

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。

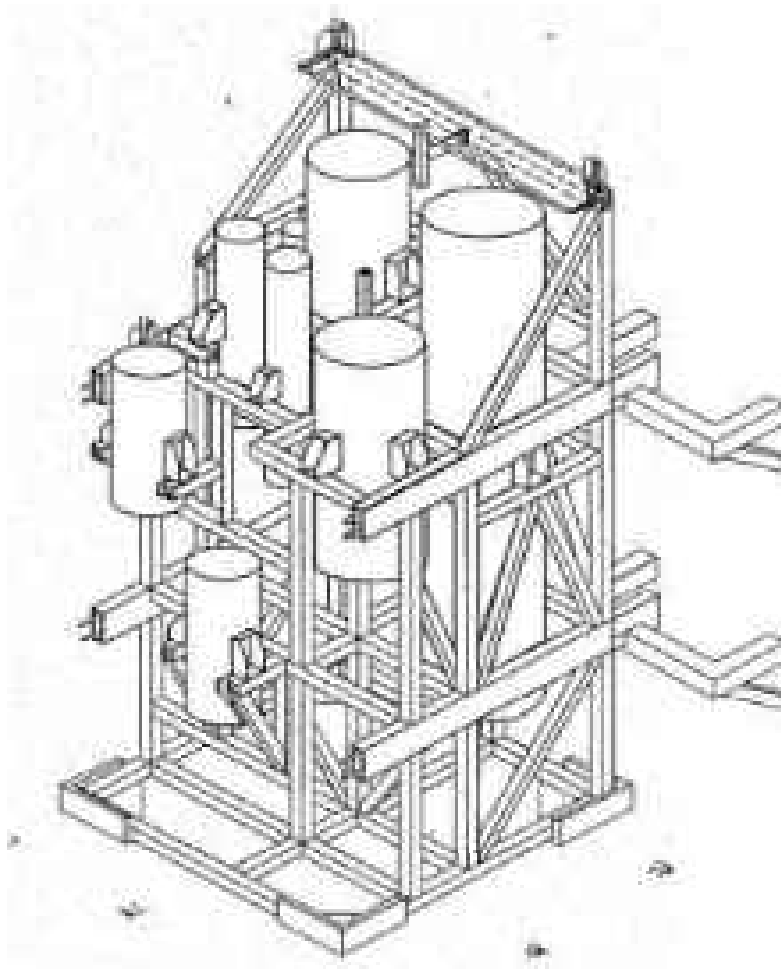


図 3-1 吸収塔ラック (G41RK20) の概要図

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%)

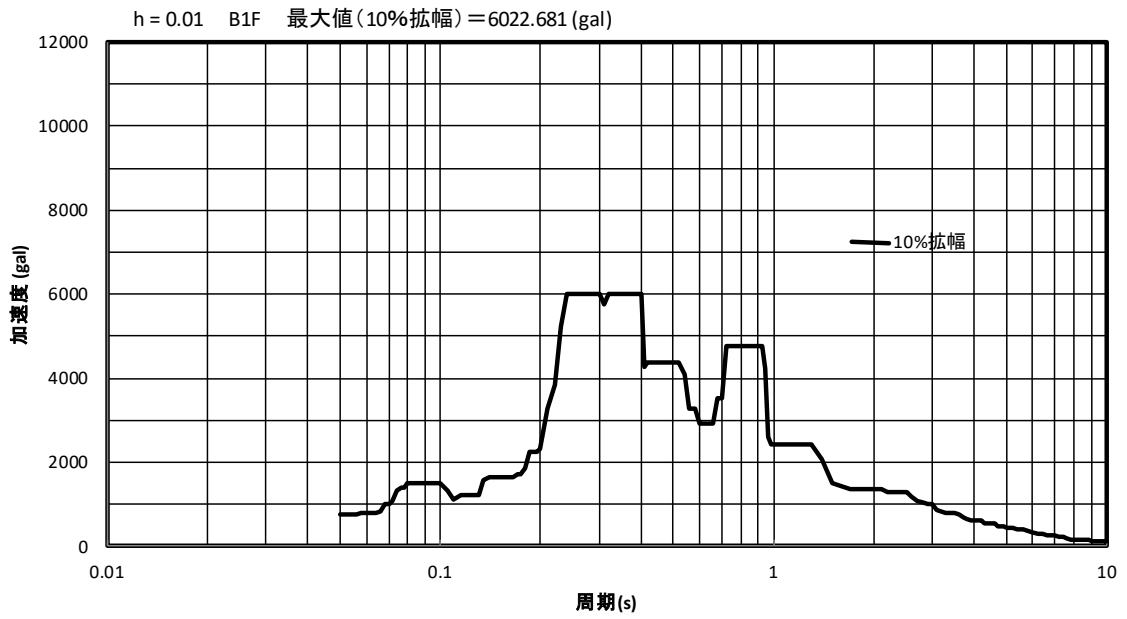


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

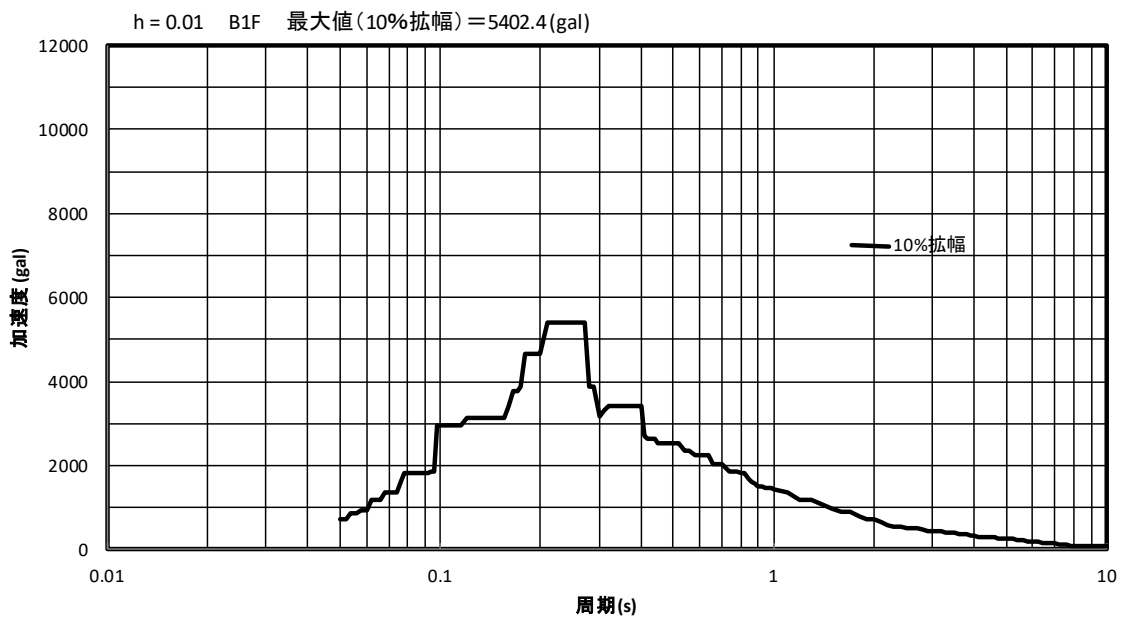


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

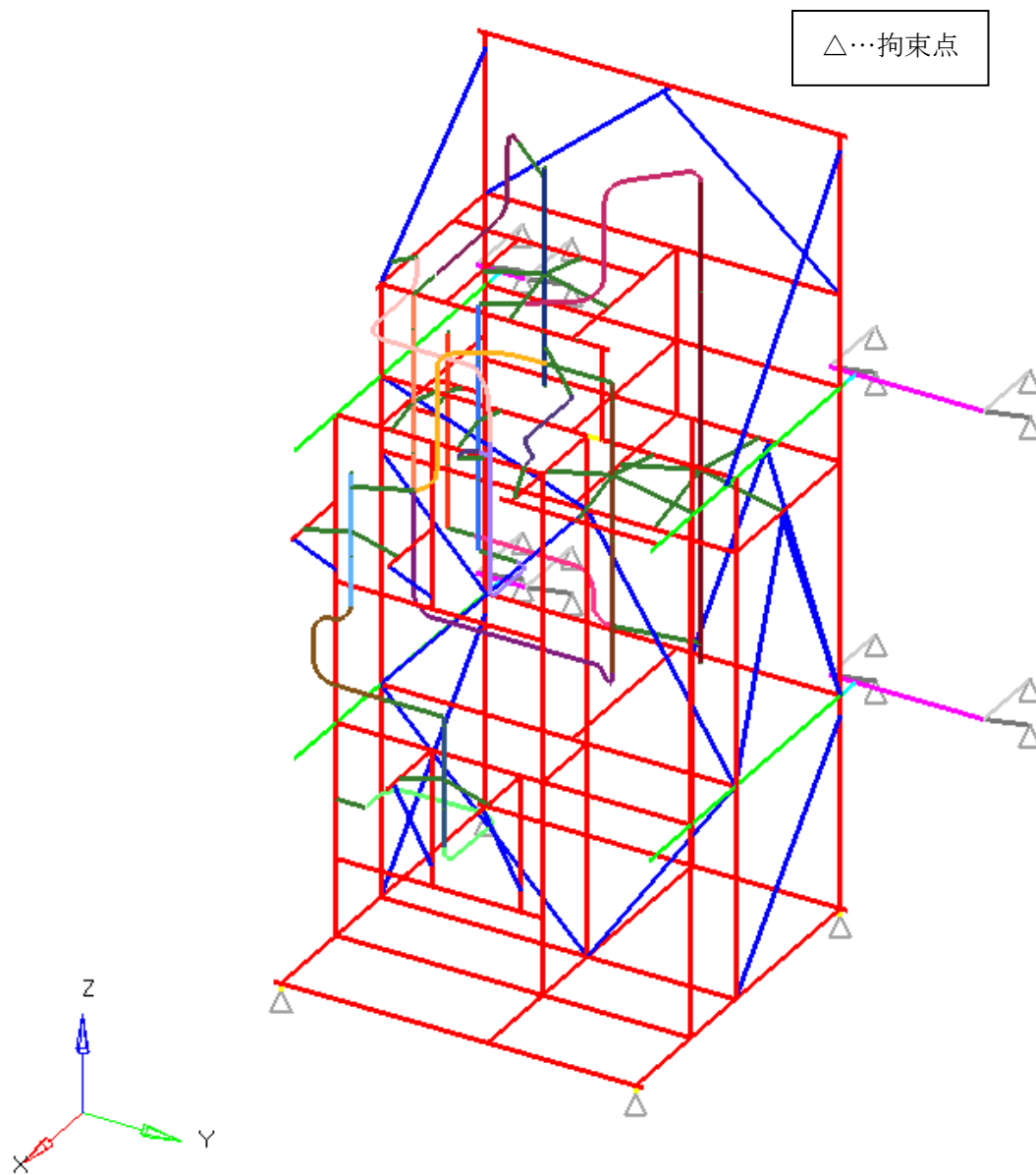
吸収塔ラック (G41RK20) の発生応力の計算方法は FEM 解析 (スペクトルモーダル法) を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※1} を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※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

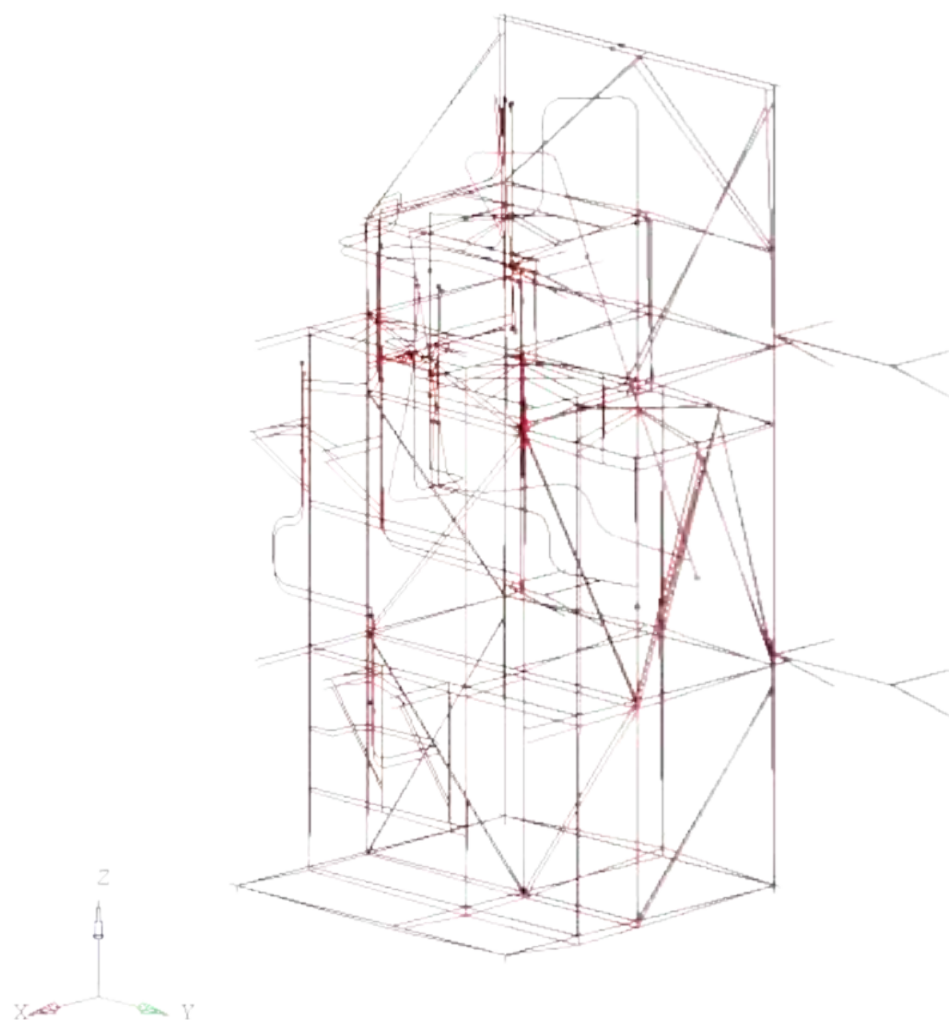


図 4-4 吸収塔ラック (G41RK20) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.094 (秒)

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

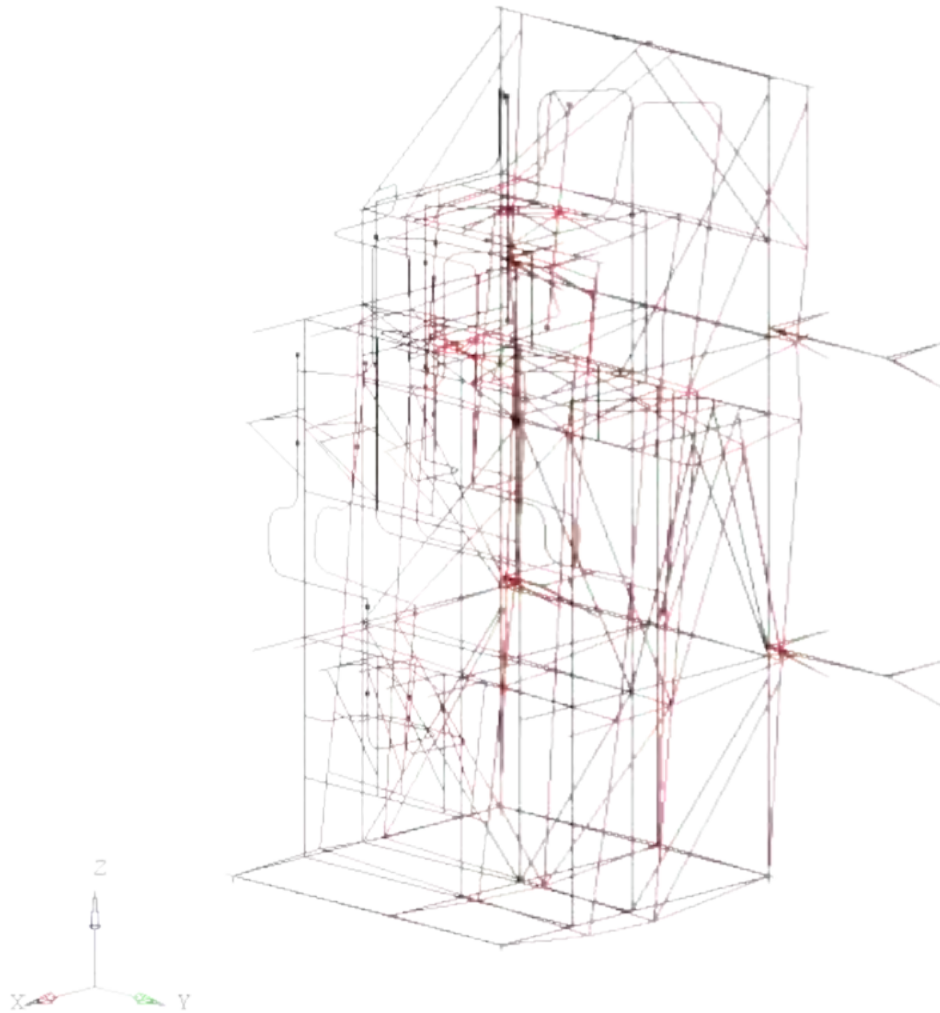


図 4-4 吸収塔ラック (G41RK20) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.081（秒）

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

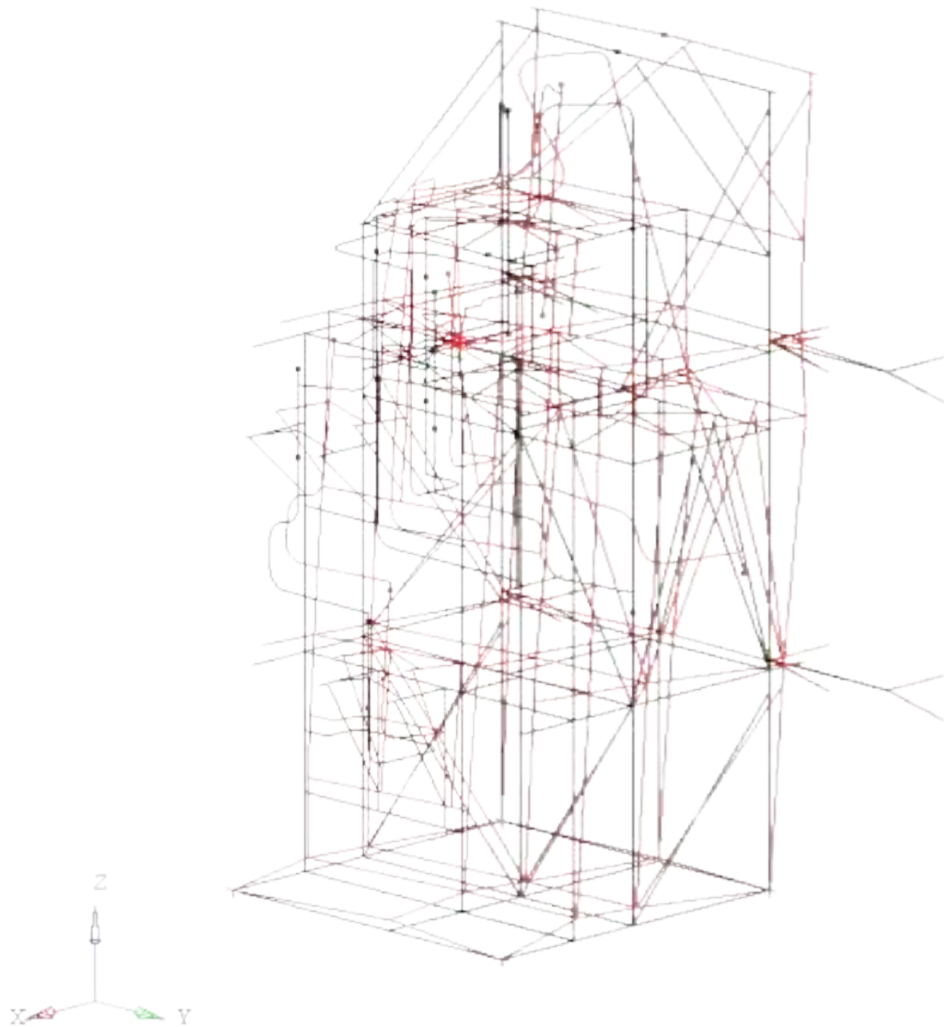


図 4-4 吸収塔ラック (G41RK20) 固有モード図(3/3)

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)

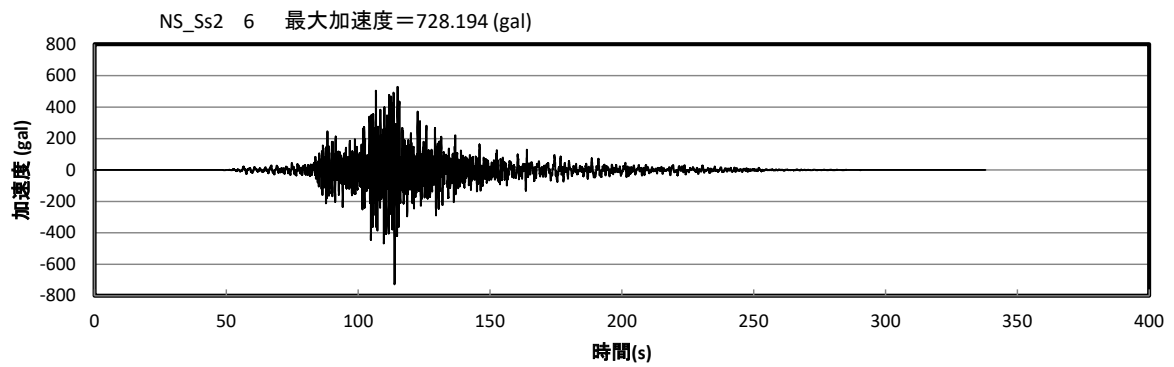
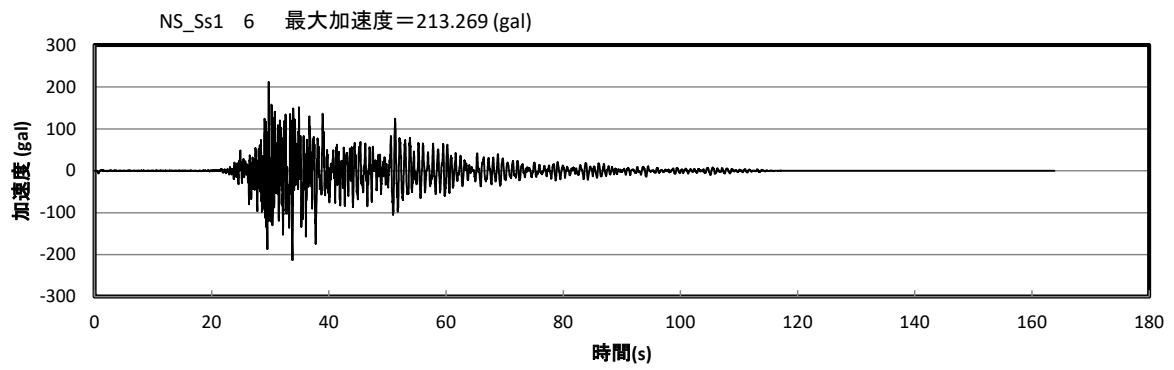
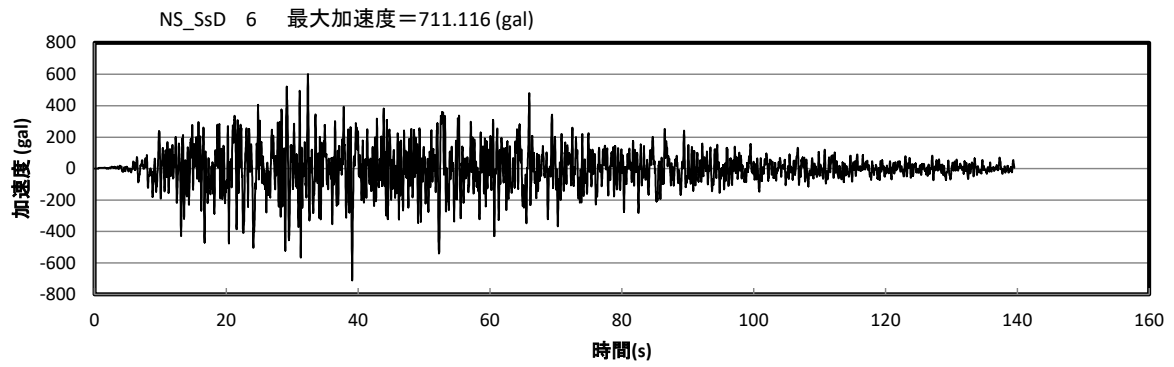


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

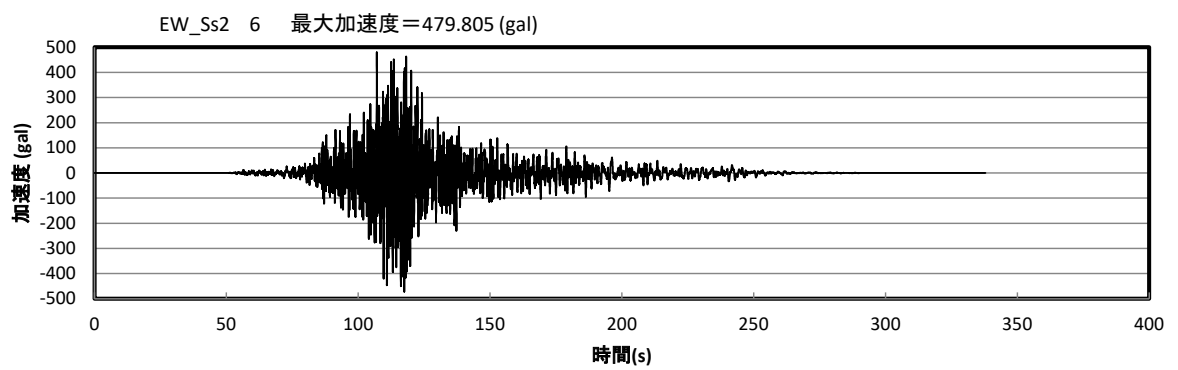
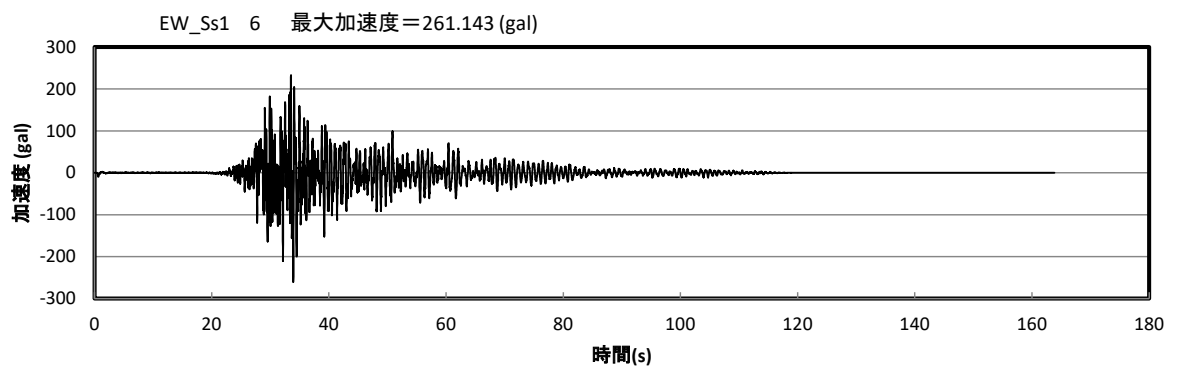
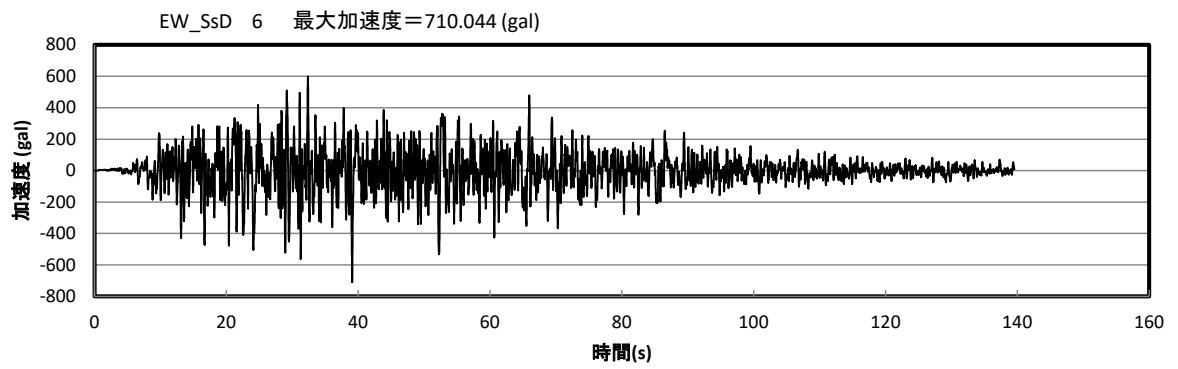


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

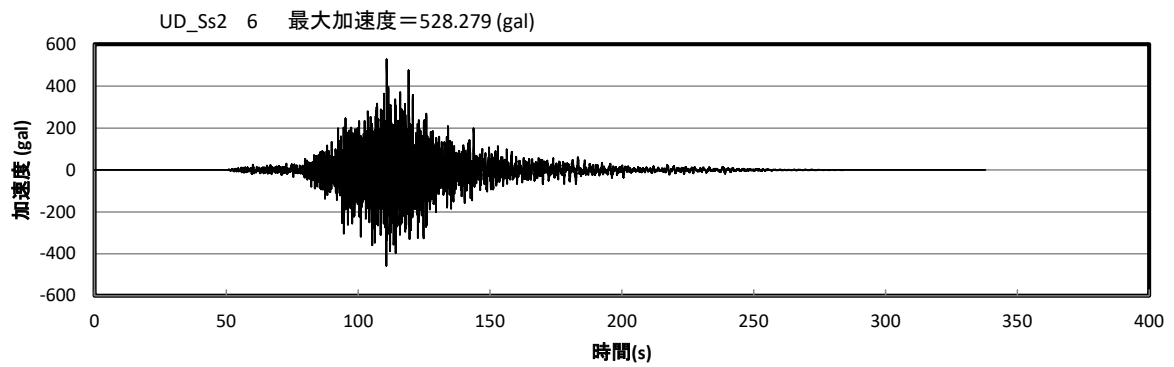
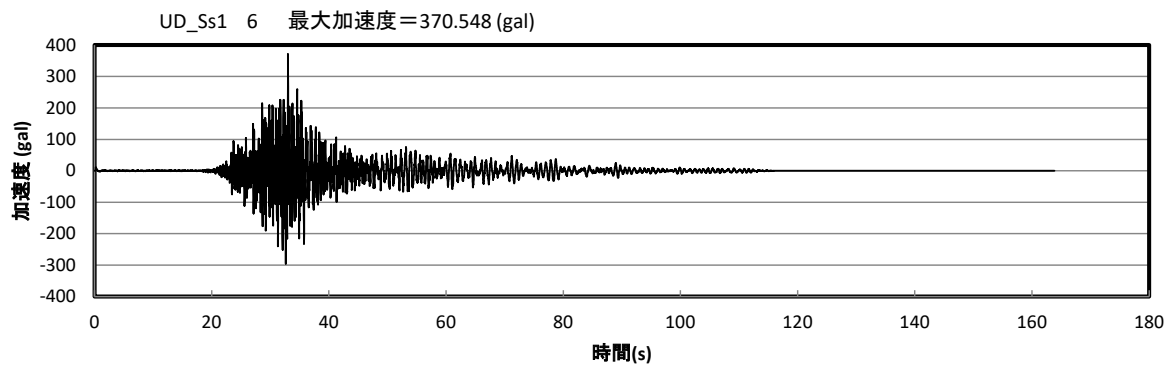
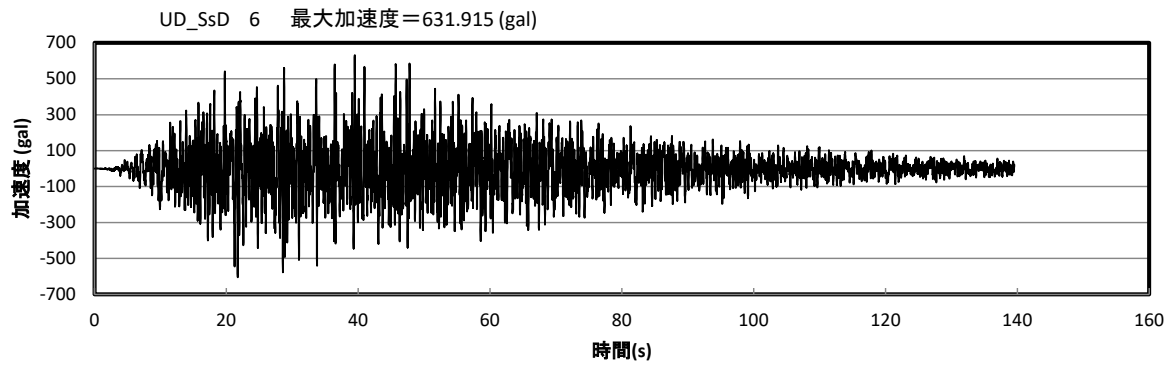


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下1階, 鉛直方向)

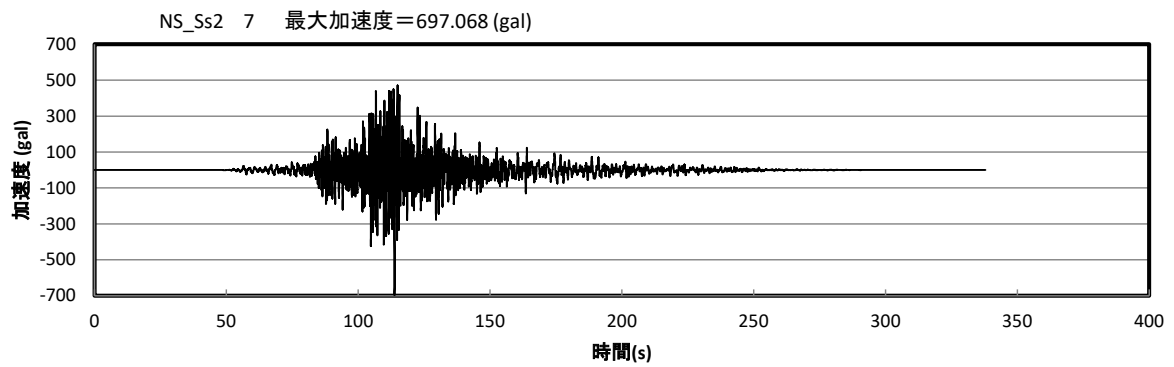
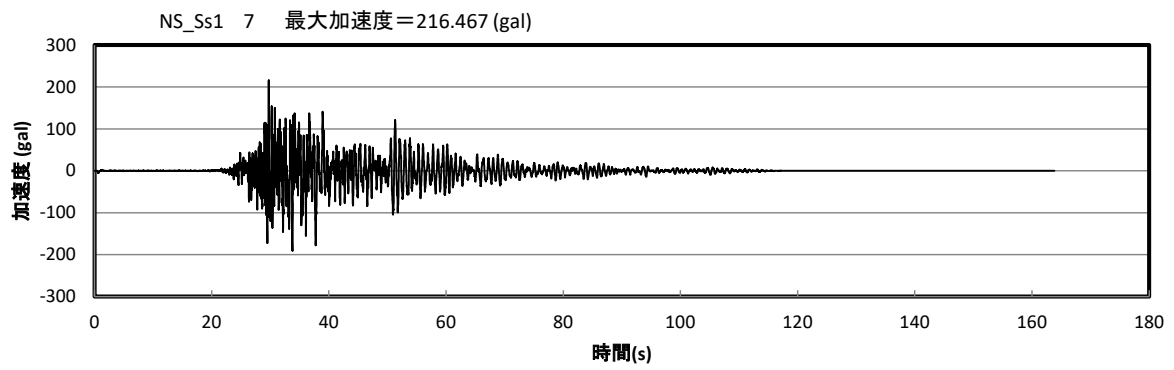
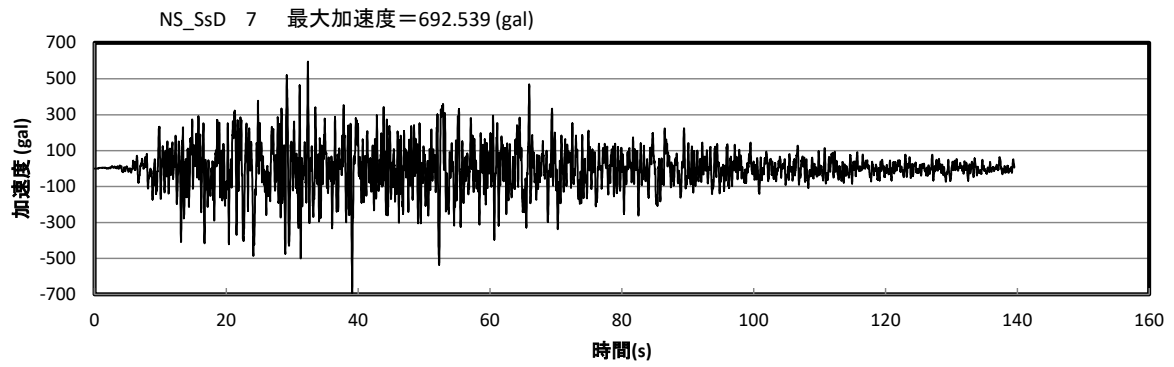


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

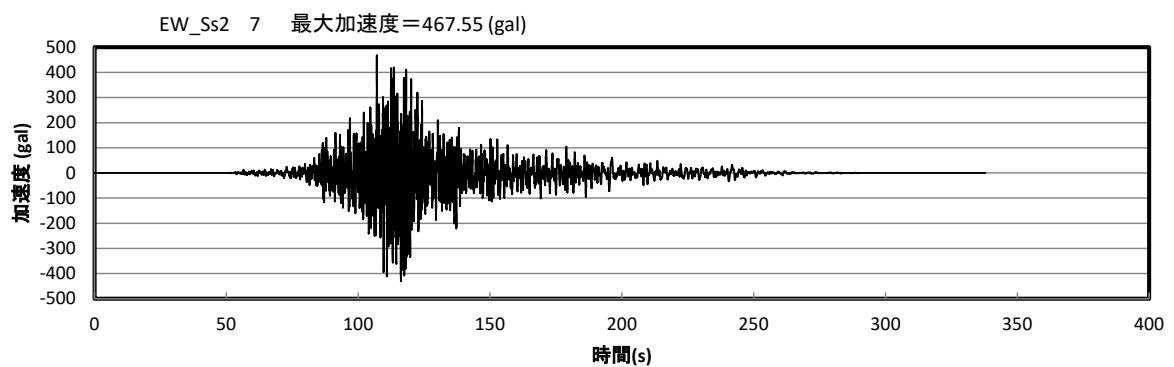
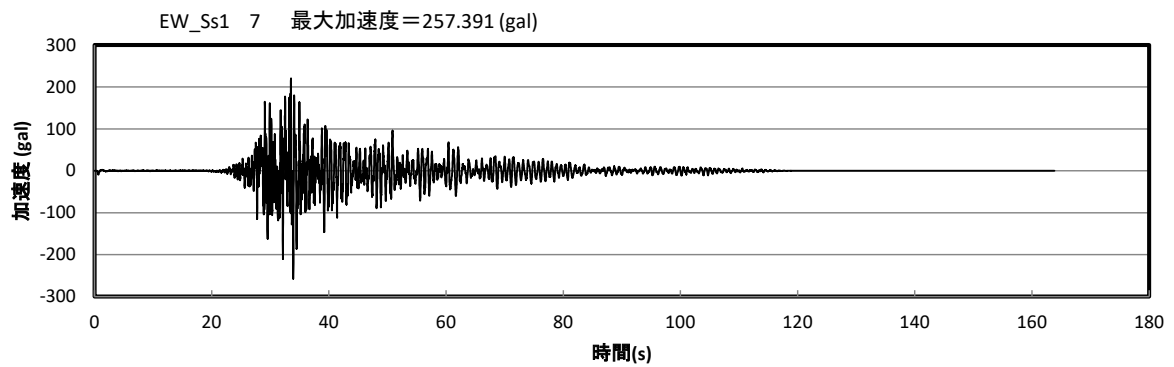
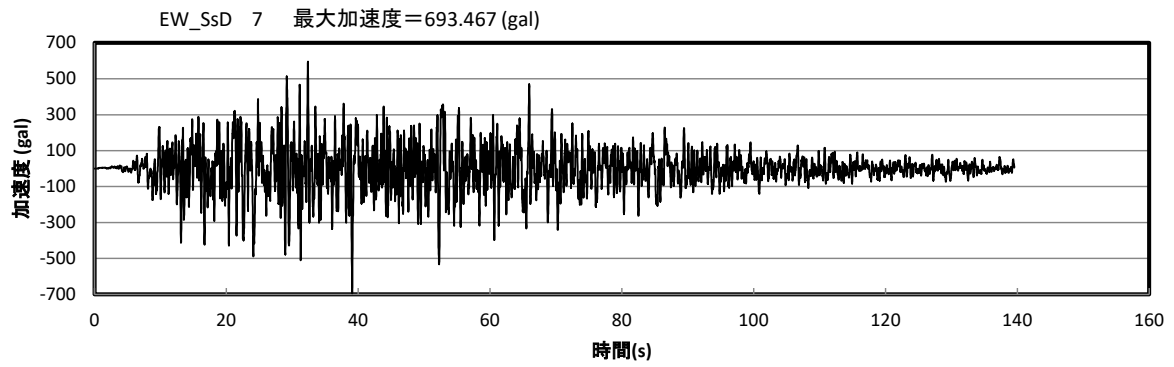


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

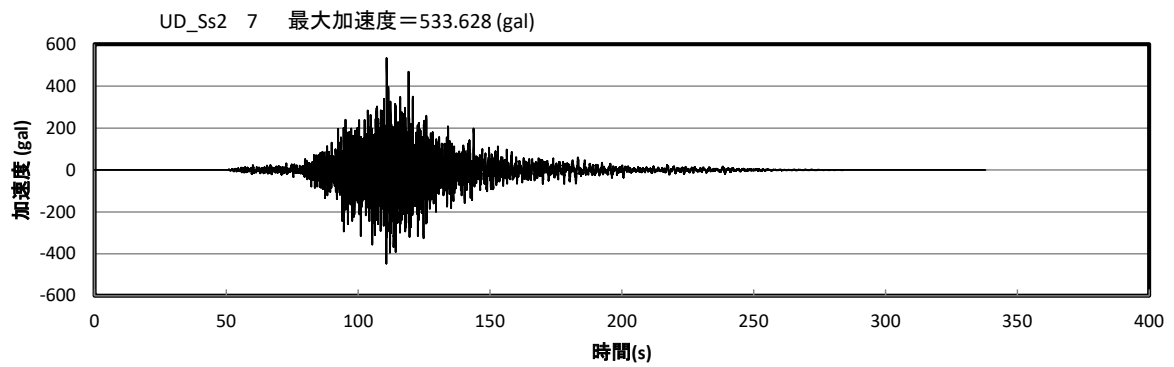
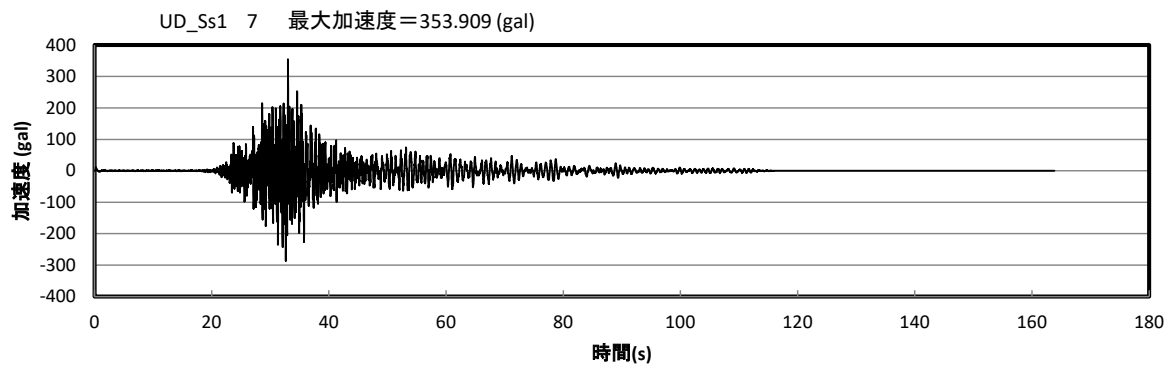
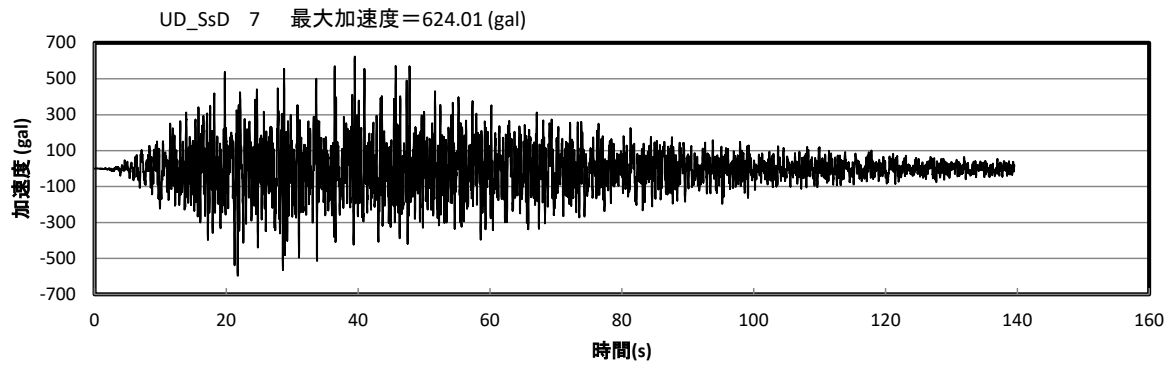


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (地下 2 階, 鉛直方向)

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。

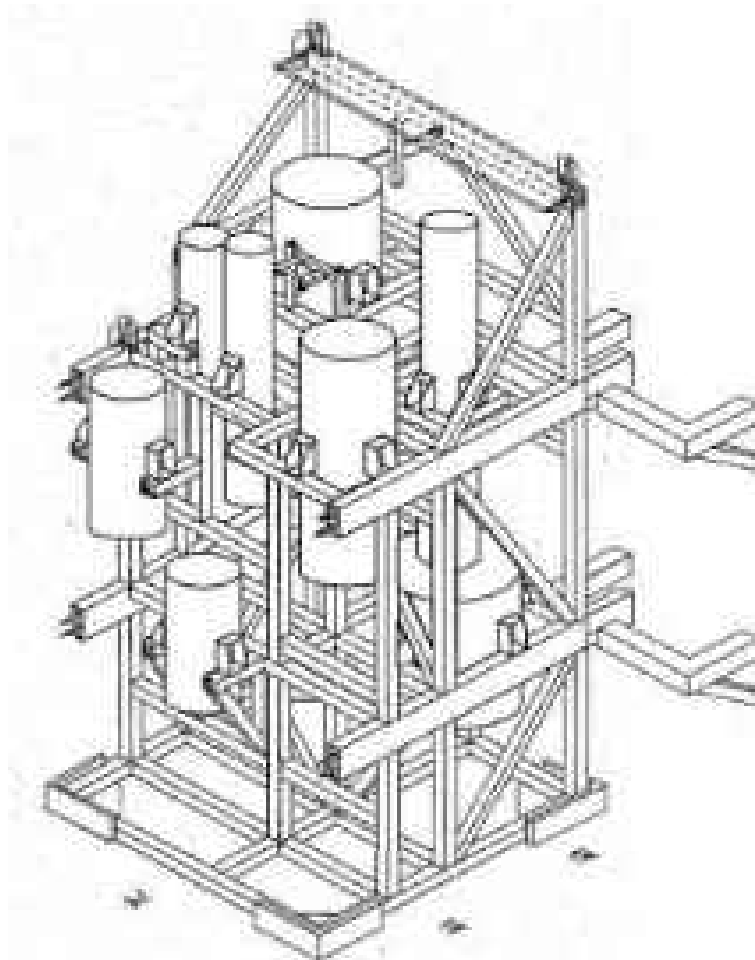


図 3-1 洗浄塔ラック (G41RK30) の概要図

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%)

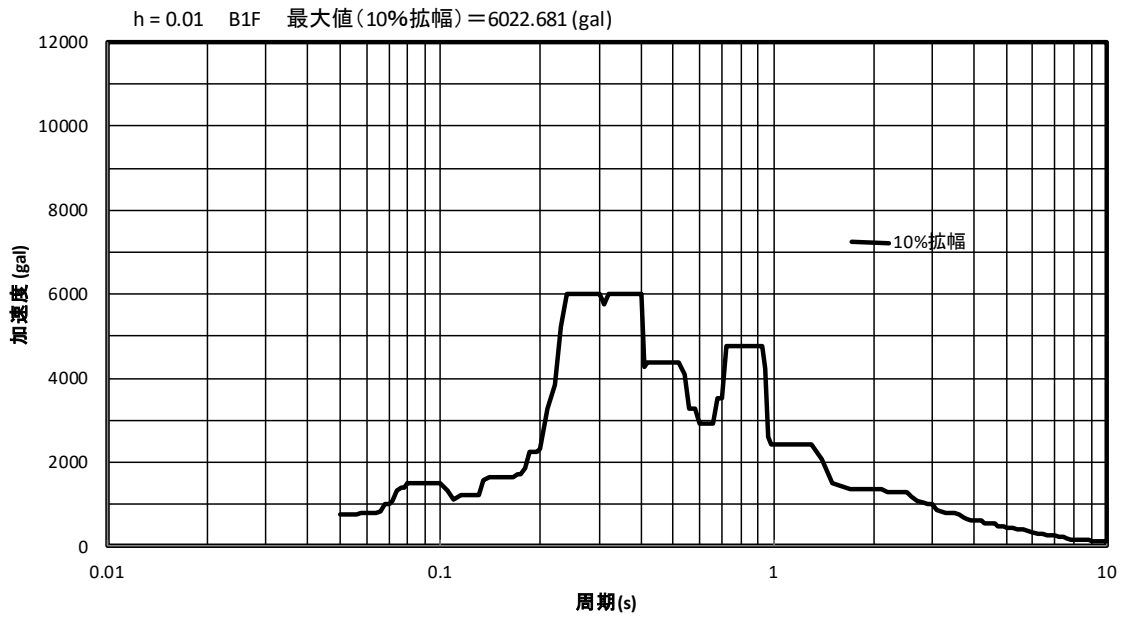


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

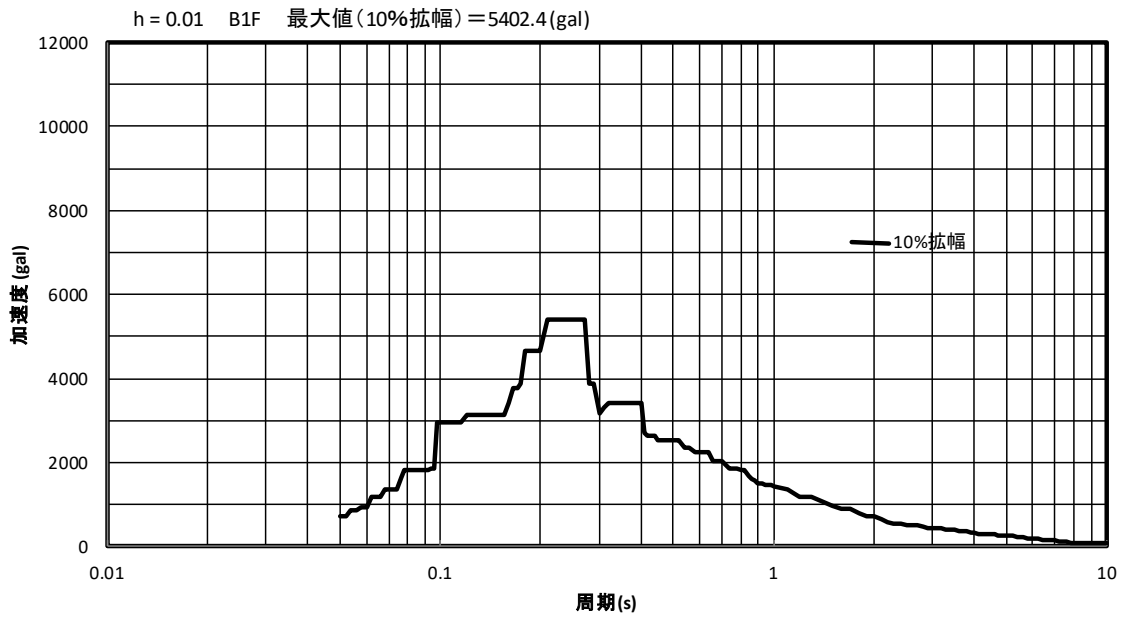


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

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。

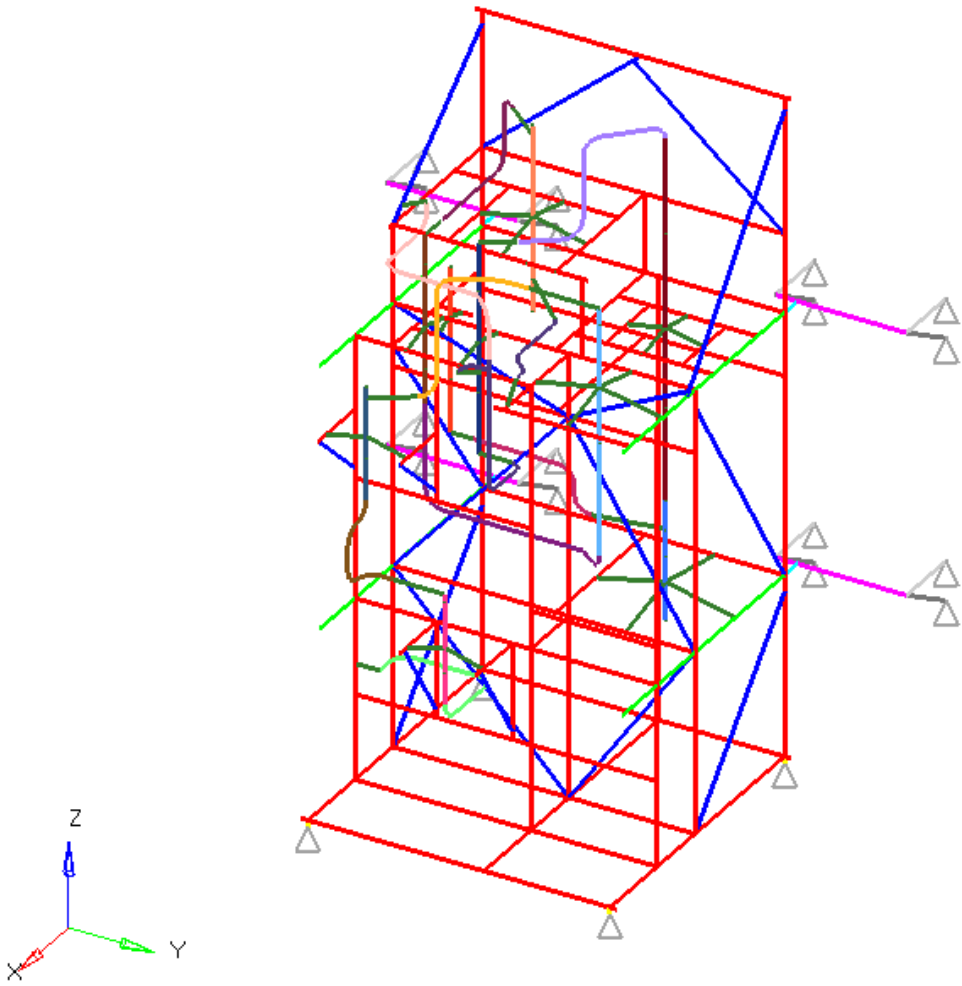
※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

