

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-026-9 改0
提出年月日	2023年11月21日

主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

2023年11月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 設計及び工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-7-2-1「主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。なお、地震応答解析及び応力解析には解析コード「f a p p a s e」を用いる。

別紙 1 地震応答解析における既工認と今回設工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 2 主排気筒のモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 3 地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討

別紙 4 地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響検討

別紙 5 接合部の耐震性について

別紙 6 原子炉建屋と主排気筒の連成解析による影響評価

別紙1 地震応答解析における既工認と今回設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. 地震応答解析モデル及び手法の比較	別紙 1-1

1. 概要

本資料は主排気筒の既工認時及び今回設工認時の地震応答解析モデル及び手法の比較を示すものである。

2. 地震応答解析モデル及び手法の比較

主排気筒の地震応答解析モデル及び手法の比較を表2-1に示す。また、今回設工認時の地震応答解析モデルを図2-1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、柏崎刈羽原子力発電所第6号機「柏崎刈羽原子力発電所第6号機の工事計画の変更認可について」（6資庁第3247号 平成6年4月27日）（以下「建設時工認（認可）」という。）と柏崎刈羽原子力発電所第6号機「工事計画届出書」（総官発20第179号 平成20年8月25日）（以下「中越沖地震に伴う補強時（届出）」という。）のものである。

表 2-1 主排気筒の地震応答解析モデル及び手法の比較 (1/2)

項目	内容	建設時工認 (認可)	中越沖地震に伴う補強時 (届出)	今回設工認	備考
解析手法		・質点系モデルを用いた時刻歴応答解析 (弾性解析)	・同左	・3次元立体フレームモデルを用いた時刻歴 応答解析 (弾性解析)	—
解析コード		・N A S T R A N	・N U P P - II	・f a p p a s e	—
モデル	モデル	・鉄塔部と筒身部分けた質点系モデル	・同左	・原子炉建屋屋上 (T.M.S.L.*38.2m) より 上部を対象とした立体フレームモデル	—
	材料物性	・鋼材のヤング係数 $E = 2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ (SI換算) ・鋼材のポアソン比 $\nu = 0.3$	・同左	・鋼材のヤング係数 $E = 2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ・鋼材のポアソン比 $\nu = 0.3$ ・コンクリートのヤング係数 $E = 2.88 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu = 0.2$	①
	要素分割	・はり要素：鉄塔部 (主柱材, 水平材及 び斜材) 及び筒身部 ・ばね要素：筒身支持部	・はり要素：鉄塔部 (主柱材, 水 平材及び斜材) 及び筒身部 ・ばね要素：筒身支持部及び制震 装置 (オイルダンパー)	・はり要素：筒身部, 鉄塔部 (主柱材及び 水平材) 及び基礎 (鉄塔部及び筒身部) ・トラス要素：鉄塔部 (斜材) ・ばね要素：筒身支持部及び制震装置 (オ イルダンパー)	—
	境界条件	・T.M.S.L. 38.2mを固定端	・同左	・同左	—
	減衰定数	・鋼材：2%	・同左	・鋼材：2% ・コンクリート：5%	—
	減衰	・ひずみエネルギー比例型	・同左	・剛性比例型	—
	筒身 支持点	・T.M.S.L. 80.0m ・T.M.S.L. 65.0m ・T.M.S.L. 48.0m	・T.M.S.L. 76.25m ・T.M.S.L. 48.0m (T.M.S.L. 80.0m及び T.M.S.L. 65.0mは解除)	・同左	②
	制震装置	—	・オイルダンパー T.M.S.L. 76.25m (8台)	・同左	②

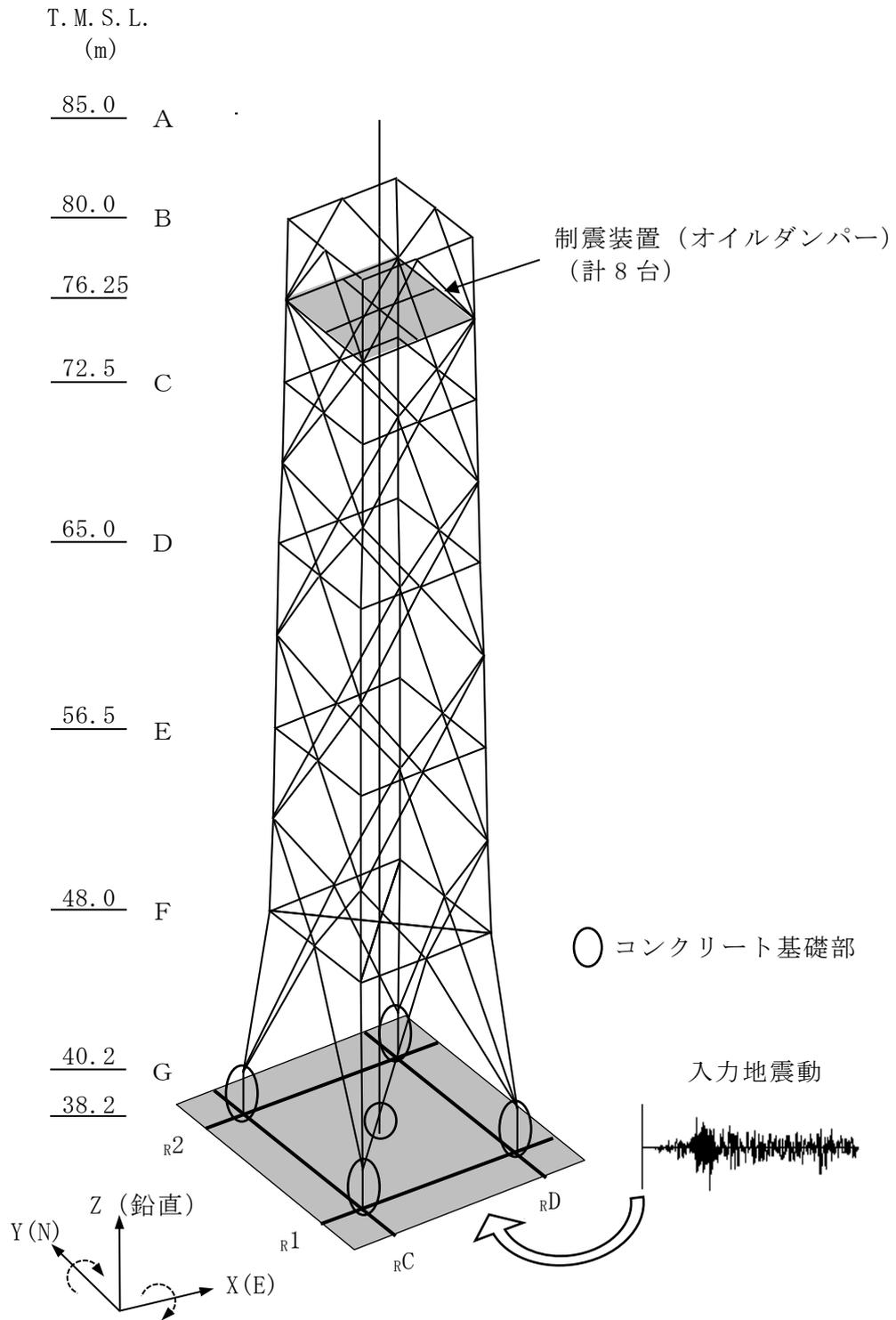
表 2-1 主排気筒の地震応答解析モデル及び手法の比較 (2/2)

項目	内容	建設時工認 (認可)	中越沖地震に伴う補強時 (届出)	今回設工認	備考
入力地震動 の算定法	水平	・基準地震動による原子炉建屋全体の 地震応答解析から得られる屋上レベル (T.M.S.L. 38.2m) における応答値	・同左	・同左	—
	鉛直	—	—	・基準地震動による原子炉建屋全体の地震 応答解析から得られる屋上レベル (T.M.S.L. 38.2m) における応答値	—
評価方法		・発生応力が許容応力度を超えないこ とを確認	・同左	・3次元立体フレームモデルの時刻歴地震 応答解析により各部材に生じる応力が許容 限界を超えないことを確認	—

注記*：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

【具体的な反映事項】(表の備考欄に対応)

- ① コンクリートのヤング係数及びポアソン比は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一」((社)日本建築学会，1999改定)に基づく。
- ② 2007年新潟県中越沖地震後に実施した耐震補強工事による変更を考慮。



注：並進成分を実線で，回転成分を破線で示す。

図2-1 主排気筒の地震応答解析モデル

別紙2 主排気筒のモデル化，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、主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

主排気筒のモデル化、境界条件及び拘束条件を表2-1に示す。また、非常用ガス処理系（以下「SGTS」という。）用排気筒の応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件を表2-2に示す。なお、東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

表2-1 主排気筒のモデル化，境界条件及び拘束条件 (1/3)

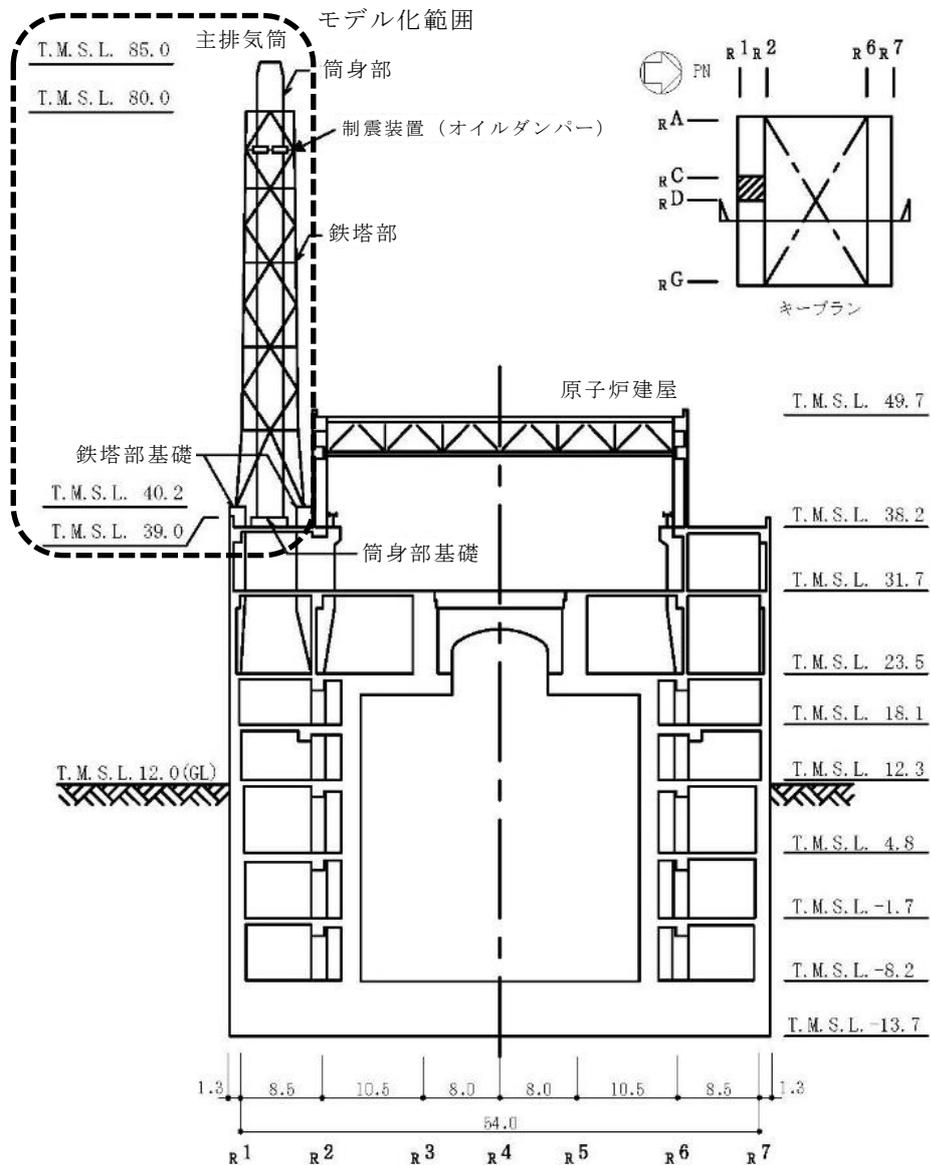
モデル概要 (1/2)

○モデル化範囲及び対象部材

- ・原子炉建屋屋上より上部の (T. M. S. L. 38.2m~T. M. S. L. 85.0m) の範囲
- ・筒身部，鉄塔部 (支柱材，斜材及び水平材)，基礎 (鉄塔部及び筒身部) 及び制震装置 (オイルダンパー)

○使用要素

- ・はり要素 : 筒身部，鉄塔部 (支柱材及び水平材) 及び基礎 (鉄塔部及び筒身部)
- ・トラス要素 : 鉄塔部 (斜材)
- ・ばね要素 : 制震装置 (オイルダンパー) 及び筒身支持部



モデル化範囲 (単位 : m)

表2-1 主排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件 (2/3)

モデル概要 (2/2)

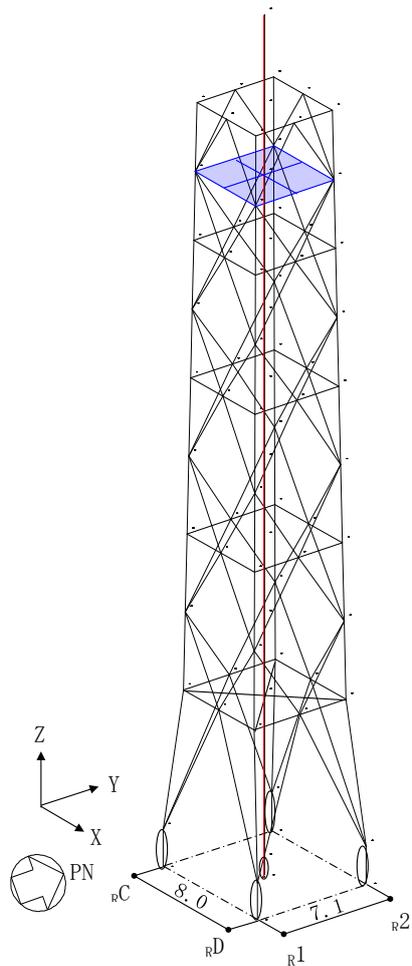
○要素分割

- ・ 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, 各部材について断面算定を実施する。このとき, 制震装置 (オイルダンパー) は考慮しないものとして設定した。

- : 鉄塔部
- - : 筒身部
- : 制震装置 (オイルダンパー) (計 8 台)
- : コンクリート基礎部



解析モデル (単位 : m)

T. M. S. L.
(m)

A 85.0

B 80.0

76.25

C 72.5

68.8

D 65.0

60.8

E 56.5

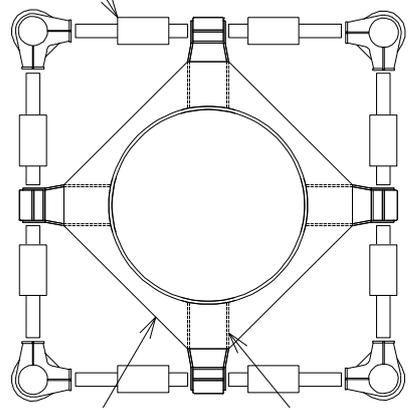
52.3

F 48.0

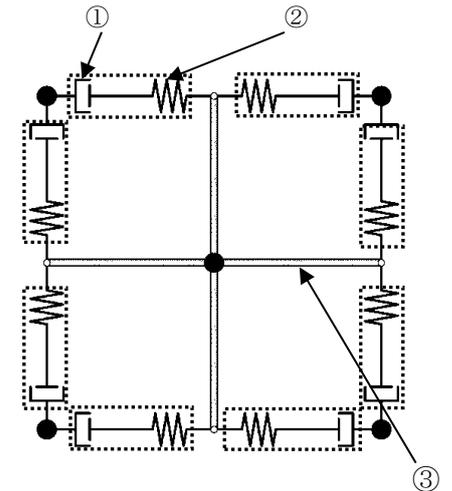
G 40.2

38.2

制震装置 (オイルダンパー)



(a) 平面図 (T. M. S. L. 76.25m)



- ① 減衰係数
- ② ばね定数
- ③ 支持点アーム

(b) モデル概要

制震装置 (オイルダンパー)

表2-1 主排気筒のモデル化、境界条件及び拘束条件 (3/3)

境界条件及び拘束条件	
原子炉建屋屋上と基礎の境界 (T. M. S. L. 38.2m)	
<p>・基礎（鉄塔部及び筒身部）は、原子炉建屋の躯体と一体化しているため、完全固定とする。</p> <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">原子炉建屋と基礎の境界</p> </div>	
荷重の入力方法	
・鉛直荷重	：鉛直荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、柏崎刈羽原子力発電所第6号機「工事計画届出書」（総官発20第179号平成20年8月25日）（以下「中越沖地震に伴う補強時（届出）」という。）による。
・静的地震荷重	：静的荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、鉛直荷重と同様に中越沖地震に伴う補強時（届出）による。
・動的地震荷重	：原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる原子炉建屋屋上レベル（T. M. S. L. 38.2m）における応答値を入力地震動とし、主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、風荷重を分配し载荷する。

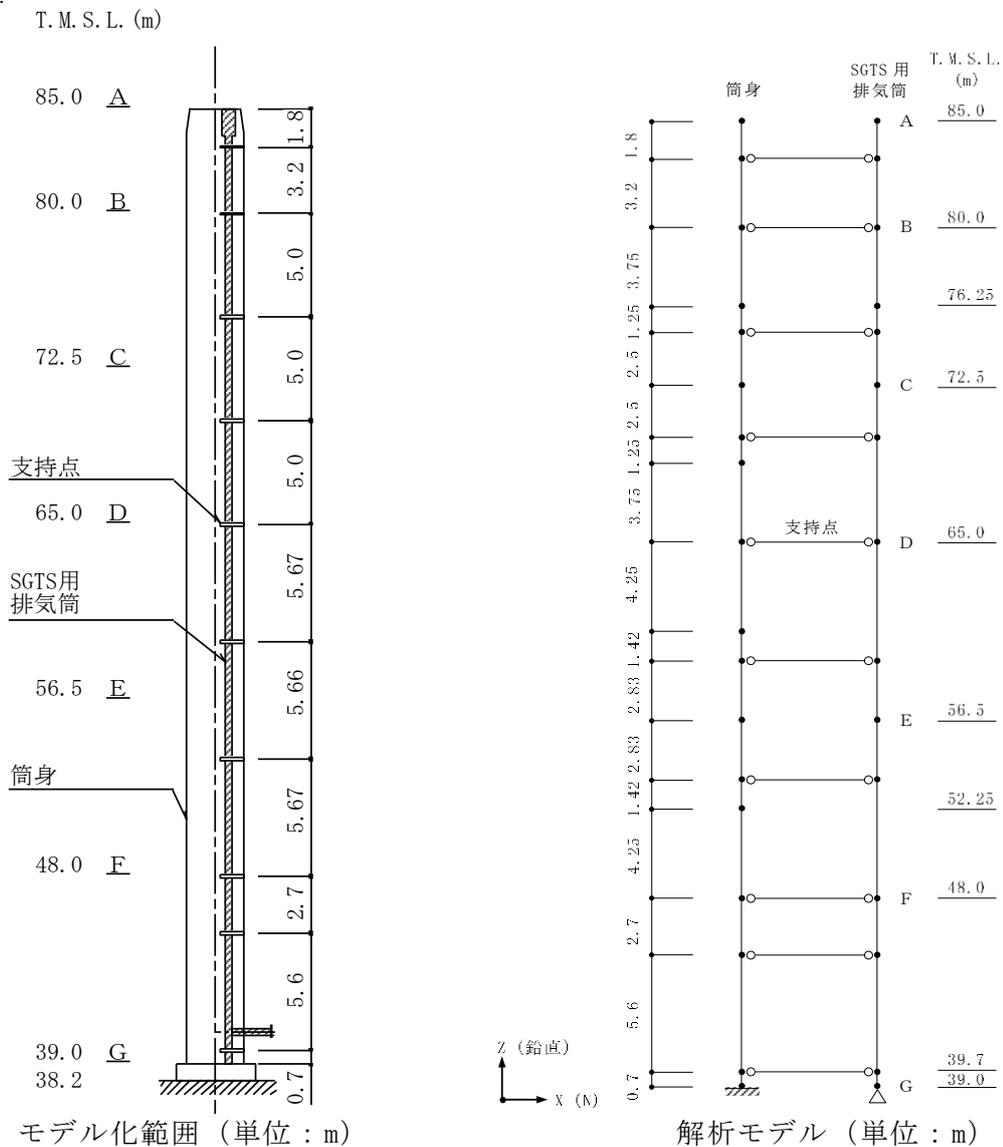
表2-2 SGTS用排気筒のモデル化, 境界条件及び拘束条件
モデル概要, 境界条件及び拘束条件

○モデル化範囲, 対象部材及び使用要素

- ・筒身基礎より上部の (T. M. S. L. 39.0m~T. M. S. L. 85.0m) の範囲
- ・はり要素: 筒身, SGTS 用排気筒及び支持点

○境界条件及び拘束条件

- ・筒身脚部は, $\phi 3.8\text{m}$ の基礎により支持されており, 軸力, せん断力及び曲げモーメントともに伝達するため, 固定とする。
- ・SGTS 用排気筒脚部と基礎の境界は, 軸力のみ伝達するため, 柱脚位置にてピン接合とする。
- ・支持点の両端は, 軸力のみ伝達するため, ピン接合とする。



別紙3 地震応答解析における原子炉建屋の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 3-2
2. 建屋応答の不確かさを考慮した設計用地震力の設定方法	別紙 3-4
3. 地震応答解析による建屋応答の不確かさの影響検討	別紙 3-24
3.1 固有値解析結果	別紙 3-24
3.2 地震応答解析結果	別紙 3-30
4. まとめ	別紙 3-38

1. 概要

1.1 検討概要

本資料は、主排気筒の地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討について説明するものである。

本資料では、材料物性の不確かさを考慮した原子炉建屋の応答を用いた地震応答解析を行い、原子炉建屋の材料物性の不確かさが主排気筒に及ぼす影響について確認する。なお、本資料においては、原子炉建屋の材料物性の不確かさを「建屋応答の不確かさ」ということとする。

建屋応答の不確かさを考慮する検討ケースを表1-1に示す。

表1-1中の下線部は、基本ケースとの差異を示す。

表1-1 建屋応答の不確かさを考慮する検討ケース*

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (設工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 (建屋剛性+ σ 及び地盤剛性+ σ)	<u>実強度+σ</u> (46.0N/mm ²)	100%	<u>標準地盤+σ</u> (<u>新期砂層+13%, 古安田層+25%及び 西山層+10%</u>)	—
③ケース 3 (建屋剛性- σ 及び地盤剛性- σ)	<u>実強度-σ</u> (40.2N/mm ²)	100%	<u>標準地盤-σ</u> (<u>新期砂層-13%, 古安田層-25%及び 西山層-10%</u>)	—
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	<u>実強度</u> (<u>コア平均</u>) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑤ケース 5 (建屋剛性-2 σ)	<u>実強度-2σ</u> (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	<u>50%</u>	標準地盤	—

注記* : 「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙3「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」に基づく。

1.2 検討方針

VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」では、建屋応答の不確かさを考慮するため、入力地震動には、材料物性の不確かさを考慮した原子炉建屋全体の地震応答解析結果から得られる屋上レベル（T.M.S.L.*38.2m）における応答を用いている。そのため、本検討における建屋応答の不確かさ及びその変動幅は、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙3「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」に準拠し、主排気筒の地震応答解析モデルに対しては建屋剛性の不確かさ（コンクリート強度）を考慮する。なお、建屋剛性の不確かさ（コンクリート強度）は、基礎コンクリートの物性値に考慮する。

検討は、表1-1に示す各検討ケースについて固有値解析及び地震応答解析を行い、ケース1（基本ケース）の結果と比較することで、建屋応答の不確かさが主排気筒に及ぼす影響について確認する。

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

主排気筒の地震応答解析モデル図を図1-1に示す。

注記*：なお、東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

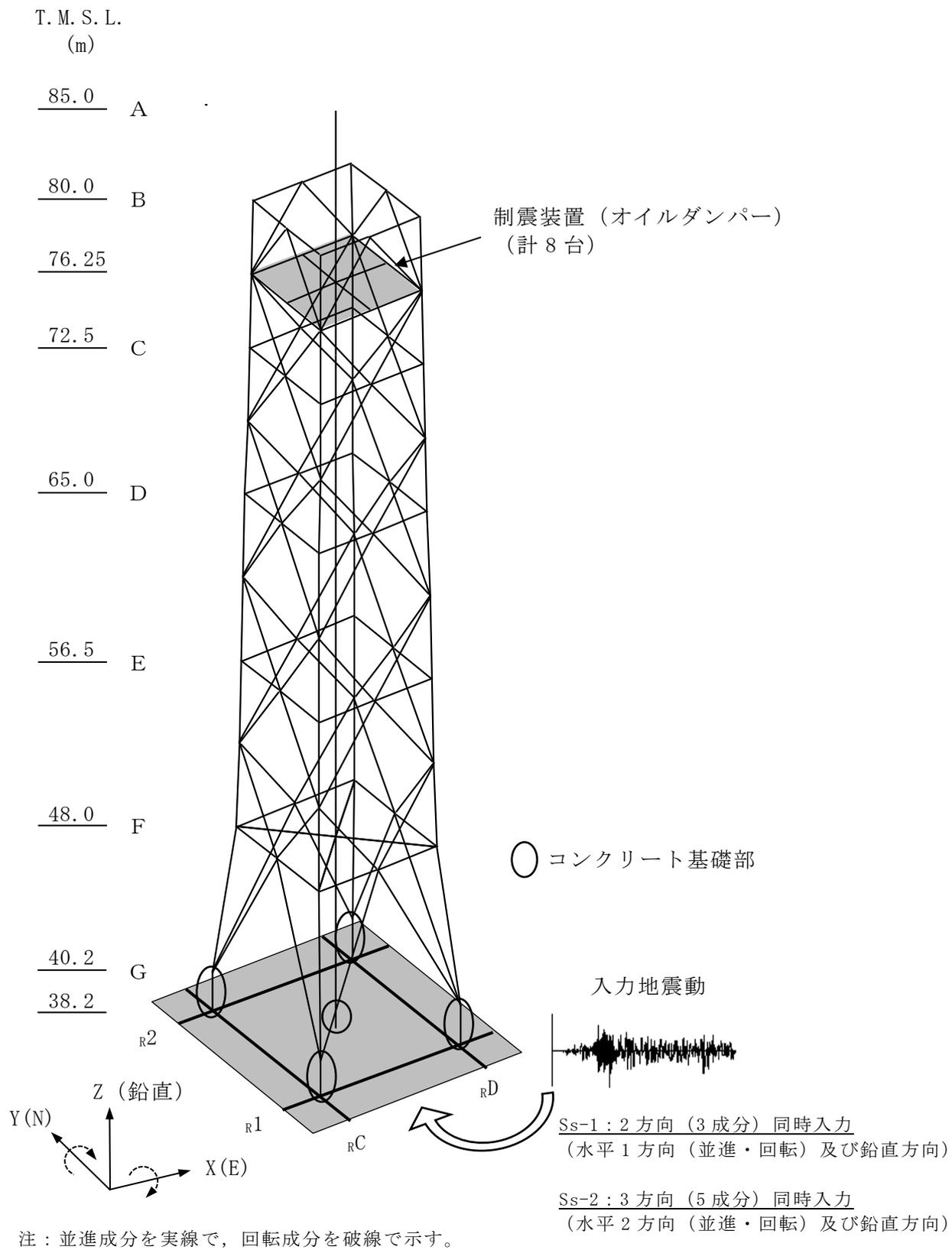


図1-1 主排気筒の地震応答解析モデル

2. 建屋応答の不確かさを考慮した設計用地震力の設定方法

表1-1に示した検討ケースについて、原子炉建屋の応答を入力地震動として用いた解析を実施することで、建屋応答の不確かさを設計用地震力として考慮する。

建屋応答の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主排気筒の応答を確認したうえで、主排気筒の応答への影響が大きい波（Ss-1及びSs-2）に対して実施する（別紙3-1「原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について」参照）。

VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における耐震評価では、入力地震動ごとに、全ての部材をモデル化した立体フレームモデルにおける各部材応力について断面算定を行い、その中で断面算定結果（検定値）が最も厳しくなる地震応答解析結果を設計用地震力（評価用応力）としている。なお、建屋応答の不確かさを考慮した地震応答解析結果は、別紙3-2「原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。

入力地震動の組合せを表2-1に、入力地震動の加速度時刻歴波形を図2-1～図2-12に示す。なお、図中の○印は、最大値発生時を示す。Ss-1は、2方向（3成分）（水平1方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とし、Ss-2は、3方向（5成分）（水平2方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。Ss-1の水平方向については、NS方向とEW方向で構造としての対称性があるため、検定値が厳しい傾向にあるNS方向を代表として用いる。なお、Ss-1のケース6、Ss-2のケース1及びケース3～6において誘発上下動を考慮している。

表2-1 入力地震動の組合せ

(a) Ss-1

建屋応答の不確かさ 検討ケース	入力地震動の組合せ (Ss-1, 2方向 (3成分) 同時入力)					鉛直 方向* ¹	備考* ²	
	水平方向* ¹				鉛直 方向* ¹			備考* ²
	NS 方向		EW 方向					
	並進	回転	並進	回転				
ケース 1 (基本ケース)	○	○	—	—	○	—		
ケース 2 (建屋剛性+ σ 及び 地盤剛性+ σ)	○	○	—	—	○	—		
ケース 3 (建屋剛性- σ 及び 地盤剛性- σ)	○	○	—	—	○	—		
ケース 4 (建屋剛性コア平均)	○	○	—	—	○	—		
ケース 5 (建屋剛性- 2σ)	○	○	—	—	○	—		
ケース 6 (回転ばね低減)	○	○	—	—	○	誘発上下動考慮		

注記*1 : 組み合わせる成分を「○」で、組み合わせない成分を「—」で示す。

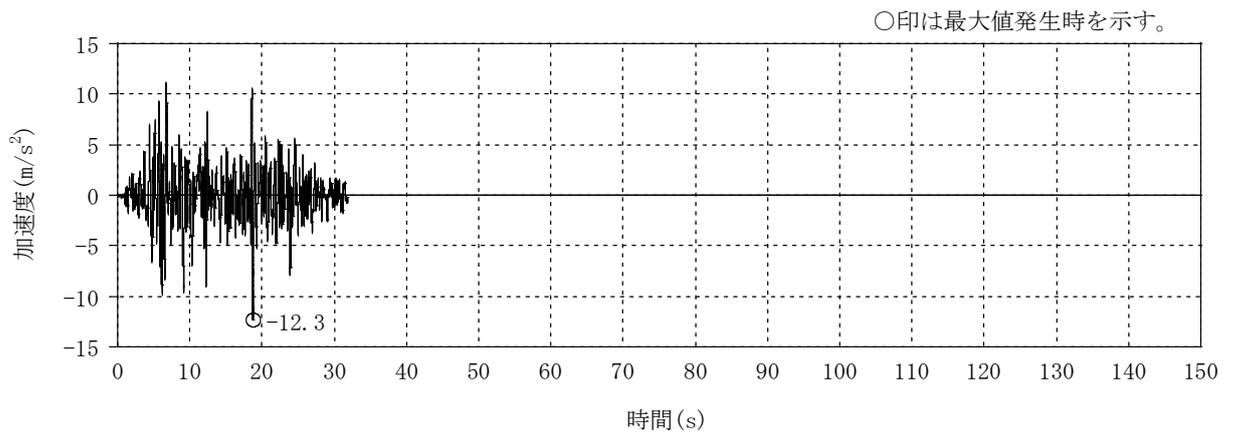
*2 : 誘発上下動を考慮しない場合は「—」で示す。

(b) Ss-2

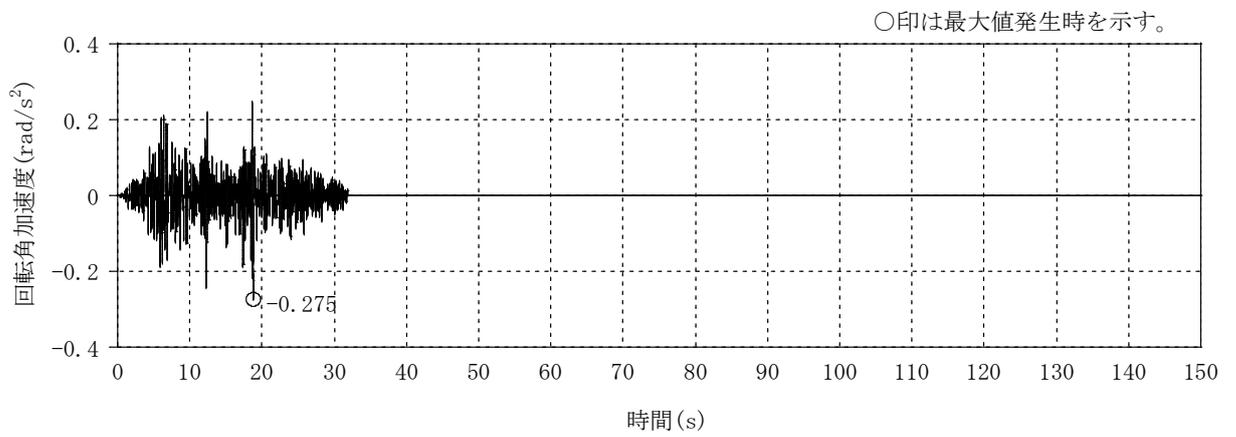
建屋応答の不確かさ 検討ケース	入力地震動の組合せ (Ss-2, 3方向 (5成分) 同時入力)					鉛直 方向* ¹	備考* ²	
	水平方向* ¹				鉛直 方向* ¹			備考* ²
	NS 方向		EW 方向					
	並進	回転	並進	回転				
ケース 1 (基本ケース)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮		
ケース 2 (建屋剛性+ σ 及び 地盤剛性+ σ)	○	○	○	○	○	—		
ケース 3 (建屋剛性- σ 及び 地盤剛性- σ)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮		
ケース 4 (建屋剛性コア平均)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮		
ケース 5 (建屋剛性- 2σ)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮		
ケース 6 (回転ばね低減)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮		

注記*1 : 組み合わせる成分を「○」で、組み合わせない成分を「—」で示す。

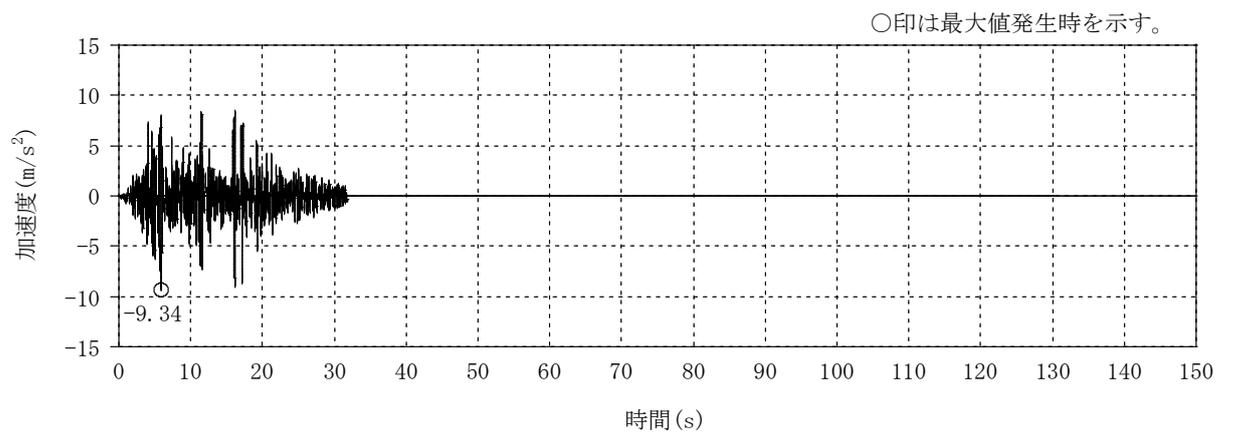
*2 : 誘発上下動を考慮しない場合は「—」で示す。



(a) NS方向 並進成分

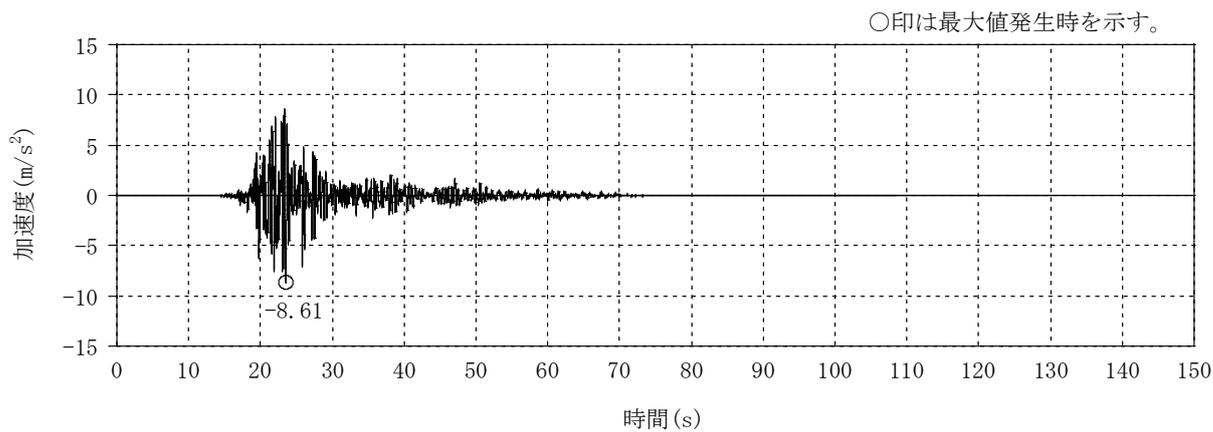


(b) NS方向 回転成分

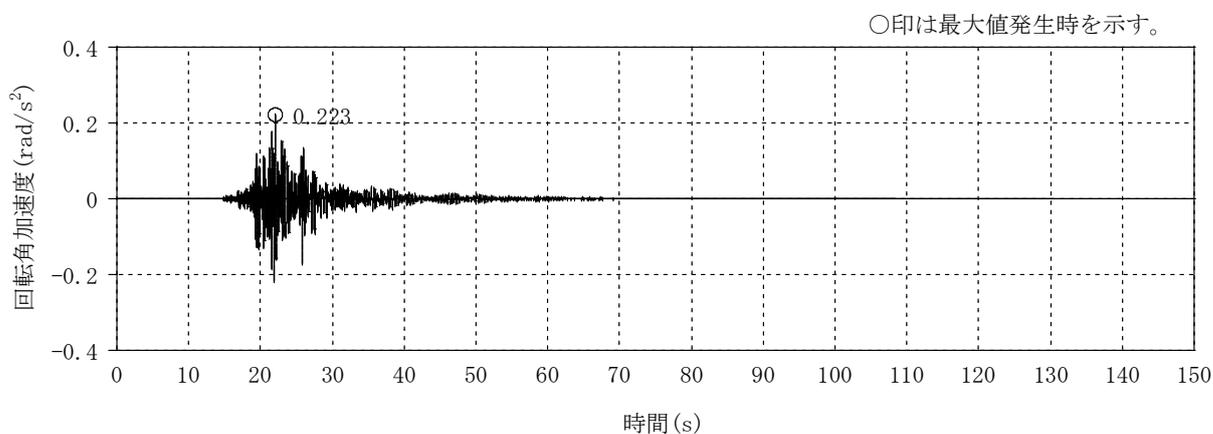


(c) 鉛直方向

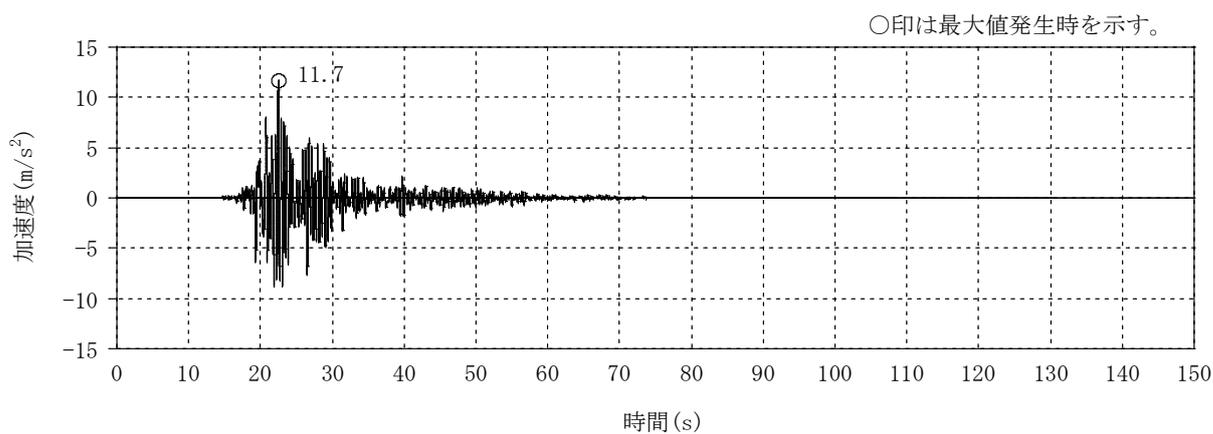
図2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース1, S_s-1)



(a) NS方向 並進成分

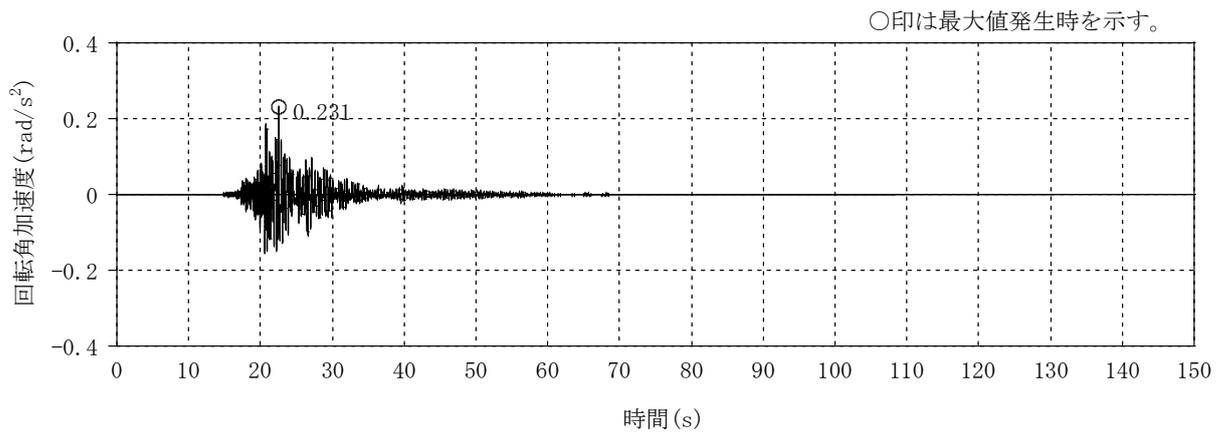


(b) NS方向 回転成分

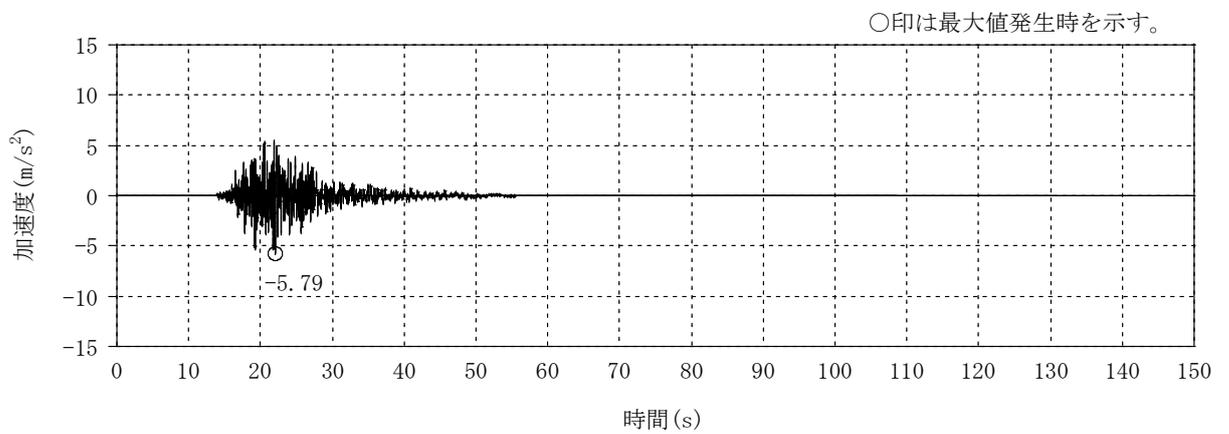


(c) EW方向 並進成分

図2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース1, Ss-2) (1/2)

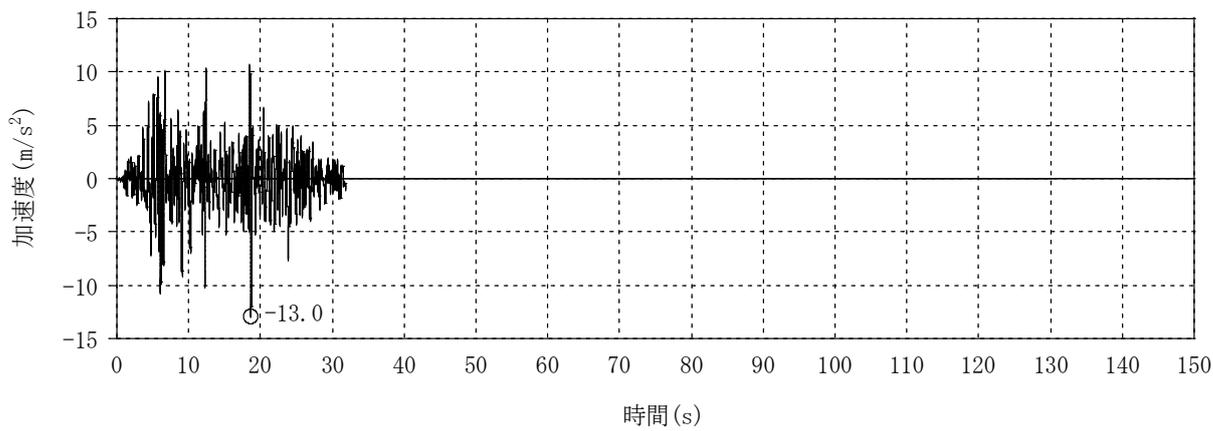


(d) EW方向 回轉成分

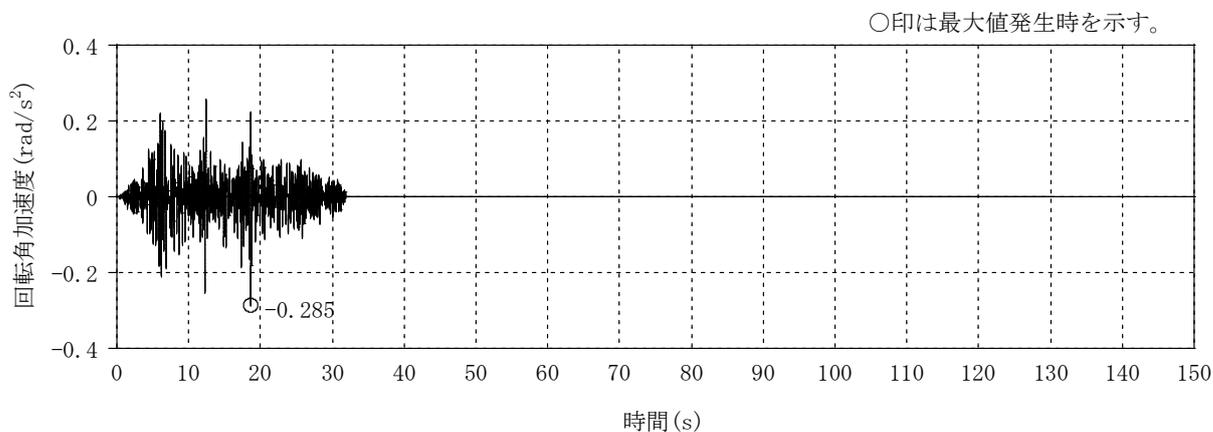


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

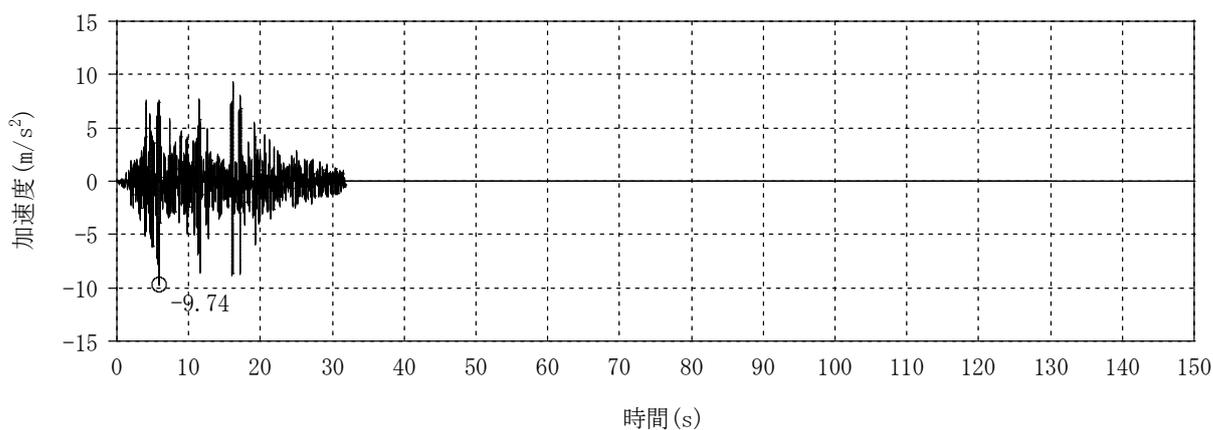
図2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース1, S_s-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

