

1-5. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(波及的影響評価の概要)

## 1. 概要

ここでは、原子炉建家内使用済燃料貯蔵プール、原子炉圧力容器等の耐震重要度分類 S クラスの建物・構築物及び機器・配管系が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないことを説明する。

添付書類 1-5-1. から添付書類 1-5-7. では、原子炉建家屋根トラス、原子炉格納容器、原子炉建家天井クレーン、排気筒、燃料交換機及び制御棒交換機が波及的影響を及ぼさないことを説明する。

1-5-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(波及的影響評価の手法)

## 目 次

1. 解析評価方法 .....	添 1 - 5 - 1 - 1
1.1 離隔位置確認.....	添 1 - 5 - 1 - 1
1.2 簡易評価.....	添 1 - 5 - 1 - 1
1.3 実挙動評価.....	添 1 - 5 - 1 - 1
1.4 衝突解析.....	添 1 - 5 - 1 - 1

## 目 次

第 1.1 図	波及的影響に関する評価の方針.....	添 1 - 5 - 1 - 2
---------	---------------------	-----------------

## 1. 解析評価方法

波及的影響に関する評価の方針を第 1.1 図に示す。波及的影響は、離隔位置確認、耐震解析又は衝突解析により評価する。離隔位置確認では、評価対象施設の損傷等が発生しても、S クラス施設と評価対象施設の設置位置の関係から、S クラス施設の安全機能が損なわれないことを確認する。耐震解析では、評価対象施設の耐震健全性を基準地震動  $S_s$  を用いて確認することにより、S クラス施設が安全機能を損なわないことを確認する。評価対象施設が S クラス施設に接触すること等によって影響を与える可能性がある場合は、評価対象施設と S クラス施設等の相互影響を衝突解析で評価し、S クラス施設の安全機能が損なわれないことを確認する。なお、耐震解析は、保守性が高い簡易評価又は実挙動評価を実施する。以下に、離隔位置確認、簡易評価、実挙動評価及び衝突解析の方法を示す。

### 1.1 離隔位置確認

評価対象施設の損傷等が発生しても、S クラス施設と評価対象施設の設置位置の関係から、S クラス施設の安全機能が損なわれないことを確認する。

### 1.2 簡易評価

保守的かつ簡易的な評価を実施し、評価対象施設が S クラス施設に影響を与えないことを示すことで、その安全機能を損なわないことを確認する。

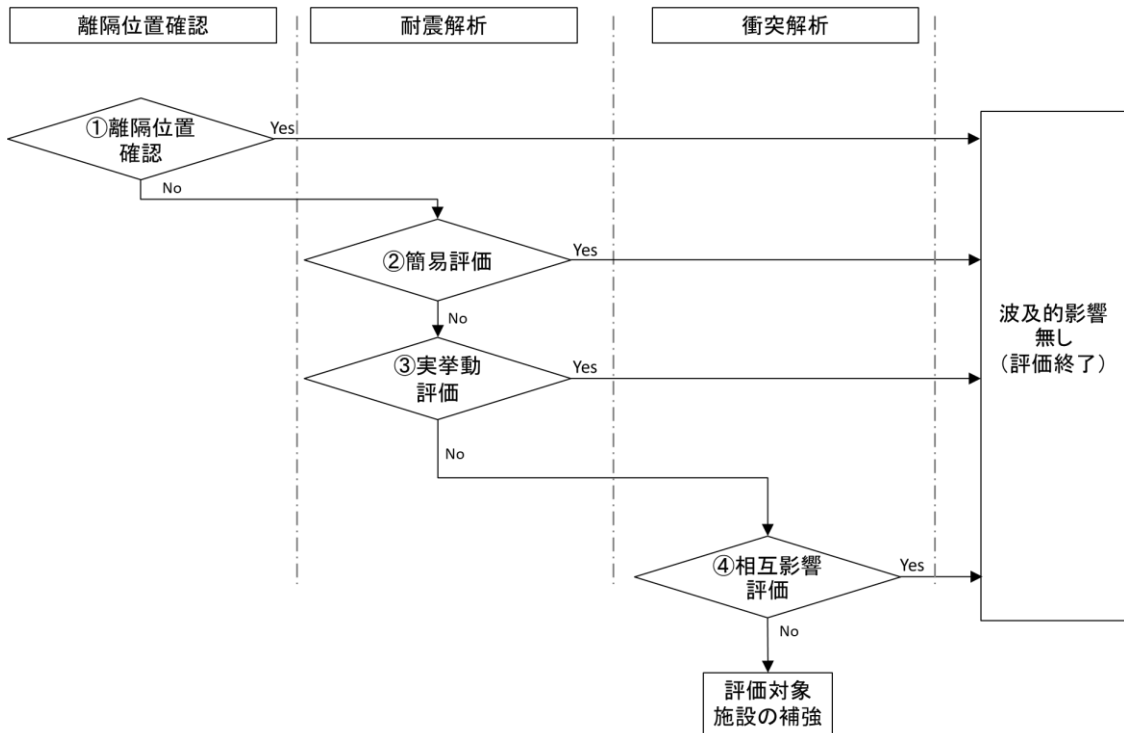
### 1.3 実挙動評価

3次元実形状モデルにより、基準地震動  $S_s$  が発生した際の挙動を評価し、評価対象施設が S クラス施設に影響を与えないことを示すことで、その安全機能を損なわないことを確認する。

なお、評価対象施設の耐震評価にあたっては塑性変形を考慮する。

### 1.4 衝突解析

評価対象施設が損傷、転倒、落下、衝突等により、S クラス施設又は S クラス施設を内包する施設に対して、影響を与える可能性がある場合は、評価対象施設と S クラス施設等の相互影響を評価する。



※評価の順序を限るものではない。

第 1.1 図 波及的影響に関する評価の方針

1-5-2. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(原子炉建家屋根トラスの波及的影響評価)



## 目 次

1. 概要 .....	添 1 - 5 - 2 - 1
2. 一般事項 .....	添 1 - 5 - 2 - 2
2.1 位置 .....	添 1 - 5 - 2 - 2
2.2 構造概要 .....	添 1 - 5 - 2 - 3
2.3 評価方針 .....	添 1 - 5 - 2 - 6
2.4 準拠規格・基準 .....	添 1 - 5 - 2 - 8
2.5 使用材料及び許容応力度 .....	添 1 - 5 - 2 - 9
3. 入力地震動 .....	添 1 - 5 - 2 - 11
3.1 屋根トラスへの入力地震動 .....	添 1 - 5 - 2 - 11
3.2 荷重の組合せ .....	添 1 - 5 - 2 - 17
4. 地震応答解析 .....	添 1 - 5 - 2 - 18
4.1 評価方法 .....	添 1 - 5 - 2 - 18
4.2 解析モデル .....	添 1 - 5 - 2 - 19
4.3 解析諸元 .....	添 1 - 5 - 2 - 21
4.4 評価結果 .....	添 1 - 5 - 2 - 23
4.5 波及的影響評価 .....	添 1 - 5 - 2 - 32

## 表 目 次

第 2.1 表	メイントラス架構の部材リスト .....	添 1 - 5 - 2 - 5
第 2.2 表	鋼材の使用材料及び許容応力度 .....	添 1 - 5 - 2 - 9
第 2.3 表	コンクリートの使用材料及び許容応力度 .....	添 1 - 5 - 2 - 9
第 2.4 表	鉄筋の使用材料及び許容応力度 .....	添 1 - 5 - 2 - 10
第 3.1 表	荷重の組合せ .....	添 1 - 5 - 2 - 17
第 4.1 表	屋根トラスの評価基準値 .....	添 1 - 5 - 2 - 18
第 4.2 表	鋼材の材料定数 .....	添 1 - 5 - 2 - 21
第 4.3 表	コンクリートの材料定数 .....	添 1 - 5 - 2 - 21
第 4.4 表	鉄筋の材料定数 .....	添 1 - 5 - 2 - 21
第 4.5 表	変形角の評価結果(最大値) .....	添 1 - 5 - 2 - 25
第 4.6 表	断面算定結果 .....	添 1 - 5 - 2 - 28
第 4.7 表	最大塑性率(下弦材) .....	添 1 - 5 - 2 - 31
第 4.8 表	最大塑性率(斜材) .....	添 1 - 5 - 2 - 31

## 図 目 次

第 2.1 図	屋根トラスの位置	添 1 - 5 - 2 - 2
第 2.2 図	原子炉建家の断面図(NS 断面)	添 1 - 5 - 2 - 3
第 2.3 図	屋根伏図	添 1 - 5 - 2 - 4
第 2.4 図	屋根トラスの耐震評価フロー	添 1 - 5 - 2 - 7
第 3.1 図	入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向、Ss、質点 6)	添 1 - 5 - 2 - 12
第 3.2 図	入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向、Ss、質点 6)	添 1 - 5 - 2 - 13
第 3.3 図	入力地震動の加速度応答スペクトル(Ss、質点 6)	添 1 - 5 - 2 - 14
第 3.4 図	入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向、Ss、質点 6)	添 1 - 5 - 2 - 15
第 3.5 図	入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向、Ss、質点 6)	添 1 - 5 - 2 - 16
第 4.1 図	解析モデル	添 1 - 5 - 2 - 20
第 4.2 図	非線形特性を設定した部材位置	添 1 - 5 - 2 - 22
第 4.3 図	修正若林モデルの応力-ひずみ関係	添 1 - 5 - 2 - 22
第 4.4 図	修正若林モデルの履歴特性概念図	添 1 - 5 - 2 - 22
第 4.5 図	変形図(Ss-2、変形倍率：実寸×100 倍)(1/2)	添 1 - 5 - 2 - 24
第 4.6 図	変形図(Ss-2、変形倍率：実寸×100 倍)(2/2)	添 1 - 5 - 2 - 24
第 4.7 図	断面算定位置(Ss-D)	添 1 - 5 - 2 - 27
第 4.8 図	断面算定位置(Ss-4)	添 1 - 5 - 2 - 27
第 4.9 図	断面算定位置(Ss-5)	添 1 - 5 - 2 - 27
第 4.10 図	最大塑性率の部材位置(Ss-1、6 通り)	添 1 - 5 - 2 - 30
第 4.11 図	最大塑性率の部材位置(Ss-2、5 通り)	添 1 - 5 - 2 - 30
第 4.12 図	最大塑性率の部材位置(Ss-3、5 通り)	添 1 - 5 - 2 - 30

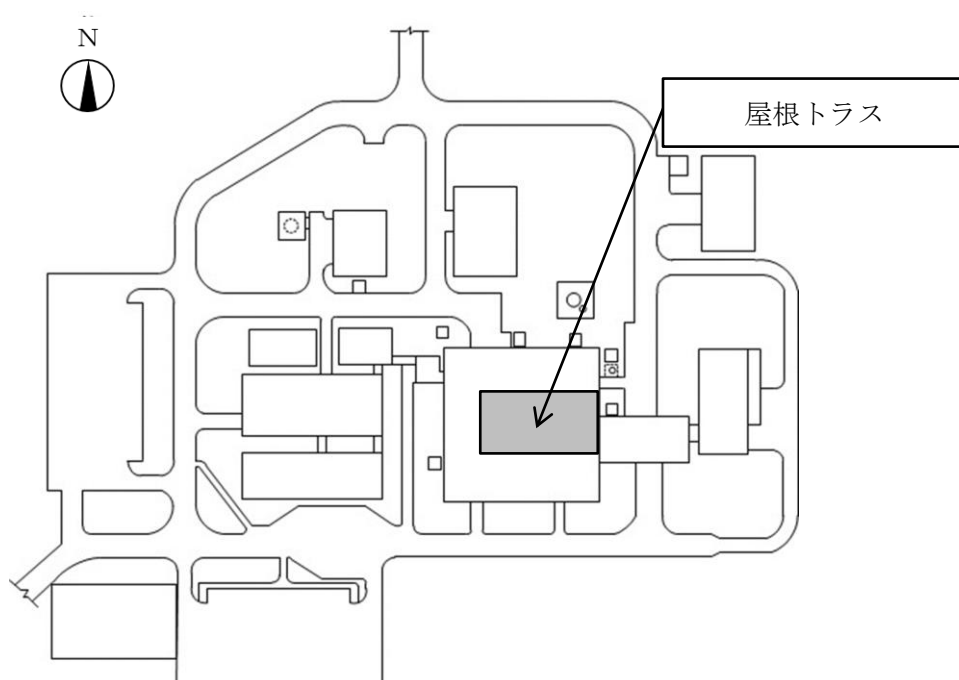
## 1. 概要

本資料は、原子炉建家屋根トラス(以下「屋根トラス」という。)の損傷及び落下により、Sクラスの使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール及び原子炉格納容器内のSクラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

屋根トラスの位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 屋根トラスの位置

## 2.2 構造概要

原子炉建家は、鉄筋コンクリート造（一部、鉄骨鉄筋コンクリート造）の建物である。原子炉建家の屋根トラスは、メイントラス架構、サブトラス架構、小梁等から構成された鉄骨造平行弦トラス構造であり、南北方向に配置された4構面のメイントラス架構にて、原子炉建家の天井走行クレーンエリア上部屋根を支持する構造形式である。

メイントラス架構は、上弦材部材芯レベル G.L. 23.75m、トラススパン 21,000mm、トラスのせい 2,000mm（上弦材と下弦材の部材芯間は 1,650mm）である。

原子炉建家の断面図を第 2.2 図に、屋根伏図を第 2.3 図に示す。メイントラス架構の部材リストを第 2.1 表に示す。



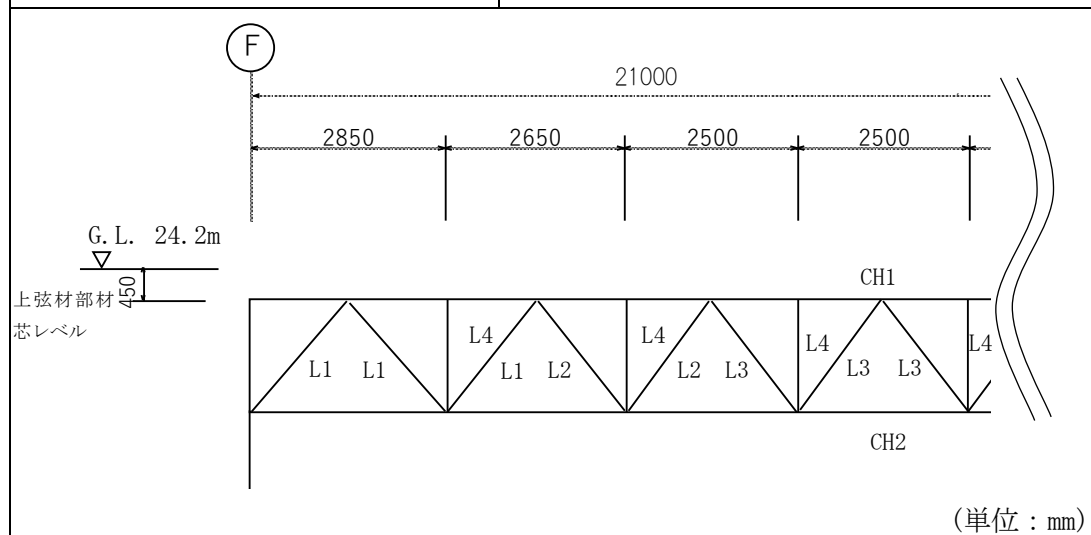
第 2.2 図 原子炉建家の断面図 (NS 断面)

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

第 2.3 図 屋根伏図

第 2.1 表 メイントラス架構の部材リスト

部位	部材断面
上弦材 CH1	H-350×350×12×19
下弦材 CH2	H-350×350×12×19
斜材 L1	H-250×250×9×14
斜材 L2	H-200×200×8×12
斜材 L3	H-175×175×7.5×11
束材 L4	2Ls-90×90×10

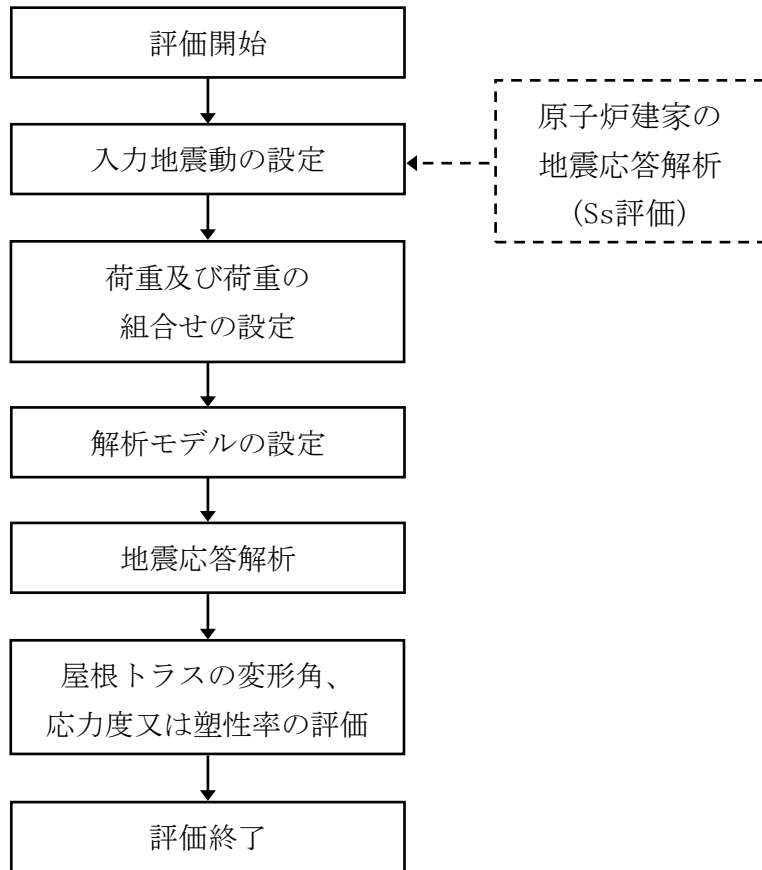




### 2.3 評価方針

屋根トラスに対し、耐震重要度が上位のクラス施設である施設への波及的影響評価は、基準地震動  $S_s$  による地震応答解析により実施する。地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した三次元フレームモデルにより行い、算出した屋根トラスの変形角が評価基準値を超えないこと、応力度又は塑性率が評価基準値を超えないことを確認する。

屋根トラスの耐震評価フローを第 2.4 図に示す。



第 2.4 図 屋根トラスの耐震評価フロー

## 2.4 準拠規格・基準

屋根トラスの評価において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- ・ 鋼構造設計規準 ―許容応力度設計法―(日本建築学会)(以下「S規準」という。)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計と保有水平耐力―(日本建築学会)

## 2.5 使用材料及び許容応力度

### (1) 鋼材

鋼材の使用材料及び許容応力度を第 2.2 表に示す。

第 2.2 表 鋼材の使用材料及び許容応力度

	SS41 (SS400 相当) 及び SM41A (SM400A 相当)	
	引張 曲げ <sup>※1</sup> 圧縮 <sup>※1</sup>	せん断
長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	F/1.5	F/(1.5√3)
短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	F	F/√3
材料強度 (N/mm <sup>2</sup> )	F <sup>※2</sup>	

※1 曲げ、圧縮の許容応力度及び材料強度は上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

※2 F: 鋼材の基準強度

SS41 (SS400 相当) 及び SM41A (SM400A 相当) F=235 N/mm<sup>2</sup>

材料強度に用いる数値は、建設省告示 2464 号に基づき、基準強度の 1.1 倍とする。

### (2) コンクリート

コンクリートの使用材料及び許容応力度を第 2.3 表に示す。

第 2.3 表 コンクリートの使用材料及び許容応力度

設計基準強度 F <sub>c</sub> =23.5N/mm <sup>2</sup>	長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮	せん断
	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7.83	0.725
	材料強度 (N/mm <sup>2</sup> )	15.7	1.09
		23.5	—

(3)鉄筋

鉄筋の使用材料及び許容応力度を第 2.4 表に示す。

第 2.4 表 鉄筋の使用材料及び許容応力度

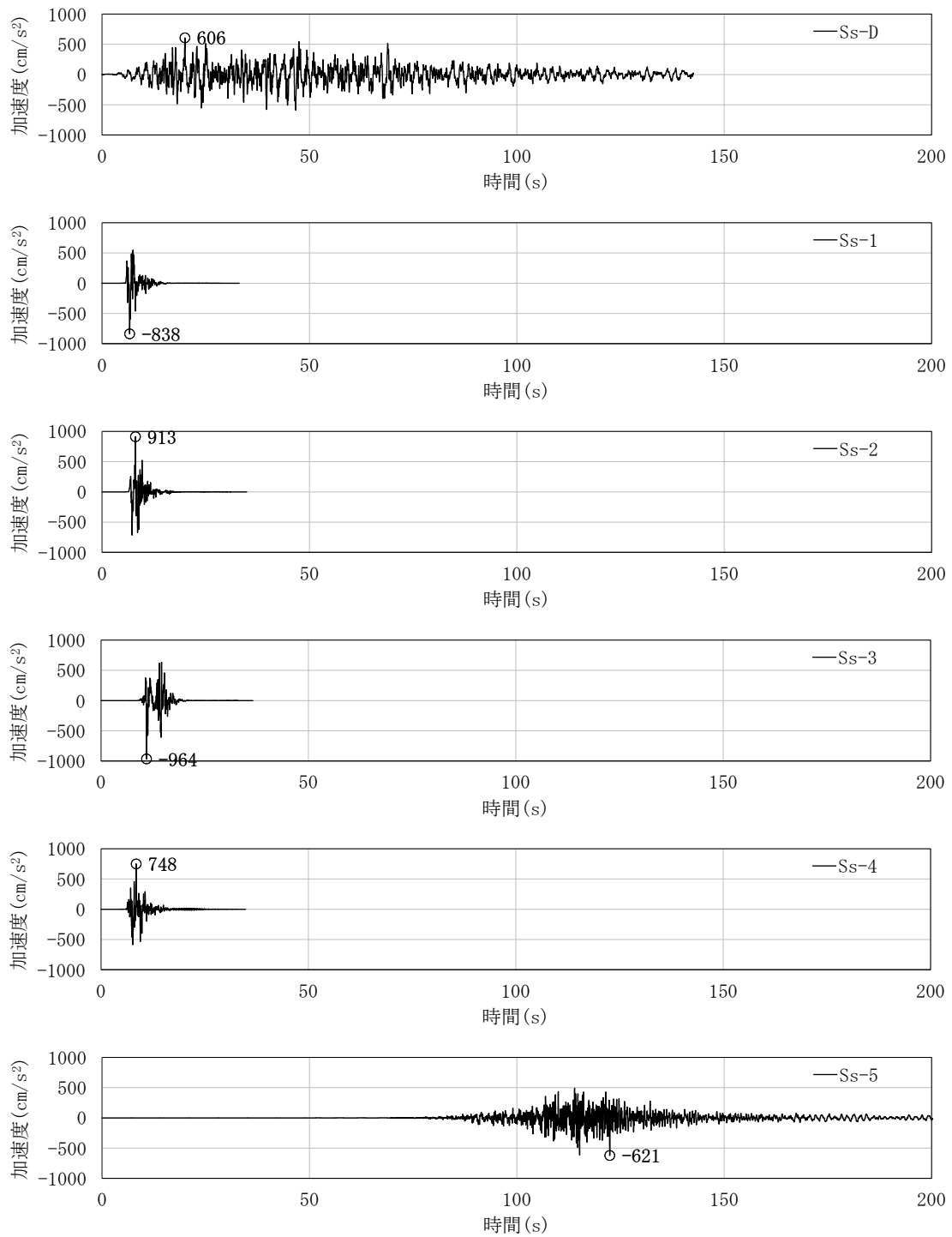
	SD30A (SD295A 相当)		SD35 (SD345 相当)		
	引張 圧縮	せん断	引張 圧縮		せん断
			D29 未満	D29 以上	
長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	195	195	215	195	195
短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	295	295	345		345
材料強度 (N/mm <sup>2</sup> )	295	295	345		345

### 3. 入力地震動

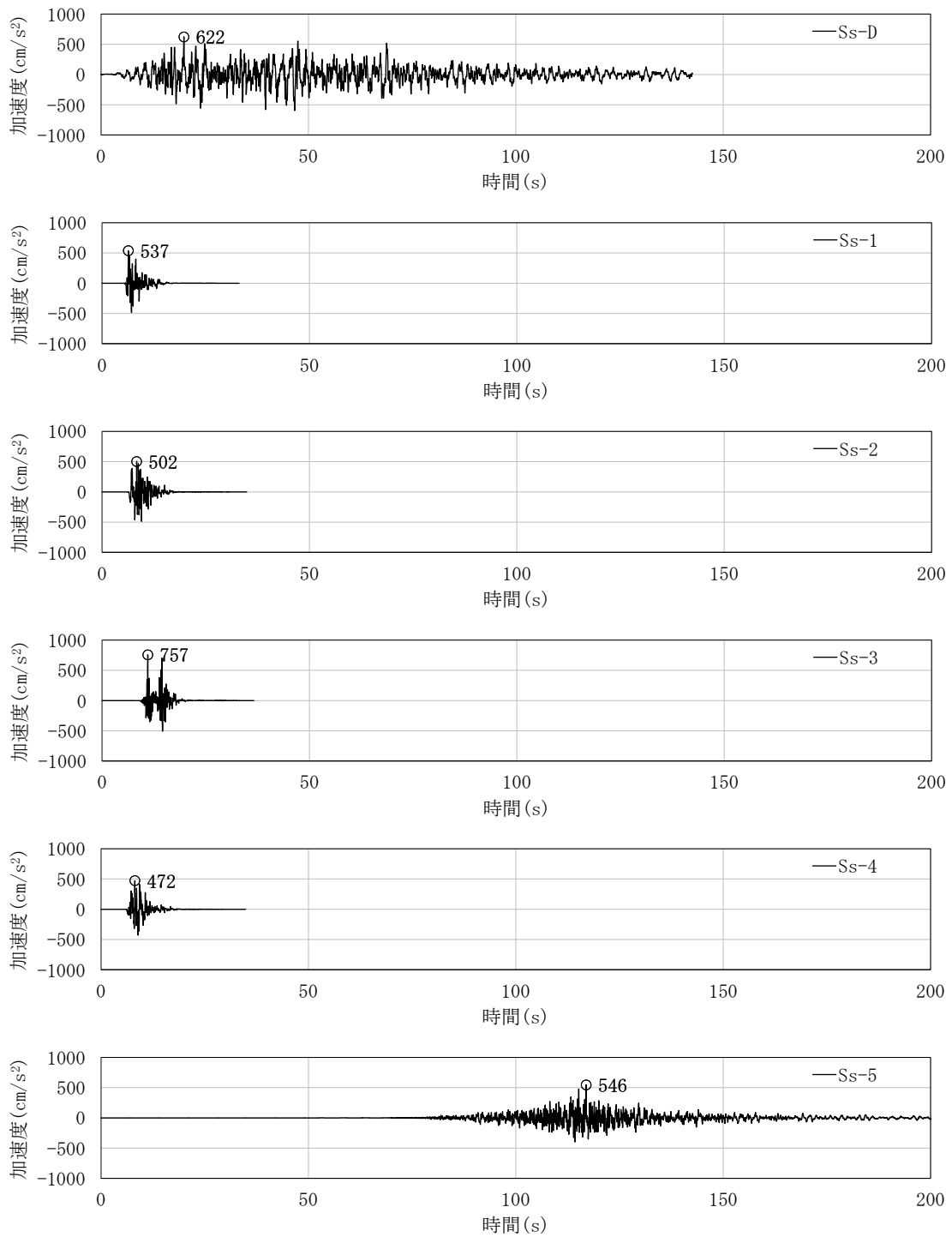
#### 3.1 屋根トラスへの入力地震動

屋根トラスへの入力地震動は、原子炉建家の基準地震動  $S_s$  による地震応答解析(質点6)により得られる応答波とする(原子炉建家の地震応答解析モデルは、添付書類 1-2-1. を参照のこと)。この水平及び鉛直方向の加速度時刻歴波形を、原子炉建家の G. L. 14. 2m より上部を対象とした屋根トラスの解析モデル(質点6に対応する位置)に入力する。

屋根トラスの解析モデルへの入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 3.1 図から第 3.5 図に示す。

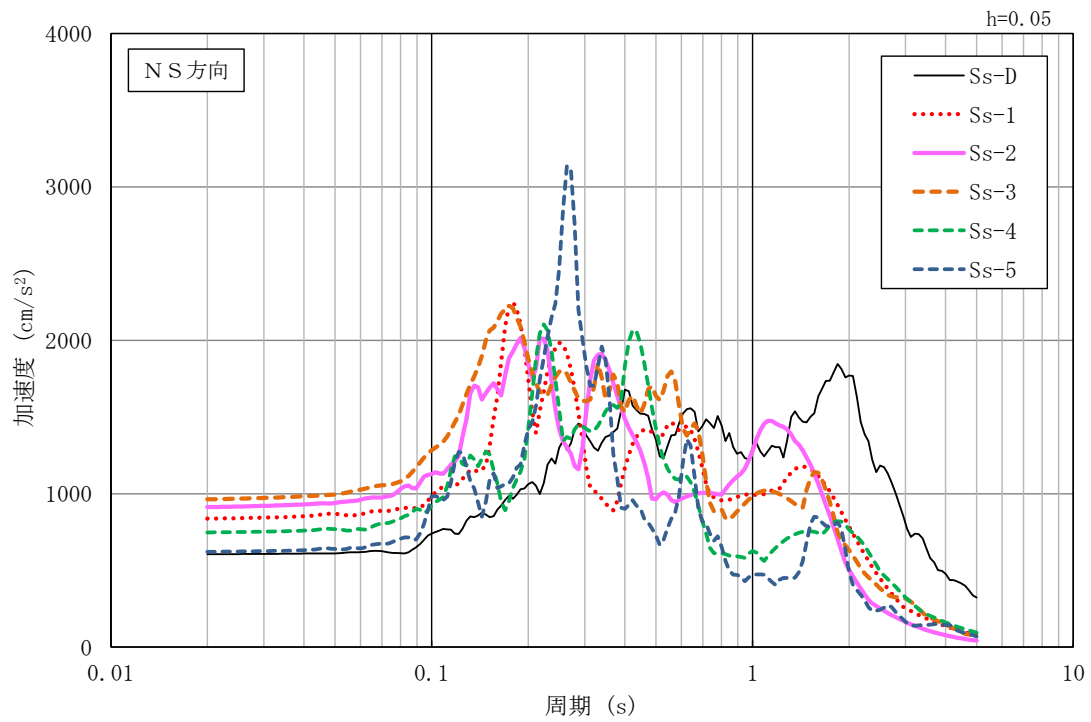


第 3.1 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向、Ss、質点 6)

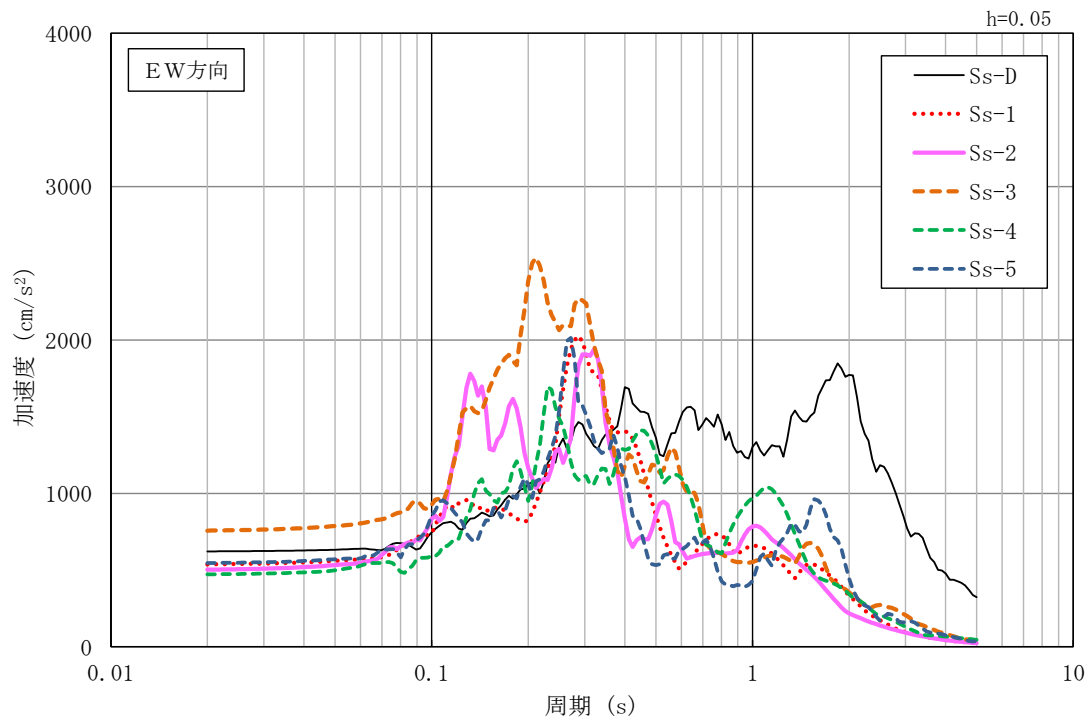


第 3.2 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向、Ss、質点 6)



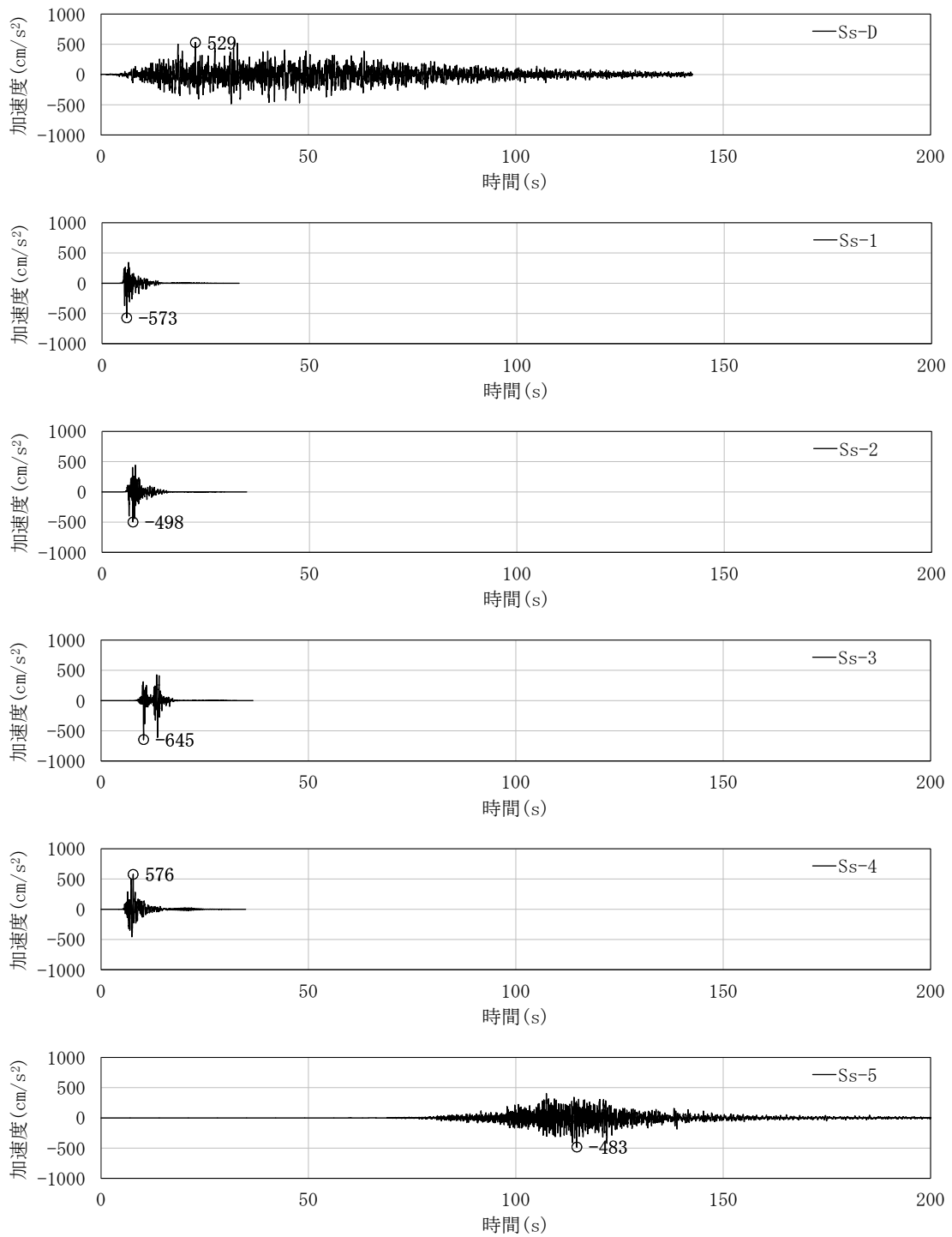


(a) NS 方向

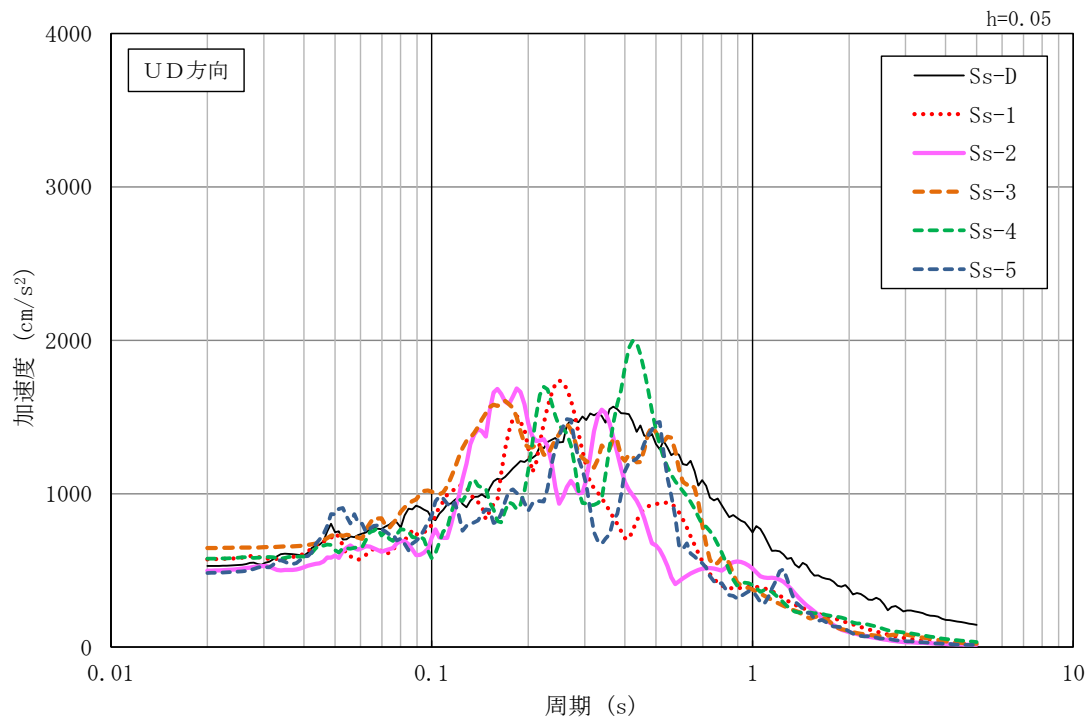


(b) EW 方向

第 3.3 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(Ss、質点 6)



第 3.4 図 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向、Ss、質点 6)



第 3.5 図 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向、Ss、質点 6)

### 3.2 荷重の組合せ

基準地震動  $S_s$  による波及的影響評価に用いる荷重の組合せを第 3.1 表に示す。

第 3.1 表 荷重の組合せ

	組合せ
$S_s$ 地震時	GP+Ks

GP : 固定荷重+積載荷重

Ks : 基準地震動  $S_s$

#### 4. 地震応答解析

##### 4.1 評価方法

屋根トラスの評価は、原子炉建家の地震応答解析結果に基づき、屋根トラスの地震応答解析を行い、屋根トラスの変形角を算出し、許容限界を超えないこと及び屋根トラスの各部材に破断が生じないことを確認する。

屋根トラスの各部材に破断が生じないことは、部材に発生する応力度が S 規準に準拠し算定した許容応力度を超えないこと又は屋根トラスに生じる塑性率が 4.0 を超えないことを確認する。

屋根トラスの評価基準値を第 4.1 表に示す。

第 4.1 表 屋根トラスの評価基準値

評価方針	地震力	部位	評価方法	評価基準値 (許容限界)
内包される上位クラス設備に波及的影響を及ぼさないこと。	基準地震動 Ss	屋根トラス	屋根トラスの変形角が許容限界を超えないこと。※	トラスの変形角が 1/100 以下であること。
			屋根トラスに破断する部材がないこと。※	部材に発生する応力度が許容応力度を超えないこと又は塑性率が 4.0 を超えないこと。

※ 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2015(日本電気協会)

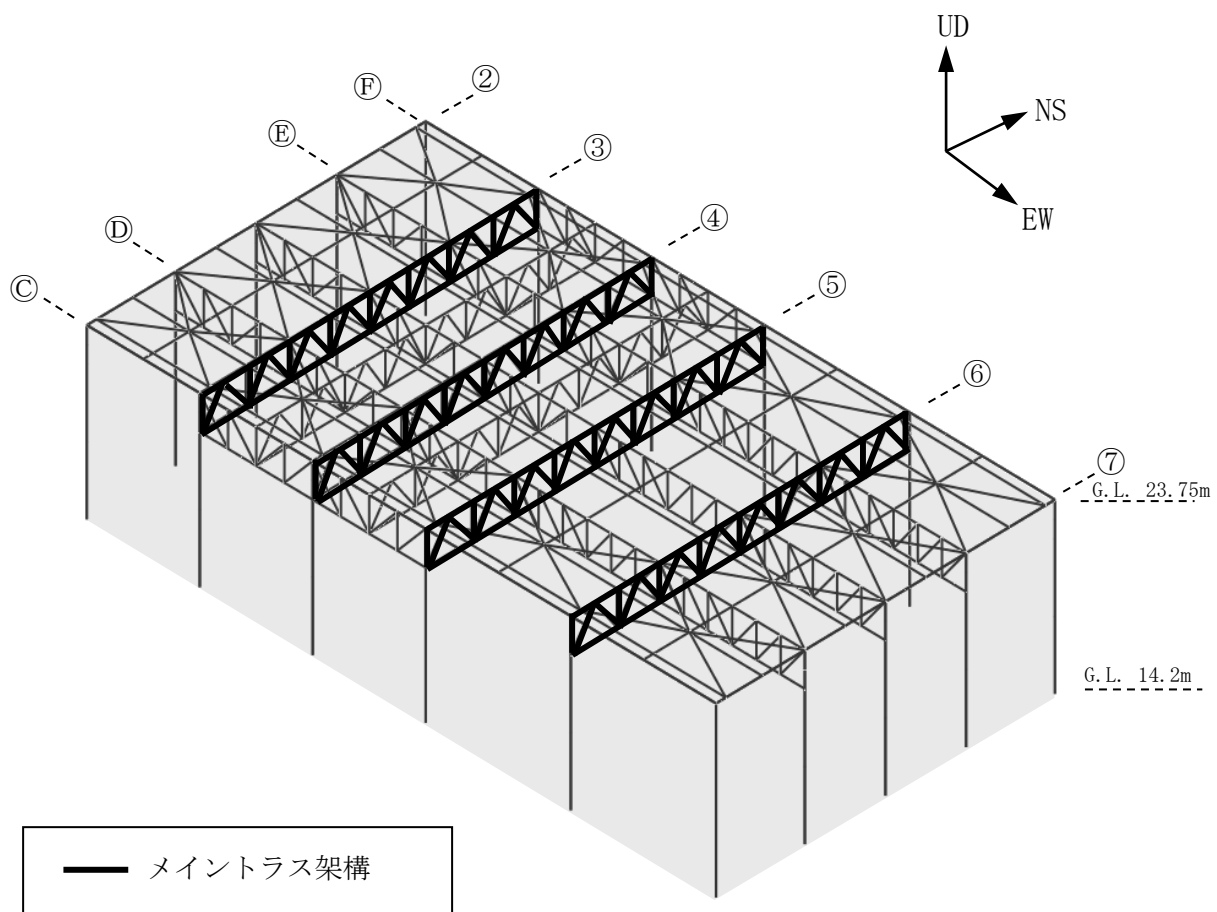
## 4.2 解析モデル

屋根トラスの解析モデルは、三次元フレームモデルとする。原子炉建家の G.L. 14.2m より上部を対象に、メイントラス架構の上弦材、下弦材及び斜材はビーム要素、束材はトラス要素、屋根スラブはシェル要素としてモデル化する。境界条件は、屋根トラス下部架構の脚部を固定支持とする。解析モデルを第 4.1 図に示す。

解析は、線形地震応答解析を実施し、屋根トラスの各部材に発生する応力度が許容応力度を超えた場合は、修正若林モデルを用いた非線形地震応答解析を実施する。

減衰は、剛性比例型とし、減衰定数は鉛直方向の 1 次振動数に対して鉄骨部を 2%、鉄筋コンクリート部及び鉄骨鉄筋コンクリート部を 3%とする。

地震応答解析に使用する解析コードは「Soil Plus(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。



第 4.1 図 解析モデル

### 4.3 解析諸元

地震応答解析に用いる鋼材の材料定数を第 4.2 表に、コンクリートの材料定数を第 4.3 表に、鉄筋の材料定数を第 4.4 表に示す。非線形特性を設定した部材位置を第 4.2 図に、修正若林モデルの応力-ひずみ関係を第 4.3 図に、修正若林モデルの履歴特性を第 4.4 図に示す。

第 4.2 表 鋼材の材料定数

部位	種類	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
上弦材 下弦材 斜材	SM41A (SM400A 相当)	2.05 × 10 <sup>5</sup>	0.30	77.0
束材	SS41 (SS400 相当)			

第 4.3 表 コンクリートの材料定数

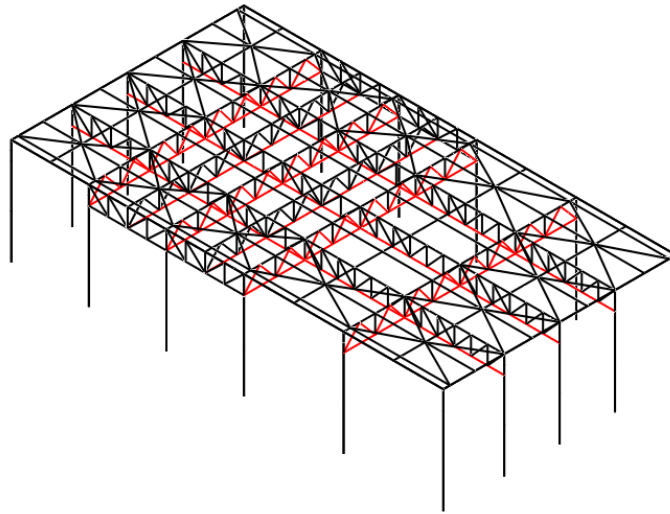
設計基準強度 F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	単位体積重量 $\gamma$ ※ (kN/m <sup>3</sup> )
23.5	2.25 × 10 <sup>4</sup>	0.20	24.0

※ 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量を示す。

第 4.4 表 鉄筋の材料定数

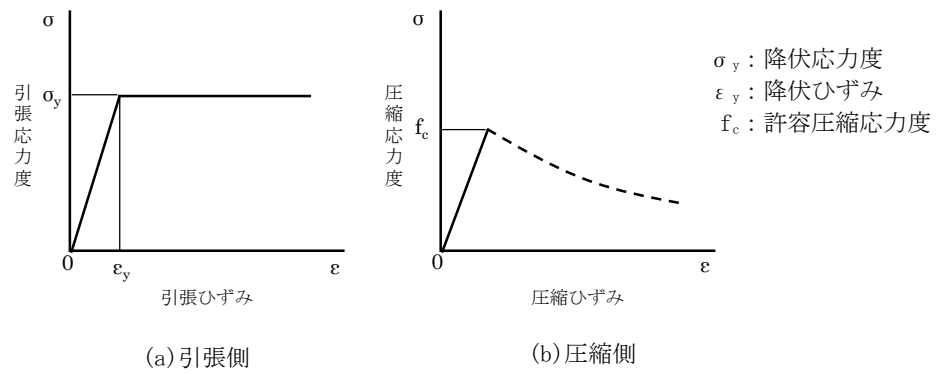
種類	降伏強度 F <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )
SD35 (SD345 相当)	345	2.05 × 10 <sup>5</sup>
SD30A (SD295A 相当)	295	



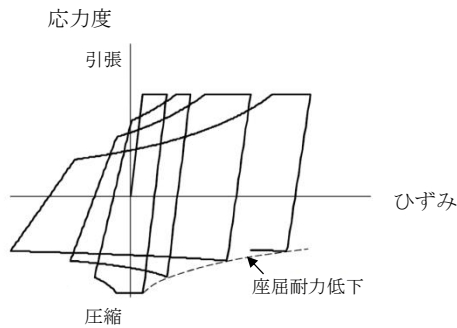


— : 非線形特性を設定した部材  
 — : 線形部材

第 4.2 図 非線形特性を設定した部材位置



第 4.3 図 修正若林モデルの応力-ひずみ関係



第 4.4 図 修正若林モデルの履歴特性概念図

#### 4.4 評価結果

##### (1) 屋根トラスの変形角

代表的な屋根トラスの変形図として基準地震動 Ss-2 に対する変形図を第 4.5 図及び第 4.6 図に、屋根トラスの変形角の評価結果を第 4.5 表に示す。

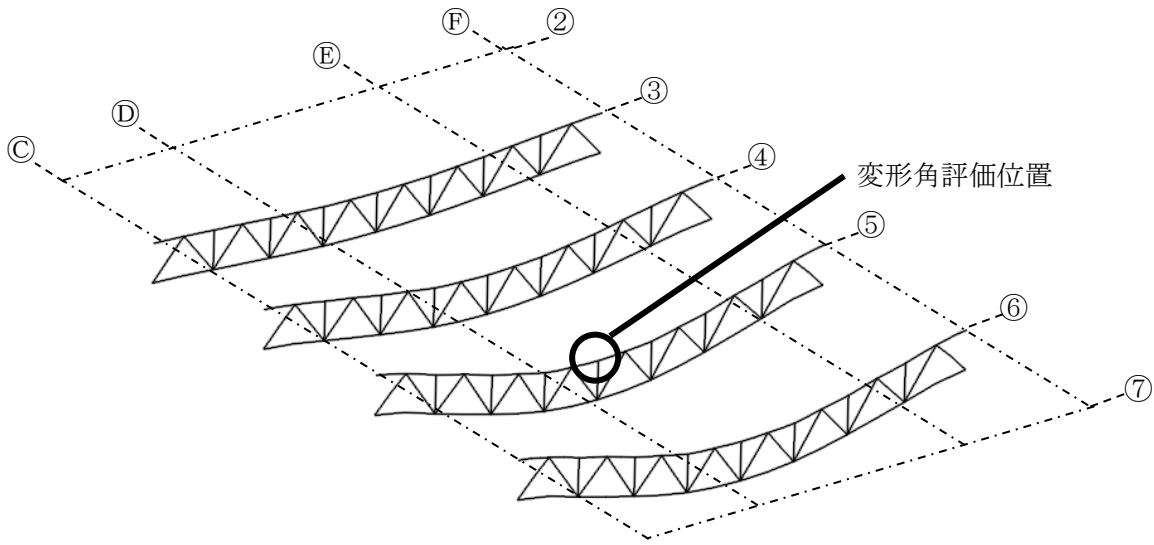
屋根トラスの変形角は、最大変形量 ( $\delta_{\max}$ ) から以下のとおり算定した。

$$\text{変形角} = \delta_{\max} / L$$

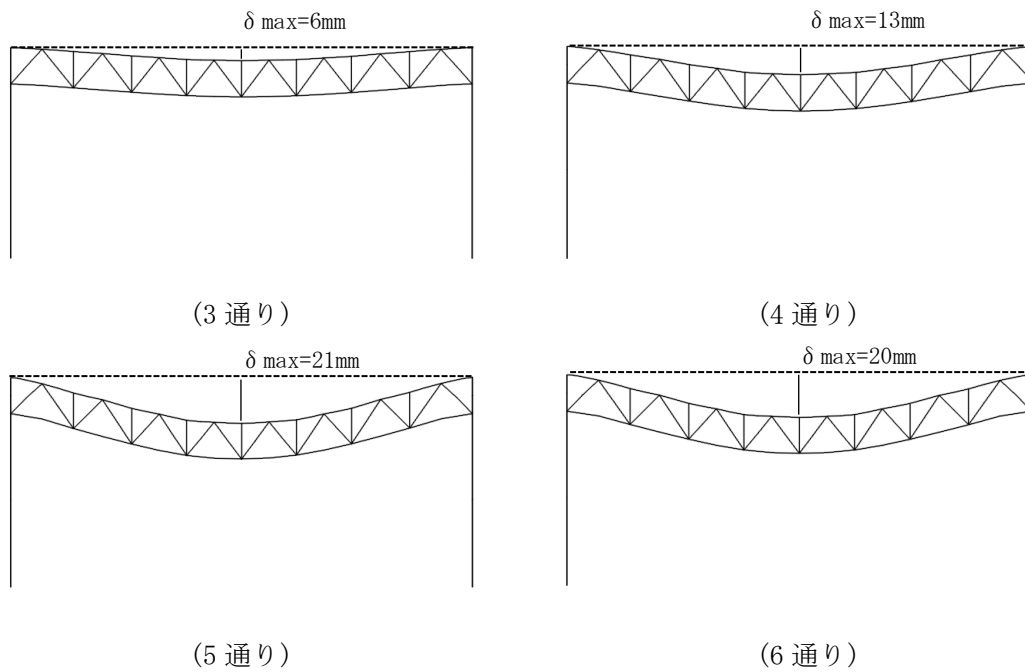
ここで、

L : 屋根トラスの支持スパンの 1/2

屋根トラスの変形角は最大で 0.20/100 であり、評価基準値(1/100)を超えないことを確認した。



第 4.5 図 変形図(Ss-2、変形倍率：実寸×100 倍) (1/2)



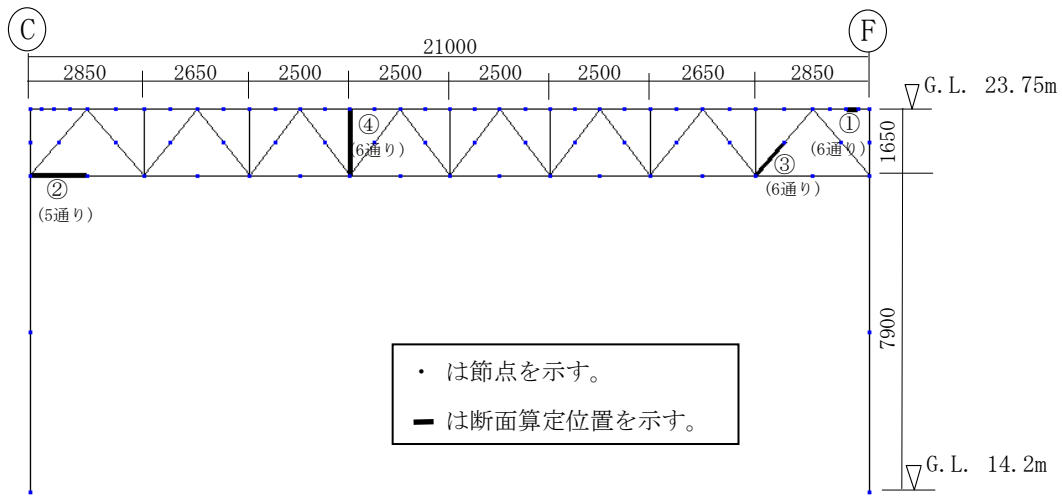
第 4.6 図 変形図(Ss-2、変形倍率：実寸×100 倍) (2/2)

第 4.5 表 変形角の評価結果(最大値)

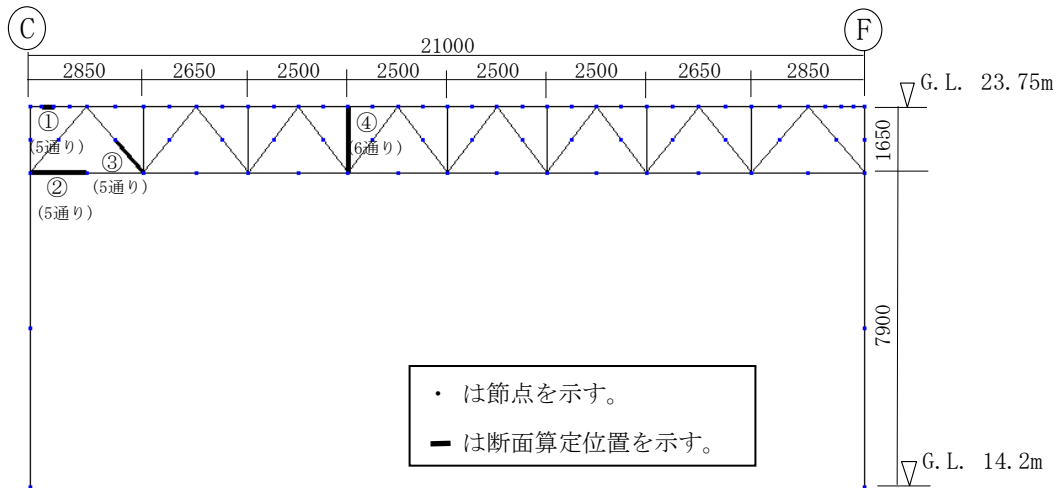
地震動	変形角 $\delta_{max}/L$	評価基準値
Ss-D	0.14/100	1/100
Ss-1	0.18/100	
Ss-2	0.20/100	
Ss-3	0.19/100	
Ss-4	0.13/100	
Ss-5	0.13/100	

