

3. 高放射性廃液貯蔵場（HAW 施設）の
機器・配管系の耐震性計算書

3.1 高放射性廃液貯槽(272V31～V36)
の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組み合わせ	3
4.2 許容応力	3
4.3 減衰定数	4
4.4 設計用地震力	4
4.5 計算方法	6
4.6 計算条件	6
4.7 固有周期	8
5. 評価結果	12

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する高放射性廃液貯槽(272V31～V36)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。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の高放射性廃液貯槽(272V31～V36)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 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (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 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)
- (5) 地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察
JAEA-Technology 2011-006

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_L	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める許容荷重	N
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
S_u	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
S_{yd}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める最高使用温度における材料の設計降伏点	MPa
S_{yt}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める試験温度における材料の設計降伏点	MPa
T_L	JSME S NC1-2012 SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重	N

3. 評価部位

高放射性廃液貯槽(272V31~V36)の構造強度の評価は、評価上厳しくなる胴、ラグ、据付ボルトについて実施する。高放射性廃液貯槽(272V31~V36)の概要図を図 3-1 に示す。

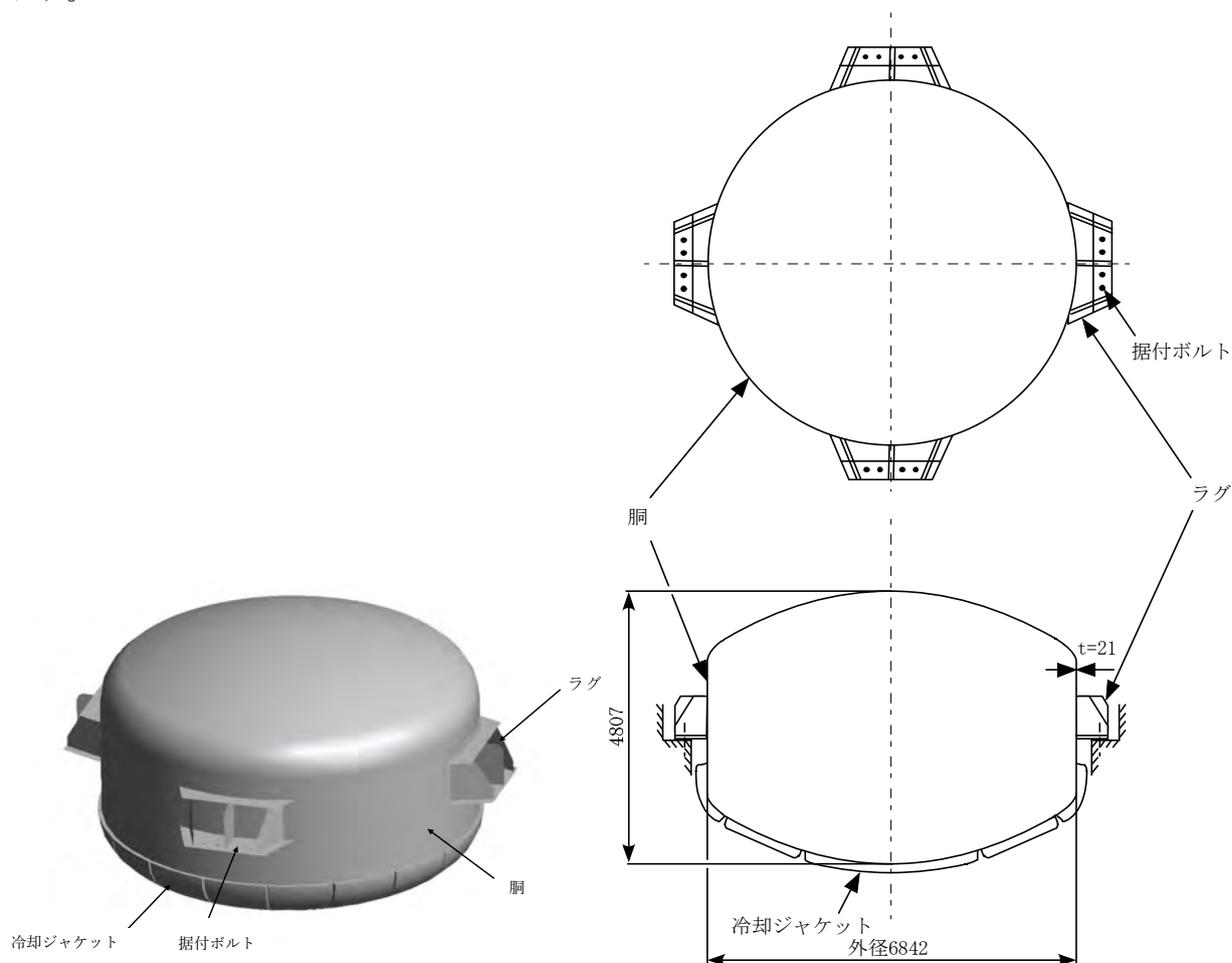


図 3-1 高放射性廃液貯槽 (272V31~V36) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震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」を準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価にあたっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自重については液量を満杯とし、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。

据付ボルトのせん断応力の許容応力について、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012 SSB-3200」では、当該支持構造物と同一の材質及び形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができることとしていることから、当該規格に基づき、せん断試験を実施し、その試験から得られた値を用いた（「地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察 JAEA-Technology 2011-006」の供試体ボルト B のせん断試験結果参照）。

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5 × (F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	A_L (許容荷重) = 0.6 $T_L S_{yd}/S_{yt}$

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 4-1 に示す。

表 4-1 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
高放射性廃液貯槽 (272V31~V36)	1.0	1.0

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 (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。

高放射性廃液貯槽 (272V31~V36) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (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 4-2, 図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-2 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
高放射性廃液貯槽 (272V31~V36)	解析用の床応答スペクトル (1 階, 減衰定数 1.0%)	解析用の床応答スペクトル (1 階, 減衰定数 1.0%)

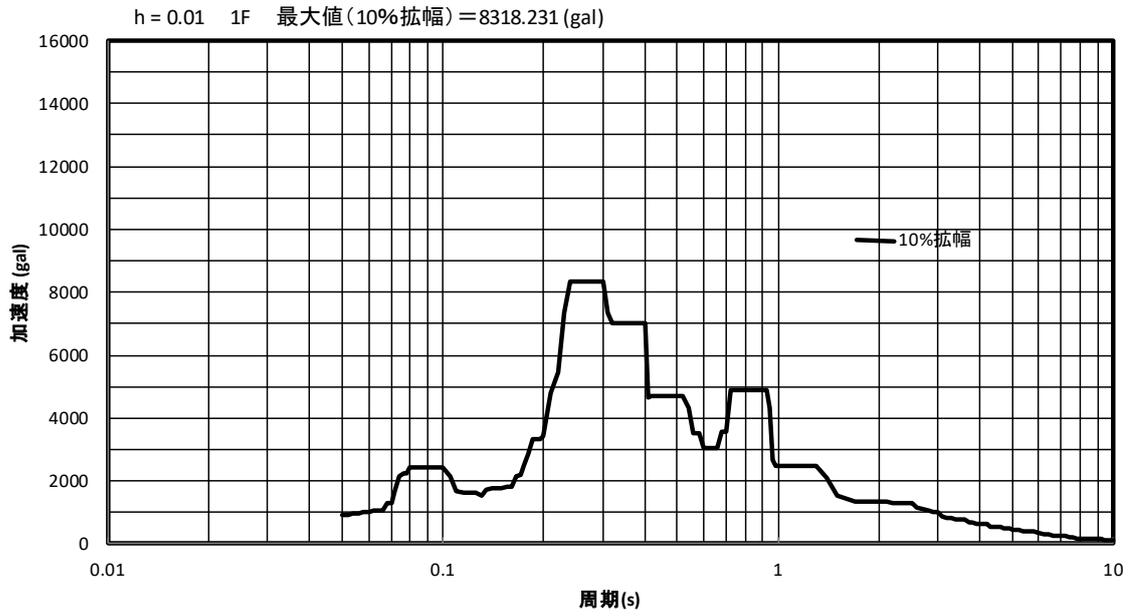


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，1階，減衰定数 1.0%）

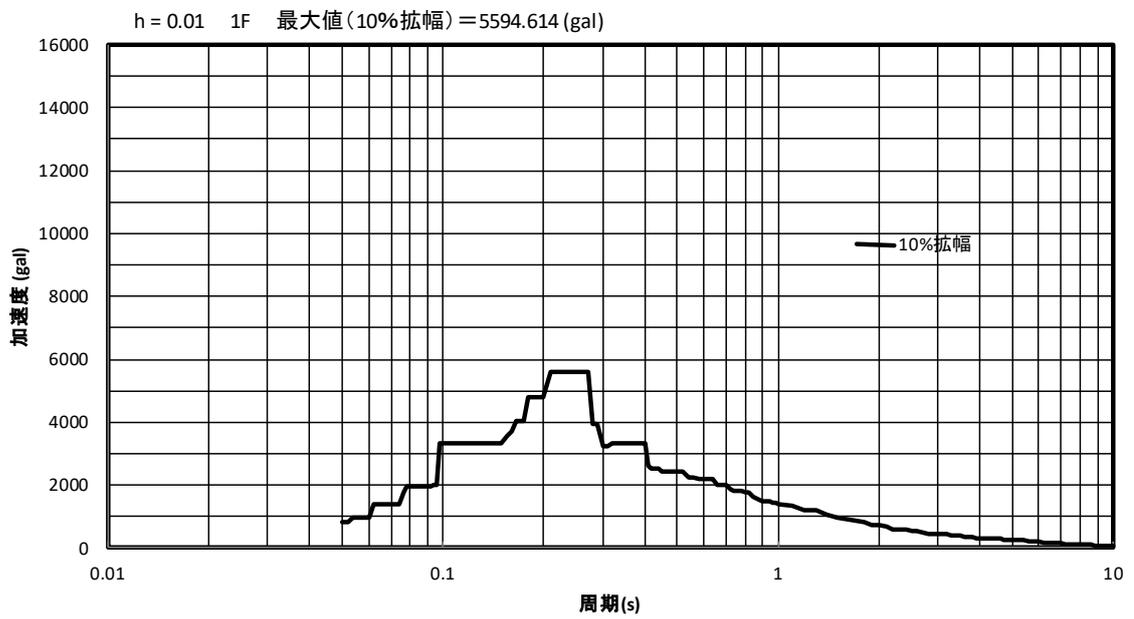


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，1階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の計算方法について、FEM 解析（スペクトルモード法）により発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。解析コードは FINAS^{※1} を用いた。

