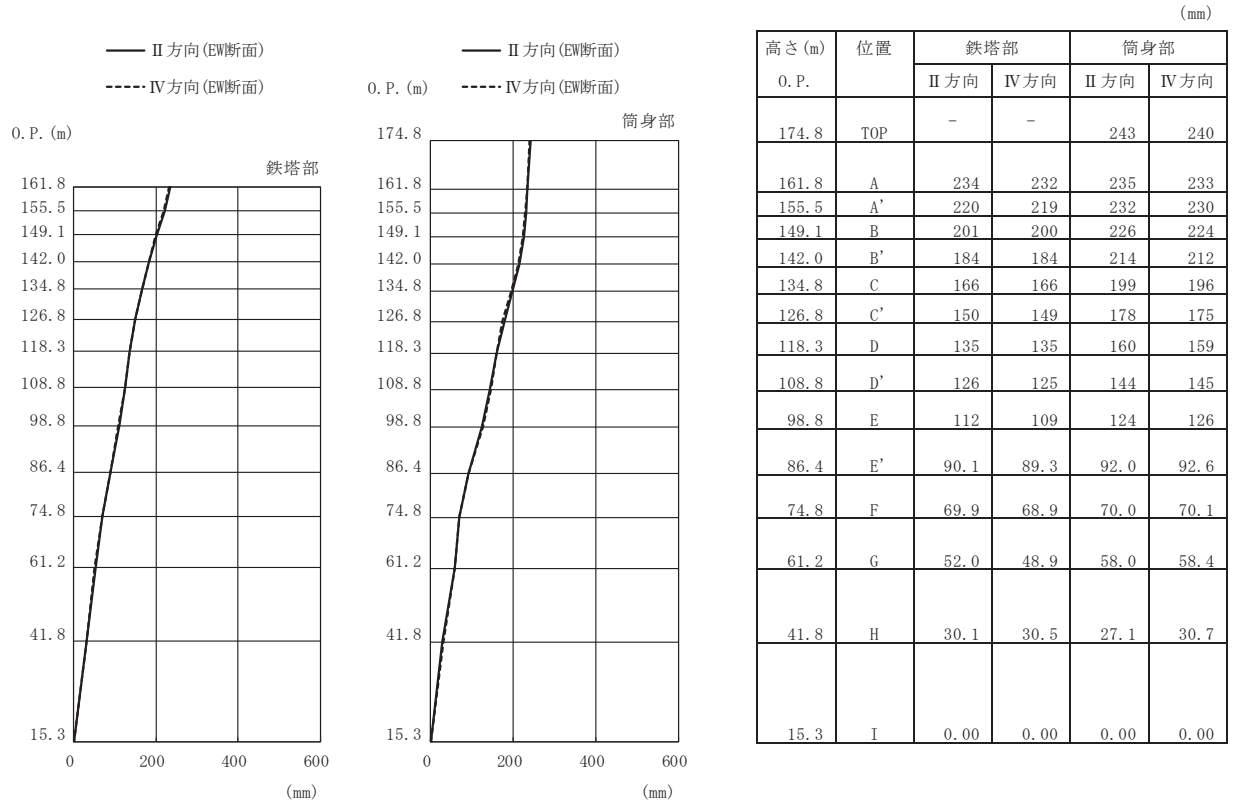


(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-6(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース③)

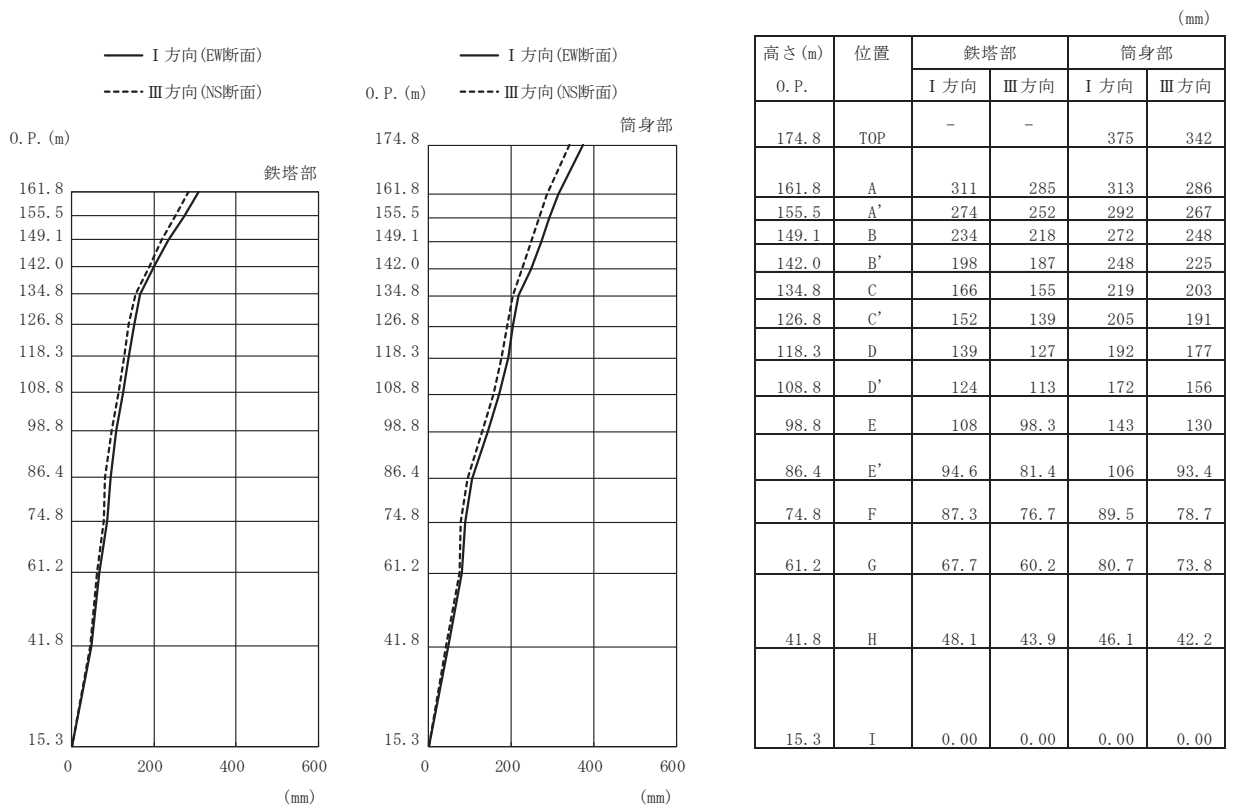


(a) S s - D 2 (直交方向)

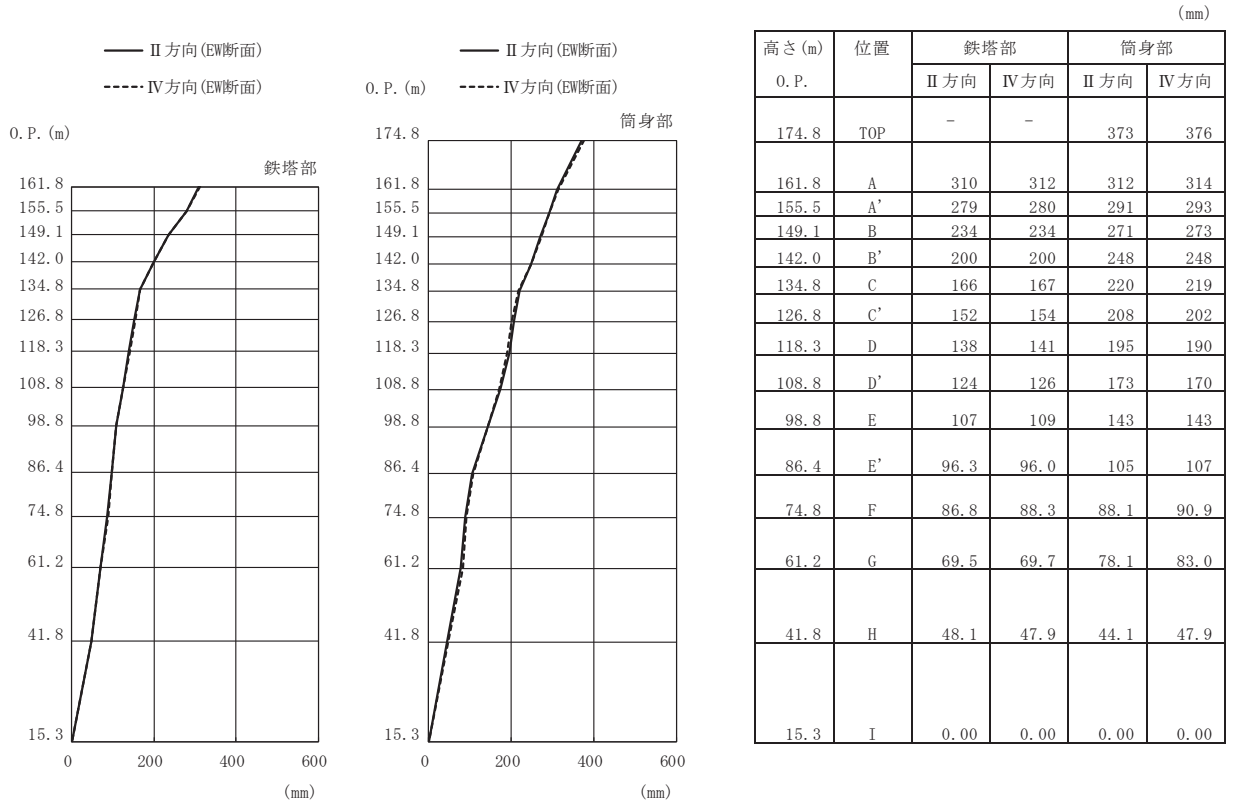


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-7(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース③)

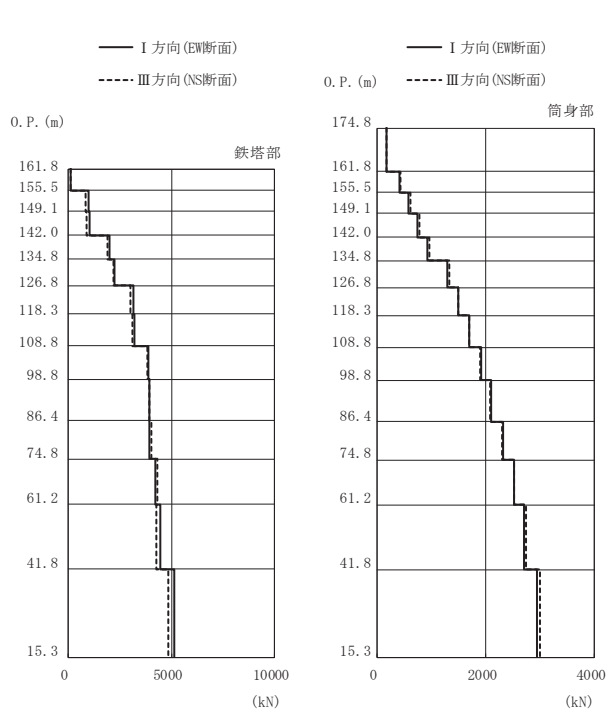


(c) S s - N 1 (直交方向)



(d) S s - N 1 (斜め方向)

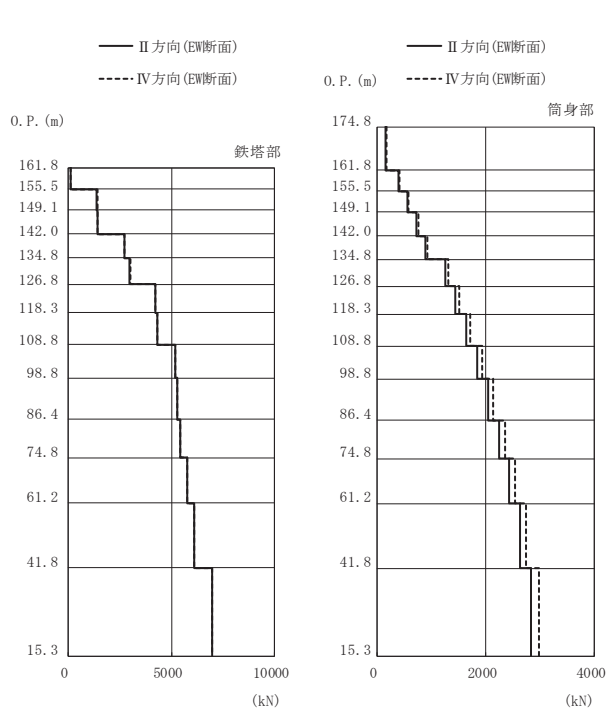
図 3-7(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース③)



高さ(m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I方向	III方向	I方向	III方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	169	179
155.5	A'	A - A'	116	125	417	440
149.1	B	A' - B	995	850	579	608
142.0	B'	B - B'	1030	898	748	782
134.8	C	B' - C	1990	1900	923	959
126.8	C'	C - C'	2250	2190	1300	1330
118.3	D	C' - D	3140	2990	1490	1500
108.8	D'	D - D'	3230	3110	1690	1700
98.8	E	D' - E	3870	3810	1910	1900
86.4	E'	E - E'	3950	3920	2100	2090
74.8	F	E' - F	3920	4030	2320	2300
61.2	G	F - G	4220	4330	2520	2520
41.8	H	G - H	4460	4260	2710	2750
15.3	I	H - I	5120	4860	2940	3000

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

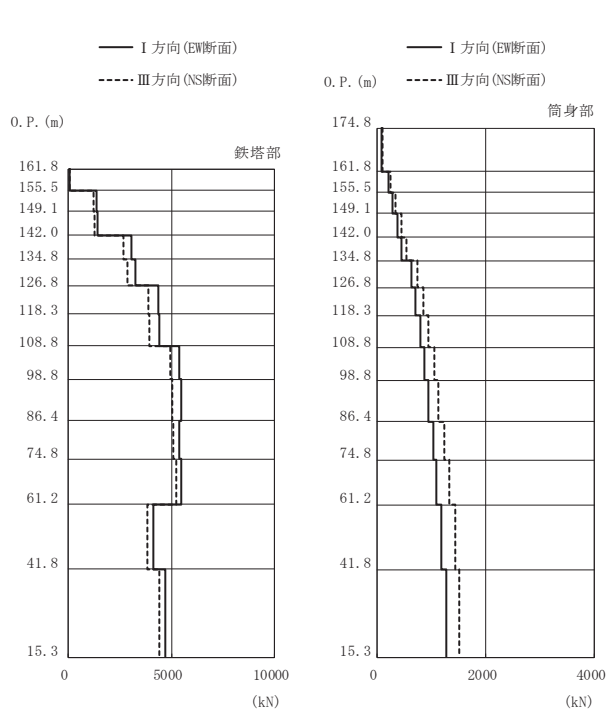


高さ(m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II方向	IV方向	II方向	IV方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	164	171
155.5	A'	A - A'	119	119	405	422
149.1	B	A' - B	1360	1410	561	586
142.0	B'	B - B'	1400	1440	724	757
134.8	C	B' - C	2700	2730	893	935
126.8	C'	C - C'	2970	2990	1260	1310
118.3	D	C' - D	4230	4200	1440	1510
108.8	D'	D - D'	4330	4310	1640	1720
98.8	E	D' - E	5180	5170	1850	1930
86.4	E'	E - E'	5270	5260	2040	2130
74.8	F	E' - F	5440	5430	2250	2350
61.2	G	F - G	5770	5760	2440	2550
41.8	H	G - H	6110	6090	2630	2750
15.3	I	H - I	6970	6960	2840	2990

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-8(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース③)

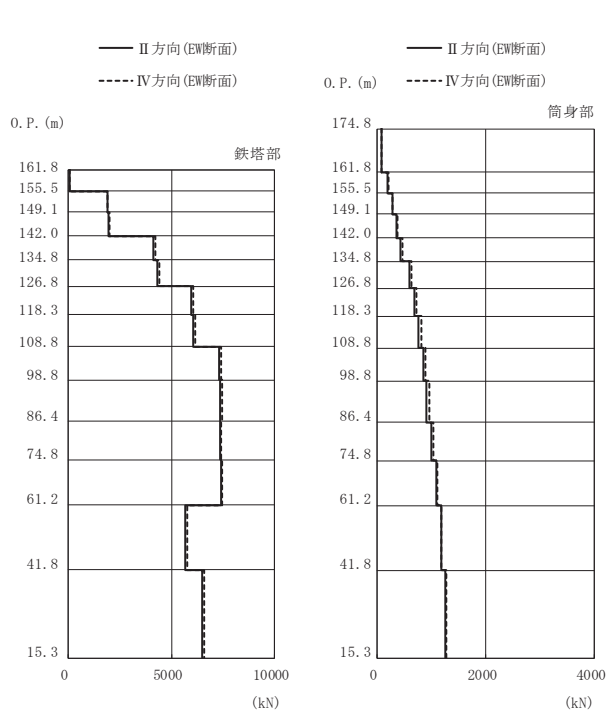


(kN)

高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	85.2	104
155.5	A'	A - A'	77.7	74.9	210	254
149.1	B	A' - B	1380	1220	289	350
142.0	B'	B - B'	1430	1270	371	449
134.8	C	B' - C	3040	2680	455	549
126.8	C'	C - C'	3240	2860	627	754
118.3	D	C' - D	4360	3860	712	853
108.8	D'	D - D'	4430	3930	795	951
98.8	E	D' - E	5400	4930	876	1050
86.4	E'	E - E'	5460	5030	948	1130
74.8	F	E' - F	5390	5070	1030	1240
61.2	G	F - G	5450	5230	1100	1340
41.8	H	G - H	4100	3840	1190	1440
15.3	I	H - I	4700	4400	1270	1510

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)



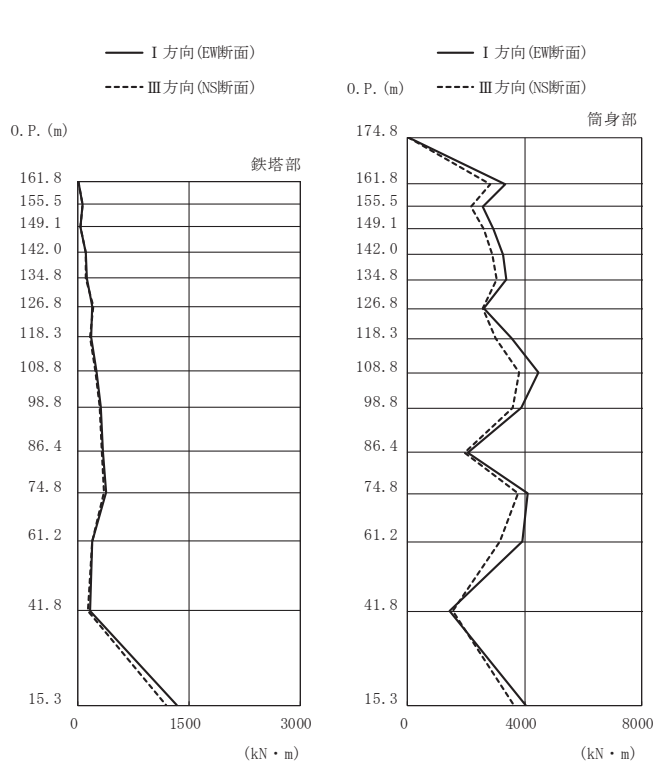
(kN)

高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	82.4	87.1
155.5	A'	A - A'	81.1	81.8	203	214
149.1	B	A' - B	1880	1920	280	296
142.0	B'	B - B'	1960	1990	359	380
134.8	C	B' - C	4120	4200	439	466
126.8	C'	C - C'	4330	4410	604	642
118.3	D	C' - D	5970	6050	686	728
108.8	D'	D - D'	6050	6130	768	814
98.8	E	D' - E	7320	7380	848	895
86.4	E'	E - E'	7370	7440	918	963
74.8	F	E' - F	7340	7390	1010	1040
61.2	G	F - G	7400	7430	1090	1110
41.8	H	G - H	5680	5760	1180	1190
15.3	I	H - I	6470	6580	1260	1270

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

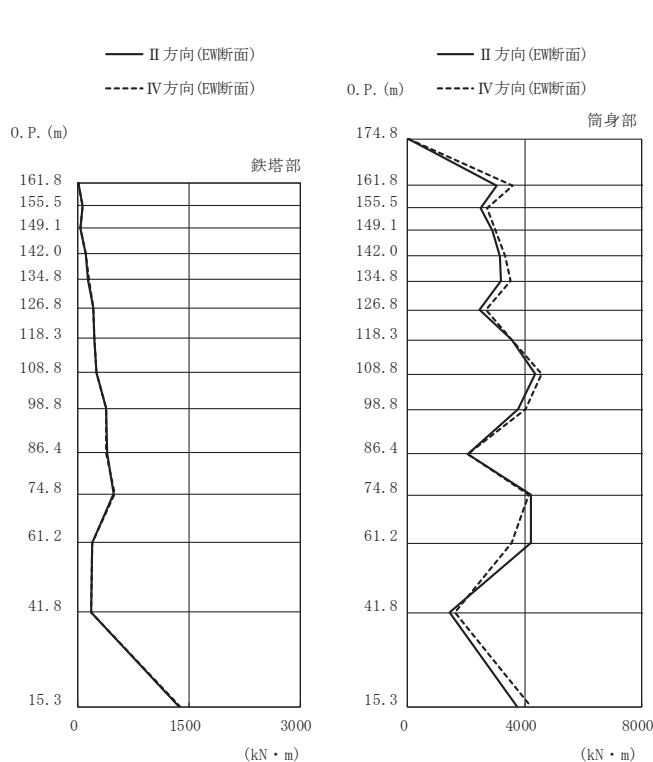
図 3-8(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース③)



(a) S s - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.4	2.1	3350	2830
155.5	A'	59.0	60.5	2550	2160
149.1	B	29.6	26.8	2940	2610
142.0	B'	102	106	3260	2880
134.8	C	115	107	3360	3060
126.8	C'	190	208	2590	2570
118.3	D	171	161	3560	3000
108.8	D'	249	233	4480	3830
98.8	E	312	296	3900	3580
86.4	E'	336	327	2070	1940
74.8	F	383	354	4120	3780
61.2	G	189	185	3920	3150
41.8	H	168	138	1450	1560
15.3	I	1330	1190	4020	3630

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

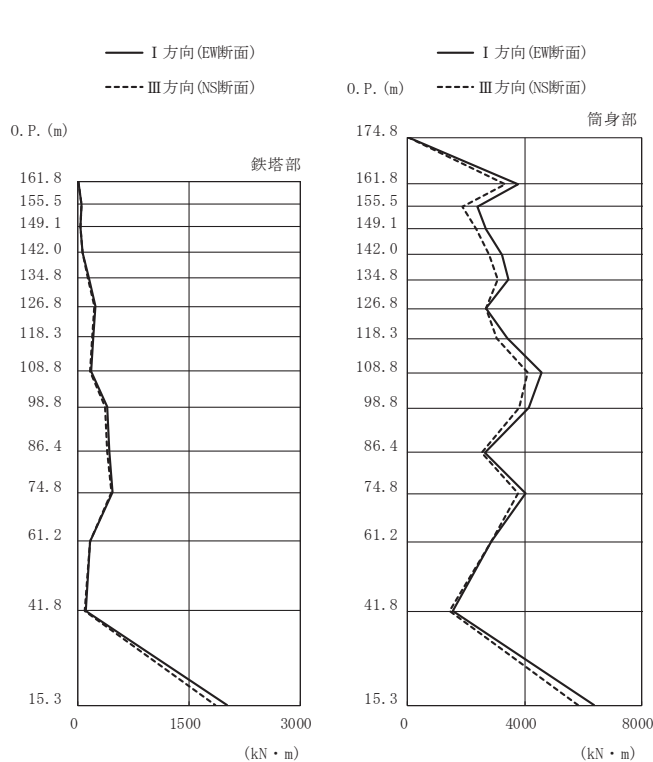


(b) S s - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.0	2.3	3050	3610
155.5	A'	58.8	58.5	2500	2730
149.1	B	37.0	40.0	2890	2990
142.0	B'	102	98.9	3150	3350
134.8	C	139	146	3190	3510
126.8	C'	211	209	2470	2680
118.3	D	225	227	3540	3560
108.8	D'	249	250	4370	4570
98.8	E	385	376	3760	4040
86.4	E'	391	384	2070	2040
74.8	F	475	501	4220	4130
61.2	G	189	189	4210	3540
41.8	H	176	180	1420	1600
15.3	I	1360	1380	3730	4230

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

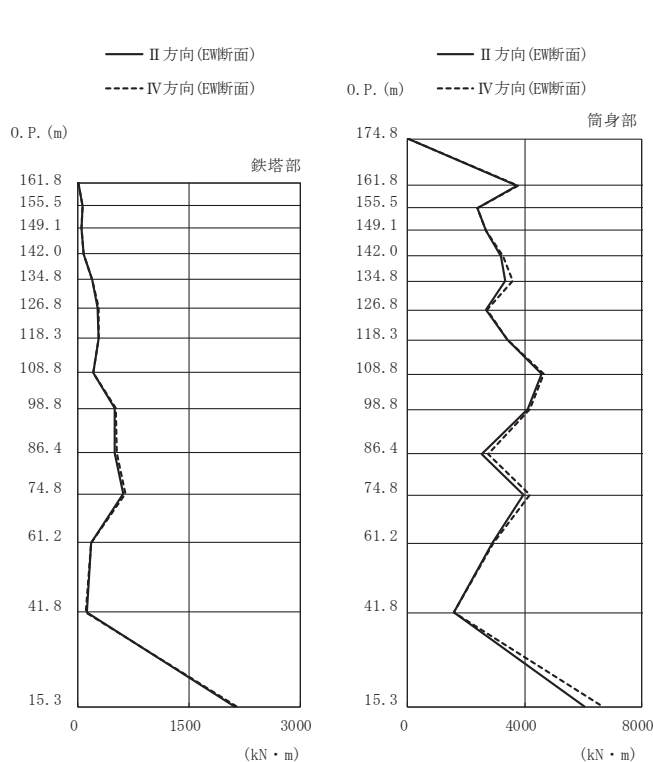
図 3-9(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.2	2.7	3760	3320
155.5	A'	53.4	47.3	2390	1870
149.1	B	38.8	36.2	2670	2350
142.0	B'	67.1	68.3	3240	2790
134.8	C	149	131	3460	3080
126.8	C'	236	225	2690	2660
118.3	D	209	189	3400	3050
108.8	D'	175	168	4600	4100
98.8	E	394	369	4140	3820
86.4	E'	427	401	2630	2540
74.8	F	472	454	4050	3770
61.2	G	169	158	2870	2860
41.8	H	109	96.5	1530	1450
15.3	I	2010	1860	6380	5820

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

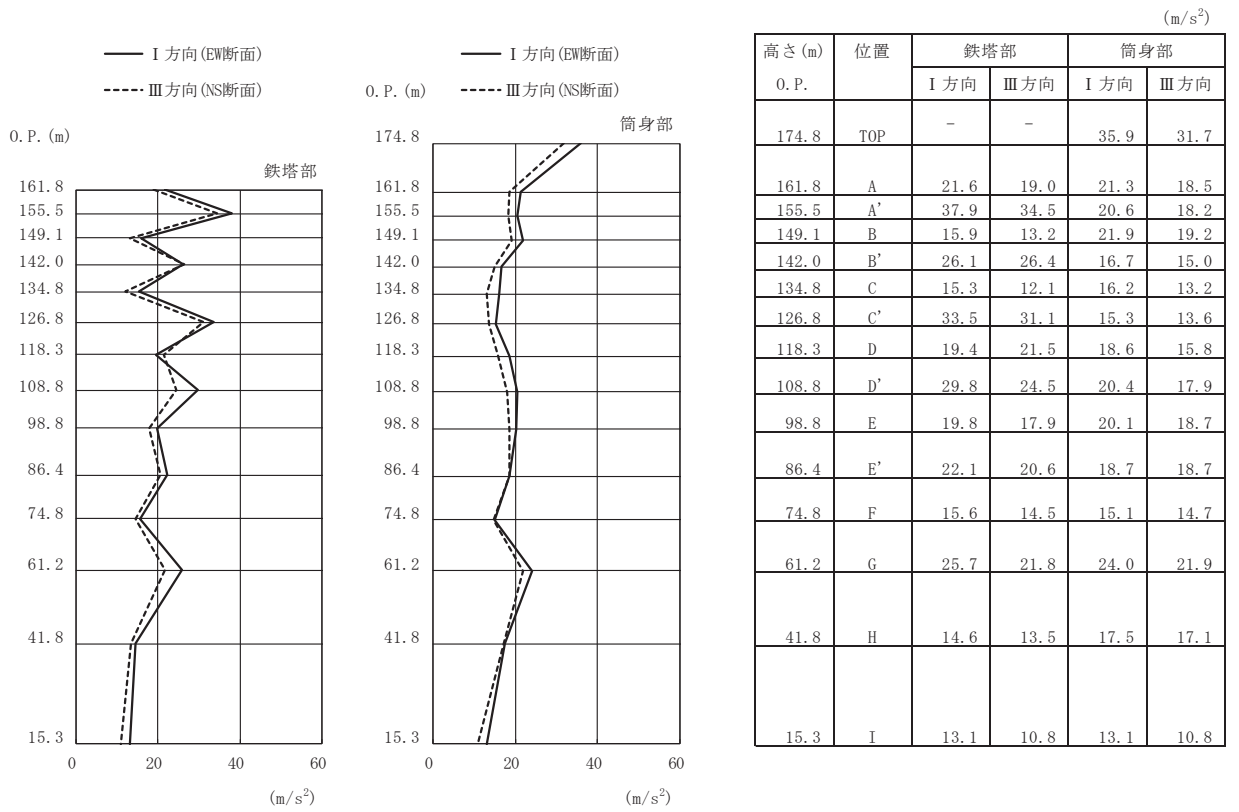


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.4	3.4	3730	3780
155.5	A'	56.8	57.1	2380	2390
149.1	B	48.9	50.6	2670	2660
142.0	B'	73.9	75.3	3200	3260
134.8	C	188	194	3320	3580
126.8	C'	267	274	2670	2710
118.3	D	283	286	3400	3420
108.8	D'	204	209	4570	4660
98.8	E	497	508	4100	4170
86.4	E'	494	521	2530	2760
74.8	F	612	634	3950	4190
61.2	G	172	183	2890	2920
41.8	H	120	109	1580	1580
15.3	I	2120	2140	6060	6680

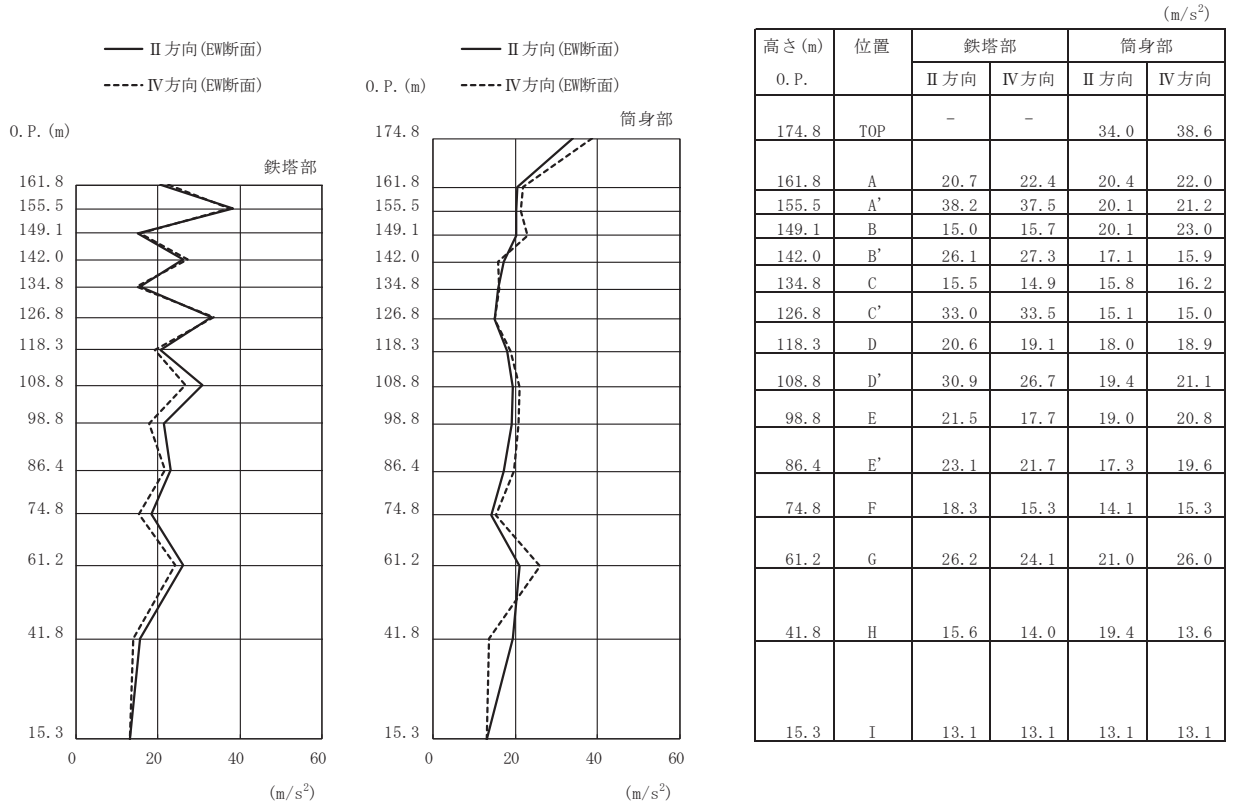
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-9(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース③)

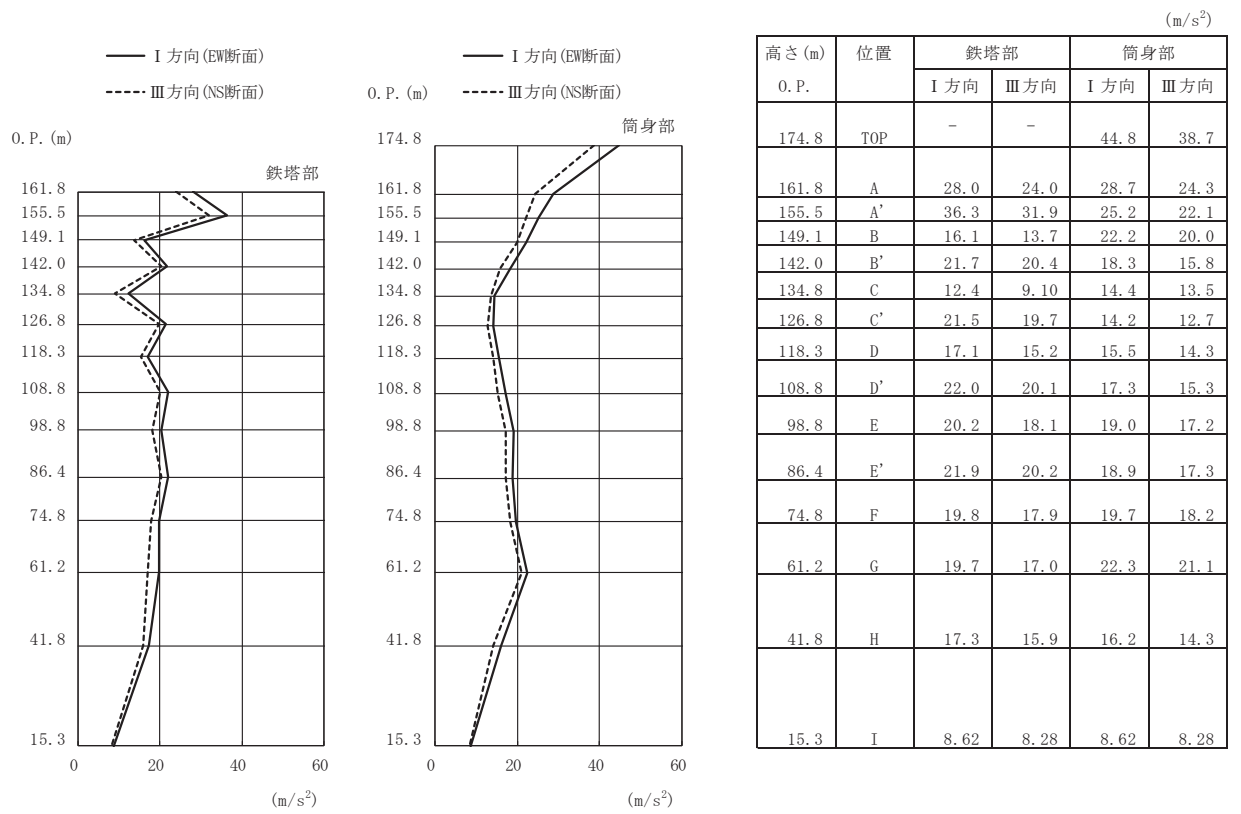


(a) S s - D 2 (直交方向)

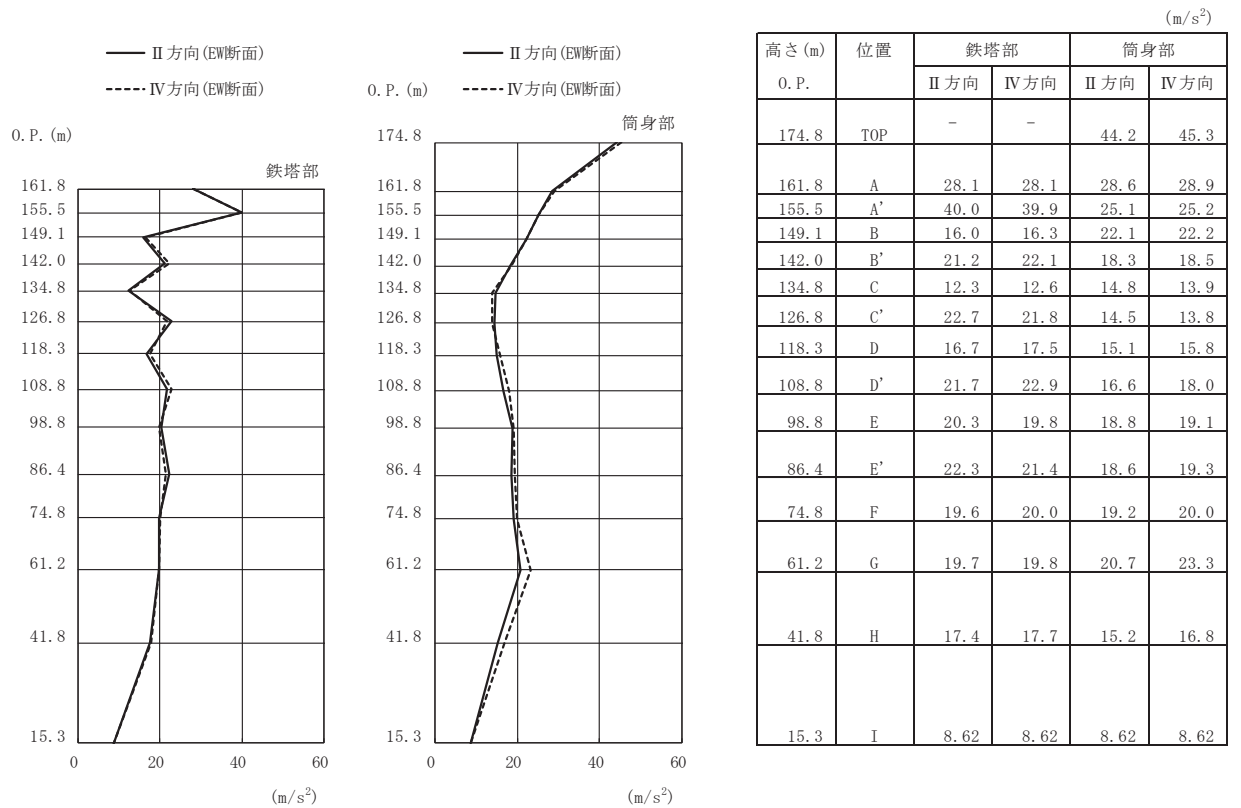


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-10(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース④)

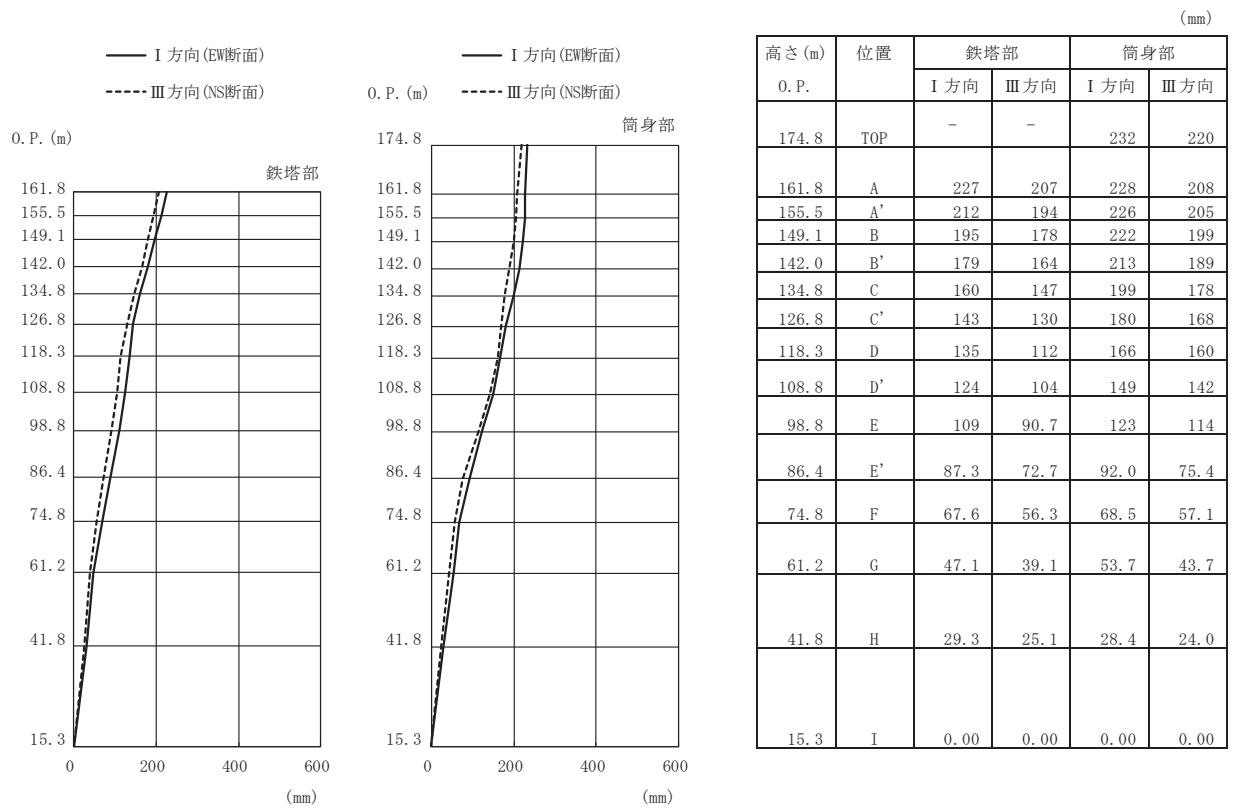


(c) S s - N 1 (直交方向)

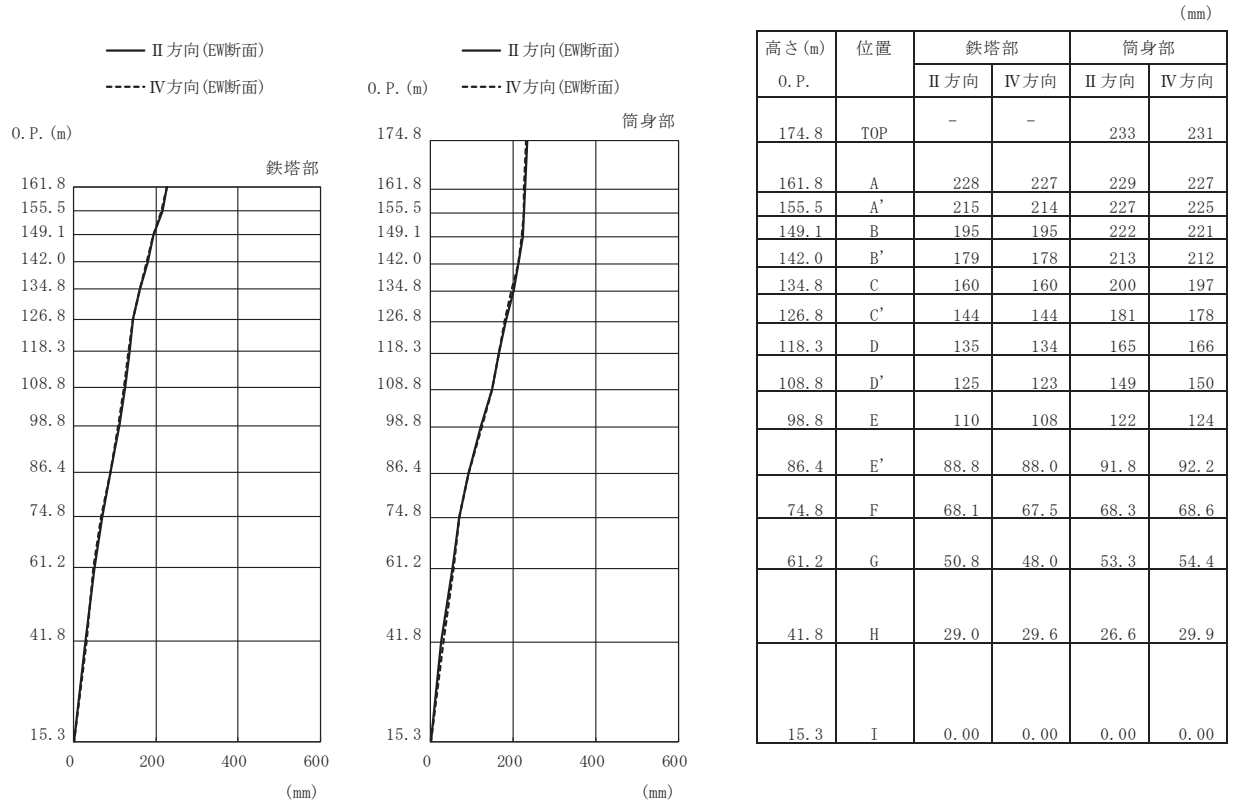


(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-10(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース④)

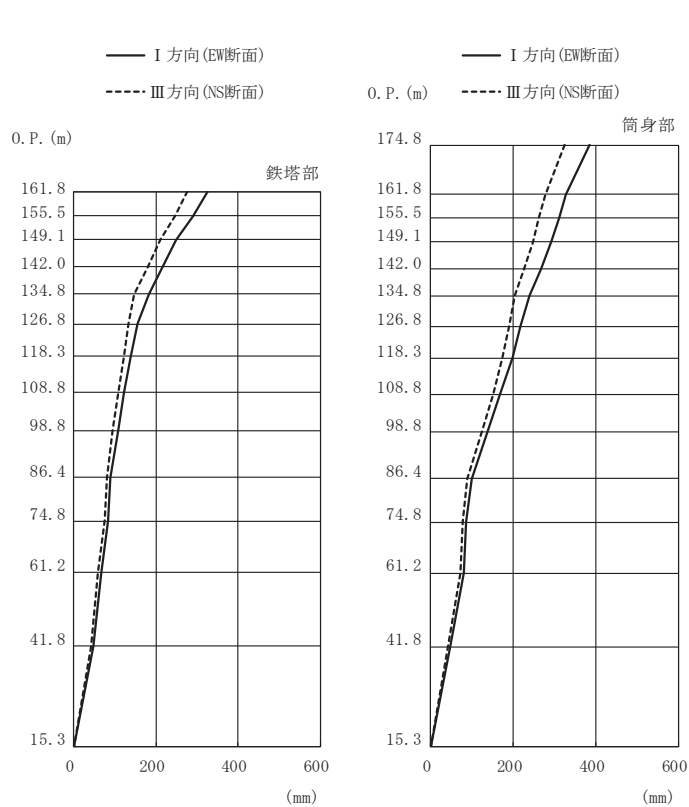


(a) S s - D 2 (直交方向)



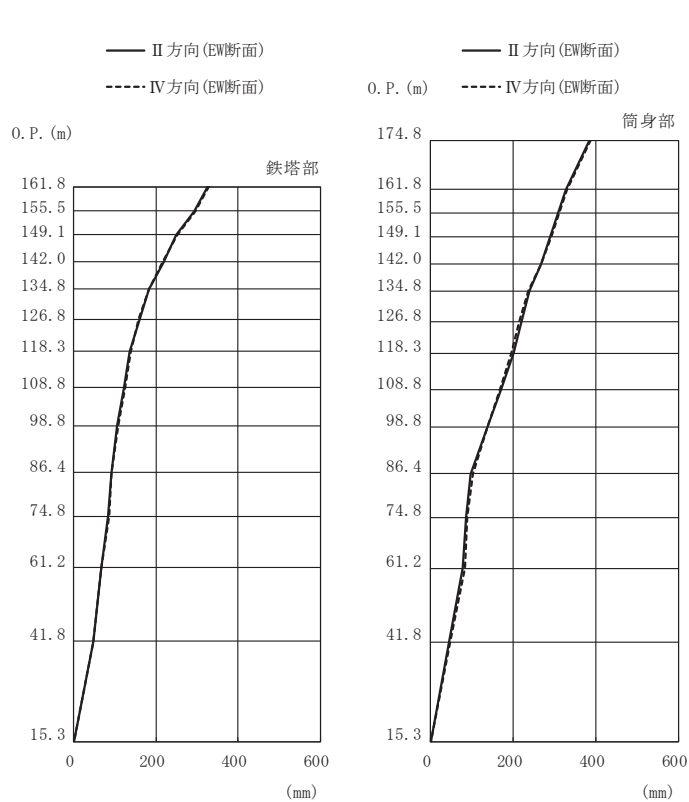
(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-11(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース④)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	386	326
161.8	A	327	276	329	278
155.5	A'	290	245	310	262
149.1	B	250	211	291	247
142.0	B'	216	181	268	227
134.8	C	182	148	239	203
126.8	C'	154	132	218	191
118.3	D	138	121	198	175
108.8	D'	123	109	169	151
98.8	E	107	95.2	138	123
86.4	E'	89.8	79.8	99.3	89.2
74.8	F	83.8	74.9	85.9	76.8
61.2	G	65.6	59.0	80.6	73.1
41.8	H	47.7	43.1	46.1	41.7
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

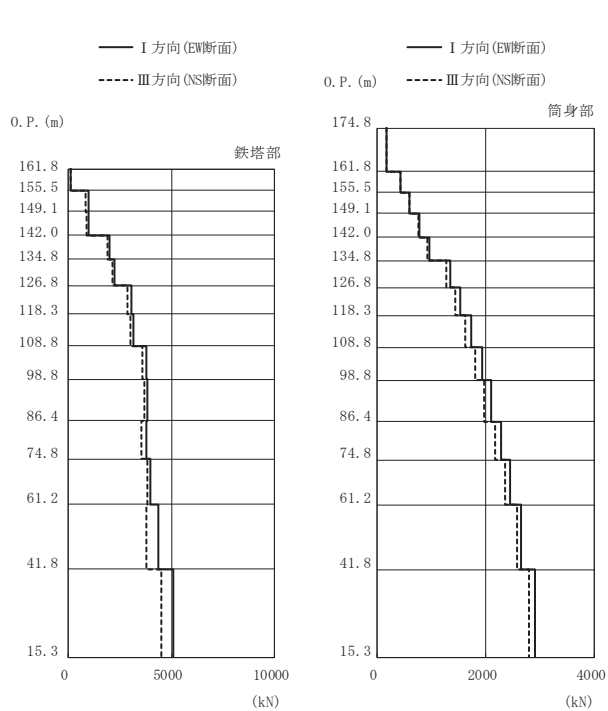
(c) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	385	388
161.8	A	327	328	328	330
155.5	A'	294	295	309	311
149.1	B	250	251	290	292
142.0	B'	218	217	268	268
134.8	C	183	182	239	238
126.8	C'	160	158	220	216
118.3	D	137	139	200	196
108.8	D'	122	124	171	168
98.8	E	106	108	138	138
86.4	E'	91.6	91.4	97.6	101
74.8	F	83.4	84.8	84.6	87.2
61.2	G	67.2	67.3	78.3	82.7
41.8	H	47.9	47.5	44.2	47.9
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(d) S s - N 1 (斜め方向)

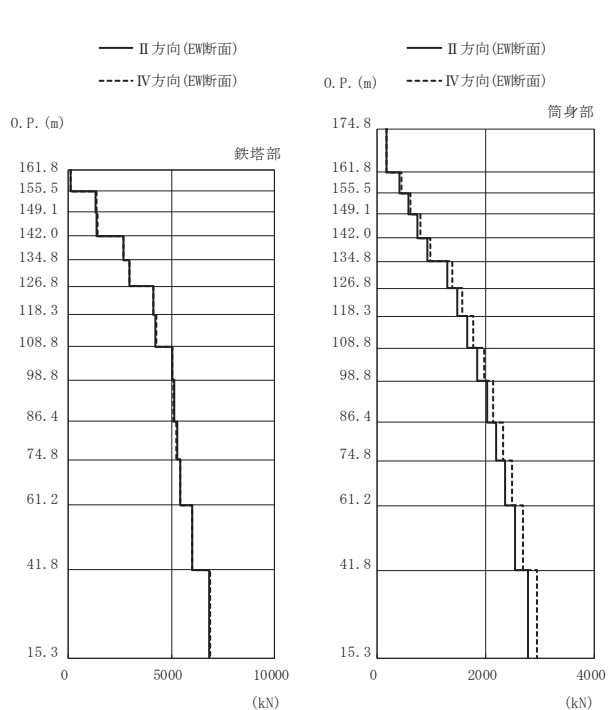
図 3-11(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース④)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	179	175
155.5	A'	A - A'	126	123	439	429
149.1	B	A' - B	964	831	607	593
142.0	B'	B - B'	1010	875	780	760
134.8	C	B' - C	2010	1900	959	929
126.8	C'	C - C'	2260	2160	1350	1280
118.3	D	C' - D	3070	2870	1540	1440
108.8	D'	D - D'	3180	2990	1740	1620
98.8	E	D' - E	3770	3610	1940	1810
86.4	E'	E - E'	3840	3700	2110	1980
74.8	F	E' - F	3800	3550	2290	2170
61.2	G	F - G	3960	3830	2450	2350
41.8	H	G - H	4380	3800	2650	2580
15.3	I	H - I	5070	4530	2900	2800

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

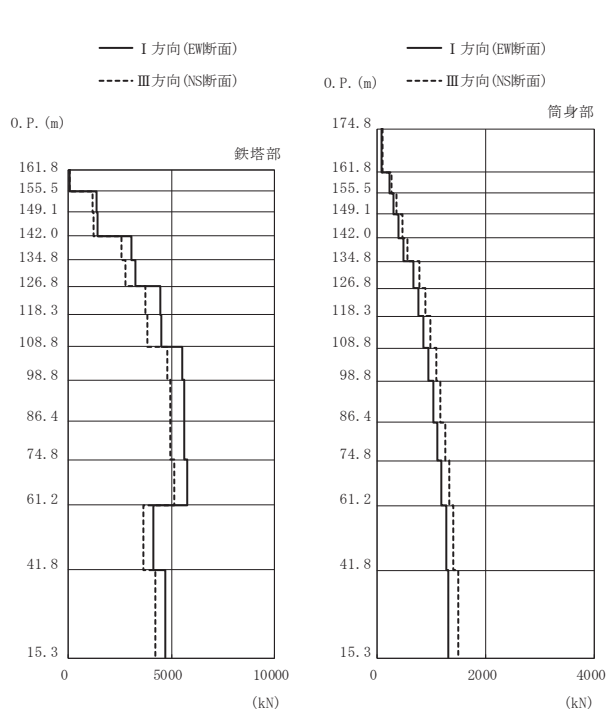


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	172	181
155.5	A'	A - A'	127	126	422	446
149.1	B	A' - B	1330	1370	584	616
142.0	B'	B - B'	1390	1430	751	793
134.8	C	B' - C	2690	2670	921	978
126.8	C'	C - C'	2970	2970	1290	1380
118.3	D	C' - D	4120	4130	1470	1570
108.8	D'	D - D'	4230	4250	1660	1770
98.8	E	D' - E	5050	5030	1850	1970
86.4	E'	E - E'	5130	5100	2020	2140
74.8	F	E' - F	5260	5250	2190	2320
61.2	G	F - G	5440	5430	2360	2490
41.8	H	G - H	6020	6000	2550	2690
15.3	I	H - I	6820	6850	2780	2950

