

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の
建物・構築物及び機器・配管系の構造(耐震性)に関する説明書

【概要】

- ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟について、廃止措置計画用設計地震動(以下、「設計地震動」という。)に対して重要な安全機能(閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能)が損なわれないよう、建家・第二付属排気筒並びに内部に設置されている重要な安全機能を担う施設の耐震性を確保する。今回はガラス固化技術開発施設(TVF)で特徴的な機器の計算書を提示した。すべての対象機器については7月中に提示する予定である。
- ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟において高放射性廃液貯蔵場(HAW)から高放射性廃液を受け入れる受入槽及び回収液槽については、それらを直接指示している据付ボルトの強度について、実機構造に基づく荷重試験を実施した。
 - ・ 設計地震動が作用した際の発生せん断力は荷重試験の結果から定めた許容荷重を下回り、必要な耐震性が確保できることを示した。
 - ・ しかしながら、機構としてリスクの大きい高放射性廃液を取り扱うという観点を重要視し、更なる耐震裕度を確保するために、貯槽の液量を制限して地震時に発生する荷重を低減する方法を検討している。
 - ・ ガラス固化技術開発施設の運転は、高放射性廃液貯蔵場(HAW)にある高放射性廃液を安定なガラス固化体へ処理し、再処理施設全体のリスク低減を行う重要な作業であることも考慮し、液量管理によってガラス固化処理工程に影響が及ばないよう対応について検討を進める。検討結果については7月中に提示する予定である。
- 濃縮器の据付ボルト強度は材料規格に基づく保守的なもので評価しているが、実際の運転で扱う液量等に基づいて、耐震評価結果に対する裕度確保について検討し、7月中に提示する予定である。

令和2年6月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟
建家の地震応答計算書

1. 概要

本資料は、廃止措置計画用設計地震動に対して、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟が耐震余裕を有することを説明するものである。

廃止措置計画用設計地震動は、令和2年2月10日付け原規規発第2002103号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」において策定した敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動とする。策定した廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトルを図1-1から図1-3に、時刻歴波形を図1-4から図1-6に示す。解放基盤表面は、S波速度が0.7 km/s以上であるT.P.^{*}-303 m(G.L. -309 m)とする。

※T.P. : 東京湾平均海面

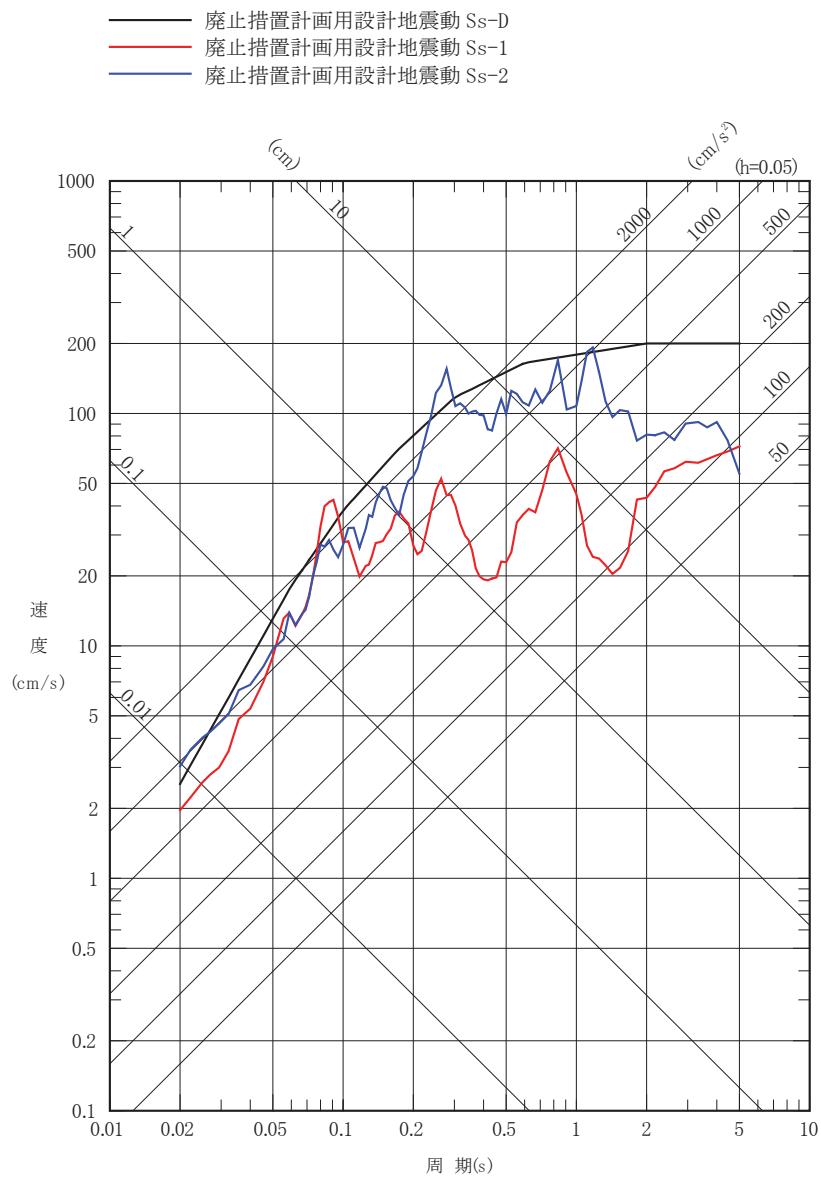


図 1-1 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(NS 成分)

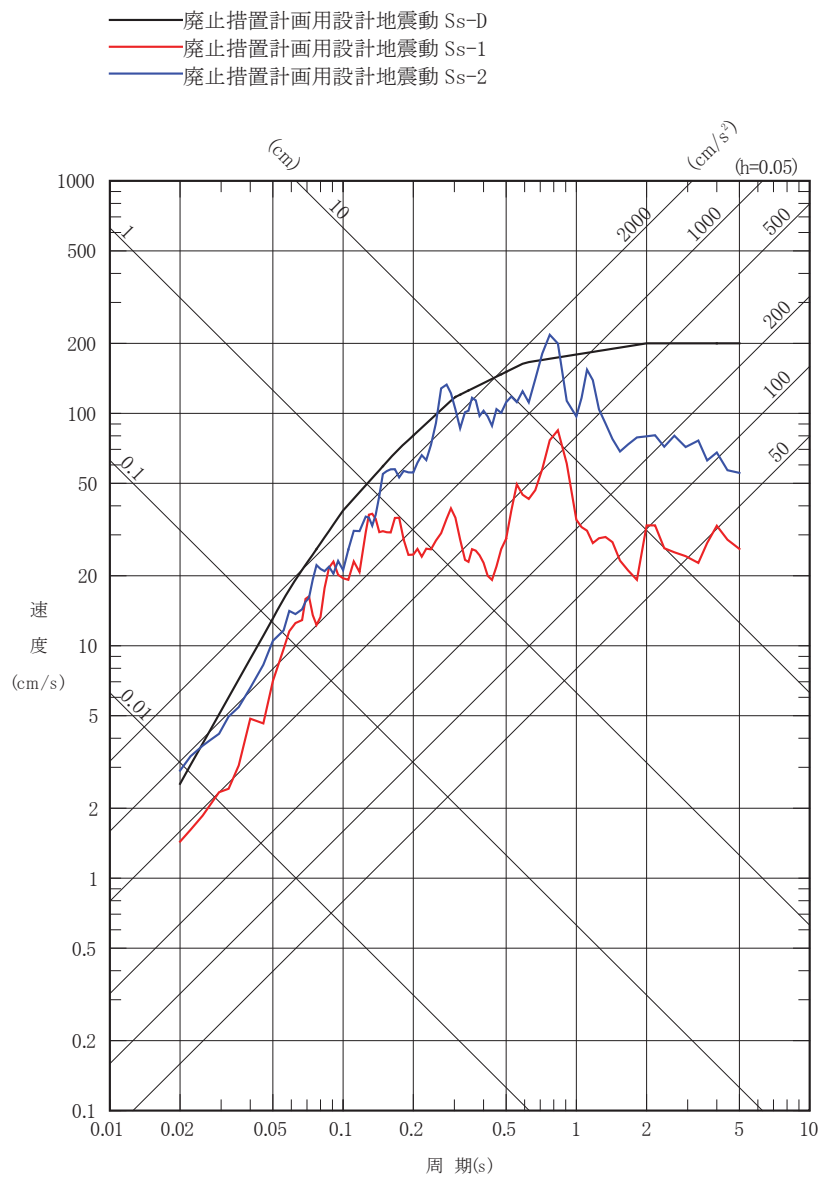


図 1-2 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(EW成分)

— 廃止措置計画用設計地震動 Ss-D
 — 廃止措置計画用設計地震動 Ss-1
 — 廃止措置計画用設計地震動 Ss-2

32

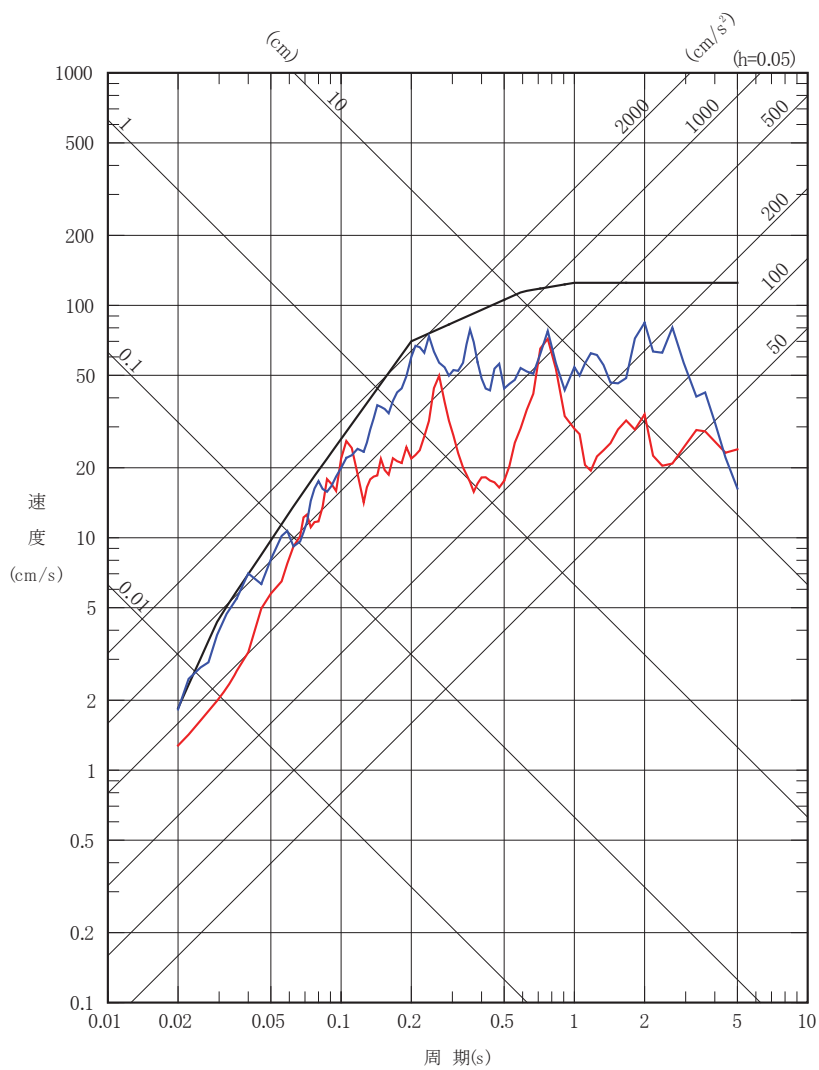
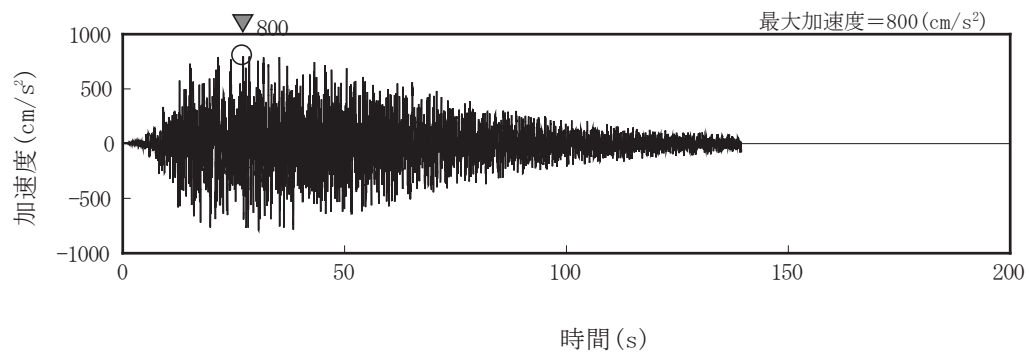
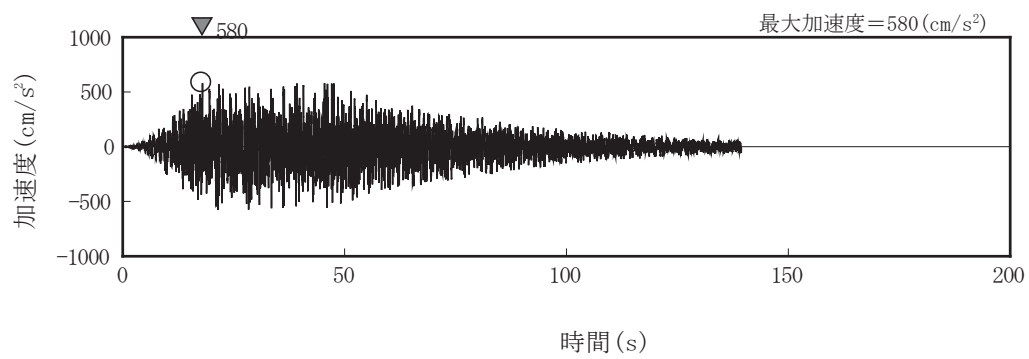


図 1-3 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(UD 成分)

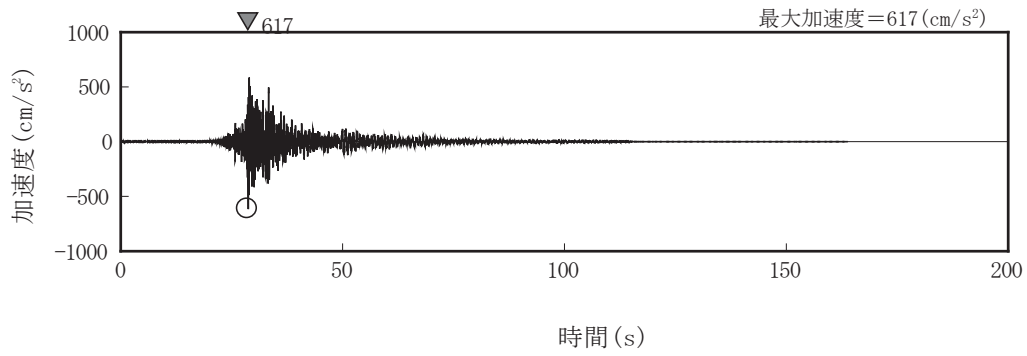


(水平成分)

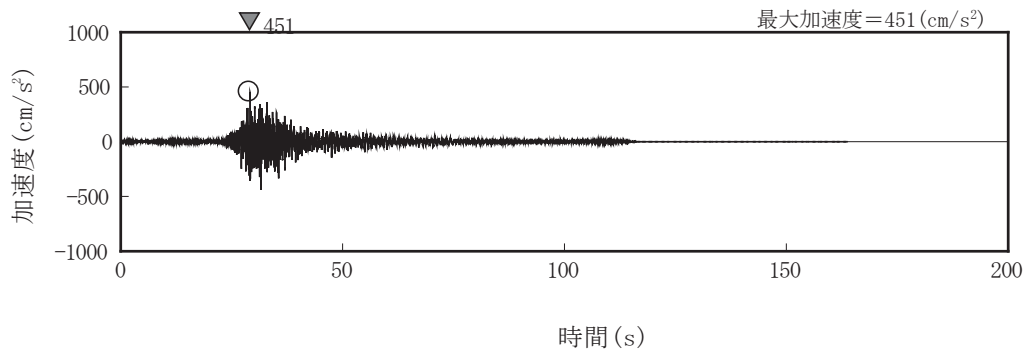


(鉛直成分)

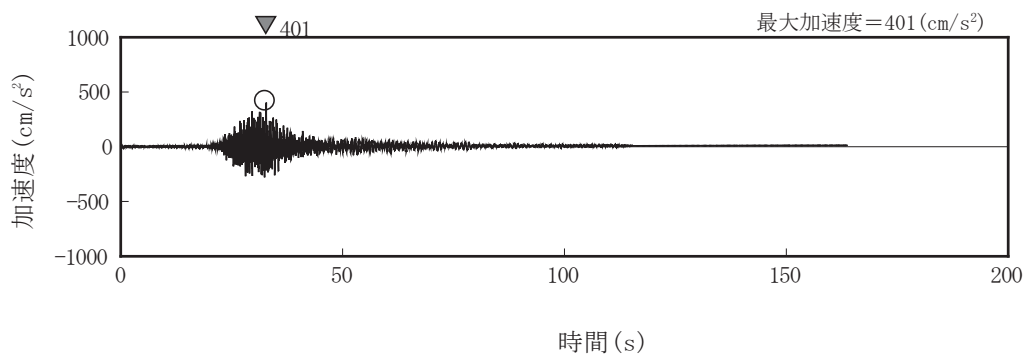
図 1-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D)の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



(UD 成分)

図 1-5 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-1) の時刻歴波形

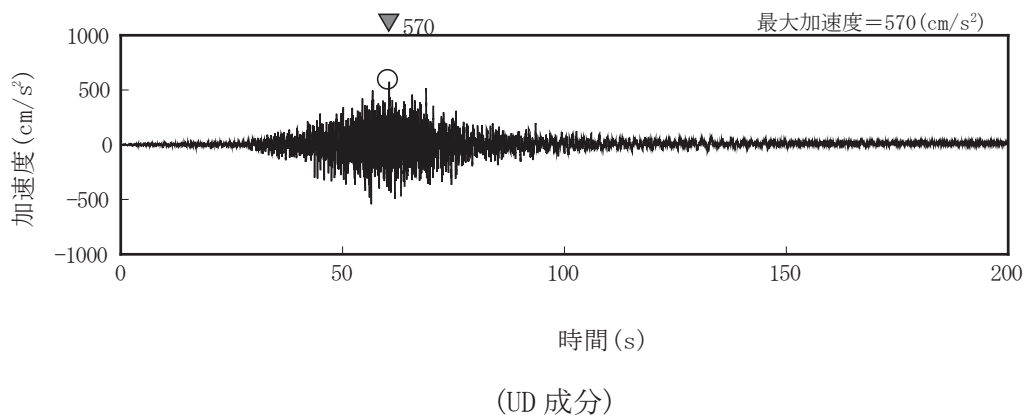
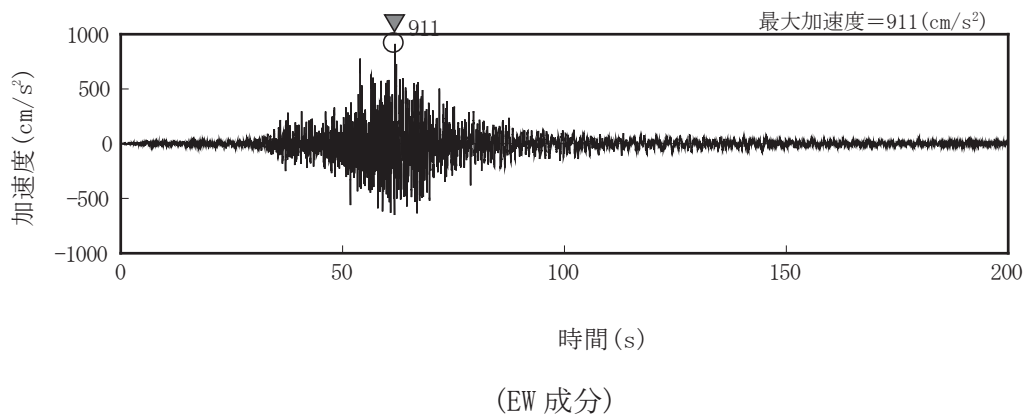
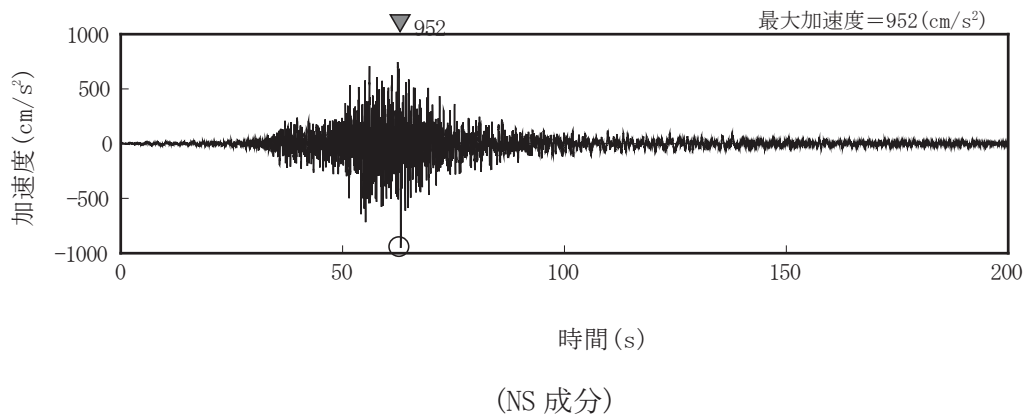


図 1-6 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-2) の時刻歴波形

2. 一般事項

2.1 位置

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の位置を図 2-1 に示す。プラントノースと磁北方向の角度差は、 35.7° である。



図 2-1 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の位置

2.2 構造概要

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟は、

の鉄骨鉄筋コンクリート造の建家である。基礎は、べた基礎とし、基礎地盤である久米層(砂質泥岩)に設置されている。

建家の代表的な平面図及び断面図を図 2-2 から図 2-5 に、基礎地盤(久米層)の等高線図及び断面図を図 2-6 から図 2-8 に示す。

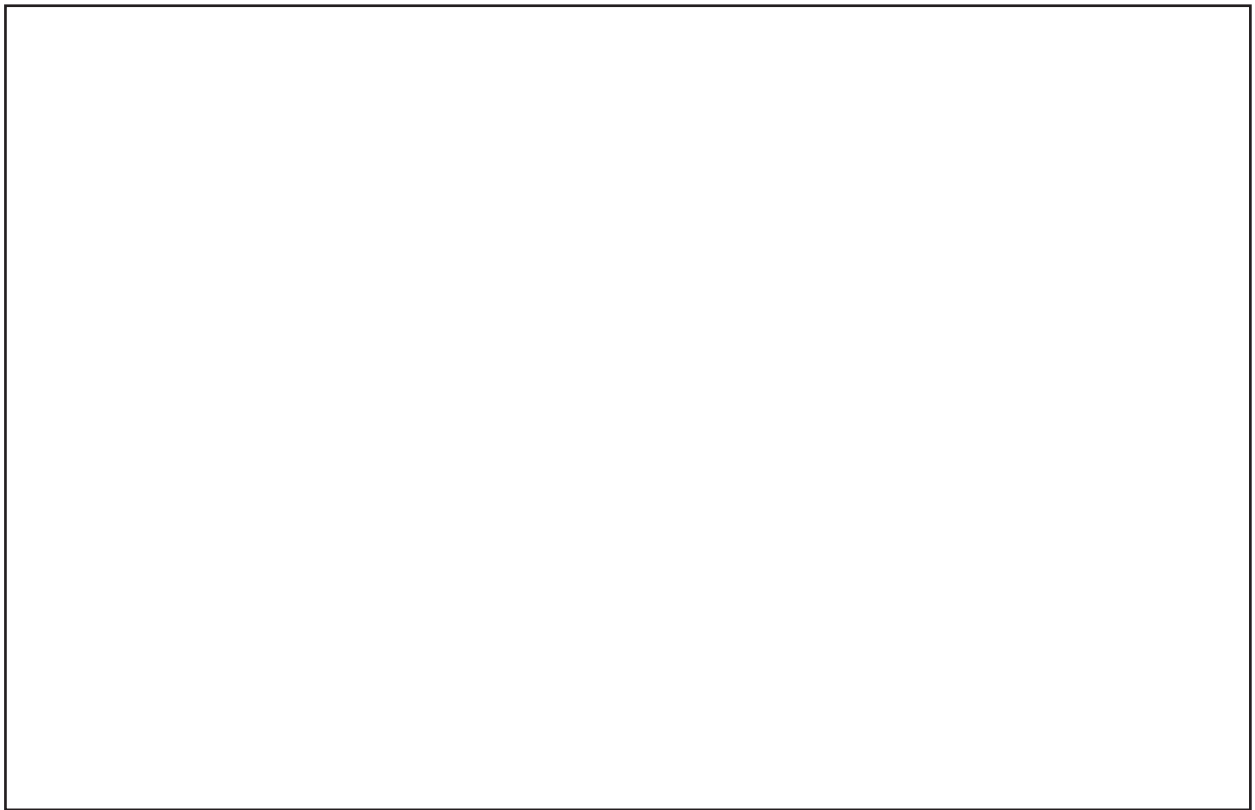


図 2-2 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟平面図 (地下 2 階)

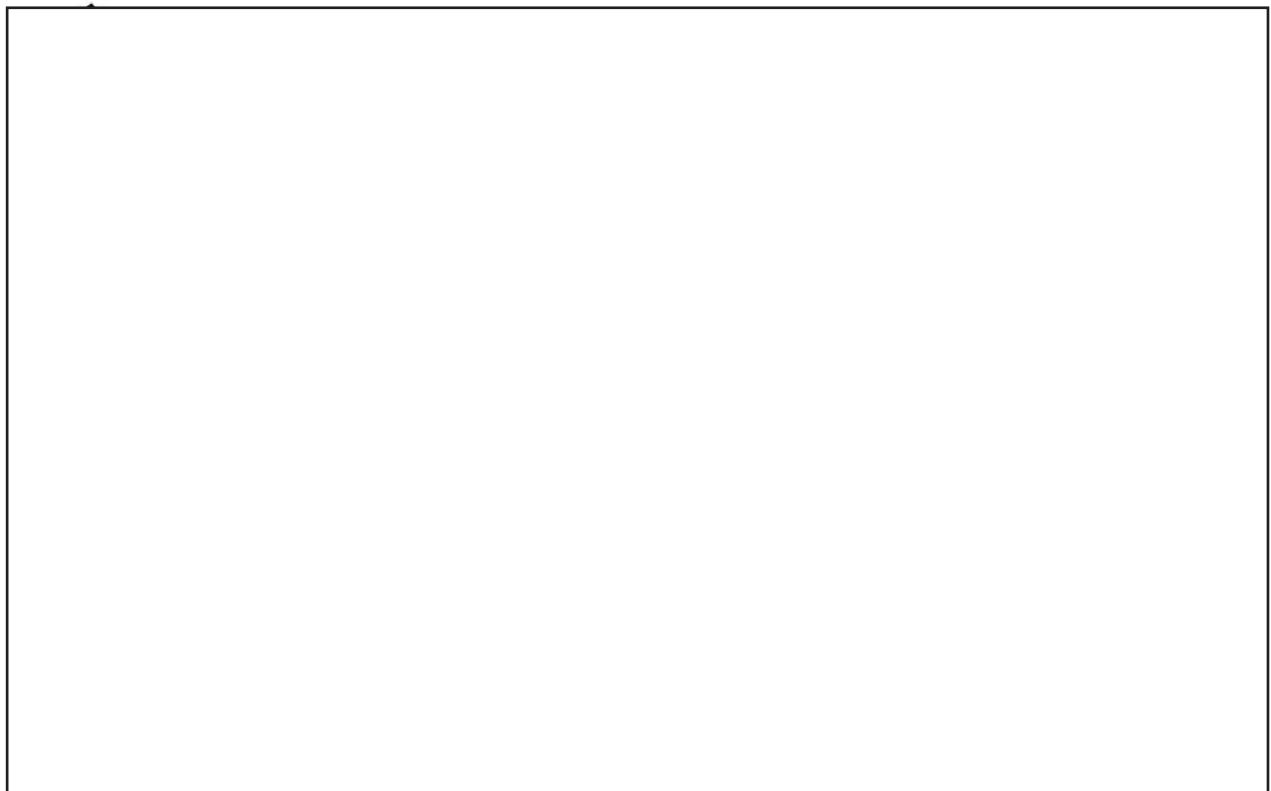


図 2-3 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟平面図 (3 階)

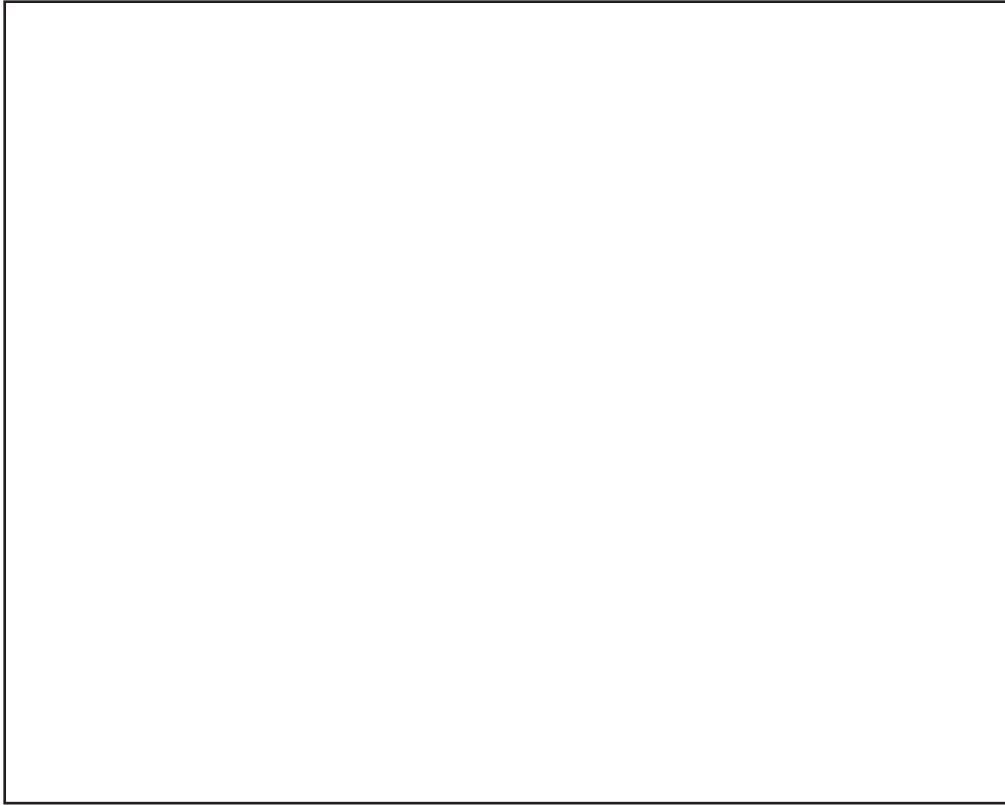


図 2-4 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟断面図 (NS 断面)

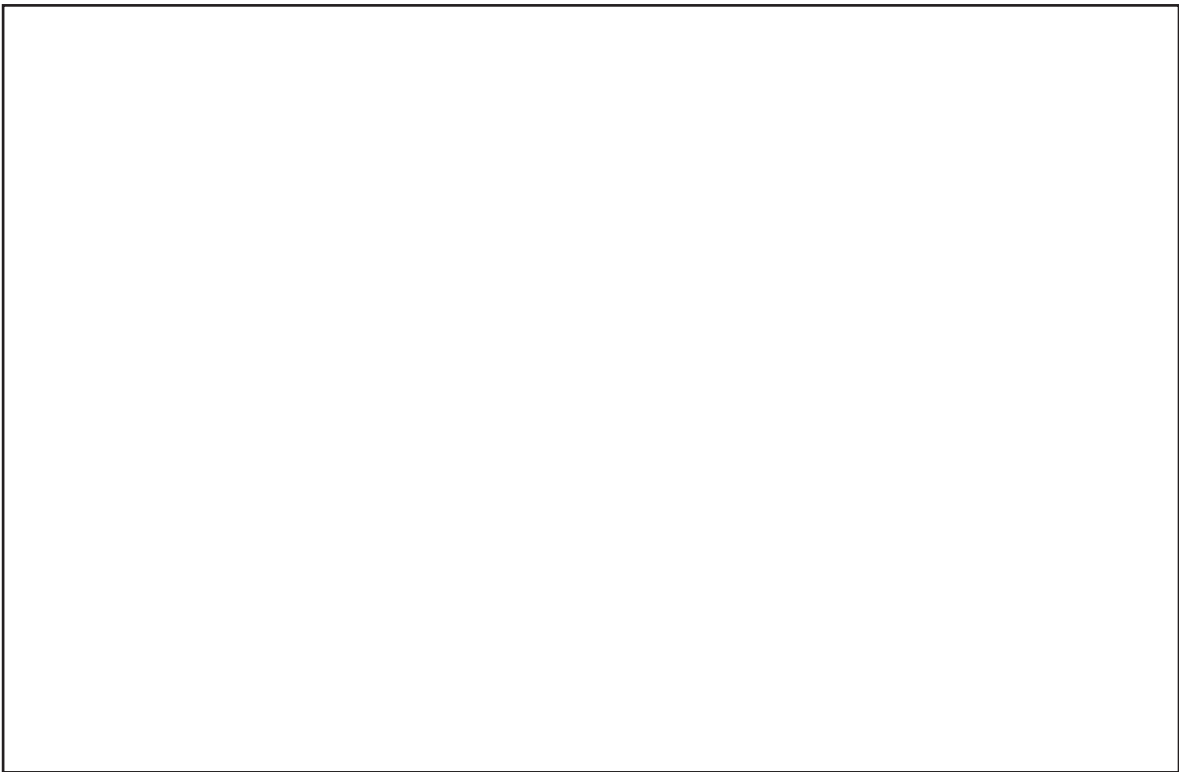


図 2-5 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟断面図 (EW 断面)

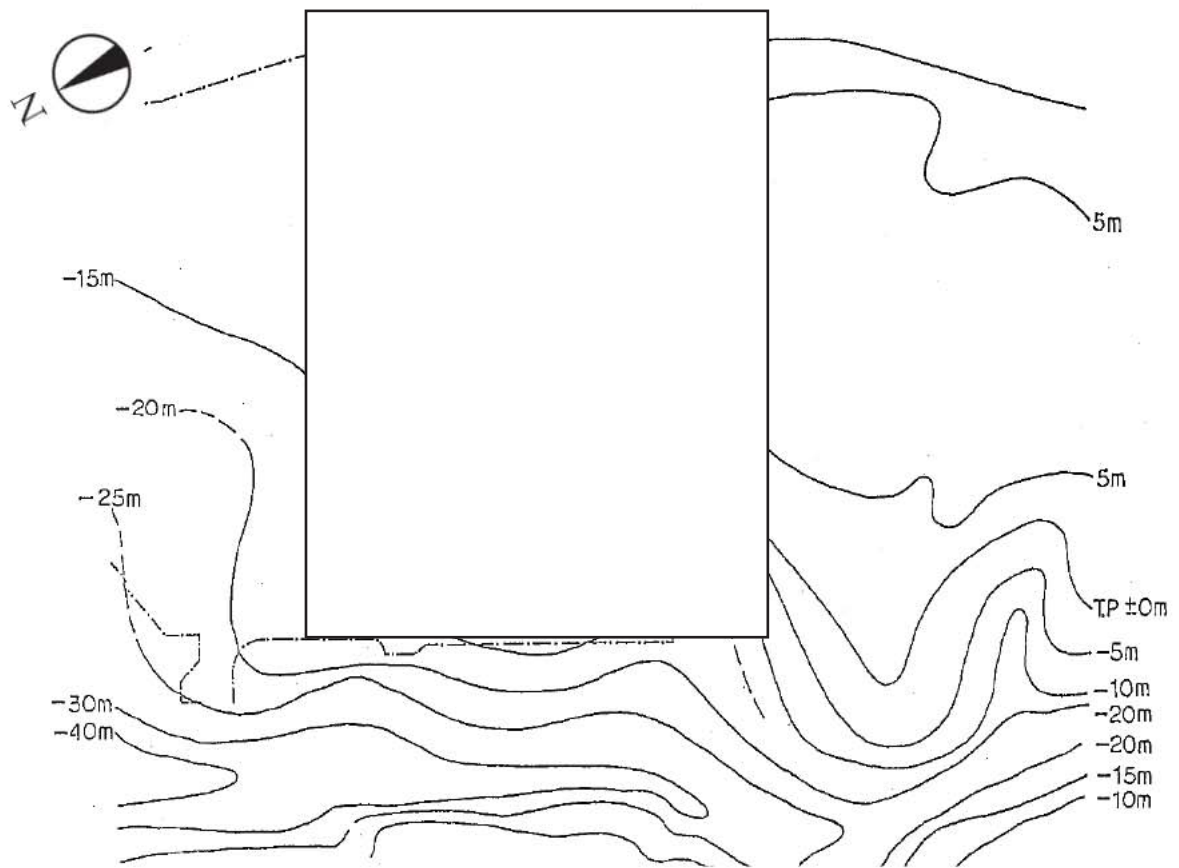
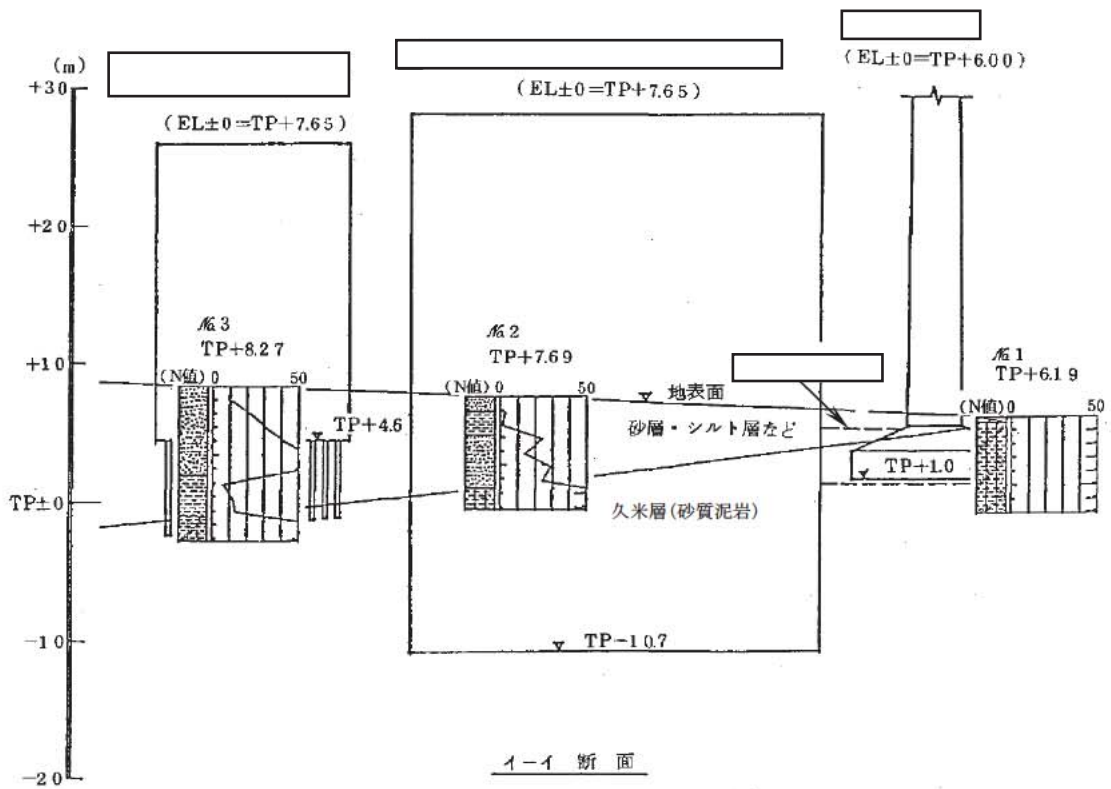
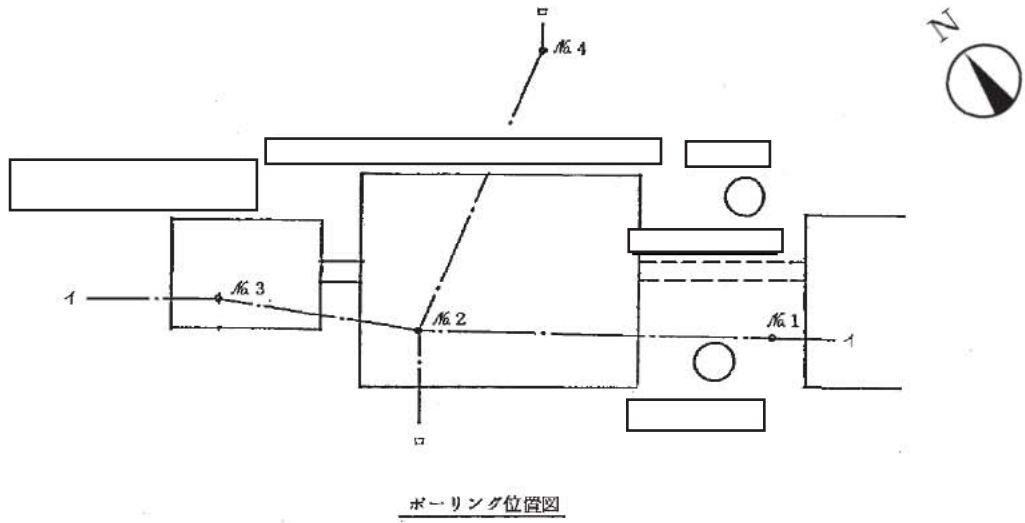
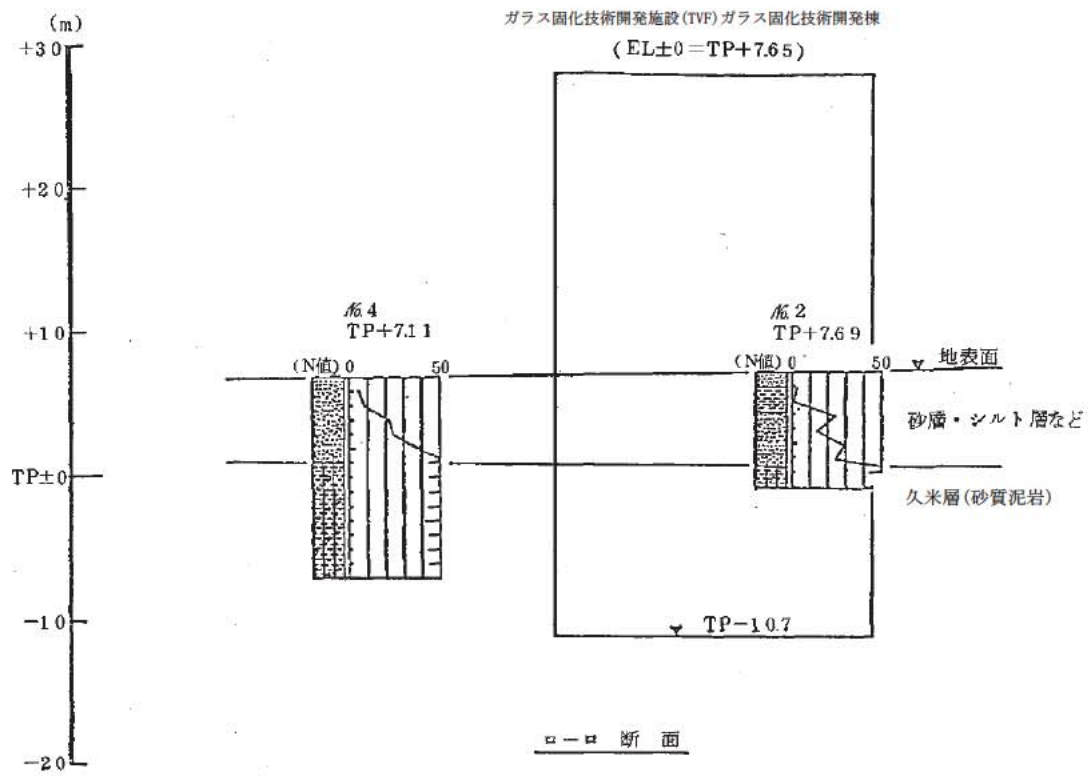


