

濃縮器ラック (G12RK10) の耐震性についての計算書

## 1. 概要

本資料は、高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する機器等の支持構造物である濃縮器ラック(G12RK10)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その安全機能の維持が可能であることを示すものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

濃縮器ラック(G12RK10)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
$f_t$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容引張応力	MPa
$f_s$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容せん断応力	MPa
$f_c$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容圧縮応力	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

濃縮器ラック(G12RK10)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるフレームとする。濃縮器ラック(G12RK10)の概要図を図3-1に示す。

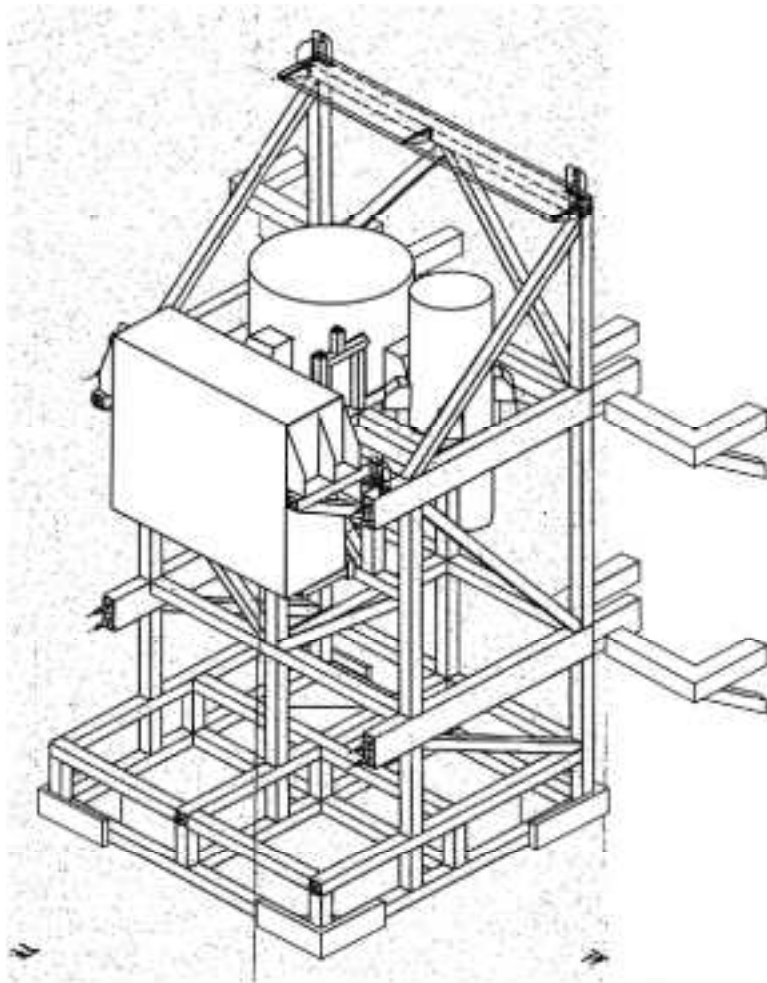


図 3-1 濃縮器ラック (G12RK10) の概要図

#### 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 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。

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
フレーム	引張応力	$1.5 \times f_t$
	せん断応力	$1.5 \times f_s$
	圧縮応力	$1.5 \times f_c$
	曲げ応力	$1.5 \times f_b$

#### 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
濃縮器ラック (G12RK10)	1.0	1.0

#### 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。

濃縮器ラック (G12RK10) 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
濃縮器ラック (G12RK10)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0%)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0%)

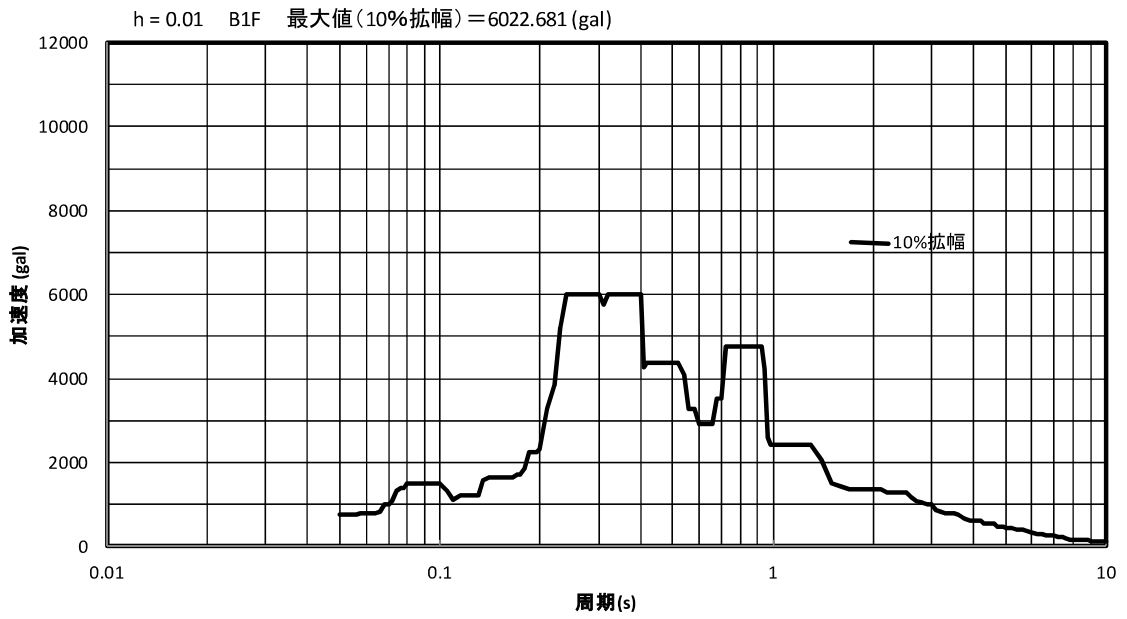


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

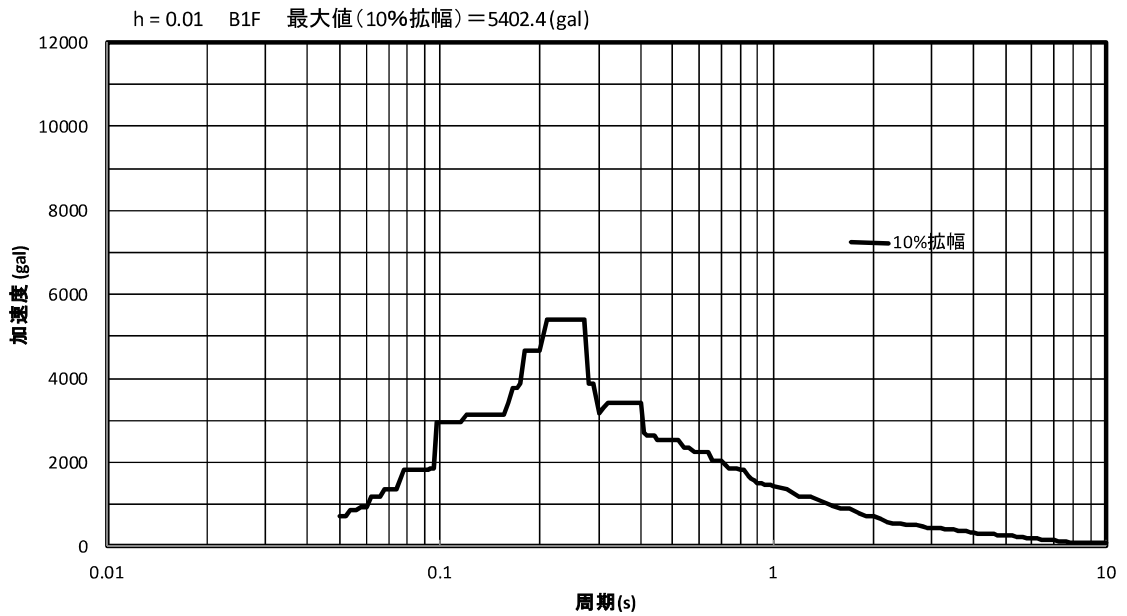


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

#### 4.5 計算方法

濃縮器ラック (G12RK10) 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。

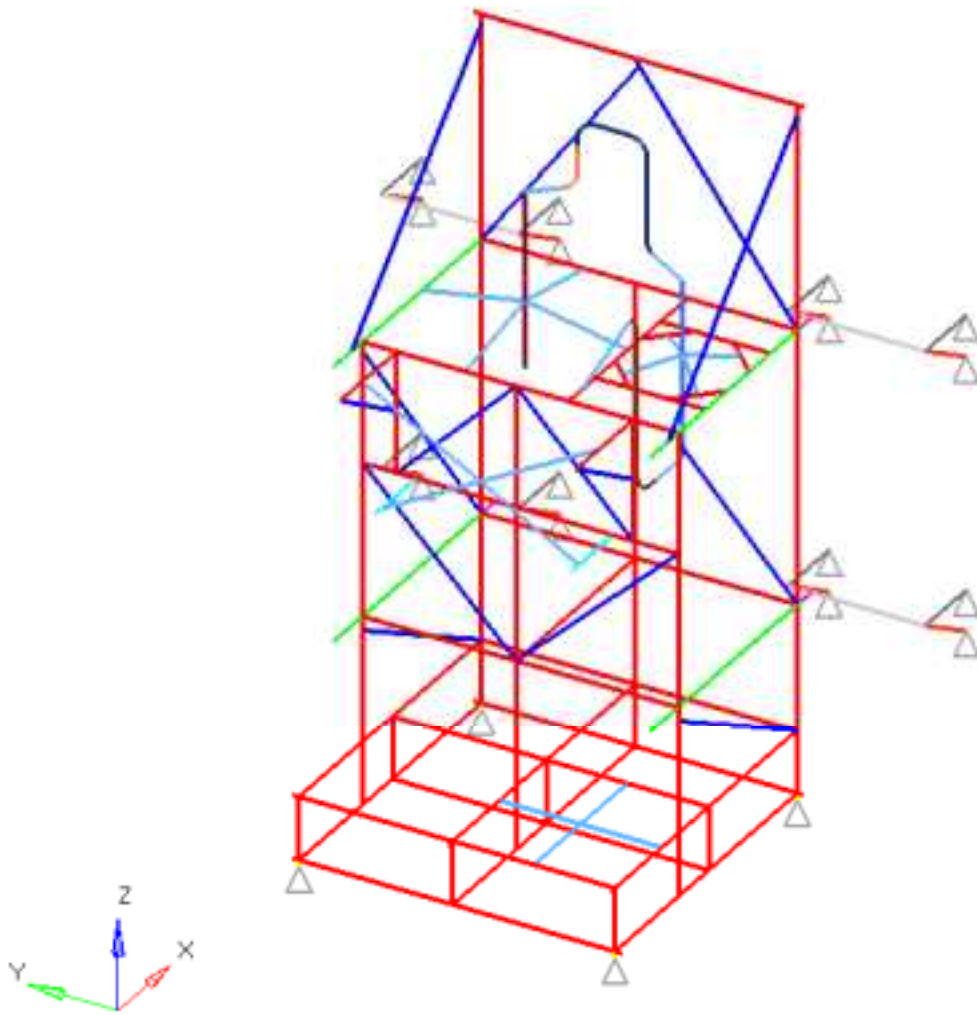
※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

#### 4.6 計算条件

##### 4.6.1 解析モデル

濃縮器ラック (G12RK10) 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。

△…拘束点



拘束条件 ○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 濃縮器ラック (G12RK10) の解析モデル



#### 4.6.2 諸元

濃縮器ラック (G12RK10) 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
濃縮器ラック (G12RK10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	本体高さ	6500 (mm)
	本体幅	3000 (mm)
	本体奥行き	3000 (mm)
	本体材質	SUS304
	設計温度	45 (°C)
	総質量(設計質量) ※ 搭載している機器 (濃縮器, 凝縮液槽, 凝縮器, インセルクーラ, デミスタ) 及び配管の質量を含む。なお, それら の機器内の液保有量は最大液量時の質 量とする。	約 12.3 (t)

#### 4.7 固有周期

濃縮器ラック (G12RK10) 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：0.084（秒）

SUBCASE 1: Mode#1, Frequency= 1.188e+001Hz

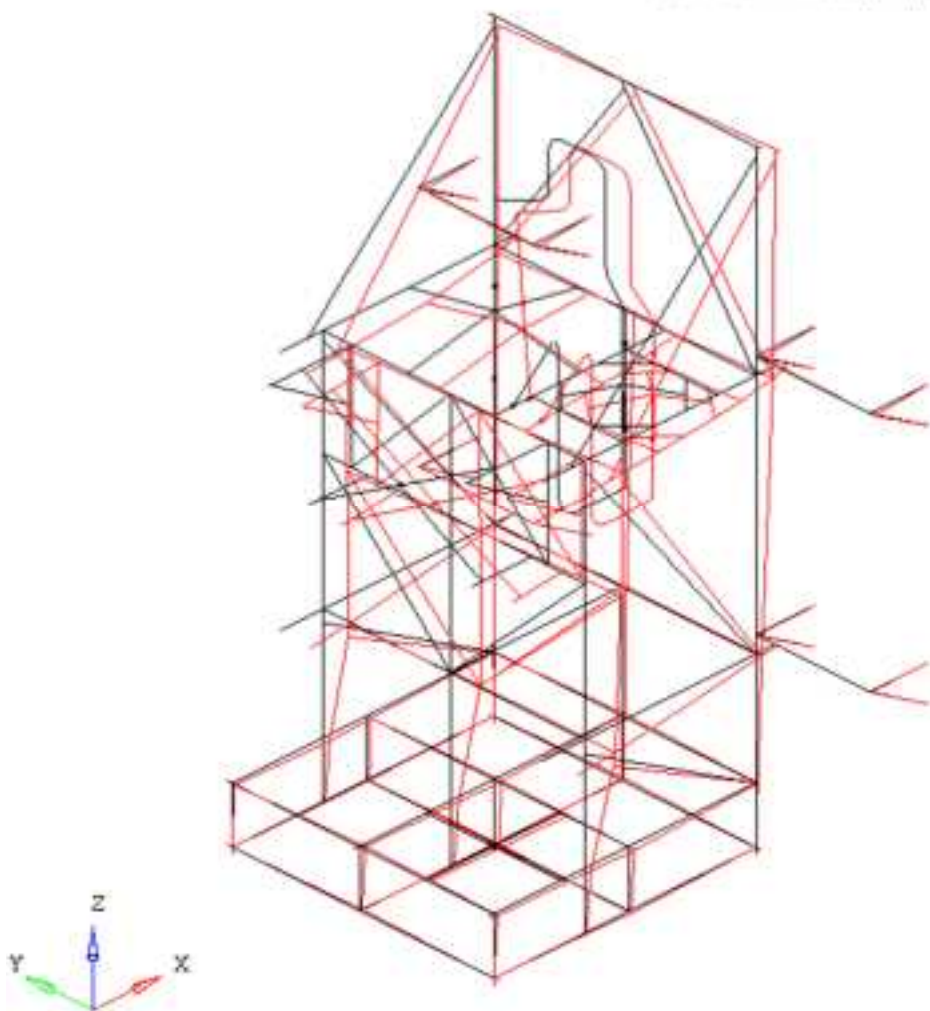


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.071 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.405e+001Hz

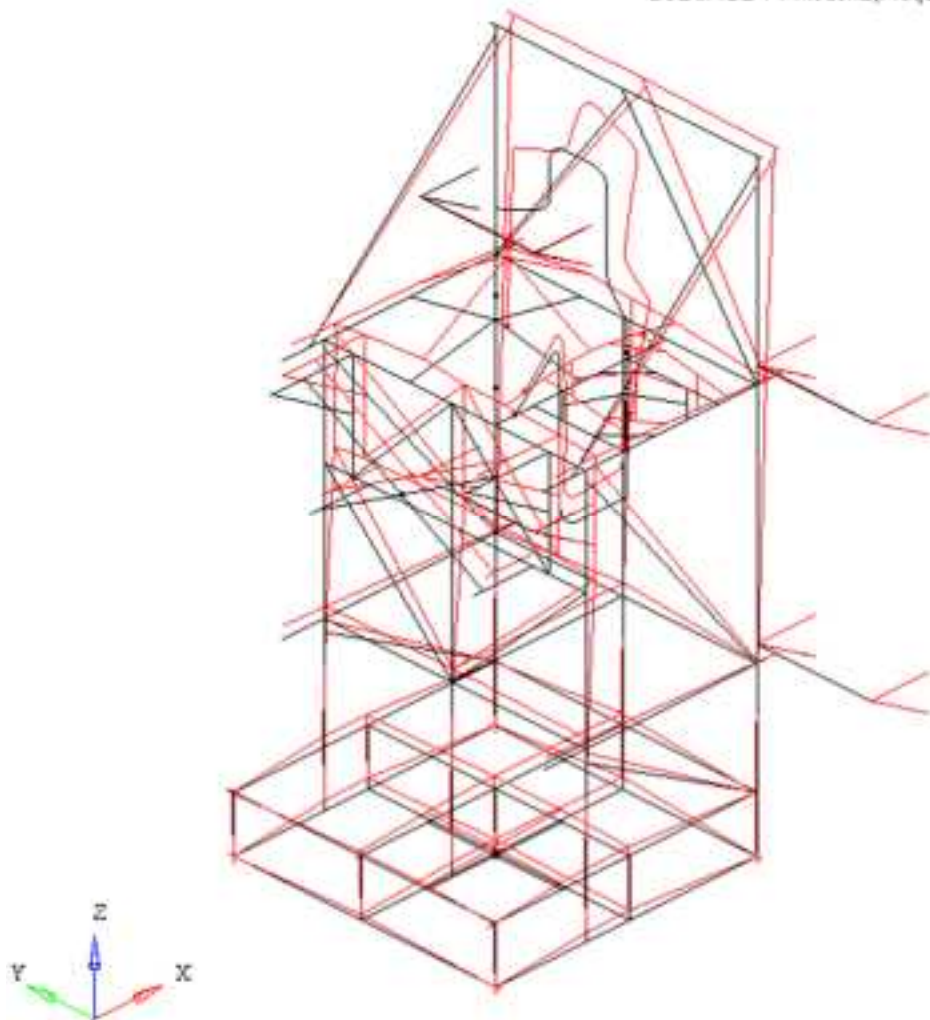


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.061 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 1.645e+001Hz

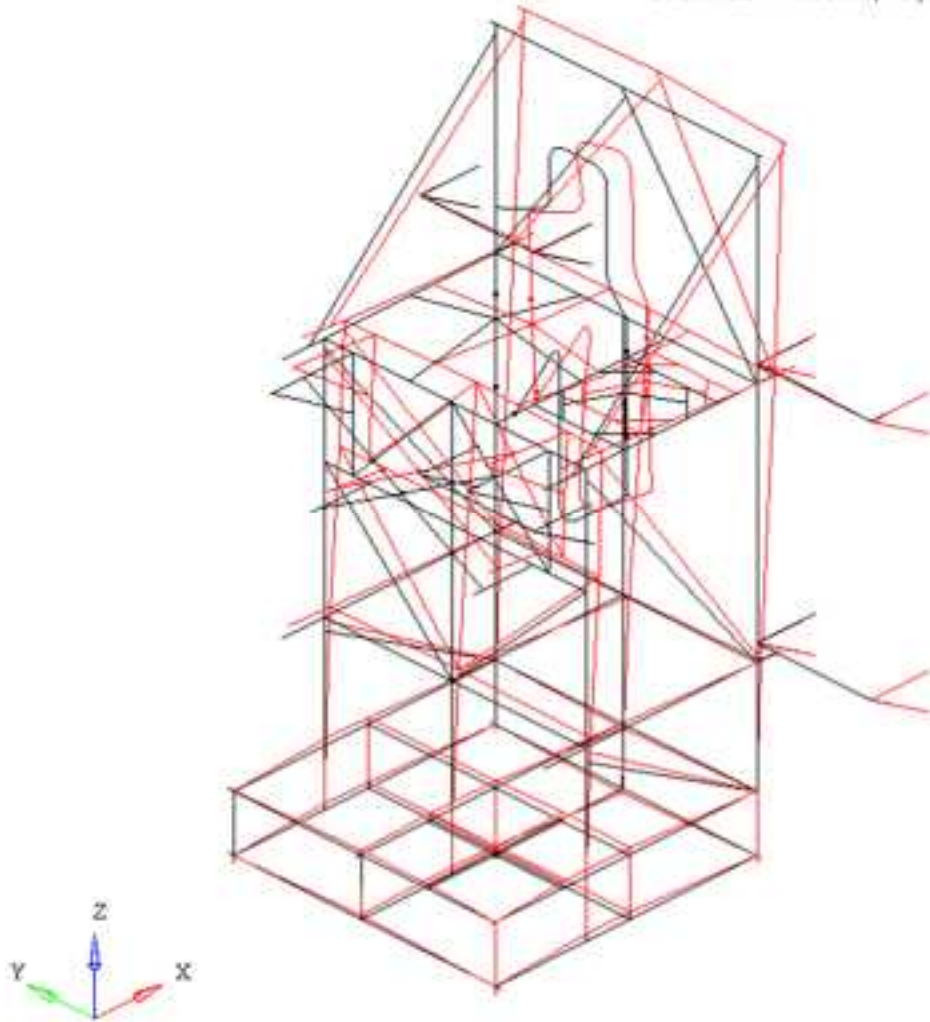


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図 (3/3)

## 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濃縮器ラック (G12RK10) 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>
濃縮器ラック (G12RK10)	フレーム	引張	17	246	0.07
		せん断	34	142	0.24
		圧縮	20	131	0.16
		曲げ	141	246	0.58

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

## 6. その他の考慮事項について

### 6.1 機器搭載位置での地震力について

濃縮器ラック (G12RK10) は、濃縮器 (G12E10)、凝縮器 (G12H11)、デミスタ (G12D1141)、凝縮液槽 (G12V20) 及びインセルクーラ (G43H11) を搭載しているため、FEM 解析 (時刻歴解析) により、それぞれ機器搭載位置での応答時刻歴波を算出した。

#### 6.1.1 設計用地震力

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解析に用いた。濃縮器ラック (G12RK10) へ入力する床応答時刻歴波については、背面支持装置の位置での入力地震動は地下 1 階のもの、脚部の位置での入力地震動は地下 2 階のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 6-1、図 6-1、図 6-2、図 6-3、図 6-4、図 6-5 及び図 6-6 に示す。

表 6-1 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	床応答時刻歴波 の入力位置	水平方向	鉛直方向
濃縮器ラック (G12RK10)	背面支持装置	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 1 階)	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 1 階)
	脚部	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 2 階)	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 2 階)

