

固化セル クレーン(G51M100, M101)の耐震性についての計算書

## 1. 概要

固化セル クレーン(G51M100, M101)は高放射性廃液の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を構成する固化セル(R001)内の機器・配管の上部にあることから、その落下等により固化セル(R001)内の機器・配管への波及的影響を考慮する必要がある。このため、固化セル クレーン(G51M100, M101)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

固化セル クレーン(G51M100, M101)の構造強度の評価は、有限要素法(FEM)解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。なお、G51M100 と G51M101 は同一構造であることからG51M100 の評価のみとする。

固化セル クレーン(G51M100)による波及的影響の防止は固化セル クレーン(G51M100)が落下しないことである。また、当該クレーンは溶融炉(G21ME10)等の重要な設備が設置された固化セル内で操作されるものであることを踏まえて、設計地震動において構造的に最も厳しくなるガータ中央部の曲げ応力に加え、走行車輪・横行車輪の浮き上がり量についても詳細に評価する。車輪の浮き上がりは非線形挙動であることから、時刻歴解析によって評価する。

### 2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008(日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012(日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012(日本機械学会)
- (5) 鋼構造設計基準—許容応力度設計法—(日本建築学会)

### 2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$f_b$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容曲げ応力	MPa
$df$	車輪フランジ径	mm
$d$	車輪径	mm
$\delta$	レールからの浮き上がり高さ	mm
$L_w$	せん断力を受けるツバの有効せん断長さ	mm
$t$	車輪のツバの厚み	mm
$P$	レールとの衝突によりツバのせん断断面に作用する水平力	N
$\tau$	レールとの衝突によりツバのせん断断面に発生するせん断応力	MPa

### 3. 評価部位

廃止措置計画用設計地震動において固化セル クレーン(G51M100)の走行車輪・横行車輪の浮き上がり量を評価する。また、ガータ及びトロリの横滑りを防止する車輪ツバに係る応力を評価する。固化セルクレーン(G51M100)の概要図を図 3-1 に示す。

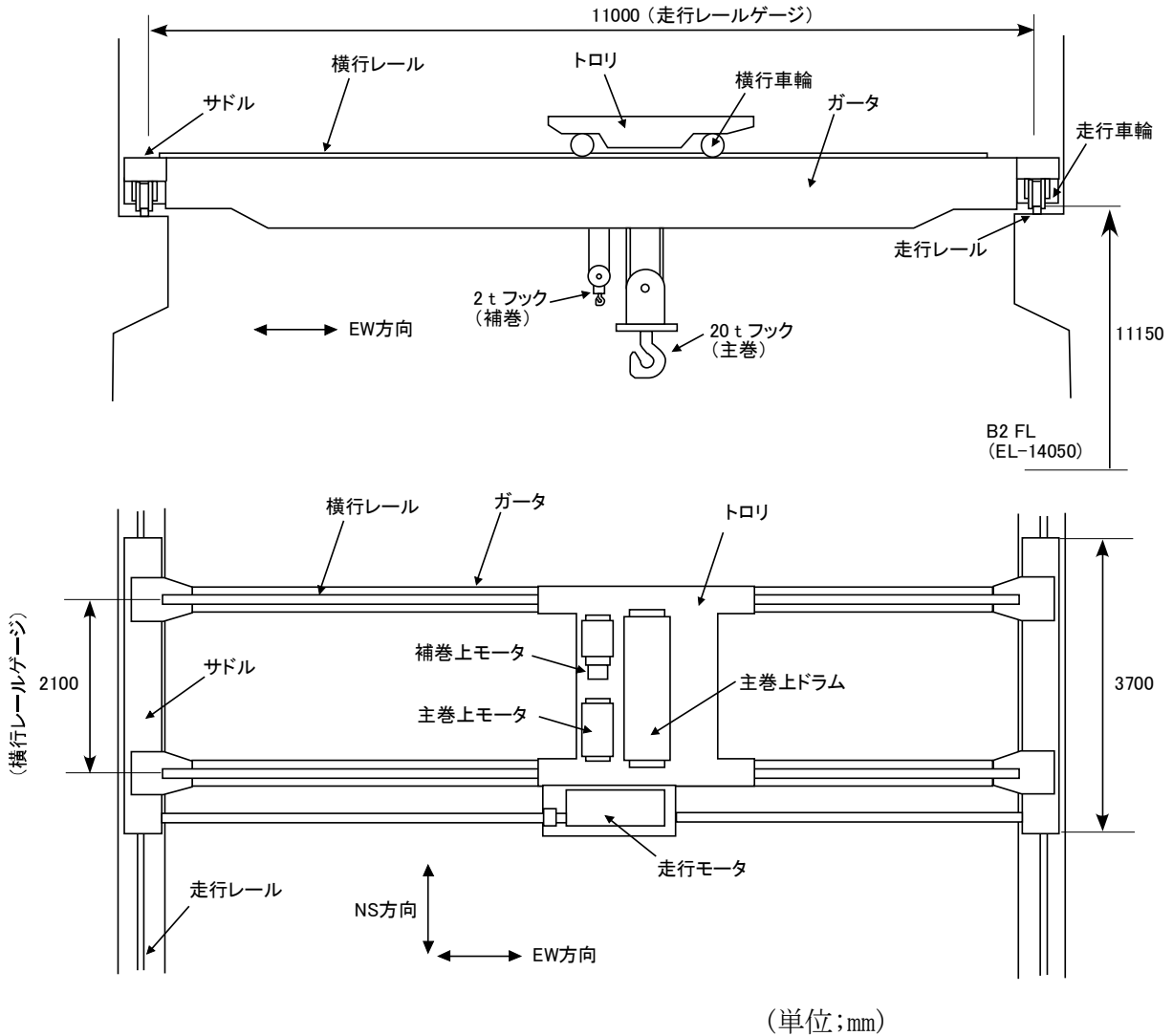


図 3-1 固化セル クレーン(G51M100)の概要図

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、時刻歴解析により水平 2 方向及び鉛直方向の地震動を同時に作用させた際に得られる応力として評価した。

##### 4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds での温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

固化セル クレーン (G51M100) のガータの車輪 (走行車輪) とトロリの車輪 (横行車輪) には脱輪を防止するためのツバが設けられている。水平方向の地震力を受けた場合はツバとレールが接触することにより接触面にせん断応力を生じる。評価部位としてはレールより車輪ツバの方がせん断面積が少ないことから、各車輪ツバのせん断応力を評価する。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
ガータ	曲げ応力	$1.5 \times (F/1.5)$
走行車輪ツバ	せん断応力	$1.5 \times (F/1.5\sqrt{3})$
横行車輪ツバ	せん断応力	$1.5 \times (F/1.5\sqrt{3})$

##### 4.3 車輪の浮き上がりによる脱輪・落下

固化セル クレーン (G51M100) のガータの車輪 (走行車輪) とトロリの車輪 (横行車輪) には脱輪を防止するためのツバが設けられている。地震力によりガータ・トロリがレールから浮き上がり、表 4-2 に示す各車輪のツバ高さを超える場合は脱輪・落下のおそれが生じる。ただし、同時に 3 輪以上がツバ高さを超えない限りはレール上から脱輪することはない。

表 4-2 各車輪のツバ高さ

評価部位	ツバ高さ (mm)
走行車輪ツバ	20
横行車輪ツバ	20

##### 4.4 減衰定数等

クレーン本体の減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-3 に示す。

表 4-3 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
固化セル クレーン (G51M100)	2.0	2.0

車輪については「平成 19 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」（独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 21 年 1 月）の内容に基づき、減衰比を 0.12、反発係数を 0.684 とし、トロリ及びガータの車輪衝突部のバネ定数は、各車輪が負担する質量に対し鉛直 1 自由度系の固有振動数が 20 Hz となるように設定した。

#### 4.5 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答時刻歴波を用いた。

固化セル クレーン (G51M100) の解析用の床応答時刻歴波は、機器据付階 (1 階) のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 4-4、図 4-1、図 4-2 及び図 4-3 に示す。

表 4-4 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
固化セル クレーン (G51M100)	廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による 床応答時刻歴波 (1 階)	廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による 床応答時刻歴波 (1 階)

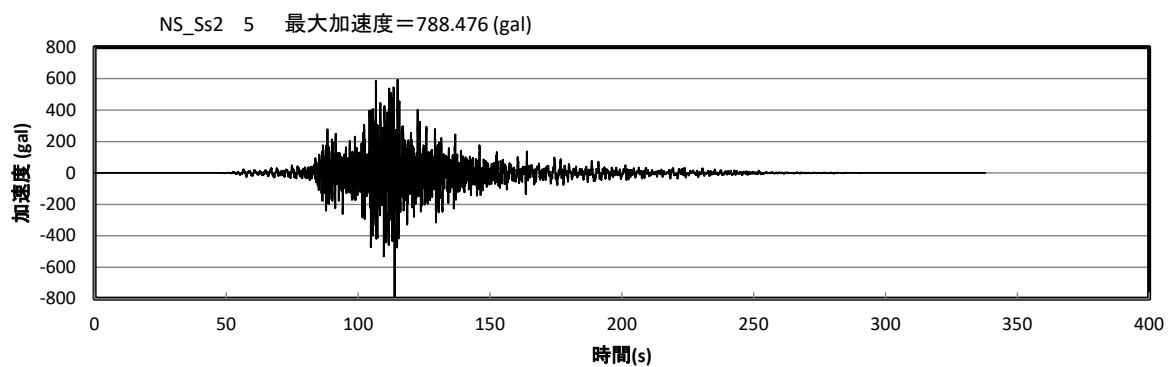
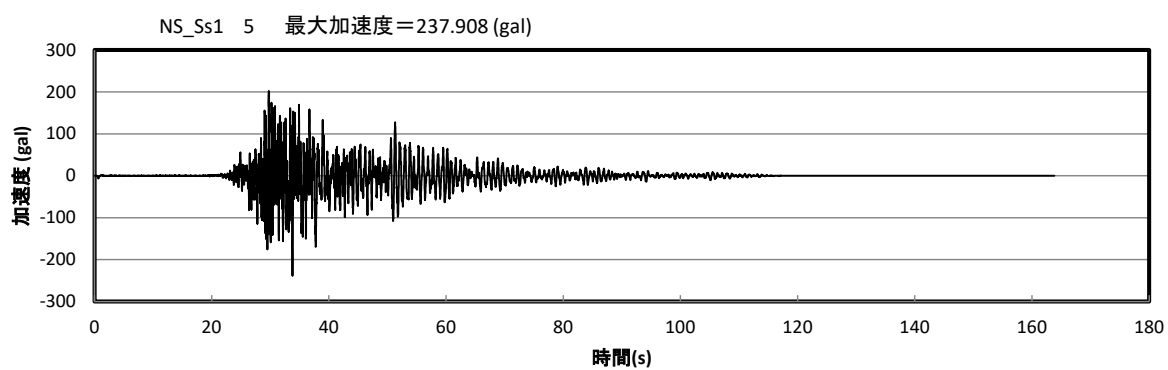
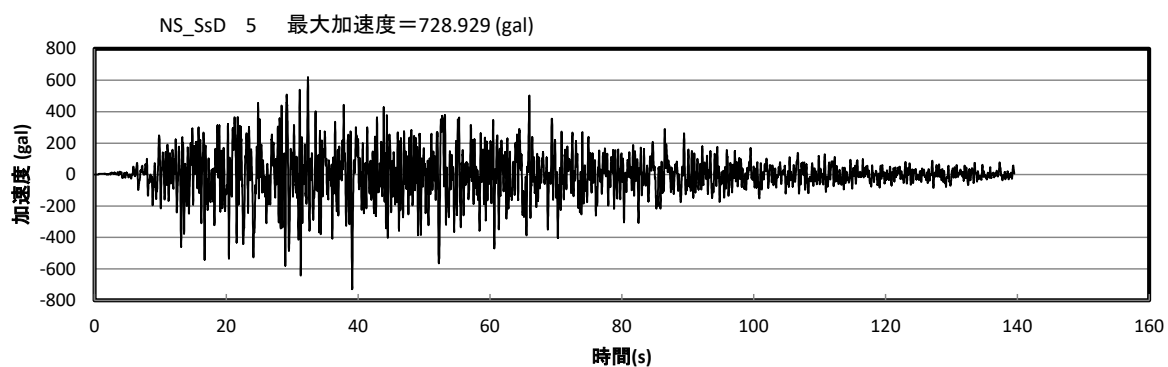


図 4-1 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1階, 水平NS方向)

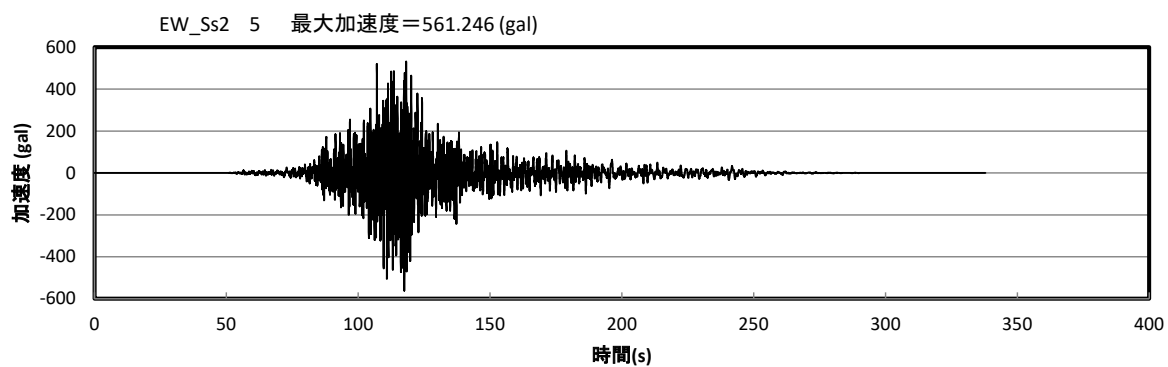
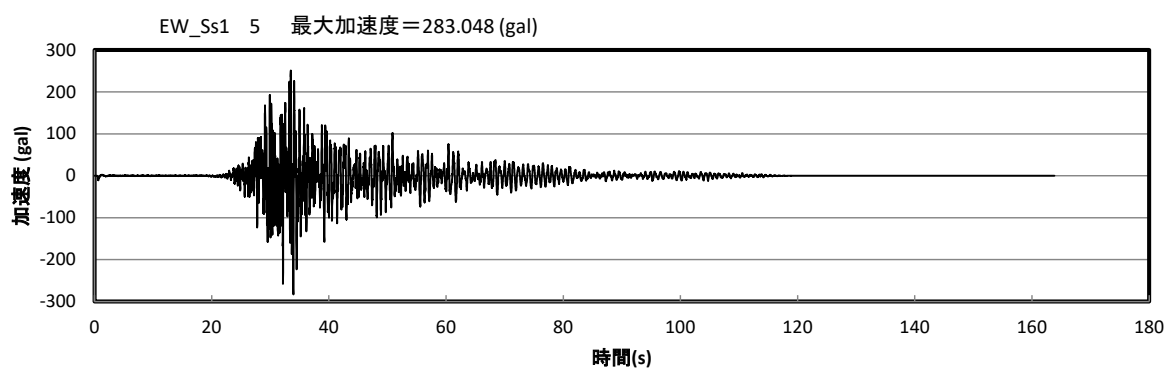
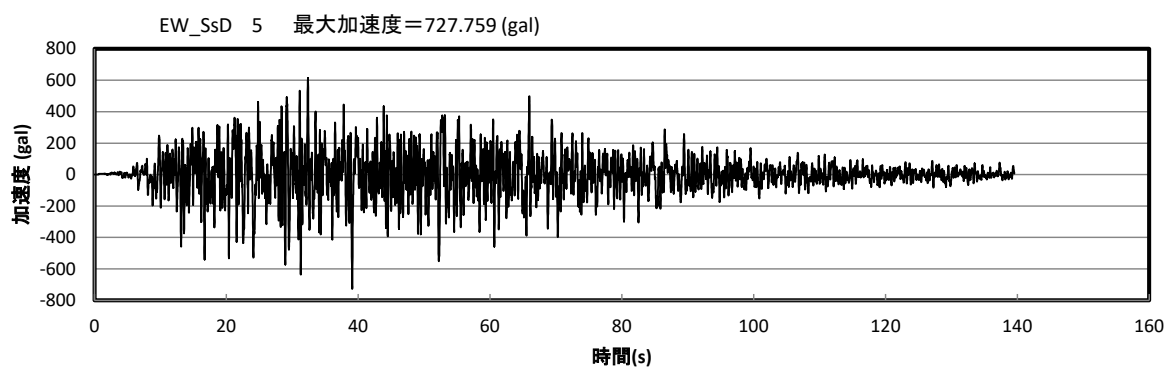


図 4-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1階, 水平 EW 方向)



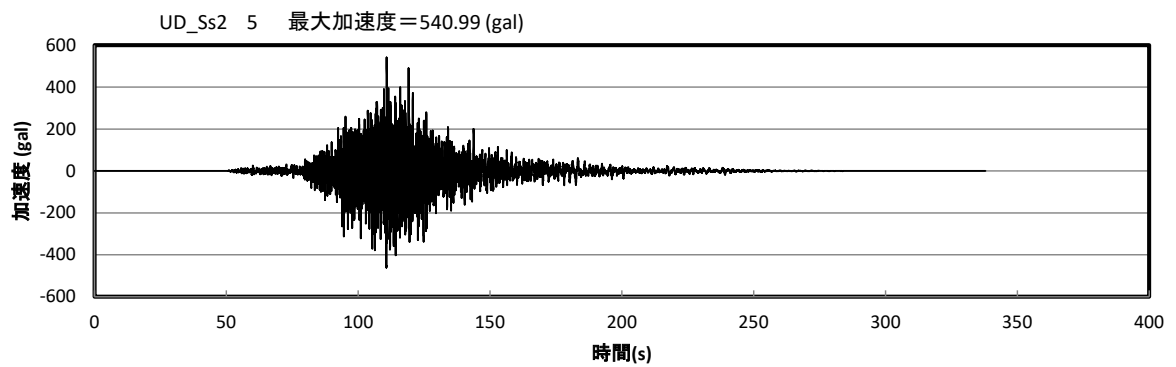
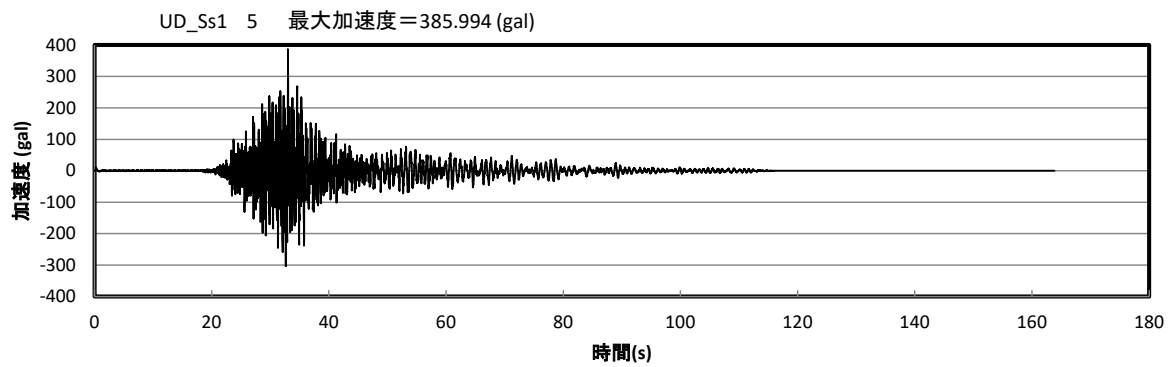
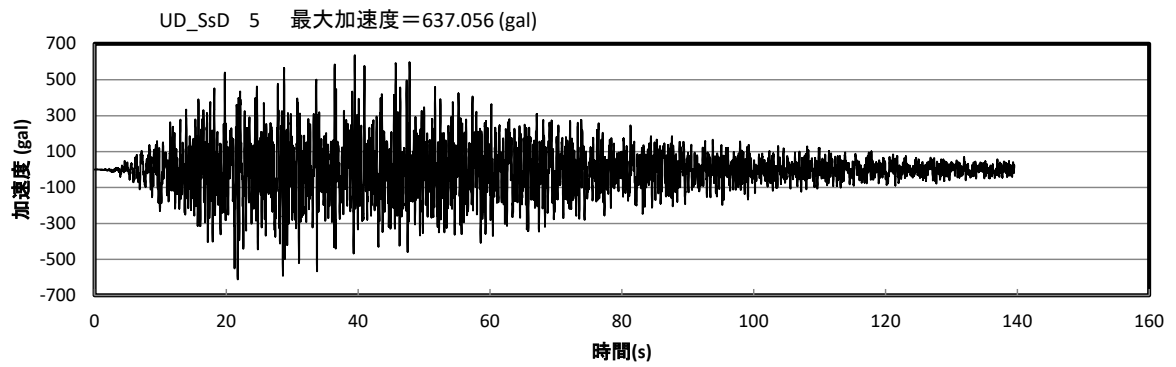


図 4-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形  
(1階, 鉛直方向)

## 4.6 計算方法

固化セル クレーン (G51M100) の発生応力及び浮き上がり量の計算方法は FEM 解析 (時刻歴応答解析) を用いた。解析コードは Abaqus<sup>※1</sup> を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。なお、ツバ浮き上がり時には車輪ツバの荷重を負担する長さが変わることを考慮した。

※1 ダッソーシステムズ社, “Abaqus ver. 6.14-2”

## 4.7 計算条件

### 4.7.1 解析モデル

固化セル クレーン (G51M100) の解析モデルを図 4-4 に示す。トロリは質量をもつ剛体としてモデル化し、その位置は横行車輪の浮き上がりが最も大きくなるガータ中央部とした。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

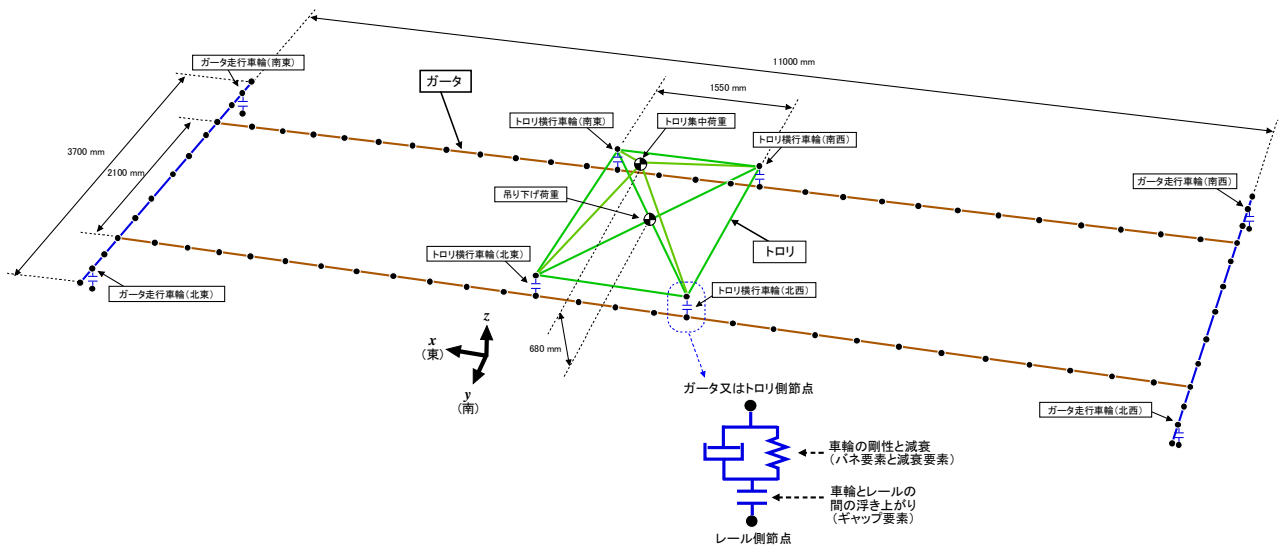


図 4-4 固化セル クレーン (G51M100) の解析モデル

床応答時刻歴波はガータ走行車輪のレール側節点に与える。

固化セル クレーン (G51M100) はガラス固化運転時にはガラス固化体容器 (質量 380 kg) の搬送 (2 日に一回の頻度で台車 (G51M118) と収納架台の間の搬送を行う。) に使用するが、吊荷重としては保守的に補巻の最大吊荷重である 2000 kg を考慮した。

走行車輪及び横行車輪は浮き上がりを評価するためにギャップ要素を介してガータ・

トロリとレール間を結合する。車輪をモデル化した剛性要素及び減衰要素の特性は 4.3 に記載したとおりである。車輪はレール方向には拘束せず地震動によって作用する力に応じて変位するとしてモデル化するが、摩擦抵抗については「平成 19 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」（独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 21 年 1 月）の内容に基づき、静摩擦係数を 0.3、動摩擦係数を 0.1 とした。

#### 4.7.2 諸元

固化セル クレーン（G51M100）の主要寸法・仕様を表 4-5 に示す。

表 4-5 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
固化セル クレーン (G51M100)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能 (波及的影響の防止)
	機器区分	クラス 3
	サドル長さ	3700 (mm)
	走行車輪間隔 (ゲージ)	11000 (mm)
	横行車輪間隔 (ゲージ)	2100 (mm)
	サドル材質	SS400
	ガータ材質	SS400
	走行車輪材質	SUS304N2*
	横行車輪材質	SUS304N2*
	設計温度	40 (°C)
	総質量 (ガータ・トロリに加えて、吊荷重 2 t を含む)	約 26.5 (t)

※ 車輪に用いられている SUS304N2 は SUS304 をベースに N と Nb を添加することにより強度を高めた材料（耐力が SUS304 の約 1.7 倍）で JIS G 4304 等で規格化された材料であるが、材料規格（JSME S NJ1 2012）には掲載されていないため、本評価では保守的に SUS304 と同じ強度として扱う。

#### 4.8 固有周期

固化セル クレーン (G51M100) の固有周期及び固有モードを図 4-5～図 4-7 に示す。

1次モード図 固有周期：0.348（秒）

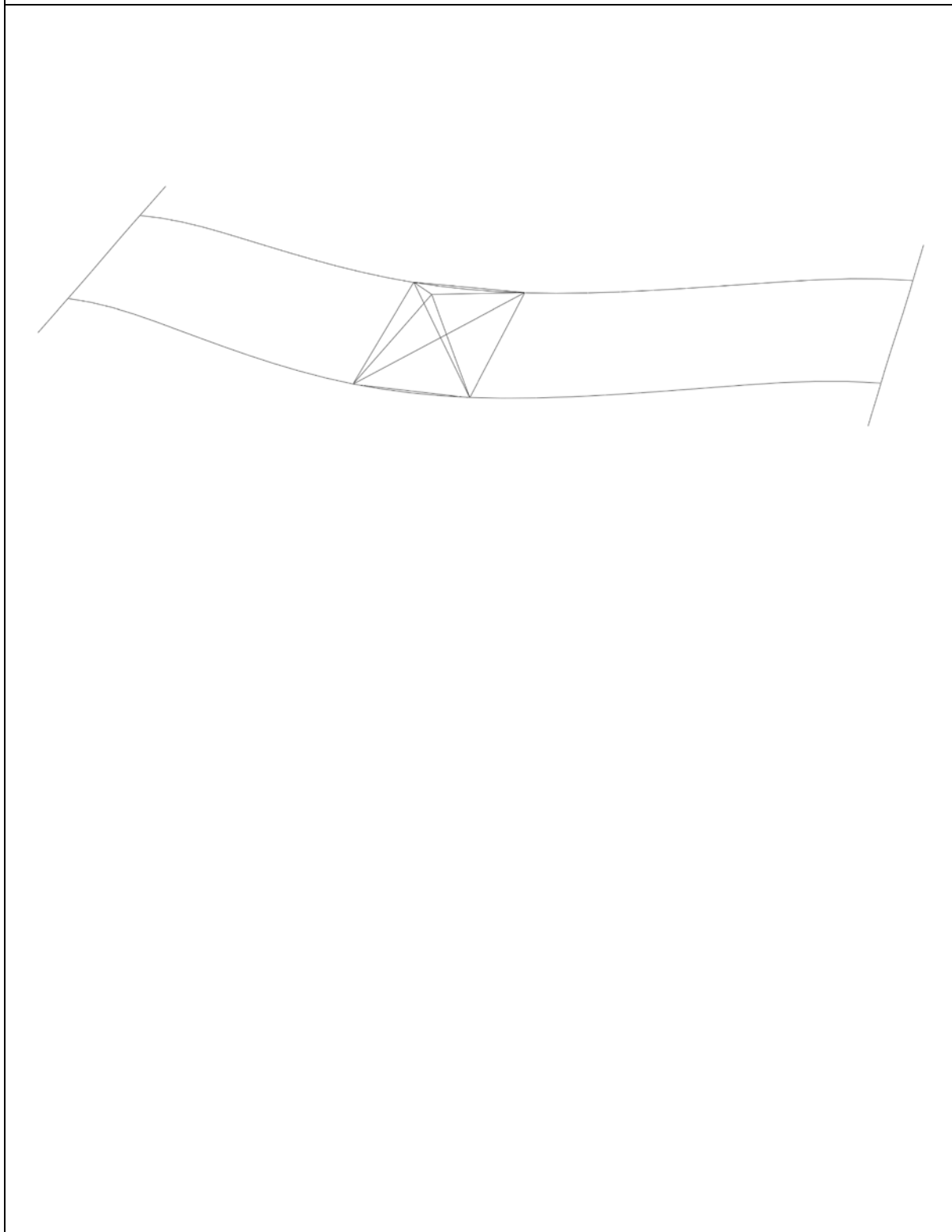


図 4-5 固定セル クレーン(G51M100) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.195 (秒)

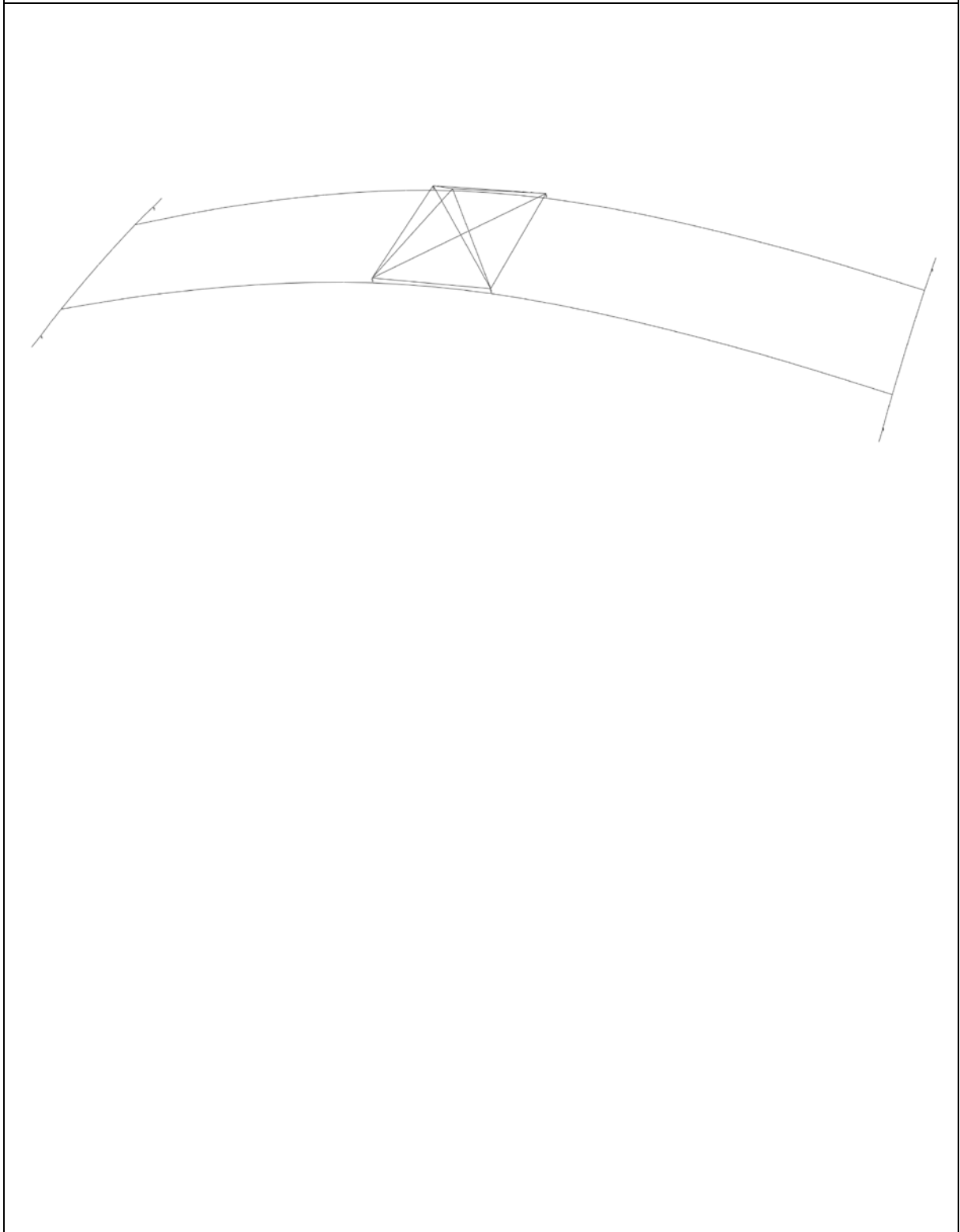


図 4-6 固化セル クレーン(G51M100) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.083 (秒)

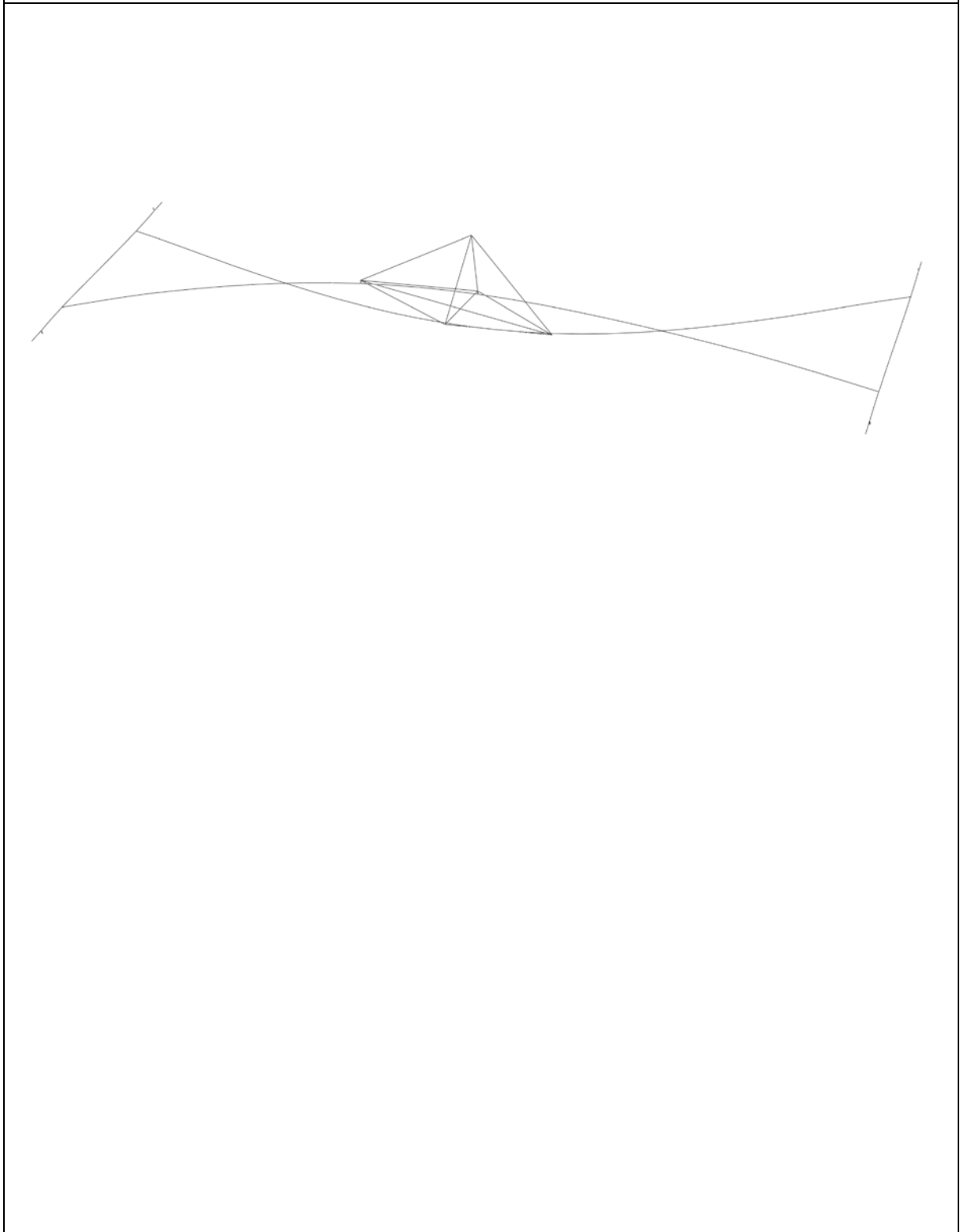


図 4-7 固定セル クレーン(G51M100) 固有モード図 (3/3)

## 5. 評価結果

### 5.1 走行車輪の浮き上がり

廃止措置計画用設計地震動の内、最も浮き上がり量の大きかった Ss-D における結果として走行車輪のツバ高さ (20 mm) を超えて同時に浮き上がる車輪の個数を図 5-1 に、それぞれの車輪の浮き上がり高さを図 5-2 に示す。4 つの車輪に対する最大の浮き上がり量は 7.7 mm であり、走行車輪のツバ高さ (20 mm) を下回ることからレールから外れる車輪は無く、ガータの脱輪・落下のおそれはない。

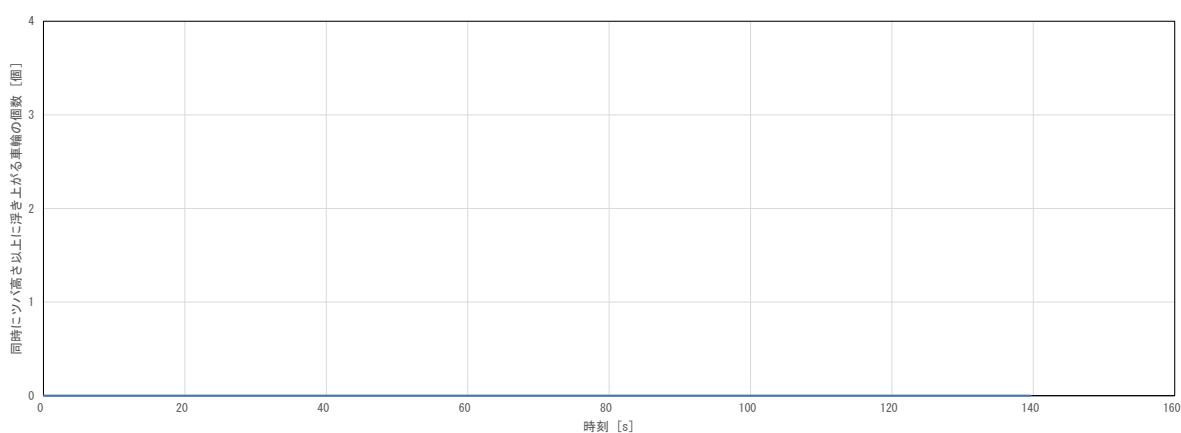
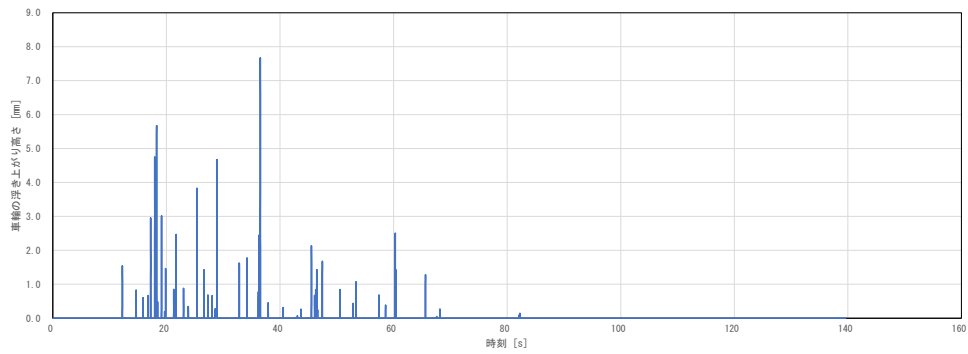
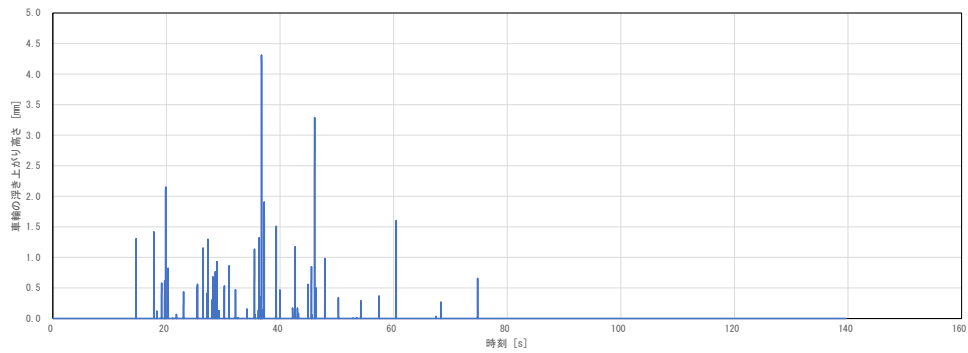


