

第二付属排気筒排気ダクト接続架台の
地震応答計算書

1. 概要

第二付属排気筒排気ダクト接続架台は、別冊 1-15 再処理施設に関する設計及び工事の計画 第二付属排気筒及び排気ダクト接続架台の耐震補強工事により、地震時における耐震性向上のため、梁及びブレースの補強、ブレースの新設及び支障部の補強を行うことを計画している。

本資料は、廃止措置計画用設計地震動に対して、耐震補強工事後の第二付属排気筒排気ダクト接続架台（以下「排気ダクト接続架台」という。）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 とする。

※T.P.：東京湾平均海面

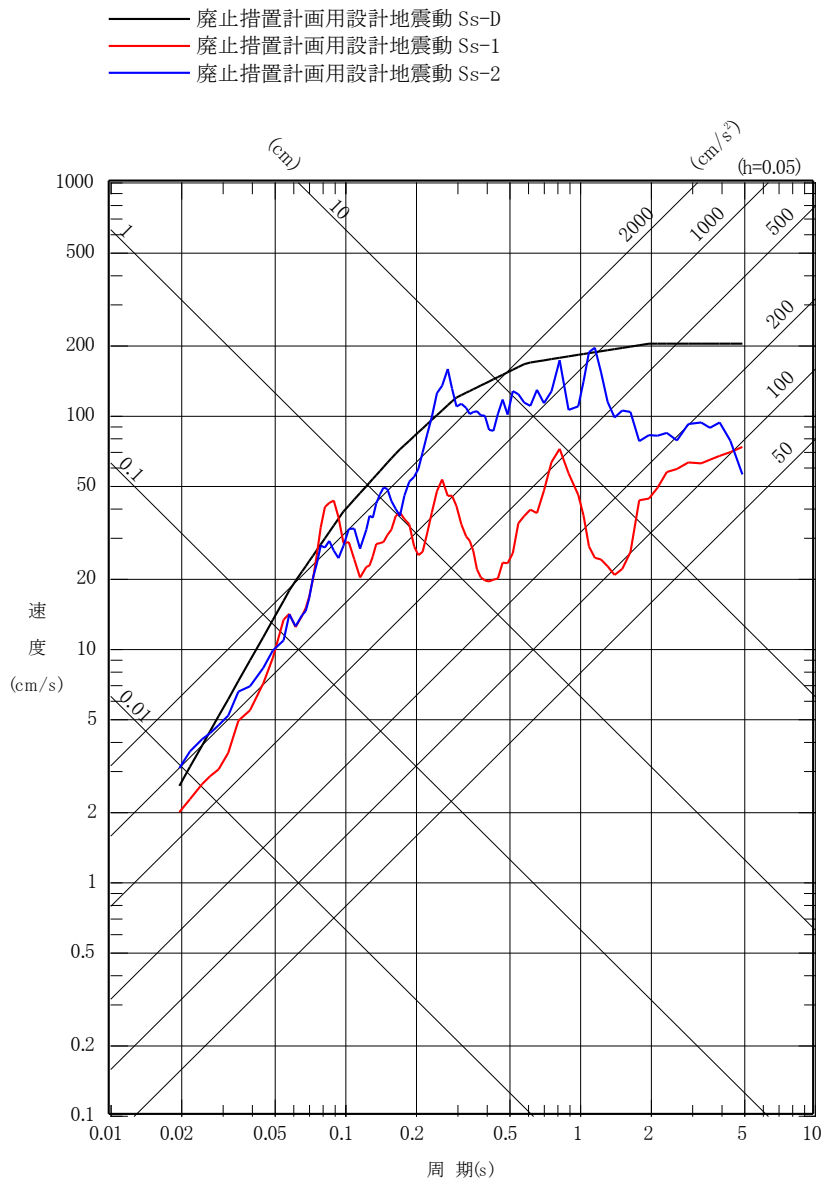


図 1-1 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(NS成分)

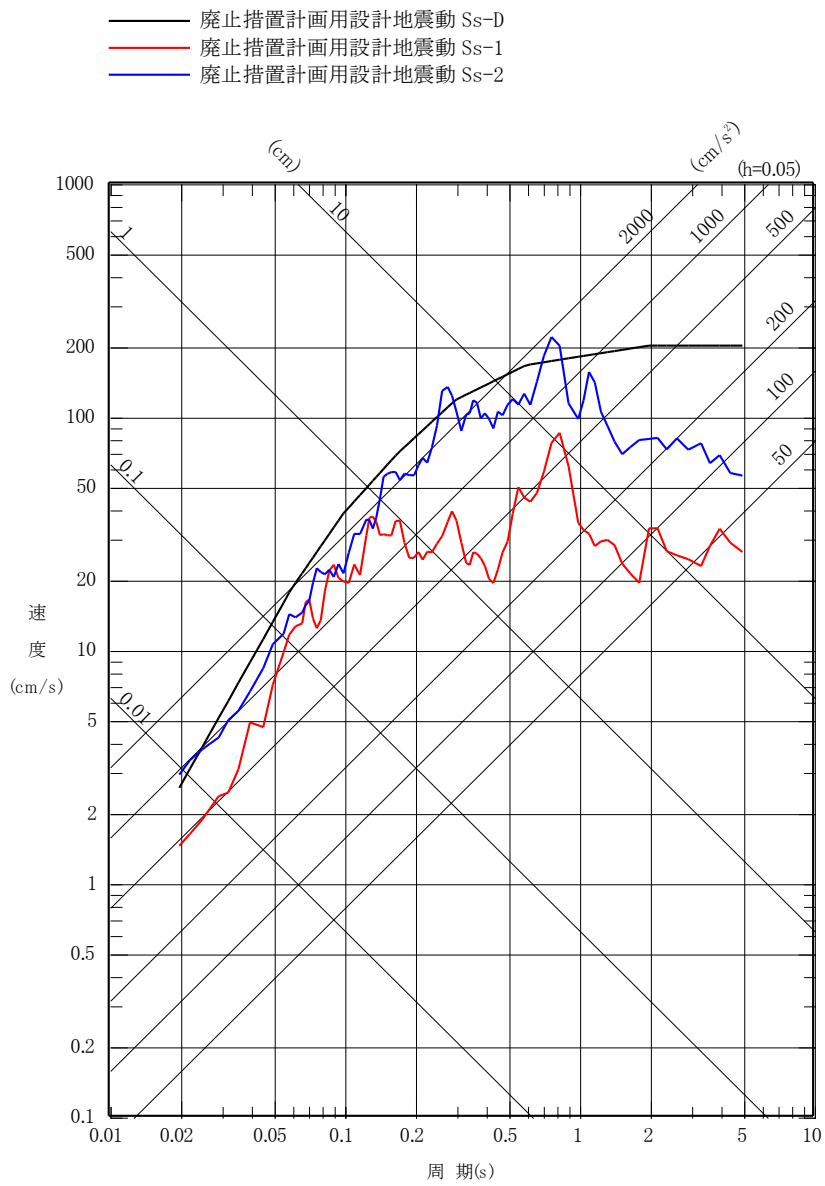


図 1-2 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(EW成分)

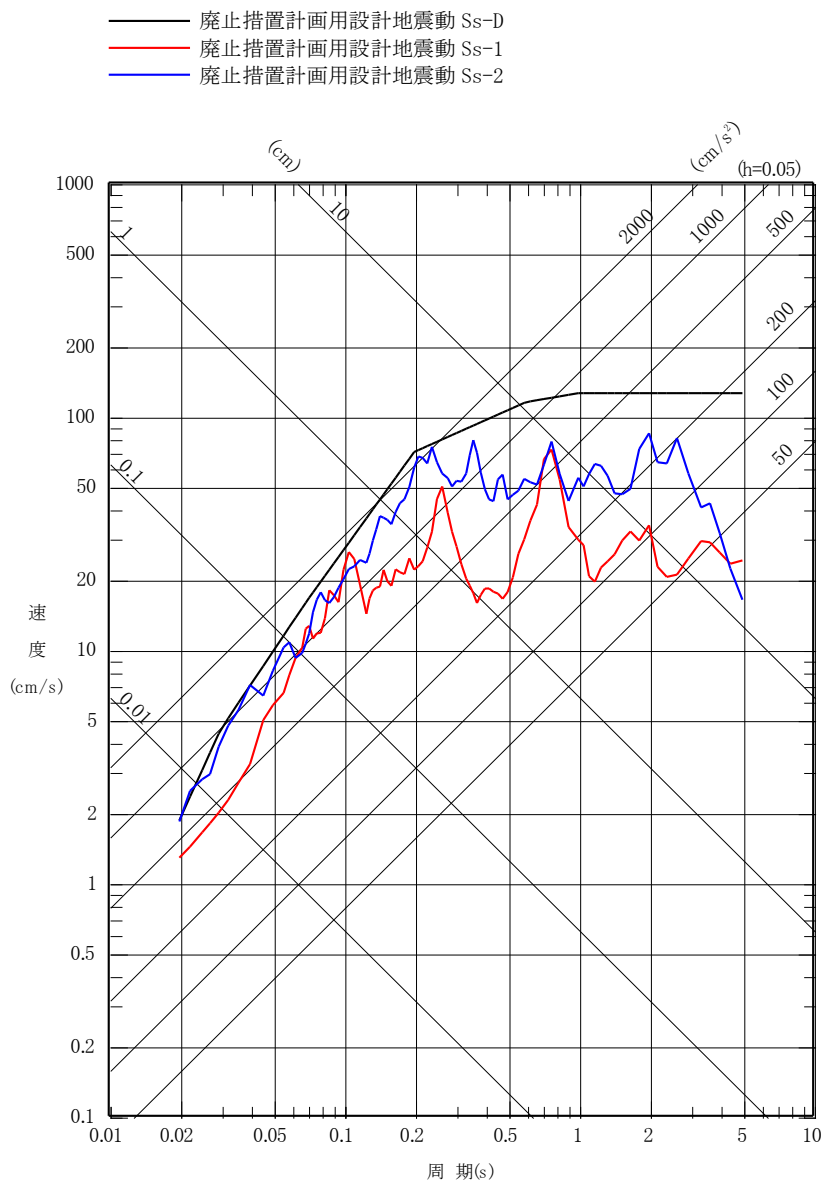


図 1-3 廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル(UD成分)

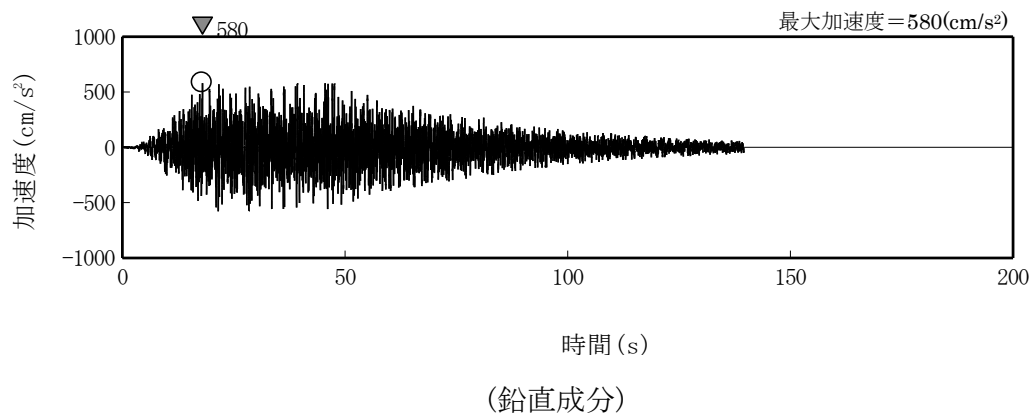
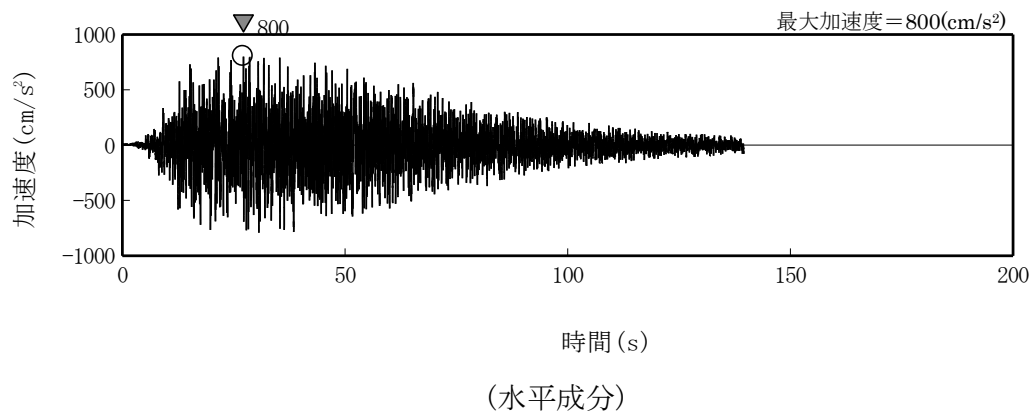
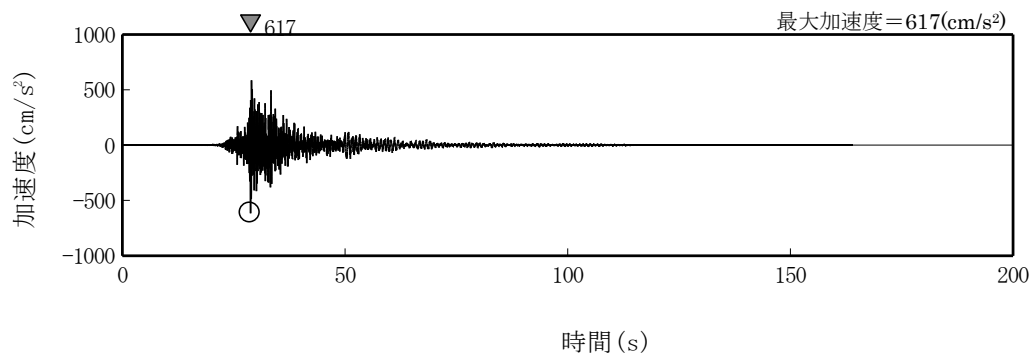
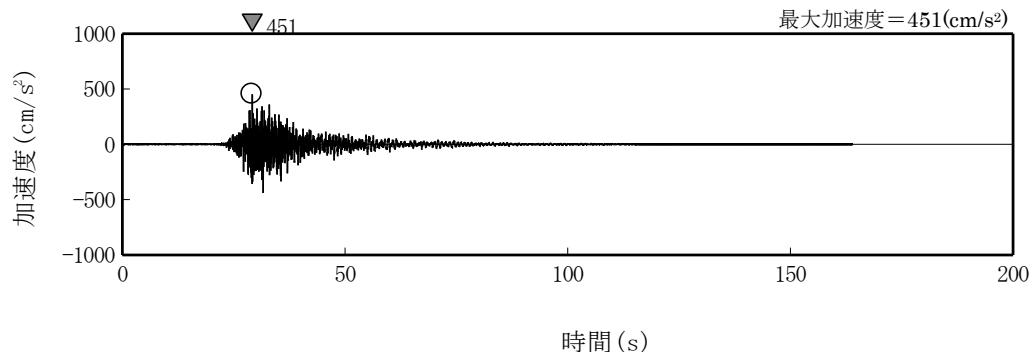


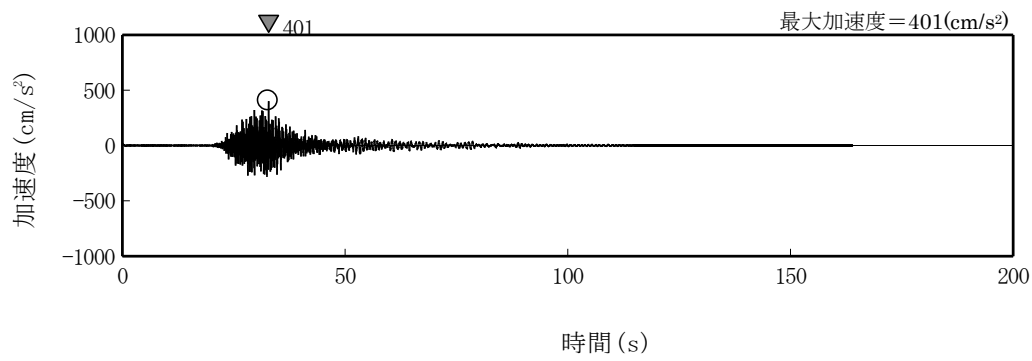
図 1-4 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-D) の時刻歴波形



(NS 成分)

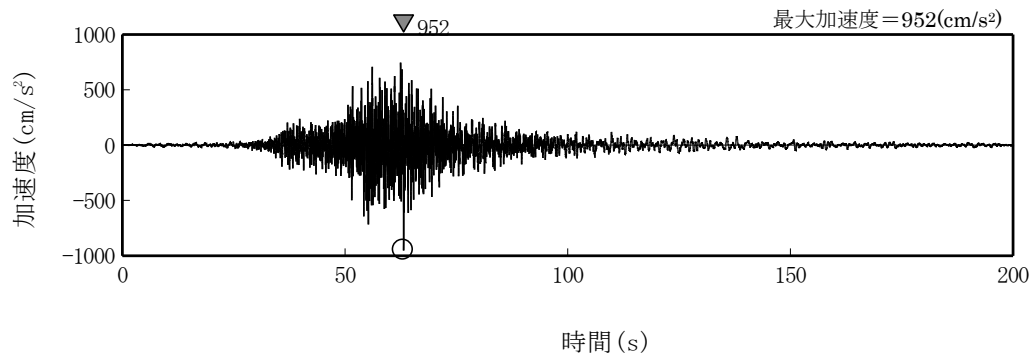


(EW 成分)

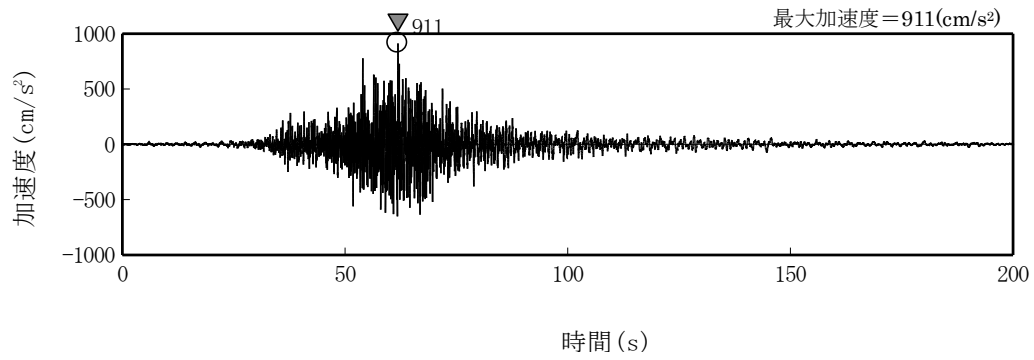


(UD 成分)

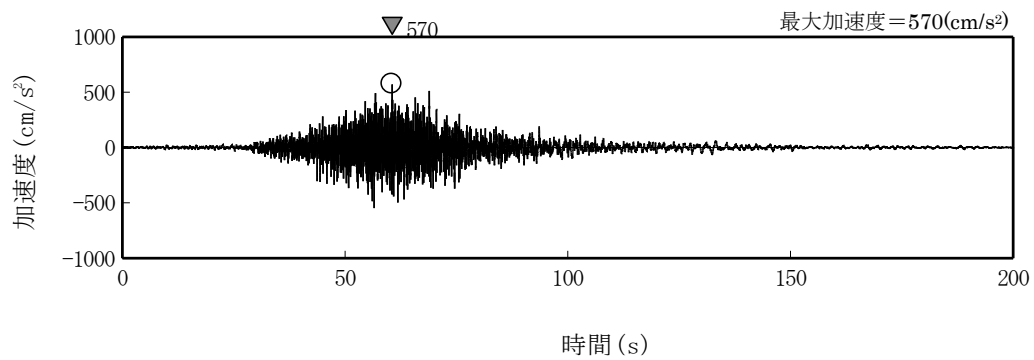
図 1-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-1)の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



(UD 成分)

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

排気ダクト接続架台の位置を図 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。

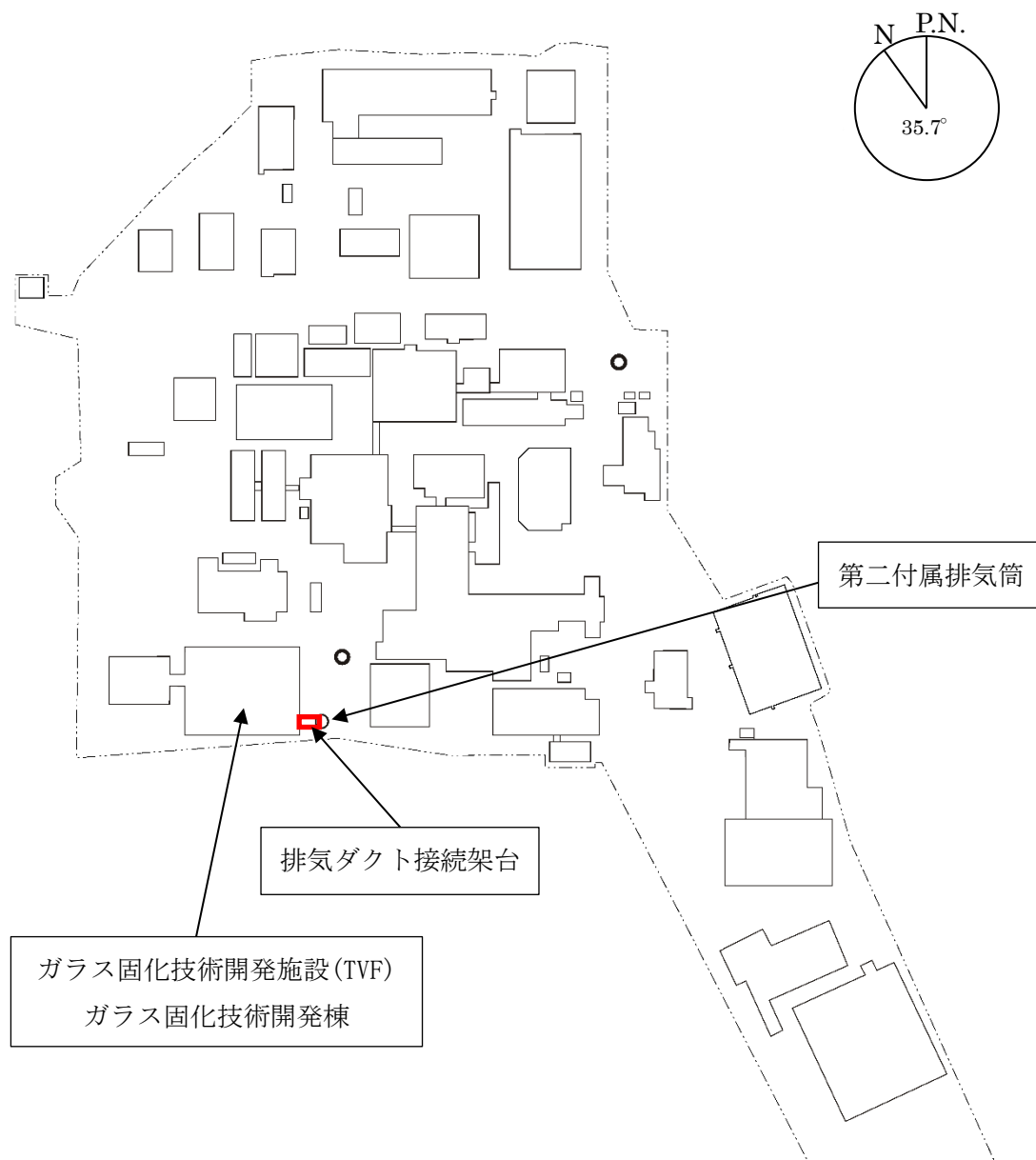


図 2-1 排気ダクト接続架台の位置

2.2 構造概要

排気ダクト接続架台は、平面形状が 6.4 m(NS), 16.5 m(EW)の長方形を成しており、地上高さ約 30 m, 架台高さ 4.4 mの鉄骨造である。排気ダクト接続架台は、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟と第二付属排気筒を接続する架台である。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟と排気ダクト接続架台の接続部は、テフロン支承(T1)及びステンレス鋼棒と補強鋼管(T3)により接続している。

第二付属排気筒と排気ダクト接続架台の接続部は、テフロン支承(T2)により接続している。

代表的な平面図及び軸組図を図 2-2 及び図 2-3 に、部材リストを表 2-1 に示す。テフロン支承(T1, T2)及びステンレス鋼棒と補強鋼管(T3)の NS 方向, EW 方向及び UD 方向の変位拘束条件を図 2-4 に、テフロン支承(T1, T2)の詳細図を図 2-5 に示す。

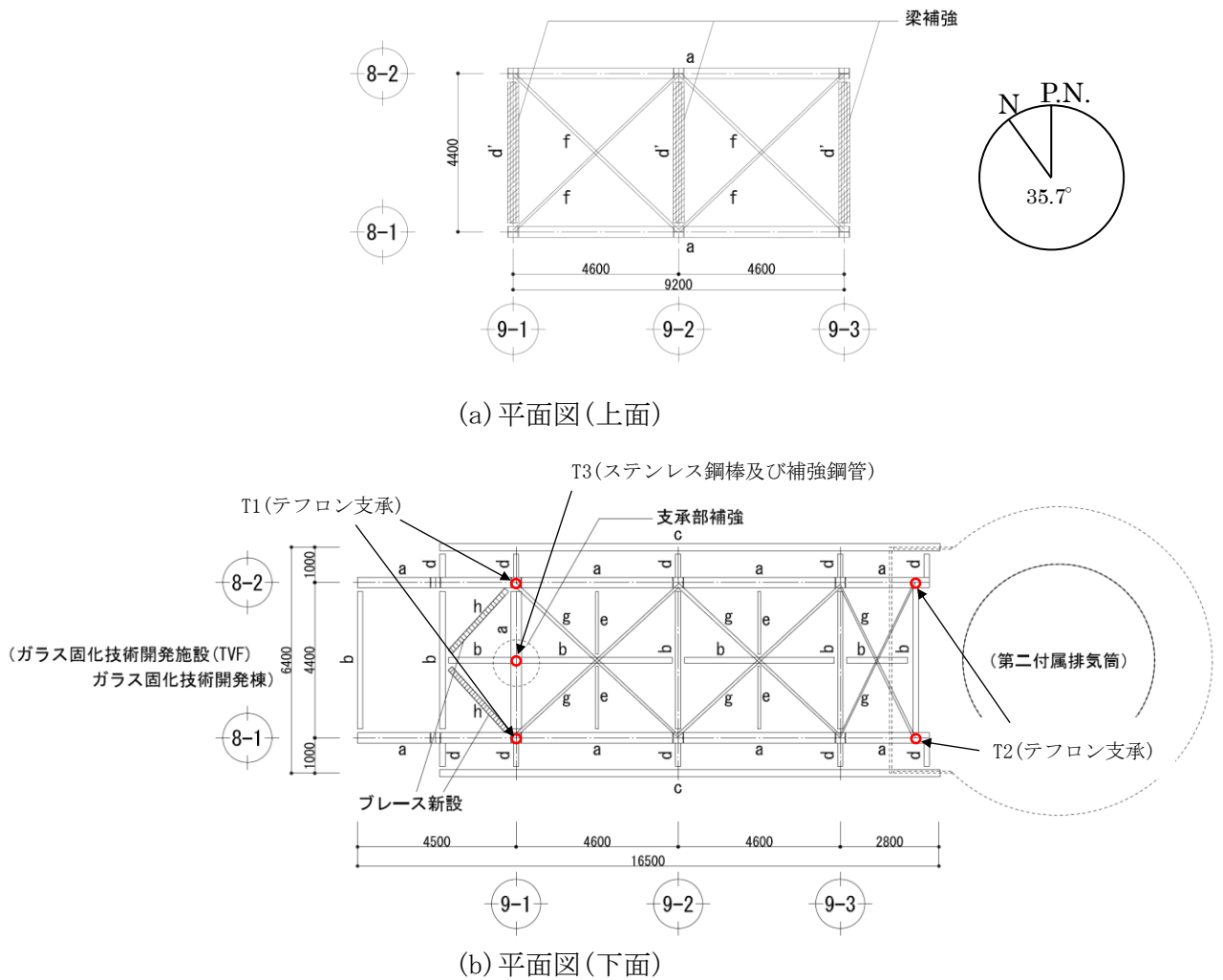
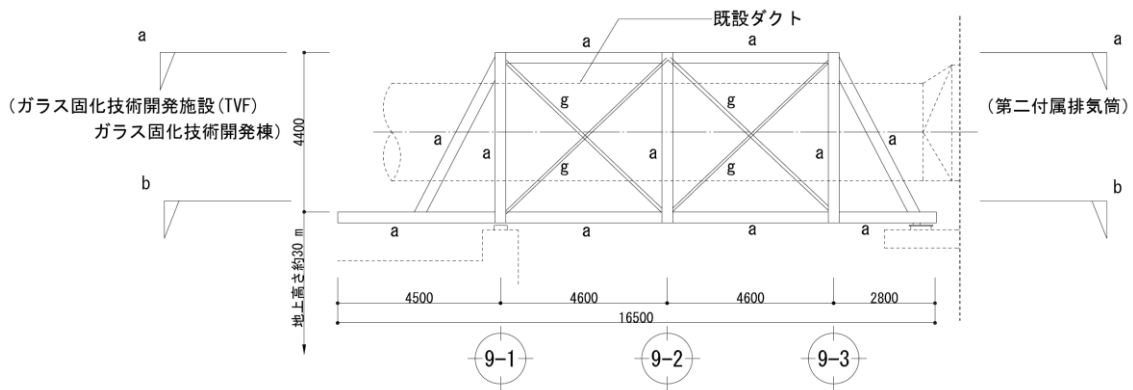
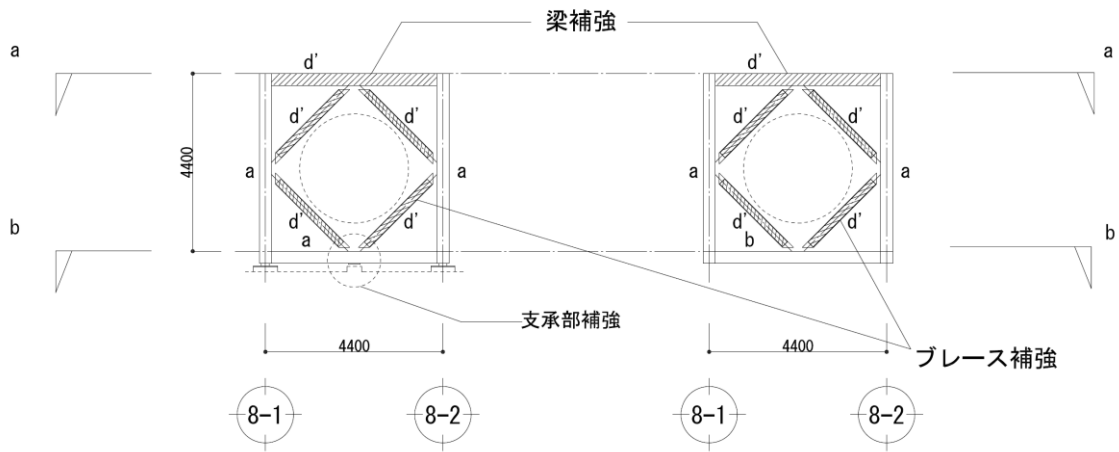


図 2-2 排気ダクト接続架台の平面図



(a) 8-1 通り



(b) 9-1 通り

(c) 9-2, 9-3 通り

図 2-3 排気ダクト接続架台の軸組図

表 2-1 排気ダクト接続架台の部材リスト

符号	断面	備考
a	H-300×300×10×15	
b	H-300×150×6.5×9	
c	H-200×200×8×12	
d	H-194×150×6×9	
d'	H-194×150×6×9 + 補強PL-9(両面)	補強部材
e	L-75×75×6	
f	2L-75×75×6	
g	2L-90×90×7	
h	H-150×150×7×10 (新設)	補強部材

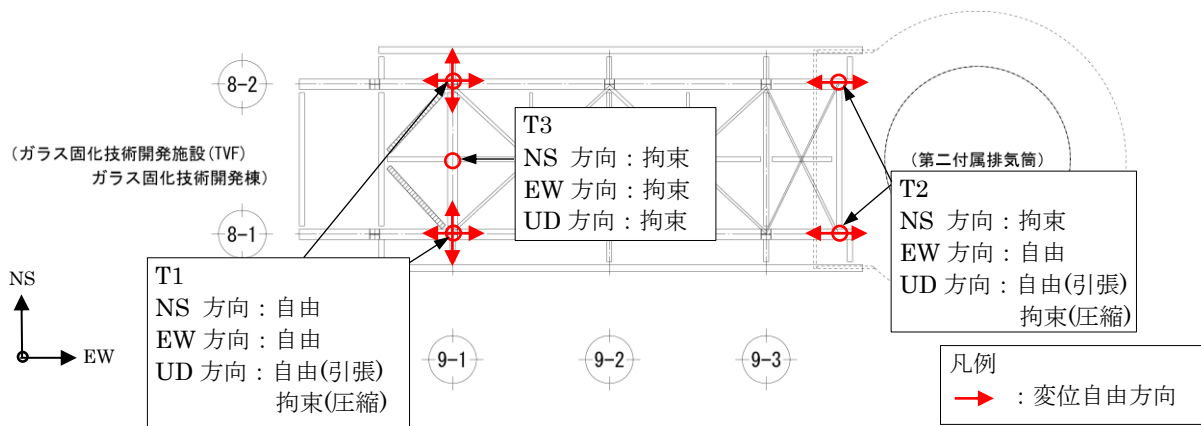
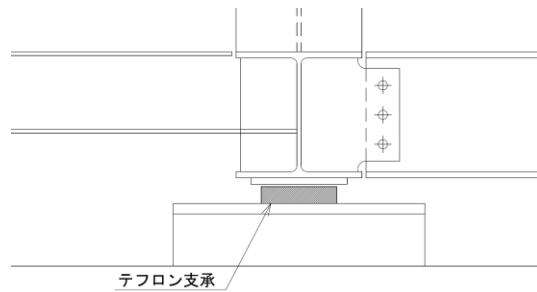
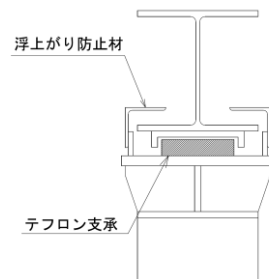


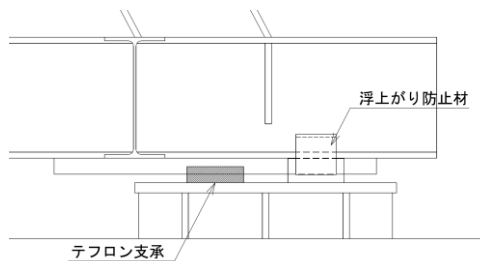
図 2-4 T1, T2 及び T3 の変位拘束条件



(a) T1 断面図 (NS・EW 共通)



(b) T2 断面図 (NS)



(c) T2 断面図 (EW)

図 2-5 テフロン支承 (T1, T2) の詳細図

2.3 評価方針

排気ダクト接続架台の上位クラス施設に対する波及影響評価は、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、排気ダクト接続架台の形状、構造特性等を考慮した三次元フレームモデルにより行い、算出した応力及び変位が評価基準値を超えないことを確認する。

排気ダクト接続架台の評価フローを図 2-6 に示す。

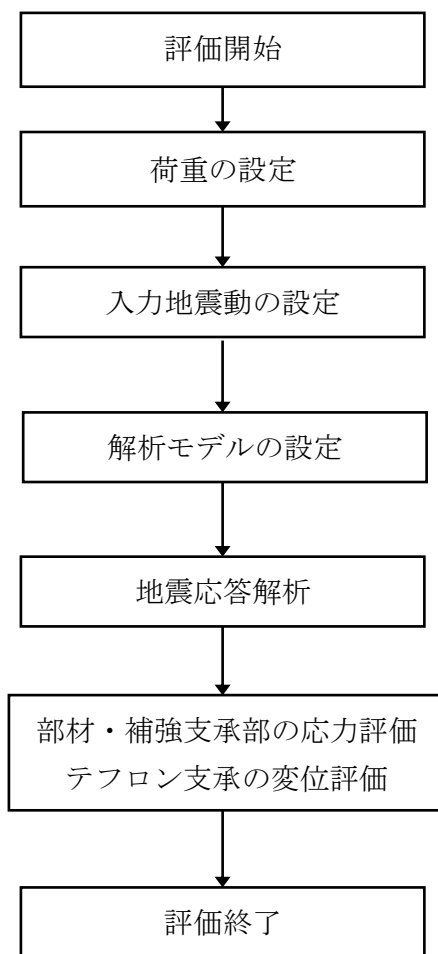


図 2-6 排気ダクト接続架台の評価フロー

2.4 準拠規格・基準

排気ダクト接続架台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）
- ・ 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（日本建築学会）
- ・ 鋼構造塑性設計指針（日本建築学会）
- ・ 鋼構造接合部設計指針（日本建築学会）
- ・ あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針（国土交通省）
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書
（建築行政情報センター・日本建築防災協会）
- ・ 2017年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説
（日本建築防災協会）

2.5 使用材料

2.5.1 使用材料

地震応答解析に用いる既設の使用材料は、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材料を用いる。

鋼材の材料定数を表 2-2 に、ステンレスの材料定数を表 2-3 に示す。

表 2-2 鋼材の材料定数

対象	種類	基準強度 F (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
既設鉄骨	SS41	235	2.05×10 ⁵
補強部材	SS400, SN400B, STK400	235	2.05×10 ⁵
補強部材 (高力ボルト)	F8T	640	2.05×10 ⁵
補強部材 (鉄筋)	SD345	345	2.05×10 ⁵

表 2-3 ステンレスの材料定数（既設）

対象	種類	基準強度 F (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
ステンレス鋼棒	SUS304	205	1.93×10 ⁵

2.5.2 許容応力度及び材料強度

①鉄筋

鉄筋の許容応力度及び材料強度を表 2-4 に示す。

表 2-4 鉄筋の許容応力度及び材料強度（新設）

	SD345	
	引張 圧縮	せん断
長期許容応力度 (N/mm ²)	215	195
短期許容応力度 (N/mm ²)	345	345
材料強度 (N/mm ²)	345	345