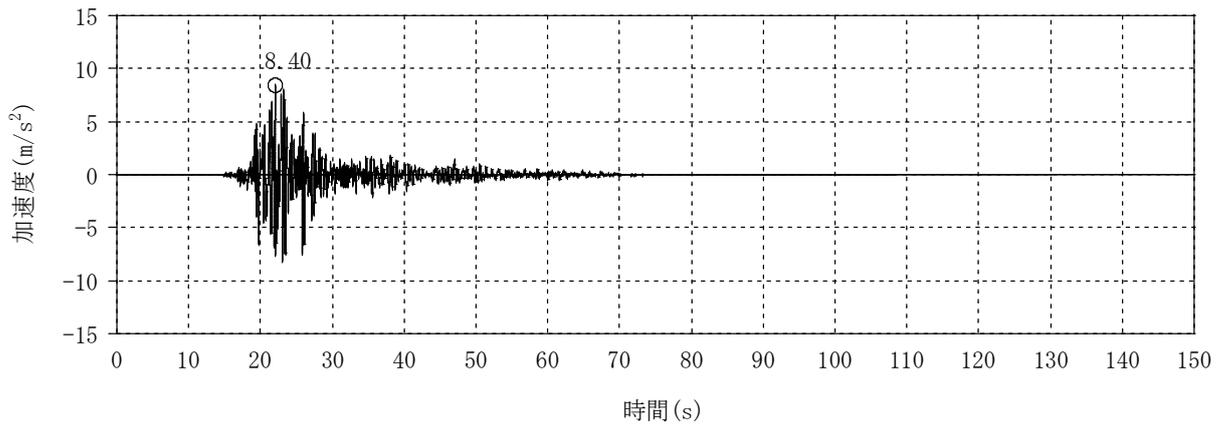


(b) NS方向 回転成分

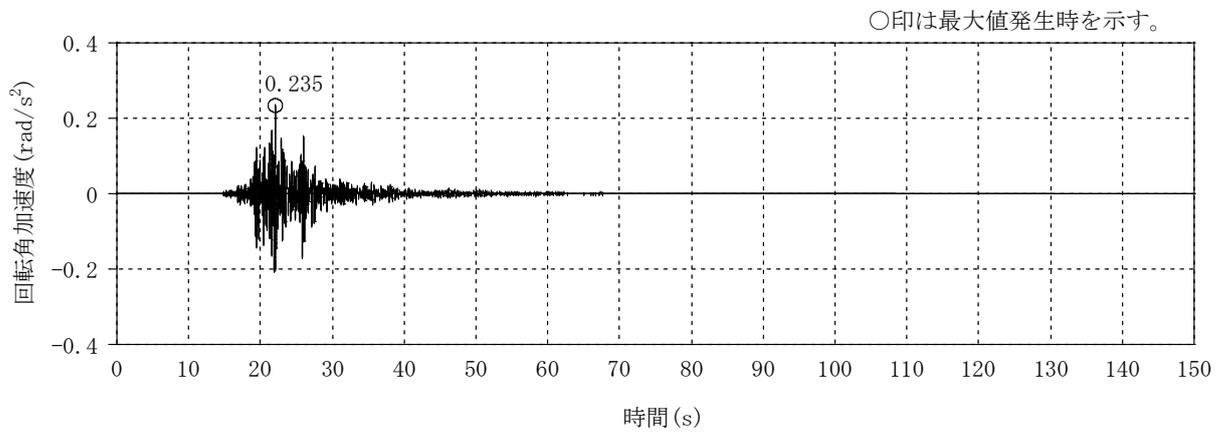


(c) 鉛直方向

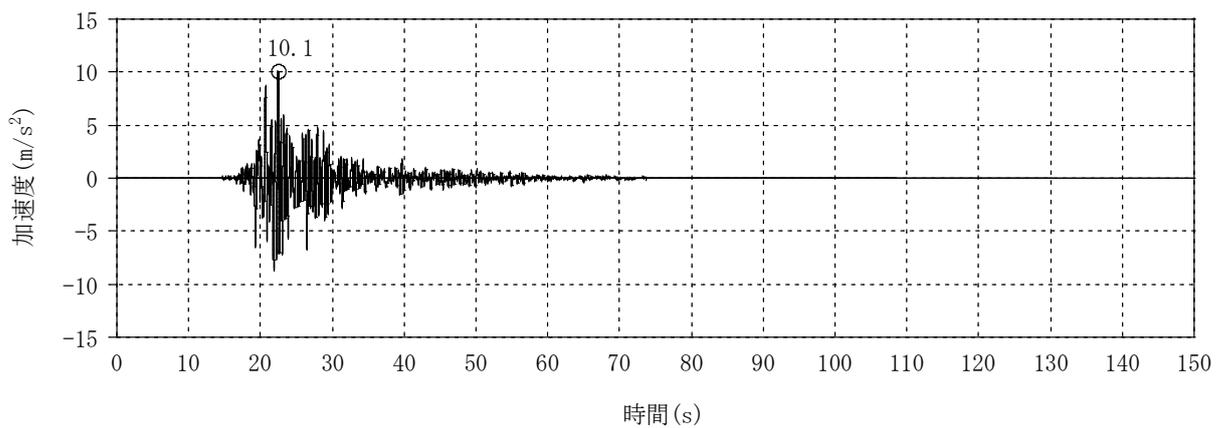
図2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース2, Ss-1)



(a) NS方向 並進成分

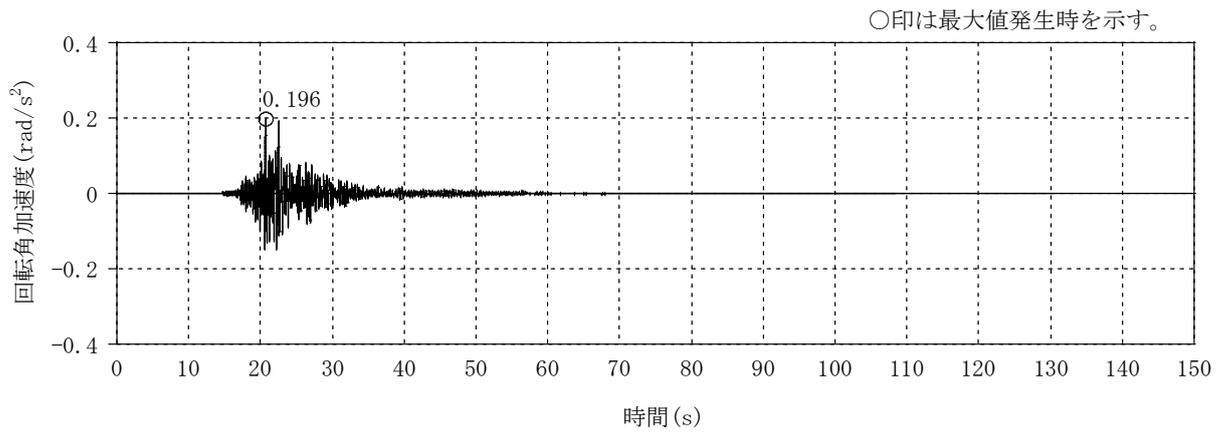


(b) NS方向 回転成分

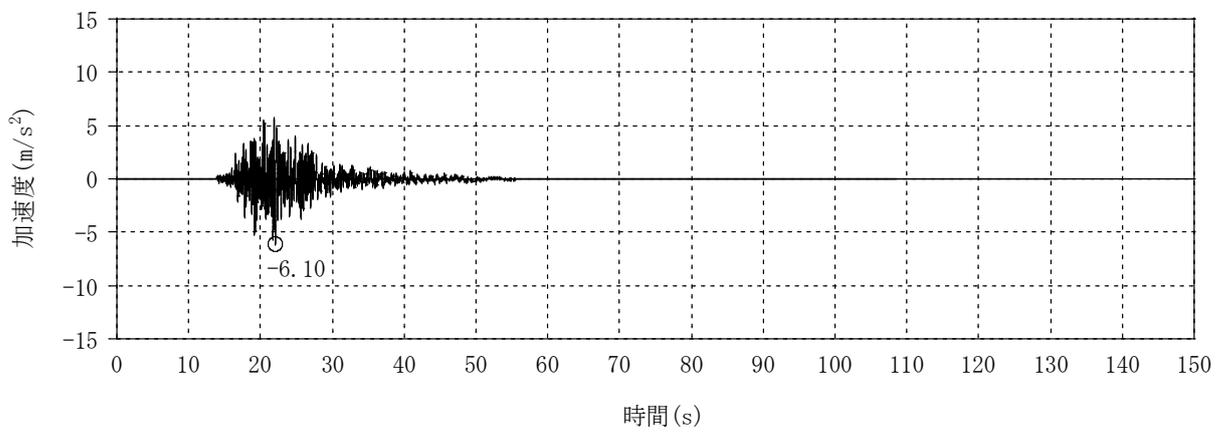


(c) EW方向 並進成分

図2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース2, Ss-2) (1/2)

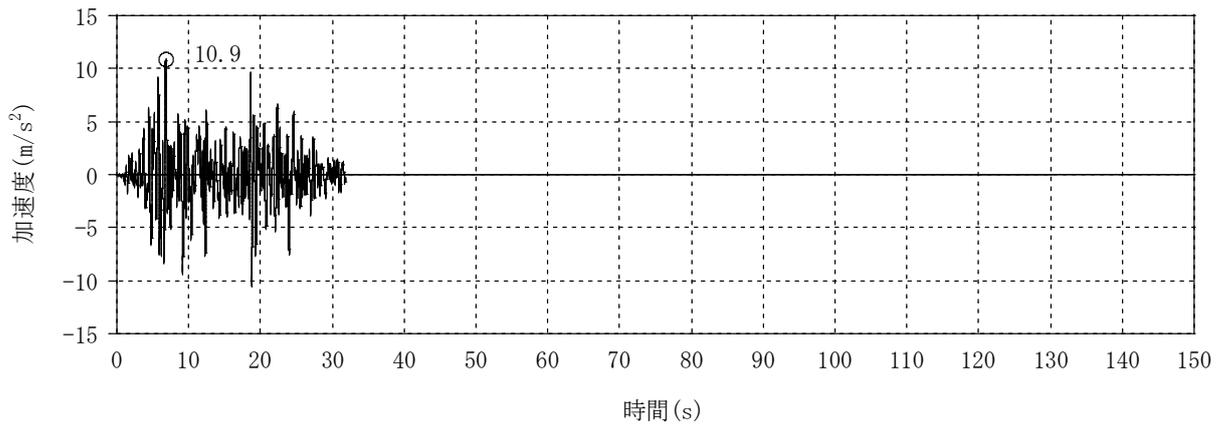


(d) EW方向 回転成分

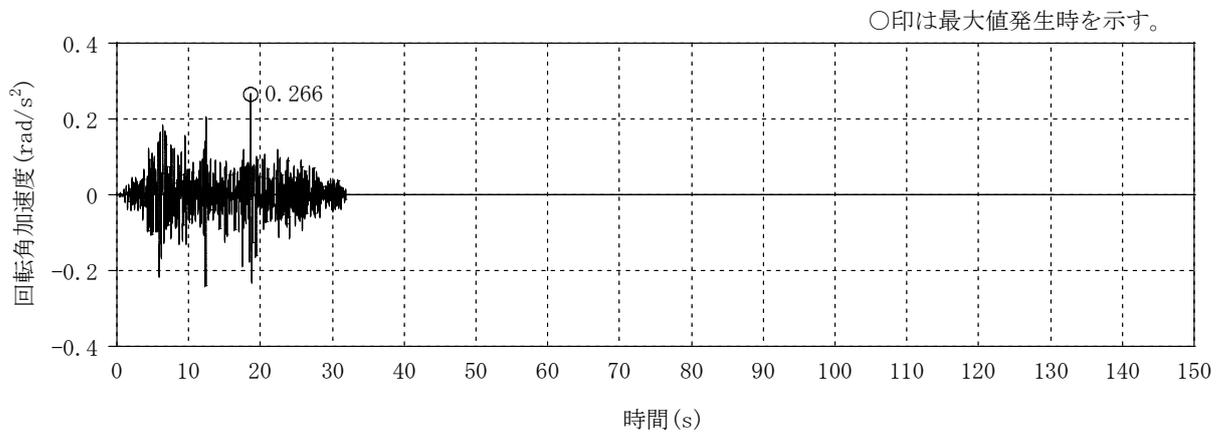


(e) 鉛直方向

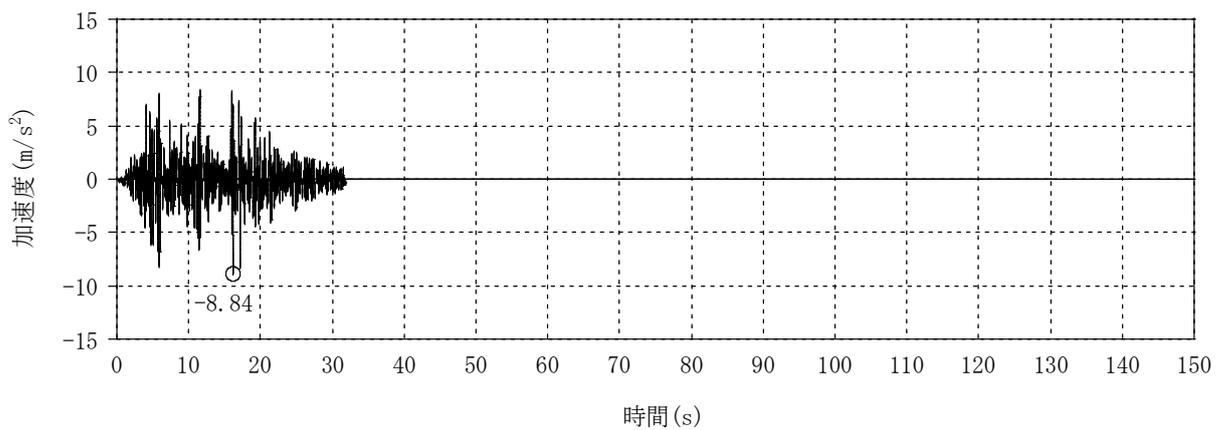
図2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース2, S_s-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

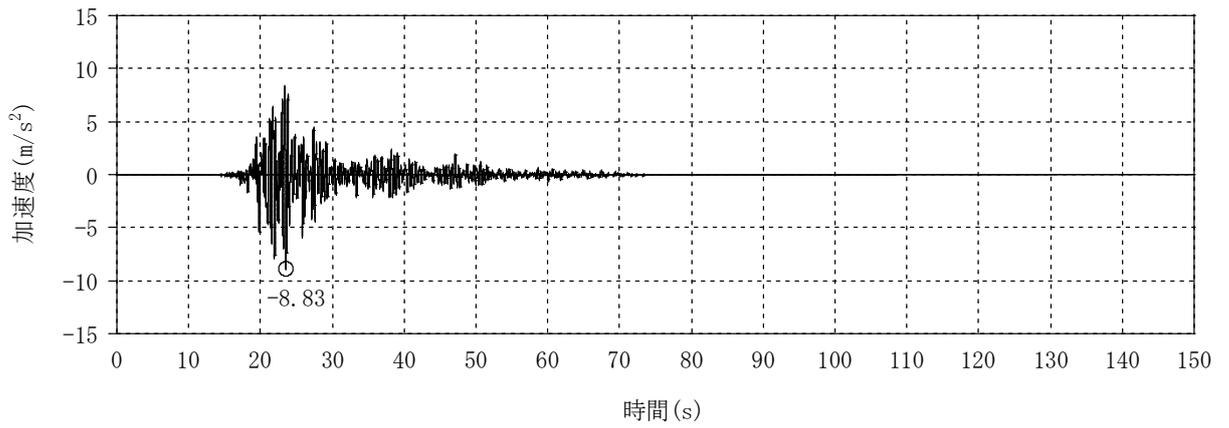


(b) NS方向 回転成分

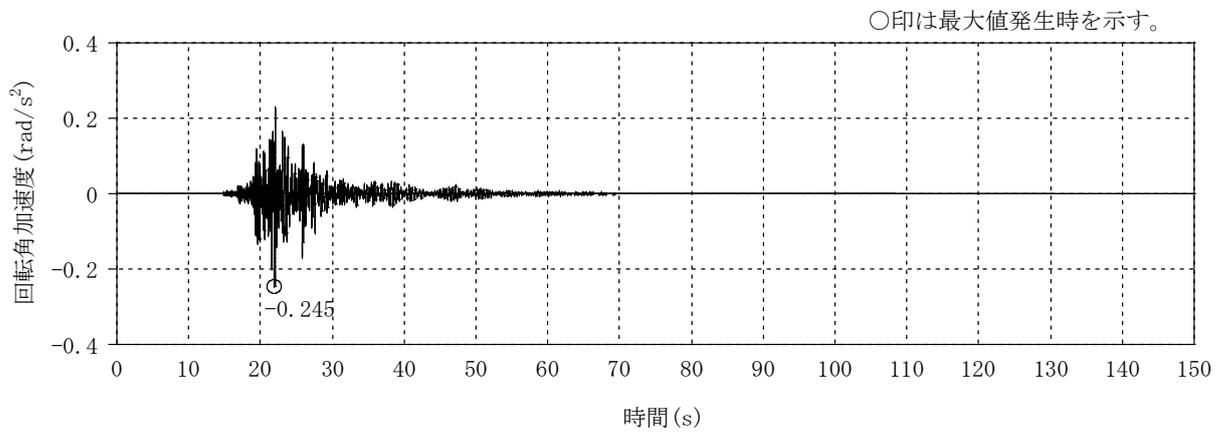


(c) 鉛直方向

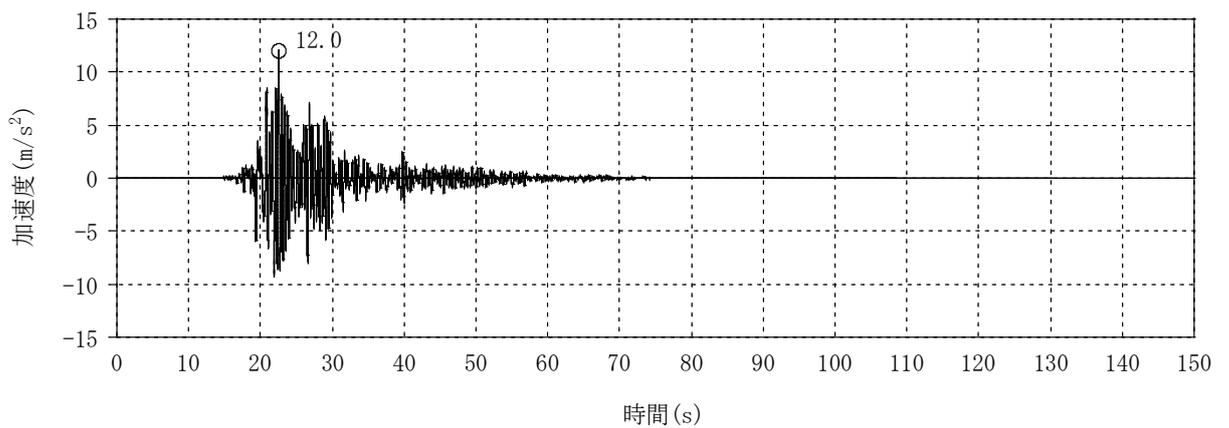
図2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース3, Ss-1)



(a) NS方向 並進成分

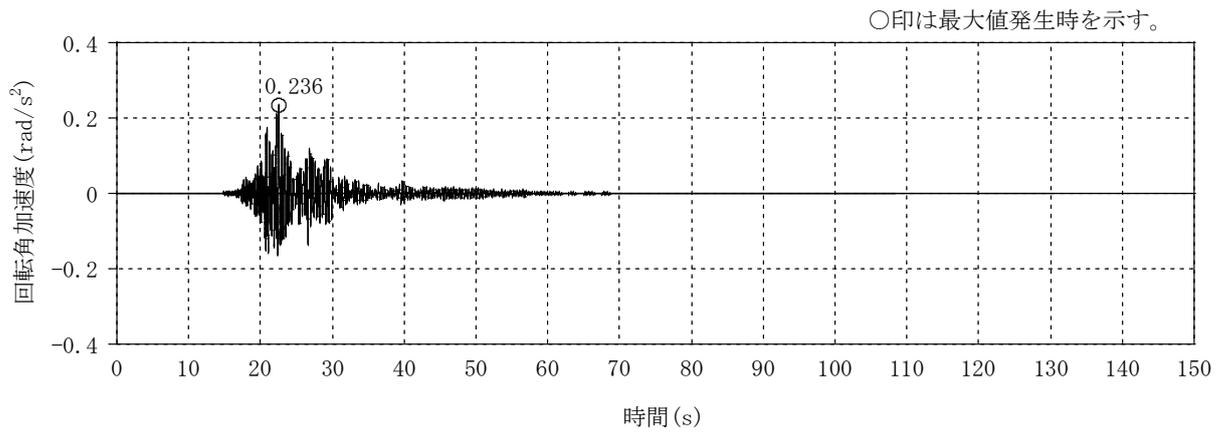


(b) NS方向 回転成分

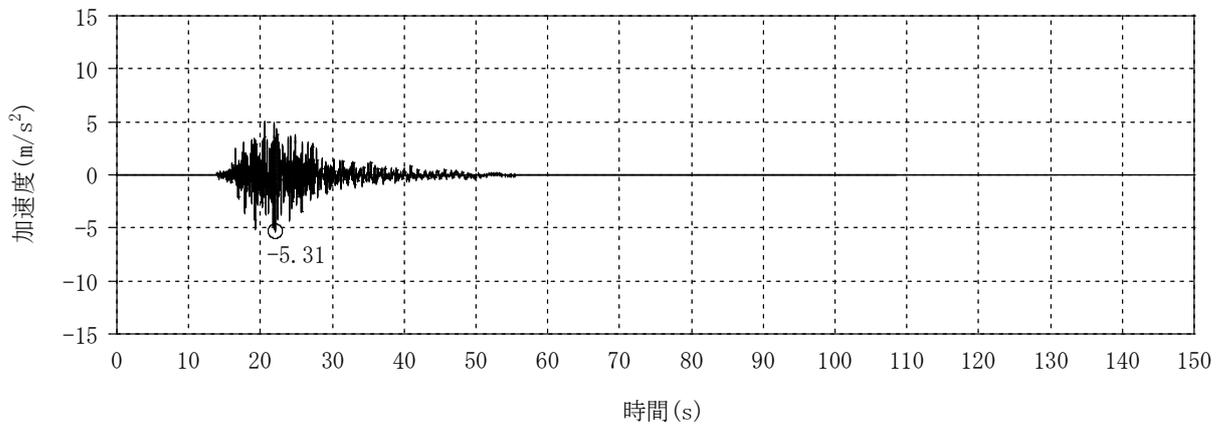


(c) EW方向 並進成分

図2-6 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース3, Ss-2) (1/2)

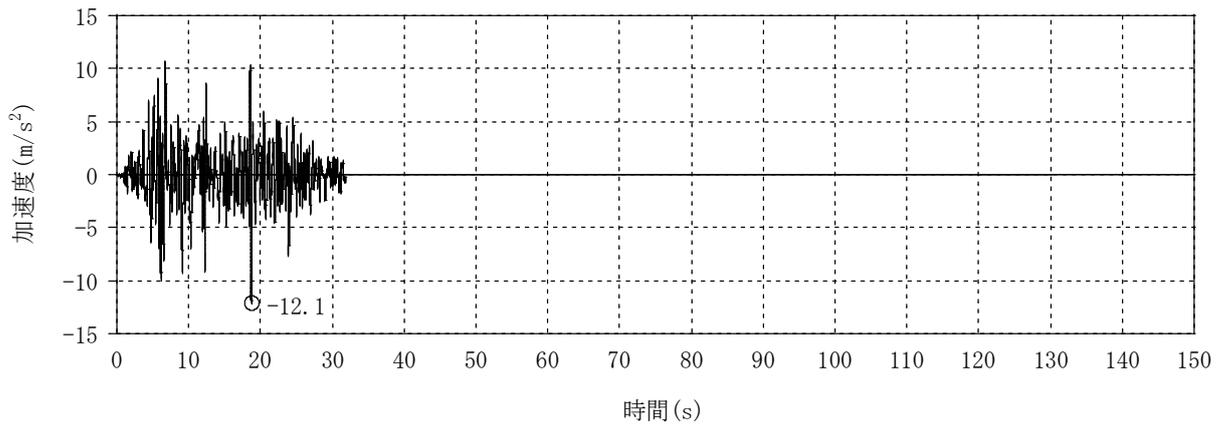


(d) EW方向 回転成分

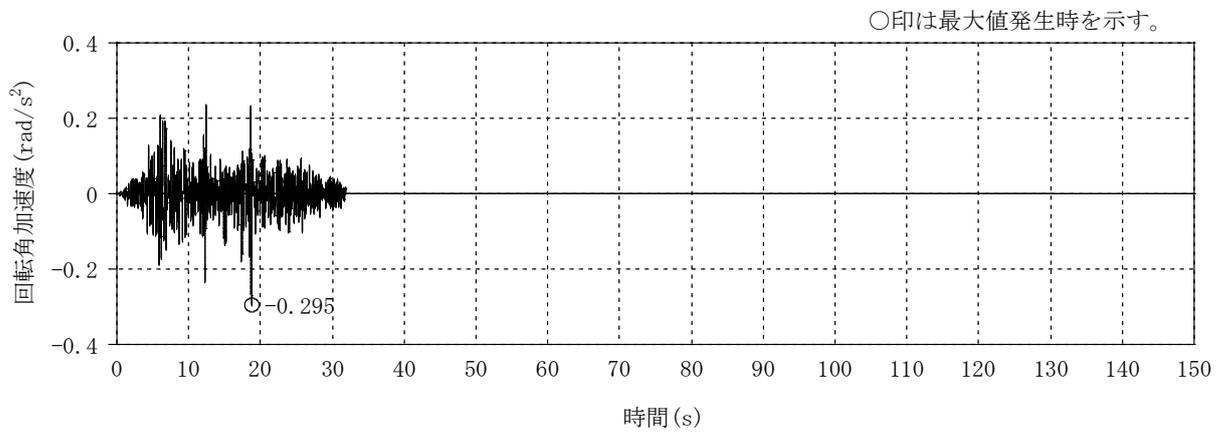


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

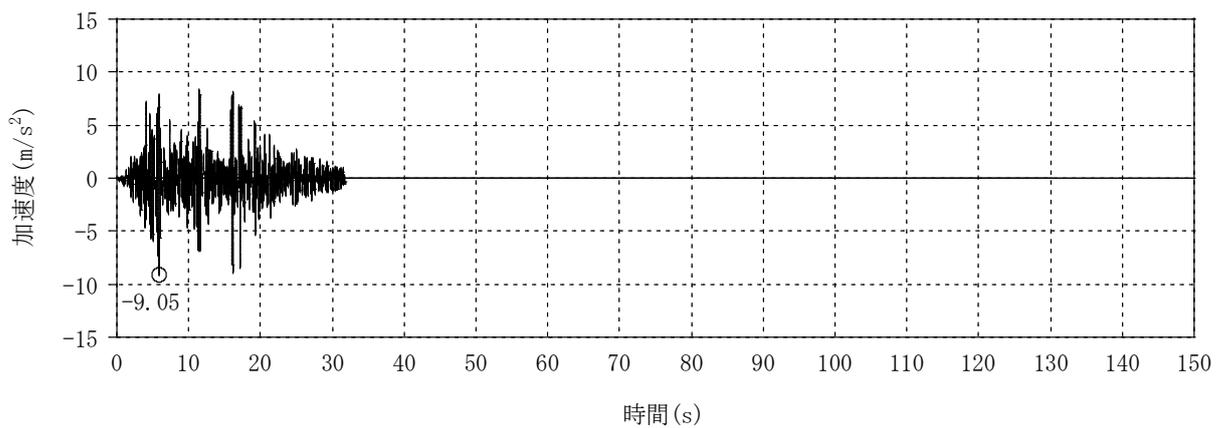
図2-6 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース3, S_s-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

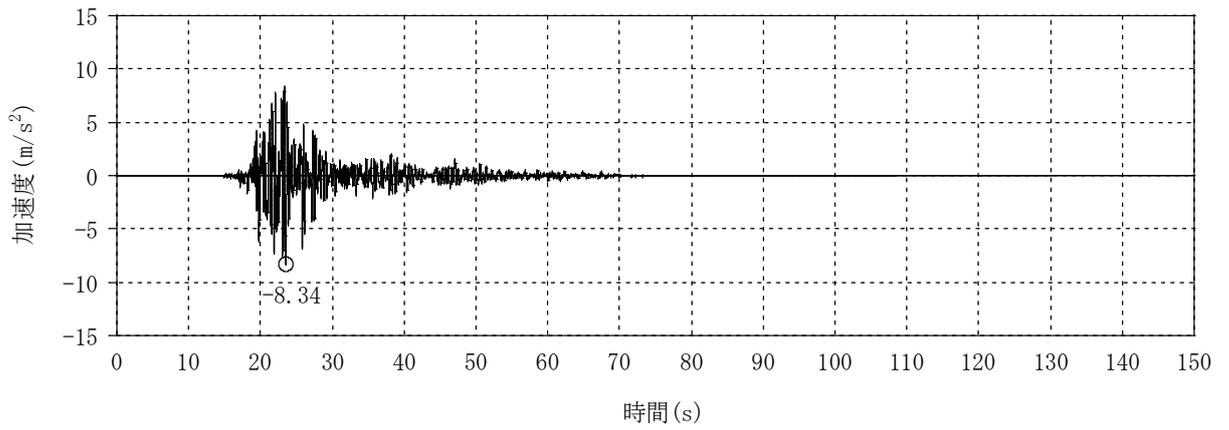


(b) NS方向 回転成分

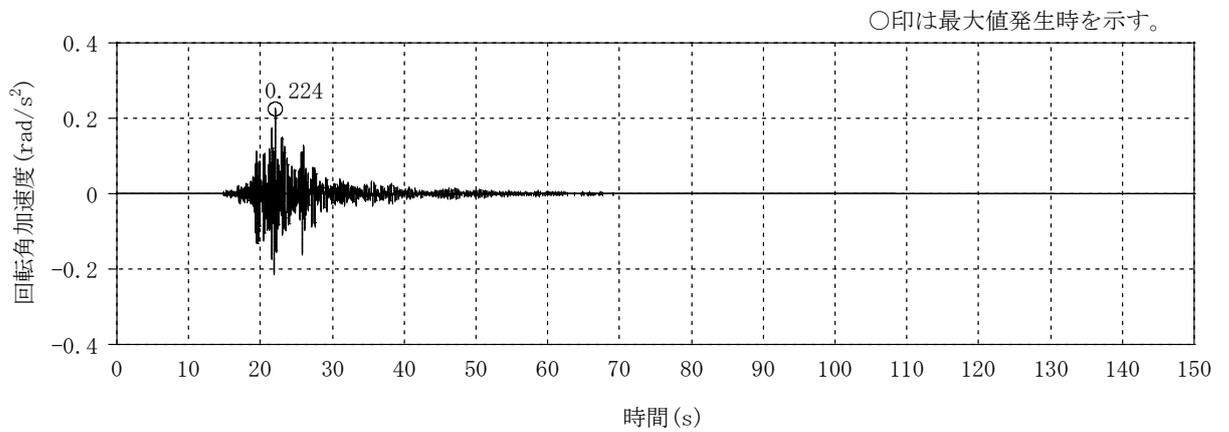


(c) 鉛直方向

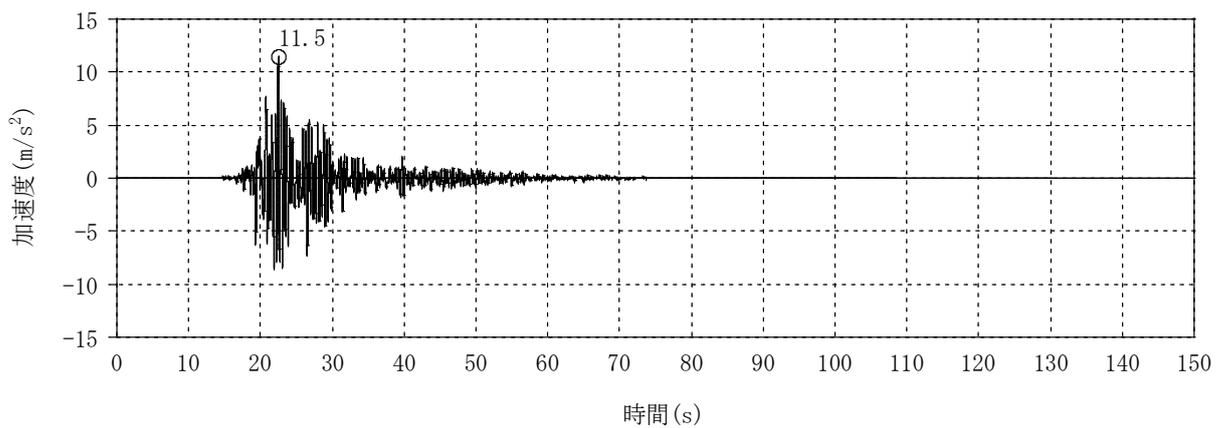
図2-7 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース4, Ss-1)



(a) NS方向 並進成分

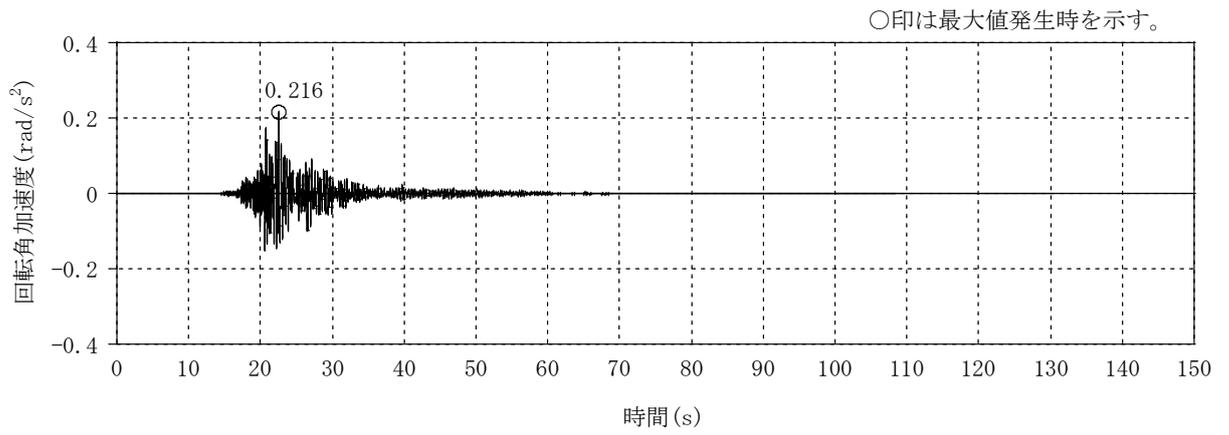


(b) NS方向 回転成分

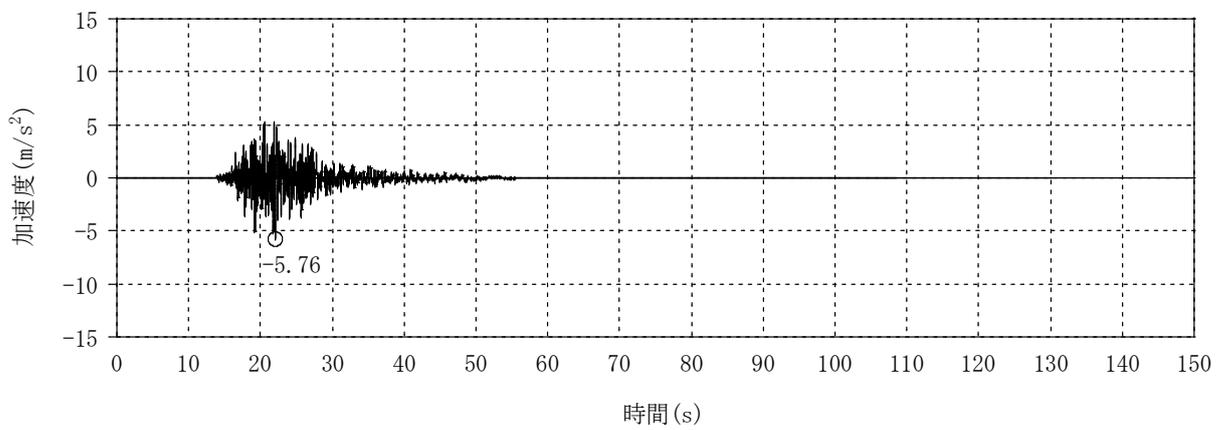


(c) EW方向 並進成分

図2-8 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース4, Ss-2) (1/2)

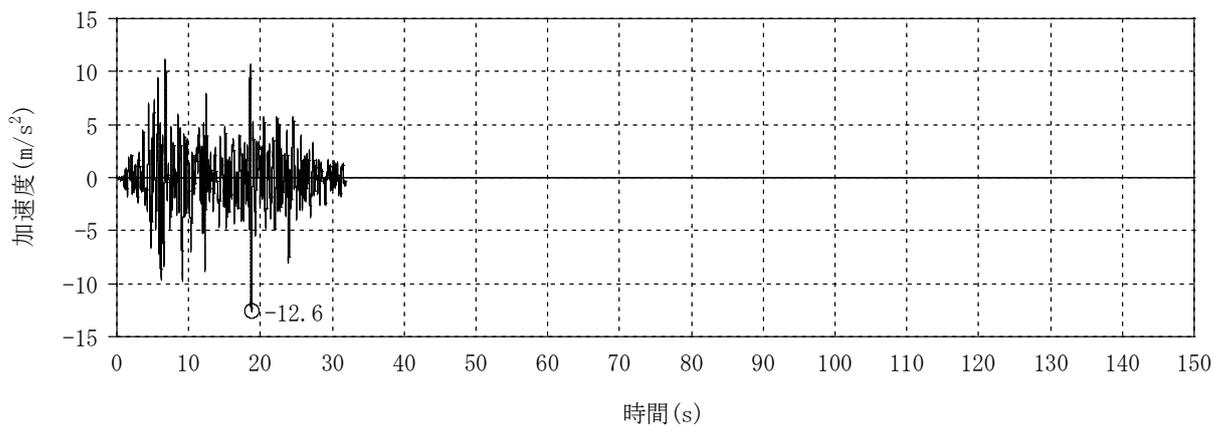


(d) EW方向 回転成分

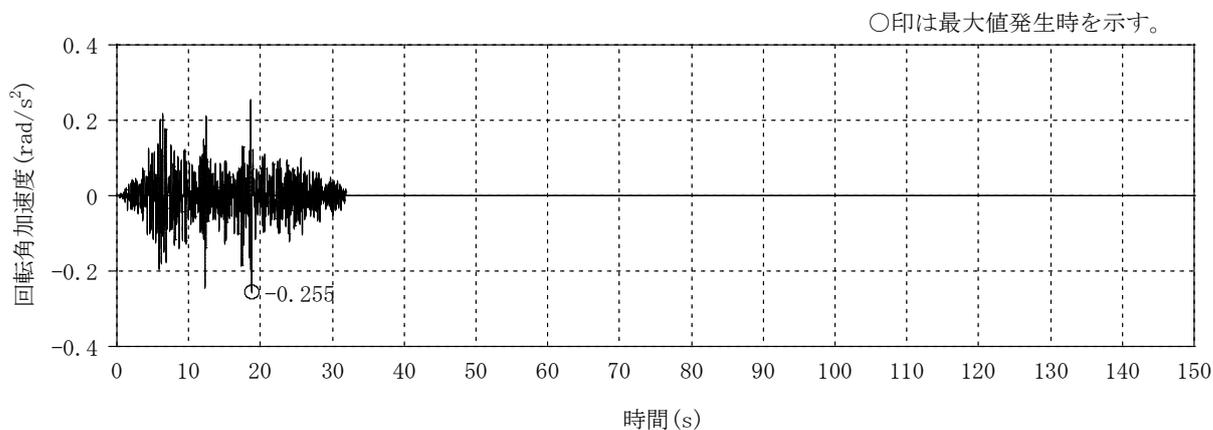


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

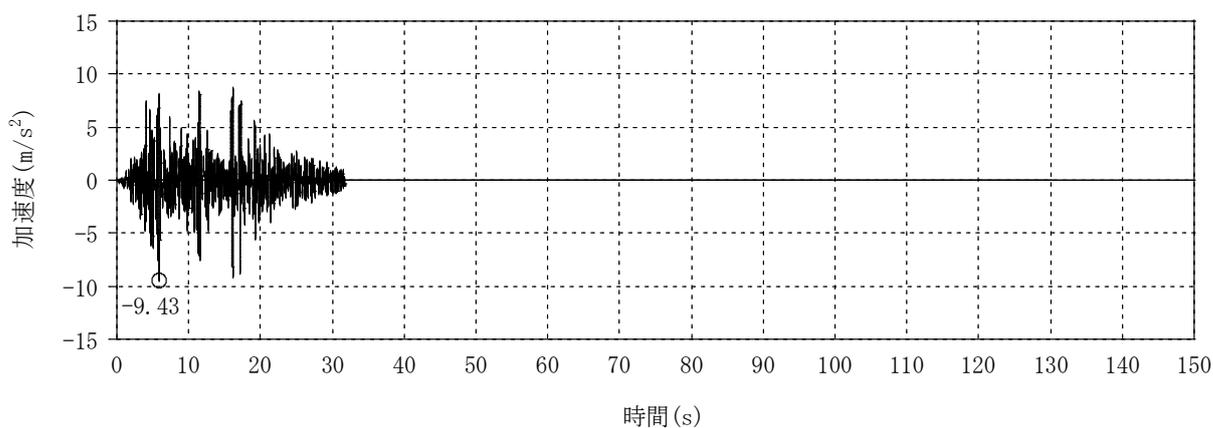
図2-8 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース4, S_s-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

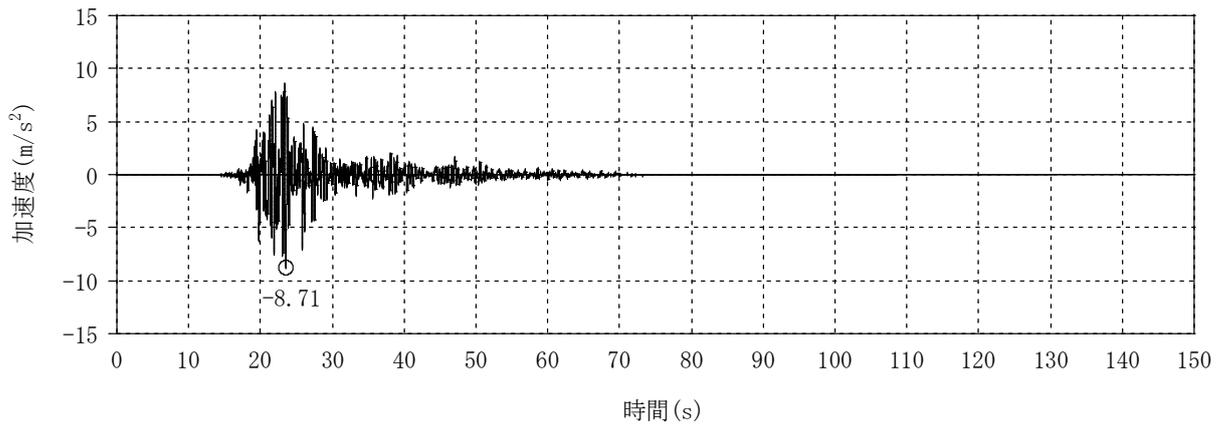


(b) NS方向 回転成分

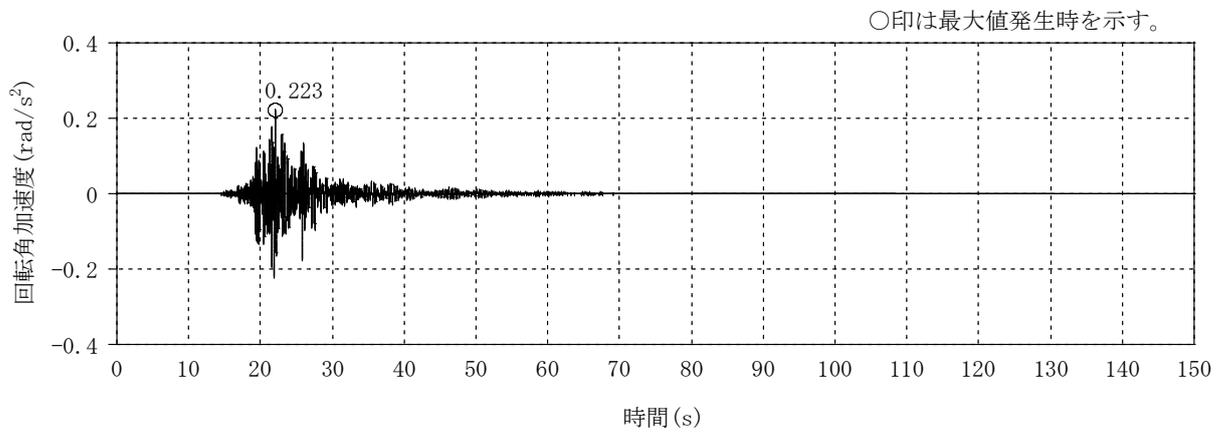


(c) 鉛直方向

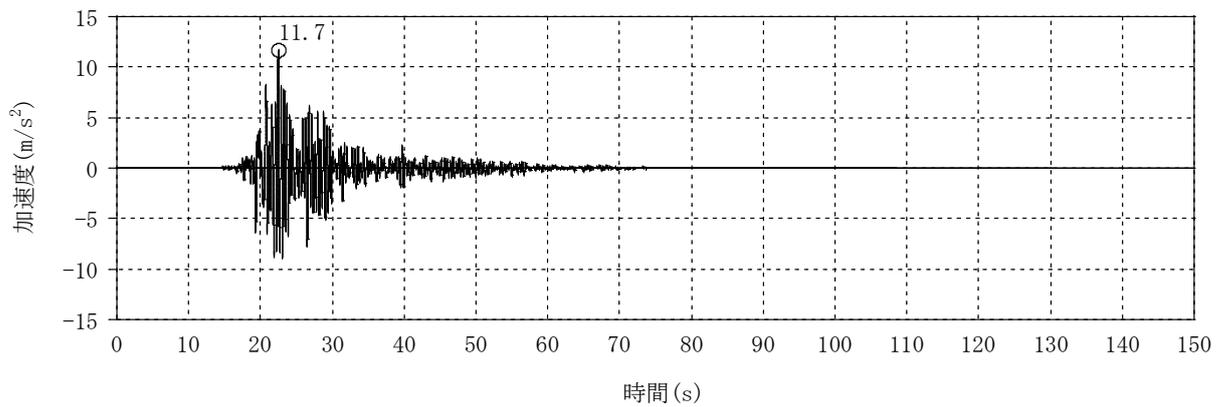
図2-9 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース5, Ss-1)



(a) NS方向 並進成分

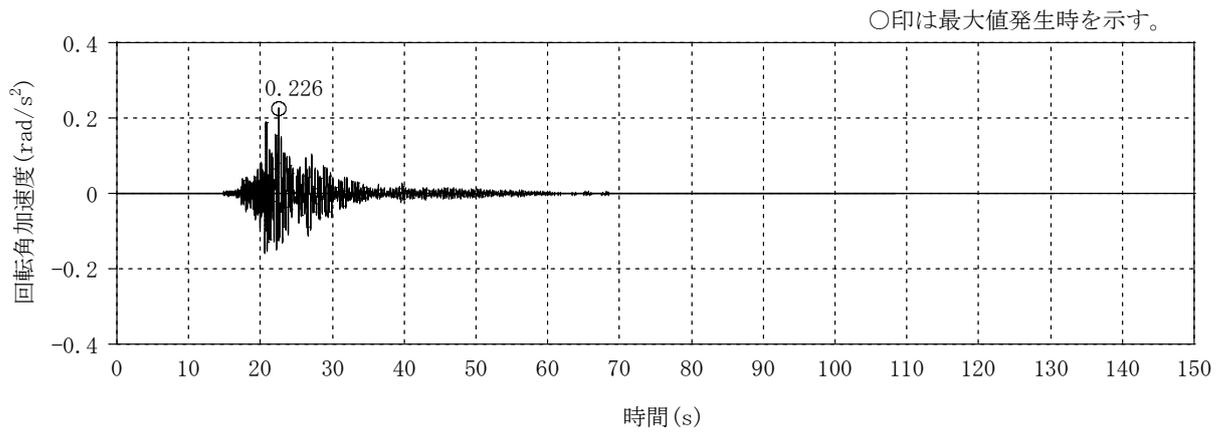


(b) NS方向 回転成分

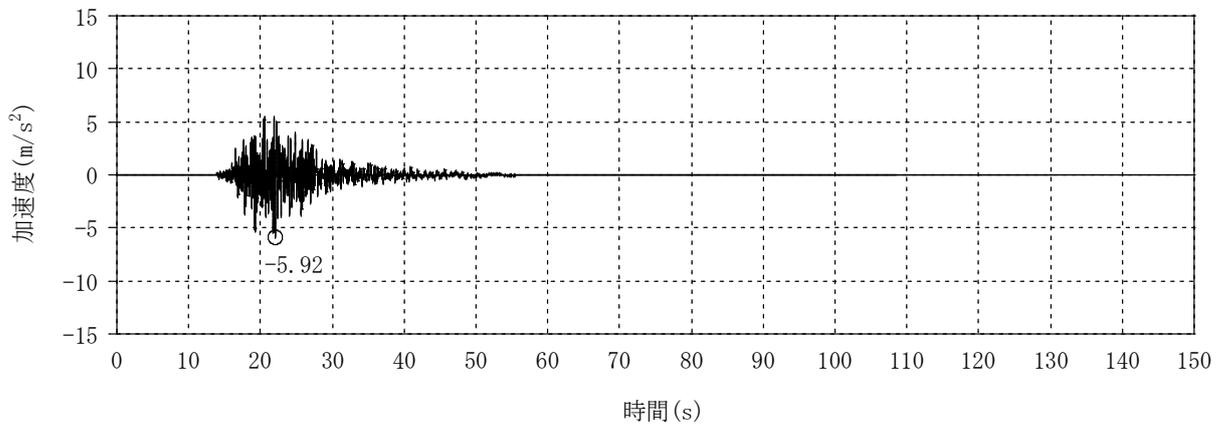


(c) EW方向 並進成分

図2-10 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース5, Ss-2) (1/2)