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

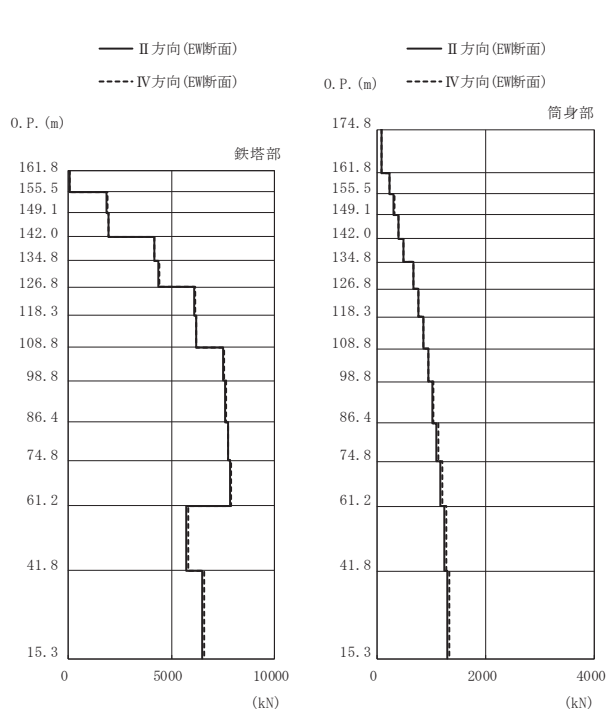
図 3-12(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース④)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	92.3	106
155.5	A'	A - A'	72.7	77.6	227	261
149.1	B	A' - B	1360	1160	314	360
142.0	B'	B - B'	1420	1210	403	462
134.8	C	B' - C	3050	2600	493	566
126.8	C'	C - C'	3260	2780	678	778
118.3	D	C' - D	4440	3750	769	883
108.8	D'	D - D'	4510	3820	860	986
98.8	E	D' - E	5530	4800	946	1090
86.4	E'	E - E'	5600	4920	1030	1170
74.8	F	E' - F	5640	4950	1110	1260
61.2	G	F - G	5760	5130	1190	1330
41.8	H	G - H	4130	3660	1270	1410
15.3	I	H - I	4700	4230	1320	1500

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

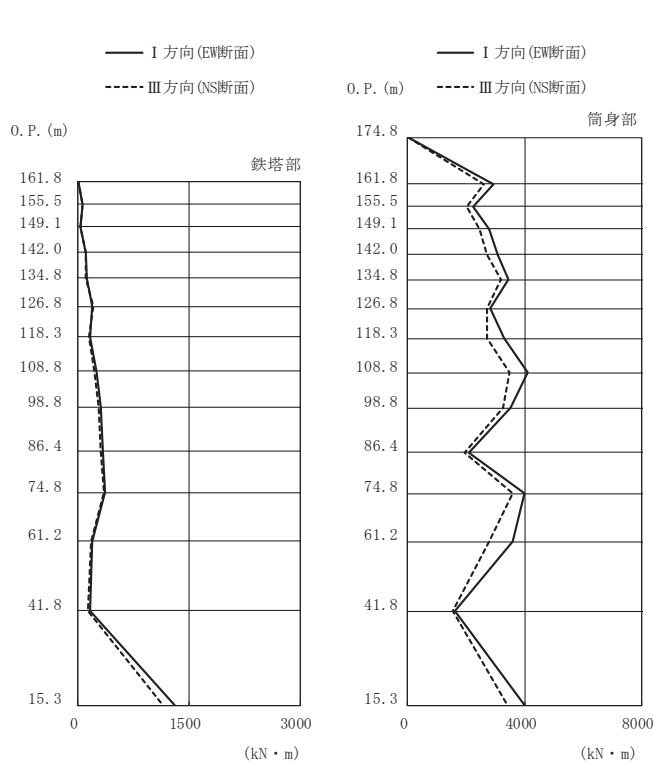


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	91.6	92.6
155.5	A'	A - A'	76.1	76.2	225	228
149.1	B	A' - B	1870	1910	311	315
142.0	B'	B - B'	1940	1970	400	404
134.8	C	B' - C	4150	4190	489	494
126.8	C'	C - C'	4380	4430	674	680
118.3	D	C' - D	6100	6140	765	771
108.8	D'	D - D'	6180	6220	855	862
98.8	E	D' - E	7520	7570	942	948
86.4	E'	E - E'	7590	7640	1020	1040
74.8	F	E' - F	7720	7760	1100	1130
61.2	G	F - G	7850	7870	1170	1210
41.8	H	G - H	5730	5790	1240	1280
15.3	I	H - I	6480	6600	1300	1340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

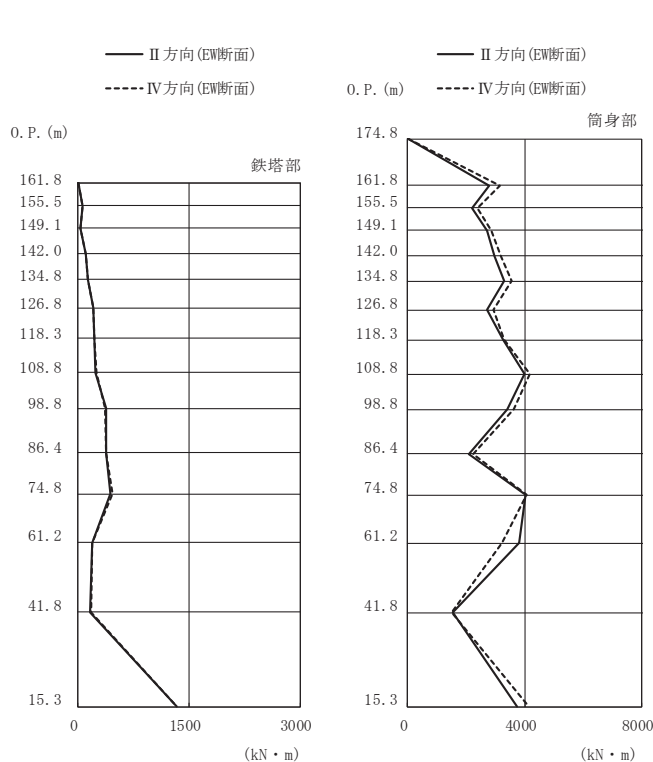
図 3-12(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース④)



(a) S s - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.5	2.0	2930	2600
155.5	A'	59.0	57.8	2240	2020
149.1	B	29.3	26.2	2800	2470
142.0	B'	103	99.4	3090	2700
134.8	C	119	108	3430	3190
126.8	C'	195	209	2820	2700
118.3	D	168	147	3290	2700
108.8	D'	244	221	4100	3490
98.8	E	308	284	3530	3260
86.4	E'	333	313	2100	1960
74.8	F	359	348	3980	3580
61.2	G	194	184	3580	2790
41.8	H	168	132	1630	1540
15.3	I	1310	1150	3980	3400

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

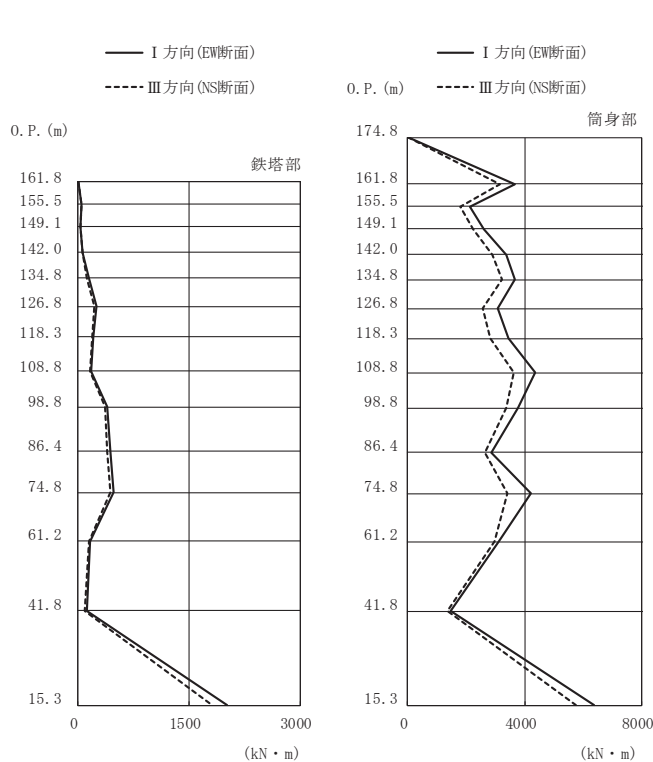


(b) S s - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.4	2780	3140
155.5	A'	59.2	58.6	2190	2370
149.1	B	36.8	39.6	2720	2860
142.0	B'	104	101	2980	3190
134.8	C	138	140	3290	3540
126.8	C'	209	209	2700	2920
118.3	D	224	223	3270	3300
108.8	D'	239	243	4000	4180
98.8	E	381	369	3410	3640
86.4	E'	385	383	2090	2250
74.8	F	439	465	4040	4070
61.2	G	190	196	3820	3220
41.8	H	168	173	1550	1490
15.3	I	1330	1330	3730	4150

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

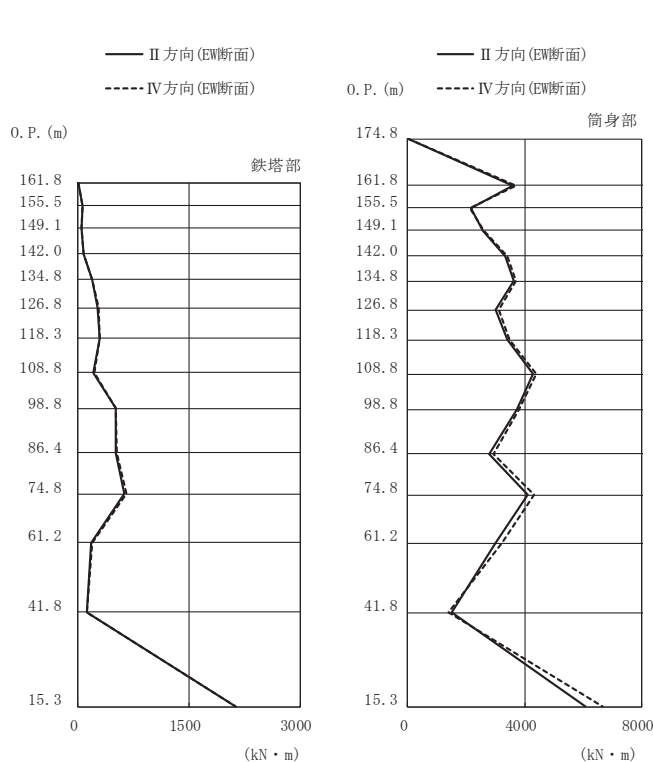
図 3-13(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース④)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.2	2.7	3660	3140
155.5	A'	52.8	46.1	2140	1790
149.1	B	38.6	34.9	2590	2250
142.0	B'	66.7	67.6	3380	2880
134.8	C	149	126	3670	3230
126.8	C'	243	219	3070	2570
118.3	D	212	189	3440	2810
108.8	D'	183	168	4350	3630
98.8	E	401	360	3790	3370
86.4	E'	438	391	2850	2640
74.8	F	488	439	4210	3400
61.2	G	167	151	3110	2960
41.8	H	113	95.6	1470	1360
15.3	I	2020	1820	6390	5750

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

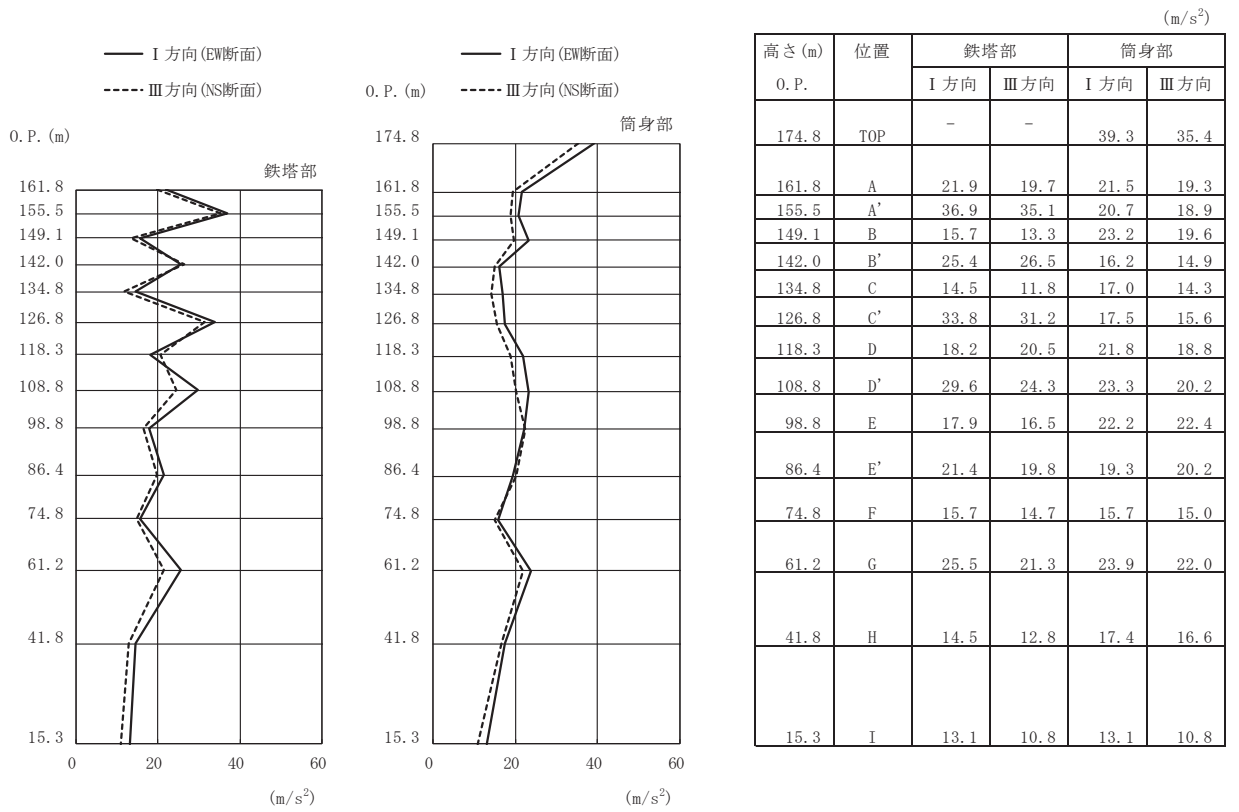


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.4	3.4	3600	3700
155.5	A'	55.7	56.2	2150	2120
149.1	B	48.0	50.0	2580	2600
142.0	B'	74.0	75.0	3340	3420
134.8	C	187	191	3630	3700
126.8	C'	271	278	3020	3110
118.3	D	287	291	3410	3480
108.8	D'	212	216	4300	4410
98.8	E	505	516	3750	3810
86.4	E'	506	530	2770	2950
74.8	F	626	649	4110	4330
61.2	G	177	185	2990	3230
41.8	H	123	118	1510	1390
15.3	I	2130	2130	6070	6670

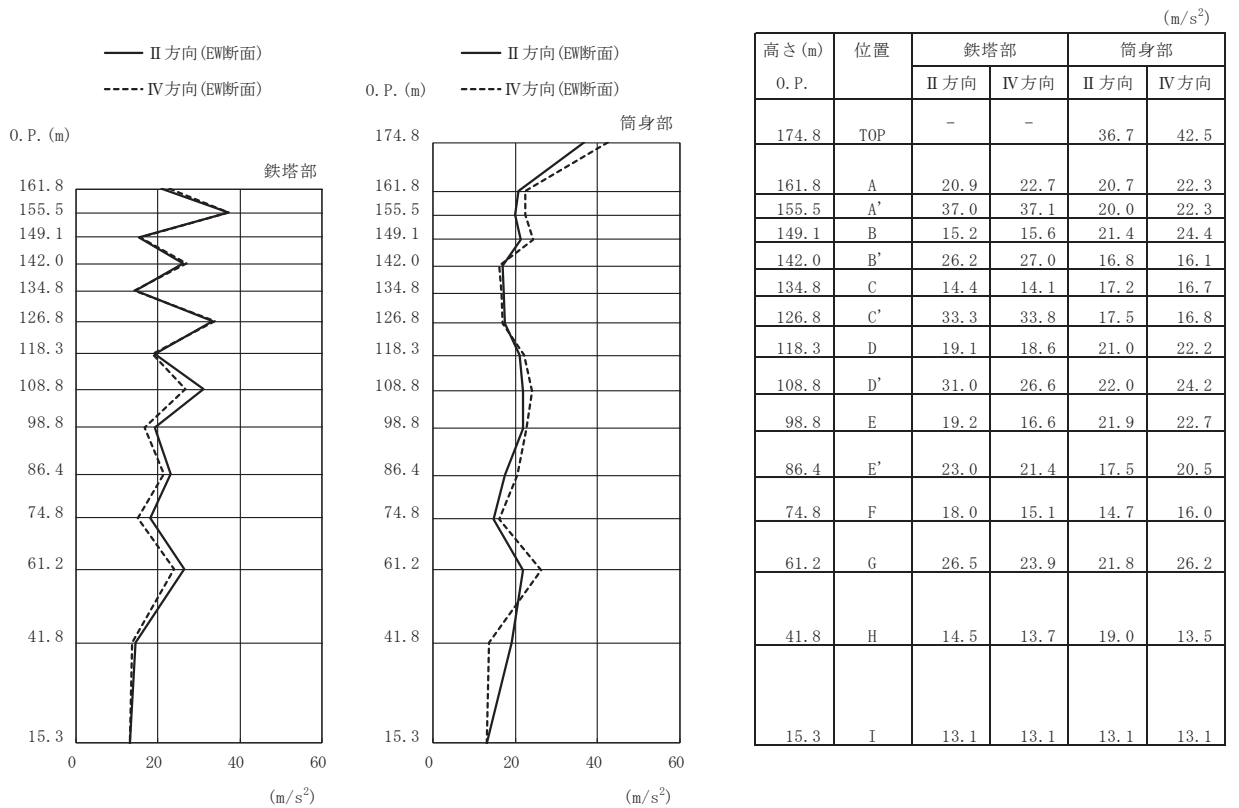
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-13(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース④)

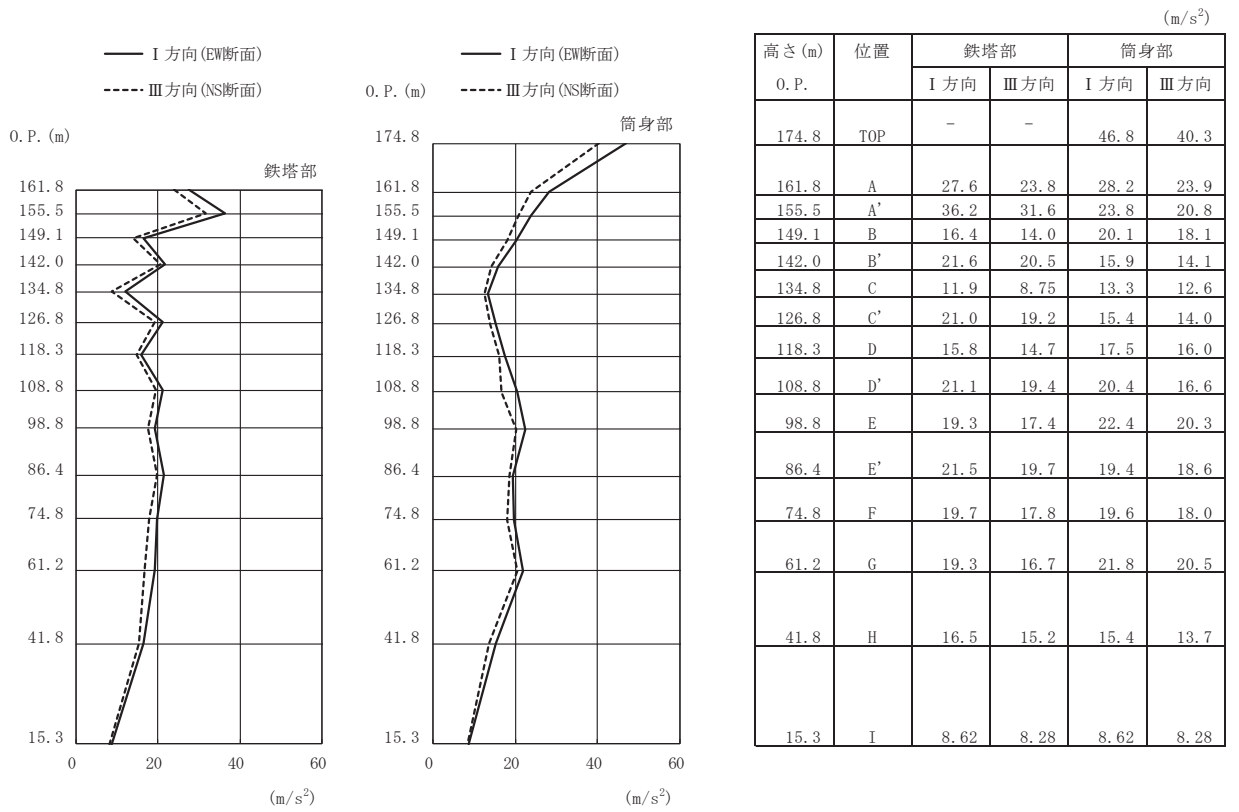


(a) S s - D 2 (直交方向)

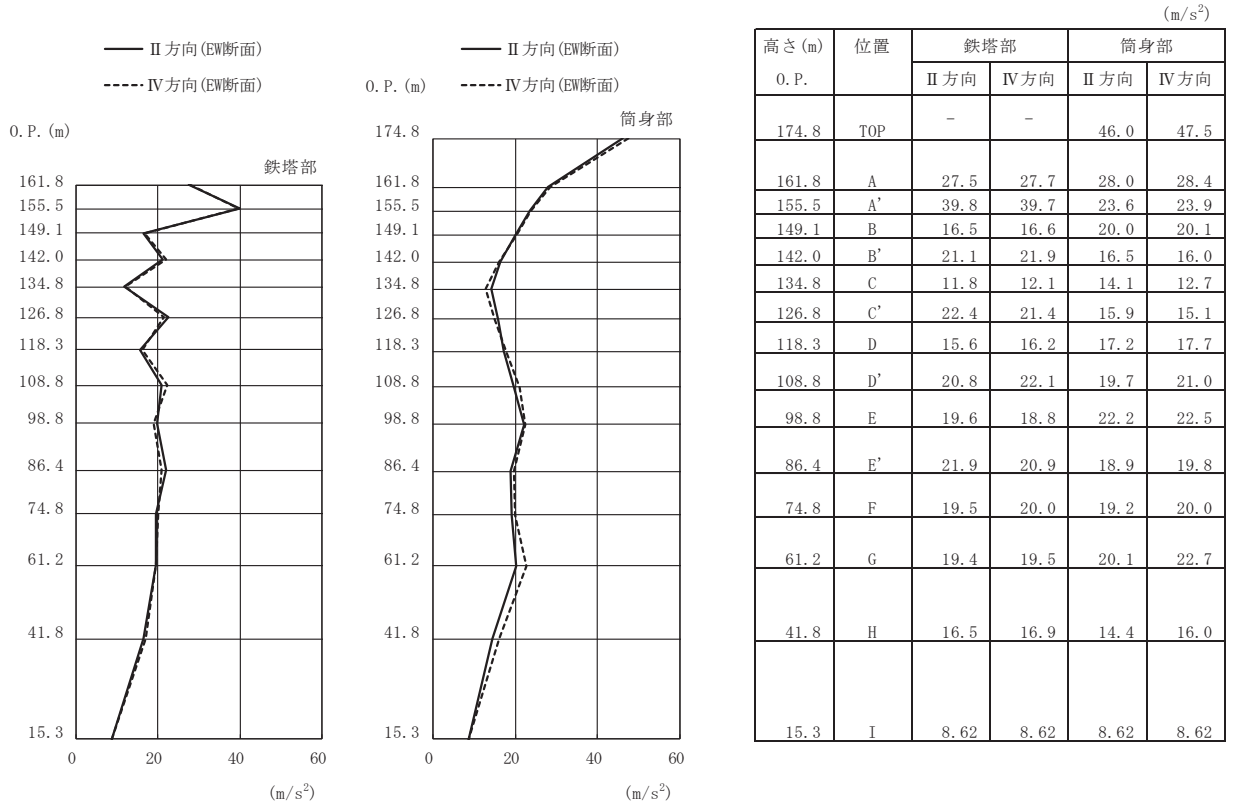


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-14(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑤)

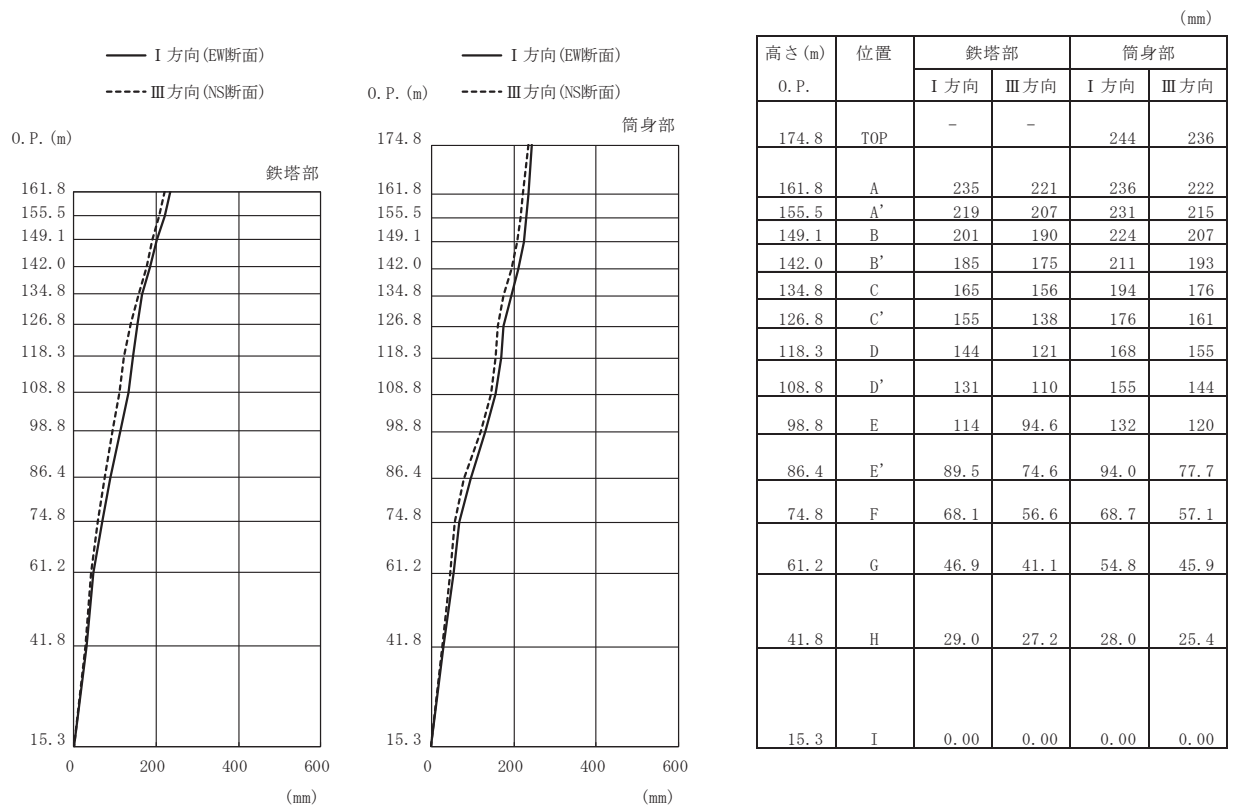


(c) S s - N 1 (直交方向)

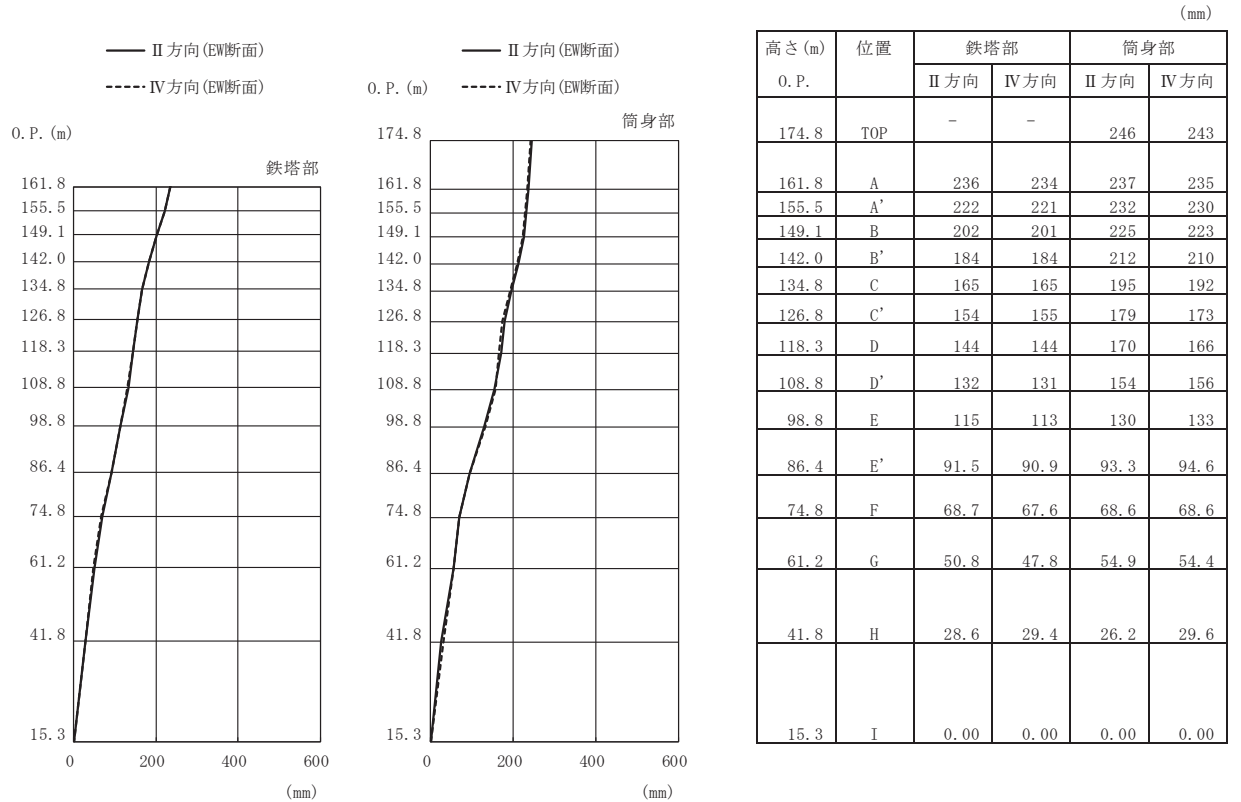


(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-14(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑤)

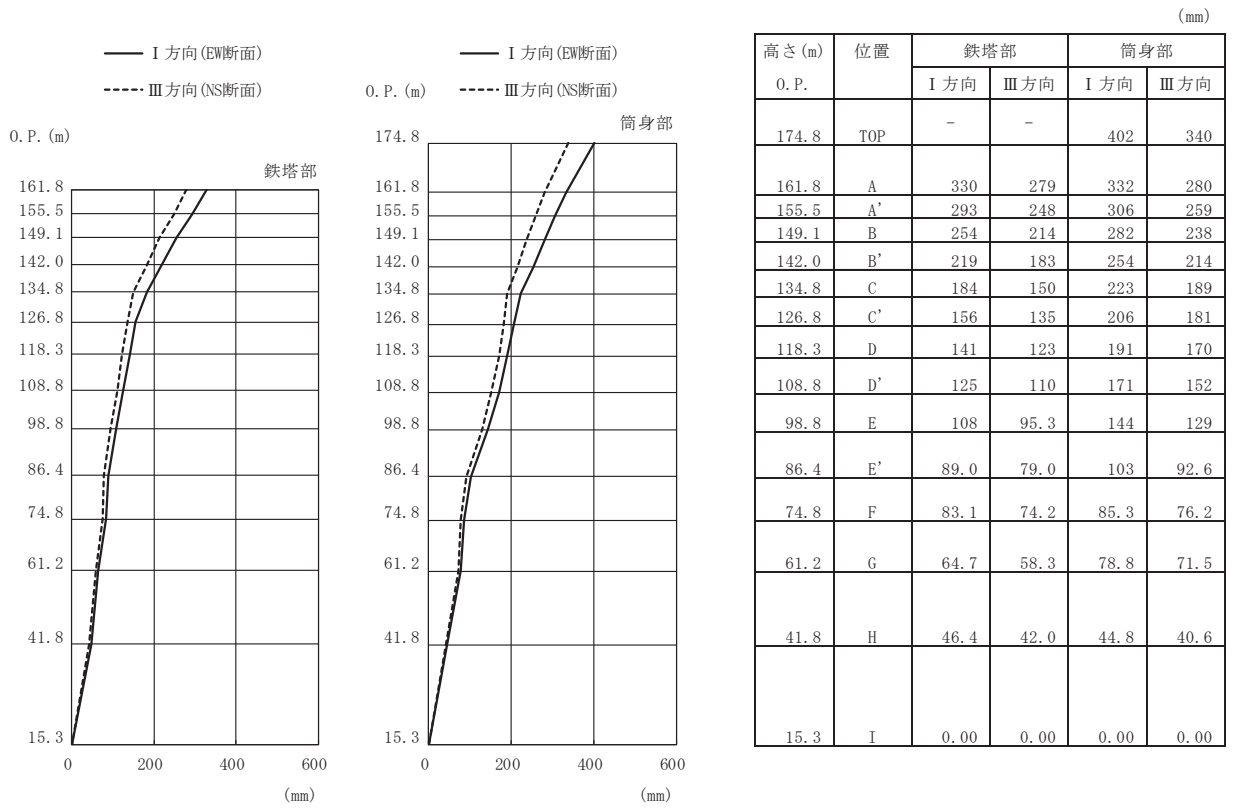


(a) S s - D 2 (直交方向)

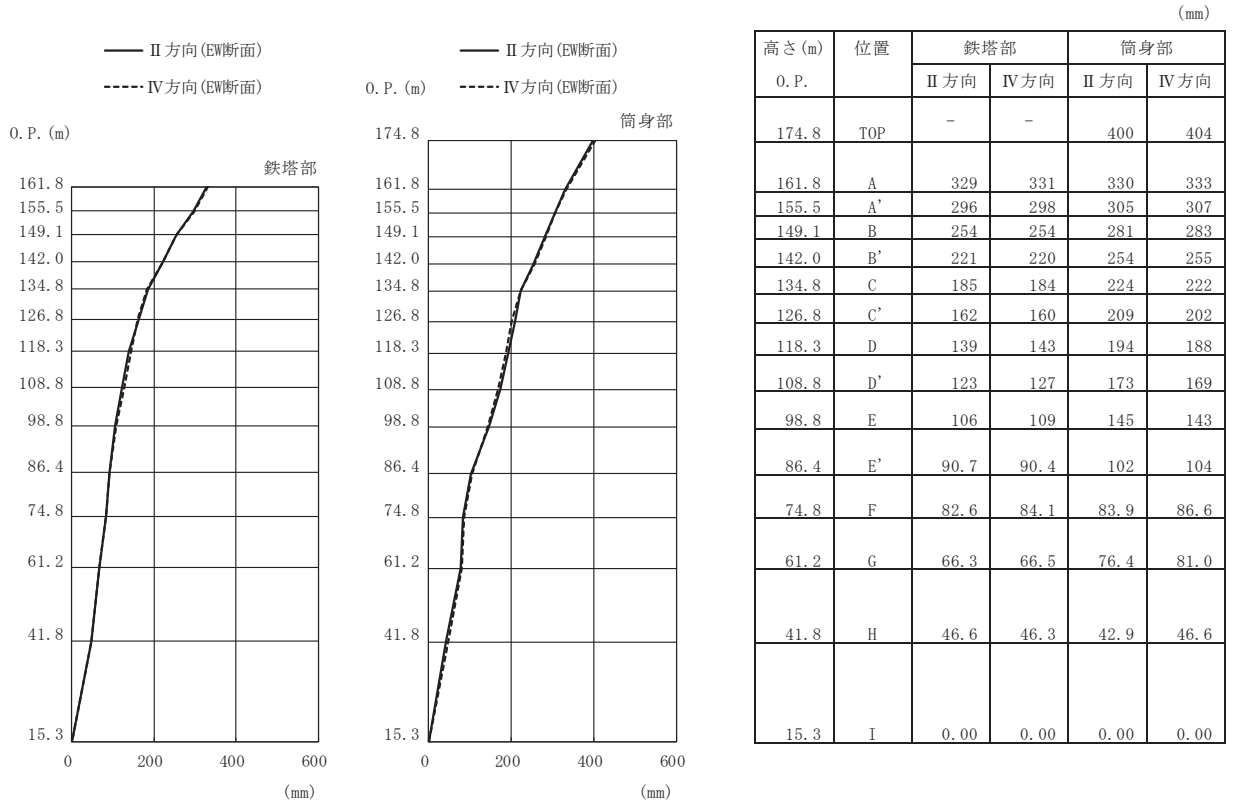


(b) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-15(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑤)

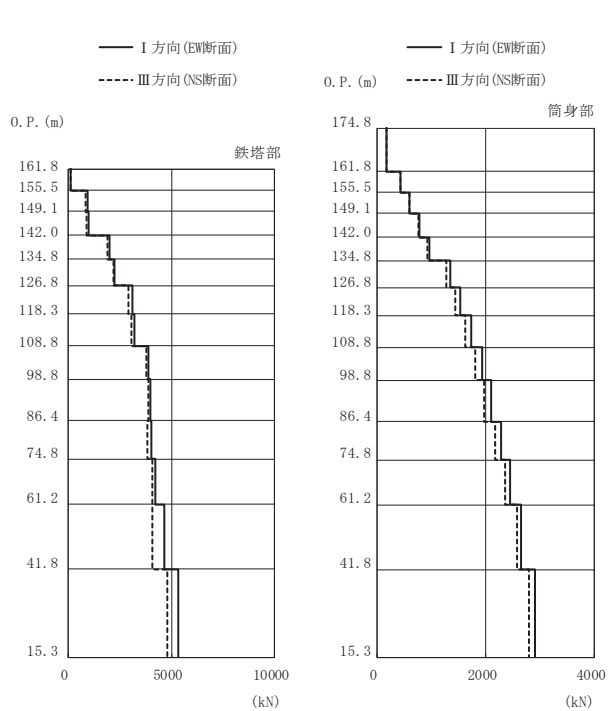


(c) S s - N 1 (直交方向)



(d) S s - N 1 (斜め方向)

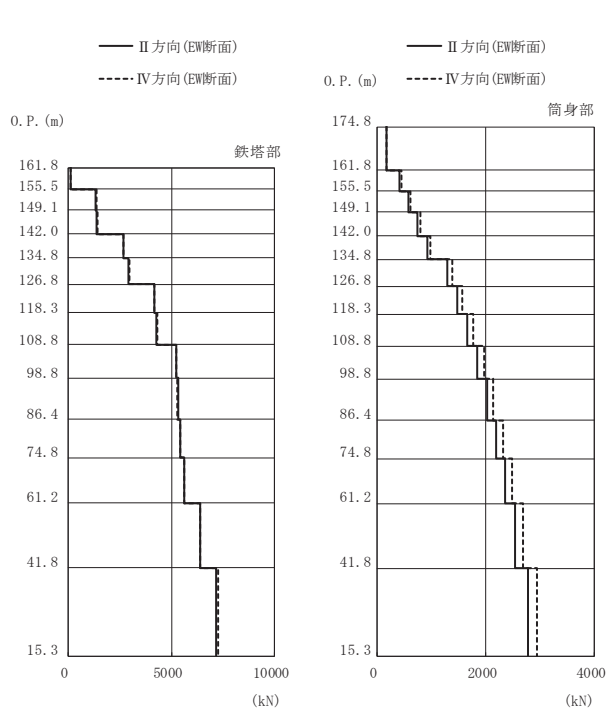
図 3-15(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑤)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	179	175
155.5	A'	A - A'	127	124	439	429
149.1	B	A' - B	958	822	607	593
142.0	B'	B - B'	1010	869	780	760
134.8	C	B' - C	1980	1890	959	929
126.8	C'	C - C'	2250	2170	1350	1280
118.3	D	C' - D	3110	2940	1540	1440
108.8	D'	D - D'	3220	3050	1740	1620
98.8	E	D' - E	3900	3770	1940	1810
86.4	E'	E - E'	3970	3860	2110	1980
74.8	F	E' - F	4010	3840	2290	2170
61.2	G	F - G	4200	4060	2450	2350
41.8	H	G - H	4660	4060	2650	2580
15.3	I	H - I	5340	4800	2900	2800

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

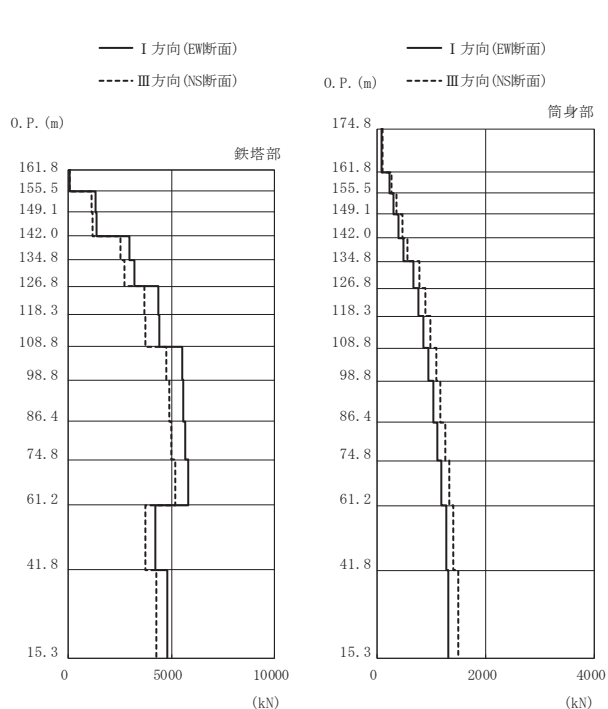


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	172	181
155.5	A'	A - A'	128	126	422	446
149.1	B	A' - B	1310	1360	584	616
142.0	B'	B - B'	1380	1420	751	793
134.8	C	B' - C	2660	2660	921	978
126.8	C'	C - C'	2940	2950	1290	1380
118.3	D	C' - D	4170	4190	1470	1570
108.8	D'	D - D'	4280	4300	1660	1770
98.8	E	D' - E	5240	5210	1850	1970
86.4	E'	E - E'	5320	5280	2020	2140
74.8	F	E' - F	5430	5430	2190	2320
61.2	G	F - G	5620	5620	2360	2490
41.8	H	G - H	6410	6410	2550	2690
15.3	I	H - I	7180	7240	2780	2950

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

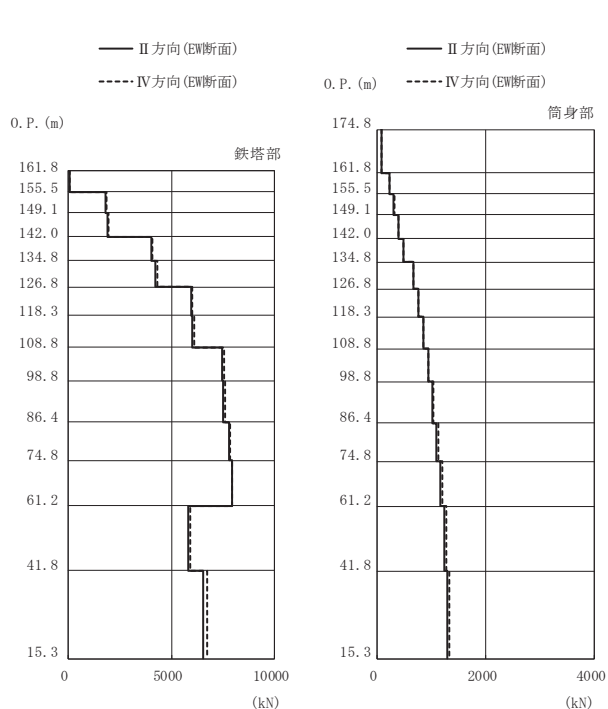
図 3-16(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑤)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	92.3	106
155.5	A'	A - A'	72.6	76.9	227	261
149.1	B	A' - B	1330	1140	314	360
142.0	B'	B - B'	1390	1190	403	462
134.8	C	B' - C	2980	2550	493	566
126.8	C'	C - C'	3190	2720	678	778
118.3	D	C' - D	4350	3670	769	883
108.8	D'	D - D'	4430	3740	860	986
98.8	E	D' - E	5500	4770	946	1090
86.4	E'	E - E'	5570	4890	1030	1170
74.8	F	E' - F	5690	4990	1110	1260
61.2	G	F - G	5810	5170	1190	1330
41.8	H	G - H	4230	3730	1270	1410
15.3	I	H - I	4790	4290	1320	1500

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

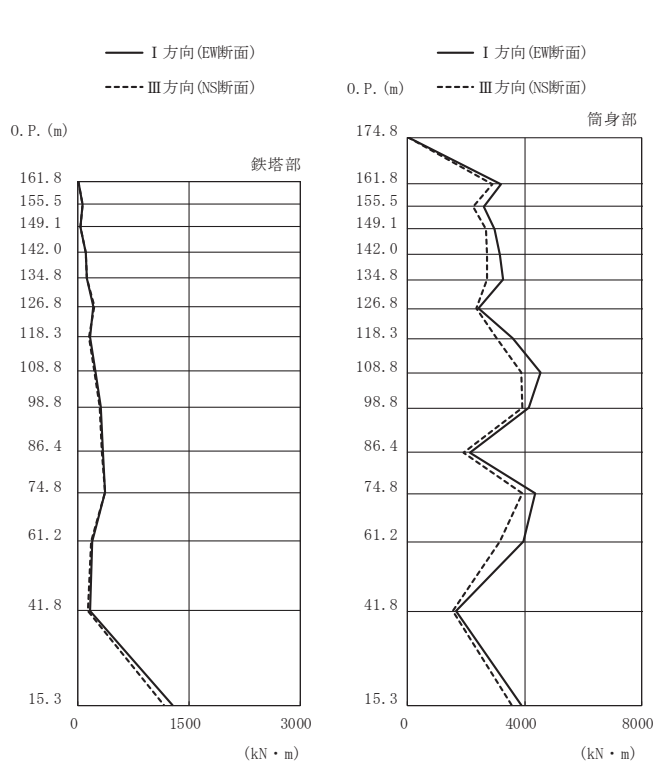


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	91.6	92.6
155.5	A'	A - A'	75.7	76.2	225	228
149.1	B	A' - B	1820	1870	311	315
142.0	B'	B - B'	1880	1930	400	404
134.8	C	B' - C	4020	4090	489	494
126.8	C'	C - C'	4240	4320	674	680
118.3	D	C' - D	5940	6020	765	771
108.8	D'	D - D'	6020	6100	855	862
98.8	E	D' - E	7450	7530	942	948
86.4	E'	E - E'	7520	7600	1020	1040
74.8	F	E' - F	7780	7840	1100	1130
61.2	G	F - G	7920	7940	1170	1210
41.8	H	G - H	5830	5930	1240	1280
15.3	I	H - I	6550	6740	1300	1340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

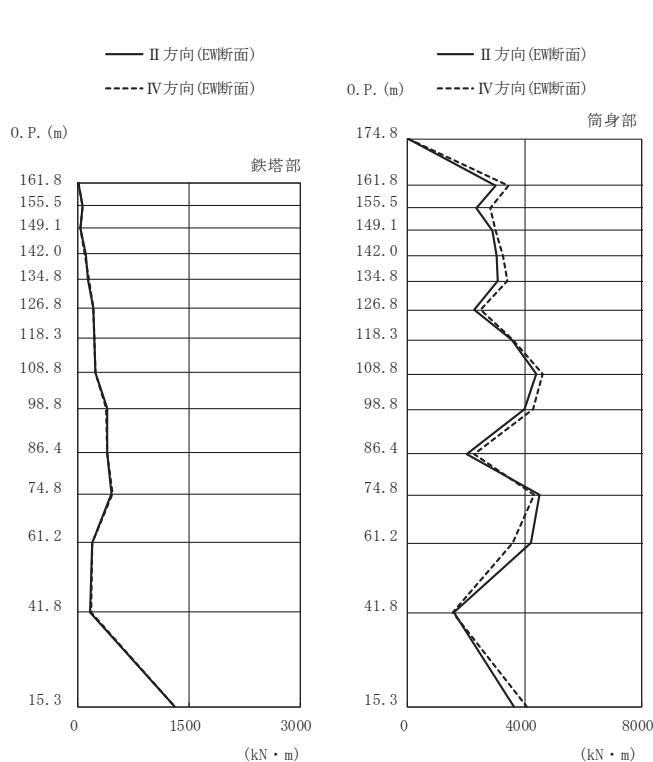
図 3-16(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑤)



(a) S s - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.5	2.0	3190	2890
155.5	A'	60.2	58.8	2590	2250
149.1	B	28.9	25.8	2970	2660
142.0	B'	101	98.1	3170	2710
134.8	C	123	115	3250	2710
126.8	C'	202	214	2410	2330
118.3	D	169	146	3590	3040
108.8	D'	235	221	4530	3900
98.8	E	314	290	4150	3910
86.4	E'	340	322	2110	1900
74.8	F	363	360	4370	3920
61.2	G	193	181	3970	3160
41.8	H	165	135	1660	1560
15.3	I	1280	1160	3900	3540

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

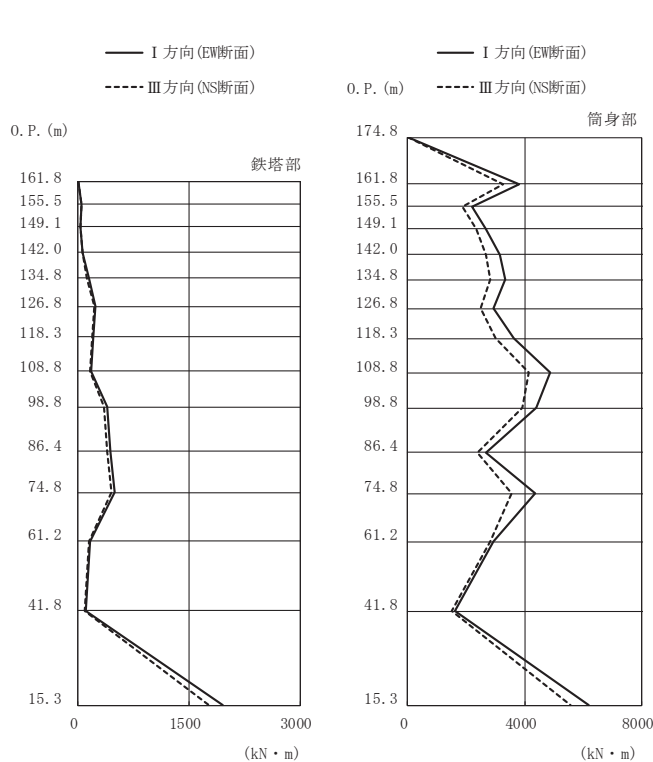


(b) S s - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.4	3010	3450
155.5	A'	59.2	59.4	2360	2810
149.1	B	35.9	39.0	2890	3010
142.0	B'	101	97.8	3060	3250
134.8	C	139	147	3070	3410
126.8	C'	209	209	2290	2510
118.3	D	224	223	3570	3590
108.8	D'	238	233	4400	4630
98.8	E	388	375	4000	4290
86.4	E'	394	392	2000	2290
74.8	F	448	471	4500	4310
61.2	G	189	194	4230	3580
41.8	H	170	176	1570	1540
15.3	I	1300	1310	3640	4070

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

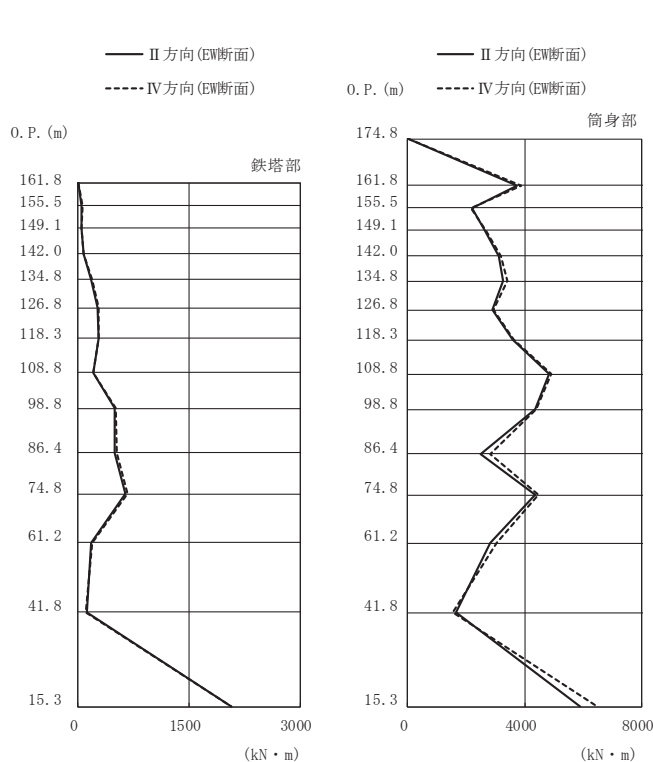
図 3-17(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑤)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.5	3820	3280
155.5	A'	51.7	45.2	2190	1880
149.1	B	38.1	34.6	2660	2350
142.0	B'	66.5	67.7	3170	2670
134.8	C	147	125	3340	2810
126.8	C'	241	218	2920	2480
118.3	D	205	185	3620	3020
108.8	D'	181	166	4880	4130
98.8	E	397	356	4390	3930
86.4	E'	439	392	2660	2400
74.8	F	494	446	4380	3570
61.2	G	168	151	2930	2830
41.8	H	107	92.3	1630	1510
15.3	I	1960	1770	6210	5590

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

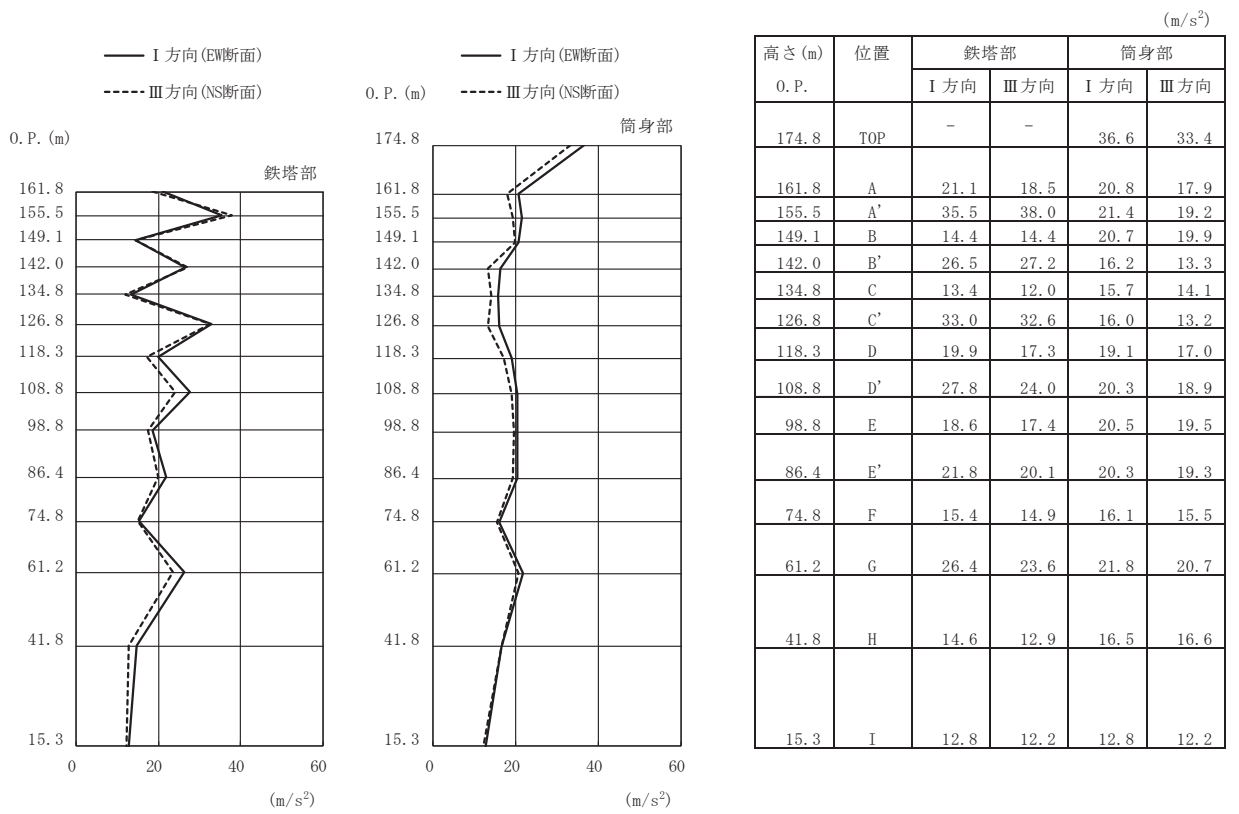


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.2	3.3	3750	3870
155.5	A'	54.4	55.1	2210	2160
149.1	B	47.0	49.5	2640	2660
142.0	B'	73.7	75.0	3130	3200
134.8	C	181	187	3250	3410
126.8	C'	268	277	2890	2940
118.3	D	276	281	3610	3630
108.8	D'	208	213	4830	4910
98.8	E	497	511	4360	4410
86.4	E'	502	530	2500	2810
74.8	F	641	668	4350	4470
61.2	G	180	186	2820	3040
41.8	H	118	110	1670	1530
15.3	I	2070	2070	5890	6500

