

VI-2-10-2-4-2 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	6
3. 耐震評価	7
3.1 評価対象断面	7
3.2 解析方法	8
3.2.1 構造部材	8
3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき	8
3.2.3 減衰定数	8
3.2.4 解析ケースの選定	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	10
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	10
3.3.2 荷重	10
3.3.3 荷重の組合せ	11
3.4 入力地震動	12
3.5 解析モデル及び諸元	27
3.5.1 解析モデル	27
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	29
3.5.3 地盤の物性値	29
3.5.4 地下水位	29
3.6 評価対象部位	29
3.6.1 構造部材の健全性評価	29
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	29
3.7 許容限界	30
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	30
3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	31
3.8 評価方法	31
3.8.1 構造部材の健全性評価	31
3.8.2 基礎地盤の支持性能評価	34
4. 耐震評価結果	35
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	35
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	35

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取放水路流路縮小工（第1号機放水路）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析より構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお、取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 基本方針

2.1 位置

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の位置図を図2-1に示す。

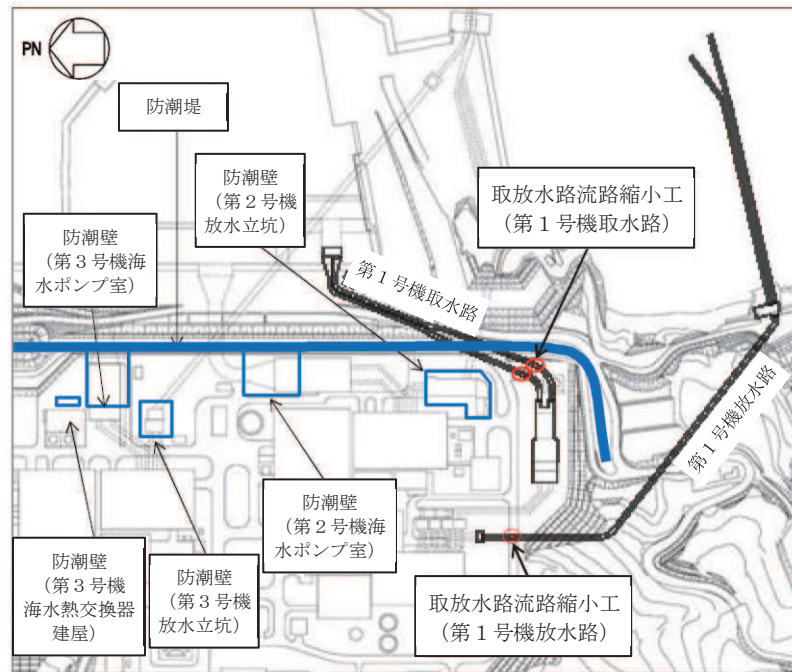



図2-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の平面図及び断面図を図2-2に示す。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）は、第1号機放水路からの津波の流入を抑制し、第1号機放水路から敷地への津波の流入を防止するため、第1号機放水路内に無筋のコンクリートを充填する。よって、取放水路流路縮小工（第1号機放水路）は、既設の第1号機放水路の覆工部（鉄筋コンクリート）と充填部（無筋コンクリート）から構成される。

なお、第1号機の補機冷却海水を放水するため、貫通部（×1条）を設ける。

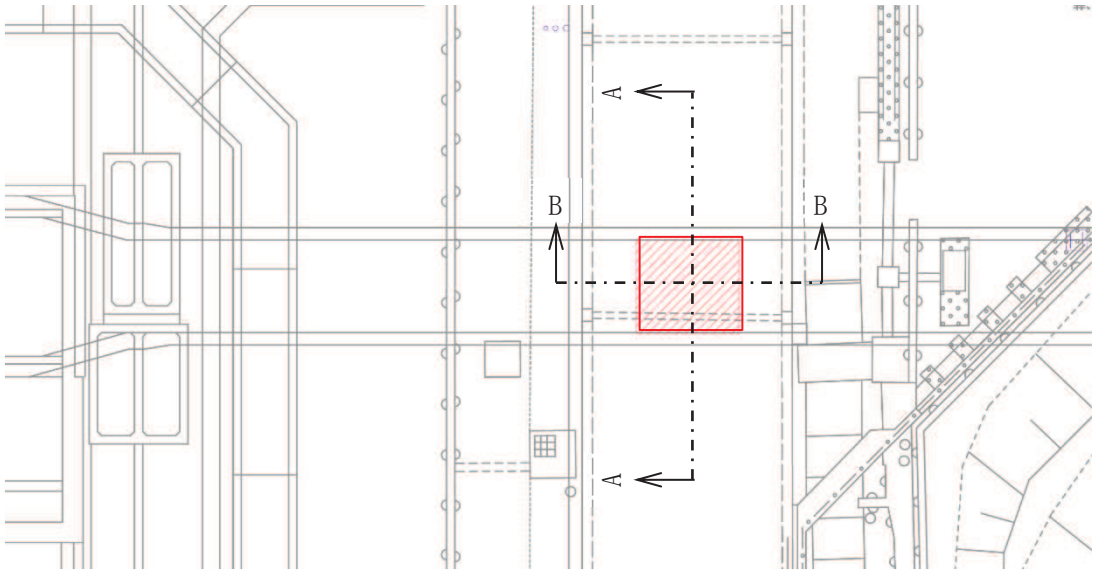


図2-2(1) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 平面図

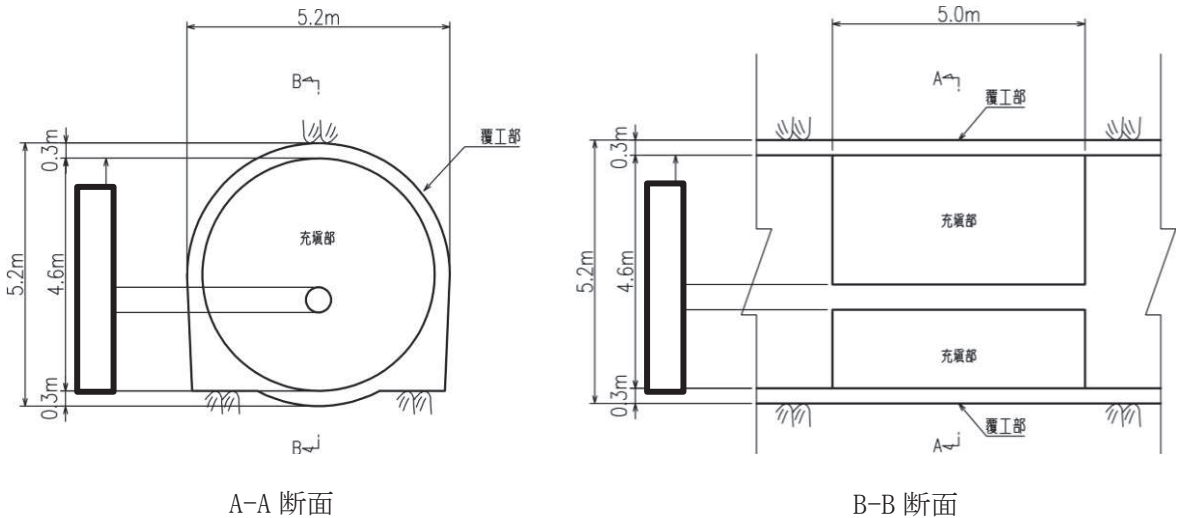


図2-2(2) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 断面図

2.3 評価方針

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。なお、覆工部については、鉄筋コンクリート構造であるものの、充填部に対する覆工部の断面厚さ等が小さいことを踏まえ、耐震評価においては、保守的に鉄筋に期待しないこととして、無筋コンクリートとして構造強度を評価する。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析においては、構造物周辺は岩盤に覆われているため、線形解析を実施する。

地震応答解析に用いる地盤物性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」に基づき流路縮小工の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」に基づき流路縮小工の基礎地盤に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震評価フローを図2-3に示す。

表 2-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価項目

評価方針	評価項目	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	流路縮小工	発生する応力が許容限界以下であることを確認	引張強度及びせん断強度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記 *： 妥当な安全余裕を考慮

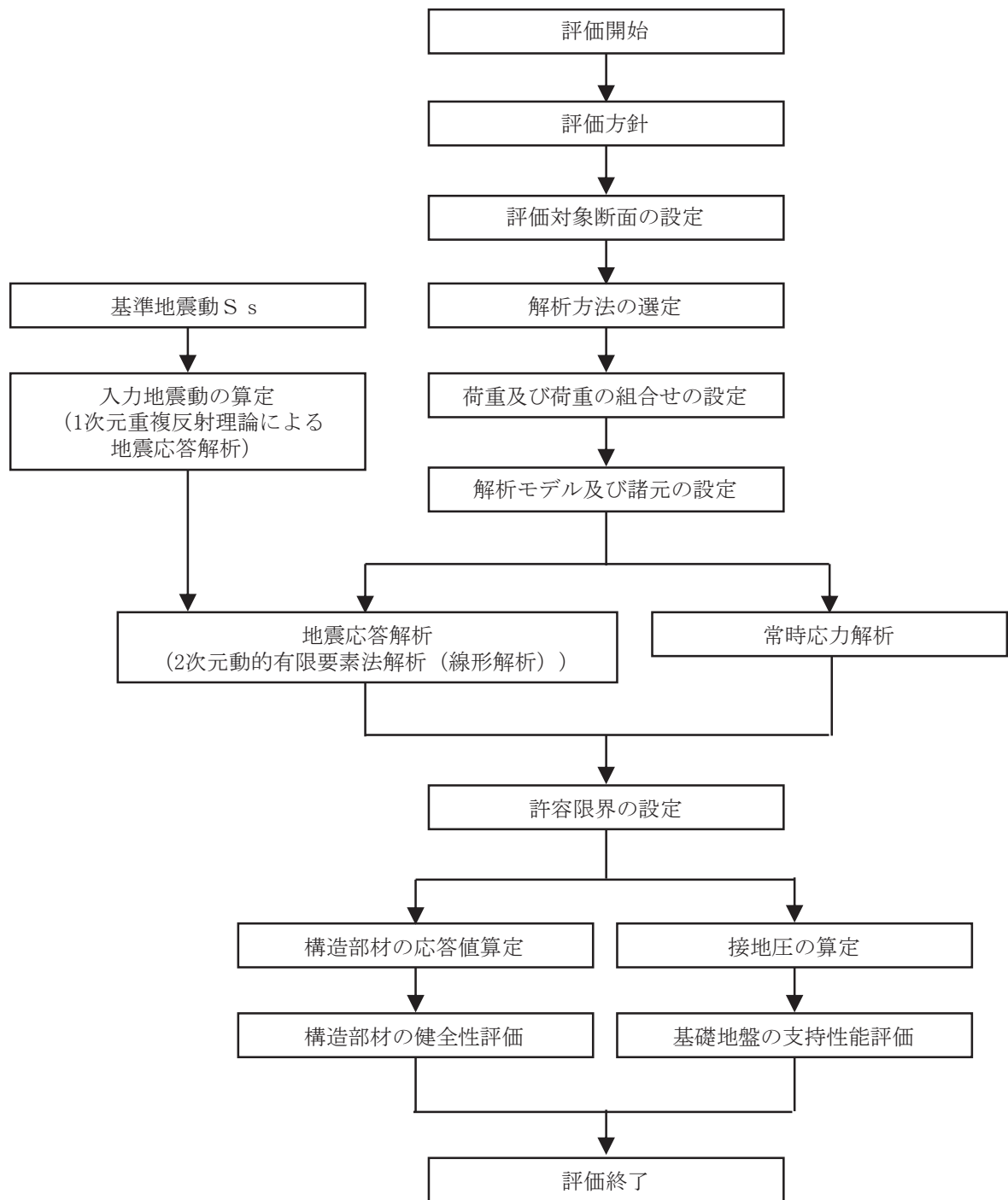


図 2-3 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・土木学会 2005年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル
(以下「土木学会マニュアル」という)
- ・土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- ・土木学会 2017年 コンクリート標準示方書 [設計編]
- ・土木学会 2013年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編
- ・土木学会 2016年 トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[山岳工法編]・同解説
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面位置を図3-1に示す。評価対象断面の地質図を図3-2に示す。

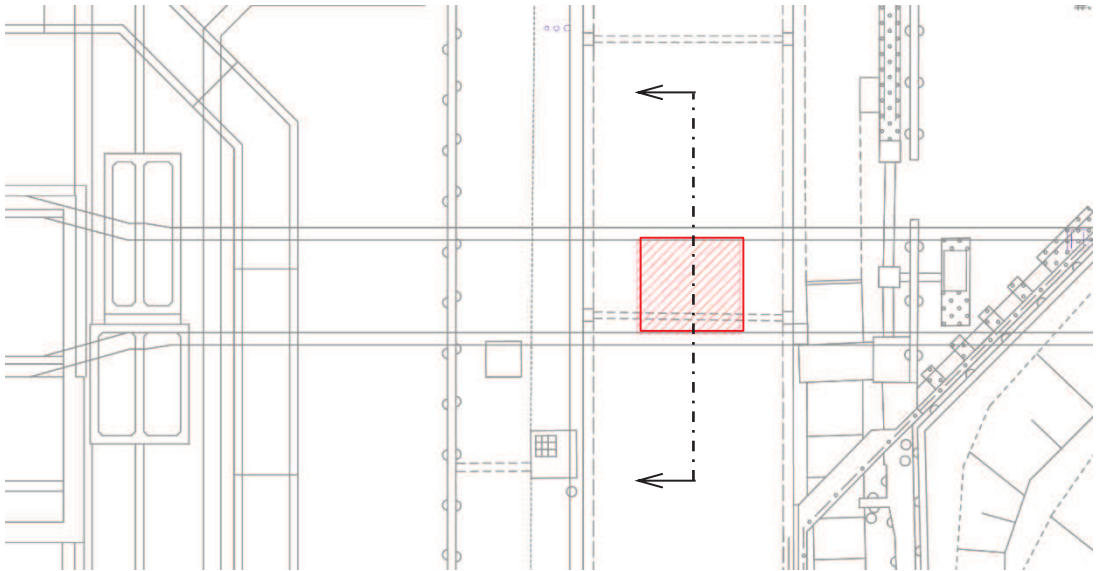


図 3-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面位置図

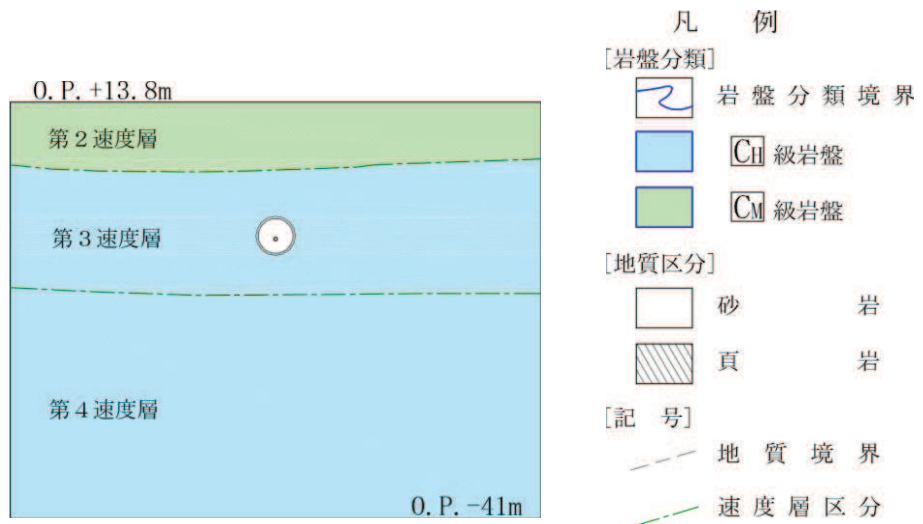


図 3-2 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面の地質図

3.2 解析方法

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析及び常時応力解析では、構造物周辺が岩盤に覆われているため、線形解析を実施する。

常時応力解析は、解析コード「TDAPⅢ Ver.3.10.01」、地震応答解析は、解析コード「SuperFLUSH/2D Ver.6.1」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

流路縮小工は、流路縮小工の形状を踏まえた部材の応力を評価するため、平面ひずみ要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表3-1に示す解析ケースを設定する。

表3-1 耐震評価における解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性
		C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ

3.2.3 減衰定数

減衰定数は、流路縮小工については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3. 設計用減衰定数」に示される鉄筋コンクリートの減衰定数を、地盤については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」に示される狐崎部層の減衰定数を使用する。

3.2.4 解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査値が最大となる最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②、③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
地盤物性			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース
地震動(位相)			平均值	平均值+1 σ	平均值-1 σ
地震動(位相)	S _s -D1	++*	○	基準地震動 S_s (7波) 及び水平動の位相反転を考慮した地震動 (7波) を加えた全14波を用いて実施するケース①(基本ケース)において、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力の照査値が最も厳しい(許容限界に対する裕度が最も小さい)地震動を用いてケース②、③を実施する。	
		-+*	○		
	S _s -D2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -D3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F1	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -N1	++*	○		
		-+*	○		

注記 * : 取放水路流路縮小工 (第1号機放水路) の耐震評価にあたっては、「土木学会マニュアル」に従い水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉（第1号機）が停止状態にあり、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

岩盤内構造物であるため、風、並びに積雪の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

地表面に積載荷重 $4.9 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ を考慮する。

(3) 地震荷重（S_s）

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

なお、第1号機放水路トンネルは、地山の変形が収束した後に覆工を施工する NATM 工法を用いていることから覆工に掘削解放応力が作用しているとは考えにくく考慮しない。また、当該位置の地山強度比*は十分大きいことから、地山のゆるみ土圧も荷重として考慮しない。

注記 *：当該地点の一軸圧縮強度 ($q_u=153.0 \text{ N/mm}^2$) より地山強度比 G_n は 380 程度である。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S s)	G + P + S s

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (4.9kN/m²を地表面に考慮)

S s : 地震荷重

3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1(2) 動的地震力」及び添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

入力地震動算定の概念図を図3-3に、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3-4に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「ArkQuake Ver. 3.10.01」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

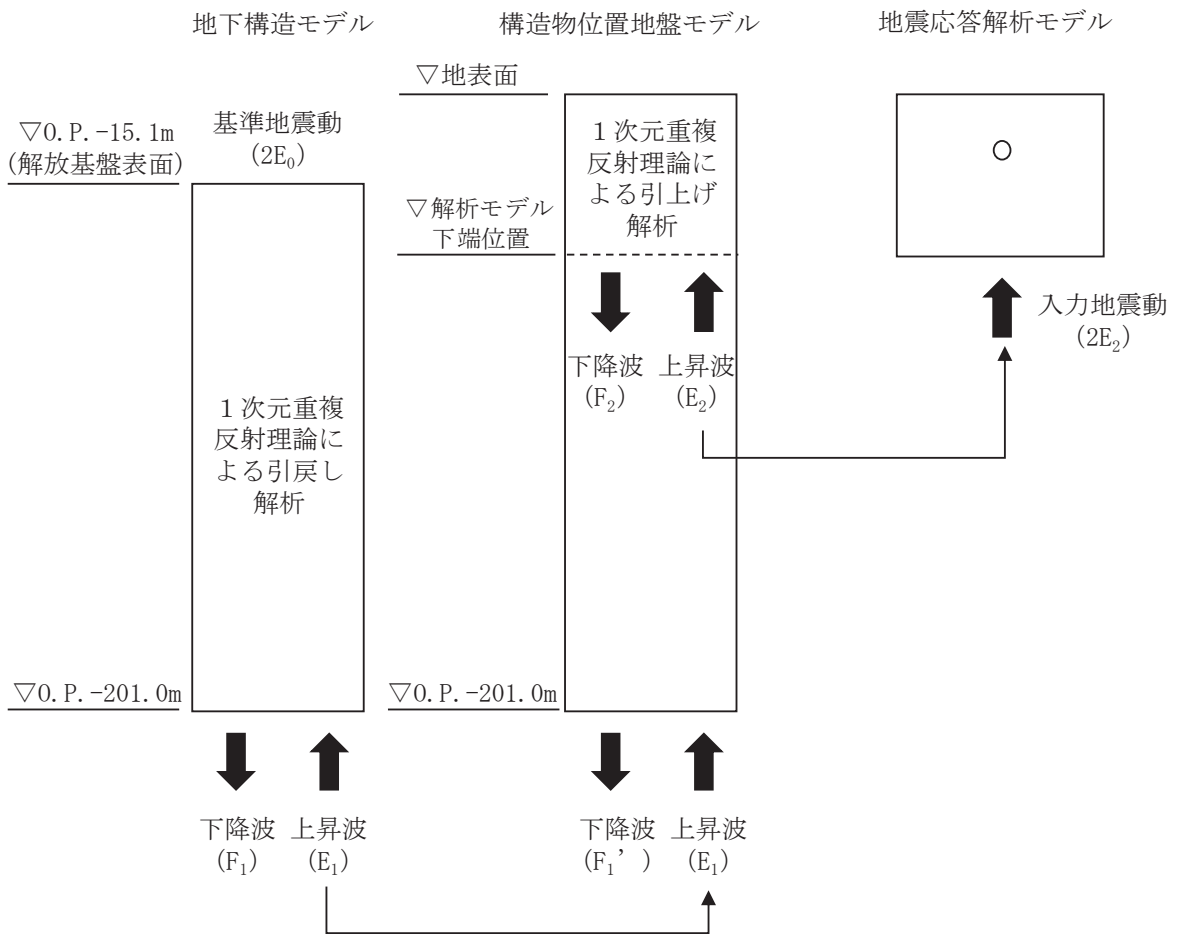
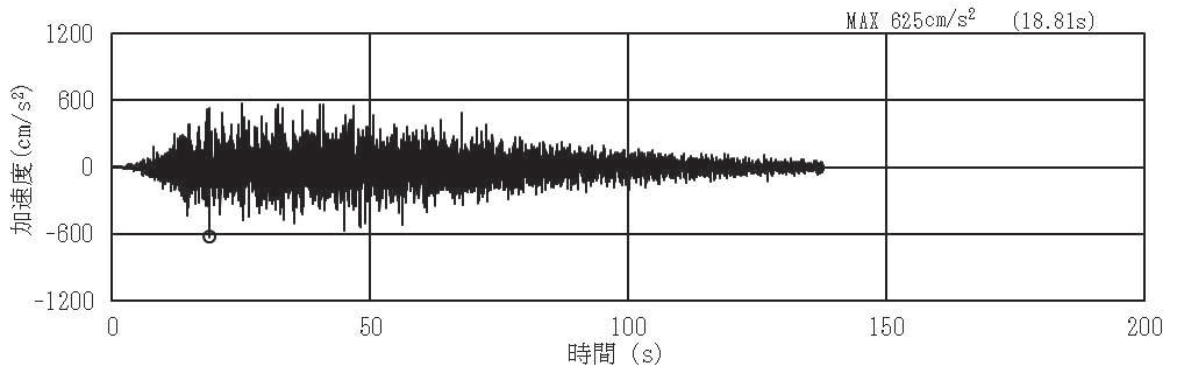
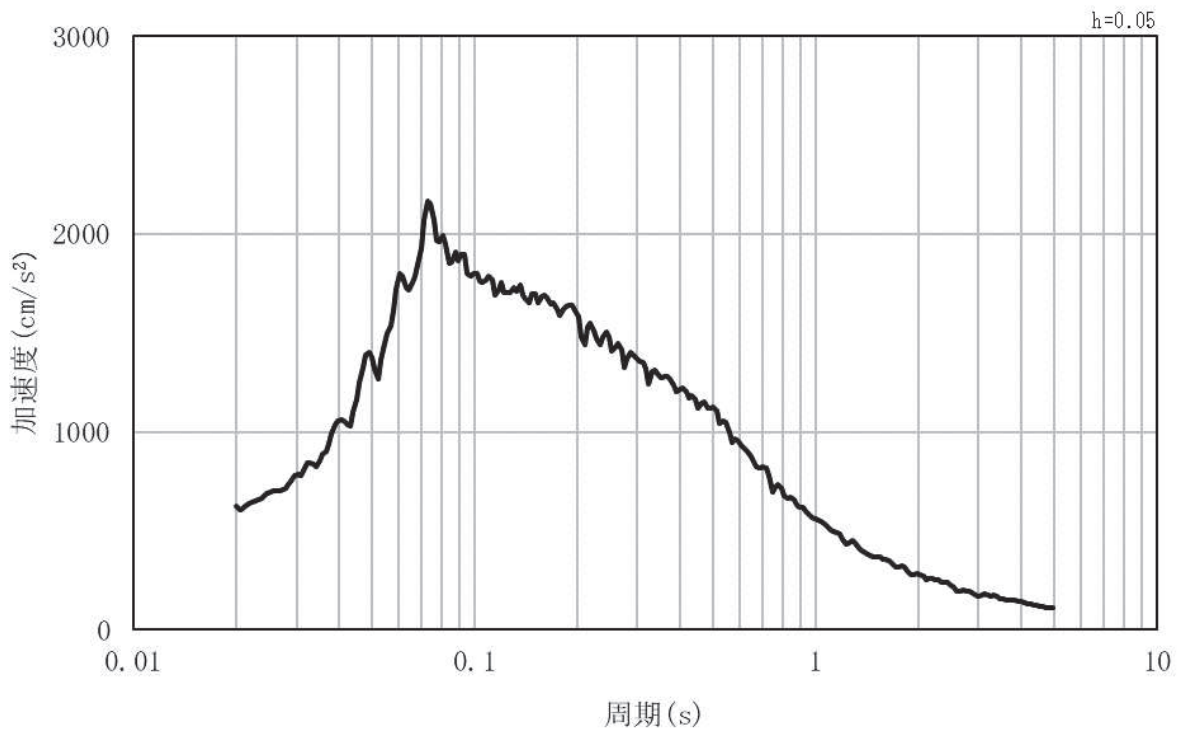


図 3-3 入力地震動算定の概念図

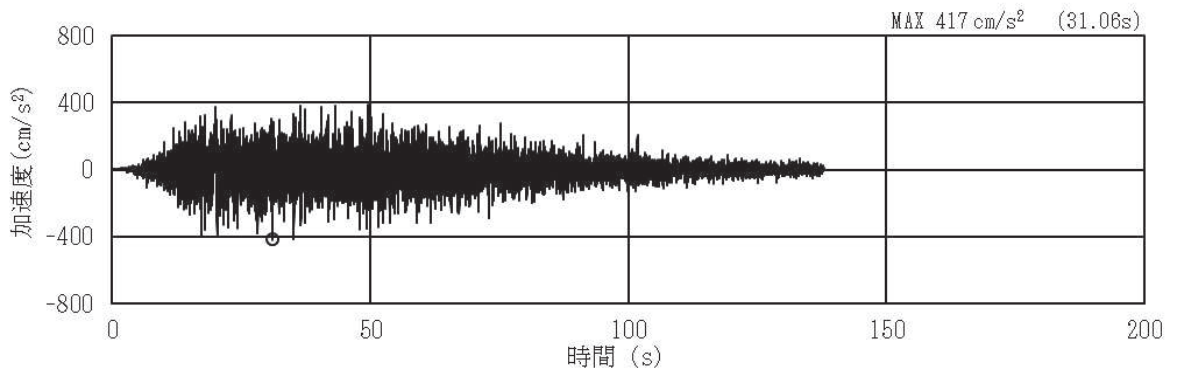


(a) 加速度時刻歴波形

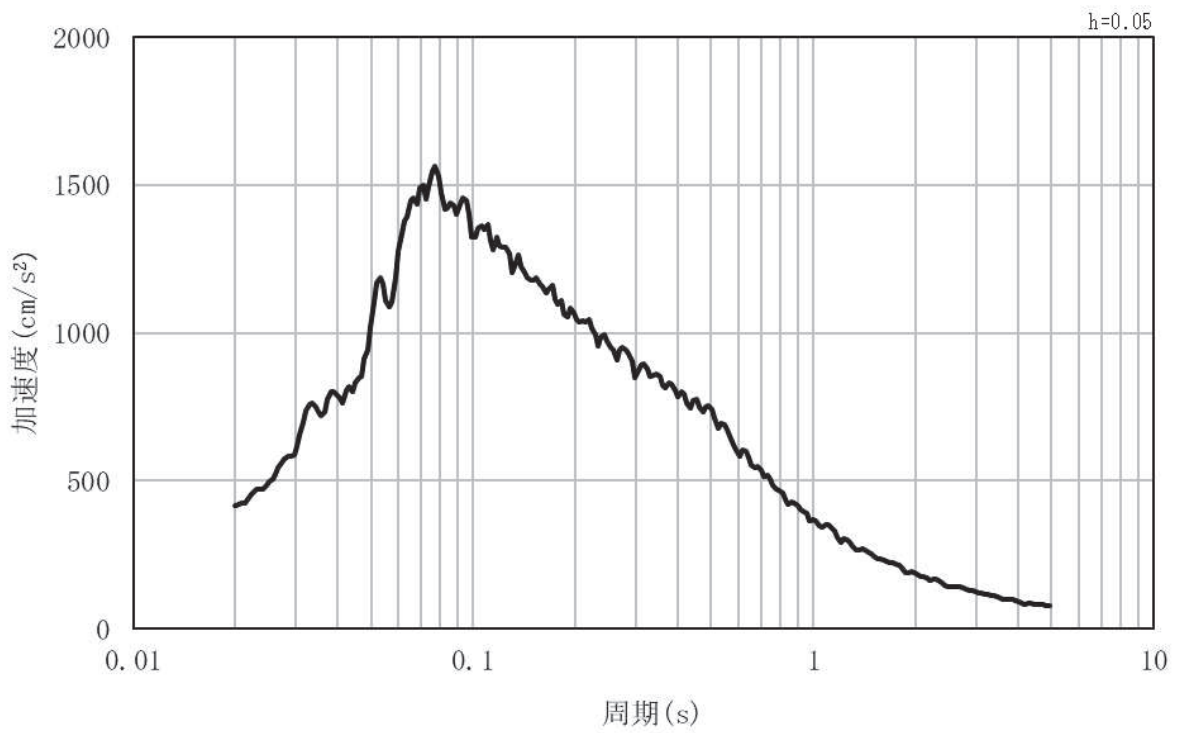


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(1) 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
(水平方向 : S s - D 1)

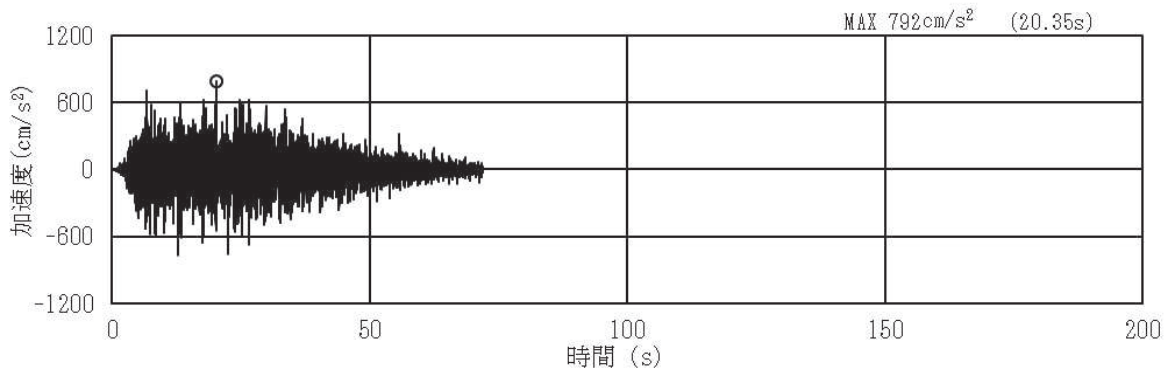


(a) 加速度時刻歴波形

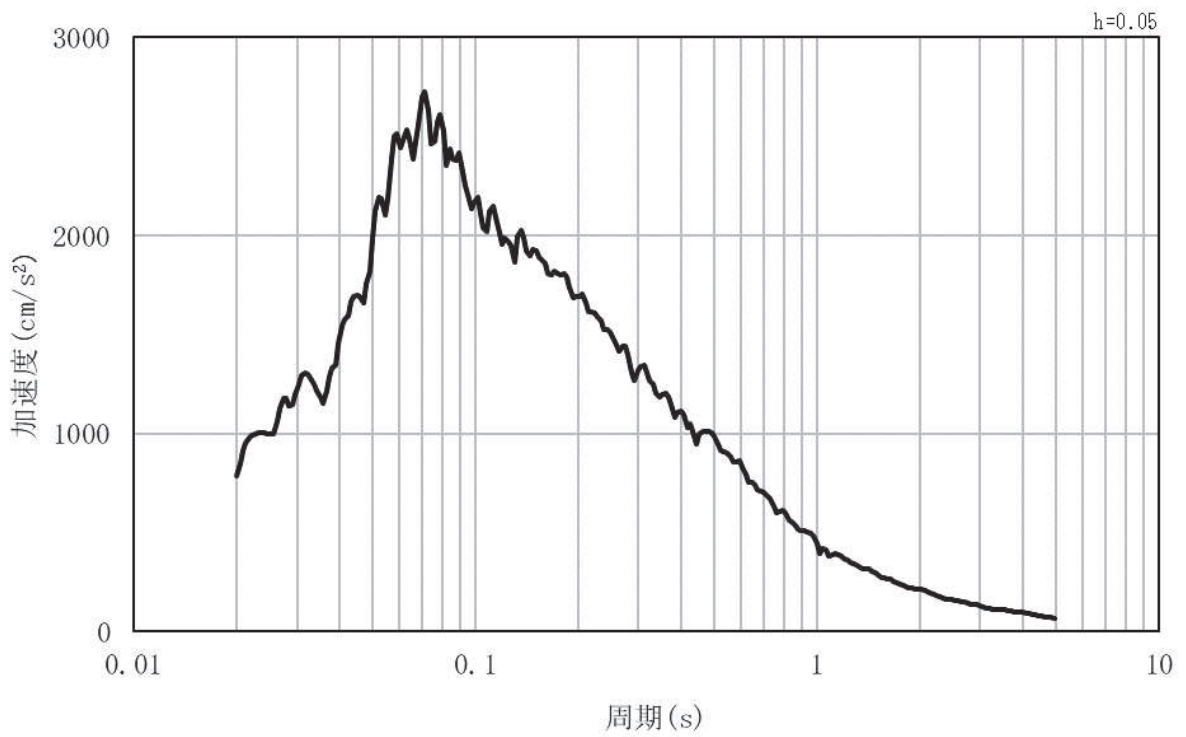


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(2) 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
(鉛直方向：S s - D 1)

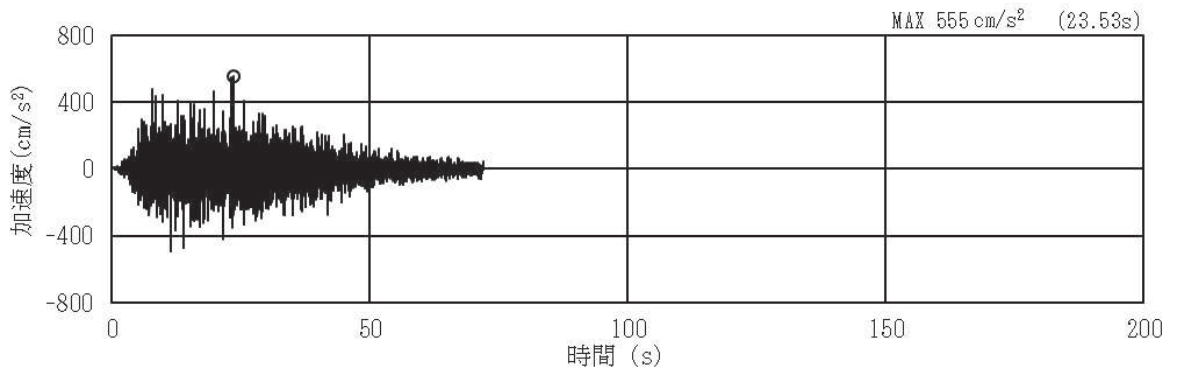


(a) 加速度時刻歴波形

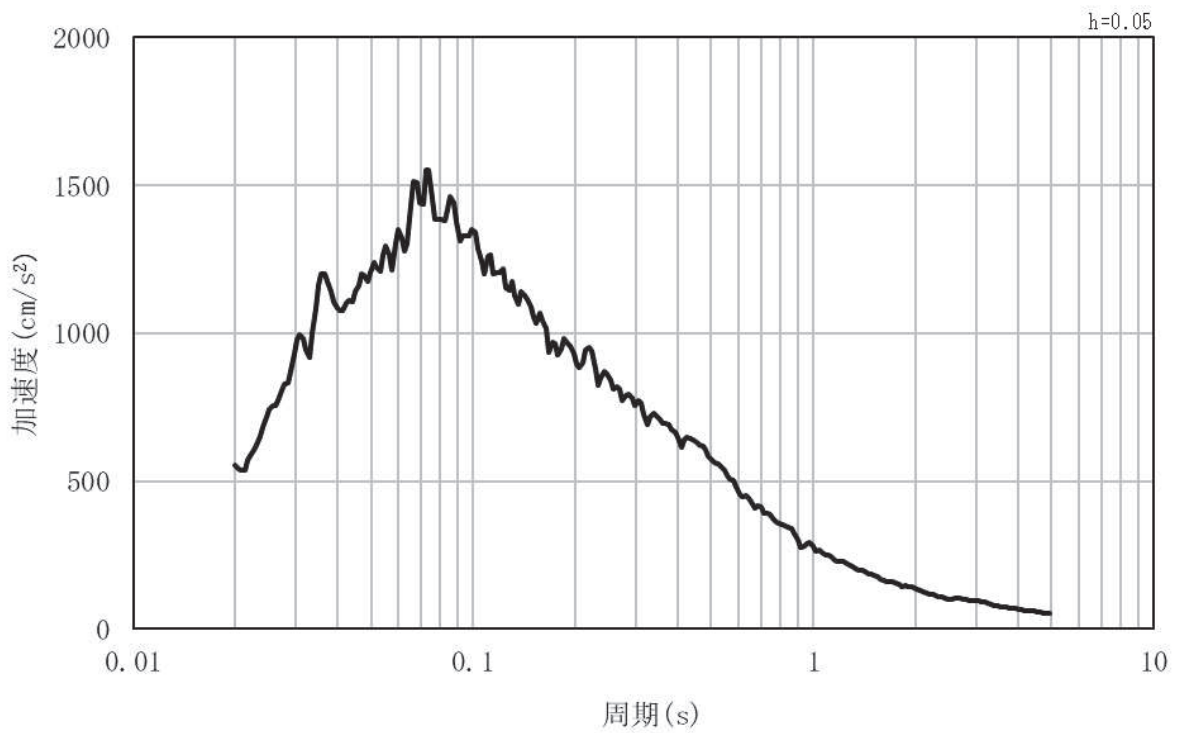


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(3) 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
(水平方向 : S s - D 2)