図 2-6 基礎地盤(久米層)の等高線図



注) 断面図の縦と横の縮尺は異なる。
(単位 m)

図 2-7 基礎地盤(久米層)の断面図(その 1)



注) 断面図の縦と横の縮尺は異なる。
(単位 m)

図 2-8 基礎地盤(久米層)の断面図(その 2)

2.3 評価方針

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の評価は、廃止措置計画用設計地震動による地震応答解析の結果に基づき実施する。

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

評価は、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

なお、接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は、建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の評価フローを図 2-9 に示す。

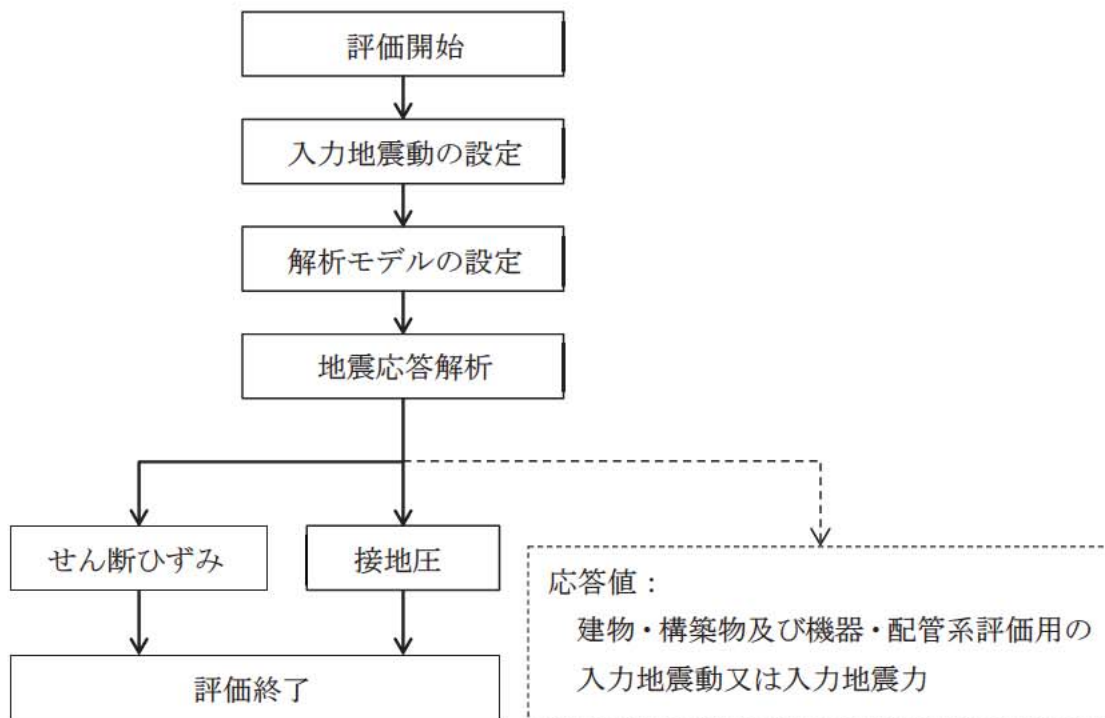


図 2-9 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の評価フロー

2.4 準拠規格・基準

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数は、既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(ガラス固化技術開発施設)」において定めている設計基準強度を用いて鉄筋コンクリート構造計算規準に基づき設定する。コンクリートの材料定数を表 2-1 に示す。

表 2-1 コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
建家	22.1	2.20×10^4	0.2

3. 入力地震動

3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、廃止措置計画用設計地震動を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

廃止措置計画用設計地震動のうち、NS 及び EW 方向で個別の地震動が定義されている Ss-1 及び Ss-2 については、解放基盤表面への入力前に建家座標系に方位変換する。

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

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

廃止措置計画用設計地震動による地盤の地震応答解析結果を図 3-3 から図 3-7 に、建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-8 から図 3-10 に示す。

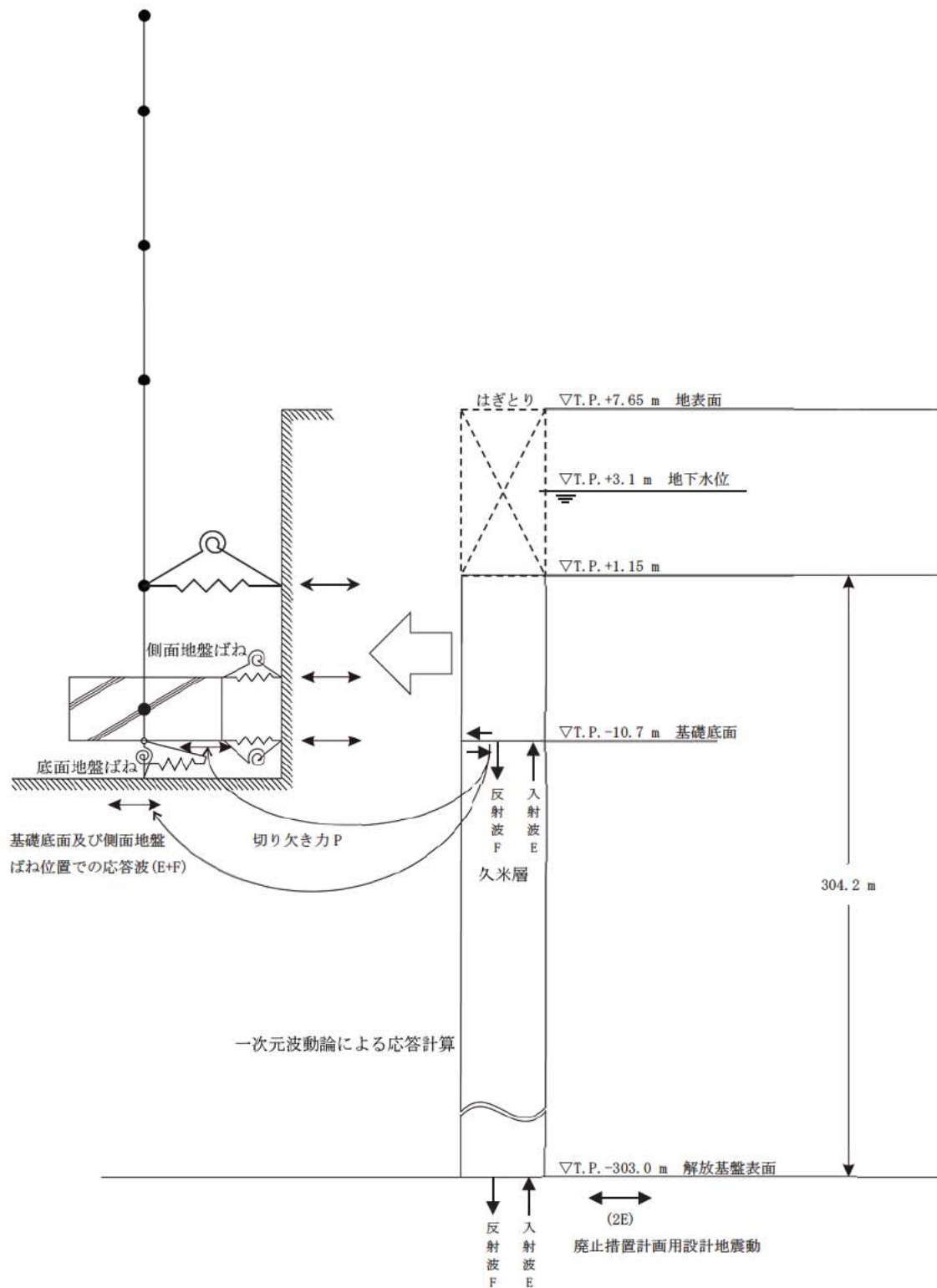
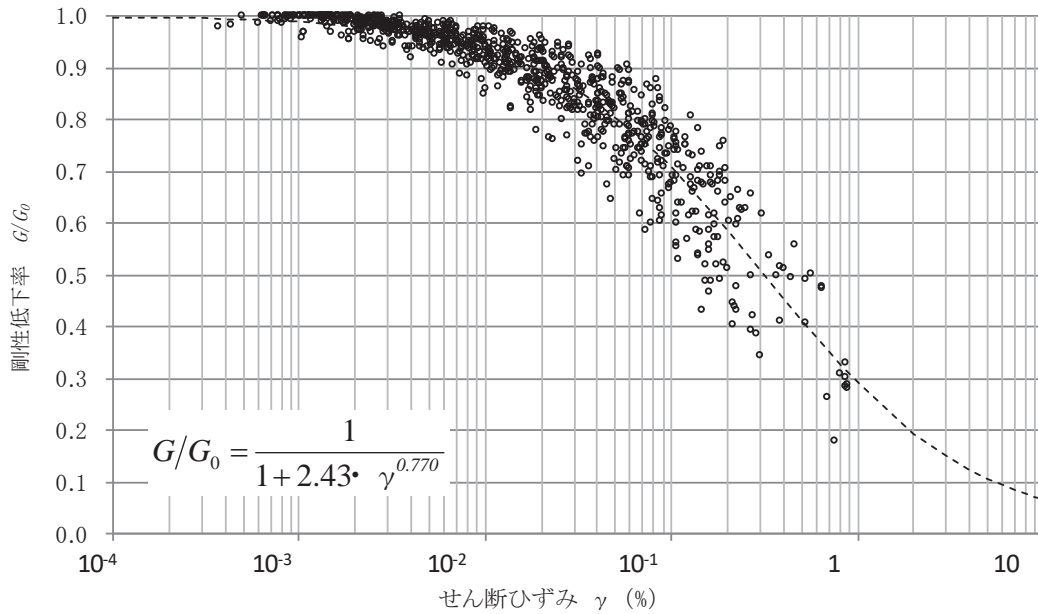


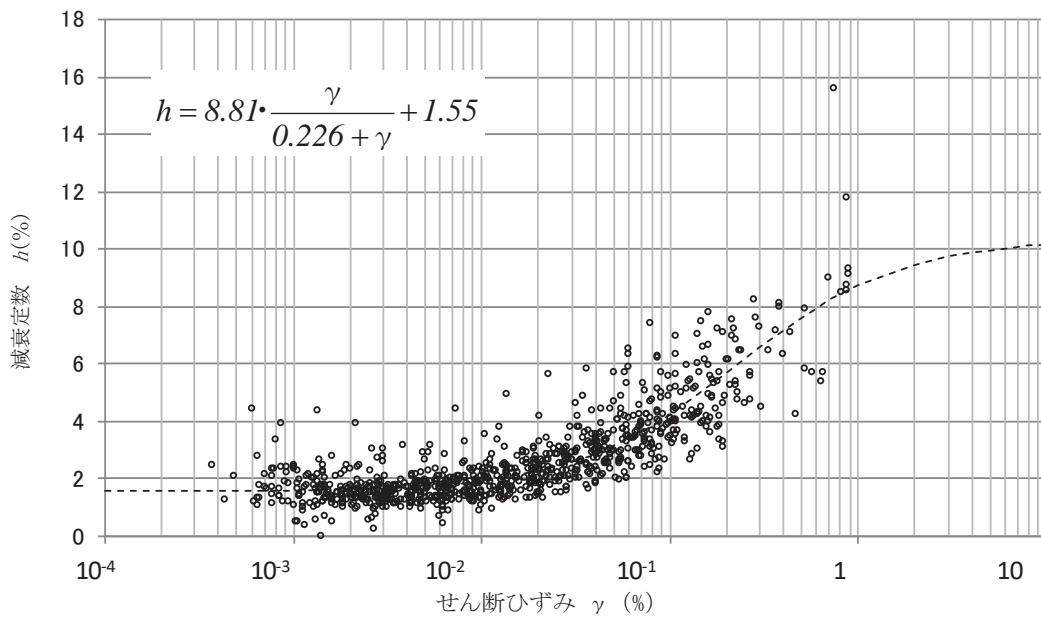
図 3-1 入力地震動算定の概要(水平方向)

表 3-1 地盤の物性値

標高 T.P. (m)	地質名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 G ₀ (MN/m ²)
1.15					
-10.0	久米層	Km1	1.77	0.455	427
-62.0		Km2	1.77	0.451	466
-92.0		Km3	1.77	0.447	515
-118.0		Km4	1.77	0.444	549
-169.0		Km5	1.77	0.440	596
-215.0		Km6	1.77	0.436	655
-261.0		Km7	1.77	0.431	711
-303.0		▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426
	解放基盤		1.77	0.417	867



(a) 動せん断弾性係数



(b) 減衰定数

図 3-2 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)

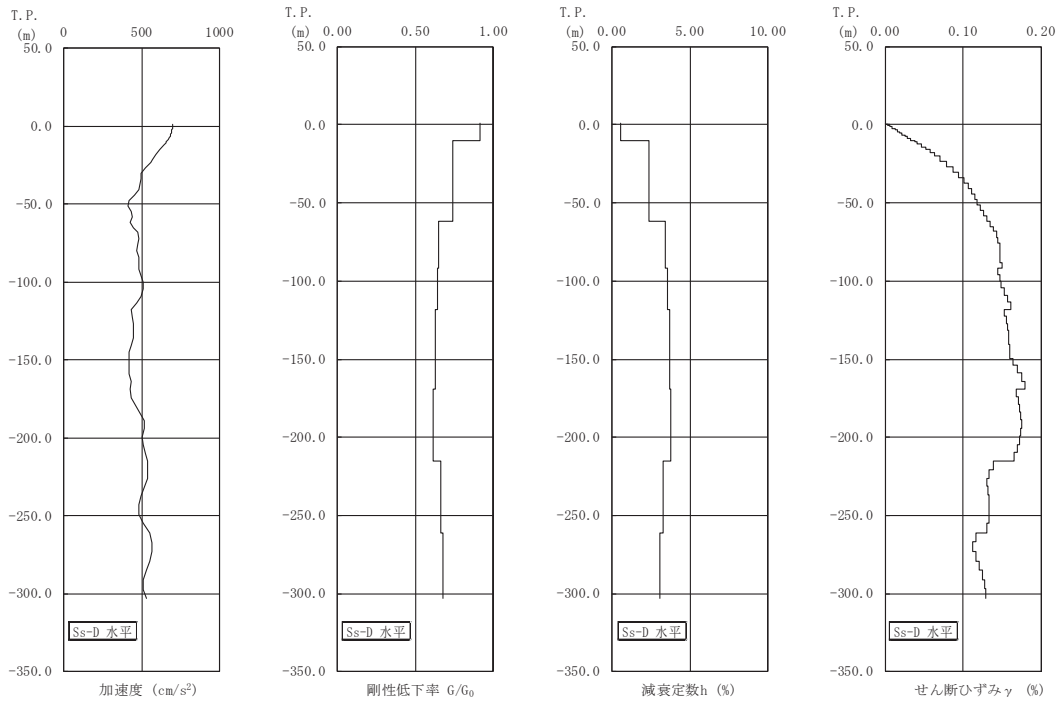


図 3-3 地盤の地震応答解析結果(水平方向, Ss-D)

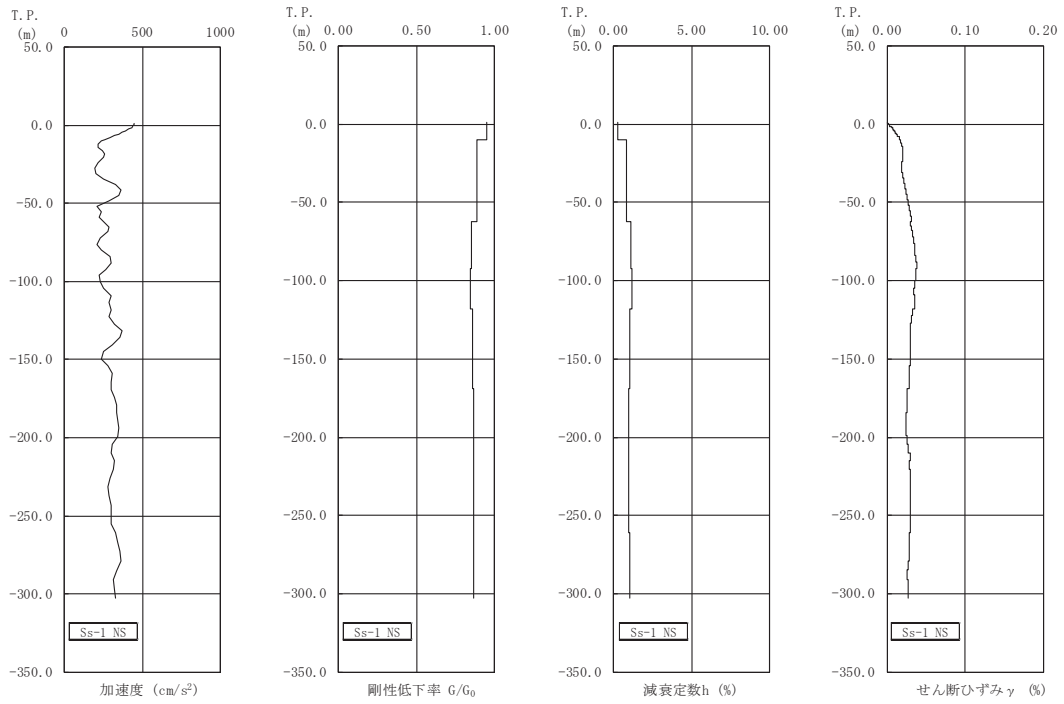


図 3-4 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-1)

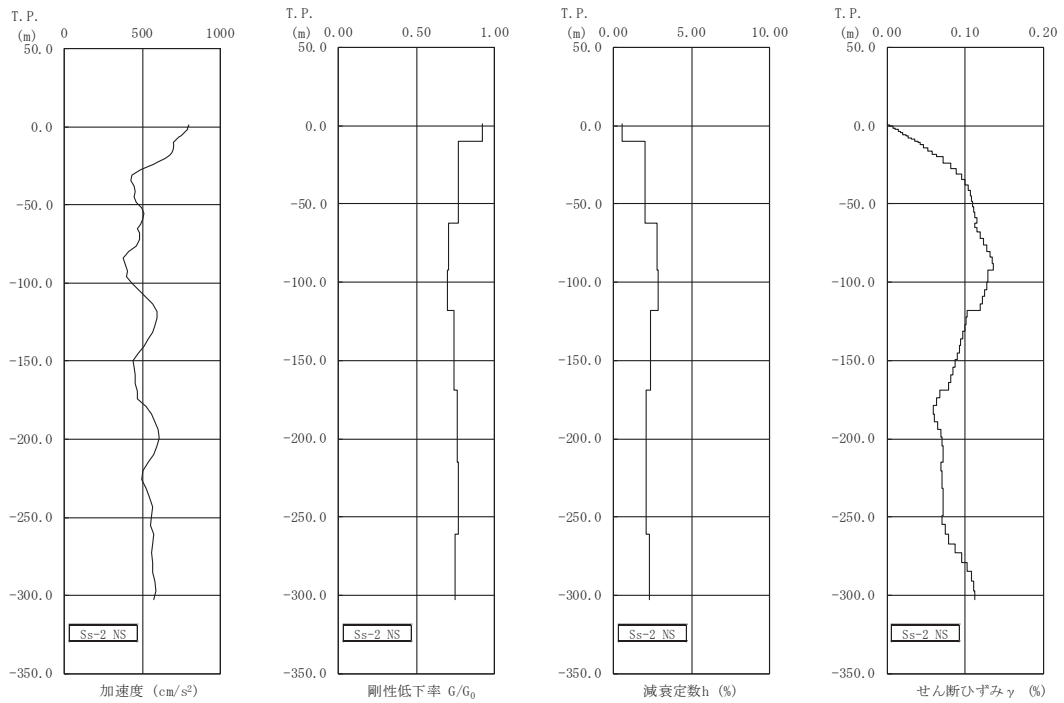


図 3-5 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-2)

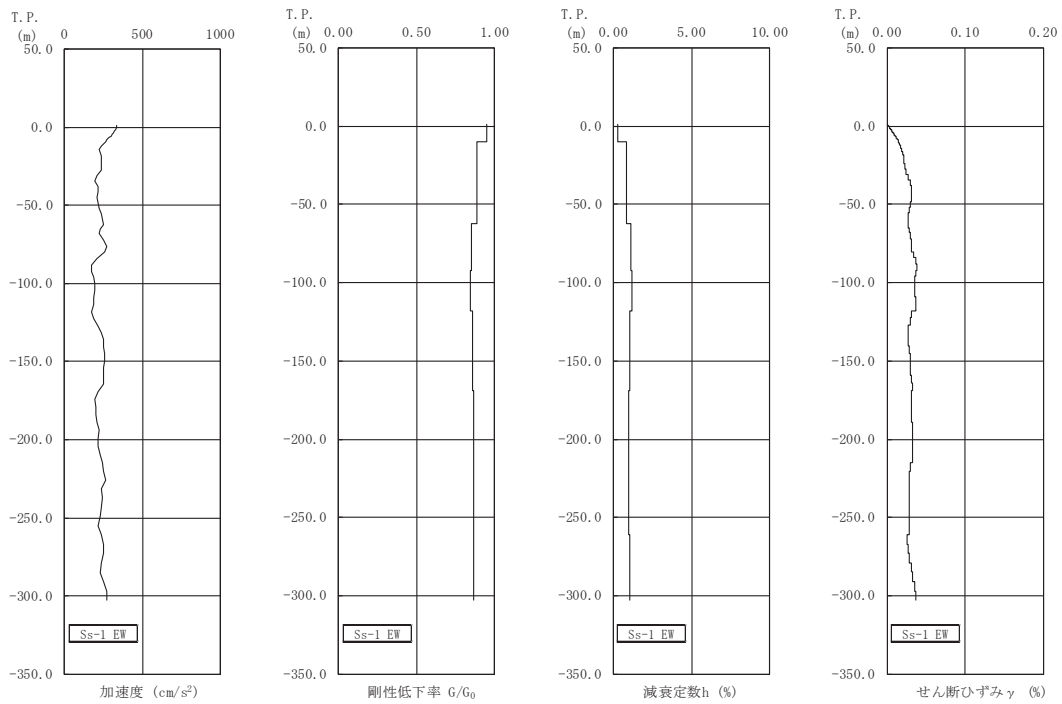


図 3-6 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-1)

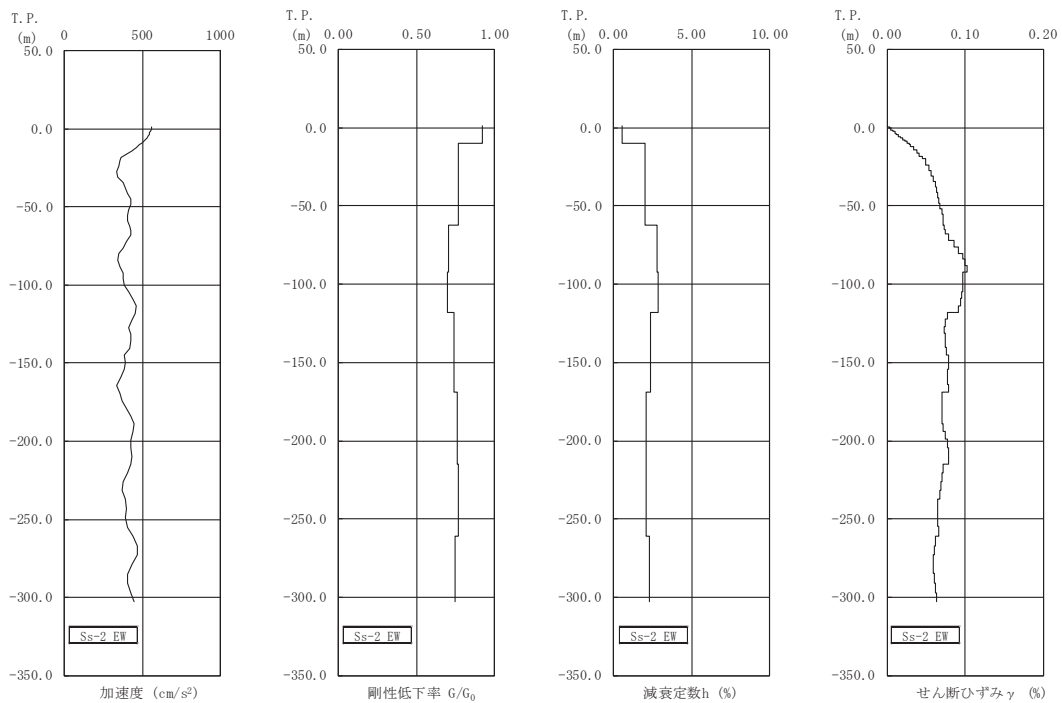


図 3-7 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-2)

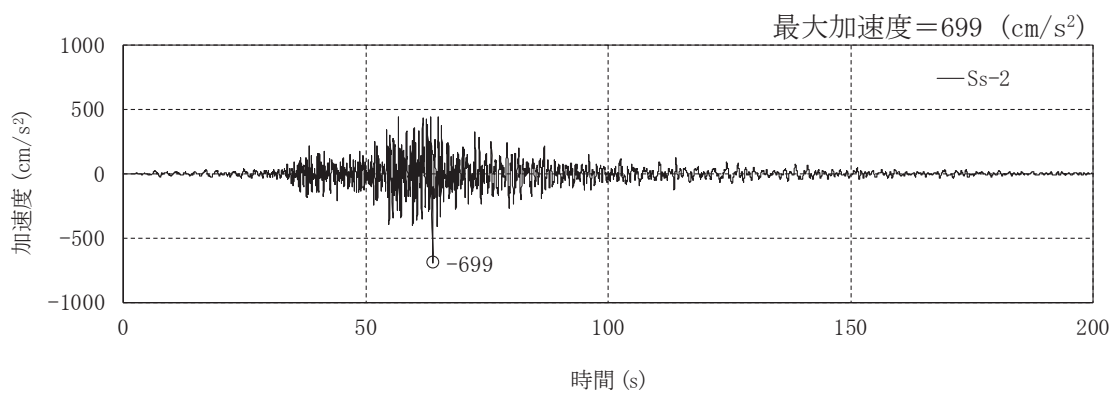
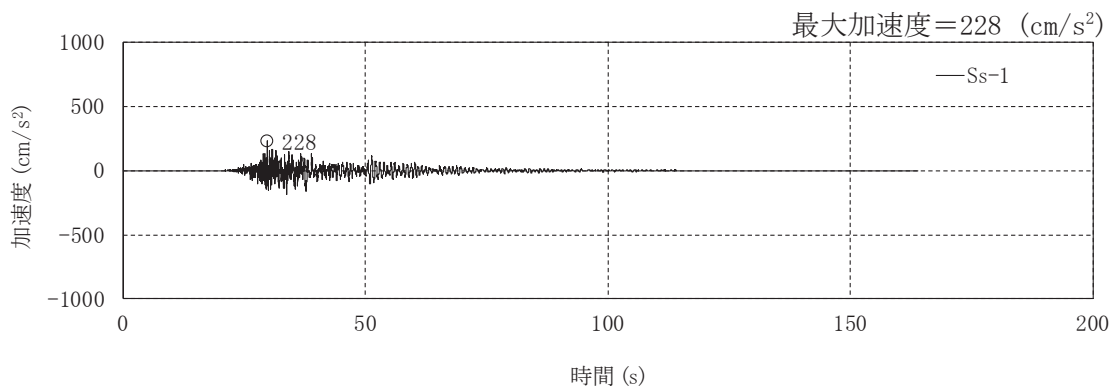
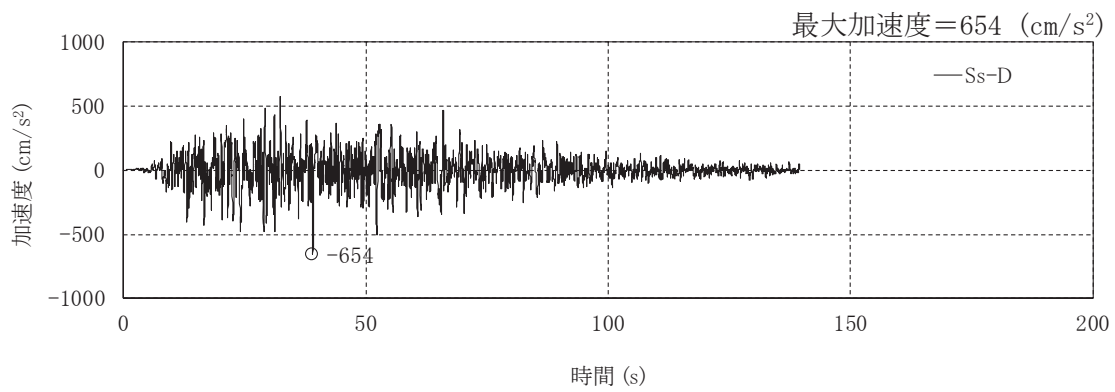


図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向, Ss, 基礎底面位置)

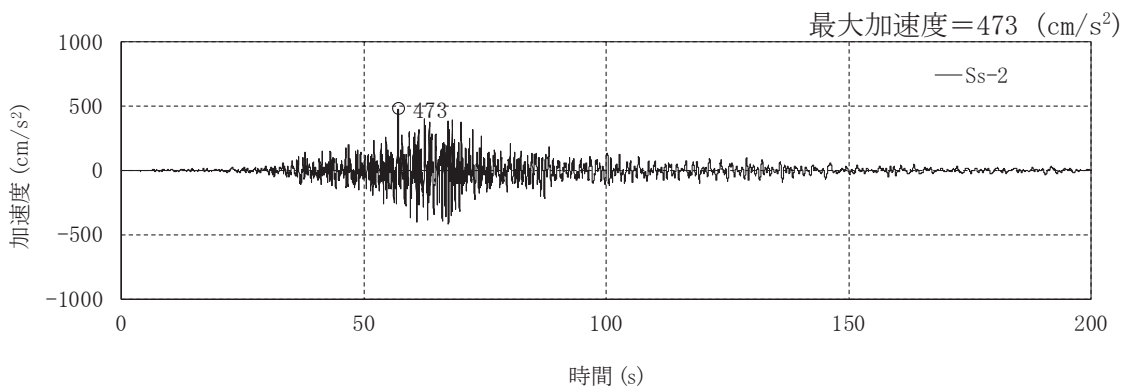
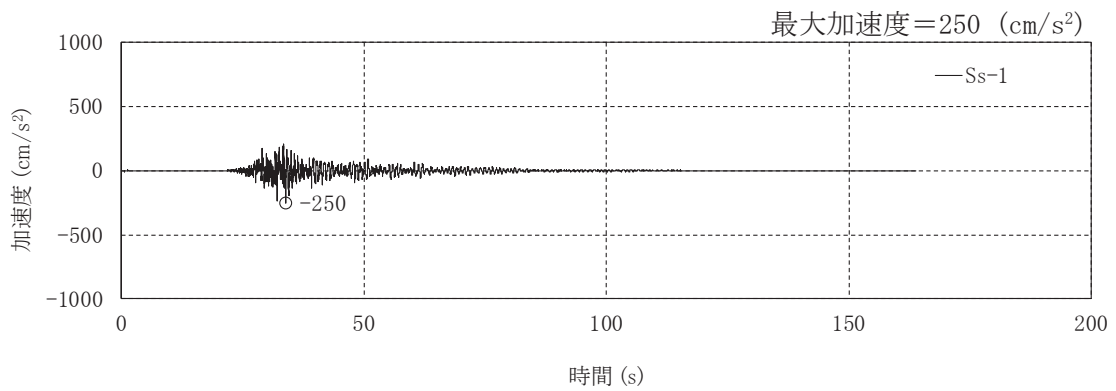
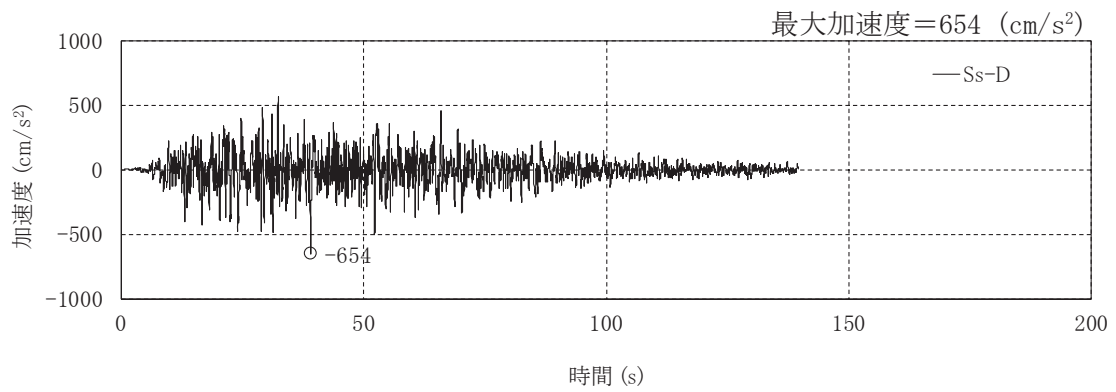
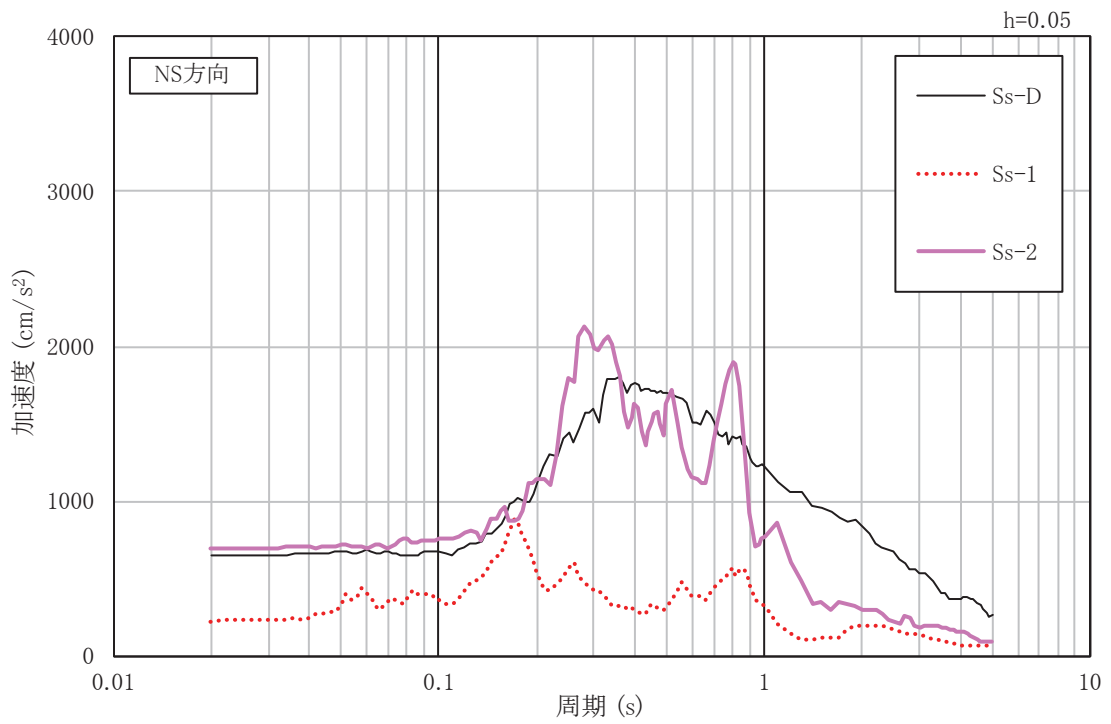
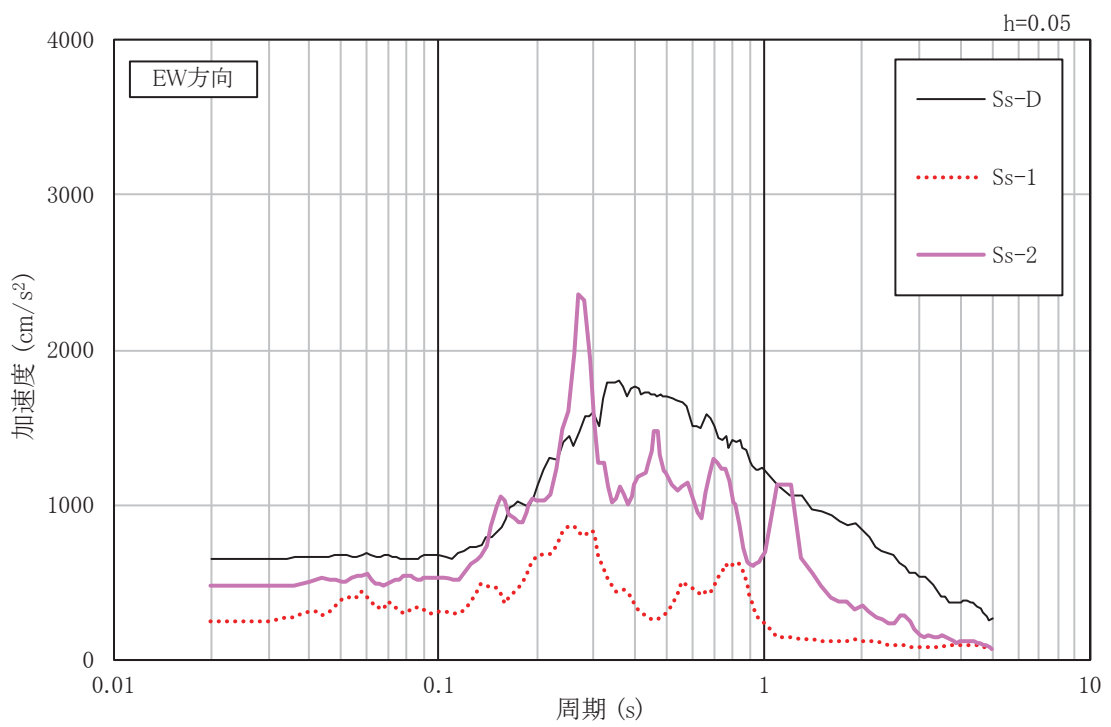


図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向, S_s, 基礎底面位置)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-10 入力地震動の加速度応答スペクトル(水平方向, Ss, 基礎底面位置)

3.2 鉛直方向の入力地震動

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

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

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

廃止措置計画用設計地震動による地盤の地震応答解析結果を図 3-12 に、建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-13 及び図 3-14 に示す。

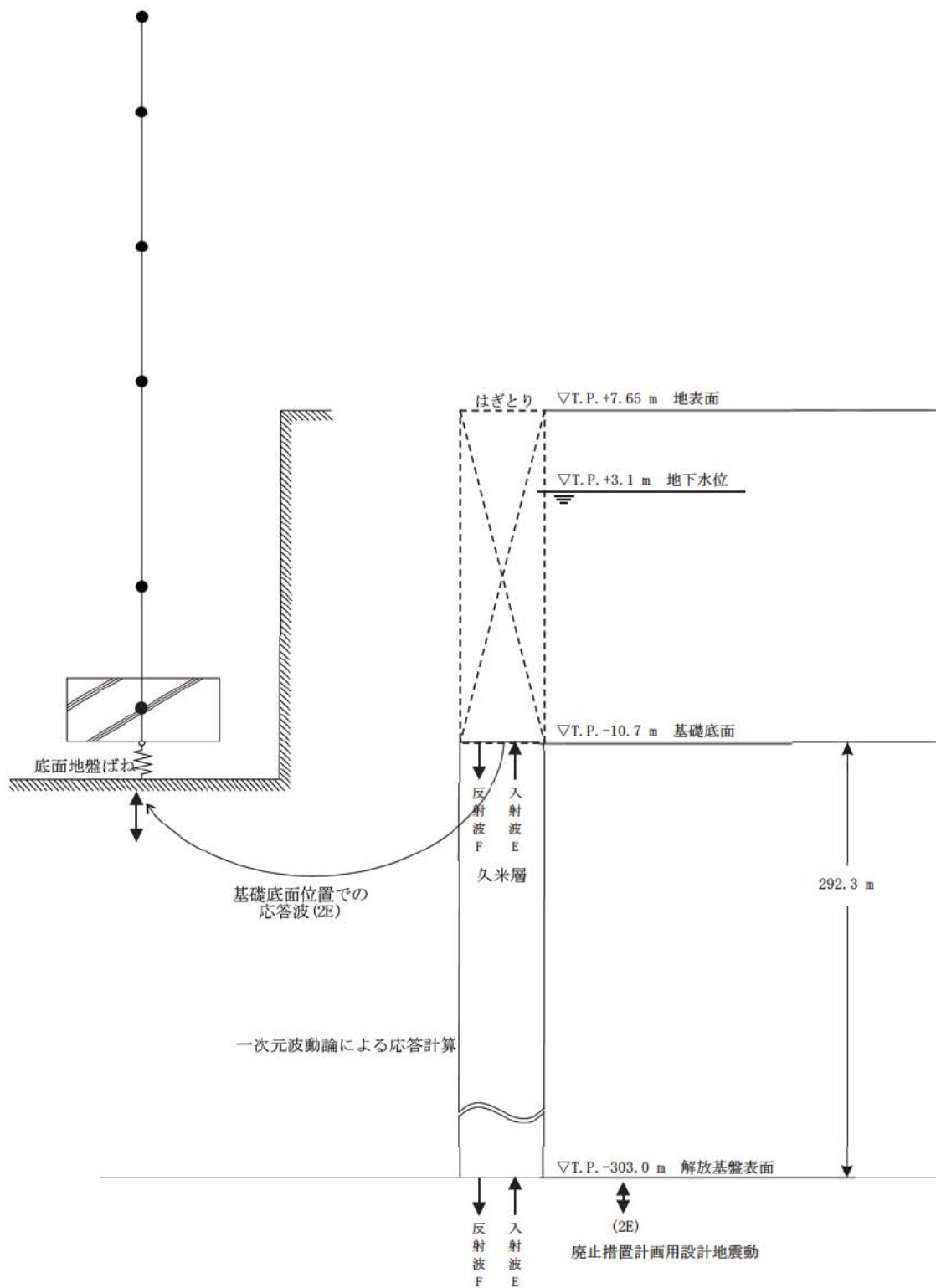
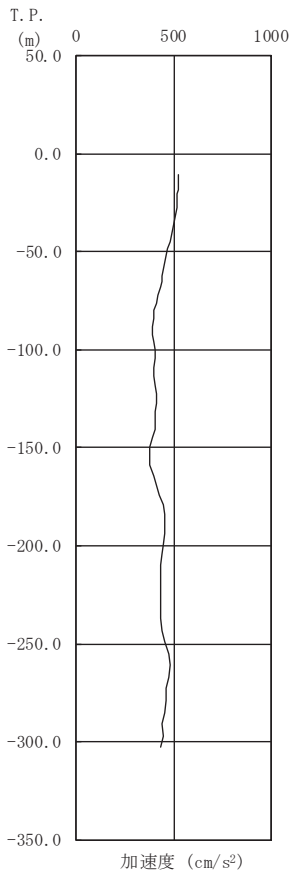
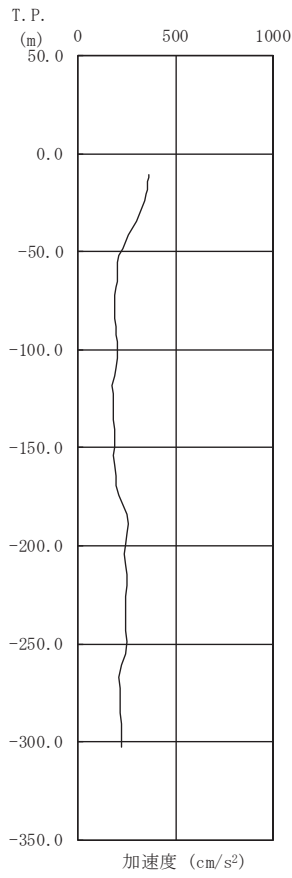


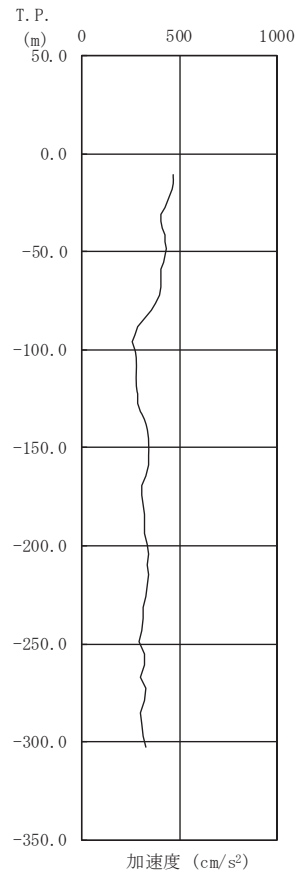
図 3-11 入力地震動算定の概要(鉛直方向)