(2)線形地震応答解析による断面算定結果

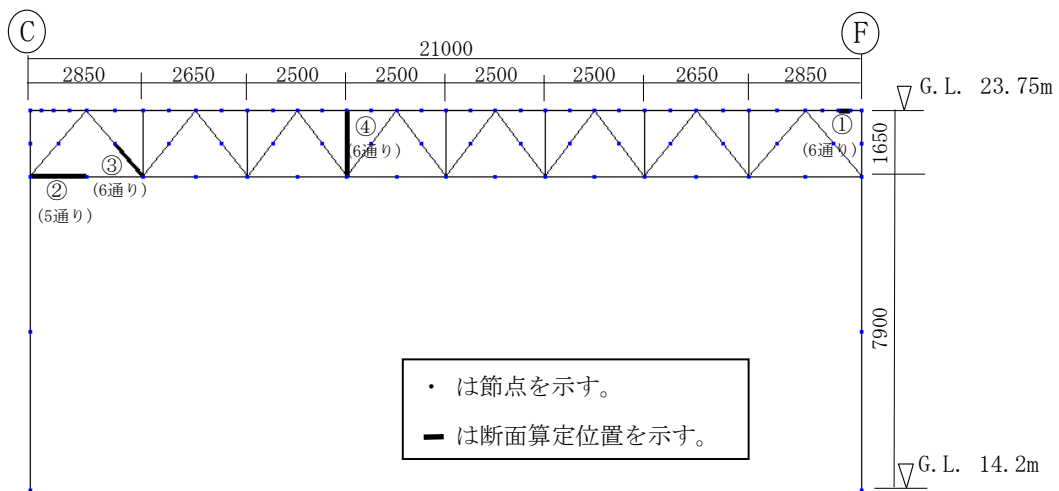
基準地震動 S<sub>S</sub>-D、S<sub>S</sub>-4 及び S<sub>S</sub>-5 について、線形地震応答解析により屋根トラス部材の発生応力度が評価基準値である許容応力度を超えないことを確認した。基準地震動 S<sub>S</sub>-D、S<sub>S</sub>-4 及び S<sub>S</sub>-5 に対する断面算定位置を第 4.7 図から第 4.9 図に、断面算定結果を第 4.6 表に示す。



第 4.7 図 断面算定位置 (Ss-D)



第 4.8 図 断面算定位置 (Ss-4)



第 4.9 図 断面算定位置 (Ss-5)

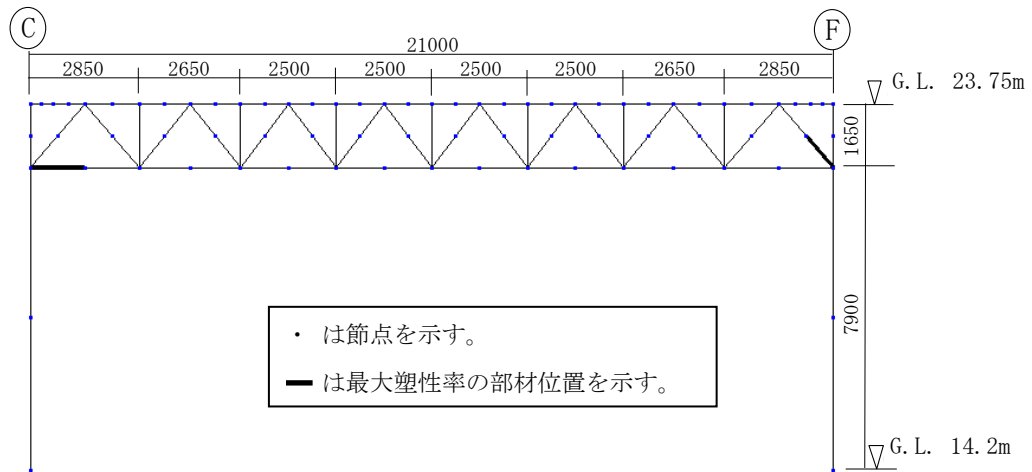
第 4.6 表 断面算定結果

地震動	位置	部位	部材断面	応力種別	発生 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値	組合せ 検定値
Ss-D	①	上弦材	H-350×350×12×19	軸力	79.4	258	0.31	0.54
				曲げ	115.2	258	0.45	
	②	下弦材	H-350×350×12×19	軸力	99.7	190	0.52	0.78
				曲げ	78.6	249	0.32	
	③	斜材	H-250×250×9×14	軸力	183.8	258	0.71	0.89
				曲げ	46.1	256	0.18	
	④	束材	2Ls-90×90×10	軸力	70.3	204	0.34	0.34
				曲げ	—	—	—	
Ss-4	①	上弦材	H-350×350×12×19	軸力	75.7	258	0.29	0.51
				曲げ	104.4	258	0.40	
	②	下弦材	H-350×350×12×19	軸力	104.1	190	0.55	0.80
				曲げ	74.6	249	0.30	
	③	斜材	H-250×250×9×14	軸力	169.6	258	0.66	0.82
				曲げ	42.8	256	0.17	
	④	束材	2Ls-90×90×10	軸力	63.3	204	0.31	0.31
				曲げ	—	—	—	
Ss-5	①	上弦材	H-350×350×12×19	軸力	76.3	258	0.30	0.51
				曲げ	110.0	258	0.43	
	②	下弦材	H-350×350×12×19	軸力	105.3	190	0.55	0.80
				曲げ	75.0	249	0.30	
	③	斜材	H-250×250×9×14	軸力	175.7	258	0.68	0.85
				曲げ	43.1	256	0.17	
	④	束材	2Ls-90×90×10	軸力	65.4	204	0.32	0.32
				曲げ	—	—	—	

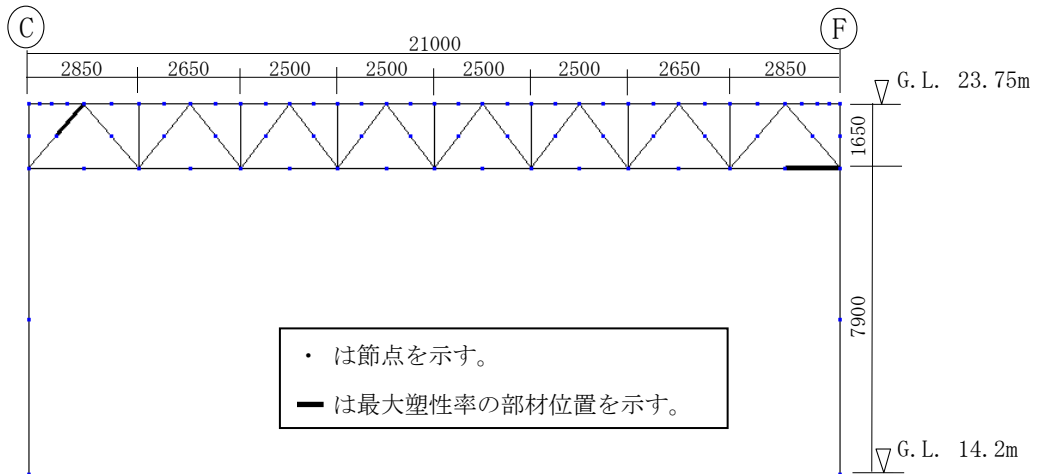
(3)非線形地震応答解析による塑性率

基準地震動 S<sub>S</sub>-1、S<sub>S</sub>-2 及び S<sub>S</sub>-3 について、非線形地震応答解析により屋根トラスの最大塑性率が 0.8 であり、評価基準値(4.0)を超えないことを確認した。基準地震動 S<sub>S</sub>-1、S<sub>S</sub>-2 及び S<sub>S</sub>-3 に対する最大塑性率の部材位置を第 4.10 図から第 4.12 図に、最大塑性率を第 4.7 表及び第 4.8 表に示す。

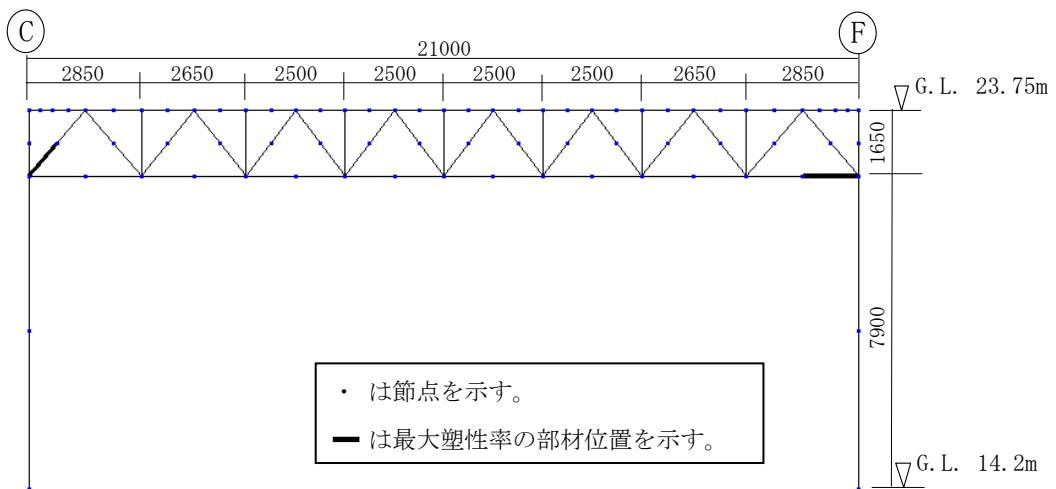




第 4.10 図 最大塑性率の部材位置 (Ss-1、6 通り)



第 4.11 図 最大塑性率の部材位置 (Ss-2、5 通り)



第 4.12 図 最大塑性率の部材位置 (Ss-3、5 通り)

第 4.7 表 最大塑性率(下弦材)

地震動	最大塑性率	評価基準値
Ss-1	0.6	4.0
Ss-2	0.6	
Ss-3	0.5	

第 4.8 表 最大塑性率(斜材)

地震動	最大塑性率	評価基準値
Ss-1	0.8	4.0
Ss-2	0.8	
Ss-3	0.8	

#### 4.5 波及的影響評価

屋根トラスの評価として、原子炉建家の G.L. 14.2m より上部を対象とした三次元フレームモデルを用いた地震応答解析を実施し、屋根トラスの変形角が許容限界を超えないこと及び屋根トラス部材に破断が生じないことを確認した。

以上より、屋根トラスが使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール及び原子炉格納容器内の S クラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

1-5-3. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(原子炉格納容器の波及的影響評価)

## 目次

1. 概要 .....	添 1 - 5 - 3 - 1
2. 評価方針 .....	添 1 - 5 - 3 - 2
2.1 適用規格.....	添 1 - 5 - 3 - 2
3. 地震による応力の計算手法.....	添 1 - 5 - 3 - 3
3.1 地震により本体胴に発生する応力.....	添 1 - 5 - 3 - 3
3.2 地震により附属設備の取付部に発生する応力.....	添 1 - 5 - 3 - 4
4. 本体胴の応力解析.....	添 1 - 5 - 3 - 9
4.1 地震による応力.....	添 1 - 5 - 3 - 9
4.2 本体胴の許容応力状態 $IV_A S$ .....	添 1 - 5 - 3 - 10
4.3 本体胴の座屈に対する評価.....	添 1 - 5 - 3 - 12
5. 附属設備の取付部の応力解析.....	添 1 - 5 - 3 - 13
5.1 地震による応力.....	添 1 - 5 - 3 - 13
5.2 附属設備の取付部の許容応力状態 $IV_A S$ .....	添 1 - 5 - 3 - 20
6. まとめ .....	添 1 - 5 - 3 - 25

## 表 目 次

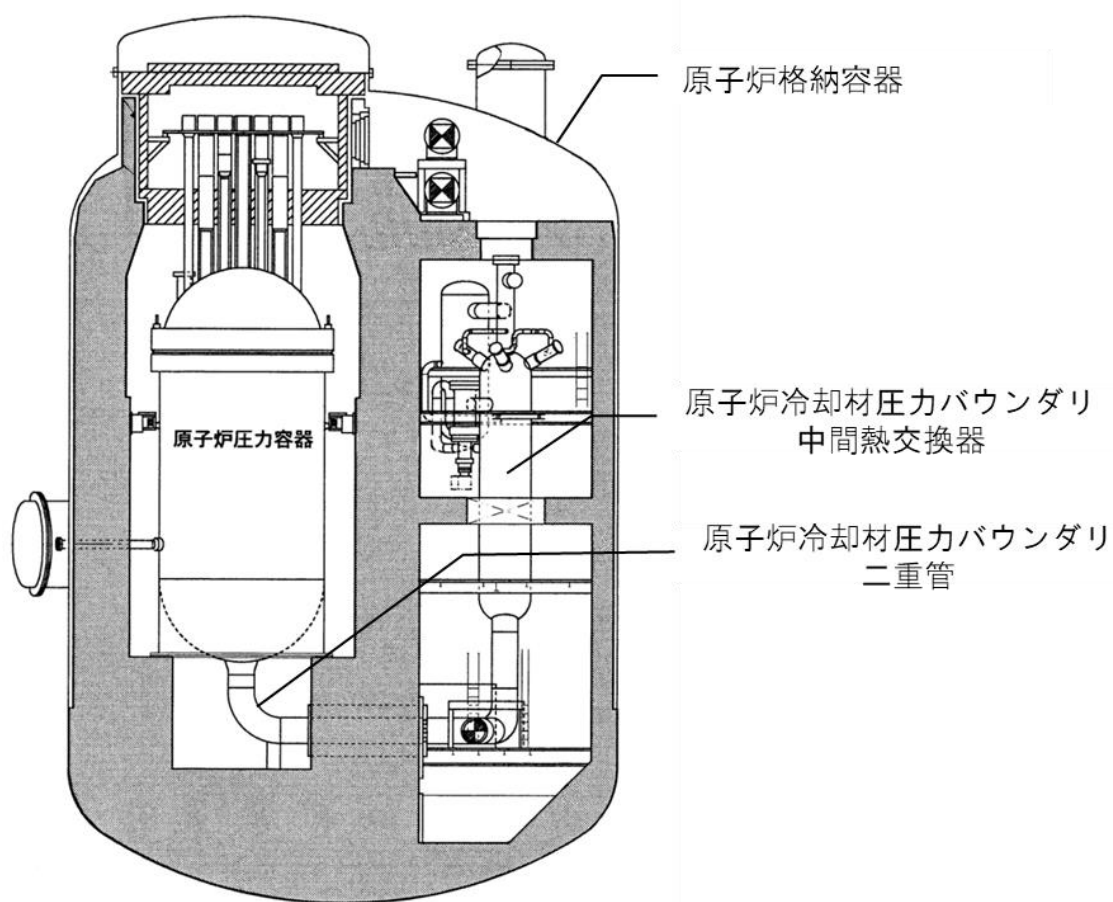
第 4.1 表	原子炉格納容器の緒元.....	添 1 - 5 - 3 - 9
第 4.2 表	計算結果.....	添 1 - 5 - 3 - 9
第 4.3 表	許容応力状態IV <sub>A</sub> S における応力強さ(その 1) .....	添 1 - 5 - 3 - 11
第 4.4 表	許容応力状態IV <sub>A</sub> S における応力強さ(その 2) .....	添 1 - 5 - 3 - 11
第 4.5 表	軸圧縮荷重による応力計算による結果.....	添 1 - 5 - 3 - 12
第 4.6 表	座屈応力値.....	添 1 - 5 - 3 - 12
第 5.1 表	熱電対交換ハッチ取付部及び貫通部スリーブ取付部の緒元	添 1 - 5 - 3 - 13
第 5.2 表	計算結果.....	添 1 - 5 - 3 - 13
第 5.3 表	熱電対交換ハッチ胴一般部の緒元.....	添 1 - 5 - 3 - 14
第 5.4 表	計算結果.....	添 1 - 5 - 3 - 14
第 5.5 表	局部外力(その 1) .....	添 1 - 5 - 3 - 16
第 5.6 表	局部外力(その 2) .....	添 1 - 5 - 3 - 16
第 5.7 表	貫通部スリーブ取付部の局部外力による応力.....	添 1 - 5 - 3 - 17
第 5.8 表	熱電対交換ハッチ取付部の局部外力による応力.....	添 1 - 5 - 3 - 19
第 5.9 表	許容応力状態IV <sub>A</sub> S における応力強さ(その 1) .....	添 1 - 5 - 3 - 21
第 5.10 表	許容応力状態IV <sub>A</sub> S における応力強さ(その 2) .....	添 1 - 5 - 3 - 23

## 目 次

第 1.1 図	原子炉格納容器の概要図.....	添 1 - 5 - 3 - 1
第 2.1 図	原子炉格納容器の本体胴の評価点.....	添 1 - 5 - 3 - 7
第 2.2 図	原子炉格納容器の附属設備の取付部.....	添 1 - 5 - 3 - 8

## 1. 概要

原子炉格納容器に内部には、第 1.1 図に示すように、S クラスである原子炉冷却材圧力バウンダリ等が設置されている。原子炉格納容器が損傷した場合、原子炉格納容器内の S クラスの機器・配管系及び S クラスの原子炉格納容器貫通部配管へ波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、基準地震動  $S_s$  により原子炉圧力容器の波及的影響を評価する。



第 1.1 図 原子炉格納容器の概要図



## 2. 評価方針

原子炉格納容器の本体胴及び附属設備の取付部の評価は、既往の設工認の評価に対して、保守的に基準地震動  $S_s$  による発生値を足し合わせるものとする。

### 2.1 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)
- ・日本産業規格(JIS)
- ・黒鉛減速ヘリウムガス冷却型原子炉施設に関する構造等の技術基準

### 3. 地震による応力の計算手法

地震による応力の算出は、既往の設工認添付計算書(「I-イ-3 原子炉格納容器本体胴の応力解析書」(設計及び工事の方法の認可(第1回申請)平成3年1月8日付け2安(原規)第733号)及び「I-イ-4 原子炉格納容器附属設備の取付部の応力解析書」(設計及び工事の方法の認可(第1回申請)平成3年1月8日付け2安(原規)第733号))を参考に既往の設工認と同等の評価により行う。本体胴に係る評価点を第2.1図に、附属設備の取付部に係る評価点を第2.2図に示す。

#### 3.1 地震により本体胴に発生する応力

地震により本体胴に発生する応力は、次の式により求める。

$$\sigma_x = \pm \frac{M_i}{Z_i} + \left( \pm \frac{W_i}{A_i} \cdot F_{VS} \right)$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{xz} = \frac{2Q_i}{A_i}$$

ここで、

$M_i$	: 計算点における地震力による曲げモーメント
$Z_i$	: 計算点における断面係数
$W_i$	: 計算点における自重
$A_i$	: 計算点における断面積( $A_i = \pi \cdot D \cdot t$ )
$D$	: 計算点における胴板中心直径
$t$	: 計算点における胴板厚さ
$Q_i$	: 計算点における地震力によるせん断力
$F_{VS}$	: 鉛直震度
$\sigma_x$	: 軸方向応力
$\sigma_y$	: 円周方向応力
$\sigma_z$	: 板厚方向応力
$\tau_{xz}$	: せん断応力

### 3.2 地震により附属設備の取付部に発生する応力

地震により附属設備の取付部に発生する応力は、以下のとおりとする。

#### 3.2.1 計算式による計算

##### (1) 熱電対交換ハッチ取付部及び貫通部スリーブ取付部

地震により熱電対交換ハッチ取付部及び貫通部スリーブ取付部に発生する応力は、次の式により求める。

$$\sigma_x = \pm \frac{M_i}{Z_i} + \left( \pm \frac{W_i}{A_i} \cdot F_{VS} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{xz} = \frac{2Q_i}{A_i} \quad (2)$$

ここで、

$M_i$  : 計算点における地震力による曲げモーメント

$Z_i$  : 計算点における断面係数

$W_i$  : 計算点における自重

$A_i$  : 計算点における断面積 ( $A_i = \pi \cdot D \cdot t$ )

$D$  : 計算点における胴板中心直径

$t$  : 計算点における胴板厚さ

$Q_i$  : 計算点における地震力によるせん断力

$F_{VS}$  : 鉛直震度

$\sigma_x$  : 軸方向応力

$\sigma_y$  : 円周方向応力

$\sigma_z$  : 板厚方向応力

$\tau_{xz}$  : せん断応力

(2) 熱電対交換ハッチ胴一般部

地震により熱電対交換ハッチ胴一般部に発生する応力は、次の式により求める。

$$\sigma_x = \pm \frac{My+Mz}{Z_i} + \left( \pm \frac{W_i}{A_i} \cdot F_{HS} \right) \quad (3)$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{yz} = \pm \frac{2W_i}{\pi \cdot D \cdot t} (F_{HS} + F_{VS}) \quad (4)$$

ここで、

- My : 計算点における鉛直地震力による曲げモーメント ( $My=W_i \cdot F_{HS} \cdot e_i$ )
- Mz : 計算点における水平地震力による曲げモーメント ( $Mz=W_i \cdot F_{VS} \cdot e_i$ )
- Zi : 熱電対交換ハッチ胴の断面係数
- Wi : 熱電対交換ハッチ胴の自重
- ei : 熱電対交換ハッチ重心位置から貫通部スリーブの設置位置までの距離
- Ai : 計算点における断面積 ( $A_i = \pi \cdot D \cdot t$ )
- D : 計算点における胴板中心直径
- t : 計算点における胴板厚さ
- F<sub>HS</sub> : 水平震度
- F<sub>VS</sub> : 鉛直震度
- $\sigma_x$  : 軸方向応力
- $\sigma_y$  : 円周方向応力
- $\sigma_z$  : 板厚方向応力
- $\tau_{yz}$  : せん断応力

### 3.2.2 Bijlaard の式による計算

#### (1) 貫通部スリーブ取付部及び熱電対交換ハッチ取付部

板厚 T の部材に軸力  $N_i$ 、曲げモーメント  $M_i$  が作用するときの応力  $\sigma$  は、

$$\sigma = K_n \cdot \frac{N_i}{T} \pm K_b \cdot \frac{6M_i}{T^2} \quad (5)$$

ここで、 $K_n$  及び  $K_b$  は応力集中係数である。

円筒胴部に設置された管台に垂直力 P、水平力  $V_c$  及び曲げモーメント  $M_c$  が作用したとき、管台の取付部に発生する応力は、式(5)を変形すると

・ P による応力

$$\sigma_x = - \left\{ K_n \cdot \left( \frac{N_x R_m}{P} \right) \cdot \frac{P}{R_m T} \pm K_b \cdot \left( \frac{M_x}{P} \right) \cdot \frac{6P}{T^2} \right\} \quad (6)$$

$$\sigma_y = - \left\{ K_n \cdot \left( \frac{N_y R_m}{P} \right) \cdot \frac{P}{R_m T} \pm K_b \cdot \left( \frac{M_y}{P} \right) \cdot \frac{6P}{T^2} \right\} \quad (7)$$

・  $V_c$  による応力

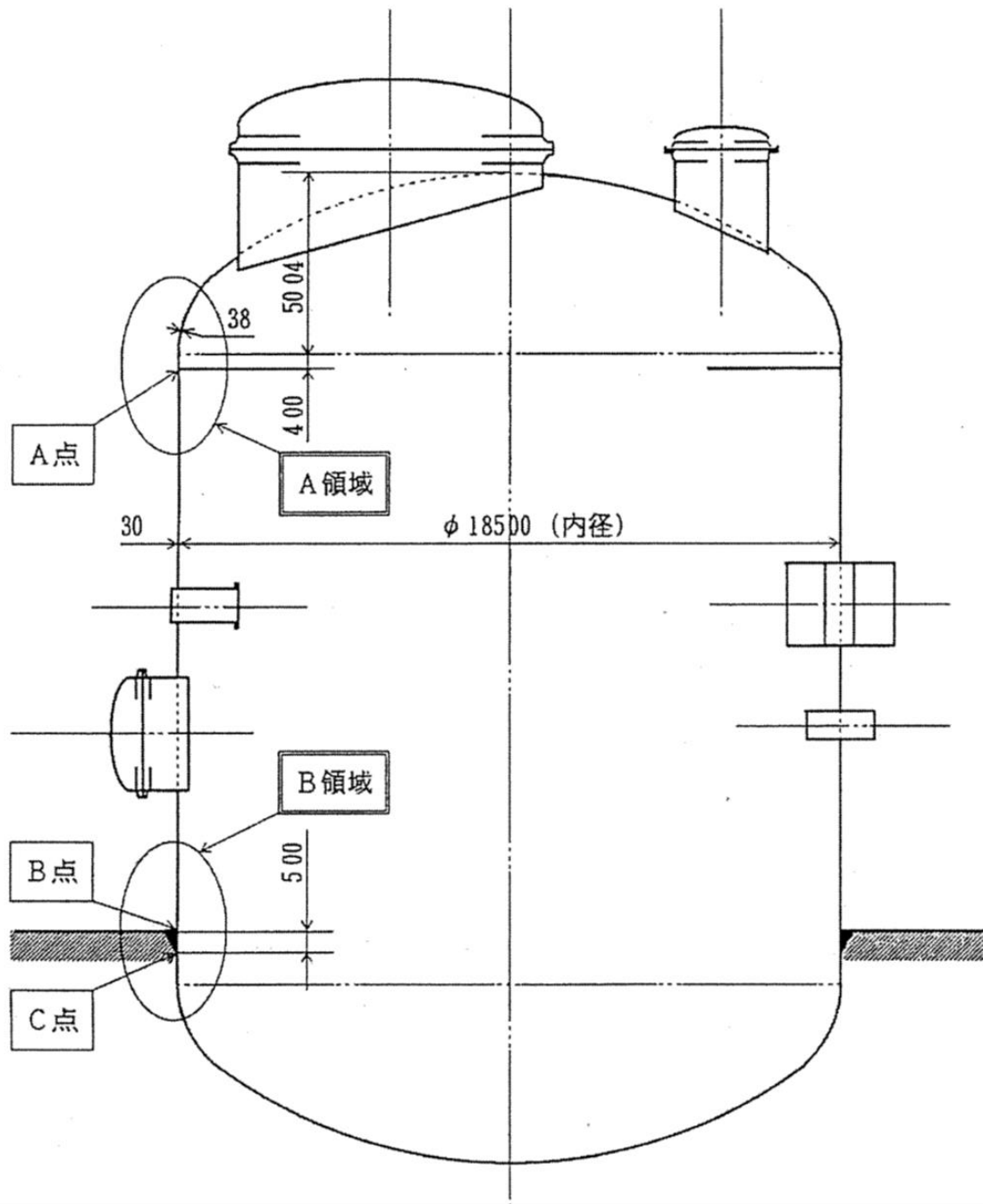
$$T_{xy} = \pm \left\{ \frac{V_c}{\pi r_o T} \right\} \quad (8)$$

・  $M_c$  による応力

$$\sigma_x = \mp \left\{ K_n \cdot \left( \frac{N_x}{M_c / R_m^2 \beta} \right) \cdot \frac{M_c}{R_m^2 \beta T} \pm K_b \cdot \left( \frac{M_x}{M_c / R_m \beta} \right) \cdot \frac{6M_c}{R_m \beta T^2} \right\} \quad (9)$$

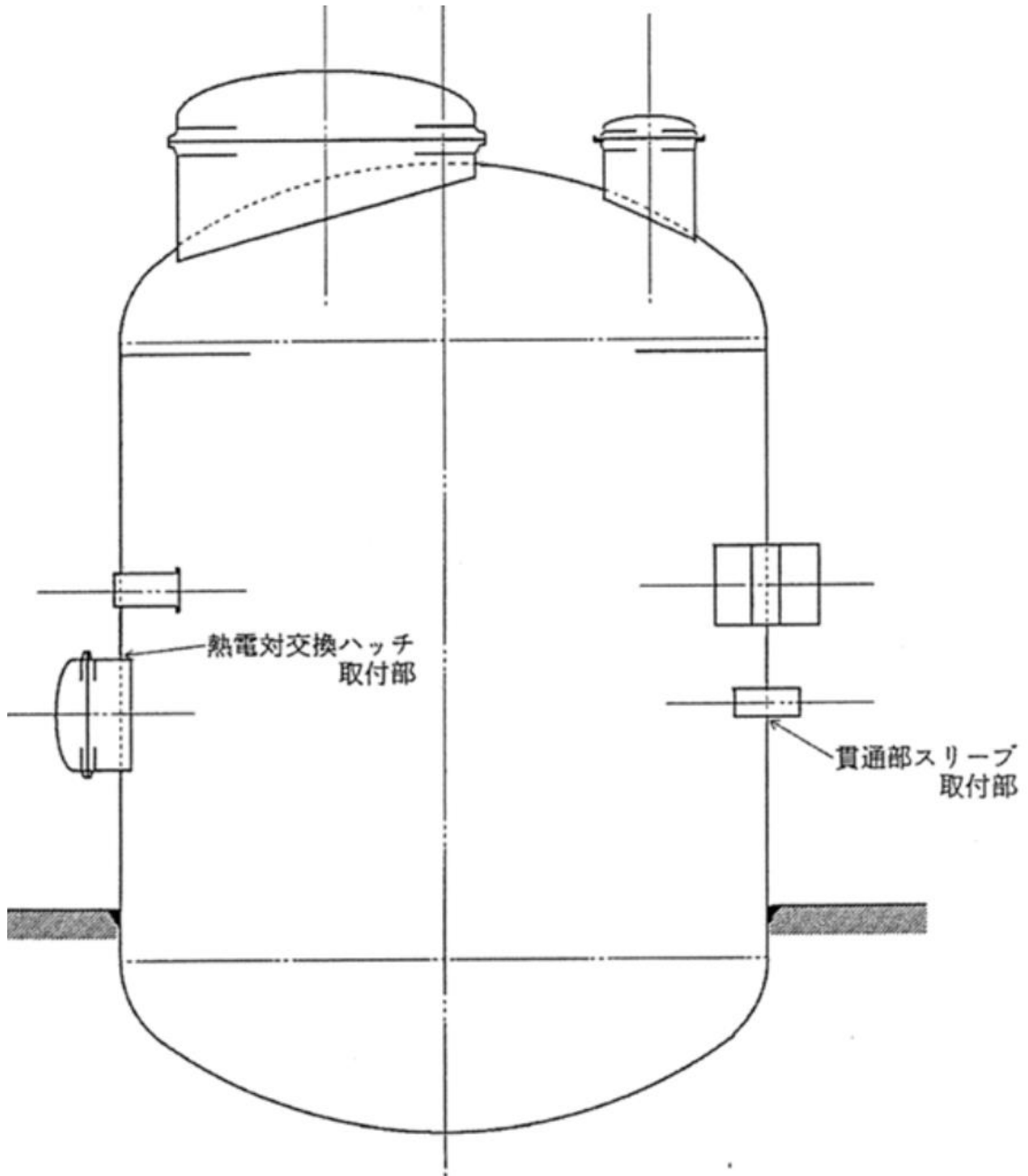
$$\sigma_y = \mp \left\{ K_n \cdot \left( \frac{N_y}{M_c / R_m^2 \beta} \right) \cdot \frac{M_c}{R_m^2 \beta T} \pm K_b \cdot \left( \frac{M_y}{M_c / R_m \beta} \right) \cdot \frac{6M_c}{R_m \beta T^2} \right\} \quad (10)$$

式(6)から式(10)中の( )内の数値は、膜応力及び曲げ応力の係数であり円筒胴及びノズルの形状により定まる。



(単位：mm)

第 2.1 図 原子炉格納容器の本体胴の評価点



第 2.2 図 原子炉格納容器の附属設備の取付部

#### 4. 本体胴の応力解析

##### 4.1 地震による応力

既往の設工認と同様の評価により応力評価を行った。原子炉格納容器の緒元を第 4.1 表に、応力の絶対値が最大となる C 点での計算結果を第 4.2 表に示す。ただし、強度評価では、全領域で C 点と同じ応力が発生するものとして荷重の組合せを考慮する。

第 4.1 表 原子炉格納容器の緒元

項目	自重	胴板板心直径	鏡板又は胴板厚さ	断面係数	断面積
計算点	×10 <sup>3</sup> kg	mm	mm	×10 <sup>9</sup> mm <sup>3</sup>	×10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>
C	576.4	18530	30	8.08	1746

第 4.2 表 計算結果

項目	曲げモーメント	せん断力	鉛直震度	軸方向応力	せん断応力
計算点	kN・m	kN	—	MPa	MPa
C	52700	3612	0.62	9	5



#### 4.2 本体胴の許容応力状態IV<sub>A</sub>S

##### (1) 許容応力強さ

###### i. 応力強さ及び許容限界値

既往の設工認の応力強さに基準地震動  $S_s$  による軸方向応力の発生値を保守的に足し合わせた応力強さと許容応力強さを第 4.3 表、第 4.4 表に示す。

###### ii. 評価

各計算点は、いずれも荷重の組合せにおいて、応力強さの許容限界値を満足している。

##### (2) 許容せん断応力

せん断応力は 8MPa(既往の設工認 3MPa と本評価 5MPa との足し合わせ)、許容せん断応力は 169MPa である。

##### (3) 許容支圧応力

解析対象部位には、評価の対象となる支圧荷重を受ける部位はない。

第 4.3 表 許容応力状態IV<sub>A</sub>S における応力強さ(その 1)

領域		応力	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次応力強さ (MPa)		
			$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$
A	内側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-78 (=-69-9)	145 (=136+9)	-77 (=-68-9)	
	外側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-78 (=-69-9)	145 (=136+9)	-77 (=-68-9)	
B	内側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-68 (=-59-9)	135 (=126+9)	-76 (=-67-9)	
	外側	-64 (=-55-9)	122	-76 (=-67-9)	-68 (=-59-9)	135 (=126+9)	-76 (=-67-9)	
許容値		S = 131			1.5S = 197			

第 4.4 表 許容応力状態IV<sub>A</sub>S における応力強さ(その 2)

領域		応力	一次+二次応力強さ (MPa)			最大値と最小値の差
			$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$	
A	内側	16 (=7+9)	11 (=2+9)	-18 (=-9-9)	35	
		-16 (=-7-9)	-10 (=-1-9)	17 (=8+9)		
	外側	16 (=7+9)	11 (=2+9)	-18 (=-9-9)	36	
		-16 (=-7-9)	-11 (=-2-9)	18 (=9+9)		
B	内側	16 (=7+9)	11 (=2+9)	-18 (=-9-9)	35	
		-16 (=-7-9)	-10 (=-1-9)	17 (=8+9)		
	外側	16 (=7+9)	11 (=2+9)	-18 (=-9-9)	36	
		-16 (=-7-9)	-11 (=-2-9)	18 (=9+9)		
許容値		—			3S = 394	

### 4.3 本体胴の座屈に対する評価

#### (1) 最大圧縮応力

第 4.5 表 軸圧縮荷重による応力計算による結果

軸圧縮荷重による応力 (MPa)				曲げモーメントによる応力 (MPa)
自重による応力 W/A	鉛直方向地震力による応力 W/A · F <sub>VS</sub>	負圧による応力 P <sub>1</sub> /A	合計 P/A	M/Z
4	2	3	9	7

#### (2) 座屈応力値

第 4.6 表 座屈応力値

R/t	軸圧縮荷重に対する座屈応力値 (f <sub>c</sub> ) (MPa)	曲げモーメントに対する座屈応力値 (f <sub>b</sub> ) (MPa)
309	139	160 (MPa)

#### (3) 安全率

$$\alpha = 1.45$$

#### (4) 評価

$$\frac{\alpha(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha(M/Z)}{f_b} = 0.16 < 1$$

以上のとおり、座屈に対して十分な強度を有する。

ここで、

- W : 自重 (=5.76 × 10<sup>5</sup>kg)
- A : 断面積 (=1.746 × 10<sup>6</sup>mm<sup>2</sup>)
- F<sub>VS</sub> : 鉛直震度 (=0.62)
- P<sub>1</sub> : 負圧による荷重 (=4.3 × 10<sup>5</sup>kg)
- P : 軸圧縮全荷重
- M : 曲げモーメント (=5.27 × 10<sup>4</sup>kN · m)
- Z : 断面係数 (=8.08 × 10<sup>9</sup>mm<sup>3</sup>)
- R : 本体胴板中心半径 (=9250mm)
- t : 胴板厚さ (=30mm)

## 5. 附属設備の取付部の応力解析

### 5.1 地震による応力

#### 5.1.1 計算式による計算

計算式(1)、(2)により、熱電対交換ハッチ取付部及び貫通部スリーブ取付部の応力計算を行った。熱電対交換ハッチ取付部及び貫通部スリーブ取付部の緒元を第 5.1 表に、計算結果を第 5.2 表に示す。

第 5.1 表 熱電対交換ハッチ取付部及び貫通部スリーブ取付部の緒元

項目 計算点	自重 ×10 <sup>3</sup> kg	胴板板心 直径 mm	鏡板又は 胴板厚さ mm	断面係数 ×10 <sup>9</sup> mm <sup>3</sup>	断面積 ×10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>
熱電対交換ハッチ 取付部	492.1	18530	30	8.08	1746
貫通部スリーブ取 付部	546.1	18530	30	8.08	1746

第 5.2 表 計算結果

項目 計算点	曲げモー メント kN・m	せん断力 kN	鉛直震度 —	軸方向応力 MPa	せん断応 力 MPa
熱電対交換ハッチ 取付部	36600	4340	0.62	7	5
貫通部スリーブ取 付部	63300	4340	0.62	10	5

計算式(3)、(4)により、熱電対交換ハッチ胴一般部の応力計算を行った。熱電対交換ハッチ胴一般部の緒元を第5.3表に、計算結果を第5.4表に示す。

第5.3表 熱電対交換ハッチ胴一般部の緒元

項目 計算点	自重	胴板板心 直径	鏡板又は 胴板厚さ	断面係数	断面積	ハッチから スリーブま での距離
	×10 <sup>3</sup> kg	mm	mm	×10 <sup>8</sup> mm <sup>3</sup>	×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>	mm
熱電対交換ハッ チ胴一般部	14.6	3070	70	5.07	6751	495

第5.4表 計算結果

項目 計算点	鉛直地震力 による曲げ モーメント	水平地震力 による曲げ モーメント	水平震度	鉛直震度	軸方向応 力	せん断 応力
	kN・m	kN・m	—	—	MPa	MPa
熱電対交換ハッ チ胴一般部	52	44	0.73	0.62	1	1

### 5.1.2 Bijlaard の式による計算

式(6)から(10)により、貫通部スリーブ取付部及び熱電対交換ハッチ取付部の応力計算を行った。結果を表に示す。

#### (1) 局部外力の設定

地震時において、原子炉格納容器本体胴部に設置する貫通部スリーブ等の管台には、地震動等による局部外力として軸力、せん断力及び曲げモーメントが負荷される。

これらの局部外力について原子炉格納容器の設計では、軸力  $F_x$ 、せん断力  $F_z$  及び曲げモーメント  $M_y$ 、 $M_z$  を以下のように設定し局部外力と定める。設定値を第 5.5 表及び第 5.6 表に示す。

- ・ 配管が接続する貫通部スリーブ

配管に対する地震時の許容応力に対応する軸力  $F_x$  及び曲げモーメント  $M_z$  を貫通部スリーブの局部外力とする。

なお、当該局部外力は基準地震動  $S_s$  によって配管に加わる局部外力より大きい。

- ・ 熱電対交換ハッチ

局部外力は、次の式により求める。

$$F_x = W_H \cdot F_{HS}$$

$$M_z = W_H \cdot F_{HS} \cdot e$$

$$F_z = W_H (F_{VS} + F_{HS})$$

$$M_y = W_H \cdot F_{VS} \cdot e$$

ここで、

$W_H$  : 対象物の自重

$F_{HS}$  : 水平震度(0.73)

$F_{VS}$  : 鉛直震度(0.62)

$e$  : 対象物の重心から原子炉格納容器胴中心までの距離

#### (2) 計算法

軸力  $F_x$  による応力は、式(6)、(7)において、 $P=F_x$  として、 $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  を求める。

せん断力  $F_z$  による応力は、式(8)において、 $V_c=F_z$  として、 $\tau_{xy}$  を求める。

曲げモーメント  $M_y$ 、 $M_z$  による応力は、式(9)、(10)において、 $M_c=M_y$ 、 $M_z$  として、 $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  を求める。

#### (3) 計算結果

Bijlaard の式による計算結果を第 5.7 表及び第 5.8 表に示す。

第 5.5 表 局部外力(その 1)

対象物 \ 項目	外径 (外半径)*	自重	荷重作用点 の距離 e	設計外力	
				Fx	Mz
	mm	kg	mm	kN	kN・m
6B	165.2	—	300	6.4	3.6
	(132.5)		0	6.4	3.6
8B	216.3	—	300	14.7	10.8
	(157.5)		0	14.7	10.4
12B	318.5 (255.0)	—	300	23.6	19.7
14B	355.6	—	300	6.4	3.6
	(285.0)		0	29.5	34.4
熱電対交換 ハッチ	3140 (2120)	14600	900	104.6	94.1

\* ( )内の外半径は、Bijlaard の式の計算に用いる半径で、計算点までの半径である。

第 5.6 表 局部外力(その 2)

対象物 \ 項目	外径 (外半径)*	自重	荷重作用点 の距離 e	設計外力	
				Fz	My
	mm	kg	mm	kN	kN・m
熱電対交換 ハッチ	3140 (2120)	14600	900	193.3	79.9

\* ( )内の外半径は、Bijlaard の式の計算に用いる半径で、計算点までの半径である。

第 5.7 表 貫通部スリーブ取付部の局部外力による応力

応力 計算点		Fx による応力 (MPa)						Mz による応力 (MPa)						局部外力による応力の合計 (MPa)					
		一次応力		二次応力		合計		一次応力		二次応力		合計		一次応力		二次応力		合計	
		局部膜		曲げ				局部膜		曲げ				局部膜		曲げ			
		$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$
6B ス リーブ 取付部	Ki	-1.5	-1.5	5.9	9.7	4.5	8.2	-0.3	-0.4	13.8	22.1	13.5	21.7	-1.8	-1.9	19.7	31.7	17.9	29.9
		1.5	1.5	-5.9	-9.7	-4.5	-8.2	0.3	0.4	-13.8	-22.1	-13.5	-21.7	1.8	1.9	-19.7	-31.7	-17.9	-29.9
	Ko	-1.5	-1.5	-5.9	-9.7	-7.4	-11.1	-0.3	-0.4	-13.8	-22.1	-14.1	-22.5	-1.8	-1.9	-19.7	-31.7	-21.4	-33.6
		1.5	1.5	5.9	9.7	7.4	11.1	0.3	0.4	13.8	22.1	14.1	22.5	1.8	1.9	19.7	31.7	21.4	33.6
8B ス リーブ 取付部 (e=300 mm)	Ki	-3.3	-3.3	13.1	21.2	9.8	18	-1.0	-1.3	34.6	56	33.6	54.8	-4.3	-4.6	47.6	77.2	43.4	72.7
		3.3	3.3	-13.1	-21.2	-9.8	-18	1.0	1.3	-34.6	-56	-33.6	-54.8	4.3	4.6	-47.6	-77.2	-43.4	-72.7
	Ko	-3.3	-3.3	-13.1	-21.2	-16.3	-24.5	-1.0	-1.3	-34.6	-56	-35.5	-57.3	-4.3	-4.6	-47.6	-77.2	-51.8	-81.7
		3.3	3.3	13.1	21.2	16.3	24.5	1.0	1.3	34.6	56	35.5	57.3	4.3	4.6	47.6	77.2	51.8	81.7
8B ス リーブ 取付部 (e=0mm )	Ki	-3.3	-3.3	13.1	21.2	9.8	18	-1.0	-1.3	33.4	54.1	32.4	52.8	-4.3	-4.6	46.4	75.3	42.2	70.7
		3.3	3.3	-13.1	-21.2	-9.8	-18	1.0	1.3	-33.4	-54.1	-32.4	-52.8	4.3	4.6	-46.4	-75.3	-42.2	-70.7
	Ko	-3.3	-3.3	-13.1	-21.2	-16.3	-24.5	-1.0	-1.3	-33.4	-54.1	-34.4	-55.3	-4.3	-4.6	-46.4	-75.3	-50.6	-79.8
		3.3	3.3	13.1	21.2	16.3	24.5	1.0	1.3	33.4	54.1	34.4	55.3	4.3	4.6	46.4	75.3	50.6	79.8



応力 計算点		Fx による応力 (MPa)						Mz による応力 (MPa)						局部外力による応力の合計 (MPa)					
		一次応力		二次応力		合計		一次応力		二次応力		合計		一次応力		二次応力		合計	
		局部膜		曲げ				局部膜		曲げ				局部膜		曲げ			
		$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$
14B ス リーブ 取付部 (e=300 mm)	Ki	-1.4	-1.3	4.6	7.4	3.3	6.1	-0.5	-0.4	5.7	9.7	5.2	9.3	-1.9	-1.7	10.3	17.0	8.5	15.3
		1.4	1.3	-4.6	-7.4	-3.3	-6.1	0.5	0.4	-5.7	-9.7	-5.2	-9.3	1.9	1.7	-10.3	-17.0	-8.5	-15.3
	Ko	-1.4	-1.3	-4.6	-7.4	-6.0	-8.7	-0.5	-0.4	-5.7	-9.7	-6.2	-10	-1.9	-1.7	-10.3	-17.0	-12.2	-18.7
		1.4	1.3	4.6	7.4	6.0	8.7	0.5	0.4	5.7	9.7	6.2	10	1.9	1.7	10.3	17.0	12.2	18.7
14B ス リーブ 取付部 (e=0mm )	Ki	-6.1	-5.7	21.2	33.9	15.1	28.2	-4.1	-3.3	55.1	93.1	51.0	89.9	-10.1	-9.0	76.2	126.9	66.1	118.0
		6.1	5.7	-21.2	-33.9	-15.1	-28.2	4.1	3.3	-55.1	-93.1	-51.0	-89.9	10.1	9.0	-76.2	-126.9	-66.1	-118.0
	Ko	-6.1	-5.7	-21.2	-33.9	-27.3	-39.6	-4.1	-3.3	-55.1	-93.1	-59.1	-96.3	-10.1	-9.0	-76.2	-126.9	-86.3	-135.9
		6.1	5.7	21.2	33.9	27.3	39.6	4.1	3.3	55.1	93.1	59.1	96.3	10.1	9.0	76.2	126.9	86.3	135.9
12B ス リーブ 取付部	Li	-1.0	-0.9	3.8	4.8	2.8	4.0	-0.9	-0.7	10.3	17.8	9.5	17.1	-1.9	-1.6	14.1	22.6	12.2	21.0
		1.0	0.9	-3.8	-4.8	-2.8	-4.0	0.9	0.7	-10.3	-17.8	-9.5	-17.1	1.9	1.6	-14.1	-22.6	-12.2	-21.0
	Lo	-1.0	-0.9	-3.8	-4.8	-4.7	-5.7	-0.9	-0.7	-10.3	-17.8	-11.2	-18.5	-1.9	-1.6	-14.1	-22.6	-15.9	-24.2
		1.0	0.9	3.8	4.8	4.7	5.7	0.9	0.7	10.3	17.8	11.2	18.5	1.9	1.6	14.1	22.6	15.9	24.2

(注)  $\sigma_z : \sigma_z=0$  e : 荷重作用点の距離

第 5.8 表 熱電対交換ハッチ取付部の局部外力による応力

計算点 応力		Fx による応力 (MPa)						Mz による応力 (MPa)						My による応力 (MPa)					
		一次応力		二次応力		合計		一次応力		二次応力		合計		一次応力		二次応力		合計	
		局部膜		曲げ				局部膜		曲げ				局部膜		曲げ			
		$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$
熱電 対交 換ハ ッチ 取付 部	Hi	-8.7	-2.5	5.0	14.5	-3.7	12.0	-4.6	-1.4	6.0	15.2	1.4	13.8	-0.6	-1.3	1.0	1.0	0.4	-0.4
		8.7	2.5	-5.0	-14.5	3.7	-12.0	4.6	1.4	-6.0	-15.2	-1.4	-13.8	0.6	1.3	-1.0	-1.0	-0.4	0.4
	Ho	-8.7	-2.5	-5.0	-14.5	-13.7	-17.0	-4.6	-1.4	-6.0	-15.2	-10.5	-16.5	-0.6	-1.3	-1.0	-1.0	-1.5	-2.2
		8.7	2.5	5.0	14.5	13.7	17.0	4.6	1.4	6.0	15.2	10.5	16.5	0.6	1.3	1.0	1.0	1.5	2.2

計算点 応力		Fz による応力 (MPa)		局部外力による応力の合計 (MPa)							
		一次応力		一次応力		二次応力		合計			
		せん断		局部膜		せん断					曲げ
		$\tau_{xy}$		$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$
熱電 対交 換ハ ッチ 取付 部	Hi	-1.1		-13.8	-5.2	-1.1	11.9	30.5	-2.0	25.4	-1.1
		1.1		13.8	5.2	1.1	-11.9	-30.5	2.0	-25.4	1.1
	Ho	-1.1		-13.8	-5.2	-1.1	-11.9	-30.5	-25.6	-35.6	-1.1
		1.1		13.8	5.2	1.1	11.9	30.5	25.6	35.6	1.1

(注)  $\sigma_z=0$

## 5.2 附属設備の取付部の許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S

### (1) 許容応力強さ

#### i. 応力強さ及び許容限界値

既往の設工認の応力強さに基準地震動  $S_s$  による軸方向応力及び局部外力による応力の発生値を保守的に足し合わせた応力強さと許容限界値を第 5.9 表、第 5.10 表に示す。

なお、配管が接続する貫通部スリーブに発生する局部外力による応力は、配管に対する地震時の許容応力に対応する軸力及び曲げモーメントの局部外力であり、基準地震動  $S_s$  によって配管に加わる局部外力より大きいため、足し合わせしないものとする。

#### ii. 評価

各計算点は、いずれも荷重の組合せにおいて、応力強さの許容限界値を満足している。

### (2) 許容せん断応力

せん断応力は 9MPa (既往の設工認 4MPa と本評価 5MPa との足し合わせ)、許容せん断応力は 169MPa である。

### (3) 許容支圧応力

解析対象部位には、評価の対象となる支圧荷重を受ける部位はない。

第 5.9 表 許容応力状態IV<sub>A</sub>S における応力強さ(その 1)

応力計算点		一次一般膜応力強さ (MPa)			一次応力強さ (MPa)		
		$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$
熱電対交換 ハッチ取付 部	Hi	-103 (=-60-43)	122	-106 (=-63-43)	-97 (=-54-43)	173 (=130+43)	-120 (=-77-43)
		-47 (=-4-43)	-8	54 (=11+43)	-54 (=-11-43)	-57 (=-14-43)	67 (=24+43)
	Ho	-103 (=-60-43)	122	-106 (=-63-43)	-97 (=-54-43)	173 (=130+43)	-120 (=-77-43)
		-47 (=-4-43)	-8	54 (=11+43)	-54 (=-11-43)	-57 (=-14-43)	67 (=24+43)
6B 貫通部ス リーブ取付 部 (荷重作用 点の距離 e=300mm)	Ki	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	134 (=124+10)	-79 (=-69-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-6-10)	-20 (=-10-10)	26 (=16+10)
	Ko	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	134 (=124+10)	-79 (=-69-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-17 (=-7-10)	-17 (=-7-10)	24 (=14+10)
6B 貫通部ス リーブ取付 部 (荷重作用 点の距離 e=0mm)	Ki	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	134 (=124+10)	-79 (=-69-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-6-10)	-20 (=-10-10)	26 (=16+10)
	Ko	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	134 (=124+10)	-79 (=-69-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-17 (=-7-10)	-17 (=-7-10)	24 (=14+10)
8B 貫通部ス リーブ取付 部 (荷重作用 点の距離 e=300mm)	Ki	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	137 (=127+10)	-81 (=-71-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-6-10)	-22 (=-12-10)	28 (=18+10)
	Ko	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	137 (=127+10)	-81 (=-71-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-6-10)	-22 (=-12-10)	28 (=18+10)

応力計算点		一次一般膜応力強さ (MPa)			一次応力強さ (MPa)		
		$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$
8B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=0mm)	Ki	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	137 (=127+10)	-81 (=-71-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-6-10)	-22 (=-12-10)	28 (=18+10)
	Ko	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	137 (=127+10)	-81 (=-71-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-6-10)	-22 (=-12-10)	28 (=18+10)
14B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=300mm)	Ki	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-56-10)	134 (=124+10)	-79 (=-69-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-16-10)	-20 (=-10-10)	26 (=16+10)
	Ko	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-66 (=-5-10)	134 (=124+10)	-79 (=-69-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-16 (=-6-10)	-17 (=-7-10)	26 (=16+10)
14B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=0mm)	Ki	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-65 (=-55-10)	141 (=131+10)	-87 (=-77-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-18 (=-8-10)	-26 (=-16-10)	34 (=24+10)
	Ko	-66 (=-56-10)	122	-77 (=-67-10)	-65 (=-55-10)	141 (=131+10)	-87 (=-77-10)
		-16 (=-6-10)	-9	24 (=14+10)	-18 (=-8-10)	-26 (=-16-10)	34 (=24+10)
12B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=300mm)	Li	-6 (=-5-1)	10	-6 (=-5-1)	-5 (=-4-1)	12 (=11+1)	-8 (=-7-1)
		2 (=1+1)	-2	3 (=2+1)	-2 (=-1-1)	-4 (=-3-1)	4 (=3+1)
	Lo	-6 (=-5-1)	10	-6 (=-5-1)	-5 (=-4-1)	12 (=11+1)	-8 (=-7-1)
		2 (=1+1)	-2	3 (=2+1)	-2 (=-1-1)	-4 (=-3-1)	4 (=3+1)
許容値		131			197		

第 5.10 表 許容応力状態IV<sub>A</sub>S における応力強さ(その 2)

応力計算点		一次+二次応力強さ (MPa)			
		$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$	最大値と最小値の差
熱電対交換ハッチ 取付部	Hi	-72 (=-29-43)	66 (=23+43)	49 (=6+43)	144
		72 (=29+43)	-66 (=-23-43)	-49 (=-6-43)	
	Ho	48 (=5+43)	-75 (=-32-43)	70 (=27+43)	150
		-48 (=-5-43)	75 (=32+43)	-70 (=-27-43)	
6B 貫通部スリー ブ取付部 (荷重作用点の距 離 e=300mm)	Ki	-29 (=-19-10)	42 (=32+10)	-23 (=-13-10)	84
		29 (=19+10)	-42 (=-32-10)	23 (=13+10)	
	Ko	17 (=7+10)	-45 (=-35-10)	39 (=29+10)	90
		-17 (=-17-10)	45 (=35+10)	-39 (=-29-10)	
6B 貫通部スリー ブ取付部 (荷重作用点の距 離 e=0mm)	Ki	-29 (=-19-10)	42 (=32+10)	-23 (=-13-10)	84
		29 (=19+10)	-42 (=-32-10)	23 (=13+10)	
	Ko	17 (=7+10)	-45 (=-35-10)	39 (=29+10)	90
		-17 (=-17-10)	45 (=35+10)	-39 (=-29-10)	
8B 貫通部スリー ブ取付部 (荷重作用点の距 離 e=300mm)	Ki	-47 (=-37-10)	84 (=74+10)	-48 (=-38-10)	168
		47 (=37+10)	-84 (=-74-10)	48 (=38+10)	
	Ko	35 (=25+10)	-93 (=-83-10)	69 (=59+10)	186
		-35 (=-25-10)	93 (=83+10)	-69 (=-59-10)	