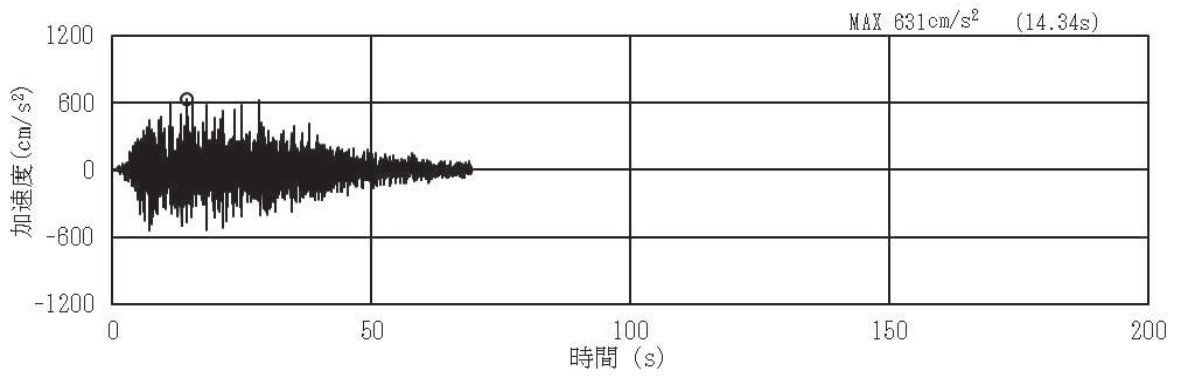


(a) 加速度時刻歴波形

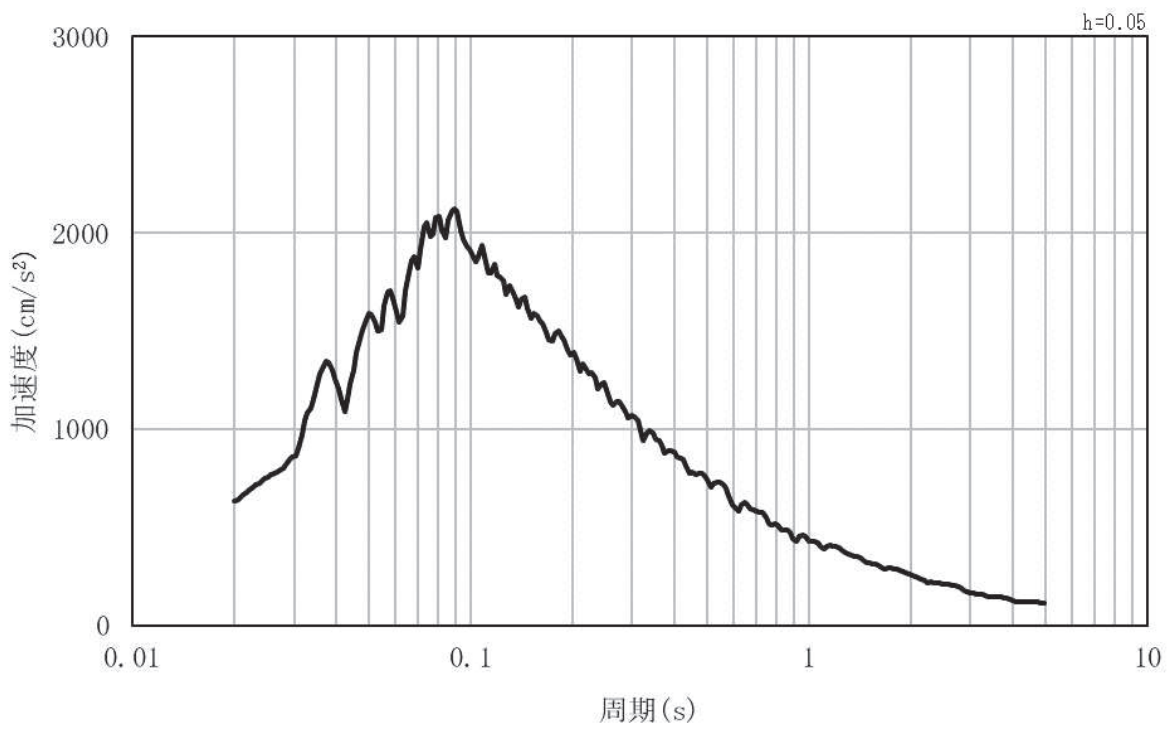


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(4) 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
(鉛直方向：S s - D 2)

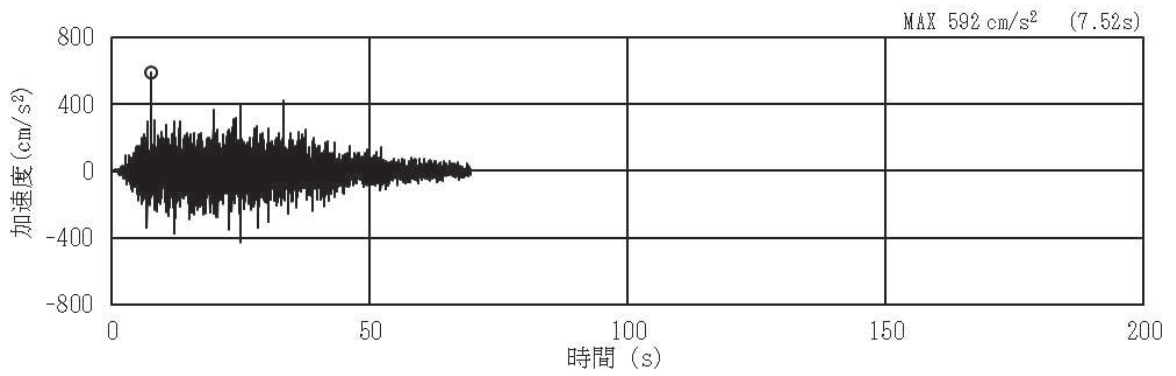


(a) 加速度時刻歴波形

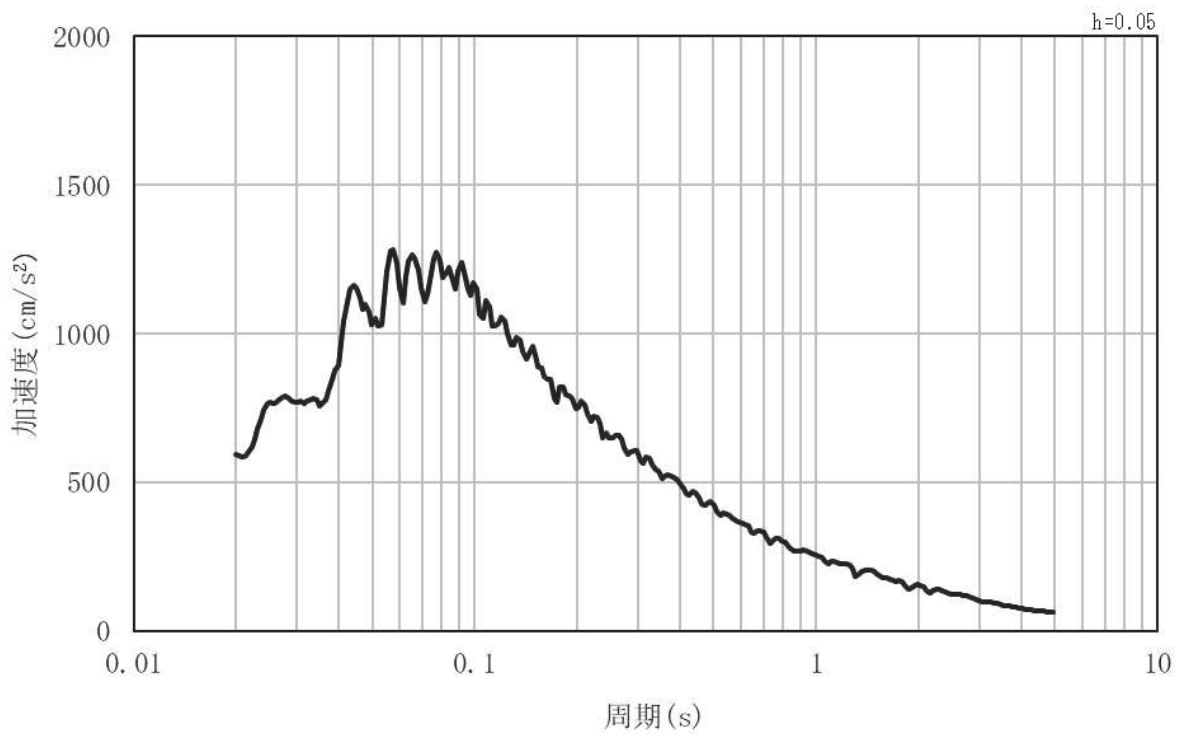


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(5) 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
(水平方向：S s - D 3)

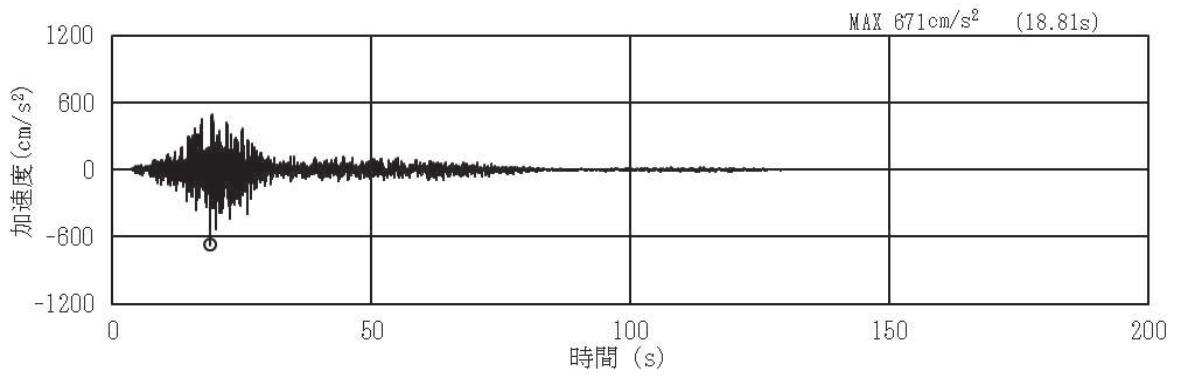


(a) 加速度時刻歴波形

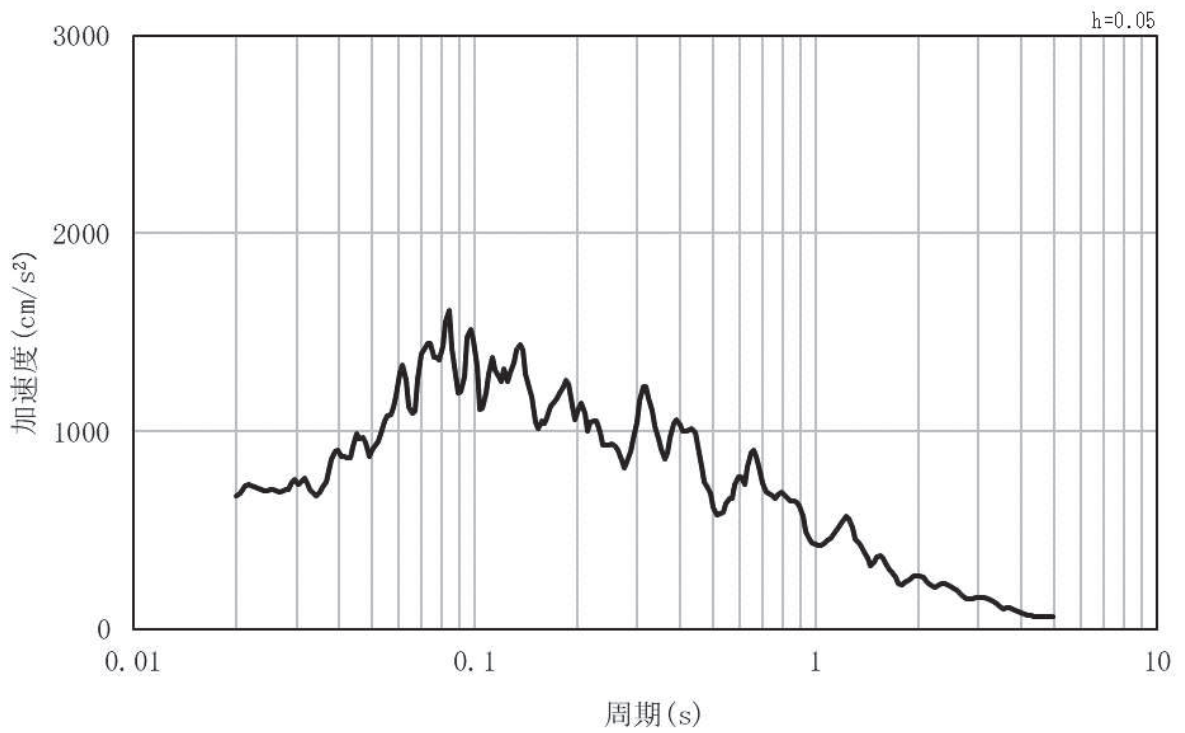


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(6) 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
(鉛直方向：S s - D 3)

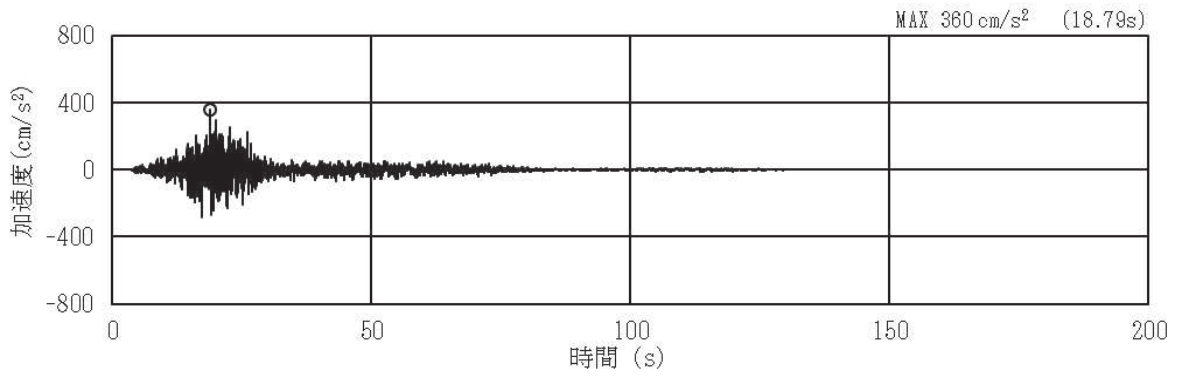


(a) 加速度時刻歴波形

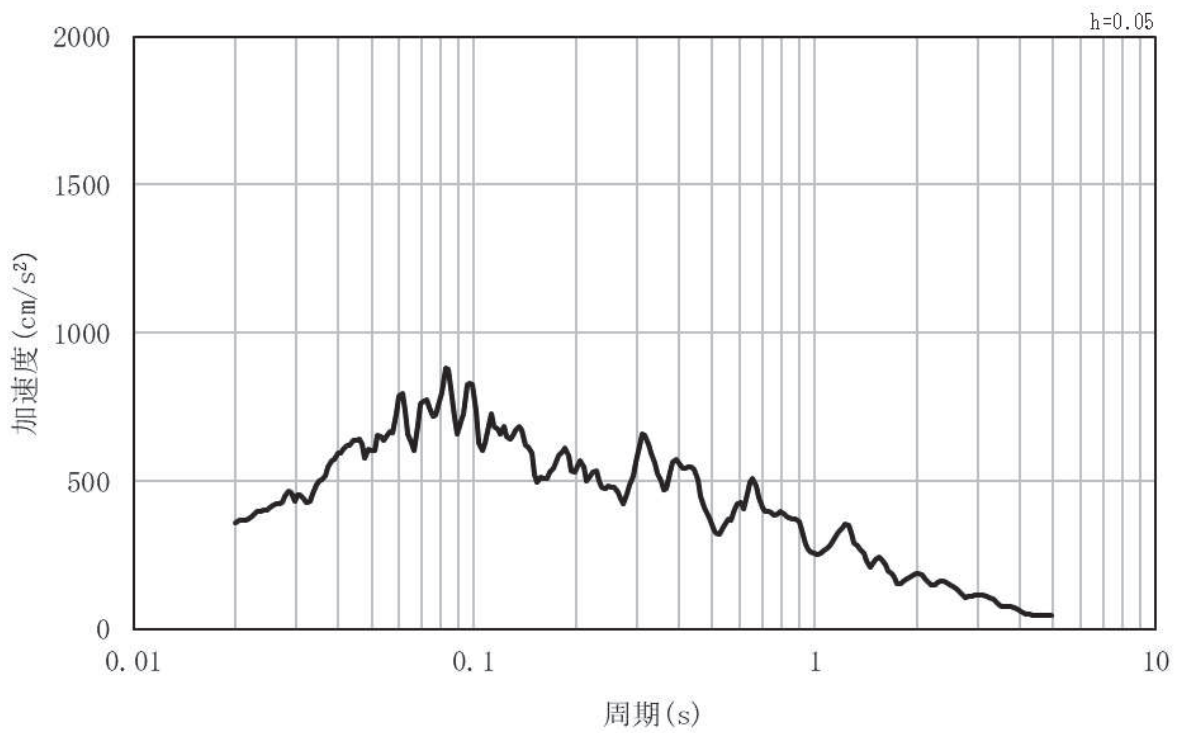


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(7) 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
(水平方向 : S s - F 1)

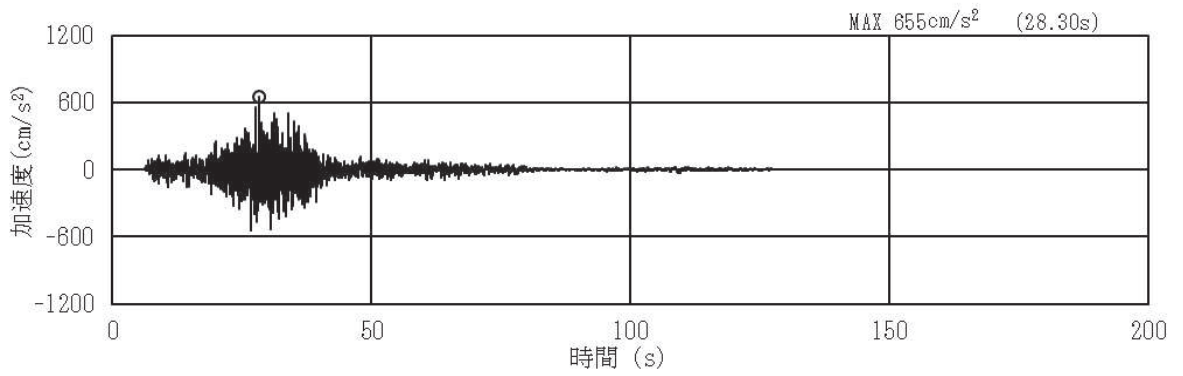


(a) 加速度時刻歴波形

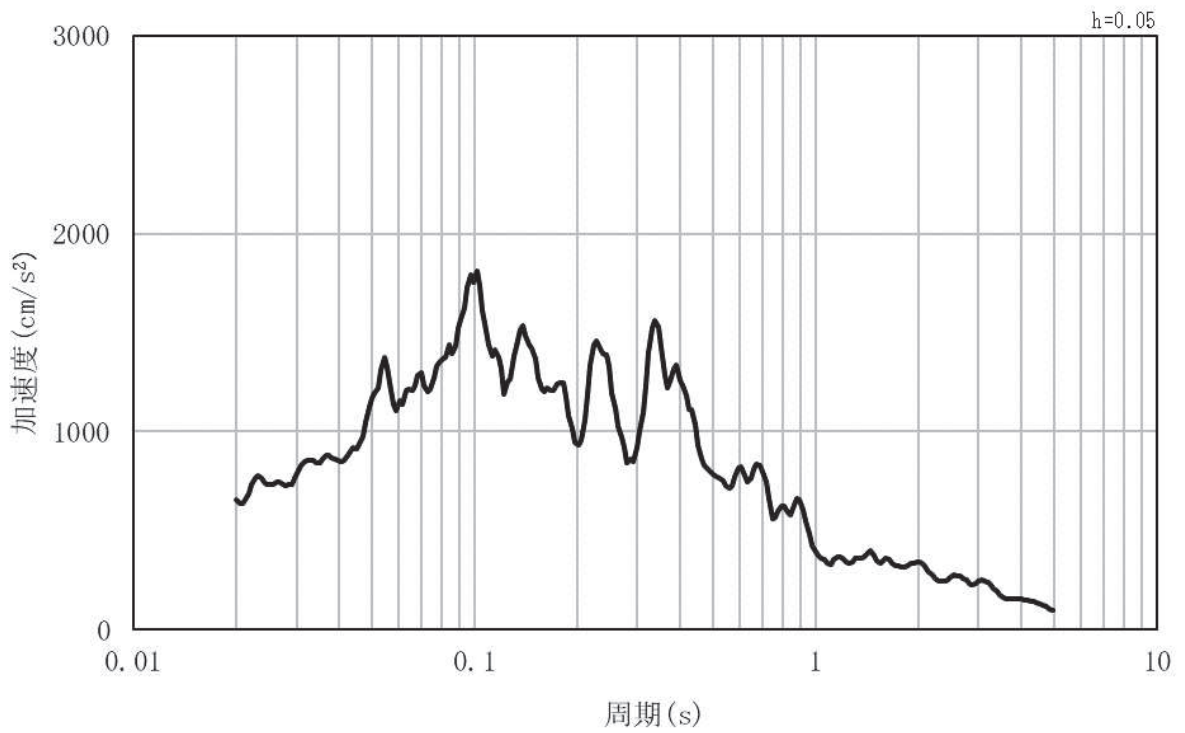


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(8) 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
(鉛直方向：S s - F 1)

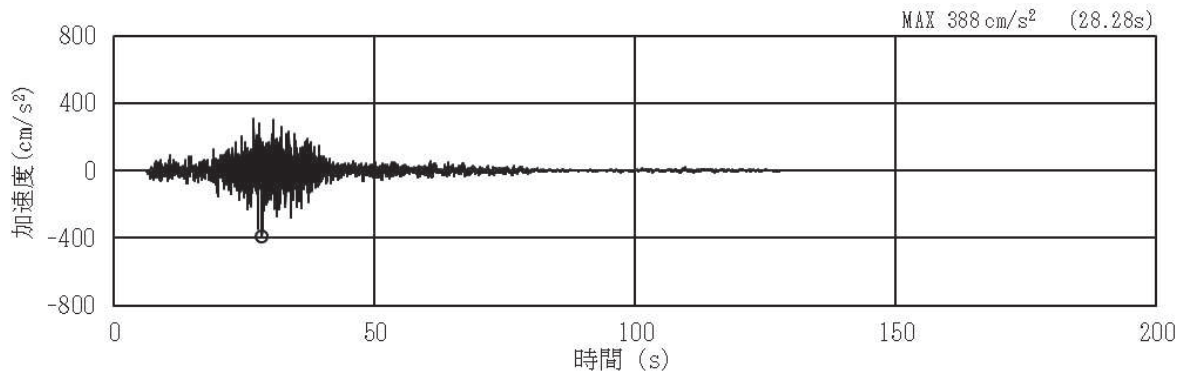


(a) 加速度時刻歴波形

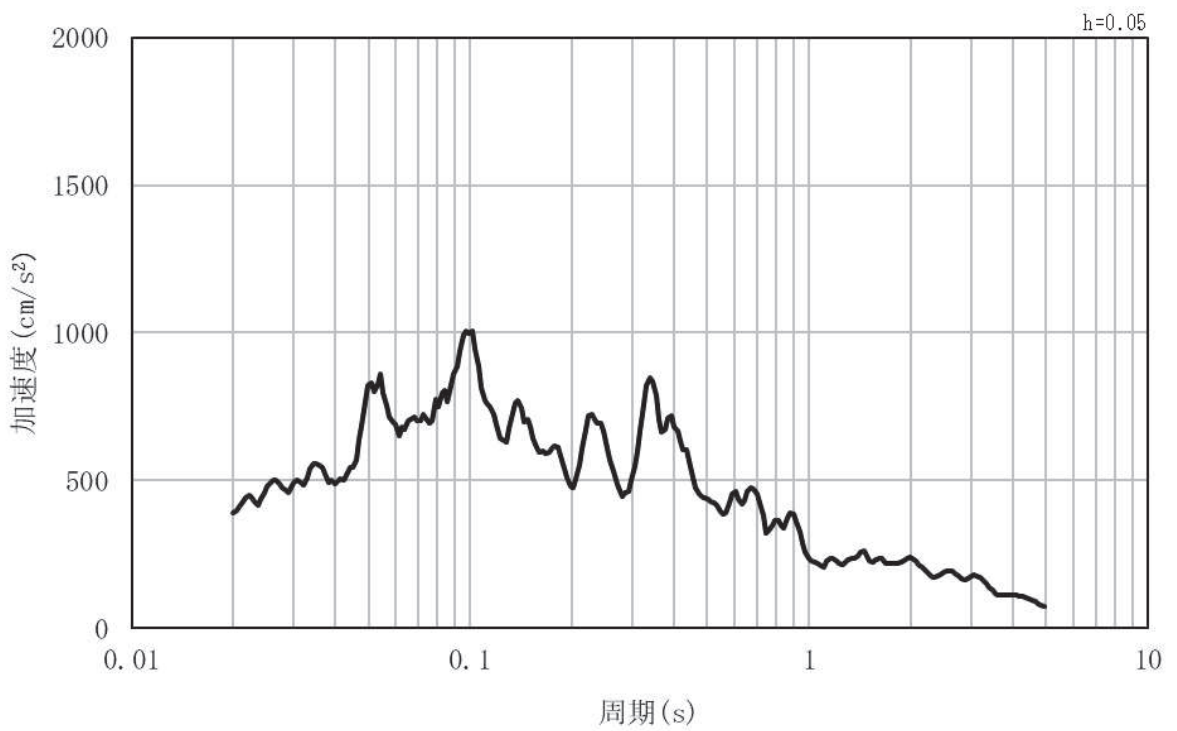


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(9) 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
(水平方向 : S s - F 2)

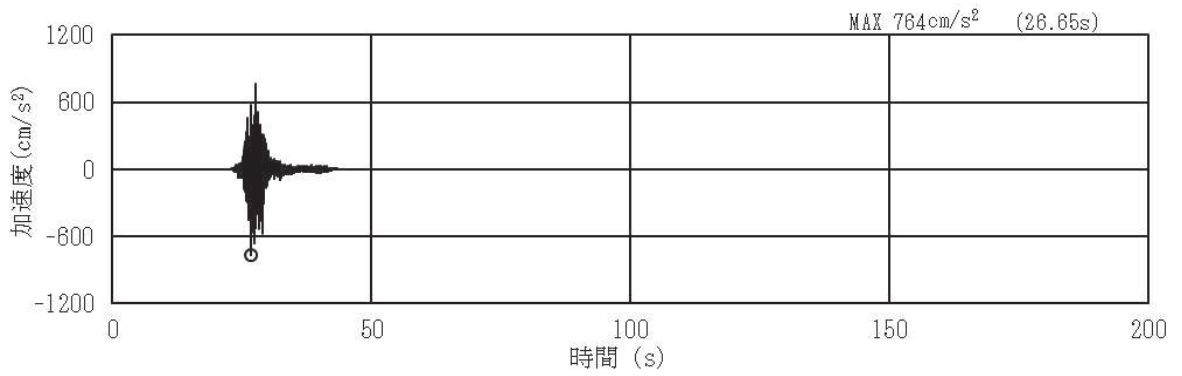


(a) 加速度時刻歴波形

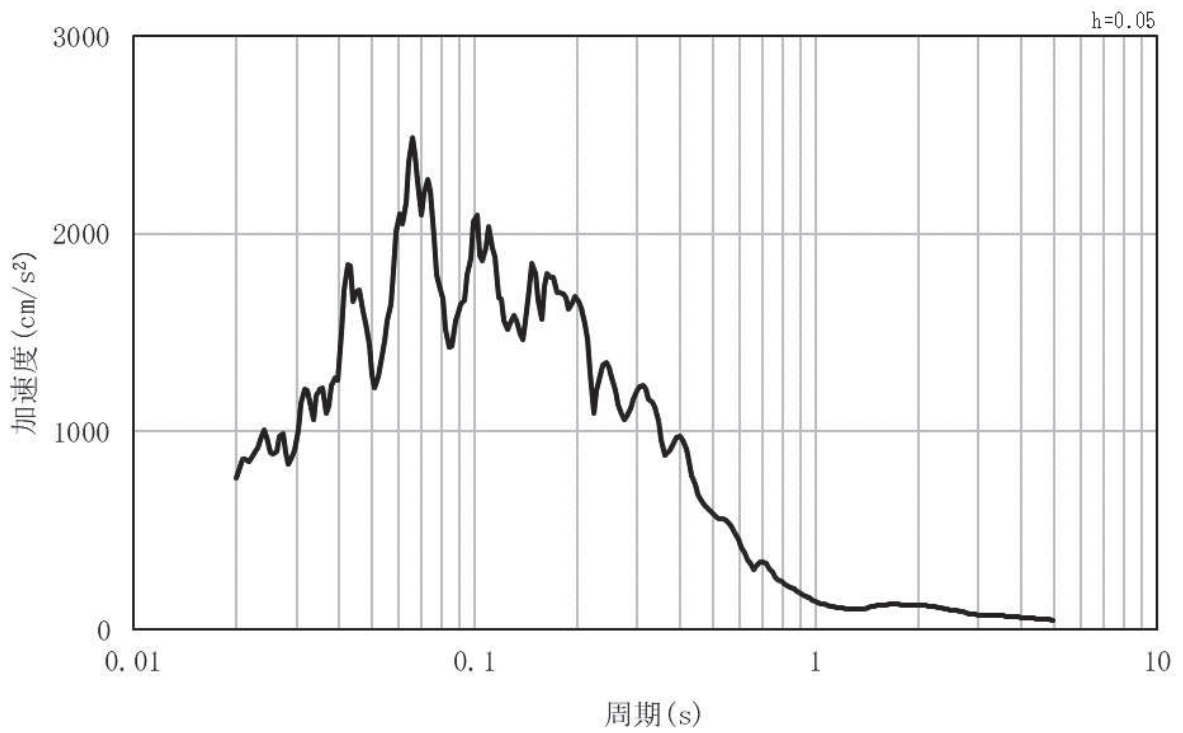


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(10) 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
(鉛直方向：S s - F 2)

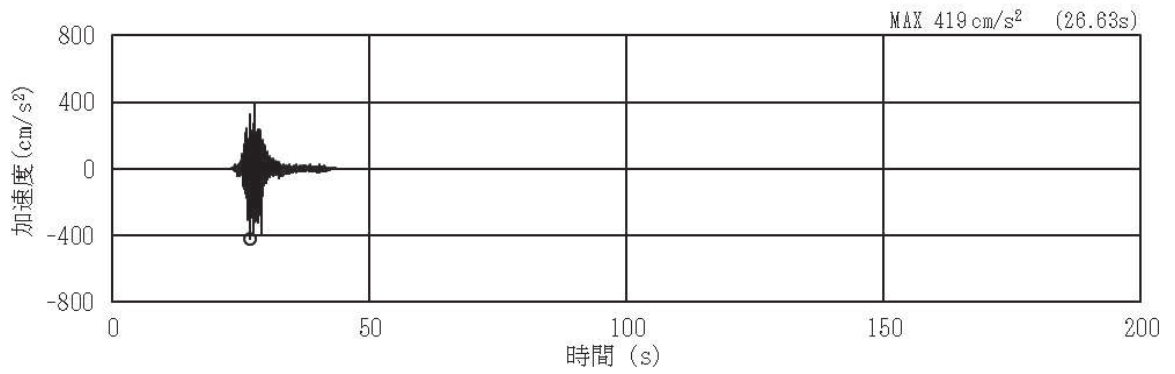


(a) 加速度時刻歴波形

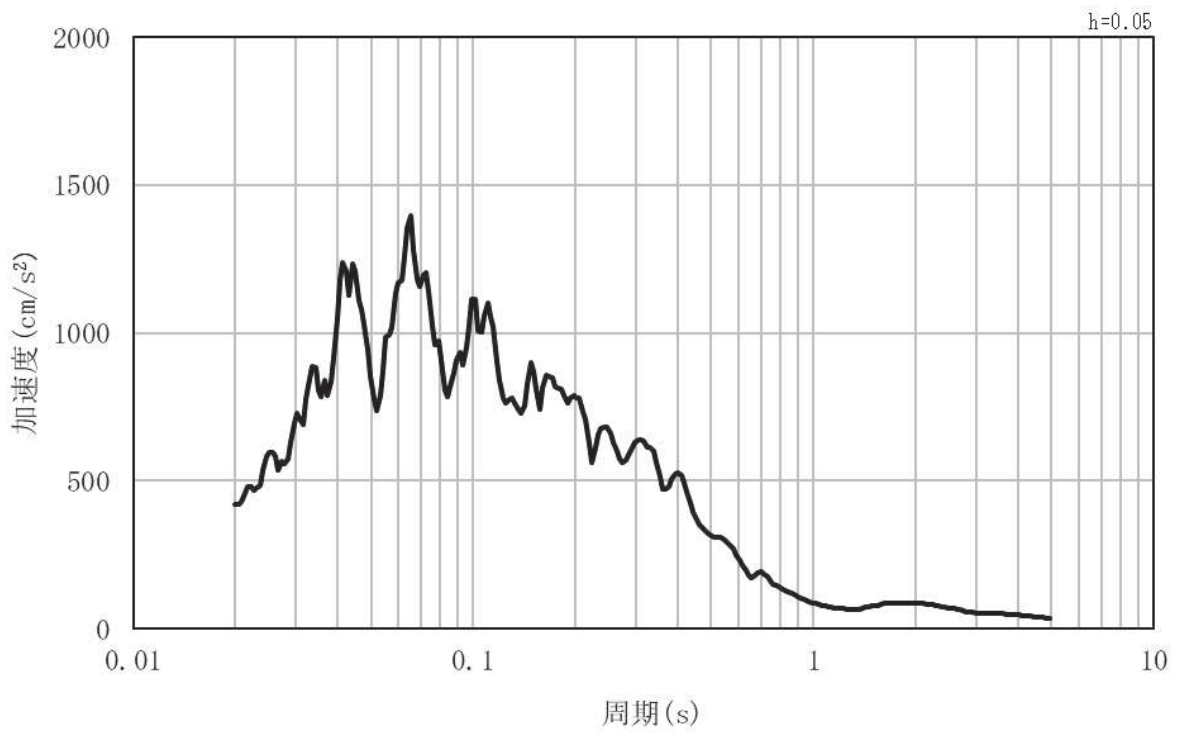


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(11) 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
(水平方向 : S s - F 3)

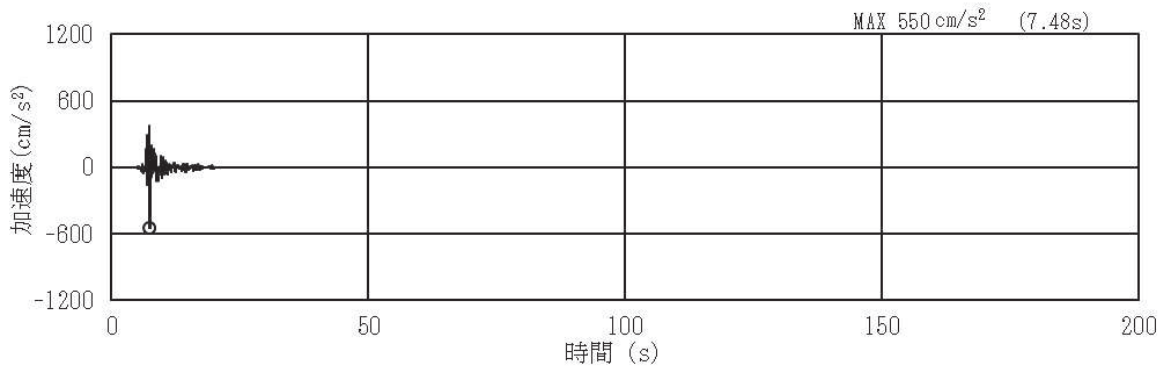


(a) 加速度時刻歴波形

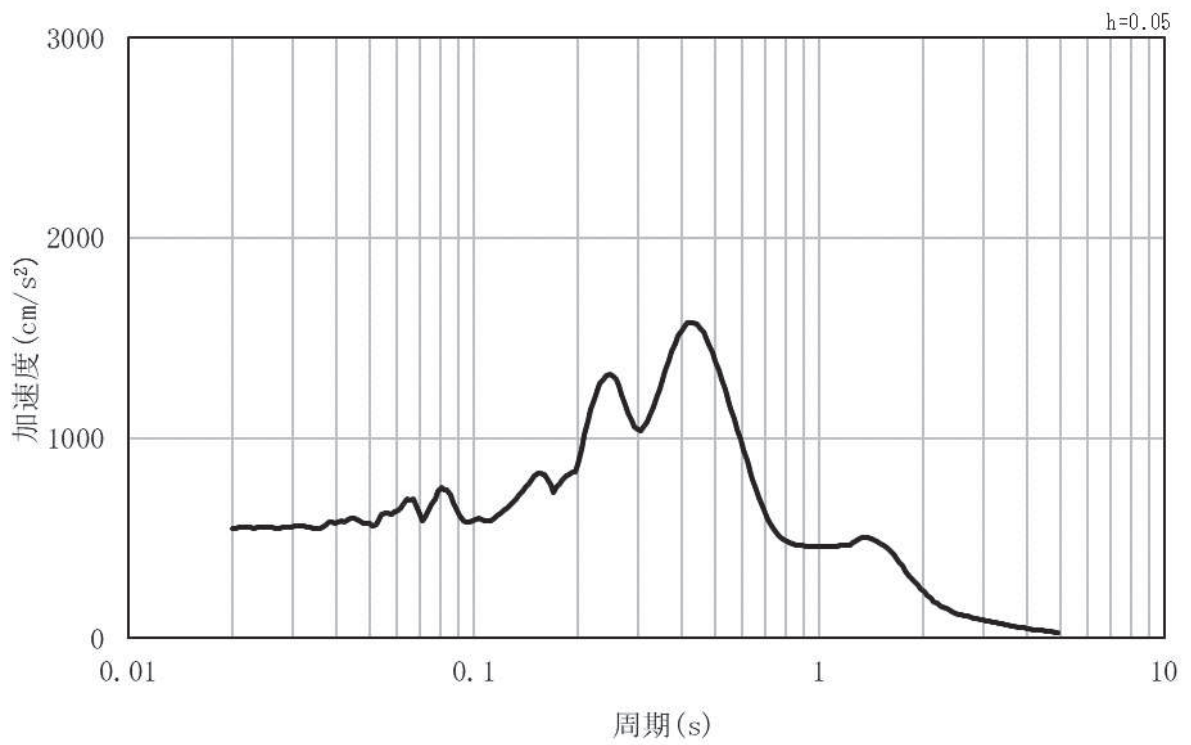


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(12) 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
(鉛直方向：S s - F 3)