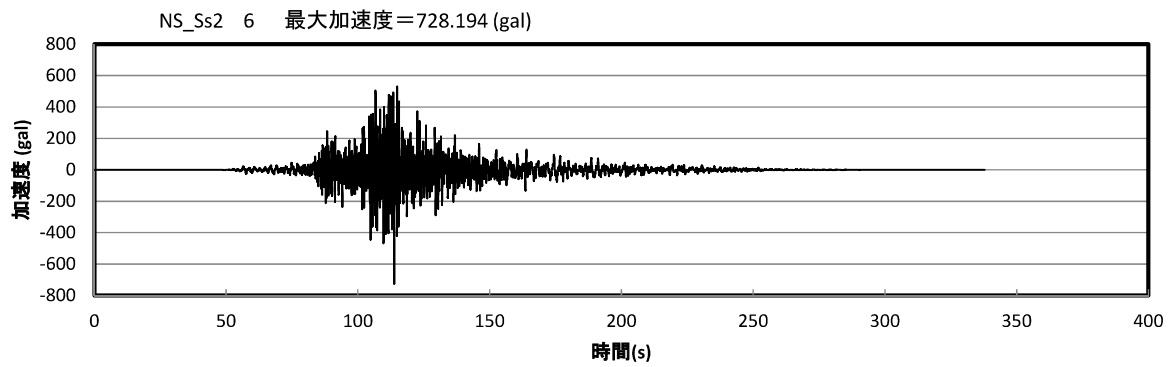
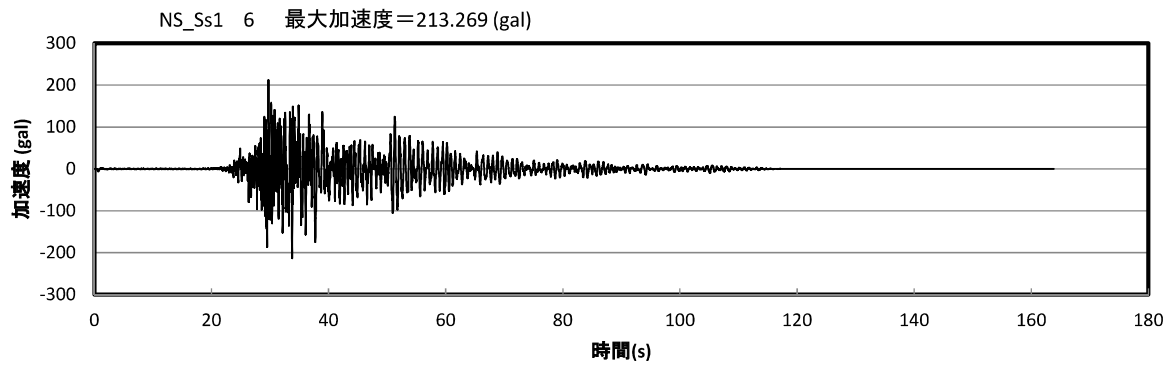
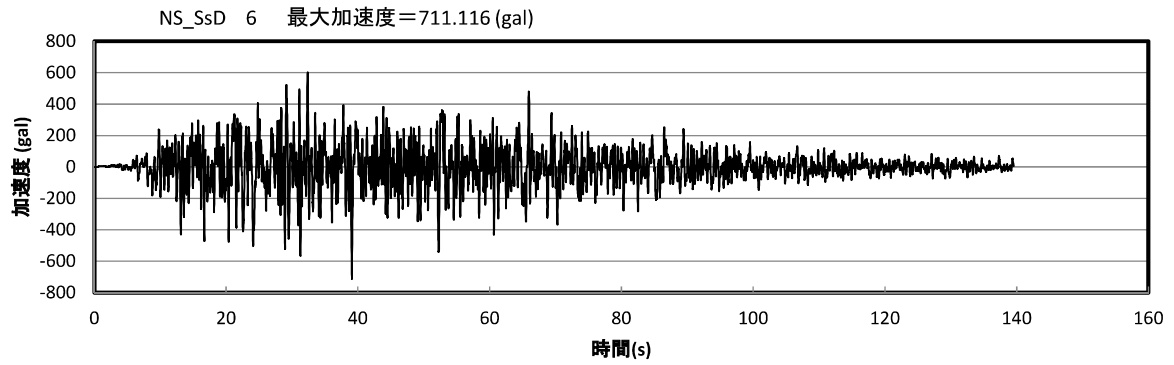


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

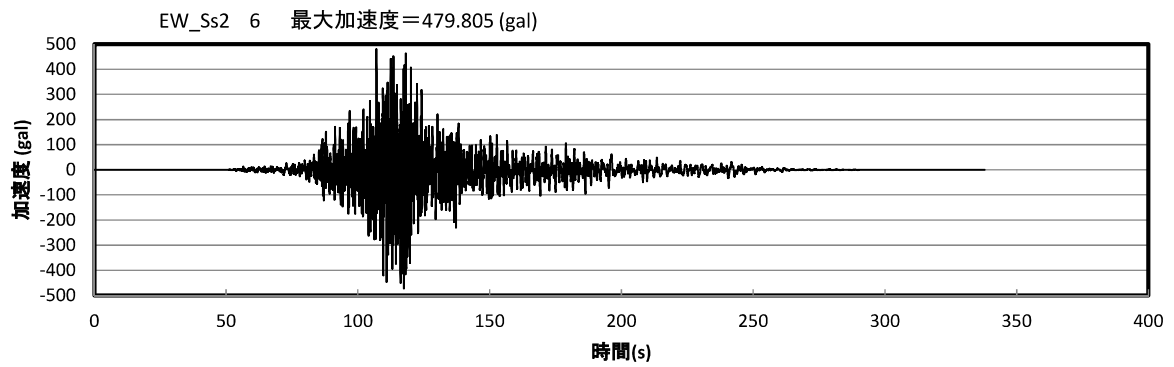
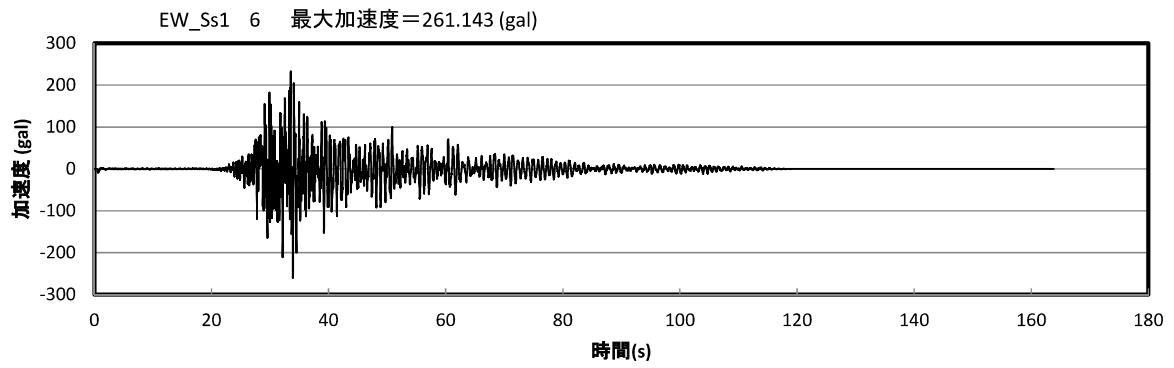
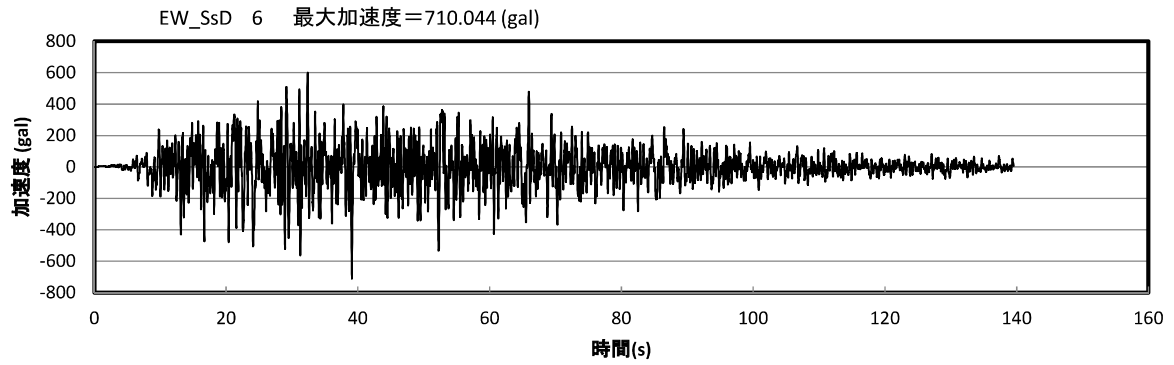


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 1 階, 水平 EW 方向)



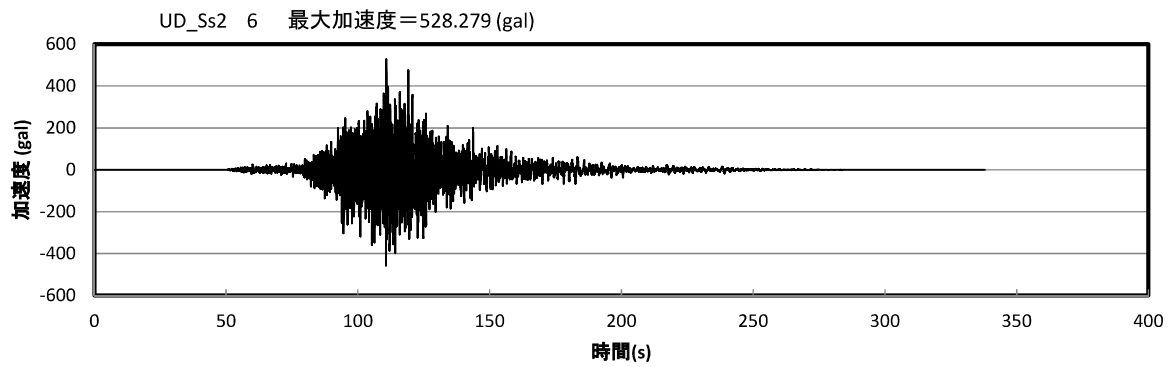
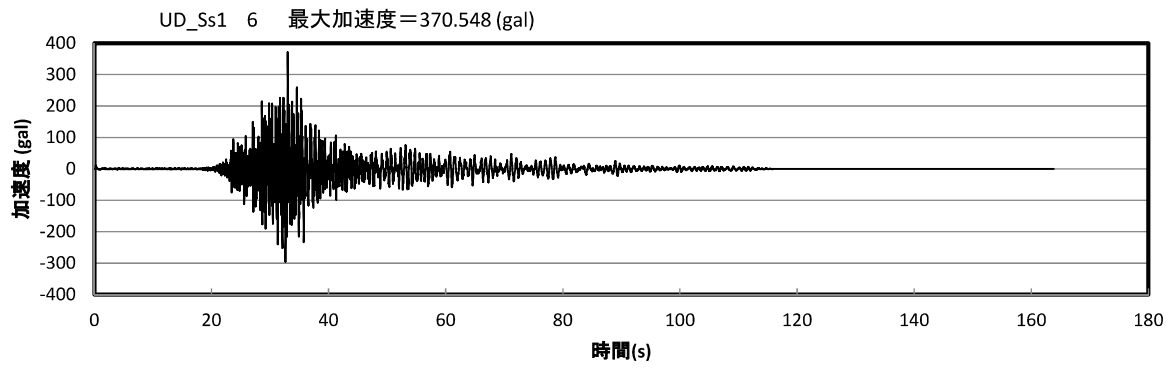
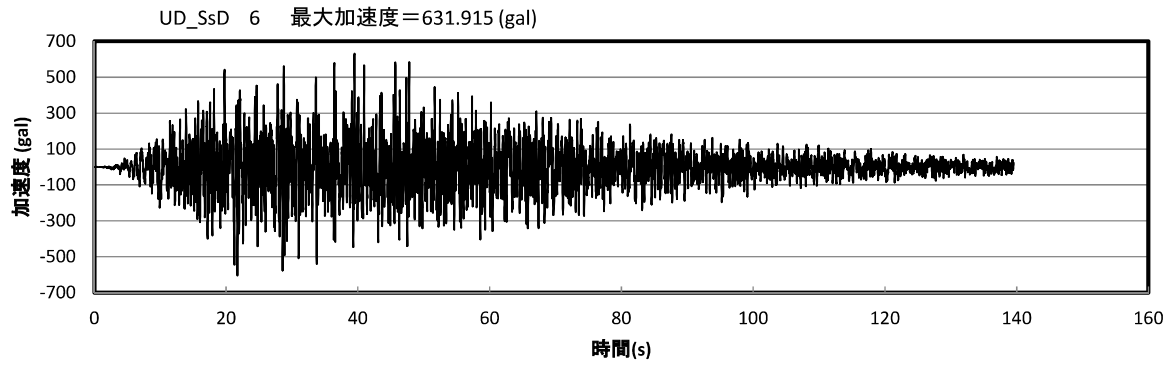


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下1階, 鉛直方向)

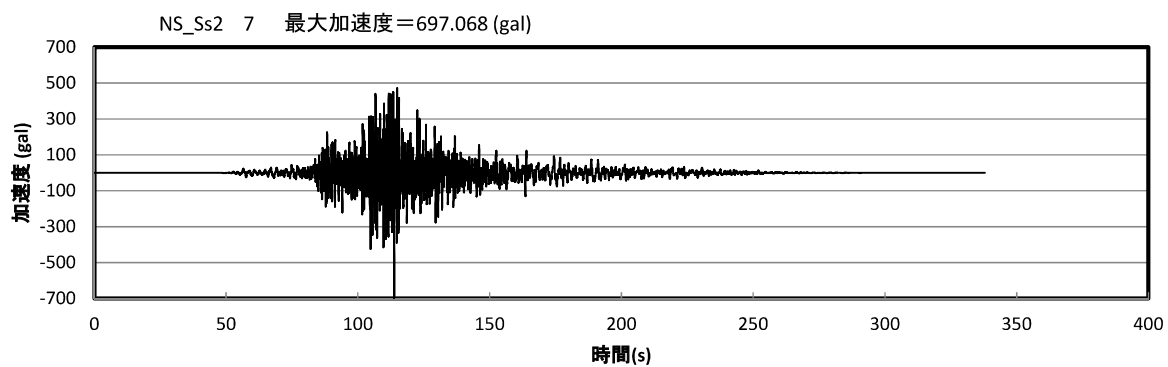
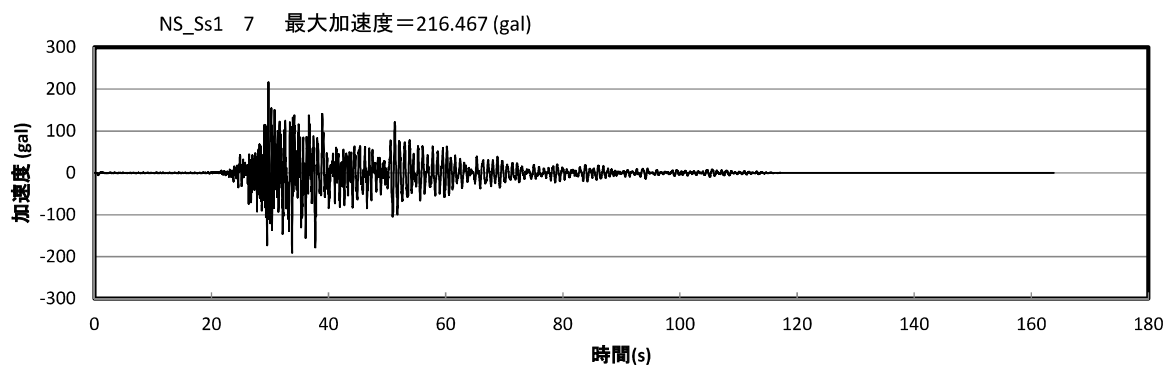
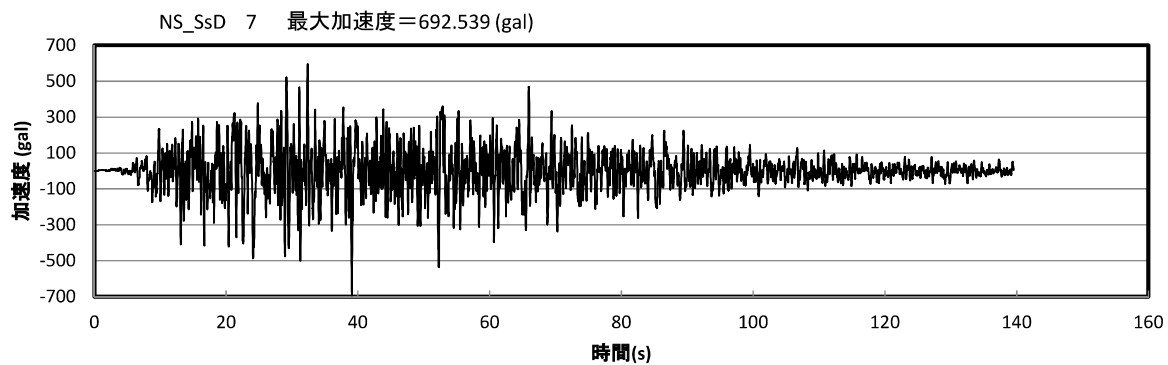


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

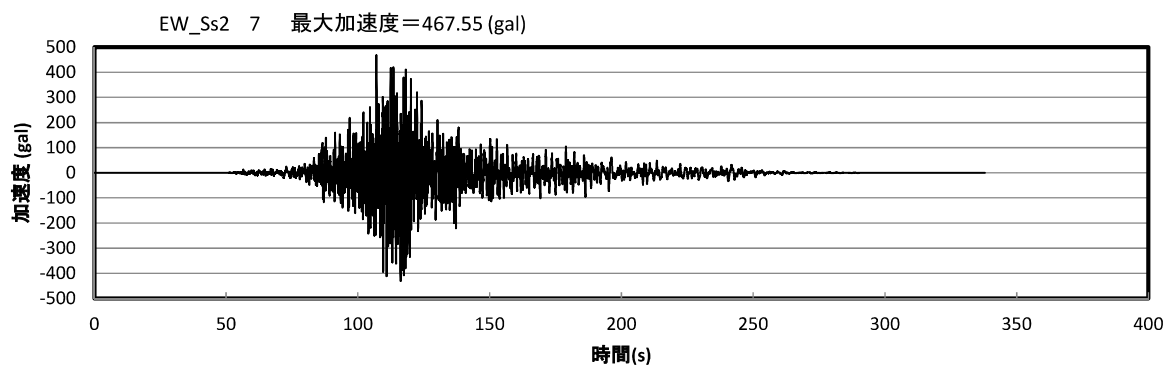
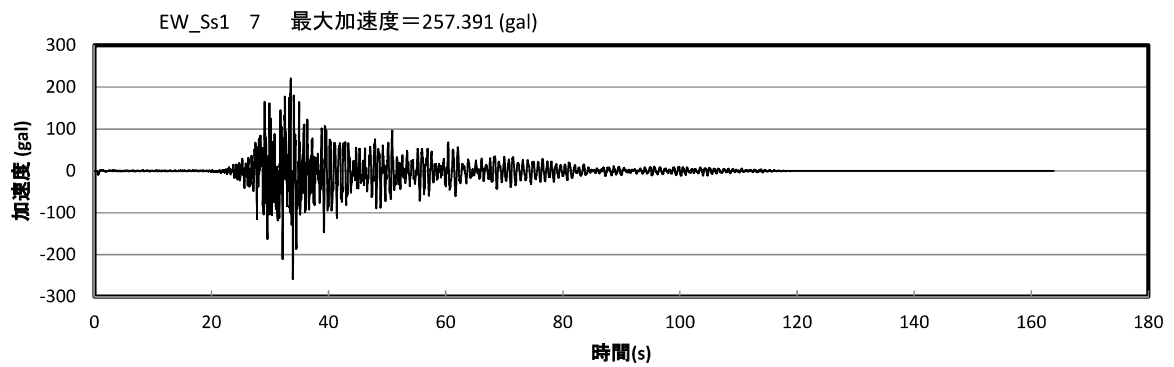
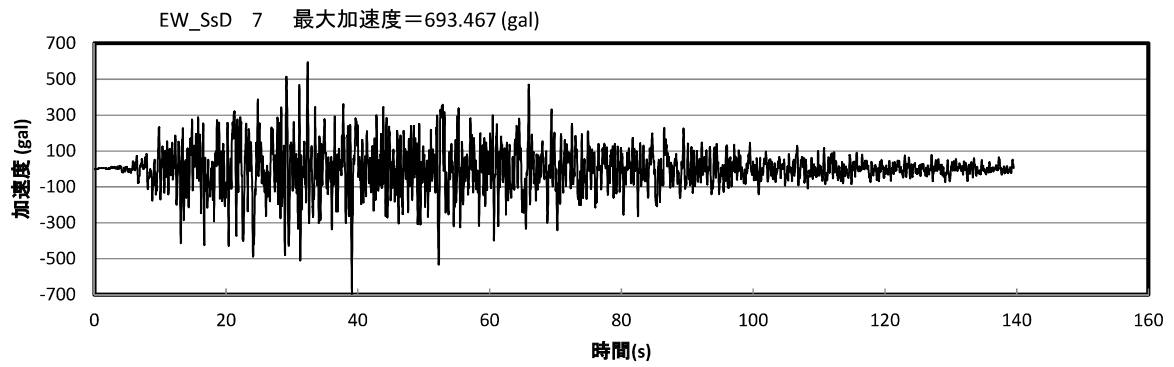


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

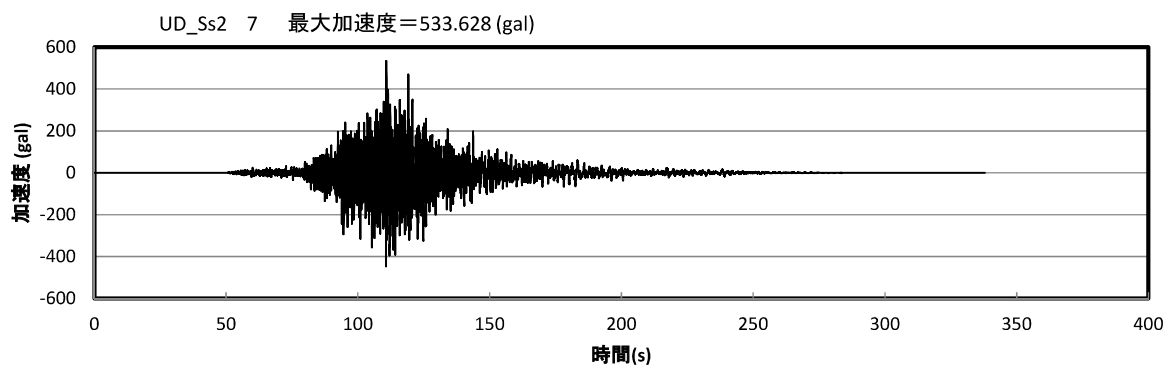
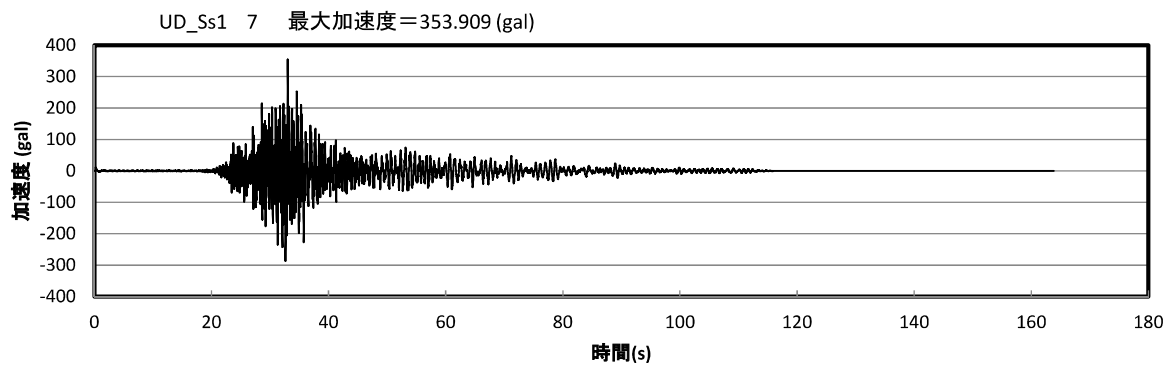
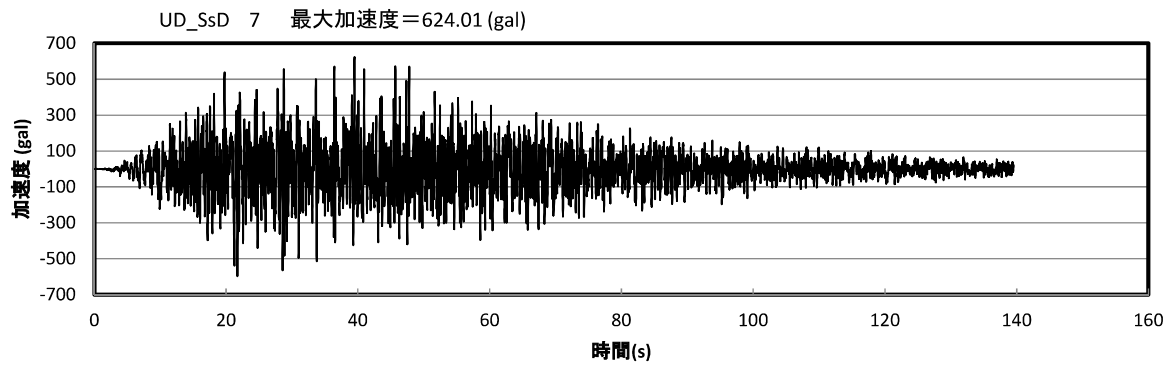


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 鉛直方向)

### 6.1.2 計算方法

濃縮器ラック (G12RK10) に搭載する機器について、機器搭載位置での応答時刻歴波の計算方法は FEM 解析（時刻歴応答解析）を用いた。解析コードは MSC.Nastran<sup>※1</sup>を用いた。機器搭載位置での静的解析用震度について、算出した機器搭載位置での応答最大加速度を 1.2 倍したものとした。

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

### 6.1.3 機器搭載位置での地震力

各機器搭載位置での静的解析用震度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機器の搭載位置での静的解析用震度

評価対象機器	静的解析用震度（応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
濃縮器 (G12E10)	1.63	1.18
凝縮器 (G12H11) <sup>※1</sup>	1.38	0.93
デミスタ (G12D1141)	1.51	0.91
インセルクーラ (G43H11)	1.80	0.99