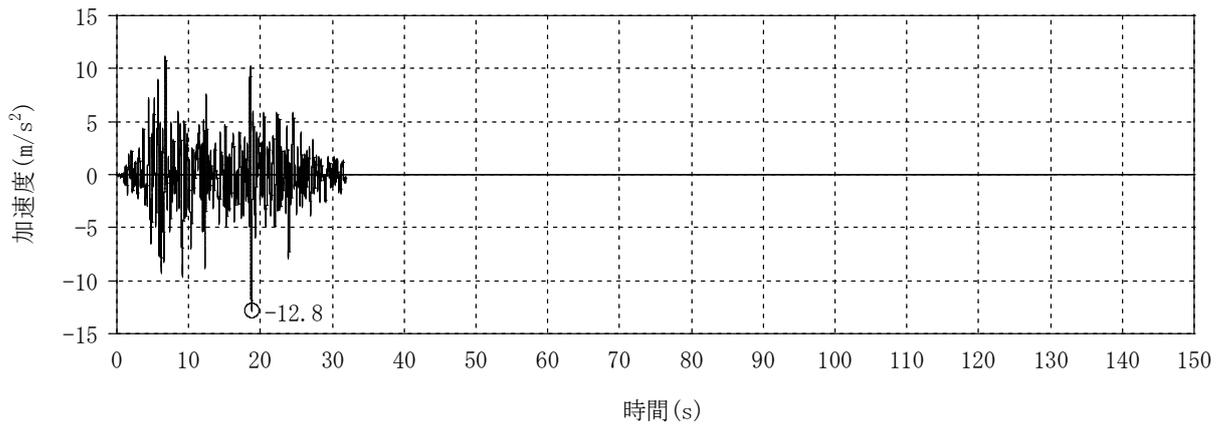


(d) EW方向 回転成分

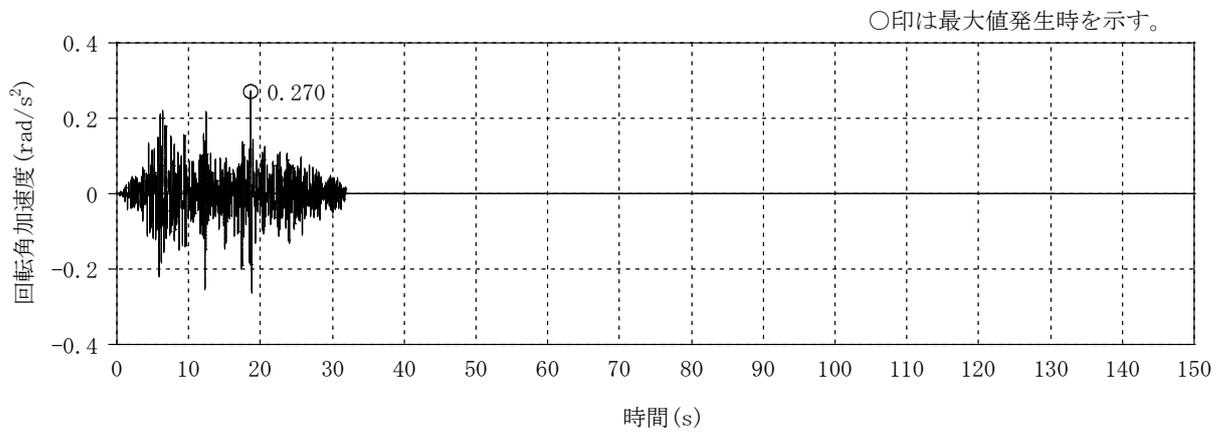


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

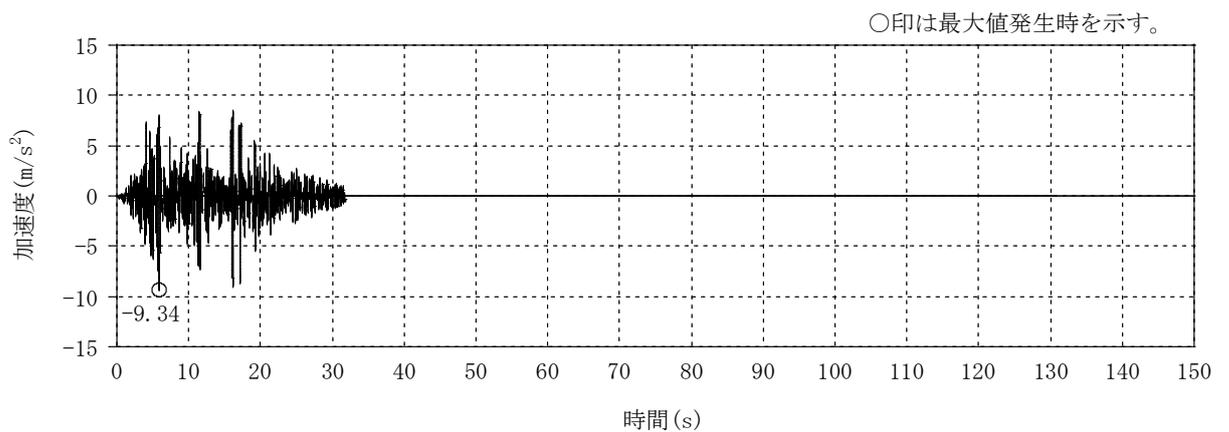
図2-10 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース5, S_s-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

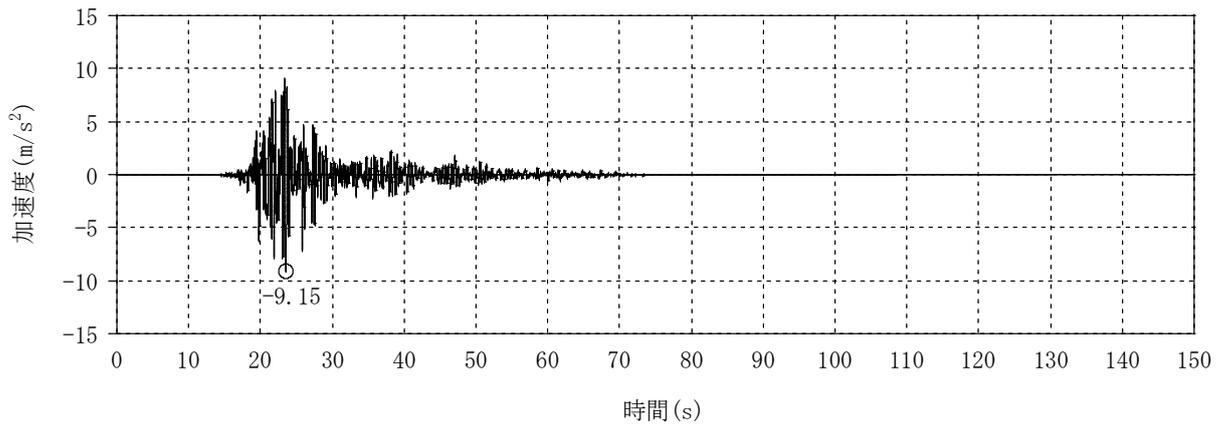


(b) NS方向 回転成分

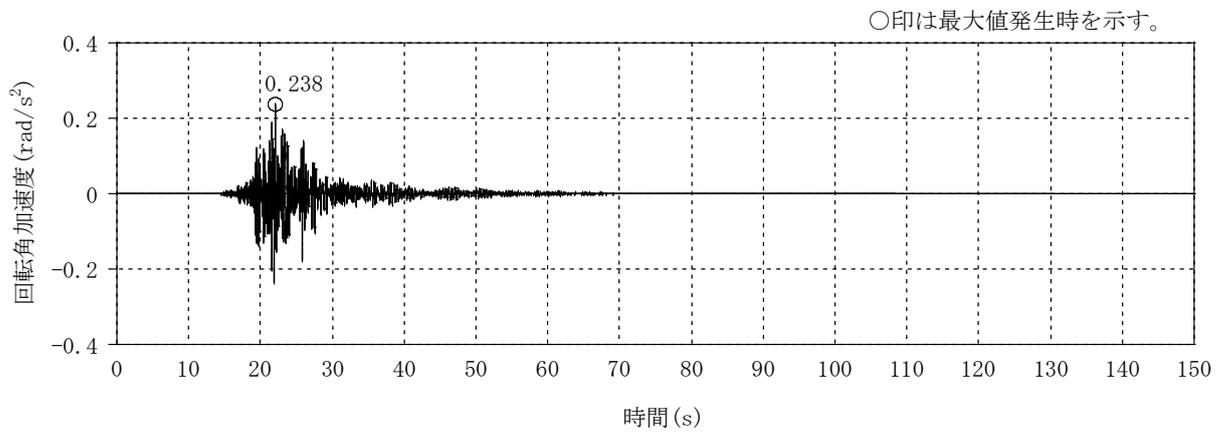


(c) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

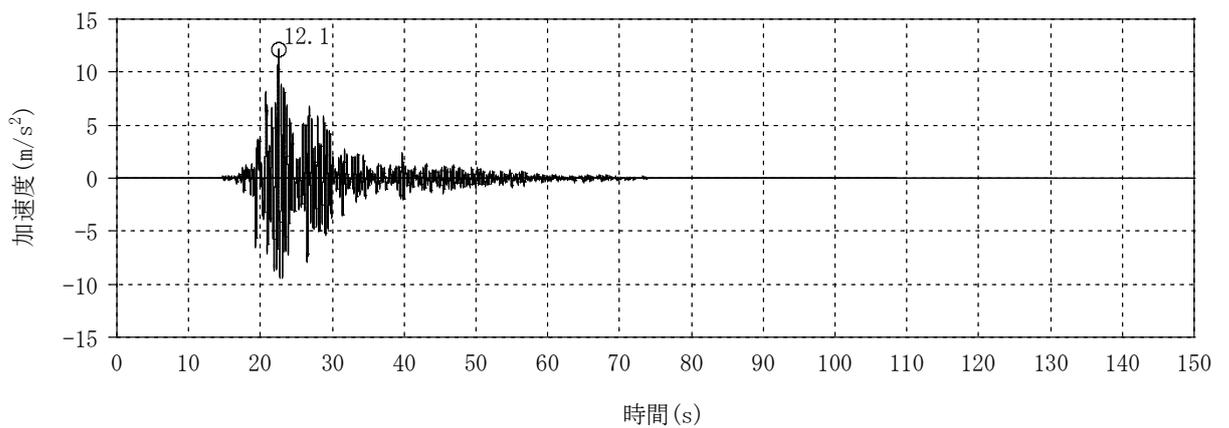
図2-11 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース6, Ss-1)



(a) NS方向 並進成分

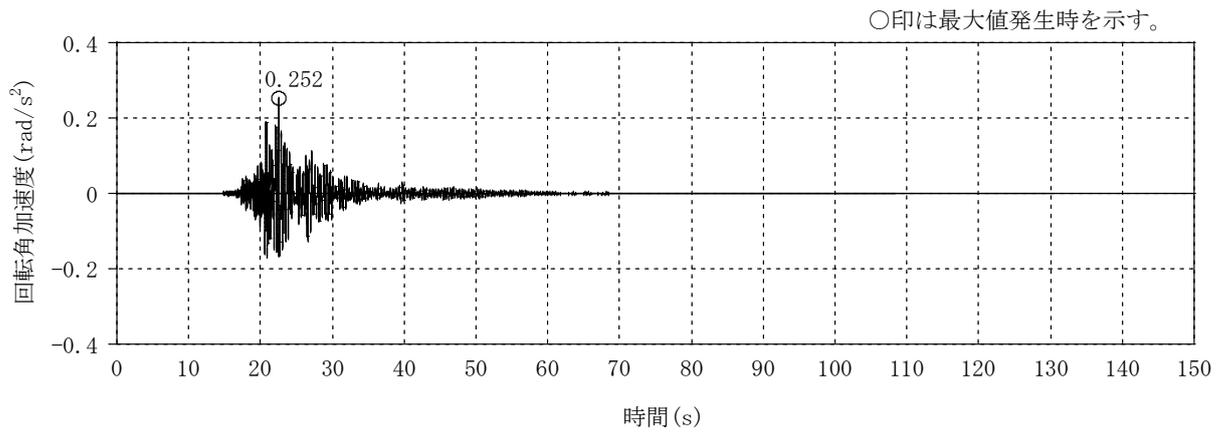


(b) NS方向 回転成分

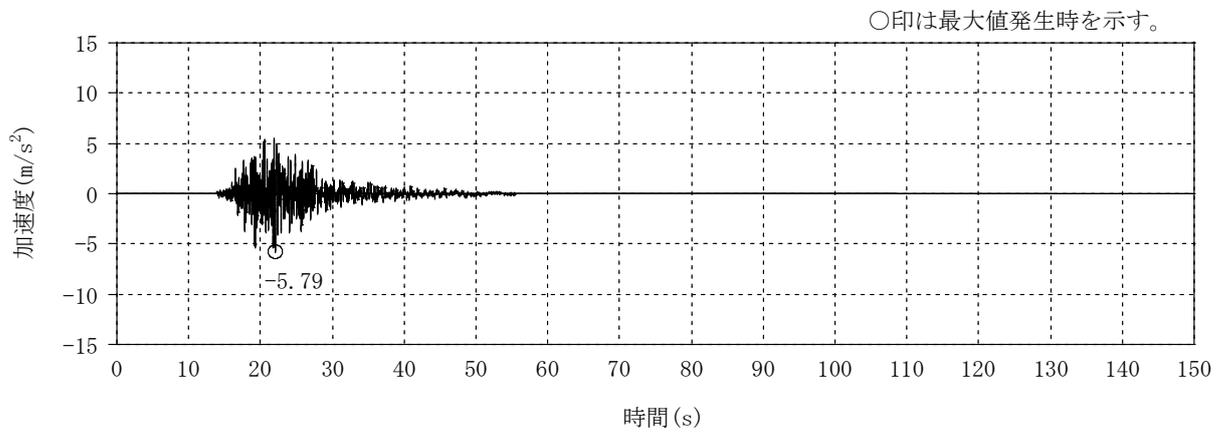


(c) EW方向 並進成分

図2-12 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース6, Ss-2) (1/2)



(d) EW方向 回転成分



(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

図2-12 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース6, S_s-2) (2/2)

3. 地震応答解析による建屋応答の不確かさの影響検討

3.1 固有値解析結果

建屋剛性の不確かさ（コンクリート強度）の影響検討として、基礎コンクリートの剛性を変動させた解析モデルによる固有値解析を実施した。固有値解析結果を表3-1、固有モードを図3-1～図3-4に示す。

ケース1（基本ケース）に対し、基礎コンクリートの剛性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動幅は0%である。主排気筒では、建屋剛性の不確かさ（コンクリート強度）による影響は見られない。

表3-1 固有値解析結果

(a) NS方向

固有モード	NS方向 固有振動数 f (Hz)				
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
筒身1次	1.20	1.20 (1.00)	1.20 (1.00)	1.20 (1.00)	1.20 (1.00)
筒身2次	7.73	7.73 (1.00)	7.73 (1.00)	7.73 (1.00)	7.73 (1.00)
鉄塔1次	3.65	3.66 (1.00)	3.65 (1.00)	3.66 (1.00)	3.65 (1.00)
鉄塔2次	10.99	10.99 (1.00)	10.99 (1.00)	11.00 (1.00)	10.98 (1.00)

注：（ ）内は，ケース1に対する比率を示す。

(b) EW方向

固有モード	EW方向 固有振動数 f (Hz)				
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
筒身1次	1.21	1.21 (1.00)	1.21 (1.00)	1.21 (1.00)	1.21 (1.00)
筒身2次	7.85	7.85 (1.00)	7.85 (1.00)	7.85 (1.00)	7.85 (1.00)
鉄塔1次	3.67	3.67 (1.00)	3.67 (1.00)	3.68 (1.00)	3.67 (1.00)
鉄塔2次	11.32	11.33 (1.00)	11.32 (1.00)	11.33 (1.00)	11.32 (1.00)

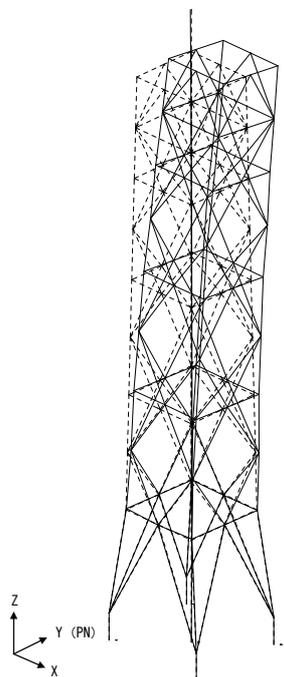
注：（ ）内は，ケース1に対する比率を示す。

(c) 鉛直方向

固有モード	鉛直方向 固有振動数 f (Hz)				
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
筒身1次	20.39	20.39 (1.00)	20.39 (1.00)	20.40 (1.00)	20.39 (1.00)
鉄塔1次	20.23	20.23 (1.00)	20.23 (1.00)	20.24 (1.00)	20.22 (1.00)

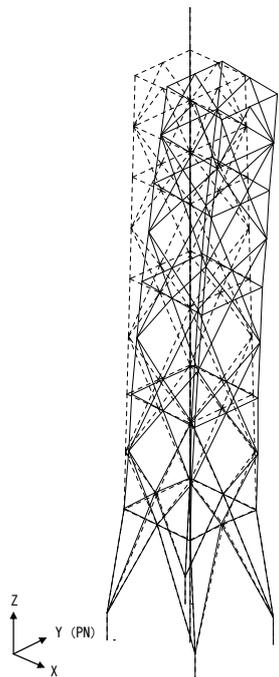
注：（ ）内は，ケース1に対する比率を示す。

振動数 $f_1=3.66$ (Hz)



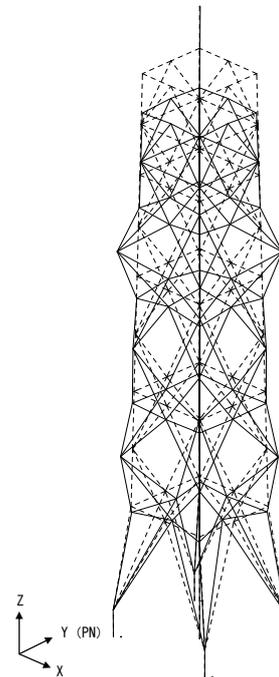
鉄塔NS方向1次

振動数 $f_1=3.67$ (Hz)



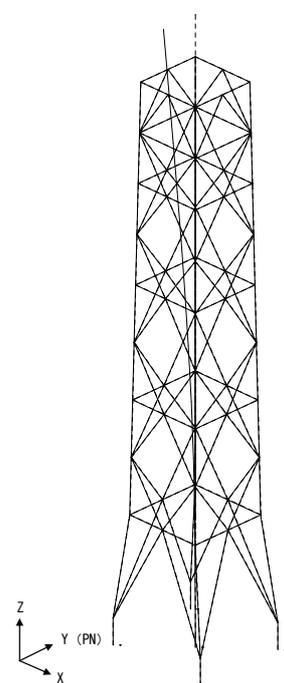
鉄塔EW方向1次

振動数 $f_1=20.23$ (Hz)



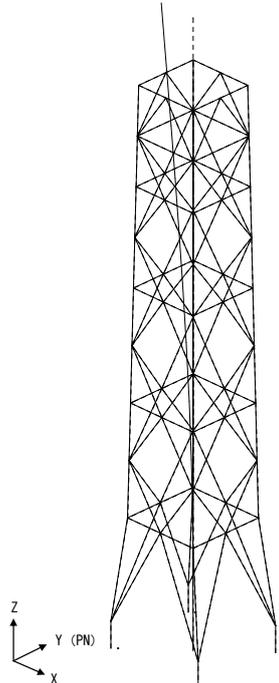
鉄塔鉛直方向1次

振動数 $f_1=1.20$ (Hz)



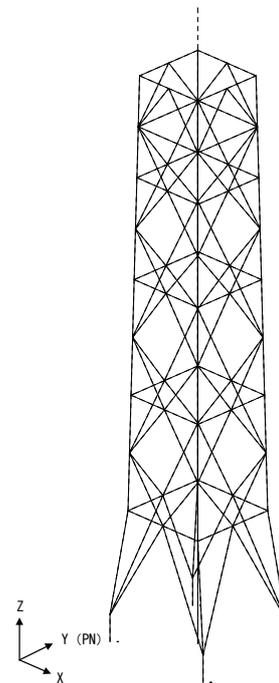
筒身NS方向1次

振動数 $f_1=1.21$ (Hz)



筒身EW方向1次

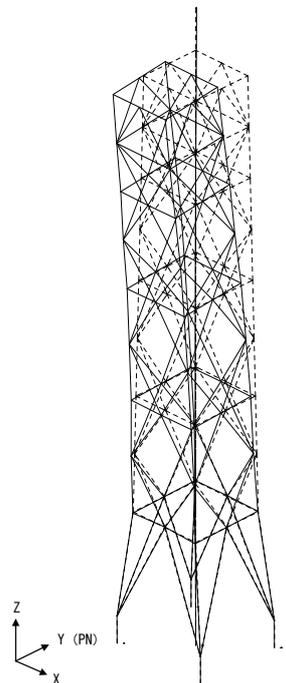
振動数 $f_1=20.39$ (Hz)



筒身鉛直方向1次

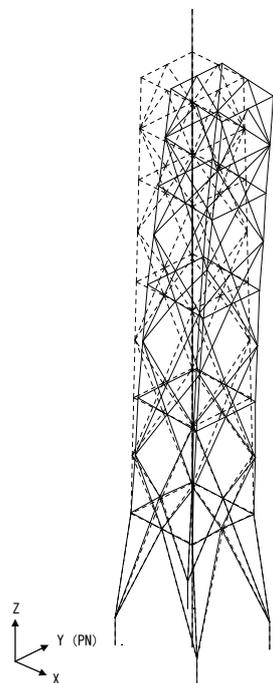
図3-1 固有モード (ケース2)

振動数 $f_1=3.65$ (Hz)



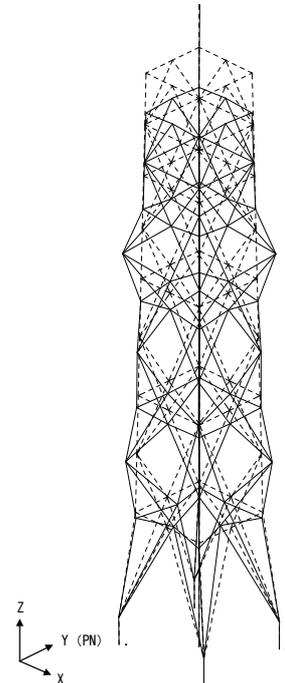
鉄塔NS方向1次

振動数 $f_1=3.67$ (Hz)



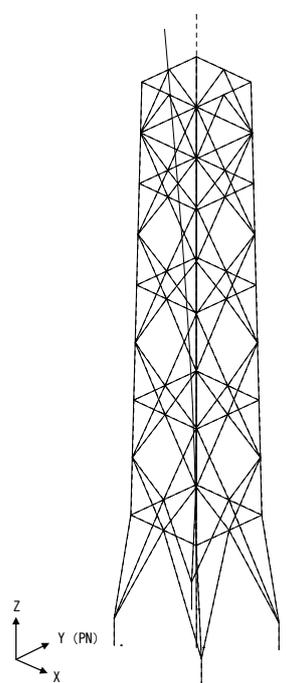
鉄塔EW方向1次

振動数 $f_1=20.23$ (Hz)



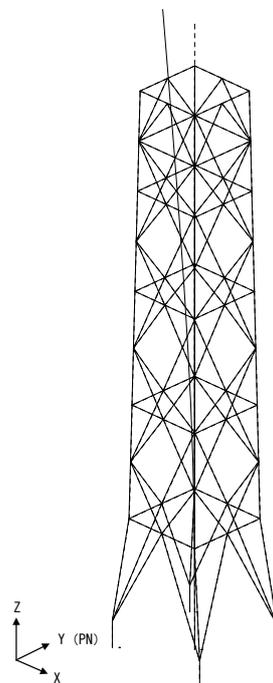
鉄塔鉛直方向1次

振動数 $f_1=1.20$ (Hz)



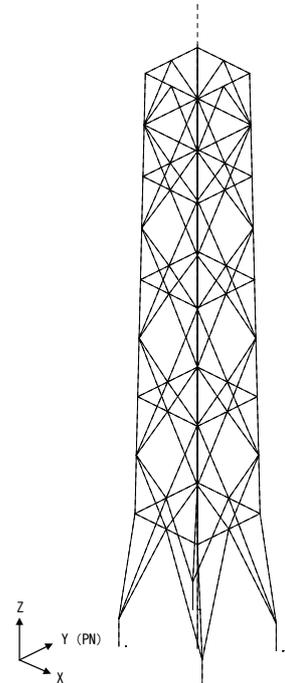
筒身NS方向1次

振動数 $f_1=1.21$ (Hz)



筒身EW方向1次

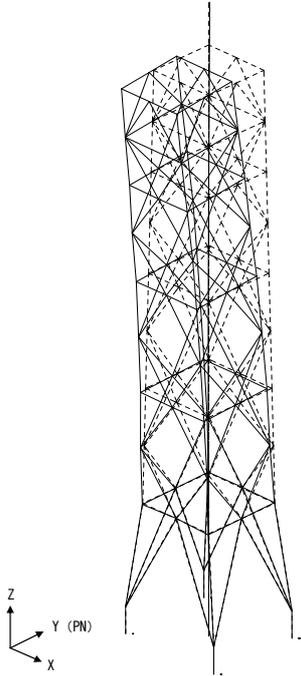
振動数 $f_1=20.39$ (Hz)



筒身鉛直方向1次

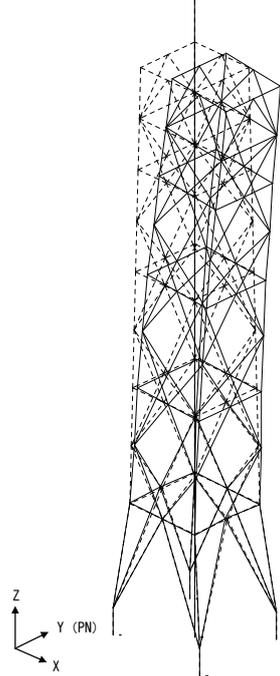
図3-2 固有モード (ケース3)

振動数 $f_1=3.66$ (Hz)



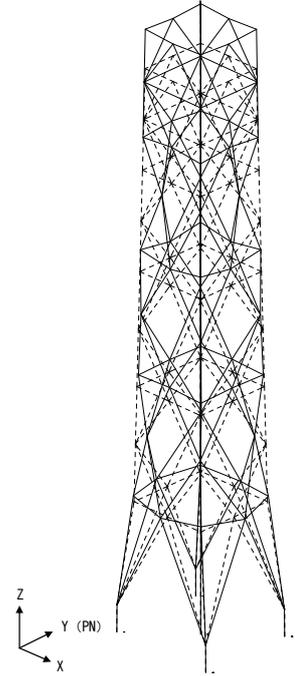
鉄塔NS方向1次

振動数 $f_1=3.68$ (Hz)



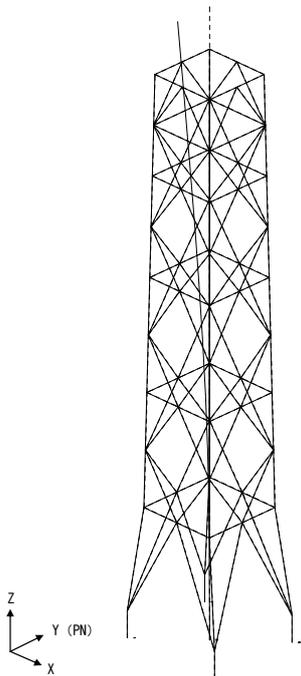
鉄塔EW方向1次

振動数 $f_1=20.24$ (Hz)



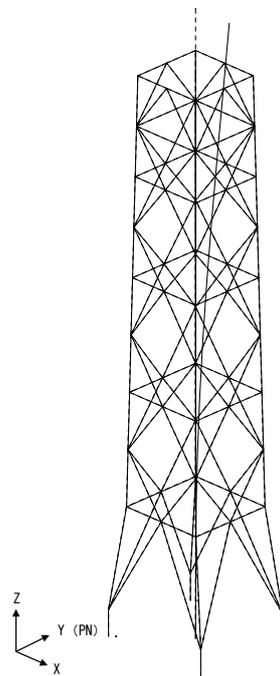
鉄塔鉛直方向1次

振動数 $f_1=1.20$ (Hz)



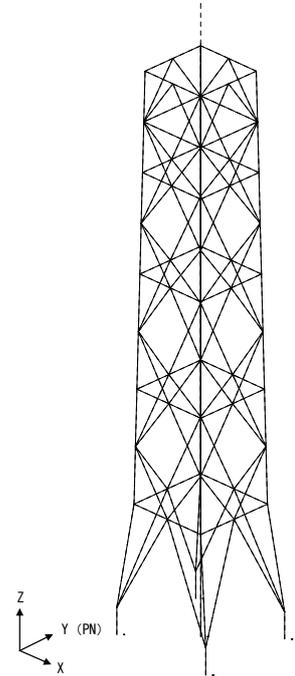
筒身NS方向1次

振動数 $f_1=1.21$ (Hz)



筒身EW方向1次

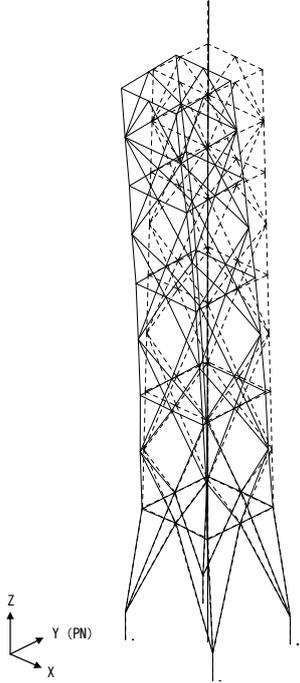
振動数 $f_1=20.40$ (Hz)



筒身鉛直方向1次

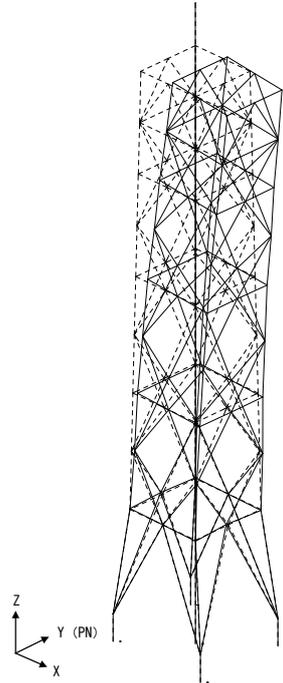
図3-3 固有モード (ケース4)

振動数 $f_1=3.65$ (Hz)



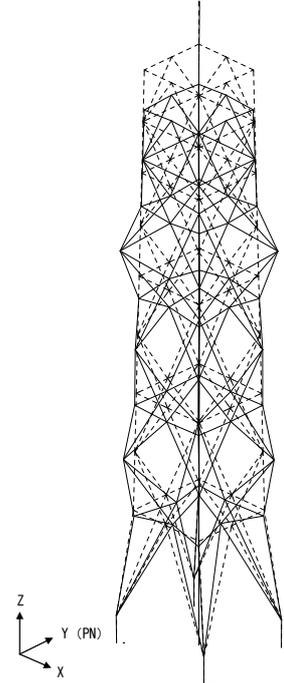
鉄塔NS方向1次

振動数 $f_1=3.67$ (Hz)



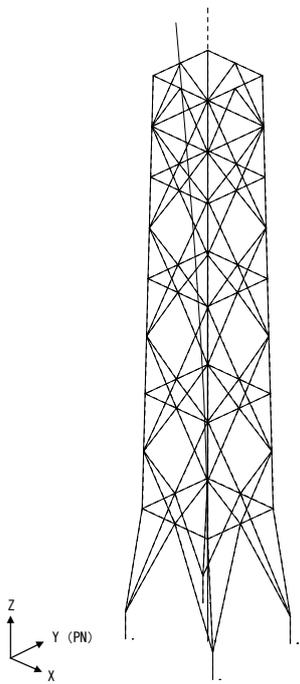
鉄塔EW方向1次

振動数 $f_1=20.22$ (Hz)



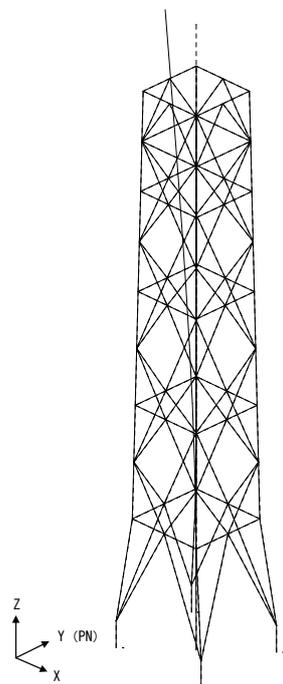
鉄塔鉛直方向1次

振動数 $f_1=1.20$ (Hz)



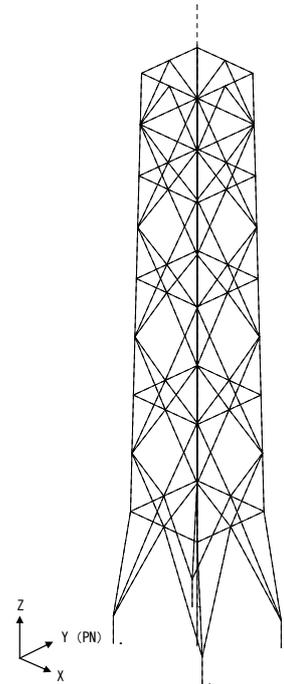
筒身NS方向1次

振動数 $f_1=1.21$ (Hz)



筒身EW方向1次

振動数 $f_1=20.39$ (Hz)



筒身鉛直方向1次

図3-4 固有モード (ケース5)

3.2 地震応答解析結果

建屋応答の不確かさの影響検討として、建屋応答の不確かさを考慮した地震応答解析を実施した。

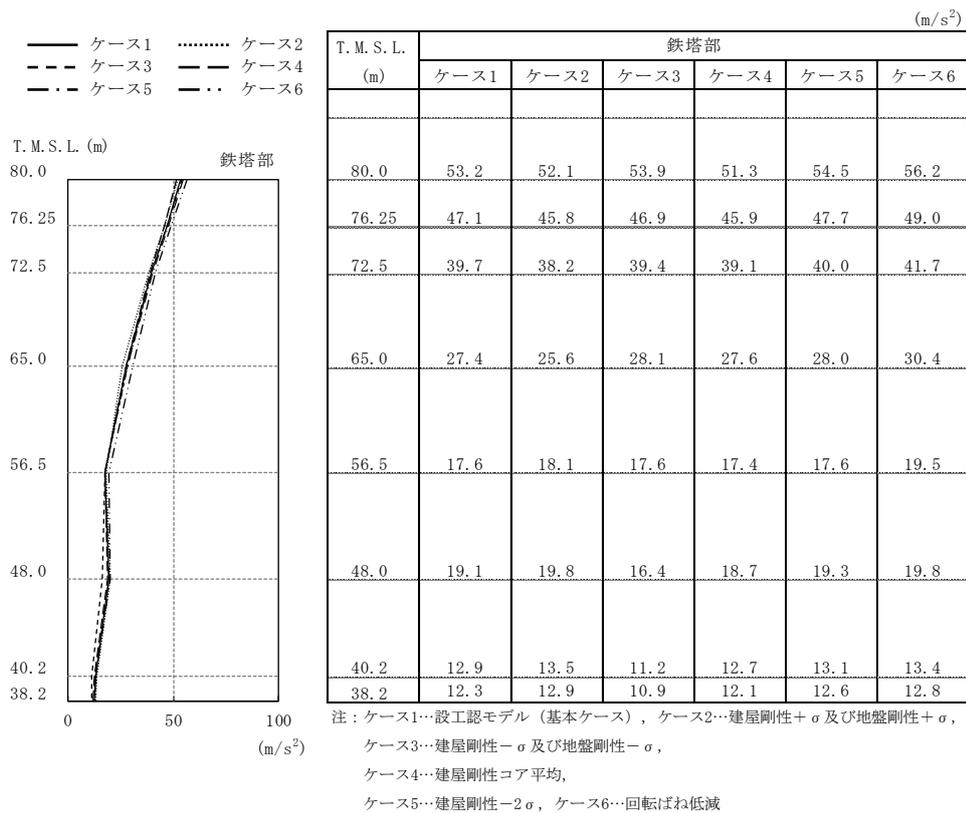
対象となる検討ケースは表1-1に示す検討ケースとし、代表として、入力地震動にSs-1を用いた結果を示す。

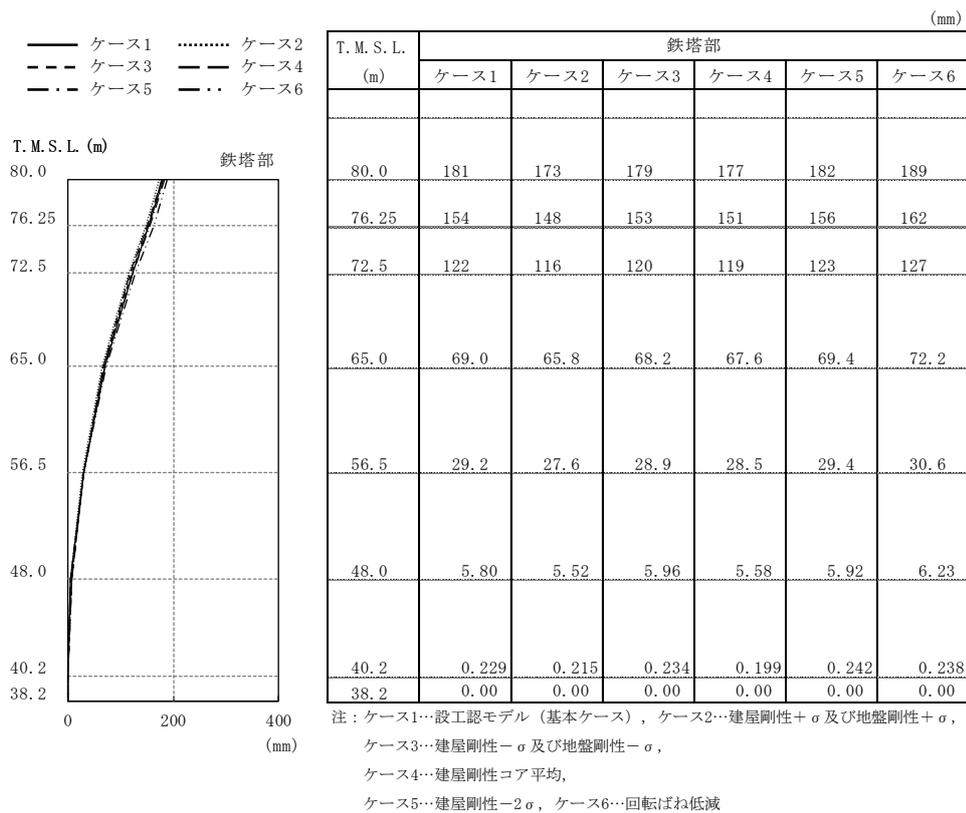
最大応答値を図3-5～図3-10に示す。なお、図3-7及び図3-10では、以下の主柱材の最大応力を包絡したものを「鉄塔部 主柱材包絡」として示す。

- ・原子炉建屋の_{R1}通りと_RC通りの交点に位置する主柱材
- ・原子炉建屋の_{R1}通りと_RD通りの交点に位置する主柱材
- ・原子炉建屋の_{R2}通りと_RC通りの交点に位置する主柱材
- ・原子炉建屋の_{R2}通りと_RD通りの交点に位置する主柱材

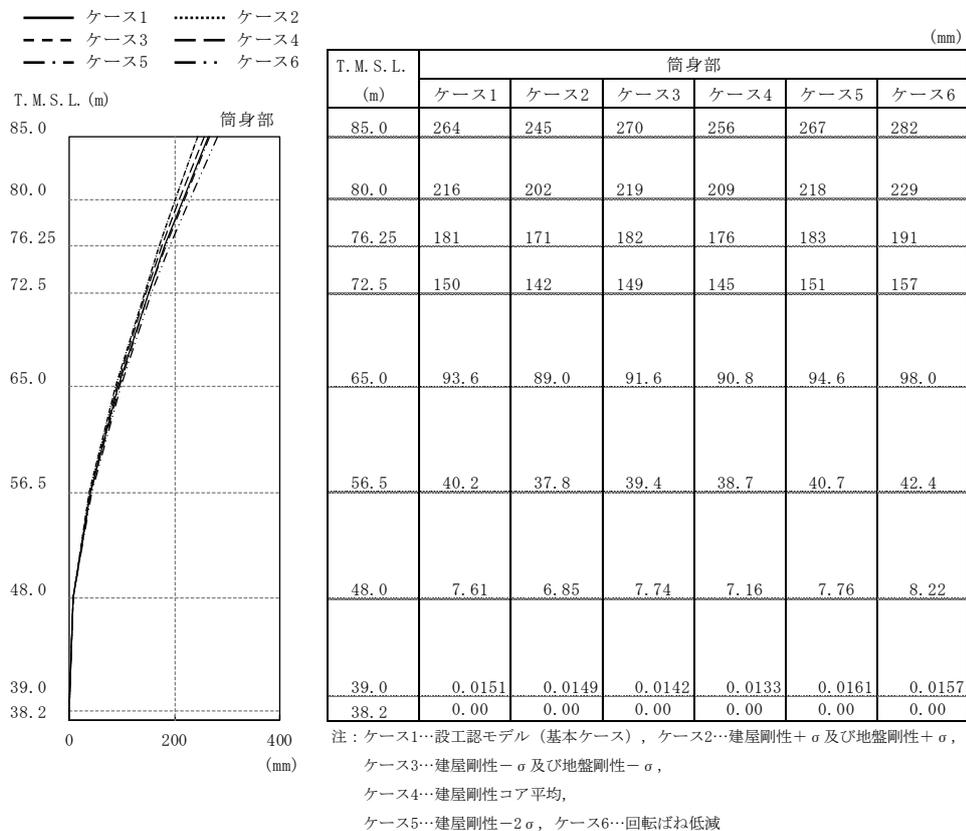
また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値を表3-2に示す。

ケース1（基本ケース）に対し、水平及び鉛直いずれの方向についても、各検討ケースの最大応答加速度、最大応答変位、最大応答軸力及び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。また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値は許容値以下である。



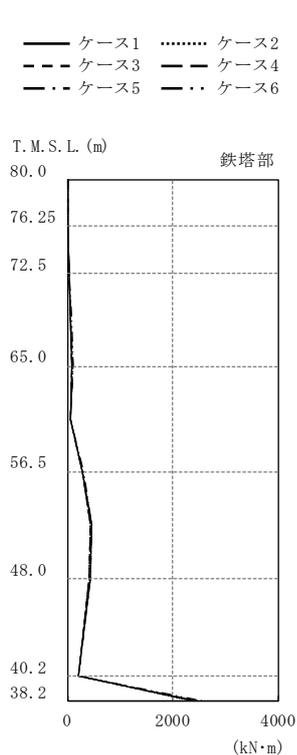


(a) 鉄塔部



(b) 筒身部

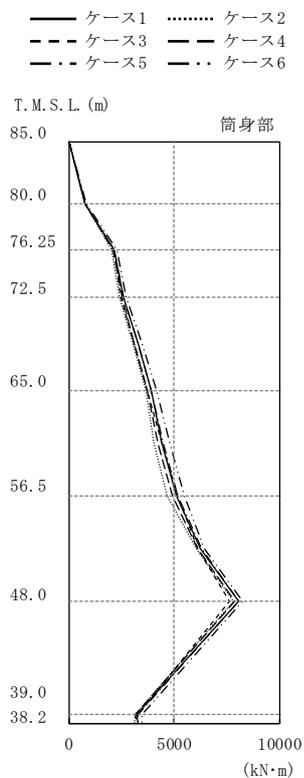
図3-6 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)



T. M. S. L. (m)	鉄塔部					
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
80.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76.25	18.6	17.9	18.4	18.3	18.8	19.6
72.5	44.9	43.2	44.7	44.2	45.5	47.4
68.75	72.3	69.7	72.0	71.0	73.2	76.1
65.0	100	96.5	99.8	99.4	102	107
60.75	62.6	60.2	61.8	62.3	63.3	66.6
56.5	289	279	286	285	291	302
52.25	455	440	451	449	458	473
48.0	428	418	420	423	430	442
40.2	212	210	205	207	215	217
38.2	2440	2340	2480	2400	2470	2580

注：ケース1…設工認モデル（基本ケース），ケース2…建屋剛性+ σ 及び地盤剛性+ σ ，
 ケース3…建屋剛性- σ 及び地盤剛性- σ ，
 ケース4…建屋剛性コア平均，
 ケース5…建屋剛性-2 σ ，ケース6…回転ばね低減

(a) 鉄塔部 主柱材包絡

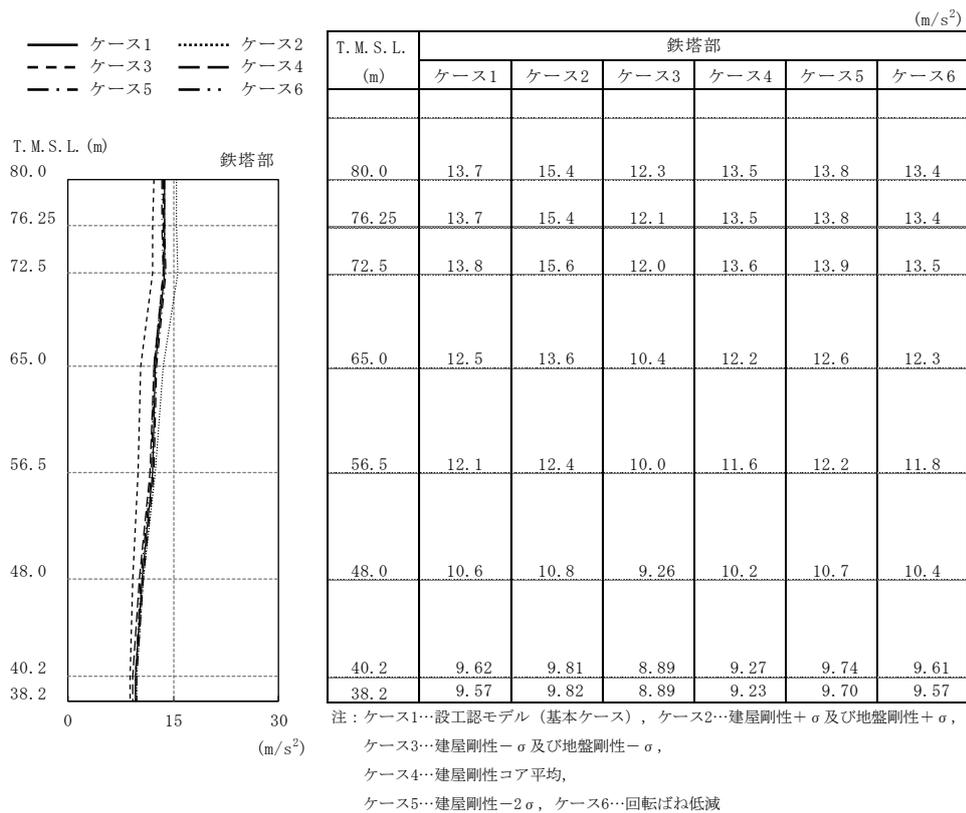


T. M. S. L. (m)	筒身部					
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
85.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.0	795	758	776	774	789	848
76.25	2120	2030	2120	2060	2120	2280
72.5	2590	2420	2480	2500	2580	2740
65.0	3900	3670	3730	3740	3920	4140
56.5	5090	4660	5160	4890	5170	5460
48.0	8040	7810	7610	7870	8050	8260
39.0	3230	3130	3300	3160	3290	3450
38.2	3250	3120	3110	3160	3310	3440

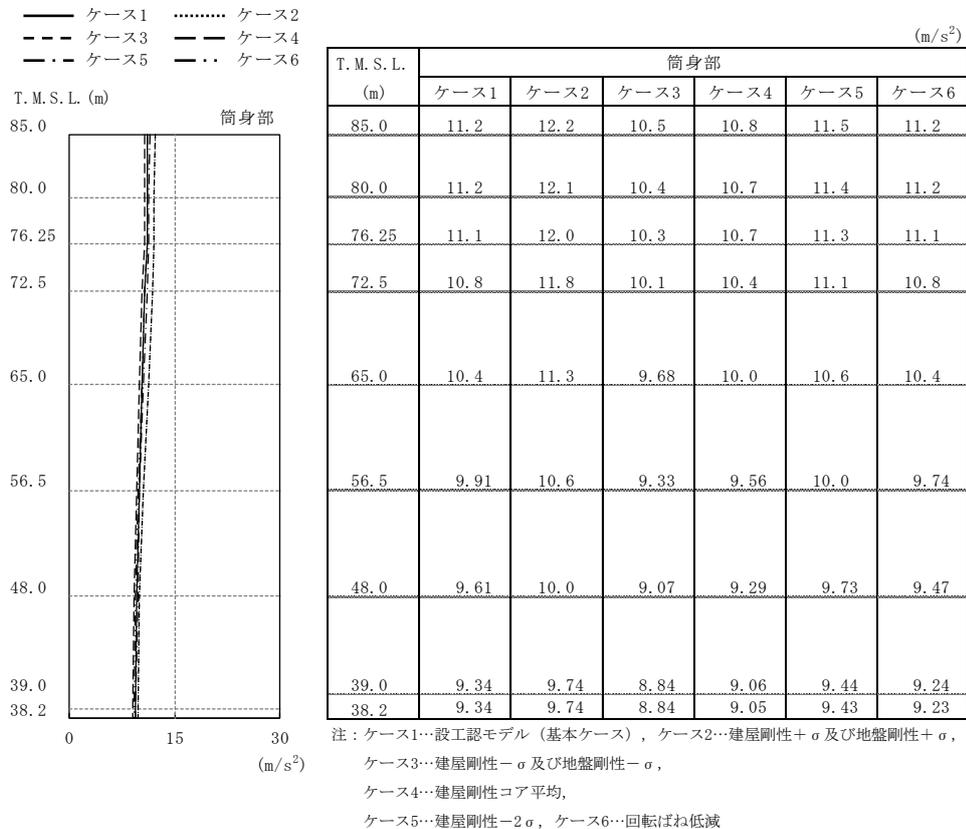
注：ケース1…設工認モデル（基本ケース），ケース2…建屋剛性+ σ 及び地盤剛性+ σ ，
 ケース3…建屋剛性- σ 及び地盤剛性- σ ，
 ケース4…建屋剛性コア平均，
 ケース5…建屋剛性-2 σ ，ケース6…回転ばね低減