応力計算点		一次+二次応力強さ (MPa)			
		$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$	最大値と最小値の差
8B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=0mm)	Ki	-46 (=-36-10)	82 (=72+10)	-47 (=-37-10)	164
		46 (=36+10)	-82 (=-72-10)	47 (=37+10)	
	Ko	34 (=24+10)	-91 (=-81-10)	68 (=58+10)	182
		-34 (=-24-10)	91 (=81+10)	-68 (=-58-10)	
14B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=300mm)	Ki	-25 (=-15-10)	27 (=17+10)	-13 (=-3-10)	54
		25 (=15+10)	-27 (=-17-10)	13 (=3+10)	
	Ko	11 (=1+10)	-31 (=-21-10)	30 (=20+10)	62
		-11 (=-1-10)	31 (=21+10)	-30 (=-20-10)	
14B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=0mm)	Ki	-69 (=-59-10)	129 (=119+10)	-71 (=-61-10)	258
		69 (=59+10)	-129 (=-119-10)	71 (=61+10)	
	Ko	-55 (=-45-10)	-147 (=-137-10)	104 (=94+10)	294
		55 (=45+10)	147 (=137+10)	-104 (=-94-10)	
12B 貫通部スリーブ取付部 (荷重作用点の距離 e=300mm)	Li	-11 (=-10-1)	23 (=22+1)	-14 (=-13-1)	46
		11 (=10+1)	-23 (=-22-1)	14 (=13+1)	
	Lo	10 (=9+1)	-26 (=-25-1)	18 (=17+1)	52
		-10 (=-9-1)	26 (=25+1)	-18 (=-17-1)	
許容値		—			394

## 6. まとめ

4.2 本体胴の許容応力状態 $IV_A S$ 、4.3 本体胴の座屈に対する評価及び5.2 附属設備の取付部の許容応力状態 $IV_A S$  に示すとおり、発生値は、評価基準値を満足している。よって、原子炉格納容器が原子炉格納容器内の S クラスの機器・配管系及び S クラスの原子炉格納容器貫通部配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。



1-5-4. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(原子炉建家天井クレーンの波及的影響評価)

## 目次

1. 原子炉建家天井クレーンの波及的影響評価.....	添 1 - 5 - 4 - 1
2. 基本方針 .....	添 1 - 5 - 4 - 1
2.1 概要.....	添 1 - 5 - 4 - 1
2.2 構造の説明.....	添 1 - 5 - 4 - 2
2.3 評価方針.....	添 1 - 5 - 4 - 3
2.4 適用規格.....	添 1 - 5 - 4 - 3
3. 耐震評価箇所 .....	添 1 - 5 - 4 - 4
4. 地震応答解析 .....	添 1 - 5 - 4 - 5
4.1 基本方針.....	添 1 - 5 - 4 - 5
4.2 評価用地震動.....	添 1 - 5 - 4 - 6
4.3 解析モデル及び諸元.....	添 1 - 5 - 4 - 15
4.4 応答解析結果.....	添 1 - 5 - 4 - 17
5. 応力評価及び荷重評価.....	添 1 - 5 - 4 - 23
5.1 基本方針.....	添 1 - 5 - 4 - 23
5.2 荷重の組合せ及び許容応力.....	添 1 - 5 - 4 - 23
5.3 クレーン本体の応力評価方法.....	添 1 - 5 - 4 - 27
5.4 落下に対する評価方法.....	添 1 - 5 - 4 - 30
5.5 車輪の応力評価方法.....	添 1 - 5 - 4 - 31
5.6 レールの応力評価方法.....	添 1 - 5 - 4 - 33
5.7 吊具の荷重評価方法.....	添 1 - 5 - 4 - 37
5.8 クレーン本体の応力評価条件.....	添 1 - 5 - 4 - 38
5.9 落下に対する評価条件.....	添 1 - 5 - 4 - 39
5.10 車輪の応力評価条件.....	添 1 - 5 - 4 - 39
5.11 レールの応力評価条件.....	添 1 - 5 - 4 - 40
5.12 吊具の荷重評価条件.....	添 1 - 5 - 4 - 40
6. 評価結果 .....	添 1 - 5 - 4 - 41
7. まとめ .....	添 1 - 5 - 4 - 47

## 表 目 次

第 2.1 表	原子炉建家天井クレーンの構造概要.....	添 1 - 5 - 4 - 2
第 4.1 表	Ss-1 地震動 .....	添 1 - 5 - 4 - 9
第 4.2 表	Ss-2 地震動 .....	添 1 - 5 - 4 - 10
第 4.3 表	Ss-3 地震動 .....	添 1 - 5 - 4 - 11
第 4.4 表	Ss-4 地震動 .....	添 1 - 5 - 4 - 12
第 4.5 表	Ss-5 地震動 .....	添 1 - 5 - 4 - 13
第 4.6 表	Ss-D 地震動 .....	添 1 - 5 - 4 - 14
第 4.7 表	機器諸元 (質量) .....	添 1 - 5 - 4 - 16
第 4.8 表	機器諸元 (断面性状) .....	添 1 - 5 - 4 - 16
第 4.9 表	Ss-1 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 5 - 4 - 17
第 4.10 表	Ss-2 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 5 - 4 - 18
第 4.11 表	Ss-3 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 5 - 4 - 19
第 4.12 表	Ss-4 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 5 - 4 - 20
第 4.13 表	Ss-5 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 5 - 4 - 21
第 4.14 表	Ss-D 地震動 応答解析結果 .....	添 1 - 5 - 4 - 22
第 5.1 表	荷重の組合せ及び許容応力状態 (Ss) .....	添 1 - 5 - 4 - 24
第 5.2 表	許容応力 (その他の支持構造物) .....	添 1 - 5 - 4 - 24
第 5.3 表	許容応力 (Ss) .....	添 1 - 5 - 4 - 25
第 5.4 表	吊具の許容荷重 (Ss) .....	添 1 - 5 - 4 - 26
第 5.5 表	記号の説明 .....	添 1 - 5 - 4 - 28
第 5.6 表	記号の説明 .....	添 1 - 5 - 4 - 30
第 5.7 表	記号の説明 .....	添 1 - 5 - 4 - 31
第 5.8 表	記号の説明 .....	添 1 - 5 - 4 - 34
第 5.9 表	記号の説明 .....	添 1 - 5 - 4 - 36
第 5.10 表	記号の説明 .....	添 1 - 5 - 4 - 37
第 6.1 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-1 波) ...	添 1 - 5 - 4 - 41
第 6.2 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-2 波) ...	添 1 - 5 - 4 - 42
第 6.3 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-3 波) ...	添 1 - 5 - 4 - 43
第 6.4 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-4 波) ...	添 1 - 5 - 4 - 44
第 6.5 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-5 波) ...	添 1 - 5 - 4 - 45
第 6.6 表	原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-D 波) ...	添 1 - 5 - 4 - 46

## 目 次

第 2.1 図	原子炉建家天井クレーン概要図.....	添 1 - 5 - 4 - 1
第 2.2 図	原子炉建家天井クレーンの耐震評価フロー.....	添 1 - 5 - 4 - 3
第 4.1 図	原子炉建家天井クレーンの方位とモデル化.....	添 1 - 5 - 4 - 5
第 4.2 図	原子炉建家モデル(水平方向).....	添 1 - 5 - 4 - 7
第 4.3 図	原子炉建家モデル(鉛直方向).....	添 1 - 5 - 4 - 8
第 4.4 図	Ss-1 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 9
第 4.5 図	Ss-1 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 9
第 4.6 図	Ss-1 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 9
第 4.7 図	Ss-2 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 10
第 4.8 図	Ss-2 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 10
第 4.9 図	Ss-2 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 10
第 4.10 図	Ss-3 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 11
第 4.11 図	Ss-3 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 11
第 4.12 図	Ss-3 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 11
第 4.13 図	Ss-4 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 12
第 4.14 図	Ss-4 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 12
第 4.15 図	Ss-4 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 12
第 4.16 図	Ss-5 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 13
第 4.17 図	Ss-5 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 13
第 4.18 図	Ss-5 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 13
第 4.19 図	Ss-D 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 14
第 4.20 図	Ss-D 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 14
第 4.21 図	Ss-D 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形.....	添 1 - 5 - 4 - 14
第 4.22 図	解析モデル.....	添 1 - 5 - 4 - 15
第 5.1 図	ガーダの評価断面図.....	添 1 - 5 - 4 - 29
第 5.2 図	車輪とレールの状態.....	添 1 - 5 - 4 - 30
第 5.3 図	車輪つば部の評価断面図.....	添 1 - 5 - 4 - 32
第 5.4 図	横行レール取付金物の負担個数設定の概念図.....	添 1 - 5 - 4 - 34
第 5.5 図	走行レール取付金物の負担個数設定の概念図.....	添 1 - 5 - 4 - 36
第 5.6 図	走行レール取付金物溶接部の詳細図.....	添 1 - 5 - 4 - 36

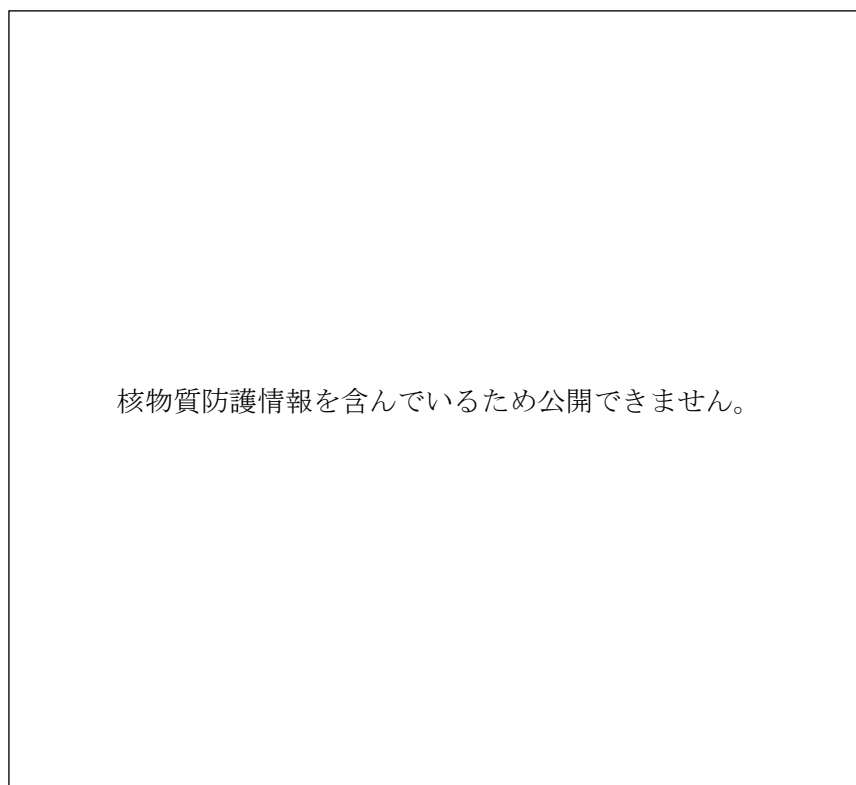
## 1. 原子炉建家天井クレーンの波及的影響評価

本評価は、原子炉建家天井クレーンの波及的影響を評価するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 概要

原子炉建家天井クレーンは第 2.1 図に示すように、燃料取扱フロアの一部に設置されており、地震により落下した場合には、耐震 S クラスの使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール及び原子炉格納容器内に設置されている耐震 S クラスの機器・配管系への波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、基準地震動  $S_s$  により原子炉建家天井クレーンの波及的影響を評価する。



第 2.1 図 原子炉建家天井クレーン概要図

## 2.2 構造の説明

天井クレーンの構造概要を第 2.1 表に示す。

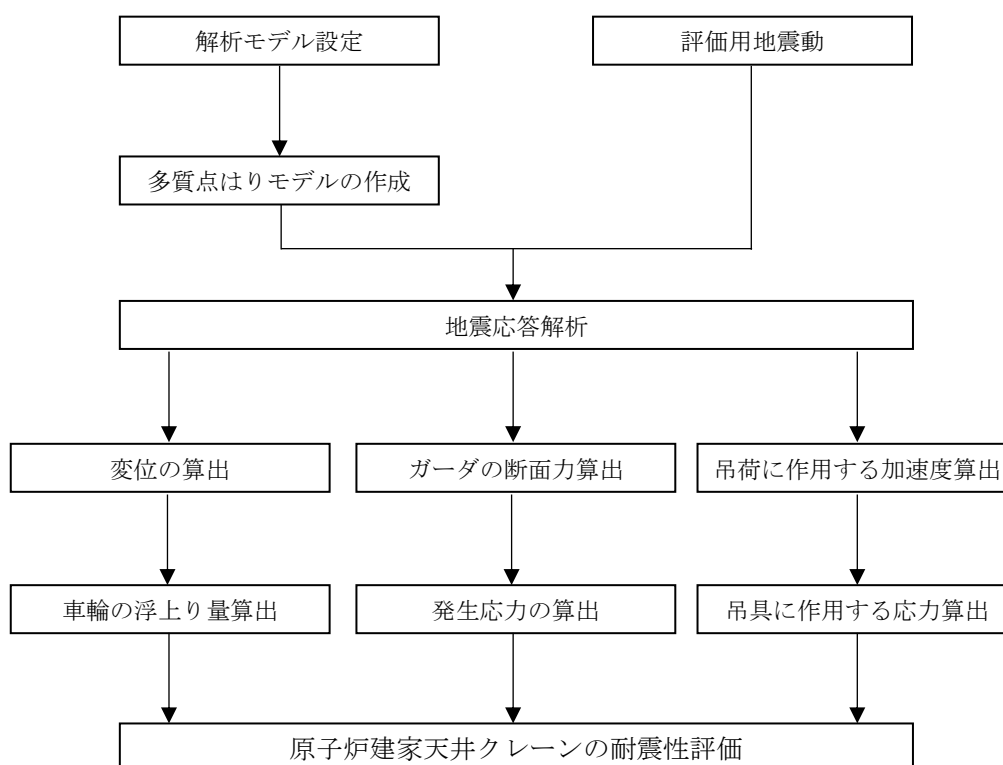
第 2.1 表 原子炉建家天井クレーンの構造概要

設備名称	構造概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建家天井クレーン	クラブトロリ式天井クレーン	天井クレーンは燃料取扱フロア上部に設置され、走行レール上を走行するブリッジとブリッジ上を横行するトロリにより構成される。ブリッジは2本のガーダ、サドル、走行装置等からなり、トロリはトロリフレーム、巻き上げ装置、横行装置等から構成されている。	

### 2.3 評価方針

原子炉建家天井クレーンの波及的影響を評価するため Ss 波を用いた動的解析を行う。  
原子炉建家天井クレーンの耐震性評価フローを第 2.2 図に示す。

なお、本解析及び評価は、「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書」(平成 21 年 12 月 独立行政法人原子力安全基盤機構) (以下、「クレーン類の耐震試験報告書」という。) に準じて実施する。



第 2.2 図 原子炉建家天井クレーンの耐震評価フロー

### 2.4 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書」(平成 21 年 12 月 独立行政法人原子力安全基盤機構)
- ・クレーン構造規格(平成七年労働省告示第一三四号)
- ・JSME S NC1
- ・鋼構造設計規準(日本建築学会)
- ・発電用原子力設備規格設計・建設規格

### 3. 耐震評価箇所

原子炉建家天井クレーンの耐震性評価は、本体及び吊荷の落下により、燃料取扱フロアへの重要機器が損傷することを防止するため、以下を選定して実施する。

#### (1) クレーン本体

クレーン本体については、ガーダの応力評価を実施する。

#### (2) 落下の評価

車輪の浮上り高さの確認により、浮上り高さと車輪のつば高さの関係、浮上り車輪数により落下の危険性を評価する。

#### (3) 車輪の評価

クレーン類の耐震試験報告書に準じて以下に示す値を各レールの直角方向力(レール作用力)とし、車輪のつばの応力評価を実施する。

- ・ 走行車輪：吊荷以外の質量に X(NS) 方向入力地震波の最大瞬間加速度の 1.2 倍の値を乗じた値を地震時走行レール直角方向力とする。
- ・ 横行車輪：トロリ重量に走行車輪の静止摩擦係数 0.3 を乗じた値を地震時横行レール直角方向力とする。

#### (4) レールの評価

「車輪の評価」に用いたレール直角方向力により、レール取付ボルトとレール取付金具溶接部の応力評価を実施する。

#### (5) 吊具の評価

吊具については、ワイヤロープの評価を実施する。

原子炉建家天井クレーンの応力解析による評価基準値は、許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S における許容応力値とし、具体的な数値は「5. 応力評価及び荷重評価」に示す。落下に評価に関する評価基準は、車輪の浮上り量が車輪つば高さを超えた場合、同時に浮上った車輪の数が 2 輪以下であれば落下しないものとし、詳細は「5.4 落下に対する評価方法」に示す。



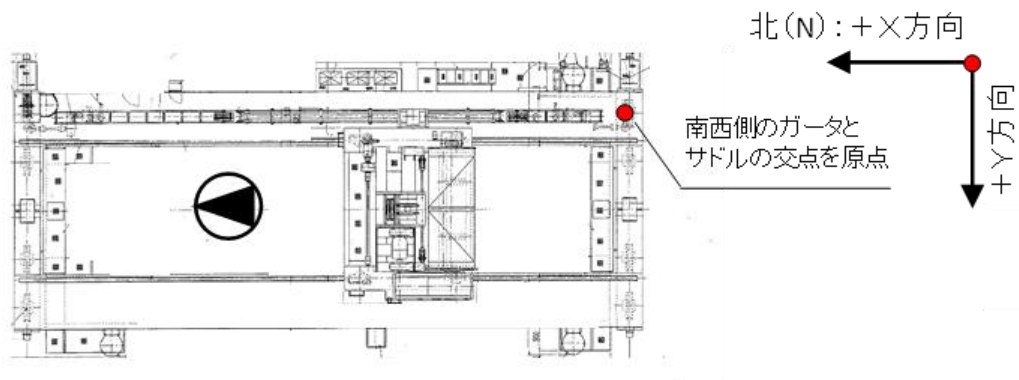
#### 4. 地震応答解析

原子炉建家天井クレーンの耐震性評価に用いる地震荷重及び荷重評価に用いる加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。

##### 4.1 基本方針

原子炉建家天井クレーンの耐震性評価の基本方針を以下に示す。

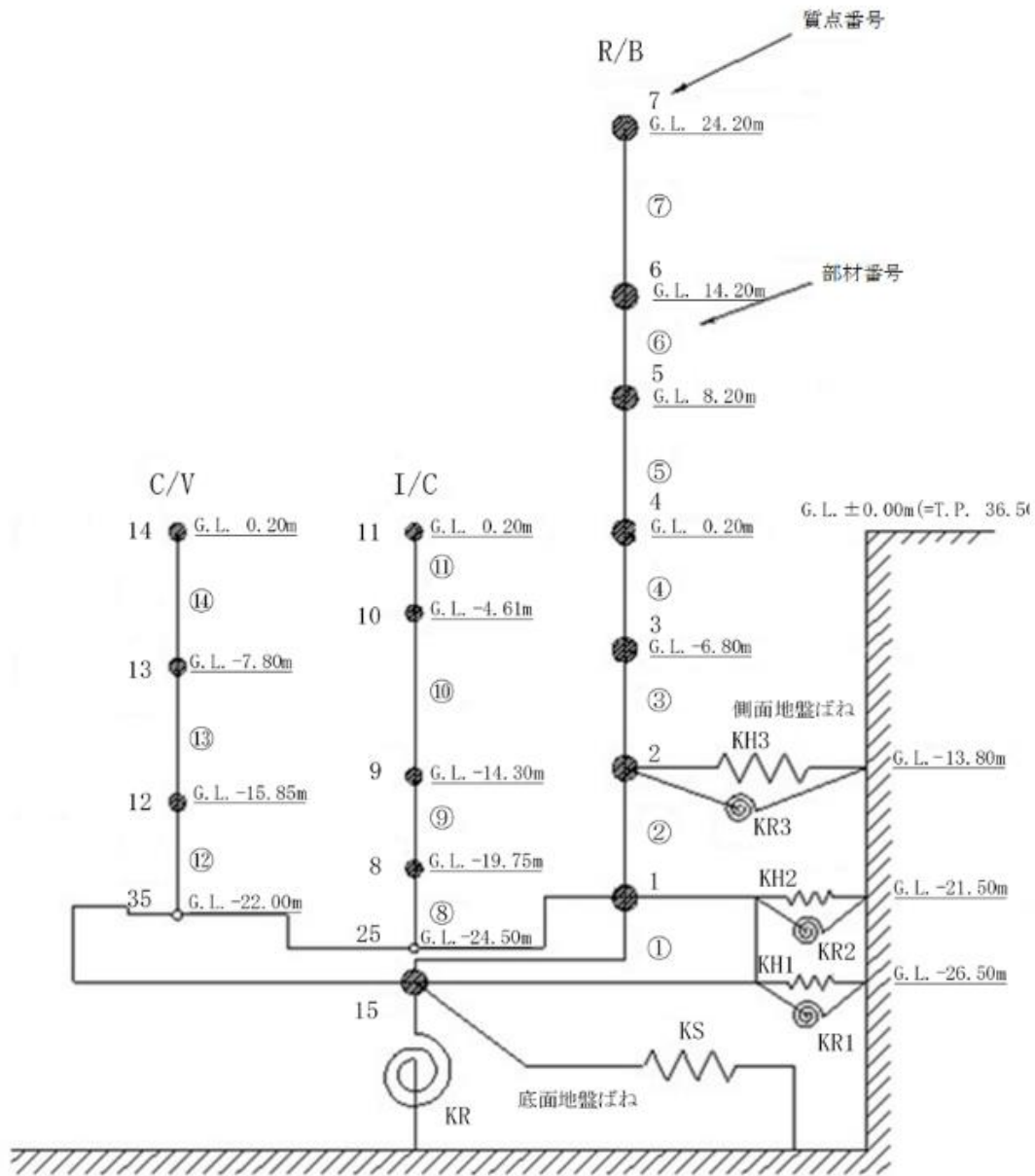
- (1) 天井クレーンのモデル化は、既往の設工認、図面等から、天井クレーンの形状、寸法、重量等を適切に再現した3次元モデルを作成する。原子炉建家天井クレーンの方位を第4.1図に示す。
- (2) モデルは、耐震解析を実施するうえで技術的に適切なモデルとし、耐震解析に用いる寸法は公称値を使用する。
- (3) 耐震解析に係る解析手法は、「クレーン類の耐震試験報告書」と整合を図ること。
- (4) 解析方法は、幾何学的非線形を考慮した時刻歴応答解析とし、車輪とレールの“すべり／浮上り／衝突”を考慮した解析を行う。解析コードは(3)に準じ「ABAQUS(ダッソー・システムズ株式会社)」を使用する。



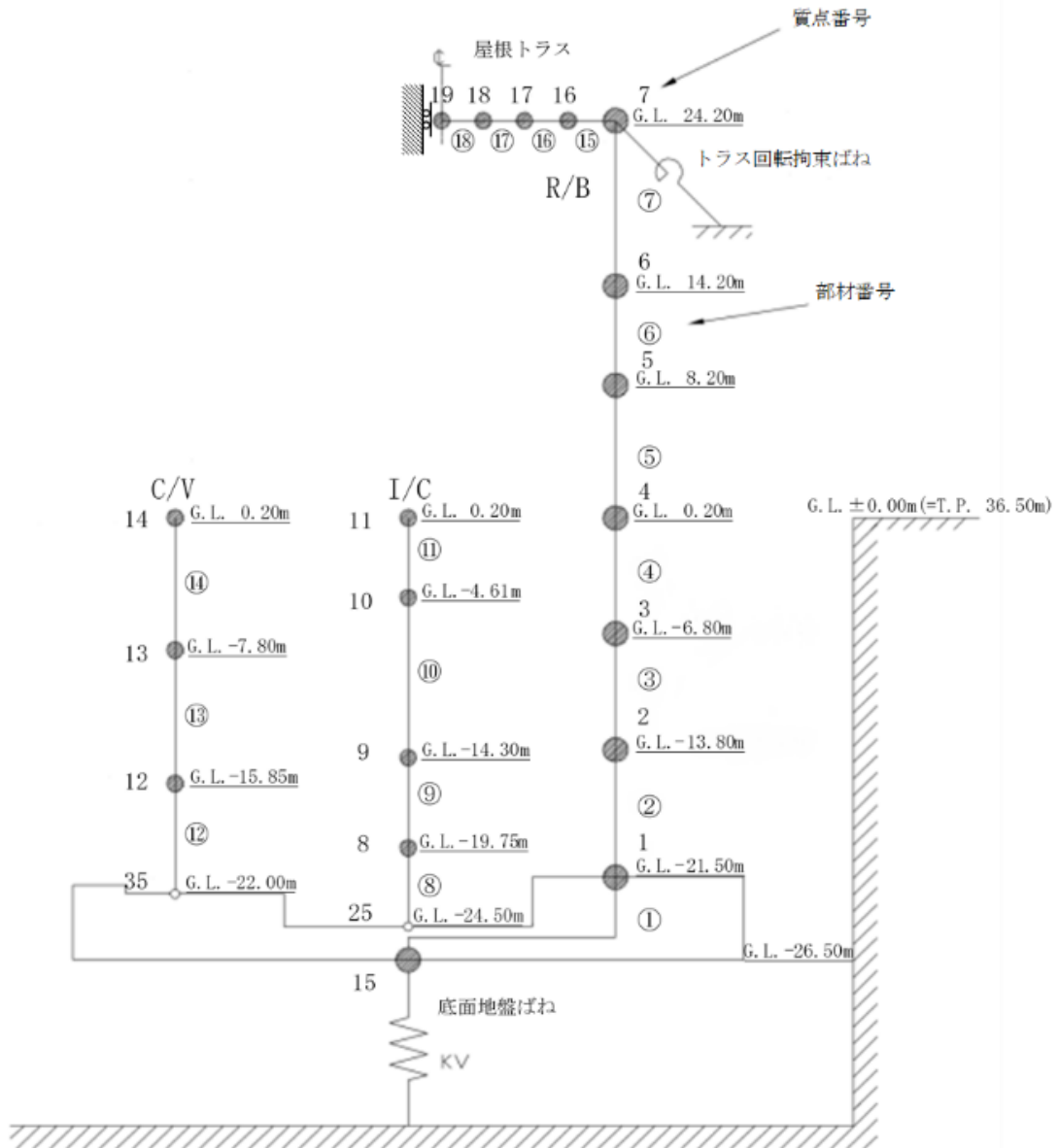
第 4.1 図 原子炉建家天井クレーンの方位とモデル化

#### 4.2 評価用地震動

- (1) 耐震計算に用いる評価用地震動は、第4.2図及び第4.3図に示す原子炉建家モデルにより時刻歴応答解析で算定された、クレーン設置位置に最も近い高さにある節点(T.P.50.7[m]、節点番号6)の応答加速度を用いる。第4.1表から第4.6表及び第4.4図から第4.21図に解析に用いる地震動を示す。
- (2) 時刻歴入力位置は走行車輪位置とする。
- (3) 地震波入力方向については、NS方向時刻歴応答加速度波をモデルX方向に入力し、EW方向時刻歴応答加速度波モデルY方向に入力する。
- (4) 地震力は水平2方向と鉛直1方向地震力を同時入力し解析を実施する。



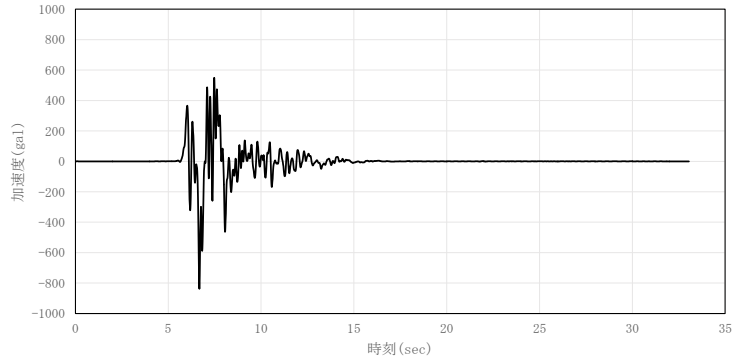
第 4.2 図 原子炉建家モデル(水平方向)



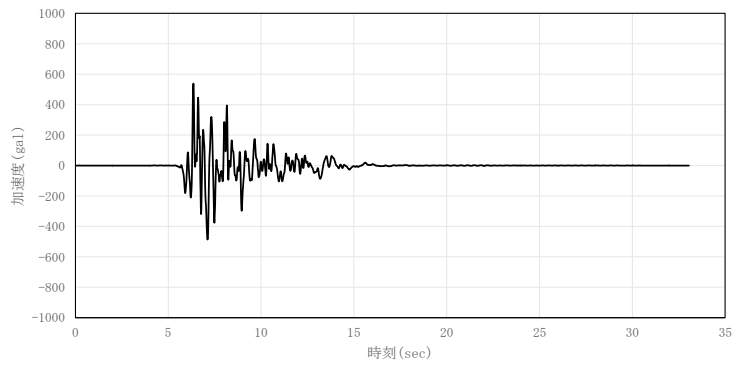
第 4.3 図 原子炉建家モデル(鉛直方向)

第 4.1 表 Ss-1 地震動

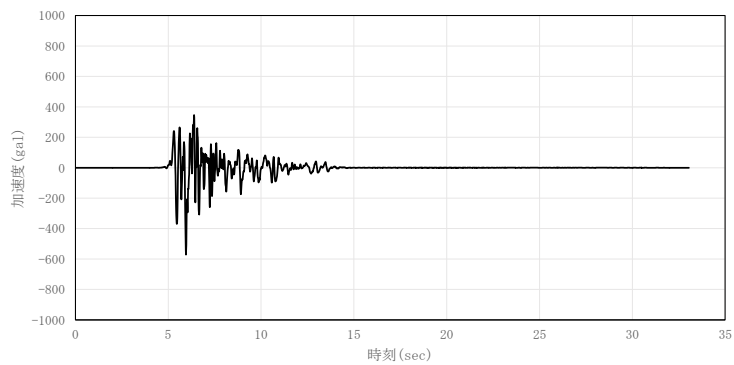
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	-838(gal)
6	EW	539(gal)
6	UD	-572(gal)



第 4.4 図 Ss-1 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



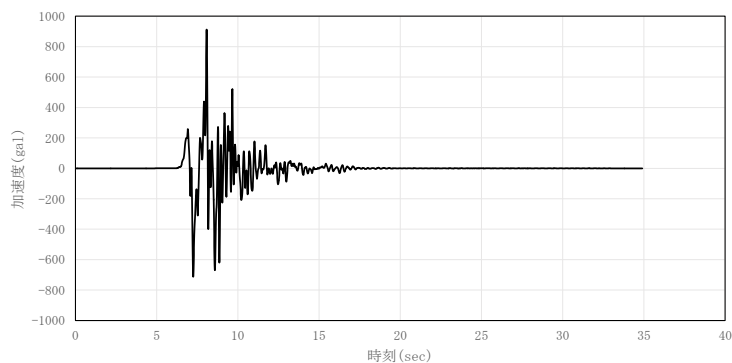
第 4.5 図 Ss-1 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



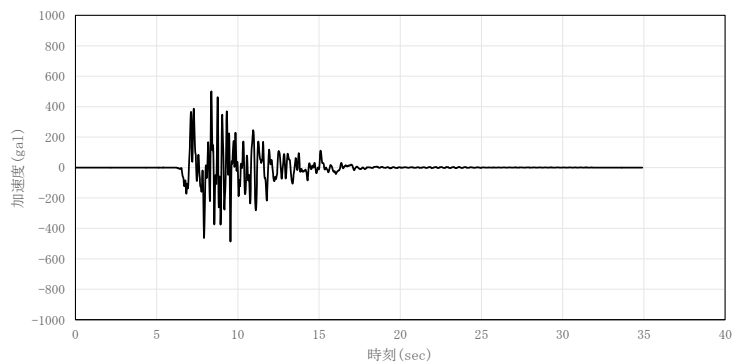
第 4.6 図 Ss-1 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.2 表 Ss-2 地震動

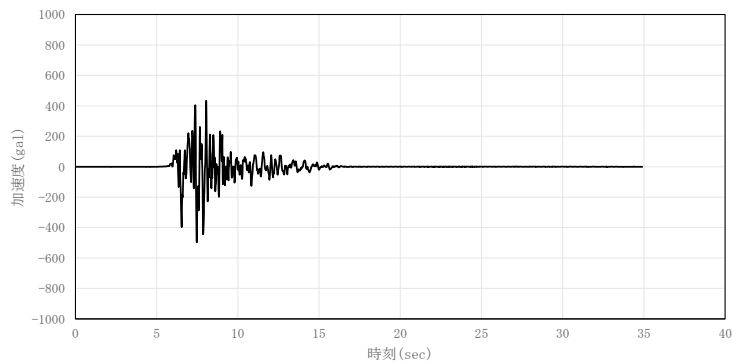
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	913 (gal)
6	EW	501 (gal)
6	UD	-497 (gal)



第 4.7 図 Ss-2 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



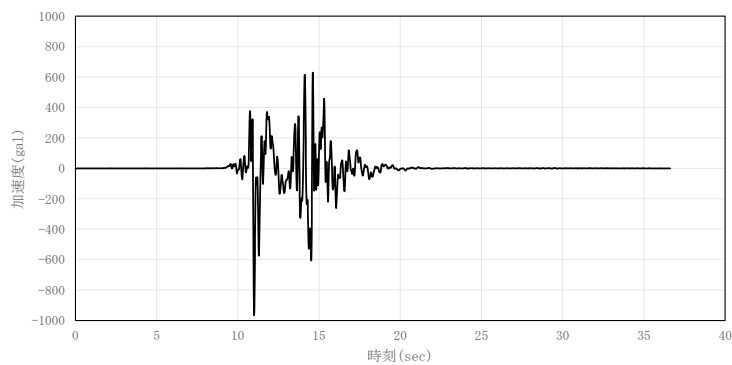
第 4.8 図 Ss-2 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



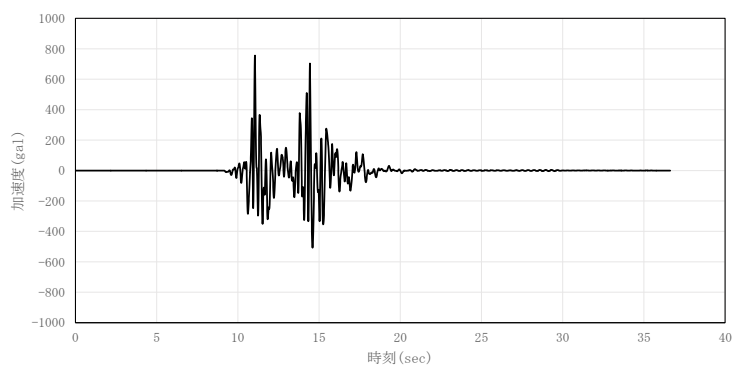
第 4.9 図 Ss-2 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.3 表 Ss-3 地震動

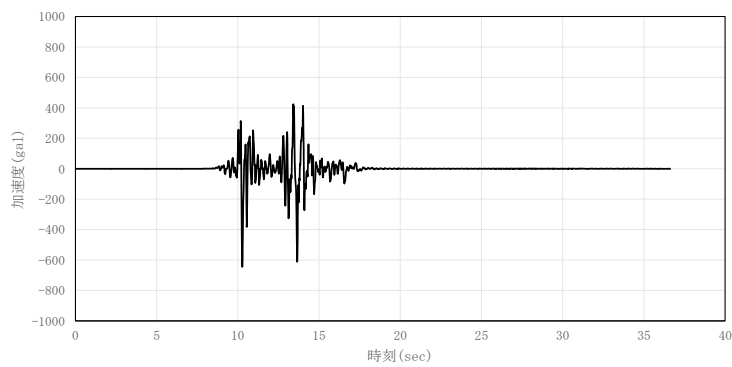
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	-966 (gal)
6	EW	756 (gal)
6	UD	-646 (gal)



第 4.10 図 Ss-3 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



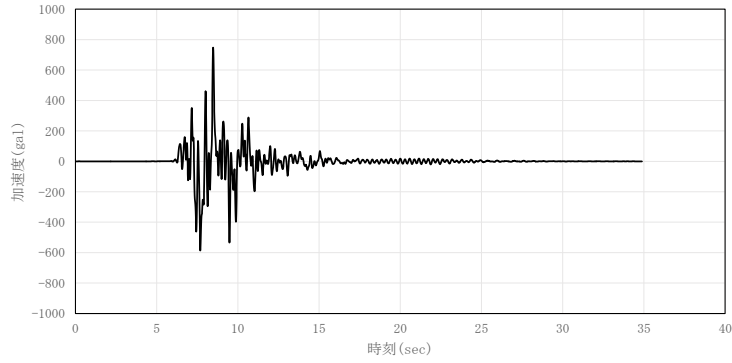
第 4.11 図 Ss-3 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



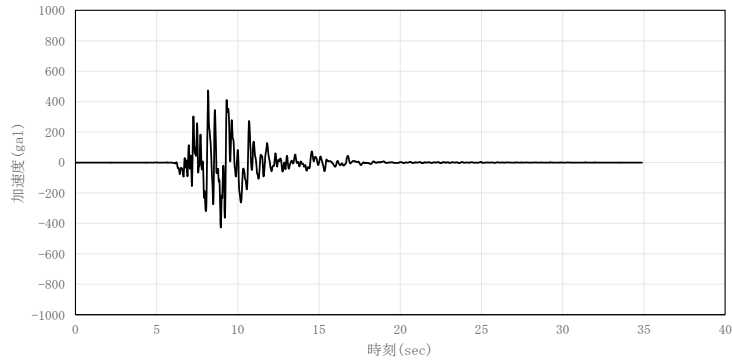
第 4.12 図 Ss-3 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.4 表 Ss-4 地震動

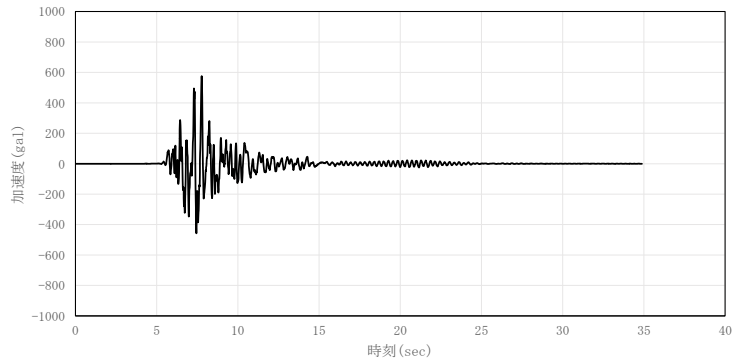
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	748 (gal)
6	EW	474 (gal)
6	UD	576 (gal)



第 4.13 図 Ss-4 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.14 図 Ss-4 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形

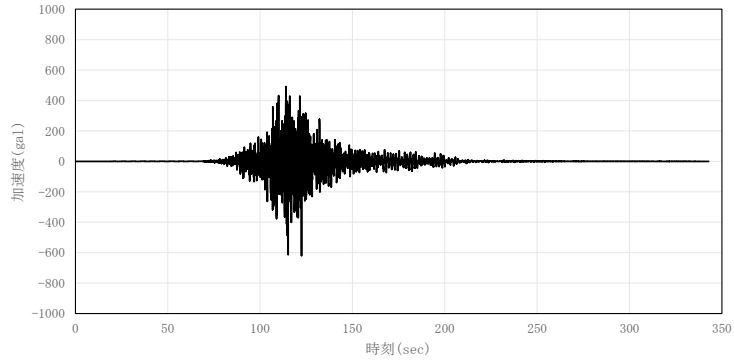


第 4.15 図 Ss-4 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

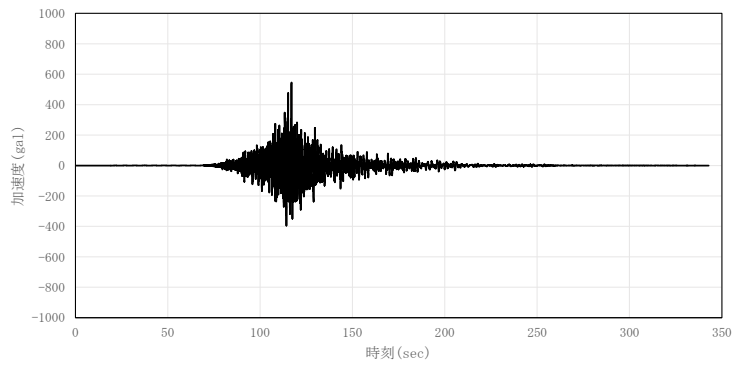


第 4.5 表 Ss-5 地震動

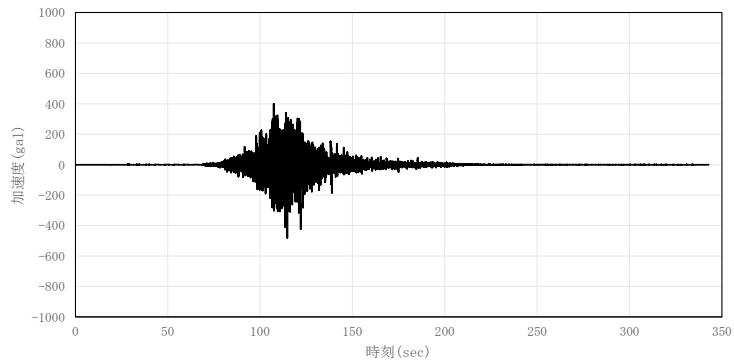
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	-621 (gal)
6	EW	546 (gal)
6	UD	-481 (gal)



第 4.16 図 Ss-5 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



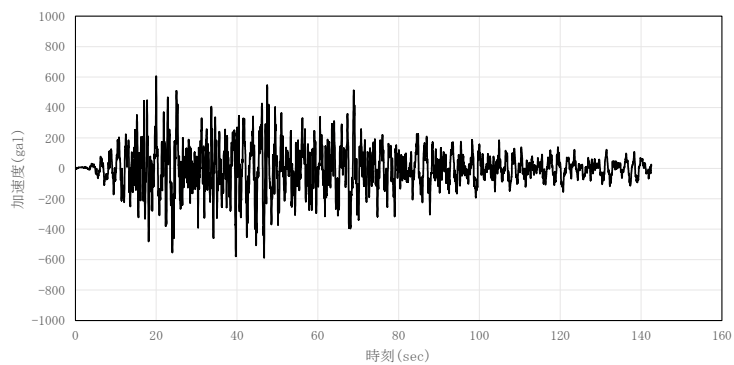
第 4.17 図 Ss-5 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



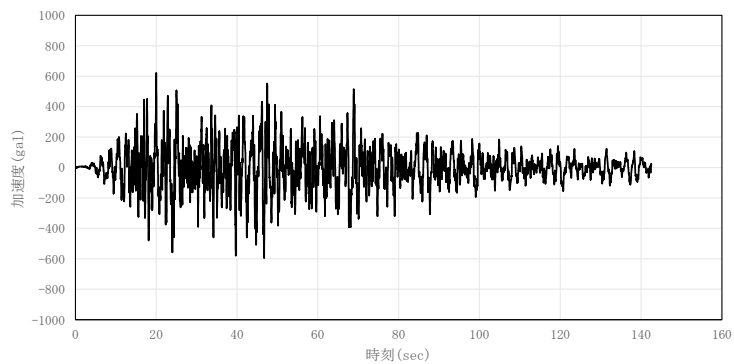
第 4.18 図 Ss-5 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

第 4.6 表 Ss-D 地震動

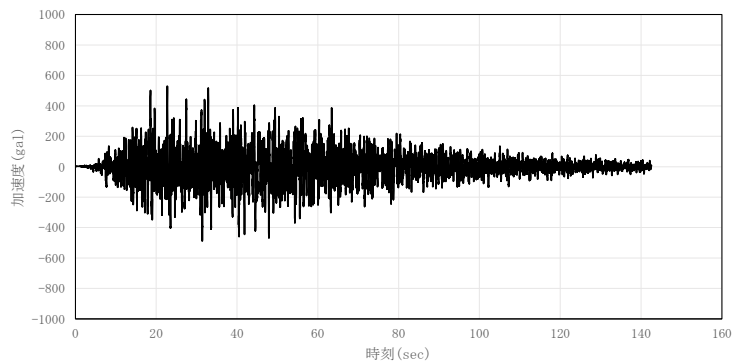
Node No.	地震方向	最大加速度
6	NS	607 (gal)
6	EW	622 (gal)
6	UD	530 (gal)



第 4.19 図 Ss-D 地震動 NS 方向時刻歴応答加速度波形



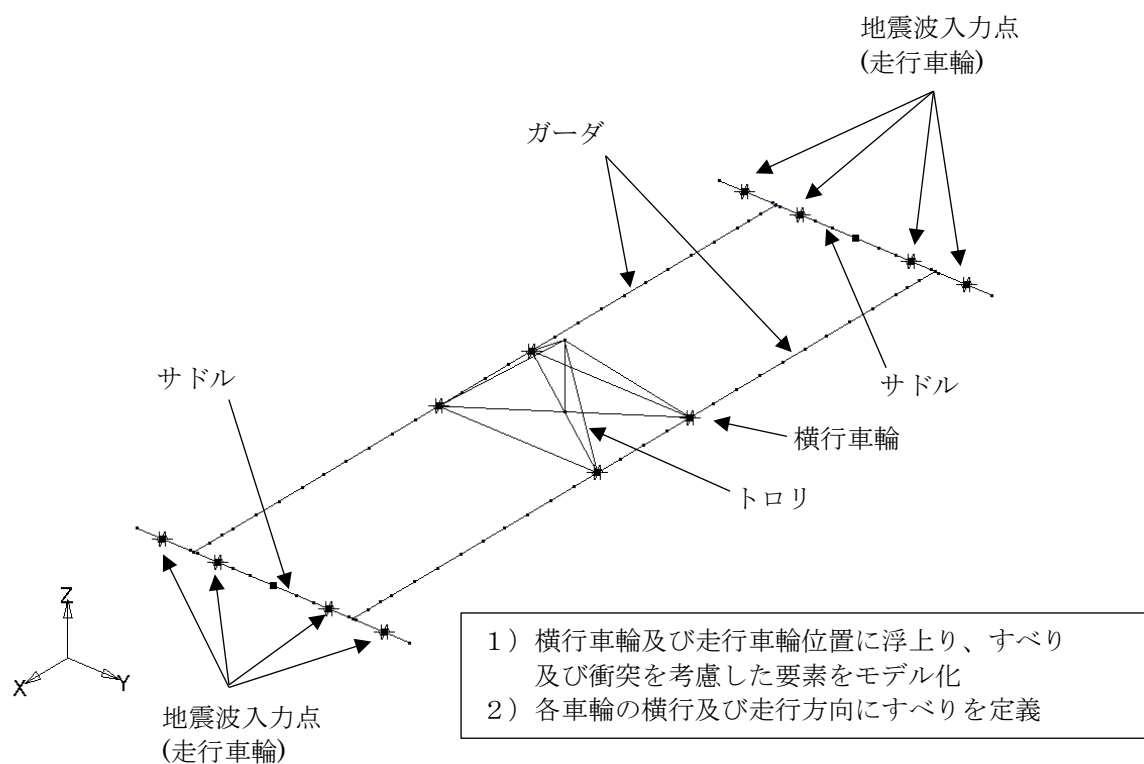
第 4.20 図 Ss-D 地震動 EW 方向時刻歴応答加速度波形



第 4.21 図 Ss-D 地震動 UD 方向時刻歴応答加速度波形

#### 4.3 解析モデル及び諸元

原子炉建家天井クレーンの解析モデルは、クレーン本体をはり要素でモデル化した多質点はりモデルである。解析モデルを第 4.22 図に、機器諸元を第 4.7 表、第 4.8 表に示す。



第 4.22 図 解析モデル

第 4.7 表 機器諸元(質量)

項目		質量 (kg)
クレーン	ガーダ	50,000
	トロリ	35,000
	サドル	16,600
吊荷		155,000

第 4.8 表 機器諸元(断面性状)

部材	縦弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )		断面積 (mm <sup>2</sup> )
		水平軸廻り	鉛直軸廻り	
ガーダ中央部	$2.03 \times 10^5$	$6.40 \times 10^{10}$	$3.15 \times 10^{10}$	$8.348 \times 10^4$
ガーダ端部	$2.03 \times 10^5$	$1.71 \times 10^{10}$	$2.23 \times 10^{10}$	$7.114 \times 10^4$
サドル	$2.03 \times 10^5$	$5.42 \times 10^9$	$2.01 \times 10^9$	$3.053 \times 10^4$

#### 4.4 応答解析結果

##### 4.4.1 応答荷重

ガーダ本体、落下、車輪及びレール、吊具の評価に必要な応答解析結果の最大値及び最大値を示す評価ケースを第4.9表から第4.14表に示す。

なお、最大値は組合せ応力が最大となる時刻における結果とする。

第4.9表 Ss-1地震動 応答解析結果

評価対象	種類	Ss-1	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.24 \times 10^4$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$6.63 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$8.51 \times 10^{-1}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	4.14 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$3.68 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$1.08 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	30.2 (トロリ位置：中央)	mm
	走行車輪の最大浮上り量	8.0 (トロリ位置：中央)	mm
車輪及びレールの評価	横行車輪1車輪あたりのレール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪1車輪あたりのレール直角方向力の最大値	129	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	18.4 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.10 表 Ss-2 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	Ss-2	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.23 \times 10^4$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$2.78 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	2.23 (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$2.31 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$7.64 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$4.79 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	25.3 (トロリ位置：中央)	mm
	走行車輪の最大浮上り量	5.9 (トロリ位置：中央)	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	140	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	16.7 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.11 表 Ss-3 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	Ss-3	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.18 \times 10^4$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$9.17 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	1.18 (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$7.53 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$1.41 \times 10^3$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$1.50 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	23.1 (トロリ位置：中央)	mm
	走行車輪の最大浮上り量	8.4 (トロリ位置：中央)	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	148	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	16.3 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.12 表 Ss-4 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	Ss-4	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.17 \times 10^4$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$7.97 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	1.07 (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$1.15 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$7.97 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$9.51 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	45.5 (トロリ位置：中央)	mm
	走行車輪の最大浮上り量	9.9 (トロリ位置：中央)	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	115	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	15.9 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>



第 4.13 表 Ss-5 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	Ss-5	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.01 \times 10^4$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$5.64 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$7.07 \times 10^{-2}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	$7.29 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$1.05 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$1.97 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	14.8 (トロリ位置：中央)	mm
	走行車輪の最大浮上り量	5.5 (トロリ位置：中央)	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	96	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	14.1 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

第 4.14 表 Ss-D 地震動 応答解析結果

評価対象	種類	Ss-D	単位
ガーダ本体の評価	水平軸まわり曲げモーメント	$1.38 \times 10^4$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	鉛直軸まわり曲げモーメント	$7.75 \times 10^2$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	ねじりモーメント	$1.79 \times 10^{-4}$ (トロリ位置：中央)	kN・m
	水平方向せん断力	4.60 (トロリ位置：中央)	kN
	鉛直方向せん断力	$2.23 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
	軸力	$2.50 \times 10$ (トロリ位置：中央)	kN
落下の評価	横行車輪の最大浮上り量	27.8 (トロリ位置：中央)	mm
	走行車輪の最大浮上り量	10.5 (トロリ位置：中央)	mm
車輪及び レールの評価	横行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	26	kN
	走行車輪 1 車輪あたりの レール直角方向力の最大値	93	kN
吊具の評価	吊荷の最大加速度	19.1 (トロリ位置：中央)	m/s <sup>2</sup>

## 5. 応力評価及び荷重評価

### 5.1 基本方針

許容応力について、JSME S NC1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位を切り捨てた値を用いるものとする。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建家天井クレーン本体、車輪及びレールの評価に当たって、考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を第5.1表に示す。

#### 5.2.2 許容応力

原子炉建家天井クレーン本体、車輪及びレールの許容応力を第5.2表に示す。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力

原子炉建家天井クレーン本体、車輪及びレールの使用材料の許容応力を第5.3表に示す。

第 5.1 表 荷重の組合せ及び許容応力状態(Ss)

施設区分	機器名称	耐震重要度 分類	機器等の 区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
その他	原子炉建家天 井クレーン <sup>(注)</sup>	B	—	D+P+Ss	IV <sub>A</sub> S

D：自重，P：吊荷重，Ss：波及的影響を評価する地震波

(注)その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

第 5.2 表 許容応力(その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>(注1)(注2)</sup> (ボルト以外)			許容限界 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	せん断	曲げ	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5f_s^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注1)「鋼構造設計規準 SI 単位版」(2002 年日本建築学会)の幅厚比の制限を満足させる。

(注2)応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

第 5.3 表 許容応力(Ss)

(単位：MPa)

部材名		材料	温度 (°C)	S <sub>y</sub>	S <sub>u</sub>	許容応力		
						1.5f <sub>b</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>t</sub> <sup>*</sup>
クレーン 本体	ガーダ 中央部	SS400	20	245	400	279	160	279
	ガーダ 端部	SS400	20	245	400	279	160	279
車輪	横行 車輪	SSW-Q1	20	—	770	—	310	—
	走行 車輪	SSW-Q1	20	—	770	—	310	—
横行 レール	取付 ボルト	SS400	20	235	400	—	160	—
走行 レール	取付金物 溶接部	SS400	20	235	400	—	160	—

記号の説明

S<sub>y</sub> : 材料の使用温度における設計降伏点

(JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 8 より)

S<sub>u</sub> : 材料の使用温度における設計引張強さ

(JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 9 より)

f<sub>s</sub><sup>\*</sup> : 許容せん断応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格 (2005/2007 年追補版) SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

f<sub>s</sub><sup>\*</sup> : 許容せん断応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格 (2005/2007 年追補版) SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

f<sub>t</sub><sup>\*</sup> : 許容引張応力

発電用原子力設備規格設計・建設規格 (2005/2007 年追補版) SSB3120 又は SSB3130 に規定される値

原子炉建家天井クレーンの吊具については、ワイヤの許容荷重はクレーン構造規格にて規定される安全率を超える値となるように設定して評価する。許容荷重を第 5.4 表に示す。

第 5.4 表 吊具の許容荷重(Ss)

部材名	材料	温度 (°C)	定格荷重 (kg)	安全率	許容荷重 <sup>(注)</sup> (kN)
ワイヤ (12 本掛け)	炭素鋼	20	155,000	5	7,600

(注) 定格荷重に安全率を乗じて算出

### 5.3 クレーン本体の応力評価方法

#### 5.3.1 ガーダ

##### (1) ガーダの応力計算方法

以下に示す方法により、ガーダに作用する応力値を算出し、評価基準値以下であることを確認する。

計算で使用する記号を第 5.5 表に、評価断面図を第 5.1 図に示す。

##### ① 曲げ応力

$$\sigma_v = \frac{M_x \times 10^6}{Z_x}$$

$$\sigma_H = \frac{M_y \times 10^6}{Z_y}$$

##### ② せん断応力

$$\tau_v = \frac{F_y \times 10^3}{H_1 \times (t_{w1} + t_{w2})}$$

$$\tau_H = \frac{F_x \times 10^3}{B_1 \times t_{f1} + B_2 \times t_{f2}}$$

$$\tau_J = \frac{T \times 10^6}{2 \times \left( B_3 + \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \right) \left( H_1 + \frac{t_{f1} + t_{f2}}{2} \right) \times t_{w1}}$$

##### ③ 軸方向応力

$$\sigma_N = \frac{N \times 10^3}{H_1 \times (t_{w1} + t_{w2}) + B_1 \times t_{f1} + B_2 \times t_{f2}}$$

##### ④ 組合せ応力

$$\sigma = \sigma_v + \sigma_H + \sigma_N$$

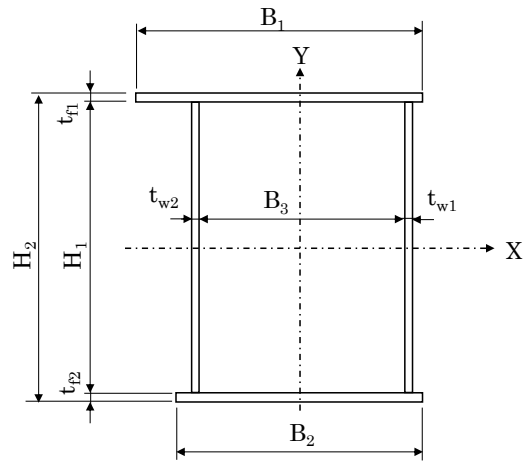
$$\tau = \text{Max} \{ \tau_v, \tau_H \} + \tau_J$$

$$\sigma_{\text{comb}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2}$$

第 5.5 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$B_1$	ガーダ断面寸法	mm
$B_2$	ガーダ断面寸法	mm
$B_3$	ガーダ断面寸法	mm
$H_1$	ガーダ断面寸法	mm
$H_2$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{w1}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{w2}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{f1}$	ガーダ断面寸法	mm
$t_{f2}$	ガーダ断面寸法	mm
$M_x$	水平軸まわり曲げモーメント	kN・m
$M_y$	鉛直軸まわり曲げモーメント	kN・m
$T$	ねじりモーメント	kN・m
$F_y$	鉛直方向せん断力	kN
$F_x$	水平方向せん断力	kN
$N$	軸方向力	kN
$Z_x$	水平軸まわり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	鉛直軸まわり断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_v$	水平軸まわり曲げ応力	MPa
$\sigma_H$	鉛直軸まわり曲げ応力	MPa
$\sigma_N$	軸方向応力	MPa
$\tau_v$	鉛直方向せん断応力	MPa
$\tau_H$	水平方向せん断応力	MPa
$\tau_J$	ねじりせん断応力	MPa
$\sigma$	垂直応力の組合せ	MPa
$\tau$	せん断応力の組合せ	MPa
$\sigma_{comb}$	組合せ応力	MPa