※1 評価対象機器の固有周期が 0.05 秒を超えているため、解析用の震度は機器搭載位置での応答スペクトルからの読み取り値を用いる。

濃縮液槽ラック (G12RK12) の耐震性についての計算書

## 1. 概要

本資料は、高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する機器等の支持構造物である濃縮液槽ラック(G12RK12)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その安全機能の維持が可能であることを示すものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

濃縮液槽ラック(G12RK12)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
$f_t$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容引張応力	MPa
$f_s$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容せん断応力	MPa
$f_c$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容圧縮応力	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

濃縮液槽ラック(G12RK12)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるフレームとする。濃縮液槽ラック(G12RK12)の概要図を図3-1に示す。

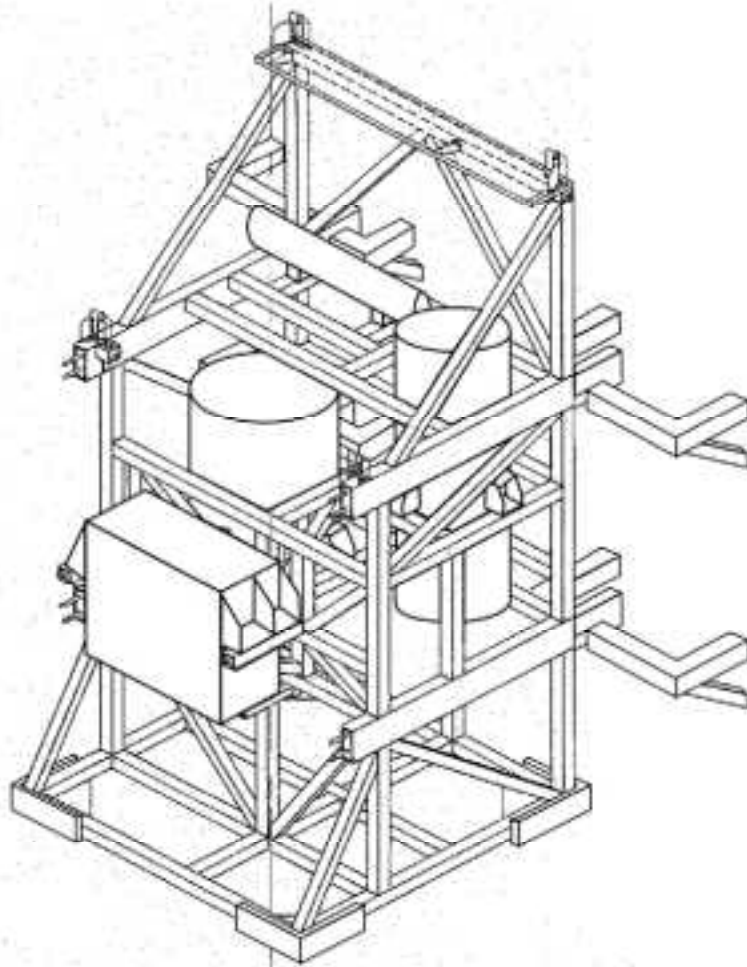


図 3-1 濃縮液槽ラック (G12RK12) の概要図

#### 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 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。

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
フレーム	引張応力	$1.5 \times f_t$
フレーム	せん断応力	$1.5 \times f_s$
フレーム	圧縮応力	$1.5 \times f_c$
フレーム	曲げ応力	$1.5 \times f_b$

#### 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
濃縮液槽ラック (G12RK12)	1.0	1.0

#### 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。

濃縮液槽ラック (G12RK12) 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
濃縮液槽ラック (G12RK12)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0%)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0%)

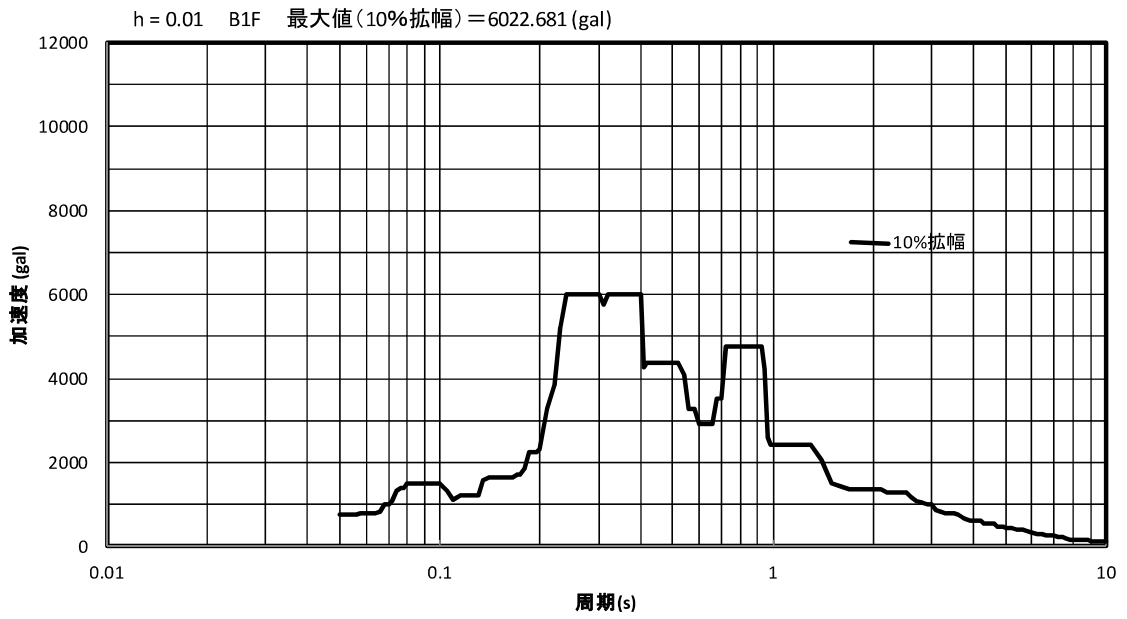


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

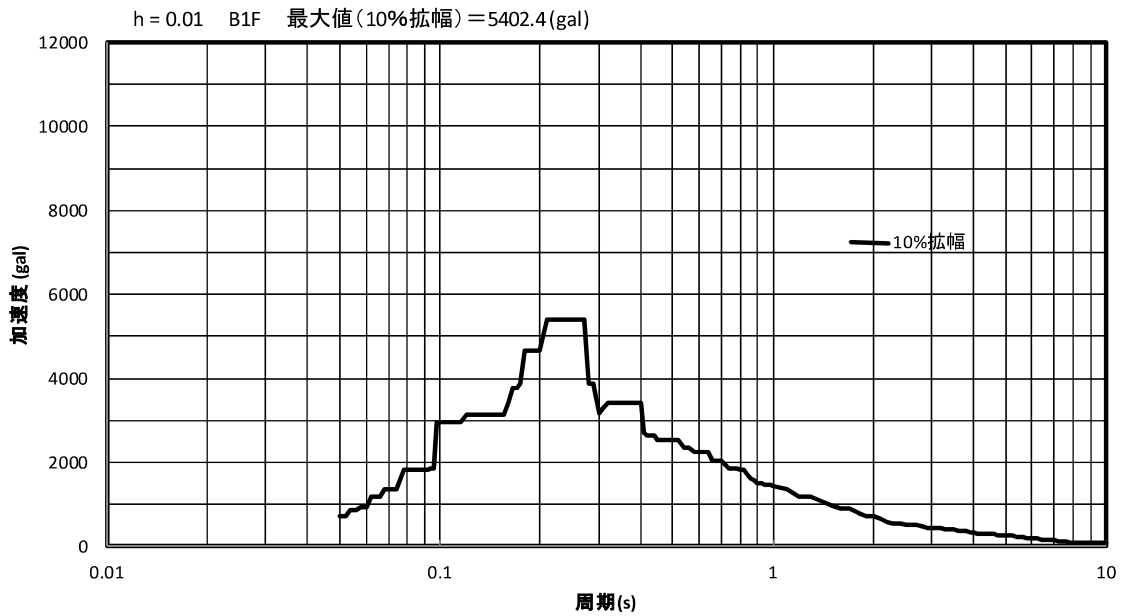


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

#### 4.5 計算方法

濃縮液槽ラック (G12RK12) 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。

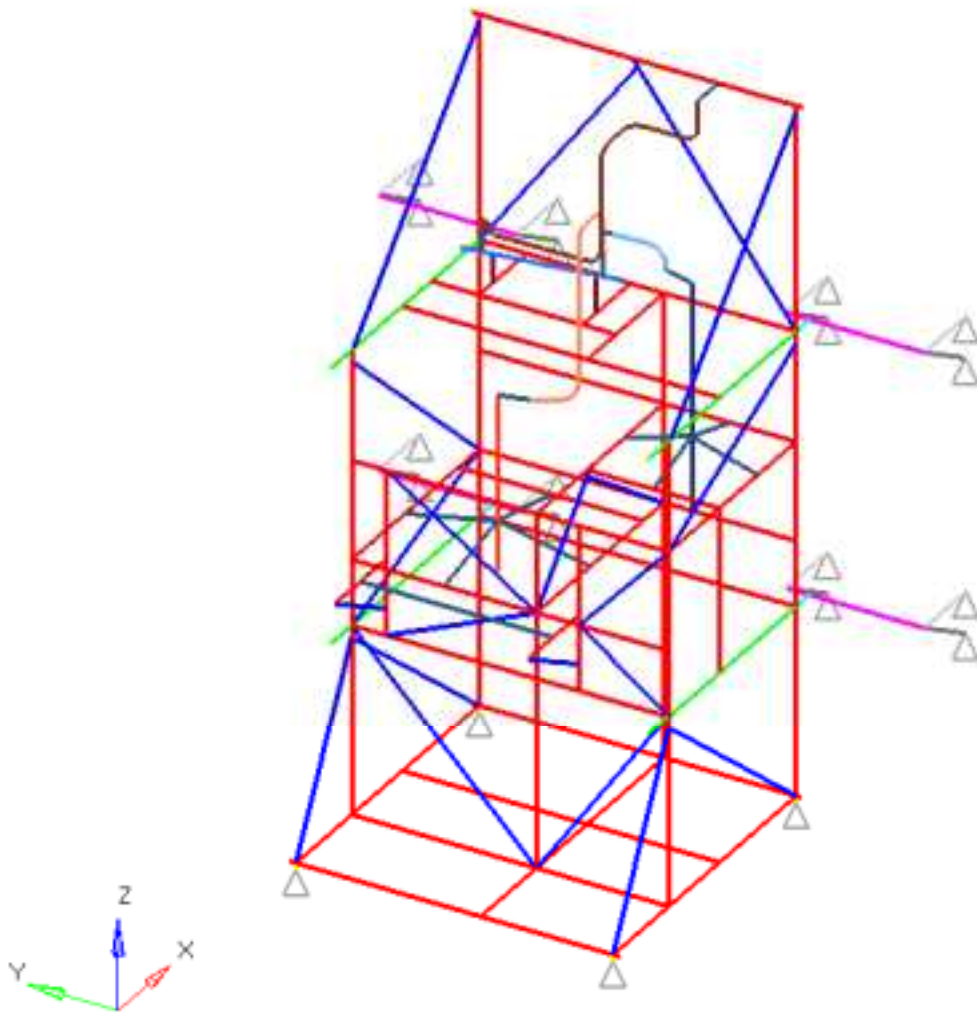
※1 MSC Software Corporation, “MSC. Nastran Version 2005r2” .

#### 4.6 計算条件

##### 4.6.1 解析モデル

濃縮液槽ラック (G12RK12) 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。

△…拘束点



拘束条件      ○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 濃縮液槽ラック (G12RK12) の解析モデル

#### 4.6.2 諸元

濃縮液槽ラック (G12RK12) 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
濃縮液槽ラック (G12RK12)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	本体高さ	6500 (mm)
	本体幅	3000 (mm)
	本体奥行き	3000 (mm)
	本体材質	SUS304
	設計温度	45 (°C)
	総質量(設計質量) ※ 搭載している機器 (濃縮液槽, 濃縮液供給槽, 冷却器, インセルクーラ) 及び配管の質量を含む。なお, それらの機器内の液保有量は最大液量時の質量とする。	約 13.5 (t)

#### 4.7 固有周期

濃縮液槽ラック (G12RK12) 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 : 0.085 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 1.183e+001Hz

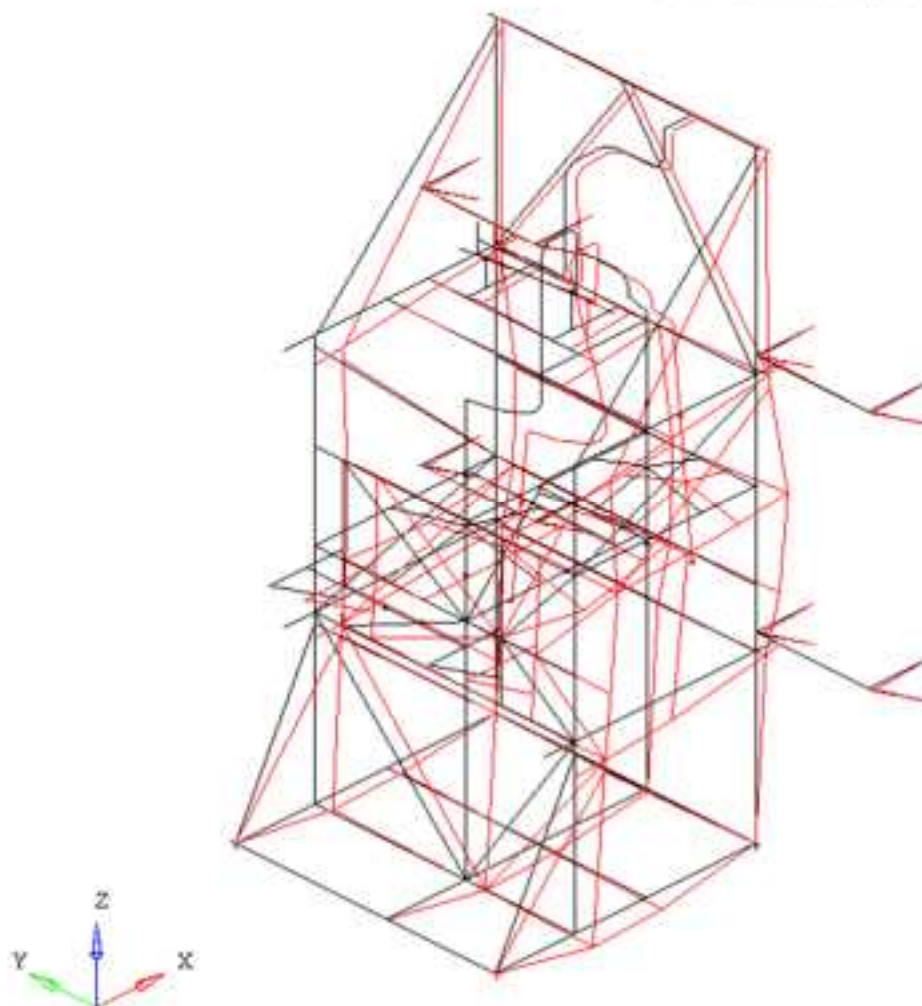


図 4-4 濃縮液槽ラック (G12RK12) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期：0.073（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.373e+001Hz

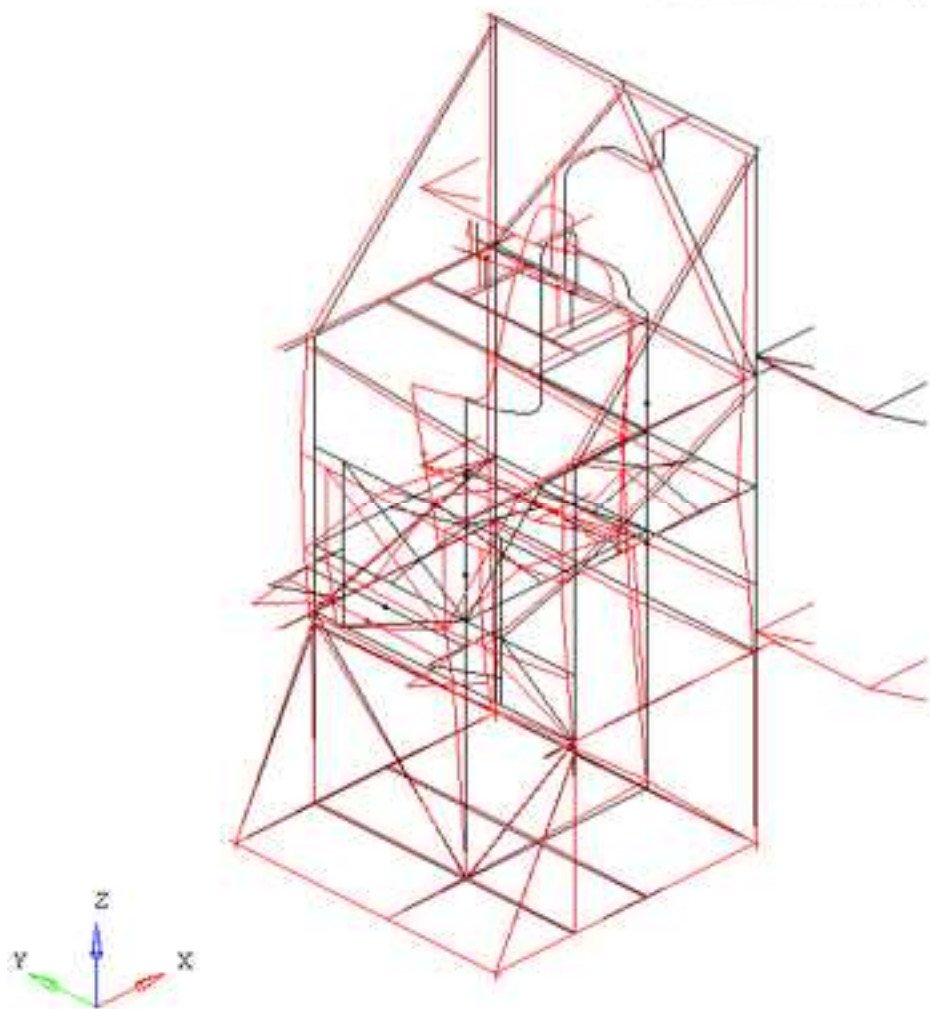


図 4-4 濃縮液槽ラック (G12RK12) 固有モード図 (2/3)



3次モード図

固有周期：0.069（秒）

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 1.454e+001Hz

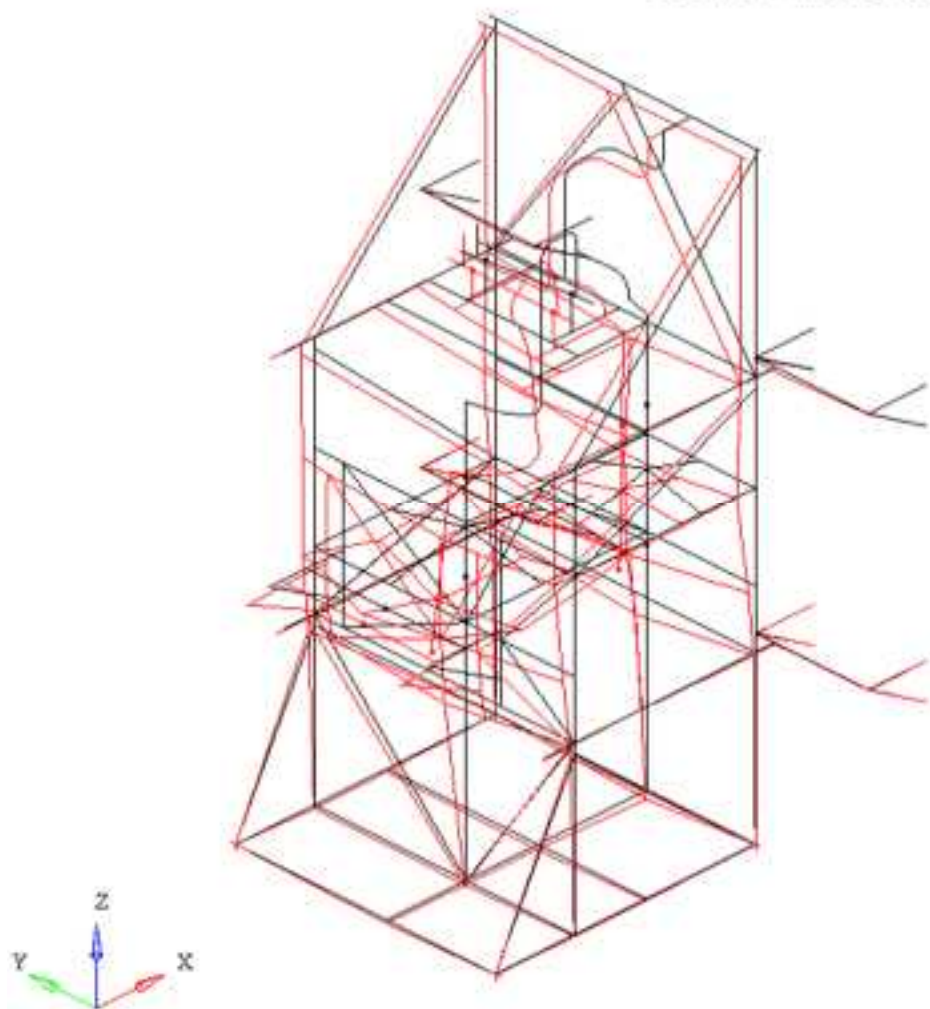


図 4-4 濃縮液槽ラック (G12RK12) 固有モード図 (3/3)

## 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濃縮液槽ラック (G12RK12) 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>
濃縮液槽ラック (G12RK12)	フレーム	引張	27	246	0.11
		せん断	38	142	0.27
		圧縮	28	146	0.20
		曲げ	168	246	0.69

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

## 6. その他の考慮事項について

### 6.1 機器搭載位置での地震力について

濃縮液槽ラック (G12RK12) は、濃縮液槽 (G12V12)、冷却器 (G12H13)、濃縮液供給槽 (G12V14) 及びインセルクーラ (G43H12) を搭載しているため、FEM 解析 (時刻歴解析) により、それぞれ機器搭載位置での応答時刻歴波を算出した。

#### 6.1.1 設計用地震力

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解析に用いた。濃縮液槽ラック (G12RK12) へ入力する床応答時刻歴波については、背面支持装置の位置での入力地震動は地下 1 階のもの、脚部の位置での入力地震動は地下 2 階のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 6-1、図 6-1、図 6-2、図 6-3、図 6-4、図 6-5 及び図 6-6 に示す。

表 6-1 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	床応答時刻歴波 の入力位置	水平方向	鉛直方向
濃縮液槽ラック (G12RK12)	背面支持装置	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による床応答時刻歴波 (地下 1 階)	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による床応答時刻歴波 (地下 1 階)
	脚部	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による床応答時刻歴波 (地下 2 階)	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による床応答時刻歴波 (地下 2 階)