(a) Ss-D



(b) Ss-1



(c) Ss-2

図 3-12 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向, Ss)

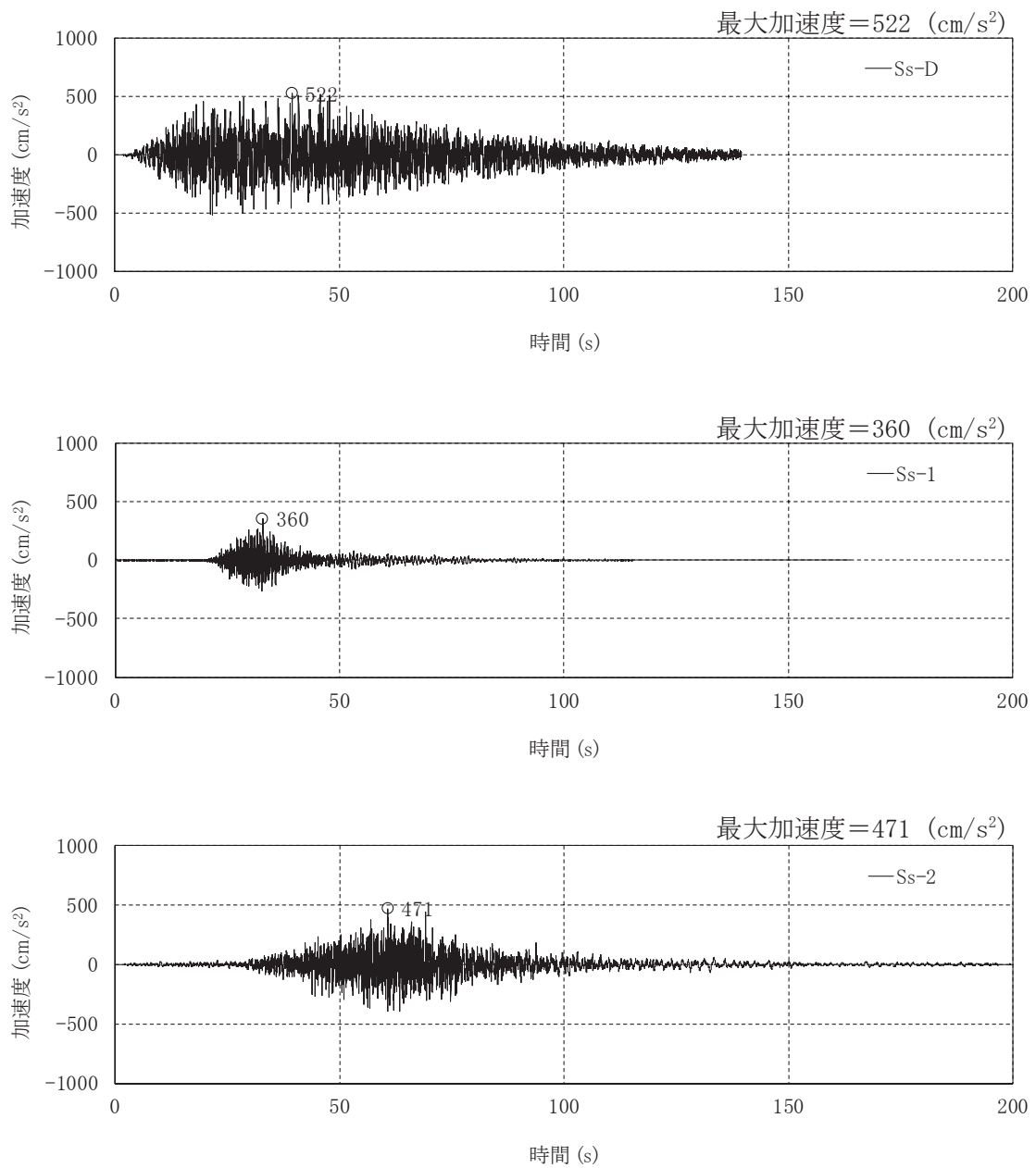


図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向, Ss, 基礎底面位置)

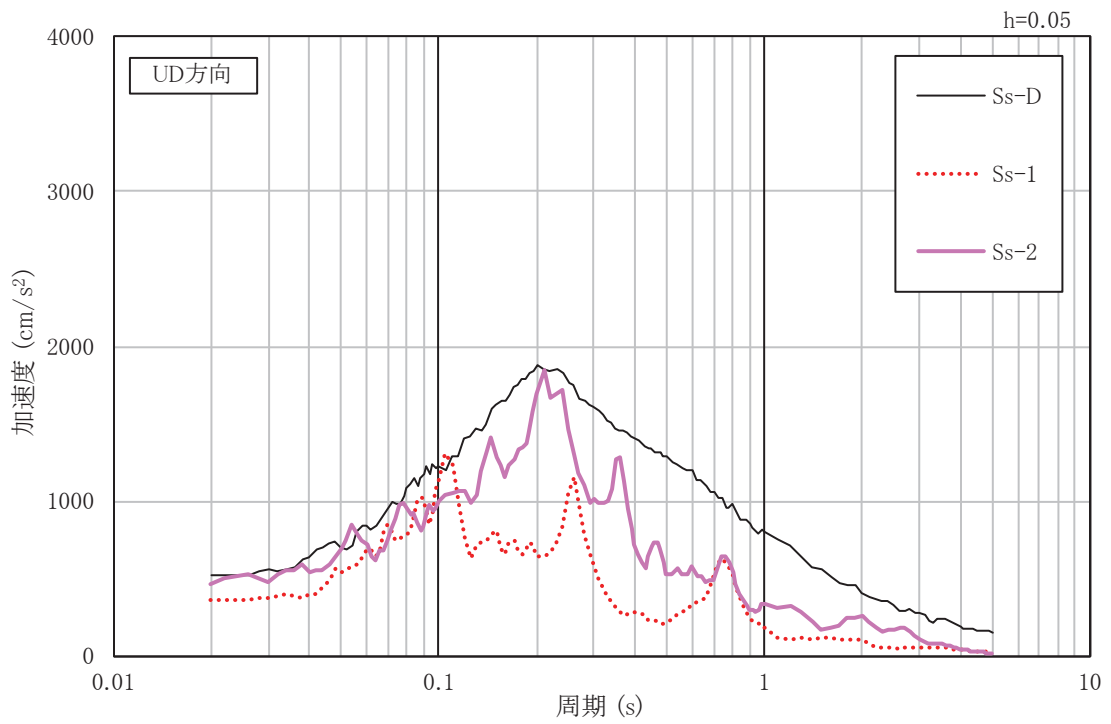


図 3-14 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向, Ss, 基礎底面位置)

4. 解析モデル

4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多質点系モデルとする。

水平方向の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの諸元を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

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

耐震壁のせん断の復元力特性は、図 4-2 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は、図 4-3 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。せん断及び曲げのスケルトンカーブを表 4-3 から表 4-6 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（以下「JEAG4601-1991 追補版」という。）に基づき、振動アドミッタンス理論により振動数依存の複素ばねを算定し、地盤ばね定数は 0 Hz での実部(静的ばね値)により、減衰係数は地盤-建家連成系 1 次固有円振動数での虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾きにより、それぞれ設定する。埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novak の方法により振動数依存の複素ばねを算定し、地盤ばね定数は実部の極大値により、減衰係数は底面地盤ばねと同様に、それぞれ設定する。底面地盤回転ばねは、基礎の浮き上がりを考慮する非線形ばねとし、浮き上がり非線形地震応答解析(接地率に応じて誘発上下動を考慮)とする。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「Nbsp1(株式会社ニュージェック)」である。また、埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novak の方法により算定する。側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「Nnovak1(株式会社ニュージェック)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-7 及び表 4-8 に、地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要を図 4-4 に、底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)を図 4-5 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家の減衰定数は 3 % (鉄筋コンクリート部分)とする。

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

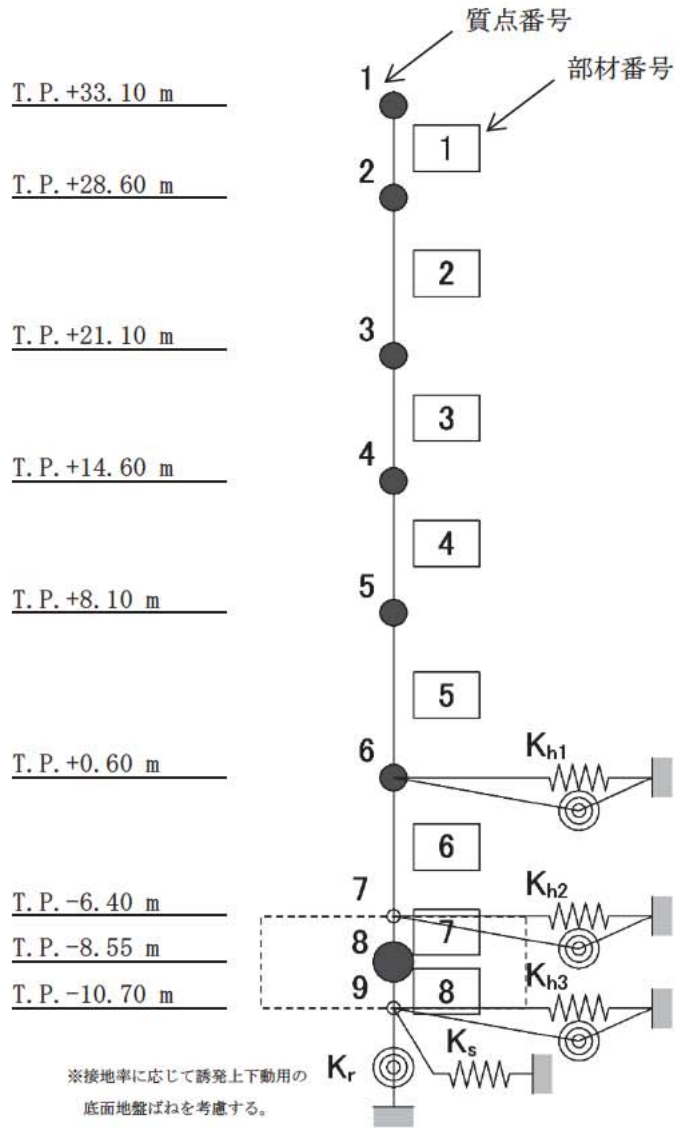


図 4-1 解析モデル(水平方向)

表 4-1 解析モデルの諸元(NS 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN \cdot m 2)	部材 番号	せん断 断面積 (m 2)	断面二次 モーメント (m 4)
1	33.10	6155	742	-	-	-
2	28.60	52990	99047	1	13.7	311
3	21.10	86842	158868	2	61.2	15850
4	14.60	117328	196133	3	125.0	28330
5	8.10	182339	309890	4	213.0	42910
6	0.60	175896	375595	5	372.5	84930
7	-6.40	-	-	6	363.5	94430
8	-8.55	288896	601148	7	-	-
9	-10.70	-	-	8	-	-
				-	-	-

表 4-2 解析モデルの諸元(EW 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN \cdot m 2)	部材 番号	せん断 断面積 (m 2)	断面二次 モーメント (m 4)
1	33.10	6155	4082	-	-	-
2	28.60	52990	183384	1	11.4	275
3	21.10	86842	304987	2	47.3	29820
4	14.60	117328	396189	3	79.0	62810
5	8.10	182339	556037	4	179.2	91300
6	0.60	175896	695291	5	320.2	164940
7	-6.40	-	-	6	373.9	181350
8	-8.55	288896	1068925	7	-	-
9	-10.70	-	-	8	-	-
				-	-	-

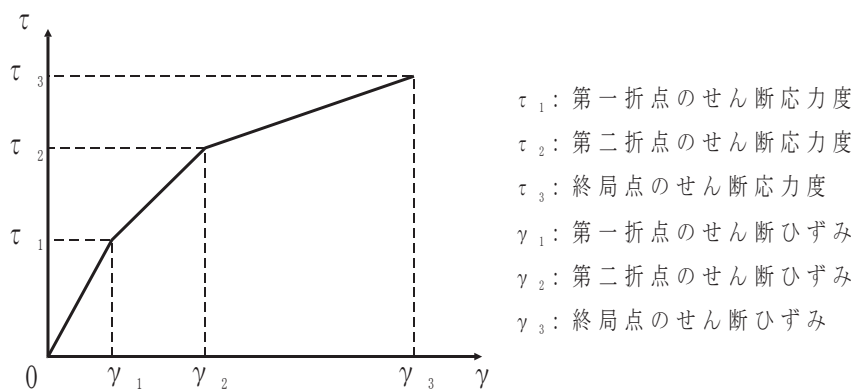


図 4-2 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係)

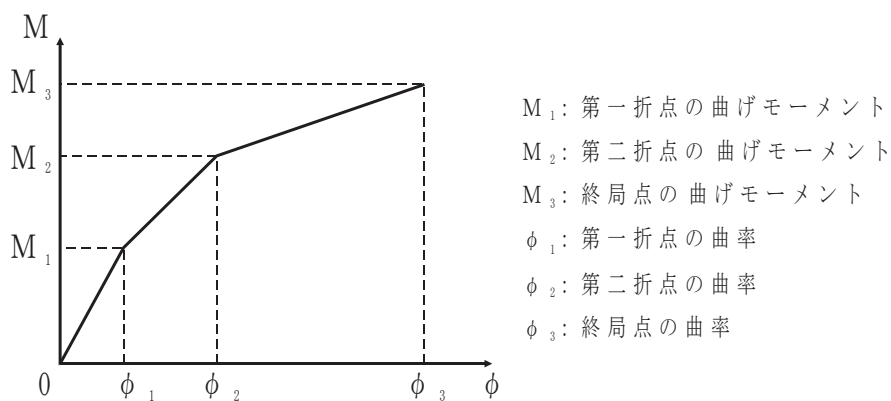


図 4-3 曲げのスケルトンカーブ (M - ϕ 関係)

表 4-3 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係, NS 方向)

部材 番号	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.57	0.171	2.12	0.513	4.67	4.00
2	1.73	0.188	2.34	0.565	4.06	4.00
3	1.83	0.200	2.47	0.599	3.88	4.00
4	1.87	0.204	2.53	0.612	4.25	4.00
5	1.90	0.207	2.57	0.621	4.50	4.00
6	2.07	0.225	2.79	0.676	4.64	4.00

表 4-4 曲げのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係, NS 方向)

部材 番号	M ₁ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₂ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₃ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}$ 1/m)
1	0.898	1.31	4.66	17.5	6.21	37.0
2	16.0	0.458	36.5	5.10	51.2	102
3	31.9	0.512	69.0	5.25	96.1	90.3
4	50.4	0.534	132	5.40	186	90.7
5	102	0.546	267	5.48	373	98.4
6	128	0.616	319	5.59	428	102

表 4-5 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係, EW 方向)

部材 番号	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.57	0.171	2.12	0.513	4.89	4.00
2	1.61	0.175	2.17	0.526	4.40	4.00
3	1.76	0.192	2.38	0.576	4.43	4.00
4	1.79	0.195	2.42	0.586	4.41	4.00
5	1.83	0.200	2.47	0.599	4.81	4.00
6	1.96	0.214	2.65	0.641	5.38	4.00

表 4-6 曲げのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係, EW 方向)

部材 番号	M ₁ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₂ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₃ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}$ 1/m)
1	0.780	1.29	3.87	16.2	5.45	30.8
2	20.0	0.305	33.9	3.70	47.1	72.2
3	47.7	0.345	64.9	3.76	87.0	70.0
4	73.2	0.364	145	3.87	202	77.2
5	136	0.375	326	3.95	449	78.8
6	169	0.424	409	4.09	561	70.5

表 4-7 地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	Kh1	6.998×10^6	1.175×10^6
			Kh2	9.762×10^6	1.639×10^6
			Kh3	3.626×10^6	6.149×10^5
		回転	Kh1	4.269×10^9	2.260×10^8
			Kh2	5.955×10^9	3.153×10^8
			Kh3	2.213×10^9	1.189×10^8
	底面	水平	Ks	5.929×10^7	2.270×10^6
		回転	Kr	3.725×10^{10}	3.857×10^8
Ss-1	側面	水平	Kh1	7.184×10^6	1.192×10^6
			Kh2	1.002×10^7	1.664×10^6
			Kh3	3.854×10^6	6.344×10^5
		回転	Kh1	4.383×10^9	2.307×10^8
			Kh2	6.115×10^9	3.219×10^8
			Kh3	2.353×10^9	1.230×10^8
	底面	水平	Ks	6.883×10^7	2.442×10^6
		回転	Kr	4.318×10^{10}	4.054×10^8
Ss-2	側面	水平	Kh1	7.018×10^6	1.177×10^6
			Kh2	9.791×10^6	1.642×10^6
			Kh3	3.670×10^6	6.188×10^5
		回転	Kh1	4.282×10^9	2.269×10^8
			Kh2	5.973×10^9	3.165×10^8
			Kh3	2.240×10^9	1.198×10^8
	底面	水平	Ks	6.174×10^7	2.315×10^6
		回転	Kr	3.868×10^{10}	3.906×10^8

表 4-8 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	Kh1	6.998×10^6	1.177×10^6
			Kh2	9.762×10^6	1.641×10^6
			Kh3	3.626×10^6	6.157×10^5
		回転	Kh1	4.269×10^9	2.275×10^8
			Kh2	5.955×10^9	3.174×10^8
			Kh3	2.213×10^9	1.197×10^8
	底面	水平	Ks	5.712×10^7	2.098×10^6
		回転	Kr	5.786×10^{10}	8.143×10^8
	Ss-1	側面	水平	Kh1	7.184×10^6
Kh2				1.002×10^7	1.666×10^6
Kh3				3.854×10^6	6.354×10^5
回転			Kh1	4.383×10^9	2.323×10^8
			Kh2	6.115×10^9	3.241×10^8
			Kh3	2.353×10^9	1.239×10^8
底面		水平	Ks	6.632×10^7	2.256×10^6
		回転	Kr	6.706×10^{10}	8.595×10^8
Ss-2		側面	水平	Kh1	7.018×10^6
	Kh2			9.791×10^6	1.645×10^6
	Kh3			3.670×10^6	6.197×10^5
	回転		Kh1	4.282×10^9	2.284×10^8
			Kh2	5.973×10^9	3.186×10^8
			Kh3	2.240×10^9	1.206×10^8
	底面	水平	Ks	5.948×10^7	2.140×10^6
		回転	Kr	6.007×10^{10}	8.256×10^8

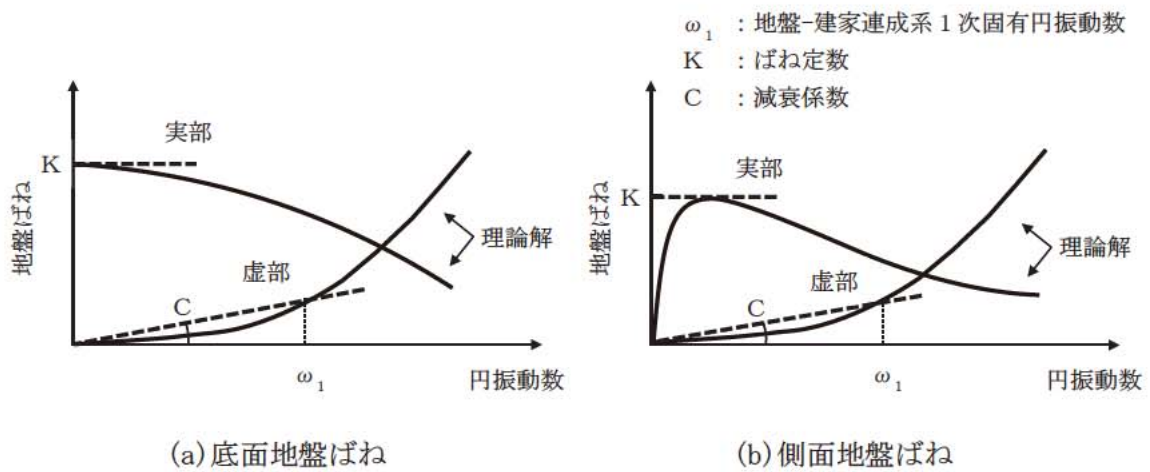


図 4-4 地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要

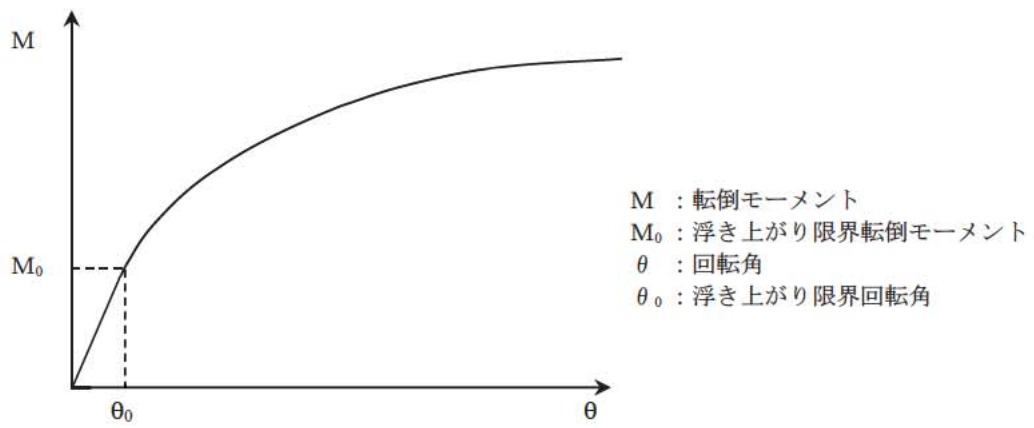


図 4-5 底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)

4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した多質点系モデルとする。建家部分は質点を鉛直方向のばねで連結しモデル化する。なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

鉛直方向の解析モデルを図 4-5 に、解析モデルの諸元を表 4-9 に示す。

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

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

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-10 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算出する。建家の減衰定数は 3 % (鉄筋コンクリート部分)とする。

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

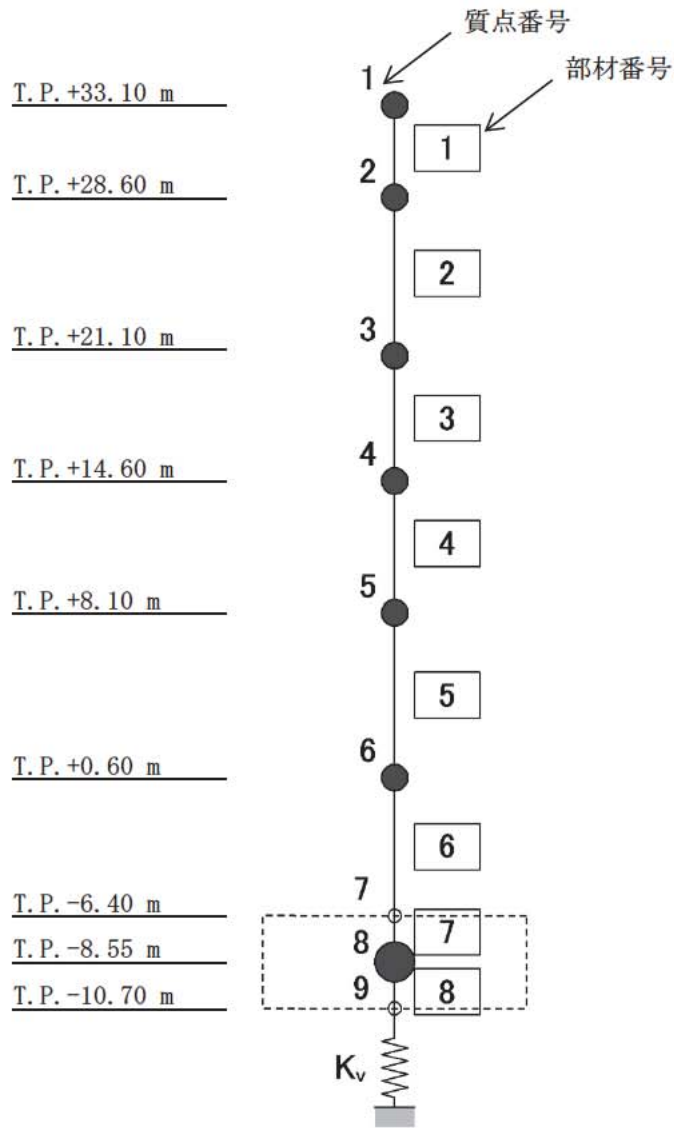


図 4-6 解析モデル(鉛直方向)

表 4-9 解析モデルの諸元(鉛直方向)

質点 番号	高さ T.P. (m)	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m ²)
1	33.10	6155	-	-
			1	26.2
2	28.60	52990	2	139.9
3	21.10	86842	3	207.7
4	14.60	117328	4	361.7
5	8.10	182339	5	600.9
6	0.60	175896	6	622.2
7	-6.40	-	7	-
8	-8.55	288896	8	-
9	-10.70	-	-	-

表 4-10 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
Ss-D	底面	鉛直	Kv	8.692×10^7	4.798×10^6
Ss-1	底面	鉛直	Kv	1.023×10^8	5.203×10^6
Ss-2	底面	鉛直	Kv	9.156×10^7	4.923×10^6

5. 解析結果

5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を表 5-1 から表 5-3 に示す。刺激関数を Ss-D の結果を代表として、図 5-1 から図 5-6 に示す。

表 5-1 固有値解析結果(Ss-D)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.284	3.52	1.582	全体1次
	2	0.138	7.26	-0.661	
	3	0.066	15.05	0.039	
	4	0.053	18.70	0.073	
	5	0.040	24.93	0.000	
	6	0.036	27.87	-0.056	
	7	0.029	33.96	0.033	
EW	1	0.276	3.63	1.524	全体1次
	2	0.145	6.91	-0.507	
	3	0.081	12.40	-0.112	
	4	0.055	18.07	0.154	
	5	0.043	23.36	-0.008	
	6	0.040	24.78	-0.089	
	7	0.037	27.26	0.030	
UD	1	0.210	4.77	1.070	全体1次
	2	0.040	24.78	-0.095	
	3	0.023	42.69	0.036	
	4	0.017	59.13	-0.016	
	5	0.013	74.83	0.011	
	6	0.013	79.69	-0.006	
	7	0.011	90.16	-0.002	

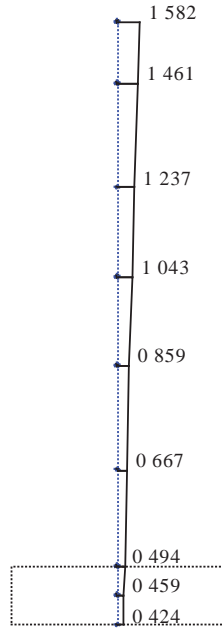
表 5-2 固有値解析結果(Ss-1)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.271	3.69	1.598	全体1次
	2	0.131	7.65	-0.696	
	3	0.066	15.21	0.053	
	4	0.053	18.75	0.083	
	5	0.040	25.03	-0.003	
	6	0.036	27.92	-0.064	
	7	0.029	33.96	0.039	
EW	1	0.263	3.81	1.545	全体1次
	2	0.137	7.30	-0.540	
	3	0.080	12.51	-0.113	
	4	0.055	18.12	0.176	
	5	0.043	23.44	-0.012	
	6	0.040	24.82	-0.100	
	7	0.037	27.28	0.035	
UD	1	0.194	5.15	1.082	全体1次
	2	0.040	24.84	-0.111	
	3	0.023	42.72	0.042	
	4	0.017	59.14	-0.019	
	5	0.013	74.84	0.013	
	6	0.013	79.69	-0.008	
	7	0.011	90.17	-0.002	

表 5-3 固有値解析結果(Ss-2)

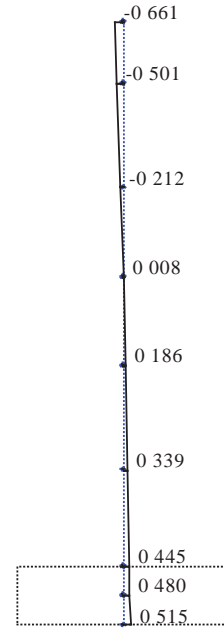
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.280	3.57	1.586	全体1次
	2	0.205	4.89	1.073	UD方向1次
	3	0.136	7.36	-0.670	
	4	0.066	15.08	0.042	
	5	0.053	18.71	0.075	
	6	0.040	24.80	-0.100	
	7	0.040	24.96	-0.001	
EW	1	0.272	3.67	1.529	全体1次
	2	0.143	7.01	-0.515	
	3	0.080	12.43	-0.112	
	4	0.055	18.08	0.159	
	5	0.043	23.38	-0.009	
	6	0.040	24.79	-0.092	
	7	0.037	27.26	0.032	
UD	1	0.205	4.89	1.073	全体1次
	2	0.040	24.80	-0.100	
	3	0.023	42.70	0.038	
	4	0.017	59.13	-0.017	
	5	0.013	74.83	0.012	
	6	0.013	79.69	-0.007	
	7	0.011	90.17	-0.002	

Mode - 1
 $T(s) = 0.284$
 $f(\text{Hz}) = 3.525$
 $\beta h = 1.582$



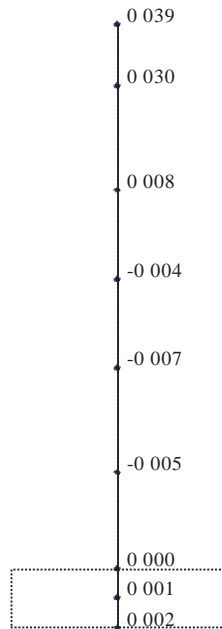
(1 次)

Mode - 2
 $T(s) = 0.138$
 $f(\text{Hz}) = 7.265$
 $\beta h = -0.661$



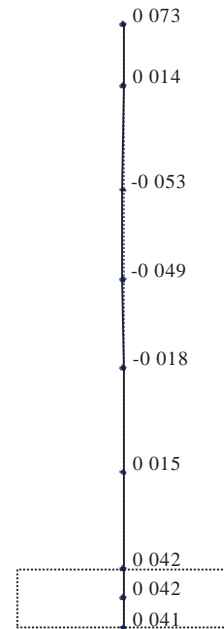
(2 次)

Mode - 3
 $T(s) = 0.066$
 $f(\text{Hz}) = 15.046$
 $\beta h = 0.039$



(3 次)

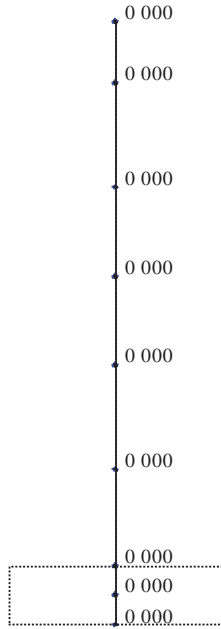
Mode - 4
 $T(s) = 0.053$
 $f(\text{Hz}) = 18.699$
 $\beta h = 0.073$



(4 次)

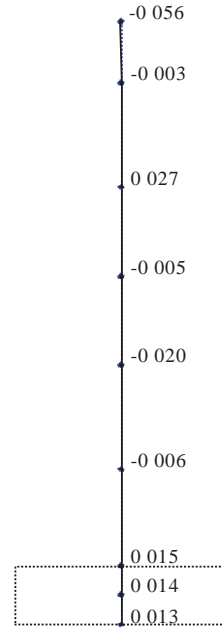
図 5-1 刺激関数(NS 方向, Ss-D, 1~4 次)

Mode - 5
 T (s) = 0.040
 f (Hz) = 24.933
 $\beta h = 0.000$



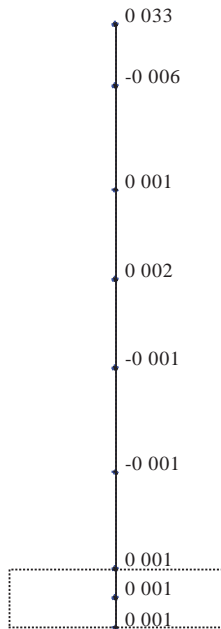
(5 次)

Mode - 6
 T (s) = 0.036
 f (Hz) = 27.870
 $\beta h = -0.056$



(6 次)

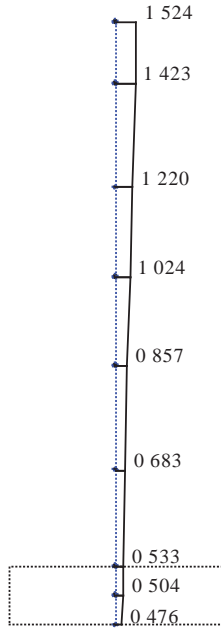
Mode - 7
 T (s) = 0.029
 f (Hz) = 33.961
 $\beta h = 0.033$



(7 次)

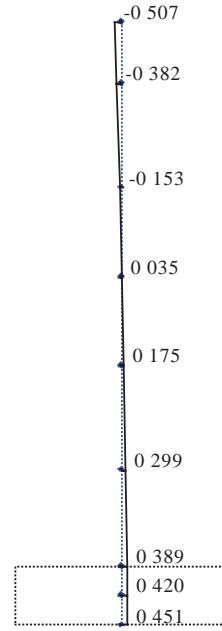
図 5-2 刺激関数 (NS 方向, Ss-D, 5~7 次)

Mode - 1
 $T(s) = 0.276$
 $f(\text{Hz}) = 3.630$
 $\beta h = 1.524$



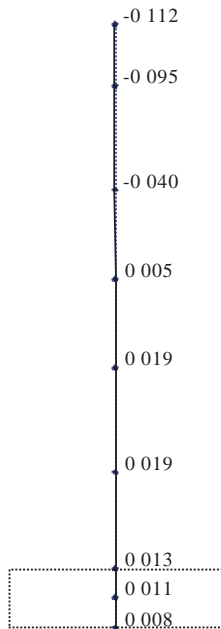
(1次)

Mode - 2
 $T(s) = 0.145$
 $f(\text{Hz}) = 6.908$
 $\beta h = -0.507$



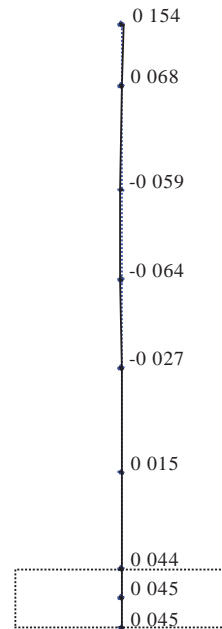
(2次)

Mode - 3
 $T(s) = 0.081$
 $f(\text{Hz}) = 12.404$
 $\beta h = -0.112$



(3次)

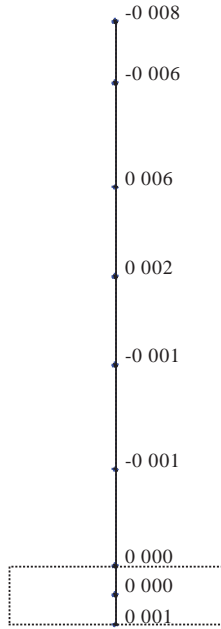
Mode - 4
 $T(s) = 0.055$
 $f(\text{Hz}) = 18.065$
 $\beta h = 0.154$



(4次)

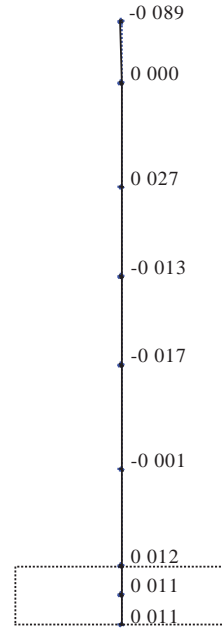
図 5-3 刺激関数(EW 方向, Ss-D, 1~4 次)

Mode - 5
 $T(s) = 0.043$
 $f(\text{Hz}) = 23.355$
 $\beta h = -0.008$



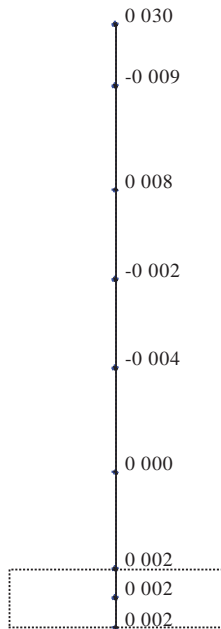
(5 次)

Mode - 6
 $T(s) = 0.040$
 $f(\text{Hz}) = 24.784$
 $\beta h = -0.089$



(6 次)

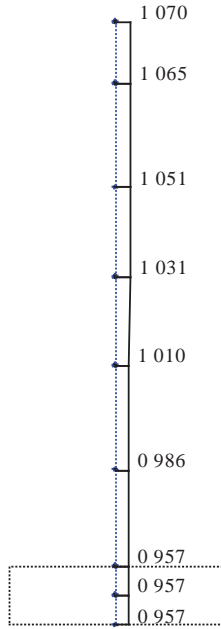
Mode - 7
 $T(s) = 0.037$
 $f(\text{Hz}) = 27.257$
 $\beta h = 0.030$



(7 次)

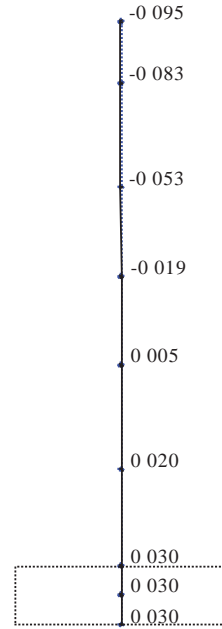
図 5-4 刺激関数(EW 方向, Ss-D, 5~7 次)

Mode - 1
 $T(s) = 0.210$
 $f(\text{Hz}) = 4.766$
 $\beta = 1.070$



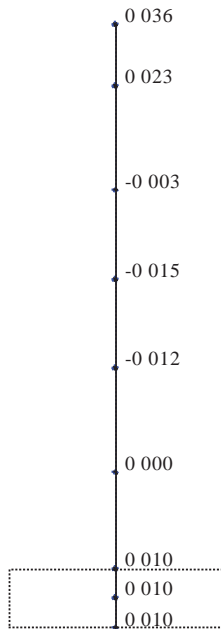
(1 次)

Mode - 2
 $T(s) = 0.040$
 $f(\text{Hz}) = 24.779$
 $\beta = -0.095$



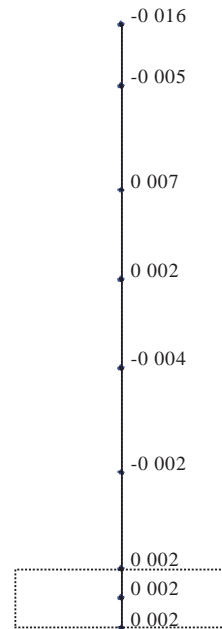
(2 次)

Mode - 3
 $T(s) = 0.023$
 $f(\text{Hz}) = 42.685$
 $\beta = 0.036$



(3 次)

Mode - 4
 $T(s) = 0.017$
 $f(\text{Hz}) = 59.127$
 $\beta = -0.016$

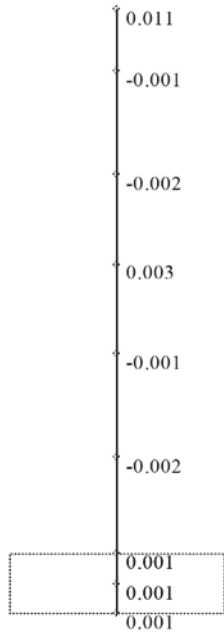


(4 次)

図 5-5 刺激関数(UD 方向, Ss-D, 1~4 次)

Mode - 5

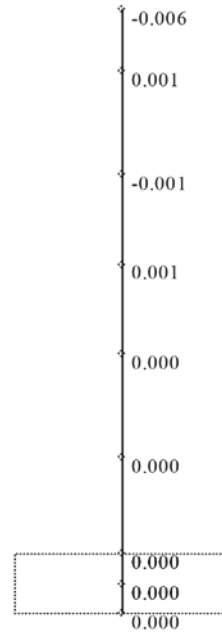
T (s) = 0.013
f (Hz) = 74.834
 β = 0.011



(5 次)

Mode - 6

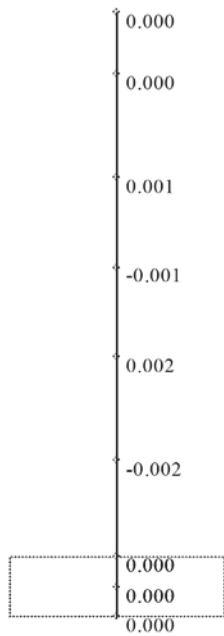
T (s) = 0.013
f (Hz) = 79.691
 β = -0.006



(6 次)

Mode - 7

T (s) = 0.011
f (Hz) = 90.164
 β = -0.002

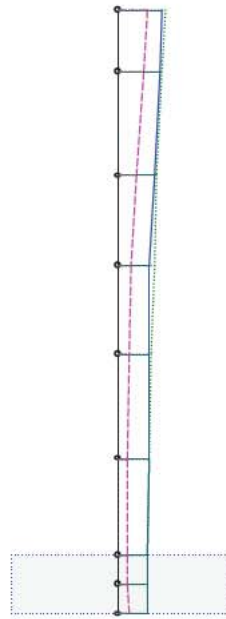
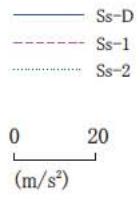


(7 次)

図 5-6 刺激関数(UD 方向, Ss-D, 5~7 次)

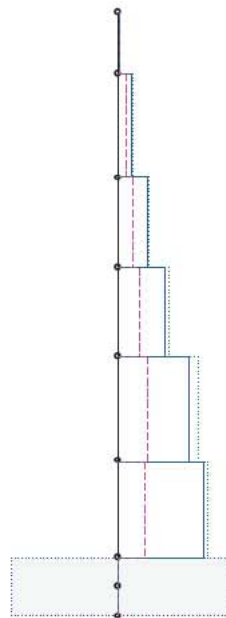
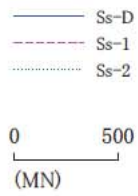
5.2 地震応答解析結果

廃止措置計画用設計地震動による水平方向の最大応答加速度，最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを図 5-7 から図 5-12 に，鉛直方向の最大応答加速度及び最大応答軸力を図 5-13 及び図 5-14 に示す。また，耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を図 5-15 及び図 5-16 に示す。せん断ひずみは最大で 0.18×10^{-3} であり，評価基準値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。



質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	10 351	6 800	11 053
2	9 688	5 825	10 450
3	8 413	4 071	9 073
4	7 465	2 948	8 392
5	7 289	2 379	7 885
6	7 111	2 133	7 282
7	6 925	2 165	6 971
8	6 894	2 241	6 941
9	6 863	2 348	6 919

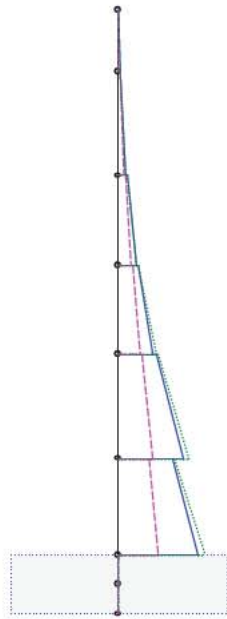
図 5-7 最大応答加速度(Ss, NS 方向)



部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	6 5	4 3	7 0
2	59 1	35 8	63 6
3	133 0	70 3	144 1
4	220 8	104 4	242 7
5	340 7	140 3	385 2
6	406 0	127 3	424 5
7	-	-	-
8	-	-	-

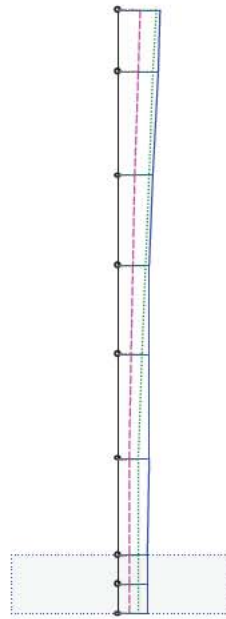
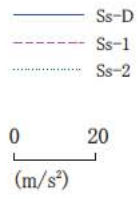
図 5-8 最大応答せん断力(Ss, NS 方向)

— Ss-D
 - - - Ss-1
 ····· Ss-2
 0 10,000
 (MNm)