②鋼材

鋼材の許容応力度及び材料強度を表 2-5、表 2-6 に示す。
終局耐力での評価のため、材料強度は 1.1 倍とする。

表 2-5 鋼材の許容応力度及び材料強度（新設）

	SS400, SN400B, STK400, F8T	
	引張 曲げ* 圧縮*	せん断
長期許容応力度 (N/mm ²)	F/1.5	F/(1.5√3)
短期許容応力度 (N/mm ²)	F	F/√3
材料強度 (N/mm ²)	F	F/√3

※ 圧縮及び曲げの許容応力度及び材料強度は上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 2-6 鋼材の許容応力度及び材料強度（既設）

	SS41	
	引張 曲げ* 圧縮*	せん断
長期許容応力度 (N/mm ²)	F/1.5	F/(1.5√3)
短期許容応力度 (N/mm ²)	F	F/√3
材料強度 (N/mm ²)	F	F/√3

※ 圧縮及び曲げの許容応力度及び材料強度は上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

2.6 固定荷重・積載荷重

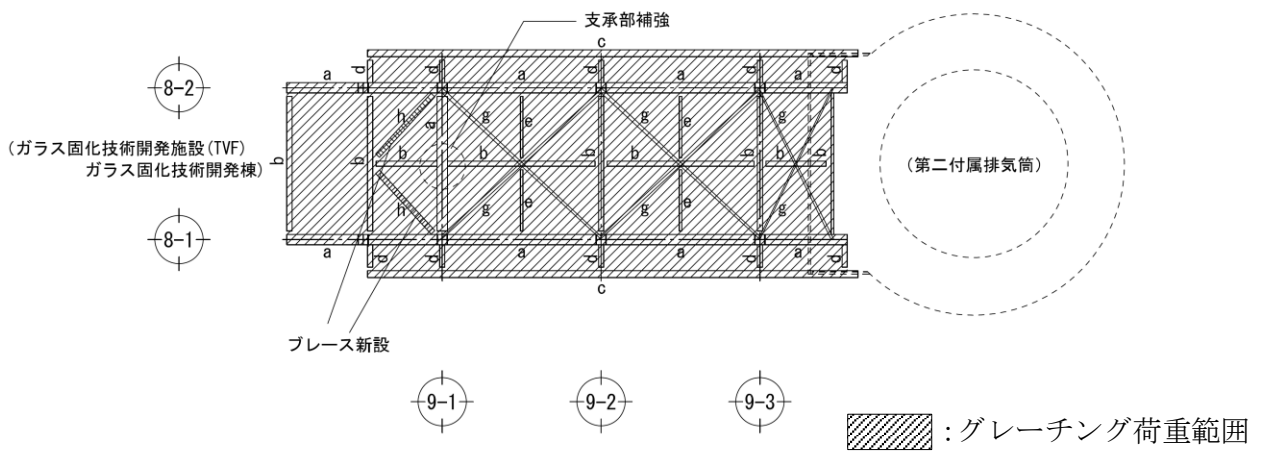
固定荷重・積載荷重を表 2-7 に、荷重入力位置を図 2-7 に示す。

図 2-7 は、グレーチングの設置による重量を考慮する範囲と、ダクト及びフレキシブル管を支持している 9-1 通り、9-2 通り、9-3 通りの重量を考慮する位置を示している。

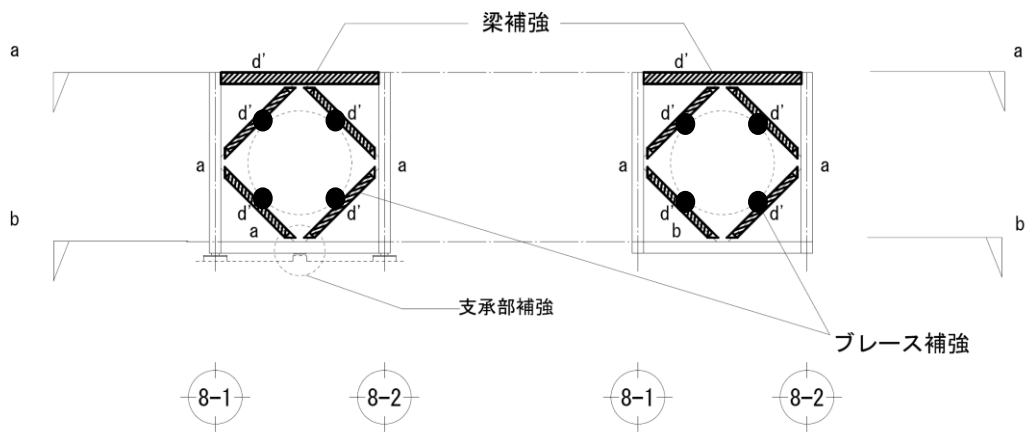
表 2-7 固定荷重・積載荷重

項目		重量	
鉄骨		77.0 kN/m ³	
グレーチング		600 N/m ²	
9-1 通り	ダクト (φ 2,700, t=4 mm)	13.208 kN	40.535 kN (10.134 kN)
	ダクト (φ 2,000, t=4 mm)	12.617 kN	
	フレキシブル管 (φ 2,000)	14.710 kN	
9-2 通り	ダクト (φ 2,700, t=4 mm)	13.353 kN	13.353 kN (3.338 kN)
9-3 通り	ダクト (φ 2,700, t=4 mm)	11.321 kN	21.127 kN (5.282 kN)
	フレキシブル管 (φ 2,700)	9.807 kN	

注：() は、1 か所当たりの重量 (計 4 か所)



(a) 平面図



(b) 9-1 通り断面図

(c) 9-2, 9-3 通り断面図

● : ダクト, フレキシブル管の荷重入力位置

図 2-7 荷重入力位置

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、添付資料 6-1-2-5-4「第二付属排気筒の地震応答計算書」及び添付資料 6-1-2-5-2「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」の地震応答解析結果を用い、排気ダクト接続架台の解析を行う。

廃止措置計画用設計地震動 S_s-D 、 S_s-1 及び S_s-2 について、第二付属排気筒 (質点 14) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 (質点 2) の該当する質点位置の加速度応答波形を、変位応答波形に変換して排気ダクト接続架台の各々の支点に入力する。入力地震動算定の概要を図 3-1 に示す。

廃止措置計画用設計地震動 S_s-D 、 S_s-1 及び S_s-2 の第二付属排気筒及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟における、加速度時刻歴波形を図 3-2 から図 3-5 に、変位時刻歴波形を図 3-6 から図 3-9 に示す。

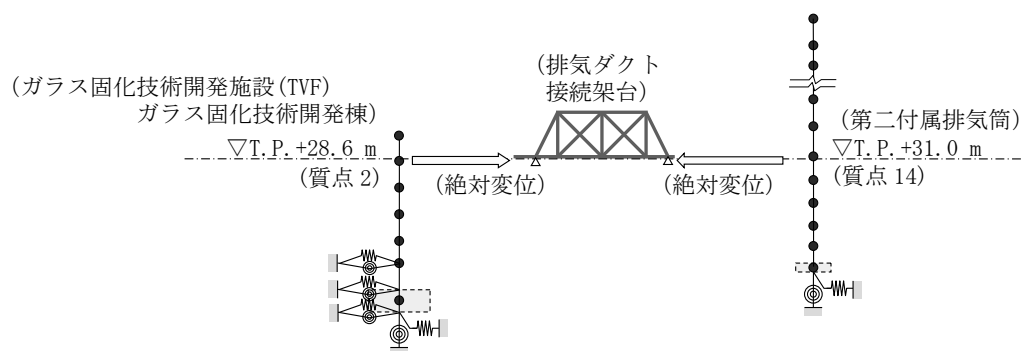


図 3-1 入力地震動算定の概要 (水平方向)

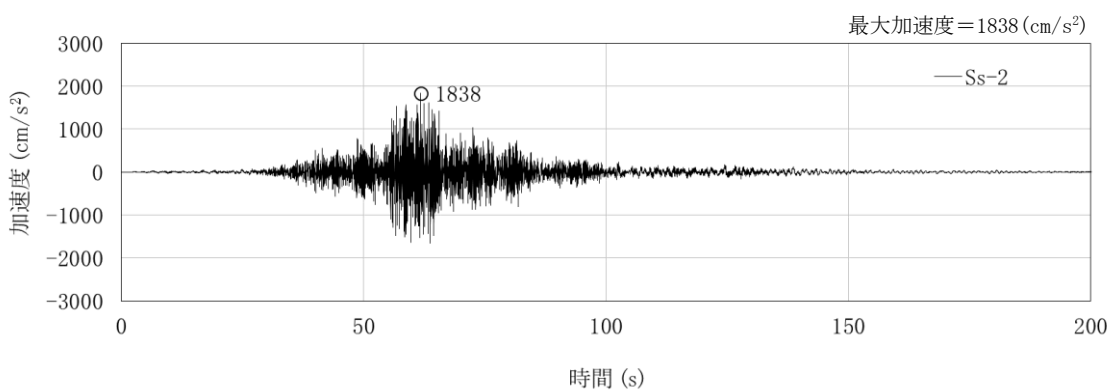
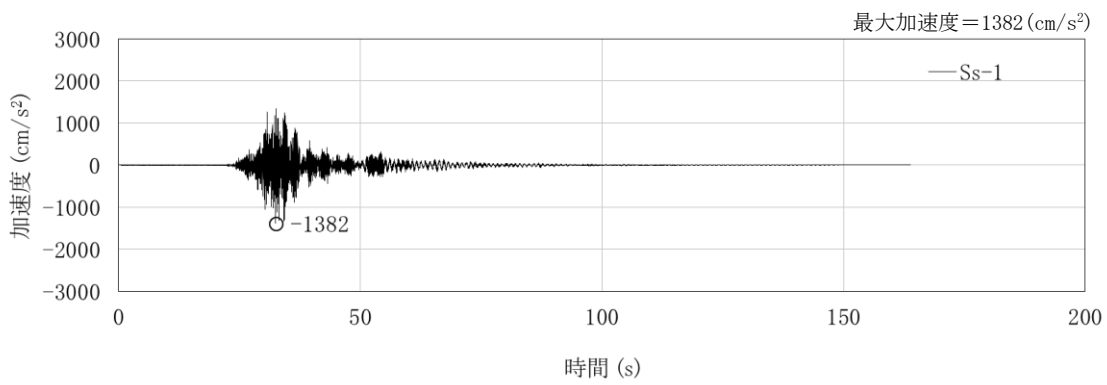
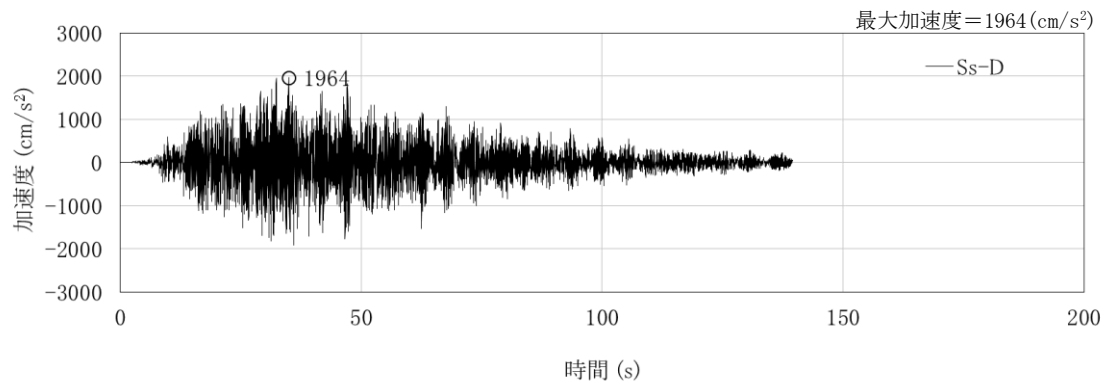


図 3-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (NS 方向, 第二付属排気筒・質点 14)

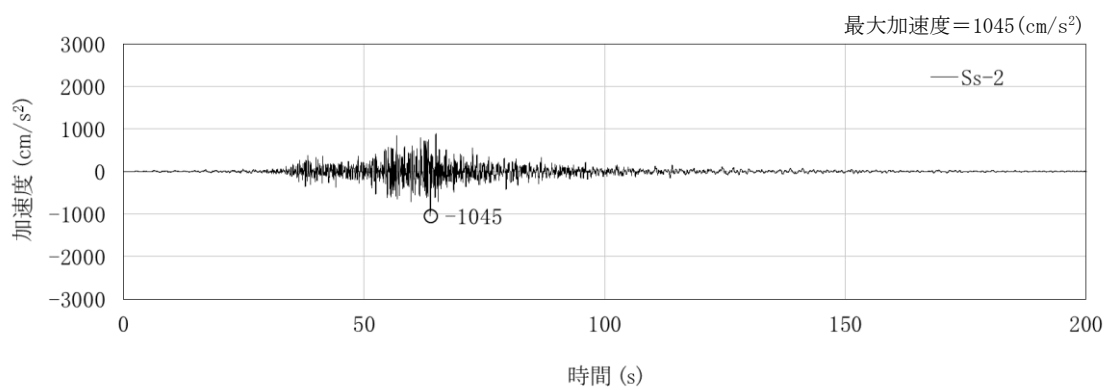
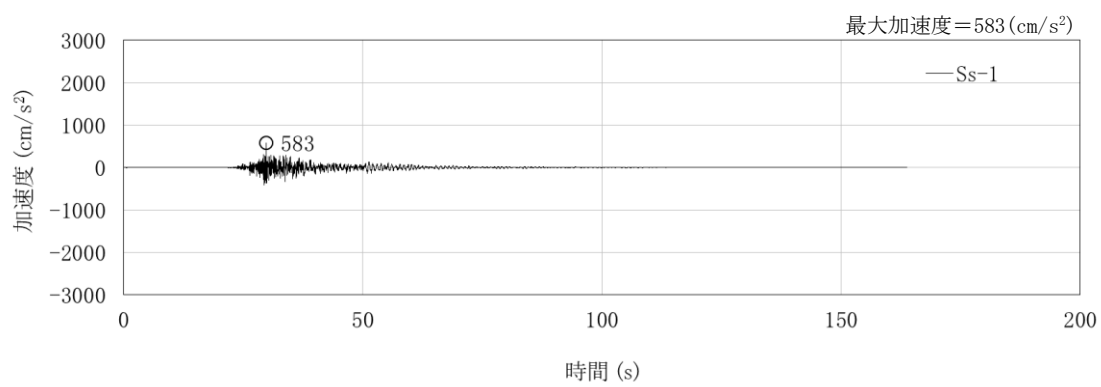
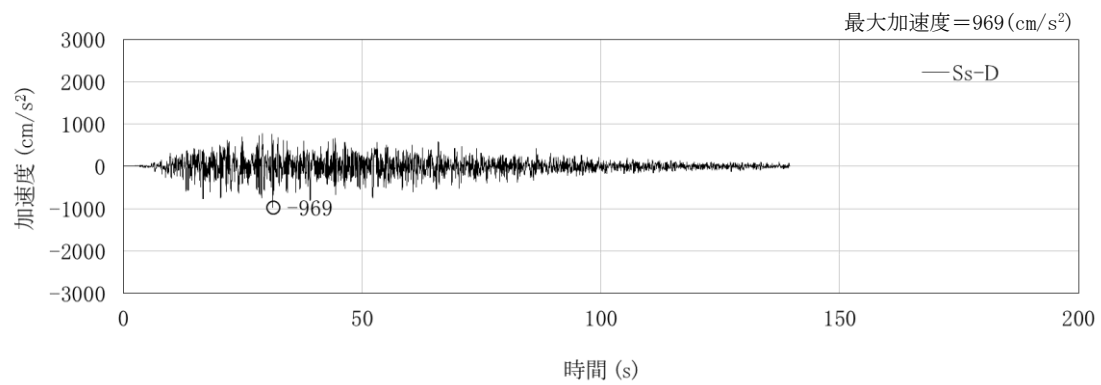


図 3-3 入力地震動の加速度時刻歴波形
(NS 方向, ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟・質点 2)

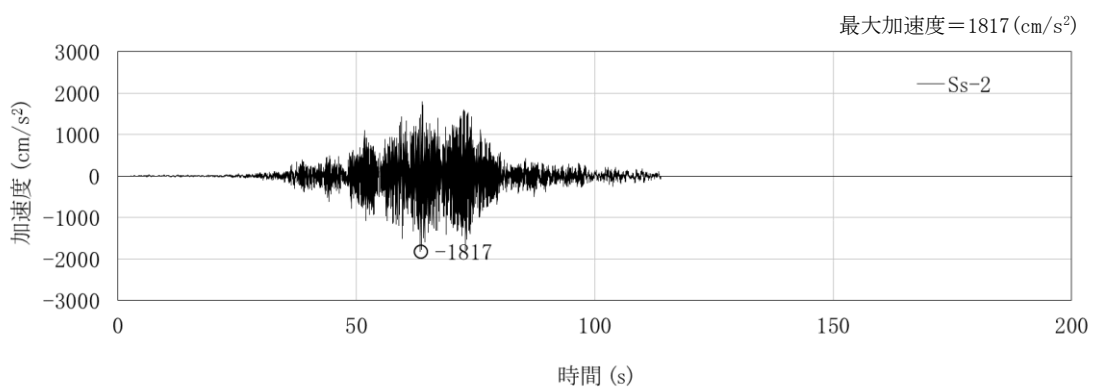
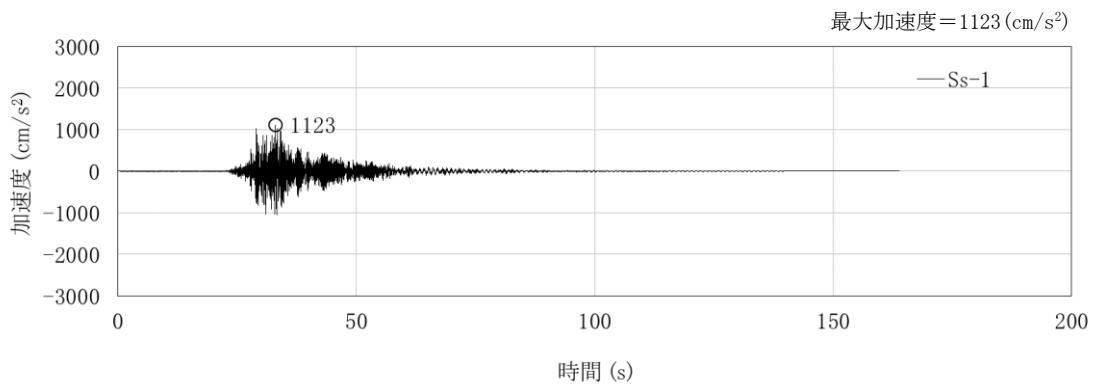
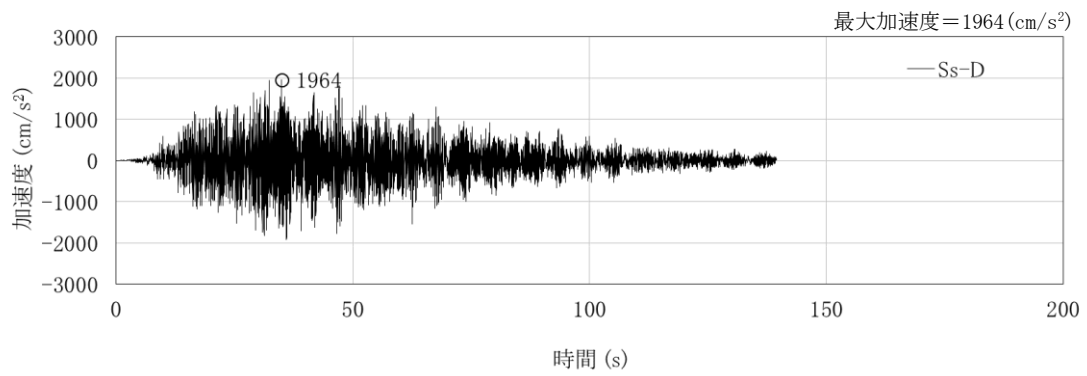


図 3-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW 方向, 第二付属排気筒・質点 14)

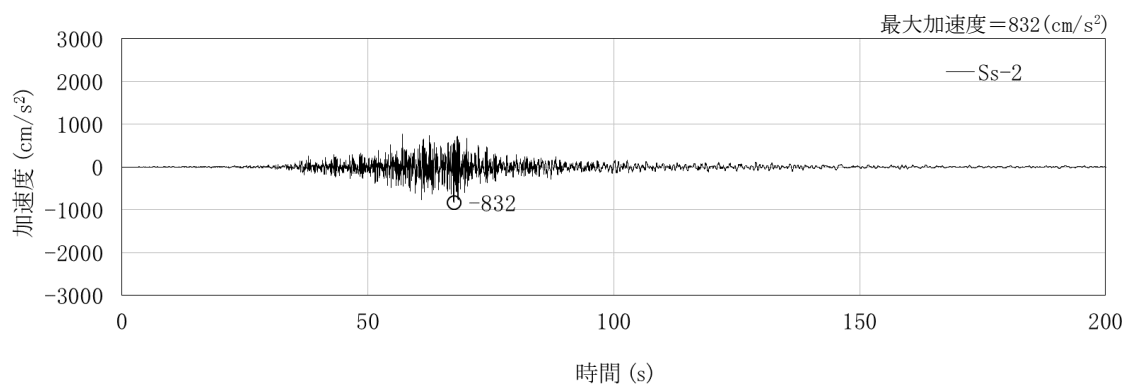
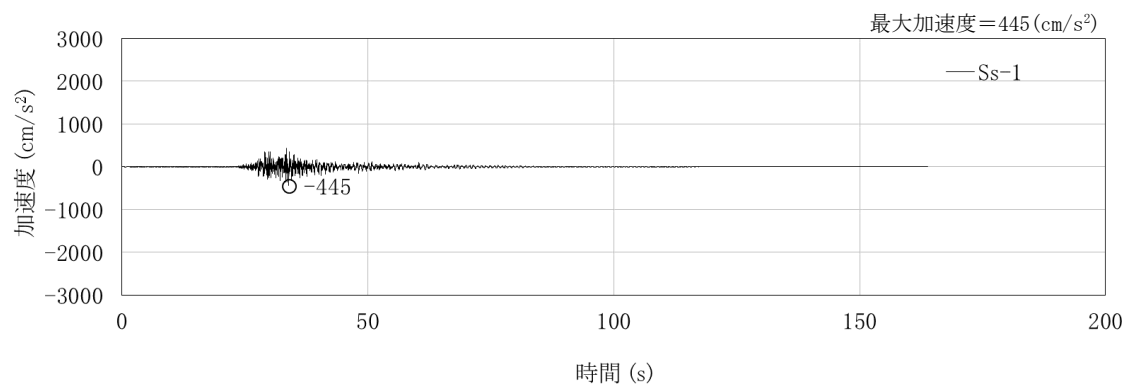
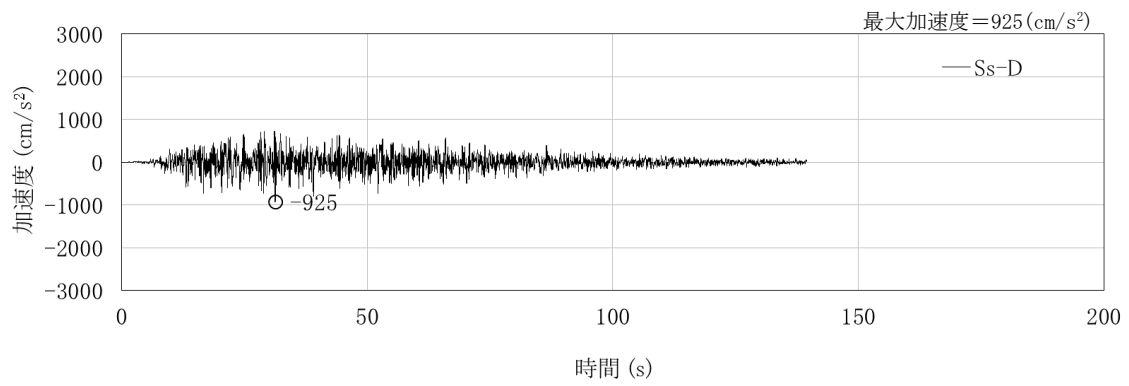


図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形
(EW 方向, ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟・質点 2)

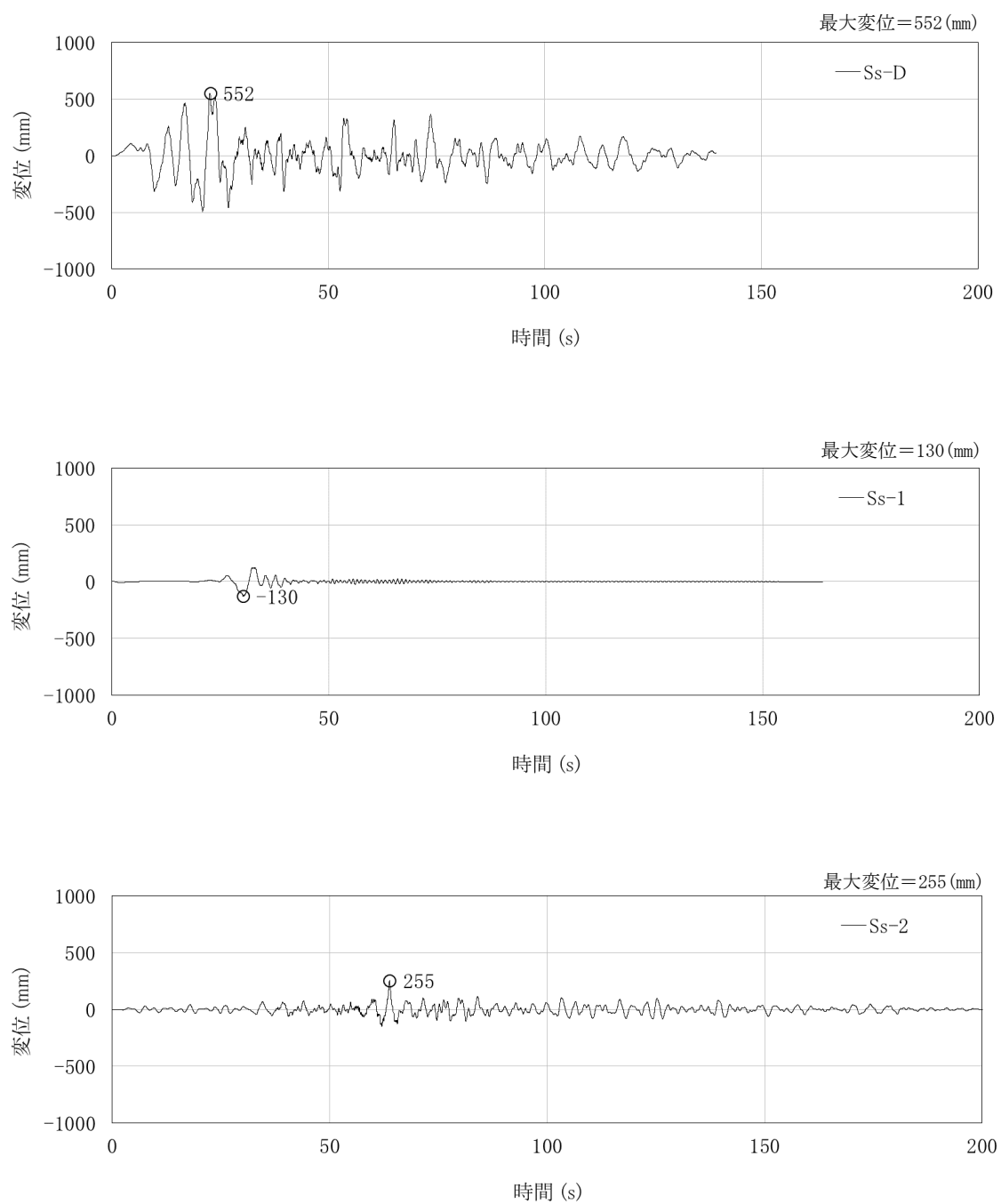


図 3-6 入力地震動の変位時刻歴波形 (NS 方向, 第二付属排気筒・質点 14)

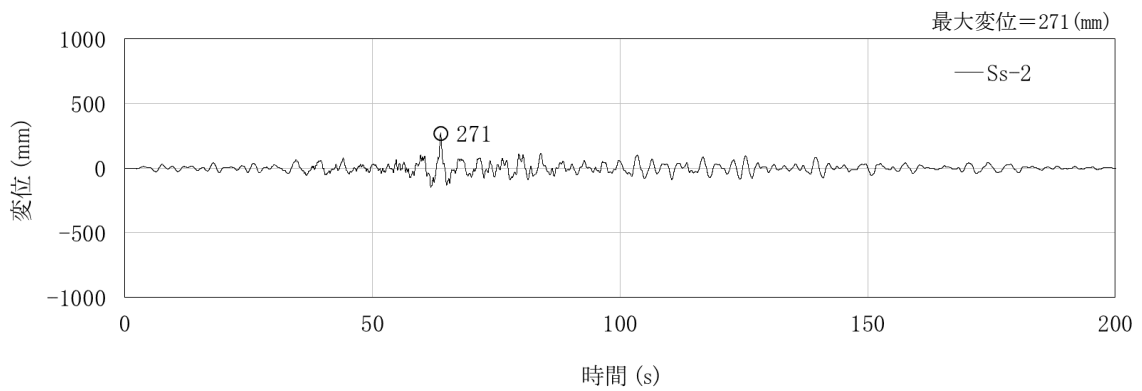
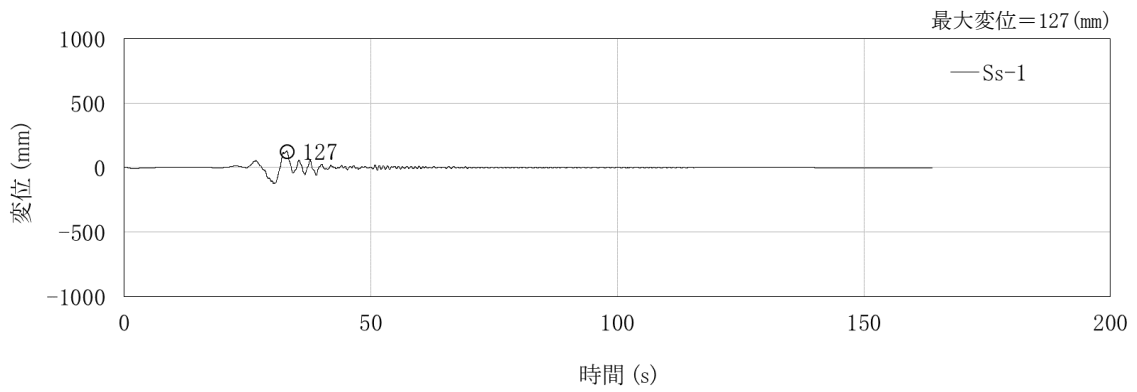
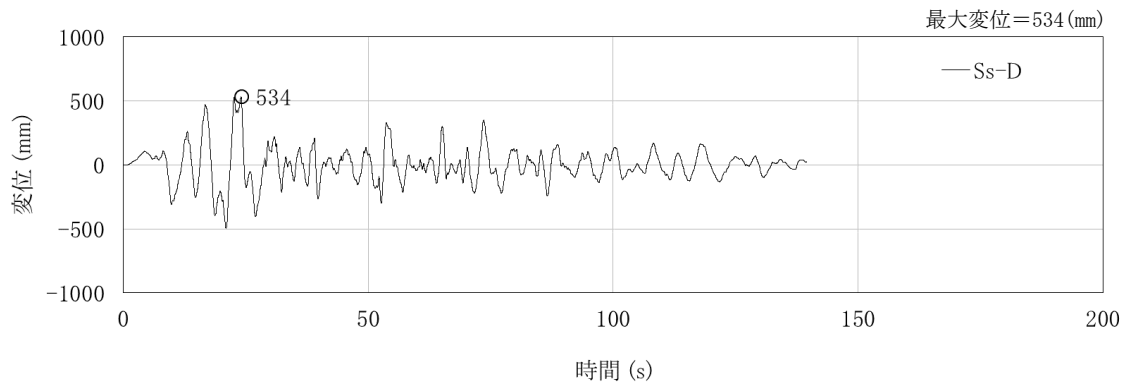


図 3-7 入力地震動の変位時刻歴波形
(NS 方向, ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟・質点 2)

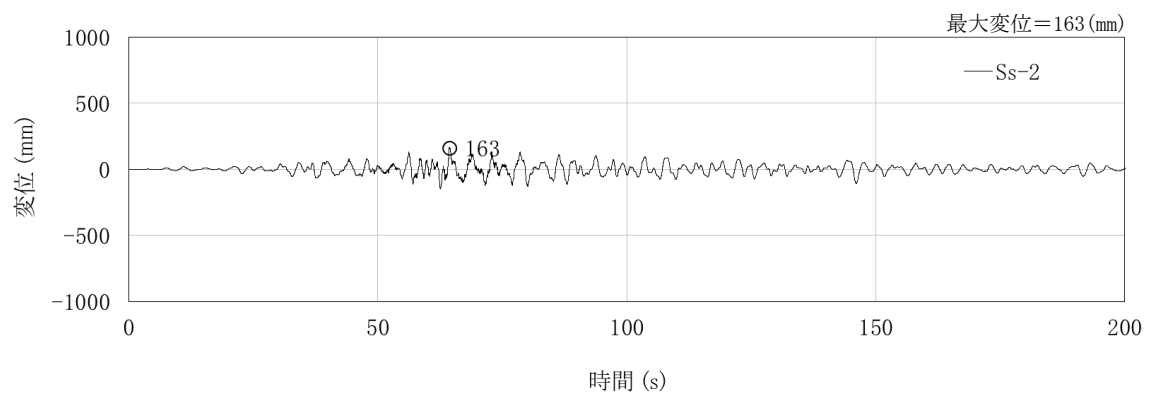
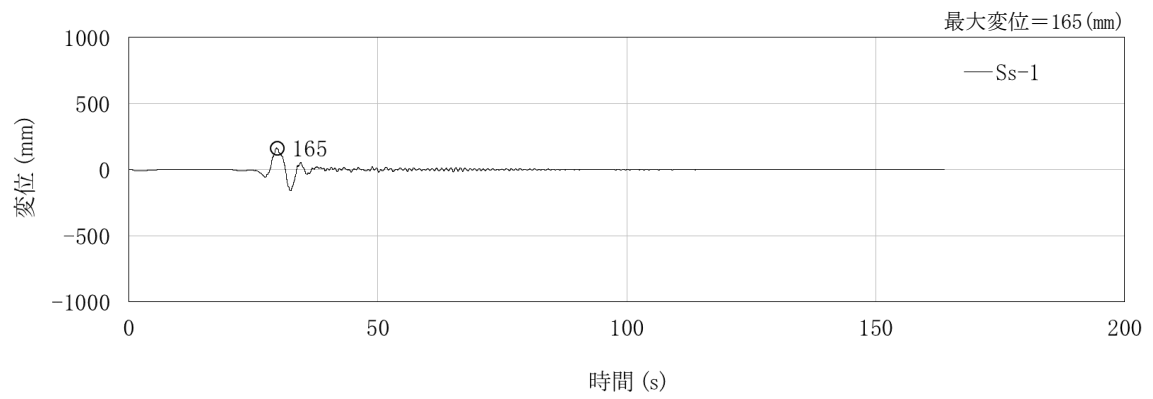
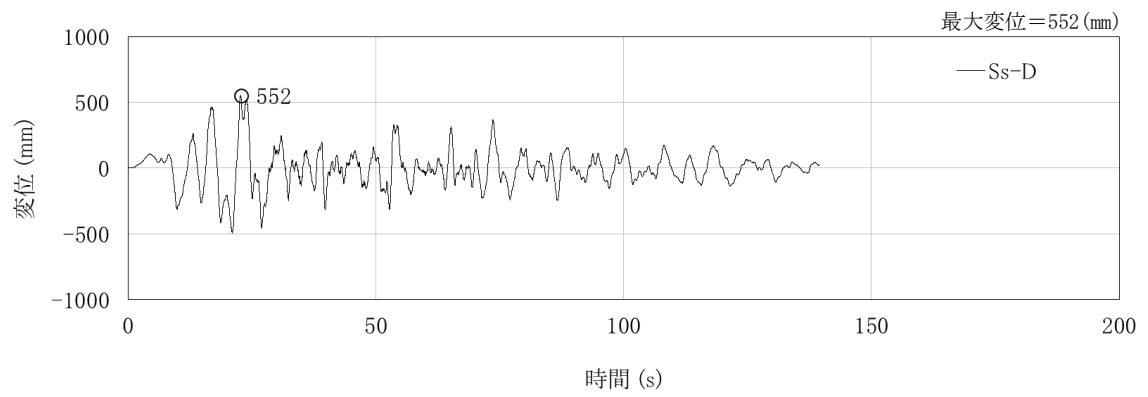


図 3-8 入力地震動の変位時刻歴波形 (EW 方向, 第二付属排気筒・質点 14)