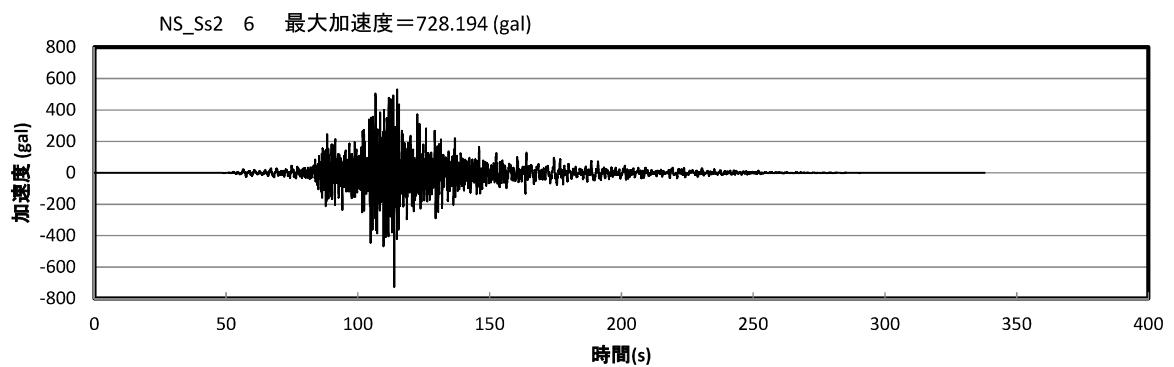
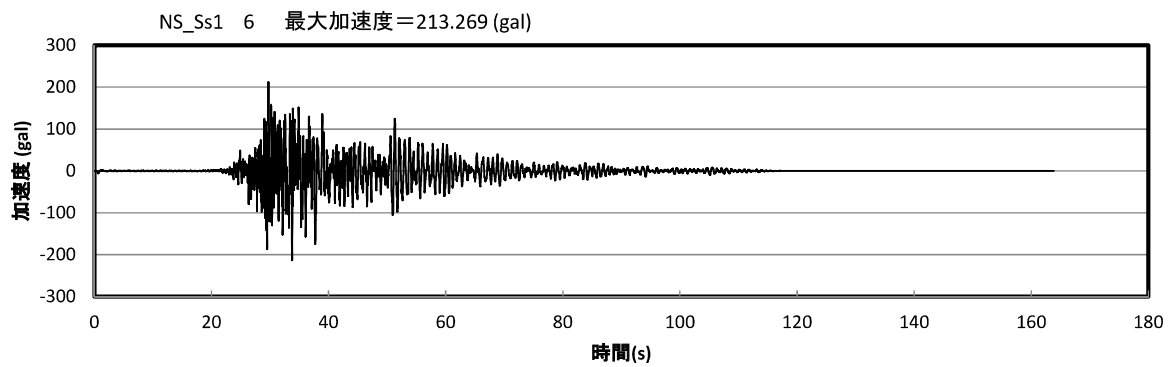
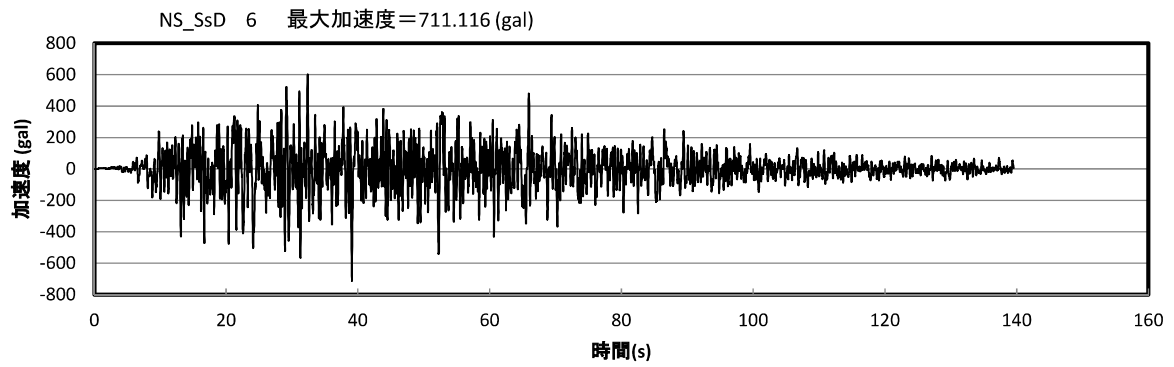


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

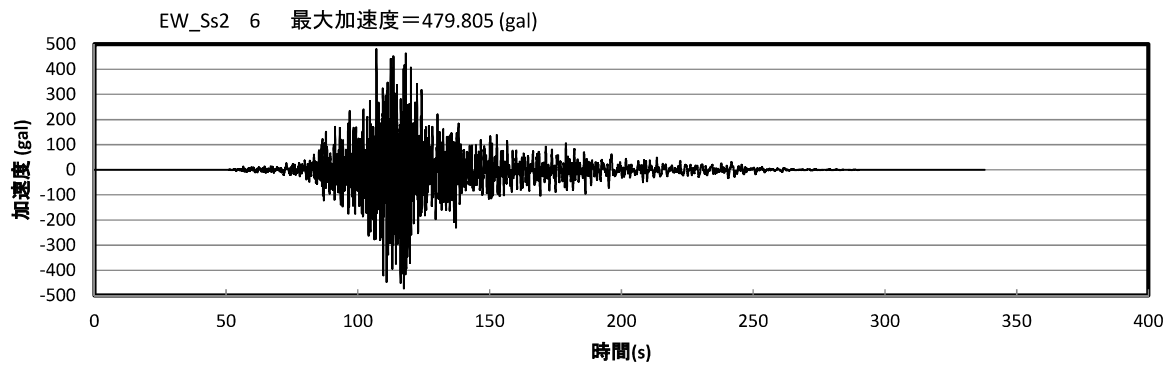
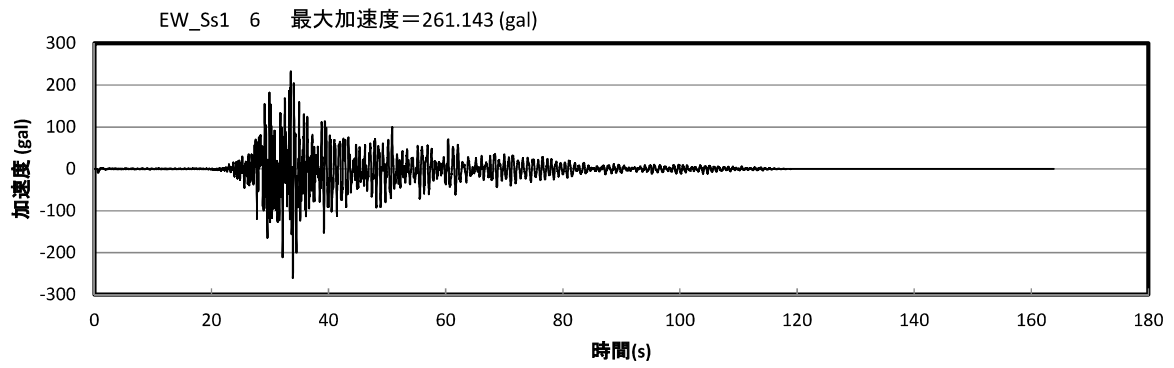
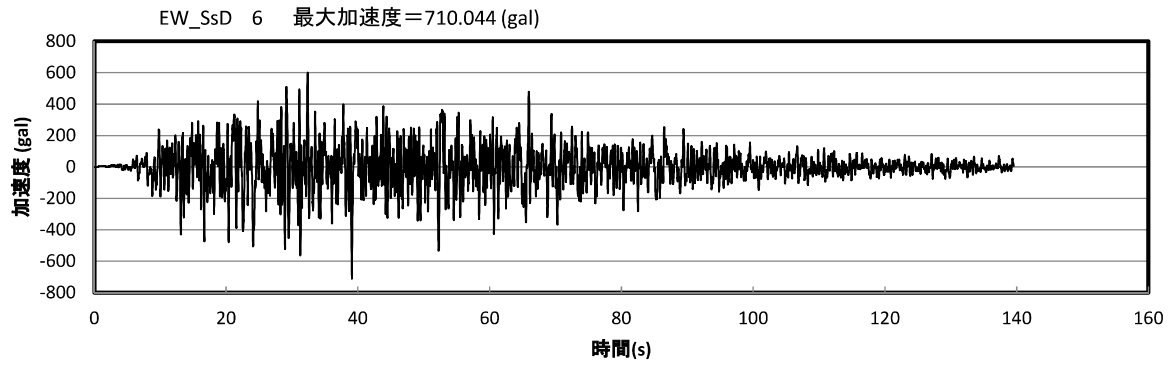


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

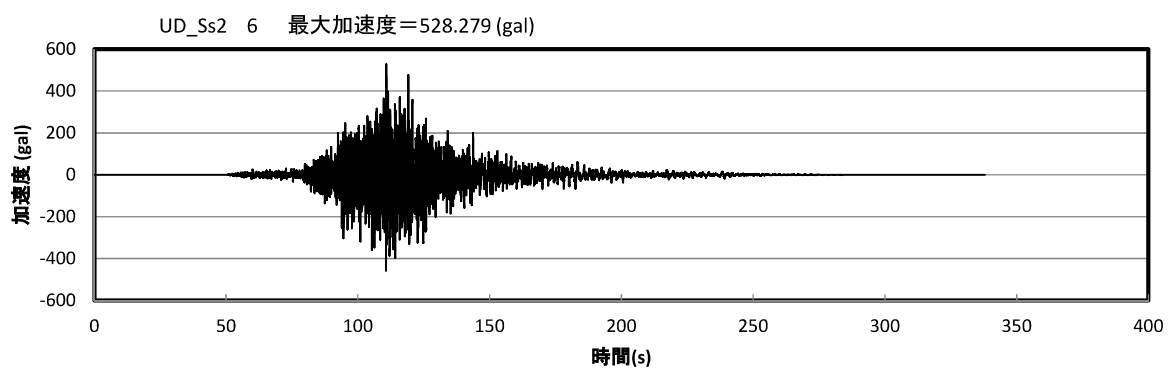
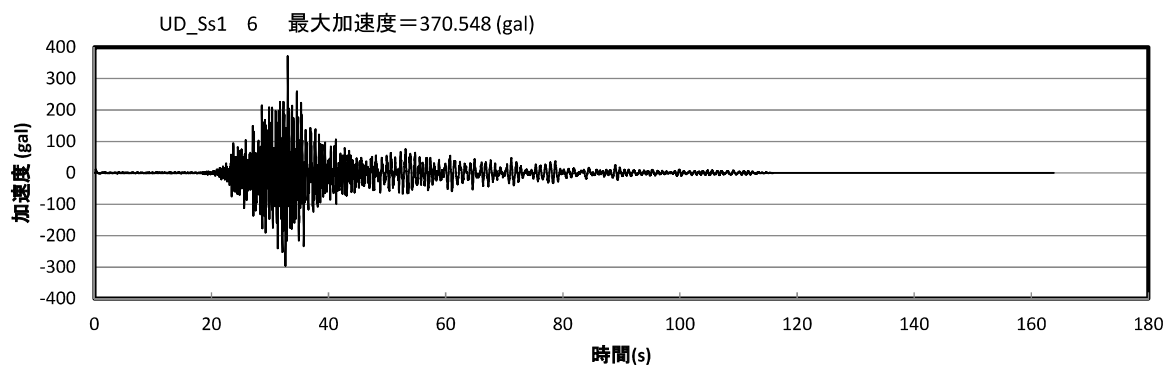
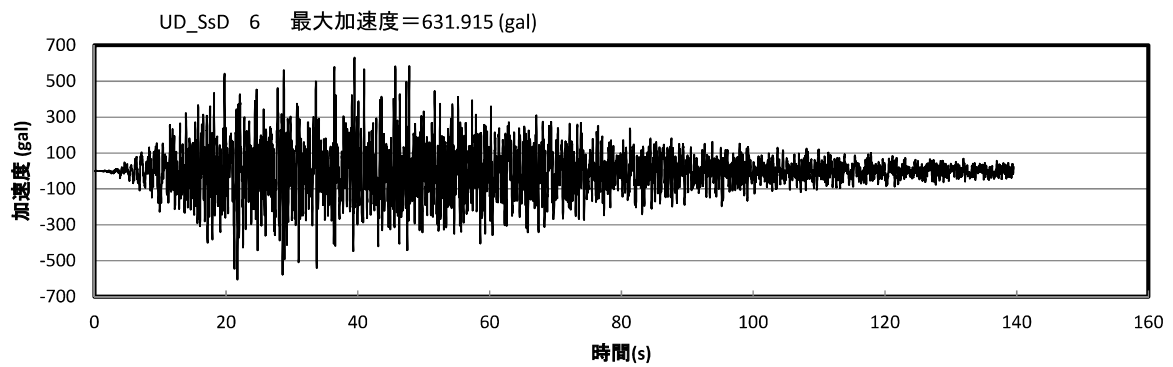


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下1階, 鉛直方向)

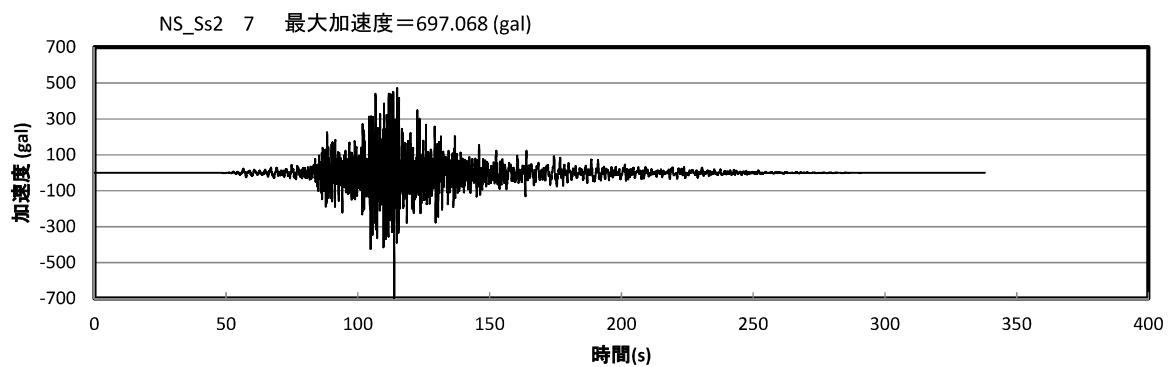
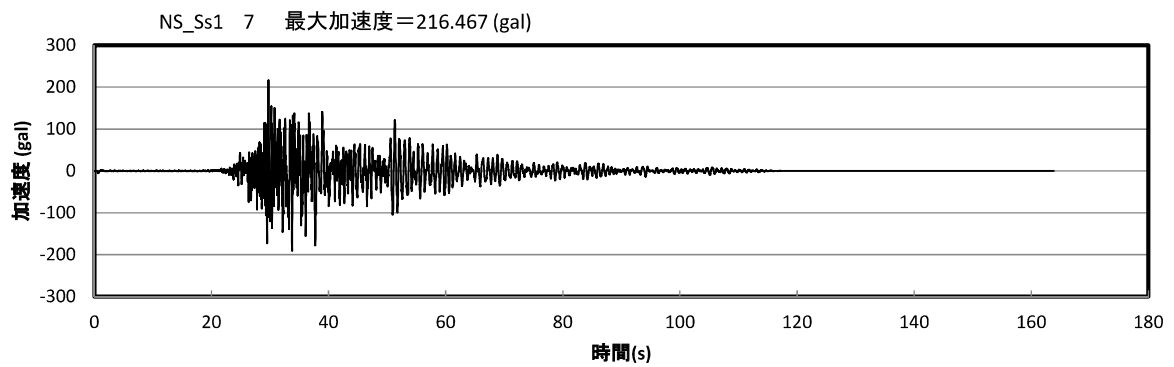
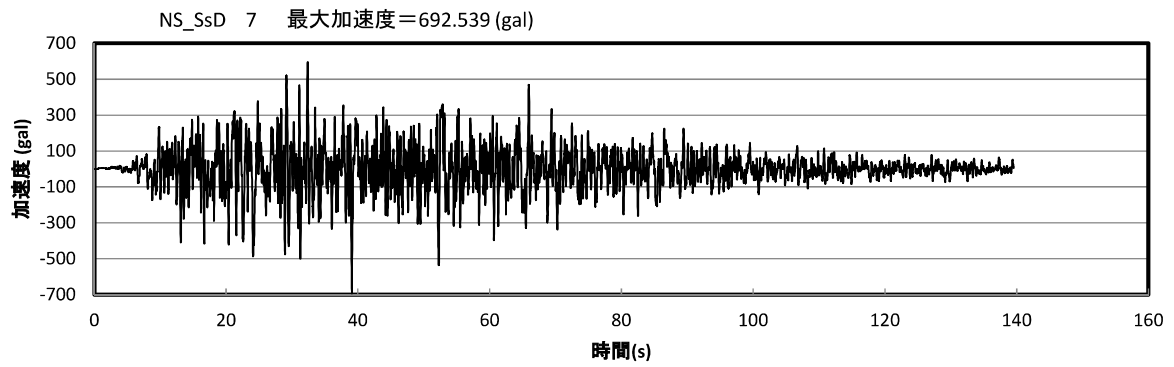


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

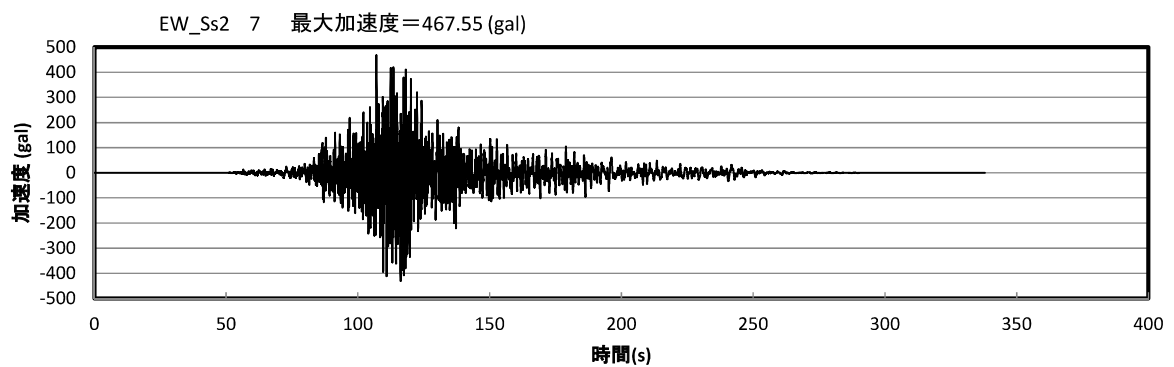
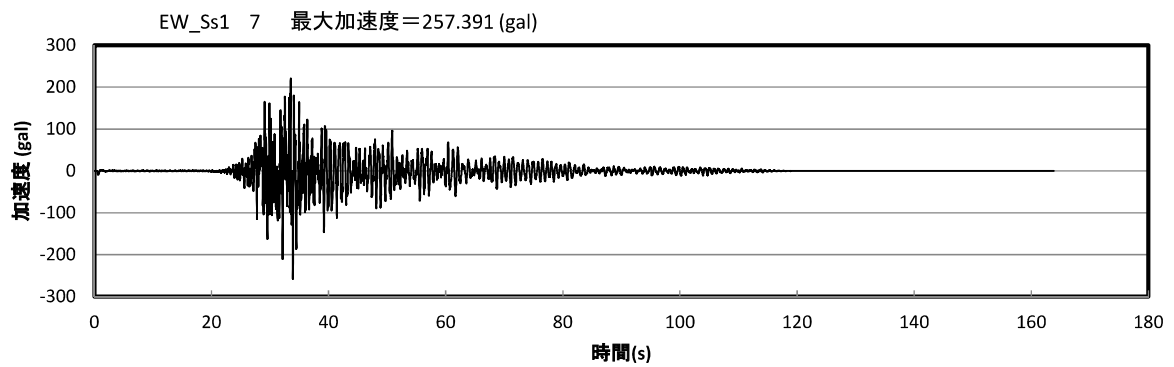
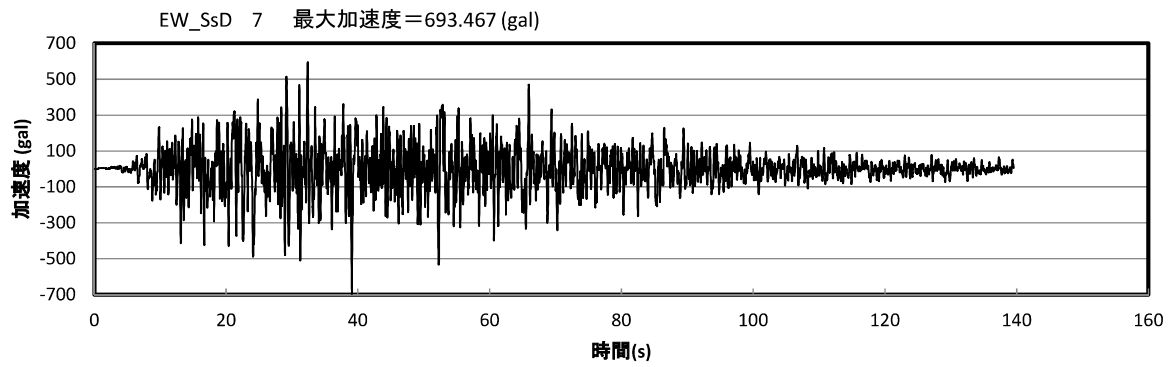


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 EW 方向)



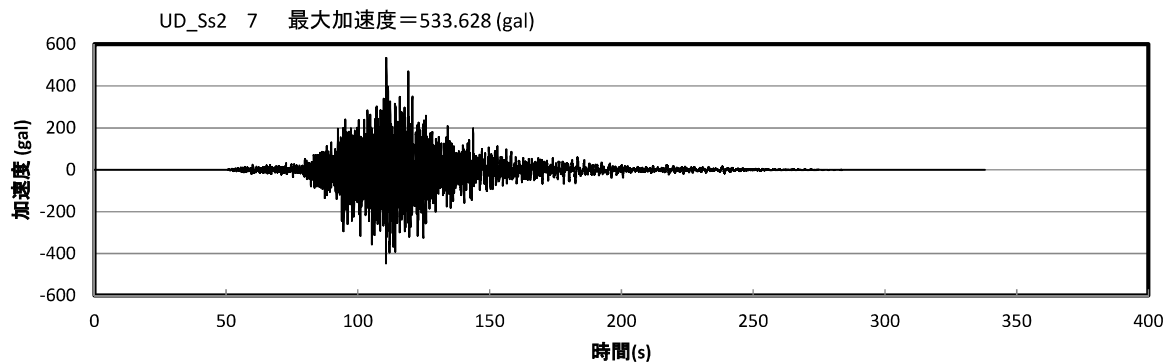
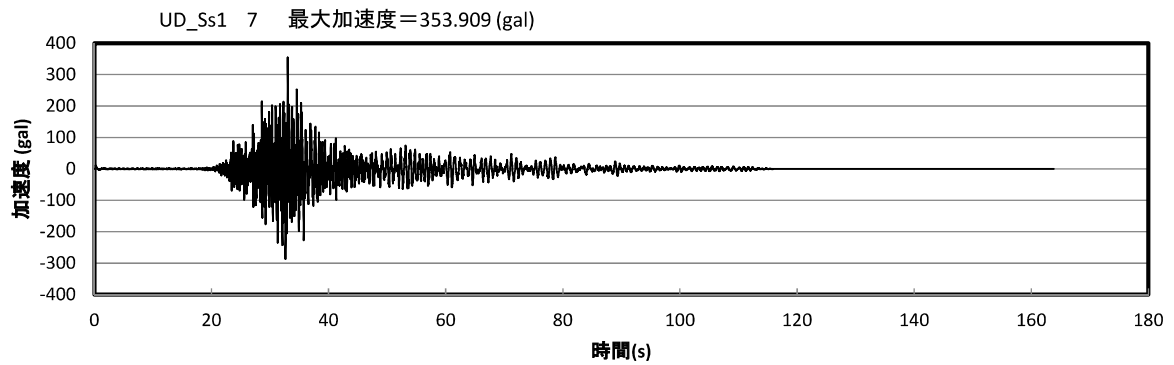
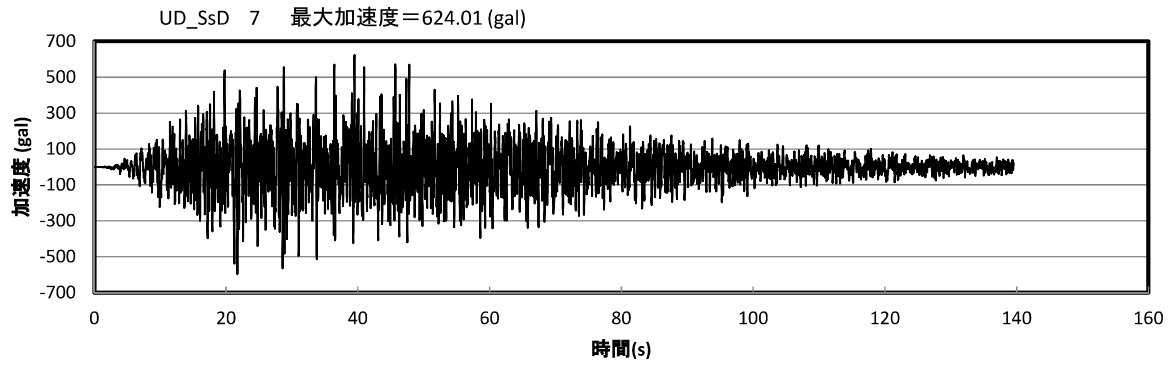


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 鉛直方向)

### 6.1.2 計算方法

濃縮液槽ラック (G12RK12) に搭載する機器について、機器搭載位置での応答時刻歴波の計算方法は FEM 解析 (時刻歴応答解析) を用いた。解析コードは MSC. Nastran<sup>※1</sup> を用いた。機器搭載位置での静的解析用震度について、算出した機器搭載位置での応答最大加速度を 1.2 倍したものとした。

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

### 6.1.3 機器搭載位置での地震力

各機器搭載位置での静的解析用震度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機器の搭載位置での静的解析用震度

評価対象機器	静的解析用震度 (応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
濃縮液槽 (G12V12)	1.82	0.97
冷却器 (G12H13)	1.01	0.78
濃縮液供給槽 (G12V14) <sup>※1</sup>	1.29	0.78
インセルクーラ (G43H12)	1.37	0.77