第 5.1 図 ガーダの評価断面図

#### 5.4 落下に対する評価方法

車輪つば高さを超える浮上り個数を確認し、落下の危険性を判定する。

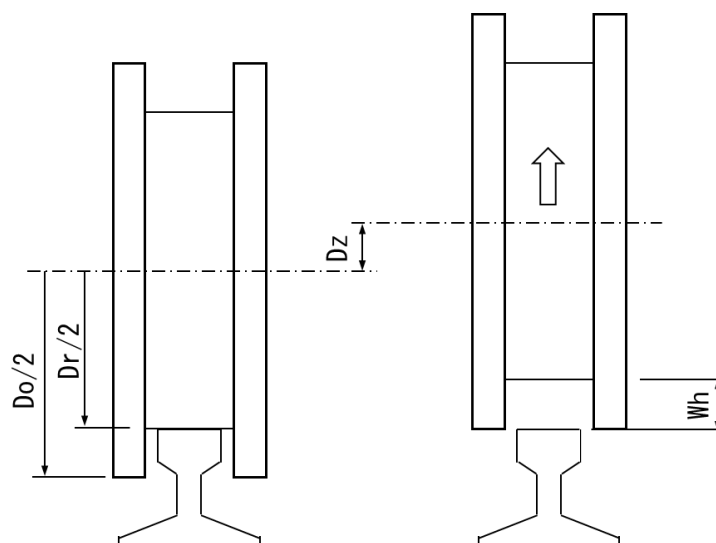
##### (1) 落下の判定方法

車輪の浮上り量が車輪つば高さを超えた場合に落下の危険性が発生するが、走行車輪(サドル)は片側4車輪の合計8車輪、横行車輪(トロリ)は片側2車輪の合計4車輪で構成されているため、車輪の一部が車輪つば高さを超えても、その個数が2輪以下の場合には、サドルやトロリが落下する危険性がない。

ここで、記号の説明を第5.6表に、車輪とレールの状態を第5.2図に示す。

第5.6表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$D_o$	車輪フランジ径	mm
$D_r$	車輪径	mm
$W_h$	車輪つば高さ	mm
$Dz_{max}$	車輪の最大浮上り量	mm



第5.2図 車輪とレールの状態

## 5.5 車輪の応力評価方法

車輪(車輪つば部)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

### (1) 車輪の応力計算方法

車輪の応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第 5.7 表に、評価断面図を第 5.3 図に示す。

#### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

#### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、前項の「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

#### (c) レール直角方向

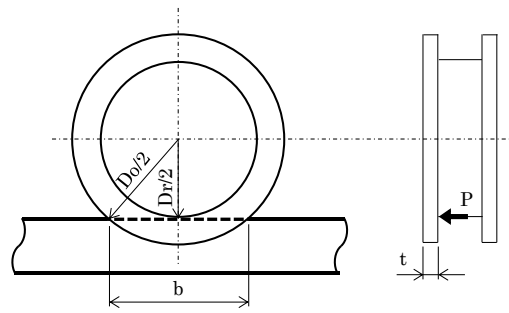
レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力が車輪つば部からレールに作用することより、車輪つば部の評価を行う。

$$\text{車輪つば部の負担幅} : b = 2 \times \sqrt{\left(\frac{D_o}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_r}{2}\right)^2}$$

$$\text{車輪つば部に作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{b \times t}$$

第 5.7 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
P	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
D <sub>o</sub>	車輪フランジ径	mm
D <sub>r</sub>	車輪径	mm
b	車輪つば部の負担幅	mm
t	車輪つば部の板厚	mm
τ	車輪つば部に作用するせん断応力	MPa



第 5.3 図 車輪つば部の評価断面図

## 5.6 レールの応力評価方法

### 5.6.1 横行レールの応力評価方法

横行レール(レール取付ボルト)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

#### (1) 横行レールの応力計算方法

横行レールの応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第 5.8 表に示す。

##### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

##### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、前項の「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

##### (c) レール直角方向

レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力をレール取付ボルトで支持することより、レール取付ボルトの評価を行う。

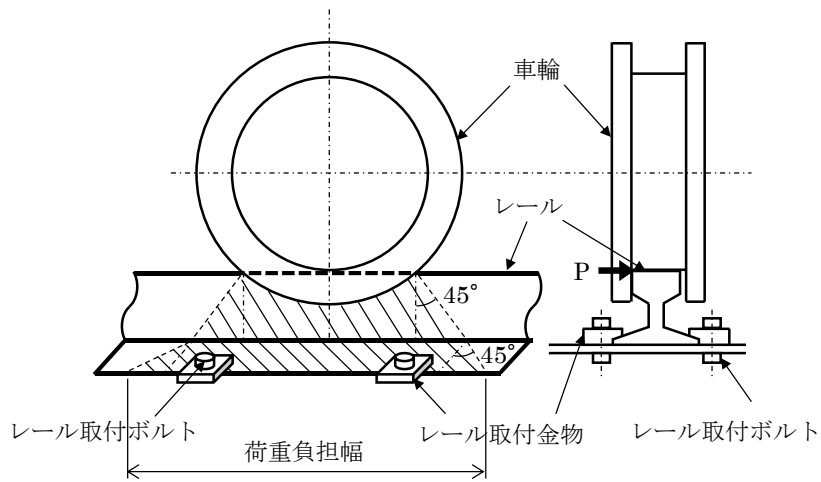
車輪に作用するレール直角方向力は、車輪つば及びレールを介して伝達されるため、荷重伝達経路の荷重の広がりを考慮してレール取付金物の負担個数を設定する。第 5.4 図に横行レール取付金物の負担個数設定の概念図を示す。

レール取付金物はレールの中心に対して両側に配置されているが、車輪に作用するレール直角方向力に対しては片側のみが有効に作用するものとする。

$$\text{レール取付ボルトに作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{A_b \times n_b \times n_s}$$

第 5.8 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$P$	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
$A_b$	レール取付ボルトの軸径断面積	$\text{mm}^2$
$n_b$	レール取付金物 1 箇所あたりのボルト本数	本
$n_s$	レール取付金物の負担個数	個
$\tau$	レール取付ボルトに作用するせん断応力	MPa



第 5.4 図 横行レール取付金物の負担個数設定の概念図

## 5.6.2 走行レールの応力評価方法

走行レール(レール取付金物溶接部)に作用する応力が許容応力以下であることを確認する。

### (1) 走行レールの応力計算方法

走行レールの応力計算では、クレーンからの作用力の方向をレール方向、鉛直方向、レール直角方向に分けて実施する。

計算に使用する記号を第5.9表に示す。

#### (a) レール方向

レール方向に関しては、車輪がレール上を滑ることから評価対象外とする。

#### (b) 鉛直方向

鉛直方向に関しては、前項の「5.4 落下に対する評価」において車輪の浮き上り量に関して評価するものとし、本項では評価対象外とする。

#### (c) レール直角方向

レール直角方向に関しては、車輪に作用するレール直角方向力をレール取付金物の溶接部で支持することより、レール取付金物溶接部の評価を行う。

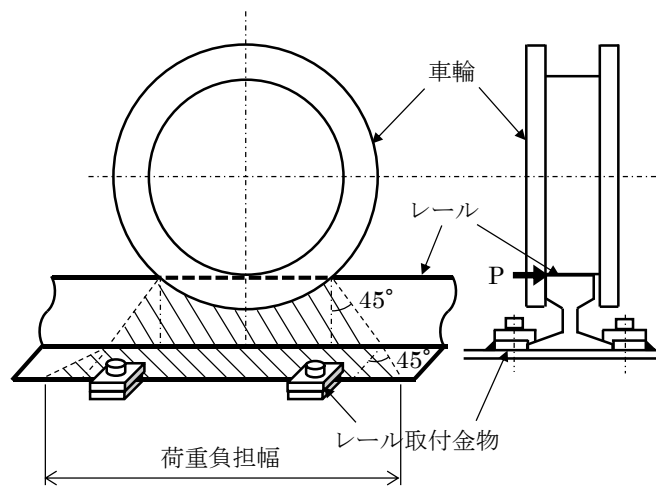
車輪に作用するレール直角方向力は、車輪つば及びレールを介して伝達されるため、荷重伝達経路の荷重の広がりを考慮してレール取付金物の負担個数を設定する。第5.5図に走行レール取付金物の負担個数設定の概念図を示す。

レール取付金物はレールの中心に対して両側に配置されているが、車輪に作用するレール直角方向力に対しては片側のみが有効に作用するものとする。第5.6図に走行レール取付金物溶接部の詳細図を示す。

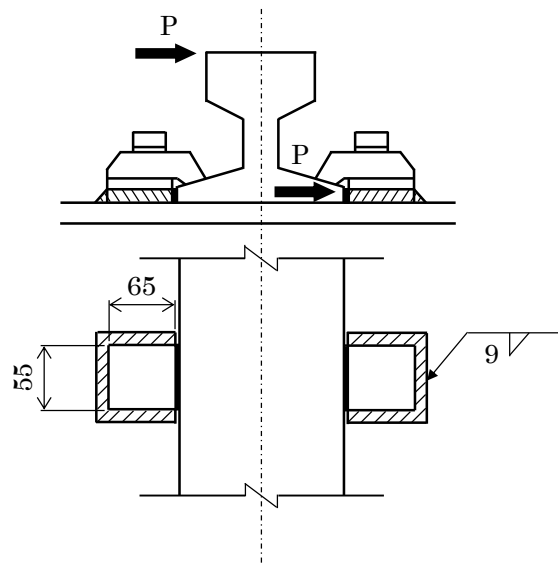
$$\text{レール取付金物溶接部に作用するせん断応力} : \tau = \frac{P \times 10^3}{A_s \times n}$$

第 5.9 表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
P	1 車輪あたりのレール直角方向力	kN
$A_s$	レール取付金物の溶接部面積	$\text{mm}^2$
n	レール取付金物の負担個数	個
$\tau$	レール取付金物溶接部に作用するせん断応力	MPa



第 5.5 図 走行レール取付金物の負担個数設定の概念図



第 5.6 図 走行レール取付金物溶接部の詳細図



## 5.7 吊具の荷重評価方法

以下に示す方法により、吊具の荷重を算出し、評価基準値以下であることを確認する。

### (1) 吊具の計算条件

- ① 吊具の計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。
  - ・クレーンの吊荷重を受ける部分は、巻上ドラム、ワイヤロープ、フック、シーブ、エコライザで、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷、破断により落下に至る可能性があり、かつ裕度の低いワイヤロープを評価対象とする。
- ② ワイヤロープの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。
  - ・ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ(平衡装置)とフックブロック(動滑車)の回転により、自動的に荷重が吊り合い状態に保たれることから、評価では、12本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。
  - ・吊荷加速度算出の解析に当たっては、クレーン評価で実施する時刻歴解析の結果から鉛直下向きの加速度を抽出し、その最大値を用いる。
  - ・ワイヤロープは本来引張荷重のみ負担し、圧縮方向の荷重は作用しないが、横行車輪部に浮上りを考慮した接触要素をモデル化することにより、トロリ、吊荷の浮き上りを含めた挙動を模擬することができるため、時刻歴解析においては、ワイヤロープはモデル化せず、吊荷を1質点としてガーダと同じ高さ位置にモデル化する。
  - ・吊荷の質量は、燃料交換機と吊具の質量を合計した155,000kgとする。
  - ・ワイヤを長くすれば固有周期が大きくなるが、床応答加速度はほぼ変わらない。ワイヤを短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、衝撃荷重が大きくなる。したがって、時刻歴解析においては保守的にワイヤロープのモデル化は行わない。

### (2) 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり、ワイヤロープに作用する荷重Fを算出する。計算に使用する記号を第5.10表に示す。

$$F=m \times a$$

第5.10表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度	m/s <sup>2</sup>
F	地震時にワイヤに発生する荷重	kN
m	吊荷の質量	kg
a	吊荷の最大加速度	m/s <sup>2</sup>

## 5.8 クレーン本体の応力評価条件

### 5.8.1 ガーダ中央部

項目	記号	単位	数値
ガーダ断面寸法	B <sub>1</sub>	mm	1685
ガーダ断面寸法	B <sub>2</sub>	mm	1560
ガーダ断面寸法	B <sub>3</sub>	mm	1500
ガーダ断面寸法	H <sub>1</sub>	mm	2100
ガーダ断面寸法	H <sub>2</sub>	mm	2128
ガーダ断面寸法	t <sub>w1</sub>	mm	8
ガーダ断面寸法	t <sub>w2</sub>	mm	10
ガーダ断面寸法	t <sub>f1</sub>	mm	16
ガーダ断面寸法	t <sub>f2</sub>	mm	12
水平軸まわり断面係数	Z <sub>x</sub>	mm <sup>3</sup>	5.49×10 <sup>7</sup>
鉛直軸まわり断面係数	Z <sub>y</sub>	mm <sup>3</sup>	3.72×10 <sup>7</sup>

### 5.8.2 ガーダ端部

項目	記号	単位	数値
ガーダ断面寸法	B <sub>1</sub>	mm	1685
ガーダ断面寸法	B <sub>2</sub>	mm	1560
ガーダ断面寸法	B <sub>3</sub>	mm	1500
ガーダ断面寸法	H <sub>1</sub>	mm	1068
ガーダ断面寸法	H <sub>2</sub>	mm	1100
ガーダ断面寸法	t <sub>w1</sub>	mm	8
ガーダ断面寸法	t <sub>w2</sub>	mm	10
ガーダ断面寸法	t <sub>f1</sub>	mm	16
ガーダ断面寸法	t <sub>f2</sub>	mm	16
水平軸まわり断面係数	Z <sub>x</sub>	mm <sup>3</sup>	3.02×10 <sup>7</sup>
鉛直軸まわり断面係数	Z <sub>y</sub>	mm <sup>3</sup>	2.60×10 <sup>7</sup>

## 5.9 落下に対する評価条件

### 5.9.1 横行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪フランジ径	$D_o$	mm	680
車輪径	$D_r$	mm	630
車輪つば高さ	Wh	mm	25

### 5.9.2 走行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪フランジ径	$D_o$	mm	850
車輪径	$D_r$	mm	800
車輪つば高さ	Wh	mm	25

## 5.10 車輪の応力評価条件

### 5.10.1 横行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪外径	$D_o$	mm	680
レール面における車輪外径	$D_r$	mm	630
車輪つば部の負担幅	b	mm	255
車輪つば部の板厚	t	mm	27.5

### 5.10.2 走行車輪

項目	記号	単位	数値
車輪外径	$D_o$	mm	850
レール面における車輪外径	$D_r$	mm	800
車輪つば部の負担幅	b	mm	287
車輪つば部の板厚	t	mm	27.5

## 5.11 レールの応力評価条件

### 5.11.1 横行レール

項目	記号	単位	数値
レール取付ボルトの軸径断面積	$A_b$	$\text{mm}^2$	380.1
レール取付金物 1箇所あたりのボルト本数	$n_b$	本	1
レール取付金物の負担個数	$n_s$	個	2

### 5.11.2 走行レール

項目	記号	単位	数値
レール取付金物の溶接部面積	$A_s$	$\text{mm}^2$	1177
レール取付金物の負担個数	$n$	個	2

## 5.12 吊具の荷重評価条件

項目	記号	単位	数値
重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
吊荷の質量	$m$	kg	155000

6. 評価結果

原子炉建家天井クレーンの $S_s$ に対する耐震評価結果を第6.1表から第6.6表に示す。

第6.1表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果( $S_s-1$ )

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん 断)	244	279		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん 断)	169	279		
落下	横行 車輪	1車輪	浮上り回数	1回	$\infty$	
		2車輪	浮上り回数	3回	$\infty$	
		3車輪	浮上り回数	0回	0回	
		4車輪	浮上り回数	0回	0回	
	走行 車輪	1車輪	浮上り回数	0回	$\infty$	
		2車輪	浮上り回数	0回	$\infty$	
		3車輪	浮上り回数	0回	0回	
		4車輪	浮上り回数	0回	0回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	17	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	160	
	走行 レール	取付 金物	せん断	55	160	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	4,373	7,600	単位：kN	

第 6.2 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-2)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん 断)	233	279		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん 断)	188	279		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	1 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	18	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	160	
	走行 レール	取付 金物	せん断	60	160	
吊具		ワイヤ	吊荷重量	4,110	7,600	単位 : kN

第 6.3 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-3)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん 断)	229	279		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん 断)	196	279		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	19	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	160	
	走行 レール	取付 金物	せん断	63	160	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	4,048	7,600	単位 : kN	

第 6.4 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-4)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん 断)	236	279		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん 断)	212	279		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	10 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	15	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	160	
	走行 レール	取付 金物	せん断	49	160	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	3,986	7,600	単位 : kN	



第 6.5 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-5)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん 断)	202	279		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん 断)	168	279		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	13	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	160	
	走行 レール	取付 金物	せん断	41	160	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	3,707	7,600	単位 : kN	

第 6.6 表 原子炉建家天井クレーンの耐震評価結果 (Ss-D)

評価箇所		評価応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	備考	
クレーン 本体	ガーダ 中央部	組合せ (垂直+せん 断)	273	279		
	ガーダ 端部	組合せ (垂直+せん 断)	178	279		
落下	横行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	1 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
	走行 車輪	1 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		2 車輪	浮上り回数	0 回	∞	
		3 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
		4 車輪	浮上り回数	0 回	0 回	
車輪	横行 車輪	車輪つば	せん断	4	310	
	走行 車輪	車輪つば	せん断	12	310	
レール	横行 レール	取付 ボルト	せん断	35	160	
	走行 レール	取付 金物	せん断	40	160	
吊具	ワイヤ	吊荷重量	4,482	7,600	単位 : kN	

## 7. まとめ

6. 評価結果に示すとおり、発生値は、評価基準値を満足している。よって、原子炉建家天井クレーンが S クラスの使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール及び原子炉格納容器内の S クラスの機器・配管系に対して波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

1-5-5. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(排気筒の波及的影響評価)

## 目次

1. 排気筒の波及的影響評価.....	添 1 - 5 - 5 - 1
2. 基本方針 .....	添 1 - 5 - 5 - 1
2.1 概要 .....	添 1 - 5 - 5 - 1
2.2 構造の説明 .....	添 1 - 5 - 5 - 2
2.3 評価方針 .....	添 1 - 5 - 5 - 4
2.4 適用規格 .....	添 1 - 5 - 5 - 4
3. 排気筒モデルの作成.....	添 1 - 5 - 5 - 5
3.1 排気筒モデルの作成.....	添 1 - 5 - 5 - 5
3.2 材料物性 .....	添 1 - 5 - 5 - 9
3.3 筒身と鉄塔間の結合定義.....	添 1 - 5 - 5 - 15
3.4 排気筒モデルの重量.....	添 1 - 5 - 5 - 17
3.5 ガゼットプレート、スライスプレートの結合定義.....	添 1 - 5 - 5 - 18
4. 排気筒の解析 .....	添 1 - 5 - 5 - 20
4.1 固有値解析 .....	添 1 - 5 - 5 - 20
4.2 耐震解析 .....	添 1 - 5 - 5 - 21
4.3 耐震解析結果 .....	添 1 - 5 - 5 - 34
5. アンカーボルトの耐震健全性.....	添 1 - 5 - 5 - 64
5.1 筒身部アンカーボルトの健全性評価の手法.....	添 1 - 5 - 5 - 64
5.2 支柱部アンカーボルトの健全性評価の手法.....	添 1 - 5 - 5 - 65
5.3 評価結果 .....	添 1 - 5 - 5 - 67
6. まとめ .....	添 1 - 5 - 5 - 70
7. 参考文献 .....	添 1 - 5 - 5 - 71

## 表 目 次

第 3.1 表	各部材のモデル.....	添 1 - 5 - 5 - 5
第 3.2 表	鋼材のヤング率、ポアソン比、密度.....	添 1 - 5 - 5 - 9
第 3.3 表	SMA400A 塑性特性.....	添 1 - 5 - 5 - 10
第 3.4 表	SS400 (16t 以下) 塑性特性.....	添 1 - 5 - 5 - 10
第 3.5 表	SS400 (16t 超え) 塑性特性.....	添 1 - 5 - 5 - 10
第 3.6 表	STK400 塑性特性.....	添 1 - 5 - 5 - 10
第 3.7 表	STK490 塑性特性.....	添 1 - 5 - 5 - 10
第 3.8 表	SM400A (16t 超え) 塑性特性.....	添 1 - 5 - 5 - 10
第 3.9 表	SM490A (16t 以下) 塑性特性.....	添 1 - 5 - 5 - 10
第 3.10 表	筒身-鉄塔間結合ばね定数.....	添 1 - 5 - 5 - 15
第 3.11 表	排気筒重量.....	添 1 - 5 - 5 - 17
第 3.12 表	ガセットプレート、スライスプレート結合の破断荷重.....	添 1 - 5 - 5 - 18
第 4.1 表	排気筒の固有振動数.....	添 1 - 5 - 5 - 20
第 4.2 表	地盤ばね特性.....	添 1 - 5 - 5 - 22
第 4.3 表	加速度入力方向.....	添 1 - 5 - 5 - 23
第 4.4 表	判断基準(破断塑性ひずみ及び許容応力).....	添 1 - 5 - 5 - 23
第 4.5 表	最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ (Ss-1).....	添 1 - 5 - 5 - 34
第 4.6 表	最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ (Ss-2).....	添 1 - 5 - 5 - 39
第 4.7 表	最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ (Ss-3).....	添 1 - 5 - 5 - 44
第 4.8 表	最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ (Ss-4).....	添 1 - 5 - 5 - 49
第 4.9 表	最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ (Ss-5).....	添 1 - 5 - 5 - 54
第 4.10 表	最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ (Ss-D).....	添 1 - 5 - 5 - 59
第 5.1 表	アンカーボルトの健全性評価の結果.....	添 1 - 5 - 5 - 68

## 目 次

第 2.1 図	配置概要.....	添 1 - 5 - 5 - 1
第 2.2 図	排気筒概要図.....	添 1 - 5 - 5 - 3
第 2.3 図	排気筒の波及的影響評価フロー.....	添 1 - 5 - 5 - 4
第 3.1 図	H T T R 排気筒メッシュモデル.....	添 1 - 5 - 5 - 6
第 3.2 図	筒身柱脚部メッシュモデル.....	添 1 - 5 - 5 - 7
第 3.3 図	鉄塔柱脚部メッシュモデル.....	添 1 - 5 - 5 - 7
第 3.4 図	地盤ばねと排気筒基礎部.....	添 1 - 5 - 5 - 8
第 3.5 図	SMA400A 応力-ひずみ線図.....	添 1 - 5 - 5 - 11
第 3.6 図	SS400 (16t 以下) 応力-ひずみ線図.....	添 1 - 5 - 5 - 11
第 3.7 図	SS400 (16t 超え) 応力-ひずみ線図.....	添 1 - 5 - 5 - 12
第 3.8 図	STK400 応力-ひずみ線図.....	添 1 - 5 - 5 - 12
第 3.9 図	STK490 応力-ひずみ線図.....	添 1 - 5 - 5 - 13
第 3.10 図	SM400A (16t 超え) 応力-ひずみ線図.....	添 1 - 5 - 5 - 13
第 3.11 図	SM490A (16t 以下) 応力-ひずみ線図.....	添 1 - 5 - 5 - 14
第 3.12 図	筒身-鉄塔間結合箇所.....	添 1 - 5 - 5 - 16
第 3.13 図	ガセットプレート、スライスプレート結合箇所.....	添 1 - 5 - 5 - 19
第 4.1 図	地震動及び地盤ばねの入力位置(上図：斜視図、下図：側面図).....	添 1 - 5 - 5 - 24
第 4.2 図	Ss-1 加速度時刻歴：NS.....	添 1 - 5 - 5 - 25
第 4.3 図	Ss-1 加速度時刻歴：EW.....	添 1 - 5 - 5 - 25
第 4.4 図	Ss-1 加速度時刻歴：UD.....	添 1 - 5 - 5 - 26
第 4.5 図	Ss-2 加速度時刻歴：NS.....	添 1 - 5 - 5 - 26
第 4.6 図	Ss-2 加速度時刻歴：EW.....	添 1 - 5 - 5 - 27
第 4.7 図	Ss-2 加速度時刻歴：UD.....	添 1 - 5 - 5 - 27
第 4.8 図	Ss-3 加速度時刻歴：NS.....	添 1 - 5 - 5 - 28
第 4.9 図	Ss-3 加速度時刻歴：EW.....	添 1 - 5 - 5 - 28
第 4.10 図	Ss-3 加速度時刻歴：UD.....	添 1 - 5 - 5 - 29
第 4.11 図	Ss-4 加速度時刻歴：NS.....	添 1 - 5 - 5 - 29
第 4.12 図	Ss-4 加速度時刻歴：EW.....	添 1 - 5 - 5 - 30
第 4.13 図	Ss-4 加速度時刻歴：UD.....	添 1 - 5 - 5 - 30
第 4.14 図	Ss-5 加速度時刻歴：NS.....	添 1 - 5 - 5 - 31
第 4.15 図	Ss-5 加速度時刻歴：EW.....	添 1 - 5 - 5 - 31
第 4.16 図	Ss-5 加速度時刻歴：UD.....	添 1 - 5 - 5 - 32
第 4.17 図	Ss-D 加速度時刻歴：NS.....	添 1 - 5 - 5 - 32

第 4.18 図	Ss-D 加速度時刻歴 : EW	添 1 - 5 - 5 - 33
第 4.19 図	Ss-D 加速度時刻歴 : UD	添 1 - 5 - 5 - 33
第 4.20 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-1) (1/2)	添 1 - 5 - 5 - 35
第 4.21 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-1) (2/2)	添 1 - 5 - 5 - 36
第 4.22 図	相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-1)	添 1 - 5 - 5 - 37
第 4.23 図	相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-1) [Pa]	添 1 - 5 - 5 - 38
第 4.24 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-2) (1/2)	添 1 - 5 - 5 - 40
第 4.25 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-2) (2/2)	添 1 - 5 - 5 - 41
第 4.26 図	相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-2)	添 1 - 5 - 5 - 42
第 4.27 図	相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-2) [Pa]	添 1 - 5 - 5 - 43
第 4.28 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-3) (1/2)	添 1 - 5 - 5 - 45
第 4.29 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-3) (2/2)	添 1 - 5 - 5 - 46
第 4.30 図	相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-3)	添 1 - 5 - 5 - 47
第 4.31 図	相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-3) [Pa]	添 1 - 5 - 5 - 48
第 4.32 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-4) (1/2)	添 1 - 5 - 5 - 50
第 4.33 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-4) (2/2)	添 1 - 5 - 5 - 51
第 4.34 図	相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-4)	添 1 - 5 - 5 - 52
第 4.35 図	相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-4) [Pa]	添 1 - 5 - 5 - 53
第 4.36 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-5) (1/2)	添 1 - 5 - 5 - 55
第 4.37 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-5) (2/2)	添 1 - 5 - 5 - 56
第 4.38 図	相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-5)	添 1 - 5 - 5 - 57
第 4.39 図	相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-5) [Pa]	添 1 - 5 - 5 - 58
第 4.40 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-D) (1/2)	添 1 - 5 - 5 - 60
第 4.41 図	相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-D) (2/2)	添 1 - 5 - 5 - 61
第 4.42 図	相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-D)	添 1 - 5 - 5 - 62



第 4.43 図	相当応力コンター図(事象時間内での最大値、 $S_s-D$ ) [Pa] .....	添 1 - 5 - 5 - 63
第 5.1 図	筒身部拡大図.....	添 1 - 5 - 5 - 69
第 5.2 図	支柱部拡大図.....	添 1 - 5 - 5 - 69

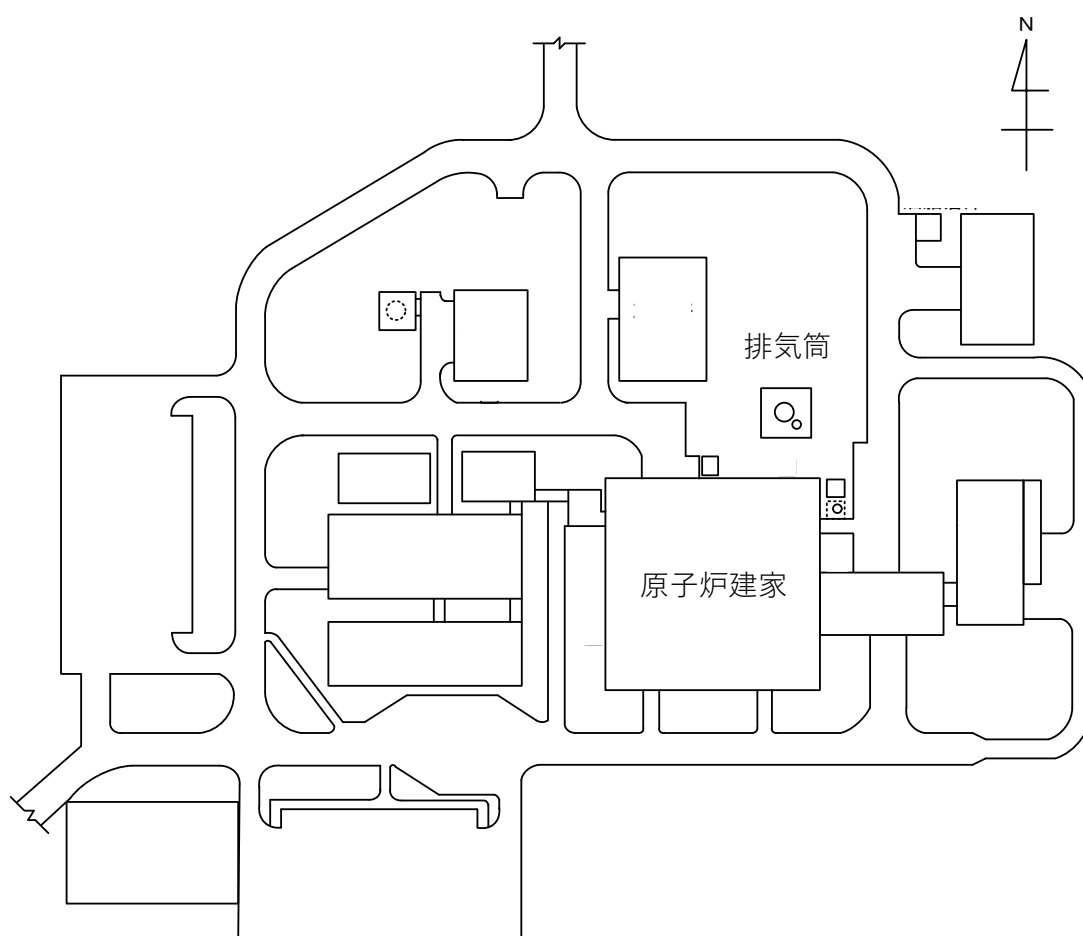
## 1. 排気筒の波及的影響評価

本評価は、排気筒の波及的影響を評価するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 概要

排気筒は、第 2.1 図に示すように原子炉建家の北東約 16m に設置され、倒壊時に原子炉建家内の S クラスの施設への波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、基準地震動  $S_s$  により排気筒の波及的影響を評価する。



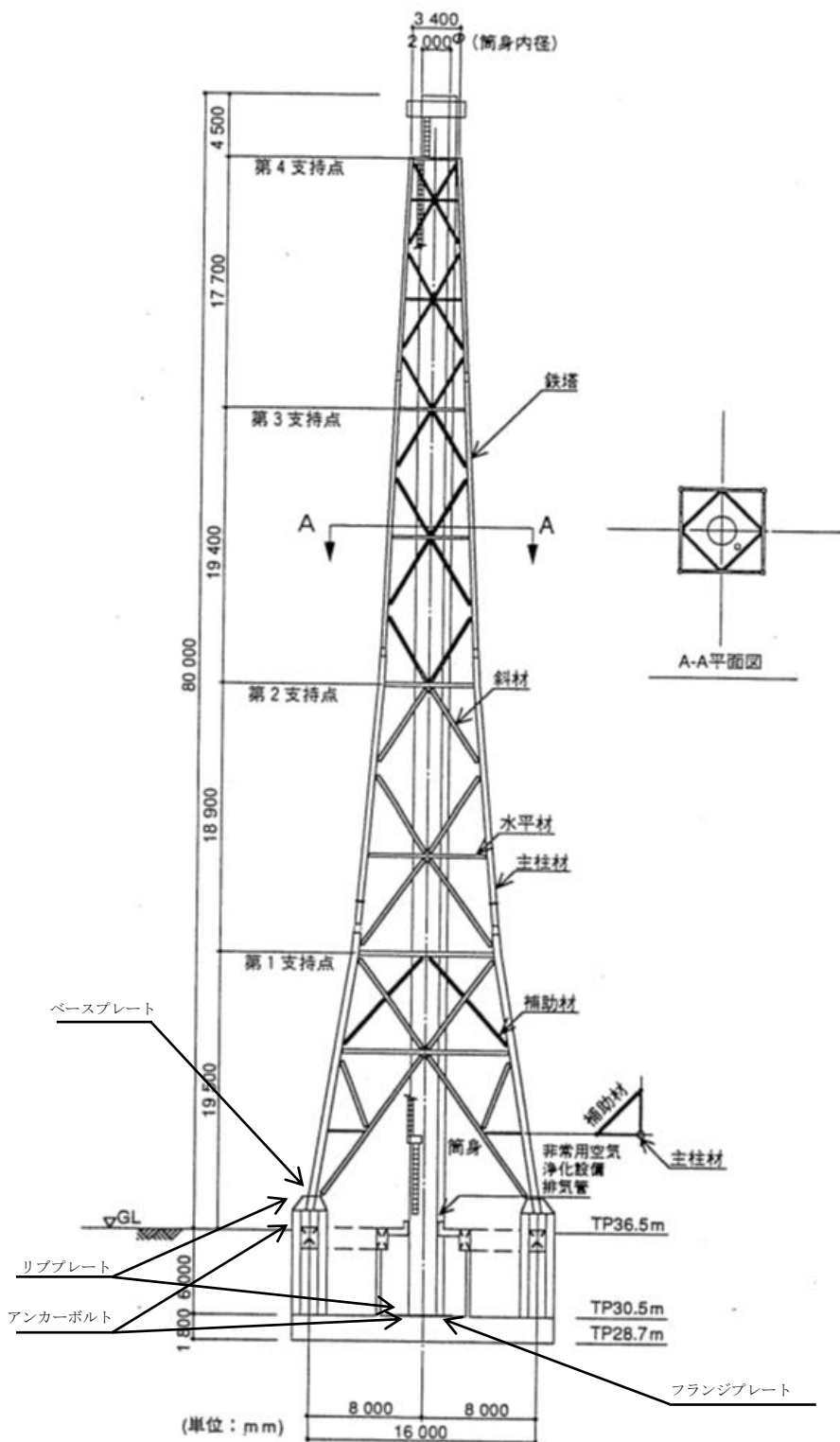
第 2.1 図 配置概要

## 2.2 構造の説明

排気筒は、筒身と鉄塔からなる鉄塔支持形排気筒である。筒身は非常用空気浄化設備排気管を支持している。

以下にその概要を示す。

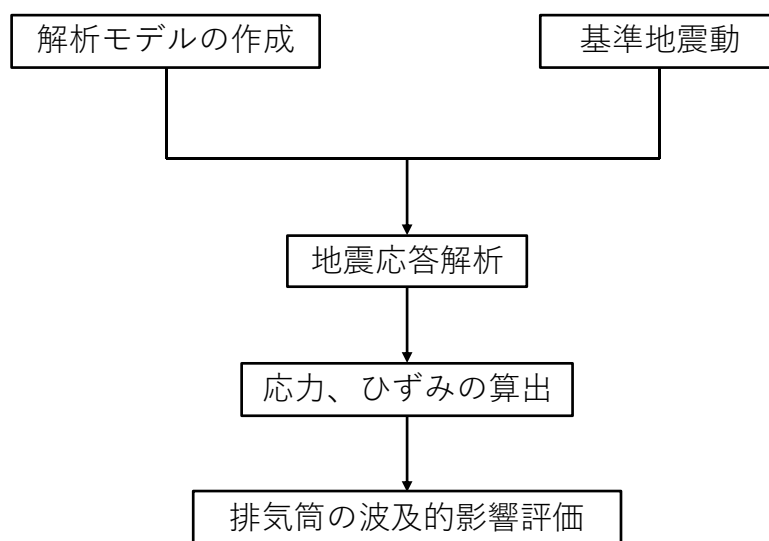
- ・ 構造形式                    四角鉄塔支持形鋼管構造
- ・ 排気筒高さ                G. L. +80. 0m(T. P. +116. 5m)
- ・ 排気筒内径                2. 0m φ
- ・ 鉄塔高さ                  G. L. +75. 5m(T. P. +112. 0m)
- ・ 鉄塔幅                    頂部     3. 4m  
                                 値開き 16. 0m
- ・ 支持点位置                T. P. +56. 0m、+74. 9m、+94. 3m、+112. 0m
- ・ 基礎                        鉄筋コンクリート造べた基礎
- ・ 排気筒概要図              第 2. 2 図に示す。



第 2.2 図 排気筒概要図

### 2.3 評価方針

排気筒の波及的影響を評価する観点で基準地震動  $S_s$  を用いた動的解析による評価を行う。評価フローを第 2.3 図に示す。評価に用いるプログラムは、構造シミュレーションソルバー「Virtual Performance Solution(日本イーエスアイ株式会社)」<sup>1-3)</sup>(以下、VPS という。)とする。



第 2.3 図 排気筒の波及的影響評価フロー

### 2.4 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・煙突構造設計指針(日本建築学会)
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- ・鋼構造設計規準(日本建築学会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- ・コンクリート標準示方書(土木学会)
- ・日本産業規格(JIS)

### 3. 排気筒モデルの作成

#### 3.1 排気筒モデルの作成

排気筒の解析メッシュモデルは、総要素数は約 19 万要素である。第 3.1 表に各部材の要素モデルとメッシュピッチを示す。

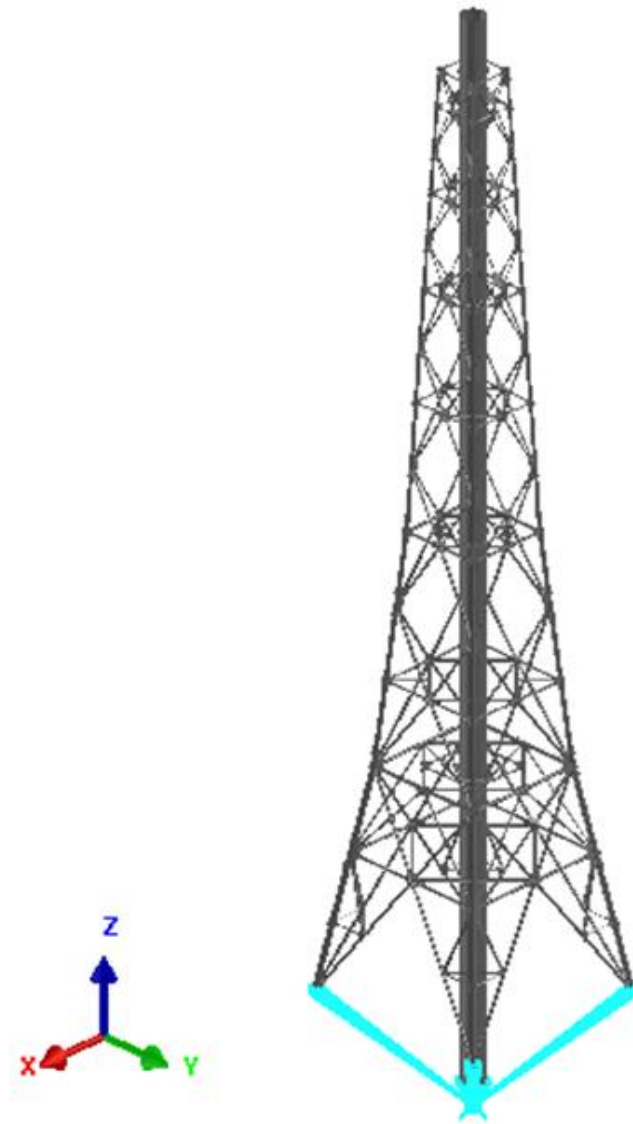
第 3.1 表 各部材のモデル

部材	基準メッシュピッチ [mm]	要素モデル	材質
筒身	100	シェル要素	SMA400A
支柱材	100	シェル要素	STK490
水平材	100	シェル要素	STK400
斜材	100	シェル要素	STK400
補助材	100	シェル要素	STK400
ベースプレート	100	シェル要素	SM400A
フランジプレート	100	シェル要素	SM400A
リブプレート	100	シェル要素	SS400

### 3.1.1 排気筒

排気筒のメッシュモデルを第 3.1 図に示す。筒身、支柱材、水平材、斜材、補助材について、平均メッシュピッチ 100[mm]とし、シェル要素にてモデル化を行った。

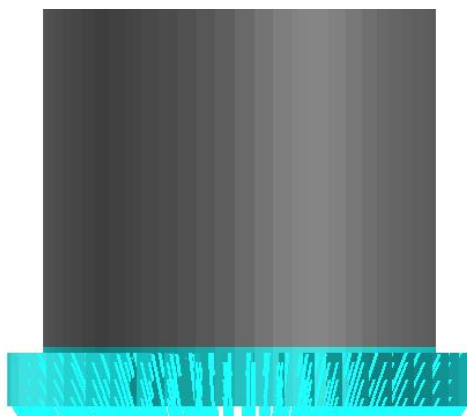
なお、基礎部を剛体とするとともに、地震動を排気筒に伝えるための剛体要素を設定する。剛体要素の範囲は第 3.1 図内の水色部である。支柱 4 箇所及び筒身の該当箇所を剛体としている。



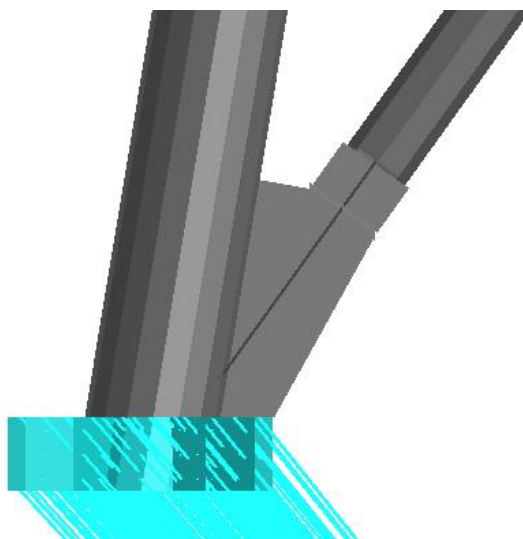
第 3.1 図 H T T R 排気筒メッシュモデル

### 3.1.2 柱脚部

筒身及び鉄塔の柱脚部について、筒身柱脚部のメッシュモデルを第 3.2 図に、鉄塔柱脚部のメッシュモデルを第 3.3 図に示す。各図内の水色部は剛体範囲となる。



第 3.2 図 筒身柱脚部メッシュモデル

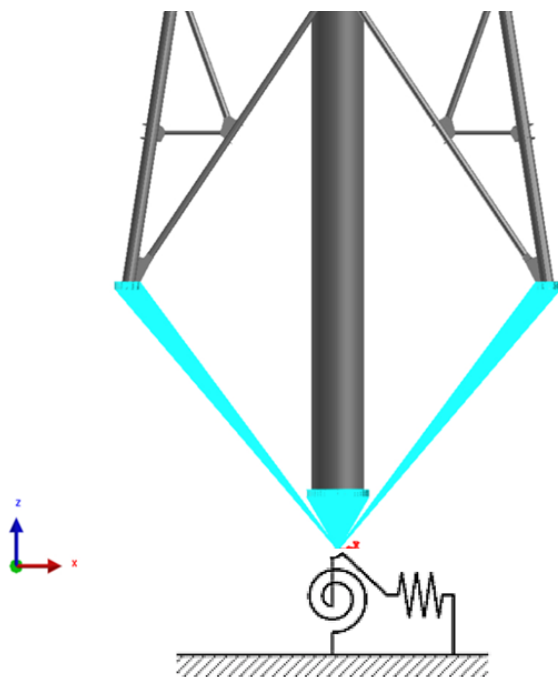


第 3.3 図 鉄塔柱脚部メッシュモデル



### 3.1.3 地盤ばね

基礎底面に地盤と構築物の相互作用を考慮した地盤ばね(水平及び回転)を設ける。地盤ばねは、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 に基づいて、振動アドミタンス理論により算定し、剛体とみなした排気筒基礎部に配置する。地盤ばねと排気筒基礎部を第 3.4 図に示す。



第 3.4 図 地盤ばねと排気筒基礎部

### 3.2 材料物性

材料物性について、鋼材のヤング率、ポアソン比及び密度を第 3.2 表に示す。鋼材のヤング率、ポアソン比及び密度については、鋼材の種類によらず一律に第 3.2 表の値を定義した。

第 3.2 表 鋼材のヤング率、ポアソン比、密度

ヤング率	$2.05 \times 10^5 [\text{N}/\text{mm}^2]$
ポアソン比	0.30[-]
密度	$7.85 \times 10^{-6} [\text{kg}/\text{mm}^3]$

鋼材の塑性特性は、日本産業標準調査会(以下「JIS」という。)のデータベースを参照した。

降伏応力、引張強さ、破断伸びは、データベースから各値をそれぞれ取得した。取得した各値は、保守的な解析条件とするため、板厚に応じた上下限値の内の下限値の値とした。第 3.3 表から第 3.9 表に JIS のデータベースから取得した各鋼材の塑性特性を、第 3.5 図から第 3.11 図に取得した塑性特性を用いて作成した各鋼材の応力-ひずみ線図を公称応力-公称ひずみでそれぞれ示す。

なお、VPS では、数値の取扱いとして、特別な場合を除き入出力とも真応力-真ひずみを使用され、本評価書内の応力、ひずみとも明記がないものは全て真応力-真ひずみで記載している。

第 3.3 表 SMA400A 塑性特性

降伏応力	245 [MPa]
引張強さ	400 [MPa]
破断伸び	17 [%]

第 3.4 表 SS400 (16t 以下) 塑性特性

降伏応力	245 [MPa]
引張強さ	400 [MPa]
破断伸び	17 [%]

第 3.5 表 SS400 (16t 超え) 塑性特性

降伏応力	235 [MPa]
引張強さ	400 [MPa]
破断伸び	21 [%]

第 3.6 表 STK400 塑性特性

降伏応力	235 [MPa]
引張強さ	400 [MPa]
破断伸び	17 [%]

第 3.7 表 STK490 塑性特性

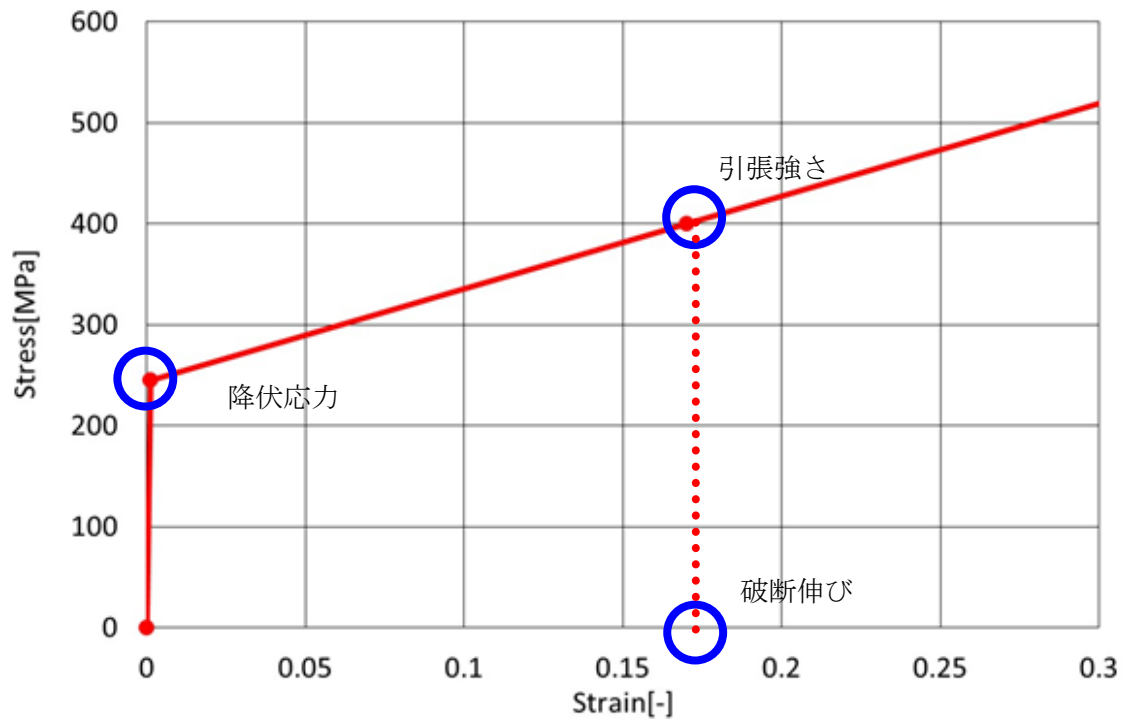
降伏応力	315 [MPa]
引張強さ	490 [MPa]
破断伸び	17 [%]

第 3.8 表 SM400A (16t 超え) 塑性特性

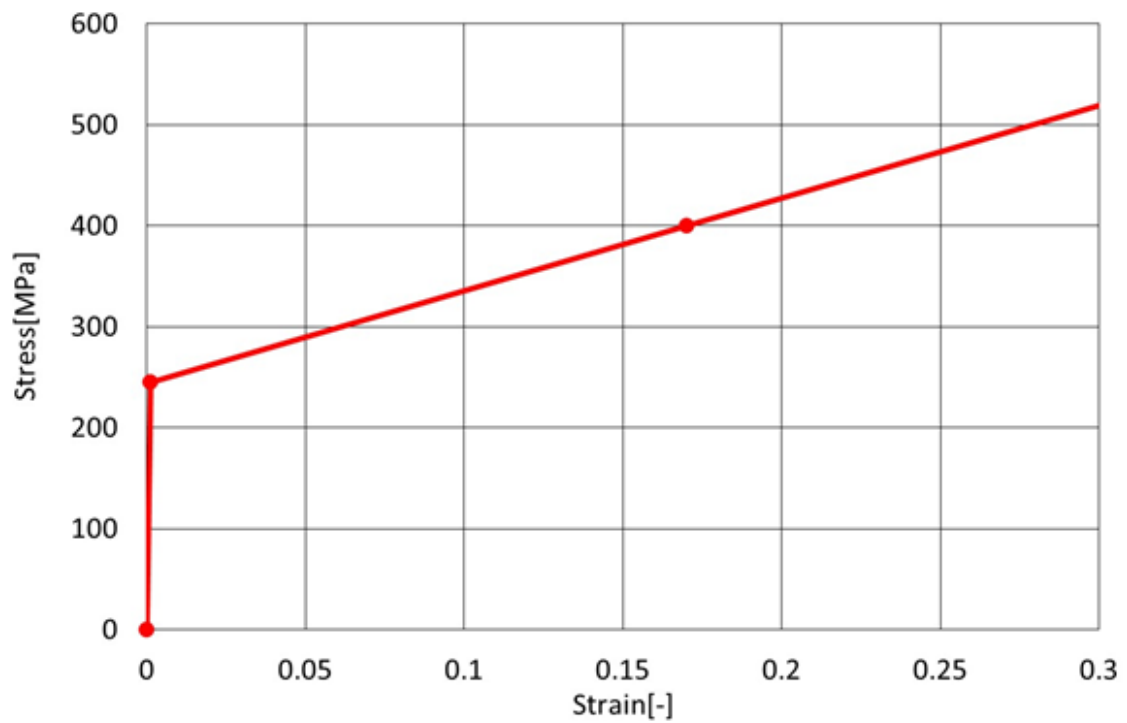
降伏応力	235 [MPa]
引張強さ	400 [MPa]
破断伸び	22 [%]

第 3.9 表 SM490A (16t 以下) 塑性特性

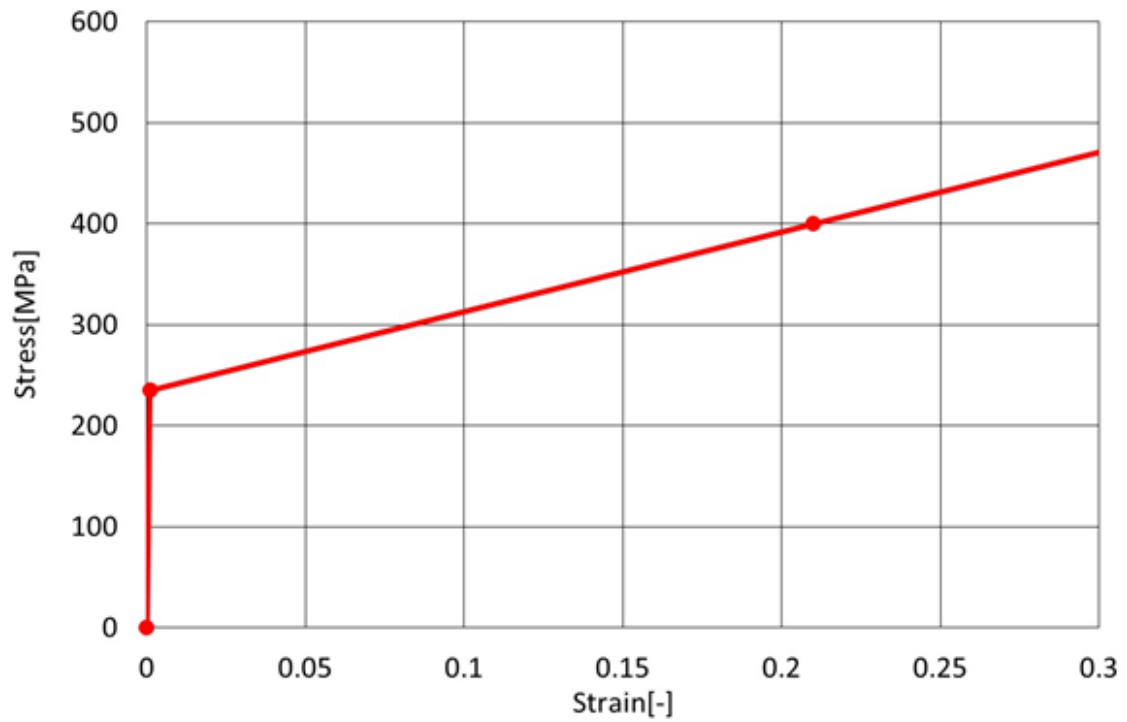
降伏応力	325 [MPa]
引張強さ	490 [MPa]
破断伸び	17 [%]