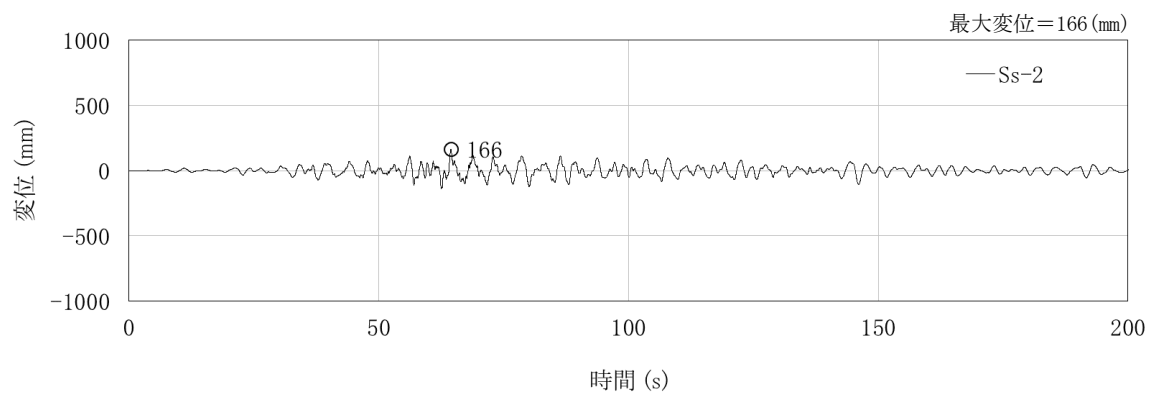
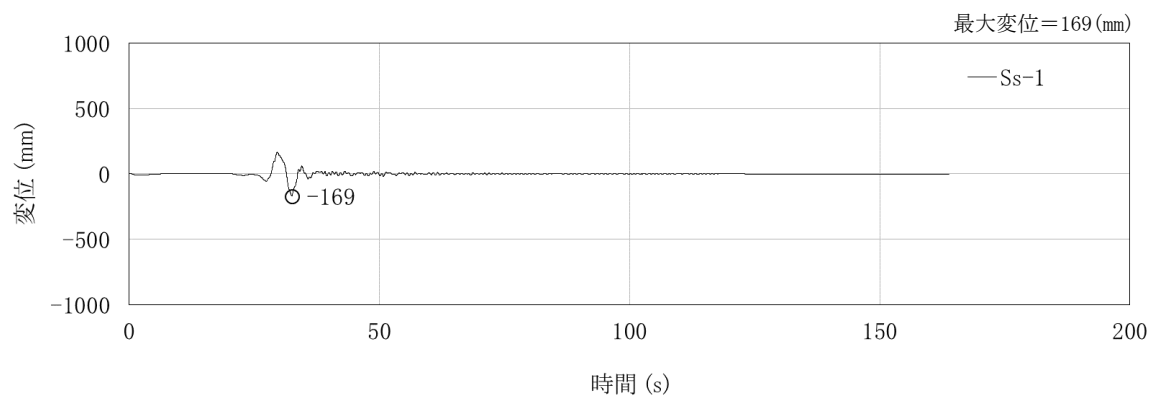
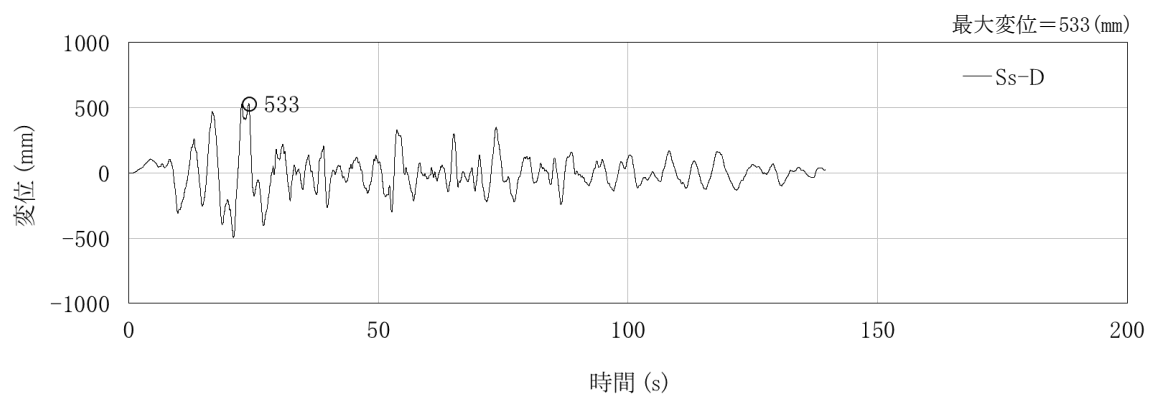


図 3-9 入力地震動の変位時刻歴波形
(EW 方向, ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟・質点 2)

3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、添付資料 6-1-2-5-4「第二付属排気筒の地震応答計算書」及び添付資料 6-1-2-5-2「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」の地震応答解析結果を用い、排気ダクト接続架台の解析を行う。

廃止措置計画用設計地震動 S_s-D 、 S_s-1 及び S_s-2 について、第二付属排気筒(質点 14)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟(質点 2)の該当する質点位置の加速度応答波形を、変位応答波形に変換して排気ダクト接続架台の各々の支点に入力する。入力地震動算定の概要を図 3-10 に示す。

廃止措置計画用設計地震動 S_s-D 、 S_s-1 及び S_s-2 の第二付属排気筒及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟における加速度時刻歴波形を図 3-11 及び図 3-12 に、変位時刻歴波形を図 3-13 及び図 3-14 に示す。

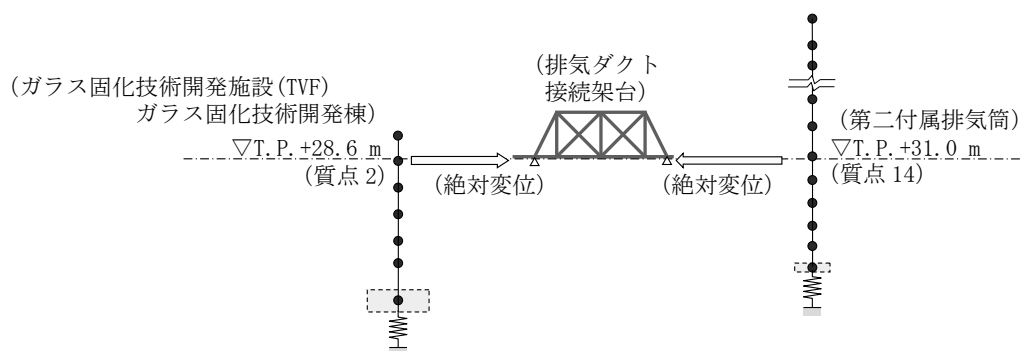


図 3-10 入力地震動算定の概要 (鉛直方向)

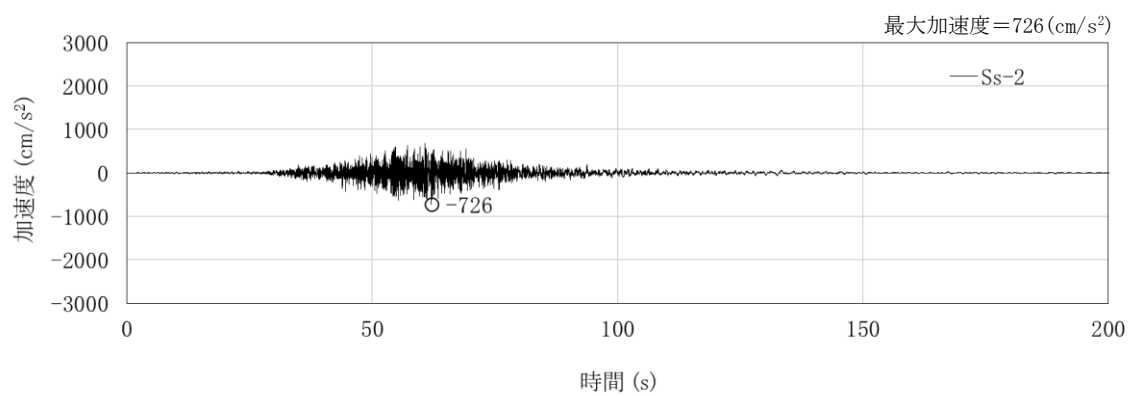
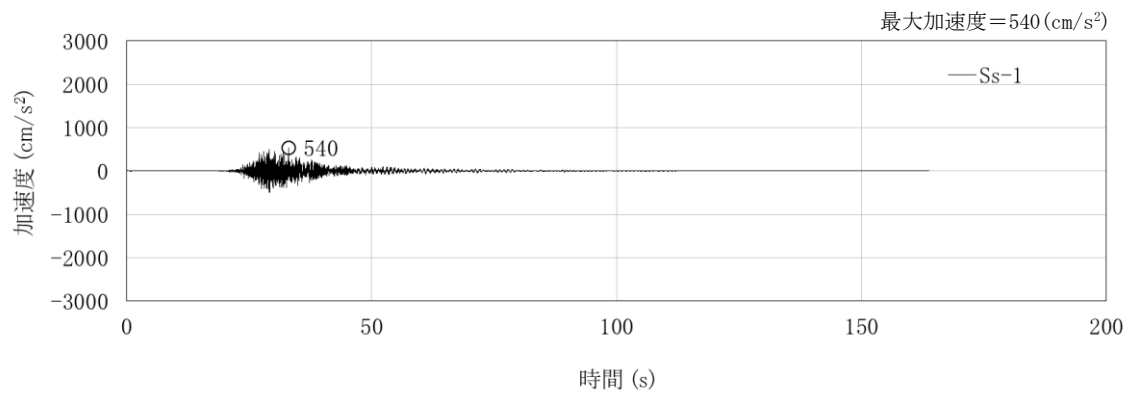
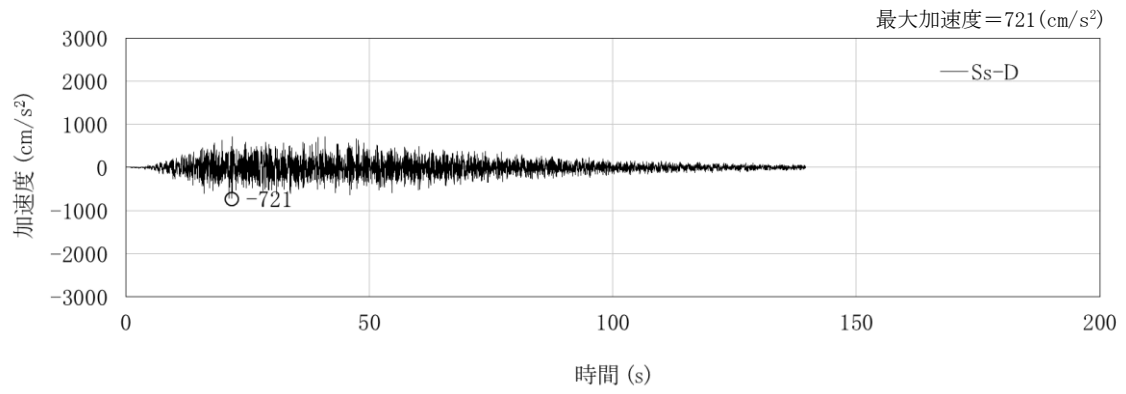


図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形（鉛直方向，第二付属排気筒・質点 14）

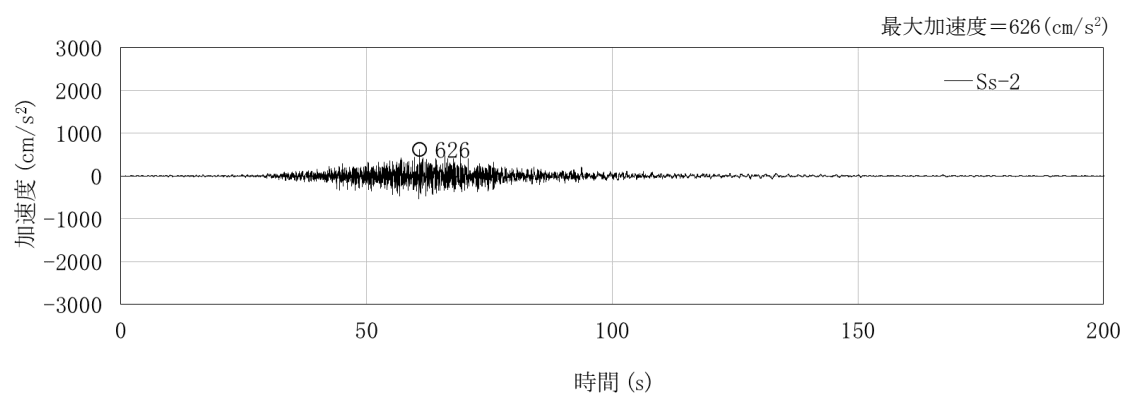
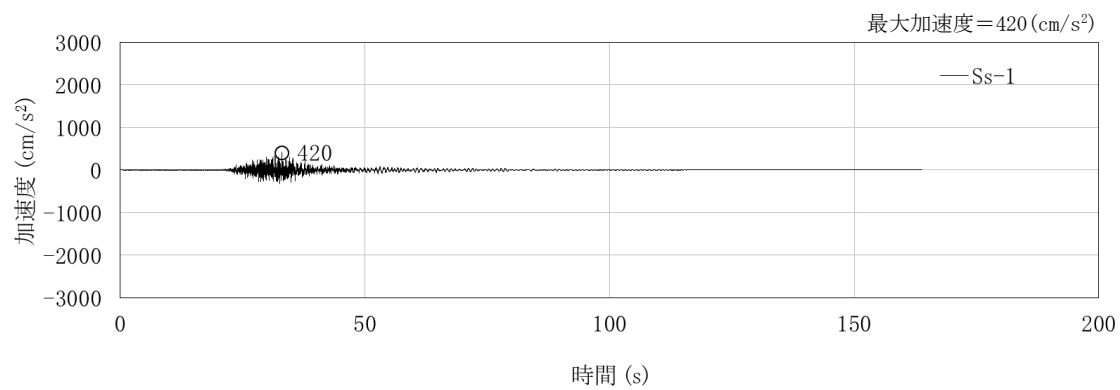
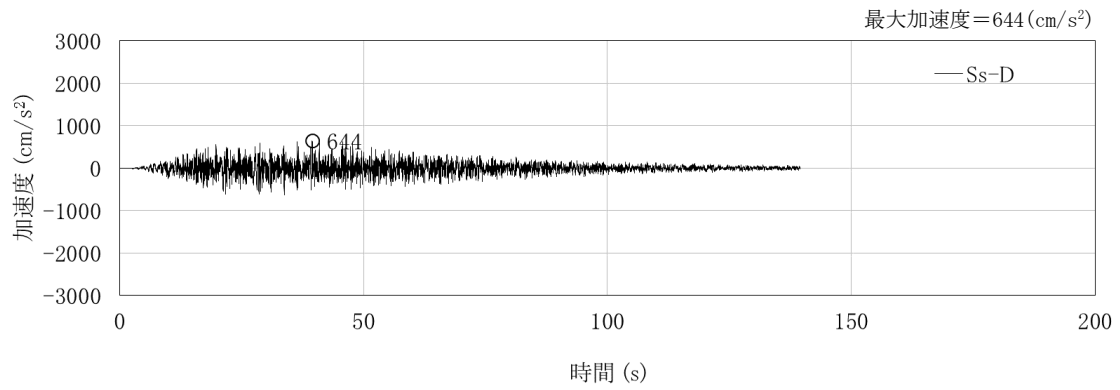


図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形
(鉛直方向, ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟・質点 2)

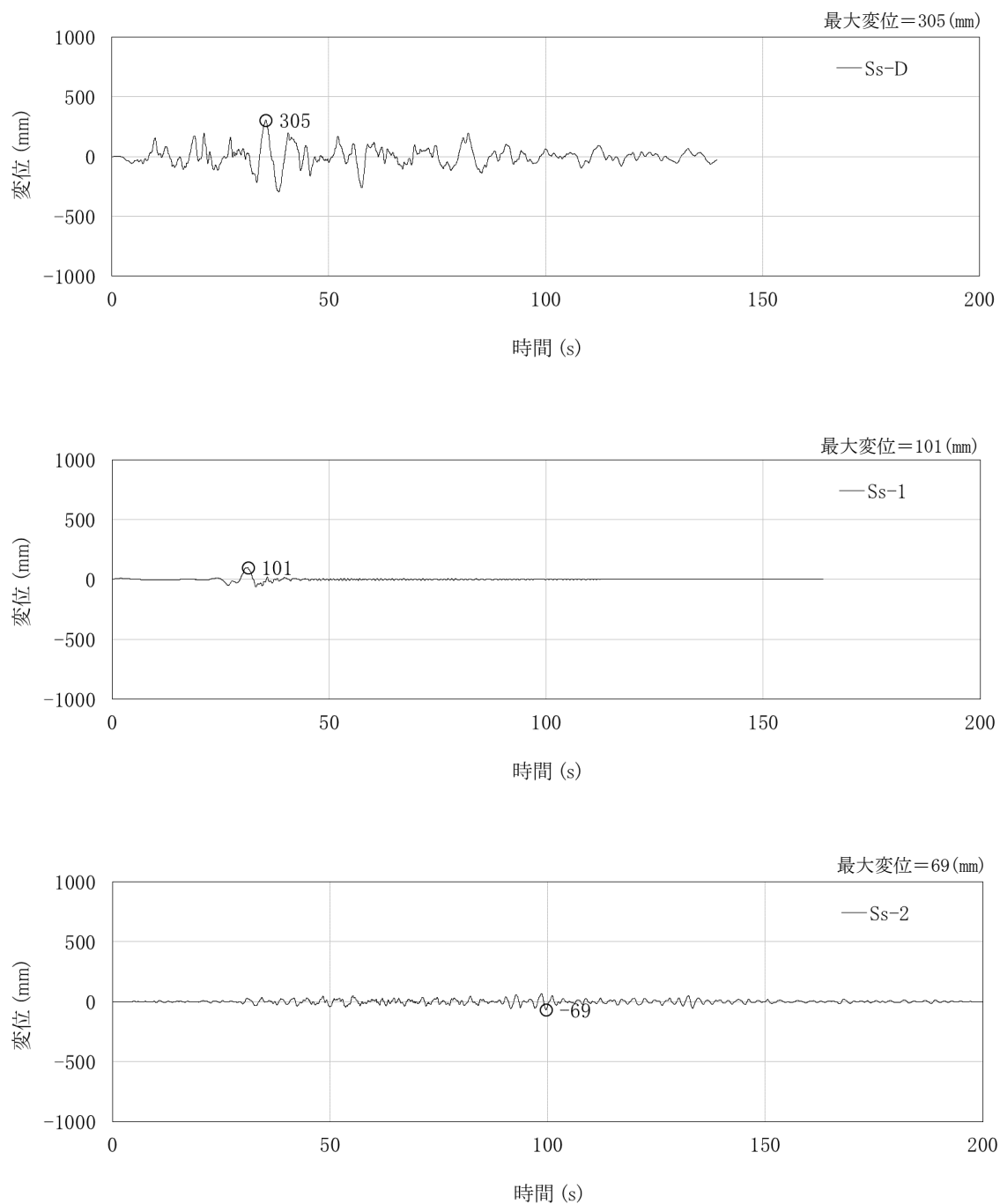


図 3-13 入力地震動の変位時刻歴波形（鉛直方向，第二付属排気筒・質点 14）

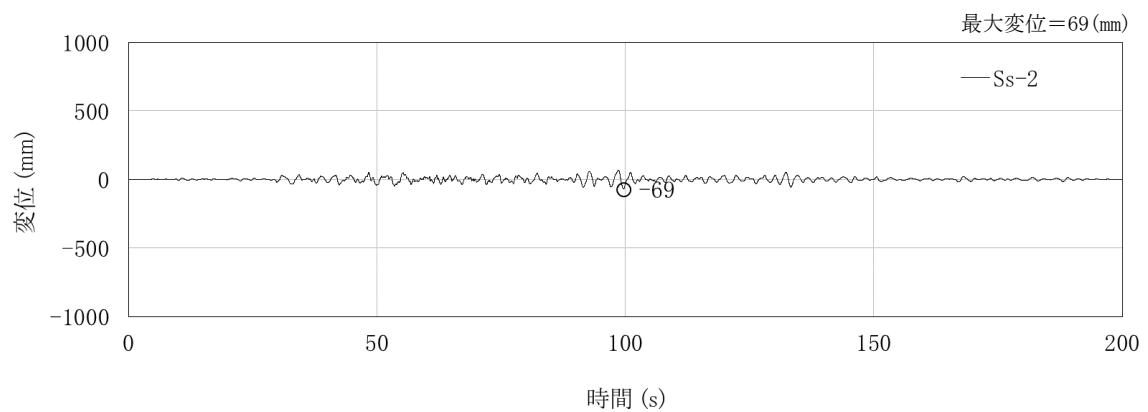
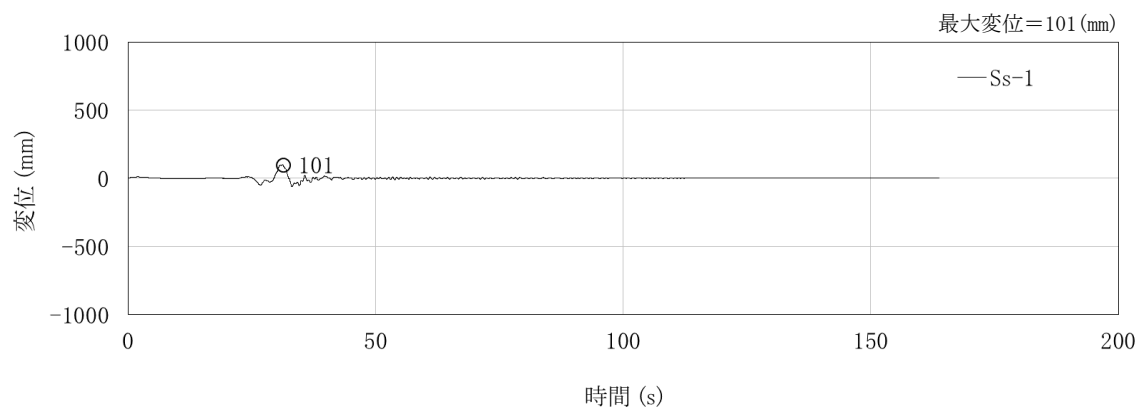
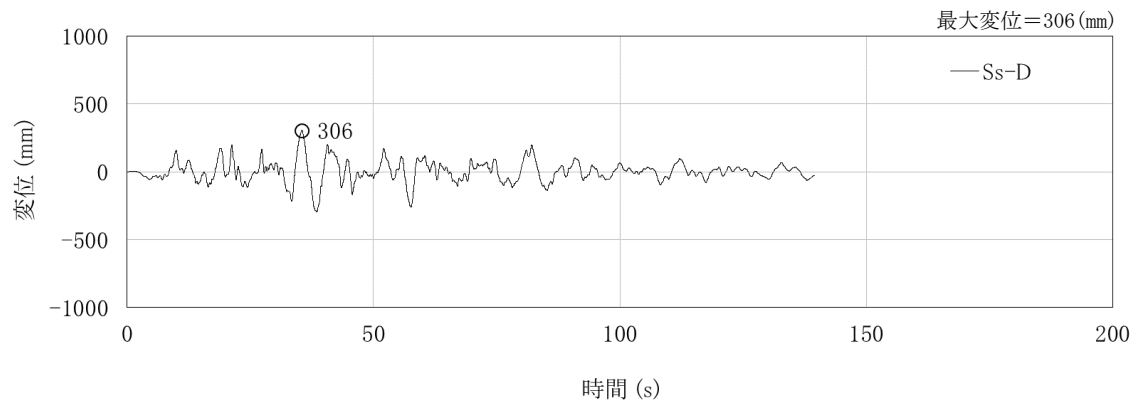


図 3-14 入力地震動の変位時刻歴波形
(鉛直方向, ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟・質点 2)

4. 解析モデル

解析モデルは、排気ダクト接続架台をモデル化した立体フレームモデルとし、地震動は水平・鉛直方向を同時入力する。解析モデルを図 4-1 に、T1、T2 及び T3 の NS 方向、EW 方向及び UD 方向の変位拘束条件を図 4-2 に示す。各部材の非線形特性は、「鋼構造塑性設計指針」に準じて設定し、接合部の耐力を考慮する。

テフロン支承、ステンレス鋼棒及び補強鋼管は、ばね要素でモデル化する。テフロン支承、ステンレス鋼棒及び補強鋼管のモデル化と非線形特性を図 4-3 から図 4-5 に、各諸元を表 4-1 から表 4-3 に示す。

排気ダクトは、排気ダクト接続架台と比較して十分に剛性が小さいため、重量のみを考慮する。排気ダクト接続架台の減衰はレーリー減衰とし、減衰定数は2%とする。

応力算出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)」を用いる。

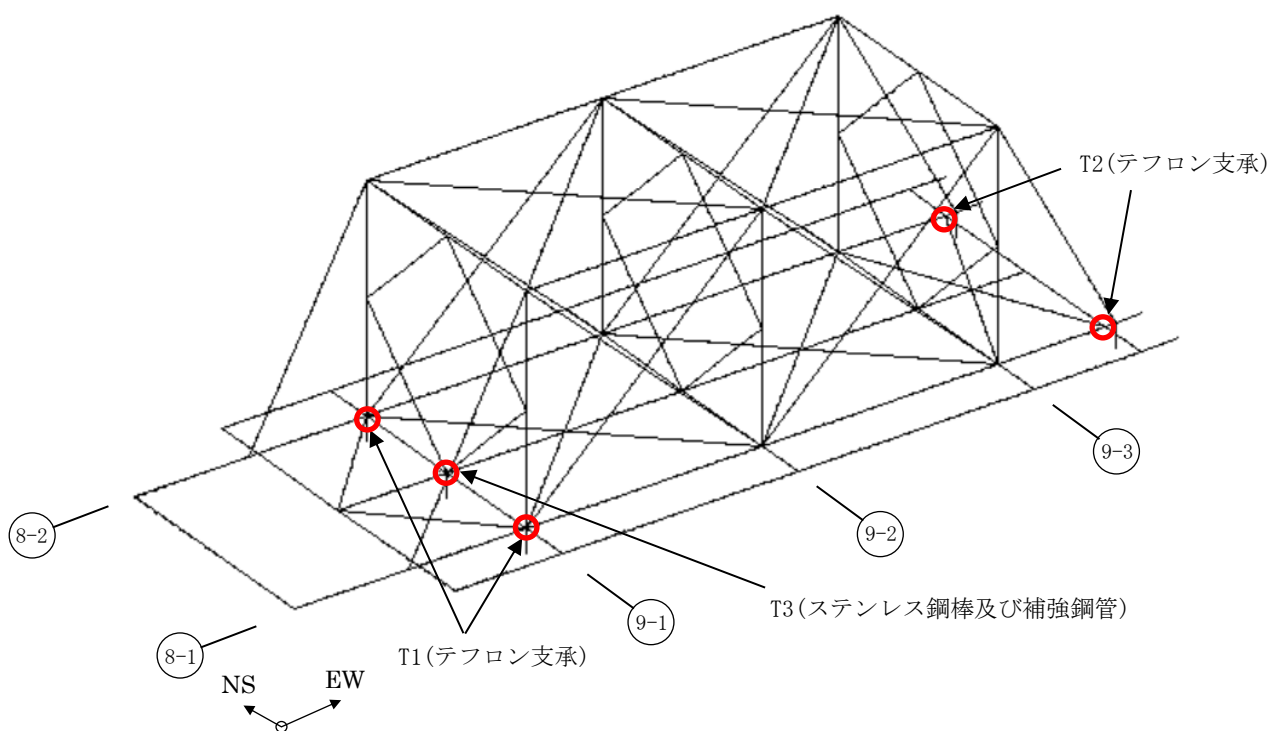


図 4-1 解析モデル

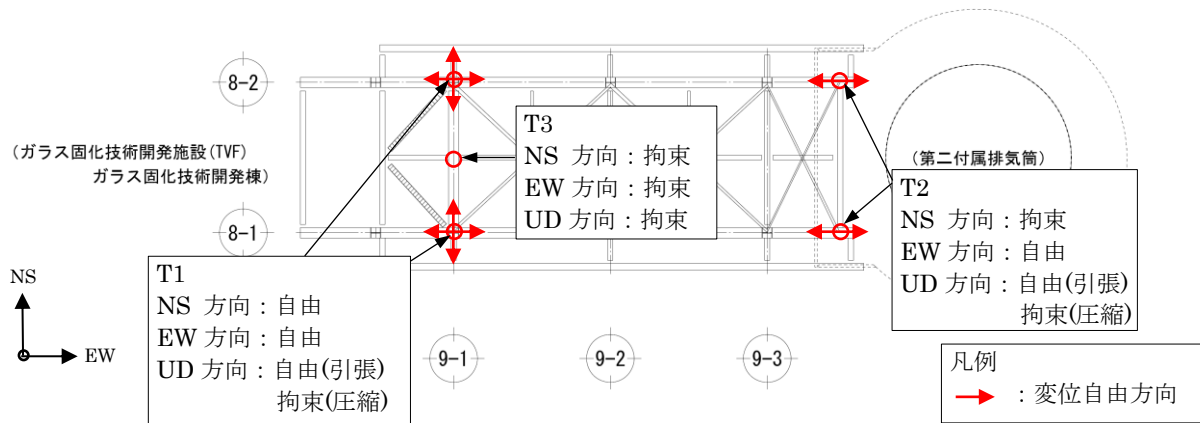
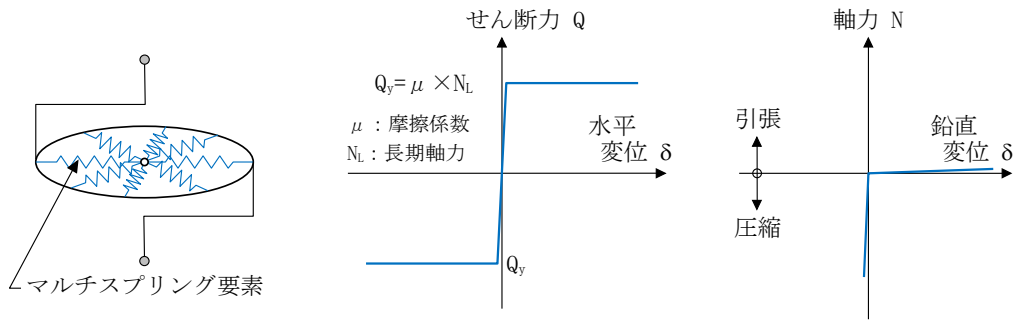
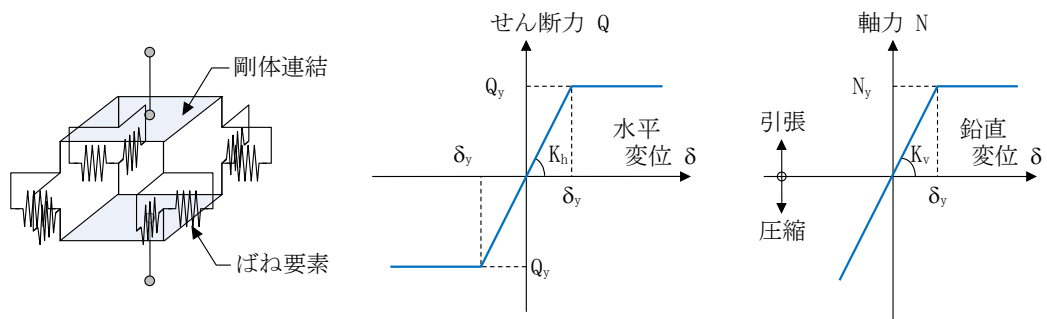


図 4-2 T1, T2 及び T3 の変位拘束条件



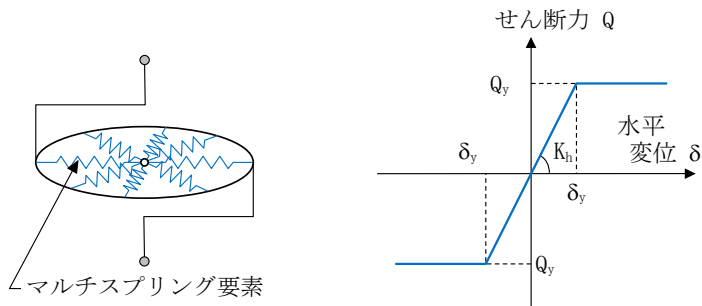
(a) 水平方向のモデル化 (b) 非線形特性 (水平方向) (c) 非線形特性 (鉛直方向)

図 4-3 テフロン支承のモデル化と非線形特性 (T1, T2)



(a) 水平方向のモデル化 (b) 非線形特性 (水平方向) (c) 非線形特性 (鉛直方向)

図 4-4 ステンレス鋼棒のモデル化と非線形特性 (T3)



(a) 水平方向のモデル化 (b) 非線形特性 (水平方向)

図 4-5 補強鋼管のモデル化と非線形特性 (T3)

表 4-1 テフロン支承の水平諸元(長期軸力, 降伏荷重)

部材	方向	記号	長期軸力 N_L (kN)	降伏荷重 Q_y (kN)	備考
テフロン支承	水平	T1	96.3	9.6	NS, EW 方向の拘束なし
		T2	54.9	5.5	NS 方向のみ拘束

※摩擦係数 $\mu = 0.1$

表 4-2 ステンレス鋼棒及び補強鋼管の水平諸元(ばね定数, 降伏荷重)

部材	方向	記号	ばね定数 K_h (kN/m)	降伏荷重 Q_y (kN)	備考
ステンレス鋼棒	水平	T3	4.8760×10^5	149.1	1本あたり
補強鋼管			3.9095×10^6	1160.0	

表 4-3 ステンレス鋼棒及び補強鋼管の鉛直諸元(ばね定数, 降伏荷重)

部材	方向	記号	ばね定数 K_v (kN/m)	降伏荷重 N_y (kN)	備考
ステンレス鋼棒	鉛直	T3	1.0696×10^6	937.3	4本の合計
補強鋼管			-	-	鉛直は考慮しない。

5. 解析結果

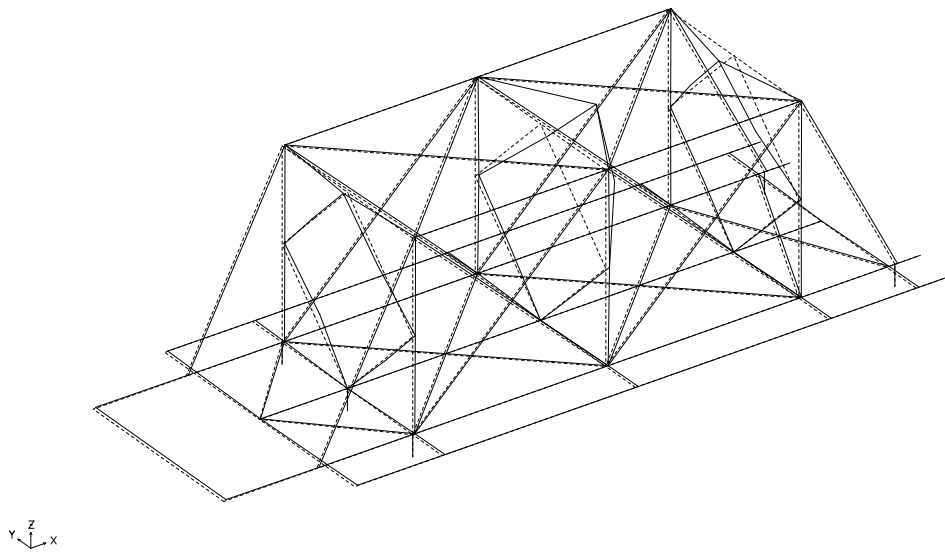
5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を表 5-1 に、刺激関数図を図 5-1 から図 5-5 に示す。解析モデルは、水平・鉛直方向の二方向について自由度を持つため、両方向同時に刺激関数を描いている。

表 5-1 固有値解析結果

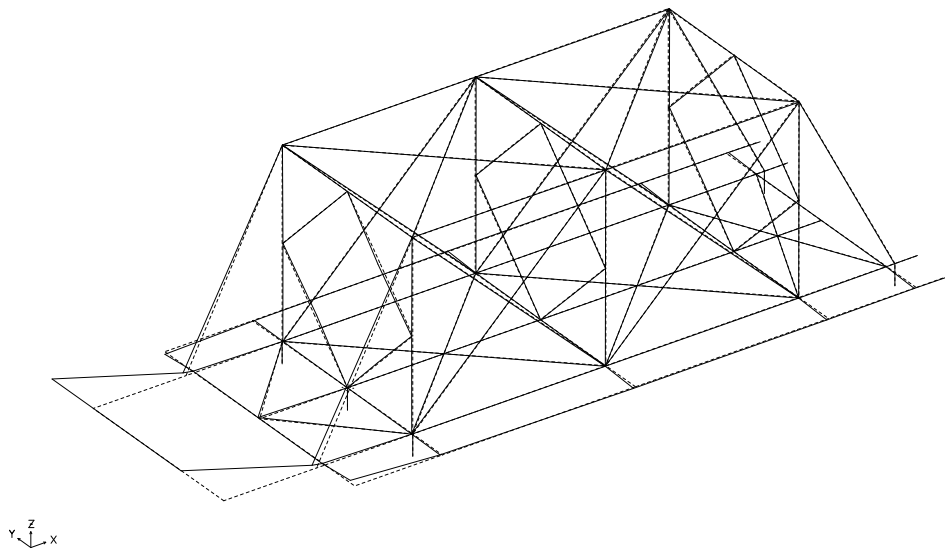
次数	周期 T (s)	振動数 f (Hz)	刺激係数 β			備 考
			NS 方向	EW 方向	UD 方向	
1	0.141	7.115	0.000	2.582	0.023	EW 方向・1 次
2	0.111	9.039	0.000	2.266	0.043	
3	0.096	10.465	0.000	1.818	0.011	
4	0.093	10.719	0.827	0.000	0.000	
5	0.086	11.695	0.438	0.000	0.000	
6	0.085	11.791	0.000	1.949	0.010	
7	0.082	12.220	-0.031	0.000	0.000	
8	0.078	12.770	0.000	0.021	-0.536	
9	0.076	13.079	0.305	0.000	0.000	
10	0.073	13.651	3.955	0.000	0.000	NS 方向・1 次
11	0.070	14.232	0.000	-2.987	0.067	
12	0.069	14.553	0.000	0.029	1.480	
13	0.068	14.667	-0.279	0.000	0.000	
14	0.068	14.810	0.000	-0.092	1.311	
15	0.067	14.932	0.000	-0.014	0.164	

3次モード F= 10.465Hz (Tx) (Ty) (Tz) 構造スケール 0: 1.0(m)
 刺激係数 (X) 1.8183 (Y) 0.0000 (Z) 0.0113 応答スケール 0: 1.0



3次

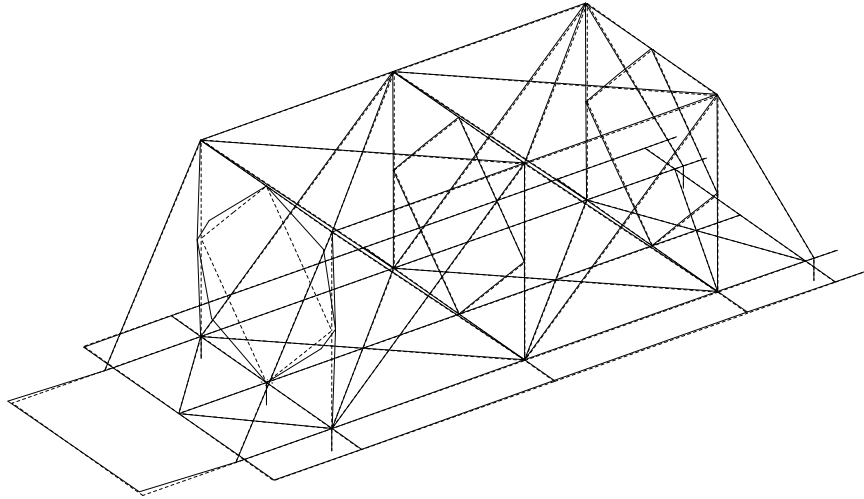
4次モード F= 10.719Hz (Tx) (Ty) (Tz) 構造スケール 0: 1.0(m)
 刺激係数 (X) 0.0000 (Y) 0.8275 (Z) 0.0000 応答スケール 0: 1.0