※1 評価対象機器の固有周期が 0.05 秒を超えているため、解析用の震度は機器搭載位置での応答スペクトルからの読み取り値を用いる。

デミスタラック (G41RK43) の耐震性についての計算書

## 1. 概要

本資料は、高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する機器等の支持構造物であるデミスタラック (G41RK43) 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その安全機能の維持が可能であることを示すものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

デミスタラック (G41RK43) 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
$f_t$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容引張応力	MPa
$f_s$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容せん断応力	MPa
$f_c$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容圧縮応力	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

デミスタラック (G41RK43) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるフレームとする。デミスタラック (G41RK43) の概要図を図 3-1 に示す。

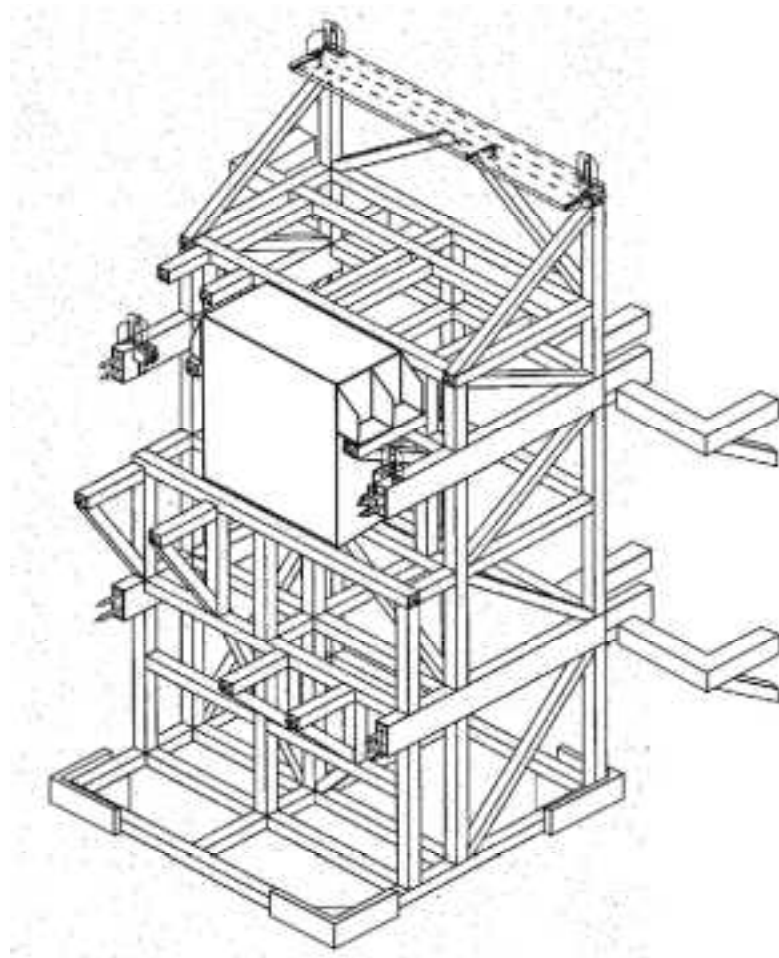


図 3-1 デミスタラック (G41RK43) の概要図

#### 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 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。

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
フレーム	引張応力	$1.5 \times f_t$
フレーム	せん断応力	$1.5 \times f_s$
フレーム	圧縮応力	$1.5 \times f_c$
フレーム	曲げ応力	$1.5 \times f_b$

#### 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
デミスタラック (G41RK43)	1.0	1.0

#### 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。

デミスタラック (G41RK43) 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
デミスタラック (G41RK43)	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数 1.0%)	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数 1.0%)

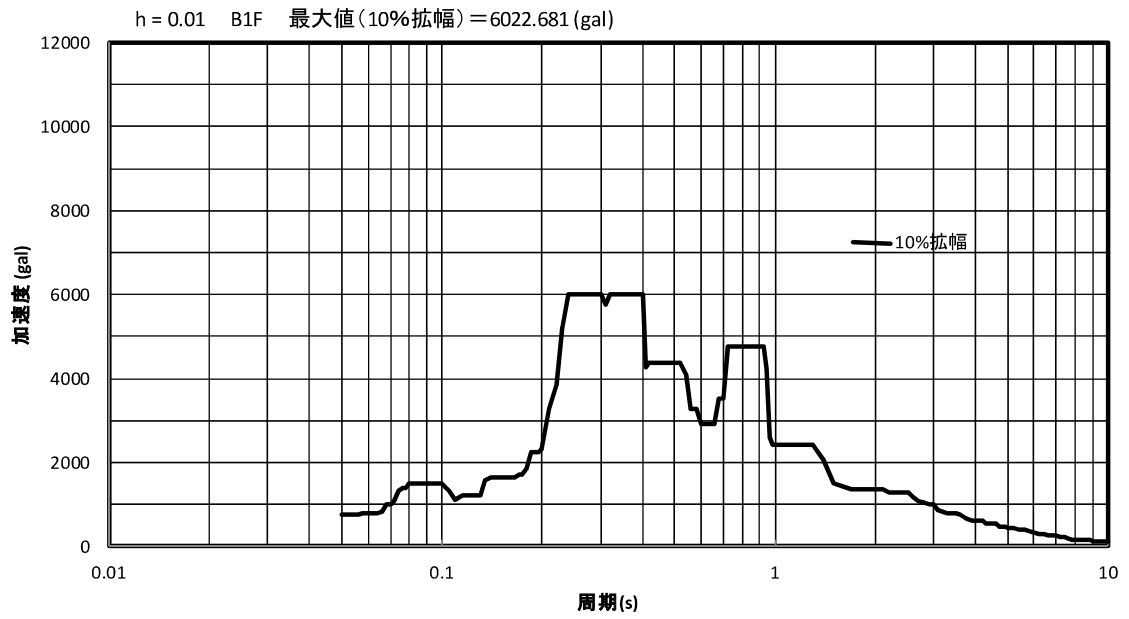


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

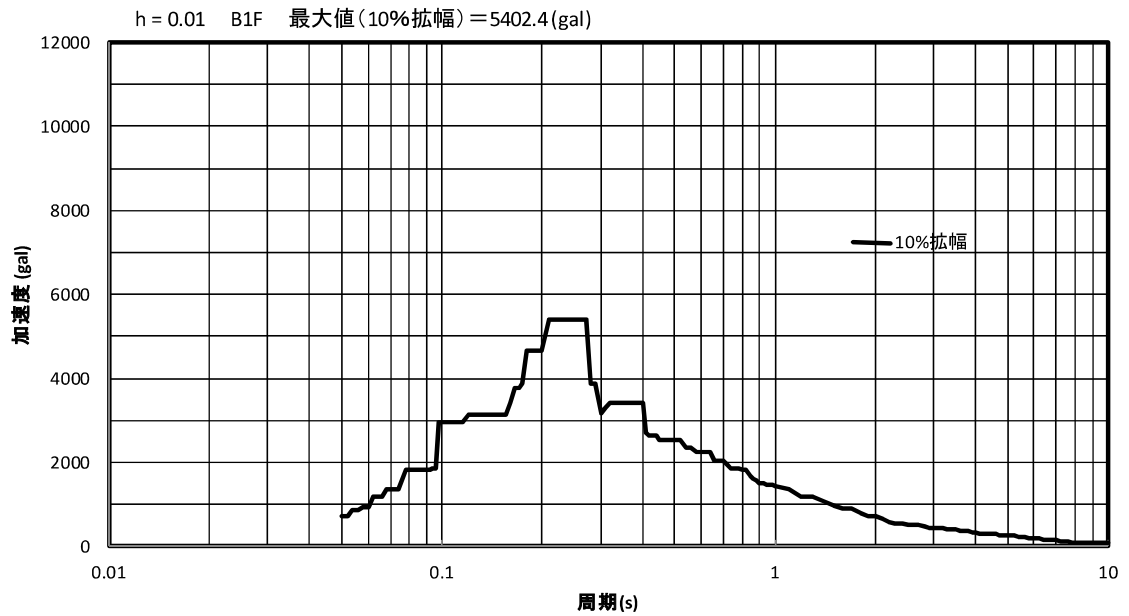


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）



#### 4.5 計算方法

デミスタラック (G41RK43) 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。

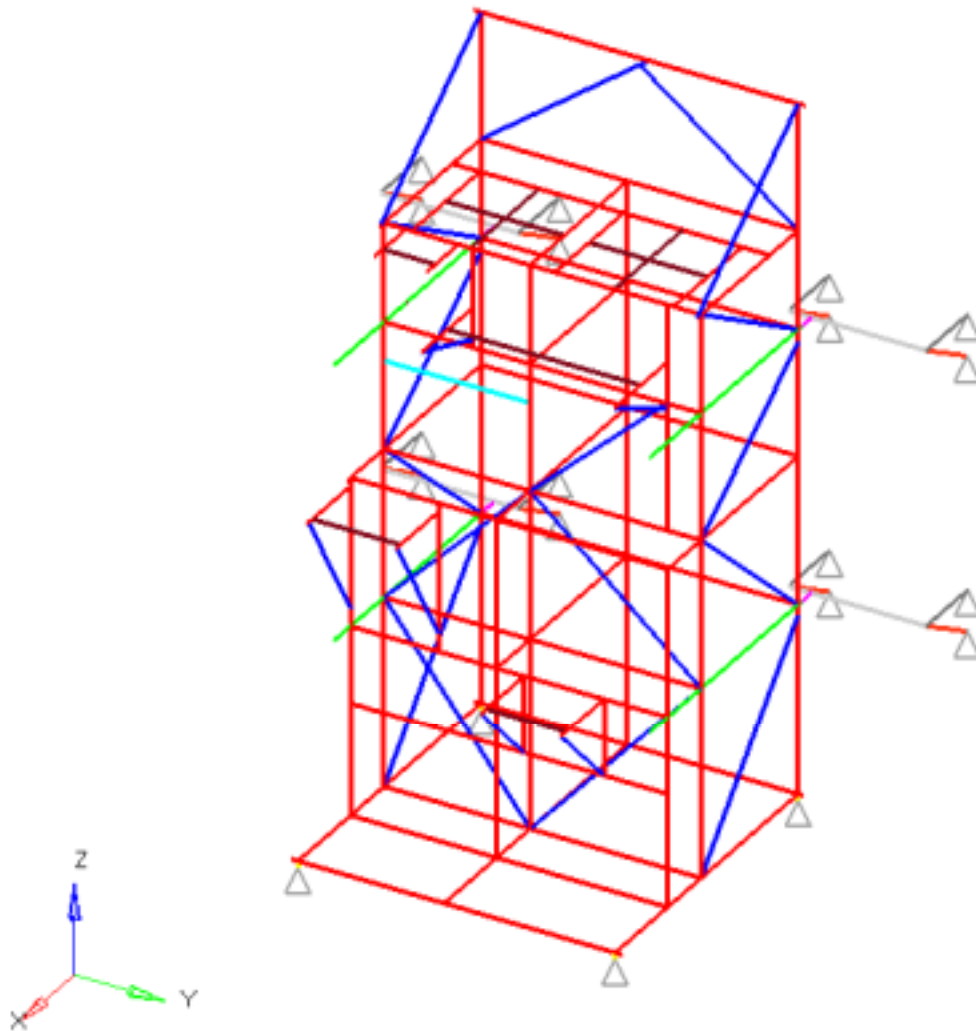
※1 MSC Software Corporation, “MSC. Nastran Version 2005r2” .

#### 4.6 計算条件

##### 4.6.1 解析モデル

デミスタラック (G41RK43) 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。

△…拘束点



拘束条件 ○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 デミスタラック (G41RK43) の解析モデル

#### 4.6.2 諸元

デミスタラック (G41RK43) 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
デミスタラック (G41RK43)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	本体高さ	6500 (mm)
	本体幅	3000 (mm)
	本体奥行き	3000 (mm)
	本体材質	SUS304
	設計温度	45 (°C)
	総質量(設計質量) ※ 搭載している機器 (デミスタ, 加熱器, ルテニウム吸着塔, フィルタ, 気液分 離器, インセルクーラ) 及び配管の質 量を含む。なお, それらの機器内の液 保有量は最大液量時の質量とする。	約 10.4 (t)

#### 4.7 固有周期

デミスタラック (G41RK43) 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：0.085（秒）

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 1.180e+001Hz

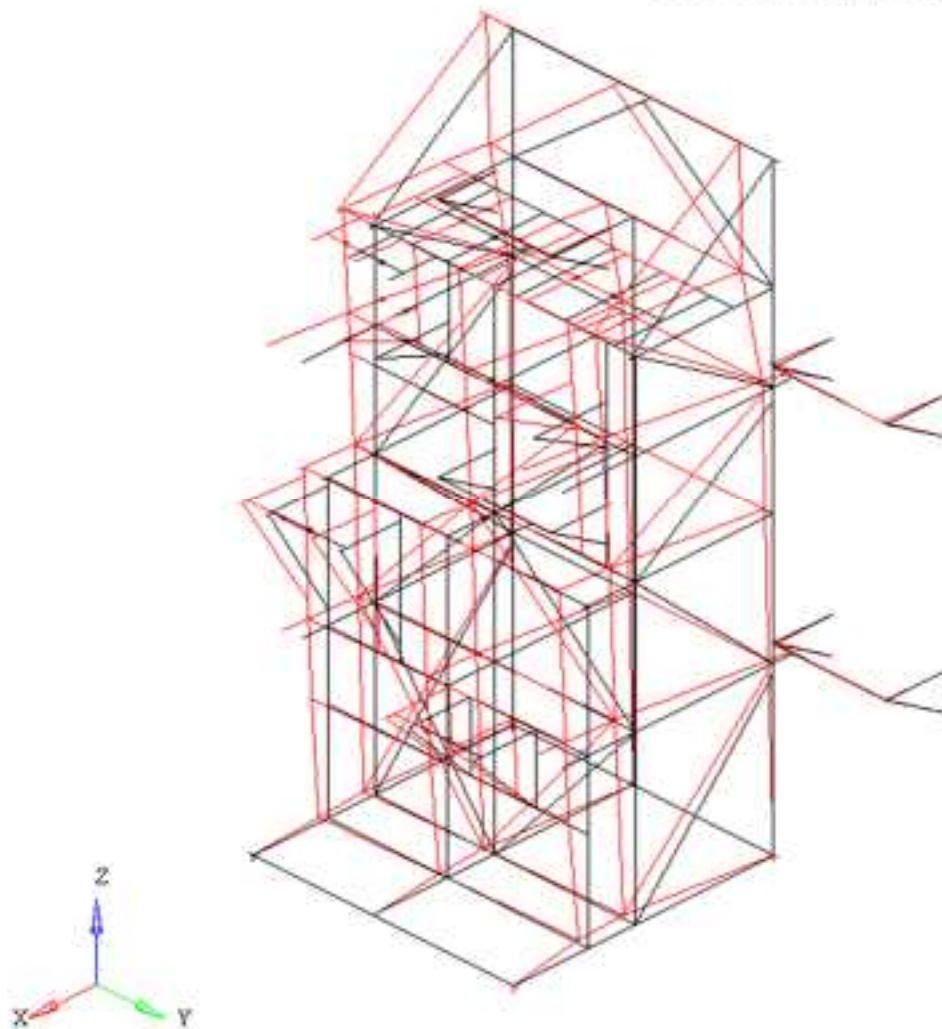


図 4-4 デミスタラック (G41RK43) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.066（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.516e+001Hz

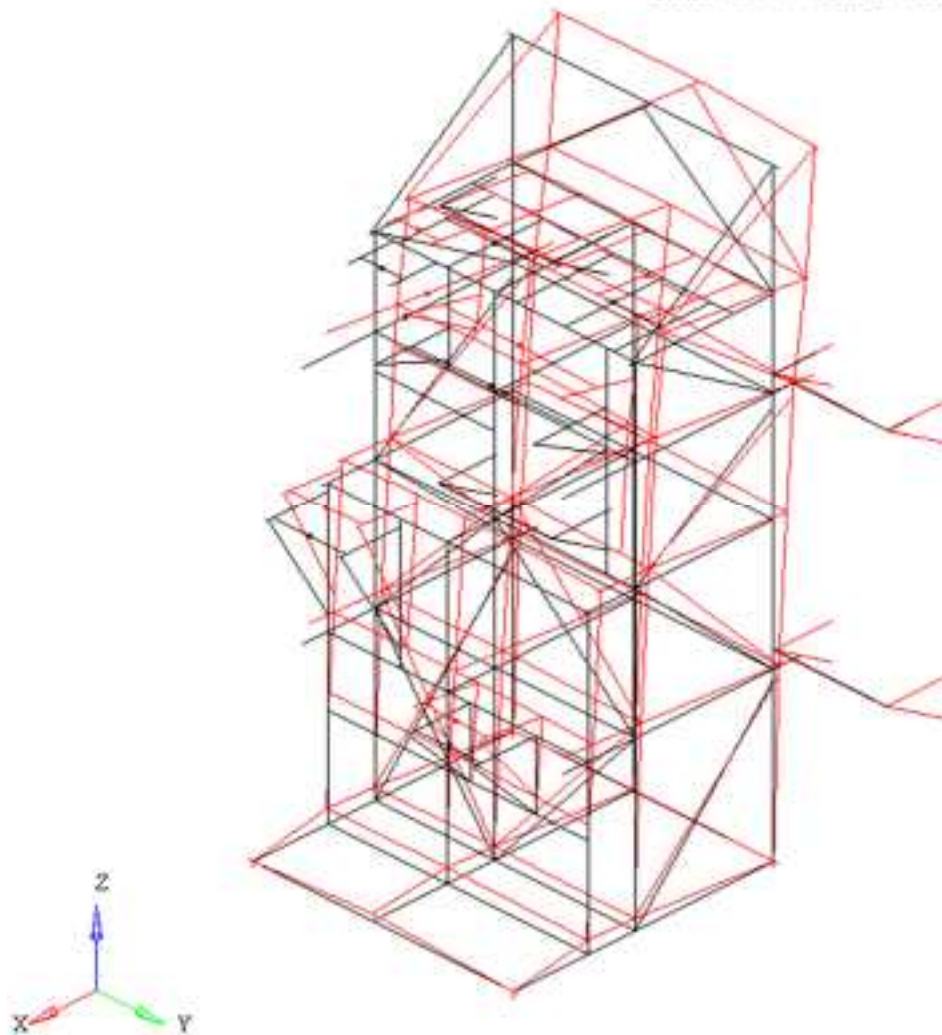


図 4-4 デミスタラック (G41RK43) 固有モード図(2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.042 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 2.392e+001Hz

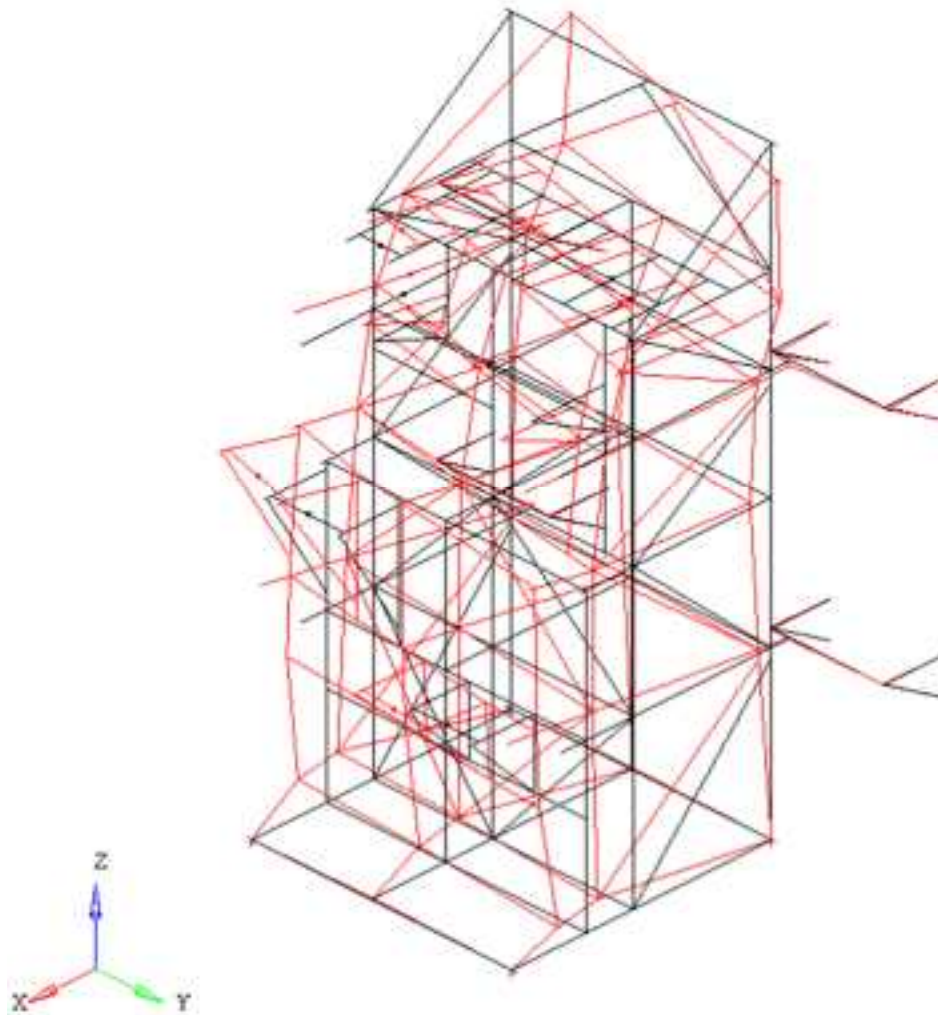


図 4-4 デミスタラック (G41RK43) 固有モード図 (3/3)

## 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デミスタラック (G41RK43) 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>
デミスタラック (G41RK43)	フレーム	引張	23	246	0.10
		せん断	27	142	0.19
		圧縮	30	218	0.14
		曲げ	110	246	0.45

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

## 6. その他の考慮事項について

### 6.1 機器搭載位置での地震力について

デミスタラック (G41RK43) は、インセルクーラ (G43H17)、デミスタ (G41D43)、気液分離器 (G41D4341)、加熱器 (G41H44)、ルテニウム吸着塔 (G41T45)、フィルタ (G41F46) 及びフィルタ (G41F47) を搭載しているため、FEM 解析 (時刻歴解析) により、それぞれ機器搭載位置での応答時刻歴波を算出した。

#### 6.1.1 設計用地震力

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解析に用いた。デミスタラック (G41RK43) へ入力する床応答時刻歴波については、背面支持装置の位置での入力地震動は地下 1 階のもの、脚部の位置での入力地震動は地下 2 階のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 6-1、図 6-1、図 6-2、図 6-3、図 6-4、図 6-5 及び図 6-6 に示す。

表 6-1 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	床応答時刻歴波 の入力位置	水平方向	鉛直方向
デミスタラック (G41RK43)	背面支持装置	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 1 階)	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 1 階)
	脚部	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 2 階)	廃止措置計画用設計地震動 ( $S_s-D$ , $S_s-1$ , $S_s-2$ ) による 床応答時刻歴波 (地下 2 階)