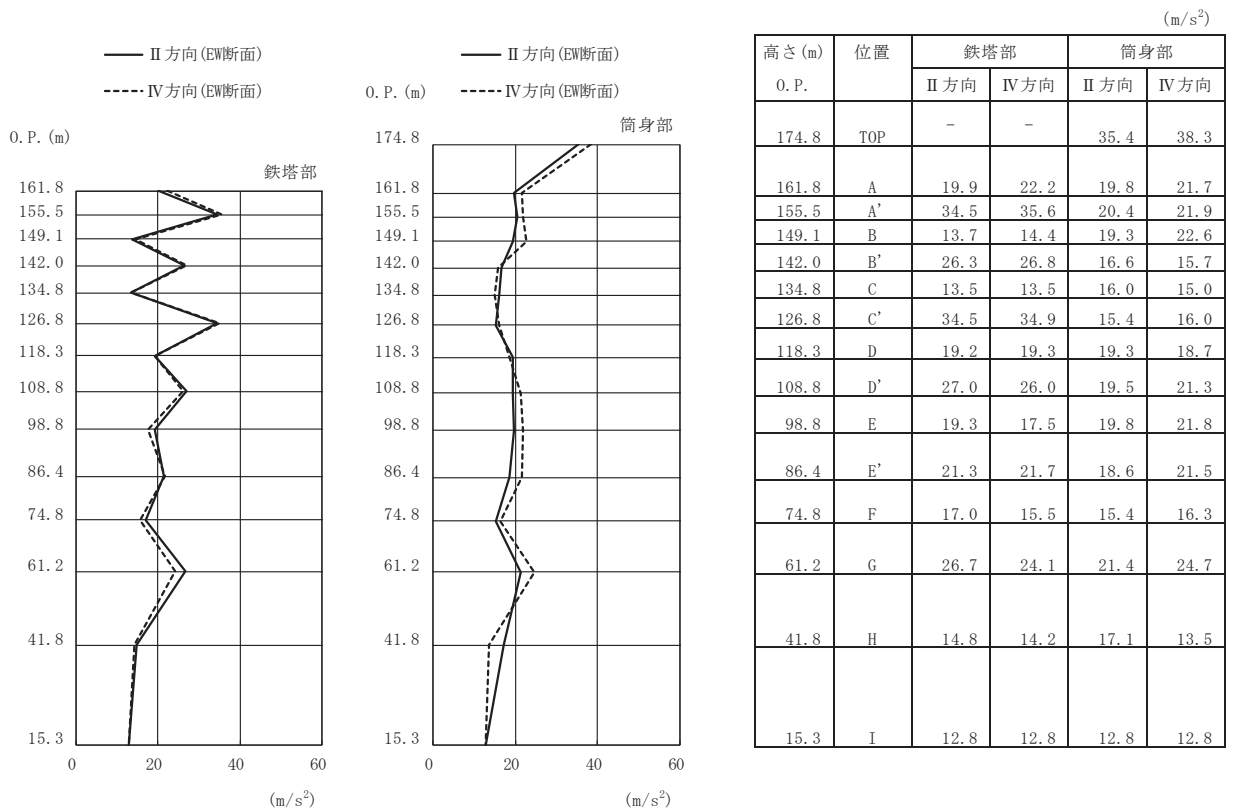
鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-17(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑤)

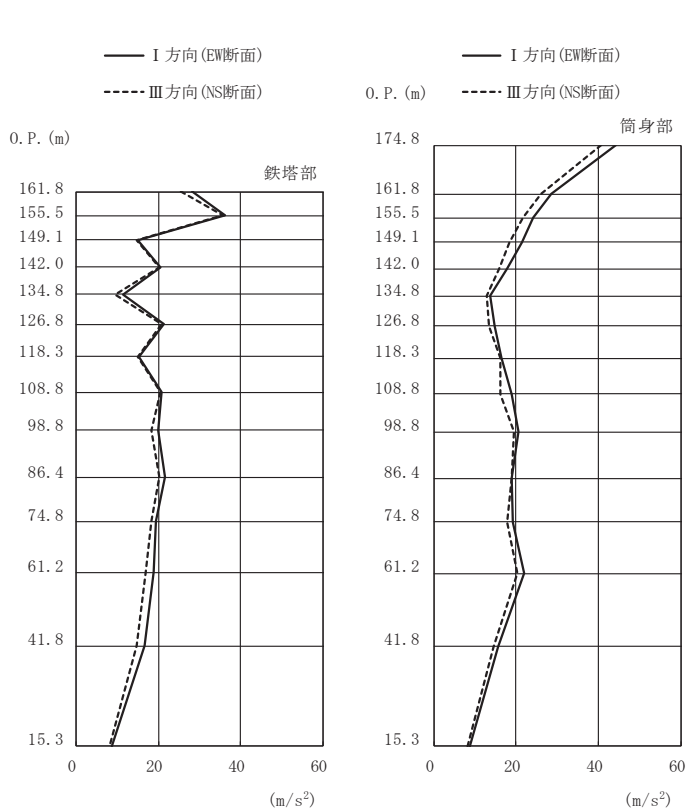


(c) S s - D 2 (直交方向)



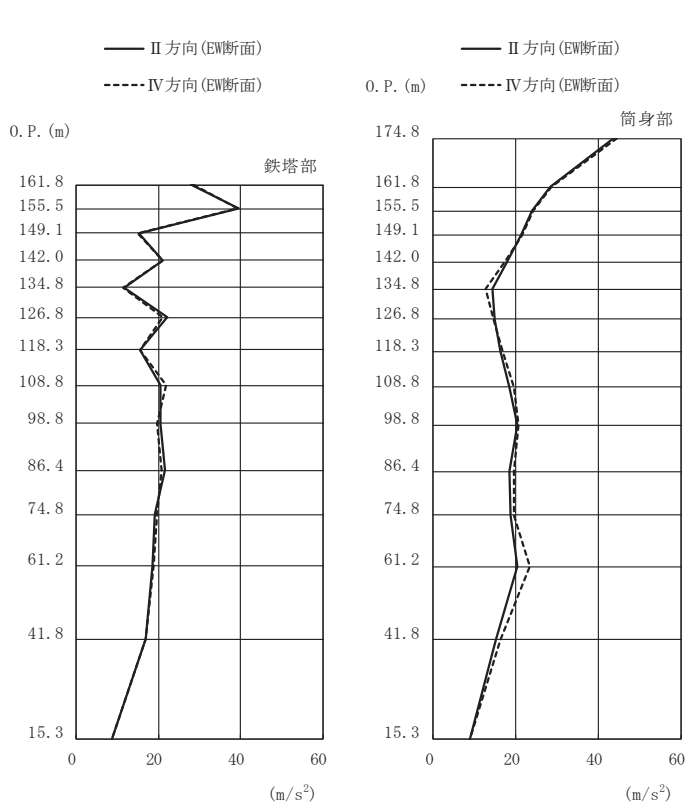
(d) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-18(1) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	44.2	40.7
161.8	A	28.2	25.5	28.5	26.0
155.5	A'	36.3	35.7	24.2	21.8
149.1	B	15.0	14.7	21.4	18.4
142.0	B'	20.5	20.3	17.7	15.9
134.8	C	11.4	9.5	13.6	13.0
126.8	C'	21.2	20.8	14.7	13.3
118.3	D	15.3	15.0	16.5	16.1
108.8	D'	20.7	20.6	19.0	16.3
98.8	E	19.9	18.4	20.5	19.4
86.4	E'	21.5	20.2	18.8	18.8
74.8	F	19.3	18.2	19.1	17.7
61.2	G	18.9	16.9	21.9	20.2
41.8	H	16.7	14.8	15.5	14.5
15.3	I	8.72	8.19	8.72	8.19

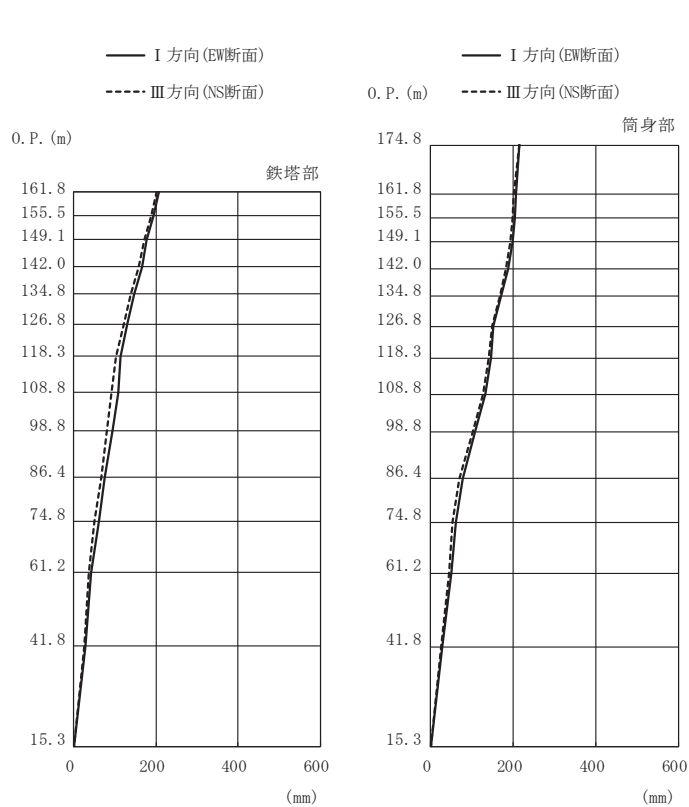
(m) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	43.8	44.6
161.8	A	28.1	28.4	28.3	28.6
155.5	A'	39.6	39.4	24.0	24.2
149.1	B	15.4	15.1	21.3	21.4
142.0	B'	21.2	21.2	17.9	17.4
134.8	C	11.6	11.5	14.3	12.8
126.8	C'	22.3	21.2	15.0	14.5
118.3	D	15.6	15.5	16.2	16.7
108.8	D'	20.4	21.9	18.6	19.5
98.8	E	20.4	19.7	20.3	20.8
86.4	E'	21.6	20.8	18.4	19.5
74.8	F	19.1	19.8	18.7	19.7
61.2	G	18.7	18.8	20.3	23.4
41.8	H	17.0	17.0	15.1	16.2
15.3	I	8.72	8.72	8.72	8.72

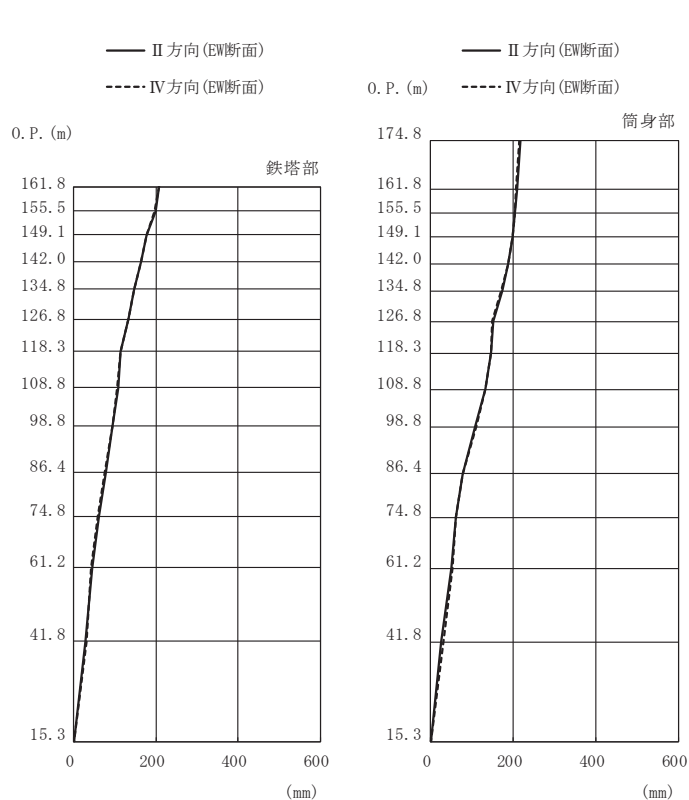
(n) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-18(2) 最大応答加速度 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	216	214
161.8	A	208	201	208	201
155.5	A'	194	188	205	198
149.1	B	178	171	199	193
142.0	B'	165	157	188	183
134.8	C	147	139	172	168
126.8	C'	129	122	151	148
118.3	D	115	103	145	140
108.8	D'	107	92	132	126
98.8	E	95	82	109	103
86.4	E'	76.3	65.6	78	68
74.8	F	60.1	51.2	60.5	51.7
61.2	G	42.0	35.5	50.8	44.5
41.8	H	29.2	24.6	28.4	24.1
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

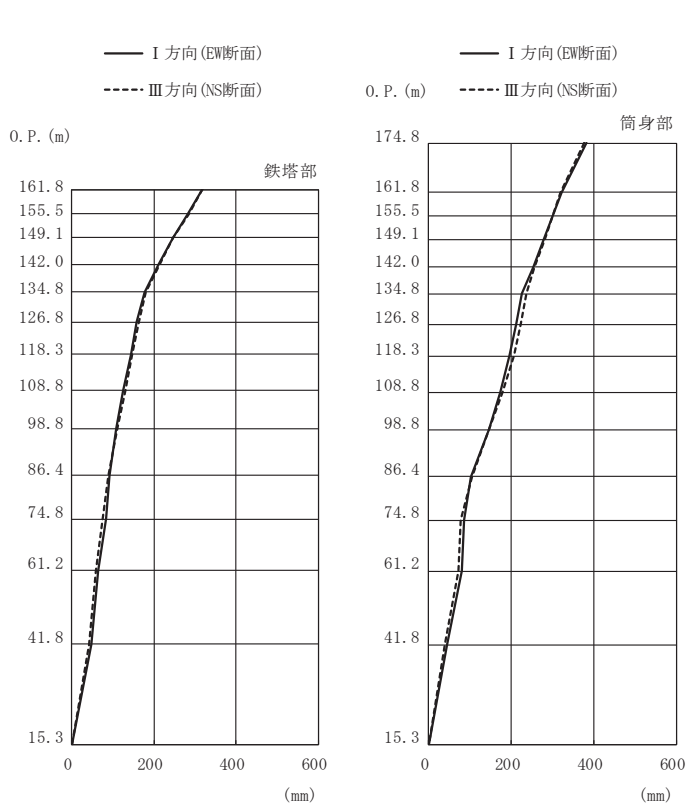
(c) S s - D 2 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	217	215
161.8	A	208	207	209	208
155.5	A'	198	197	205	204
149.1	B	178	178	199	198
142.0	B'	164	164	188	187
134.8	C	147	148	173	171
126.8	C'	132	132	153	150
118.3	D	115	115	145	146
108.8	D'	107	106	132	133
98.8	E	96	94	108	110
86.4	E'	77.3	76.2	77	78
74.8	F	60.6	59.5	60.4	60.6
61.2	G	45.4	42.6	50.4	53.5
41.8	H	29.1	29.5	26.5	30.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

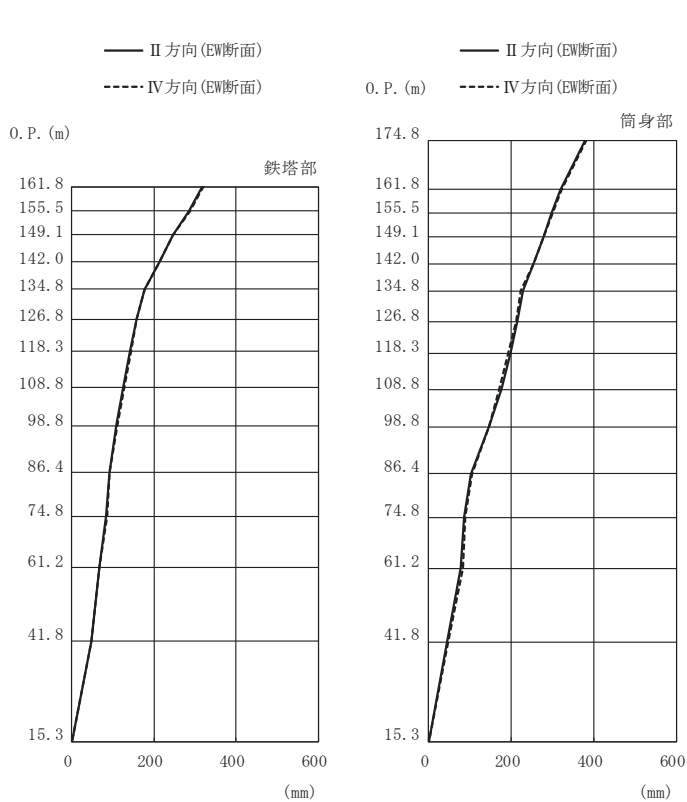
(d) S s - D 2 (斜め方向)

図 3-19(1) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑥)



(m) S s - N 1 (直交方向)

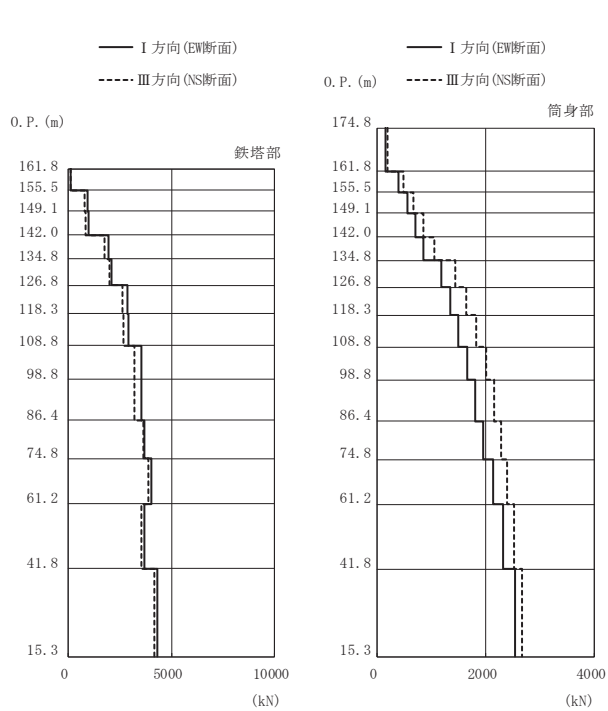
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	382	378
161.8	A	319	318	321	320
155.5	A'	282	284	299	300
149.1	B	245	247	278	280
142.0	B'	211	213	253	257
134.8	C	176	180	226	238
126.8	C'	157	164	213	223
118.3	D	143	148	197	206
108.8	D'	126	130	174	179
98.8	E	109	111	145	147
86.4	E'	90.9	88.0	103	105
74.8	F	84.0	76.3	86.2	78.3
61.2	G	65.3	58.9	79.4	71.2
41.8	H	46.8	41.6	45.4	40.4
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00



(n) S s - N 1 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	380	384
161.8	A	318	320	320	322
155.5	A'	286	287	298	300
149.1	B	245	245	278	279
142.0	B'	213	212	253	254
134.8	C	177	176	228	224
126.8	C'	157	159	216	211
118.3	D	141	144	199	194
108.8	D'	125	128	176	172
98.8	E	108	110	145	145
86.4	E'	92.6	92.4	102	104
74.8	F	83.5	85.0	84.8	87.5
61.2	G	66.9	67.0	77.0	81.7
41.8	H	47.0	46.8	43.6	47.2
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

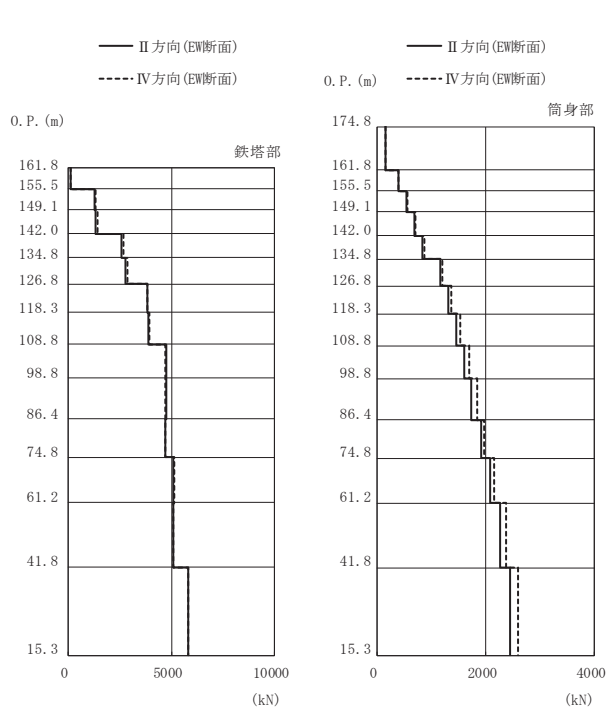
図 3-19(2) 最大応答変位 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	164	200
155.5	A'	A - A'	127	126	401	489
149.1	B	A' - B	945	795	553	673
142.0	B'	B - B'	998	863	708	859
134.8	C	B' - C	1940	1770	863	1050
126.8	C'	C - C'	2100	1990	1190	1440
118.3	D	C' - D	2860	2620	1350	1640
108.8	D'	D - D'	2930	2660	1500	1830
98.8	E	D' - E	3550	3220	1660	2010
86.4	E'	E - E'	3560	3220	1800	2150
74.8	F	E' - F	3680	3650	1960	2280
61.2	G	F - G	4050	3900	2130	2390
41.8	H	G - H	3710	3560	2320	2520
15.3	I	H - I	4300	4170	2550	2670

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

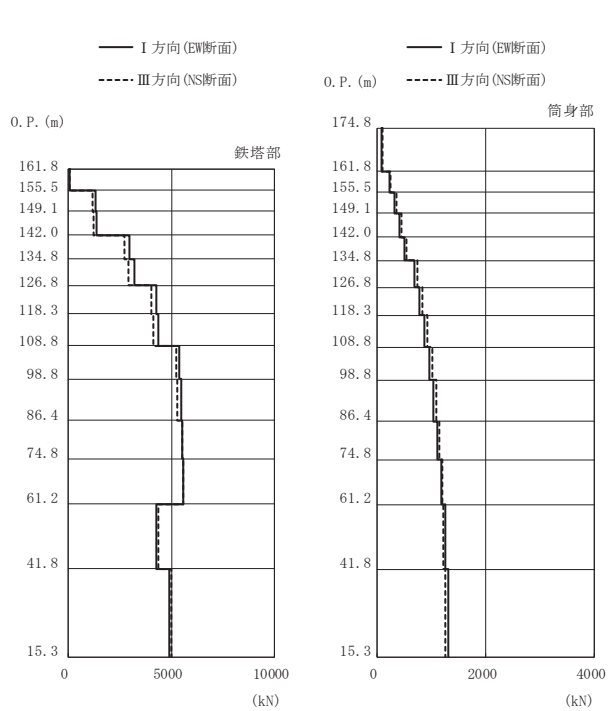


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	160	166
155.5	A'	A - A'	130	127	390	406
149.1	B	A' - B	1280	1340	537	560
142.0	B'	B - B'	1340	1400	687	717
134.8	C	B' - C	2580	2670	837	874
126.8	C'	C - C'	2780	2860	1160	1210
118.3	D	C' - D	3850	3850	1310	1370
108.8	D'	D - D'	3900	3920	1460	1540
98.8	E	D' - E	4770	4720	1600	1700
86.4	E'	E - E'	4770	4720	1740	1840
74.8	F	E' - F	4700	4710	1910	1980
61.2	G	F - G	5100	5130	2090	2150
41.8	H	G - H	5110	5100	2270	2370
15.3	I	H - I	5800	5790	2450	2590

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

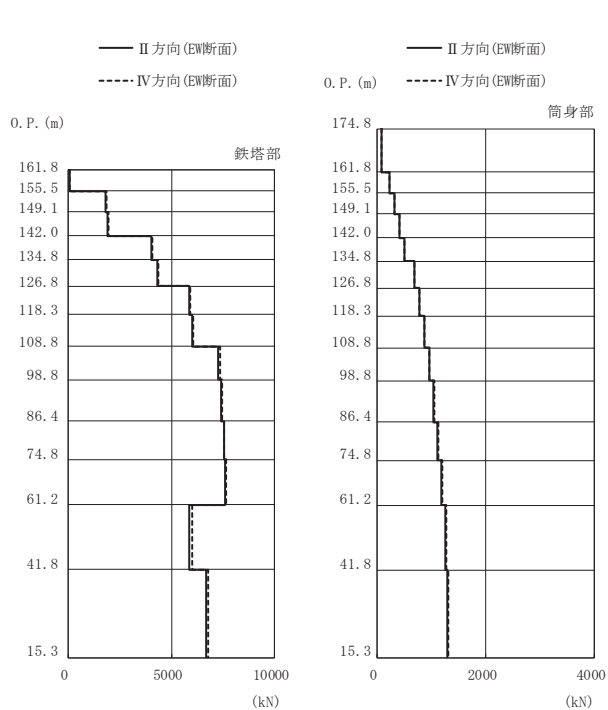
図 3-20(1) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	93.8	106
155.5	A'	A - A'	77.4	79.1	231	258
149.1	B	A' - B	1330	1200	319	355
142.0	B'	B - B'	1390	1240	409	454
134.8	C	B' - C	2980	2730	501	552
126.8	C'	C - C'	3220	2920	690	751
118.3	D	C' - D	4280	4030	783	846
108.8	D'	D - D'	4380	4110	875	936
98.8	E	D' - E	5370	5230	964	1020
86.4	E'	E - E'	5470	5300	1040	1090
74.8	F	E' - F	5510	5510	1120	1150
61.2	G	F - G	5590	5570	1190	1200
41.8	H	G - H	4270	4380	1260	1230
15.3	I	H - I	4880	4970	1320	1250

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)

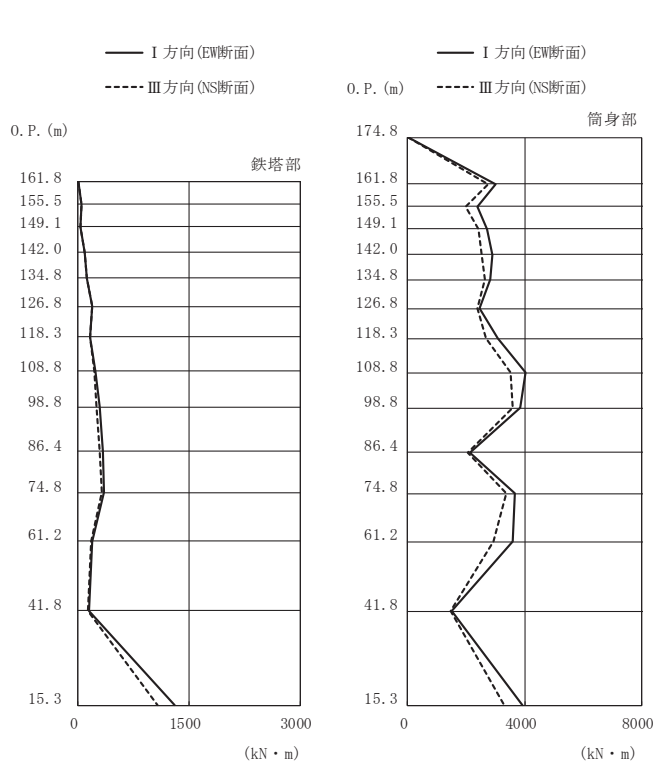


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	93.4	93.9
155.5	A'	A - A'	81.5	82.3	230	231
149.1	B	A' - B	1820	1860	317	319
142.0	B'	B - B'	1890	1930	407	410
134.8	C	B' - C	4030	4090	498	502
126.8	C'	C - C'	4300	4360	686	692
118.3	D	C' - D	5870	5920	778	785
108.8	D'	D - D'	5980	6030	869	877
98.8	E	D' - E	7280	7350	957	967
86.4	E'	E - E'	7380	7460	1040	1050
74.8	F	E' - F	7530	7570	1110	1130
61.2	G	F - G	7610	7650	1180	1200
41.8	H	G - H	5870	5980	1250	1270
15.3	I	H - I	6670	6780	1300	1320

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

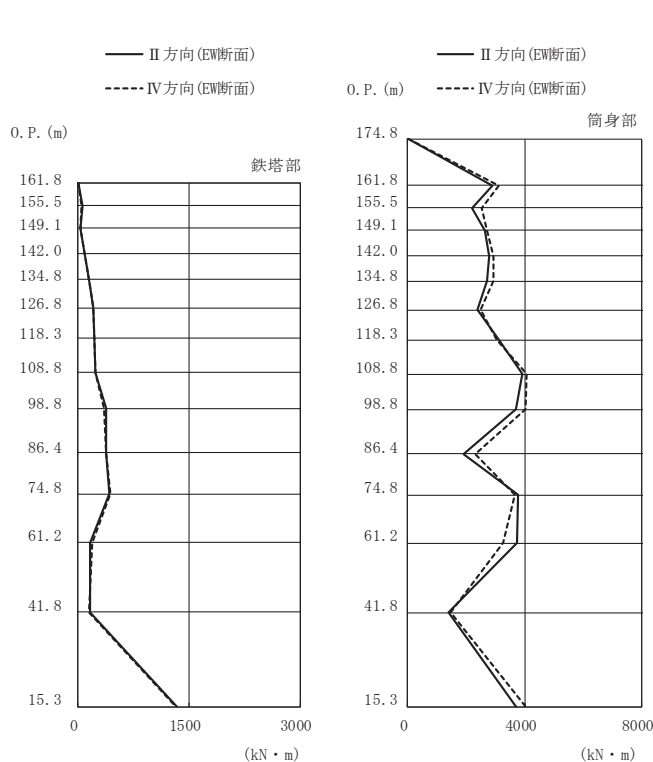
図 3-20(2) 最大応答軸力 (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.4	1.9	3000	2740
155.5	A'	54.6	50.1	2370	1970
149.1	B	29.0	28.5	2700	2410
142.0	B'	89.9	89.4	2880	2540
134.8	C	119	122	2830	2640
126.8	C'	189	190	2450	2380
118.3	D	165	160	3090	2670
108.8	D'	231	215	4020	3520
98.8	E	300	251	3850	3590
86.4	E'	330	297	2140	2070
74.8	F	357	328	3670	3360
61.2	G	186	172	3580	2930
41.8	H	150	136	1520	1480
15.3	I	1300	1080	3910	3300

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 2 (直交方向)

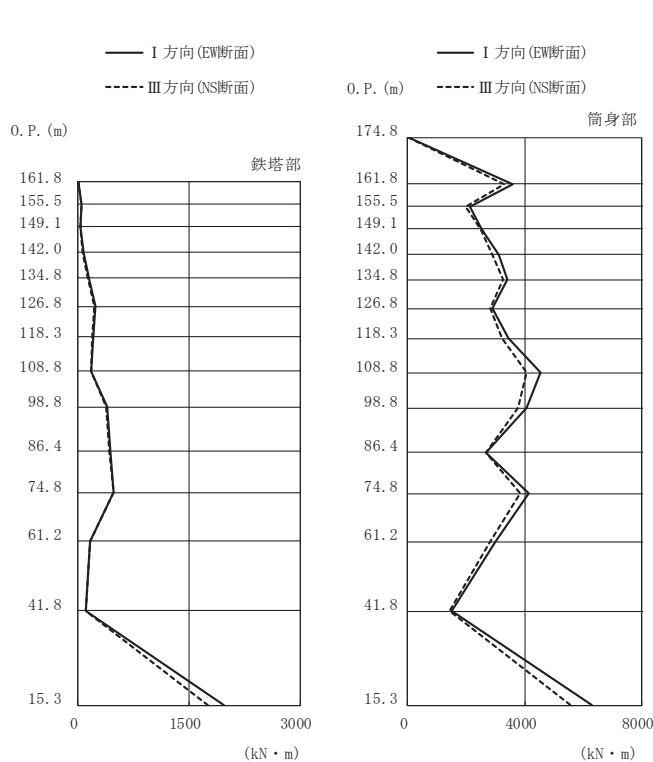


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.0	2.4	2890	3120
155.5	A'	55.1	54.3	2210	2520
149.1	B	36.8	39.0	2630	2730
142.0	B'	90.5	92.5	2800	2950
134.8	C	143	148	2720	2920
126.8	C'	209	212	2370	2500
118.3	D	219	220	3120	3060
108.8	D'	235	235	3930	4080
98.8	E	374	349	3690	4020
86.4	E'	385	381	1910	2320
74.8	F	429	441	3760	3650
61.2	G	165	192	3750	3260
41.8	H	156	154	1390	1480
15.3	I	1330	1320	3700	4050

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 2 (斜め方向)

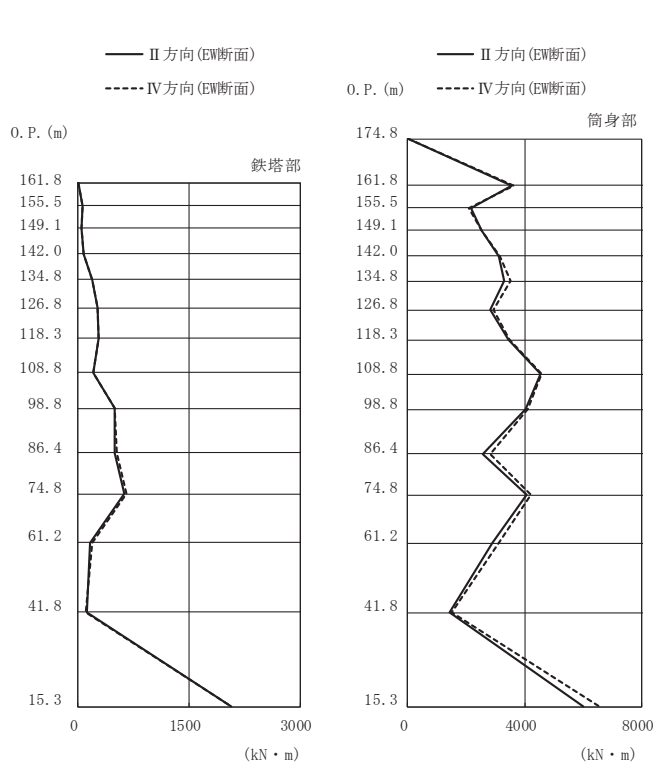
図 3-21(1) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑥)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.7	3590	3310
155.5	A'	53.0	49.2	2120	1990
149.1	B	37.4	34.8	2520	2480
142.0	B'	69.9	65.9	3130	2890
134.8	C	150	131	3410	3250
126.8	C'	233	223	2880	2810
118.3	D	201	198	3450	3240
108.8	D'	180	177	4560	4080
98.8	E	390	377	4070	3770
86.4	E'	431	419	2690	2680
74.8	F	488	476	4140	3850
61.2	G	169	164	3000	2820
41.8	H	107	99	1490	1450
15.3	I	1970	1750	6290	5580

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.2	3.2	3550	3640
155.5	A'	55.9	56.4	2150	2080
149.1	B	46.7	48.7	2530	2520
142.0	B'	76.2	77.5	3110	3150
134.8	C	187	192	3310	3530
126.8	C'	261	269	2840	2920
118.3	D	273	275	3440	3490
108.8	D'	208	211	4530	4590
98.8	E	492	503	4040	4090
86.4	E'	494	522	2570	2810
74.8	F	627	652	4080	4200
61.2	G	162	188	2910	3100
41.8	H	122	112	1430	1510
15.3	I	2080	2080	6000	6560

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - N 1 (斜め方向)

図 3-21(2) 最大応答曲げモーメント (S s ばらつき, ケース⑥)

表 3-5 主柱材 (E' 位置) における $S_s - N_1$ の最大応答値

	最大応答加速度	最大応答変位	最大応答軸力	最大応答 曲げモーメント
	(m/s^2)	(mm)	(kN)	($kN \cdot m$)
ケース①	22.1	91.1	7610	530
ケース②	21.3	89.3	7280	507
ケース③	22.9	96.3	7440	521
ケース④	22.3	91.6	7640	530
ケース⑤	21.9	90.7	7600	530
ケース⑥	21.6	92.6	7460	522

別紙 4 排気筒の共振風速評価

目次

1. 概要	別紙 4-1
2. 検討方針	別紙 4-1
3. 渦励振による風直交方向荷重に対する検討	別紙 4-2
3.1 鉄塔部	別紙 4-2
3.1.1 判定方法（個材の渦励振の発生の有無）	別紙 4-2
3.1.2 個材の渦励振による風直交方向荷重	別紙 4-3
3.1.3 個材の曲げモーメント	別紙 4-3
3.1.4 渦励振共振風速の検討	別紙 4-4
3.1.5 検討結果	別紙 4-4
3.2 筒身部	別紙 4-8
3.2.1 判定方法（渦励振の発生の有無）	別紙 4-8
3.2.2 渦励振による風直交方向荷重	別紙 4-9
3.2.3 検討結果	別紙 4-13

1. 概要

本資料は、排気筒の渦励振による風直交方向荷重に対する検討について示す資料である。

2. 検討方針

排気筒のような固有振動数が低く、アスペクト比が大きい（幅や奥行に対して高さが高い）煙突構造物では渦励振（風直交方向の振動）が生じるおそれがある。渦励振に対する検討は「日本建築学会 2007年 煙突構造設計指針」に準拠して行う。

検討フローを図 2-1 に示す。鉄塔部は個材の渦励振が発生する場合には個材の渦励振による風直交方向荷重に対して個材断面の応力度評価を行う。筒身部に渦励振が発生する場合には、渦励振による風直交方向荷重を算定し、添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」（以下「工認計算」という。）の風荷重との組合せを考慮して排気筒全体の影響評価を行う。

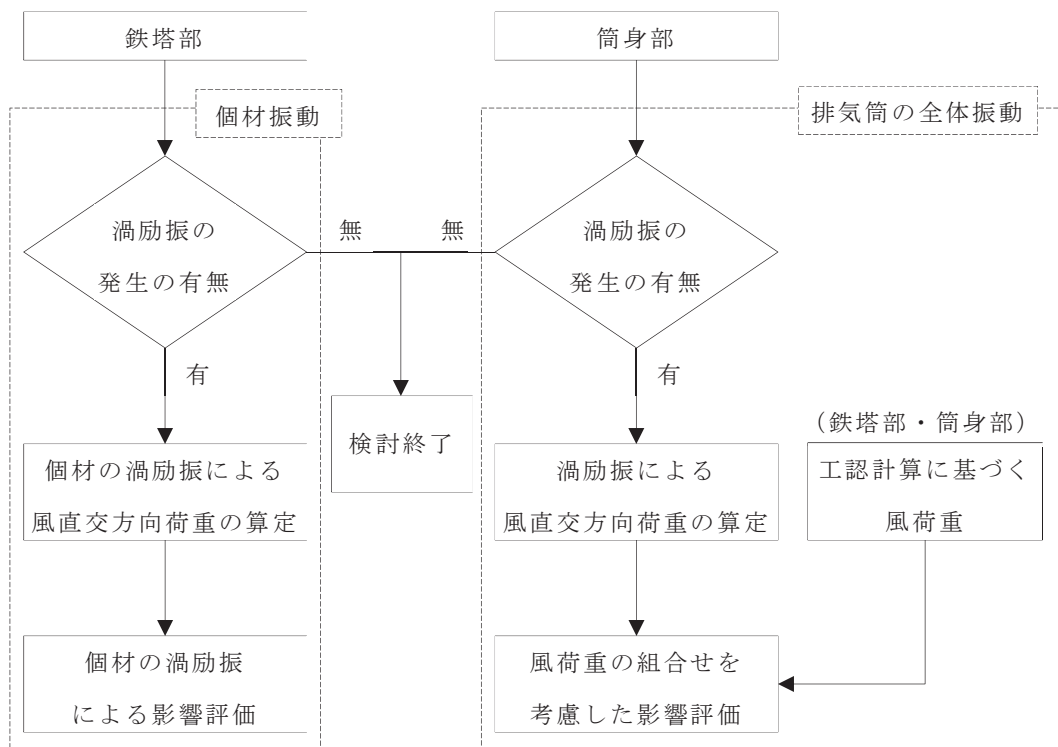


図 2-1 検討フロー

3. 渦励振による風直交方向荷重に対する検討

3.1 鉄塔部

3.1.1 判定方法（個材の渦励振の発生の有無）

個材の渦励振の発生の有無は以下の式にて判定する。以下の式にあてはまる場合については、3.1.2 で定められる渦励振による風直交方向荷重に対して個材の断面検定を行う。

$$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t \quad \text{かつ,} \quad L / D \geq 15$$

ここで、

U_z : 個材の平均高さ Z における設計風速 (m/s)

設計風速 U_z は「煙突構造設計指針」に基づき以下の式により算定する。

$$U_z = U_0 k_{rw} K_D E_z$$

ここで、

U_0 : 基本風速 ($U_0 = 34\text{m/s}$)

k_{rw} : 再現期間換算係数で 1.00 とする。(再現期間 100 年)

K_D : 風向係数で 1.00 とする。

E_z : 建設地の地表面の状況に応じて定める風速の鉛直分布係数 E の高さ Z における値

$$E_z = 1.7 (Z / Z_G)^\alpha \quad (Z > Z_b)$$

Z_b, Z_G, α : 風速の鉛直分布を定めるパラメータ

(当該地の地表面粗度区分 II : $Z_b = 5\text{m}, Z_G = 350\text{m}, \alpha = 0.15$)

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

主柱材は両端固定条件として、斜材及び水平材は保守的に両端ピン条件として算出する。

S_t : ストローハル数 ($S_t = 0.20$)

L : 個材の長さ (m)

D : 円形断面個材の外径 (m)

3.1.2 個材の渦励振による風直交方向荷重

円形断面を持つ個材の渦励振による風直交方向荷重は以下の式により算定する。

$$W_r = (2\pi f_L)^2 \sin(\pi x/L) (M/L) \alpha D$$

$$U_r^* = 5 + 3/S_c$$

$$S_c = 4\pi \zeta_L M / (\rho D^2 L)$$

ここで、

W_r : 個材端部から距離 x における単位長さ風直交方向荷重 (N/m)

U_r^* : 無次元風速

S_c : スクルートン数

α : 係数

円形断面の場合 : $\alpha = 0.26 U_r^* / (0.75 S_c^{1.1} + 0.36 U_r^*)$

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

x : 個材端部からの距離 (m)

M : 個材の全質量 (kg)

L : 個材の長さ (m)

D : 円形断面個材の外径 (m)

ζ_L : 個材の曲げ振動の 1 次減衰定数 ($\zeta_L = 0.005$ とする)

ρ : 空気密度で 1.22kg/m^3 とする。

3.1.3 個材の曲げモーメント

風直交方向荷重による個材の曲げモーメントは、両端の支持条件に応じて以下の式で算定する。ただし、 $W_{r, \max}$ は $x = L/2$ のときの W_r の値である。

(1) 両端固定の場合

$$\text{中央部} : M_{\max} = W_{r, \max} L^2 / \pi^2 (1 - 2/\pi)$$

$$\text{材 端} : M = -2W_{r, \max} L^2 / \pi^3$$

(2) 両端ピンの場合

$$\text{中央部} : M_{\max} = W_{r, \max} L^2 / \pi^2$$

$$\text{材 端} : M = 0$$

評価は、個材の曲げモーメントにより生じる応力度が短期許容応力度に基づく許容値以下であることを確認する。筒身の許容限界は「容器構造設計指針・同解説」によって求めた短期許容応力度、鉄塔の許容限界は「建築基準法施行令第 90 条及び関係告示」による短期許容応力度とする。

3.1.4 渦励振共振風速の検討

渦励振の共振風速 U_r は、「日本建築センター 1982 年 煙突構造設計施工指針」に準拠し、個材の地盤面からの高さに応じて、図 3-1 に示す共振風速の下限値を満たすことを確認する。

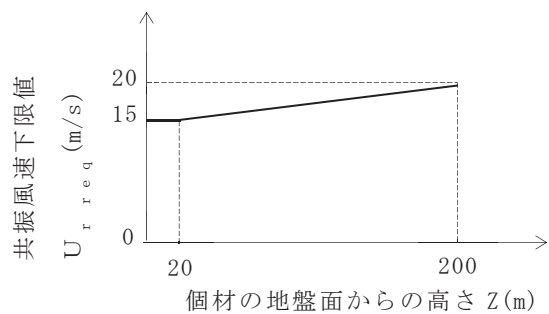


図 3-1 個材の共振風速の下限値

3.1.5 検討結果

個材の渦励振の発生有無の判定結果並びに風直交方向荷重による曲げモーメント及び共振風速に対する検討結果を表 3-1(1)～(3)に示す。いずれの部材も、渦励振が発生しないか、もしくは渦励振による風直交方向荷重に対して評価基準値以下であることを確認した。また、共振風速の下限値も満足している。

表 3-1(1) 主柱材の個材渦励振に対する検討結果

区間	高さ Z (m)	設計 風速 U _z (m/s)	諸元					風直交方向荷重による曲げ応力度の検討						共振風速の検討			
			鋼管 外径 D (m)	部材 長さ L (m)	固有 振動数 f _L (Hz)	U _z /(f _L ・D)	L/D	曲げ モーメント M (kN・m)	断面 係数 Z ^{*1} (cm ³)	曲げ 応力度 σ _b (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f _b (N/mm ²)	応力度比 σ _b /f _b	判定 σ _b /f _b ≤1:OK	共振風速 U _r (m/s)	U _r 下限値 U _{r req} (m/s)	判定 U _r ≥ U _{r req} :OK	
A - A'	143.8	50.6	0.4572	6.316	72.4	1.53	13.9	-	-	-	-	-	-	検討不要	183.9	18.5	OK
A' - B	137.5	50.3	0.4572	6.413	71.3	1.55	14.1	-	-	-	-	-	-	検討不要	181.1	18.3	OK
B - B'	130.7	49.9	0.4572	7.117	57.7	1.90	15.6	-	-	-	-	-	-	検討不要	146.6	18.1	OK
B' - C	123.6	49.5	0.6096	7.214	75.3	1.08	11.9	-	-	-	-	-	-	検討不要	255.0	17.9	OK
C - C'	116.0	49.0	0.6096	8.018	61.4	1.31	13.2	-	-	-	-	-	-	検討不要	207.9	17.7	OK
C' - D	107.8	48.5	0.7112	8.514	63.1	1.09	12.0	-	-	-	-	-	-	検討不要	249.3	17.5	OK
D - D'	98.8	47.9	0.7112	9.526	50.6	1.34	13.4	-	-	-	-	-	-	検討不要	199.9	17.2	OK
D' - E	89.0	47.1	0.8128	10.040	51.5	1.13	12.4	-	-	-	-	-	-	検討不要	232.6	17.0	OK
E - E'	77.8	46.2	0.8128	12.441	33.6	1.70	15.4	-	-	-	-	-	-	検討不要	151.7	16.7	OK
E' - F	65.8	45.0	1.0000	11.654	46.8	0.97	11.7	-	-	-	-	-	-	検討不要	260.0	16.3	OK
F - G	53.2	43.6	1.0000	13.621	34.2	1.28	13.7	-	-	-	-	-	-	検討不要	190.0	16.0	OK
G - H	36.7	41.3	1.1000	19.580	18.3	2.06	17.8	-	-	-	-	-	-	検討不要	111.8	15.5	OK
H - H'	20.4	37.8	1.1000	13.350	39.2	0.88	12.2	-	-	-	-	-	-	検討不要	239.6	15.1	OK
H' - I	7.1	32.3	1.1000	13.350	39.5	0.75	12.2	-	-	-	-	-	-	検討不要	241.4	15.0	OK

注記*1: 腐食代として外面 1mm を控除して算出

$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t$ かつ、 $L / D \geq 15$ の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算出する。 $\sigma_b = M / Z$

表 3-1(2) 斜材の個材渦励振に対する検討結果

区間	高さ Z (m)	設計 風速 U _Z (m/s)	諸元					風直交方向荷重による曲げ応力度の検討						共振風速の検討		
			鋼管 外径 D (m)	部材 長さ L (m)	固有 振動数 f _L (Hz)	U _Z /(f _L ・D)	L/D	曲げ モーメント M (kN・m)	断面 係数 Z ^{*1} (cm ³)	曲げ 応力度 σ _b (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f _b (N/mm ²)	応力度比 σ _b /f _b	判定 σ _b /f _b ≦1:OK	共振風速 U _r (m/s)	U _r 下限値 U _{r req} (m/s)	判定 U _r ≧U _{r req} :OK
A - A'	143.8	50.6	0.3556	8.568	13.5	10.55	24.1	56.6	506	111.9	235.0	0.48	OK	26.7	18.5	OK
A' - B	137.5	50.3	0.3556	8.640	13.3	10.64	24.3	56.0	506	110.7	235.0	0.48	OK	26.3	18.3	OK
B - B'	130.7	49.9	0.4064	9.589	12.3	9.99	23.6	88.6	666	133.1	235.0	0.57	OK	27.8	18.1	OK
B' - C	123.6	49.5	0.4064	9.660	12.2	9.99	23.8	88.0	666	132.2	235.0	0.57	OK	27.5	17.9	OK
C - C'	116.0	49.0	0.4572	10.737	11.1	9.66	23.5	128.5	848	151.6	235.0	0.65	OK	28.2	17.7	OK
C' - D	107.8	48.5	0.4572	11.112	10.3	10.30	24.4	118.9	848	140.3	235.0	0.60	OK	26.2	17.5	OK
D - D'	98.8	47.9	0.5080	12.431	9.2	10.25	24.5	162.9	1050	155.2	235.0	0.67	OK	26.0	17.2	OK
D' - E	89.0	47.1	0.5080	12.822	8.6	10.79	25.3	151.6	1050	144.4	235.0	0.62	OK	24.3	17.0	OK
E - E'	77.8	46.2	0.6096	15.581	7.0	10.83	25.6	255.9	1520	168.4	235.0	0.72	OK	23.7	16.7	OK
E' - F	65.8	45.0	0.6096	14.963	7.6	9.72	24.6	279.1	1520	183.7	235.0	0.79	OK	25.7	16.3	OK
F - G	53.2	43.6	0.7112	17.487	6.5	9.44	24.6	440.0	3230	136.3	235.0	0.58	OK	25.7	16.0	OK
G - H	36.7	41.3	0.5588	11.997	10.9	6.79	21.5	277.1	2550	108.7	235.0	0.47	OK	33.8	15.5	OK
H - I	13.8	35.6	0.6096	15.269	7.2	8.12	25.1	252.8	4030	62.8	325.0	0.20	OK	24.4	15.0	OK

注記*1: 腐食代として外面 1mm を控除して算出

$U_Z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t$ かつ、 $L / D \geq 15$ の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算出する。 $\sigma_b = M / Z$

表 3-1(3) 水平材の個材渦励振に対する検討結果

位置	高さ Z (m)	設計 風速 U _z (m/s)	諸元					風直交方向荷重による曲げ応力度の検討						共振風速の検討		
			鋼管 外径 D (m)	部材 長さ L (m)	固有 振動数 f _L (Hz)	U _z /(f _L ・D)	L/D	曲げ モーメント M (kN・m)	断面 係数 Z ^{*1} (cm ³)	曲げ 応力度 σ _b (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f _b (N/mm ²)	応力度比 σ _b /f _b	判定 σ _b /f _b ≦1:OK	共振風速 U _r (m/s)	U _r 下限値 U _{r req} (m/s)	判定 U _r ≧U _{r req} :OK
A	147.0	50.8	0.3185	7.252	17.2	9.28	22.8	45.9	708	64.9	235.0	0.28	OK	30.4	18.6	OK
B	134.3	50.1	0.3185	6.099	23.8	6.61	19.2	63.7	403	158.1	235.0	0.68	OK	42.1	18.2	OK
C	120.0	49.3	0.3185	6.774	19.9	7.78	21.3	52.6	871	60.4	235.0	0.26	OK	35.2	17.8	OK
D	103.5	48.2	0.3185	7.552	15.5	9.77	23.8	41.7	403	103.5	235.0	0.45	OK	27.4	17.4	OK
E	84.0	46.7	0.4064	8.631	15.2	7.56	21.3	109.5	666	164.5	235.0	0.70	OK	34.3	16.8	OK
F	60.0	44.4	0.4572	10.144	12.4	7.84	22.2	143.9	848	169.7	235.0	0.73	OK	31.5	16.2	OK
G	46.4	42.7	0.4572	11.000	10.6	8.82	24.1	123.9	848	146.2	235.0	0.63	OK	26.9	15.8	OK
H	27.0	39.4	0.5080	12.692	8.8	8.82	25.0	155.1	1050	147.8	235.0	0.63	OK	24.8	15.2	OK

注記*1: 腐食代として外面 1mm を控除して算出

$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t$ かつ、 $L / D \geq 15$ の場合について風直交方向荷重による曲げ応力度の検討を行う。

曲げ応力度は次式により算出する。 $\sigma_b = M / Z$

3.2 筒身部

3.2.1 判定方法（渦励振の発生の有無）

以下の式の条件にあてはまる筒身については，3.2.2 により渦励振による風直交方向荷重を考慮する。

$$U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2$$

ここで，

U_H : 3.1.1 の設計風速 U_Z において， Z を H に読み替えてえられる値 (m/s)

H : 筒身の基準高さ (m) ($H = 160\text{m}$)

f_L : 風直交方向振動の 1 次固有振動数 (Hz)

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径 (m)

3.2.2 渦励振による風直交方向荷重

渦励振による風直交方向荷重は以下の式により算定する。

$$W_r = 0.8 \rho U_r^2 C_r (Z/H) A_F$$

ここで、

W_r : 地表面からの高さ Z における渦励振による風直交方向荷重 (N)

ρ : 空気密度で 1.22kg/m^3 とする。

U_r : 共振風速 (m/s)

円形断面の場合 : $U_r = 5 f_L D_m$

ここで

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径 (m)

C_r : 共振時風力係数

円形断面, $6 \leq U_r D_m$ の場合 : $C_r = 0.57 / \zeta_L^{0.5}$

ここで

ζ_L : 風直交方向振動の 1 次減衰定数 ($\zeta_L = 0.0268$)

Z : 地表面からの高さ (m)

H : 筒身の基準高さ (m)

A_F : 地表面からの高さ Z における風向に直角な面に投影した筒身の投影面積 (m^2)

渦励振による風直交方向荷重は、「建築基準法施行令」の基準風速 ($V_0=30\text{m/s}$) に基づき算定した工認計算の風荷重と組み合わせる。排気筒の設計風速に比べ渦励振の共振風速が大幅に低い場合には組み合わせられる風荷重は過大な値となるが、渦励振の発生領域で基準風速に基づく風荷重が発生すると仮定し、保守的に渦励振による風直交方向荷重と工認計算の風荷重を組み合わせで評価する。

部材応力は添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」の静的応力解析と同一のモデルに風直交方向荷重を入力し算出する。部材応力の組合せを表 3-2 に示す。荷重の入力方向の説明図を図 3-2 に示す。部材応力の組合せでは、添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」で求めた風荷重による部材応力と風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力の絶対値和を行っている。

評価は筒身及び鉄塔の部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値以下であることを確認する。筒身の許容限界は「容器構造設計指針・同解説」によって求めた短期許容応力度、鉄塔の許容限界は「建築基準法施行令第 90 条及び関係告示」による短期許容応力度とする。

表 3-2 部材応力の組合せ

外力の状態	ケース名	部材応力の組合せ
風直交方向荷重検討時 (工認計算に基づく風荷 重と渦励振による風直交 方向荷重の組み合わせ)	I 方向	$G + P_k (I) + P_{kr} (I)$
	II 方向	$G + P_k (II) + P_{kr} (II)$
	III 方向	$G + P_k (III) + P_{kr} (III)$
	IV 方向	$G + P_k (IV) + P_{kr} (IV)$

注：記号の説明

- G : 固定荷重による部材応力
- $P_k (I)$: I 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力*¹
- $P_k (II)$: II 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力*¹
- $P_k (III)$: III 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力*¹
- $P_k (IV)$: IV 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力*¹
- $P_{kr} (I)$: I 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力
- $P_{kr} (II)$: II 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力
- $P_{kr} (III)$: III 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力
- $P_{kr} (IV)$: IV 方向の風作用時に生じる風直交方向荷重（渦励振）により発生する部材応力

注記*1：風荷重の作用により発生する部材応力は、添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」で求めた部材応力と同じ値を用いており、風方向及び風直交方向における部材応力の二乗和平方根により算出した値となっている。

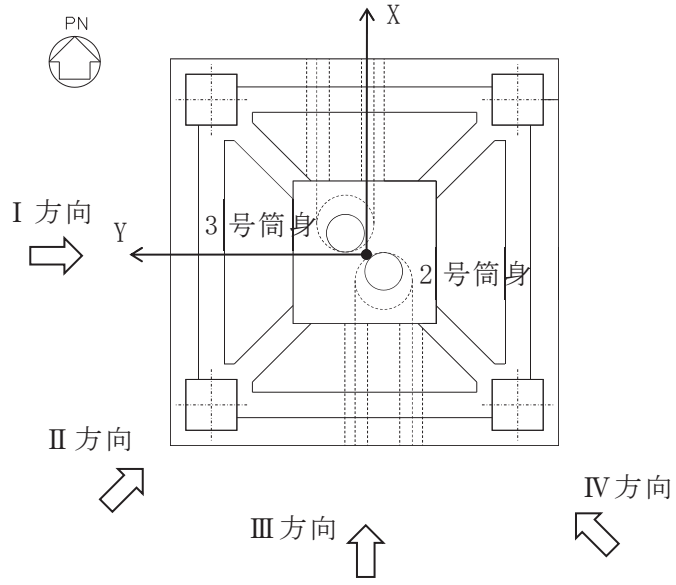


図 3-2 荷重の入力方向の説明図

3.2.3 検討結果

渦励振による風直交方向荷重の検討要否の検討結果を表 3-3 に示す。3.2.1 の条件式にあてはまることから、3.2.2 に定める風直交方向荷重を算定し、荷重の組み合わせを考慮し筒身及び鉄塔部材の断面検定をする。

