

吸収塔ラック (G41RK20) 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吸収塔ラック (G41RK20) 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

吸収塔ラック (G41RK20) 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

吸収塔ラック (G41RK20) 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。吸収塔ラック (G41RK20) の概要図を図 3-1 に示す。

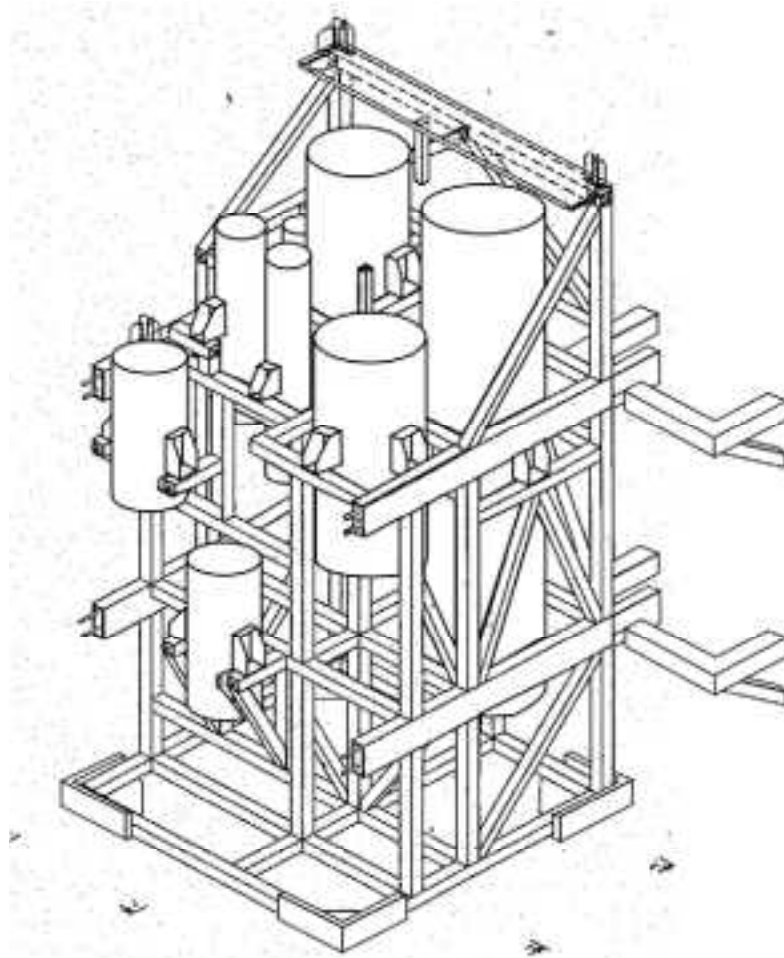


図 3-1 吸収塔ラック (G41RK20) の概要図

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
吸収塔ラック (G41RK20)	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。

吸収塔ラック (G41RK20) 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
吸収塔ラック (G41RK20)	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%)

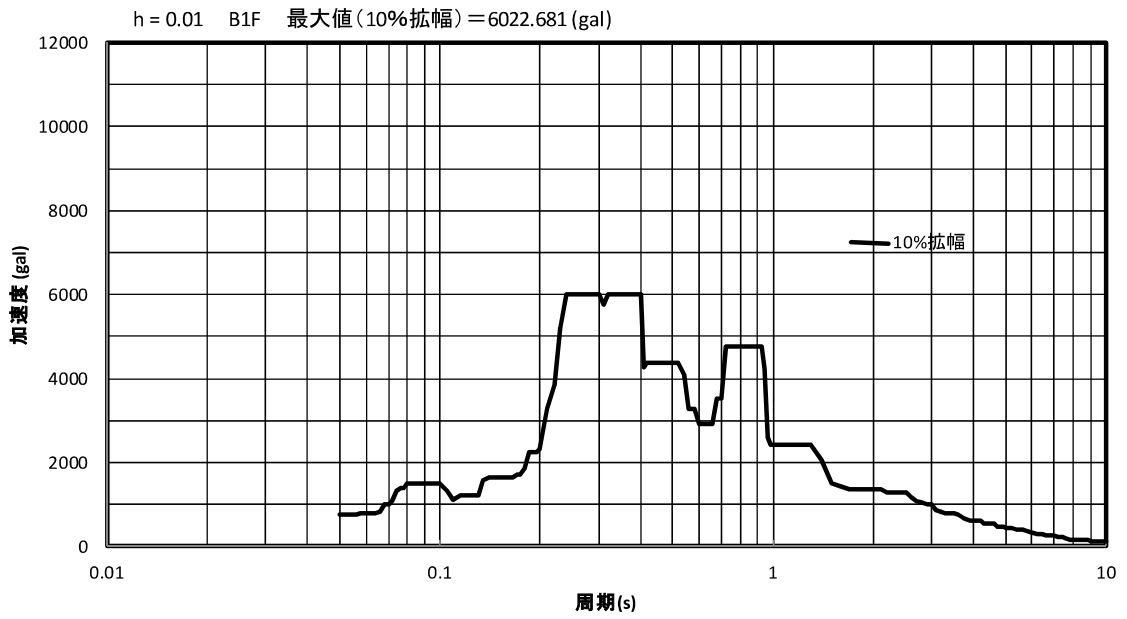


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

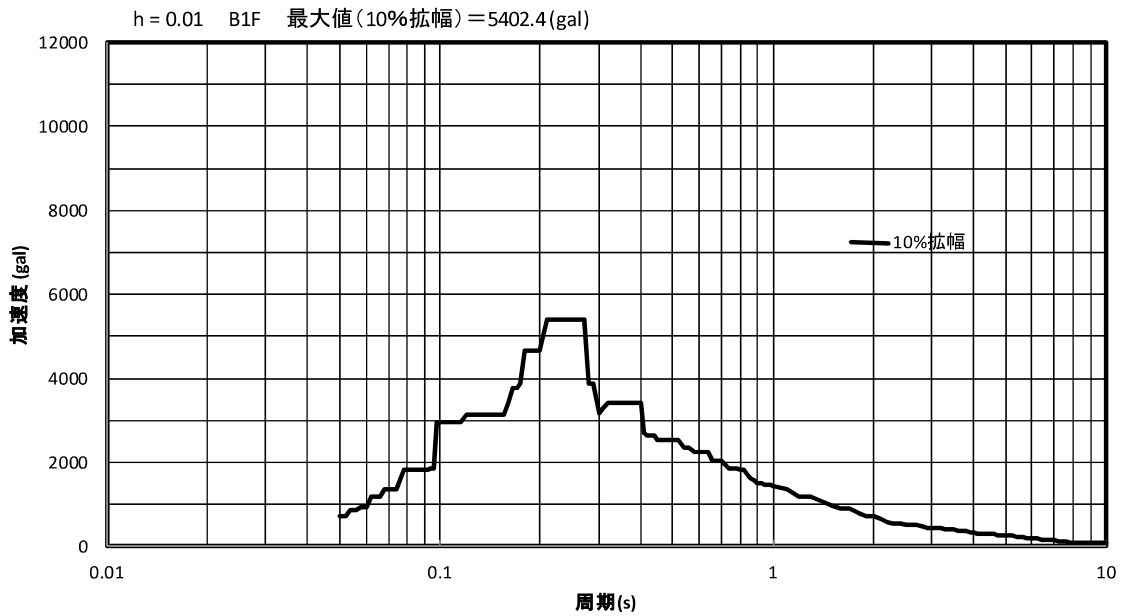


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

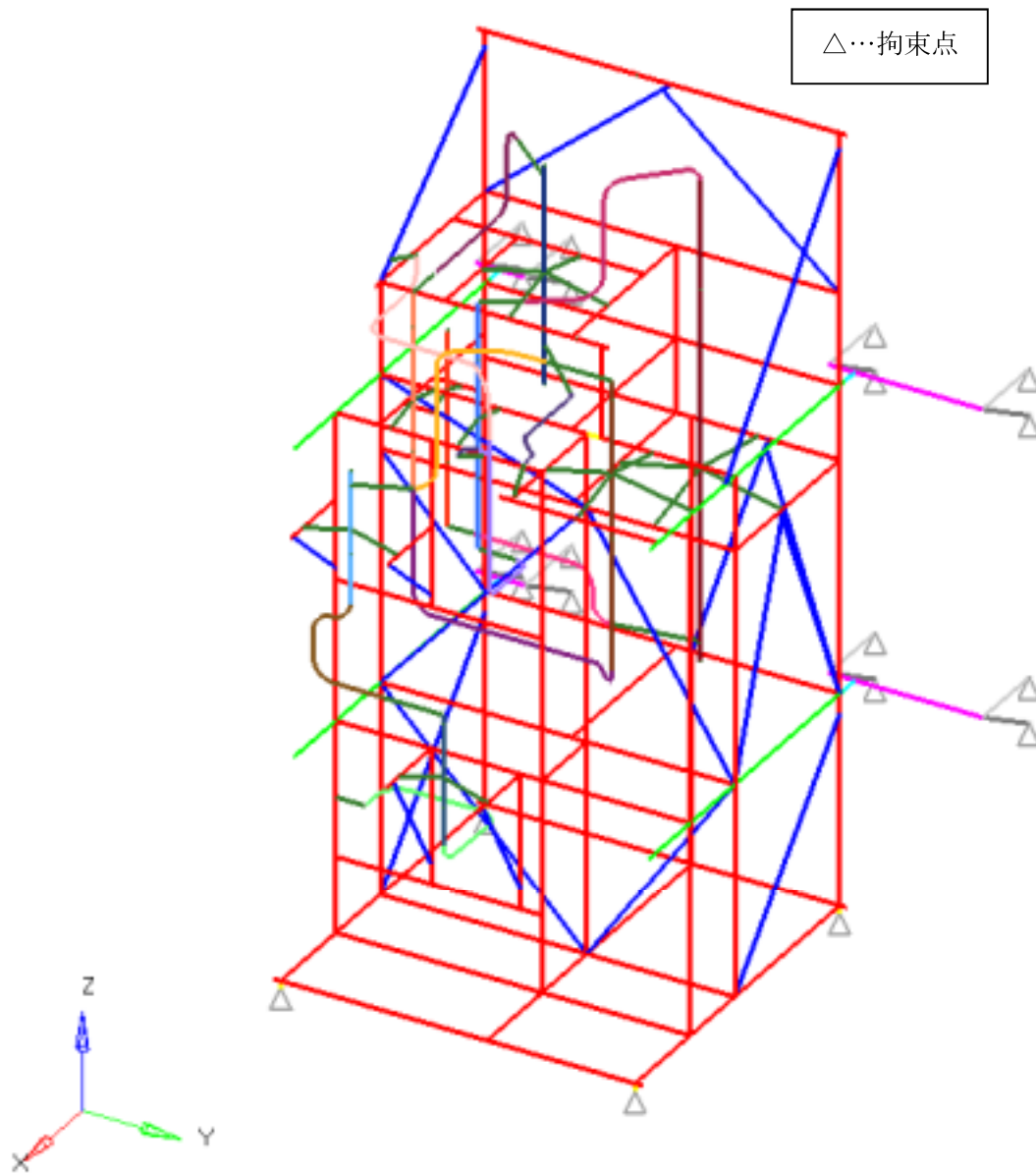
吸収塔ラック (G41RK20) の発生応力の計算方法は FEM 解析 (スペクトルモーダル法) を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※1} を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

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

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

吸収塔ラック (G41RK20) 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。



拘束条件 ○ : 固定, - : フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 吸収塔ラック (G41RK20) の解析モデル

4.6.2 諸元

吸収塔ラック (G41RK20) 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
吸収塔ラック (G41RK20)	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 (冷却器, 吸収塔, 気液分離器, サンプリングポット, デミスタ, 加熱器, ルテニウム吸着塔, フィルタ) 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 14.5 (t)

4.7 固有周期

吸収塔ラック (G41RK20) 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：0.108（秒）

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 9.251e+000Hz

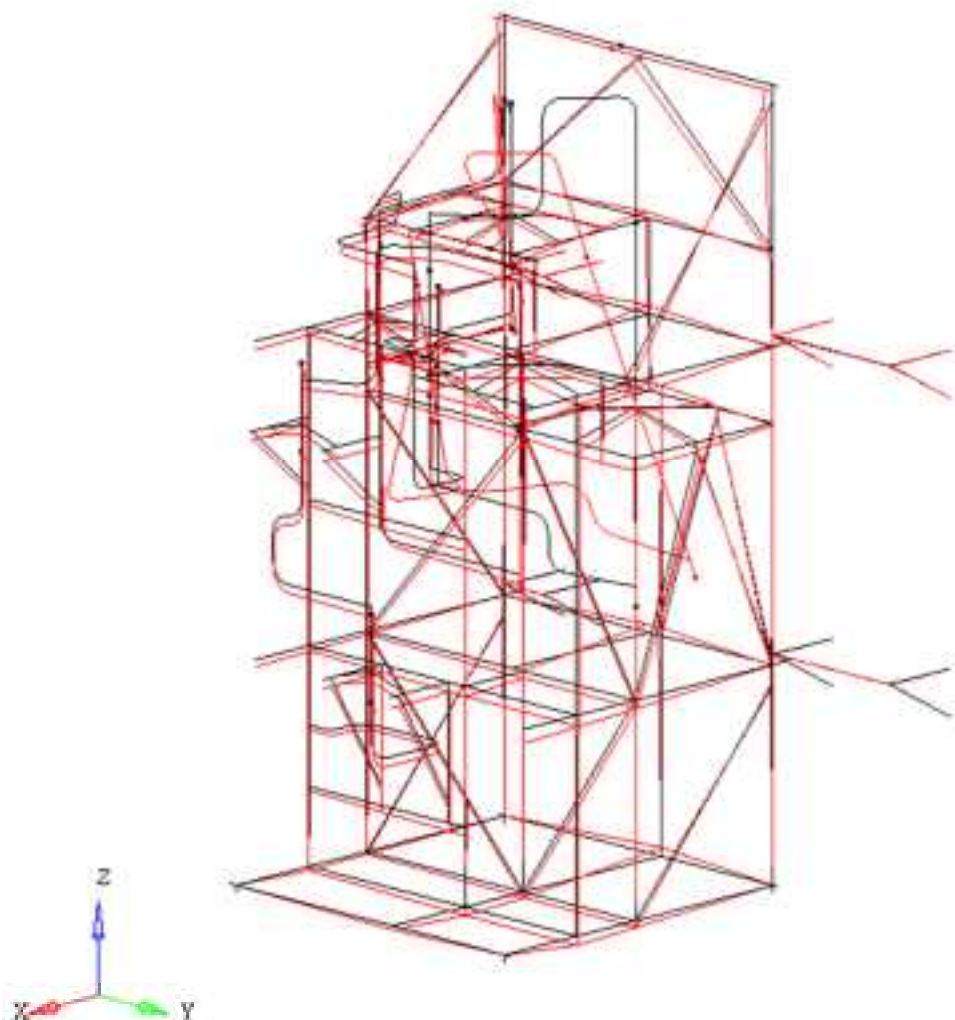


図 4-4 吸収塔ラック (G41RK20) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期：0.094（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.061e+001Hz

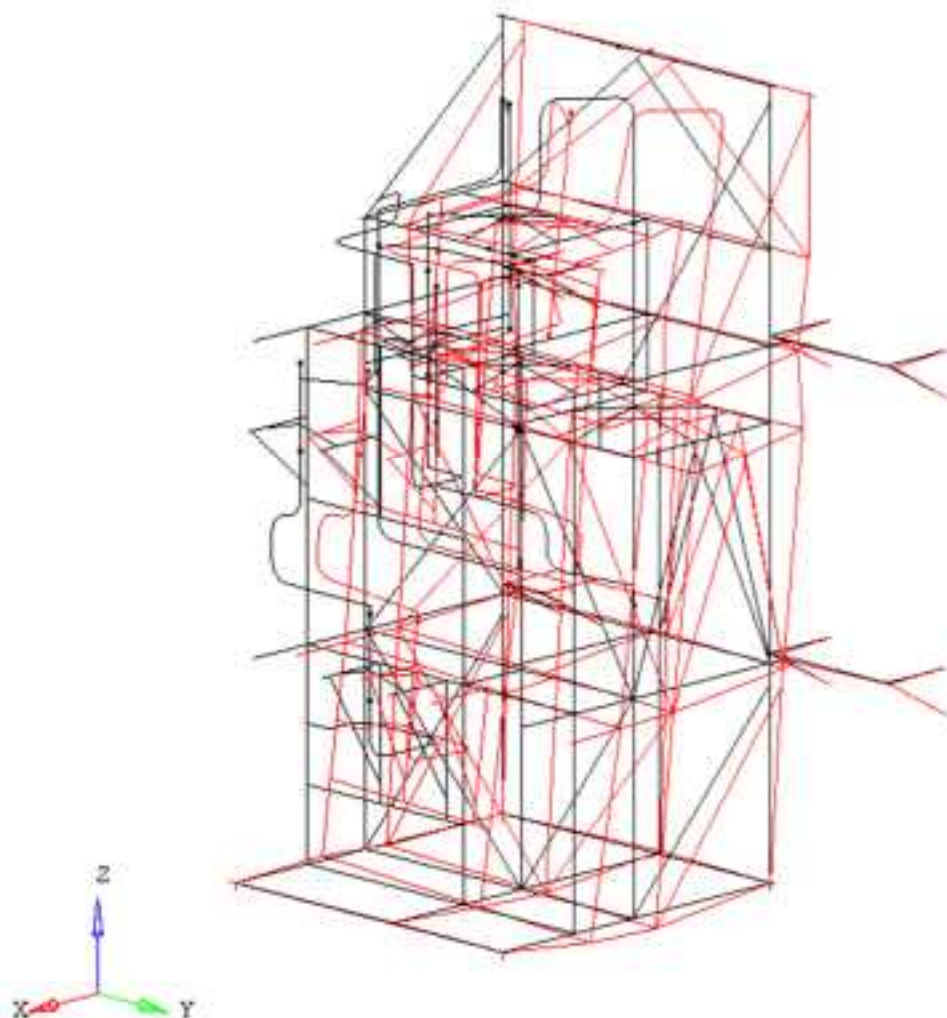


図 4-4 吸収塔ラック (G41RK20) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.081（秒）