(b) 筒身部

図3-7 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

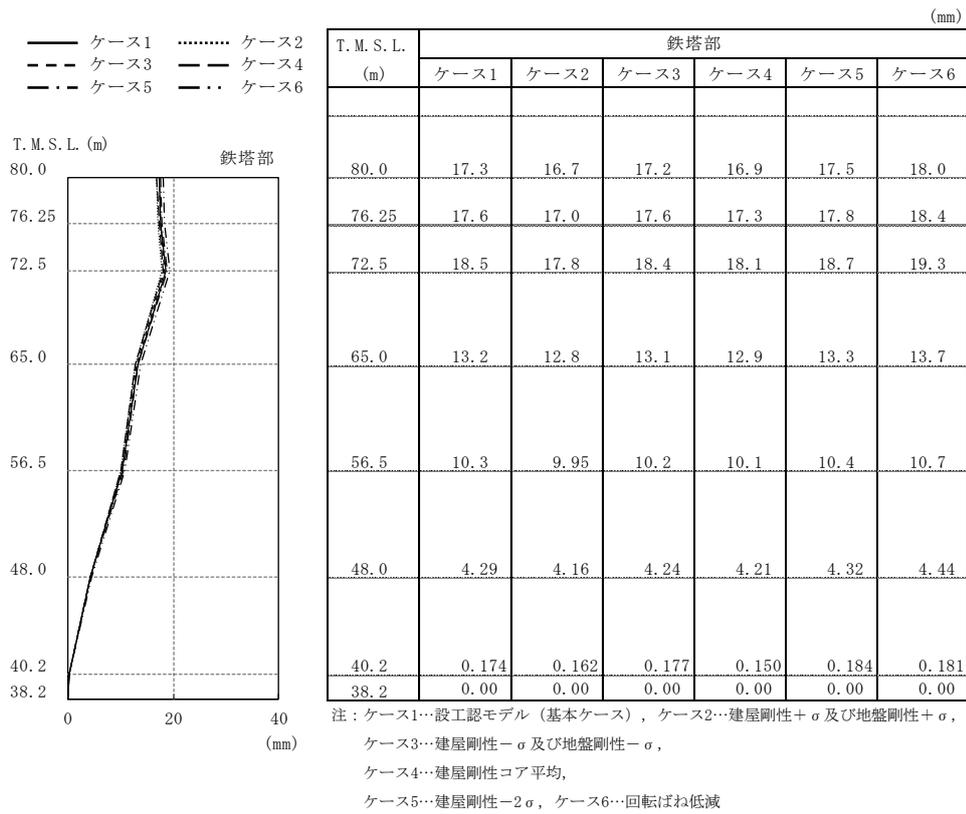


(a) 鉄塔部

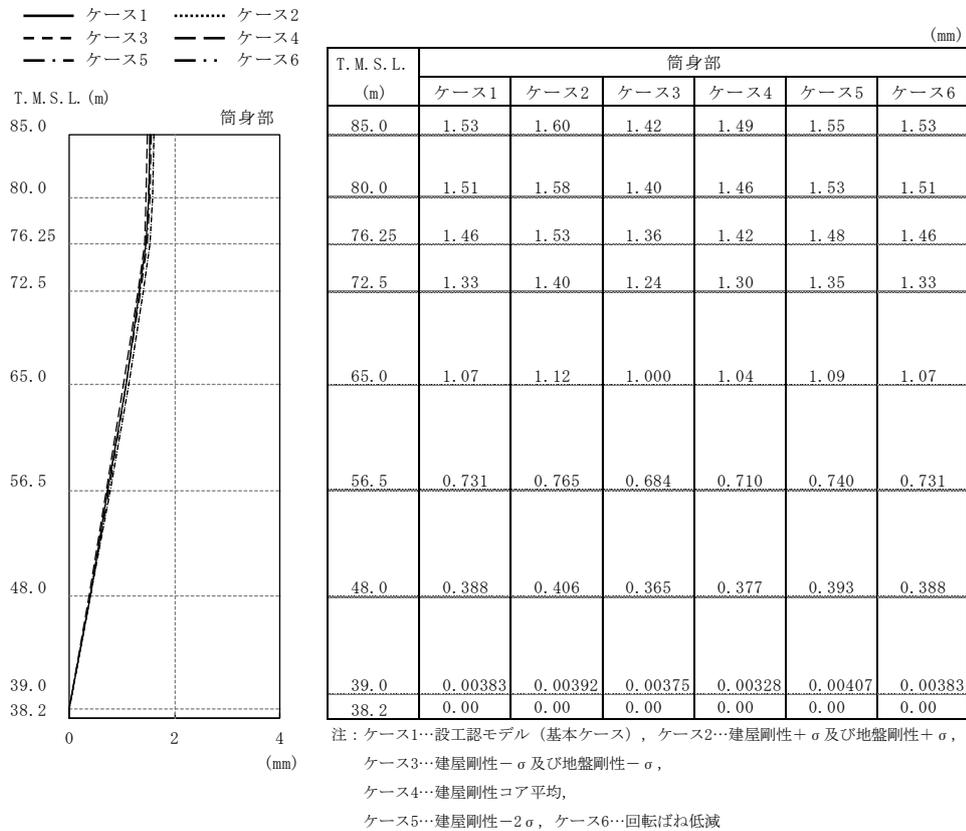


(b) 筒身部

図3-8 最大応答加速度 (S_S-1, 鉛直方向)



(a) 鉄塔部



(b) 筒身部

図3-9 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

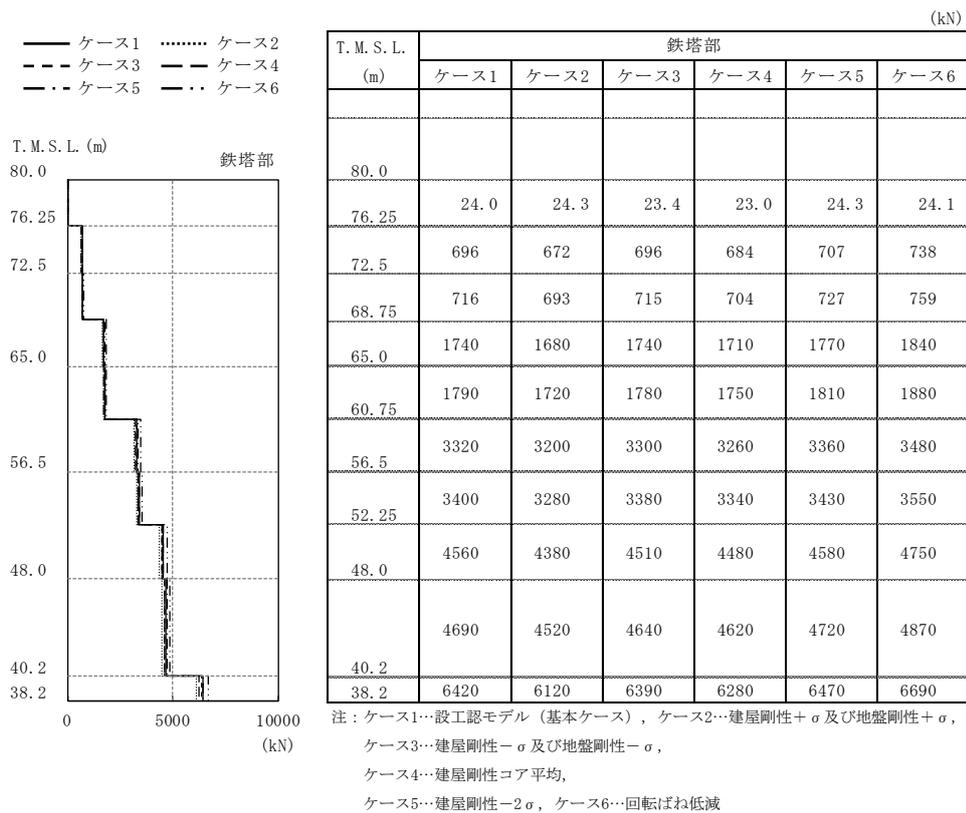


表3-2 制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値（Ss-1）

項目	オイルダンパーの最大応答値						許容値
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	
速度 (m/s)	2.04	1.96	2.01	1.99	2.06	2.12	2.60
変位 (mm)	137	128	141	133	139	147	175

4. まとめ

建屋応答の不確かさを考慮した固有値解析及び地震応答解析結果より、以下の傾向を確認した。

- ・固有値解析より、固有振動数の変動幅は、基本ケースに対し0%である。
- ・地震応答解析より、発生応力、加速度及び変位は、基本ケースとおおむね同等である。

上記の傾向については、以下の理由により発生したと考えられる。

主排気筒の地震応答解析では、建屋応答の不確かさとして、入力地震動に材料物性の不確かさを考慮した原子炉建屋の応答を用いている。「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙3「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」では、材料物性の不確かさによる応答への影響は小さい。また、主排気筒の解析モデルに対しては、基礎コンクリートの剛性のみ在建屋剛性の不確かさ（コンクリート強度）を考慮している。よって、主排気筒における建屋応答の不確かさによる影響は小さくなったと考えられる。

別紙3-1 原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した検討に用
いる地震動の選定について

目 次

1. 概要	別紙 3-1-1
2. 選定方法	別紙 3-1-1
3. 地震動の選定	別紙 3-1-3
4. 建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動	別紙 3-1-12

1. 概要

主排気筒を対象とした，原子炉建屋の材料物性の不確かさ（以下「建屋応答の不確かさ」という。）を考慮した検討では，基本ケースを対象に，各入力地震動（S_s-1～S_s-8による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる原子炉建屋屋上レベル（T.M.S.L.* 38.2m）の応答）による地震応答解析を行い，主排気筒の応答への影響が大きい入力地震動に対して検討を実施する。

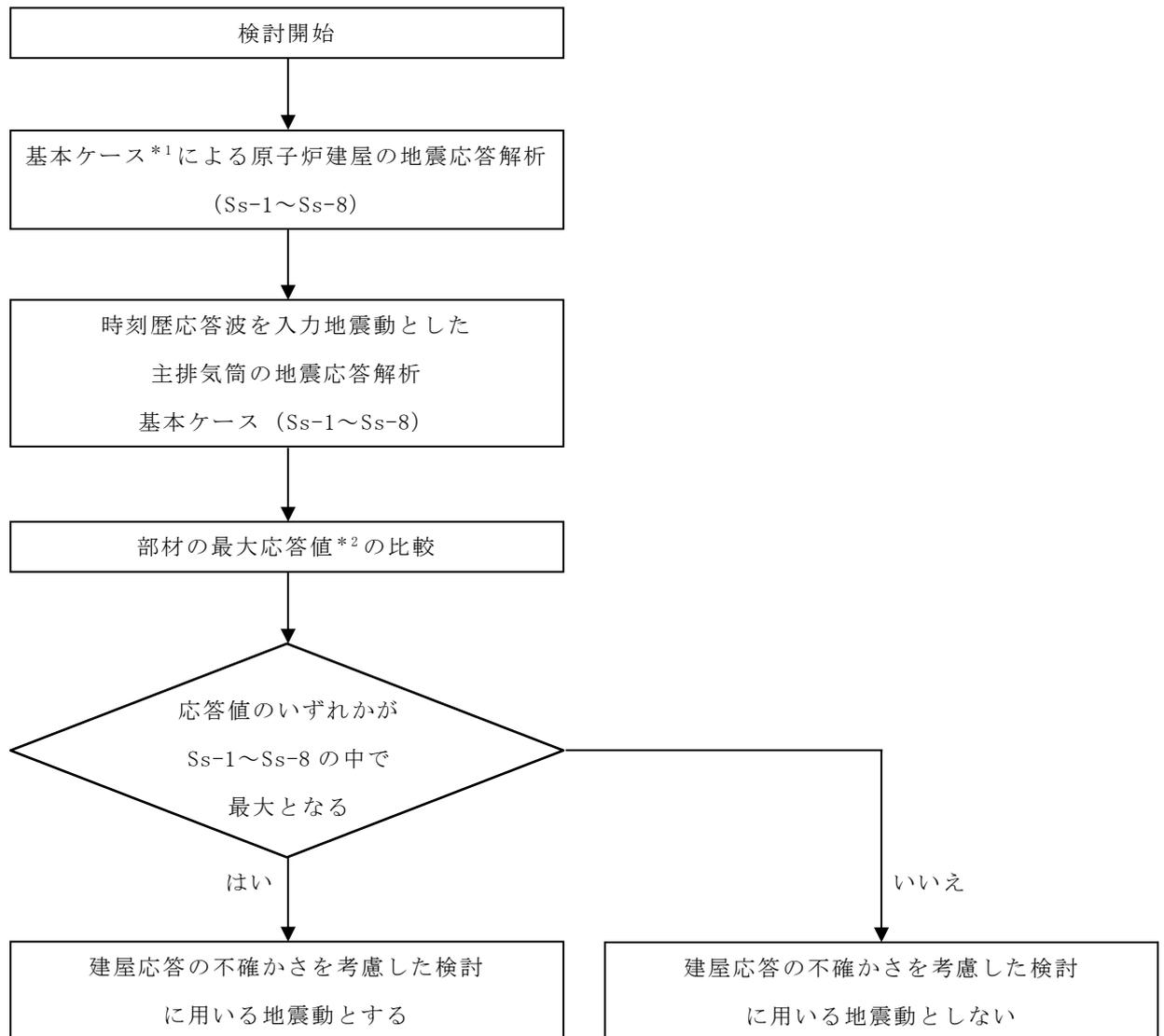
本資料では，建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定方法及び地震動の選定結果について説明する。

注記*：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

2. 選定方法

建屋応答の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。また，選定方法のフローを図2-1に示す。

- ① S_s-1～S_s-8の基本ケースについて，原子炉建屋の地震応答解析を行う。（VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」による。）
- ② ①から得られるS_s-1～S_s-8による原子炉建屋屋上レベル（T.M.S.L. 38.2m）の時刻歴応答波を入力地震動として，主排気筒の基本ケースについて地震応答解析を行う。
- ③ ②から得られる各入力時震動の応答（加速度，変位，軸力及び曲げモーメント）を比較し，いずれかの応答が最大となる基準地震動S_sを建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる入力地震動とする。



注記*1 : 詳細は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」による。

*2 : 応答値は、加速度、変位、軸力及び曲げモーメントとする。

図 2-1 建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定法のフロー

3. 地震動の選定

主排気筒の基準地震動 S_s に対する地震動の選定過程を以下に記載する。主排気筒の基準地震動 S_s （基本ケース）に対する最大応答値を表3-1～表3-16に示す。

「2. 選定方法」に基づき確認した結果、 S_{s-1} 及び S_{s-2} については、応答値のいずれかが S_{s-1} ～ S_{s-8} の中で最大となることから、建屋応答の不確かさの影響検討に用いる地震動とする。

表 3-1 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S s , NS 方向）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答加速度(m/s ²)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	<u>53.2</u>	48.7	39.0	19.2	21.4	19.5	21.5	41.3	53.2
	76.25	<u>47.1</u>	41.9	34.1	15.8	18.3	16.2	17.9	35.5	47.1
	72.5	<u>39.7</u>	34.0	29.3	12.2	15.0	12.5	13.9	29.3	39.7
	65.0	<u>27.4</u>	23.1	20.9	9.10	10.7	9.07	10.3	22.3	27.4
	56.5	<u>17.6</u>	14.9	13.7	7.96	8.08	8.17	7.70	16.2	17.6
	48.0	<u>19.1</u>	11.5	10.9	7.73	7.06	7.89	6.92	14.1	19.1
	40.2	<u>12.9</u>	8.85	9.16	6.34	5.27	6.56	5.14	11.4	12.9
	38.2	<u>12.3</u>	8.61	8.87	6.10	5.16	6.31	4.95	11.0	12.3
筒身部	85.0	<u>67.9</u>	47.7	53.1	24.7	23.0	24.5	24.8	45.4	67.9
	80.0	<u>46.7</u>	40.8	38.0	17.3	18.2	17.4	18.5	34.5	46.7
	76.25	<u>44.3</u>	35.8	31.0	12.3	15.8	12.5	14.6	33.0	44.3
	72.5	<u>45.5</u>	31.2	27.3	10.3	13.7	10.7	12.9	32.5	45.5
	65.0	<u>38.8</u>	22.3	21.6	12.4	10.9	12.9	9.26	27.2	38.8
	56.5	<u>20.7</u>	15.0	15.8	8.06	9.01	8.40	8.07	17.0	20.7
	48.0	<u>17.1</u>	10.9	10.8	7.03	6.68	7.36	6.33	13.6	17.1
	39.0	<u>12.5</u>	8.69	8.98	6.19	5.20	6.41	5.02	11.1	12.5
38.2	<u>12.3</u>	8.61	8.87	6.10	5.16	6.31	4.95	11.0	12.3	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-2 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S s , EW 方向）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答加速度(m/s ²)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	<u>50.8</u>	49.1	37.4	29.4	29.3	31.6	36.8	38.2	50.8
	76.25	<u>45.3</u>	42.4	32.6	25.4	25.4	27.1	30.3	33.2	45.3
	72.5	<u>38.5</u>	34.8	27.8	20.4	20.7	21.8	23.4	27.5	38.5
	65.0	26.6	<u>27.2</u>	19.6	15.80	14.9	16.2	16.6	21.3	27.2
	56.5	16.5	<u>18.9</u>	12.7	12.7	11.5	12.9	13.70	14.7	18.9
	48.0	<u>19.1</u>	13.0	11.0	9.63	10.8	9.92	12.6	13.4	19.1
	40.2	<u>12.6</u>	12.0	8.70	7.26	8.80	7.41	9.27	10.9	12.6
	38.2	<u>12.2</u>	11.7	8.45	6.98	8.55	7.14	8.95	10.6	12.2
筒身部	85.0	61.1	<u>63.3</u>	50.6	37.3	39.0	36.5	48.6	41.3	63.3
	80.0	44.2	<u>45.1</u>	36.3	25.7	26.1	28.2	33.9	32.8	45.1
	76.25	<u>41.7</u>	38.3	29.5	22.1	21.7	23.3	23.3	31.1	41.7
	72.5	<u>40.8</u>	37.7	25.8	20.2	17.8	21.2	18.5	29.4	40.8
	65.0	<u>32.9</u>	32.1	19.1	19.5	13.1	20.3	13.7	23.2	32.9
	56.5	18.7	<u>20.6</u>	14.0	13.6	13.9	14.20	14.9	13.6	20.6
	48.0	<u>16.5</u>	12.8	10.1	9.27	10.4	9.89	12.0	12.8	16.5
	39.0	<u>12.4</u>	11.8	8.54	7.08	8.64	7.24	9.05	10.7	12.4
38.2	<u>12.2</u>	11.7	8.45	6.98	8.55	7.14	8.95	10.6	12.2	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-3 最大応答加速度一覧表（基準地震動 S s，鉛直方向）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答加速度(m/s ²)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	<u>14.2</u>	10.8	9.13	8.3	8.19	8.68	9.69	7.81	14.2
	76.25	<u>14.2</u>	10.9	8.97	8.27	8.14	8.67	9.67	7.65	14.2
	72.5	<u>14.3</u>	10.2	8.87	7.96	7.80	8.18	9.27	7.56	14.3
	65.0	<u>12.7</u>	8.74	7.60	7.18	7.21	6.92	8.23	6.03	12.7
	56.5	<u>12.1</u>	7.30	7.02	6.22	6.48	6.12	7.02	5.09	12.1
	48.0	<u>10.6</u>	6.27	6.43	5.41	5.77	5.48	6.04	4.15	10.6
	40.2	<u>9.62</u>	6.52	6.32	4.74	5.31	4.85	5.31	3.42	9.62
	38.2	<u>9.57</u>	6.53	6.32	4.75	5.28	4.82	5.27	3.39	9.57
筒身部	85.0	<u>11.2</u>	6.47	7.86	6.14	5.85	5.71	6.08	6.15	11.2
	80.0	<u>11.2</u>	6.45	7.82	6.11	5.83	5.68	6.05	6.10	11.2
	76.25	<u>11.1</u>	6.42	7.72	6.05	5.78	5.60	6.00	6.00	11.1
	72.5	<u>10.8</u>	6.32	7.45	5.90	5.67	5.45	5.86	5.74	10.8
	65.0	<u>10.4</u>	6.11	6.97	5.59	5.43	5.29	5.58	5.20	10.4
	56.5	<u>9.91</u>	5.88	6.46	5.22	5.14	5.11	5.23	4.51	9.91
	48.0	<u>9.61</u>	5.83	6.28	4.89	4.86	4.93	4.92	3.85	9.61
	39.0	<u>9.34</u>	5.79	6.21	4.60	4.63	4.77	4.66	3.18	9.34
38.2	<u>9.34</u>	5.79	6.21	4.60	4.63	4.76	4.66	3.18	9.34	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-4 最大応答変位一覧表（基準地震動 S s，NS 方向）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答変位(mm)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	<u>181</u>	155	131	53.2	67.9	54.5	63.8	136	181
	76.25	<u>154</u>	132	112	45.3	58.0	46.4	54.2	117	154
	72.5	<u>122</u>	104	88.1	35.4	45.7	36.3	42.3	92.4	122
	65.0	<u>69.0</u>	58.7	50.1	19.7	26.0	20.4	23.4	53.5	69.0
	56.5	<u>29.2</u>	24.8	21.2	8.32	11.2	8.76	10.1	23.6	29.2
	48.0	<u>5.80</u>	4.95	4.35	1.78	2.51	1.77	2.09	5.59	5.80
	40.2	0.229	<u>0.252</u>	0.171	0.109	0.136	0.116	0.116	0.212	0.252
	38.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
筒身部	85.0	<u>264</u>	226	183	89.3	115	91.0	98.5	237	264
	80.0	<u>216</u>	185	147	71.6	94.4	73.3	80.5	194	216
	76.25	<u>181</u>	155	121	58.7	79.1	60.3	67.2	163	181
	72.5	<u>150</u>	127	97.8	46.9	64.8	48.4	55.0	135	150
	65.0	<u>93.6</u>	76.9	58.0	26.8	39.3	28.0	33.1	83.2	93.6
	56.5	<u>40.2</u>	32.0	24.1	10.2	16.3	10.7	13.3	35.4	40.2
	48.0	<u>7.61</u>	6.21	5.24	1.97	3.16	1.99	2.59	7.01	7.61
	39.0	<u>0.0151</u>	0.0108	0.0103	0.00498	0.00501	0.00524	0.00524	0.0116	0.0151
38.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-5 最大応答変位一覧表（基準地震動 S_s，EW 方向）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答変位(mm)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	<u>170</u>	160	123	94.0	95.1	100.0	101	126	170
	76.25	<u>145</u>	137	105	80.0	80.9	85.1	85.5	108	145
	72.5	<u>114</u>	107	82.0	62.6	63.3	66.6	66.5	85.0	114
	65.0	<u>63.4</u>	60.0	45.8	34.7	34.9	36.9	36.3	48.3	63.4
	56.5	<u>25.4</u>	25.1	18.4	13.8	13.8	14.6	13.9	20.1	25.4
	48.0	<u>9.06</u>	8.65	6.63	5.36	5.66	5.69	6.28	6.17	9.06
	40.2	0.212	<u>0.299</u>	0.154	0.183	0.187	0.194	0.181	0.198	0.299
	38.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
筒身部	85.0	247	<u>272</u>	172	144	173	159	188	220	272
	80.0	201	<u>220</u>	138	117	140	130	153	180	220
	76.25	168	<u>183</u>	113	97.9	116	108	127	151	183
	72.5	138	<u>148</u>	90.5	79.8	94.0	87.6	102	123	148
	65.0	83.6	<u>88.5</u>	52.3	47.9	54.7	52.5	59.2	74.2	88.5
	56.5	33.4	<u>35.8</u>	20.1	19.3	20.8	21.3	22.4	29.8	35.8
	48.0	4.75	<u>5.84</u>	3.47	3.27	3.13	3.53	3.43	4.64	5.84
	39.0	<u>0.0152</u>	0.0131	0.00998	0.00773	0.00858	0.00823	0.00979	0.0100	0.0152
38.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-6 最大応答変位一覧表（基準地震動 S_s，鉛直方向）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答変位(mm)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	17.3	<u>24.9</u>	12.8	13.4	14.2	14.0	13.5	13.1	24.9
	76.25	17.6	<u>25.5</u>	13.0	13.6	14.5	14.3	13.7	13.4	25.5
	72.5	18.5	<u>23.9</u>	13.6	12.8	13.6	13.4	12.9	14.0	23.9
	65.0	13.2	<u>19.0</u>	9.75	10.1	10.8	10.6	10.2	10.1	19.0
	56.5	10.3	<u>12.3</u>	7.64	6.46	6.96	6.78	6.6	8.02	12.3
	48.0	4.29	<u>6.16</u>	3.19	3.26	3.51	3.42	3.34	3.31	6.16
	40.2	0.174	<u>0.237</u>	0.129	0.118	0.127	0.124	0.119	0.143	0.237
	38.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
筒身部	85.0	<u>1.53</u>	1.20	1.26	1.05	1.09	1.10	1.11	1.15	1.53
	80.0	<u>1.51</u>	1.18	1.24	1.04	1.07	1.09	1.10	1.13	1.51
	76.25	<u>1.46</u>	1.15	1.20	1.01	1.04	1.05	1.06	1.10	1.46
	72.5	<u>1.33</u>	1.05	1.10	0.919	0.95	0.962	0.969	1.00	1.33
	65.0	<u>1.07</u>	0.844	0.881	0.74	0.764	0.775	0.778	0.802	1.07
	56.5	<u>0.731</u>	0.577	0.601	0.506	0.523	0.531	0.53	0.545	0.731
	48.0	<u>0.388</u>	0.308	0.319	0.269	0.278	0.283	0.281	0.288	0.388
	39.0	<u>0.00383</u>	0.00309	0.00321	0.00272	0.00279	0.00286	0.00279	0.00281	0.00383
38.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-7 最大応答軸力一覧表（基準地震動 S_s, R2 通り -_RC 通り間主柱材）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答軸力 (kN)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	76.25	<u>23.6</u>	19.8	19.8	16.0	18.0	15.8	18.9	18.5	23.6
	72.5	<u>696</u>	678	512	329	292	348	333	519	696
	68.75	<u>716</u>	701	528	347	314	366	351	538	716
	65.0	<u>1740</u>	1700	1280	802	679	850	809	1290	1740
	60.75	<u>1790</u>	1750	1310	843	730	891	848	1330	1790
	56.5	<u>3320</u>	3240	2440	1500	1240	1560	1420	2510	3320
	52.25	<u>3400</u>	3320	2510	1560	1320	1630	1480	2590	3400
	48.0	<u>4560</u>	4560	3360	2040	1640	2110	1790	3550	4560
	40.2	4690	<u>4710</u>	3480	2150	1770	2220	1890	3680	4710
38.2	<u>6420</u>	6110	4760	2730	2420	2820	2250	5290	6420	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-8 最大応答軸力一覧表（基準地震動 S_s, R1 通り -_RC 通り間主柱材）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答軸力 (kN)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	76.25	<u>24.0</u>	21.2	19.8	16.2	17.2	16.0	16.9	18.7	24.0
	72.5	637	<u>997</u>	427	486	506	508	526	423	997
	68.75	656	<u>1020</u>	444	500	521	523	544	437	1020
	65.0	1590	<u>2510</u>	1050	1220	1280	1280	1310	1050	2510
	60.75	1630	<u>2570</u>	1090	1260	1310	1320	1350	1080	2570
	56.5	3070	<u>4760</u>	2030	2360	2460	2480	2450	1970	4760
	52.25	3140	<u>4850</u>	2100	2410	2520	2540	2500	2030	4850
	48.0	4250	<u>6510</u>	2840	3340	3450	3520	3410	2670	6510
	40.2	4390	<u>6680</u>	2960	3440	3560	3630	3510	2760	6680
38.2	6110	<u>8490</u>	4260	4600	4760	4850	4630	3720	8490	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-9 最大応答軸力一覧表（基準地震動 $S_{s, R1}$ 通り - R_D 通り間支柱材）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答軸力 (kN)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	76.25	<u>24.0</u>	20.3	19.4	17.7	16.6	18.7	16.0	18.7	24.0
	72.5	660	<u>693</u>	491	315	346	346	328	483	693
	68.75	679	<u>715</u>	511	335	364	366	345	502	715
	65.0	1670	<u>1760</u>	1230	752	844	840	797	1210	1760
	60.75	1720	<u>1800</u>	1270	801	883	887	837	1250	1800
	56.5	3170	<u>3300</u>	2330	1400	1570	1560	1490	2360	3300
	52.25	3240	<u>3370</u>	2410	1480	1640	1640	1560	2440	3370
	48.0	4400	<u>4510</u>	3230	1970	2160	2130	2060	3390	4510
	40.2	4530	<u>4630</u>	3370	2100	2280	2250	2170	3520	4630
38.2	<u>6100</u>	5560	4250	2720	3060	2910	2890	4560	6100	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-10 最大応答軸力一覧表（基準地震動 $S_{s, R2}$ 通り - R_D 通り間支柱材）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答軸力 (kN)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	76.25	<u>22.6</u>	20.6	19.0	18.6	17.2	19.6	18.1	17.1	22.6
	72.5	696	<u>1000</u>	512	546	574	571	543	518	1000
	68.75	716	<u>1030</u>	528	569	594	593	561	538	1030
	65.0	1740	<u>2530</u>	1280	1350	1440	1420	1360	1280	2530
	60.75	1780	<u>2580</u>	1310	1400	1480	1470	1400	1330	2580
	56.5	3320	<u>4790</u>	2440	2500	2690	2630	2540	2510	4790
	52.25	3400	<u>4890</u>	2510	2590	2760	2710	2610	2580	4890
	48.0	4560	<u>6590</u>	3350	3360	3650	3530	3450	3550	6590
	40.2	4690	<u>6750</u>	3480	3490	3770	3660	3560	3680	6750
38.2	6410	<u>8730</u>	4760	4290	4690	4470	4380	5280	8730	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-11 最大応答軸力一覧表（基準地震動 S_s，筒身部）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答軸力 (kN)								最大値
		S _s -1	S _s -2	S _s -3	S _s -4	S _s -5	S _s -6	S _s -7	S _s -8	
筒身部	85.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	80.0	<u>49.1</u>	38.1	40.4	33.5	34.7	35.0	35.9	37.3	49.1
	76.25	<u>139</u>	108	114	94.7	97.9	98.8	101	105	139
	72.5	<u>364</u>	283	299	249	257	259	265	275	364
	65.0	<u>433</u>	337	356	296	306	309	316	327	433
	56.5	<u>580</u>	454	477	398	412	416	422	437	580
	48.0	<u>701</u>	551	576	483	499	506	509	526	701
	39.0	<u>928</u>	735	764	644	665	677	672	689	928
38.2	<u>1210</u>	977	1020	861	883	906	883	889	1210	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-12 最大応答曲げモーメント一覧表（基準地震動 S_s，R2 通り - R_C 通り間主柱材）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント (kN・m)								最大値
		S _s -1	S _s -2	S _s -3	S _s -4	S _s -5	S _s -6	S _s -7	S _s -8	
鉄塔部	80.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	76.25	18.6	<u>21.5</u>	13.6	9.76	10.6	10.4	11.3	13.7	21.5
	72.5	<u>44.9</u>	42.8	33.2	21.4	18.7	22.6	20.6	33.4	44.9
	68.75	72.3	<u>81.5</u>	53.4	38.5	39.3	41.5	45.3	54.4	81.5
	65.0	<u>100</u>	99.9	75.3	49.2	43.3	52.4	50.9	72.3	100
	60.75	64.3	<u>68.2</u>	48.5	37.3	33.9	40.1	41.9	43.5	68.2
	56.5	<u>289</u>	275	215	137	117	146	129	217	289
	52.25	455	<u>504</u>	338	219	237	237	253	355	504
	48.0	<u>427</u>	426	316	212	174	224	211	322	427
	40.2	<u>210</u>	205	153	113	99.5	118	117	152	210
38.2	2440	<u>2460</u>	1790	1070	1060	1170	1090	2200	2460	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-13 最大応答曲げモーメント一覧表 (基準地震動 $S_{s, R1}$ 通り - R_C 通り間支柱材)

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント (kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	76.25	18.1	<u>24.3</u>	13.2	12.3	13.3	13.0	13.4	13.1	24.3
	72.5	41.1	<u>63.2</u>	29.4	30.9	32.1	32.4	33.1	28.5	63.2
	68.75	66.4	<u>88.4</u>	47.7	44.2	47.7	47.1	51.8	47.1	88.4
	65.0	92.4	<u>145</u>	68.7	71.1	76.5	75.4	78.5	63.4	145
	60.75	64.3	<u>90.6</u>	47.9	47.1	49.2	49.8	52.5	41.9	90.6
	56.5	267	<u>405</u>	194	198	208	208	210	191	405
	52.25	425	<u>531</u>	301	253	282	271	285	316	531
	48.0	396	<u>625</u>	281	303	331	321	329	284	625
	40.2	197	<u>295</u>	134	141	156	151	163	142	295
38.2	2430	<u>3010</u>	1760	1850	1980	1950	1850	2040	3010	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-14 最大応答曲げモーメント一覧表 (基準地震動 $S_{s, R1}$ 通り - R_D 通り間支柱材)

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント (kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	76.25	18.1	<u>21.5</u>	13.1	10.2	11.2	10.8	11.5	13.1	21.5
	72.5	42.0	<u>43.7</u>	31.1	19.9	21.8	21.8	21.1	30.6	43.7
	68.75	66.9	<u>80.6</u>	49.8	41.1	46.5	43.1	47.0	49.6	80.6
	65.0	98.6	<u>103</u>	73.3	46.0	50.7	50.6	48.3	69.4	103
	60.75	68.2	<u>71.4</u>	51.2	36.1	38.7	38.2	41.4	46.6	71.4
	56.5	269	<u>281</u>	200	130	137	143	138	198	281
	52.25	425	<u>487</u>	301	235	269	247	266	316	487
	48.0	433	<u>461</u>	317	192	196	211	217	308	461
	40.2	202	<u>232</u>	145	99.2	106	107	115	140	232
38.2	<u>2420</u>	2280	1750	1010	1140	1110	1030	2030	2420	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-15 最大応答曲げモーメント一覧表（基準地震動 S_s , $R2$ 通り - R_D 通り間主柱材）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント (kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
鉄塔部	80.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	76.25	18.6	<u>24.5</u>	13.6	12.6	13.5	13.2	13.5	13.7	24.5
	72.5	44.9	<u>63.9</u>	33.2	34.5	36.4	36.1	34.5	33.4	63.9
	68.75	72.3	<u>92.9</u>	53.4	48.5	50.7	50.7	50.2	54.4	92.9
	65.0	100	<u>146</u>	75.3	80.5	84.4	84.3	80.1	72.2	146
	60.75	68.2	<u>90.5</u>	51.2	51.9	53.5	54.5	51.7	46.6	90.5
	56.5	289	<u>407</u>	214	217	230	227	218	217	407
	52.25	455	<u>551</u>	338	272	294	285	287	355	551
	48.0	433	<u>621</u>	317	337	366	355	354	323	621
	40.2	212	<u>291</u>	155	165	179	175	178	154	291
38.2	2430	<u>3170</u>	1780	1720	1870	1820	1730	2190	3170	

注：下線部は最大値を示す。

表 3-16 最大応答曲げモーメント一覧表（基準地震動 S_s , 筒身部）

部位	T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント (kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
筒身部	85.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	80.0	795	<u>928</u>	622	523	530	514	639	532	928
	76.25	2120	<u>2590</u>	1690	1390	1420	1410	1740	1460	2590
	72.5	2590	<u>2980</u>	1830	1680	1610	1670	1850	1830	2980
	65.0	3900	<u>4610</u>	2530	2500	2500	2540	2650	3000	4610
	56.5	5090	<u>6870</u>	3530	3340	4030	3620	4230	4460	6870
	48.0	8040	<u>10200</u>	4900	4770	5790	5190	5980	6950	10200
	39.0	3230	<u>3390</u>	2550	1720	1840	1780	1770	3130	3390
	38.2	<u>3250</u>	3110	2590	1770	1950	1840	1980	3010	3250

注：下線部は最大値を示す。

4. 建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

主排気筒の建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定結果を表4-1に示す。地震動の選定にあたり、基本ケースにおける建屋応答の確認は、以下の資料に基づき実施した。

- ・ VI-2-7-2-1 「主排気筒の耐震性についての計算書」

表 4-1 建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

対象	建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動
	基準地震動 S_s
主排気筒	S_{s-1} 及び S_{s-2}

別紙3-2 原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

目 次

- | | |
|-------------------|----------|
| 1. 概要 | 別紙 3-2-1 |
| 2. 地震応答解析結果 | 別紙 3-2-1 |

1. 概要

本資料は、主排気筒を対象とし、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち、別紙3「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」に基づく原子炉建屋の応答を入力地震動として、原子炉建屋の材料物性の不確かさ（以下「建屋応答の不確かさ」という。）を考慮した地震応答解析結果について示すものである。

建屋応答の不確かさを考慮した検討に用いる地震動は、主排気筒の応答への影響が大きいSs-1及びSs-2である（別紙3-1「原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について」参照）。

入力地震動、固有値解析結果及びSs-1による地震応答解析の結果は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に示している。

本資料では、Ss-2による地震応答解析結果について示す。

2. 地震応答解析結果

入力地震動の組合せを表2-1に、入力地震動の時刻歴波形を図2-1～図2-6に示す。なお、図中の○印は、最大値発生時を示す。Ss-2は、3方向（5成分）（水平2方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。なお、Ss-2のケース1、ケース3～6において誘発上下動を考慮している。

建屋応答の不確かさを考慮したSs-2に対する地震応答解析結果を図2-7～図2-14に示す。なお、図2-11及び図2-14では、以下の支柱材の最大応力を包絡したものを「鉄塔部 支柱材包絡」として示す。

- ・原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する支柱材
- ・原子炉建屋の R_1 通りと R_D 通りの交点に位置する支柱材
- ・原子炉建屋の R_2 通りと R_C 通りの交点に位置する支柱材
- ・原子炉建屋の R_2 通りと R_D 通りの交点に位置する支柱材

また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値を表2-2に示す。

Ss-1の結果と同様にSs-2の結果は、ケース1（基本ケース）に対し、いずれの方向についても、各検討ケースの最大応答加速度、最大応答変位、最大応答軸力及び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。また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値は許容値以下である。

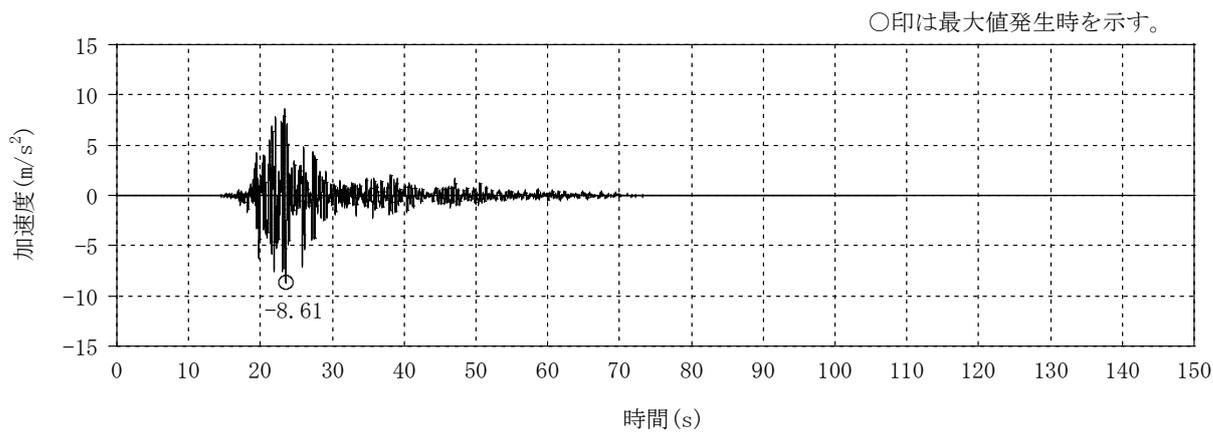
なお、東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

表2-1 入力地震動の組合せ (Ss-2)

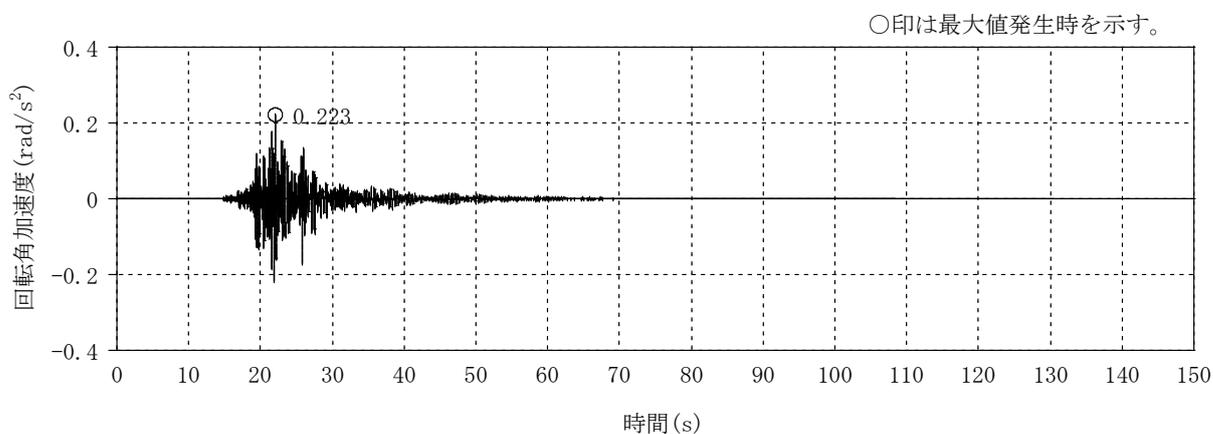
建屋応答の不確かさ 検討ケース	入力地震動の組合せ (Ss-2, 3方向 (5成分) 同時入力)					鉛直 方向*1	備考*2
	水平方向*1						
	NS 方向		EW 方向				
	並進	回転	並進	回転			
ケース 1 (基本ケース)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮	
ケース 2 (建屋剛性+ σ 及び 地盤剛性+ σ)	○	○	○	○	○	—	
ケース 3 (建屋剛性- σ 及び 地盤剛性- σ)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮	
ケース 4 (建屋剛性コア平均)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮	
ケース 5 (建屋剛性- 2σ)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮	
ケース 6 (回転ばね低減)	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮	

注記*1 : 組み合わせる成分を「○」で、組み合わせない成分を「—」で示す。

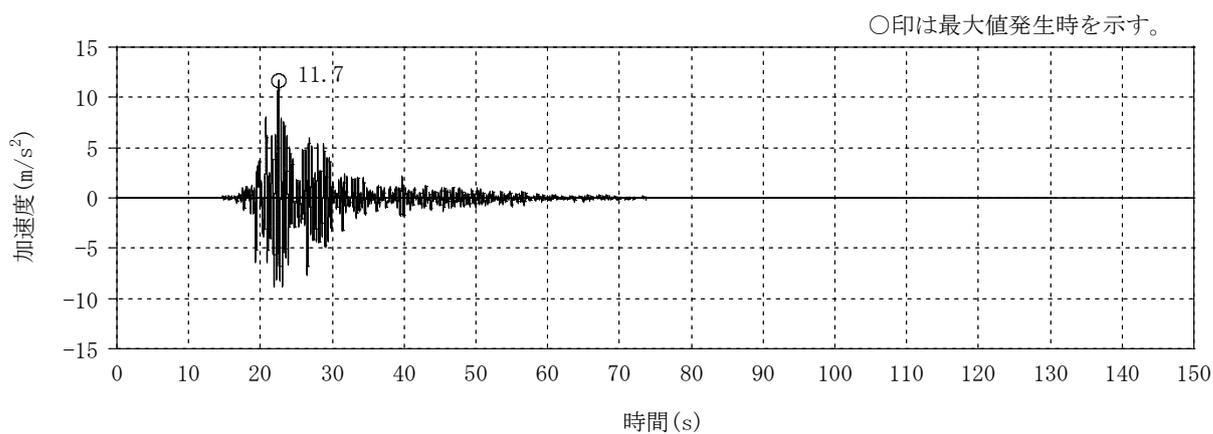
*2 : 誘発上下動を考慮しない場合は「—」で示す。



(a) NS方向 並進成分

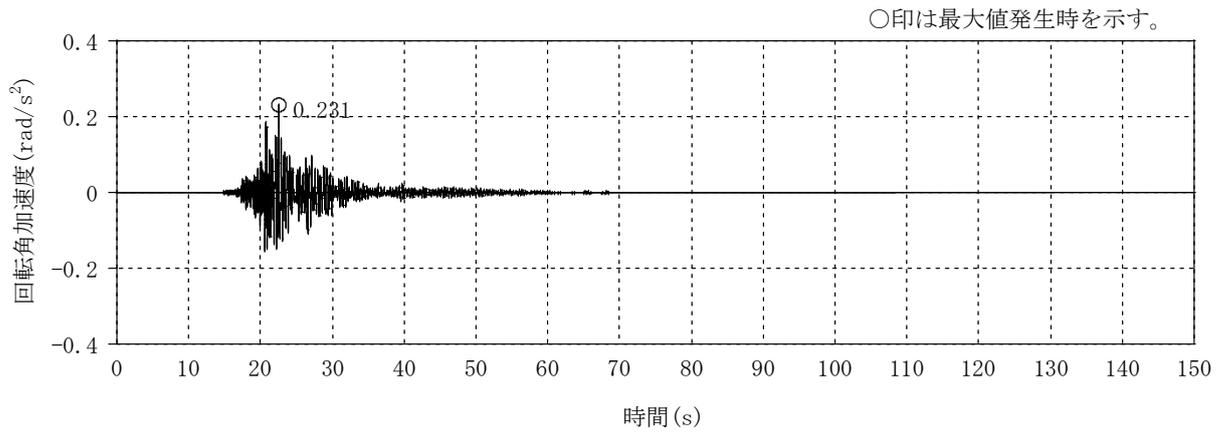


(b) NS方向 回転成分

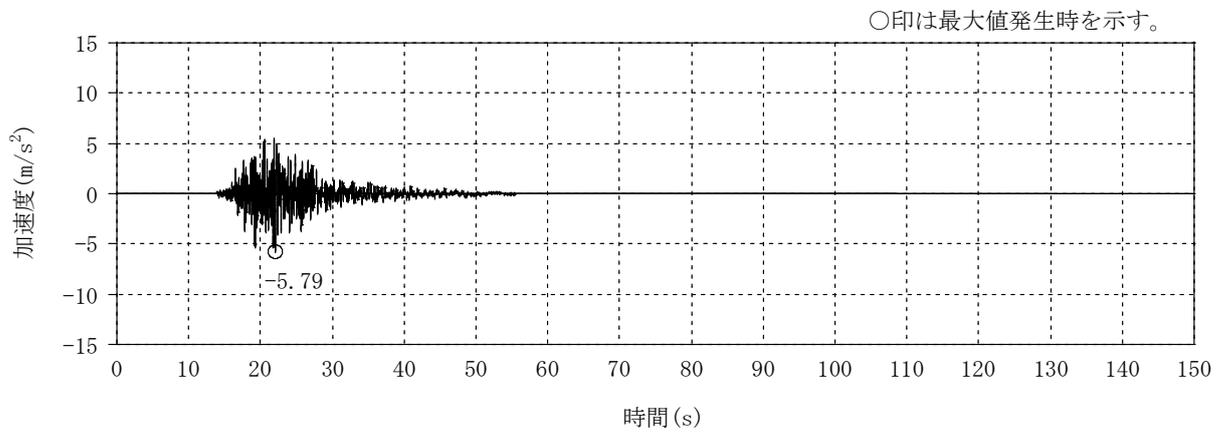


(c) EW方向 並進成分

図2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース1, Ss-2) (1/2)

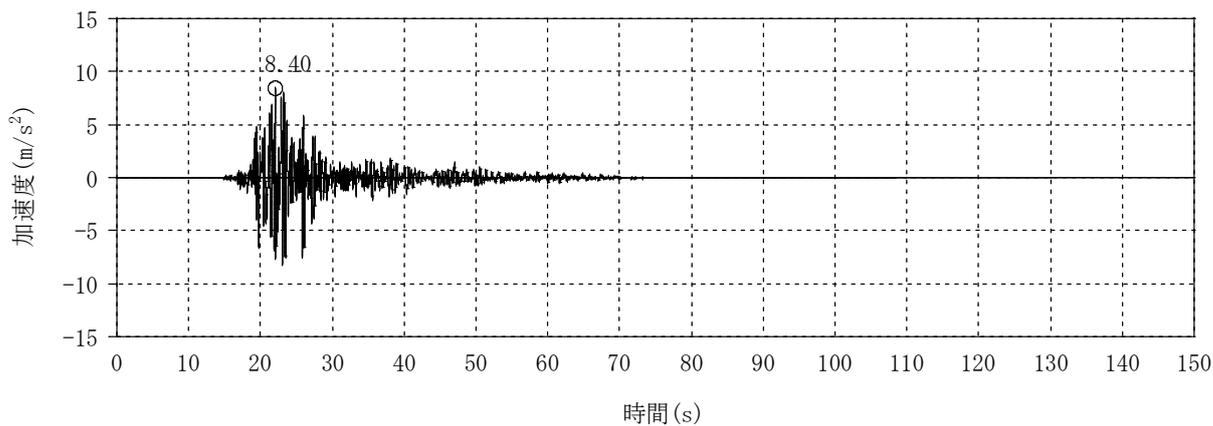


(d) EW方向 回転成分

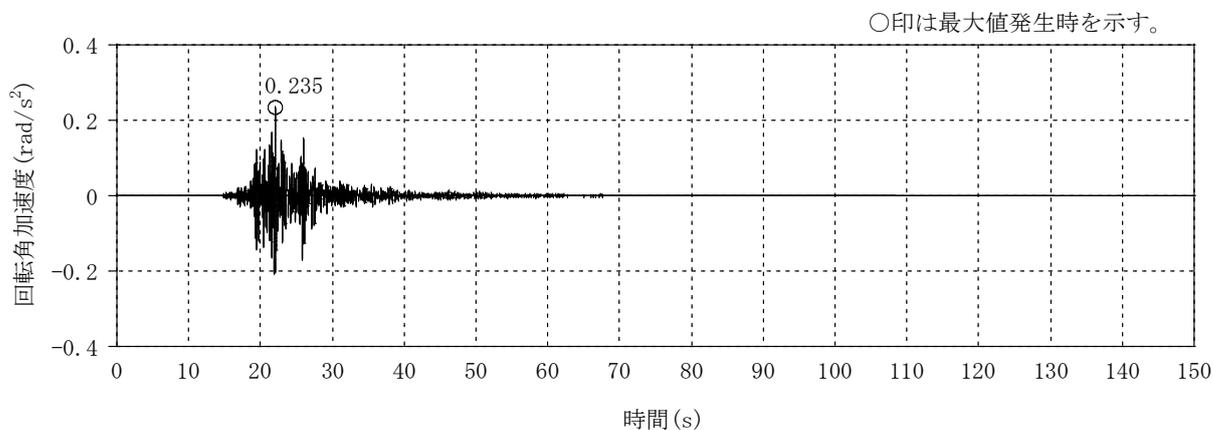


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

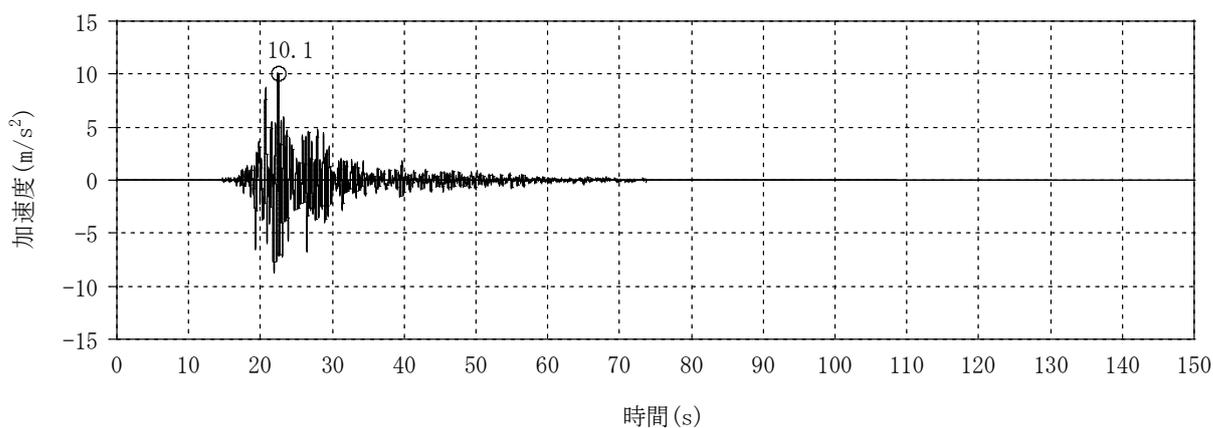
図2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース1, Ss-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