4次

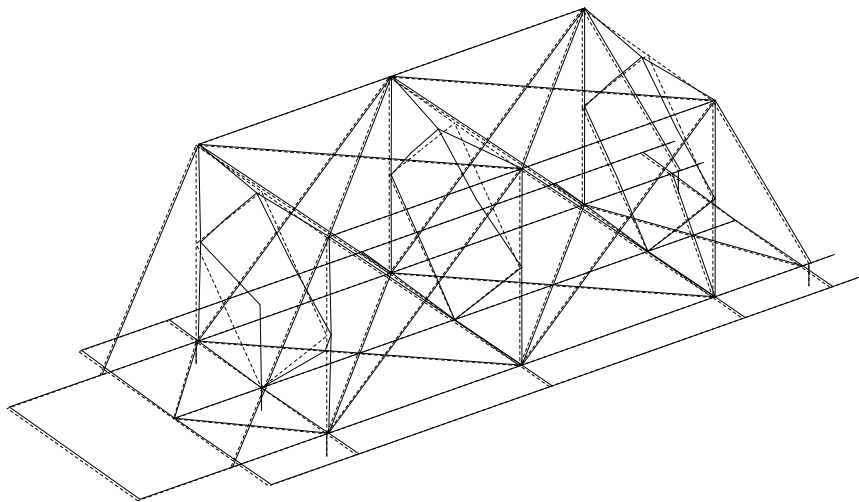
図 5-2 刺激関数図 (3次, 4次)

5次モード F= 11.695Hz (Tx) (Ty) (Tz) 構造スケール 0: 1.0(m)
 刺激係数 (X) 0.0000 (Y) 0.4378 (Z) 0.0000 応答値スケール 0: 1.0



5次

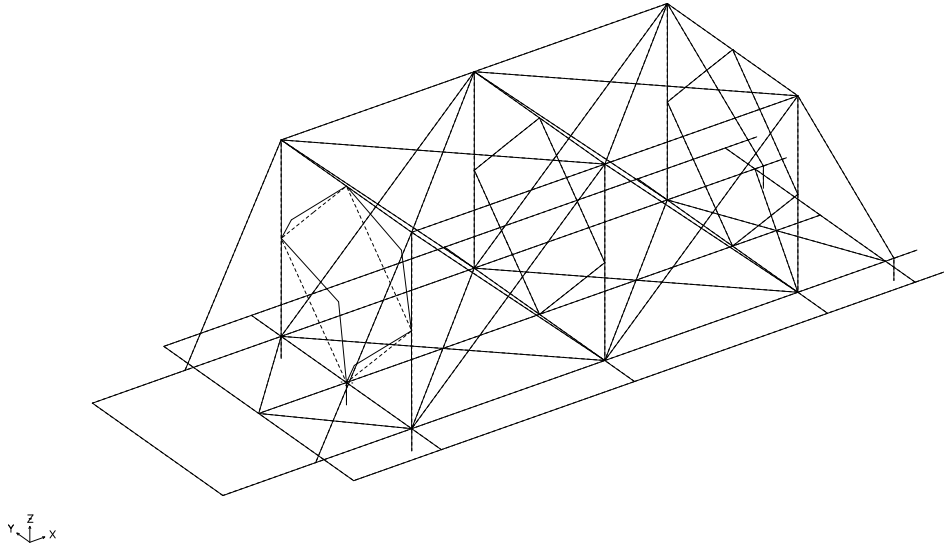
6次モード F= 11.791Hz (Tx) (Ty) (Tz) 構造スケール 0: 1.0(m)
 刺激係数 (X) 1.9494 (Y) 0.0000 (Z) 0.0103 応答値スケール 0: 1.0



6次

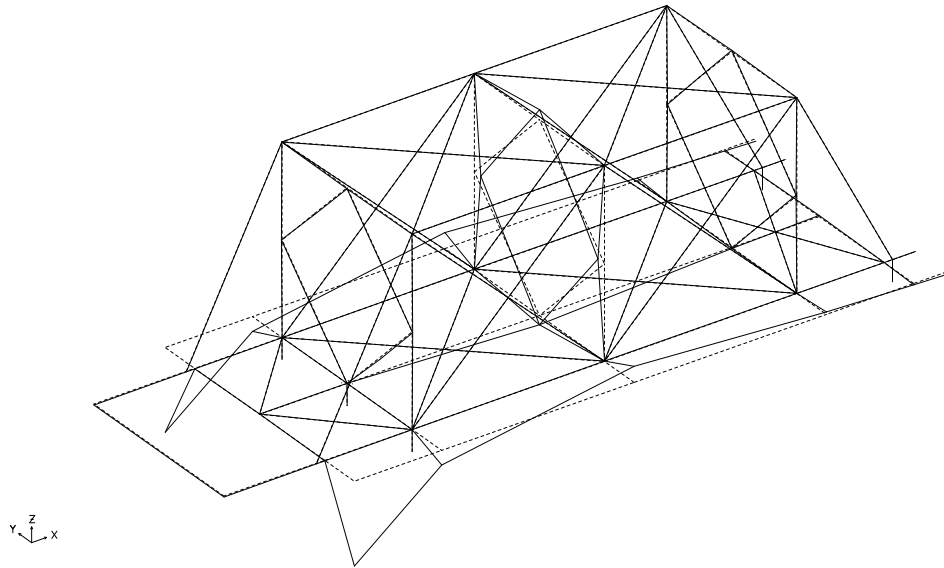
図 5-3 刺激関数図 (5次, 6次)

7次モード F= 12.220Hz (Tx) (Ty) (Tz)
 刺激係数 (X) 0.0000 (Y) -0.0306 (Z) 0.0000
 横軸スケール 0: 1.0(m)
 縦軸スケール 0: 1.0



7次

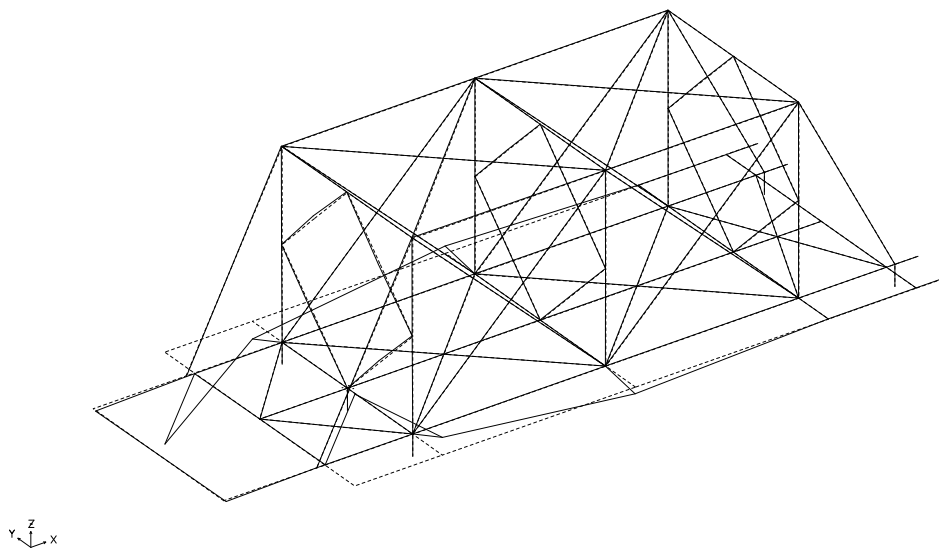
8次モード F= 12.770Hz (Tx) (Ty) (Tz)
 刺激係数 (X) 0.0214 (Y) 0.0000 (Z) -0.5360
 横軸スケール 0: 1.0(m)
 縦軸スケール 0: 1.0



8次

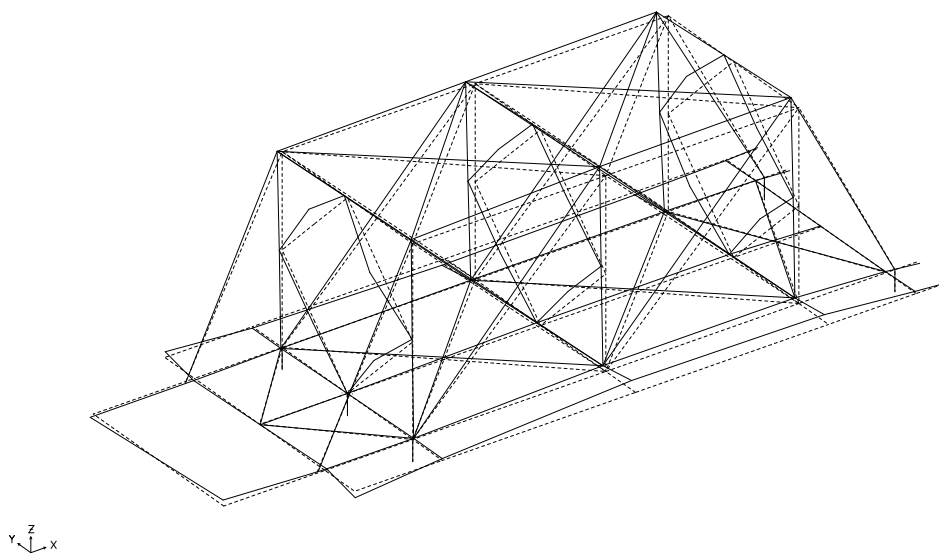
図 5-4 刺激関数図 (7次, 8次)

9次モード $F = 13.079\text{Hz}$ (Tx) (Ty) (Tz)
 刺激係数 (X) 0.0000 (Y) 0.3051 (Z) 0.0000
 構造スケール 0: 1.0(m)
 応答値スケール 0: 1.0



9次

10次モード $F = 13.651\text{Hz}$ (Tx) (Ty) (Tz)
 刺激係数 (X) 0.0000 (Y) 3.9553 (Z) 0.0000
 構造スケール 0: 1.0(m)
 応答値スケール 0: 1.0



10次

図 5-5 刺激関数図 (9次, 10次)

5.2 地震応答解析結果

廃止措置計画用設計地震動 S_s-D, S_s-1 及び S_s-2 による, 柱・梁・ブレースの各部材の検定比が最大の位置を図 5-6 に示す。

図 5-6 に示す各部材の検定比が最大の, 地震動と応力種別を表 5-2 に, 応力図を図 5-7 から図 5-20 に示す。

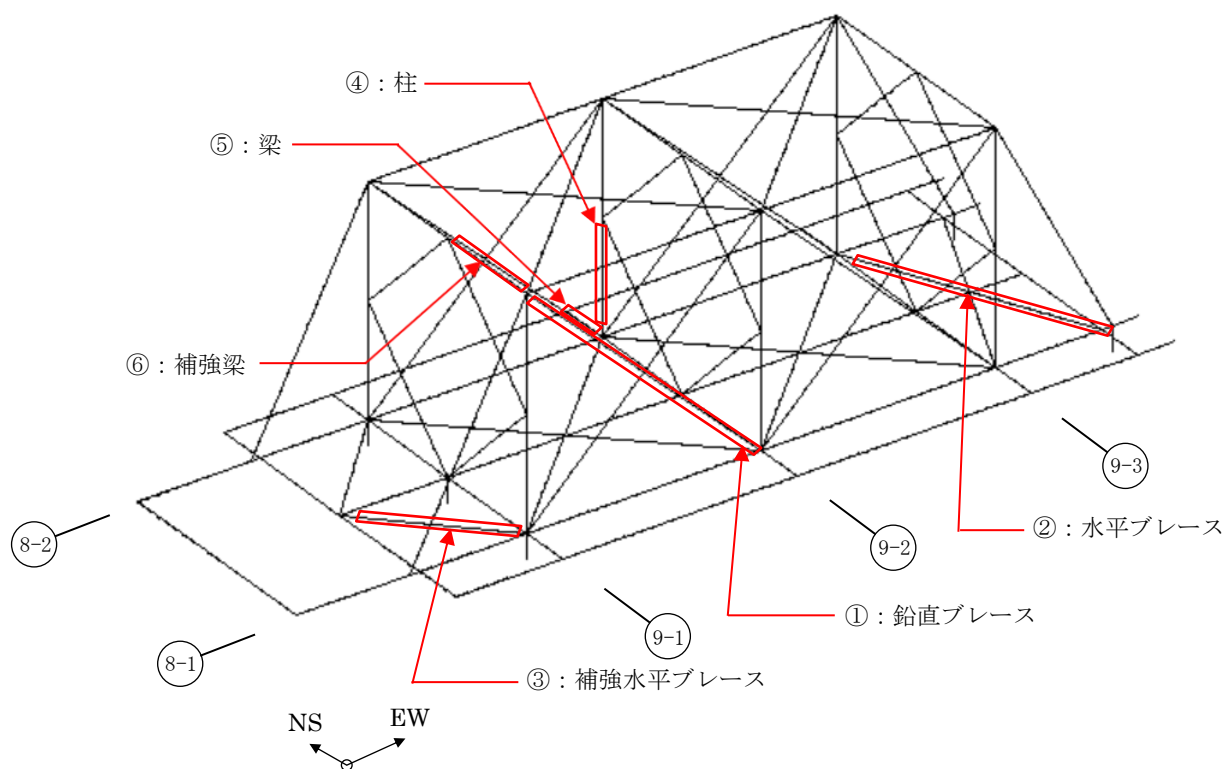


図 5-6 各部材の応力算定位置図

表 5-2 検定比が最大の地震動と応力種別

応力算定部材	地震動	応力種別
①鉛直ブレース	S _s -2 (EW+UD)	軸力(引張)
②水平ブレース	S _s -2 (NS+UD)	軸力(引張)
③補強水平ブレース	S _s -D (EW+UD)	軸力(圧縮)
④柱	S _s -1 (NS+UD)	曲げモーメント(弱軸)
⑤梁	S _s -1 (NS+UD)	曲げモーメント(強軸)
⑥補強梁	S _s -1 (EW+UD)	曲げモーメント(弱軸)

8-1通り
材端剛塑性は要素
時刻 = 104.560 sec

軸力

構造スケール Q: 1.0(m)
応答値スケール Q: 200. (kN)

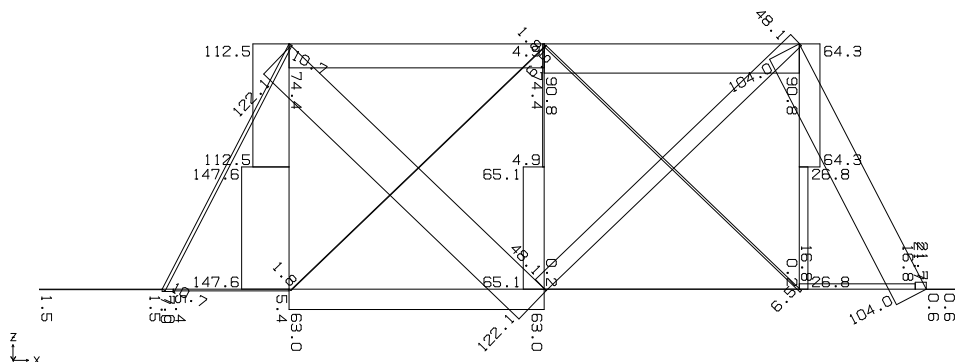


図 5-7 軸力図 (①鉛直ブレース, 8-1 通り, Ss-2(EW+UD), 引張)

TP+29.950m
材端剛塑性は要素
時刻 = 113.760 sec

軸力

構造スケール Q: 1.0(m)
応答値スケール Q: 1000. (kN)

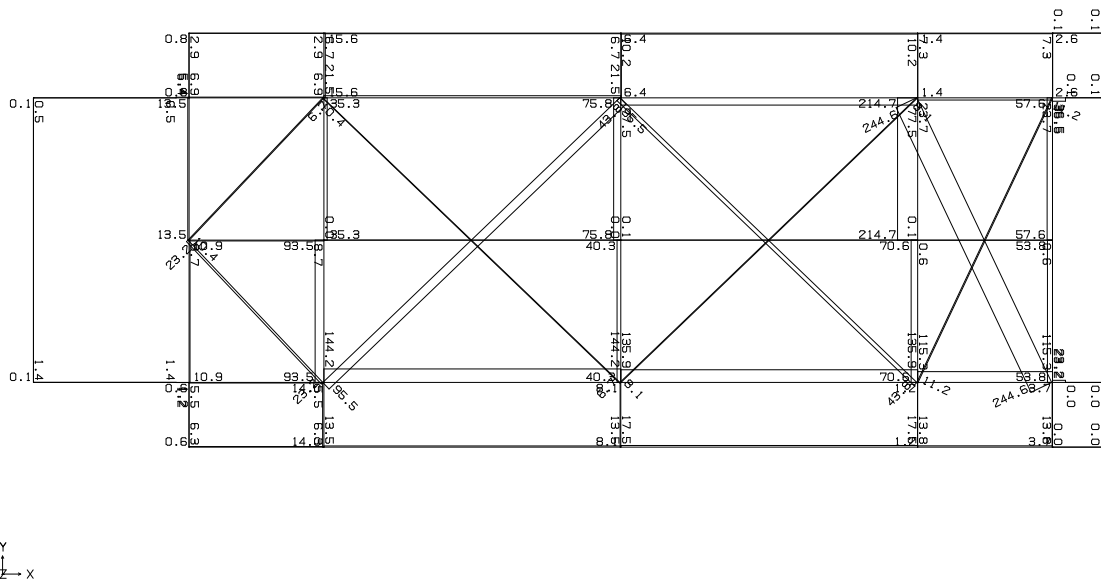


図 5-8 軸力図 (②水平ブレース, 平面図(下面), Ss-2(NS+UD), 引張)

TP+29.950m
 材剛塑性性はり要素
 時刻 = 43.890 sec

軸力

構造スケール 0. 1.0(m)
 応答値スケール 0. 1000. (kN)

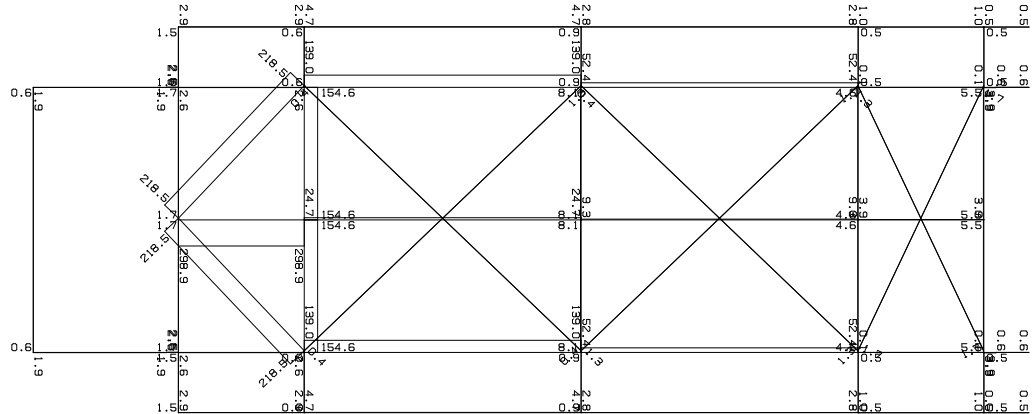


図 5-9 軸力図 (③補強水平ブレース, 平面図(下面), Ss-D(EW+UD), 圧縮)

9-2通り
 材剛塑性性はり要素
 時刻 = 30.340 sec

軸力

構造スケール Q. 1.0(m)
 応答値スケール Q. 200. (kN)

Z
 Y

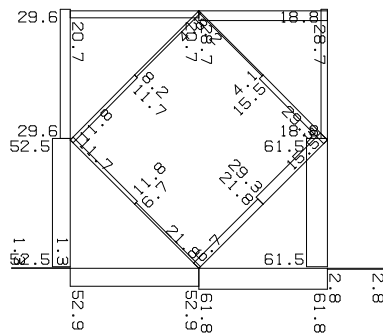


図 5-10 軸力図 (④柱, 9-2 通り, Ss-1(NS+UD), 軸力)

9-2通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 30.340 sec

曲げモーメントY

構造スケール Q. 1.0(m)
 応答値スケール Q. 100. (kN.m)

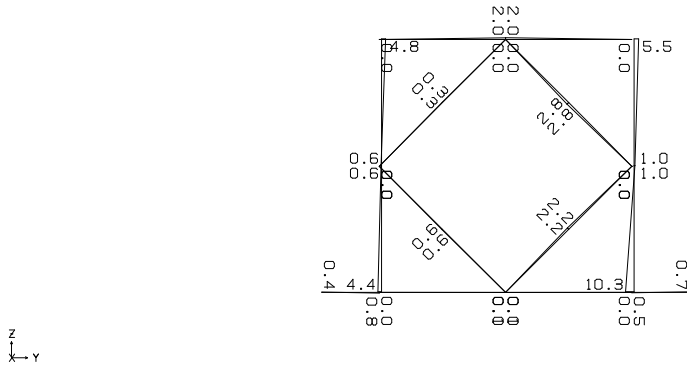


図 5-11 曲げモーメント図 (④柱, 9-2 通り, S_s-1(NS+UD), 強軸)

9-2通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 29.290 sec

曲げモーメントZ

構造スケール Q. 1.0(m)
 応答値スケール Q. 100. (kN.m)

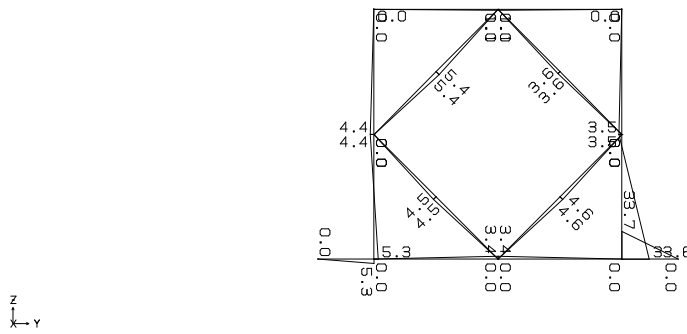


図 5-12 曲げモーメント図 (④柱・⑤梁, 9-2 通り, S_s-1(NS+UD), ④弱軸・⑤強軸)

9-2通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 29.290 sec

せん断力Y

構造スケール Q: 1.0(m)
 応答値スケール Q: 50. (kN)

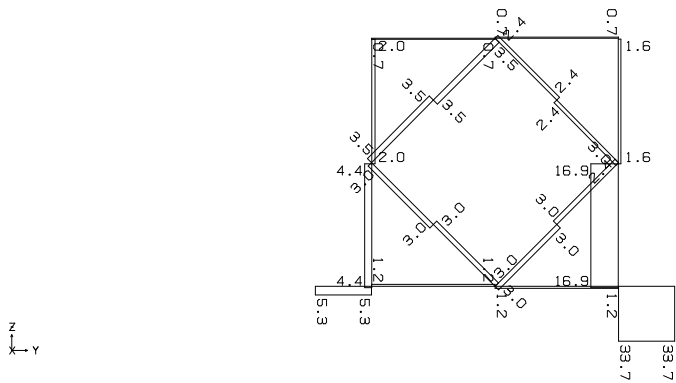


図 5-13 せん断力図 (④柱・⑤梁, 9-2 通り, Ss-1(NS+UD), ④・⑤せん断(1))

9-2通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 30.340 sec

せん断力Z

構造スケール Q: 1.0(m)
 応答値スケール Q: 50. (kN)

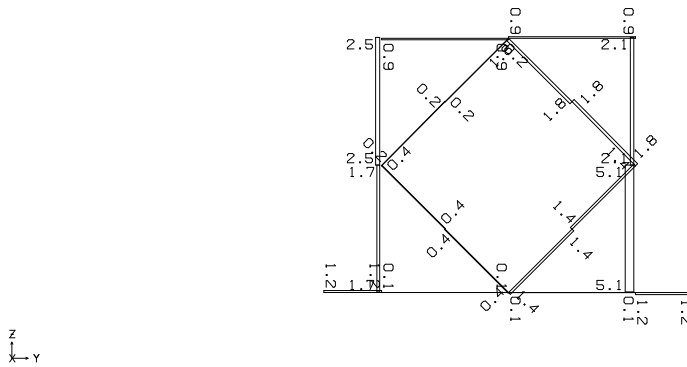


図 5-14 せん断力図 (④柱, 9-2 通り, Ss-1(NS+UD), せん断(2))

9-2通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 30.240 sec

曲げモーメントY

構造スケール 0. 1.0(m)
 応答値スケール 0. 100. (kN.m)

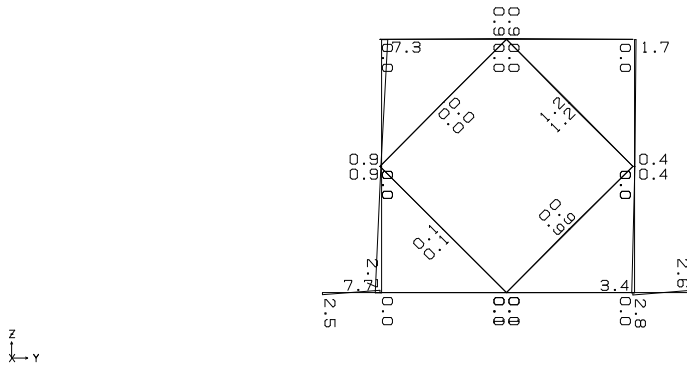


図 5-15 曲げモーメント図 (⑤梁, 9-2 通り, Ss-1(NS+UD), 弱軸)

9-2通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 30.240 sec

せん断力Z

構造スケール 0. 1.0(m)
 応答値スケール 0. 50. (kN)

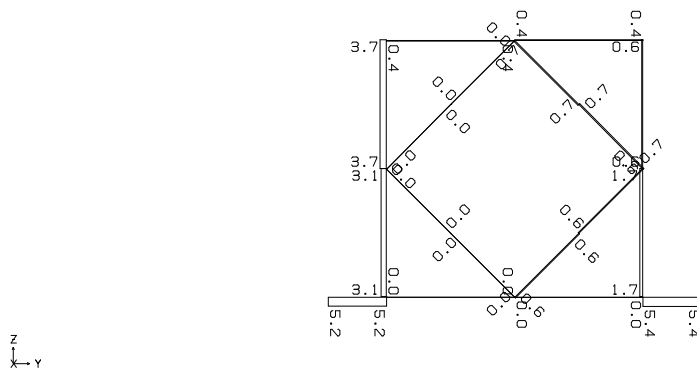


図 5-16 せん断力図 (⑤梁, 9-2 通り, Ss-1(NS+UD), せん断(2))

9-1通り
 材端剛塑性は要素
 時刻 = 29.210 sec

曲げモーメントZ

構造スケール Q. 1.0(m)
 応答値スケール Q. 100. (kN.m)

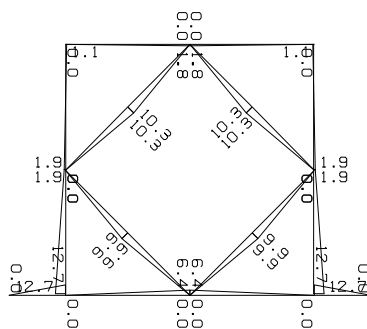


図 5-17 曲げモーメント図 (⑥補強梁, 9-1 通り, Ss-1 (EW+UD), 強軸)

9-1通り
 材端剛塑性は要素
 時刻 = 30.250 sec

曲げモーメントZ

構造スケール Q. 1.0(m)
 応答値スケール Q. 100. (kN.m)

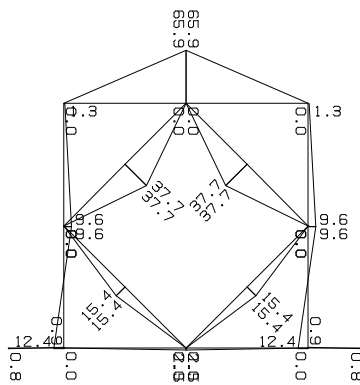


図 5-18 曲げモーメント図 (⑥補強梁, 9-1 通り, Ss-1 (EW+UD), 弱軸)

9-1通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 30.250 sec

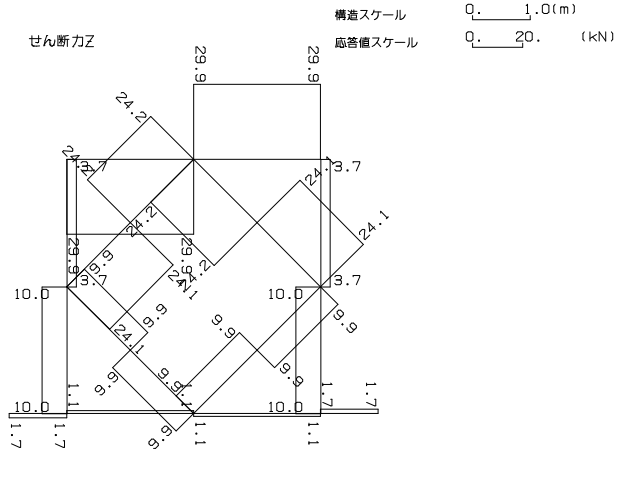


図 5-19 せん断力図 (㊸補強梁, 9-1 通り, Ss-1(EW+UD), せん断(1))

9-1通り
 材端剛塑性はり要素
 時刻 = 29.210 sec

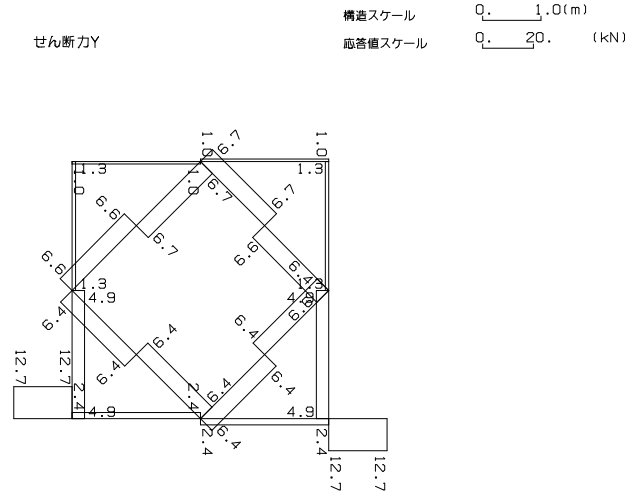


図 5-20 せん断力図 (㊸補強梁, 9-1 通り, Ss-1(EW+UD), せん断(2))

5.3 評価結果

5.3.1 部材

(1) 評価方法

部材の断面算定は、「鋼構造塑性設計指針」（日本建築学会）に基づき、入力地震動による設計応力に対し、終局耐力が上回ることを確認する。

(2) 評価結果

検定比が最大の柱・梁・ブレースの断面算定位置図を図 5-21 に示し、断面算定結果を表 5-3 に示す。

表 5-3 の結果より、各部材の終局耐力が設計応力を上回ることを確認した。

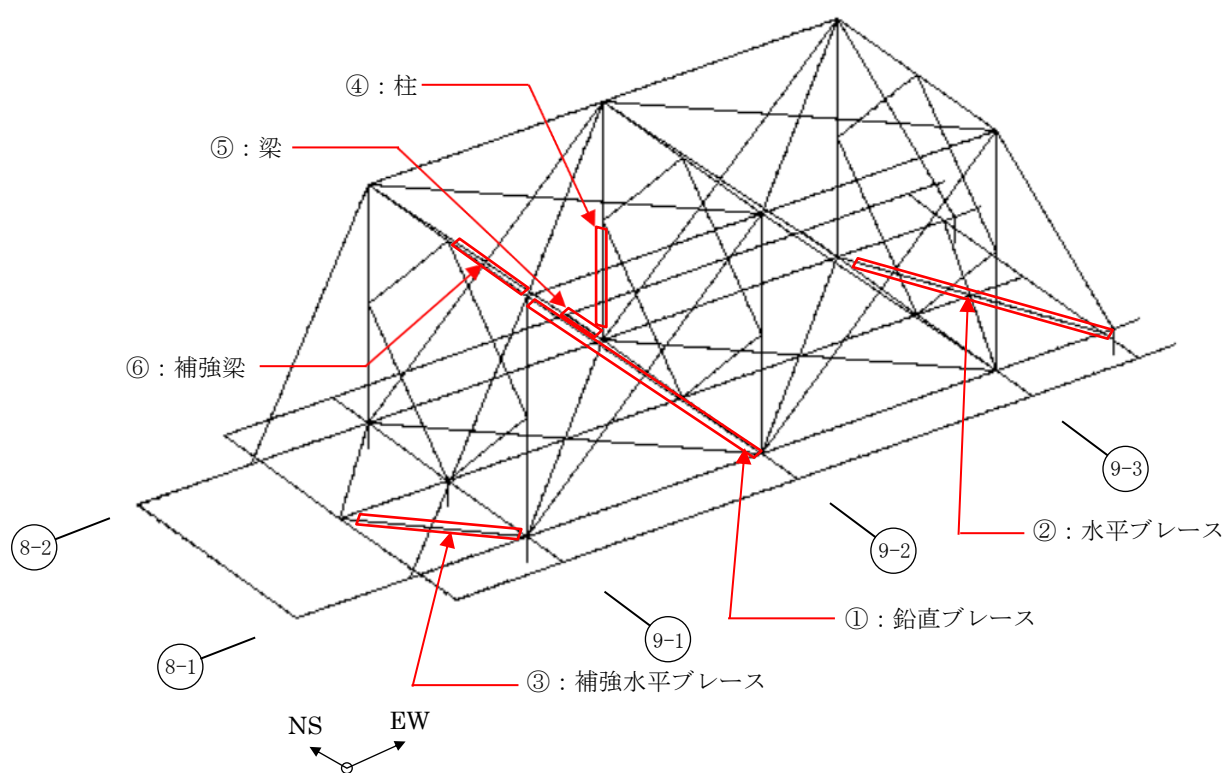


図 5-21 断面算定位置図

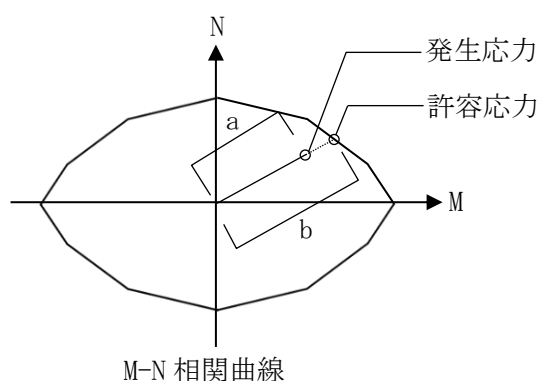
表 5-3 部材の断面算定結果

位置	部位	部材断面	応力種別	発生応力	許容応力	検定比
①	鉛直ブレース	2L-90×90×7 ^{※1}	軸力	122.1 kN	576.0 kN	0.212
②	水平ブレース	2L-90×90×7 ^{※1}	軸力	244.6 kN	576.0 kN	0.425
③	補強水平ブレース	H-150×150×7×10	軸力	218.5 kN	639.0 kN	0.342
④	柱	H-300×300×10×15	軸力+曲げ(強軸)	61.5 kN +10.3 kN・m	1278.4 kN +213.6 kN・m	0.048 ^{※2}
			軸力+曲げ(弱軸)	61.5 kN +33.6 kN・m	322.3 kN +176.3 kN・m	0.191 ^{※2}
			せん断	17.7 kN ^{※3}	1746.2 kN	0.010
⑤	梁	H-194×150×6×9	曲げ(強軸)	33.7 kN・m	76.5 kN・m	0.440
			曲げ(弱軸)	2.8 kN・m	26.6 kN・m	0.105
			せん断	34.1 kN ^{※3}	560.6 kN	0.061
⑥	補強梁	H-194×150×6×9 +補強 PL-9 (両面)	曲げ(強軸)	1.8 kN・m	100.6 kN・m	0.018
			曲げ(弱軸)	65.9 kN・m	84.0 kN・m	0.784
			せん断	30.0 kN ^{※3}	875.8 kN	0.034

※1：引張力のみ負担

※2：軸力が作用する柱部材は軸力を考慮した曲げ応力の断面算定を行う。

発生応力，許容応力及び検定比の考え方を下記に示す。



a : 発生応力 ($\sqrt{M^2+N^2}$)

b : 許容応力 ($\sqrt{M_p^2+N_p^2}$)

a/b : 検定比 ($\sqrt{M^2+N^2} / \sqrt{M_p^2+N_p^2}$)

※3：せん断力は部材軸に対して，強軸方向と弱軸方向の2方向の合力で，断面算定を行う（算定式： $\sqrt{Q_{(1)}^2+Q_{(2)}^2}$ ）。

5.3.2 補強支承部

(1) 評価方法

補強鋼管及びあと施工アンカーの断面算定は、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-」（日本建築学会）及び「2017年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説」（日本建築防災協会）に基づき、入力地震動による設計応力に対し、終局耐力が上回ることを確認する。