SUBCASE 1 : Model#3, Frequency= 1.233e+001Hz

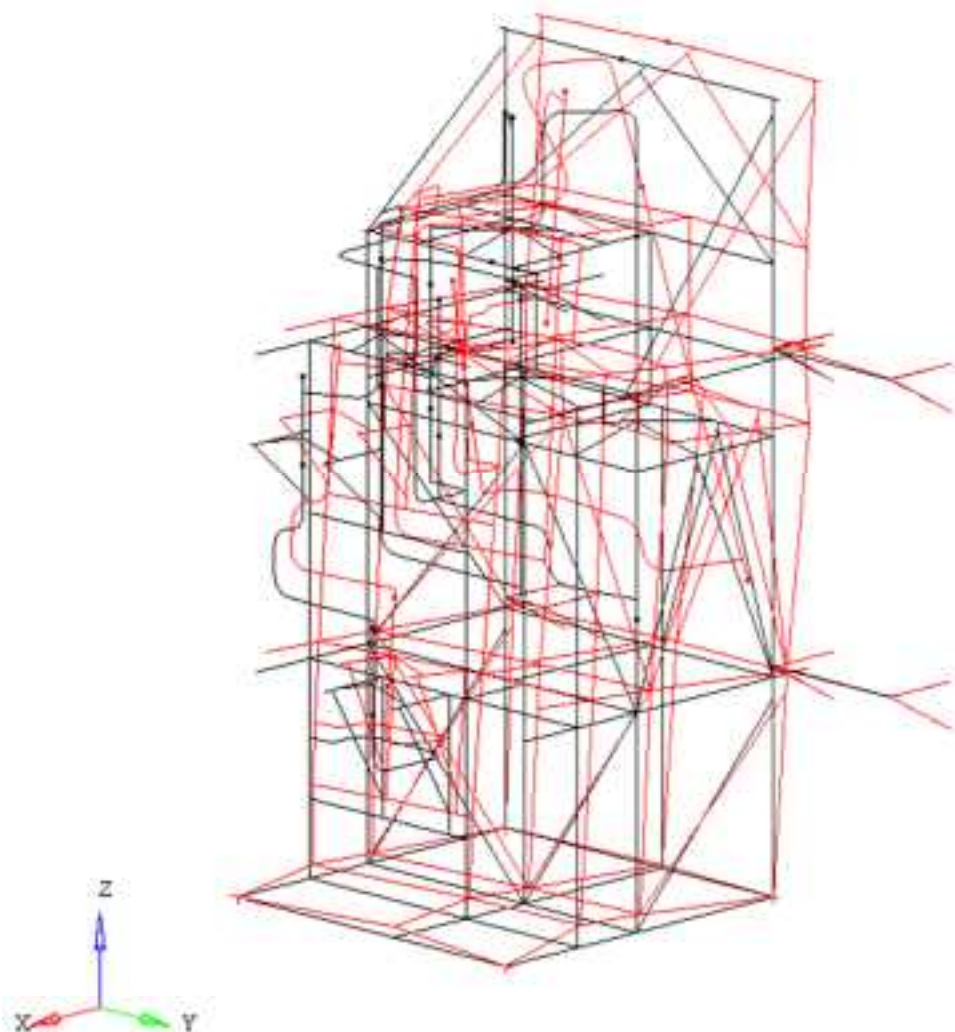


図 4-4 吸収塔ラック (G41RK20) 固有モード図(3/3)

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吸収塔ラック (G41RK20) 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 ^{※1}
吸収塔ラック (G41RK20)	フレーム	引張	33	246	0.14
		せん断	42	142	0.30
		圧縮	43	190	0.23
		曲げ	169	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

吸収塔ラック (G41RK20) は, 冷却器 (G41H20, G41H22), 吸収塔 (G41T21), デミスタ (G41D23), 加熱器 (G41H24), ルテニウム吸着塔 (G41T25), フィルタ (G41F26, G41F27) 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。吸収塔ラック (G41RK20) 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
吸収塔ラック (G41RK20)	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)

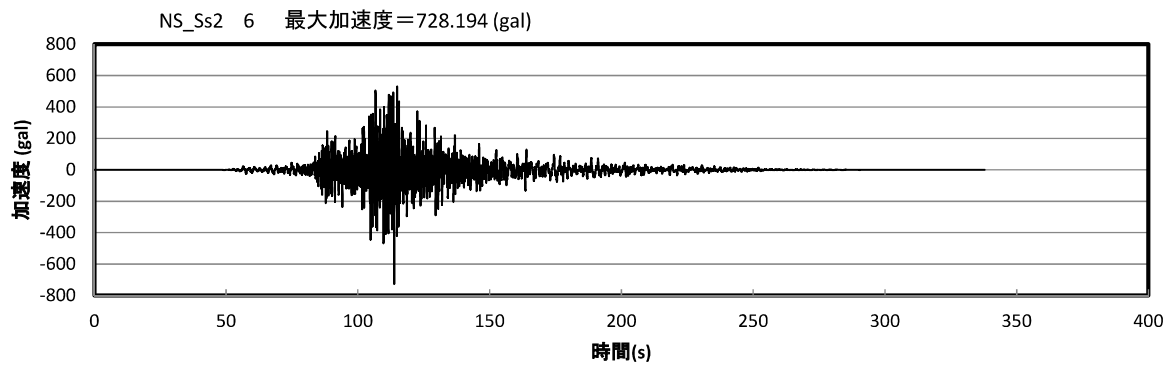
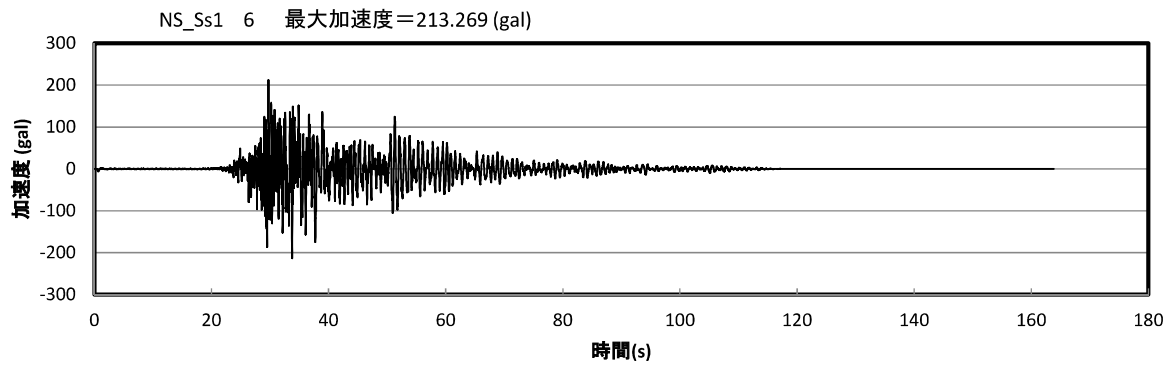
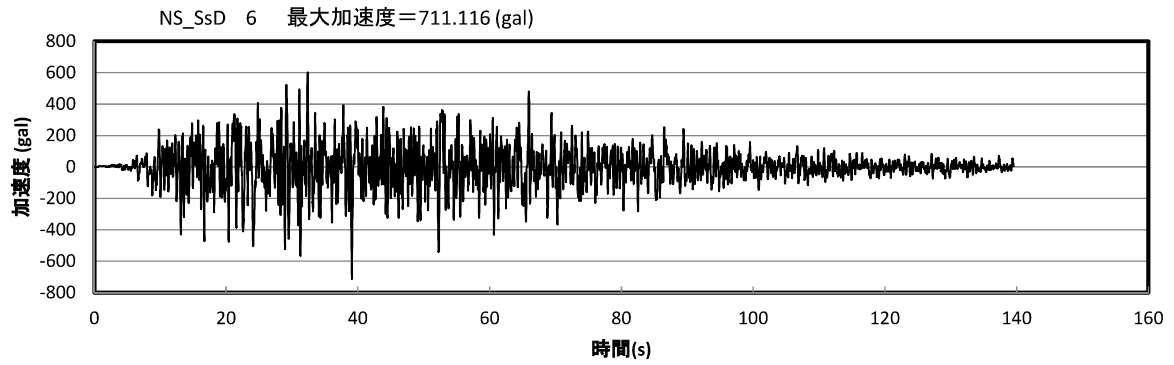


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

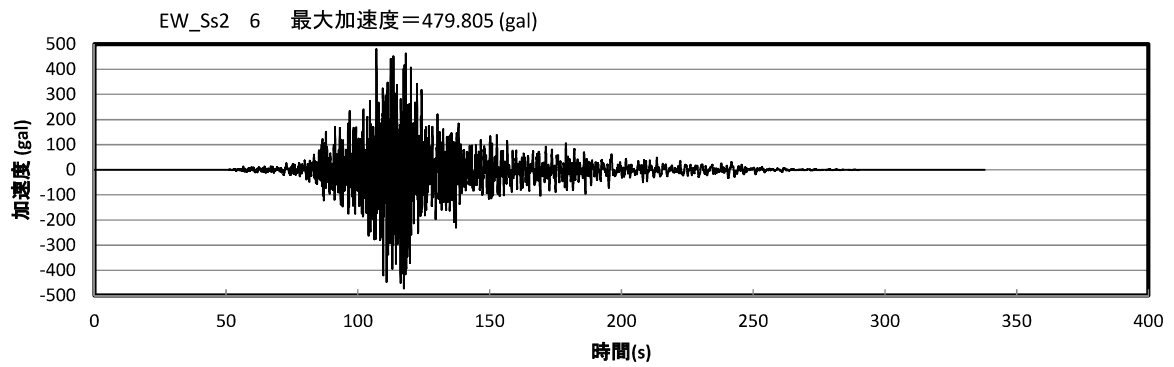
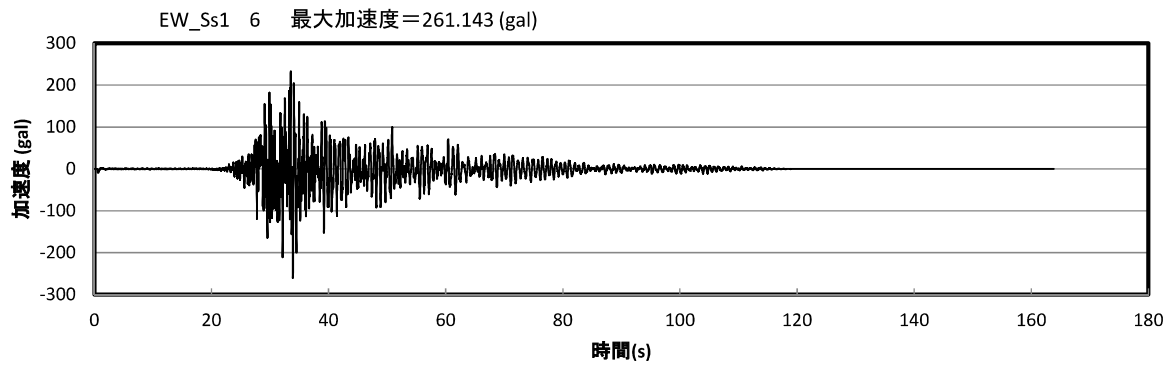
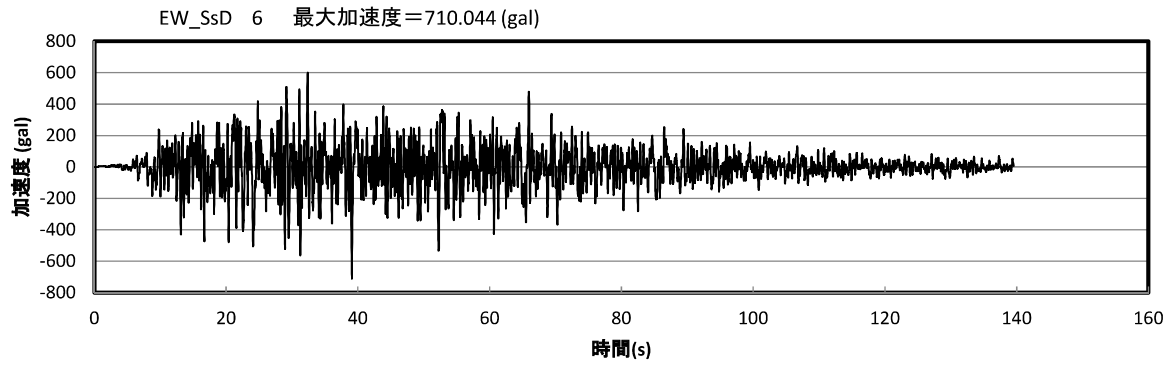


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

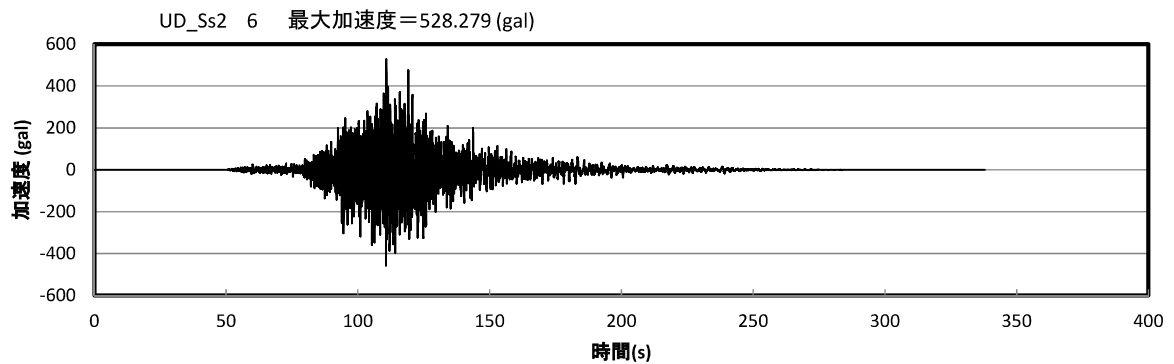
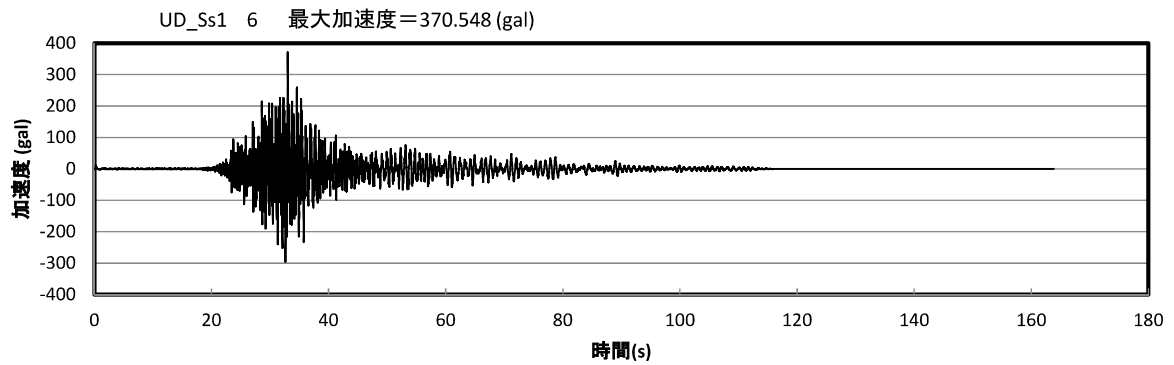
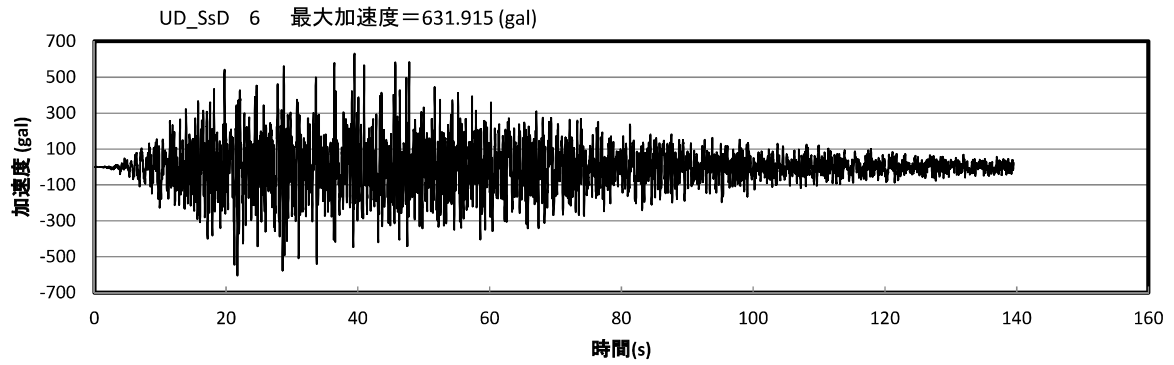


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 鉛直方向)