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

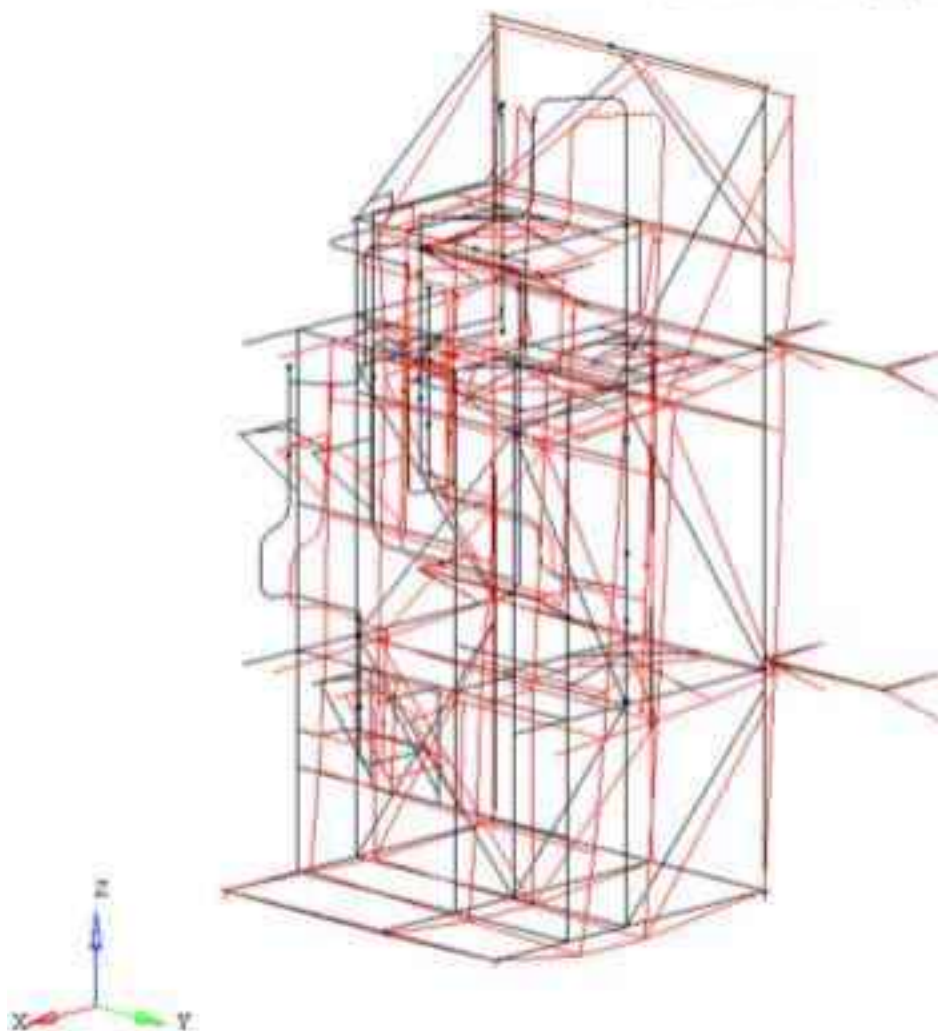


図 4-4 洗浄塔ラック (G41RK30) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.073 (秒)

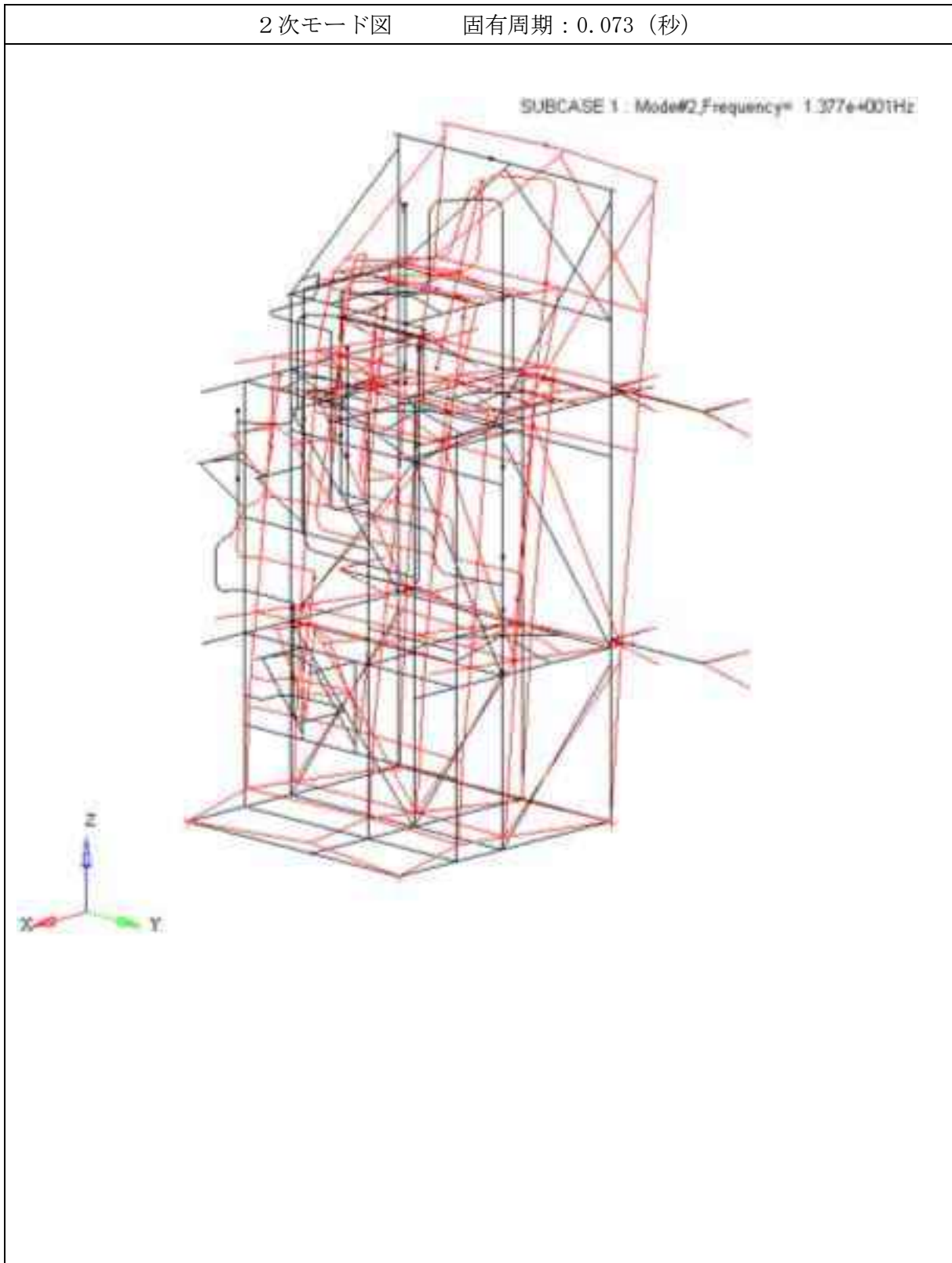


図 4-4 洗浄塔ラック (G41RK30) 固有モード図 (2/3)

3次モード図 固有周期：0.051（秒）

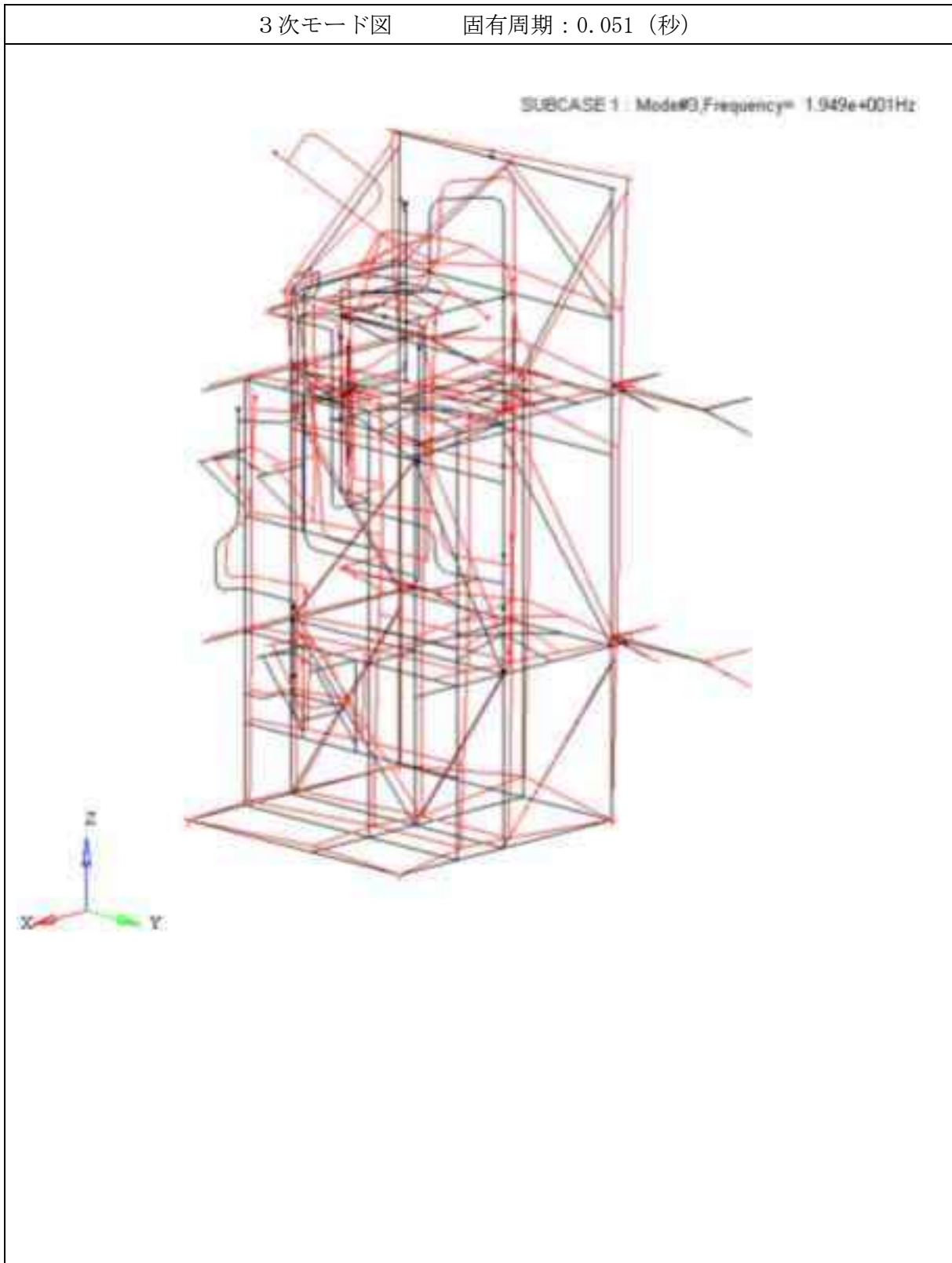


図 4-4 洗浄塔ラック (G41RK30) 固有モード図 (3/3)

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)

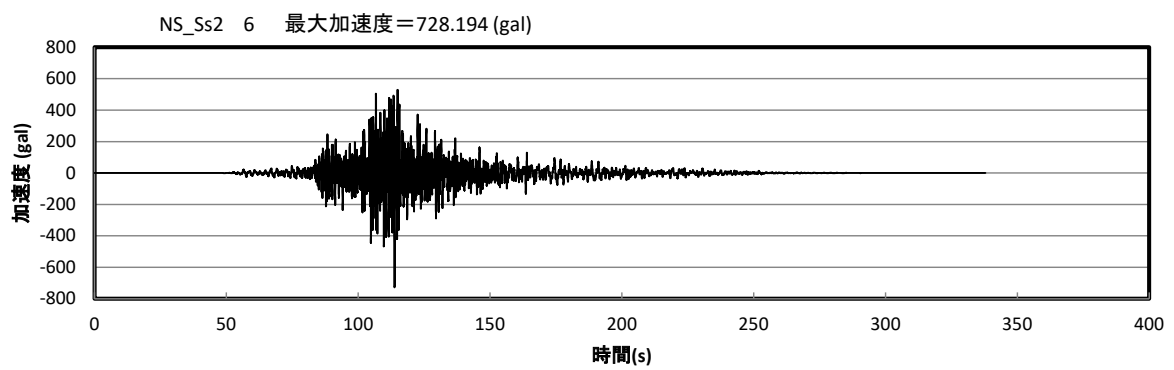
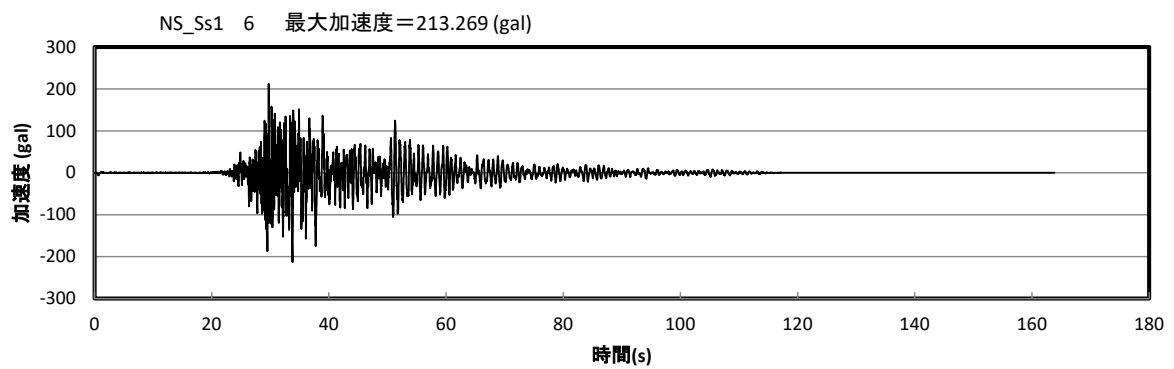
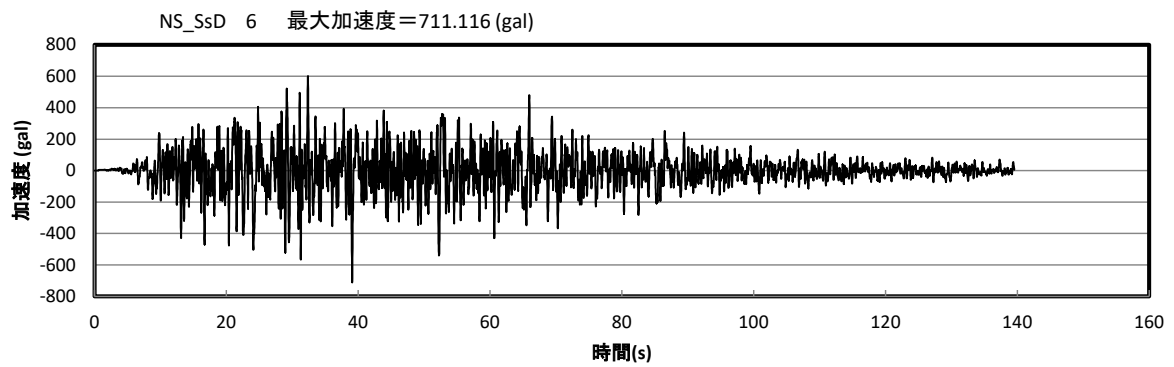


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

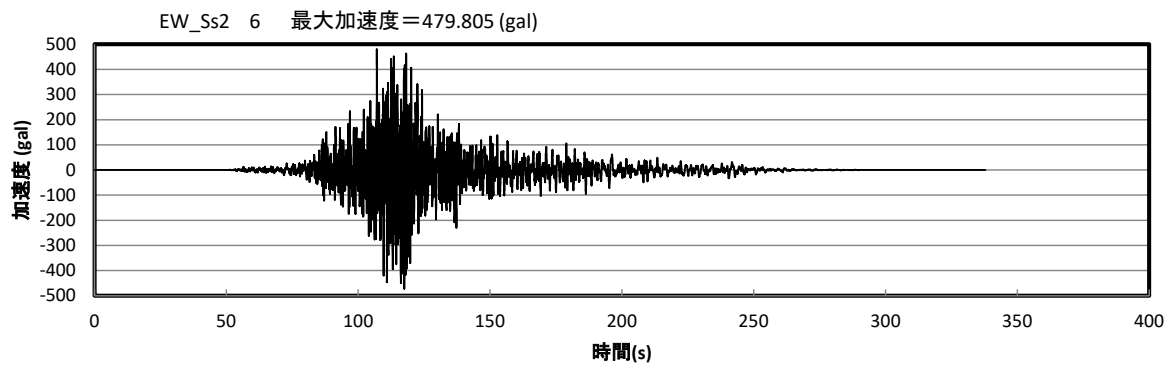
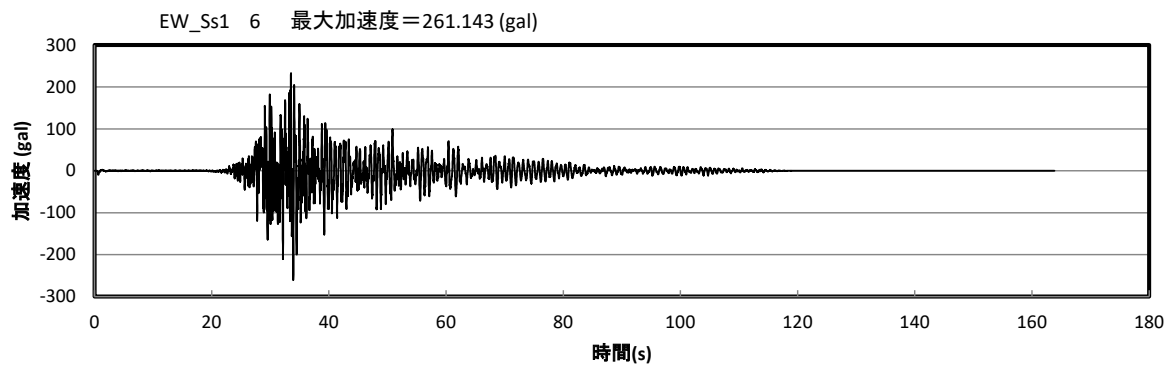
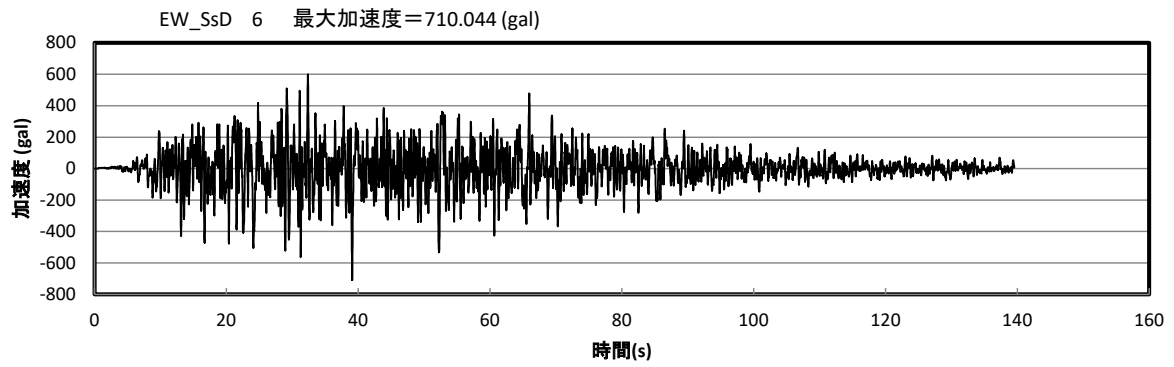


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

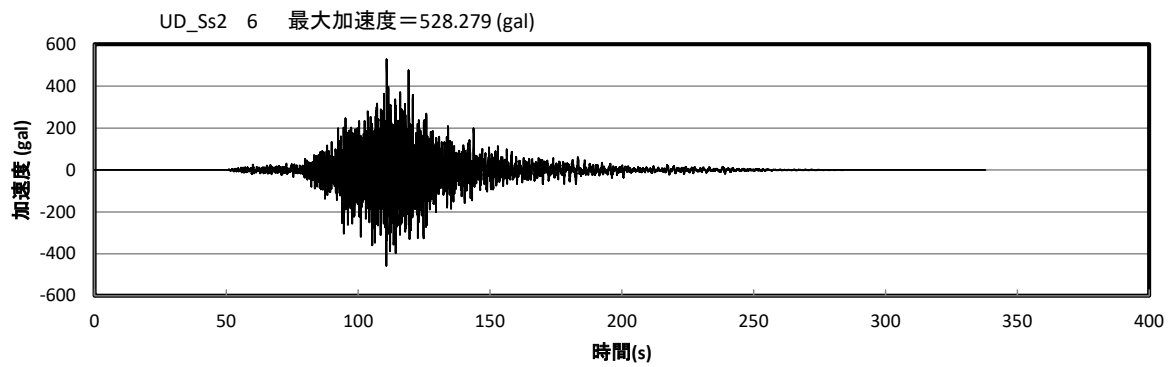
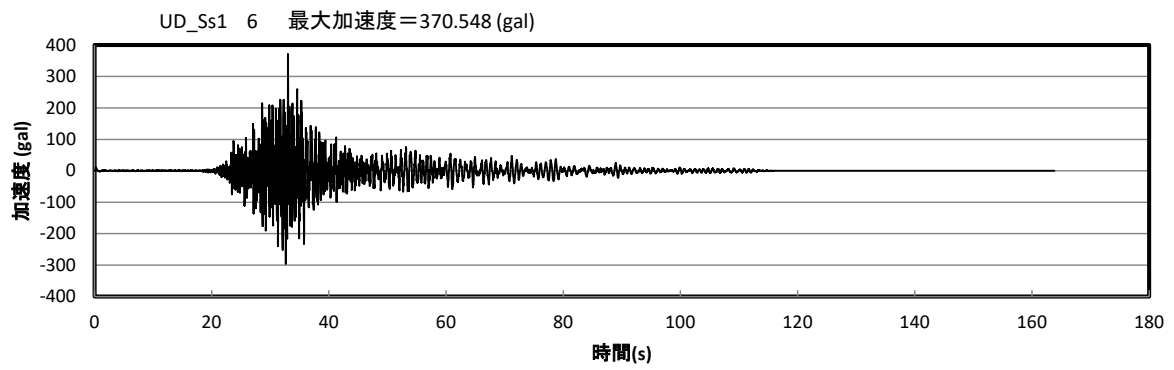
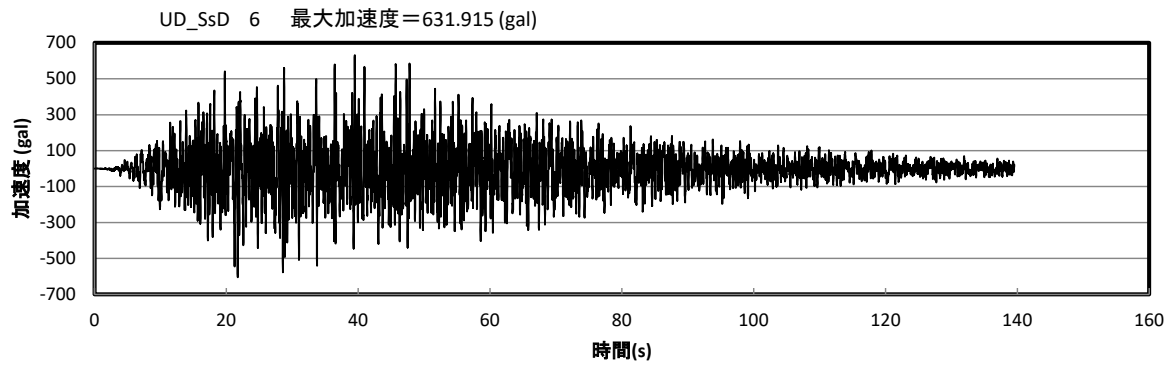


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (地下 1 階, 鉛直方向)

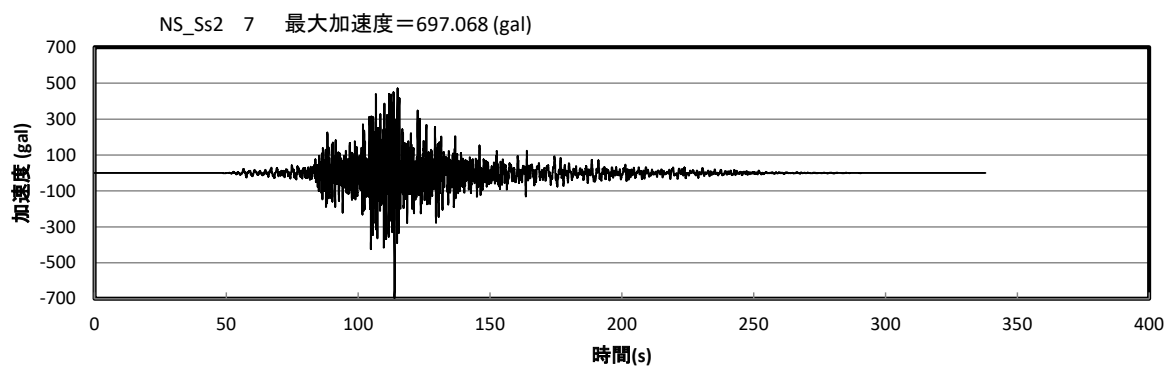
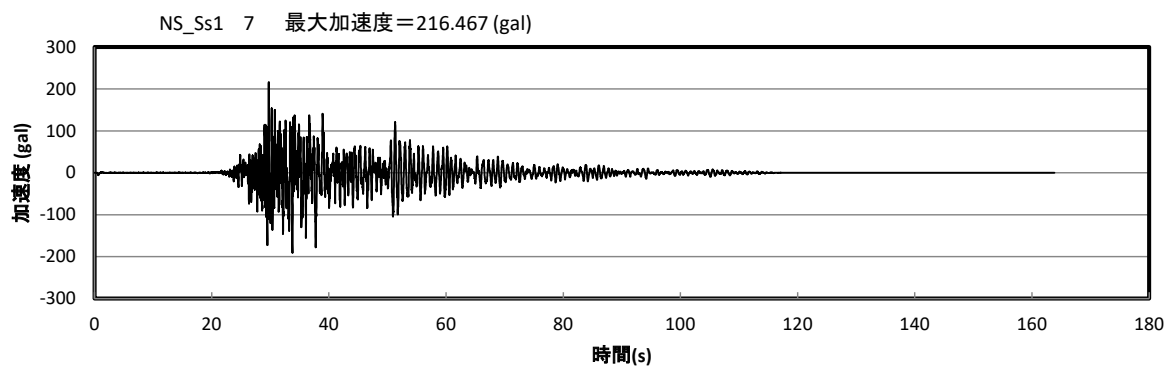
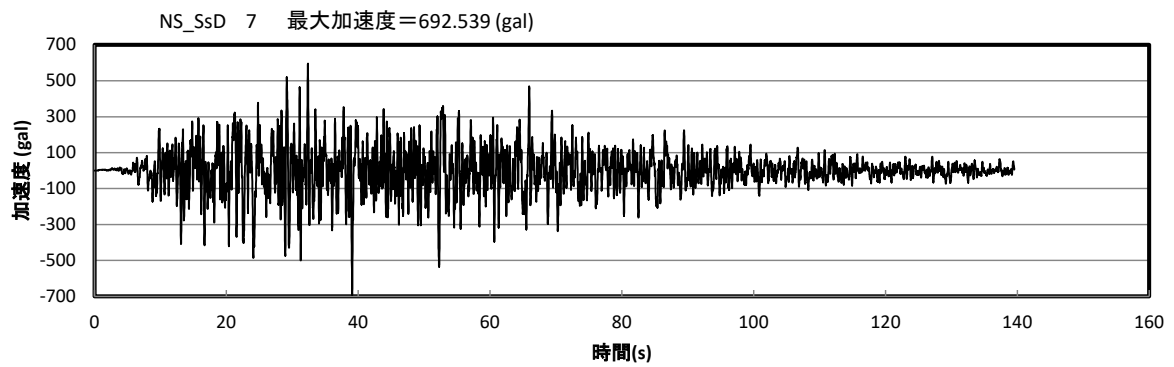


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

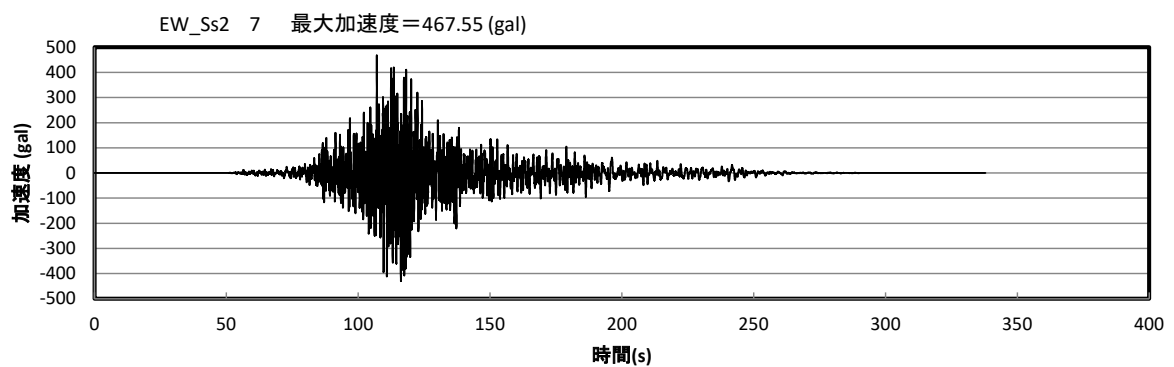
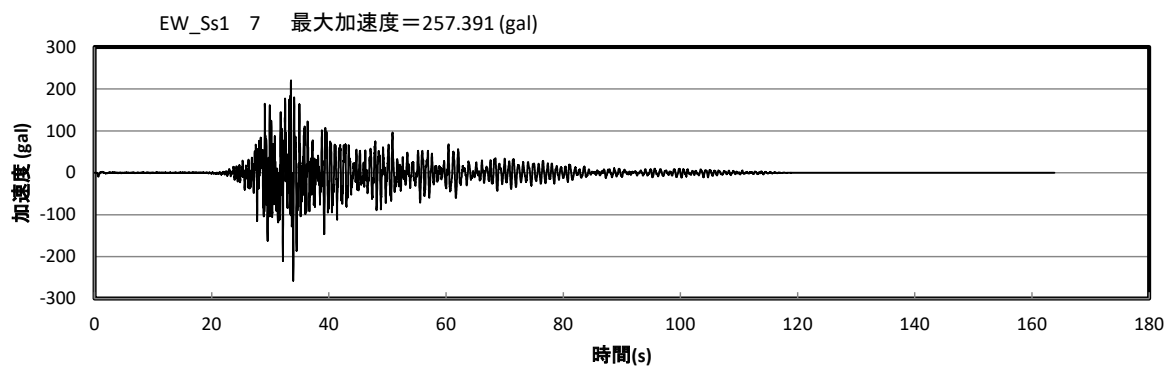
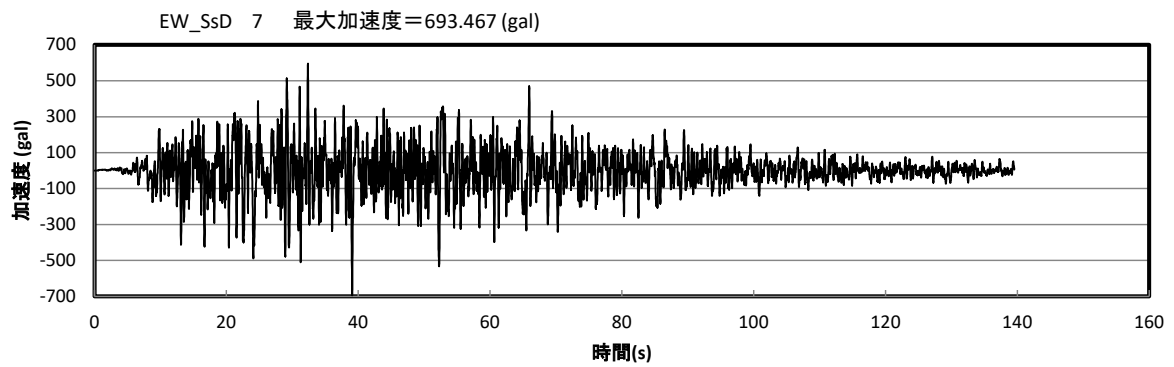


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

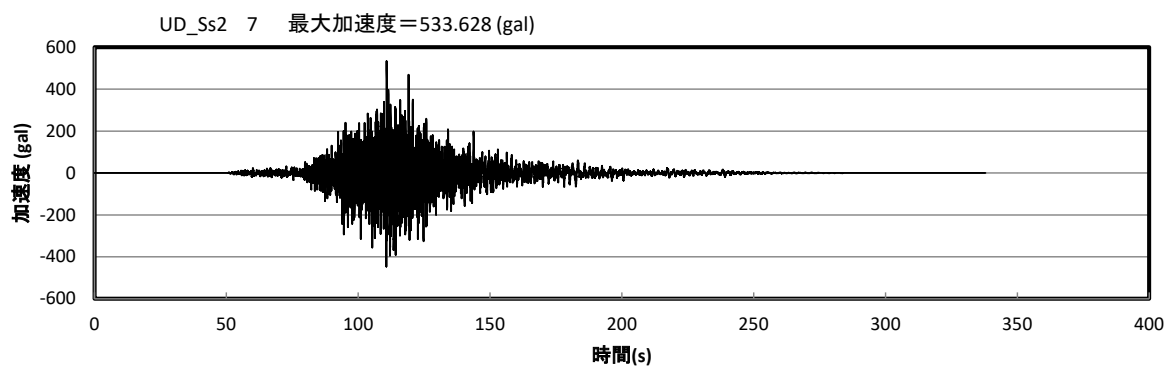
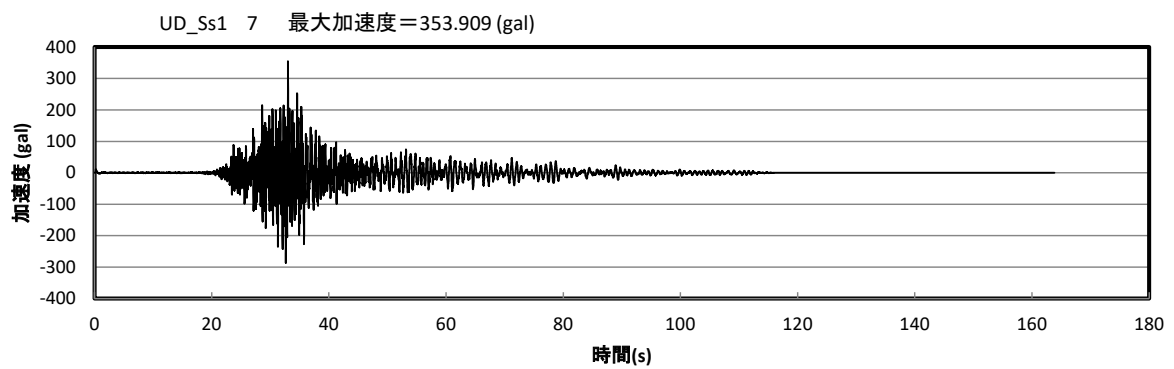
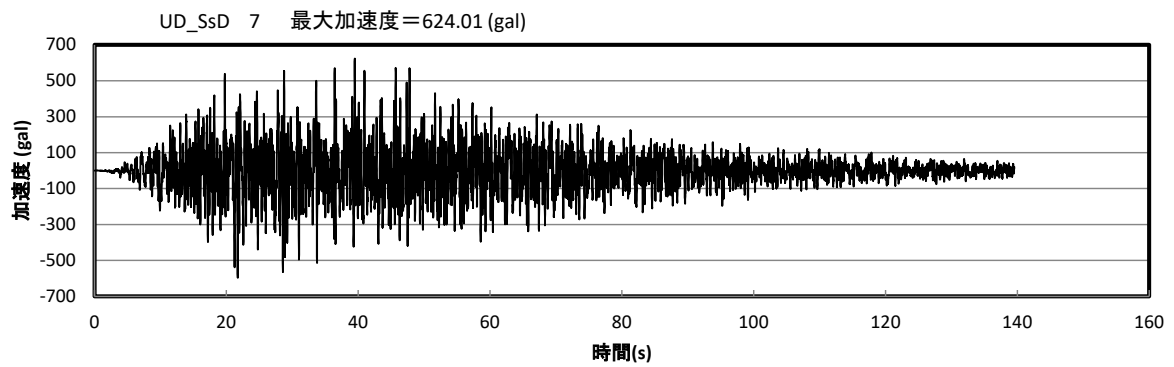


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (地下 2 階, 鉛直方向)

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。

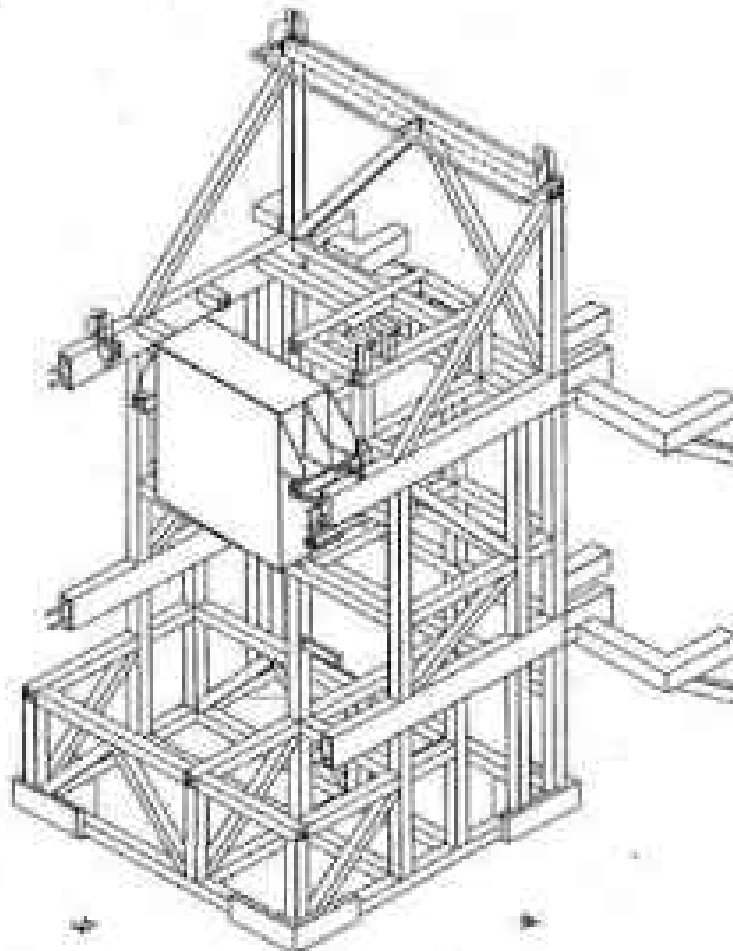


図 3-1 蒸発缶ラック (G71RK20) の概要図

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%)

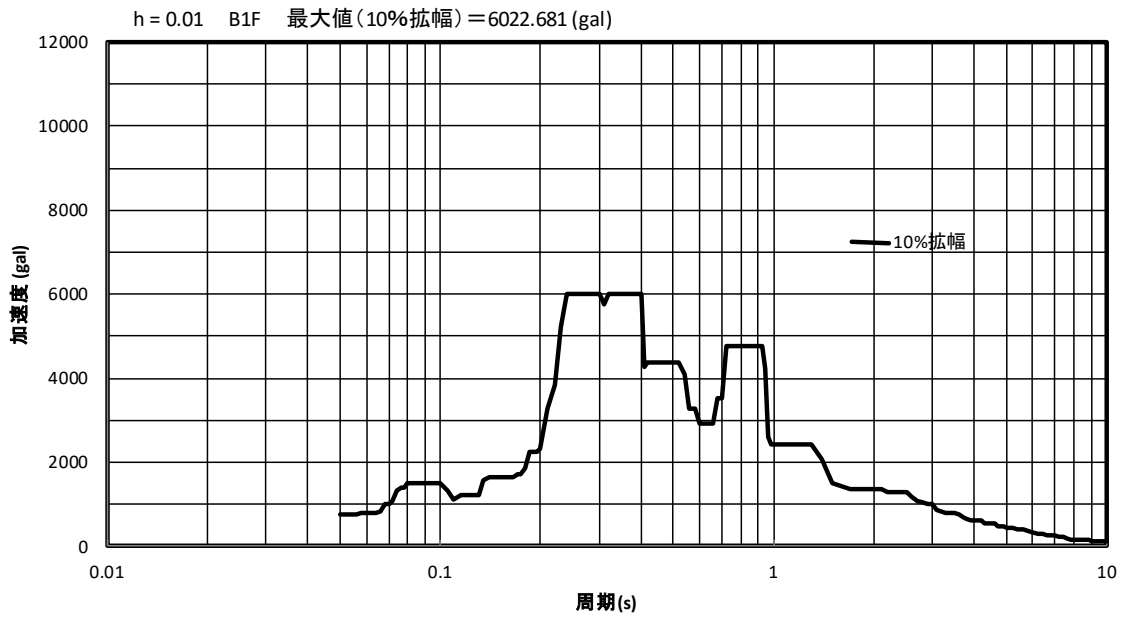


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

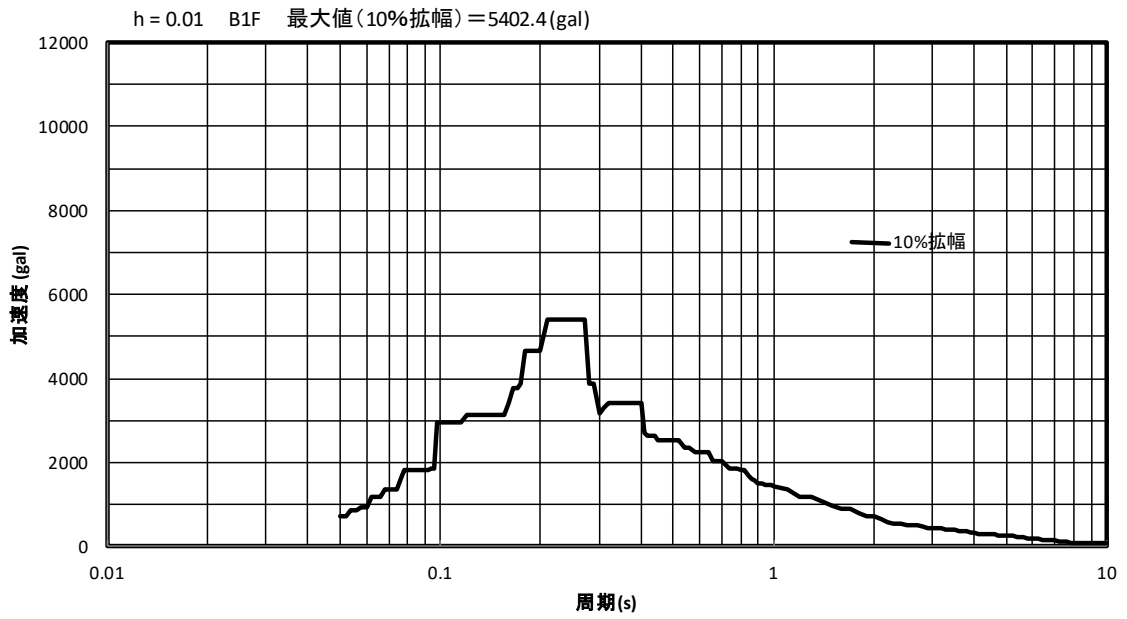


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

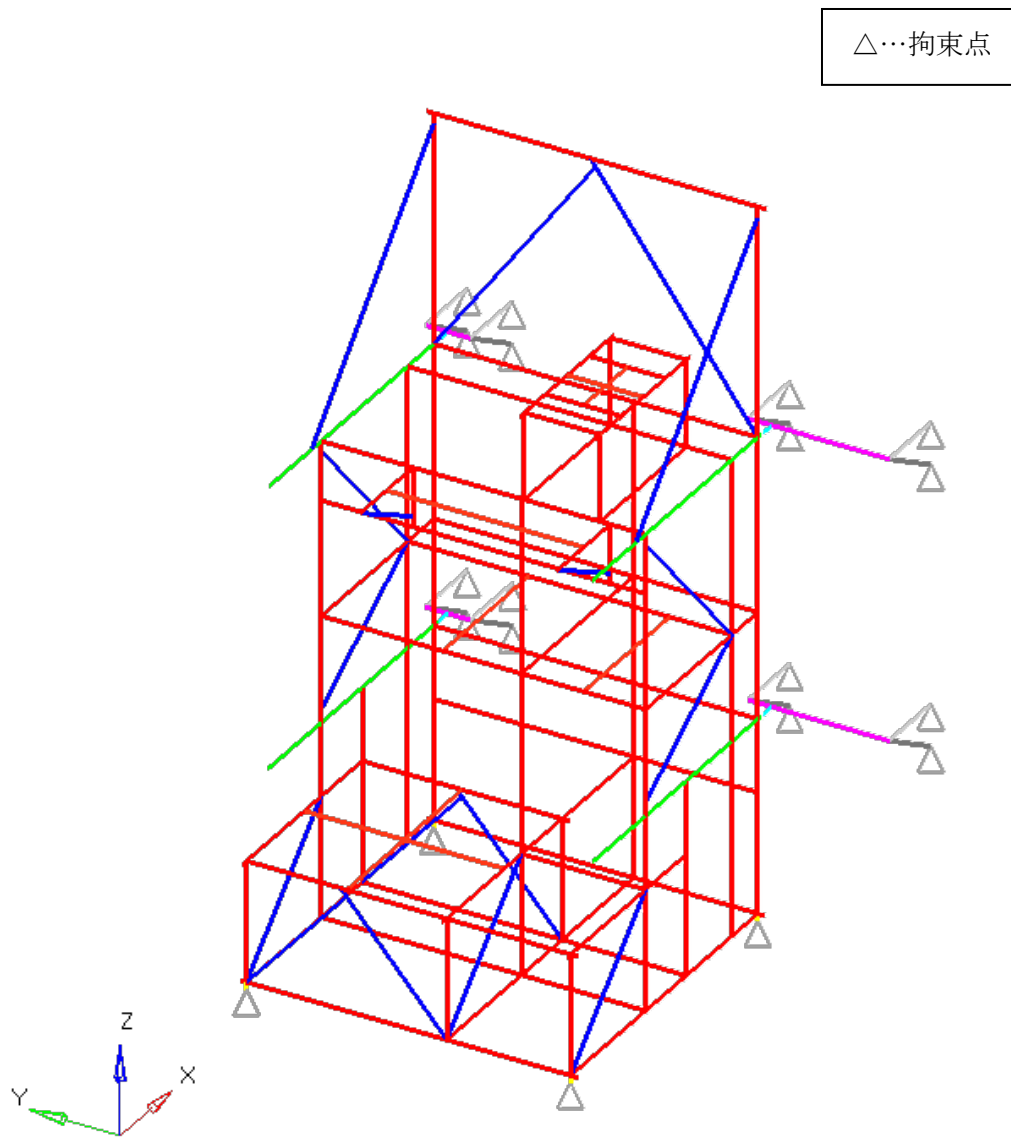
蒸発缶ラック (G71RK20) の発生応力の計算方法は FEM 解析 (スペクトルモーダル法) を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※1} を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※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= 1.163e+001Hz

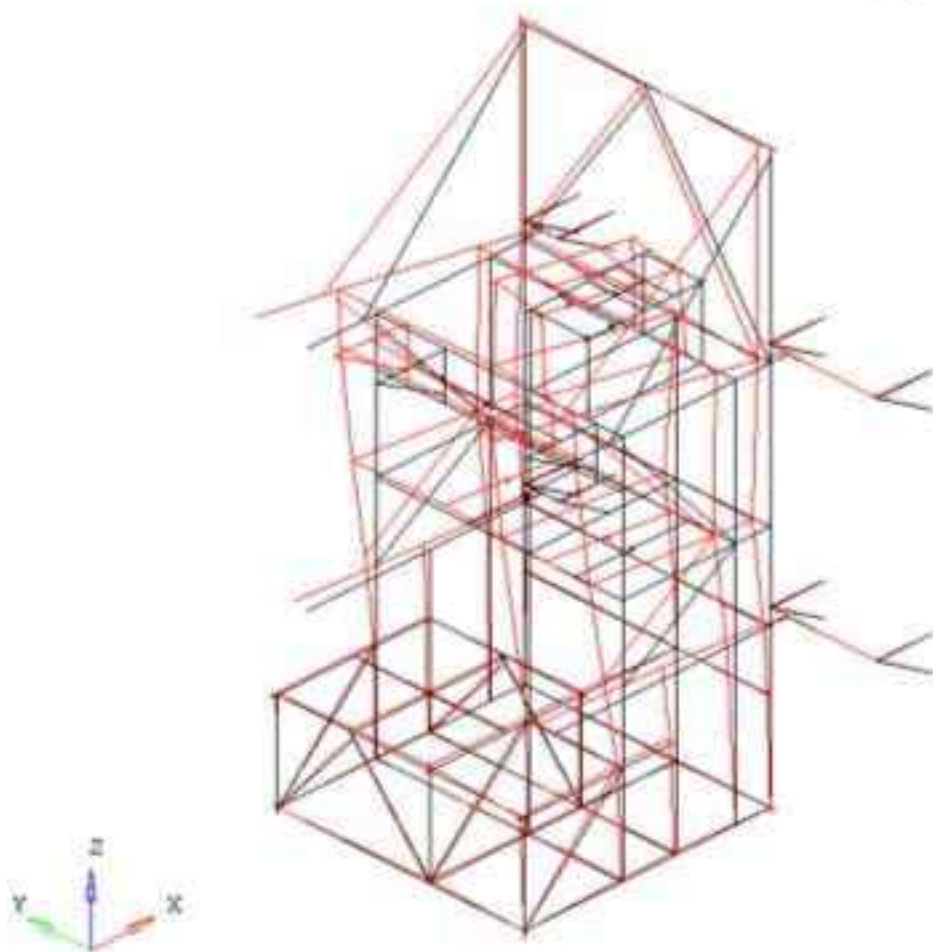


図 4-4 蒸発缶ラック (G71RK20) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.057 (秒)