補強鋼管位置を図 5-22 に、補強鋼管とあと施工アンカー詳細の断面図及び伏図を図 5-23 及び図 5-24 に示す。

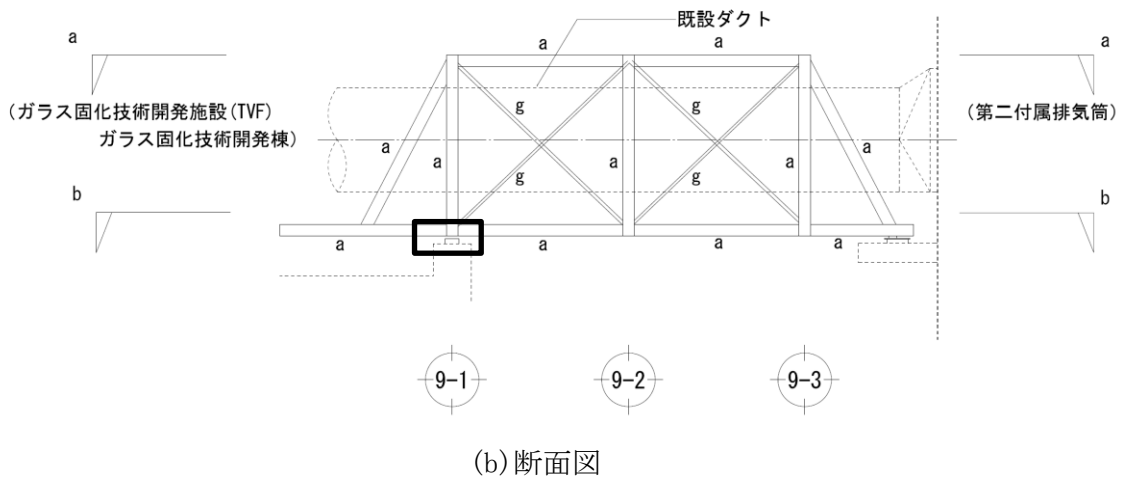
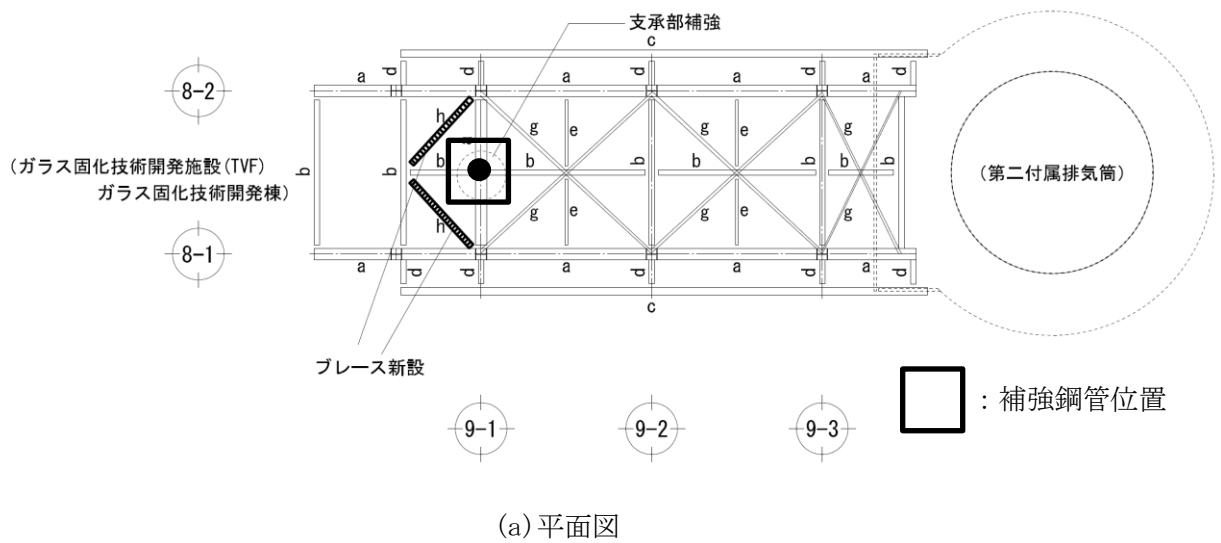


図 5-22 補強鋼管位置

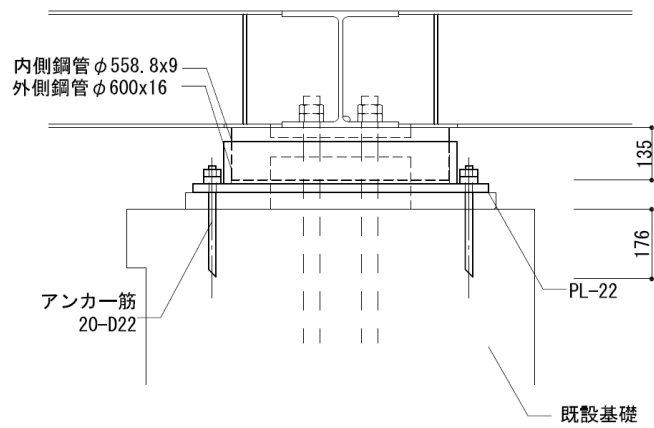


図 5-23 補強鋼管とあと施工アンカー詳細 (断面図)

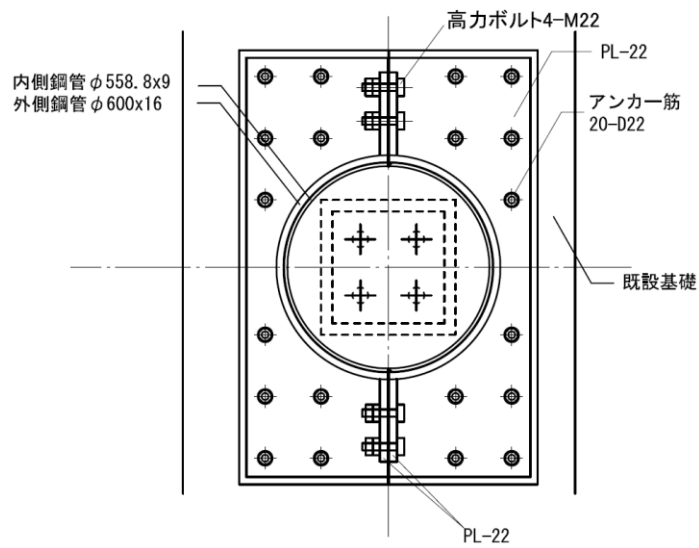


図 5-24 補強鋼管とあと施工アンカー詳細 (伏図)

(2) 評価結果

補強支承部の補強鋼管の断面算定結果を表 5-4 に、あと施工アンカーの断面算定結果を表 5-5 に示す。

表 5-4 及び表 5-5 の結果より、補強鋼管及びあと施工アンカーの終局せん断耐力がせん断力を上回ることを確認した。

表 5-4 補強鋼管の断面算定結果

地震		補強鋼管		
		せん断力 (kN)	せん断耐力 (kN)	検定比
Ss-D	NS 方向	847.0	1160.0	0.730
	EW 方向	379.5	1160.0	0.327
Ss-1	NS 方向	378.4	1160.0	0.326
	EW 方向	399.9	1160.0	0.345
Ss-2	NS 方向	563.0	1160.0	0.485
	EW 方向	346.3	1160.0	0.299

※補強支承部に生じる全てのせん断力は、補強鋼管が負担する。

表 5-5 あと施工アンカーの断面算定結果

地震		あと施工アンカー(接着系) 20-D22		
		せん断力 (kN)	せん断耐力 (kN)	検定比
Ss-D	NS 方向	847.0	1138.0	0.744

※補強支承部に生じる全てのせん断力は補強鋼管から応力伝達し、あと施工アンカーが負担する。

5.3.3 テフロン支承

(1) 評価方法

入力地震動によりテフロン支承に生じる変位に対し、テフロン支承の許容変位(可動量)が上回ることを確認する。

(2) 評価結果

地震応答解析の結果より、テフロン支承の最大応答変位を表 5-6 に、最大変位となる Ss-D のすべり量を図 5-25 に示す。

表 5-6 の結果より、テフロン支承の許容変位が地震応答解析による変位(すべり量)を上回ることを確認した。

表 5-6 テフロン支承の最大応答

地震	種別	位置 (通り)	すべり量 (mm)				許容変位
			NS 方向地震時		EW 方向地震時		
			NS	EW	NS	EW	
Ss-D	TVF 開発棟側	9-1・8-2	0.13	11.3	0.16	2.3	可動量 ±100 mm
		9-1・8-1	0.12	11.2	0.16	2.3	
	第二付属 排気筒側	9-3 側・8-2	-	11.4	-	57.0	可動量 ±250 mm
		9-3 側・8-1	-	10.9	-	57.0	
Ss-1	TVF 開発棟側	9-1・8-2	0.10	3.6	0.16	2.2	可動量 ±100 mm
		9-1・8-1	0.14	3.7	0.16	2.2	
	第二付属 排気筒側	9-3 側・8-2	-	3.9	-	14.9	可動量 ±250 mm
		9-3 側・8-1	-	3.7	-	14.9	
Ss-2	TVF 開発棟側	9-1・8-2	0.15	6.6	0.14	2.0	可動量 ±100 mm
		9-1・8-1	0.13	6.6	0.14	2.0	
	第二付属 排気筒側	9-3 側・8-2	-	6.2	-	34.5	可動量 ±250 mm
		9-3 側・8-1	-	6.6	-	34.5	

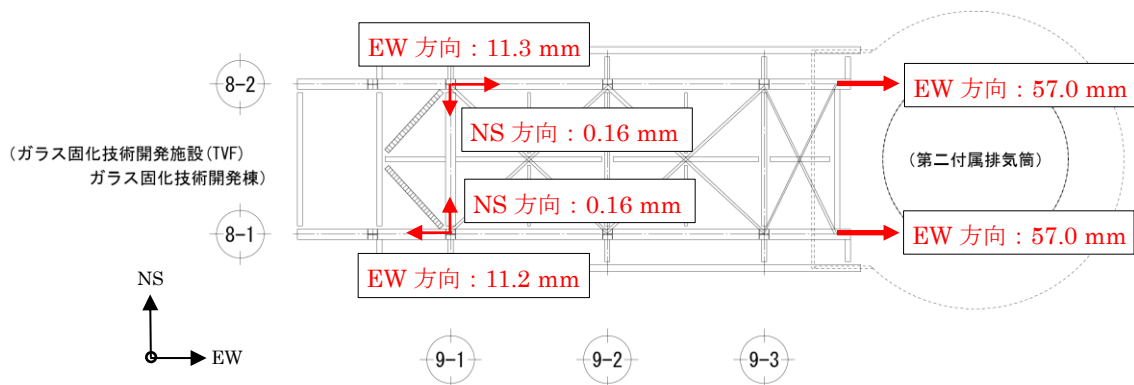


図 5-25 テフロン支承の最大応答変位図 (Ss-D)

高放射性廃液貯蔵場（HAW） 浸水防止設備（浸水防止扉）
の耐震性についての計算書

1. 概要

本資料は、別添 6-1-3-2「I 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設の設計方針」に基づき、廃止措置計画用設計地震動（以下「設計地震動」という。）による地震力（以下「設計地震力」という。）に対して、高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家1階に設置している浸水防止扉が、構造強度を有することを説明するものである。

設計津波が到達する建家1階に設置している浸水防止扉 HAW-1、浸水防止扉 HAW-2及び浸水防止扉 HAW-3について評価を行う。浸水防止扉は、通常時が閉状態であることから耐震性評価を閉の状態で行う。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止扉の設置位置図を図2-1-1に示す。



図2-1-1 浸水防止扉の設置位置図 (HAW建家 1階平面)

2.2 構造概要

浸水防止扉は、片開型及び横引型の鋼製扉であり、扉板の背面に芯材（主桁及び縦桁）を配した構造である。

扉枠はアンカーボルトにより建家壁面に固定する構造である。

2.3 評価方針

浸水防止扉の耐震評価は、表2-3-1に示すとおり構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価は、「3. 固有周期及び設計地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計地震力による応力が許容限界内に収まることを「4. 強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

浸水防止扉の耐震評価フローを図2-3-1に示す。

表2-3-1 浸水防止扉の耐震評価項目

評価方針	評価項目	地震力	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	設計地震動	各浸水防止扉の「評価部位」にて設定する部位	発生応力が許容限界を超えないことを確認する	短期許容応力

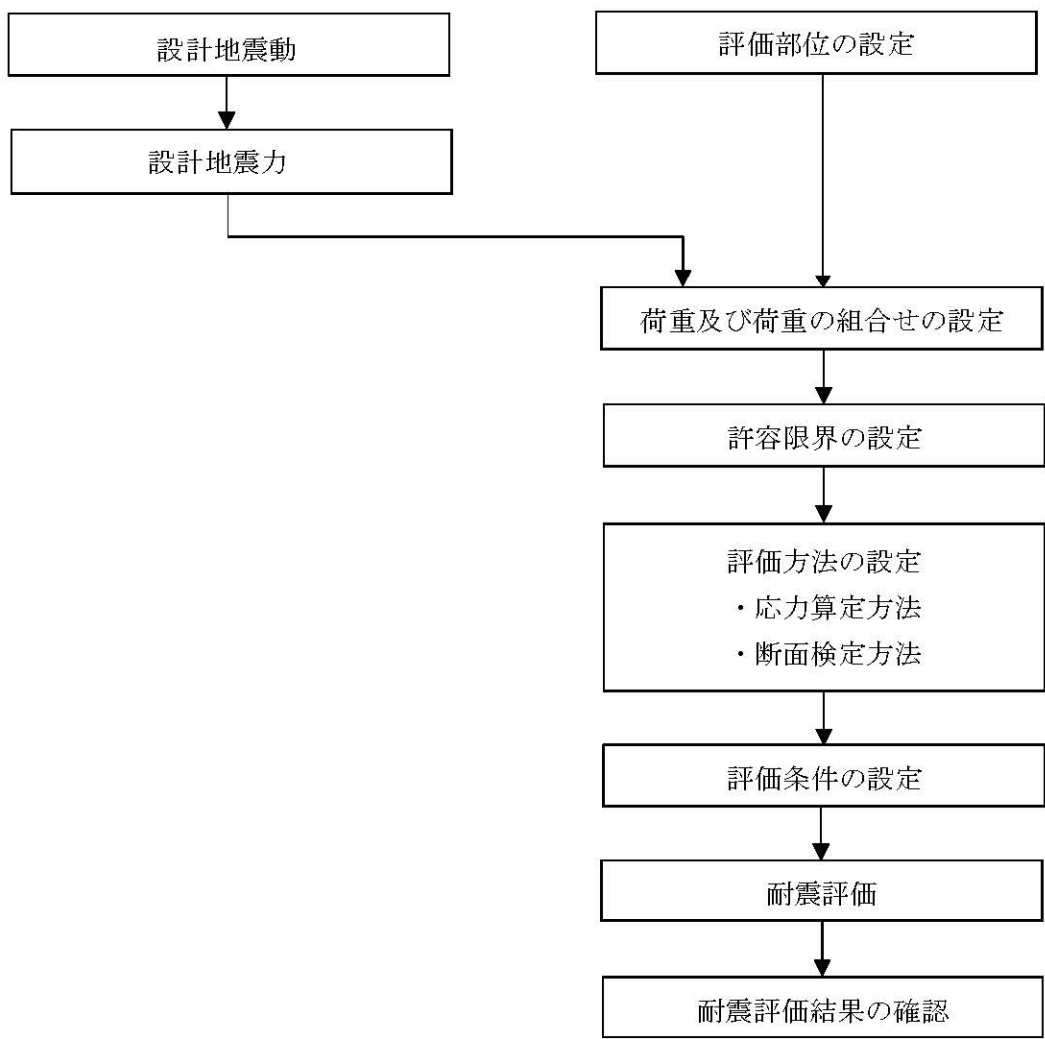


図2-3-1 浸水防止扉の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005改定）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601・補—1984
（日本電気協会電気技術基準調査委員会昭和59年9月）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601—1987
（日本電気協会電気技術基準調査委員会昭和62年8月）
- (5) 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 平成3年6月）
- (6) 国土交通省告示第314号（平成18年2月28日）
- (7) 国住指第1015号 あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針
（平成18年7月7日）

2.5 記号の説明

浸水防止扉の耐震評価に用いる記号を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 耐震評価に用いる記号(1/3)

記号	定義	単位
G	浸水防止扉（扉体，部品含む）の自重	t
G _F	浸水防止扉（枠体）の自重	t
P _H	水平方向地震力（扉体，部品含む）	kN
P _V	鉛直方向地震力（扉体，部品含む）	kN
P' _H	水平方向地震力（扉体，部品，枠体）	kN
P' _V	鉛直方向地震力（扉体，部品，枠体）	kN
P _h	津波による荷重（強度計算条件）	kN
K	設計震度	—
K _H	水平方向震度	—
K _V	鉛直方向震度	—
K _s	設計地震力（部品の耐震計算）	kN
K' _s	設計地震力（アンカーボルトの耐震計算）	kN
n ₁	ヒンジボルトの本数（扉体側）	本
n ₂	ヒンジボルトの本数（枠体側）	本
A _s	ヒンジボルトの有効断面積	mm ²
L _c	締付金具の支点から荷重作用点までの距離	mm
Z _r	締付金具の断面係数	mm ³
L _a	ヒンジ中心間距離	mm
L _b	扉体中心からヒンジまでの水平方向距離	mm
f	1次固有振動数	Hz
L	はり長さ	m
E	縦弾性係数	N/m ²
I	断面2次モーメント	m ⁴
m	質量分布	kg/m
λ	定数（板モデルの固有振動数算出）	—
T	固有周期	s
t	扉板厚さ	mm

表 2-5-1 耐震評価に用いる記号(2/3)

記号	定義	単位
τ_{hp}	ヒンジピンに発生するせん断応力	N/mm^2
σ_{b1}	ヒンジボルトに発生する引張応力 (扉体側)	N/mm^2
τ_{b1}	ヒンジボルトに発生するせん断応力 (扉体側)	N/mm^2
σ_{b2}	ヒンジボルトに発生する引張応力 (枠体側)	N/mm^2
τ_{b2}	ヒンジボルトに発生するせん断応力 (枠体側)	N/mm^2
σ_{rb}	締付金具に発生する曲げ応力	N/mm^2
τ_{rs}	締付金具に発生するせん断応力	N/mm^2
σ_r	締付金具に発生する組合せ応力	N/mm^2
f_t	許容引張応力	N/mm^2
f_b	許容曲げ応力	N/mm^2
f_s	許容せん断応力	N/mm^2
F_z	ヒンジ部に及び締付金具に作用するZ方向荷重	kN
F_x	ヒンジ部に作用するX方向荷重	kN
F_{zx}	ヒンジピンに発生する合成荷重	kN
F	基準強度	—
P	積載荷重	t
g	重力加速度	m/s^2
P_h	扉体にかかる強度計算荷重	kN
A_p	ヒンジピンの断面積	mm^2
A_{ps}	ヒンジピンのせん断断面積	mm^2
A_r	締付金具の断面積	mm^2
A_{rs}	締付金具のせん断断面積	mm^2
A_w	車輪の断面積	mm^2
A_{ws}	車輪のせん断断面積	mm^2
τ_{ws}	車輪に発生するせん断応力	N/mm^2
n_a	アンカーボルトの本数	本
l	アンカーボルト埋め込み長さ (穿孔長)	mm
d_a	アンカーボルト呼び径	mm
l_e	アンカーボルト有効埋め込み長さ	mm

表 2-5-1 耐震評価に用いる記号(3/3)

記号	定義	単位
σ_y	アンカーボルトの降伏強度	N/mm ²
a_0	アンカーボルトM16の有効断面積 (ネジ加工を考慮)	mm ²
σ_B	コンクリートの圧縮強度	N/mm ²
E_C	コンクリートのヤング係数	N/mm ²
$s_a c$	アンカーボルトM16の公称断面積	mm ²
l'	はしあき	mm
r'	コーン破壊面の有効水平投影面積の半径	mm
A_c, A'_c	コーン破壊面の有効水平投影面積	mm ²
T_a	アンカーボルトの引張耐力	kN
T_{as}	アンカーボルトの短期許容引張耐力	kN
T_{a1}	アンカーボルトの降伏により決まる引張耐力	kN
T_{a2}	コンクリートのコーン破壊により決まる引張耐力	kN
T_{a3}	コンクリートの付着破壊により決まる引張耐力	kN
Q_a	アンカーボルトのせん断耐力	kN
Q_{as}	アンカーボルトの短期許容せん断耐力	kN
Q_{a1}	アンカーボルトの降伏により決まるせん断耐力	kN
Q_{a2}	コンクリートのコーン破壊により決まる せん断耐力	kN
Q_{a3}	ボルトせん断強度上限値より決まるせん断耐力	kN

3. 固有周期及び設計地震力

浸水防止扉 HAW-1, HAW-2及びHAW-3について、それぞれの固有周期が0.05秒以下であることを確認し、添付資料6-1-2-3-2「高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家の地震応答計算書」の地震応答解析結果を基に設計地震力を設定する。

3.1 固有周期の計算方法

浸水防止扉の構造に応じて解析モデルを設定し、固有周期を計算する。

3.1.1 解析モデルの設定

浸水防止扉は、扉板及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに、ヒンジ及び締付金具により扉を扉枠に支持させる構造であることから、両端支持はりに単純化したモデルとし、最大スパン部のはり（芯材）に、当該はりが受ける扉体（扉板、主桁、縦桁）の自重及び扉体部品（締付金具等）の自重を加えるものとする。はり長さは扉幅とする。解析モデルを図3-1-1-1 に示す。

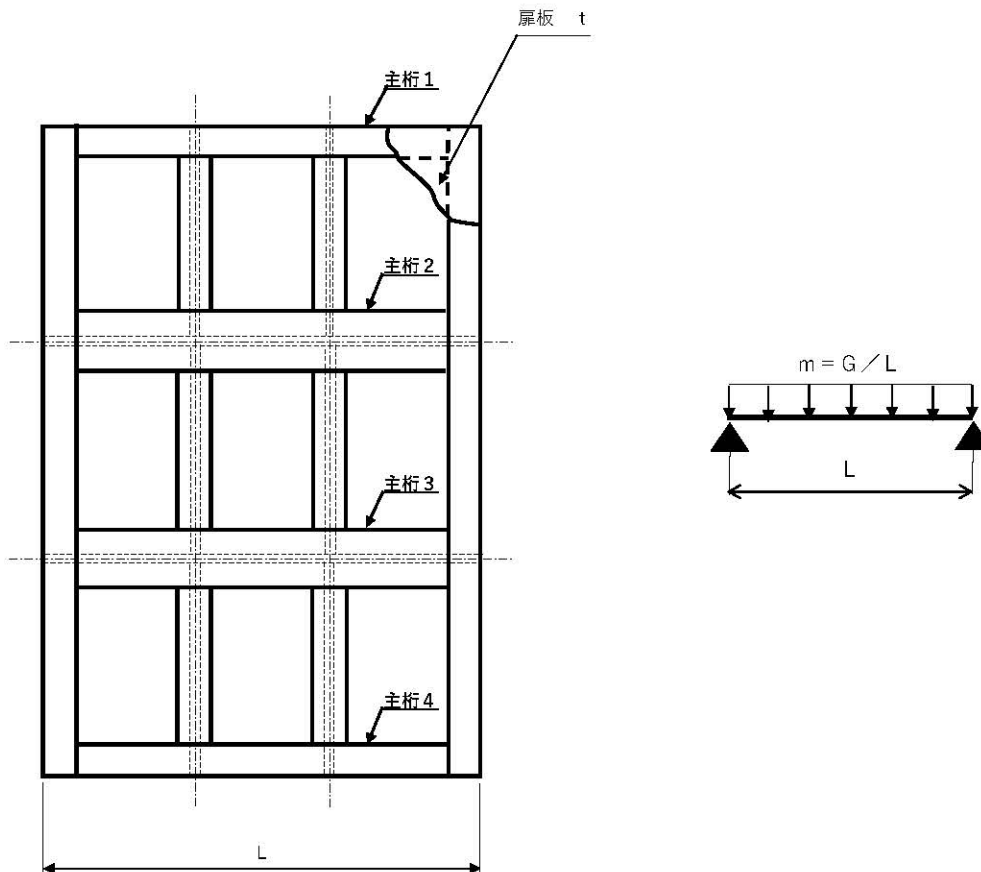


図3-1-1-1 浸水防止扉の固有周期解析モデル

3.2 固有周期の計算

3.2.1 固有周期の計算方法

1次固有振動数 f を「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき、下式により計算する。

(1) 両端支持はりモデル

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

$$(\lambda = \pi)$$

(2) 固有周期

$$T = \frac{1}{f}$$

3.2.2 固有周期の計算条件

浸水防止扉の固有周期の計算条件を表3-2-2-1に示す。

表3-2-2-1 浸水防止扉の固有振動数及び固有周期の計算条件
(両端支持はりモデル)

浸水防止扉名称	はり長さ L (m)	縦弾性係数 E (N/m ²)	断面2次 モーメント I (m ⁴)	質量分布 m (kg/m)
浸水防止扉HAW-1	1.212	1.93×10 ¹¹	0.00004963	528.05
浸水防止扉HAW-2 上段固定扉	3.250	1.93×10 ¹¹	0.0004375	403.08
浸水防止扉HAW-2 下段横引扉	3.250	1.93×10 ¹¹	0.0010982	1046.15
浸水防止扉HAW-3	1.232	1.93×10 ¹¹	0.00004963	511.37

3.3 固有周期の計算結果

浸水防止扉の固有周期の計算結果を表3-3-1に示す。各浸水防止扉の固有周期はいずれも0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表3-3-1 浸水防止扉の固有振動数及び固有周期の計算結果
(両端支持はりモデル)

浸水防止扉名称	固有周期 T(s)	固有振動数 f(Hz)
浸水防止扉HAW-1	0.007	144
浸水防止扉HAW-2 上段固定扉	0.014	68
浸水防止扉HAW-2 下段横引扉	0.014	66
浸水防止扉HAW-3	0.008	141

3.4 設計地震力

浸水防止扉 HAW-1, HAW-2及びHAW-3の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、高放射性廃液貯蔵場(HAW)浸水防止扉の耐震評価で用いる震度は、添付資料6-1-2-3-2「高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家の地震応答計算書」に基づいて設定した水平震度及び鉛直震度を1.2倍して用いる。評価の対象である浸水防止扉は1階に設置されているが、保守側の評価となるよう3階の加速度を参照する。評価に用いる震度を表3-4-1に示す。

表3-4-1 浸水防止扉 HAW-1, HAW-2及びHAW-3の評価に用いる震度

地震動	加速度を参照する階	評価用震度 (加速度を震度に換算)	
		水平方向 K_H	1.18
設計地震動	3階	鉛直方向 K_V	0.79

4. 強度評価

4.1 評価部位

評価部位は、浸水防止扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

浸水防止扉 HAW-1及びHAW-3の扉体(扉板, 主桁, 縦桁)に生じる地震による荷重は, 扉体部品(ヒンジピン, ヒンジボルト, 締付金具)から, 扉枠を開口部周囲に固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達するため, 評価部位を扉体(扉板, 主桁, 縦桁), 扉体部品(ヒンジピン, ヒンジボルト, 締付金具)及びアンカーボルトとする。

浸水防止扉 HAW-2の扉体(扉板, 主桁, 縦桁)に生じる地震による荷重は, 扉体部品(車輪)から扉枠及びレールを介して躯体に伝達するため, 扉体(扉板, 主桁, 縦桁), 扉体部品(車輪)及びアンカーボルトとする。

浸水防止扉 HAW-1及びHAW-3の構造図を図4-1-1及び図4-1-2に, 扉体部品への荷重の作用イメージ及び評価対象部位を図4-1-3に, 浸水防止扉 HAW-1及びHAW-3のアンカーボルトの位置及び評価対象部位を図4-1-4に示す。

また, 浸水防止扉 HAW-2の構造図, 荷重の作用イメージ及び評価部位を図4-1-5に, アンカーボルトの位置及び評価対象部位を図4-1-6に示す。

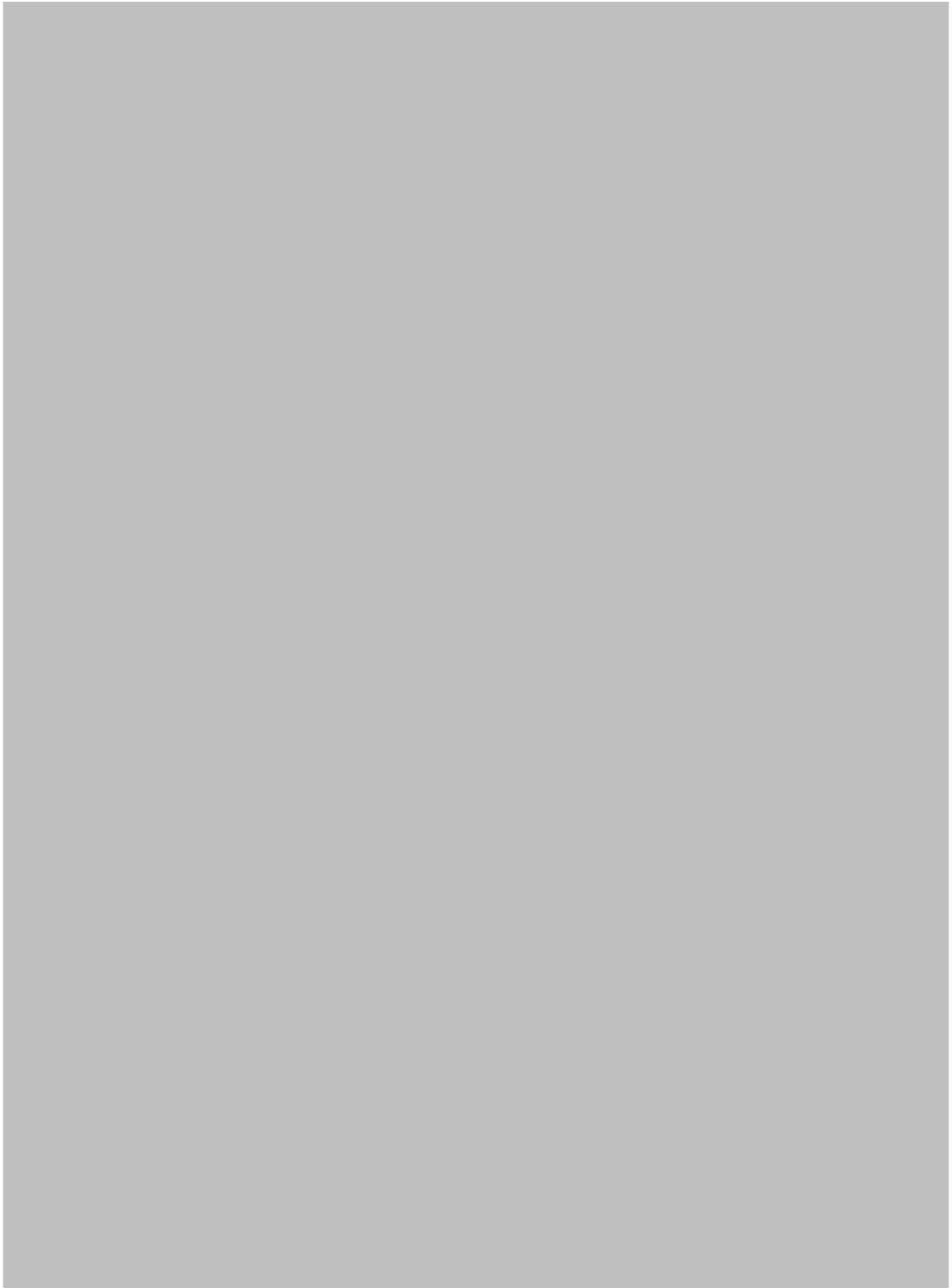


图4-1-1 浸水防止扉HAW-1 構造図



图4-1-2 浸水防止扉HAW-3 構造図



図4-1-3 浸水防止扉の閉止時の荷重の作用イメージと評価対象部位
(浸水防止扉 HAW-1及びHAW-3)

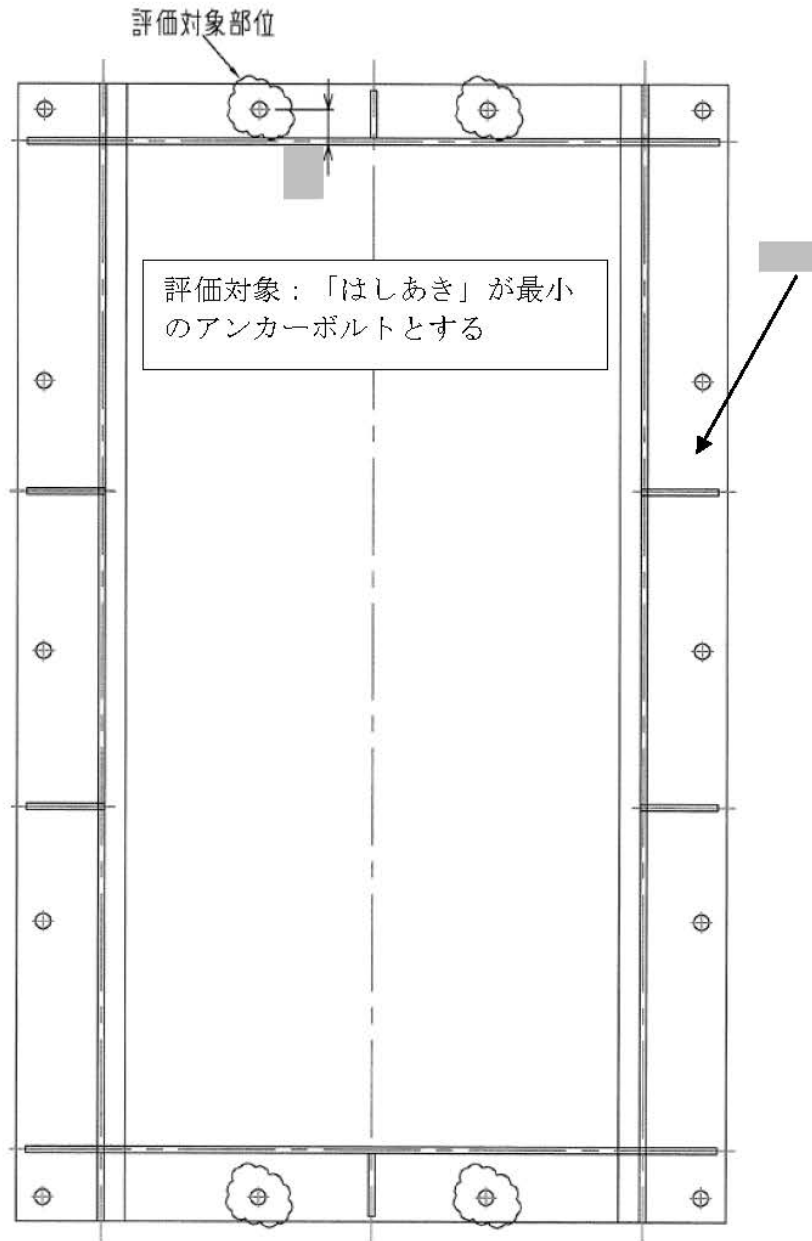


図4-1-4 浸水防止扉 HAW-1及びHAW-3 アンカーボルト位置と評価対象部位



図4-1-5 浸水防止扉 HAW-2 構造図，荷重の作用イメージ及び評価部位

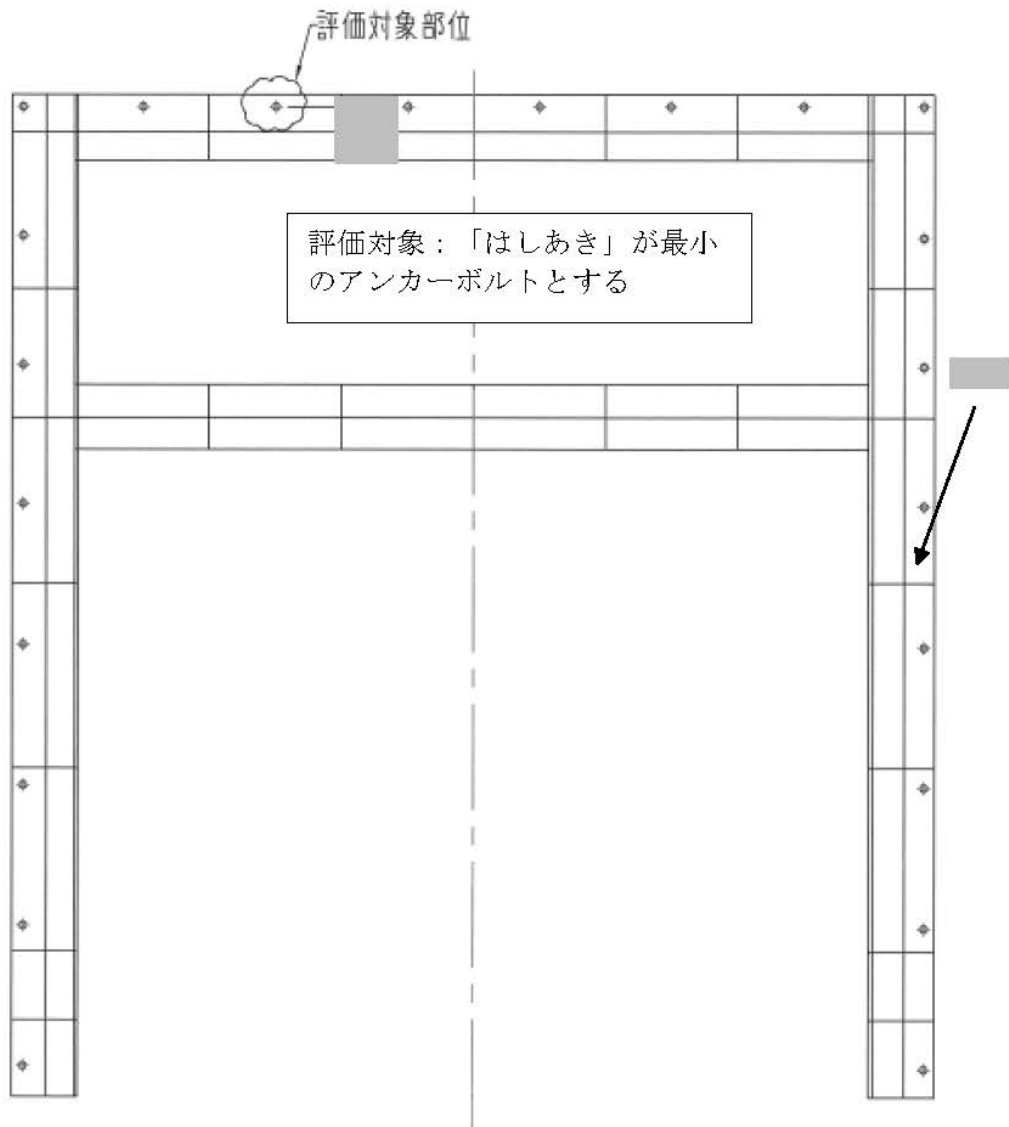


図4-1-6 浸水防止扉 HAW-2 アンカーボルト位置と評価部位

4.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 耐震評価上考慮する荷重

浸水防止扉の耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

G：浸水防止扉（扉体、部品含む）の自重

P：積載荷重

K_s ：設計地震力(kN)（部品の耐震計算）

K'_s ：設計地震力(kN)（アンカーボルトの耐震計算）

浸水防止扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

(2) 荷重の設定

a. 浸水防止扉（扉体と枠体）の自重

固定荷重として、浸水防止扉の自重を考慮する。浸水防止扉の自重を表4-2-1に示す。

表4-2-1 浸水防止扉(扉体と枠体)の自重

扉名称	扉体の自重 G (t)	枠体の自重 G_F (t)
浸水防止扉 HAW-1	0.64	0.76
浸水防止扉 HAW-2	4.71	2.85
浸水防止扉 HAW-3	0.63	0.77

b. 設計地震力(K_s , K'_s)