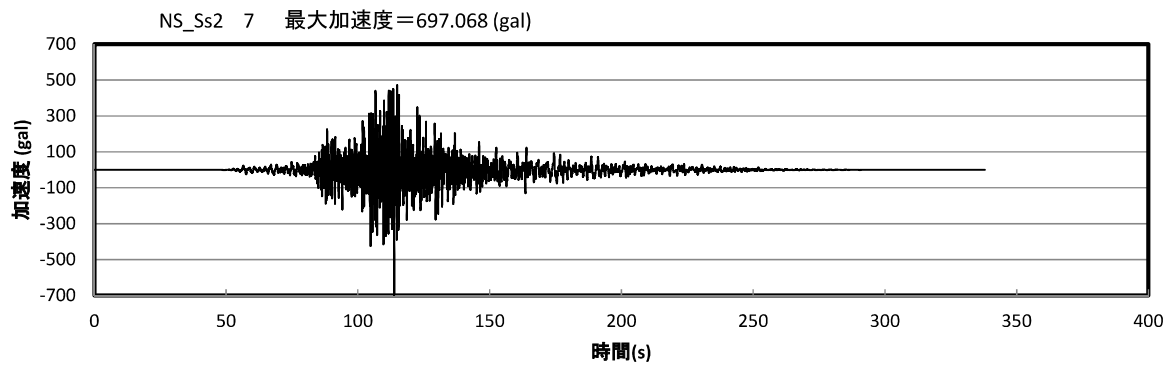
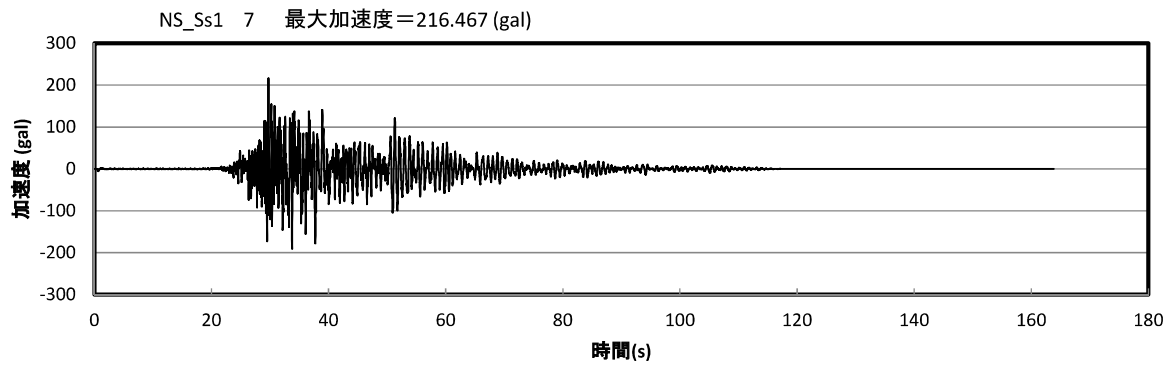
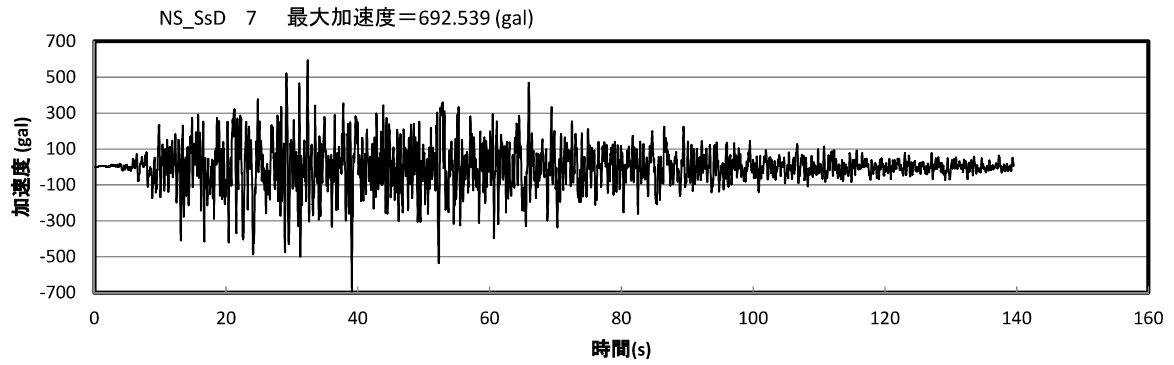


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

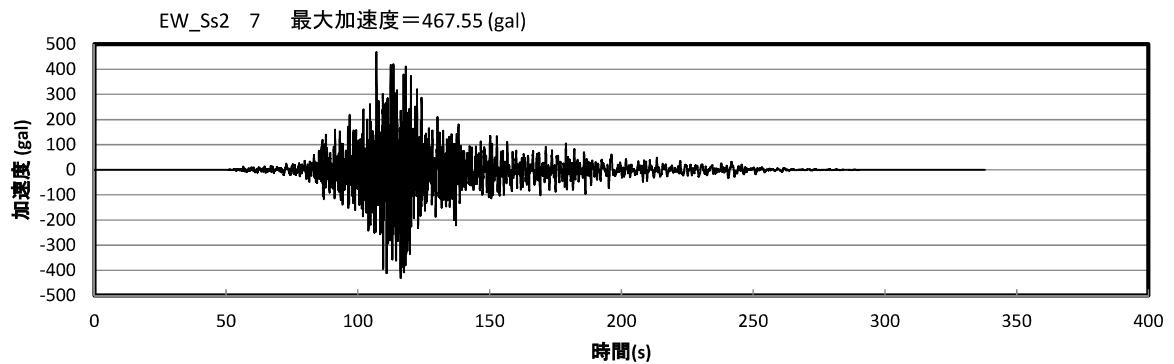
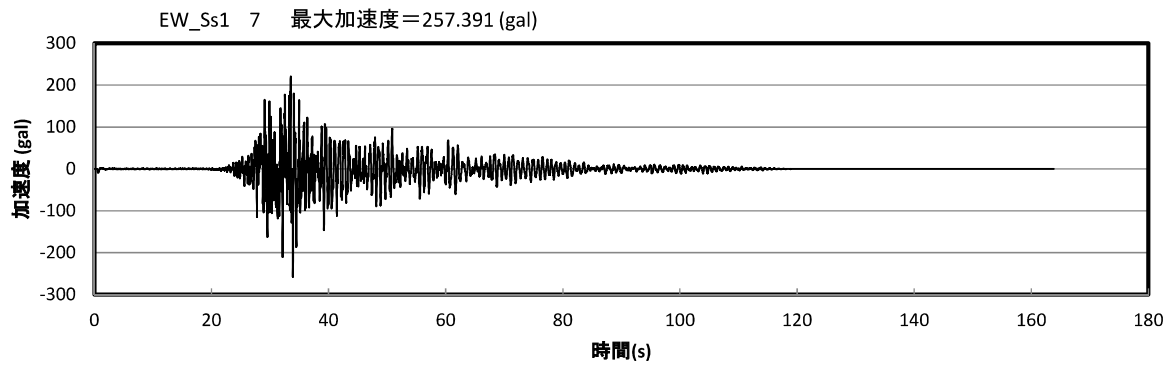
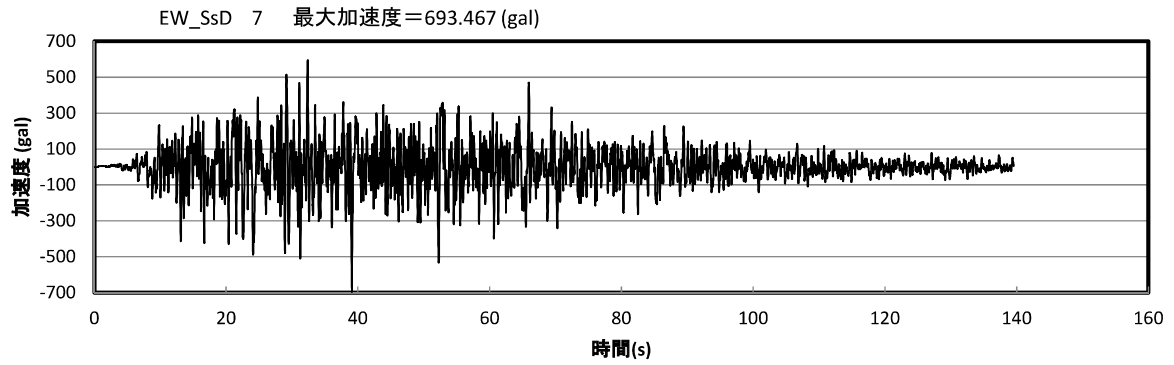


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

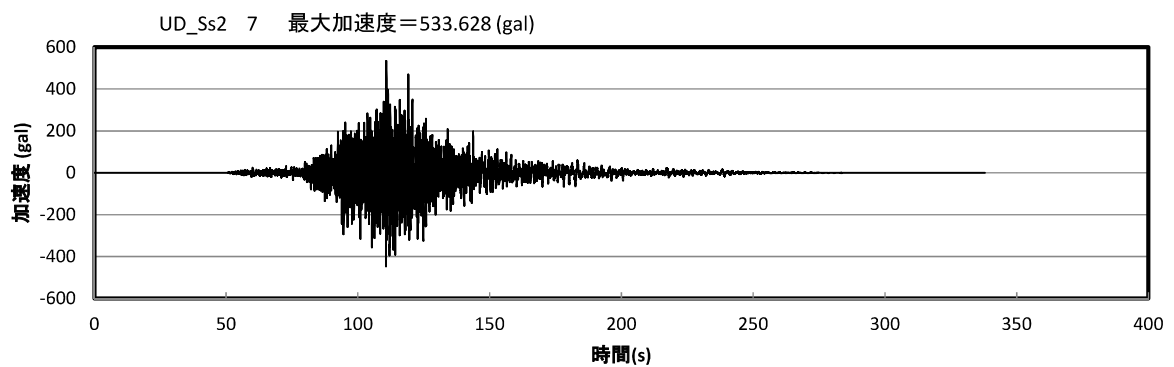
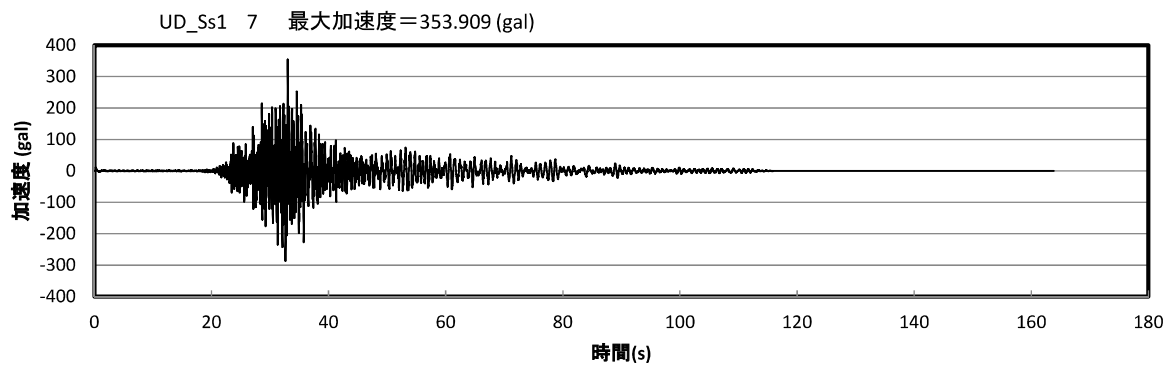
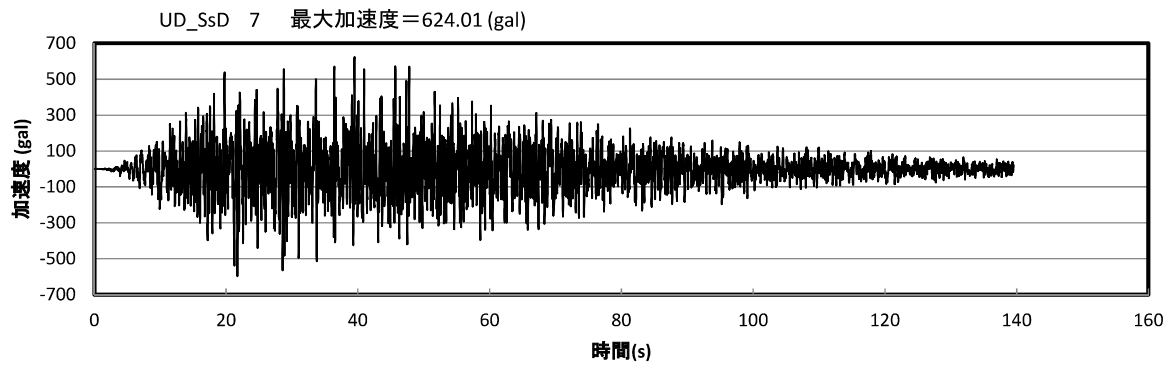


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 鉛直方向)

6.1.2 計算方法

吸収塔ラック (G41RK20) 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^{※1}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
冷却器 (G41H20) ^{※1}	1.23	0.78
吸収塔 (G41T21) ^{※2}	1.32	0.81
冷却器 (G41H22)	1.58	0.79
デミスタ (G41D23)	1.43	0.83
加熱器 (G41H24)	1.58	0.79
ルテニウム吸着塔 (G41T25)	1.69	0.80
フィルタ (G41F26)	1.71	0.80
フィルタ (G41F27)	1.17	0.80

※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。

※2 評価対象機器の固有周期が 0.05 秒を超えており、計算方法に FEM (スペクトルモーダル法) 解析を用いるため、機器搭載位置での応答スペクトルを用いる。

洗浄塔ラック (G41RK30) 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洗浄塔ラック (G41RK30) 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

洗浄塔ラック (G41RK30) 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

洗浄塔ラック (G41RK30) 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。洗浄塔ラック (G41RK30) の概要図を図 3-1 に示す。

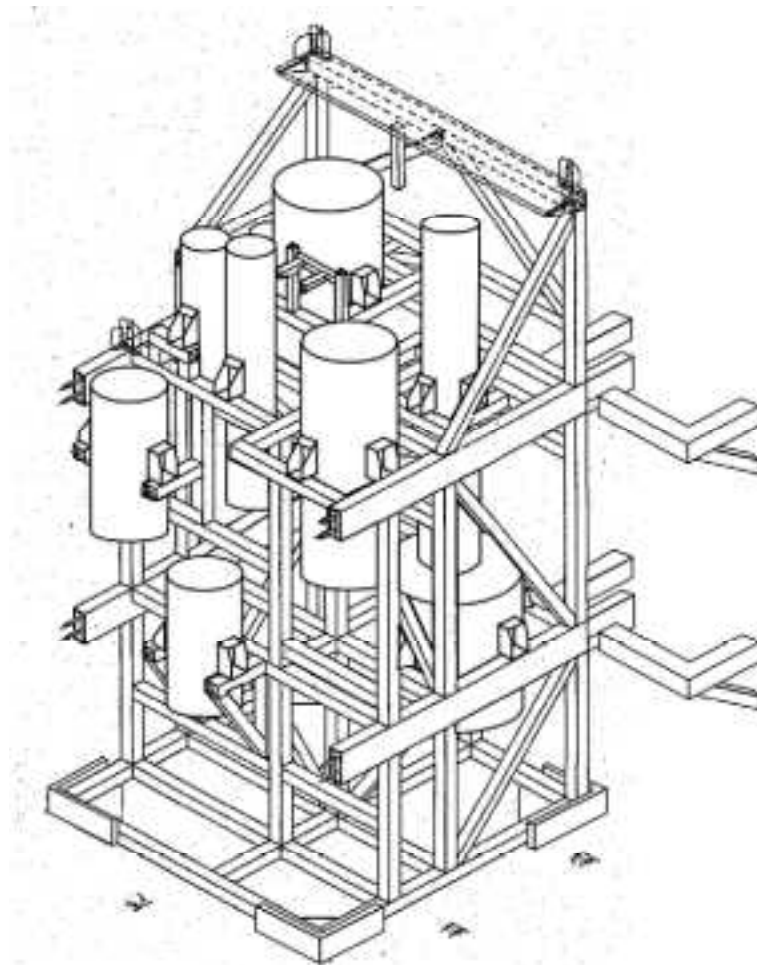


図 3-1 洗浄塔ラック (G41RK30) の概要図

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
洗浄塔ラック (G41RK30)	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。

洗浄塔ラック (G41RK30) 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
洗浄塔ラック (G41RK30)	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%)