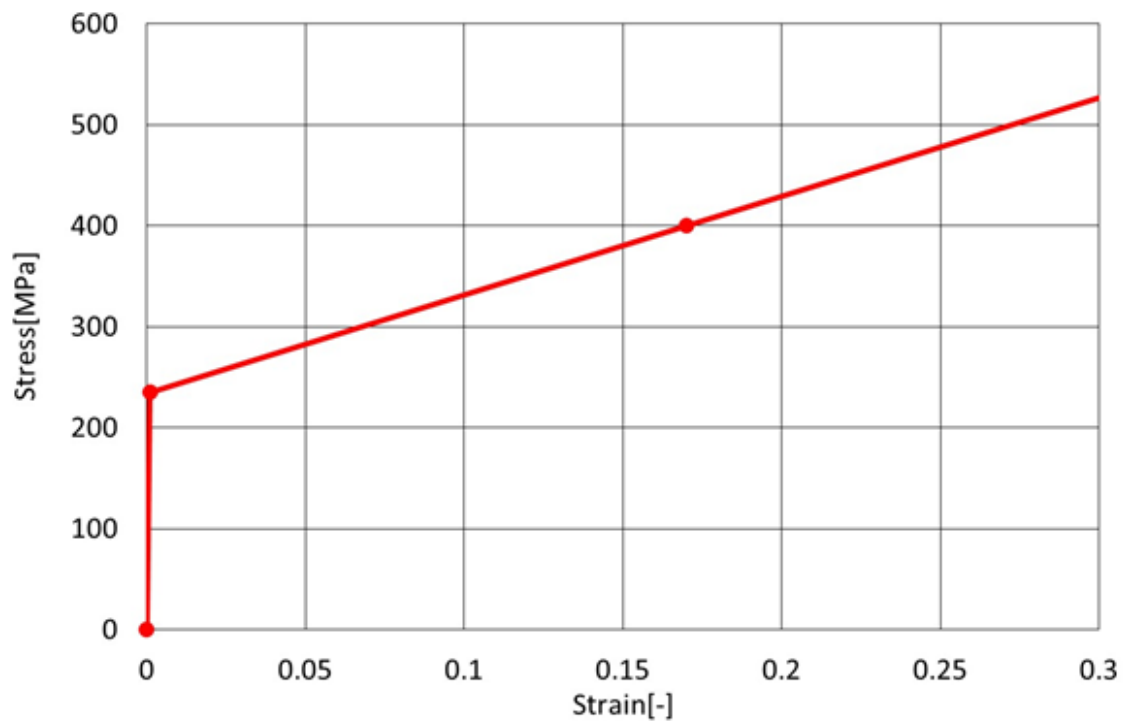
第 3.5 図 SMA400A 応力-ひずみ線図



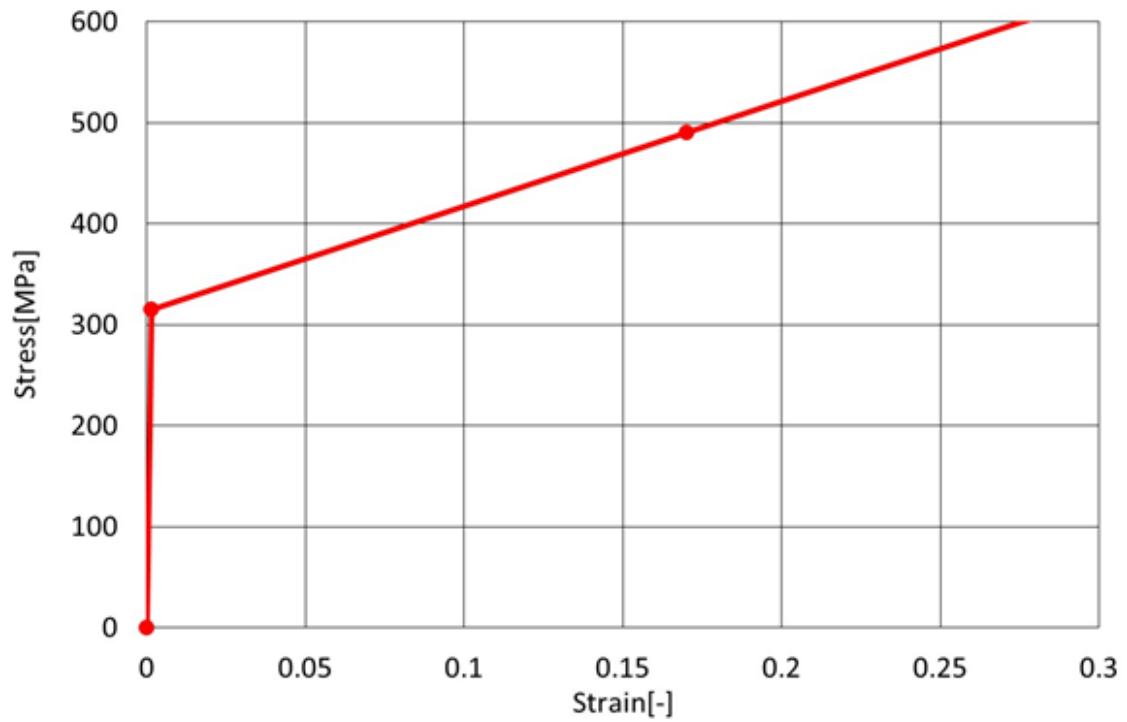
第 3.6 図 SS400 (16t 以下) 応力-ひずみ線図



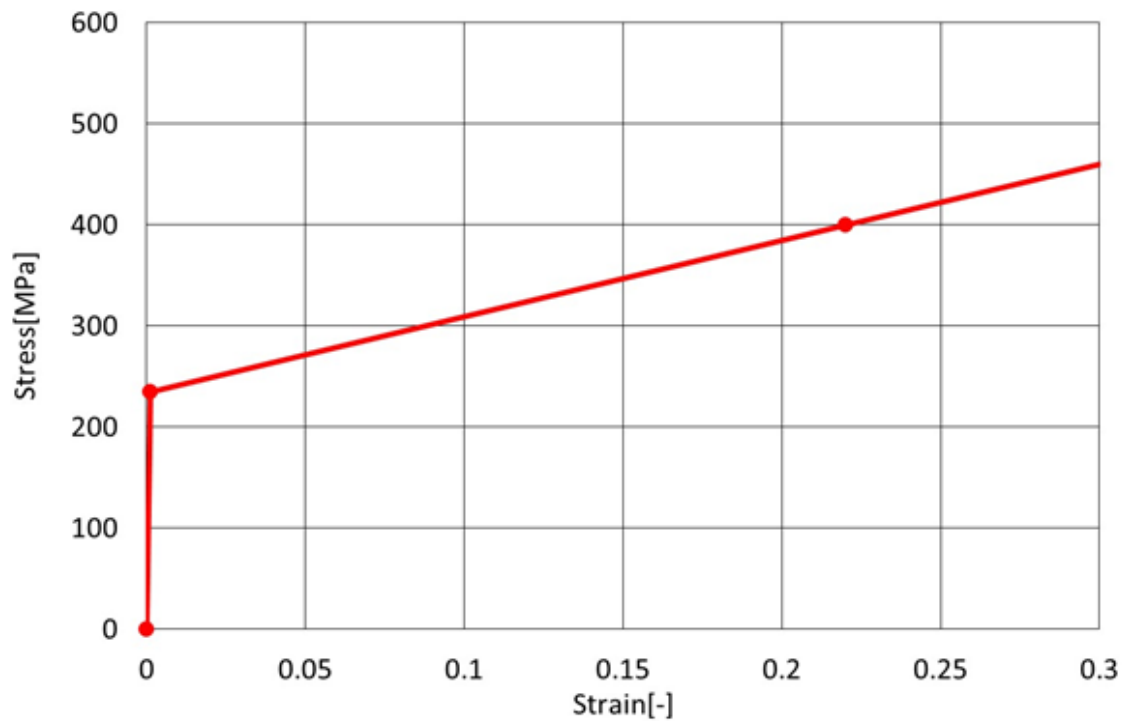
第 3.7 図 SS400(16t 超え)応力-ひずみ線図



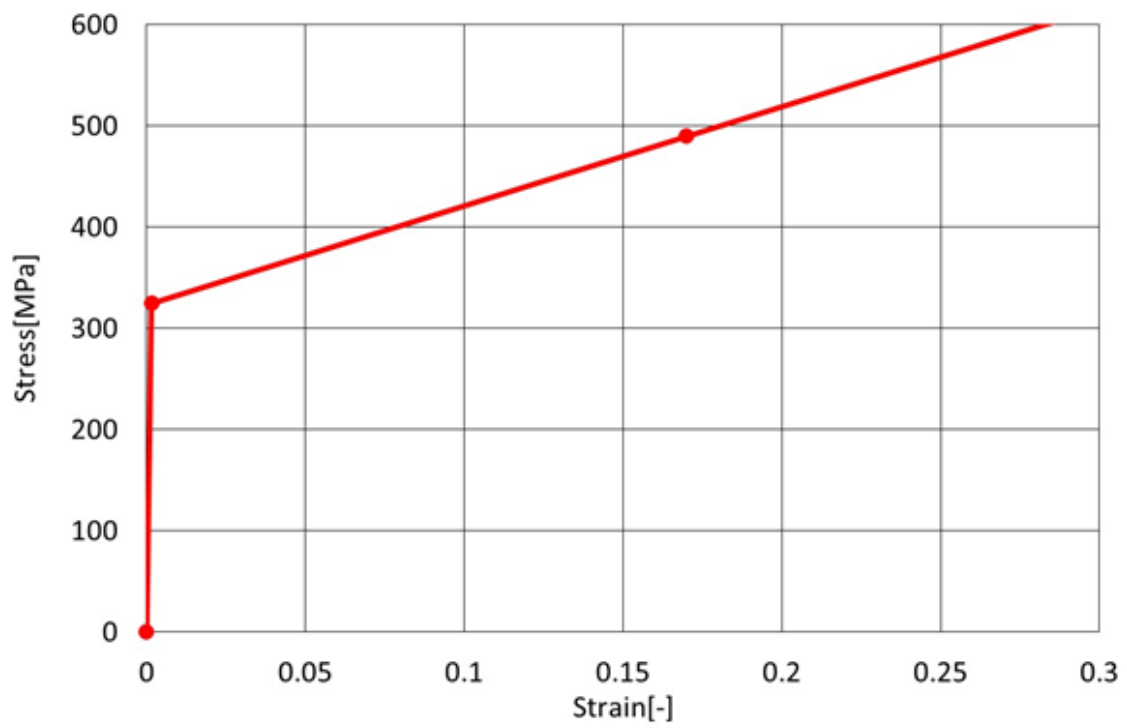
第 3.8 図 STK400 応力-ひずみ線図



第 3.9 図 STK490 応力-ひずみ線図



第 3.10 図 SM400A(16t 超え)応力-ひずみ線図



第 3.11 図 SM490A(16t 以下)応力-ひずみ線図

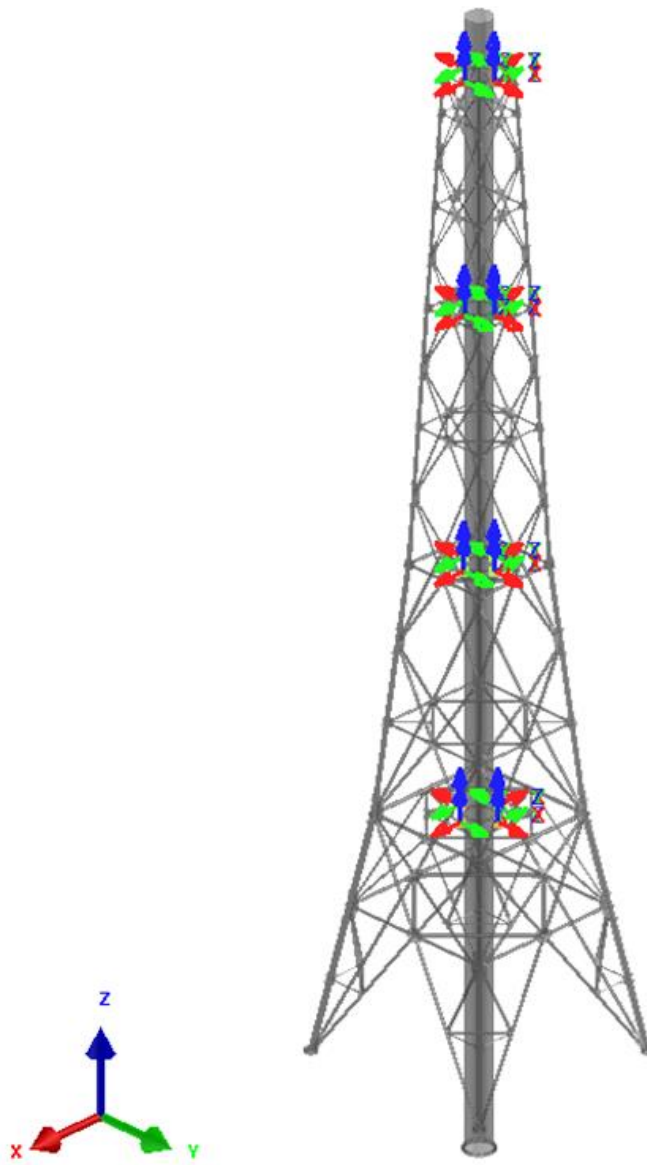
### 3.3 筒身と鉄塔間の結合定義

筒身-鉄塔間の結合定義について、定数を持つジョイント要素を用いてモデル化した。各ジョイント要素は一軸の並進方向の自由度を持ち、その他の自由度については拘束する条件とした。解析モデルに定義した各支持点のばね定数を第 3.10 表に示す。また筒身-鉄塔間の結合箇所を第 3.12 図に示す。

第 3.10 表 筒身-鉄塔間結合ばね定数

支持点高さ(T.P. [m])	ばね定数[N/m]
112.0	$1.461 \times 10^9$
94.3	$2.707 \times 10^8$
74.9	$3.020 \times 10^8$
56.0	$2.236 \times 10^8$





第 3.12 図 筒身-鉄塔間結合箇所  
(図内矢印：各局所座標系を表す。赤：X 方向、緑：Y 方向、青：Z 方向)

### 3.4 排気筒モデルの重量

排気筒の筒身部、鉄塔部及び基礎部の重量を第 3.11 表に示す。

第 3.11 表 排気筒重量

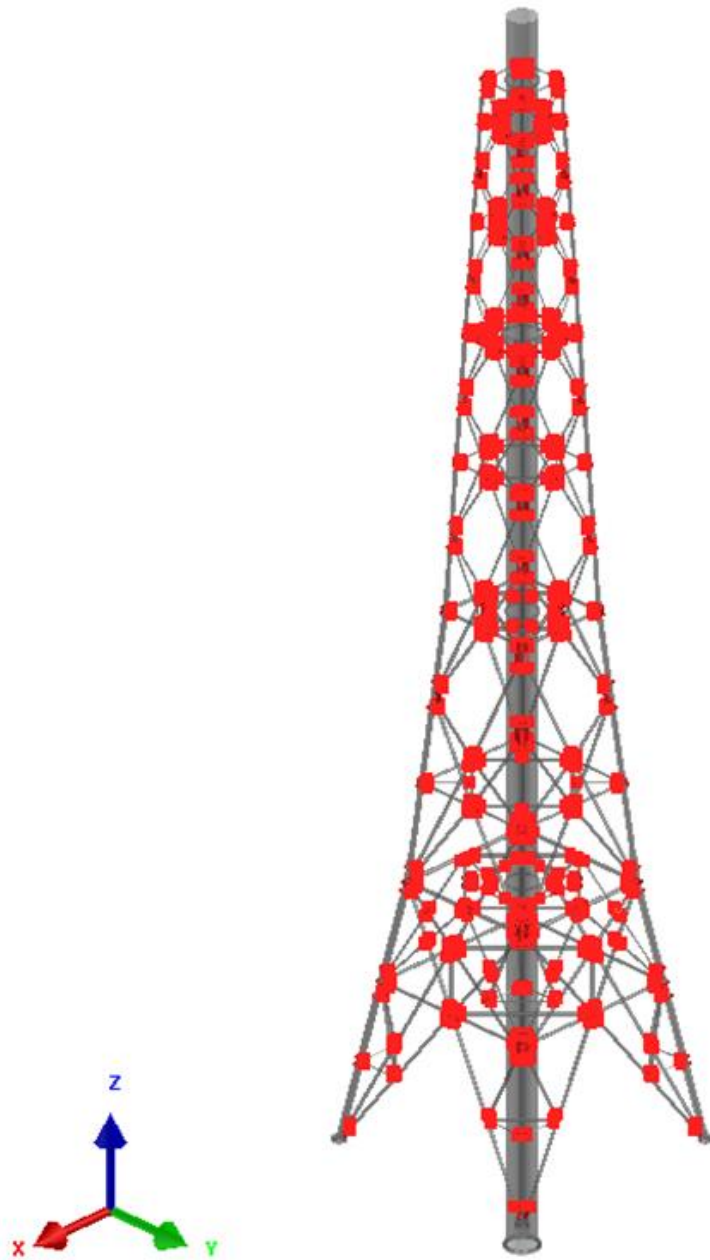
排気筒	高さ(T.P. [m])	質量[kg]
筒身部	112.0	11,160
	94.3	14,630
	74.9	15,100
	56.0	19,180
鉄塔部	112.0	9,040
	94.3	18,820
	74.9	27,780
	56.0	42,620
	37.9	1,020,800
基礎部	30.5	3,465,800
	28.7	758,400

### 3.5 ガゼットプレート、スライスプレートの結合定義

排気筒におけるガゼットプレートとスライスプレートの結合について、破断を考慮した結合定義を行った。具体的には、破断荷重を閾値とし、閾値を超過する荷重が作用すると結合が失われる定義とした。ガゼットプレートとスライスプレートの各結合の破断荷重を第 3.12 表に示す。ガゼットプレート及びスライスプレートによる結合箇所を第 3.13 図に示す。

第 3.12 表 ガゼットプレート、スライスプレート結合の破断荷重

結合箇所	破断荷重[kN]
ガゼットプレート	1824
スライスプレート	1158



第 3.13 図 ガセットプレート、スライスプレート結合箇所

#### 4. 排気筒の解析

##### 4.1 固有値解析

排気筒の固有値解析の結果として、主要な固有振動数を第 4.1 表に示す。

第 4.1 表 排気筒の固有振動数

次数	固有振動数[s]	備考
1	0.807	水平一次
2	0.807	
3	0.247	水平二次
4	0.247	
8	0.171	ねじり
9	0.164	水平三次
10	0.164	
13	0.158	水平四次
14	0.158	
22	0.109	水平五次
23	0.108	
28	0.102	水平六次
29	0.102	
33	0.092	鉛直一次

## 4.2 耐震解析

耐震解析では、自重による荷重及び地震動による荷重を入力し、排気筒の筒身及び鉄塔の耐震解析を行い、応力分布等について確認を行った。

### 4.2.1 地震解析条件の設定

#### (1) 地盤ばねのモデル化

地盤と構造体との動的相互作用を考慮するため、地震解析のモデルにおいて、地盤と排気筒の間に、水平ばねと回転ばねからなる地盤ばねを定義した。解析モデルに定義した地盤ばねの特性を第 4.2 表に示す。

#### (2) 地震動

耐震解析に用いる地震動を第 4.2 図から第 4.19 図に示す。断層モデル手法により策定した地震動 Ss-1 から Ss-5 は、加速度を 3 方向同時に入力した。応答スペクトル手法により策定した地震動 Ss-D は、加速度を 2 方向同時に入力した。加速度の入力方向を第 4.3 表に示す。地震動及び地盤ばねの入力位置を第 4.1 図に示す。

#### (3) 重力加速度

重力を考慮するために、解析モデルの全節点に重力加速度を定義した。重力加速度は  $9.80665 \text{ [m/s}^2\text{]}$  とした。

#### (4) 耐震解析の判断基準

判断基準は、筒身及び鉄塔の破断の有無とした。本解析において、筒身及び鉄塔が破断する場合とは、鉄塔の破断塑性ひずみの閾値  $0.156 (15.6\%)$  を超過することである。応力評価のための許容応力(引張強さ)の値を第 4.4 表に示す。

第 4.2 表 地盤ばね特性

地震波	方向	成分	剛性	減衰係数
—	—	—	kN/m(並進) kN・m/rad(回転)	kNs/m(並進) kN・m・s/rad(回転)
Ss-1	水平	並進	$1.168 \times 10^7$	$2.196 \times 10^5$
		回転	$1.228 \times 10^9$	$5.906 \times 10^6$
	鉛直	並進	$1.600 \times 10^7$	$4.497 \times 10^5$
Ss-2	水平	並進	$1.248 \times 10^7$	$2.266 \times 10^5$
		回転	$1.319 \times 10^9$	$5.928 \times 10^6$
	鉛直	並進	$1.723 \times 10^7$	$4.663 \times 10^5$
Ss-3	水平	並進	$1.130 \times 10^7$	$2.162 \times 10^5$
		回転	$1.185 \times 10^9$	$5.899 \times 10^6$
	鉛直	並進	$1.610 \times 10^7$	$4.510 \times 10^5$
Ss-4	水平	並進	$1.243 \times 10^7$	$2.262 \times 10^5$
		回転	$1.312 \times 10^9$	$5.929 \times 10^6$
	鉛直	並進	$1.722 \times 10^7$	$4.661 \times 10^5$
Ss-5	水平	並進	$1.293 \times 10^7$	$2.304 \times 10^5$
		回転	$1.357 \times 10^9$	$5.933 \times 10^6$
	鉛直	並進	$1.857 \times 10^7$	$4.835 \times 10^5$
Ss-D	水平	並進	$1.108 \times 10^7$	$2.141 \times 10^5$
		回転	$1.181 \times 10^9$	$5.888 \times 10^6$
	鉛直	並進	$1.452 \times 10^7$	$4.288 \times 10^5$

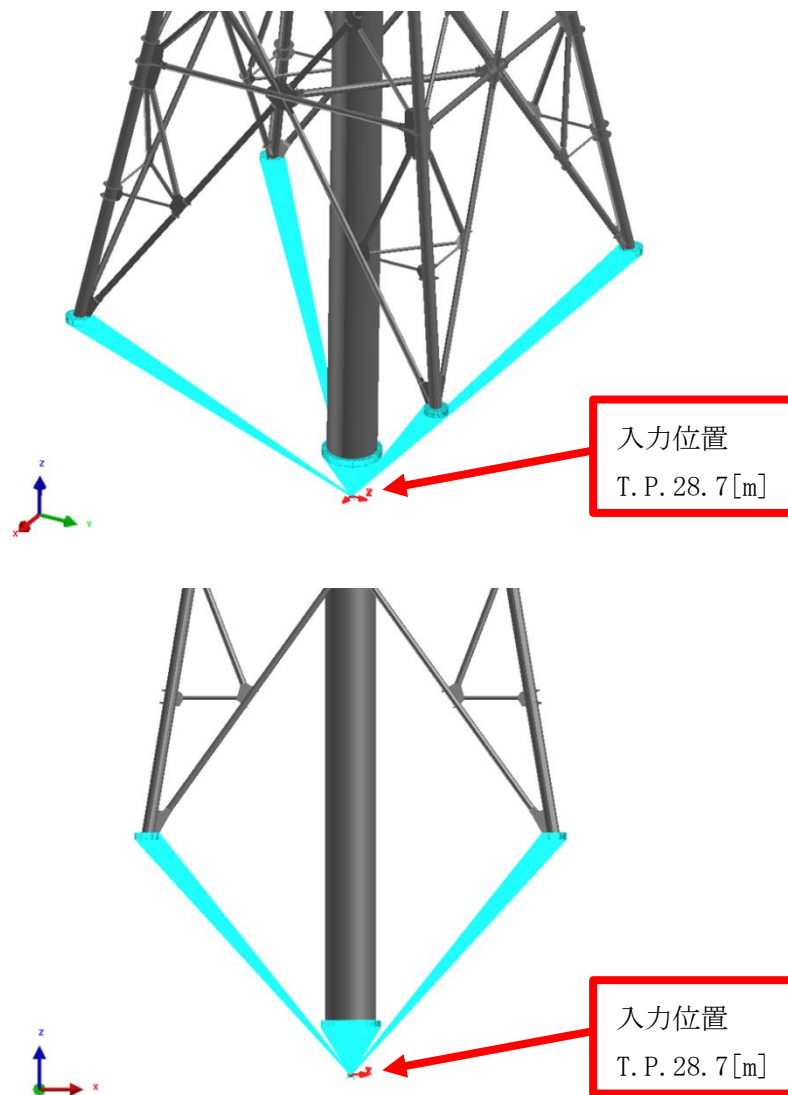
第 4.3 表 加速度入力方向

地震動種類	加速度入力方向
Ss-1	NS+EW+UD
Ss-2	NS+EW+UD
Ss-3	NS+EW+UD
Ss-4	NS+EW+UD
Ss-5	NS+EW+UD
Ss-D	NS+UD

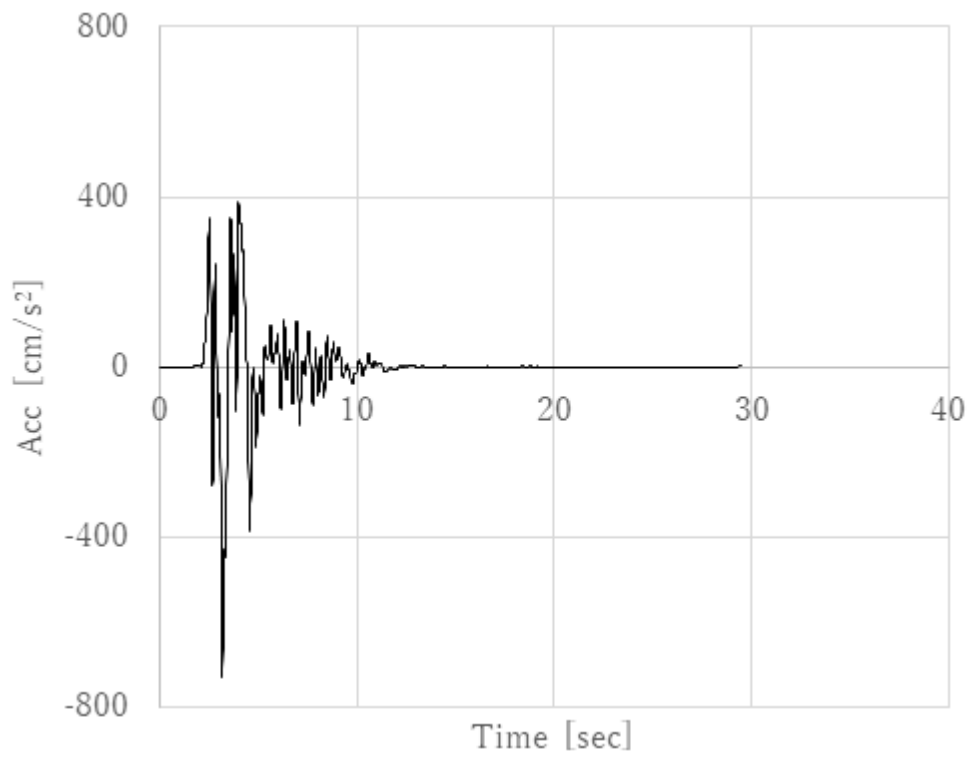
第 4.4 表 判断基準(破断塑性ひずみ及び許容応力)

部位	破断塑性ひずみ (真ひずみ) [%]	引張強さ [MPa]
筒身	15.6	469
鉄塔	15.6	574

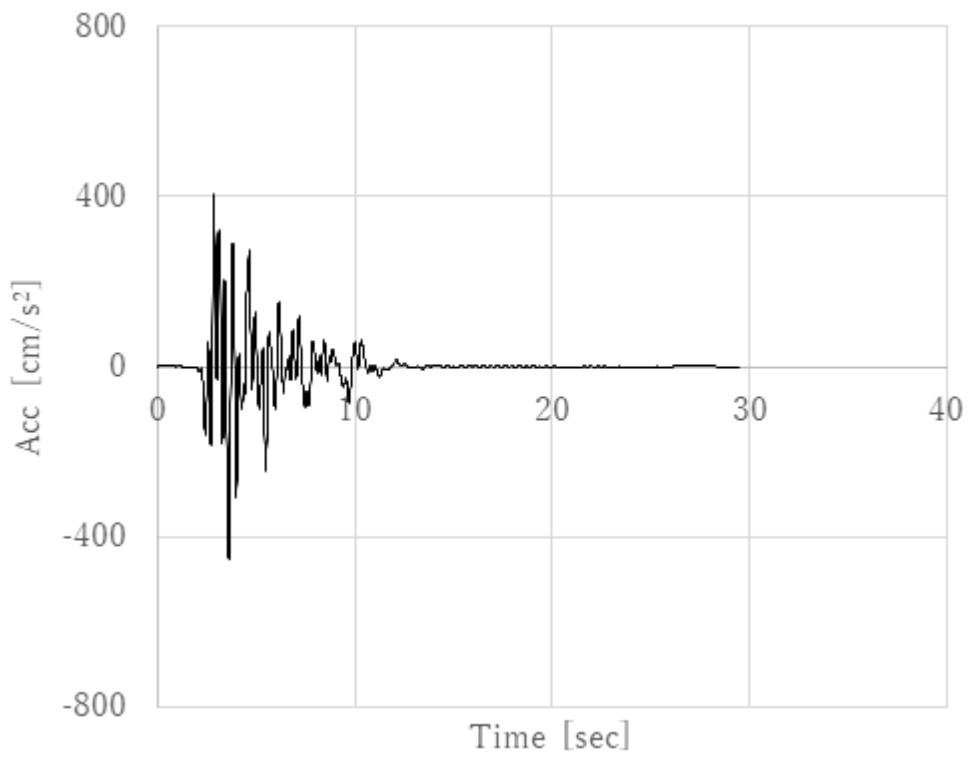




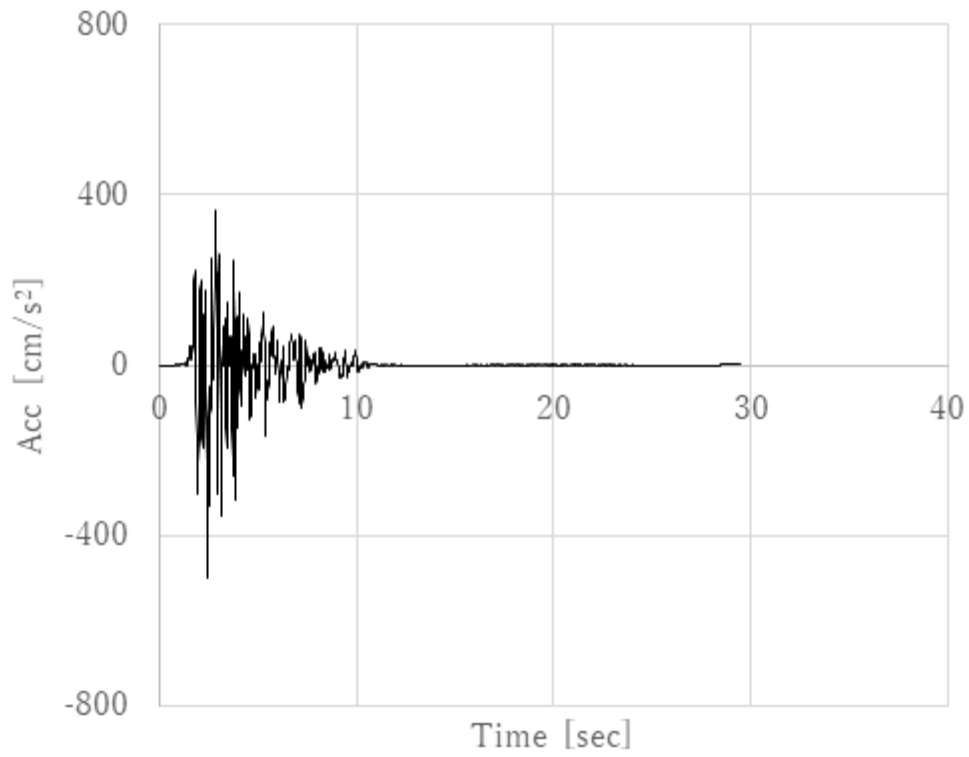
第 4.1 図 地震動及び地盤ばねの入力位置(上図：斜視図、下図：側面図)