設計地震力として、設計地震動に伴う慣性力を考慮する。地震による荷重は、浸水防止扉の固定荷重に設計震度Kを乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K \cdot g \text{ (部品の耐震計算)}$$

$$K'_s = (G + G_F) \cdot K \cdot g \text{ (アンカーボルトの耐震計算)}$$

ここで、

K_s ：設計地震力(kN)（部品の耐震計算）

K'_s ：設計地震力(kN)（アンカーボルトの耐震計算）

G：浸水防止扉（扉体、部品含む）の自重(t)

G_F ：浸水防止扉（枠体）の自重(t)

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位であるヒンジボルト及びアンカーボルトの評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に不利な方向に作用するものとして、絶対値和法により評価する。

(3) 荷重の組合せ

高放射性廃液貯蔵場(HAW)浸水防止扉の荷重の組合せを表4-2-2に示す。

表4-2-2 浸水防止扉の荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
浸水防止扉 HAW-1, 2, 3	$G + K_s$ $G + G_F + K'_s$

G : 浸水防止扉 (扉体) の自重

K_s : 設計地震力(kN) (部品の耐震計算)

K'_s : 設計地震力(kN) (アンカーボルトの耐震計算)

4.3 使用材料及び許容限界

(1) 使用材料

浸水防止扉を構成する部材のうち、耐震評価部位であるヒンジ部、車輪及びアンカーボルトの使用材料を表4-3-1に示す。

表4-3-1 使用材料（耐震評価部位）

部 位		材 質	仕 様[mm]
ヒンジ部 (HAW-1, 3)	ヒンジピン	SUS304	400 × φ25
	ヒンジボルト	SUS304	M16 × 75
	締付金具	SUS304	65 × 132.5 × t16
車輪 (HAW-2)	車軸	SUS304	φ40
アンカーボルト(HAW-1, 3)		SUS304	M16 × 130
アンカーボルト(HAW-2)		SUS304	M16 × 130

※：tは板厚（mm），φは径（mm）を示す。

(2) 許容限界

a. ヒンジ部，車輪

ヒンジ部及び車輪の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005改定）」を踏まえて表4-3-2の値とする。

表4-3-2 許容限界

材料	短期許容応力 (N/mm ²)	
	引張及び曲げ	せん断
SUS304※	205	118

※許容応力度を決定する場合の基準値Fの値は、「JISG 4304：2012 ステンレス鋼棒」，「JISG 4304：2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「国住指第1015号 あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工設計指針」（平成18年7月7日）に基づく。

4.4 評価方法

扉体（扉板、主桁、縦桁）については、設計地震力が津波による波力を下回る場合は、耐津波強度評価に包含されるため検討を省略する。設計地震力が津波による波力を上回る場合は、発生応力を算定し、許容限界以内であることを確認する。

扉体部品（ヒンジピン、ヒンジボルト、締付金具、車輪）及びアンカーボルトについては、設計地震力から各部材の発生応力を算定し、許容限界以内であることを確認する。

4.4.1 荷重算定

荷重の算定式を以下に示す。

- ① 水平方向地震力 P_H (kN)

$$P_H = K_H \cdot G \cdot g$$

- ② 扉体自重及び鉛直方向地震力 P_v (kN)

$$P_v = (1 + K_v) \cdot G \cdot g$$

- ③ ヒンジ部及び締付金具に作用するZ方向荷重 F_z (kN)

$$F_z = \frac{P_H}{2}$$

- ④ ヒンジ部に作用するX方向荷重 F_x (kN)

$$F_x = \frac{P_v \cdot L_b}{L_a}$$

4.4.2 応力算定

- ① ヒンジピンに発生するせん断応力 τ_{hp}

$$F_{zx} = \sqrt{F_x^2 + \left(\frac{F_z}{2}\right)^2}$$

$$A_{ps} = \frac{3}{4} A_p$$

(機械工学便覧 A3編 材料力学 3.8 せん断力によるはりの応力とたわみ)

$$\tau_{hp} = \frac{1000 F_{zx}}{A_{ps}}$$

②ヒンジボルトに発生する応力 σ_b

・扉体側

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{1000F_x}{n_1 \cdot A_s}$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{1000 \sqrt{F_z^2 + P_v^2}}{2n_1 \cdot A_s}$$

・枠体側

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{1000F_z}{2n_2 \cdot A_s}$$

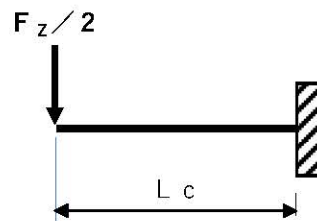
せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{1000 \sqrt{F_x^2 + \left(\frac{P_v}{2}\right)^2}}{n_2 \cdot A_s}$$

③縮付金具に発生する応力 σ_r

$$\sigma_{rb} = \frac{1000F_z \cdot L_c}{2Z_r}$$

$$A_{rs} = \frac{2}{3}A_r$$



(機械工学便覧 A3編 材料力学 3.8 せん断力によるはりの応力とたわみ)

$$\tau_{rs} = \frac{1000F_z}{2A_{rs}}$$

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_{rb}^2 + 3\tau_{rs}^2}$$

④ 車輪に発生するせん断応力 τ_{ws}

$$\tau_{ws} = \frac{1000(1 + K_v)G \cdot g}{2A_{ws}}$$

$$A_{ws} = \frac{3}{4}A_w$$

(機械工学便覧 A3編 材料力学 3.8 せん断力によるはりの応力とたわみ)

⑤ アンカーボルトに発生する応力

引張応力

$$\sigma_{an} = P'_H/n_a = K_H \cdot (G + G_F)g/n_a$$

せん断応力

$$\tau_{an} = P'_V/n_a = (1 + K_v) \cdot (G + G_F)g/n_a$$

4.4.3 許容応力

(1) ヒンジピン, ヒンジボルト, 締付金具, 車輪

ヒンジピン, ヒンジボルト, 締付金具及び車輪の許容限界は, 「鋼構造設計規準-許容応力度設計法- 「(社)日本建築学会, 2005改定」」を踏まえて材料の耐力及び引張強さの70%のいずれか小さい値を基準値Fとして, 許容応力は以下とする。

許容引張応力及び許容曲げ応力

$$f_t = f_b = F$$

許容せん断応力

$$f_s = \frac{F}{\sqrt{3}}$$

(2) アンカーボルト

「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」に基づき引張耐力及びせん断耐力を算出する。

引張耐力

$$T_a = \min(T_{a1}, T_{a2}, T_{a3})$$

T_a : 引張耐力

$$T_{a1} = \sigma_y a_0$$

T_{a1} : アンカーボルトの降伏により決まる引張耐力

σ_y : アンカーボルトの降伏強度

a_0 : アンカーボルトの有効断面積 (ねじ加工を考慮)

$$T_{a2} = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot A_c$$

$$A_c = \pi \ell_e (\ell_e + d_a)$$

$$\ell_e = \ell - d_a$$

T_{a2} : コンクリートのコーン破壊により決まる引張耐力

σ_B : コンクリートの圧縮強度

A_c : コンクリートのコーン破壊面の有効水平投影面積

ℓ_e : アンカーの有効埋め込み長さ

ℓ : アンカーの埋め込み長さ (穿孔長)

d_a : アンカーの呼び径

コンクリート開放端からアンカーボルト中心の距離がアンカーボルト穿孔長を下回る場合、すなわち、 $l' < l$ の場合、 A_c に替え A_c' を使用して T_{a2} を算出する。

$$T_{a2} = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot A_c'$$

$$A_c' = \frac{(360 - 2 \times \theta)}{360} \times l_e \times l \times \pi + l'^2 \times \tan \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{l'}{r'} \right)$$

$$r' = \sqrt{l_e \times l}$$

l' : コンクリート開放端からのはしあき
(アンカーボルト中心までの距離)

$$T_{a3} = 10 \sqrt{\left(\frac{\sigma_B}{21} \right)} \cdot \pi d_a l_e$$

T_{a3} : コンクリートの付着破壊より決まる引張耐力

$$T_{as} = \frac{2}{3} T_a \quad (T_a \text{ が } T_{a2} \text{ 又は } T_{a3} \text{ で決まる場合)}$$

$$T_{as} = T_a \quad (T_a \text{ が } T_{a1} \text{ で決まる場合)}$$

T_{as} : あと施工アンカーを用いた接合部(1本あたり)の短期許容引張耐力

せん断耐力

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

Q_a : せん断耐力

$$Q_{a1} = 0.7\sigma_y \times s a_c$$

Q_{a1} : アンカーボルトの降伏より決まるせん断耐力

σ_y : アンカーボルトの降伏強度

$s a_c$: アンカーボルトの公称断面積

$$Q_{a2} = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \times s a_c$$

Q_{a2} : コンクリートの支圧により決まるせん断耐力

E_c : コンクリートのヤング係数

σ_B : コンクリートの圧縮強度

$$Q_{a3} = 294 \times s a_c$$

Q_{a3} : ボルトのせん断強度上限値より決まるせん断耐力

$$Q_{as} = Q_a / 1.5$$

Q_{as} : 短期許容せん断耐力

4.5 評価条件

「4.4 評価方法」に用いる評価条件を表4-5-1に示す。

表4-5-1 評価条件(1/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止扉	G	t	浸水防止扉（扉体，部品含む） 自重(HAW-1)	0.64
			浸水防止扉（扉体，部品含む） 自重(HAW-2)	4.71
			浸水防止扉（扉体，部品含む） 自重(HAW-3)	0.63
	G _F	t	枠体自重(HAW-1)	0.76
			枠体自重(HAW-2)	2.85
			枠体自重(HAW-3)	0.77
震度	K _H	—	水平震度	1.18
	K _V	—	鉛直震度	0.79
地震力	P _H	kN	水平方向地震力(HAW-1) （扉体，部品含む）	7.41
			水平方向地震力(HAW-2) （扉体，部品含む）	54.5
			水平方向地震力(HAW-3) （扉体，部品含む）	7.29
	P _V	kN	鉛直方向地震力(HAW-1) （扉体，部品含む）	11.23
			鉛直方向地震力(HAW-2) 下段横引扉（扉体，部品含む） 車輪の応力	59.7
			鉛直方向地震力(HAW-3) （扉体，部品含む）	11.06
強度計算荷重 （耐津波）	P _h	kN	津波による波力(HAW-1)	446.2
			津波による波力(HAW-2)	1795
			津波による波力(HAW-3)	453.6
ヒンジピン (HAW-1, 3)	A _P	mm ²	断面積	490.9
	A _{PS}	mm ²	せん断断面積	368.2
ヒンジボルト (HAW-1, 3)	n ₁	本	本数（扉体側）	5
	n ₂	本	本数（枠体側）	5
	A _S	mm ²	有効断面積	157.0

表4-5-1 評価条件(2/3)

対象部位	記号	単位	定義	数値
地震力	P'_H	kN	水平方向地震力(HAW-1) (扉体と枠体合計)	16.2
			水平方向地震力(HAW-2) (扉体と枠体合計)	87.5
			水平方向地震力(HAW-3) (扉体と枠体合計)	16.2
	P'_V		鉛直方向地震力(HAW-1) (扉体と枠体合計)	24.6
			鉛直方向地震力(HAW-2) (扉体と枠体合計)	132.7
			鉛直方向地震力(HAW-3) (扉体と枠体合計)	24.6
締結金具 (HAW-1, 3)	L_C	mm	支点から荷重作用点までの距離	80
	A_{rs}	mm ²	せん断断面積	416
	Z_T	mm ³	断面係数	1664
ヒンジ 中心間距離	L_a	mm	浸水防止扉 HAW-1	1768
			浸水防止扉 HAW-3	1754
扉体中心から ヒンジまでの 水平方向距離	L_b	mm	浸水防止扉 HAW-1	631
			浸水防止扉 HAW-3	641
車輪(HAW-2)	A_{ws}	mm ²	せん断断面積	942.5
アンカーボルト	n_a	本	本数(HAW-1, 3)	14
			本数(HAW-2)	22
	l	mm	埋め込み長さ(穿孔長)	130
	d_a	mm	呼び径	16
	l_e	mm	有効埋め込み長さ	114

表4-5-1 評価条件(3/3)

記号	単位	定義	数値
σ_y	N/mm ²	アンカーボルトの降伏強度	205
a_0	mm ²	アンカーボルトM16の有効断面積 (ネジ加工を考慮)	157
σ_B	N/mm ²	コンクリートの圧縮強度	20.6
E_C	N/mm ²	コンクリートのヤング係数	21944
$s_a c$	mm ²	アンカーボルトM16の公称断面積	199
l'	mm	はしあき(HAW-1,3)	100
		はしあき(HAW-2)	220
r'	mm	コーン破壊面の有効水平投影面積の 半径(HAW-1,3)	121.7
		コーン破壊面の有効水平投影面積(HAW-1,3)	44507
A_c, A'_c	mm ²	コーン破壊面の有効水平投影面積(HAW-2)	46558
		アンカーボルトの降伏により決まる 引張耐力(HAW-1,3)	32.1
T_{a1}	kN	アンカーボルトの降伏により決まる 引張耐力(HAW-2)	32.1
		コンクリートのコーン破壊により決まる 引張耐力(HAW-1,3)	46.4
T_{a2}	kN	コンクリートのコーン破壊により決まる 引張耐力(HAW-2)	48.6
		コンクリートの付着破壊により決まる 引張耐力(HAW-1,3)	56.7
T_{a3}	kN	コンクリートの付着破壊により決まる 引張耐力(HAW-2)	56.7
		アンカーボルトの降伏により決まる せん断耐力(HAW-1,3)	28.5
Q_{a1}	kN	アンカーボルトの降伏により決まる せん断耐力(HAW-2)	28.5
		コンクリートのコーン破壊により決まる せん断耐力(HAW-1,3)	53.0
Q_{a2}	kN	コンクリートのコーン破壊により決まる せん断耐力(HAW-2)	53.0
		ボルトせん断強度上限値より決まる せん断耐力(HAW-1,3)	58.5
Q_{a3}	kN	ボルトせん断強度上限値より決まる せん断耐力(HAW-2)	58.5

4.6 評価結果

浸水防止扉の扉体にかかる設計地震動による慣性力と津波による波力の比較を行った結果を表4-6-1に示す。

浸水防止扉の扉体の強度評価は、設計地震動による慣性力が津波による波力に比べて小さいことから、津波に対する扉体の強度評価に包含される。

浸水防止扉の扉体部品及びアンカーボルトの評価結果をそれぞれ表4-6-2及び表4-6-3に示す。

扉体部品及びアンカーボルトの発生応力は許容限界以下であることを確認した。

表4-6-1 扉体にかかる設計地震動による慣性力と津波による波力の比較

名称	① 設計地震動による慣性力(kN)	② 津波による波力(kN)	①/② 荷重比
浸水防止扉 HAW-1	7.41	446.2	0.02
浸水防止扉 HAW-2	54.5	1795	0.03
浸水防止扉 HAW-3	7.29	453.6	0.02

表4-6-2 評価結果（扉体部品）

名称	評価対象部位	① 発生応力(N/mm ²)	② 許容応力(N/mm ²)	①/② 検定比
浸水防止扉 HAW-1	ヒンジピン	12	118	0.11
	ヒンジボルト	6	205	0.03
	締付金具	90	205	0.44
浸水防止扉 HAW-2	車輪	32	118	0.28
浸水防止扉 HAW-3	ヒンジピン	13	118	0.12
	ヒンジボルト	6	205	0.03
	締付金具	88	205	0.43

表4-6-3 評価結果（アンカーボルト）

名称	応力	① 発生応力 (kN/本)	② 許容応力 (kN/本)	①/② 検定比
浸水防止扉 HAW-1	引張	1.2	32.1	0.04
	せん断	1.8	19.0	0.10
浸水防止扉 HAW-2	引張	4.0	32.1	0.13
	せん断	6.1	19.0	0.33
浸水防止扉 HAW-3	引張	1.2	32.1	0.04
	せん断	1.8	19.0	0.10

建物・構築物及び機器・配管系の構造（耐震性）の
評価で使用した計算機プログラム（解析コード）の概要

1. 概要

別添 6-1-2-5「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」において使用した計算機プログラム（解析コード）の概要を示す。使用した計算機プログラムで、他の原子力施設の審査に用いられている実績例も併せて示す。

2. 使用した計算プログラム

項目 \ コード名	TDAP III
対象	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟, 第二付属排気筒及び第二付属排気筒ダクト接続架台
使用目的	建家・構築物の地震応答解析
開発機関	株式会社アーク情報システム 大成建設株式会社
使用したバージョン	Ver. 3.09
コードの概要	時刻歴領域における 3 次元構造解析が可能な汎用解析プログラムである。部材の材料非線形性及び基礎浮き上がりの非線形性を考慮した地震応答解析を行うことができる。
使用実績	日本原子力発電株式会社 東海第二発電所で使用実績あり。

項目 \ コード名	Nshake
対象	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 及び第二付属排気筒
使用目的	1 次元地盤の地震応答解析 (建家入力地震動の算定)
開発機関	株式会社ニュージェック
使用したバージョン	Ver. 1.1
コードの概要	重複反射理論に基づく 1 次元地盤の地震応答解析を行うことが可能な解析プログラムである。地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができる。
使用実績	関西電力株式会社 美浜発電所, 高浜発電所で使用実績あり。

項目	コード名 Nbspgl
対象	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 及び第二付属排気筒
使用目的	建家解析モデルに用いる底面地盤ばねの算定
開発機関	株式会社ニュージェック
使用したバージョン	Ver. 2.0
コードの概要	振動アドミッタンス理論に基づき水平, 鉛直, 回転に対する底面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
使用実績	関西電力株式会社 美浜発電所, 高浜発電所で使用実績あり。

項目	コード名 Nnovak1
対象	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
使用目的	建家解析モデルに用いる側面地盤ばねの算定
開発機関	株式会社ニュージェック
使用したバージョン	Ver. 1.4
コードの概要	Novak らの論文「Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case, 1978」に基づき水平, 鉛直, 回転に対する側面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
使用実績	関西電力株式会社 美浜発電所, 高浜発電所で使用実績あり。

項目	コード名 FINAS
対象	機器・配管系
使用目的	機器の地震応答解析（静的解析，動的解析）
開発機関	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 株式会社伊藤忠テクノソリューションズ
使用したバージョン	Ver. 21.0
コードの概要	FINAS (Finite Element Nonlinear Structural Analysis System) は、線形及び非線形の三次元有限要素法による汎用構造解析プログラムである。国産コードとしては初めての非弾性解析機能を備えた汎用コードとして開発されたもので、固有値解析，静的応力解析及び動的応答解析（スペクトルモーダル法，時刻歴応答解析等），伝熱解析，構造流体連成解析等が可能である。
使用実績	日本原子力研究開発機構 高速増殖原型炉もんじゅ及び九州電力株式会社 玄海原子力発電所で使用実績あり。

項目	コード名 MSC NASTRAN
対象	機器・配管系
使用目的	機器の地震応答解析（静的解析，動的解析）
開発機関	MSC Software Corporation
使用したバージョン	Ver. 2005r2
コードの概要	MSC NASTRAN は、航空機設計のために NASA 向けに MSC 社が開発した三次元有限要素法による汎用構造解析プログラムである。静的応力解析及び動的応答解析（スペクトルモーダル法，時刻歴応答解析等），伝熱解析，構造流体連成解析等が可能である。
使用実績	日本原子力発電株式会社 東海第二発電所等発電炉で使用実績あり。日本原子力研究開発機構 高速増殖原型炉もんじゅで使用実績あり。

項目 \ コード名	ABAQUS
対象	機器・配管系
使用目的	機器の地震応答解析（静的解析，動的解析）
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
使用したバージョン	Ver. 6.14-2
コードの概要	ABAQUS は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc (HKS 社) で開発された三次元有限要素法による汎用構造解析プログラムである。静的応力解析及び動的応答解析（スペクトルモーダル法，時刻歴応答解析等），伝熱解析，非線形解析等が可能である。
使用実績	日本原子力発電株式会社 東海第二発電所等多くの発電炉で使用実績あり。

再処理施設の津波影響評価に関する説明書
「再処理施設の津波影響評価」

I 耐津波設計の基本方針

(記載内容に変更がないため、省略)

II 廃止措置計画用設計津波の概要

(記載内容に変更がないため、省略)

III 入力津波の設定

(記載内容に変更がないため、省略)

IV 耐津波設計における津波荷重と組み合わせる余震荷重

(記載内容に変更がないため、省略)

V 漂流可能性のある漂流物の選定

1. 概要

(記載内容に変更がないため、省略)

2. 基本方針

(記載内容に変更がないため、省略)

3. 代表漂流物の選定

(記載内容に変更がないため、省略)

4. 今後の対応

津波漂流物防護柵で構成する漂流物の影響防止施設においては、浸水後の引き波の影響評価を含めた設計津波の流況及び漂流物の軌跡解析を行うとともに、代表漂流物及び津波防護対策の妥当性を令和2年10月末までに検証する。必要に応じて、検証の結果を津波防護対策の設計に反映する。

再処理施設における代表漂流物の選定について

1. はじめに

(記載内容に変更がないため、省略)

2. 調査

(記載内容に変更がないため、省略)

3. 調査結果

(記載内容に変更がないため、省略)

4. 代表漂流物

(記載内容に変更がないため、省略)

5. 今後の予定

選定した代表漂流物を用いて、津波防護対策の設計を開始する。具体的には、代表漂流物の重量等から漂流物の衝突エネルギーを算出し、津波防護対策への設計に反映する。

また、浸水後の引き波の影響評価を含めた設計津波の流況及び漂流物の軌跡解析を行うとともに、代表漂流物及び津波防護対策の妥当性を令和2年10月末までに検証する。必要に応じて、検証の結果を津波防護対策の設計に反映する。

(以降記載内容に変更がないため、省略)

別添 6-1-3-2

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の廃止措置計画用設計津波に対する
津波影響評価に関する説明書

I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設の設計方針

（記載内容に変更がないため、省略）

II 余震による地震応答解析

（記載内容に変更がないため、省略）

III-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価

1. 概要

（記載内容に変更がないため、省略）

2. 一般事項

（記載内容に変更がないため、省略）

3. 強度評価方法

（記載内容に変更がないため、省略）

4. 評価条件

（記載内容に変更がないため、省略）

5. 評価結果

5.1 ケース1（浮力＋余震＋水圧）の強度評価結果

（記載内容に変更がないため、省略）

5.2 ケース2（波力＋余震）の強度評価結果

（記載内容に変更がないため、省略）

5.3 ケース3（波力＋漂流物衝突荷重）の強度評価結果

（記載内容に変更がないため、省略）

5.4 評価のまとめ

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は、ケース1（浮力+余震+水圧）、ケース2（波力+余震）、ケース3（波力+漂流物衝突荷重）の荷重条件に対して、保有水平耐力の検定比は最大0.49、接地圧の検定比は最大0.30であり、許容限界（終局耐力）以下であることを確認した。また、建家外壁のうち1階外壁（ ）及び1階外壁北面（ ）についても検定比は最大0.89であり、許容限界（短期許容応力）以下であることを確認した。

建家外壁の評価に用いた応力（曲げモーメント、せん断力）は、表4-1～表4-3に示すとおり、水圧や余震、漂流物による応力に比べて波力による応力が大きい。波力算定に用いる津波高さについては「港湾構造物なし、周辺建家なし」とし、潮位変動に基づき潮位のばらつきを考慮した値とするなど、安全側となる荷重の設定としており、1階外壁（ ）及び1階外壁北面（ ）も含め、耐津波設計上の裕度を有している。

一方、1階外壁南面（ ）の応力は、ケース1, 2, 3いずれにおいても許容限界を超えるため、当該部位に対しコンクリートの増打ち補強を実施する。工事の計画として具体的な補強方法を別冊1-14に示す。また、増打ち補強後の評価を添付資料6-1-3-2-3「高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について」に示す。

2.2 構造概要

浸水防止扉は、片開型及び横引型の鋼製扉であり、扉板の背面に芯材（主桁及び縦桁）を配した構造である。

扉枠は、アンカーボルトにより建家壁面に固定する構造である。

2.3 評価方針

浸水防止扉の強度評価は、別添 6-1-3-2「I 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設の設計方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、浸水防止扉の評価部位の発生応力が許容限界内に収まることを確認する。

各設備の評価部位の発生応力は「荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重から、「計算方法」に示す方法により算出し、許容限界は「許容限界」に示す値とする。

浸水防止扉の強度評価フローを図 2-3-1 に示す。

評価部位は、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達経路を考慮して設定する。

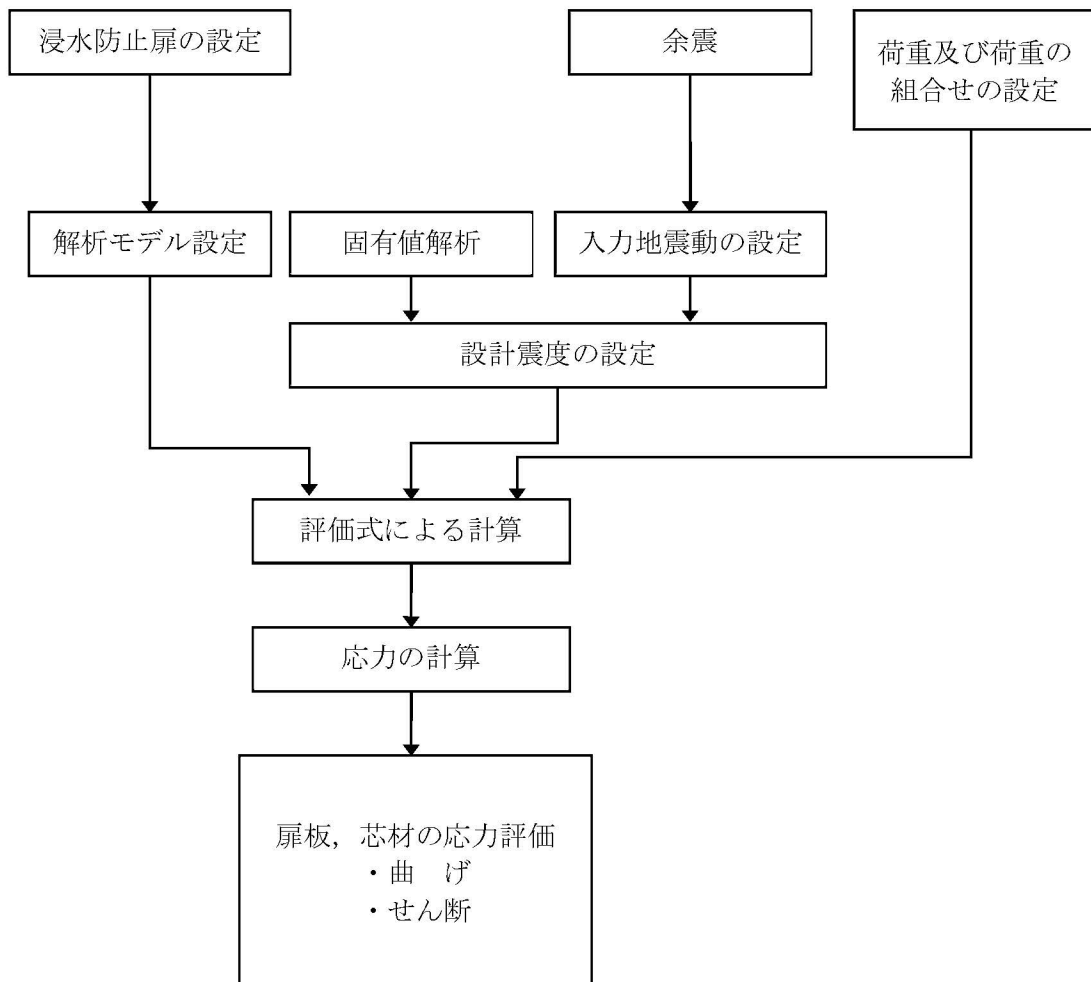


図 2-3-1 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- (4) 日本工業規格 JIS G 4304（2012）熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯

2.5 記号の説明

浸水防止扉の強度評価に用いる記号を表 2-5-1 に示す。

表 2-5-1 強度評価に用いる記号 (1/4)

記号	定義	単位
A_{wn}	主桁のせん断断面積 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	mm^2
A_{w1n}	主桁のせん断断面積 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	mm^2
A_{w2n}	主桁のせん断断面積 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	mm^2
A'_{wn}	縦桁のせん断断面積 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	mm^2
A'_{w1n}	縦桁のせん断断面積 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	mm^2
A'_{w2n}	縦桁のせん断断面積 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	mm^2
a_n	主桁ピッチ (n=1~3) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	m
a_{1n}	主桁ピッチ (n=1) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	m
a_{2n}	主桁ピッチ (n=1~3) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	m
B	縦桁の受圧幅	m
b	扉全体の受圧幅	m
b_m	縦桁ピッチ (m=1, 2)	m
g	重力加速度	m/s^2
G	扉体自重 (部品含む) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	t
G_1	扉体自重 (部品含む) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	t
G_2	扉体自重 (部品含む) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	t
H_{Xn}	当該部分の浸水深 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	m
H_{X1n}	当該部分の浸水深 (n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	m
H_{X2n}	当該部分の浸水深 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	m
H_g	受圧高 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	m
H_{g1}	受圧高 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	m
H_{g2}	受圧高 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	m
K_H	水平震度	-
K_S	単位面積当たりの余震による地震荷重 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN/m^2
K_{S1}	単位面積当たりの余震による地震荷重 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN/m^2
K_{S2}	単位面積当たりの余震による地震荷重 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN/m^2

表 2-5-1 強度評価に用いる記号 (2/4)

記号	定義	単位
L	主桁の長さ	m
M_n	桁に生じる曲げモーメント (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN・m
M_{1n}	桁に生じる曲げモーメント (n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN・m
M_{2n}	桁に生じる曲げモーメント (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN・m
Q_n	桁に生じるせん断力 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN
Q_{1n}	桁に生じるせん断力 (n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN
Q_{2n}	桁に生じるせん断力 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN
P_{an}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの直線形分布荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN/m
P_{a1n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの直線形分布荷重 (n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN/m
P_{a2n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの直線形分布荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN/m
P_{bn}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN/m
P_{b1n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN/m
P_{b2n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN/m
P_n	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積当たりの荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN/m ²
P_{1n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積当たりの荷重 (n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN/m ²
P_{2n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積当たりの荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN/m ²
P'_n	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN/m
P'_{1n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの荷重 (n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN/m
P'_{2n}	該当部位の縦桁に作用する単位長さ当たりの荷重 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN/m

表 2-5-1 強度評価に用いる記号 (3/4)

記号	定義	単位
P_{hn}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積当たりの静水圧荷重(n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN/m^2
P_{h1n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積当たりの静水圧荷重(n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN/m^2
P_{h2n}	該当部位の扉板及び主桁に作用する単位面積当たりの静水圧荷重(n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN/m^2
f	1次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/m^2
I	断面2次モーメント	m^4
m	質量分布	kg/m
T	固有周期	s
λ	定数	—
Z_{wn}	主桁の断面係数 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	mm^3
Z_{w1n}	主桁の断面係数 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	mm^3
Z_{w2n}	主桁の断面係数 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	mm^3
Z'_{wn}	縦桁の断面係数 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	mm^3
Z'_{w1n}	縦桁の断面係数 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	mm^3
Z'_{w2n}	縦桁の断面係数 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	mm^3
t	扉体の板厚	mm
W_n	該当部位の主桁が受ける単位長さ当たりの荷重(n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	kN/m
W_{1n}	該当部位の主桁が受ける単位長さ当たりの荷重(n=1, 2) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	kN/m
W_{2n}	該当部位の主桁が受ける単位長さ当たりの荷重(n=1~4) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	kN/m

表 2-5-1 強度評価に用いる記号 (4/4)

記号	定義	単位
β, β_n	扉板に発生する応力の応力係数	—
C_n	扉板の短辺側の長さ	mm
ρ	水の密度	t/m ³
σ_n	桁に生じる曲げ応力 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	N/mm ²
σ_{1i}	桁に生じる曲げ応力 (主桁:n, 縦桁:m) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	N/mm ²
σ_{2i}	桁に生じる曲げ応力 (主桁:n, 縦桁:m) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	N/mm ²
$\sigma_{pa\ nm}$	津波と余震荷重により扉板に生じる応力 (区画 n, m) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	N/mm ²
$\sigma_{pa\ 1nm}$	津波と余震荷重により扉板に生じる応力 (区画 n, m) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	N/mm ²
$\sigma_{pa\ 2nm}$	津波と余震荷重により扉板に生じる応力 (区画 n, m) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	N/mm ²
σ_{pa}	津波と余震荷重により扉板に生じる応力	N/mm ²
σ_p	扉板に生じる応力	N/mm ²
σ_{cn}	組合せ応力 浸水防止扉(n=1~4) HAW-1 及び HAW-3	N/mm ²
σ_c	組合せ応力 (最大) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	N/mm ²
σ_{c1n}	組合せ応力 浸水防止扉(n=1, 2) HAW-2 (上段)	N/mm ²
σ_{c1}	組合せ応力 (最大) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	N/mm ²
σ_{c2n}	組合せ応力 浸水防止扉(n=1~4) HAW-2 (下段)	N/mm ²
σ_{c2}	組合せ応力 (最大) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	N/mm ²
τ_n	桁に生じるせん断応力 (n=1~4) 浸水防止扉 HAW-1 及び HAW-3	N/mm ²
τ_{1i}	桁に生じるせん断応力 (主桁:n, 縦桁:m) 浸水防止扉 HAW-2 (上段)	N/mm ²
τ_{2i}	桁に生じるせん断応力 (主桁:n, 縦桁:m) 浸水防止扉 HAW-2 (下段)	N/mm ²

2.6 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

① 津波による波力 (P_{hn})

遡上津波荷重については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の地表面から波力算定用津波高さ h までの高さを考慮して算定する。算定に当たっては、静水圧及び動水圧の影響として水深係数 $\alpha=3.0$ を考慮する。

② 余震による荷重 (K_S)

余震による荷重として、別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」の応答値による慣性力を考慮する。

③ 風荷重

風荷重については、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) の規定に基づき組合せを考慮しない。

④ 積雪荷重

積雪荷重については、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) の規定に基づき特定行政庁が指定する区域に該当しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重の組合せは、別添 6-1-3-2「高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の廃止措置計画用設計津波に対する津波影響評価に関する説明書 Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価」に示す、荷重条件の最も厳しいケース 2 (波力+余震) の条件で実施する。

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

浸水防止扉の構造に応じて解析モデルを設定し，固有周期を計算する。

3.1.1 解析モデルの設定

浸水防止扉は，扉板及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに，ヒンジ及び締付装置により扉を扉枠に支持させる構造であることから，両端支持はりに単純化したモデルとし，最大スパン部のはり（芯材）に，当該はりが受ける扉本体（扉板，芯材）の自重及び付属品（締結装置等）の自重を加えるものとする。はり長さは扉幅とする。浸水防止扉の固有周期解析モデル図を図 3-1-1-1 に示す。

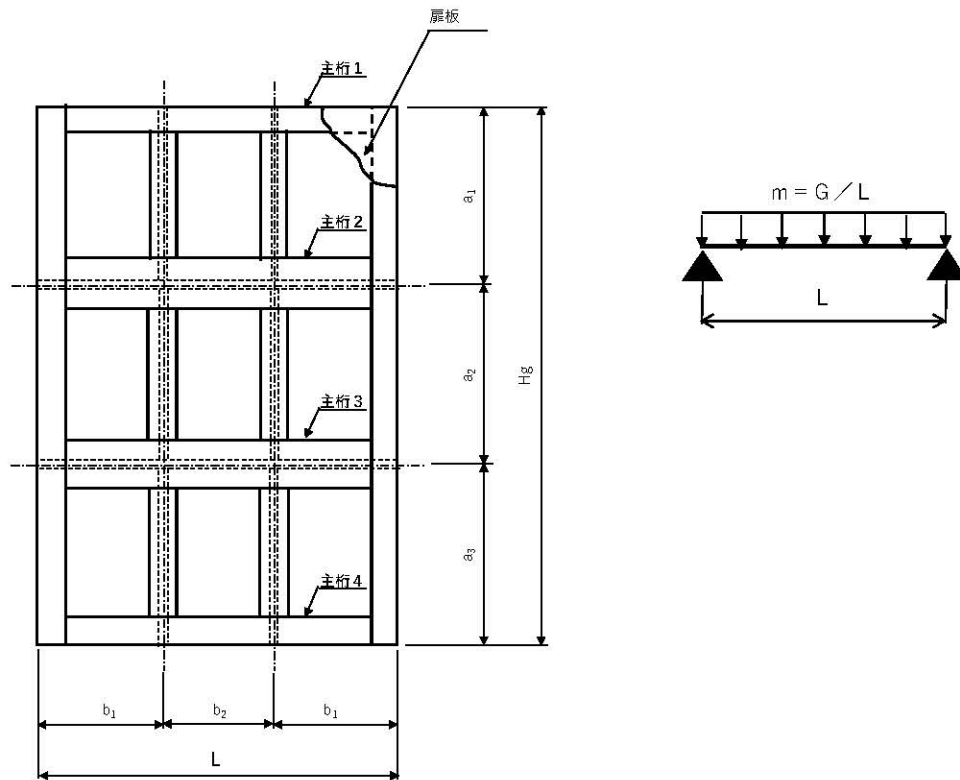


図 3-1-1-1 浸水防止扉の固有周期解析モデル

3.1.2 固有周期の計算方法

1次固有振動数 f を「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき以下の式より計算する。

(1) 両端支持はりモデルの固有振動数

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

(2) 固有周期

$$T = \frac{1}{f}$$

3.2 固有周期の計算条件

浸水防止扉の固有周期の計算条件を表 3-2-1 に示す。

表 3-2-1 浸水防止扉の固有周期の計算条件（両端支持はりモデル）

浸水防止扉名称	はり長さ L (m)	縦弾性係数* E (N/m ²)	断面 2 次 モーメント I (m ⁴)	質量分布 m (kg/m)
浸水防止扉 HAW-1	1.212	1.93 × 10 ¹¹	0.0004963	528.05
浸水防止扉 HAW-2 上段固定扉	3.250	1.93 × 10 ¹¹	0.0004375	403.08
浸水防止扉 HAW-2 下段横引扉	3.250	1.93 × 10 ¹¹	0.0010982	1046.15
浸水防止扉 HAW-3	1.232	1.93 × 10 ¹¹	0.00004963	511.37

※ JIS B8265 表 D.1-材料の各温度における縦弾性係数：材料グループ G

3.3 固有周期の計算結果

浸水防止扉の固有周期の計算結果を表 3-3-1 に示す。各浸水防止扉の固有周期が 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3-1 浸水防止扉の固有周期の計算結果