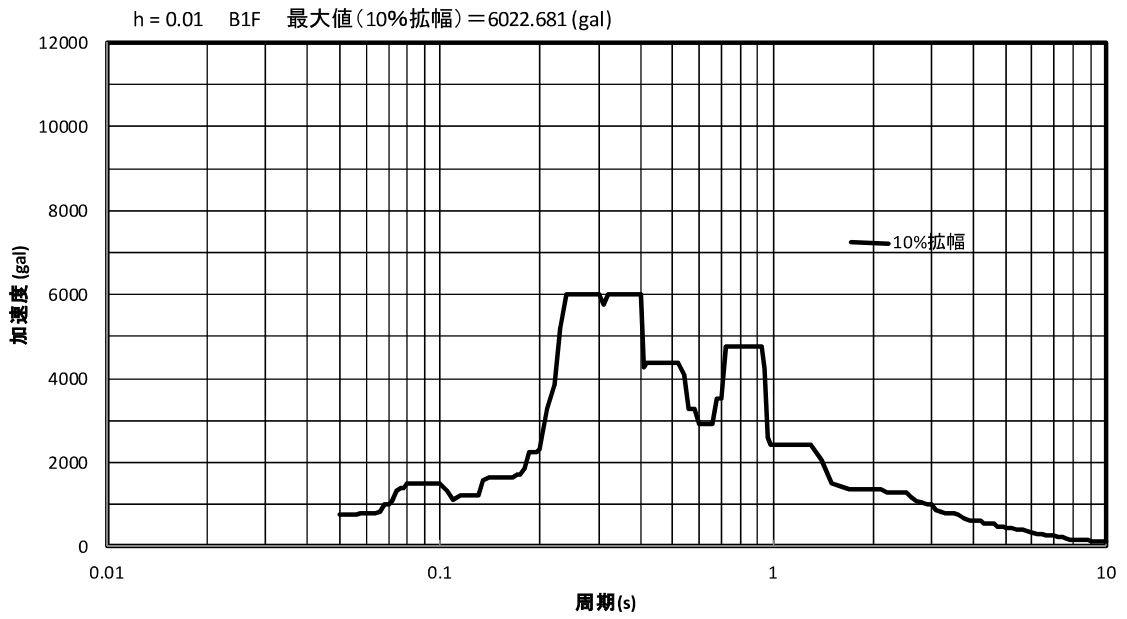


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

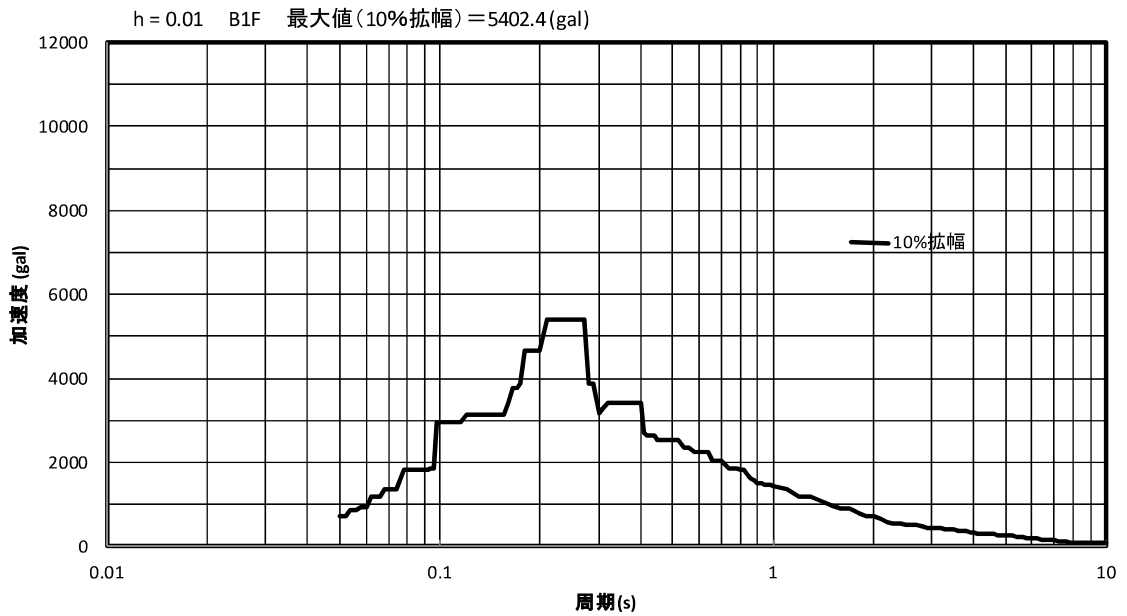


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

洗浄塔ラック (G41RK30) 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^{※1} 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。

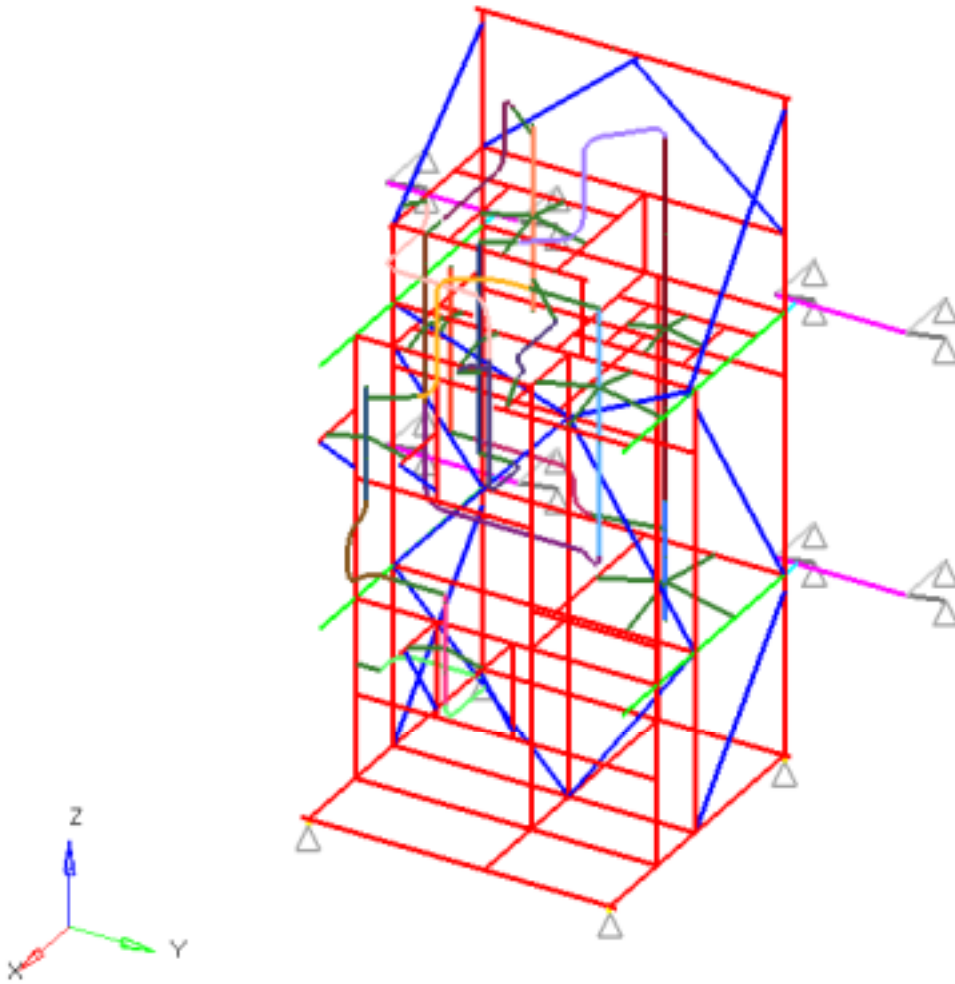
※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

洗浄塔ラック (G41RK30) 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	θ_x	θ_y	θ_z
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 洗浄塔ラック (G41RK30) の解析モデル

4.6.2 諸元

洗浄塔ラック (G41RK30) 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
洗浄塔ラック (G41RK30)	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 (冷却器, 洗浄塔, 気液分離器, サンプリングポット, デ ミスタ, 加熱器, ルテニウム吸着塔, フ ィルタ) 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 12.8 (t)

4.7 固有周期

洗浄塔ラック (G41RK30) 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：0.083（秒）

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 1.207e+001Hz

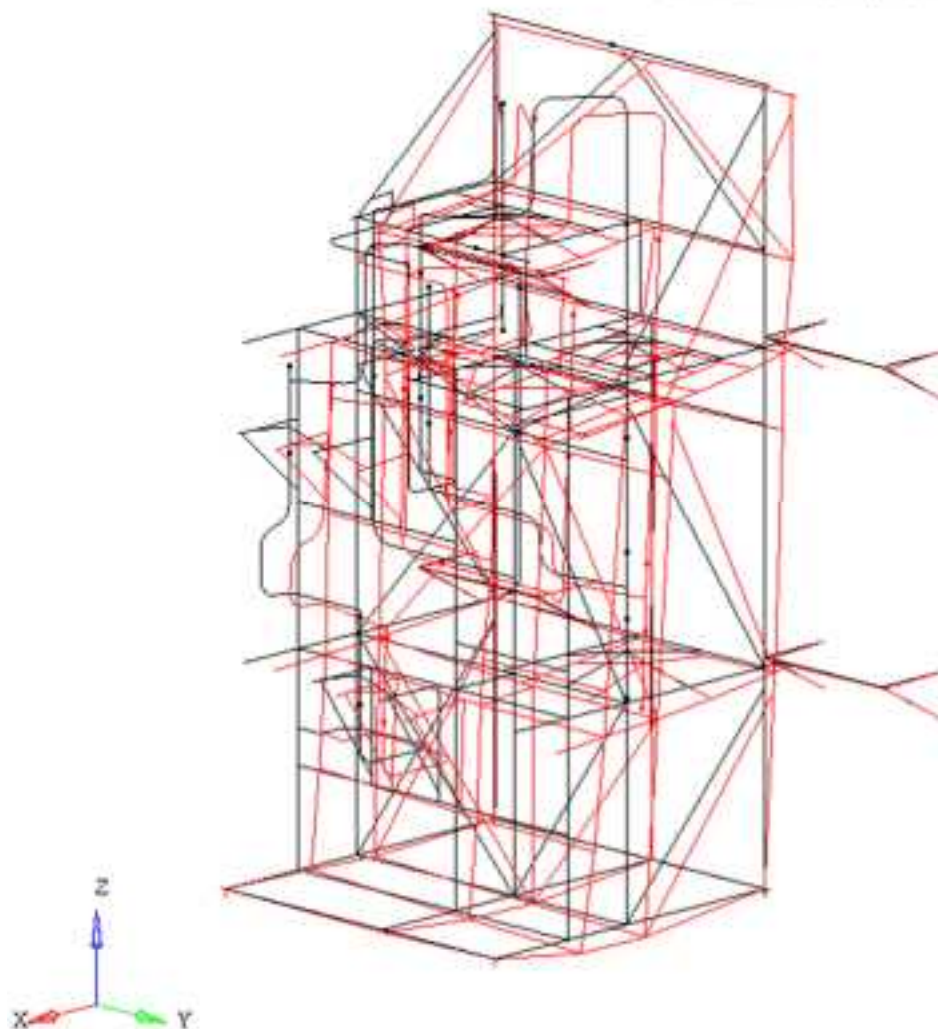


図 4-4 洗浄塔ラック (G41RK30) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期：0.073（秒）

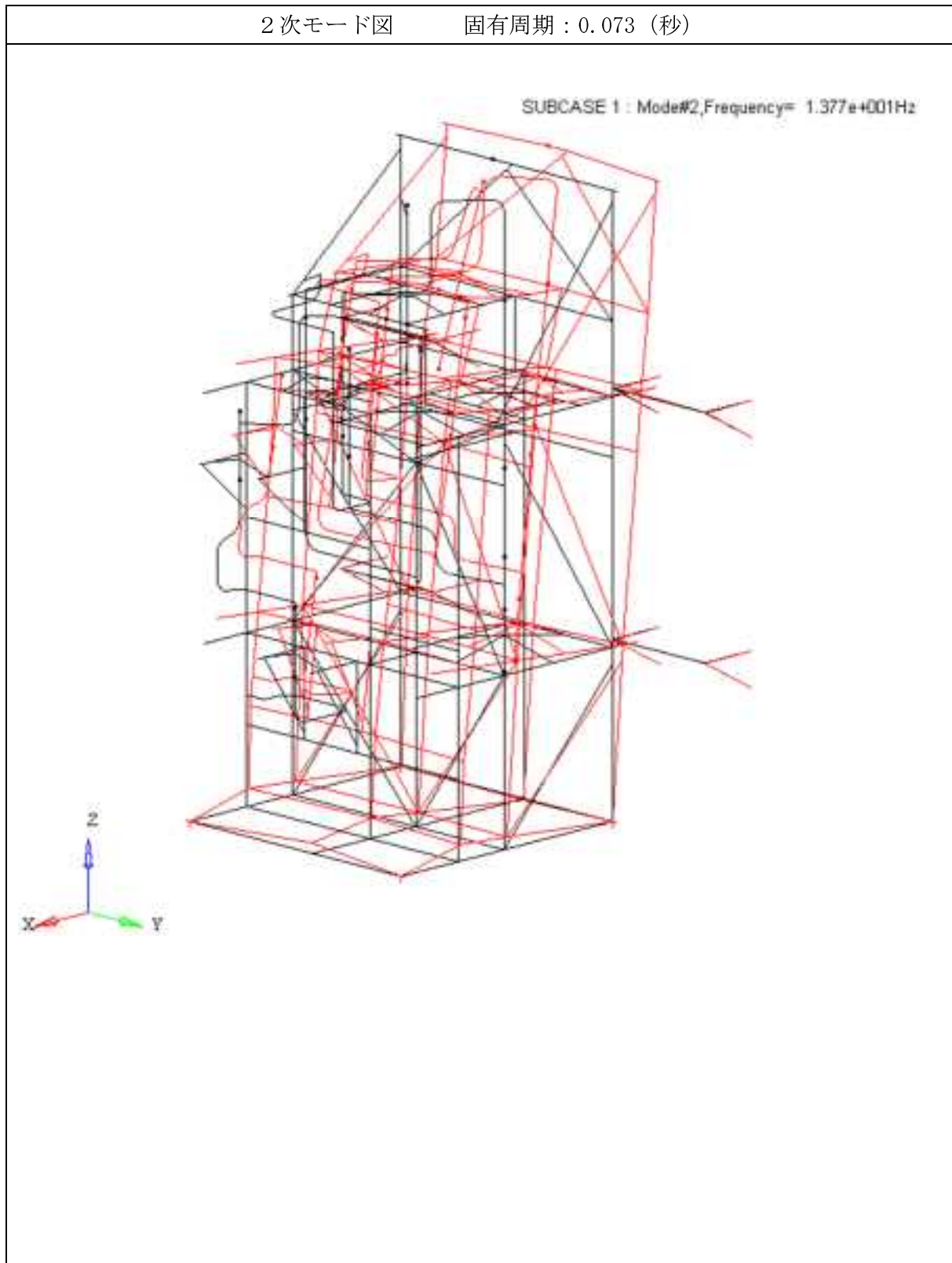


図 4-4 洗浄塔ラック (G41RK30) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.051（秒）

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 1.949e+001Hz

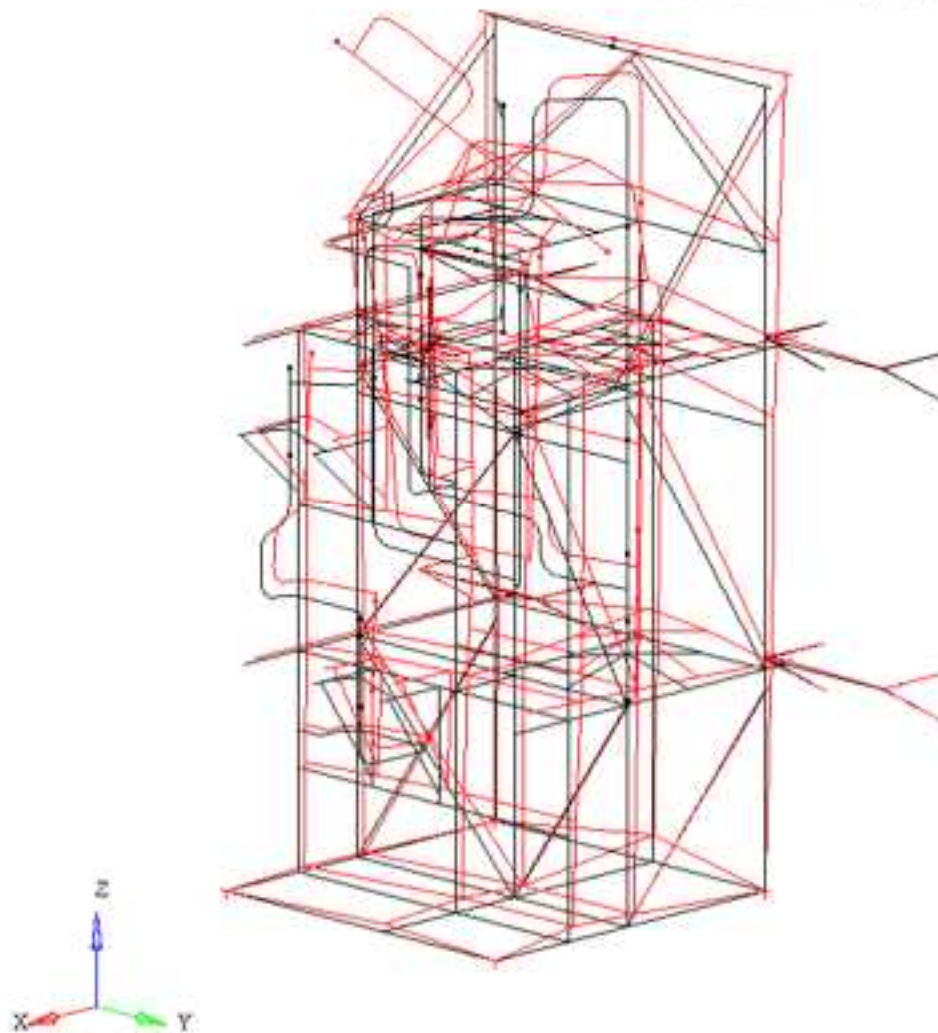


図 4-4 洗浄塔ラック (G41RK30) 固有モード図(3/3)

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洗浄塔ラック (G41RK30) 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 ^{※1}
洗浄塔ラック (G41RK30)	フレーム	引張	29	246	0.12
		せん断	34	142	0.24
		圧縮	36	204	0.18
		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

洗浄塔ラック (G41RK30) は、冷却器 (G41H30, G41H32)、洗浄塔 (上段) (G41T31)、洗浄塔 (下段) (G41T31)、加熱器 (G41H34)、デミスタ (G41D33)、ルテニウム吸着塔 (G41T35)、フィルタ (G41F36, G41F37) 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。洗浄塔ラック (G41RK30) 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
洗浄塔ラック (G41RK30)	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)