風直交方向荷重の算定結果を表 3-4 に示す。表 3-5(1)～(5)に評価用部材応力を示す。比較のため弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力(以下「 S_d 地震力」という。)による設計用部材応力を記載している。表 3-6(1)～(5)には断面算定結果を示す。なお、評価結果を記載する検討ケースは、軸力及び曲げモーメントによる断面検定において、応力度比が最大となるケースとした。

以上の検討結果より、一部の部材は風直交方向荷重検討時の設計用部材応力が S_d 地震力検討時の設計用部材応力を上回るが、いずれの部材も評価基準値以下であることを確認した。

表 3-3 渦励振による風直交方向荷重の検討要否

項目	記号	単位	数値
設計風速	U_H	m/s	51.5
1次固有振動数	f_L	Hz	0.851
煙突の高さ $2H/3$ における外径	D_m	m	3.020
条件式 ($U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2$: 検討要)	—	—	20.1
判定	—	—	検討必要

表 3-4 筒身部に作用する渦励振による風直交方向荷重

標高 O.P. (m)	位置	地上高さ Z (m)	風直交方向 荷重 W_r (kN)
174.8	TOP	160.0	11.2
161.8	A	147.0	15.2
155.5	A'	140.7	9.6
149.1	B	134.3	9.8
142.0	B'	127.2	9.8
134.8	C	120.0	9.8
126.8	C'	112.0	9.9
118.3	D	103.5	10.0
108.8	D'	94.0	9.9
98.8	E	84.0	10.1
86.4	E'	71.6	9.2
74.8	F	60.0	8.1
61.2	G	46.4	8.2
41.8	H	27.0	6.7
15.3	I	0.5	0.1

注：1筒身あたりの荷重を示す。

表 3-5(1) 第 2 号機筒身の評価用部材応力

標高 O. P. (m)	位置	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8	A	152.8	736.3	378.4	2285.7
155.5	A'	213.0	899.9	576.3	1932.1
149.1	B	276.8	2232.6	726.7	2611.9
142.0	B'	344.5	<u>3327.2</u>	870.7	3239.9
134.8	C	491.3	4028.1	609.3	4428.6
126.8	C'	569.4	4329.6	706.0	4451.4
118.3	D	654.5	<u>4105.6</u>	1655.7	3709.0
108.8	D'	746.8	3199.1	1859.2	3904.4
98.8	E	837.7	1509.3	2047.3	2961.2
86.4	E'	951.3	1642.8	2220.3	1954.4
74.8	F	1075.4	5596.4	1333.5	6306.6
61.2	G	1231.5	2046.1	2736.4	3209.3
41.8	H	1448.9	782.5	3044.1	1323.5
24.3	M1	1448.9	1376.6	2999.8	2215.1
19.3	M2	1448.9	1978.3	2999.8	3055.1
15.3	I	1448.9	2459.6	2999.8	3784.6

注：表中の下線箇所は S d 地震力検討時の設計用部材応力を上回る箇所を示す。

表 3-5(2) 第 3 号機筒身の評価用部材応力

標高 O. P. (m)	位置	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8	A	152.8	736.3	402.8	2316.1
155.5	A'	213.0	899.9	584.9	1944.3
149.1	B	276.8	2232.6	681.3	2619.1
142.0	B'	344.5	3327.2	427.1	3595.8
134.8	C	491.3	4028.1	609.3	4428.6
126.8	C'	569.4	4329.6	706.0	4451.4
118.3	D	654.5	<u>4105.6</u>	1566.0	3715.6
108.8	D'	746.8	3199.1	1762.2	3888.3
98.8	E	837.7	1509.3	2068.6	2918.0
86.4	E'	951.3	1642.8	2236.1	2024.1
74.8	F	1075.4	5596.4	1333.5	6306.6
61.2	G	1231.5	2046.1	2736.4	3209.3
41.8	H	1448.9	782.5	3180.9	1268.6
24.3	M1	1448.9	1376.6	3165.3	2115.3
19.3	M2	1448.9	1978.3	3165.3	2919.5
15.3	I	1448.9	2459.6	3165.3	3564.1

注：表中の下線箇所は S d 地震力検討時の設計用部材応力を上回る箇所を示す。

表 3-5(3) 主柱材の評価用部材応力

標高 O. P. (m)	区間	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)
161.8 - 155.5	A - A'	35.6	13.5	108.9	43.6
155.5 - 149.1	A' - B	664.6	16.1	1235.7	35.4
149.1 - 142.0	B - B'	708.1	15.9	1335.0	42.4
142.0 - 134.8	B' - C	1423.2	60.1	2798.4	125.9
134.8 - 126.8	C - C'	1578.4	94.8	3070.5	167.9
126.8 - 118.3	C' - D	2416.8	95.9	4749.6	184.1
118.3 - 108.8	D - D'	2510.1	95.6	4863.6	183.7
108.8 - 98.8	D' - E	3520.6	167.5	6922.0	328.7
98.8 - 86.4	E - E'	3686.7	202.7	7123.4	403.1
86.4 - 74.8	E' - F	5017.4	230.8	9618.3	462.7
74.8 - 61.2	F - G	5256.5	230.1	9910.6	461.4
61.2 - 41.8	G - H	6383.8	63.8	11440.3	90.3
41.8 - 28.6	H - H'	7327.4	369.9	12982.8	613.6
28.6 - 15.3	H' - I	7329.5	498.2	12981.5	613.6

表 3-5(4) 斜材の評価用部材応力

標高 O.P. (m)	区間	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力	曲げ モーメント	軸力	曲げ モーメント
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)
161.8 - 155.5	A - A'	248.8	0.0	530.6	0.0
155.5 - 149.1	A' - B	232.8	0.0	558.7	0.0
149.1 - 142.0	B - B'	239.1	0.0	634.3	0.0
142.0 - 134.8	B' - C	247.0	0.0	637.3	0.0
134.8 - 126.8	C - C'	334.8	0.0	830.0	0.0
126.8 - 118.3	C' - D	387.6	0.0	853.4	0.0
118.3 - 108.8	D - D'	463.8	0.0	966.0	0.0
108.8 - 98.8	D' - E	470.9	0.0	859.7	0.0
98.8 - 86.4	E - E'	627.8	0.0	1079.3	0.0
86.4 - 74.8	E' - F	601.1	0.0	1010.7	0.0
74.8 - 61.2	F - G	1035.8	0.0	1793.3	0.0
61.2 - 41.8	G - H	1318.0	7.2	2094.7	8.0
41.8 - 15.3	H - I	2078.5	20.3	3293.6	32.3

表 3-5(5) 水平材の評価用部材応力

標高 O.P. (m)	位置	風直交方向荷重検討時		S d 地震力検討時	
		軸力	曲げ モーメント	軸力	曲げ モーメント
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)
161.8	A	302.1	14.9	558.7	23.7
149.1	B	33.2	1.1	54.6	5.9
134.8	C	72.0	1.9	272.6	72.1
118.3	D	64.7	0.8	122.4	2.8
98.8	E	81.1	2.0	209.4	2.4
74.8	F	388.3	<u>3.7</u>	493.3	2.9
61.2	G	548.0	7.0	922.1	9.8
41.8	H	455.2	1.8	764.6	2.6

注:表中の下線箇所はS d 地震力検討時の設計用部材応力を上回る箇所を示す。

表 3-6(1) 風直交方向荷重検討時における第 2 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材応力			使用部材			許容圧縮 応力度 $c f_{cr}$ (N/mm ²)	許容曲 げ 応力度 $b f_{cr}$ (N/mm ²)	圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	曲げ 応力度 σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討ケース	寸法 (mm)	断面積 A * (×10 ² mm ²)	断面係数 Z * (×10 ³ mm ³)					
161.8	A	152.8	736.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.1	13.0	0.09
155.5	A'	213.0	899.9	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.9	15.9	0.11
149.1	B	276.8	2232.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	3.7	39.4	0.24
142.0	B'	344.5	3327.2	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	4.6	58.7	0.35
134.8	C	491.3	4028.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	6.5	71.1	0.43
126.8	C'	569.4	4329.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	7.6	76.4	0.47
118.3	D	654.5	4105.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	8.7	72.5	0.45
108.8	D'	746.8	3199.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.9	56.5	0.37
98.8	E	837.7	1509.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	11.1	26.7	0.22
86.4	E'	951.3	1642.8	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	12.6	29.0	0.24
74.8	F	1075.4	5596.4	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	14.3	98.8	0.63
61.2	G	1231.5	2046.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	16.3	36.1	0.30
41.8	H	1448.9	782.5	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	13.9	0.20
24.3	M1	1448.9	1376.6	IV 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	24.3	0.25
19.3	M2	1448.9	1978.3	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	23.0	0.25
15.3	I	1448.9	2459.6	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	28.6	0.29

注記* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出

表 3-6(2) 風直交方向荷重検討時における第 3 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材応力			使用部材			許容圧縮 応力度 $c f_{cr}$ (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 $b f_{cr}$ (N/mm ²)	圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	曲げ 応力度 σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討ケース	寸法 (mm)	断面積 A * (×10 ² mm ²)	断面係数 Z * (×10 ³ mm ³)					
161.8	A	152.8	736.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.1	13.0	0.09
155.5	A'	213.0	899.9	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	2.9	15.9	0.11
149.1	B	276.8	2232.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	3.7	39.4	0.24
142.0	B'	344.5	3327.2	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	4.6	58.7	0.35
134.8	C	491.3	4028.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	6.5	71.1	0.43
126.8	C'	569.4	4329.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	7.6	76.4	0.47
118.3	D	654.5	4105.6	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	8.7	72.5	0.45
108.8	D'	746.8	3199.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.9	56.5	0.37
98.8	E	837.7	1509.3	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	11.1	26.7	0.22
86.4	E'	951.3	1642.8	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	12.6	29.0	0.24
74.8	F	1075.4	5596.4	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	14.3	98.8	0.63
61.2	G	1231.5	2046.1	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	16.3	36.1	0.30
41.8	H	1448.9	782.5	I 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	13.9	0.20
24.3	M1	1448.9	1376.6	IV 方向	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	19.2	24.3	0.25
19.3	M2	1448.9	1978.3	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	23.0	0.25
15.3	I	1448.9	2459.6	IV 方向	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	15.6	28.6	0.29

注記* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出

表 3-6(3) 風直交方向荷重検討時における支柱材の断面算定表 (STK400) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A* ($\times 10^3 \text{mm}^2$)	断面係数Z* ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)			応力度 f_c (N/mm ²)	応力度 f_b (N/mm ²)	応力度 σ_c (N/mm ²)	応力度 σ_b (N/mm ²)	
161.8- 155.5	A -A'	35.6	13.5	II方向	$\phi 457.2$ $\times 7.9$	97.17	1070	158	6316	40.0	213.4	235.0	3.7	12.7	0.08
155.5- 149.1	A' -B	664.6	16.1	I方向	$\phi 457.2$ $\times 7.9$	155.6	1700	160	6413	40.1	213.4	235.0	42.8	9.5	0.25
149.1- 142.0	B -B'	708.1	15.9	I方向	$\phi 457.2$ $\times 7.9$	151.6	1660	160	7117	44.5	208.6	235.0	46.8	9.6	0.27
142.0- 134.8	B' -C	1423.2	60.1	I方向	$\phi 609.6$ $\times 9.5$	291.3	4260	215	7214	33.6	219.6	235.0	48.9	14.2	0.29
134.8- 126.8	C -C'	1578.4	94.8	I方向	$\phi 609.6$ $\times 9.5$	345.9	5060	216	8018	37.2	216.1	235.0	45.7	18.8	0.30
126.8- 118.3	C' -D	2416.8	95.9	I方向	$\phi 711.2$ $\times 12.7$	433.3	7240	250	8514	34.1	219.1	235.0	55.8	13.3	0.32
118.3- 108.8	D -D'	2510.1	95.6	I方向	$\phi 711.2$ $\times 12.7$	451.2	7520	251	9526	38.0	215.5	235.0	55.7	12.8	0.32
108.8- 98.8	D' -E	3520.6	167.5	I方向	$\phi 812.8$ $\times 16.0$	575.6	11000	284	10040	35.4	218.1	235.0	61.2	15.3	0.35

表 3-6(3) 風直交方向荷重検討時における支柱材の断面算定表 (STK400) (2/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積A* ($\times 10^3 \text{mm}^2$)	断面係数Z* ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)			応力度 f_c (N/mm ²)	応力度 f_b (N/mm ²)	応力度 σ_c (N/mm ²)	応力度 σ_b (N/mm ²)	
98.8- 86.4	E -E'	3686.7	202.7	I方向	$\phi 812.8$ $\times 16.0$	595.6	11400	285	12441	43.7	209.7	235.0	61.9	17.8	0.38
86.4- 74.8	E' -F	5017.4	230.8	II方向	$\phi 1000$ $\times 18.0$	650.5	15500	348	11654	33.5	219.7	235.0	77.2	14.9	0.42
74.8- 61.2	F -G	5256.5	230.1	II方向	$\phi 1000$ $\times 18.0$	650.5	15500	348	13621	39.2	214.3	235.0	80.9	14.9	0.45
61.2- 41.8	G -H	6383.8	63.8	II方向	$\phi 1100$ $\times 18.0$	716.5	18900	384	19580	51.0	201.1	235.0	89.1	3.4	0.46
41.8- 28.6	H -H'	7327.4	369.9	I方向	$\phi 1100$ $\times 20.0$	836.0	21900	384	13350	34.8	218.4	235.0	87.7	16.9	0.48
28.6- 15.3	H' -I	7329.5	498.2	I方向	$\phi 1100$ $\times 20.0$	1020	26600	386	13350	34.6	218.7	235.0	71.9	18.8	0.41

注記* : 補強材の断面性能を含み、使用板厚より腐食代 (外側 1mm) を控除して算出

記号の説明

i : 断面 2 次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-6(4) 風直交方向荷重検討時における斜材の断面算定表 (STK400) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				l_k (mm)	λ	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A*1 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面係数 Z*1 ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)			応力度 f_c (N/mm ²)	応力度 f_b (N/mm ²)	応力度 σ_c (N/mm ²)	応力度 σ_b (N/mm ²)	
161.8- 155.5	A - A'	248.8	0.0	I 方向	$\phi 355.6$ $\times 6.4$	59.07	506	123	8568	69.7	175.8	235.0	42.2	0.0	0.25
155.5- 149.1	A' - B	232.8	0.0	I 方向	$\phi 355.6$ $\times 6.4$	59.07	506	123	8640	70.3	174.9	235.0	39.5	0.0	0.23
149.1- 142.0	B - B'	239.1	0.0	II 方向	$\phi 406.4$ $\times 6.4$	67.68	666	141	9589	68.1	178.0	235.0	35.4	0.0	0.20
142.0- 134.8	B' - C	247.0	0.0	I 方向	$\phi 406.4$ $\times 6.4$	67.68	666	141	9660	68.6	177.4	235.0	36.5	0.0	0.21
134.8- 126.8	C - C'	334.8	0.0	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	10737	67.6	178.8	235.0	43.9	0.0	0.25
126.8- 118.3	C' - D	387.6	0.0	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	11112	69.9	175.5	235.0	50.8	0.0	0.29
118.3- 108.8	D - D'	463.8	0.0	I 方向	$\phi 508.0$ $\times 6.4$	84.92	1050	176	12431	70.7	174.3	235.0	54.7	0.0	0.32
108.8- 98.8	D' - E	470.9	0.0	I 方向	$\phi 508.0$ $\times 6.4$	84.92	1050	176	12822	72.9	171.0	235.0	55.5	0.0	0.33

表 3-6(4) 風直交方向荷重検討時における斜材の断面算定表 (STK400) (2/2)

高さ 0.P. (m)	区間	評価用部材応力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮 応力度 f_c (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 f_b (N/mm ²)	圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	曲げ 応力度 σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A* ¹ (×10 ² mm ²)	断面係数 Z* ¹ (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
98.8- 86.4	E - E'	627.8	0.0	I 方向	φ 609.6 ×6.4	102.1	1520	212	15581	73.5	170.1	235.0	61.5	0.0	0.37
86.4- 74.8	E' - F	601.1	0.0	I 方向	φ 609.6 ×6.4	102.1	1520	212	14963	70.6	174.4	235.0	58.9	0.0	0.34
74.8- 61.2	F - G	1035.8	0.0	I 方向	φ 711.2 ×9.5	187.1	3230	247	17487	70.8	174.3	235.0	55.4	0.0	0.32
61.2- 41.8	G - H	1318.0	7.2	II 方向	φ 558.8 ×9.5	190.6	2550	195	11997	61.6	187.3	235.0	69.2	2.9	0.39
41.8- 15.3	H - I	2078.5	20.3	I 方向	φ 609.6 ×16.0* ²	279.2	4030	209	15269	73.1	208.2	325.0	74.5	5.1	0.38

注記*1: 補強材の断面性能を含み、使用板厚より腐食代(外側1mm)を控除して算出

*2: 材質は STK490 を使用している

記号の説明

i : 断面 2 次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-6(5) 風直交方向荷重検討時における水平材の断面算定表 (STK400) (1/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材応力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A* ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面係数 Z* ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)			応力度 f_c (N/mm ²)	応力度 f_b (N/mm ²)	応力度 σ_c (N/mm ²)	応力度 σ_b (N/mm ²)	
161.8	A	302.1	14.9	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	93.80	708	112	7252	64.8	182.8	235.0	32.3	21.1	0.27
149.1	B	33.2	1.1	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	52.77	403	110	6099	55.5	195.4	235.0	6.3	2.8	0.05
134.8	C	72.0	1.9	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	117.4	871	113	6774	60.0	189.6	235.0	6.2	2.2	0.05
118.3	D	64.7	0.8	I 方向	$\phi 318.5$ $\times 6.4$	52.77	403	110	7552	68.7	177.3	235.0	12.3	2.0	0.08
98.8	E	81.1	2.0	II 方向	$\phi 406.4$ $\times 6.4$	67.68	666	141	8631	61.3	187.8	235.0	12.0	3.1	0.08
74.8	F	388.3	3.7	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	10144	63.8	184.3	235.0	50.9	4.4	0.30

表 3-6(5) 風直交方向荷重検討時における水平材の断面算定表 (STK400) (2/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材応力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	許容圧縮	許容曲げ	圧縮	曲げ	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	検討 ケース	寸法 (mm)	断面積 A* ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面係数 Z* ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)			応力度 f_c (N/mm ²)	応力度 f_b (N/mm ²)	応力度 σ_c (N/mm ²)	応力度 σ_b (N/mm ²)	
61.2	G	548.0	7.0	I 方向	$\phi 457.2$ $\times 6.4$	76.30	848	159	11000	69.2	176.5	235.0	71.9	8.3	0.45
41.8	H	455.2	1.8	I 方向	$\phi 508.0$ $\times 6.4$	84.92	1050	176	12692	72.2	172.0	235.0	53.7	1.8	0.32

注記* : 補強材の断面性能を含み, 使用板厚より腐食代 (外側 1mm) を控除して算出

記号の説明

i : 断面 2 次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

別紙 5 排気筒の接合部の耐震性について

目次

1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-1
2.1 主柱材	別紙 5-8
2.2 斜材及び水平材	別紙 5-9
3. 検討条件	別紙 5-12
4. 検討結果	別紙 5-15
4.1 検討用応力	別紙 5-15
4.2 検討結果	別紙 5-18

1. 概要

添付書類「VI-2-7-2-1 (Ⅱ) 排気筒の耐震計算書」においては、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、排気筒を構成する部材のうち、鉄塔について接合部の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-2-7-2-1 (Ⅱ) 排気筒の耐震計算書」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 : リブ溶接継手
- ・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，リブ溶接継手及び十字継手の概要を図 2-5 に示す。

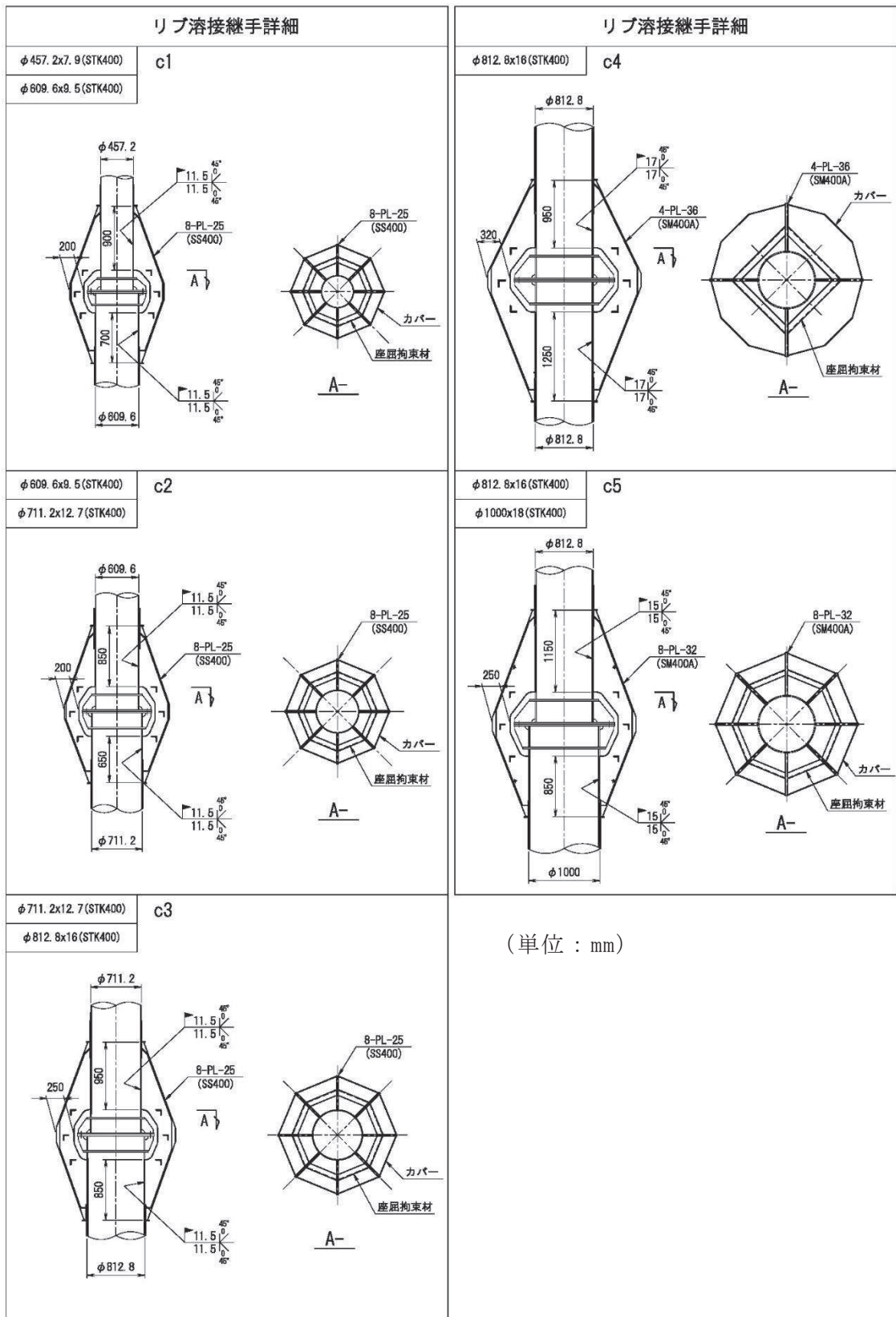
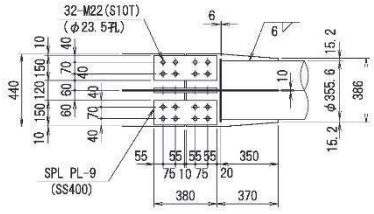
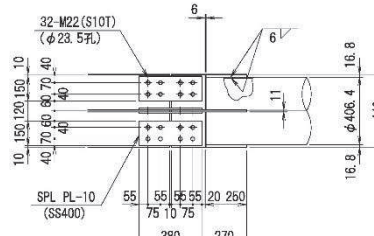
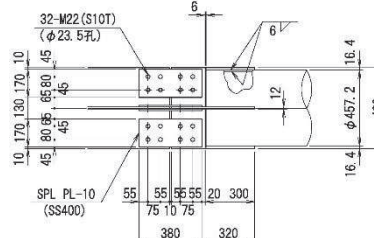
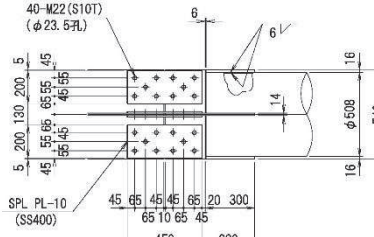


図 2-2 支柱材の接合部詳細

十字継手詳細		継手 板厚	スプライス 板厚	使用 ボルト径	本数
φ355.6x6.4(STK400)	b1 	10 (SS400)	9 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ406.4x6.4(STK400)	b2 	11 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ457.2x6.4(STK400)	b3 	12 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ508.0x6.4(STK400)	b4 	14 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	40

(単位：mm)

図 2-3(1) 斜材の接合部詳細

十字継手詳細		継手 板厚	スプライス 板厚	使用 ボルト径	本数
φ558.8x9.5(STK400)	b5	18 (SS400)	12 (SS400)	M22 (S10T)	48
φ609.4x6.4(STK400)	b6	16 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	64
φ609.6x16.0(STK490)	b7	19 (SS400)	15 (SS400)	M22 (S10T)	72
φ711.2x9.5(STK400)	b8	18 (SS400)	12 (SS400)	M22 (S10T)	72

(単位 : mm)

図 2-3(2) 斜材の接合部詳細

十字継手詳細		継手 板厚	スプライス 板厚	使用 ボルト径	本数
φ318.5x6.4 (STK400)	a1	10 (SS400)	9 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ406.4x6.4 (STK400)	a2	11 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ457.2x6.4 (STK400)	a3	12 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ457.2x6.4 (STK400)	a4	18 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	32
φ508.0x6.4 (STK400)	a5	16 (SS400)	10 (SS400)	M22 (S10T)	40

(単位 : mm)

図 2-4 水平材の接合部詳細

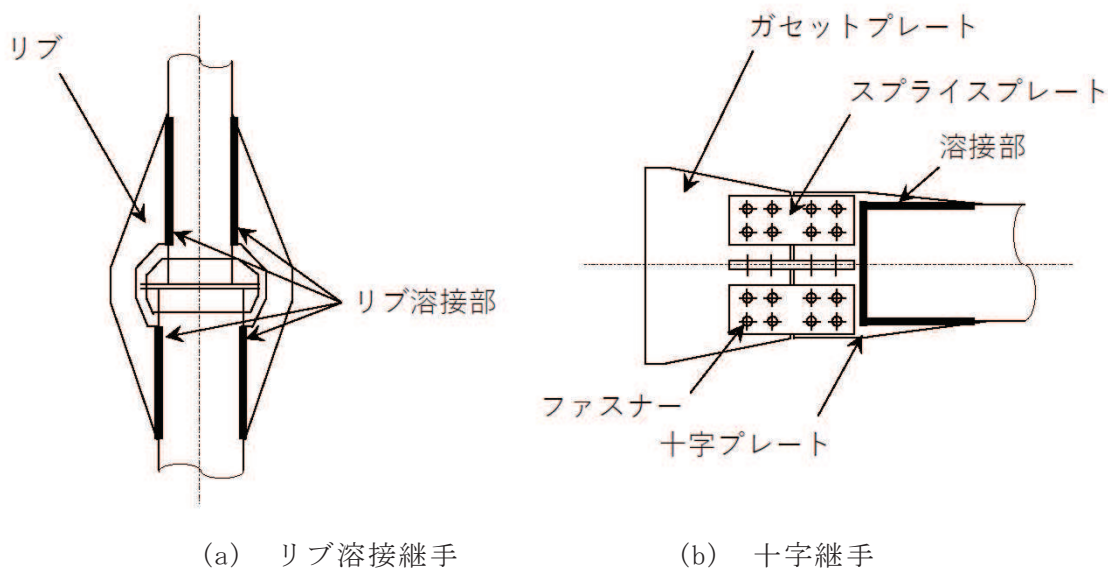


図 2-5 継手概要図

以下に各部位の検討方針を示す。

なお，検討に当たっては，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」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

フランジ継手の補強について、接合しているリブ溶接部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。

$$P_U = \text{Min}(P_{U1}, P_{U2})$$

ここで、

- P_{U1} : 鋼管本体の破断耐力で以下により算定する。
$$P_{U1} = \sigma_r \times A_{r1}$$
 - σ_r : 主柱材本体の破断強度 (N/mm²)
 - A_{r1} : 主柱材本体の断面積 (mm²)
- P_{U2} : リブ溶接部の破断耐力で以下により算定する。
$$P_{U2} = \sigma_a / \sqrt{3} \times A_{r2}$$
 - σ_a : リブ溶接部の破断強度 (N/mm²)
 - A_{r2} : リブ溶接部の有効断面積 (mm²) で以下により算定する。
$$A_{r2} = T_e \times l \times n_w$$
 - T_e : 有効開先深さで部分溶け込み溶接として、
実際の開先深さ (D) から 3mm 減じて算定する (mm)
 - l : 有効溶接長さ (mm)
 - n_w : 溶接線数 (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

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

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

ここで、

σ_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)

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。

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

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

ここで、

σ_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（リブ溶接継手）

符号		主柱材B-B'	主柱材C-C'	主柱材D-D'	主柱材D'-E	主柱材E-E'
		リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手
		c1	c2	c3	c4	c5
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 609.6	φ 711.2	φ 812.8	φ 812.8
	板厚(mm)	7.9	9.5	12.7	16	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
A	$\times 10^2 \text{mm}^2$	151.6	345.9	451.2	575.6	595.6
Z	$\times 10^3 \text{mm}^3$	1660	5060	7520	11000	11400
リブプレート	幅(mm)	200	200	250	320	250
	板厚(mm)	25	25	25	36	32
	材質	SS400	SS400	SS400	SM400A	SM400A
	枚数	8	8	8	4	8
σ_u	N/mm^2	400	400	400	400	400

記号の説明

A : 断面積

Z : 断面係数

σ_u : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）

表 3-2 接合部検討用諸元（十字継手：斜材）

符号		斜材A-A'	斜材A'-B	斜材B-B'	斜材B'-C	斜材C-C'	斜材C'-D	斜材D-D'
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b2	b2	b3	b3	b4
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 406.4	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	440	440	440	440	490	490	540
t	mm	10	10	11	11	12	12	14
A _g	mm ²	8700	8700	9559	9559	11616	11616	14924
r	列	2	2	2	2	2	2	2
m	面	2	2	2	2	2	2	2
d ₀	mm	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
b _s	mm	150	150	150	150	170	170	200
t _s	mm	9	9	10	10	10	10	10
σ _u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
f σ _u	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

符号		斜材D'-E	斜材E-E'	斜材E'-F	斜材F-G	斜材G-H	斜材H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b4	b6	b6	b8	b5	b7
使用部材	外径(mm)	φ 508.0	φ 609.6	φ 609.6	φ 711.2	φ 558.8	φ 609.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	9.5	9.5	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	540	650	650	760	590	650
t	mm	14	16	16	18	18	19
A _g	mm ²	14924	20544	20544	27036	20916	24339
r	列	2	3	3	3	2	3
m	面	2	2	2	2	2	2
d ₀	mm	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	24.0
b _s	mm	200	240	240	300	220	240
t _s	mm	10	10	10	12	12	15
σ _u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400
f σ _u	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの板厚
- 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数
- d₀ : 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 σ_u : 高力ボルトの破断応力度（S10T）

表 3-3 接合部検討用諸元（十字継手：水平材）

符号		水平材A	水平材B	水平材C	水平材D	水平材E	水平材F	水平材G	水平材H
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a1	a1	a1	a1	a2	a3	a4	a5
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
h	mm	440	440	440	440	440	490	490	540
t	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
A _g	mm ²	8700	8700	8700	8700	9559	11616	17316	17024
r	列	2	2	2	2	2	2	2	2
m	面	2	2	2	2	2	2	2	2
d ₀	mm	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
b _s	mm	150	150	150	150	150	170	170	200
t _s	mm	9	9	9	9	10	10	10	10
σ _u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
f σ _u	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの板厚
- 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数
- d₀ : 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 σ_u : 高力ボルトの破断応力度（S10T）

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 O.P. (m)	区間	検討用応力				使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	M (kN・m)	N' (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
149.1- 142.0	B - B'	2334.2	79.6	3061.2	S s - N 1 (ケース③)	φ 457.2×7.9	リブ溶接継手	c1
134.8- 126.8	C - C'	5279.3	277.8	7178.4	S s - N 1 (ケース④)	φ 609.6×9.5	リブ溶接継手	c2
118.3- 108.8	D - D'	7610.1	340.8	9654.9	S s - N 1 (ケース④)	φ 711.2×12.7	リブ溶接継手	c3
108.8- 98.8	D' - E	9540.8	611.3	12739.6	S s - N 1 (ケース④)	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c4
98.8- 86.4	E - E'	9777.9	660.3	13227.7	S s - N 1 (ケース④)	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c5

表 4-2 接合部検討用応力（斜材）

標高 O.P. (m)	区間	検討用応力		使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
161.8- 155.5	A - A'	967.5	S _s -N 1 (ケース④)	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
155.5- 149.1	A' - B	1015.7	S _s -N 1 (ケース④)	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
149.1- 142.0	B - B'	1135.4	S _s -N 1 (ケース④)	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
142.0- 134.8	B' - C	1097.6	S _s -N 1 (ケース④)	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
134.8- 126.8	C - C'	1188.3	S _s -N 1 (ケース④)	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
126.8- 118.3	C' - D	1084.7	S _s -F 1 (ケース①)	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
118.3- 108.8	D - D'	1248.3	S _s -F 1 (ケース①)	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
108.8- 98.8	D' - E	1155.7	S _s -F 1 (ケース①)	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
98.8- 86.4	E - E'	1533.1	S _s -D 2 (ケース⑤)	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
86.4- 74.8	E' - F	1597.5	S _s -N 1 (ケース③)	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
74.8- 61.2	F - G	2995.4	S _s -N 1 (ケース③)	φ 711.2×9.5	十字継手	b8
61.2- 41.8	G - H	3101.9	S _s -N 1 (ケース③)	φ 558.8×9.5	十字継手	b5
41.8- 15.3	H - I	5517.0	S _s -N 1 (ケース③)	φ 609.6×16	十字継手	b7

表 4-3 接合部検討用応力（水平材）

標高 O.P. (m)	位置	検討用応力		使用部材 寸法 (mm)	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)		継手形式	符号
161.8	A	995.3	S s -N 1 (ケース③)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
149.1	B	81.8	S s -D 2 (ケース③)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
134.8	C	458.4	S s -D 2 (ケース⑤)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
118.3	D	191.0	S s -D 2 (ケース④)	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
98.8	E	340.9	S s -D 2 (ケース③)	φ 406.4×6.4	十字継手	a2
74.8	F	807.9	S s -N 1 (ケース③)	φ 457.2×6.4	十字継手	a3
61.2	G	1081.4	S s -F 1 (ケース①)	φ 457.2×6.4	十字継手	a4
41.8	H	1279.1	S s -N 1 (ケース③)	φ 508.0×6.4	十字継手	a5

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：リブ溶接継手）

符号		主柱材B-B'	主柱材C-C'	主柱材D-D'	主柱材D'-E	主柱材E-E'
		リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手	リブ溶接継手
		c1	c2	c3	c4	c5
使用部材	外径(mm)	φ 457.2	φ 609.6	φ 711.2	φ 812.8	φ 812.8
	板厚(mm)	7.9	9.5	12.7	16	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
(1) 部材断面で破断する場合						
$r \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400
A_{r1}	mm ²	40000	40000	50000	46080	64000
$A_i \cdot \sigma_u$	kN	16000	16000	20000	18432	25600
(2) 溶接部で破断する場合						
$a \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400
D	mm	11.5	11.5	11.5	17	15
Te	mm	8.5	8.5	8.5	14	12
l	mm	700	650	850	950	850
n_w	本	16	16	16	8	16
A_{r2}	mm ²	95200	88400	115600	106400	163200
$A_i \cdot \sigma_u$	kN	21985	20415	26696	24572	37689
破断耐力 P_u	kN	16000	16000	20000	18432	25600

表 4-5(1) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

符号		斜材A-A'	斜材A'-B	斜材B-B'	斜材B'-C	斜材C-C'	斜材C'-D	斜材D-D'
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b2	b2	b3	b3	b4
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 406.4	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	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	400	400
A_g	mm ²	8700	8700	9559	9559	11616	11616	14924
A_d	mm ²	1880	1880	2068	2068	2256	2256	2632
A_l	mm ²	6820	6820	7491	7491	9360	9360	12292
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2728	2728	2996	2996	3744	3744	4916
b, スプライスプレート端部								
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	10800	10800	12000	12000	13600	13600	16000
A_d	mm ²	3384	3384	3760	3760	3760	3760	3760
A_l	mm ²	7416	7416	8240	8240	9840	9840	12240
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2966	2966	3296	3296	3936	3936	4896
(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	1000	1000
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
m	面	2	2	2	2	2	2	2
fA	mm ²	285	285	285	285	285	285	285
A_2	mm ²	9120	9120	9120	9120	9120	9120	11400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	6840	6840	6840	6840	6840	8550
(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	400	400
b_e	mm	55	55	55	55	55	55	45
b_t	mm	10	10	11	11	12	12	14
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
${}_1A_3$	mm ²	8800	8800	9680	9680	10560	10560	12600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3872	3872	4224	4224	5040
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	400	400
s_e	mm	55	55	55	55	55	55	45
s_t	mm	9	9	10	10	10	10	10
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
${}_2A_3$	mm ²	15840	15840	17600	17600	17600	17600	18000
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6336	6336	7040	7040	7040	7040	7200
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	400	400
g_e	mm	55	55	55	55	55	55	45
g_t	mm	10	10	11	11	12	12	14
n	箇所	16	16	16	16	16	16	20
${}_3A_3$	mm ²	8800	8800	9680	9680	10560	10560	12600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3872	3872	4224	4224	5040

表 4-5(2) 接合部検討用の破断耐力 (斜材 : 十字継手)

符号		斜材A-A'	斜材A'-B	斜材B-B'	斜材B'-C	斜材C-C'	斜材C'-D	斜材D-D'
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b1	b1	b2	b2	b3	b3	b4
使用部材	外径(mm)	φ 355.6	φ 355.6	φ 406.4	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合								
σ_u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
l_1	mm	75	75	75	75	75	75	130
b	mm	340	340	340	340	380	380	440
g_t	mm	10	10	11	11	12	12	14
A_d	mm ²	940	940	1034	1034	1128	1128	1316
A_4	mm ²	6652	6652	7317	7317	8942	8942	13891
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2660	2660	2926	2926	3576	3576	5556
(5) 溶接部で破断する場合								
σ_u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6	6	6	6
l	mm	344	344	244	244	294	294	294
l_e	mm	332	332	232	232	282	282	282
n_w	本	8	8	16	16	16	16	16
A_5	mm ²	11155	11155	15590	15590	18950	18950	18950
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2576	2576	3600	3600	4376	4376	4376
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	2576	2576	2926	2926	3576	3576	4376

表 4-5(3) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

符号		斜材D'-E	斜材E-E'	斜材E'-F	斜材F-G	斜材G-H	斜材H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b4	b6	b6	b8	b5	b7
使用部材	外径(mm)	φ 508.0	φ 609.6	φ 609.6	φ 711.2	φ 558.8	φ 609.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	9.5	9.5	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	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	400
A_g	mm ²	14924	20544	20544	27036	20916	24339
A_d	mm ²	2632	4512	4512	5076	3384	5472
A_1	mm ²	12292	16032	16032	21960	17532	18867
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4916	6412	6412	8784	7012	7546
b, スプラインプレート端部							
$b \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400
A_g	mm ²	16000	19200	19200	28800	21120	28800
A_d	mm ²	3760	5640	5640	6768	4512	8640
A_1	mm ²	12240	13560	13560	22032	16608	20160
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4896	5424	5424	8812	6643	8064
(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	1000
n	箇所	20	32	32	36	24	36
m	面	2	2	2	2	2	2
fA	mm ²	285	285	285	285	285	285
A_2	mm ²	11400	18240	18240	20520	13680	20520
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	8550	13680	13680	15390	10260	15390
(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	400
b_e	mm	45	45	45	45	45	45
b_t	mm	14	16	16	18	18	19
n	箇所	20	32	32	36	24	36
${}_1A_3$	mm ²	12600	23040	23040	29160	19440	30780
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5040	9216	9216	11664	7776	12312
b, 部材端部の場合 (スプラインプレートのはしあき)							
$s \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400
s_e	mm	45	45	45	45	45	45
s_t	mm	10	10	10	12	12	15
n	箇所	20	32	32	36	24	36
${}_2A_3$	mm ²	18000	28800	28800	38880	25920	48600
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	7200	11520	11520	15552	10368	19440
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	400
g_e	mm	45	45	45	45	45	45
g_t	mm	14	16	16	18	18	19
n	箇所	20	32	32	36	24	36
${}_3A_3$	mm ²	12600	23040	23040	29160	19440	30780
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5040	9216	9216	11664	7776	12312

表 4-5(4) 接合部検討用の破断耐力 (斜材：十字継手)

符号		斜材D'-E	斜材E-E'	斜材E'-F	斜材F-G	斜材G-H	斜材H-I
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		b4	b6	b6	b8	b5	b7
使用部材	外径(mm)	φ 508.0	φ 609.6	φ 609.6	φ 711.2	φ 558.8	φ 609.6
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	9.5	9.5	16
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK490
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	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	400
l_1	mm	130	130	130	150	150	150
b	mm	440	530	530	650	480	530
${}_g t$	mm	14	16	16	18	18	19
A_d	mm ²	1316	2256	2256	2538	1692	2736
A_4	mm ²	13891	17251	17251	24559	20131	21249
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5556	6900	6900	9823	8052	8499
(5) 溶接部で破断する場合							
${}_a \sigma_u$	N/mm ²	400	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	9	9	13
l	mm	294	344	344	394	344	394
l_e	mm	282	332	332	376	326	368
n_w	本	16	16	16	16	16	16
A_5	mm ²	18950	22310	22310	37900	32860	53580
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4376	5152	5152	8752	7588	12373
破断耐力 $P_u = \min \{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	4376	5152	5152	8752	6643	7546

表 4-6(1) 接合部検討用の破断耐力 (水平材 : 十字継手)

符号		水平材A	水平材B	水平材C	水平材D	水平材E	水平材F	水平材G	水平材H
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a1	a1	a1	a1	a2	a3	a4	a5
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	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	400	400	400
A_g	mm^2	8700	8700	8700	8700	9559	11616	17316	17024
A_d	mm^2	1880	1880	1880	1880	2068	2256	3384	3008
A_1	mm^2	6820	6820	6820	6820	7491	9360	13932	14016
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2728	2728	2728	2728	2996	3744	5572	5606
b, スプライスプレート端部									
$b \sigma_u$	N/mm^2	400	400	400	400	400	400	400	400
A_g	mm^2	10800	10800	10800	10800	12000	13600	13600	16000
A_d	mm^2	3384	3384	3384	3384	3760	3760	3760	3760
A_1	mm^2	7416	7416	7416	7416	8240	9840	9840	12240
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2966	2966	2966	2966	3296	3936	3936	4896
(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	1000	1000	1000
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
m	面	2	2	2	2	2	2	2	2
fA	mm^2	285	285	285	285	285	285	285	285
A_2	mm^2	9120	9120	9120	9120	9120	9120	9120	11400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	6840	6840	6840	6840	6840	6840	8550
(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	400	400	400
b_e	mm	55	55	55	55	55	55	55	45
b_t	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
$1A_3$	mm^2	8800	8800	8800	8800	9680	10560	15840	14400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3520	3520	3872	4224	6336	5760
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	400	400	400
s_e	mm	55	55	55	55	55	55	55	45
s_t	mm	9	9	9	9	10	10	10	10
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
$2A_3$	mm^2	15840	15840	15840	15840	17600	17600	17600	18000
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6336	6336	6336	6336	7040	7040	7040	7200
c, 部材端部の場合 (ガゼットプレートのはしあき)									
$g \sigma_u$	N/mm^2	400	400	400	400	400	400	400	400
g_e	mm	55	55	55	55	55	55	55	45
g_t	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
n	箇所	16	16	16	16	16	16	16	20
$3A_3$	mm^2	8800	8800	8800	8800	9680	10560	15840	14400
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	3520	3520	3520	3520	3872	4224	6336	5760

表 4-6(2) 接合部検討用の破断耐力 (水平材：十字継手)

符号		水平材A	水平材B	水平材C	水平材D	水平材E	水平材F	水平材G	水平材H
		十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手	十字継手
		a1	a1	a1	a1	a2	a3	a4	a5
使用部材	外径(mm)	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 318.5	φ 406.4	φ 457.2	φ 457.2	φ 508.0
	板厚(mm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
	材質	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合									
σ_u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
l_1	mm	75	75	75	75	75	75	75	130
b	mm	340	340	340	340	340	380	380	440
$g \cdot t$	mm	10	10	10	10	11	12	18	16
A_d	mm ²	940	940	940	940	1034	1128	1692	1504
A_4	mm ²	6652	6652	6652	6652	7317	8942	13413	15875
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2660	2660	2660	2660	2926	3576	5365	6350
(5) 溶接部で破断する場合									
σ_u	N/mm ²	400	400	400	400	400	400	400	400
S	mm	6	6	6	6	6	6	6	6
l	mm	344	344	344	344	244	294	294	294
l_e	mm	332	332	332	332	232	282	282	282
n_w	本	8	8	8	8	16	16	16	16
A_5	mm ²	11155	11155	11155	11155	15590	18950	18950	18950
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2576	2576	2576	2576	3600	4376	4376	4376
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	2576	2576	2576	2576	2926	3576	3936	4376

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)	区間	検討用 応力 N' (kN)	破断 耐力 P _U (kN)	検定値 N' /P _U	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
149.1- 142.0	B - B'	3061.2	16000	0.20	φ 457.2×7.9	リブ溶接継手	c1
134.8- 126.8	C - C'	7178.4	16000	0.45	φ 609.6×9.5	リブ溶接継手	c2
118.3- 108.8	D - D'	9654.9	20000	0.49	φ 711.2×12.7	リブ溶接継手	c3
108.8- 98.8	D' - E	12739.6	18432	0.70	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c4
98.8- 86.4	E - E'	13227.7	25600	0.52	φ 812.8×16	リブ溶接継手	c5

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)	区間	検討用 応力 N(kN)	破断 耐力 P _v (kN)	検定値 N/P _v	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
161.8- 155.5	A - A'	967.5	2576	0.38	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
155.5- 149.1	A' - B	1015.7	2576	0.40	φ 355.6×6.4	十字継手	b1
149.1- 142.0	B - B'	1135.4	2926	0.39	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
142.0- 134.8	B' - C	1097.6	2926	0.38	φ 406.4×6.4	十字継手	b2
134.8- 126.8	C - C'	1188.3	3576	0.34	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
126.8- 118.3	C' - D	1084.7	3576	0.31	φ 457.2×6.4	十字継手	b3
118.3- 108.8	D - D'	1248.3	4376	0.29	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
108.8- 98.8	D' - E	1155.7	4376	0.27	φ 508.0×6.4	十字継手	b4
98.8- 86.4	E - E'	1533.1	5152	0.30	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
86.4- 74.8	E' - F	1597.5	5152	0.32	φ 609.6×6.4	十字継手	b6
74.8- 61.2	F - G	2995.4	8752	0.35	φ 711.2×9.5	十字継手	b8
61.2- 41.8	G - H	3101.9	6643	0.47	φ 558.8×9.5	十字継手	b5
41.8- 15.3	H - I	5517.0	7546	0.74	φ 609.6×16	十字継手	b7

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)	位置	検討用 応力 N (kN)	破断 耐力 P _U (kN)	検定値 N/P _U	使用部材 寸法 (mm)	備考	
						継手形式	符号
161.8	A	995.3	2576	0.39	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
149.1	B	81.8	2576	0.04	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
134.8	C	458.4	2576	0.18	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
118.3	D	191.0	2576	0.08	φ 318.5×6.4	十字継手	a1
98.8	E	340.9	2926	0.12	φ 406.4×6.4	十字継手	a2
74.8	F	807.9	3576	0.23	φ 457.2×6.4	十字継手	a3
61.2	G	1081.4	3936	0.28	φ 457.2×6.4	十字継手	a4
41.8	H	1279.1	4376	0.30	φ 508.0×6.4	十字継手	a5

別紙 6 排気筒支持点部の耐震性について

目次

1. 概要…………… 別紙 6-1
2. 検討方針…………… 別紙 6-1
3. 検討結果…………… 別紙 6-12

1. 概要

添付書類「VI-2-7-2-1 (II) 排気筒の耐震計算書」においては、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、排気筒を構成する部材のうち、支持点部の耐震性について確認した結果を示す。

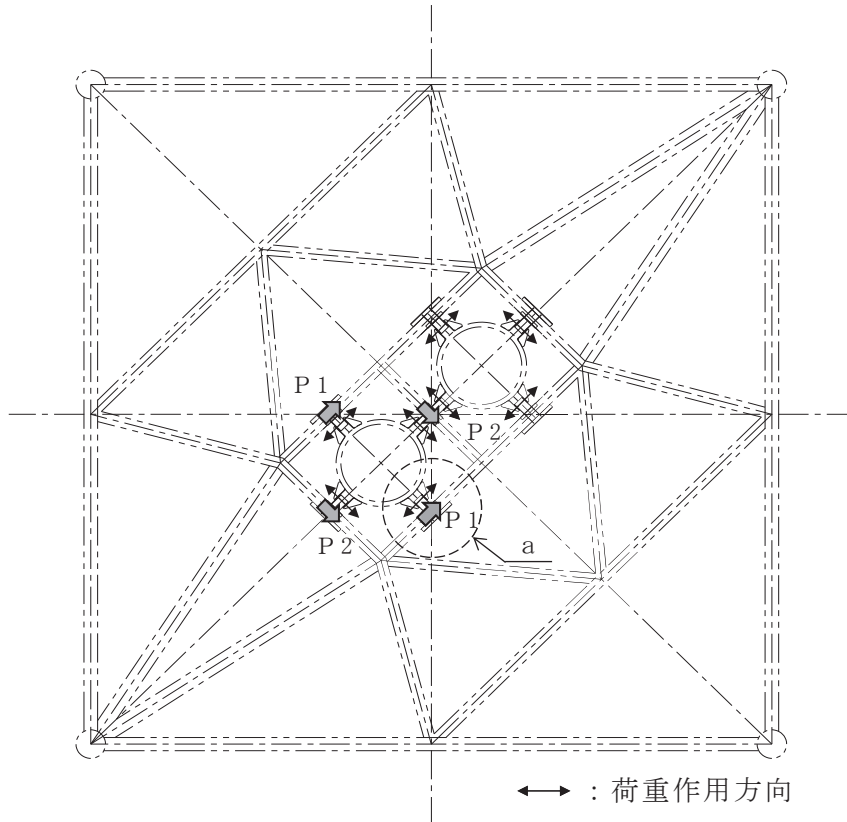
2. 検討方針

第1支持点、第2支持点、第3支持点部及び第4支持点部の平面図及び支持点荷重を図2-1及び図2-2に、支持金物及び補強リングの構成断面を図2-3に示す。

筒身と鉄塔の支持点部は高さ方向の伸び拘束しないが、支持金物を介して水平荷重を伝達する構造としている。支持金物の反力は筒身周囲の補強リングによって抵抗されることから、第1支持点、第2支持点及び第4支持点部は支持金物と補強リングの評価を行う。第3支持点部については、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」において、制震オイルダンパ及び支持点アーム、補強リングの評価を行っていることから、本書では筒身連結材の評価を行う。排気筒の耐震重要度分類と評価結果の記載箇所を表2-1に示す。

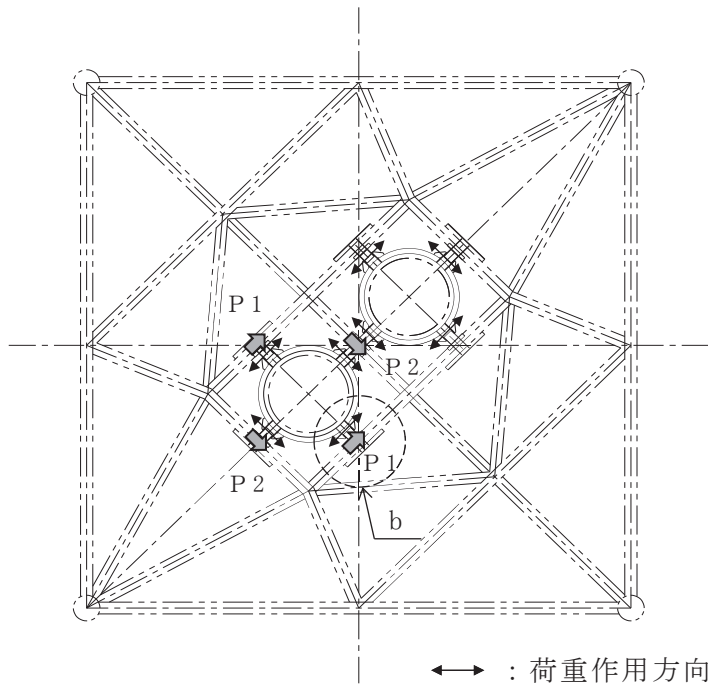
第1支持点、第2支持点、第3支持点部及び第4支持点部の評価について、直接支持構造物となる補強リング、鉄塔連結材（筒身側支持金物）は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による地震荷重に対して行う。間接支持構造物となる鉄塔連結材（筒身側支持金物）は、基準地震動 S_s による地震荷重に対して行う。支持金物に加わる地震荷重は、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」において実施している、すべての基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d による排気筒の不確かさ及びI～IV方向加振を考慮した地震応答解析により求められた支持点反力を包絡した値を設定する。なお、筒身連結材は直接支持構造物となるが、基準地震動 S_s により設定した支持点反力と弾性設計用地震動 S_d により設定した支持点反力に大きな差が無かったため、基準地震動 S_s により設定した支持点反力を用いて、弾性設計を行う。

支持金物及び補強リングの評価について、筒身と鉄塔間の支持金物から作用する支持点反力から、支持点部の構成断面に発生する部材力を算定する。発生部材力に対して評価断面において応力度計算を行い、発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「建設省告示第2464号」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定する。応力度計算において、各プレートには外面1mmの腐食代を考慮する。