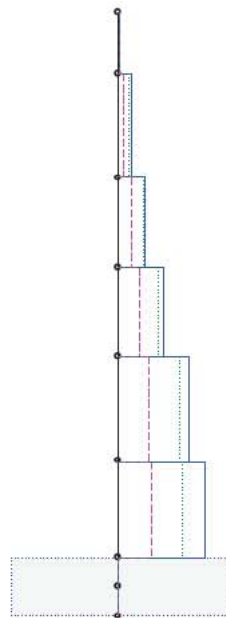
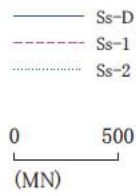
部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	1 2 30 0	1 2 20 3	1 0 31 8
2	169 2 562 7 722 4	160 6 412 6 584 0	153 7 587 4 710 1
3	1557 9 1691 9	1040 9 1210 3	1623 4 1759 7
4	3113 0 3357 9	1869 2 2066 9	3325 3 3512 7
5	5877 5 4801 2	3117 2 2789 7	6401 6 4944 4
6	7125 4	3489 1	7878 4
7	=	=	=
8	=	=	=

図 5-9 最大応答曲げモーメント (Ss, NS 方向)



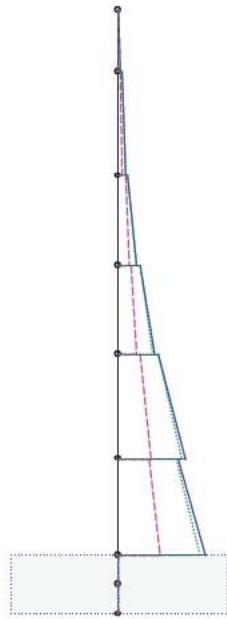
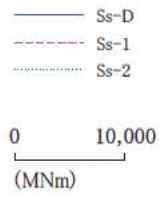
質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	9 782	5 119	8 806
2	9 245	4 449	8 319
3	8 200	3 970	7 389
4	7 454	3 249	6 445
5	7 278	2 830	5 612
6	7 100	2 611	4 798
7	6 935	2 574	4 676
8	6 913	2 595	4 684
9	6 892	2 616	4 692

図 5-10 最大応答加速度 (Ss, EW 方向)



部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	6 2	3 2	5 5
2	56 2	27 4	50 6
3	128 9	61 3	116 0
4	214 7	99 3	193 1
5	339 5	146 5	297 2
6	415 3	157 6	302 7
7	-	-	-
8	-	-	-

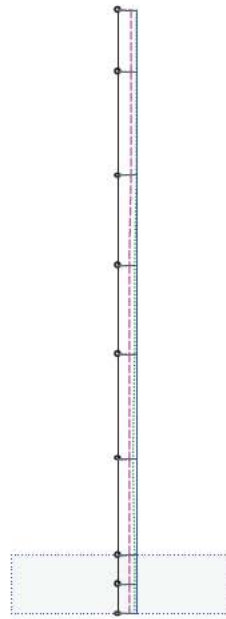
図 5-11 最大応答せん断力 (Ss, EW 方向)



部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
	7.2	5.4	5.9
1	31.3	18.3	28.4
	213.9	142.6	214.2
2	580.6	343.1	554.3
	811.6	520.1	793.9
3	1620.5	883.1	1547.8
	1843.5	1085.0	1843.4
4	3239.1	1628.5	3098.5
	3476.3	1870.5	3462.8
5	5973.6	2938.3	5691.9
	5346.7	2771.4	5182.5
6	7730.0	3721.3	7301.6
7	=	=	=
8	=	=	=

図 5-12 最大応答曲げモーメント (Ss, EW 方向)

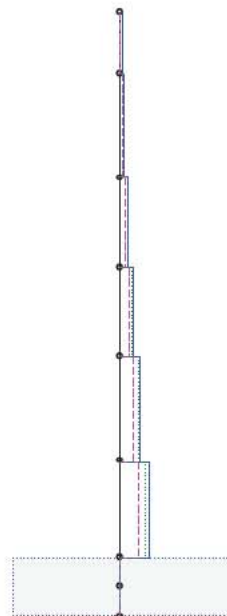
— Ss-D
 - - - Ss-1
 ····· Ss-2
 0 30
 (m/s²)



質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	6 475	4 229	6 276
2	6 439	4 202	6 258
3	6 420	4 115	6 032
4	6 400	3 970	5 660
5	6 371	3 860	5 410
6	6 319	3 705	5 283
7	6 240	3 539	5 336
8	6 240	3 539	5 336
9	6 240	3 539	5 336

図 5-13 最大応答加速度 (Ss, UD 方向)

— Ss-D
 - - - Ss-1
 ····· Ss-2
 0 1,000
 (MN)



部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	4 1	2 7	4 0
2	39 1	25 5	38 0
3	96 1	62 2	91 7
4	172 6	109 9	159 6
5	290 7	181 8	260 3
6	404 0	248 2	352 5
7	-	-	-
8	-	-	-

図 5-14 最大応答軸力 (Ss, UD 方向)

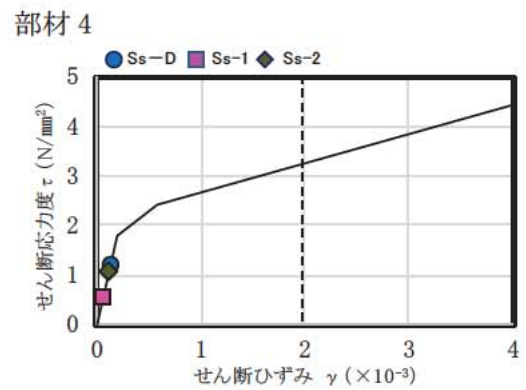
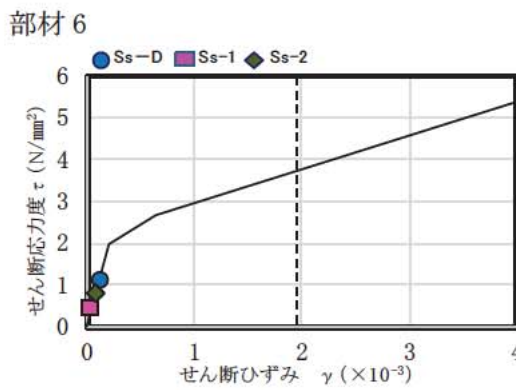
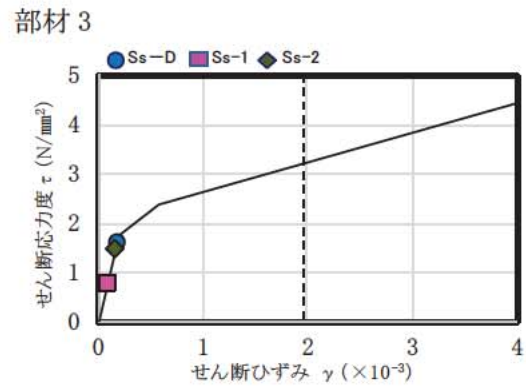
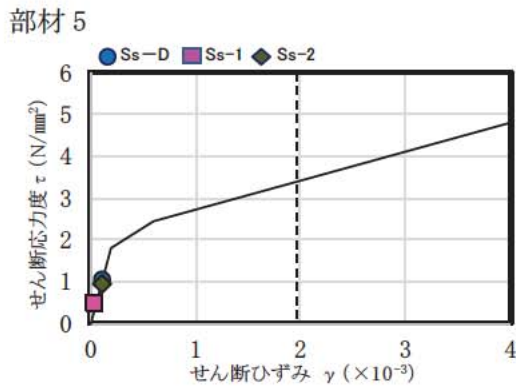
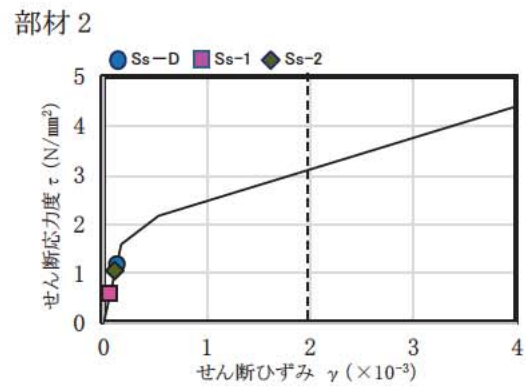
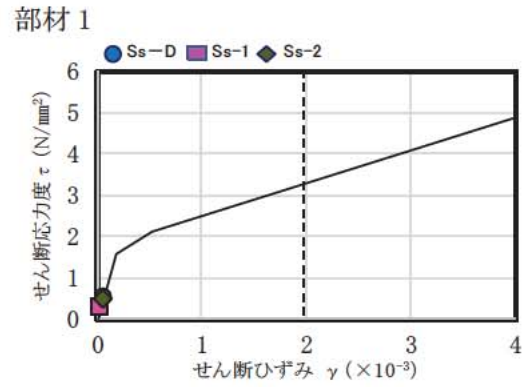
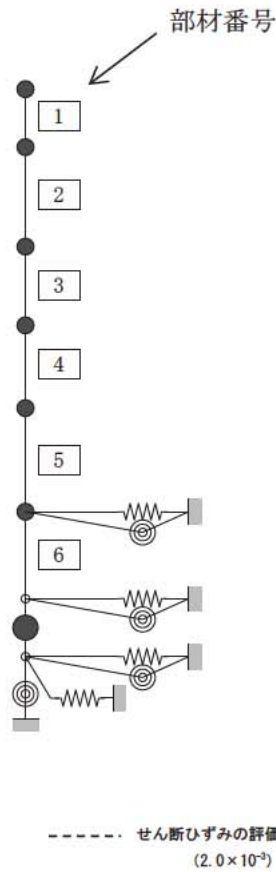


図 5-15 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向, Ss)

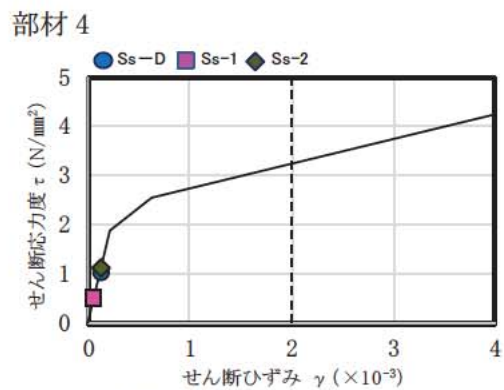
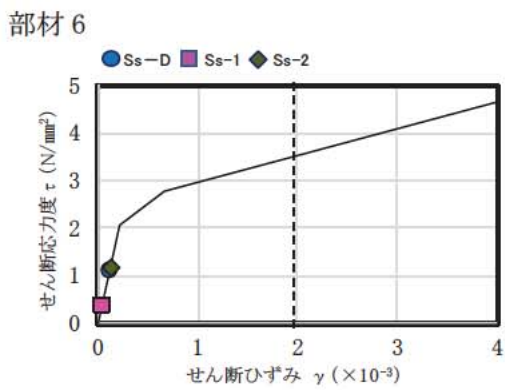
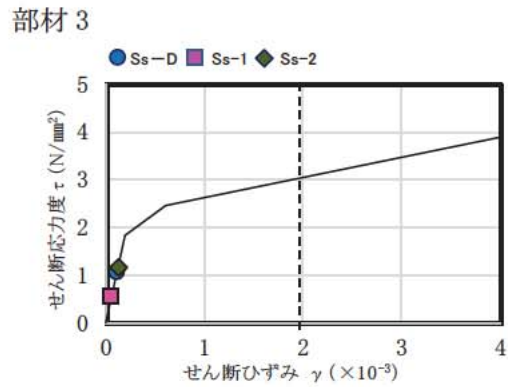
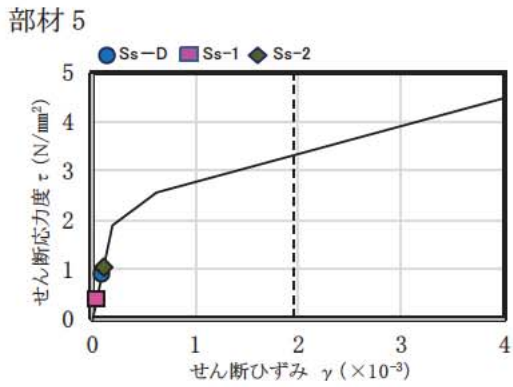
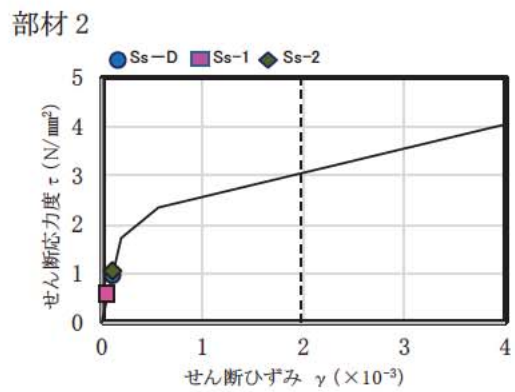
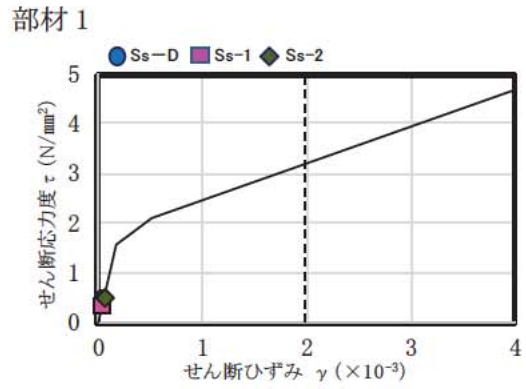
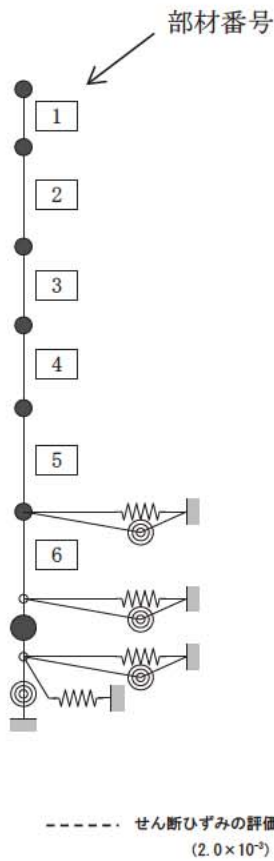


図 5-16 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向, Ss)

6. 基礎浮き上がりの検討

廃止措置計画用設計地震動による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を表 6-1 に示す。地震時の最大接地圧は、地反力分布を三角形分布と仮定し、鉛直方向の地震力を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮して算定する。最大接地圧の一覧表を表 6-2 に示す。

接地率は、誘発上下動を考慮した浮き上がり非線形解析を適用できる基準値(50 %以上)を満足していることを確認した。

接地圧は、基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度 2350 kN/m^2 を超えないことを確認した。

表 6-1 最小接地率

(a) NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	4.08	6.73	67.4
Ss-1		3.00	100.0
Ss-2		7.25	61.1

(b) EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	5.50	8.06	76.8
Ss-1		3.75	100.0
Ss-2		7.26	84.0

表 6-2 最大接地圧

地震動	方向	最大接地圧 (kN/m ²)
Ss-D	NS	687
	EW	561
Ss-1	NS	379
	EW	367
Ss-2	NS	764
	EW	515

7. 評価結果

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の耐震性評価として廃止措置計画用設計地震動による地震応答解析を行い、接地率が誘発上下動を考慮した浮き上がり非線形解析を適用できる基準を満足していること、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。以上により、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟は廃止措置計画用設計地震動に対して耐震余裕を有していることを確認した。

- ① ガラス固化技術開発施設(TVF)の耐震性を確保すべき設備について
 - 系統図や配置図を用いた詳細な説明

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟 機器の系統図及び配置図について

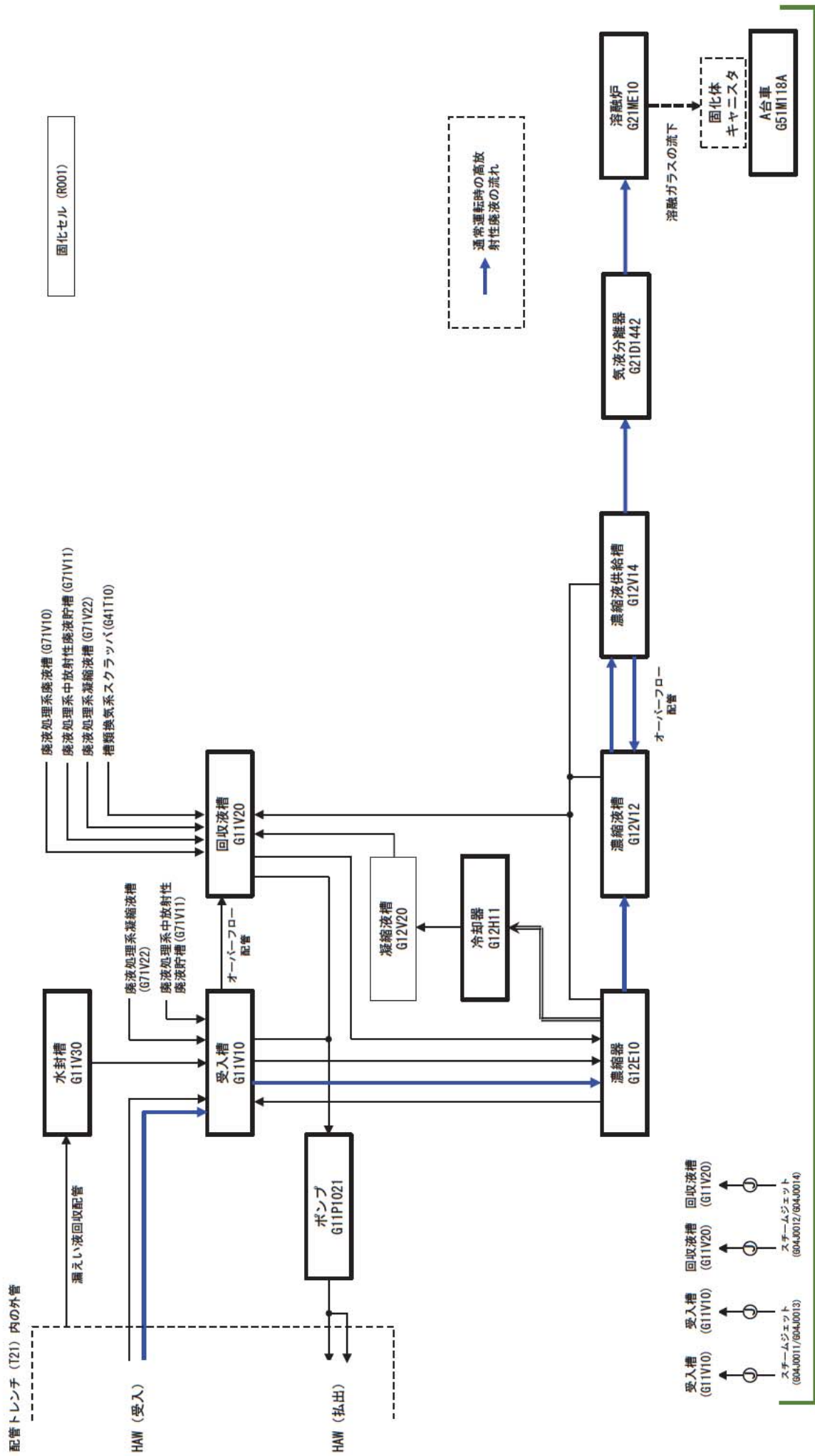
耐震性を確保すべき設備について、要求される安全機能である閉じ込めと崩壊熱除去機能を有する設備及び系統について、その選定の根拠を説明するための系統図及び配置図の例を参考図 1～3 に示す。

本図以外についても、今後の説明の際に適時提示していく。



参考図 1 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 機器配置図 (地下 2 階)

参考図 2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 固化セル内機器配置図 (X-X 断面図)



ドリフトトレイ 604U001

参考図 3 高放射性廃液を取り扱う系統 (受入からガラス固化まで)

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の
機器・配管系の耐震性計算書

ガラス固化処理施設（TVF）で代表的な以下の機器についての耐震性計算書を示す。

受入槽 (G11V10)

濃縮器ラック (G12RK10)

濃縮器 (G12E10)

濃縮液槽 (G12V12)

熔融炉 (G21ME10)

ルテニウム吸着塔 (G41T35)

1次系冷却ポンプ (G83P32, P42)

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20)
の耐震性についての計算書

1. 概要

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受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 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

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 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
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

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる胴、ラグ及び据付ボルトとする。受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の概要図を図 3-1 に示す。

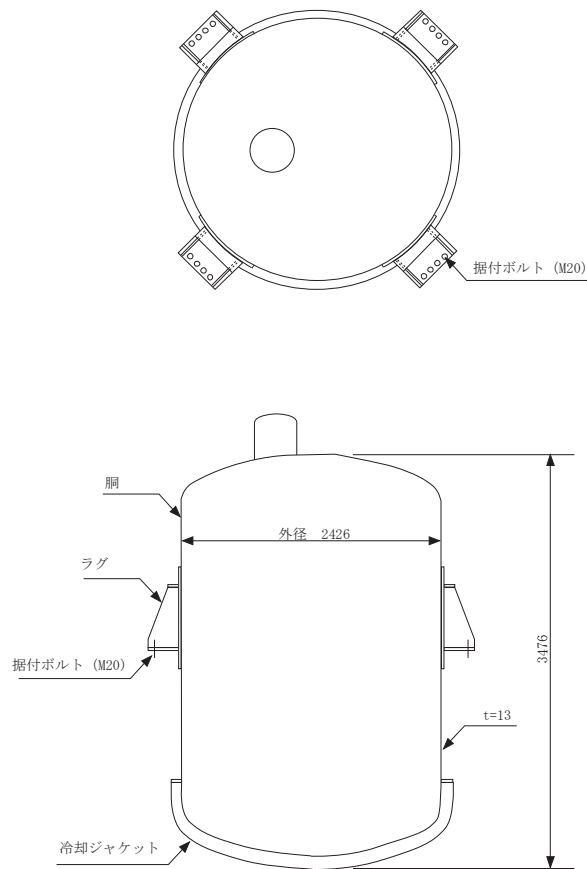


図 3-1 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の概要図

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、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。評価に当たっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、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。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
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 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 4-2 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
受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20)	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（ S_s-D , S_s-1 , S_s-2 の 3 波包絡、周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅したもの）を作成し、これを評価に用いた。

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 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
受入槽 (G11V10) 及び 回収液槽 (G11V20)	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 %)

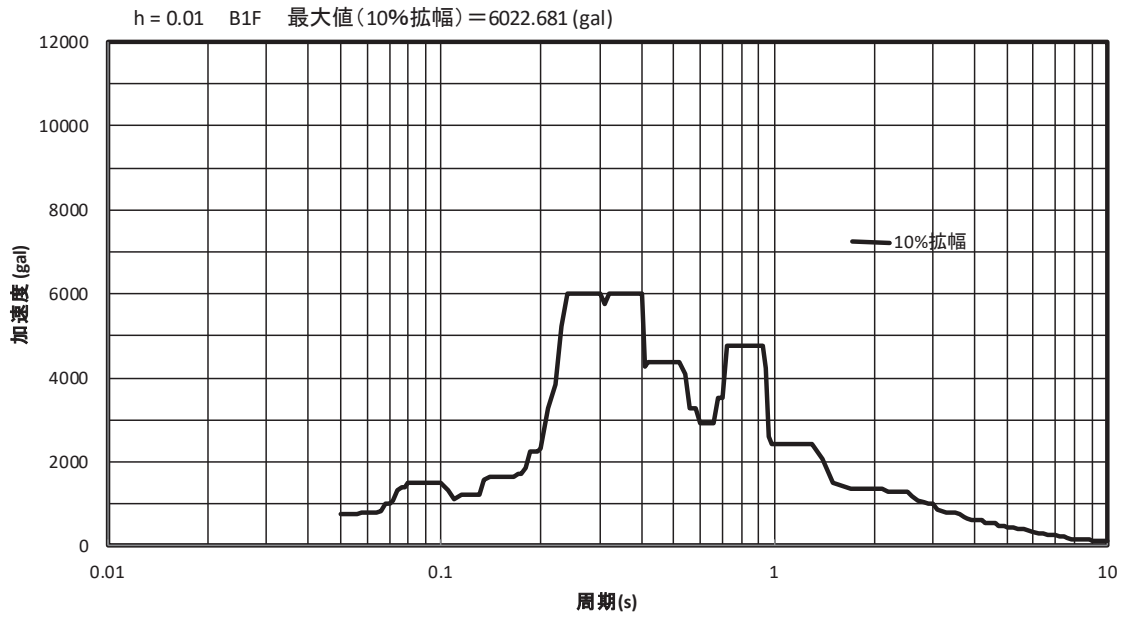


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0 %）

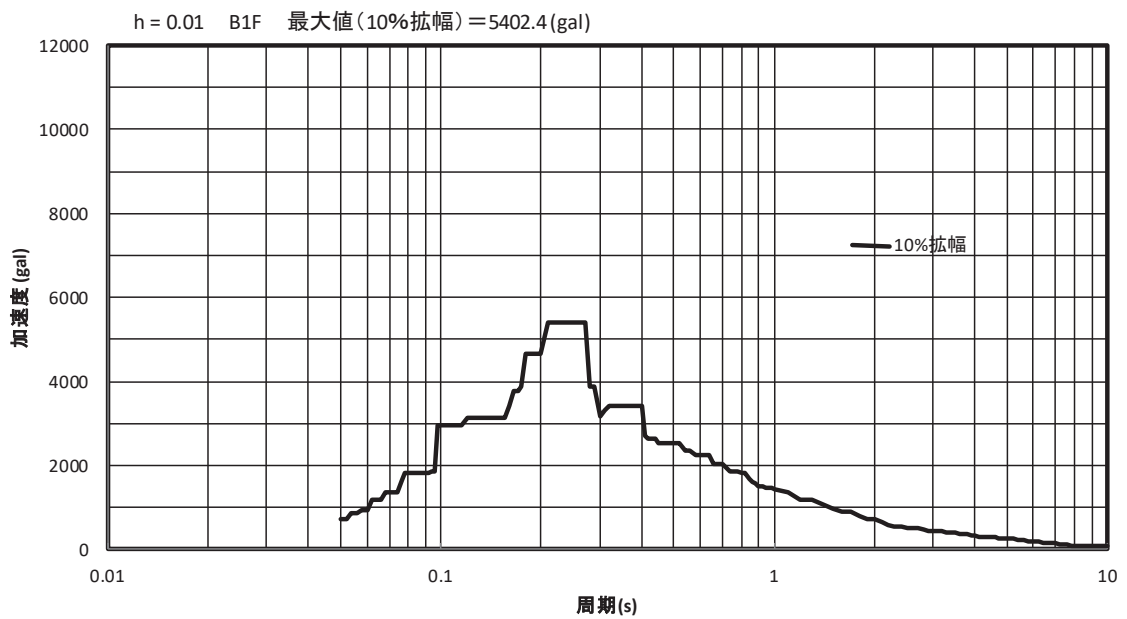


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0 %）

4.5 計算方法

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 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。

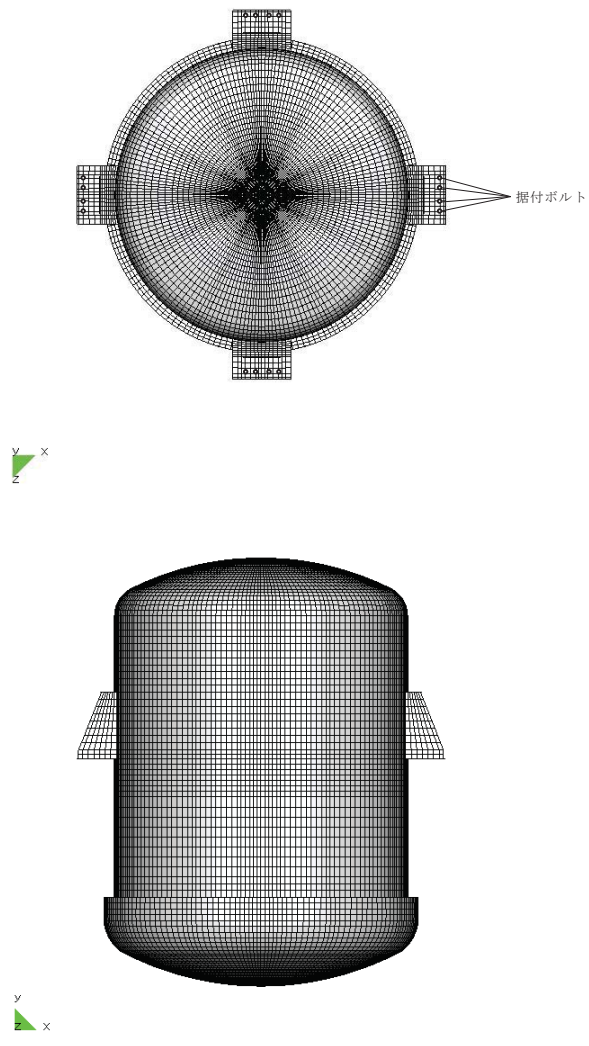
※1 日本原子力研究開発機構, 伊藤忠テクノソリューション株式会社, “FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 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。

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 27.07 t となるように、液位より下部の胴板の密度に付加した。



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
据付ボルト	○	○	○	-	-	-

図 4-3 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の解析モデル

4.6.2 諸元

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。空質量には、貯槽本体胴 (ジャケット含む。), ラグ, 内部配管及び内部配管の支持部材を含む。

表 4-4 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
受入槽 (G11V10) 及び 回収液槽 (G11V20)	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
	圧力 (設計圧力)	0.049 (MPa)
	胴外径	2426 (mm)
	胴板厚さ	13 (mm)
	胴高さ (外側)	3476 (mm)
	胴材質	R-SUS304ULC
	胴温度 (設計温度)	95 (°C)
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト有効断面積 [*]	245 (mm ²)
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	45 (°C)
	液量 (満杯)	11 (m ³)
	液密度	1.6 (g/cm ³)
	空質量	約 9.47 (t)
	総質量 (設計質量)	約 27.07 (t)

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7 固有周期

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 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：0.062（秒）

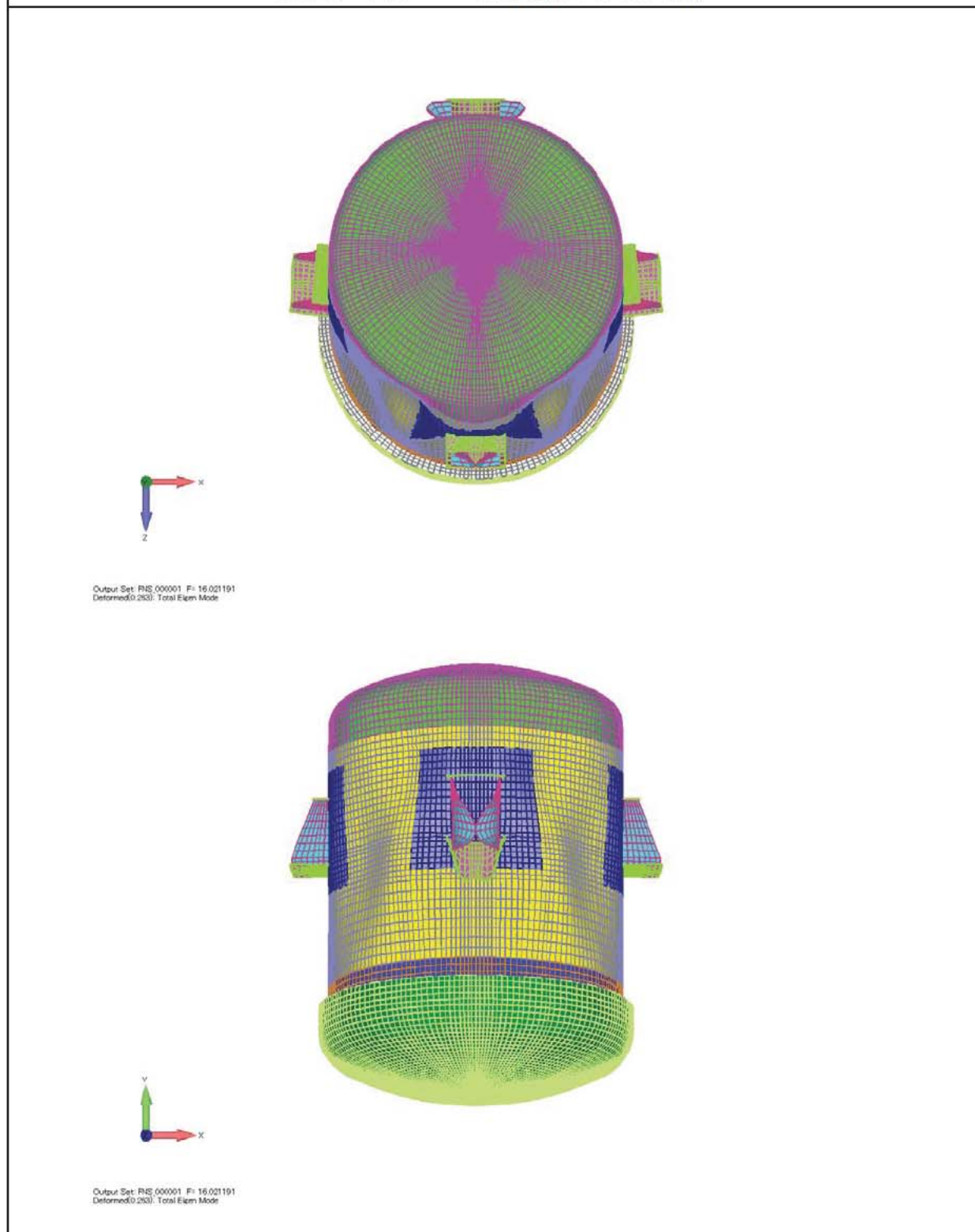


図 4-4 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.062（秒）

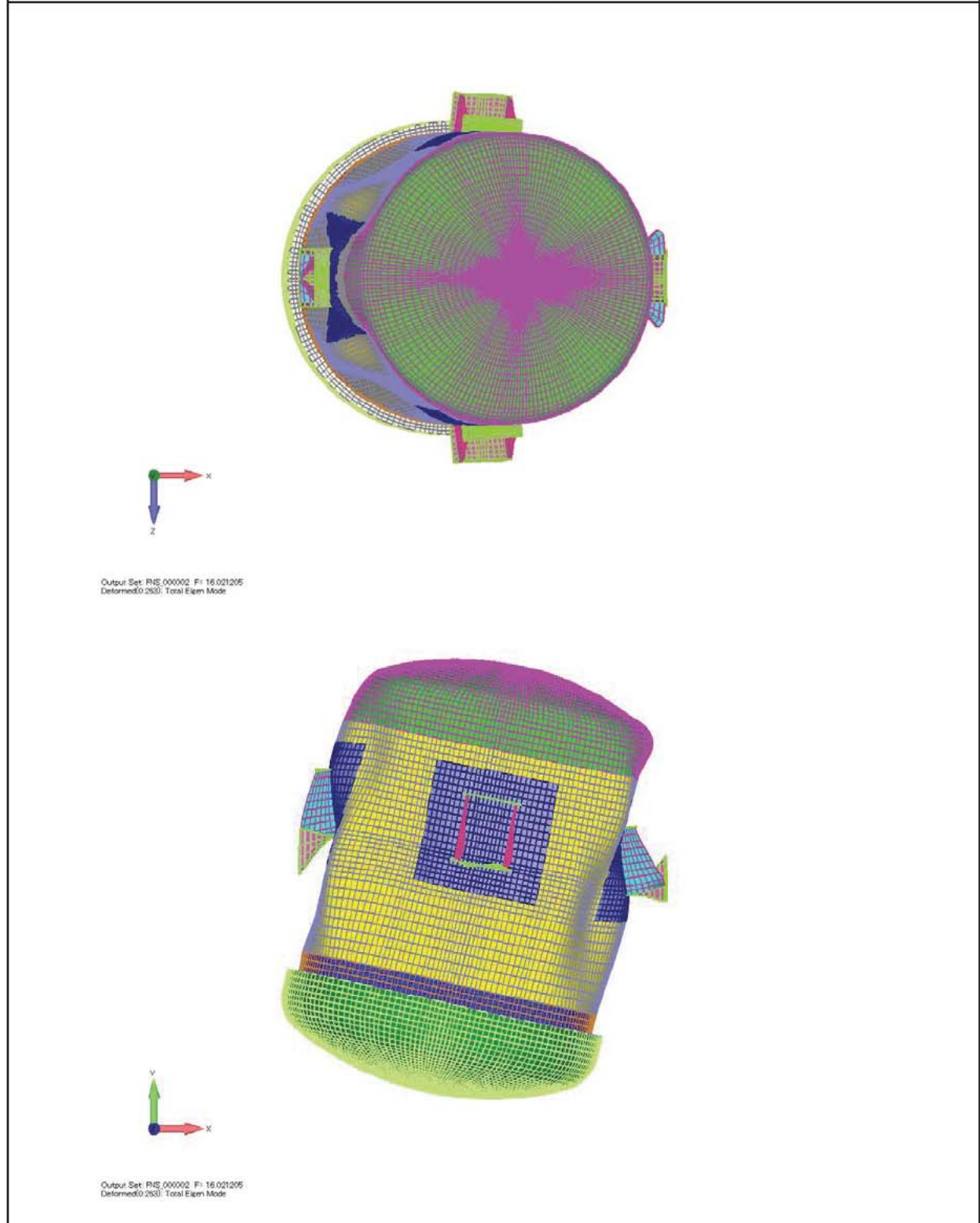


図 4-4 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 固有モード図 (2/3)

3次モード図 固有周期：0.042（秒）

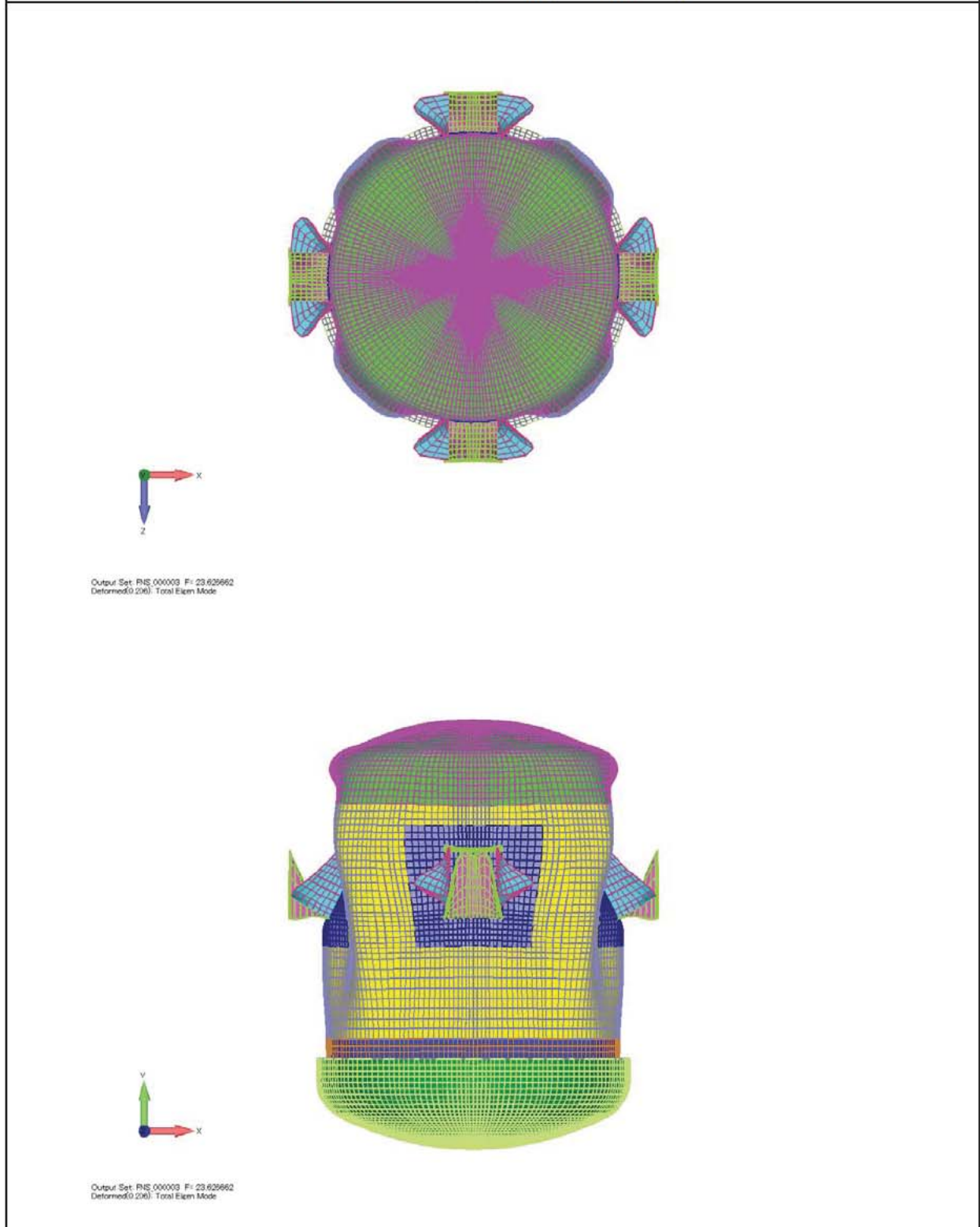


図 4-4 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。胴部の最大応力発生点（応力強さ）を図 5-1、図 5-2 に、ラグ部の最大応力発生点を図 5-3 に、ボルトの最大せん断応力発生点を図 5-4 に示す。ボルトの発生応力は、計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断荷重をボルトの有効断面積で割って算出した。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 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

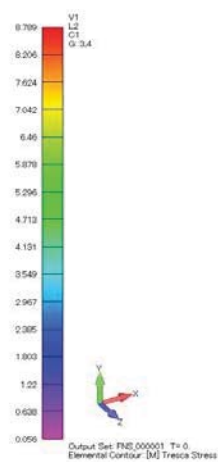
評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20)	胴 (冷却ジャケットを含む。)	一次一般膜	103	247	0.42
		一次	152	371	0.41
	ラグ	一次	176	246	0.72
	据付ボルト	引張	139	246	0.57
		せん断	205	226 ^{※2}	0.91

※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（詳細は別紙 6-1-2-5-2-1 参考 1 に示す）。



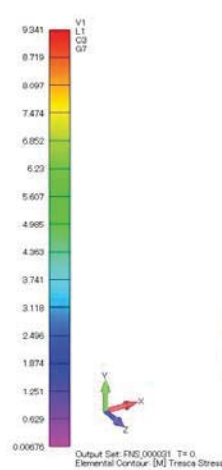
(1) 自重による応力



(2) 圧力による応力

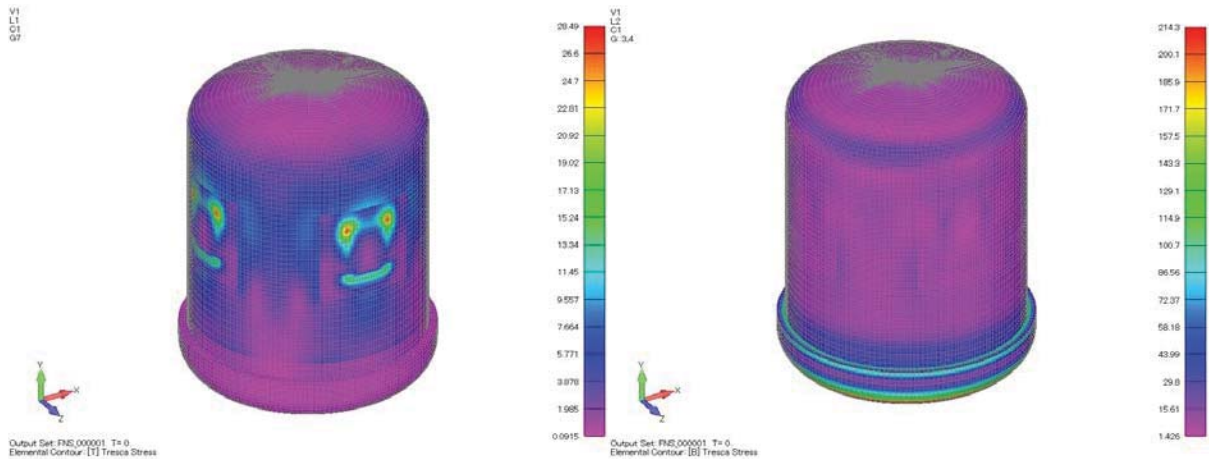


(3) 水平 X 方向地震力による応力



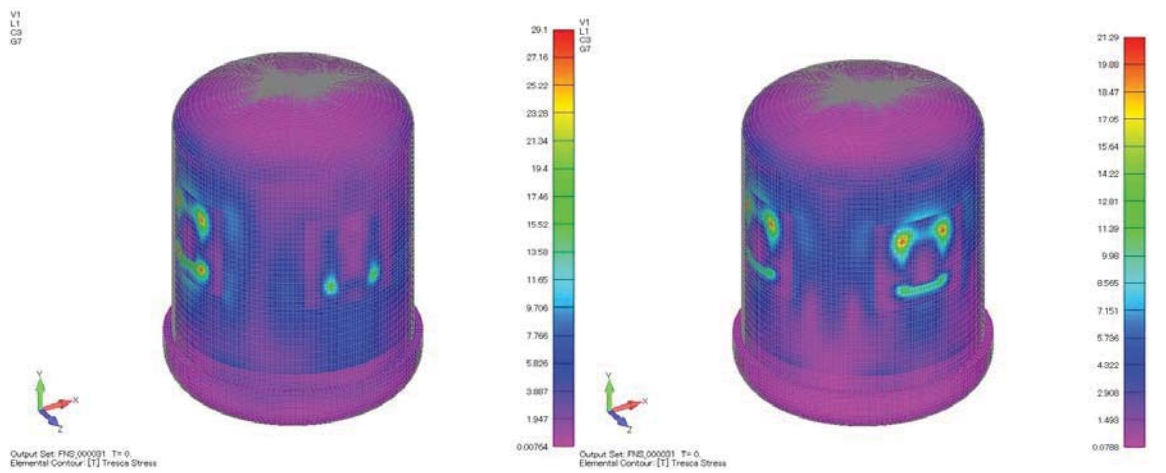
(4) 鉛直方向地震力による応力

図 5-1 胴部の構造強度評価結果 (一次一般膜応力)