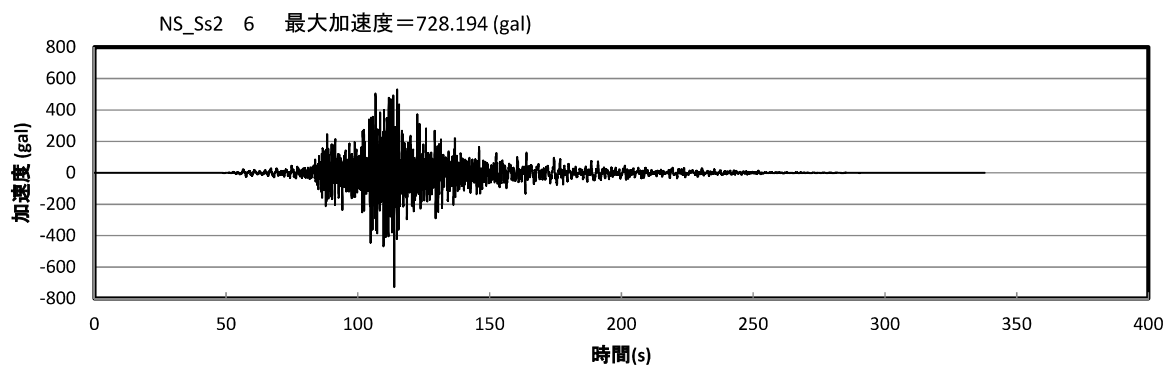
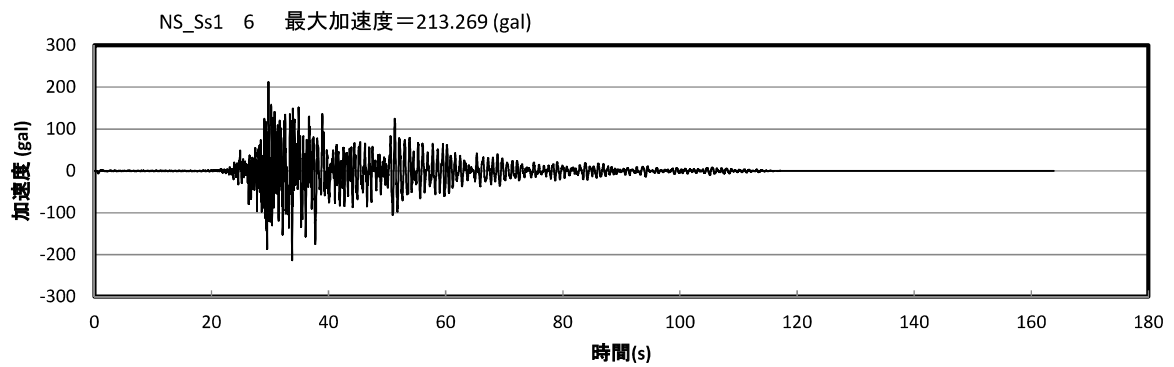
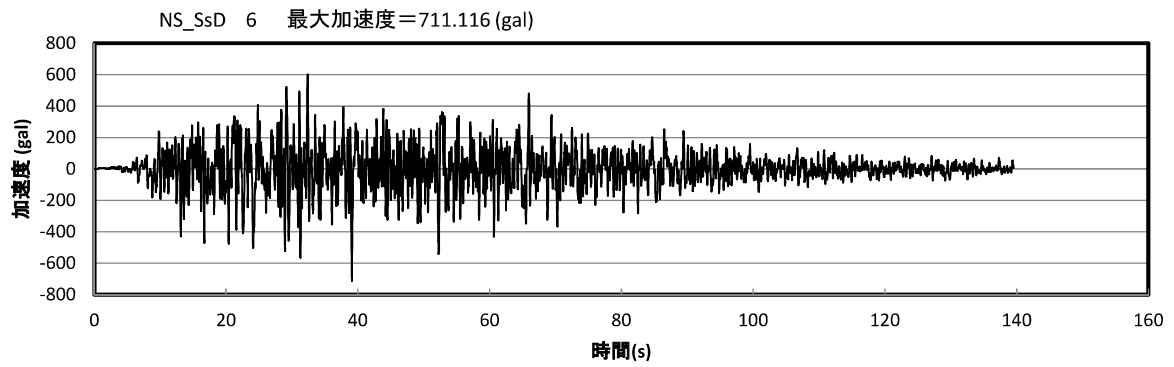


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

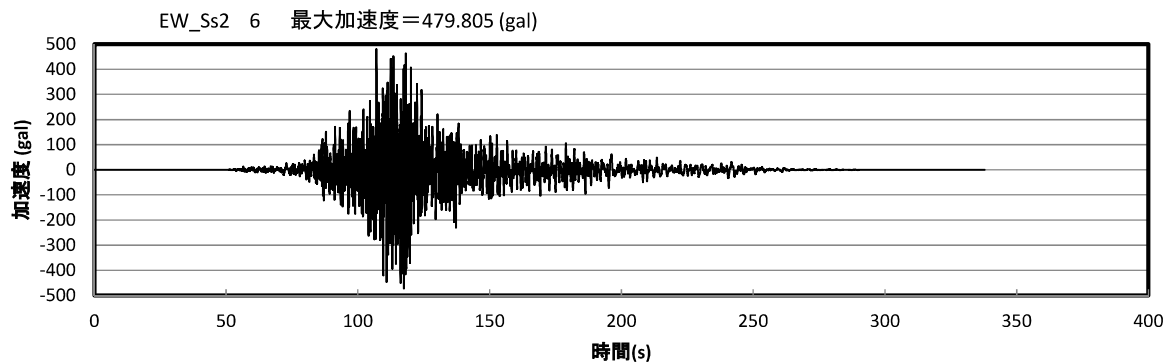
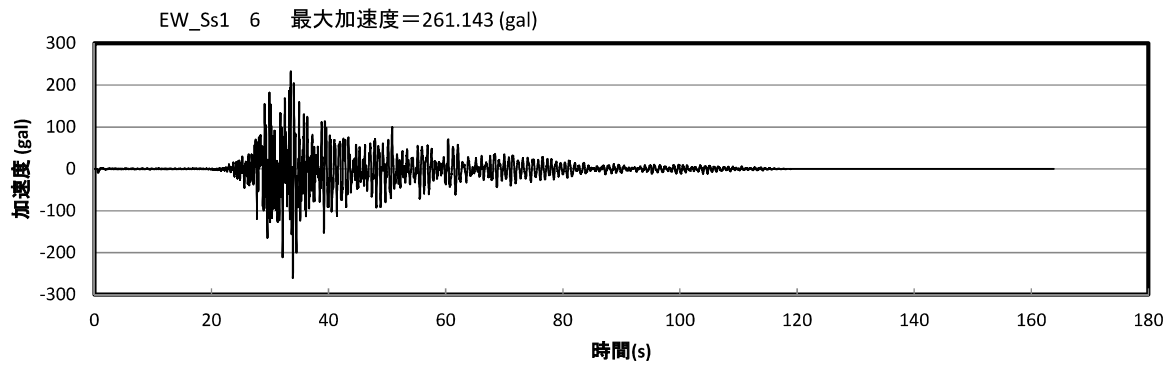
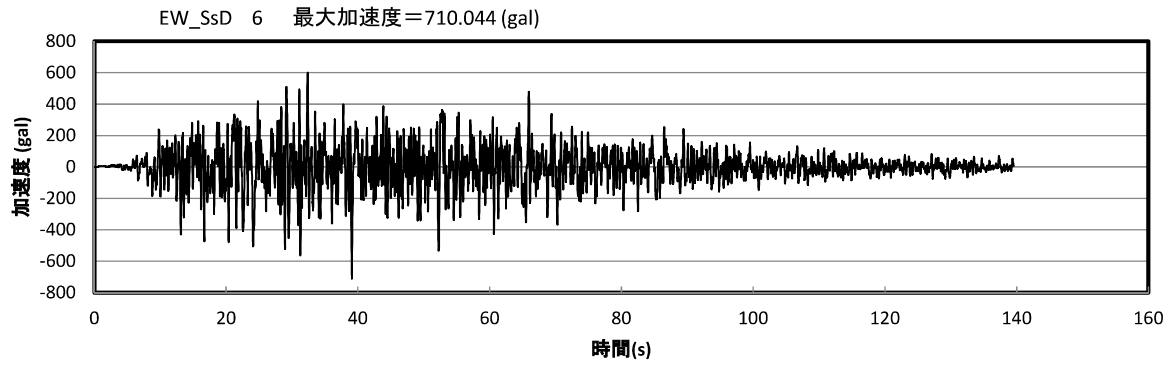


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下1階, 水平EW方向)

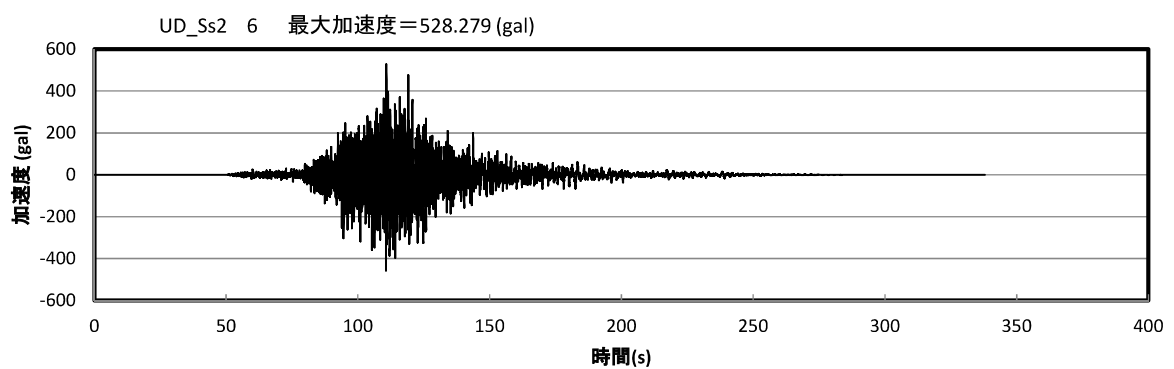
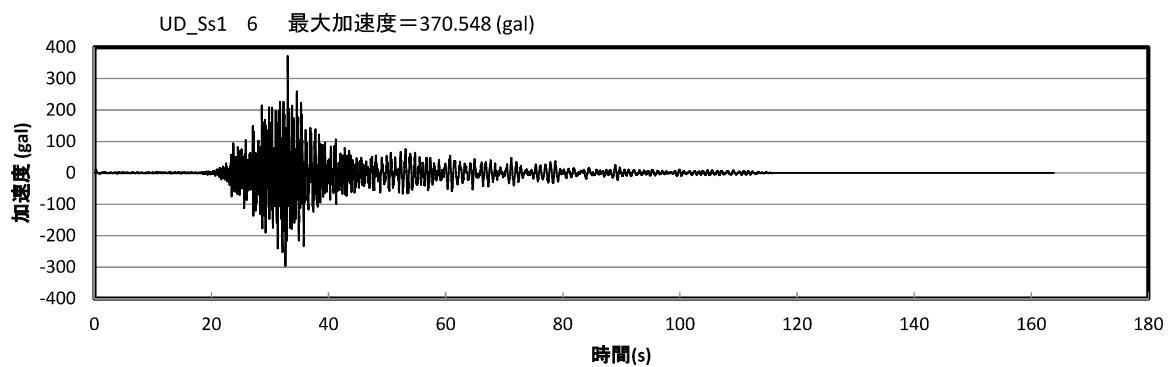
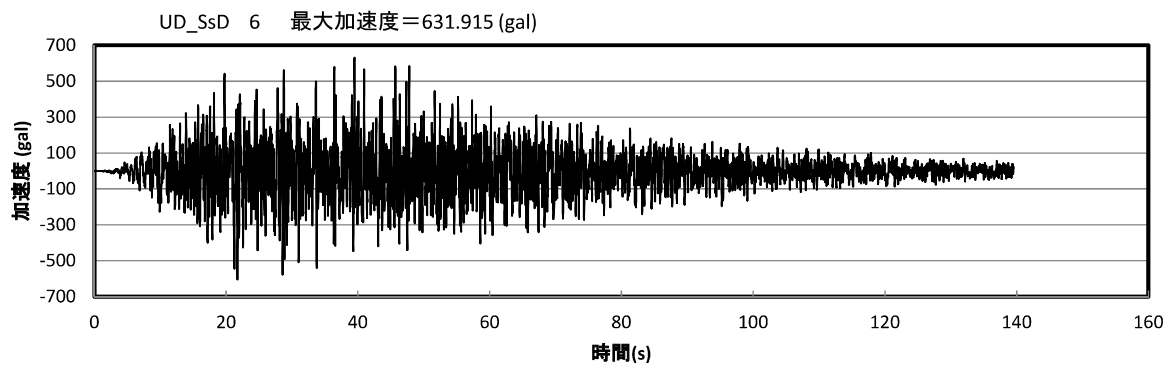


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下1階, 鉛直方向)

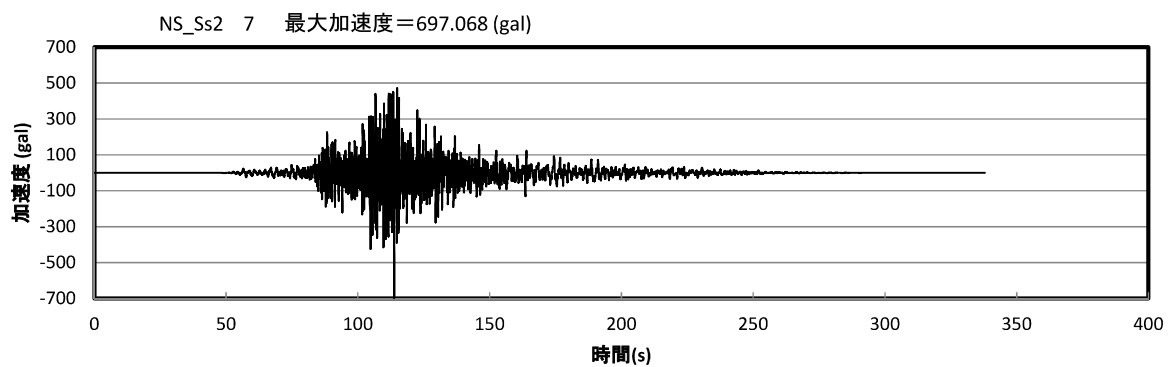
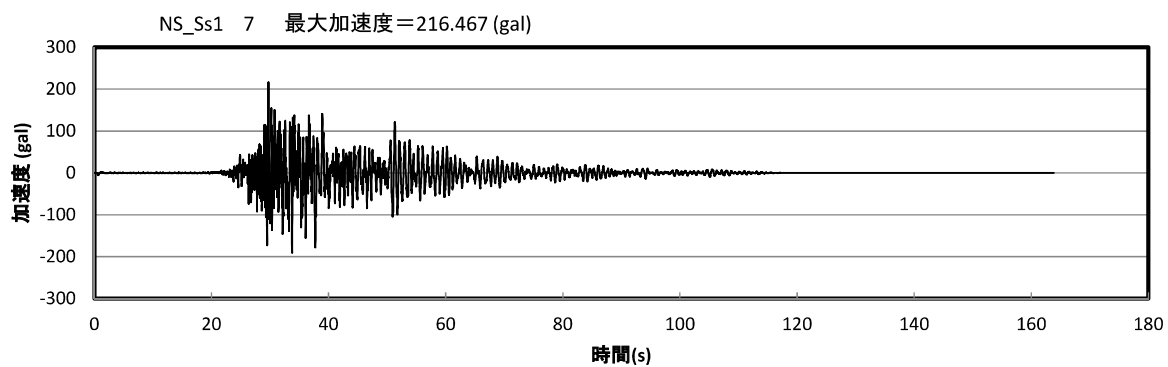
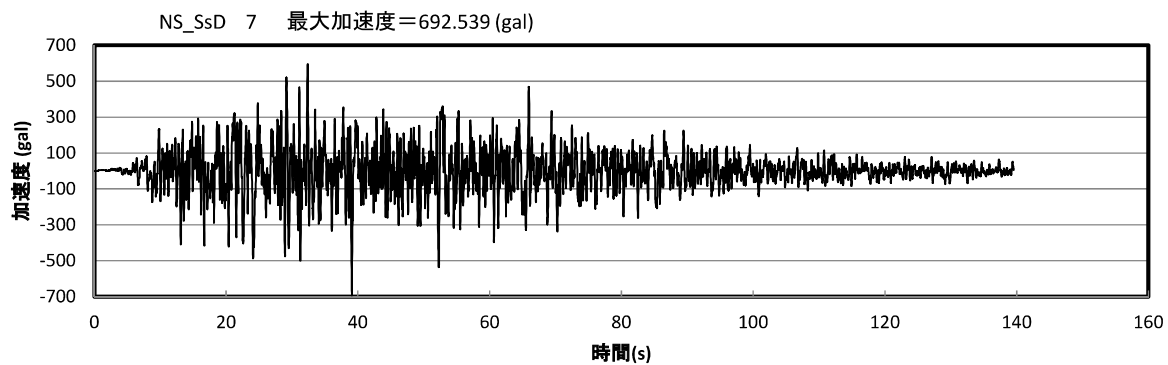


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

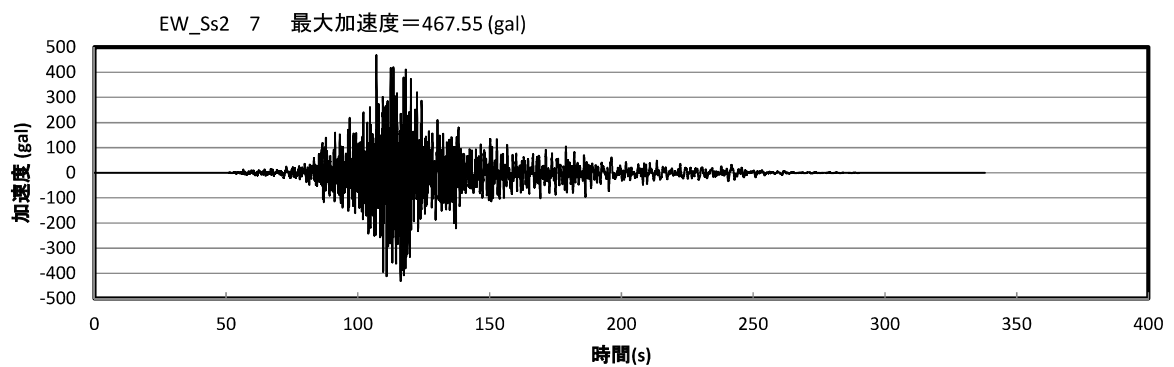
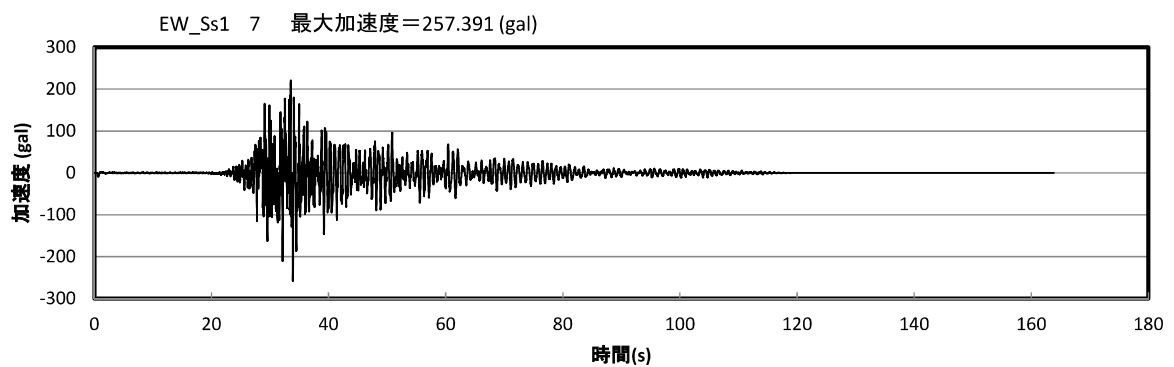
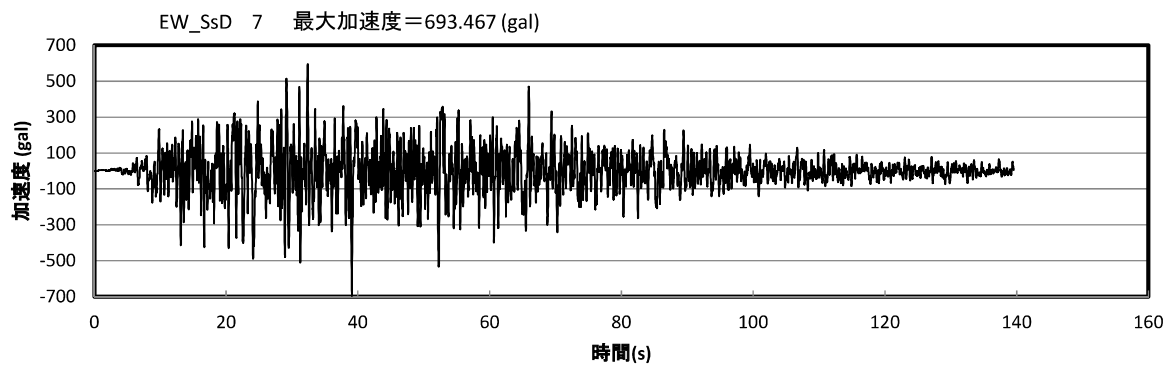


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

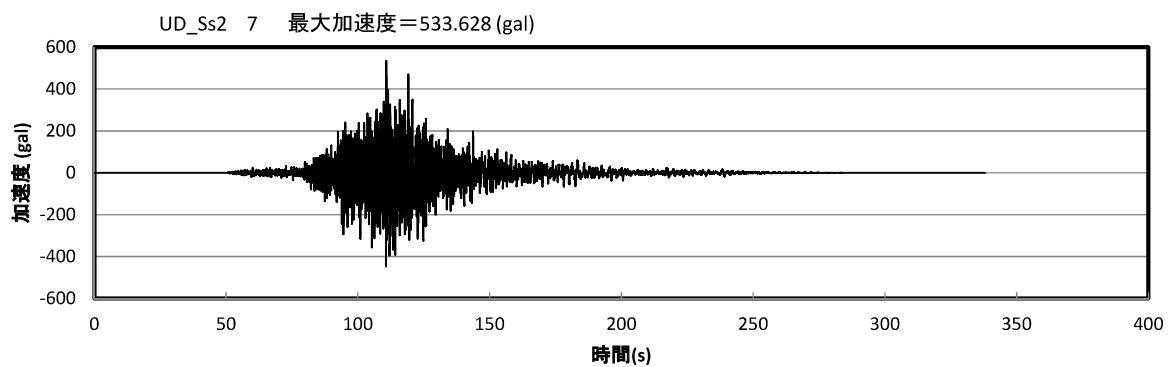
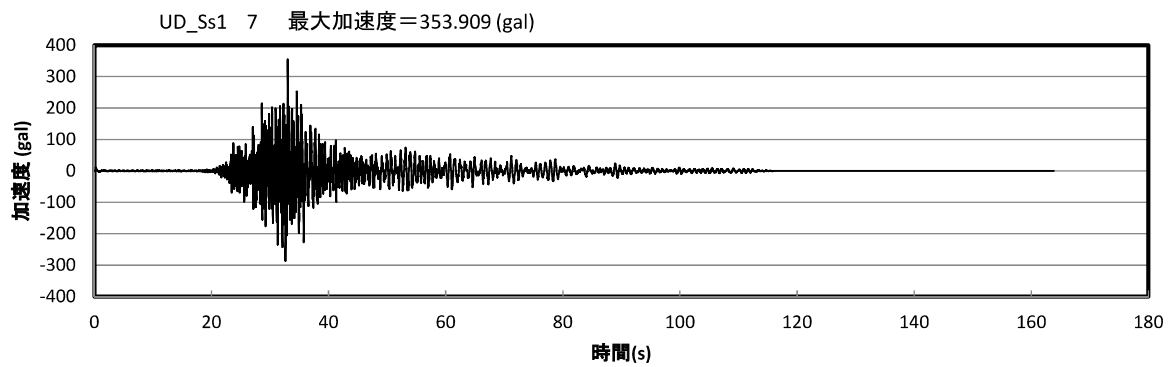
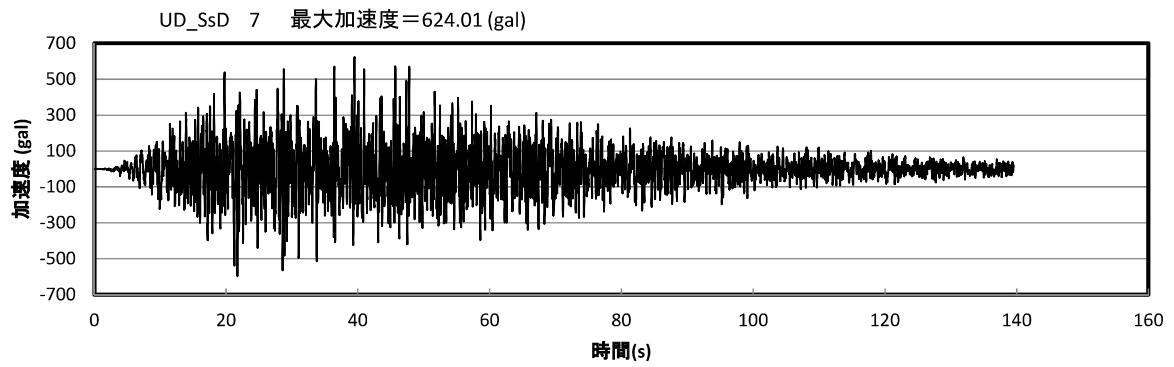


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 鉛直方向)

### 6.1.2 計算方法

デミスタラック (G41RK43) に搭載する機器について、機器搭載位置での応答時刻歴波の計算方法は FEM 解析 (時刻歴応答解析) を用いた。解析コードは MSC. Nastran<sup>※1</sup> を用いた。機器搭載位置での静的解析用震度について、算出した機器搭載位置での応答最大加速度を 1.2 倍したものとした。

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

### 6.1.3 機器搭載位置での地震力

各機器搭載位置での静的解析用震度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機器の搭載位置での静的解析用震度