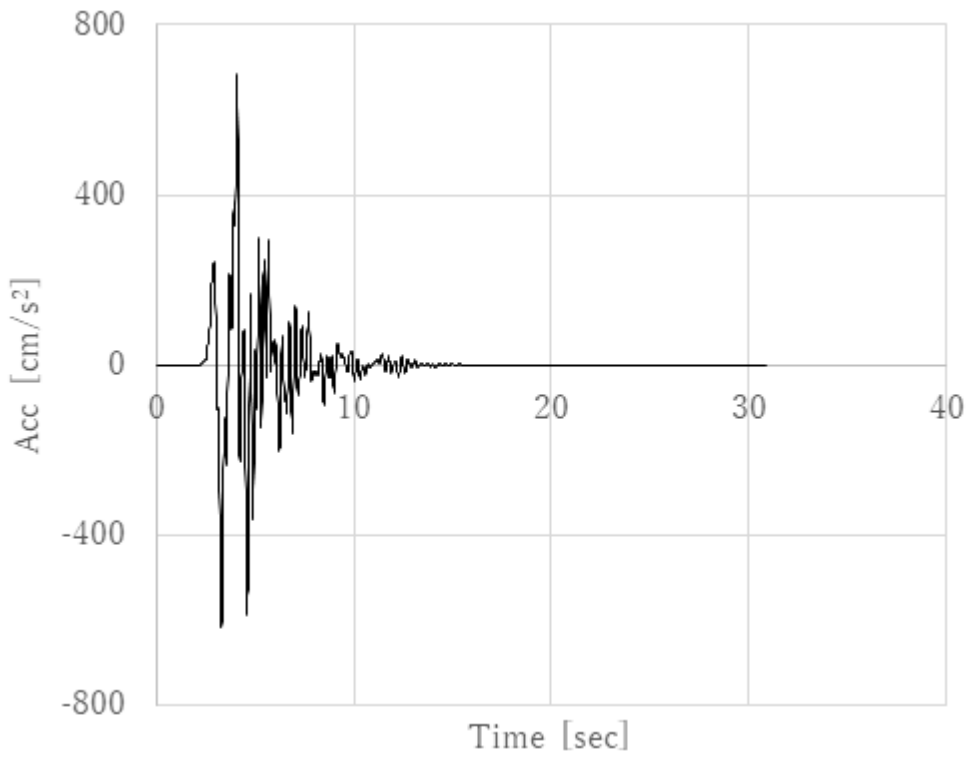
第 4.2 図 Ss-1 加速度時刻歴 : NS



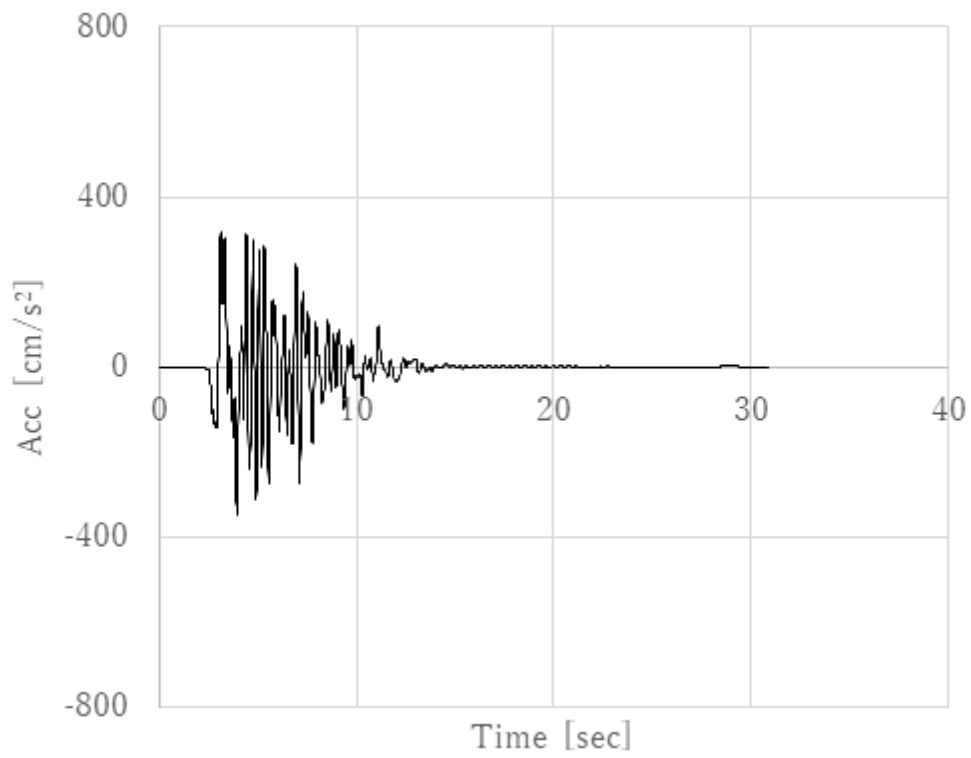
第 4.3 図 Ss-1 加速度時刻歴 : EW



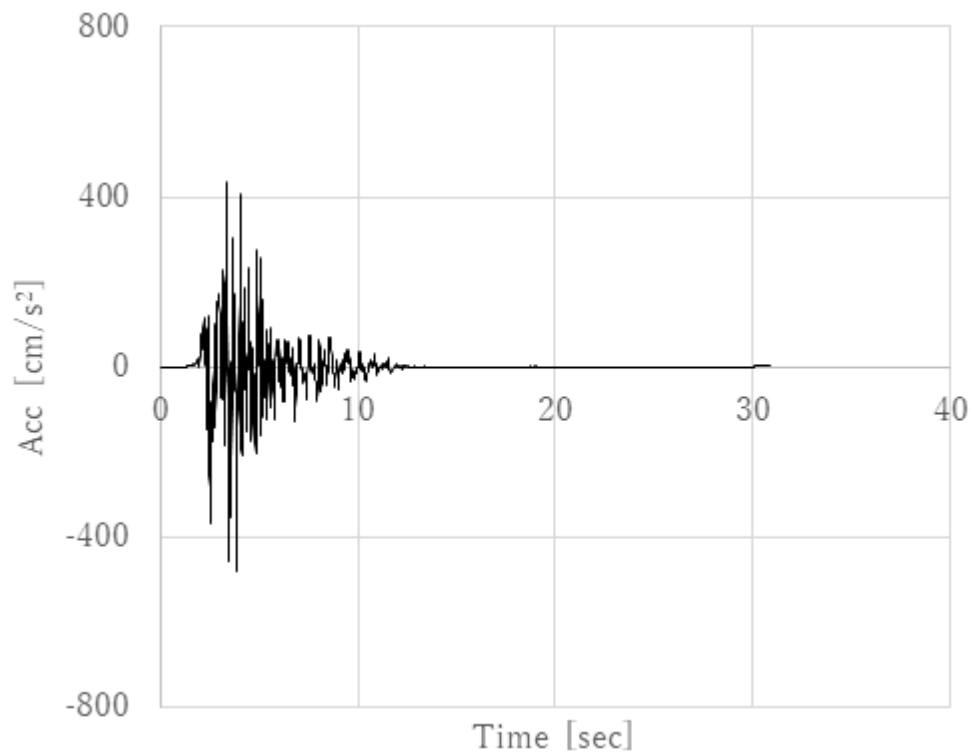
第 4.4 図 Ss-1 加速度時刻歴 : UD



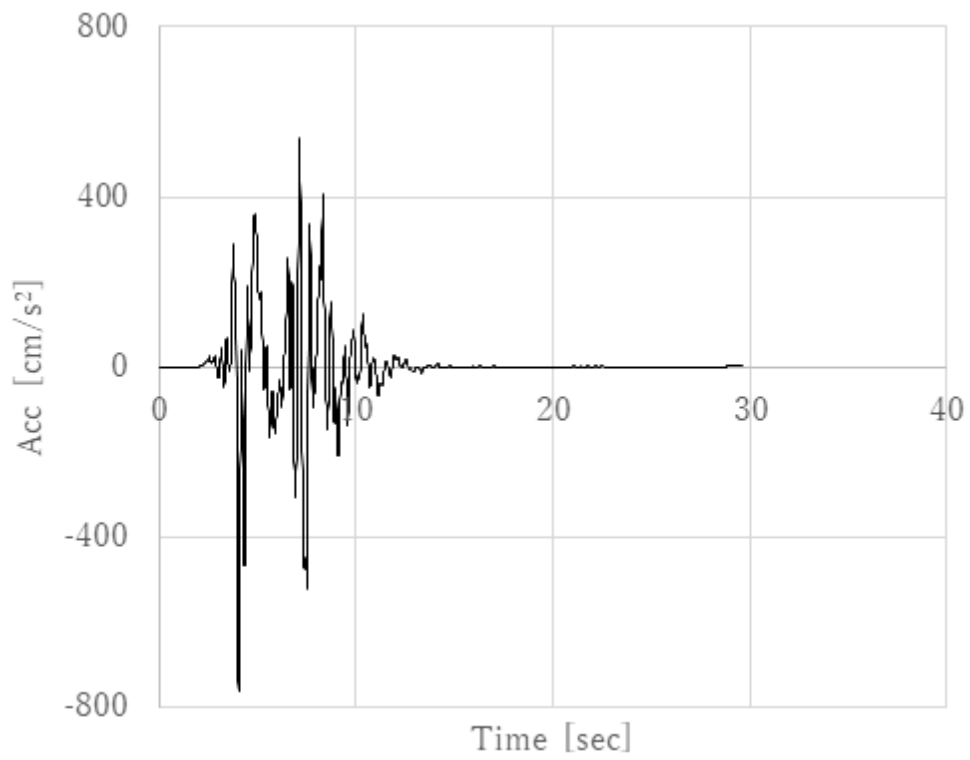
第 4.5 図 Ss-2 加速度時刻歴 : NS



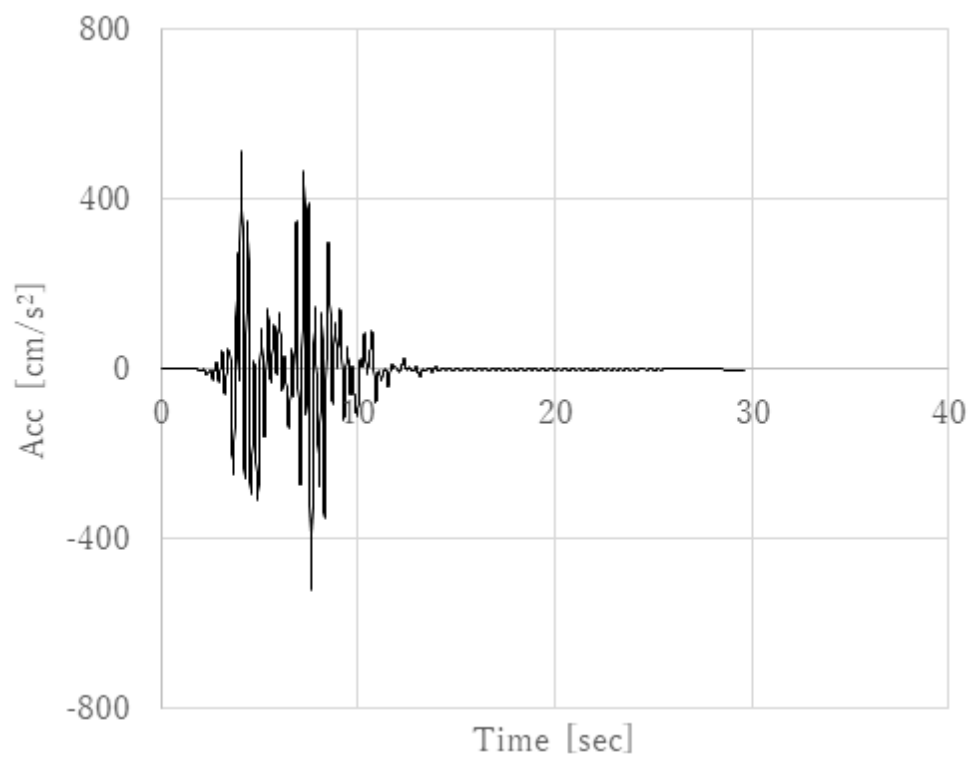
第 4.6 図 Ss-2 加速度時刻歴 : EW



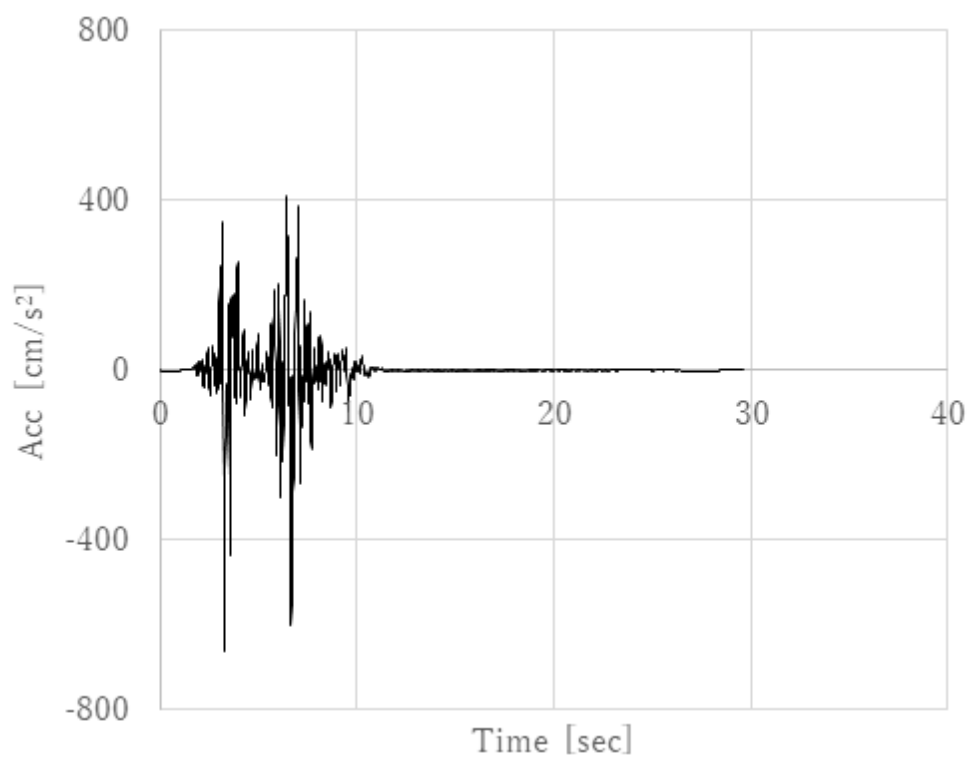
第 4.7 図 Ss-2 加速度時刻歴 : UD



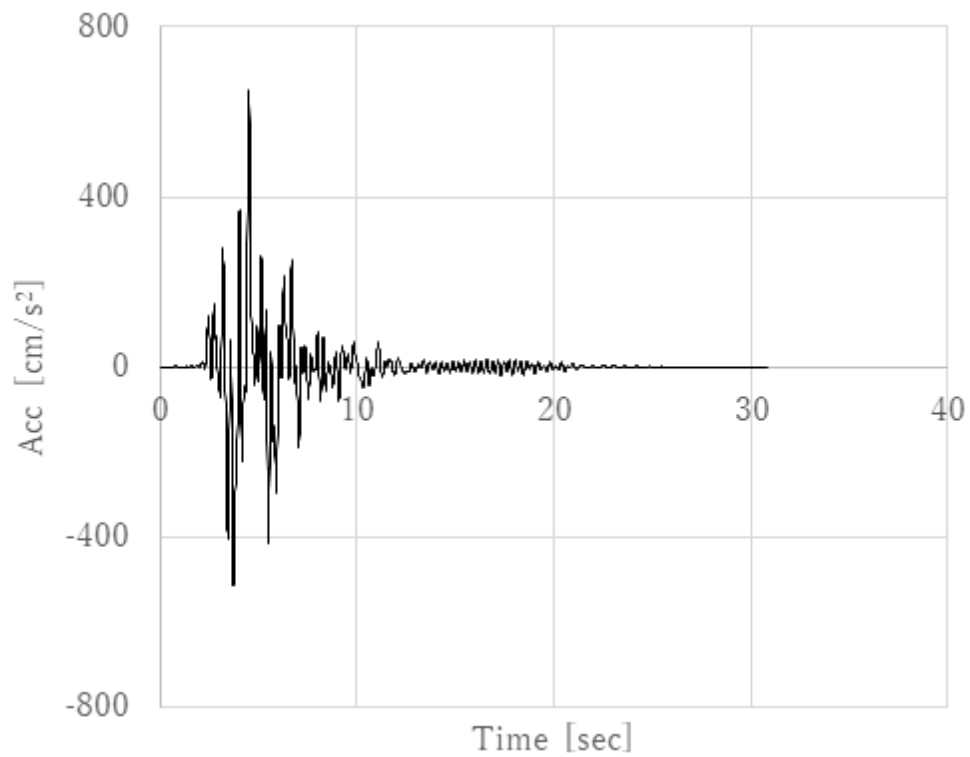
第 4.8 図 Ss-3 加速度時刻歴：NS



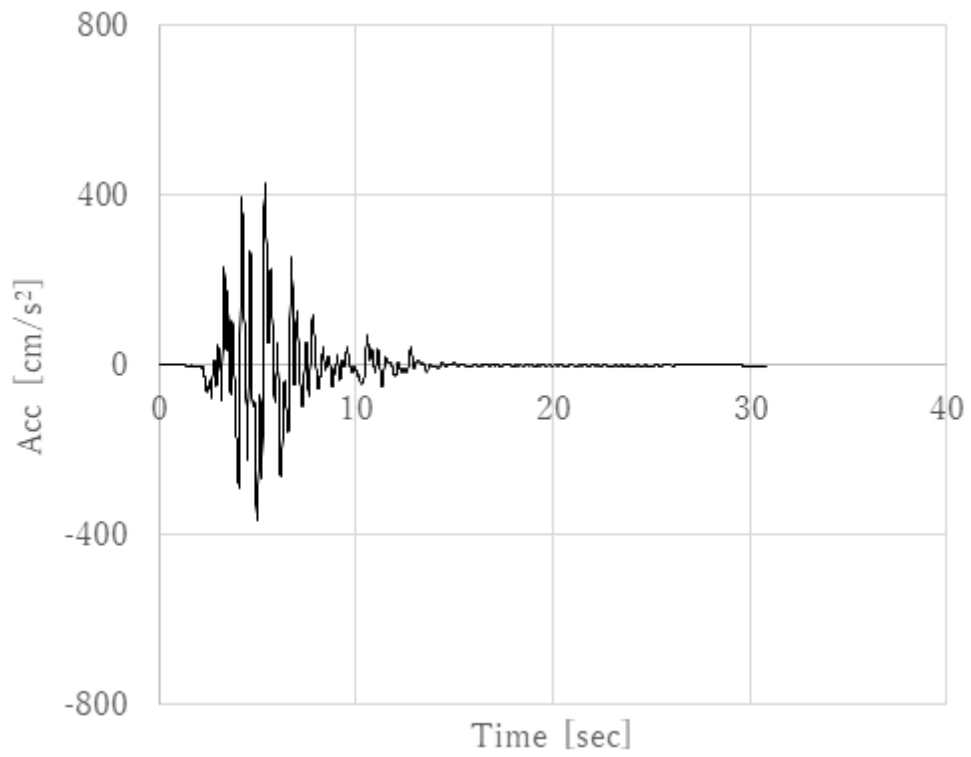
第 4.9 図 Ss-3 加速度時刻歴：EW



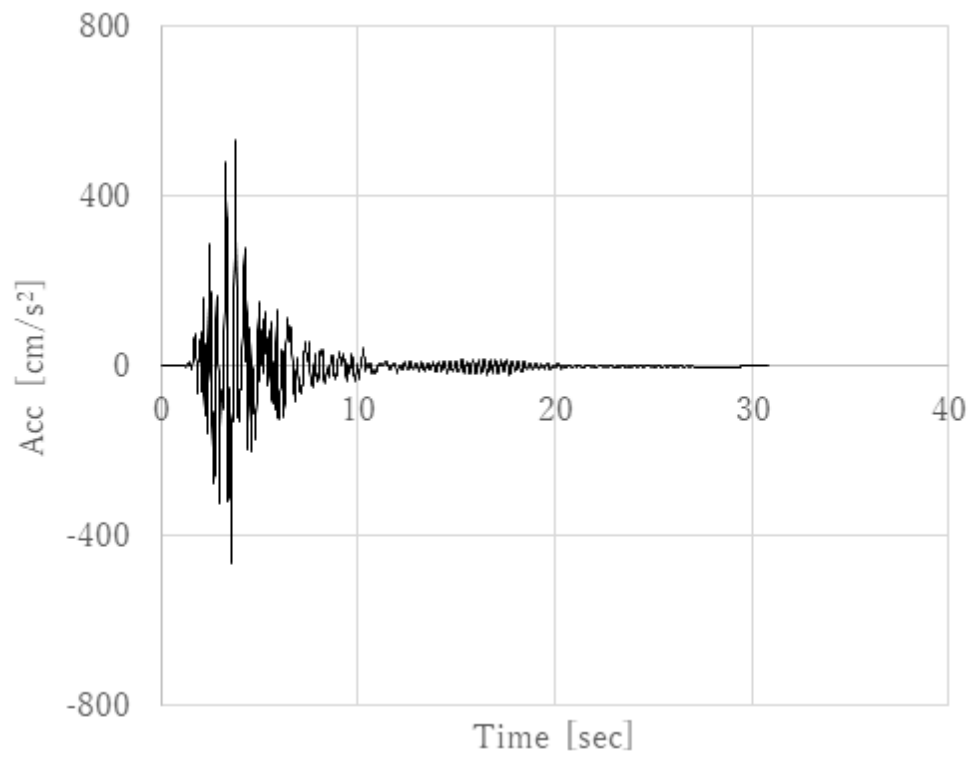
第 4.10 図 Ss-3 加速度時刻歴 : UD



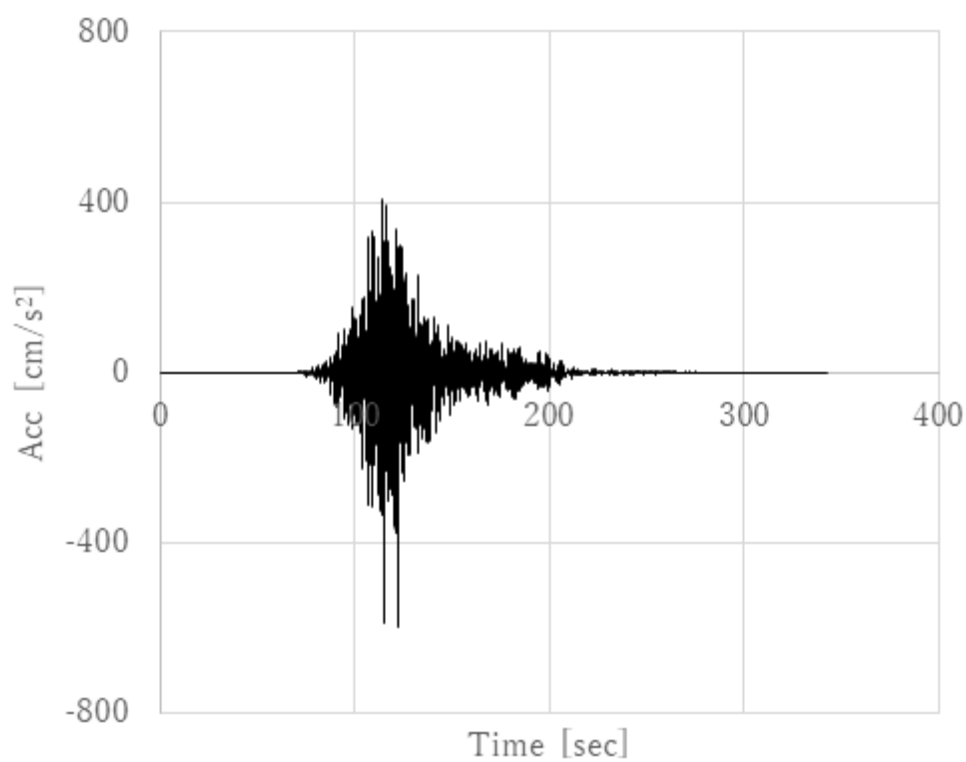
第 4.11 図 Ss-4 加速度時刻歴 : NS



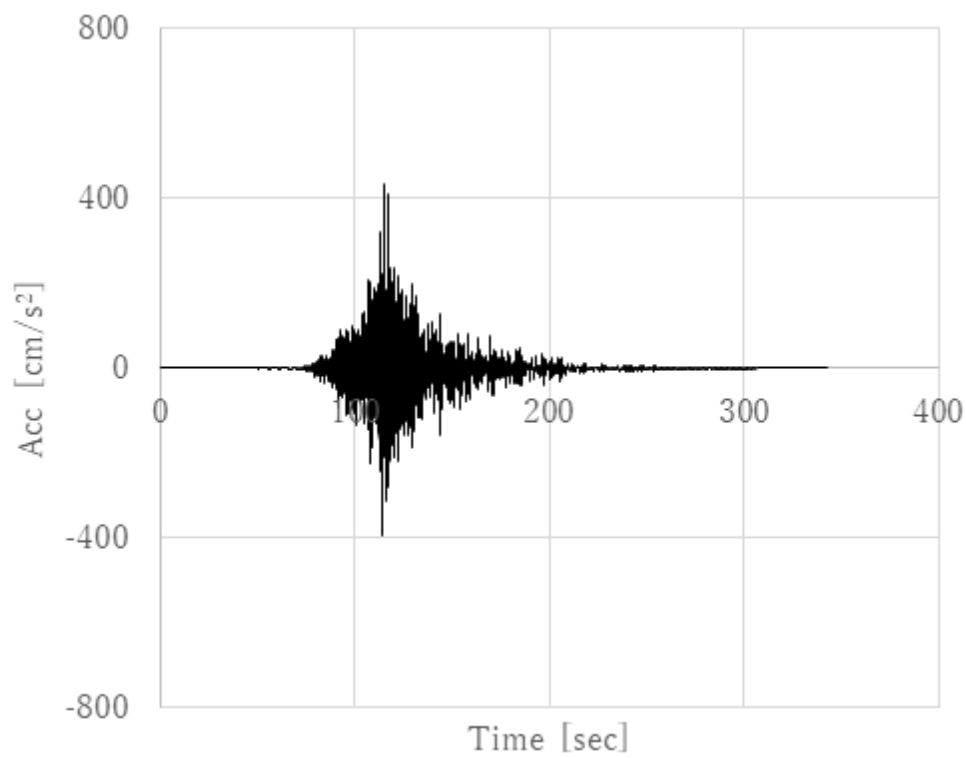
第 4.12 図 Ss-4 加速度時刻歴 : EW



第 4.13 図 Ss-4 加速度時刻歴 : UD

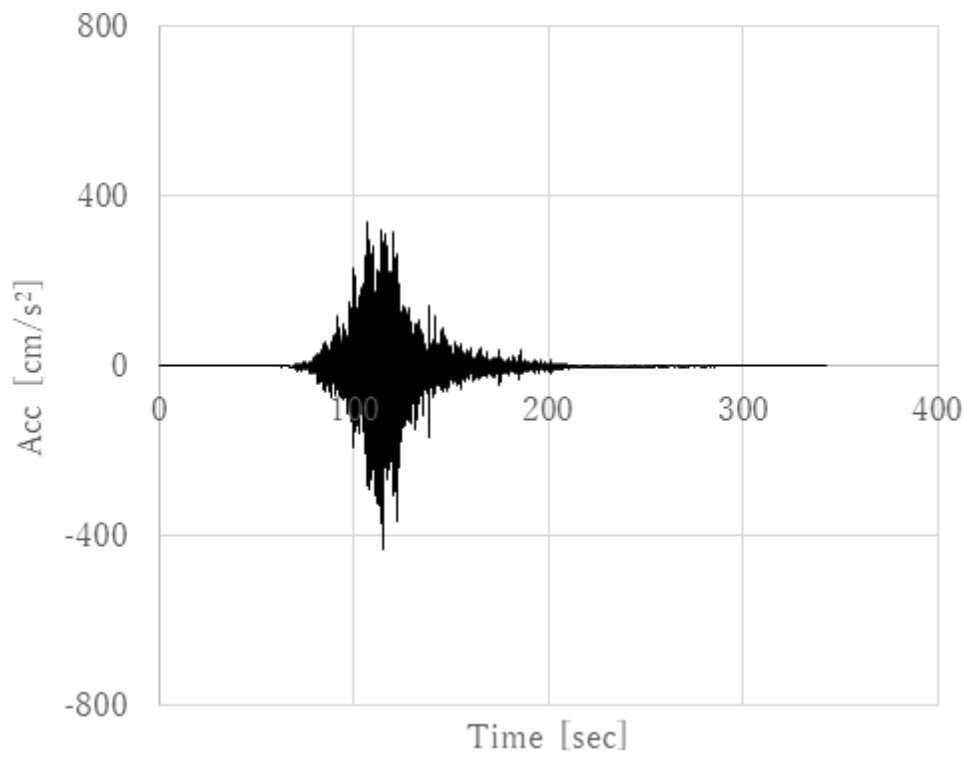


第 4.14 図 Ss-5 加速度時刻歴 : NS

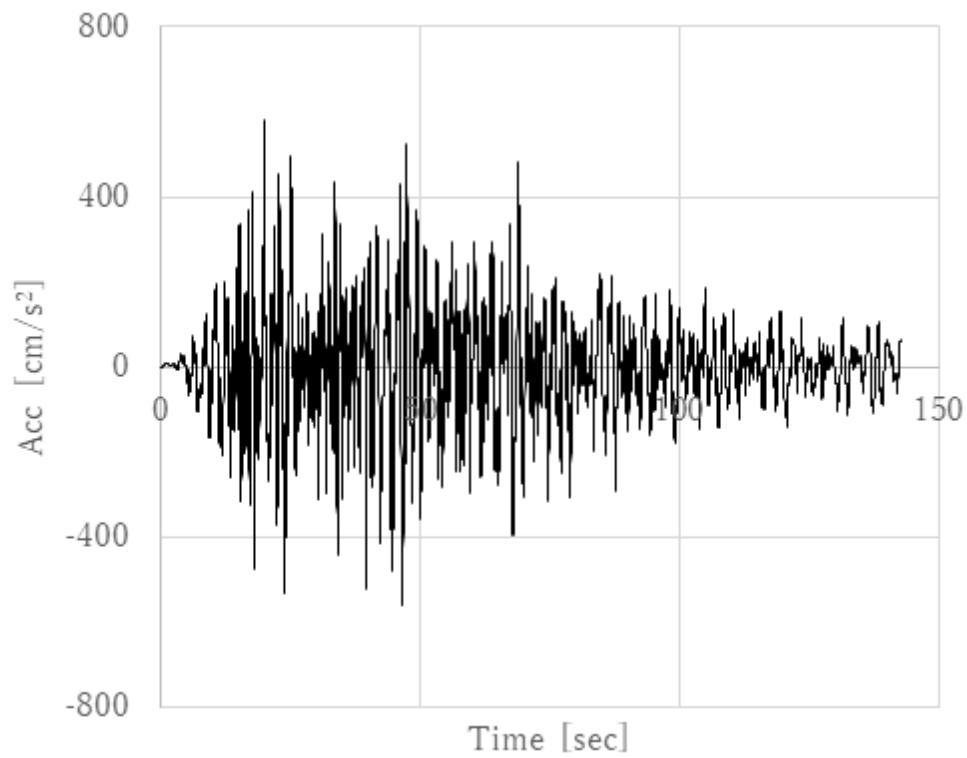


第 4.15 図 Ss-5 加速度時刻歴 : EW

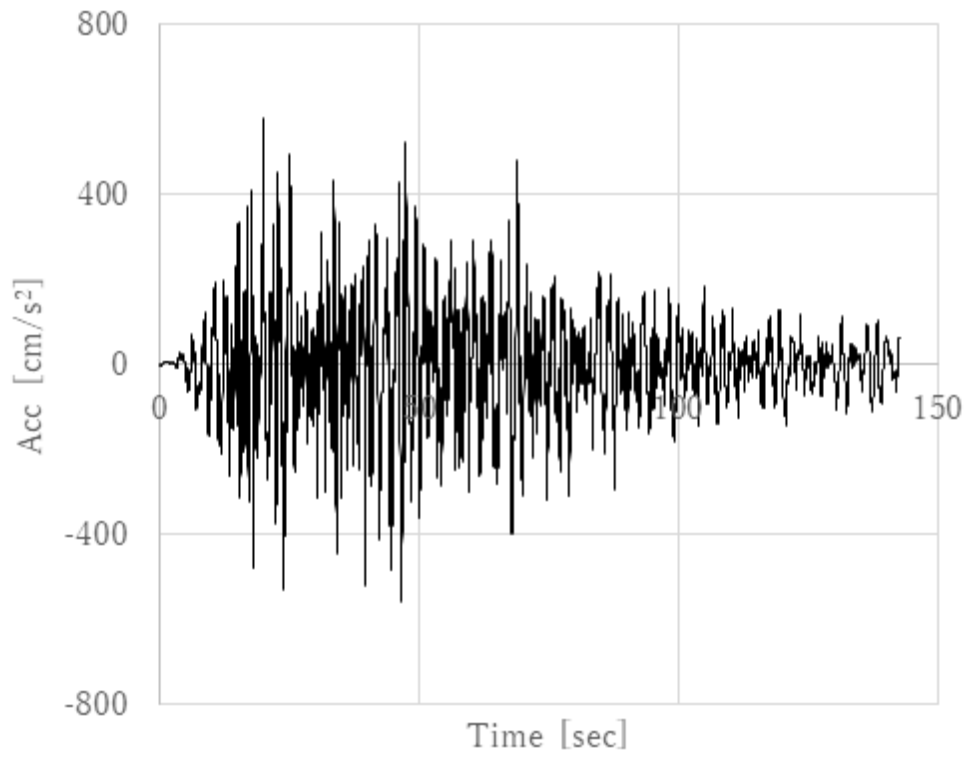




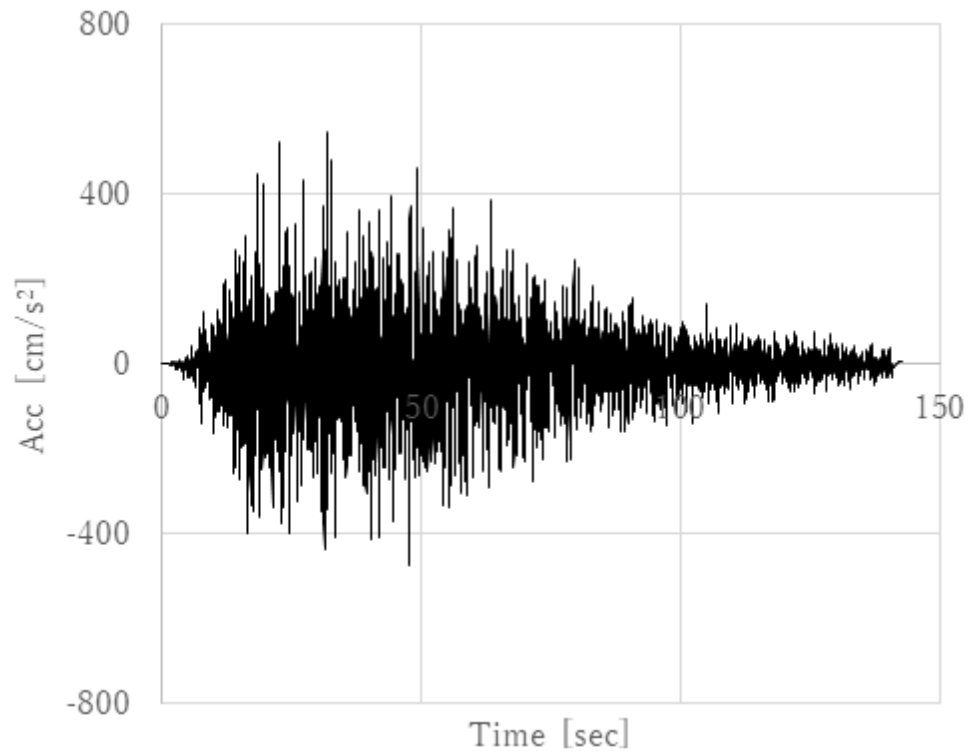
第 4.16 図 Ss-5 加速度時刻歴 : UD



第 4.17 図 Ss-D 加速度時刻歴 : NS



第 4.18 図 S<sub>s</sub>-D 加速度時刻歴 : EW



第 4.19 図 S<sub>s</sub>-D 加速度時刻歴 : UD

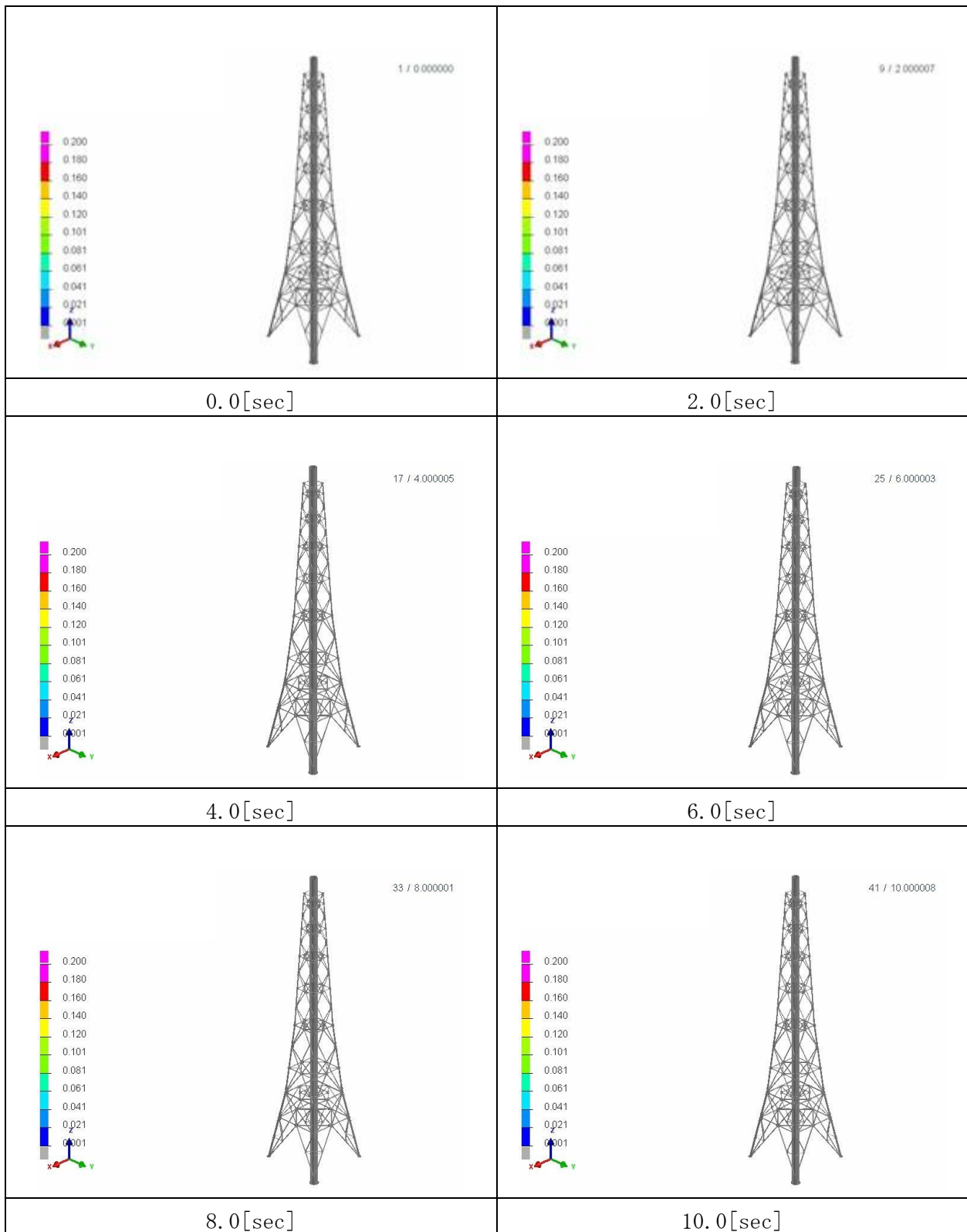
### 4.3 耐震解析結果

#### 4.3.1 Ss-1 による耐震解析結果

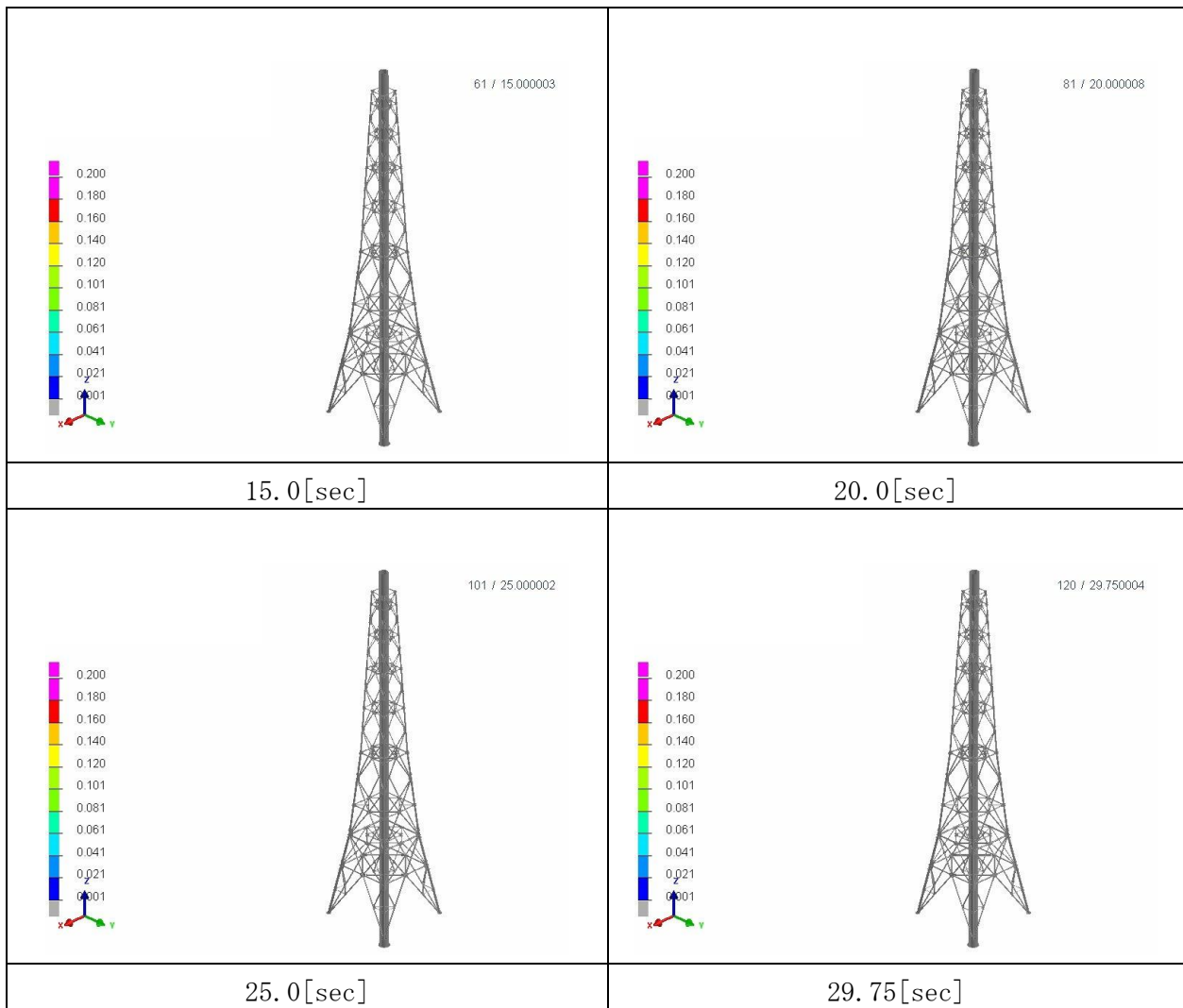
Ss-1 による排気筒の耐震解析の結果を示す。事象時間内における最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さを第 4.5 表に示す。相当塑性ひずみコンター図(代表時間ごと)を第 4.20 図及び第 4.21 図に、各要素の事象時間内における最大相当塑性ひずみのコンター図を第 4.22 図に、各要素の事象時間内における最大相当応力のコンター図を第 4.23 図に示す。

第 4.5 表 最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ(Ss-1)

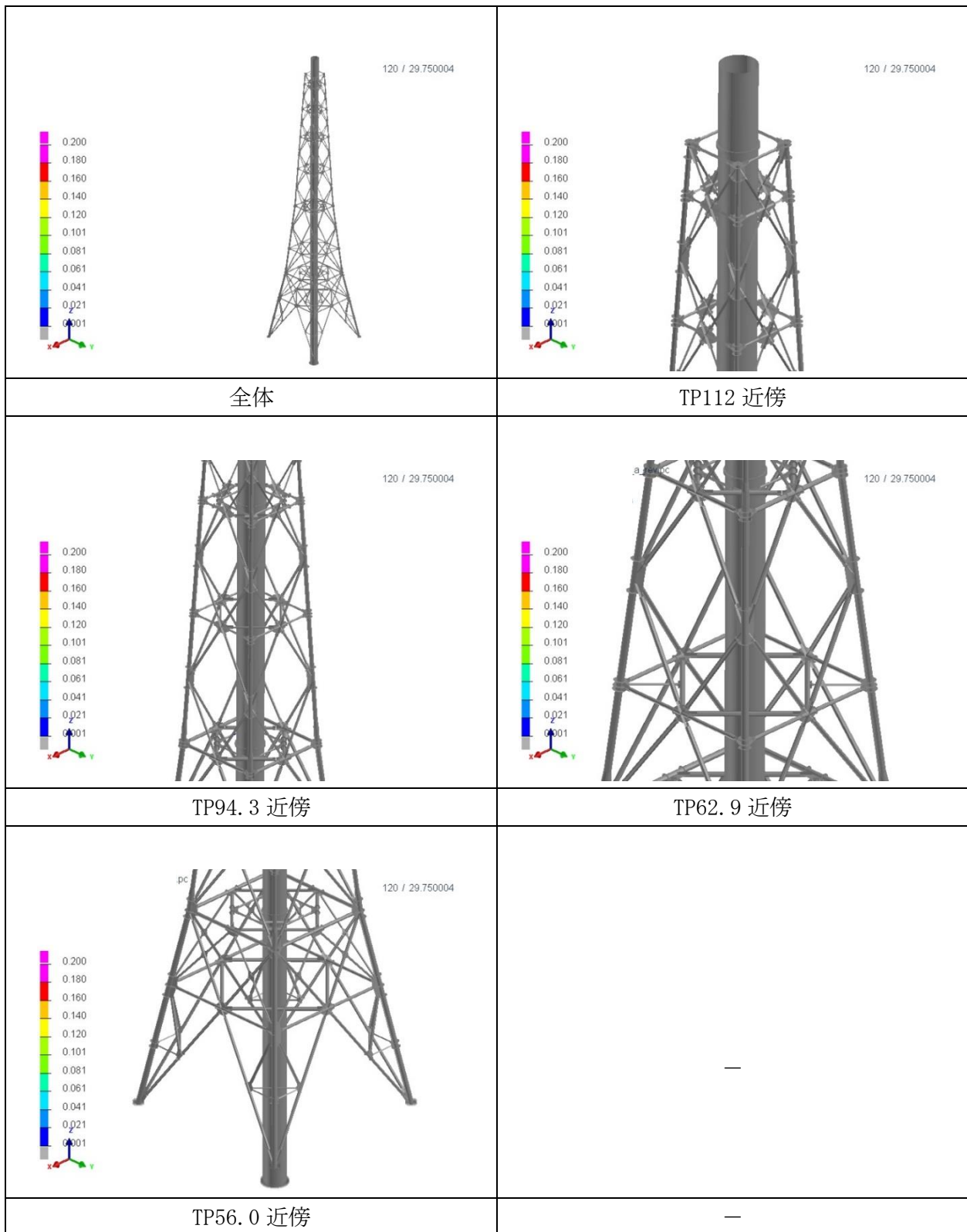
	解析結果	破断閾値	解析結果	許容応力
	最大相当塑性ひずみ [%]	破断伸び (塑性ひずみ) [%]	最大相当応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
筒身	0.0 (塑性しない)	15.6	184	469
鉄塔	0.0 (塑性しない)	15.6	255	574



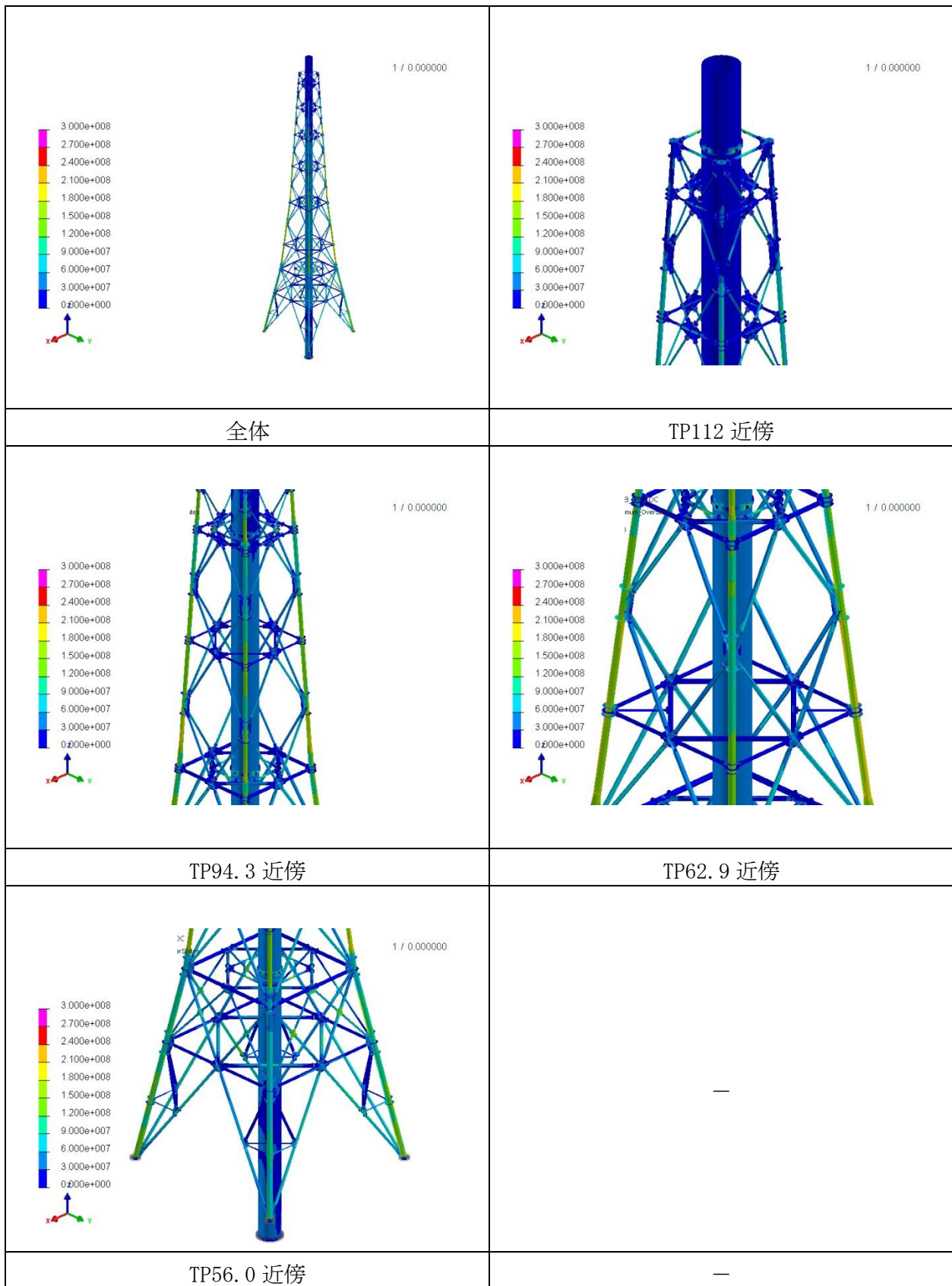
第 4.20 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-1) (1/2)



第 4.21 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-1) (2/2)



第 4.22 図 相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-1)



第 4.23 図 相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-1) [Pa]

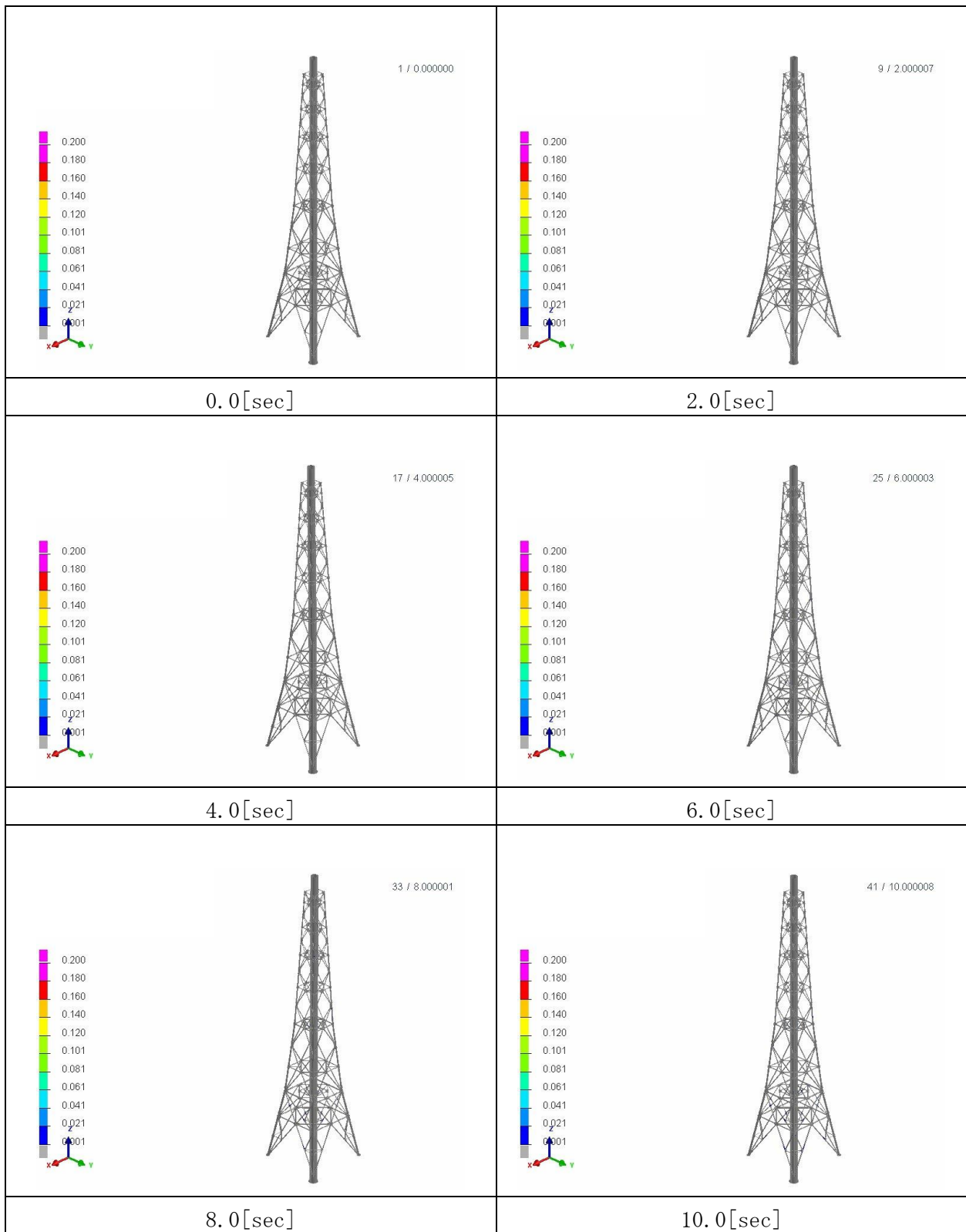
#### 4.3.2 Ss-2 による耐震解析結果

Ss-2 による排気筒の地震解析の結果を示す。事象時間内における最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さを第 4.6 表に示す。相当塑性ひずみコンター図(代表時間ごと)を第 4.24 図及び第 4.25 図に、各要素の事象時間内における最大相当塑性ひずみのコンター図を第 4.26 図に、各要素の事象時間内における最大相当応力のコンター図を第 4.27 図に示す。

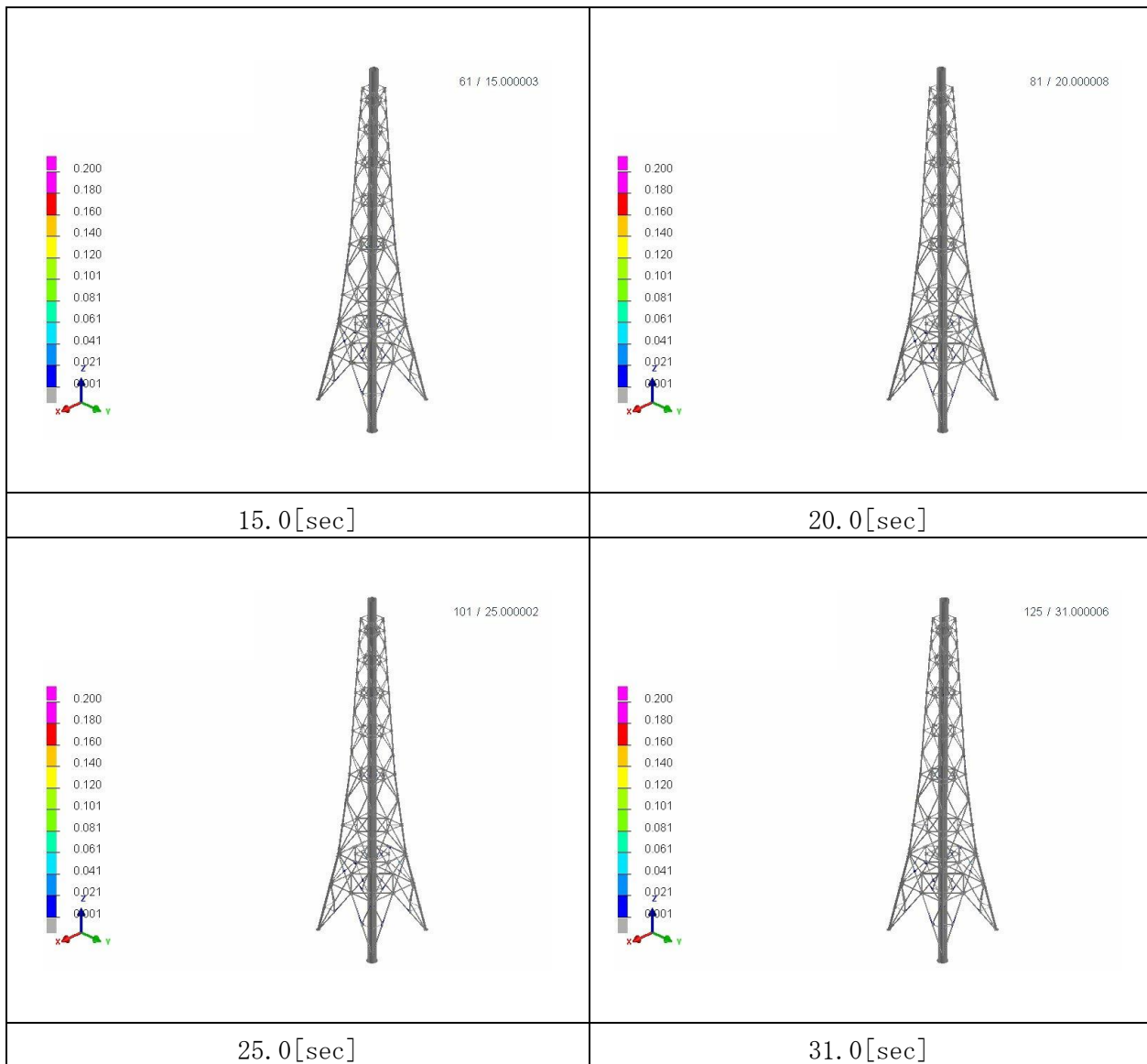
第 4.6 表 最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ(Ss-2)

	解析結果	破断閾値	解析結果	許容応力
	最大相当塑性ひずみ [%]	破断伸び (塑性ひずみ) [%]	最大相当応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
筒身	2.2	15.6	271	469
鉄塔	1.1	15.6	332	574

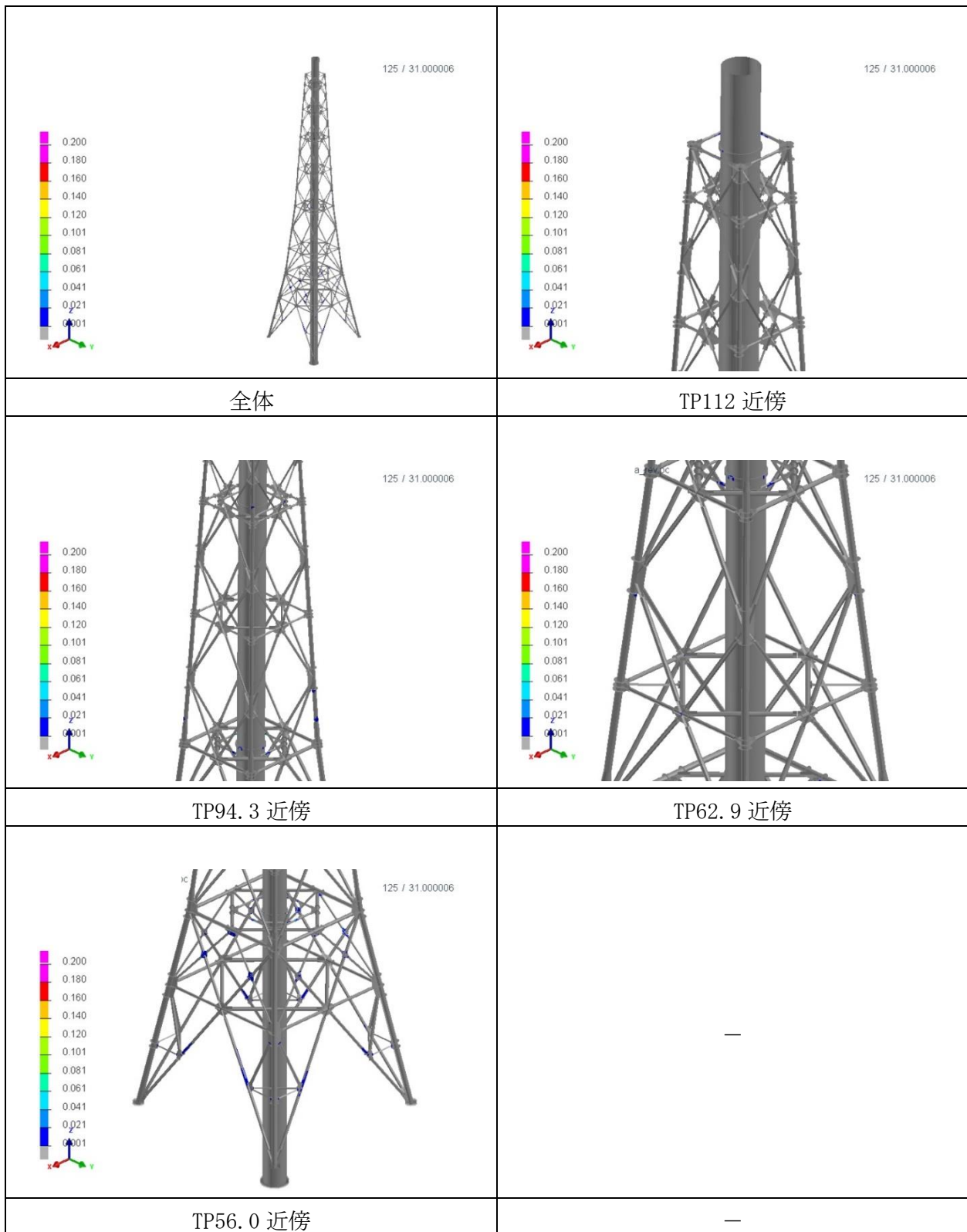




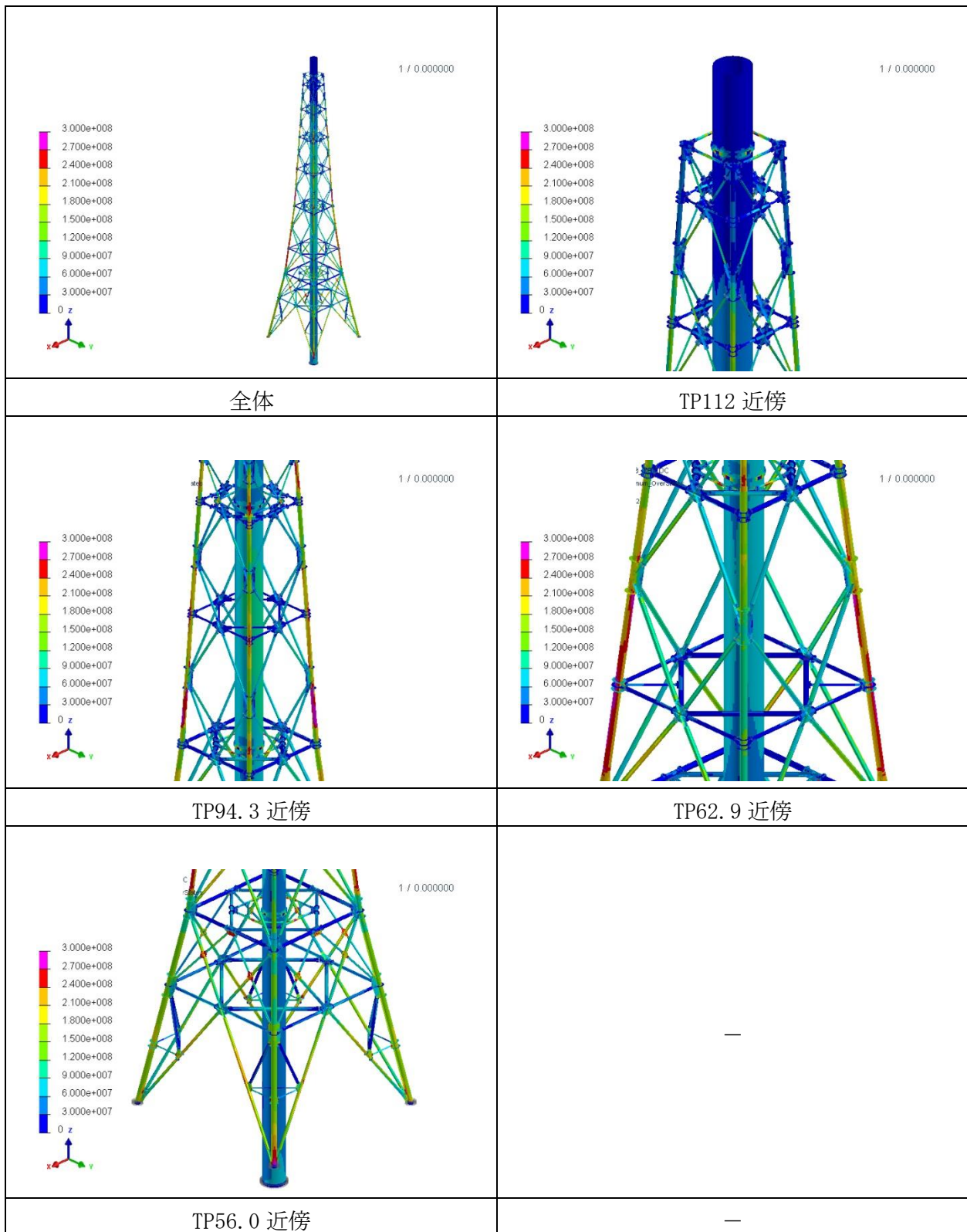
第 4. 24 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-2) (1/2)



第 4.25 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-2) (2/2)



第 4.26 図 相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-2)



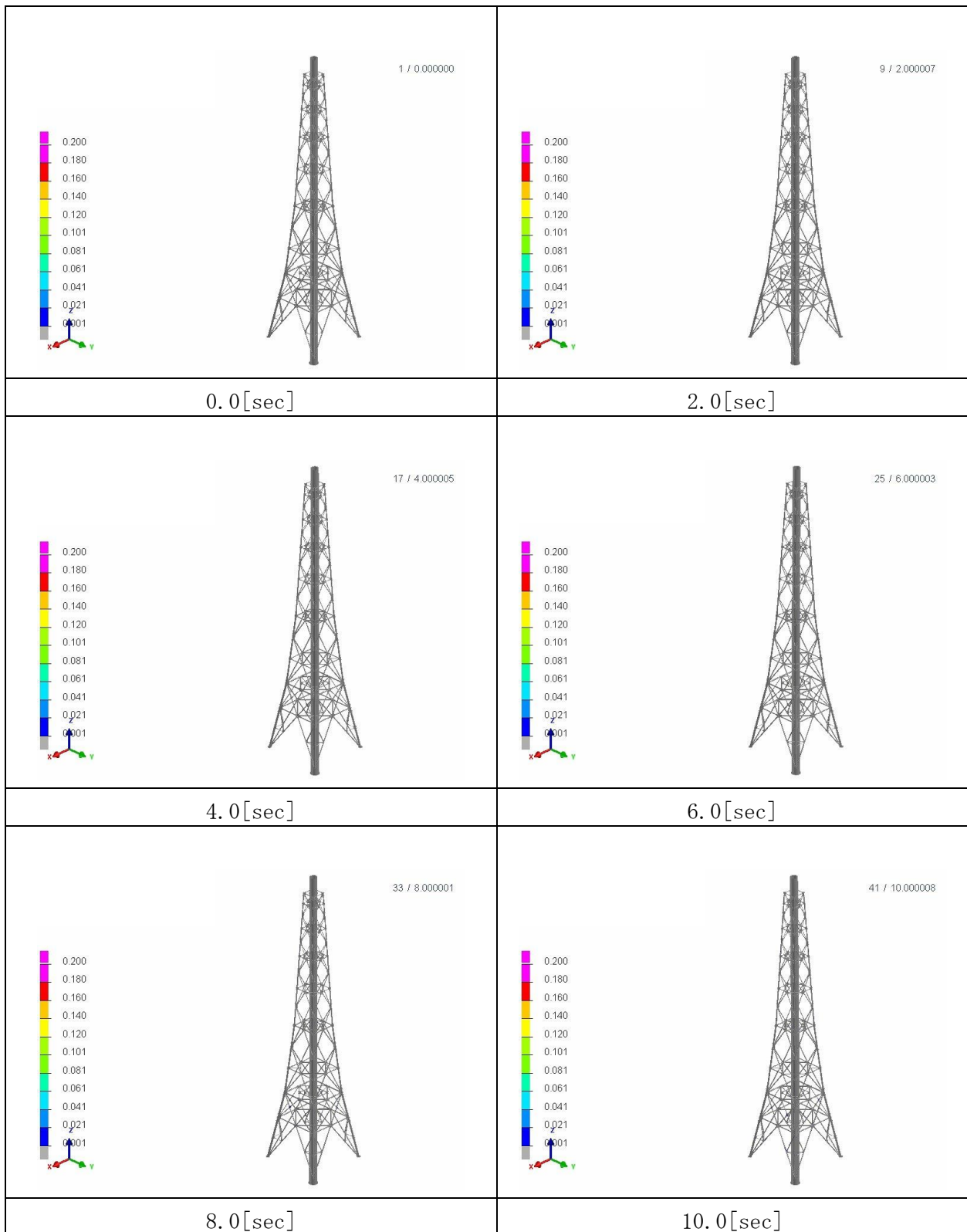
第 4.27 図 相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-2) [Pa]

#### 4.3.3 Ss-3 による耐震解析結果

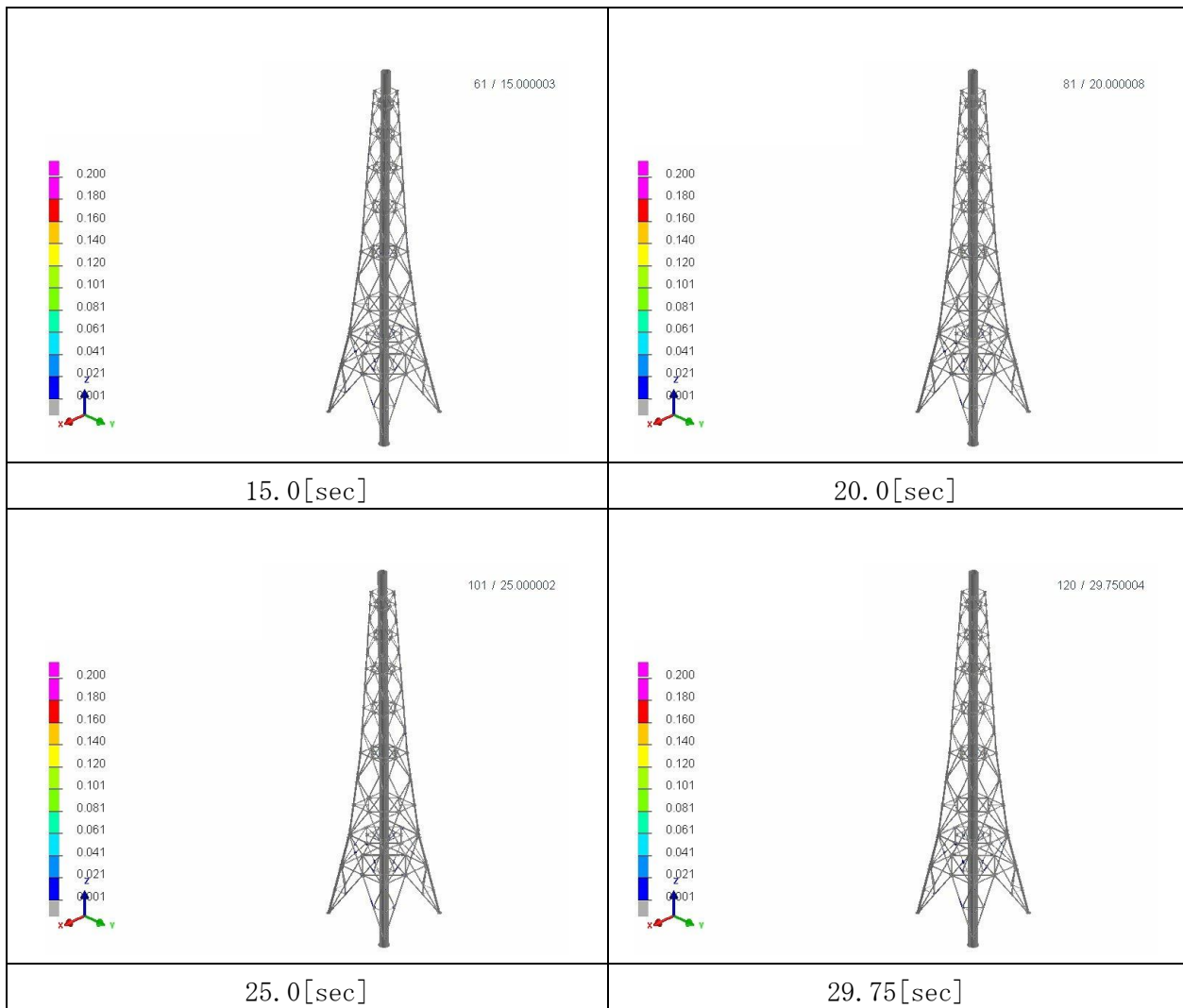
Ss-3 による排気筒の地震解析の結果を示す。事象時間内における最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さを第 4.7 表に示す。相当塑性ひずみコンター図(代表時間ごと)を第 4.28 図及び第 4.29 図に、各要素の事象時間内における最大相当塑性ひずみのコンター図を第 4.30 図に、各要素の事象時間内における最大相当応力のコンター図を第 4.31 図に示す。

第 4.7 表 最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ(Ss-3)

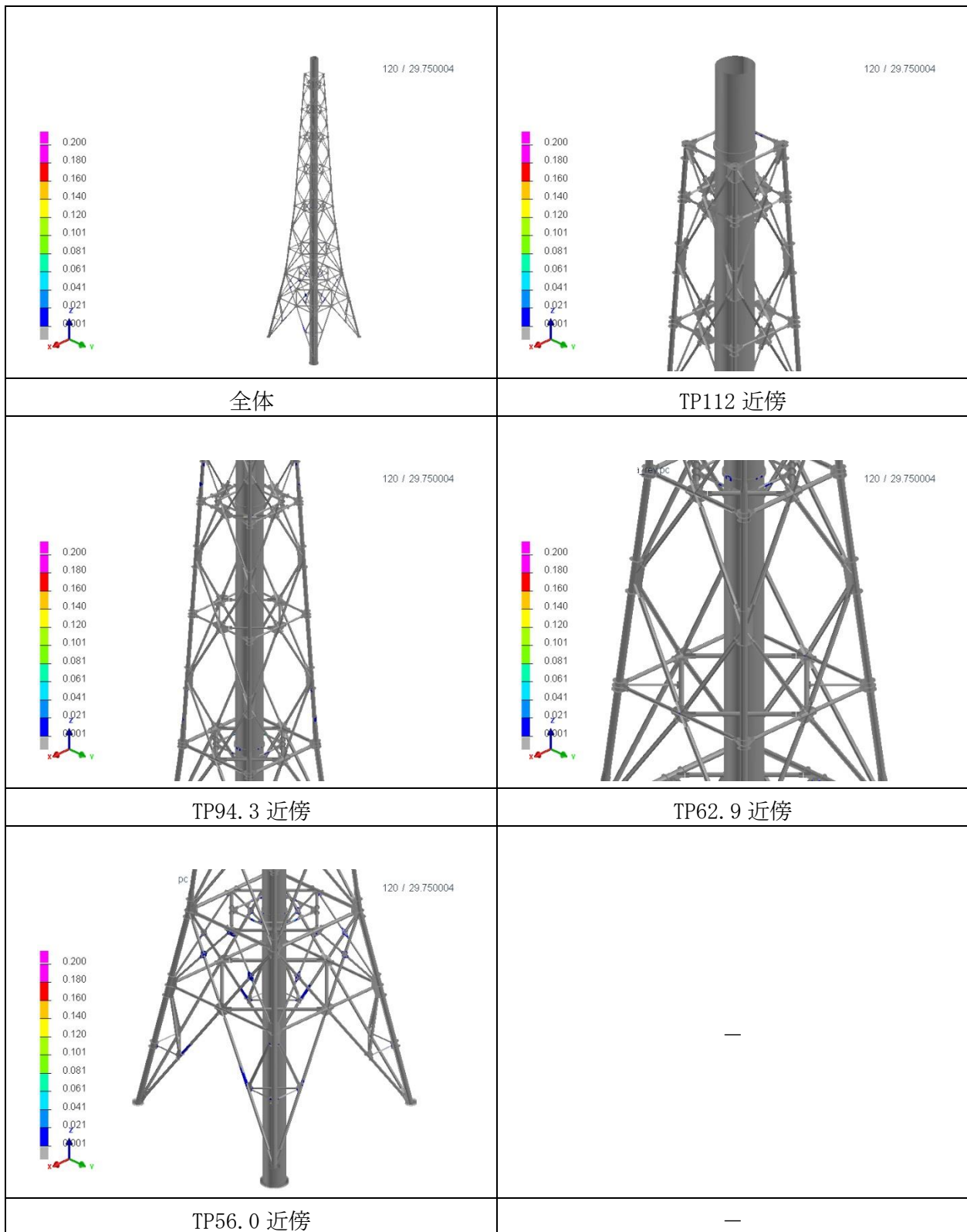
	解析結果	破断閾値	解析結果	許容応力
	最大相当塑性ひずみ [%]	破断伸び (塑性ひずみ) [%]	最大相当応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
筒身	1.1	15.6	260	469
鉄塔	0.7	15.6	327	574



第 4. 28 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-3) (1/2)

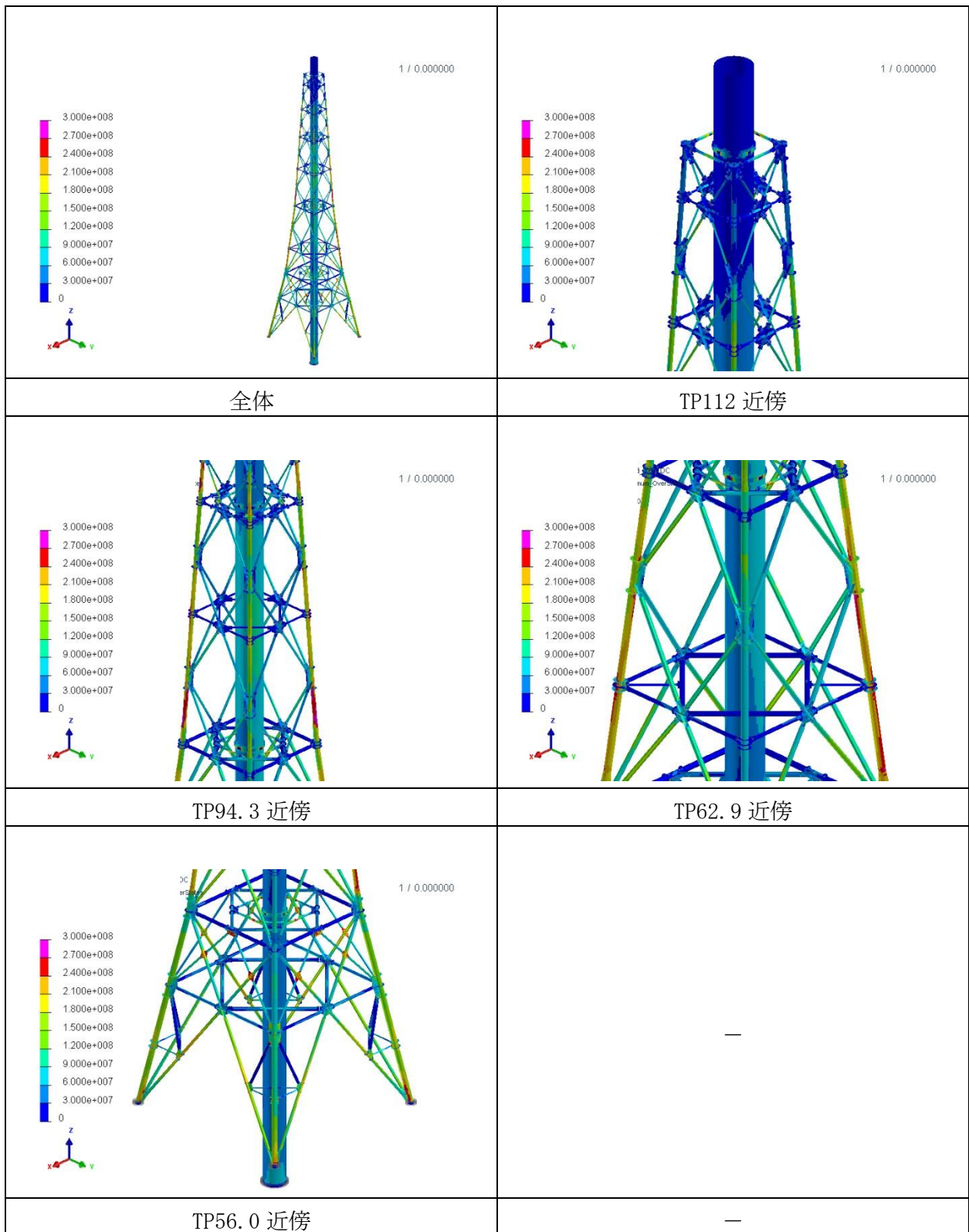


第 4.29 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-3) (2/2)