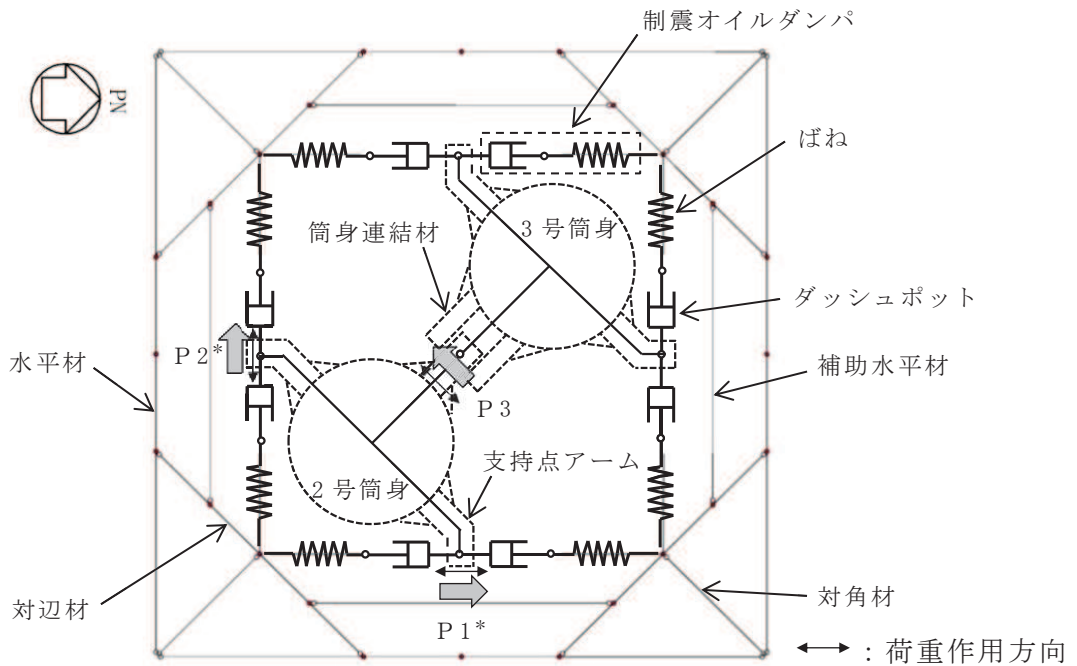
注：支持金物に作用する反力のうち、大きい荷重をP1、小さい荷重をP2とする。

図 2-1(1) 第1支持点部の平面図及び支持点荷重



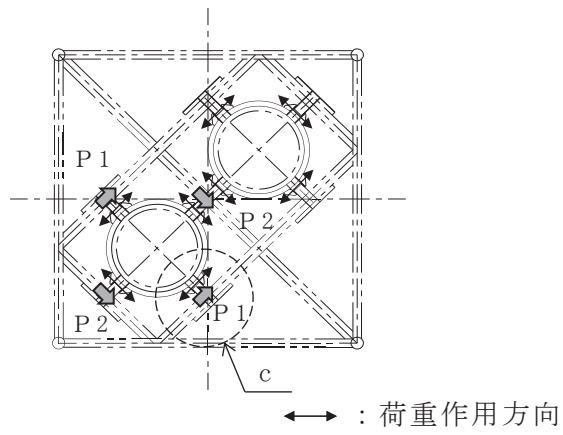
注：支持金物に作用する反力のうち、大きい荷重をP1、小さい荷重をP2とする。

図 2-1(2) 第2支持点部の平面図及び支持点荷重



注記*：東側、南側の支持点アームに作用する反力のうち大きい荷重をP1、小さい荷重をP2とする。

図 2-1(3) 第3支持点部の平面図及び支持点荷重



注：支持金物に作用する反力のうち、大きい荷重をP1，小さい荷重をP2とする。

図 2-1(4) 第4支持点部の平面図及び支持点荷重

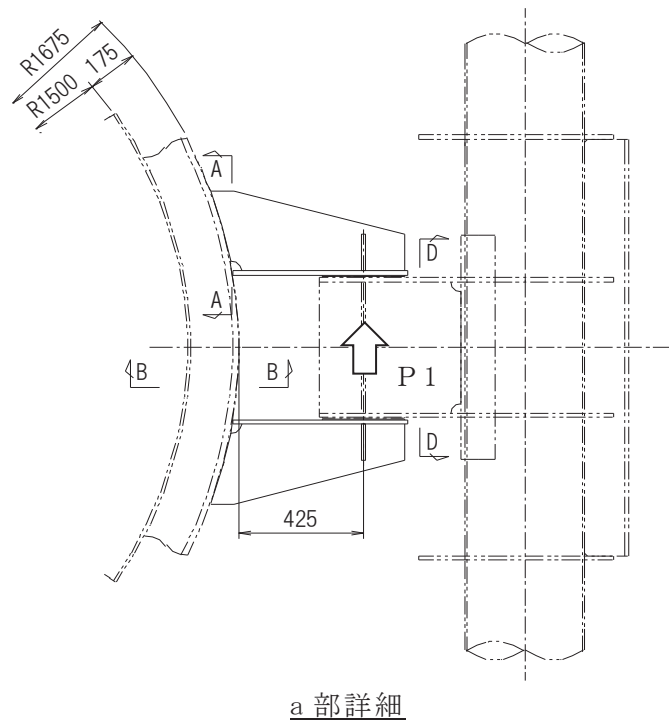


図 2-2(1) 第 1 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重図 (単位 : mm)

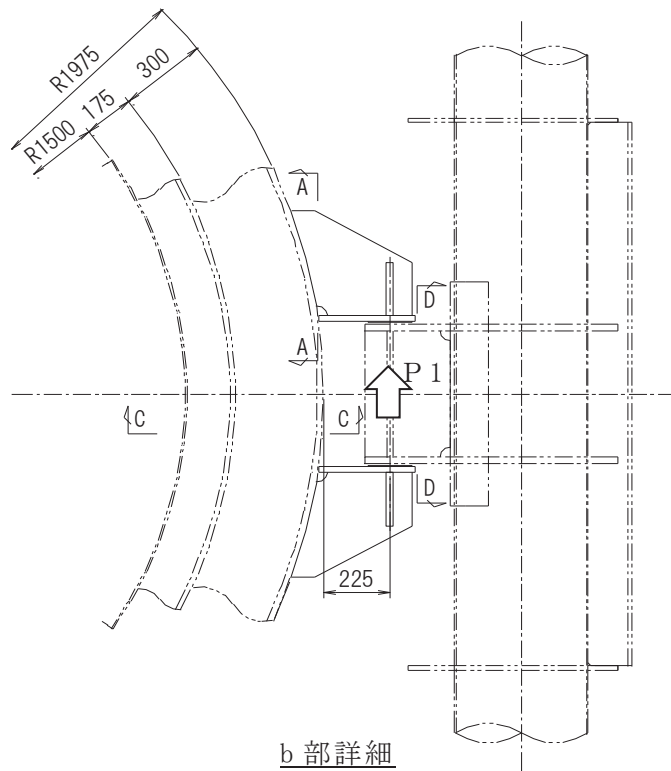
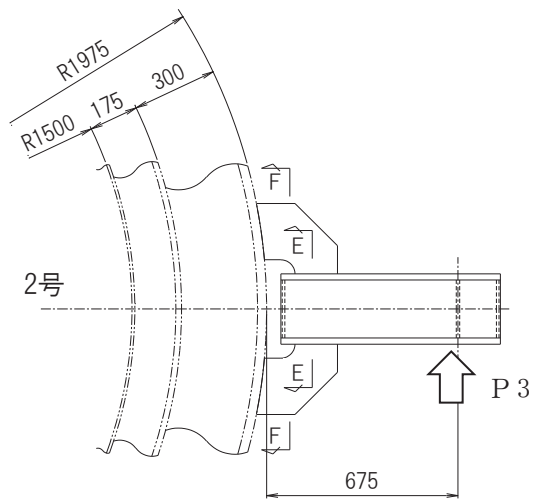
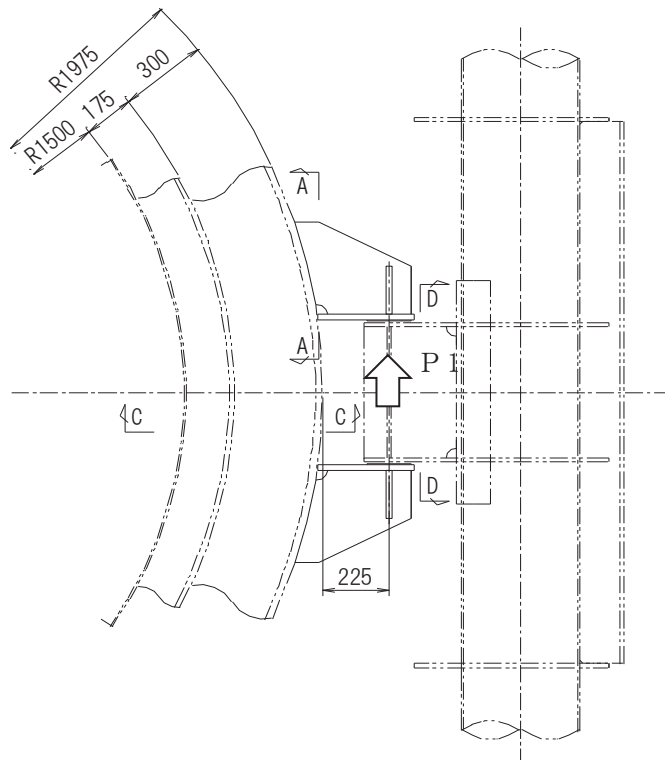


図 2-2(2) 第 2 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重 (単位 : mm)



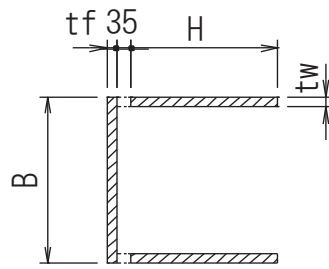
筒身連結材詳細

図 2-2(3) 第 3 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重 (単位: mm)



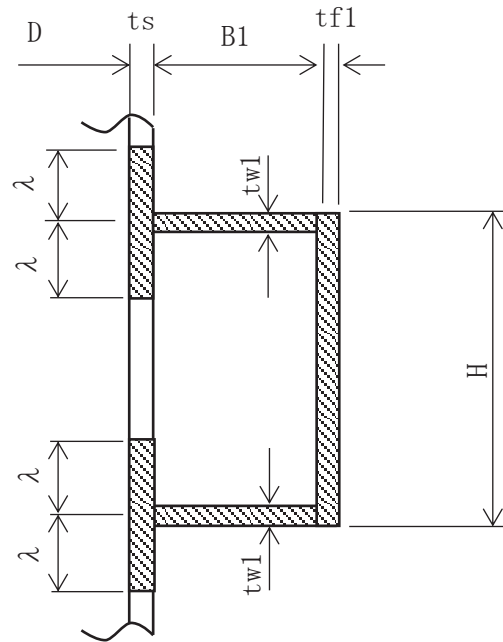
c 部詳細

図 2-2(4) 第 4 支持点部の支持金物の平面図及び支持点荷重 (単位: mm)

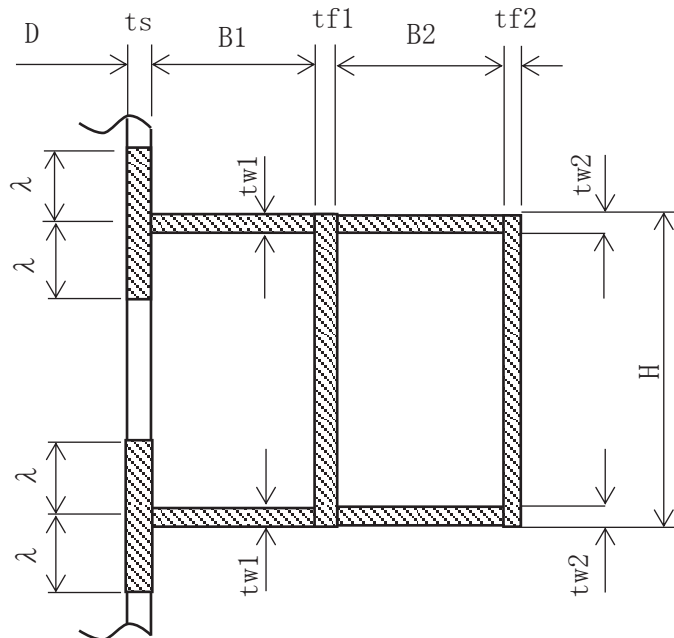


A-A 断面

図 2-3(1) 鉄塔連結材 (筒身側支持金物) の構成断面 (単位 : mm)

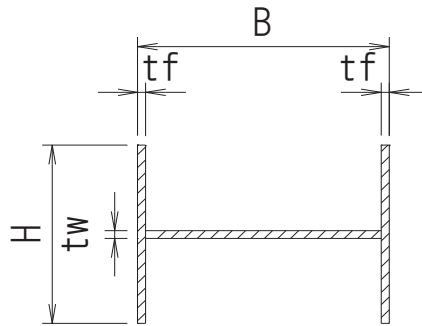


B-B 断面



C-C 断面

図 2-3(2) 補強リングの構成断面



D-D 断面

図 2-3 (3) 鉄塔連結材 (鉄塔側支持金物) の構成断面

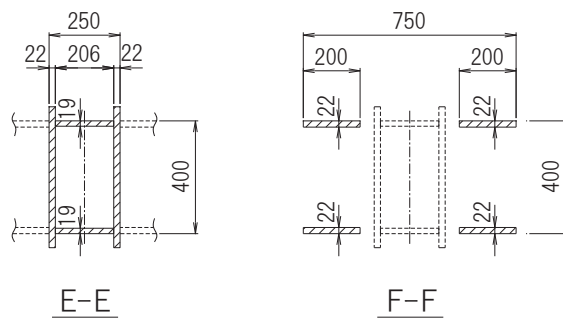


図 2-3 (4) 筒身連結材の構成断面 (単位 : mm)

表 2-1(1) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の記載箇所
主要設備	Sクラス	S s 地震力*1 S d 地震力*2	第 2 号機筒身		VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書
直接支持 構造物	Sクラス	S s 地震力*1 S d 地震力*2	第 3 号機筒身	第 3 号機の工認申請において主要設備に分類される	
			補強リング*3,4	第 2 号機及び第 3 号機筒身の地震時荷重及び風荷重を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書*3,5 補足-610-17 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 別紙 6*4,5
			支持点アーム*3	補強リングと溶接により接合していることから、補強リングを介して第 2 号機及び第 3 号機筒身の荷重を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書*5
			筒身連結材*3		補足-610-17 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 別紙 6*5
			鉄塔連結材(筒身側支持金物)*4		
			筒身脚部	第 2 号機及び第 3 号機筒身の筒身の常時荷重、地震時荷重及び風荷重を直接的に受ける	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書

表 2-1(2) 排気筒の耐震重要度分類の比較と評価結果の記載箇所

設備区分	耐震重要度分類	評価内容	設備名称	備考	評価結果の記載箇所
間接支持構造物	—	S s 地震力*1	鉄塔 (支柱材, 斜材, 水平材)	直接支持構造物からの地震時荷重及び風荷重を鉄塔連結材(鉄塔側支持金物)及び制震オイルダンパを介して伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書
			鉄塔連結材 (鉄塔側支持金物)*4	直接支持構造物からの地震時荷重及び風荷重を伝達される	補足-610-17 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 別紙 6*5
			制震 オイルダンパ*3	直接支持構造物からの地震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書*5
			鉄塔脚部	間接支持構造物からの常時荷重, 地震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書
			排気筒基礎	直接支持構造物及び間接支持構造物からの常時荷重, 地震時荷重及び風荷重を伝達される	VI-2-2-26 排気筒基礎の耐震性についての計算書

注記*1: S s 地震力は基準地震動 S s による評価

2: S d 地震力は弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による評価

3: 第 3 支持点における支持部材

4: 第 1, 第 2 及び第 4 支持点における支持部材

5: 筒身と鉄塔の相互作用が生じる支持点については, 排気筒全体の動的挙動に大きな影響を及ぼす制震オイルダンパと, 制震オイルダンパと荷重の伝達を行う支持点アーム及び補強リング(第 3 支持点)を代表に添付書類で耐震評価を行う。その他の支持点部材については, 補足説明資料で耐震評価を行う。

3. 検討結果

基準地震動 S_s に対する鉄塔連結材（筒身側支持金物，鉄塔側支持金物）及び補強リングの断面評価結果を表 3-1～表 3-3 に，弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する鉄塔連結材（筒身側支持金物）及び補強リングの断面評価結果を表 3-4 及び表 3-5 に示す。表 3-1～表 3-5 により，鉄塔連結材（筒身側支持金物，鉄塔側支持金物）及び補強リングの評価値は，各許容値以下であることを確認した。

表 3-1(1) S_s 地震時における第 1 支持点部の鉄塔連結材
（筒身側支持金物）の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	380
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	250
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	19
	曲げモーメント	M	kN・m	162
	せん断力	Q	kN	380
	断面係数	Z *	cm ³	725
	せん断断面積	A _s *	cm ²	85.00
	曲げ応力度	σ_b	N/mm ²	223.5
	せん断応力度	τ	N/mm ²	44.8
	合成応力度	σ	N/mm ²	236.6
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	曲げ応力度比	σ_b / f_b	-	0.87
せん断応力度比	τ / f_s	-	0.31	
合成応力度比	σ / f_t	-	0.92	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-1(2) S s 地震時における第 2 支持点部の鉄塔連結材
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	760
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	340
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	25
	曲げモーメント	M	kN・m	171
	せん断力	Q	kN	760
	断面係数	Z *	cm ³	1630
	せん断断面積	A s *	cm ²	156.4
	曲げ応力度	σ b	N/mm ²	105.0
	せん断応力度	τ	N/mm ²	48.6
	合成応力度	σ	N/mm ²	134.6
	許容曲げ応力度	f b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm ²	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.41
せん断応力度比	τ / f s	-	0.33	
合成応力度比	σ / f t	-	0.53	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-1(3) S s 地震時における第 4 支持点部の鉄塔連結材
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	650
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	295
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	22
	曲げモーメント	M	kN・m	147
	せん断力	Q	kN	650
	断面係数	Z *	cm ³	1160
	せん断断面積	A s *	cm ²	118.0
	曲げ応力度	σ b	N/mm ²	126.8
	せん断応力度	τ	N/mm ²	55.1
	合成応力度	σ	N/mm ²	158.8
	許容曲げ応力度	f b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm ²	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.50
せん断応力度比	τ / f s	-	0.37	
合成応力度比	σ / f t	-	0.62	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-2(1) S s 地震時における第 1 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	380
		P2	kN	230
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	λ	mm	125.2
	筒身板厚	t _s	mm	10
	フランジ板厚	t _{f1}	mm	20
	ウェブ板厚	t _{w1}	mm	16
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅	B1	mm	145
軸力		N	kN	200
曲げモーメント		M	kN・m	103
せん断力		Q	kN	126
断面積		A*	cm ²	159.8
断面係数		Z*	cm ³	763
せん断断面積		A _s *	cm ²	43.80
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	12.6
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	135.0
せん断応力度		τ	N/mm ²	28.8
合成応力度		σ	N/mm ²	155.9
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	258.5
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	258.5
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	149.2
許容引張応力度		f _t	N/mm ²	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c + σ_b / f_b	-	0.58
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.20
合成応力度比		σ / f_t	-	0.61

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ λ ）は、「鋼構造設計規
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-2(2) S s 地震時における第 2 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	760
		P2	kN	440
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	λ	mm	125.2
	筒身板厚	t _s	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t _{f1}	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t _{f2}	mm	19
	ウェブ板厚(内側)	t _{w1}	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t _{w2}	mm	19
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B1	mm	145
	リング幅(外側)	B2	mm	281
軸力		N	kN	384
曲げモーメント		M	kN・m	184
せん断力		Q	kN	219
断面積		A*	cm ²	333.3
断面係数		Z*	cm ³	3560
せん断断面積		A _s *	cm ²	145.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	11.6
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	51.7
せん断応力度		τ	N/mm ²	15.1
合成応力度		σ	N/mm ²	68.5
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	258.5
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	258.5
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	149.2
許容引張応力度		f _t	N/mm ²	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c + σ_b / f_b	-	0.25
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.11
合成応力度比		σ / f_t	-	0.27

注記＊：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお，筒身母材の有効幅（ λ ）は，「鋼構造設計規
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-2(3) S s 地震時における第 4 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	650
		P2	kN	420
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	λ	mm	125.2
	筒身板厚	t _s	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t _{f1}	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t _{f2}	mm	16
	ウェブ板厚(内側)	t _{w1}	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t _{w2}	mm	16
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B1	mm	145
	リング幅(外側)	B2	mm	284
軸力		N	kN	331
曲げモーメント		M	kN・m	163
せん断力		Q	kN	199
断面積		A*	cm ²	305.3
断面係数		Z*	cm ³	3310
せん断断面積		A _s *	cm ²	129.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	10.9
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	49.3
せん断応力度		τ	N/mm ²	15.4
合成応力度		σ	N/mm ²	65.9
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	258.5
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	258.5
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	149.2
許容引張応力度		f _t	N/mm ²	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c $+ \sigma_b / f_b$	-	0.25
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.11
合成応力度比		σ / f_t	-	0.26

注記＊：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ λ ）は、「鋼構造設計規
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-3(1) S s 地震時における第 1 支持点部の鉄塔連結材
(鉄塔側支持金物) の断面評価結果

項目	記号	単位	数値	
設計反力	P 1	kN	380	
材質	-	-	SS400	
基準強度	F	N/mm ²	235	
ヤング係数	E	N/mm ²	205000	
鉄塔取付部 (D-D 断面)	フランジ幅	B	mm	498
	ウェブ高さ	H	mm	300
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	16
	曲げモーメント	M	kN・m	209
	せん断力	Q	kN	380
	断面係数	Z *	cm ³	2460
	せん断断面積	A s *	cm ²	65. 8
	曲げ応力度	σ b	N/mm ²	85. 0
	せん断応力度	τ	N/mm ²	57. 8
	合成応力度	σ	N/mm ²	131. 4
	許容曲げ応力度	f b	N/mm ²	258. 5
	許容せん断応力度	f s	N/mm ²	149. 2
	許容引張応力度	f t	N/mm ²	258. 5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0. 33
せん断応力度比	τ / f s	-	0. 39	
合成応力度比	σ / f t	-	0. 51	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-3(2) S s 地震時における第 2 支持点部の鉄塔連結材
(鉄塔側支持金物) の断面評価結果

項目	記号	単位	数値	
設計反力	P 1	kN	760	
材質	-	-	SS400	
基準強度	F	N/mm ²	235	
ヤング係数	E	N/mm ²	205000	
鉄塔取付部 (D-D 断面)	フランジ幅	B	mm	498
	ウェブ高さ	H	mm	300
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	25
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	25
	曲げモーメント	M	kN・m	342
	せん断力	Q	kN	760
	断面係数	Z *	cm ³	3830
	せん断断面積	A s *	cm ²	103.9
	曲げ応力度	σ b	N/mm ²	89.3
	せん断応力度	τ	N/mm ²	73.2
	合成応力度	σ	N/mm ²	155.1
	許容曲げ応力度	f b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm ²	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.35
せん断応力度比	τ / f s	-	0.50	
合成応力度比	σ / f t	-	0.60	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-3(3) S s 地震時における第 4 支持点部の鉄塔連結材
(鉄塔側支持金物) の断面評価結果

項目	記号	単位	数値	
設計反力	P 1	kN	650	
材質	-	-	SS400	
基準強度	F	N/mm ²	235	
ヤング係数	E	N/mm ²	205000	
鉄塔取付部 (D-D 断面)	フランジ幅	B	mm	498
	ウェブ高さ	H	mm	300
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	19
	曲げモーメント	M	kN・m	293
	せん断力	Q	kN	650
	断面係数	Z *	cm ³	2560
	せん断断面積	A s *	cm ²	79.9
	曲げ応力度	σ b	N/mm ²	114.5
	せん断応力度	τ	N/mm ²	81.4
	合成応力度	σ	N/mm ²	181.7
	許容曲げ応力度	f b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f t	N/mm ²	258.5
	曲げ応力度比	σ b / f b	-	0.45
せん断応力度比	τ / f s	-	0.55	
合成応力度比	σ / f t	-	0.71	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-3(4) S s 地震時における第 3 支持点部の筒身連結材の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (E-E 断面)	曲げモーメント	M _E	kN・m	68
	せん断力	Q _E	kN	100
	断面係数	Z _E [*]	cm ³	1950
	せん断断面積	A _{SE} [*]	cm ²	74.16
	曲げ応力度	σ _{bE}	N/mm ²	34.9
	せん断応力度	τ _E	N/mm ²	13.5
	合成応力度	σ _E	N/mm ²	42.1
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	曲げ応力度比	σ _{bE} / f _b	-	0.15
	せん断応力度比	τ _E / f _s	-	0.10
合成応力度比	σ _E / f _t	-	0.18	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bE} = M_E / Z_E$$

$$\tau_E = Q_E / A_{SE}$$

$$\sigma_E = (\sigma_{bE}^2 + 3\tau_E^2)^{1/2}$$

表 3-3(5) S s 地震時における第 3 支持点部の筒身連結材の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (F-F 断面)	曲げモーメント	M _F	kN・m	68
	せん断力	Q _F	kN	100
	断面係数	Z _F [*]	cm ³	3360
	せん断断面積	A _{SF} [*]	cm ²	160.0
	曲げ応力度	σ _{bF}	N/mm ²	20.3
	せん断応力度	τ _F	N/mm ²	6.3
	合成応力度	σ _F	N/mm ²	23.1
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	曲げ応力度比	σ _{bF} / f _b	-	0.09
	せん断応力度比	τ _F / f _s	-	0.05
合成応力度比	σ _F / f _t	-	0.10	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bF} = M_F / Z_F$$

$$\tau_F = Q_F / A_{SF}$$

$$\sigma_F = (\sigma_{bF}^2 + 3\tau_F^2)^{1/2}$$

表 3-4(1) S d 地震時における第 1 支持点部の鉄塔連結材
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	210
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	250
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	16
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	19
	曲げモーメント	M	kN・m	90
	せん断力	Q	kN	210
	断面係数	Z *	cm ³	725
	せん断断面積	A _s *	cm ²	85.00
	曲げ応力度	σ _b	N/mm ²	124.2
	せん断応力度	τ	N/mm ²	24.8
	合成応力度	σ	N/mm ²	131.5
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	曲げ応力度比	σ _b / f _b	-	0.53
せん断応力度比	τ / f _s	-	0.19	
合成応力度比	σ / f _t	-	0.56	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-4(2) S d 地震時における第 2 支持点部の鉄塔連結材
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	440
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	340
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	25
	曲げモーメント	M	kN・m	99
	せん断力	Q	kN	440
	断面係数	Z *	cm ³	1630
	せん断断面積	A _s *	cm ²	156.4
	曲げ応力度	σ _b	N/mm ²	60.8
	せん断応力度	τ	N/mm ²	28.2
	合成応力度	σ	N/mm ²	78.0
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	曲げ応力度比	σ _b / f _b	-	0.26
せん断応力度比	τ / f _s	-	0.21	
合成応力度比	σ / f _t	-	0.34	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-4(3) S d 地震時における第 4 支持点部の鉄塔連結材
(筒身側支持金物) の断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力		P 1	kN	360
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (A-A 断面)	フランジ幅	B	mm	400
	ウェブ高さ	H	mm	295
	フランジ板厚(使用板厚)	t f	mm	22
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w	mm	22
	曲げモーメント	M	kN・m	81
	せん断力	Q	kN	360
	断面係数	Z *	cm ³	1160
	せん断断面積	A _s *	cm ²	118.0
	曲げ応力度	σ _b	N/mm ²	69.9
	せん断応力度	τ	N/mm ²	30.6
	合成応力度	σ	N/mm ²	87.8
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	曲げ応力度比	σ _b / f _b	-	0.30
せん断応力度比	τ / f _s	-	0.23	
合成応力度比	σ / f _t	-	0.38	

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = (\sigma_b^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

表 3-5(1) S d 地震時における第 1 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	210
		P2	kN	140
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	3000	3000
	筒身母材の有効幅	λ	125.2	125.2
	筒身板厚	t _s	10	10
	フランジ板厚	t _{f1}	20	20
	ウェブ板厚	t _{w1}	16	16
	リング高さ	H	400	400
	リング幅	B1	145	145
軸力		N	kN	111
曲げモーメント		M	kN・m	58
せん断力		Q	kN	72
断面積		A*	cm ²	159.8
断面係数		Z*	cm ³	763
せん断断面積		A _s *	cm ²	43.80
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	7.0
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	76.1
せん断応力度		τ	N/mm ²	16.5
合成応力度		σ	N/mm ²	87.9
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	235
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	235
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	135.6
許容引張応力度		f _t	N/mm ²	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c + σ_b / f_b	-	0.36
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.13
合成応力度比		σ / f_t	-	0.38

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ λ ）は、「鋼構造設計規
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-5(2) S d 地震時における第 2 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	440
		P2	kN	220
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	3000	3000
	筒身母材の有効幅	λ	125.2	125.2
	筒身板厚	t _s	10	10
	フランジ板厚(内側)	t _{f1}	20	20
	フランジ板厚(外側)	t _{f2}	19	19
	ウェブ板厚(内側)	t _{w1}	16	16
	ウェブ板厚(外側)	t _{w2}	19	19
	リング高さ	H	400	400
	リング幅(内側)	B1	145	145
	リング幅(外側)	B2	281	281
軸力		N	kN	222
曲げモーメント		M	kN・m	106
せん断力		Q	kN	121
断面積		A*	cm ²	333.3
断面係数		Z*	cm ³	3560
せん断断面積		A _s *	cm ²	145.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	6.7
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	29.8
せん断応力度		τ	N/mm ²	8.4
合成応力度		σ	N/mm ²	39.3
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	235
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	235
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	135.6
許容引張応力度		f _t	N/mm ²	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c + σ_b / f_b	-	0.16
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.07
合成応力度比		σ / f_t	-	0.17

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお，筒身母材の有効幅（ λ ）は，「鋼構造設計規
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

表 3-5(3) S d 地震時における第 4 支持点部の補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力 (P1 > P2 とする)		P1	kN	360
		P2	kN	220
材質		-	-	SS400
基準強度		F	N/mm ²	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	3000	3000
	筒身母材の有効幅	λ	125.2	125.2
	筒身板厚	t _s	10	10
	フランジ板厚(内側)	t _{f1}	20	20
	フランジ板厚(外側)	t _{f2}	16	16
	ウェブ板厚(内側)	t _{w1}	16	16
	ウェブ板厚(外側)	t _{w2}	16	16
	リング高さ	H	400	400
	リング幅(内側)	B1	145	145
	リング幅(外側)	B2	284	284
軸力		N	kN	183
曲げモーメント		M	kN・m	90
せん断力		Q	kN	108
断面積		A*	cm ²	305.3
断面係数		Z*	cm ³	3310
せん断断面積		A _s *	cm ²	129.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	6.0
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	27.2
せん断応力度		τ	N/mm ²	8.4
合成応力度		σ	N/mm ²	36.3
許容圧縮応力度		f _c	N/mm ²	235
許容曲げ応力度		f _b	N/mm ²	235
許容せん断応力度		f _s	N/mm ²	135.6
許容引張応力度		f _t	N/mm ²	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c $+ \sigma_b / f_b$	-	0.15
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.07
合成応力度比		σ / f_t	-	0.16

注記＊：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお，筒身母材の有効幅（ λ ）は，「鋼構造設計規
準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 (E / F)^{1/2} \cdot t_s$$

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4

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。

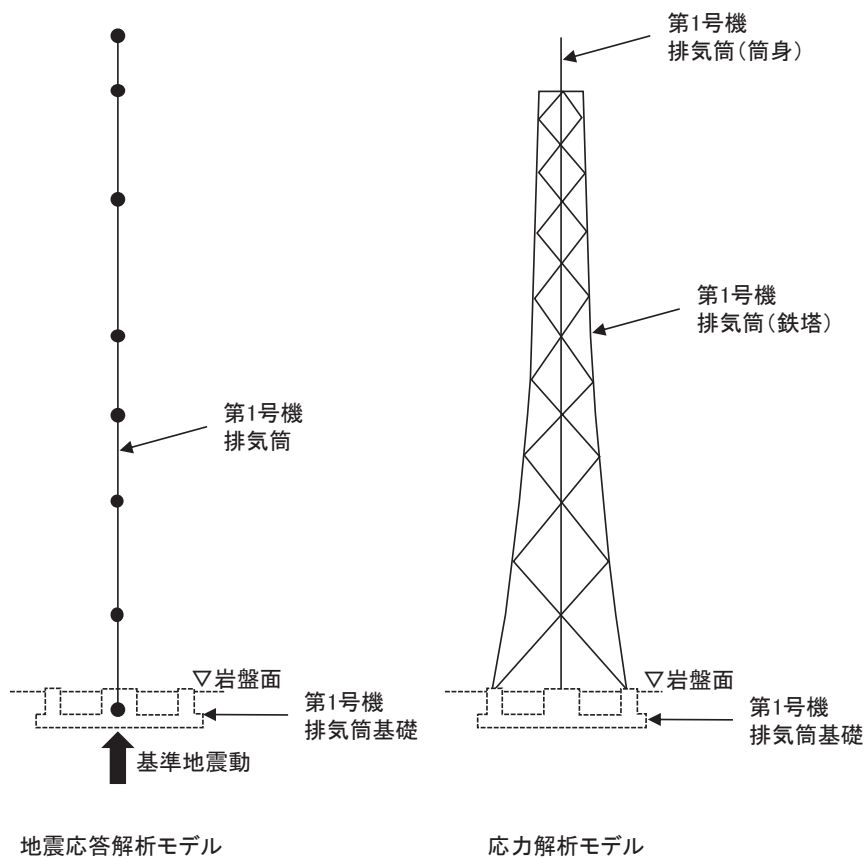


図 2-1 建設時工認（認可）の解析モデル

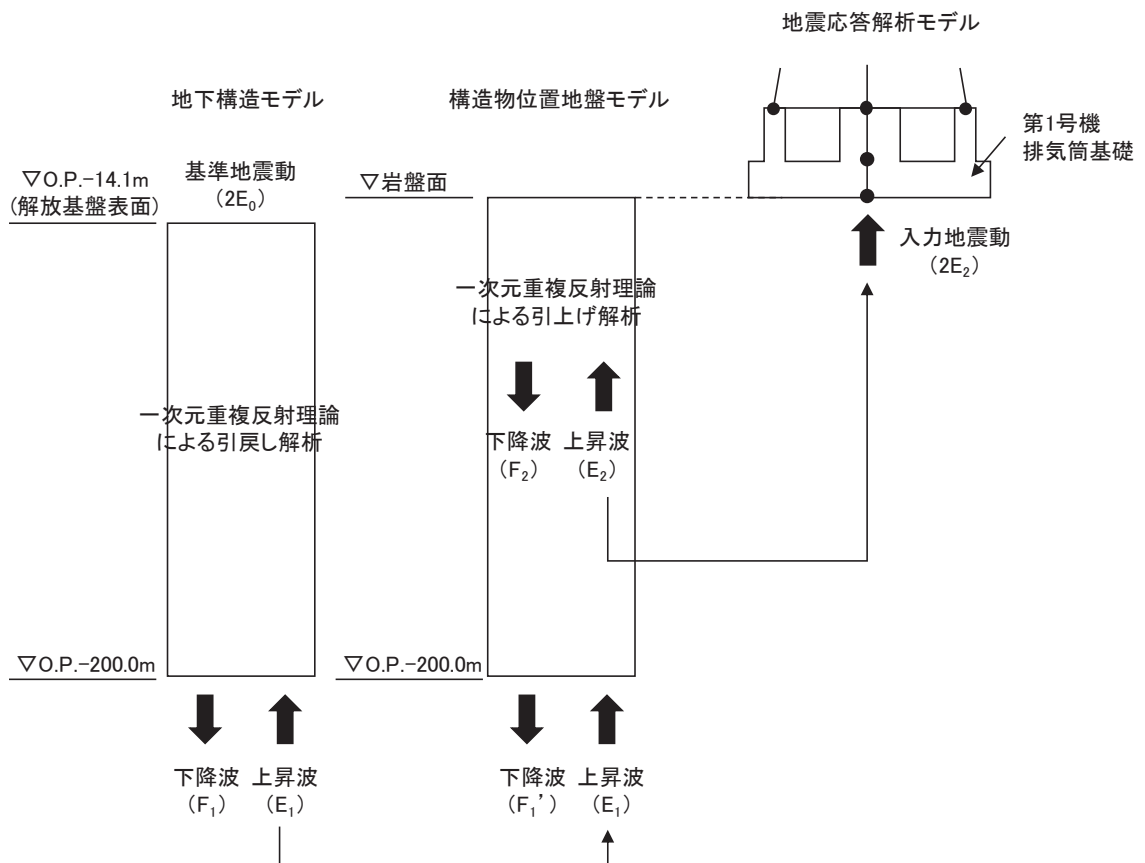


図 2-2 今回工認の入力地震動算定法

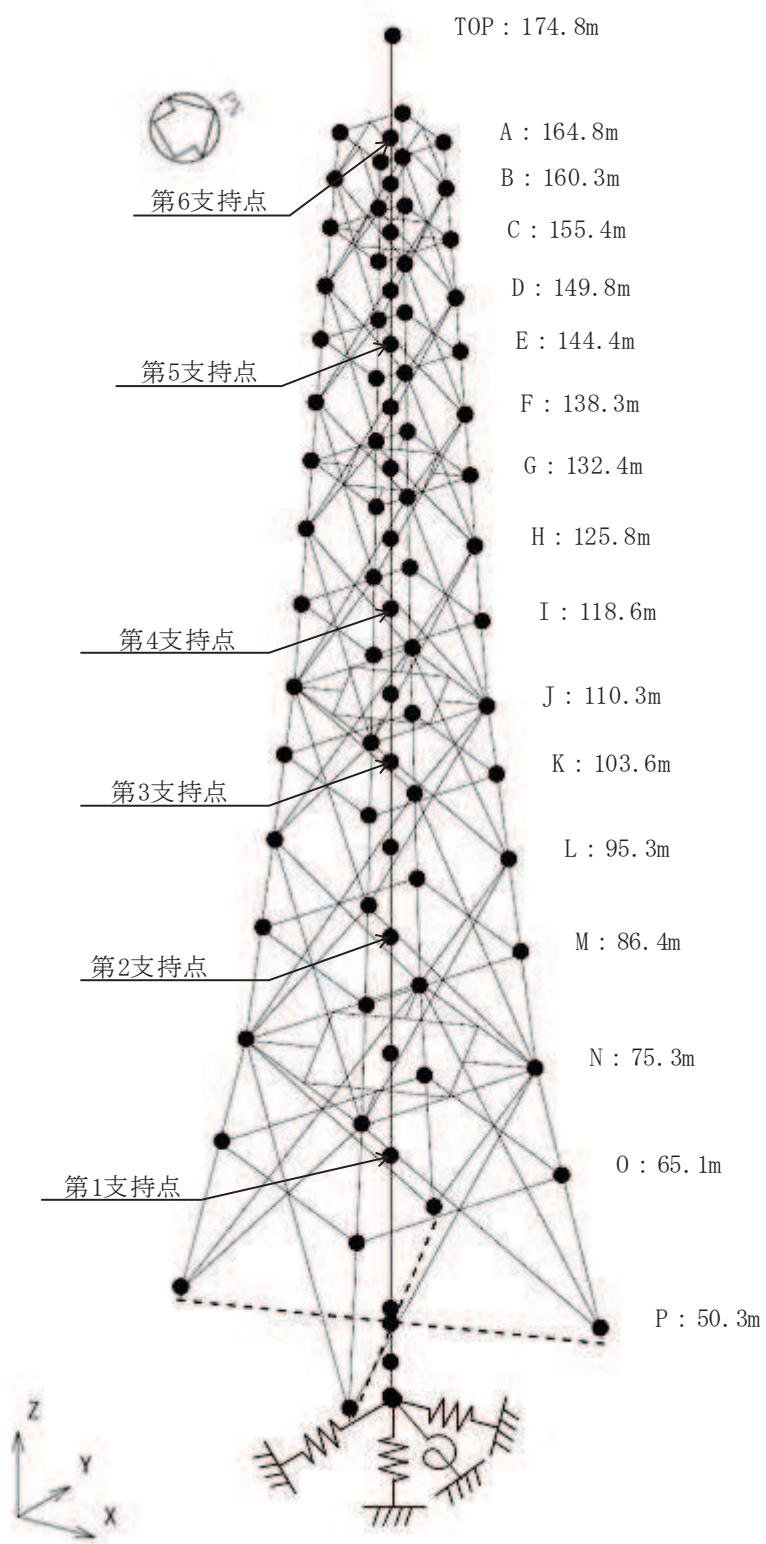


図 2-3 今回工認の地震応答解析モデル

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

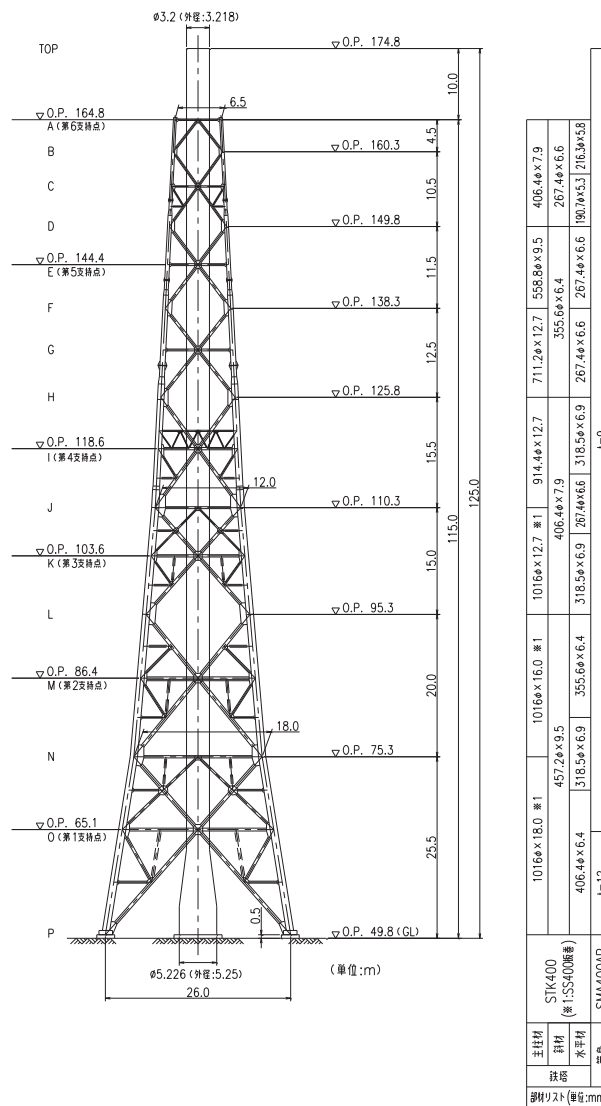
- ・ 第 1 号機排気筒基礎上端レベル (O.P. 50.3m) より上部の範囲
- ・ 筒身部, 鉄塔部 (支柱材, 斜材, 水平材), 基礎部

○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)

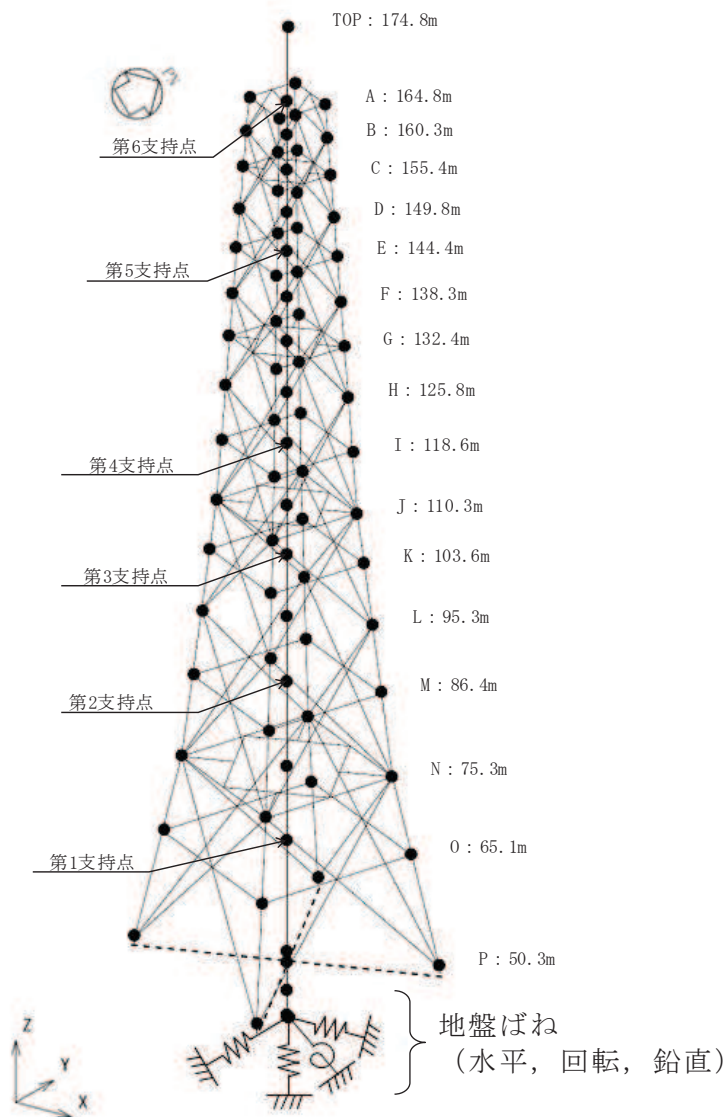
モデル概要 (2/2)

○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。



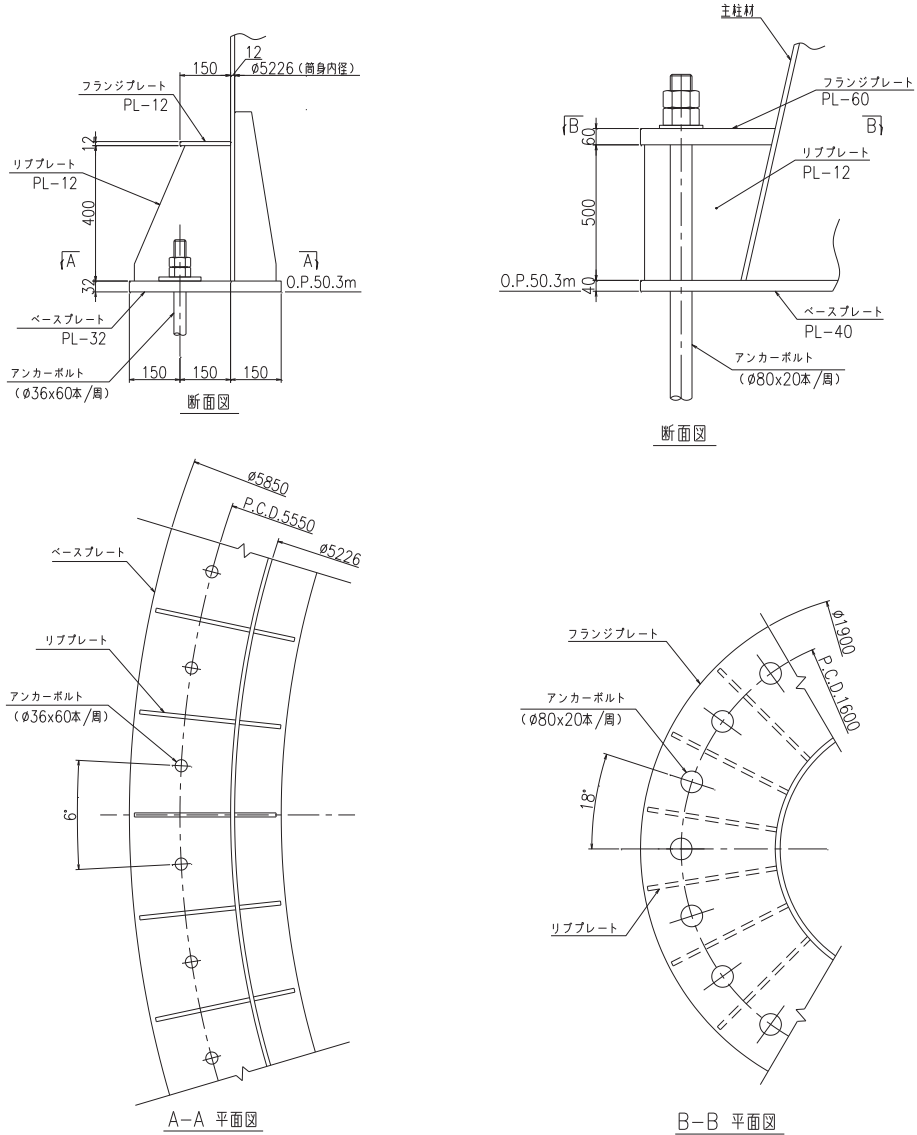
解析モデル

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。

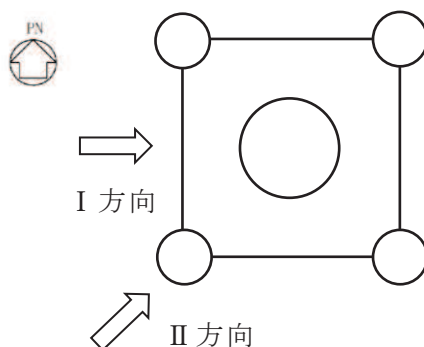


図2-1 加振方向の説明

表2-2 筒身の評価結果

高さ O.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

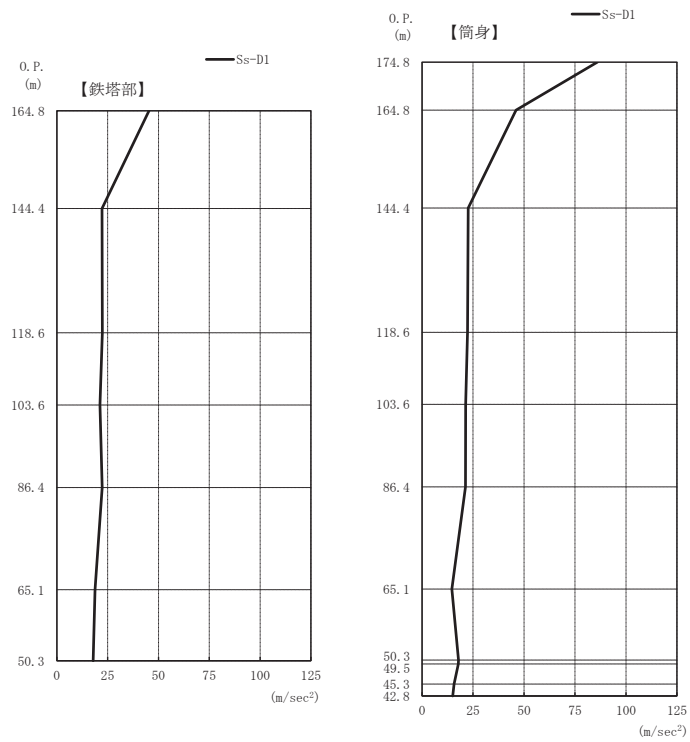
表2-3 主柱材の評価結果

高さ O.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

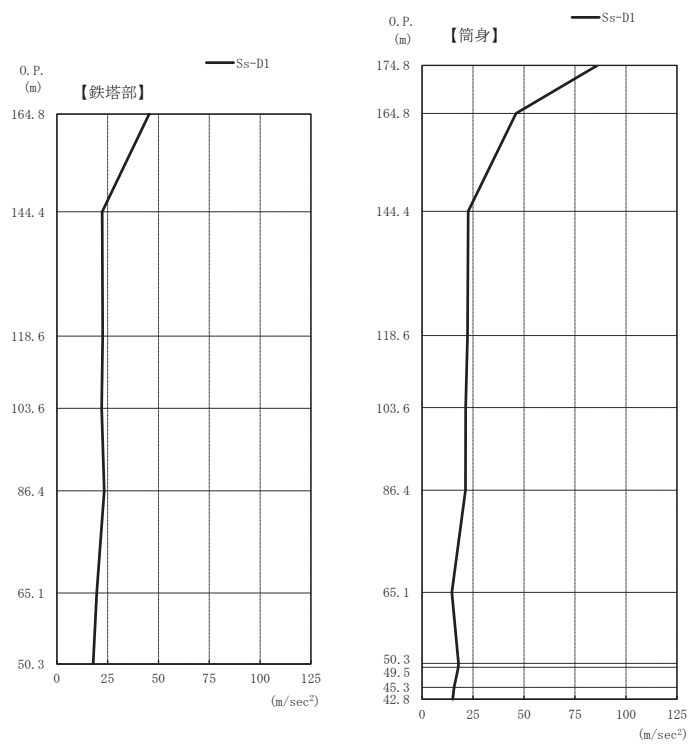
2.3 第1号機排気筒の地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

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。

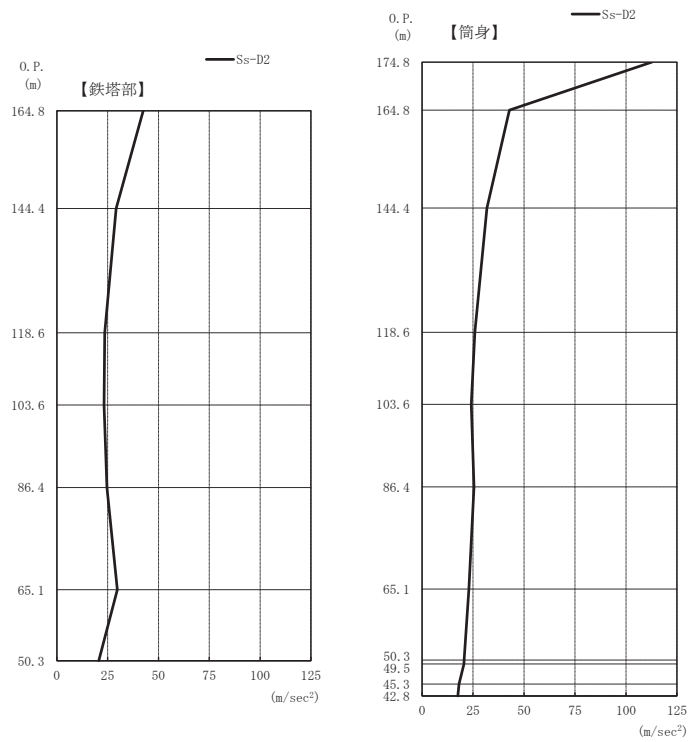


(a) S s - D 1 (I 方向)

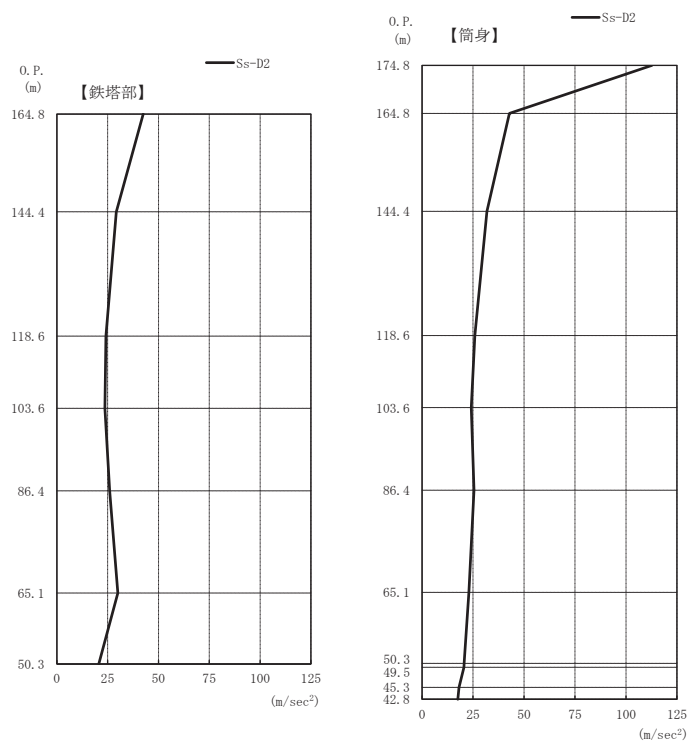


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

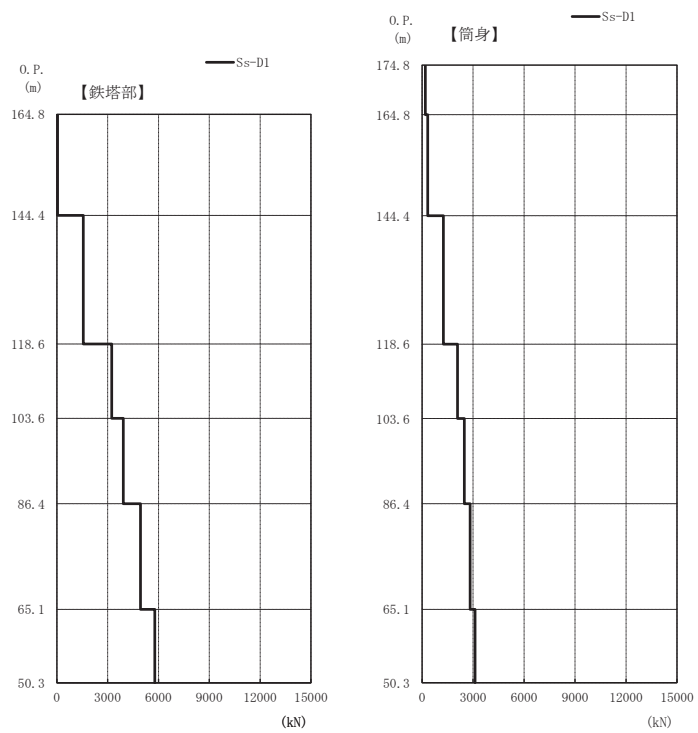


(c) S s - D 2 (I 方向)