評価対象機器	静的解析用震度 (応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
インセルクーラ (G43H17)	1.78	0.92
デミスタ (G41D43)	1.83	0.92
加熱器 (G41H44)	1.89	0.88
ルテニウム吸着塔 (G41T45)	1.84	0.93
フィルタ (G41F46)	1.48	0.84
フィルタ (G41F47)	1.19	0.87

スクラッバラック (G41RK10) の耐震性についての計算書



## 1. 概要

本資料は、高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する機器等の支持構造物であるスクラップバラック (G41RK10) 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その安全機能の維持が可能であることを示すものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

スクラップバラック (G41RK10) 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
$f_t$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容引張応力	MPa
$f_s$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容せん断応力	MPa
$f_c$	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容圧縮応力	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

スクラップバラック (G41RK10) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるフレームとする。スクラップバラック (G41RK10) の概要図を図 3-1 に示す。

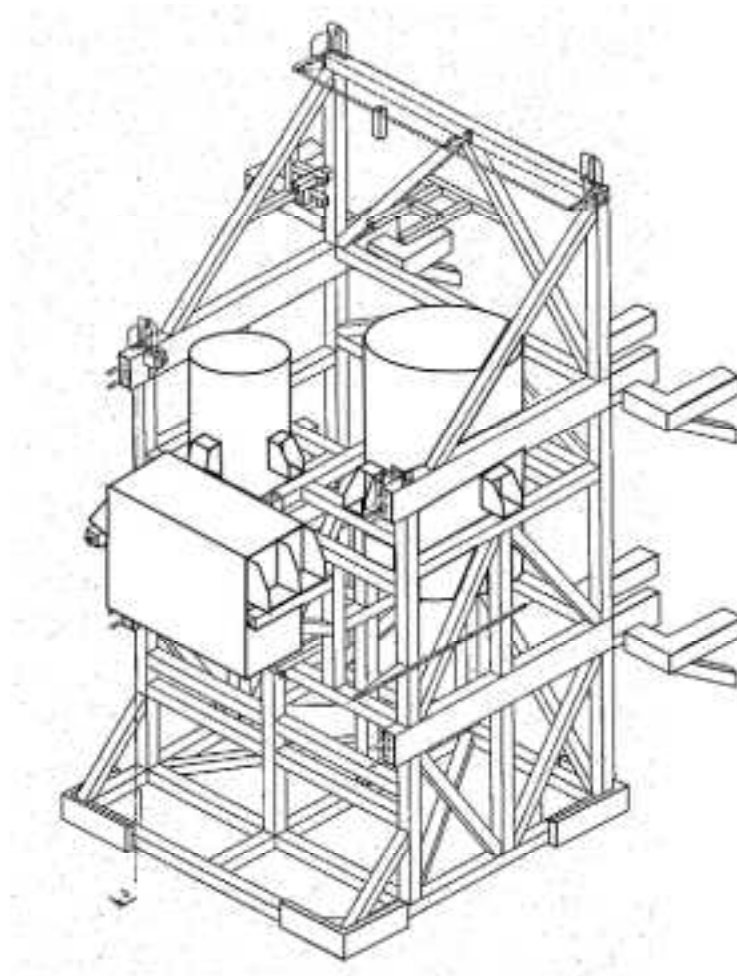


図 3-1 スクラップラック (G41RK10) の概要図

#### 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 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。

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
フレーム	引張応力	$1.5 \times f_t$
フレーム	せん断応力	$1.5 \times f_s$
フレーム	圧縮応力	$1.5 \times f_c$
フレーム	曲げ応力	$1.5 \times f_b$

#### 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
スクラップラック (G41RK10)	1.0	1.0

#### 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。

スクラップラック (G41RK10) 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
スクラップラック (G41RK10)	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数 1.0%)	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数 1.0%)

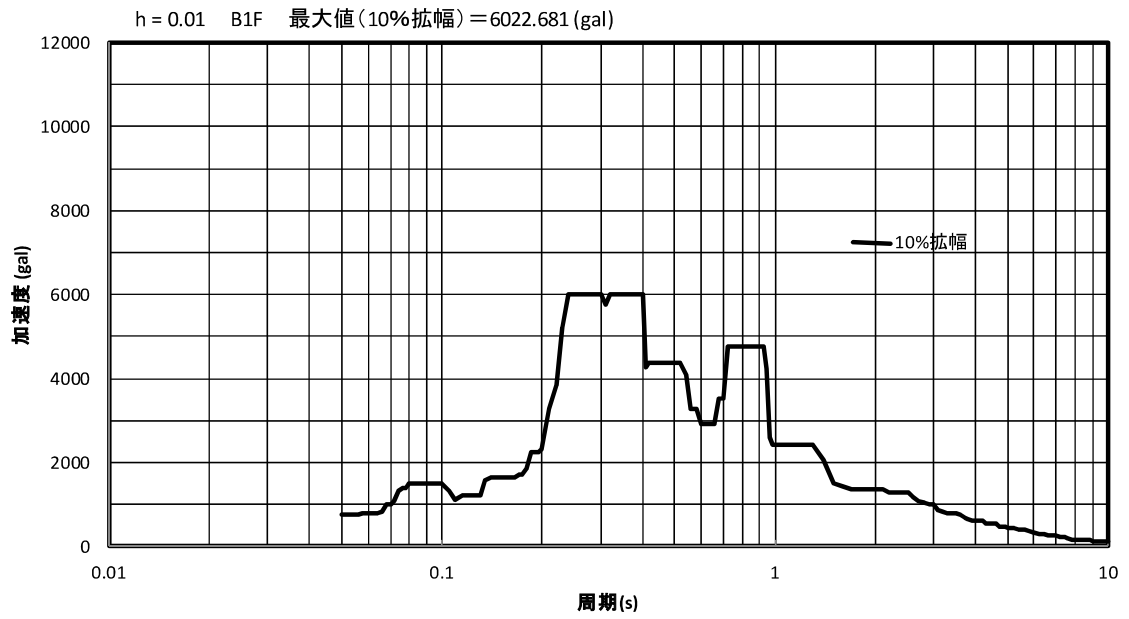


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

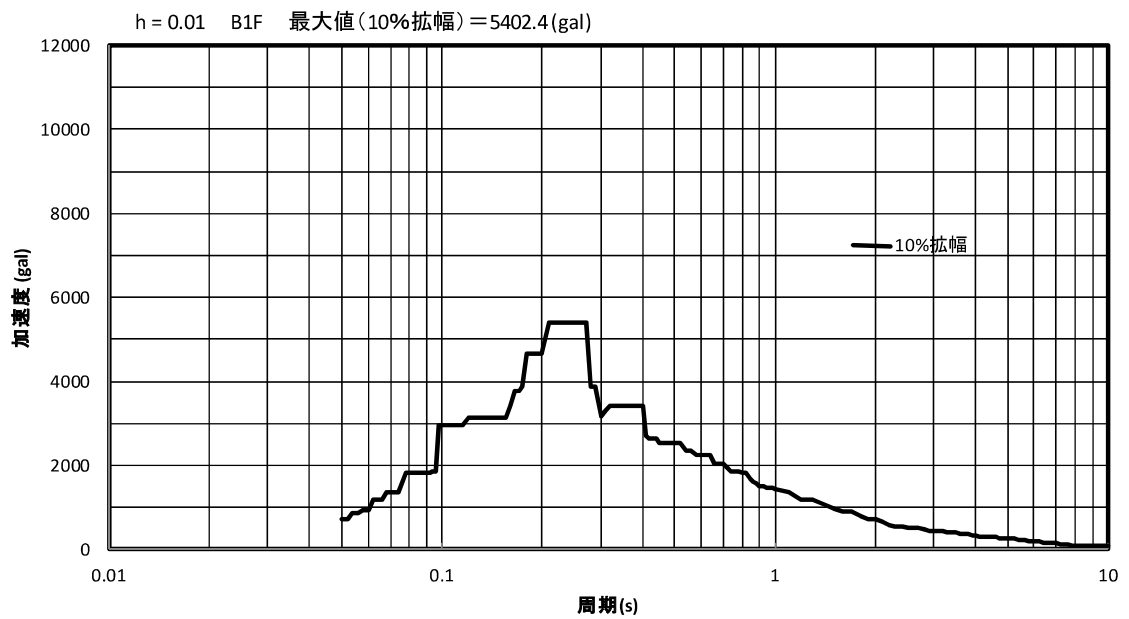


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

#### 4.5 計算方法

スクラップバラック (G41RK10) 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。

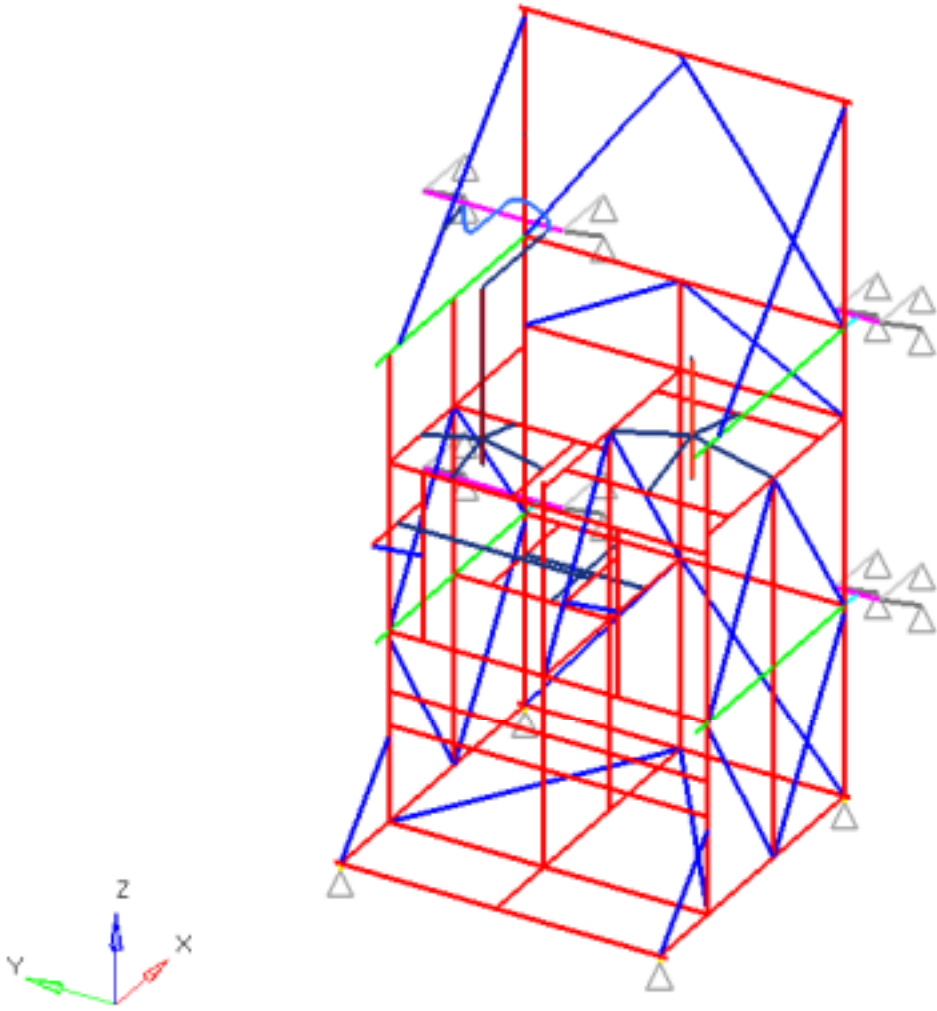
※1 MSC Software Corporation, “MSC. Nastran Version 2005r2” .

#### 4.6 計算条件

##### 4.6.1 解析モデル

スクラップバラック (G41RK10) 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。

△…拘束点



拘束条件      ○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 スクラップラック (G41RK10) の解析モデル

#### 4.6.2 諸元

スクラップラック (G41RK10) 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
スクラップラック (G41RK10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	本体高さ	6500 (mm)
	本体幅	3000 (mm)
	本体奥行き	3000 (mm)
	本体材質	SUS304
	設計温度	45 (°C)
	総質量(設計質量) ※ 搭載している機器 (スクラップ、ベン チュリスクラップ、インセルクーラ、 廃液槽、気液分離器) 及び配管の質量 を含む。なお、それらの機器内の液保 有量は最大液量時の質量とする。	約 15.0 (t)

#### 4.7 固有周期

スクラップラック (G41RK10) 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 : 0.095 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 1.057e+001Hz

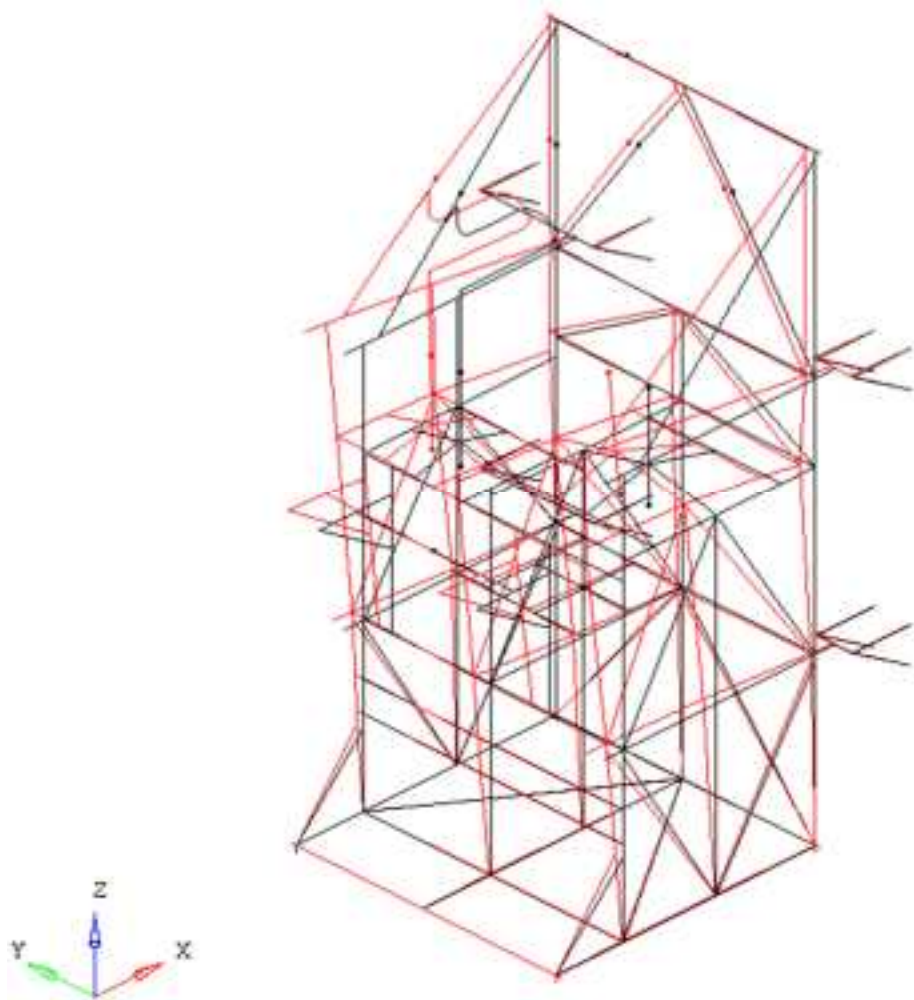


図 4-4 スクラップバラック (G41RK10) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期：0.081（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.228e+001Hz

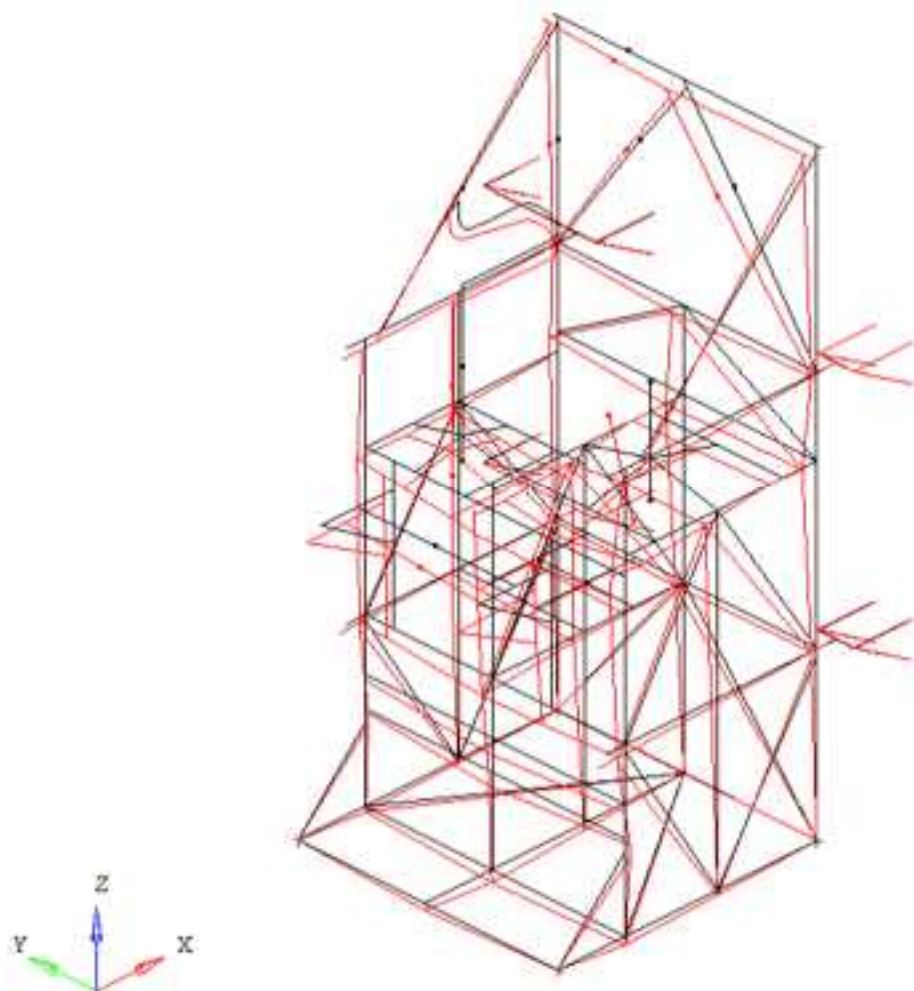


図 4-4 スクラッバラック (G41RK10) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.053 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 1.884e+001Hz

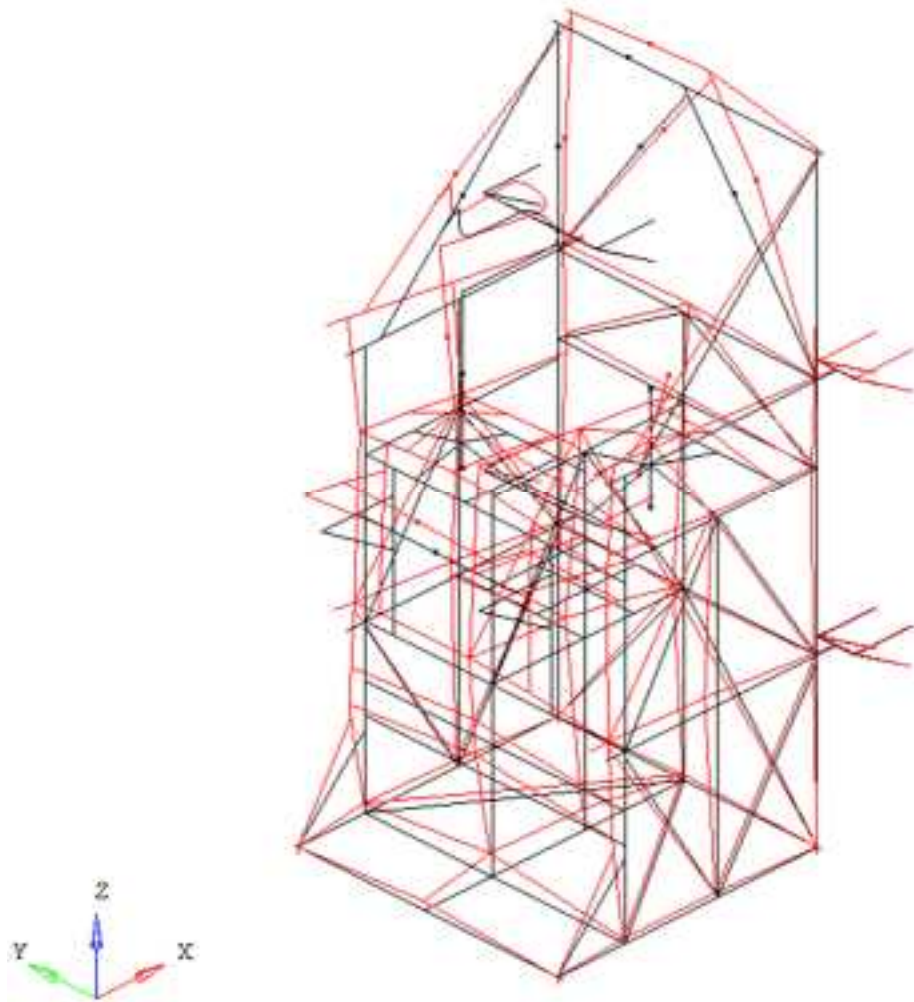


図 4-4 スクラッバラック (G41RK10) 固有モード図 (3/3)

## 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スクラップラック (G41RK10) 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>
スクラップラック (G41RK10)	フレーム	引張	21	246	0.09
		せん断	32	142	0.23
		圧縮	27	146	0.19
		曲げ	167	246	0.68

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

## 6. その他の考慮事項について

### 6.1 機器搭載位置での地震力について

スクラップラック (G41RK10) は、スクラップ (G41T10)、ベンチュリスクラップ (G41T11)、インセルクーラ (G43H13)、廃液槽 (G41V10)、気液分離器 (G41D1041)、気液分離器 (G41D1141) 及び気液分離器 (G41D1142) を搭載しているため、FEM 解析 (時刻歴解析) により、それぞれ機器搭載位置での応答時刻歴波を算出した。

#### 6.1.1 設計用地震力

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解析に用いた。スクラップラック (G41RK10) へ入力する床応答時刻歴波については、背面支持装置の位置での入力地震動は地下 1 階のもの、脚部の位置での入力地震動は地下 2 階のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 6-1、図 6-1、図 6-2、図 6-3、図 6-4、図 6-5 及び図 6-6 に示す。

表 6-1 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	床応答時刻歴波 の入力位置	水平方向	鉛直方向
スクラップ ラック (G41RK10)	背面支持装置	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による 床応答時刻歴波 (地下 1 階)	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による 床応答時刻歴波 (地下 1 階)
	脚部	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による 床応答時刻歴波 (地下 2 階)	廃止措置計画用設計地震動 (S <sub>s</sub> -D, S <sub>s</sub> -1, S <sub>s</sub> -2) による 床応答時刻歴波 (地下 2 階)