※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

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の解析モデルを図 4-3 に、据付ボルトの拘束条件を図 4-4 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。

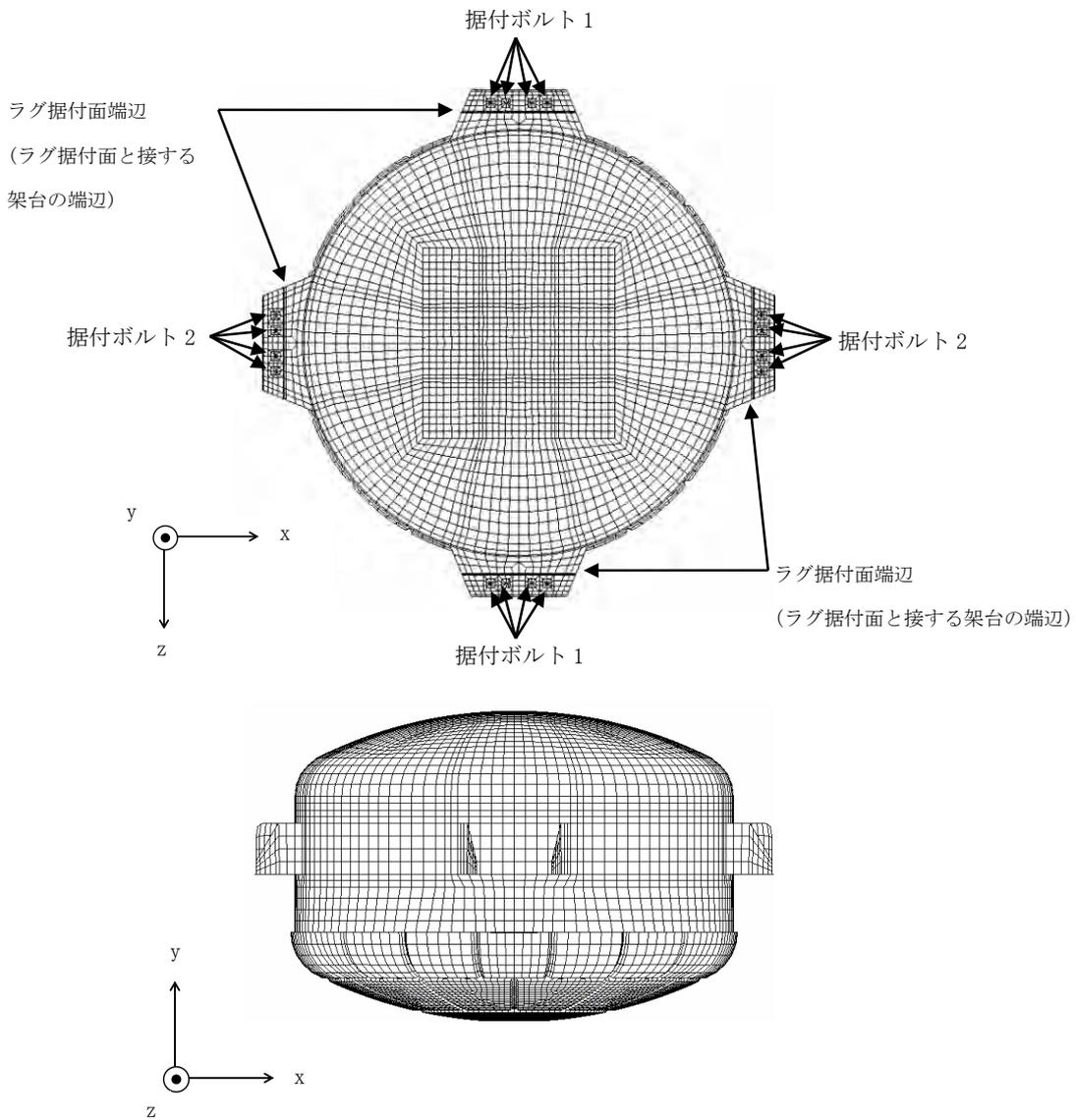
モデル化にあたって，空質量には槽内構造物等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。また，高放射性廃液の質量については，接液部分の胴板に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約 207 t となるように，胴板の密度を設定した。

4.6.2 諸元

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	耐震重要度分類	S クラス
	機器区分	クラス 3
	圧力 (設計圧力)	0.049 (MPa)
	胴外径	6842 (mm)
	胴板厚さ	21 (mm)
	胴高さ (外側)	4807 (mm)
	胴材質	SUS316L
	胴温度 (設計温度)	80 (°C)
	据付ボルト呼び径	M48
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	80 (°C)
	液量 (満杯)	120 (m ³)
	液密度	1.28 (g/cm ³)
	空質量 (設計質量)	約 53 (t)
	総質量 (53 t + 1.28 g/cm ³ × 120 m ³)	約 207 (t)



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
据付ボルト 1	○	○	－	－	－	－
据付ボルト 2	－	○	○	－	－	－
ラグ据付面端辺	－	○	－	－	－	－