図 5-1 固化セル クレーン (G51M100) の走行車輪の同時浮き上がり個数 (Ss-D)

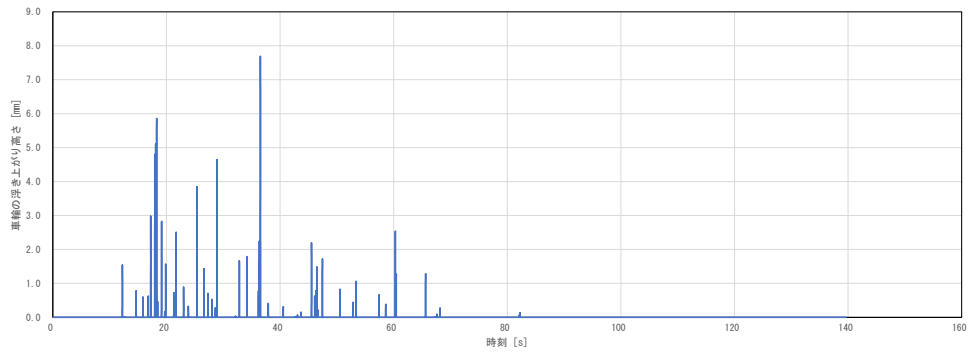
○南西位置走行車輪の浮き上がり量



○北西位置走行車輪の浮き上がり量



○南東位置走行車輪の浮き上がり量



○北東位置走行車輪の浮き上がり量

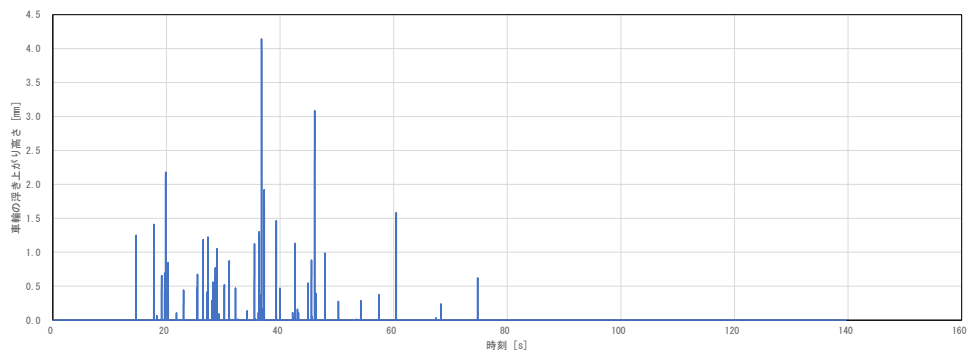


図 5-2 固化セル クレーン (G51M100) の走行車輪の浮き上がり高さ (Ss-D)



## 5.2 走行車輪の構造強度評価

走行車輪の脱輪を防止するために設けられた車輪のツバ部分には水平方向の地震力によりレールとの間でせん断力を受ける。そこで、車輪の浮き上がりを考慮した場合のツバに発生するせん断応力を評価した。浮き上がり時には図 5-3 に示すようにツバがせん断力を受ける部位の有効長さ（レールとツバの接触長さ）が異なることから、次式のように浮き上がり高さ（ $\delta$ ）を考慮した有効長さでせん断応力の評価を行った。

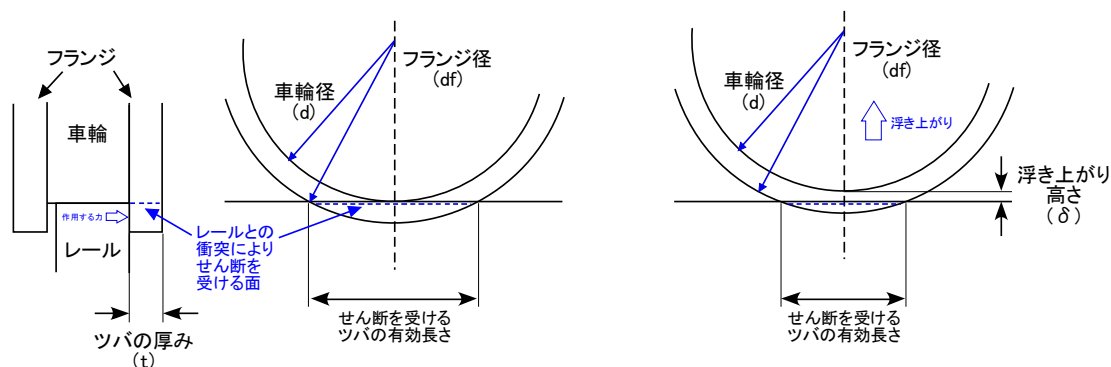


図 5-3 車輪の浮き上がりを考慮したツバのせん断応力の評価

せん断力を受けるツバの有効せん断長さは

$$L_w = \sqrt{df^2 - (d + 2\delta)^2}$$

せん断断面積は

$$A_s = L_w \cdot t$$

より、せん断応力は

$$\tau = \frac{P}{A_s}$$

ここで、

df : 車輪フランジ径 [mm] (400 mm)

d : 車輪径 [mm] (440 mm)

$\delta$  : レールからの浮き上がり高さ [mm]

$L_w$  : せん断力を受けるツバの有効せん断長さ [mm]

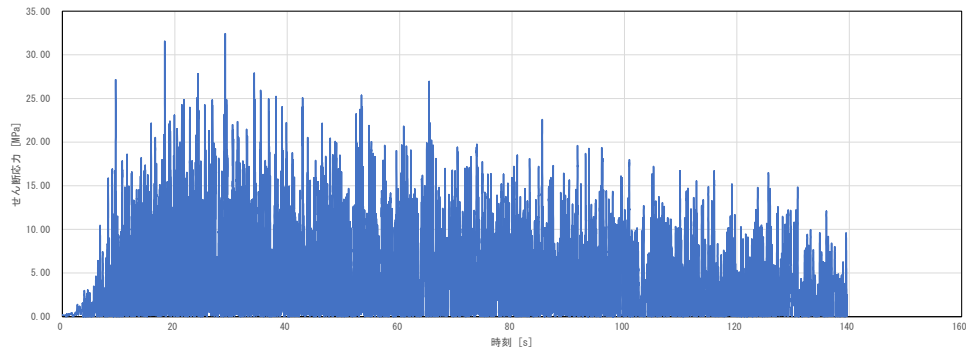
t : ツバの厚み [mm]

P : レールとの衝突によりツバに作用する水平力 [N]

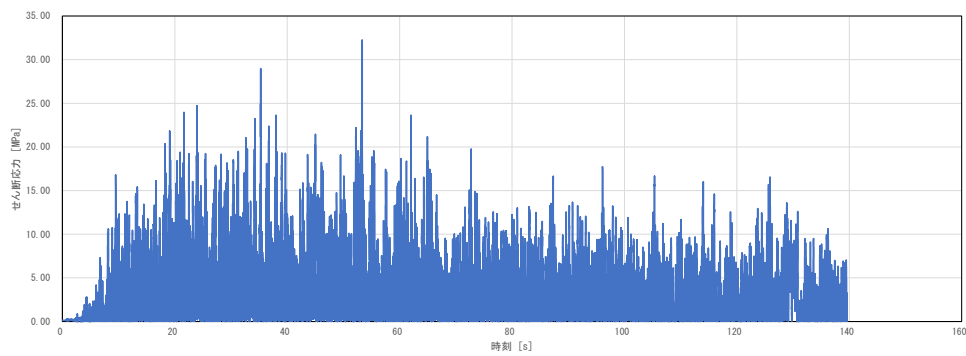
$\tau$  : レールとの衝突によりツバのせん断断面に発生するせん断応力 [MPa]

各走行車輪のツバに発生するせん断応力の時刻歴変化を図 5-4 に示す。最大値は南西位置走行車輪の 33 MPa であった。

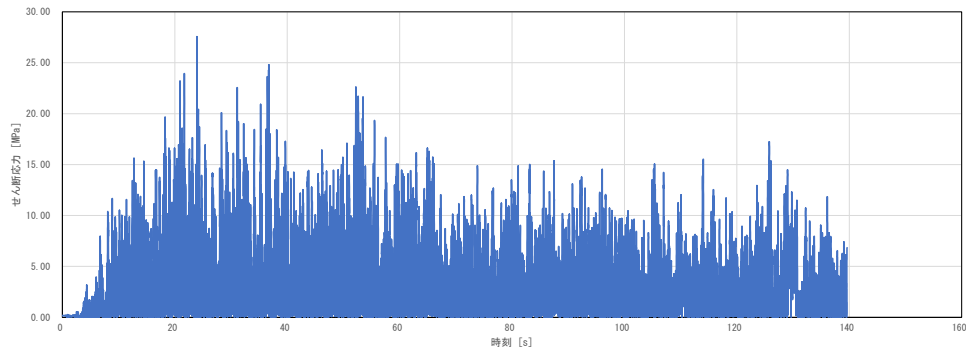
○南西位置走行車輪



○北西位置走行車輪



○南東位置走行車輪



○北東位置走行車輪

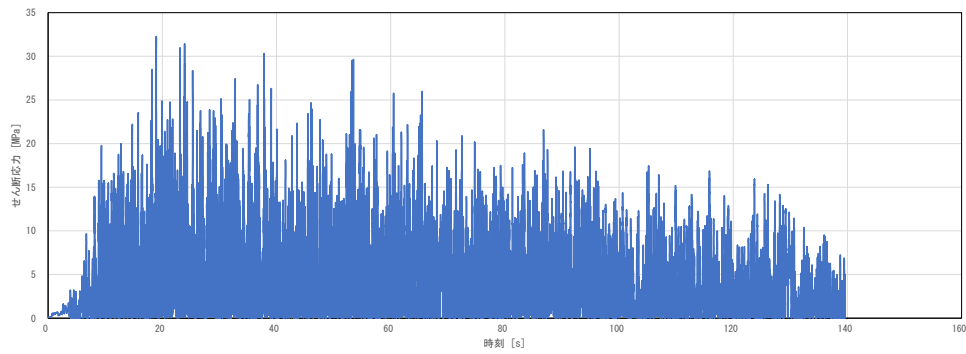


図 5-4 固化セル クレーン (G51M100) の走行車輪のツバの発生せん断応力 (Ss-D)

### 5.3 横行車輪の浮き上がり

廃止措置計画用設計地震動の内、最も浮き上がり量の大きかった Ss-D における結果として横行車輪のツバ高さ (20 mm) を超えて同時に浮き上がる車輪の個数を図 5-5 に、それぞれの車輪の浮き上がり高さを図 5-6 に示す。4つの車輪に対する最大の浮き上がり量は 19 mm であり、横行車輪のツバ高さ (20 mm) を下回ることからレールから外れる車輪は無く、トロリの脱輪・落下のおそれはない。

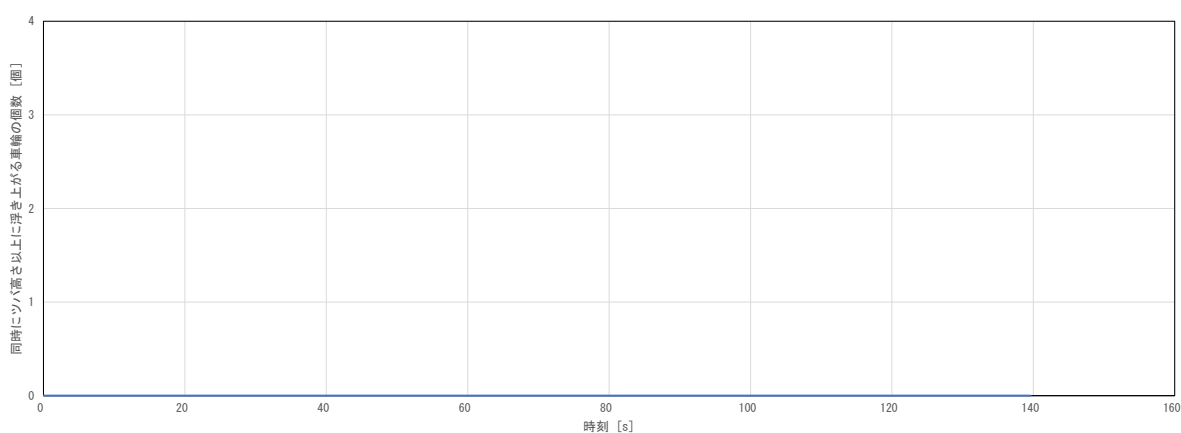
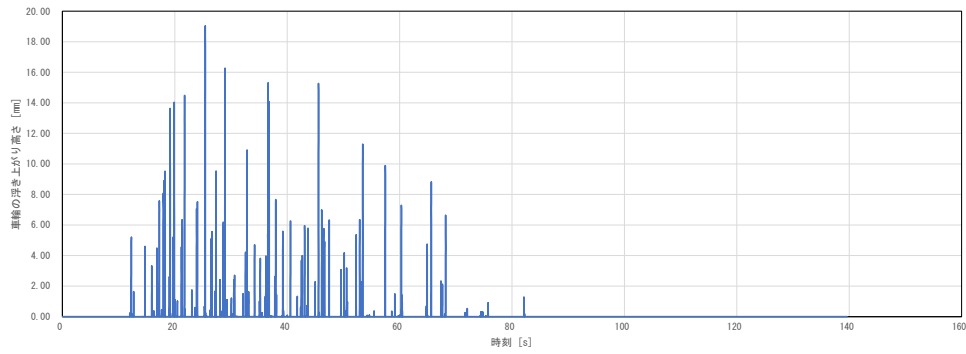
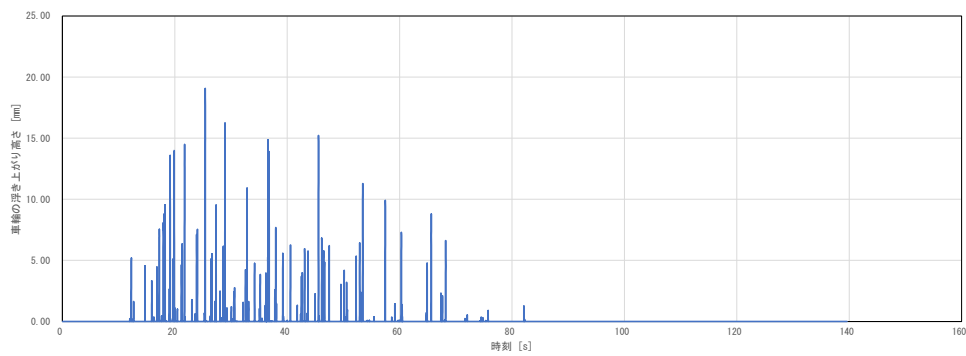


図 5-5 固化セル クレーン (G51M100) の横行車輪の同時浮き上がり個数 (Ss-D)

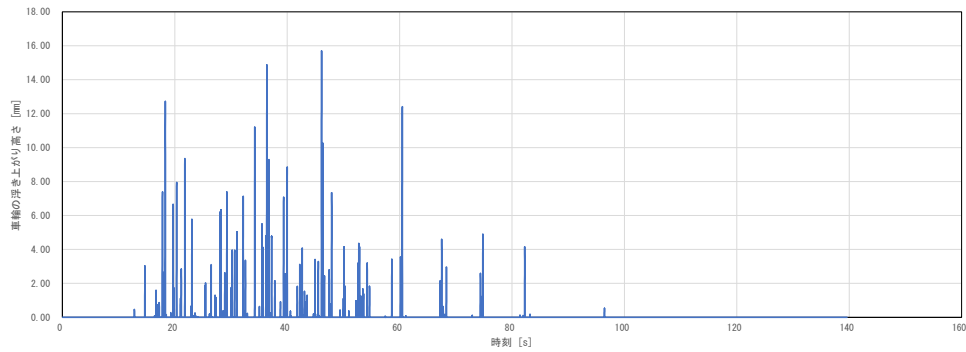
○南西位置横行車輪の浮き上がり量



○南東位置横行車輪の浮き上がり量



○北西位置横行車輪の浮き上がり量



○北東位置横行車輪の浮き上がり量

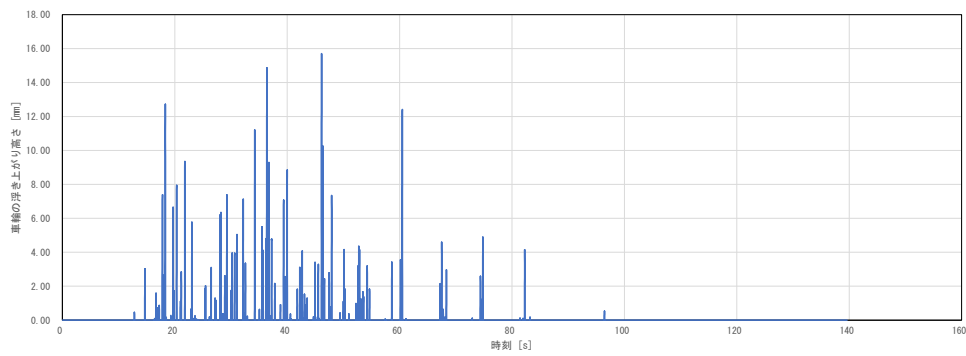


図 5-6 固化セル クレーン (G51M100) の横行車輪の浮き上がり高さ (Ss-D)

#### 5.4 横行車輪の構造強度評価

横行車輪についても走行車輪と同様にツバに発生するせん断力に対する構造強度評価を実施した。評価方法は走行車輪と同様である。

ただし、横行車輪の諸元は

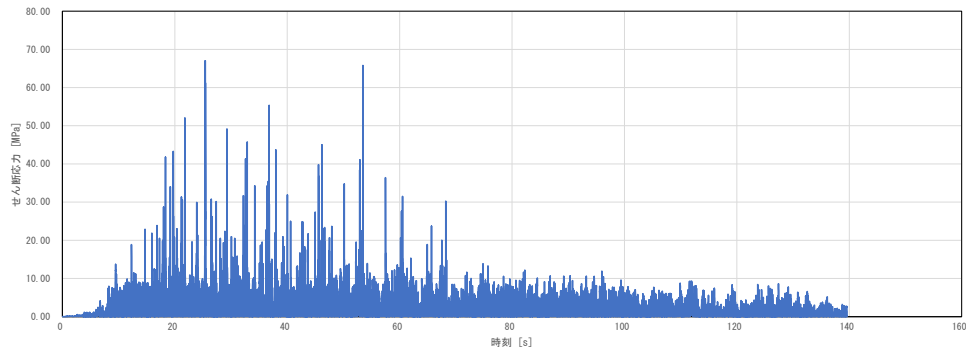
df : 車輪フランジ径 [mm] (290 mm)

d : 車輪径 [mm] (250 mm)

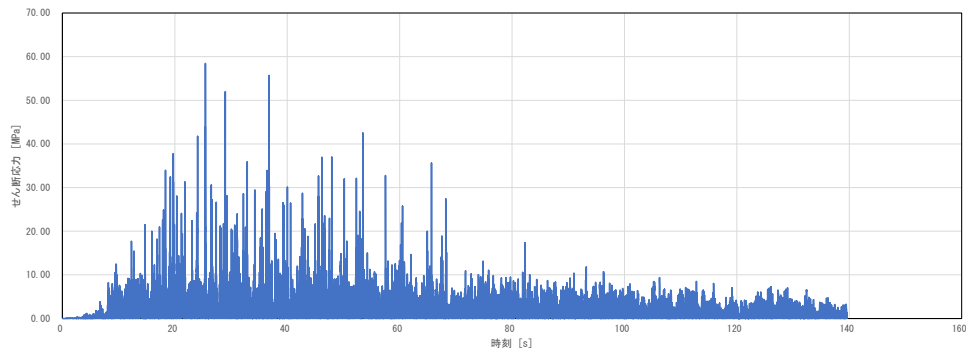
である。

各横行車輪のツバに発生するせん断応力の時刻歴変化を図 5-7 に示す。最大値は南西位置横行車輪の 67 MPa であった。

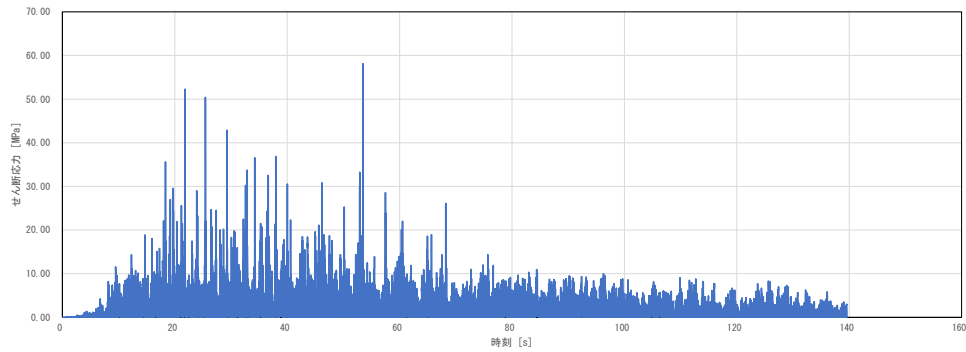
○南西位置横行車輪



○北西位置横行車輪



○南東位置横行車輪



○北東位置横行車輪

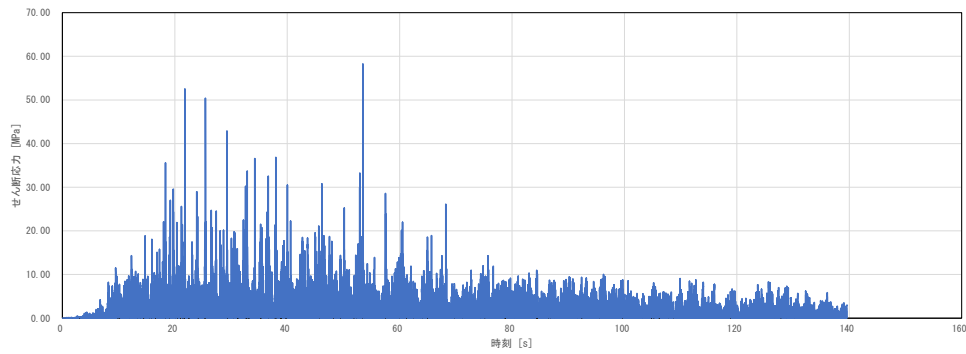


図 5-7 固化セル クレーン (G51M100) の横行車輪のツバの発生せん断応力 (Ss-D)

### 5.5 評価結果のまとめ

構造強度評価結果を表 5-1 に、浮き上がり評価結果を表 5-2 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の固化セル クレーン(G51M100, M101)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。また、車輪の浮き上がりについても同時にツバ高さを超えて浮き上がる車輪は無いことを確認した。以上より固化セル クレーン (G51M100, M101) は廃止措置計画用設計地震動においても落下することは無く、クレーン直下にある設備に対して波及的影響は生じない。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 <sup>※1</sup>
固化セル クレーン (G51M100, M101)	ガータ 中央	曲げ	183	280	0.65
	走行車輪 ツバ	せん断	33	142	0.23
	横行車輪 ツバ	せん断	67	142	0.47

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

表 5-2 浮き上がり評価結果

評価対象設備	評価部位	最大 浮き上がり量 (mm)	許容 浮き上がり量 (mm)	同時 浮き上がり 車輪数	許容同時 浮き上がり 車輪数
固化セル クレーン (G51M100, M101)	走行車輪	7.7	20	0	2
	横行車輪	19	20	0	2

両腕型マニプレータ (G51M120, M121) の耐震性についての計算書



## 1. 概要

両腕型マニプレータ (G51M120, M121) は高放射性廃液の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を構成する固化セル (R001) 内の機器・配管の上部にあることから、その落下等により固化セル (R001) 内の機器・配管への波及的影響を考慮する必要がある。このため、両腕型マニプレータ (G51M120, M121) について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

両腕型マニプレータ (G51M120, M121) の構造強度の評価は、有限要素法 (FEM) 解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。なお、G51M120 と G51M121 は同一構造であることから G51M120 の評価のみとする。

両腕型マニプレータ (G51M120) による波及的影響の防止は両腕型マニプレータ (G51M120) が落下しないことである。また両腕型マニプレータ (G51M120) は熔融炉 (G21ME10) 等の重要な設備が設置された固化セル内で操作されるものであることを踏まえて、設計地震動において構造的に最も厳しくなるガータ中央部の曲げ応力に加え、走行車輪・横行車輪の浮き上がり量についても詳細に評価する。車輪の浮き上がりは非線形挙動であることから、時刻歴解析によって評価する。

### 2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012 (日本機械学会)
- (5) 鋼構造設計基準—許容応力度設計法— (日本建築学会)

### 2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$f_b$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容曲げ応力	MPa
$df$	車輪フランジ径	mm
$d$	車輪径	mm
$\delta$	レールからの浮き上がり高さ	mm
$L_w$	せん断力を受けるツバの有効せん断長さ	mm
$t$	車輪のツバの厚み	mm
$P$	レールとの衝突によりツバのせん断断面に作用する水平力	N
$\tau$	レールとの衝突によりツバのせん断断面に発生するせん断応力	MPa
$Mc$	トロリ重量	ton
$C_v$	トロリの最大鉛直震度	-
$t_g$	脱輪防止装置との衝突時にせん断力を受けるガータの厚み	mm
$L_g$	脱輪防止装置との衝突時にせん断力を受けるガータの長さ	mm
$F$	脱輪防止装置との衝突によりガータが受ける力	N
$A$	脱輪防止装置との衝突を受けるガータのせん断断面積	mm <sup>2</sup>
$\sigma_g$	脱輪防止装置との衝突によりガータに発生するせん断応力	MPa

### 3. 評価部位

設計地震動において両腕型マニプレータ (G51M120) の走行車輪・横行車輪の浮き上がり量を評価する。また、ガータを防止する車輪ツバに係る応力とトロリの浮き上がりを防止する脱輪防止装置とガータが接触する位置の応力を評価する。両腕型マニプレータ (G51M120) の概要図を図 3-1 に示す。

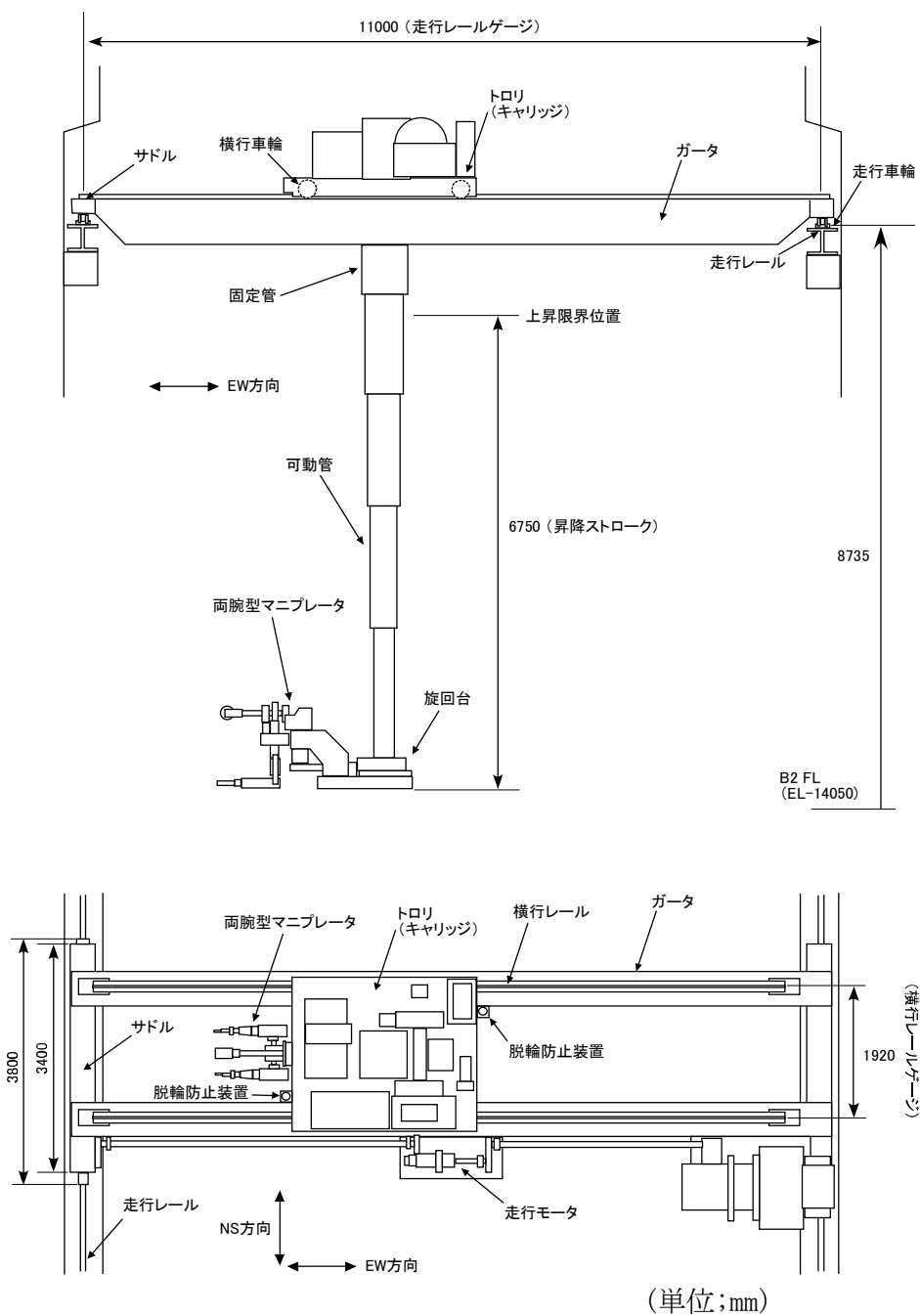


図 3-1 両腕型マニプレータ (G51M120) の概要図

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、時刻歴解析により水平 2 方向及び鉛直方向の地震動を同時に作用させた際に得られる応力として評価した。

##### 4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds での温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

両腕型マニプレータ (G51M120) のガータの車輪（走行車輪）とトロリの車輪（横行車輪）には脱輪を防止するためのツバが設けられている。水平方向の地震力を受けた場合はツバとレールが接触することにより接触面にせん断応力を生じる。評価部位としてはレールより車輪ツバの方がせん断断面積が少ないことから、各車輪ツバのせん断応力を評価する。

また、トロリには脱輪を防止するための脱輪防止装置（図 4-1）が 2 か所に設けられている。地震力によりトロリがレールから浮き上がり、図 4-1 に示す浮き上がり代（10 mm）を超えると脱輪防止装置とガータが接触することにより、それ以上の浮き上がりを防止する。トロリが地震時に浮き上がると脱輪防止装置とガータが接触し、接触面にせん断応力を生じる。評価部位としては脱輪防止装置よりガータ部分の方がせん断断面が少ないことから、ガータ部分のせん断応力を評価する。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
ガータ	曲げ応力	$1.5 \times (F/1.5)$
走行車輪ツバ	せん断応力	$1.5 \times (F/1.5\sqrt{3})$
横行車輪ツバ	せん断応力	$1.5 \times (F/1.5\sqrt{3})$
ガータ (脱輪防止装置との 接触面)	せん断応力	$1.5 \times (F/1.5\sqrt{3})$

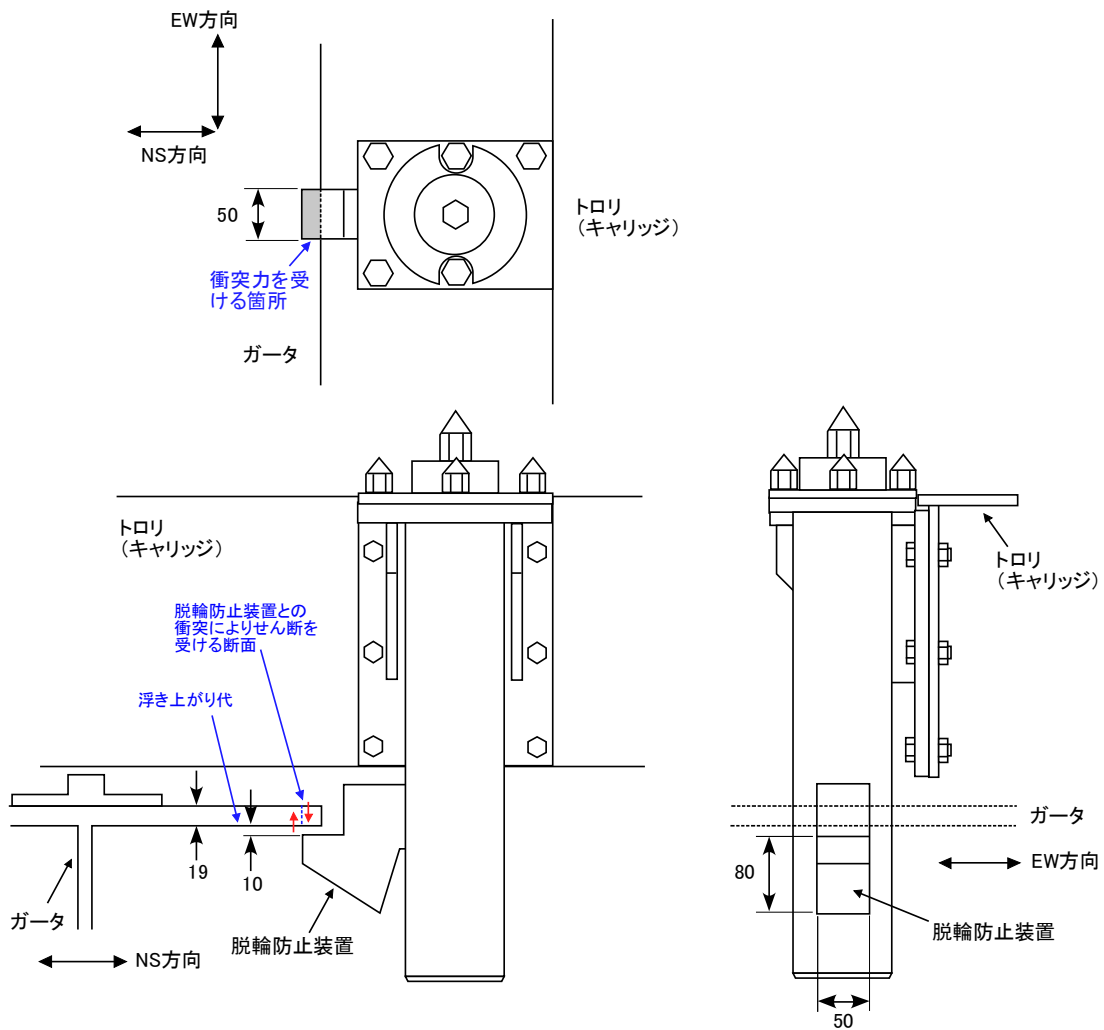


図 4-1 脱輪防止装置の概要図

#### 4.3 車輪の浮き上がりによる脱輪・落下

両腕型マニプレータ (G51M120) のガータの車輪 (走行車輪) には脱輪を防止するためのツバが設けられている。地震力によりガータがレールから浮き上がり、表 4-2 に示す各車輪のツバ高さを超える場合は脱輪・落下のおそれが生じる。ただし、同時に 3 輪以上がツバ高さを超えない限りはレール上から脱輪することはない。

表 4-2 各車輪のツバ高さ

評価部位	ツバ高さ (mm)
走行車輪ツバ	20

#### 4.4 減衰定数等

両腕型マニプレータ (G51M120) 本体の減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-3 に示す。

表 4-3 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
両腕型マニプレータ (G51M120)	2.0	2.0

車輪については「平成 19 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」(独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 21 年 1 月) の内容に基づき、減衰比を 0.12, 反発係数を 0.684 とし、トロリ及びびガータの車輪衝突部のバネ定数は、各車輪が負担する質量に対し鉛直 1 自由度系の固有振動数が 20 Hz となるように設定した。

#### 4.5 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答時刻歴波を用いた。

両腕型マニプレータ (G51M120) の解析用の床応答時刻歴波は、機器据付階 (1 階) のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 4-4、図 4-2、図 4-3 及び図 4-4 に示す。

表 4-4 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
両腕型マニプレータ (G51M120)	廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による 床応答時刻歴波 (1 階)	廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による 床応答時刻歴波 (1 階)