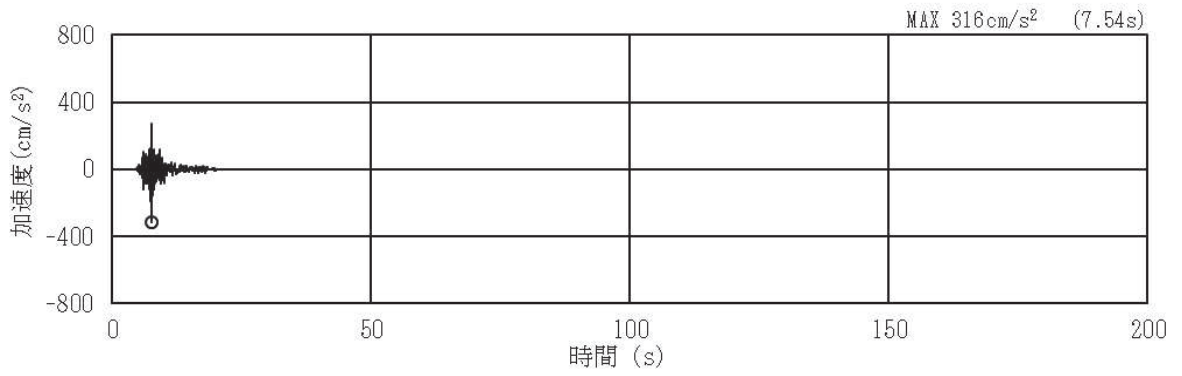


(a) 加速度時刻歴波形

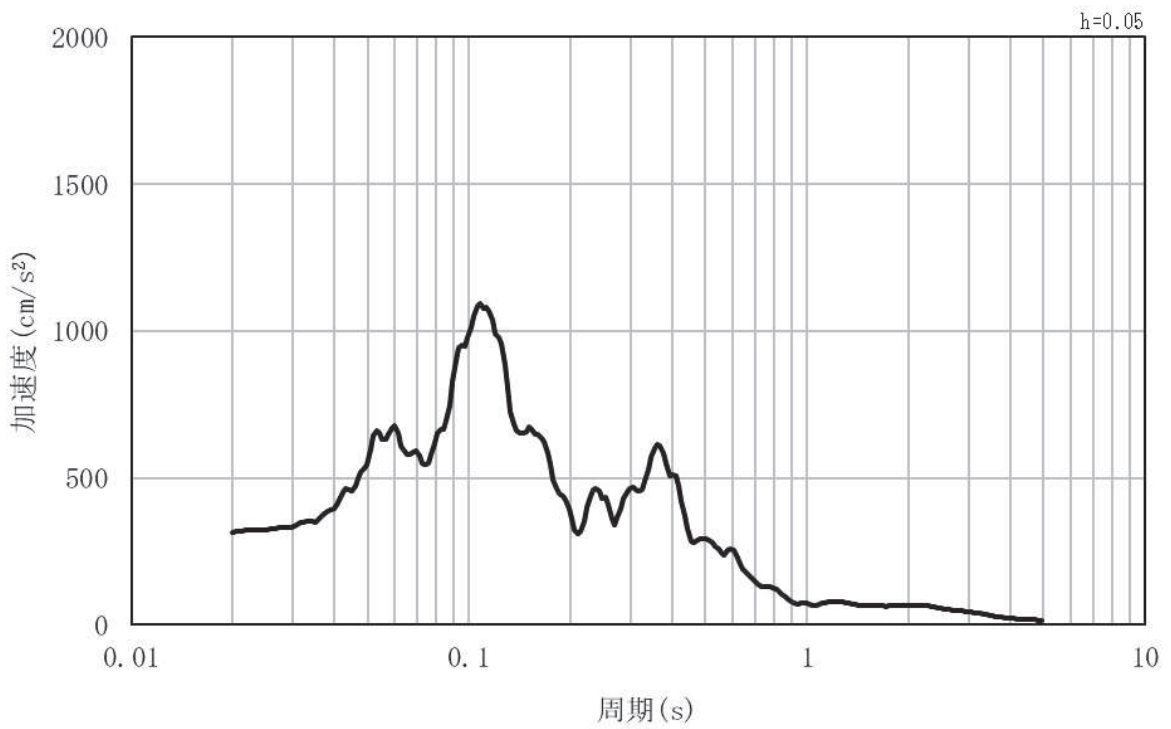


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(13) 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
(水平方向：S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(14) 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
(鉛直方向：S s - N 1)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析モデルを図3-5に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方にはエネルギー伝達境界、底面にはエネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

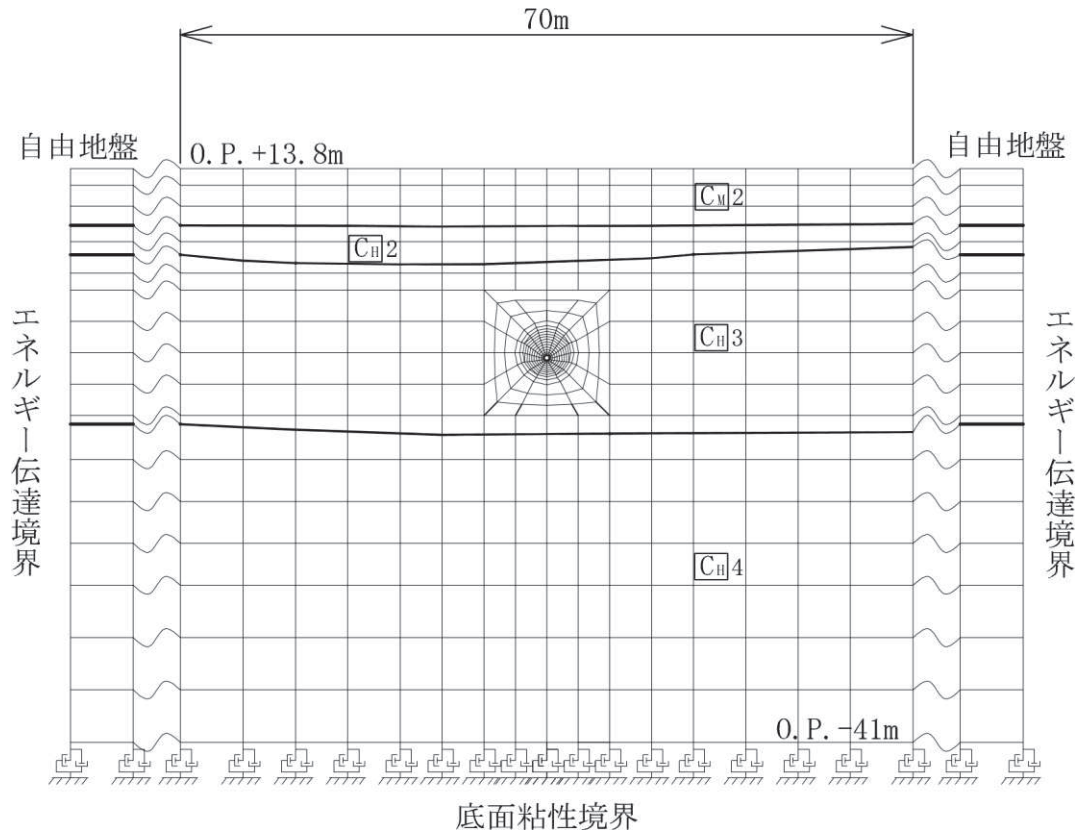
構造部材（覆工部及び充填部）は、平面ひずみ要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

地盤は、平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 内水のモデル化

内水は、付加質量としてモデル化する。



注) $C_{II}4$ は C_{II} 級岩盤の第 4 速度層を示す。

図 3-5 取放水路流路縮小工 (第 1 号機放水路) の地震応答解析モデル

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

部位	材料	諸元
覆工部	コンクリート	設計基準強度： $f'_{ck}=20.5\text{N/mm}^2$
充填部	コンクリート	設計基準強度： $f'_{ck}=50.0\text{N/mm}^2$

表 3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比 (-)
コンクリート ($f'_{ck}=20.5\text{N/mm}^2$)	24.0 *	2.33×10^4	0.20
コンクリート ($f'_{ck}=50.0\text{N/mm}^2$)	23.0	3.30×10^4	0.20

注記*：覆工部は、耐震計算においては期待しないものの、鉄筋を有する構造であることを踏まえ、鉄筋コンクリートの単位体積重量を用いる。

3.5.3 地盤の物性値

地盤は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を使用する。

3.5.4 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した地表面とする。

3.6 評価対象部位

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、覆工部及び充填部とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、覆工部を支持する岩盤とする。

3.7 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

耐震評価における許容限界は、地震荷重に対してコンクリート躯体である覆工部及び充填部が引張破壊又はせん断破壊しないこととして、引張破壊に対しては引張強度、せん断破壊に対してはせん断強度とする。

引張強度は「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に基づき設定する。

覆工部及び充填部の許容限界（引張強度）を表 3-6 に示す。

表 3-6 覆工部及び充填部の許容限界（引張強度）

部位	項目	許容限界 (N/mm ²)
覆工部	引張強度 σ_t	1.019
充填部	引張強度 σ_t	1.847

せん断強度は、「土木学会 2013 年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編」より算出する。

覆工部及び充填部の許容限界（せん断強度）を表 3-7 に示す。

表 3-7 覆工部及び充填部の許容限界（せん断強度）

項目			覆工部	充填部
設計基準強度	f'_{ck}	N/mm ²	20.5	50.0
内部摩擦角	ϕ	°	0 ^{*1}	0 ^{*1}
せん断強度	τ_0	N/mm ²	4.1 ^{*2}	10.0 ^{*2}

注記 *1：保守的に考慮しないこととする

*2： $\tau_0 = 1/5qu \rightarrow \tau_0 = 0.2f'_{ck}$

3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の極限支持力を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

3.8 評価方法

取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

地震応答解析により算定した覆工及び充填部の応力が、引張破壊及びせん断破壊に対する許容限界以下となることを確認する。

引張破壊に対する照査値が最大となる時刻の応力分布図を図 3-6 及び図 3-7 に、せん断破壊に対する照査値が最大となる時刻の応力分布図を図 3-8 及び図 3-9 に示す。

応力分布図は S s の位相、岩盤のばらつきを考慮したケースで最大となる照査値から選定する。

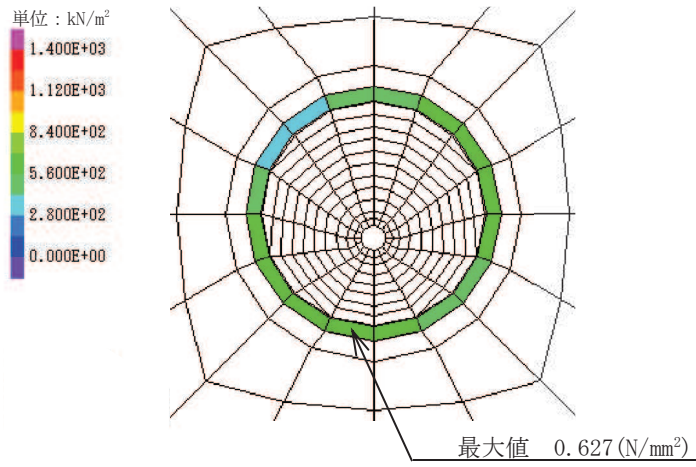


図 3-6 覆工部の引張破壊に対する照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (-+), t=27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

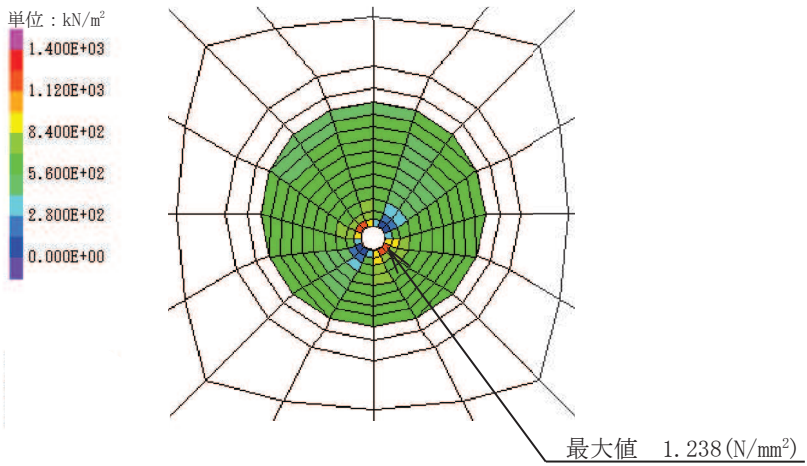


図 3-7 充填部の引張破壊に対する照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (-+), t=27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

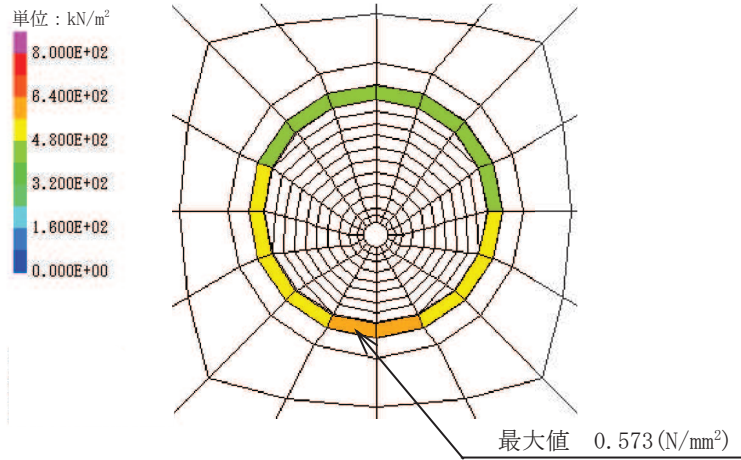


図 3-8 覆工部のせん断破壊に対する照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (++) , t=27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

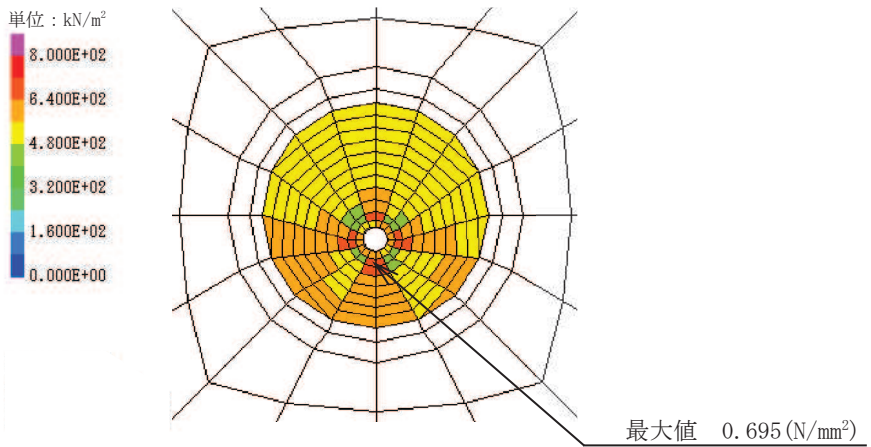


図 3-9 充填部のせん断破壊に対する照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (++) , t=27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

3.8.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、覆工部を支持する基礎岩盤に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

最大接地圧の分布図を図 3-10 に示す。

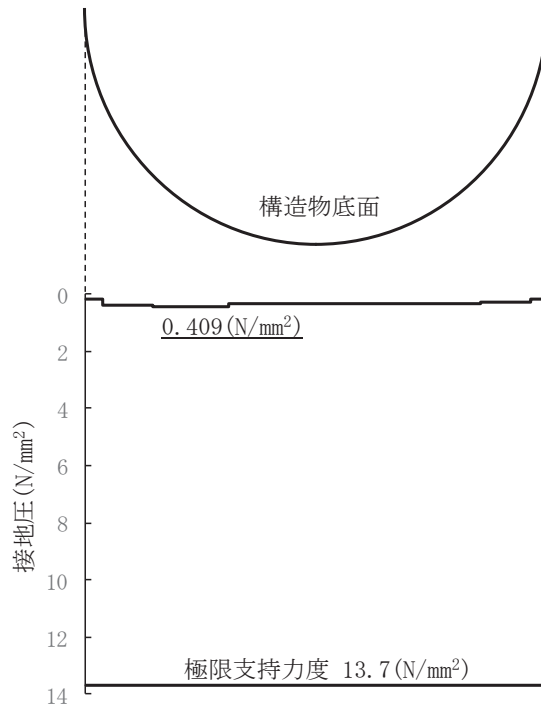


図 3-10 最大接地圧の分布図

(S s - F 3 (-+))

(解析ケース③：地盤物性値のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース)

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

覆工部及び充填部の引張破壊に対する照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する照査値を表 4-2 に示す。覆工部及び充填部の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 引張破壊に対する最大照査値

部位	地震動	解析ケース	発生応力 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
覆工部	S _s -F3 (-+)	①	0.627	1.019	0.62
充填部	S _s -F3 (-+)	①	1.238	1.847	0.68

表 4-2 せん断破壊に対する照査値

部位	地震動	解析ケース	発生応力 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
覆工部	S _s -F3 (++)	①	0.573	4.1	0.14
充填部	S _s -F3 (++)	①	0.695	10.0	0.07

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 4-3 に示す。

覆工部を支持する基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能照査結果

地震動	解析ケース	最大接地圧 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
S _s -F3 (-+)	③	0.409	13.7	0.03

VI-2-10-2-5 貯留堰の耐震性についての計算書

貯留堰の耐震性については、添付書類「VI-2-10-4-2 貯留堰の耐震性についての計算書」で説明する。

VI-2-10-2-6 逆流防止設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-2-6-1 屋外排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-6-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-6-1 屋外排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の
耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価部位	8
3.1	配置概要	8
3.2	評価方向の整理	8
4.	固有周期	10
4.1	固有周期の計算方法	10
4.1.1	閉門時	10
4.1.2	開門時	11
4.2	固有周期の計算結果	12
5.	構造強度評価	13
5.1	構造強度評価方法	13
5.2	荷重及び荷重の組合せ	13
5.2.1	荷重の設定	13
5.2.2	荷重の組合せ	13
5.3	許容限界	14
5.4	設計用地震力	15
5.5	計算方法	18
5.6	計算条件	35
6.	評価結果	37
7.	出口側集水ピットの強度評価	39
7.1	出口側集水ピットの構造概要	39
7.2	評価方針	42
7.3	適用基準	44
8.	地震応答解析	45
8.1	地震時荷重算出断面	45
8.2	解析方法	46
8.3	荷重及び荷重の組合せ	50
8.3.1	耐震評価上考慮する状態	50
8.3.2	荷重	50
8.3.3	荷重の組合せ	51

8.4	入力地震動	52
8.5	解析モデル及び諸元	67
8.6	地震応答解析結果	70
9.	三次元構造解析	87
9.1	評価対象部材	87
9.2	解析方法	87
9.3	解析モデル及び諸元	88
9.4	照査時刻及び入力荷重	90
9.5	三次元構造解析結果	94
10.	耐震評価	102
10.1	許容限界	102
10.1.1	構造部材の健全性に対する許容限界	102
10.1.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	103
10.2	評価方法	103
11.	評価結果	104
11.1	構造部材の健全性に対する評価結果	104
11.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	107

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）（No. 1）、（No. 2）、（No. 3）（以下「屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。また、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）が設置される出口側集水ピットは耐震重要度分類Sクラスの間接支持構造物としての機能が要求されることから、基準地震動 S_s に対して、構成する部材がおおむね弾性範囲にとどまることを確認するため、地震応答解析に基づく構造部材健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設置位置を図 2-1 に示す。

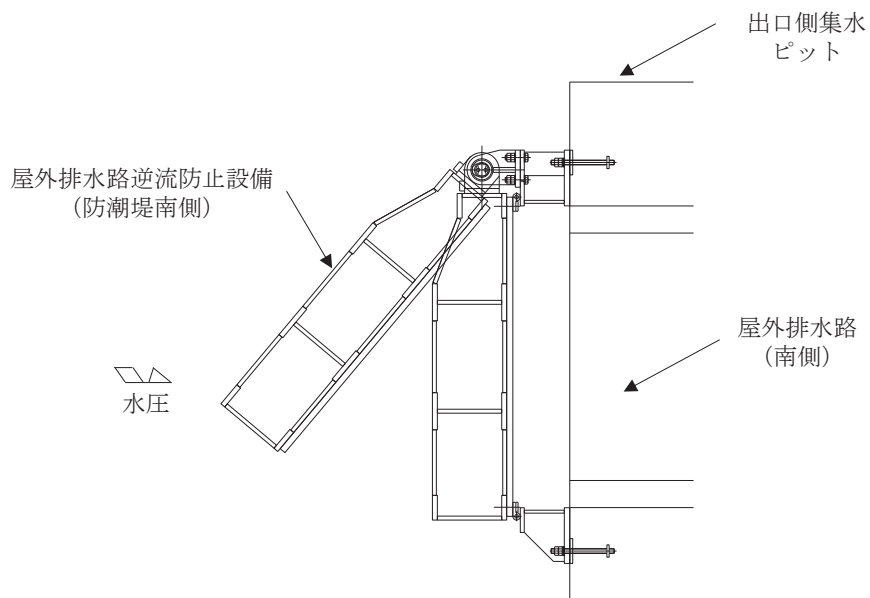
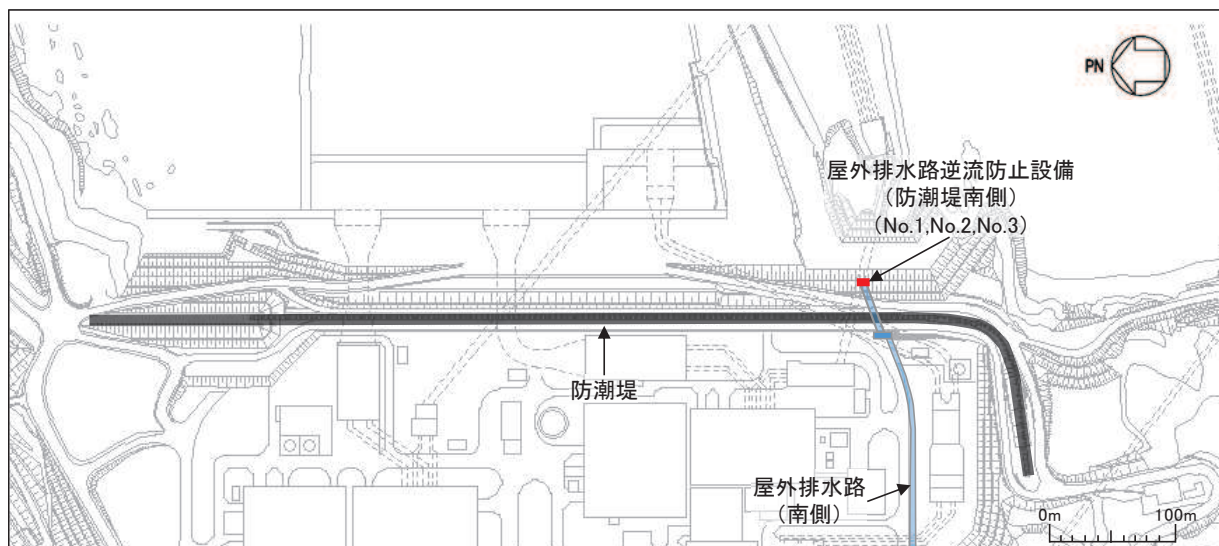


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設置位置

2.2 構造計画

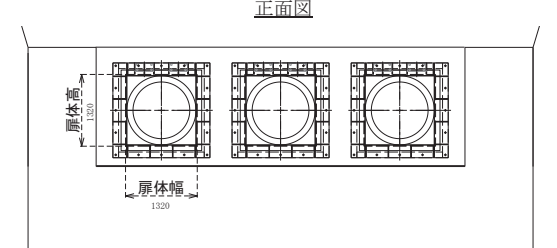
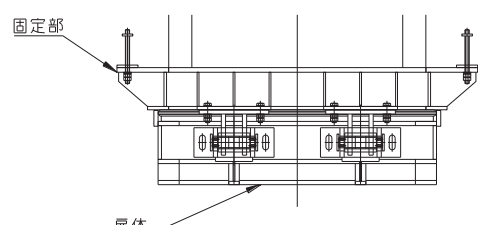
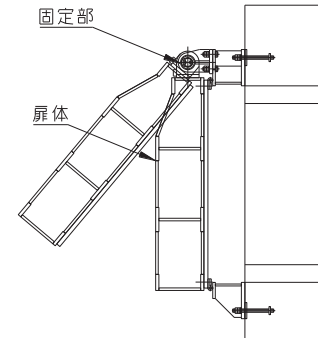
防潮堤の南側に位置する3本の屋外排水路に対して、それぞれ屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を設置する。各屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、戸当り及びアンカーボルト）で構成される。

扉体及び固定部で構成される屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、出口側集水ピット（鉄筋コンクリート製）にアンカーで固定し、屋外排水路を経路とした津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

なお、出口側集水ピットは地中に設置することから、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）及び出口側集水ピットには漂流物は衝突しない。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>本体はアンカーを介して出口側集水ピットに固定する。</p>	<p>鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）及び固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、戸当り及びアンカーボルト）により構成する。</p>	<p style="text-align: center;">正面図</p>  <p style="text-align: center;">平面図</p>  <p style="text-align: center;">断面図</p> 

2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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に基づき、「2.2 構造計画」に示す屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、設計用地震力による応力が許容限界以下であることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

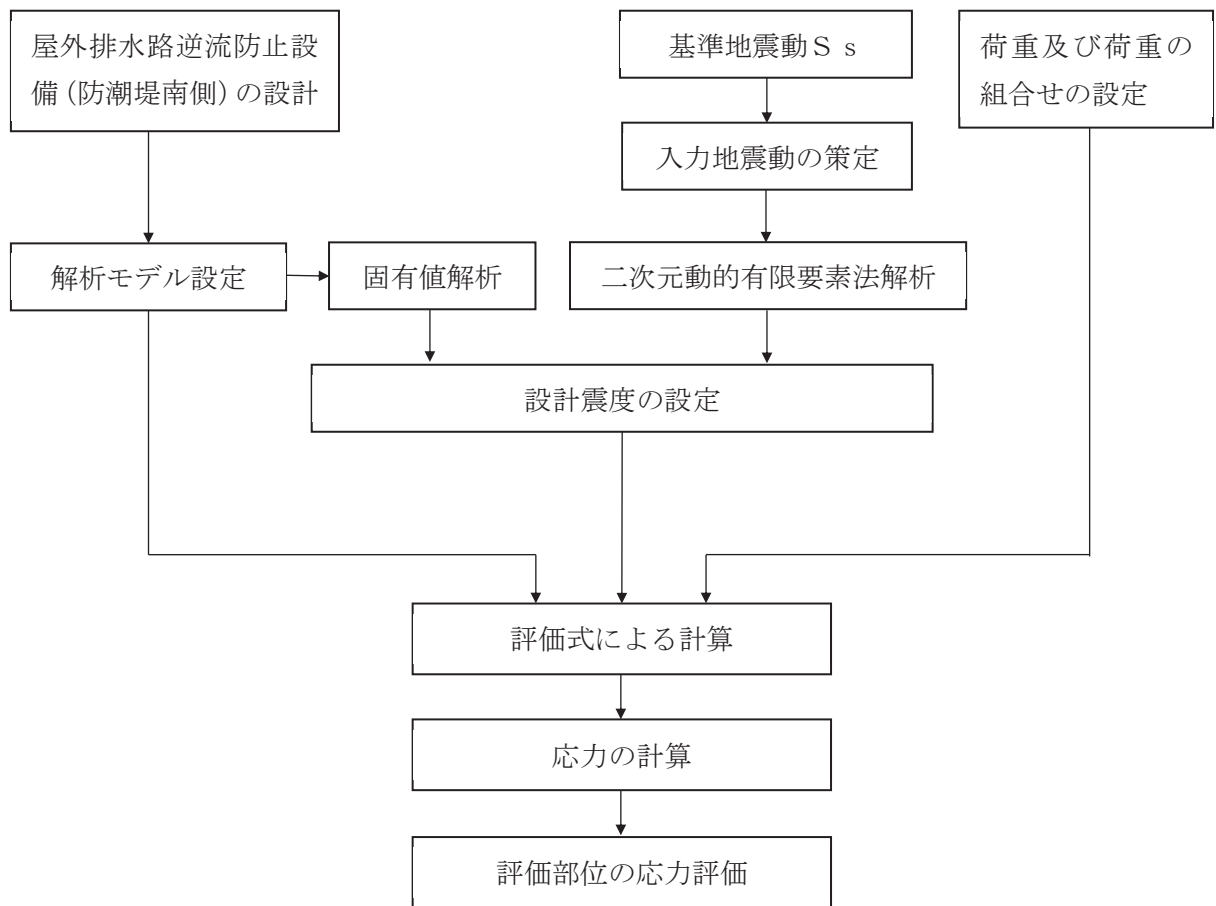


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (3) J I S G 4 0 5 3-2012 機械構造用合金鋼鋼材
- (4) 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- (5) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (6) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (7) 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- (8) 土木学会 1986 年 構造力学公式集

2.5 記号の説明

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期の計算に用いる記号

記号	定義	単位
T	固有周期	s
f	一次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の断面二次モーメント	mm ⁴
m	扉体の単位長さ当たり質量	kg/mm
L	主桁の長さ	mm

表 2-3(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応力評価に用いる記号（1/2）

記号	定義	単位
G	固定荷重（扉体の自重）	N
K _H	基準地震動 S _s による水平方向の設計震度	—
K _V	基準地震動 S _s による鉛直方向の設計震度	—
A ₁	扉体面積	mm ²
W ₀	水の単位体積重量	N/mm ³
k	スキンプレートの辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数	—
a ₁	スキンプレートの短辺	mm
b ₁	スキンプレートの長辺	mm
P ₁	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	N/mm ²
t ₁	スキンプレートの板厚	mm
W	各主桁に作用する等分布荷重	N/mm
L ₂	主桁支間長	mm
Z ₂	各主桁の断面係数	mm ³
A _{w2}	各主桁のせん断抵抗断面積	mm ²
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重	N/mm ²
ℓ	補助縦桁の主桁間隔	mm
Z ₃	補助縦桁の断面係数	mm ³
A _{w3}	補助縦桁のせん断抵抗断面積	mm ²

表 2-3(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応力評価に用いる記号（2/2）

記号	定義	単位
L_4	ヒンジ（吊りピン）支間長	mm
B_4	ヒンジ（吊りピン）受圧幅	mm
P_4	ヒンジ（吊りピン）に作用する荷重	N
Z_4	ヒンジ（吊りピン）の断面係数	mm^3
A_4	ヒンジ（吊りピン）の断面積	mm^2
P_5	ヒンジ（プレート）に作用する荷重	N
A_{h5}	ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積	mm^2
A_{b6}	取付けボルトの断面積	mm^2
P_{w6}	ヒンジ1箇所あたりが負担する自重荷重	N
P_{v6}	鉛直地震力	N
P_{H6}	水平地震力	N
P_7	戸当りへ作用する荷重	N/mm^2
L_s	扉体幅	mm
L_c	戸当り支圧部の板厚	mm
q	地震荷重	N/mm^2
L_x	戸当り横幅	mm
L_y	戸当り縦幅	mm
l_x	支圧板中心横幅	mm
l_y	支圧板中心縦幅	mm
b_{wx}	支圧横幅	mm
b_{wy}	支圧縦幅	mm
S	戸当り幅	mm
P_{p4}	せん断作用位置における単位円周方向幅当たりの水平慣性力	N/mm^2
A_s	単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積	mm^2
l	せん断作用位置における周長	mm

3. 評価部位

3.1 配置概要

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）及び固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、戸当り及びアンカーボルト）で構成される。

耐震評価においては、スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）、ヒンジ取付けボルト及び戸当りを評価部位として選定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位を図 3-1 に示す。

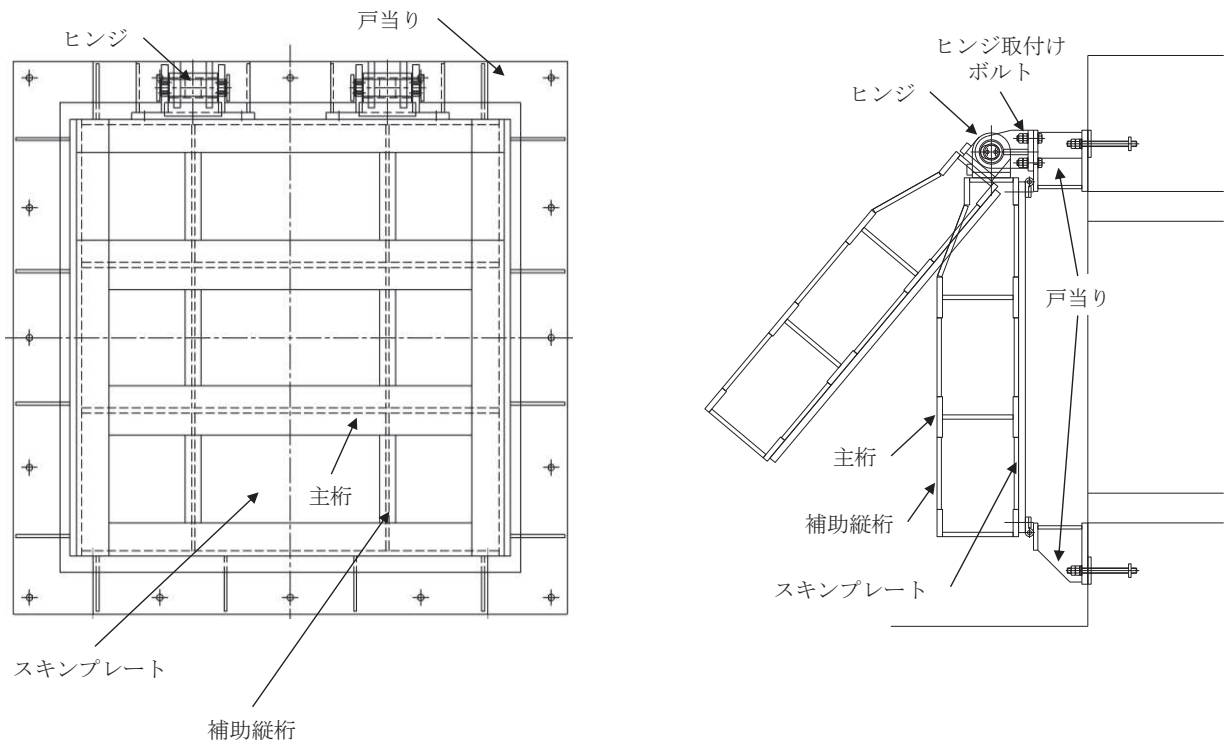


図 3-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位

3.2 評価方向の整理

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は出口側集水ピットに支持される構造で、土圧等の影響を受けない構造であるため、耐震評価における主たる荷重は地震力である。したがって、各評価部位については、構造的特徴を踏まえ、評価を行う地震力の方向を設定する。

具体的には部位毎に弱軸方向や評価項目方向に作用する地震力を考慮する。

表 3-1 に評価を行う地震力の方向を示す。なお、「8.1 地震時荷重算出断面」に示すとおり、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の前背面に斜面を有する水路縦断方向が弱軸方向となるが、水路横断方向の評価に対しても水路縦断方向の地震力を適用する。

評価方法の詳細は「5.5 計算方法」に示す。

表 3-1 各評価対象部位に対して考慮する地震力の方向

評価対象部位		評価項目	地震力		
			水路縦断方向 (津波作用方向)	水路横断方向 (扉体軸方向)	鉛直方向
扉体	スキンプレート	曲げ	○	—	—
	主桁	曲げ	○	—	—
		せん断	○	—	—
	補助縦桁	曲げ	○	—	—
		せん断	○	—	—
固定部	ヒンジ (吊りピン)	曲げ	○	—	○
		せん断	○	—	○
	ヒンジ (プレート)	曲げ	—	○	○
		せん断	○	—	○
	ヒンジ取付けボルト	引張	○	—	○
		せん断	—	○	○
	戸当り	支圧	○	—	—
戸当りコンクリート	支圧・せん断	○	—	—	