(1) 自重による応力

(2) 圧力による応力



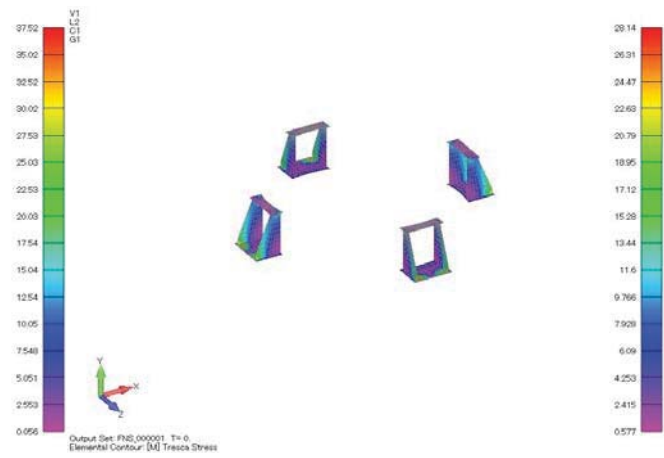
(3) 水平 X 方向地震力による応力

(4) 鉛直方向地震力による応力

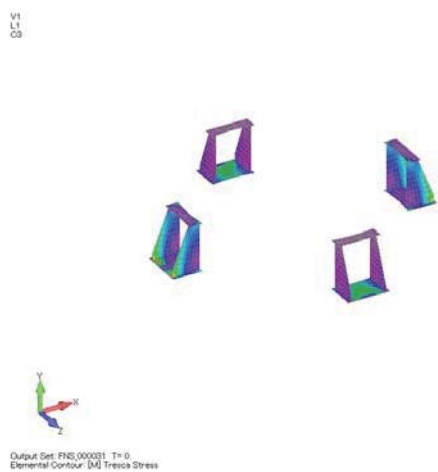
図 5-2 胴部の構造強度評価結果（一次応力）



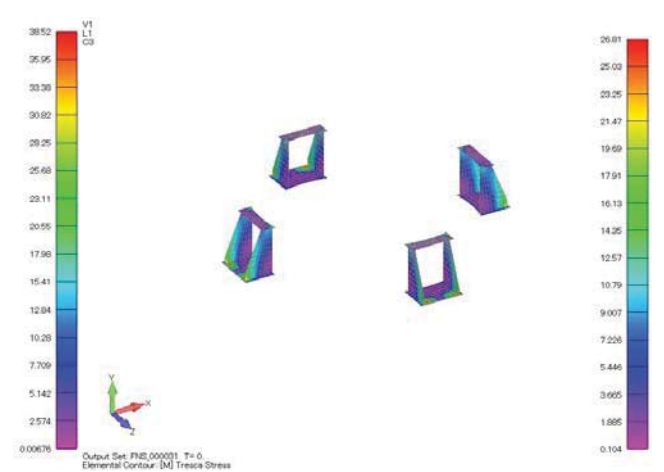
(1) 自重による応力



(2) 圧力による応力



(3) 水平 X 方向地震力による応力



(4) 鉛直方向地震力による応力

図 5-3 ラグ部の構造強度評価結果（一次応力）

Y
Z

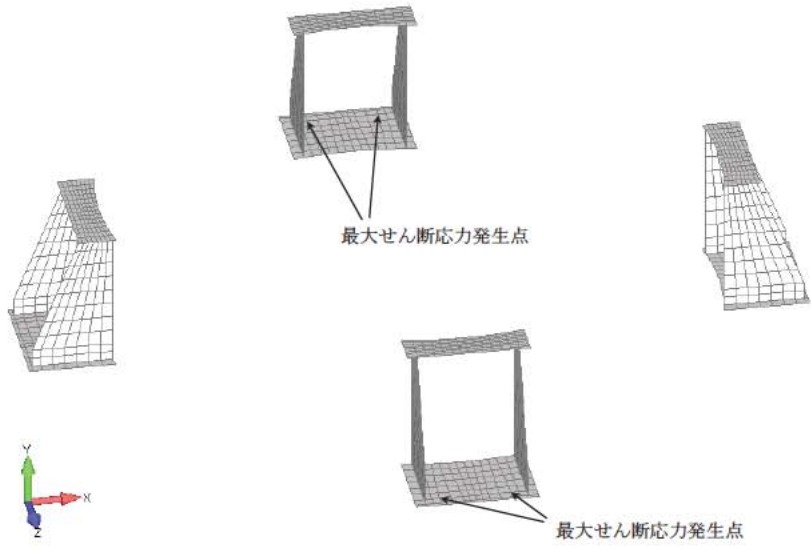


図 5-4 据付ボルトの最大せん断応力発生点（荷重条件：水平 X 方向地震力）

濃縮器(G12E10)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する濃縮器(G12E10)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

評価対象の濃縮器(G12E10)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。

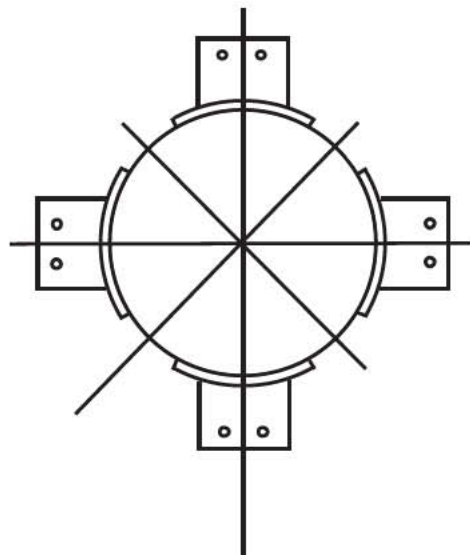
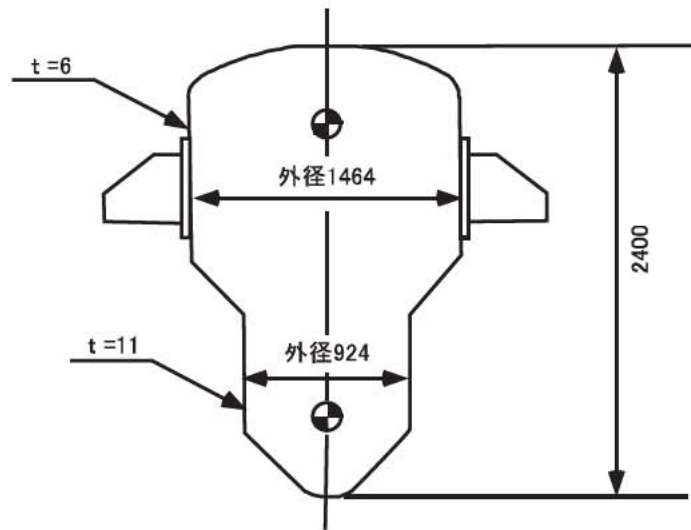
- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008（日本電気協会）
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012（日本機械学会）
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	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

濃縮器(G12E10)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴及び据付ボルトとする。濃縮器(G12E10)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位;mm)

図 3-1 濃縮器(G12E10)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、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 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。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
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

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。濃縮器(G12E10)は、固化セル(R001)内の濃縮器ラック(G12RK10)に搭載している機器であるため、図 4-1 に示すとおり、濃縮器(G12E10)の静的解析用震度は、濃縮器ラック(G12RK10)の地震応答解析結果(別紙 6-1-2-5-2-99)から得られる機器搭載位置での静的解析用震度(水平方向:1.63,鉛直方向:1.18)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

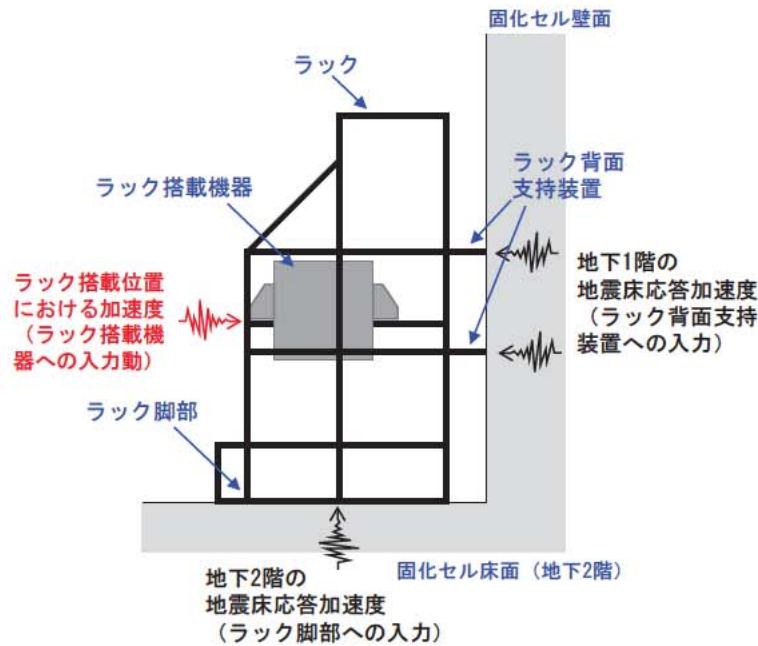


図 4-1 ラック搭載機器への地震動の入力方法

4.4 計算方法

濃縮器(G12E10)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 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”。

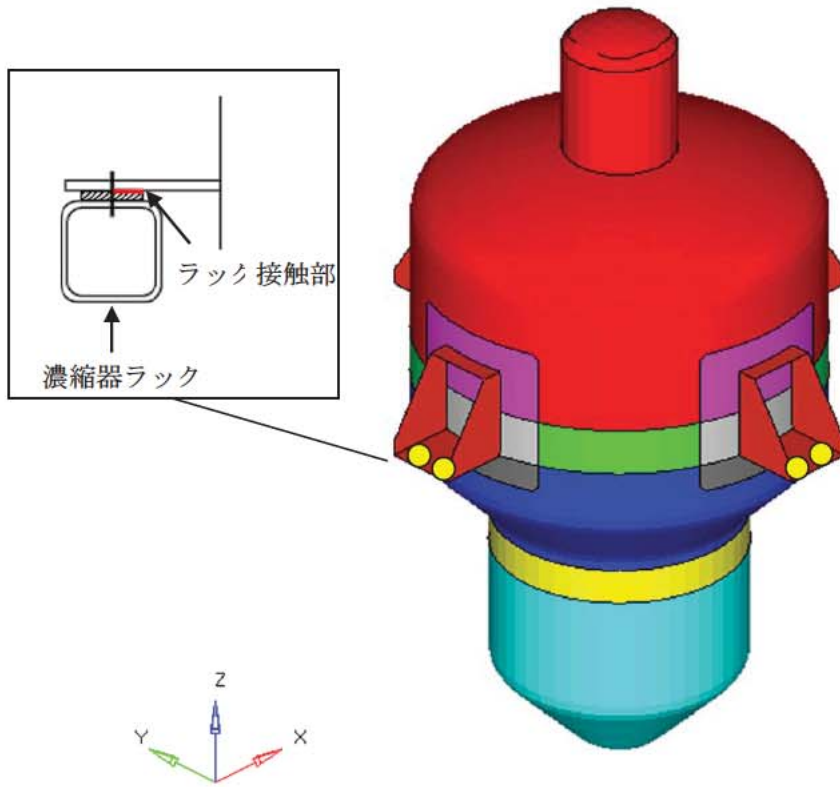
4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

濃縮器(G12E10)の解析モデルを図 4-2 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 3180 kg となるように、液位より下部の胴板の密度に付加した。

●…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
据付ボルト	○	○	○	○	○	－
ラック接触部	－	－	○	－	－	－

図 4-2 濃縮器 (G12E10) の解析モデル

4.5.2 諸元

濃縮器(G12E10)の主要寸法・仕様を表4-3に示す。空質量(設計質量)には、貯槽本体胴、ラグ、内部配管及び内部配管の支持部材を含む。

表4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
濃縮器(G12E10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス3
	胴外径(大径部)	1464 (mm)
	胴外径(小径部)	924 (mm)
	胴厚さ(大径部)	6 (mm)
	胴厚さ(小径部)	11 (mm)
	胴高さ	2400 (mm)
	胴材質	TP35H
	胴温度	130 (°C)
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト有効断面積 [※]	245 (mm ²)
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	45 (°C)
	液量(満杯)	1.4 (m ³)
	液密度	1.6 (g/cm ³)
	空質量(設計質量)	820 (kg)
総質量(設計質量)	3180 (kg)	

※ JIS B 0205に基づく。

4.6 固有周期

濃縮器(G12E10)の固有周期及び固有モードを図4-3に示す。

1次モード図

固有周期：0.037（秒）

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 2.319e+001Hz

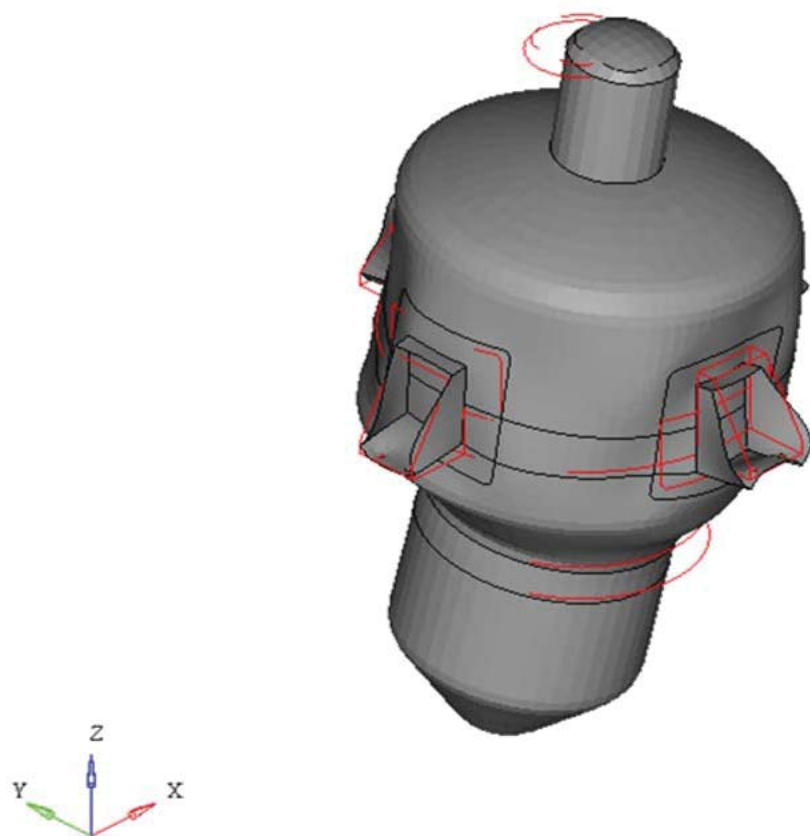


図 4-3 濃縮器(G12E10) 固有モード図

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の濃縮器(G12E10)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}
濃縮器(G12E10)	胴	一次一般膜	7	146	0.05
		一次	48	219	0.22
	据付ボルト	引張	18	246	0.08
		せん断	132	142	0.93

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

濃縮液槽 (G12V12) の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する濃縮液槽(G12V12)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

濃縮液槽(G12V12)の構造強度の評価は、鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「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する。

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
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

濃縮液槽 (G12V12) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる胴及び据付ボルトとする。
濃縮液槽 (G12V12) の概要図を図 3-1 に示す。

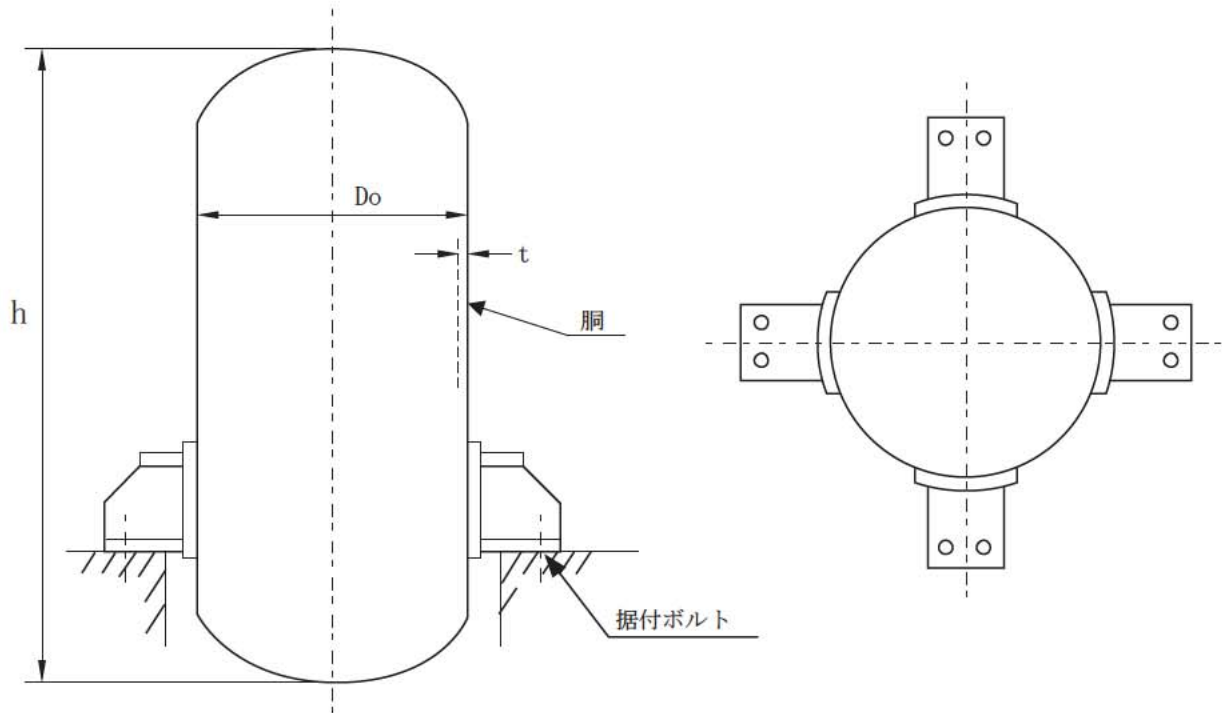


図 3-1 濃縮液槽 (G12V12) の概要図

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、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 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、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
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

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。濃縮液槽(G12V12)は、固化セル(R001)内の濃縮液槽ラック(G12RK12)に搭載している機器であるため、図 4-1 に示すとおり、濃縮液槽(G12V12)の静的解析用震度は、濃縮液槽ラック(G12RK12)の地震応答解析結果(別紙 6-1-2-5-2-99)から得られる機器搭載位置での静的解析用震度(水平方向:1.82,鉛直方向:0.97)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

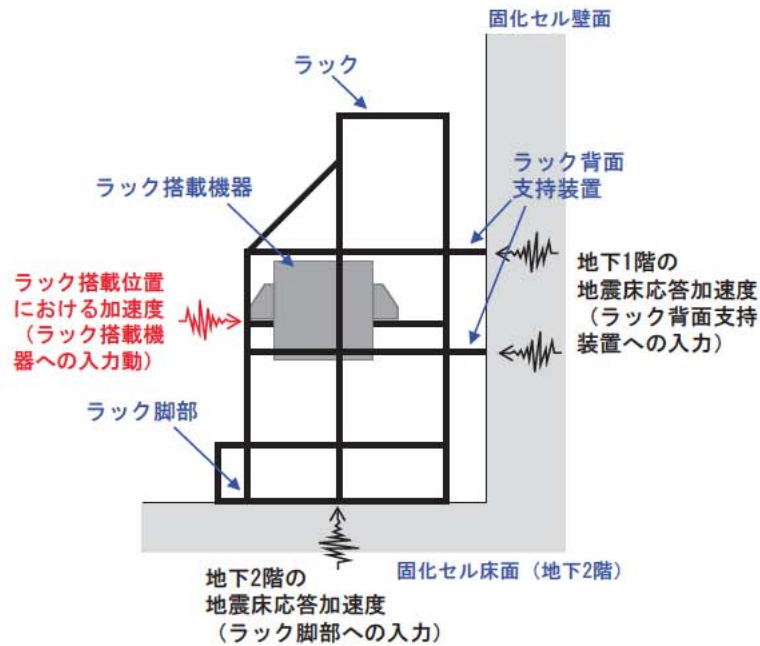


図 4-1 ラック搭載機器への地震動の入力方法

4.4 計算方法

濃縮液槽 (G12V12) の計算方法は、「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。

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

濃縮液槽 (G12V12) の解析モデルを図 4-2 に示す。

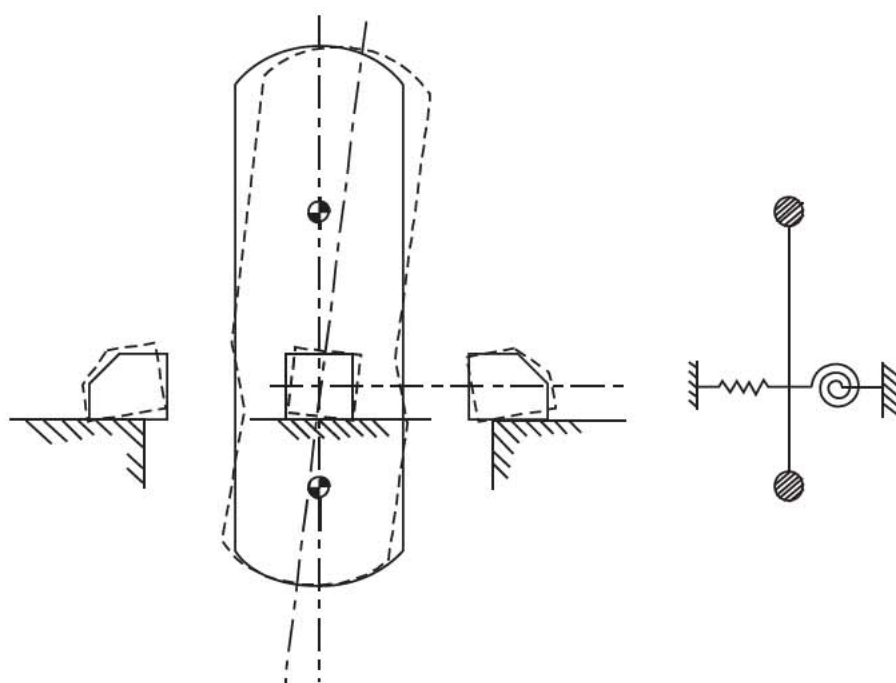


図 4-2 濃縮液槽 (G12V12) の解析モデル

4.5.2 諸元

濃縮液槽 (G12V12) 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	記号	値
濃縮液槽 (G12V12)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	圧力 (設計圧力)	—	0.59 (MPa)
	胴外径	Do	1346 (mm)
	胴板厚さ	t	7 (mm)
	胴高さ	h	2100 (mm)
	胴材質	—	R-SUS304ULC
	胴温度 (設計温度)	—	95 (°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	—	45 (°C)
	総質量	—	4690 (kg)

4.6 固有周期

濃縮液槽 (G12V12) 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。

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

濃縮液槽 (G12V12) の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4 固有周期

評価対象設備	固有周期
濃縮液槽 (G12V12)	0.039 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の濃縮液槽 (G12V12) 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}
濃縮液槽 (G12V12)	胴	一次一般膜	60	247	0.25
		一次	70	371	0.19
	据付ボルト	引張	77	237	0.33
		せん断	67	142	0.47

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

溶融炉 (G21ME10) の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する溶融炉(G21ME10)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

溶融炉(G21ME10)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	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

溶融炉(G21ME10)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるケーシング、架台、据付ボルト及び基礎ボルトとする。溶融炉(G21ME10)の概要図を図 3-1 に示す。

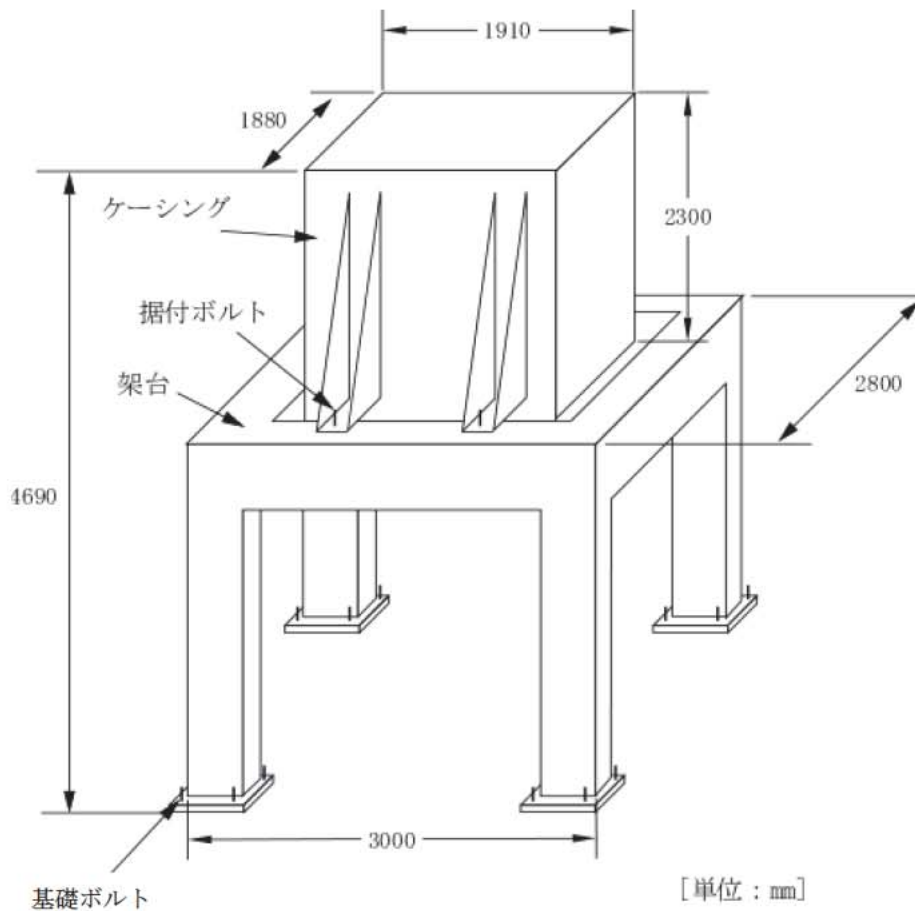


図 3-1 溶融炉 (G21ME10) の概要図

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、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 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、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
ケーシング	一次応力	$1.5 \times (F/1.5)$
ケーシング	一次+二次応力	$3 \times (F/1.5)$
架台	一次応力	F
ケーシング 据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
ケーシング 据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$
架台 据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
架台 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 4-2 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
熔融炉 (G21ME10)	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 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。

熔融炉 (G21ME10) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (地下 2 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
熔融炉 (G21ME10)	解析用の床応答スペクトル (地下 2 階, 減衰定数 1.0 %)	解析用の床応答スペクトル (地下 2 階, 減衰定数 1.0 %)

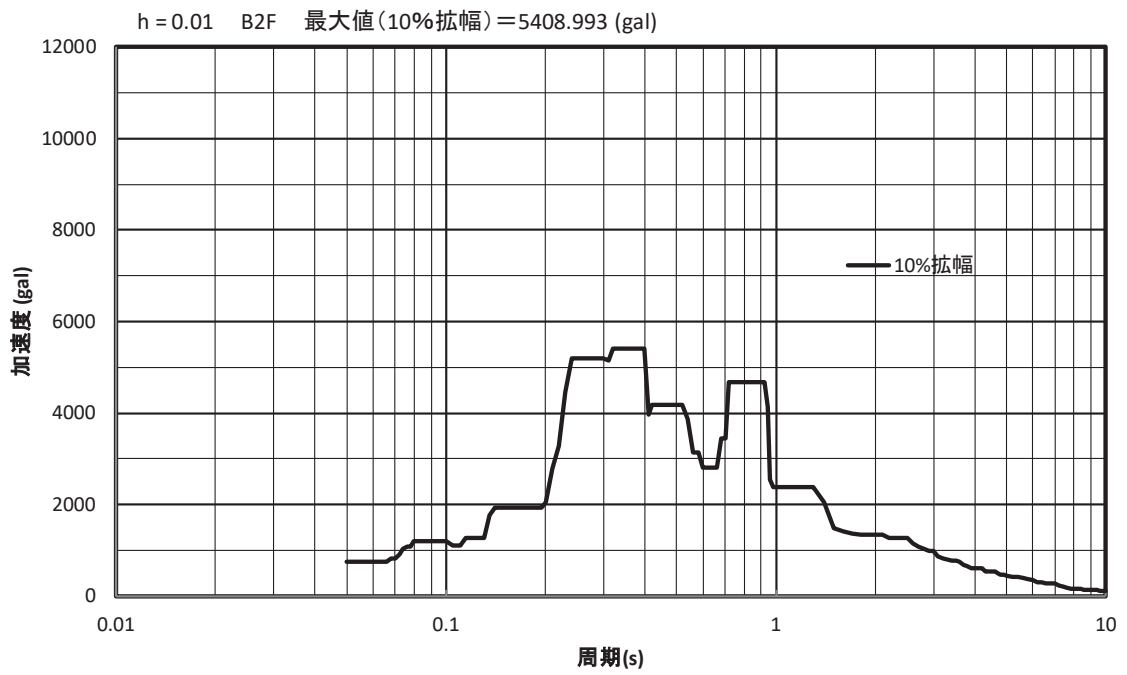


図 4-1 解析用の床応答スペクトル (水平方向, 地下 2 階, 減衰定数 1.0%)

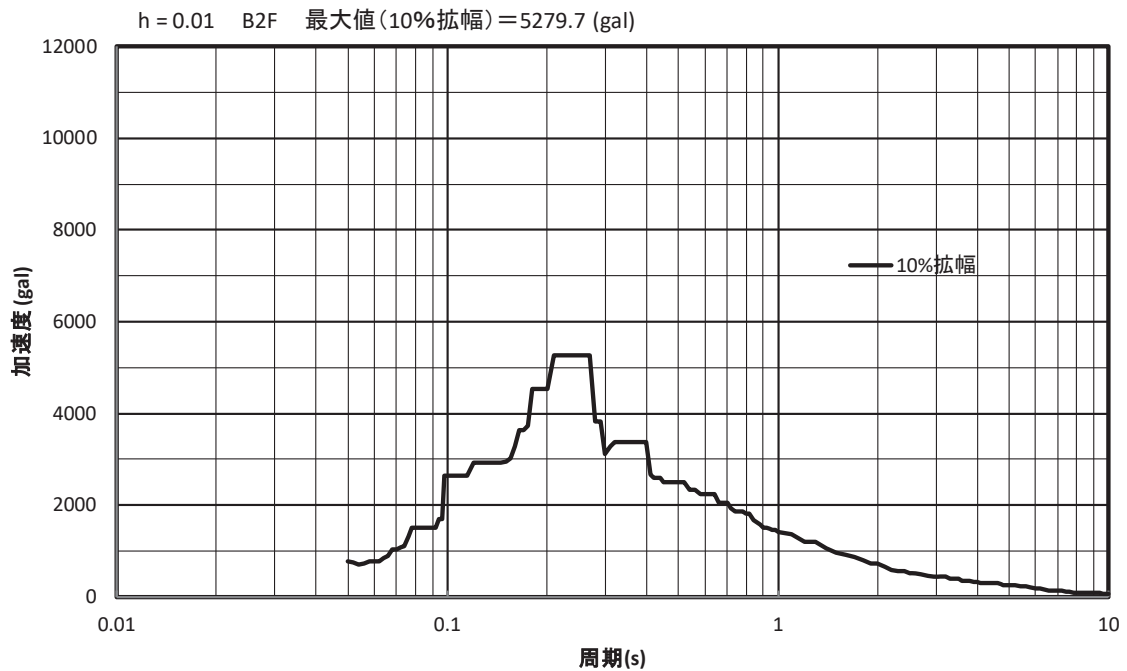


図 4-2 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, 地下 2 階, 減衰定数 1.0%)

4.5 計算方法

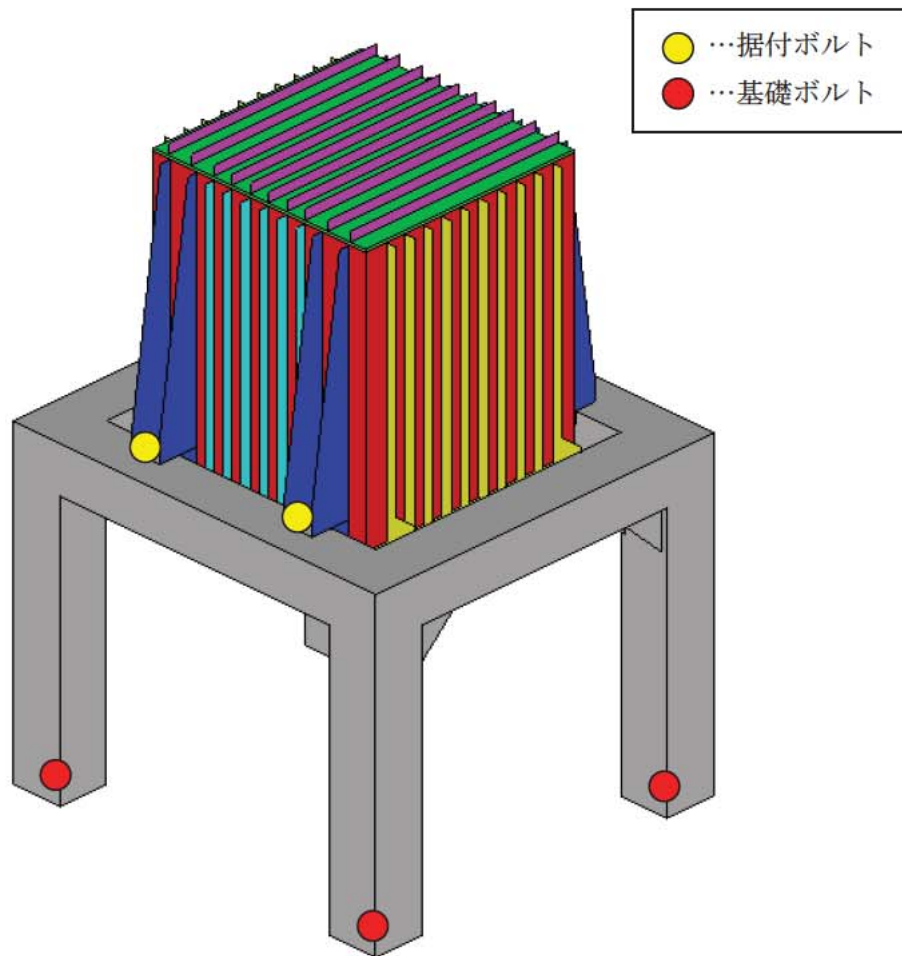
溶融炉(G21ME10)の発生応力の計算方法はFEM解析(スペクトルモーダル法)を用いた。解析コードはMSC.Nastran^{※1}を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

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

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

溶融炉(G21ME10)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
据付ボルト	○	○	○	-	-	-
基礎ボルト	○	○	○	○	○	○

図 4-3 溶融炉 (G21ME10) の解析モデル

4.6.2 諸元

溶融炉(G21ME10)の主要寸法・仕様を表4-4に示す。総重量には、ケーシング、耐火レンガ、電極、結合装置、溶融ガラスを含む。

表4-4 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
溶融炉(G21ME10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス3
	全長	4690 (mm)
	ケーシング厚さ	12 (mm)
	ケーシング材質	SUS304
	ケーシング設計温度	200 (°C)
	据付ボルト呼び径	M42
	据付ボルト有効断面積 [※]	1120 (mm ²)
	据付ボルト材質	SUS304
	架台厚さ	16 (mm)
	架台材質	SUS304
	架台設計温度	45 (°C)
	基礎ボルト呼び径	M42
	基礎ボルト材質	SUS304
	総質量 (設計質量)	23 (ton)

※ JIS B 0205に基づく。

4.7 固有周期

溶融炉(G21ME10)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：0.072（秒）

SUBCASE 1: Mode#1, Frequency= 1.383e+001Hz

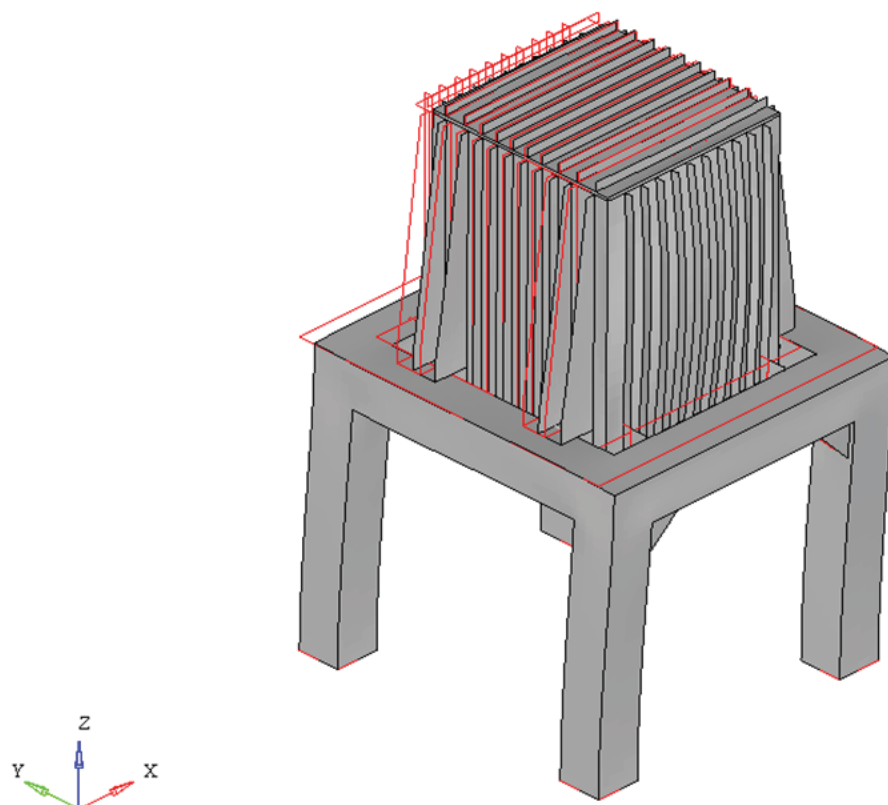


図 4-4 熔融炉(G21ME10) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.069（秒）

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.443e+001Hz

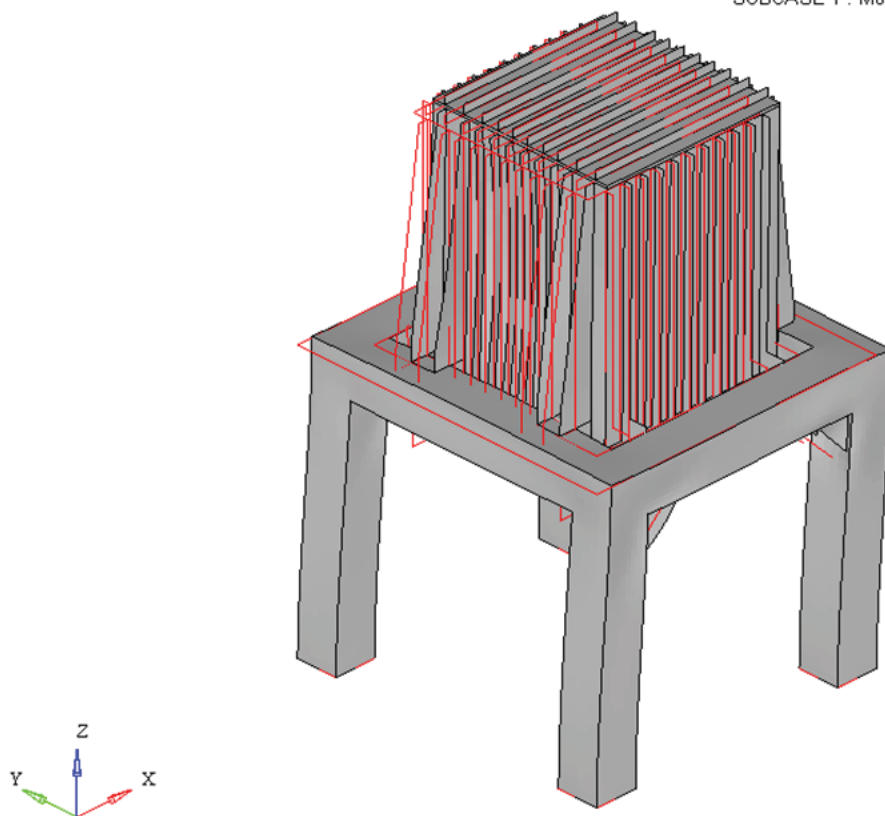


図 4-4 溶融炉 (G21ME10) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.042（秒）

SUBCASE 1: Mode#3, Frequency= 2.384e+001Hz

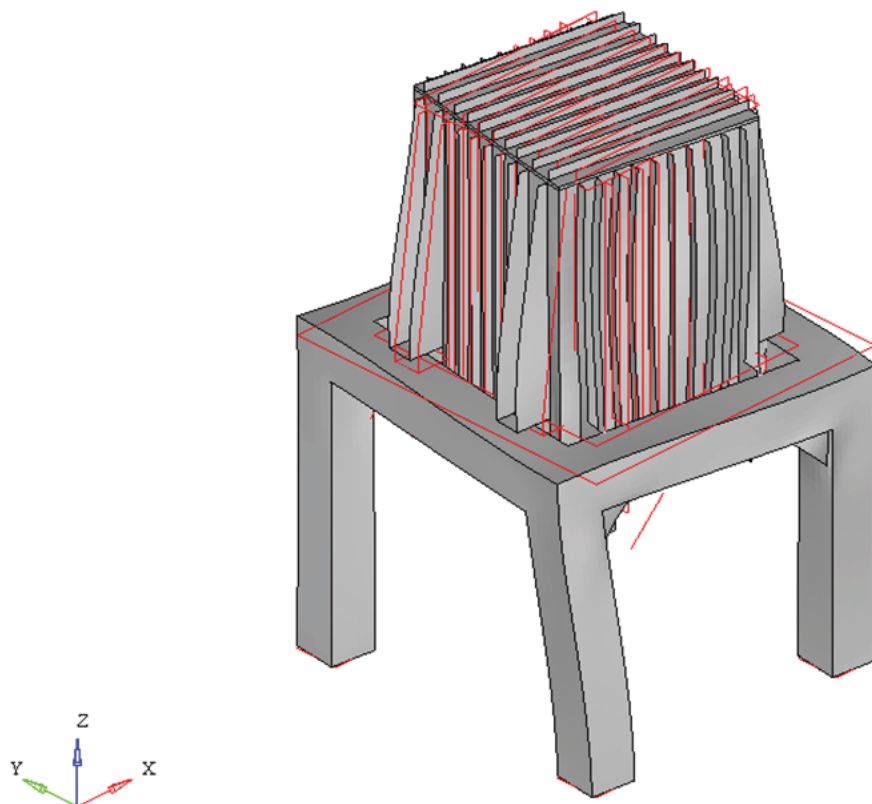


図 4-4 熔融炉(G21ME10) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は、計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断荷重をボルトの有効断面積で割って算出した。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の溶融炉 (G21ME10) 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}
溶融炉 (G21ME10)	ケーシング	一次	74	194	0.39
		一次+二次	339	388	0.88
	架台	一次	102	246	0.42
	据付ボルト	引張	13	246	0.06
		せん断	41	142	0.29
	基礎ボルト	引張	81	246	0.33
		せん断	13	142	0.10