図 4-3 高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の解析モデル

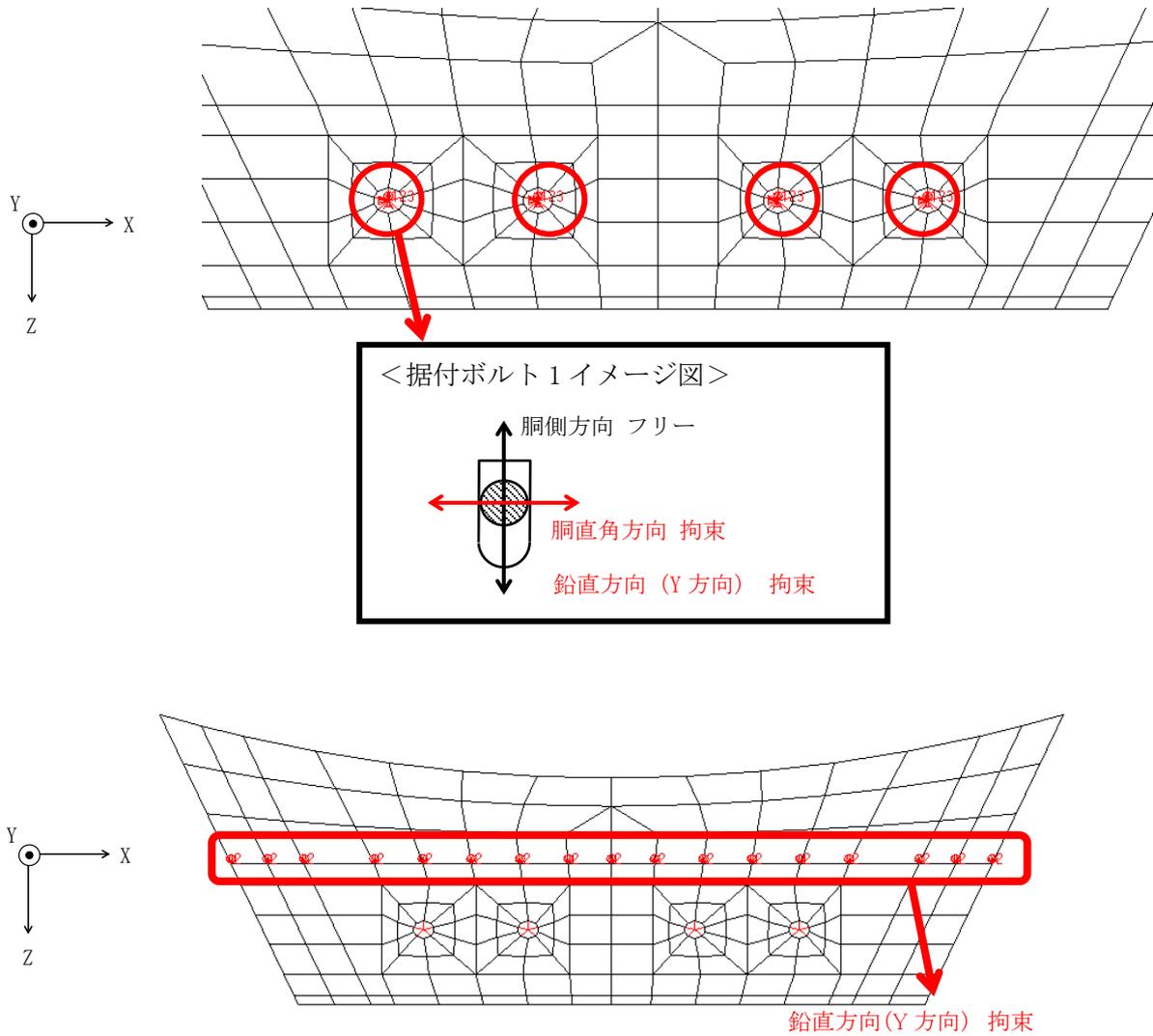


図 4-4 高放射性廃液貯槽（272V31～V36）解析モデルの拘束条件

4.7 固有周期

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の固有周期及び固有モードを図 4-5 に示す。

1次モード図 固有周期：0.071（秒）

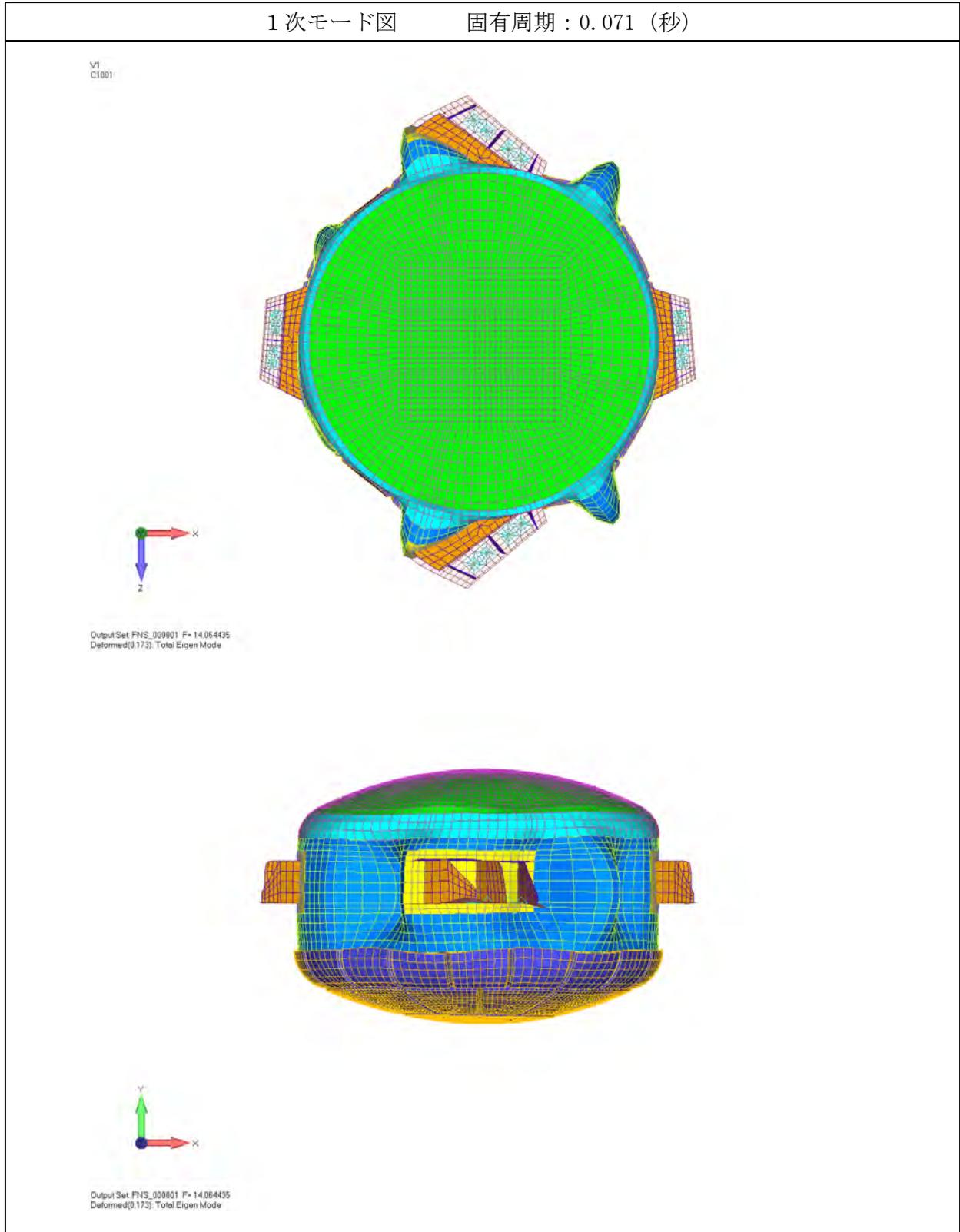


図 4-5 高放射性廃液貯槽（272V31～V36） 固有モード図（1/3）

2次モード図

固有周期：0.071（秒）

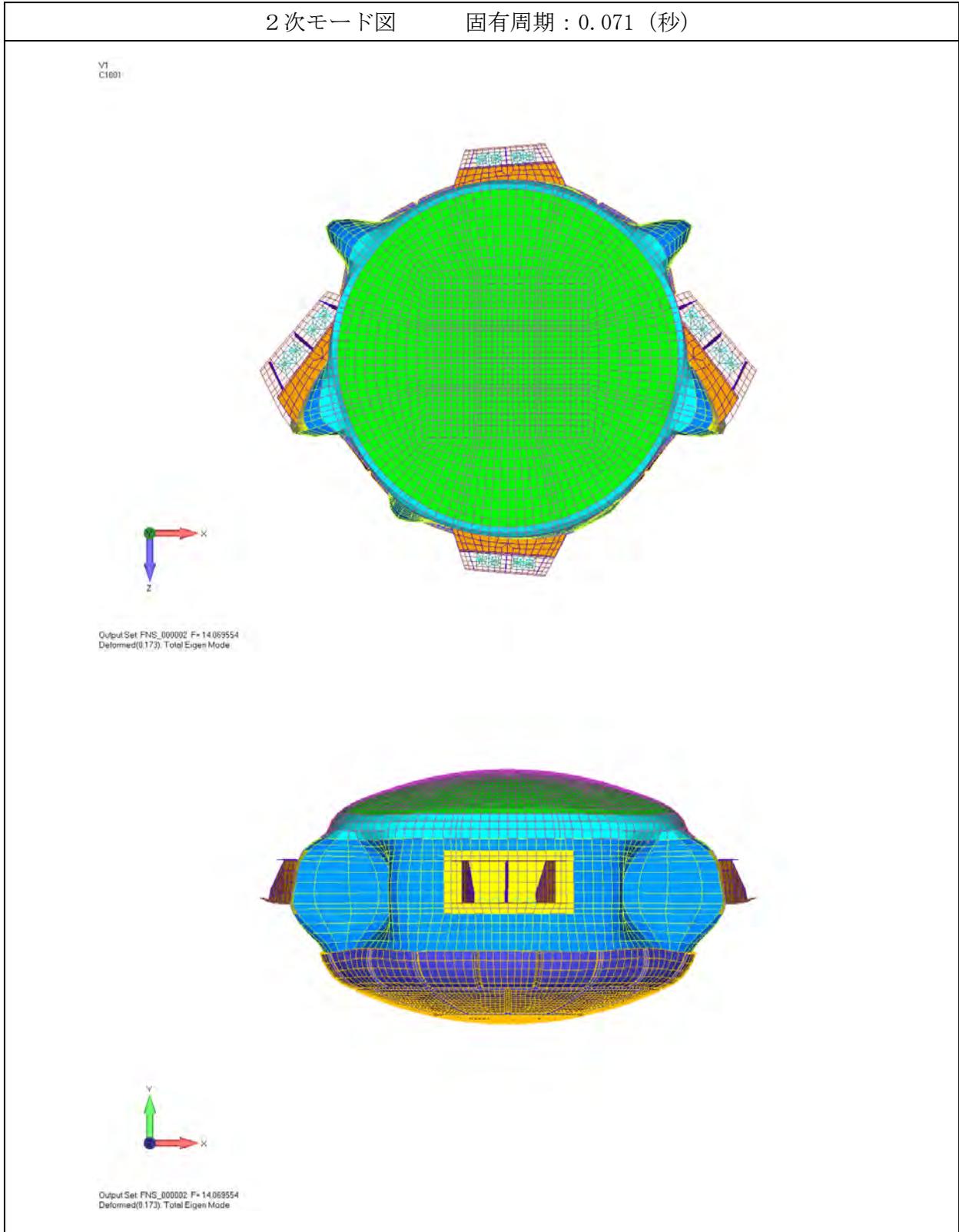


図 4-5 高放射性廃液貯槽（272V31～V36） 固有モード図（2/3）

3次モード図

固有周期：0.056（秒）

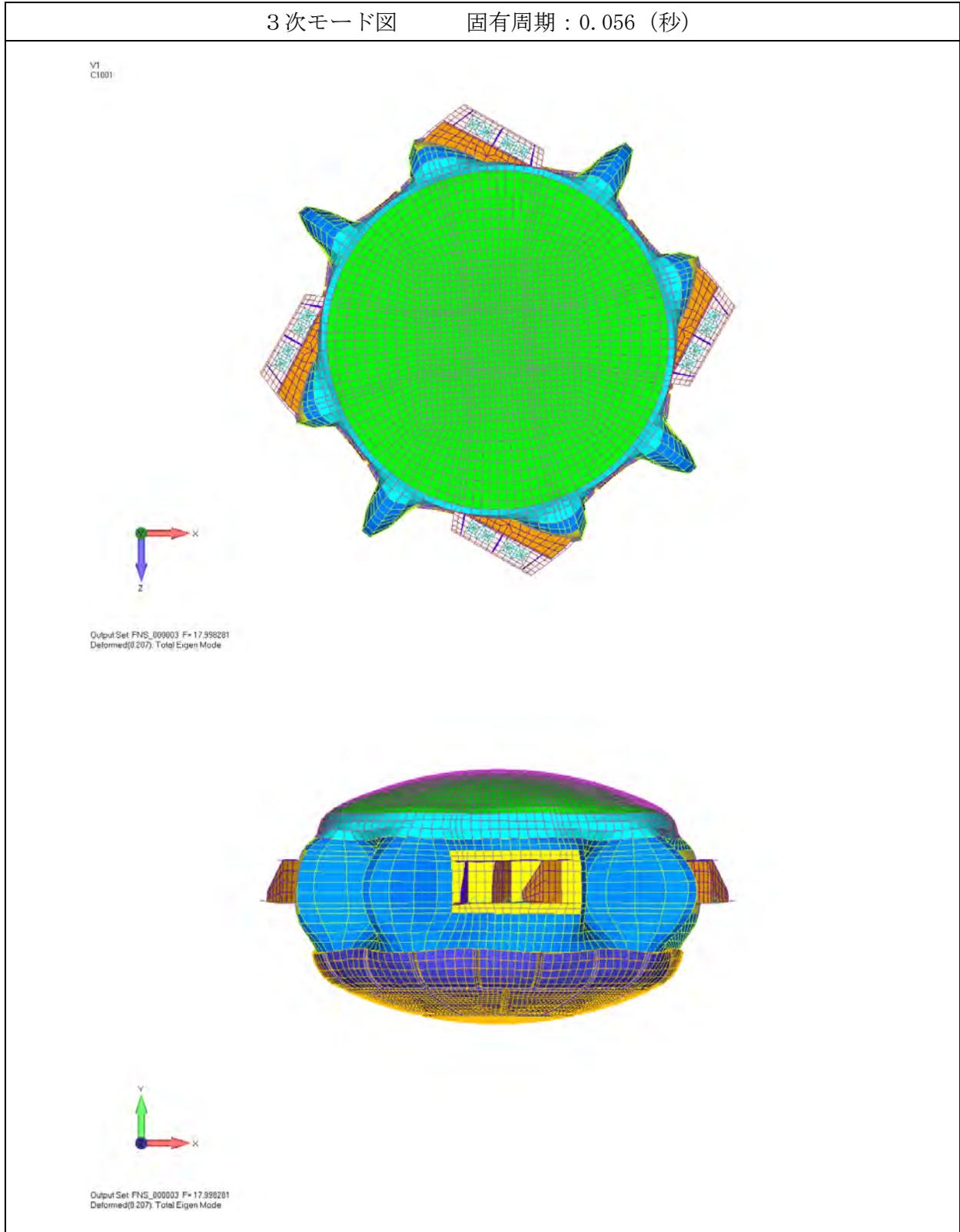


図 4-5 高放射性廃液貯槽（272V31～V36） 固有モード図（3/3）

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の高放射性廃液貯槽 (272V31～V36) 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}
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	胴 (冷却ジャケットを含む)	一次一般膜	144	269	0.54
		一次	268	404	0.67
	ラグ	一次	127	205	0.62
	据付ボルト	引張	35	246	0.15
		せん断	191	232 ^{※2}	0.83