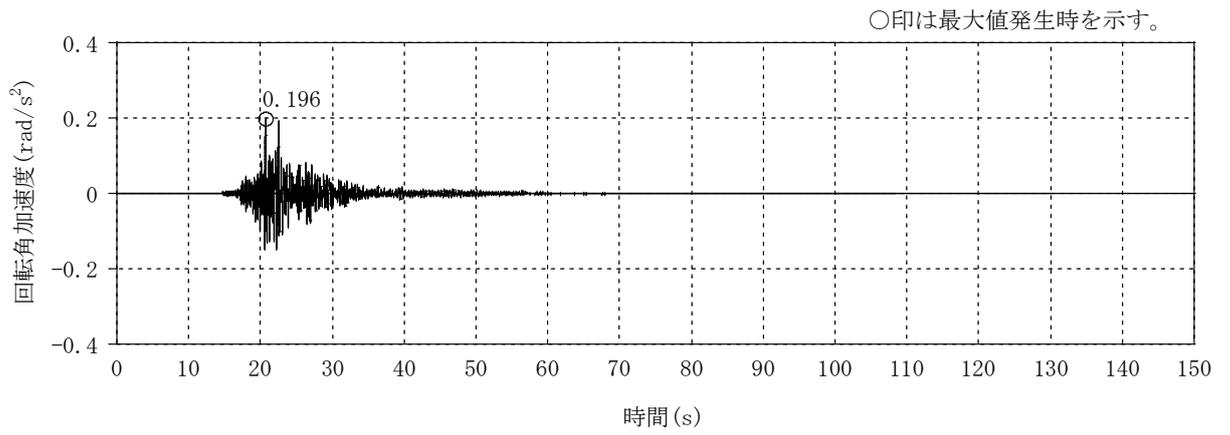


(b) NS方向 回転成分

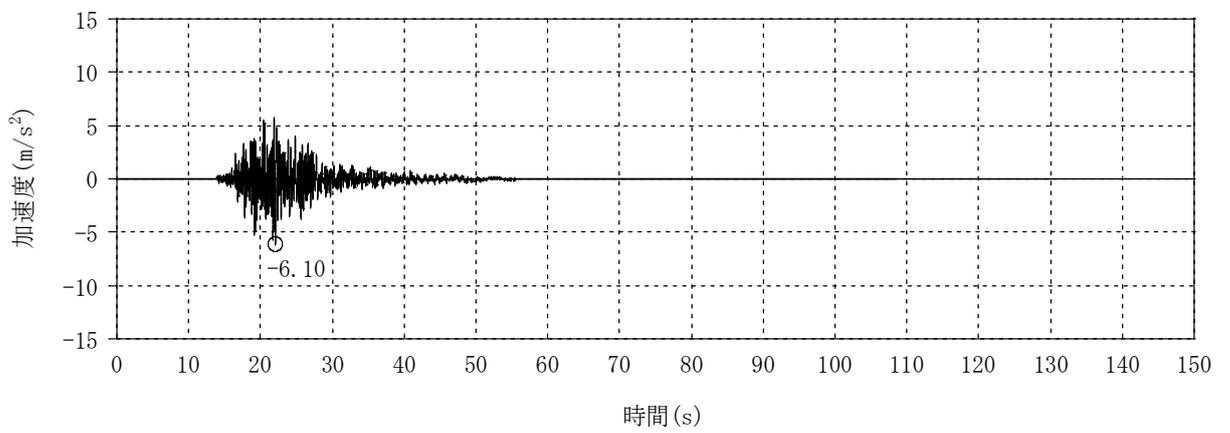


(c) EW方向 並進成分

図2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース2, Ss-2) (1/2)

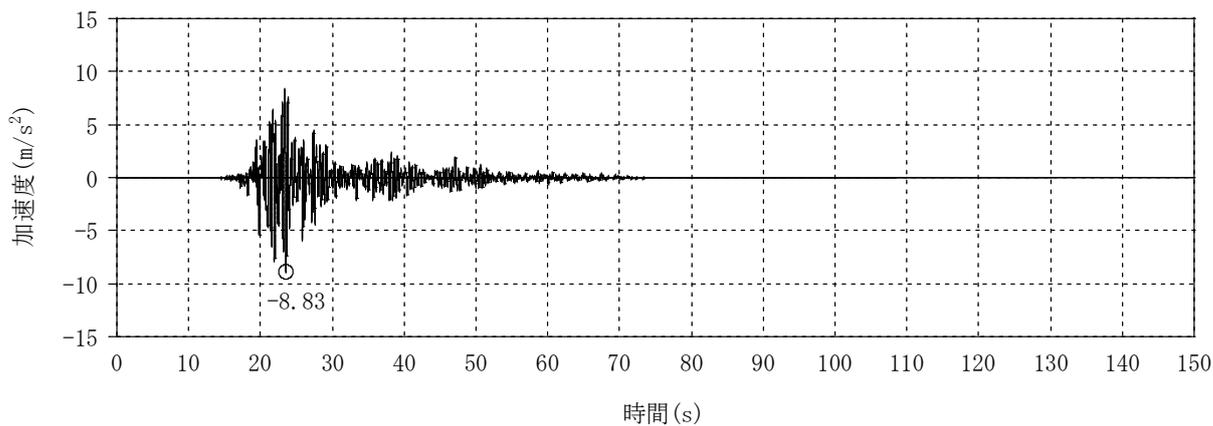


(d) EW方向 回転成分

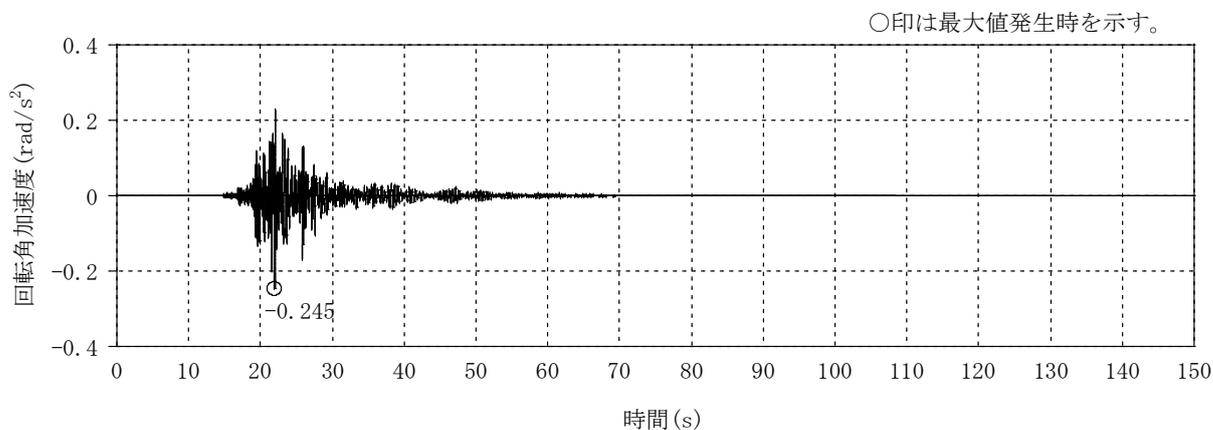


(e) 鉛直方向

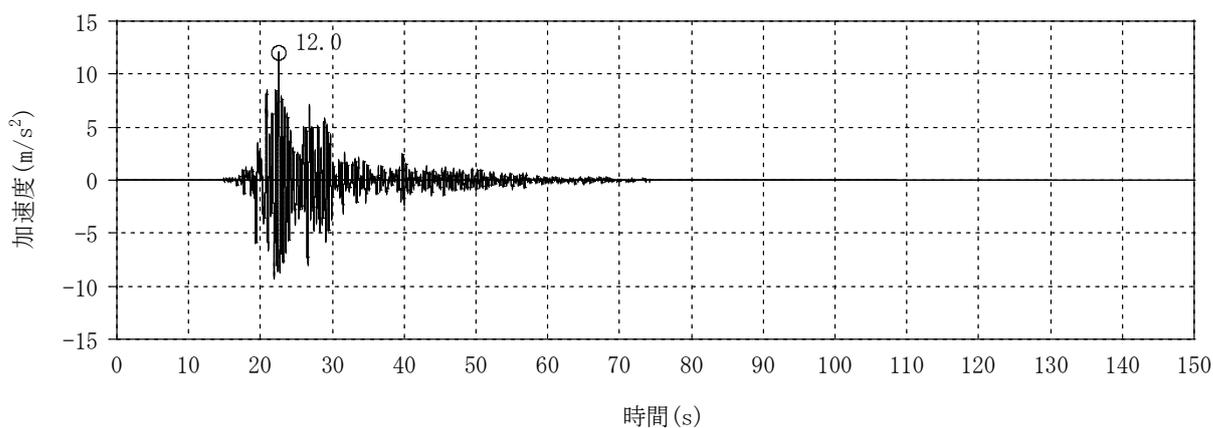
図2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース2, Ss-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

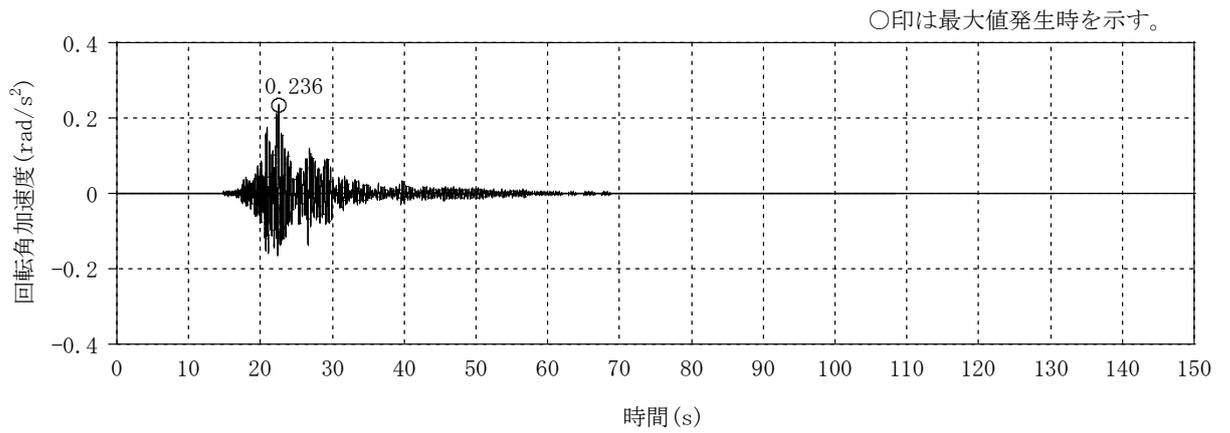


(b) NS方向 回転成分

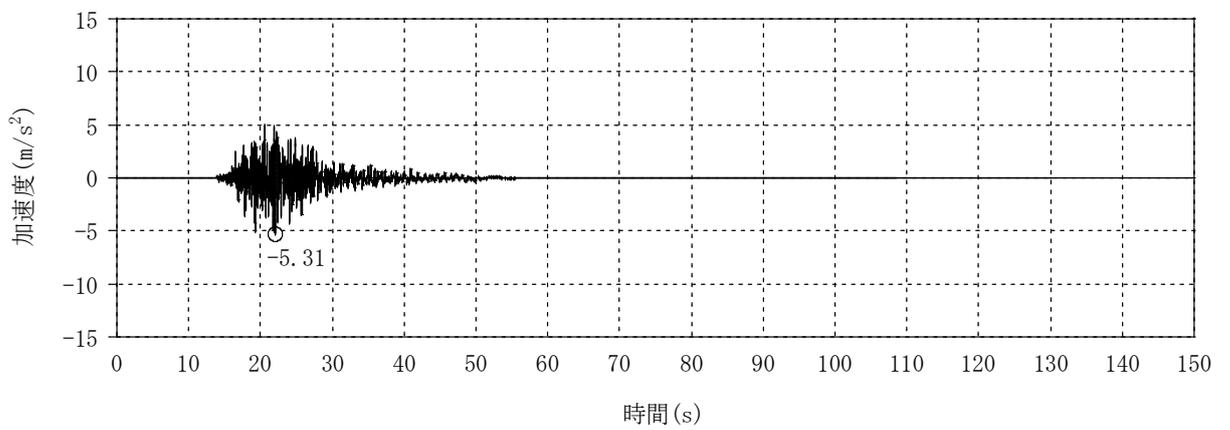


(c) EW方向 並進成分

図2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース3, Ss-2) (1/2)

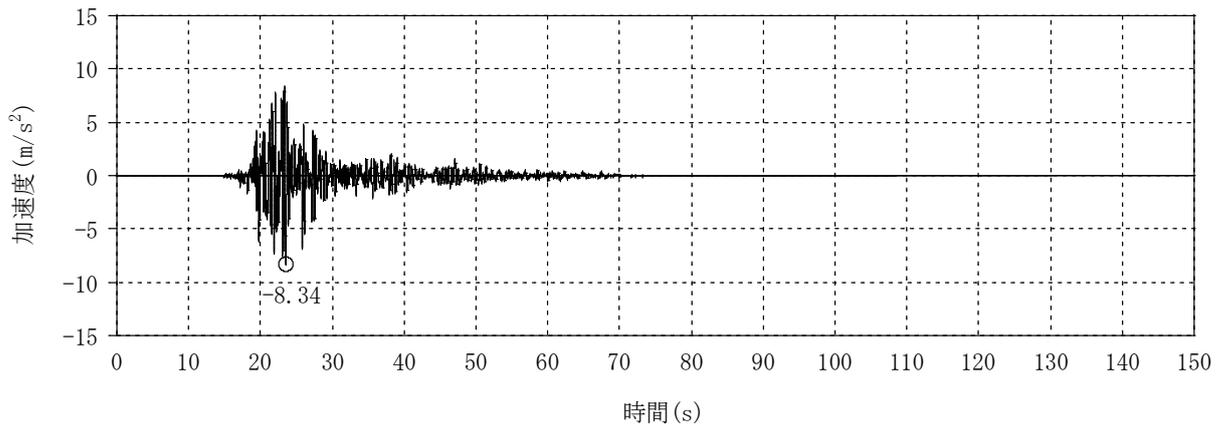


(d) EW方向 回転成分

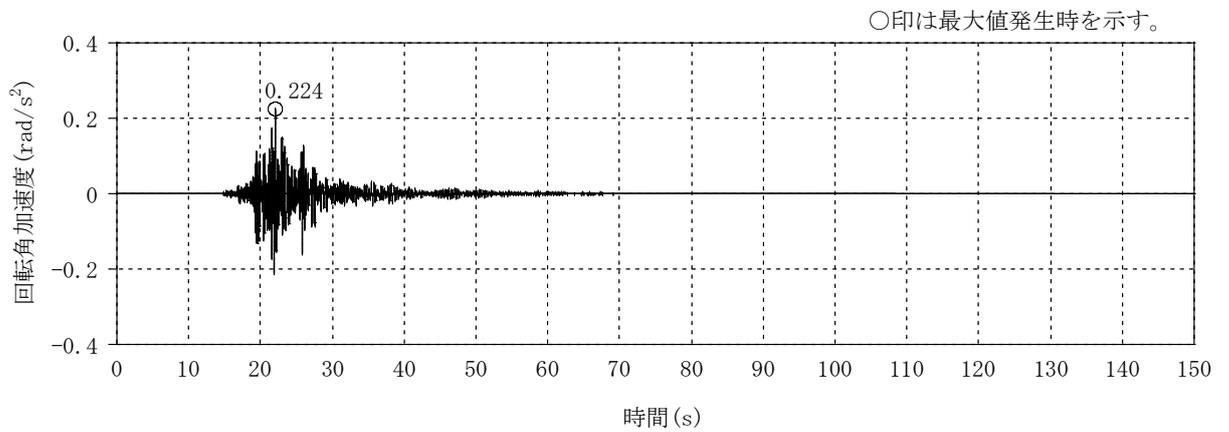


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

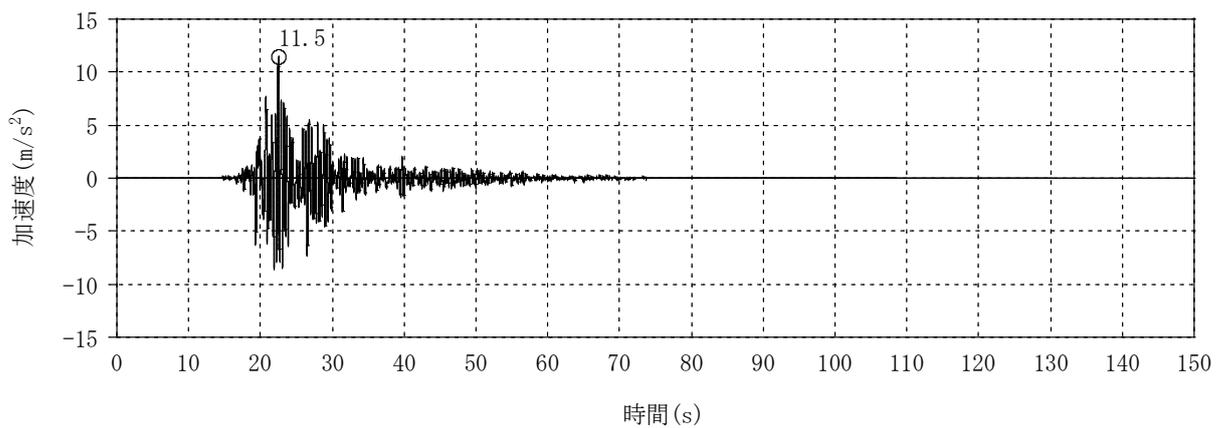
図2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース3, Ss-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

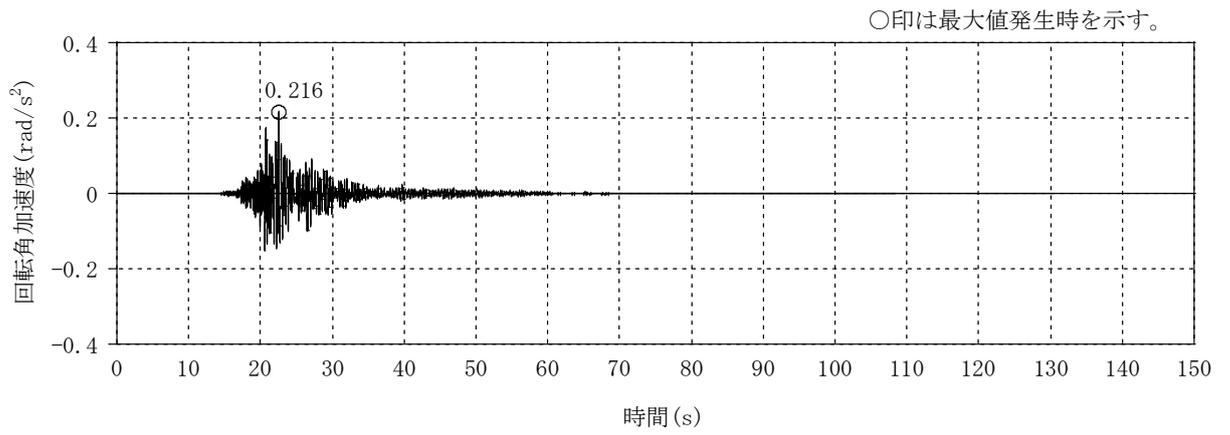


(b) NS方向 回転成分

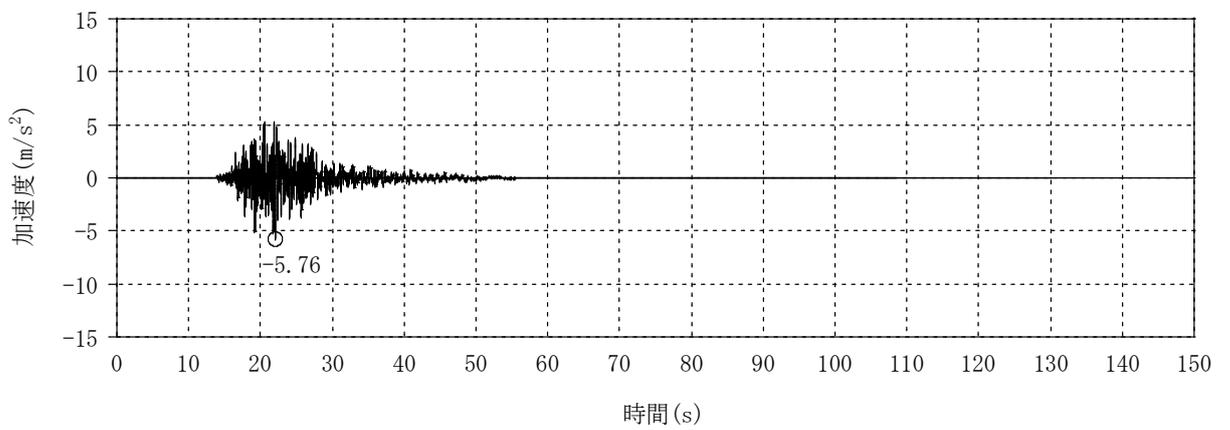


(c) EW方向 並進成分

図2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース4, Ss-2) (1/2)

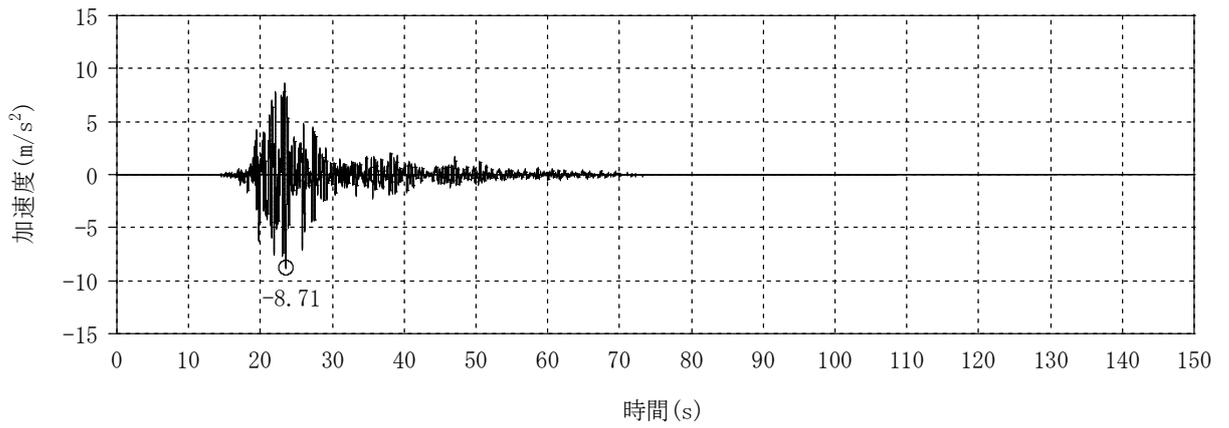


(d) EW方向 回転成分

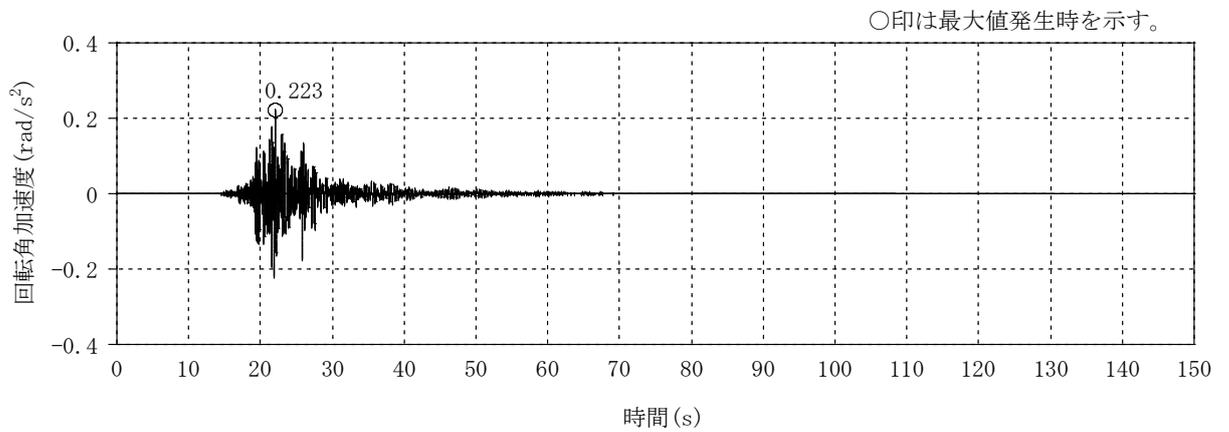


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

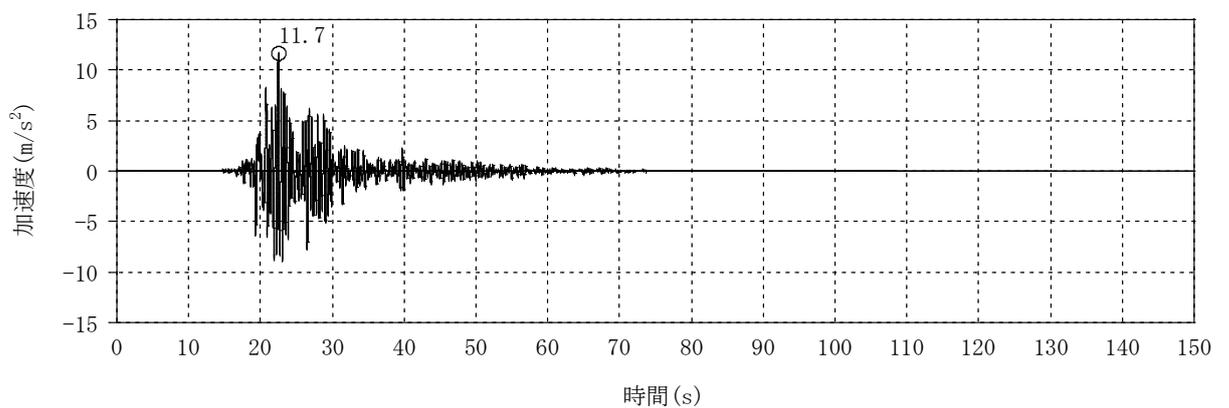
図2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース4, Ss-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

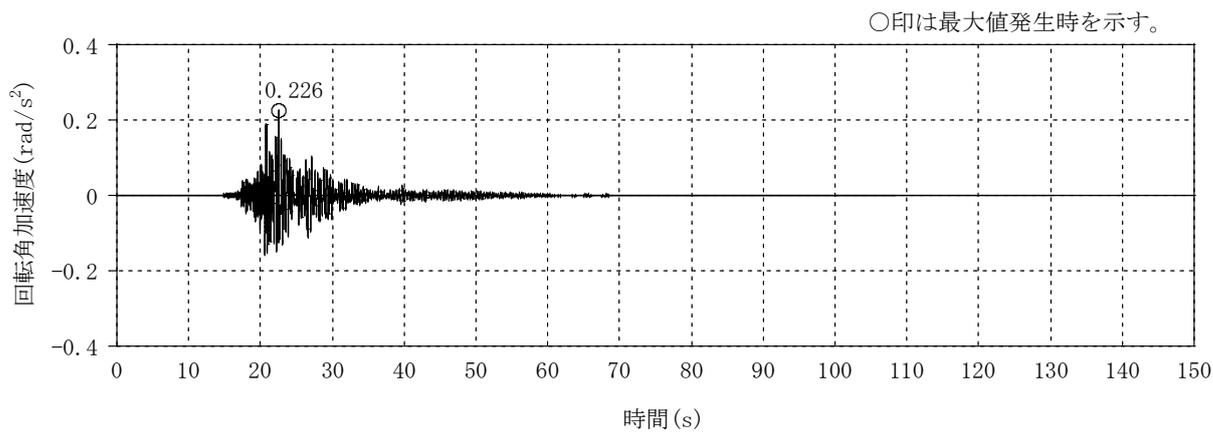


(b) NS方向 回転成分

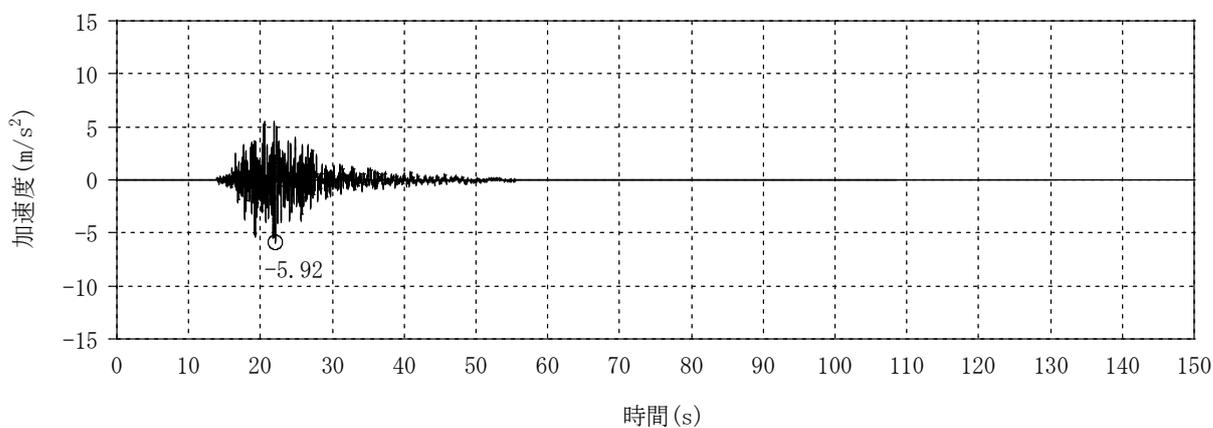


(c) EW方向 並進成分

図2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース5, Ss-2) (1/2)

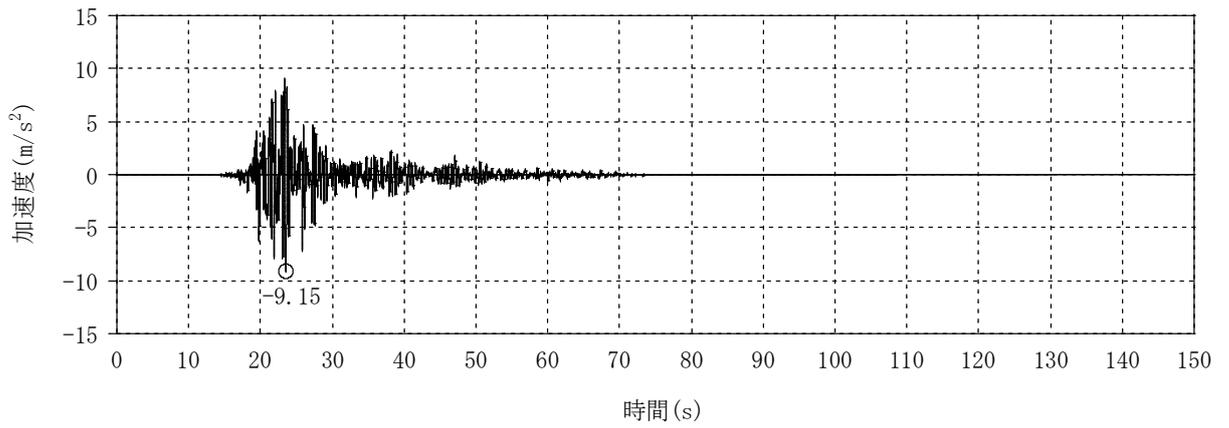


(d) EW方向 回転成分

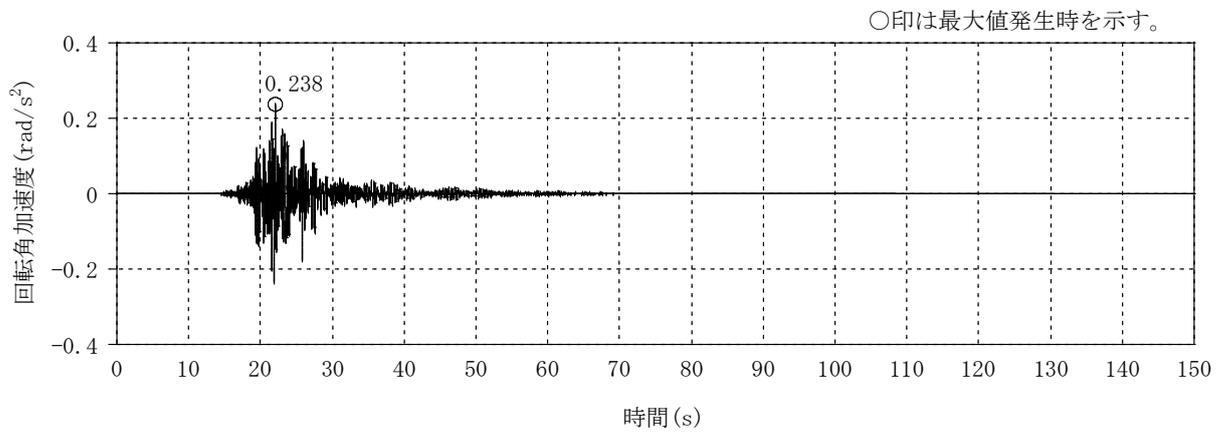


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

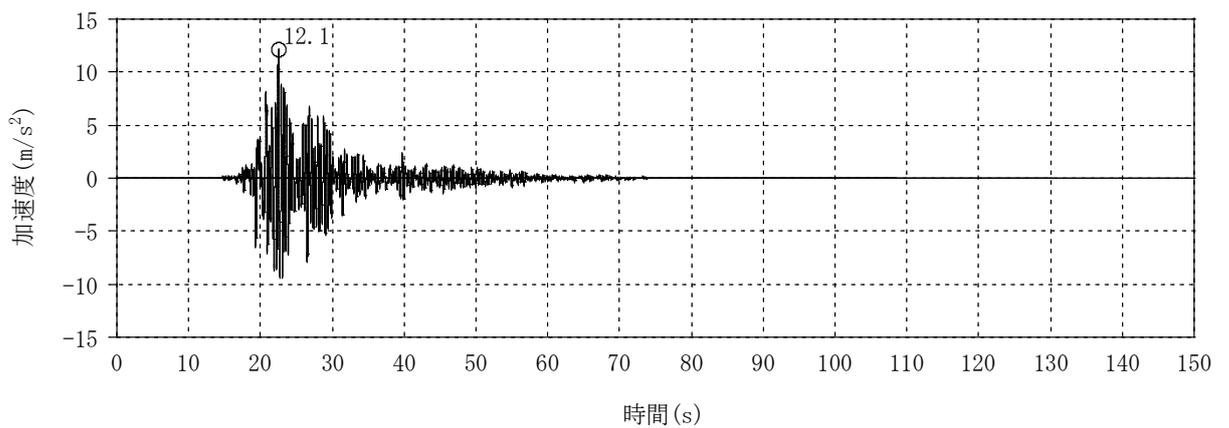
図2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース5, Ss-2) (2/2)



(a) NS方向 並進成分

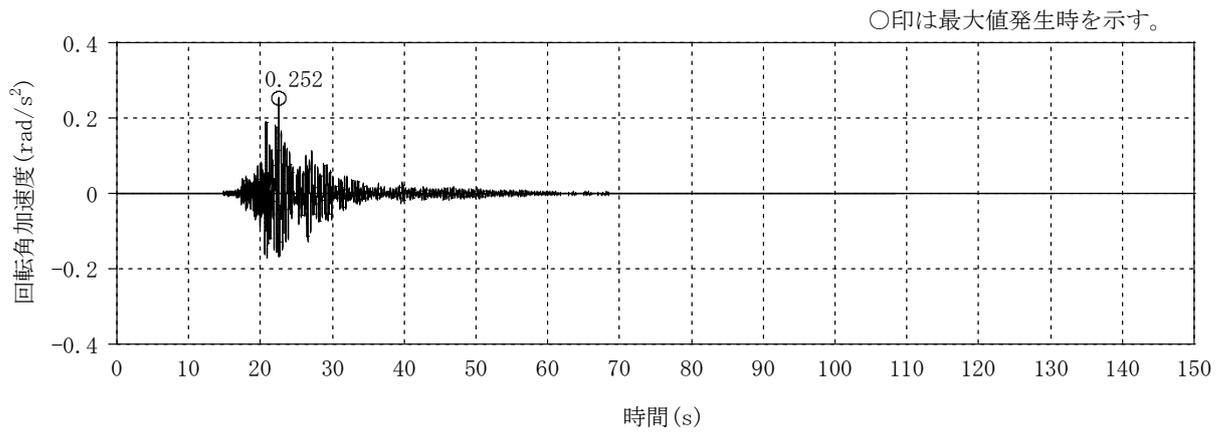


(b) NS方向 回転成分

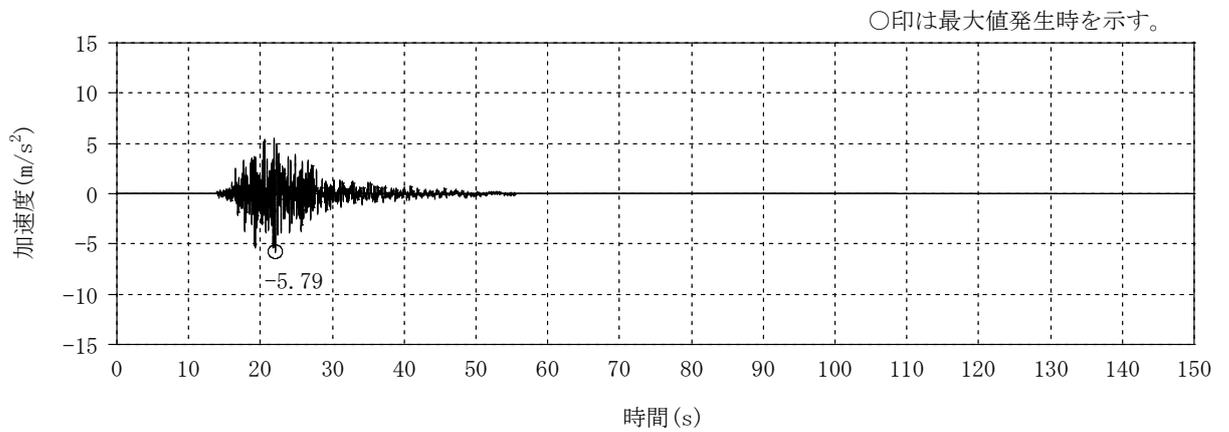


(c) EW方向 並進成分

図2-6 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース6, Ss-2) (1/2)

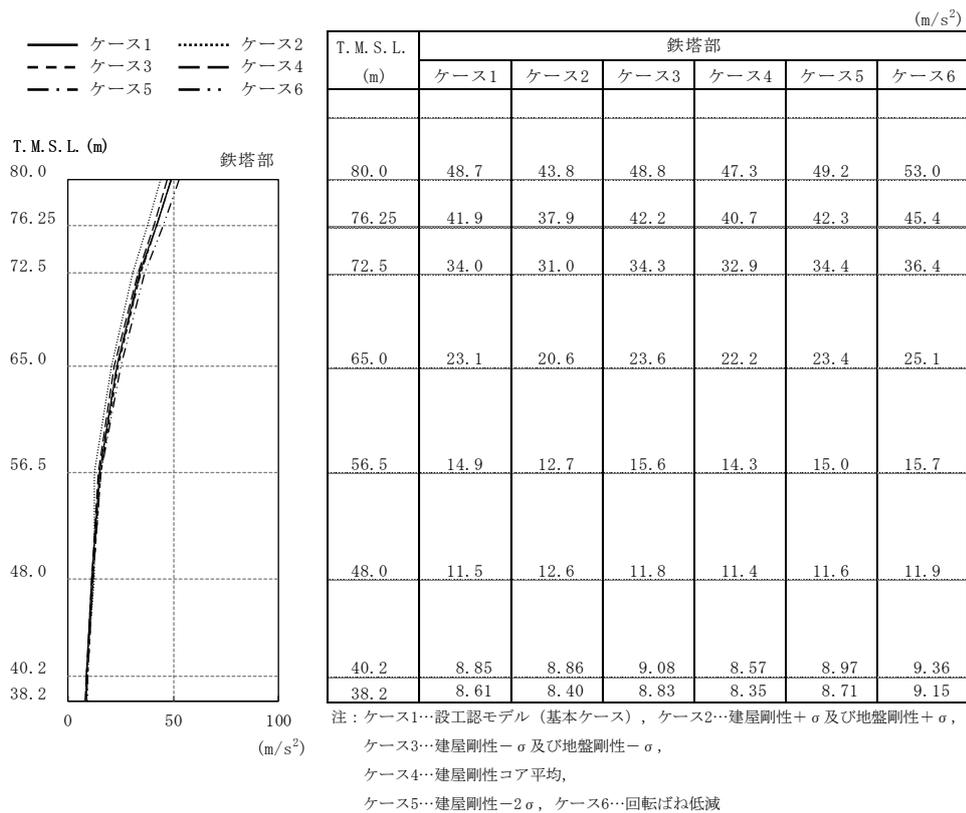


(d) EW方向 回転成分

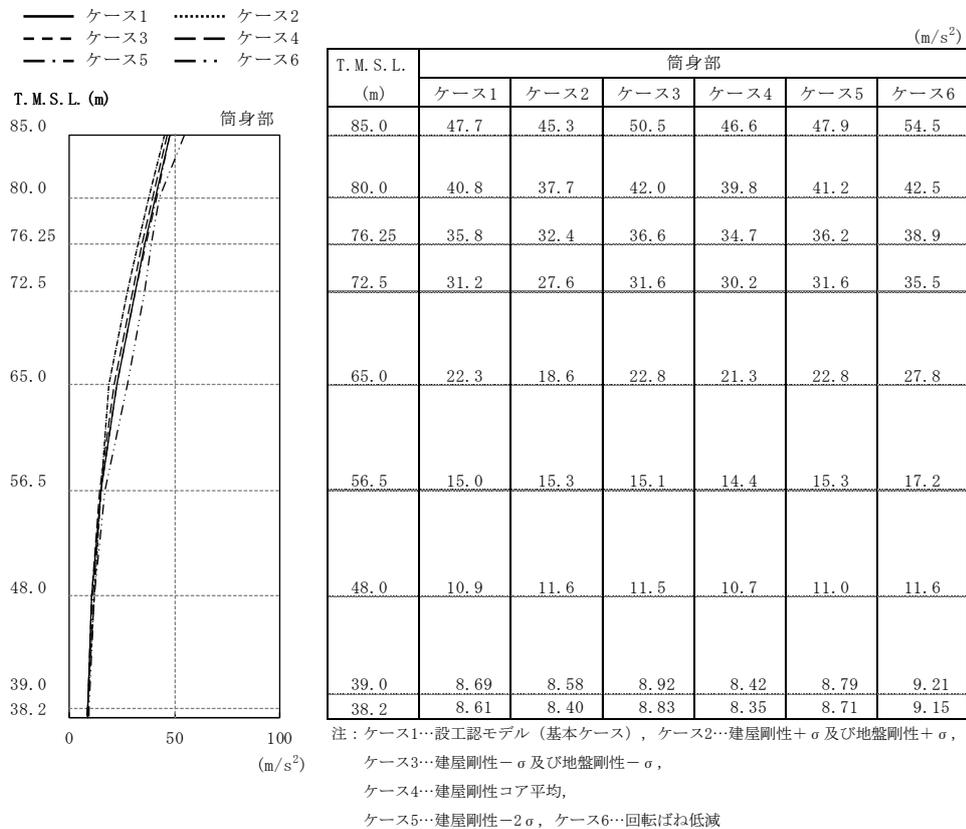


(e) 鉛直方向 (誘発上下動考慮)

図2-6 入力地震動の加速度時刻歴波形 (ケース6, Ss-2) (2/2)

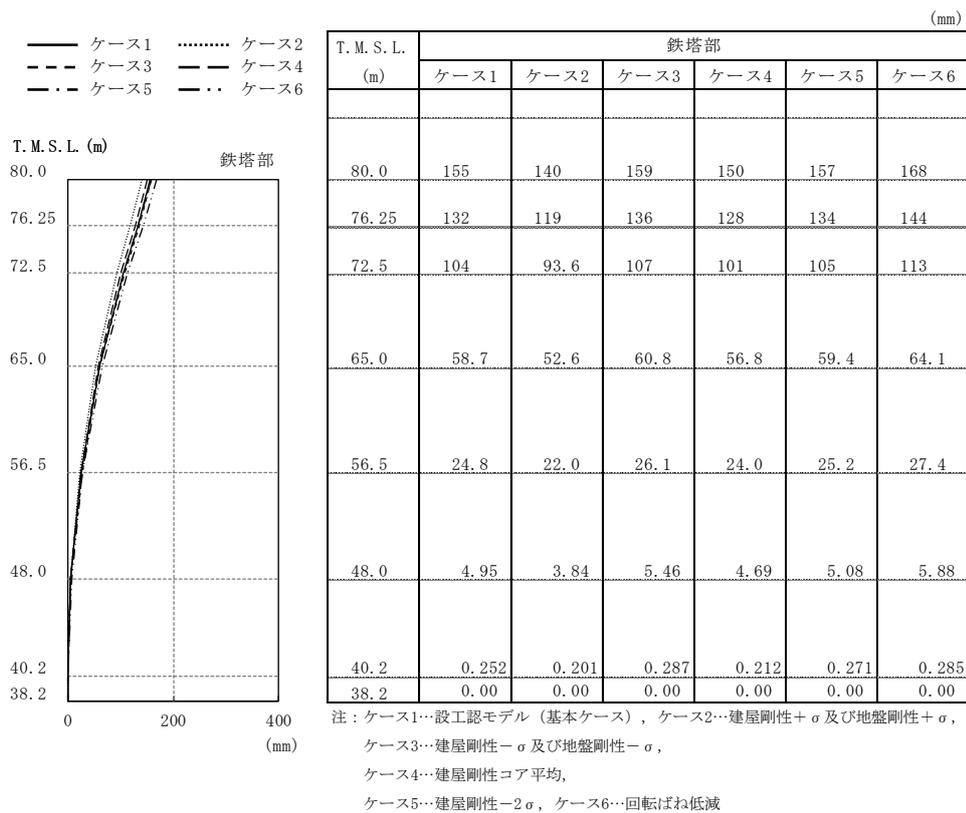


(a) 鉄塔部

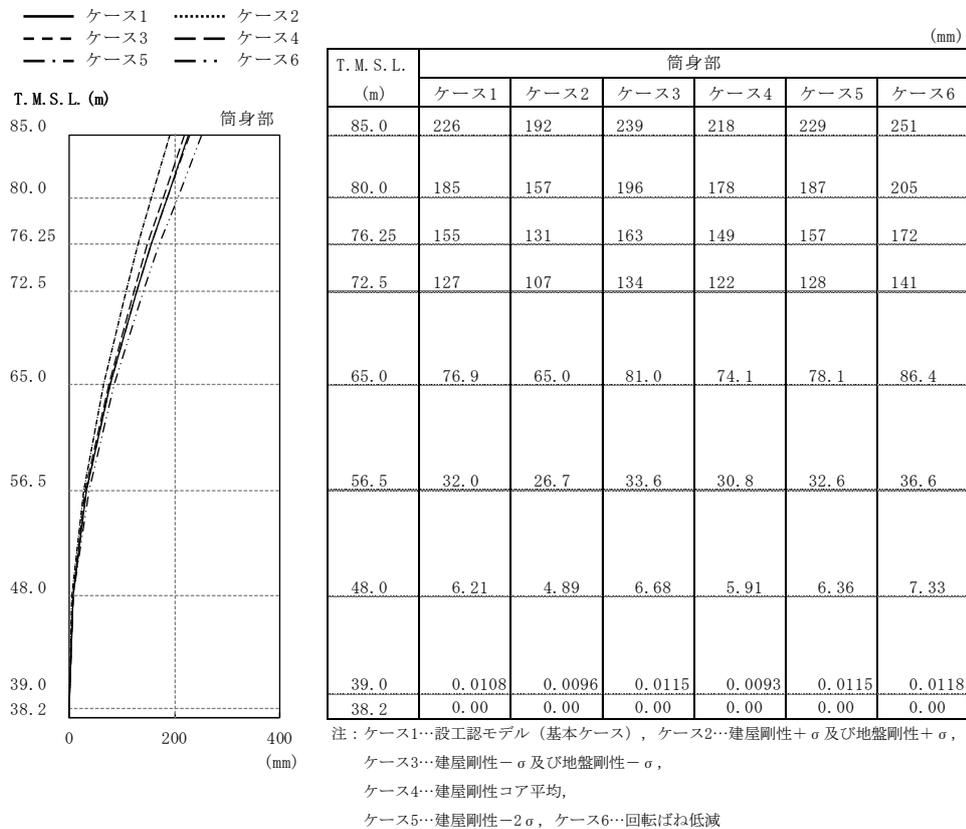


(b) 筒身部

図2-7 最大応答加速度 (Ss-2, NS方向)