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は扉体及び固定部で構成されており、扉体に地震力が作用する状態は、扉体と戸当りが密着した状態（閉状態）であることから、戸当り部を支点とする単純梁でモデル化する。

また、固定部においては、扉体が戸当りから離れる状態（開状態）についても想定する。その際の固有周期の計算は、扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化する。

なお、横断方向（扉体軸方向）及び鉛直方向については振動が生じる構造ではないことから、閉門時を想定して出口側集水ピットと一体の剛体として評価する。

4.1.1 閉門時

(1) 解析モデル

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の主桁を単純梁としてモデル化する。

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「土木学会 1986年 構造力学公式集」より、単純梁の一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

(3) 固有周期の計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	1.93×10^5	N/mm ²
I	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の断面二次モーメント	4.3883×10^8	mm ⁴
m	扉体の単位長さ当たり質量	1.13636	kg/mm
L	主桁の長さ	1320	mm

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル

扉体の開門時の固有周期Tは、扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化して算出する。解析モデル図を図4-1に示す。

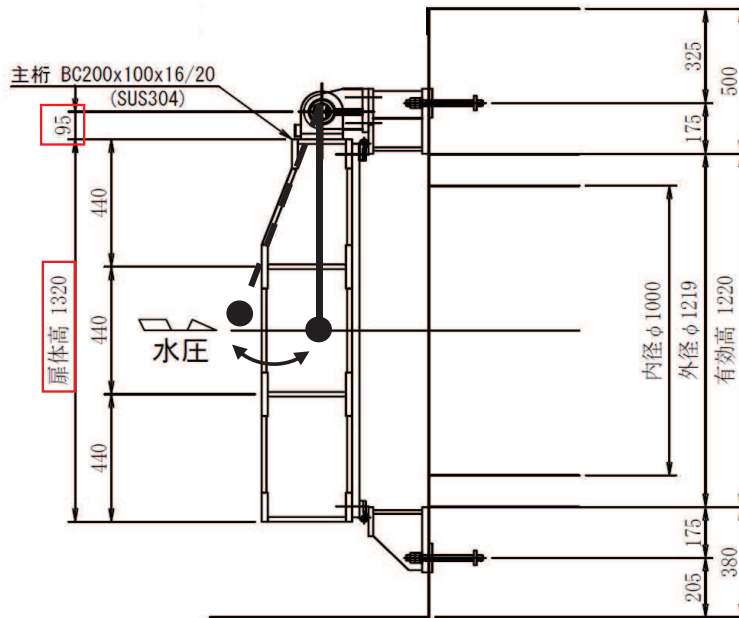


図4-1 解析モデル図

(2) 固有周期の計算

開門時の固有周期は下式により計算する。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L_2}}$$

$$T = 1/f$$

ここで、 L_2 :振り子の長さ (=95+1320/2 =755 mm)

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表4-2に示す。

表4-2 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
L_2	振り子の長さ	755	mm

4.2 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。閉門時の固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。開門時の固有周期は 0.05s 以上であることから、設計用床応答曲線をもとに固有周期を考慮する。

表 4-3 固有周期の計算結果

	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
閉門時	245	0.0041
開門時	0.574	1.743

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。その構造及び設置位置から風荷重及び積雪荷重の影響は考慮しない。

また、屋外排水路から流下する排水による水圧作用方向は扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しないこととする。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

(2) 地震荷重（S_s）

地震荷重として、基準地震動S_sによる地震力を考慮する。

5.2.2 荷重の組合せ

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設計に考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
地震時	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

5.3 許容限界

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に規定される許容応力度を用いる。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の許容限界を表 5-2 に示す。

なお、地震後の再使用性を想定し、当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の許容限界

評価部位	材質	許容応力度 (N/mm ²)				短期許容応力度 (N/mm ²) *2				
		曲げ σ_{ab} *1	引張 σ_{at} *1	せん断 τ_a *1	支圧 σ_{as} *1	曲げ	引張	せん断	支圧	
スキンプレート	SUS304	103	—	—	—	154	—	—	—	
主桁	SUS304	1桁	103	103	59	—	151*3	154	88	—
		2,3桁					154			
		4桁					151*3			
補助縦桁	SUS304	103	103	59	—	144*3	154	88	—	
戸当り	SUS304	—	—	—	154	—	—	—	231	
戸当り部コンクリート	コンクリート	—	—	1.0	9.0	—	—	1.5	13.5	
ヒンジ(吊りピン)	SUS304	103	103	59	—	154	154	88	—	
ヒンジ(プレート)	SUS304	—	—	59	—	—	—	88	—	
ヒンジ取付けボルト	SUS304	—	103	59	—	—	154	88	—	

注記 *1 : σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2 : 許容限界は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、短期許容応力度とする。短期許容応力度は、鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

*3 : 主桁, 補助縦桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、許容曲げ応力度横倒れ座屈に対する配慮として許容応力の低減を考慮する。

5.4 設計用地震力

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設計震度は、「8. 地震応答解析」に示す出口側集水ピットの地震応答解析結果に基づき設定する。加速度応答を抽出した節点位置を図 5-1 に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期は、閉門時は固有周期が 0.05s 以下である一方、開門時には固有周期が $T=1.743\text{ s}$ と 0.05 s 以上であることから、閉門時としての最大応答加速度と、開門時として添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の算定方針」に基づき作成した設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度をそれぞれ算定する。設計用床応答曲線の作成に用いる解析コードは「波形処理プログラム k WAVE forWindows ver.6.2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の地震応答解析結果を図 5-2 に、開門時に参照する基準地震動 S_s を包絡するよう作成した設計用床応答曲線を図 5-3 に示す。

上記より設定した逆流防止設備の設計震度を表 5-3 に示す。なお、設計震度は図 5-1 に示す節点位置のうち、最大加速度となる節点の値を基に算定している。

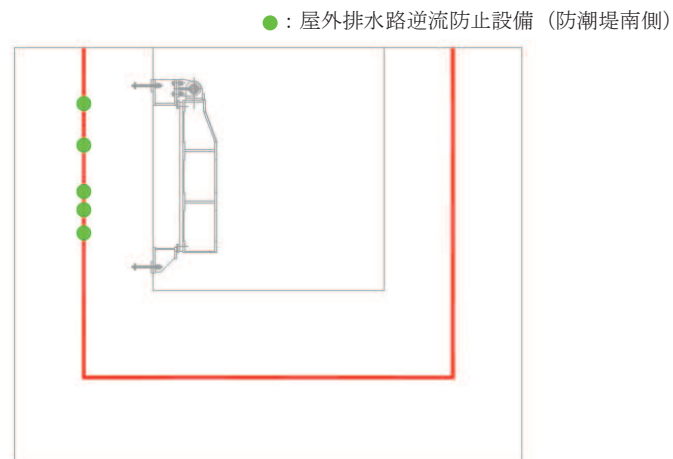
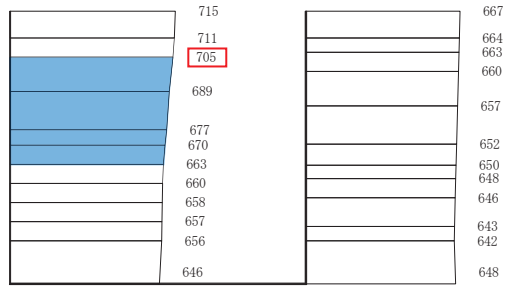
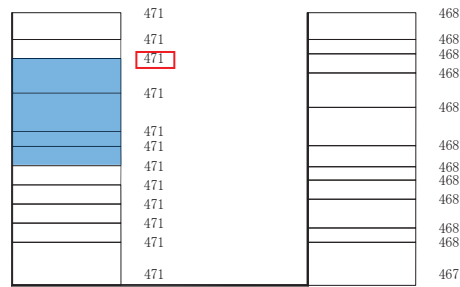


図 5-1 加速度応答を抽出した位置



(水平方向, Sd-D2(++), 解析ケース①)



(鉛直方向, Sd-D2(-+), 解析ケース①)

■ : 逆流防止設備(扉体及び固定部)設置範囲



図 5-2 逆流防止設備 (扉体及び固定部) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)

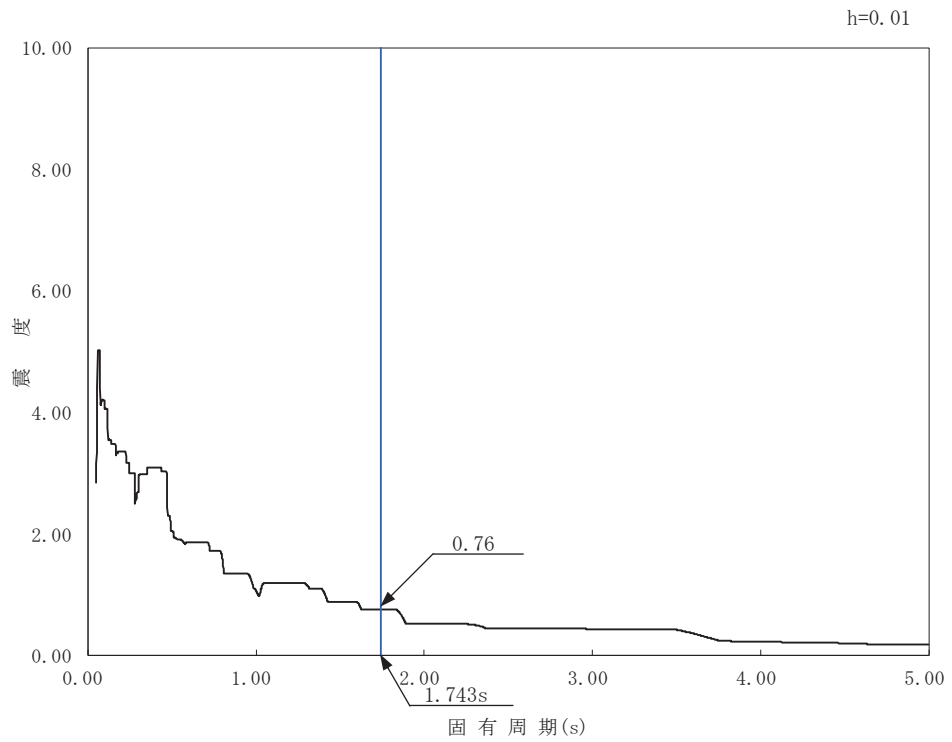


図5-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）における設計用床応答曲線

表 5-3 設計用地震力（水路縦断方向及び水路横断方向）

設備名称	地震動	解析ケース	設置場所及び 床面高さ (m)	地震による 設計震度	
				水平方向 K_H	鉛直方向 K_V
屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤南側)	$S_s - F 3$ (-+)	解析ケース①	出口側集水ピット O.P. +8.38m (屋外排水路底面高さ)	0.8	0.5
	$S_s - D 2$ (++)	解析ケース①			

5.5 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

(1) スキンプレート

スキンプレートは、主桁および補助縦桁、側部縦桁に溶接することで支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する四辺固定版としてモデル化し、発生する曲げモーメントより算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの構造図及びモデル図を図 5-1 に示す。

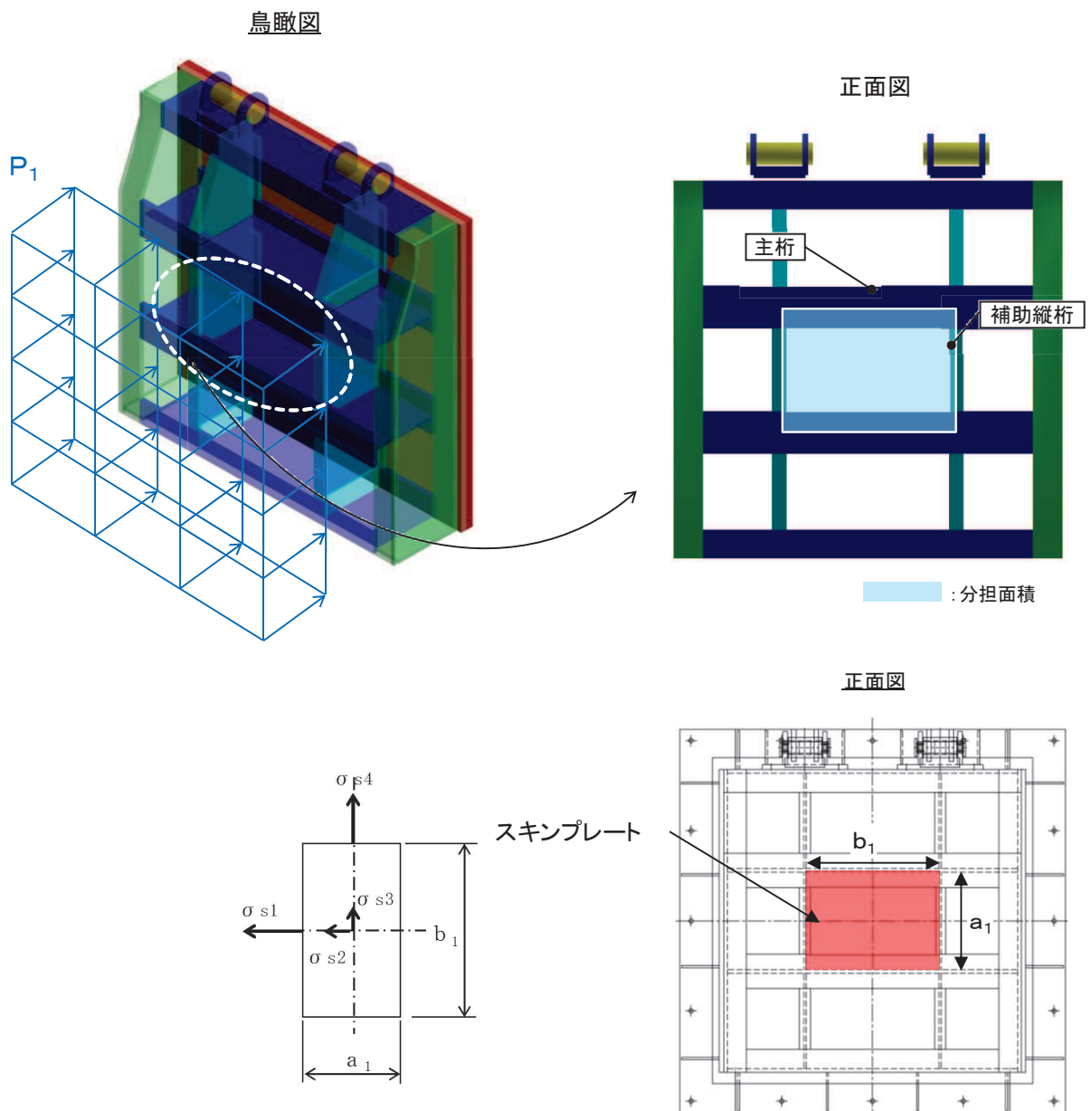


図 5-1 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレートの応力算定式は下式のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{1 \ 0 \ 0} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

k : 辺長比 (b_1/a_1) による係数

a_1 : スキンプレートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレートの長辺 (mm)

P_1 : スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

t_1 : スキンプレートの板厚 (mm)

(2) 主桁

主桁は、戸当りと接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

主桁の構造図及びモデル図を図 5-2 に示す。

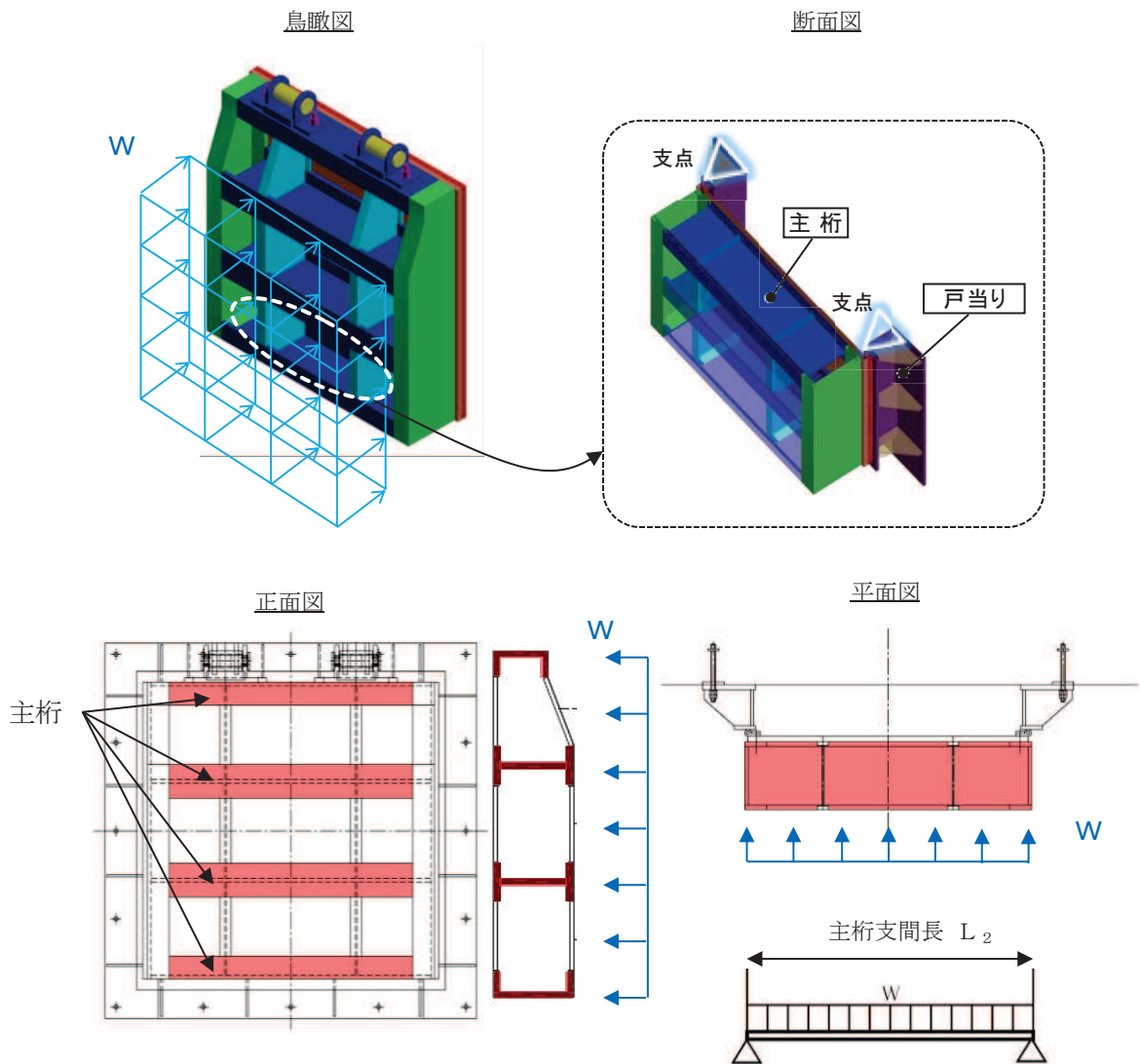


図5-2 主桁の構造図及びモデル図

また、主桁の応力算定式は下式のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_2^2}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- W : 各主桁に作用する荷重 (N/mm)
- L₂ : 主桁支間長 (mm)
- Z₂ : 各主桁の断面係数 (mm³)
- A w₂ : 各主桁のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(3) 補助縦桁

補助縦桁は、主桁に溶接されることによって支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成31年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する、主桁によって溶接支持された両端固定梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の構造図及びモデル図を図 5-3 に示す。

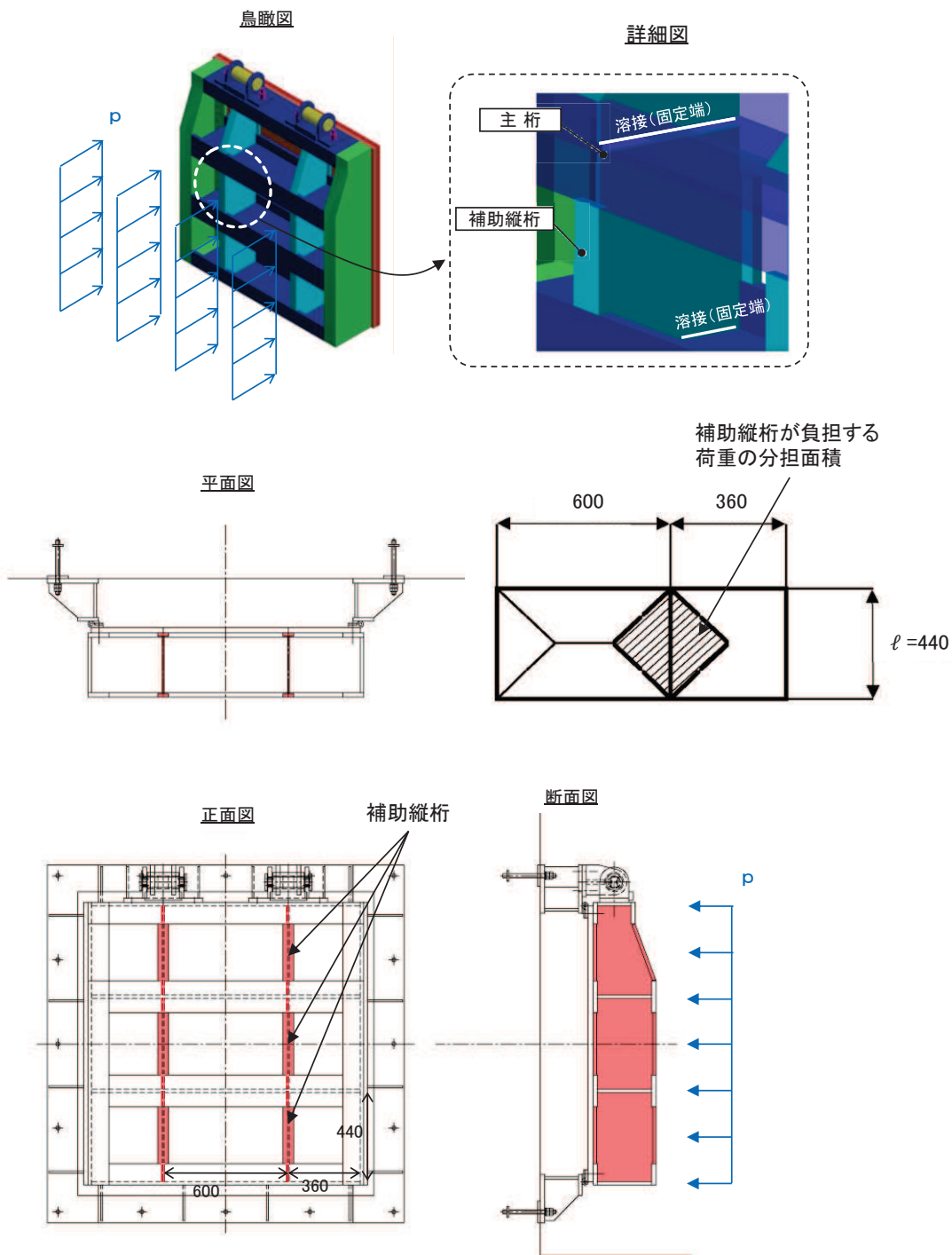


図5-3 補助縦桁の構造図及びモデル図 (単位 : mm)

また、補助縦桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^3}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^2}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_3}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w3}}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

p : 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (N/mm²)

ℓ : 補助縦桁の主桁間隔 (mm)

Z_3 : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_{w3} : 補助縦桁のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(4) ヒンジ（吊りピン）

ヒンジ（吊りピン）は、ヒンジ（プレート）と接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重（扉体の自重および慣性力）が作用する単純梁としてモデル化し、ヒンジ（吊りピン）に発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ（吊りピン）の構造図及びモデル図を図 5-4 に示す。

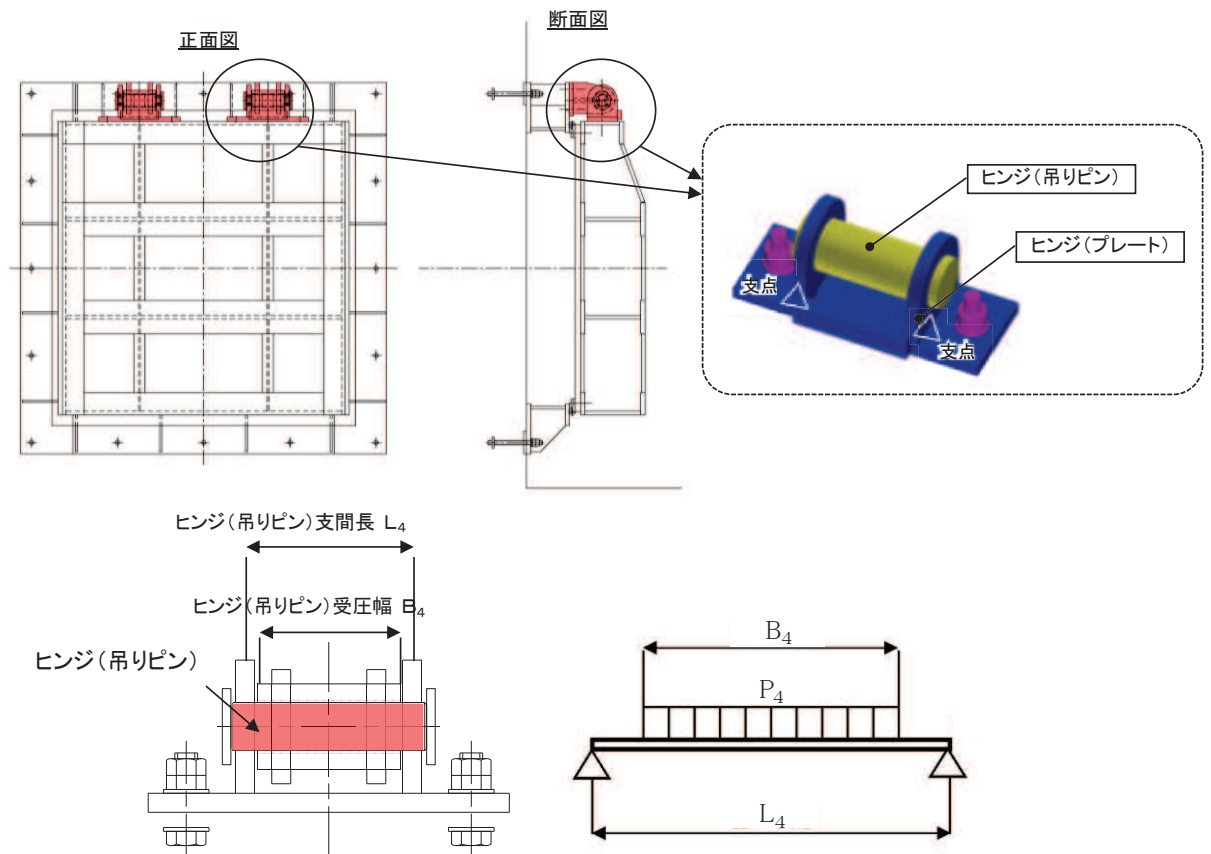


図 5-4 ヒンジ（吊りピン）の構造図及びモデル図

また、ヒンジ（吊りピン）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{P_4 \cdot (2 \cdot L_4 - B_4)}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{P_4}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_4}$$

$$\tau = \frac{4 \cdot S_{\max}}{3 \cdot A_4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

エンドプレートのせん断力の算定式は以下のとおりである。

$$\tau = P_{p4} / A_s$$

$$P_{p4} = P_{H4} / l$$

ここで、

L_4 : ヒンジ (吊りピン) 支間長 (mm)

B_4 : ヒンジ (吊りピン) 受圧幅 (mm)

P_4 : ヒンジ (吊りピン) に作用する荷重 (N)

Z_4 : ヒンジ (吊りピン) の断面係数 (mm³)

A_4 : ヒンジ (吊りピン) の断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

P_{p4} : せん断力作用位置における単位円周方向幅あたりの水平慣性力

A_s : 単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積

l : せん断作用位置における周長

(5) ヒンジ (プレート)

ヒンジ (プレート) は、ヒンジ (吊ピン) に作用する荷重を支持する構造である。計算方法は、「(4) ヒンジ (吊ピン)」の単純梁検討における支点反力に対し、ヒンジ (プレート) が必要せん断耐力を有していることを確認する。ここで、ヒンジ (プレート) の照査断面はヒンジ (プレート) の最薄部とし、支点反力により発生するせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

また、吊ピンのエンドプレートを通じて伝達される水平地震荷重により生じる支圧応力度、ならびにヒンジ (プレート) 下端の曲げ応力度が許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ (プレート) の構造図を図5-5に示す。

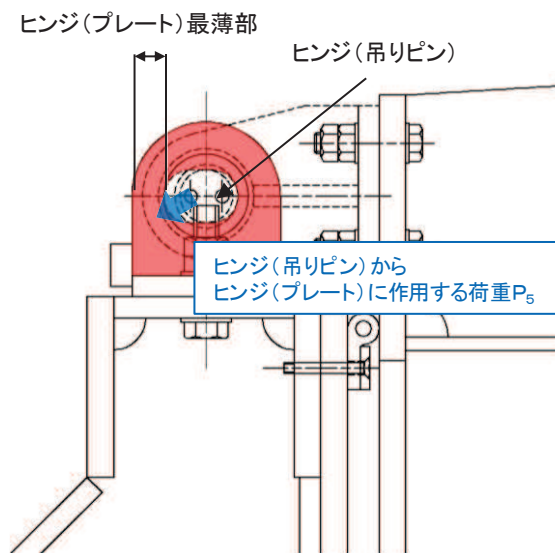


図 5-5(1) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路縦断方向)

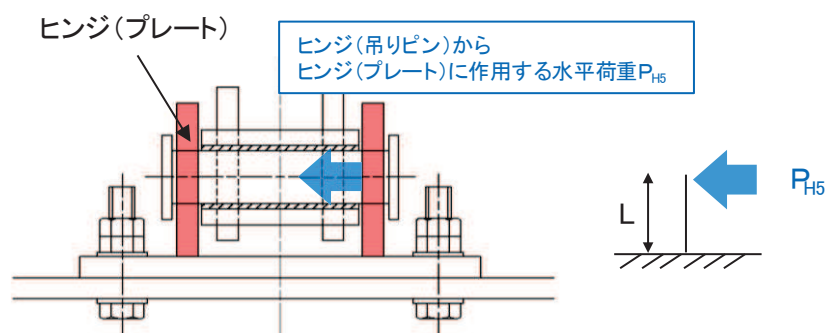


図5-5(2) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路横断方向)

また、ヒンジ（プレート）の応力算定式は以下のとおりである。

【水路縦断方向】

$$\tau = \frac{P_5}{A h_5}$$

ここで、

P_5 : ヒンジ（プレート）に作用する荷重（N）

$A h_5$: ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積（ mm^2 ）

τ : せん断応力度（ N/mm^2 ）

【水路横断方向】

$$M_5 = P_{H5} \cdot L$$

$$\sigma = \frac{M_5}{Z_5}$$

$$\sigma_{bk} = \frac{P_{H5}}{A_p}$$

ここで、

M_5 : ヒンジ（プレート）下端部に作用する曲げモーメント（ $\text{N} \cdot \text{mm}$ ）

P_{H5} : 水平地震荷重（N）

L : 吊ピン中心からヒンジ（プレート）下端までの距離（mm）

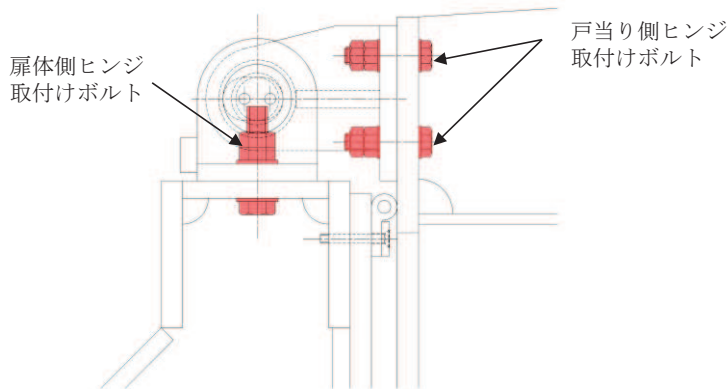
Z_5 : ヒンジ（プレート）の断面係数（ mm^3 ）

A_p : 支圧抵抗面積（ mm^2 ）

(6) ヒンジ取付けボルト

ヒンジ取付けボルトは、ヒンジ部に作用する扉体の自重および慣性力を負担する構造である。計算方法は、扉体の自重および慣性力より算出されるヒンジ取付けボルトに発生する引張応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力度に対しても許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ取付けボルトの構造図及び応力算定式を図5-6に示す。

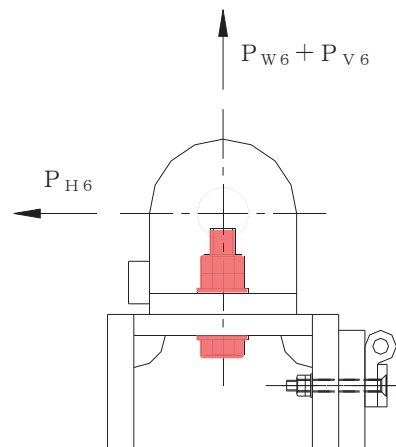
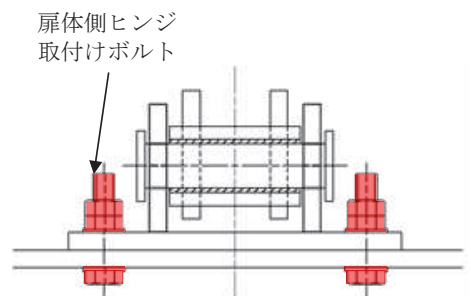


【扉体側】

$$\sigma = \frac{P_{W6} + P_{V6}}{A b_6 \cdot 2}$$

$$\tau = \frac{P_{H6}}{A b_6 \cdot 2}$$

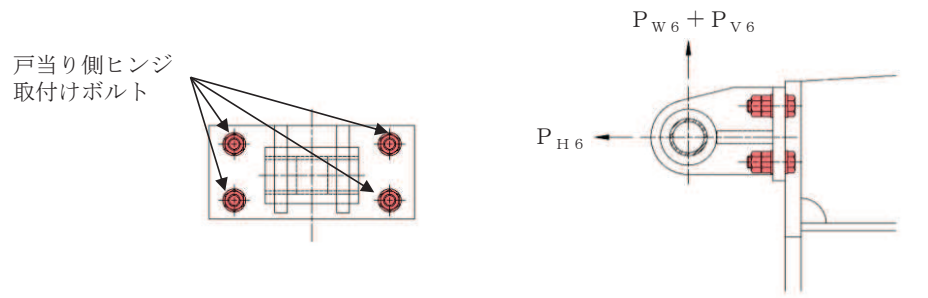
$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$



- $A b_6$: 取付けボルトの断面積 (mm²)
- P_{W6} : ヒンジ1箇所あたりが負担する扉体の自重 (N)
- P_{V6} : 鉛直地震力 (N)
- P_{H6} : 水平地震力 (N)
- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-6(1) ヒンジ取付けボルトの構造図及び応力算定式

【戸当り側】



$$\sigma = \frac{P_{H6}}{A b_6 \cdot 4}$$

$$\tau = \frac{P_{W6} + P_{V6}}{A b_6 \cdot 4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$A b_6$: 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{W6} : ヒンジ1箇所あたりが負担する扉体の自重 (N)

P_{V6} : 鉛直地震力 (N)

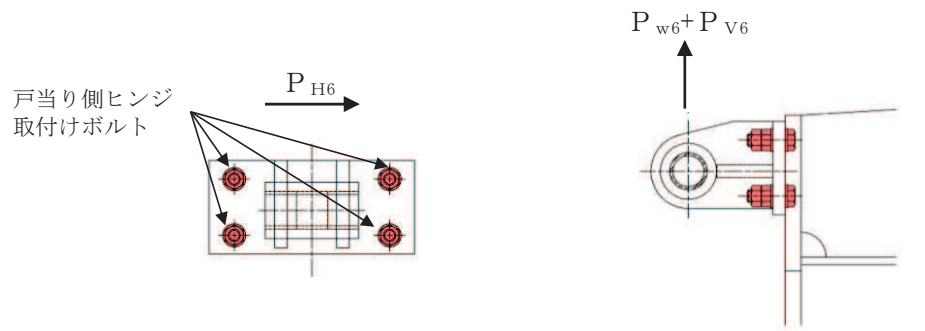
P_{H6} : 水平地震力 (N)

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-6(2) ヒンジ取付けボルト (戸当り側) の構造図及び応力算定式 (水路縦断方向)



$$\tau = \frac{\sqrt{(P_{w6} + P_{v6})^2 + P_{H6}^2}}{A b_6 \cdot 4}$$

- $A b$: 取付けボルトの断面積 (mm²)
- P_{w6} : 扉体の自重 (N)
- P_{v6} : 鉛直地震力 (N)
- P_{H6} : 水平地震力 (N)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

図5-6(3) ヒンジ取付けボルト（戸当り側）の応力算定式（水路横断方向）

(7) 戸当り

戸当りは、コンクリートに接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重を受ける支圧材として、発生する支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図，モデル図を図 5-7 に示す。