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するルテニウム吸着塔(G41T35)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

ルテニウム吸着塔(G41T35)の構造強度の評価は、鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「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する。

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
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

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる胴及び据付ボルトとする。ルテニウム吸着塔 (G41T35) の概要図を図 3-1 に示す。

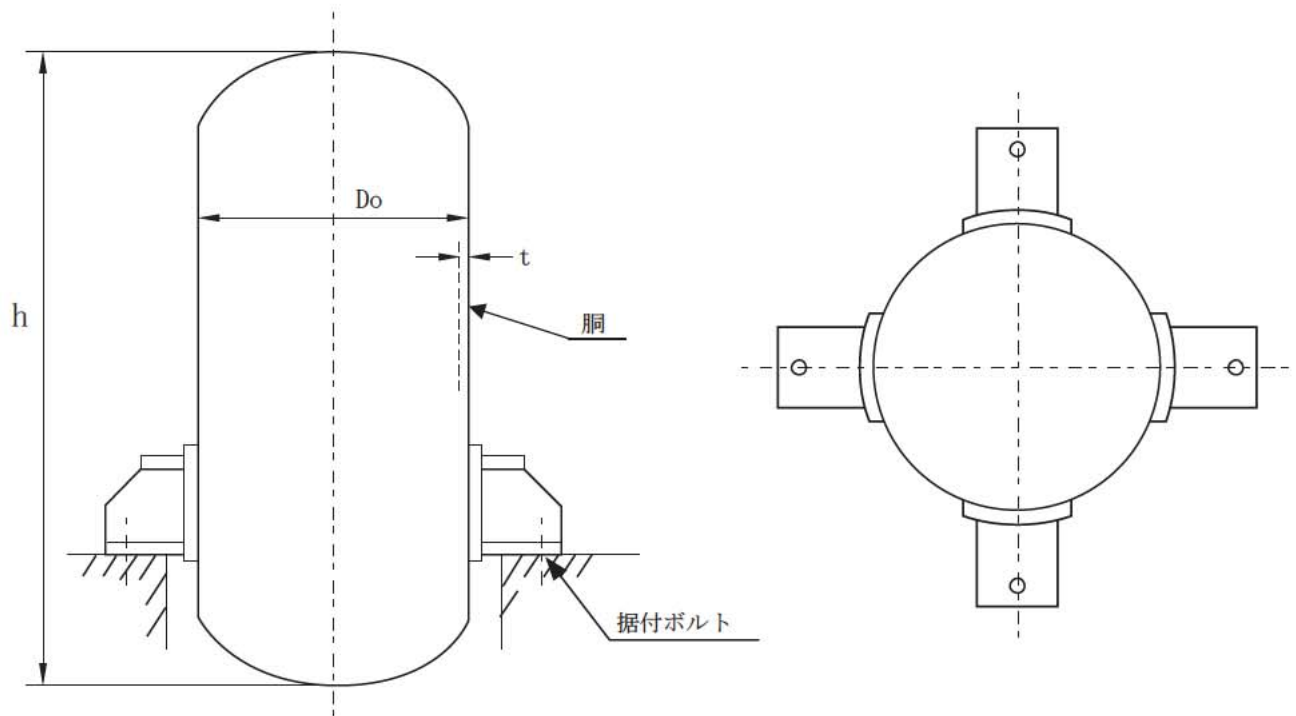


図 3-1 ルテニウム吸着塔 (G41T35) の概要図

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、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 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、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
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

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。ルテニウム吸着塔(G41T35)は、固化セル(R001)内の洗浄塔ラック(G41RK30)に搭載している機器であるため、図 4-1 に示すとおり、ルテニウム吸着塔(G41T35)の静的解析用震度は、洗浄塔ラック(G41RK30)の地震応答解析結果(別紙 6-1-2-5-2-104)から得られる機器搭載位置での静的解析用震度(水平方向:1.60,鉛直方向:0.90)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

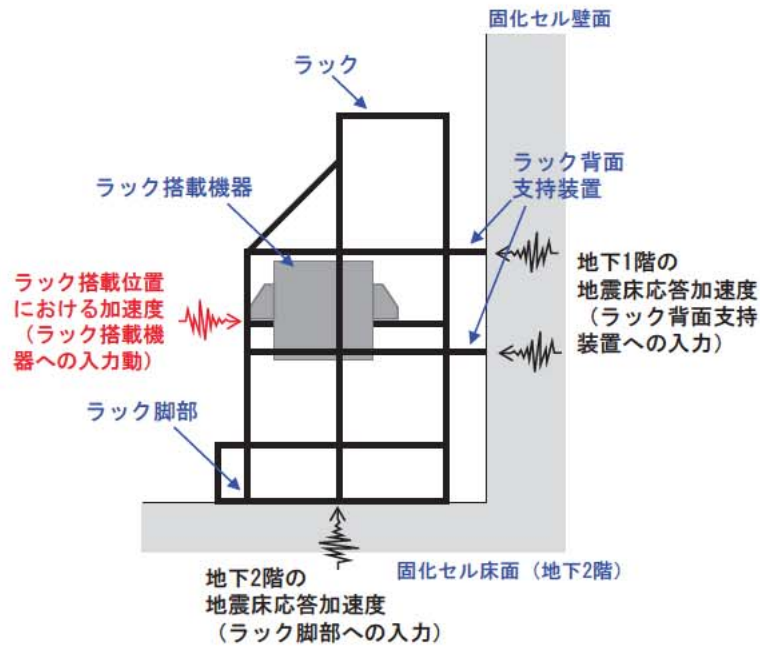


図 4-1 ラック搭載機器への地震動の入力方法

4.4 計算方法

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の発生応力の計算方法は、「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。

胴の一次一般膜応力：

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}] \\ \sigma_{0\phi} &= \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \\ \sigma_{0x} &= \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x11}^2 + \sigma_{x4}^2}\end{aligned}$$

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

ルテニウム吸着塔(G41T35)の解析モデルを図4-2に示す。

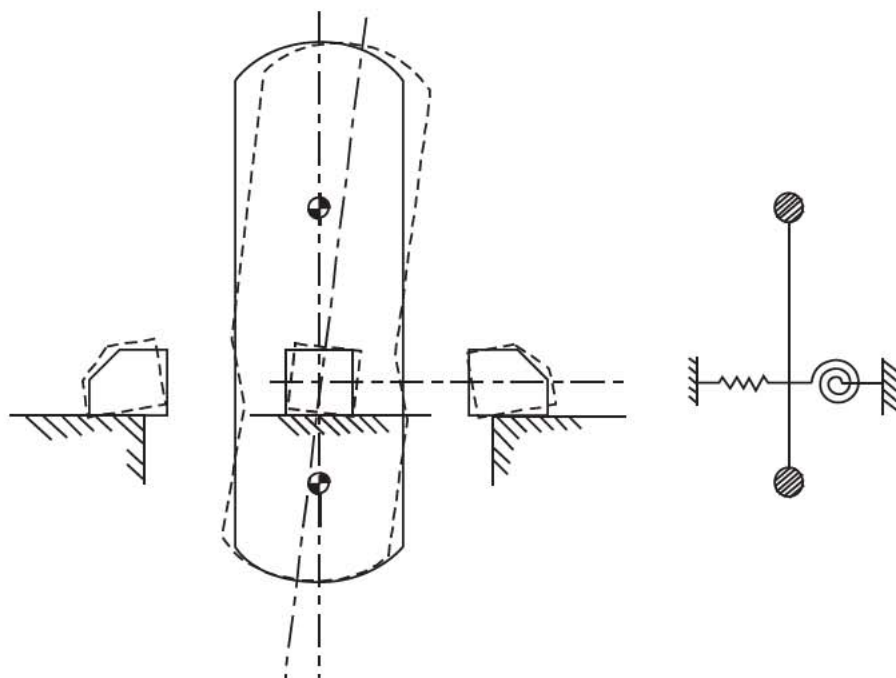


図4-2 ルテニウム吸着塔(G41T35)の解析モデル

4.5.2 諸元

ルテニウム吸着塔(G41T35)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	記号	値
ルテニウム吸着塔 (G41T35)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス3
	圧力(設計圧力)	—	0.013(MPa)
	胴外径	Do	866(mm)
	胴板厚さ	t	8(mm)
	胴高さ	h	2420(mm)
	胴材質	—	SUS304L
	胴温度(設計温度)	—	70(°C)
	据付ボルト呼び径	—	M24
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	70(°C)
	総質量	—	1730(kg)

4.6 固有周期

ルテニウム吸着塔(G41T35)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。

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

ルテニウム吸着塔(G41T35)の固有周期を表4-4に示す。

表 4-4 固有周期

評価対象設備	固有周期
ルテニウム吸着塔(G41T35)	0.033(秒)

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ルテニウム吸着塔 (G41T35) 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}
ルテニウム吸着塔 (G41T35)	胴	一次一般膜	4	250	0.02
		一次	17	375	0.05
	据付ボルト	引張	34	246	0.14
		せん断	31	142	0.22

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

ポンプ(G83P32, P42)
の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成するポンプ(G83P32, P42)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

ポンプ(G83P32, P42)の構造強度の評価は、鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「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。

また、当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は、廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

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
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
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

ポンプ (G83P32, P42) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては、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 については、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。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

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。ポンプ(G83P32, P42)の静的解析用震度は、機器据付階のもの(B1F, 水平方向:0.90, 鉛直方向:0.78)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

冷却ポンプ (G83P32, P42) の発生応力の計算方法は、「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。

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) :

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

ポンプ(G83P32, P42)の解析モデルを図4-1に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい軸直角方向に対して行う。

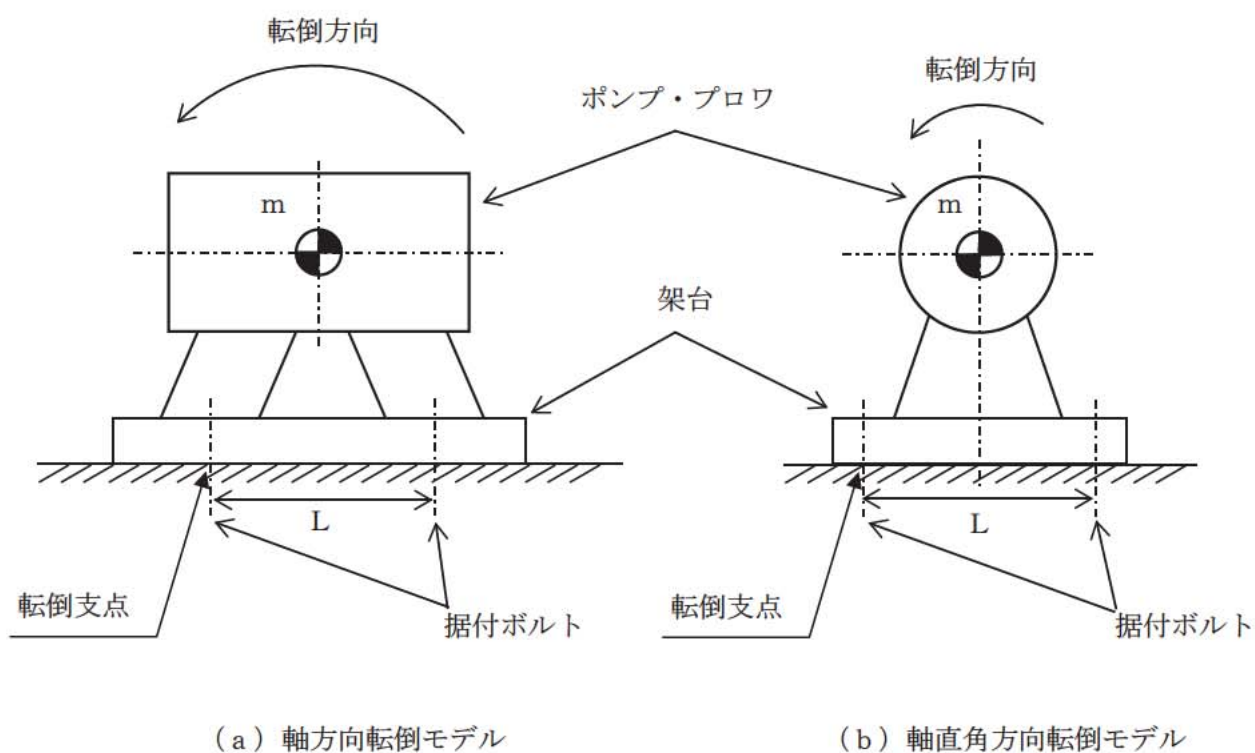


図4-1 解析モデル

4.5.2 諸元

ポンプ(G83P32, P42)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	記号	値
ポンプ (G83P32, P42)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	120 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M12
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	55 (°C)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	190 (mm)
	ポンプ振動による震度	C_P	0.17
	ポンプ回転により働くモーメント	M_P	0 (N・mm)
	総質量	m	140 (kg)

4.6 固有周期

ポンプ (G83P32, P42) 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。

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

ポンプ (G83P32, P42) の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4 固有周期

評価対象設備	固有周期
ポンプ (G83P32, P42)	0.05 (秒)以下

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

ポンプ (G83P32, P42) の地震時及び地震後の動的機能維持評価について、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の横形ポンプの評価方法を準用し、廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ (G83P32, P42)	横形単段遠心式	水平	1.4
		鉛直	1.0

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 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ポンプ(G83P32, P42)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、動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動によりポンプ(G83P32, P42)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1 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}
ポンプ(G83P32, P42)	据付ボルト	引張	11	274	0.05
		せん断	5	158	0.04

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

表 6-2 動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ(G83P32, P42)	水平	0.75	1.4
	鉛直	0.65	1.0

濃縮器ラック (G12RK10) の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する機器等の支持構造物である濃縮器ラック (G12RK10) について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

濃縮器ラック (G12RK10) の構造強度の評価は、有限要素法 (FEM) 解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

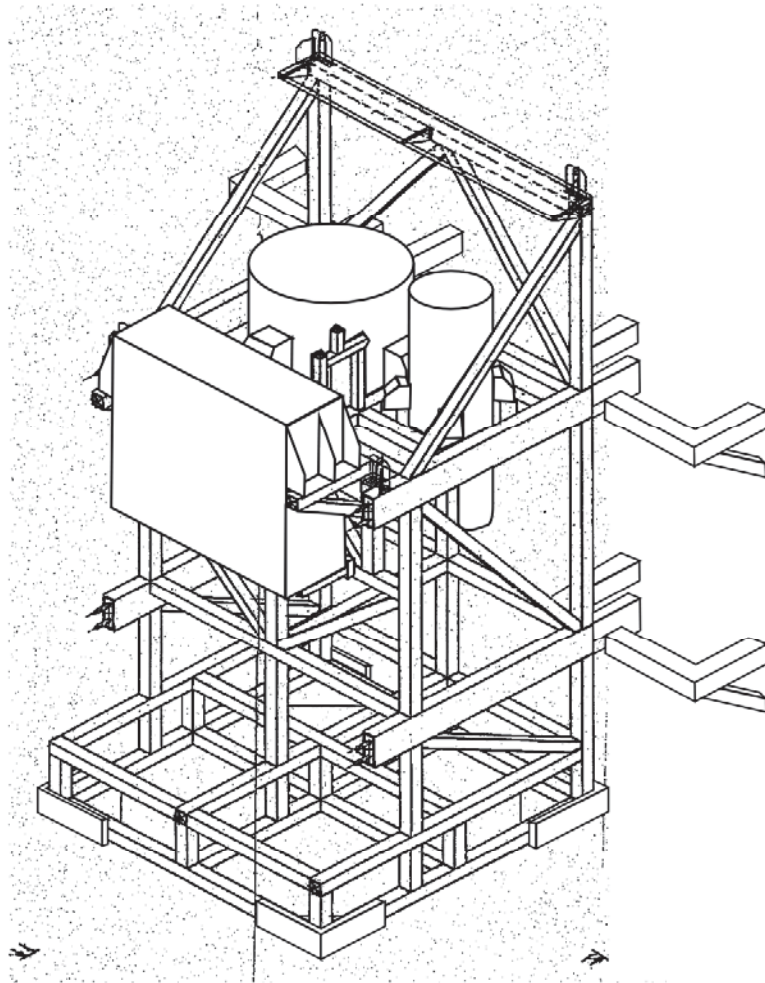
- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
f_t	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容引張応力	MPa
f_s	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容せん断応力	MPa
f_c	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容圧縮応力	MPa
f_b	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容曲げ応力	MPa

3. 評価部位

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



(単位:mm)

図 3-1 濃縮器ラック (G12RK10) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

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

4.2 許容応力

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

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
フレーム	引張応力	$1.5 \times f_t$
フレーム	せん断応力	$1.5 \times f_s$
フレーム	圧縮応力	$1.5 \times f_c$
フレーム	曲げ応力	$1.5 \times f_b$

4.3 減衰定数

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

表 4-2 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
濃縮器ラック (G12RK10)	1.0	1.0

4.4 設計用地震力

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

濃縮器ラック (G12RK10) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (地下 1 階) のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3, 図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
濃縮器ラック (G12RK10)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0 %)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0 %)

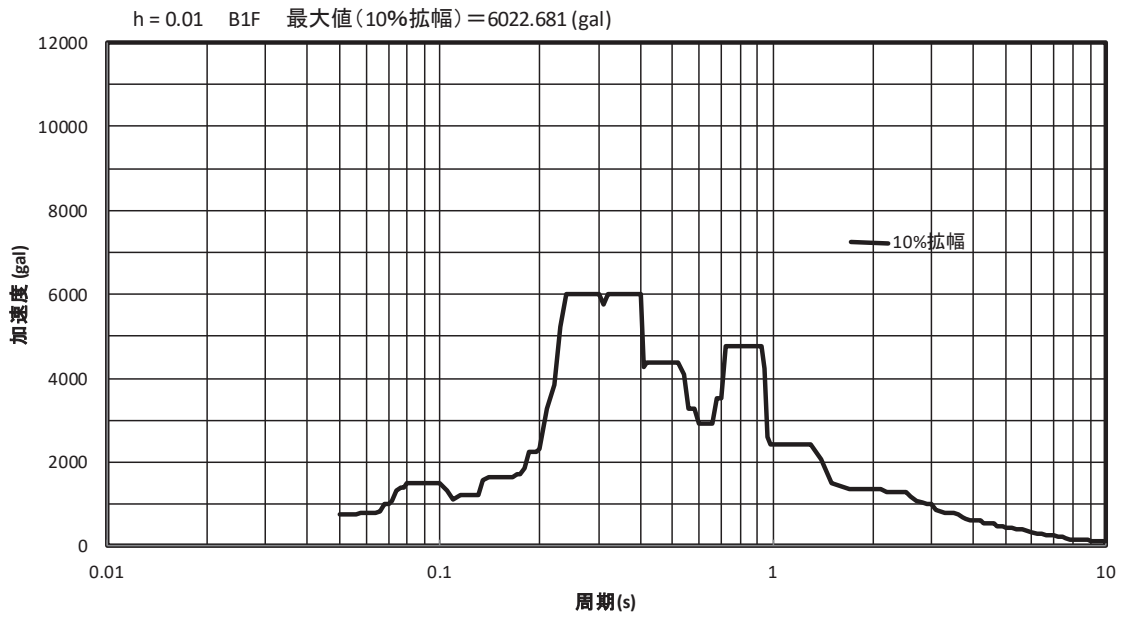


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

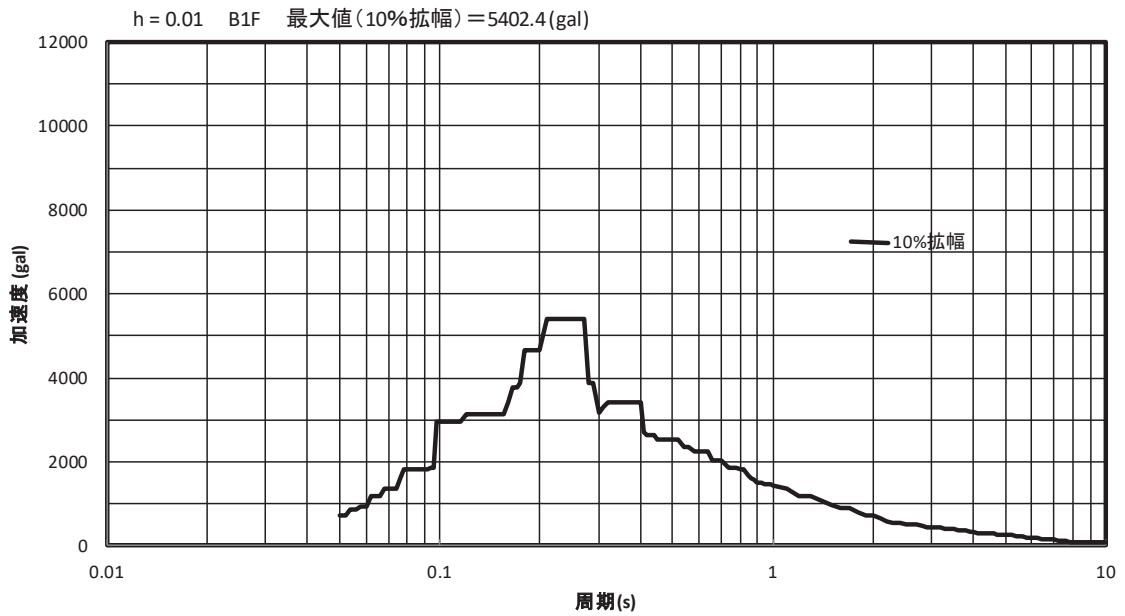


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

濃縮器ラック (G12RK10) の発生応力の計算方法は FEM 解析 (スペクトルモーダル法) を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※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。

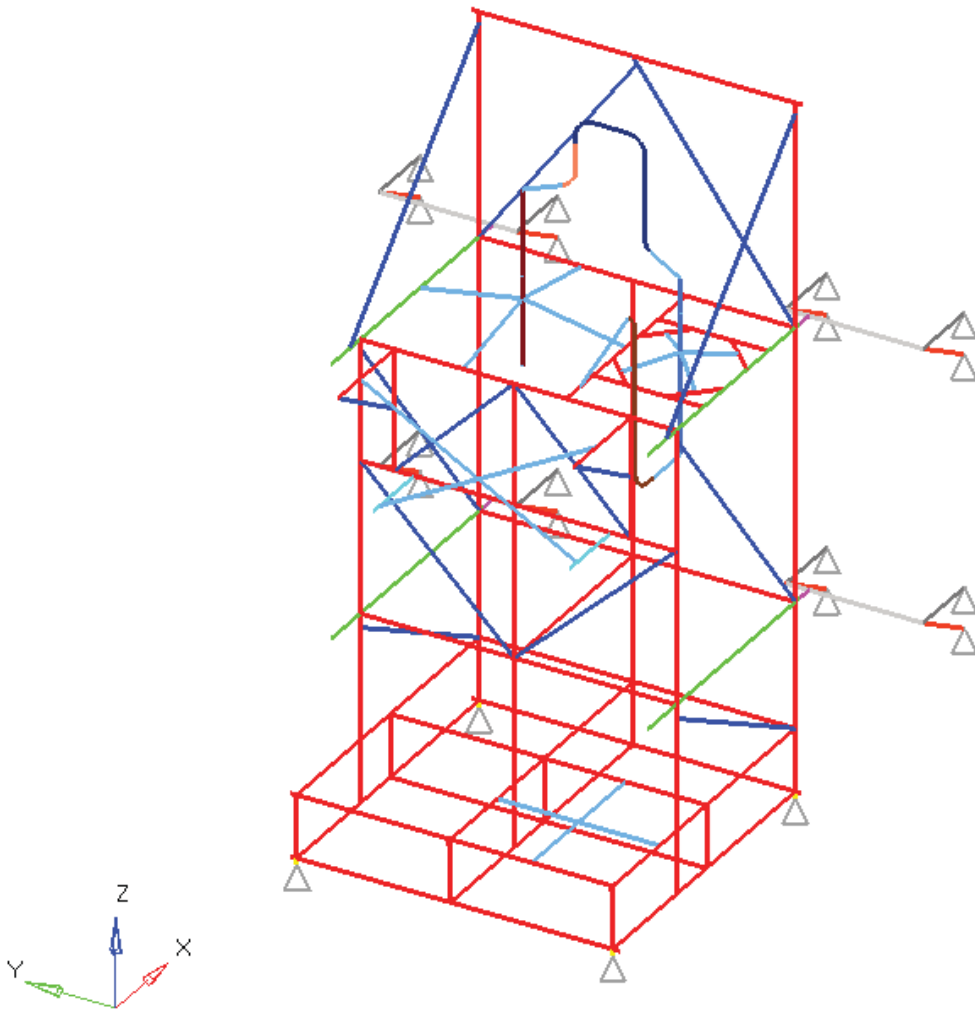
※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

濃縮器ラック (G12RK10) の解析モデルを図 4-3 に示す。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

△…拘束点



拘束条件 ○：固定、－：フリー

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

図 4-3 濃縮器ラック (G12RK10) の解析モデル

4.6.2 諸元

濃縮器ラック (G12RK10) の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
濃縮器ラック (G12RK10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	本体高さ	6500 (mm)
	本体幅	3000 (mm)
	本体奥行き	3000 (mm)
	本体材質	SUS304
	設計温度	45 (°C)
	総質量(設計質量)	12301 (kg)

4.7 固有周期

濃縮器ラック (G12RK10) の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

1次モード図

固有周期：0.084（秒）

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

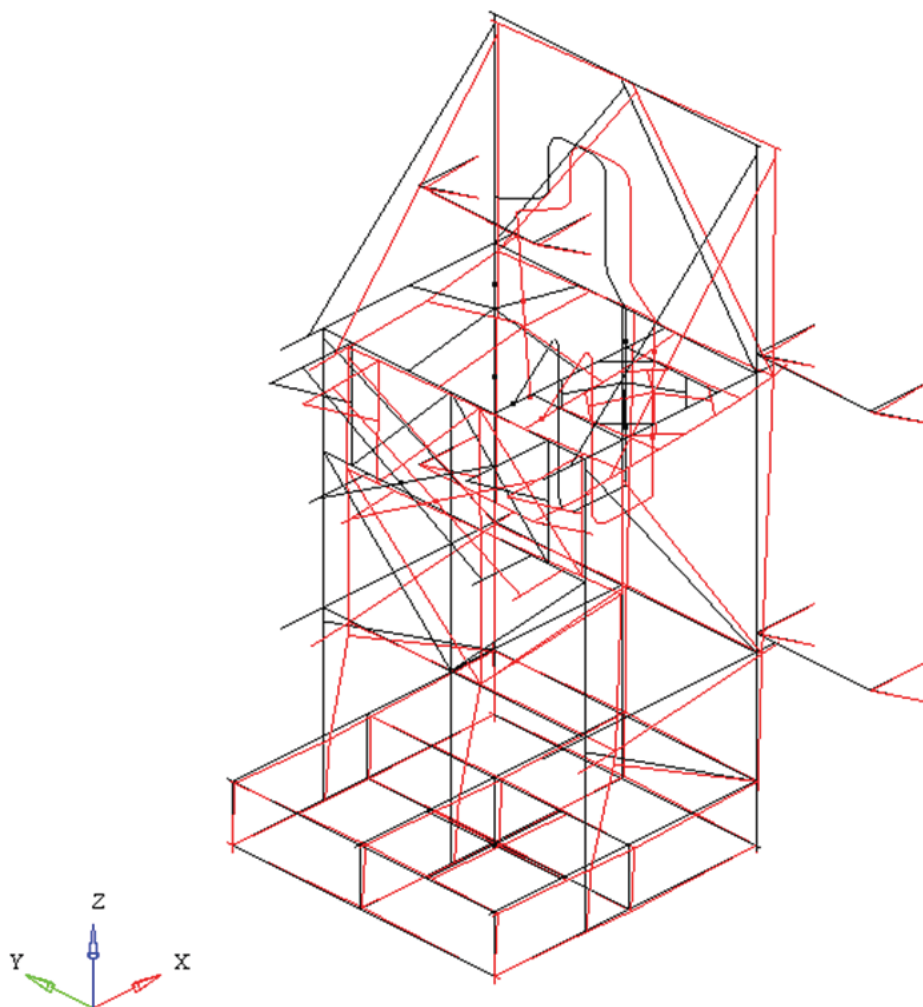


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期：0.071（秒）

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

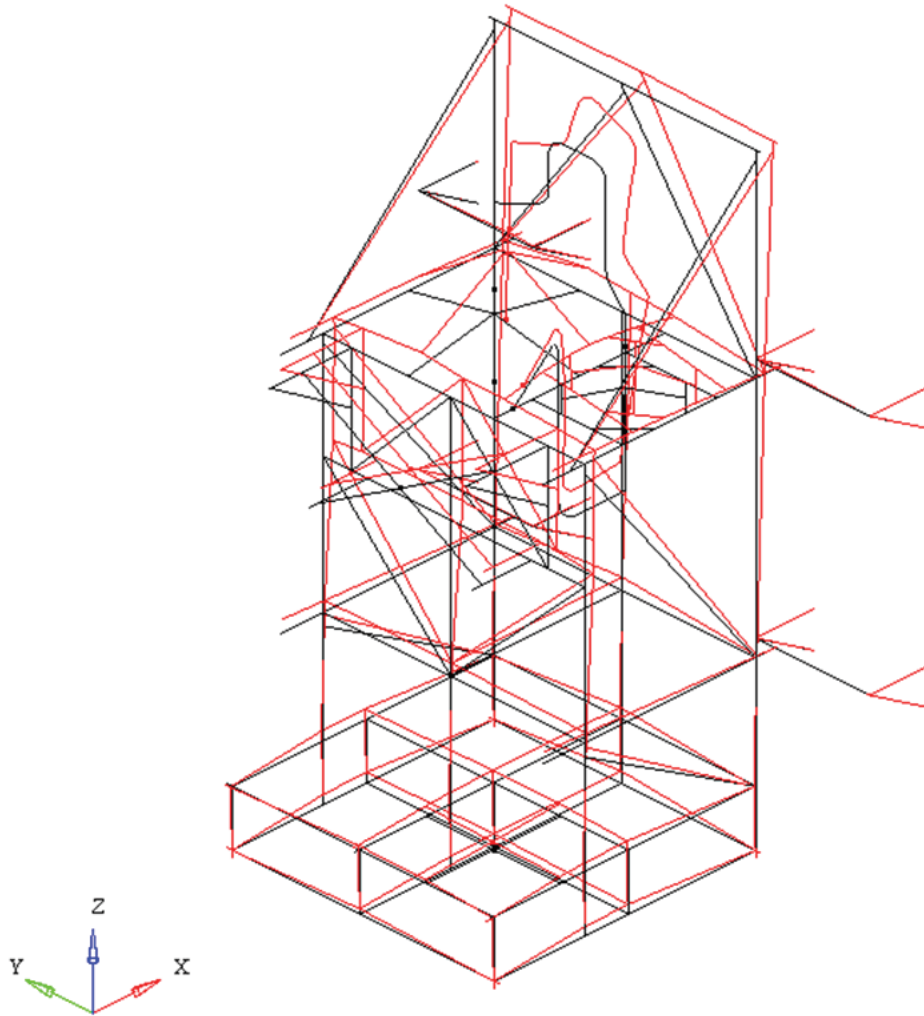


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.061（秒）

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

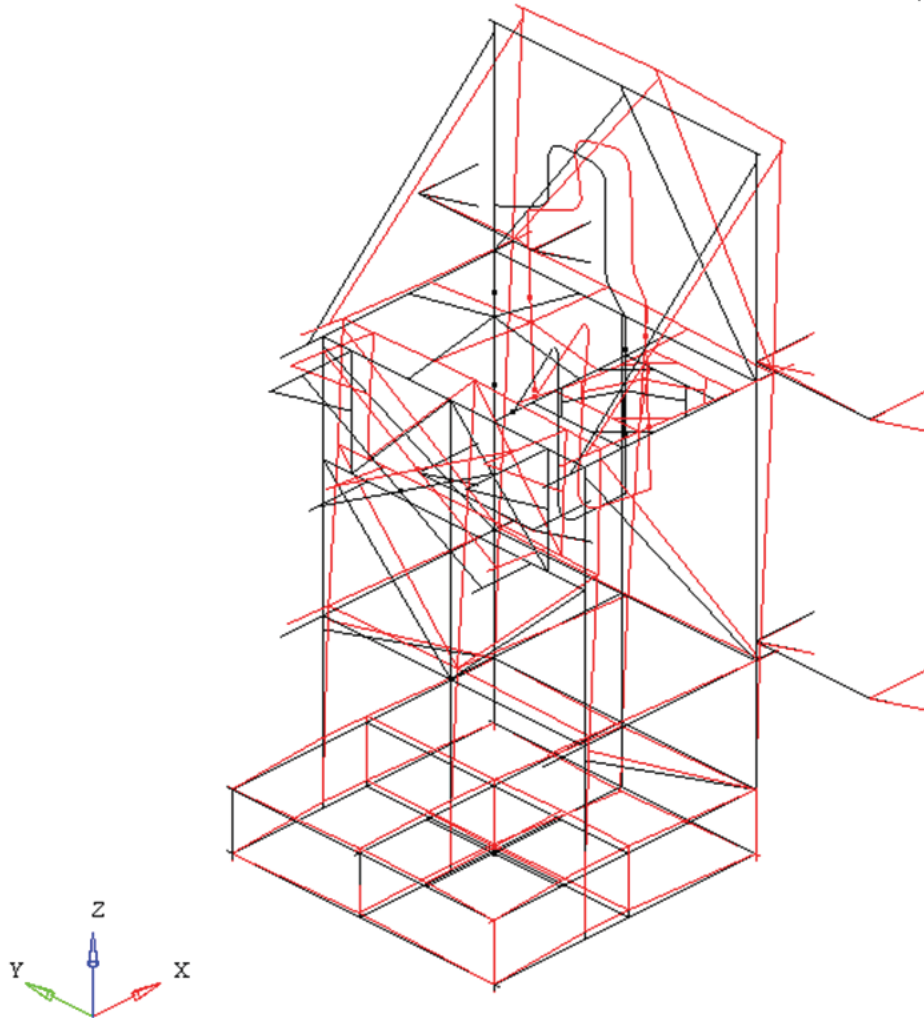


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の濃縮器ラック(G12RK10)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
濃縮器ラック (G12RK10)	フレーム	圧縮	20	131	0.16
		引張	17	246	0.07
		曲げ	141	246	0.58
		せん断	34	142	0.24

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

6. その他の考慮事項について

6.1 機器搭載位置での地震力について

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

6.1.1 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答時刻歴波を解析に用いた。濃縮器ラック (G12RK10) へ入力する床応答時刻歴波については、背面支持装置の位置での入力地震動は地下 1 階のもの、脚部の位置での入力地震動は地下 2 階のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 6-1、図 6-1、図 6-2、図 6-3、図 6-4、図 6-5 及び図 6-6 に示す。

表 6-1 使用した床応答時刻歴波

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

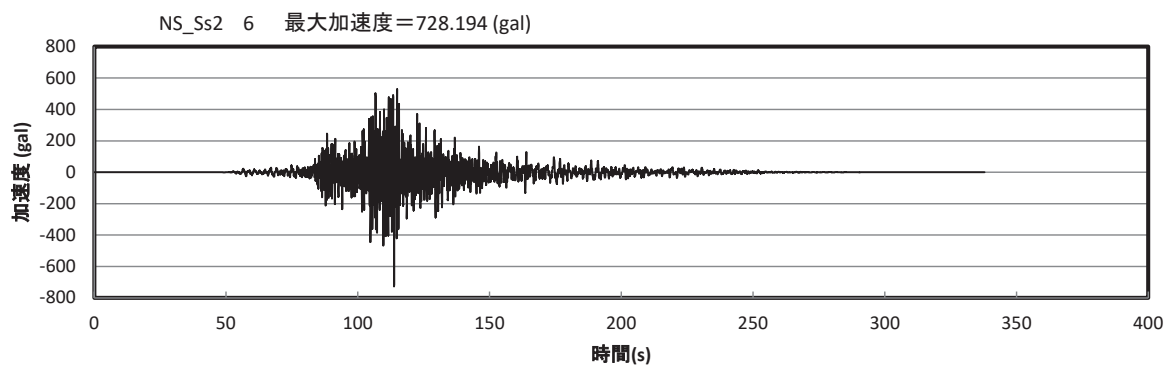
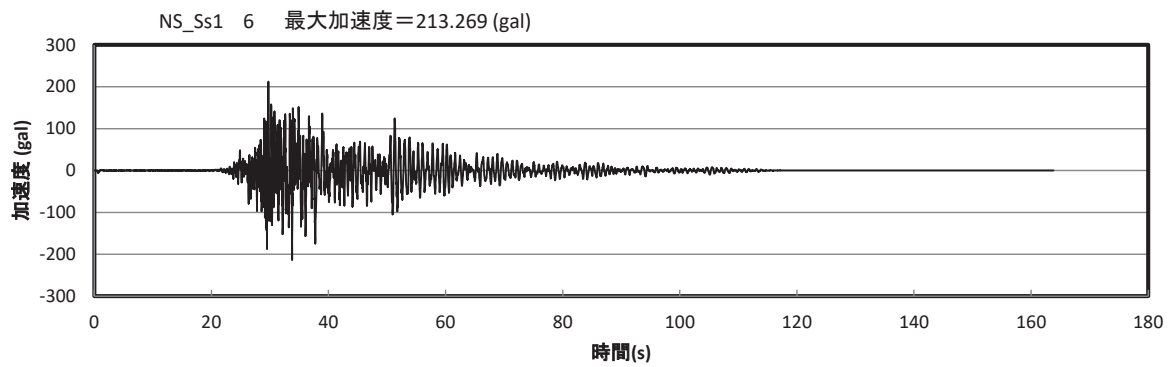
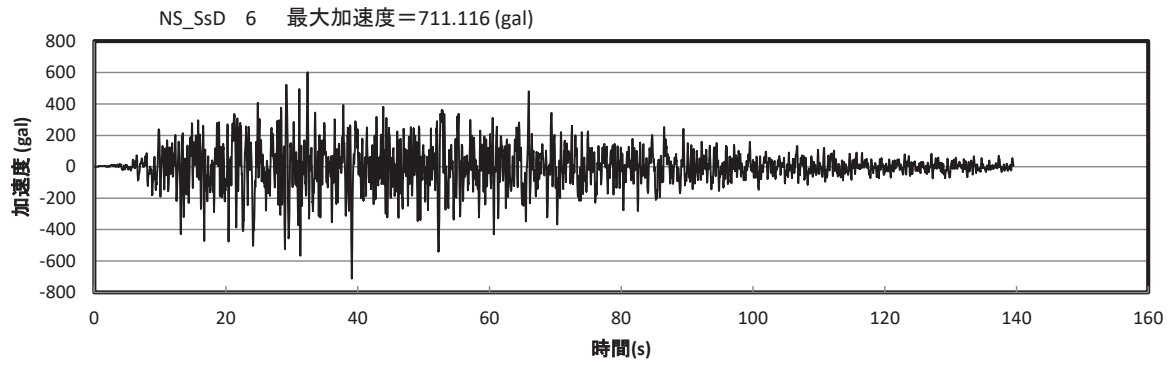


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

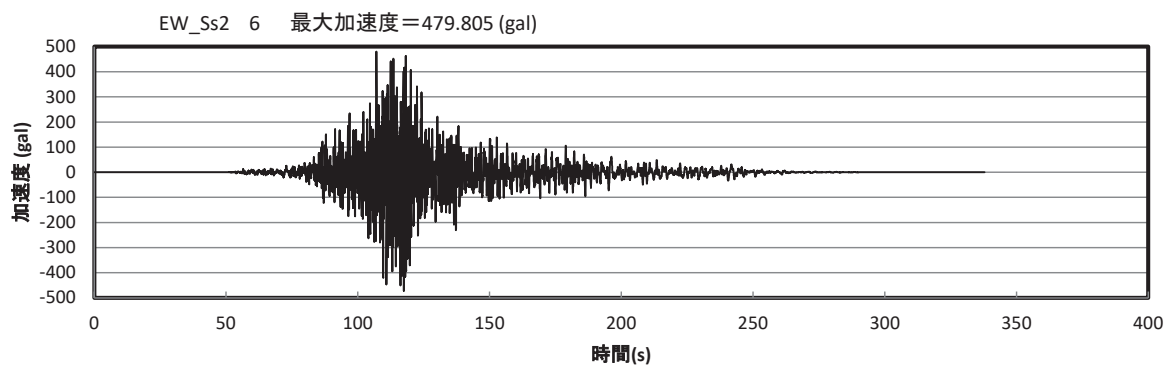
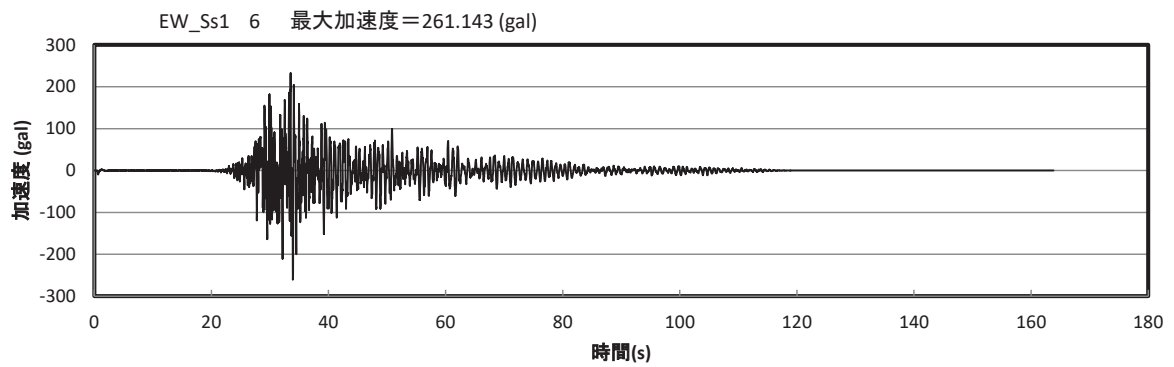
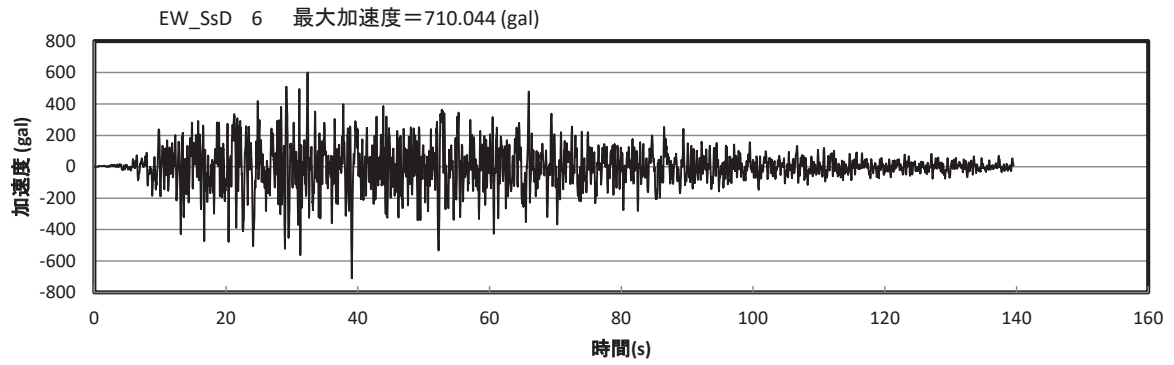