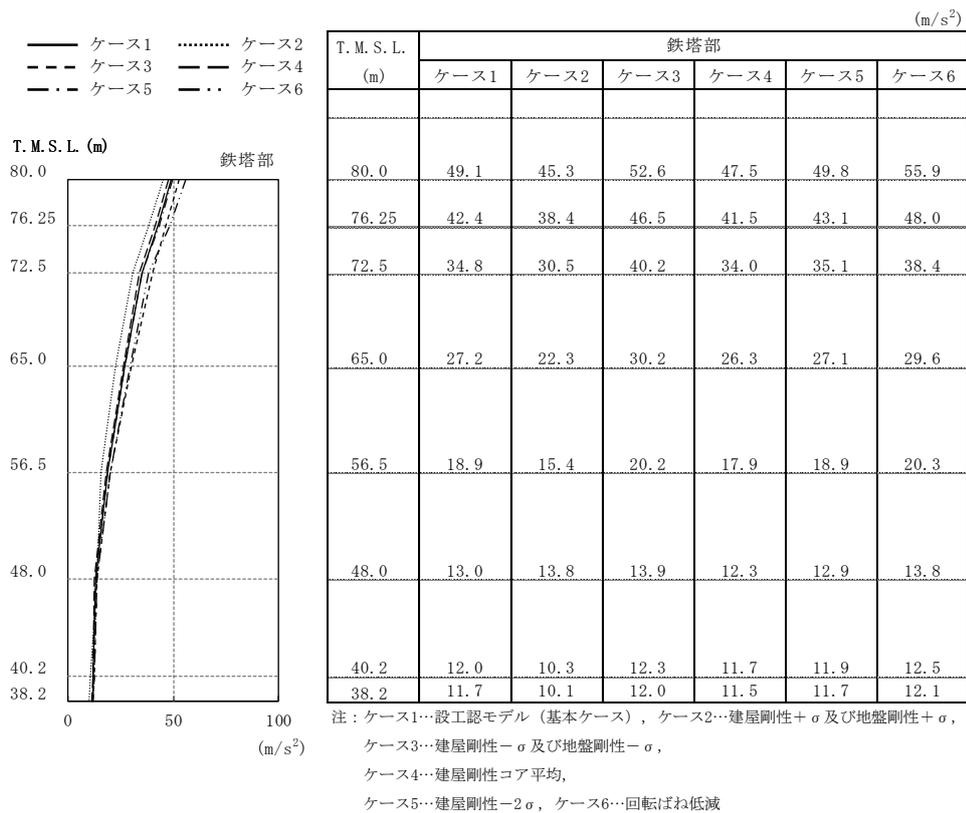


(a) 鉄塔部

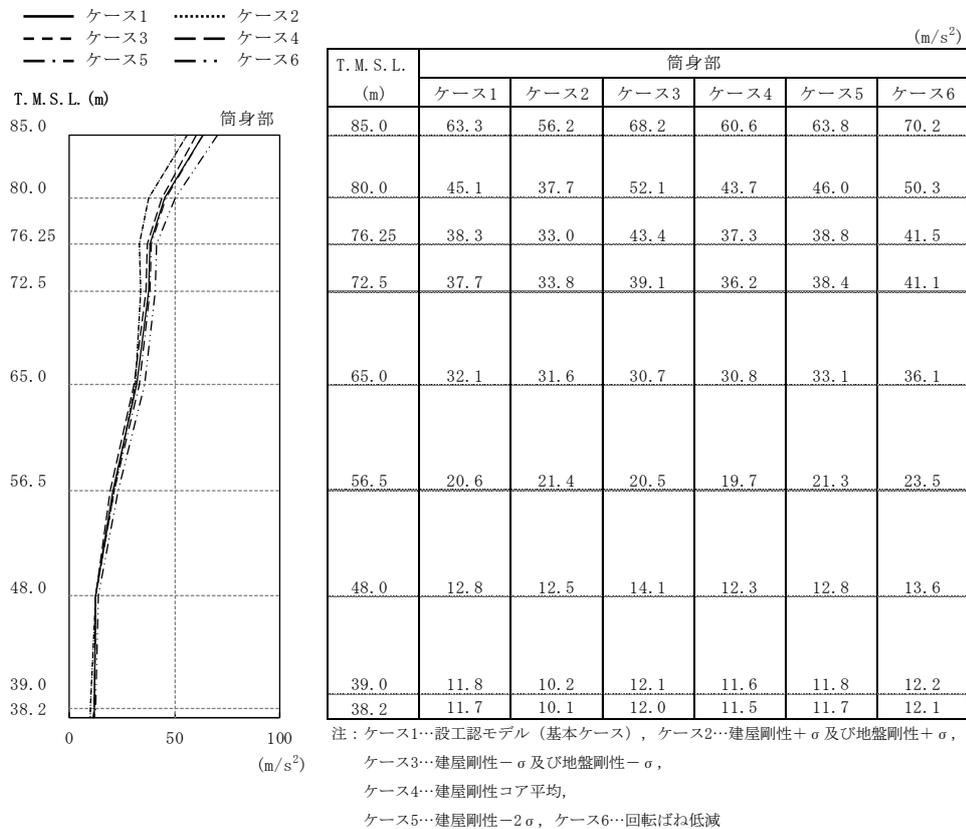


(b) 筒身部

図2-8 最大応答変位 (S_S-2, NS方向)

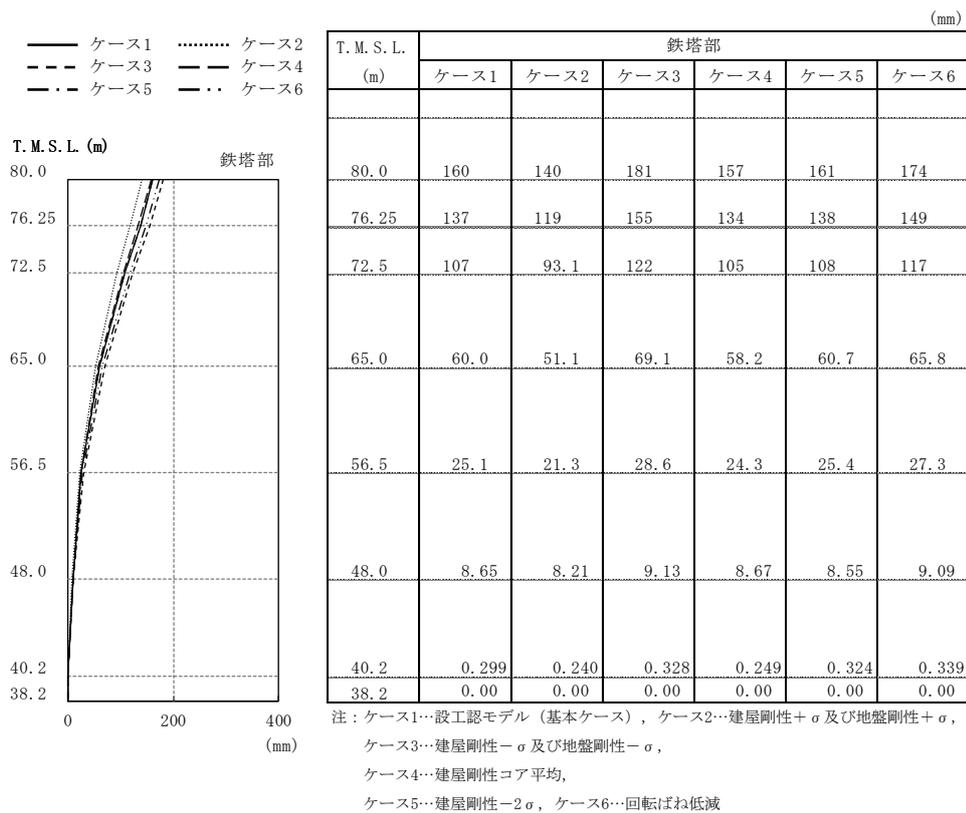


(a) 鉄塔部

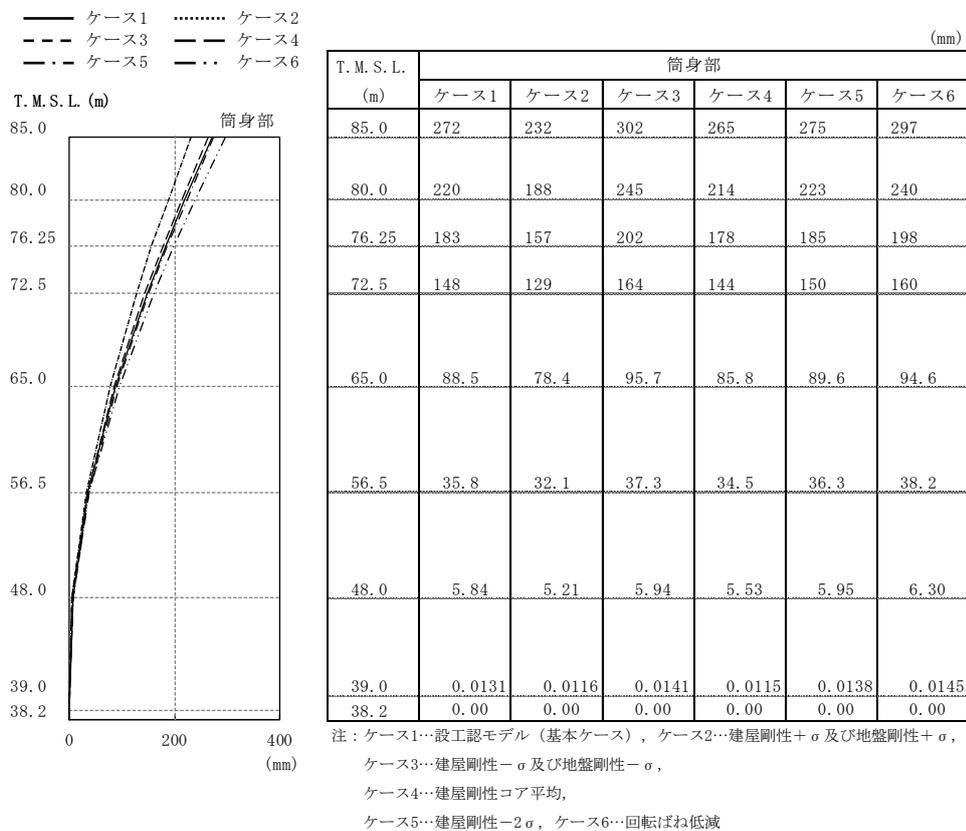


(b) 筒身部

図2-9 最大応答加速度 (Ss-2, EW方向)

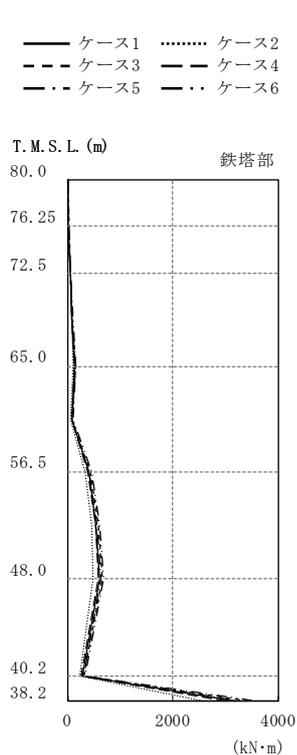


(a) 鉄塔部



(b) 筒身部

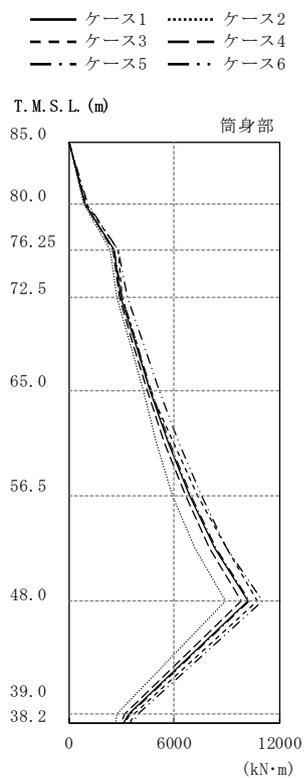
図2-10 最大応答変位 (Ss-2, EW方向)



T. M. S. L. (m)	鉄塔部					
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
80.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76.25	24.5	20.7	25.7	23.4	25.0	27.2
72.5	63.9	51.3	68.2	60.5	66.0	71.7
68.75	92.9	80.6	96.0	89.1	94.6	102
65.0	146	118	156	138	151	164
60.75	90.6	74.0	95.3	86.0	93.0	101
56.5	407	330	434	384	420	458
52.25	551	472	584	530	561	608
48.0	625	503	663	589	645	704
40.2	295	242	311	275	305	330
38.2	3170	2590	3430	3000	3250	3580

注：ケース1…設工認モデル（基本ケース），ケース2…建屋剛性+ σ 及び地盤剛性+ σ ，
 ケース3…建屋剛性- σ 及び地盤剛性- σ ，
 ケース4…建屋剛性コア平均，
 ケース5…建屋剛性-2 σ ，ケース6…回転ばね低減

(a) 鉄塔部 主柱材包絡

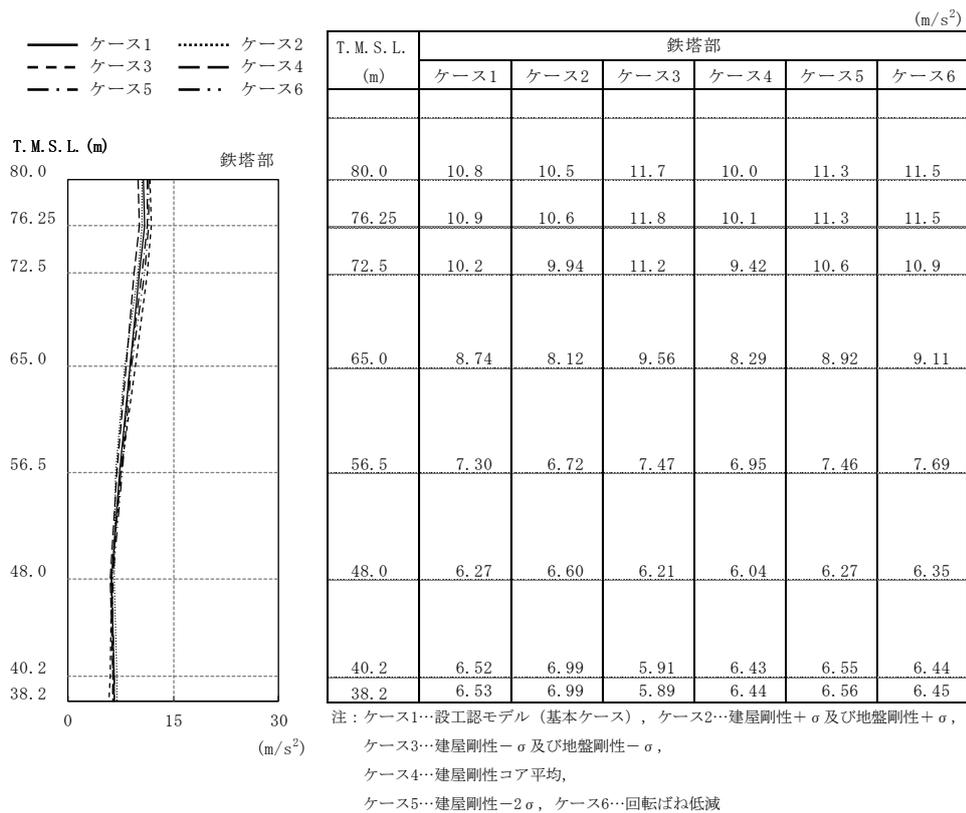


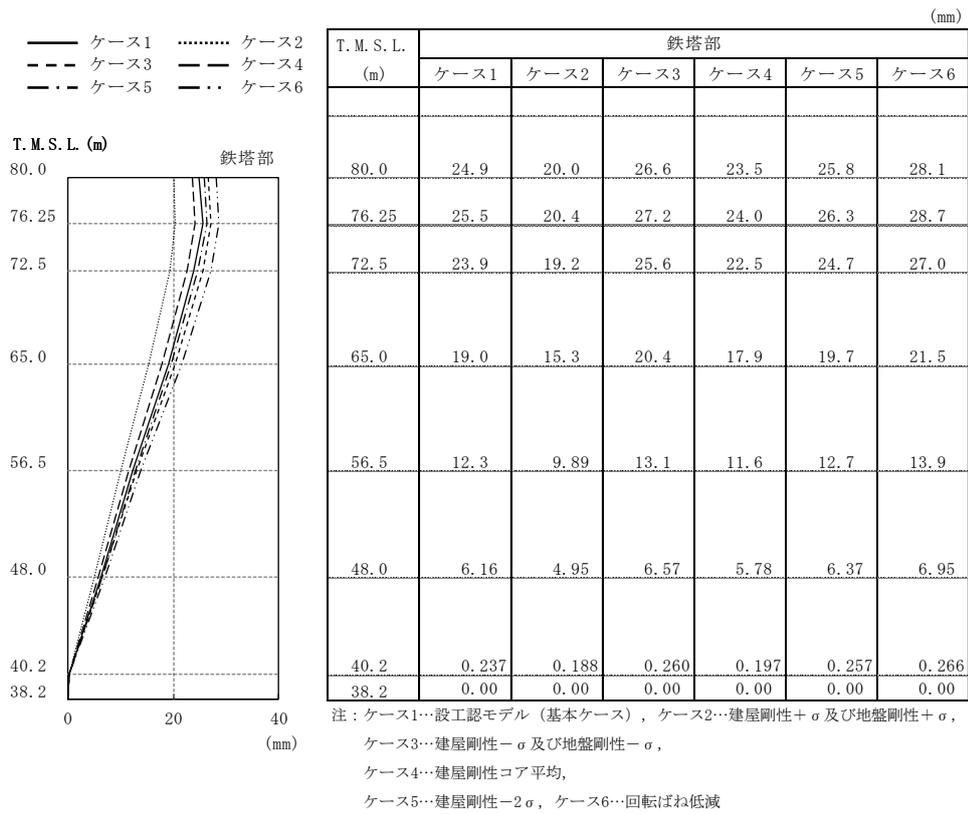
T. M. S. L. (m)	筒身部					
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
85.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.0	928	845	995	895	935	1040
76.25	2590	2320	2790	2500	2610	2840
72.5	2980	2710	3060	2860	3020	3330
65.0	4610	4230	4650	4430	4680	5140
56.5	6870	5910	7370	6640	6960	7570
48.0	10200	8930	10700	9840	10300	11000
39.0	3390	2760	3700	3220	3470	3950
38.2	3110	2690	3500	2950	3180	3640

注：ケース1…設工認モデル（基本ケース），ケース2…建屋剛性+ σ 及び地盤剛性+ σ ，
 ケース3…建屋剛性- σ 及び地盤剛性- σ ，
 ケース4…建屋剛性コア平均，
 ケース5…建屋剛性-2 σ ，ケース6…回転ばね低減

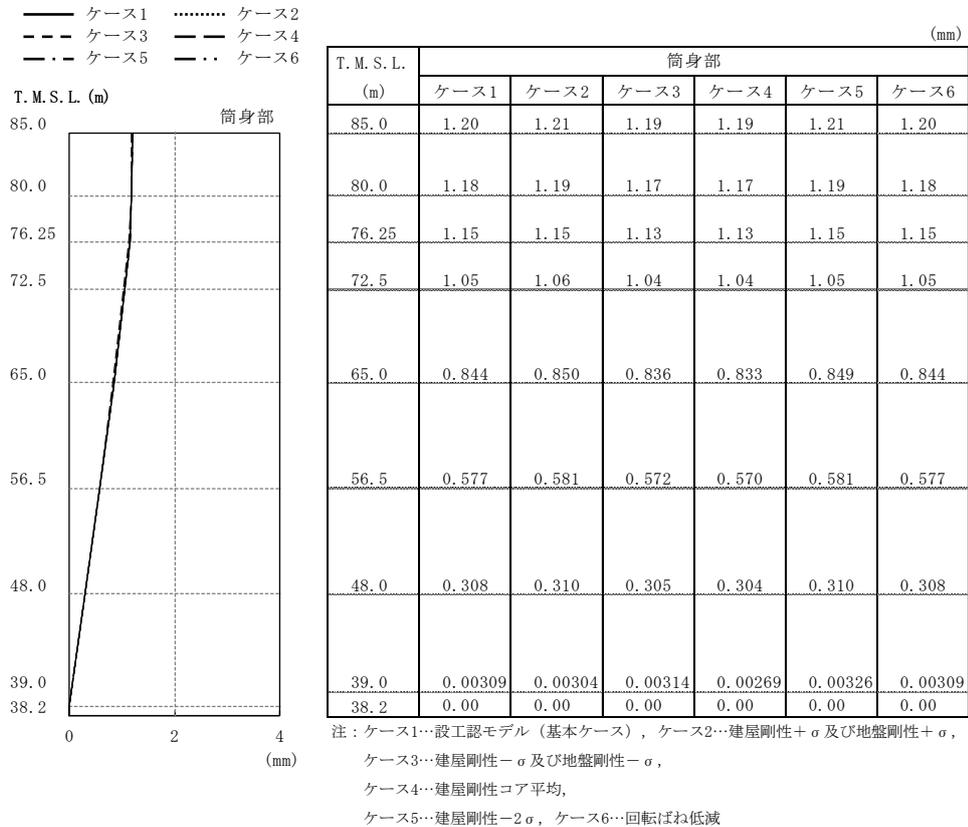
(b) 筒身部

図2-11 最大応答曲げモーメント (Ss-2)



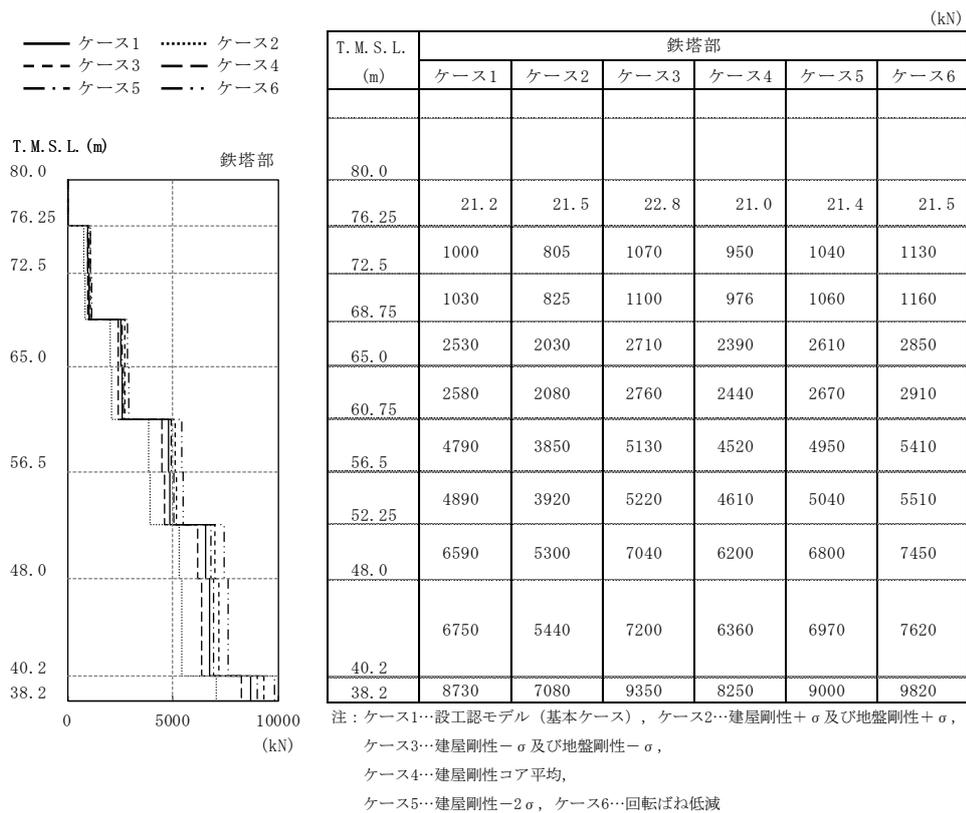


(a) 鉄塔部

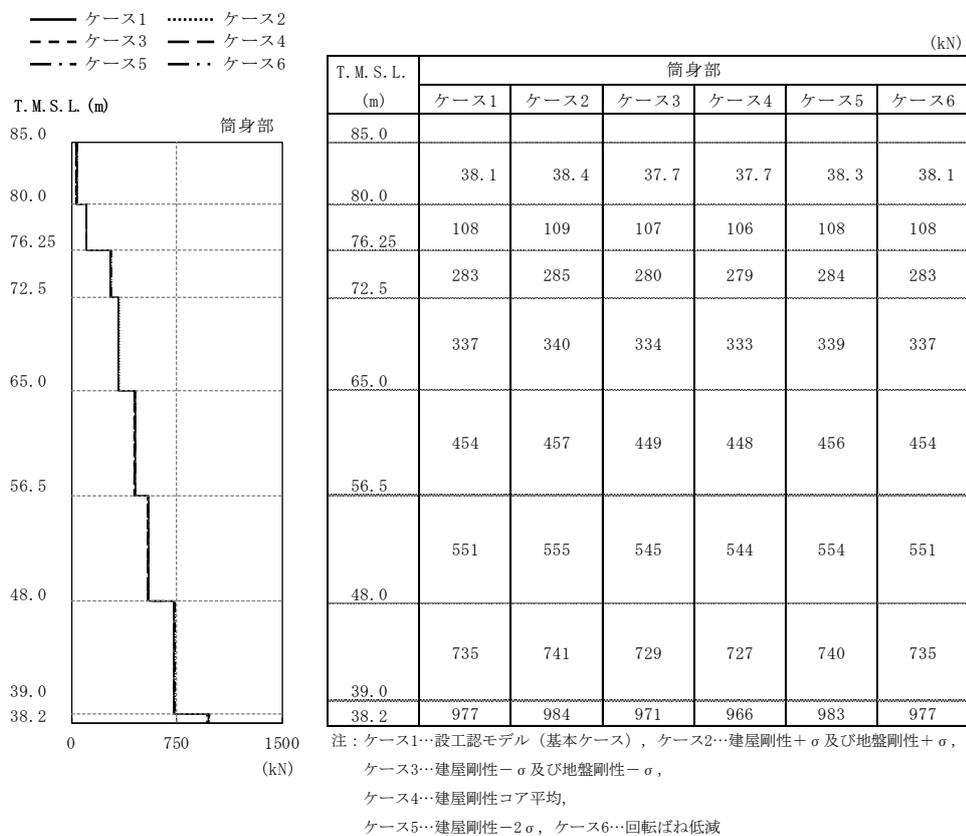


(b) 筒身部

図2-13 最大応答変位 (Ss-2, 鉛直方向)



(a) 鉄塔部 主柱材包絡



(b) 筒身部

図2-14 最大応答軸力 (Ss-2)

表2-2 制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値（Ss-2）

項目	オイルダンパーの最大応答値						許容値
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	
速度 (m/s)	1.87	1.66	2.01	1.83	1.88	2.03	2.60
変位 (mm)	144	123	160	140	146	157	175

別紙3-3 減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析結果

目 次

1. 概要	別紙 3-3-1
2. 地震応答解析結果	別紙 3-3-2

1. 概要

VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」では、減衰を剛性比例型減衰（鉄塔部の水平方向1次固有振動数に対し、鉄骨造は2%、鉄筋コンクリート造（基礎）は5%を設定）とした地震応答解析について示している。

本資料では、減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析を行い、剛性比例型減衰の解析結果と比べることで、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における減衰設定の妥当性を確認する。詳細には、以下に示す検討を実施する。

- ・ S_s-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討
- ・ S_s-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討

S_s-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討では、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動S_s-1を用いた基本ケースを選定し、減衰の違いによる影響を確認することを目的とする。

S_s-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討では、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における断面算定結果（検定値）が最も厳しくなる検討ケースを対象に、減衰をレーリー減衰にした場合においても断面算定結果が許容値を超過しないことを確認することを目的とする。

なお、入力地震動は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に基づき、S_s-1は、2方向（3成分）（NS方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とし、S_s-2は、3方向（5成分）（水平2方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とする。

また、固有値解析結果は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に示すケース1（基本ケース）と同一である。

2. 地震応答解析結果

固有値解析結果を表2-1に、減衰の設定方法を図2-1に、解析ケースを表2-2に示す。

レーリー減衰は、主排気筒の応答に影響の大きい鉄塔NS方向の1次振動数（3.65Hz）と主要モード（鉄塔水平2次）が存在する12.0Hzに対し、鋼材の減衰定数（2%）となるように設定した。

減衰をレーリー減衰にした場合の基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を図2-2～図2-15に示す。なお、東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」といい、図2-8、図2-9、図2-14及び図2-15では、以下の主柱材の最大応力を包絡したものを「鉄塔部 主柱材包絡」として示す。

- ・原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材
- ・原子炉建屋の R_1 通りと R_D 通りの交点に位置する主柱材
- ・原子炉建屋の R_2 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材
- ・原子炉建屋の R_2 通りと R_D 通りの交点に位置する主柱材

また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値を表2-3に、地震応答解析結果に基づく断面算定結果を表2-4に示す。

減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析結果は剛性比例型減衰に比べ、一部の応答は大きくなるものの、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値は許容値以下であり、減少傾向にある。

また、各部材の断面算定結果について、 S_s -1を用いたケース1（基本ケース）及び S_s -2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討では、筒身部において、レーリー減衰では検定値がいくつか大きくなる部材はあるが、剛性比例型減衰で最も検定値が大きくなるE-F間においては、検定値は0.89（剛性比例型減衰）から0.85（レーリー減衰）まで低減している。また、全部材中で最も検定値が大きくなる主柱材D-E間について、剛性比例型減衰では検定値は0.98であったが、レーリー減衰では検定値は0.95まで低減している。

以上より、減衰をレーリー減衰にした場合についても耐震性に影響がないことを確認するとともに、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における減衰設定が妥当であることを確認した。

表2-1 固有値解析結果（水平方向）

方向	固有モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
				X (EW方向)	Y (NS方向)	Z (鉛直方向)
NS	筒身1次	1.20	0.832	0.000	-1.566	0.000
	筒身2次	7.73	0.129	0.000	-1.434	0.000
	鉄塔1次	3.65	0.274	0.000	1.565	0.000
	鉄塔2次	10.99	0.091	0.000	0.843	0.000
EW	筒身1次	1.21	0.828	1.543	0.000	0.000
	筒身2次	7.85	0.127	1.378	0.000	0.000
	鉄塔1次	3.67	0.272	1.525	0.000	0.000
	鉄塔2次	11.32	0.088	-0.869	0.000	0.001

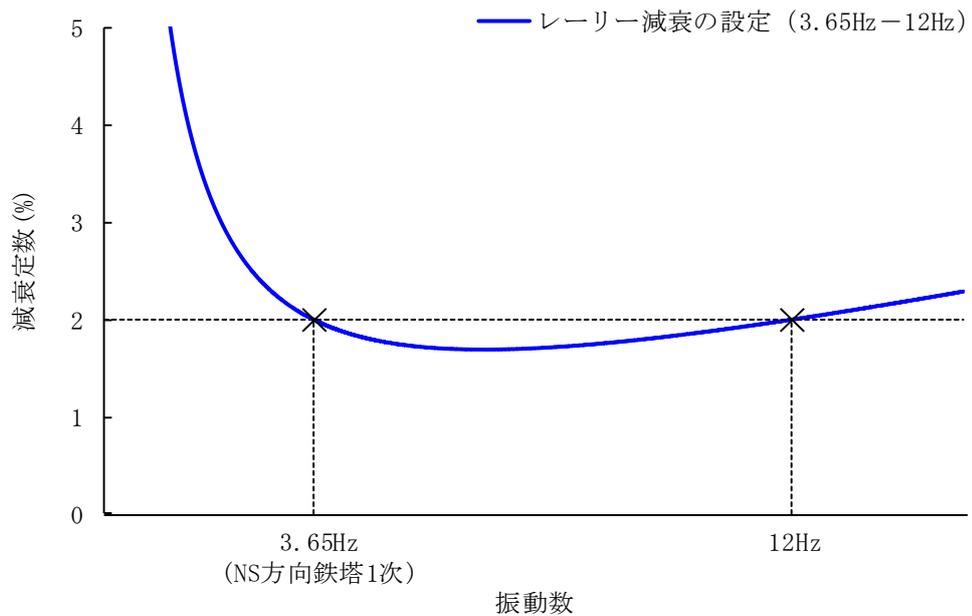


図2-1 減衰の設定方法

表2-2 検討ケース

(a) Ss-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討

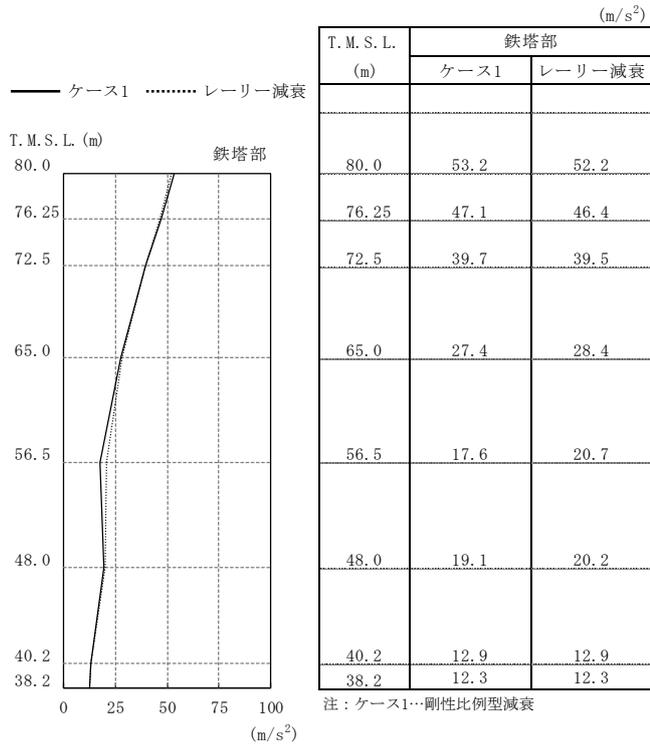
検討ケース	地震動	建屋応答の不確かさ（基本ケース）			減衰	備考
		コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性		
①ケース1 （基本ケース）	Ss-1	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	剛性比例型	計算書* 記載
レーリー減衰	Ss-1	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	<u>レーリー</u>	—

(b) Ss-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討

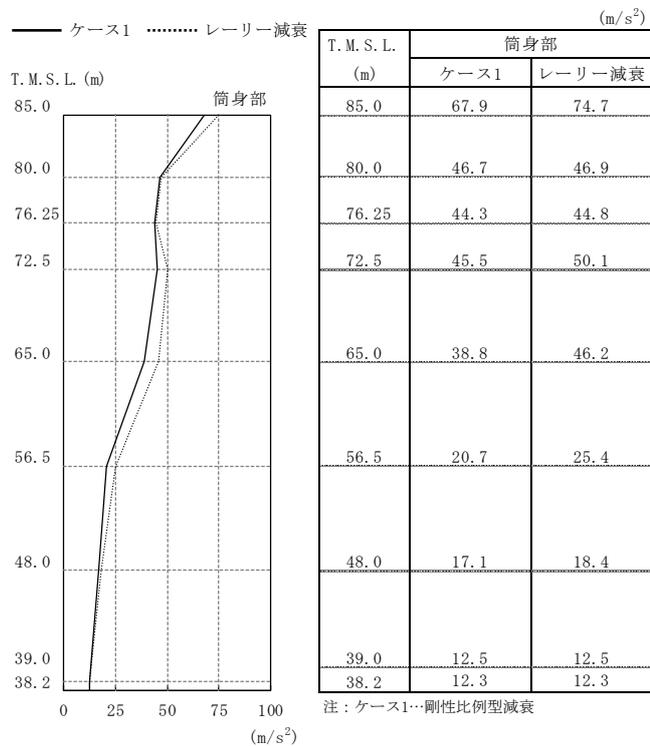
検討ケース	地震動	建屋応答の不確かさ（ケース6）			減衰	備考
		コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性		
⑥ケース6 （回転ばね低減）	Ss-2	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	剛性比例型	計算書* 記載
レーリー減衰	Ss-2	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	<u>レーリー</u>	—

注：下線部は，VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」記載ケースとの差異を示す。

注記*：「計算書」とは，VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」を示す。



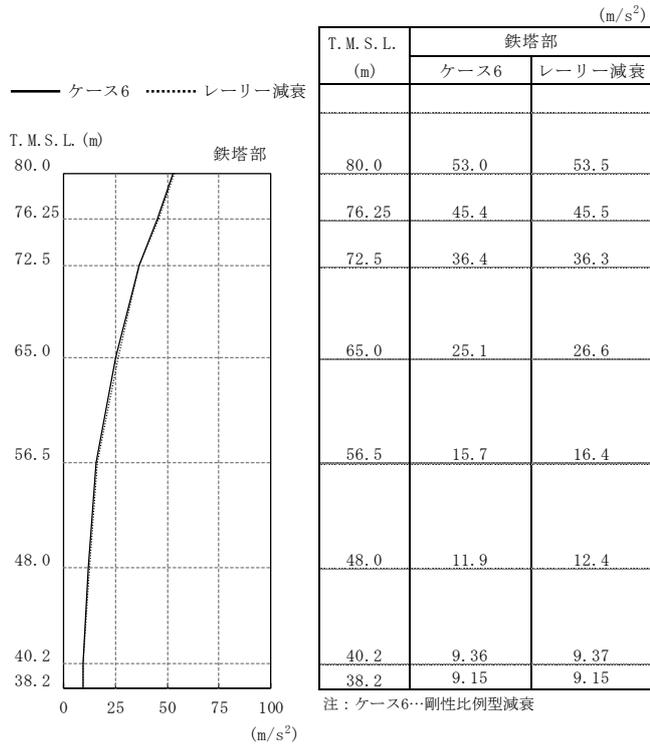
(a) 鉄塔部



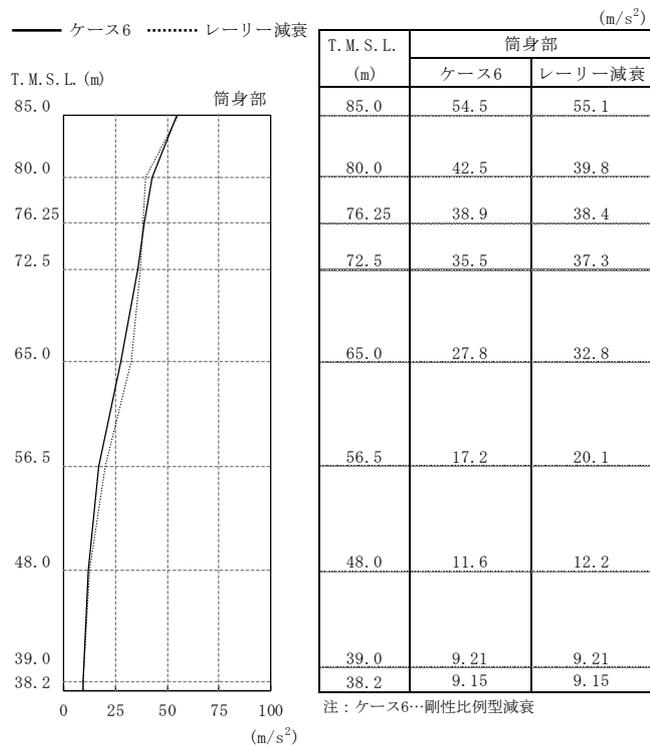
(b) 筒身部

図2-2 最大応答加速度

(Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, NS方向)



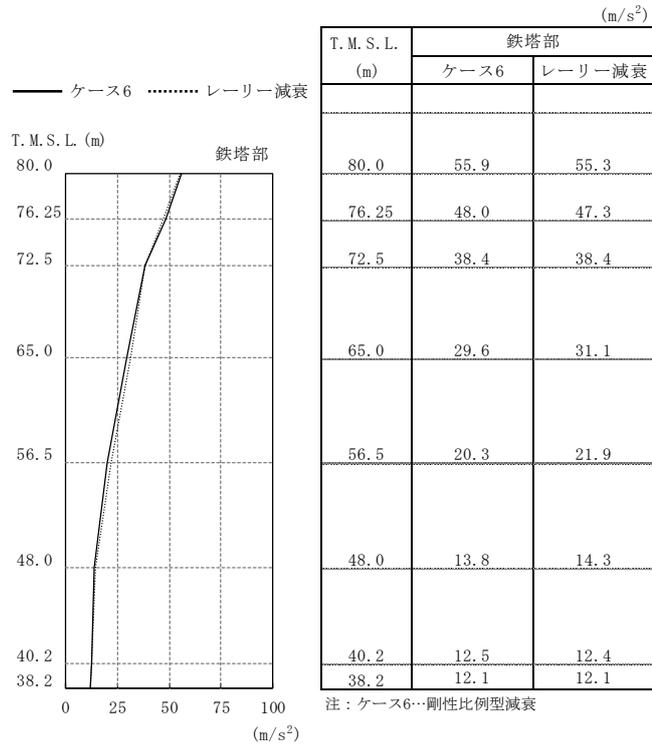
(a) 鉄塔部



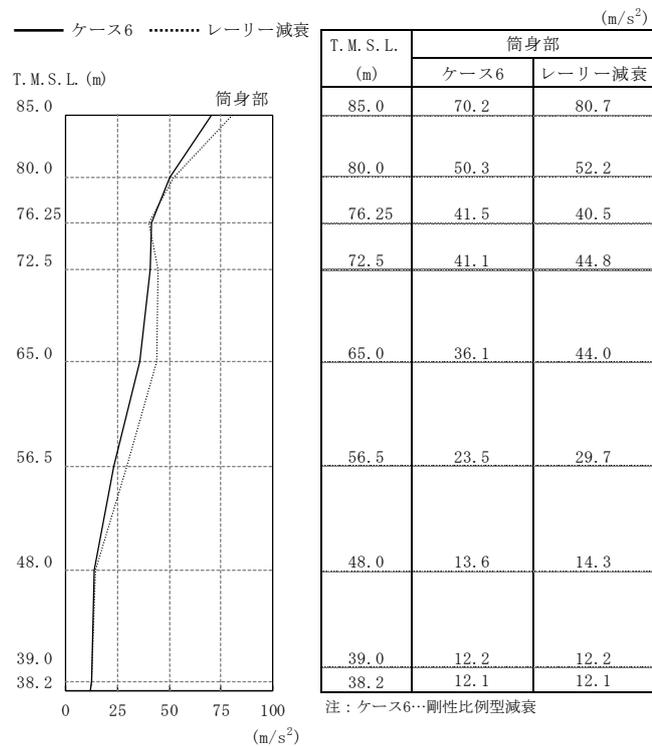
(b) 筒身部

図2-3 最大応答加速度

(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, NS方向)



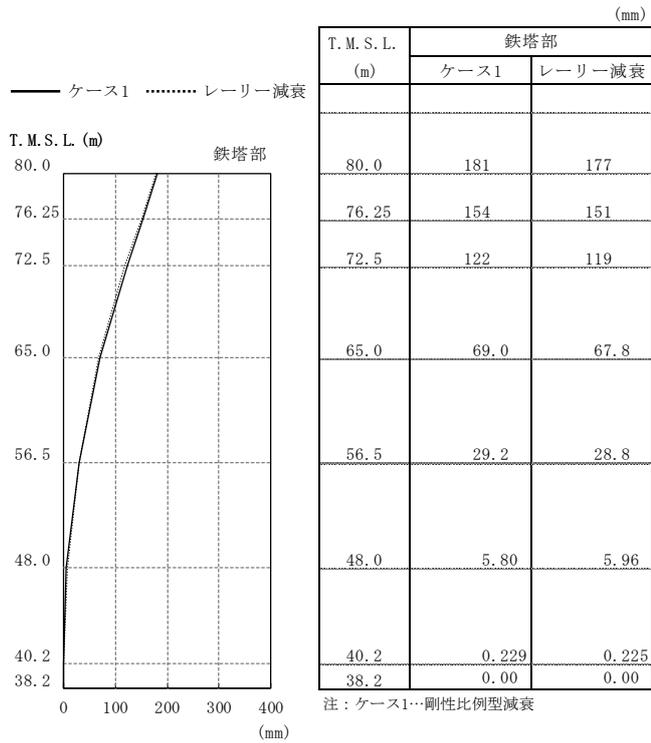
(a) 鉄塔部



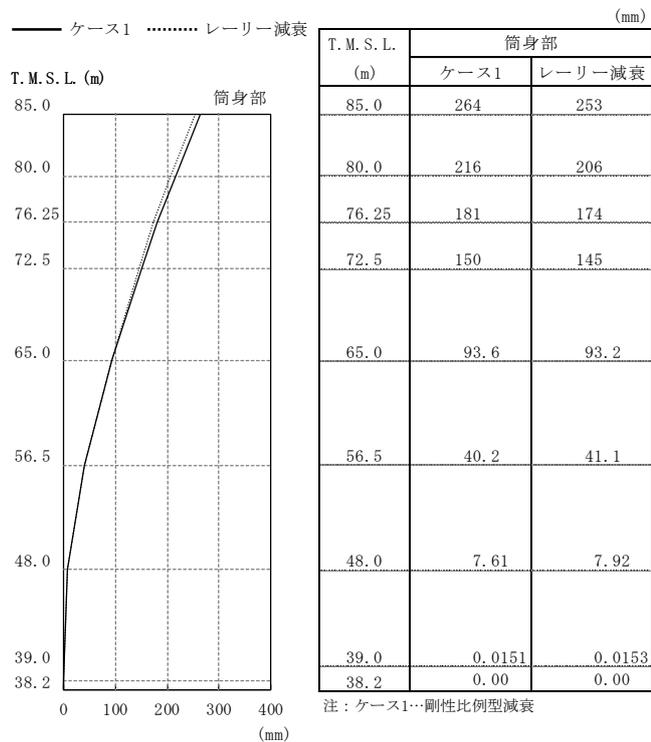
(b) 筒身部

図2-4 最大応答加速度

(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, EW方向)



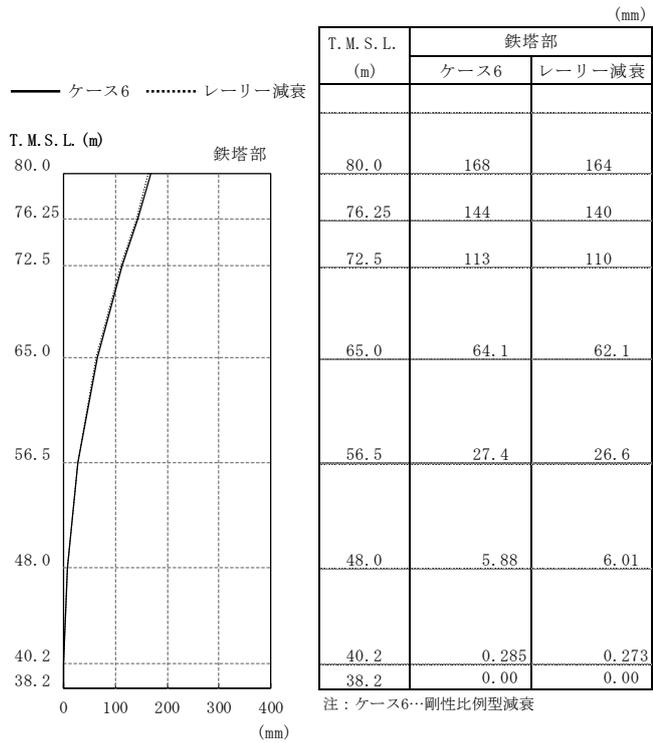
(a) 鉄塔部



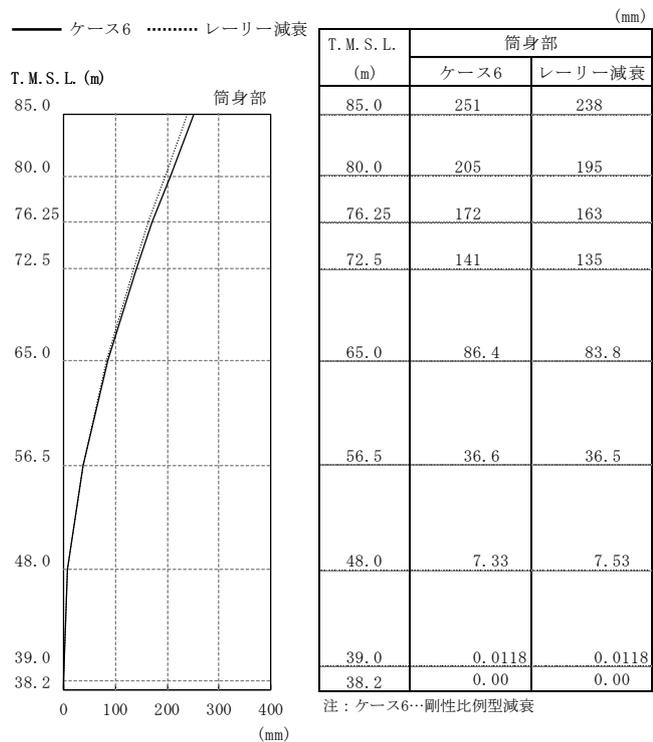
(b) 筒身部

図2-5 最大応答変位

(S_s-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, NS方向)