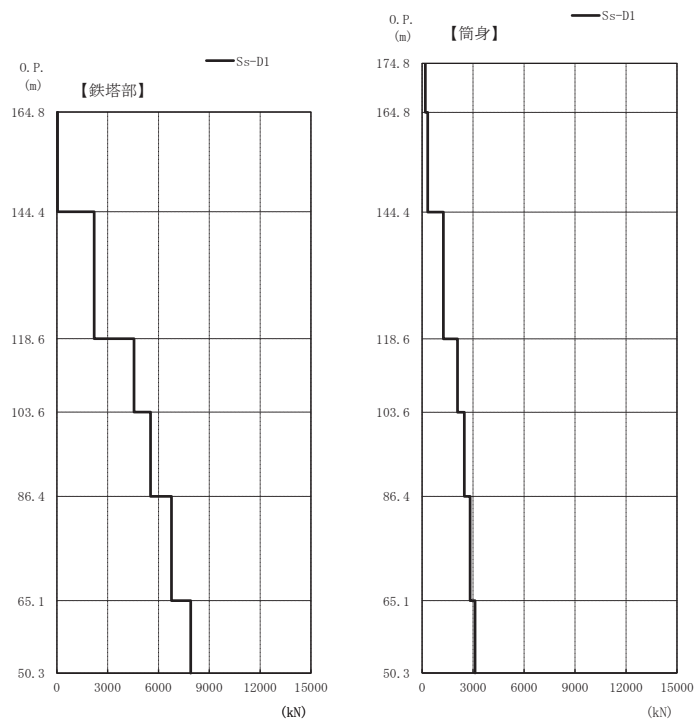


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

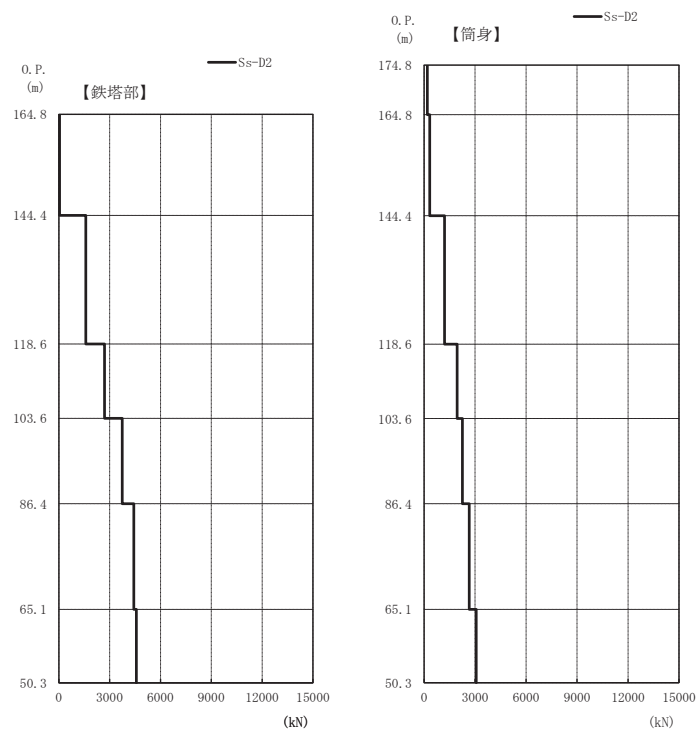


(a) S s - D 1 (I 方向)

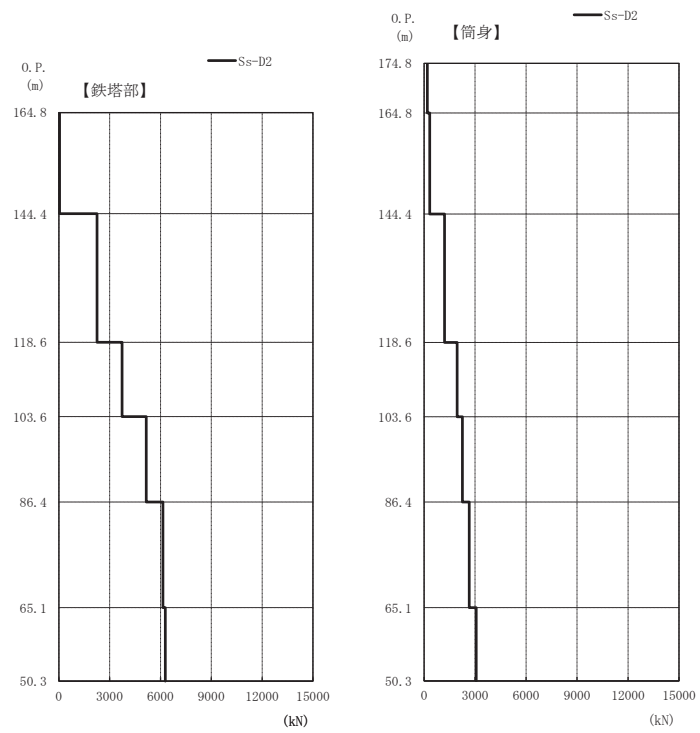


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

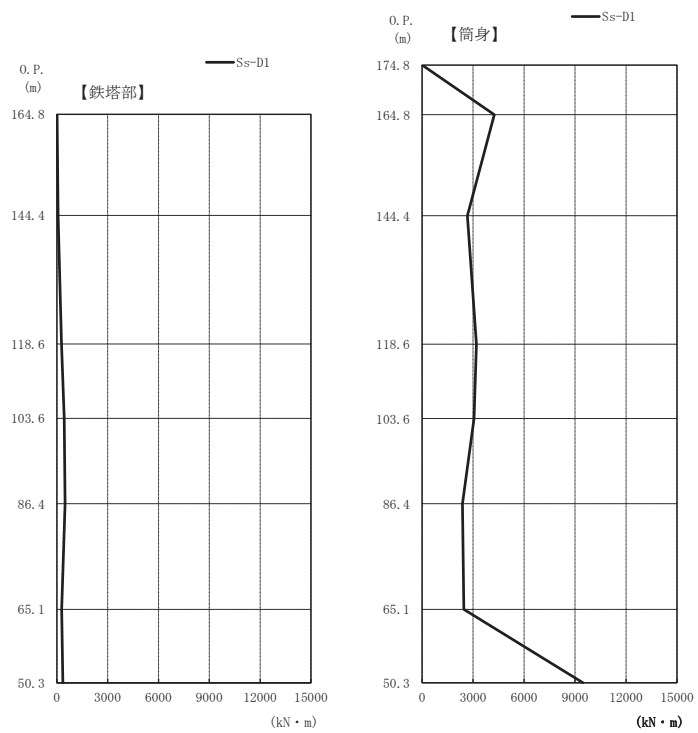


(c) S s - D 2 (I 方向)

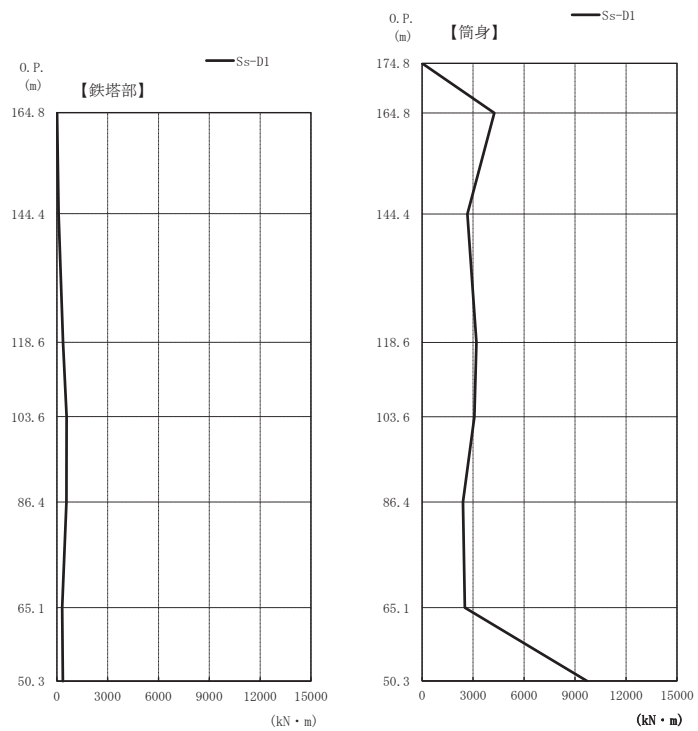


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

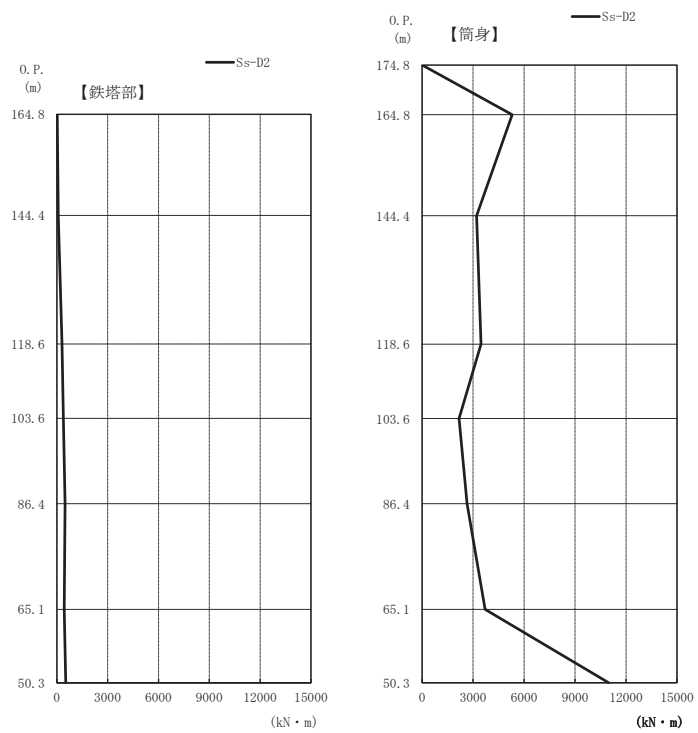


(a) S s - D 1 (I 方向)

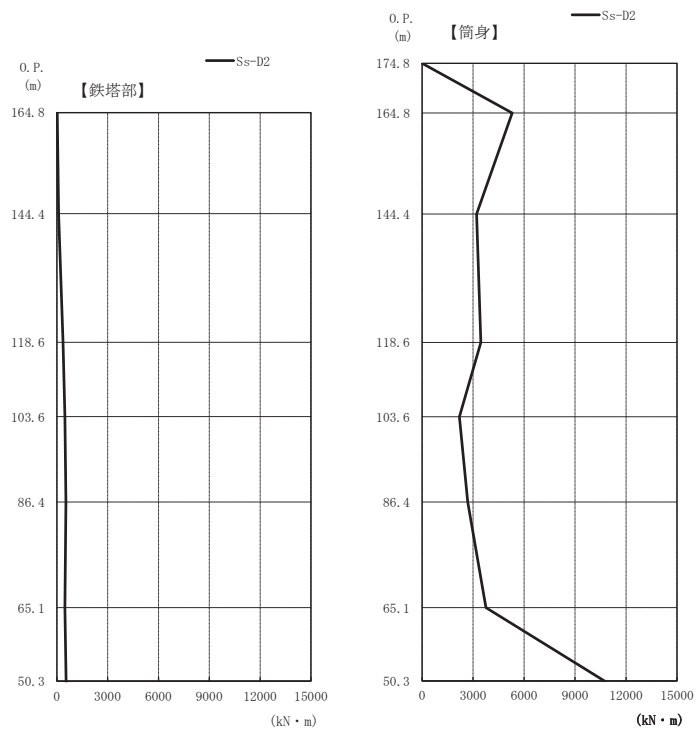


(b) S s - D 1 (II 方向)

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)

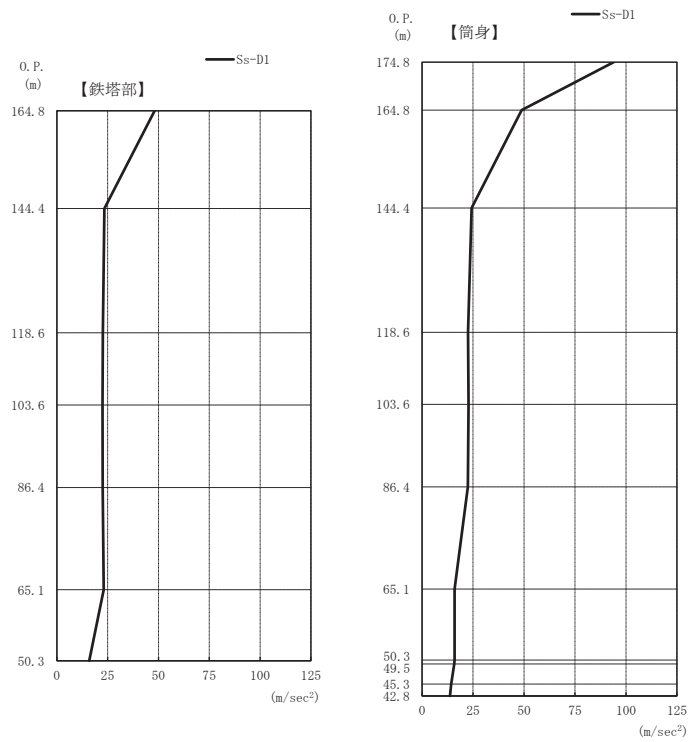


(c) S s - D 2 (I 方向)

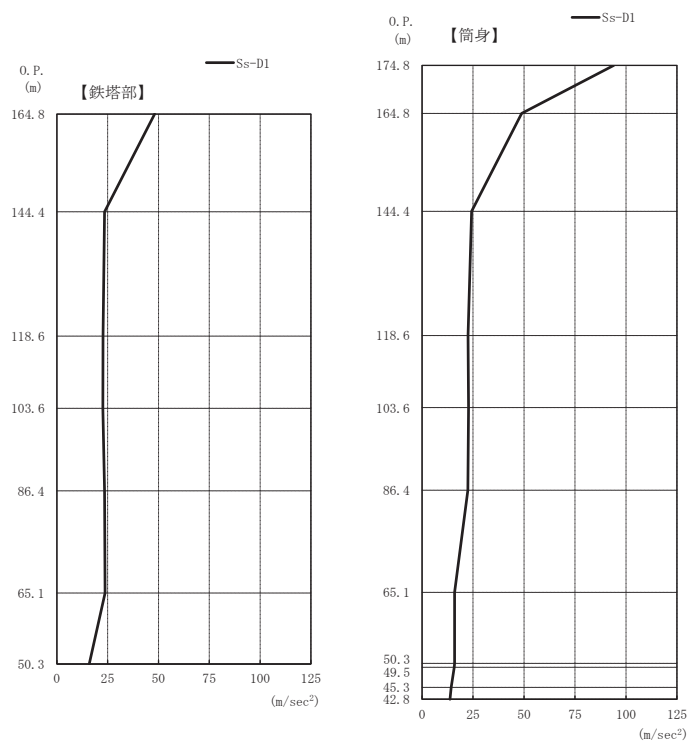


(d) S s - D 2 (II 方向)

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)

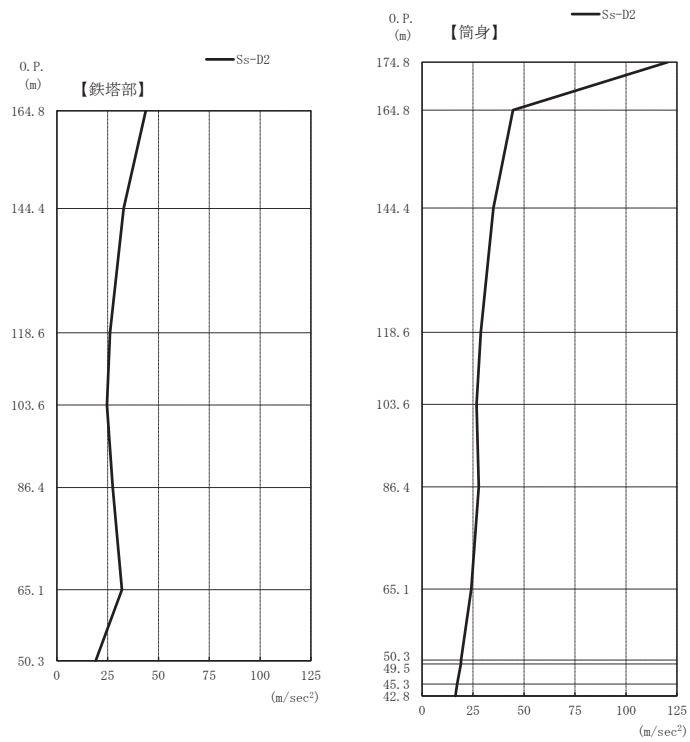


(a) S s - D 1 (I 方向)

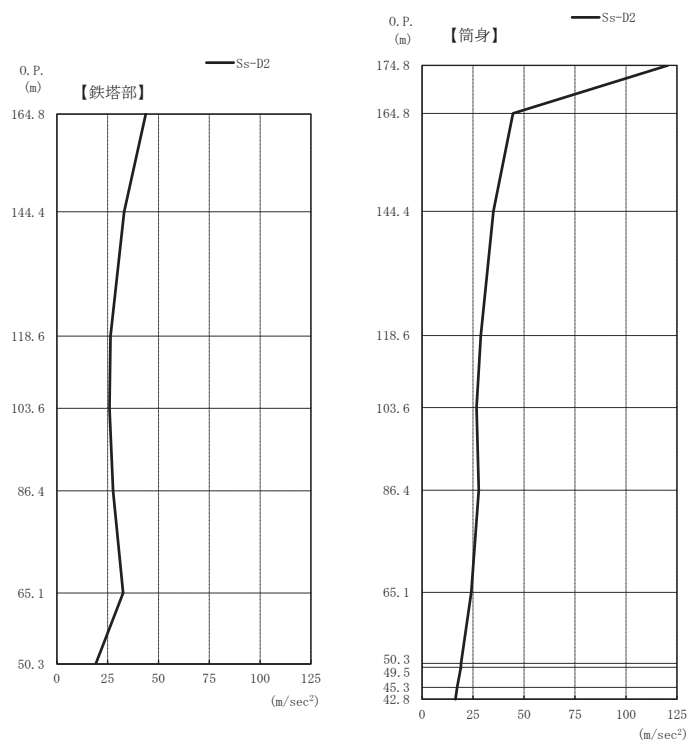


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

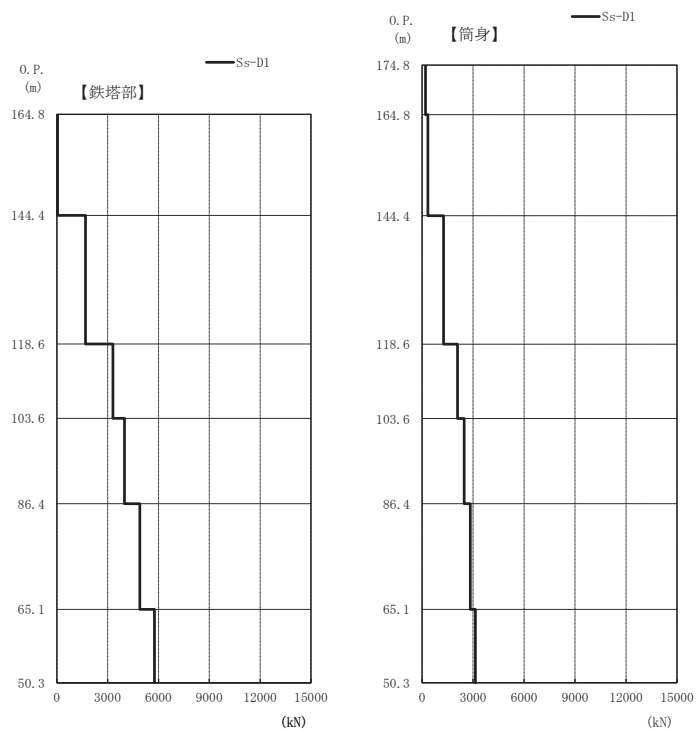


(c) S s - D 2 (I 方向)

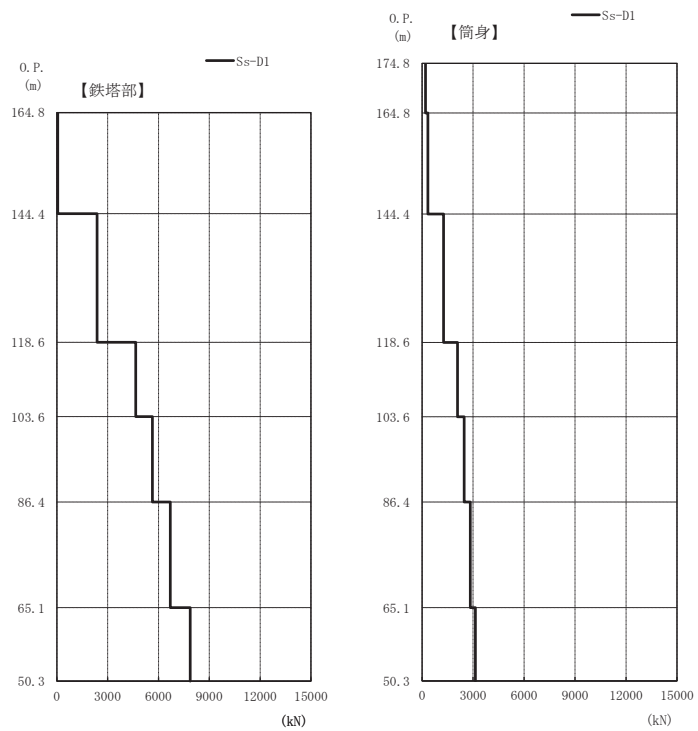


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

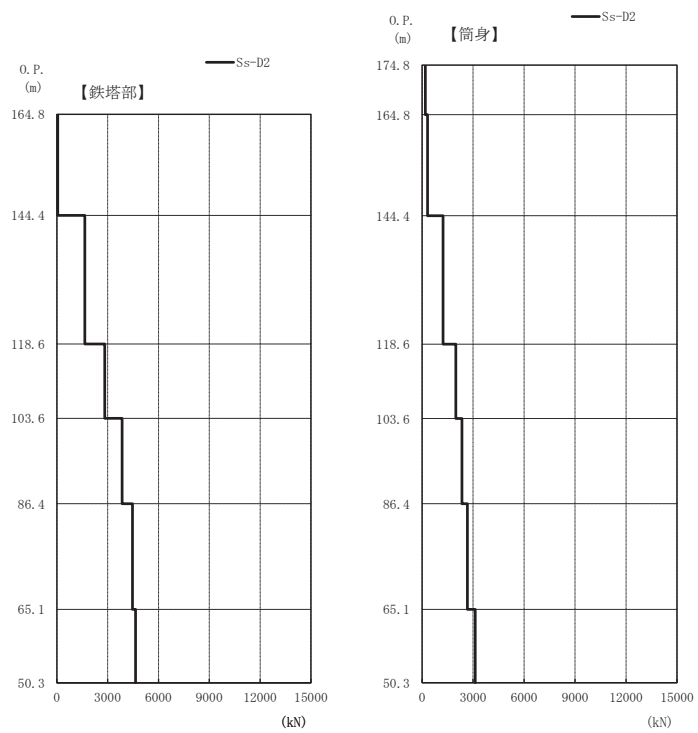


(a) S s - D 1 (I 方向)

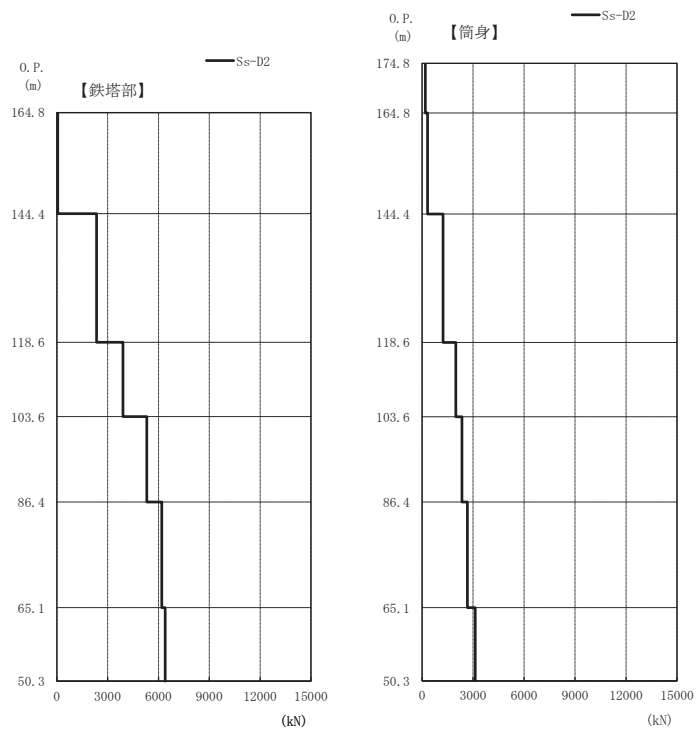


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

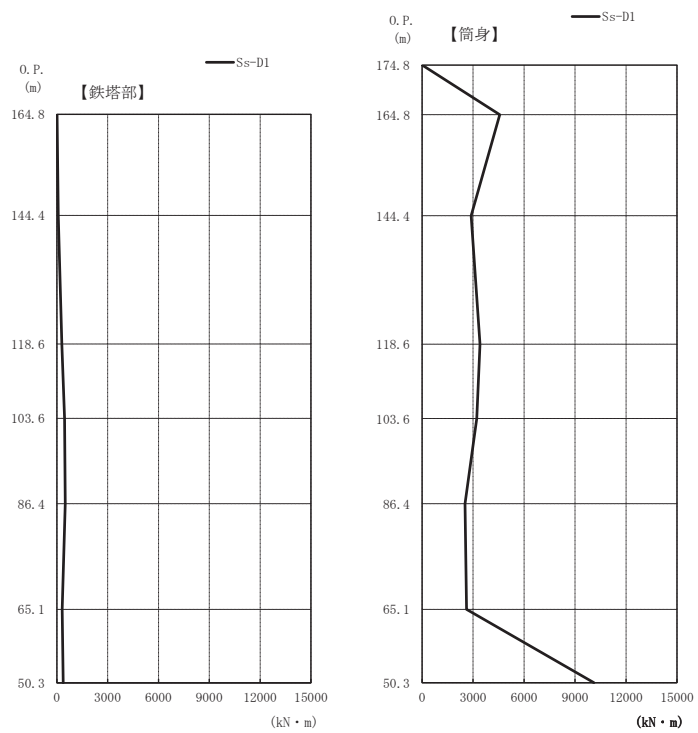


(c) S s - D 2 (I 方向)

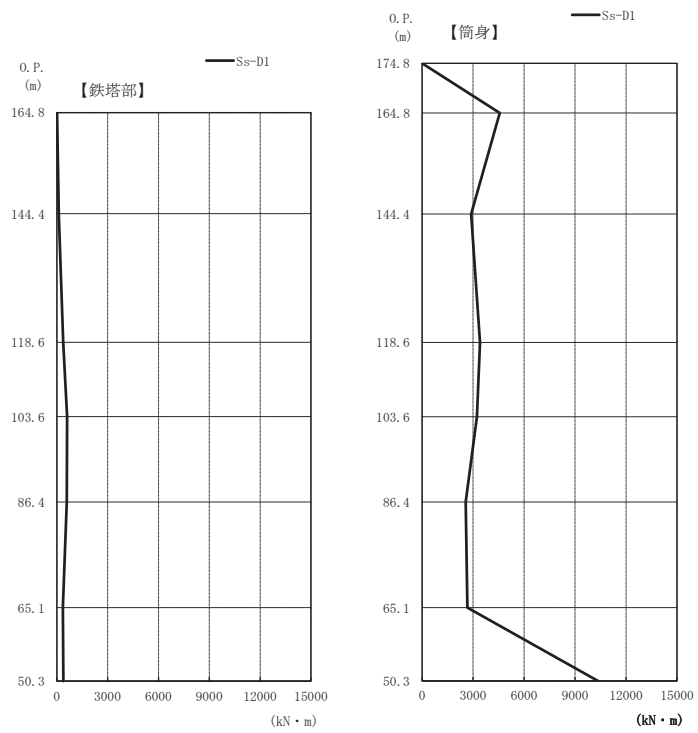


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

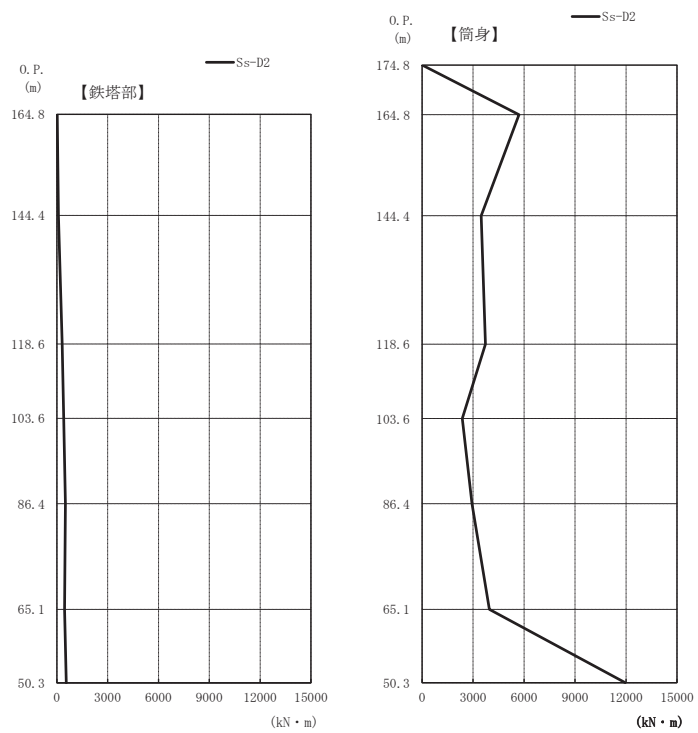


(a) S s - D 1 (I 方向)

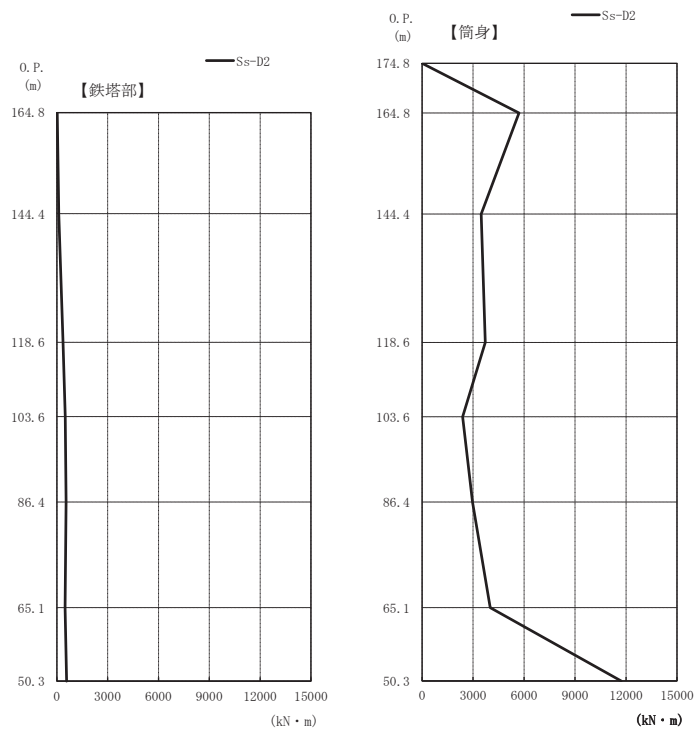


(b) S s - D 1 (II 方向)

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)

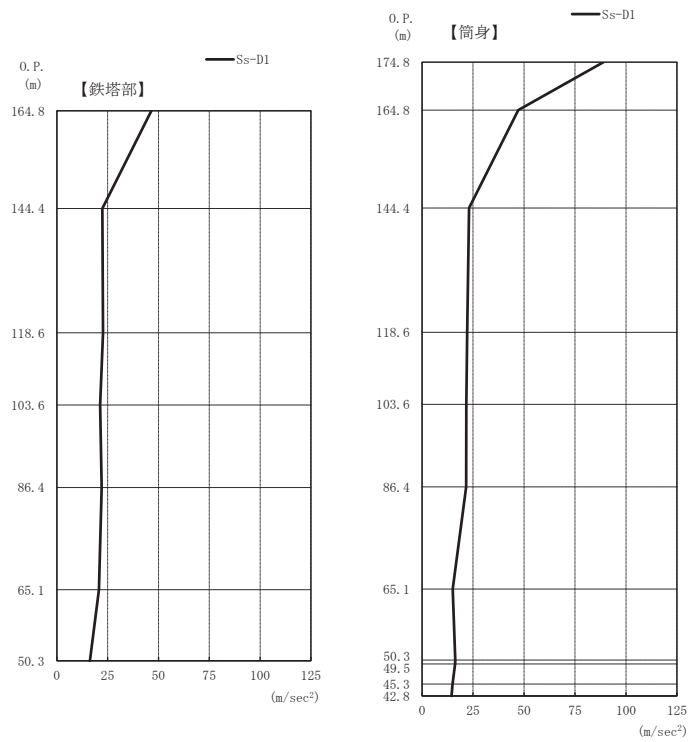


(c) S s - D 2 (I 方向)

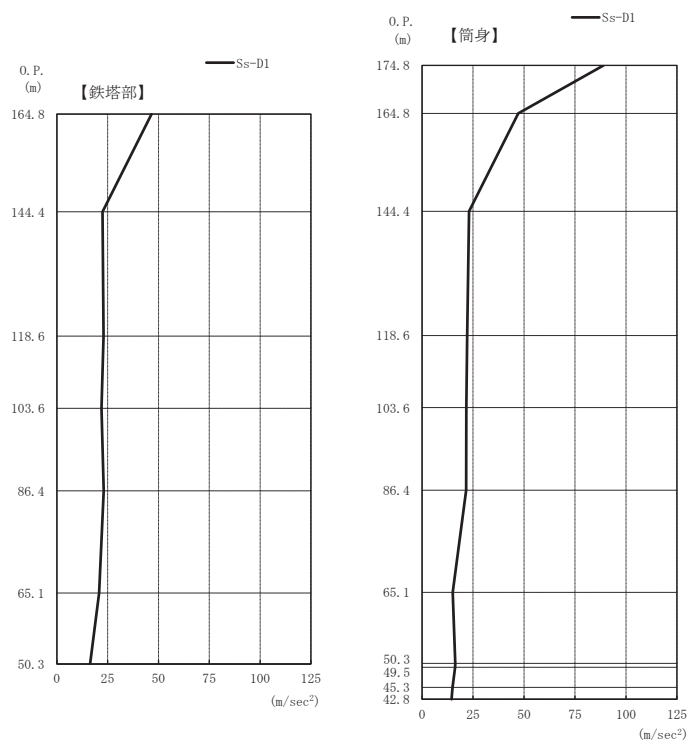


(d) S s - D 2 (II 方向)

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)

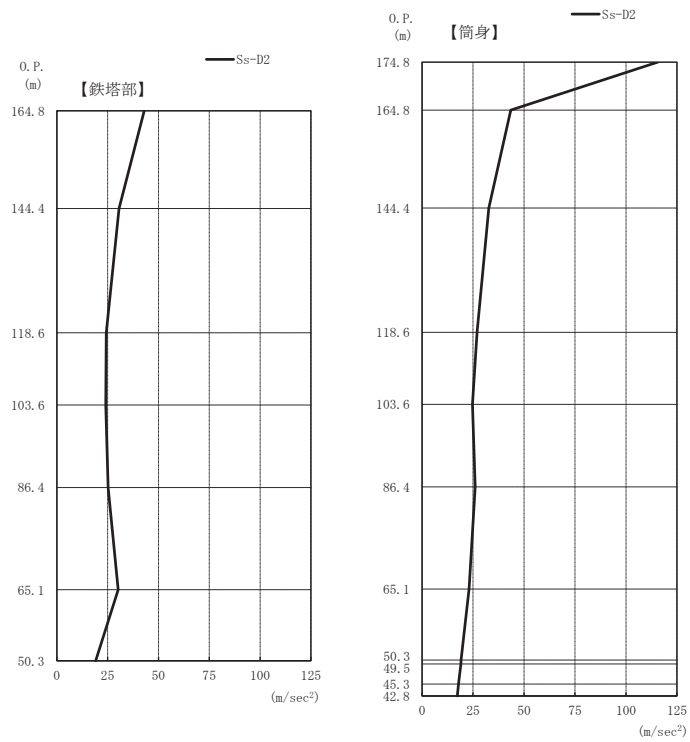


(a) S s - D 1 (I 方向)

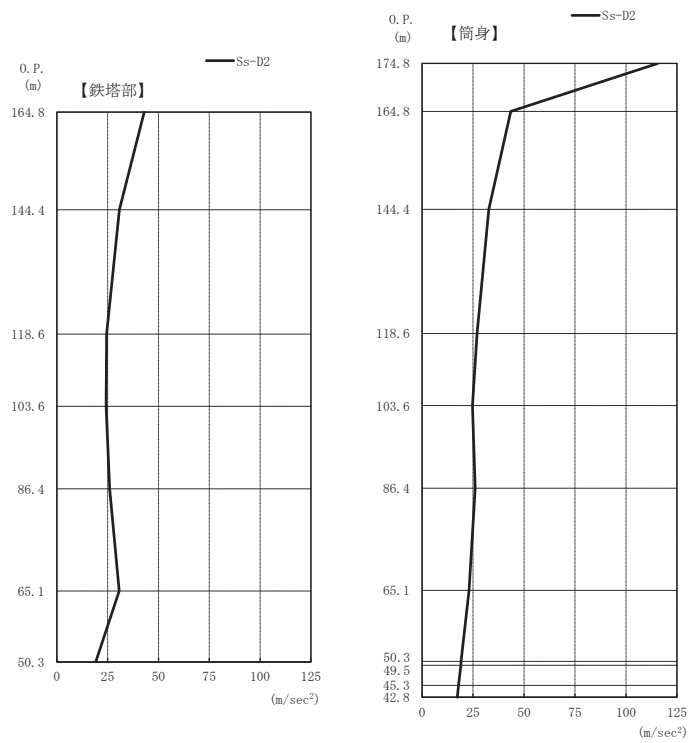


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

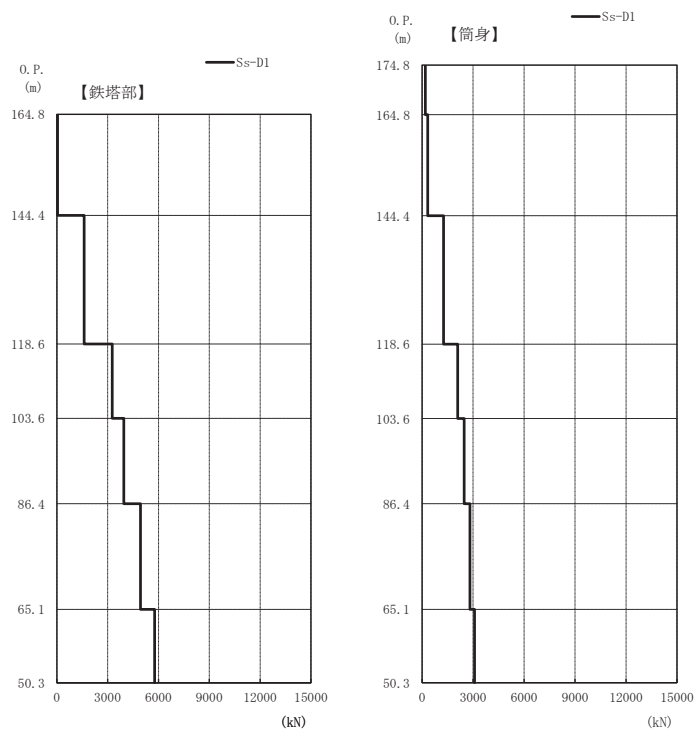


(c) S s - D 2 (I 方向)

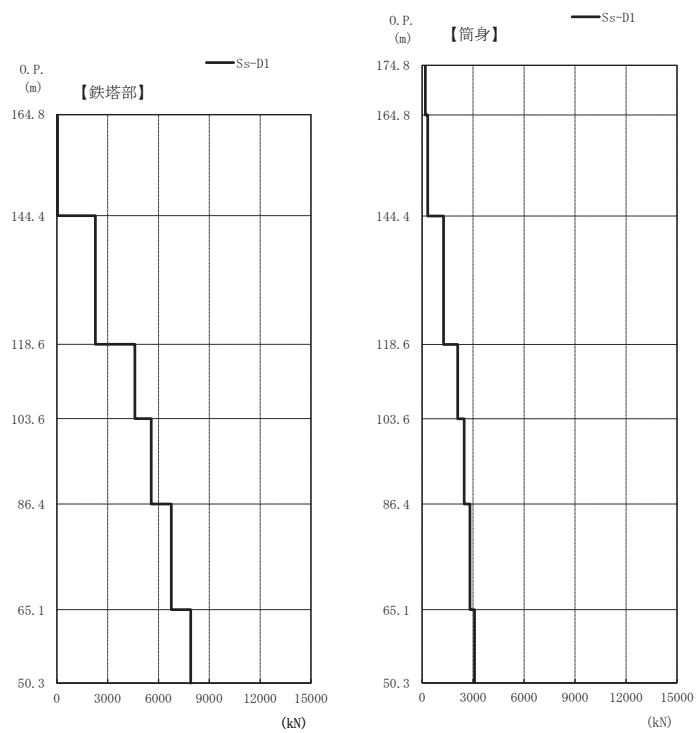


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

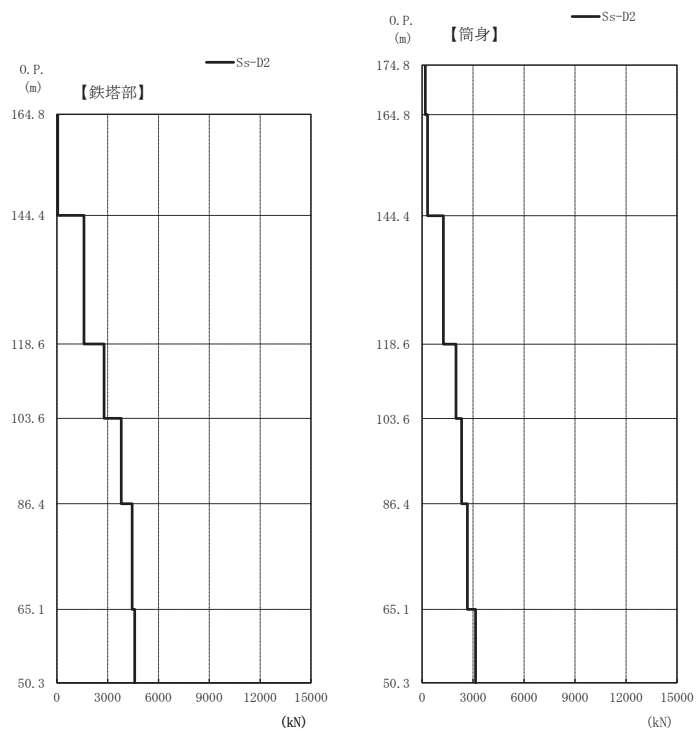


(a) S s - D 1 (I 方向)

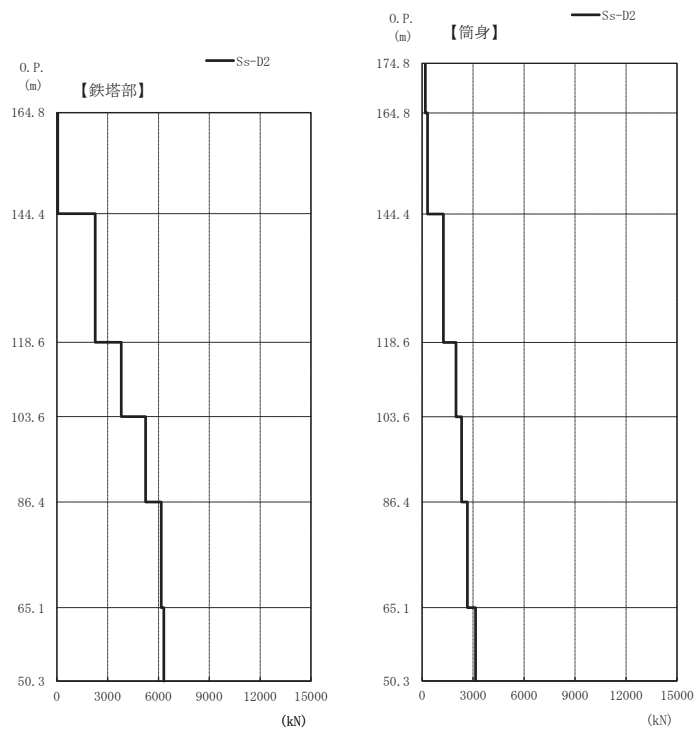


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

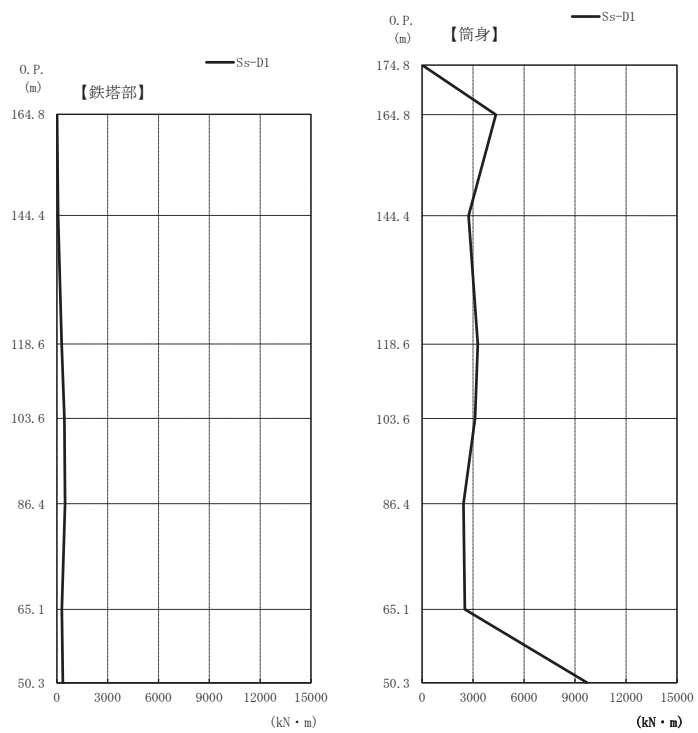


(c) S s - D 2 (I 方向)

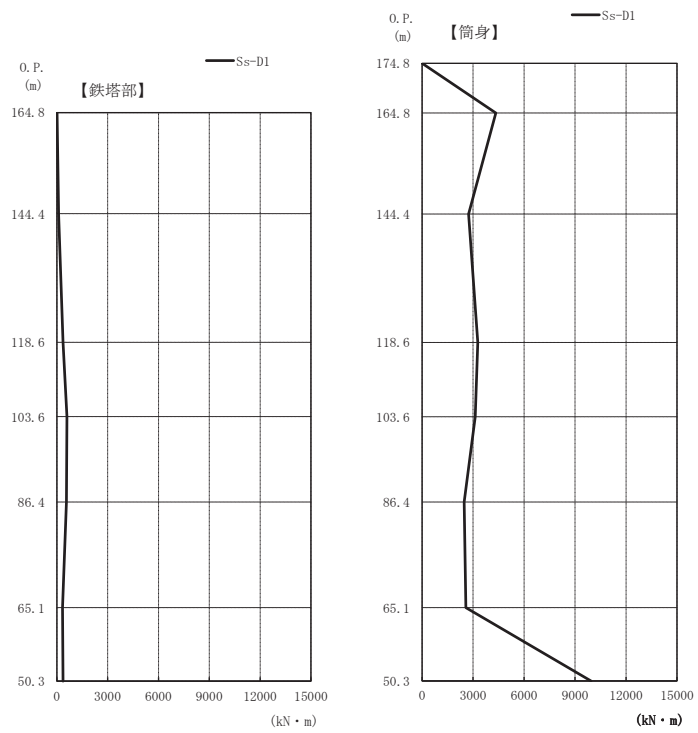


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

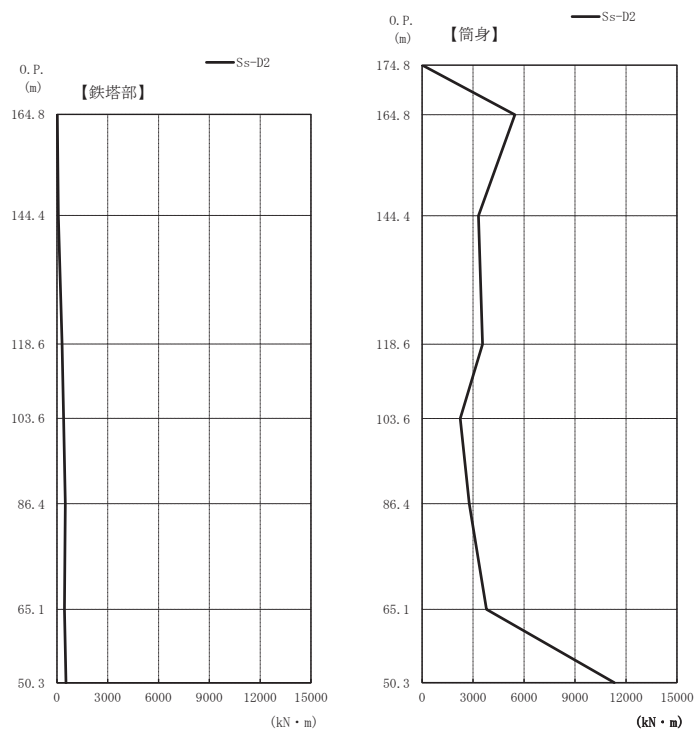


(a) S s - D 1 (I 方向)

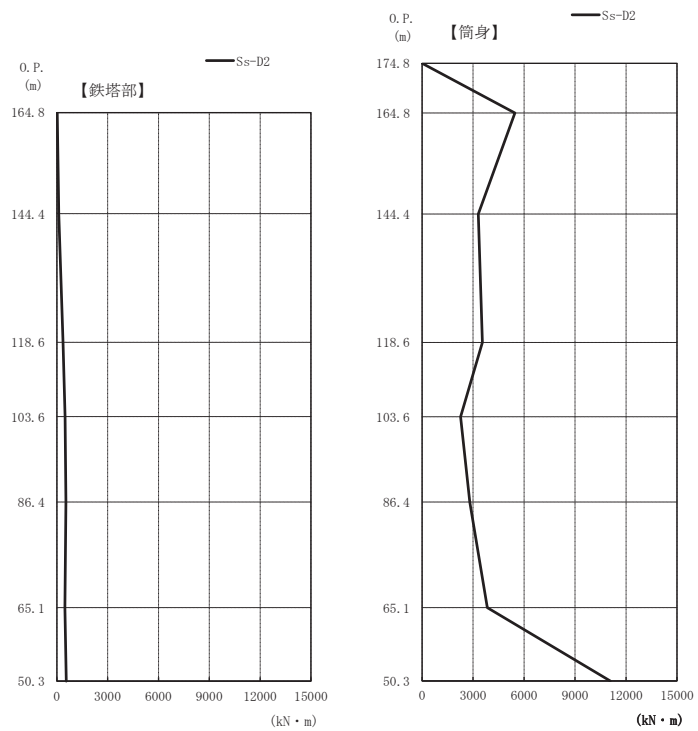


(b) S s - D 1 (II 方向)

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)

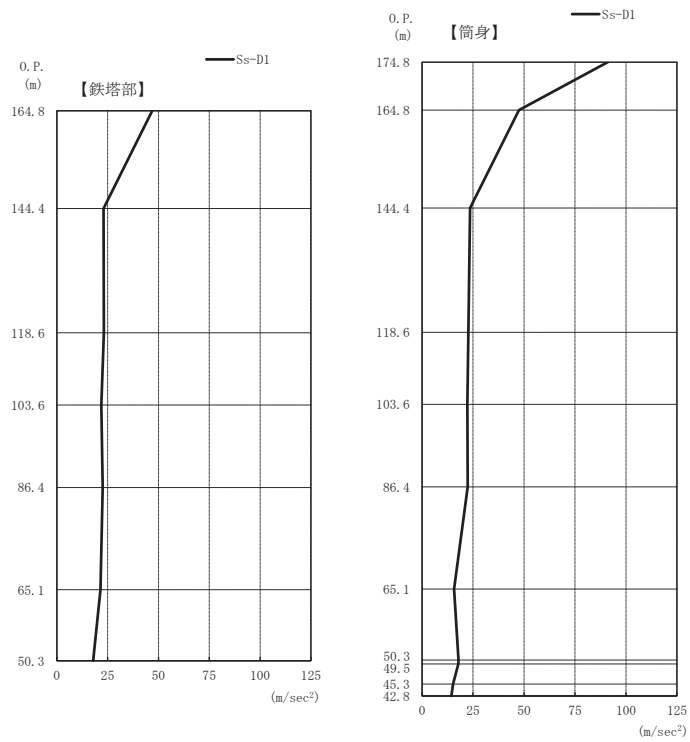


(c) S s - D 2 (I 方向)

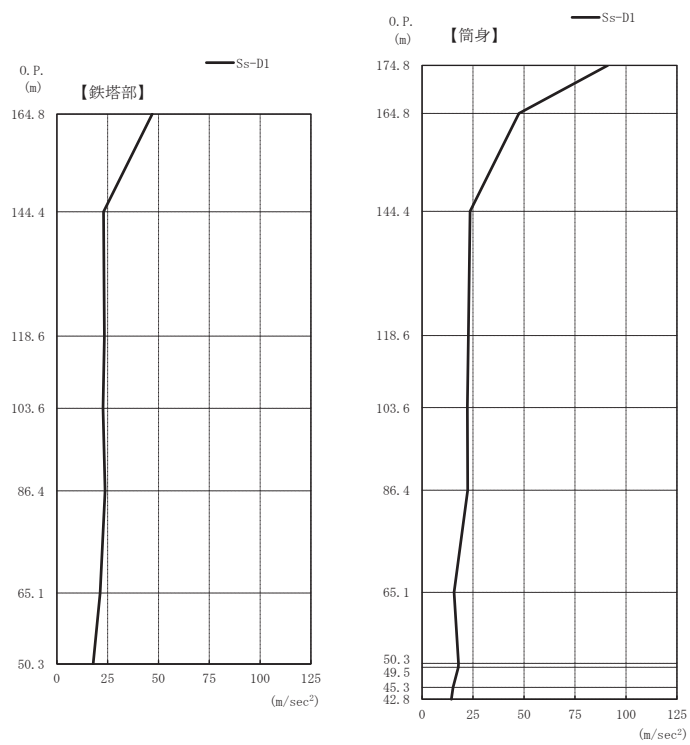


(d) S s - D 2 (II 方向)

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)

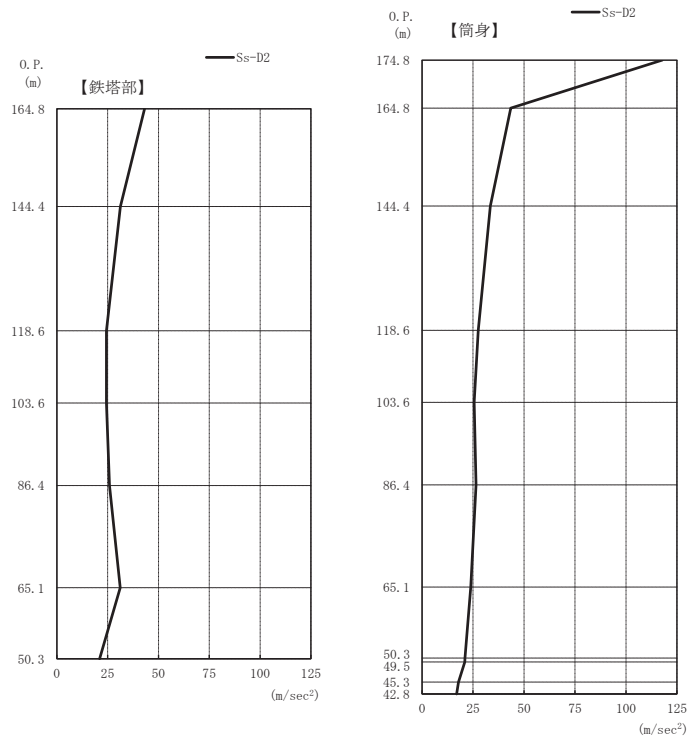


(a) S s - D 1 (I 方向)

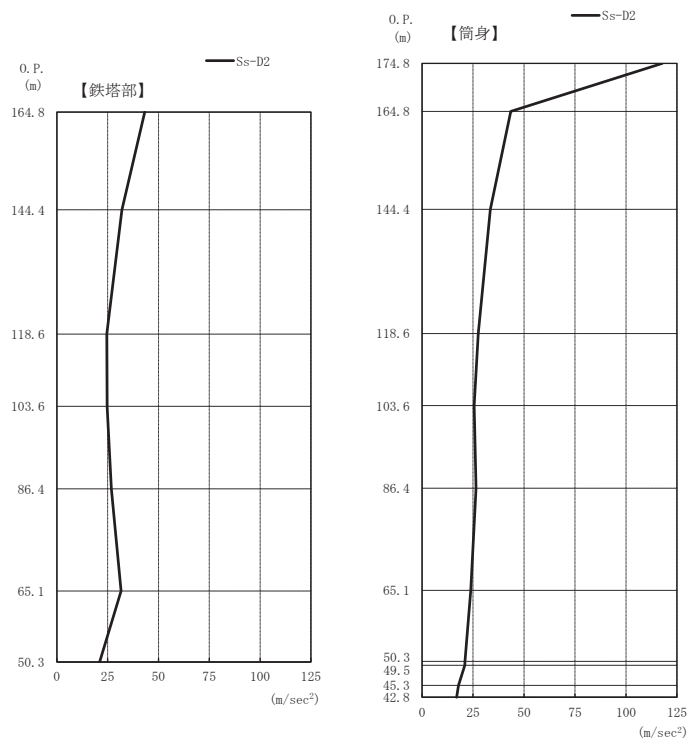


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

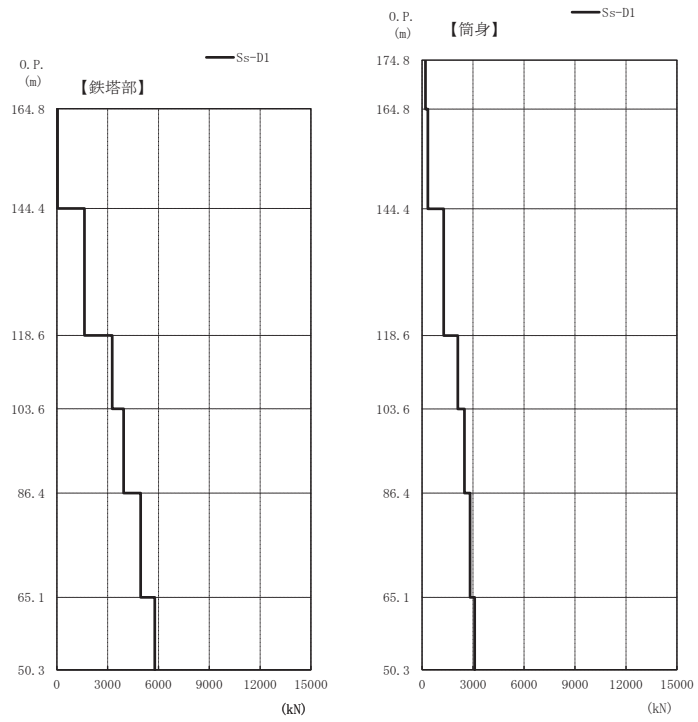


(c) S s - D 2 (I 方向)