第 4.30 図 相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-3)





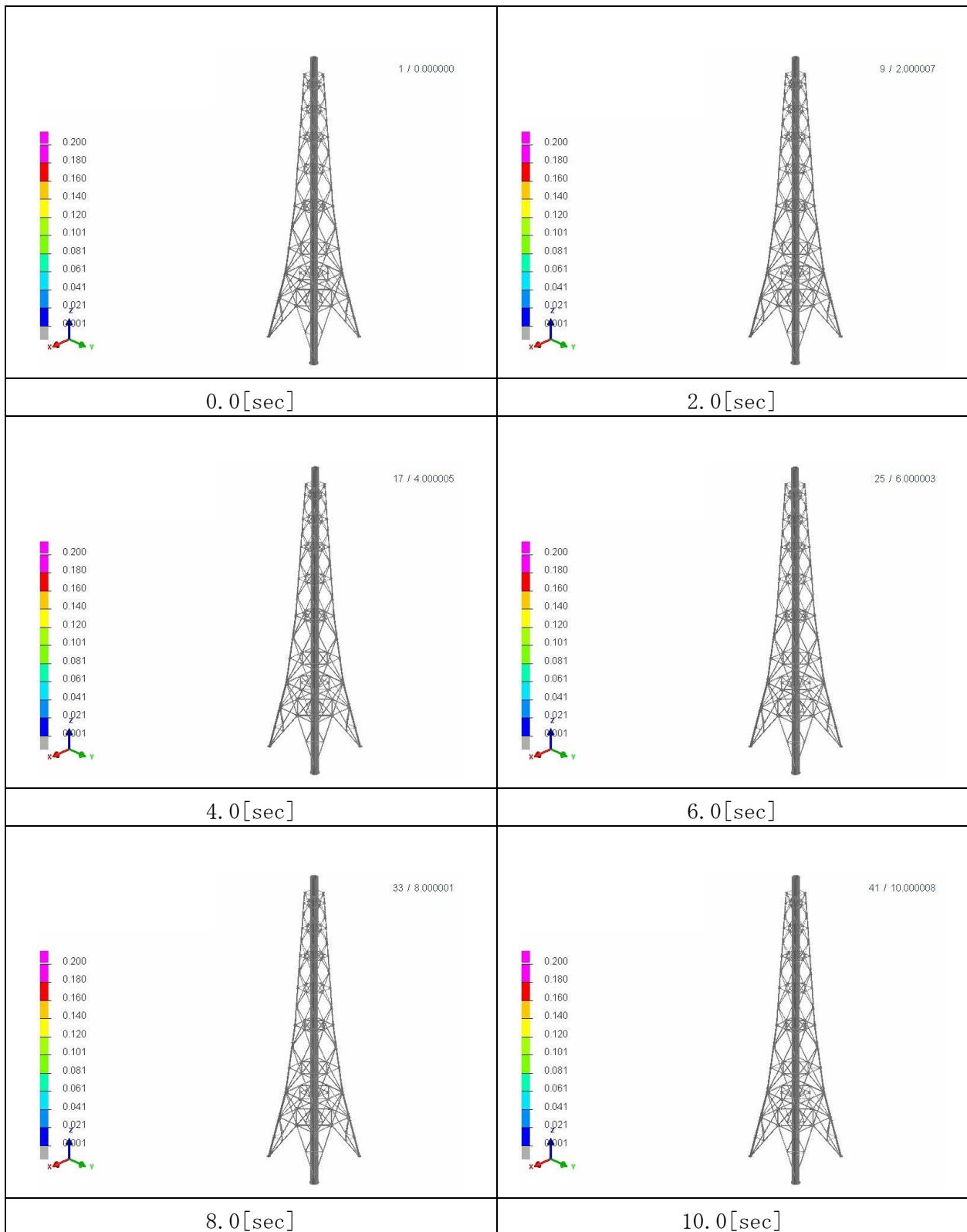
第 4.31 図 相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-3) [Pa]

#### 4.3.4 Ss-4 による耐震解析結果

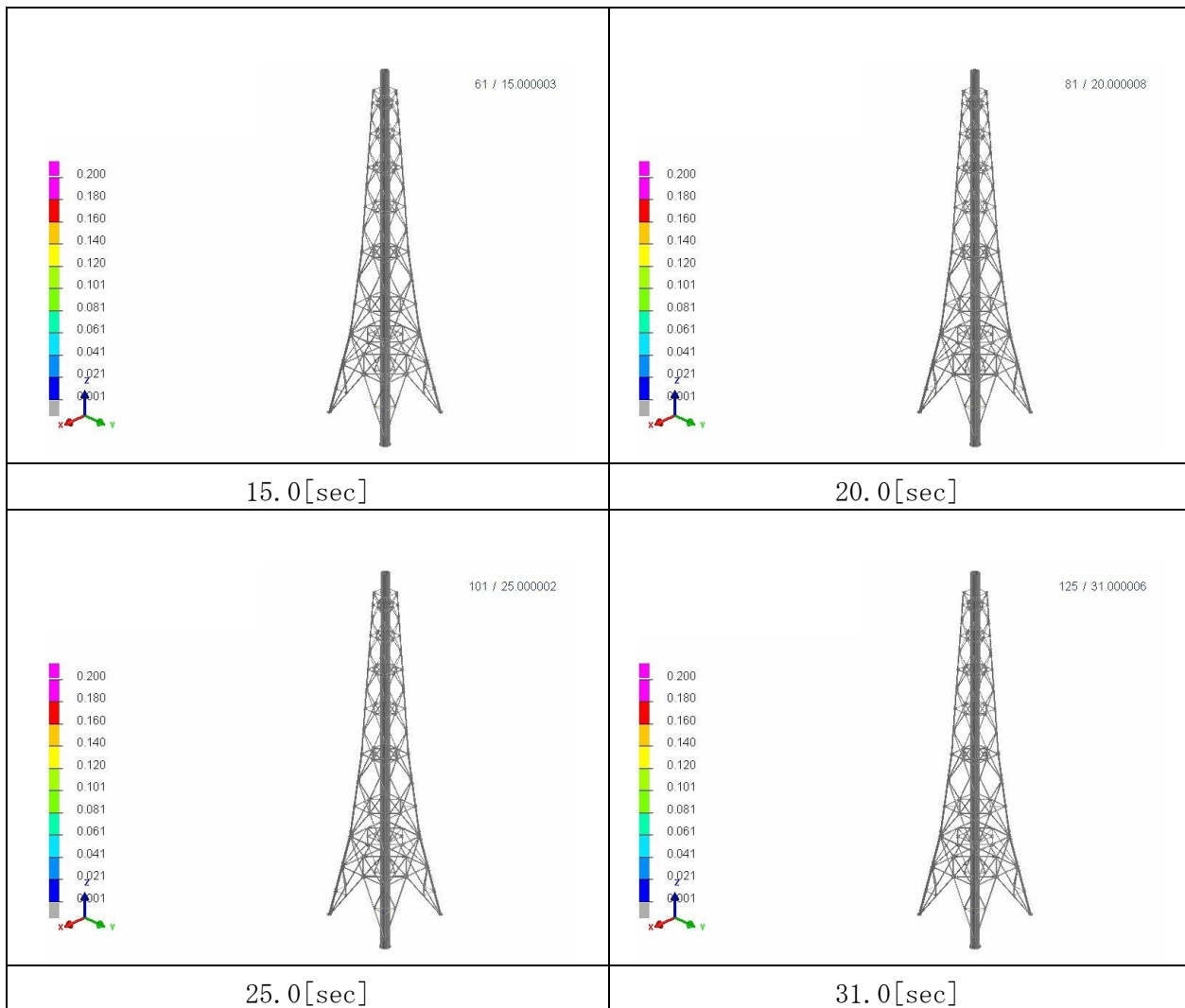
Ss-4 による排気筒の地震解析の結果を示す。事象時間内における最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さを第 4.8 表に示す。相当塑性ひずみコンター図(代表時間ごと)を第 4.32 図及び第 4.33 図に、各要素の事象時間内における最大相当塑性ひずみのコンター図を第 4.34 図に、各要素の事象時間内における最大相当応力のコンター図を第 4.35 図に示す。

第 4.8 表 最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ(Ss-4)

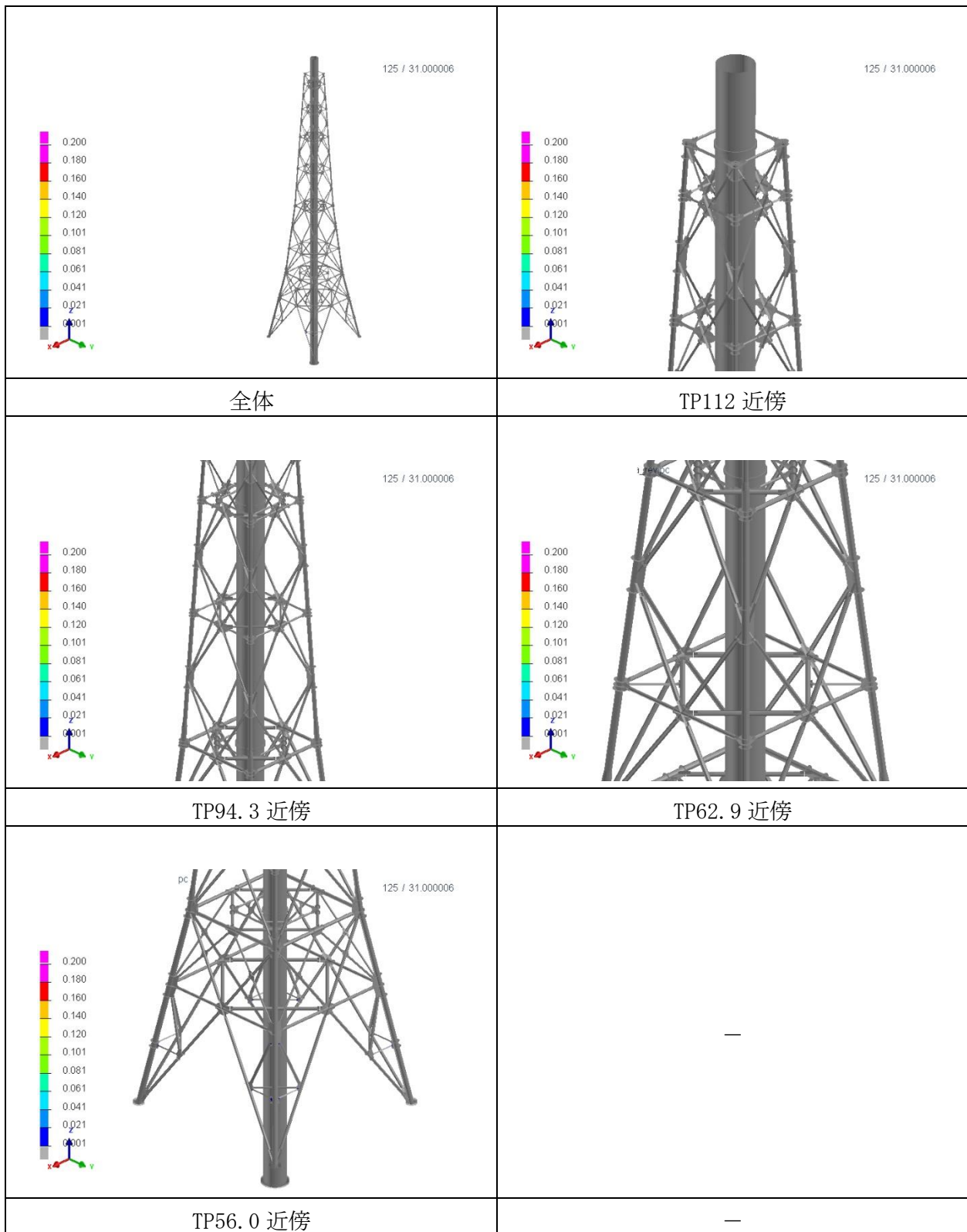
	解析結果	破断閾値	解析結果	許容応力
	最大相当塑性ひずみ [%]	破断伸び (塑性ひずみ) [%]	最大相当応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
筒身	0.0 (塑性しない)	15.6	134	469
鉄塔	0.0 (塑性しない)	15.6	198	574



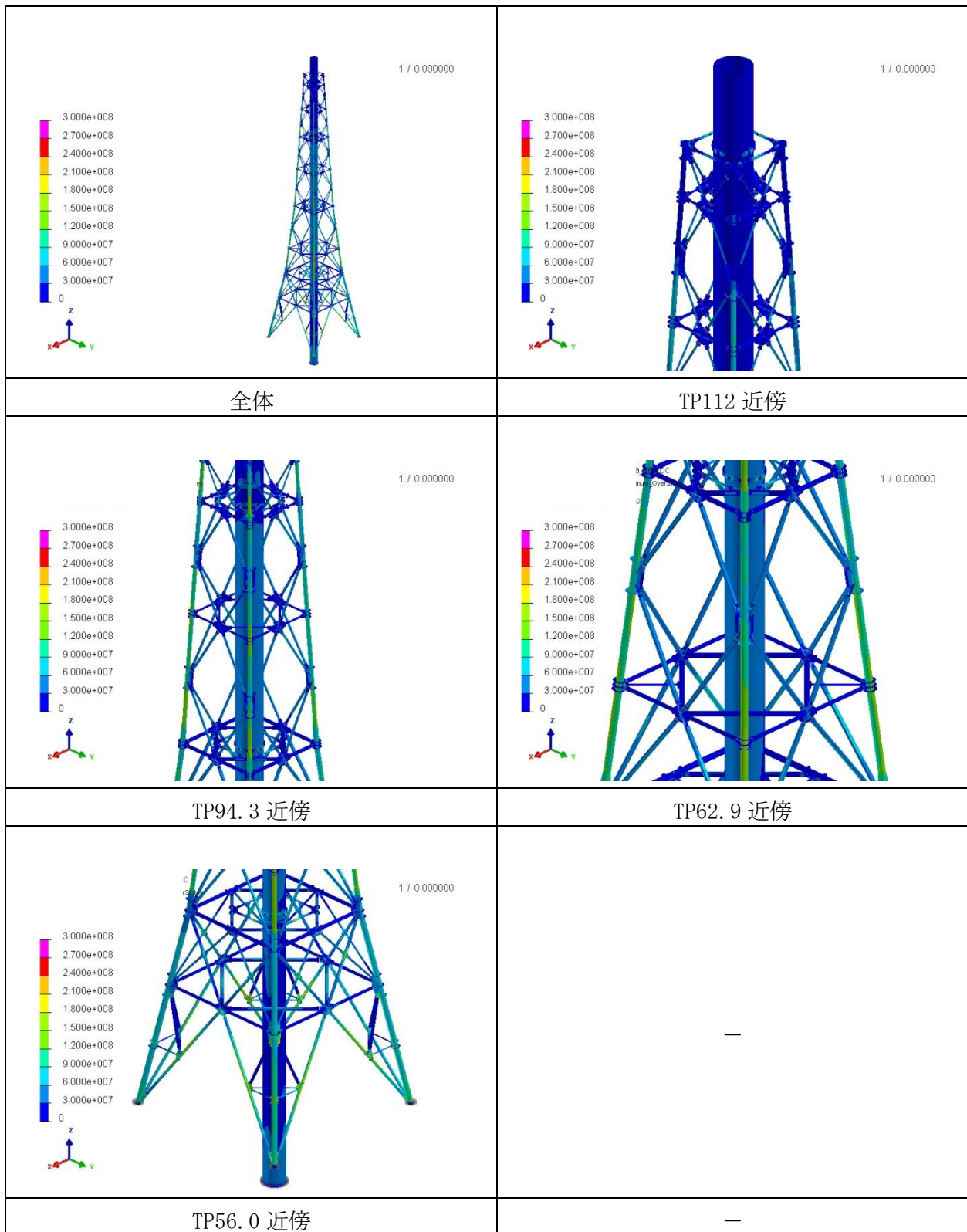
第 4.32 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-4) (1/2)



第 4.33 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-4) (2/2)



第 4.34 図 相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-4)



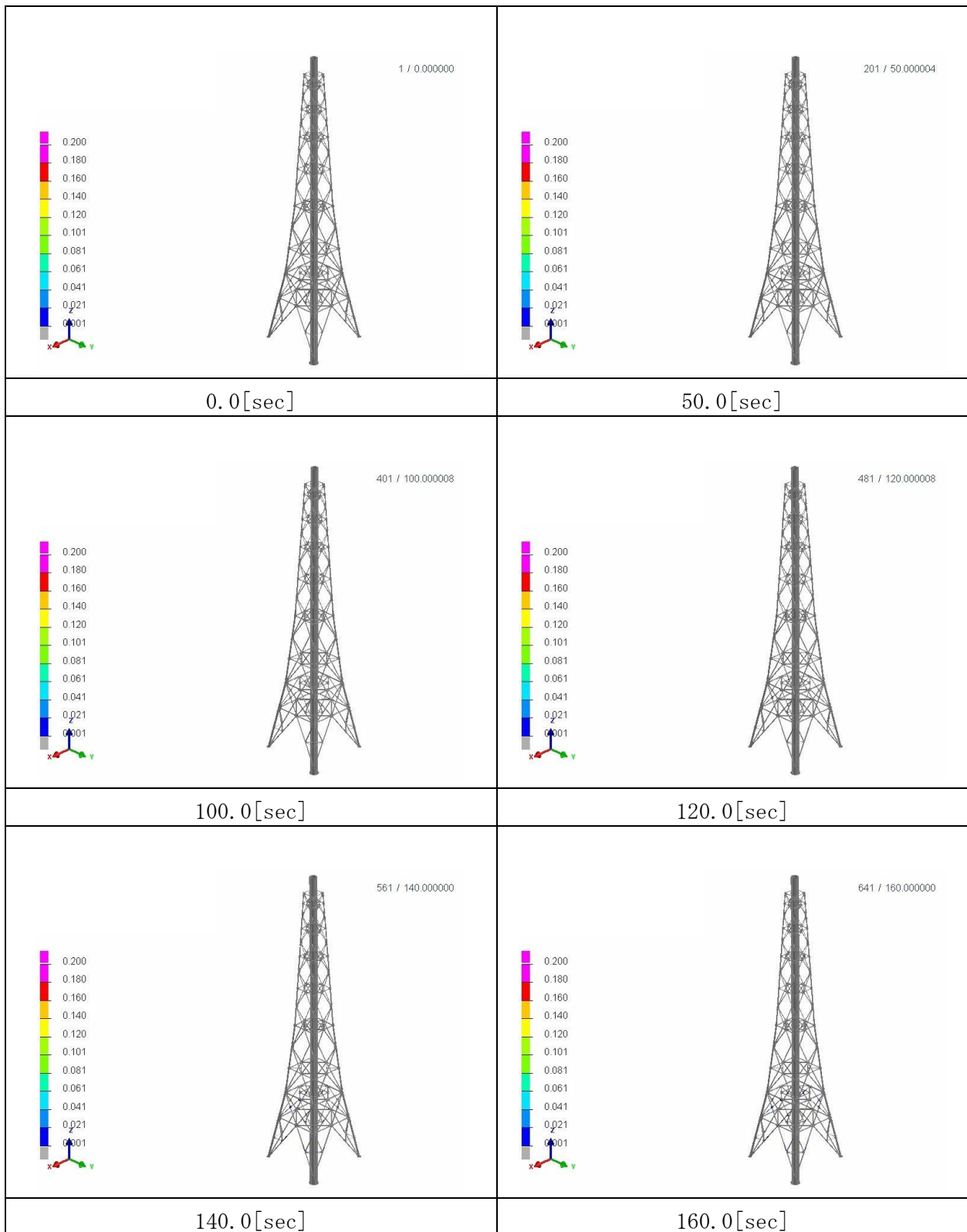
第 4.35 図 相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-4) [Pa]

#### 4.3.5 Ss-5 による耐震解析結果

Ss-5 による排気筒の地震解析の結果を示す。事象時間内における最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さを第 4.9 表に示す。相当塑性ひずみコンター図(代表時間ごと)を第 4.36 図及び第 4.37 図に、各要素の事象時間内における最大相当塑性ひずみのコンター図を第 4.38 図に、各要素の事象時間内における最大相当応力のコンター図を第 4.39 図に示す。

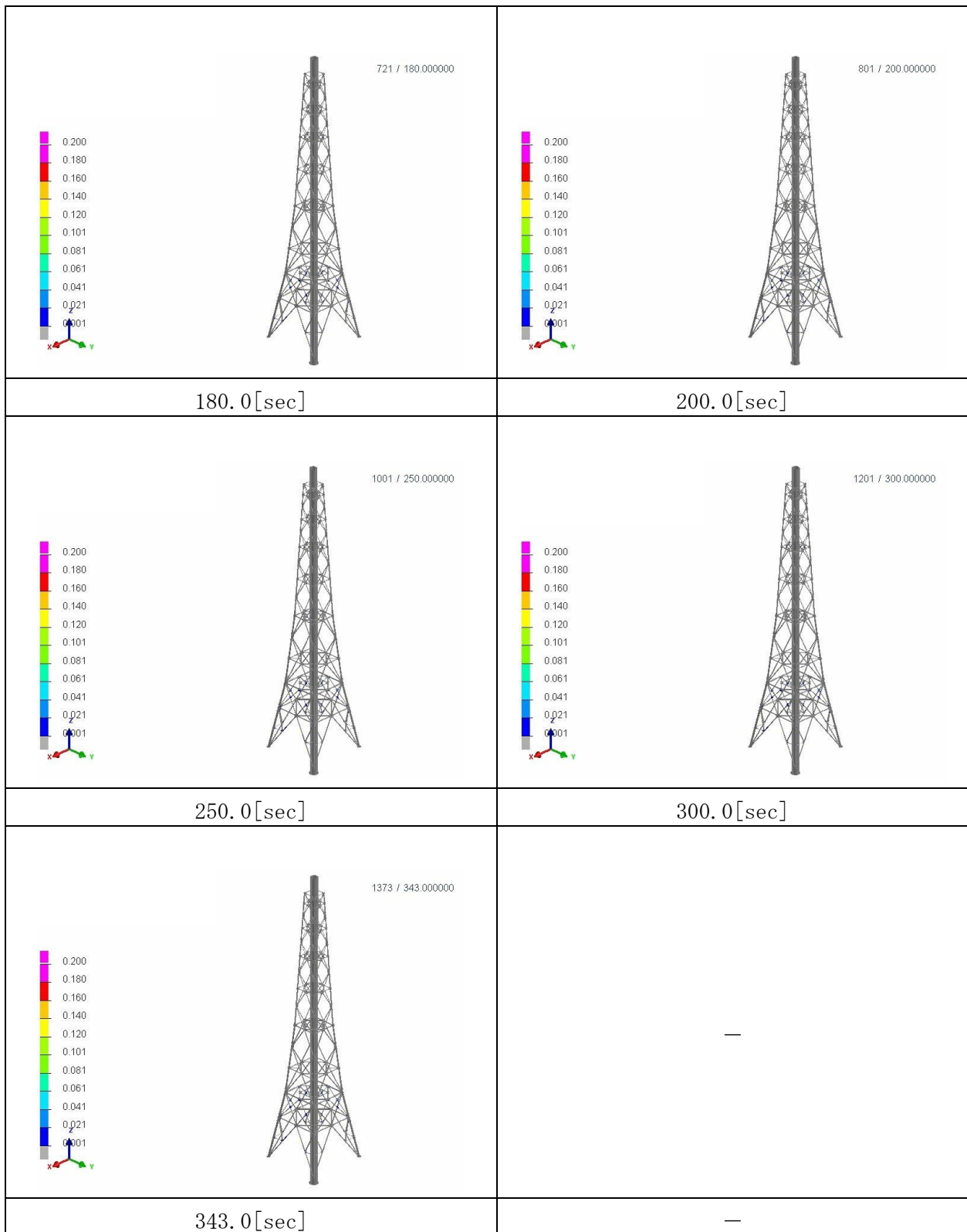
第 4.9 表 最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ (Ss-5)

	解析結果	破断閾値	解析結果	許容応力
	最大相当塑性ひずみ [%]	破断伸び (塑性ひずみ) [%]	最大相当応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
筒身	0.3	15.6	248	469
鉄塔	0.0 (塑性しない)	15.6	298	574

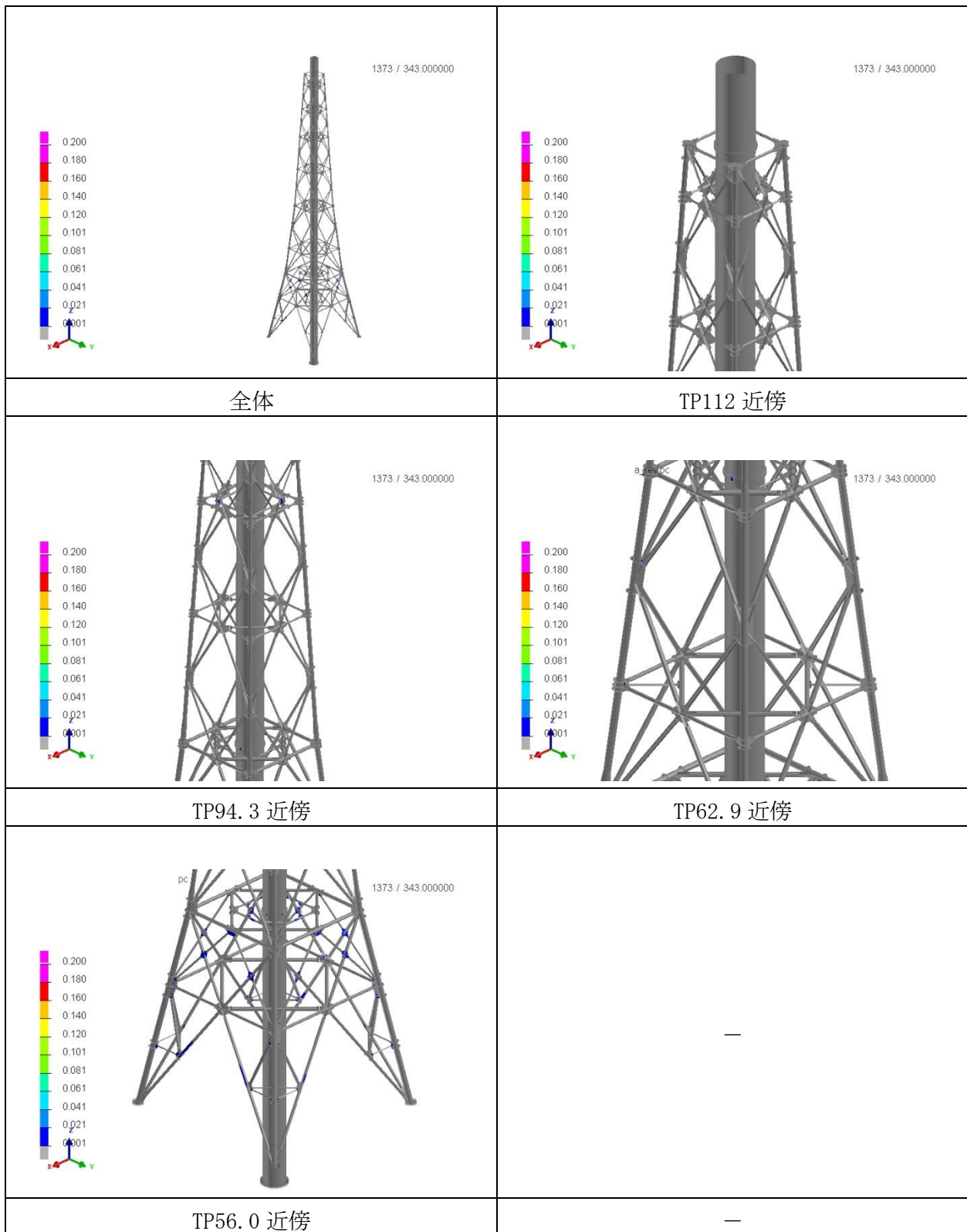


第 4.36 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-5) (1/2)

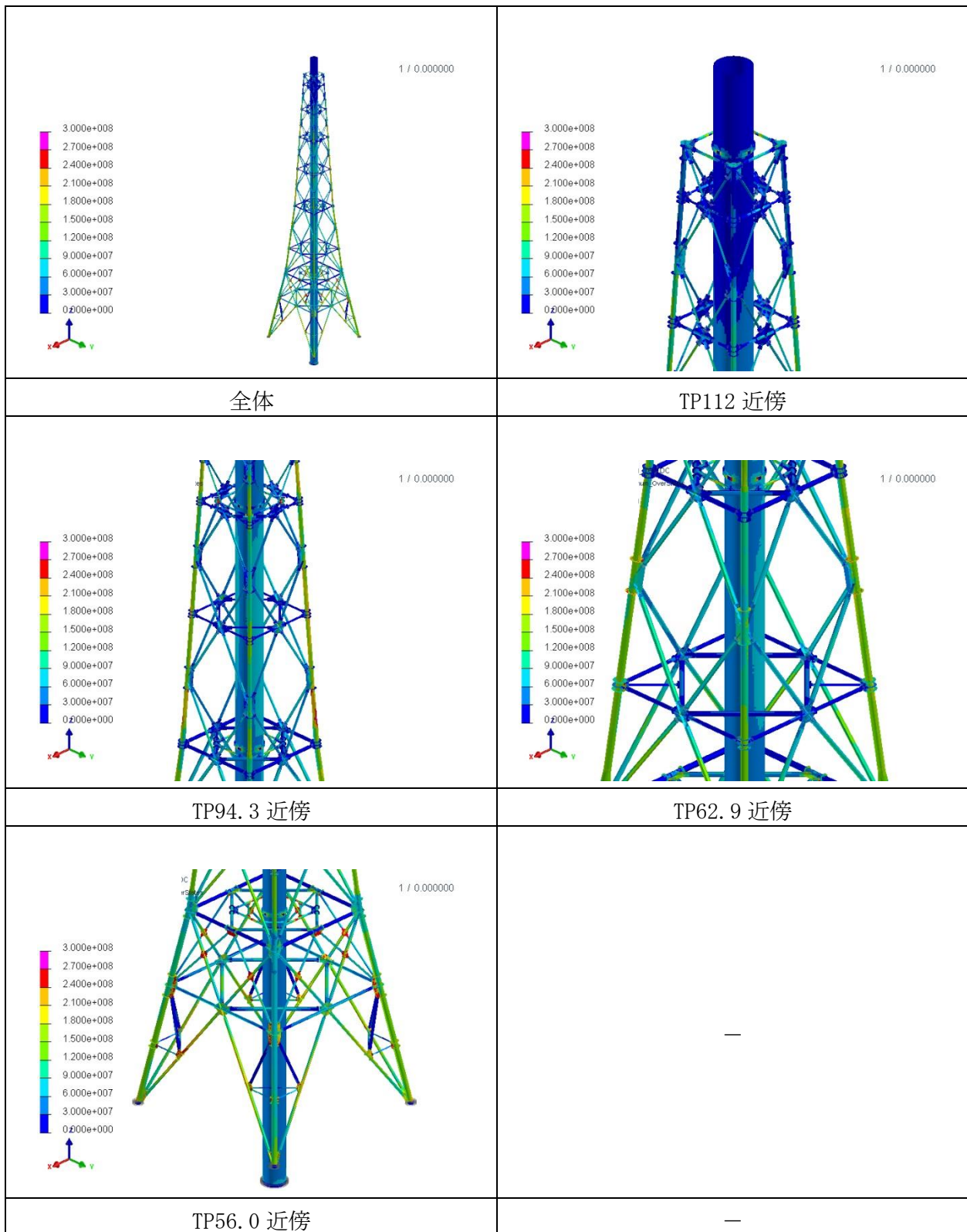




第 4.37 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-5) (2/2)



第 4.38 図 相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-5)



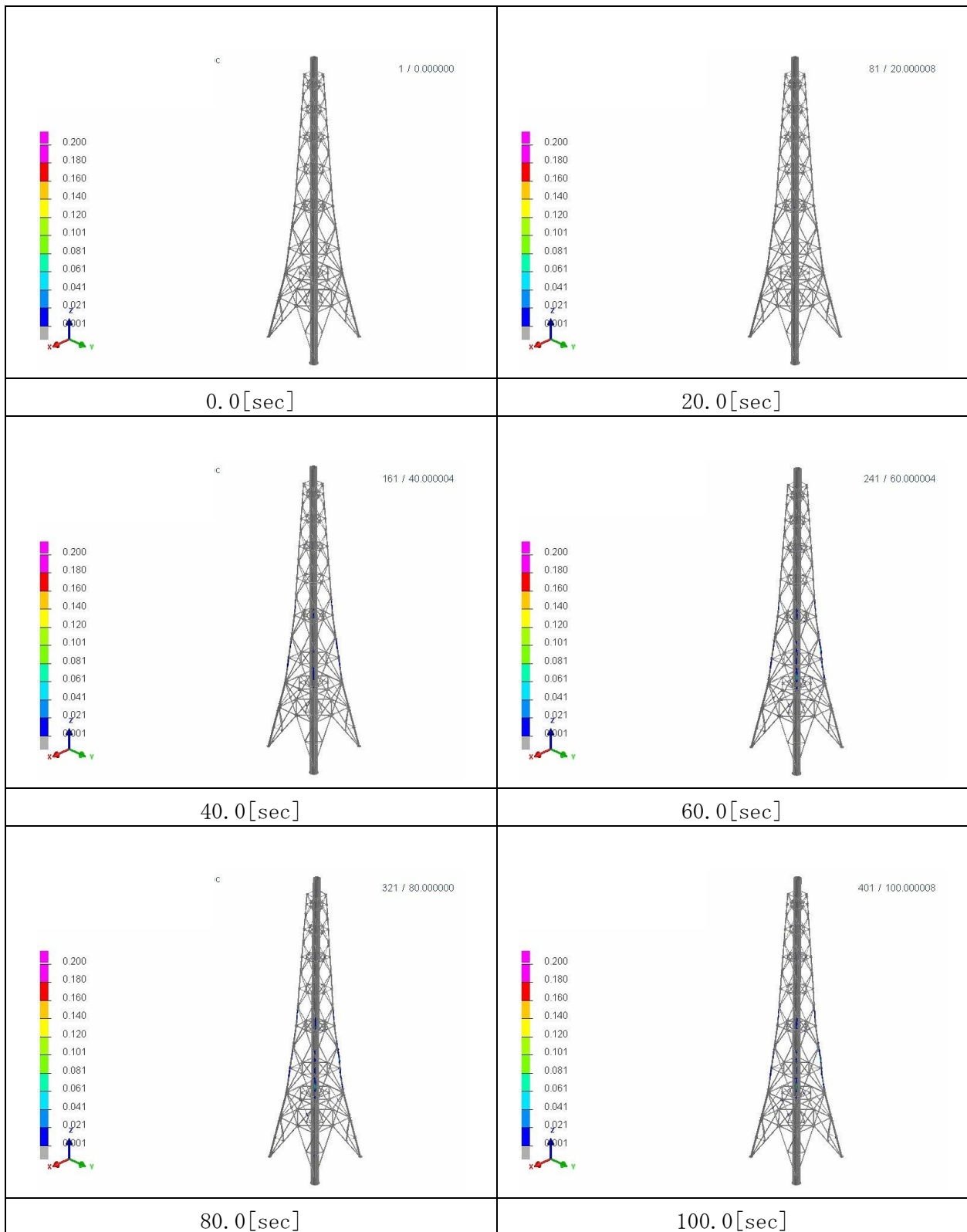
第 4.39 図 相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-5) [Pa]

#### 4.3.6 Ss-Dによる耐震解析結果

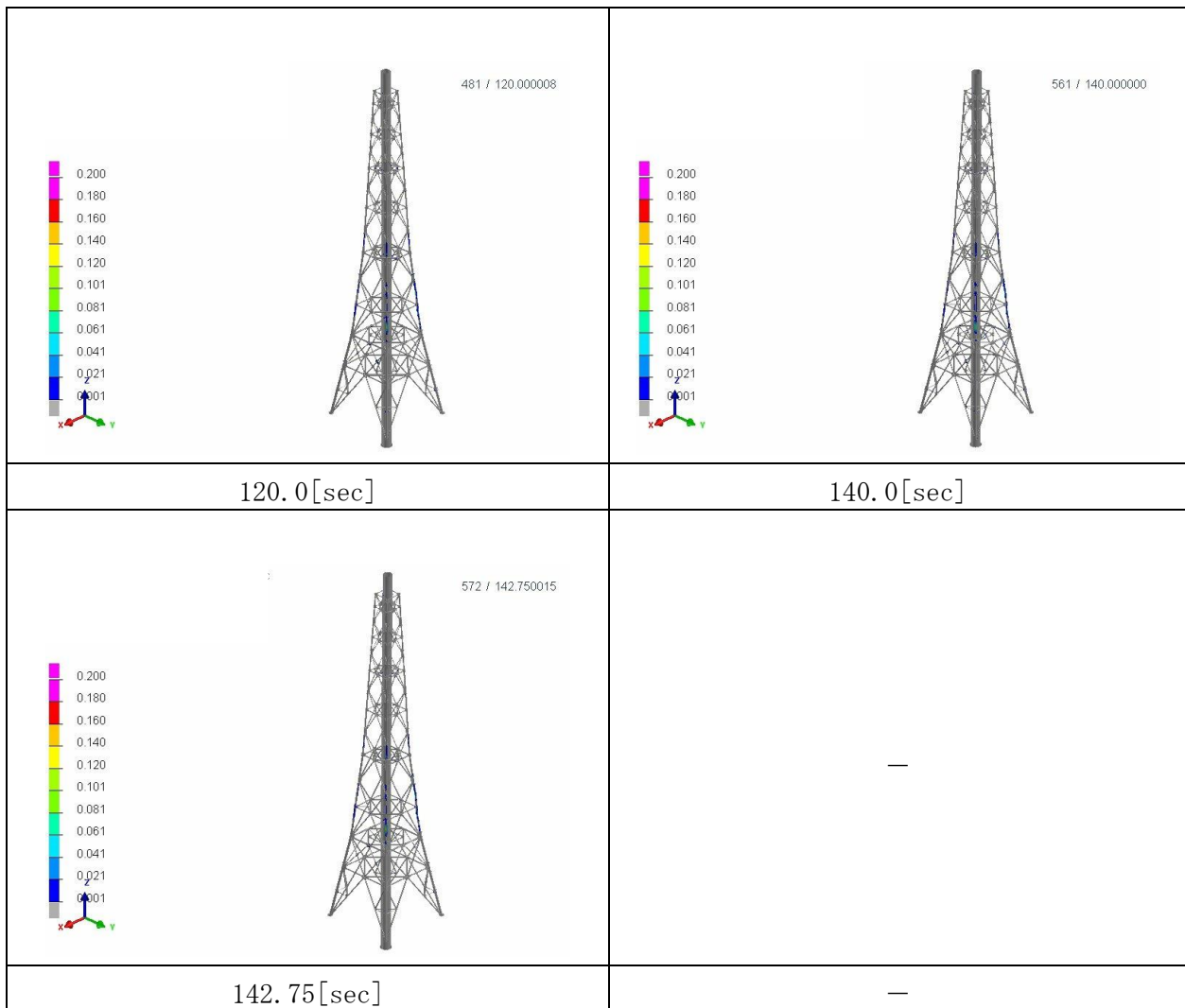
Ss-Dによる排気筒の地震解析の結果を示す。事象時間内における最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さを第4.10表に示す。相当塑性ひずみコンター図(代表時間ごと)を第4.40図及び第4.41図に、各要素の事象時間内における最大相当塑性ひずみのコンター図を第4.42図に、各要素の事象時間内における最大相当応力のコンター図を第4.43図に示す。

第4.10表 最大相当塑性ひずみ、最大相当応力及び引張強さ(Ss-D)

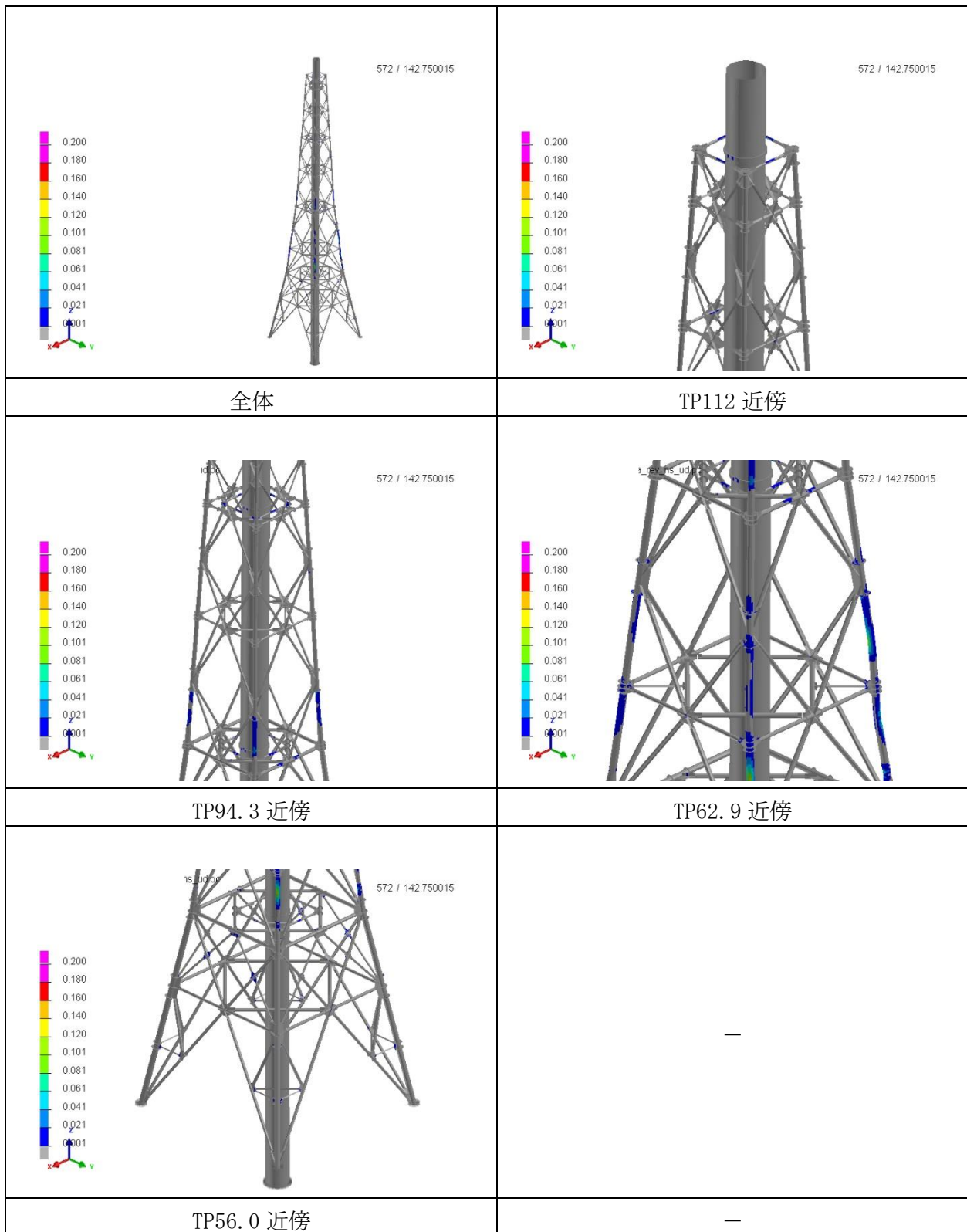
	解析結果	破断閾値	解析結果	許容応力
	最大相当塑性ひずみ [%]	破断伸び (塑性ひずみ) [%]	最大相当応力 [MPa]	引張強さ [MPa]
筒身	0.9	15.6	256	469
鉄塔	13.4	15.6	535	574



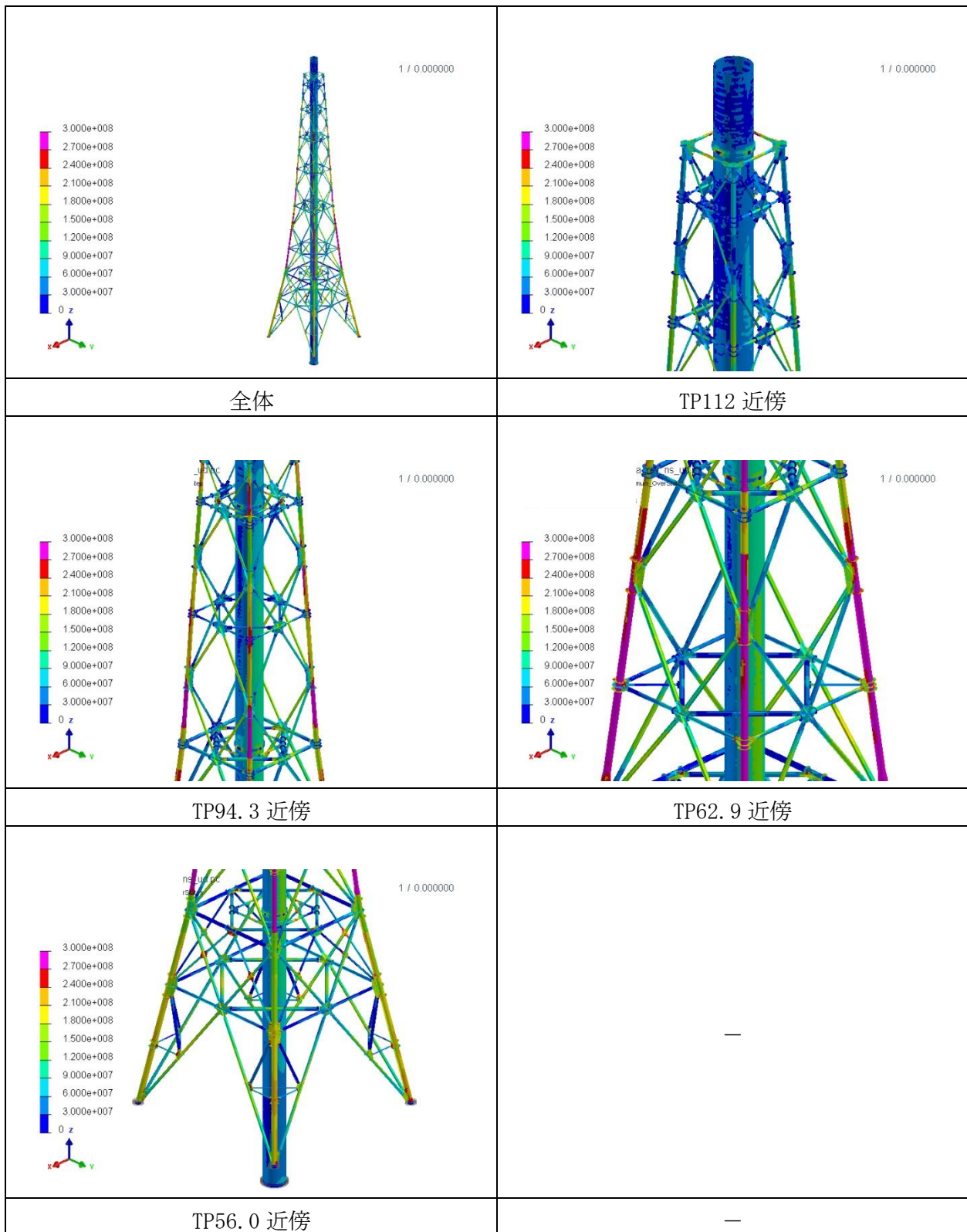
第 4.40 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-D) (1/2)



第 4.41 図 相当塑性ひずみコンター図(全体図、Ss-D) (2/2)



第 4.42 図 相当塑性ひずみコンター図(事象時間内での最大値、Ss-D)



第 4.43 図 相当応力コンター図(事象時間内での最大値、Ss-D) [Pa]



## 5. アンカーボルトの耐震健全性

アンカーボルトの耐震健全性に関して、最も大きい塑性ひずみ(主柱に 13.3[%]発生：破断閾値は 15.6[%])を示した Ss-D の地震解析に対して検討する。本解析においては、アンカーボルトはモデル化されていないため、アンカーボルトに近接した筒身及び主柱に発生する力を用いる。筒身及び主柱の概要図を第 5.1 図及び第 5.2 図に示す。

### 5.1 筒身部アンカーボルトの健全性評価の手法

#### 5.1.1 軸力の取得方法

第 5.1 図に示すボルト近傍の節点に発生する軸力の和を取得する。鉛直方向の軸力を引張、水平 2 方向の軸力の二乗和平方根をせん断とする。

- ・ 引張  $N_t = 4.12 \times 10^5$  [N]
- ・ せん断  $Q = 3.13 \times 10^5$  [N]

#### 5.1.2 アンカーボルトの評価

アンカーボルトの条件を以下に示す。

なお、許容応力(引張)は引張強さとする。

- ・ 本数  $n = 24$  [本]
- ・ ネジ部有効断面積  $A_0 = 817$  [mm<sup>2</sup>]
- ・ 材質 : SS400
- ・ 許容応力(引張)  $f_{t0} = 400$  [MPa]
- ・ 許容応力(せん断)  $f_{sb} = 135$  [MPa]

##### (1) ボルト 1 本あたりの引張力

$$T_a = N_t / n = 1.72 \times 10^4$$
 [N/本]

##### (2) 引張応力度

$$\sigma_t = T_a / A_0 = 21$$
 [MPa]

##### (3) せん断応力度

全ボルトで均等にせん断力を負担するものとする。

$$\tau = Q / (nA_0) = 16$$
 [MPa]

##### (4) 合成応力度

$$f_{ts} = 1.4f_{t0} - 1.6\tau = 534$$
 [MPa]

$f_{ts} > f_{t0}$  より、 $f_{t0} = 400$  [MPa]を基準値とする。

## 5.2 主柱部アンカーボルトの健全性評価の手法

### 5.2.1 軸力の取得方法

第 5.2 図に示すボルト近傍の主柱及び斜材の節点に発生する軸力を取得する。

なお、軸力は、主柱の節点に発生する軸力の和と斜材の節点に発生する軸力の和とする。得られた軸力の和は、局所座標系であるため全体座標系に変換する。鉛直方向の軸力を引張、水平 2 方向の軸力の二乗和平方根をせん断とする。

#### (1) 引張

- ・ 主柱 1  $N_{t1} = 3.52 \times 10^6$  [N]
- ・ 主柱 2  $N_{t2} = 4.17 \times 10^6$  [N]
- ・ 主柱 3  $N_{t3} = 3.58 \times 10^6$  [N]
- ・ 主柱 4  $N_{t4} = 4.18 \times 10^6$  [N]

#### (1) せん断

- ・ 主柱 1  $Q_1 = 9.03 \times 10^5$  [N]
- ・ 主柱 2  $Q_2 = 1.22 \times 10^6$  [N]
- ・ 主柱 3  $Q_3 = 1.32 \times 10^6$  [N]
- ・ 主柱 4  $Q_4 = 1.23 \times 10^6$  [N]

### 5.2.2 アンカーボルトの評価

アンカーボルトの条件を以下に示す。

なお、許容応力(引張)は引張強さとする。

- ・ 本数 :  $n = 12$  [本]
- ・ ネジ部有効断面積 :  $A_0 = 1470$  [mm<sup>2</sup>]
- ・ 材質 : SS400
- ・ 許容応力(引張) :  $f_{t0} = 400$  [MPa]
- ・ 許容応力(せん断) :  $f_{sb} = 135$  [MPa]

#### (1) ボルト 1 本あたりの引張力

- ・ 主柱 1  
 $T_a = N_{t1} / n = 2.94 \times 10^5$  [N/本]
- ・ 主柱 2  
 $T_a = N_{t2} / n = 3.48 \times 10^5$  [N/本]

- ・ 主柱 3

$$T_a = N_{t3} / n = 2.99 \times 10^5 \text{ [N/本]}$$

- ・ 主柱 4

$$T_a = N_{t4} / n = 3.49 \times 10^5 \text{ [N/本]}$$

(2) ボルト及びアンカーリング設計用引張力  
付加軸力を考慮し、1.1倍する。

- ・ 主柱 1

$$T_{A1} = 1.1T_{a1} = 3.23 \times 10^5 \text{ [N/本]}$$

- ・ 主柱 2

$$T_{A2} = 1.1T_{a2} = 3.82 \times 10^5 \text{ [N/本]}$$

- ・ 主柱 3

$$T_{A3} = 1.1T_{a3} = 3.28 \times 10^5 \text{ [N/本]}$$

- ・ 主柱 4

$$T_{A4} = 1.1T_{a4} = 3.84 \times 10^5 \text{ [N/本]}$$

(3) 引張応力度

- ・ 主柱 1

$$\sigma_{t1} = T_{A1} / A_0 = 220 \text{ [MPa]}$$

- ・ 主柱 2

$$\sigma_{t2} = T_{A2} / A_0 = 261 \text{ [MPa]}$$

- ・ 主柱 3

$$\sigma_{t3} = T_{A3} / A_0 = 224 \text{ [MPa]}$$

- ・ 主柱 4

$$\sigma_{t4} = T_{A4} / A_0 = 261 \text{ [MPa]}$$

(4) せん断応力度

全ボルトで均等にせん断力を負担するものとする。

- ・ 主柱 1

$$\tau_1 = Q_1 / (nA_0) = 52 \text{ [MPa]}$$

- ・ 主柱 2

$$\tau_2 = Q_2 / (nA_0) = 70 \text{ [MPa]}$$

- ・ 主柱 3

$$\tau_3 = Q_3 / (nA_0) = 75 \text{ [MPa]}$$

- ・ 主柱 4

$$\tau_4 = Q_4 / (nA_0) = 70 \text{ [MPa]}$$

#### (5) 合成応力度

- ・ 主柱 1

$$f_{ts} = 1.4f_{t0} - 1.6\tau_3 = 440 \text{ [MPa]}$$

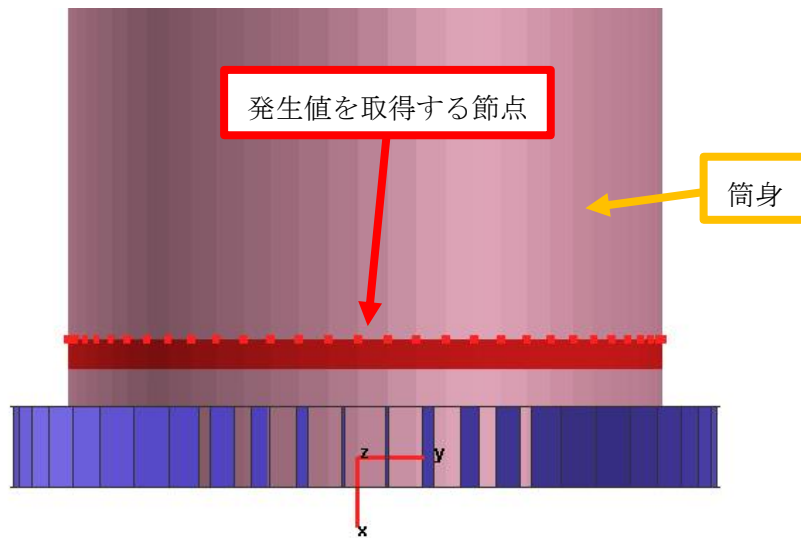
$f_{ts} > f_{t0}$  より、 $f_{t0} = 400 \text{ [MPa]}$ を基準値とする。

### 5.3 評価結果

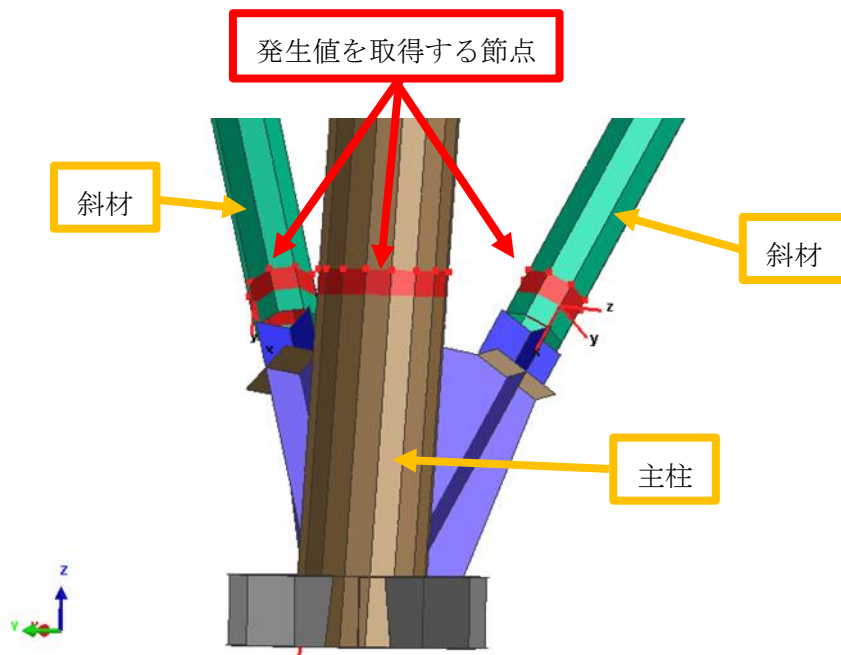
アンカーボルトの健全性評価の結果を第 5.1 表に示す。

第 5.1 表 アンカーボルトの健全性評価の結果

	引張 [MPa]	基準値(引張) [MPa]	せん断 [MPa]	基準値(せん断) [MPa]
筒身	21	400	16	161
主柱 1	220	400	52	161
主柱 2	261	400	70	161
主柱 3	224	400	75	161
主柱 4	261	400	70	161