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

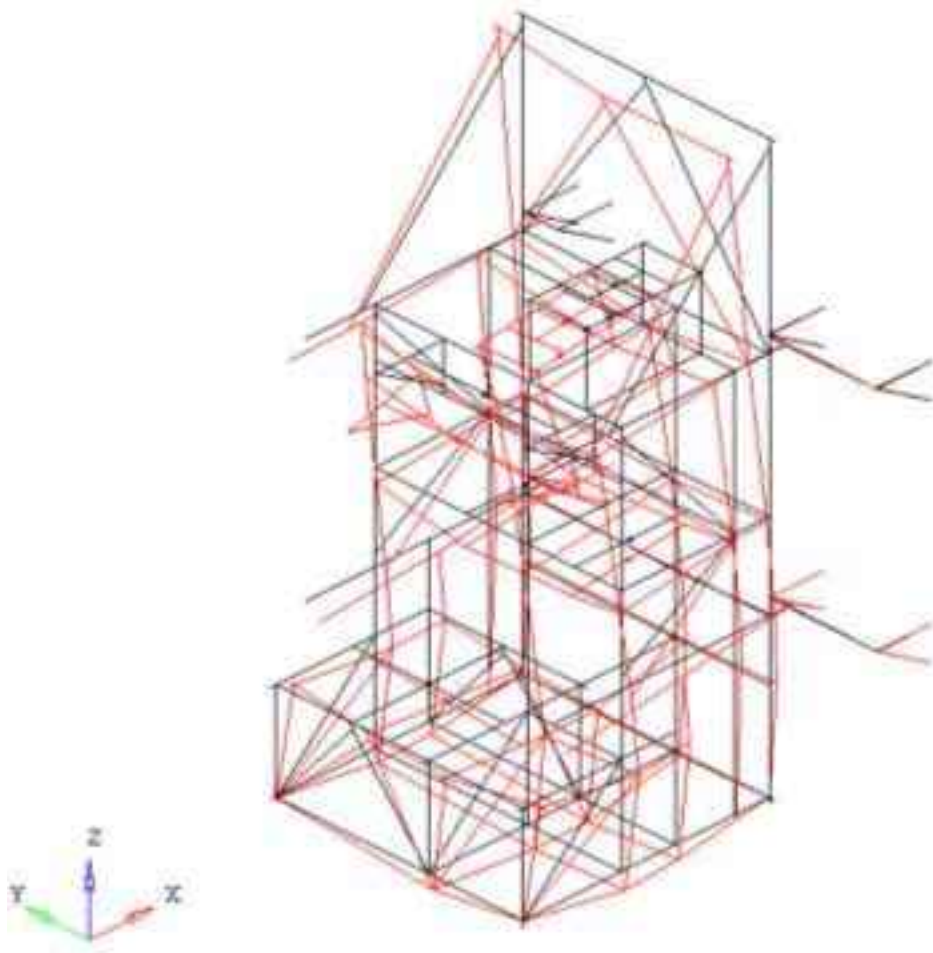


図 4-4 蒸発缶ラック (G71RK20) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.052（秒）

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

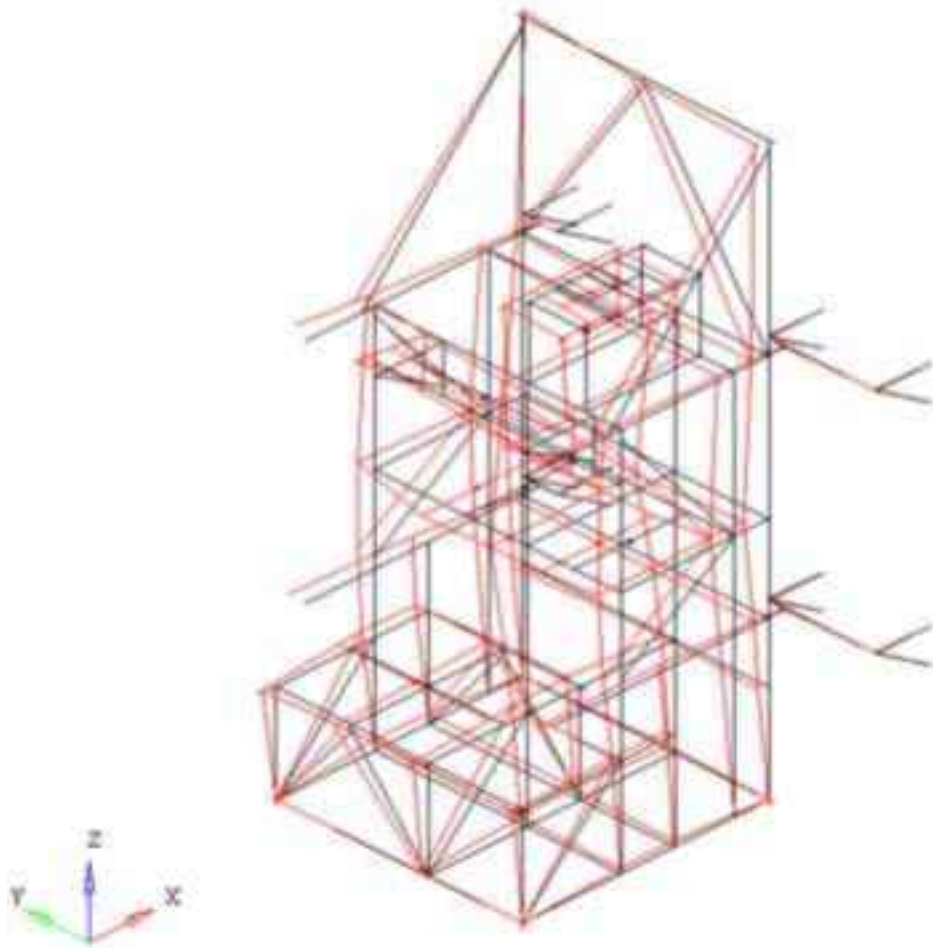


図 4-4 蒸発缶ラック (G71RK20) 固有モード図 (3/3)

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)

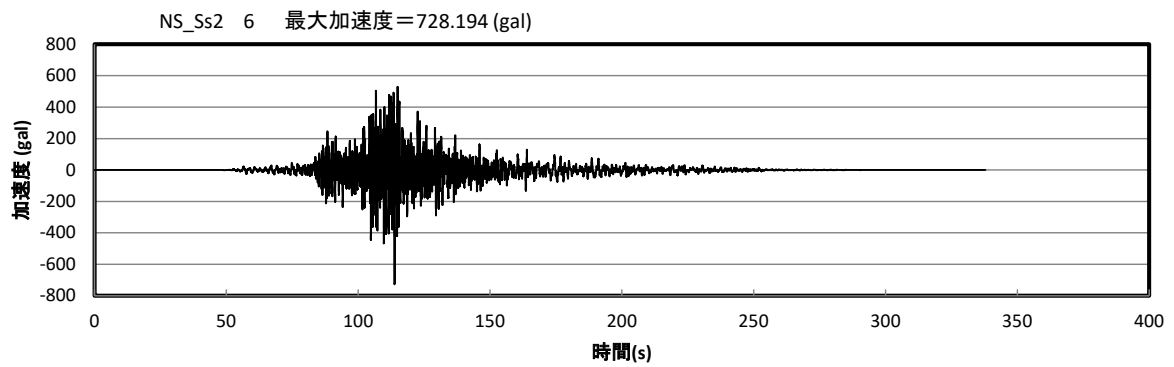
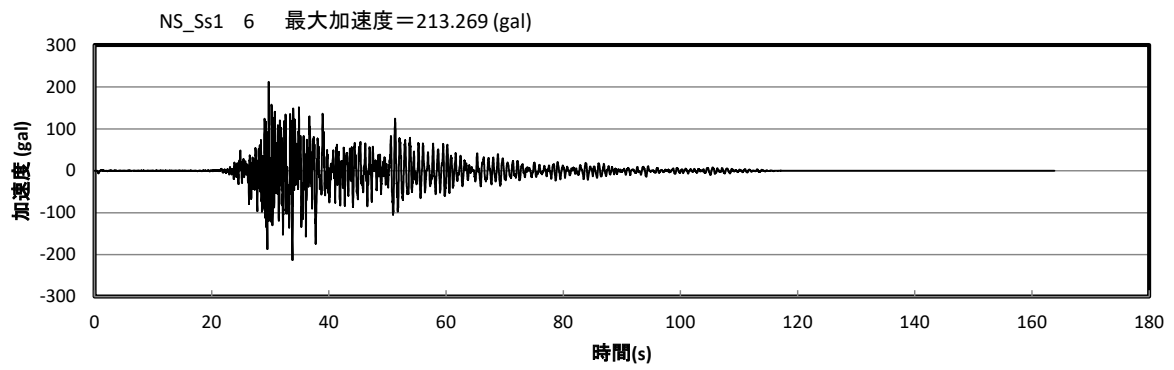
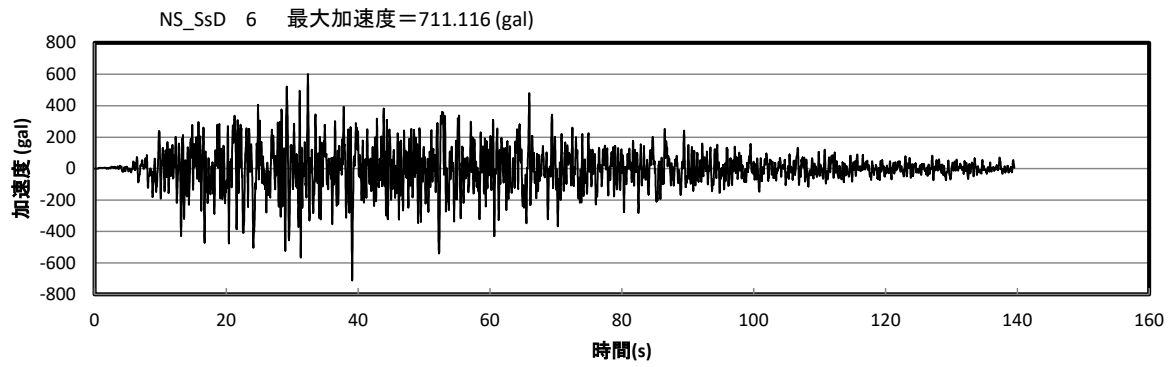


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

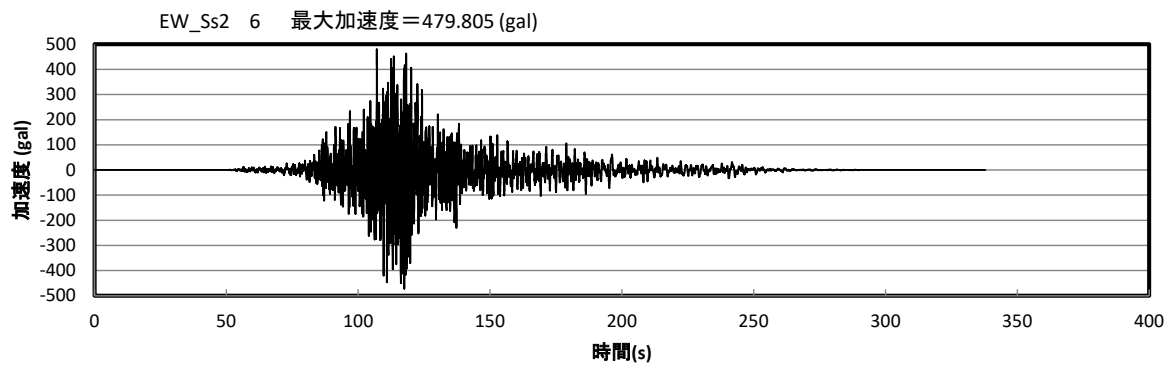
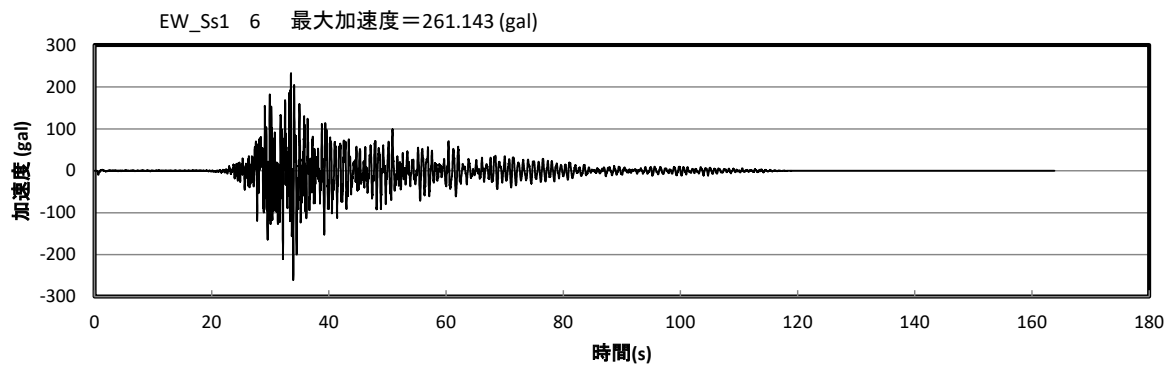
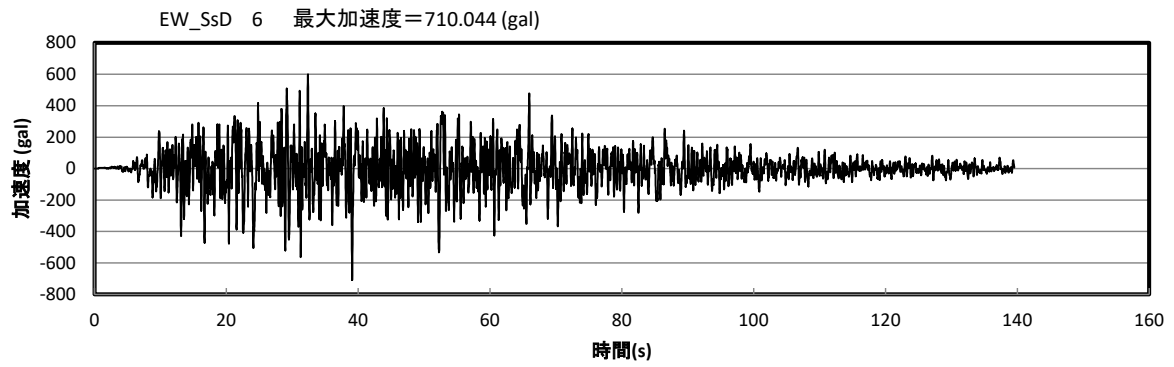


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

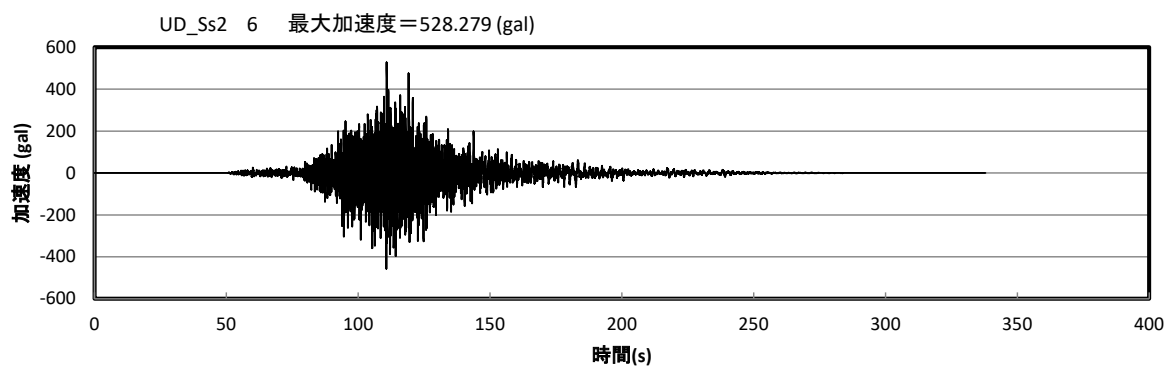
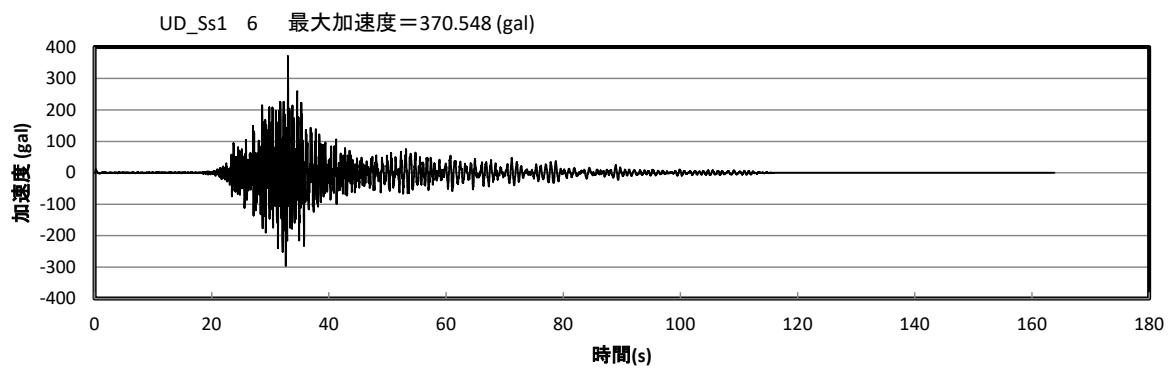
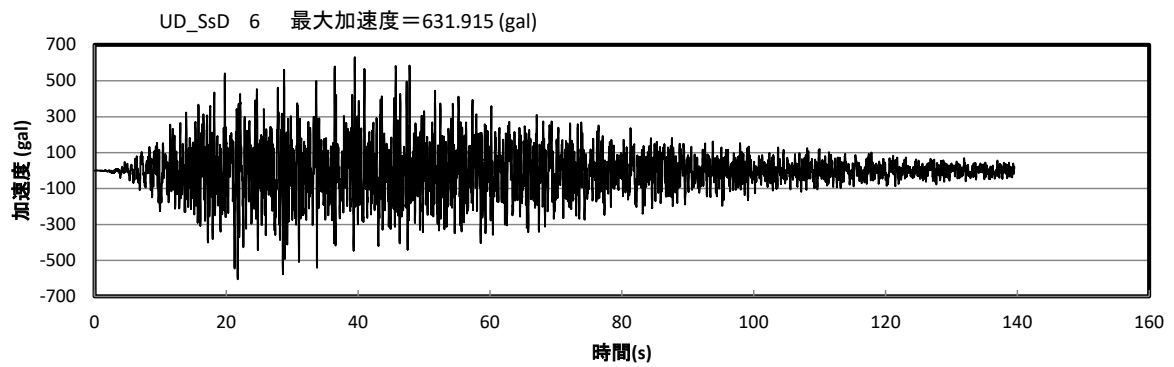


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 鉛直方向)

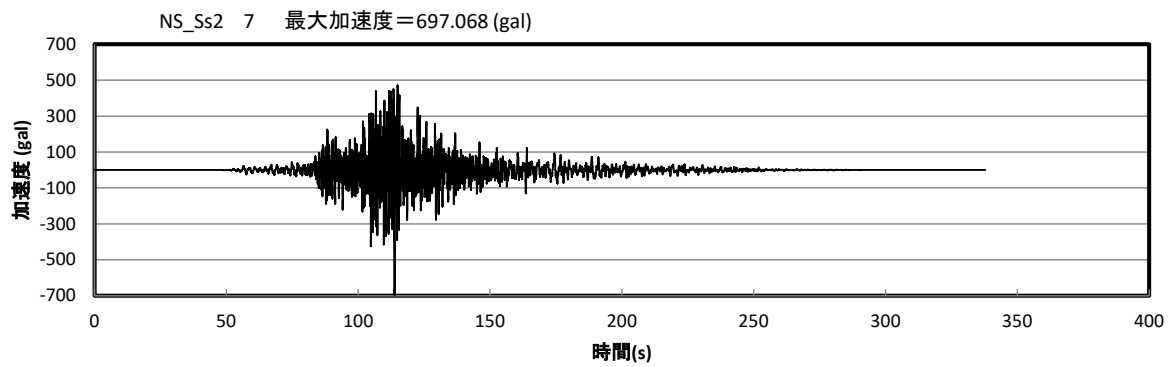
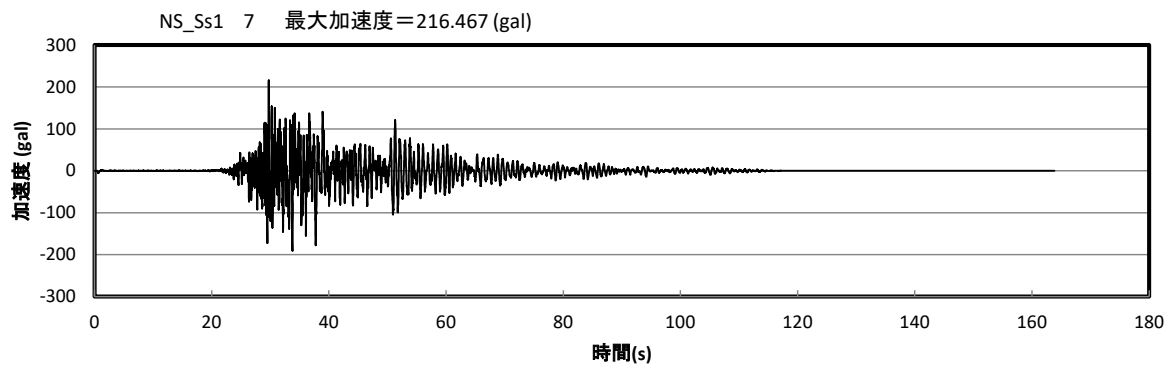
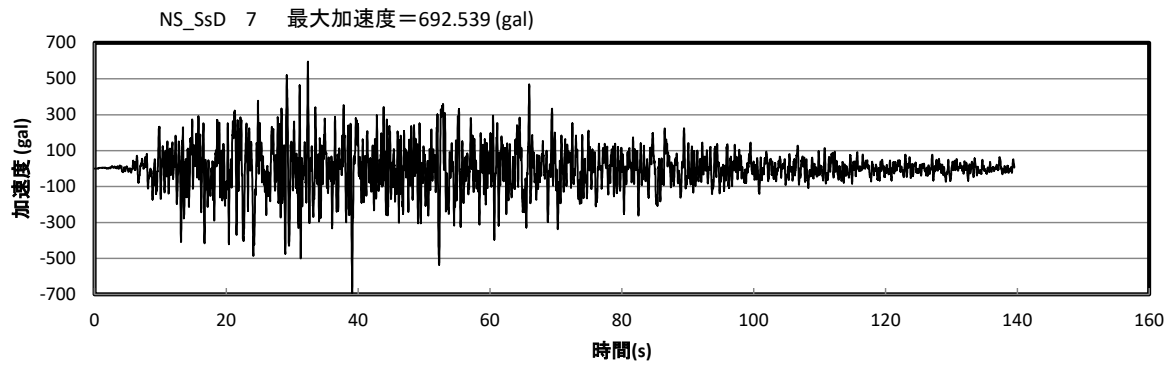


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

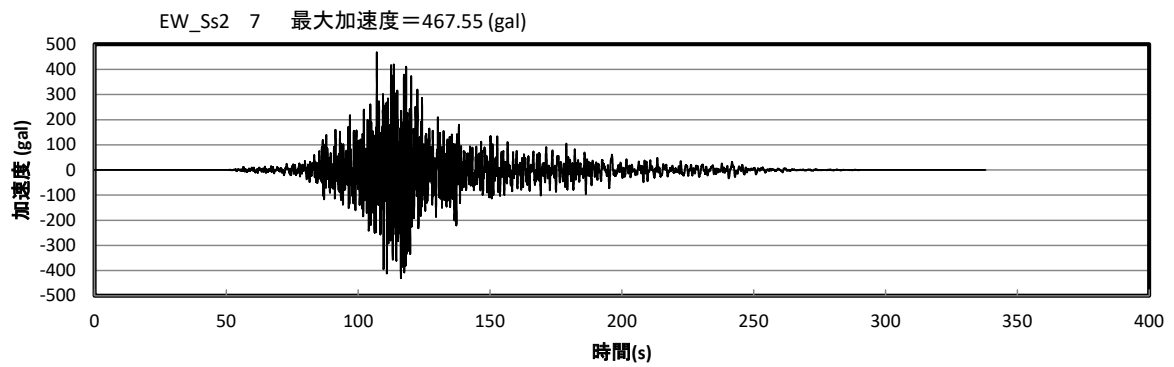
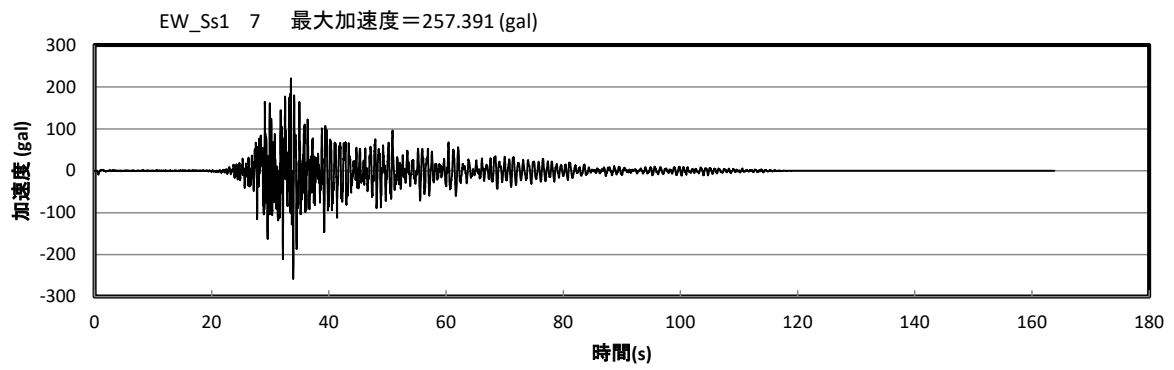
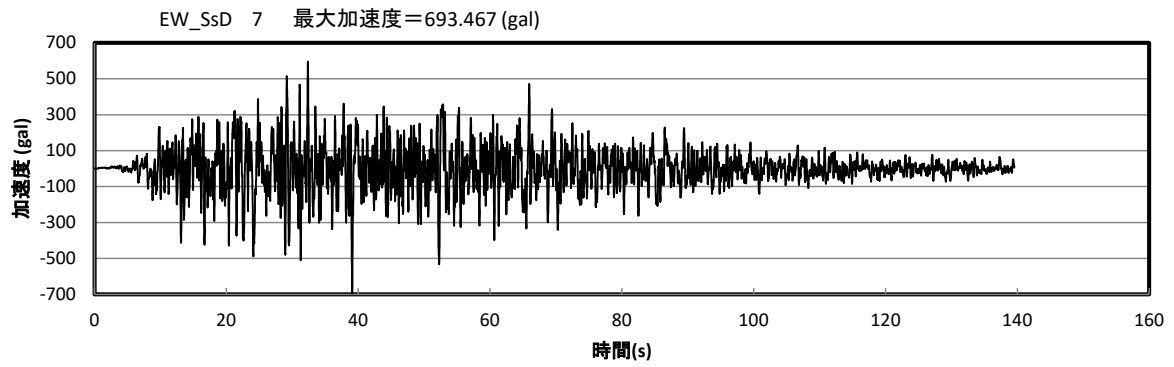


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

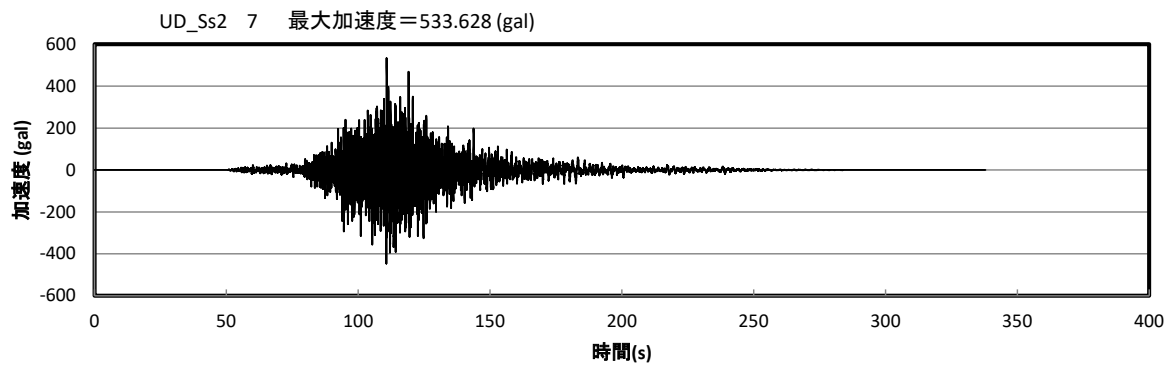
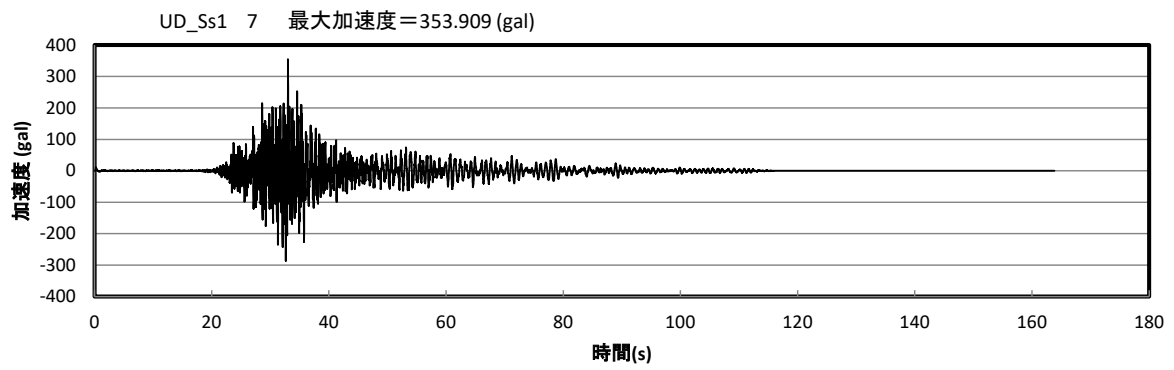
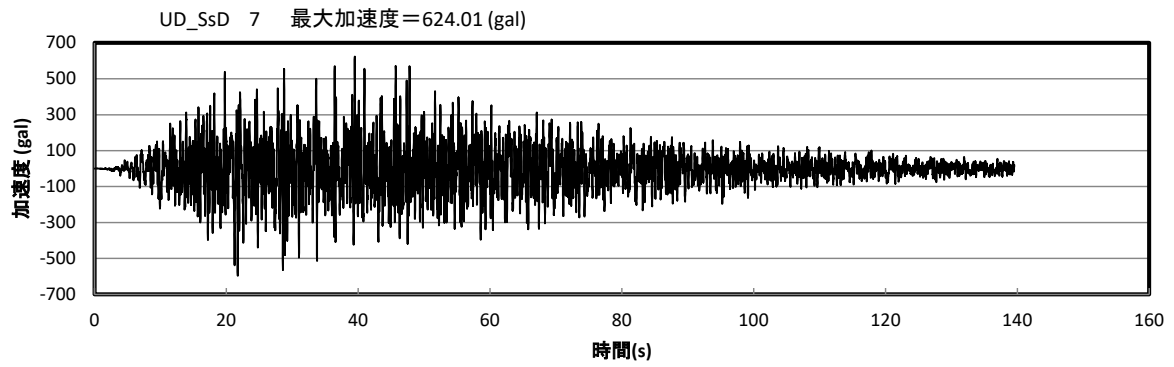


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 鉛直方向)

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

配管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及び崩壊熱除去機能を構成する配管について、「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

配管の構造強度の評価は、有限要素法（FEM）解析により行うもの及び振動数基準の定ピッチスパン法により行うものがある。

有限要素法（FEM）解析により行うものについては、既往の設計及び工事の方法の認可申請（以下「既設工認」という。）時に、基準地震動 S_1 （建家基礎面の入力波の最大加速度が 162.3 cm/s^2 ）及び観測波に基づく入力地震動（建家基礎面の入力波の最大加速度が 180 cm/s^2 ）に対して発生応力を算出したモデルが約 300 あり、これらの配管の耐震性について確認を行う。

廃止措置計画の安全対策として考慮する廃止措置計画用設計地震動による建家基礎面入力波の最大加速度は S_s-2 の 699 cm/s^2 （解放基盤面での最大加速度は 952 cm/s^2 ）と、既設工認時の建家基礎面入力波加速度に対して増大率は 3.9～4.3 倍以下に収まっている。このことから、既設工認時の地震動に対する発生応力と供用状態 D_s における許容応力の比（応力比）について約 300 の配管モデルを応力比の大きい順に整理し、上述した地震動の増大率をそのまま考慮すると応力比が 1.0 を超えるおそれのある配管モデルを抽出（応力比が上位 20 位に入るもの）し、廃止措置計画用設計地震動に対する詳細評価（FEM による耐震解析）を行った。

振動数基準の定ピッチスパン法により行うものについては、別紙 6-1-2-5-3-102 に示す。

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 材質規格 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
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材質の設計引張強さ	MPa

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(1/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
1	KG83-616 ^{※2, ※3}	STPG370	55	0.141	165	326	0.505
2	KG83-619 ^{※3}	STPG370	55	0.108	157	326	0.481
3	KG83-618 ^{※3}	STPG370	55	0.111	156	326	0.478
4	KG84-600 ^{※3}	SUS304TP	35	0.188	194	468	0.415
5	KG83-624 ^{※3}	STPG370	55	0.088	132	326	0.406
6	KG86-642 ^{※3}	SUS304TP	60	0.140	158	440	0.359
7	A86IA-1 ^{※3}	SUS304TP	60	0.154	147	440	0.334
8	A41IA-2 ^{※3}	SUS304TP	60	0.104	140	440	0.319
9	KG21-600 ^{※3}	SUS304TP SUS304LTP	60	0.112	139	440	0.316
10	KG84-617 ^{※3}	SUS304TP	30	0.143	146	468	0.312
11	KG41-264 ^{※3}	SUS304LTP	65	0.142	123	400	0.306
12	MODEL-14 ^{※3}	SUS304TP	90	0.132	120	405	0.295
13	KG86-603 ^{※3}	SUS304TP	60	0.141	127	440	0.290
14	KG01-600 ^{※3}	SUS304TP	60	0.156	125	440	0.283
15	A71ChWa-29 ^{※3}	SUS304TP	30	0.105	125	468	0.266
16	設工認図-4.6.17 ^{※3}	SUS304TP	30	0.111	124	468	0.264
17	KG86-612 ^{※3}	SUS304TP	60	0.143	109	440	0.247
18	KG84-613 ^{※3}	SUS304TP	30	0.118	114	468	0.243
19	KG83-620 ^{※3}	STPG370	55	0.126	76	326	0.235
20	KG86-604 ^{※3}	SUS304TP	60	0.127	101	440	0.230
21	KG83-615	STPG370	55	0.094	75	326	0.229
22	KG83-633	STPG370	55	0.138	74	326	0.226
23	KG84-616	SUS304TP	30	0.143	104	468	0.222
24	設工認図-4.6.14	SUS304TP	30	0.133	102	468	0.218
25	KG41-322	R-SUS304ULC	60	0.140	87	406	0.215

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

※2 配管(KG83-616)については，補強工事を実施する。

※3 今回，有限要素法（FEM）解析により廃止措置計画用設計地震動時の発生応力を算出する配管。

表 2-1 既設工認時時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比 (2/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
26	KG84-615	SUS304TP	30	0.105	100	468	0.214
27	KG11-604	SUS304TP SUS304LTP	30	0.126	99	468	0.212
28	KG11-145	SUS304LTP	55	0.115	85	413	0.207
29	KG41-540	R-SUS304ULC SUS304LTP	400	0.121	67	325	0.205
30	KG84-602	SUS304TP	35	0.175	95	468	0.203
31	KG41-136	SUS304LTP	45	0.141	84	425	0.198
32	A41CWa-4	SUS304TP	55	0.065	85	447	0.191
33	KG83-600	SUS304TP	55	0.118	85	447	0.191
34	A41CWa-6	SUS304TP	55	0.106	82	447	0.184
35	KG83-604	SUS304TP	55	0.131	82	447	0.184
36	KG12-605	SUS304LTP SUS304TP	70	0.126	65	357	0.181
37	設工認図-4.6.30	SUS304TP	30	0.123	82	468	0.176
38	設工認図-4.6.7	SUS304TP	30	0.111	75	432	0.173
39	設工認図-4.6.19	SUS304TP	30	0.087	75	432	0.173
40	KG84-620	SUS304TP	30	0.109	74	432	0.170
41	KG83-617	STPG370	55	0.089	54	326	0.165
42	KG84-621	SUS304TP	30	0.114	71	432	0.163
43	KG86-800	STPG370	60	0.064	52	324	0.160
44	KG11-149	SUS304LTP	55	0.079	66	413	0.159
45	KG83-603	SUS304TP	55	0.063	70	447	0.156
46	KG11-148	SUS304LTP	55	0.092	64	413	0.154
47	KG83-630	SUS304TP	55	0.069	69	447	0.154
48	KG83-629	SUS304TP	55	0.105	68	447	0.151
49	設工認図-4.2.35	SUS304L	65	0.039	60	400	0.150
50	KG84-612	SUS304TP	30	0.121	66	447	0.147

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(3/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
51	KG12-176	R-SUS304ULC TTP35	130	0.068	31	219	0.143
52	KG11-600	SUS304TP SUS304LTP	60	0.116	50	357	0.140
53	A41CWa-7	SUS304TP	55	0.102	62	447	0.138
54	KG83-634	STPG370	55	0.114	44	326	0.135
55	KG11-610	SUS304TP SUS304LTP	55	0.125	55	413	0.133
56	KG84-604	SUS304TP	55	0.098	59	447	0.132
57	KG11-601	SUS304LTP SUS304TP	55	0.113	54	413	0.131
58	KG41-190	SUS304LTP	90	0.130	48	375	0.128
59	KG86-613	SUS304TP	200	0.087	46	361	0.128
60	KG83-622	STPG370	55	0.135	41	326	0.126
61	KG83-601	SUS304TP	55	0.115	56	447	0.125
62	A84ChWa-5	SUS304TP	30	0.062	58	468	0.124
63	設工認図-4.6.18	SUS304TP	30	0.118	57	468	0.122
64	A41CWa-8	SUS304TP	55	0.061	54	447	0.121
65	KG41-282	SUS304LTP	65	0.039	48	400	0.120
66	KG41-284	SUS304LTP	65	0.039	48	400	0.120
67	設工認図-4.6.25	SUS304TP	30	0.125	56	468	0.119
68	KG86-602	SUS304TP	60	0.077	52	440	0.118
69	KG86-616	SUS304TP	60	0.076	29	255	0.115
70	A41CWa-5	SUS304TP	55	0.103	51	447	0.114
71	KG12-601	SUS304TP SUS304LTP	55	0.108	40	357	0.113
72	KG12-600	SUS304TP SUS304LTP	55	0.097	46	413	0.112
73	KG84-614	SUS304TP	30	0.073	52	468	0.111
74	KG41-265	SUS304LTP	65	0.061	44	400	0.110
75	KG41-266	SUS304LTP	65	0.061	44	400	0.110

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(4/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
76	KG84-601	SUS304TP	25	0.083	50	454	0.110
77	KG84-608	SUS304TP	55	0.117	49	447	0.110
78	735Y-501-1	SUS304TP	60	0.101	44	406	0.109
79	KG11-609	SUS304LTP SUS304TP	55	0.098	45	413	0.109
80	A71ChWa-17	SUS304TP	30	0.096	50	468	0.107
81	KG84-603	SUS304TP	50	0.122	48	454	0.106
82	設工認図-4.6.13	SUS304TP	30	0.120	49	468	0.105
83	KG41-113	R-SUS304ULC	55	0.114	43	413	0.104
84	KG83-632	SUS304TP	55	0.093	43	413	0.104
85	024-71A3A	SUS304	60	0.139	45	440	0.103
86	KG83-605	SUS304TP	55	0.116	45	447	0.101
87	設工認図-4.6.16	SUS304TP	30	0.112	46	468	0.098
88	KG83-602	SUS304TP	55	0.100	42	447	0.094
89	KG84-627	SUS304TP	50	0.116	42	454	0.093
90	KG83-631	SUS304TP	55	0.064	38	413	0.093
91	A41ChWa-21	SUS304TP	30	0.102	43	468	0.092
92	KG86-611	SUS304TP	60	0.091	37	406	0.092
93	KG86-607	SUS304TP	60	0.090	40	440	0.091
94	KG41-243	SUS304LTP	55	0.064	37	413	0.090
95	KG84-646	SUS304TP	30	0.183	42	468	0.090
96	設工認図-4.6.3	SUS304TP	55	0.127	40	447	0.090
97	KG86-600	SUS304TP	60	0.107	39	440	0.089
98	A41CWa-10	SUS304TP	55	0.046	39	447	0.088
99	設工認図-4.6.5	SUS304TP	30	0.073	39	468	0.084
100	024-71A2A	SUS304	60	0.139	37	440	0.084

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比 (5/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認の固有周期 (s)	既設工認時の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容応力 (MPa)	応力比 ※1
101	KG41-124	R-SUS304ULC SUS304LTP	45	0.102	32	406	0.080
102	KG41-123	R-SUS304ULC	45	0.050	32	425	0.076
103	KG41-137	SUS304LTP	45	0.050	32	425	0.076
104	KG84-618	SUS304TP	30	0.063	32	432	0.075
105	MODEL-7	SUS304TP	190	0.080	26	365	0.073
106	A41CWa-3	SUS304TP	55	0.097	32	447	0.072
107	A41ChWa-18	SUS304TP	30	0.079	33	468	0.071
108	設工認図-4.6.28	SUS304TP	30	0.091	33	468	0.071
109	KG84-619	SUS304TP	30	0.112	30	432	0.070
110	A41CWa-2	SUS304TP	55	0.080	31	447	0.070
111	KG43-189	SUS304LTP	60	0.073	28	406	0.070
112	KG11-172	R-SUS304ULC	70	0.095	27	394	0.070
113	KG43-601	SUS304TP	260	0.102	25	356	0.069
114	A41ChWa-19	SUS304TP	30	0.071	31	468	0.067
115	設工認図-4.6.10	SUS304TP	30	0.084	31	468	0.067
116	設工認図-4.6.27	SUS304TP	30	0.074	31	468	0.067
117	KG86-606	SUS304TP	60	0.050	29	440	0.067
118	KG41-277	R-SUS304ULC SUS304LTP	60	0.058	26	400	0.066
119	A83CWa-1	SUS304TP	55	0.079	29	447	0.066
120	KG41-196	SUS304LTP	90	0.078	25	375	0.065
121	A41ChWa-20	SUS304TP	30	0.072	30	468	0.065
122	KG84-647	SUS304TP	30	0.122	29	468	0.063
123	設工認図-4.6.4	SUS304TP	30	0.103	29	468	0.063
124	設工認図-4.6.6	SUS304TP	30	0.076	29	468	0.063
125	設工認図-4.6.9	SUS304TP	30	0.120	29	468	0.063

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(6/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
126	設工認図-4. 6. 29	SUS304TP	30	0. 060	29	468	0. 063
127	KG84-625	SUS304TP	50	0. 101	28	454	0. 063
128	設工認図-4. 2. 7	SUS304L	65	0. 032	25	400	0. 063
129	25-71A7(3/3)	SUS304	130	0. 056	24	386	0. 062
130	KG11-146	SUS304LTP	70	0. 059	25	394	0. 062
131	KG11-173	R-SUS304ULC	70	0. 095	25	394	0. 062
132	KG11-144	SUS304LTP	60	0. 072	25	406	0. 060
133	KG86-625	SUS304TP	60	0. 059	26	440	0. 060
134	KG11-602	SUS304TP SUS304LTP	55	0. 069	25	413	0. 059
135	KG83-608	SUS304TP	55	0. 083	26	447	0. 059
136	KG84-642	SUS304TP	30	0. 068	27	468	0. 059
137	KG84-643	SUS304TP	30	0. 068	27	468	0. 059
138	設工認図-4. 6. 8	SUS304TP	30	0. 072	27	468	0. 059
139	設工認図-4. 6. 20	SUS304TP	30	0. 062	27	468	0. 059
140	KG86-638	SUS304TP	60	0. 065	25	440	0. 058
141	MODEL-3	SUS304TP	260	0. 074	21	356	0. 058
142	KG43-117	SUS304LTP	30	0. 086	25	432	0. 057
143	A41ChWa-23	SUS304TP	30	0. 058	26	468	0. 057
144	KG84-640	SUS304TP	30	0. 056	26	468	0. 057
145	KG84-641	SUS304TP	30	0. 056	26	468	0. 057
146	設工認図-4. 6. 12	SUS304TP	30	0. 103	26	468	0. 057
147	設工認図-4. 6. 21	SUS304TP	30	0. 075	26	468	0. 057
148	設工認図-4. 6. 22	SUS304TP	30	0. 104	26	468	0. 057
149	設工認図-4. 6. 23	SUS304TP	30	0. 091	26	468	0. 057
150	設工認図-4. 6. 24	SUS304TP	30	0. 084	26	468	0. 057

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(7/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
151	設工認図-4.6.26	SUS304TP	30	0.075	26	468	0.057
152	025-71ChWa12A	SUS304	30	0.053	26	468	0.056
153	024-71A5-2A	SUS304	60	0.040	25	440	0.056
154	KG83-612	SUS304TP	55	0.083	25	447	0.055
155	設工認図-4.6.2	SUS304TP	55	0.093	25	447	0.055
156	KG11-137	SUS304LTP	70	0.048	22	394	0.055
157	KG43-120	SUS304LTP	30	0.074	24	432	0.054
158	KG84-633	SUS304TP	30	0.058	25	468	0.054
159	A84ChWa-3	SUS304TP	30	0.041	25	468	0.054
160	KG41-262	SUS304LTP	65	0.103	22	400	0.054
161	MODEL-12	SUS304TP	90	0.067	22	405	0.053
162	MODEL-2	SUS304TP	90	0.086	21	388	0.053
163	A41CWa-12	SUS304TP	55	0.019	24	447	0.053
164	設工認図-4.6.11	SUS304TP	30	0.054	25	468	0.052
165	KG43-602	SUS304TP	60	0.078	23	440	0.051
166	KG86-637	SUS304TP	60	0.043	23	440	0.051
167	024-71A4A	SUS304	60	0.034	22	440	0.051
168	MODEL-8	SUS304TP	90	0.056	19	375	0.050
169	KG86-644	SUS304TP	60	0.037	22	440	0.049
170	KG84-609	SUS304TP	55	0.083	22	447	0.048
171	設工認図-4.6.15	SUS304TP	30	0.086	23	468	0.048
172	KG43-135	SUS304LTP	30	0.042	21	432	0.048
173	KG43-146	SUS304LTP	30	0.086	21	432	0.048
174	KG12-203	TTP35	55	0.094	14	288	0.048
175	KG41-370	SUS304LTP	90	0.050	18	375	0.047

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力、供用状態 Ds の許容応力及び応力比(8/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
176	KG86-614	SUS304TP	60	0.026	21	440	0.047
177	KG86-615	SUS304TP	60	0.027	21	440	0.047
178	KG41-383	SUS304LTP	65	0.081	19	400	0.047
179	MODEL-15	SUS304TP	90	0.098	19	405	0.046
180	MODEL-4	SUS304TP	120	0.060	17	365	0.046
181	KG43-130	SUS304LTP	30	0.051	20	432	0.045
182	KG43-151	SUS304LTP	30	0.063	20	432	0.045
183	KG11-161	SUS304LTP	55	0.058	19	413	0.045
184	KG12-252	SUS304LTP	70	0.055	18	394	0.045
185	KG43-144	SUS304LTP	30	0.072	19	432	0.043
186	KG43-149	SUS304LTP	30	0.072	19	432	0.043
187	KG43-111	SUS304LTP	30	0.057	19	432	0.043
188	KG11-160	SUS304LTP	55	0.057	18	413	0.043
189	024-71A5-1A	SUS304	60	0.070	19	440	0.042
190	KG86-610	SUS304TP	60	0.078	19	440	0.042
191	KG86-619	SUS304TP	60	0.049	19	440	0.042
192	KG86-620	SUS304TP	60	0.025	19	440	0.042
193	A41ChWa-9	SUS304TP	30	0.064	20	468	0.042
194	A41ChWa-22	SUS304TP	30	0.087	20	468	0.042
195	A84ChWa-2	SUS304TP	30	0.059	20	468	0.042
196	A84ChWa-4	SUS304TP	30	0.051	20	468	0.042
197	KG84-605	SUS304TP	55	0.086	19	447	0.042
198	KG43-141	SUS304LTP	30	0.061	18	432	0.041
199	KG43-114	SUS304LTP	30	0.050	18	432	0.041
200	KG11-163	SUS304LTP	55	0.056	17	413	0.040

※1 応力比は、既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(9/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
201	KG12-125	SUS304LTP	55	0.051	17	413	0.040
202	MODEL-6	SUS304TP	190	0.045	15	365	0.040
203	KG43-604	SUS304TP	60	0.062	18	440	0.040
204	KG86-608	SUS304TP	60	0.108	18	440	0.040
205	KG84-628	SUS304TP	30	0.051	19	468	0.040
206	A84ChWa-1	SUS304TP	30	0.048	19	468	0.040
207	KG83-610	SUS304TP	55	0.050	18	447	0.039
208	KG41-192	SUS304LTP	90	0.076	15	375	0.039
209	MODEL-13	SUS304LTP	40	0.102	15	383	0.038
210	KG11-162	SUS304LTP	55	0.042	16	413	0.038
211	KG43-605	SUS304TP	60	0.072	17	440	0.038
212	KG43-600	SUS304TP	60	0.083	17	440	0.038
213	KG86-609	SUS304TP	60	0.077	17	440	0.038
214	KG84-630	SUS304TP	30	0.049	18	468	0.038
215	KG84-631	SUS304TP	30	0.060	18	468	0.038
216	023-71Chwa7A	SUS304	30	0.084	18	468	0.038
217	KG12-206	SUS304LTP	65	0.045	15	400	0.037
218	MODEL-10	SUS304TP	90	0.088	15	405	0.036
219	KG43-100	SUS304LTP	30	0.055	16	432	0.036
220	KG43-102	SUS304LTP	30	0.054	16	432	0.036
221	KG43-105	SUS304LTP	30	0.068	16	432	0.036
222	25-71A7(1/3)	SUS304	60	0.073	16	440	0.035
223	KG83-638	SUS304TP	55	0.056	16	447	0.035
224	KG83-614	SUS304TP	55	0.087	16	447	0.035
225	設工認図-4.6.1	SUS304TP	55	0.069	16	447	0.035

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(10/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
226	KG43-108	SUS304LTP	30	0.580	15	432	0.034
227	KG41-511	SUS304LTP	90	0.085	13	375	0.034
228	24-71A1	SUS304	60	0.061	15	440	0.034
229	733Y501-2	SUS304TP	30	0.027	15	440	0.033
230	KG84-610	SUS304TP	55	0.061	15	447	0.033
231	KG43-155	SUS304LTP	30	0.050	14	432	0.032
232	KG84-629	SUS304TP	30	0.056	15	468	0.031
233	KG84-645	SUS304TP	30	0.040	15	468	0.031
234	KG41-138	SUS304LTP	45	0.039	13	406	0.031
235	KG11-110	SUS304LTP	55	0.041	13	413	0.031
236	KG83-625	SUS304TP	55	0.050	14	447	0.031
237	KG83-626	SUS304TP	55	0.050	14	447	0.031
238	KG84-622	SUS304TP	55	0.054	14	447	0.031
239	KG84-623	SUS304TP	55	0.057	14	447	0.031
240	26-71Chwa22(1/2)	SUS304	30	0.018	14	468	0.030
241	KG43-123	SUS304LTP	30	0.043	13	432	0.030
242	KG12-209	SUS304LTP R-SUS304ULC	60	0.041	12	400	0.029
243	MODEL-11	SUS304TP	90	0.050	12	405	0.029
244	KG86-643	SUS304TP	60	0.026	13	440	0.029
245	KG84-606	SUS304TP	55	0.052	13	447	0.029
246	KG84-607	SUS304TP	55	0.050	13	447	0.029
247	KG84-611	SUS304TP	55	0.050	13	447	0.029
248	KG11-111	SUS304LTP	55	0.039	12	413	0.028
249	KG11-115	SUS304LTP	55	0.037	12	413	0.028
250	KG71-143	SUS304LTP	55	0.078	12	413	0.028

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(11/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
251	MODEL-1	SUS304TP	125	0.081	11	388	0.028
252	KG43-138	SUS304LTP	30	0.023	12	432	0.027
253	KG84-644	SUS304TP	30	0.040	13	468	0.027
254	KG83-613	SUS304TP	55	0.075	12	447	0.026
255	KG12-101	SUS304LTP	55	0.066	11	413	0.026
256	KG12-103	SUS304LTP	55	0.030	11	413	0.026
257	KG43-132	SUS304LTP	30	0.021	11	432	0.025
258	KG12-112	R-SUS304ULC	70	0.018	10	394	0.025
259	28-71Chwa20	SUS304	30	0.048	11	468	0.024
260	MODEL-9	SUS304TP	90	0.072	10	405	0.024
261	KG83-609	SUS304TP	55	0.074	11	447	0.024
262	KG12-201	TTP35	55	0.040	7	288	0.024
263	KG12-116	SUS304LTP	55	0.045	10	413	0.024
264	KG71-137	SUS304LTP	55	0.067	10	413	0.024
265	MODEL-16	SUS304TP	80	0.079	10	414	0.024
266	KG84-632	SUS304TP	30	0.035	11	468	0.023
267	KG43-603	SUS304TP	60	0.002	10	440	0.022
268	KG86-626	SUS304TP	60	0.050	10	440	0.022
269	KG41-102	SUS304LTP R-SUS304ULC	45	0.044	9	406	0.022
270	KG41-409	SUS304LTP	45	0.044	9	406	0.022
271	MODEL-5	SUS304TP	190	0.048	8	365	0.021
272	26-71Chwa20	SUS304	30	0.063	10	468	0.021
273	KG41-100	R-SUS304ULC	55	0.019	9	413	0.021
274	KG41-408	SUS304LTP	55	0.019	9	413	0.021
275	KG41-434	SUS304LTP	90	0.020	8	375	0.021

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

表 2-1 既設工認時の発生応力，供用状態 Ds の許容応力及び応力比(12/12)