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

※2 JSME S NC1-2012 SSB-3200 に基づき実施したせん断試験から得られた A_L をボルトの断面積で除して算出した許容応力 (国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, “地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察”, JAEA-Technology 2011-006)。

3.2 中間貯槽(272V37, V38)の耐震性についての計算書

【目 次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	1
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組み合わせ	2
4.2 許容応力	2
4.3 減衰定数	3
4.4 設計用地震力	3
4.5 計算方法	8
4.6 計算条件	8
4.7 固有周期	10
5. 評価結果	14

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する中間貯槽(272V37, V38)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。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の中間貯槽(272V37, V38)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 (日本電気協会)
- (2)原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (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 (日本機械学会)
- (4)発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
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

中間貯槽(272V37, V38)の構造強度の評価は、評価上厳しくなる胴、ラグ、据付ボルトについて実施する。中間貯槽(272V37, V38)の概要図を図 3-1 に示す。

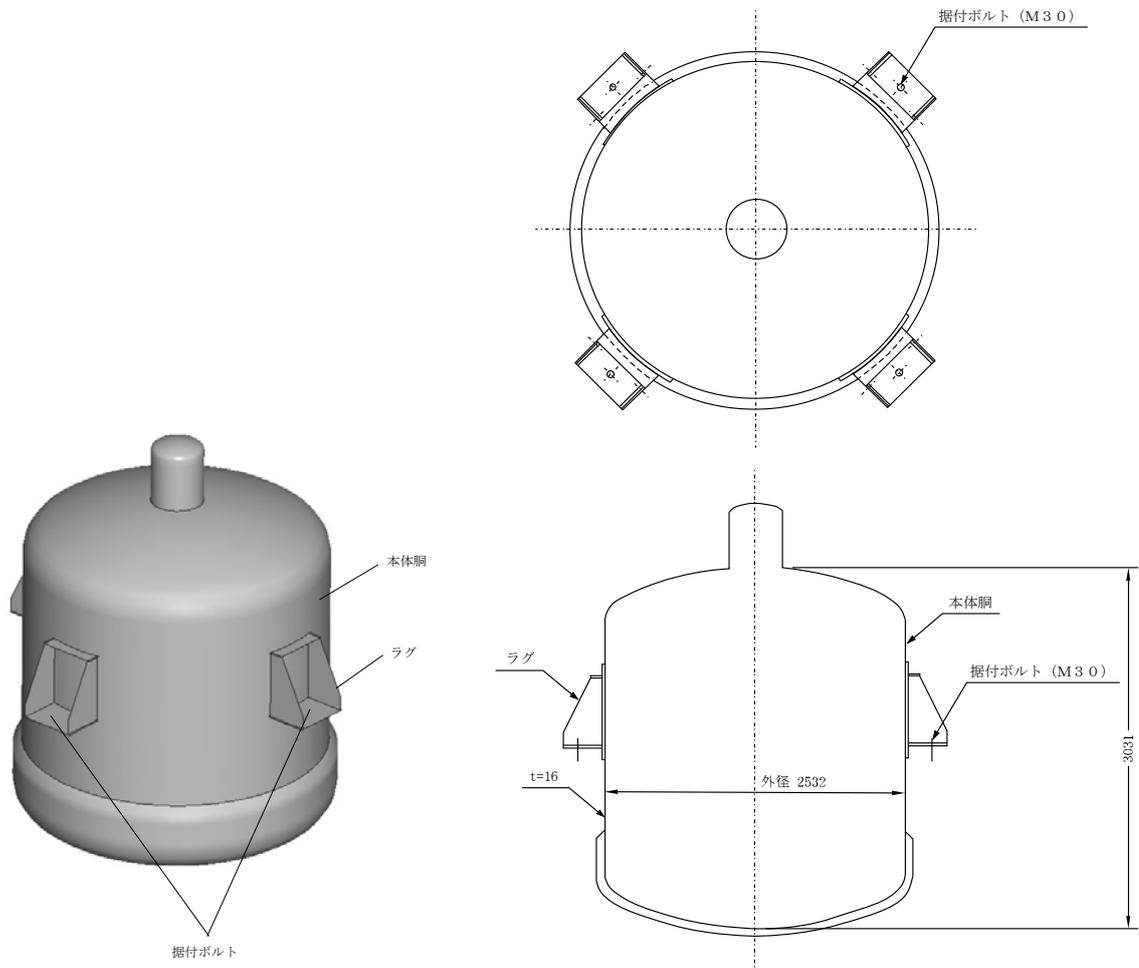


図 3-1 中間貯槽 (272V37, V38) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震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」を準拠し、供用状態 D_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s について、温度は設計温度、圧力に

については設計圧力，自重については液量を満杯とし，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	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

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 4-1 に示す。

表 4-1 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
中間貯槽 (272V37, V38)	1.0	1.0

4.4 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評価に用いた。

中間貯槽(272V37, V38)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 4-2，図 4-1，図 4-2 及び図 4-3 に示す。

表 4-2 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
中間貯槽 (272V37, V38)	廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-2, 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(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応 答時刻歴波(1階)

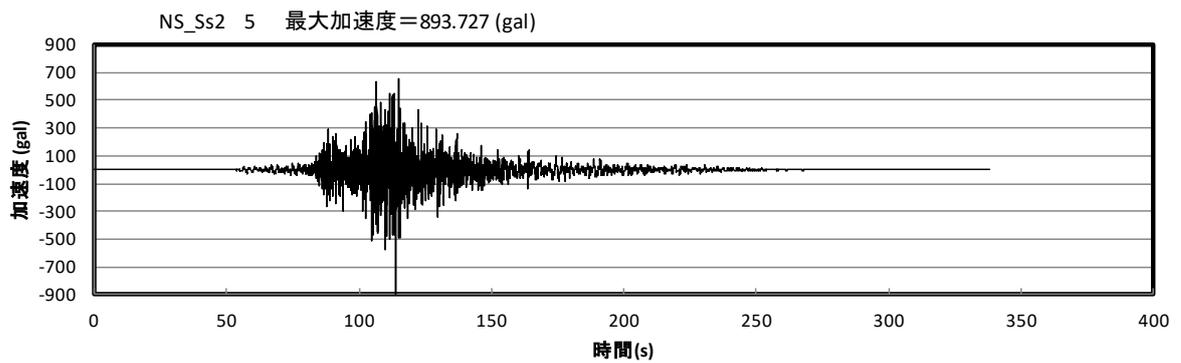
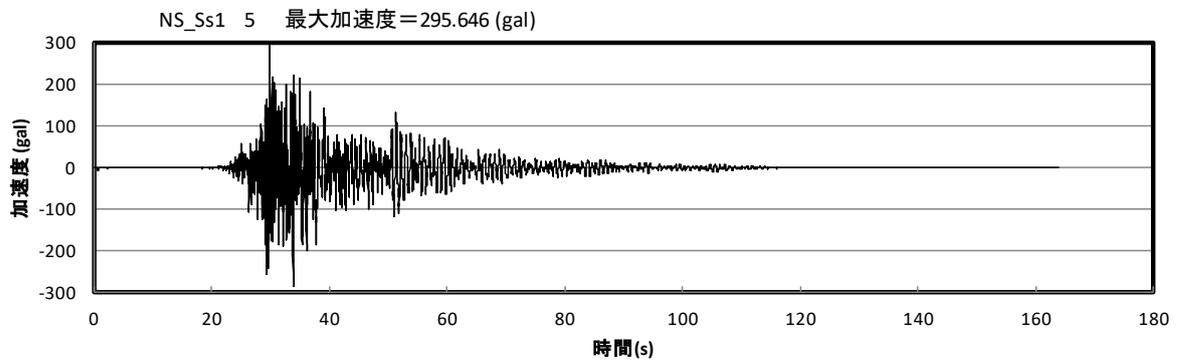
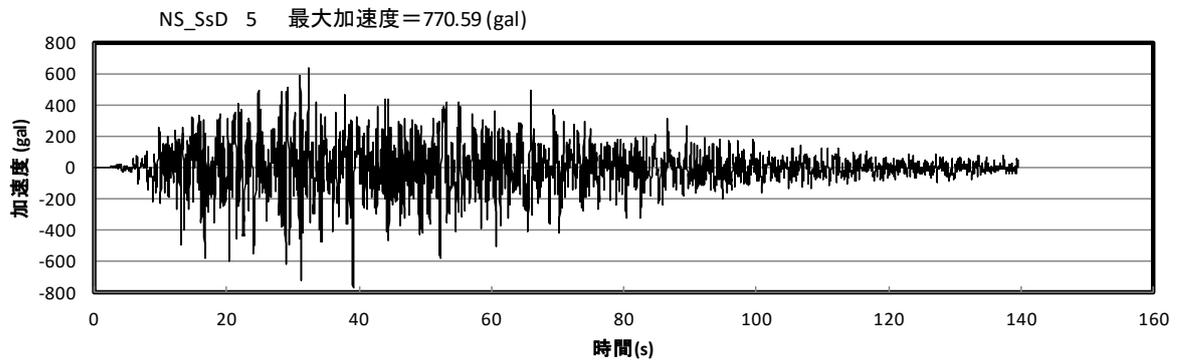


図 4-1 廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(1階, 水平 NS 方向)