第 5.1 図 筒身部拡大図



第 5.2 図 主柱部拡大図

## 6. まとめ

4.3耐震解析結果及び5.3評価結果に示すとおり筒身及び鉄塔において破断は生じず倒壊しないため、原子炉建家内のSクラスの施設への波及的影響はないことを確認した。

## 7. 参考文献

- 1) U. Toshiyuki, T. Inoue, A. Hiruma, K. Obayashi, “Fracture prediction of aluminum casting parts on frontal crash,” Proceedings. Society of Automotive Engineers of Japan Annual Congress, Yokohama, Japan, May. 19-21, 2010, Issue 32-10, pp7-10, ISSN 0919-1364, (2010). [CD-ROM] [in Japanese]
- 2) E. Haug, D. Ulrich, “THE PAM-CRASH CODE AS AN EFFICIENT TOOL FOR CRASHWORTHINESS SIMULATION AND DESIGN,” Paper presented at the Second European Cars/Trucks Simulation Symposium, Munich, Germany, May. 22-24, 1989, pp1-14, (1989).
- 3) T. Matsuura, Y. Ogasawara, K. Tsuchida, M. Beppu, H. Wauchi, T. Mase, M. Ogihara, “Research on Penetration Evaluation of Steel plate against Steel Missile by tornado : (Part 4) Numerical Analysis of Impact Tests,” Summaries of technical papers of annual meeting, Tokyo, Japan, Sep. 4-6, 2015, pp1113-1114, ISSN 18839363, (2015). [CD-ROM] [in Japanese]



1-5-6. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(燃料交換機の波及的影響評価)

## 目次

1. 燃料交換機の波及的影響評価.....	添1 - 5 - 6 - 1
2. 基本方針 .....	添1 - 5 - 6 - 1
2.1 配置概要.....	添1 - 5 - 6 - 1
2.2 構造の説明.....	添1 - 5 - 6 - 1
2.3 評価方針.....	添1 - 5 - 6 - 4
2.4 適用規格.....	添1 - 5 - 6 - 6
3. 取付ボルトの応力計算.....	添1 - 5 - 6 - 7
3.1 NS 方向地震と鉛直方向地震 .....	添1 - 5 - 6 - 7
3.2 EW 方向地震と鉛直方向地震 .....	添1 - 5 - 6 - 8
4. 評価 .....	添1 - 5 - 6 - 9
4.1 許容応力の算出.....	添1 - 5 - 6 - 9
4.2 評価結果.....	添1 - 5 - 6 - 10
5. まとめ .....	添1 - 5 - 6 - 11

## 表 目 次

第 2.1 表	燃料交換機の構造概要.....	添 1 - 5 - 6 - 1
第 4.1 表	取付ボルトの諸元.....	添 1 - 5 - 6 - 9
第 4.2 表	評価結果.....	添 1 - 5 - 6 - 10

## 目 次

第 2.1 図	配置概要.....	添 1 - 5 - 6 - 1
第 2.2 図	燃料交換機の概略形状.....	添 1 - 5 - 6 - 2
第 2.3 図	下部ドアバルブの取付ボルトの配置.....	添 1 - 5 - 6 - 3
第 2.4 図	計算モデル.....	添 1 - 5 - 6 - 6

## 1. 燃料交換機の波及的影響評価

本評価は、燃料交換機の波及的影響を評価するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 配置概要

燃料交換機は、第 2.1 図に示すように原子炉建家地上 1 階に設置され、倒壊時に S クラスの施設への波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、基準地震動  $S_s$  により燃料交換機の波及的影響を評価する。

核物質防護情報を含んでいるため公開できません。

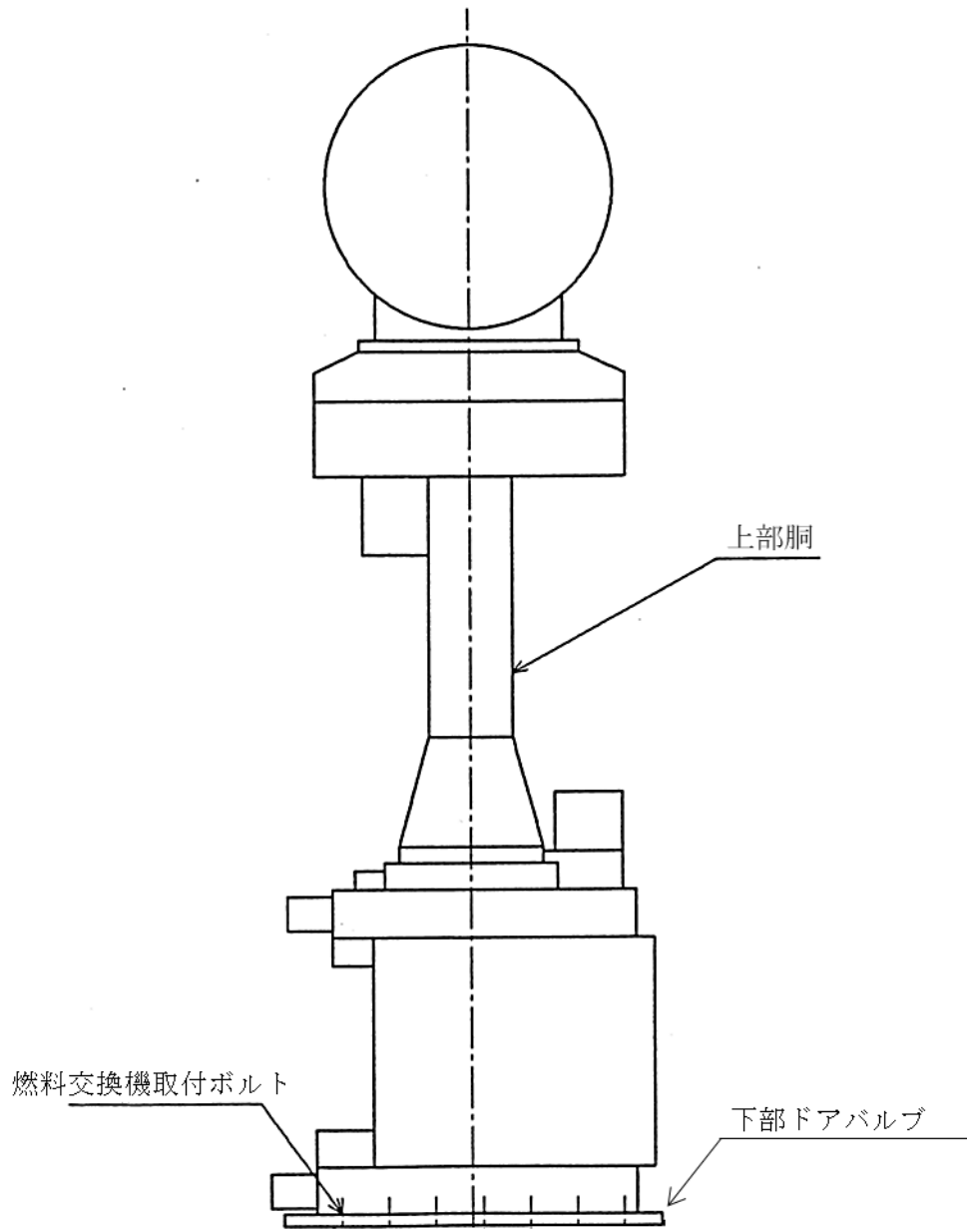
第 2.1 図 配置概要

### 2.2 構造の説明

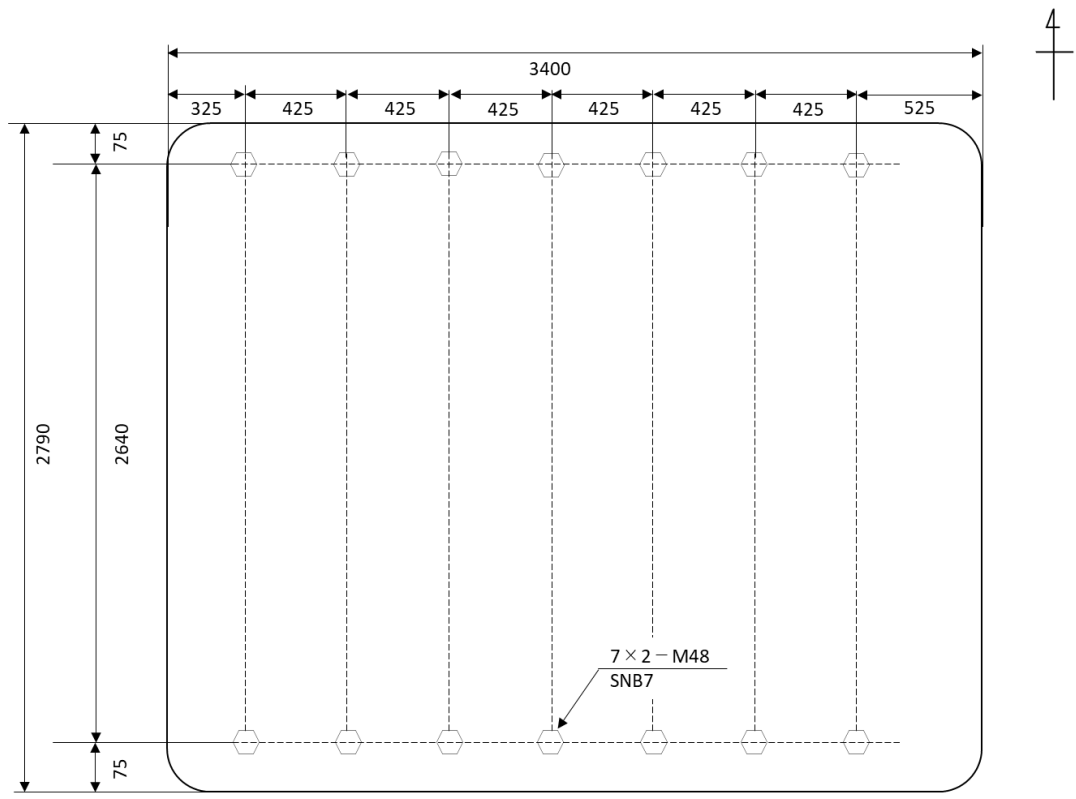
燃料交換機の構造概要を第 2.1 表及び第 2.2 図に示す。評価対象の下部ドアバルブの取付ボルトの配置を第 2.3 図に示す。

第 2.1 表 燃料交換機の構造概要

機器名	重量	重心高さ	固有周期(水平)	固有周期(鉛直)
燃料交換機	150,000kg	3,430mm	0.427sec	0.014sec



第 2.2 図 燃料交換機の概略形状



(単位 : mm)

第 2.3 図 下部ドアバルブの取付ボルトの配置

## 2.3 評価方針

燃料交換機の波及的影響を評価する観点で基準地震動を用いた計算を行い、取付ボルトを評価する。

### 2.3.1 許容応力

#### a. 許容せん断応力

取付ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  は、以下の式により求める。

$$f_{sb} = 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}$$

$$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

$S_y$  : 設計降伏点

$S_u$  : 設計引張強さ

#### b. 許容引張応力

取付ボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  は、以下の式により求める。

$$f_{ts} = 1.4S_u - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq S_u$$

$\tau_b$  : せん断応力

### 2.3.2 取付ボルトの応力の計算方法

#### a. せん断応力

取付ボルトのせん断応力  $\tau_b$  は、以下の式により求める。

$$\tau_b = \frac{F_H}{NA_b}$$

$$F_H = C_H \cdot W$$

$\tau_b$  : 水平方向地震によるせん断応力

$F_H$  : 水平方向地震によるせん断力

$C_H$  : 水平方向地震の震度(固有周期における応答スペクトル値を 1G で除した値)

$W$  : 燃料交換機の重量

$N$  : ボルト総本数

$A_b$  : ボルト断面積

#### b. 引張応力

取付ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は、水平方向地震によるモーメントによって生じる取付



ボルト 1 本当たりの引抜力 F 及び鉛直方向地震による引抜力  $N_v$  を用いて算出する。取付ボルト 1 本当たりの引抜力 F は第 2.4 図に示す計算モデルにおいて、回転軸まわりのモーメントより求め、評価対象の取付ボルトは最大値を算出するため回転軸から最も遠いボルトとする。引張応力  $\sigma_b$  及びモーメントによって生じる引抜力 F の算出式を以下に示す。

$$\sigma_b = \frac{NF_v + N_v}{NA_b}$$

$$F_v = \frac{M \cdot L_1}{\sum n_i L_i^2}$$

$N_v$  :  $C_v \cdot W$

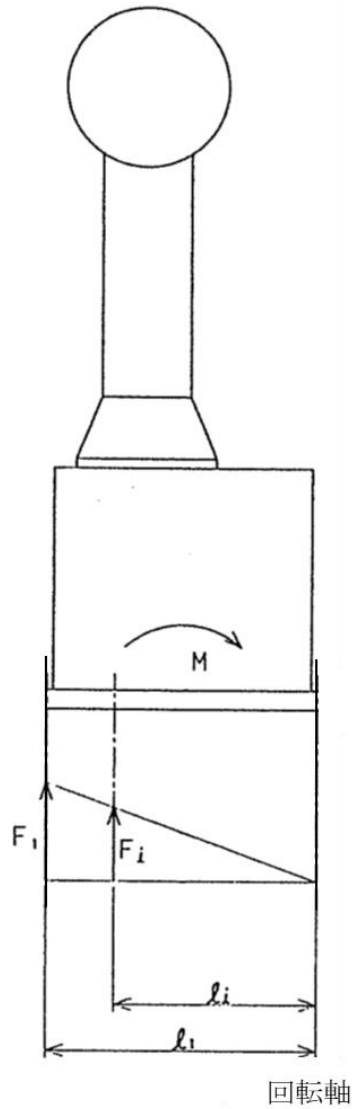
$C_v$  : 鉛直方向地震の震度(固有周期における応答スペクトル値を 1G で除した値)

$M$  : 水平方向地震によるモーメント  
(水平方向地震の震度、燃料交換機の重量、重心高さの積)

$L_1$  : 回転軸から最も遠いボルトまでの距離

$L_i$  : 回転軸から各ボルトまでの距離

$n_i$  :  $L_i$  の距離を持つボルト本数



回転軸

第 2.4 図 計算モデル

## 2.4 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・黒鉛減速ヘリウムガス冷却型原子炉施設に関する構造等の技術基準
- ・原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)
- ・鋼構造設計基準(日本建築学会)

### 3. 取付ボルトの応力計算

#### 3.1 NS 方向地震と鉛直方向地震

##### a. せん断応力

$$\begin{aligned}\tau_{\text{bns}} &= \frac{F_{\text{Hns}}}{NA_{\text{b}}} \\ &= 153 \text{ MPa}\end{aligned}$$

##### b. 引張応力

$$\begin{aligned}F_{\text{Vns}} &= \frac{M_{\text{ns}} \cdot L_{\text{ns}1}}{\sum n_{\text{ns}i} \cdot L_{\text{ns}i}^2} \\ &= 6.98 \times 10^5 \text{ N}\end{aligned}$$

したがって、引張応力は

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{bns}} &= \frac{NF_{\text{Vns}} + N_{\text{V}}}{NA_{\text{b}}} \\ &= 424 \text{ MPa}\end{aligned}$$

ここで、各記号は以下による。

N	: ボルト本数	14	本
A <sub>b</sub>	: ボルト断面積	1809	mm <sup>2</sup> (M48)
C <sub>Hns</sub>	: NS 方向地震の震度	2.63	-
W	: 燃料交換機の重量	1.47 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Hns</sub>	: NS 方向地震によるせん断力	3.87 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Vns</sub>	: NS 方向地震による引張力	6.98 × 10 <sup>5</sup>	N
M <sub>ns</sub>	: NS 方向地震によるモーメント	1.33 × 10 <sup>10</sup>	N・mm
C <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震の震度	0.65	-
N <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震による引抜力	9.56 × 10 <sup>5</sup>	N
L <sub>nsi</sub>	: NS 方向の回転軸から燃料交換機の各取付ボルトまでの距離	下表参照	
n <sub>nsi</sub>	: NS 方向の回転軸から L <sub>nsi</sub> の距離にある燃料交換機の取付ボルトの本数	下表参照	

i	1	2	Σ
n <sub>nsi</sub> (本)	7	7	14
L <sub>nsi</sub> (mm)	2715	75	
n <sub>nsi</sub> ・L <sub>nsi</sub> <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	5.16 × 10 <sup>7</sup>	3.94 × 10 <sup>4</sup>	5.16 × 10 <sup>7</sup>

### 3.2 EW 方向地震と鉛直方向地震

#### a. せん断応力

$$\begin{aligned}\tau_{bew} &= \frac{F_{Hew}}{NA_b} \\ &= 136 \text{ MPa}\end{aligned}$$

#### b. 引張応力

$$\begin{aligned}F_{Vew} &= \frac{M_{ew} \cdot L_{ew1}}{\sum n_{ewi} \cdot L_{ewi}^2} \\ &= 7.39 \times 10^5 \text{ N}\end{aligned}$$

したがって、引張応力は

$$\begin{aligned}\sigma_{bew} &= \frac{NF_{Vew} + N_V}{NA_b} \\ &= 446 \text{ MPa}\end{aligned}$$

ここで、各記号は以下による。

N	: ボルト本数	14	本
A <sub>b</sub>	: ボルト断面積	1809	mm <sup>2</sup> (M48)
C <sub>Hew</sub>	: EW 方向地震の震度	2.34	-
W	: 燃料交換機の重量	1.47 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Hew</sub>	: EW 方向地震によるせん断力	3.44 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Vew</sub>	: EW 方向地震による引張力	7.39 × 10 <sup>5</sup>	N
M <sub>ew</sub>	: EW 方向地震によるモーメント	1.18 × 10 <sup>10</sup>	N・mm
C <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震の震度	0.65	-
N <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震による引抜力	9.56 × 10 <sup>5</sup>	N
L <sub>ewi</sub>	: EW 方向の回転軸から燃料交換機の各取付ボルトまでの距離	下表参照	
n <sub>ewi</sub>	: EW 方向の回転軸から L <sub>ewi</sub> の距離にある燃料交換機の取付ボルトの本数	下表参照	

i	1	2	3	4	5	6	7	Σ
n <sub>ewi</sub> (本)	2	2	2	2	2	2	2	14
L <sub>ewi</sub> (mm)	2875	2450	2025	1600	1175	750	325	
n <sub>ewi</sub> ・L <sub>ewi</sub> <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	1.65 × 10 <sup>7</sup>	1.20 × 10 <sup>7</sup>	8.20 × 10 <sup>6</sup>	5.12 × 10 <sup>6</sup>	2.76 × 10 <sup>6</sup>	1.13 × 10 <sup>6</sup>	2.11 × 10 <sup>5</sup>	4.60 × 10 <sup>7</sup>

#### 4. 評価

##### 4.1 許容応力の算出

取付ボルトの諸元を第 4.1 表に示す。

第 4.1 表 取付ボルトの諸元

機器名	材質	使用温度	S <sub>y</sub> (設計降伏点)	S <sub>u</sub> (設計引張強さ)
取付ボルト	SNB7	室温	655 MPa	800 MPa

##### a. 許容せん断応力

取付ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  は、以下の式により求める。

$$\begin{aligned} f_{sb} &= 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \\ &= 323 \text{ MPa} \end{aligned}$$

##### b. 許容引張応力

NS 方向地震時の取付ボルトの許容引張応力  $f_{tsns}$  は、以下の式により求める。

$$\begin{aligned} f_{tsns} &= 1.4S_u - 1.6 \tau_{bns} \\ &= 875 \text{ MPa} \\ f_{tsns} &\leq S_u = 800 \text{ MPa} \end{aligned}$$

したがって、 $f_{tsns} = 800 \text{ MPa}$

EW 方向地震時の取付ボルトの許容引張応力  $f_{tsew}$  は、以下の式により求める。

$$\begin{aligned} f_{tsew} &= 1.4S_u - 1.6 \tau_{bew} \\ &= 902 \text{ MPa} \\ f_{tsew} &\leq S_u = 800 \text{ MPa} \end{aligned}$$

したがって、 $f_{tsew} = 800 \text{ MPa}$

#### 4.2 評価結果

評価結果は、第 4.2 表に示す。

第 4.2 表 評価結果

評価部位	地震方向	分類	計算値 [MPa]	許容値 [MPa]
取付ボルト	NS	せん断	153	323
		引張	424	800
	EW	せん断	136	323
		引張	446	800

## 5. まとめ

評価結果に示すとおり、計算値は 4.2 評価基準値を満足している。以上より、燃料交換機が S クラスの施設に対して波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

1-5-7. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(制御棒交換機の波及的影響評価)



## 目次

1. 制御棒交換機の波及的影響評価.....	添 1 - 5 - 7 - 1
2. 基本方針 .....	添 1 - 5 - 7 - 1
2.1 配置概要.....	添 1 - 5 - 7 - 1
2.2 構造の説明.....	添 1 - 5 - 7 - 1
2.3 評価方針.....	添 1 - 5 - 7 - 4
2.4 適用規格.....	添 1 - 5 - 7 - 6
3. ドアバルブの取付ボルトの応力計算.....	添 1 - 5 - 7 - 7
3.1 NS 方向地震と鉛直方向地震 .....	添 1 - 5 - 7 - 7
3.2 EW 方向地震と鉛直方向地震 .....	添 1 - 5 - 7 - 8
4. 床上ドアバルブの取付ボルトの応力計算.....	添 1 - 5 - 7 - 9
4.1 NS 方向地震と鉛直方向地震 .....	添 1 - 5 - 7 - 9
4.2 EW 方向地震と鉛直方向地震 .....	添 1 - 5 - 7 - 10
5. 評価 .....	添 1 - 5 - 7 - 11
5.1 許容応力の算出.....	添 1 - 5 - 7 - 11
5.2 評価結果.....	添 1 - 5 - 7 - 12
6. まとめ .....	添 1 - 5 - 7 - 13

## 表 目 次

第 2.1 表	制御棒交換機の構造概要.....	添 1 - 5 - 7 - 1
第 5.1 表	ドアバルブの取付ボルトの諸元.....	添 1 - 5 - 7 - 11
第 5.2 表	床上ドアバルブの取付ボルトの諸元.....	添 1 - 5 - 7 - 11
第 5.3 表	評価結果.....	添 1 - 5 - 7 - 12

## 目 次

第 2.1 図	配置概要.....	添 1 - 5 - 7 - 1
第 2.2 図	制御棒交換機の概略形状.....	添 1 - 5 - 7 - 2
第 2.3 図	下部ドアバルブの取付ボルトの配置.....	添 1 - 5 - 7 - 3
第 2.4 図	床上ドアバルブ 3 の取付ボルトの配置.....	添 1 - 5 - 7 - 3
第 2.5 図	計算モデル.....	添 1 - 5 - 7 - 6

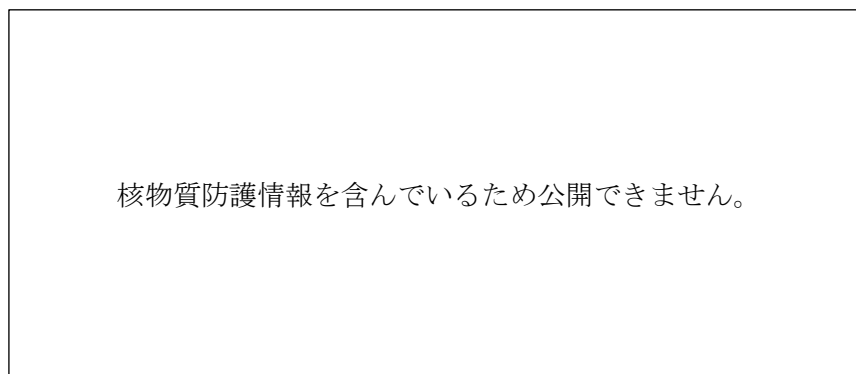
## 1. 制御棒交換機の波及的影響評価

本評価は、制御棒交換機の波及的影響を評価するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 配置概要

制御棒交換機は、第 2.1 図に示すように原子炉建家地上 1 階に設置され、倒壊時に S クラスの施設への波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、基準地震動  $S_s$  により制御棒交換機の波及的影響を評価する。



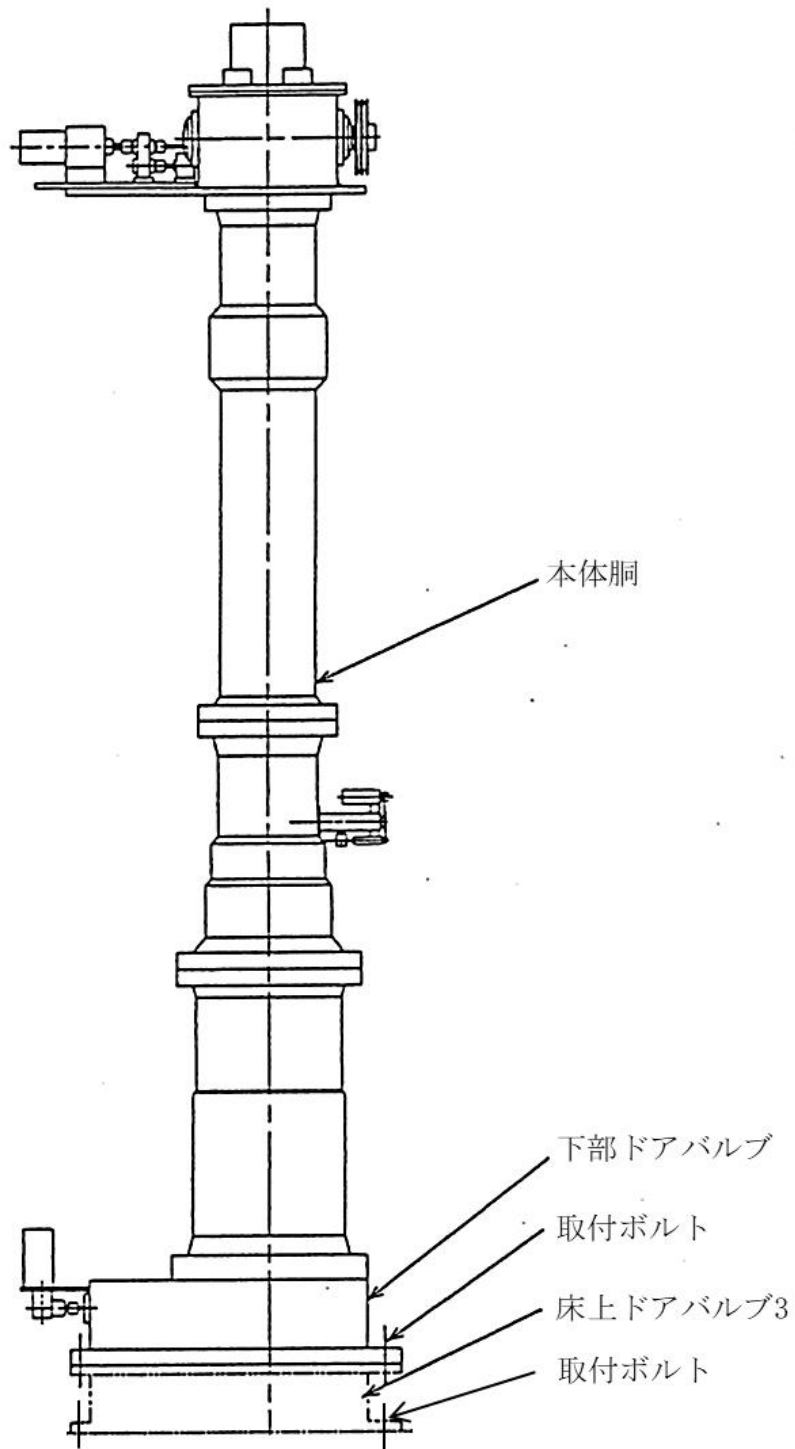
第 2.1 図 配置概要

### 2.2 構造の説明

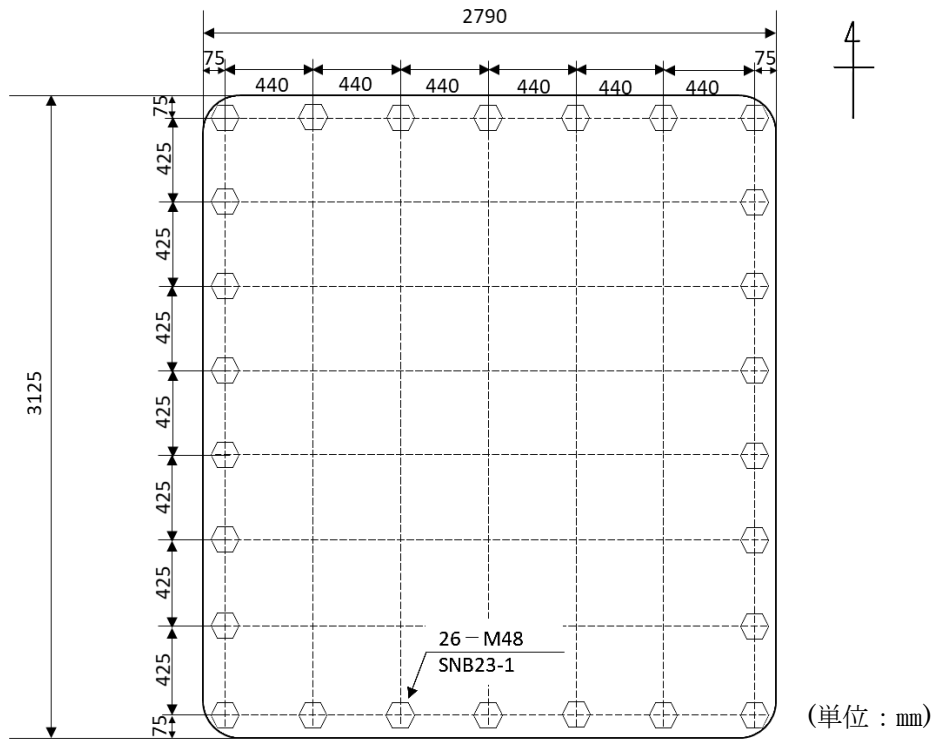
制御棒交換機の構造概要を第 2.1 表及び第 2.2 図に示す。評価対象の下部ドアバルブの取付ボルトの配置及び床上ドアバルブ 3 の取付ボルトの配置を第 2.3 図及び第 2.4 図に示す。また、床上ドアバルブ 3 は床上ドアバルブ 2 と同じ構造である。

第 2.1 表 制御棒交換機の構造概要

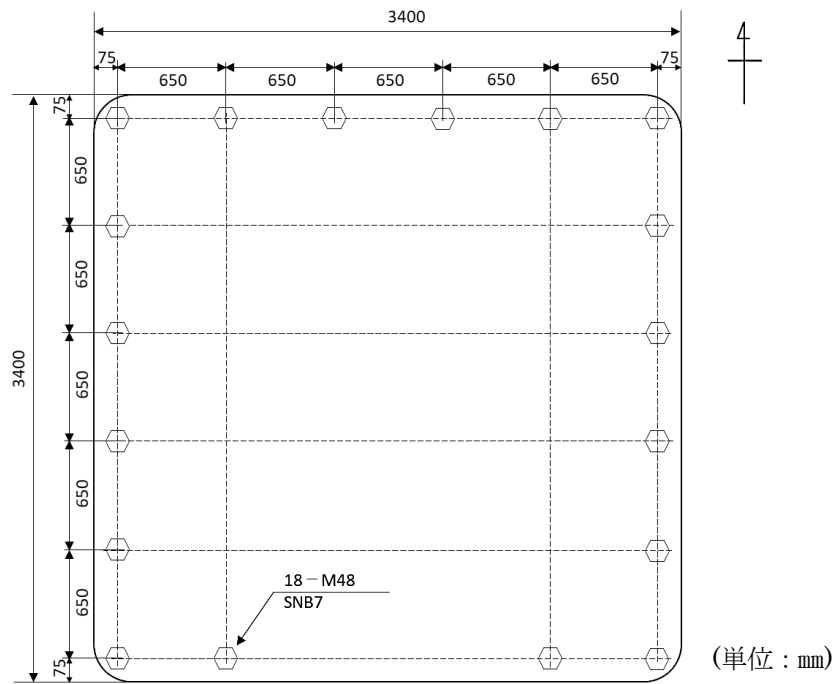
機器名	重量	重心高さ	固有周期(水平)	固有周期(鉛直)
制御棒交換機	116,000kg (床上ドアバルブ 35,800kg)	3,720mm	0.406sec	0.012sec



第 2.2 図 制御棒交換機の概略形状



第 2.3 図 下部ドアバルブの取付ボルトの配置



第 2.4 図 床上ドアバルブ 3 の取付ボルトの配置

## 2.3 評価方針

制御棒交換機の波及的影響を評価する観点で基準地震動を用いた計算を行い、取付ボルトを評価する。

### 2.3.1 許容応力

#### a. 許容せん断応力

取付ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  は、以下の式により求める。

$$f_{sb} = 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}$$

$$F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

$S_y$  : 設計降伏点

$S_u$  : 設計引張強さ

#### b. 許容引張応力

取付ボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  は、以下の式により求める。

$$f_{ts} = 1.4S_u - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq S_u$$

$\tau_b$  : せん断応力

### 2.3.2 取付ボルトの応力の計算方法

#### a. せん断応力

取付ボルトのせん断応力  $\tau_b$  は、以下の式により求める。

$$\tau_b = \frac{F_H}{NA_b}$$

$$F_H = C_H \cdot W$$

$\tau_b$  : 水平方向地震によるせん断応力

$F_H$  : 水平方向地震によるせん断力

$C_H$  : 水平方向地震の震度(固有周期における応答スペクトル値を 1G で除した値)

$W$  : 燃料交換機の重量

$N$  : ボルト総本数

$A_b$  : ボルト断面積

#### b. 引張応力

取付ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は、水平方向地震によるモーメントによって生じる取付ボルト 1 本当たりの引抜力  $F$  及び鉛直方向地震による引抜力  $N_v$  を用いて算出する。

取付ボルト 1 本当たりの引抜力 F は第 2.5 図に示す計算モデルにおいて、回転軸まわりのモーメントより求め、評価対象の取付ボルトは最大値を算出するため回転軸から最も遠いボルトとする。引張応力  $\sigma_b$  及びモーメントによって生じる引抜力 F の算出式を以下に示す。

$$\sigma_b = \frac{NF_v + N_v}{NA_b}$$

$$F_v = \frac{M \cdot L_1}{\sum n_i L_i^2}$$

$N_v$  :  $C_v \cdot W$

$C_v$  : 鉛直方向地震の震度(固有周期における応答スペクトル値を 1G で除した値)

$M$  : 水平方向地震によるモーメント

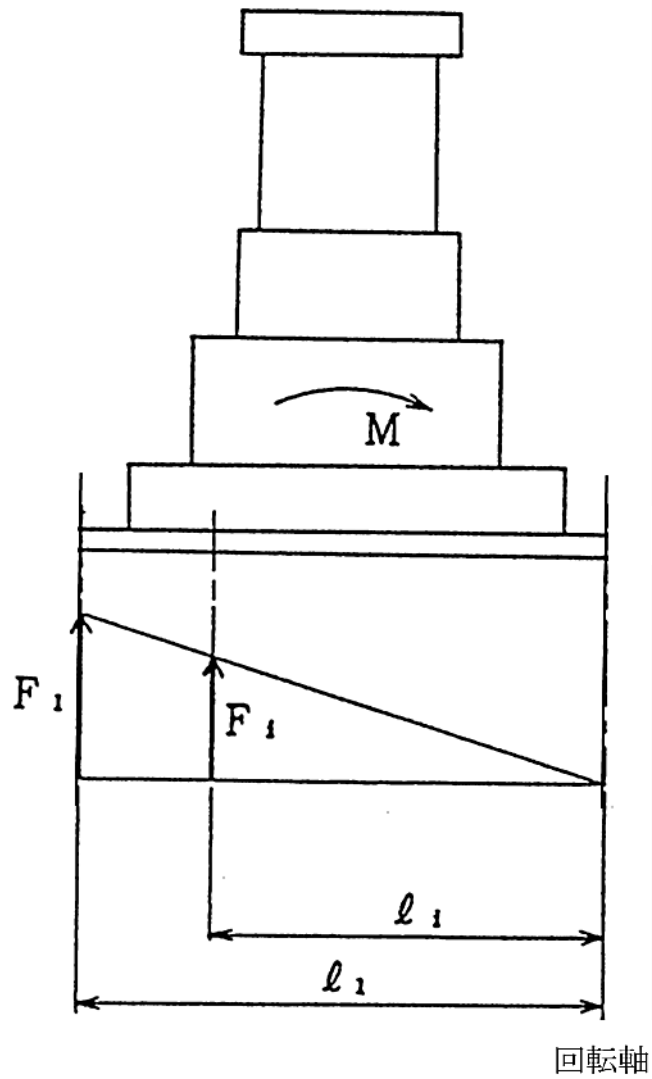
(水平方向地震の震度、燃料交換機の重量、重心高さの積)

$L_1$  : 回転軸から最も遠いボルトまでの距離

$L_i$  : 回転軸から各ボルトまでの距離

$n_i$  :  $L_i$  の距離を持つボルト本数





第 2.5 図 計算モデル

#### 2.4 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・ 黒鉛減速ヘリウムガス冷却型原子炉施設に関する構造等の技術基準
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601)
- ・ 鋼構造設計基準 (日本建築学会)

### 3. ドアバルブの取付ボルトの応力計算

#### 3.1 NS 方向地震と鉛直方向地震

##### a. せん断応力

ドアバルブの取付け部はインロー構造であるため、取付ボルトにせん断力は生じない。

##### b. 引張応力

$$F_{Vns} = \frac{M_{ns} \cdot L_{ns1}}{\sum n_{nsi} \cdot L_{nsi}^2}$$

$$= 4.41 \times 10^5 \text{ N}$$

したがって、引張応力は

$$\sigma_{bns} = \frac{NF_{Vns} + N_V}{NA_b}$$

$$= 265 \text{ MPa}$$

ここで、各記号は以下による。

N	: ボルト本数	26	本
A <sub>b</sub>	: ボルト断面積	1809	mm <sup>2</sup> (M48)
C <sub>Hns</sub>	: NS 方向地震の震度	2.63	-
W	: 制御棒交換機の重量	1.49 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Vns</sub>	: NS 方向地震による引張力	4.41 × 10 <sup>5</sup>	N
M <sub>ns</sub>	: NS 方向地震によるモーメント	1.46 × 10 <sup>10</sup>	N・mm
C <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震の震度	0.65	-
N <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震による引抜き力	9.68 × 10 <sup>5</sup>	N
L <sub>nsi</sub>	: NS 方向の回転軸から制御棒交換機各取付ボルトまでの距離	下表参照	
n <sub>nsi</sub>	: NS 方向の回転軸から L <sub>nsi</sub> の距離にある制御棒交換機の取付ボルトの本数	下表参照	

i	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
n <sub>nsi</sub> (本)	7	2	2	2	2	2	2	7	26
L <sub>nsi</sub> (mm)	3050	2625	2200	1775	1350	925	500	75	
n <sub>nsi</sub> ・L <sub>nsi</sub> <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	6.51 × 10 <sup>7</sup>	1.38 × 10 <sup>7</sup>	9.68 × 10 <sup>6</sup>	6.30 × 10 <sup>6</sup>	3.65 × 10 <sup>6</sup>	1.71 × 10 <sup>6</sup>	5.00 × 10 <sup>5</sup>	3.94 × 10 <sup>4</sup>	1.01 × 10 <sup>8</sup>

### 3.2 EW 方向地震と鉛直方向地震

#### a. せん断応力

ドアバルブの取付け部はインロー構造であるため、取付ボルトにせん断力は生じない。

#### b. 引張応力

$$F_{Vew} = \frac{M_{ew} \cdot L_{ew1}}{\sum n_{ewi} \cdot L_{ewi}^2}$$

$$= 6.41 \times 10^5 \text{ N}$$

したがって、引張応力は

$$\sigma_{bew} = \frac{NF_{Vew} + N_V}{NA_b}$$

$$= 375 \text{ MPa}$$

ここで、各記号は以下による。

N	: ボルト本数	26	本
A <sub>b</sub>	: ボルト断面積	1809	mm <sup>2</sup> (M48)
C <sub>Hew</sub>	: EW 方向地震の震度	3.51	-
W	: 燃料交換機の重量	1.49 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Vew</sub>	: EW 方向地震による引張力	6.41 × 10 <sup>5</sup>	N
M <sub>ew</sub>	: EW 方向地震によるモーメント	1.94 × 10 <sup>10</sup>	N・mm
C <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震の震度	0.65	-
N <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震による引抜き力	9.68 × 10 <sup>5</sup>	N
L <sub>ewi</sub>	: EW 方向の回転軸から制御棒交換機の各取付ボルトまでの距離	下表参照	
n <sub>ewi</sub>	: EW 方向の回転軸から L <sub>ewi</sub> の距離にある制御棒交換機の取付ボルトの本数	下表参照	

i	1	2	3	4	5	6	7	Σ
n <sub>ewi</sub> (本)	8	2	2	2	2	2	8	26
L <sub>ewi</sub> (mm)	2715	2275	1835	1395	955	515	75	
n <sub>ewi</sub> ・L <sub>ewi</sub> <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	5.90 × 10 <sup>7</sup>	1.04 × 10 <sup>7</sup>	6.73 × 10 <sup>6</sup>	3.89 × 10 <sup>6</sup>	1.82 × 10 <sup>6</sup>	5.30 × 10 <sup>5</sup>	4.50 × 10 <sup>4</sup>	8.23 × 10 <sup>7</sup>

4. 床上ドアバルブの取付ボルトの応力計算

4.1 NS 方向地震と鉛直方向地震

a. せん断応力

$$\begin{aligned}\tau_{\text{bns}} &= \frac{F_{\text{Hns}}}{NA_{\text{b}}} \\ &= 121 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b. 引張応力

$$\begin{aligned}F_{\text{Vns}} &= \frac{M_{\text{ns}} \cdot L_{\text{ns}1}}{\sum n_{\text{ns}i} \cdot L_{\text{ns}i}^2} \\ &= 6.76 \times 10^5 \text{ N}\end{aligned}$$

したがって、引張応力は

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{bns}} &= \frac{NF_{\text{Vns}} + N_{\text{v}}}{NA_{\text{b}}} \\ &= 404 \text{ MPa}\end{aligned}$$

ここで、各記号は以下による。

N	: ボルト本数	18	本	
A <sub>b</sub>	: ボルト断面積	1809	mm <sup>2</sup>	(M48)
C <sub>Hns</sub>	: NS 方向地震の震度	2.63	-	
W	: 燃料交換機の重量	1.49 × 10 <sup>6</sup>	N	
F <sub>Hns</sub>	: NS 方向地震によるせん断力	3.92 × 10 <sup>6</sup>	N	
F <sub>Vns</sub>	: NS 方向地震による引張力	6.76 × 10 <sup>5</sup>	N	
M <sub>ns</sub>	: NS 方向地震によるモーメント	1.46 × 10 <sup>10</sup>	N・mm	
C <sub>v</sub>	: 鉛直方向地震の震度	0.65	-	
N <sub>v</sub>	: 鉛直方向地震による引抜き力	9.68 × 10 <sup>5</sup>	N	
L <sub>nsi</sub>	: NS 方向の回転軸から制御棒交換機の各取付ボルトまでの距離	下表参照		
n <sub>nsi</sub>	: NS 方向の回転軸から L <sub>nsi</sub> の距離にある制御棒交換機の取付ボルトの本数	下表参照		

i		1	2	3	4	5	6	Σ
n <sub>nsi</sub>	(本)	4	2	2	2	2	6	18
L <sub>nsi</sub>	(mm)	3325	2675	2025	1375	725	75	
n <sub>nsi</sub> · L <sub>nsi</sub> <sup>2</sup>	(mm <sup>2</sup> )	4.42 × 10 <sup>7</sup>	1.43 × 10 <sup>7</sup>	8.20 × 10 <sup>6</sup>	3.78 × 10 <sup>6</sup>	1.05 × 10 <sup>6</sup>	3.38 × 10 <sup>4</sup>	7.16 × 10 <sup>7</sup>

#### 4.2 EW 方向地震と鉛直方向地震

##### a. せん断応力

$$\begin{aligned}\tau_{bew} &= \frac{F_{Hew}}{NA_b} \\ &= 161 \text{ MPa}\end{aligned}$$

##### b. 引張応力

$$\begin{aligned}F_{Vew} &= \frac{M_{ew} \cdot L_{ew1}}{\sum n_{ewi} \cdot L_{ewi}^2} \\ &= 7.37 \times 10^5 \text{ N}\end{aligned}$$

したがって、引張応力は

$$\begin{aligned}\sigma_{bew} &= \frac{NF_{Vew} + N_V}{NA_b} \\ &= 437 \text{ MPa}\end{aligned}$$

ここで、各記号は以下による。

N	: ボルト本数	18	本
A <sub>b</sub>	: ボルト断面積	1809	mm <sup>2</sup> (M48)
C <sub>Hew</sub>	: EW 方向地震の震度	3.51	-
W	: 燃料交換機の重量	1.49 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Hew</sub>	: EW 方向地震によるせん断力	5.23 × 10 <sup>6</sup>	N
F <sub>Vew</sub>	: EW 方向地震による引張力	7.37 × 10 <sup>5</sup>	N
M <sub>ew</sub>	: EW 方向地震によるモーメント	1.94 × 10 <sup>10</sup>	N・mm
C <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震の震度	0.65	-
N <sub>V</sub>	: 鉛直方向地震による引抜力	9.68 × 10 <sup>5</sup>	N
L <sub>ewi</sub>	: EW 方向の回転軸から制御棒交換機の各取付ボルトまでの距離	下表参照	
n <sub>ewi</sub>	: EW 方向の回転軸から L <sub>nsi</sub> の距離にある制御棒交換機の取付ボルトの本数	下表参照	

i	1	2	3	4	5	6	Σ
n <sub>ewi</sub> (本)	6	2	1	1	2	6	18
L <sub>ewi</sub> (mm)	3325	2675	2025	1375	725	75	
n <sub>ewi</sub> ・L <sub>ewi</sub> <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	6.63 × 10 <sup>7</sup>	1.43 × 10 <sup>7</sup>	4.10 × 10 <sup>6</sup>	1.89 × 10 <sup>6</sup>	1.05 × 10 <sup>6</sup>	3.38 × 10 <sup>4</sup>	8.77 × 10 <sup>7</sup>

## 5. 評価

### 5.1 許容応力の算出

#### 5.1.1 ドアバルブの取付ボルト

ドアバルブの取付ボルトの諸元を第 5.1 表に示す。

第 5.1 表 ドアバルブの取付ボルトの諸元

機器名	材質	使用温度	S <sub>y</sub> (設計降伏点)	S <sub>u</sub> (設計引張強さ)
取付ボルト	SNB23-1	室温	1030 MPa	1140 MPa

#### a. 許容引張応力

せん断応力  $\tau_b$  は発生しないため、許容引張応力  $f_{ts}$  は、以下のとおり。

$$f_{ts} = 1140 \text{ MPa}$$

#### 5.1.2 床上ドアバルブの取付ボルト

床上ドアバルブの取付ボルトの諸元を第 5.2 表に示す。

第 5.2 表 床上ドアバルブの取付ボルトの諸元

機器名	材質	使用温度	S <sub>y</sub> (設計降伏点)	S <sub>u</sub> (設計引張強さ)
取付ボルト	SNB7	室温	655 MPa	800 MPa

#### a. 許容せん断応力

取付ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  は、以下の式により求める。

$$\begin{aligned} f_{sb} &= 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \\ &= 323 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### b. 許容引張応力

NS 方向地震時の取付ボルトの許容引張応力  $f_{tsns}$  は、以下の式により求める。

$$\begin{aligned} f_{tsns} &= 1.4S_u - 1.6\tau_{bns} \\ &= 927 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{tsns} \leq S_u = 800 \text{ MPa}$$

したがって、 $f_{tsns} = 800 \text{ MPa}$

EW 方向地震時の取付ボルトの許容引張応力  $f_{tsew}$  は、以下の式により求める。

$$f_{tsew} = 1.4S_u - 1.6\tau_{bew}$$

$$= 863 \text{ MPa}$$

$$f_{t,sew} \leq Su = 800 \text{ MPa}$$

したがって、 $f_{t,sew} = 800 \text{ MPa}$

## 5.2 評価結果

評価結果は、第 5.3 表に示す。

第 5.3 表 評価結果

評価部位	地震方向	分類	計算値 [MPa]	許容値 [MPa]
ドアバルブの 取付ボルト	NS	引張	265	1140
	EW	引張	375	1140
床上ドアバルブの 取付ボルト	NS	せん断	121	323
		引張	404	800
	EW	せん断	161	323
		引張	437	800

## 6. まとめ

評価結果に示すとおり、計算値は評価基準値を満足している。以上より、制御棒交換機がSクラスの施設に対して波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。



1-6. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(動的機器の機能維持確認の概要)

## 1. 概要

ここでは、地震時に動作を要求する動的機器が、基準地震動による応答に対して、当該設備に要求される機能を維持する設計であることを説明する。

添付書類 1-6-1. では、原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)が動的機能を維持することを説明する。

1-6-1. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に関する説明書  
(原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)の動的機能維持確認)

## 目 次

1. 動的機能維持確認の方針.....	添 1 - 6 - 1 - 1
1.1 適用基準.....	添 1 - 6 - 1 - 1
2. 配管系の解析 .....	添 1 - 6 - 1 - 1
3. 確認結果 .....	添 1 - 6 - 1 - 1
4. まとめ .....	添 1 - 6 - 1 - 2

表 目 次

第 3.1 表 弁の機能維持確認結果..... 添 1 - 6 - 1 - 1

## 1. 動的機能維持確認の方針

地震時に動作を要求する原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)の動的機能は、当該弁に発生する基準地震動による応答加速度が、原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)に定められた弁駆動部の機能確認済加速度以下であることの確認をもって、地震時の機能維持を満足するものとする。弁に発生する基準地震動による応答加速度は、完全固定点に設置されている弁に当たっては添付書類 1-2-1. に示す最大応答加速度の1.2倍とし、それ以外の弁に当たっては配管系の解析により求める。

### 1.1 適用基準

以下に示す規格及び基準を適用し評価を行う。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)

## 2. 配管系の解析

完全固定点に設置されていない弁の弁番号は、161VI4及び161VI6である。当該弁が含まれている配管系の解析は、添付書類 1-4-8. の「3.7.6 貫通部配管 P113(CV内)」及び「3.7.8 貫通部配管 P204(CV内)」において実施されている。

## 3. 確認結果

完全固定点に設置されている弁の応答加速度は、添付書類 1-2-1. に示す最大応答加速度の1.2倍とする。当該加速度の全節点の中で最大値は、水平 1.5G及び鉛直 0.9Gである。機能維持確認済加速度は、水平 6.0G及び鉛直 6.0G(逆止弁)である。

完全固定点に設置されていない弁の確認結果を第3.1表に示す。

第3.1表 弁の機能維持確認結果

弁番号	設備	応答加速度 [G]		機能維持確認済加速度 [G]		備考
		水平	鉛直	水平	鉛直	
161VI4	1次ヘリウム 純化設備	0.51	0.44	6.0	6.0	逆止弁
161VI6	1次ヘリウム 純化設備	0.36	0.38	6.0	6.0	逆止弁

#### 4. まとめ

地震時に動作を要求する原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)の動的機能は、確認結果に示すとおり、弁に発生する応答加速度が機能確認済加速度以下であり、地震時の機能維持を満足することを確認した。

1-7. 機器・配管系及び建物・構築物の構造(耐震性及び波及的影響)に係る「試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」への適合性



本申請のうち耐震性及び波及的影響の評価に係る設計及び工事の方法と「試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」に掲げる技術上の基準への適合性は、以下に示すとおりである。

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第一条	適用範囲	—	—	—
第二条	定義	—	—	—
第三条	特殊な方法による施設	—	—	—
第四条	試験研究用等原子炉施設の機能	無	—	—
第五条	機能の確認等	無	—	—
第五条の二	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	—	—
第六条	地震による損傷の防止	有	1項、2項	別添-1 に示すとおり。
第六条の二	津波による損傷の防止	無	—	—
第六条の三	外部からの衝撃による損傷の防止	無	—	—
第六条の四	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無	—	—
第七条	材料、構造等	無	—	—
第八条	遮蔽等	無	—	—
第九条	換気設備	無	—	—
第十条	逆止め弁	無	—	—
第十一条	放射性物質による汚染の防止	無	—	—
第十三条	安全設備	無	—	—
第十三条の二	溢水による損傷の防止	無	—	—
第十三条の三	安全避難通路等	無	—	—
第十四条	炉心等	無	—	—
第十四条の二	熱遮蔽材	無	—	—
第十五条	核燃料物質取扱設備	無	—	—
第十六条	核燃料物質貯蔵設備	無	—	—
第十七条	一次冷却材	無	—	—
第十八条	一次冷却材の排出	無	—	—
第十九条	冷却設備等	無	—	—
第二十条	液位の保持等	無	—	—
第二十一条	計装	無	—	—
第二十一条の二	警報装置	無	—	—
第二十一条の三	通信連絡設備等	無	—	—

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第二十二條	安全保護回路	無	—	—
第二十三條	反応度制御系統及び原子炉停止系統	無	—	—
第二十四條	原子炉制御室等	無	—	—
第二十五條	廃棄物処理設備	無	—	—
第二十六條	保管廃棄設備	無	—	—
第二十七條	放射線管理施設	無	—	—
第二十九條	保安電源設備	無	—	—
第三十條	実験設備等	無	—	—
第三十條の二	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	—	—
第三十一條～第四十一條	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	無	—	—
第四十一條の二	ガス冷却型原子炉に係る試験研究用等原子炉施設	—	—	—
第四十一條の三	試験用燃料体	無	—	—
第四十一條の四	原子炉冷却材圧力バウンダリ	無	—	—
第四十一條の五	計装	無	—	—
第四十一條の六	原子炉格納施設	無	—	—
第四十一條の七	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	—	—
第四十一條の八	準用	—	—	—
第四十二條～第五十一條	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	無	—	—

## (地震による損傷の防止)

第六条 試験研究用等原子炉施設は、これに作用する地震力(試験炉許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。)による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないように施設しなければならない。

2 耐震重要施設(試験炉許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。)は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によつて作用する地震力(試験炉許可基準規則第四条第三項に規定する地震力をいう。)に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。

3 耐震重要施設が試験炉許可基準規則第四条第三項の地震により生じる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。

## 1 及び 2 について

以下の項目に分類される既設の建物・構築物及び機器・配管系のうち、「試験研究用等原子炉施設における設計及び工事の方法の認可申請の審査及び使用前検査の進め方について(平成28年2月17日原子力規制庁)」に基づき選定した建物・構築物及び機器・配管系の耐震性評価を行い、耐震重要度分類に応じた地震力に対して耐震余裕を有していることを確認した。原子炉建家屋根トラス、原子炉格納容器、原子炉建家天井クレーン、排気筒、燃料交換機及び制御棒交換機が耐震Sクラスの建物・構築物及び機器・配管系に波及的影響を及ぼさないことを確認した。評価の詳細は添付書類1-1. から添付書類1-5-7. に示すとおりである。また、地震時に動作を要求する動的機器の原子炉格納容器バウンダリに属する弁(1次冷却材を内蔵するもの)は、基準地震動に対して動的機能が維持されることを確認した。評価の詳細は添付書類1-6. から添付書類1-6-1. に示すとおりである。

- ・ 原子炉本体のうち制御棒案内ブロック、原子炉圧力容器、炉内構造物等の構造
- ・ 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設のうち新燃料貯蔵設備、原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備、使用済燃料貯蔵建家内使用済燃料貯蔵設備等の構造
- ・ 原子炉冷却系統施設のうち中間熱交換器、1次ヘリウム循環機、補助冷却設備等の構造
- ・ 計測制御系統施設のうち原子炉計装、制御棒、後備停止系駆動装置等の構造
- ・ 放射性廃棄物の廃棄施設のうち排気筒の構造
- ・ 放射線管理施設のうち作業環境モニタリング設備の構造
- ・ 原子炉格納施設のうち原子炉格納容器、原子炉格納容器附属設備等の構造
- ・ その他試験研究用等原子炉の附属施設のうちプラント補助施設、建家・構築物等の構造

3について

該当する斜面はない。