No.	モデル No.	材質	温度 (°C)	既設工認 の固有周 期(s)	既設工認時 の発生応力 (MPa)	供用状態 Ds の許容 応力(MPa)	応力比 ※1
276	25-71A9(2/2)	SUS304	70	0.071	9	426	0.021
277	28-71Chwa22	SUS304	30	0.042	9	468	0.020
278	25-71A9(1/2)	SUS304	60	0.018	9	440	0.020
279	KG12-148	SUS304LTP	30	0.024	8	432	0.018
280	設工認図-4.2.36	SUS304L	65	0.027	7	400	0.018
281	KG41-403	SUS304LTP	65	0.039	7	400	0.017
282	25-71Chwa3(2/3)	SUS304	30	0.043	8	468	0.017
283	25-71Chwa1	SUS304	30	0.002	7	468	0.016
284	024-71A6A	SUS304	60	0.040	7	440	0.015
285	26-71Chwa22(2/2)	SUS304	30	0.026	7	468	0.014
286	A41ChWa-11	SUS304TP	30	0.027	6	468	0.013
287	25-71A7(2/3)	SUS304	130	0.012	4	386	0.010
288	KG41-333	SUS304LTP	65	0.019	4	400	0.010
289	KG41-382	SUS304LTP	65	0.020	4	400	0.010
290	KG41-324	R-SUS304ULC	60	0.011	4	406	0.010
291	25-71Chwa3(1/3)	SUS304	30	0.017	5	468	0.010
292	25-71Chwa3(3/3)	SUS304	30	0.013	5	468	0.010
293	KG41-105	SUS304LTP	90	0.014	3	375	0.008
294	KG41-414	SUS304LTP	90	0.012	2	375	0.005
295	設工認図-4.2.34	SUS304L	65	0.002	1	400	0.003

※1 応力比は，既設工認時の発生応力／供用状態 Ds の許容応力を示す。

3. 評価部位

配管の構造強度の評価部位は、本体の一次応力とする。

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、圧力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_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s での温度は設計温度、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、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
配管	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)

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
配管	0.5	0.5

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。

配管の解析用の床応答スペクトルは，配管据付最上階のものを用いた。既設工認時の発生応力と許容応力の応力比が大きいもの上位 10 モデルを抜粋して使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3 及び図 4-1～12 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 (モデル No.)	水平方向	鉛直方向
配管 (KG83-616, KG83-619, KG83-618, KG83-624)	解析用の床応答スペクトル (RF, 減衰定数 0.5%)	解析用の床応答スペクトル (RF, 減衰定数 0.5%)
配管 (KG84-600, KG86-642)	解析用の床応答スペクトル (3F, 減衰定数 0.5%)	解析用の床応答スペクトル (3F, 減衰定数 0.5%)
配管 (A86IA-1, A41IA-2, KG21-600, KG84-617)	解析用の床応答スペクトル (1F, 減衰定数 0.5%)	解析用の床応答スペクトル (1F, 減衰定数 0.5%)

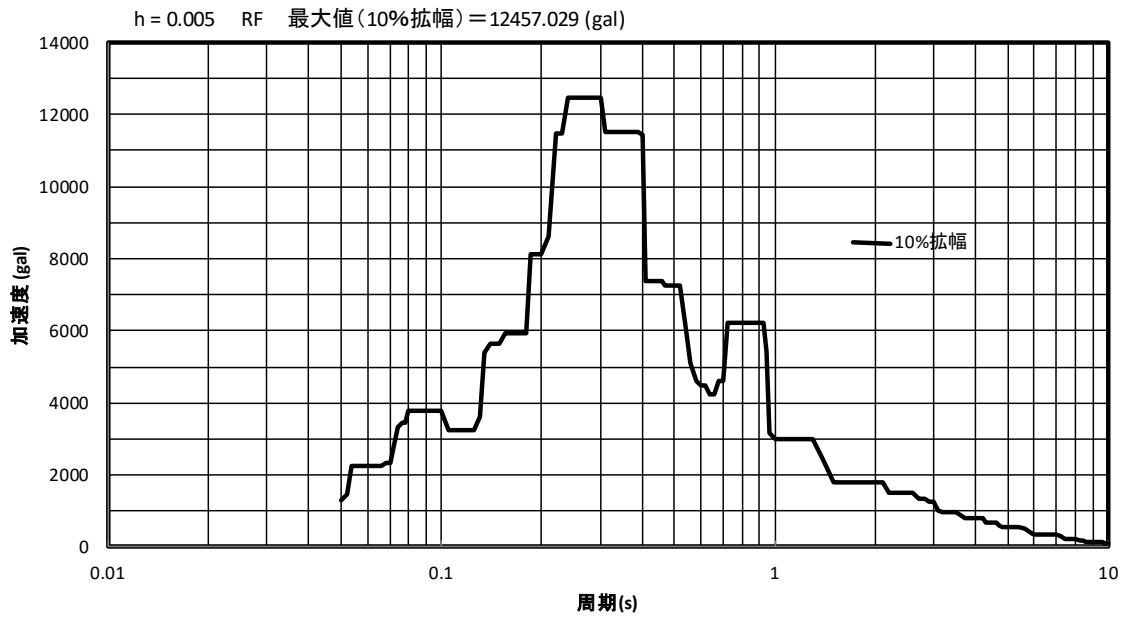


図 4-1 解析用の床応答スペクトル (水平方向, RF, 減衰定数 0.5%)

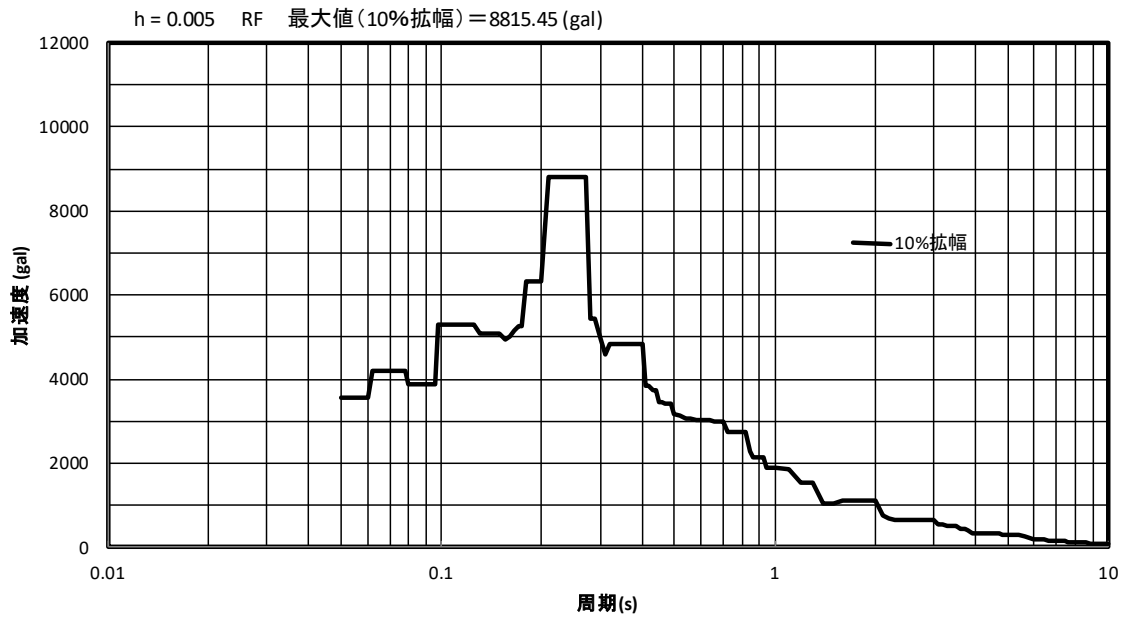


図 4-2 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, RF, 減衰定数 0.5%)

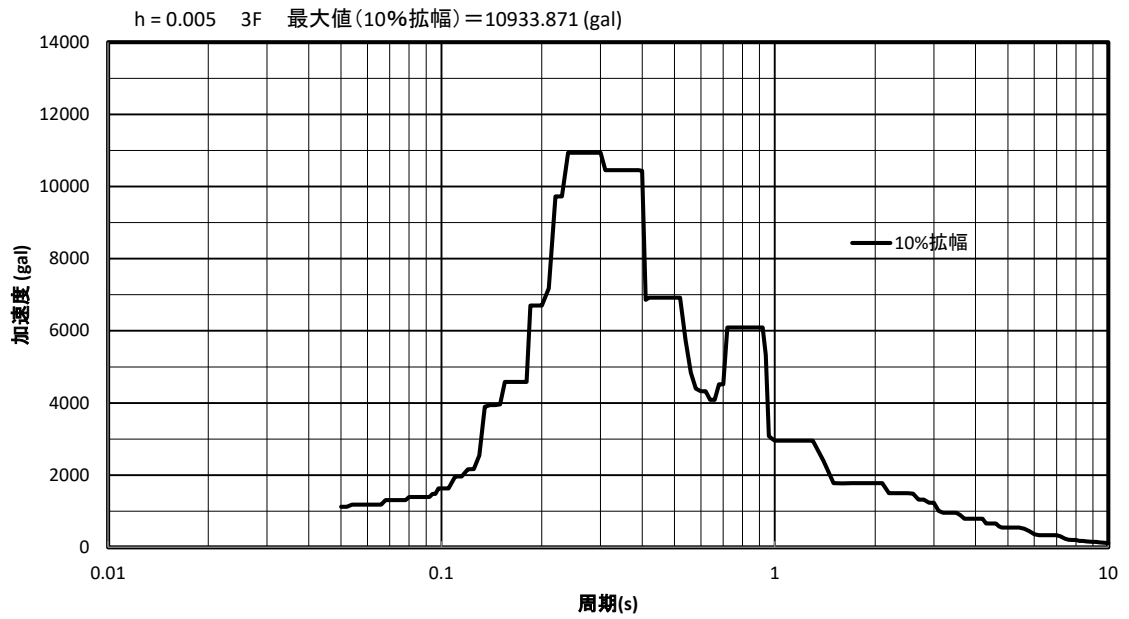


図 4-3 解析用の床応答スペクトル (水平方向, 3F, 減衰定数 0.5%)

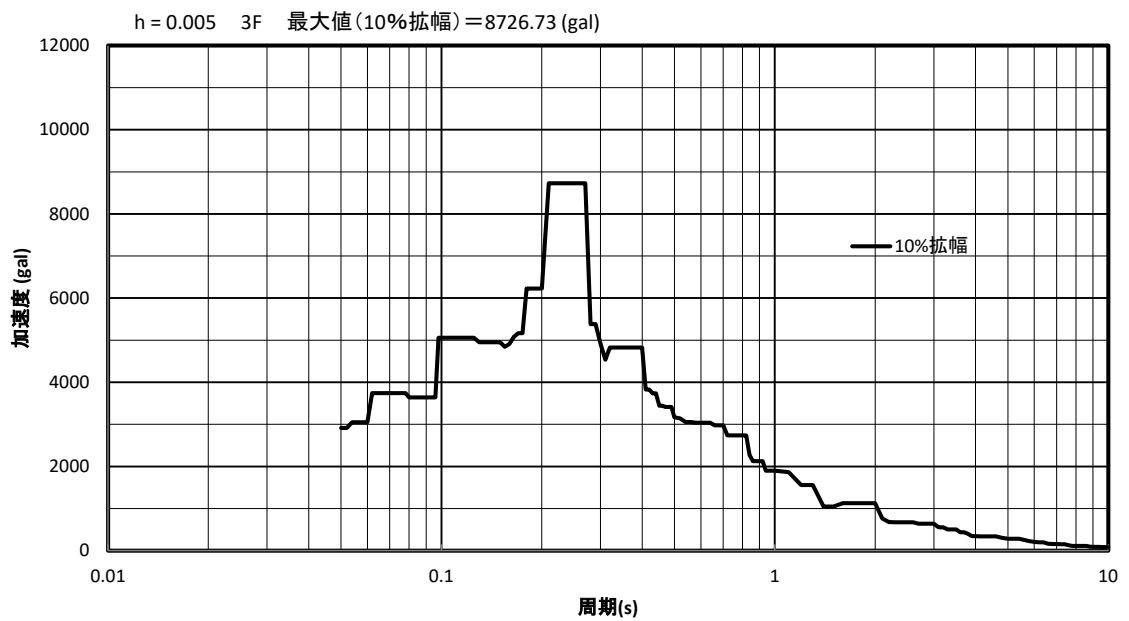


図 4-4 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, 3F, 減衰定数 0.5%)

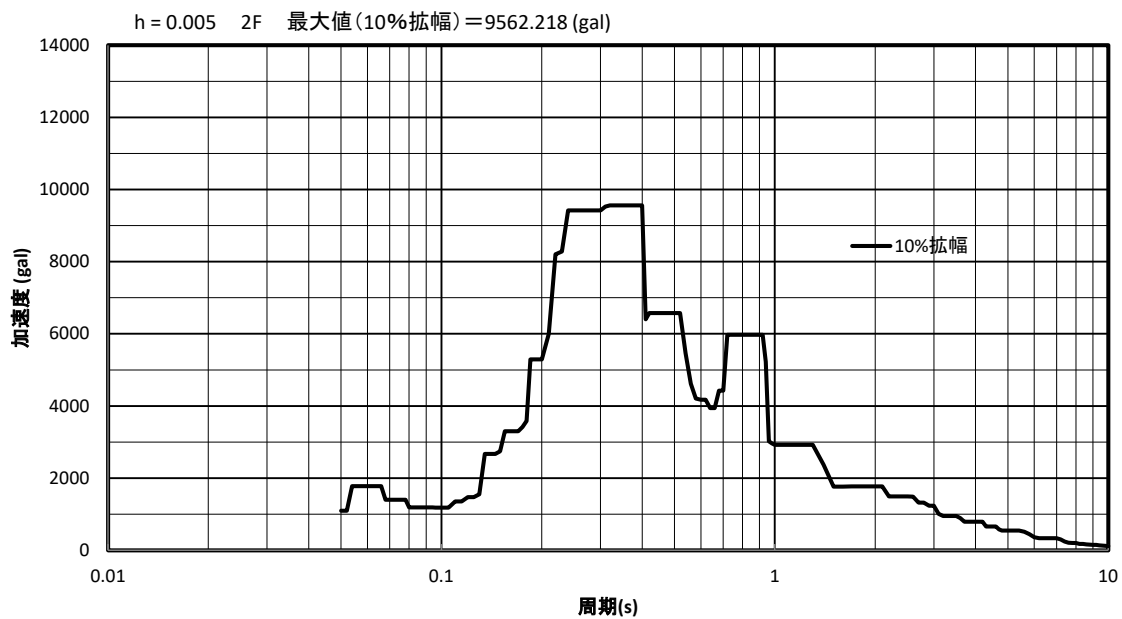


図 4-5 解析用の床応答スペクトル（水平方向，2F，減衰定数 0.5%）

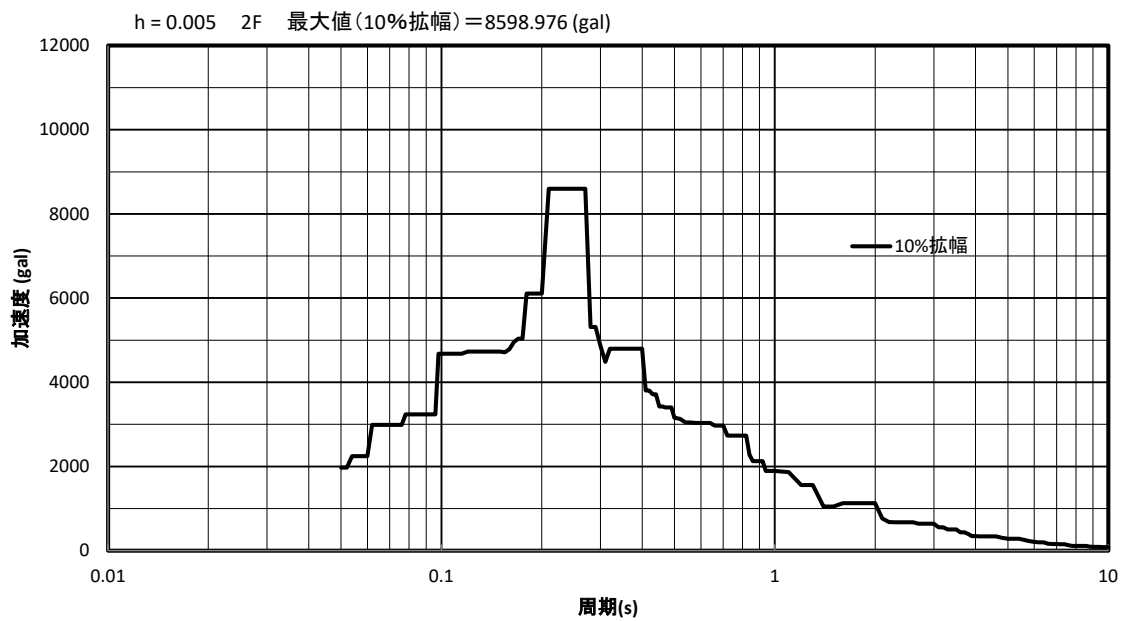


図 4-6 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，2F，減衰定数 0.5%）

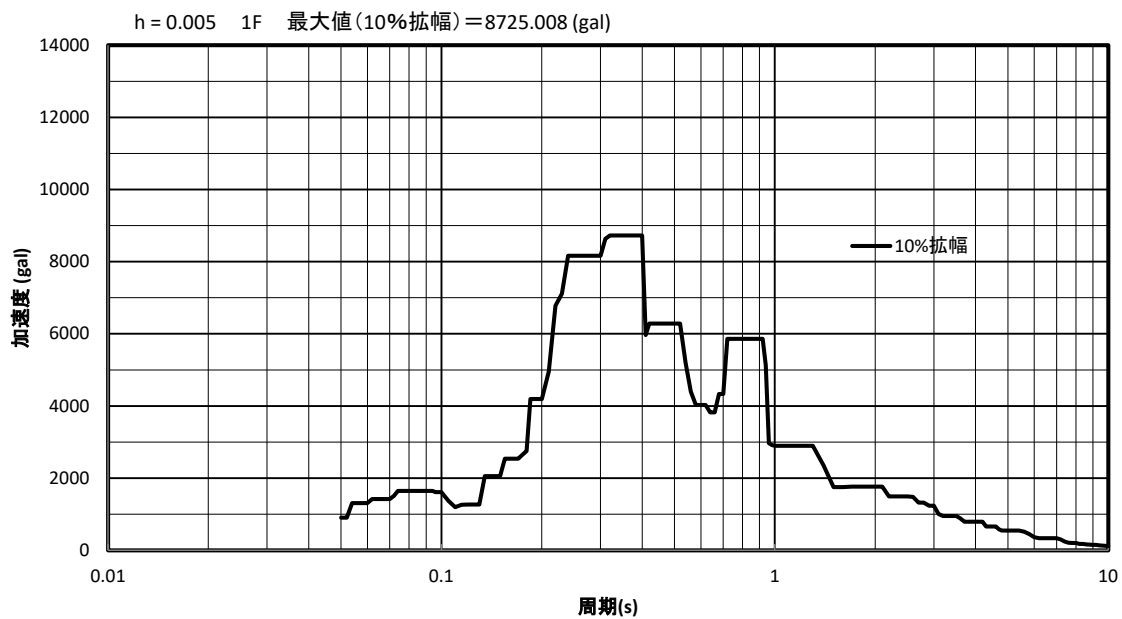


図 4-7 解析用の床応答スペクトル（水平方向，1F，減衰定数 0.5%）

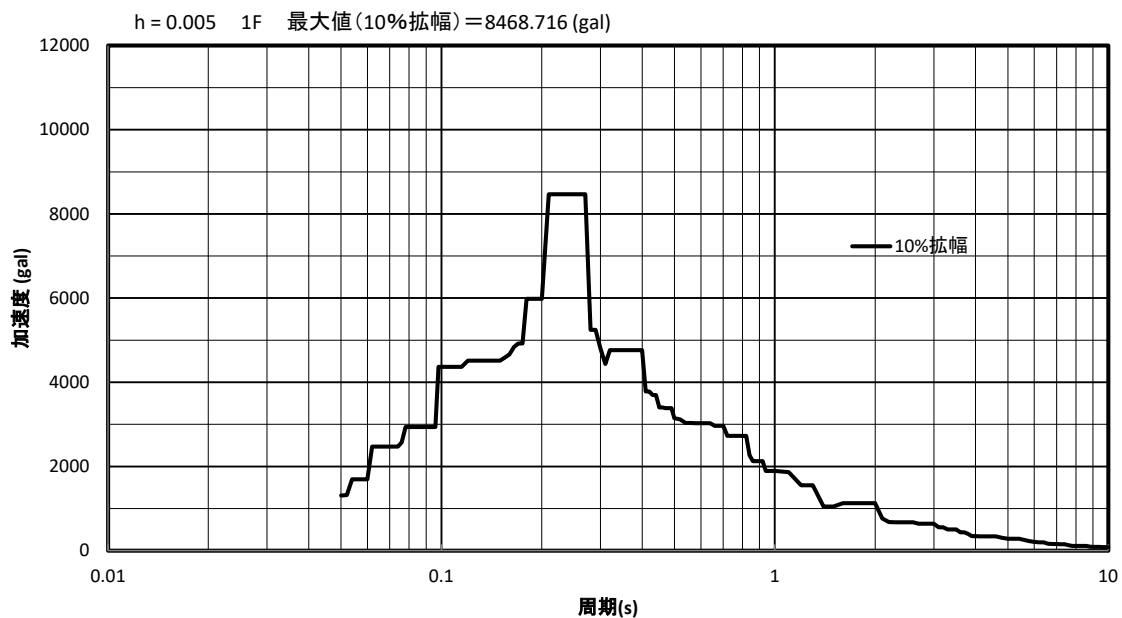


図 4-8 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，1F，減衰定数 0.5%）

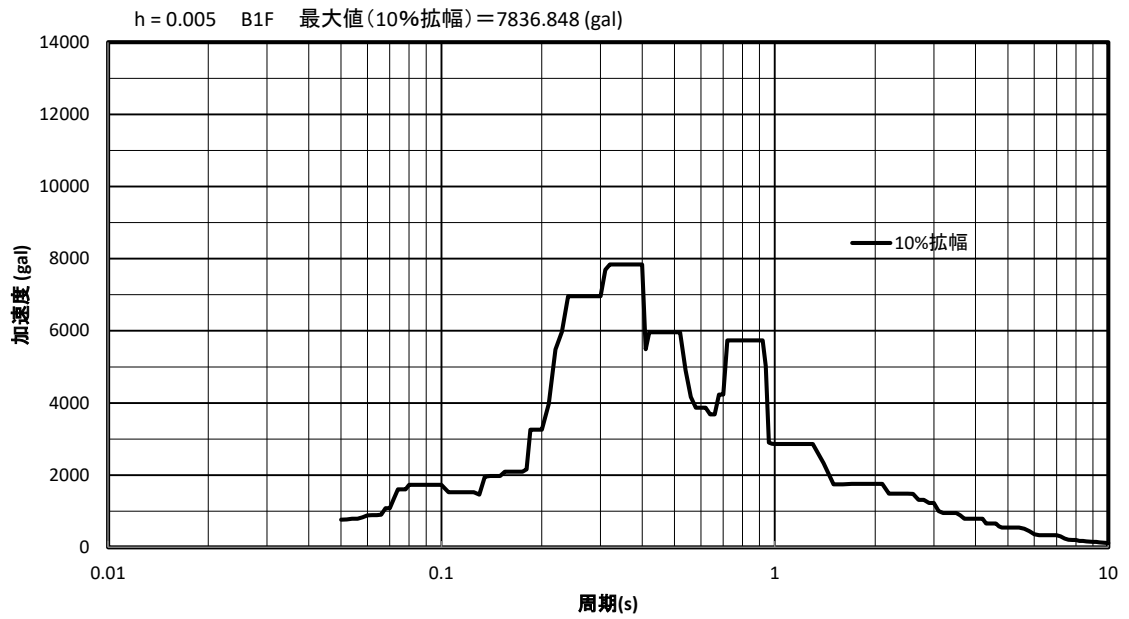


図 4-9 解析用の床応答スペクトル (水平方向, B1F, 減衰定数 0.5%)

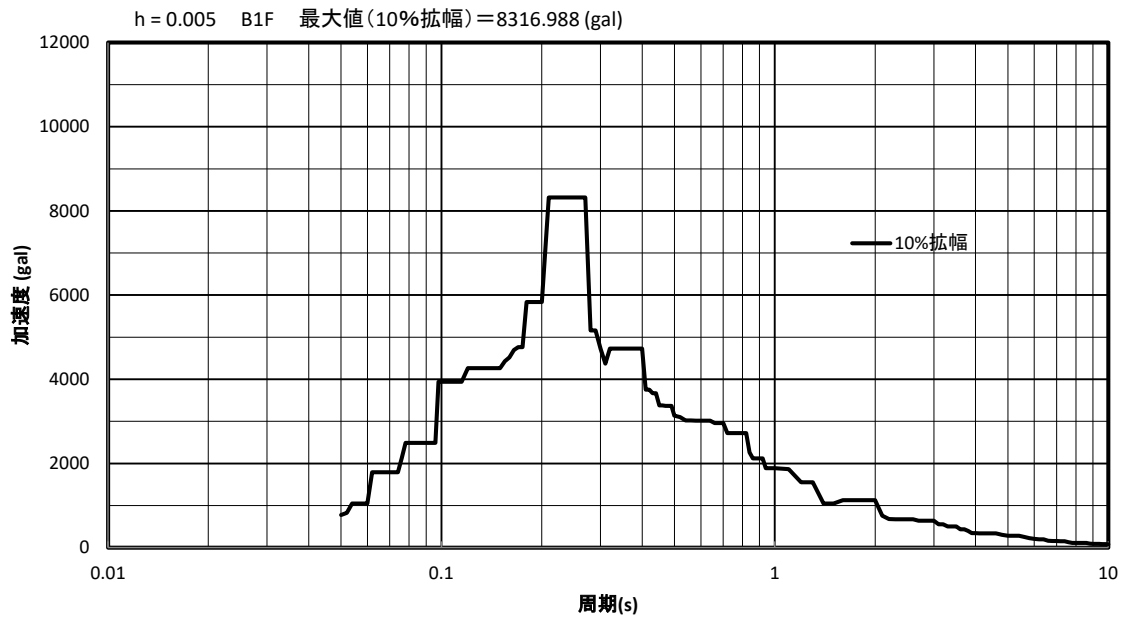


図 4-10 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, B1F, 減衰定数 0.5%)

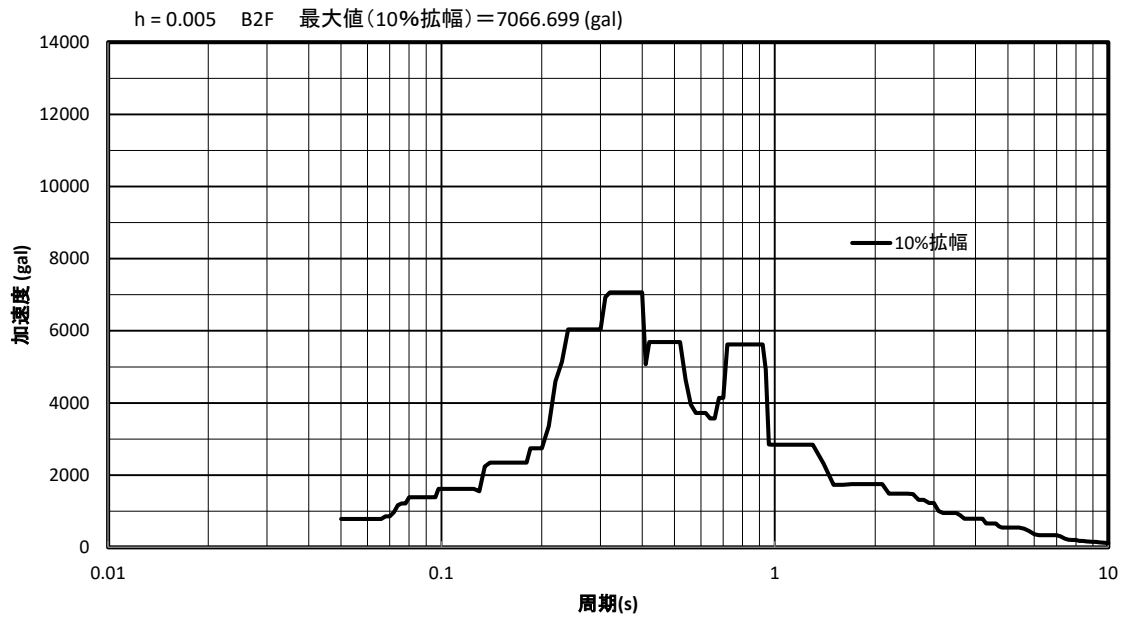


図 4-11 解析用の床応答スペクトル (水平方向, B2F, 減衰定数 0.5%)

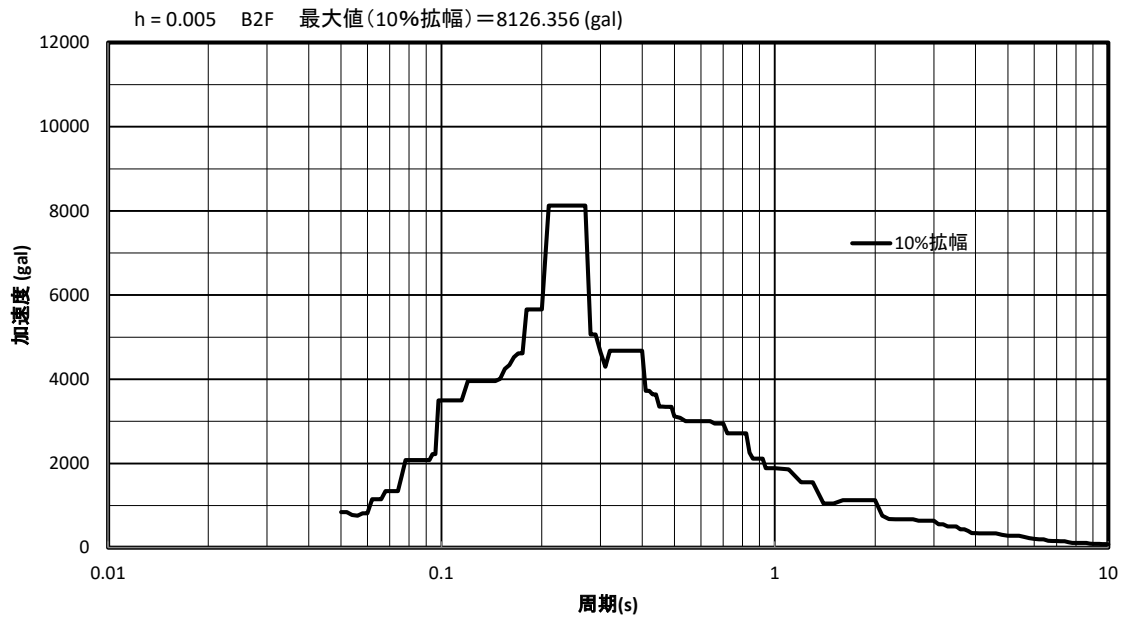


図 4-12 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, B2F, 減衰定数 0.5%)

4.5 計算方法

配管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 FINAS^{※1} 又は MSC.Nastran^{※2} 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 日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューションズ株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”。

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

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

既設工認時の発生応力と許容応力の応力比が大きいもの上位 10 モデルを抜粋して配管の解析モデルを図 4-13-1～10 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。

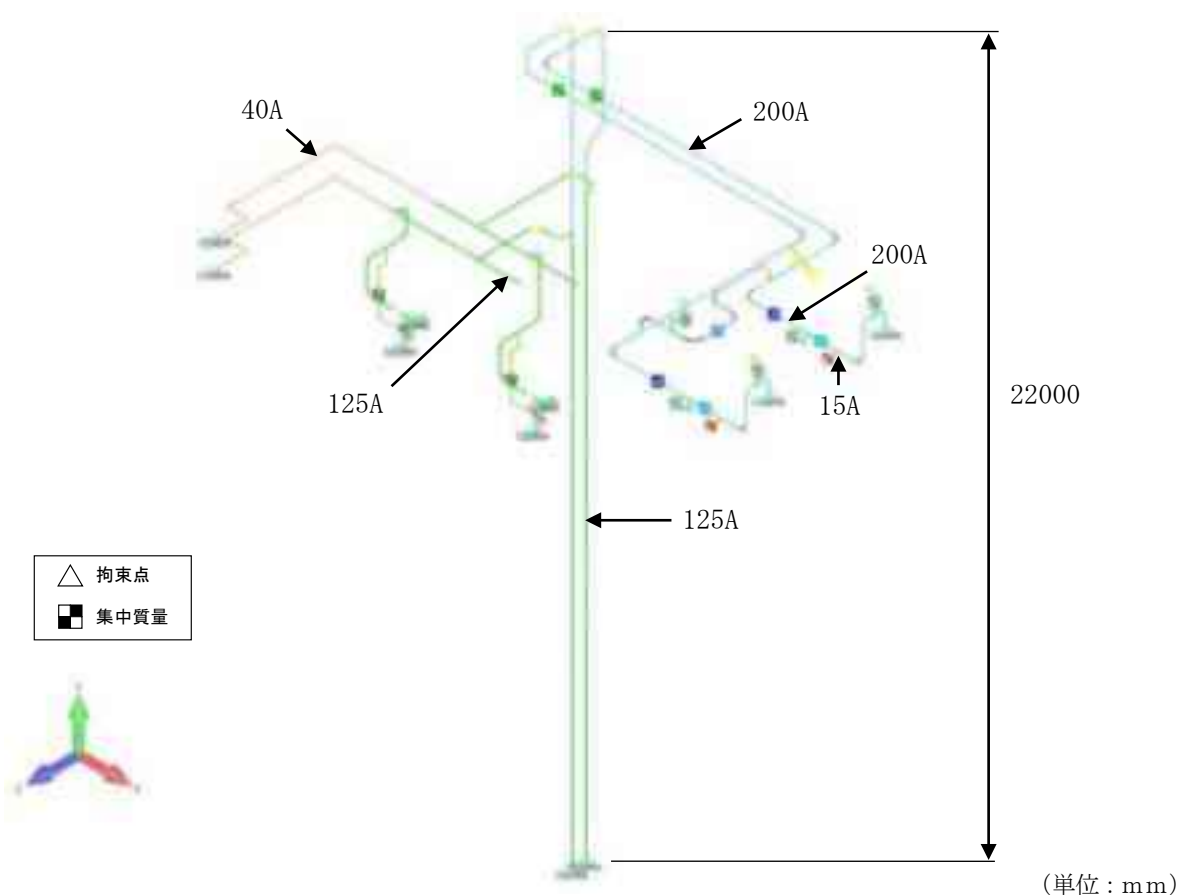


図 4-13-1 配管 (KG83-616) の解析モデル

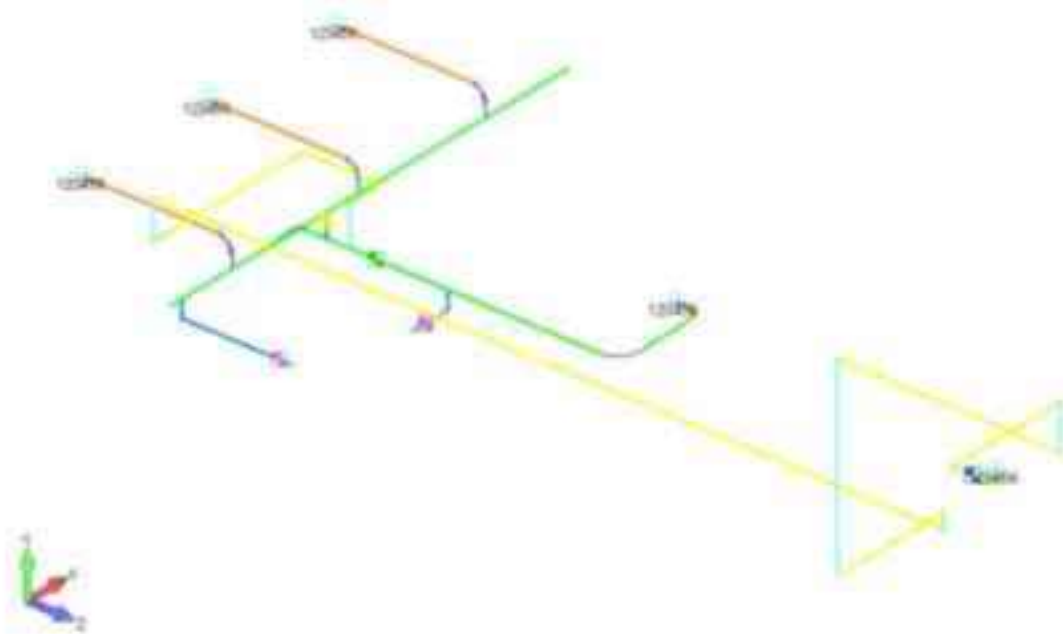


図 4-13-2 配管 (KG83-619) の解析モデル

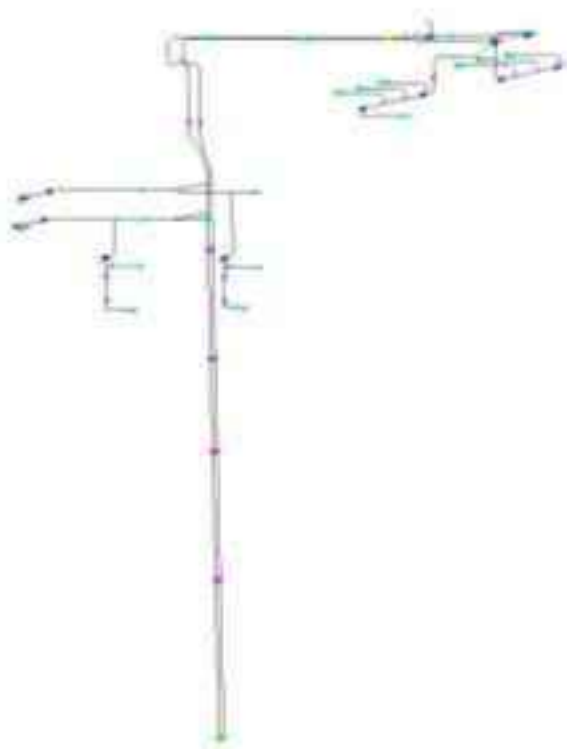


図 4-13-3 配管 (KG83-618) の解析モデル

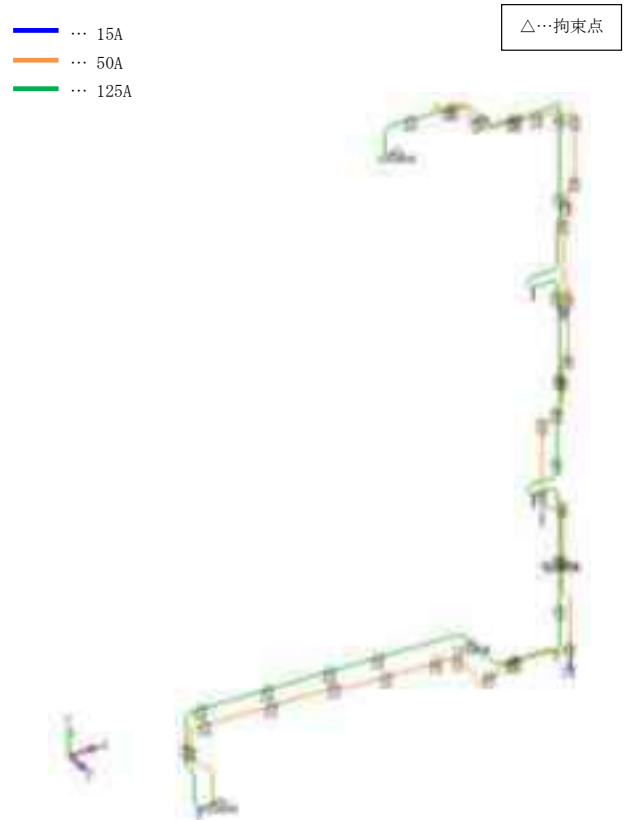


図 4-13-4 配管 (KG84-600) の解析モデル



図 4-13-5 配管 (KG83-624) の解析モデル

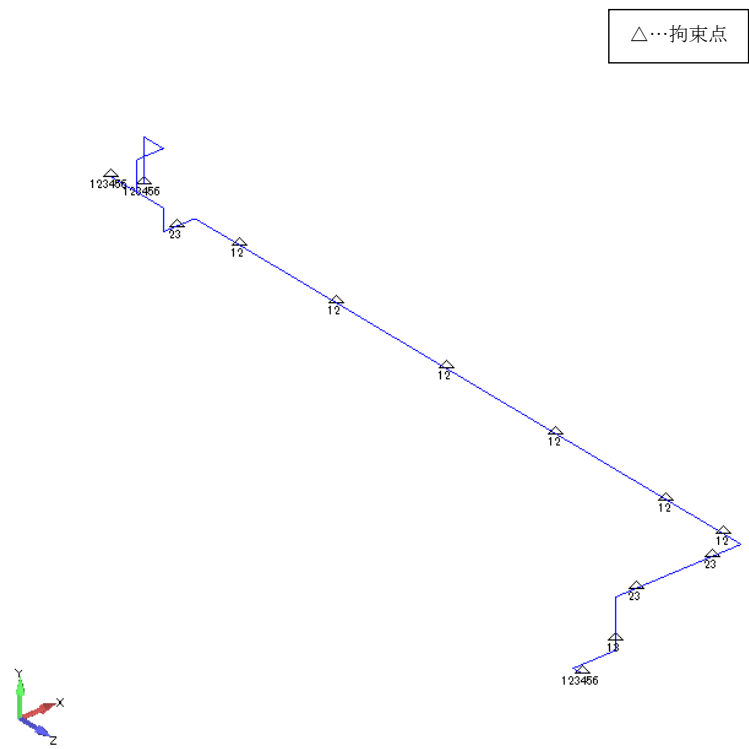


図 4-13-6 配管 (KG86-642) の解析モデル

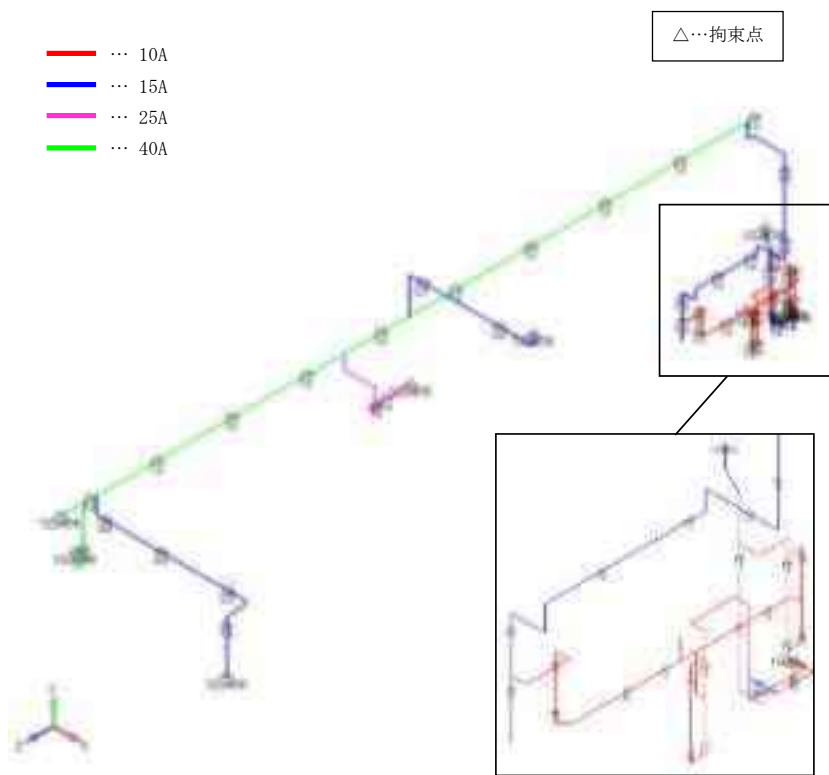


図 4-13-7 配管 (A86IA-1) の解析モデル

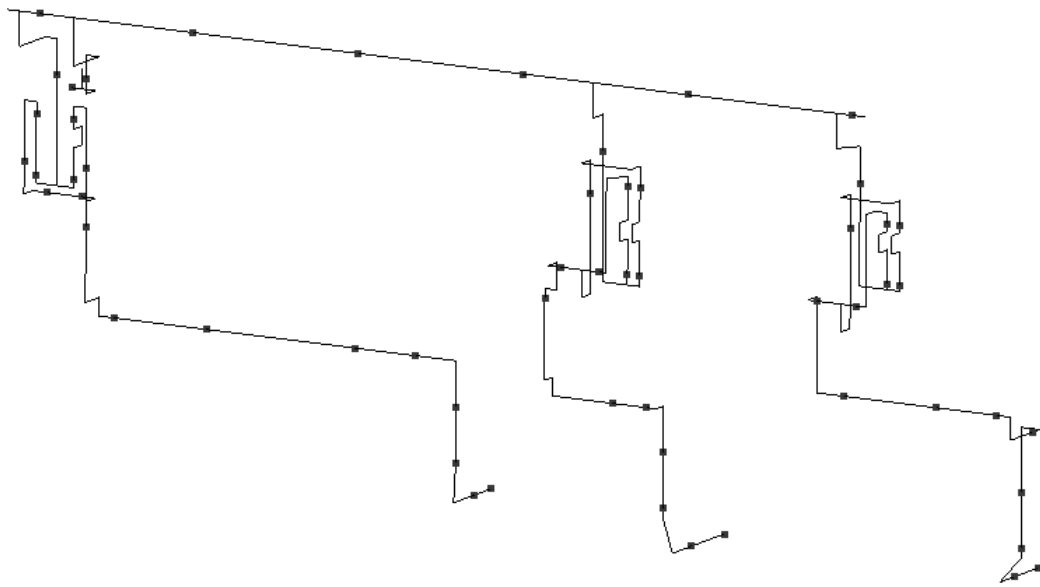


図 4-13-8 配管(A41IA-2)の解析モデル

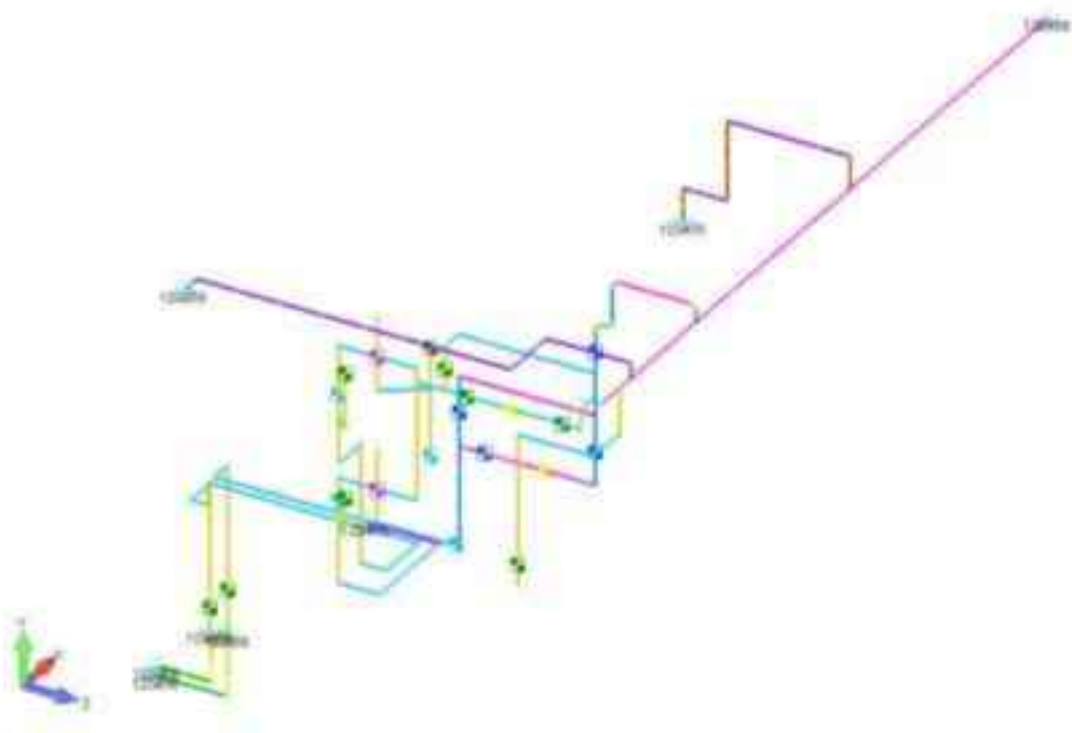


図 4-13-9 配管(KG21-600)の解析モデル

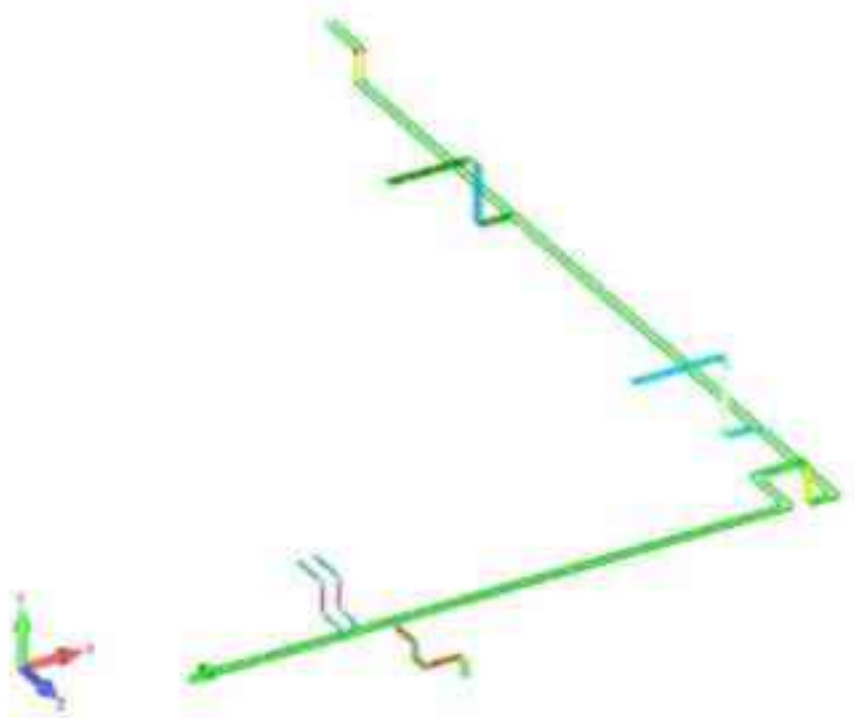


図 4-13-10 配管(KG84-617)の解析モデル

4.6.2 諸元

既設工認時の発生応力と許容応力の応力比が大きいもの上位 10 モデルを抜粋して配管の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4 主要寸法・仕様 (1/5)

評価対象設備	項目	値
配管 (KG83-616)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	STPG370
	保温有無	有
	温度 (設計温度)	55 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.98 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 80 40A-Sch. 40 80A-Sch. 40 125A-Sch. 40 150A-Sch. 40 200A-Sch. 40
配管 (KG83-619)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	STPG370
	保温有無	有
	温度 (設計温度)	55 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.060 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 80 50A-Sch. 40 125A-Sch. 40 150A-Sch. 40 200A-Sch. 40

表 4-4 主要寸法・仕様 (2/5)

評価対象設備	項目	値
配管 (KG83-618)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	STPG370
	保温有無	有
	温度 (設計温度)	55 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.98 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 80 40A-Sch. 40 125A-Sch. 40 200A-Sch. 40
配管 (KG84-600)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	SUS304TP
	保温有無	有
	温度 (設計温度)	35 (°C)
	圧力 (設計圧力)	1.3 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 40 50A-Sch. 20S 125A-Sch. 20S

表 4-4 主要寸法・仕様 (3/5)

評価対象設備	項目	値
配管 (KG83-624)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	STPG370
	保温有無	有
	温度 (設計温度)	55 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.061 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 80 50A-Sch. 40 125A-Sch. 40 150A-Sch. 40 200A-Sch. 40
配管 (KG86-642)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	空気
	流体の密度	—
	材質	SUS304TP
	保温有無	無
	温度 (設計温度)	60 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.76 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 40

表 4-4 主要寸法・仕様 (4/5)

評価対象設備	項目	値
配管(A86IA-1)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	空気
	流体の密度	—
	材質	SUS304TP
	保温有無	無
	温度 (設計温度)	60 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.76 (MPa)
	呼び径-Sch.	10A-Sch. 40 15A-Sch. 40 25A-Sch. 20S 40A-Sch. 20S
配管(A41IA-2)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	空気
	流体の密度	—
	材質	SUS304TP
	保温有無	無
	温度 (設計温度)	60 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.76 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 40 25A-Sch. 20S

表 4-4 主要寸法・仕様 (5/5)