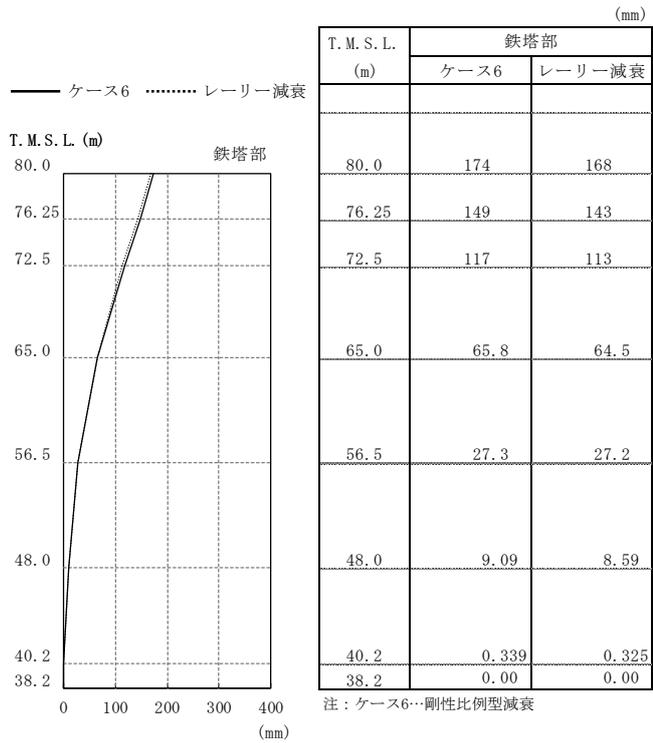
(a) 鉄塔部



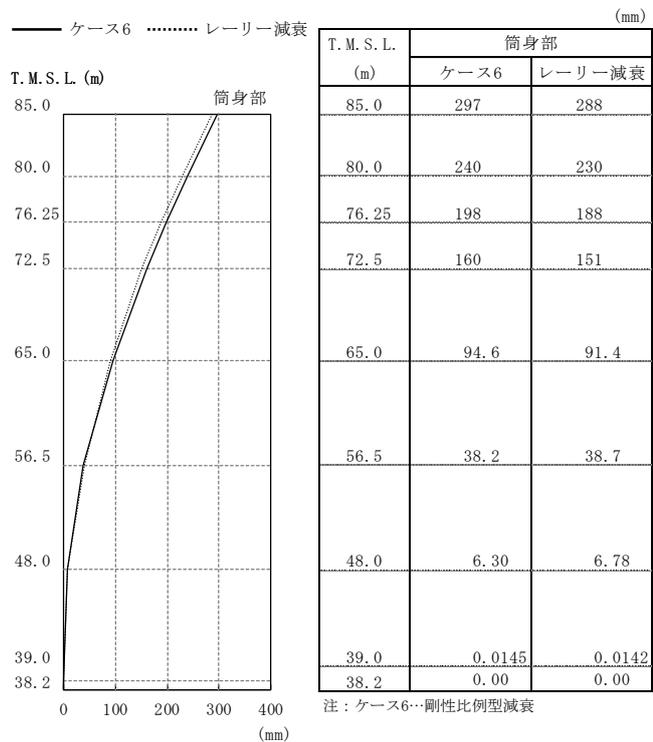
(b) 筒身部

図2-6 最大応答変位

(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, NS方向)



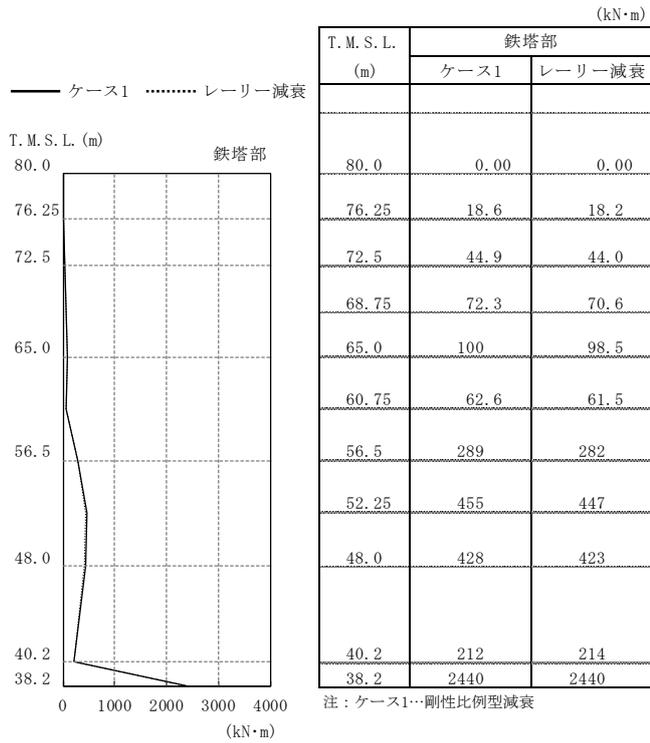
(a) 鉄塔部



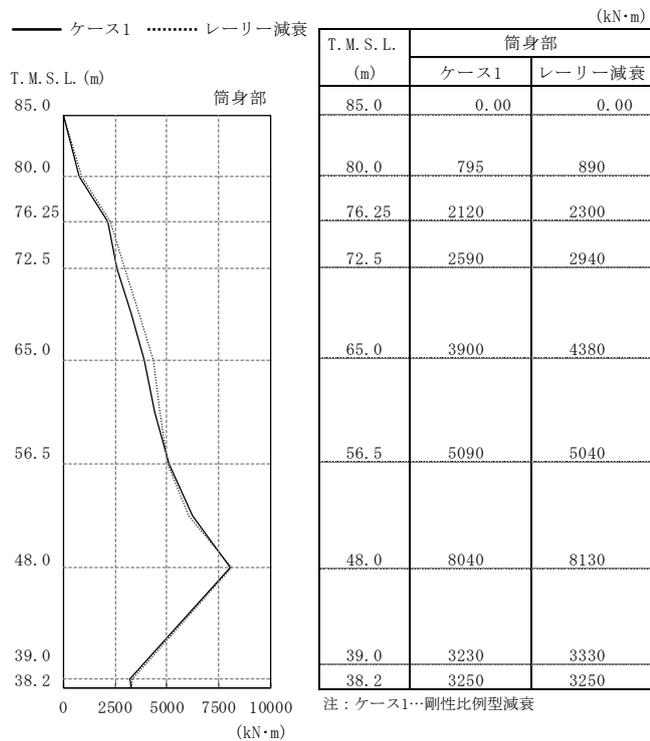
(b) 筒身部

図2-7 最大応答変位

(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, EW方向)

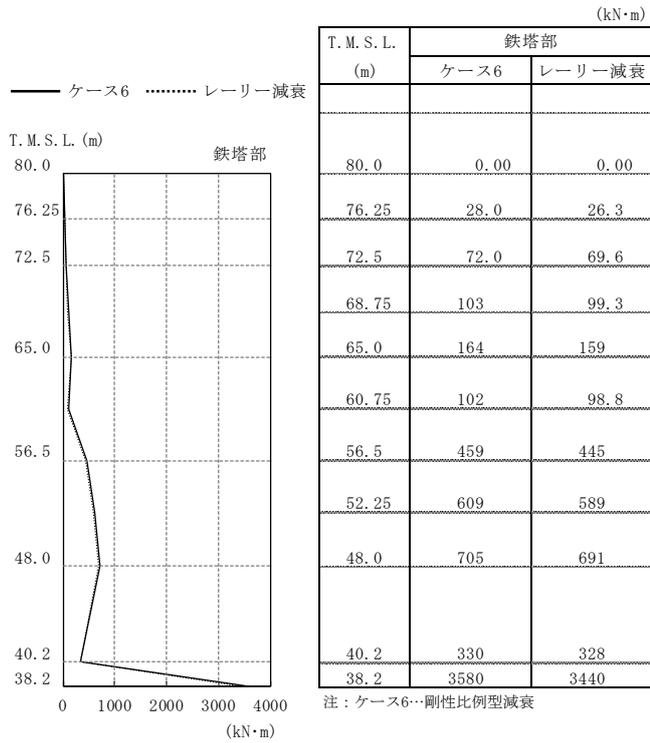


(a) 鉄塔部 主柱材包絡

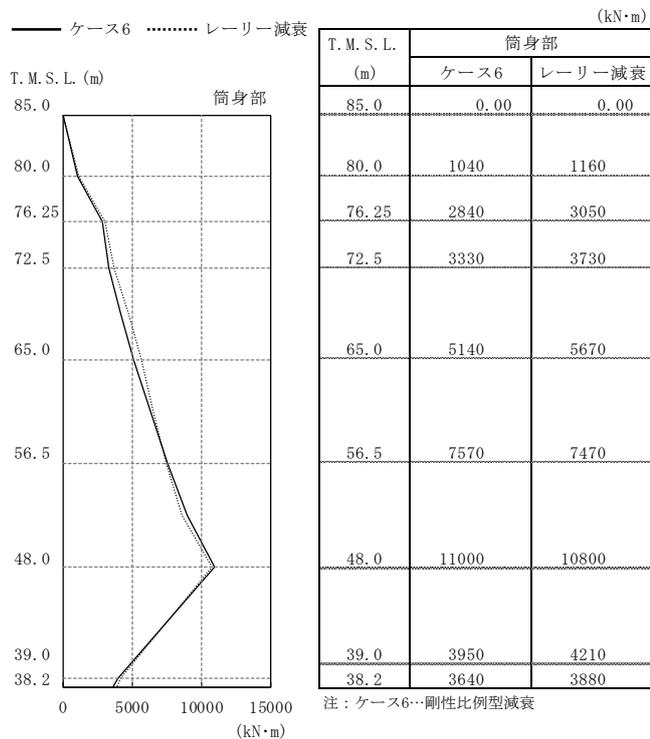


(b) 筒身部

図2-8 最大応答曲げモーメント
(Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討)

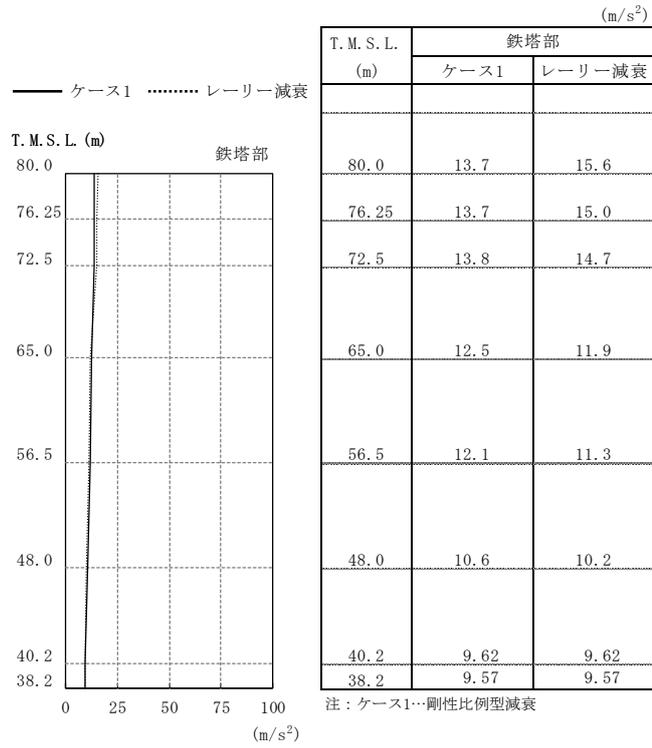


(a) 鉄塔部 主柱材包絡

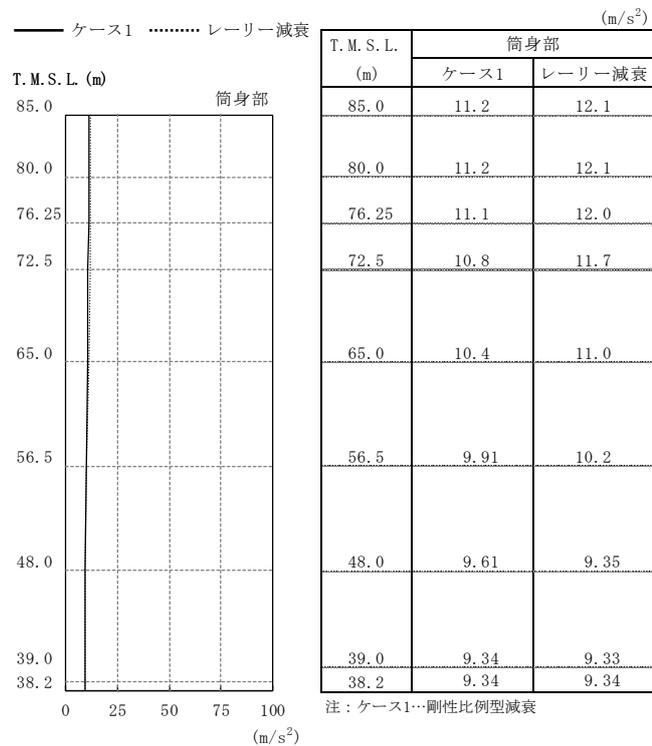


(b) 筒身部

図2-9 最大応答曲げモーメント
(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討)



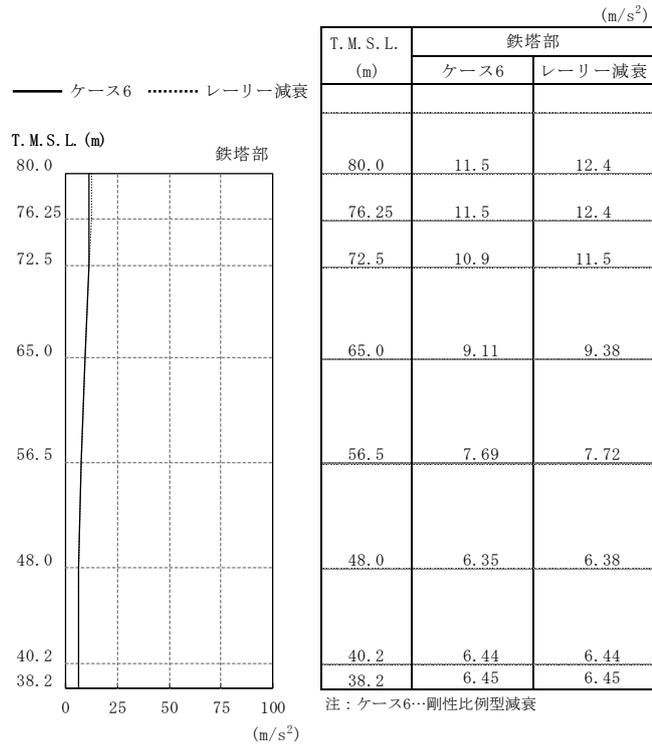
(a) 鉄塔部



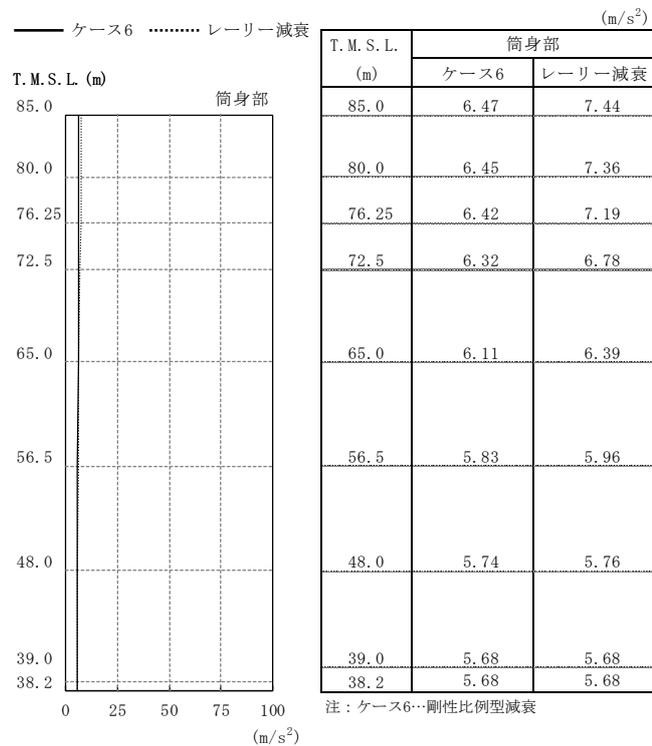
(b) 筒身部

図2-10 最大応答加速度

(Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, 鉛直方向)



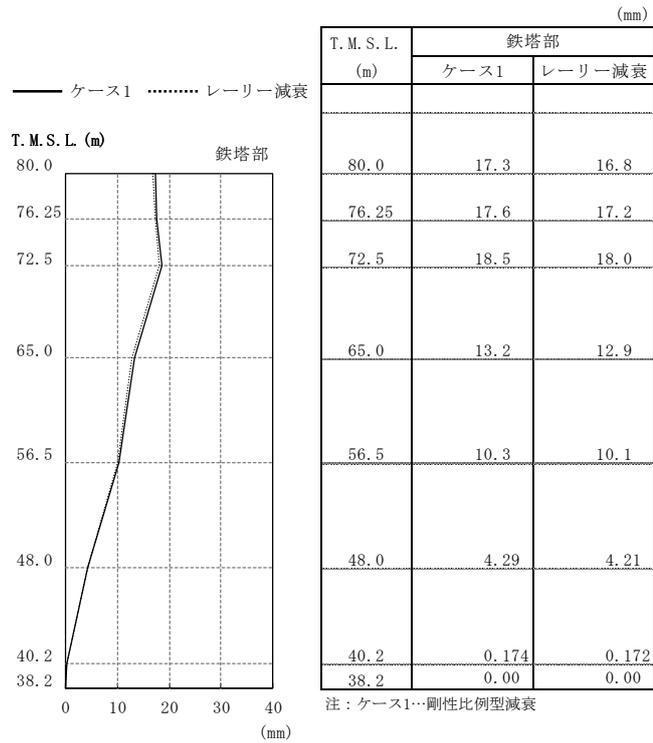
(a) 鉄塔部



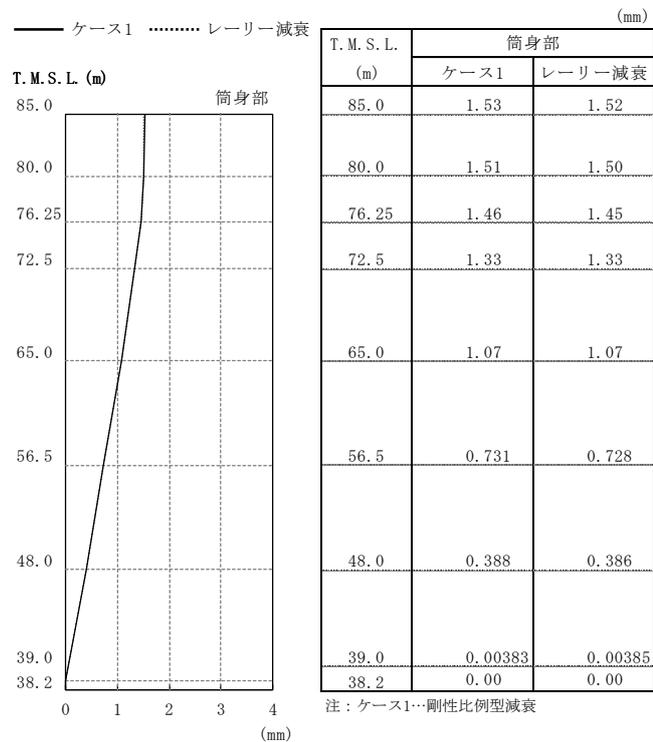
(b) 筒身部

図2-11 最大応答加速度

(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, 鉛直方向)



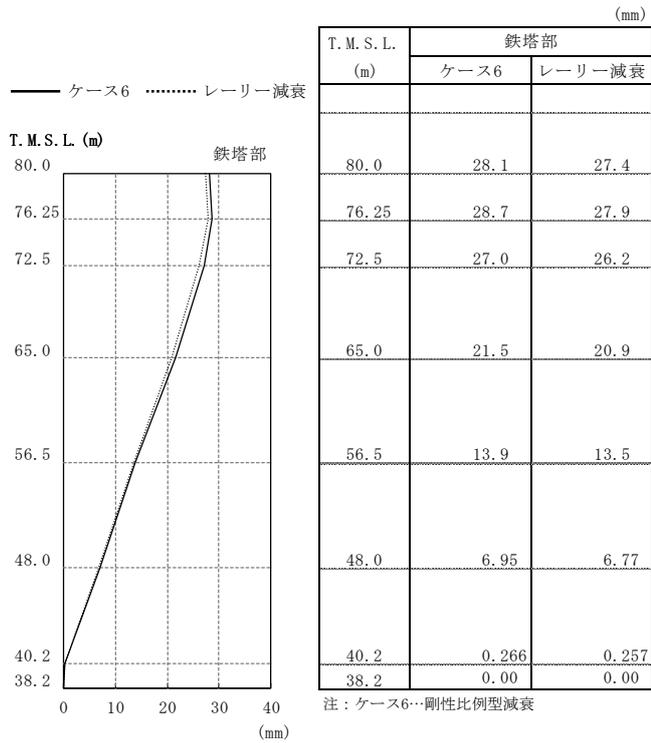
(a) 鉄塔部



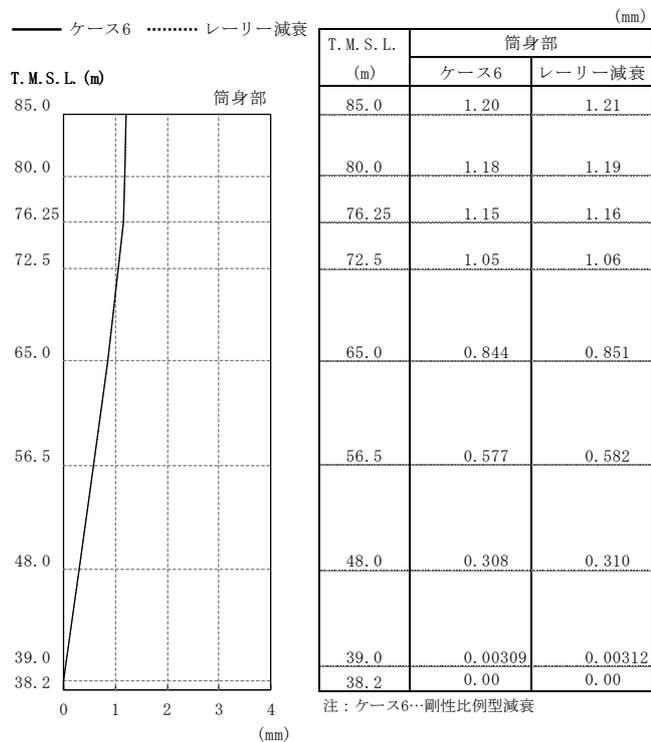
(b) 筒身部

図2-12 最大応答変位

(Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, 鉛直方向)



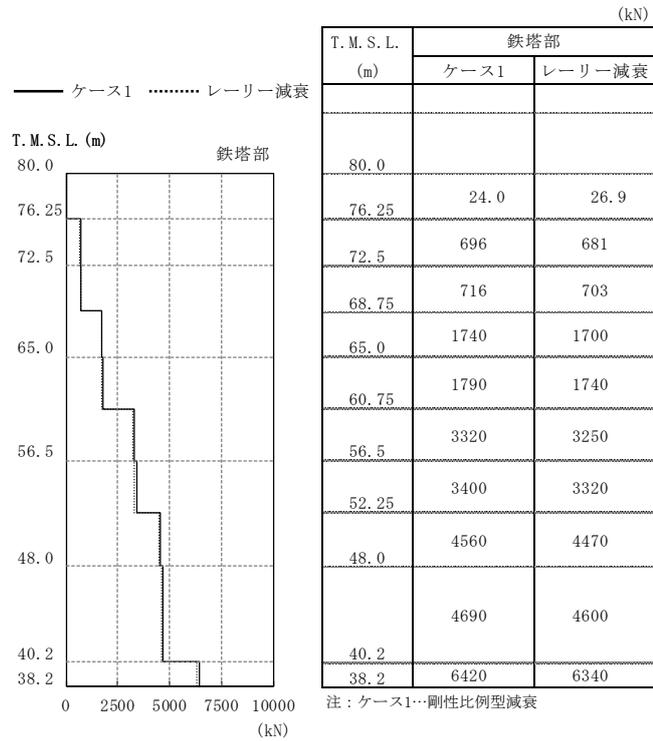
(a) 鉄塔部



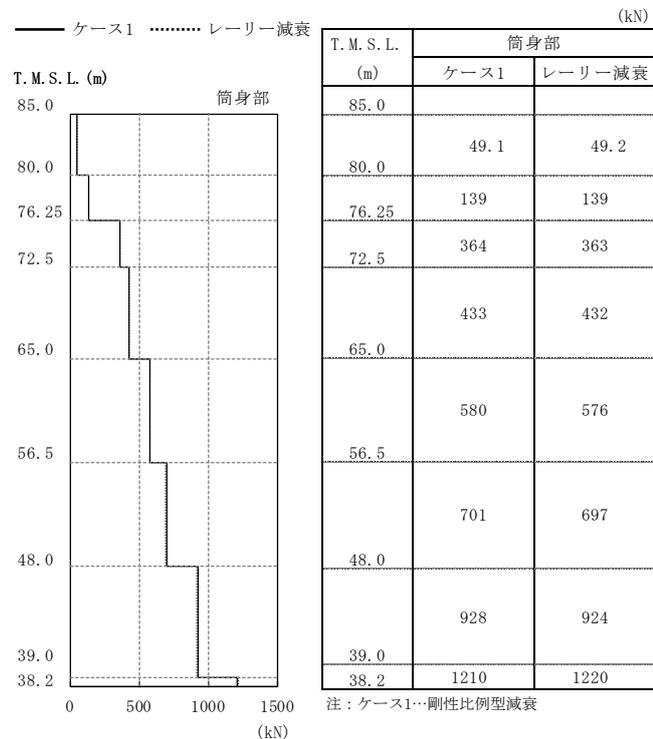
(b) 筒身部

図2-13 最大応答変位

(S_s-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, 鉛直方向)



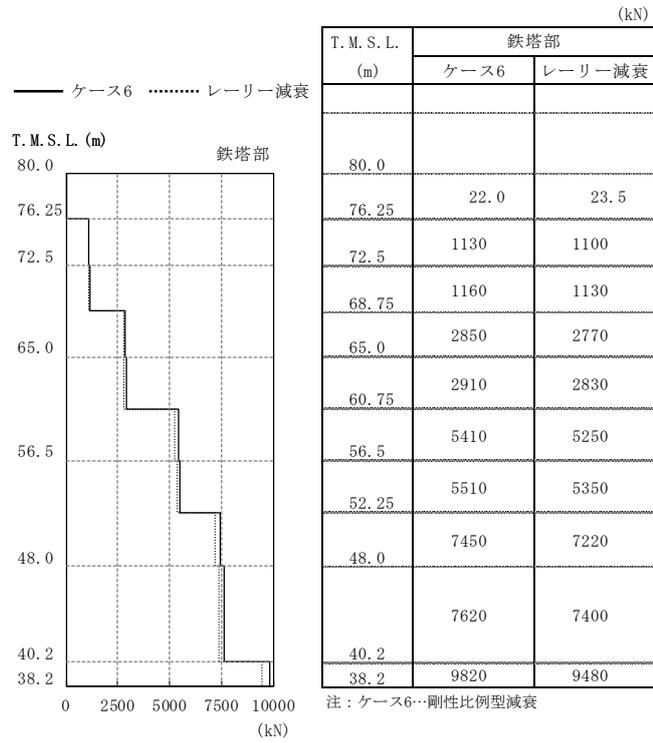
(a) 鉄塔部 主柱材包絡



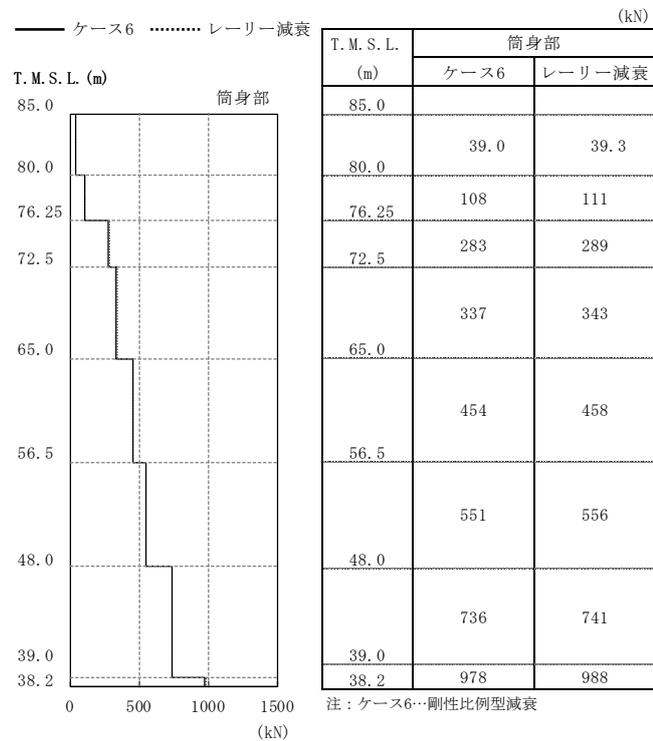
(b) 筒身部

図2-14 最大応答軸力

(Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討)



(a) 鉄塔部 主柱材包絡



(b) 筒身部

図2-15 最大応答軸力

(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討)

表2-3 制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値

項目	オイルダンパーの最大応答値				許容値
	Ss-1 を用いた ケース 1（基本ケース） に対する検討		Ss-2 を用いた ケース 6（回転ばね低減） に対する検討		
	剛性比例型 減衰	レーリー 減衰	剛性比例型 減衰	レーリー 減衰	
速度 (m/s)	2.04	1.96	2.03	1.89	2.60
変位 (mm)	137	132	157	150	175

表2-4 断面算定結果 (1/2)

(a) 主柱材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		剛性比例型減衰			レーリー減衰			剛性比例型減衰			レーリー減衰		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
80.0	B-C	22.1	18.6	0.13	25.6	18.2	0.13	21.5	27.2	0.18	23.5	26.3	0.18
72.5	C-D	716	72.3	0.52	703	70.6	0.51	1160	102	0.78	1130	99.3	0.76
65.0	D-E	1790	100	0.60	1740	98.5	0.59	2910	164	0.98	2830	159	0.95
56.5	E-F	3400	455	0.63	3320	447	0.61	5510	608	0.93	5350	589	0.90
48.0	F-G	4690	428	0.51	4600	422	0.50	7620	703	0.83	7400	689	0.81
40.2													

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(b) 斜材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討			
		剛性比例型減衰		レーリー減衰		剛性比例型減衰		レーリー減衰	
		評価用応力		評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$			N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$		
80.0	B-C	649	0.73	636	0.71	640	0.72	621	0.70
72.5	C-D	758	0.49	743	0.48	747	0.48	725	0.47
65.0	D-E	956	0.34	938	0.33	971	0.35	936	0.33
56.5	E-F	1110	0.22	1100	0.21	1140	0.22	1140	0.22
48.0	F-G	1350	0.16	1380	0.16	1510	0.17	1510	0.17
40.2									

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(c) 水平材

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討			
		剛性比例型減衰		レーリー減衰		剛性比例型減衰		レーリー減衰	
		評価用応力		評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$			N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$		
80.0	B	61.5	0.09	60.2	0.09	64.2	0.09	63.3	0.09
72.5	C	78.3	0.12	77.3	0.12	98.9	0.16	96.6	0.15
65.0	D	142	0.10	143	0.10	178	0.12	176	0.12
56.5	E	227	0.17	222	0.16	342	0.25	335	0.25
48.0	F	223	0.11	220	0.11	271	0.14	279	0.14

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

表2-4 断面算定結果 (2/2)

(d) 筒身部

標高 T.M.S.L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		剛性比例型減衰			レーリー減衰			剛性比例型減衰			レーリー減衰		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
85.0	A-B	19.7	795	0.17	23.3	890	0.19	16.6	827	0.17	20.7	957	0.20
80.0	B-C	153	2590	0.55	172	2940	0.62	149	2650	0.56	166	3080	0.65
72.5	C-D	182	3240	0.69	203	3660	0.77	192	3360	0.71	204	3840	0.81
65.0	D-E	233	5090	0.65	279	5040	0.65	236	5910	0.76	255	5890	0.76
56.5	E-F	304	6260	0.81	344	6050	0.78	352	6930	0.89	365	6570	0.85
48.0	F-G	444	8030	0.58	516	8120	0.58	487	8490	0.61	447	8370	0.60
39.0													

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき、時刻歴断面算定結果を示す。

別紙 4 地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響検討

目 次

1. 概要	別紙 4-1
2. 解析方針	別紙 4-2
2.1 解析モデル	別紙 4-2
2.2 風荷重	別紙 4-5
3. 断面算定結果（検定値）に基づく影響評価	別紙 4-7

1. 概要

本資料は主排気筒に対し、地震荷重に加えて風荷重（風速4.1m/s及び16.0m/s）を重畳させた場合の耐震性に関する裕度を示すものである。詳細には、以下に示す検討を実施する。

- ・ S_s-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討
- ・ S_s-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討

S_s-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討では、建屋応答の不確かさを含めた各入力地震動の代表として、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 S_s-1を用いた基本ケースを選定し、地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響を確認することを目的とする。

S_s-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討では、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における断面算定結果が最も厳しくなる検討ケースを対象に、地震荷重と風荷重を重畳させた場合においても断面算定結果に一定の裕度を有することを確認することを目的とする。

また、上述の各検討において重畳させる風荷重を以下に示す。

- ・ 風速4.1m/sによる風荷重
- ・ 風速16.0m/sによる風荷重

なお、入力地震動は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に基づき、S_s-1については2方向（3成分）（NS方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とし、S_s-2について3方向（5成分）（水平2方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とする。

また、固有値解析結果は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に示すケース1（基本ケース）と同一である。

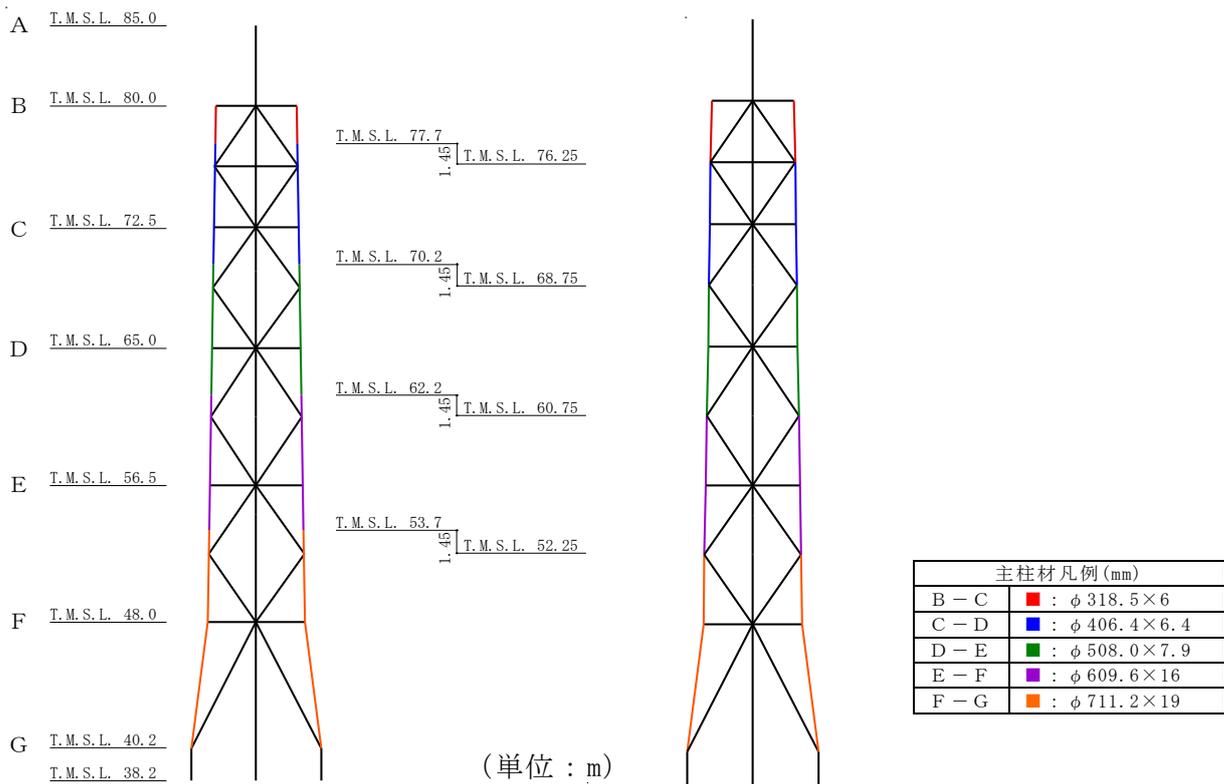
2. 解析方針

2.1 解析モデル

VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における解析モデル（以下「設工認モデル」という。）では，既工認との整合性と保守性を担保するため，支柱材及び筒身の実状の部材断面の切り替え位置よりも低い位置に部材の切り替え位置を設定し，モデル化を行っている。本検討では，地震荷重に加えて，風荷重を重畳させた場合の耐震性に関する裕度を確認することを目的としているため，支柱材及び筒身部について，実状に合わせた切り替え位置を考慮したモデルに変更する。

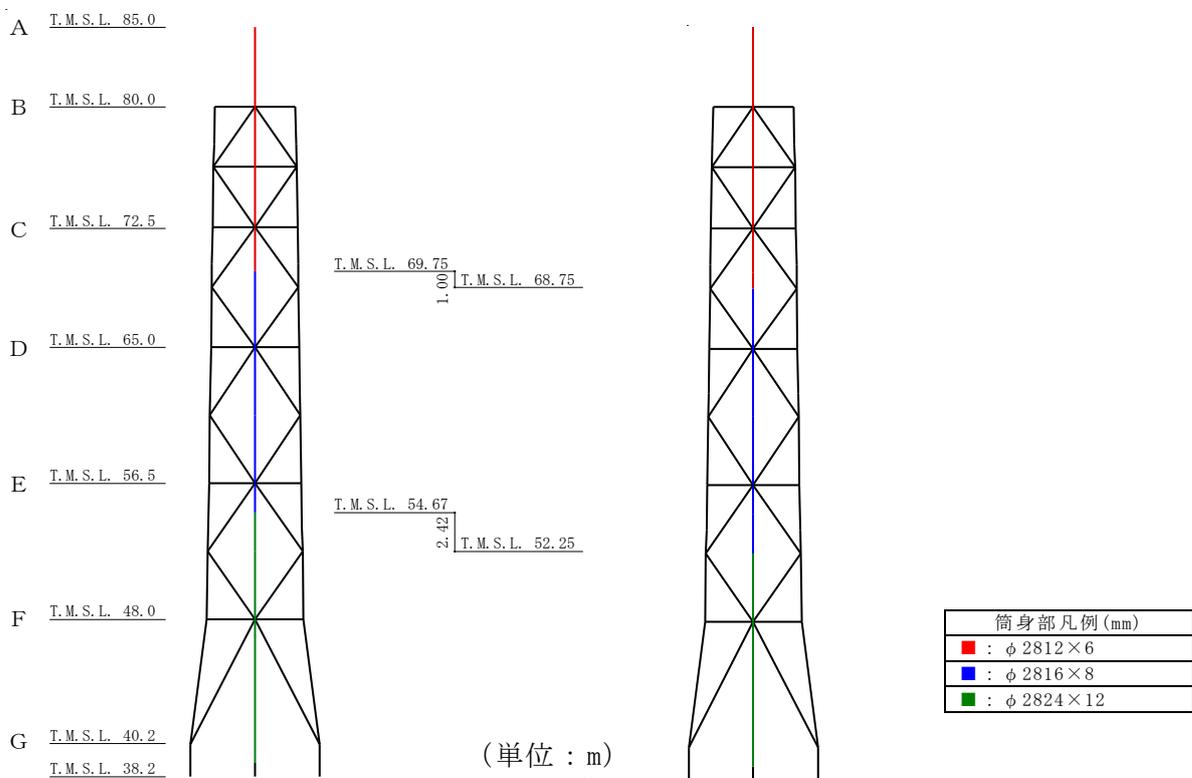
切り替え位置の一覧を表 2-1 に示す。支柱材は，設工認モデルに対して，1.45m 高い位置に部材断面の切り替え位置を変更し，筒身は，C-D間で 1.00m 高い位置，E-F間で 2.42m 高い位置に部材断面の切り替え位置を変更する。

また，切り替え位置の変更を考慮した解析モデルを図 2-1 に示す。



(a) 主柱材のモデル化変更
(本検討におけるモデル)

(b) 設工認モデル
(参考)



(c) 筒身部のモデル化変更
(本検討におけるモデル)

(d) 設工認モデル
(参考)

図 2-1 切り替え位置の変更を考慮した解析モデル

2.2 風荷重

風荷重は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」と同一方法により算定し、作用方向も同一とする。また、風速については4.1m/s及び16.0m/sの2ケースについて検討する。

風荷重計算表を表2-2及び表2-3に示す。

表2-2 風荷重計算表（風速4.1m/s）

(a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重*			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
80.0	0.0358	1.92	3.4	0.24	1.50	5.4	0.29
76.25	0.0358	1.82	7.6	0.50	1.44	11.9	0.62
72.5	0.0358	1.86	9.6	0.64	1.45	15.5	0.81
65.0	0.0358	1.72	16.8	1.04	1.36	27.1	1.32
56.5	0.0358	1.63	21.0	1.23	1.26	34.1	1.54
48.0	0.0358	1.48	24.3	1.29	1.15	39.7	1.64
40.2	0.0358	1.43	11.0	0.57	1.10	18.5	0.73

注記*：NS方向及びEW方向の包絡値を示す。

(b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
85.0	0.0365	0.90	6.8	0.23	0.90	6.8	0.23
80.0	0.0365	0.89	12.3	0.40	0.89	12.3	0.40
76.25	0.0365	0.88	10.6	0.35	0.88	10.6	0.35
72.5	0.0365	0.86	15.8	0.50	0.86	15.8	0.50
65.0	0.0365	0.83	22.5	0.69	0.83	22.5	0.69
56.5	0.0365	0.79	24.0	0.70	0.79	24.0	0.70
48.0	0.0365	0.74	24.7	0.67	0.74	24.7	0.67
39.0	0.0365	0.68	12.7	0.32	0.68	12.7	0.32

表 2-3 風荷重計算表 (風速 16.0m/s)

(a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重*			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
80.0	0.544	1.92	3.4	3.6	1.50	5.4	4.5
76.25	0.544	1.82	7.6	7.6	1.44	11.9	9.4
72.5	0.544	1.86	9.6	9.8	1.45	15.5	12.3
65.0	0.544	1.72	16.8	15.8	1.36	27.1	20.1
56.5	0.544	1.63	21.0	18.7	1.26	34.1	23.4
48.0	0.544	1.48	24.3	19.6	1.15	39.7	24.9
40.2	0.544	1.43	11.0	8.6	1.10	18.5	11.1

注記* : NS 方向及び EW 方向の包絡値を示す。

(b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
85.0	0.555	0.90	6.8	3.4	0.90	6.8	3.4
80.0	0.555	0.89	12.3	6.1	0.89	12.3	6.1
76.25	0.555	0.88	10.6	5.2	0.88	10.6	5.2
72.5	0.555	0.86	15.8	7.6	0.86	15.8	7.6
65.0	0.555	0.83	22.5	10.4	0.83	22.5	10.4
56.5	0.555	0.79	24.0	10.6	0.79	24.0	10.6
48.0	0.555	0.74	24.7	10.2	0.74	24.7	10.2
39.0	0.555	0.68	12.7	4.8	0.68	12.7	4.8

3. 断面算定結果（検定値）に基づく影響評価

断面算定結果を表 3-1 に示す。

鉄塔部について、地震荷重と風荷重（風速 4.1m/s 及び 16.0m/s）を重畳させた場合の検定値の変動はごく微小であることを確認した。特に、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」において最も厳しい検定値（0.98）を示す主柱材 D-E 間については、重畳させる風荷重を風速 4.1m/s から風速 16.0m/s に変動させた場合でも、検定値は同一であることを確認した。

主柱材の評価用応力の発生要素の比較（Ss-2（ケース 6））を図 3-1 に示す。

部材断面の切り替え位置を変更することで、主排気筒の剛性が増加するとともに、部材の評価位置が上がるため、風速 16.0m/s を重畳させたとしても主柱材 D-E 間の検定値は 0.95 となる。

また、筒身部についてはその他部材と比較をして受風面積が大きいことから、重畳させる風荷重の増加に伴い、検定値も増加する傾向であることが確認されたが、最大検定値は E-F 間の検定値 0.87 であり、十分な裕度を有することを確認した。

以上のことから、風荷重と地震荷重を重畳させた場合についても主排気筒の耐震性に影響が無いことを確認した。

表 3-1 断面算定結果 (1/2)

(a) 主柱材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳			風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
80.0	B-C	21.9	16.0	0.12	21.9	16.0	0.12	21.0	22.9	0.16	20.2	23.0	0.16
72.5	C-D	704	44.1	0.41	709	44.4	0.42	1110	69.0	0.65	1120	69.4	0.65
65.0	D-E	1790	96.8	0.60	1810	97.5	0.60	2850	154	0.95	2870	155	0.95
56.5	E-F	3410	284	0.52	3450	287	0.52	5390	439	0.81	5440	442	0.81
48.0	F-G	4560	539	0.55	4630	547	0.55	7460	688	0.81	7540	690	0.82
40.2													

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(b) 斜材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討							
		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳					
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$			
		N (kN)			N (kN)			N (kN)			N (kN)		
80.0	B-C	648		0.73	655		0.73	620		0.70	626		0.70
72.5	C-D	764		0.49	775		0.50	730		0.47	742		0.48
65.0	D-E	964		0.34	983		0.35	961		0.34	977		0.35
56.5	E-F	1130		0.22	1160		0.22	1130		0.22	1150		0.22
48.0	F-G	1390		0.16	1490		0.17	1530		0.18	1630		0.19
40.2													

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(c) 水平材

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討							
		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳					
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$			
		N (kN)			N (kN)			N (kN)			N (kN)		
80.0	B	63.8		0.09	65.5		0.09	64.8		0.09	66.3		0.09
72.5	C	81.6		0.13	83.4		0.13	103		0.16	104		0.16
65.0	D	143		0.10	146		0.10	185		0.13	188		0.13
56.5	E	251		0.19	254		0.19	360		0.26	364		0.27
48.0	F	212		0.11	234		0.12	247		0.13	259		0.13

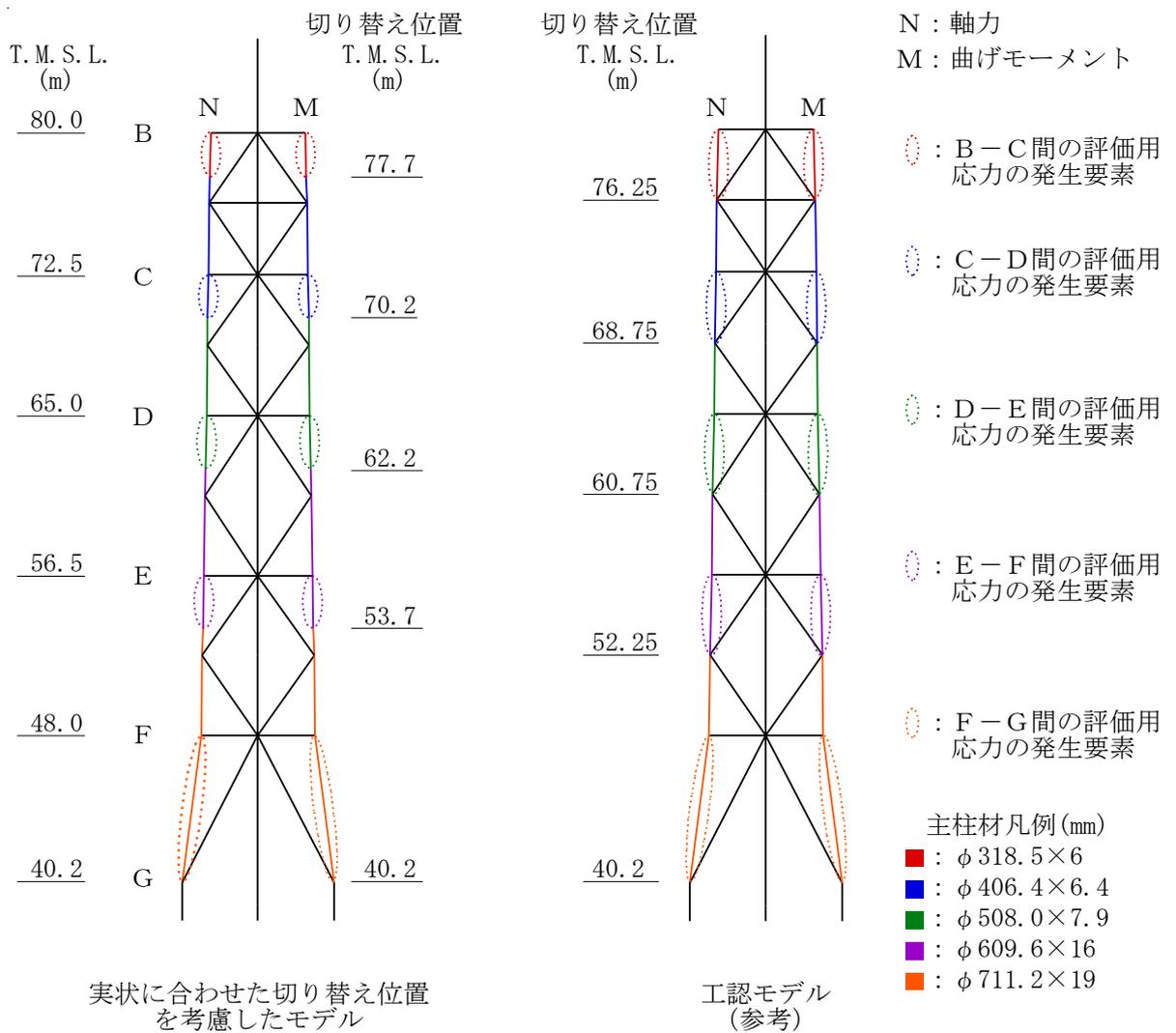
注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

表 3-1 断面算定結果 (2/2)

(d) 筒身部

標高 T.M.S.L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		風速4.1m/sとの重量			風速16.0m/sとの重量			風速4.1m/sとの重量			風速16.0m/sとの重量		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
85.0	A-B	19.3	779	0.17	19.3	795	0.17	15.9	818	0.17	15.9	820	0.17
80.0	B-C	147	2580	0.55	147	2680	0.57	135	2660	0.56	135	2680	0.57
72.5	C-D	177	3090	0.66	177	3250	0.69	167	3190	0.67	173	3220	0.68
65.0	D-E	236	5260	0.68	236	5770	0.74	209	6020	0.77	209	6140	0.78
56.5	E-F	297	5640	0.73	297	6230	0.80	228	6440	0.82	340	6750	0.87
48.0	F-G	444	8300	0.59	444	9160	0.65	495	8610	0.62	495	9470	0.68
39.0													

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき、時刻歴断面算定結果を示す。



実状に合わせた切り替え位置を考慮したモデル

工認モデル(参考)

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	主柱材断面算定結果 Ss-2 (ケース6)								
		風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳			工認モデル(参考)		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
80.0	B-C	21.0	22.9	0.16	20.2	23.0	0.16	21.5	27.2	0.18
72.5	C-D	1110	69.0	0.65	1120	69.4	0.65	1160	102	0.78
65.0	D-E	2850	154	0.95	2870	155	0.95	2910	164	0.98
56.5	E-F	5390	439	0.81	5440	442	0.81	5510	609	0.93
48.0	F-G	7460	688	0.81	7540	690	0.82	7620	703	0.83
40.2										

注1 : 実状に合わせた切り替え位置を考慮したモデルでは、風を重畳させた結果（風速 4.1m/s との重畳及び風速 16.0m/s との重畳）を示す。

注2 : 断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

図 3-1 評価用応力の発生要素の比較 (Ss-2 (ケース 6), 主柱材)