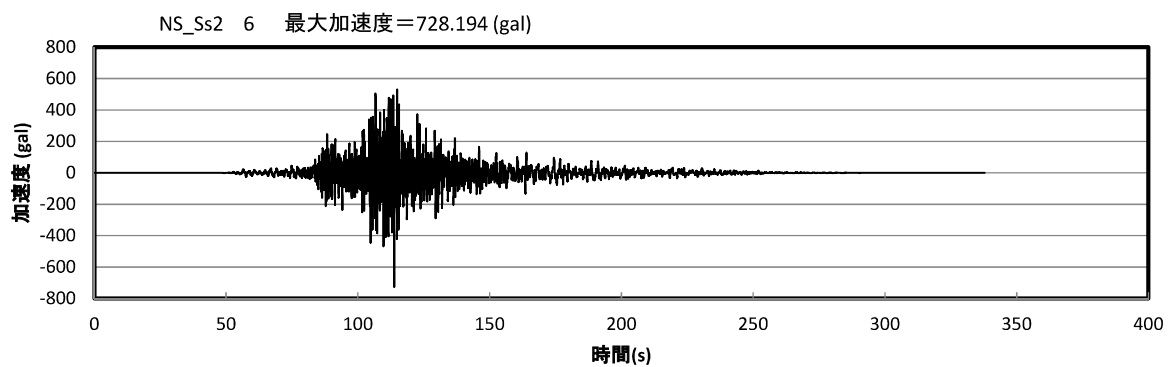
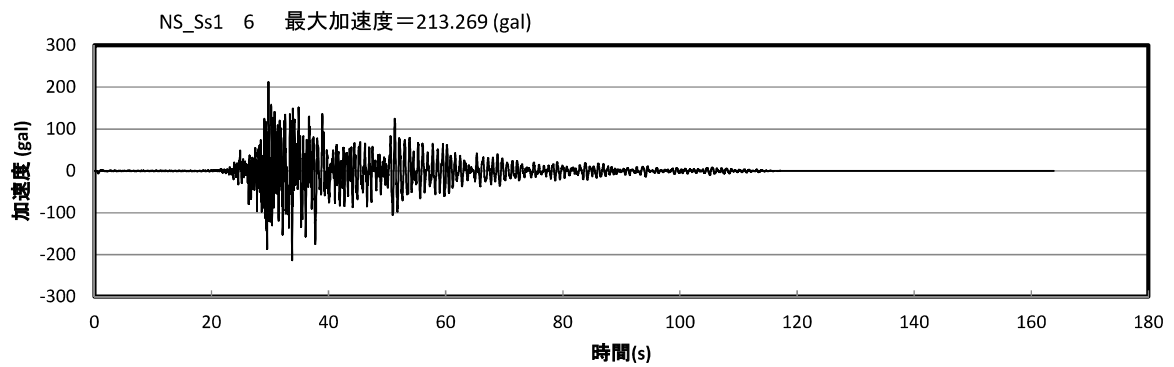
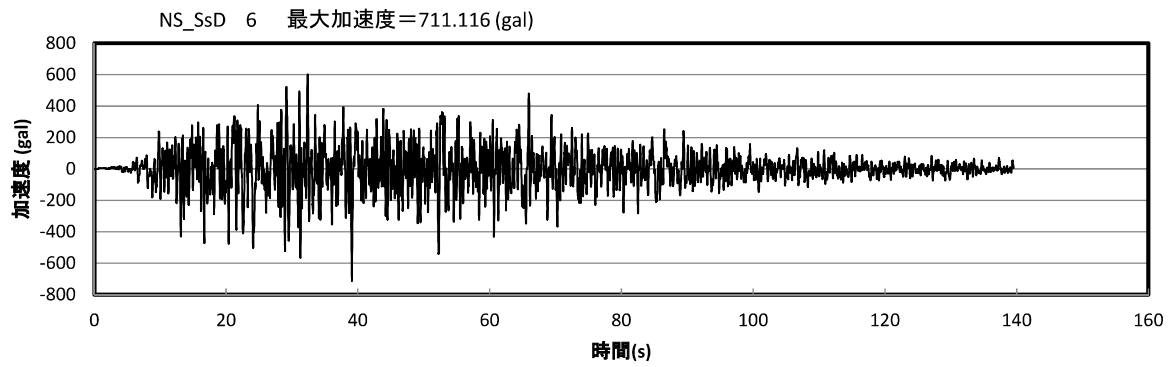


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

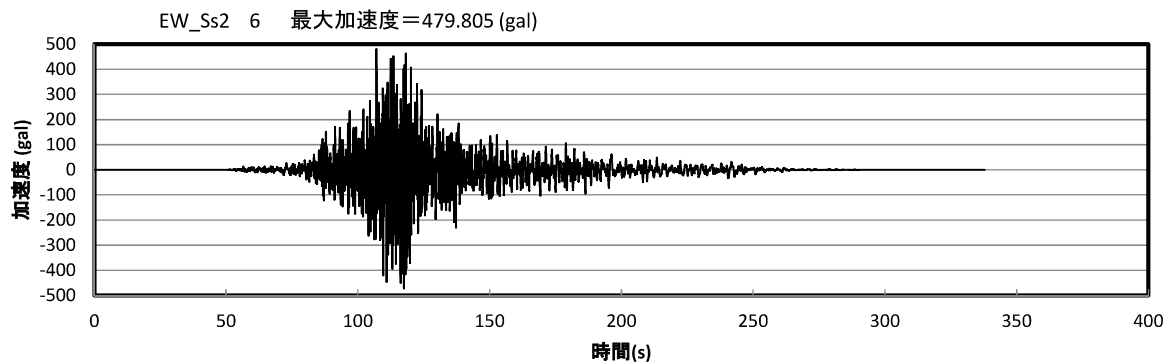
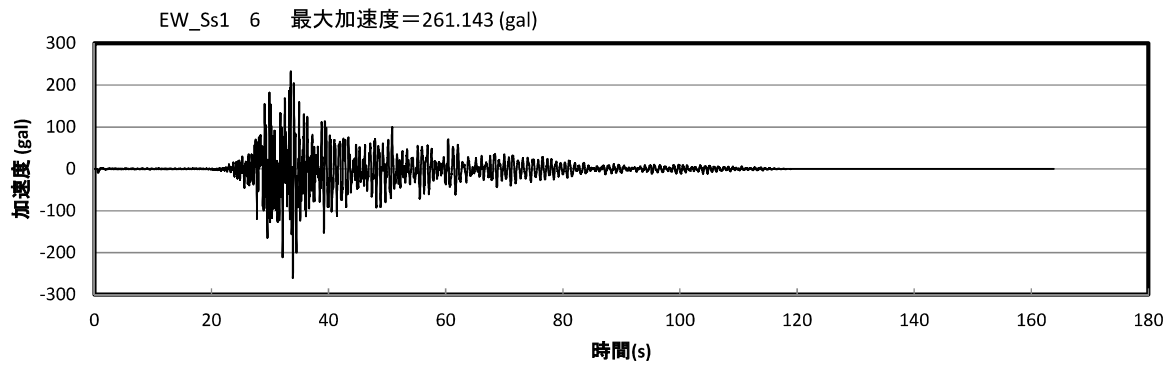
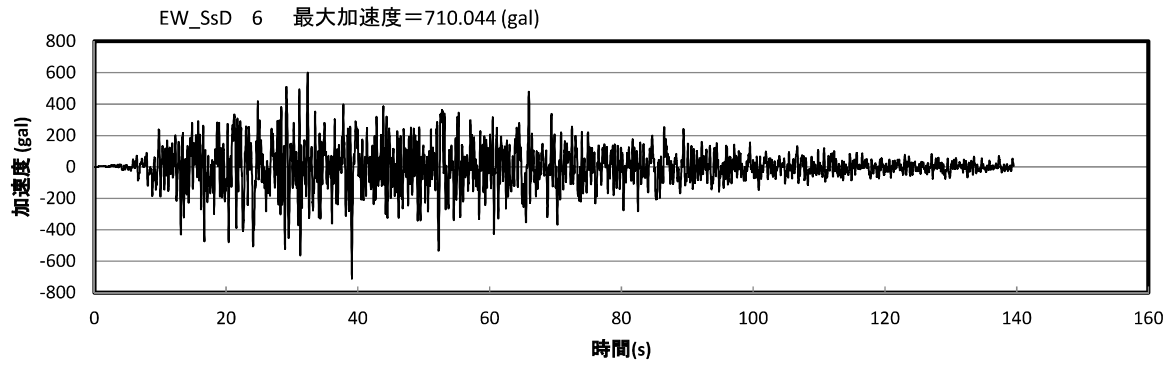


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

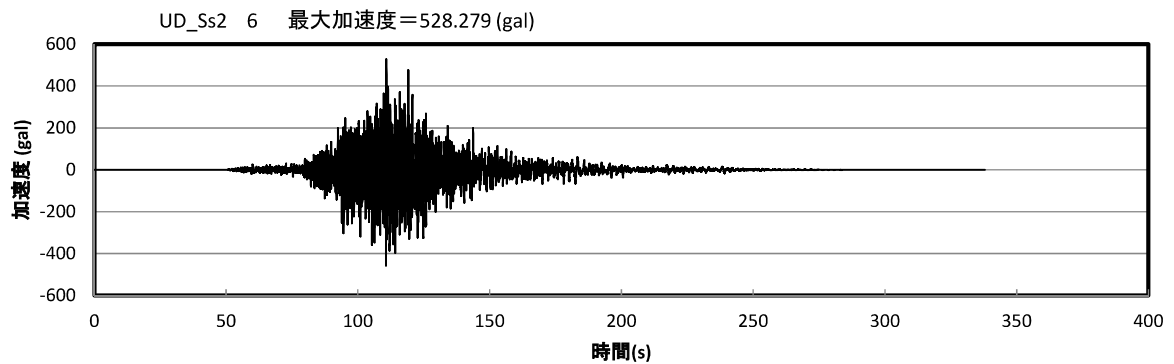
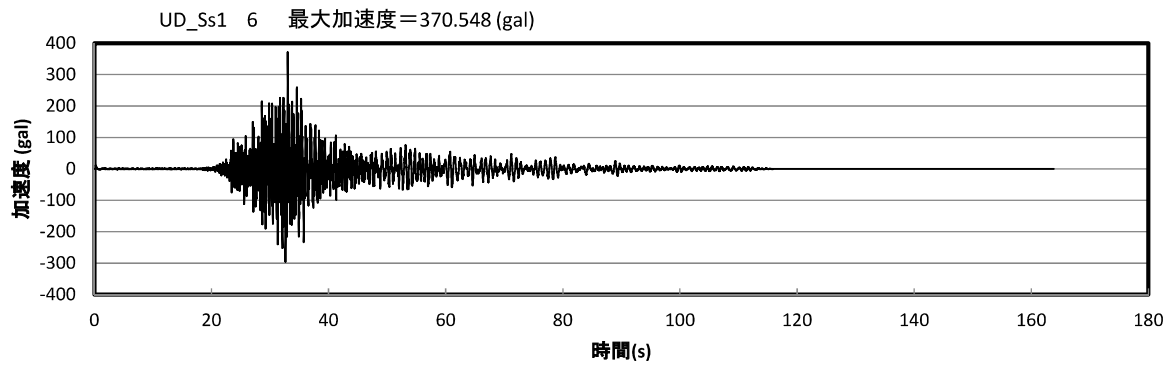
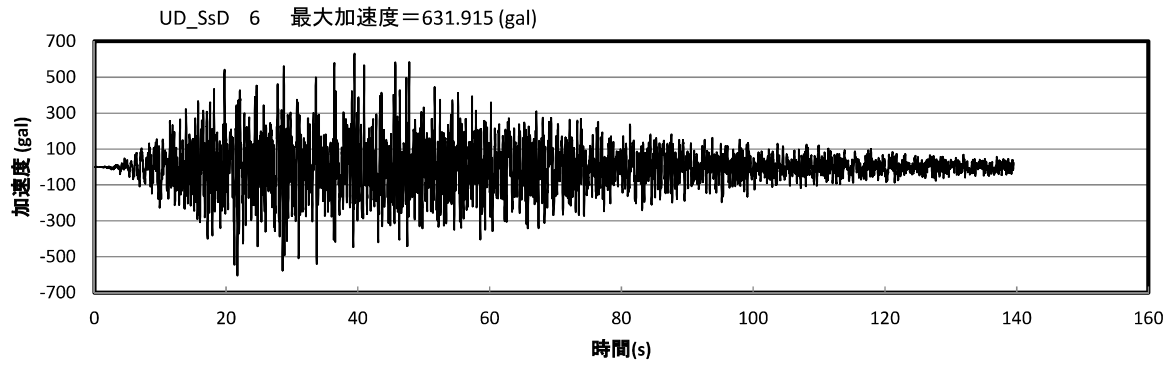


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下1階, 鉛直方向)

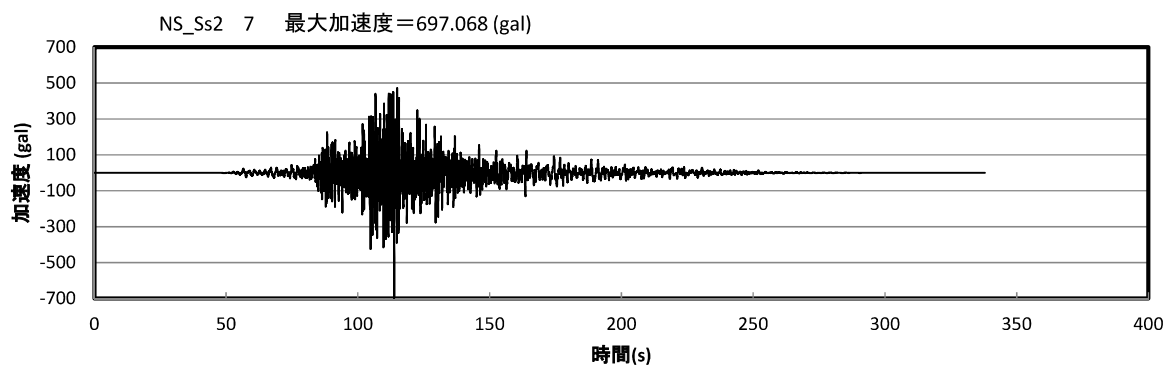
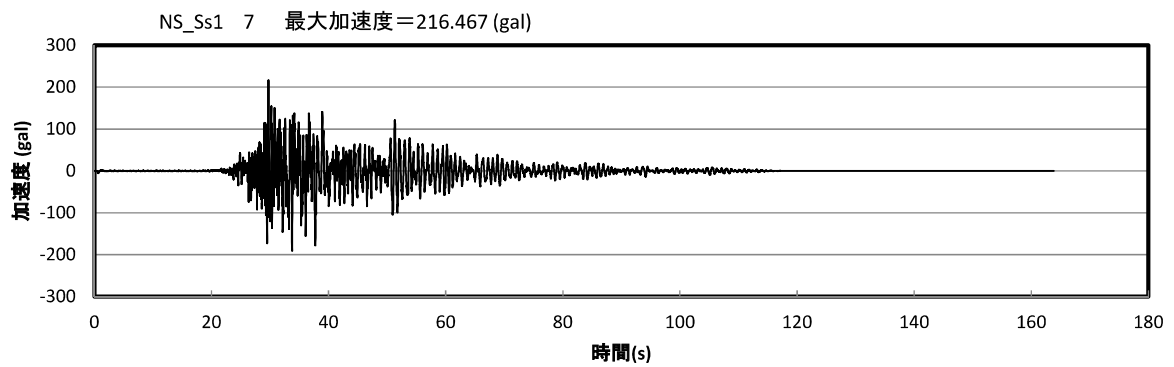
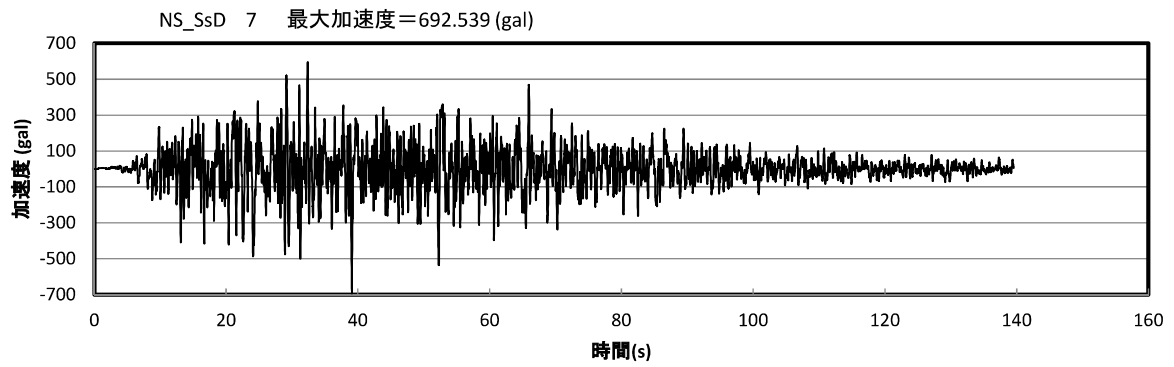