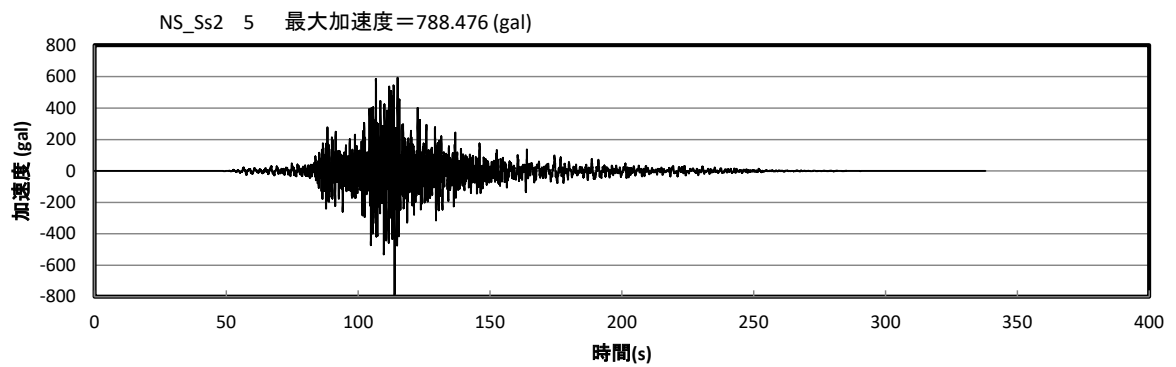
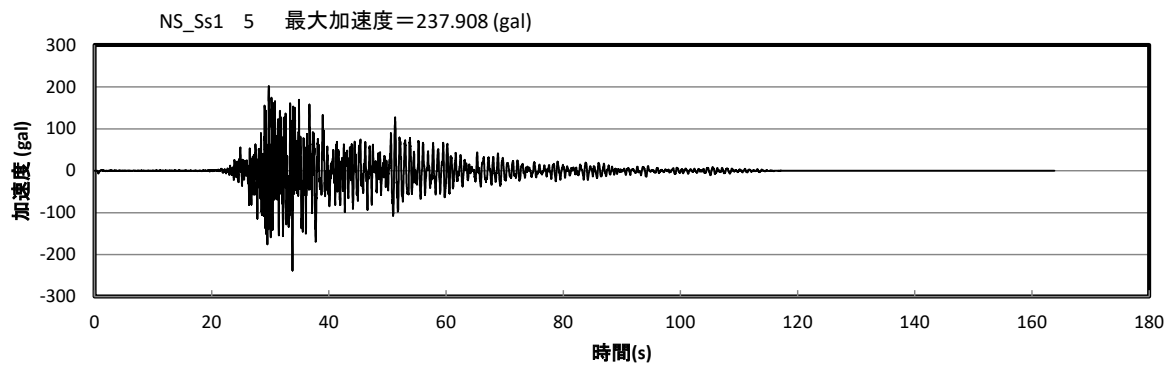
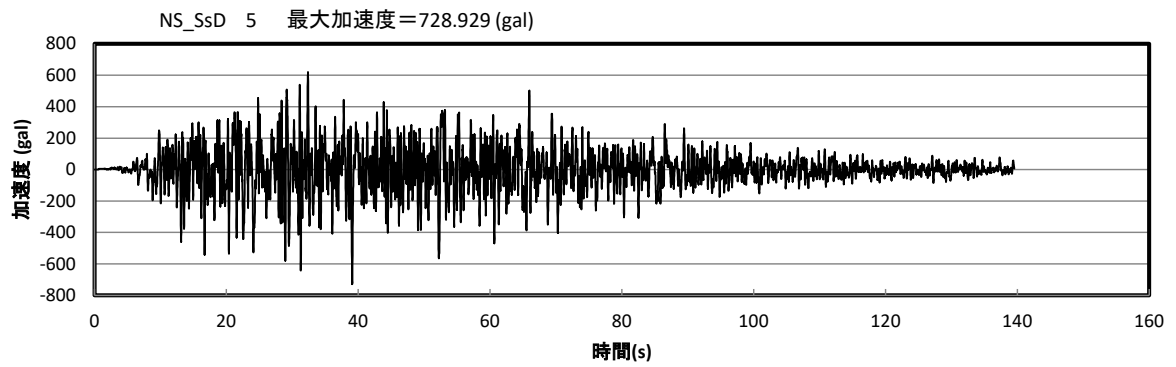


図 4-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1 階, 水平 NS 方向)

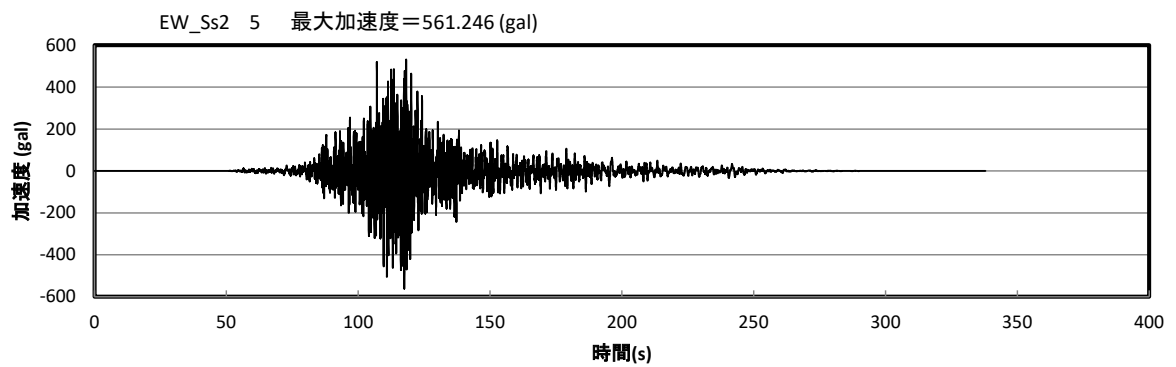
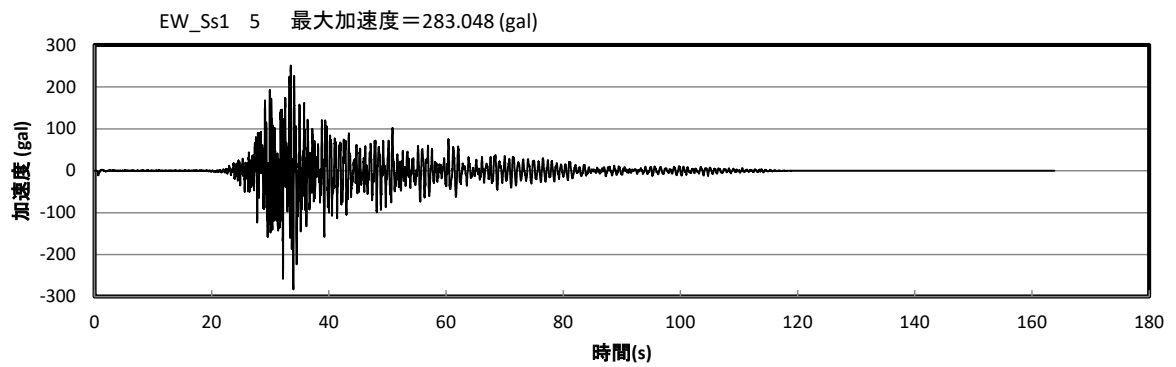
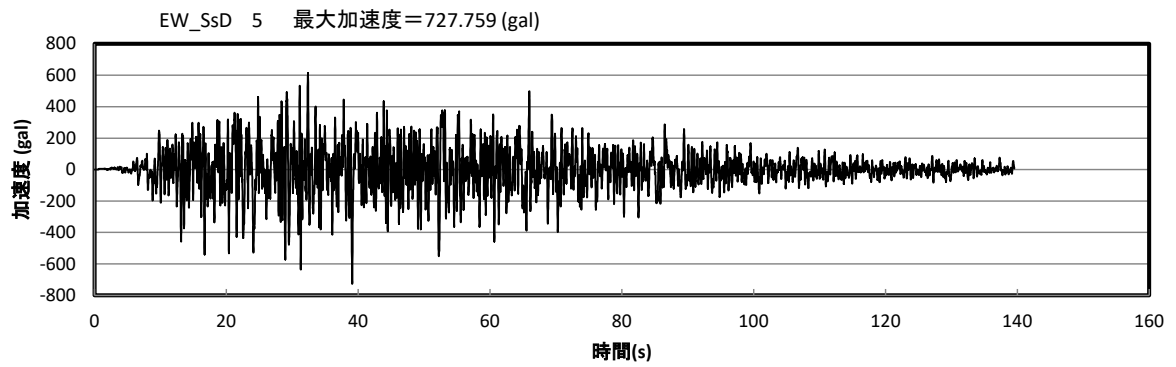


図 4-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1階, 水平 EW 方向)



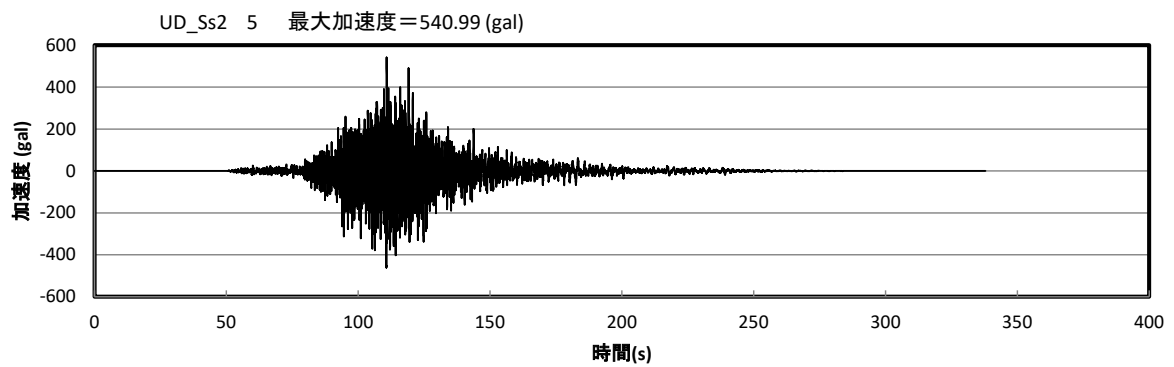
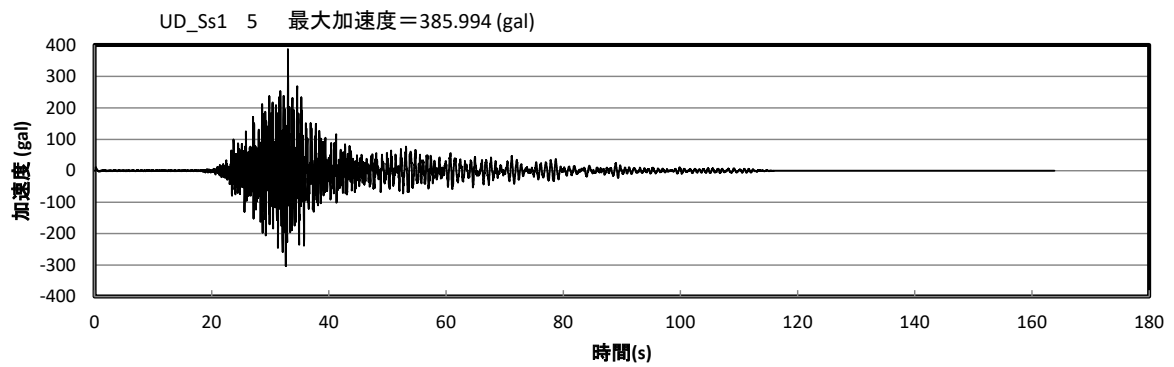
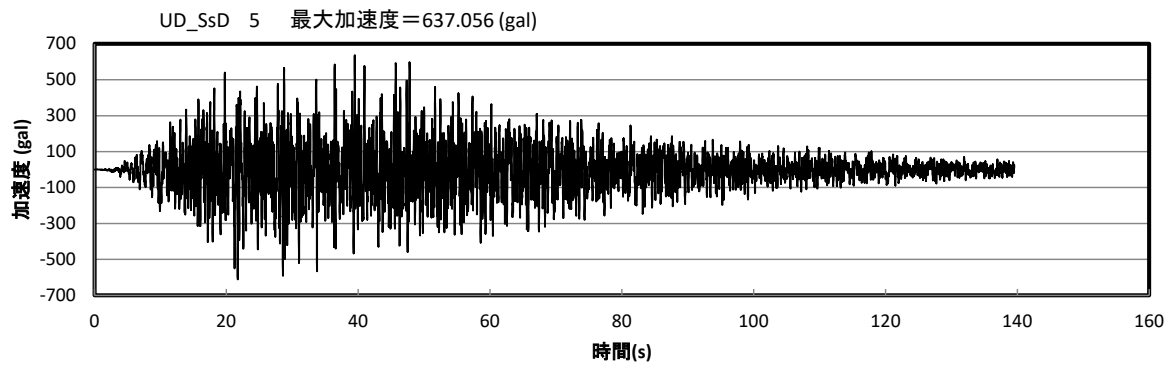


図 4-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形  
(1階, 鉛直方向)

## 4.6 計算方法

両腕型マニプレータ (G51M120) の発生応力及び浮き上がり量の計算方法は FEM 解析 (時刻歴応答解析) を用いた。解析コードは Abaqus<sup>※1</sup> を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。なお、ツバ浮き上がり時には車輪ツバの荷重を負担する長さが変わることを考慮した。

※1 ダッソーシステムズ社, “Abaqus ver. 6.14-2”

## 4.7 計算条件

### 4.7.1 解析モデル

両腕型マニプレータ (G51M120) の解析モデルを図 4-5 に示す。トロリは質量をもつ剛体としてモデル化し、その位置は横行車輪の浮き上がりが最も大きくなるガータ中央部とした。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

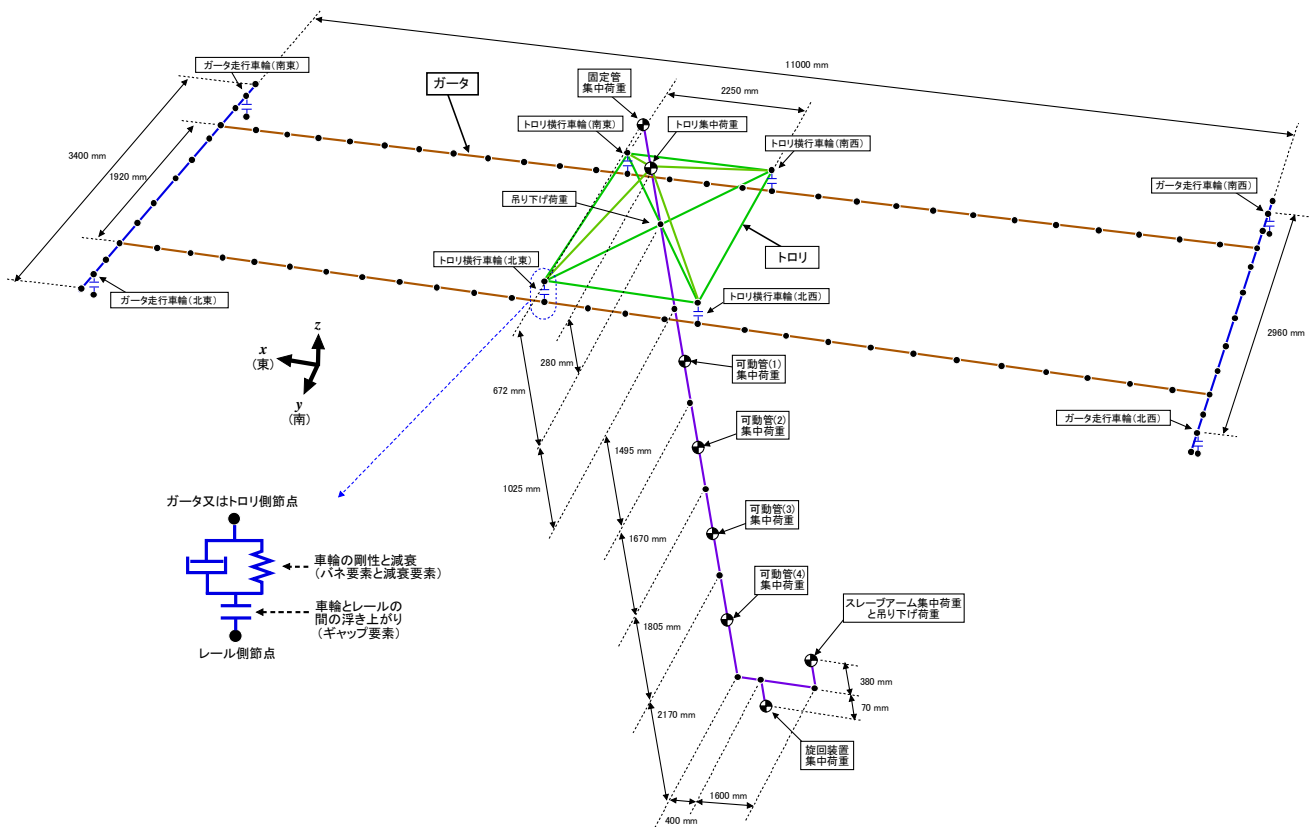


図 4-5 両腕型マニプレータ (G51M120) の解析モデル

床応答時刻歴波はガータ走行車輪のレール側節点に与える。

両腕型マニプレータ (G51M120) はガラス固化運転時においてはサンプリング操作や搭載されているカメラを用いたセル内の目視確認に使用する。定格吊荷重が 100kg の補助ホイストとアームの操作荷重として保守的に 130 kg の吊荷重を考慮した。

走行車輪及び横行車輪は浮き上がり进行评估するためにギャップ要素を介してガータ・トロリとレール間を結合する。車輪をモデル化した剛性要素及び減衰要素の特性は 4.4 に記載したとおりである。車輪はレール方向には拘束せず地震動によって作用する力に応じて変位するとしてモデル化するが、摩擦抵抗については「平成 19 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」（独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 21 年 1 月）の内容に基づき、静摩擦係数を 0.3、動摩擦係数を 0.1 とした。

#### 4.7.2 諸元

両腕型マニプレータ (G51M120) の主要寸法・仕様を表 4-5 に示す。

表 4-5 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
両腕型マニプレータ (G51M120)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能 (波及的影響の防止)
	機器区分	クラス 3
	サドル長さ	3800 (mm)
	走行車輪間隔 (ゲージ)	11000 (mm)
	横行車輪間隔 (ゲージ)	1920 (mm)
	サドル材質	SS400
	ガータ材質	SS400
	走行車輪材質	SUS304N2*
	横行車輪材質	SUS304N2*
	設計温度	40 (°C)
	総質量 (ガータ・トロリに加えて、両腕型マニプレータの本体・旋回台・可動管・固定管及び吊荷重 130kg を含む)	約 24 (t)

※ 車輪に用いられている SUS304N2 は SUS304 をベースに N と Nb を添加することにより強度を高めた材料（耐力が SUS304 の約 1.7 倍）で JIS G 4304 等で規格化された材料であるが、材料規格（JSME S NJ1 2012）には掲載されていないため、本評価では保守的に SUS304 と同じ強度として扱う。

#### 4.8 固有周期

両腕型マニプレータ (G51M120) の固有周期及び固有モードを図 4-6～図 4-8 に示す。

1次モード図

固有周期：0.499 (秒)

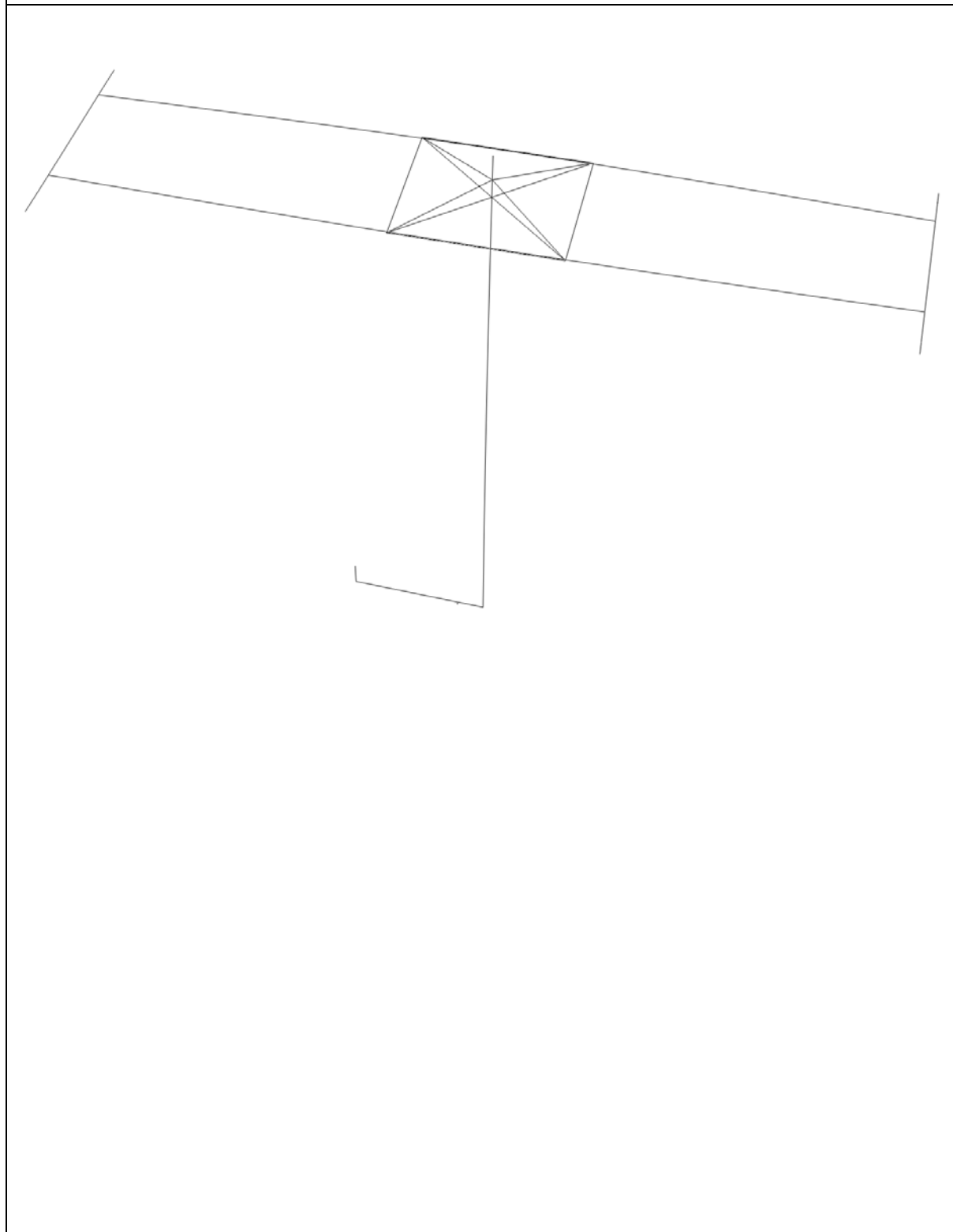


図 4-6 両腕型マニプレータ (G51M120) 固有モード図 (1/3)

2次モード図 固有周期 : 0.282 (秒)

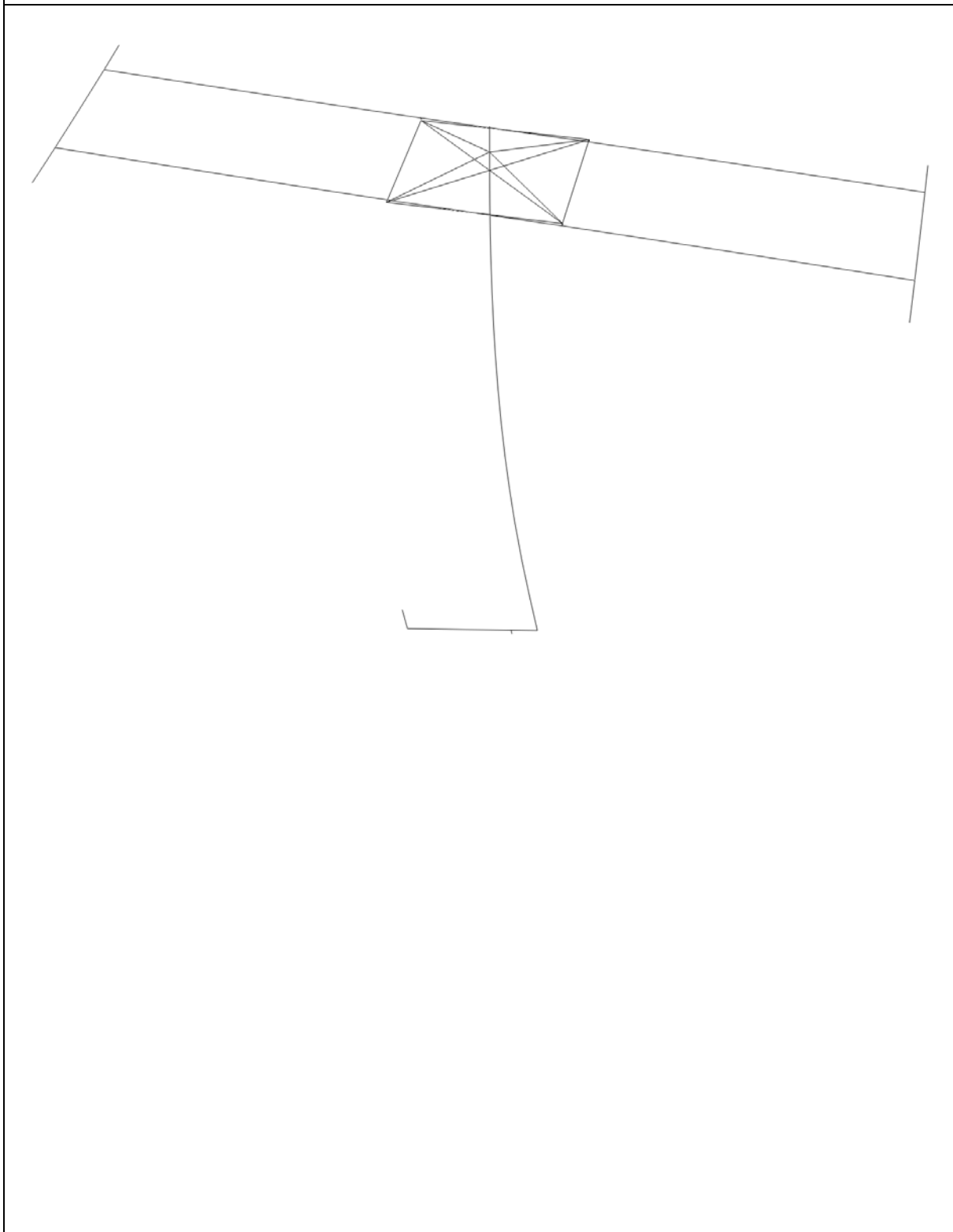


図 4-7 両腕型マニプレータ (G51M120) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.155 (秒)

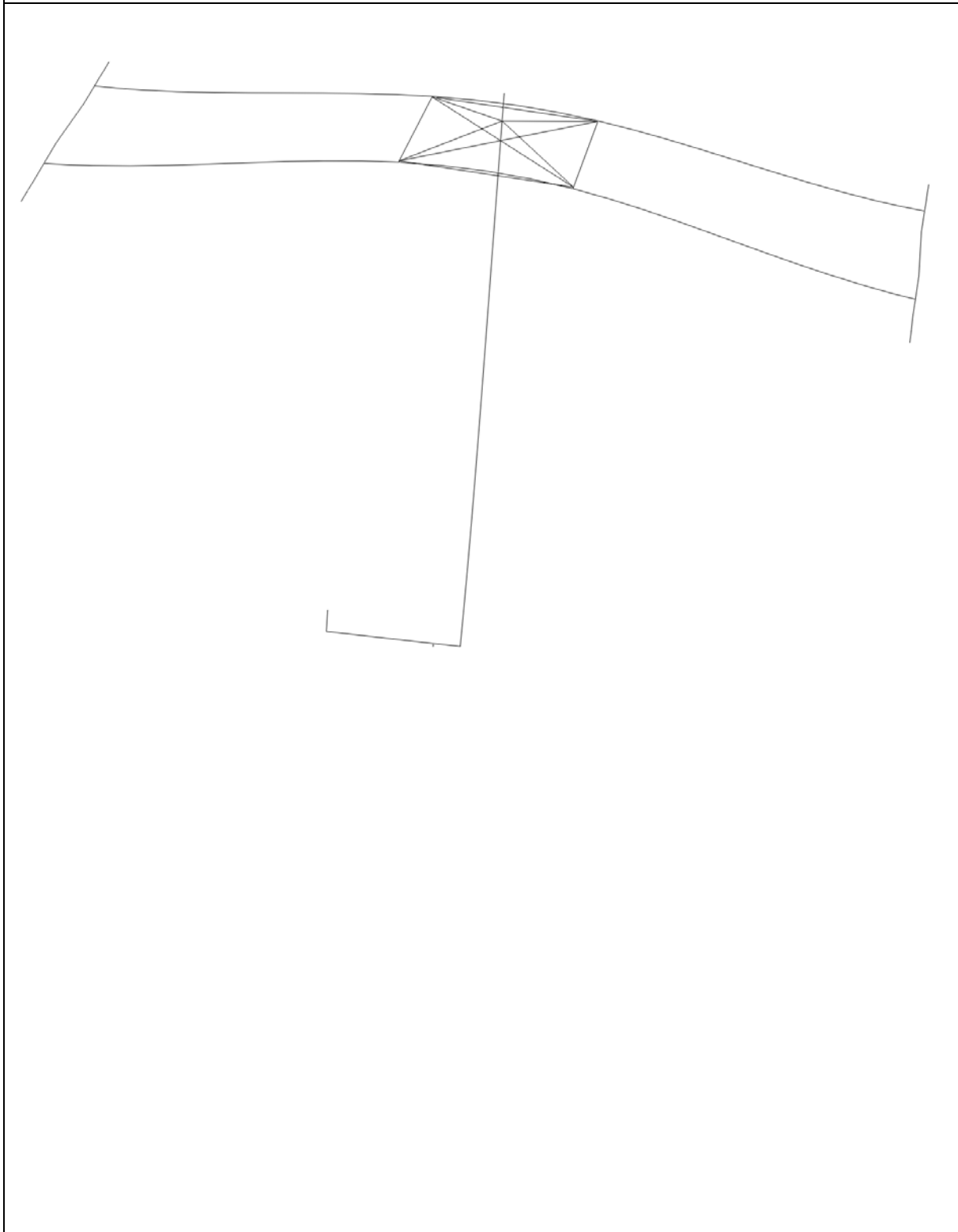


図 4-8 両腕型マニプレータ (G51M120) 固有モード図 (3/3)

## 5. 評価結果

### 5.1 走行車輪の浮き上がり

廃止措置計画用設計地震動の内、最も浮き上がり量の大きかった Ss-D における結果として走行車輪のツバ高さ (20 mm) を超えて同時に浮き上がる車輪の個数を図 5-1 に、それぞれの車輪の浮き上がり高さを図 5-2 に示す。4 つの車輪に対する最大の浮き上がり量は 4.8 mm であり、走行車輪のツバ高さ (20 mm) を下回ることからレールから外れる車輪は無く、ガータの脱輪・落下のおそれはない。

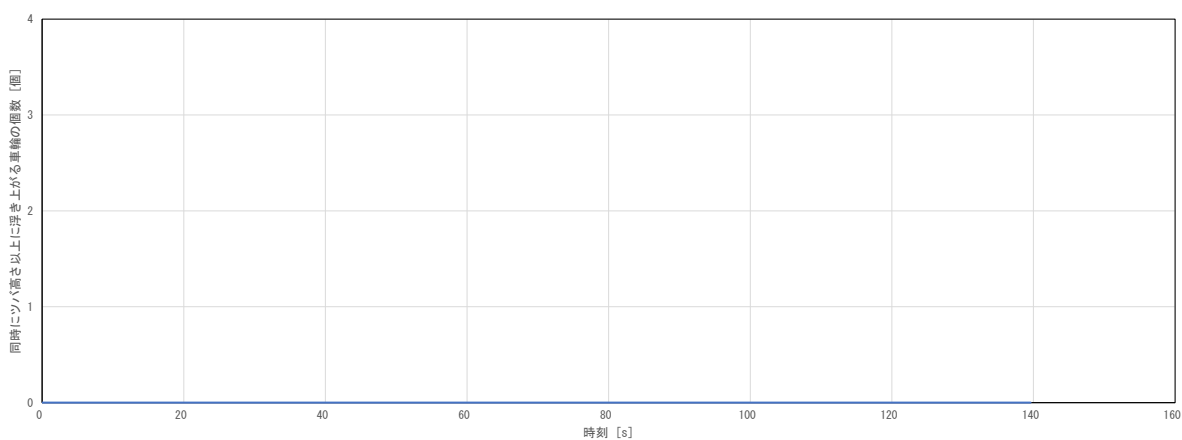
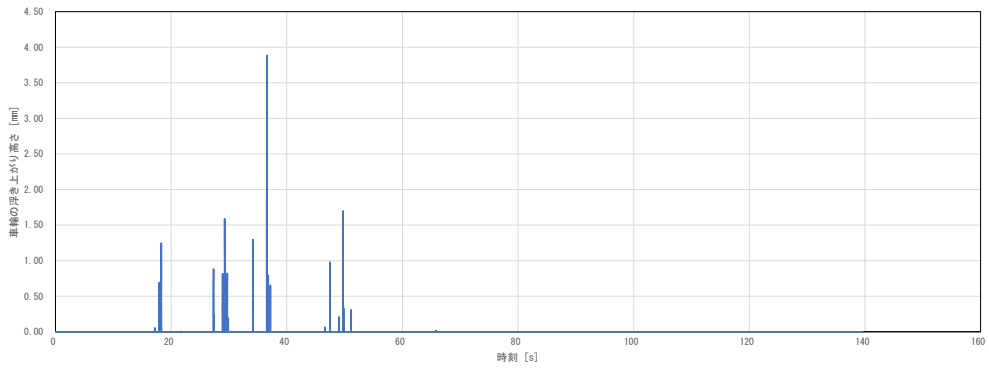


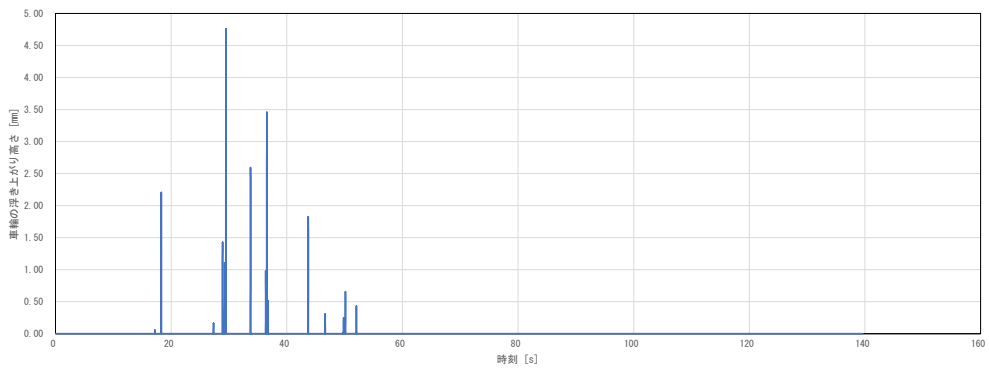
図 5-1 両腕型マニプレータ (G51M120) の走行車輪の同時浮き上がり個数 (Ss-D)



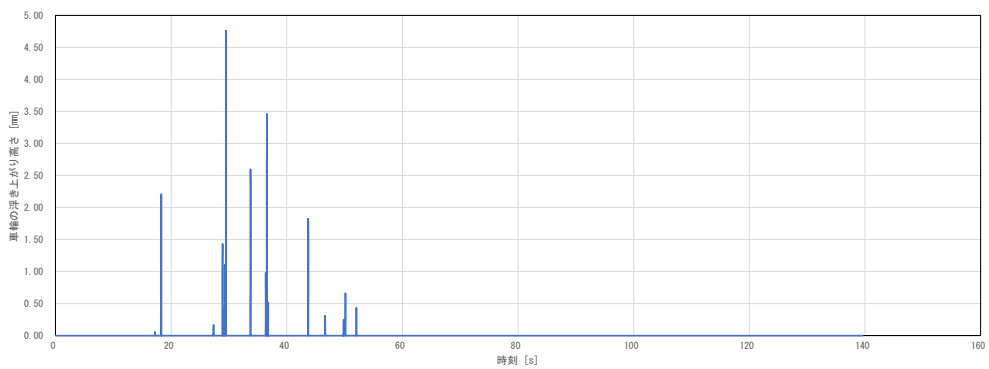
○南西位置走行車輪の浮き上がり量



○北西位置走行車輪の浮き上がり量



○南東位置走行車輪の浮き上がり量



○北東位置走行車輪の浮き上がり量

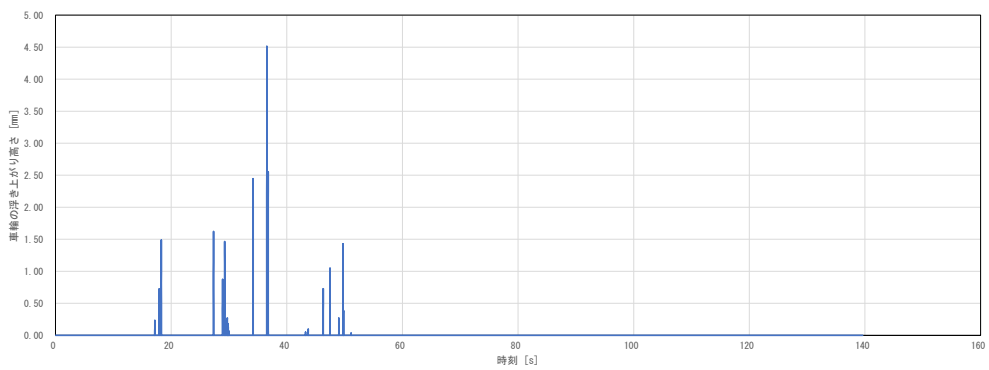


図 5-2 両腕型マニプレータ (G51M120) の走行車輪の浮き上がり高さ (Ss-D)

## 5.2 走行車輪の構造強度評価

走行車輪の脱輪を防止するために設けられた車輪のツバ部分には水平方向の地震力によりレールとの間でせん断力を受ける。そこで、車輪の浮き上がりを考慮した場合のツバに発生するせん断応力を評価した。浮き上がり時には図 5-3 に示すようにツバがせん断力を受ける部位の有効長さ（レールとツバの接触長さ）が異なることから、次式のように浮き上がり高さ（ $\delta$ ）を考慮した有効長さでせん断応力の評価を行った。

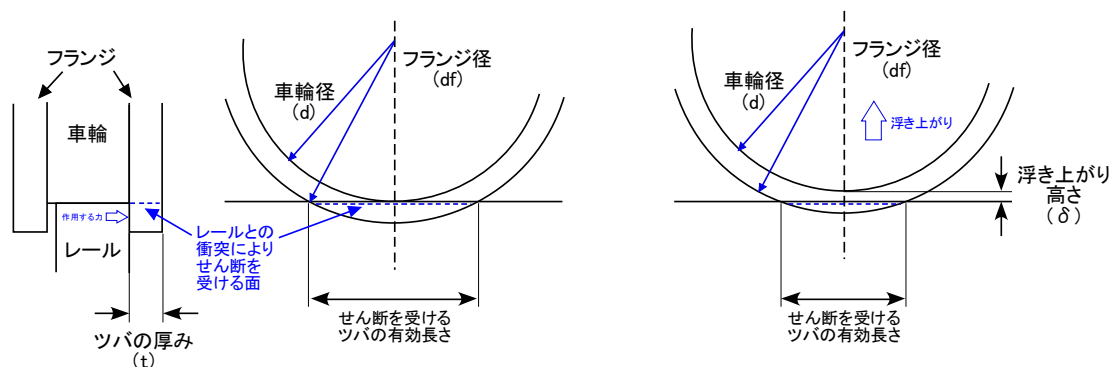


図 5-3 車輪の浮き上がりを考慮したツバのせん断応力の評価

せん断力を受けるツバの有効せん断長さは

$$L_w = \sqrt{df^2 - (d + 2\delta)^2}$$

せん断断面積は

$$A_s = L_w \cdot t$$

より、せん断応力は

$$\tau = \frac{P}{A_s}$$

ここで、

df : 車輪フランジ径 [mm] (290 mm)

d : 車輪径 [mm] (250 mm)

$\delta$  : レールからの浮き上がり高さ [mm]

$L_w$  : せん断力を受けるツバの有効せん断長さ [mm]

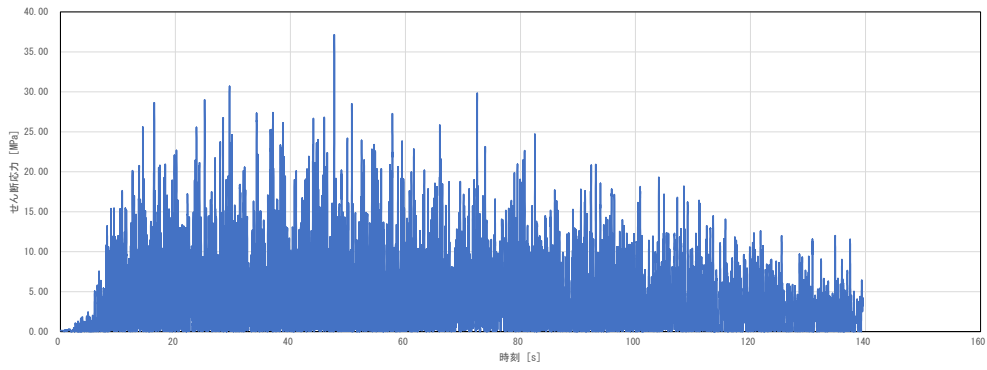
t : ツバの厚み [mm]