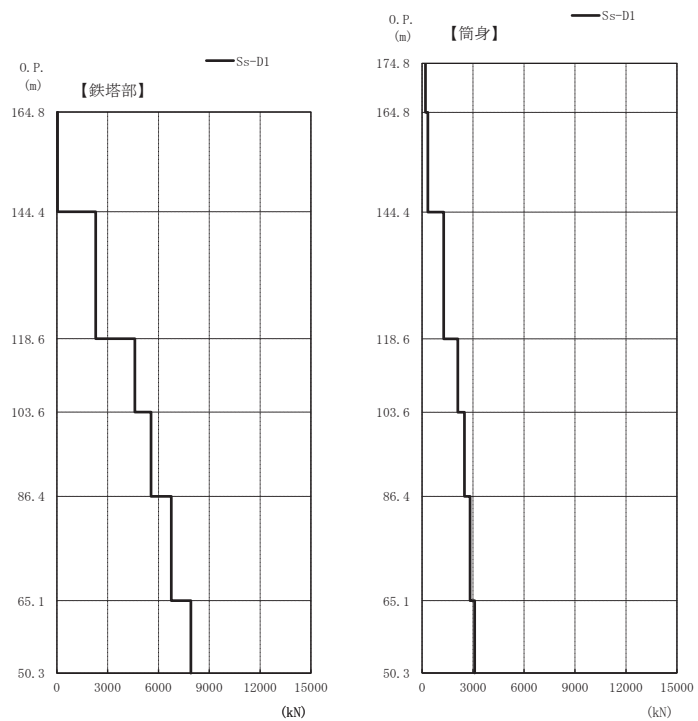


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

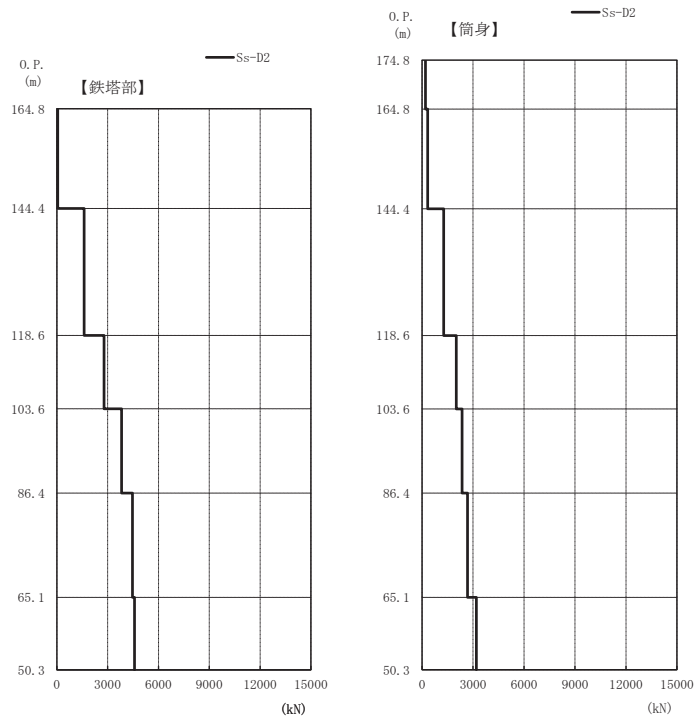


(a) S s - D 1 (I 方向)

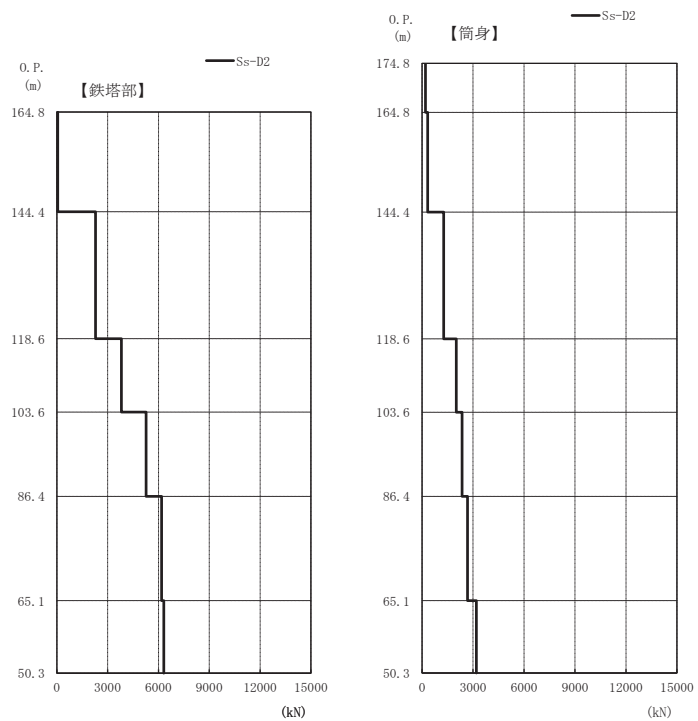


(b) S s - D 1 (II 方向)

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

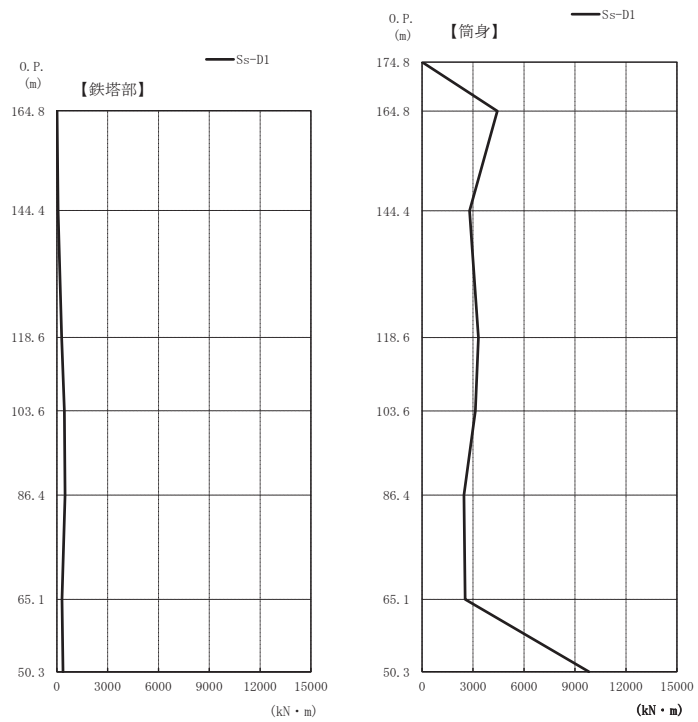


(c) S s - D 2 (I 方向)

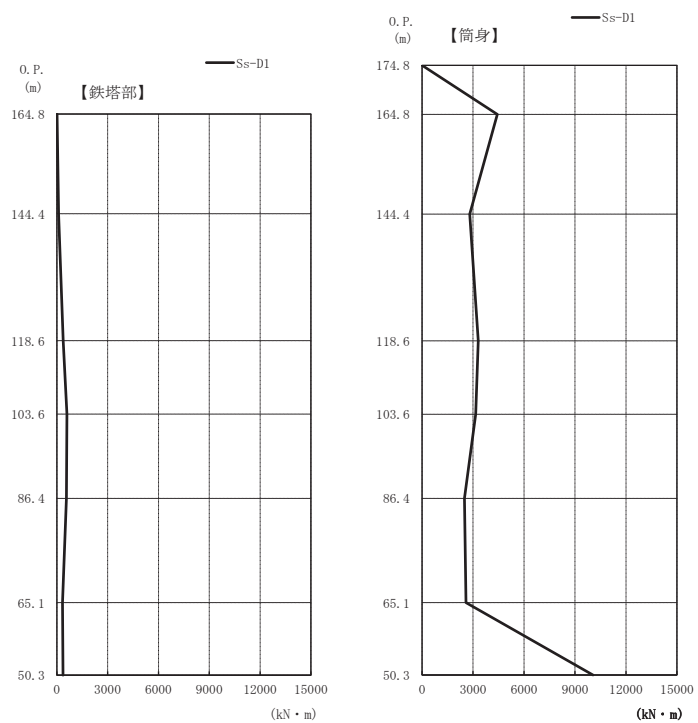


(d) S s - D 2 (II 方向)

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

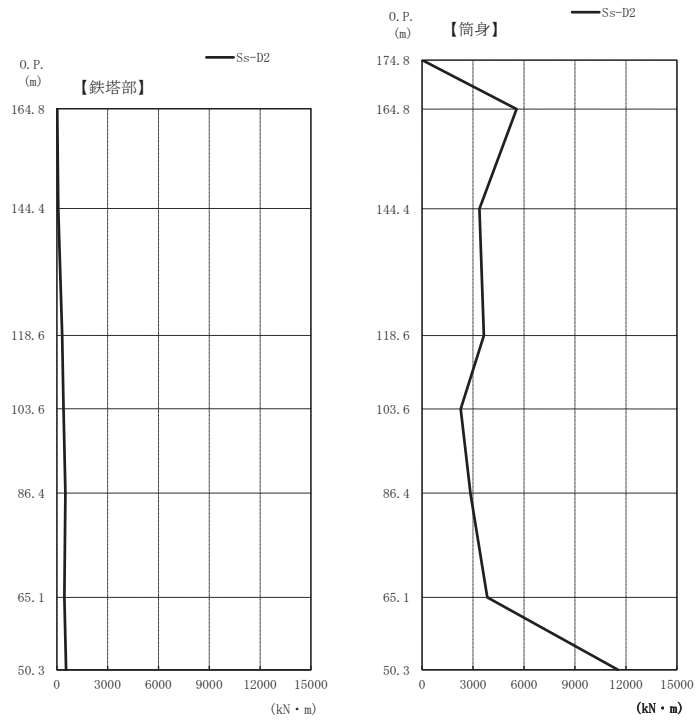


(a) S s - D 1 (I 方向)

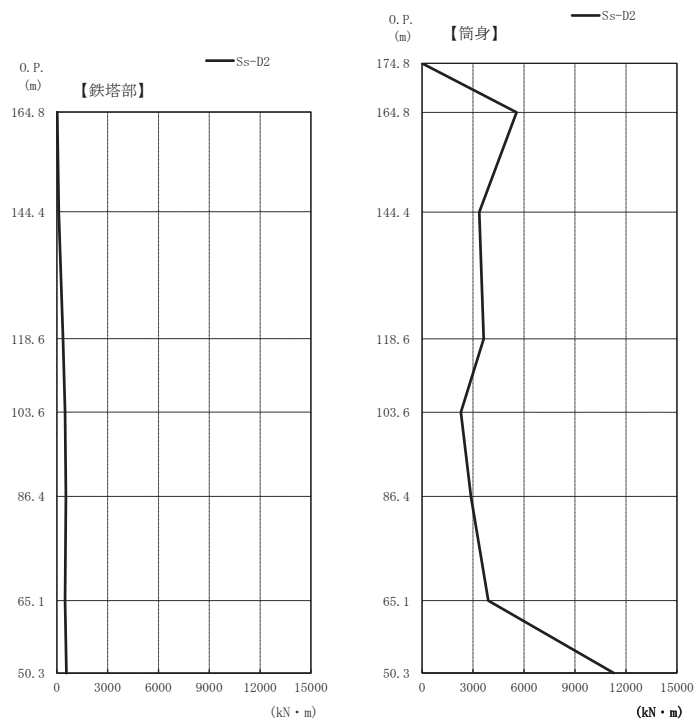


(b) S s - D 1 (II 方向)

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 ($kN \cdot m$)
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。

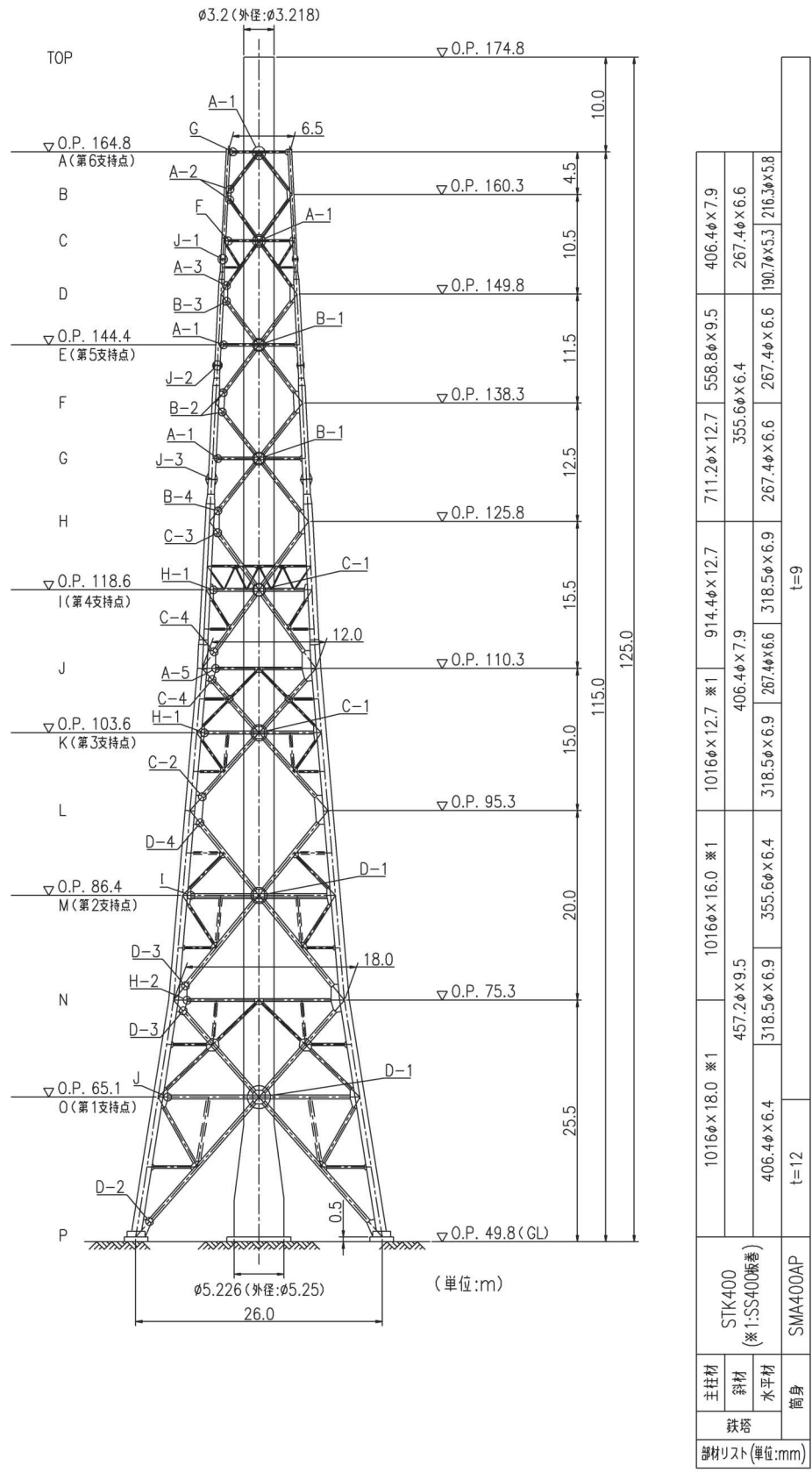


図 2-1 接合部の位置

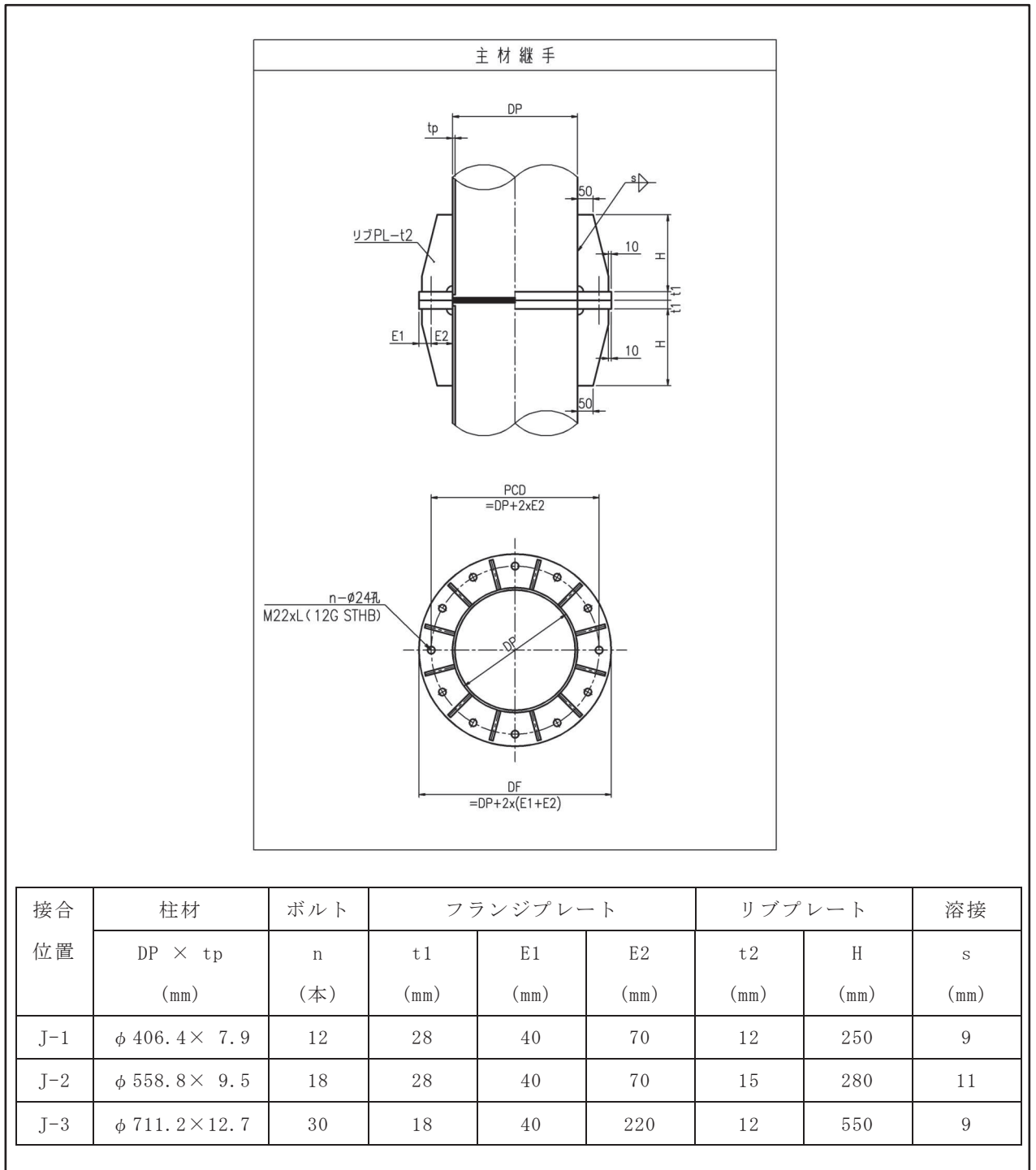


図 2-2 主柱材の接合部詳細

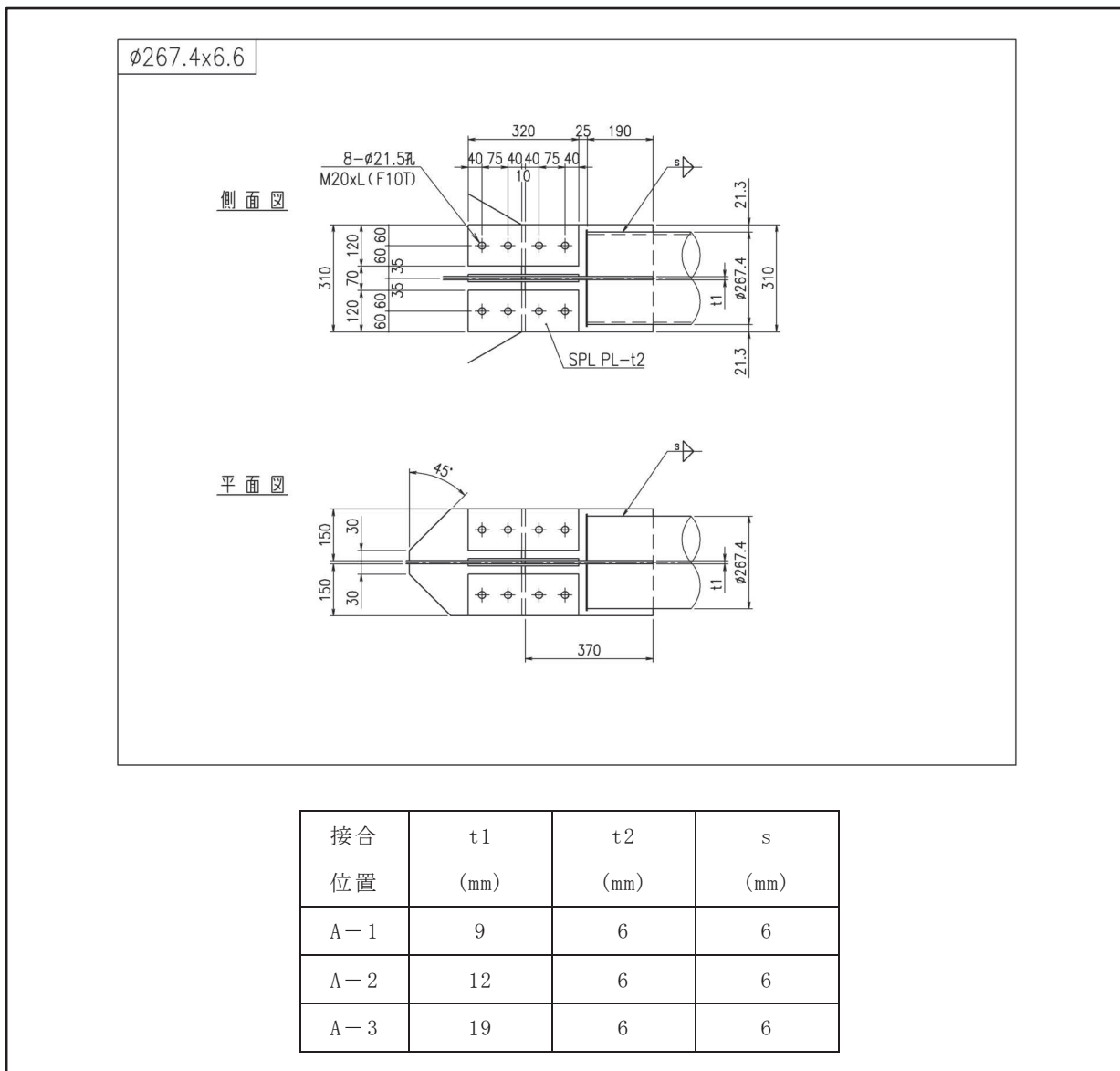
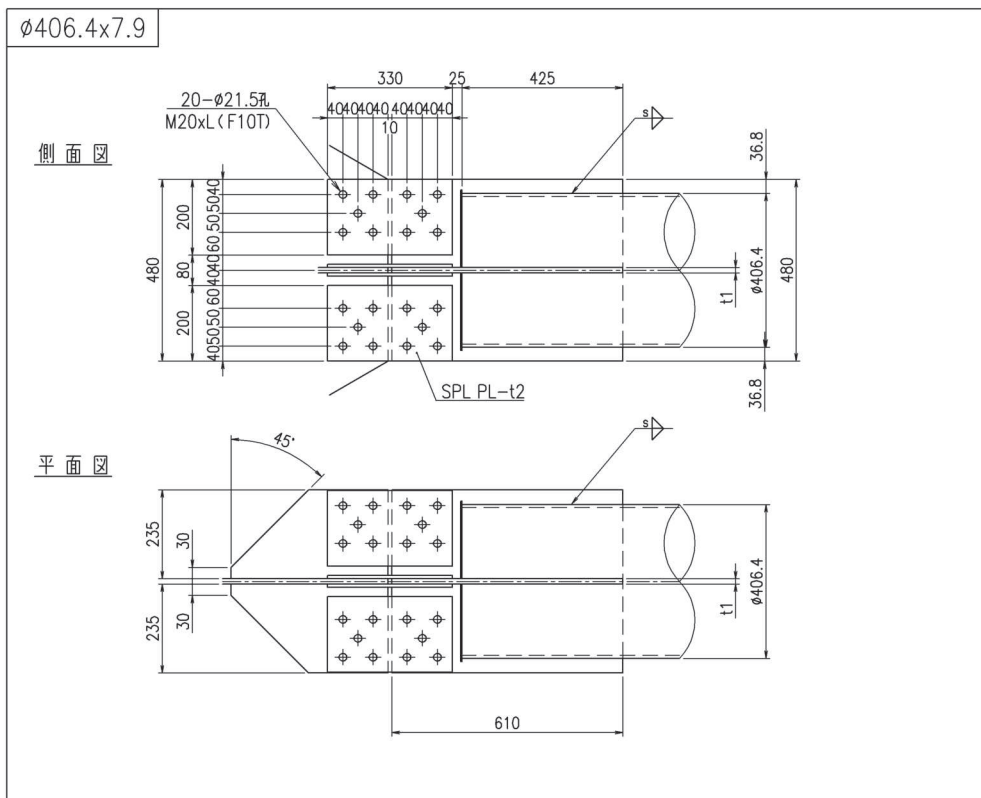
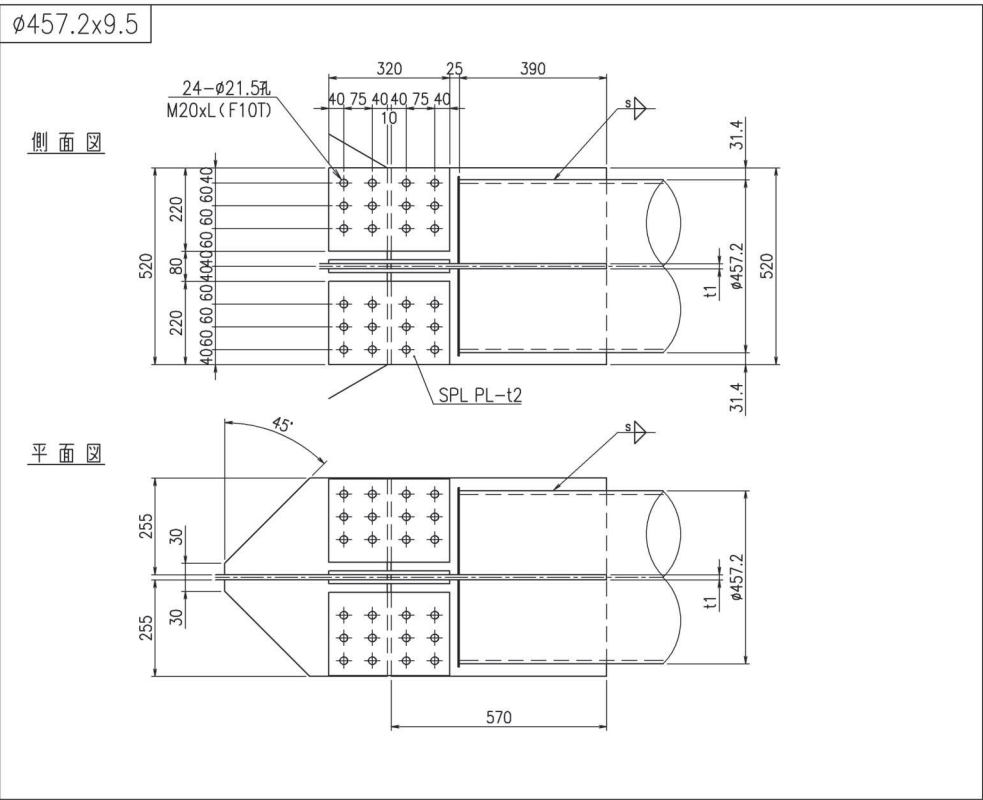


図 2-3(1) 斜材の接合部詳細



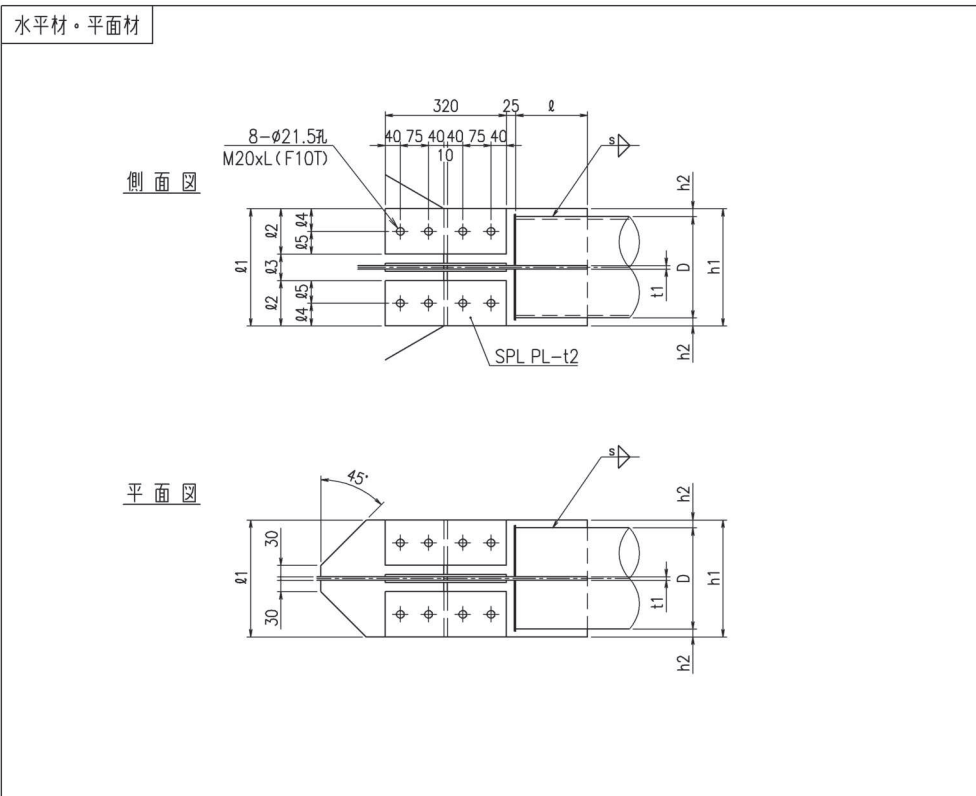
接合位置	t1 (mm)	t2 (mm)	s (mm)
C-1	14	9	7
C-2	25	9	7
C-3	28	9	7
C-4	32	9	7

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

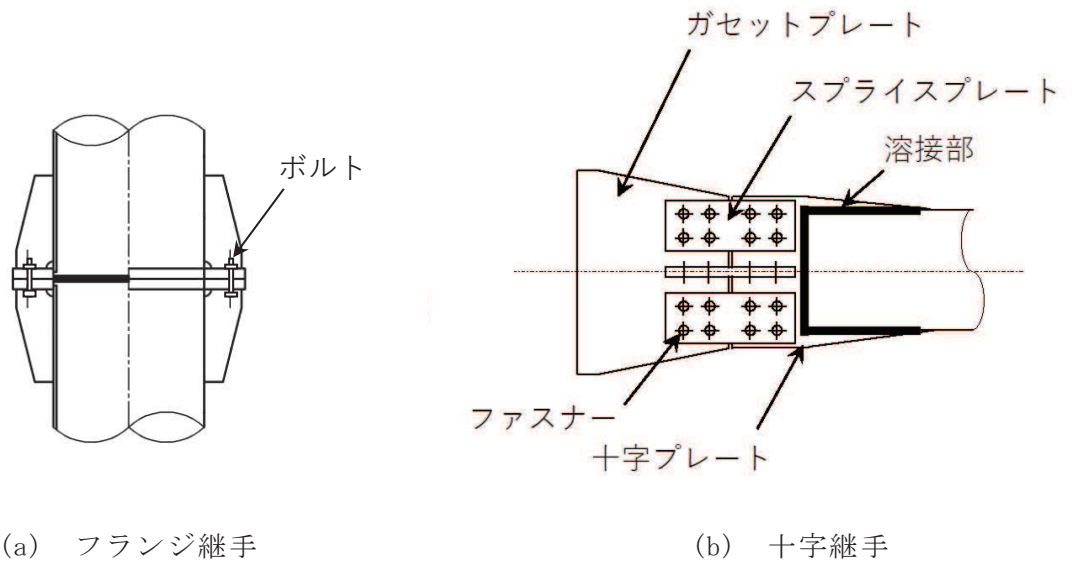


図 2-5 継手概要図

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（ mm^2 ）
- 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）（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）
- Z : 主柱材の断面係数（ mm^3 ）

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、スプライスプレート）、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)			寸法 (mm)		
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	検討用応力		使用部材	備考	
	N (kN)	地震動 水平方向		継手形式	符号
0.P. (m)			寸法 (mm)		
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	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
(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	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	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
(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

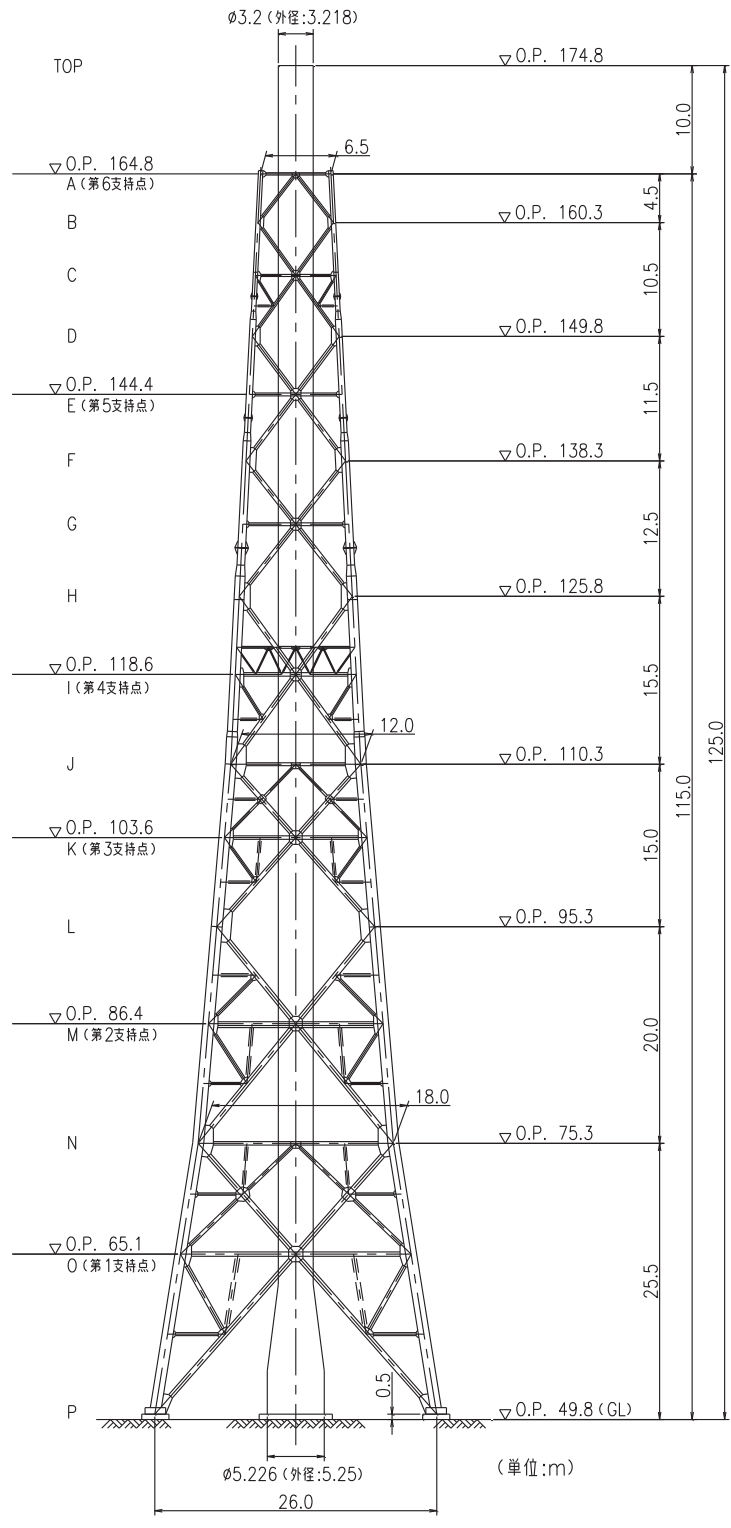
1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-1
3. 第 1 号機排気筒への入力地震動算出方法	別紙 5-4
3.1 入力地震動算出断面	別紙 5-4
3.2 評価に用いる地震波	別紙 5-5
3.3 解析方法	別紙 5-5
3.4 地震応答解析モデルへの入力地震動	別紙 5-5
3.5 解析モデル及び諸元	別紙 5-7
4. 解析モデルの妥当性検討	別紙 5-16
4.1 荷重及び荷重の組合せ	別紙 5-16
4.2 許容限界，使用材料及び材料の許容応力度	別紙 5-16
4.3 断面の評価方法	別紙 5-16
4.4 地震応答解析	別紙 5-17
4.5 評価結果	別紙 5-17

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×16.0 ※1	1016φ×12.7 ※1	914.4φ×12.7	711.2φ×12.7	558.8φ×9.5	406.4φ×7.9
鉄骨	斜材	457.2φ×9.5		406.4φ×7.9		355.6φ×6.4		267.4φ×6.6
	水平材	406.4φ×6.4	318.5φ×6.9	267.4φ×6.6	216.3φ×5.8	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	190.7φ×5.3
筒身		SMA400AP		t=12		t=9		216.3φ×5.8
部材リスト(単位:mm)								

図 2-1 第 1 号機排気筒の概要図

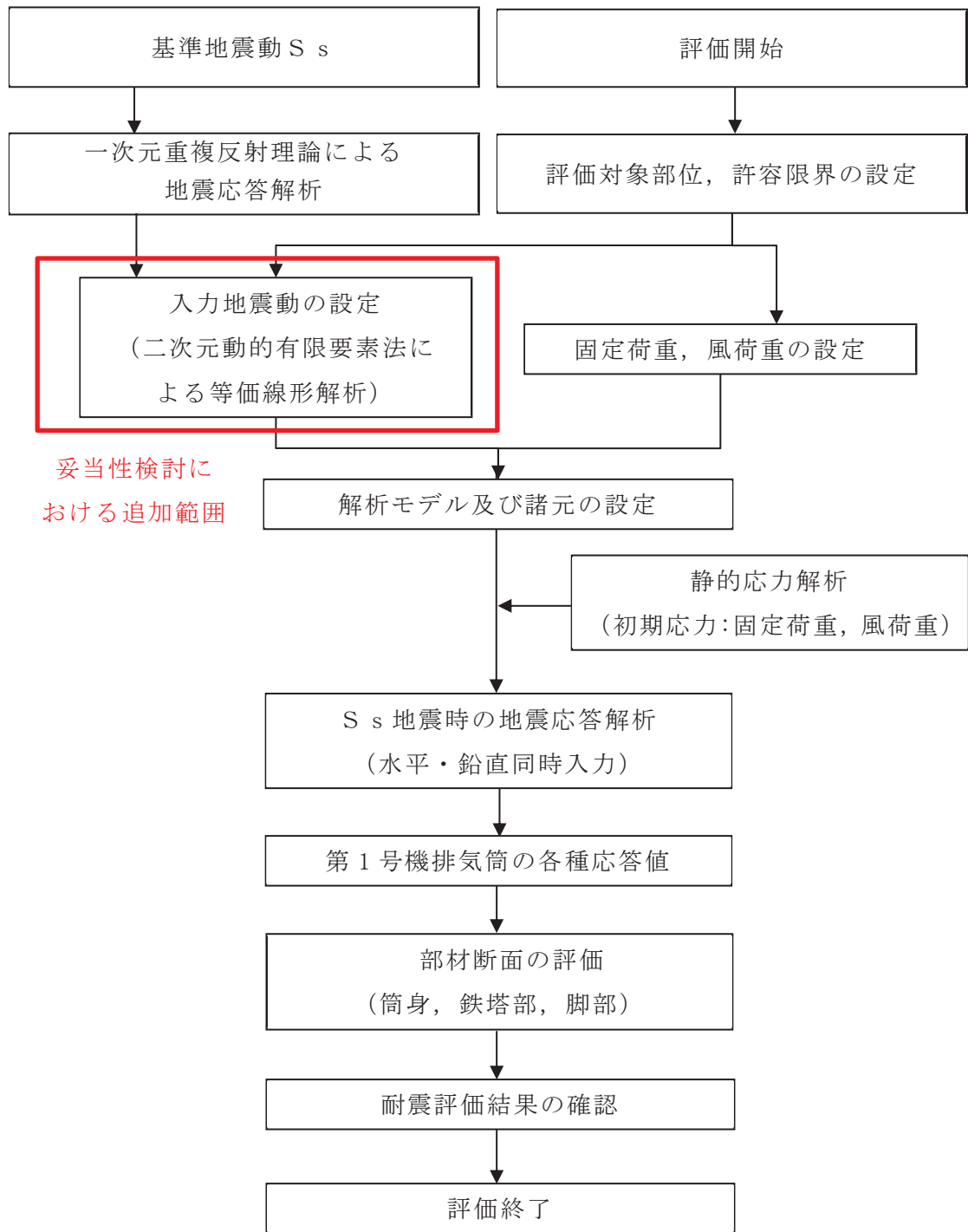


図 2-2 第 1 号機排気筒の耐震評価フロー

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。

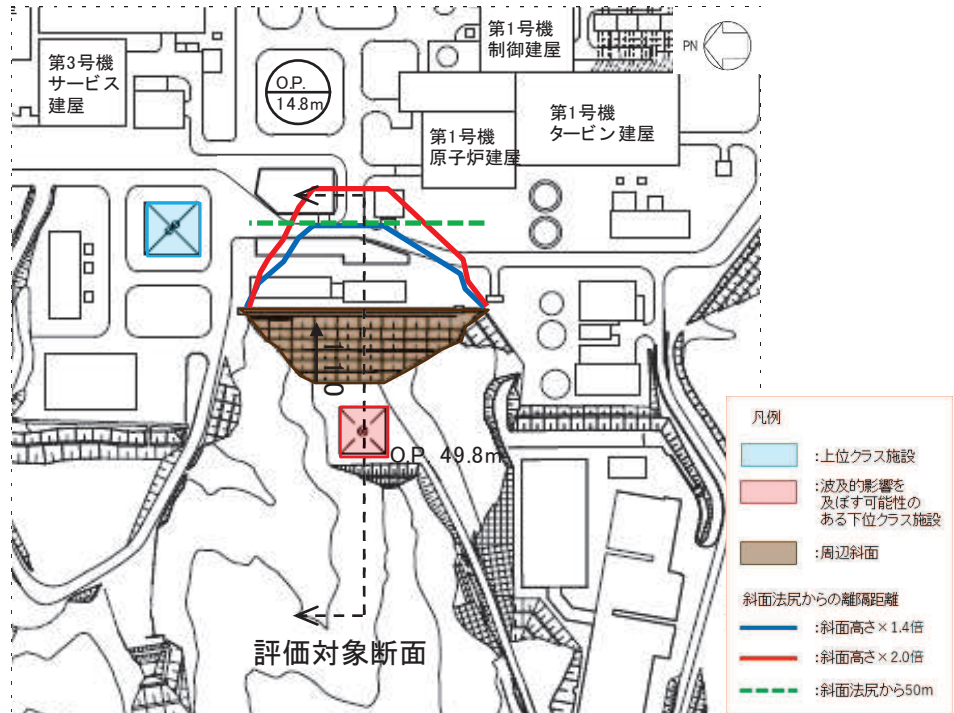


図3-1 第1号機排気筒の入力地震動算出用断面位置図

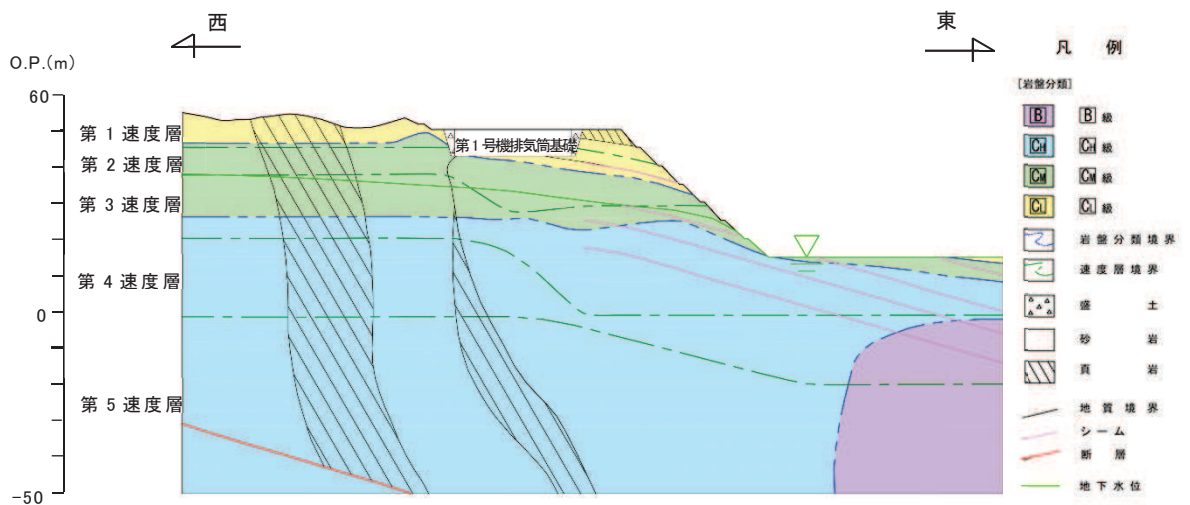


図3-2 第1号機排気筒 入力地震動算出用地質断面図

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。

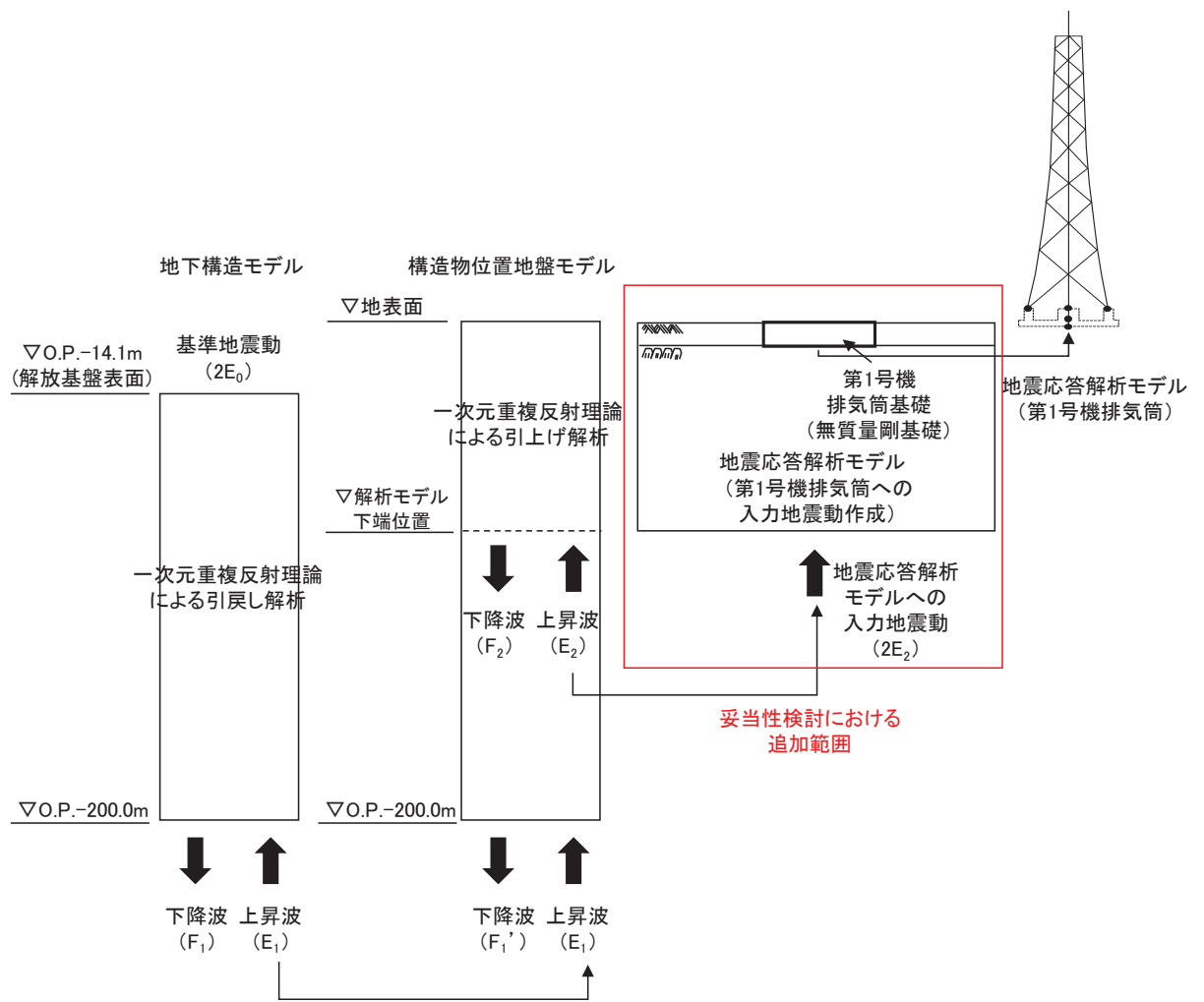


図 3-3 入力地震動の算定方法

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。

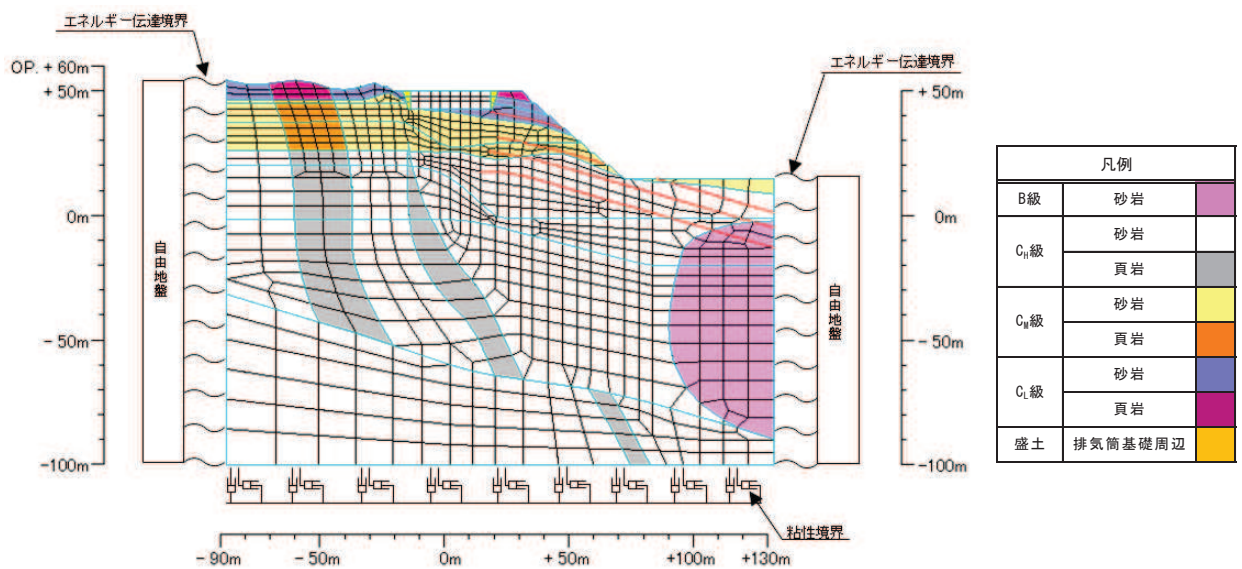


図 3-4 第1号機排気筒の地震応答解析モデル図

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。

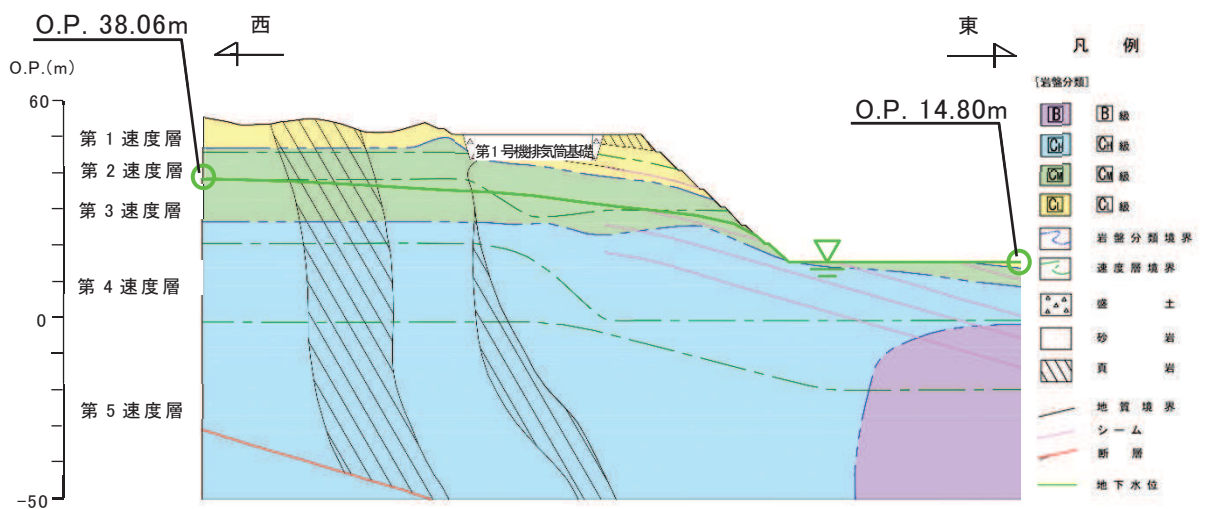
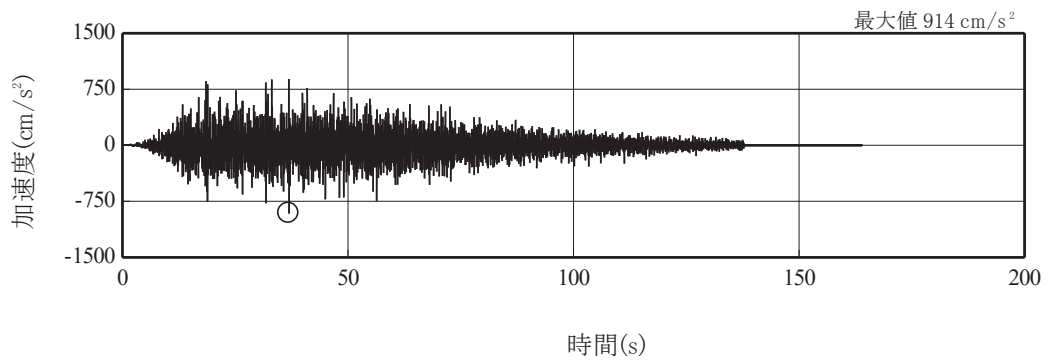