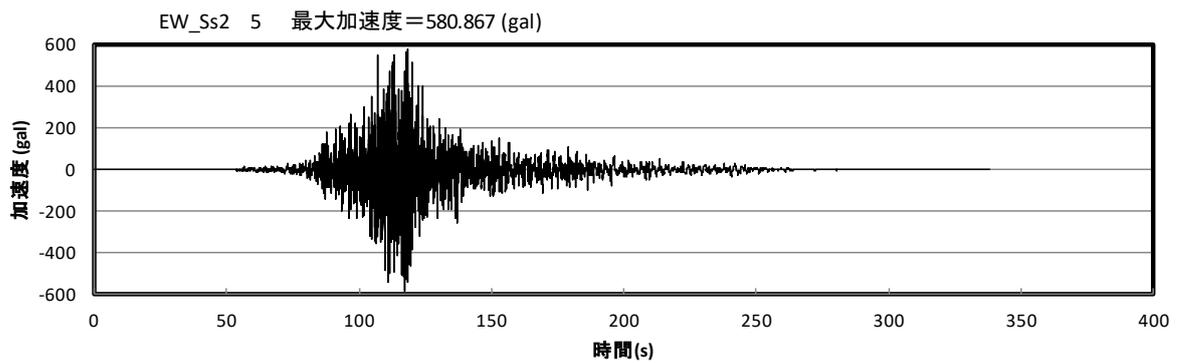
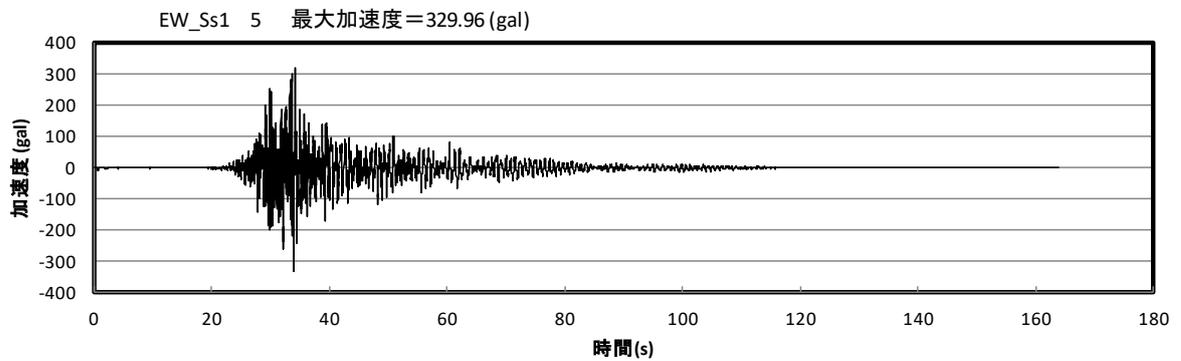
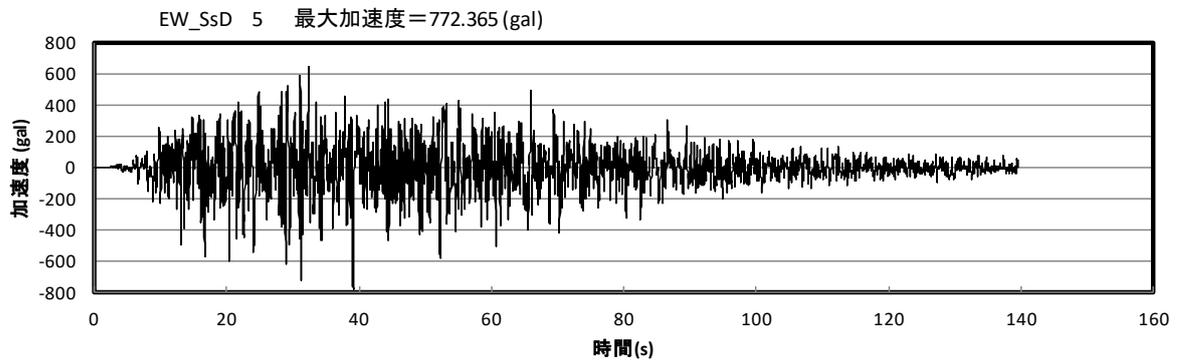


図 4-2 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形 (1 階, 水平 EW 方向)

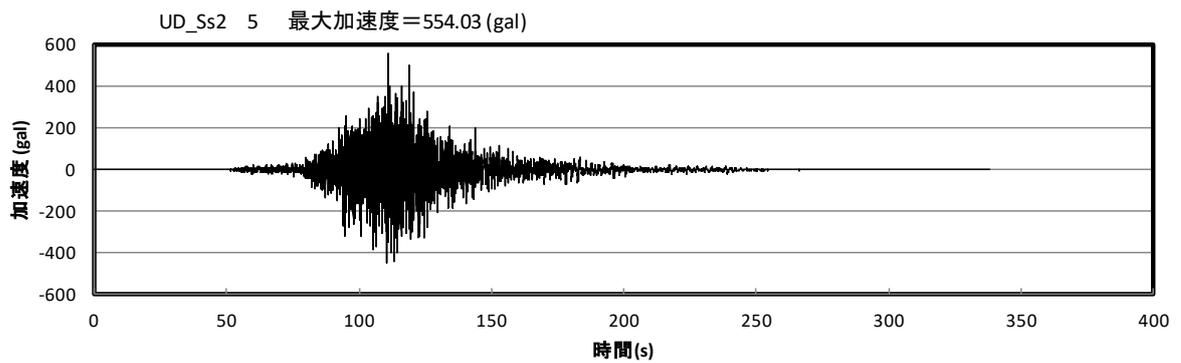
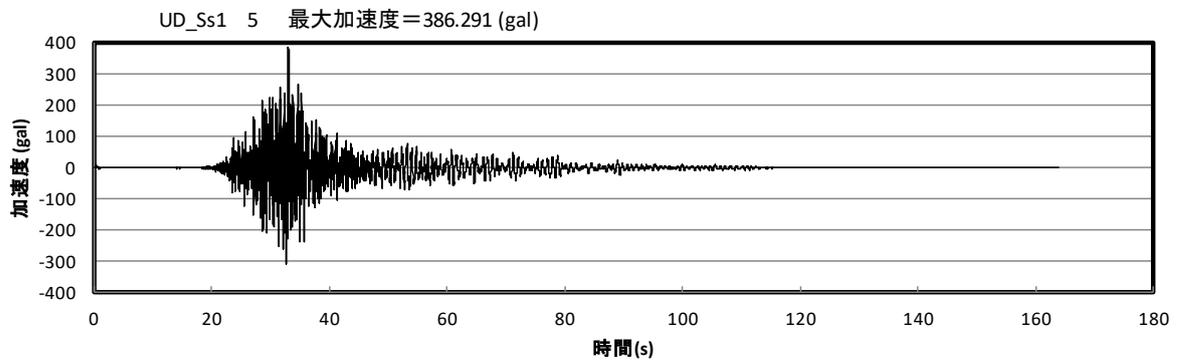
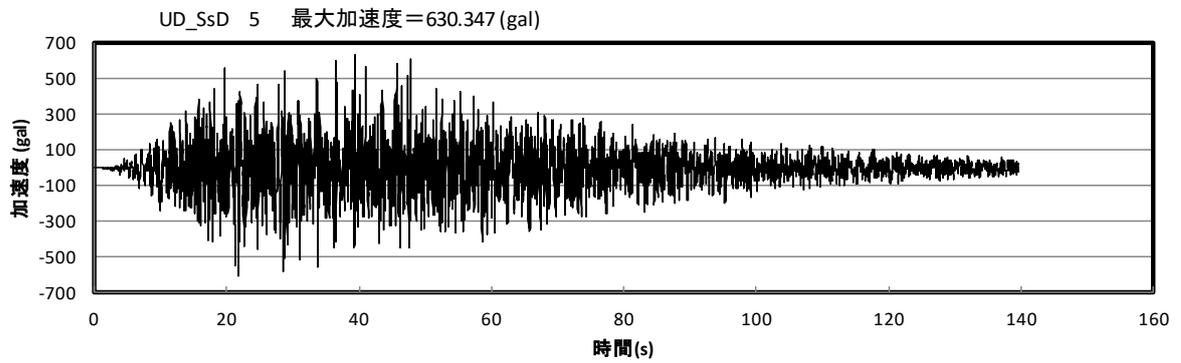


図 4-3 廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(1 階, 鉛直方向)

4.5 計算方法

中間貯槽(272V37, V38)の計算方法について、FEM解析(時刻歴応答解析)により発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。解析コードはFINAS^{※1}を用いた。

※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

中間貯槽(272V37, V38)の解析モデルを図4-4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。

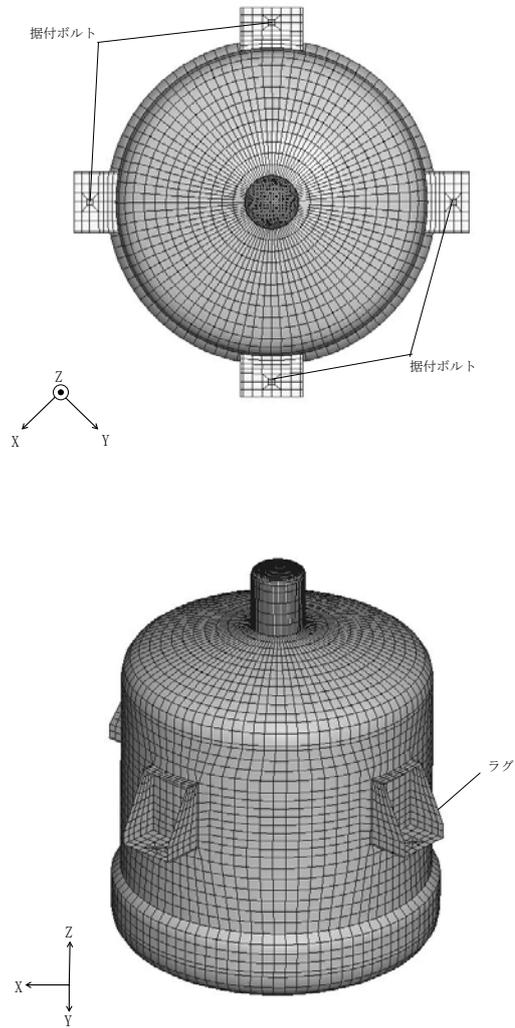
モデル化にあたって、総質量には槽内構造物、高放射性廃液等の質量が含まれているが、それらの質量は胴板全体に付加した。胴板への質量の付加においては、解析モデルの総質量が約22 tとなるように、胴板の密度を設定した。