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

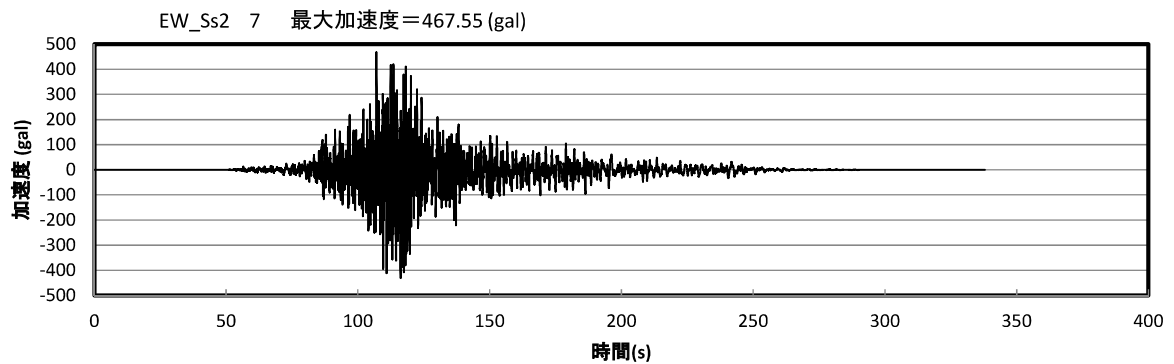
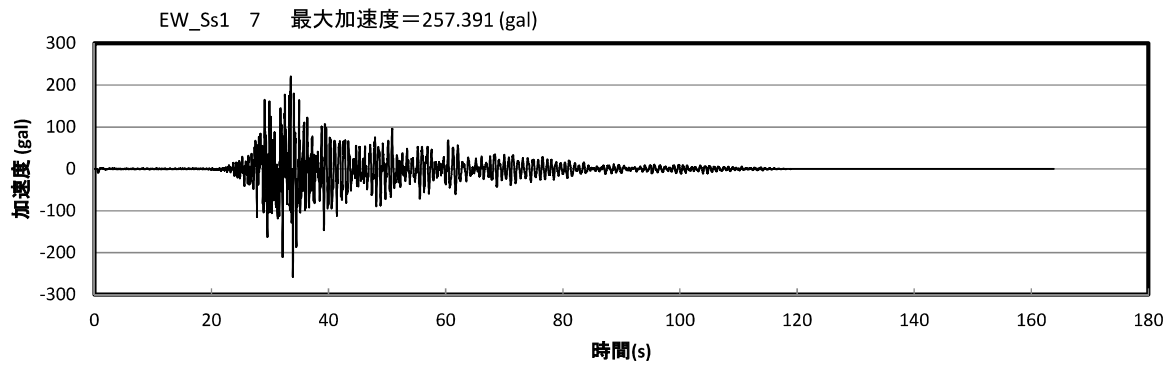
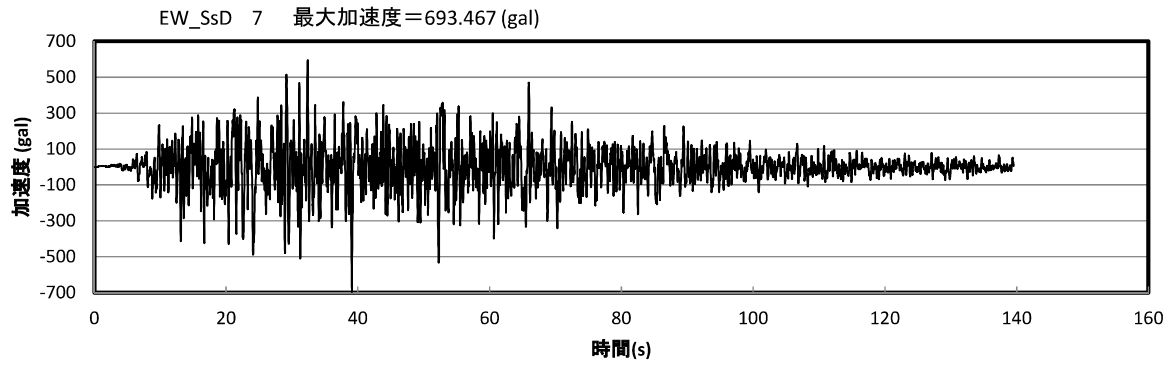


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

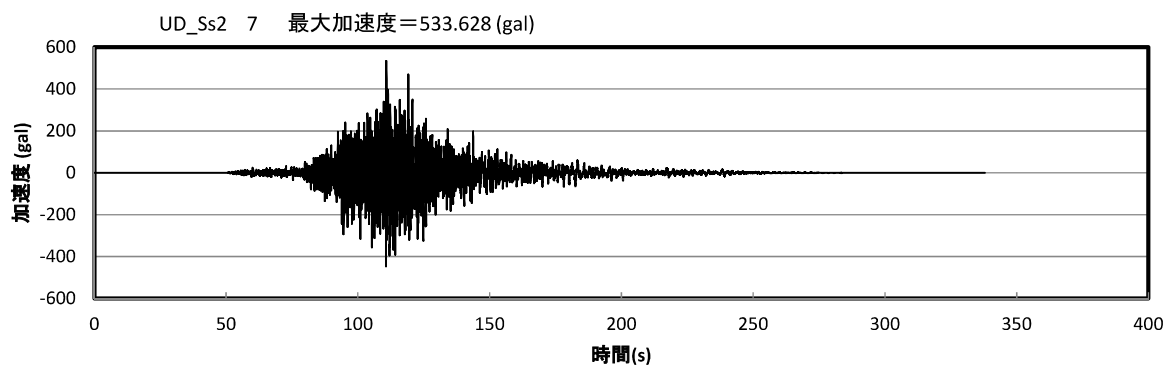
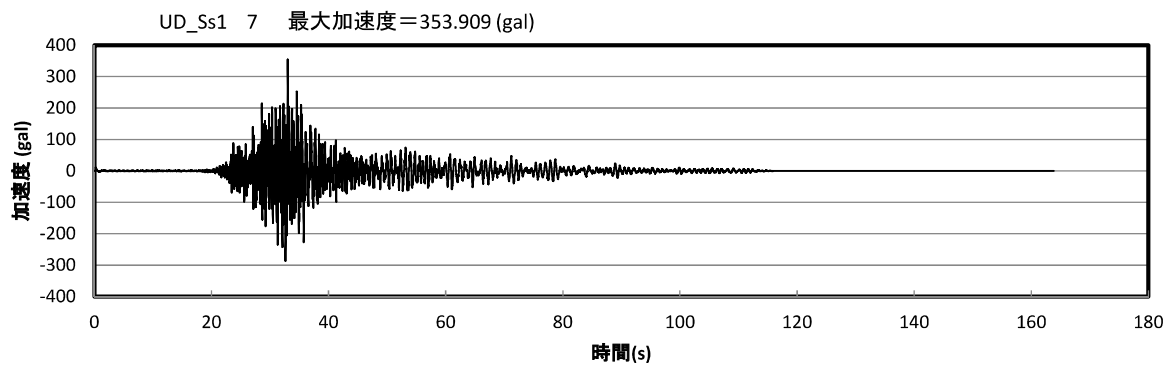
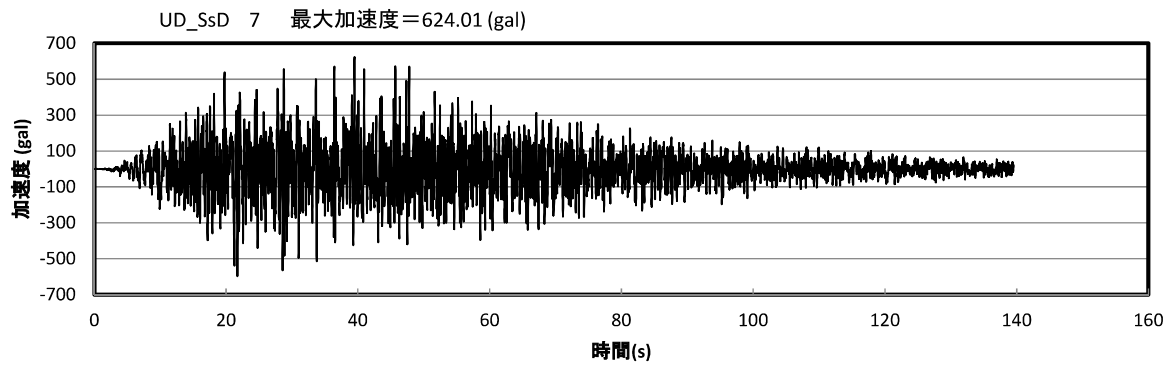


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 鉛直方向)

6.1.2 計算方法

洗浄塔ラック (G41RK30) 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^{※1}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
冷却器 (G41H30) ^{※1}	1.23	0.78
洗浄塔（上段）(G41T31) ^{※2}	1.24	0.86
洗浄塔（下段）(G41T31)	1.13	0.86
冷却器 (G41H32)	1.39	0.85
加熱器 (G41H34)	1.39	0.83
デミスタ (G41D33)	1.32	1.00
ルテニウム吸着塔 (G41T35)	1.60	0.90
フィルタ (G41F36)	1.51	0.85
フィルタ (G41F37)	1.20	0.84

※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。

※2 評価対象機器は上下二段のラグにより支持されている構造であり、上段のものは振れ止めとなっているため、静的解析用震度は解析には用いない。

蒸発缶ラック (G71RK20) 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蒸発缶ラック (G71RK20) 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

蒸発缶ラック (G71RK20) 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

蒸発缶ラック (G71RK20) 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。蒸発缶ラック (G71RK20) の概要図を図 3-1 に示す。

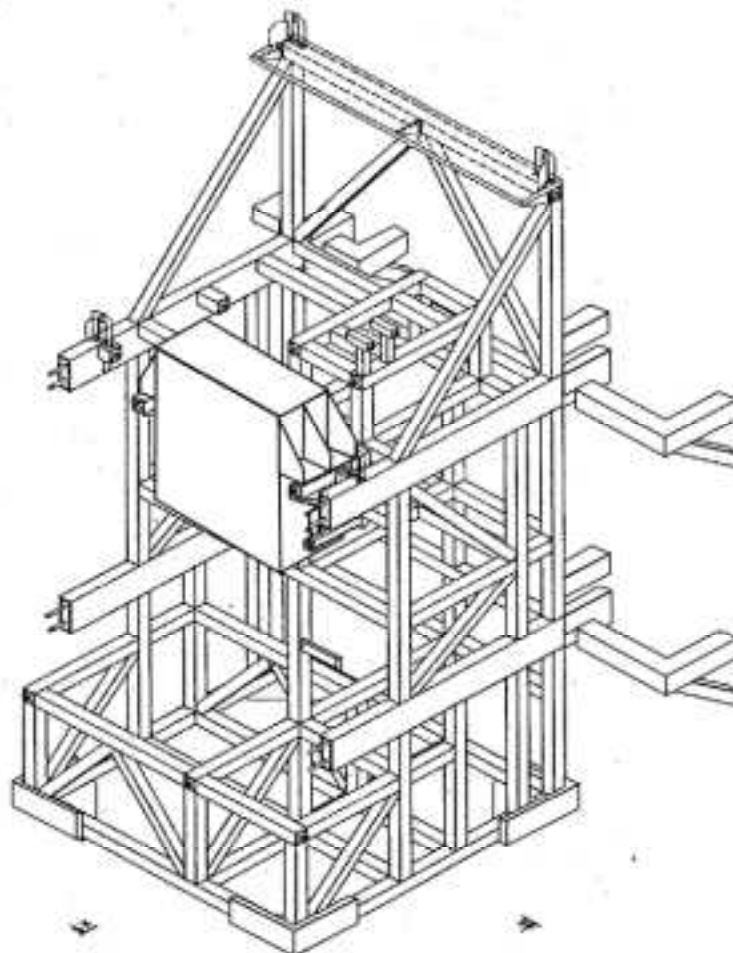


図 3-1 蒸発缶ラック (G71RK20) の概要図

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
蒸発缶ラック (G71RK20)	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。

蒸発缶ラック (G71RK20) 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
蒸発缶ラック (G71RK20)	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%)

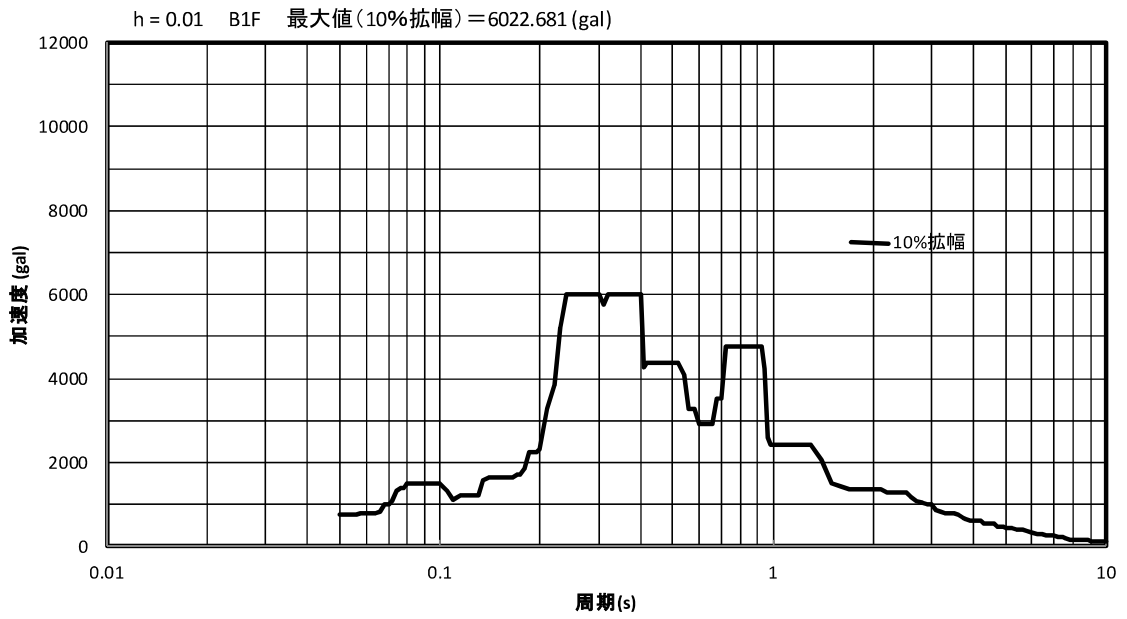


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

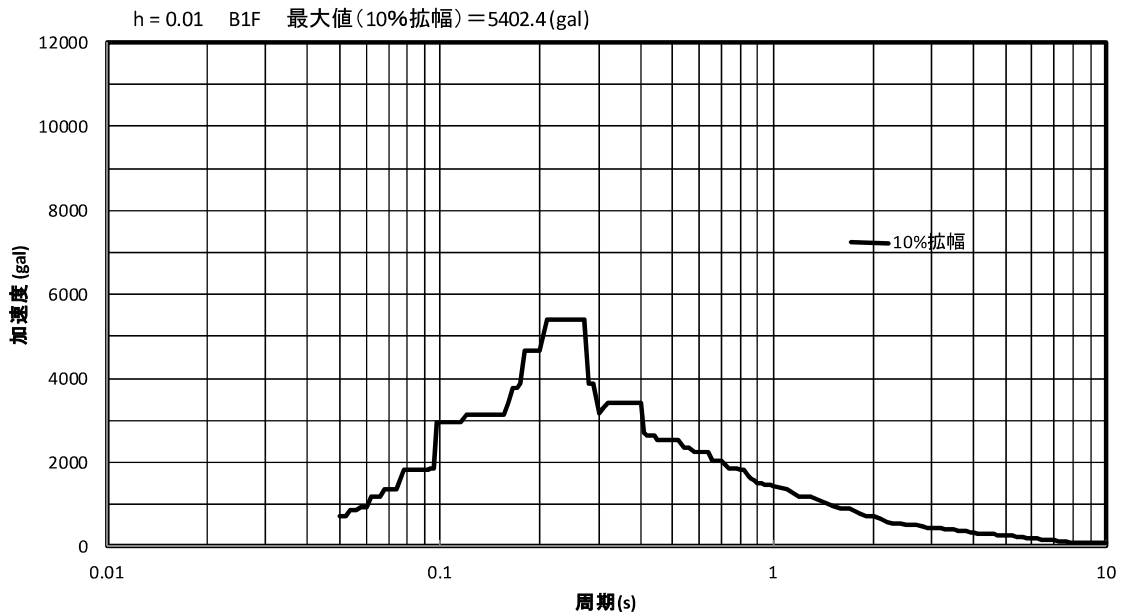


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

蒸発缶ラック (G71RK20) 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^{※1} 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。

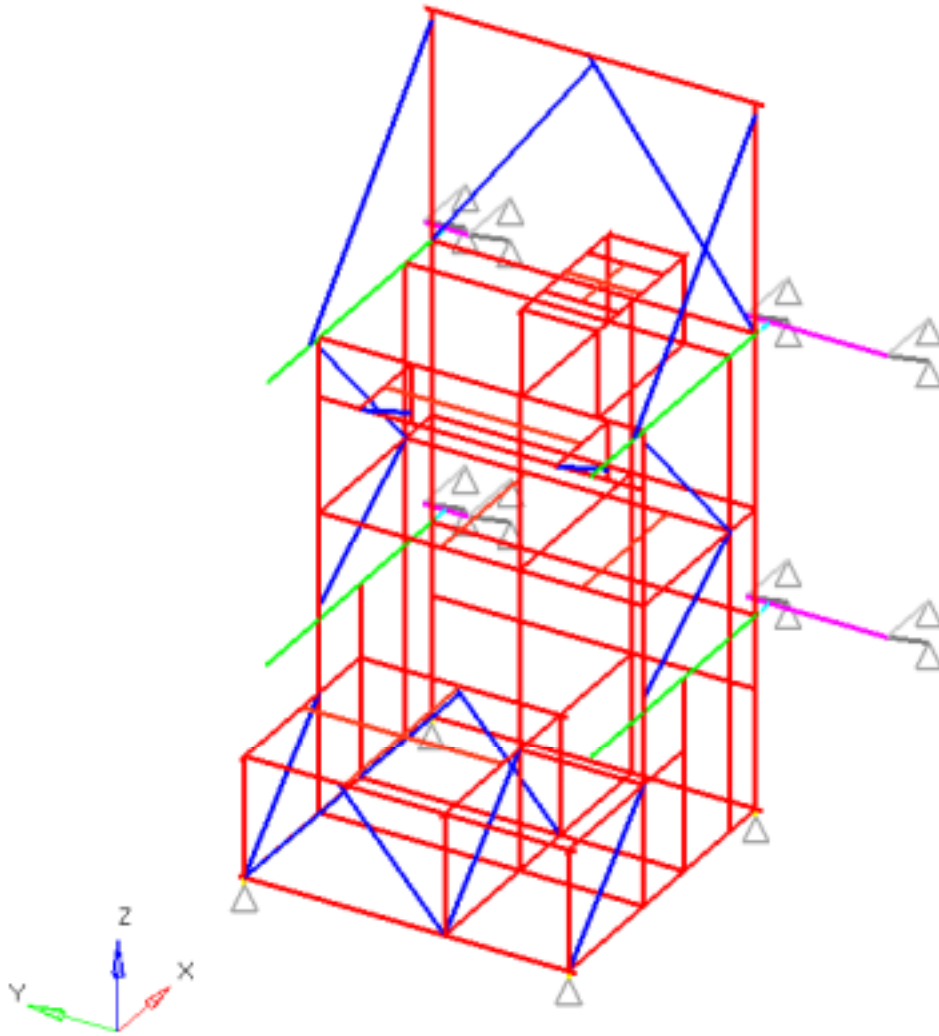
※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

蒸発缶ラック (G71RK20) 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	θ_x	θ_y	θ_z
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 蒸発缶ラック (G71RK20) の解析モデル