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

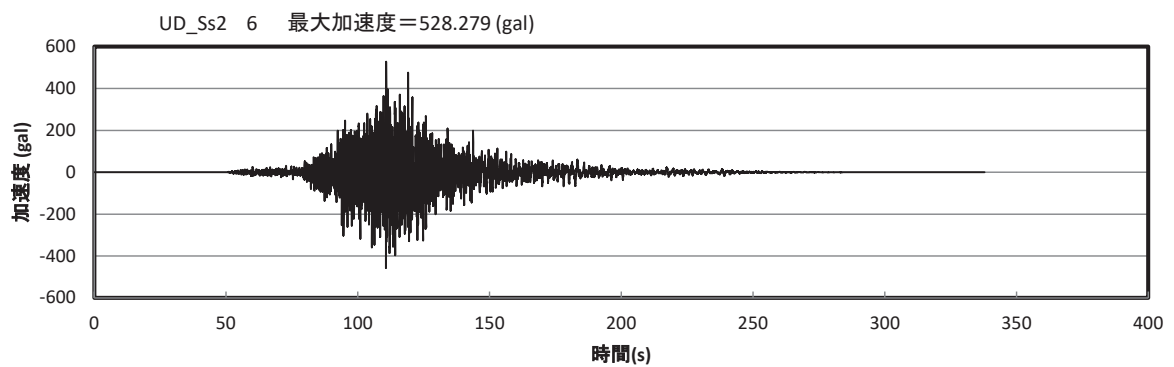
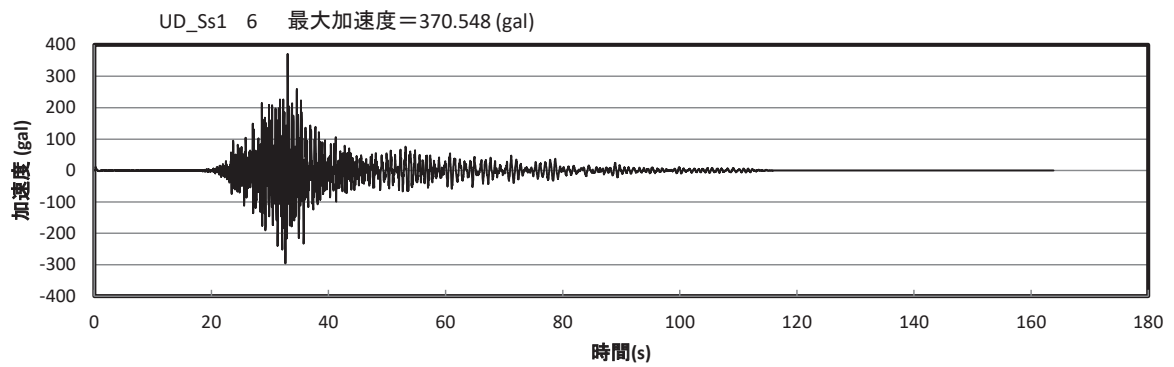
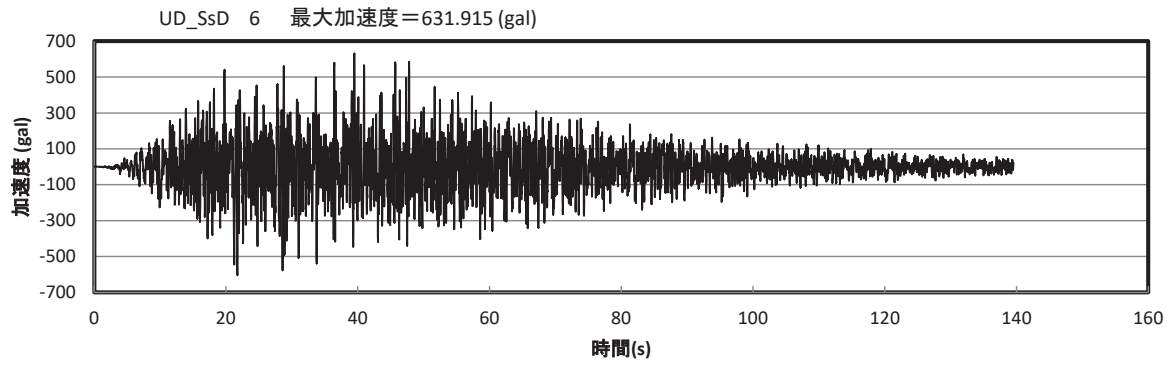


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 鉛直方向)

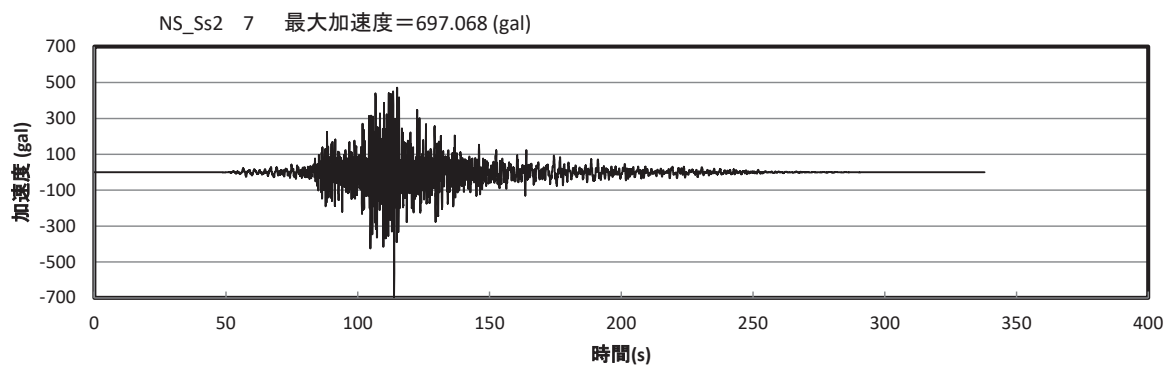
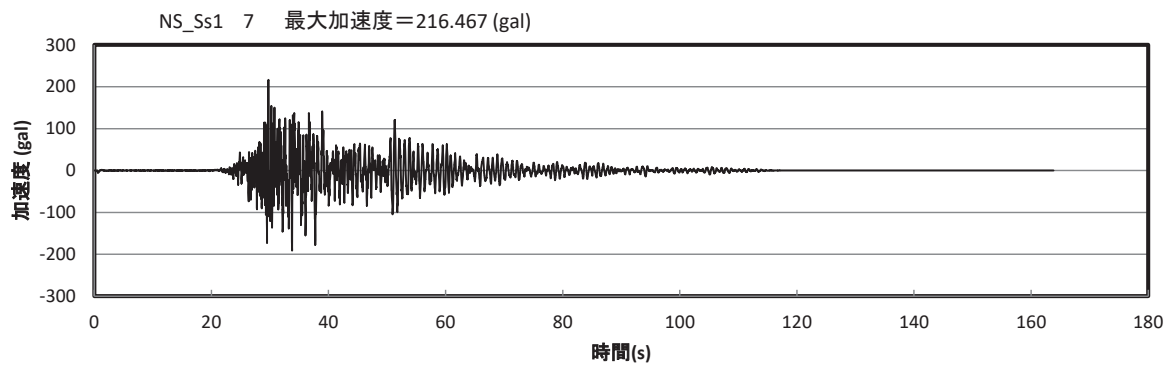
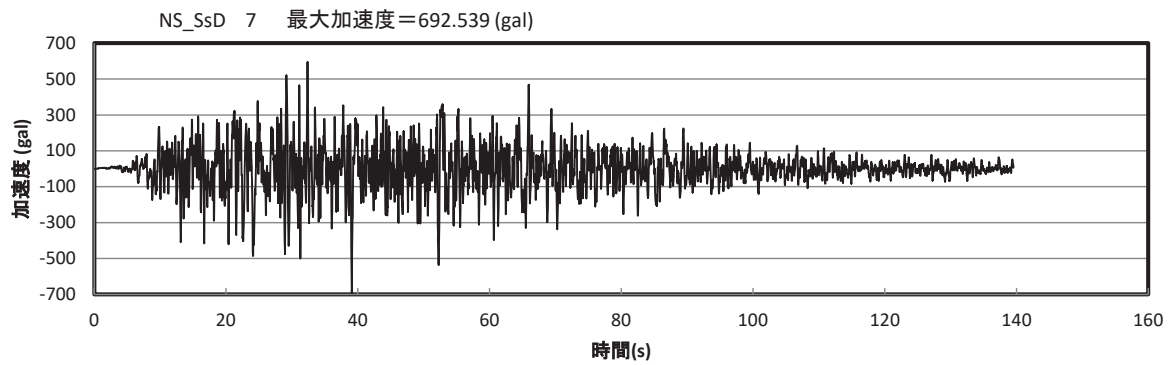


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

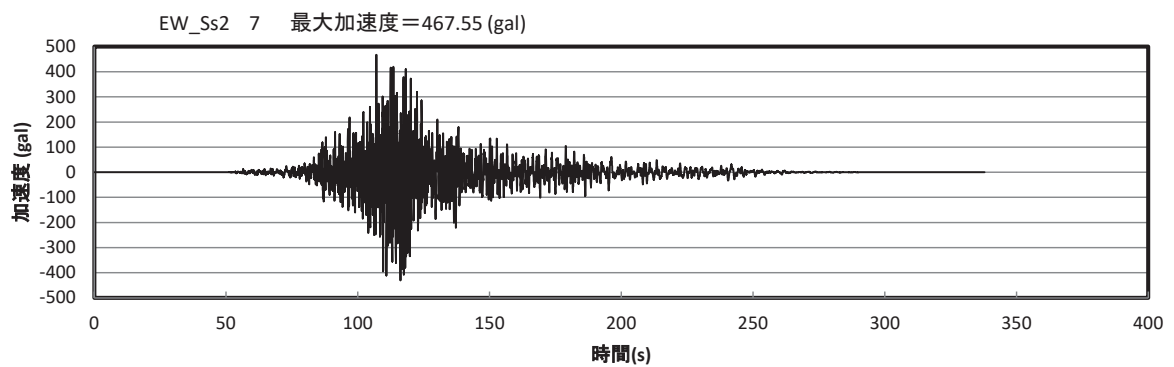
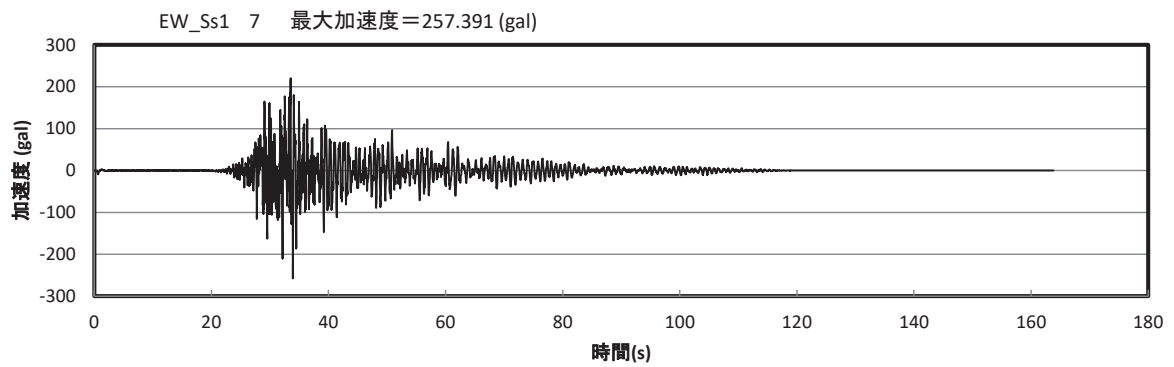
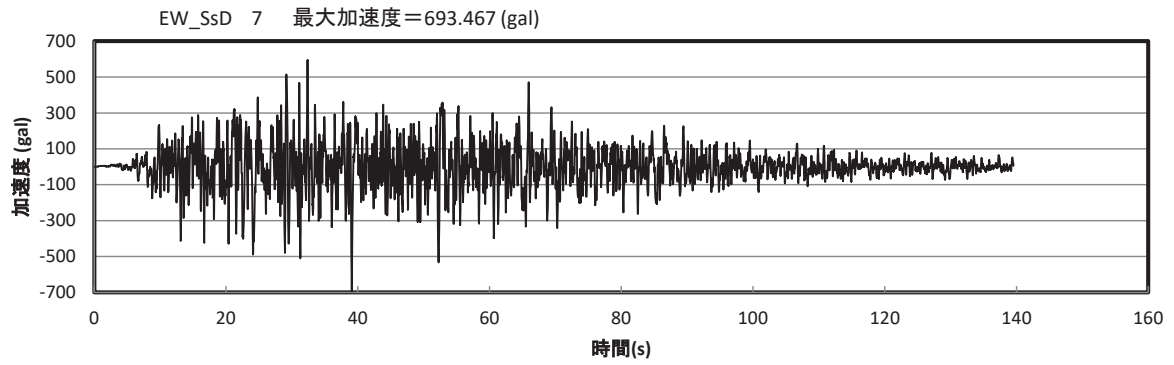


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

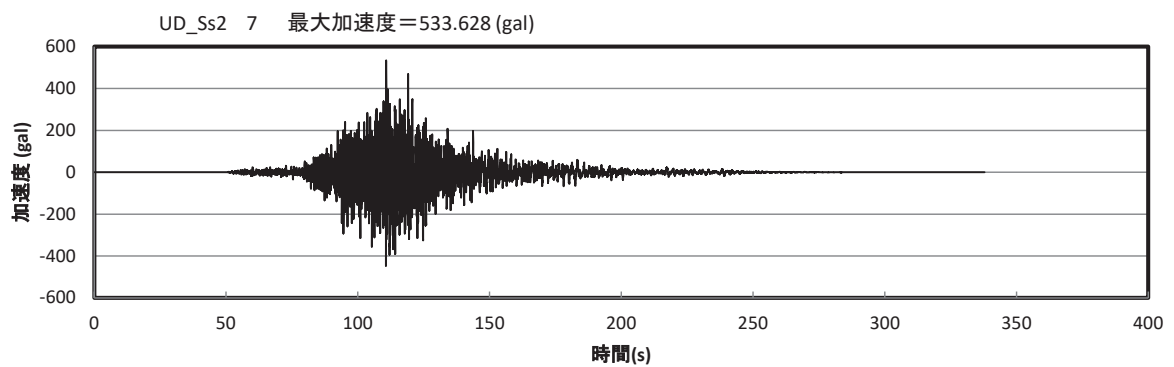
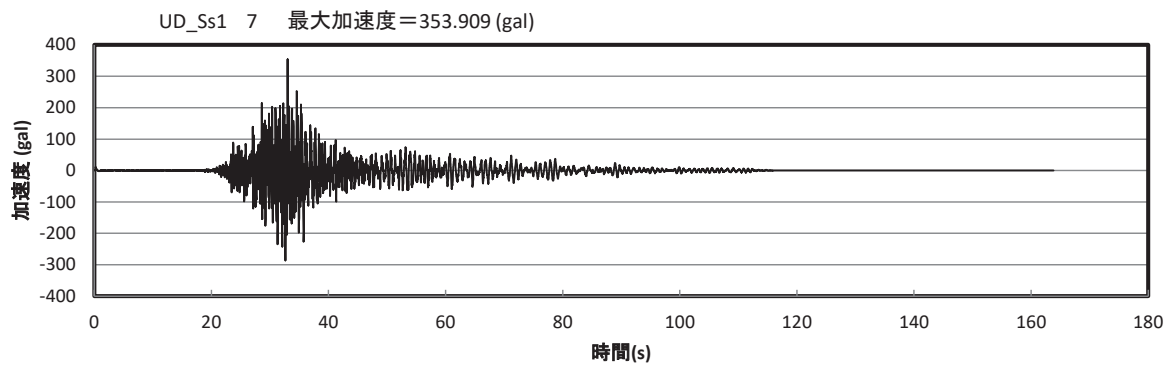
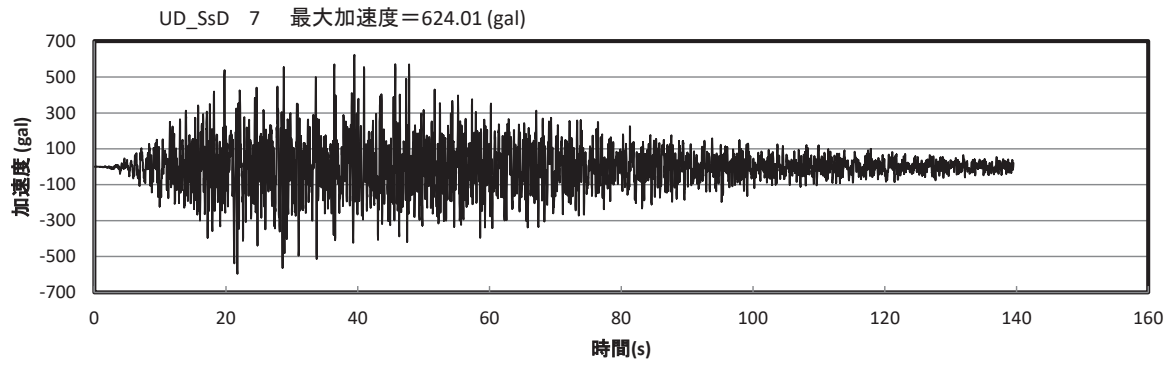


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 鉛直方向)

6.1.2 計算方法

濃縮器ラック (G12RK10) に搭載する機器について、機器搭載位置での応答時刻歴波の計算方法は FEM 解析 (時刻歴応答解析) を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※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
濃縮器 (G12E10)	1.63	1.18
凝縮器 (G12H11)	1.38	0.93
デミスタ (G12D1141)	1.51	0.91
凝縮液槽 (G12V20)	0.95	0.89
インセルクーラ (G43H11)	1.80	0.99

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟
受入槽（G11V10）及び回収液槽（G11V20）
据付ボルトのせん断強度試験について

1. 試験の概略

高放射性廃液を高放射性廃液貯蔵場（HAW）から受け入れる受入槽（G11V10）及び回収液槽（G11V20）（以下、「受入槽等」と言う。）は槽の4方向側面に取り付けられたラグと据付ボルトを介して架台に固定し、支持する構造となっている。

地震力が作用する場合において、これらのボルトは主として受入槽等の水平方向の慣性力を受け止めて支持する役割を担う。その際、ボルトにはせん断応力が生じることとなる。したがって、地震時に受入槽等の支持構造の健全性を保つには、地震力によって生じるせん断応力に対してボルトの許容応力が十分余裕を持つことが必要である。

以上のことから、当該ボルトのせん断強度を現物に即して把握することは受入槽等の耐震性を判断する上で重要であるため、実物を模擬した荷重試験を実施しデータを取得した。

荷重試験は“日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版）〈第I編 軽水炉規格〉”（設計規格）^[1]の“SSB-3000 クラス1 支持構造物の設計”における“SSB-3210 許容荷重”に定める内容に準拠したものとした（表1）。

表1 荷重試験の条件と実機の荷重状態の同一性

SSB-3210 要求項目		実機の支持構造	荷重試験条件
同一の材質	同一規格材	JIS G 4303 ステンレス鋼棒材の SUS316	JIS G 4303 ステンレス鋼棒材の SUS316
	同一製造法	1050℃での固溶化処理	1080℃での固溶化処理
同一の品質管理基準		JISに定める化学成分、機械的特性を材料検査証明書で確認。	JISに定める化学成分、機械的特性を材料検査証明書で確認。
同一の形状		—	実機設計図に基づき製作し、実機の使用前検査と同じ検査項目を確認。当該支持構造物が地震時に受ける荷重状態（せん断）に合致するような形状で試験を実施。
供試体の個数（3個）		—	3個
許容荷重の計算に用いる値（得られた値のうち最小の値）		—	得られた値のうち最小の値

荷重試験の結果と、その結果を用いて“SSB-3240 供用状態 D での許容荷重”に規定されている方法を用いて算出した許容荷重を表2に示す。“日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版）”（材料規格）^[2]に記載されている JIS G 4303 ステンレス鋼棒 SUS316 の設計降伏点・設計引張強さから設計規格^[1]の“SSB-3133 供用状態 D での許容応力”に規定

されている方法を用いて算出した許容せん断応力は 142 MPa (45°C) であることから、実機の支持構造を模擬した荷重試験から得られた許容応力には十分な裕度があることが確認できた。

表 2 荷重試験から得た値に基づき計算した許容荷重および許容応力

観測値 最小値 T_L	120.4 kN/本
試験温度	室温
最高使用温度	45 °C
S_{yt} (JIS G 4303 SUS316)	205 MPa (室温) ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の常温最小降伏点。
S_{yd} (JIS G 4303 SUS316)	201.8 MPa (45°C) ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の 65°C の値 (189 MPa) と 40°C の値 (205 MPa) を線形補間して求めた 45°C の値。
許容荷重 $A_L = \frac{0.6T_L S_{yd}}{S_{yt}}$	71 kN/本 (45°C)
供試体断面積 C	314 mm ² ※ M20 ボルト呼び径 (20mm) より $3.14 \times 10^2 \cong 314$
許容応力 $f_s = \frac{A_L}{C}$	226 MPa (45°C)

2. 受入槽等の支持構造

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の受入槽（G11V10，容量 11 m³）及び回収液槽（G11V20，容量 11 m³）は同形状の堅型円筒槽であり，固化セル（地下 2 階）の床面，北側壁及び東側壁に固定された共通の架台上に設置されている（図 1）。

架台は断面寸法が 200 mm×200 mm（肉厚 12 mm）及び 150 mm×150 mm（肉厚 9 mm）の角型鋼管（SUS304 材）を溶接して組み上げた頑強な架構構造物で，脚部の床面 7 か所，北側壁面 4 か所，東側壁面 6 か所で建家躯体に埋め込まれている支持金物に溶接で取り付けられている。

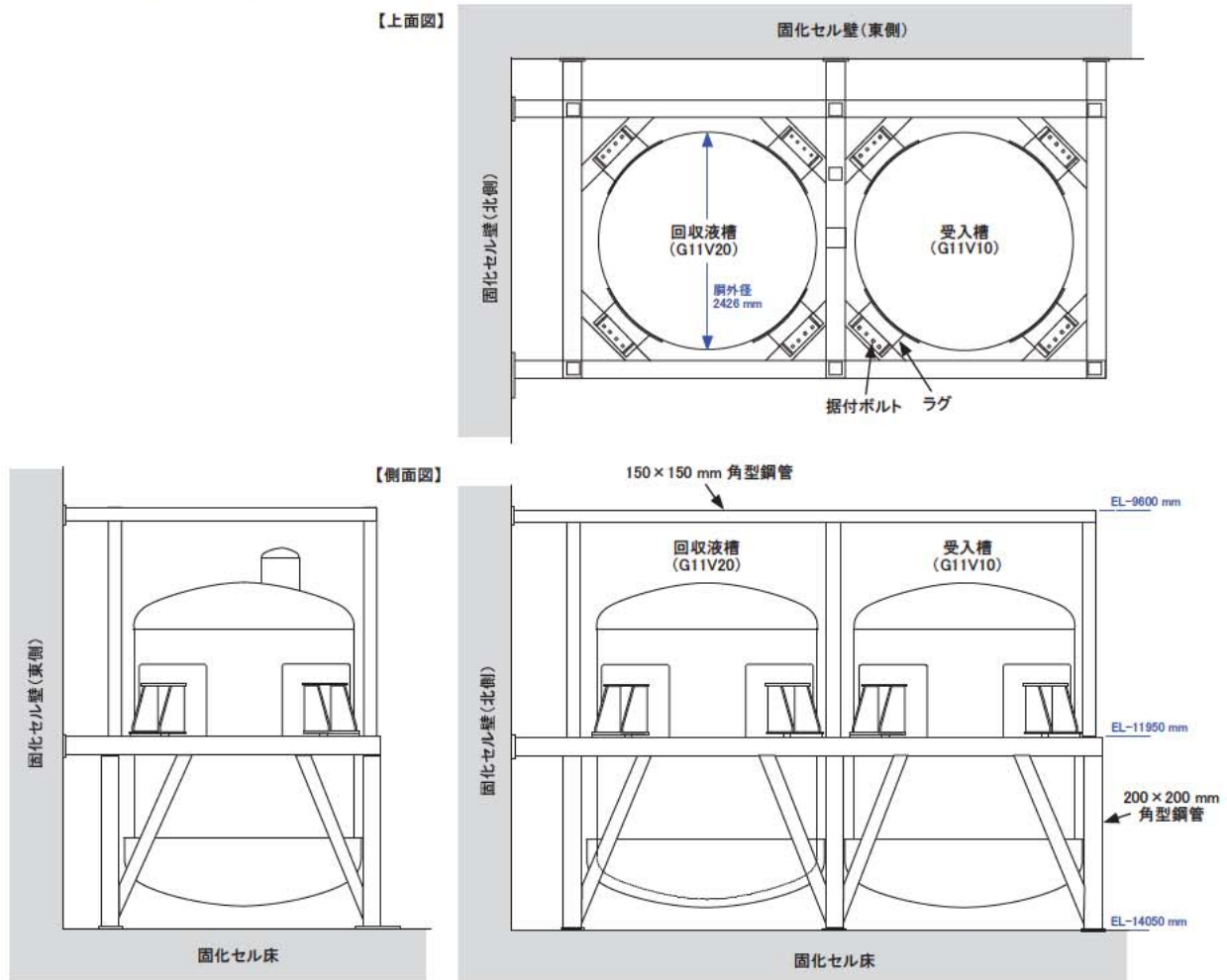


図 1 受入槽・回収液槽

受入槽等には側面 4 方向 1 か所ずつにラグが設けられている。ラグを，架台の 200 mm×200 mm（肉厚 12 mm）角型鋼管上に溶接したライナー（厚さ 30 mm の SUS304 材の板）にねじ込まれた 4 本の据付ボルト（M20 サイズ）に差し込み，二重ナットを用いて締結している（図 2，図 3）。全体として，貯槽は 16 本の据付ボルトを用いて固定されている。

地震力が作用した場合，これらのボルトには主として水平方向の加振力が働くことでせん断応力が生じる。まず，建家が地震力によって水平動を生じ，建家からの水平力は床面及び 2 方向の壁面から架台に伝達し，架台上の据付ボルトを通して受入槽等を水平方向に

押す力として働く。その際には、ラグと架台に溶接されたライナーの境界位置の据付ボルト断面にせん断力が作用する。

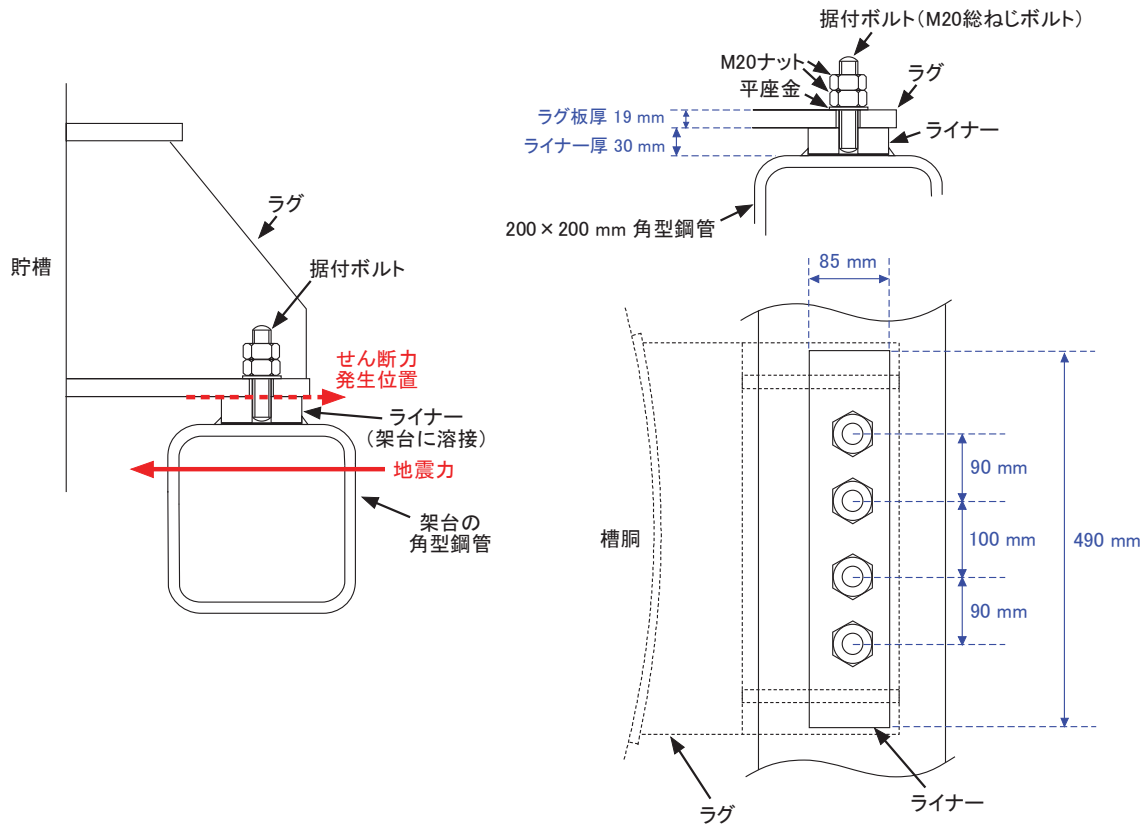


図2 受入槽・回収液槽の直接支持構造

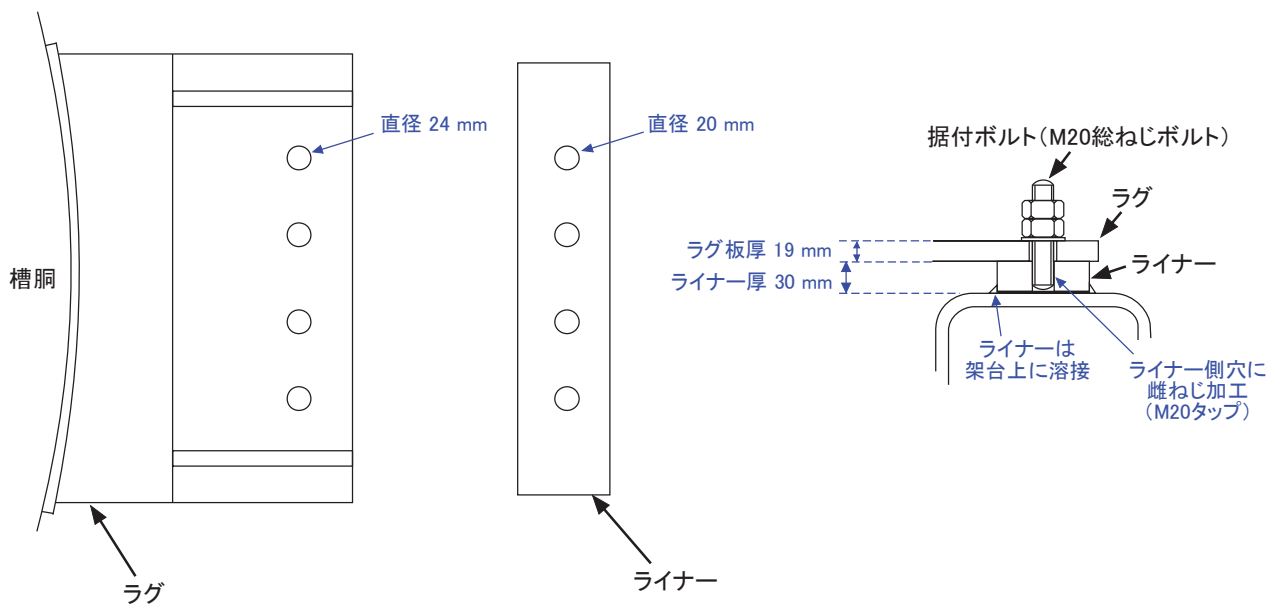


図3 受入槽・回収槽のラグの固定状態

3. せん断強度試験

3.1. 試験の対象

実機で使用された材料および支持構造に基づき、受入槽等を支持している据付ボルトが実際の設置状態で耐えうる最大のせん断力（据付ボルトが破断する恐れのある荷重）を取得する。また、取得した荷重データから許容荷重及び許容応力を評価する。

3.2. 準拠する規格

前項の目的に適した試験を実施するために、設計規格^[1]における“SSB-3210 許容荷重”に定める内容に準拠した荷重試験を実施する。その要件は以下の通りである。

SSB-3210 許容荷重

材料の許容荷重に関する次の SSB-3220 から SSB-3240 を満足する場合は、SSB-3100 の材料の許容応力の規定に変えることができる。SSB-3210 から SSB-3240 において、計算に用いる材料の設計降伏点は、当該支持構造物に使用する材料のうち最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値と試験温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値との比が最小となる材料の値としなければならない。

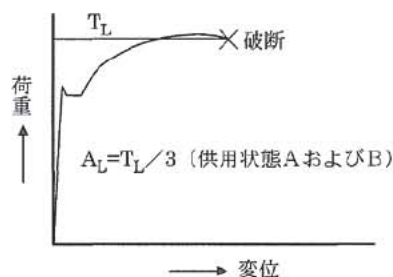
荷重試験における供試体の個数は、同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに 3 個とし、供試体によって得られた値のうち最小の値を用いて許容荷重を計算する。ただし、計算で求めた許容荷重の 0.9 倍の値を許容荷重とする場合は、同一の材質及び形状を有する支持構造物ごとに 1 個の供試体により得られた値を用いることができる。

解説 SSB-3210 許容荷重

SSB-3200 は、荷重試験によって支持構造物の許容荷重をあらかじめ求めておき、実際の荷重がその許容荷重以内であることを確認することにより支持構造物の強度上の評価を行う場合について定めたものである。荷重試験の具体例を次に示す。

(1) 荷重試験の具体例

支持構造物の荷重試験は、それが使用される荷重状態（引張またはせん断等）に合致させた方法で行わなければならない。例えば、配管のハンガロッドに対して荷重試験によって許容荷重を求める場合は、引張試験を行えばよい。この時に得られる T_L は解説図 SSB-3210-1 のようになる。



解説図 SSB-3210-1 荷重-変位曲線

したがって、供用状態 A および B における許容荷重 A_L は、最高使用温度が室温の場合において $A_L = \frac{T_L}{3}$ となる。

SSB-3210 で規定した許容荷重と SSB-3110 の許容応力との関係は、次に掲げるとおりである。

供用状態 A および B における許容荷重は、

$$A_L = \frac{1}{3} \times T_L \times \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \quad (\text{解説 SSB-32})$$

T_L は、試験時に最も弱い部分が S_u に達した時の値と考えられるため、引張応力で考えれば、

$$\sigma_L = \frac{1}{3} \times S_u \times \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \quad (\text{解説 SSB-33})$$

となる。

SSB-3121 の許容応力では、引張に対して、

$$f_t = \text{MIN} \left[\frac{0.7}{1.5} S_u, \frac{1}{1.5} S_y \right] \quad (\text{解説 SSB-34})$$

としており、 $\frac{S_{yd}}{S_{yt}}$ は許容荷重の温度補正を表すため、最高使用温度における S_u ベースで考えると、

$$\frac{A_L}{f_t} = \frac{\frac{1}{3} S_u}{\frac{0.7}{1.5} S_u} = \frac{2.14}{3} = 0.713 \quad (\text{解説 SSB-35})$$

S_y ベースで考えると、通常材料では、 $S_y > \frac{1}{2} S_u$ であるため $S_y = \frac{1}{2} S_u$ と仮定して計算すると、

$$\frac{A_L}{f_t} = \frac{\frac{2}{3} S_y}{\frac{1}{1.5} S_y} = 1 \quad (\text{解説 SSB-36})$$

となり、許容応力に対して等価または安全側となる。

またステンレス鋼材 (SUS304 または SUS316) のように S_y が $\frac{1}{2} S_u$ を下回る材料においては、 $f_t = \frac{1.35}{1.5} S_y$ としているため、上記の考え方を採っても $S_y \geq \frac{1}{2.7} S_u$ の範囲の材料までカバーされることとなる。

なお、供用状態 A および B に対する割増し係数は、許容応力における S_y ベースの係数と等価である。

- (2) 本規定の「同一の材質および形状を有する支持構造物」とは、同一寸法で同一規格材を使用し、同一の製造法で製造され、同一の品質管理規準に合格したものであること。供試体の個数が 1 個の場合、 T_L の 90% を用いることにしたのは、ASME B&PV Code Section III NF-3281 (2001) による。3 個の場合、最低の T_L を用いるのは平均値より安全側であるためである。

3.3. 使用材料と規格への適合性

受入槽等実際に使用されている据付ボルトは JIS G 4303 で規格化されている SUS316 材で製作された M20 ボルト (並目ねじ) である。JIS の規格値と実際に使用されている据付ボルト、今回の荷重試験で用いた供試体の材料特性を表 3 に示す (なお、これらのエビデンスとなる材料試験成績書を添付-1 及び 2 に示す)。成分においては Si, S, Mn でやや差違が目立つが、いずれも JIS 規格の定める範囲内のバラツキである。

これより、本試験で用いる供試体は SSB-3210 の要求するところの〈同一の材質〉、すなわち「同一規格材 (=JIS G 4303 に基づく SUS316 ステンレス鋼棒材) を使用し、同一の製造法 (=同一熱処理温度で固溶化処理を実施) で製造され、同一の品質管理規準 (=当該 JIS に定められた項目について材料検査証明による確認) に合格したものに」適合していると考えられる。

表3 受入槽等の据付けボルトと供試体の材料特性

対象 (SUS316)	寸法 (mm)	化学成分							
		C (%×100)	Si (%×100)	Mn (%×100)	P (%×1000)	S (%×100)	Ni (%×100)	Cr (%×100)	Mo (%×100)
規格範囲※1	—	max 8	max 100	max 200	max 45	max 30	1000 ~ 1400	1600 ~1800	200 ~300
実物		6	50	117	31	22	1001	1611	206
供試体		5	33	132	38	30	1000	1689	201

対象 (SUS316)	機械的特性							熱処理温度 (°C)
	試験温度 (°C)	試験片	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ試験 (HBW)	
規格範囲※1	—	—	min 205	min 520	min 40	min 60	max 187	1010~1150 急冷
実物	20	4号試験片※2	274 (28 kgf/mm ²)	598 (61 kgf/mm ²)	64	75	134	1050
供試体	RT	10号試験片※3	265	600	61	72	156	1080

※1 JIS G 4303 SUS316

※2 JIS Z 2201 に定める径 14.0×焦点距離 50 mm の試験片サイズ。

※3 JIS Z 2201 に定める径 12.5×焦点距離 50 mm の試験片サイズ。

3.4 試験方法と規格への適合性

荷重試験の方法は実物の支持構造を模擬できるように検討を行った。実機の支持構造は「2. 受入槽等の支持構造」で述べたとおり、ラグの底板に設けられたボルト孔に据付ボルトを差し込み、二重ナットで締結したものである。据付ボルトはラグの底板と据付ボルトが埋め込まれたライナー（架台上に溶接で固定されている）によって拘束されるため地震動による水平力によってせん断力を負担する。

このような実機の固定状態における地震時せん断力を模擬するための試験治具を製作した。試験治具の概念を図4に示す。先に示した SUS316 の棒材を実機の設計図及び施工記録に基づきメートル並目ねじの規格（JIS B 0205）で加工した供試体（M20 ボルト相当、図5）の一端を試験治具のライナー模擬体にはめ込んでラグ模擬体を挟み二重ナットで結合した。その際のナットの締め付けトルクは実機据付工事の時と同じ（98.07 N-m（1000 kg-cm））とした。ラグ模擬体及びライナー模擬体は実機ラグと同じ SUS304 で製作したものである（図6、図7）。なお、試験治具への取付けを考慮したためライナー模擬体の厚さ（50 mm）は実機ライナーの厚さ（30 mm）と異なっているが、据付ボルトのねじ込み深さ（30 mm、図3及び図4参照）は同じとすることで支持構造を同等としている。

荷重試験はラグ模擬体を油圧式一軸試験装置（引張・圧縮能力 1000 kN、図8）のクロスヘッドに固定し、固定架台を設置した油圧式一軸試験装置のテーブルを上方へ一定の荷重速度で移動させていくことで、ラグ模擬体と固定架台（ライナー模擬体）に押さえられたボルト供試体に発生するせん断力を漸増させていき、その時の荷重と変位を測定する。荷重の増加はボルトが破断するまで継続した。これらの試験は株式会社 神戸工業試験場 茨城事業所（IS017025 認証試験所）にて実施した。