P : レールとの衝突によりツバに作用する水平力 [N]

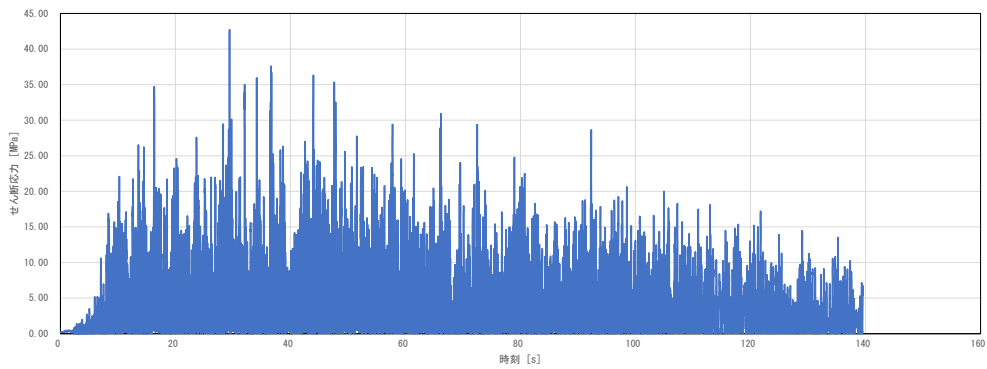
$\tau$  : レールとの衝突によりツバのせん断断面に発生するせん断応力 [MPa]

各走行車輪のツバに発生するせん断応力の時刻歴変化を図 5-4 に示す。最大値は北西位置走行車輪の 43 MPa であった。

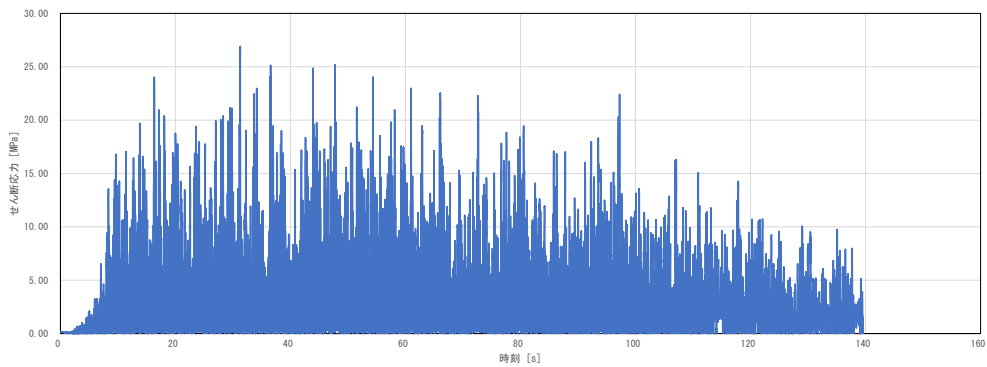
○南西位置走行車輪



○北西位置走行車輪



○南東位置走行車輪



○北東位置走行車輪

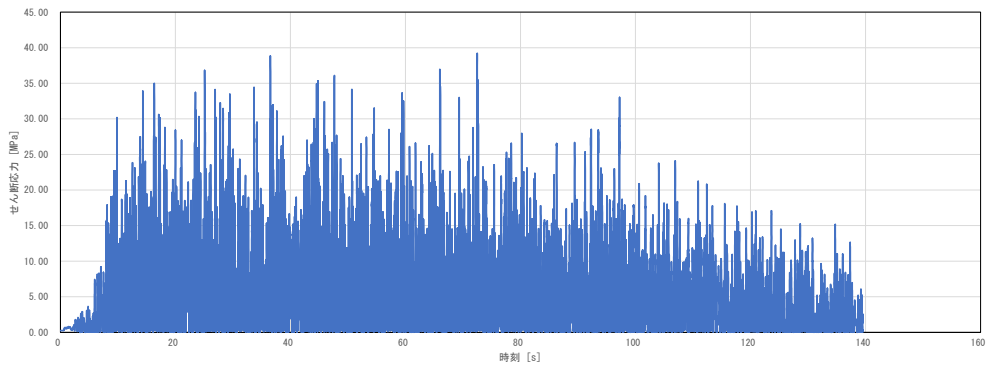


図 5-4 両腕型マニプレータ (G51M120) の走行車輪のツバの発生せん断応力 (Ss-D)

### 5.3 横行車輪の浮き上がり

両腕型マニプレータのトロリには 4.2 に示したように脱輪防止装置がついていることから、4つの車輪に対する最大の浮き上がり量は 10 mm 以下に抑制される。よって、最大浮き上がり量は横行車輪のツバ高さ以下であることからトロリの脱輪・落下のおそれはない。

### 5.4 脱輪防止装置の強度

地震動によりトロリが浮き上がり、脱輪防止装置の浮き上がり代 (10 mm) を超えるような場合には脱輪防止装置の金具 (SUS304) とガータ (SS400) が衝突し、衝突面にせん断応力を生じる (図 4-1)。せん断断面積の少ないガータ側のせん断断面に生じるせん断力を次式により評価した。脱輪防止装置はトロリの対角位置の2か所に設けられているが、保守的に1つの脱輪防止装置で全ての荷重を受けるとした。また、せん断断面は脱輪防止装置の金具の長辺部分のみで負担するとし、金具側面の短辺部分は無視した。

せん断面に作用する力は

$$F = M_C \cdot g \cdot C_V$$

せん断力を受けるせん断断面積は

$$A = t_g \cdot L_g$$

したがって、せん断応力は

$$\sigma_g = \frac{F}{A}$$

ここで、

$M_C$  : トロリ質量 [ton] (11.93 ton)

$g$  : 重力加速度 (9806.65 mm/s<sup>2</sup>)

$C_V$  : トロリの最大鉛直震度

$t_g$  : せん断力を受けるガータの厚み [mm] (19 mm)

$L_g$  : せん断力を受けるガータの長さ (脱輪防止装置金具との接触長さ) [mm]  
(50 mm)

$\sigma_g$  : 衝突によりガータに発生するせん断応力 [MPa]

である。図 5-5 に示すとおり Ss-D におけるトロリの鉛直方向最大加速度は 6475 mm/s<sup>2</sup> (発生時刻 39.5 s) であることから、せん断応力は 82 MPa となる。

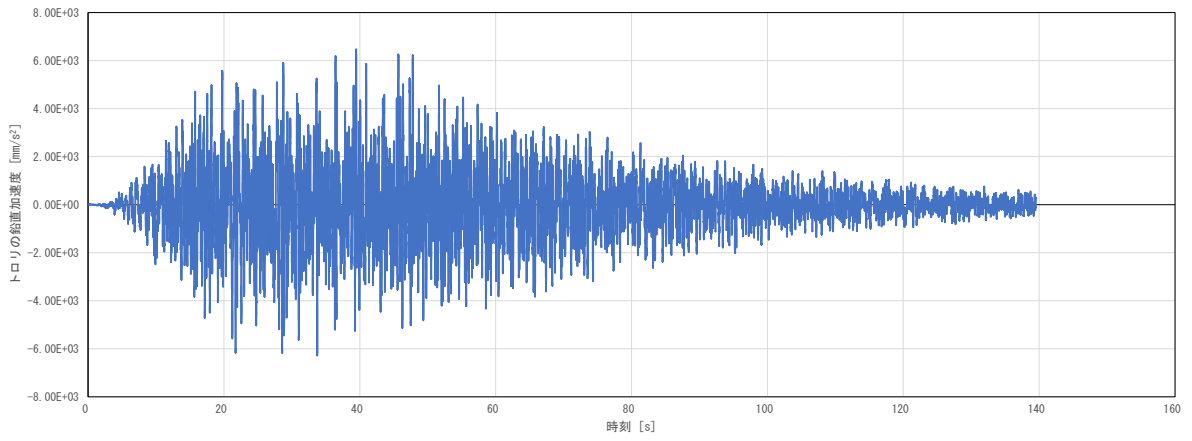


図 5-5 トロリの鉛直加速度

## 5.5 横行車輪の構造強度評価

横行車輪についても走行車輪と同様にツバに発生するせん断力に対する構造強度評価を実施した。評価方法は走行車輪と同様である。

ただし、横行車輪の諸元は

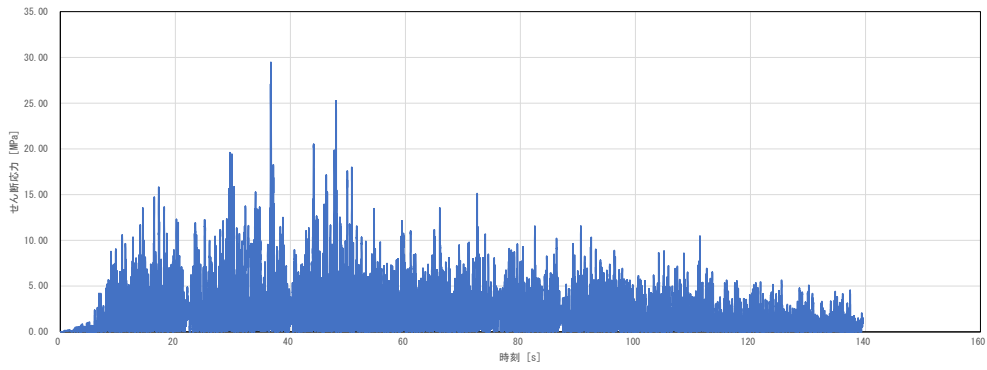
df : 車輪フランジ径 [mm] (250 mm)

d : 車輪径 [mm] (225 mm)

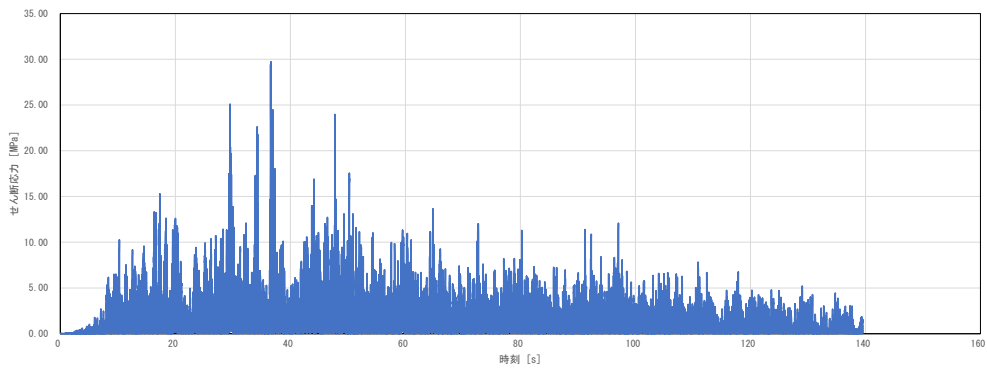
である。

各横行車輪のツバに発生するせん断応力の時刻歴変化を図 5-6 に示す。最大値は北西及び北東位置横行車輪の 29.8 MPa であった。

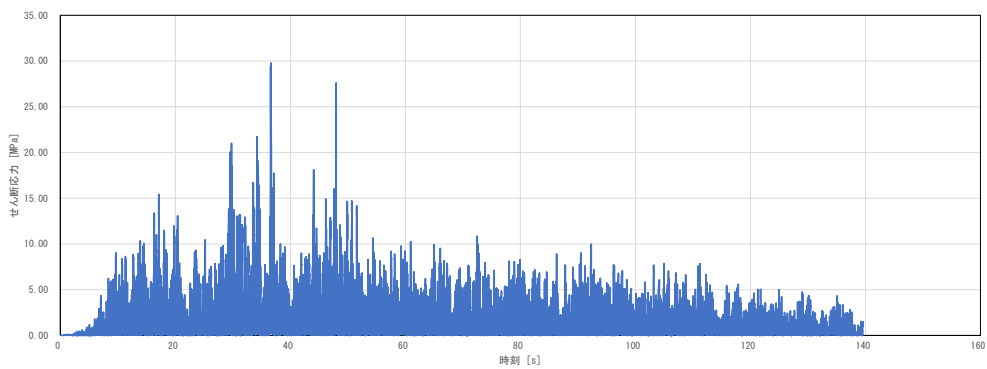
○南西位置横行車輪



○北西位置横行車輪



○南東位置横行車輪



○北東位置横行車輪

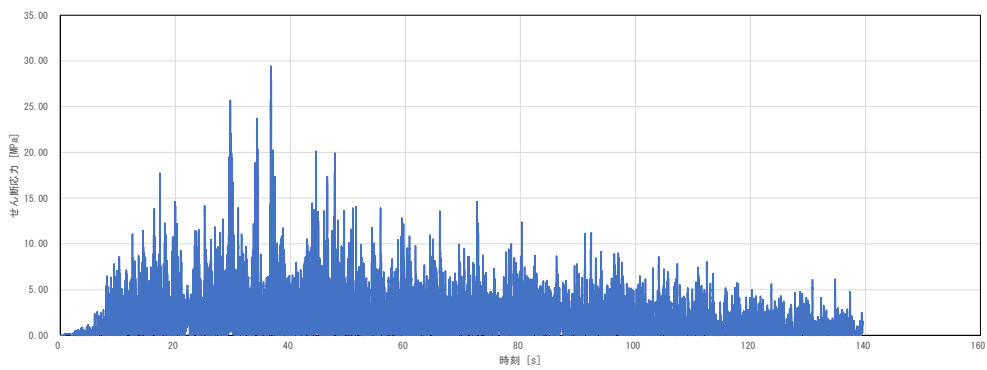


図 5-6 両腕型マニプレータ (G51M120) の横行車輪のツバの発生せん断応力 (Ss-D)

## 5.6 評価結果のまとめ

構造強度評価結果を表 5-1 に、浮き上がり評価結果を表 5-2 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の両腕型マニプレータ(G51M120, M121)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。また、車輪の浮き上がりについても同時にツバ高さを超えて浮き上がる車輪は無いことを確認した。以上より両腕型マニプレータ(G51M120, M121)は廃止措置計画用設計地震動においても落下することは無く、両腕型マニプレータの直下にある設備に対して波及的影響は生じない。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	応力比 <sup>※1</sup>
両腕型マニプレータ (G51M120, M121)	ガータ 中央	曲げ	157	280	0.56
	走行車輪 ツバ	せん断	43	142	0.30
	横行車輪 ツバ	せん断	30	142	0.21
	ガータ (脱輪防止 装置との接 触面)	せん断	82	161	0.51

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

表 5-2 浮き上がり評価結果

評価対象設備	評価部位	最大 浮き上がり量 (mm)	許容 浮き上がり量 (mm)	同時 浮き上がり 車輪数	許容同時 浮き上がり 車輪数
両腕型マニプレータ(G51M120, M121)	走行車輪	4.8	20	0	2



廃気処理室クレーン(G51M901)の耐震性についての計算書

## 1. 概要

廃気処理室クレーン(G51M901)は高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する廃棄処理室(A012, アンバー区域)内に設置されている槽類換気設備の機器・配管の上部にあることから、その落下等により廃棄処理室内の機器・配管への波及的影響を考慮する必要がある。このため、廃気処理室クレーン(G51M901)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

廃気処理室クレーン(G51M901)の構造強度の評価は、有限要素法(FEM)解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

### 2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

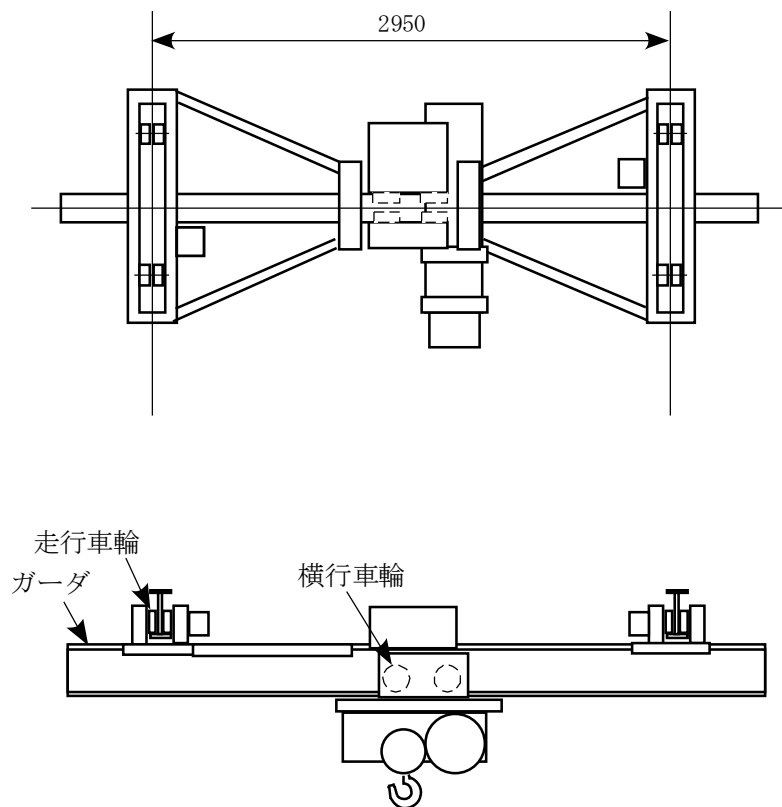
- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008(日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012(日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1-2012(日本機械学会)

### 2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$f_s$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容せん断応力	MPa
$f_b$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容曲げ応力	MPa

### 3. 評価部位

廃気処理室クレーン(G51M901)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるガーダ、走行車輪及び横行車輪とする。廃気処理室クレーン(G51M901)の概要図を図3-1に示す。



(単位:mm)

図3-1 廃気処理室クレーン(G51M901)の概要図

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

##### 4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に準拠し、供用状態 D<sub>s</sub> における許容応力を用いた。供用状態 D<sub>s</sub> での温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
ガータ	せん断応力	$1.5 \times f_s$
ガータ	曲げ応力	$1.5 \times f_b$
走行車輪	せん断応力	$1.5 \times f_s$
横行車輪	せん断応力	$1.5 \times f_s$

##### 4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
廃気処理室クレーン(G51M901)	2.0	2.0

#### 4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに、各階の床応答スペクトル (Ss-D, Ss-1, Ss-2 の3波包絡。周期軸方向に±10%拡幅したもの。)を作成し、これを評価に用いた。

廃気処理室クレーン (G51M901) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (地下1階) のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表4-3、図4-1及び図4-2に示す。

表4-3 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
廃気処理室クレーン (G51M901)	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数2.0%)	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数2.0%)

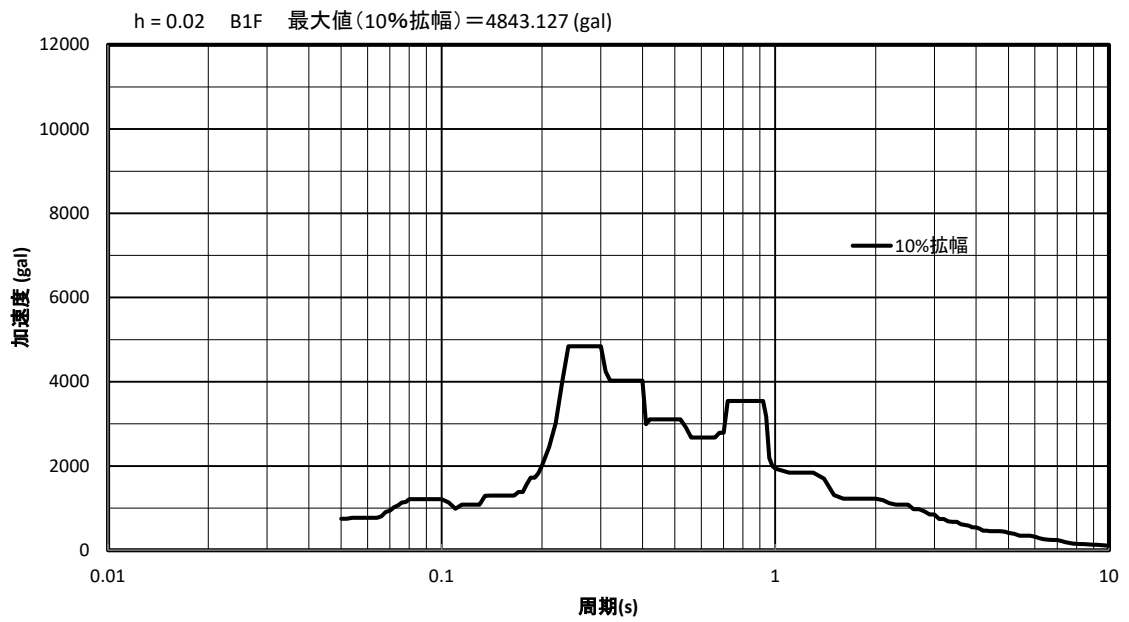


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 2.0%）

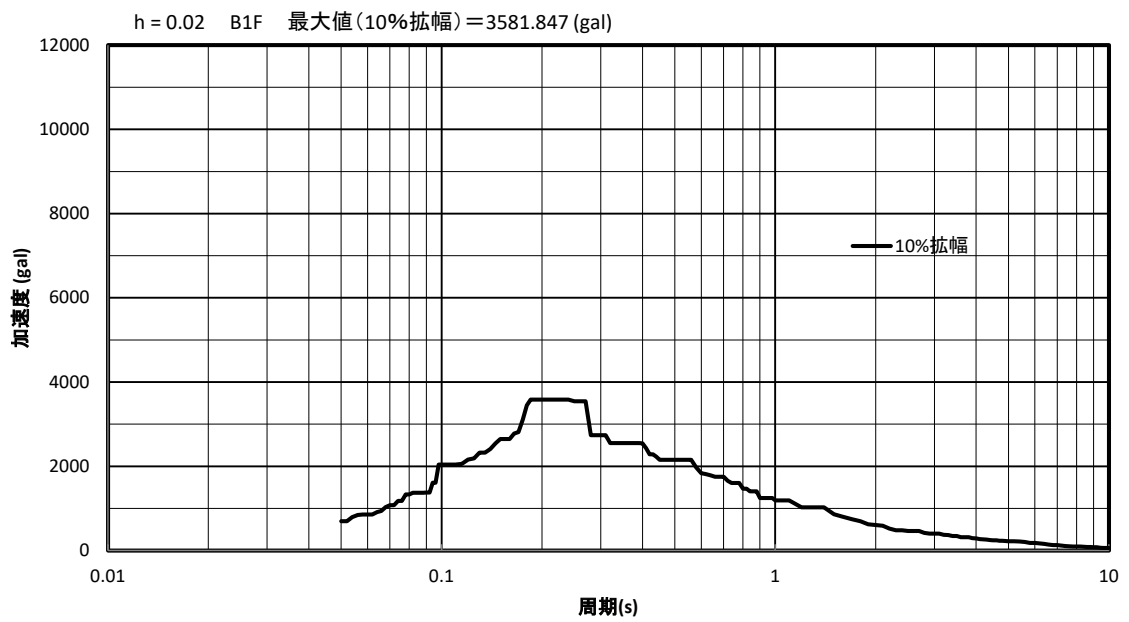


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 2.0%）

#### 4.5 計算方法

廃気処理室クレーン(G51M901)の発生応力の計算方法は FEM 解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードは MSC.Nastran<sup>※1</sup>を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

#### 4.6 計算条件

##### 4.6.1 解析モデル

廃気処理室クレーン(G51M901)の解析モデルを図 4-3 に示す。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

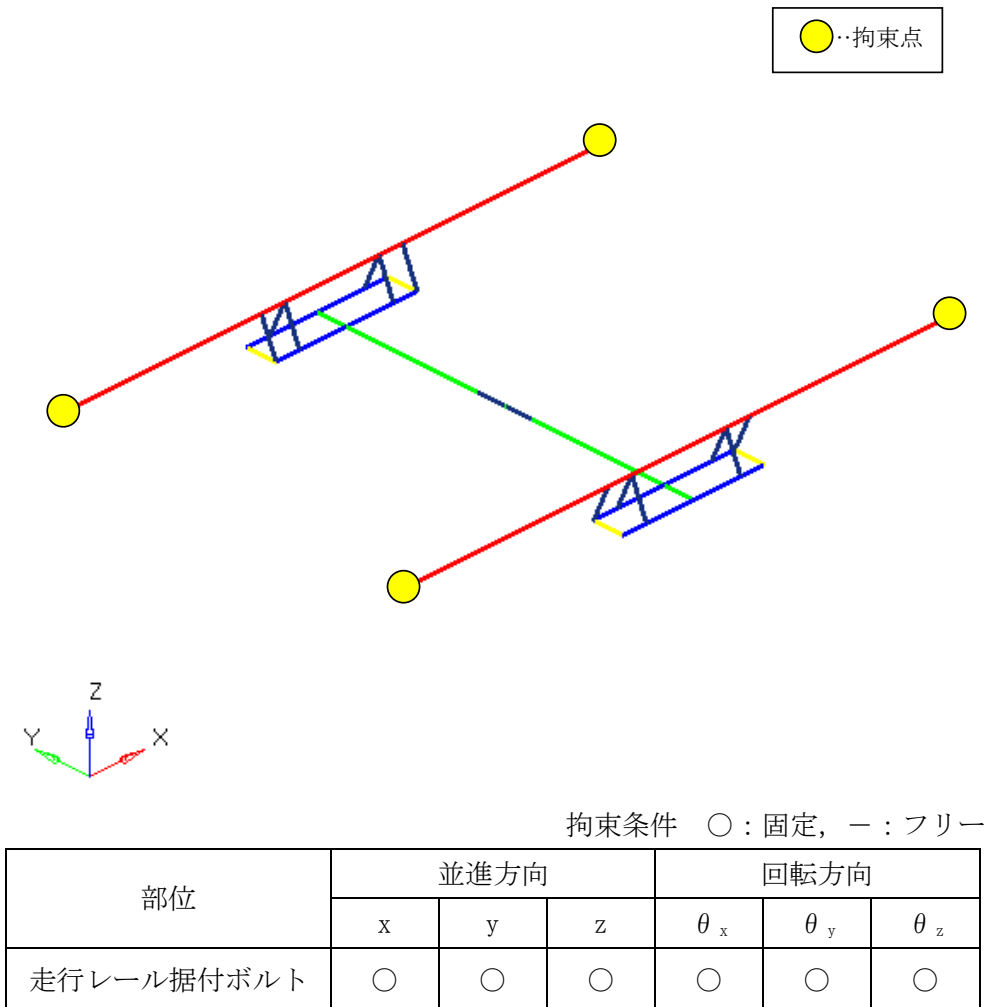


図 4-3 廃気処理室クレーン(G51M901)の解析モデル

#### 4.6.2 諸元

廃気処理室クレーン(G51M901)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
廃気処理室クレーン (G51M901)	安全上の機能	閉じ込め機能 (波及的影響の防止)
	機器区分	クラス 3
	定格荷重 (吊上げ荷重)	2.8 (t)
	走行レール間距離	2950 (mm)
	走行レール長さ	4500 (mm)
	走行レール材質	SS400
	ガータ長さ	3200 (mm)
	ガータ材質	SS400
	車軸材質	SS400
	設計温度	40 (°C)
	総質量 (吊上げ荷重を含む。)	約 7.1 (t)

#### 4.7 固有周期

廃気処理室クレーン(G51M901)の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。



1次モード図

固有周期：0.146 (秒)

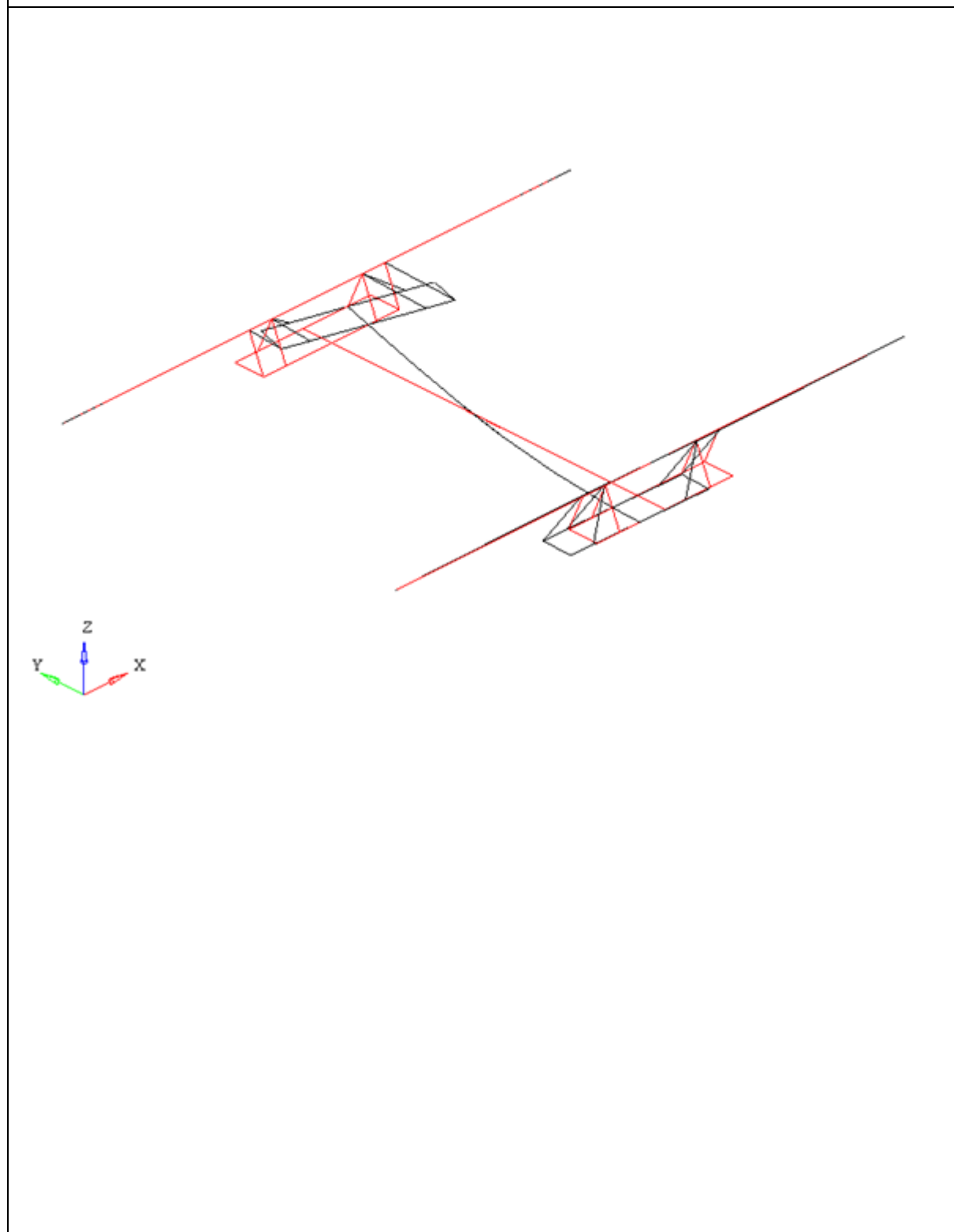


図 4-4 廃気処理室クレーン(G51M901) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.093（秒）

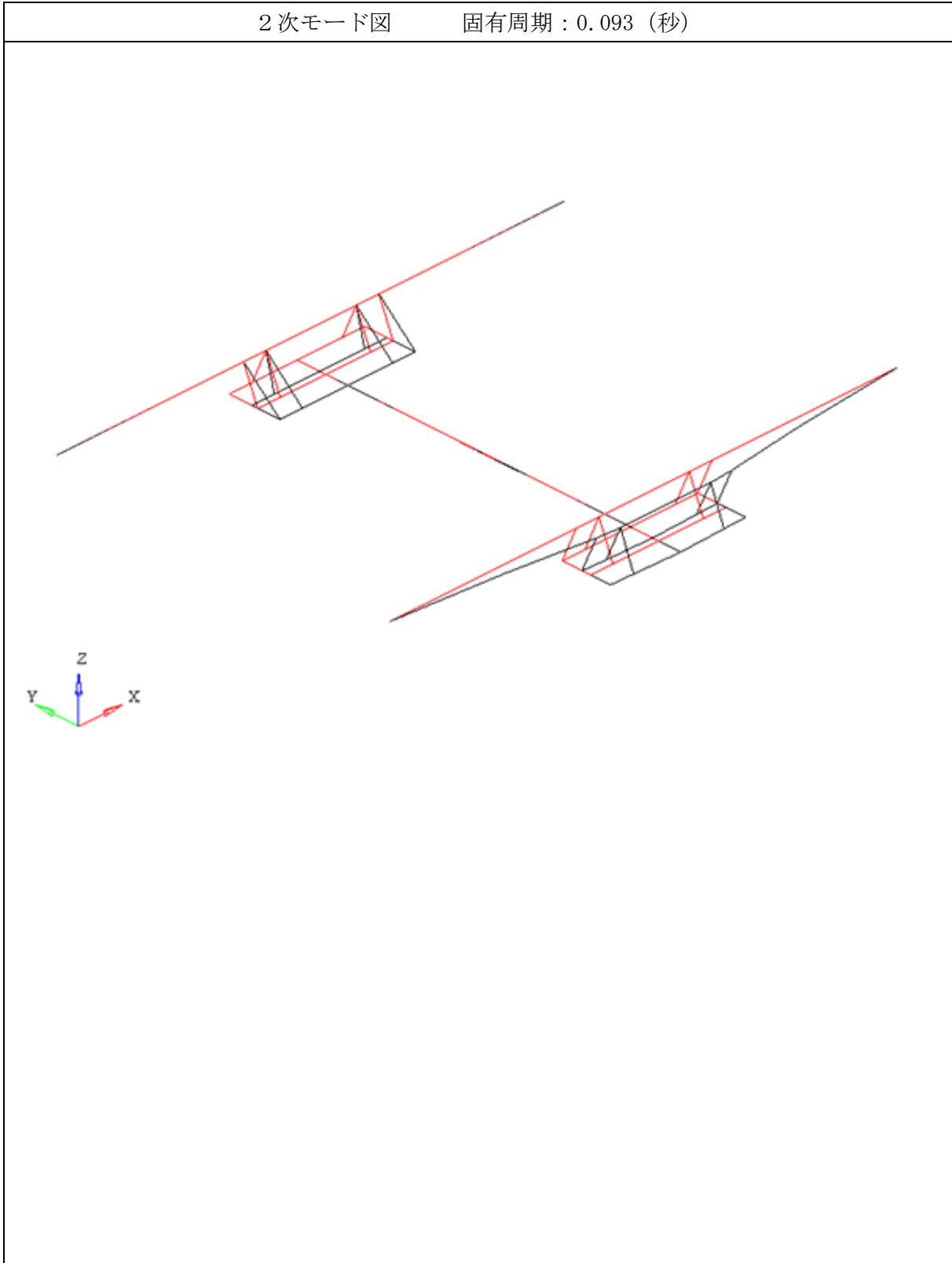


図 4-4 廃気処理室クレーン(G51M901) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.080 (秒)

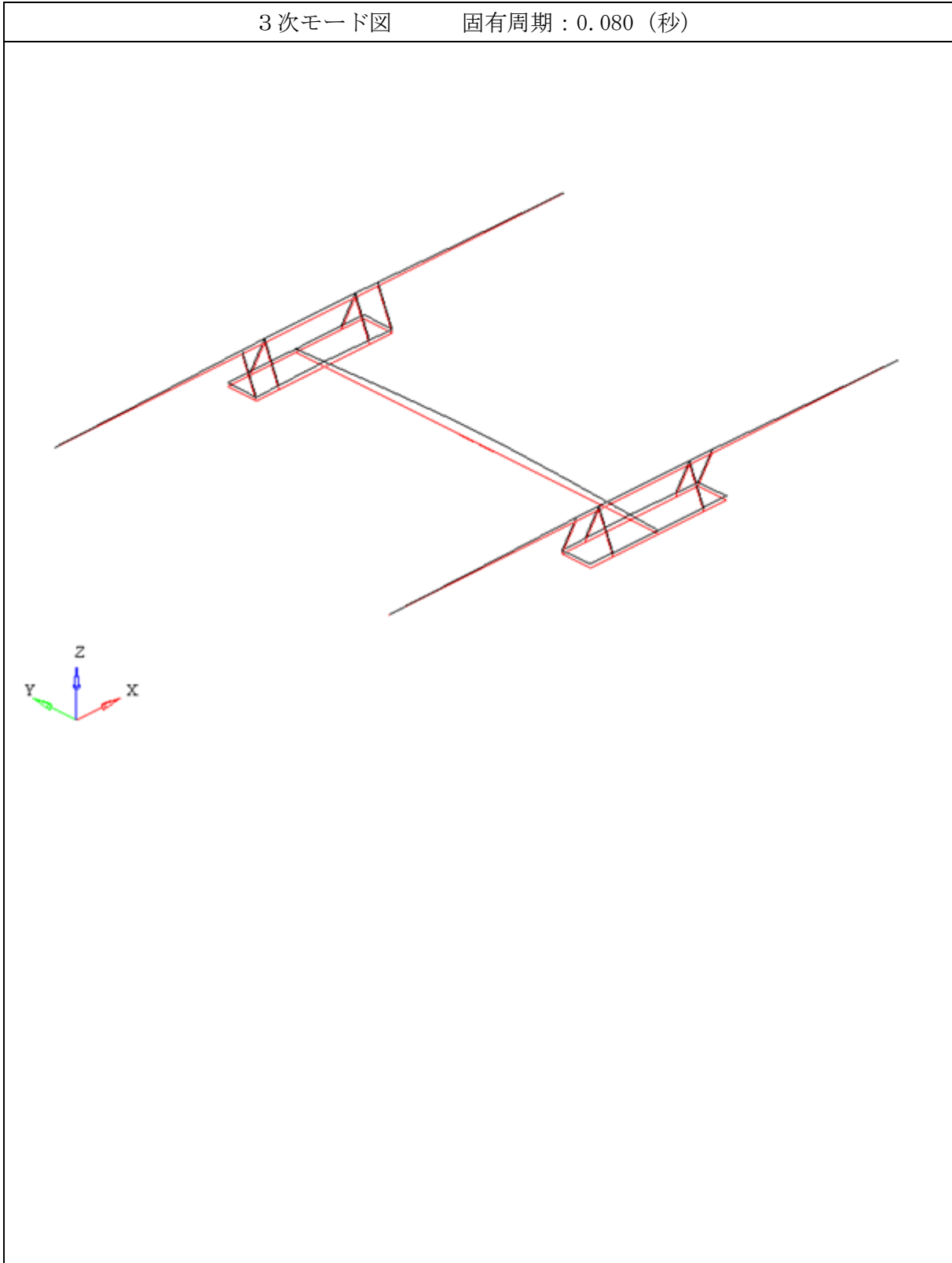


図 4-4 廃気処理室クレーン(G51M901) 固有モード図 (3/3)

## 5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の廃気処理室クレーン (G51M901) の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 <sup>※1</sup>
廃気処理室クレーン (G51M901)	ガータ	せん断	20	161	0.13
		曲げ	196	280	0.70
	走行車輪	せん断	46	161	0.29
	横行車輪	せん断	31	161	0.20

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

第二付属排気筒の地震応答計算書

## 1. 概要

第二付属排気筒は、別冊 1-15 再処理施設に関する設計及び工事の計画 第二付属排気筒及び排気ダクト接続架台の耐震補強工事により、地震時における耐震性向上のため、筒身下部への鉄筋コンクリート補強を行うことを計画している。