浸水防止扉名称	固有周期 T(s)	固有振動数 f (Hz)
浸水防止扉 HAW-1	0.007	144
浸水防止扉 HAW-2 上段固定扉	0.014	68
浸水防止扉 HAW-2 下段横引扉	0.014	66
浸水防止扉 HAW-3	0.008	141

4. 浸水防止扉 HAW-1

4.1 評価部位

浸水防止扉は、片開型の鋼製扉であり、鋼製の扉板に芯材を取り付けて締付装置を鋼製の扉枠に差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造である。

浸水防止扉 HAW-1 に生じる津波及び余震に伴う荷重は、扉板から芯材(主桁、縦桁)まで、芯材から扉枠を介して躯体まで伝達するため、評価部位を扉板及び芯材とする。

浸水防止扉 HAW-1 の構造図を図 4-1-1、評価部位を図 4-1-2 に示す。

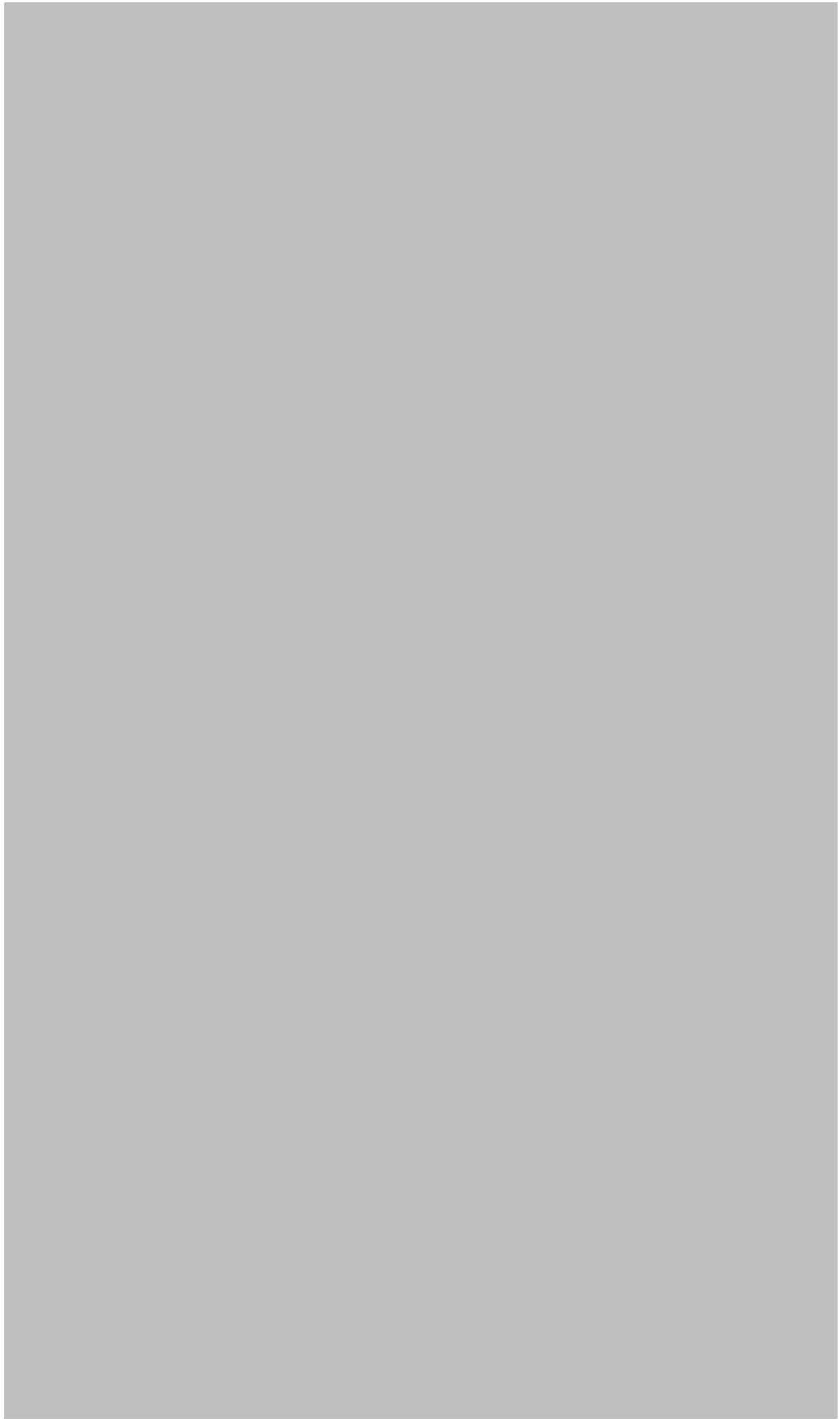


図 4-1-1 浸水防止扉 HAW-1 の構造図

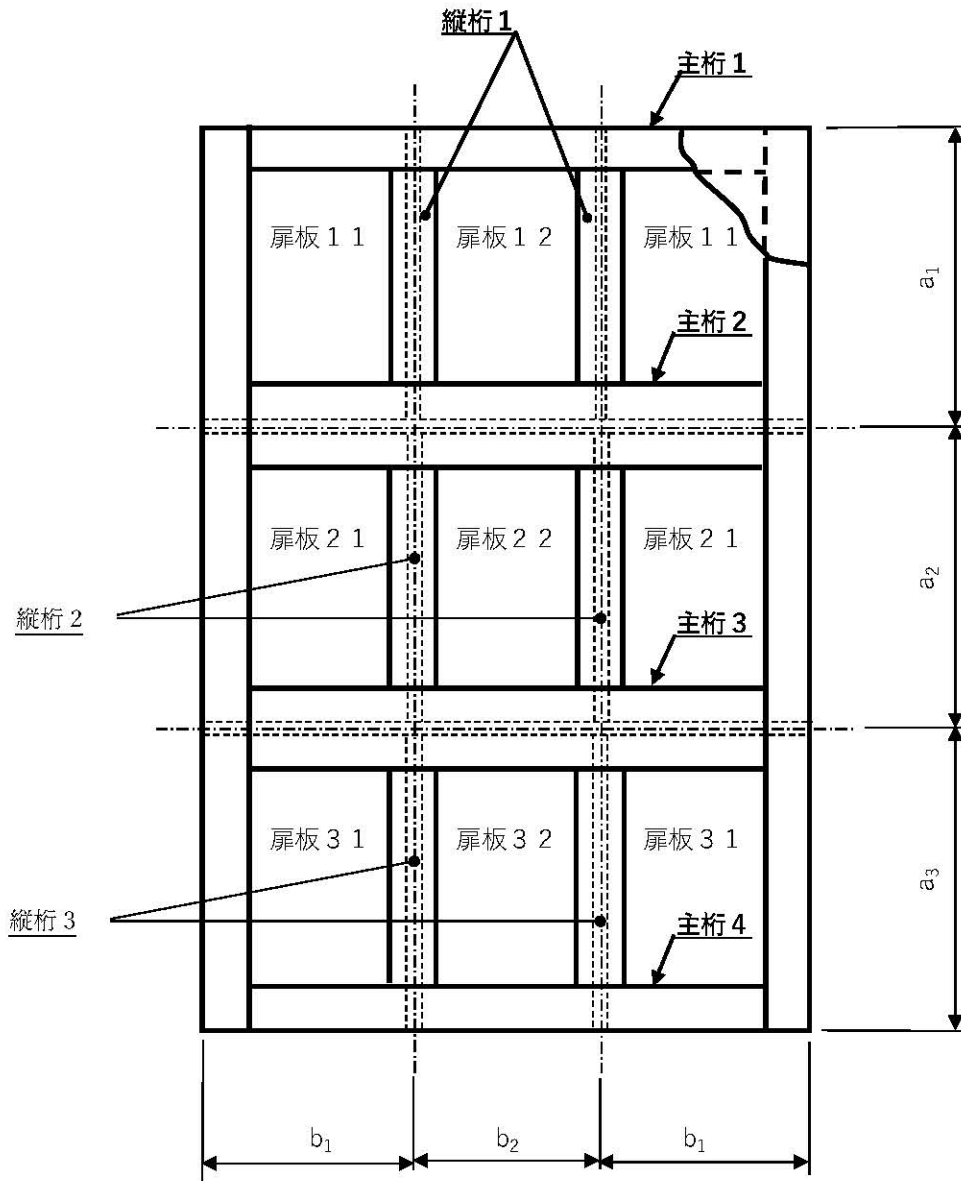


図 4-1-2 浸水防止扉 HAW-1 の評価部位

4.2 構造強度評価方法

浸水防止扉 HAW-1 の強度評価は、「4.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを踏まえ、「4.6 計算方法」に示す方法を用いて応力を算定し、「4.4 許容限界」に示す許容限界以内であることを確認する。

4.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、以下のとおりとする。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 津波による遡上津波荷重 (P_{hm})

津波に伴う荷重として、遡上津波荷重を考慮する。

$$P_{hm} = \rho \cdot g \cdot H_{Xn}$$

津波の浸水高さは、T.P.+12.1 m (浸水深 6.1 m) に水深係数 $\alpha=3.0$ を考慮して 18.3 m として評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる水圧作用高さ及び海水の密度を表 4-3-1 に示す。

表 4-3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ G.L. (m)	海水の密度 (t/m ³)
浸水防止扉 HAW-1	18.3	1.03

b. 余震による荷重 (K_S)

余震による荷重は、弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力 (動水圧を含まない。) とする。

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。地震による荷重 K_S は、浸水防止扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = \frac{K_H \cdot G \cdot g}{b \cdot H_g}$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せを表 4-3-2 に示す。

表 4-3-2 強度評価に用いる荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ※
浸水防止扉 HAW-1	$P_n = P_{hn} + K_S$

※ P_{hn} は津波による波力， K_S は余震による荷重を示す。

4.4 許容限界

(1) 使用材料

浸水防止扉 HAW-1 を構成する扉板、芯材の使用材料を表 4-4-1 に示す。

表 4-4-1 扉板、芯材の使用材料

部 位		材 質	仕 様 (mm)
扉 板		SUS304	2174×1212×t12
芯 材	主 桁 (上段及び下段)	SUS304	C150×75×9×9
	主 桁 (中間)	SUS304	H150×150×9×10
	縦 桁	SUS304	T150×80×8×8

(2) 許容限界

扉板、芯材の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて表 4-4-2 の値とする。

表 4-4-2 扉板、芯材の許容限界

材 料	短期許容応力 (N/mm ²)	
	曲 げ	せん断
SUS304 [*]	205	118

※許容応力度を決定する場合の基準値 F の値は、「JIS G 4304:2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

4.5 設計地震力

「3. 固有周期」に示したとおり浸水防止扉 HAW-1 の固有周期が 0.05 秒以下であることを確認したため、浸水防止扉 HAW-1 の強度計算で用いる設計震度は、別添 6-1-3-2 「Ⅱ余震による地震応答解析」で得られた水平震度 0.5 を 1.2 倍した 0.6 を用いる。

4.6 計算方法

浸水防止扉 HAW-1 の強度評価における応力の計算方法を以下に示す。

① 扉板

扉板に生じる応力は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、等変分布荷重及び等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として、「土木学会 構造力学公式集」に基づき、次式により算定する。浸水防止扉 HAW-1 の扉板に生じる応力の例を図 4-6-1 に示す。

$$\sigma_{pa\ nm} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_n \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{n+1} - P_n) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_n, b_m)$$

$$\sigma_p = \text{MAX}(\sigma_{pa\ nm})$$

$$(n = 1 \sim 3, m = 1, 2)$$

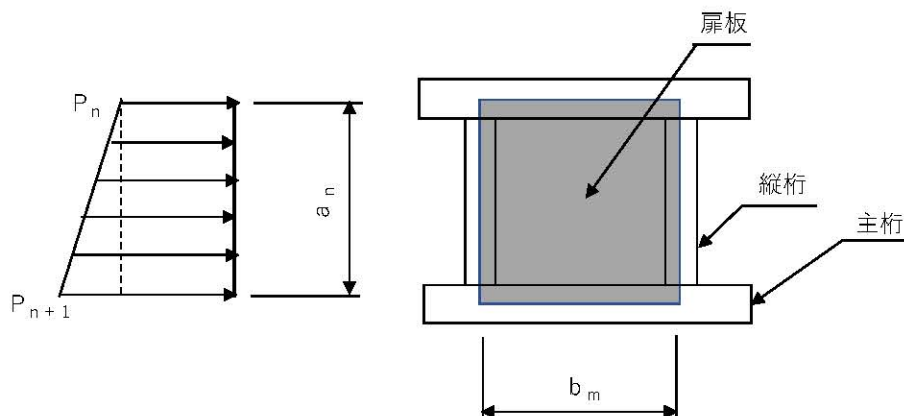


図 4-6-1 扉板に生じる応力の例

② 芯材

芯材に生じる応力は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平）に応じて「日本機械学会 機械工学便覧 基礎編 A 4 材料力学」の「はり」の公式に基づき、それぞれ算定する。

(a) 主桁

水平方向に取り付く主桁については、次式により算定する。主桁に生じる荷重の例を図 4-6-2 に示す。

$$w_1 = \frac{(2P_1 + P_2) \cdot a_1}{6}$$

$$w_2 = \frac{(2P_2 + P_1) \cdot a_1}{6} + \frac{(2P_2 + P_3) \cdot a_2}{6}$$

$$w_3 = \frac{(2P_3 + P_2) \cdot a_2}{6} + \frac{(2P_3 + P_4) \cdot a_3}{6}$$

$$w_4 = \frac{(2P_4 + P_3) \cdot a_3}{6}$$

$$M_n = \frac{W_n \cdot L^2}{8}$$

$$Q_n = \frac{W_n \cdot L}{2}$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 M_n}{Z_{xn}}$$

$$\tau_n = \frac{1000 Q_n}{A_{wn}}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 4)$$

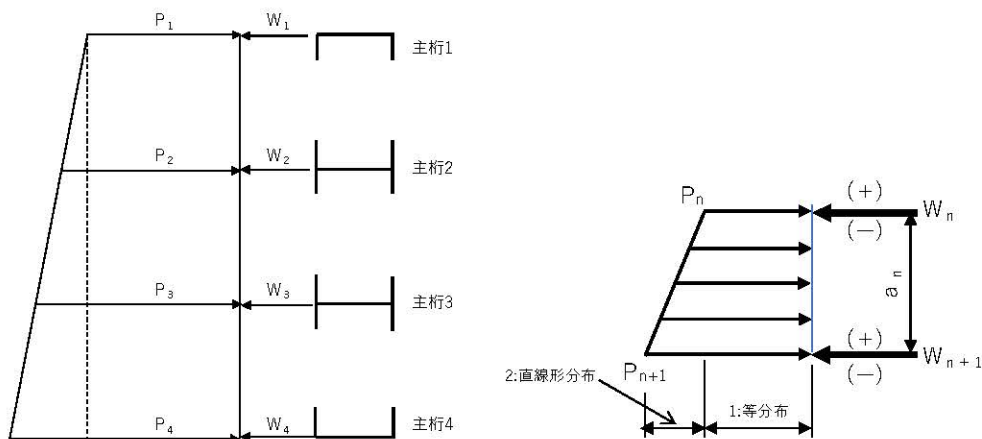


図 4-6-2 主桁に生じる荷重の例

(b) 縦桁

鉛直方向に取り付く縦桁については、荷重は各桁（中間縦桁及び端縦桁）で分担することとし、等分布荷重を受ける両端支持の単純梁として、次式により算定する。縦桁に生じる荷重の例を図4-6-3に示す。

$$M_n = a_n^2 \cdot \left(\frac{P_{an}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{bn}}{8} \right)$$

$$Q_n = a_n \cdot \left(\frac{P_{an}}{3} + \frac{P_{bn}}{2} \right)$$

$$P'_n = B \cdot P_n$$

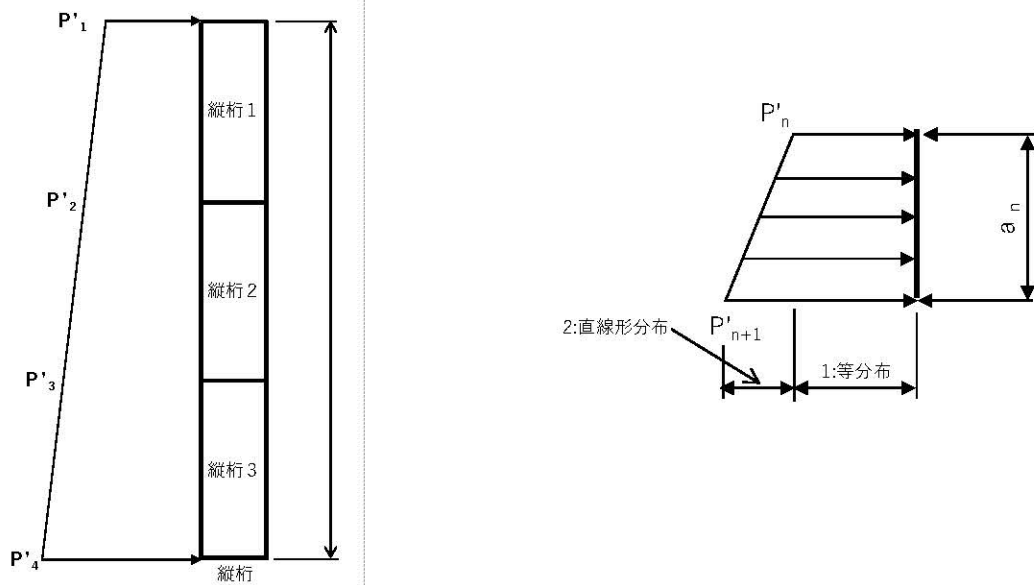
$$P_{an} = P'_{n+1} - P'_n, \quad P_{bn} = P'_n$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_n}{Z'_{x1}}$$

$$\tau_n = \frac{1000Q_n}{A'_{w1}}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 3)$$



(1: 等分布成分が P_{bn} , 2: 直線形分布成分が P_{an})

図4-6-3 縦桁に生じる荷重の例

4.7 評価条件

評価条件を表 4-7-1 に示す。

表 4-7-1 浸水防止扉 HAW-1 の強度評価に用いる条件(1/6)

対象部位	記号	単位	定義	数値
扉板	P_{h1}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重(最上段部)	158.4
	P_{h2}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重(中段上部)	165.7
	P_{h3}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重(中段下部)	172.9
	P_{h4}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重(最下段部)	180.3
	K_S	kN/m^2	単位面積当たりの余震荷重	1.429
	P_1	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重(最上段部)	159.8
	P_2	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重(中段上部)	167.1
	P_3	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重(中段下部)	174.3
	P_4	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重(最下段部)	181.7
	H_{x1}	m	浸水面からの浸水深(主桁1)	15.678
	H_{x2}	m	浸水面からの浸水深(主桁2)	16.408
	H_{x3}	m	浸水面からの浸水深(主桁3)	17.118
	H_{x4}	m	浸水面からの浸水深(主桁4)	17.852

表 4-7-1 浸水防止扉 HAW-1 の強度評価に用いる条件 (2/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
扉板	G	t	浸水防止扉自重 (扉体、部品含む)	0.64
	β_1	—	応力係数 (等分布荷重)	0.5
	β_2	—	応力係数 (直線形分布荷重)	0.3
	C_1, C_2	m	矩形板の短辺長 (a_n, b_1)	0.409
		m	矩形板の短辺長 (a_n, b_2)	0.394
	a_1	m	主桁ピッチ	0.730
	a_2	m	主桁ピッチ	0.710
	a_3	m	主桁ピッチ	0.734
	b_1	m	縦桁ピッチ	0.409
	b_2	m	縦桁ピッチ	0.394
	t	mm	扉板厚	12

表 4-7-1 浸水防止扉 HAW-1 の強度評価に用いる条件 (3/6)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	L	m	主桁の長さ	1.212
	P ₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最上段部)	159.8
	P ₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段上部)	167.1
	P ₃	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段下部)	174.3
	P ₄	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最下段部)	181.7
	a ₁	m	主桁ピッチ	0.730
	a ₂	m	主桁ピッチ	0.710
	a ₃	m	主桁ピッチ	0.734
	Z _{x1}	mm ³	断面係数 (最上段部)	112600
	Z _{x2}	mm ³	断面係数 (中段上部)	218300
	Z _{x3}	mm ³	断面係数 (中段下部)	218300
	Z _{x4}	mm ³	断面係数 (最下段部)	112600
	A _{w1}	mm ²	せん断断面積 (最上段部)	1188
	A _{w2}	mm ²	せん断断面積 (中段上部)	1170
	A _{w3}	mm ²	せん断断面積 (中段下部)	1170
	A _{w4}	mm ²	せん断断面積 (最下段部)	1188

表 4-7-1 浸水防止扉 HAW-1 の強度評価に用いる条件(4/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	w_1	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最上段部)	59.23
	w_2	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段上部)	120.3
	w_3	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段下部)	125.9
	w_4	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最下段部)	65.76
	M_1	kN・m	曲げモーメント (最上段部)	10.88
	M_2	kN・m	曲げモーメント (中段上部)	22.09
	M_3	kN・m	曲げモーメント (中段下部)	23.11
	M_4	kN・m	曲げモーメント (最下段部)	12.08
	Q_1	kN	せん断力 (最上段部)	35.89
	Q_2	kN	せん断力 (中段上部)	72.89
	Q_3	kN	せん断力 (中段下部)	76.27
	Q_4	kN	せん断力 (最下段部)	39.85

表 4-7-1 浸水防止扉 HAW-1 の強度評価に用いる条件 (5/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁)	B	m	縦桁の受圧幅	0.4015
	P'_1	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最上段部)	64.16
	P'_2	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段上部)	67.09
	P'_3	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段下部)	69.98
	P'_4	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最下段部)	72.95
	a_1	m	主桁ピッチ	0.730
	a_2	m	主桁ピッチ	0.710
	a_3	m	主桁ピッチ	0.734
	Z'_{x1}	mm ³	断面係数	43010
	A'_{w1}	mm ²	せん断断面積	1136

表 4-7-1 浸水防止扉 HAW-1 の強度評価に用いる条件(6/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁)	M ₁	kN・m	曲げモーメント (縦桁 1)	4.37
	M ₂	kN・m	曲げモーメント (縦桁 2)	4.32
	M ₃	kN・m	曲げモーメント (縦桁 3)	4.82
	Q ₁	kN	せん断力 (縦桁 1)	24.13
	Q ₂	kN	せん断力 (縦桁 2)	24.50
	Q ₃	kN	せん断力 (縦桁 3)	26.41
	P _{a1}	kN/m	等分布荷重 (縦桁 1)	2.93
	P _{a2}	kN/m	等分布荷重 (縦桁 2)	2.89
	P _{a3}	kN/m	等分布荷重 (縦桁 3)	2.97
	P _{b1}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁 1)	64.16
	P _{b2}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁 2)	67.09
	P _{b3}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁 3)	69.98

4.8 評価結果

浸水防止扉 HAW-1 の強度評価結果を表 4-8-1 に示す。浸水防止扉 HAW-1 の各部位の断面検定を行った結果、発生応力は許容限界値以下であることから、浸水防止扉 HAW-1 が構造強度を有することを確認した。

表 4-8-1 強度評価結果

名称	評価部位	① 発生応力 (N/mm ²)	② 許容応力 (N/mm ²)	①/② 検定比
浸水防止扉 HAW-1	扉板	104	205	0.51
	主桁	155	205	0.76
	縦桁	119	205	0.59

5. 浸水防止扉 HAW-2

5.1 評価部位

浸水防止扉は、横引型の鋼製扉であり、鋼製の扉板に芯材を取り付けて締付装置を鋼製の扉枠に差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造である。

浸水防止扉 HAW-2 に生じる津波及び余震に伴う荷重は、扉板から芯材(主桁、縦桁)まで、芯材から扉枠を介して躯体まで伝達するため、評価部位を扉板及び芯材とする。

浸水防止扉 HAW-2 の構造図を図 5-1-1、評価部位を図 5-1-2 に示す。



図 5-1-1 浸水防止扉 HAW-2 の構造図

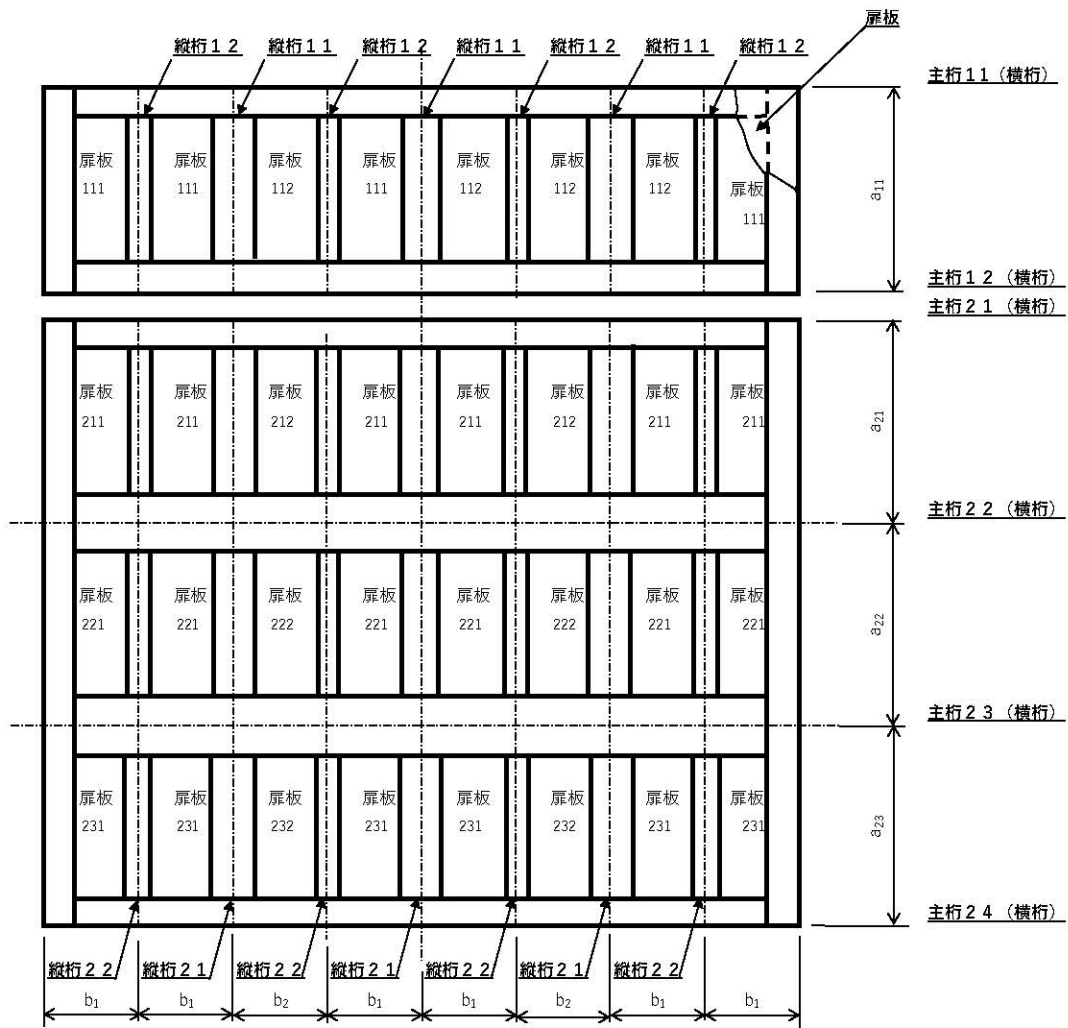


図 5-1-2 浸水防止扉 HAW-2 の評価部位

5.2 構造強度評価方法

浸水防止扉 HAW-2 の強度評価は、「5.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「5.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを踏まえ、「5.6 計算方法」に示す方法を用いて応力を算定し、「5.4 許容限界」に示す許容限界以内であることを確認する。

5.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、以下のとおりとする。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 津波による遡上津波荷重 (P_{hn})

津波に伴う荷重として、津波による遡上津波荷重を考慮する。

$$P_{hn} = \rho \cdot g \cdot H_{xn}$$

津波の浸水高さは、T.P.+12.1 m (浸水深 6.1 m) に水深係数 $\alpha=3.0$ を考慮して 18.3 m として評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる水圧作用高さ及び海水の密度を表 5-3-1 に示す。

表 5-3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ G.L. (m)	海水の密度 (t/m^3)
浸水防止扉 HAW-2	18.3	1.03

b. 余震による荷重 (K_S)

余震による荷重は弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力とする。

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。地震による荷重 K_S は、浸水防止扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = \frac{K_H \cdot G \cdot g}{b \cdot H_g}$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せを表 5-3-2 に示す。

表 5-3-2 強度評価に用いる荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ※
浸水防止扉 HAW-2	$P_n = P_{hn} + K_S$

※ P_{hn} は津波による波力, K_S は余震による荷重を示す。

5.4 許容限界

(1) 使用材料

浸水防止扉 HAW-2 を構成する扉板及び芯材の使用材料を表 5-4-1 に示す。

表 5-4-1 扉板及び芯材の使用材料

部 位		材 質	仕 様 (mm)
扉 板 (上段固定扉)		SUS304	3500 × 1090 × t12
扉 板 (下段横引扉)		SUS304	3500 × 2600 × t12
芯 材 (上段固定扉)	主 桁 (最上段)	SUS304	H360 × 180(240) × 12 × 16
	主 桁 (最下段)	SUS304	C360 × 180 × 12 × 16
	縦 桁 1 [*]	SUS304	T360 × 100 × 12 × 12
	縦 桁 2 [*]	SUS304	T170 × 65 × 16 × 16
芯 材 (下段横引扉)	主 桁 (最上段)	SUS304	C360 × 180 × 12 × 16
	主 桁 (中間)	SUS304	H360 × 250 × 19 × 19
	主 桁 (最下段)	SUS304	H360 × 150(240) × 12 × 19
	縦 桁 1 [*]	SUS304	T360 × 100 × 9 × 12
	縦 桁 2 [*]	SUS304	T170 × 65 × 12 × 16

※板の組合せ構造

(2) 許容限界

扉板、芯材の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて表 5-4-2 の値とする。

表 5-4-2 扉板、芯材の許容限界

材 料	短期許容応力 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SUS304 [*]	205	118

※：許容応力度を決定する場合の基準値 F の値は、「JIS G 4304:2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

5.5 設計地震力

「3. 固有周期」に示したとおり浸水防止扉 HAW-2 の固有周期が 0.05 秒以下であることを確認したため、浸水防止扉 HAW-2 の強度計算で用いる設計震度は、別添 6-1-3-2 「Ⅱ余震による地震応答解析」で得られた水平震度 0.5 を 1.2 倍した 0.6 を用いる。

5.6 計算方法

浸水防止扉 HAW-2 の強度評価における応力の計算方法を以下に示す。

① 扉板

扉板に生じる応力は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、等変分布荷重及び等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として、「土木学会 構造力学公式集」に基づき次式により算定する。浸水防止扉 HAW-2 の扉板に生じる応力の例を図 5-6-1 に示す。

・上段固定扉

$$\sigma_{pa \ 11m} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_{11} \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{12} - P_{11}) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_{11}, b_m)$$

$$\sigma_p = \sigma_{pa} = \text{MAX}(\sigma_{pa \ 11m}) \quad (m = 1, 2)$$

・下段横引扉

$$\sigma_{pa \ 2nm} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_{2n} \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{2,n+1} - P_{2n}) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_{2n}, b_m)$$

$$\sigma_p = \text{MAX}(\sigma_{pa \ 2nm}) \quad (n = 1 \sim 3, m = 1, 2)$$

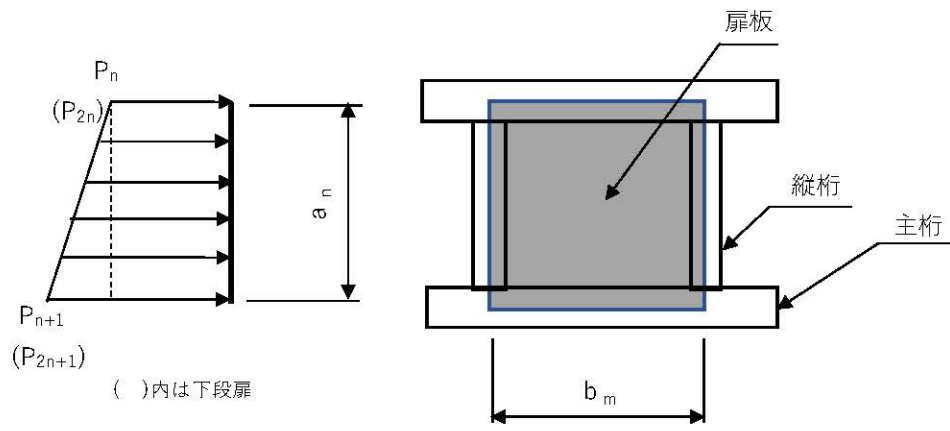


図 5-6-1 扉板に生じる応力の例

② 芯材

芯材に生じる荷重は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平）に応じて「日本機械学会 機械工学便覧 基礎編 A 4 材料力学」の「はり」の公式に基づき、それぞれ算定する。

(a) 主桁

水平方向に取り付く主桁については、次式により算定する。主桁に生じる荷重の例を図 5-6-2 に示す。

・ 上段固定扉

$$w_{11} = \frac{(2P_{11} + P_{12}) \cdot a_{11}}{6}$$

$$w_{12} = \frac{(2P_{12} + P_{11}) \cdot a_{11}}{6}$$

$$M_{1n} = \frac{w_{1n} \cdot L^2}{8} \quad Q_{1n} = \frac{w_{1n} \cdot L}{2}$$

$$\sigma_{1n} = \frac{1 \times 10^6 M_{1n}}{Z_{x1n}} \quad \tau_{1n} = \frac{1000 Q_{1n}}{A_{w1n}}$$

$$\sigma_{c1n} = \sqrt{\sigma_{1n}^2 + 3 \tau_{1n}^2}$$

$$\sigma_{c1} = \text{MAX}(\sigma_{c1n}) \quad (n = 1, 2)$$

・ 下段横引扉

$$w_{21} = \frac{(2P_{21} + P_{22}) \cdot a_{21}}{6}$$

$$w_{22} = \frac{(2P_{22} + P_{21}) \cdot a_{21}}{6} + \frac{(2P_{22} + P_{23}) \cdot a_{22}}{6}$$

$$w_{23} = \frac{(2P_{23} + P_{22}) \cdot a_{22}}{6} + \frac{(2P_{23} + P_{24}) \cdot a_{23}}{6}$$

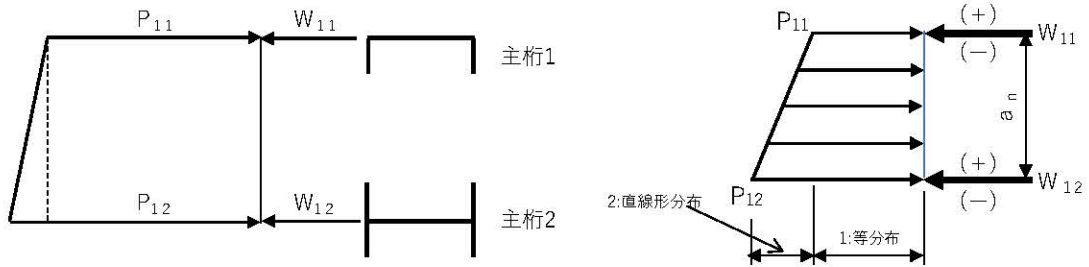
$$w_{24} = \frac{(2P_{24} + P_{23}) \cdot a_{23}}{6}$$

$$M_{2n} = \frac{w_{2n} \cdot L^2}{8} \quad Q_{2n} = \frac{w_{2n} \cdot L}{2}$$

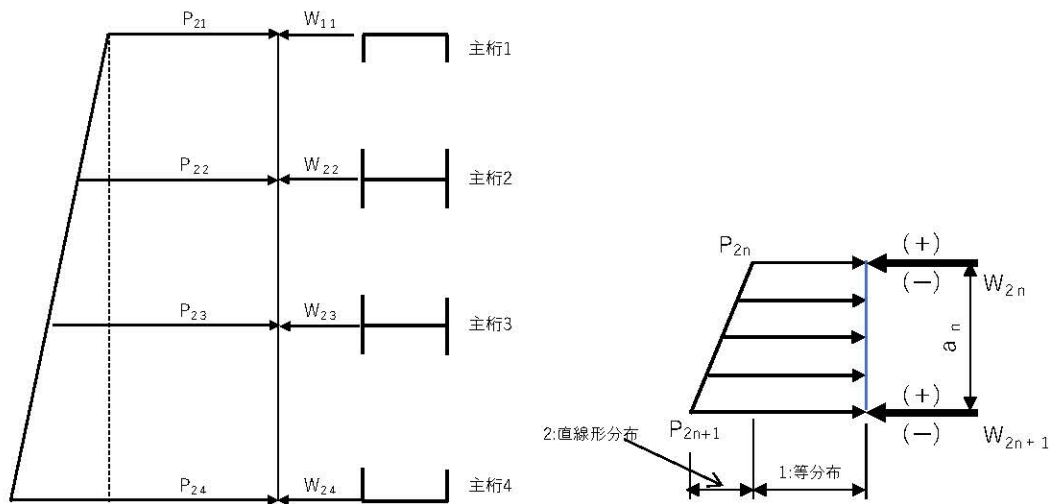
$$\sigma_{2n} = \frac{1 \times 10^6 M_{2n}}{Z_{x2n}} \quad \tau_{2n} = \frac{1000 Q_{2n}}{A_{w2n}}$$

$$Q_{c2n} = \sqrt{\sigma_{2n}^2 + 3\tau_{2n}^2}$$

$$\sigma_{c2} = \text{MAX}(\sigma_{c2n}) \quad (n = 1 \sim 4)$$



主桁（上段固定扉）



主桁（下段横引扉）

(1: 等分布成分が P_{bn} , 2: 直線形分布成分が P_{an})

図 5-6-2 主桁に生じる荷重の例

(b) 縦桁

鉛直方向に取り付く縦桁については、各桁（中間縦桁及び端縦桁）に分担することとし、等分布荷重を受ける両端支持の単純梁として、次式により算定する。縦桁に生じる荷重の例を図 5-6-3 に示す。