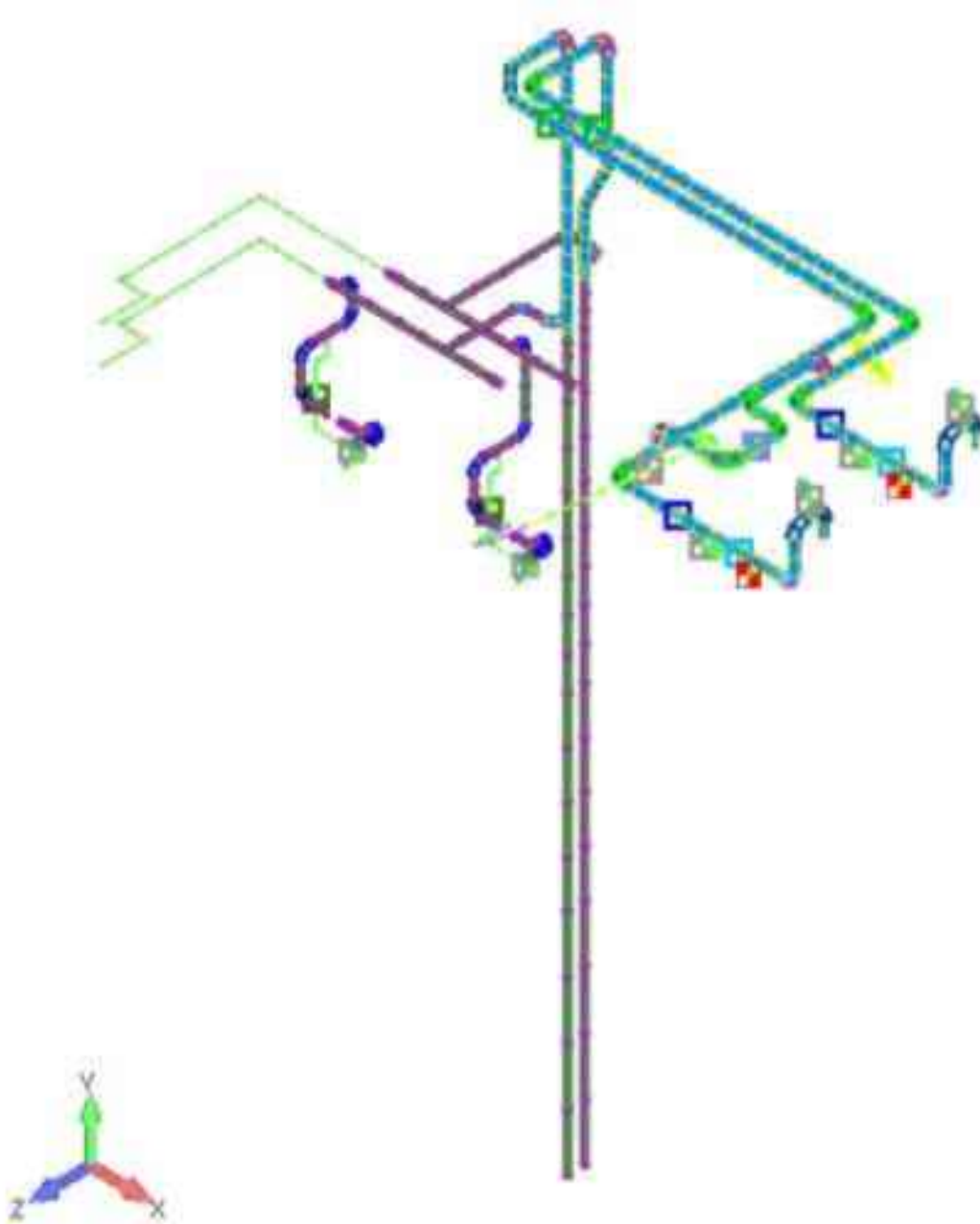
評価対象設備	項目	値
配管 (KG21-600)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	空気
	流体の密度	—
	材質	SUS304TP, SUS304LTP
	保温有無	無
	温度 (設計温度)	60 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.76 (MPa)
	呼び径-Sch.	8A-Sch. 40 15A-Sch. 40 25A-Sch. 20S 40A-Sch. 20S
配管 (KG84-617)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	SUS304TP
	保温有無	有
	温度 (設計温度)	30 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.59 (MPa)
	呼び径-Sch.	40A-Sch. 20S 65A-Sch. 20S 80A-Sch. 20S 100A-Sch. 20S 125A-Sch. 20S

4.7 固有周期

既設工認時の発生応力と許容応力の応力比が大きいもの上位 10 モデルを抜粋して配管の固有周期及び固有モードを図 4-14-1～10 に示す。

1次モード図

固有周期：0.123（秒）

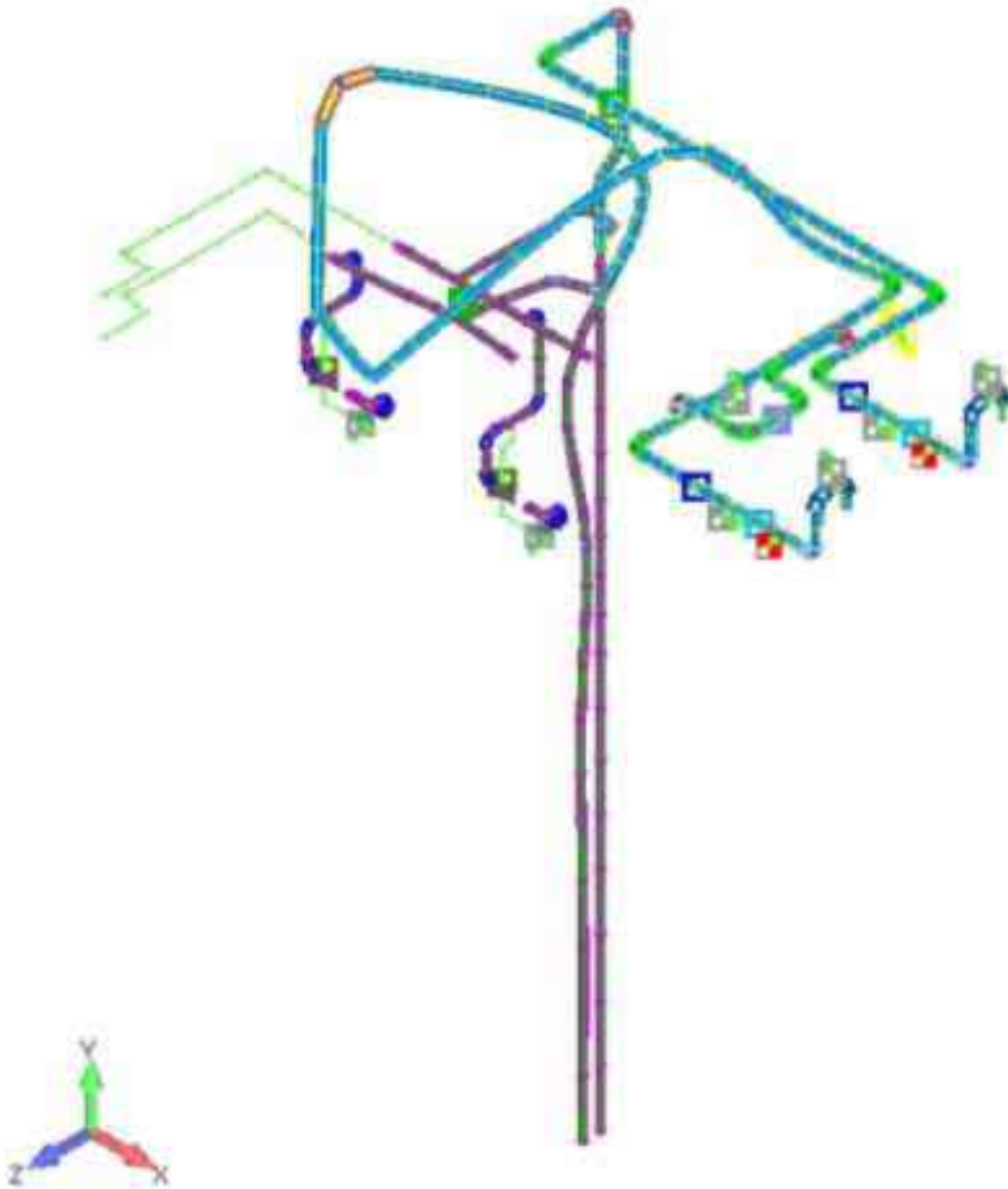


Output Set: FNS_000001 F= 8 1366106
Deformed(27.74): Total Eigen Mode:

図 4-14-1 配管(KG83-616) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.121（秒）

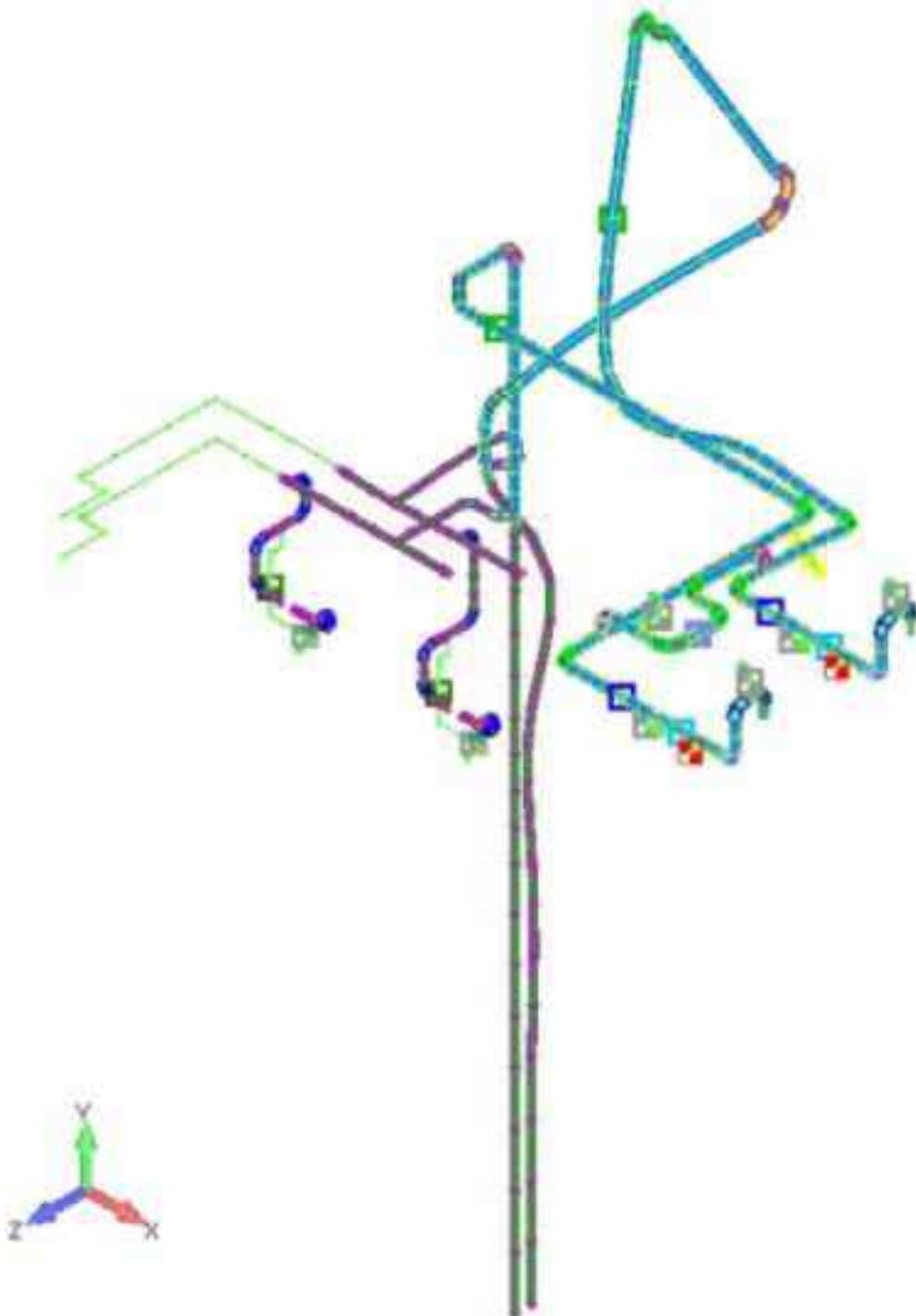


Output Set: FNS_000002 F= 8.2857189
Deformed(1.87): Total Eigen Mode

図 4-14-1 配管(KG83-616) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.117 (秒)



Output Set: FMS_000003 F= 8.5473537
Deformed(2.094): Total Eigen Mode

図 4-14-1 配管(KG83-616) 固有モード図 (3/3)

1次モード図 固有周期：0.087（秒）

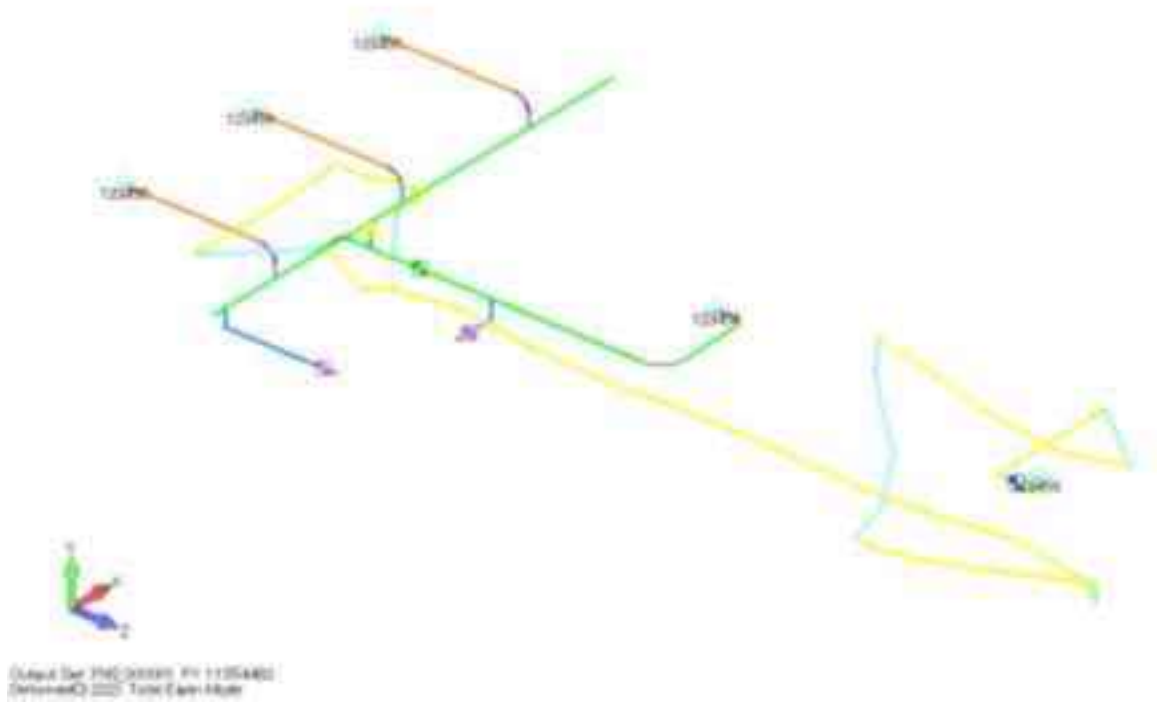


図 4-14-2 配管(KG83-619) 固有モード図 (1/3)

2次モード図 固有周期：0.080（秒）

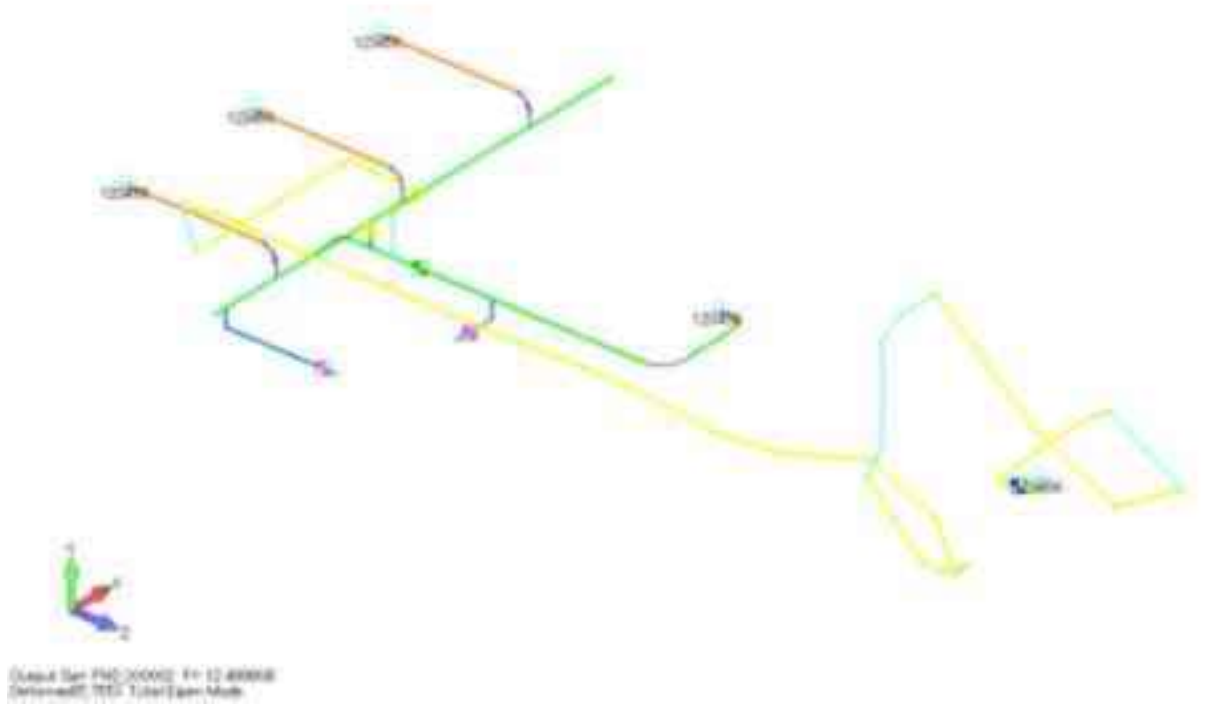


図 4-14-2 配管(KG83-619) 固有モード図 (2/3)

3次モード図 固有周期：0.065（秒）

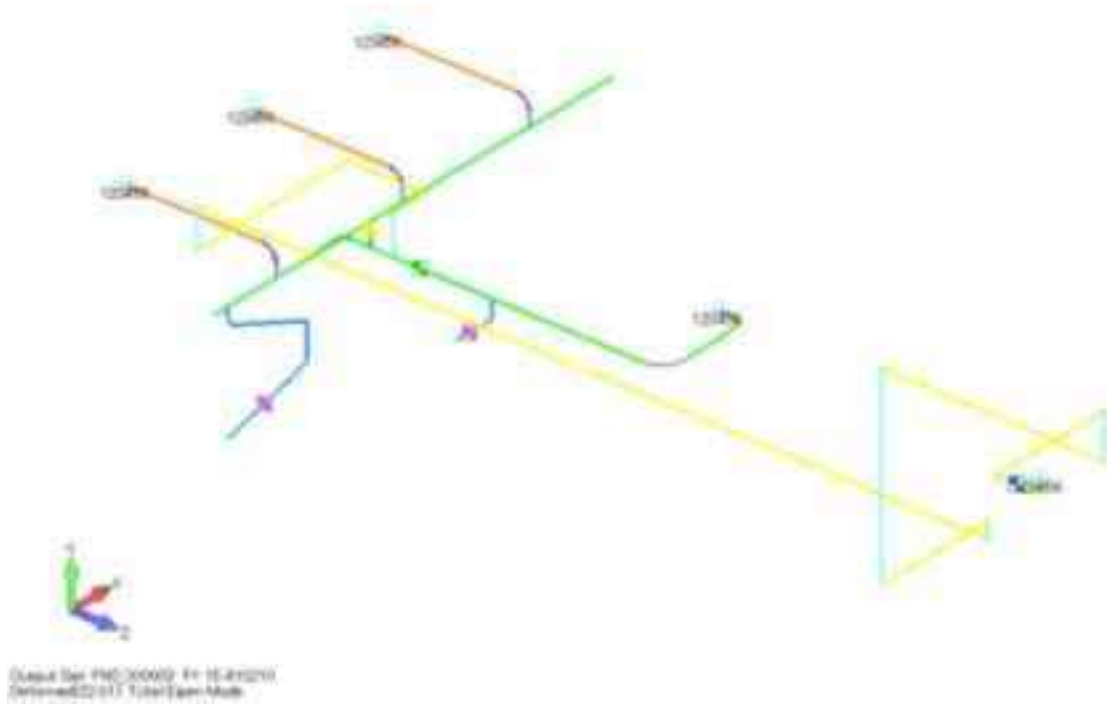


図 4-14-2 配管(KG83-619) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.084（秒）

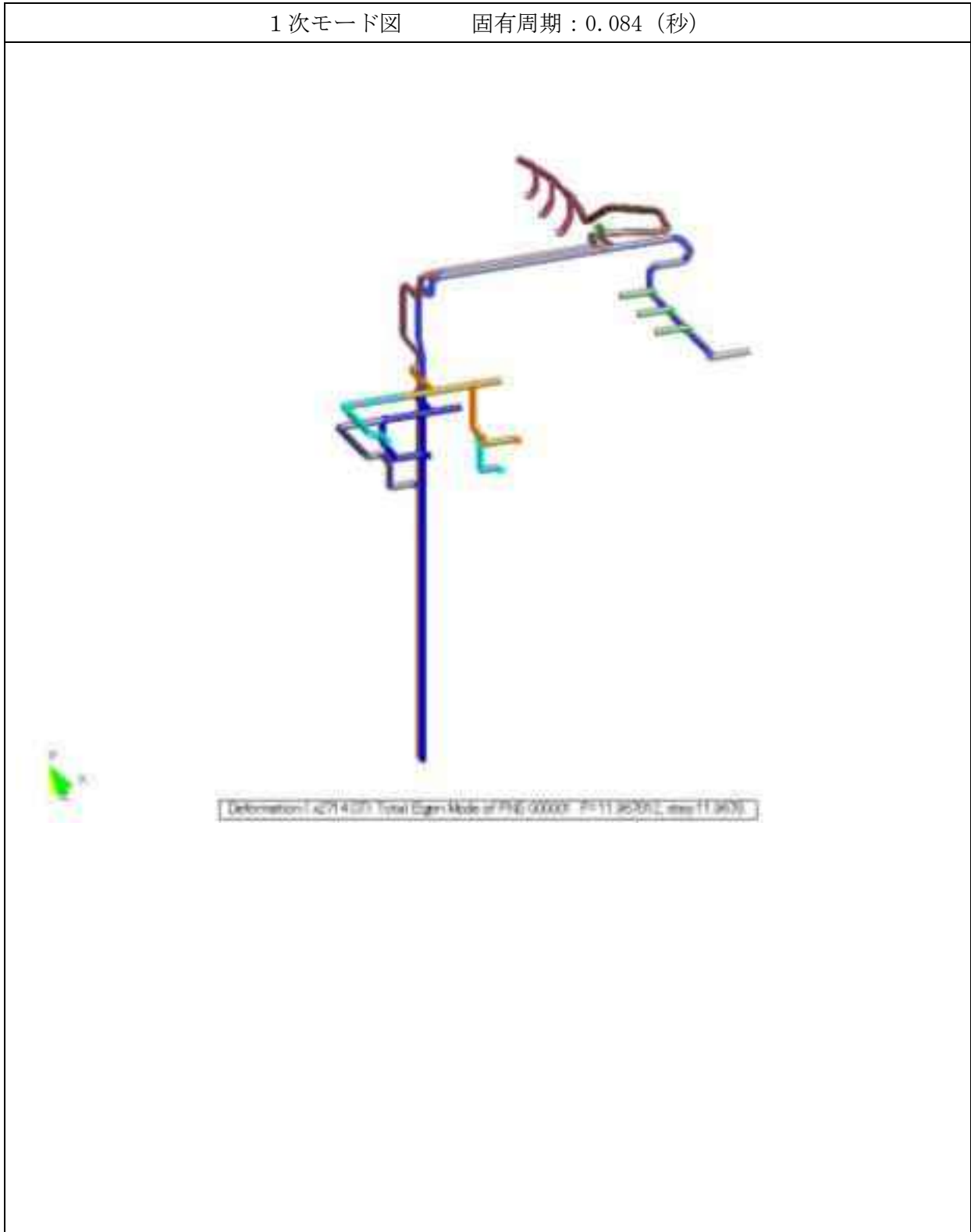


図 4-14-3 配管(KG83-618) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.076（秒）



図 4-14-3 配管(KG83-618) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.075（秒）

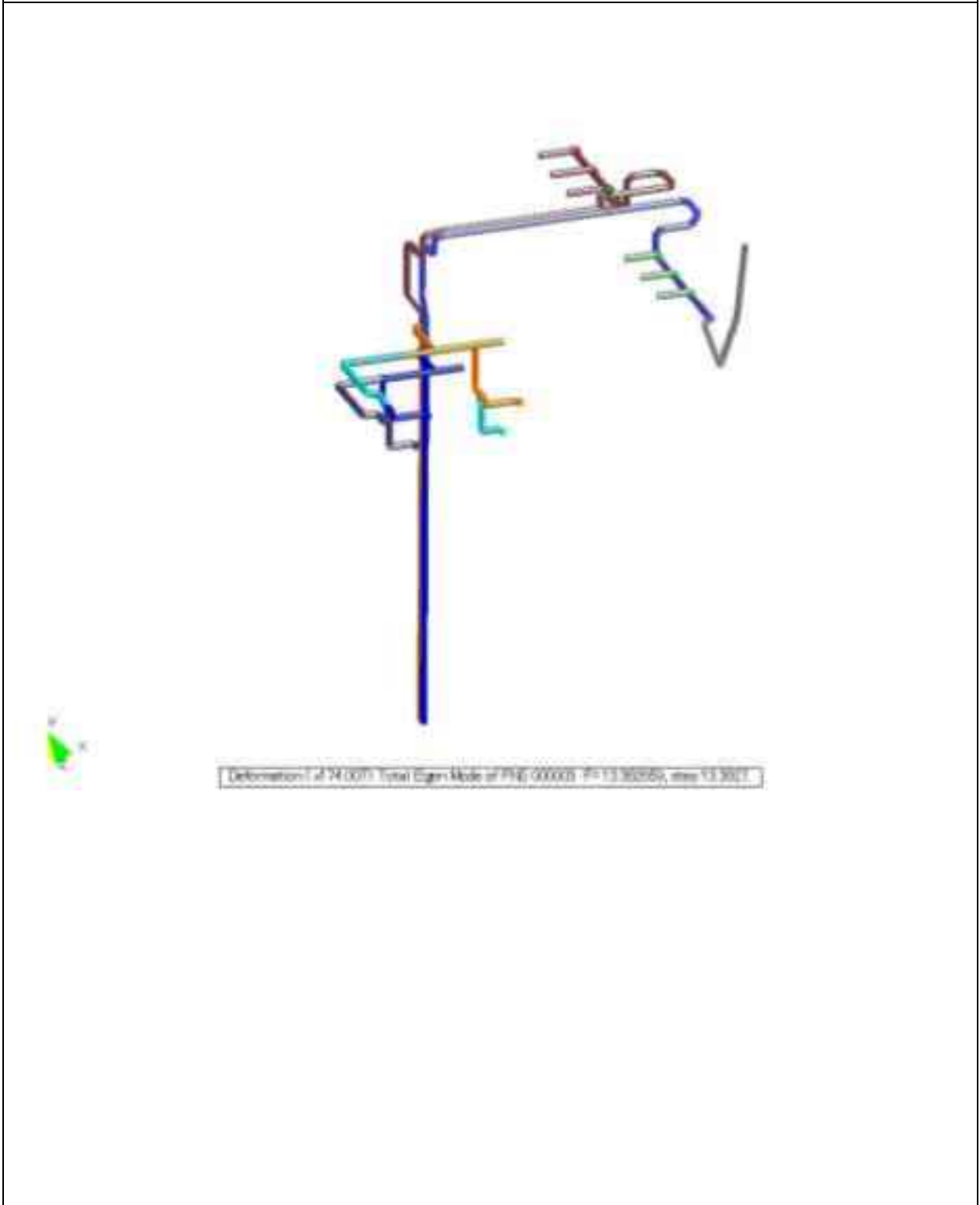


図 4-14-3 配管(KG83-618) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.128（秒）

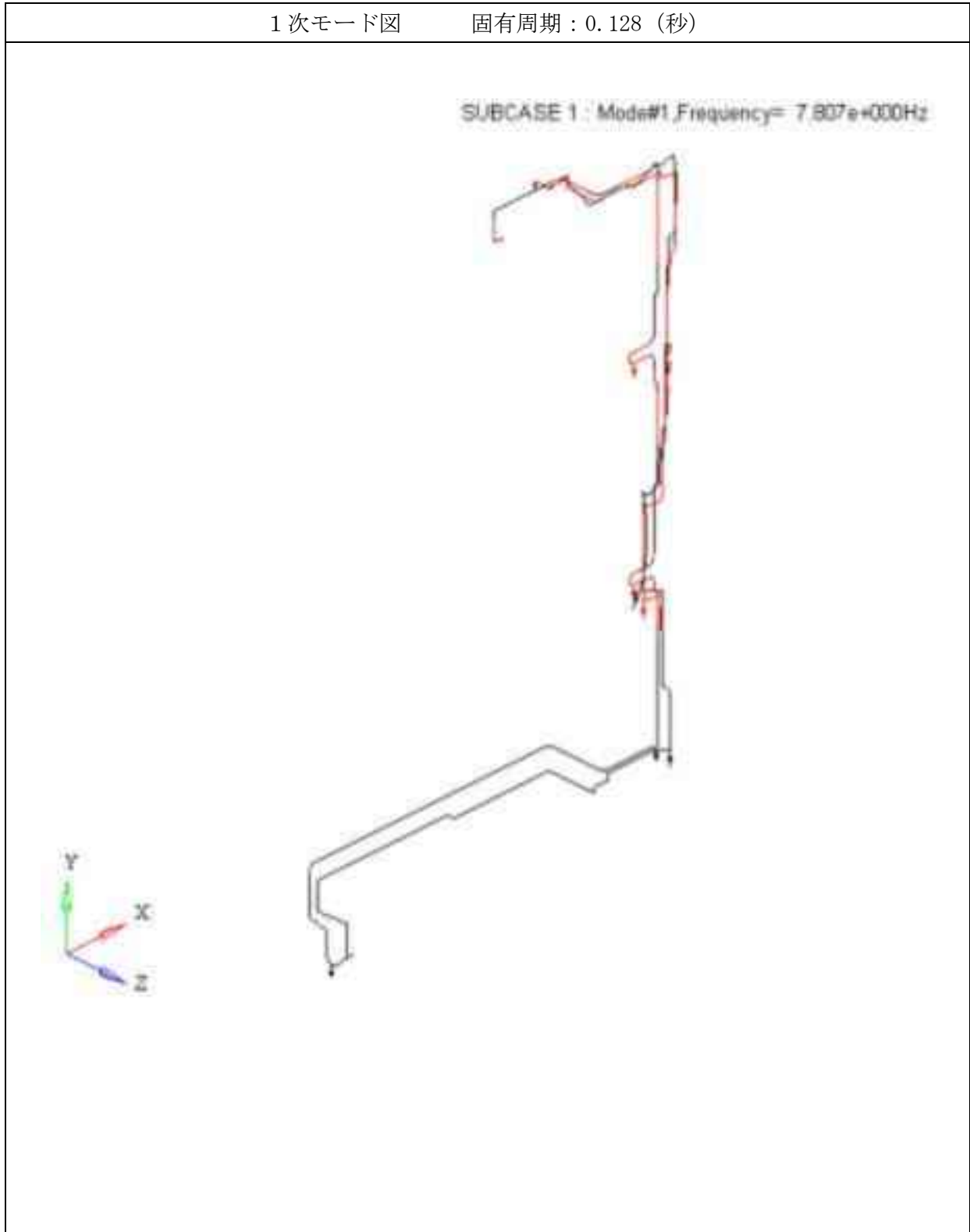


図 4-14-4 配管(KG84-600) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.124（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 8.057e+000Hz

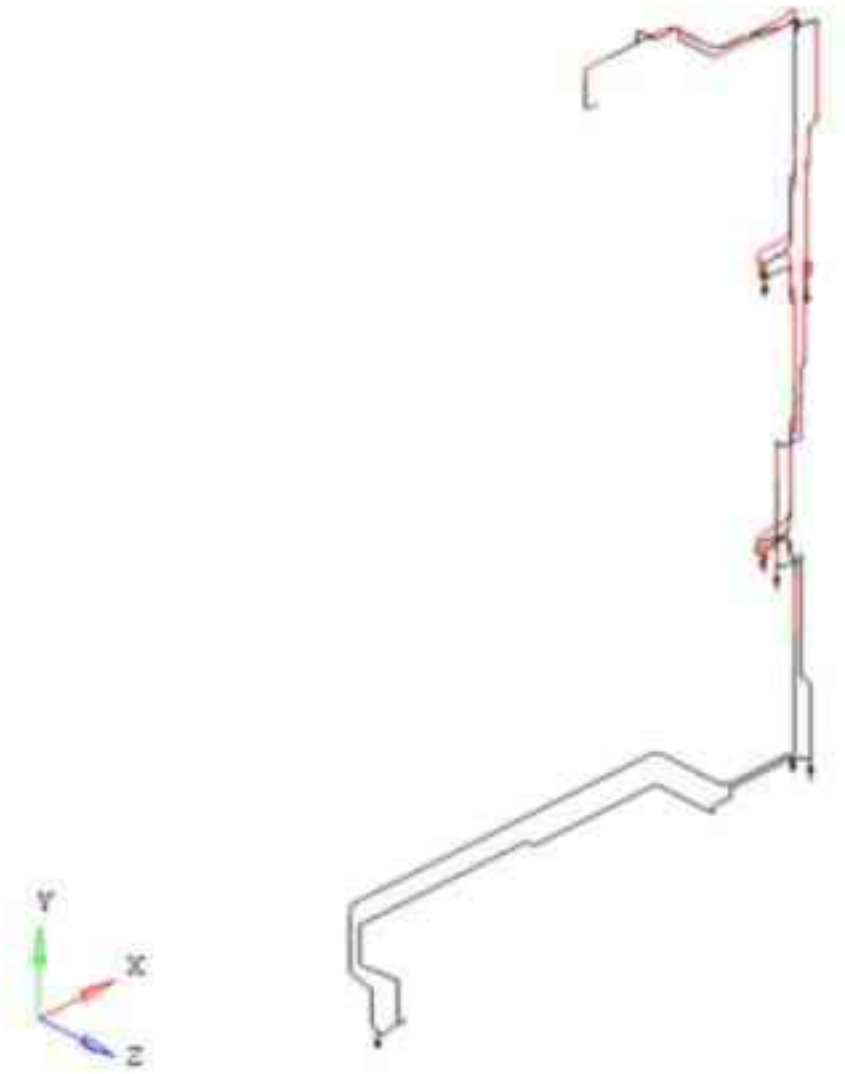


図 4-14-4 配管(KG84-600) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.091（秒）

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 1.099e+001Hz

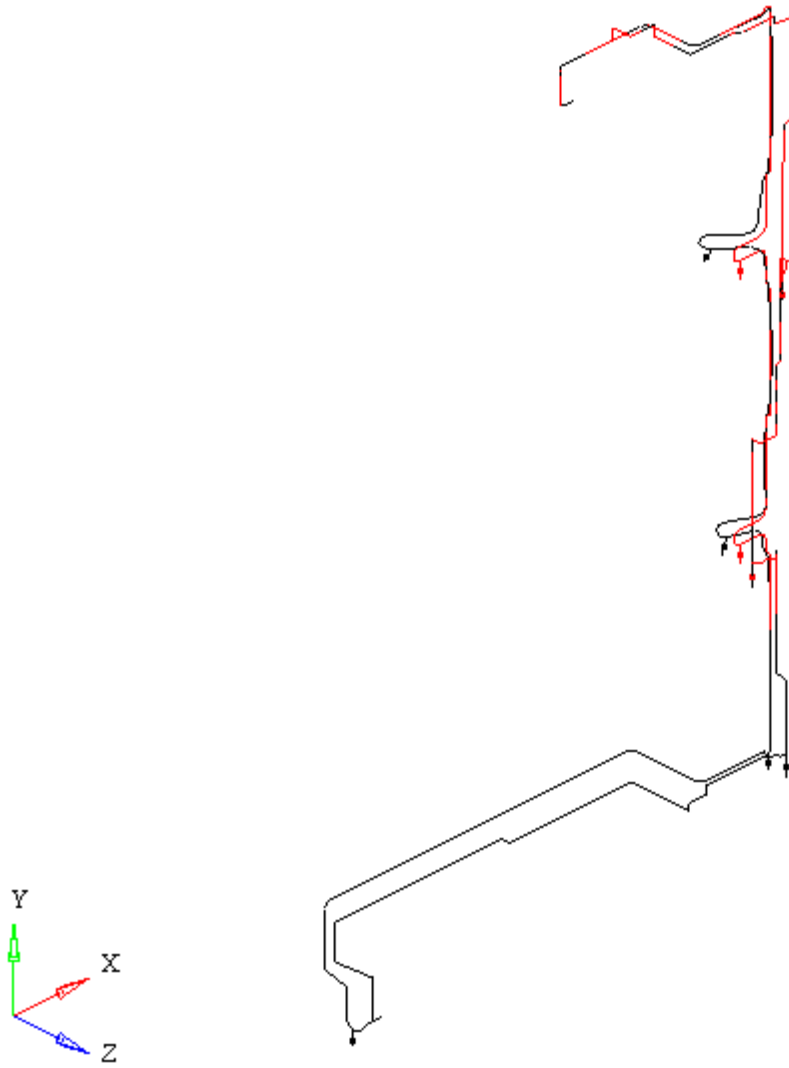


図 4-14-4 配管(KG84-600) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.076（秒）



図 4-14-5 配管(KG83-624) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.067（秒）



図 4-14-5 配管(KG83-624) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.062（秒）



図 4-14-5 配管(KG83-624) 固有モード図 (3/3)

1次モード図 固有周期：0.133（秒）

SUBCASE 1: Mode#1 Frequency= 7.526e+000Hz

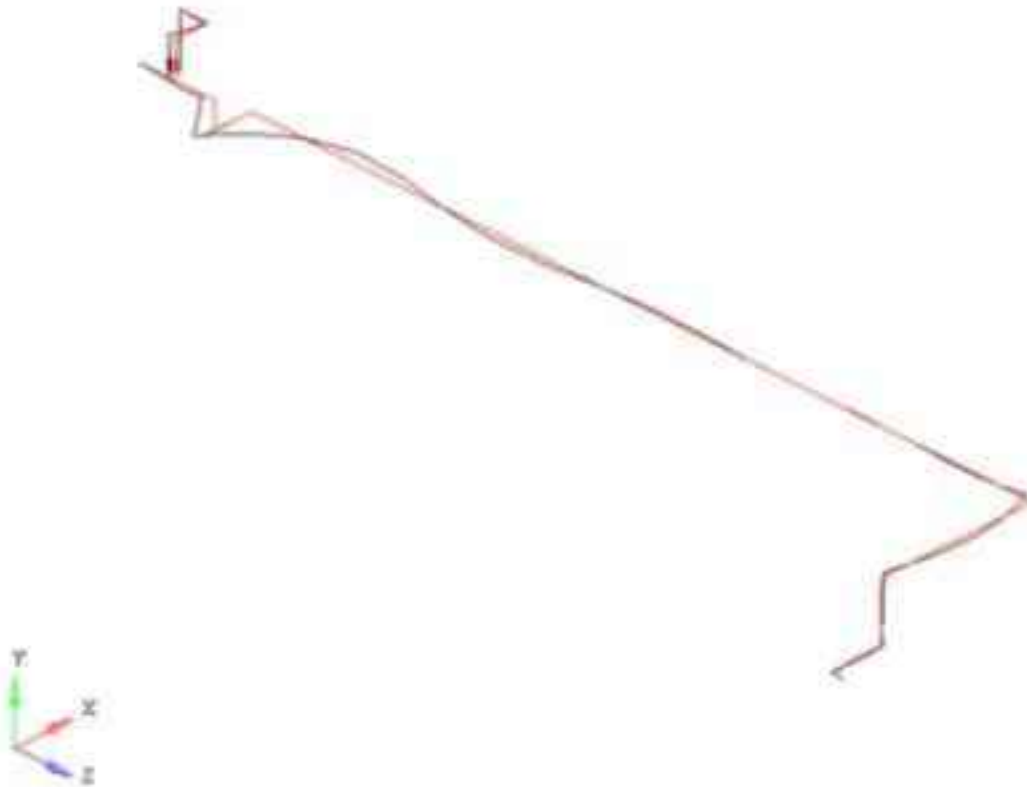


図 4-14-6 配管(KG86-642) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.108（秒）

SUBCASE 1: Modal Frequency= 9.273e+000Hz

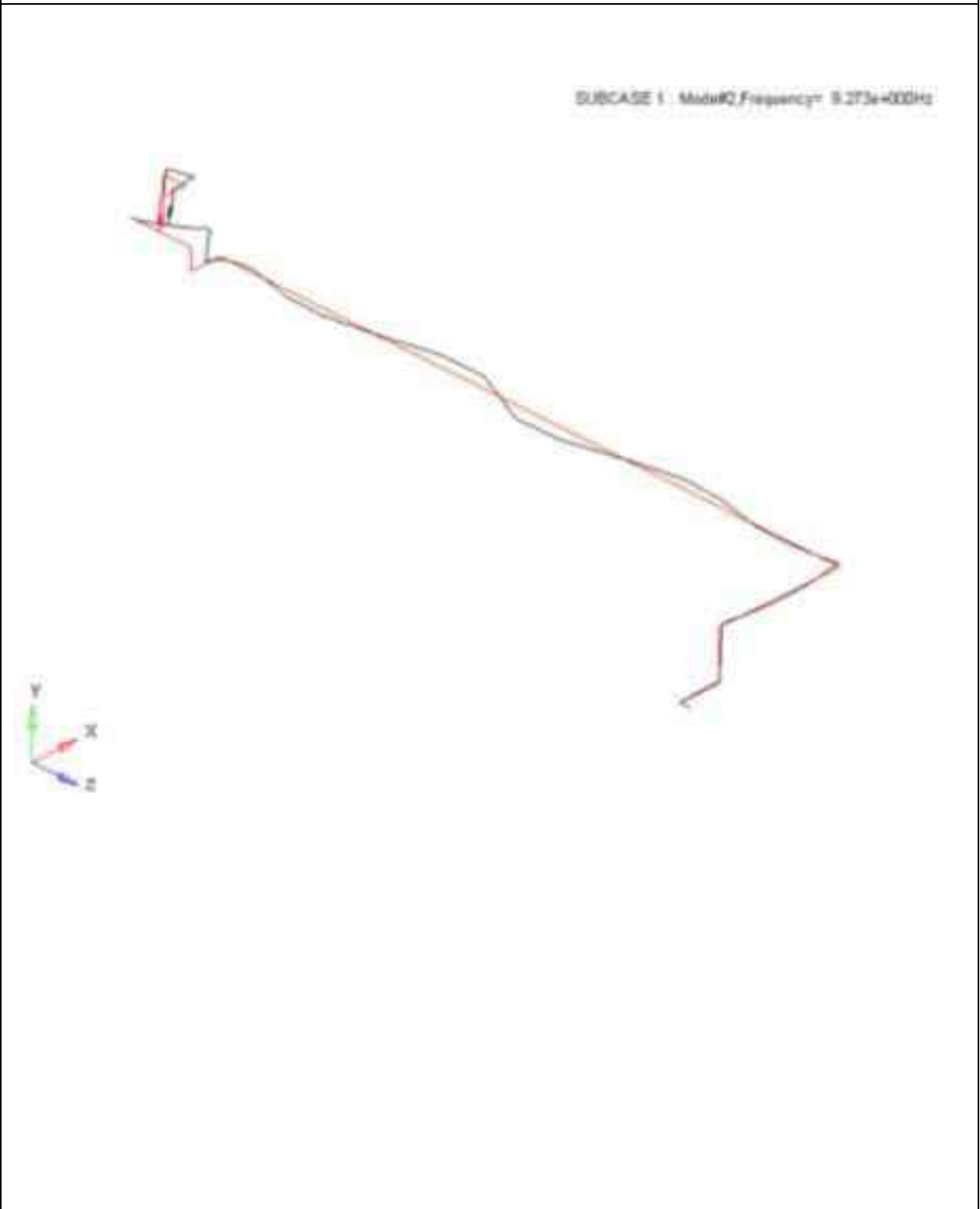


図 4-14-6 配管(KG86-642) 固有モード図 (2/3)

3次モード図 固有周期：0.106（秒）

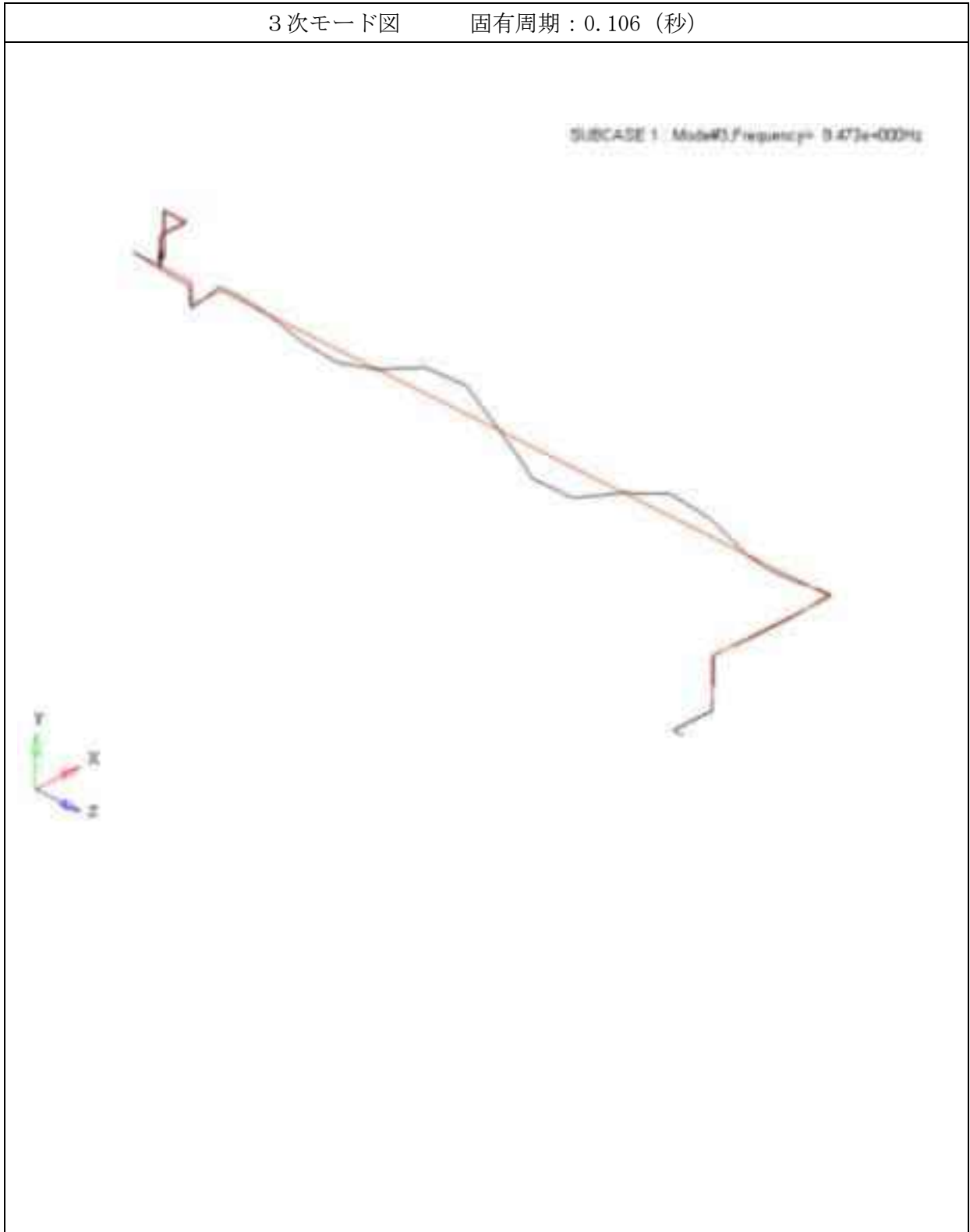


図 4-14-6 配管(KG86-642) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.137（秒）

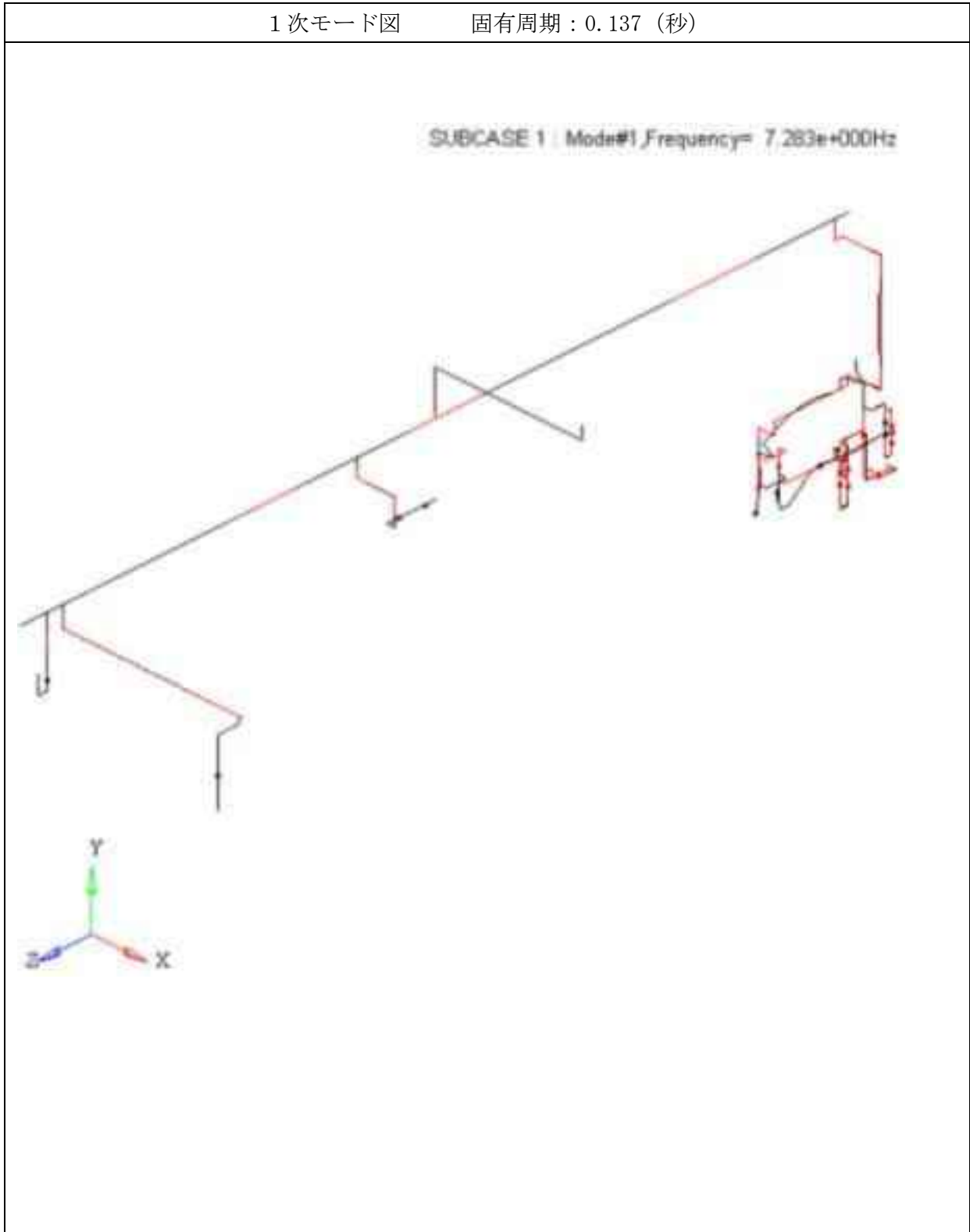


図 4-14-7 配管(A86IA-1) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.085（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.179e+001Hz