本資料は、廃止措置計画用設計地震動に対して、耐震補強工事後の第二付属排気筒が耐震余裕を有することを説明するものである。

廃止措置計画用設計地震動は、令和 2 年 2 月 10 日付け原規規発第 2002103 号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」において策定した敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動とする。策定した廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトルを図 1-1 から図 1-3 に、時刻歴波形を図 1-4 から図 1-6 に示す。解放基盤表面は、S 波速度が 0.7 km/s 以上である T.P.\*-303 m とする。

※T.P.：東京湾平均海面

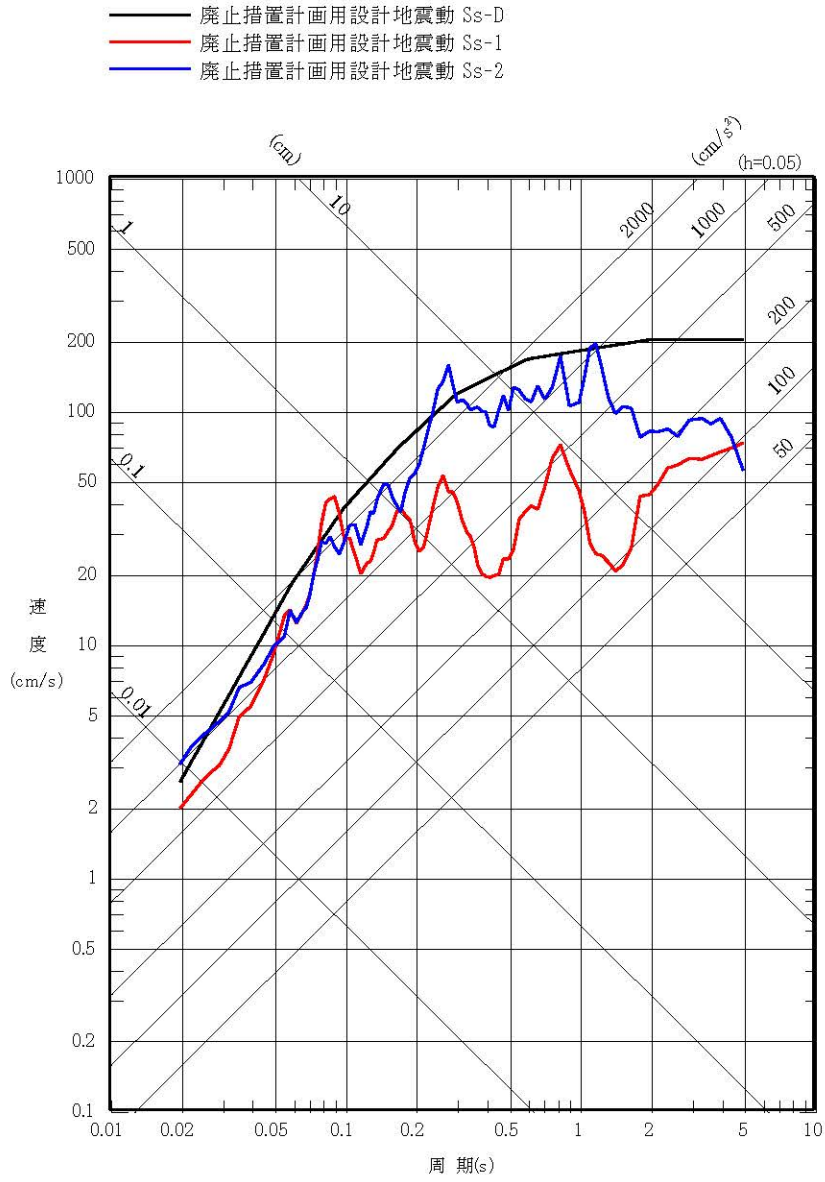


図 1-1 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(NS成分)

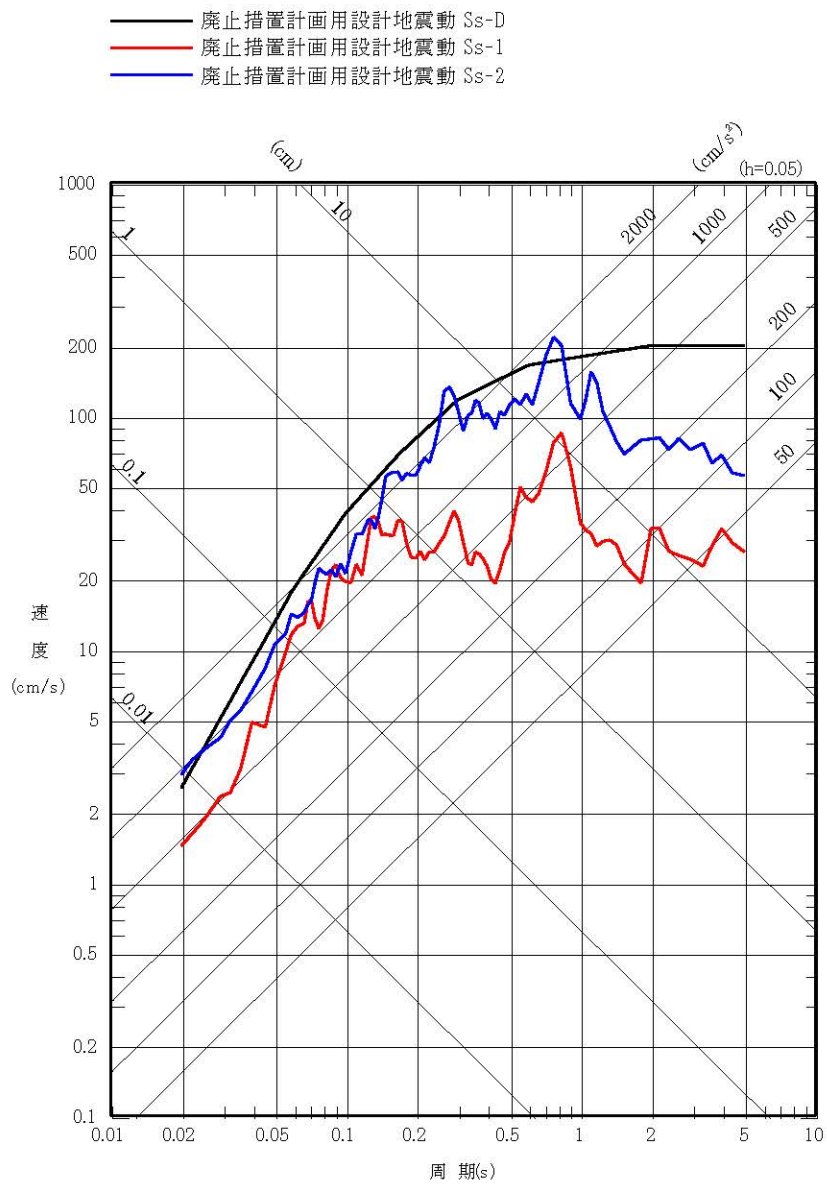


図 1-2 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(EW成分)



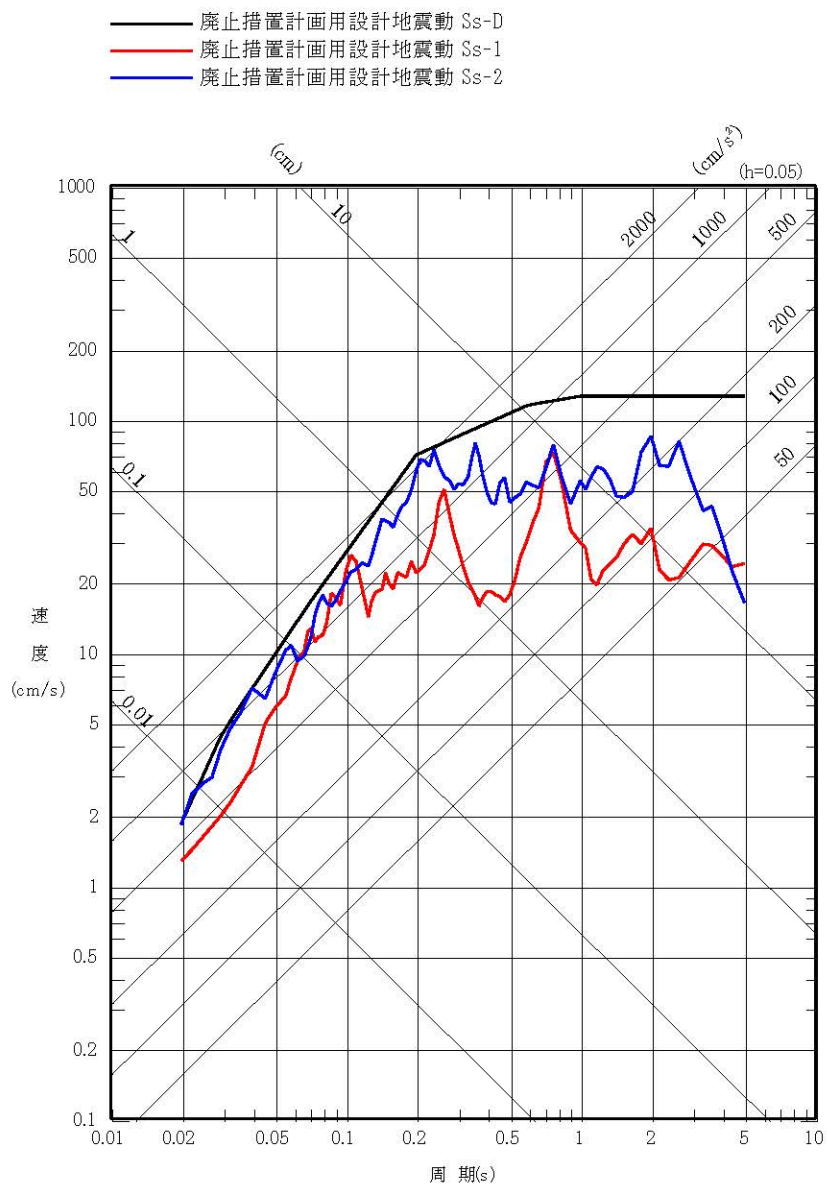


図 1-3 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(UD 成分)

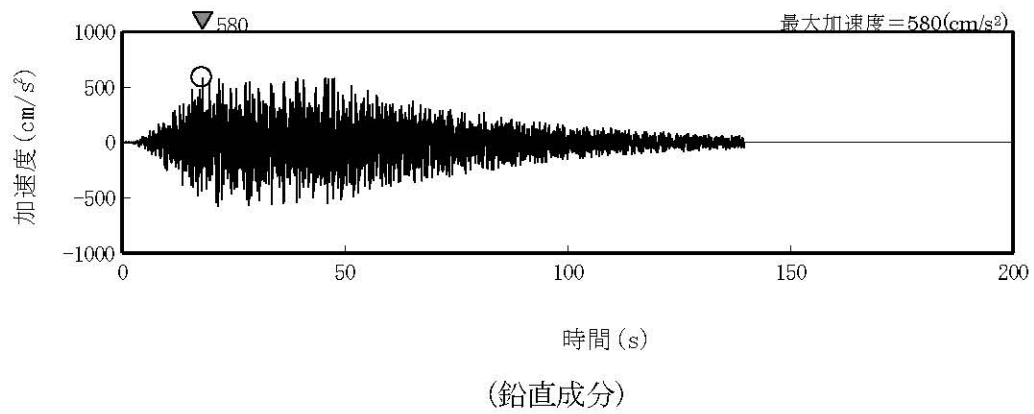
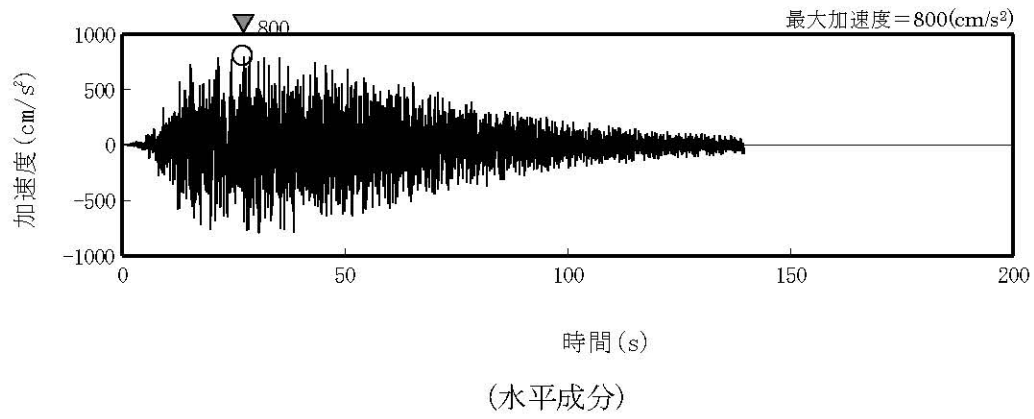
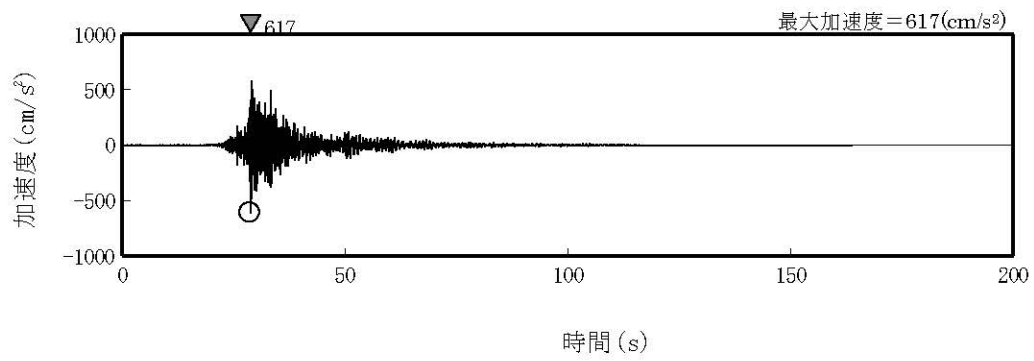
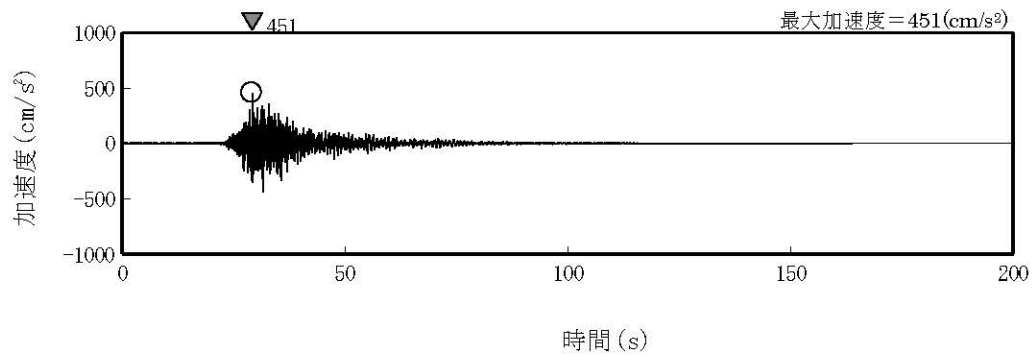


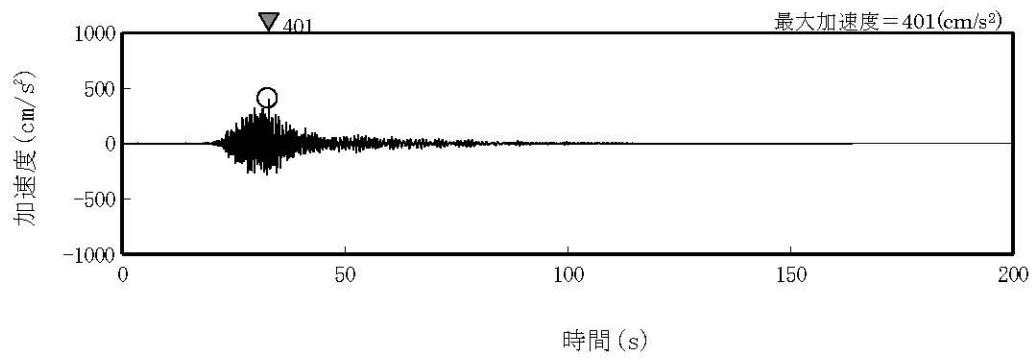
図 1-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D) の時刻歴波形



(NS 成分)

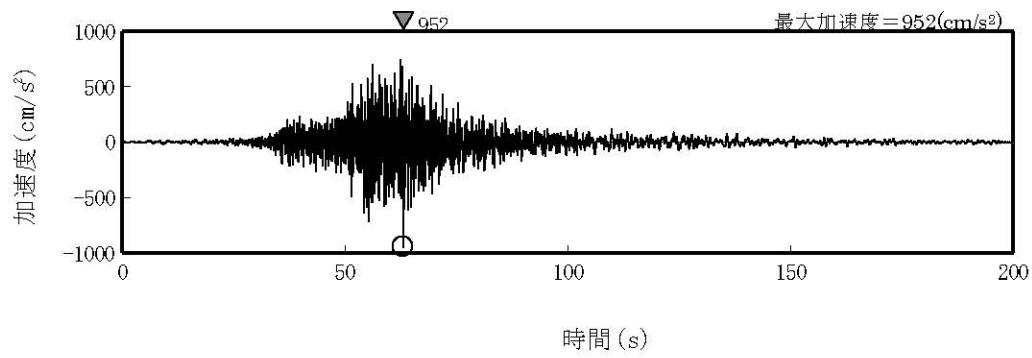


(EW 成分)

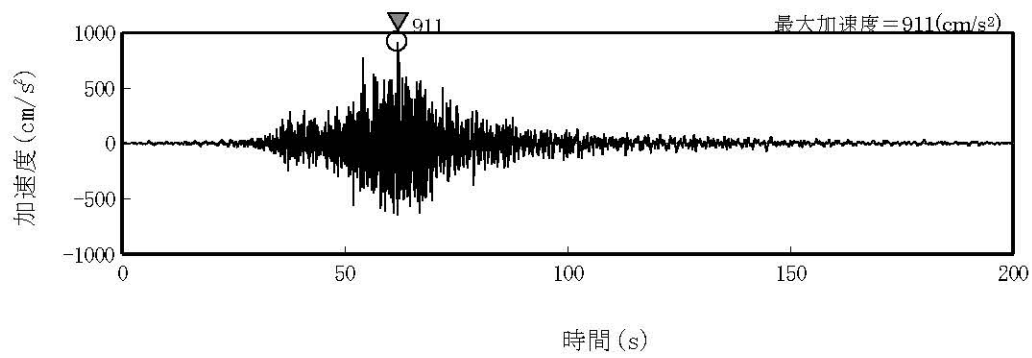


(UD 成分)

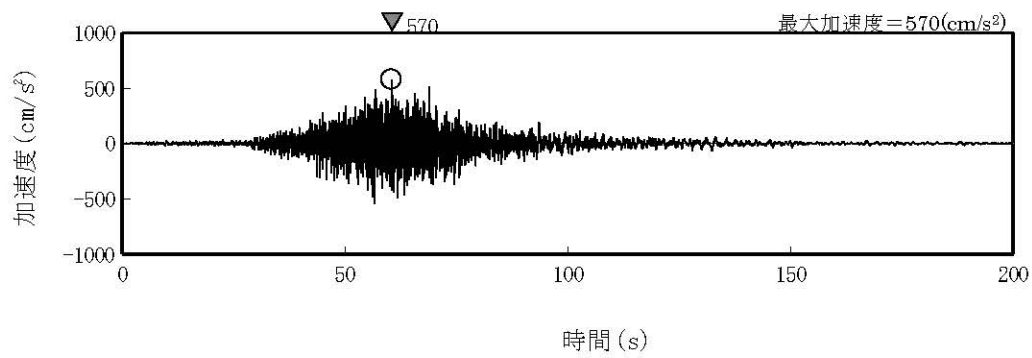
図 1-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-1)の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



(UD 成分)

図 1-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-2)の時刻歴波形

## 2. 一般事項

### 2.1 位置

第二付属排気筒の位置を図 2-1 に示す。プラントノースと磁北方向の角度差は  $35.7^\circ$  である。

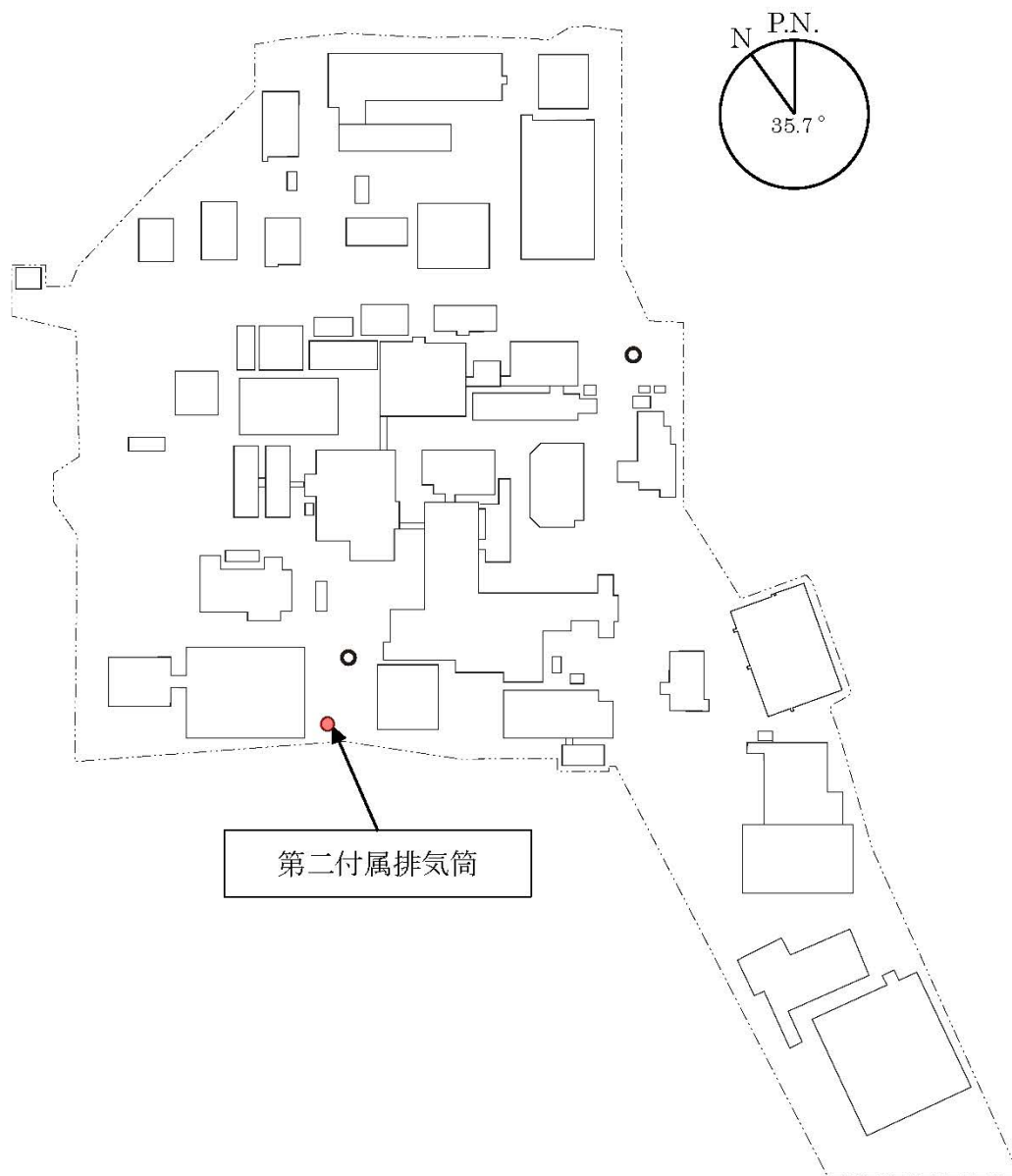


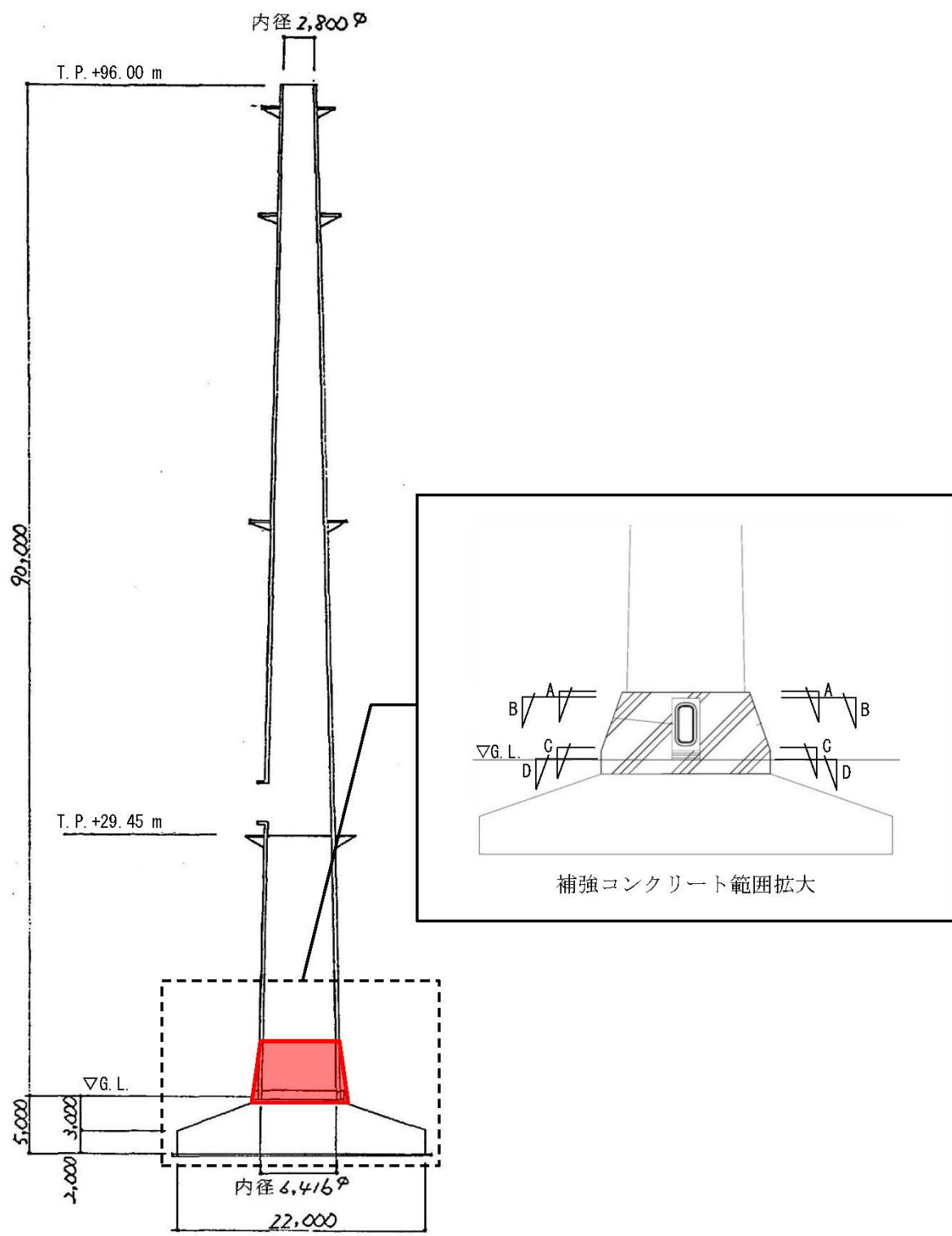
図 2-1 第二付属排気筒の位置

## 2.2 構造概要

第二付属排気筒は、筒身中央の外径約 4.6 m、地上高さ 90 m、基礎深さ 5 m の自立型の鋼製排気筒である。基礎は、鉄筋コンクリート造のべた基礎とし、基礎地盤である久米層(砂質泥岩)に設置されている。

第二付属排気筒の地震時における耐震性向上のため、筒身下部から脚部に鉄筋コンクリートによる補強を行う。

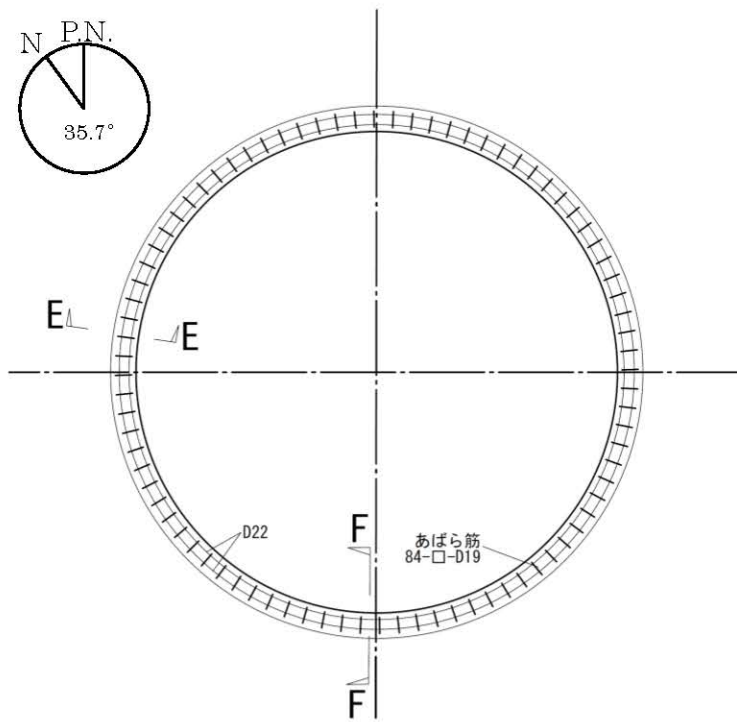
第二付属排気筒の断面図を図 2-2、代表的な平面図を図 2-3 から図 2-6 に示す。基礎地盤(久米層)の等高線図を図 2-7、断面図を図 2-8 に示す。



単位：mm

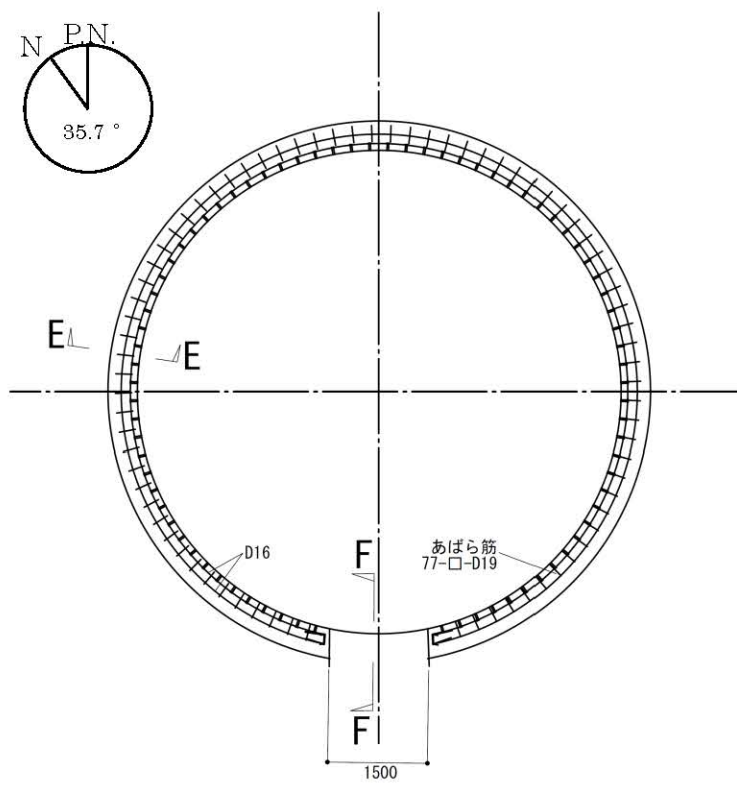
(着色部は補強鉄筋コンクリート範囲を示す。)

図 2-2 断面図



単位：mm

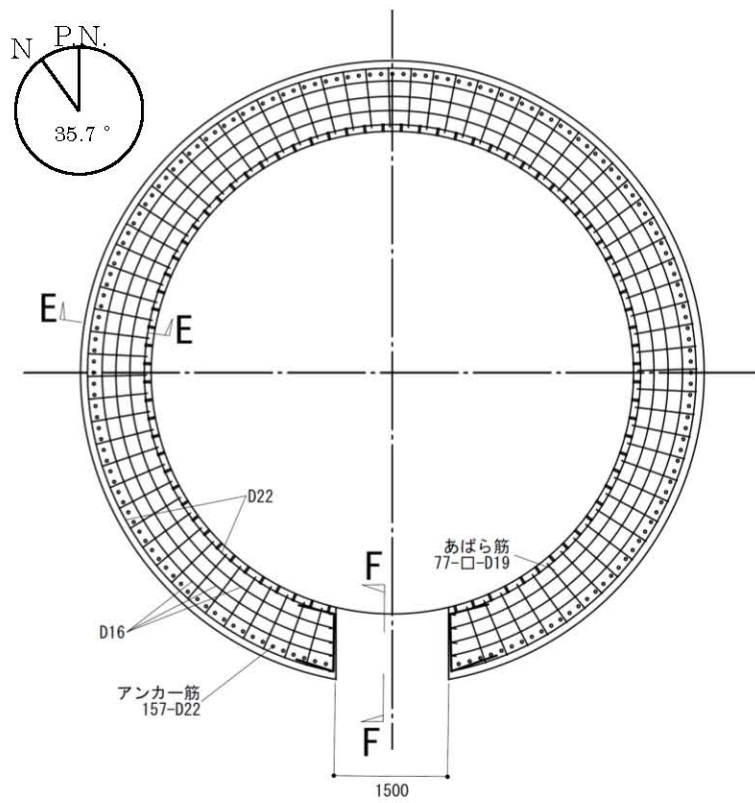
図 2-3 筒身平面図(A-A 切断面)



単位：mm

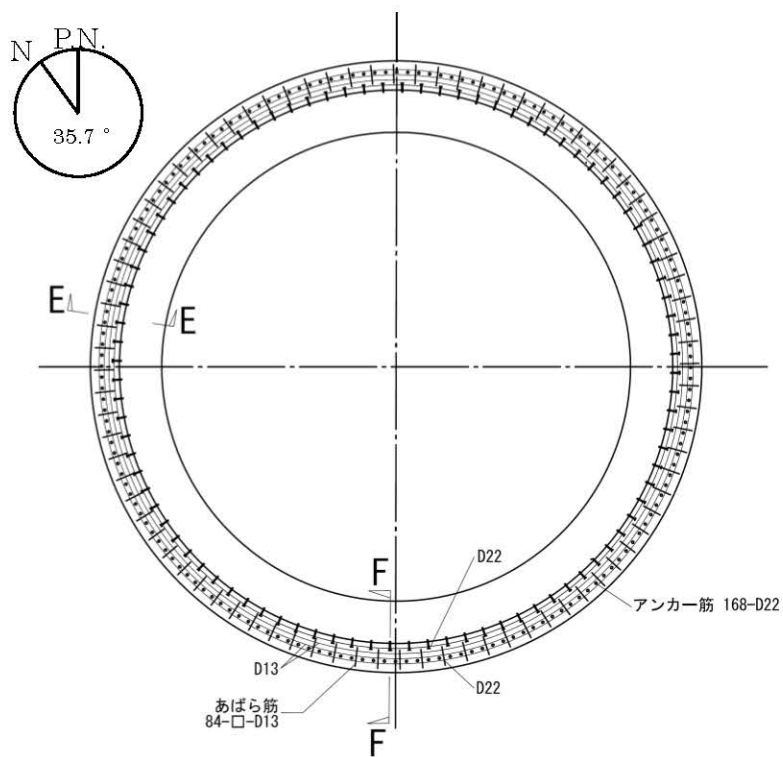
図 2-4 筒身平面図(B-B 切断面)





単位：mm

図 2-5 筒身最下部平面図 (C-C 切断面)



単位：mm

図 2-6 脚部平面図 (D-D 切断面)

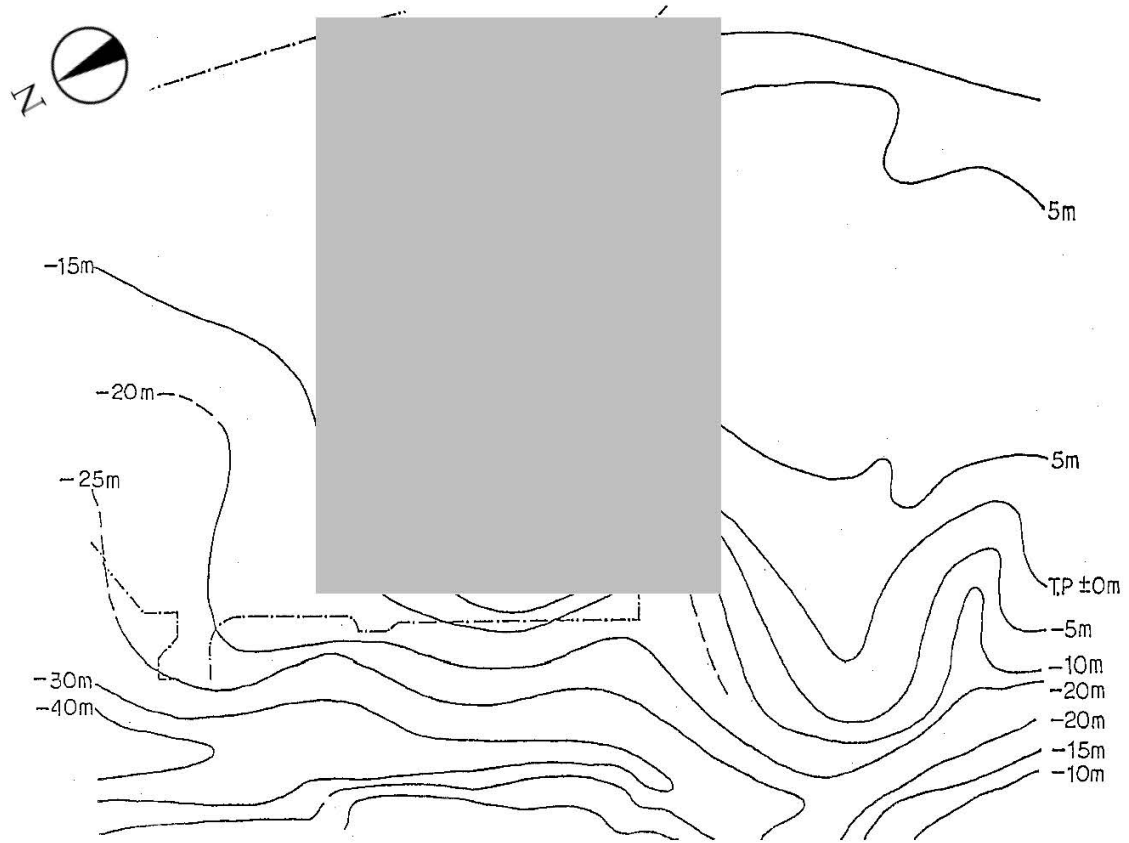
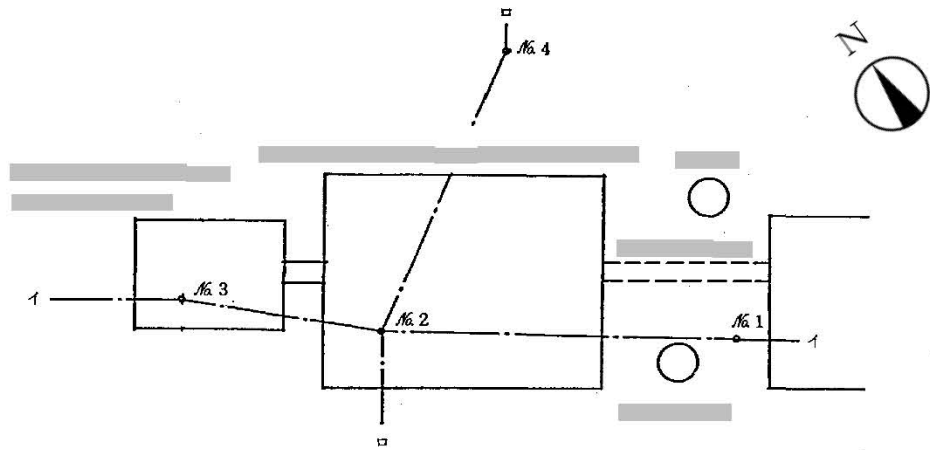