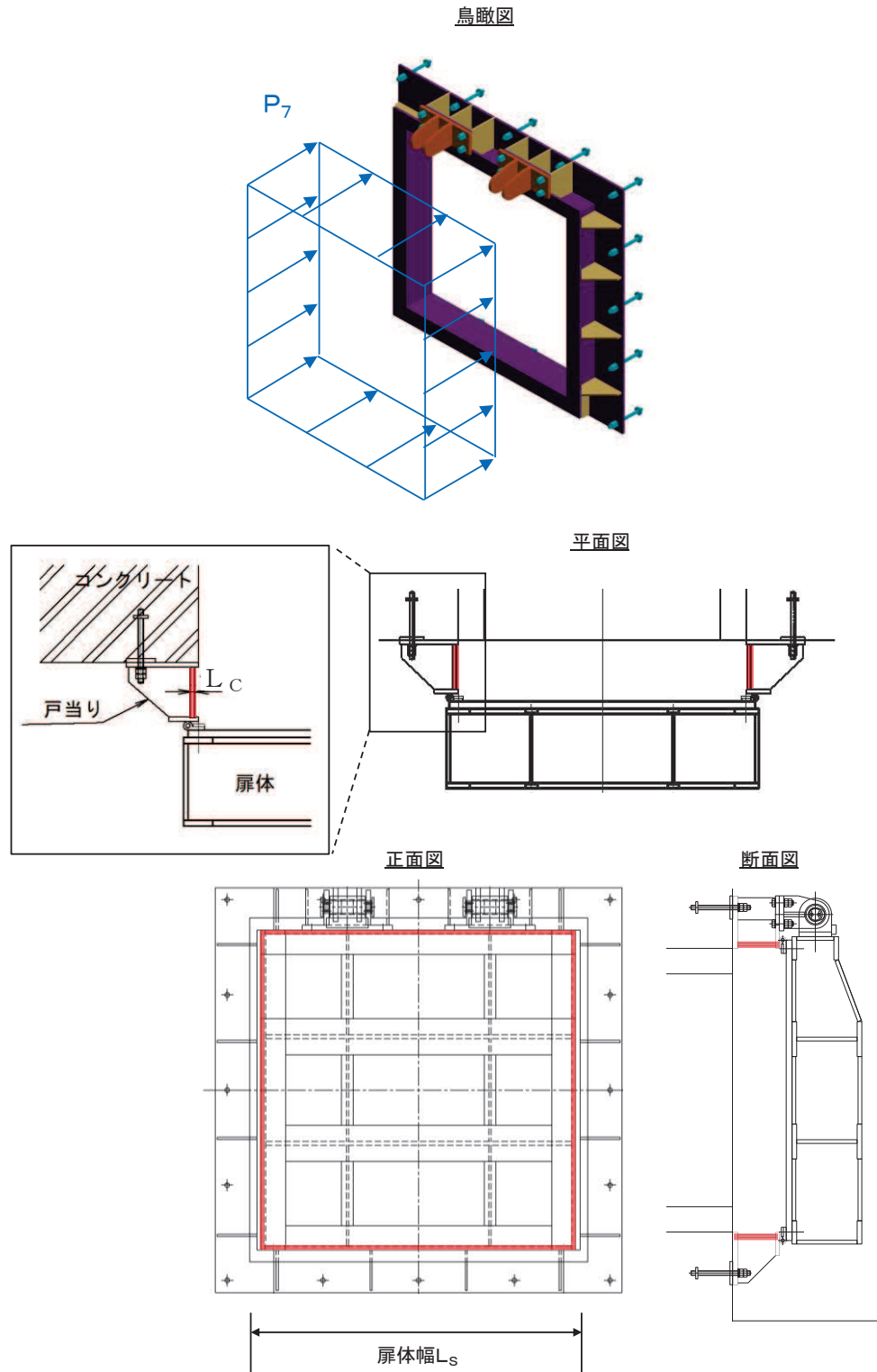


図 5-7 戸当りの構造図及びモデル図

また、戸当りの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{P_7 \cdot L_S}{2 \cdot L_C}$$

ここで、

P_7 : 戸当りへ作用する荷重 (N/mm²)

L_S : 扉体幅 (mm)

L_C : 戸当り支圧部の板厚 (mm)

σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)

(8) 戸当り部コンクリート

戸当り部コンクリートは、戸当りから伝達されてきた荷重を支持する構造である。計算方法は、戸当りから伝達されてきた荷重を戸当りとコンクリートの接触面で受圧した際に、コンクリートに発生する支圧応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当り部コンクリートの構造図を図 5-8 に示す。

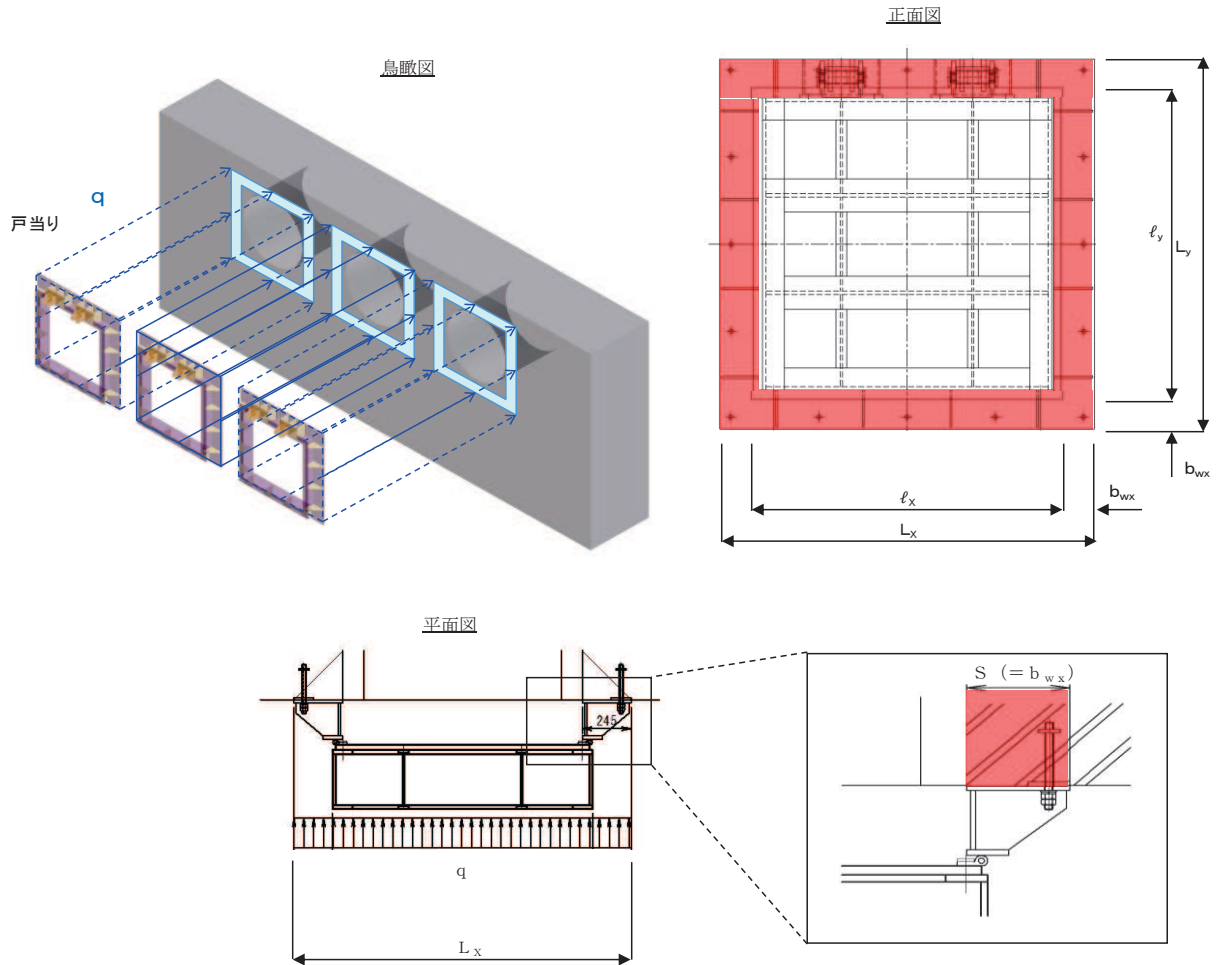


図 5-8 戸当り部コンクリートの構造図

また、戸当り部コンクリートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{q \cdot (L_x \cdot L_y)}{2 (\ell_x \cdot b_{wx} + \ell_y \cdot b_{wy})}$$

$$\tau = \frac{\sigma_{bk} \cdot b_{wx}}{2 \cdot S}$$

ここで,

- q : 地震荷重 (N/mm²)
- L_x : 戸当り横幅 (mm)
- L_y : 戸当り縦幅 (mm)
- l_x : 支圧板中心横幅 (mm)
- l_y : 支圧板中心縦幅 (mm)
- S : 戸当り幅 (mm)
- b_{wx} : 支圧横幅 (mm) (= S)
- b_{wy} : 支圧縦幅 (mm)
- σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

5.6 計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応力評価に用いる計算条件を表5-4 に示す。

表 5-4 応力評価に用いる計算条件（1/2）

固定荷重 (1門あたりの扉体の自重) G (N)	1門あたりの 扉体面積 A ₁ (mm ²)	水の単位体積重量 W ₀ (N/mm ³)
1.4709975×10 ⁴	1.7424×10 ⁶	1.01×10 ⁻⁵

区画	スキンプレート				
	辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数k	短辺 a ₁ (mm)	長辺 b ₁ (mm)	板厚 t ₁ (mm)	単位面積当たりの 荷重 P ₁ (N/mm ²)
1~2桁	41.96	440	600	25	0.006754
2~3桁	41.96	440	600	25	0.006754
3~4桁	41.96	440	600	25	0.006754

区画	主桁へ作用する 等分布荷重 W (N/mm)	主桁支間長 L ₂ (mm)	主桁の 断面係数 Z ₂ (mm ³)	主桁の せん断抵抗断面積 A _{w2} (mm ²)
1桁	1.4859	1320	3.799467×10 ⁵	2.56×10 ³
2, 3桁	2.9717	1320	9.415644×10 ⁵	4.16×10 ³
4桁	1.4859	1320	6.797867×10 ⁵	4.16×10 ³

補助縦桁に作用する 各区画の平均荷重 p (N/mm ²)	補助縦桁の 主桁間隔 ℓ (mm)	補助縦桁の断面係数 Z ₃ (mm ³)	補助縦桁の せん断抵抗断面積 A _{w3} (mm ²)
0.006754	440	1.713276×10 ⁵	1.512×10 ³

ヒンジ（吊りピン）					ヒンジ（プレート）	
支間長 L ₄ (mm)	受圧幅 B ₄ (mm)	作用する荷重 P ₄ (N)	断面係数 Z ₄ (mm ³)	断面積 A ₄ (mm ²)	最薄部の断面積 A _{h5} (mm ²)	作用する荷重 P ₅ (N)
176	150	12503	1.2272×10 ⁴	1.963×10 ³	1200	12503

取付けボルトの 断面積 A _{b6} (mm ²)	ヒンジ1箇所あたりが 負担する自重荷重 P _{w6} (N)	鉛直地震力 P _{v6} (N)	水平地震力 P _{H6} (N)
234.89880	7355.0	3677.5	5884.0

表 5-4 応力評価に用いる計算条件 (2/2)

戸当りへ作用する 水平地震力 P_7 (N/mm ²)	扉体幅 L_s (mm)	戸当り支圧部の 板厚 L_c (mm)	戸当り幅 S (mm)	支圧幅 b_{wx} (mm)	支圧幅 b_{wy} (mm)
0.0101	1320	12	245	245	225

地震荷重 q (N/mm ²)	戸当り横幅 L_x (mm)	戸当り縦幅 L_y (mm)	支圧板中心横幅 l_x (mm)	支圧板中心縦幅 l_y (mm)
0.0101	1710	1670	1465	1445

単位円周方向幅当たりのエンド プレート面積 A_s (mm ²)	せん断作用位置における周長 l (mm)
9	50π

6. 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位の応力評価結果を表6-1 に示す。

発生応力が許容応力以下であることから、構造部材が十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））（1/2）

評価部位		地震力方向	評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)	
扉体	スキンプレート	水路縦断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	0.88	154	0.01	
	主桁	水路縦断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	1桁	0.86	151	0.01
				2,3桁	0.69	154	0.01
				4桁	0.48	151	0.01
				1桁	0.39	88	0.01
		2,3桁	0.48	88	0.01		
		4桁	0.24	88	0.01		
		-	合成応力度 (N/mm ²) *	1桁	1.10	154	0.01
				2,3桁	1.09	154	0.01
	4桁			0.64	154	0.01	
	補助縦桁	水路縦断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	0.29	144	0.01	
				せん断応力度 (N/mm ²)	0.22	88	0.01
		-	合成応力度 (N/mm ²) *	0.48	154	0.01	
	ヒンジ (プレート)	水路縦断方向	せん断応力度 (N/mm ²)	10.42	88	0.12	
		水路横断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	47.29	154	0.31	
			支圧応力度 (N/mm ²)	1.93	231	0.01	
	ヒンジ(ピン)	水路縦断方向	せん断応力度 (N/mm ²)	9.20	88	0.11	
				4.25	88	0.05	
		-	合成応力度 (N/mm ²) *	26.77	154	0.18	
	エンドプレート	水路横断方向	せん断応力度 (N/mm ²)	4.2	88	0.05	
	ヒンジ取付け ボルト	水路縦断方向	引張応力度 (N/mm ²)	23.49	154	0.16	
				せん断応力度 (N/mm ²)	12.53	88	0.15
		-	合成応力度 (N/mm ²) *	31.99	154	0.21	

注記 * : 同じ荷重条件の曲げ応力度（又は引張応力度）及びせん断応力度から算出する。

表 6-1 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））（2/2）

評価部位		地震力方向	評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
固定部	ヒンジ取付け ボルト	水路縦断方向	引張応力度 (N/mm ²)	6.27	154	0.05
		鉛直方向	せん断応力度 (N/mm ²)	11.75	88	0.14
		—	合成応力度 (N/mm ²) *	21.30	154	0.14
	戸当り	水路横断方向	せん断応力度 (N/mm ²)	13.31	88	0.16
		鉛直方向				
	戸当り部	水路縦断方向	支圧応力度 (N/mm ²)	0.56	231	0.01
コンクリート	支圧応力度 (N/mm ²)		0.03	13.5	0.01	
		せん断応力度 (N/mm ²)	0.02	1.5	0.02	

注記 * : 同じ荷重条件の曲げ応力度（又は引張応力度）及びせん断応力度から算出する。

7. 出口側集水ピットの強度評価

7.1 出口側集水ピットの構造概要

出口側集水ピットは、底版と4面の壁からなる箱型の鉄筋コンクリート構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置する。出口側集水ピットが屋外排水路（防潮堤南側）と接続する箇所に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を設置する。

出口側集水ピットに要求される機能維持の確認として、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

出口側集水ピットの概念図を図7-1に、構造図を図7-2に、概略配筋図を図7-3に示す。

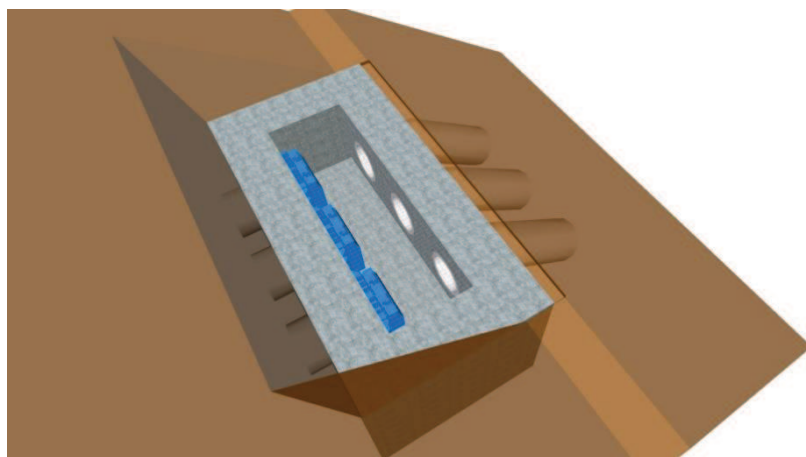
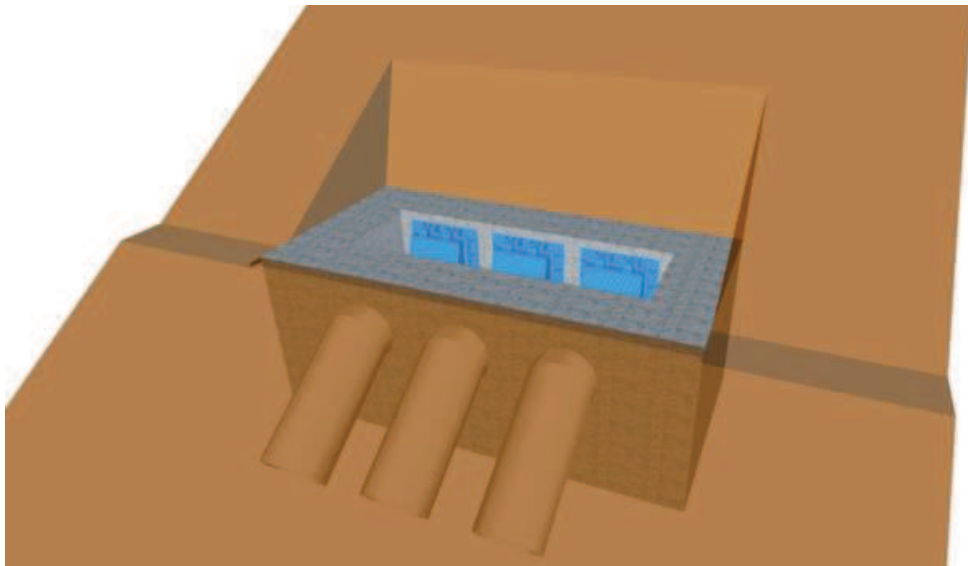


図7-1 出口側集水ピットの概念図

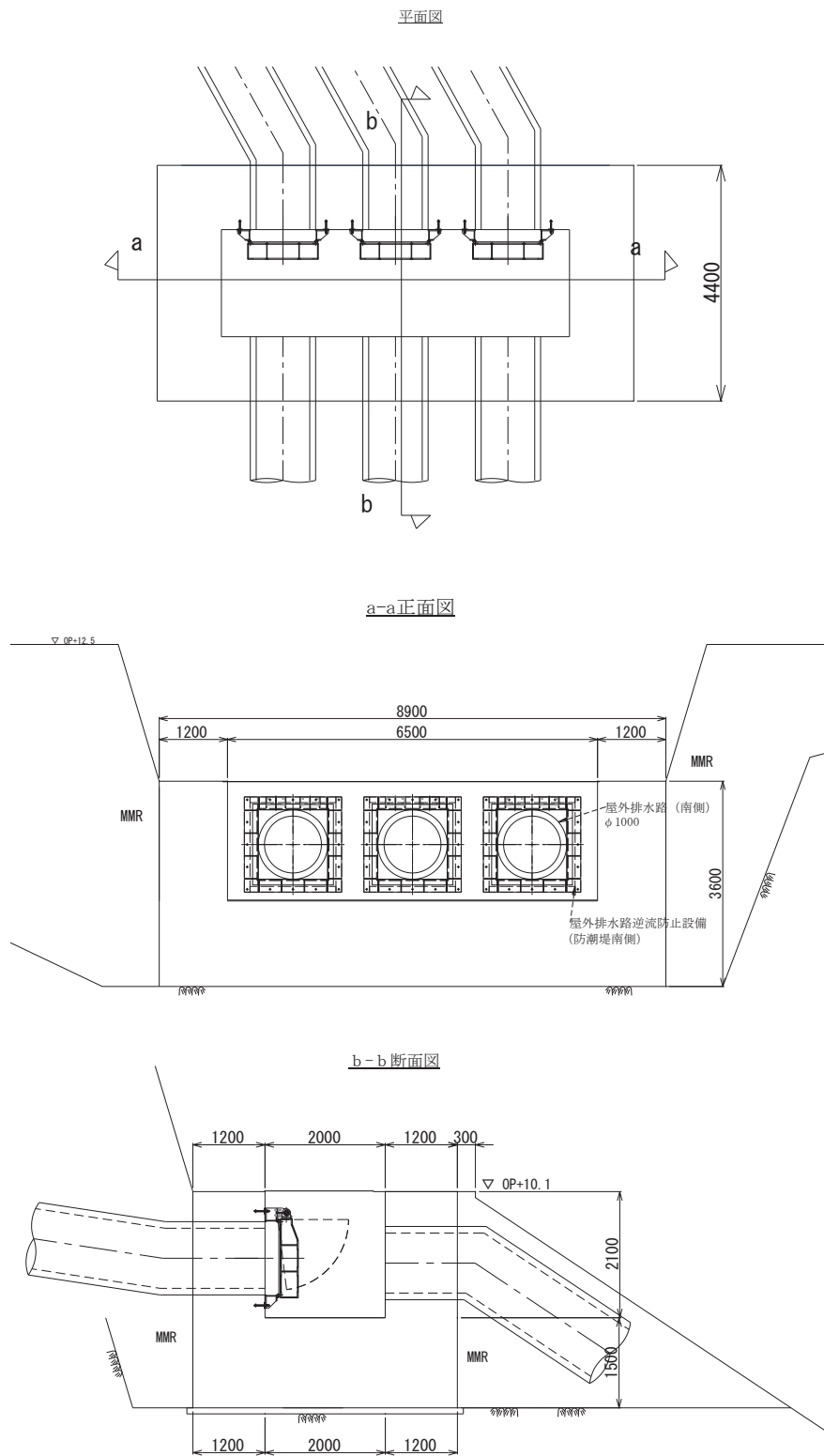
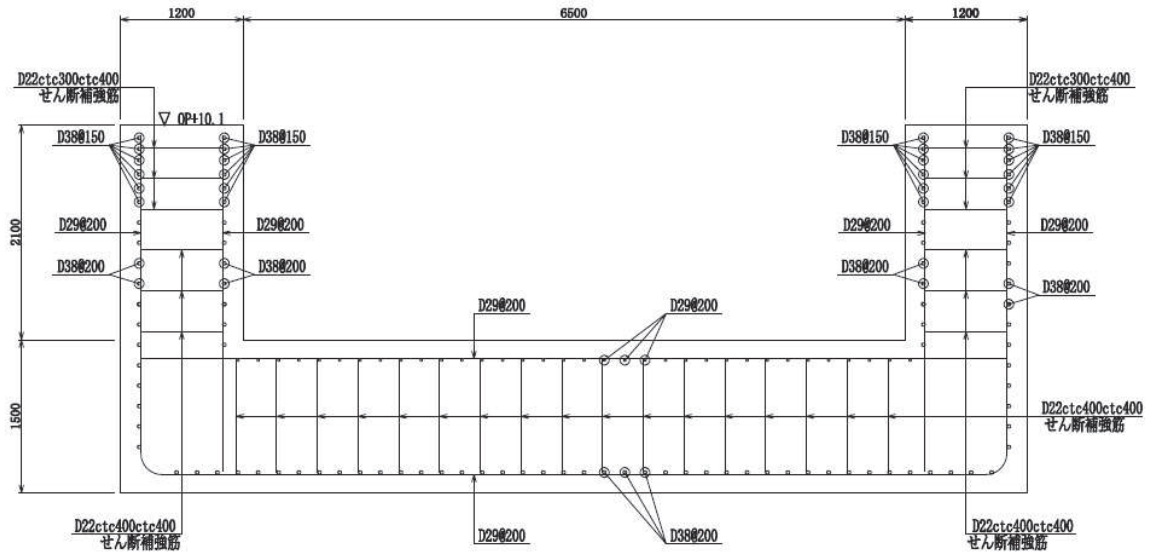


図 7-2 出口側集水ピット構造図

a-a 断面



b-b 断面

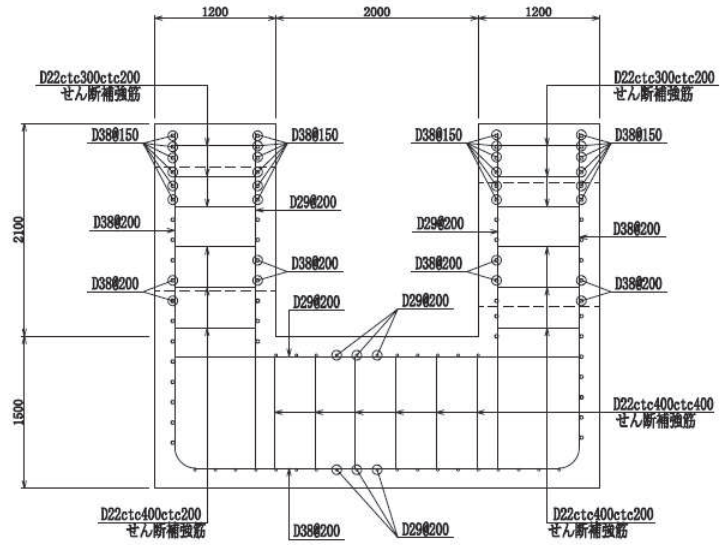


図 7-3 出口側集水ピットの配筋概要図

7.2 評価方針

出口側集水ピットの耐震評価は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s に対して実施する地震応答解析の結果を用いて、表 7-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することにより、構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析から得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた線形シェル要素による三次元静的線形解析（以下「三次元構造解析」という。）を実施し、部材に発生する発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

図7-4に出口側集水ピットの耐震評価フローを示す。

表 7-1 出口側集水ピットの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
				曲げ・軸力	せん断力
構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度	短期許容せん断力
	構造部材の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	極限支持力*	

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。

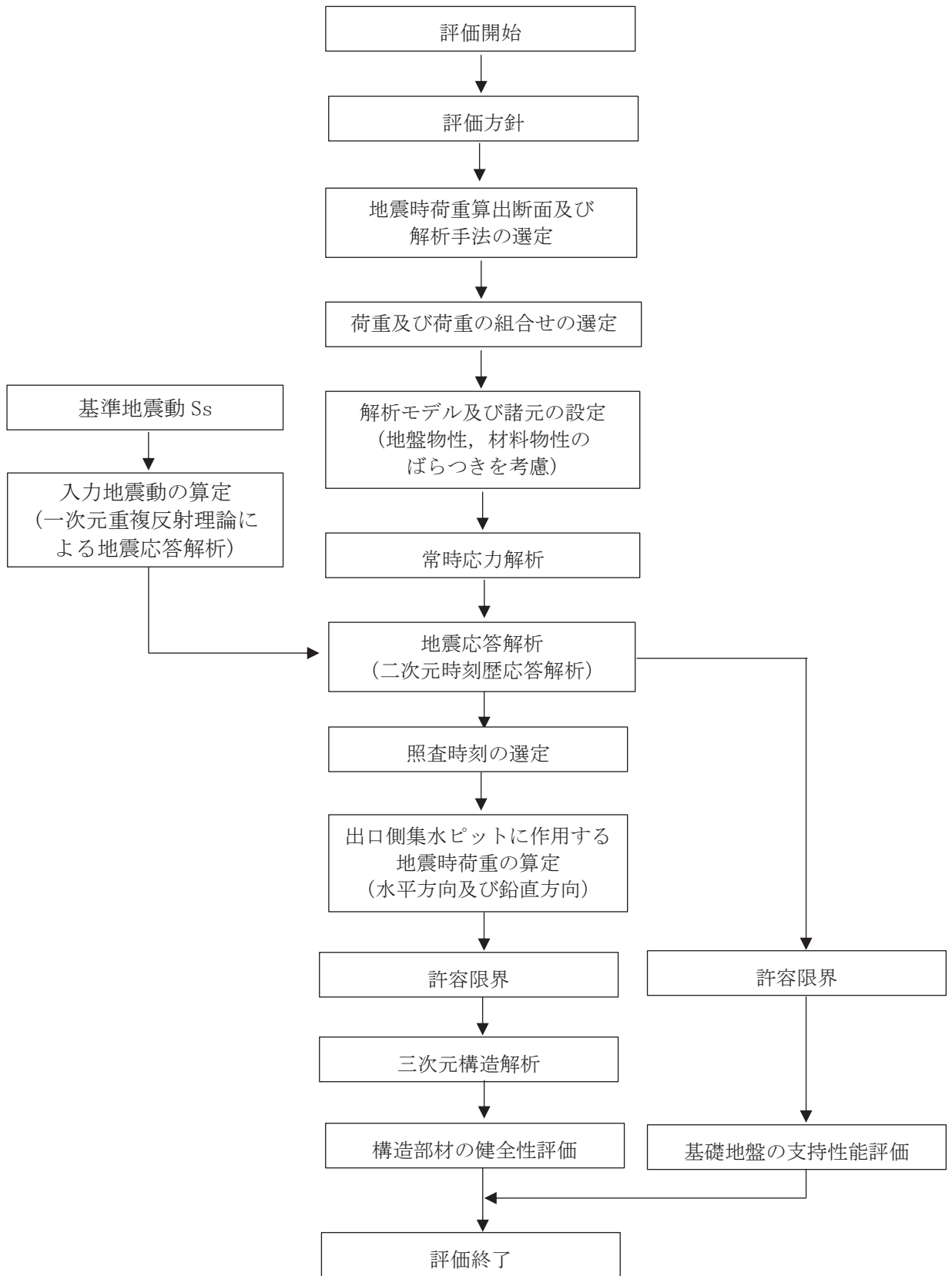


図 7-4 出口側集水ピットの耐震評価フロー

7.3 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- (2) 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (3) 日本道路協会 平成24年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (4) 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- (5) 土木学会 2005年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)

8. 地震応答解析

8.1 地震時荷重算出断面

出口側集水ピットの地震時荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。地震時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、ピットの縦断方向である A-A 断面とする。また、出口側集水ピットの評価対象断面図を図 8-2 に示す。

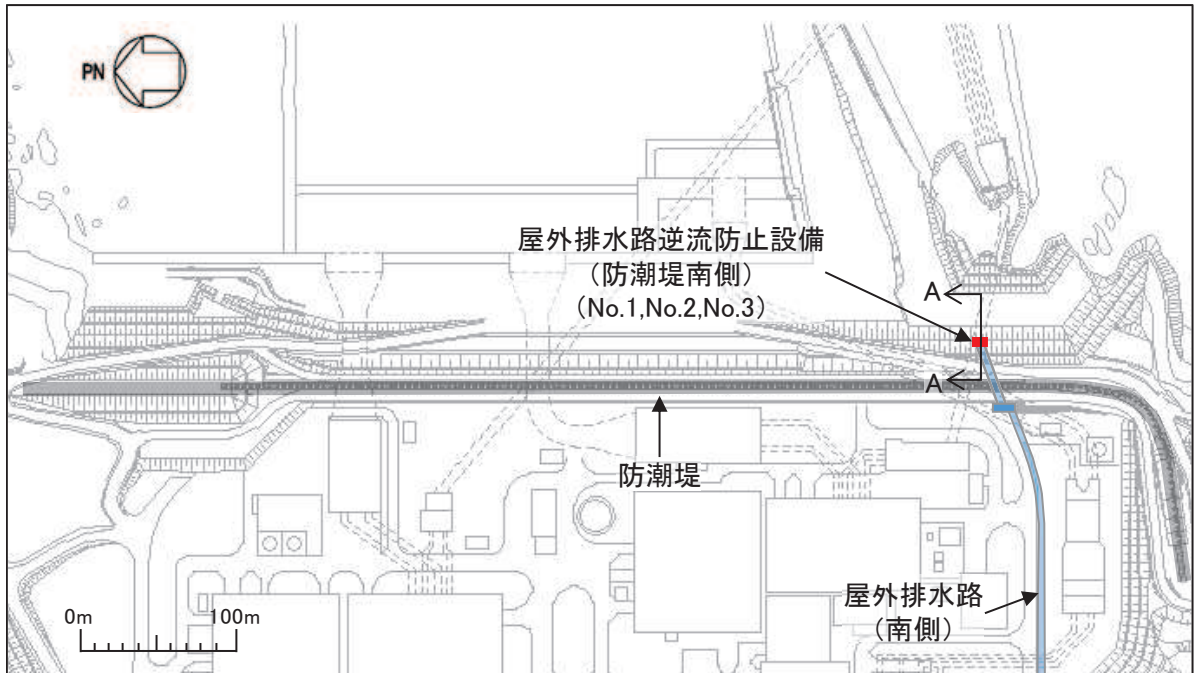


図 8-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

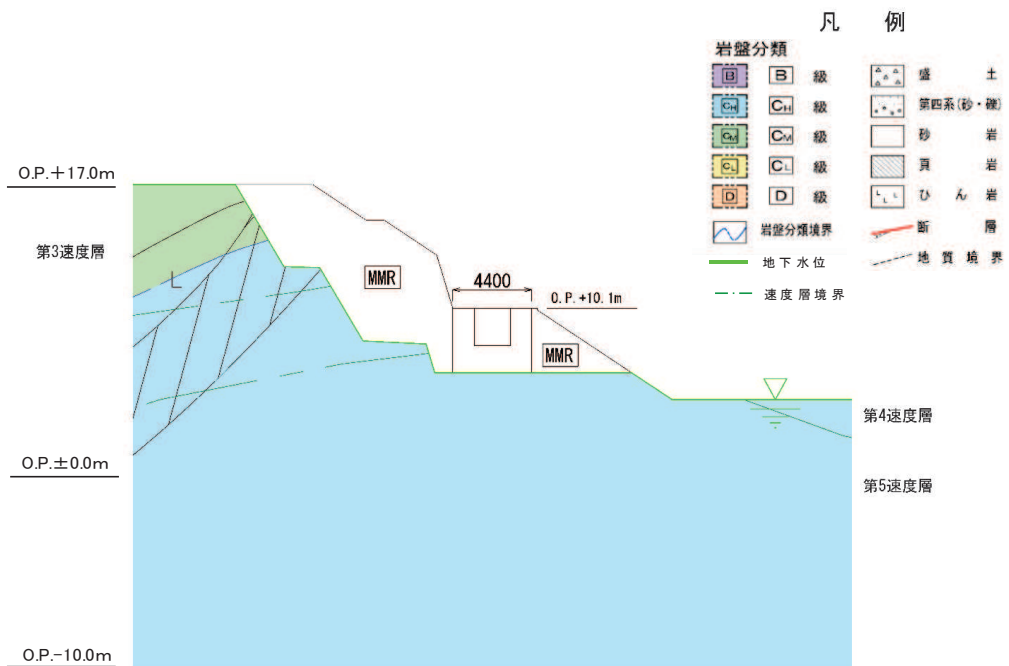


図 8-2 出口側集水ピットの評価対象断面図 (A-A 断面)

8.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析を行うこととし、出口側集水ピットが岩盤内に設置され、液状化検討対象外の施設であることから、全応力解析手法を用いる。

全応力解析には、解析コード「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(1) 構造部材

出口側集水ピットは、東西壁及び底版を線形はり要素（ビーム要素）、南北壁を平面応力要素でモデル化する。

(2) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として C_n 級岩盤及び C_M 級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に出口側集水ピットの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 8-1 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

なお、出口側集水ピットは、新設構造物であり許容応力度法により設計を行っており、十分に裕度を確保した設計としていることから、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④による耐震評価は実施せず、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）に対する応答加速度抽出において、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

表 8-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C ₁ 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値	平均値 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値	平均値 - 1 σ
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

(3) 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した係数 α , β を表 8-2 に示す。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[c] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

表 8-2 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

地震時荷重算出断面	α	β
A-A 断面	1.743	3.873×10^{-4}

(4) 地震応答解析の検討ケースの選定

a. 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて表 8-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 8-3 に示す。

表 8-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地盤物性			平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ
地震動 (位相)	S _s -D 1	++*	○	基準地震動 S_s (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。	
		-+*	○		
	S _s -D 2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -D 3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F 1	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F 2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F 3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -N 1	++*	○		
		-+*	○		

注記 * : 地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

- b. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）に対する応答加速度抽出のための解析ケース
 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として解析ケース①に加え、表 8-4 に示す解析ケース②～④を実施する。

表 8-4 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応答加速度及び
 応答変位抽出のための解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*3
地震動（位相）	S s - D 1	++*1	○	○	○
		-+*1, 2	○	-	-
	S s - D 2	++*1	○	○	○
		-+*1, 2	○	-	-
	S s - D 3	++*1	○	○	○
		-+*1, 2	○	-	-
	S s - F 1	++*1	○	○	○
		-+*1, 2	○	-	-
	S s - F 2	++*1	○	○	○
		-+*1, 2	○	-	-
	S s - F 3	++*1	○	○	○
		-+*1, 2	○	-	-
	S s - N 1	++*1	○	○	○
		-+*1, 2	○	-	-

注記 *1：地震動の位相について（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：位相反転ケース（-+）でのケース②～④について、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、津波波圧が支配的な荷重であり、地震荷重が構造成立性に及ぼす影響が小さいことから検討を省略する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

8.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

8.3.1 耐震評価上考慮する状態

出口側集水ピットの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

8.3.2 荷重

出口側集水ピットの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の荷重を考慮する。また、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

8.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8-5 に示す。

表 8-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_sを含めて 4.9kN/m²)

S_s : 地震荷重

8.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 8-3 に入力地震動算定の概念図を、図 8-4 に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示す。入力地震動の算定には、解析コード「microSHAKE ver. 2.3.3」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