• 上段固定扉

$$M_{11} = a_{11}^2 \cdot \left(\frac{P_{a11}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{b11}}{8} \right)$$

$$Q_{11} = a_{11} \cdot \left(\frac{P_{a11}}{3} + \frac{P_{b11}}{2} \right)$$

$$P'_{1n} = B \cdot P_{1n}$$

$$P_{a11} = P'_{12} - P'_{11} \quad P_{b11} = P'_{11}$$

$$\sigma_{1m} = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_{11}}{Z'_{x1m}}$$

$$\tau_{1m} = \frac{1000 Q_{11}}{A'_{w1m}}$$

$$\sigma_{c1m} = \sqrt{\sigma_{1m}^2 + 3 \tau_{1m}^2}$$

$$\sigma_{c1} = \text{MAX}(\sigma_{c1m}) \quad (m = 1, 2)$$

• 下段横引扉

$$M_{2n} = a_{2n}^2 \cdot \left(\frac{P_{a2n}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{b2n}}{8} \right)$$

$$Q_{2n} = a_{2n} \cdot \left(\frac{P_{a2n}}{3} + \frac{P_{b2n}}{2} \right)$$

$$P'_{2n} = B \cdot P_{2n}$$

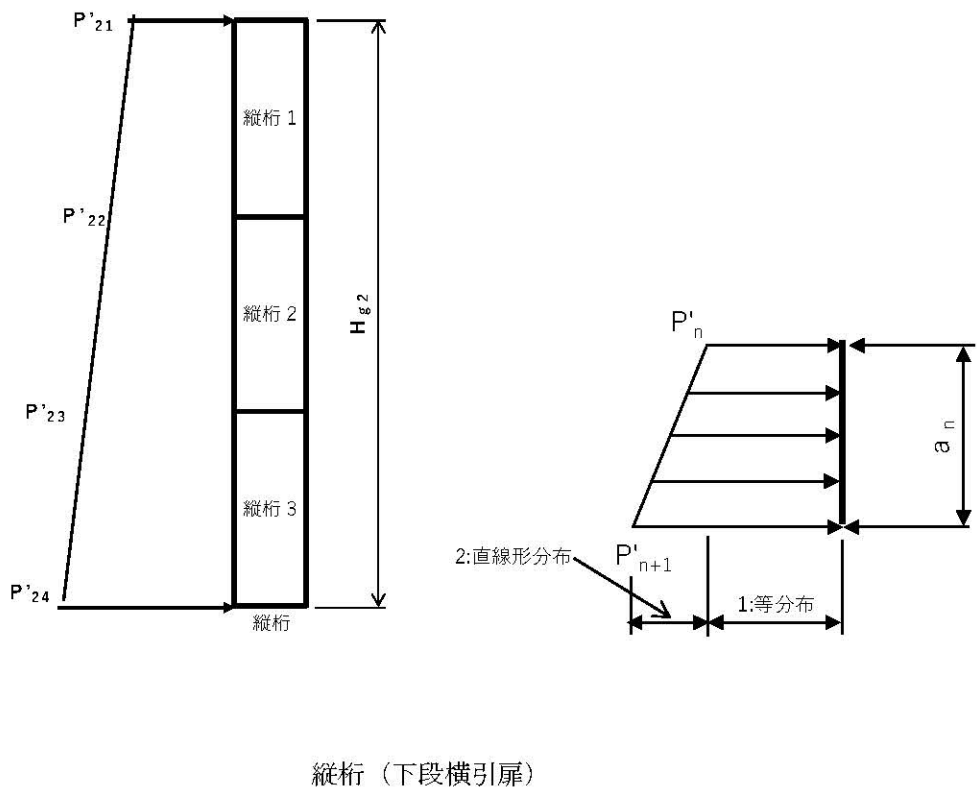
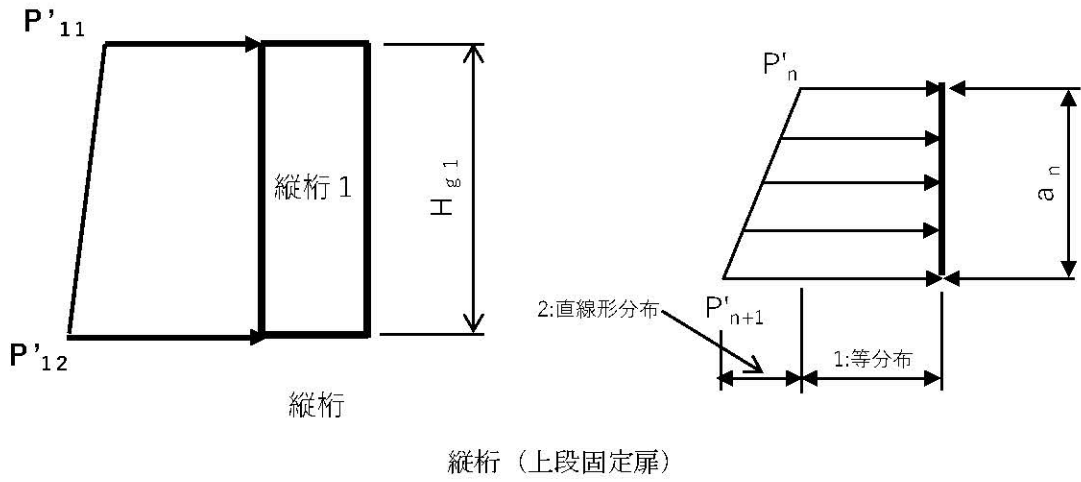
$$P_{a2n} = P'_{2n+1} - P'_{2n}, \quad P_{b2n} = P'_{2n} \quad (n = 1 \sim 3)$$

$$\sigma_{2n\ m} = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_{2n}}{Z'_{xm}}$$

$$\tau_{2n\ m} = \frac{1000 \cdot Q_{2n}}{A'_{wm}}$$

$$\sigma_{c2n\ m} = \sqrt{\sigma_{2n\ m}^2 + 3 \tau_{2n\ m}^2}$$

$$\sigma_{c2} = \text{MAX}(\sigma_{c2n\ m}) \quad (m = 1, 2)$$



(1: 等分布成分が P_{bn} , 2: 直線形分布成分が P_{an})

図 5-6-3 縦桁に生じる荷重の例

5.7 評価条件

評価条件を表 5-7-1 に示す。

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件(1/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
扉板 (上段)	G_1	t	上段固定扉自重 (扉体, 部品含む)	1.31
	P_{h11}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (上段固定扉上段部)	143.1
	P_{h12}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (上段固定扉下段部)	153.2
	K_{S1}	kN/m^2	単位面積当たりの余震荷重 (上段固定扉)	2.372
	P_{11}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (上段固定扉上段部)	145.5
	P_{12}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (上段固定扉下段部)	155.6
	H_{x11}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 11)	14.170
	H_{x12}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 12)	15.170

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件 (2/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
扉板 (下段)	G_2	t	下段固定扉自重 (扉体, 部品含む)	3.40
	P_{h21}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (下段横引扉上段部)	154.1
	P_{h22}	kN/m^2	単位面積当たりの津波荷重 (下段横引扉中段上部)	162.6
	P_{h23}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	170.9
	P_{h24}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	178.7
	K_{S2}	kN/m^2	単位面積当たりの余震荷重 (下段横引扉)	2.533
	P_{21}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉上段部)	156.7
	P_{22}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段上部)	165.1
	P_{23}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	173.4
	P_{24}	kN/m^2	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	181.2
	H_{x21}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 21)	15.260
	H_{x22}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 22)	16.100
	H_{x23}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 23)	16.920
	H_{x24}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 24)	17.690

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件(3/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
扉板	β_1	—	応力係数 (等分布荷重)	0.5
	β_2	—	応力係数 (直線形分布荷重)	0.3
	C_1, C_2	m	矩形板の短辺長 (a_{11}, b_1)	0.405
		m	矩形板の短辺長 (a_{11}, b_2)	0.410
		m	矩形板の短辺長 (a_{2n}, b_1)	0.405
		m	矩形板の短辺長 (a_{2n}, b_2)	0.410
	a_{11}	m	主桁ピッチ (上段)	1.000
	a_{21}	m	主桁ピッチ (下段)	0.840
	a_{22}	m	主桁ピッチ (下段)	0.820
	a_{23}	m	主桁ピッチ (下段)	0.770
	b_1	m	縦桁ピッチ (共通)	0.405
	b_2	m	縦桁ピッチ (共通)	0.410
	t	mm	扉板厚 (共通)	12

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件(4/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁) (上段固定扉)	L	m	主桁の長さ	3.250
	P ₁₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (上部固定扉上段部)	145.5
	P ₁₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (上部固定扉下段部)	155.6
	a ₁₁	m	主桁ピッチ (上段固定扉)	1.000
	Z _{x11}	mm ³	断面係数 (上段固定扉上段部)	1185000
	Z _{x12}	mm ³	断面係数 (上段固定扉下段部)	1143000
	A _{w11}	mm ²	せん断断面積 (上段固定扉上段部)	4128
	A _{w12}	mm ²	せん断断面積 (上段固定扉下段部)	4032
	w ₁₁	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (上段固定扉上段部)	74.44
	w ₁₂	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (上段固定扉下段部)	76.12
	M ₁₁	kN・m	曲げモーメント (上段固定扉上段部)	98.28
	M ₁₂	kN・m	曲げモーメント (上段固定扉下段部)	100.5
	Q ₁₁	kN	せん断力 (上段固定扉上段部)	121.0
Q ₁₂	kN	せん断力 (上段固定扉下段部)	123.7	

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件(5/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁) (上段固定扉)	B	m	縦桁受圧幅	0.4075
	P'_{11}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (上段固定扉上段部)	59.29
	P'_{12}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (上段固定扉下段部)	63.39
	a_{11}	m	主桁ピッチ (上段固定扉)	1.000
	Z_{x11}	mm ³	断面係数 (縦桁 1)	337800
	Z_{x12}	mm ³	断面係数 (縦桁 2)	99570
	A_{w11}	mm ²	せん断断面積 (上段固定扉上段部)	4176
	A_{w12}	mm ²	せん断断面積 (上段固定扉下段部)	2464
	M_{11}	kN・m	曲げモーメント (縦桁 1)	7.674
	M_{12}	kN・m	曲げモーメント (縦桁 2)	7.674
	Q_{11}	kN	せん断力 (縦桁 1)	31.01
	Q_{12}	kN	せん断力 (縦桁 2)	31.01
	P_{a11}	kN/m	等分布荷重	4.11
	P_{b11}	kN/m	直線形分布荷重	59.29

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件 (6/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁) (下段横引扉)	L	m	主桁の長さ	3.250
	P ₂₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉上段部)	156.7
	P ₂₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段上部)	165.1
	P ₂₃	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	173.4
	P ₂₄	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	181.2
	a ₂₁	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.840
	a ₂₂	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.820
	a ₂₃	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.770
	Z _{x21}	mm ³	断面係数 (下段横引扉上段部)	985500
	Z _{x22}	mm ³	断面係数 (下段横引扉中段上部)	1830000
	Z _{x23}	mm ³	断面係数 (下段横引扉中段下部)	1830000
	Z _{x24}	mm ³	断面係数 (下段横引扉下段部)	1301000
	A _{w21}	mm ²	せん断断面積 (下段横引扉上段部)	4032
	A _{w22}	mm ²	せん断断面積 (下段横引扉中段上部)	6118
A _{w23}	mm ²	せん断断面積 (下段横引扉中段下部)	6118	
A _{w24}	mm ²	せん断断面積 (下段横引扉下段部)	6479	

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件(7/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁) (下段横引扉)	w ₂₁	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉上段部)	66.98
	w ₂₂	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉中段上部)	137.0
	w ₂₃	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	137.7
	w ₂₄	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	68.74
	M ₂₁	kN・m	曲げモーメント (下段横引扉上段部)	88.435
	M ₂₂	kN・m	曲げモーメント (下段横引扉中段上部)	180.88
	M ₂₃	kN・m	曲げモーメント (下段横引扉中段下部)	181.83
	M ₂₄	kN・m	曲げモーメント (下段横引扉下段部)	90.758
	Q ₂₁	kN	せん断力 (下段横引扉上段部)	108.84
	Q ₂₂	kN	せん断力 (下段横引扉中段上部)	222.6
	Q ₂₃	kN	せん断力 (下段横引扉中段下部)	223.8
	Q ₂₄	kN	せん断力 (下段横引扉下段部)	111.7

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件(8/9)

対象部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁) (下段横引扉)	B	m	縦桁受圧幅	0.4075
	P'_{21}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉上段部)	63.84
	P'_{22}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉中段上部)	67.28
	P'_{23}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉中段下部)	70.66
	P'_{24}	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (下段横引扉下段部)	73.84
	a_{21}	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.840
	a_{22}	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.820
	a_{23}	m	主桁ピッチ (下段横引扉)	0.770
	Z'_{x21}	mm ³	断面係数 1 (下段横引扉)	266800
	Z'_{x22}	mm ³	断面係数 2 (下段横引扉)	78830
	A'_{w21}	mm ²	せん断断面積 1 (下段横引扉)	3132
	A'_{w22}	mm ²	せん断断面積 2 (下段横引扉)	1848

表 5-7-1 浸水防止扉 HAW-2 の強度評価に用いる条件 (9/9)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁)	M_{21}	kN・m	曲げモーメント (縦桁：主桁 21, 22 間)	5.786
	M_{22}	kN・m	曲げモーメント (縦桁：主桁 22, 23 間)	5.801
	M_{23}	kN・m	曲げモーメント (縦桁：主桁 23, 24 間)	5.358
	Q_{21}	kN	せん断力 (縦桁：主桁 21, 22 間)	27.78
	Q_{22}	kN	せん断力 (縦桁：主桁 22, 23 間)	28.51
	Q_{23}	kN	せん断力 (縦桁：主桁 23, 24 間)	28.02
	P_{a21}	kN/m	等分布荷重 (縦桁：主桁 21, 22 間)	3.44
	P_{a22}	kN/m	等分布荷重 (縦桁：主桁 22, 23 間)	3.38
	P_{a23}	kN/m	等分布荷重 (縦桁：主桁 23, 24 間)	3.18
	P_{b21}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁：主桁 21, 22 間)	63.84
	P_{b22}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁：主桁 22, 23 間)	67.28
	P_{b23}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁：主桁 23, 24 間)	70.66

5.8 評価結果

浸水防止扉 HAW-2 の強度評価結果を表 5-8-1 に示す。浸水防止扉 HAW-2 の各部位の断面検定を行った結果、発生応力は許容限界値以下であることから、浸水防止扉 HAW-2 が構造健全性を有することを確認した。

表 5-8-1 強度評価結果

名称		評価部位	① 発生応力 (N/mm ²)	② 許容応力 (N/mm ²)	①/② 検定比
浸水防止扉 HAW-2	上段固定 扉	扉板	89	205	0.44
		主桁	103	205	0.51
		縦桁	81	205	0.40
	下段横引 扉	扉板	104	205	0.51
		主桁	118	205	0.58
		縦桁	79	205	0.39

6. 浸水防止扉 HAW-3

6.1 評価部位

浸水防止扉は、片開型の鋼製扉であり、鋼製の扉板に芯材を取り付けて締付装置を鋼製の扉枠に差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造である。

浸水防止扉 HAW-3 に生じる津波及び余震に伴う荷重は、扉板から芯材(主桁、縦桁)まで、芯材から扉枠を介して躯体まで伝達するため、評価部位を扉板及び芯材とする。

浸水防止扉 HAW-3 の構造図を図 6-1-1、評価部位を図 6-1-2 に示す。

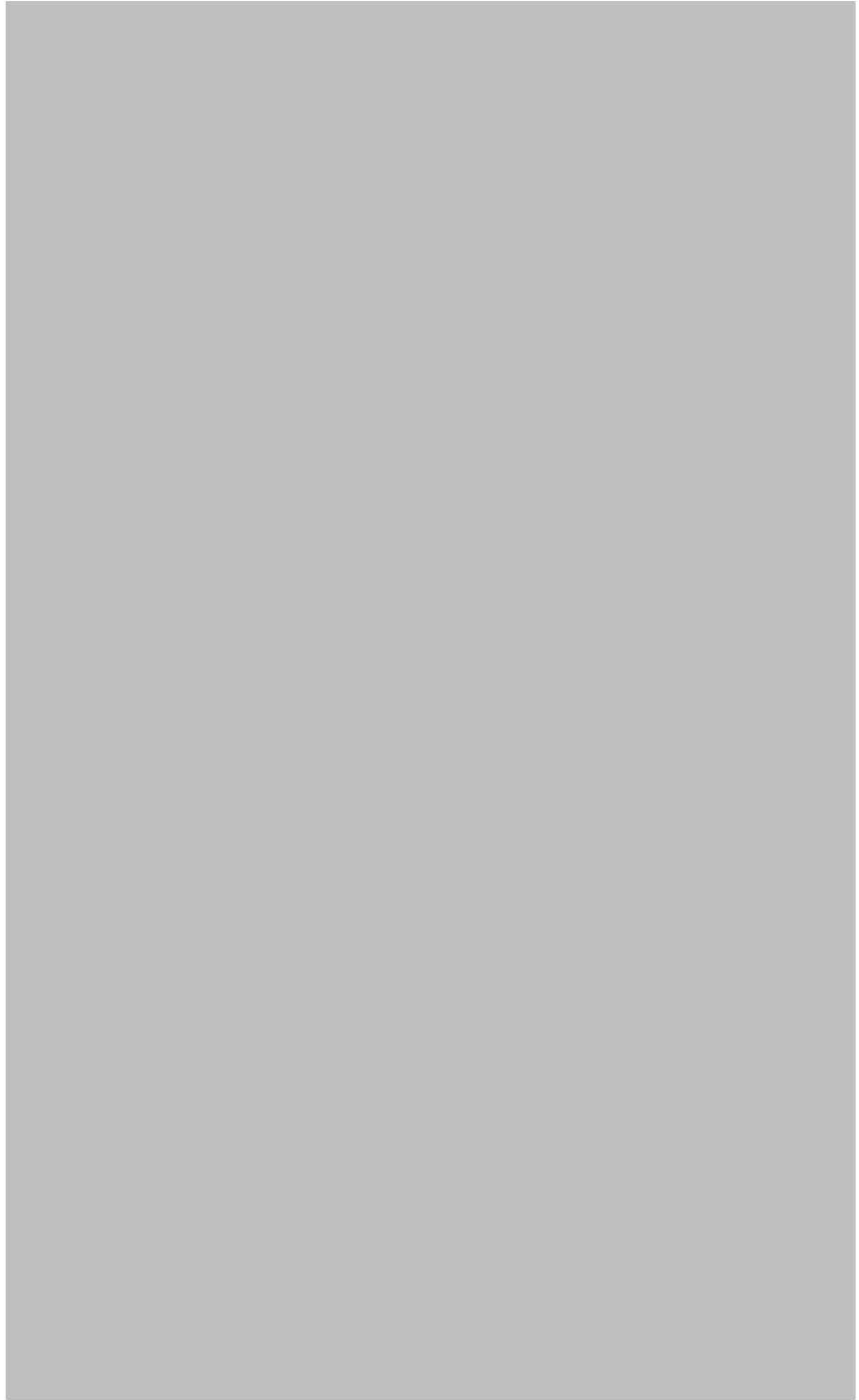


図 6-1-1 浸水防止扉 HAW-3 の構造図

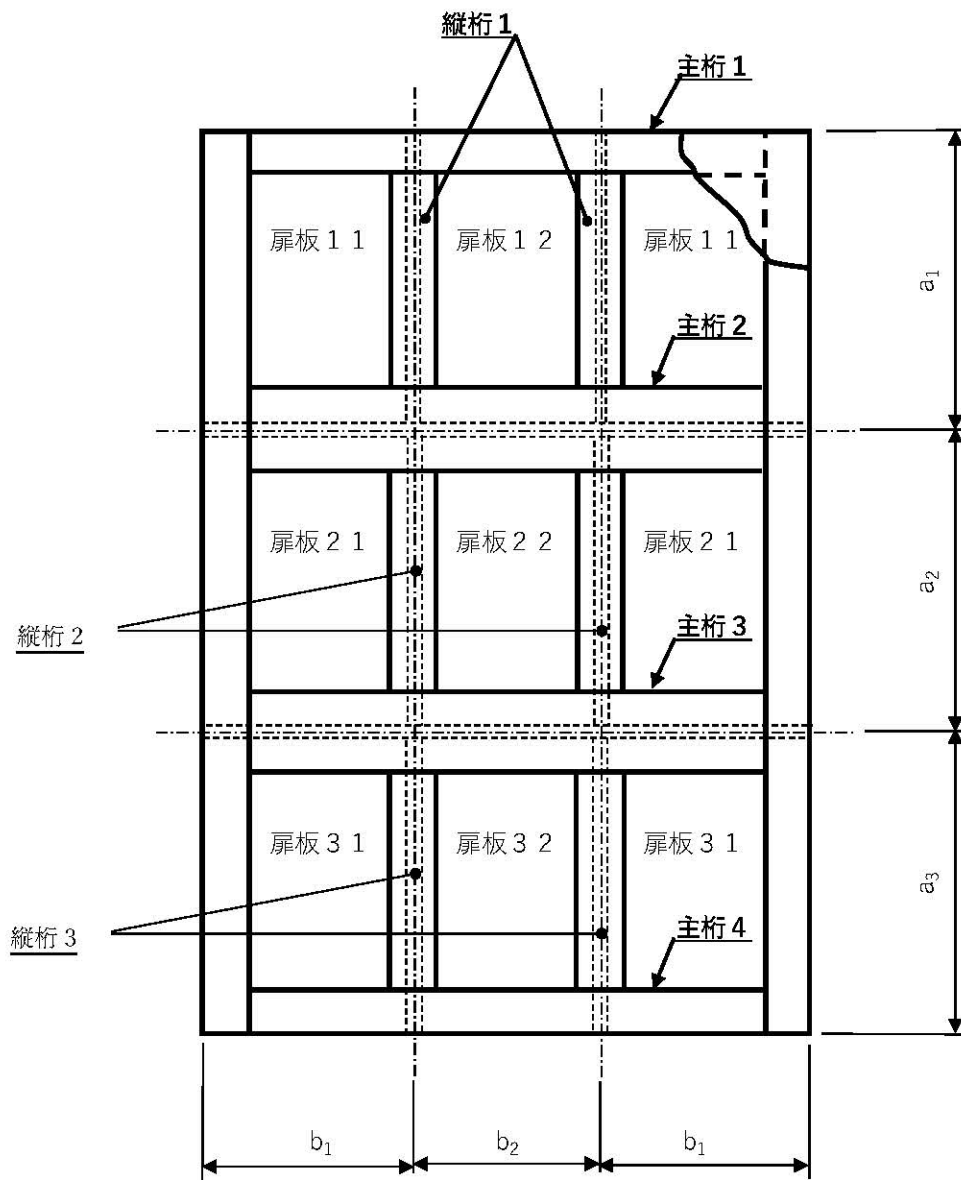


図 6-1-2 浸水防止扉 HAW-3 の評価部位

6.2 構造強度評価方法

浸水防止扉 HAW-3 の強度評価は、「6.1 評価部位」に示す評価部位に対し、「6.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを踏まえ、「6.6 計算方法」に示す方法を用いて応力を算定し、「6.4 許容限界」に示す許容限界以内であることを確認する。

6.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、以下のとおりとする。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 津波による遡上津波荷重 (P_{hm})

津波に伴う荷重として、津波による遡上津波荷重を考慮する。

$$P_{hm} = \rho \cdot g \cdot H_{Xn}$$

津波の浸水高さは、T.P.+12.1 m（浸水深 6.1 m）に水深係数 $\alpha=3.0$ を考慮して 18.3 m として評価を行う。

津波に伴う荷重の算定に用いる水圧作用高さ及び海水の密度を表 6-3-1 に示す。

表 6-3-1 水圧作用高さ及び海水の密度

扉名称	水圧作用高さ G.L. (m)	海水の密度 (t/m ³)
浸水防止扉 HAW-3	18.3	1.03

b. 余震による荷重 (K_S)

余震による荷重は、弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力（動水圧を含まない。）とする。

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。地震による荷重 K_S は、浸水防止扉の固定荷重 G に水平震度 K_H を乗じた次式により算出する。

$$K_S = \frac{K_H \cdot G \cdot g}{b \cdot H_g}$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せを表 6-3-2 に示す。

表 6-3-2 強度評価に用いる荷重の組合せ

扉名称	事象	荷重の組合せ※
浸水防止扉 HAW-3	津波時	$P_n = P_{hn} + K_S$

※ P_{hn} は津波による波力， K_S は余震による荷重を示す。

6.4 許容限界

(1) 使用材料

浸水防止扉 HAW-3 を構成する扉板，芯材の使用材料を表 6-4-1 に示す。

表 6-4-1 扉板，芯材の使用材料

部 位		材 質	仕 様 (mm)
扉 板		SUS304	2174 × 1232 × t12
芯 材	主 桁 (上段及び下段)	SUS304	C150 × 75 × 9
	主 桁 (中間)	SUS304	H150 × 150 × 9 × 10
	縦 桁	SUS304	T150 × 80 × 8 × 8

(2) 許容限界

扉板，芯材の許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて表 6-4-2 の値とする。

表 6-4-2 扉板，芯材の許容限界

材 料	短期許容応力 (N/mm ²)	
	曲 げ	せん断
SUS304*	205	118

※許容応力度を決定する場合の基準値 F の値は，「JIS G 4304:2012 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

6.5 設計地震力

「3. 固有周期」に示したとおり浸水防止扉 HAW-3 の固有周期が 0.05 秒以下であることを確認したため、浸水防止扉 HAW-3 の強度計算で用いる設計震度は、別添 6-1-3-2 「Ⅱ余震による地震応答解析」で得られた水平震度 0.5 を 1.2 倍した 0.6 を用いる。

6.6 計算方法

浸水防止扉 HAW-3 の強度評価における応力の計算方法を以下に示す。

① 扉板

扉板に生じる応力は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、等変分布荷重及び等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として「土木学会 楮王力学公式集」に基づき、次式により算定する。浸水防止扉 HAW-3 の扉板に生じる応力の例を図 6-6-1 に示す。

$$\sigma_{pa\ nm} = \frac{\beta_1 \cdot 1000P_n \cdot C_1^2}{t^2} + \frac{\beta_2 \cdot 1000(P_{n+1} - P_n) \cdot C_2^2}{t^2}$$

$$C_1 = C_2 = \text{MIN}(a_n, b_m)$$

$$\sigma_p = \sigma_{pa} = \text{MAX}(\sigma_{pa\ nm})$$

$$(n = 1 \sim 3, m = 1, 2)$$

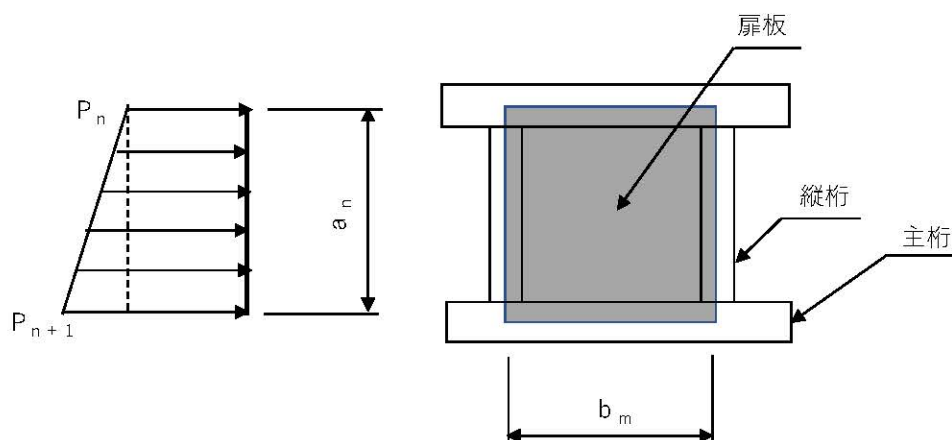


図 6-6-1 扉板に生じる応力の例

② 芯材

芯材に生じる荷重は、津波及び余震に伴う荷重を考慮し、荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平）に応じて「日本機械学会 機械工学便覧 基礎編 A 4 材料力学」の「はり」の公式に基づき、それぞれ算定する。

(a) 主桁

水平方向に取付く主桁については、次式により算定する。主桁に生じる荷重の例を図 6-6-2 に示す。

$$w_1 = \frac{(2P_1 + P_2) \cdot a_1}{6}$$

$$w_2 = \frac{(2P_2 + P_1) \cdot a_1}{6} + \frac{(2P_2 + P_3) \cdot a_2}{6}$$

$$w_3 = \frac{(2P_3 + P_2) \cdot a_2}{6} + \frac{(2P_3 + P_4) \cdot a_3}{6}$$

$$w_4 = \frac{(2P_4 + P_3) \cdot a_3}{6}$$

$$M_n = \frac{W_n \cdot L^2}{8}$$

$$Q_n = \frac{W_n \cdot L}{2}$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 M_n}{Z_{xn}}$$

$$\tau_n = \frac{1000 Q_n}{A_{wn}}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 \tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 4)$$

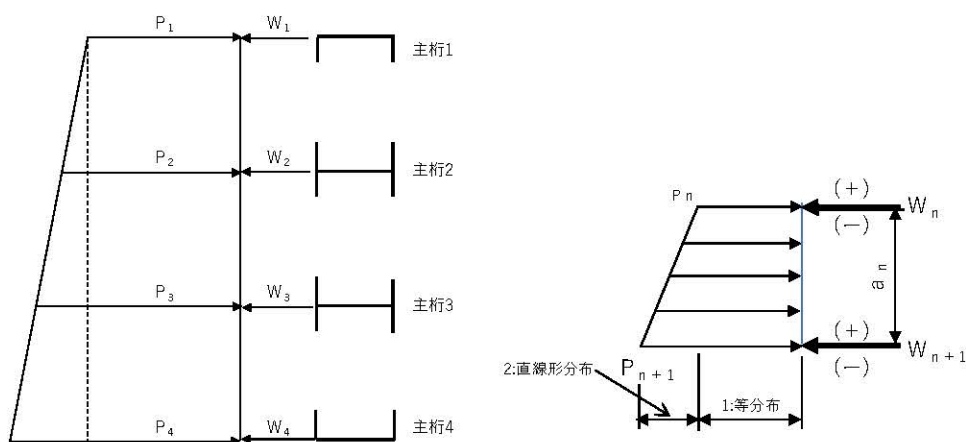


図 6-6-2 主桁に生じる荷重の例

(b) 縦桁

鉛直方向に取付く縦桁については，各桁（中間縦桁及び端縦桁）に分担することとし，等分布荷重を受ける両端支持の単純梁として，次式により算定する。縦桁に生じる荷重の例を図 6-6-3 に示す。

$$M_n = a_n^2 \cdot \left(\frac{P_{an}}{9\sqrt{3}} + \frac{P_{bn}}{8} \right)$$

$$Q_n = a_n \cdot \left(\frac{P_{an}}{3} + \frac{P_{bn}}{2} \right)$$

$$P'_n = B \cdot P_n$$

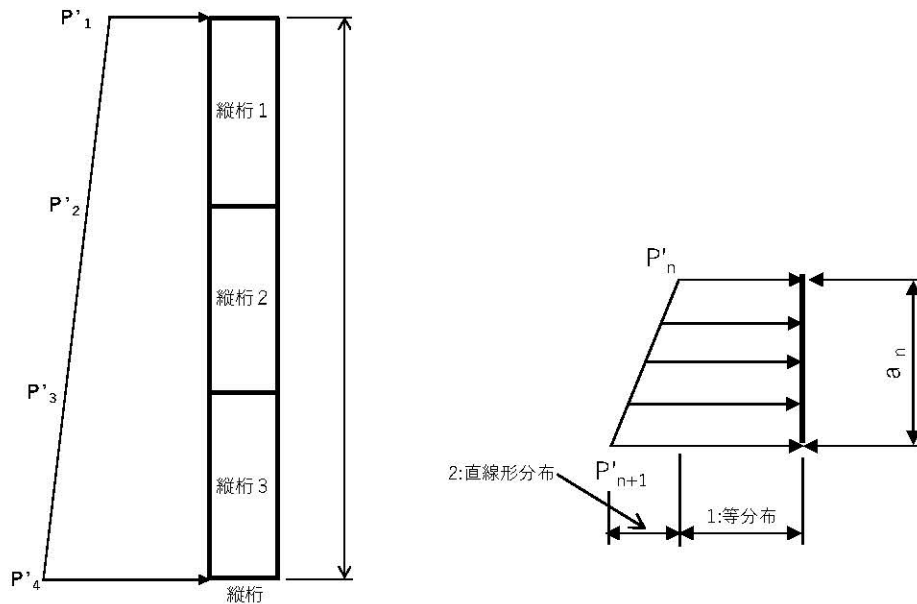
$$P_{an} = P'_{n+1} - P'_n \quad P_{bn} = P'_n$$

$$\sigma_n = \frac{1 \times 10^6 \cdot M_n}{Z'_{x1}}$$

$$\tau_n = \frac{1000Q_n}{A'}$$

$$\sigma_{cn} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_n^2}$$

$$\sigma_c = \text{MAX}(\sigma_{cn}) \quad (n = 1 \sim 3)$$



縦桁に生じる荷重の例

(1: 等分布成分が P_{bn} , 2: 直線形分布成分が P_{an})

図 6-6-3 縦桁に生じる荷重の例

6.7 評価条件

評価条件を表 6-7-1 に示す。

表 6-7-1 浸水防止扉 HAW-3 の強度評価に用いる条件(1/6)

対象部位	記号	単位	定義	数値
扉板	G	t	浸水防止扉自重 (扉体、部品含む)	0.63
	P_{h1}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(最上段部)	158.4
	P_{h2}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(中段上部)	165.9
	P_{h3}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(中段下部)	173.2
	P_{h4}	kN/m^2	単位面積当たりの 津波荷重(最下段部)	180.3
	K_S	kN/m^2	単位面積当たりの 余震荷重	1.384
	P_1	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(最上段部)	159.7
	P_2	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(中段上部)	167.3
	P_3	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(中段下部)	174.6
	P_4	kN/m^2	単位面積当たりの 作用荷重(最下段部)	181.7
	H_{x1}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 1)	15.678
	H_{x2}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 2)	16.428
	H_{x3}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 3)	17.148
	H_{x4}	m	浸水面からの浸水深 (主桁 4)	17.852

表 6-7-1 浸水防止扉 HAW-3 の強度評価に用いる条件(2/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
扉板	β_1	—	応力係数 (等分布荷重)	0.5
	β_2	—	応力係数 (直線形分布荷重)	0.3
	C_1, C_2	m	矩形板の短辺長 (a_n, b_1)	0.411
		m	矩形板の短辺長 (a_n, b_2)	0.410
	a_1	m	主桁ピッチ	0.750
	a_2	m	主桁ピッチ	0.720
	a_3	m	主桁ピッチ	0.704
	b_1	m	縦桁ピッチ	0.411
	b_2	m	縦桁ピッチ	0.410
	t	mm	扉板厚	12

表 6-7-1 浸水防止扉 HAW-3 の強度評価に用いる条件(3/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	L	m	主桁の長さ	1.232
	P ₁	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最上段部)	159.7
	P ₂	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段上部)	167.3
	P ₃	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (中段下部)	174.6
	P ₄	kN/m ²	単位面積当たりの作用荷重 (最下段部)	181.7
	a ₁	m	主桁ピッチ	0.750
	a ₂	m	主桁ピッチ	0.720
	a ₃	m	主桁ピッチ	0.704
	Z _{x1}	mm ³	断面係数 (最上段部)	112600
	Z _{x2}	mm ³	断面係数 (中段上部)	218300
	Z _{x3}	mm ³	断面係数 (中段下部)	218300
	Z _{x4}	mm ³	断面係数 (最下段部)	112600
	A _{w1}	mm ²	せん断断面積 (最上段部)	1188
	A _{w2}	mm ²	せん断断面積 (中段上部)	1170
A _{w3}	mm ²	せん断断面積 (中段下部)	1170	
A _{w4}	mm ²	せん断断面積 (最下段部)	1188	

表 6-7-1 浸水防止扉 HAW-3 の強度評価に用いる条件(4/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (主桁)	w_1	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最上段部)	60.9
	w_2	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段上部)	122.9
	w_3	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段下部)	124.3
	w_4	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最下段部)	63.1
	M_1	kN・m	曲げモーメント (最上段部)	11.54
	M_2	kN・m	曲げモーメント (中段上部)	23.32
	M_3	kN・m	曲げモーメント (中段下部)	23.57
	M_4	kN・m	曲げモーメント (最下段部)	11.98
	Q_1	kN	せん断力 (最上段部)	37.48
	Q_2	kN	せん断力 (中段上部)	75.70
	Q_3	kN	せん断力 (中段下部)	76.54
	Q_4	kN	せん断力 (最下段部)	38.88

表 6-7-1 浸水防止扉 HAW-3 の強度評価に用いる条件(5/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁)	B	m	縦桁の受圧幅	0.4105
	P' ₁	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最上段部)	65.56
	P' ₂	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段上部)	68.68
	P' ₃	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (中段下部)	71.67
	P' ₄	kN/m	単位長さ当たりの作用荷重 (最下段部)	74.59
	a ₁	m	主桁ピッチ	0.750
	a ₂	m	主桁ピッチ	0.720
	a ₃	m	主桁ピッチ	0.704
	Z' _{x1}	mm ³	断面係数	43010
	A' _{w1}	mm ²	せん断断面積	1136

表 6-7-1 浸水防止扉 HAW-3 の強度評価に用いる条件(6/6)

対象 部位	記号	単位	定義	数値
芯材 (縦桁)	M ₁	kN・m	曲げモーメント (縦桁 1)	4.722
	M ₂	kN・m	曲げモーメント (縦桁 2)	4.550
	M ₃	kN・m	曲げモーメント (縦桁 3)	4.533
	Q ₁	kN	せん断力 (縦桁 1)	25.37
	Q ₂	kN	せん断力 (縦桁 2)	25.44
	Q ₃	kN	せん断力 (縦桁 3)	25.91
	P _{a1}	kN/m	等分布荷重 (縦桁 1)	3.08
	P _{a2}	kN/m	等分布荷重 (縦桁 2)	2.99
	P _{a3}	kN/m	等分布荷重 (縦桁 3)	2.92
	P _{b1}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁 1)	65.56
	P _{b2}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁 2)	68.68
	P _{b3}	kN/m	直線形分布荷重 (縦桁 3)	71.67

6.8 評価結果

浸水防止扉 HAW-3 の強度評価結果を表 6-8-1 に示す。浸水防止扉 HAW-3 の各部位の断面検定を行った結果、発生応力は許容限界値以下であることから、浸水防止扉 HAW-3 が構造強度を有することを確認した。

表 6-8-1 強度評価結果

名称	評価部位	① 発生応力 (N/mm ²)	② 許容応力 (N/mm ²)	①/② 検定比
浸水防止扉 HAW-3	扉板	105	205	0.52
	主桁	157	205	0.77
	縦桁	117	205	0.58