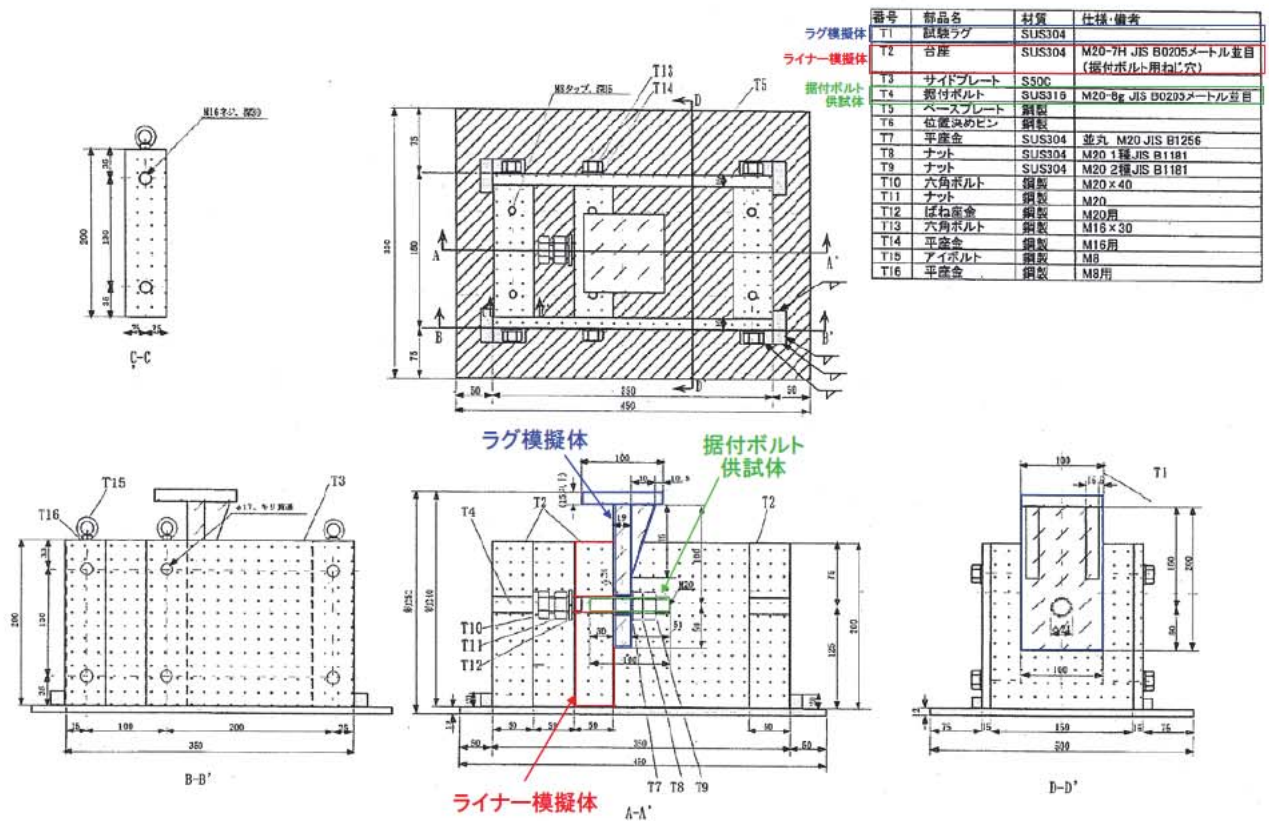


図4 せん断荷重試験の試験治具

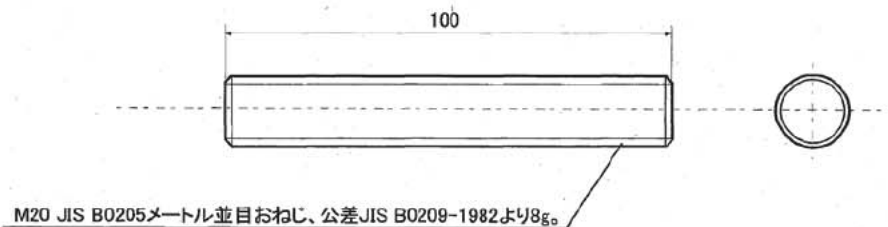


図5 据付ボルト供試体

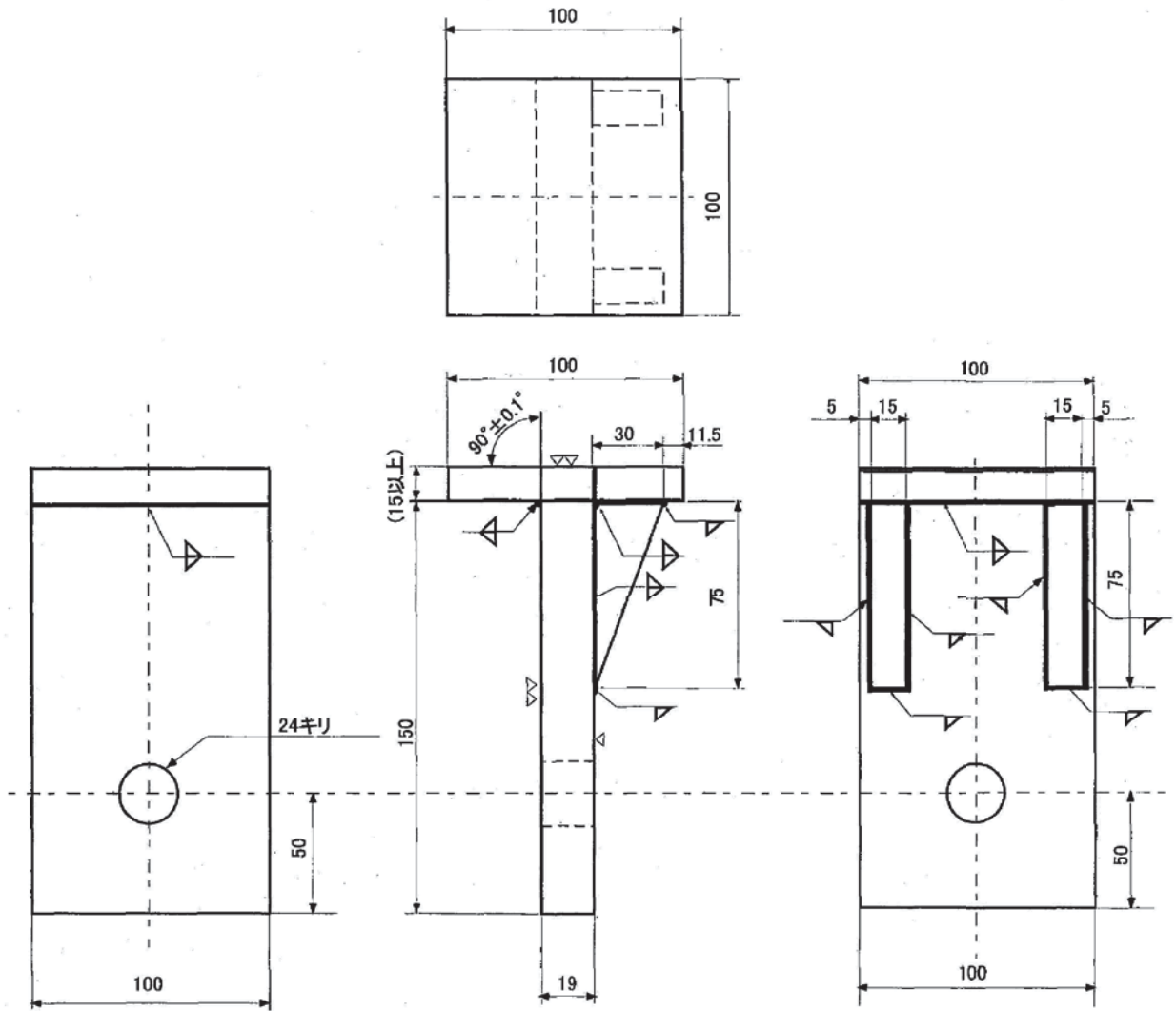


図 6 ラグ模擬体

*1 M20タップ貫通はJIS B0205メートル並目めねじとし、公差はJIS B0209-1982より7Hとする。

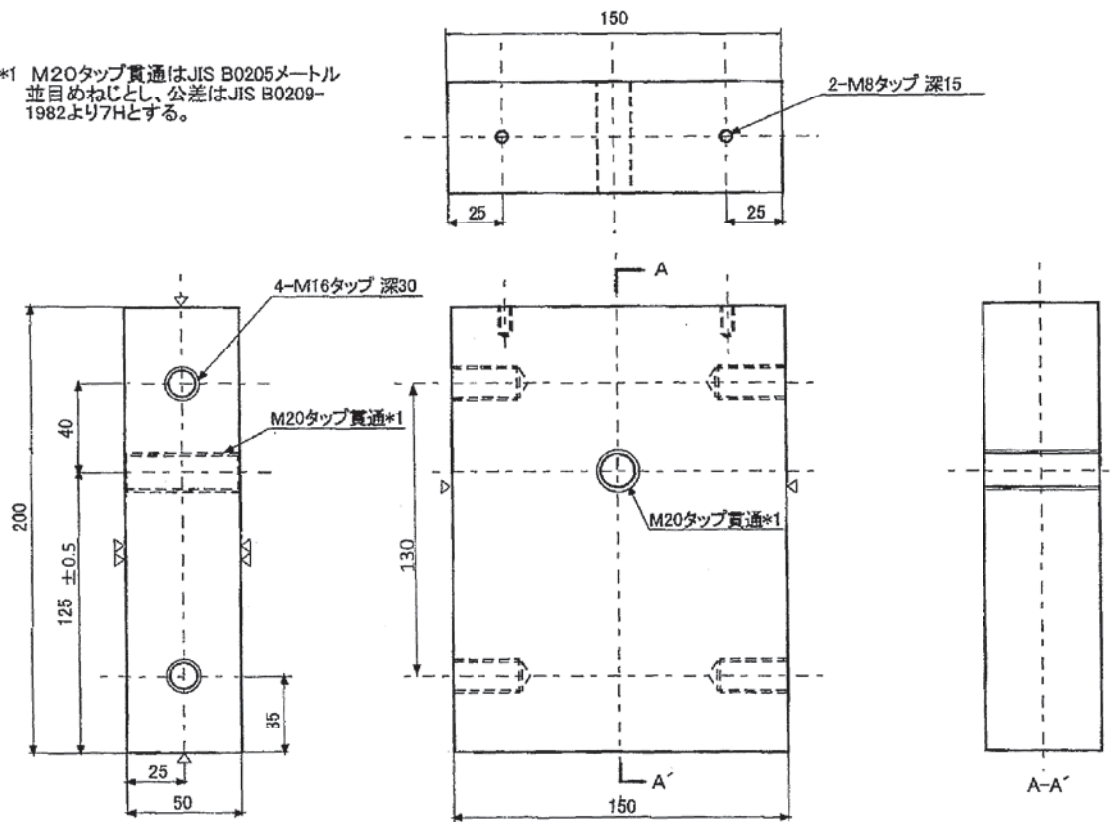


図7 ライナー模擬体

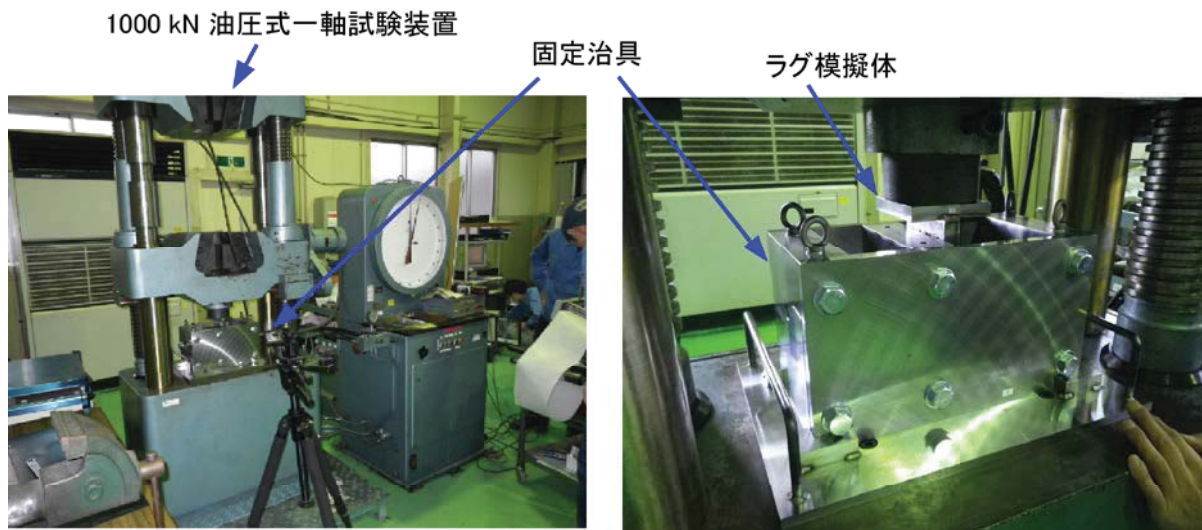


図 8 荷重試験装置外観

変位の測定は油圧式一軸試験装置に取り付けたデジタルハイトゲージにより測定した。また、荷重は試験機に内蔵された荷重計により測定した。試験回数は SSB-3210 の規定に基づき 3 回実施した。

以上より、本試験内容は SSB-3210 の要求するところの<同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに 3 個>に適合したものとなっている。

また、実機における使用前検査項目・自主検査項目である材料確認検査、ボルト締付力確認、ボルト据付位置確認を行うことにより、同一の品質管理基準を満足するものとした。

4. 試験結果

荷重試験から得られた変位と荷重の関係を図 9 に示す。得られた最大荷重は 120.4~123.4 kN の範囲になり、最大荷重に至るまでの変位-荷重関係も概ね再現性のある結果となっている。

試験後の供試体の状態を図 10 に示す。せん断破壊はボルトを固定しているライナー模擬体とラグ模擬体の境界面で生じている。ラグ模擬体のボルト穴直径が 24 mm であることから、ボルトに若干の傾きが見受けられるものの、曲げ変形が影響するほどの傾きではないと考えられる。

1回目		2回目		3回目	
変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	5.6	0.5	6.0	0.5	6.6
1.0	25.0	1.0	25.8	1.0	29.2
1.5	43.8	1.5	43.0	1.5	44.6
2.0	54.0	2.0	52.4	2.0	54.1
2.5	62.1	2.5	59.7	2.5	62.2
3.0	69.1	3.0	68.0	3.0	70.4
3.5	76.1	3.5	75.5	3.5	77.6
4.0	82.9	4.0	81.7	4.0	84.1
4.5	88.2	4.5	87.6	4.5	89.8
5.0	94.2	5.0	93.0	5.0	95.1
5.5	100.2	5.5	98.2	5.5	100.4
6.0	105.7	6.0	103.0	6.0	105.2
6.5	110.5	6.5	107.5	6.5	109.8
7.0	114.8	7.0	110.9	7.0	113.8
7.5	118.4	7.5	114.1	7.5	117.0
8.0	120.5	8.0	116.7	8.0	120.0
8.5	119.1	8.5	119.0	8.5	122.2
9.0	110.3	9.0	120.1	9.0	123.3
9.5	97.0	9.5	120.4	9.5	123.4
10.0	74.9	10.0	117.6	10.0	121.2
10.5	37.5	10.5	111.0	10.5	100.6
11.0	10.0	11.0	99.7	11.0	36.4
11.5	4.1	11.5	46.8	11.3	0.0
12.0	1.4	11.9	16.4		
12.5	1.5				
13.0	1.5				
13.5	2.2				
14.0	1.7				
14.5	1.4				
15.0	1.2				
15.8	0.0				

最大値	8.0	120.5	9.5	120.4	9.5	123.4
-----	-----	-------	-----	-------	-----	-------

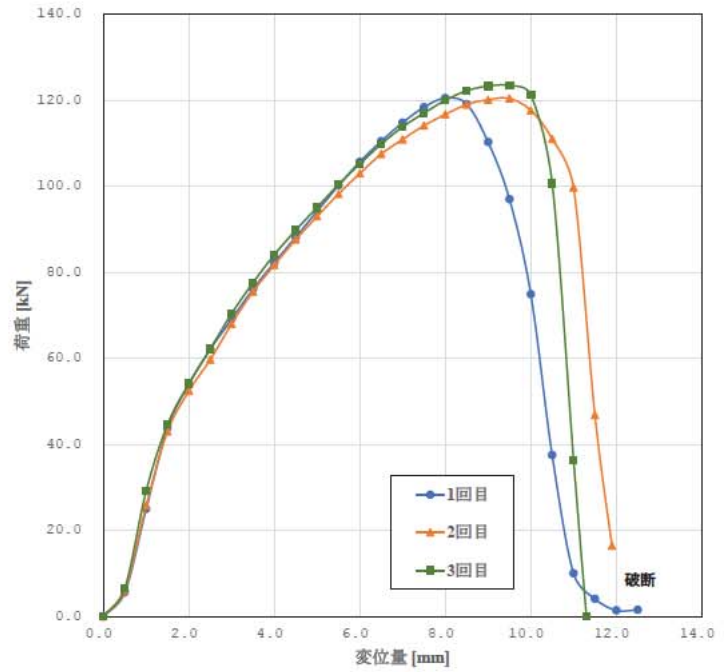


図9 荷重試験結果



図10 試験後の供試体等の状況

5. 試験結果に基づく許容応力の評価

3回の荷重試験を行った結果、最大の荷重は表4に示す通りであった。

表4 荷重試験における最大荷重値

試験	最大荷重 (kN/本)
1回目	120.5
2回目	120.4
3回目	123.4
観測値最小値	120.4

これより JSME S NC1-2008 の SSB-3240 に基づき許容荷重を計算する。その際に用いる荷重試験から得られた値としては、SSB-3210 に定められているように同一条件について3個の供試体から得られた値のうちの最小の値 (120.4 kN/本) を T_L 値として用いる。

SSB-3240 供用状態 D での許容荷重

供用状態 D における荷重については、次の計算式により計算した値を超えないこと。この場合において、当該支持構造物と同一の材質およ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。

$$A_L = \frac{0.6T_L S_{yd}}{S_{yt}}$$

A_L : 許容荷重 (N)

T_L : 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)

S_{yd} : 最高使用温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値 (MPa)

S_{yt} : 試験温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値 (MPa)

上記に基づき計算した許容荷重および据付ボルト ($\phi 20$ mm) の断面積を考慮した場合の許容応力は表5の通りとなる。このように算出した許容荷重は図11に示すように試験データの最大荷重 T_L (3回試験中の最小値) に対しても十分な裕度を持っている。

参考として図11には材料規格^[2]に記載されている JIS G 4303 ステンレス鋼棒 SUS316 の設計降伏点・設計引張強さから設計規格^[1]の“SSB-3133 供用状態 D での許容応力”に規定されている方法を用いて算出した許容せん断応力 (142 MPa) にボルト断面積 (保守性の観点から計算される許容荷重が少なくなる有効断面積 245 mm²を用いた) をかけて許容荷重を求めた結果 (34 kN) を併記している (表6)。荷重試験から得られた値をもとに算出した許容荷重を実力値とみなすと、実力値は規格値に対して約 2.1 倍の余裕があるとみなせる。

表5 荷重試験から得た値に基づき計算した許容荷重および許容応力

試験条件	受入槽据付ボルト (M20)
観測値 最小値 T_L	120.4 kN/本
試験温度	室温
最高使用温度	45 °C
S_{yt} (JIS G 4303 SUS316)	205 MPa (室温) ※ 材料規格 Part 3 第1章 表6の常温最小降伏点。
S_{yd} (JIS G 4303 SUS316)	201.8 MPa (45°C) ※ 材料規格 Part 3 第1章 表6の65°Cの値(189 MPa)と40°Cの値(205 MPa)を線形補間して求めた45°Cの値。
許容荷重 A_L	71 kN/本 (45°C)
供試体断面積	314 mm ² ※ M20 ボルト呼び径 (20mm) より $3.14 \times 10^2 \cong 314$
許容応力 f_s	226 MPa (45°C)

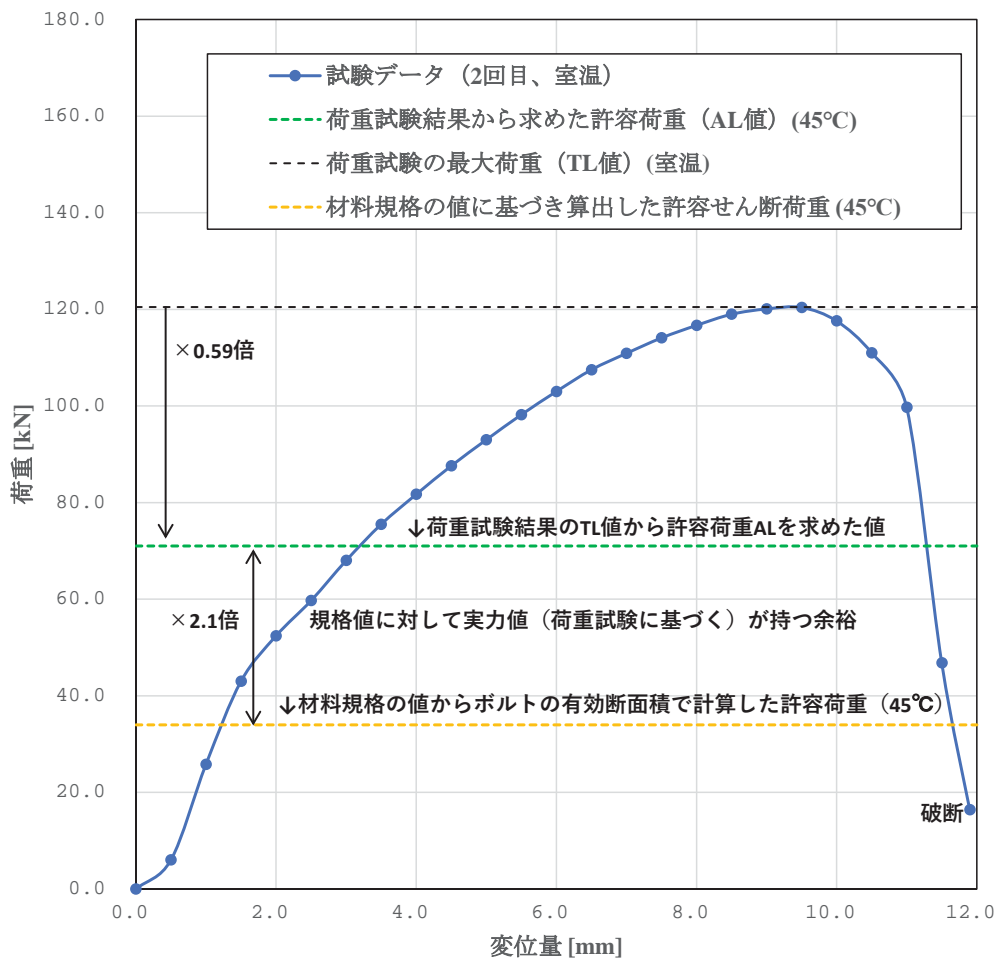


図 11 試験データと許容荷重 A_L の比較

表 6 材料規格値に基づく許容せん断応力と許容荷重

① 設計降伏点 S_y 値ベース			供用状態 D_s (運転状態 $IV_A S$)			M20ボルトの有効断面積 (mm^2) [*]	M20ボルトの許容せん断荷重 (kN/本)
温度 (°C)	S_y	1.35 S_y	F値 (MPa)	許容引張応力 f_t (MPa)	許容せん断応力 f_s (MPa)		
45	201.8	272	min(①, ②, ③)	1.5×F/1.5	1.5×F/(1.5√3)	245	34
② 設計引張強さ S_u ベース							
温度 (°C)	S_u	0.7 S_u	246	246	142	245	34
45	515.6	360					
③ 室温の設計降伏点 S_y ベース			246	246	142	245	34
温度 (°C)	S_y	1.2 S_y (RT)					
40	205	246					

* JIS B 0205(メートル並目ねじ)に基づく。

材料の規格		常温最小引張強さ (MPa)	常温最小降伏点 (MPa)	温度 (°C)				
				-30~40	65	75	100	
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒	SUS316	設計降伏点 S_y 値 ^{※1} (MPa)	520	205	205	189	—	176
		設計引張強さ S_u 値 ^{※2} (MPa)	520	205	520	—	489	476

※1 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表6

※2 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7

材料の規格		温度 (°C)	
		45	
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒	SUS316	設計降伏点 S_y 値 ^{※3} (MPa)	201.8
		設計引張強さ S_u 値 ^{※4} (MPa)	515.6

※1 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表6 の近傍温度における値を元に線形補間によって求めた値。

※2 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7 の近傍温度における値を元に線形補間によって求めた値。

(注) 材料規格の SSB-3121 の規定によれば、上記表の①~②の条件は炭素鋼を前提とした鋼構造設計基準に基づく考え方であり、それに対して③はひずみ硬化性の大きいオーステナイト系ステンレス鋼の特性を考慮した考え方となっている。SSB-3121 では最終的にこれらの材料特性の違いを無視した上で保守性の観点から、材料にかかわらず①~③で求めた許容応力の中の最小値を用いることとしている。本検討の対象としている据付ボルトはオーステナイト系ステンレス鋼である SUS-316 で製作され、設計温度 45°C (常温超) で用いられるものであることから、③で求められる 38 kN/本 (272 MPa÷√3×245 mm²/本) が本来の材料特性を考慮した許容せん断荷重と考えることができる。

7. まとめ

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に、高放射性廃液貯蔵場（HAW）から高放射性廃液を受け入れて一時的に貯蔵する受入槽（G11V10）及び回収槽（G11V20）を直接支持している据付ボルトについて、地震時に作用する水平方向せん断力に対する強度を明らかにするために、実機の支持構造を模擬して荷重試験を実施した。荷重試験の方法は“日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版）〈第I編 軽水炉規格〉”（JSME S NC1-2008）^[1]の“SSB-3000 クラス1支持構造物の設計”における“SSB-3210 許容荷重”に基づくものとした。また、支持構造に基づき二種類のラグ模擬体を使用した。

試験の結果、測定された最大許容値のうちの最小値（120.4 kN/本）を用いてSSB-3240に基づく許容荷重の評価を行い、その値として71 kN/本を得た。また、ボルトの呼び径で計算した断面積で除して得た許容応力は226 MPaであった。

参考文献

1. “日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版）〈第I編 軽水炉規格〉”，JSME S NC1-2008，日本機械学会（2008）
2. “日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版）”，JSME S NJ1-2012，日本機械学会（2012）
3. 上坂 充，鬼沢邦雄，笠原直人，鈴木一彦，“原子力教科書 原子炉構造工学”，株式会社オーム社，ISBN978-4-274-20690-0（2009）
3. “日本工業規格 JIS G 4303 ステンレス鋼棒”，日本工業規格
4. “日本工業規格 JIS Z 2201 金属材料引張試験片”，日本工業規格
5. “電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針”，JEAG4601-1991 追補版，日本電気協会 電気技術基準調査委員会（1991）
6. “電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編”，JEAG4601・補-1984，日本電気協会 電気技術基準調査委員会（1984）

添付資料

- (1) 材料試験成績書（実機アンカーボルト材）
- (2) 材料検査証明書（本試験において用いた供試体）
- (3) ボルトせん断試験結果報告書



愛知製鋼株式会社
検査部

材料試験成績書 TEST CERTIFICATE

0-4746

品名 Material	寸法 Size	試験番号 Charge No.	発行年月 Date	発行所 Test Certificate No.
SUS316	2000	59174	2-5	6-5-1531 1304
	寸法 Width	試験番号 Code		
	2000	10		
	厚さ Thickness			

Chief, Inspection Department
Aichi Steel Works, Ltd.

項目 Items	化学成分 Chemical Compositions (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	
規格 Spec.	MAX 0.08	MAX 100	MAX 200	MAX 45	MAX 30	MAX	1000-1400	1600-1800	200-300	
実測 Results	6	50	117	31	22		1001	1611	206	

項目 Items	機械試験 Mechanical Properties					
	熱処理温度 Heat Treat.	焼入 1st Quenching	2次焼入 2nd Quenching	焼もどし Tempering	引張試験 Tension Test	硬さ試験 Hardness Test
規格 Spec.	D	1010-1150			引張強さ Tensile Str. Min. 40	硬さ試験 Hardness Test (HR)
実測 Results	D	1050			21	MAX 187
					23	134

項目 Items	焼入性試験 (一端焼入) Hardenability Test (End Hardening Process)						備考 Remarks
	焼入距離 Distance from Quenched End	16	16	16	16	16	
測定値 Results		/	/	/	/	/	JIS G4303 (1981) 1050°CX10MIN. W.Q. TYPE OF T.P: JIS 4

地さす試験 Macro-Streak-Flaw Test	結果 Results		非金属夹杂物 Non-Metallic Inclusion	超音波検査 Ultrasonic Test	顕微鏡組織 Micro-Structure
	I	II			
552/100-4110		II	dA 40+dC		
552/100-4110		III	PNCL		
552/100-4110					
552/100-4110					

90 11675

386

61: ステンレス等処理 (Isolance s) 62: ステンレス等処理 (Isolance s) 63: ステンレス等処理 (Isolance s) 64: ステンレス等処理 (Isolance s) 65: 焼入性試験 (End Hardening Process) 66: 焼入性試験 (End Hardening Process) 67: 焼入性試験 (End Hardening Process) 68: 焼入性試験 (End Hardening Process) 69: 焼入性試験 (End Hardening Process) 70: 焼入性試験 (End Hardening Process) 71: 焼入性試験 (End Hardening Process) 72: 焼入性試験 (End Hardening Process) 73: 焼入性試験 (End Hardening Process) 74: 焼入性試験 (End Hardening Process) 75: 焼入性試験 (End Hardening Process) 76: 焼入性試験 (End Hardening Process) 77: 焼入性試験 (End Hardening Process) 78: 焼入性試験 (End Hardening Process) 79: 焼入性試験 (End Hardening Process) 80: 焼入性試験 (End Hardening Process) 81: 焼入性試験 (End Hardening Process) 82: 焼入性試験 (End Hardening Process) 83: 焼入性試験 (End Hardening Process) 84: 焼入性試験 (End Hardening Process) 85: 焼入性試験 (End Hardening Process) 86: 焼入性試験 (End Hardening Process) 87: 焼入性試験 (End Hardening Process) 88: 焼入性試験 (End Hardening Process) 89: 焼入性試験 (End Hardening Process) 90: 焼入性試験 (End Hardening Process)

様式2

ボルトせん断試験結果報告書 (1/3)		
試験年月日	平成23年12月22日	
件名	ボルトせん断試験	
試験実施場所	(株) 神戸工業試験場 茨城事業所	
試料名	据付ボルト	
製造者	(株) E&Eテクノサービス	
特記事項	試験は「日本機械学会 (ISEM) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格2008年版 SSB-3200」による	
供試体番号 : 2		
変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0.0	0.0	
0.5	5.6	
1.0	25.0	
1.5	43.8	
2.0	54.0	
2.5	62.1	
3.0	69.1	
3.5	76.1	
4.0	82.3	
4.5	88.2	
5.0	94.2	
5.5	100.2	
6.0	105.7	
6.5	110.5	
7.0	114.8	
7.5	118.4	
8.0	120.5	
8.5	119.1	
9.0	110.3	
9.5	97.0	
10.0	74.9	
10.5	37.5	
11.0	10.0	
11.5	4.1	
12.0	1.4	
12.5	1.5	
13.0	1.5	
13.5	2.2	
14.0	1.7	
14.5	1.4	
15.0	1.2	
15.8	0.0	破断
最大荷重時	荷重 : 120.9 kN	変位量 : 8.2 mm
破断時	荷重 : 0.0 kN	変位量 : 15.8 mm
備考 試験室温度 : 23.6°C		

荷重-変位量曲線

試験者

(株)神戸工業試験場

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟 受入槽（G11V10）及び回収液槽（G11V20）の 据付ボルトのせん断強度と安全裕度の向上に関する検討状況について

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の受入槽及び回収液槽の据付ボルトについて、廃止措置計画用設計地震動が作用した際のせん断荷重の評価結果（最大 50 kN/本（ボルト有効断面積に対するせん断応力は 205 MPa）、45℃条件）は、実機を模擬して実施した荷重試験の結果から算定された許容荷重（供用状態 D_s : 71 kN/本、45℃条件）を満足する結果が得られている（付表）。しかしながら荷重試験に基づく許容荷重は実機の実力値に近くその裕度は大きくない。そこで、リスクの大きい高放射性廃液を取り扱うという観点からさらなる耐震裕度を確保する方策として、貯槽の液量を制限した場合に地震時に据付ボルトに作用する荷重がどの程度低減可能かについての評価を行った。受入槽の機器設計では工程後段にある濃縮器で濃縮した高放射性廃液（設計上想定する密度 1.6 g/cm^3 ）を貯槽の荷重条件としているが、高放射性廃液貯蔵場（HAW）から受け入れる高放射性廃液の密度は 1.28 g/cm^3 以下であることから、この 2 つの条件に基づき評価を実施した（付図）。

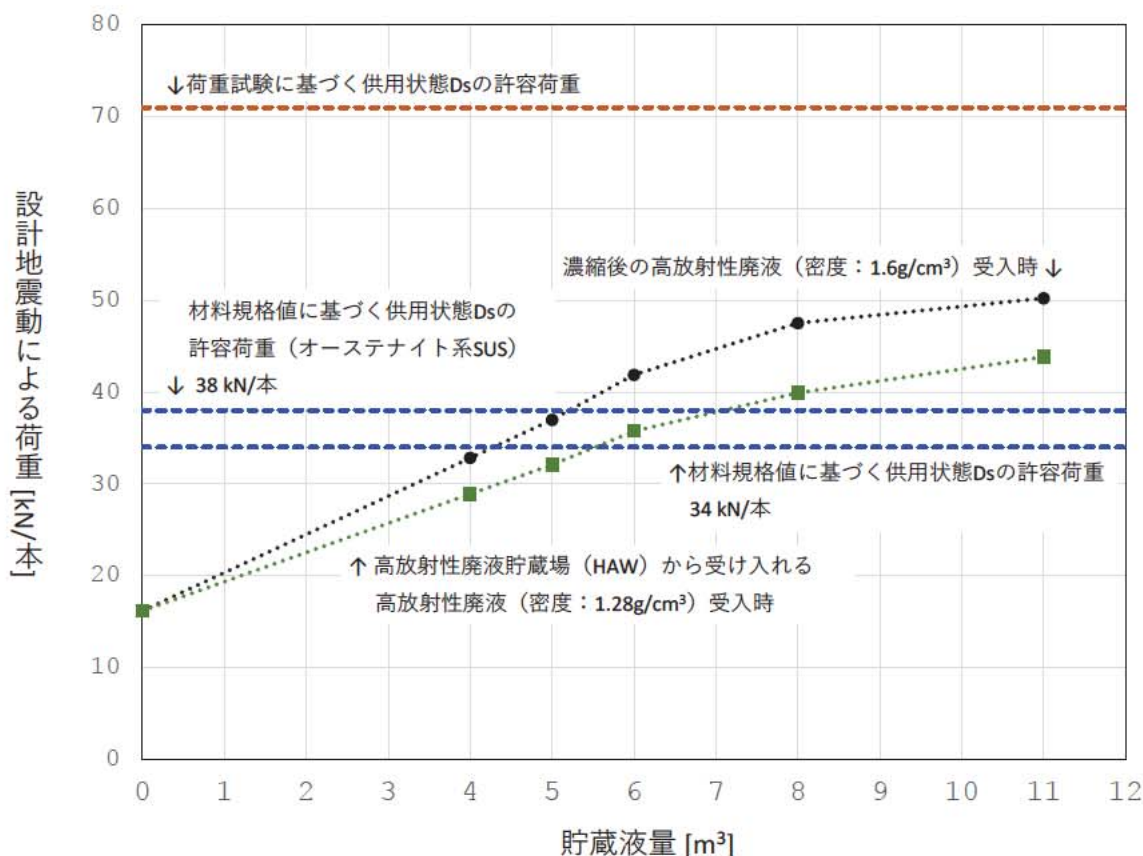
実際の運転（直近の 16-1, 17-1, 19-1 キャンペーン）における高放射性廃液の受入時濃度は最大で 1.23 g/cm^3 程度、濃縮器（G12E10）での濃縮処理後の高放射性廃液の密度は最大でも 1.315 g/cm^3 程度である。また、通常運転では濃縮後の高放射性廃液を受入槽・回収液槽で扱うことはない。濃縮後の高放射性廃液を受入槽・回収液槽で扱う場合というのは、機器故障等で固化処理運転を中断せざるを得なくなった際に、工程内に残留した濃縮後の高放射性廃液を高放射性廃液貯蔵場（HAW）へ返送するために一時的に受け入れるときである。

したがって、このようなガラス固化処理の運転状態及び運用の特徴に基づき、通常運転時（G12E10 での濃縮済み高放射性廃液を受入槽では扱わない状態）においては、受入槽・回収液槽で扱う高放射性廃液の密度を 1.28 g/cm^3 以下で管理し、その条件において耐震裕度を確保するための液量管理を行う方針とする。なお、濃縮済み高放射性廃液（ 1.28 g/cm^3 を超える密度）を受入槽・回収液槽において受け入れる場合とは、機器トラブル等によりガラス固化処理運転途中で工程を停止し、工程内の高放射性廃液を高放射性廃液貯蔵場（HAW）へ戻す場合である。このような事象は頻度も少なく、受入槽での液保持期間も施設寿命期間全体から見れば一時的なものである。したがって、設計地震動の発生頻度を合わせて考慮すると、そのような非定常時には液量管理の制限を解除することが合理的であると考えられる。

付表 廃止措置計画用設計地震動に対する受入槽・回収液槽据付ボルトの発生荷重と各許容荷重

高放射性廃液密度	設計地震動において据付ボルトに加わる最大せん断荷重 (満水 11 m ³ 時)	荷重試験に基づく許容せん断荷重 (供用状態 Ds)	材料規格値に基づく許容せん断荷重 (供用状態 Ds)
1.6 g/cm ³	50 kN/本	71 kN/本	34 kN/本
1.28 g/cm ³	44 kN/本		(38 kN/本 ※)

※ 材料規格において、ひずみ硬化の大きいオーステナイトステンレス鋼を 40℃超で用いる場合の許容せん断荷重から求まる値 (F 値=1.35Sy)。当該据付ボルトはオーステナイトステンレス鋼である SUS316 製であることから、この許容せん断荷重の方が本来の材料特性を反映した許容値と見なすことができる。したがって、34 kN/本は 10%程度の裕度を持ったものと考えられる。



付図 受入槽・回収液槽の貯蔵液量と地震時の据付ボルトに発生するせん断応力の関係

(参考) ガラス固化処理施設 (TVF) におけるガラス固化処理運転の基本フローと液量管理時の
運転対応案

ガラス固化処理施設 (TVF) において、高放射性廃液を高放射性廃液貯蔵場 (HAW) から受け入れて、溶融炉へ供給するまでの設備構成を参考図 1 に示す。また、これまでの運転におけるタイムチャート (運転に伴う各貯槽・設備における液量の時間変動を示したもの) を参考図 2 に示す。

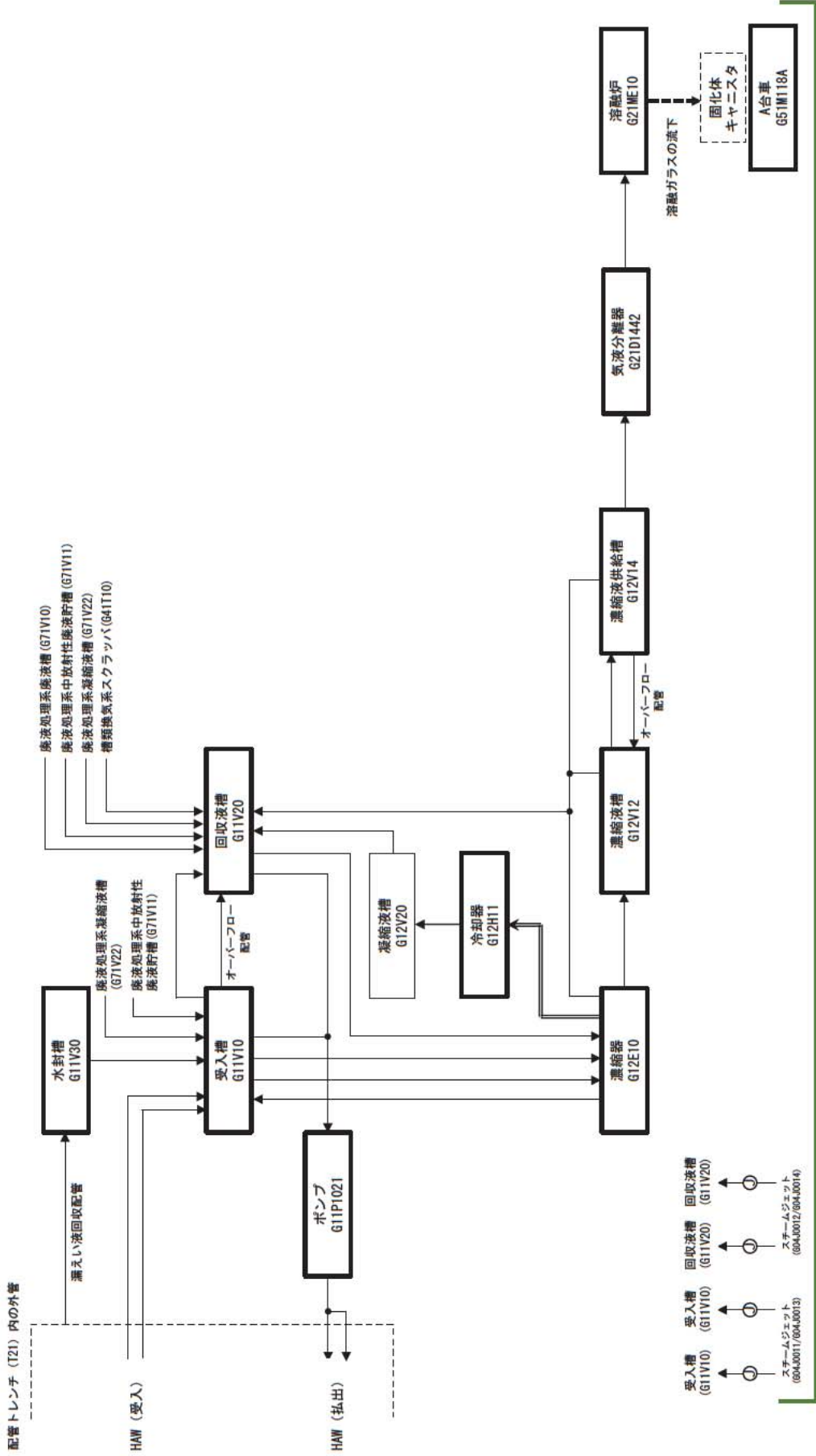
高放射性廃液貯蔵場 (HAW) からの高放射性廃液の受入は、一定期間ごとにバッチ操作で受け入れる (通常時は 6.22 m³の高放射性廃液を 7 日に 1 回の頻度で受け入れる)。受入後には次の濃縮操作及びガラス固化処理のためにサンプリングと分析を行うとともに、IAEA による確認を受ける。その後、濃縮器による濃縮操作 (バッチ操作で 1 回あたり 0.46 m³を受け入れて約 1.3 倍程度に濃縮する) のために、1 日に 1 回程度の供給 (受入槽→濃縮器) を行い、7 日程度で受け入れた液量に相当する高放射性廃液の濃縮操作を終える。溶融炉への濃縮済み高放射性廃液の供給は常時連続して行う必要があり、そのために濃縮液槽には一定量以上の濃縮済み高放射性廃液が入っている必要がある。

受入槽の運用上の条件として、液位と液量の関係を参考図 3 に示す。配管でつながっている高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の中間貯槽との間の水封のために、負圧分を考慮して接続配管が液浸する液位 (液位計読み取り値で 700 mm、液量にして約 2.7 m³分) を最低液位として確保している。水封は高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の中間貯槽側でも行っているため、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 側での水封を確実にすることで受入槽の最低液位を下げるのが可能であるが、パルセータ作動の最低条件である液位 (液位計読み取り値で 570 mm、液量にして約 2.2 m³分) 以下にすることは運転管理の点から難しい。

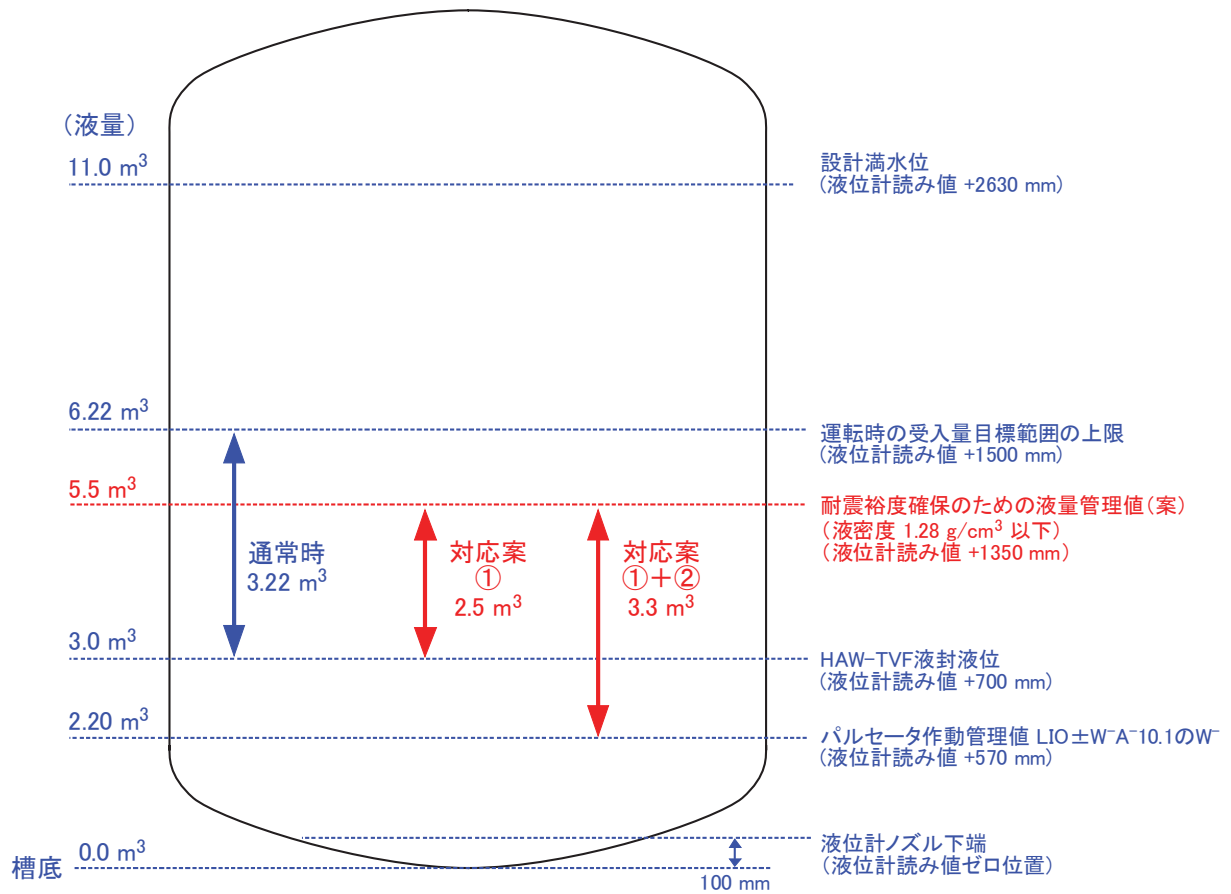
耐震裕度確保の目安として、保持している溶液の重量を考慮した上で設計地震動作用時における据付ボルト発生せん断荷重を、材料規格から求まる許容荷重以下に抑制しようとする場合、付図 1 より約 5.5 m³程度が上限と見なせる (ただし、材料規格の解説にあるように、ひずみ硬化の大きいオーステナイトステンレス鋼を 40°C 超で扱う場合の本来の許容荷重はより高い値となり、本据付ボルトに当てはめると 10% 程度の余裕がある)。上述した通常運転での受入槽の最大液量は 6.22 m³であるため、この液量管理値には収まらない。そこで、ガラス固化処理 (溶融炉の運転) を阻害せずに、高放射性廃液の受入を液量管理の下で行うための検討の対応案として以下を検討している (参考図 2)。

- ① 受入れ頻度を増やし、受入れ量を減らす (約 3.2 m³/週 → 約 2.5 m³/5 日) ことにより、受入槽の最大液位を抑える。
- ② 水封管理は HAW 施設側で担保し、受入槽の最低管理液位をパルセータ作動管理液位 (約 2.2 m³) まで下げる

参考図 2 より上記対応案の概略の成立性は見込めるものの、運転管理・運転操作上の観点より詳細に検討を進めて運転成立性の確認を行う。



参考図 1 ガラス固化処理における高放射性廃液の取り扱いフロー図



参考図3 受入槽 液位（液位計読み取り値）と液量の関係