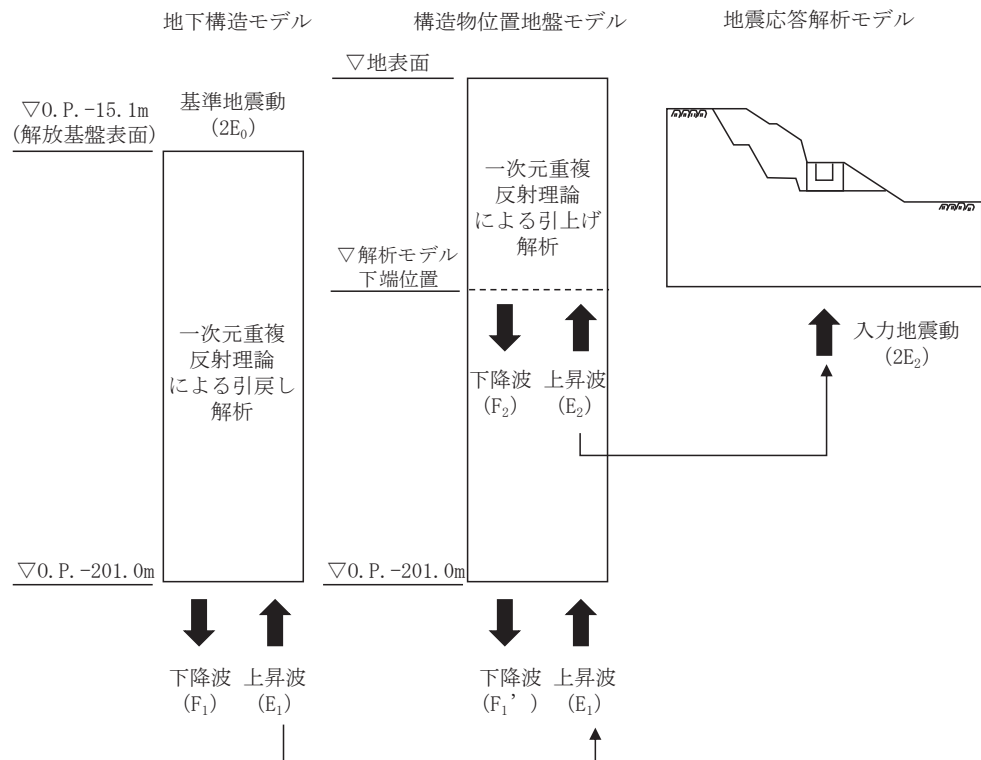
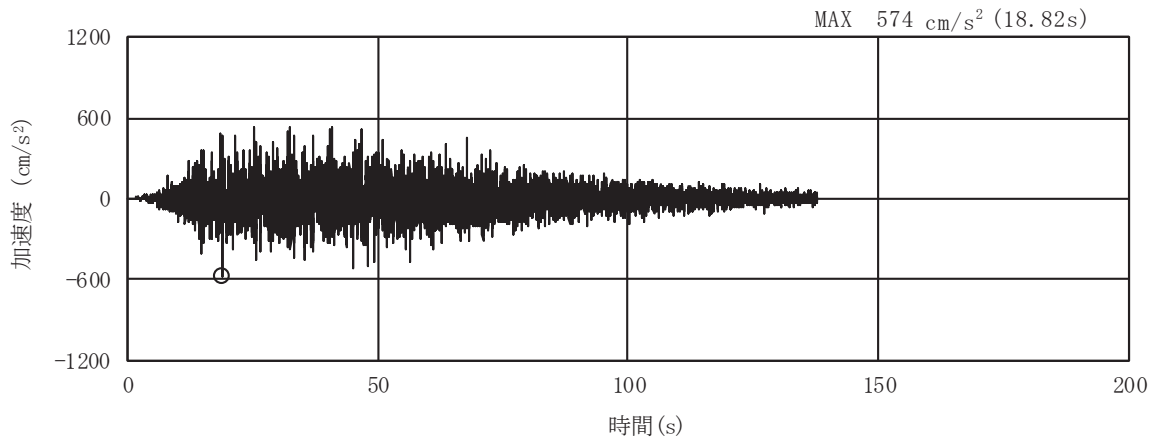
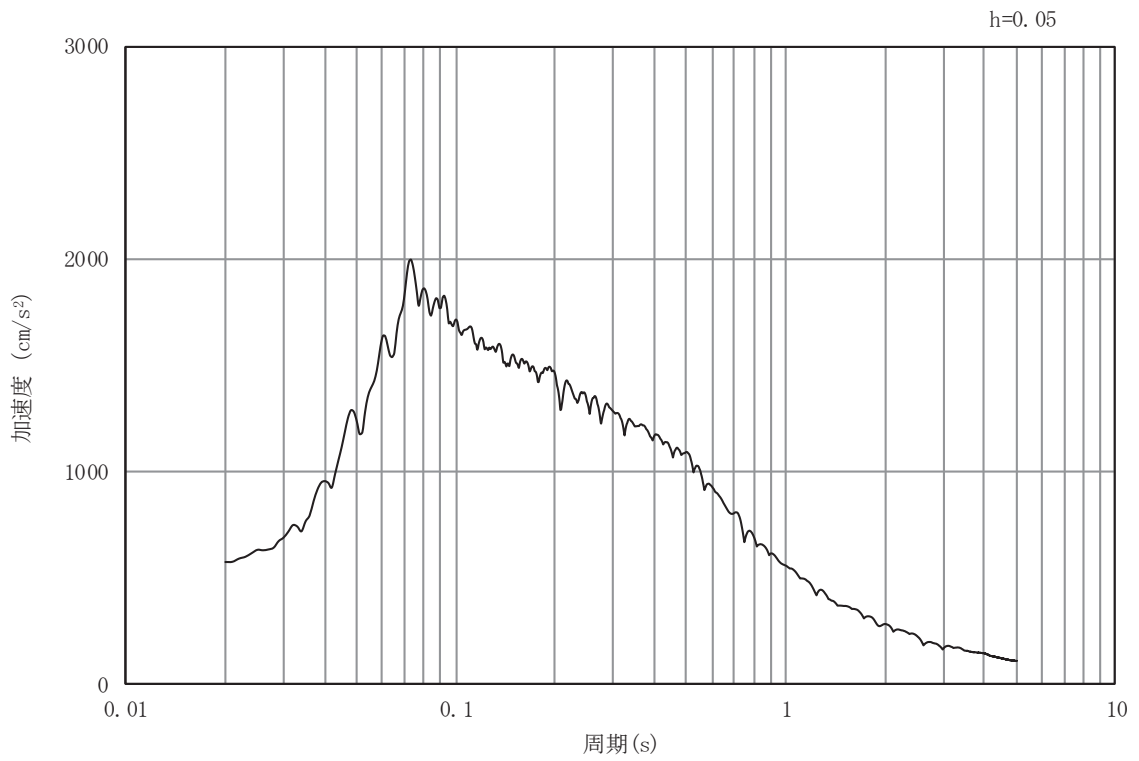


図 8-3 入力地震動算定の概念図

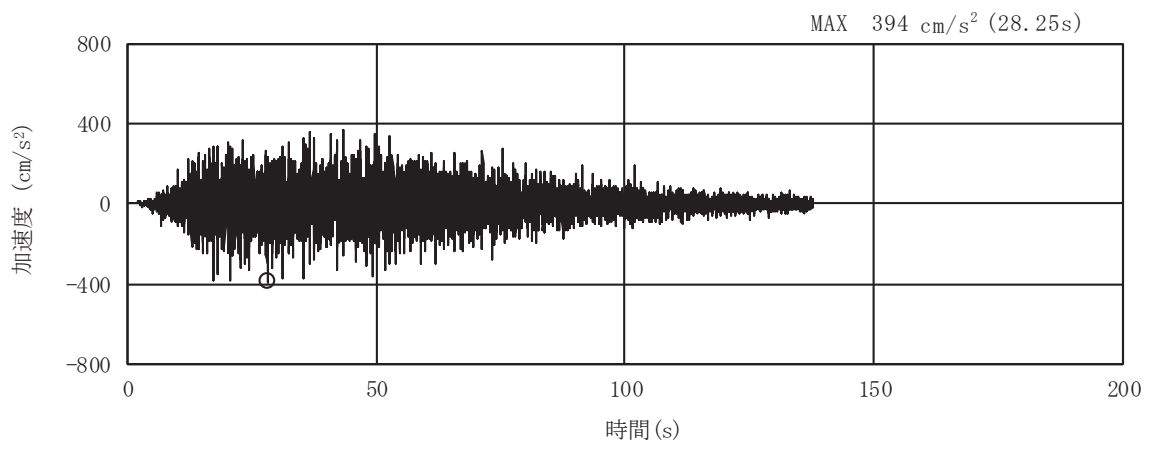


(a) 加速度時刻歴波形

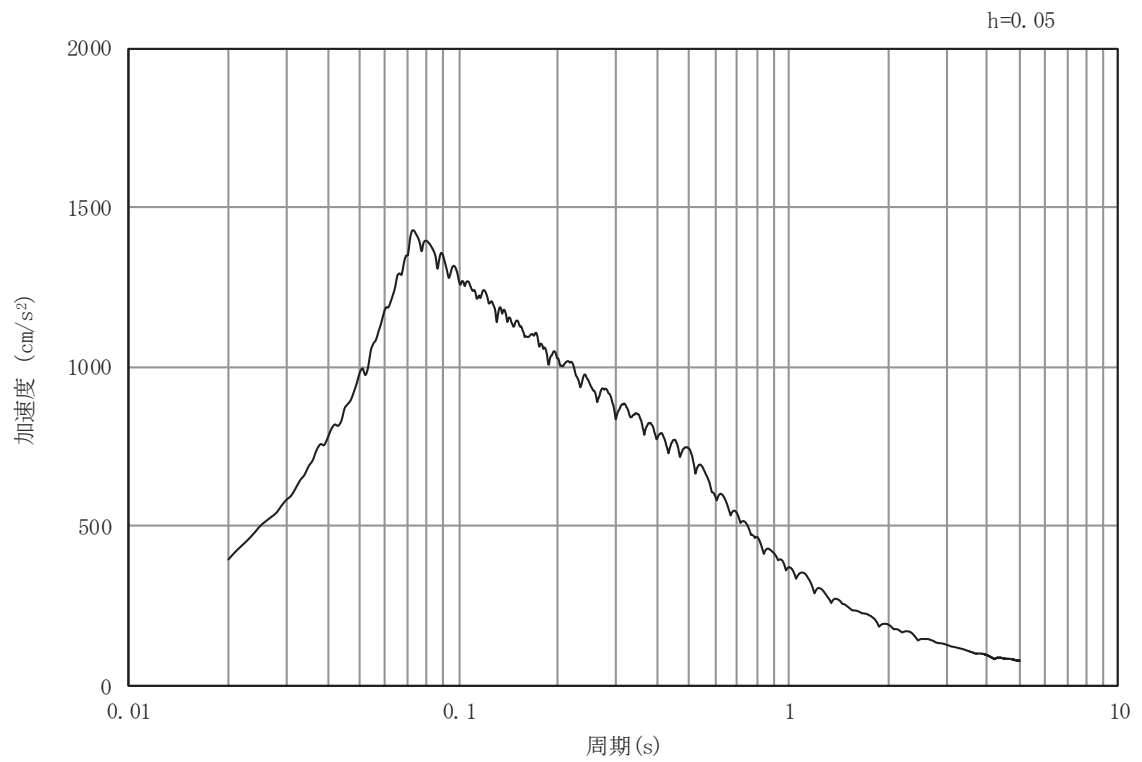


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(1) 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
(水平方向：S s - D 1)

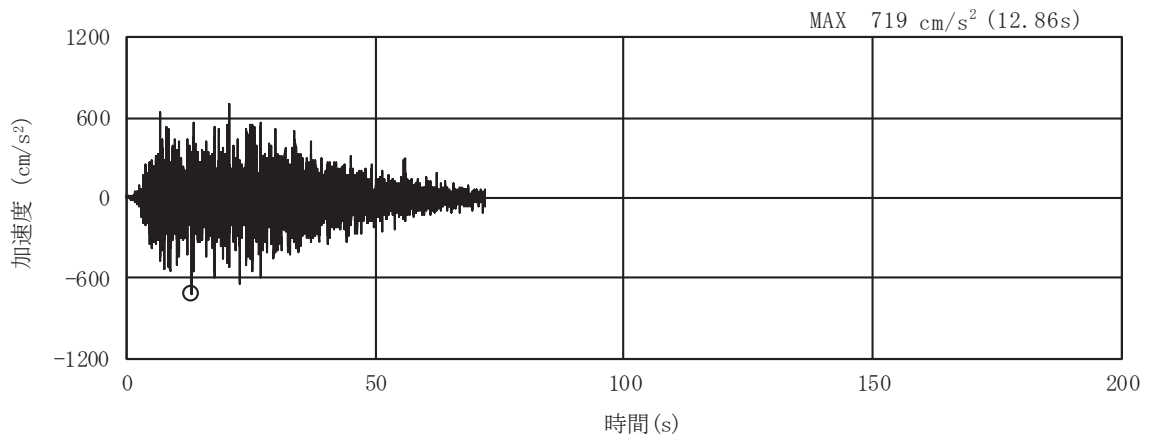


(a) 加速度時刻歴波形

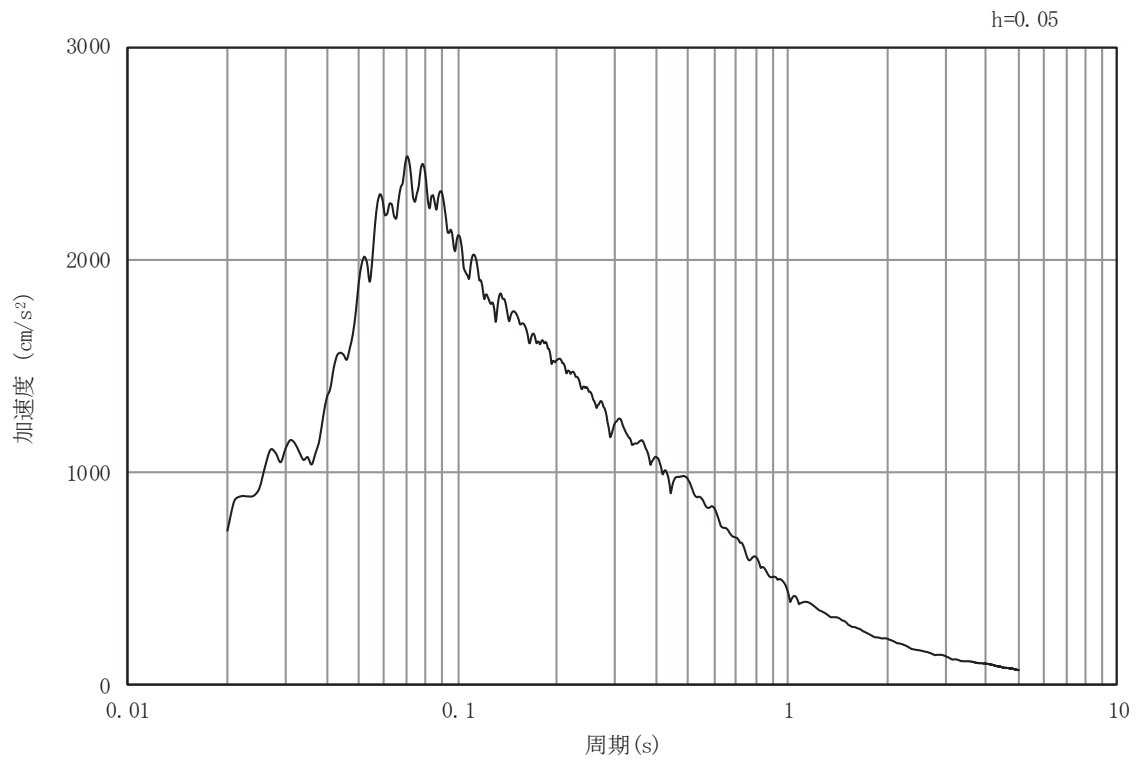


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(2) 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
(鉛直方向：S s - D 1)

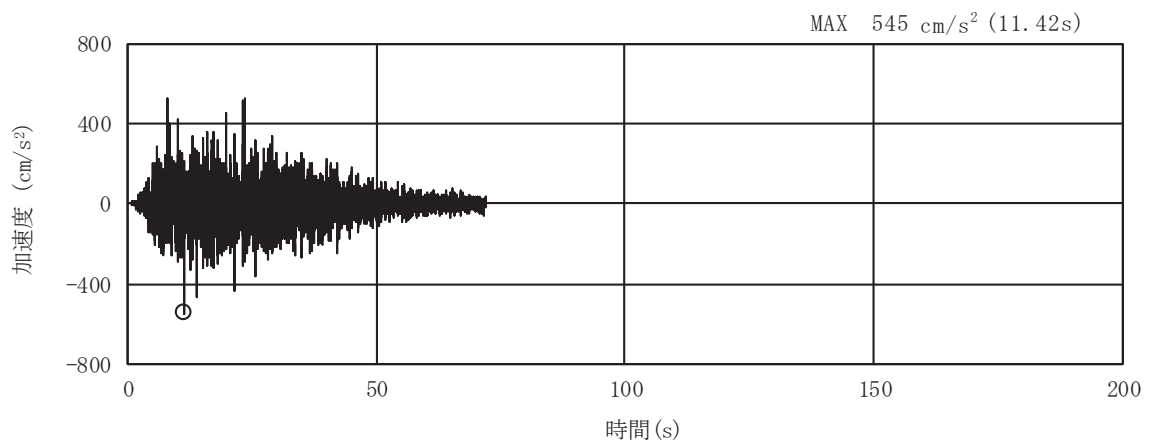


(a) 加速度時刻歴波形

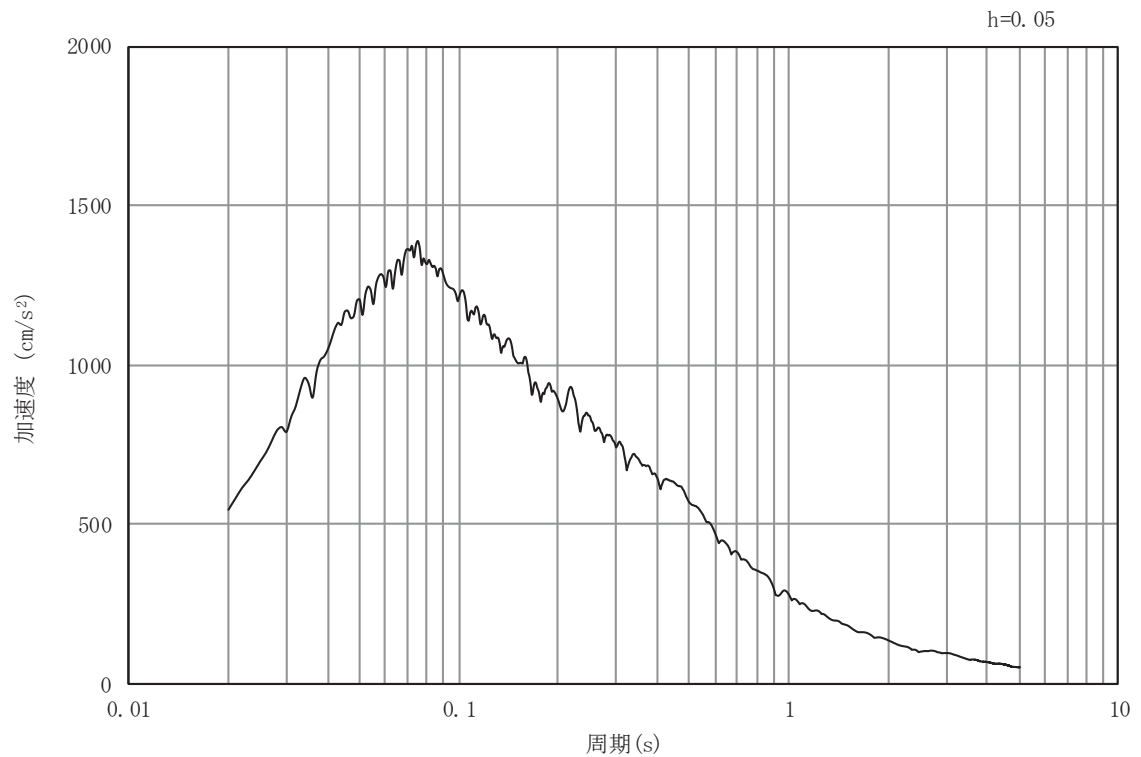


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(3) 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
 (水平方向：S s - D 2)

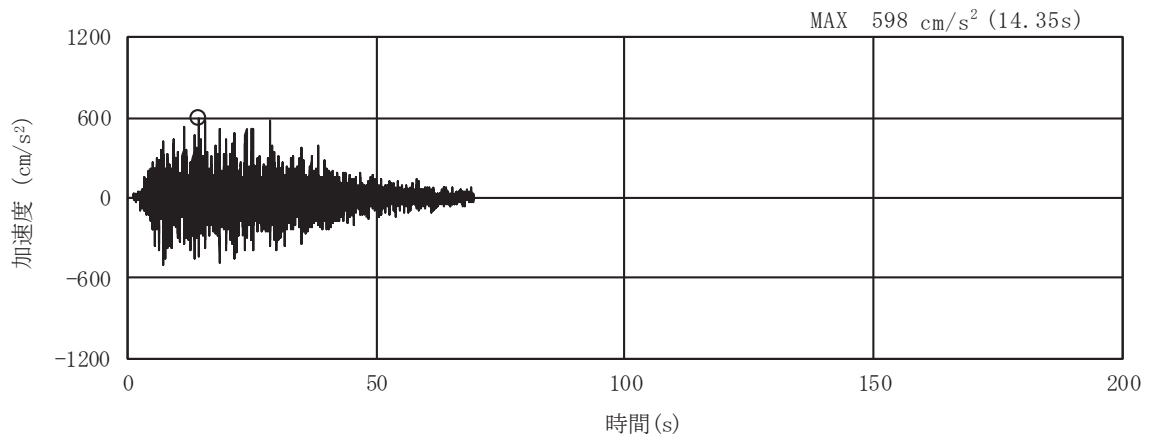


(a) 加速度時刻歴波形

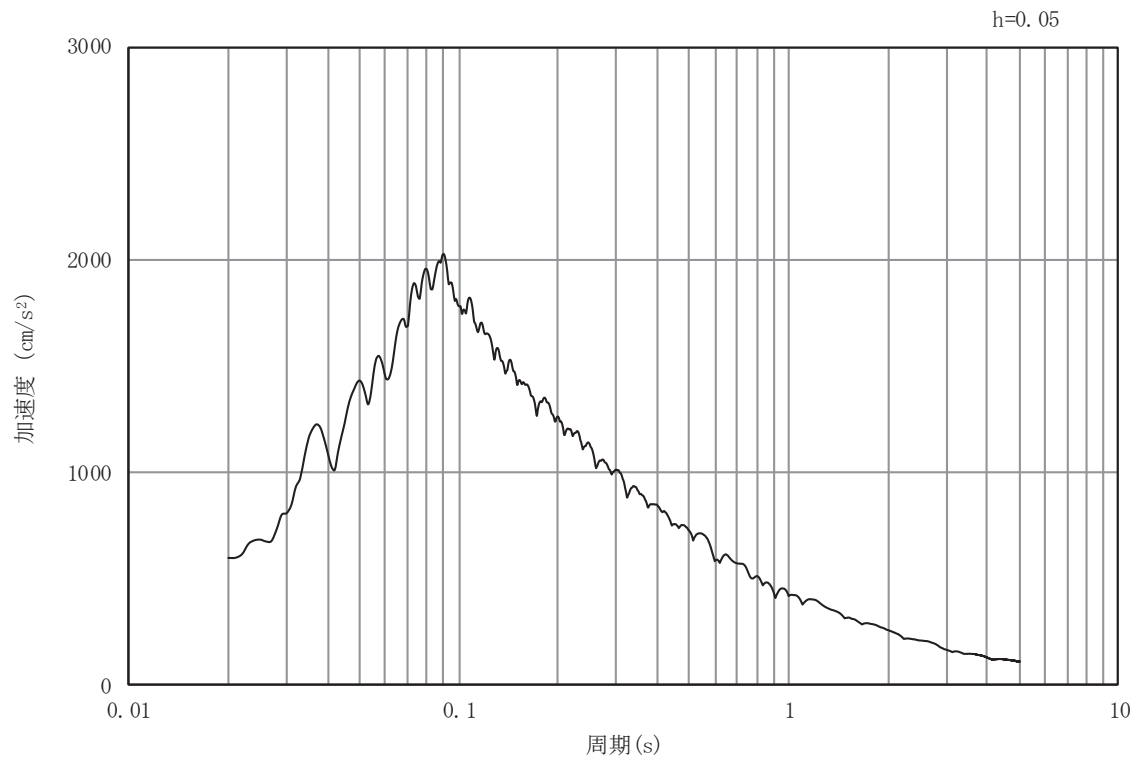


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(4) 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
(鉛直方向：S s - D 2)

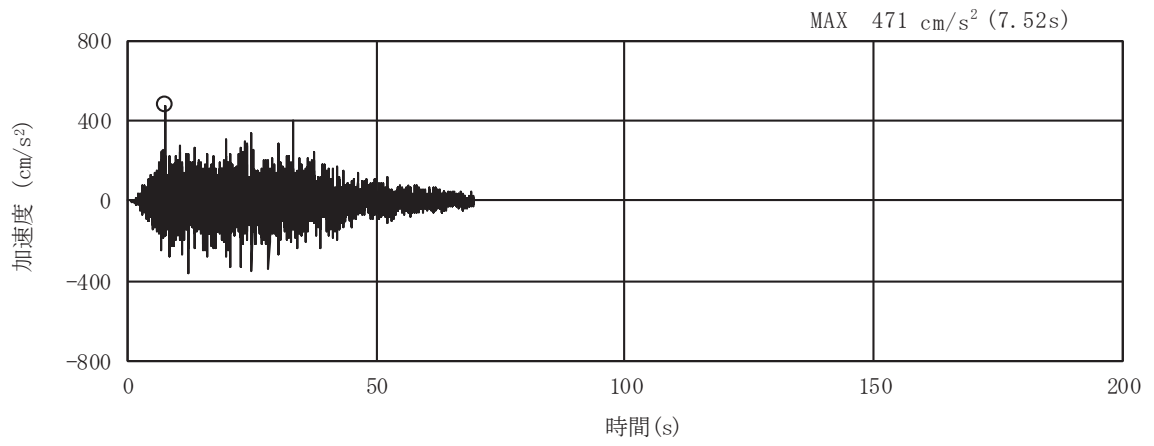


(a) 加速度時刻歴波形

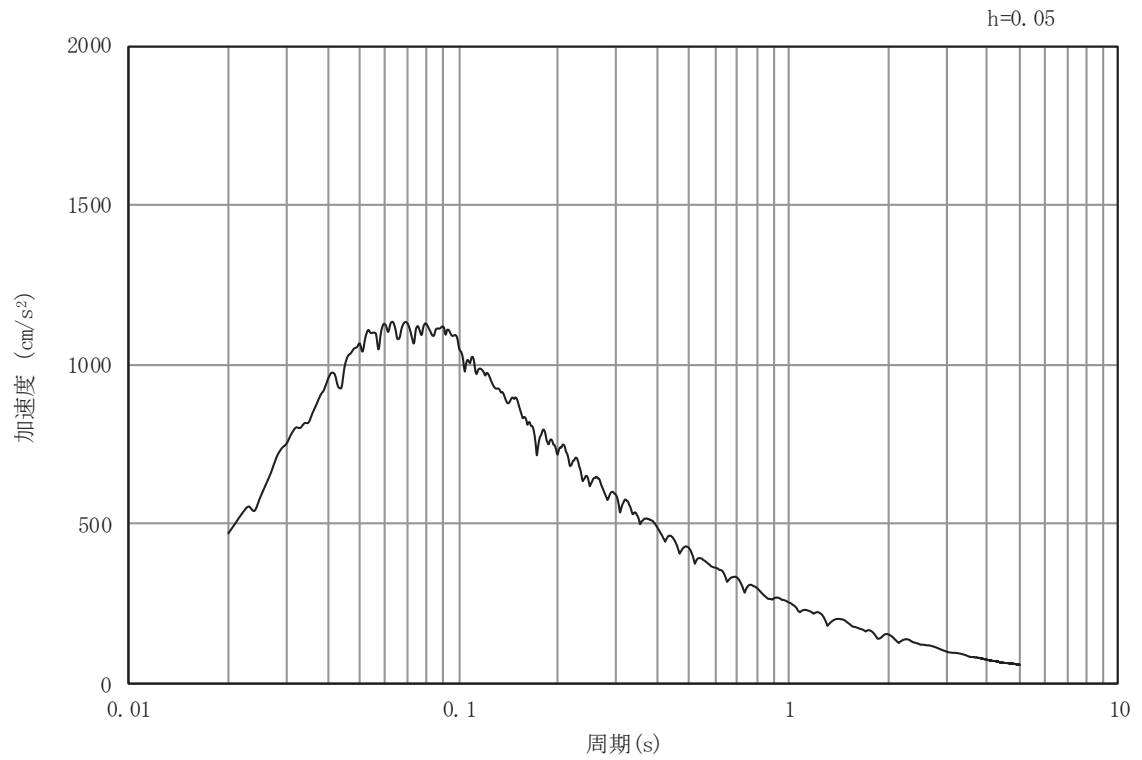


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(5) 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
(水平方向：S s - D 3)

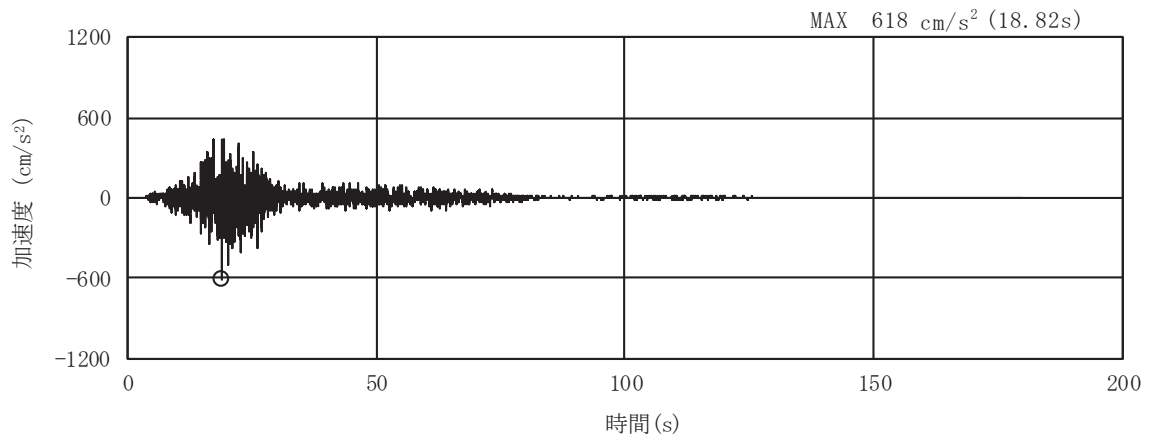


(a) 加速度時刻歴波形

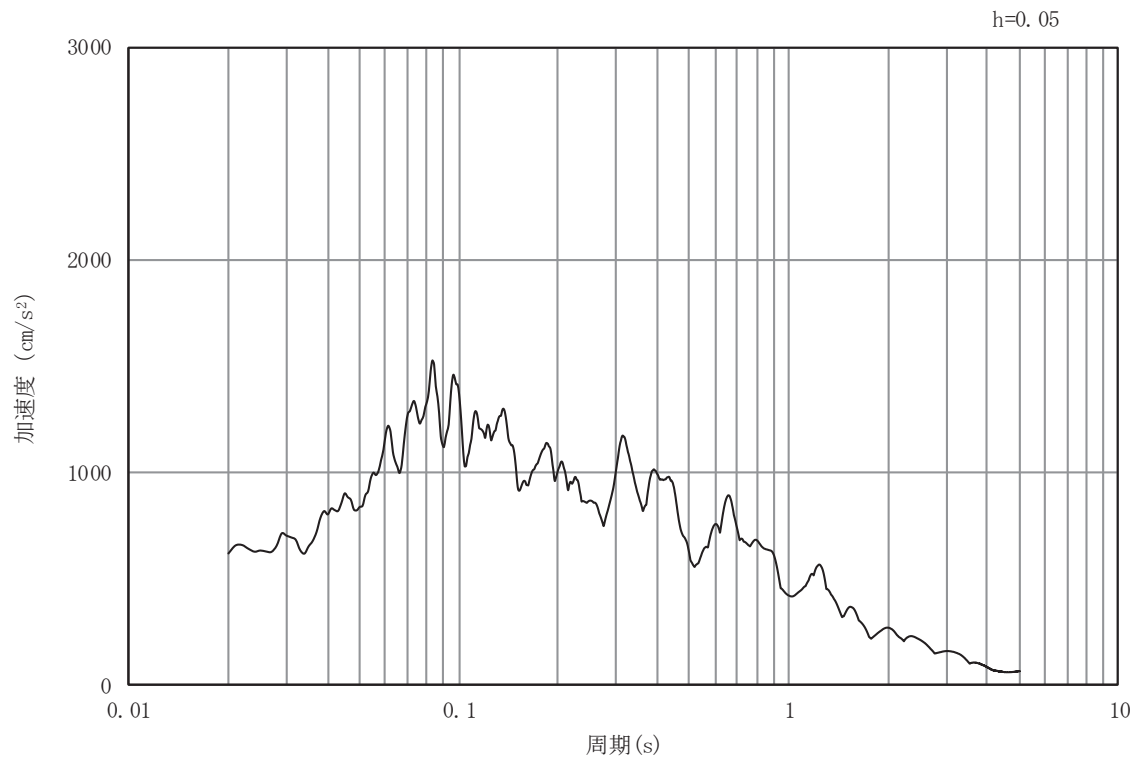


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(6) 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
(鉛直方向：S s - D 3)

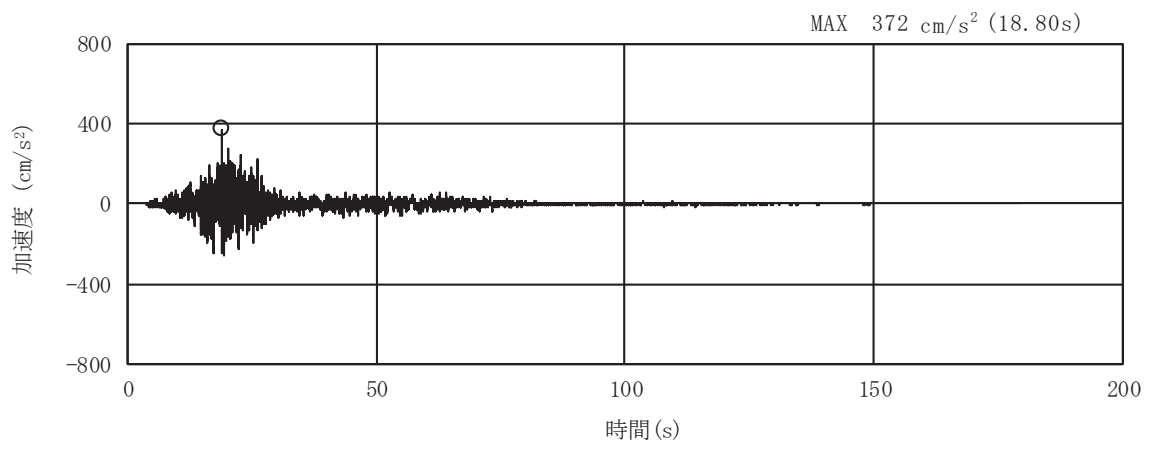


(a) 加速度時刻歴波形

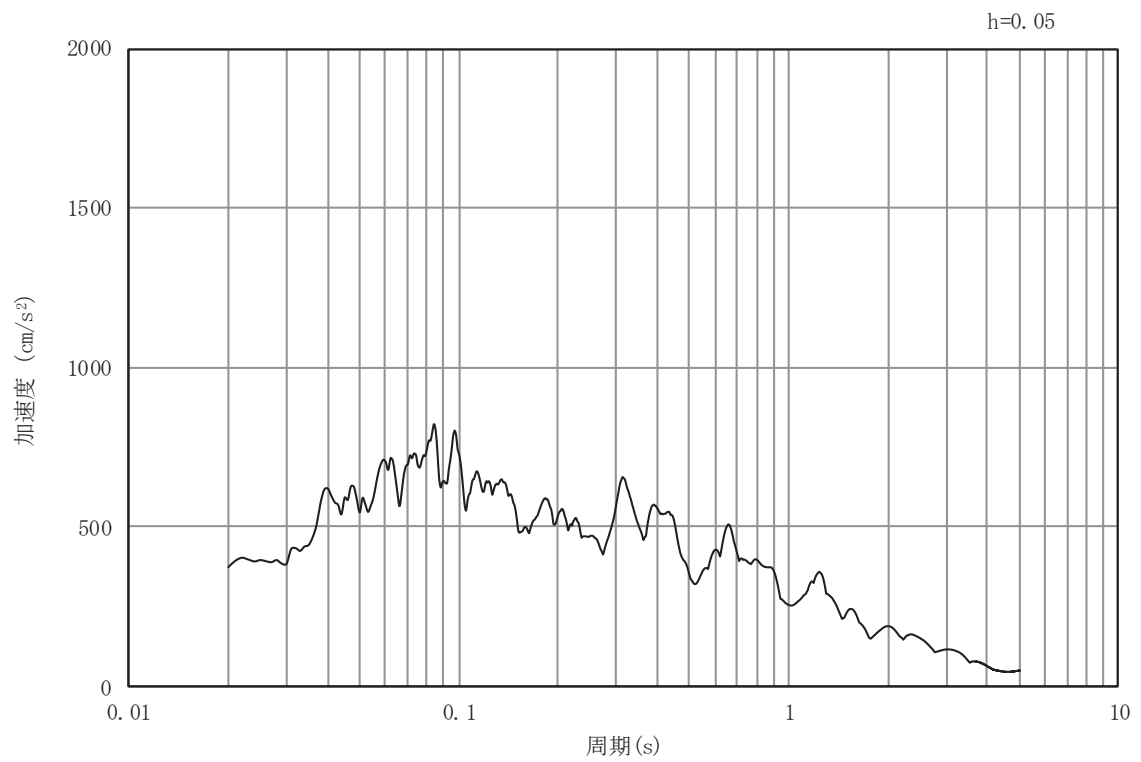


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(7) 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
(水平方向：S s - F 1)