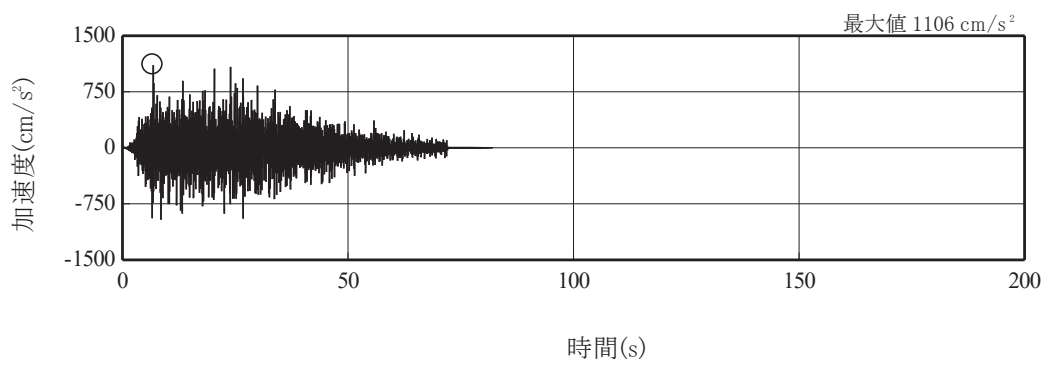
図3-5 設計用地下水位

3.6 入力地震動算出結果

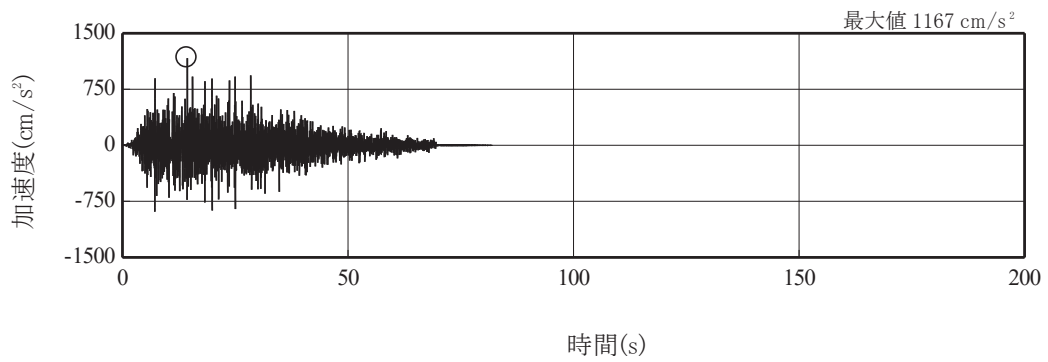
第1号機排気筒における入力地震動の加速度時刻歴波形を図3-6、加速度応答スペクトルを図3-7に示す。



(a) S s - D 1

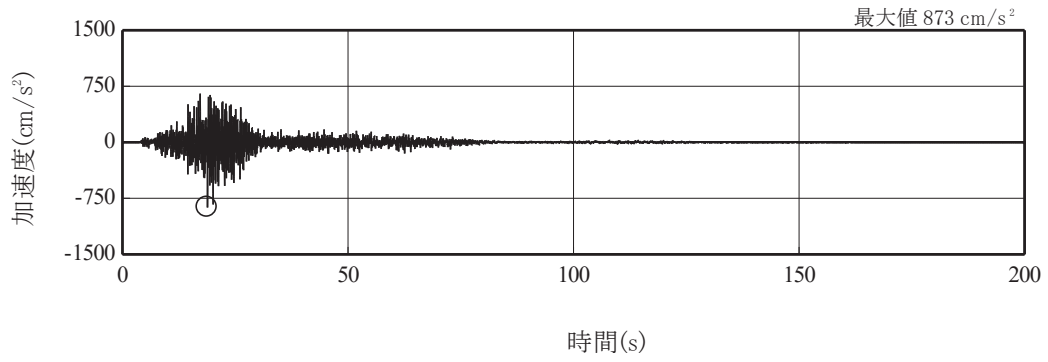


(b) S s - D 2

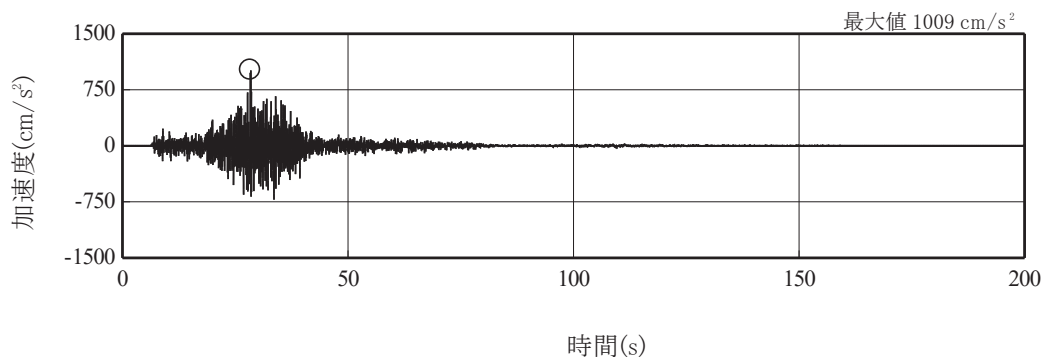


(c) S s - D 3

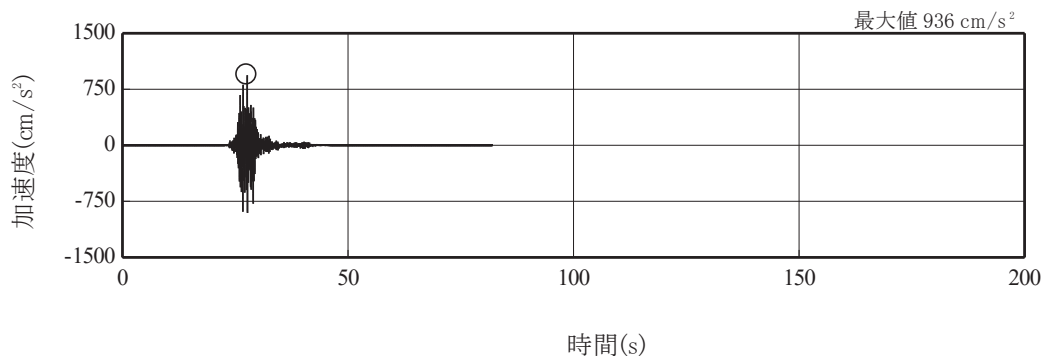
図 3-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s, 水平成分) (1/3)



(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)

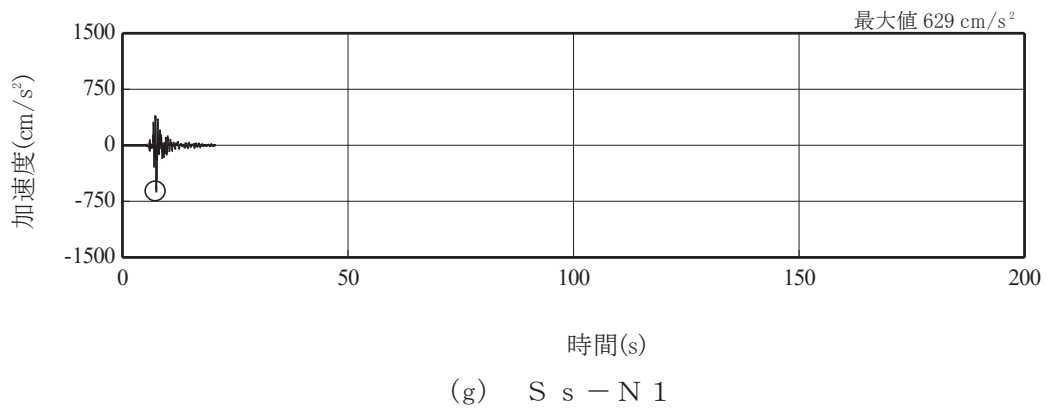
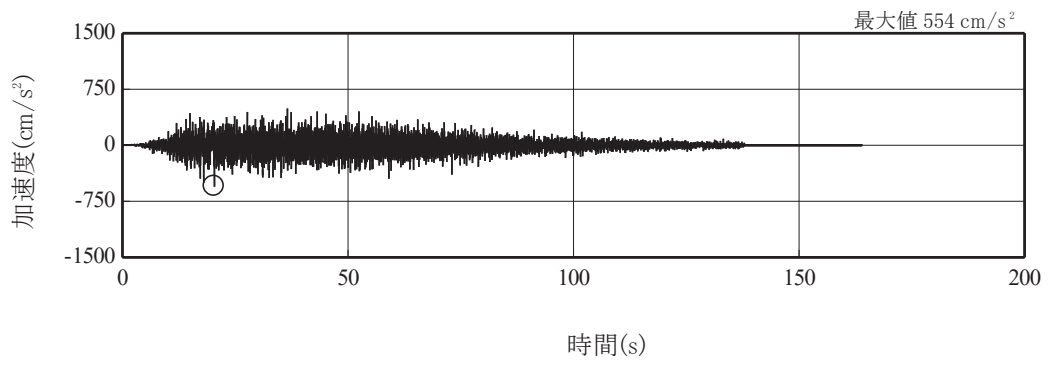
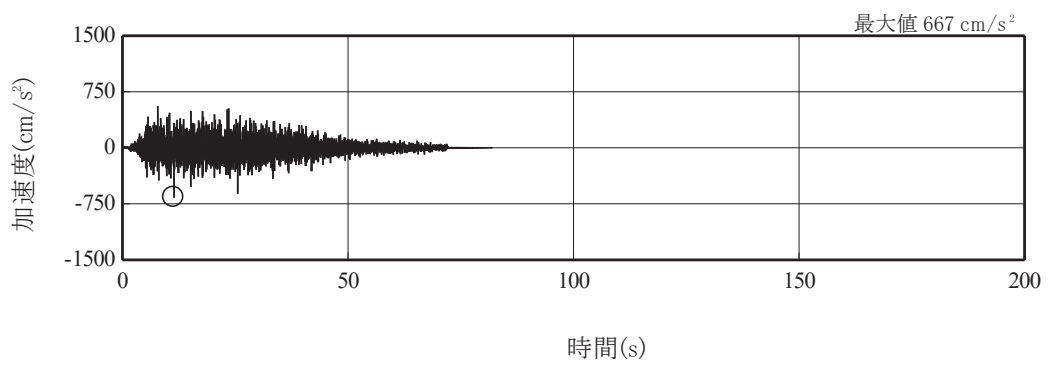


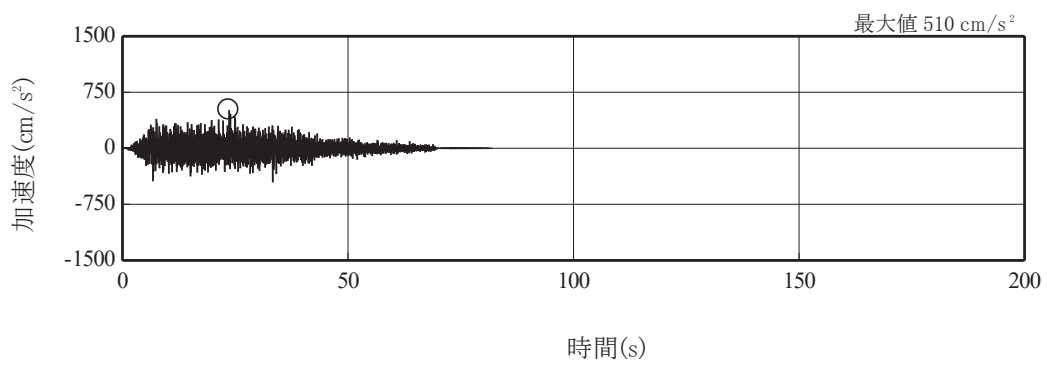
図 3-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (3/3)



(a) S s - D 1

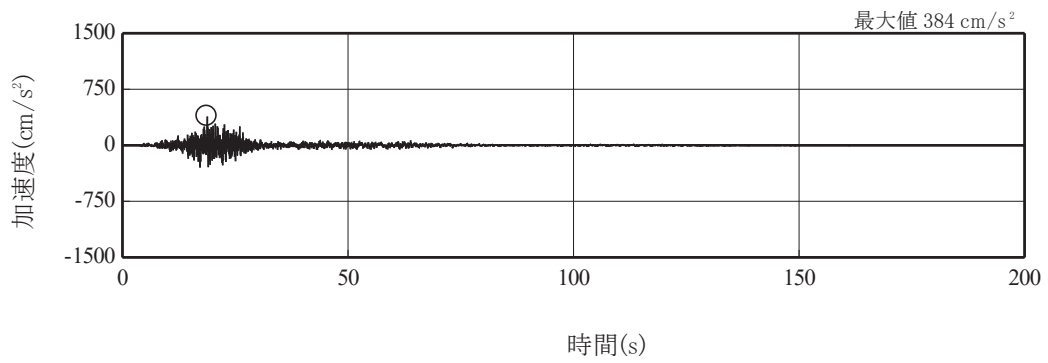


(b) S s - D 2

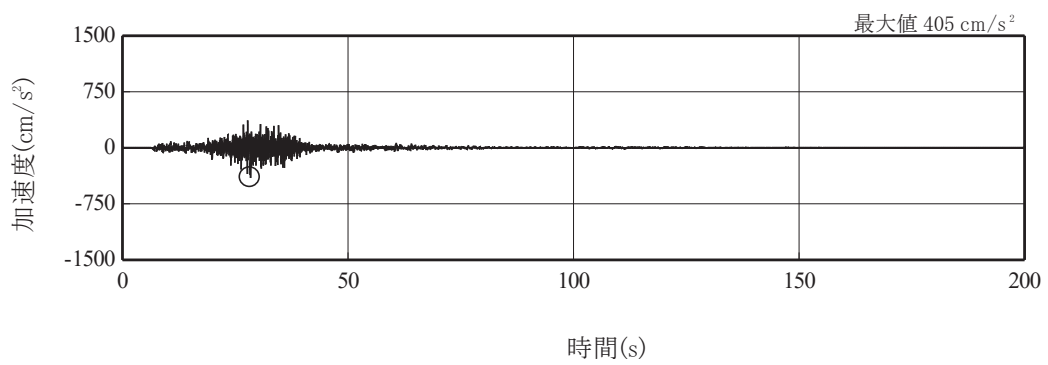


(c) S s - D 3

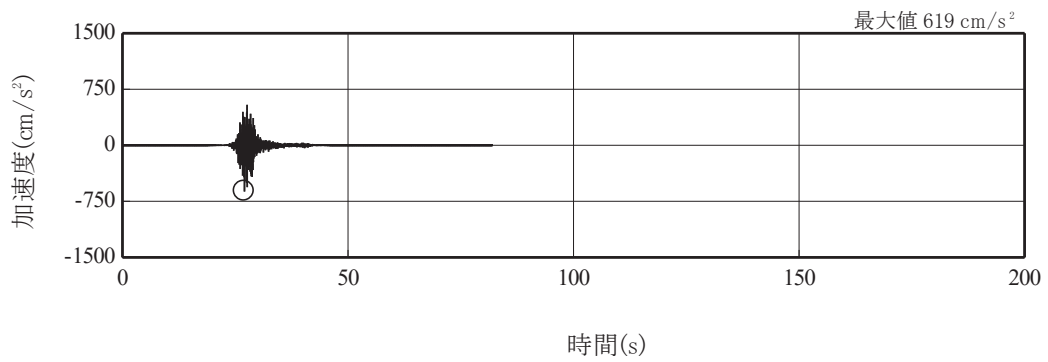
図 3-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s, 鉛直成分) (1/3)



(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)

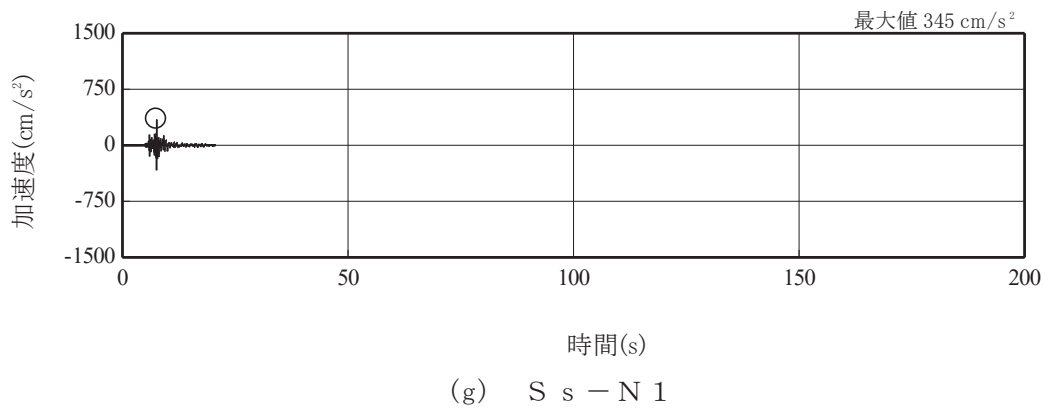


図 3-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (3/3)

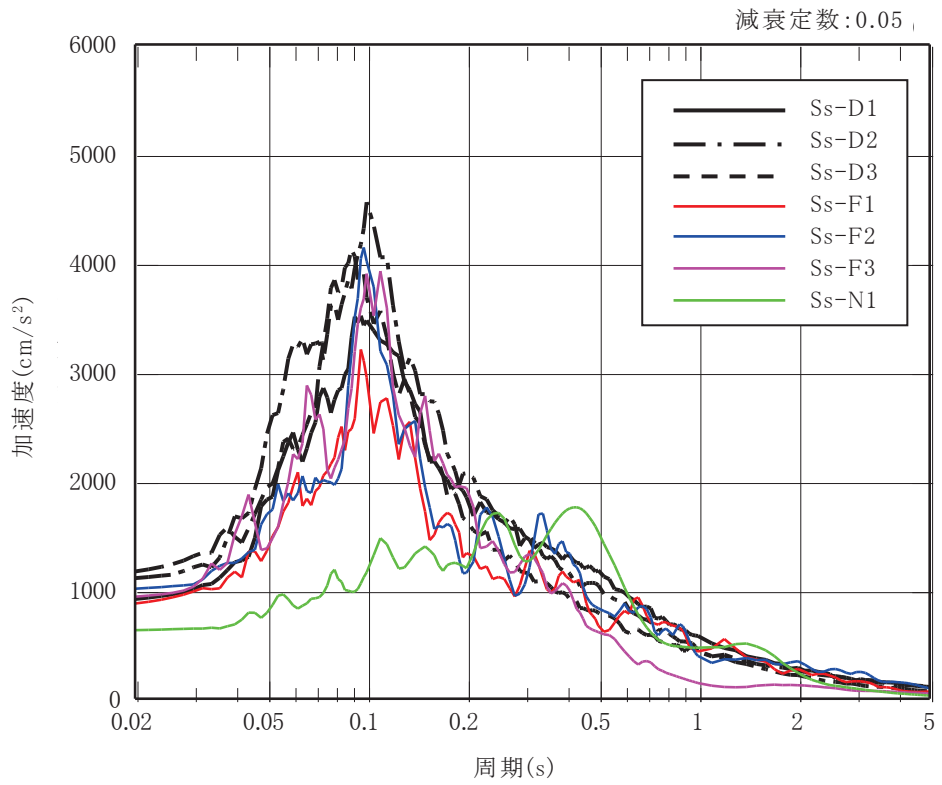


図 3-7(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 水平成分)

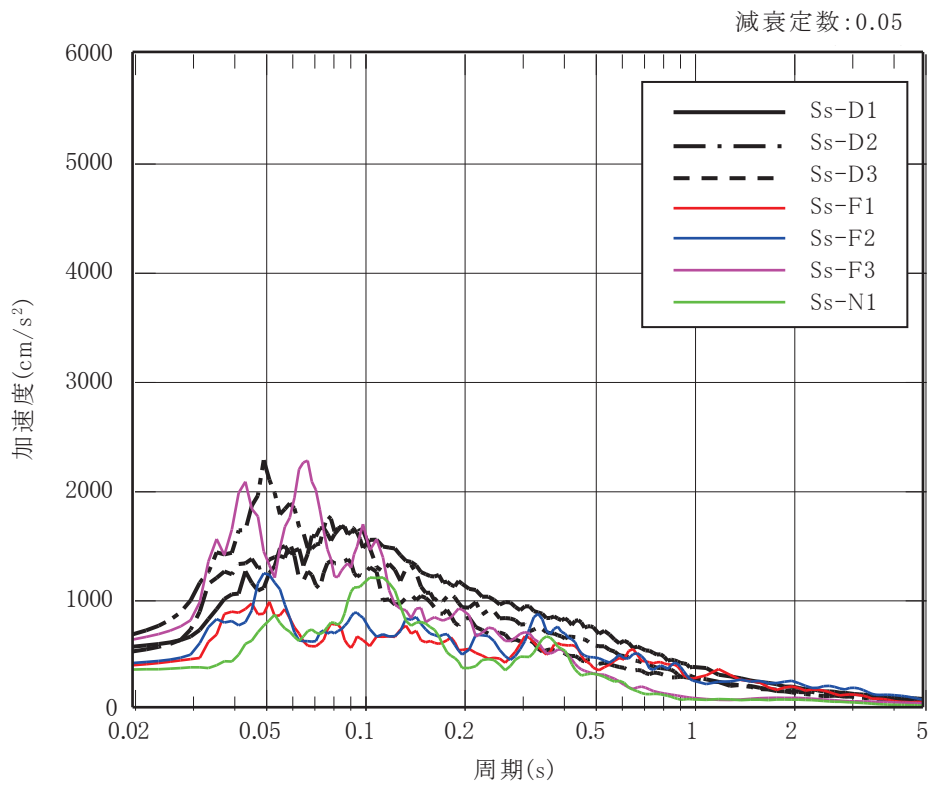


図 3-7(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 鉛直成分)

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

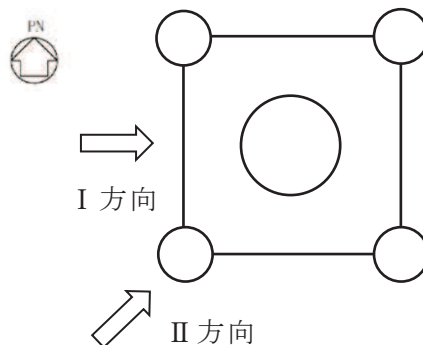


図4-1 荷重作用方向の説明

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。

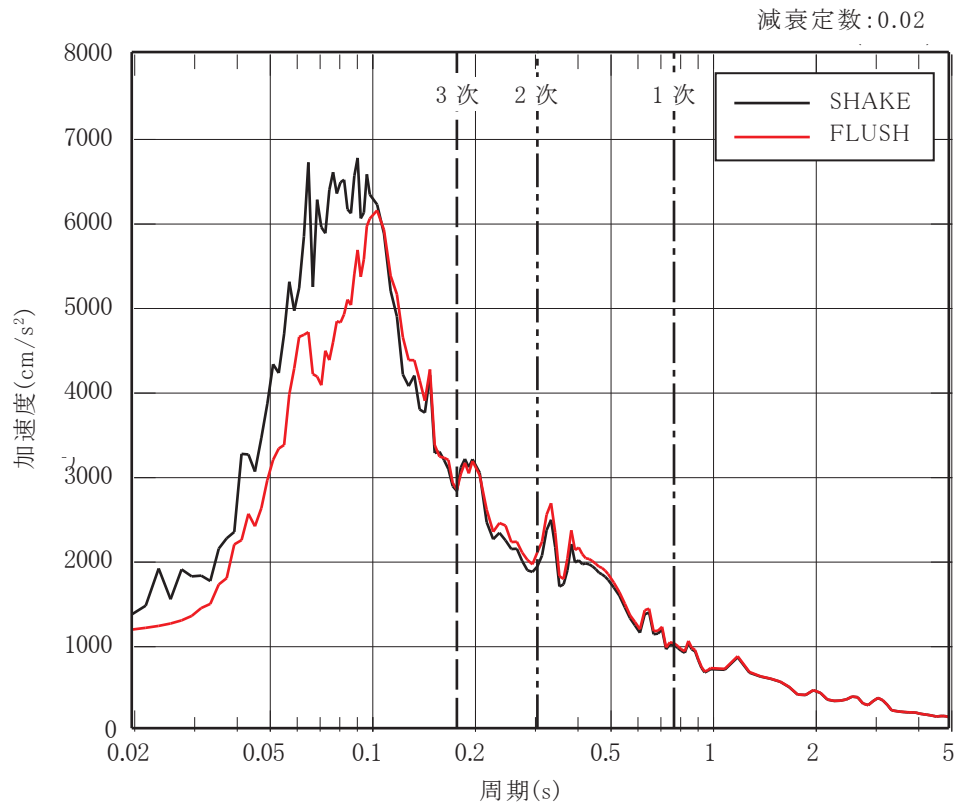


図 4-2 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s 7 波包絡, 水平成分)

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 s 7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	0.27	0.28
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（以下「解析モデル」という。）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。解析モデル図を図2-1に示す。

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。

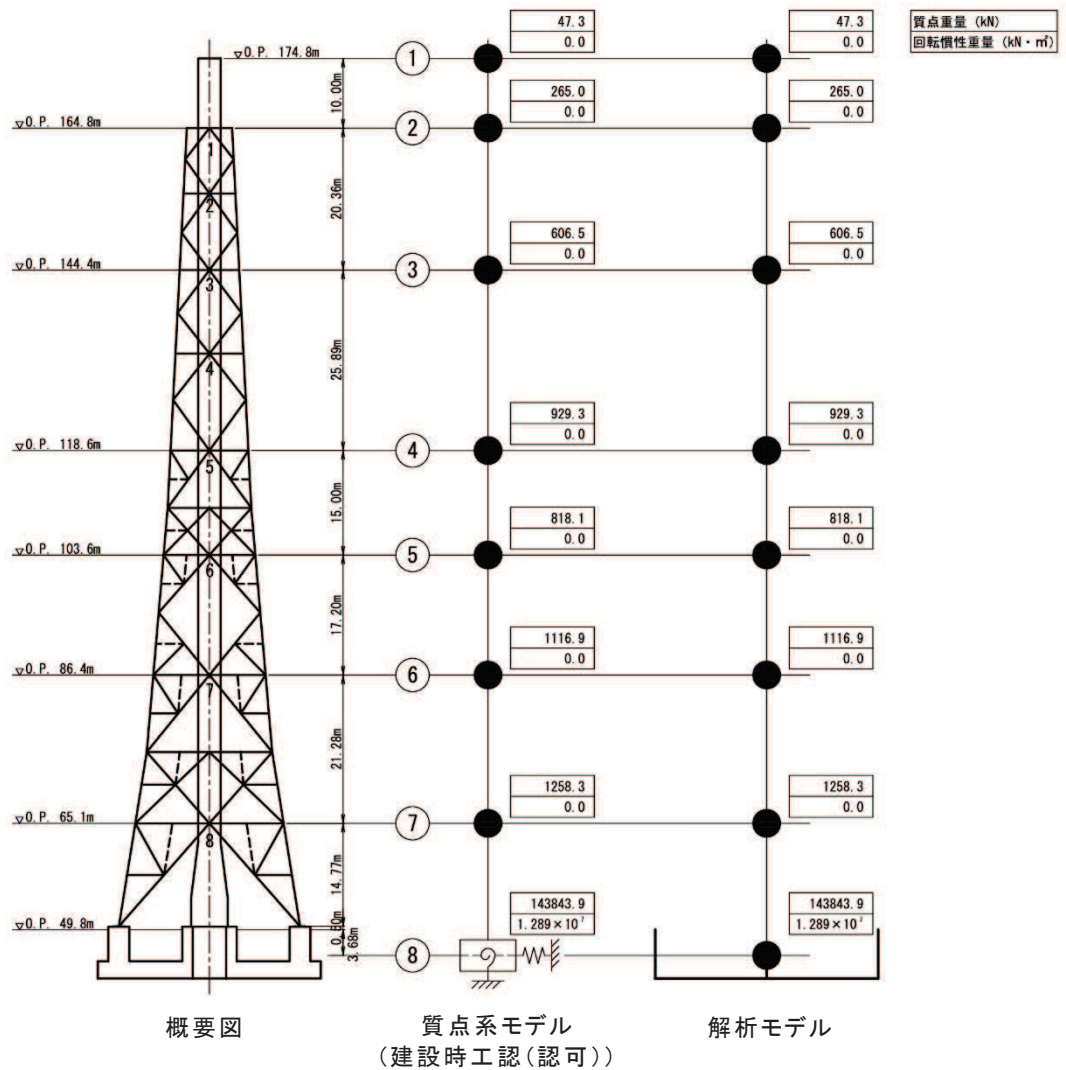


図2-1 第1号機排気筒の解析モデル図

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。

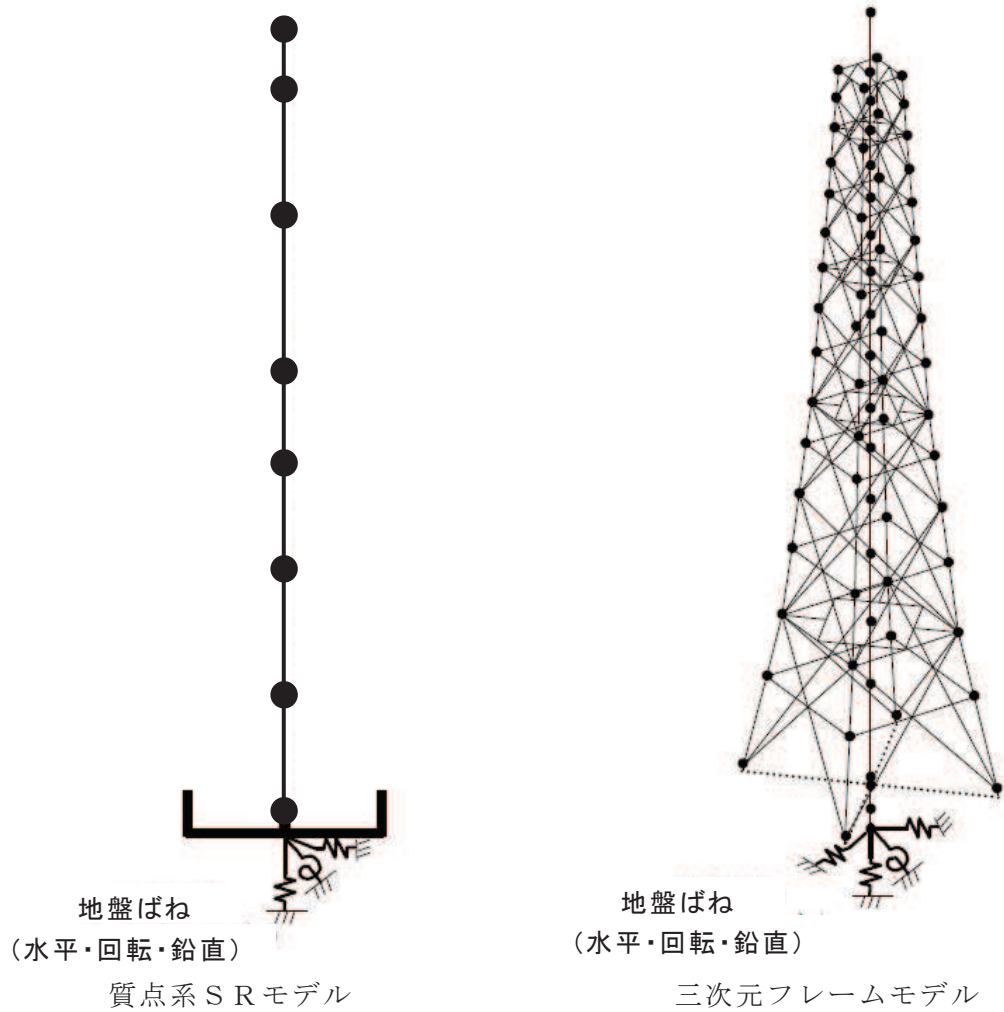


図 3-1 比較に用いる解析モデル

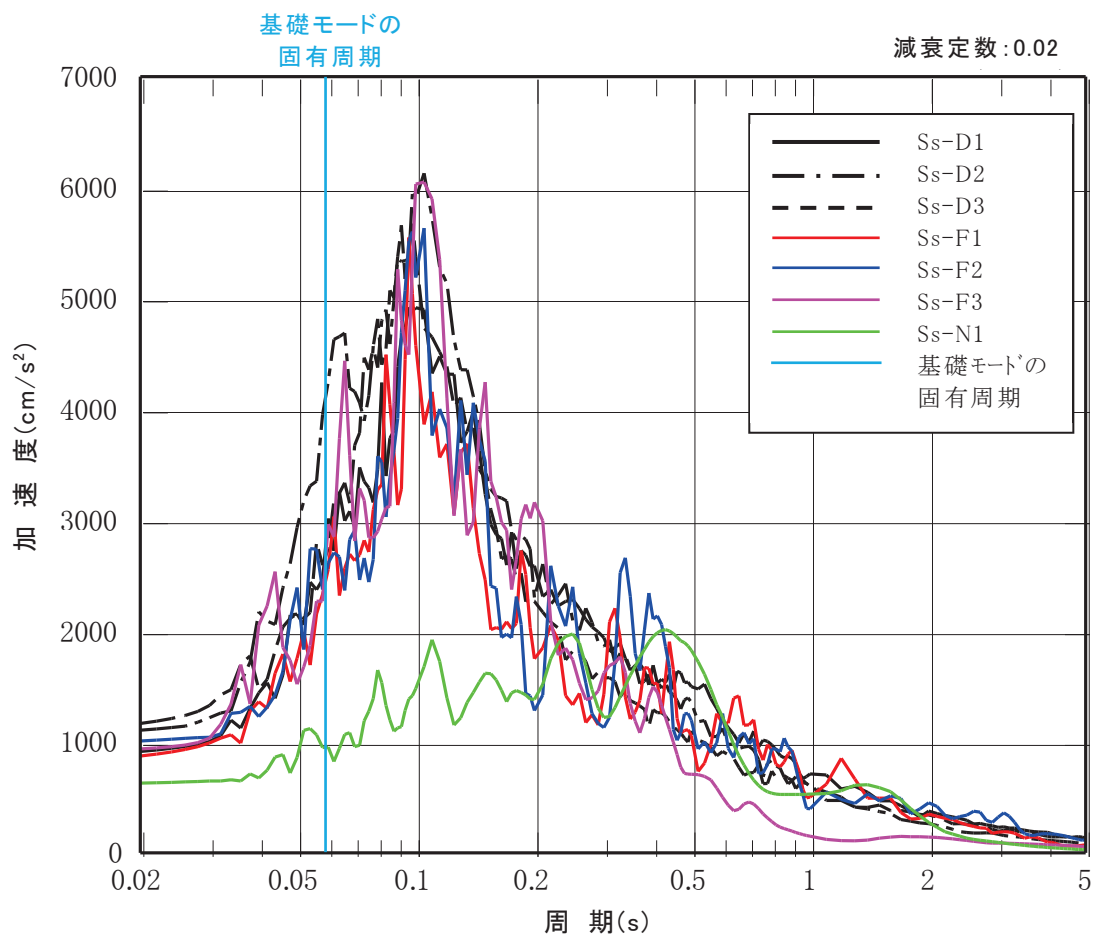


図 3-2 第 1 号機排気筒入力地震動の加速度応答スペクトル (水平方向)

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)	-1.541×10^5	-1.565×10^5	1.016
回転ばね (kN・m)	-7.482×10^5	-7.655×10^5	1.023
鉛直ばね (kN)	6.424×10^4	6.335×10^4	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）

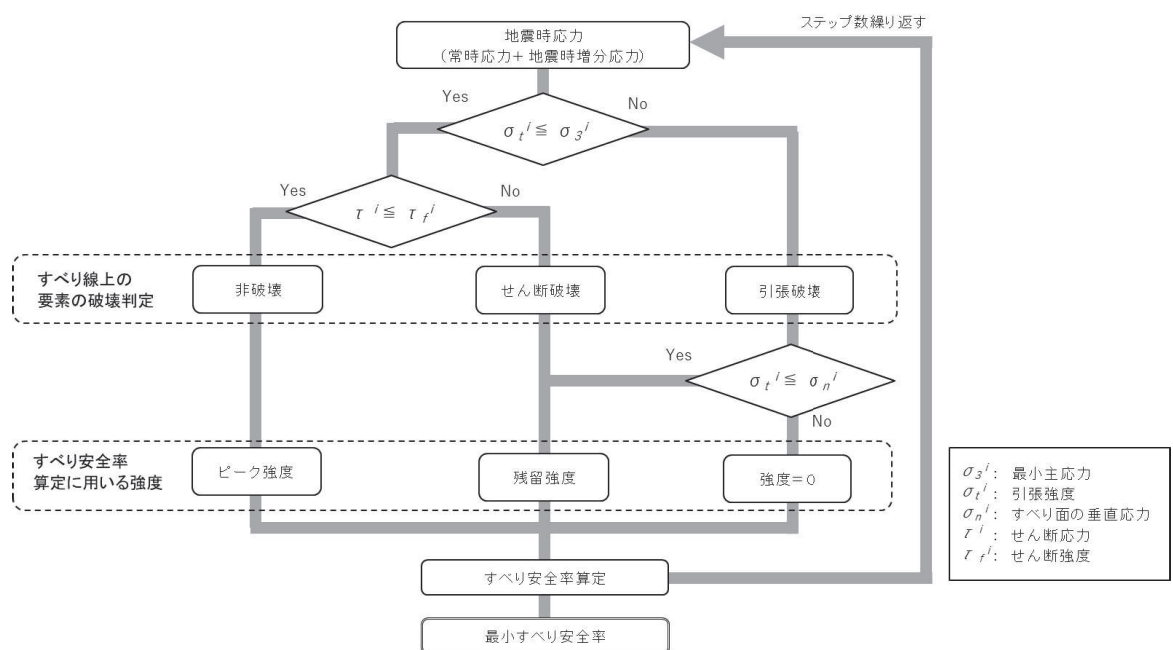


図2-1 すべり安全率の算定フロー

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。

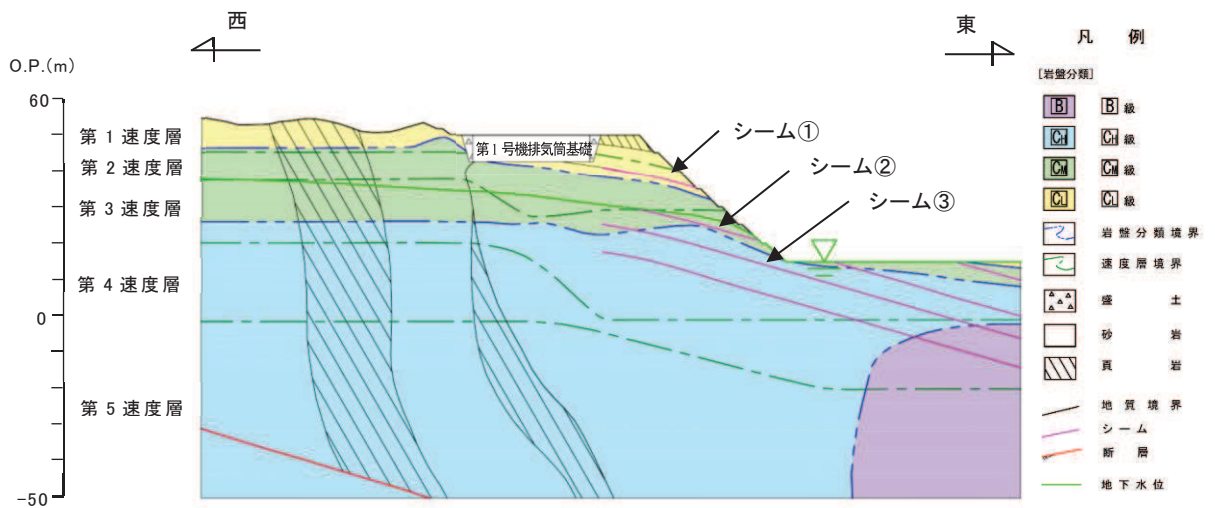


図 3-1 第 1 号機排気筒斜面の地質断面図

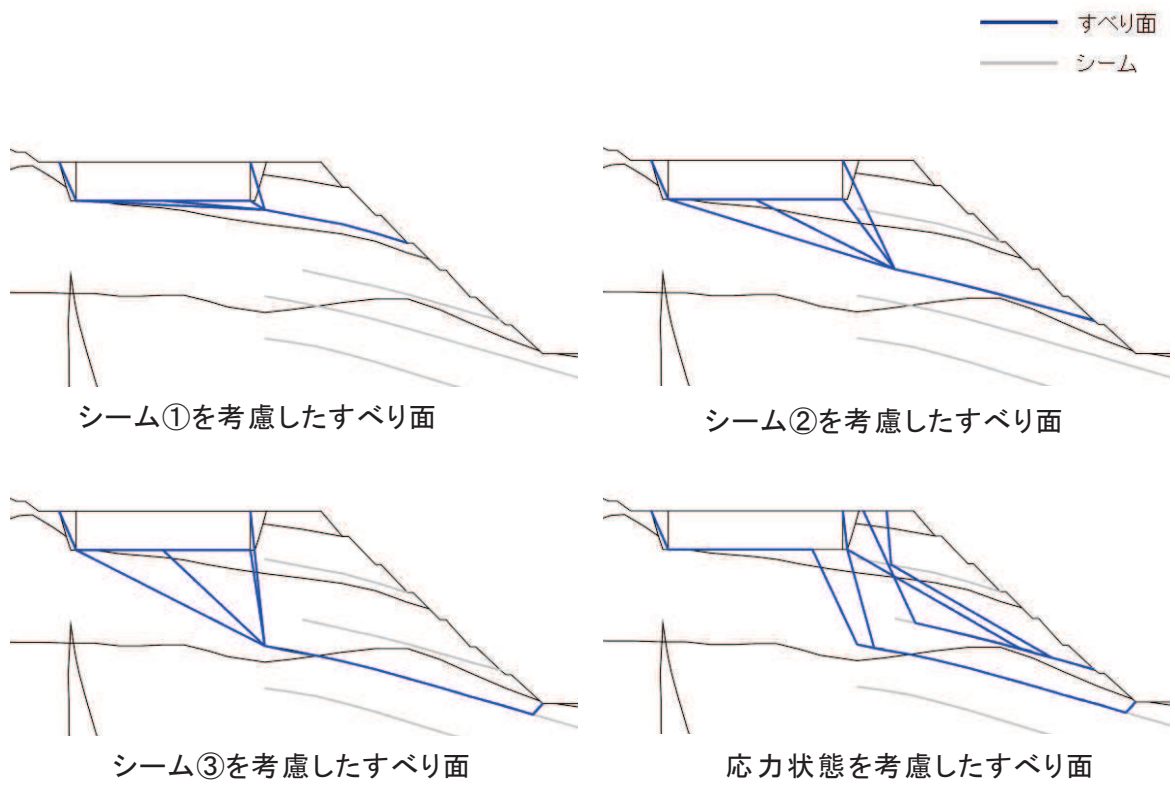


図 3-2 設定したすべり面

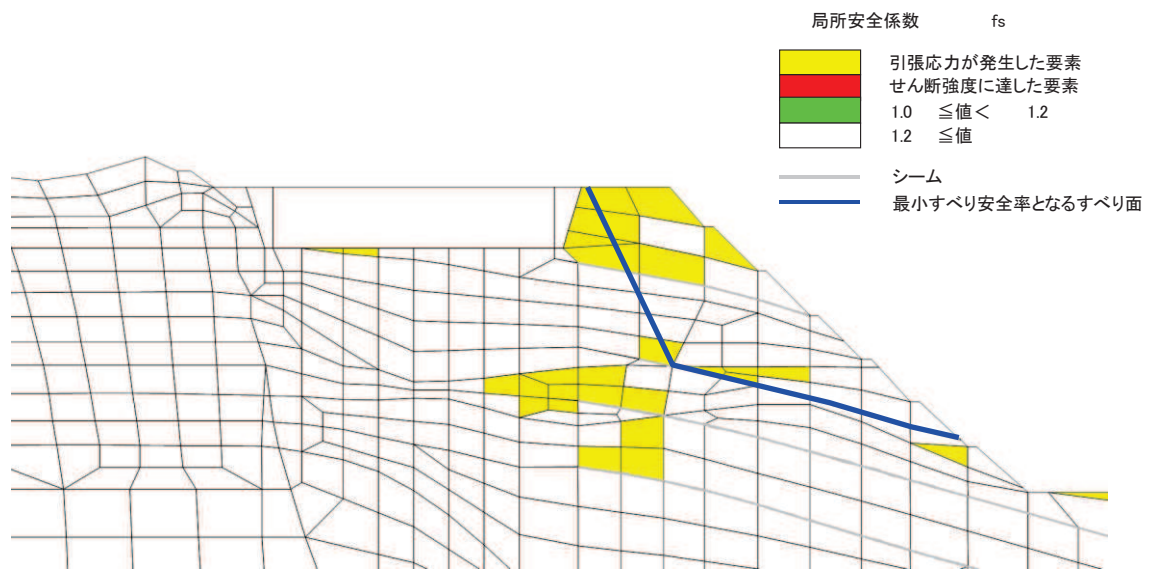


図 3-3 すべり安全率が最小となる時刻における局所安全係数の分布（平面ひずみ要素）及び応力状態を考慮したすべり面（S s - F 2 (-+))

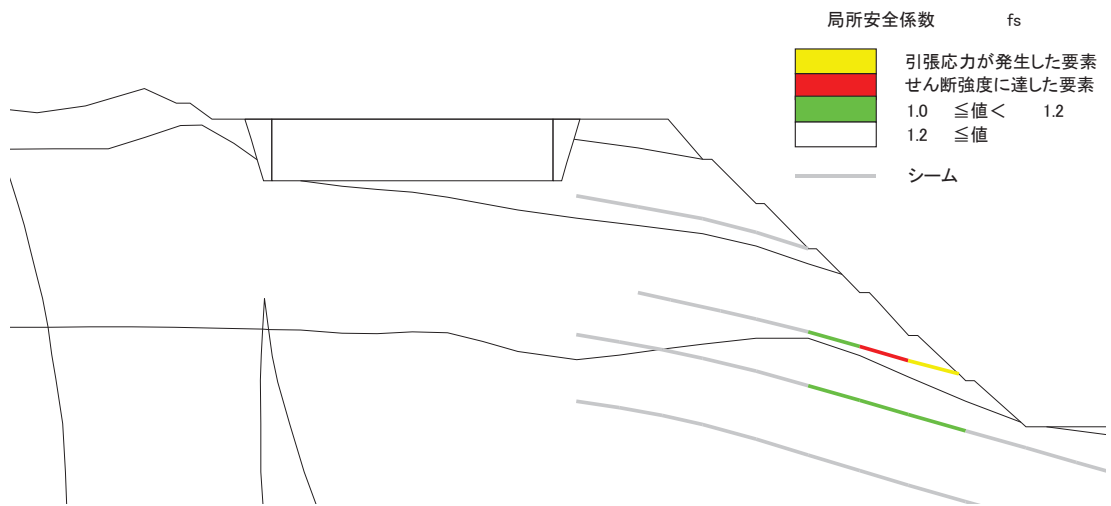


図3-4 すべり安全率が最小となる時刻における局所安全係数の分布（ジョイント要素）
 $(S_s - F_2 (-+))$

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。

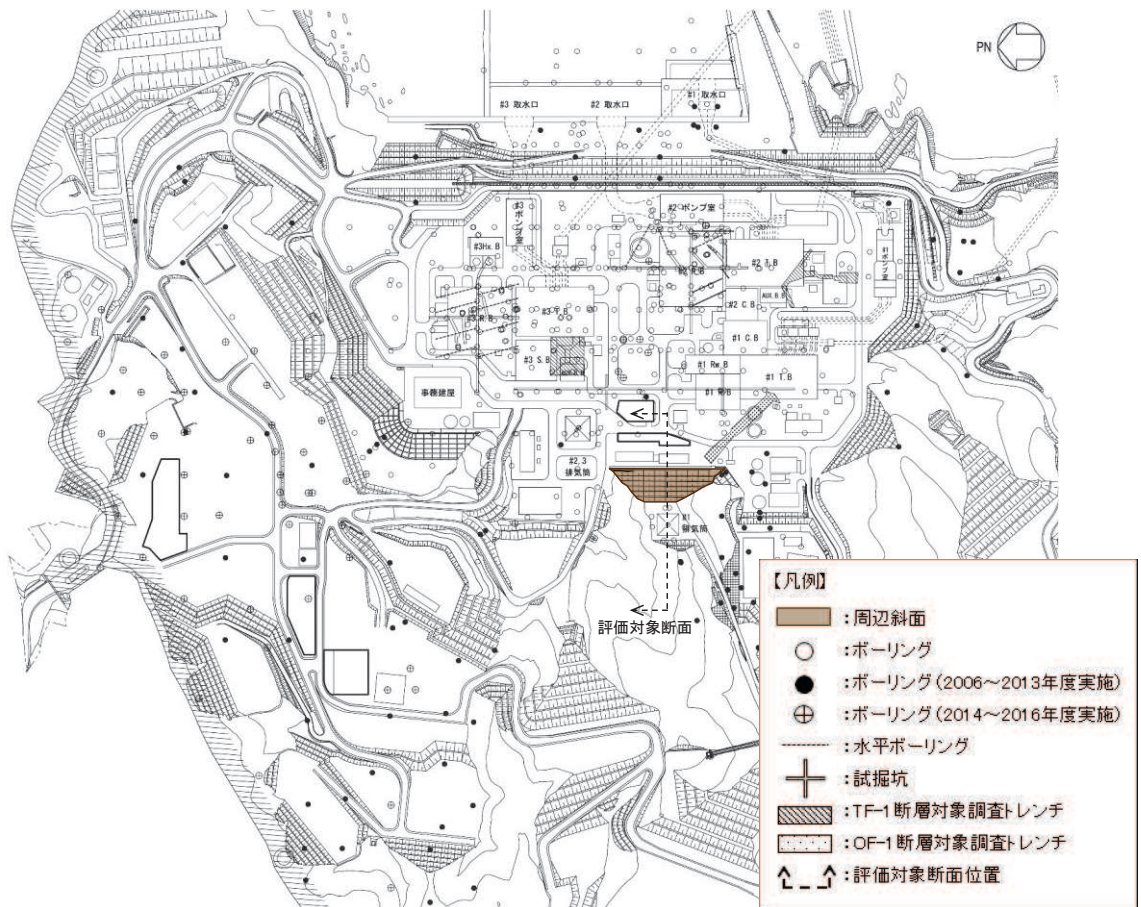


図2-1 ボーリング調査位置図

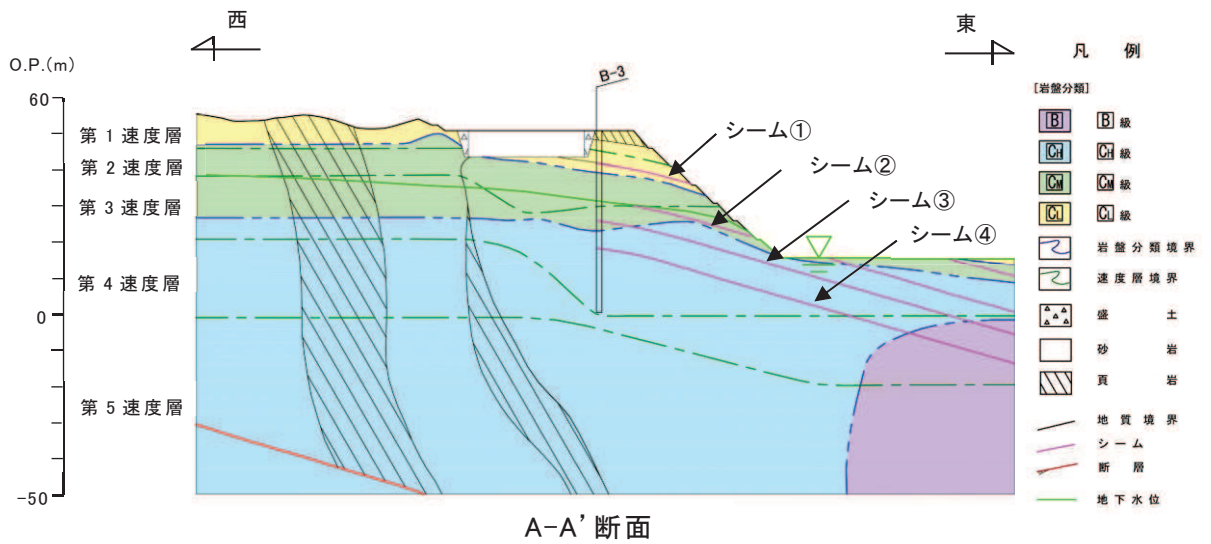
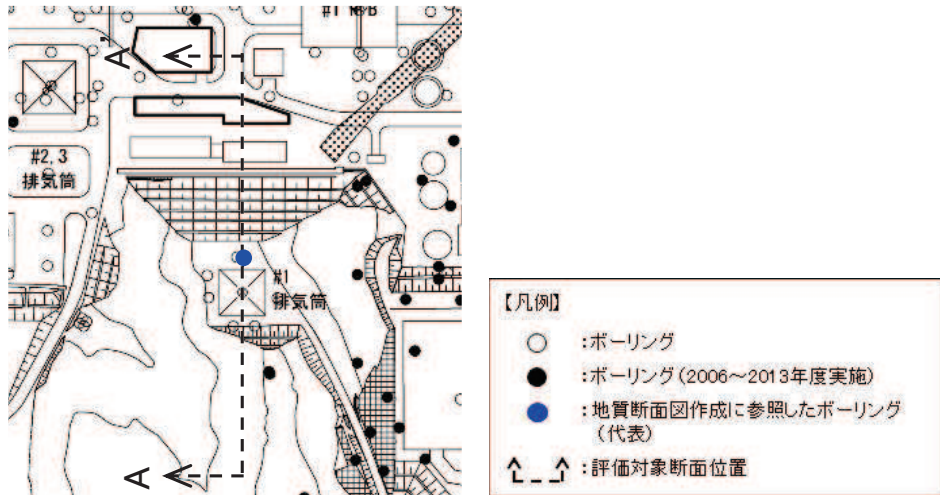


図 2-2 第 1 号機排気筒斜面の地質断面図

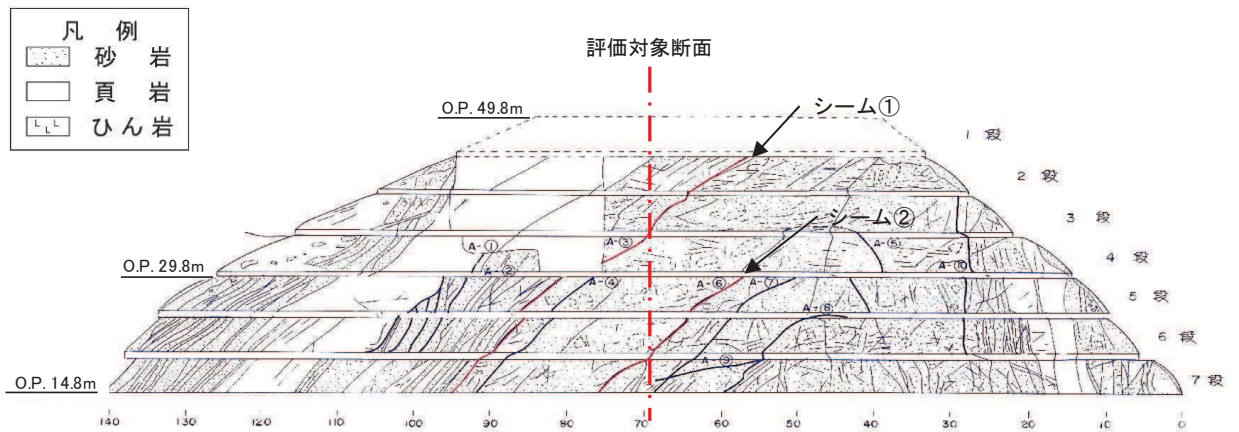


図 2-3 第 1 号機排気筒斜面掘削時のスケッチ

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。

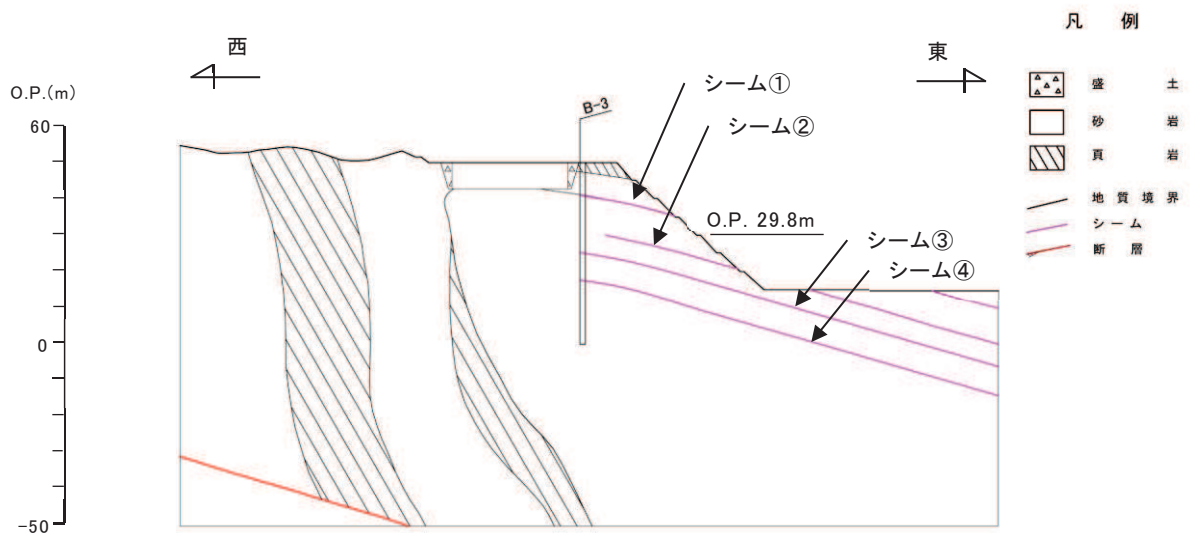


図 2-4 地質断面図におけるシームの分布