図 2-7 基礎地盤(久米層)の等高線図



ボーリング位置図

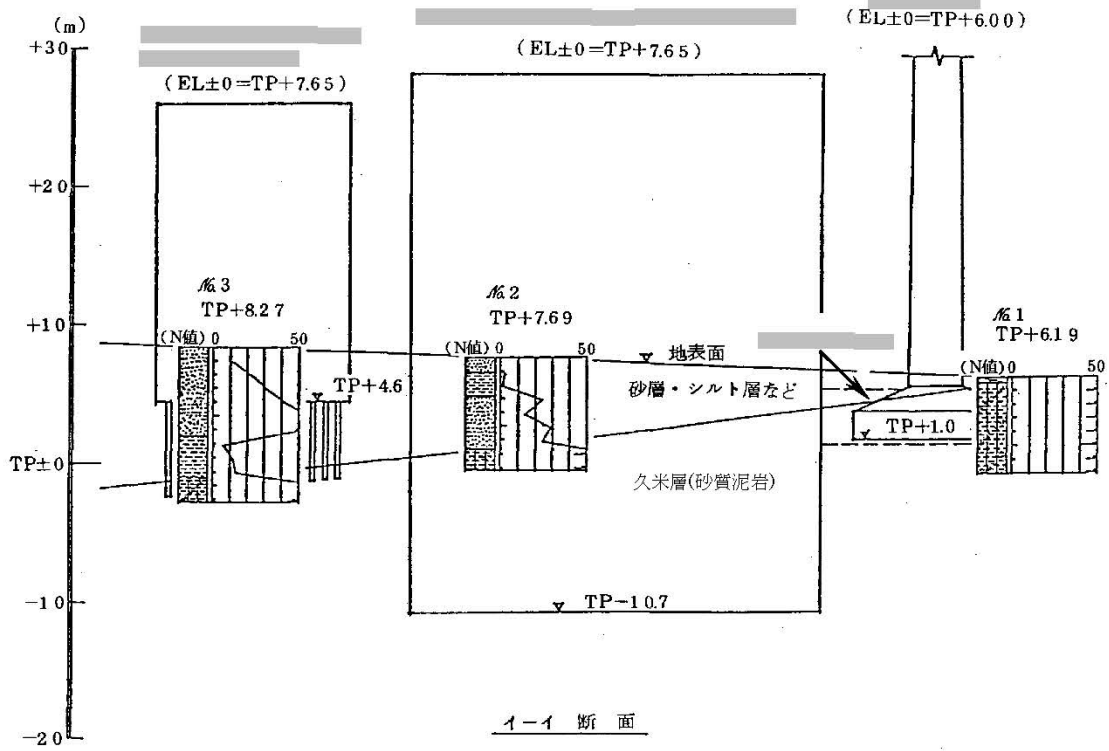


図 2-8 基礎地盤(久米層)の断面図

### 2.3 評価方針

第二付属排気筒の評価は、廃止措置計画用設計地震動による地震応答解析の結果に基づき実施する。

地震応答解析は、構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平方向及び鉛直方向ごとに設定し実施する。

地震応答解析の結果に基づいて接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

筒身、脚部及び基礎並びに接地圧については、発生応力を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

第二付属排気筒の評価フローを図 2-9 に示す。

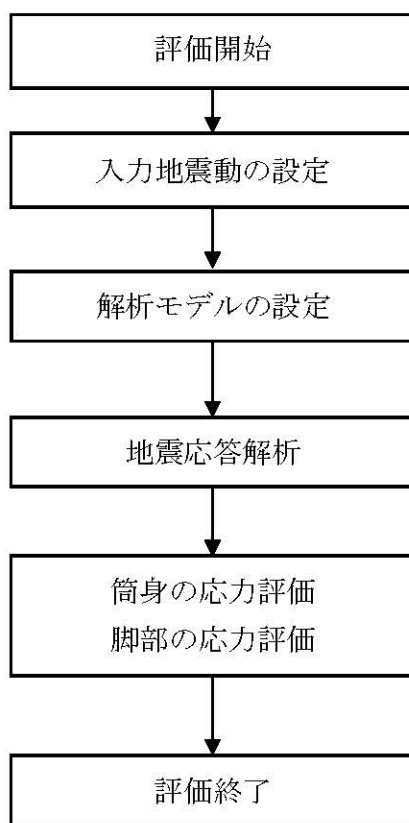


図 2-9 評価フロー

## 2.4 準拠規格・基準

第二付属排気筒の地震応答解析において、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)
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書  
(建築行政情報センター・日本建築防災協会)
- ・ 煙突構造設計指針 (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)
- ・ 建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会)
- ・ あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針 (国土交通省)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会)
- ・ 鋼構造接合部設計指針 (日本建築学会)
- ・ 容器構造設計指針・同解説 (日本建築学会)

## 2.5 使用材料

### 2.5.1 使用材料

地震応答解析及び応力解析に用いるコンクリートの材料定数を表 2-1 に、鉄筋の材料定数を表 2-2 に、鋼材の材料定数を表 2-3 に、補強鉄筋コンクリートの単位体積重量を表 2-4 に、補強鉄筋コンクリートの重量を表 2-5 に示す。

表 2-1 コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
既設部	22.1	2.20×10 <sup>4</sup>	0.2
補強鉄筋 コンクリート部	36.0	2.59×10 <sup>4</sup>	0.2

表 2-2 鉄筋の材料定数

対象	種類	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
既設部	SD30A, SD35	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3
補強鉄筋 コンクリート部	SD295A, SD345	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3

表 2-3 鋼材の材料定数

対象	種類	ヤング係数 E(N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
既設部 (筒身)	SS41	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3
既設部 (アンカーボルト)	SS41	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3

表 2-4 補強鉄筋コンクリートの単位体積重量

部位	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
鉄筋コンクリート	24.0

表 2-5 補強鉄筋コンクリートの重量

部 位	重量 (kN)
質点 18 (T.P. +11.0 m)	244.91
質点 20 (T.P. +3.5 m)	1859.14

## 2.5.2 許容応力度及び材料強度

### ①コンクリート

コンクリートの許容応力度及び材料強度を表 2-6 及び表 2-7 に示す。

表 2-6 コンクリートの許容応力度及び材料強度(既設部)

		圧縮	せん断
Fc=22.1 N/mm <sup>2</sup>	長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7.3	0.71
	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	14.7	1.06
	材料強度 (N/mm <sup>2</sup> )	22.1	2.21

表 2-7 コンクリートの許容応力度及び材料強度(補強鉄筋コンクリート部)

		圧縮	せん断
Fc=36.0 N/mm <sup>2</sup>	長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	12.0	0.85
	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	24.0	1.27
	材料強度 (N/mm <sup>2</sup> )	36.0	3.60

②鉄筋

鉄筋の許容応力度及び材料強度を表 2-8 及び表 2-9 に示す。

表 2-8 鉄筋の許容応力度及び材料強度(既設部)

	SD30A		SD35	
	引張 圧縮	せん断	引張 圧縮	せん断
長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	195	195	215	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

表 2-9 鉄筋の許容応力度及び材料強度(補強鉄筋コンクリート部)

	SD295A		SD345	
	引張 圧縮	せん断	引張 圧縮	せん断
長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	195	195	215	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鋼材

鋼材の許容応力度及び材料強度を表 2-10 に示す。

表 2-10 鋼材の許容応力度及び材料強度(既設部)

	SS41	
	引張, 曲げ※, 圧縮※	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	F/√3
F は建築基準法の定める基準強度を表す。		

※圧縮, 曲げの許容応力度及び材料強度は上限値であり,  
座屈長さ等を考慮して設定する。

### 3. 入力地震動

#### 3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、廃止措置計画用設計地震動を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した第二付属排気筒の基礎底面位置での応答波とする。

NS 及び EW 方向での個別の地震動が定義されている S<sub>s</sub>-1 及び S<sub>s</sub>-2 については、解放基盤表面への入力前に第二付属排気筒の座標系に方位変換する。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を図 3-1 に、地盤の物性値を表 3-1 に、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を図 3-2 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「Nshake(株式会社ニュージェック)」である。

廃止措置計画用設計地震動による地盤の地震応答解析結果を図 3-3 から図 3-7 に、第二付属排気筒の基礎底面位置における水平方向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図 3-8 から図 3-10 に示す。

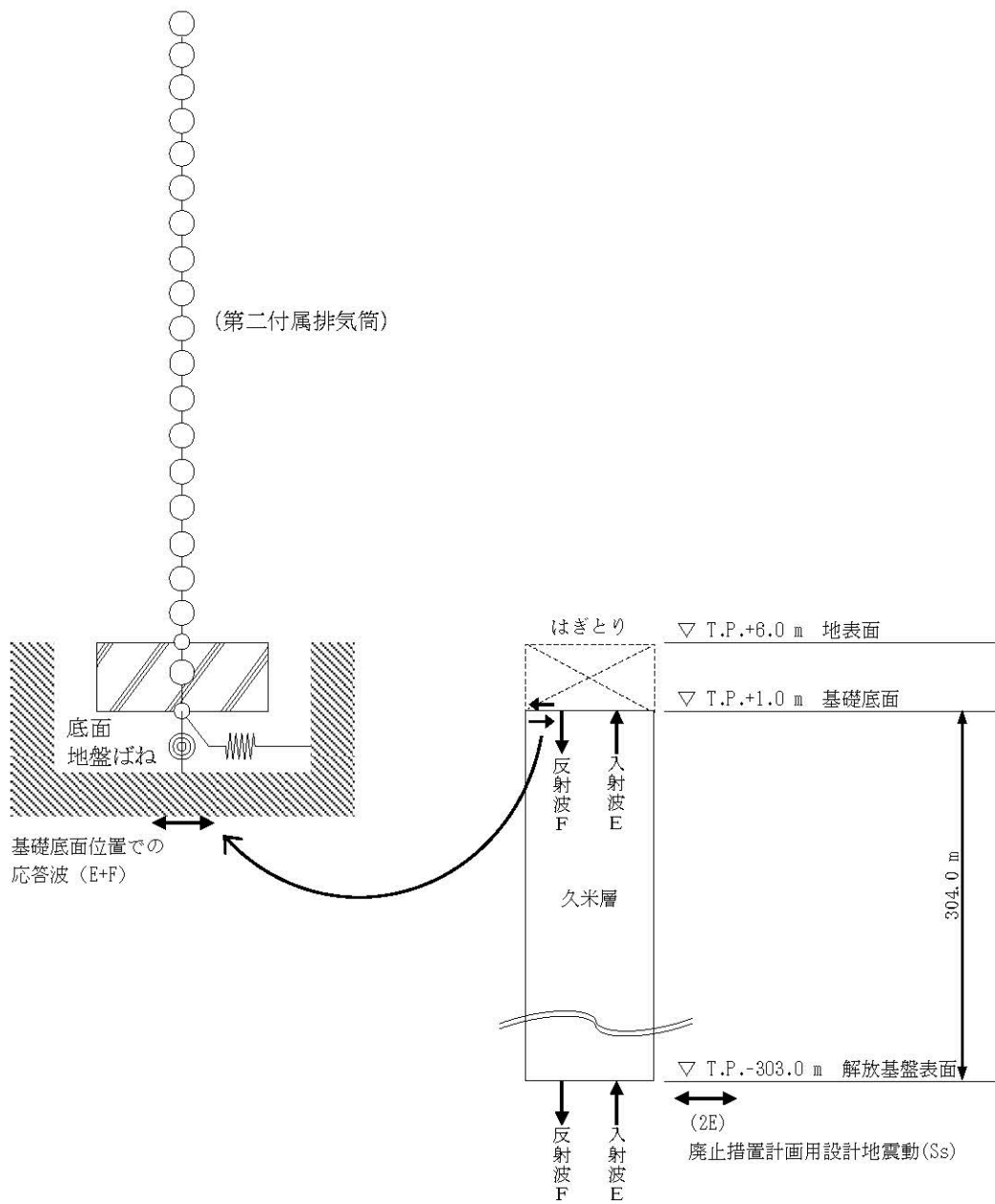
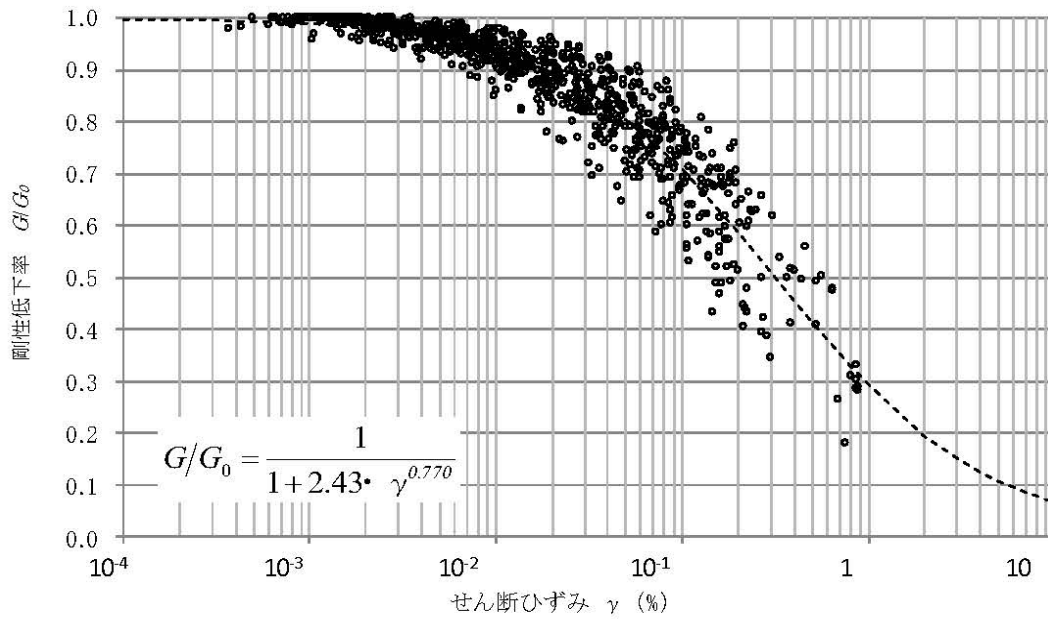


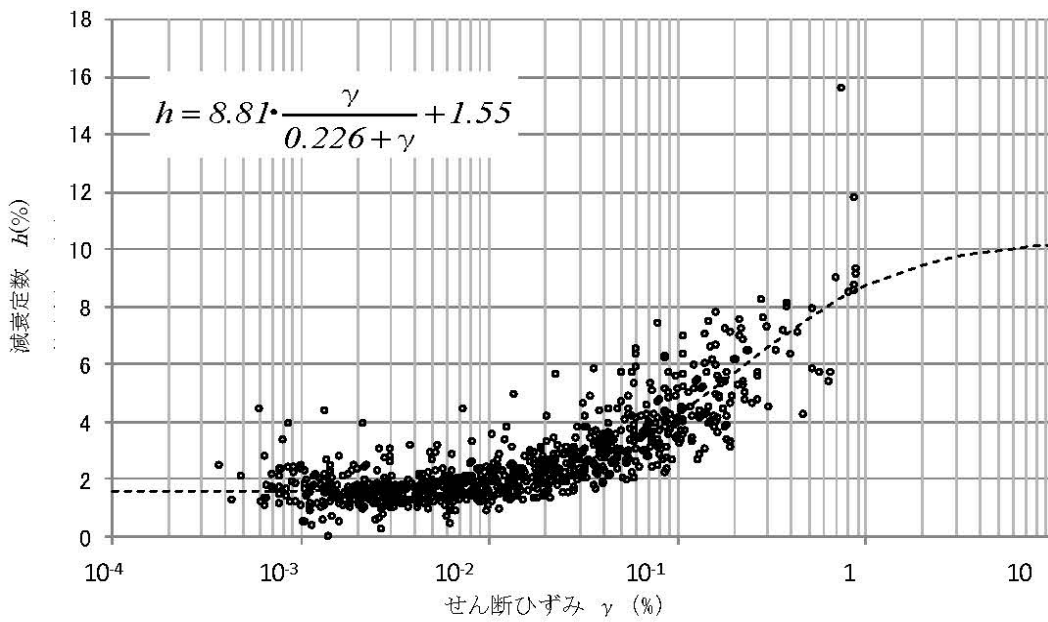
図 3-1 入力地震動算定の概要 (水平方向)

表 3-1 地盤の物性値

標高 T. P. (m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	動ポアソン比 $\nu_d$	動せん断 弾性係数 $G_0$ (MN/m <sup>2</sup> )
1.00					
-10.00	久米層	Km1	1.77	0.455	427
-62.00		Km2	1.77	0.451	466
-92.00		Km3	1.77	0.447	515
-118.00		Km4	1.77	0.444	549
-169.00		Km5	1.77	0.440	596
-215.00		Km6	1.77	0.436	655
-261.00		Km7	1.77	0.431	711
-303.00		▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426
	解放基盤		1.77	0.417	867



(a) 動せん断弾性係数



(b) 減衰定数

図 3-2 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)

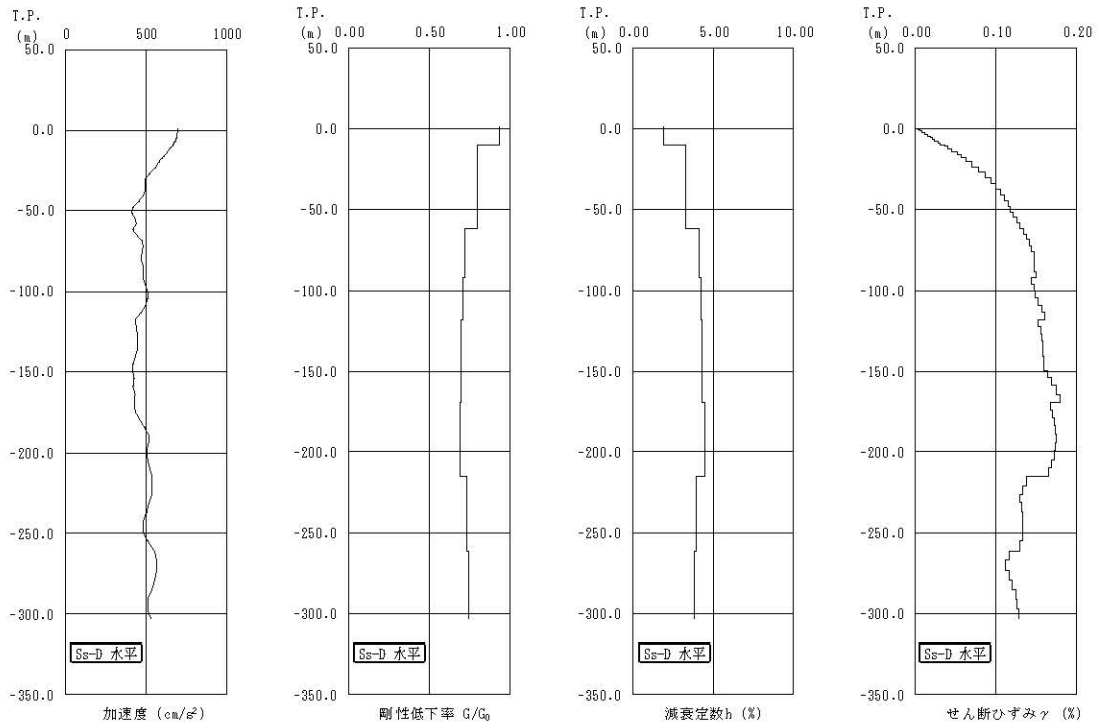


図 3-3 地盤の地震応答解析結果(水平方向, Ss-D)

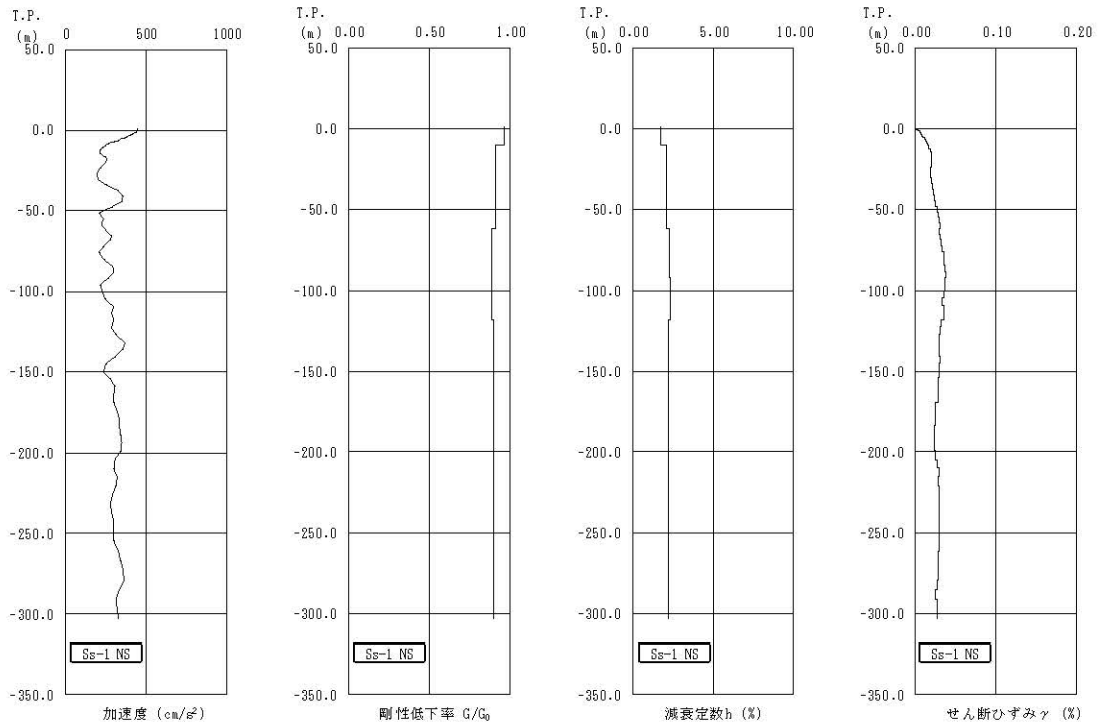


図 3-4 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-1)

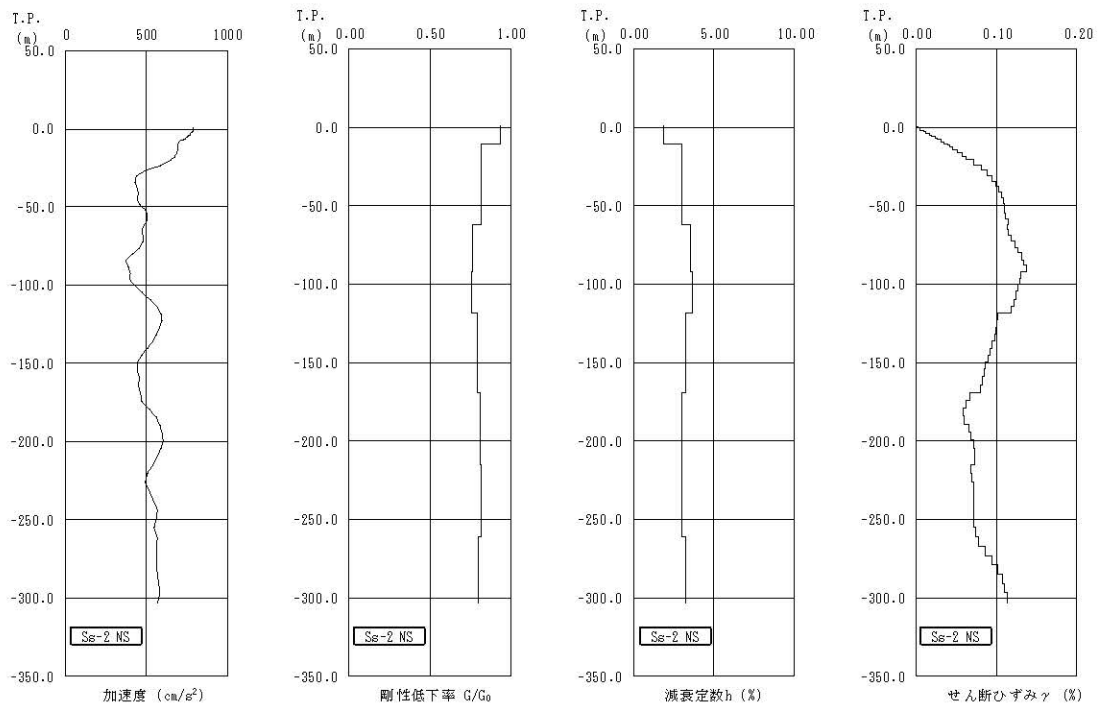


図 3-5 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-2)

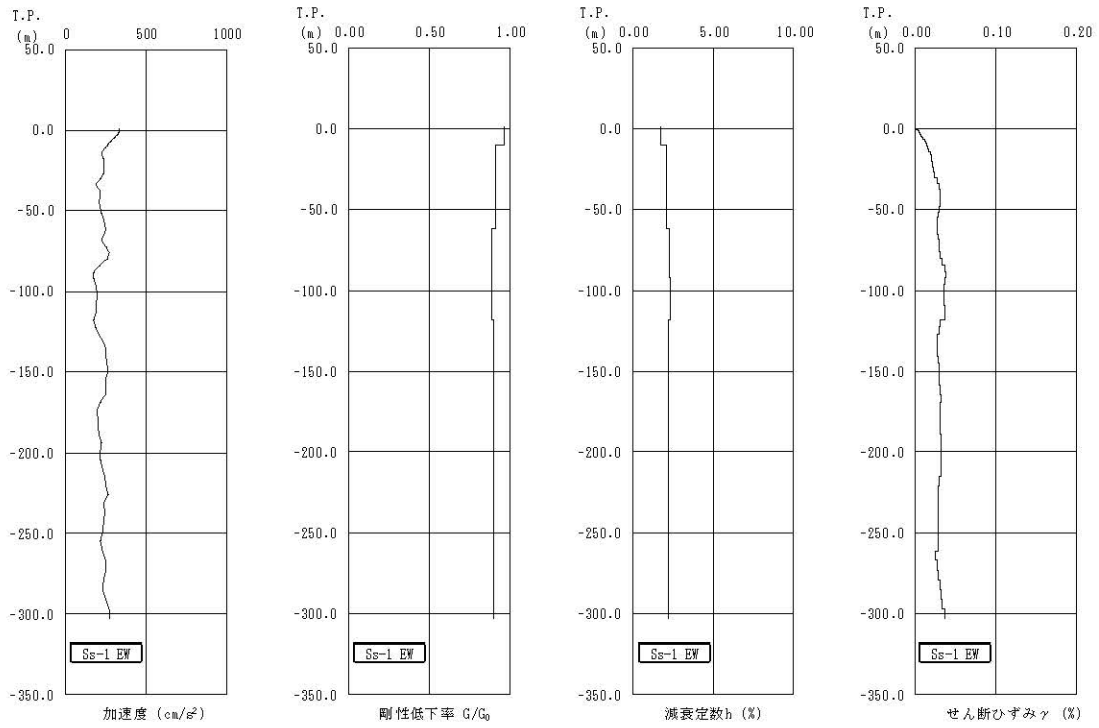


図 3-6 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-1)

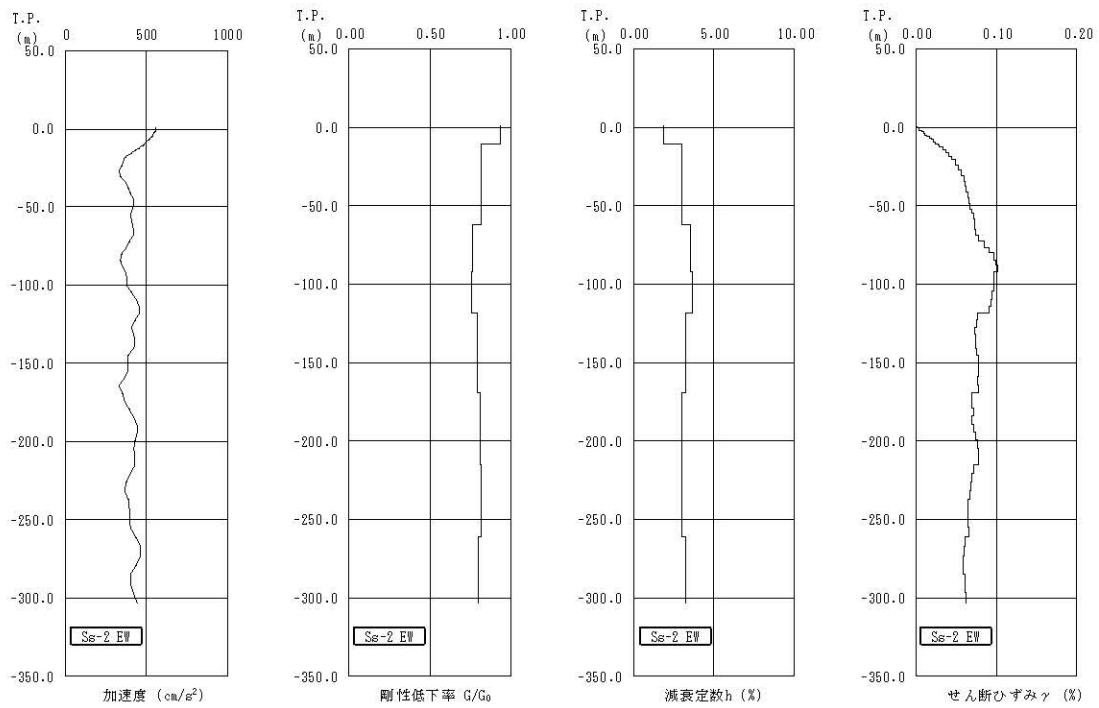


図 3-7 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-2)



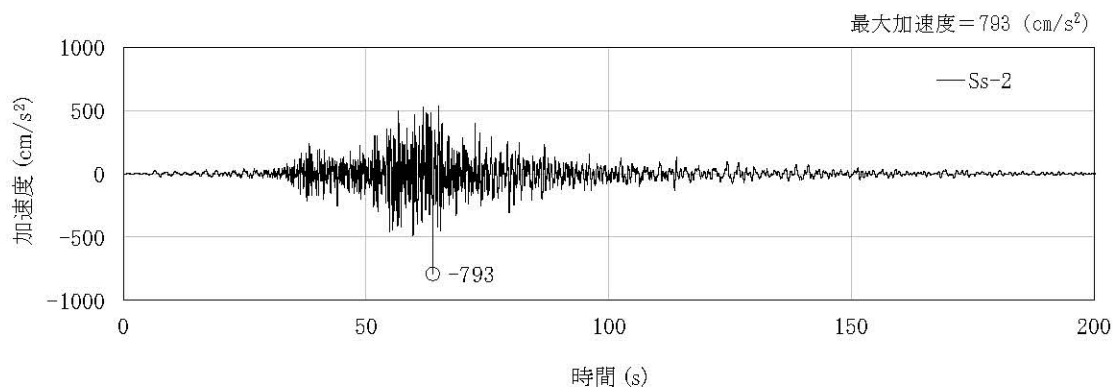
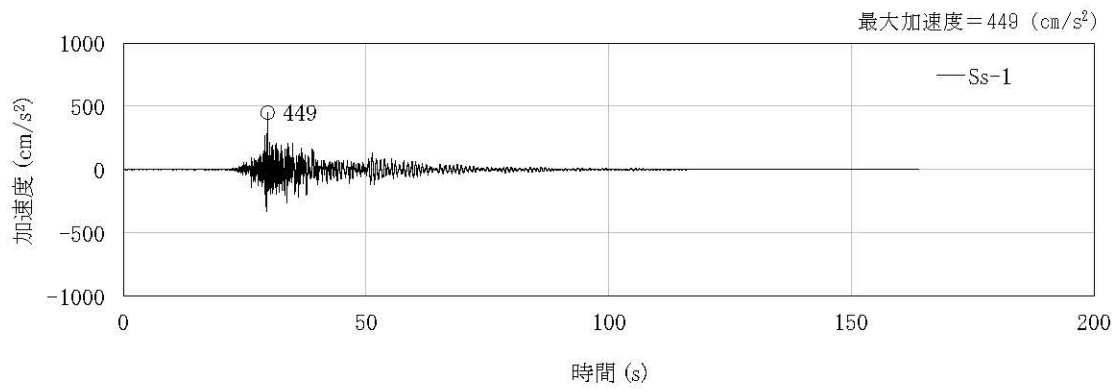
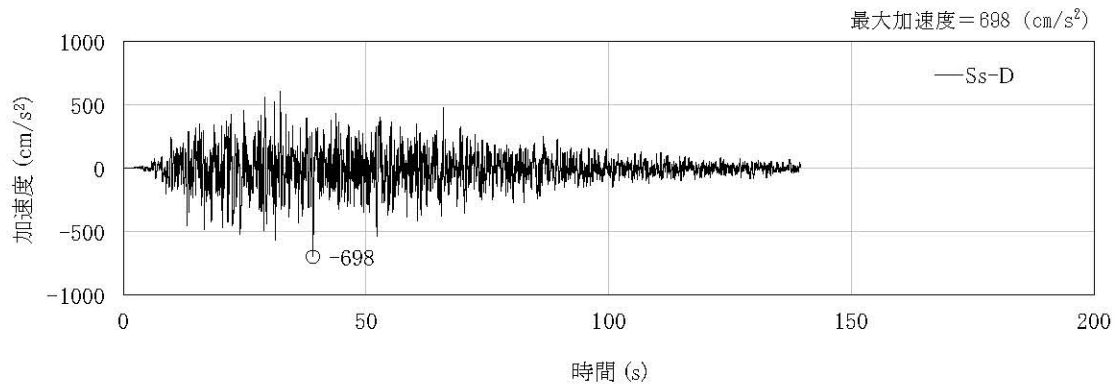


図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向, 基礎底面位置)

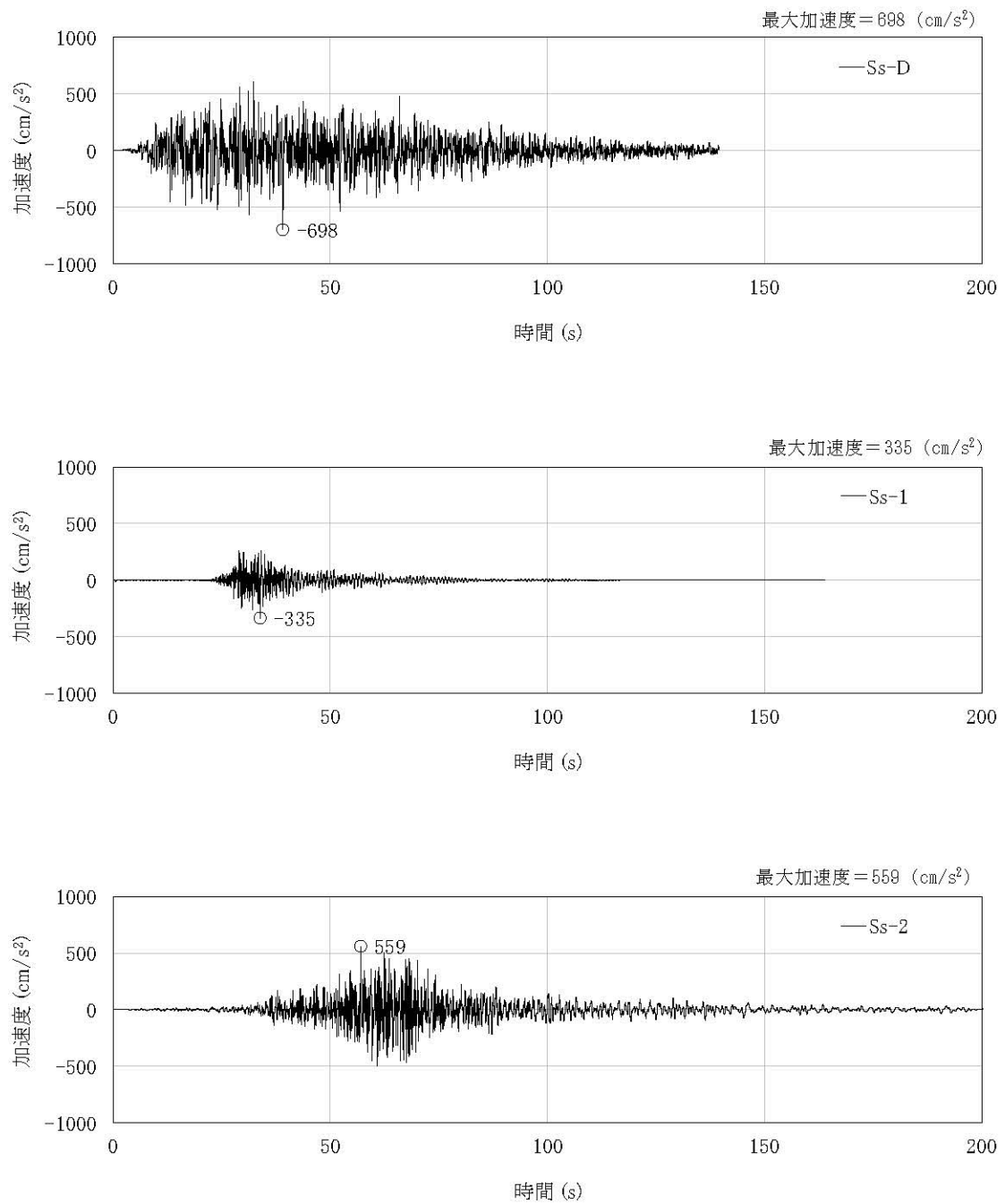
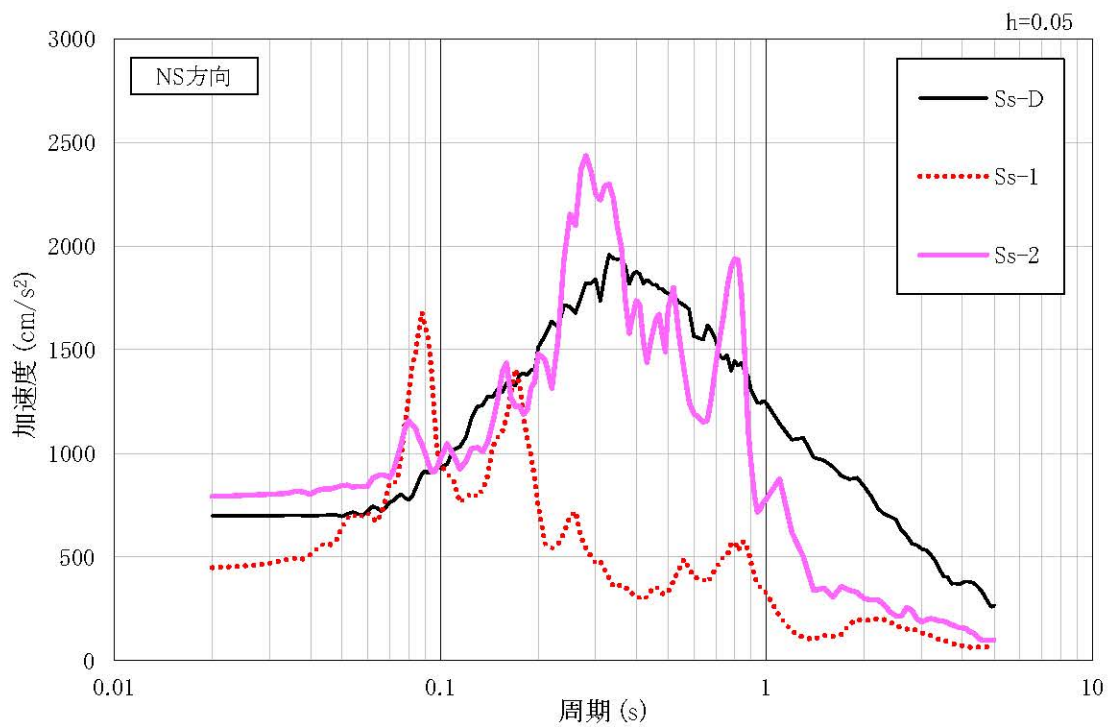
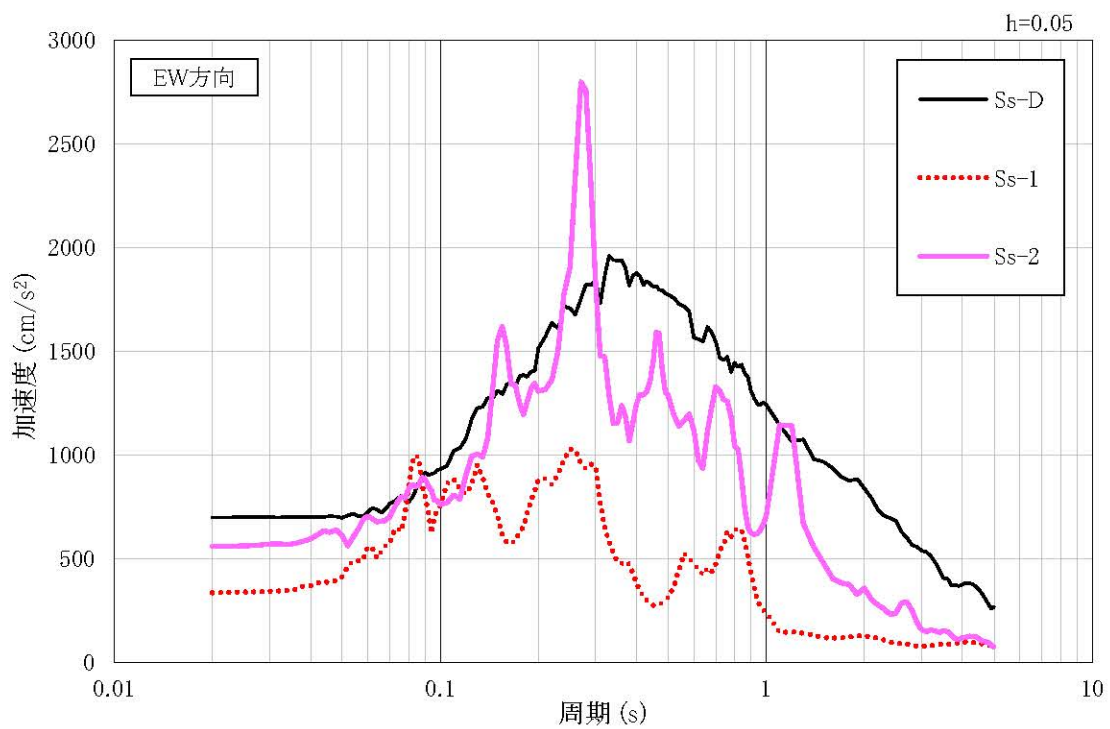