4.6.2 諸元

中間貯槽(272V37, V38)の主要寸法・仕様を表4-3に示す。

表4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
中間貯槽 (272V37, V38)	耐震重要度分類	Sクラス
	機器区分	クラス3
	圧力(設計圧力)	0.049 (MPa)
	胴外径	2532 (mm)
	胴板厚さ	16 (mm)
	胴高さ(外側)	3031 (mm)
	胴材質	SUS316L
	胴温度(設計温度)	80 (°C)
	据付ボルト呼び径	M30
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	60 (°C)
	液量(満杯, (22 t - 7.9 t)/(1.28 g/cm ³))	11 (m ³)
	液密度	1.28 (g/cm ³)
	空質量(設計質量)	約7.9 (t)
	総質量(設計質量)	約22 (t)



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進			回転		
	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト部 (4箇所)	○	○	○	－	－	－
ラグ底面 (4箇所)	－	－	○	－	－	－

図 4-4 中間貯槽 (272V37, V38) の解析モデル

4.7 固有周期

中間貯槽 (272V37, V38) の固有周期及び固有モードを図 4-5 に示す。

1次モード図 固有周期：0.033（秒）

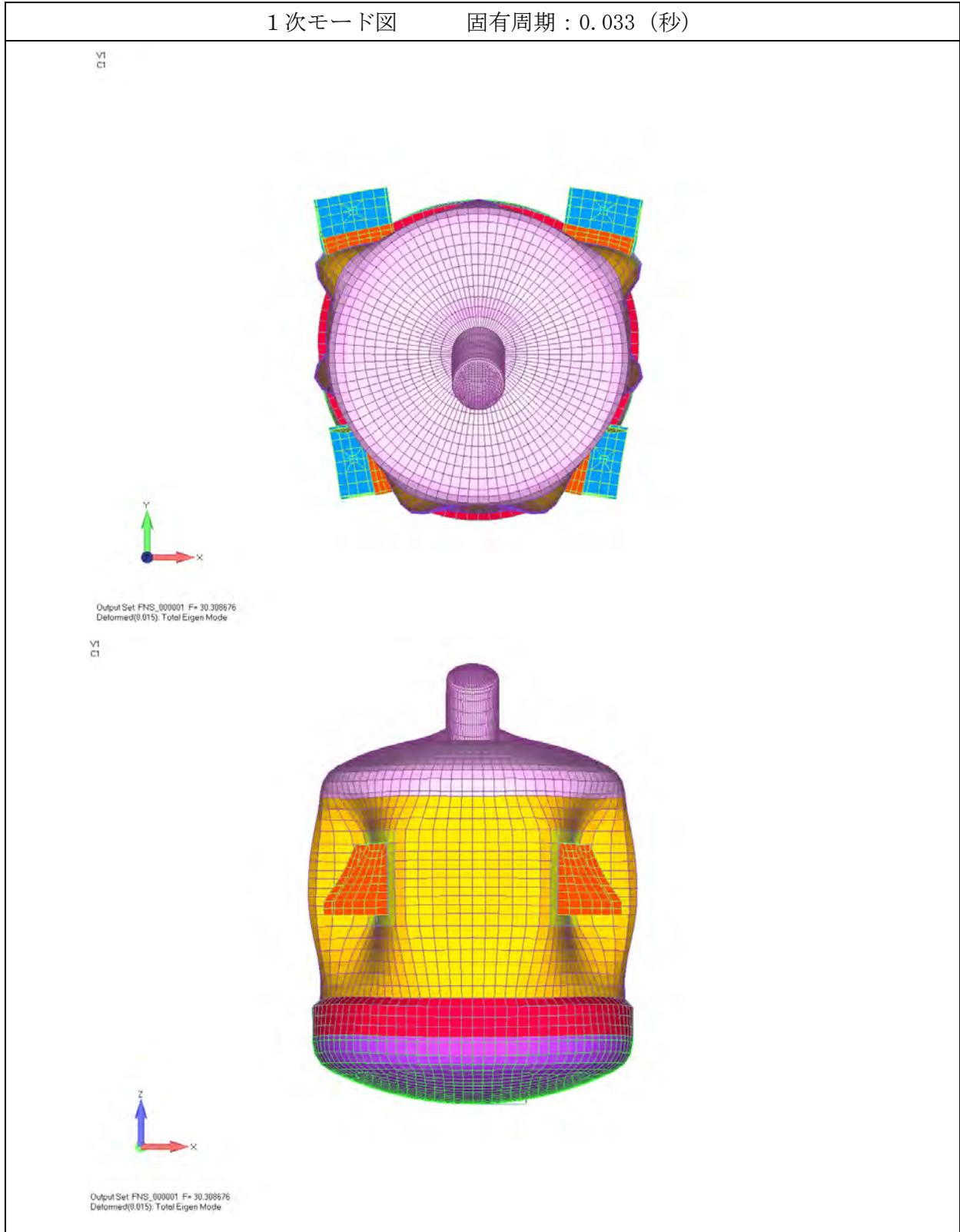


図 4-5 中間貯槽(272V37, V38) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.033（秒）

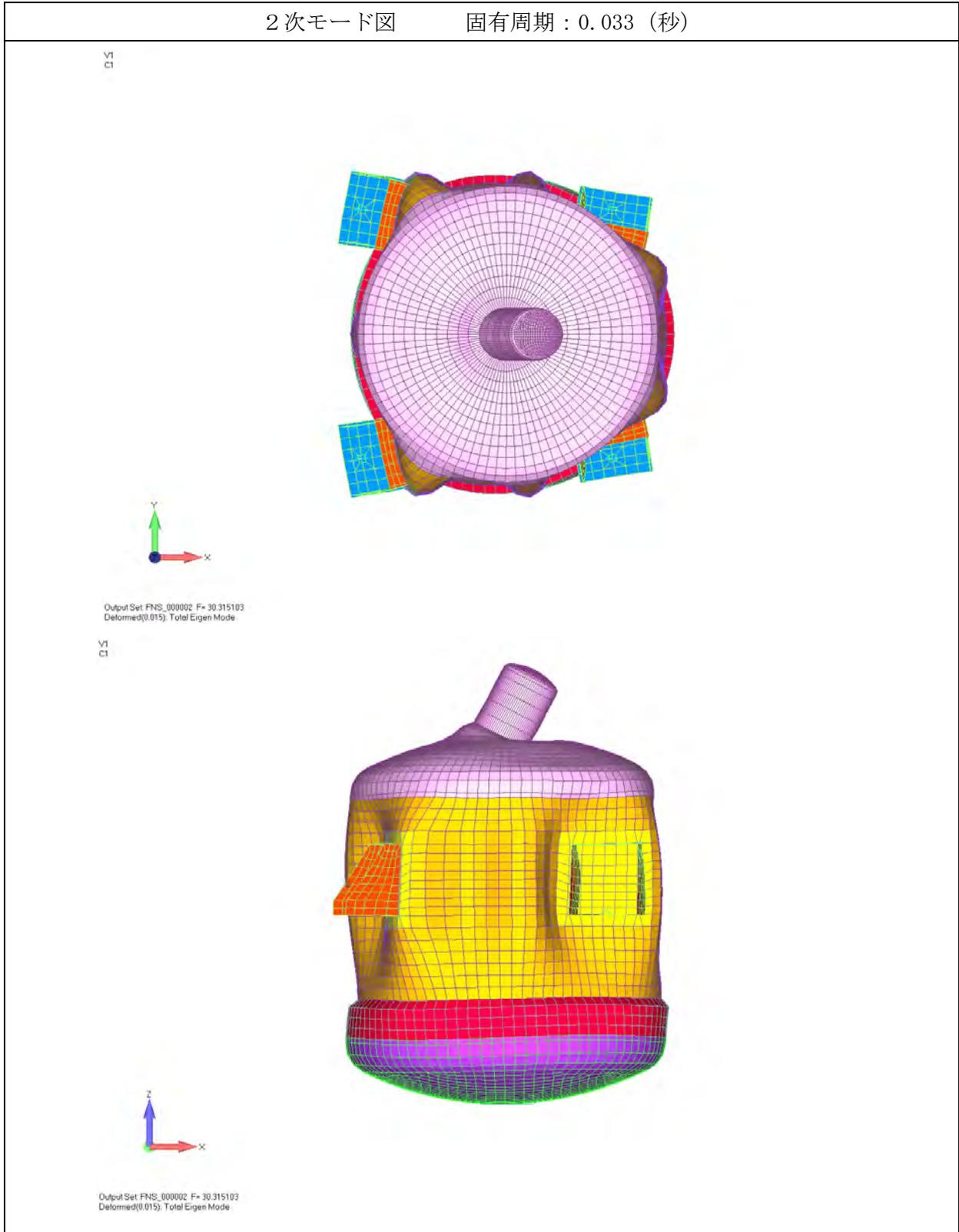


図 4-5 中間貯槽(272V37, V38) 固有モード図 (2/3)