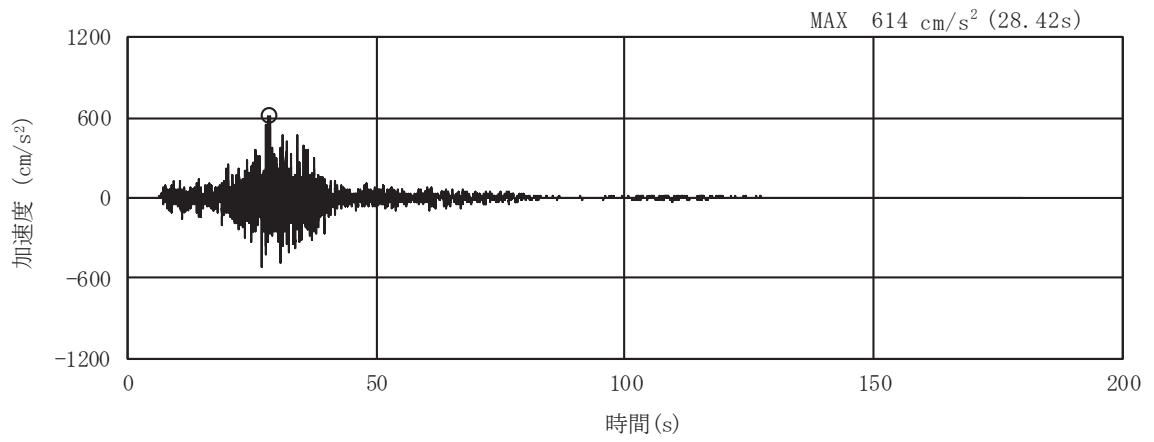


(a) 加速度時刻歴波形

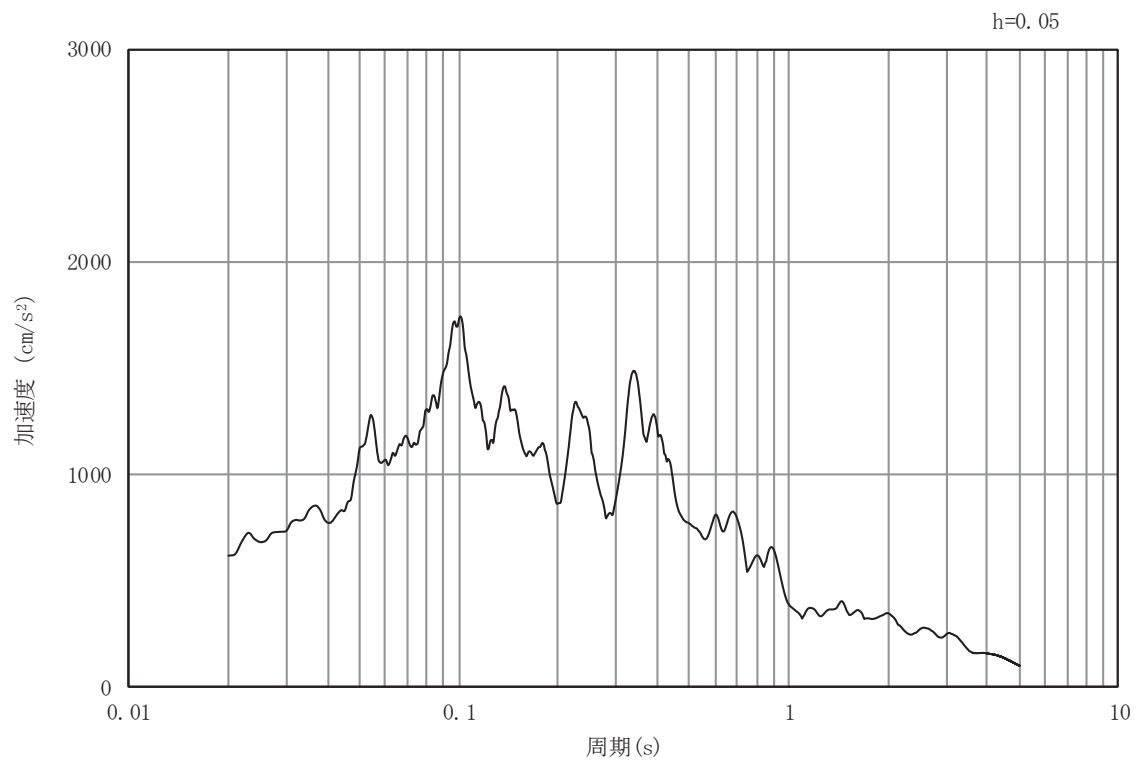


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(8) 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
(鉛直方向：S s - F 1)

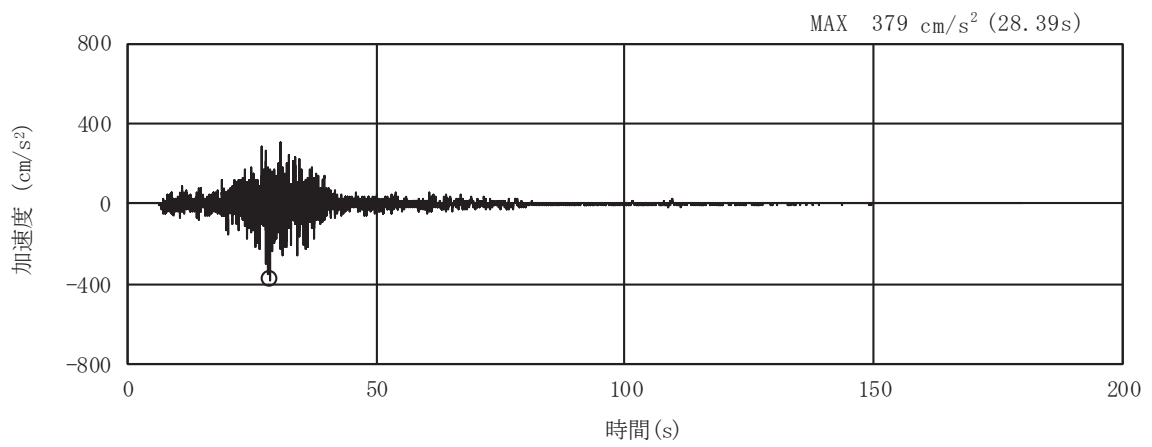


(a) 加速度時刻歴波形

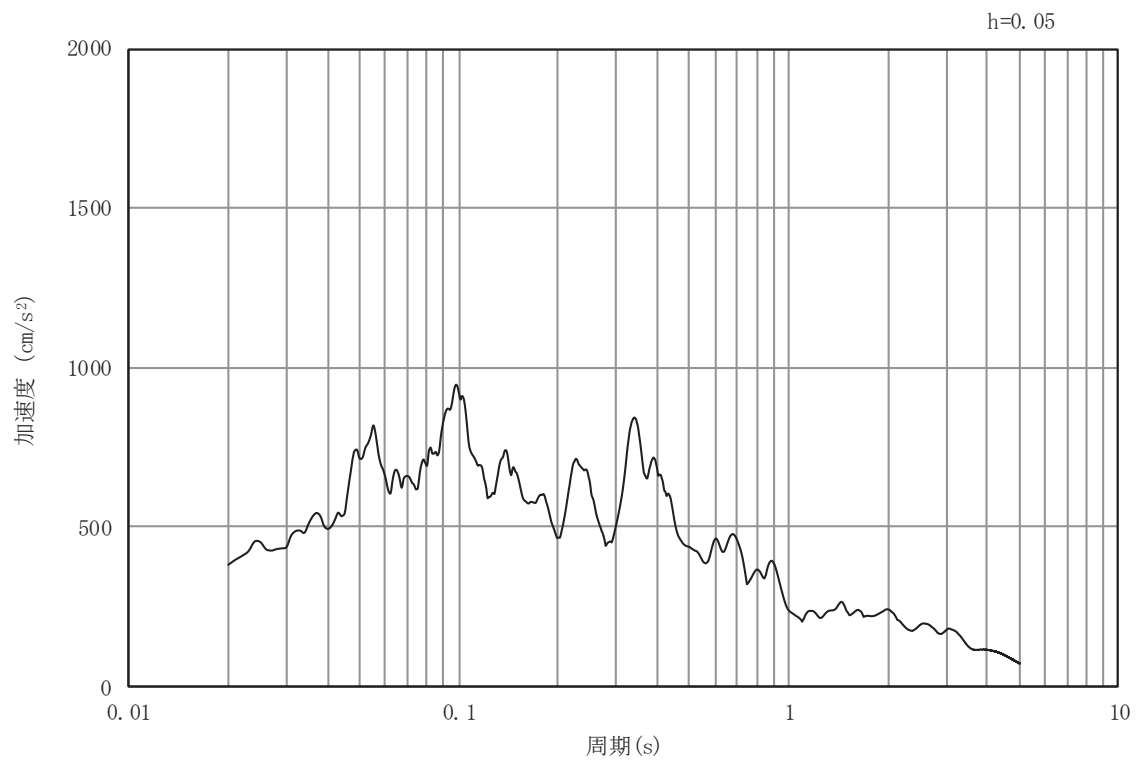


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(9) 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
(水平方向：S s - F 2)

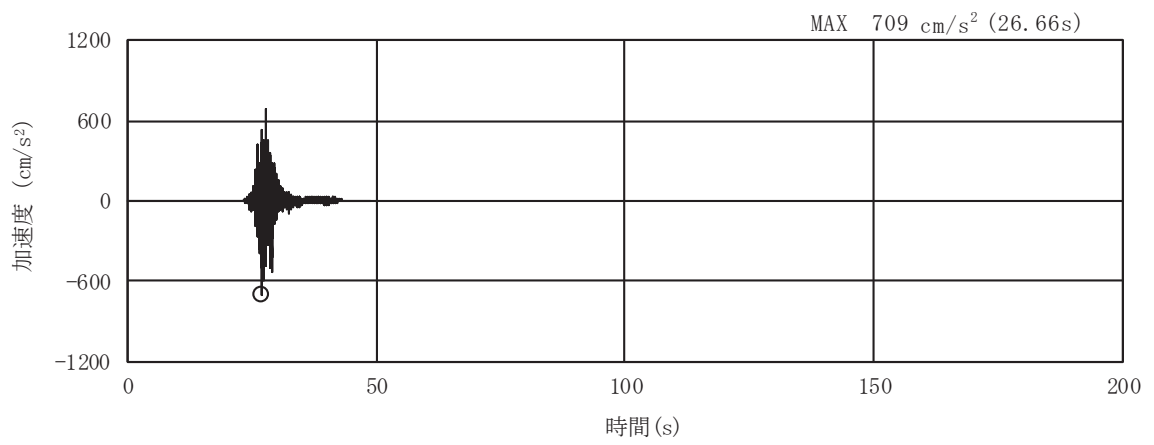


(a) 加速度時刻歴波形

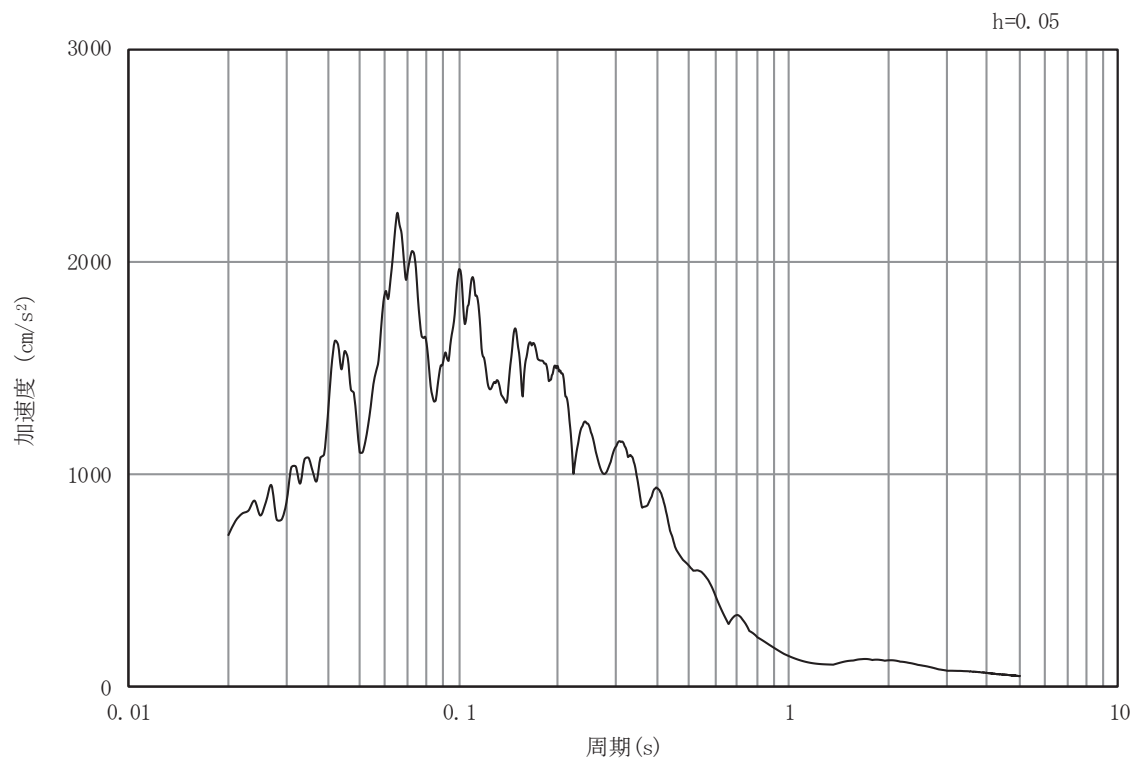


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(10) 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
(鉛直方向：S s - F 2)

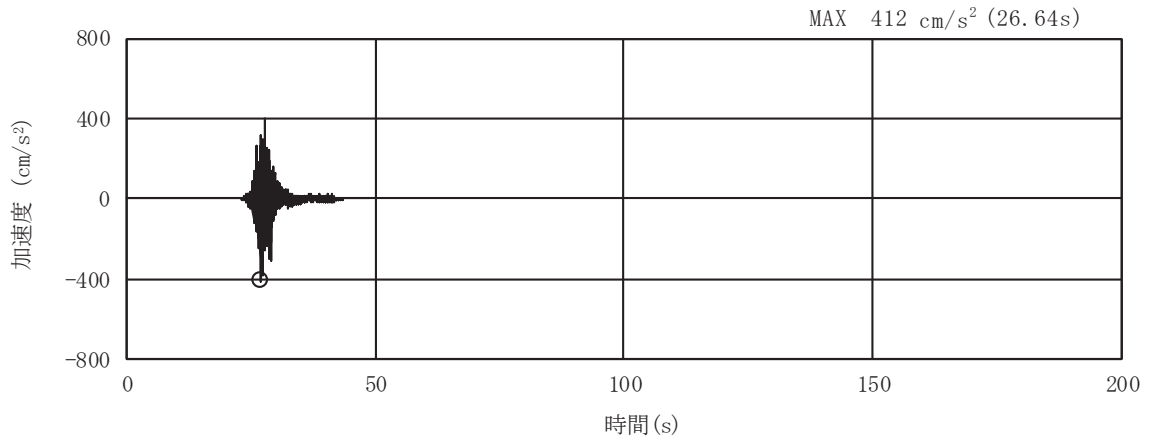


(a) 加速度時刻歴波形

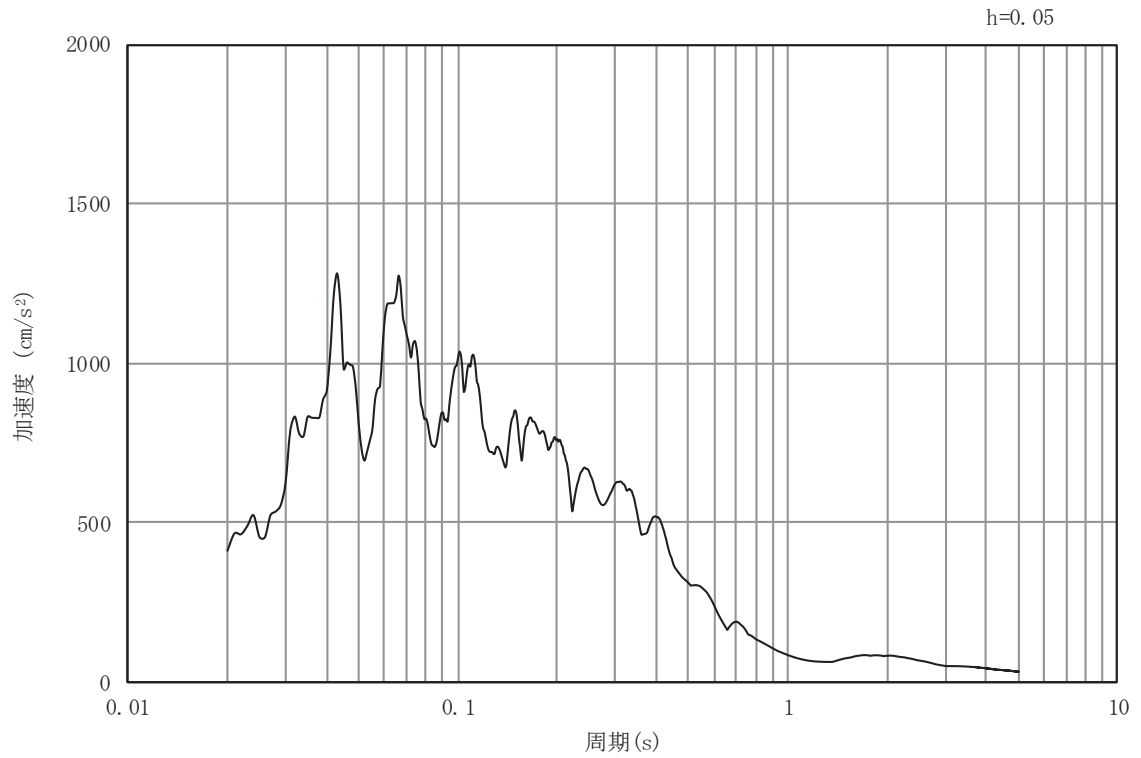


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(11) 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
(水平方向：S s - F 3)

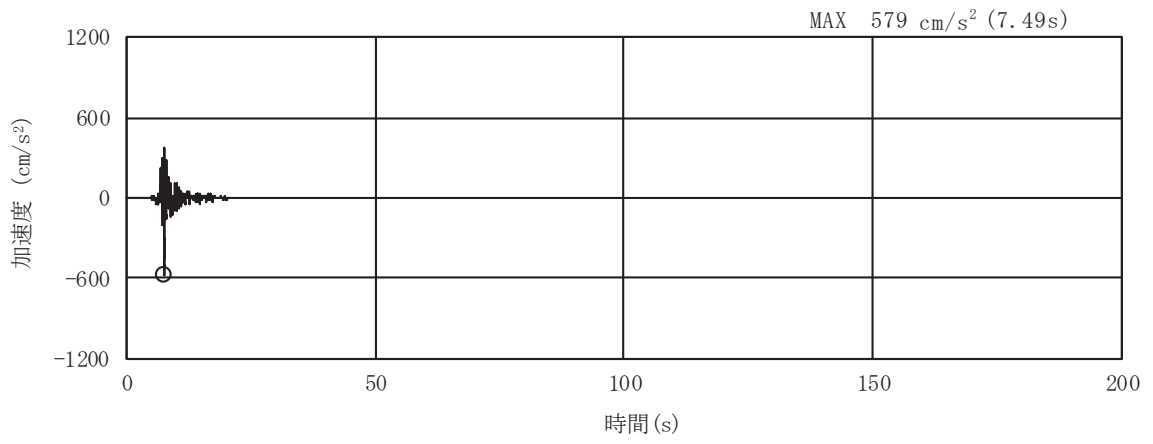


(a) 加速度時刻歴波形

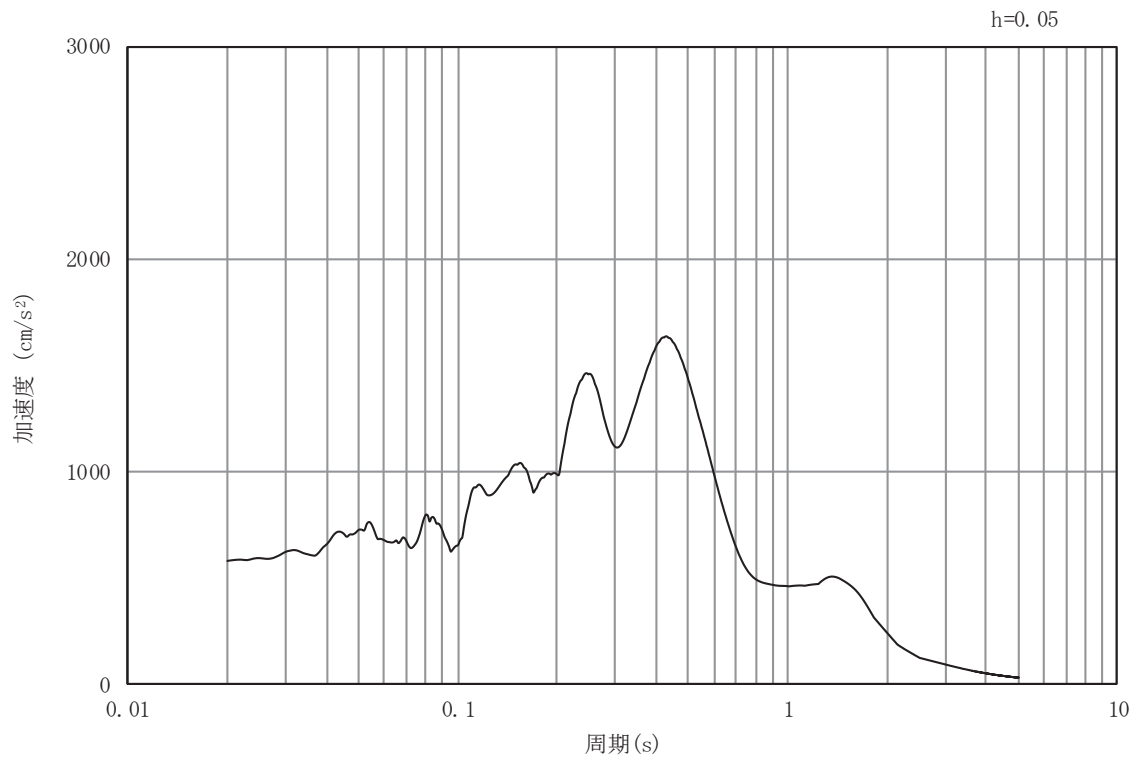


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(12) 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
(鉛直方向：S s - F 3)

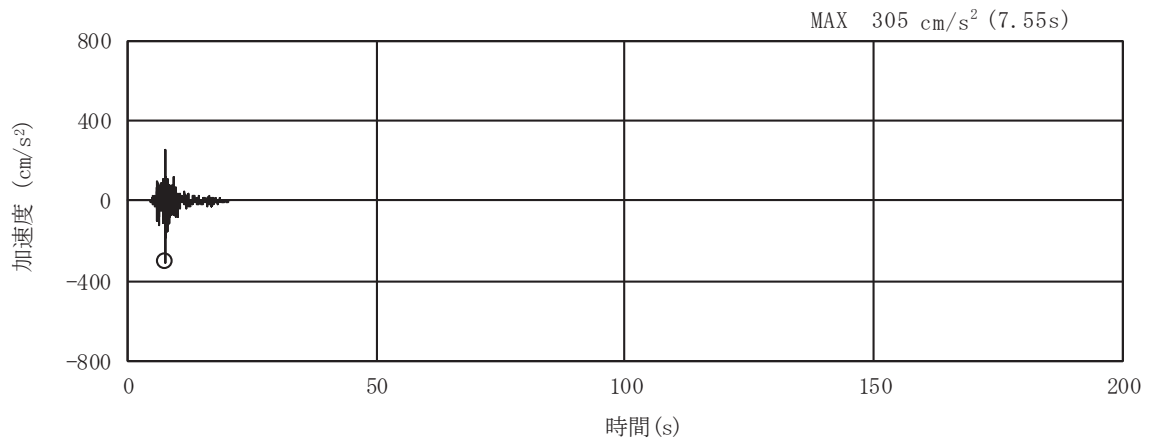


(a) 加速度時刻歴波形

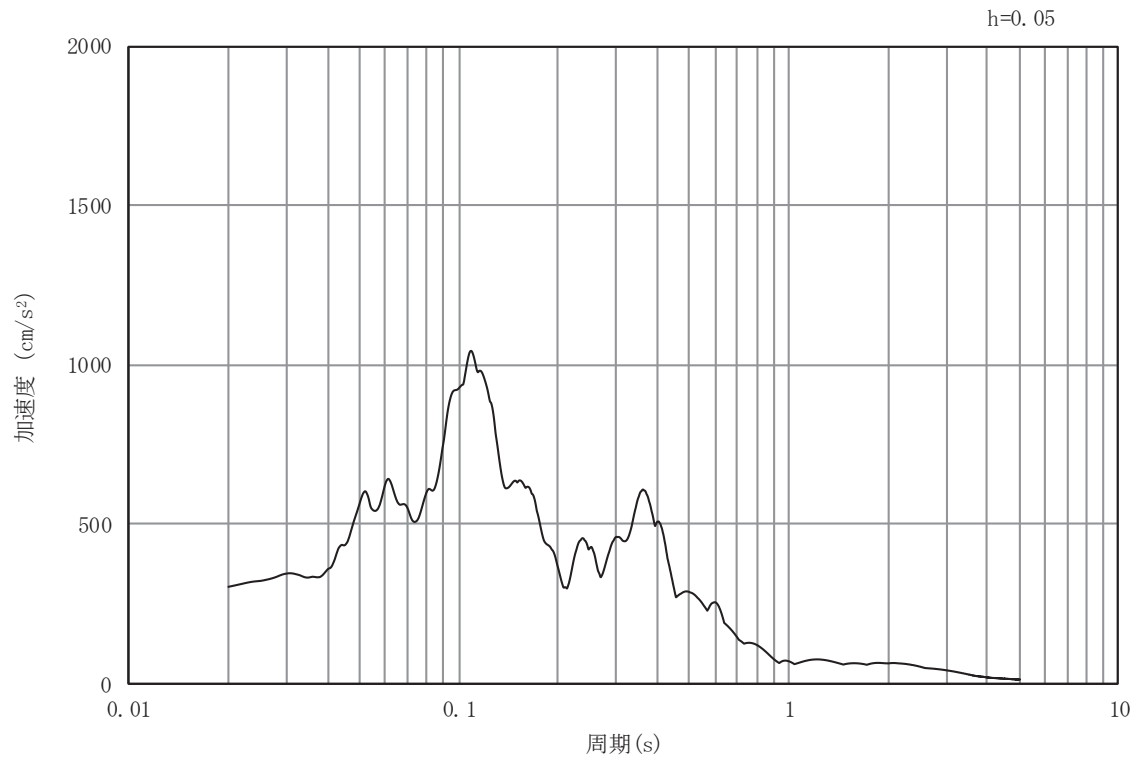


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(13) 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
(水平方向：S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(14) 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
(鉛直方向：S s - N 1)

8.5 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-5 に示す。

a. 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

b. 境界条件

境界条件は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

c. 構造物のモデル化

出口側集水ピットは、線形はり要素（ビーム要素）及び平面応力要素でモデル化する。

d. 地盤のモデル化

C_H 級岩盤及び C_M 級岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

e. ジョイントのモデル化

「構造物とマンメイドロック」、「構造物と岩盤」及び「マンメイドロックと岩盤」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

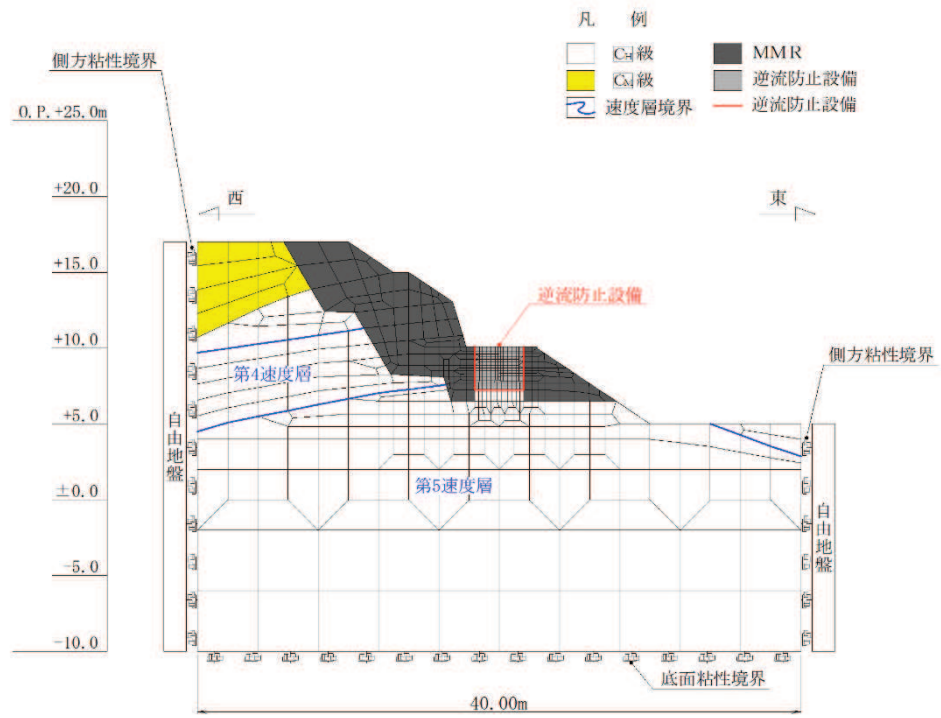


図 8-5 出口側集水ピットの解析モデル (A-A 断面)

(2) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-6 に、材料の物性値を表 8-7 に示す。

表 8-6 使用材料

諸元		
出口側集水ピット	鉄筋（主筋）	SD345
	コンクリート	設計基準強度 30 N/mm ²

表 8-7 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0	2.80×10^4	0.2

(3) 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

(4) 地下水位

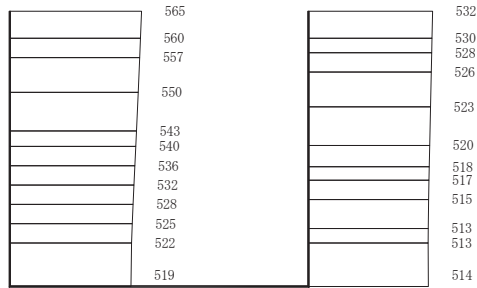
地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 8-2 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 8-8 に示す。

表 8-8 設計用地下水位の一覧

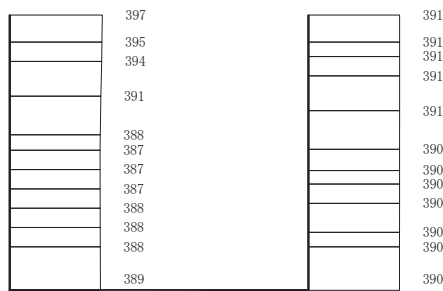
施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
出口側集水ピット	A-A断面	地表面に設定する。