図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW 方向, 基礎底面位置)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-10 入力地震動の加速度応答スペクトル(水平方向, 基礎底面位置)

### 3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、廃止措置計画用設計地震動を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した第二付属排気筒の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を図 3-11 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「Nshake(株式会社ニュージェック)」である。

廃止措置計画用設計地震動による地盤の地震応答解析結果を図 3-12 に、第二付属排気筒の基礎底面位置における鉛直方向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図 3-13 及び図 3-14 に示す。

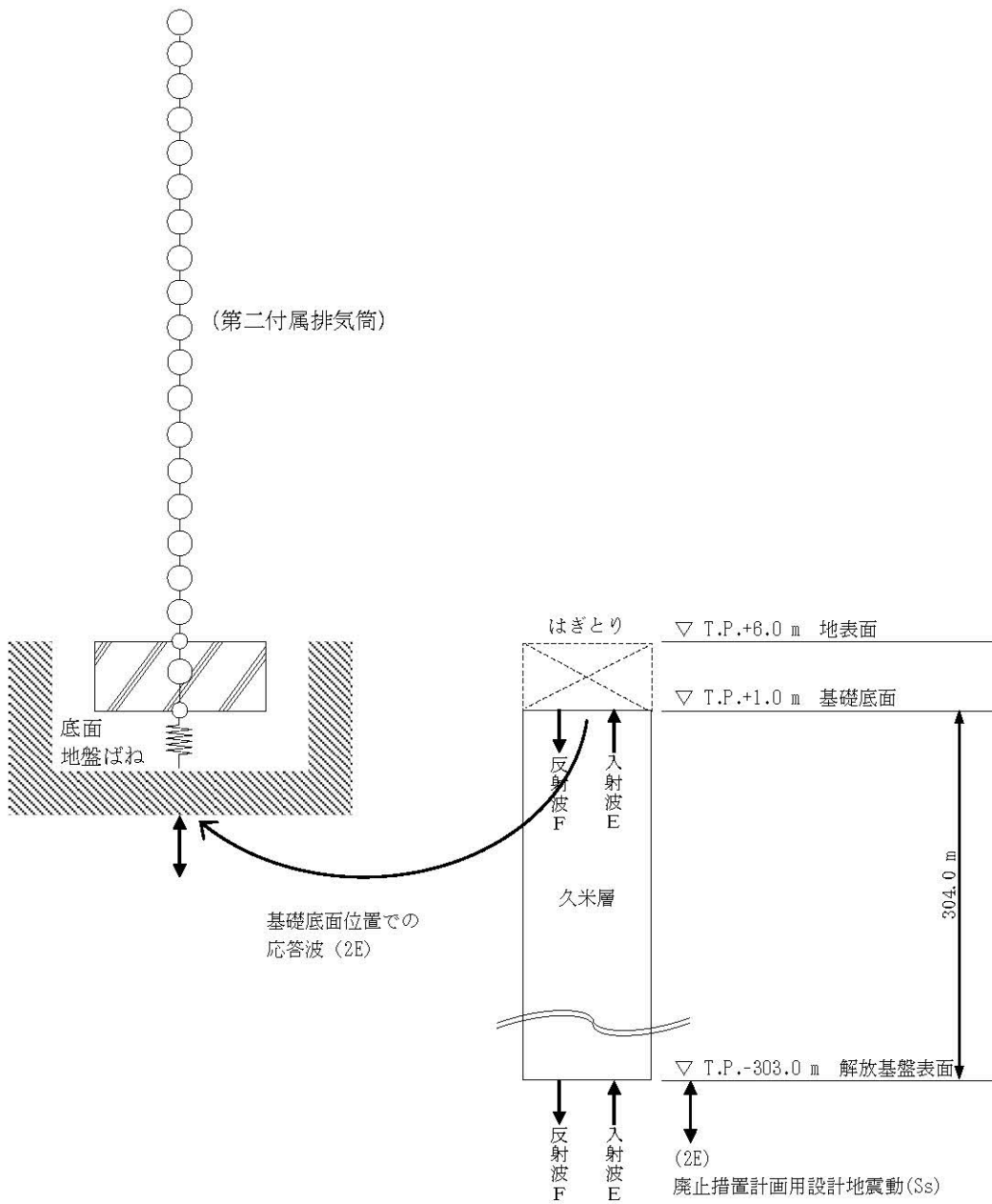
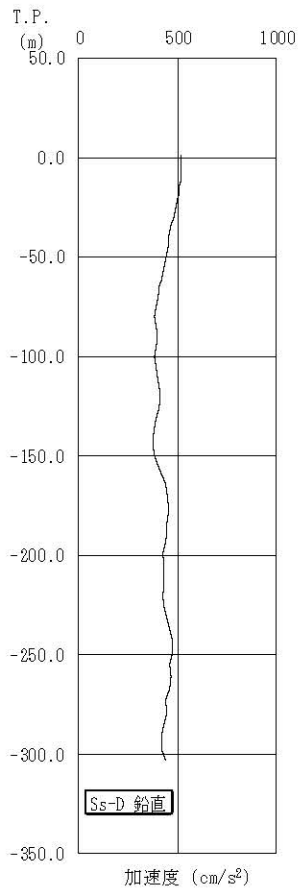
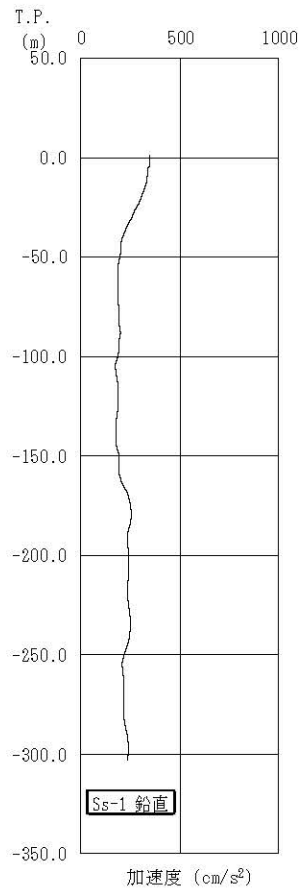


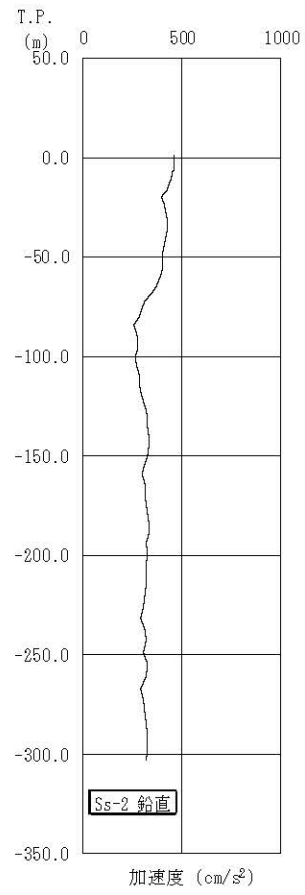
図 3-11 入力地震動算定の概要 (鉛直方向)



(a) Ss-D



(b) Ss-1



(c) Ss-2

図 3-12 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向)

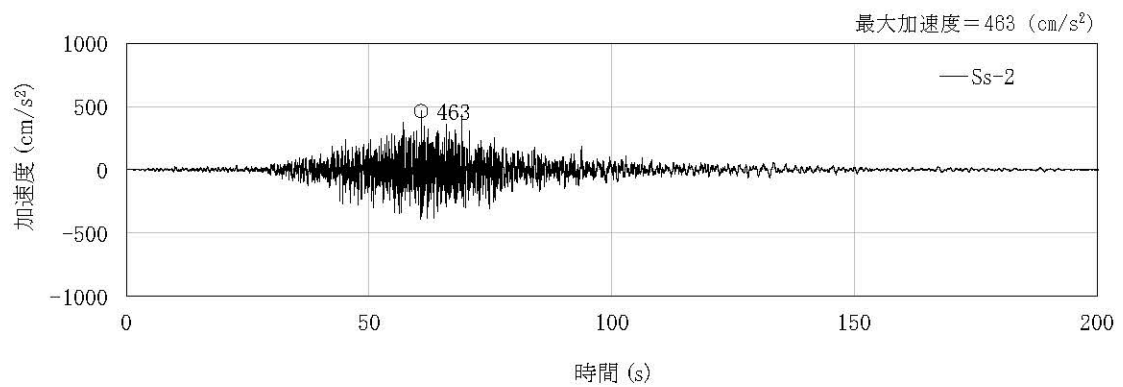
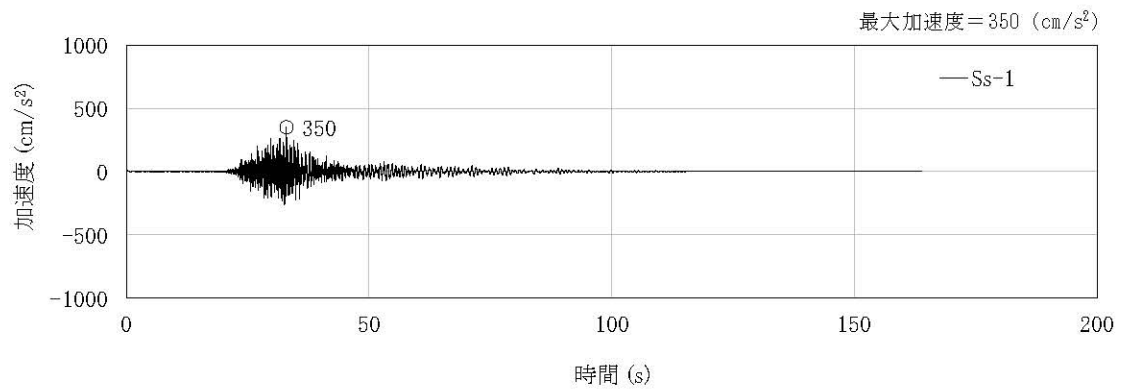
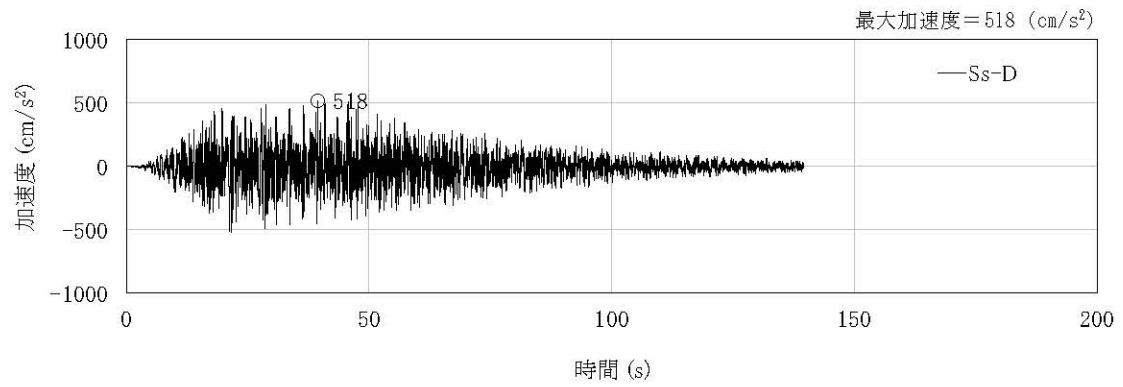


図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向, 基礎底面位置)

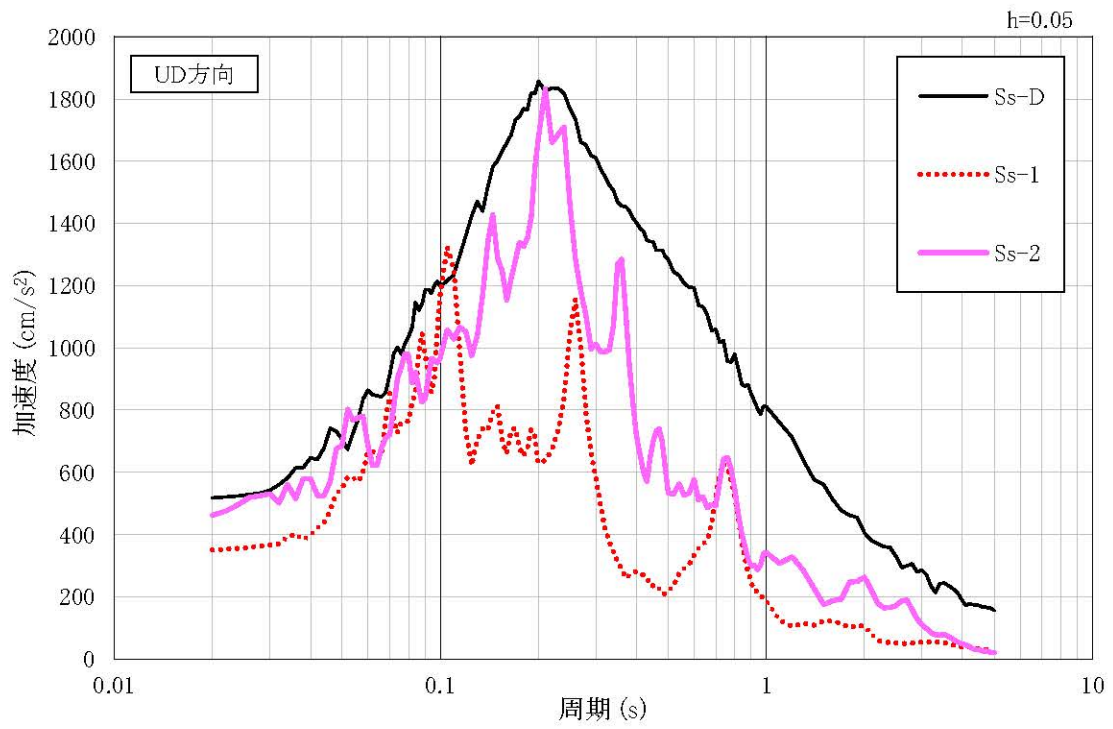


図 3-14 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向, 基礎底面位置)



## 4. 地震応答解析

### 4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、第二付属排気筒と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多質点系モデルとする。筒身の最下部は鋼製の筒身と鉄筋コンクリート造の補強部の混合構造となり、これを一体に評価している。基礎は、筒身と比較して剛性が大きいので剛体とする。

水平方向の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの諸元を表 4-1 に示す。

解析モデルの諸元は、既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(ガラス固化技術開発施設)」の構造図に基づき設定する。

基礎下の底面地盤ばねは、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(以下「JEAG4601-1991 追補版」という。)に基づき、振動アドミッタンス理論により振動数依存の複素ばねを算定し、地盤ばね定数は 0 Hz での実部(静的ばね値)により、減衰係数は地盤-構築物連成系 1 次固有円振動数での虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾きにより、それぞれ設定する。

底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「Nbspgl(株式会社ニュージェック)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-2 に、地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要を図 4-2 に、底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)を図 4-3 に示す。

第二付属排気筒の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は第二付属排気筒各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。鋼製の筒身に関する減衰定数は 1%とする。

第二付属排気筒の地震応答解析に使用する解析コードは「TDAP III(株式会社アーキ情報システム)」である。

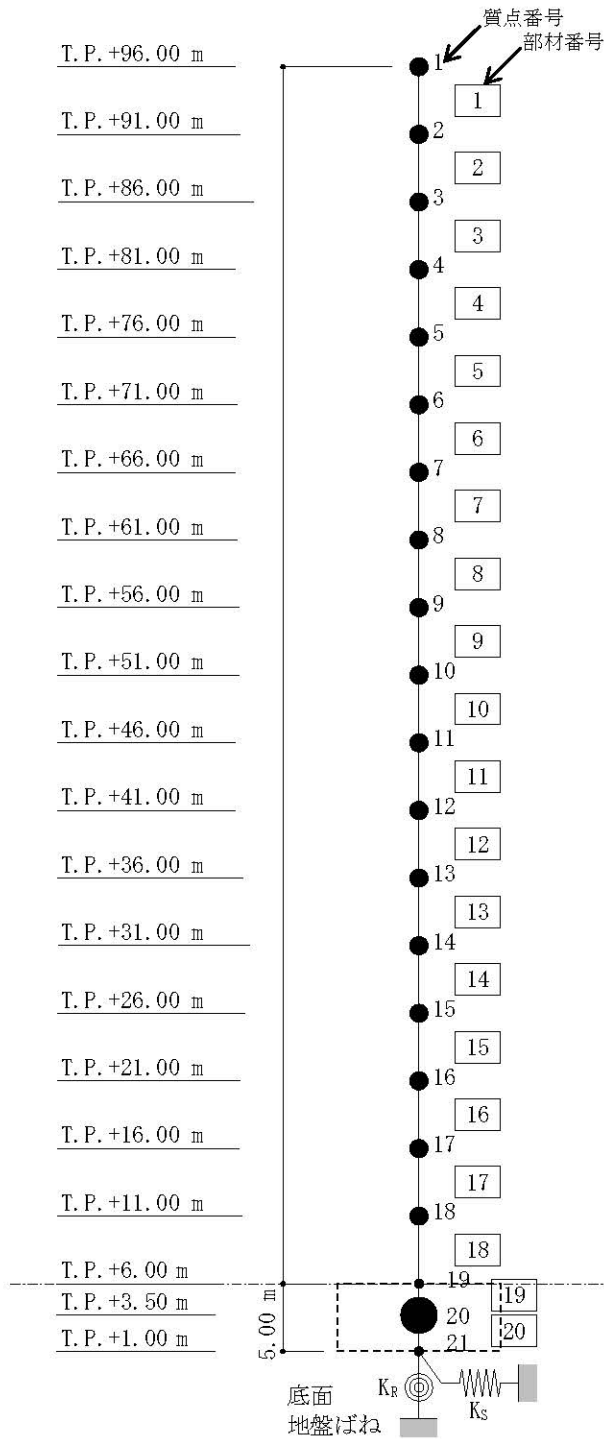


図 4-1 解析モデル(水平方向)

表 4-1 解析モデルの諸元(水平方向)

質点 番号	高さ T.P. (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 (kN・m <sup>2</sup> )	部材 番号	せん断 断面積 (×10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (×10 <sup>-3</sup> m <sup>4</sup> )
1	96.00	19.52	61.29	-	-	-
2	91.00	41.97	135.33	1	41.10	87.00
3	86.00	48.15	162.79	2	48.90	118.00
4	81.00	54.82	194.47	3	57.20	157.00
5	76.00	61.98	230.75	4	66.20	204.00
6	71.00	69.63	272.23	5	75.80	261.00
7	66.00	77.77	319.40	6	86.10	330.00
8	61.00	83.85	360.98	7	97.00	410.00
9	56.00	90.22	408.25	8	101.70	473.00
10	51.00	96.69	459.15	9	113.50	579.00
11	46.00	103.56	516.61	10	118.50	659.00
12	41.00	110.52	578.20	11	131.30	794.00
13	36.00	117.78	647.24	12	136.60	894.00
14	31.00	125.33	721.18	13	150.40	1060.00
15	26.00	133.08	803.46	14	156.00	1190.00
16	21.00	141.02	891.33	15	170.70	1400.00
17	16.00	149.36	988.71	16	176.70	1550.00
18	11.00	402.70	2458.35	17	192.30	1800.00
19	6.00	-	-	18	477.40	15965.32
20	3.50	44953.78	1421346.84	-	-	-
21	1.00	-	-	-	-	-

※第二付属排気筒総重量：46881.72 kN

(補強鉄筋コンクリート重量：2104.06 kNを含む。)

表 4-2 地盤ばね定数及び減衰係数(水平方向)

方向	地震	地盤ばね成分		ばね定数 K (水平:kN/m)	減衰係数 C (水平:kN・s/m)
		成分	記号	(回転:kN・m/rad)	(回転:kN・m・s/rad)
NS, EW	Ss-D	水平	$K_S$	$2.286 \times 10^7$	$3.047 \times 10^5$
		回転	$K_R$	$2.654 \times 10^9$	$3.756 \times 10^5$
	Ss-1	水平	$K_S$	$2.441 \times 10^7$	$3.148 \times 10^5$
		回転	$K_R$	$2.835 \times 10^9$	$3.640 \times 10^5$
	Ss-2	水平	$K_S$	$2.321 \times 10^7$	$3.070 \times 10^5$
		回転	$K_R$	$2.692 \times 10^9$	$3.731 \times 10^5$

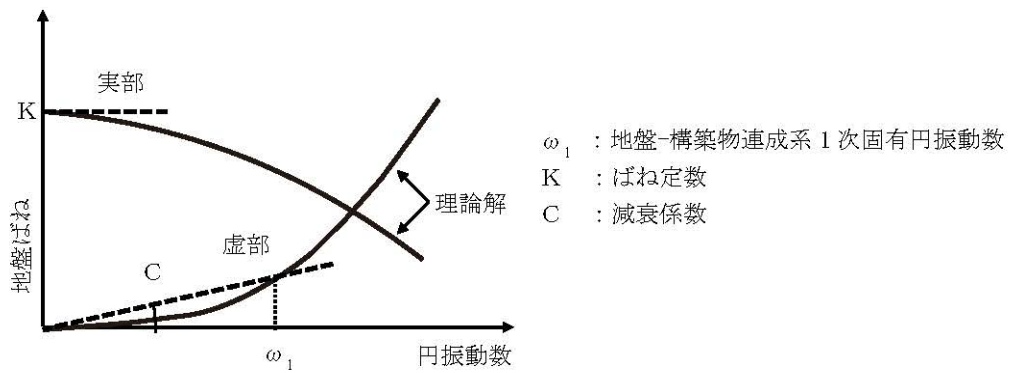


図 4-2 地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要

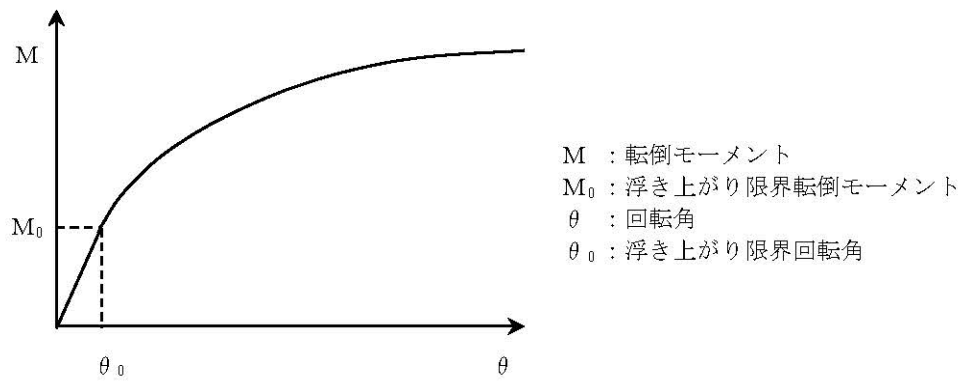


図 4-3 底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)

#### 4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、第二付属排気筒と地盤の相互作用を考慮した多質点系モデルとする。筒身の最下部は鋼製の筒身と鉄筋コンクリート造の補強部の混合構造となり、これを一体に評価している。基礎は、筒身と比較して剛性が大きいので剛体とする。

鉛直方向の解析モデルを図 4-4 に、解析モデルの諸元を表 4-3 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「Nbspgl(株式会社ニュージェック)」である。地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-4 に示す。

第二付属排気筒の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は第二付属排気筒各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。鋼製の筒身の減衰定数は 1%とする。

第二付属排気筒の地震応答解析に使用する解析コードは「TDAP III(株式会社アーク情報システム)」である。

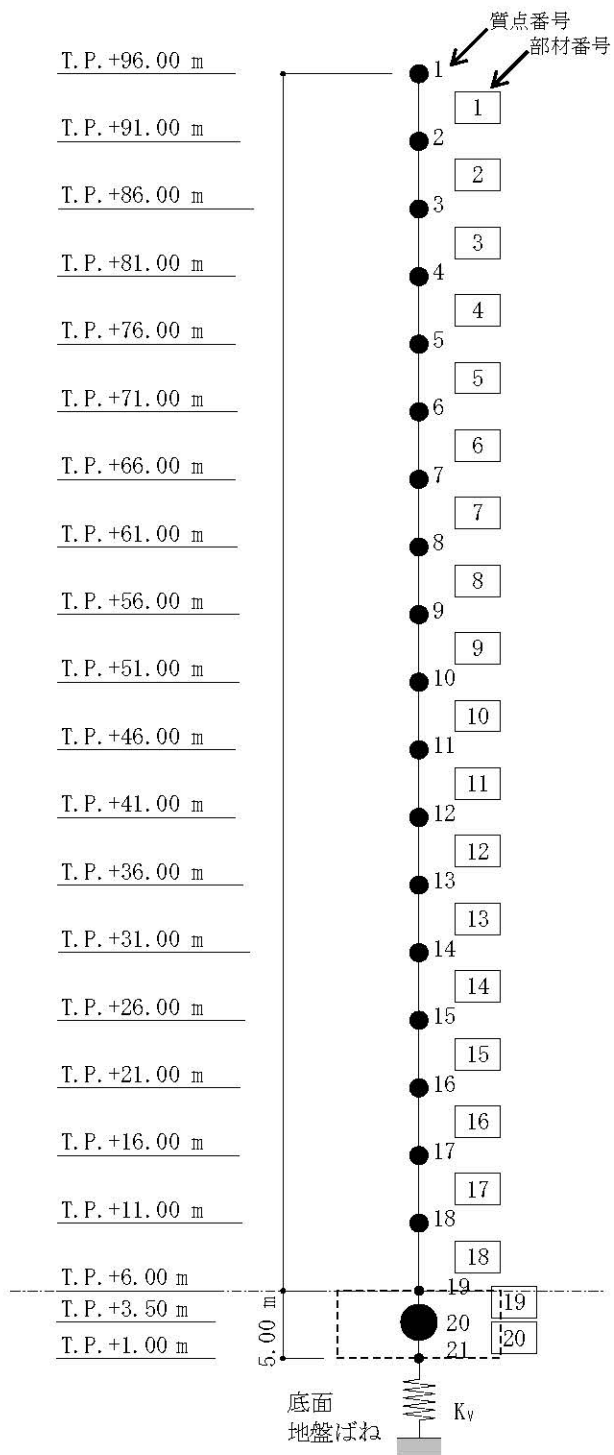


図 4-4 解析モデル(鉛直方向)

表 4-3 解析モデルの諸元(鉛直方向)

質点 番号	高さ T.P. (m)	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 ( $\times 10^{-3} \text{m}^2$ )
1	96.00	19.52	-	-
2	91.00	41.97	1	82.30
3	86.00	48.15	2	97.70
4	81.00	54.82	3	114.40
5	76.00	61.98	4	132.40
6	71.00	69.63	5	151.60
7	66.00	77.77	6	172.10
8	61.00	83.85	7	193.90
9	56.00	90.22	8	203.30
10	51.00	96.69	9	227.00
11	46.00	103.56	10	237.10
12	41.00	110.52	11	262.60
13	36.00	117.78	12	273.30
14	31.00	125.33	13	300.70
15	26.00	133.08	14	312.00
16	21.00	141.02	15	341.40
17	16.00	149.36	16	353.30
18	11.00	402.70	17	384.50
19	6.00	-	18	954.80
20	3.50	44953.78	-	-
21	1.00	-	-	-

※第二付属排気筒総重量：46881.72 kN

(補強鉄筋コンクリート重量：2104.06 kNを含む。)



表 4-4 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向)

地震動	地盤ばね成分		ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	成分	記号		
Ss-D	鉛直	$K_V$	$3.217 \times 10^7$	$6.906 \times 10^5$
Ss-1	鉛直	$K_V$	$3.597 \times 10^7$	$7.298 \times 10^5$
Ss-2	鉛直	$K_V$	$3.316 \times 10^7$	$7.011 \times 10^5$

### 4.3 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を表 4-5 に示す。刺激関数を S<sub>s</sub>-D の結果を代表として図 4-5 から図 4-7 に示す。

解析モデルは、水平・鉛直の二方向について自由度を持つため、固有値を両方向一緒に描いている。

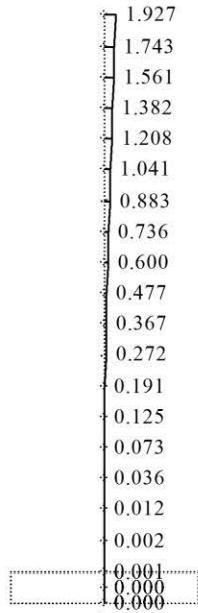
表 4-5 固有値解析結果(1/2)

地震	方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
Ss-D	水平	1	0.932	1.073	1.927	水平 1 次
		2	0.236	4.237	-1.936	
		3	0.104	9.606	6.305	
		4	0.091	10.938	-6.161	
		5	0.058	17.121	1.426	
		6	0.045	22.254	-0.851	
		7	0.038	26.341	0.310	
		8	0.028	35.541	-0.019	
	鉛直	1	0.078	12.893	2.285	鉛直 1 次
		2	0.053	18.845	-1.352	
		3	0.023	44.368	0.083	
		4	0.014	70.385	-0.023	
Ss-1	水平	1	0.931	1.074	1.924	水平 1 次
		2	0.236	4.239	-1.904	
		3	0.104	9.649	5.370	
		4	0.089	11.250	-5.318	
		5	0.058	17.150	1.459	
		6	0.044	22.880	-0.912	
		7	0.038	26.410	0.406	
		8	0.028	35.548	-0.025	
	鉛直	1	0.074	13.593	2.575	鉛直 1 次
		2	0.053	18.900	-1.651	
		3	0.023	44.370	0.094	
		4	0.014	70.385	-0.026	

表 4-5 固有值解析結果(2/2)

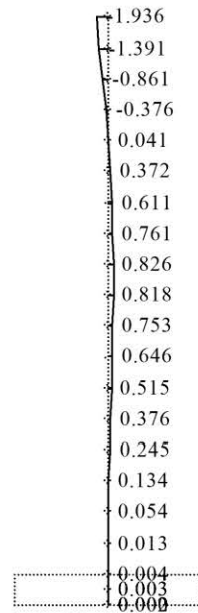
地震	方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備 考
Ss-2	水平	1	0.932	1.074	1.926	水平 1 次
		2	0.236	4.238	-1.929	
		3	0.104	9.617	6.073	
		4	0.091	11.007	-5.950	
		5	0.058	17.128	1.434	
		6	0.045	22.388	-0.862	
		7	0.038	26.354	0.329	
		8	0.028	35.542	-0.020	
	鉛直	1	0.076	13.081	2.356	鉛直 1 次
		2	0.053	18.858	-1.426	
		3	0.023	44.369	0.086	
		4	0.014	70.385	-0.023	

Mode - 1  
 T (s) =0.932  
 f (Hz) =1.073  
 $\beta h = 1.927$



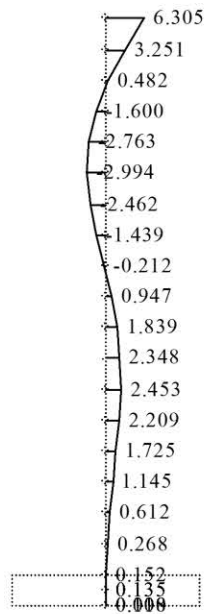
1次

Mode - 2  
 T (s) =0.236  
 f (Hz) =4.237  
 $\beta h = -1.936$



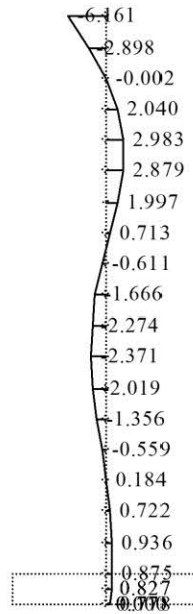
2次

Mode - 3  
 T (s) =0.104  
 f (Hz) =9.606  
 $\beta h = 6.305$



3次

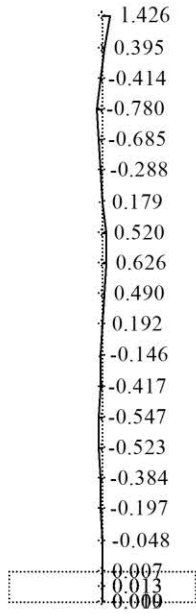
Mode - 4  
 T (s) =0.091  
 f (Hz) =10.938  
 $\beta h = -6.161$



4次

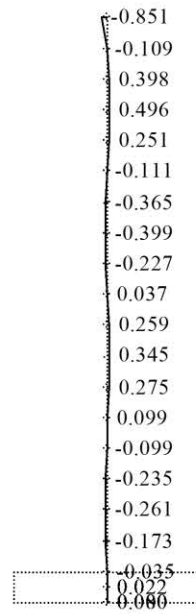
図 4-5 刺激関数(水平, Ss-D, 1~4次)

Mode - 5  
 T (s) =0.058  
 f (Hz) =17.121  
 $\beta h = 1.426$



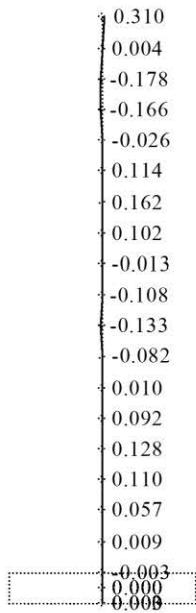
5 次

Mode - 6  
 T (s) =0.045  
 f (Hz) =22.254  
 $\beta h = -0.851$



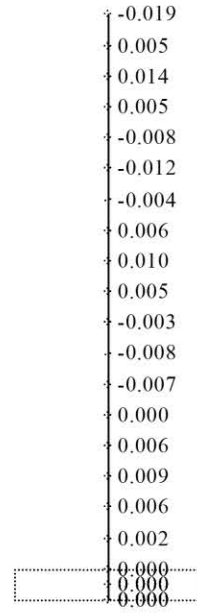
6 次

Mode - 7  
 T (s) =0.038  
 f (Hz) =26.341  
 $\beta h = 0.310$



7 次

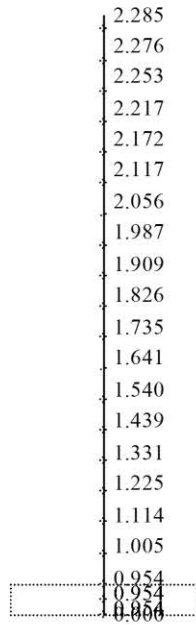
Mode - 8  
 T (s) =0.028  
 f (Hz) =35.541  
 $\beta h = -0.019$



8 次

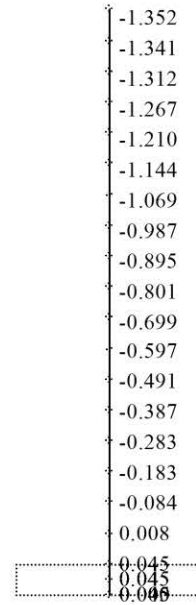
図 4-6 刺激関数(水平, Ss-D, 5~8 次)

Mode - 1  
 $T(s) = 0.078$   
 $f(\text{Hz}) = 12.893$   
 $\beta_v = 2.285$



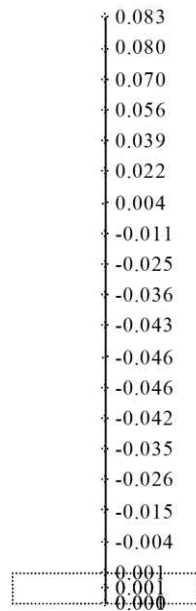
1 次

Mode - 2  
 $T(s) = 0.053$   
 $f(\text{Hz}) = 18.845$   
 $\beta_v = -1.352$



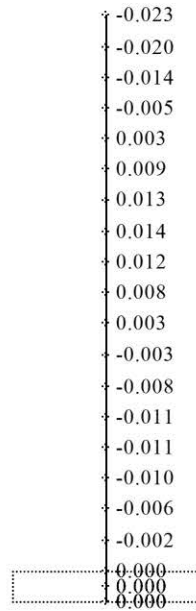
2 次

Mode - 3  
 $T(s) = 0.023$   
 $f(\text{Hz}) = 44.368$   
 $\beta_v = 0.083$



3 次

Mode - 4  
 $T(s) = 0.014$   
 $f(\text{Hz}) = 70.385$   
 $\beta_v = -0.023$



4 次

図 4-7 刺激関数(鉛直, Ss-D, 1~4 次)