3次モード図 固有周期：0.027（秒）

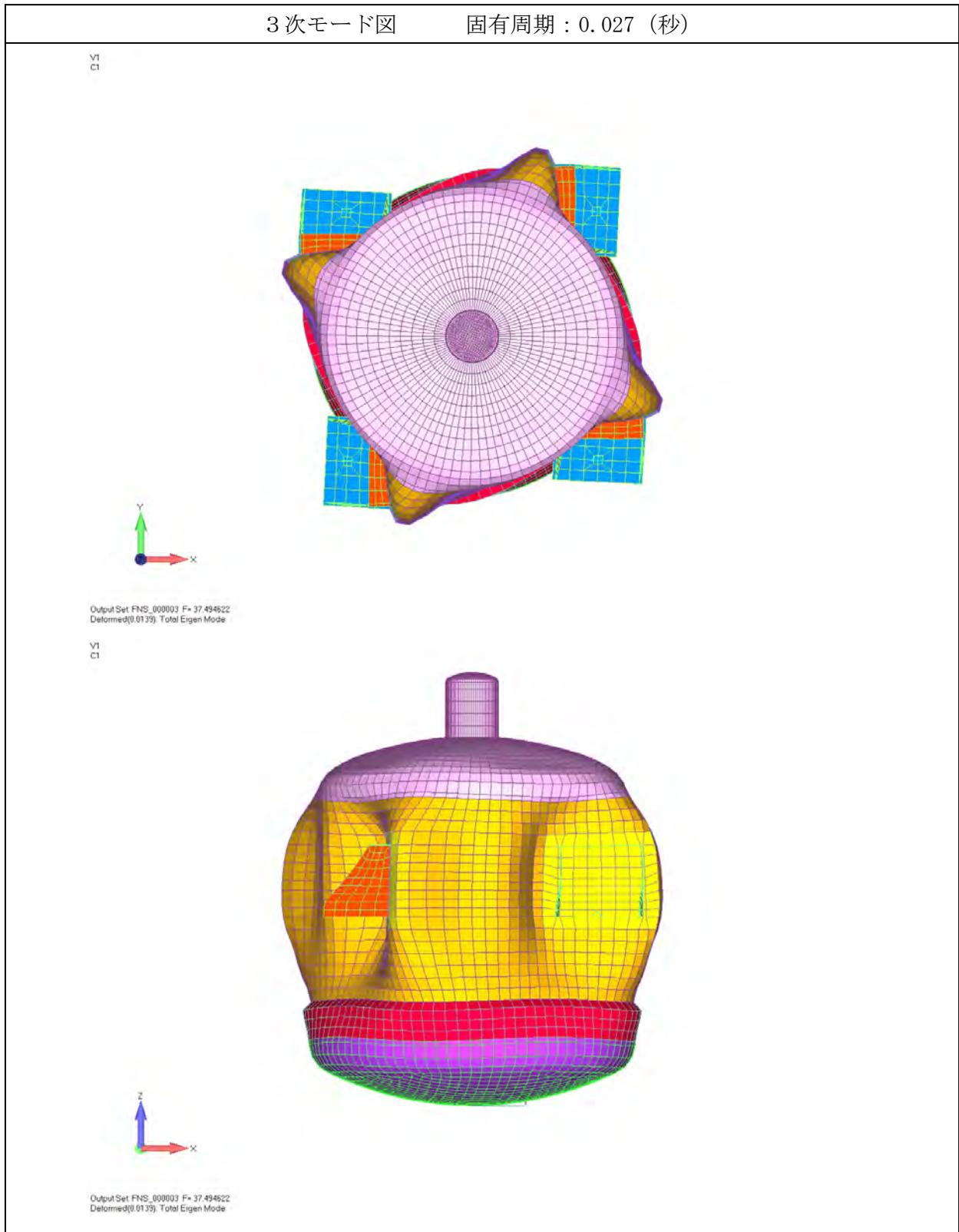


図 4-5 中間貯槽 (272V37, V38) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の中間貯槽 (272V37, V38) 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}
中間貯槽 (272V37, V38)	胴 (冷却ジャケットを含む)	一次一般膜	102	269	0.38
		一次	167	404	0.42
	ラグ	一次	66	210	0.32
	据付ボルト	引張	3	139	0.03
		せん断	108	142	0.77

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

3.3 水封槽(272V41, V42)の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	3
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組み合わせ	3
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 計算方法	5
4.5 計算条件	5
4.6 固有周期	7
5. 評価結果	8

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する水封槽(272V41, V42)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。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の水封槽(272V41, V42)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」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠し、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 (日本電気協会)
- (2)原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (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 (日本機械学会)
- (4)発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D_o	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
h	胴高さ	mm
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	胴板厚さ	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11} ～ σ_{16}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{17} ～ σ_{110}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1} ～ σ_{b3}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4} ～ σ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4} ～ τ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s

3. 評価部位

水封槽 (272V41, V42) の構造強度の評価は、評価上厳しくなる胴、据付ボルトについて実施する。水封槽 (272V41, V42) の概要図を図 3-1 に示す。

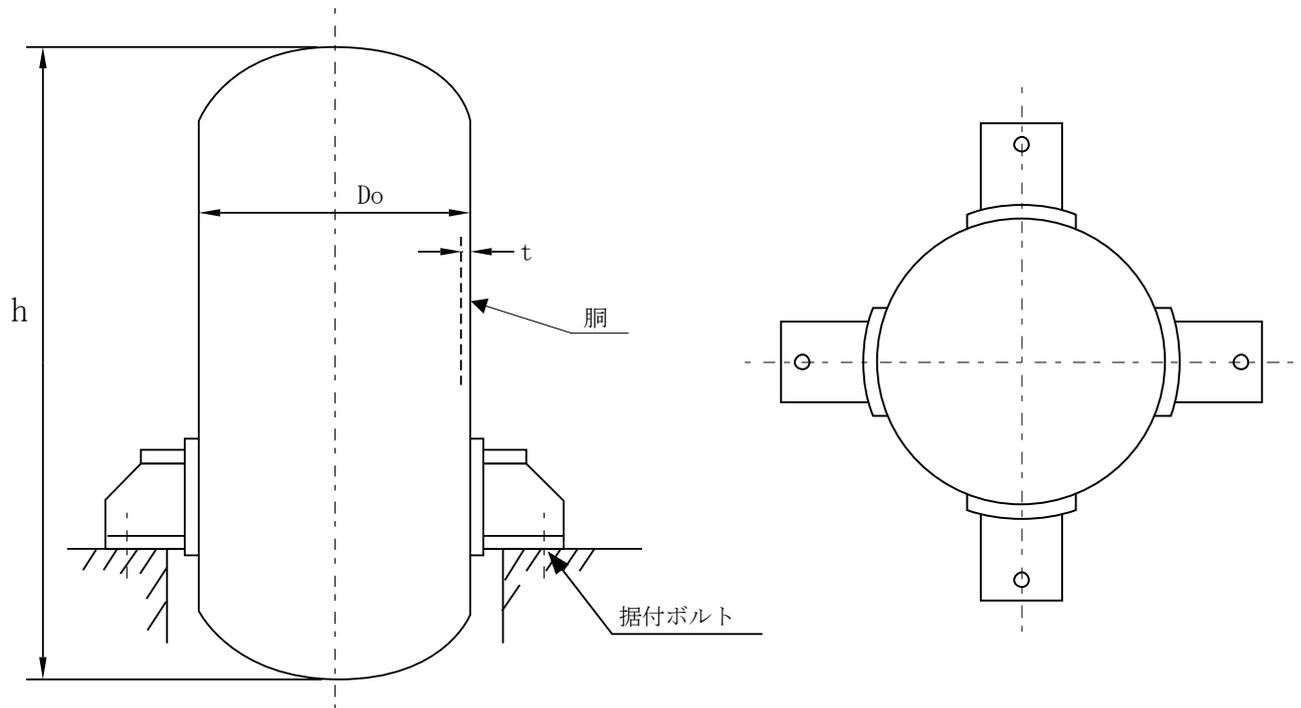


図 3-1 水封槽 (272V41, V42) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震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」を準拠し、供用

状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、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	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

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 4-1 に示す。

水封槽 (272V41, V42) の静的解析用震度は、機器据付階のもの (4F, 水平方向 : 1.24, 鉛直方向 : 0.79) を用いた。

表 4-1 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度 $\times 1.2$)	
	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

4.4 計算方法

水封槽 (272V41, V42) の計算方法として、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用して発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}]$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x11}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴の一次応力：

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}]$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}]$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

水封槽 (272V41, V42) の解析モデルを図 4-1 に示す。

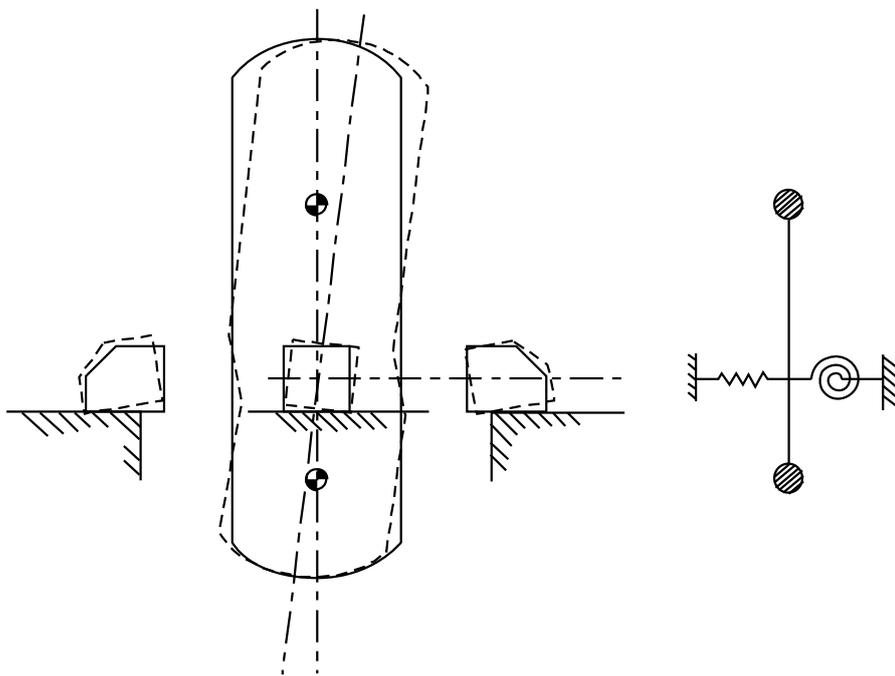


図 4-1 水封槽 (272V41, V42) の解析モデル

4.5.2 諸元

水封槽 (272V41, V42) の主要寸法・仕様を表 4-2 に示す。

表 4-2 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	記号	値
水封槽 (272V41, V42)	耐震重要度分類	—	S クラス
	機器区分	—	クラス 3
	圧力 (設計圧力)		0.049 (MPa)
	胴外径	D_o	816 (mm)
	胴板厚さ	t	6 (mm)
	胴高さ	h	1316 (mm)
	胴材質	—	SUS316L
	胴温度 (設計温度)	—	100 (°C)
	据付ボルト呼び径	—	M20
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度		100 (°C)
	総質量	—	600 (kg)

4.6 固有周期

水封槽(272V41, V42)の固有周期は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H}$$

水封槽(272V41, V42)の固有周期を表 4-3 に示す。

表 4-3 固有周期

評価対象設備	固有周期
水封槽(272V41, V42)	0.028 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の水封槽(272V41, V42)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}
水封槽 (272V41, V42)	胴	一次一般膜	4	263	0.02
		一次	9	395	0.03
	据付ボルト	引張	21	237	0.09
		せん断	15	137	0.11