4.6.2 諸元

蒸発缶ラック (G71RK20) 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
蒸発缶ラック (G71RK20)	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 (中放射性廃液蒸発缶, 冷却器, 凝縮器, デミスタ, 凝縮液槽, 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 14.3 (t)

4.7 固有周期

蒸発缶ラック (G71RK20) 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：0.086（秒）

SUBCASE 1: Mode#1, Frequency= 1.158e+001Hz

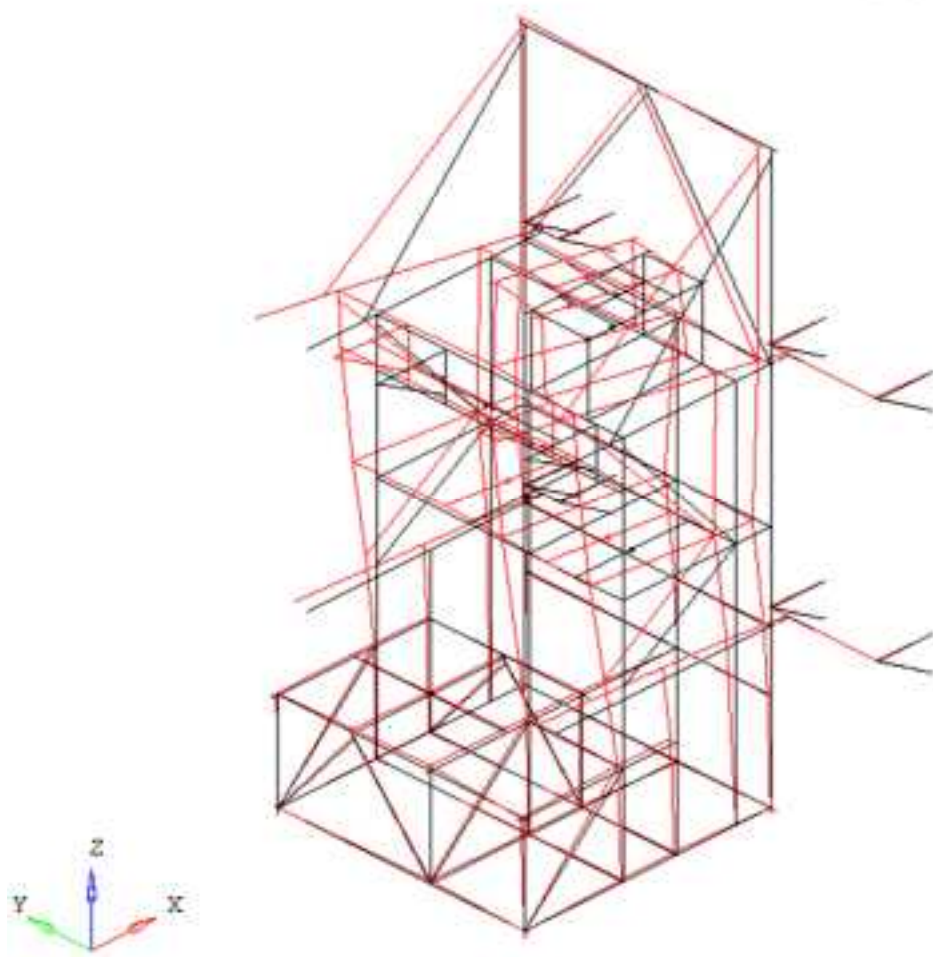


図 4-4 蒸発缶ラック (G71RK20) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期：0.057（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.757e+001Hz

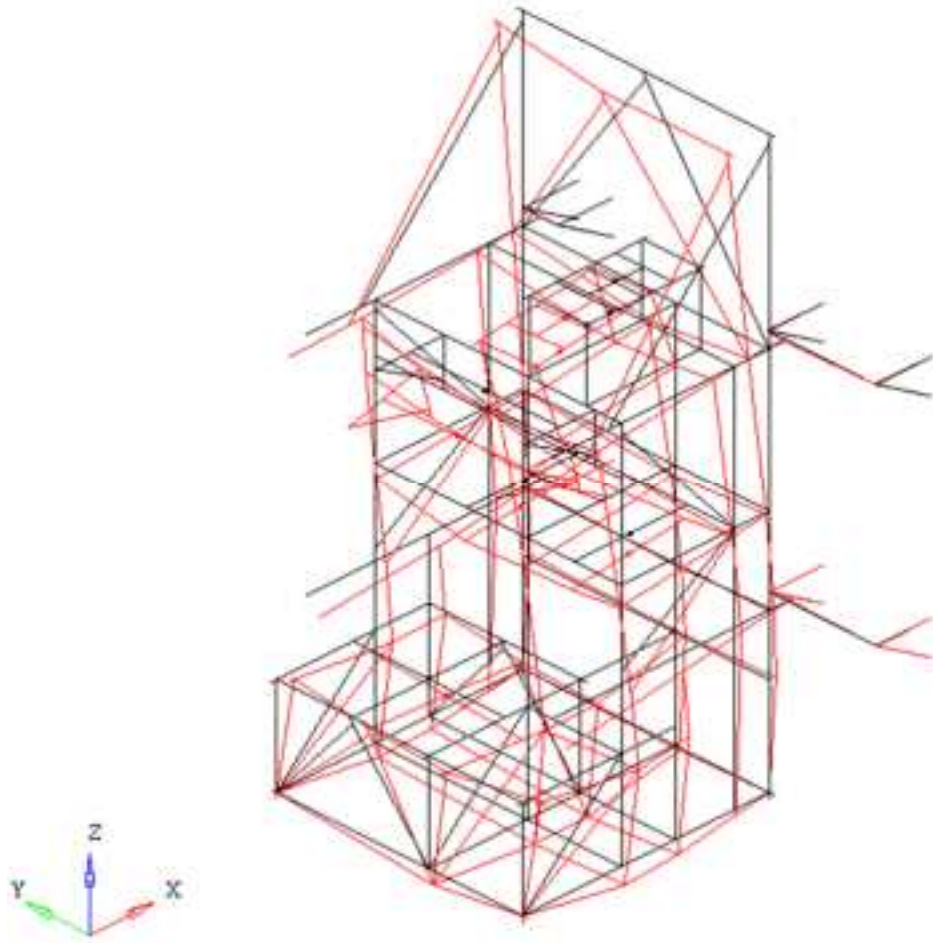


図 4-4 蒸発缶ラック (G71RK20) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.052（秒）

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 1.942e+001Hz

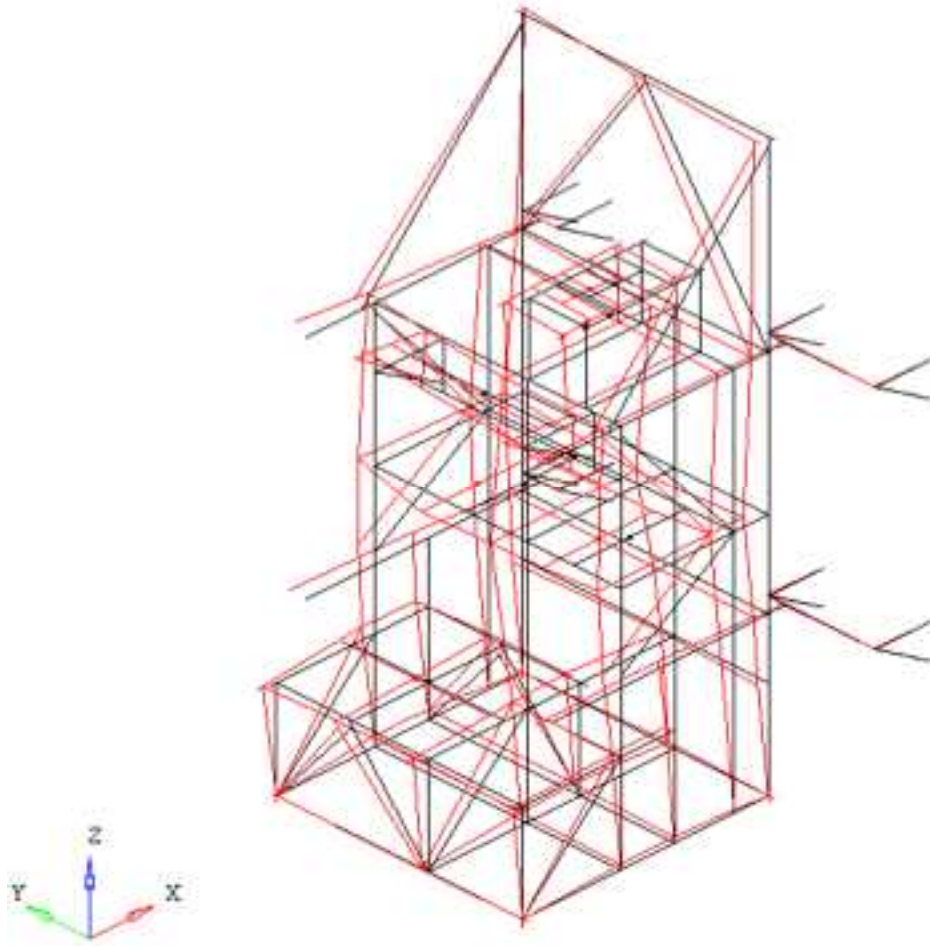


図 4-4 蒸発缶ラック (G71RK20) 固有モード図 (3/3)

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蒸発缶ラック (G71RK20) 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 ^{※1}
蒸発缶ラック (G71RK20)	フレーム	引張	13	246	0.06
		せん断	38	142	0.27
		圧縮	18	151	0.12
		曲げ	101	246	0.41

※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

蒸発缶ラック (G71RK20) は、インセルクーラ (G43H10)、中放射性廃液蒸発缶 (G71E20)、凝縮器 (G71H21)、デミスタ (G71D2141) 及び濃縮液槽 (G71V22) 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。蒸発缶ラック (G71RK20) 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
蒸発缶ラック (G71RK20)	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)

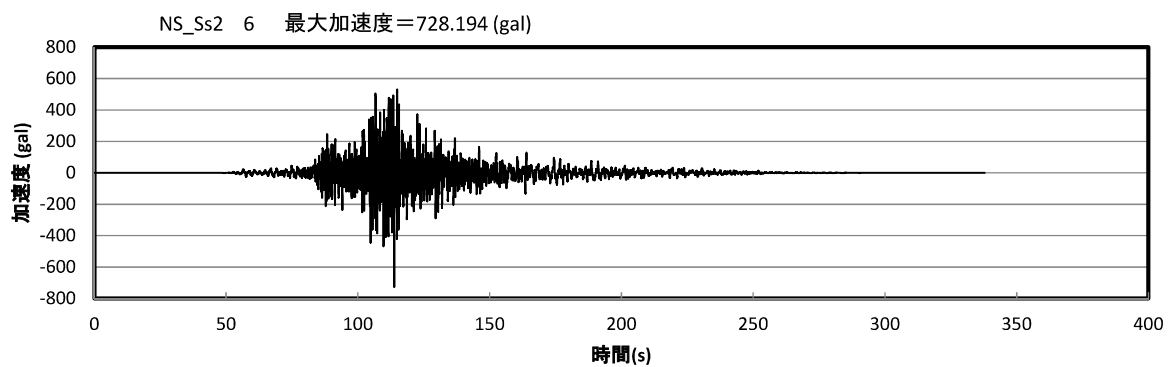
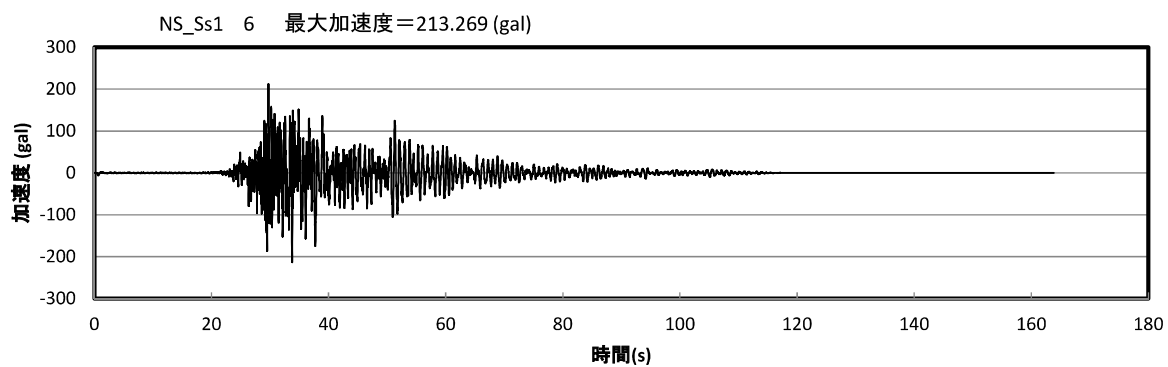
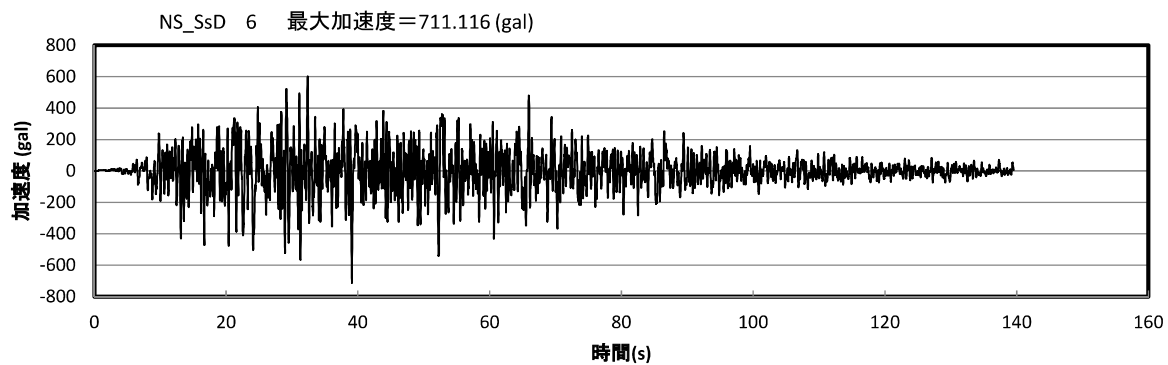


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

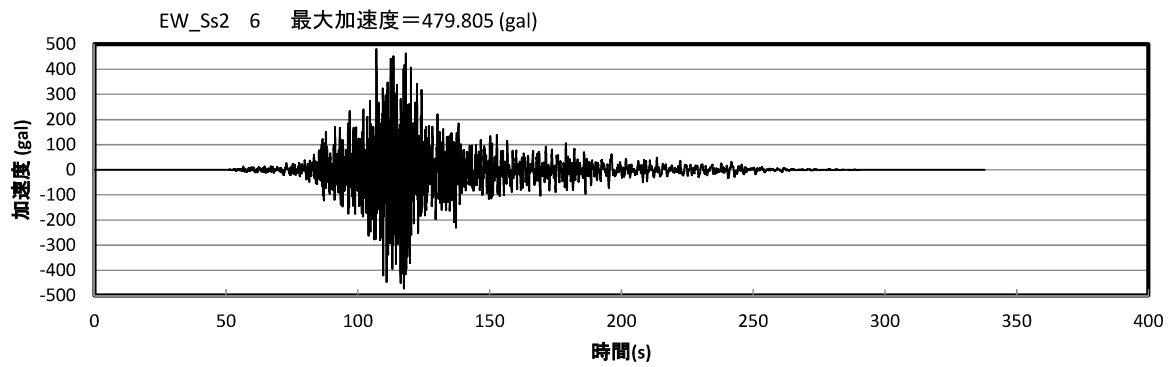
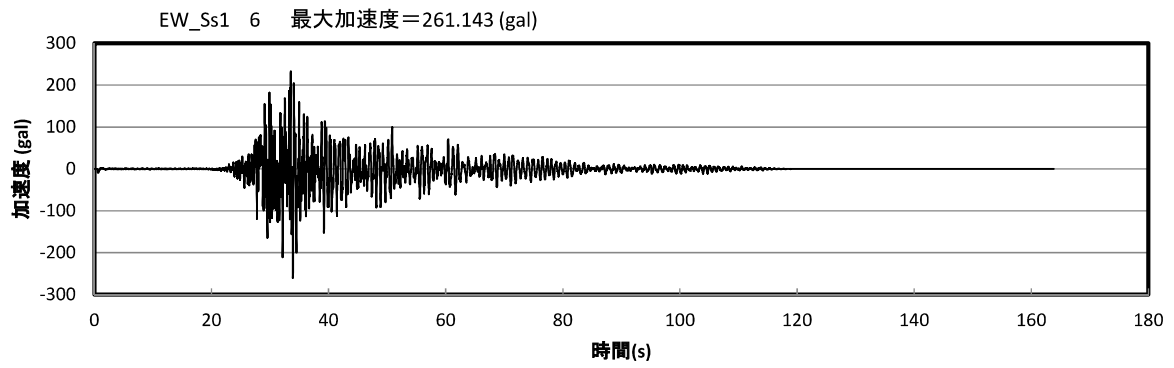
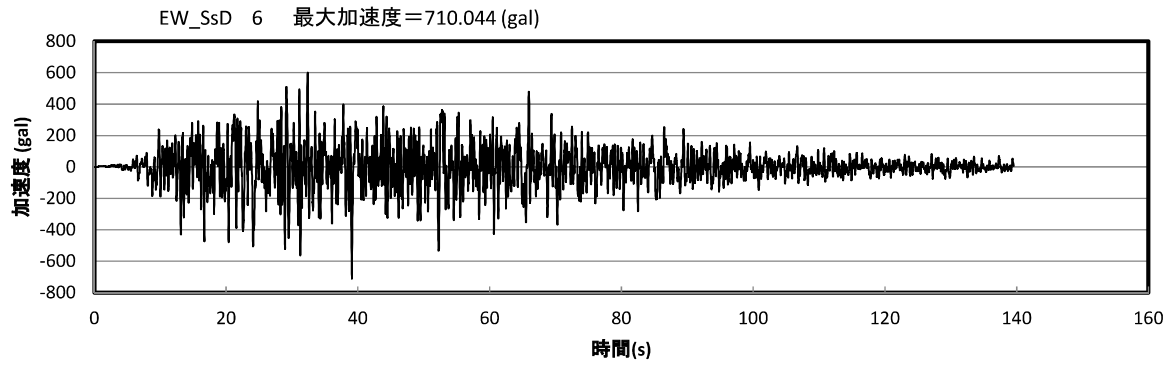