別紙5 接合部の耐震性について

目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方法	別紙 5-2
2.1 接合部詳細	別紙 5-2
2.2 検討方針	別紙 5-6
3. 検討条件	別紙 5-9
4. 検討結果	別紙 5-11
4.1 検討用応力	別紙 5-11
4.2 破断耐力	別紙 5-12
4.3 検討結果	別紙 5-16

1. 概要

VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」においては、主排気筒を構成する鉄塔部材、筒身部材及び基礎について断面算定結果を示している。

本資料では、主排気筒を構成する部材のうち、ボルト接合をしている鉄塔部材について、その接合部の耐震性について確認した結果を示す。

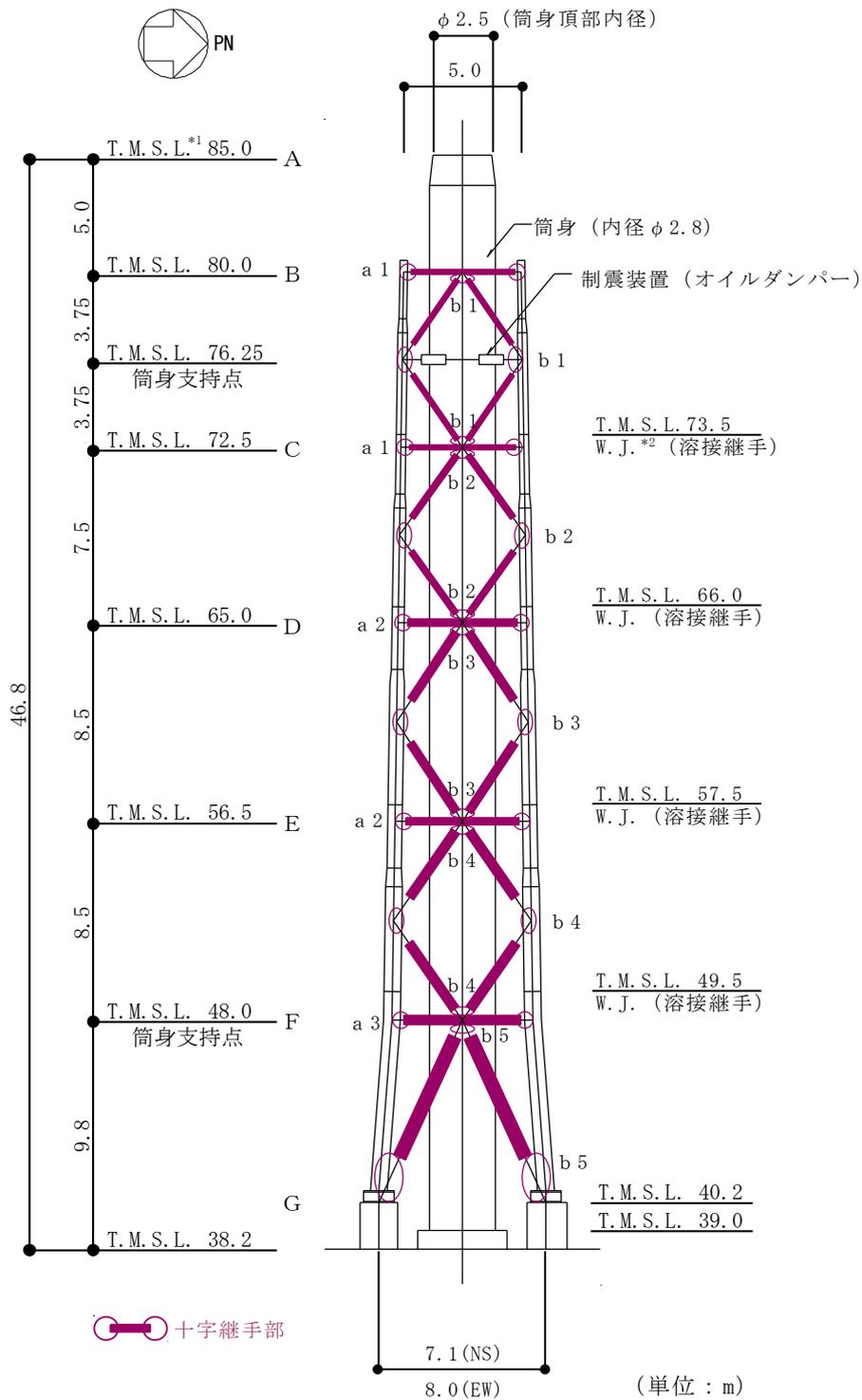
2. 検討方法

2.1 接合部詳細

鉄塔部材の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、基準地震動 S_s （建屋応答の不確かさの考慮を含む）による応力を上回っていることを確認する。なお、支柱材及び筒身部の溶接継手は、いずれも突合せ溶接であり母材と同等の耐力があるため、接合部の検討は行わない。

鉄塔部材の斜材及び水平材の接合形式はいずれも十字継手であり、各部材の接合部の位置及び詳細図を図 2-1 及び図 2-2～図 2-3 に示す。接合部の詳細は、柏崎刈羽原子力発電所の設備図書のうち、「柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機工事のうち 発電所本館建物新設工事（その 2）」のうち K 6-R-S T-N 0 6 「排気筒工事 継手基準図」による。



STK490 [STK50] *3	φ 711.2 × 19	φ 609.6 × 16	φ 508.0 × 7.9	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6
STK400 [STK41] *3	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6		φ 216.3 × 4.5	
STK490 [STK50] *3	φ 558.8 × 16	φ 406.4 × 12.7	φ 355.6 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5
SMA400AP [SMA41A] *3	t = 12	t = 8	t = 8	t = 6	t = 6
主柱材					
水平材					
斜材					
筒身板厚					
部材リスト (単位 : mm)					

- 注記*1 : 東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。
 *2 : 溶接継手を示す。
 *3 : []内は従来標記を示す。

図 2-1 接合部の位置

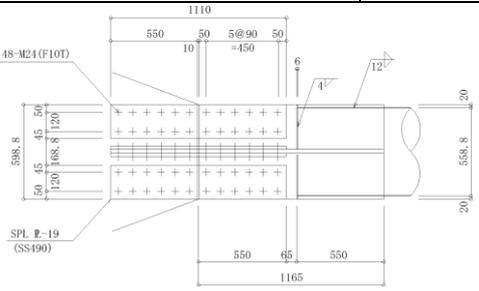
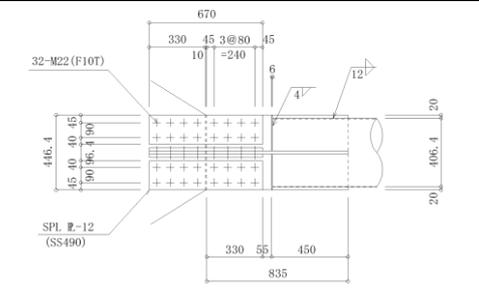
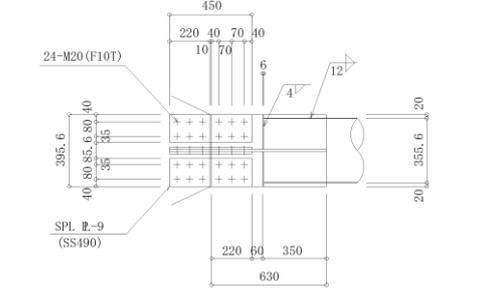
十字継手詳細 (mm)		継手板厚 (mm)	スプライス 板厚 (mm)	使用 ボルト径	本数	
$\phi 558.8 \times 16$ (STK490)	b 5		25 (SS490)	19 (SS490)	M24 (F10T)	48
$\phi 406.4 \times 12.7$ (STK490)	b 4					
$\phi 355.6 \times 7.9$ (STK490)	b 3		12 (SS490)	9 (SS490)	M20 (F10T)	24
$\phi 267.4 \times 6.0$ (STK490)	b 2					
$\phi 216.3 \times 4.5$ (STK490)	b 1		6 (SS490)	6 (SS490)	M20 (F10T)	8

図 2-2 接合部詳細 (斜材)

十字継手詳細 (mm)		継手板厚 (mm)	スプライス 板厚 (mm)	使用 ボルト径	本数
$\phi 406.4 \times 16$ (STK400)	a 3	12 (SS490)	9 (SS490)	M20 (F10T)	16
$\phi 318.5 \times 6.0$ (STK400)	a 2	9 (SS490)	9 (SS490)	M20 (F10T)	12
$\phi 216.3 \times 4.5$ (STK400)	a 1	6 (SS490)	6 (SS490)	M20 (F10T)	8

図 2-3 接合部詳細 (水平材)

2.2 検討方針

検討に当たっては、「鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」（（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。

斜材及び水平材の十字継手部について，接合部の部材端部（スプライスプレートを含む），接合ファスナー，ファスナーのはしあき部分，ガセットプレート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

$$A_j \cdot \sigma_u = A_1 \cdot {}_b \sigma_u \cdots \cdots \cdots (2.1)$$

$$A_1 = A_g - A_d$$

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

$$A_j \cdot \sigma_u = 0.75 \cdot A_2 \cdot {}_f \sigma_u \cdots \cdots \cdots (2.2)$$

$$A_2 = n \cdot m \cdot {}_f A$$

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，ねじ部がせん断面にかかる時は，

$${}_f A = 0.75 \cdot \pi \cdot (d/2)^2$$

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. 部材端部の場合

$$A_j \cdot \sigma_u = {}_1A_3 \cdot {}_b\sigma_u \cdots \cdots \cdots (2. 3)$$

$${}_1A_3 = n \cdot {}_b e \cdot {}_b t$$

- ここで、 ${}_b\sigma_u$: 部材端部の破断応力度(N/mm²)
 ${}_b e$: 部材端部のはしあき距離(mm)
 ${}_b t$: 部材端部のファスナー接合部での板厚(mm)
 n : ファスナーの数
 $A_j \cdot \sigma_u$: ファスナーのはしあき部分の破断耐力(N)

b. ガセットプレートの場合

$$A_j \cdot \sigma_u = {}_2A_3 \cdot {}_g\sigma_u \cdots \cdots \cdots (2. 4)$$

$${}_2A_3 = n \cdot {}_g e \cdot {}_g t$$

- 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

$$A_j \cdot \sigma_u = A_4 \cdot {}_g\sigma_u \cdots \cdots \cdots (2. 5)$$

$$A_4 = (2/\sqrt{3} \cdot L_1 + b) \cdot {}_g t - A_d$$

- 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、

$$A_j \cdot \sigma_u = 1/\sqrt{3} \cdot A_5 \cdot \sigma_u \dots\dots\dots (2.6)$$

$$A_5 = \Sigma 0.7 \cdot S \cdot L_e$$

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) ($L_e = L - 2 \cdot S$ とする。)

L : 1つの連続したすみ肉溶接の長さ (mm)

S : すみ肉溶接のサイズ (mm)

$A_j \cdot \sigma_u$: 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 3-2 に示す。

表 3-1 接合部検討用諸元（斜材）

符号		十字継手				
		b 1 斜材 B-C	b 2 斜材 C-D	b 3 斜材 D-E	b 4 斜材 E-F	b 5 斜材 F-G
使用部材	径(mm)	φ 216.3	φ 267.4	φ 355.6	φ 406.4	φ 558.8
	厚さ(mm)	4.5	6.0	7.9	12.7	16.0
	母材材料	STK490	STK490	STK490	STK490	STK490
	継手材料	SS490	SS490	SS490	SS490	SS490
使用ボルト		M20	M20	M20	M22	M24
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
A_0	mm ²	2994	4927	8629	15710	27280
h	mm	256.3	307.4	395.6	446.4	598.8
t	mm	6	9	12	19	25
A_g	mm ²	3039.6	5452.2	9350.4	16602.2	29315
r	列	1	1	2	2	2
f	列	2	3	3	4	6
m	面	2	2	2	2	2
d_0	mm	22	22	22	24	26
b_s	mm	80	80	150	170	210
t_s	mm	6	9	9	12	19
σ_u	N/mm ²	490	490	490	490	490
$f\sigma_u$	N/mm ²	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- A_0 : 斜材又は水平材の断面積
- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの厚さ（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
- f : ファスナー群 1 箇所あたりの軸方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_0 : 高力ボルト孔径
- b_s : 十字プレートスプライスプレートの幅
- t_s : 十字プレートスプライスプレートの厚さ
- σ_u : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）
- $f\sigma_u$: 高力ボルトの引張強さ（F10T）

表 3-2 接合部検討用諸元（水平材）

符号		十字継手		
		a 1 水平材 B, C	a 2 水平材 D, E	a 3 水平材 F
使用部材	径 (mm)	φ 216.3	φ 318.5	φ 406.4
	厚さ (mm)	4.5	6.0	6.4
	母材材料	STK400	STK400	STK400
	継手材料	SS490	SS490	SS490
使用ボルト		M20	M20	M20
		HTB	HTB	HTB
検討用諸元				
A_0	mm ²	2994	5891	8042
h	mm	256.3	358.5	446.4
t	mm	6	9	12
A_g	mm ²	3039.6	6372	10569.6
r	列	1	1	2
f	列	2	3	2
m	面	2	2	2
d_0	mm	22	22	22
b_s	mm	80	100	150
t_s	mm	6	9	9
σ_u	N/mm ²	490	490	490
$f \sigma_u$	N/mm ²	1000	1000	1000

記号の説明

- A_0 : 斜材又は水平材の断面積
- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの厚さ（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
- f : ファスナー群 1 箇所あたりの軸方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d_0 : 高力ボルト孔径
- b_s : 十字プレートスプライスプレートの幅
- t_s : 十字プレートスプライスプレートの厚さ
- σ_u : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）
- $f \sigma_u$: 高力ボルトの引張強さ（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 4-2 に示す。

表 4-1 接合部検討用応力（斜材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	検討用応力		使用部材	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	継手形式	符号
80.0	B - C	686	Ss-1 (ケース 6)	φ 216.3 × 4.5	十字継手	b 1
72.5	C - D	800	Ss-1 (ケース 6)	φ 267.4 × 6	十字継手	b 2
65.0	D - E	1000	Ss-1 (ケース 6)	φ 355.6 × 7.9	十字継手	b 3
56.5	E - F	1200	Ss-2 (ケース 3)	φ 406.4 × 12.7	十字継手	b 4
48.0	F - G	1510	Ss-2 (ケース 6)	φ 558.8 × 16	十字継手	b 5
40.2						

表 4-2 接合部検討用応力（水平材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	検討用応力		使用部材	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	継手形式	符号
80.0	B	65.1	Ss-1 (ケース 6)	φ 216.3 × 4.5	十字継手	a 1
72.5	C	98.9	Ss-2 (ケース 6)	φ 216.3 × 4.5	十字継手	a 1
65.0	D	178	Ss-2 (ケース 6)	φ 318.5 × 6	十字継手	a 2
56.5	E	342	Ss-2 (ケース 6)	φ 318.5 × 6	十字継手	a 2
48.0	F	274	Ss-2 (ケース 3)	φ 406.4 × 6.4	十字継手	a 3

4.2 破断耐力

各部材の接合部検討用の破断耐力の算定結果を表 4-3～表 4-4 に示す。

表 4-3 接合部検討用の破断耐力（斜材）（1/2）

符号		十字継手				
		b 1 斜材 B-C	b 2 斜材 C-D	b 3 斜材 D-E	b 4 斜材 E-F	b 5 斜材 F-G
使用部材	径(mm)	φ 216.3	φ 267.4	φ 355.6	φ 406.4	φ 558.8
	厚さ(mm)	4.5	6.0	7.9	12.7	16.0
	母材材料	STK490	STK490	STK490	STK490	STK490
	継手材料	SS490	SS490	SS490	SS490	SS490
使用ボルト		M20	M20	M20	M22	M24
		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	490	490	490	490	490
A_g	mm ²	3039.6	5452.2	9350.4	16602.2	29315
A_d	mm ²	528	792	2112	3648	5200
A_1	mm ²	2511.6	4660.2	7238.4	12954.2	24115
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1230	2280	3540	6340	11800
b. スプライスプレート端部						
$b \sigma_u$	N/mm ²	490	490	490	490	490
A_g	mm ²	3840	5760	10800	16320	31920
A_d	mm ²	1056	1584	3168	4608	7904
A_1	mm ²	2784	4176	7632	11712	24016
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1360	2040	3730	5730	11700
(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	12	24	32	48
m	面	2	2	2	2	2
$f A$	mm ²	236	236	236	285	339
A_2	mm ²	3776	5664	11328	18240	32544
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2830	4240	8490	13600	24400
(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（十字プレート端部のはしあき）						
$b \sigma_u$	N/mm ²	490	490	490	490	490
$b e$	mm	40	40	40	45	50
$b t$	mm	6	9	12	19	25
n	箇所	8	12	24	32	48
$1 A_3$	mm ²	1920	4320	11520	27360	60000
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	940	2110	5640	13400	29400
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	490	490	490	490	490
$s e$	mm	40	40	40	45	50
$s t$	mm	6	9	9	12	19
n	箇所	8	12	24	32	48
$2 A_3$	mm ²	3840	8640	17280	34560	91200
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1880	4230	8460	16900	44600
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	490	490	490	490	490
$g e$	mm	40	40	40	45	50
$g t$	mm	6	9	12	19	25
n	箇所	8	12	24	32	48
$2 A_3$	mm ²	1920	4320	11520	27360	60000
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	940	2110	5640	13400	29400

表 4-3 接合部検討用の破断耐力（斜材）（2/2）

符号		十字継手				
		b 1 斜材 B-C	b 2 斜材 C-D	b 3 斜材 D-E	b 4 斜材 E-F	b 5 斜材 F-G
使用部材	径(mm)	φ 216.3	φ 267.4	φ 355.6	φ 406.4	φ 558.8
	厚さ(mm)	4.5	6.0	7.9	12.7	16.0
	母材材料	STK490	STK490	STK490	STK490	STK490
	継手材料	SS490	SS490	SS490	SS490	SS490
使用ボルト		M20	M20	M20	M22	M24
		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	490	490	490	490	490
L_1	mm	70	140	140	240	450
b	mm	166.3	217.4	315.6	356.4	498.8
t	mm	6	9	12	19	25
A_d	mm ²	264	396	1056	1824	2600
A_4	mm ²	2438	6031	9342	20426	45721
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1190	2950	4570	10000	22400
(5) 溶接部で破断する場合						
σ_u	N/mm ²	490	490	490	490	490
L	mm	636.9	798.5	943.2	1150.6	1920
L _e	mm	616.9	778.5	915.2	1110.6	1880
S	mm	5	5	7	10	10
A_5	mm ²	4318	5450	8969	15548	26320
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1220	<u>1540</u>	<u>2530</u>	<u>4390</u>	<u>7440</u>
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	940	1540	2530	4390	7440

注：下線部は破断耐力を決定する形式を示す。

表 4-4 接合部検討用の破断耐力（水平材）（1/2）

符号		十字継手		
		a 1 水平材 B, C	a 2 水平材 D, E	a 3 水平材 F
使用部材	径 (mm)	φ 216.3	φ 318.5	φ 406.4
	厚さ (mm)	4.5	6.0	6.4
	母材材料	STK400	STK400	STK400
	継手材料	SS490	SS490	SS490
使用ボルト		M20	M20	M20
		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	490	490	490
A_g	mm ²	3039.6	6372	10569.6
A_d	mm ²	528	792	2112
A_l	mm ²	2511.6	5580	8457.6
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1230	2730	4140
b. スプライスプレート端部				
$b \sigma_u$	N/mm ²	490	490	490
A_g	mm ²	3840	7200	10800
A_d	mm ²	1056	1584	3168
A_l	mm ²	2784	5616	7632
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1360	2750	3700
(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
n	箇所	8	12	16
m	面	2	2	2
$f A$	mm ²	236	236	236
A_2	mm ²	3776	5664	7552
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2830	4240	5600
(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（十字プレート端部のはしあき）				
$b \sigma_u$	N/mm ²	490	490	490
$b e$	mm	40	40	40
$b t$	mm	6	9	12
n	箇所	8	12	16
${}_1 A_3$	mm ²	1920	4320	7680
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	940	2110	3700
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	490	490	490
$s e$	mm	40	40	40
$s t$	mm	6	9	9
n	箇所	8	12	16
${}_2 A_3$	mm ²	3840	8640	11520
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1880	4230	5600
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	490	490	490
$g e$	mm	40	40	40
$g t$	mm	6	9	12
n	箇所	8	12	16
${}_2 A_3$	mm ²	1920	4320	7680
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	940	2110	3700

表 4-4 接合部検討用の破断耐力（水平材）（2/2）

符号		十字継手		
		a 1 水平材 B, C	a 2 水平材 D, E	a 3 水平材 F
使用部材	径 (mm)	φ 216.3	φ 318.5	φ 406.4
	厚さ (mm)	4.5	6.0	6.4
	母材材料	STK400	STK400	STK400
	継手材料	SS490	SS490	SS490
使用ボルト		M20	M20	M20
		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	490	490	490
L_1	mm	70	140	70
b	mm	166.3	248.5	366.4
t	mm	6	9	12
A_d	mm ²	264	396	1056
A_4	mm ²	2438	6591	8621
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1190	3220	4220
(5) 溶接部で破断する場合				
σ_u	N/mm ²	400	400	400
L	mm	600	700	710
L e	mm	590	686	690
S	mm	5	7	10
A_5	mm ²	4130	6723	9660
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	950	<u>1550</u>	<u>2230</u>
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	940	1550	2230

注：下線部は破断耐力を決定する形式を示す。

4.3 検討結果

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4-5～表4-6に示す。
 検討用応力は、接合部の破断耐力以下となる。

表4-5 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（斜材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	検討用 応力	破断 耐力	検定値	備考	
		N (kN)	P _u (kN)	N / P _u	継手形式	符号
80.0	B - C	686	940	0.73	十字継手	b 1
72.5	C - D	800	1540	0.52	十字継手	b 2
65.0	D - E	1000	2530	0.40	十字継手	b 3
56.5	E - F	1200	4390	0.28	十字継手	b 4
48.0	F - G	1510	7440	0.21	十字継手	b 5
40.2						

表4-6 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（水平材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	検討用 応力	破断 耐力	検定値	備考	
		N (kN)	P _u (kN)	N / P _u	継手形式	符号
80.0	B	65.1	940	0.07	十字継手	a 1
72.5	C	98.9	940	0.11	十字継手	a 1
65.0	D	178	1550	0.12	十字継手	a 2
56.5	E	342	1550	0.23	十字継手	a 2
48.0	F	274	2230	0.13	十字継手	a 3

別紙6 原子炉建屋と主排気筒の連成解析による影響評価

目 次

1. 概要	別紙 6-1
2. 解析方針	別紙 6-3
3. 地震応答解析結果	別紙 6-10

1. 概要

本資料では、主排気筒の地震応答解析モデルについて、既工認と同様に原子炉建屋と分離した解析モデルを採用することの妥当性を、主排気筒と原子炉建屋を連成した地震応答解析（以下「連成解析」という。）を実施することにより確認する。

主排気筒の配置図を図 1-1 に示す。

主排気筒は、原子炉建屋の屋上（T.M.S.L.*38.2m）に位置しており、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」（以下「STK 今回設工認」という。）における地震応答解析モデルには、原子炉建屋屋上（T.M.S.L.38.2m）より上部を対象とした立体フレームモデル（以下「STK 単独モデル」という。）を採用している。

本資料では、以下の解析を行うことにより、原子炉建屋との連成の影響が小さいことを断面算定結果（検定値）で確認する。

①減衰及び誘発上下動の影響

連成解析を行うにあたり、「減衰を原子炉建屋で採用しているひずみエネルギー比例型減衰に合わせる事」及び「連成解析で考慮することができない誘発上下動を考慮しない事」による影響をSTK単独モデルで確認する。

②連成の影響

①による影響を確認した上で、連成の影響確認では、STK単独モデルによる地震応答解析（以下「STK単独解析」という。）と連成解析の断面算定結果を比較することで、連成解析が主排気筒の耐震性に与える影響を確認する。

注記*：東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

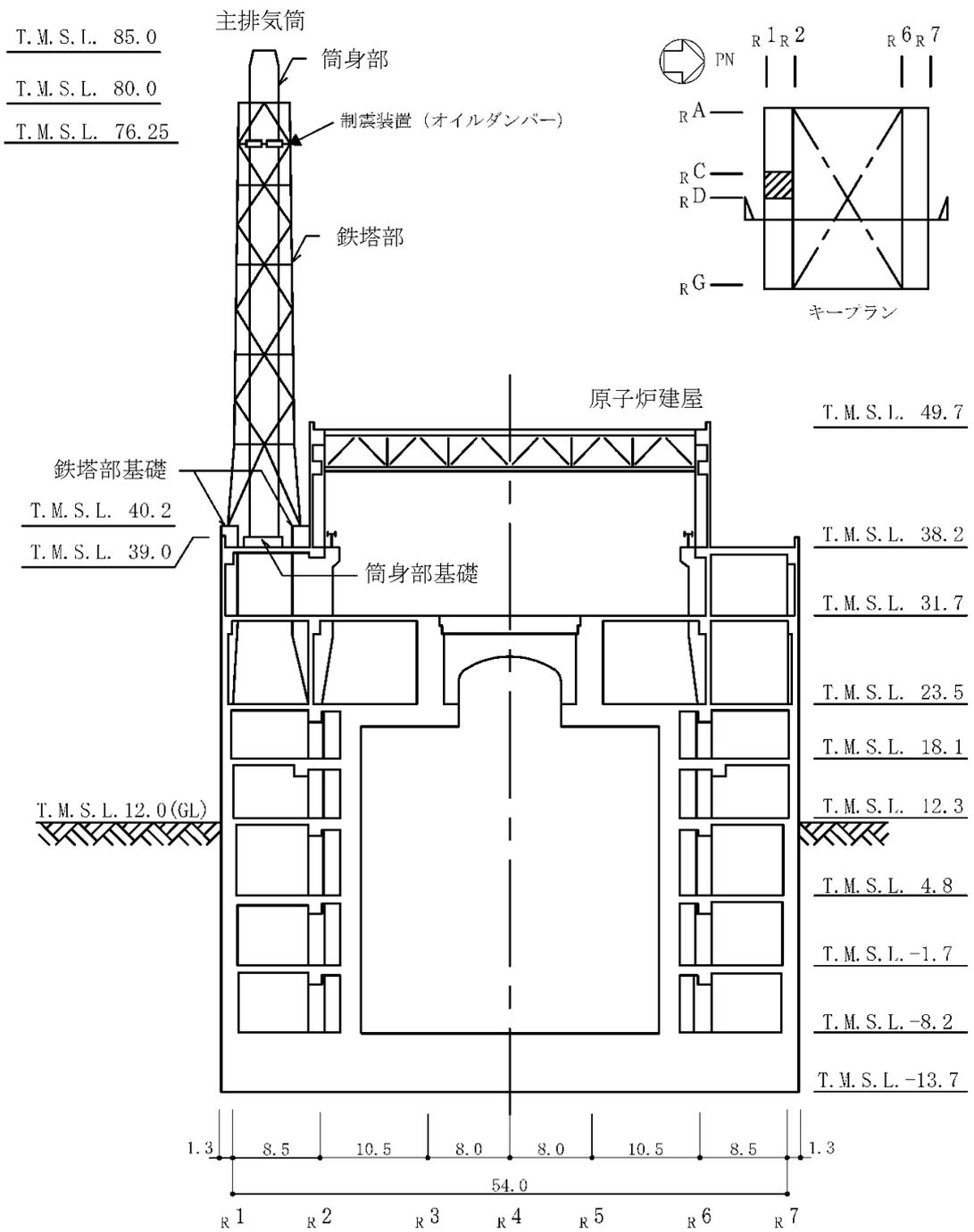


図 1-1 主排気筒配置図 (単位: m)

2. 解析方針

検討ケースを表 2-1 に示す。

入力地震動について、STK 単独解析では、STK 今回設工認における断面算定結果として、主柱材 D-E 間の検定値が 0.98 で最も厳しくなる S_s-2 (ケース 6) を用いるものとし、原子炉建屋屋上 (T.M.S.L. 38.2m) で 3 方向 (5 成分) (水平 2 方向 (並進・回転) 及び鉛直方向) の同時入力とする。連成解析では、VI-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」 (以下「R/B 今回設工認」という。) の方法を準用し、S_s-2 を入力 (3 方向 (3 成分) (水平 2 方向 (並進) 及び鉛直方向)) する。

検討ケースについて、①STK 今回設工認は、別紙 3-2 「原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」 で検討したケースであり、STK 単独解析で誘発上下動を考慮し、減衰は剛性比例型減衰を設定している。②減衰変更は、①STK 今回設工認の減衰をひずみエネルギー比例型減衰に変更している。③誘発上下動変更は、①STK 今回設工認の減衰をひずみエネルギー比例型減衰、誘発上下動を非考慮に変更している。④連成解析は、連成解析で誘発上下動を非考慮とし、減衰はひずみエネルギー比例型減衰を設定している。

解析モデルとして、STK 単独モデルを図 2-1、原子炉建屋の地震応答解析モデル (以下「R/B 単独モデル」という。) を図 2-2、連成解析の解析モデル (以下「R/B 連成モデル」という。) の概念図を図 2-3 に示す。

図 2-1 及び図 2-2 に示す STK 単独モデル及び R/B 単独モデルは、それぞれ STK 今回設工認及び R/B 今回設工認に示す地震応答解析モデルと同一である。

R/B 連成モデルは、上記で示す STK 単独モデルを R/B 単独モデルと原子炉建屋屋上 (T.M.S.L. 38.2m) で多点拘束により結合している。なお、R/B 単独モデルでは主排気筒の重量を考慮しているが、R/B 連成モデルでは主排気筒をモデル化するため、当該重量を差し引くものとする。

表 2-1 検討ケース

検討 ケース名	解析 モデル	主排気筒への入力 (Ss-2 (ケース 6))						減衰
		水平方向*1				鉛直 方向*1		
		NS 方向		EW 方向				
		並進	回転	並進	回転			
①STK 今回設工認	STK 単独	○	○	○	○	○*2	剛性比例型	
②減衰変更	STK 単独	○	○	○	○	○*2	ひずみエネルギー 比例型	
③誘発上下動 変更	STK 単独	○	○	○	○	○	ひずみエネルギー 比例型	
④連成解析	R/B 連成	○	○	○	○	○	ひずみエネルギー 比例型	

注記*1 : 組み合わせる成分を「○」で示す。

*2 : 誘発上下動を考慮する。

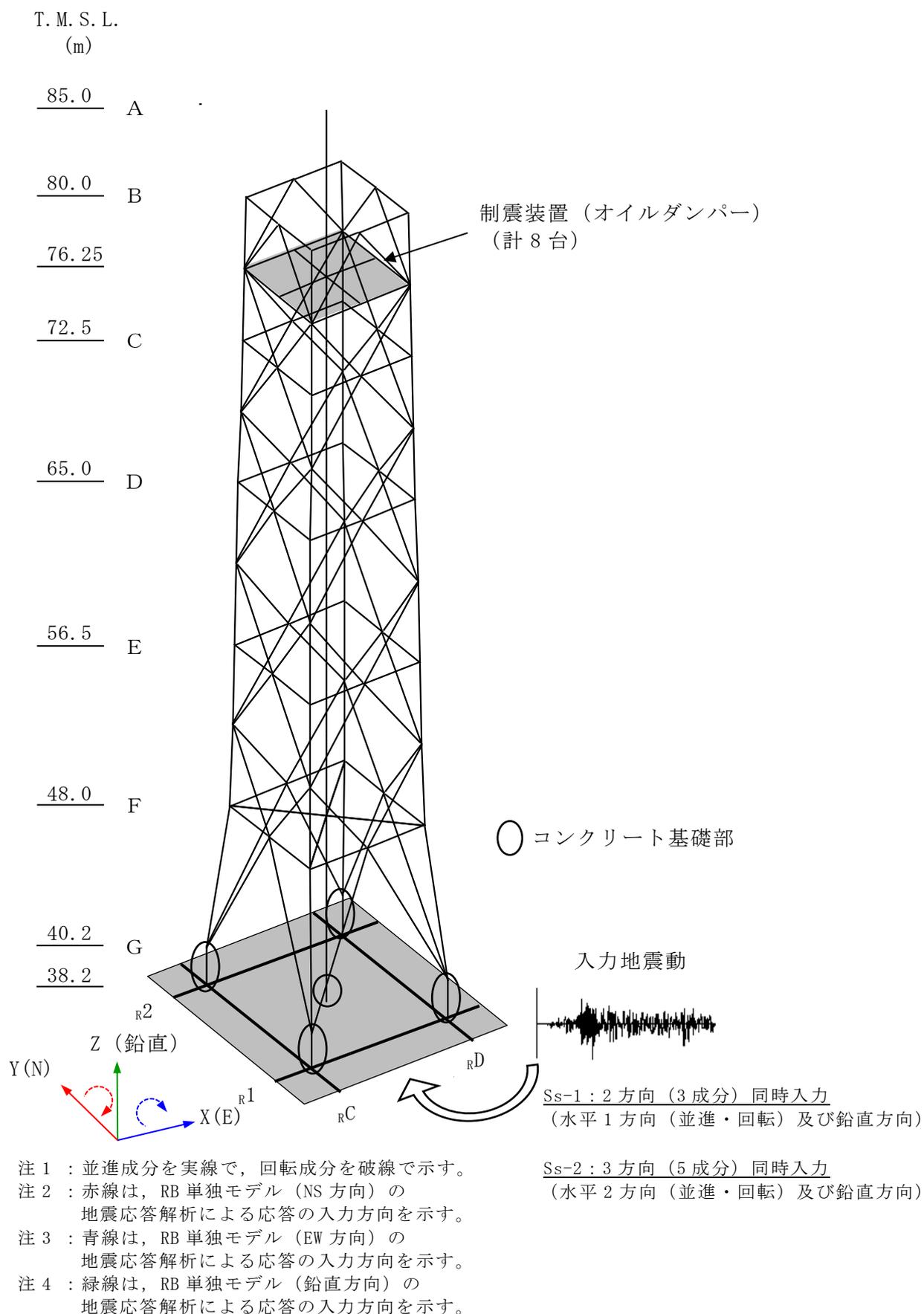
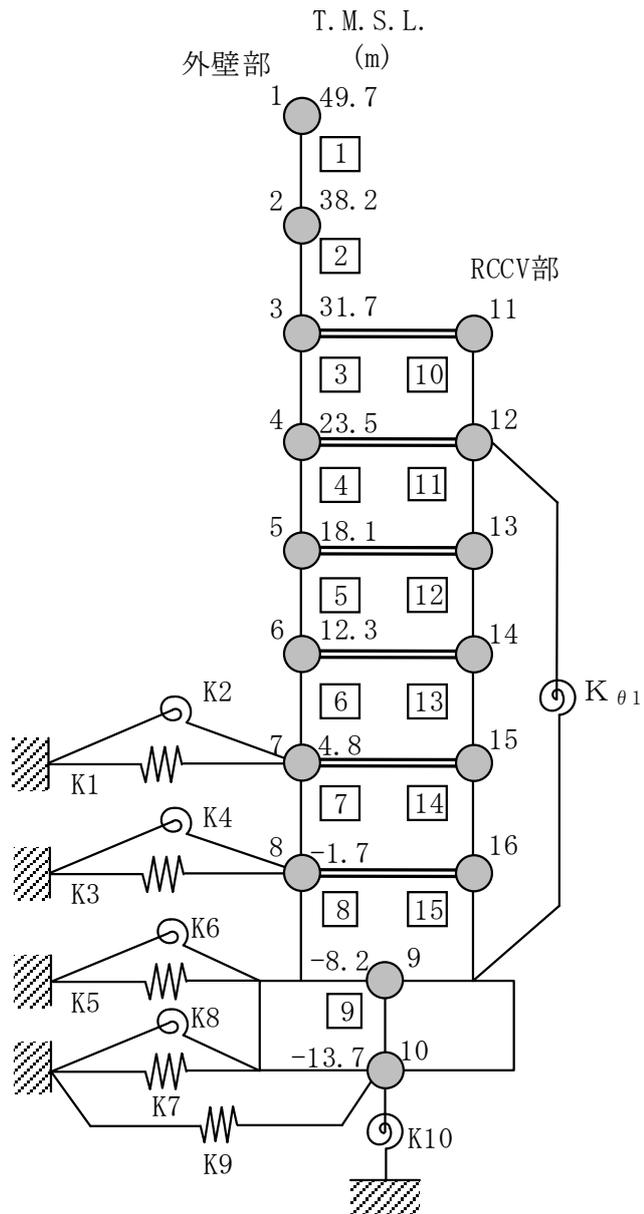


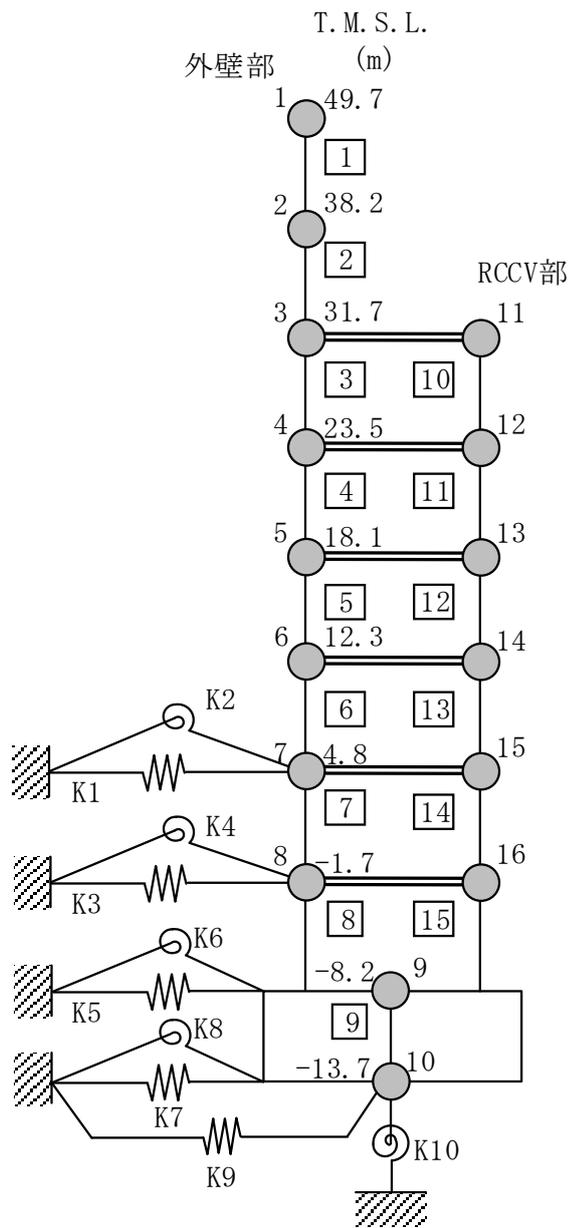
図 2-1 STK 単独モデル



注： $K_{\theta 1}$ は鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）回転ばねを示す。

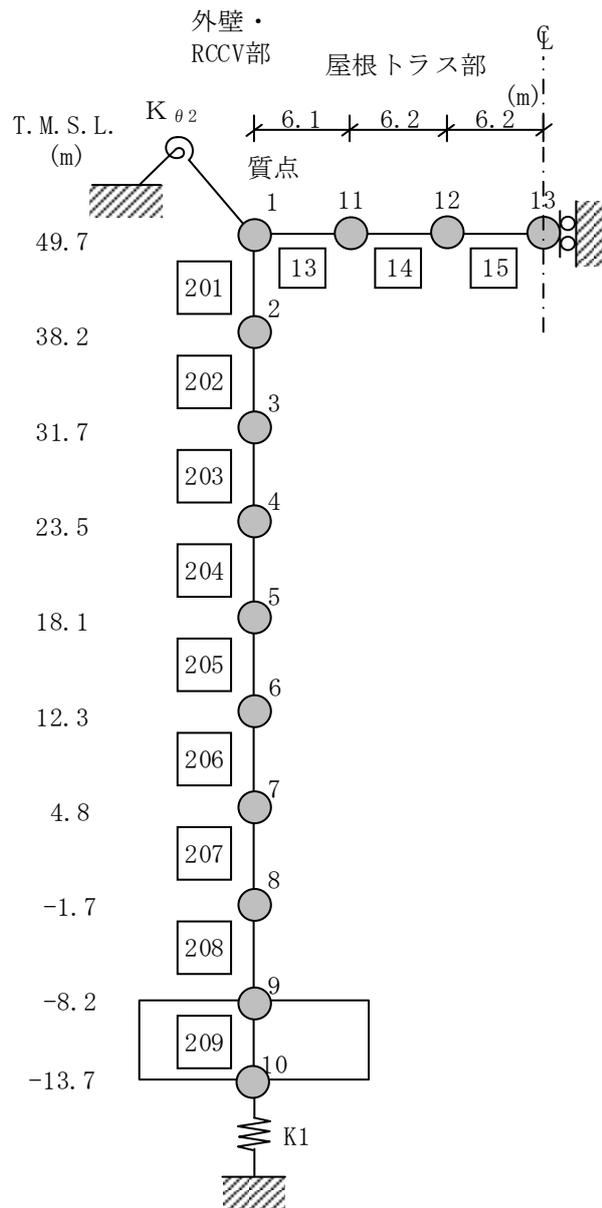
(a) EW 方向

図 2-2 R/B 単独モデル (1/3) (単位：m)



(b) NS 方向

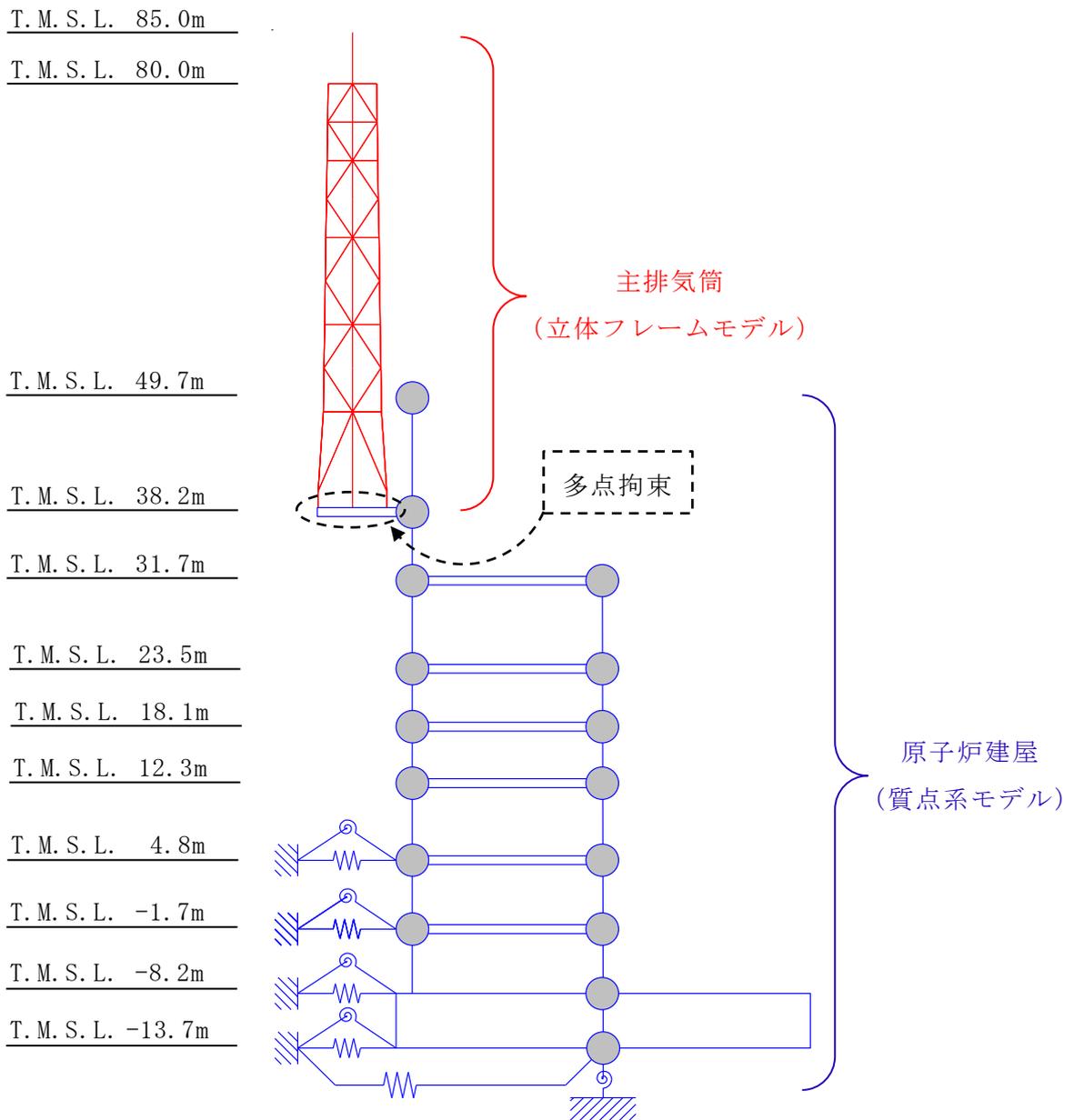
図 2-2 R/B 単独モデル (2/3) (単位 : m)



注：K_{θ2}は屋根トラス端部回転拘束ばねを示す。

(c) 鉛直方向

図 2-2 R/B 単独モデル (3/3) (単位：m)



- 注 1 : 赤線部は主排気筒 (立体フレームモデル) であり, 図 2-1 をモデル化する。
- 注 2 : 青線部は原子炉建屋 (質点系モデル) であり, 原子炉建屋の各方向の応答を主排気筒で考慮するために, 図 2-2 に示す 3 方向のモデルを主排気筒と T.M.S.L. 38.2m において同時に多点拘束で結合する。本図では, 例として NS 方向のみを記載する。
- 注 3 : 主排気筒と原子炉建屋の詳細は, それぞれ STK 今回設工認と R/B 今回設工認に示すとおりである。

図 2-3 R/B 連成モデルの概念図

3. 地震応答解析結果

表 3-1 に地震応答解析結果に基づく断面算定結果を示す。

主柱材の検定値について、STK 単独解析である②減衰変更及び③誘発上下動変更は、①STK 今回設工認に対して減少する傾向にある。これは、②減衰変更及び③誘発上下動変更が同じ検定値であるため、ひずみエネルギー比例型減衰の影響であることを確認した。④連成解析の検定値は、②減衰変更及び③誘発上下動変更よりもやや小さいものの、検定値が①STK 今回設工認に対して減少する傾向は、②減衰変更及び③誘発上下動変更と同じである。なお、全部材中で最も検定値が大きくなる主柱材 D-E 間について、①STK 今回設工認、②減衰変更及び③誘発上下動変更では検定値が 0.98 であったが、④連成解析では 0.96 となり低減している。

斜材及び水平材の検定値は、各ケースでおおむね整合している。

筒身部の検定値について、②減衰変更、③誘発上下動変更及び④連成解析は、①STK 今回設工認に対して、T.M.S.L. 65.0m 以上で増大する傾向にあるものの、最大でも 0.81 となっている。T.M.S.L. 65.0m 以上の検定値については、②減衰変更、③誘発上下動変更及び④連成解析が、ひずみエネルギー比例型減衰の影響で①STK 今回設工認より検定値が増加したものの、②減衰変更及び③誘発上下動変更に対し、④連成解析は検定値が低減している。

以上より、原子炉建屋と主排気筒を連成した場合についても耐震性に影響が無いことを確認するとともに、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」で原子炉建屋と分離した解析モデルを採用することの妥当性を確認した。

表 3-1 断面算定結果 (1/2)

(a) 主柱材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	STK単独解析									連成解析		
		①STK今回設工認			②減衰変更			③誘発上下動変更			④連成解析		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$									
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
80.0	B-C	21.5	27.2	0.18	23.9	27.1	0.19	24.9	27.2	0.19	25.1	26.5	0.18
72.5	C-D	1160	102	0.78	1160	101	0.78	1160	102	0.78	1130	99.6	0.76
65.0	D-E	2910	164	0.98	2900	163	0.98	2900	163	0.98	2840	160	0.96
56.5	E-F	5510	609	0.93	5480	600	0.92	5500	605	0.92	5370	586	0.90
48.0	F-G	7620	703	0.83	7560	703	0.82	7590	705	0.83	7420	696	0.81
40.2													

注：断面算定方法は，VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(b) 斜材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	STK単独解析						連成解析		
		①STK今回設工認		②減衰変更		③誘発上下動変更		④連成解析		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)			N (kN)			N (kN)		
80.0	B-C	640	0.72	637	0.71	645	0.72	619	0.69	
72.5	C-D	747	0.48	743	0.48	752	0.48	721	0.46	
65.0	D-E	971	0.35	957	0.34	974	0.35	932	0.33	
56.5	E-F	1140	0.22	1150	0.22	1160	0.22	1130	0.22	
48.0	F-G	1510	0.17	1540	0.18	1540	0.18	1470	0.17	
40.2										

注：断面算定方法は，VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(c) 水平材

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	STK単独解析						連成解析	
		①STK今回設工認		②減衰変更		③誘発上下動変更		④連成解析	
		評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
80.0	B	64.2	0.09	64.1	0.09	64.4	0.09	61.6	0.09
72.5	C	98.9	0.16	98.2	0.15	98.4	0.16	96.1	0.15
65.0	D	178	0.12	180	0.13	180	0.13	177	0.12
56.5	E	342	0.25	342	0.25	343	0.25	333	0.24
48.0	F	271	0.14	280	0.14	277	0.14	279	0.14

注：断面算定方法は，VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

表 3-1 断面算定結果 (2/2)

(d) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	STK単独解析						連成解析					
		①STK今回設工認			②減衰変更			③誘発上下動変更			④連成解析		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{c,r}} + \frac{\sigma_b}{f_{b,r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{c,r}} + \frac{\sigma_b}{f_{b,r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{c,r}} + \frac{\sigma_b}{f_{b,r}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{c,r}} + \frac{\sigma_b}{f_{b,r}}$
N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)			
85.0	A-B	16.6	827	0.17	22.1	949	0.20	20.9	955	0.20	20.2	914	0.19
80.0	B-C	149	2650	0.56	173	3060	0.65	153	3090	0.65	150	2950	0.62
72.5	C-D	192	3360	0.71	217	3830	0.81	182	3870	0.81	177	3680	0.77
65.0	D-E	236	5910	0.76	272	6030	0.77	248	6120	0.78	243	5800	0.74
56.5	E-F	352	6930	0.89	361	6810	0.88	315	6840	0.88	262	6720	0.86
48.0	F-G	487	8490	0.61	497	8510	0.61	514	8570	0.62	360	8360	0.59
39.0													

注：断面算定方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき、時刻歴断面算定結果を示す。