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

3.4 緊急放出系フィルタユニット(272F480)
の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組み合わせ	2
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	3
4.4 計算方法	4
4.5 計算条件	5
4.6 固有周期	6
5. 評価結果	9

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能（蒸発乾固発生時の影響緩和機能）を構成する緊急放出系フィルタユニット（272F480）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。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の緊急放出系フィルタユニット（272F480）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」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し，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（日本電気協会）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601（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（日本機械学会）
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm ²
A_S	最小有効せん断断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm ⁴
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離 ($l_1 \leq l_2$)	mm
L	据付ボルト間隔	mm
M	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の構造強度の評価は、評価上厳しくなる据付ボルトについて実施する。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重及び地震による応力を組み合わせた。地震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」を準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、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	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

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 4-1 に示す。

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の静的解析用震度は、機器据付階のもの (4F, 水平方向 : 1.24, 鉛直方向 : 0.79) を用いた。

表 4-1 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

4.4 計算方法

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の計算方法として、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用して発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。

引張力 (F_b) :

$$F_b = \frac{1}{L} \left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mgC_P(h + l_1) + M_P - mgl_1 \right\}$$

引張応力 (σ_b) :

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力 (Q_b) :

$$Q_b = mg(C_H + C_P)$$

せん断応力 (τ_b) :

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の解析モデルを図4-1に示す。

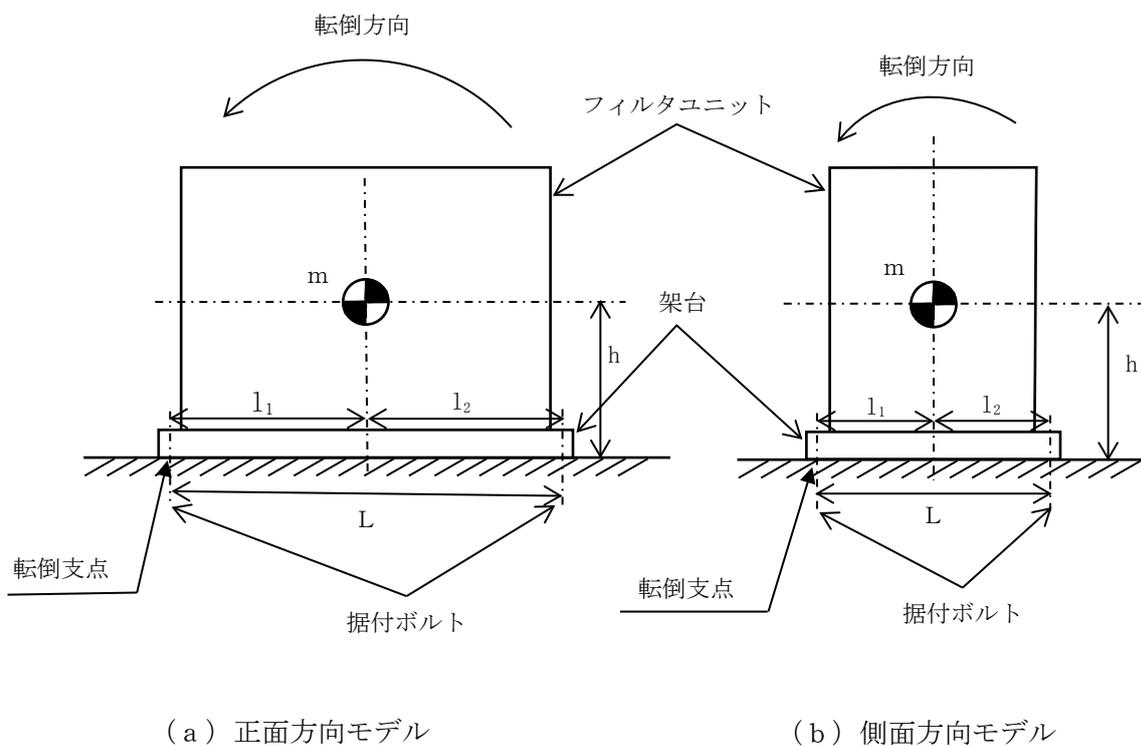


図4-1 解析モデル

4.5.2 諸元

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の主要寸法・仕様を表4-2に示す。

表 4-2 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	記号	値
緊急放出系フィルタユニット (272F480)	耐震重要度分類	—	S クラス
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	810 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	110 (°C)
	据付面から重心までの距離	h	1100 (mm)
	総質量	m	1800 (kg)

4.6 固有周期

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の固有周期は、1 質点系振動モデルとして考え、以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m}{1000} \left(\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{A_S G_I} \right)}$$

緊急放出系フィルタユニット (272F480) の固有周期を表 4-3 に示す。

表 4-3 固有周期

評価対象設備	固有周期
緊急放出系フィルタユニット (272F480)	0.029 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の緊急放出系フィルタユニット(272F480)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}
緊急放出系フィル タユニット (272F480)	据付ボルト	引張	16	233	0.07
		せん断	7	134	0.06

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

3.5 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管
の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組み合わせ	3
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 計算方法	5
4.5 計算条件	5
5. 評価結果	7

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する 1 次冷却水系配管及び緊急放出系配管について、「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。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の配管は，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。

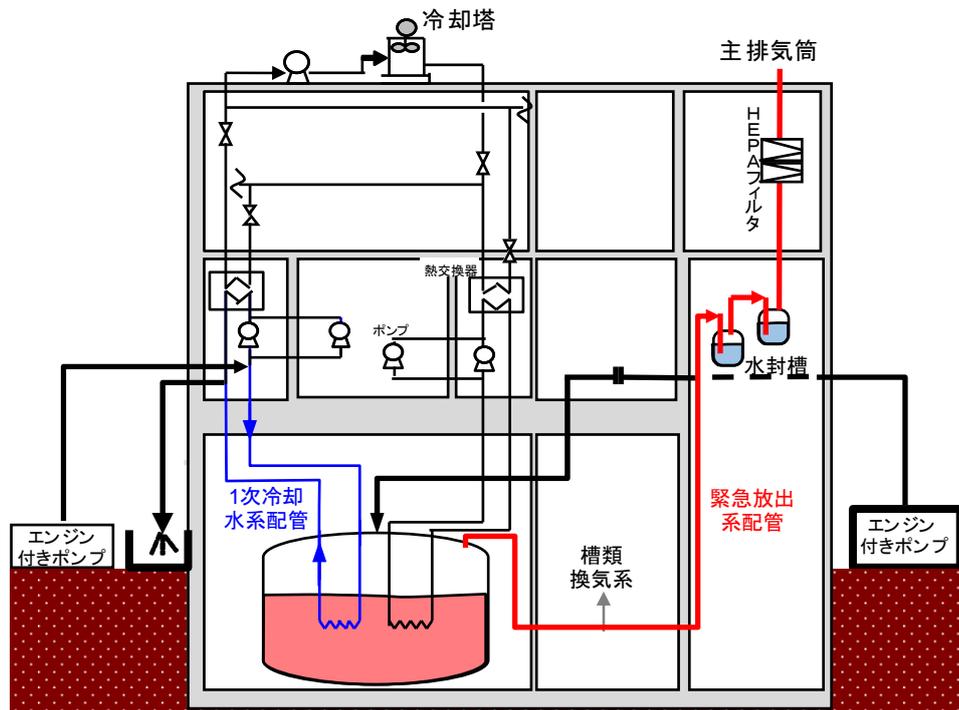
- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

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	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は、本体の一次応力について実施する。評価の範囲は事故対処設備として機能維持が求められる 1 次冷却水系配管及び緊急放出系配管の系統の一部（図 3-1）とする。



配管系統の評価範囲

1次冷却水系配管：
事故対処時にエンジン付きポンプを接続する1次冷却水系配管の接続位置から冷却コイルまでの範囲（青線部）。

緊急放出系配管：
重大事故時に影響緩和のために期待する高放射性廃液貯槽から建家出口までの放出経路（赤線部）。排気筒による拡散効果を期待しないため建家外の配管（ダクト）は評価対象外である。
なお、水封槽及びHEPAフィルタは別紙で評価する。

図 3-1 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震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、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠し、供用

状態 D_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s について、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	応力分類	許容応力	備考
配管	一次応力	0.9 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 4-1 に示す。

1 次冷却水系配管及び緊急放出系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 : 1.41, 鉛直方向 : 0.80) を用いた。

表 4-1 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

4.4 計算方法

配管の計算方法として、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て発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。

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

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

1次冷却水系配管及び緊急放出系配管については、振動数基準の定ピッチスパン法により設置しており、等分布荷重を受ける両端単純支持はりにモデル化した。1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の解析モデルを図4-1に示す。

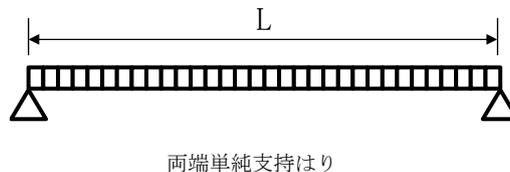


図4-1 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の解析モデル

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。

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

4.5.2 諸元

1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の仕様を表4-2に示す。

表4-2 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の仕様

評価対象 設備	耐震重要 度分類	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)	Sch	最大支持 間隔 (mm)
1次冷却水 系配管	Sクラス	クラス3	冷却水	1.0	SUS304	無	100	1.37	32	40	2160
									50	20S	2520
									80	10S	2920
									150	10S	3730
									200	10S	4200
緊急放出 系配管	Sクラス	クラス3	空気	—	SUS304LTP	無	100	1.37	80	20S	3380
									200	20S	5310
									400	(9.0 mm) ^{※1}	7340
					SUS304	無	40	—	φ850	(5.0 mm) ^{※1}	11189

※1 () 内は厚さ

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の1次冷却水系配管及び緊急放出系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

評価対象設備	呼び径 (A)	Sch	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
1次冷却水系配管	32	40	31	396	0.08
	50	20S	34	396	0.09
	80	10S	41	396	0.11
	150	10S	51	396	0.13
	200	10S	54	396	0.14
緊急放出系配管	80	20S	31	367	0.09
	200	20S	34	367	0.10
	400	(9.0 mm) ^{※2}	38	367	0.11
	φ 850	(5.0 mm) ^{※2}	24	468	0.06

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

※2 ()内は厚さ。