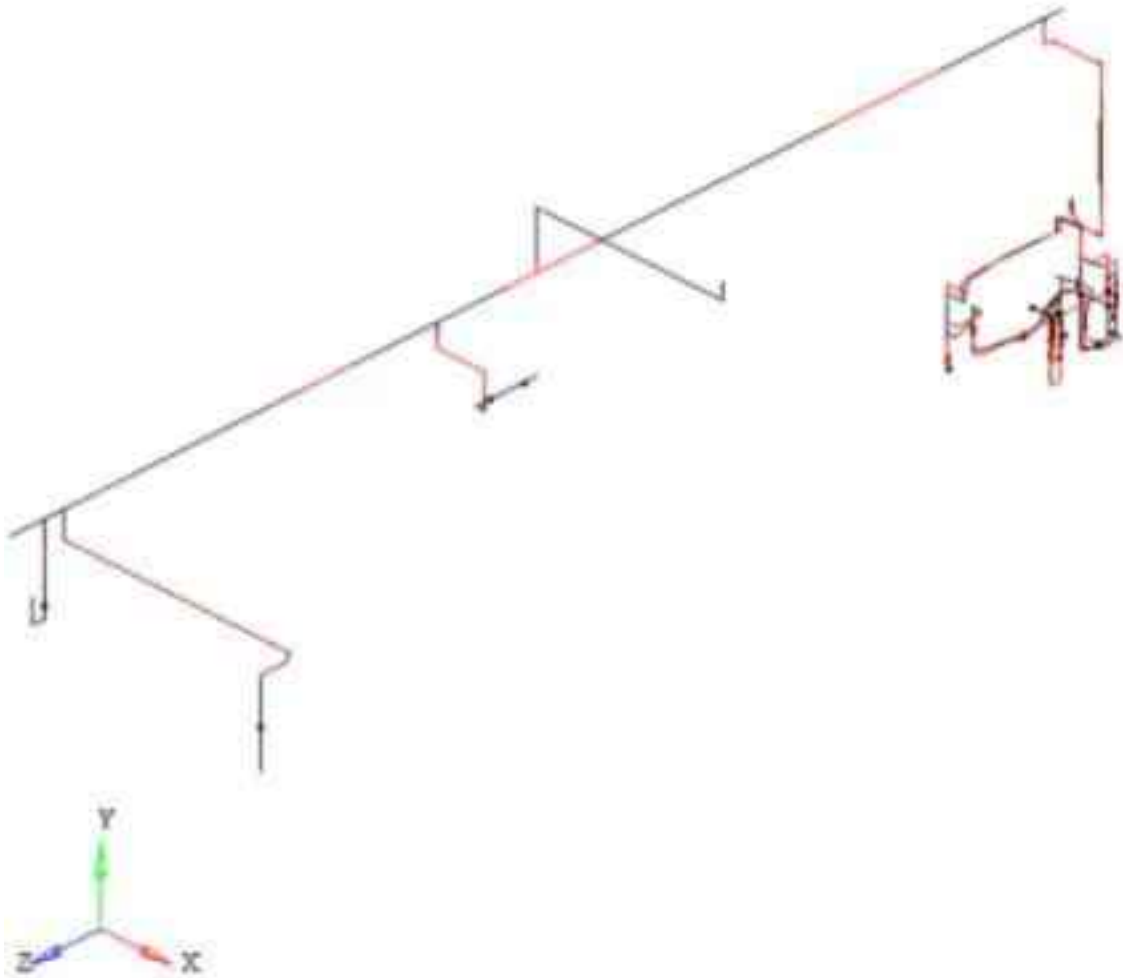


図 4-14-7 配管(A86IA-1) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.074（秒）

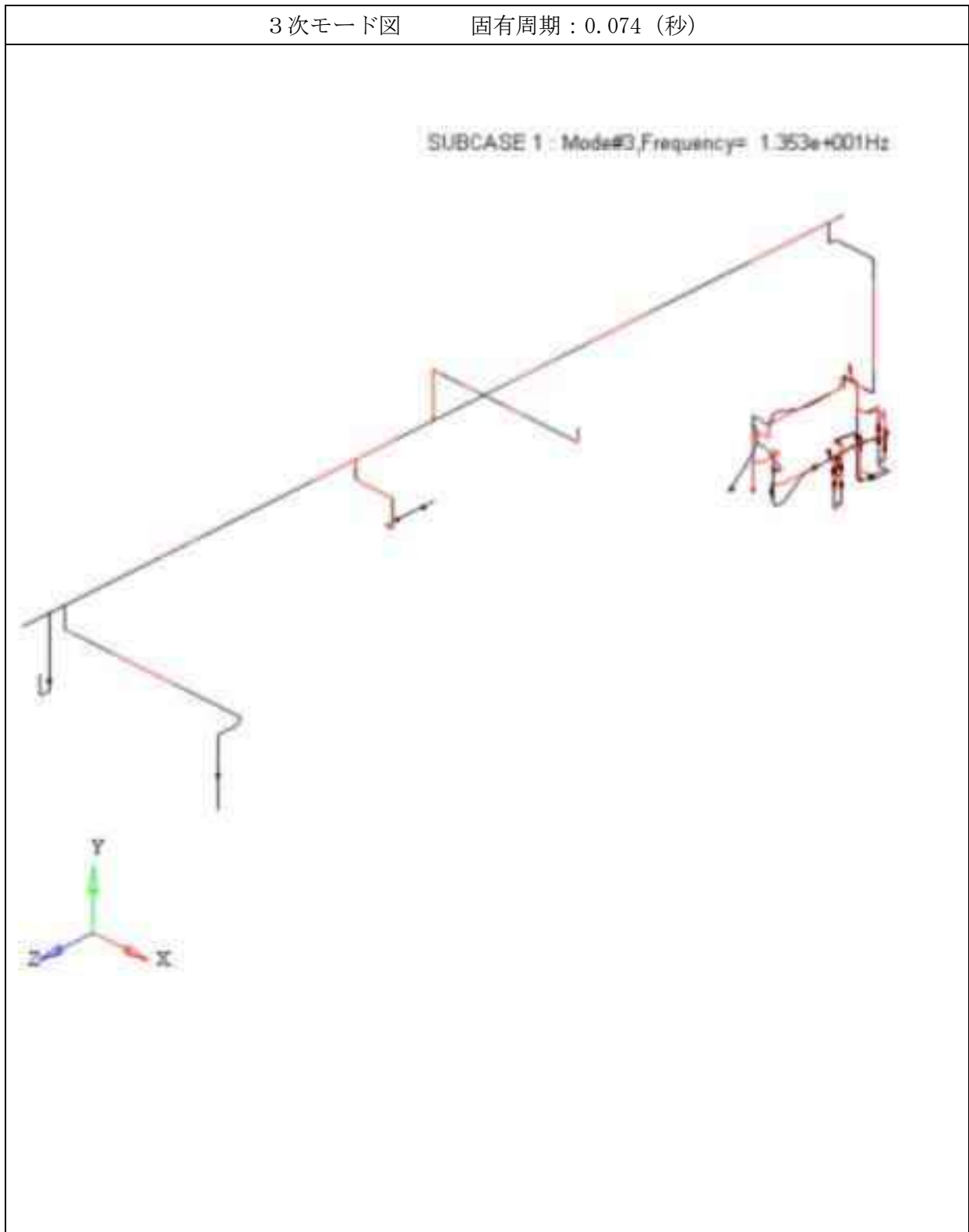


図 4-14-7 配管(A86IA-1) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.101（秒）

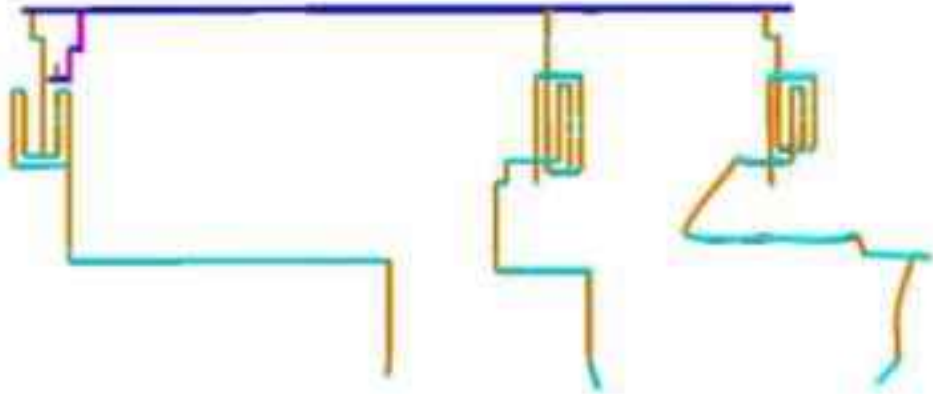


図 4-14-8 配管(A41IA-2) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.079（秒）

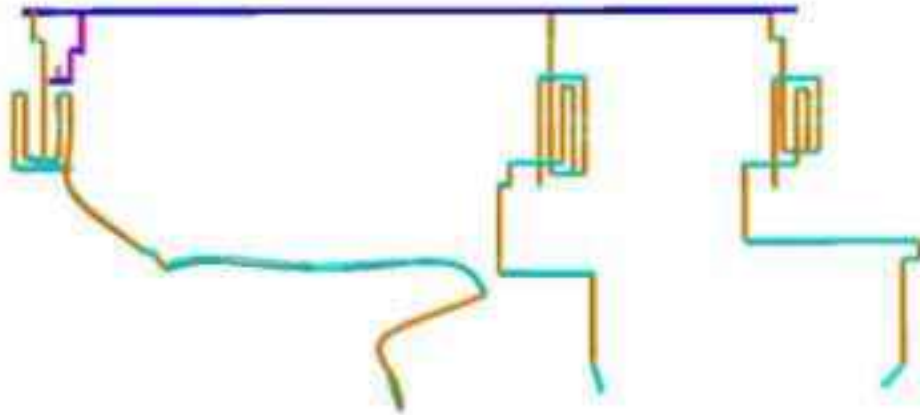


図 4-14-8 配管(A41IA-2) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.077（秒）

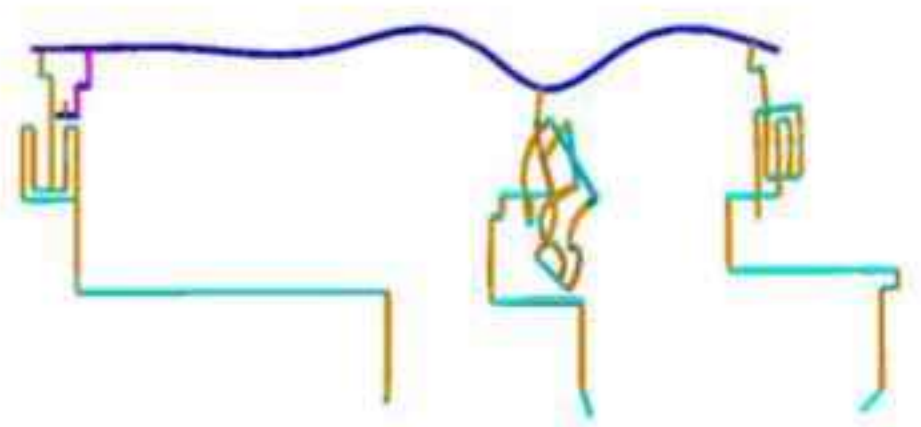


図 4-14-8 配管(A41IA-2) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期 : 0.122 (秒)

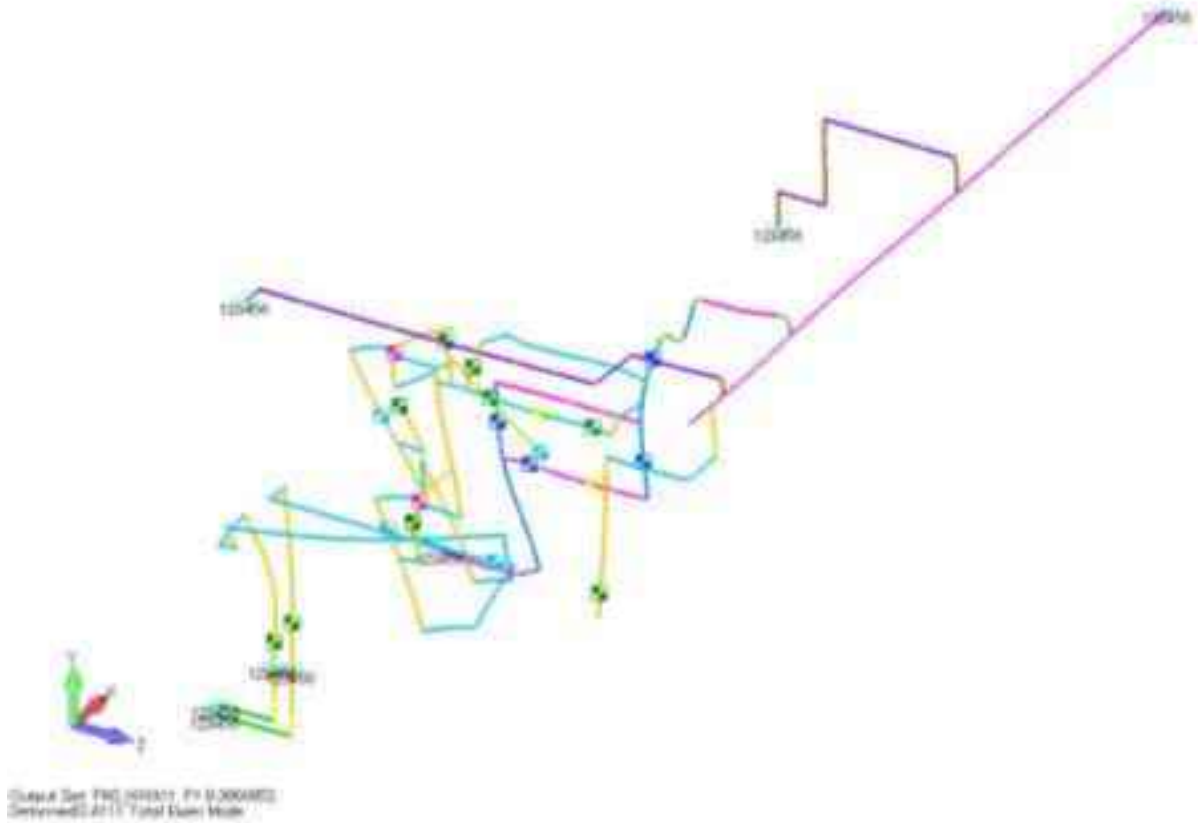


図 4-14-9 配管(KG21-600) 固有モード図 (1/3)

2次モード図 固有周期：0.111 (秒)

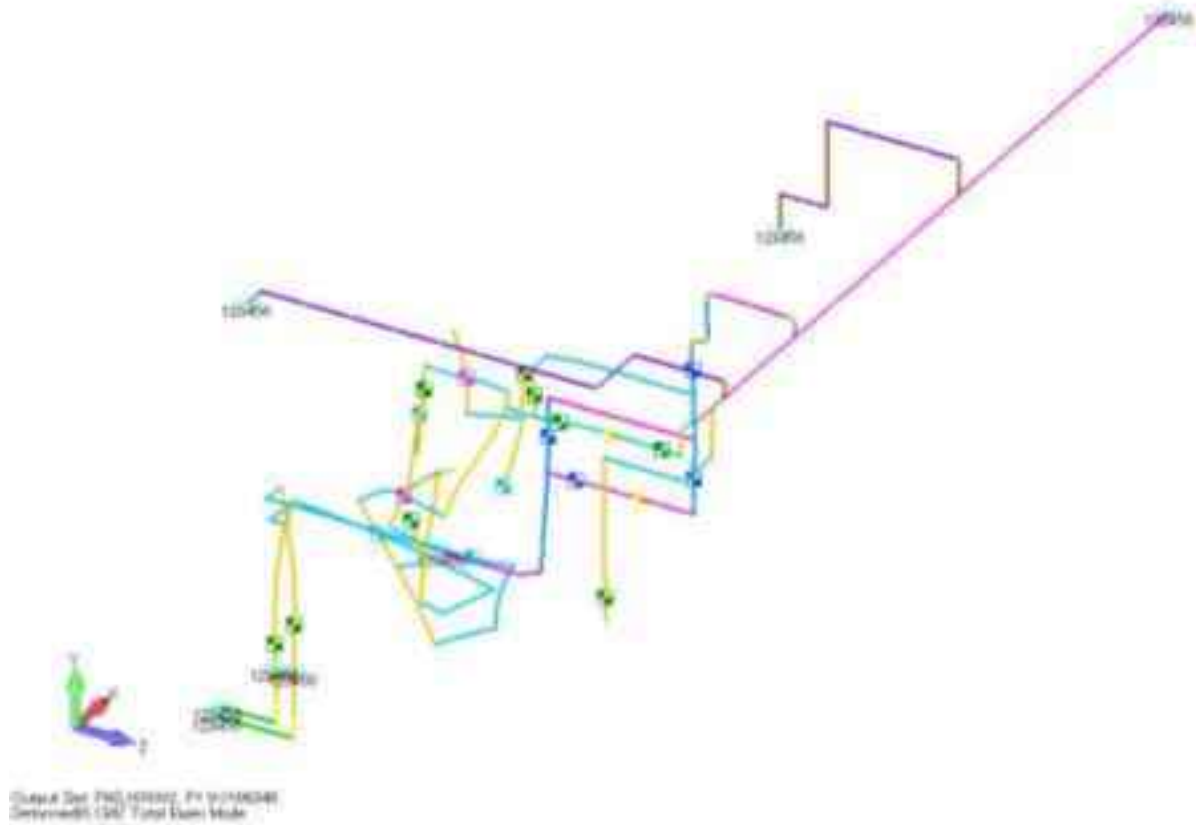


図 4-14-9 配管(KG21-600) 固有モード図 (2/3)

3次モード図 固有周期：0.105（秒）

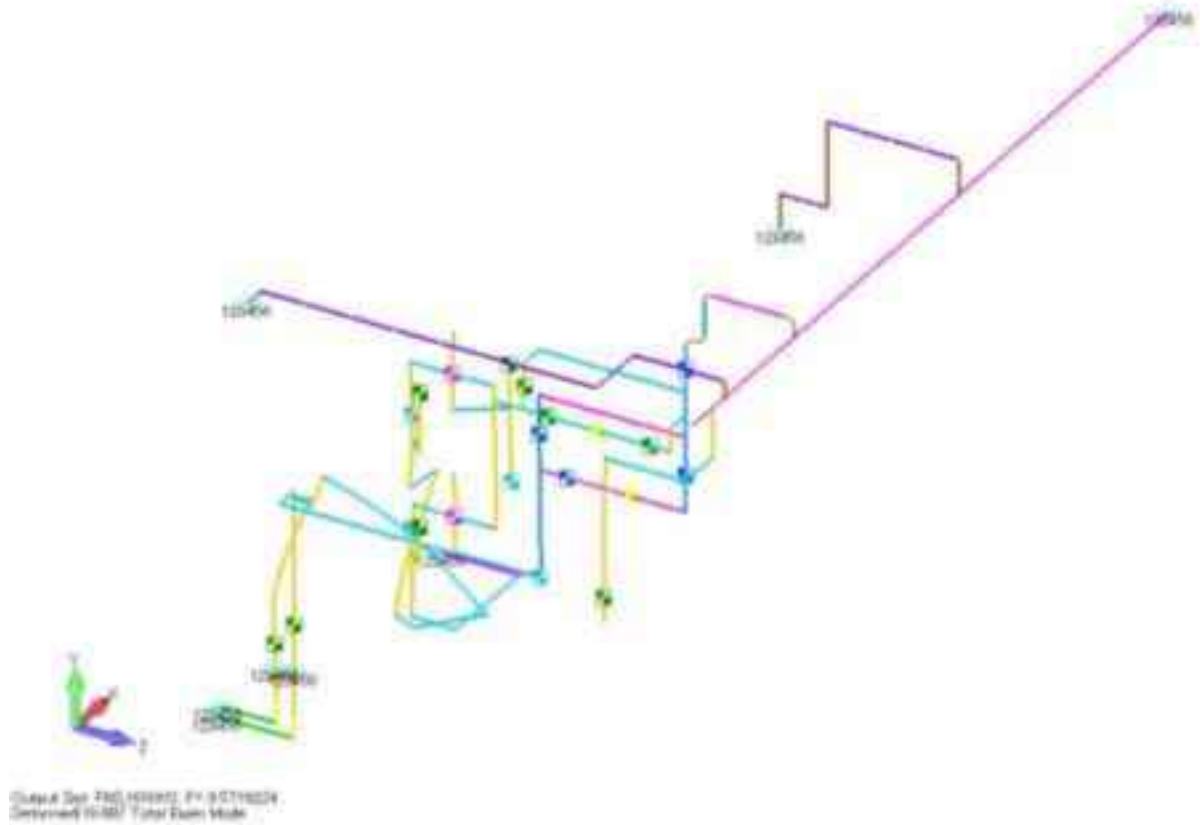


図 4-14-9 配管(KG21-600) 固有モード図 (3/3)

1次モード図

固有周期：0.083 (秒)

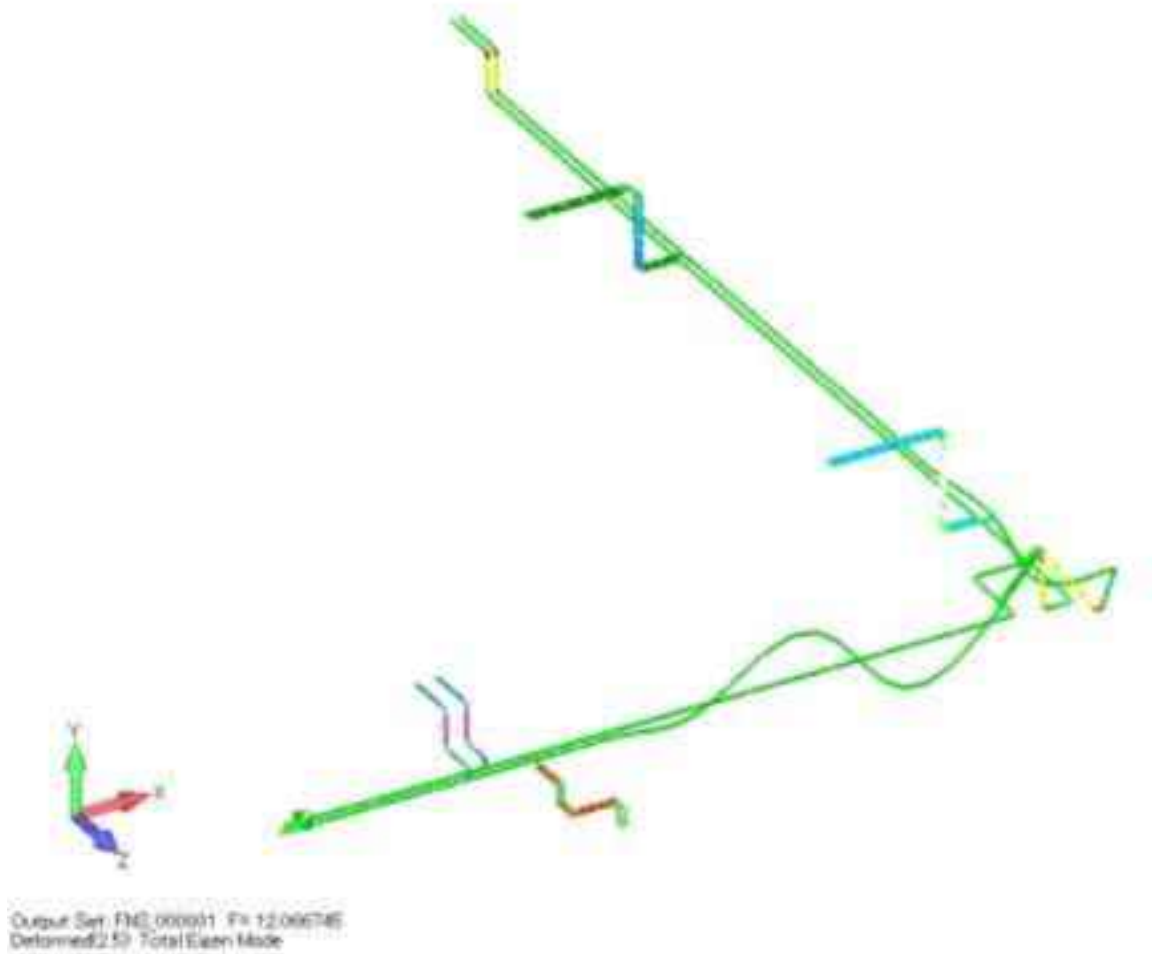


図 4-14-10 配管(KG84-617) 固有モード図 (1/3)

2次モード図 固有周期：0.080（秒）

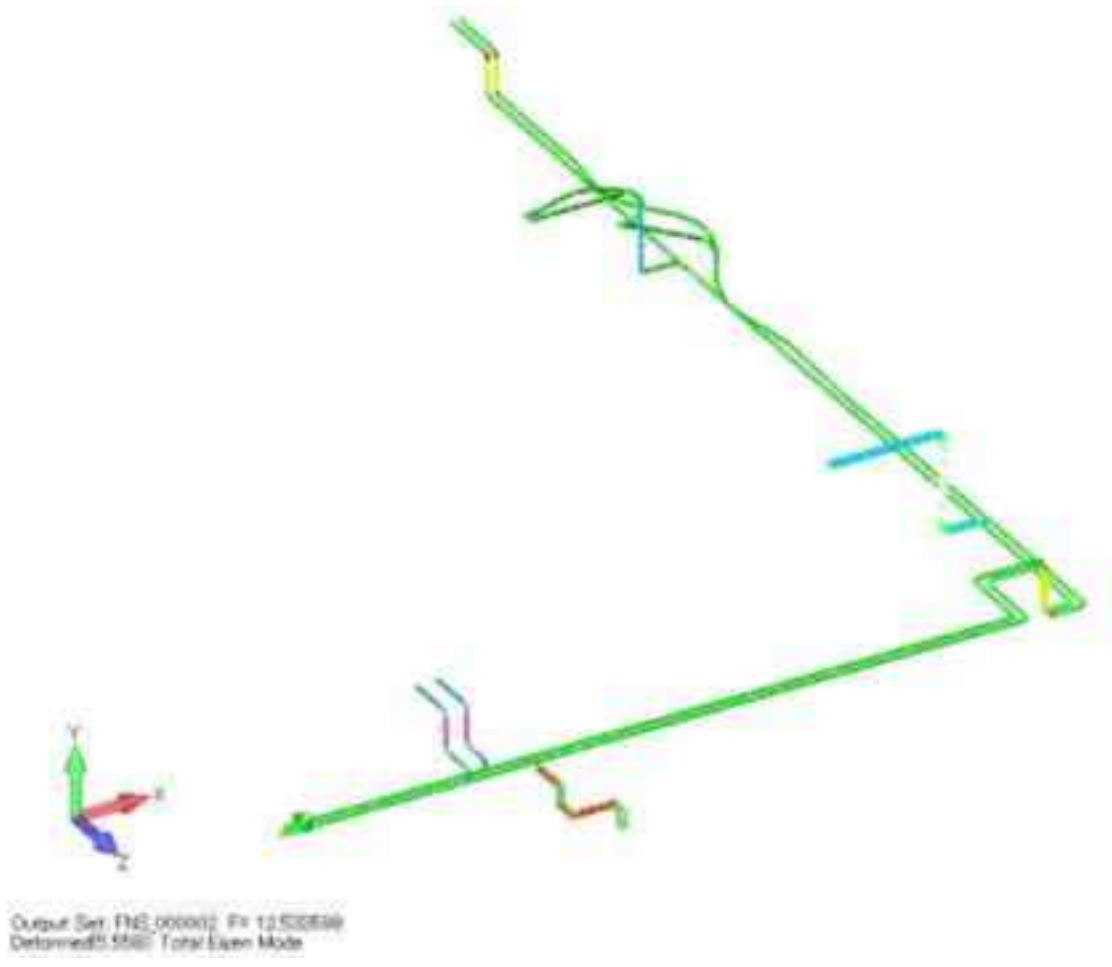


図 4-14-10 配管(KG84-617) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.078（秒）

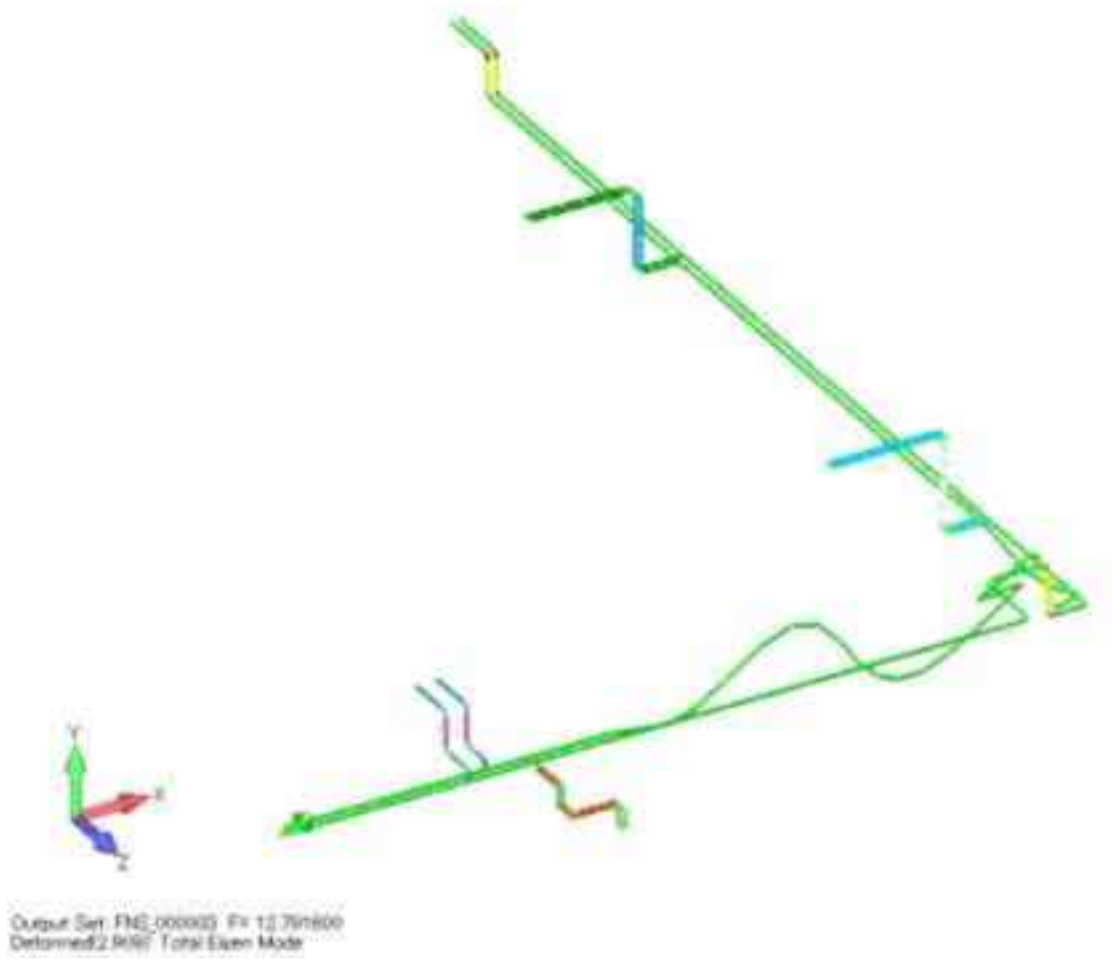


図 4-14-10 配管 (KG84-617) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果のうち、既設工認時の発生応力と許容応力の応力比が大きいもの上位 20 モデルを抜粋して廃止措置計画用設計地震動で評価した結果を表 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配管の各評価部位の発生応力は、応力比が最大である配管(KG83-616)を除き、いずれも許容応力以下であることを確認した。

廃止措置計画用設計地震動に対する応力比が 1.0 を超えた配管(KG83-616)については耐震性が不足していることから、補強工事により、廃止措置計画用設計地震動時の発生応力が許容応力以下となるようにする。配管(KG83-616)の応力比が 1.0 を超える箇所を図 5-1 に示す。

表 5-1 構造強度評価結果(1/2)

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}
配管(KG83-616)	配管	一次	721	326	2.22
配管(KG83-619)	配管	一次	206	326	0.64
配管(KG83-618)	配管	一次	182	326	0.56
配管(KG84-600)	配管	一次	333	468	0.72
配管(KG83-624)	配管	一次	149	326	0.46
配管(KG86-642)	配管	一次	135	440	0.31
配管(A86IA-1)	配管	一次	362	440	0.83
配管(A41IA-2)	配管	一次	168	440	0.39
配管(KG21-600)	配管	一次	195	440	0.45
配管(KG84-617)	配管	一次	102	468	0.22

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

表 5-1 構造強度評価結果 (2/2)

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
配管 (KG41-264)	配管	一次	86	400	0.22
配管 (MODEL-14)	配管	一次	89	405	0.22
配管 (KG86-603)	配管	一次	87	440	0.20
配管 (KG01-600)	配管	一次	122	440	0.28
配管 (A71ChWa-29)	配管	一次	102	468	0.22
配管 (設工認図-4.6.17)	配管	一次	108	468	0.24
配管 (KG86-612)	配管	一次	152	440	0.35
配管 (KG84-613)	配管	一次	112	468	0.24
配管 (KG83-620)	配管	一次	107	326	0.33
配管 (KG86-604)	配管	一次	107	440	0.25

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

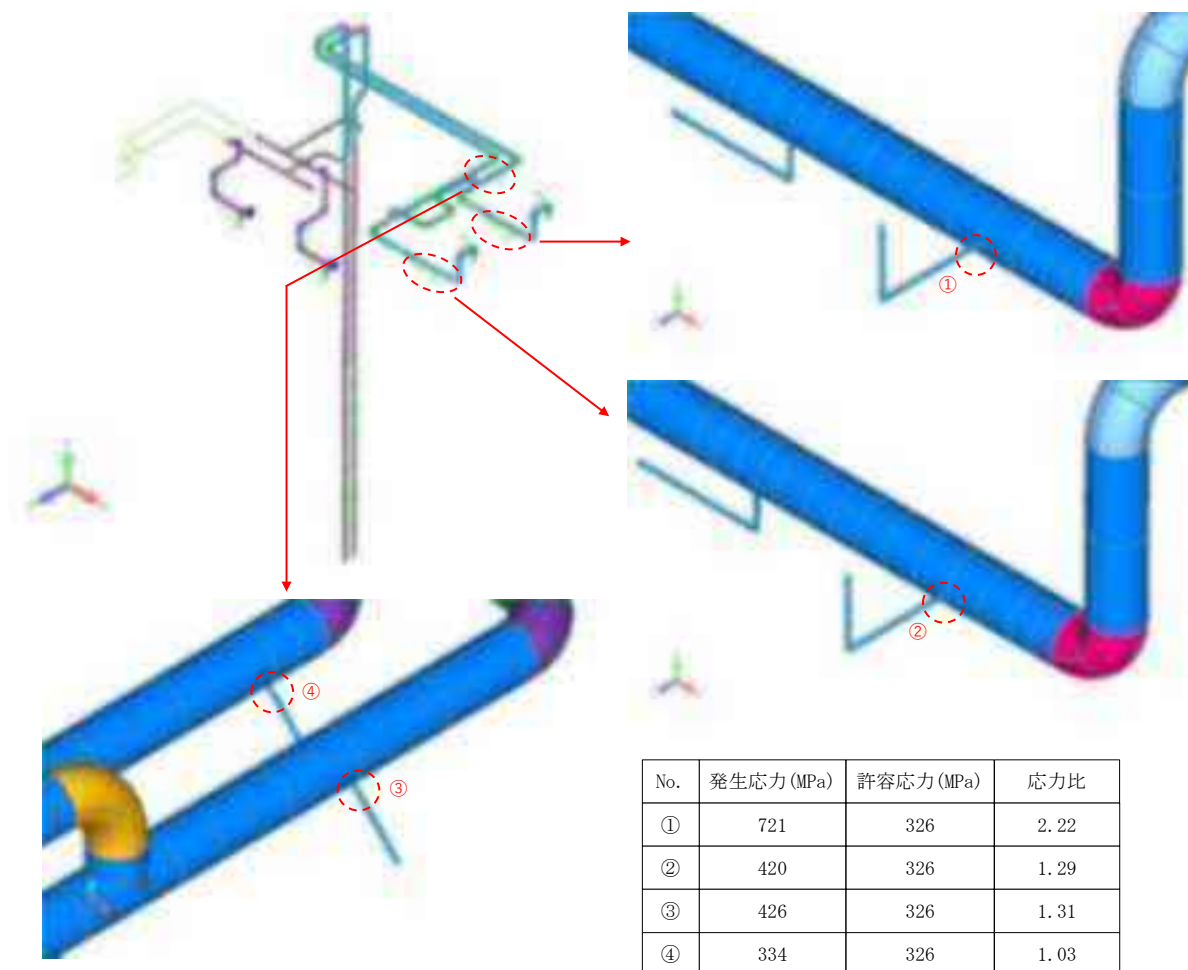


図 5-1 配管 (KG83-616) の応力比が 1.0 を超える箇所

6. その他の考慮事項について

6.1 配管(KG83-616)の補強工事後の評価結果について

応力比が 1.0 を超えた箇所について，補強工事によりサポートを追加する。サポートの追加位置及びサポート追加後の評価結果を図 6-1 に示す。これらの評価に基づき，配管サポートの追加工事を実施し，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管の耐震性を確保することとする。

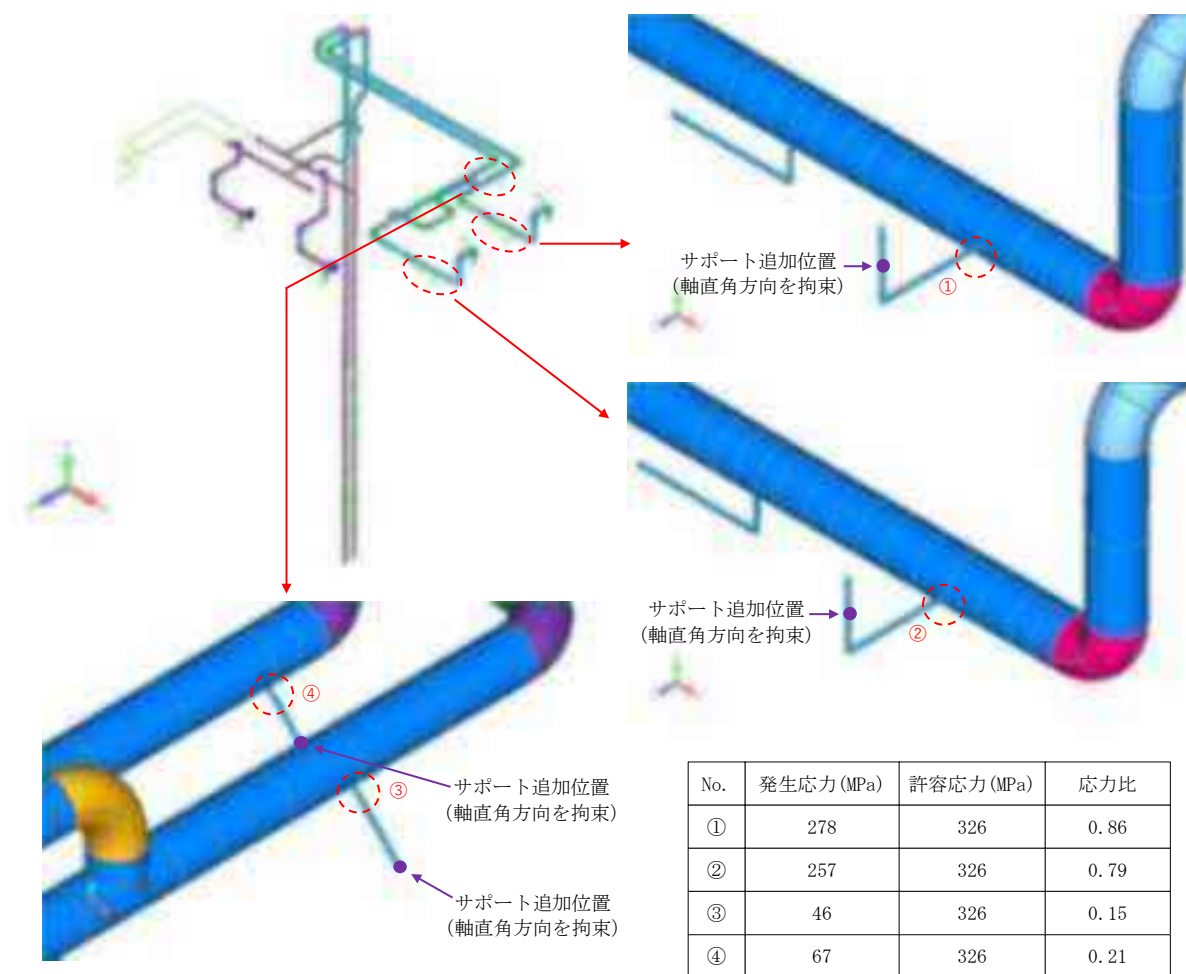


図 6-1 サポートの追加位置及びサポート追加後の評価結果

定ピッチスパン法で設計された配管の
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及び崩壊熱除去機能を構成する配管について、「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

配管の一部は、振動数基準の定ピッチスパン法により設置している。配管の構造強度の評価は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき、当該配管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 補-1984(日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008(日本電気協会)
- (4) 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)
- (5) 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
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_0	管の外径	mm
g	重力加速度	mm/s ²
i_1	設計・建設規格 PPC-3530 及び PPC-3810 に定める応力係数	—
L	直管部の最大支持間隔	mm
M_a	機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント	N・mm
M_b	機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント	N・mm
P	圧力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
S_u	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	管の厚さ	mm
w	管の単位長さ当たりの質量	kg/mm
Z	管の断面係数	mm ³

3. 評価部位

配管の構造強度の評価部位は、本体とする。評価の範囲はセル換気系統及び冷却水系統の配管とする。

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、圧力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

配管の構造強度の許容応力は、クラス 3 管に対する一次応力制限が規定されている「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 補-1984 重要度分類・許容応力編」に準拠し、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に基づき、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、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、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。配管の応力分類と許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 配管の応力分類と許容応力

評価部位	応力分類	許容応力	備考
配管	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)	弾塑性挙動の範囲に入ることは許容するものの、崩壊防止の観点から制限を課した許容応力

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動によるガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。配管の静的解析用震度は、配管据付最上階のもの(RF, 水平方向: 1.28, 鉛直方向: 0.79)を用いた。

表 4-2 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.28	0.79
3F	1.12	0.79
2F	1.03	0.79
1F	0.97	0.78
B1F	0.90	0.78
B2F	0.86	0.77

4.4 計算方法

配管の発生応力の計算方法は、以下に示す「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の配管の計算式を適用した。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。

$$S_{prm} = \frac{PD_0}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

配管については、振動数基準の定ピッチスパン法に基づき、配管が地震時に共振しないよう一次固有振動数が 20 Hz 以上（剛）となる間隔で支持している。

直管部においては、等分布荷重を受ける両端単純支持はりにモデル化した。配管の解析モデルを図 4-1 に示す。

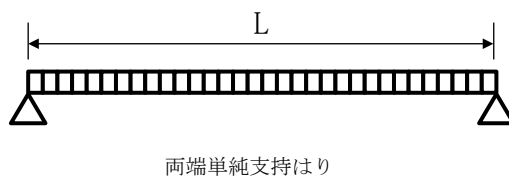


図 4-1 配管の解析モデル

等分布荷重を受ける両端単純支持はりの M_a は次式で表される。

$$M_a = \frac{wgL^2}{8}$$

また、 M_b については、次式で表される。

$$M_b = \sqrt{(M_a C_H)^2 + (M_a C_V)^2}$$

上記のモデル化では両端を単純支持としているが、実際の配管において機器に接続される部分は固定端となる。したがって、実機では両端固定支持又は一端固定他端単純支持に近い状態となる。両端固定支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメント M_a は

$$\text{端部} : M_a = \frac{wgL^2}{12}, \quad \text{支間最大} : M_a = \frac{wgL^2}{24}$$

一端固定他端単純支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメント M_a は

$$\text{端部} : M_a = \frac{wgL^2}{8}, \quad \text{支間最大} : M_a = \frac{9wgL^2}{128}$$

となるので両端を単純支持とするモデルは実機よりも保守的となる（「構造力学公式集」，土木学会，1974）。

直管部以外の曲がり部分，支持間隔の間にバルブ等の集中質量がある部分，分岐等の部分については，それぞれの部位の固有振動数が 20 Hz 以上となるように，直管部の支持間隔にそれぞれの部位の特徴に縮小率を乗じて短くした支持間隔としている。図 4-2 には曲がり部分に対する縮小率を，図 4-3 には集中質量部に対する縮小率を示す。また，分岐部については縮小率 0.85 とする。したがって，直管部で最も長い支持間隔となる配管（最も固有振動数が低くなる配管）について地震時の発生応力を計算することで，他の配管の発生応力は包絡される。

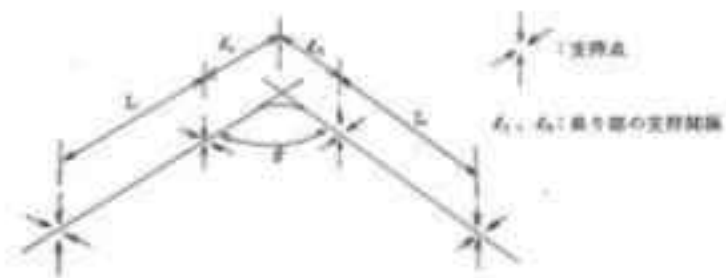
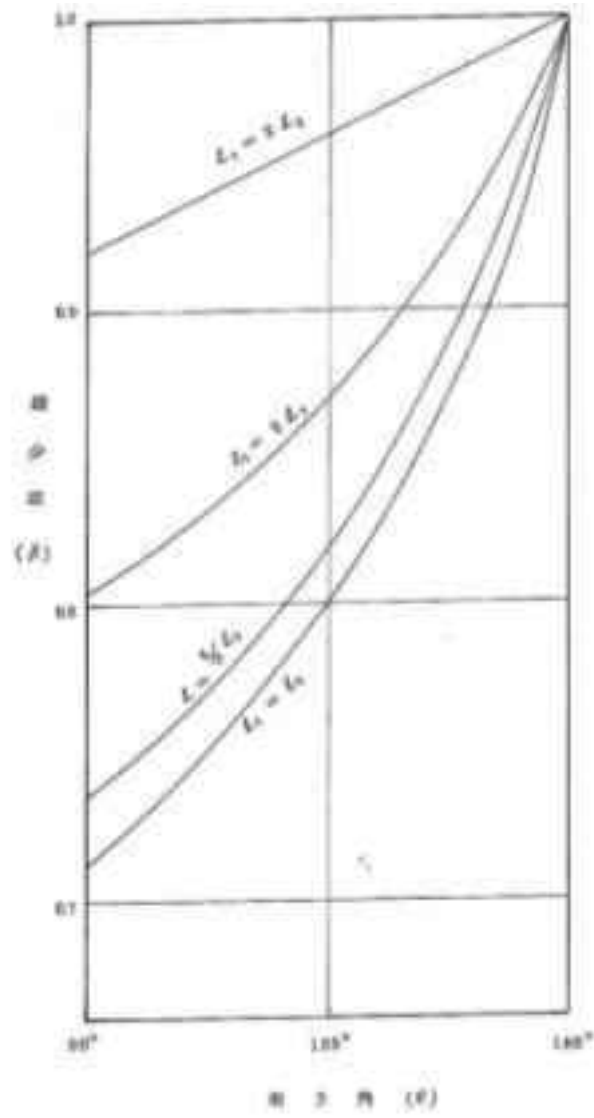
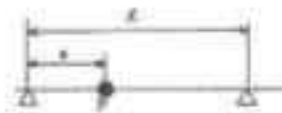
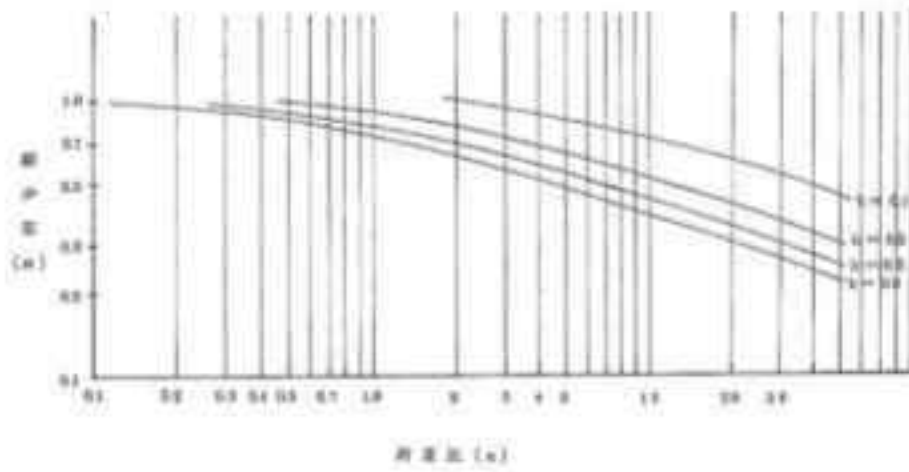


図 4-2 曲がり部を 20 Hz 以上とするための縮小率



P : 集中質量部の質量

w : 梁の単位長さあたりの重量

x : 支持点から集中質量部までの長さ

k : 質量比 = $\frac{P}{wL}$

k : $\frac{1}{4}$

図 4-3 集中質量部を 20 Hz 以上とするための縮小率

4.5.2 諸元

配管の仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 配管の仕様(1/3)

評価対象設備	安全上の機能	機器区分	流体名	流体の密度 (g/cm ³)	材質	保温有無	温度 (°C)	圧力 (MPa)	呼び径 (A)	配管 Sch. 又は肉厚 (mm)	最大支持間隔 ^{※1} (mm)
セル換気システムの配管	閉じ込め機能	クラス 3	空気	—	STK400	無	60	—	318.5	6 (mm)	6610
									355.6	6.4 (mm)	6990
					SPHC	無	60	—	800	2.3 (mm)	10570
									817	2.3 (mm)	10680
									900	2.3 (mm)	11210
									919	2.3 (mm)	11330
					SEHC	無	60	—	900	3.2 (mm)	11210
									1000	3.2 (mm)	11820
									1400	3.2 (mm)	13990
									2000	3.2 (mm)	16730
					SUS304	無	60	—	2000	3 (mm)	16510
									2000	4 (mm)	16510
									2700	4 (mm)	19190

※1 直管部の最大支持間隔

表 4-3 配管の仕様(2/3)

評価対象設備	安全上の機能	機器区分	流体名	流体の密度 (g/cm ³)	材質	保温有無	温度 (°C)	圧力 (MPa)	呼び径 (A)	配管 Sch. 又は肉厚 (mm)	最大支持間隔 ^{※1} (mm)
冷却水系統の配管	崩壊熱除去機能	クラス3	冷却水	1.0	STPG370	有	100	1.37	25	Sch. 20	1450
									40	Sch. 20	1730
									50	Sch. 20	2030
									65	Sch. 20	2290
									80	Sch. 20	2550
									100	Sch. 20	2770
									125	Sch. 20	3200
									150	Sch. 20	3450
冷却水系統の配管	崩壊熱除去機能	クラス3	冷却水	1.0	STPG370	有	100	1.37	200	Sch. 20	4090
									6	Sch. 40	610
									8	Sch. 40	810
									10	Sch. 40	950
									15	Sch. 40	1150
									20	Sch. 40	1340
									25	Sch. 40	1490
									40	Sch. 40	1820
									50	Sch. 40	2080
									65	Sch. 40	2480
									80	Sch. 40	2710
									100	Sch. 40	3010
									125	Sch. 40	3370
150	Sch. 40	3690									
冷却水系統の配管	崩壊熱除去機能	クラス3	冷却水	1.0	STPG370	有	100	1.37	200	Sch. 40	4260
									250	Sch. 40	4760
									300	Sch. 40	5150
									6	Sch. 80	680
									8	Sch. 80	860
10	Sch. 80	1020									
15	Sch. 80	1210									
20	Sch. 80	1410									

※1 直管部の最大支持間隔

表 4-3 配管の仕様(3/3)

評価対象設備	安全上の機能	機器区分	流体名	流体の密度 (g/cm ³)	材質	保温有無	温度 (°C)	圧力 (MPa)	呼び径 (A)	配管 Sch. 又は肉厚 (mm)	最大支持間隔 ^{※1} (mm)
冷却水系統の配管	崩壊熱除去機能	クラス3	冷却水	1.0	SUS304TP, SUS304LTP	有	100	1.37	25	Sch. 20S	1450
									40	Sch. 20S	1730
									50	Sch. 20S	2030
									65	Sch. 20S	2290
									80	Sch. 20S	2550
									100	Sch. 20S	2760
									125	Sch. 20S	3200
									150	Sch. 20S	3450
冷却水系統の配管	崩壊熱除去機能	クラス3	冷却水	1.0	SUS304TP, SUS304LTP	有	100	1.37	6	Sch. 40	610
									8	Sch. 40	810
									10	Sch. 40	950
									15	Sch. 40	1150
									20	Sch. 40	1340
									25	Sch. 40	1490
									40	Sch. 40	1820
									50	Sch. 40	2070
									65	Sch. 40	2480
									80	Sch. 40	2700
									100	Sch. 40	3000
									125	Sch. 40	3370
									150	Sch. 40	3680
									200	Sch. 40	4260
250	Sch. 40	4760									
冷却水系統の配管	崩壊熱除去機能	クラス3	冷却水	1.0	SUS304TP, SUS304LTP	有	100	1.37	6	Sch. 80	680
									8	Sch. 80	860
									10	Sch. 80	1020
									15	Sch. 80	1210
									20	Sch. 80	1410

※1 直管部の最大支持間隔

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

これよりガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の配管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 (1/3)

評価対象設備	材質	保温有無	呼び径 (A)	配管 Sch. 又は肉厚 (mm)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ※1
セル換気系統の配管	STK400	無	318.5	6 (mm)	23	350	0.07
			355.6	6.4 (mm)	23	350	0.07
セル換気系統の配管	SPHC	無	800	2.3 (mm)	22	350	0.07
			817	2.3 (mm)	22	350	0.07
			900	2.3 (mm)	22	350	0.07
			919	2.3 (mm)	22	350	0.07
セル換気系統の配管	SEHC	無	900	3.2 (mm)	22	350	0.07
			1000	3.2 (mm)	22	350	0.07
			1400	3.2 (mm)	22	350	0.07
			2000	3.2 (mm)	22	350	0.07
セル換気系統の配管	SUS304	無	2000	3 (mm)	22	440	0.05
			2000	4 (mm)	22	440	0.05
			2700	4 (mm)	22	440	0.05

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

表 5-1 構造強度評価結果 (2/3)

評価対象設備	材質	保温 有無	呼び径 (A)	配管 Sch. 又 は肉厚(mm)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ※1
冷却水系統の配管	STPG370	有	25	Sch. 20	35	310	0.12
			40	Sch. 20	35	310	0.12
			50	Sch. 20	40	310	0.13
			65	Sch. 20	33	310	0.11
			80	Sch. 20	36	310	0.12
			100	Sch. 20	35	310	0.12
			125	Sch. 20	40	310	0.13
			150	Sch. 20	40	310	0.13
			200	Sch. 20	44	310	0.15
冷却水系統の配管	STPG370	有	6	Sch. 40	74	310	0.24
			8	Sch. 40	56	310	0.19
			10	Sch. 40	50	310	0.17
			15	Sch. 40	43	310	0.14
			20	Sch. 40	42	310	0.14
			25	Sch. 40	35	310	0.12
			40	Sch. 40	34	310	0.11
			50	Sch. 40	35	310	0.12
			65	Sch. 40	34	310	0.11
			80	Sch. 40	35	310	0.12
			100	Sch. 40	34	310	0.11
			125	Sch. 40	36	310	0.12
			150	Sch. 40	37	310	0.12
			200	Sch. 40	39	310	0.13
			250	Sch. 40	40	310	0.13
300	Sch. 40	41	310	0.14			
冷却水系統の配管	STPG370	有	6	Sch. 80	59	310	0.20
			8	Sch. 80	48	310	0.16
			10	Sch. 80	44	310	0.15
			15	Sch. 80	39	310	0.13
			20	Sch. 80	38	310	0.13

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

表 5-1 構造強度評価結果 (3/3)