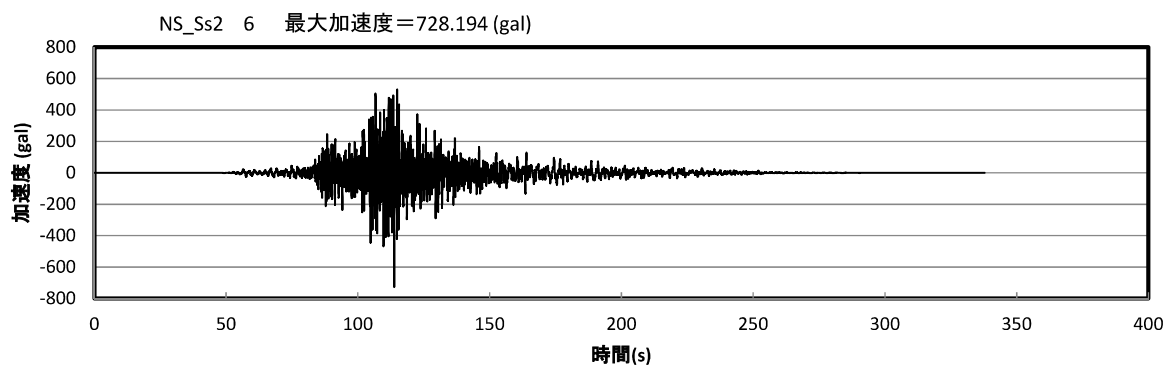
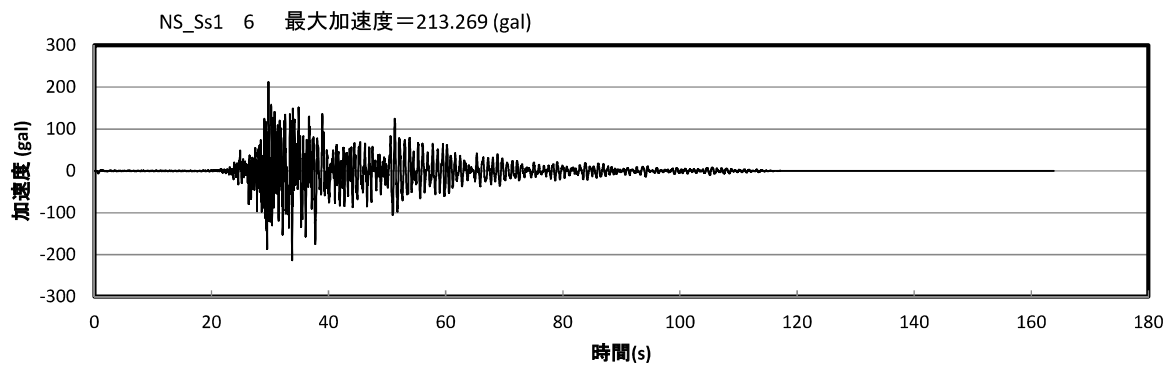
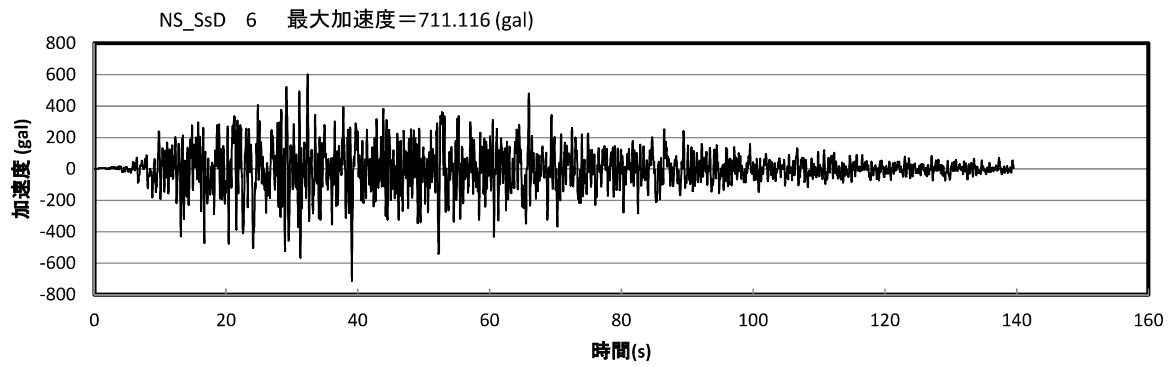


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

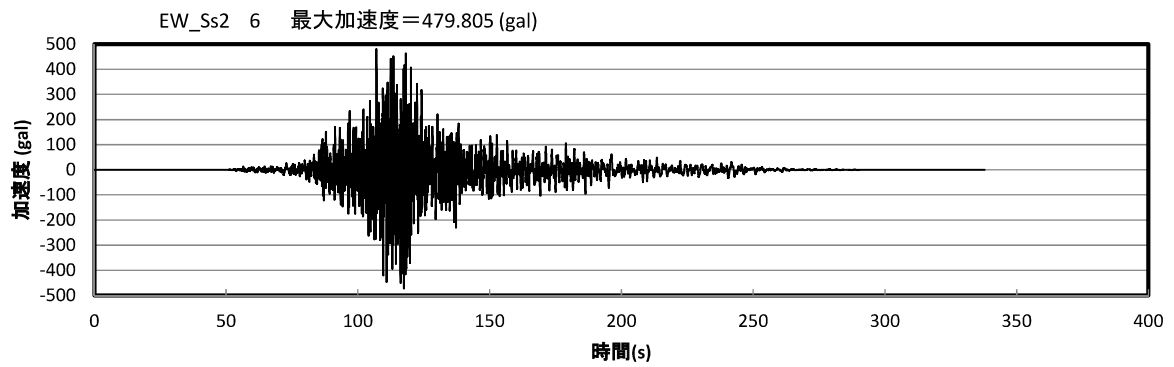
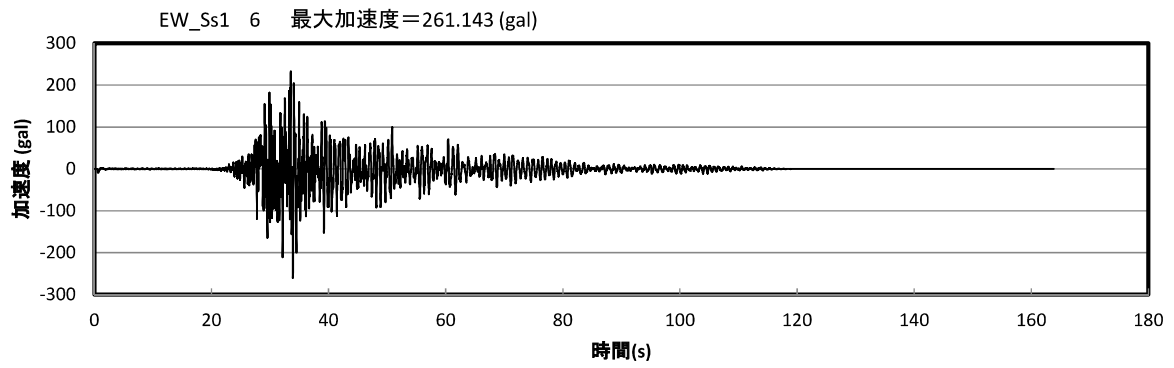
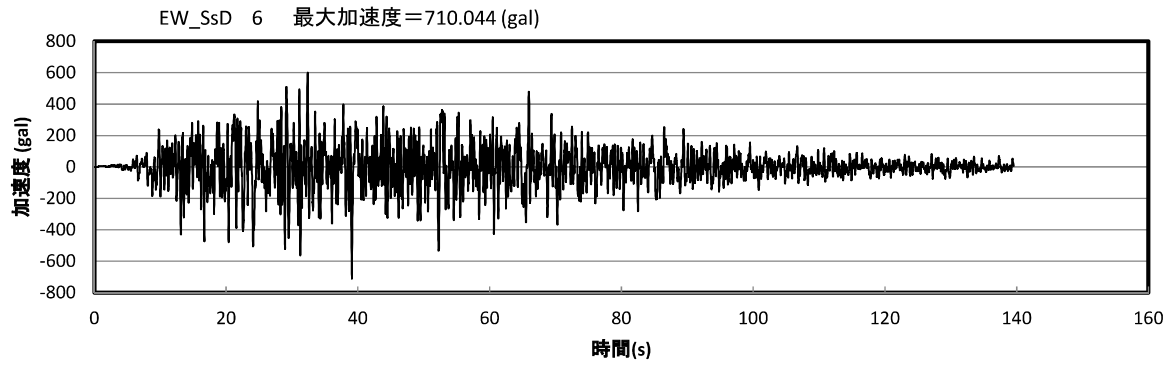


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

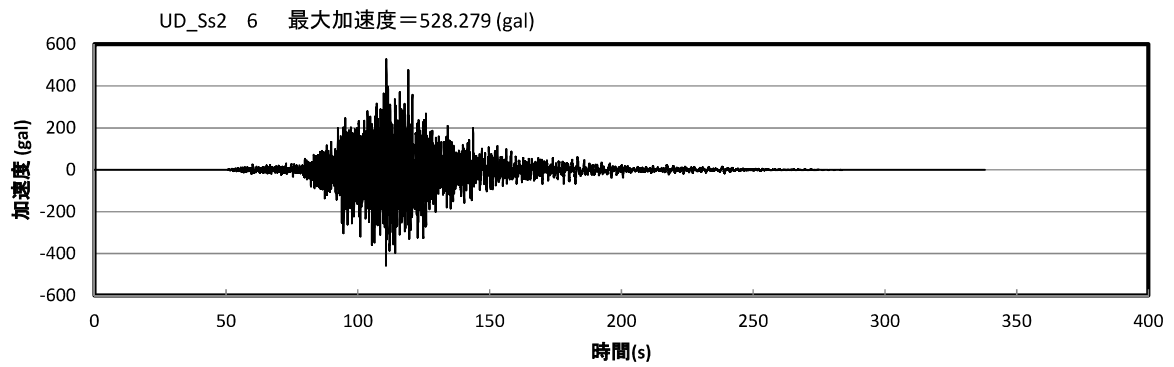
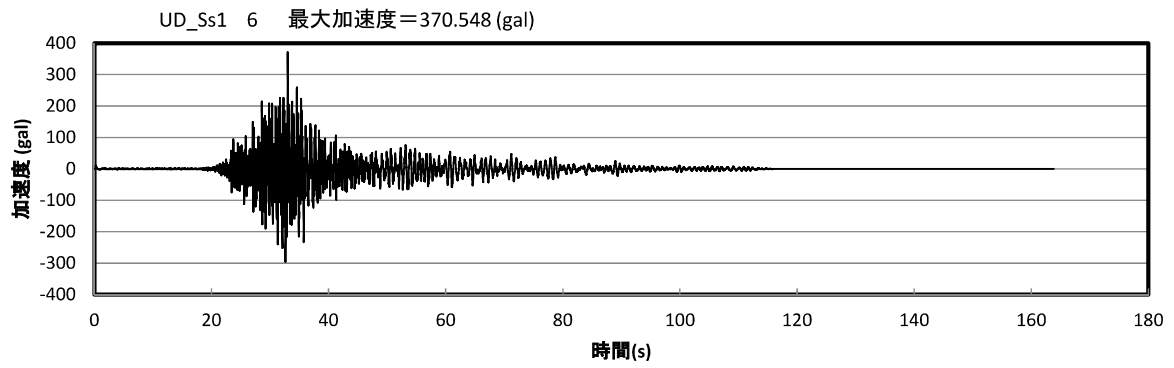
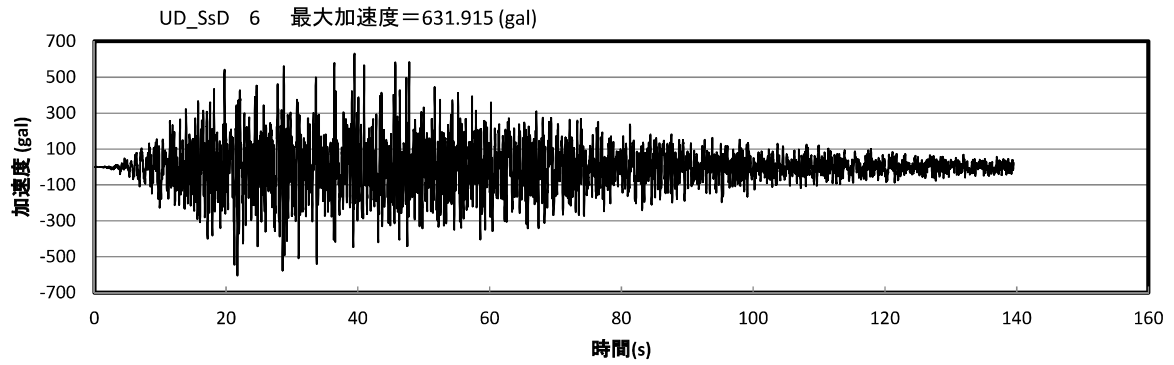


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下1階, 鉛直方向)



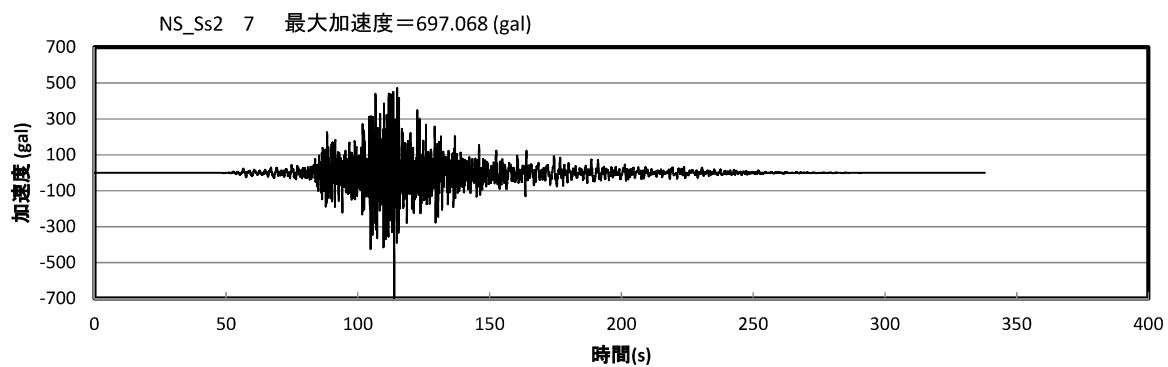
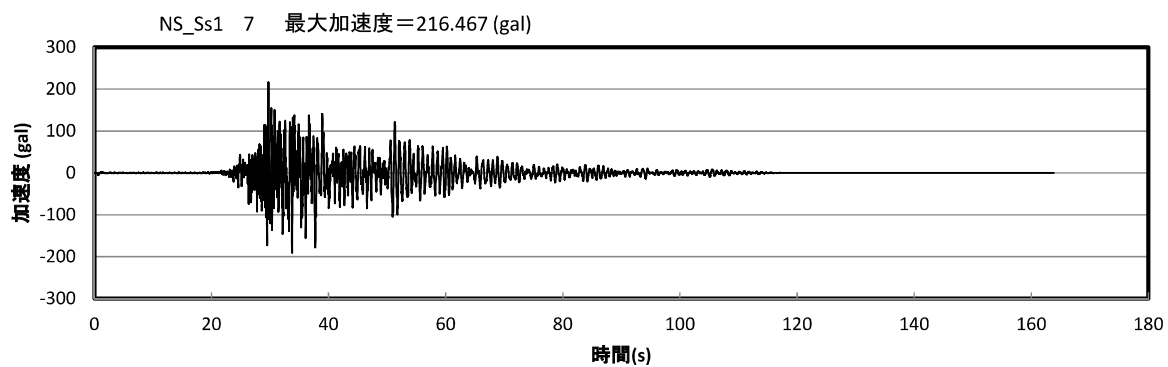
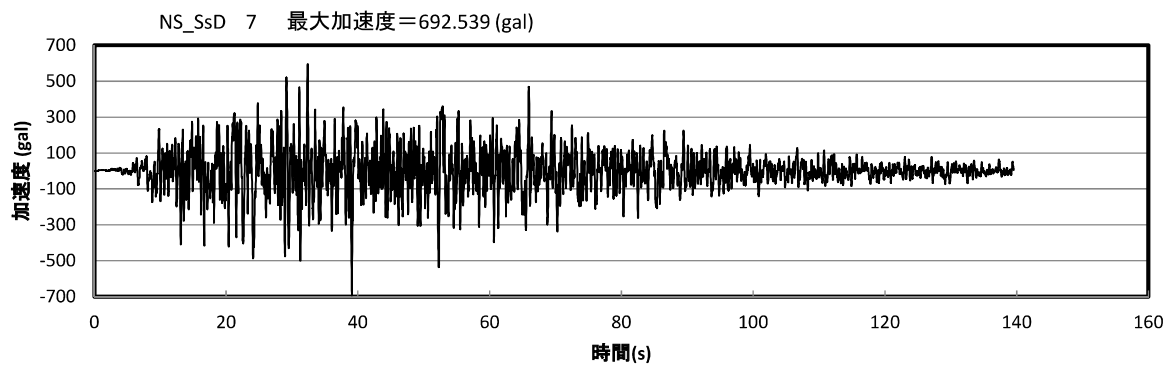


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

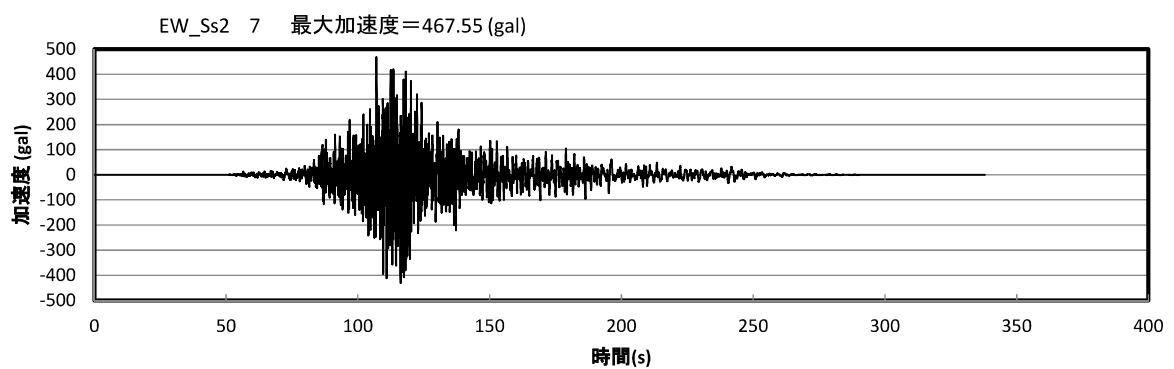
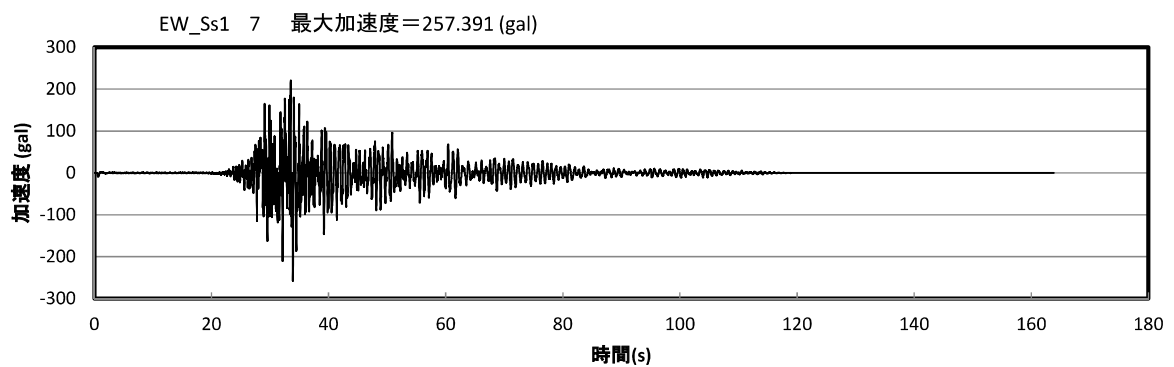
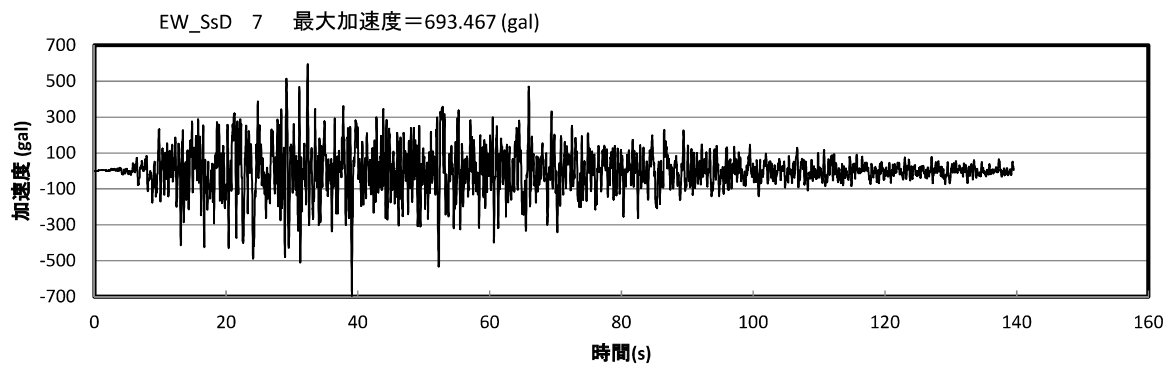


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

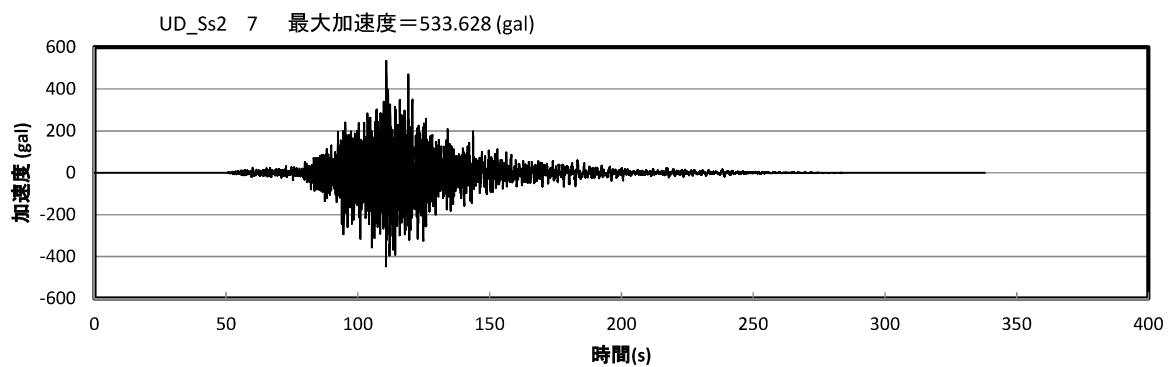
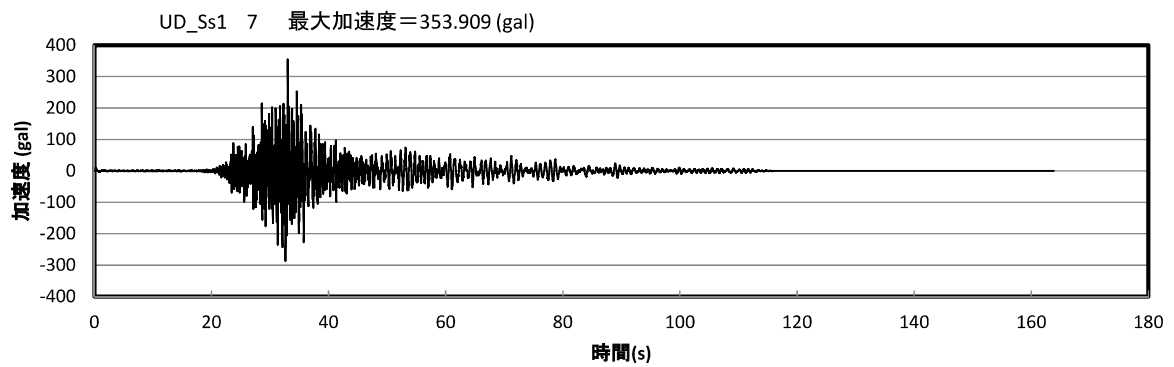
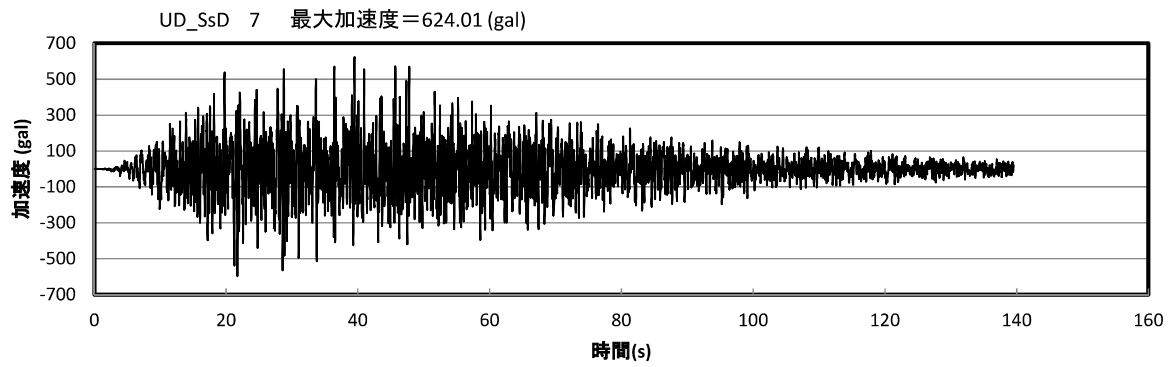


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形  
(地下 2 階, 鉛直方向)

### 6.1.2 計算方法

スクラップラック (G41RK10) に搭載する機器について、機器搭載位置での応答時刻歴波の計算方法は FEM 解析（時刻歴応答解析）を用いた。解析コードは MSC.Nastran<sup>※1</sup>を用いた。機器搭載位置での静的解析用震度について、算出した機器搭載位置での応答最大加速度を 1.2 倍したものとした。

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

### 6.1.3 機器搭載位置での地震力

各機器搭載位置での静的解析用震度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機器の搭載位置での静的解析用震度

評価対象機器	静的解析用震度（応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
スクラップ (G41T10)	1.44	0.81
ベンチュリスクラップ (G41T11)	1.49	0.78
インセルクーラ (G43H13)	1.55	0.79