#### 4.4 地震応答解析結果

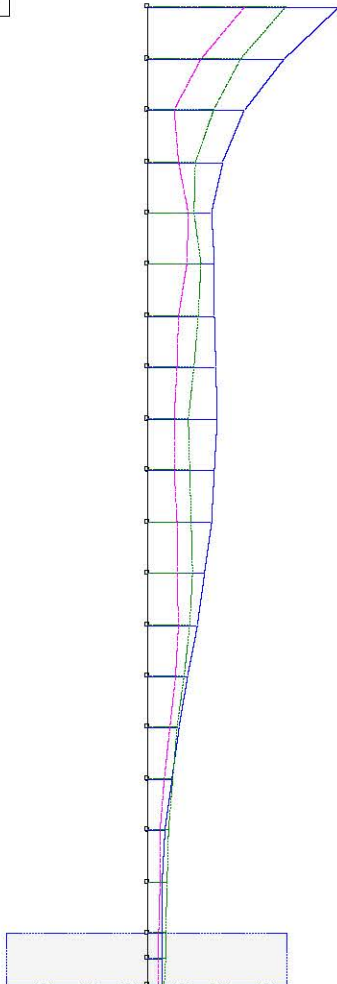
廃止措置計画用設計地震動による水平方向の最大応答加速度，変位，せん断力及び曲げモーメントを図 4-8 から図 4-15 に，鉛直方向の最大応答加速度，変位及び軸力を図 4-16 から図 4-18 に示す。

これらの検討結果を基に，筒身及び柱脚に生じる応力が許容応力を超えないことを確認する。



— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 5,000  
 (cm/s<sup>2</sup>)

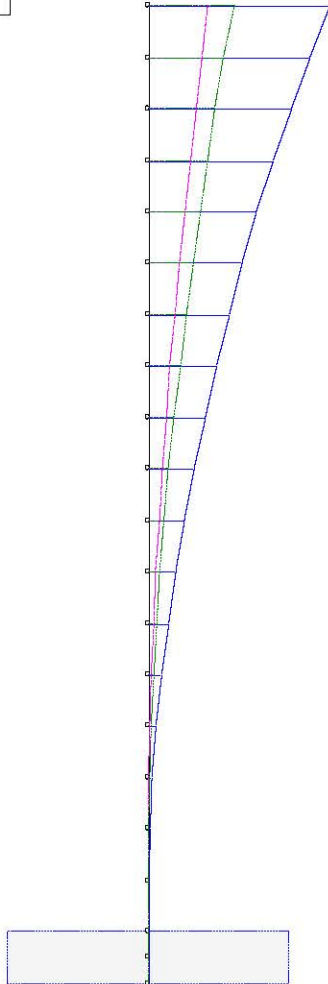


質点 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	9292.0	4753.4	6794.4
2	6653.9	2662.4	4532.9
3	4725.3	1331.4	3236.1
4	3645.3	1514.0	2331.6
5	3150.1	1993.3	2329.0
6	3275.3	1963.0	2616.7
7	3270.0	1510.7	2480.4
8	3356.2	1469.2	2262.5
9	3368.7	1344.8	2051.7
10	3266.8	1300.3	2090.3
11	3117.4	1484.4	2189.7
12	2801.6	1489.9	2194.2
13	2437.0	1514.6	2093.9
14	1964.0	1381.8	1838.4
15	1567.9	1099.6	1493.2
16	1185.7	827.4	1264.5
17	880.1	641.1	1083.3
18	727.4	642.3	959.6
19	724.7	598.1	904.9
20	723.6	575.1	892.1
21	722.6	552.0	879.2

图 4-8 最大応答加速度(NS 方向)

— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 500  
 (mm)

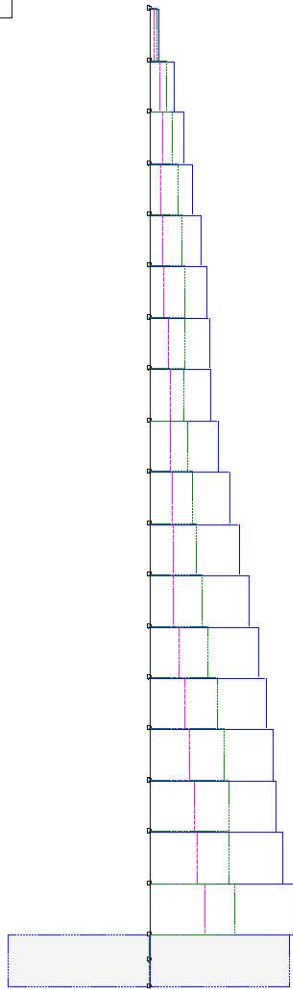


質点 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	883.0	288.7	420.0
2	789.4	260.8	370.3
3	696.6	233.1	322.7
4	606.1	206.0	288.1
5	524.5	179.6	254.2
6	455.8	154.5	220.9
7	394.1	130.8	188.6
8	334.8	108.8	157.7
9	278.5	88.7	128.8
10	225.9	70.6	102.2
11	177.5	54.4	78.9
12	134.1	40.4	60.3
13	96.1	28.4	44.1
14	64.2	18.6	30.2
15	38.6	10.9	18.6
16	19.6	5.3	9.9
17	7.3	2.0	4.0
18	2.8	1.2	2.4
19	1.7	1.0	1.9
20	1.6	1.0	1.8
21	1.5	0.9	1.7

図 4-9 最大応答変位(NS 方向)

— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 2,000  
 (kN)

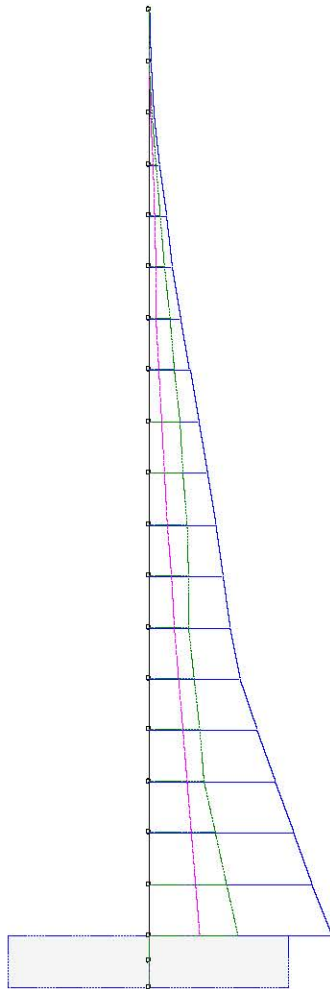


部材 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	185.1	94.1	135.4
2	470.5	207.2	328.2
3	677.0	247.8	457.6
4	824.6	226.5	570.0
5	988.9	246.2	648.6
6	1106.2	292.1	688.5
7	1171.0	378.8	696.6
8	1181.1	432.6	658.4
9	1341.8	435.4	748.5
10	1545.1	450.8	835.2
11	1738.3	466.3	924.2
12	1932.6	490.2	1026.9
13	2118.9	586.9	1149.0
14	2267.0	706.0	1325.6
15	2390.4	793.4	1463.8
16	2467.9	895.6	1539.3
17	2587.5	956.0	1558.3
18	2872.3	1070.2	1671.0
19	-	-	-
20	-	-	-

図 4-10 最大応答せん断力 (NS 方向)

— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 50  
 (MN・m)

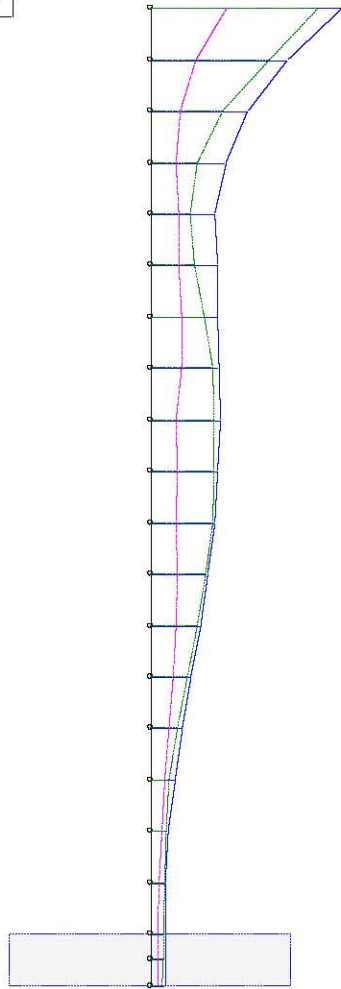


部材番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
	0.0	0.0	0.0
1	1.0	0.5	0.7
	1.0	0.6	0.8
2	3.4	1.6	2.4
	3.5	1.6	2.5
3	6.8	2.9	4.7
	6.9	2.9	4.7
4	10.9	4.0	7.3
	10.9	4.0	7.4
5	15.1	4.7	10.5
	15.2	4.8	10.5
6	20.6	5.3	13.8
	20.6	5.3	13.8
7	26.5	6.6	17.1
	26.5	6.6	17.1
8	32.4	8.4	20.1
	32.5	8.4	20.1
9	38.2	10.4	22.7
	38.2	10.4	22.7
10	43.5	12.6	24.7
	43.5	12.6	24.7
11	48.3	14.8	25.8
	48.3	14.8	25.8
12	52.5	17.2	26.1
	52.4	17.2	26.0
13	59.0	19.7	29.6
	59.0	19.7	29.6
14	69.7	22.2	33.1
	69.8	22.2	33.1
15	81.6	24.9	36.3
	81.6	24.9	36.3
16	93.7	27.7	43.1
	93.8	27.7	43.1
17	106.1	30.5	50.3
	106.1	30.5	50.4
18	119.0	33.2	58.2
19	∴	∴	∴
20	∴	∴	∴

図 4-11 最大応答曲げモーメント(NS 方向)

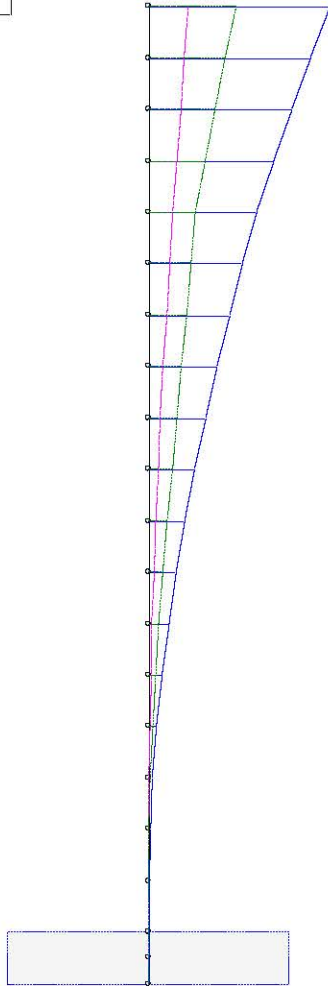
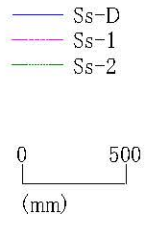
— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 5,000  
 (cm/s<sup>2</sup>)



質点 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	9292.0	3727.1	8191.0
2	6653.9	2225.1	5766.8
3	4725.3	1456.3	3541.9
4	3645.3	1252.2	2296.1
5	3150.1	1409.7	1922.4
6	3275.3	1419.1	2188.1
7	3270.0	1558.2	2627.0
8	3356.2	1508.0	3035.3
9	3368.7	1234.4	3097.0
10	3266.8	1302.5	3128.0
11	3117.4	1297.9	3031.8
12	2801.6	1354.0	2733.7
13	2437.0	1252.4	2286.4
14	1964.0	1123.5	1817.5
15	1567.9	907.9	1318.6
16	1185.7	714.8	904.4
17	880.1	559.6	768.8
18	727.4	436.6	684.7
19	724.7	376.7	635.5
20	723.6	374.0	621.3
21	722.6	371.7	607.8

图 4-12 最大応答加速度(EW 方向)

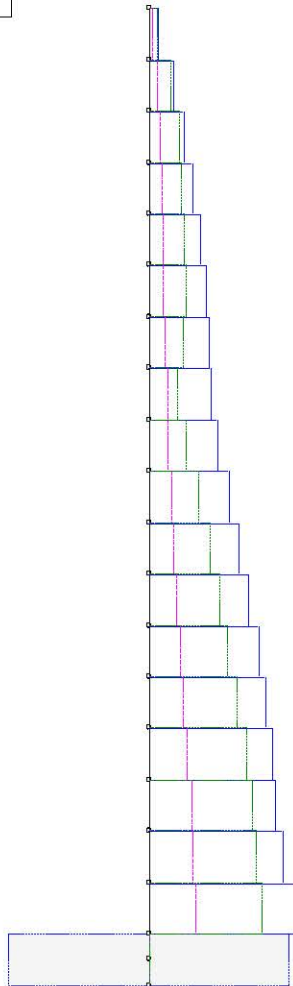


管点 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	883.0	195.2	429.6
2	789.4	176.3	376.7
3	696.6	157.6	324.4
4	606.1	139.2	274.3
5	524.5	121.4	229.1
6	455.8	104.4	206.5
7	394.1	88.6	185.5
8	334.8	74.0	163.7
9	278.5	60.5	140.8
10	225.9	48.2	117.6
11	177.5	37.3	94.8
12	134.1	27.7	73.1
13	96.1	19.5	53.3
14	64.2	13.0	36.0
15	38.6	8.1	21.8
16	19.6	4.4	11.1
17	7.3	1.9	4.5
18	2.8	0.9	1.8
19	1.7	0.8	1.4
20	1.6	0.7	1.3
21	1.5	0.7	1.2

图 4-13 最大応答変位(EW 方向)

— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 2,000  
 (kN)

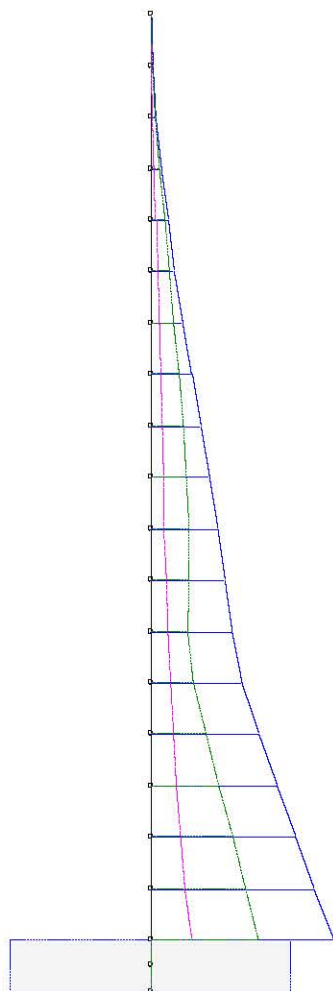


部材 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	185.1	73.9	163.2
2	470.5	168.9	410.4
3	677.0	221.0	579.1
4	824.6	248.1	653.2
5	988.9	280.2	705.5
6	1106.2	287.6	717.9
7	1171.0	309.6	668.1
8	1181.1	354.7	563.5
9	1341.8	370.1	716.4
10	1545.1	448.1	962.4
11	1738.3	482.4	1187.8
12	1932.6	541.7	1379.9
13	2118.9	610.5	1530.1
14	2267.0	660.6	1728.7
15	2390.4	762.8	1902.4
16	2467.9	835.3	2024.6
17	2587.5	873.2	2098.3
18	2872.3	913.8	2214.2
19	-	-	-
20	-	-	-

図 4-14 最大応答せん断力(EW 方向)

— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 50  
 (MN・m)



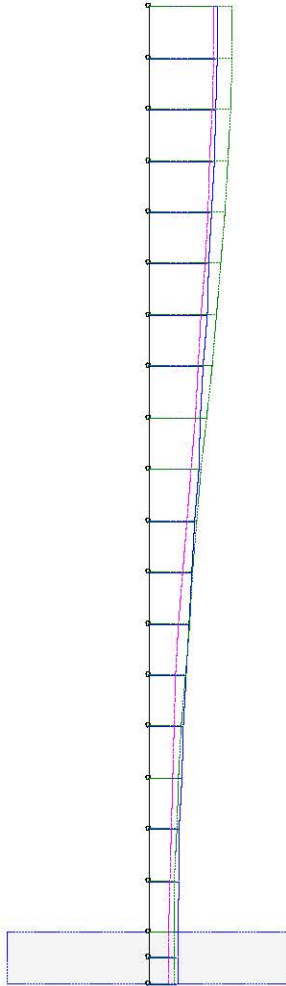
部材番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
	0.0	0.0	0.0
1	1.0	0.4	0.8
	1.0	0.4	0.9
2	3.4	1.3	3.0
	3.5	1.3	3.0
3	6.8	2.4	5.9
	6.9	2.4	6.0
4	10.9	3.6	9.3
	10.9	3.6	9.3
5	15.1	4.7	12.5
	15.2	4.7	12.5
6	20.6	5.9	15.3
	20.6	5.9	15.3
7	26.5	7.0	18.7
	26.5	7.0	18.7
8	32.4	7.9	21.5
	32.5	7.9	21.5
9	38.2	8.4	23.6
	38.2	8.4	23.6
10	43.5	8.6	24.8
	43.5	8.6	24.8
11	48.3	10.2	25.1
	48.3	10.2	25.1
12	52.5	11.7	24.4
	52.4	11.7	24.4
13	59.0	13.4	27.9
	59.0	13.4	28.0
14	69.7	15.2	36.1
	69.8	15.2	36.2
15	81.6	17.1	44.6
	81.6	17.1	44.7
16	93.7	19.5	53.2
	93.8	19.5	53.3
17	106.1	22.8	61.8
	106.1	22.8	61.8
18	119.0	26.7	70.0
19	∴	∴	∴
20	∴	∴	∴

図 4-15 最大応答曲げモーメント(EW 方向)



— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 1,000  
 (cm/s<sup>2</sup>)

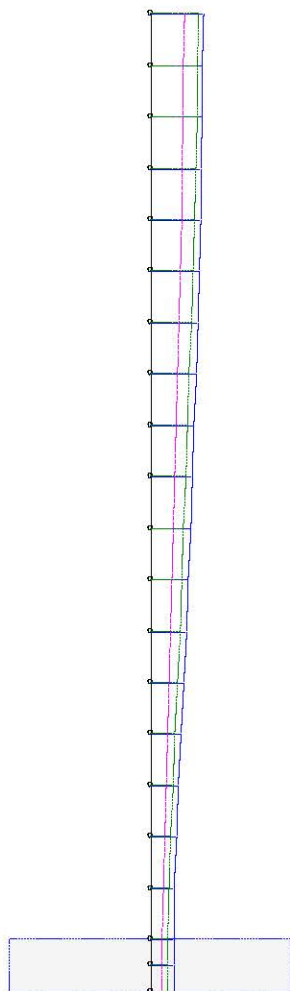


質点 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	1338.6	1272.9	1638.2
2	1329.9	1262.5	1626.0
3	1306.4	1236.0	1593.8
4	1271.0	1198.1	1545.3
5	1227.2	1152.0	1483.2
6	1178.1	1099.2	1409.6
7	1124.9	1040.3	1326.3
8	1067.6	976.5	1235.0
9	1013.1	905.2	1131.6
10	960.5	831.7	1024.5
11	901.7	751.3	940.8
12	840.6	669.1	872.4
13	774.8	581.9	799.0
14	721.3	540.2	726.5
15	679.5	508.3	651.2
16	639.6	477.4	601.2
17	601.6	445.9	556.6
18	575.1	415.5	516.6
19	567.5	401.9	514.0
20	567.5	401.9	514.0
21	567.5	401.9	514.0

图 4-16 最大応答加速度(UD 方向)

— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 2  
 (mm)

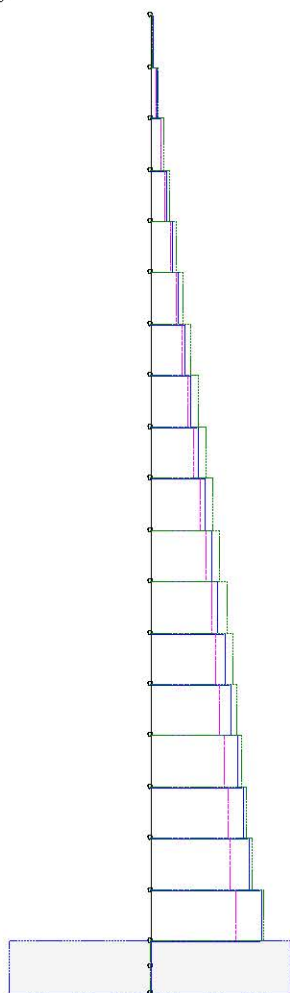


质点 序号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	1.7	1.1	1.6
2	1.7	1.1	1.5
3	1.7	1.1	1.5
4	1.6	1.0	1.5
5	1.6	1.0	1.4
6	1.6	1.0	1.4
7	1.5	0.9	1.3
8	1.5	0.9	1.3
9	1.4	0.8	1.2
10	1.4	0.8	1.1
11	1.3	0.7	1.1
12	1.2	0.7	1.0
13	1.1	0.6	1.0
14	1.1	0.6	0.9
15	1.0	0.6	0.8
16	0.9	0.5	0.7
17	0.8	0.5	0.7
18	0.8	0.4	0.6
19	0.7	0.4	0.6
20	0.7	0.4	0.6
21	0.7	0.4	0.6

图 4-17 最大応答変位(UD 方向)

— Ss-D  
 — Ss-1  
 — Ss-2

0 1,000  
 (kN)



部材 番号	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	26.9	25.3	32.6
2	84.3	79.2	102.0
3	149.0	139.8	180.2
4	220.6	206.7	266.5
5	298.8	279.4	360.1
6	383.1	357.3	460.1
7	473.1	439.7	565.2
8	565.1	523.1	670.7
9	658.1	606.2	774.8
10	751.2	688.2	875.7
11	843.1	767.4	971.6
12	932.9	842.8	1060.7
13	1019.5	912.6	1141.1
14	1110.7	976.1	1211.5
15	1198.5	1031.7	1270.1
16	1282.2	1078.5	1335.6
17	1361.0	1115.2	1412.0
18	1547.5	1181.9	1588.0
19	-	-	-
20	-	-	-

图 4-18 最大応答軸力(UD 方向)

## 5. 基礎浮き上がりの検討

廃止措置計画用設計地震動による地震応答解析の結果に基づく接地率の一覧表を表5-1に示す。

接地率は、浮き上がり非線形ばねを用いた地震応答解析を適用できる基準値(65%以上)を満足していることを確認した。

表 5-1 接地率

地震動 方向	S <sub>s</sub> -D		S <sub>s</sub> -1		S <sub>s</sub> -2	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW
浮き上がり限界 モーメント(×10 <sup>6</sup> kN)	176.6	176.6	176.6	176.6	176.6	176.6
転倒モーメント(×10 <sup>6</sup> kN)	181.7	181.7	72.0	62.0	124.1	115.3
接地率(%)	98.6	98.6	100.0	100.0	100.0	100.0

## 6. Ss 評価

### 6.1 評価方法

各部分の廃止措置計画用設計地震動時の応力を算定し、発生応力が終局耐力以内であることを確認する。終局耐力は各項目に記載の規基準に従って算定する。

#### 6.1.1 筒身

筒身の評価は、鋼管部分(部材番号 1~17 : T. P. +11.00 m~T. P. +96.00 m)及び補強鉄筋コンクリート部分(部材番号 18 : T. P. +6.00 m~T. P. +11.00 m)について、高さ 5.0 m ごとに行う。

筒身の終局耐力は 1.0 mm の錆しを考慮して算定する。終局耐力算定に用いる筒身の鋼管部分の断面性能を表 6-1 に示す。

表 6-1 筒身の鋼管部分の断面性能

部材 番号	外 径 D (mm)	内半径 r (mm)	板厚 (mm)	板厚 錆しろ考慮 t (mm)	断面積 A ( $\times 10^5$ mm <sup>2</sup> )	断面係数 Z ( $\times 10^8$ mm <sup>3</sup> )
1	2917.0	1450.5	9.0	8.0	0.731	0.530
2	3119.0	1550.5	10.0	9.0	0.879	0.682
3	3321.0	1650.5	11.0	10.0	1.04	0.858
4	3523.0	1750.5	12.0	11.0	1.21	1.06
5	3725.0	1850.5	13.0	12.0	1.40	1.30
6	3927.0	1950.5	14.0	13.0	1.60	1.60
7	4129.0	2050.5	15.0	14.0	1.81	1.86
8	4329.0	2150.5	15.0	14.0	1.90	2.04
9	4531.0	2250.5	16.0	15.0	2.13	2.39
10	4731.0	2350.5	16.0	15.0	2.22	2.61
11	4933.0	2450.5	17.0	16.0	2.47	3.03
12	5133.0	2550.5	17.0	16.0	2.57	3.28
13	5335.0	2650.5	18.0	17.0	2.84	3.76
14	5535.0	2750.5	18.0	17.0	2.95	4.05
15	5737.0	2850.5	19.0	18.0	3.23	4.61
16	5937.0	2950.5	19.0	18.0	3.35	4.94
17	6139.0	3050.5	20.0	19.0	3.65	5.57
18	6339.0	3150.5	20.0	19.0	3.77	5.94

鋼管と鉄筋コンクリートの一体構造となっている補強鉄筋コンクリート部の概要図を図 6-1 に、断面図を図 6-2 に示す。

鋼管の周囲に鉄筋コンクリートによる補強を行い、あと施工アンカーを用いて既存の基礎へ定着する。

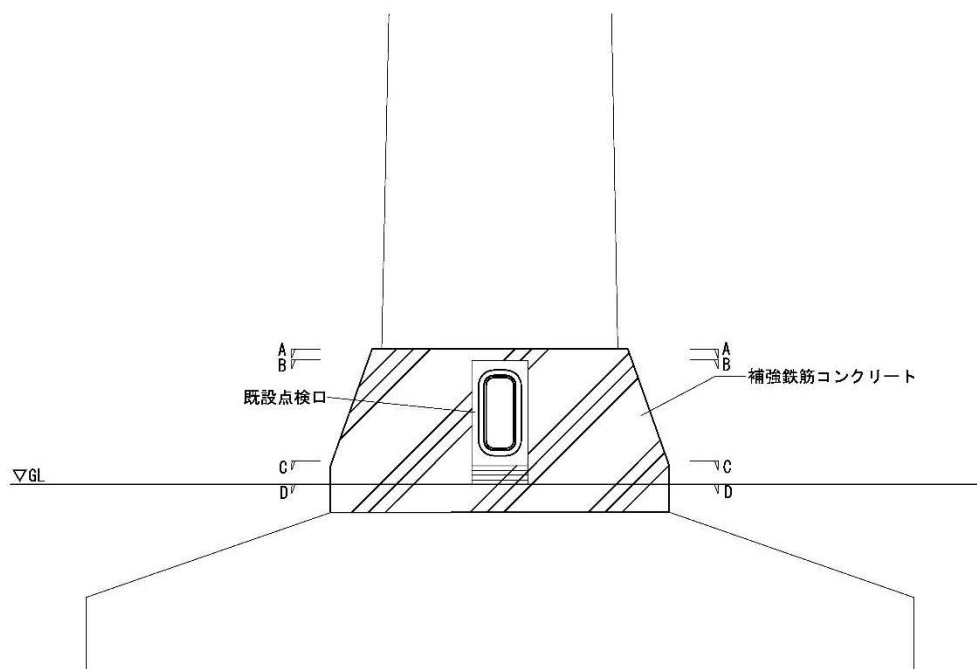
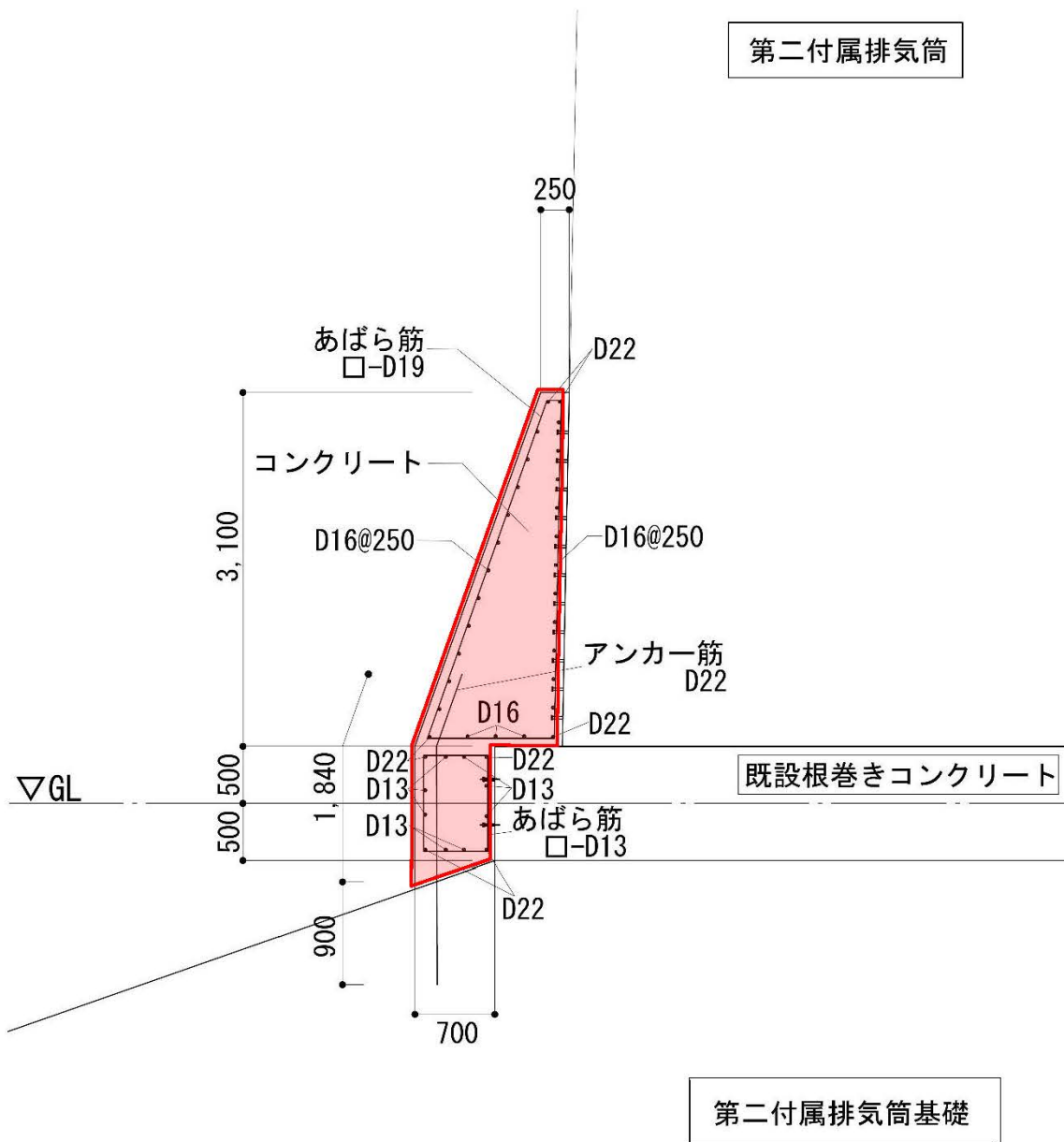


図 6-1 補強鉄筋コンクリート部 概要図



単位：mm

(図中の赤枠部分は、補強鉄筋コンクリート範囲を示す。)

図 6-2 補強鉄筋コンクリート部 断面図

補強鉄筋コンクリートの無い、鋼管部分の応力は鉛直動を考慮して「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」（日本建築学会）に準じて下式により算定する。

$$\text{(曲げ)} \quad \sigma_b = \frac{M}{Z} \cdot \left(1 - \frac{N}{A_c f_{cr}}\right) <_b f_{cr}$$

$$\text{(せん断)} \quad \sigma_s = \frac{Q}{A_s} <_s f_{cr}$$

$$N = N_L \pm N_E \text{ 又は } N = N_L \pm \alpha \cdot N_E$$

$f_{cr}$	許容圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$b_{cr}$	許容曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$s_{cr}$	許容せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_b$	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_s$	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
M	曲げモーメント (N・mm)
N, Q	軸力・せん断力 (N)
$N_L$	長期軸力 (N)
$N_E$	地震時軸力 (N)
$\alpha$	組み合わせ係数 (=0.4)
Z	断面係数 (mm <sup>3</sup> )
A	断面積 (mm <sup>2</sup> )
$A_s$	せん断断面積(mm <sup>2</sup> )(=0.5A)

鋼管と鉄筋コンクリートの一体構造となっている補強鉄筋コンクリート部分の応力は、断面を分割して力のつり合いから各部の応力を求める。



## 6.1.2 脚部及び基礎

### (1) 脚部

脚部の評価は、「鋼構造接合部設計指針」(日本建築学会)に準じて行う。

脚部に生じる引張応力は、筒体下端の曲げモーメント及び軸力から求め、既設アンカーボルトとあと施工アンカーが負担する。

既設アンカーボルトとあと施工アンカーが負担する引張応力は、既設アンカーボルト及びあと施工アンカーとベースプレート直下のコンクリートを考慮して、平面保持の仮定に基づいて分割した断面全体の力のつり合いから算出する。脚部に生じる引張応力の算定の概要を図 6-3 に示す。

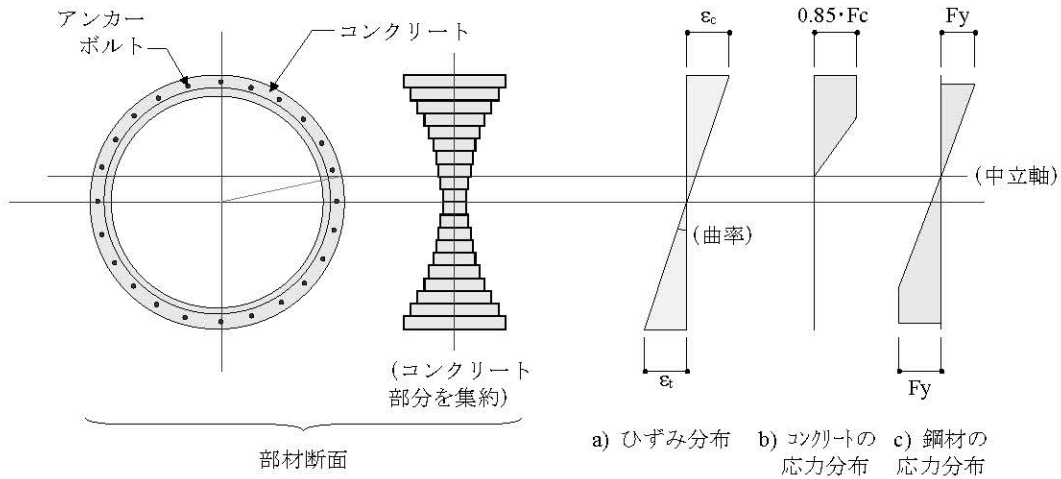


図 6-3 脚部に生じる引張応力の算定の概要

### (2) 基礎

基礎の評価は「建築基礎構造設計指針」(日本建築学会)及び「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会)に準じて終局耐力を算出し、基礎に生じる応力が終局耐力以下であることを確認する。

## 6.1.3 接地圧

$S_s$  時の最大接地圧は、地反力分布を三角形分布と仮定し、鉛直方向の地震力を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮して算定する。

地盤の許容応力は、基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度  $2350 \text{ kN/m}^2$  とする。

## 6.2 評価結果

各部分について、廃止措置計画用設計地震動時の発生応力を終局耐力で除した検定比が 1.0 を下回り、発生応力が終局耐力以内であることを確認する。

### 6.2.1 筒身

筒身の評価結果を表 6-2 及び表 6-3 に示す。筒身に生じる応力は全ての部材で、終局耐力以内であることを確認した。

表 6-2 筒身の評価結果(曲げ)

部材 番号	① 発生曲げ モーメント M (kN・m)	② 発生軸力 N (kN)	③ 許容曲げ モーメント (kN・m)	④ 許容軸力 (kN)	検定比 ①/③+②/④
1	958.4	61.7	11554.9	15083.8	0.088
2	3380.7	142.6	15046.0	18448.5	0.233
3	6839.1	235.1	19137.9	22113.3	0.368
4	10894.9	340.3	23876.8	26078.3	0.470
5	15147.3	456.9	29308.7	30343.6	0.532
6	20562.9	585.7	35479.6	34909.0	0.597
7	26466.7	728.6	42435.6	39774.6	0.643
8	32416.8	877.2	46217.5	41184.5	0.723
9	38163.6	1037.0	54500.0	46475.3	0.723
10	43503.6	1202.7	58904.2	47961.7	0.764
11	48292.0	1380.7	68627.9	53677.7	0.730
12	52453.9	1562.7	73699.9	55240.5	0.741
13	58970.7	1757.2	84979.6	61381.7	0.723
14	69713.1	2109.4	90765.2	63021.0	0.802
15	81583.7	2325.0	103715.6	69587.3	0.821
16	93748.9	2544.8	110260.2	71303.1	0.886
17	106113.0	2778.4	124996.2	78294.6	0.885
18*	118954.0	-	303934.9	-	0.392

※補強鉄筋コンクリート部は SRC 断面として軸力を考慮した許容曲げモーメント  
検定比は①/③

表 6-3 筒身の評価結果(せん断)

部材 番号	① 発生せん断力 Q (kN)	② 許容せん断力 (kN)	検定比 ①/②
1	185.1	3471.2	0.054
2	470.5	4385.8	0.108
3	677.0	5390.4	0.126
4	824.6	6485.2	0.128
5	988.9	7670.6	0.129
6	1106.2	8946.6	0.124
7	1171.0	10313.6	0.114
8	1181.1	10690.9	0.111
9	1341.8	12189.8	0.111
10	1545.1	12599.0	0.123
11	1738.3	14230.4	0.123
12	1932.6	14672.2	0.132
13	2118.9	16436.8	0.129
14	2267.0	16911.6	0.135
15	2390.4	18810.0	0.128
16	2467.9	19318.3	0.128
17	2587.5	21350.9	0.122
18	2872.3	21893.2	0.132

## 6.2.2 脚部及び基礎

### (1) 脚部

脚部の評価結果を表 6-4 に示す。脚部に生じる引張応力は終局耐力以内であることを確認した。

既設アンカーボルト及びあと施工アンカーの許容引張耐力は終局耐力を用い、既設アンカーボルトの引張耐力は「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会）、あと施工アンカーの引張耐力は「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」（国土交通省）に準じて算定する。

表 6-4 脚部(アンカーボルト及びあと施工アンカー)の評価結果

荷重の 組合せ	引張応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )		許容引張応力度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )		検定比 $\sigma_t/f_t$	
	既設 アンカーボルト	あと施工 アンカー	既設 アンカーボルト	あと施工 アンカー	既設 アンカーボルト	あと施工 アンカー
H のみ	178.4	206.8	212.7	282.5	0.839	0.733
H+0.4V	175.0	203.0			0.823	0.719
H-0.4V	181.8	210.6			0.855	0.746

### (2) 基礎

基礎の評価結果を表 6-5 に示す。基礎に生じる応力は終局耐力以内であることを確認した。

表 6-5 基礎の評価結果

曲げ			せん断		
発生曲げ モーメント M (kN・m)	許容曲げ モーメント M <sub>a</sub> (kN・m)	検定比 M/M <sub>a</sub>	発生 せん断力 Q (kN)	許容 せん断力 Q <sub>a</sub> (kN)	検定比 Q/Q <sub>a</sub>
20327	29621	0.687	4165	35677	0.117

### 6.2.3 接地圧

接地圧の評価結果を表 6-6 に示す。最大接地圧は極限支持力度以下であることを確認した。

表 6-6 接地圧の評価結果

方向	最大接地圧 $\sigma_b$ (kN/m <sup>2</sup> )	極限支持力度 $R_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	検定比 $\sigma_b/R_u$
NS	261.0	2350	0.112
EW	261.0		0.112