評価対象設備	材質	保温 有無	呼び径 (A)	配管 Sch. 又 は肉厚(mm)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ※1
冷却水系統の配管	SUS304TP, SUS304LTP	有	25	Sch. 20	35	367	0.10
			40	Sch. 20	35	367	0.10
			50	Sch. 20	40	367	0.11
			65	Sch. 20	33	367	0.09
			80	Sch. 20	36	367	0.10
			100	Sch. 20	35	367	0.10
			125	Sch. 20	40	367	0.11
			150	Sch. 20	40	367	0.11
冷却水系統の配管	SUS304TP, SUS304LTP	有	200	Sch. 20	44	367	0.12
			6	Sch. 40	74	367	0.21
			8	Sch. 40	56	367	0.16
			10	Sch. 40	51	367	0.14
			15	Sch. 40	44	367	0.12
			20	Sch. 40	42	367	0.12
			25	Sch. 40	35	367	0.10
			40	Sch. 40	34	367	0.10
			50	Sch. 40	35	367	0.10
			65	Sch. 40	34	367	0.10
			80	Sch. 40	35	367	0.10
			100	Sch. 40	34	367	0.10
			125	Sch. 40	36	367	0.10
			150	Sch. 40	37	367	0.11
			200	Sch. 40	39	367	0.11
冷却水系統の配管	SUS304TP, SUS304LTP	有	250	Sch. 40	41	367	0.12
			300	Sch. 40	41	367	0.12
			6	Sch. 80	59	367	0.17
			8	Sch. 80	48	367	0.14
			10	Sch. 80	44	367	0.12
冷却水系統の配管	SUS304TP, SUS304LTP	有	15	Sch. 80	40	367	0.11
			20	Sch. 80	38	367	0.11

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

配管トレンチ(T21)内配管(内管)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配管トレンチ(T21)内配管(内管)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

配管トレンチ(T21)内配管(内管)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
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

配管トレンチ(T21)内配管(内管)の構造強度の評価部位は、本体の一次応力とする。

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、圧力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_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s での温度は設計温度、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、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
配管	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)

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
配管トレンチ(T21)内配管(内管)	0.5	0.5

4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」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 (S_s-D, S_s-1, S_s-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。

配管トレンチ(T21)内配管(内管)は、高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の間の配管であるため、配管トレンチ(T21)内配管(内管)の解析用の床応答スペクトルは、それぞれの機器据付階のものを用いた。高放射性廃液貯蔵場(HAW)は1階のもの、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟は地下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、図 4-2、図 4-3 及び図 4-4 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	建家	水平方向	鉛直方向
配管トレンチ (T21) 内配管 (内管)	高放射性廃液貯蔵場(HAW)	解析用の床応答スペクトル (1階, 減衰定数 0.5%)	解析用の床応答スペクトル (1階, 減衰定数 0.5%)
	ガラス固化技術 開発施設(TVF) ガラス固化技術 開発棟	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数 0.5%)	解析用の床応答スペクトル (地下1階, 減衰定数 0.5%)

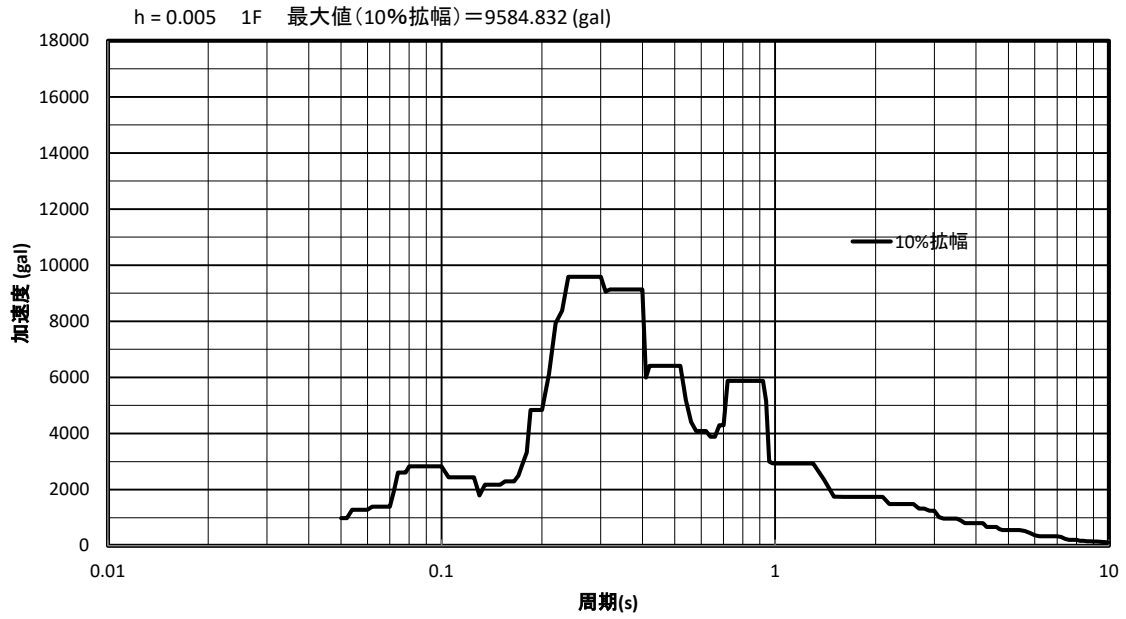


図 4-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の解析用の床応答スペクトル
(水平方向, 1階, 減衰定数 0.5%)

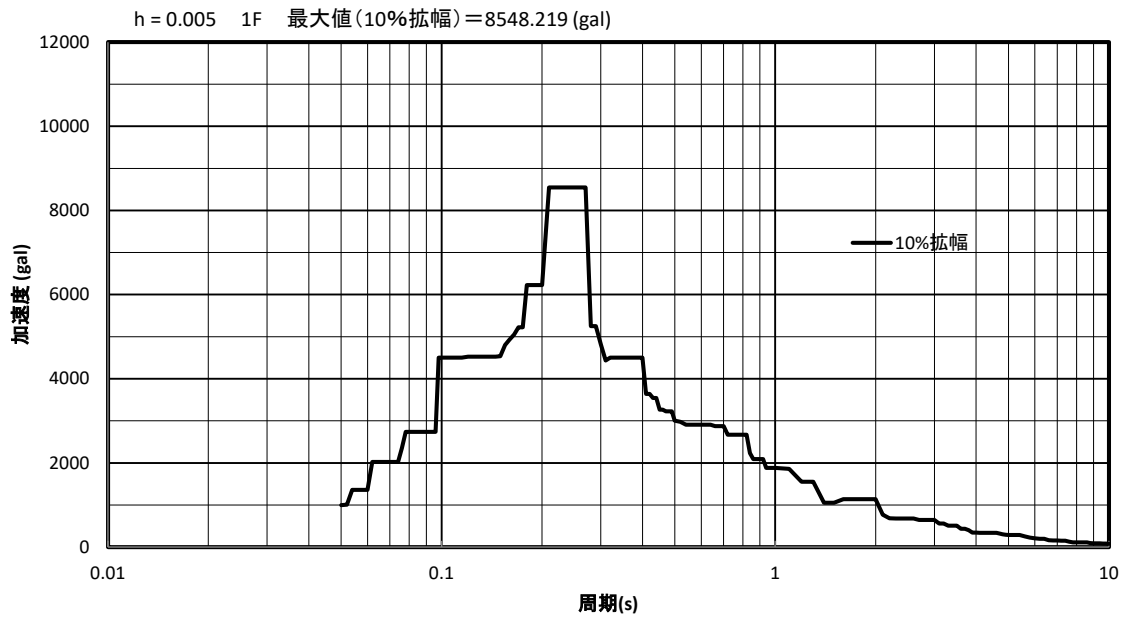


図 4-2 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の解析用の床応答スペクトル
(鉛直方向, 1階, 減衰定数 0.5%)

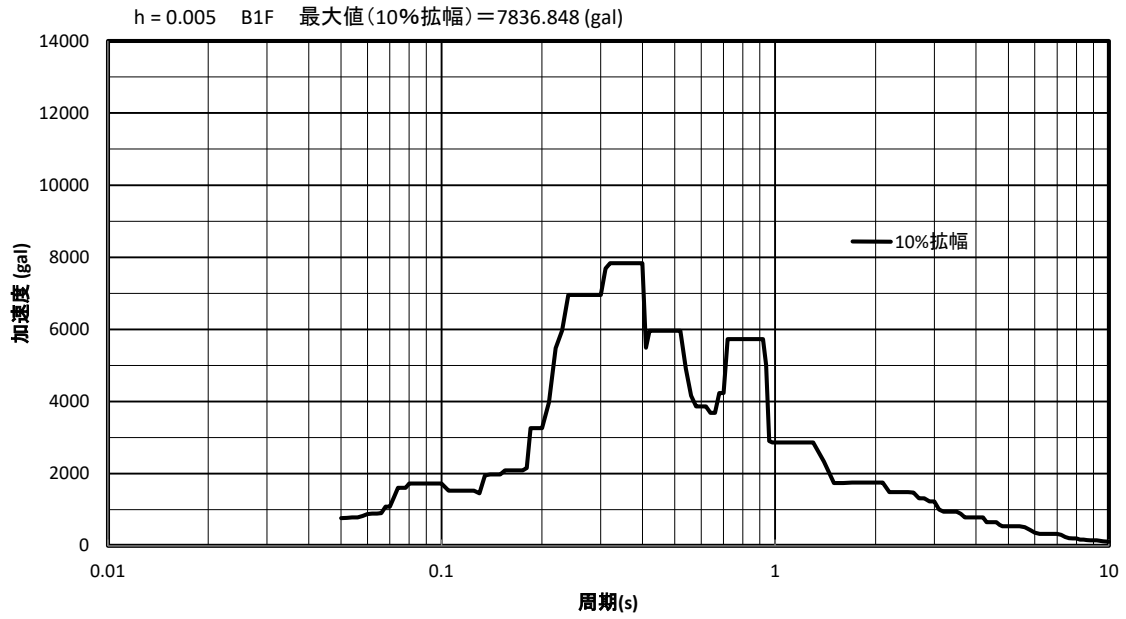


図 4-3 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の解析用の床応答スペクトル
(水平方向, 地下1階, 減衰定数0.5%)

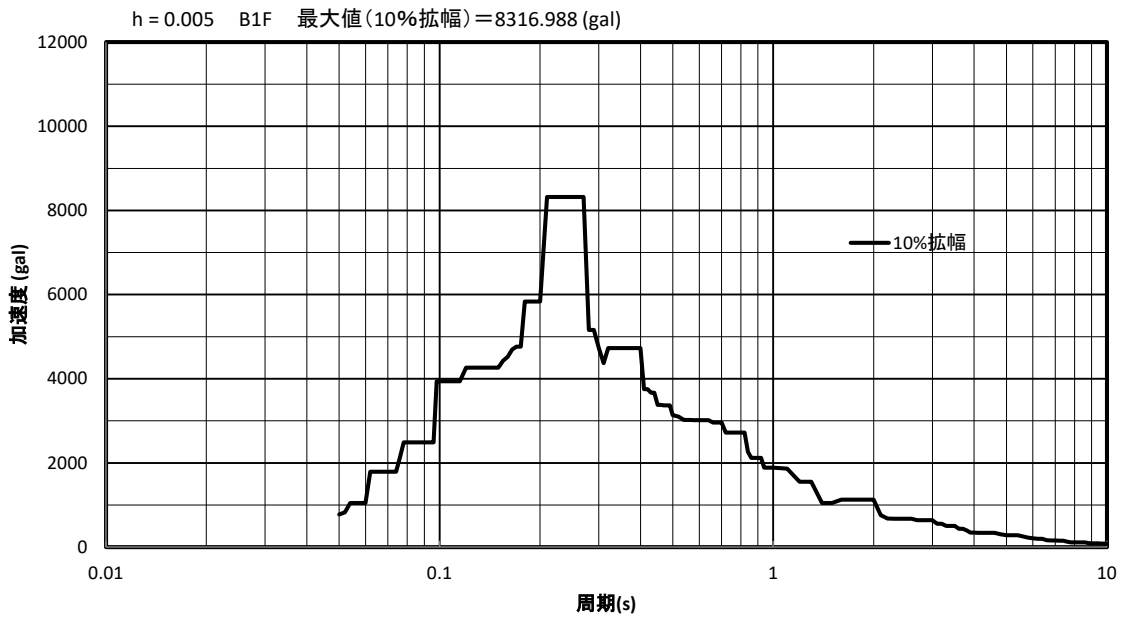


図 4-4 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の解析用の床応答スペクトル
(鉛直方向, 地下1階, 減衰定数0.5%)

4.5 計算方法

配管トレンチ(T21)内配管(内管)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 FINAS^{※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 日本原子力研究開発機構, 伊藤忠テクノソリューション株式会社, “FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

配管トレンチ(T21)内配管(内管)の解析モデルを図 4-5 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。

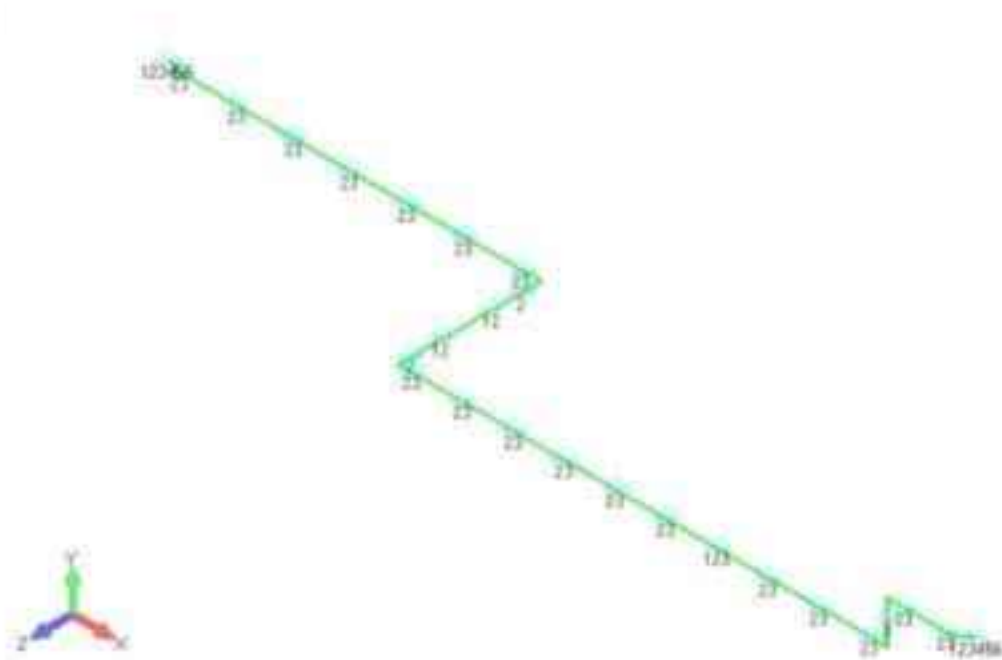


図 4-5 配管トレンチ(T21)内配管(内管)の解析モデル

4.6.2 諸元

配管トレンチ(T21)内配管(内管)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
配管トレンチ(T21)内 配管(内管)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	配管(内管)長さ	67575 (mm)
	流体名	高放射性廃液
	流体の密度	1.28 (g/cm ³)
	材質	R-SUS304ULC
	保温有無	無
	温度(設計温度)	95 (°C)
	圧力(設計圧力)	0.392 (MPa)
	呼び径	50 (A)
	Sch.	Sch. 40
	総質量	560 (kg)

4.7 固有周期

配管トレンチ(T21)内配管(内管)の固有周期及び固有モードを図 4-6 に示す。

1次モード図 固有周期：0.170 (秒)

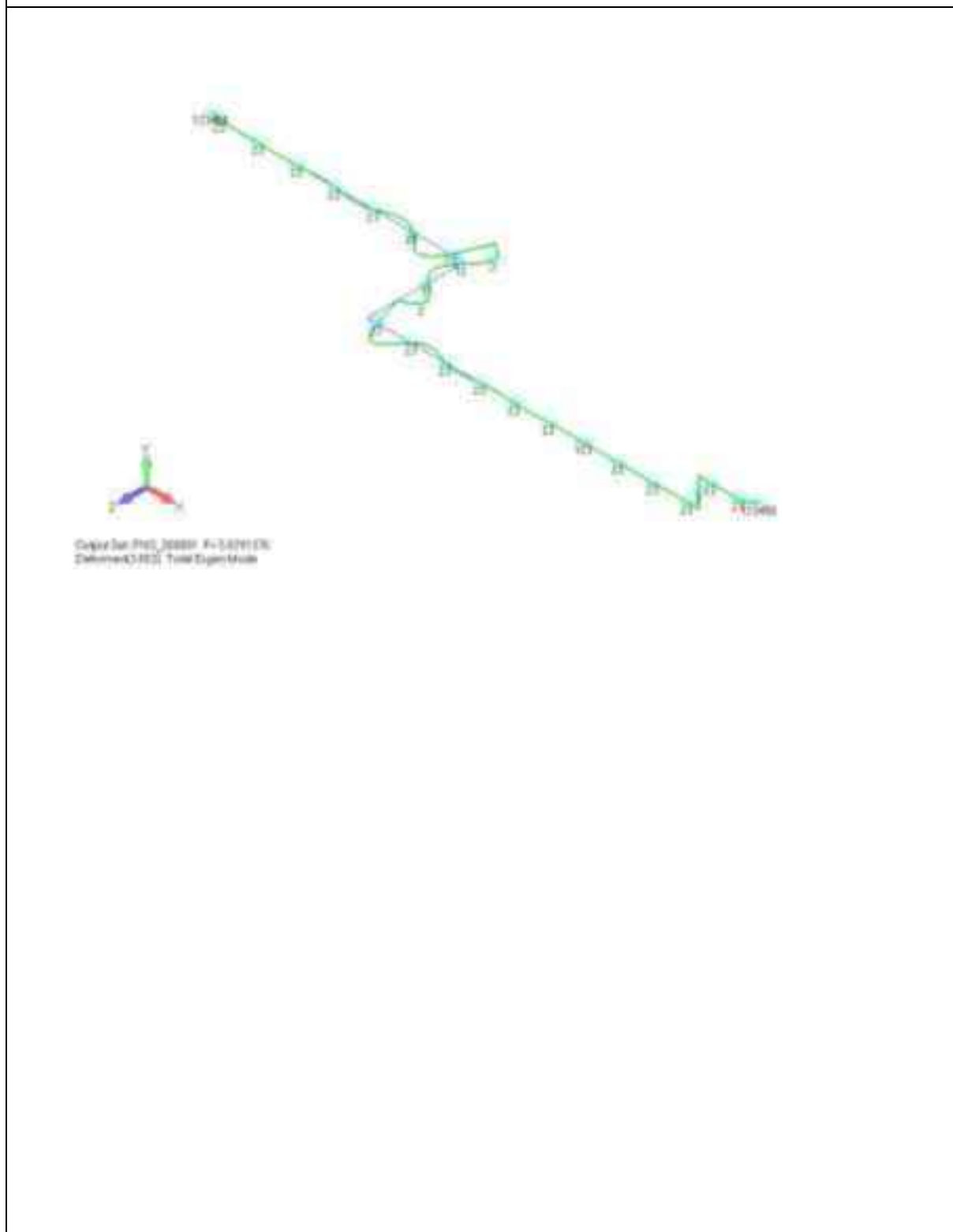


図 4-6 配管トレンチ(T21)内配管(内管) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.120 (秒)

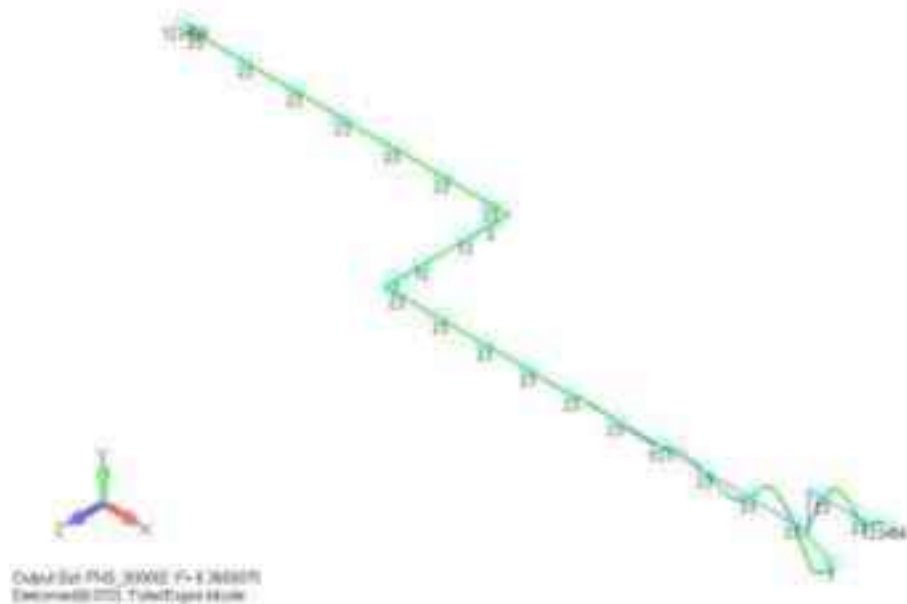


図 4-6 配管トレンチ(T21)内配管(内管) 固有モード図 (2/3)

3次モード図 固有周期：0.120 (秒)

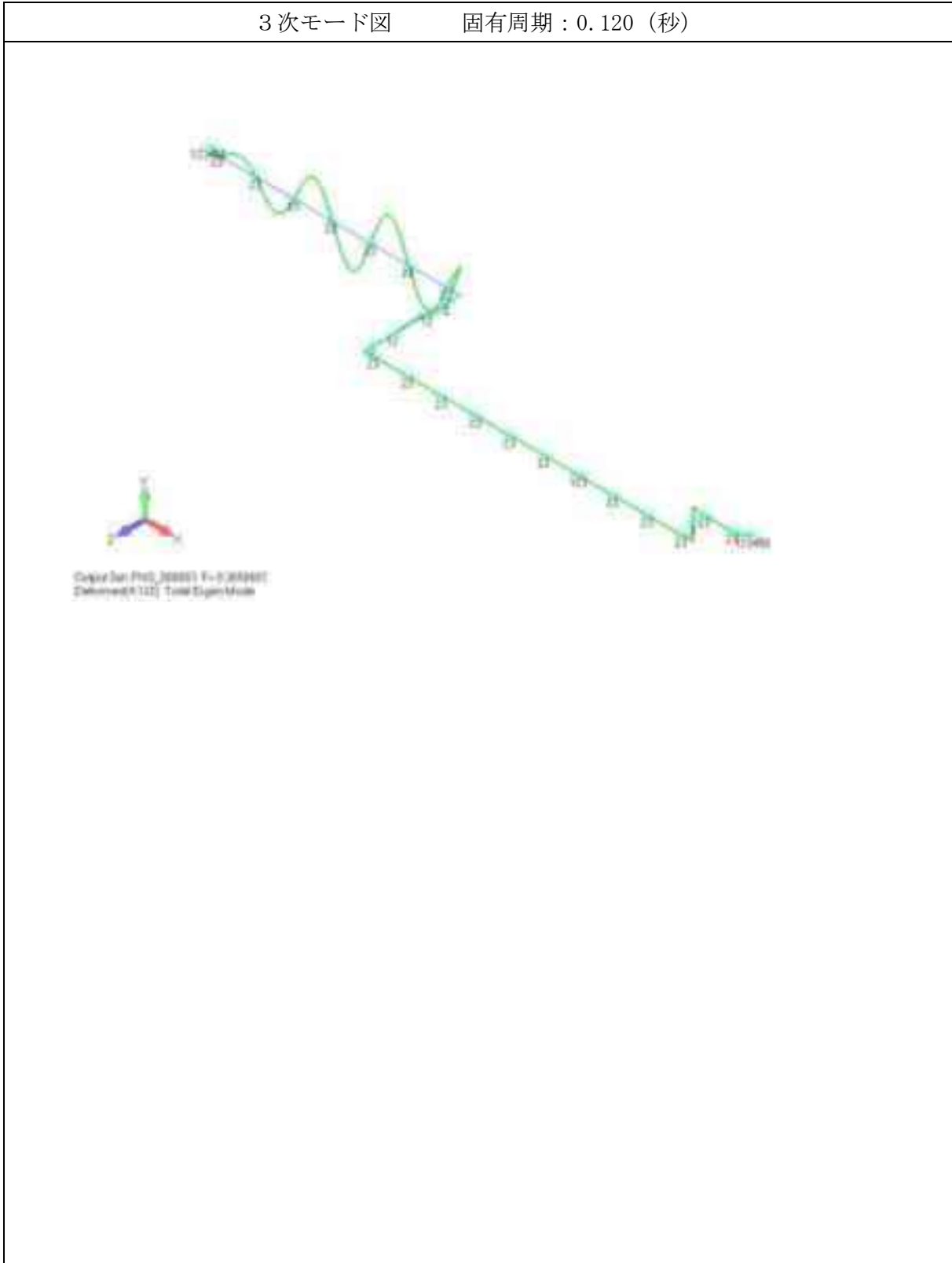


図 4-6 配管トレンチ(T21)内配管(内管) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

配管トレンチ(T21)内配管(内管)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	設計用地震力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
配管トレンチ (T21)内配管 (内管)	配管	一次	高放射性廃液貯蔵場(HAW)の床応答スペクトル	143	371	0.39
			ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の床応答スペクトル	122	371	0.33

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

配管トレンチ(T21)内配管(外管)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配管トレンチ(T21)内配管(外管)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

配管トレンチ(T21)内配管(外管)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
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

配管トレンチ(T21)内配管(外管)の構造強度の評価部位は、本体の一次応力とする。

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、圧力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_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s での温度は設計温度、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、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
配管	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の各階での静的解析用震度を表 4-3 に示す。配管トレンチ(T21)内配管(外管)は、高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の間の配管であるため、配管トレンチ(T21)内配管(外管)の静的解析用震度は、それぞれの機器据付階のものを用いた。高放射性廃液貯蔵場(HAW)は 1F のもの (水平方向 : 1.10, 鉛直方向 : 0.78), ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟は B1F のもの (水平方向 : 0.90, 鉛直方向 : 0.78) を用いた。

表 4-2 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

表 4-3 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.28	0.79
3F	1.12	0.79
2F	1.03	0.79
1F	0.97	0.78
B1F	0.90	0.78
B2F	0.86	0.77

4.4 計算方法

配管トレンチ(T21)内配管(外管)の発生応力の計算方法は FEM 解析（静的解析）を用いた。解析コードは FINAS^{※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 日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”。

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

配管トレンチ(T21)内配管(外管)の解析モデルを図 4-1 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。

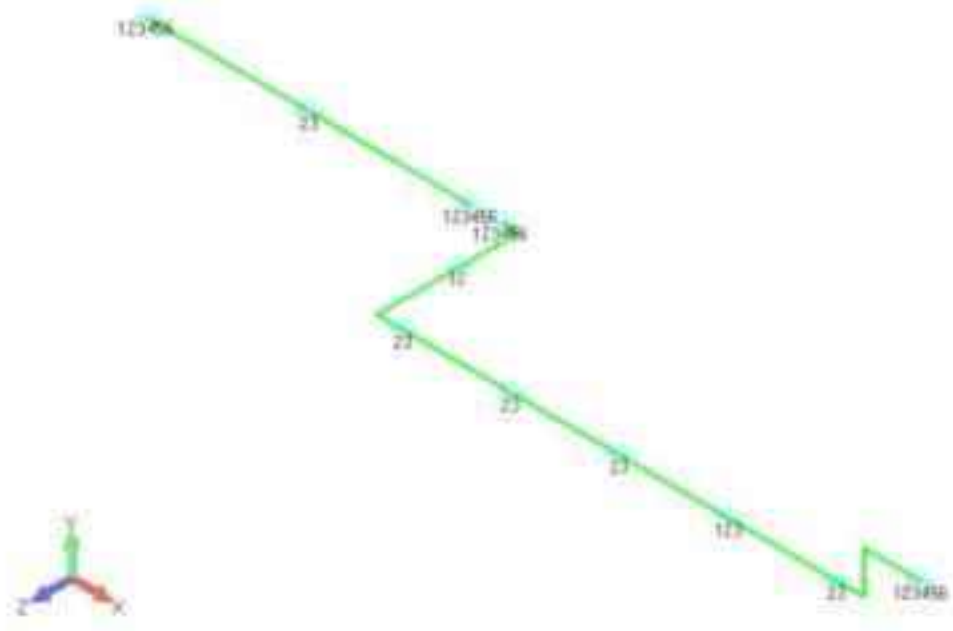


図 4-1 配管トレンチ (T21) 内配管 (外管) の解析モデル

4.5.2 諸元

配管トレンチ(T21)内配管(外管)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
配管トレンチ(T21)内 配管(外管)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	配管(外管)長さ	64000 (mm)
	内管の質量	560 (kg)
	内管の本数	6
	材質	SUS304L
	保温有無	無
	温度(設計温度)	45 (°C)
	圧力(設計圧力)	3.43 (MPa)
	呼び径	550 (A)
	Sch.	Sch. 20S
	総質量(内管の質量を含む。)	11650 (kg)

4.6 固有周期

配管トレンチ(T21)内配管(外管)の固有周期及び固有モードを図 4-2 に示す。

1次モード図 固有周期：0.049（秒）

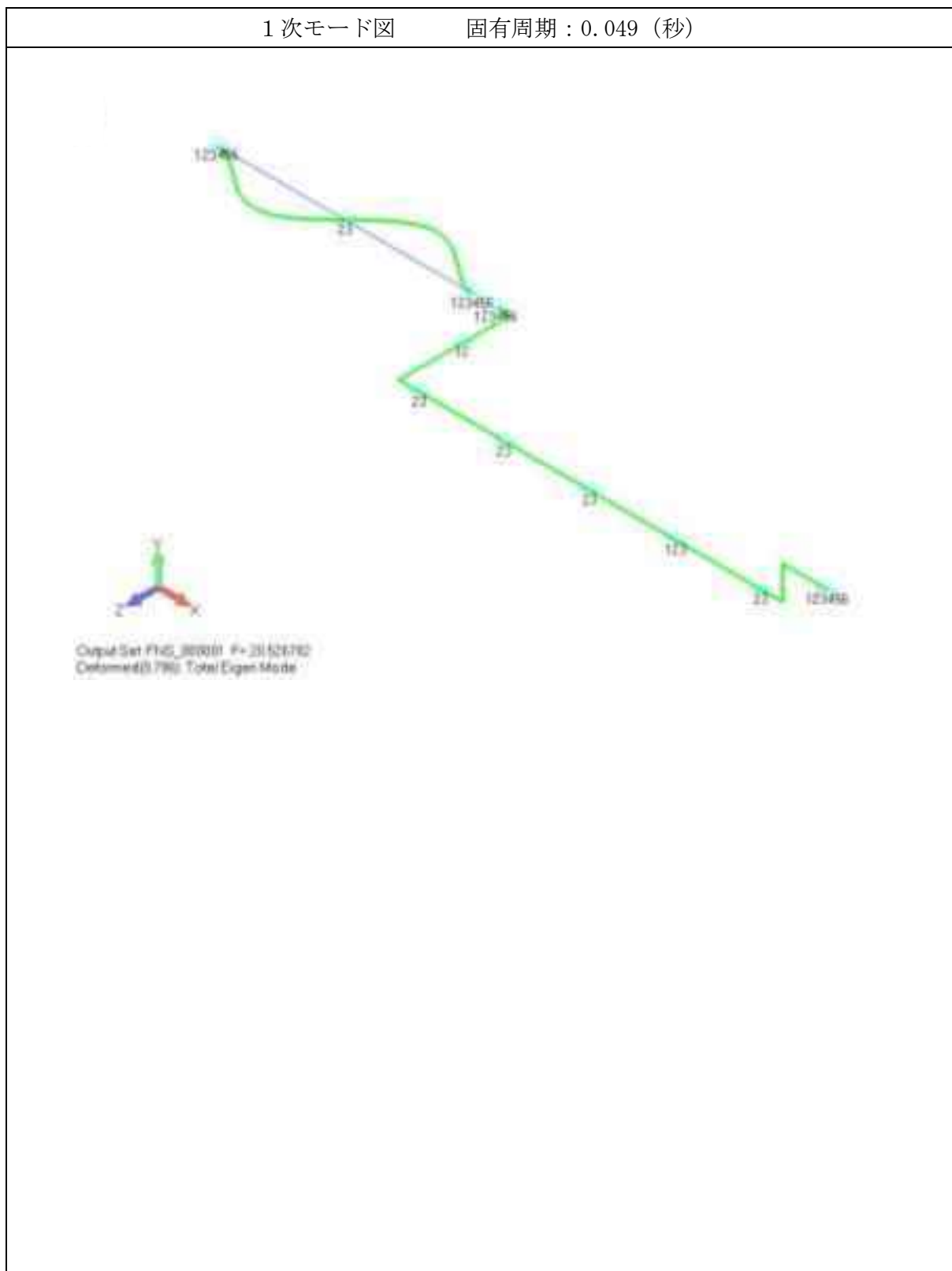


図 4-2 配管トレンチ (T21) 内配管 (外管) 固有モード図

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

配管トレンチ(T21)内配管(外管)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	設計用地震力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
配管トレンチ (T21)内配管 (外管)	配管	一次	高放射性廃液貯蔵場 (HAW)の静的解析用震度	26	425	0.07
			ガラス固化技術開発施設 (TVF)ガラス固化技術開発棟の静的解析用震度	25	425	0.06

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

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
δ	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
τ	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。

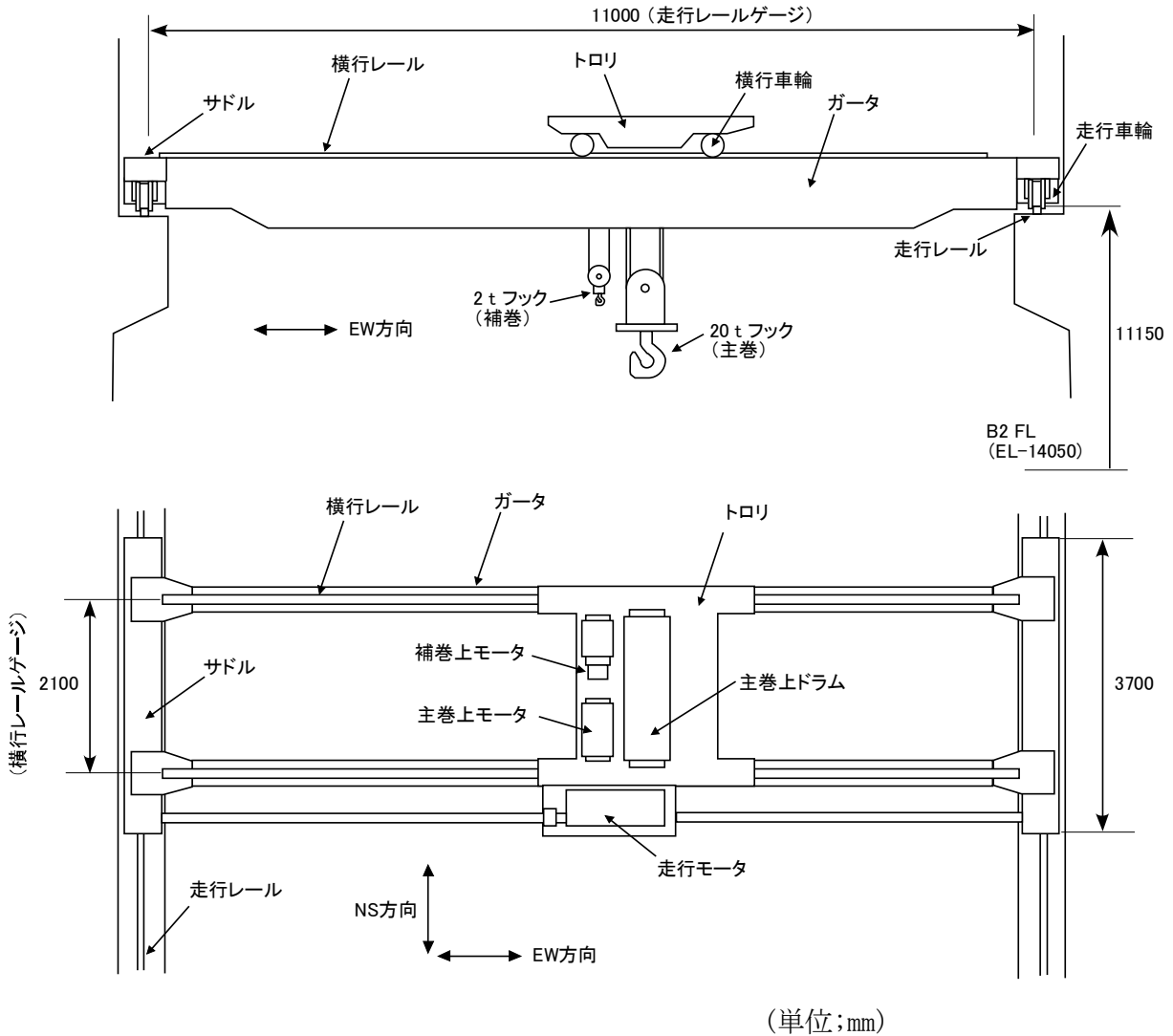


図 3-1 固化セル クレーン(G51M100)の概要図

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)

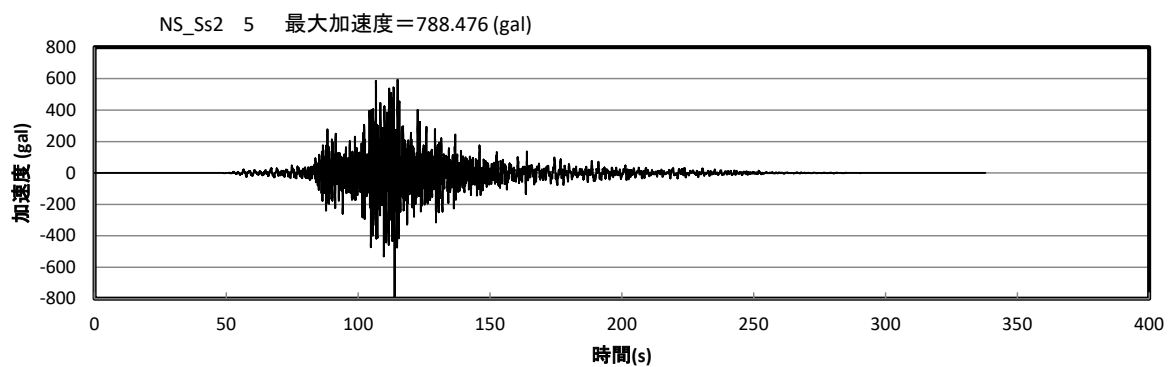
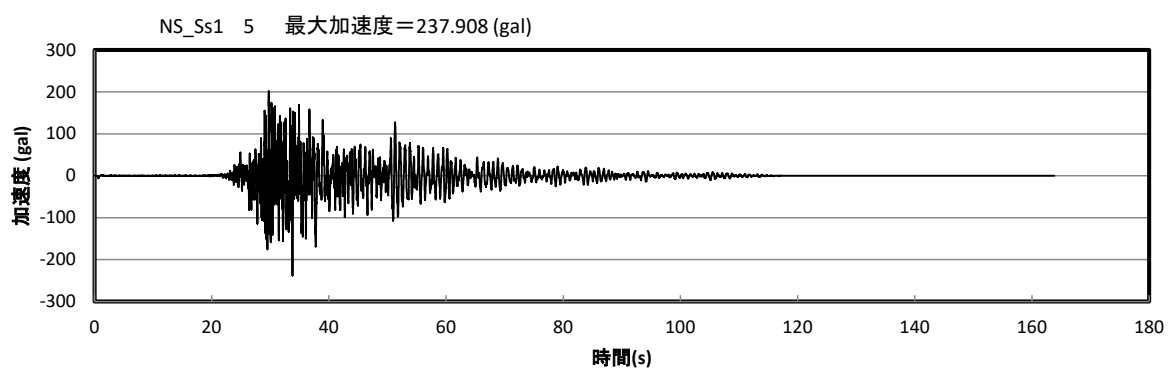
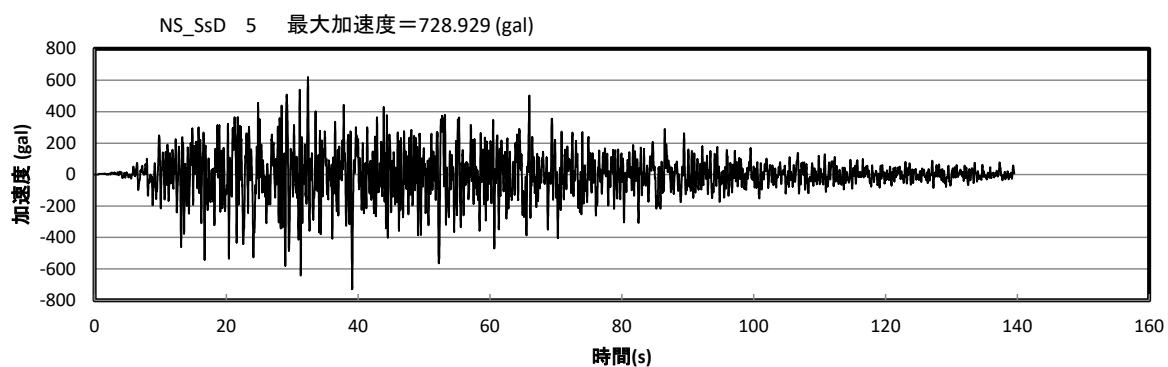


図 4-1 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1 階, 水平 NS 方向)

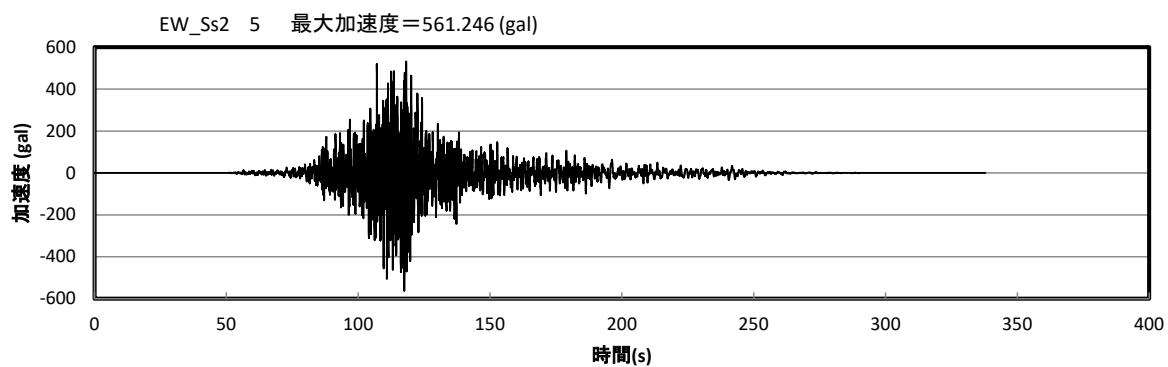
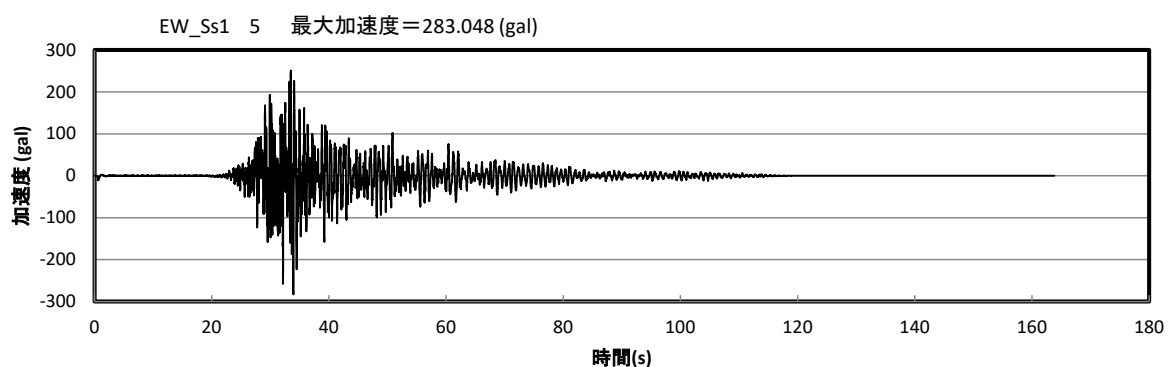
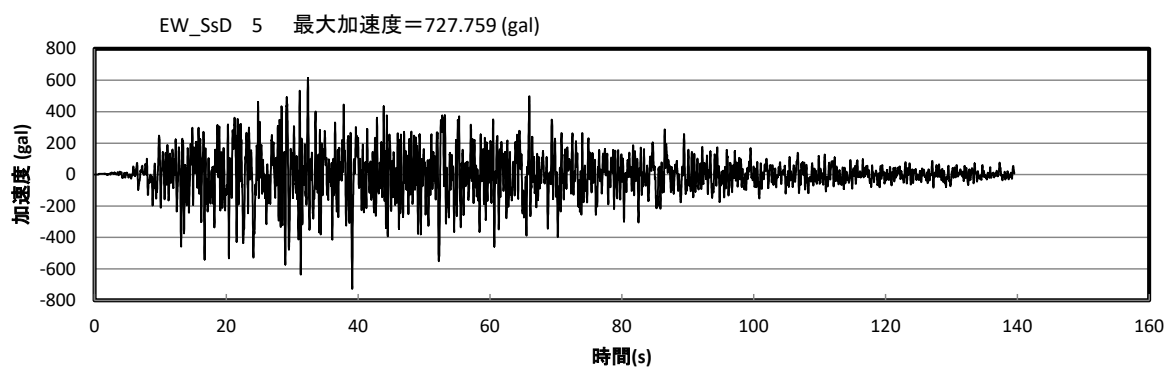


図 4-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1階, 水平 EW 方向)

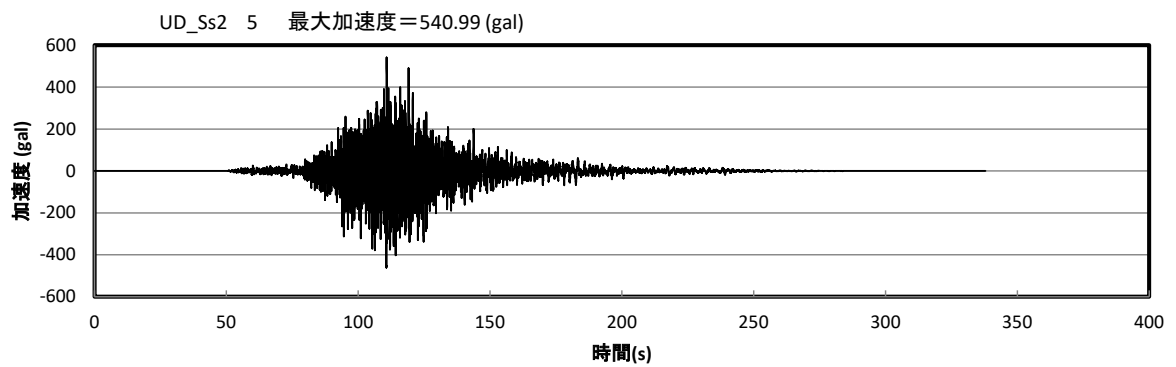
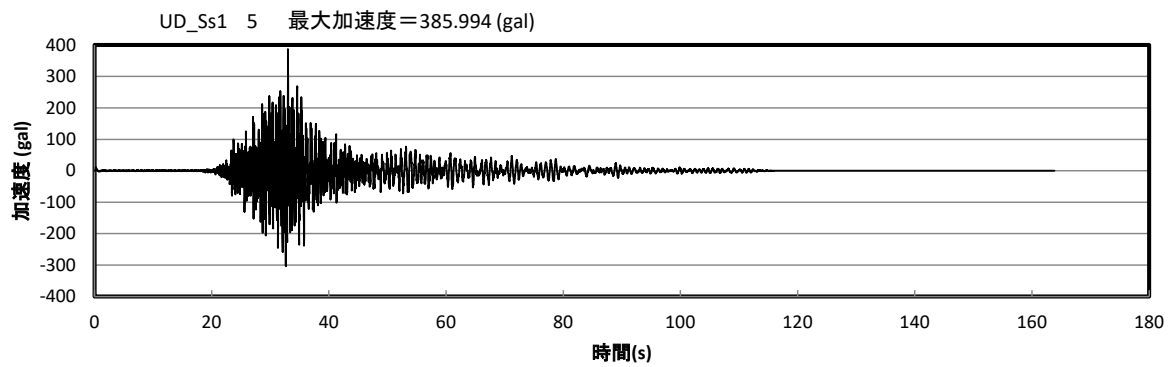
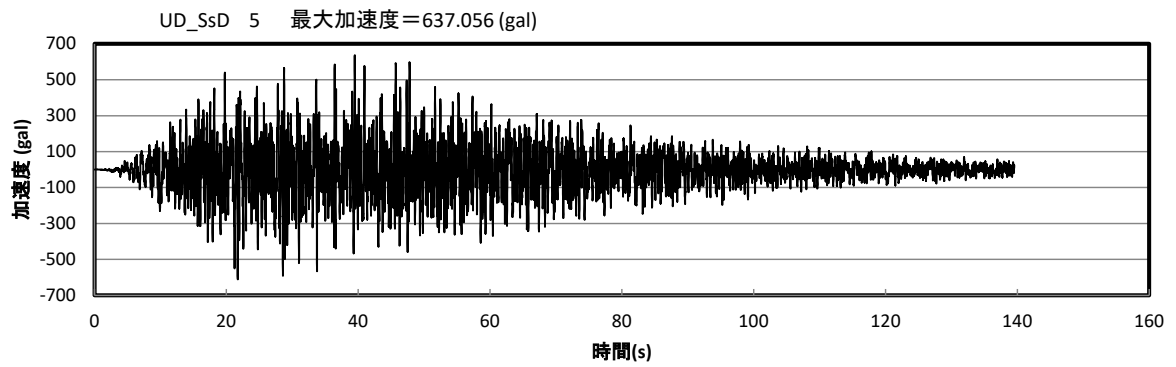


図 4-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(1階, 鉛直方向)

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^{※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。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。

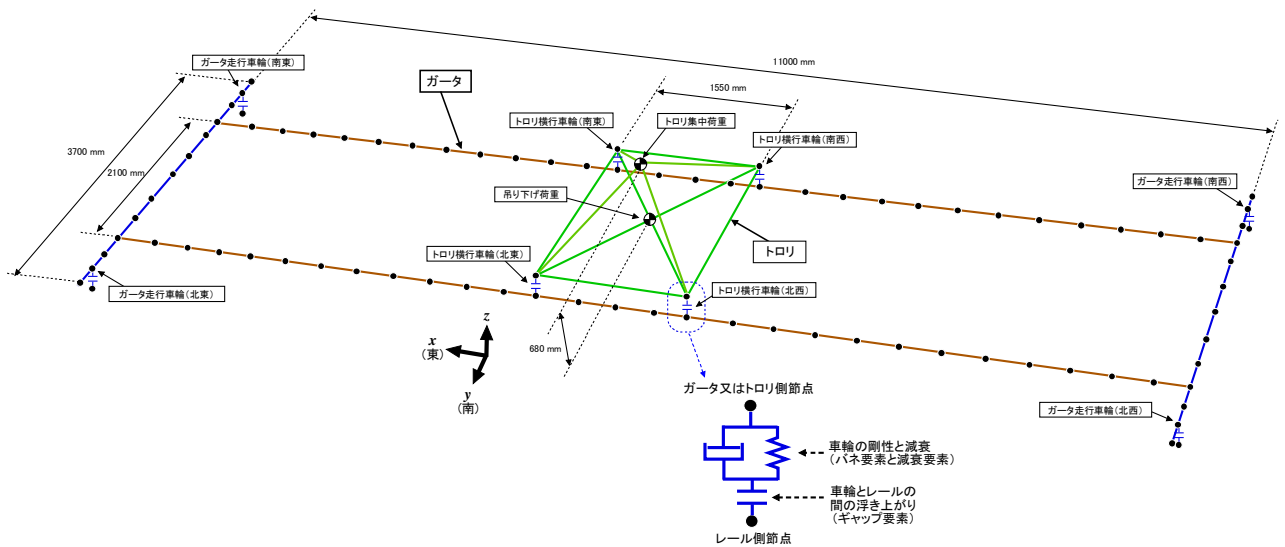


図 4-4 固化セル クレーン (G51M100) の解析モデル

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)