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

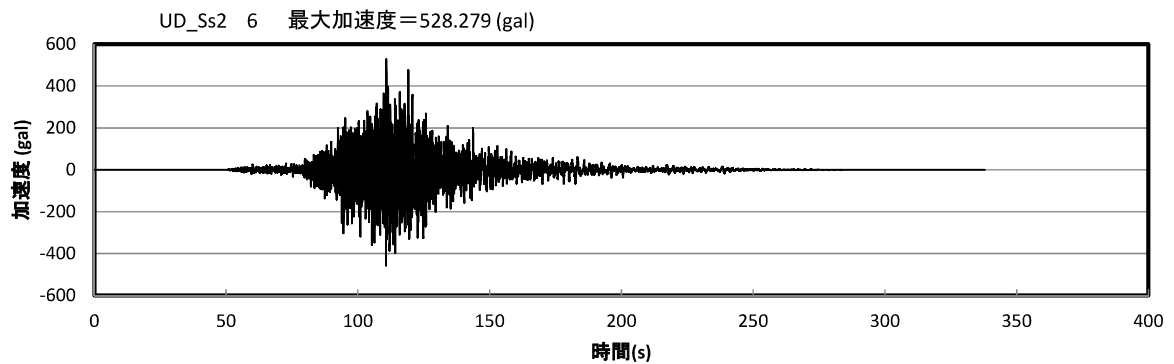
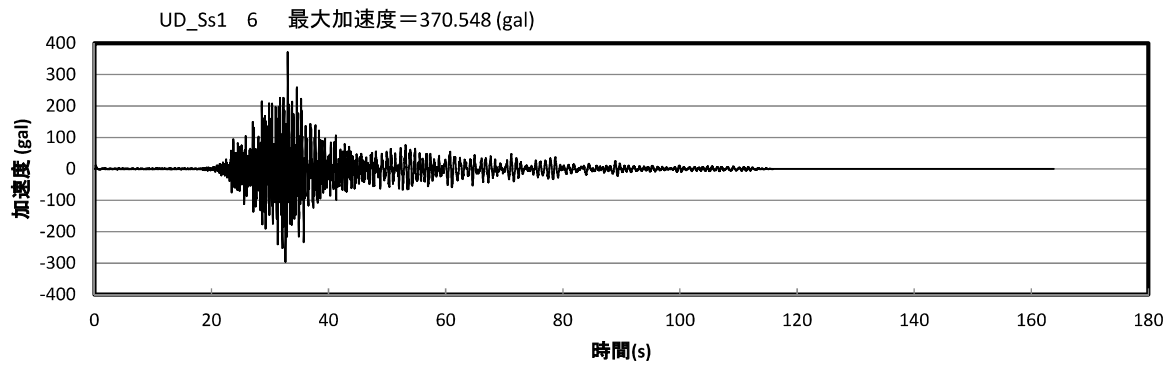
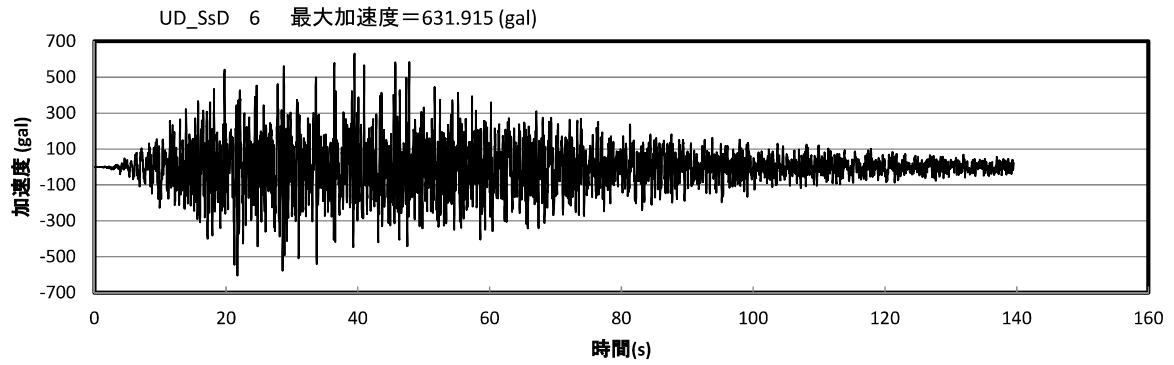


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下1階, 鉛直方向)

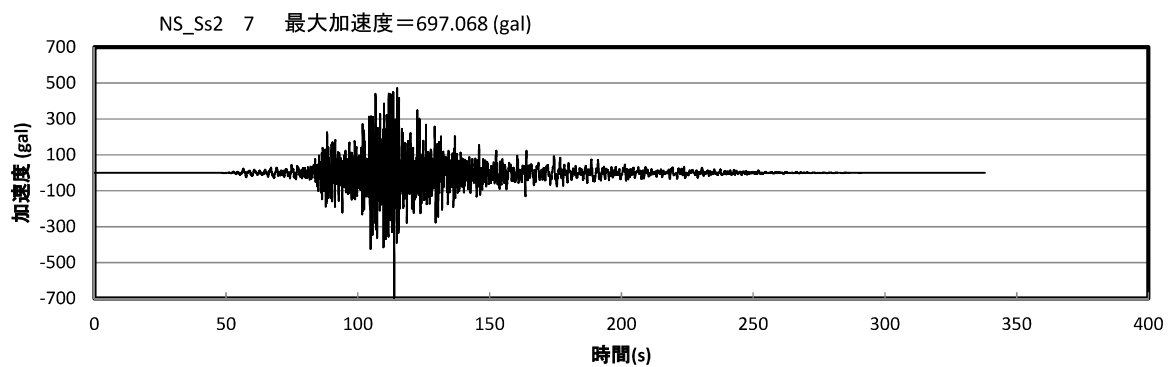
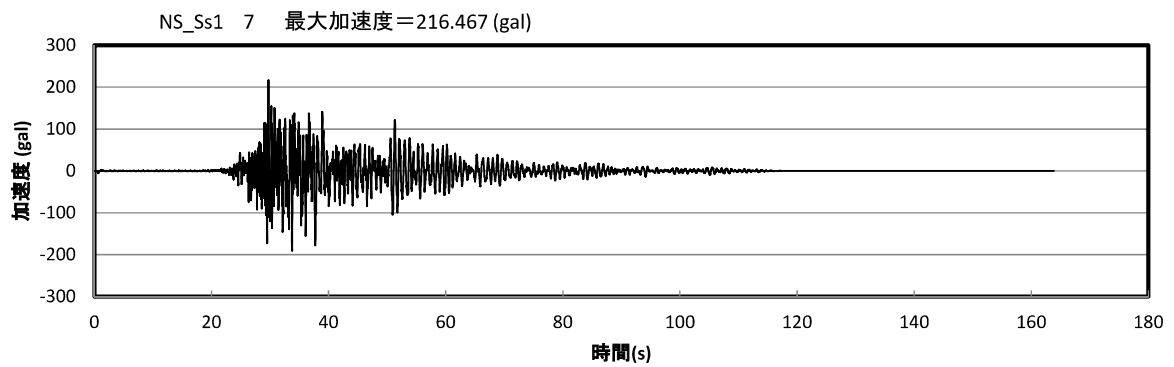
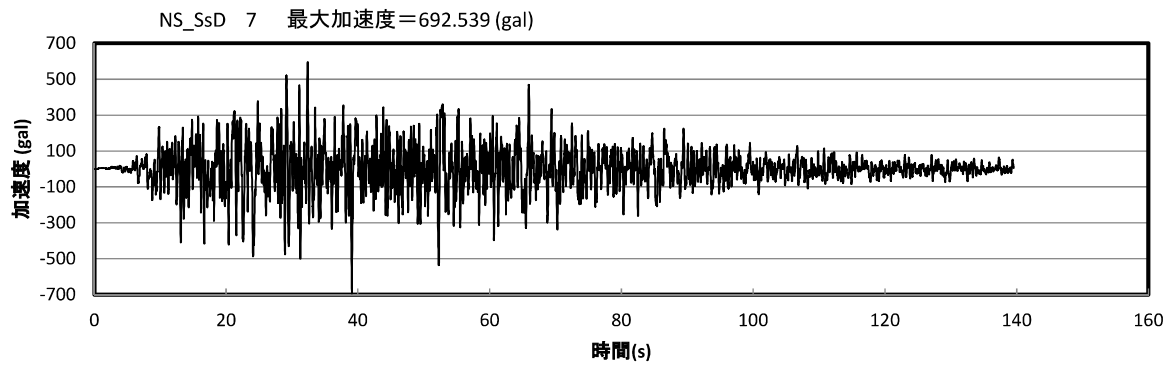


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

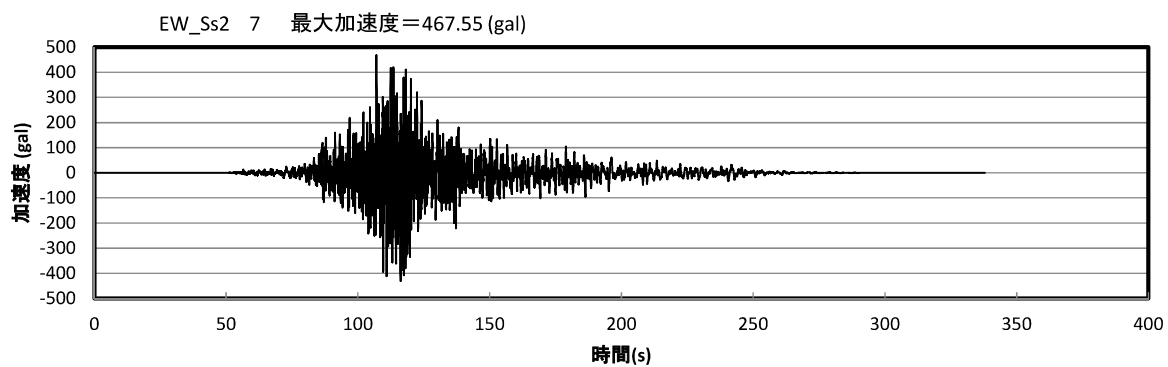
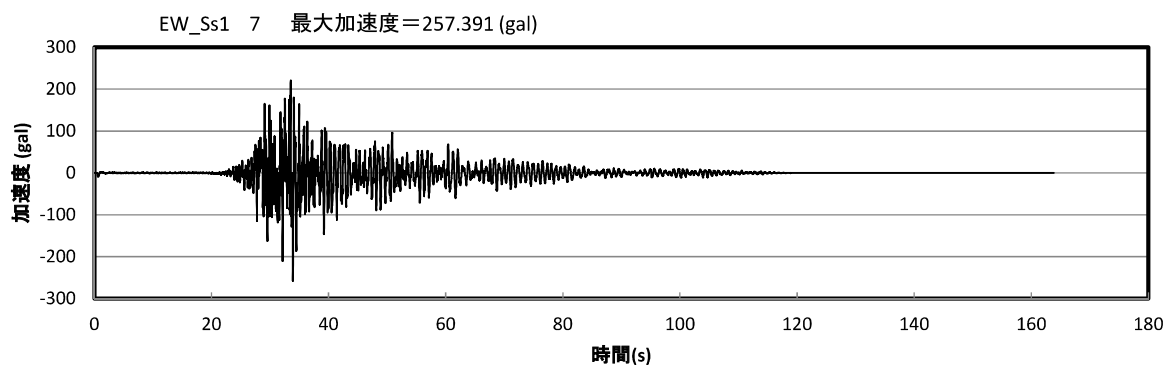
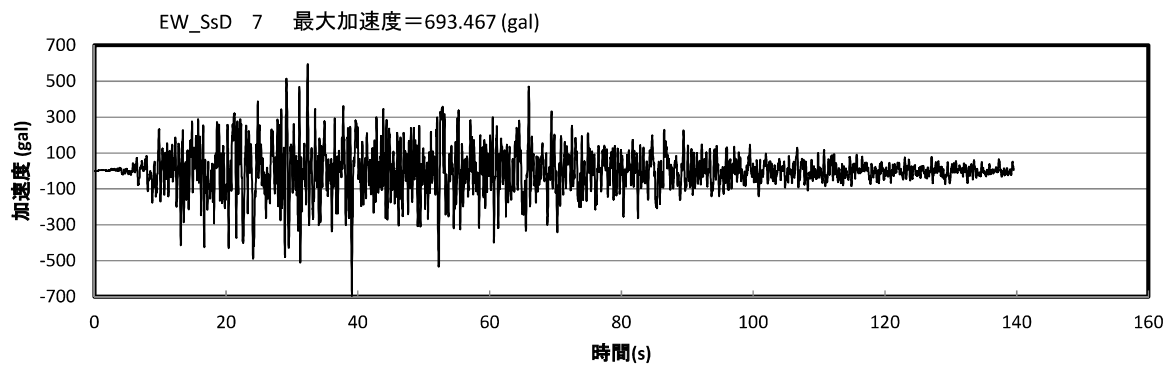


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

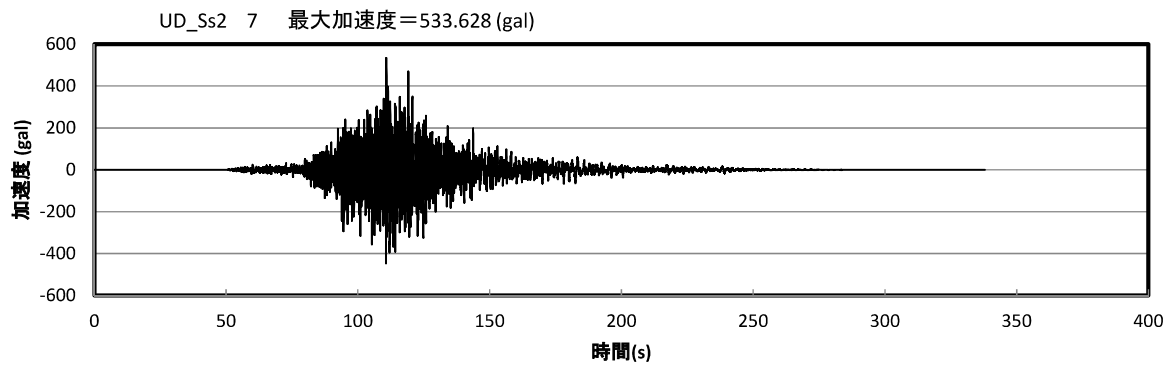
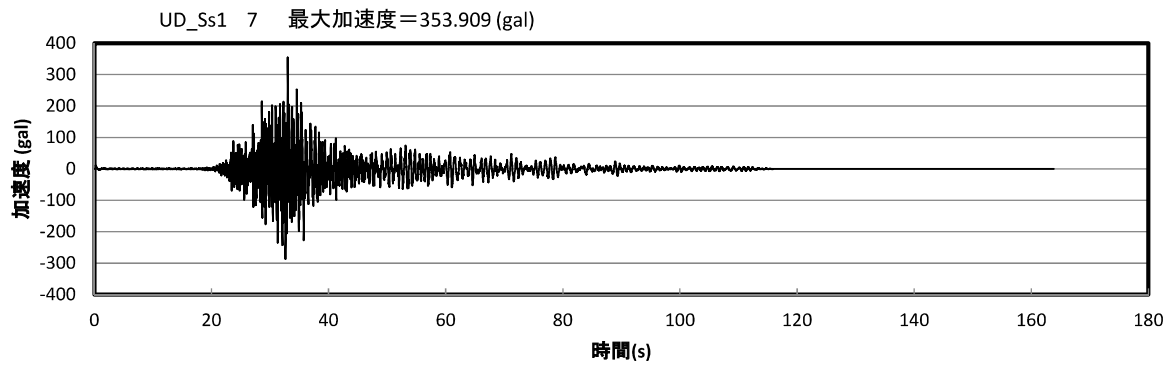
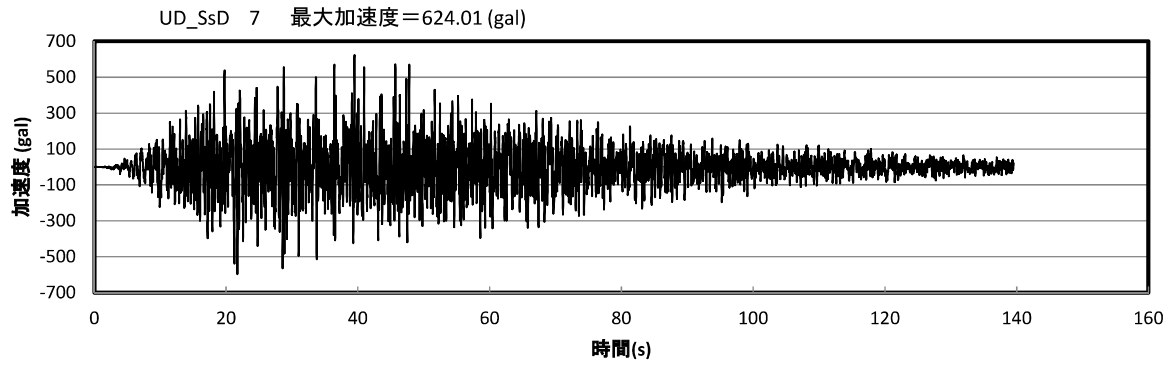


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 鉛直方向)

6.1.2 計算方法

蒸発缶ラック (G71RK20) 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^{※1}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 (G43H10)	2.26	0.79