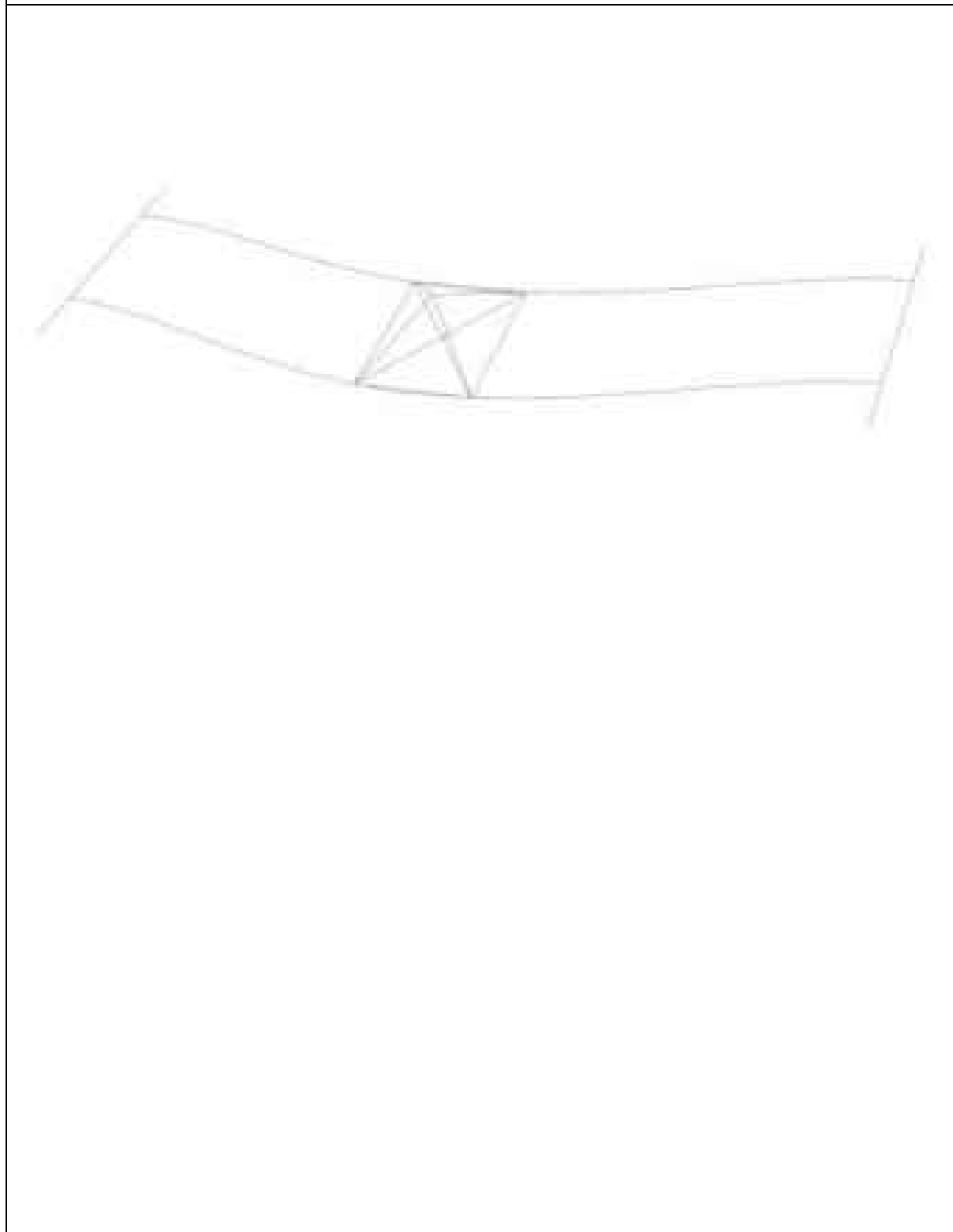


図 4-5 固化セル クレーン(G51M100) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.195 (秒)

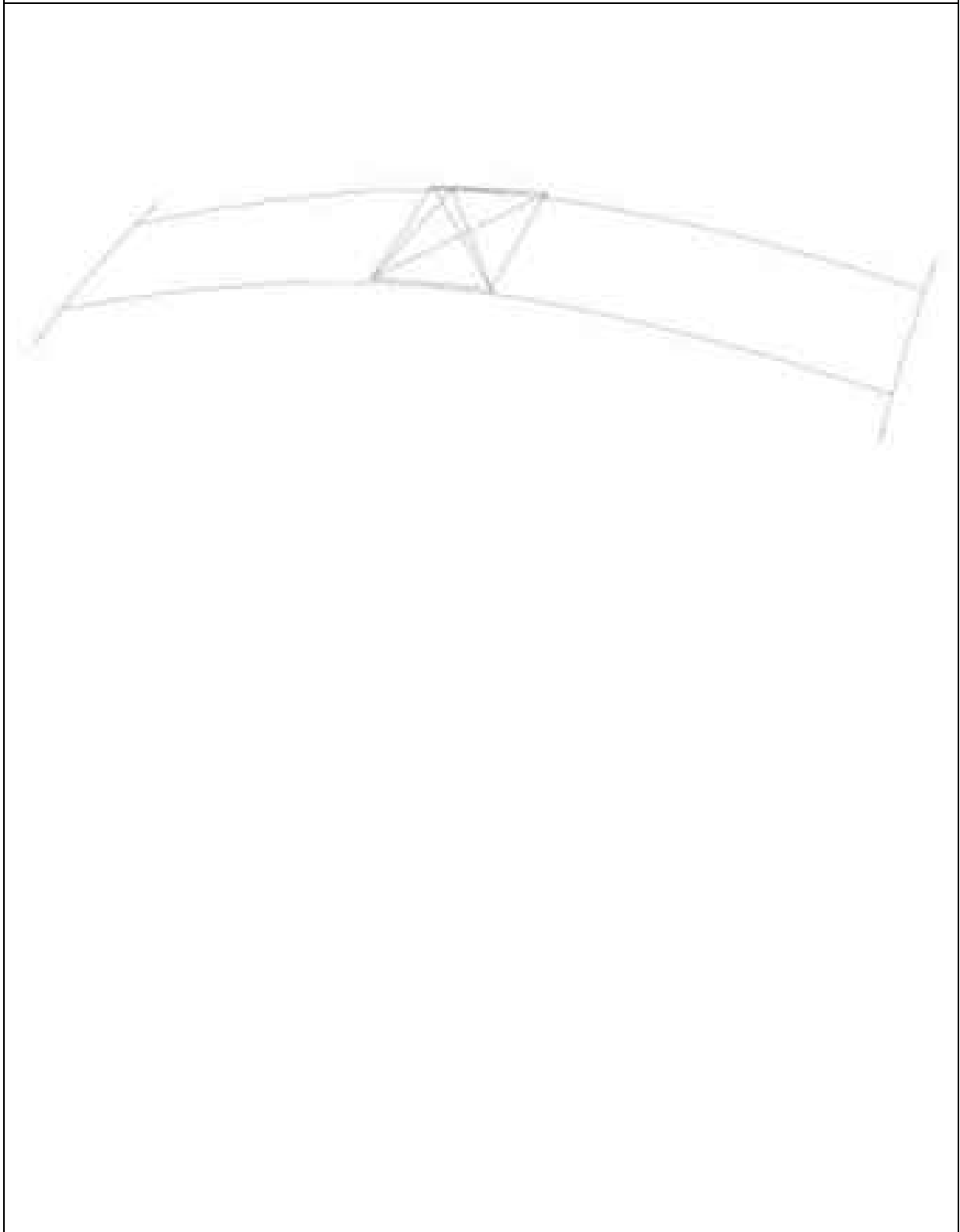


図 4-6 固化セル クレーン(G51M100) 固有モード図 (2/3)

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 S_s-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。

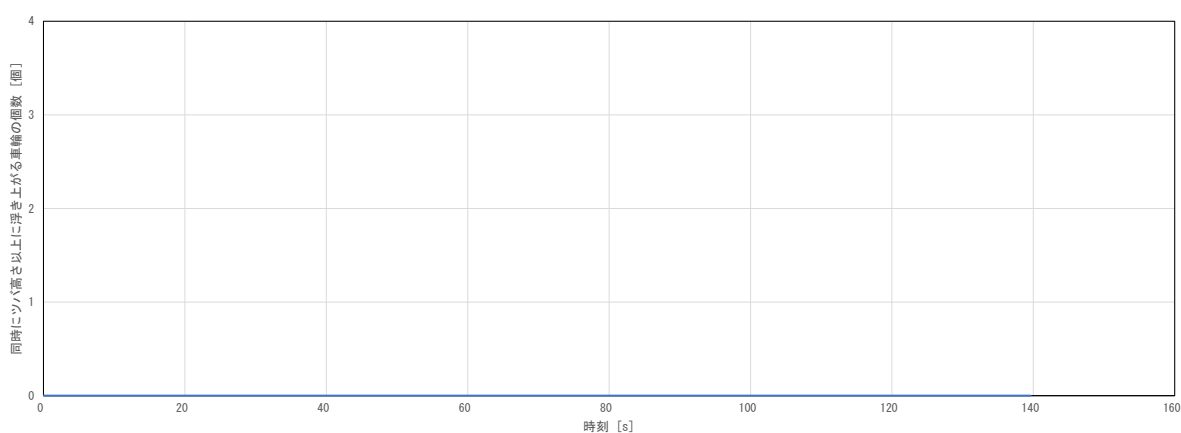
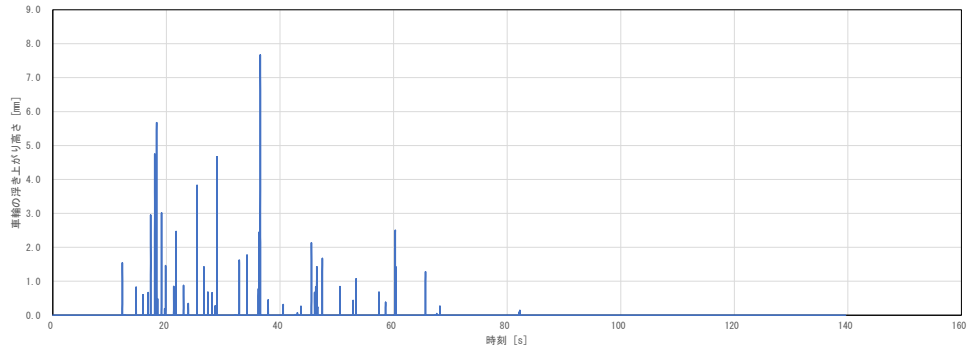
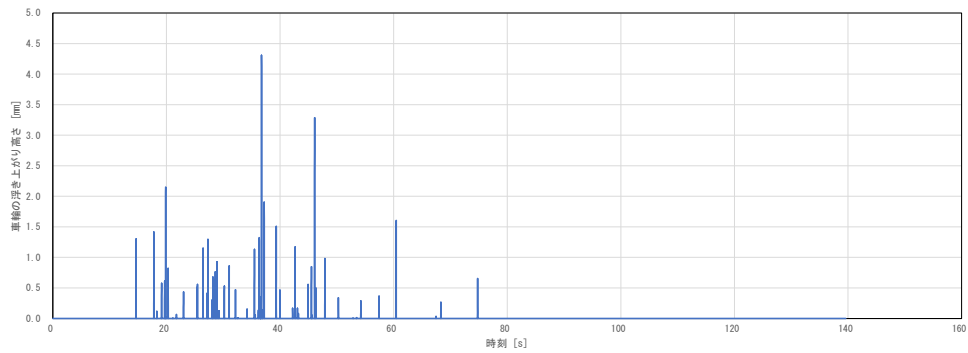


図 5-1 固化セル クレーン (G51M100) の走行車輪の同時浮き上がり個数 (S_s-D)

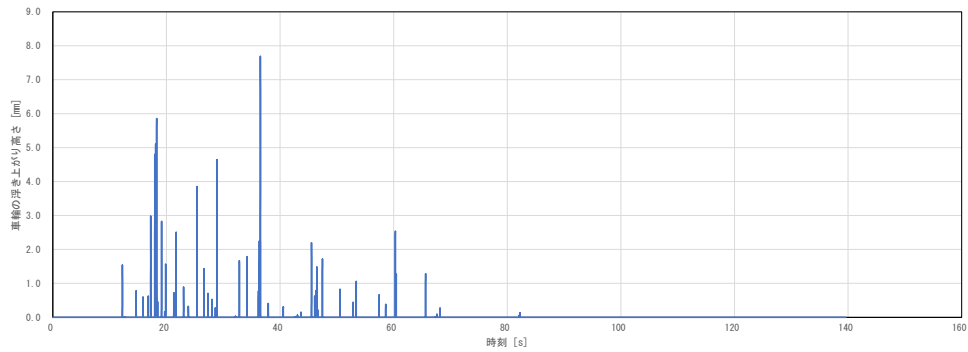
○南西位置走行車輪の浮き上がり量



○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

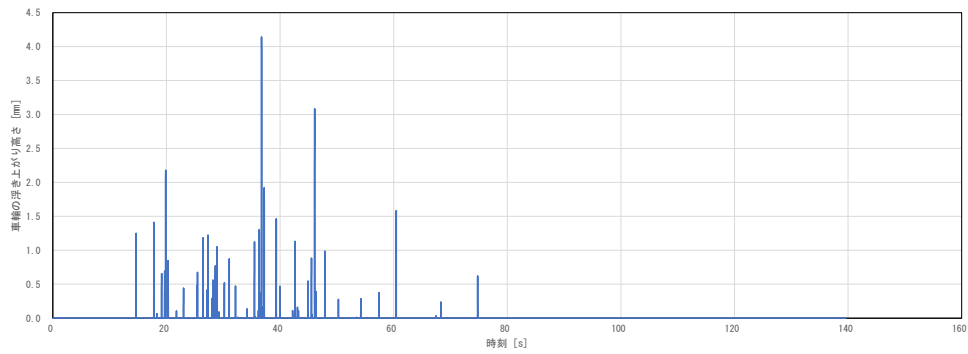


図 5-2 固化セル クレーン (G51M100) の走行車輪の浮き上がり高さ (Ss-D)

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（ δ ）を考慮した有効長さでせん断応力の評価を行った。

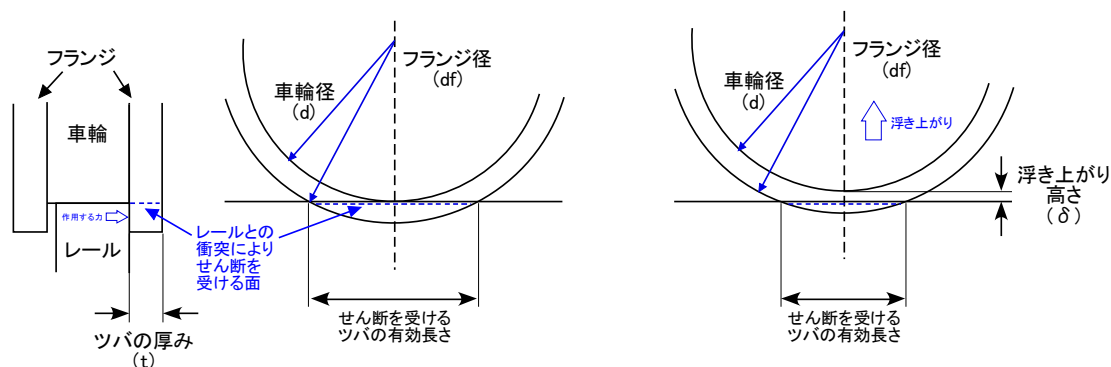


図 5-3 車輪の浮き上がりを考慮したツバのせん断応力の評価

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)

δ : 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]

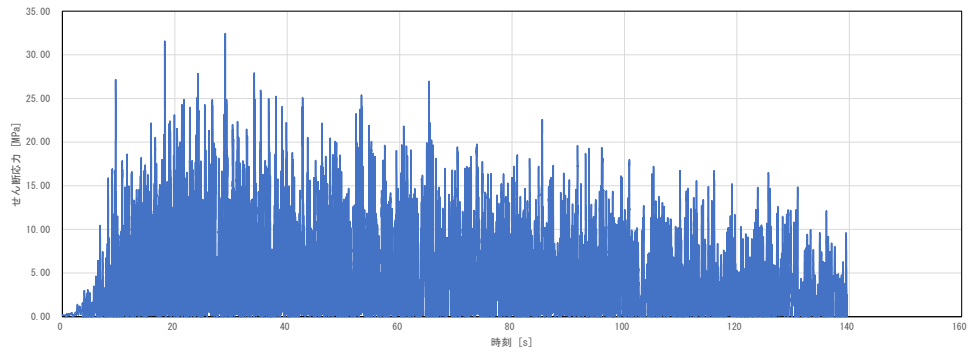
t : ツバの厚み [mm]

P : レールとの衝突によりツバに作用する水平力 [N]

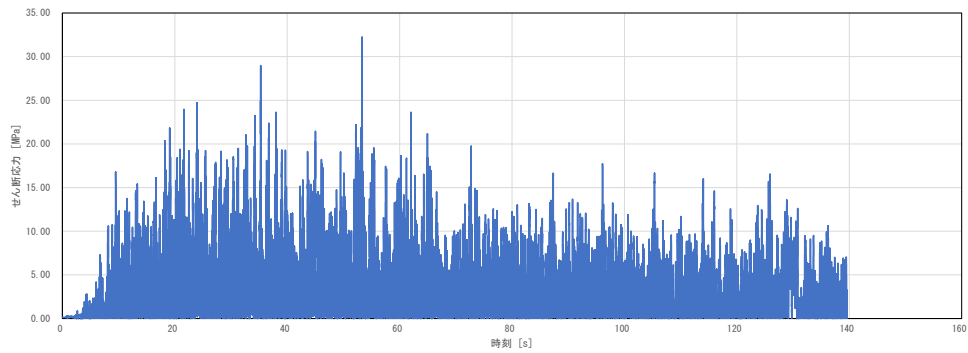
τ : レールとの衝突によりツバのせん断断面に発生するせん断応力 [MPa]

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。

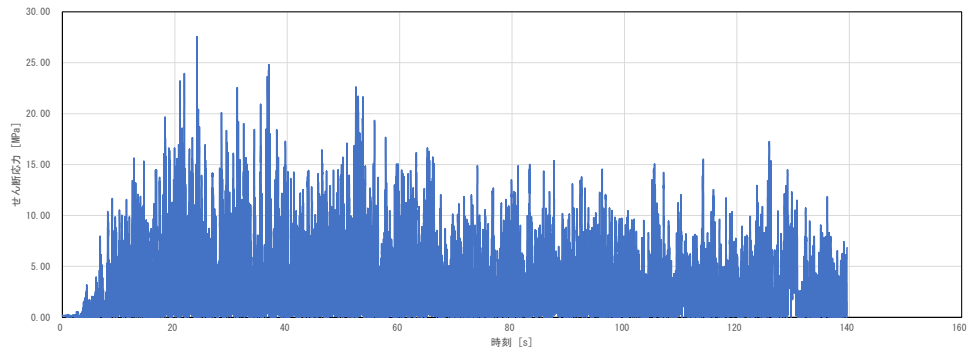
○南西位置走行車輪



○北西位置走行車輪



○南東位置走行車輪



○北東位置走行車輪

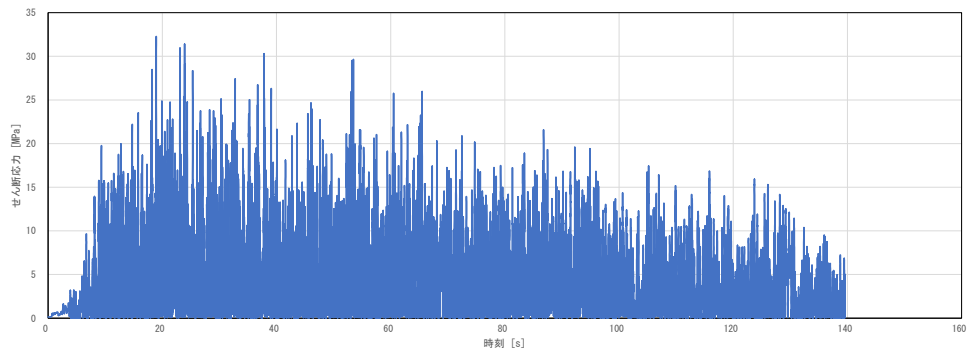


図 5-4 固化セル クレーン (G51M100) の走行車輪のツバの発生せん断応力 (Ss-D)

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。

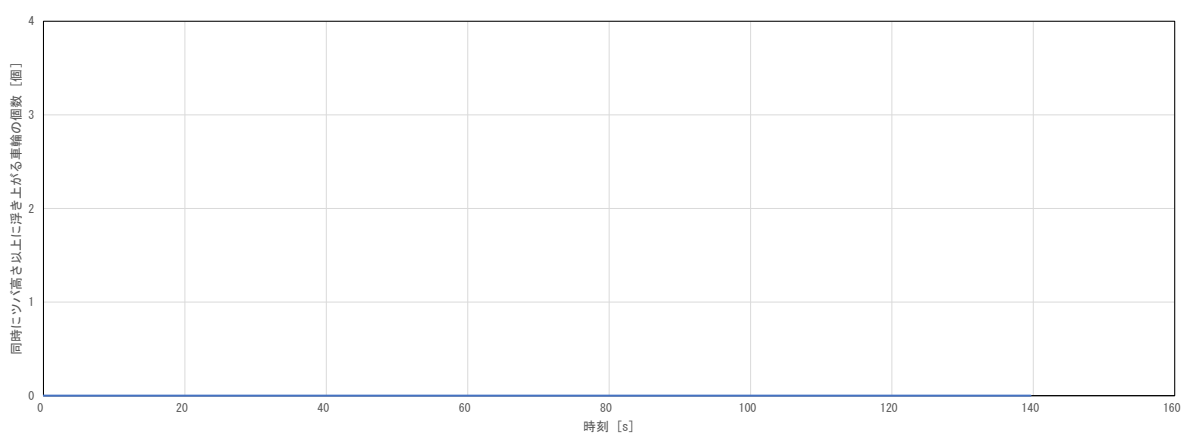
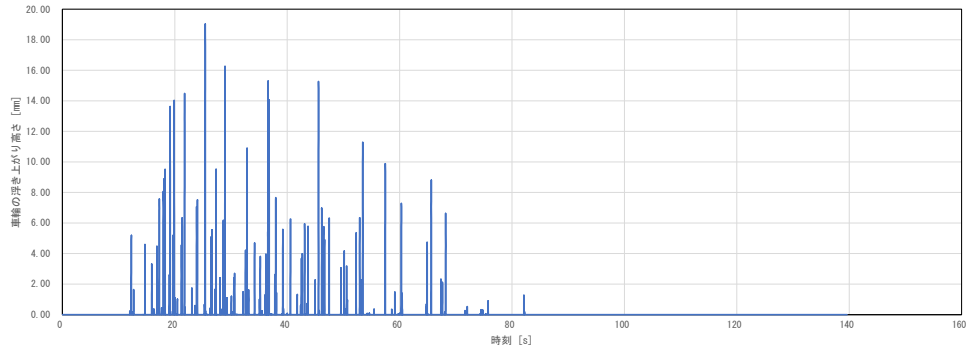
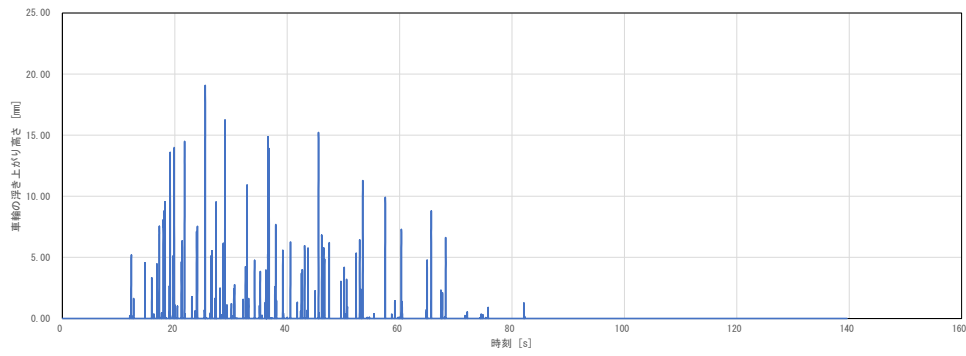


図 5-5 固化セル クレーン (G51M100) の横行車輪の同時浮き上がり個数 (Ss-D)

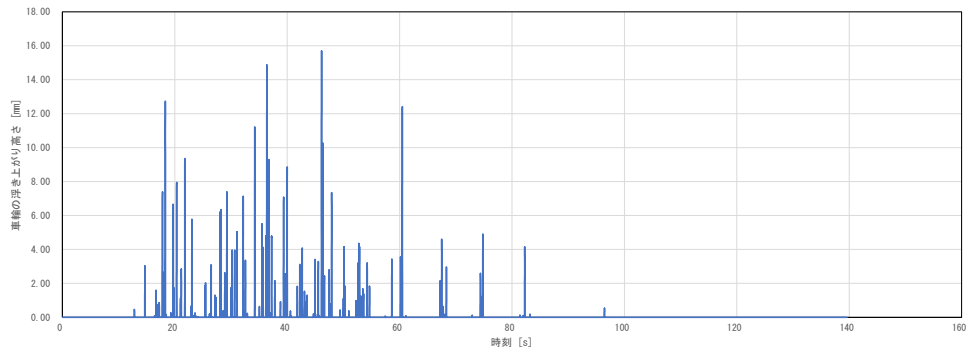
○南西位置横行車輪の浮き上がり量



○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

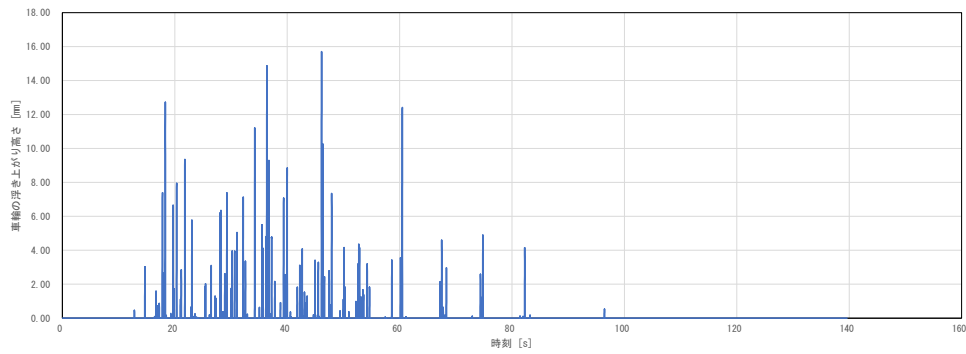


図 5-6 固化セル クレーン (G51M100) の横行車輪の浮き上がり高さ (Ss-D)

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

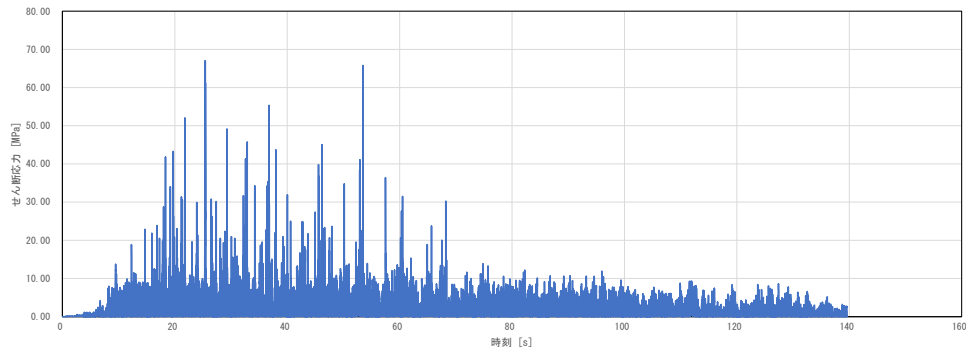
df : 車輪フランジ径 [mm] (290 mm)

d : 車輪径 [mm] (250 mm)

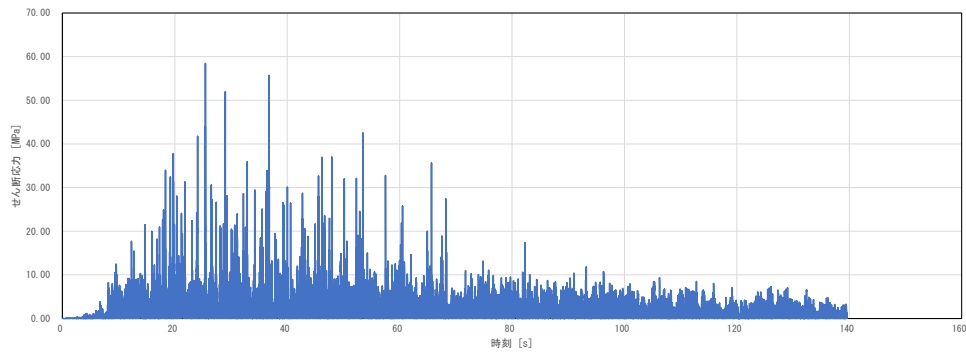
である。

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。

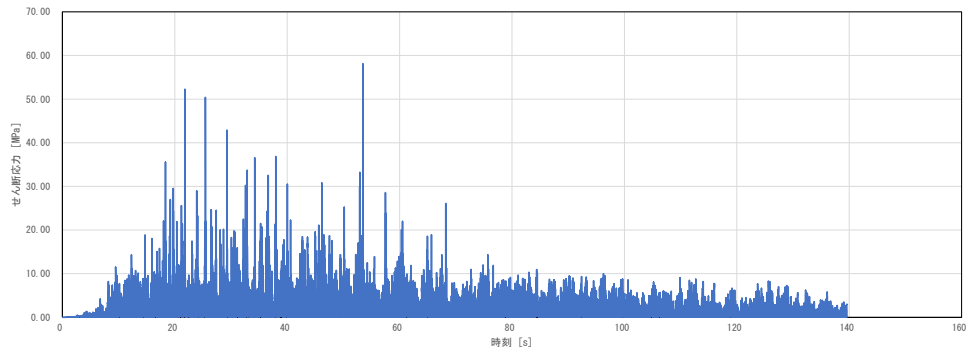
○南西位置横行車輪



○北西位置横行車輪



○南東位置横行車輪



○北東位置横行車輪

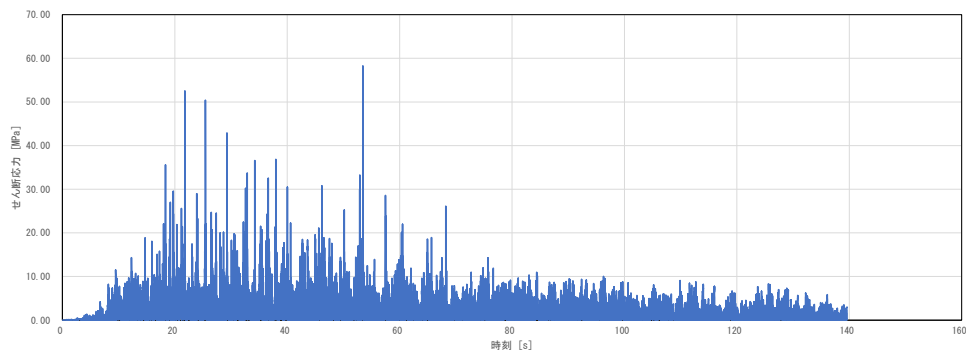


図 5-7 固化セル クレーン (G51M100) の横行車輪のツバの発生せん断応力 (Ss-D)

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 ^{※1}
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
δ	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
τ	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 ²
σ_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。

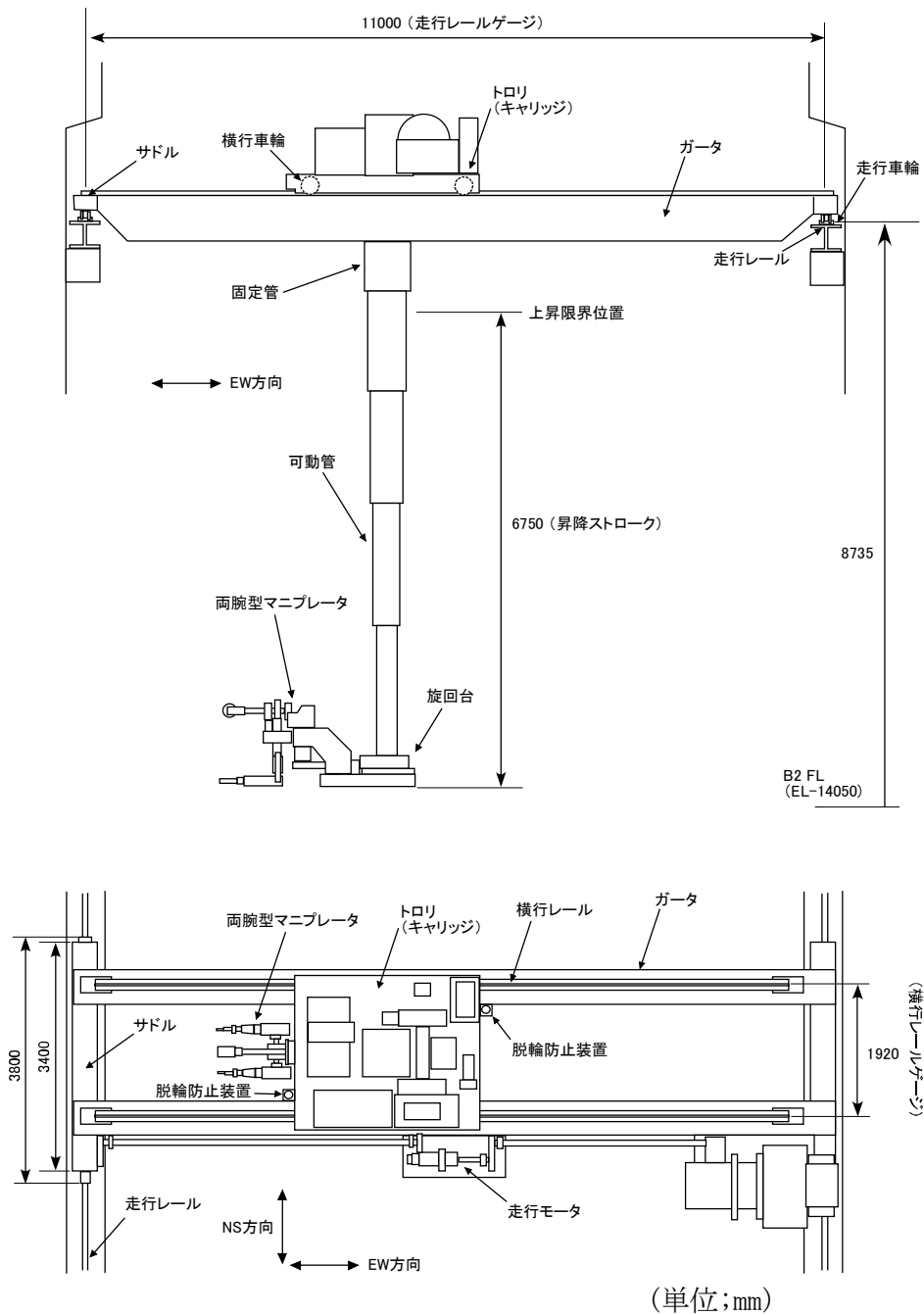


図 3-1 両腕型マニプレータ (G51M120) の概要図

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	$1.5 \times (F/1.5\sqrt{3})$

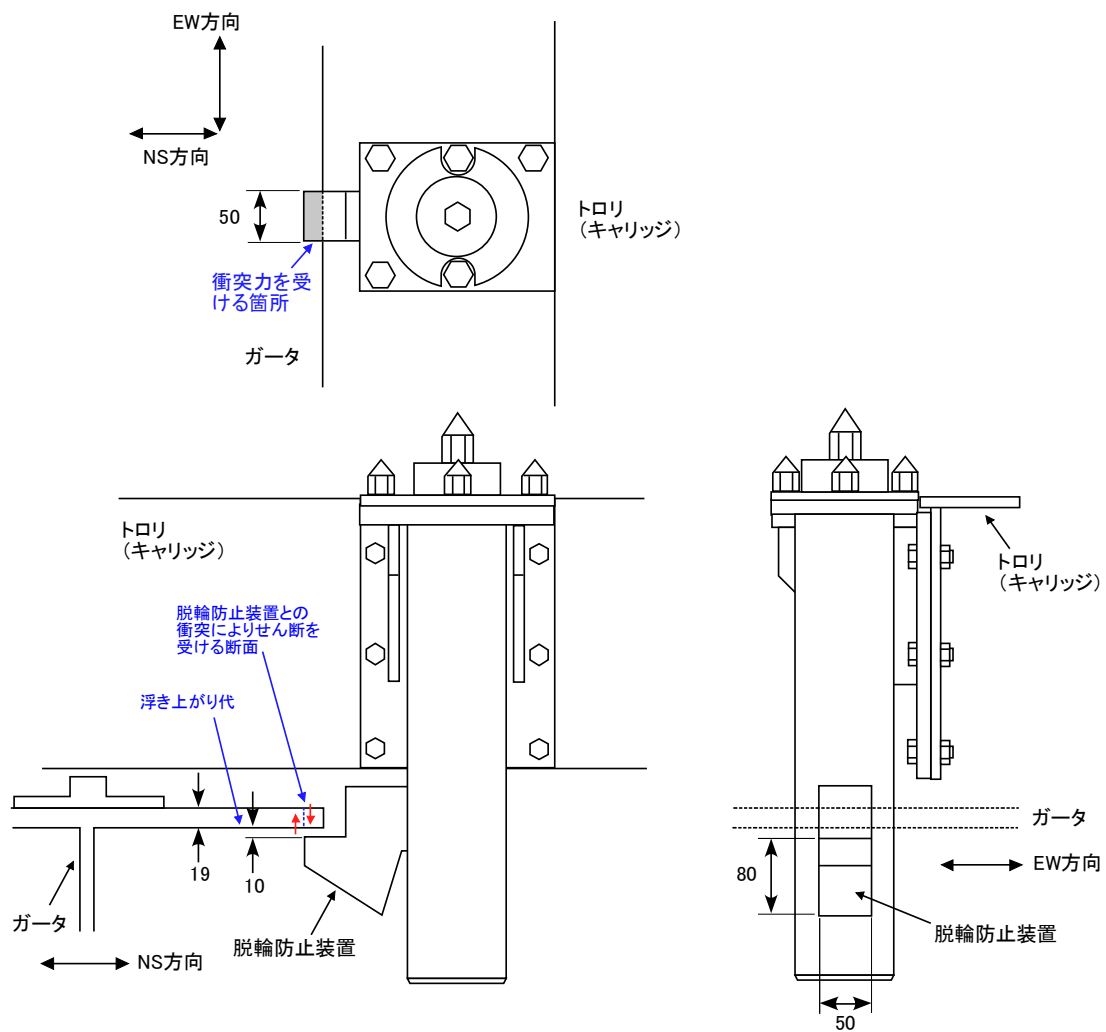


図 4-1 脱輪防止装置の概要図

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)

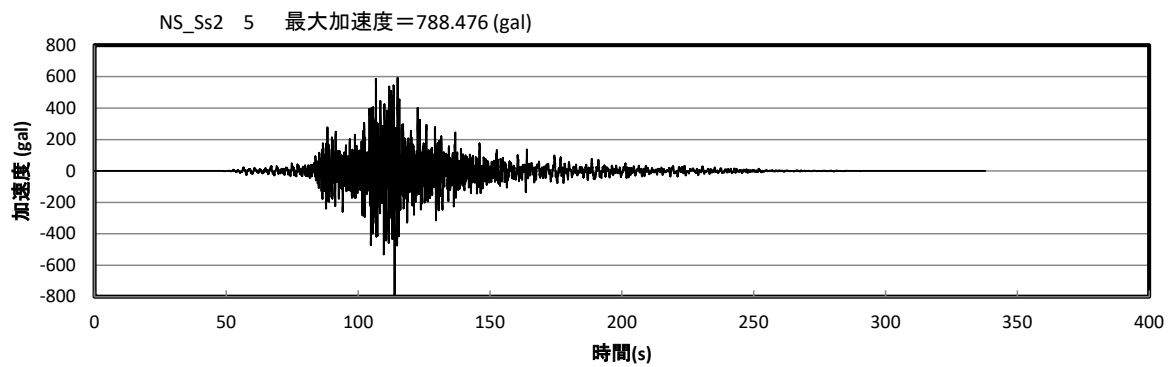
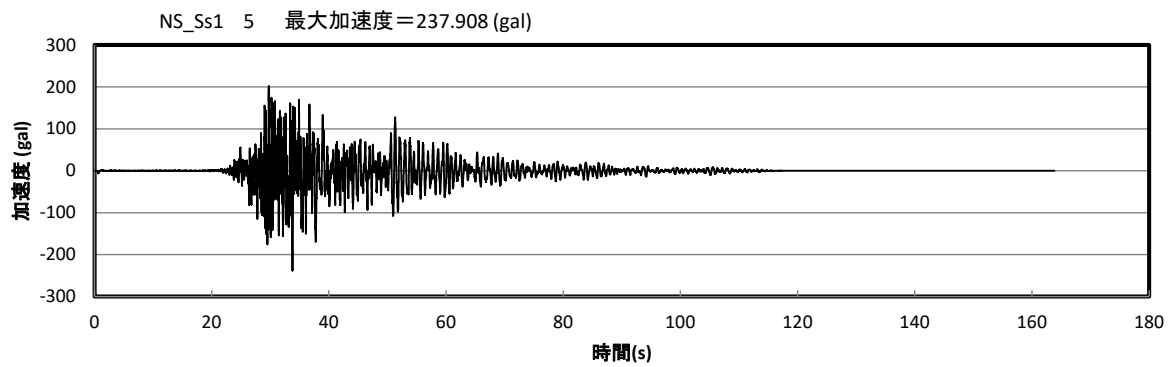
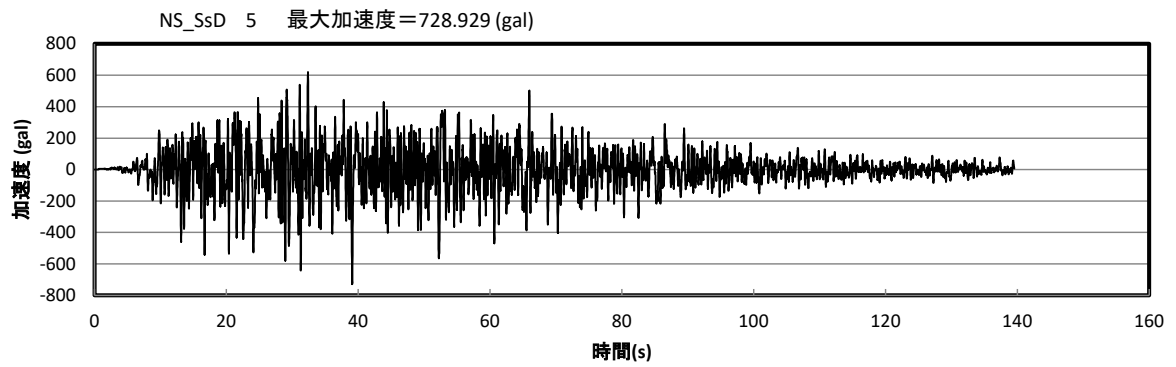


図 4-2 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1階, 水平NS方向)

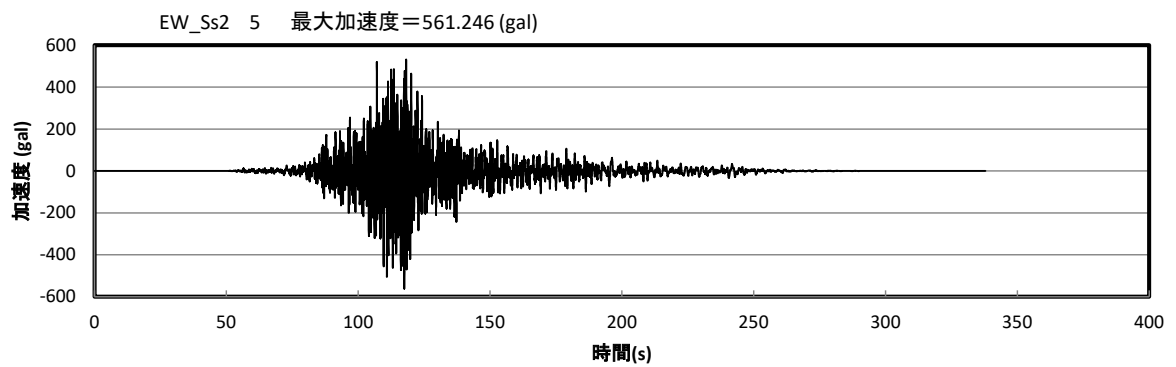
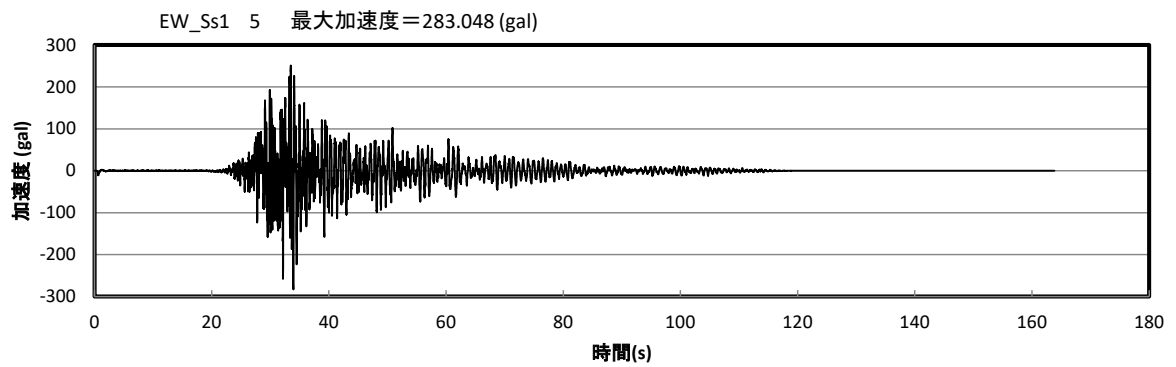
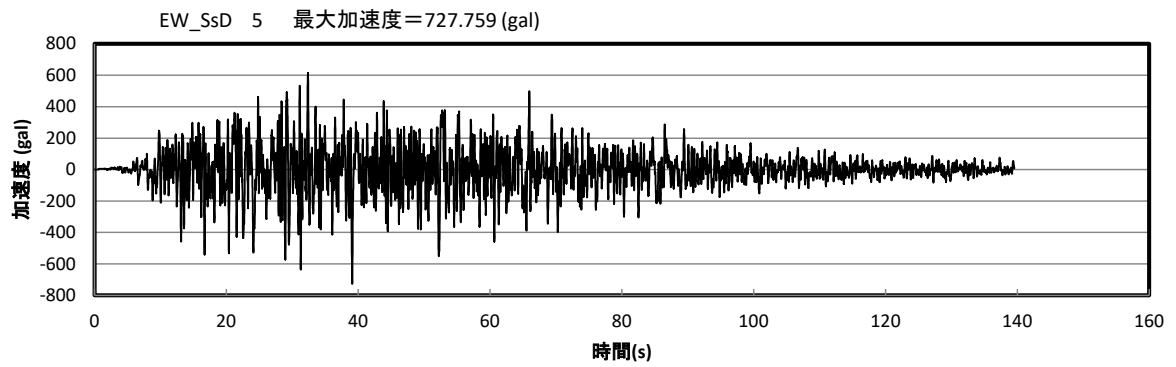


図 4-3 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1階, 水平 EW 方向)

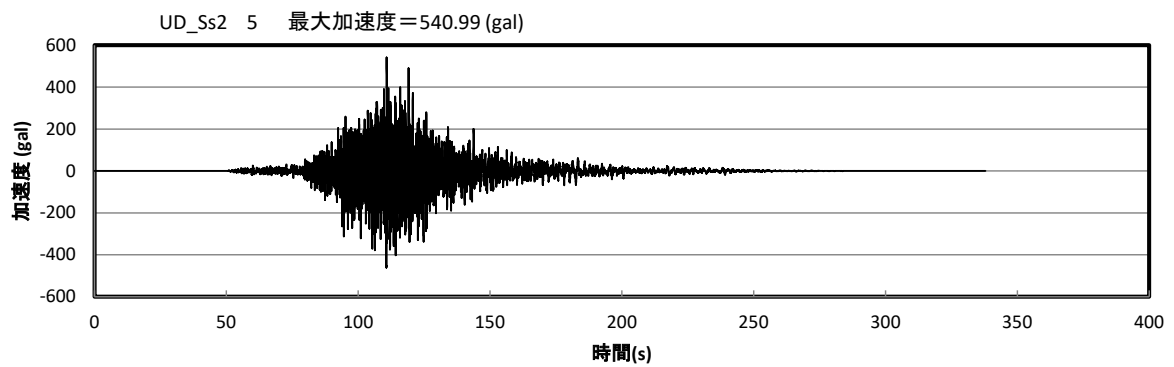
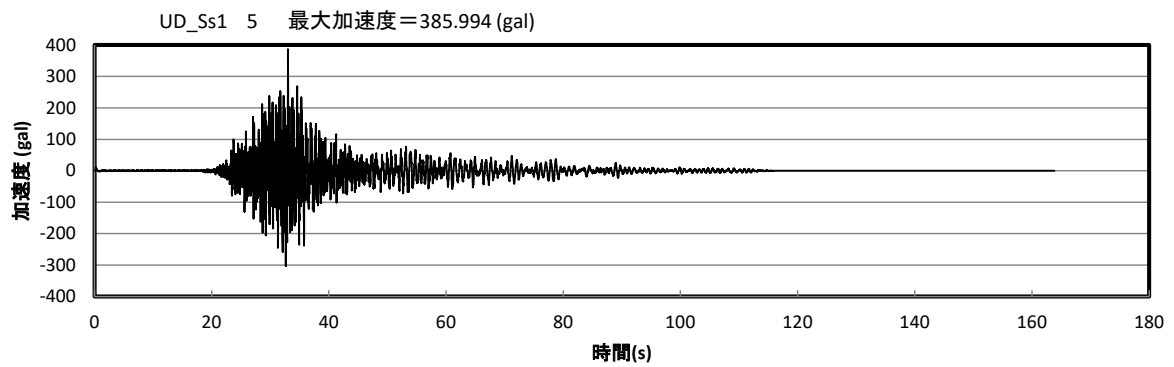
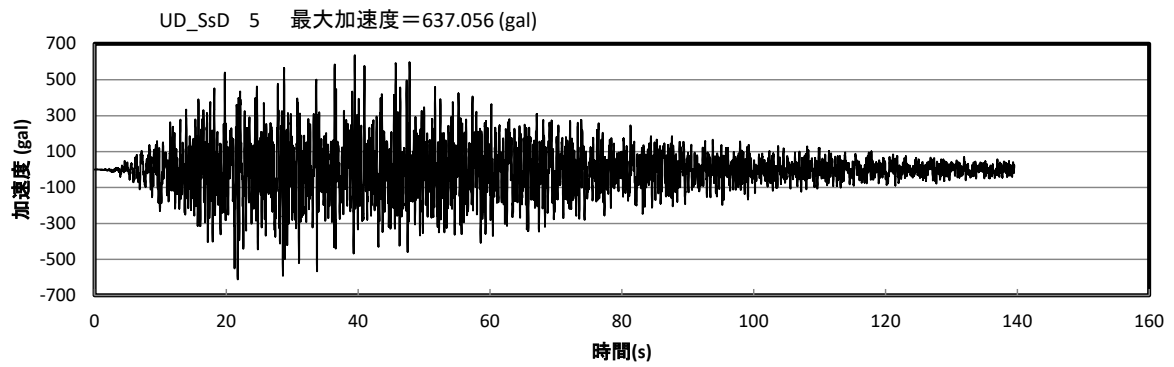


図 4-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(1階, 鉛直方向)

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^{※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。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。

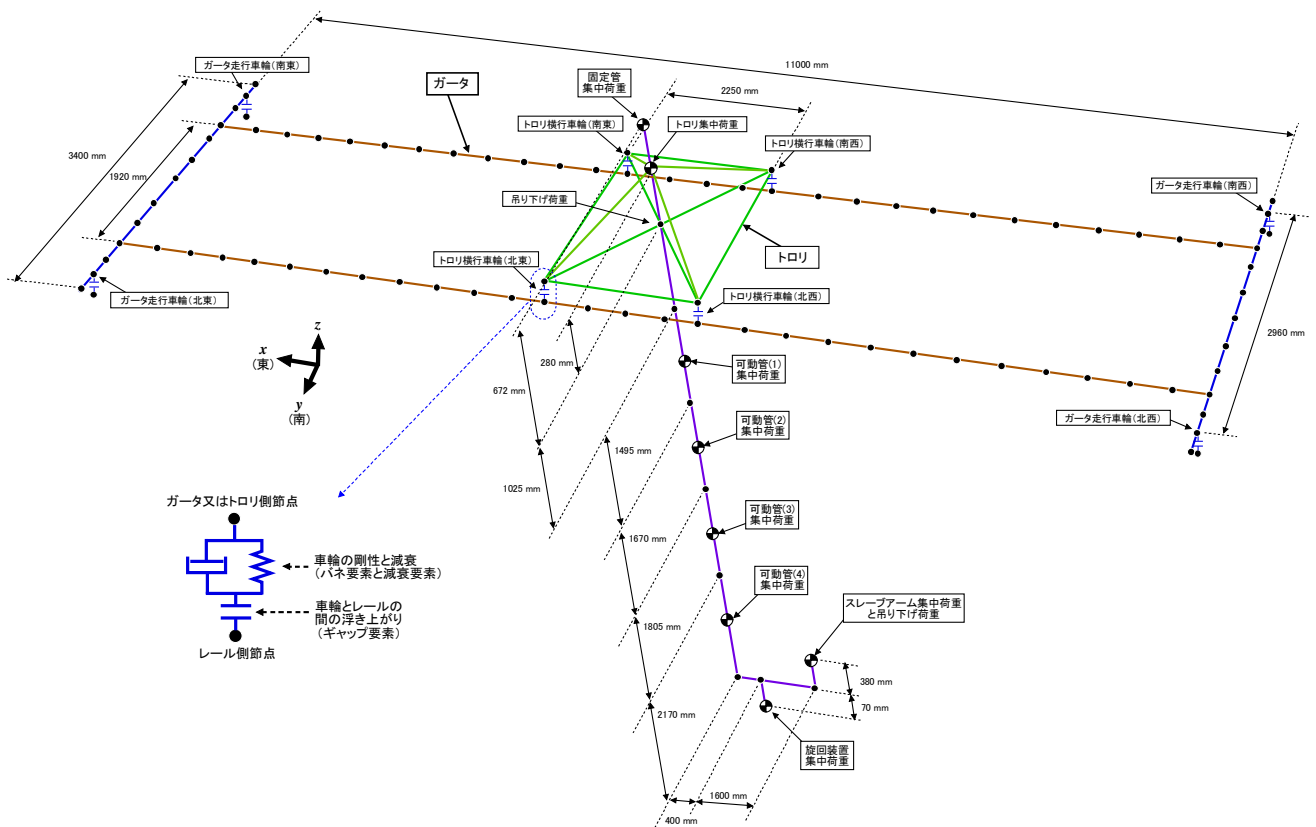


図 4-5 両腕型マニプレータ (G51M120) の解析モデル

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。