8.6 地震応答解析結果

地震応答解析で得られた各ケースの最大加速度分布を図 8-6 に示す。



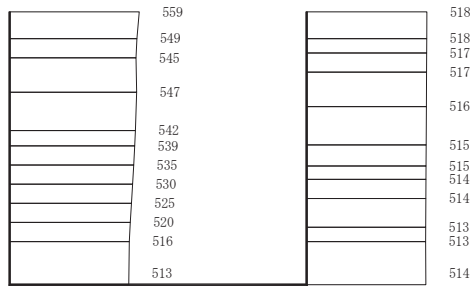
(a) S s - D 1 (++) 水平



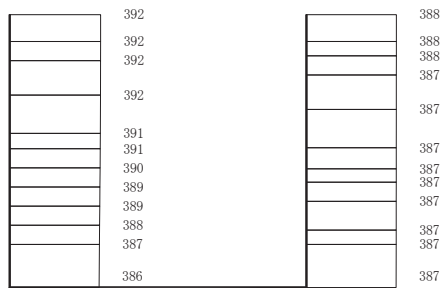
(b) S s - D 1 (++) 鉛直



図 8-6(1) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



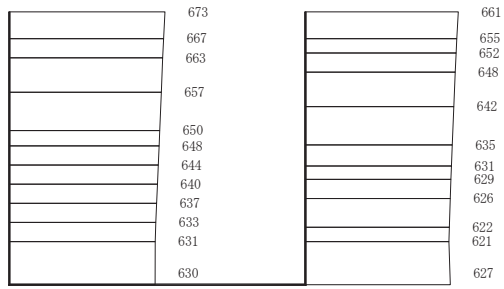
(a) S s - D 1 (- +) 水平



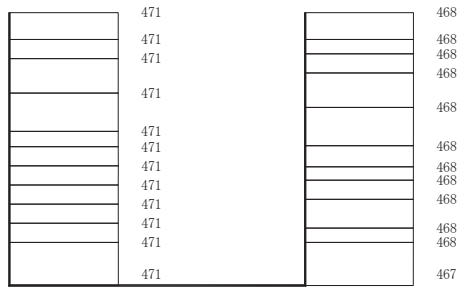
(b) S s - D 1 (- +) 鉛直



図 8-6(2) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



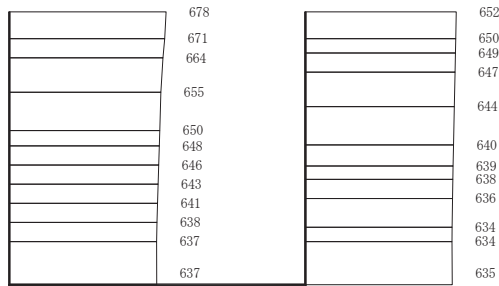
(a) S s - D 2 (++) 水平



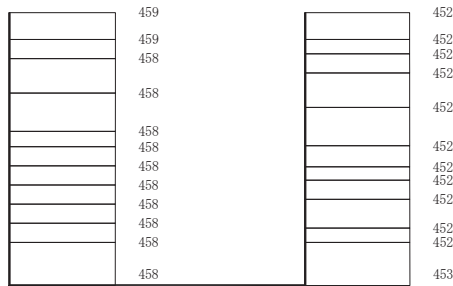
(b) S s - D 2 (++) 鉛直



図 8-6(3) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



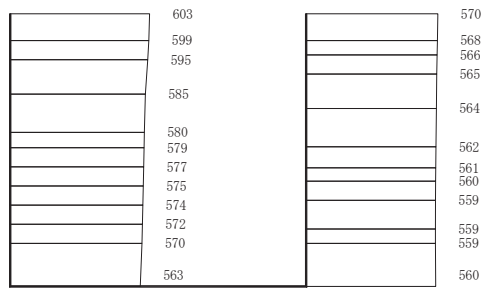
(a) S s - D 2 (- +) 水平



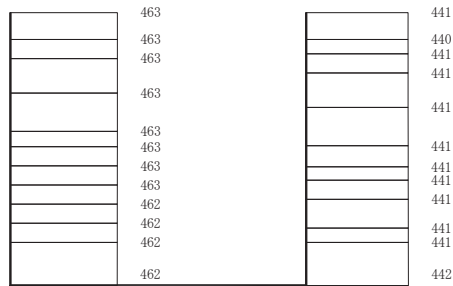
(b) S s - D 2 (- +) 鉛直



図 8-6(4) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



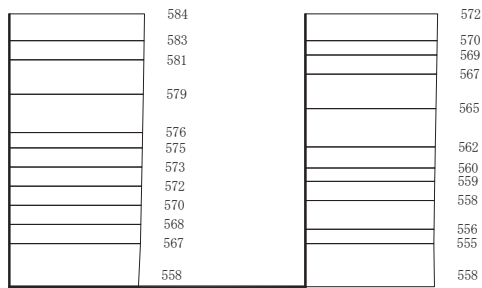
(a) S s - D 3 (++) 水平



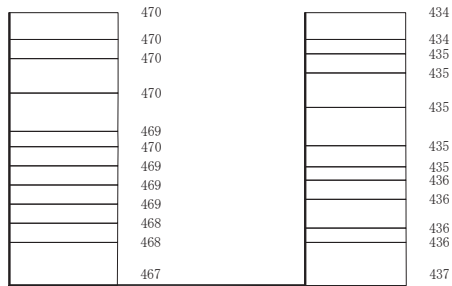
(b) S s - D 3 (++) 鉛直



図 8-6(5) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



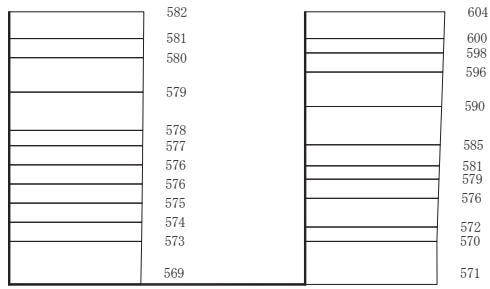
(a) S s - D 3 (- +) 水平



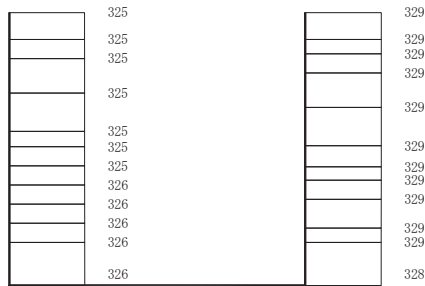
(b) S s - D 3 (- +) 鉛直



図 8-6(6) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



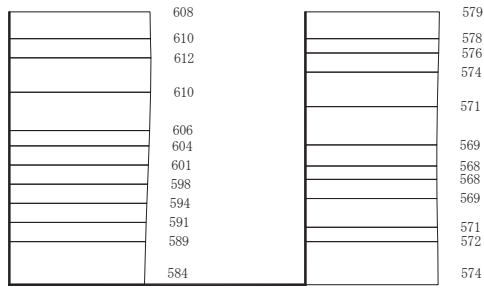
(a) S s - F 1 (++) 水平



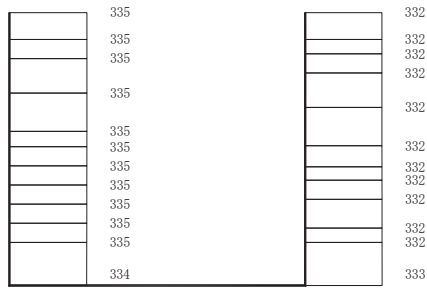
(b) S s - F 1 (++) 鉛直



図 8-6(7) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



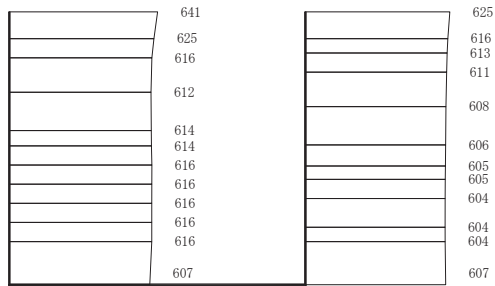
(a) S s - F 1 (- +) 水平



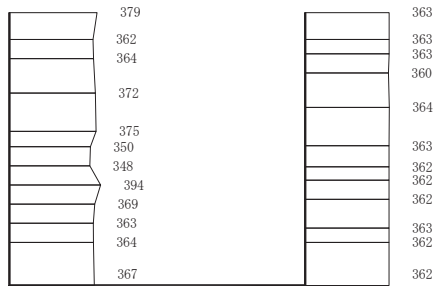
(b) S s - F 1 (- +) 鉛直



図 8-6(8) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



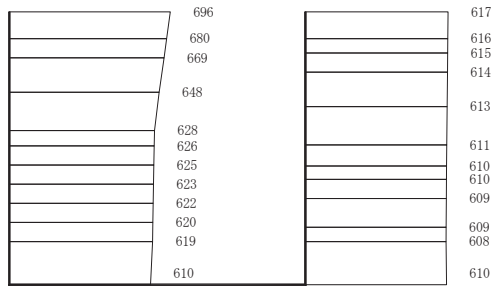
(a) $S_s - F 2$ (++) 水平



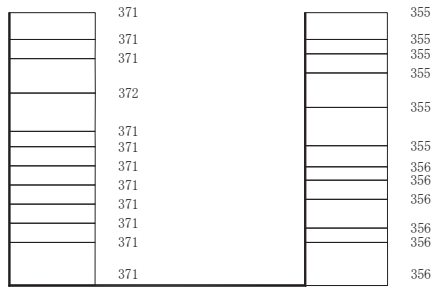
(b) $S_s - F 2$ (++) 鉛直



図 8-6(9) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



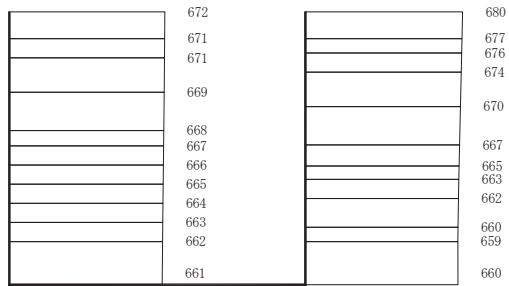
(a) $S_s - F 2$ (- +) 水平



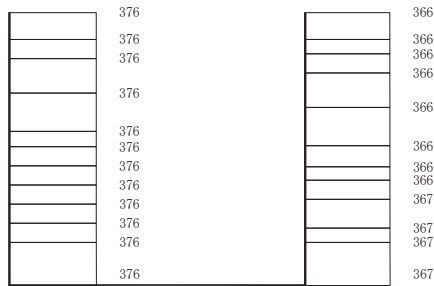
(b) $S_s - F 2$ (- +) 鉛直



図 8-6(10) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



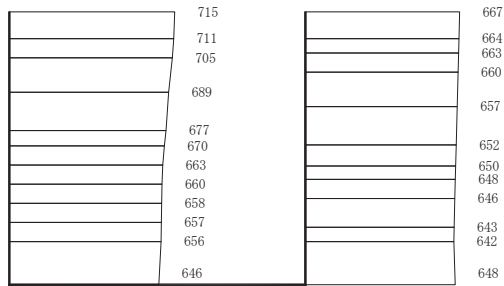
(a) $S_s - F 3$ (++) 水平



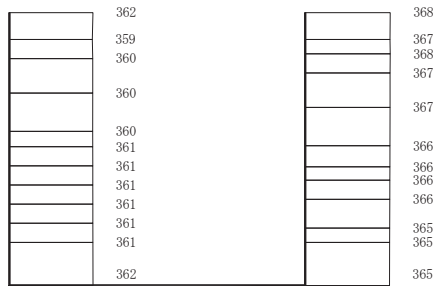
(b) $S_s - F 3$ (++) 鉛直



図 8-6(11) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



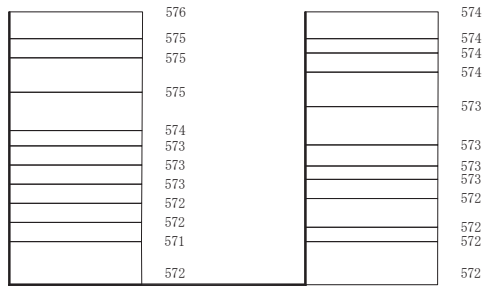
(a) $S_s - F 3 (-+)$ 水平



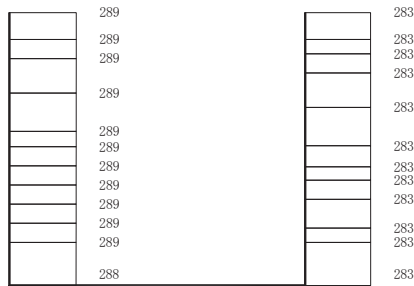
(b) $S_s - F 3 (-+)$ 鉛直



図 8-6(12) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



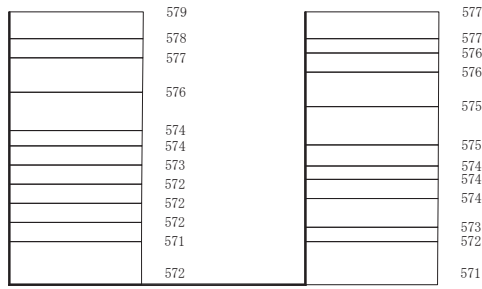
(a) S s - N 1 (++) 水平



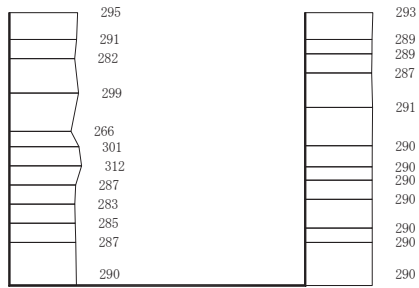
(b) S s - N 1 (++) 鉛直



図 8-6(13) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



(a) S s - N 1 (- +) 水平

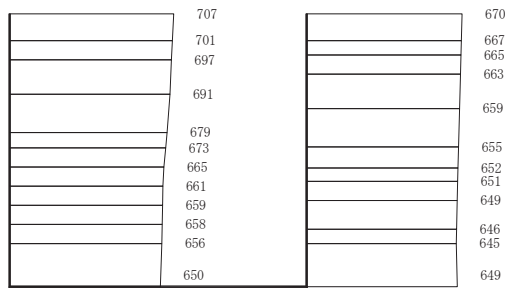


(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

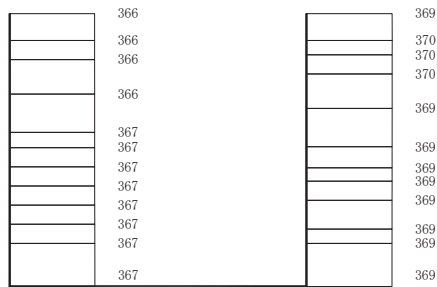


図 8-6(14) 最大加速度分布図

(解析ケース①)



(a) S s - F 3 (- +) 水平

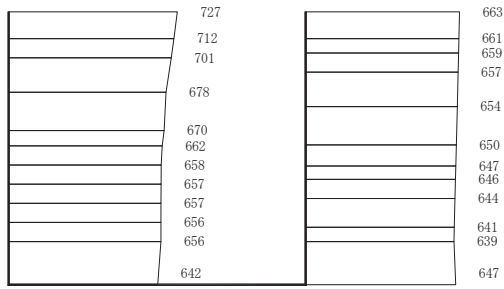


(b) S s - F 3 (- +) 鉛直

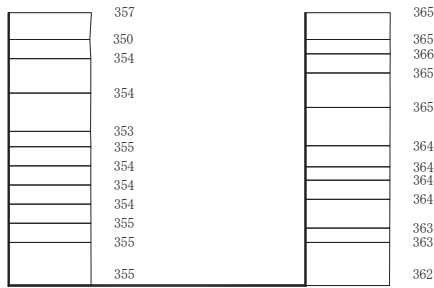
構造スケール 0 └───┘ 2 (m) 応答値スケール 0 └───┘ 1000 (cm/s²)

図 8-6(15) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S s - F 3 (- +) 水平

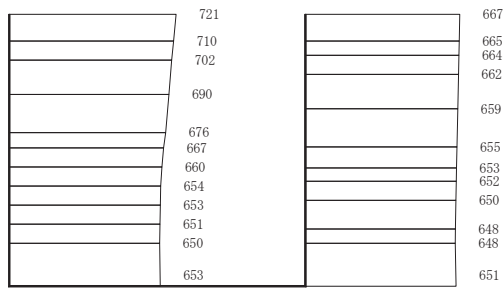


(b) S s - F 3 (- +) 鉛直

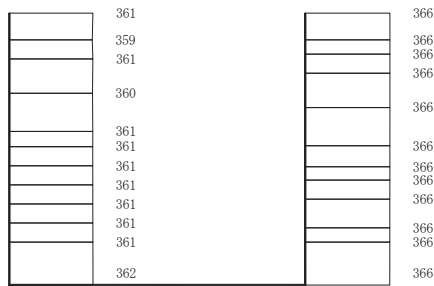


図 8-6(16) 最大加速度分布図

(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S s - F 3 (-+) 水平



(b) S s - F 3 (-+) 鉛直



図 8-6(17) 最大加速度分布図

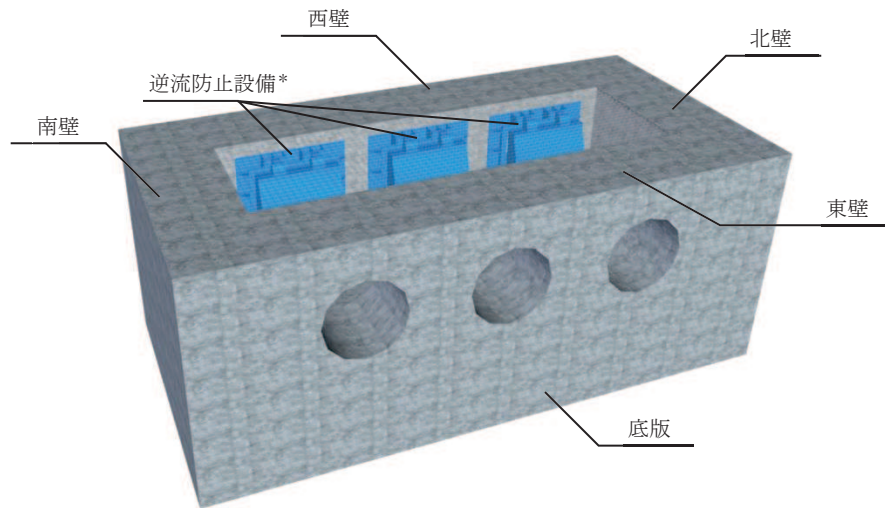
(解析ケース④ 材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース)

9. 三次元構造解析

9.1 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、出口側集水ピットを構成する構造部材である側壁（北壁，東壁，南壁及び西壁）及び底版とする。

図 9-1 に評価対象部材を示す。



注記*：三次元構造解析においては、荷重としてモデル化

図 9-1 三次元構造解析の評価対象部材

9.2 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8. 地震応答解析」により得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「SLAP ver6.64」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

9.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 9-2 に、要素分割図を図 9-3 に示す。

a. 構造物のモデル化

構造物は、線形シェル要素でモデル化する。

b. 境界条件

構造物と周辺地盤には、境界条件としての地盤ばねを配置する。地盤ばねは節点ばねとする。

地盤ばねは、常時解析においては「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編」に基づき設定する。

地震時解析においては、支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、北壁及び南壁の法線方向に取り付け、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に基づき設定する。

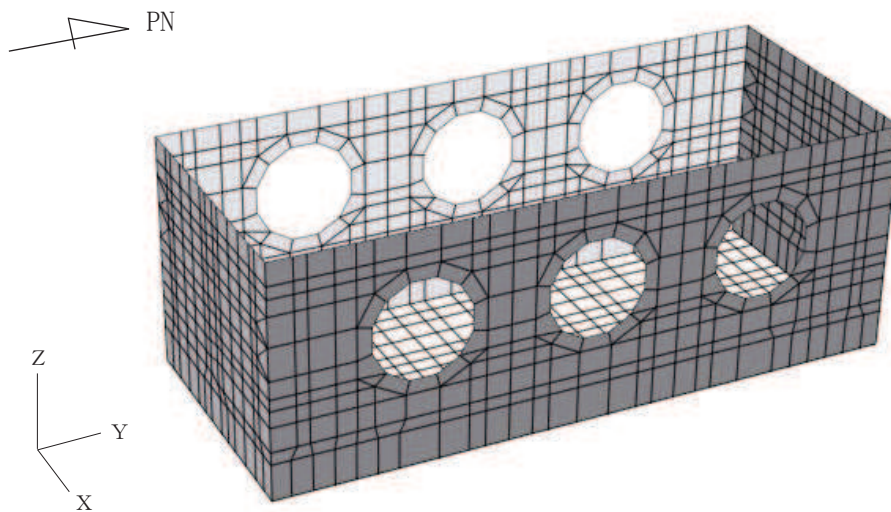


図 9-2 出口側集水ピットの解析モデル

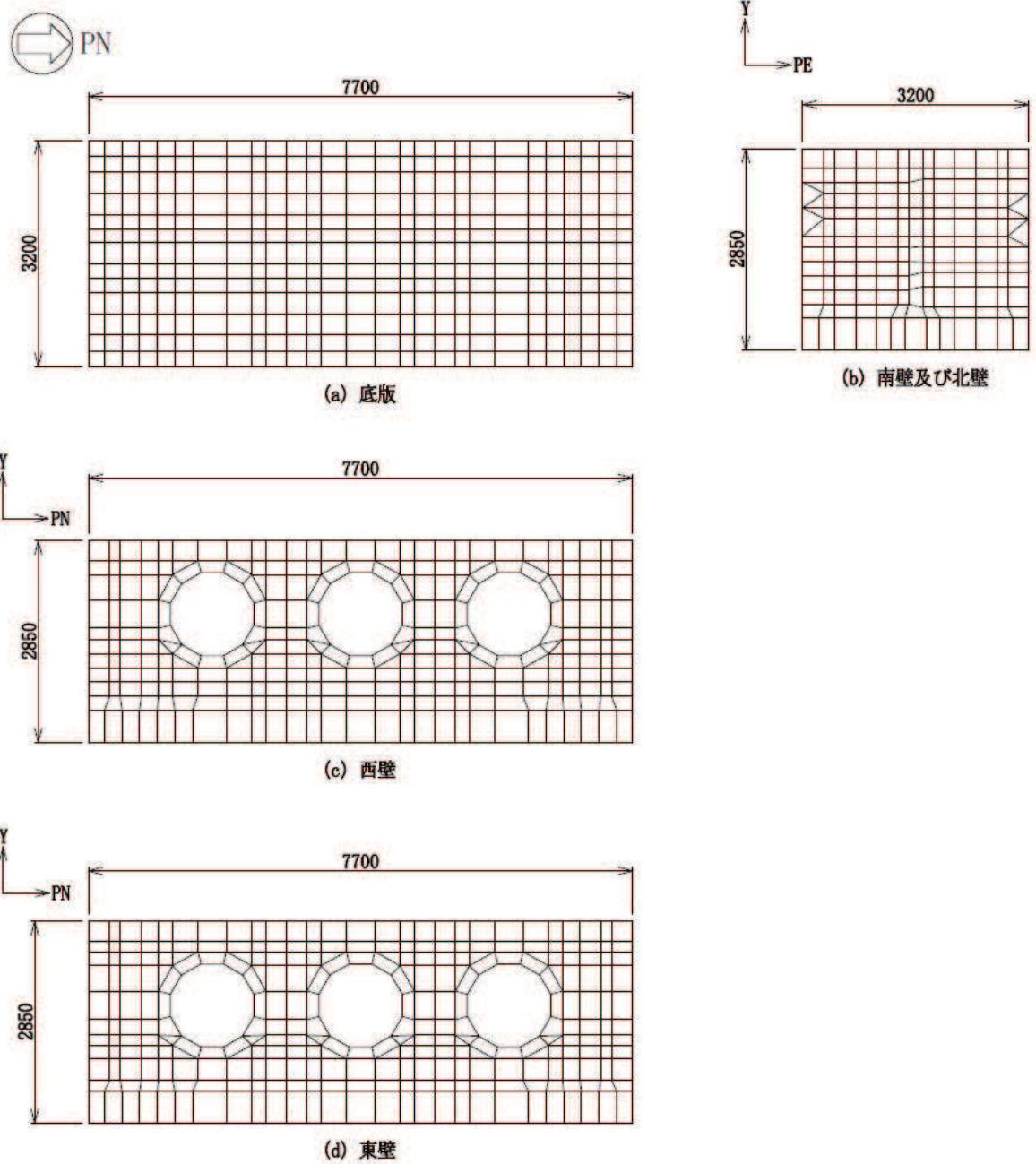


図 9-3 要素分割図

(2) 使用材料及び材料の物性値

出口側集水ピットの使用材料及び材料の物性値は、「8.5(2) 使用材料及び材料の物性値」と同様である。

9.4 照査時刻及び入力荷重



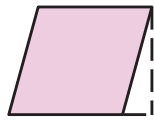
(1) 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モード毎及び部材毎に評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。

表 9-1 に照査時刻の選定の考え方を示す。

照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 9-4、図 9-5 に示す。

表9-1 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		構造物上端と下端の層間変位が最大となる時刻
時刻 2	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻
時刻 3 (時刻 1)	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻

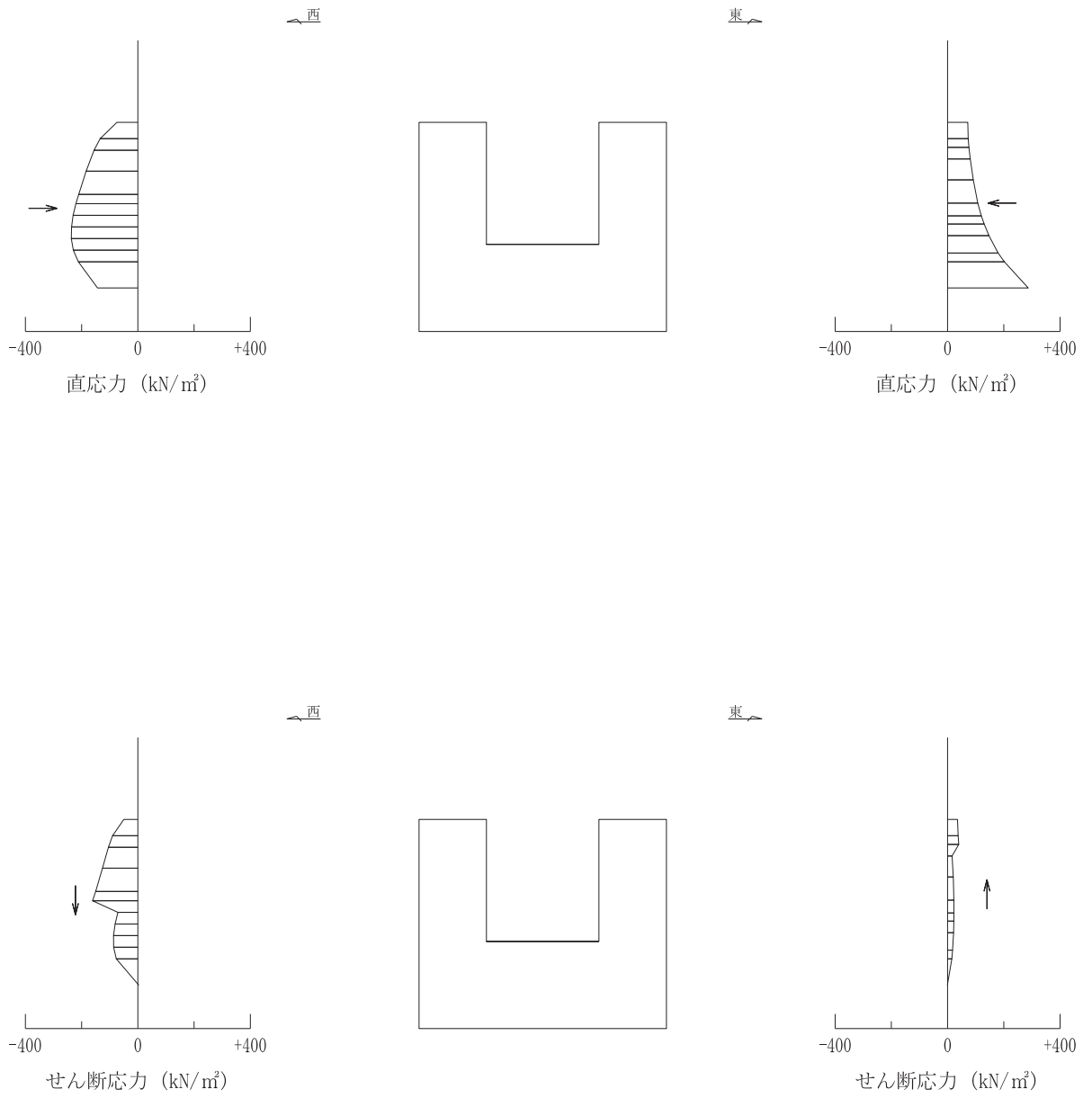
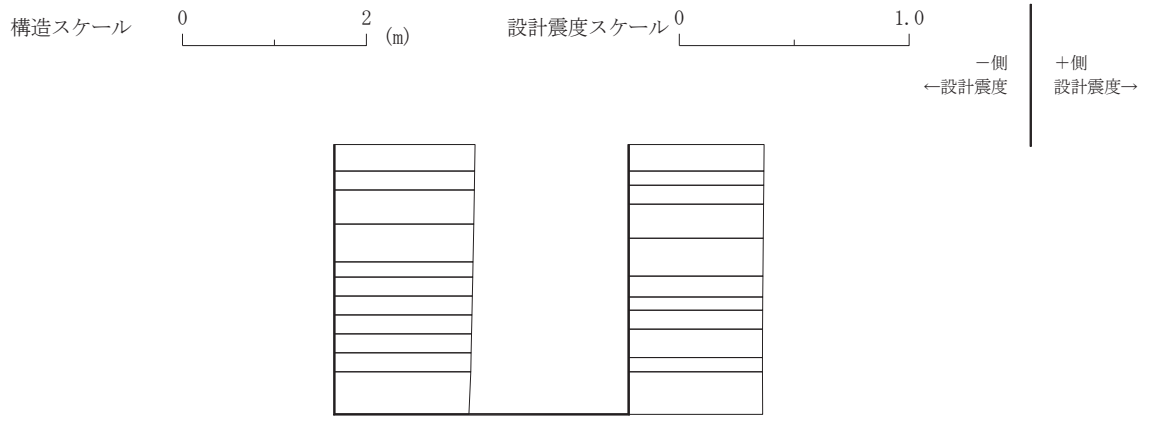
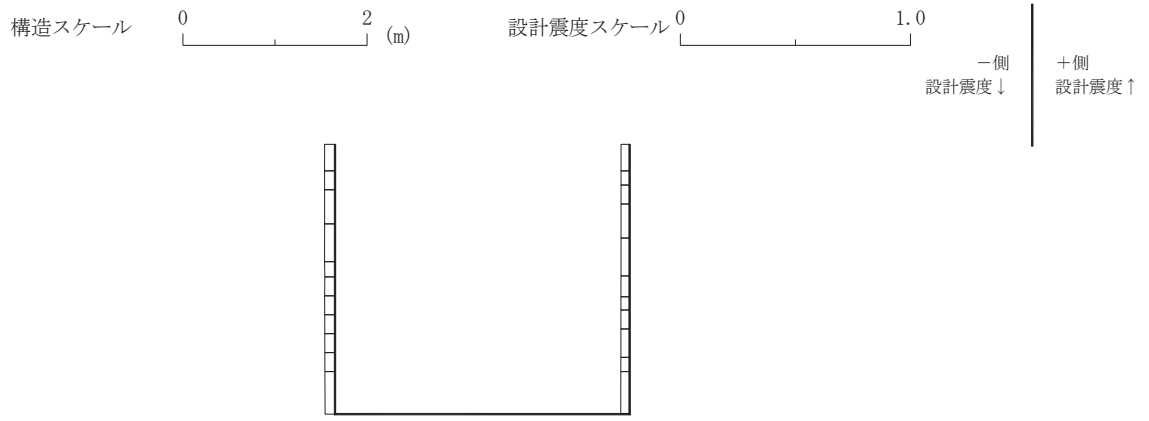


図 9-4 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース③, S s - F 2 (-+))



設計水平震度



設計鉛直震度

図 9-5 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(解析ケース③, S s - F 2 (-+))

(2) 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、二次元動的解析に基づく「9.4(1) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 9-2 に示す。

表9-2 三次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時 荷重	固定荷重	躯体自重
	積載荷重	機器・配管荷重
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体側面に作用する常時水圧
地震時 荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	地震時土圧	躯体側面に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体側面に作用する地震時水圧

9.5 三次元構造解析結果

シェル要素における応答断面力は図 9-6 に示す 8 成分を算出する。なお、プログラム上、断面力の出力が下記と異なる場合は、下記の断面力の向きに変換して取り扱う。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 9-7～図 9-11 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 9-12、図 9-13 に示す。

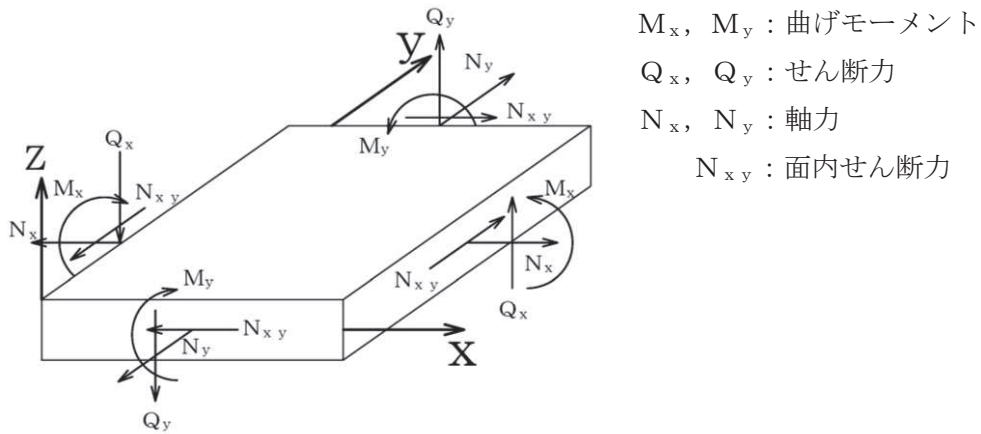


図 9-6 シェル要素における応答断面力

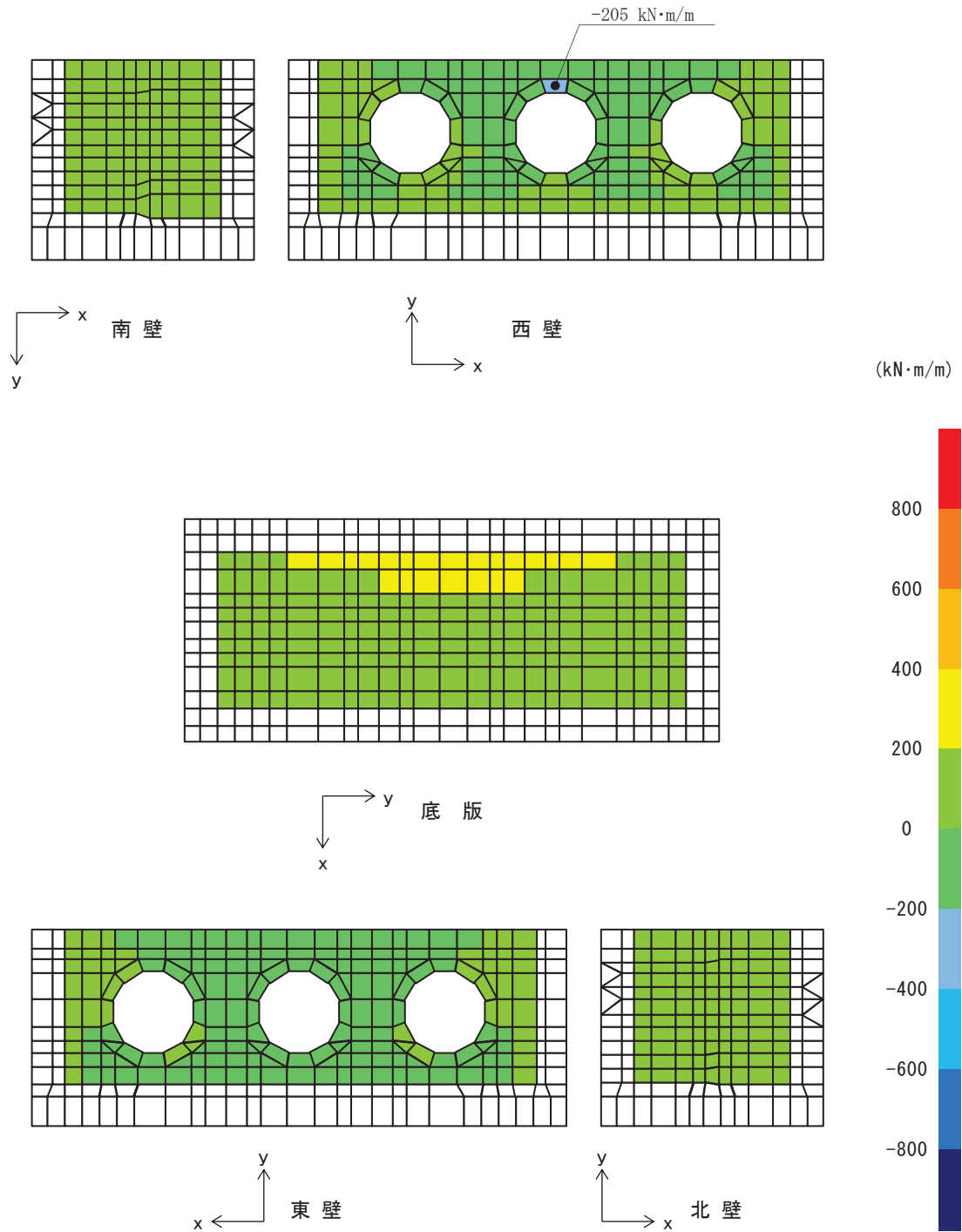


図 9-7 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_x)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F 2 (-+)$)

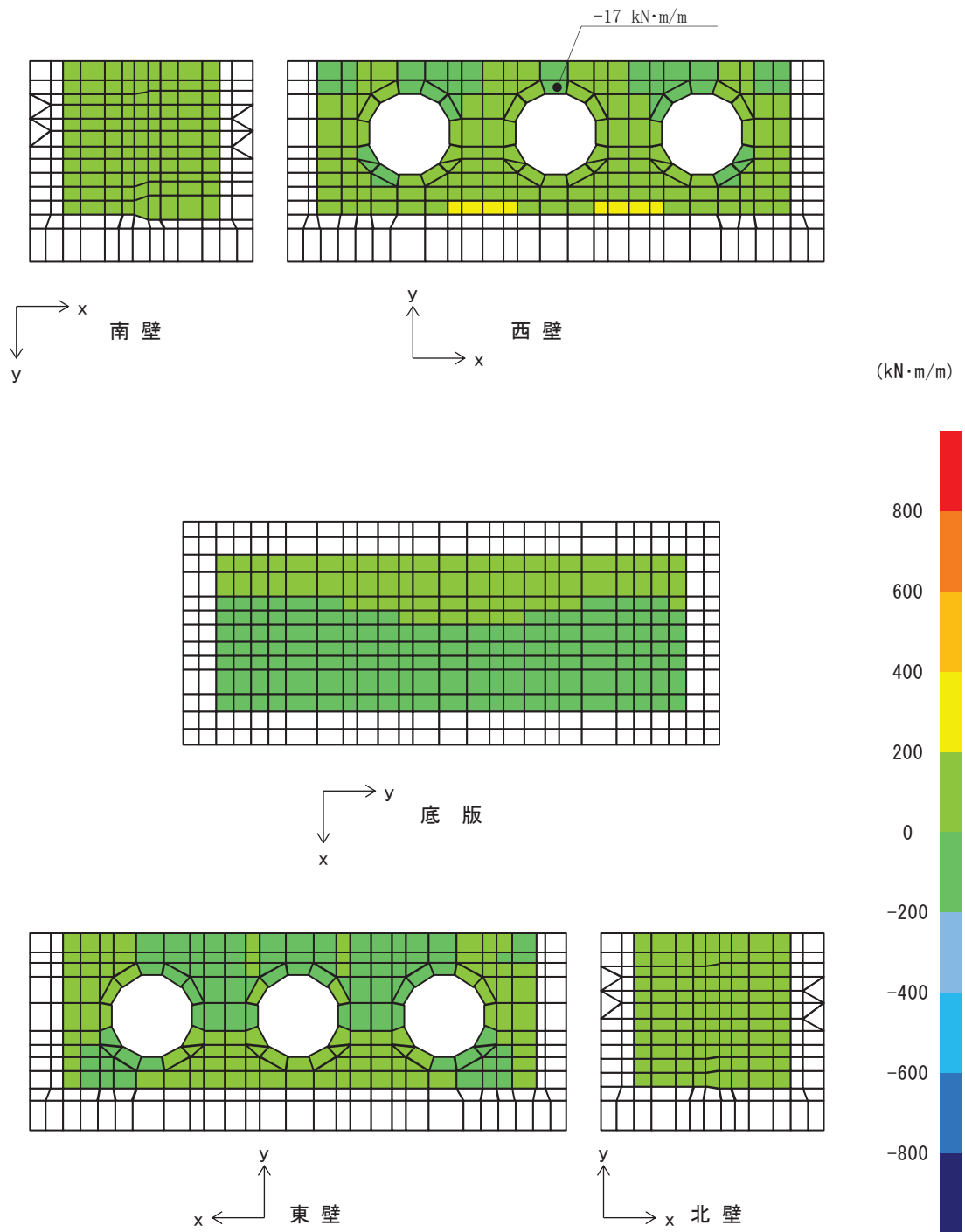


図 9-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_y)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F 2 (-+)$)

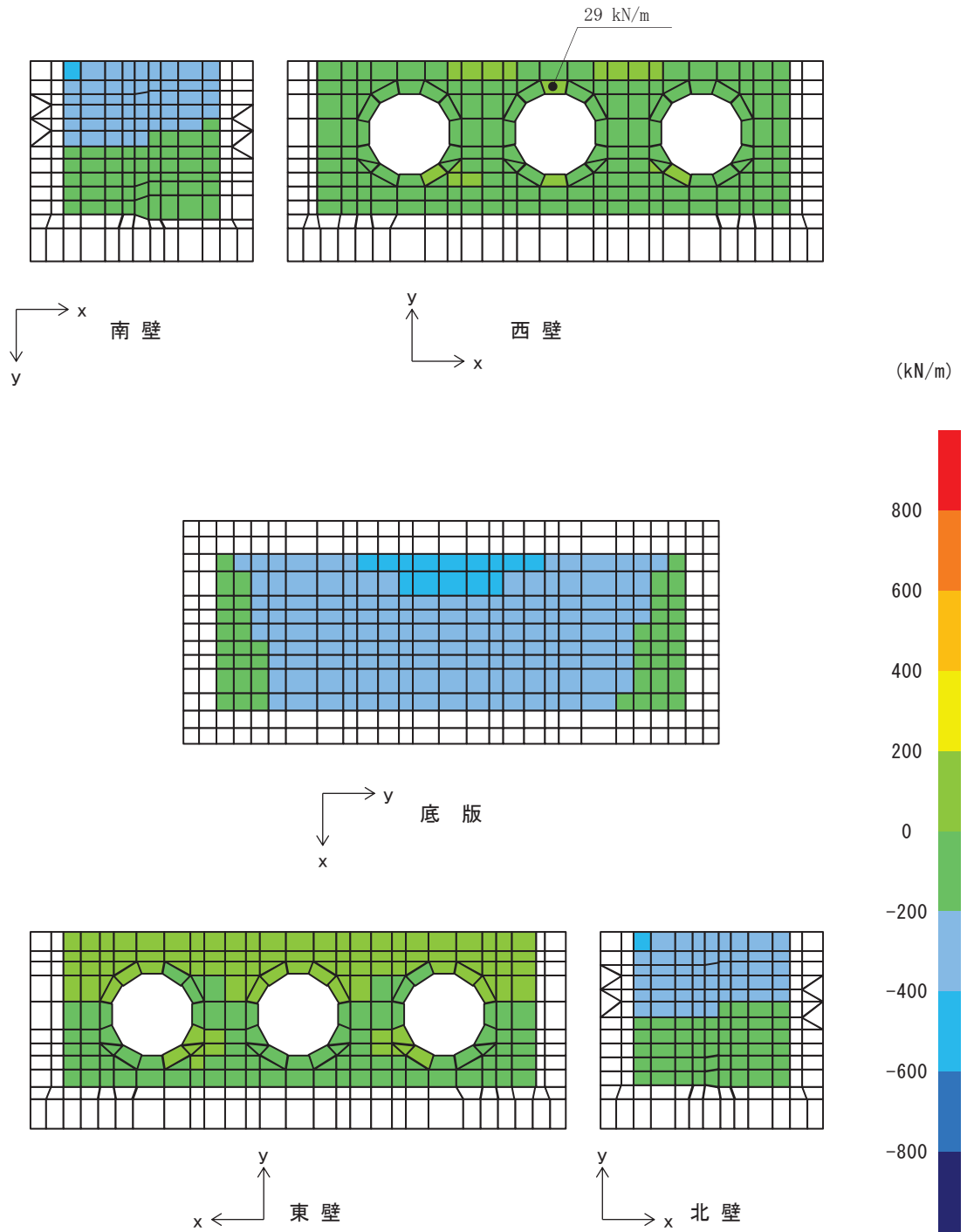


図 9-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力(kN/m) : N_x)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

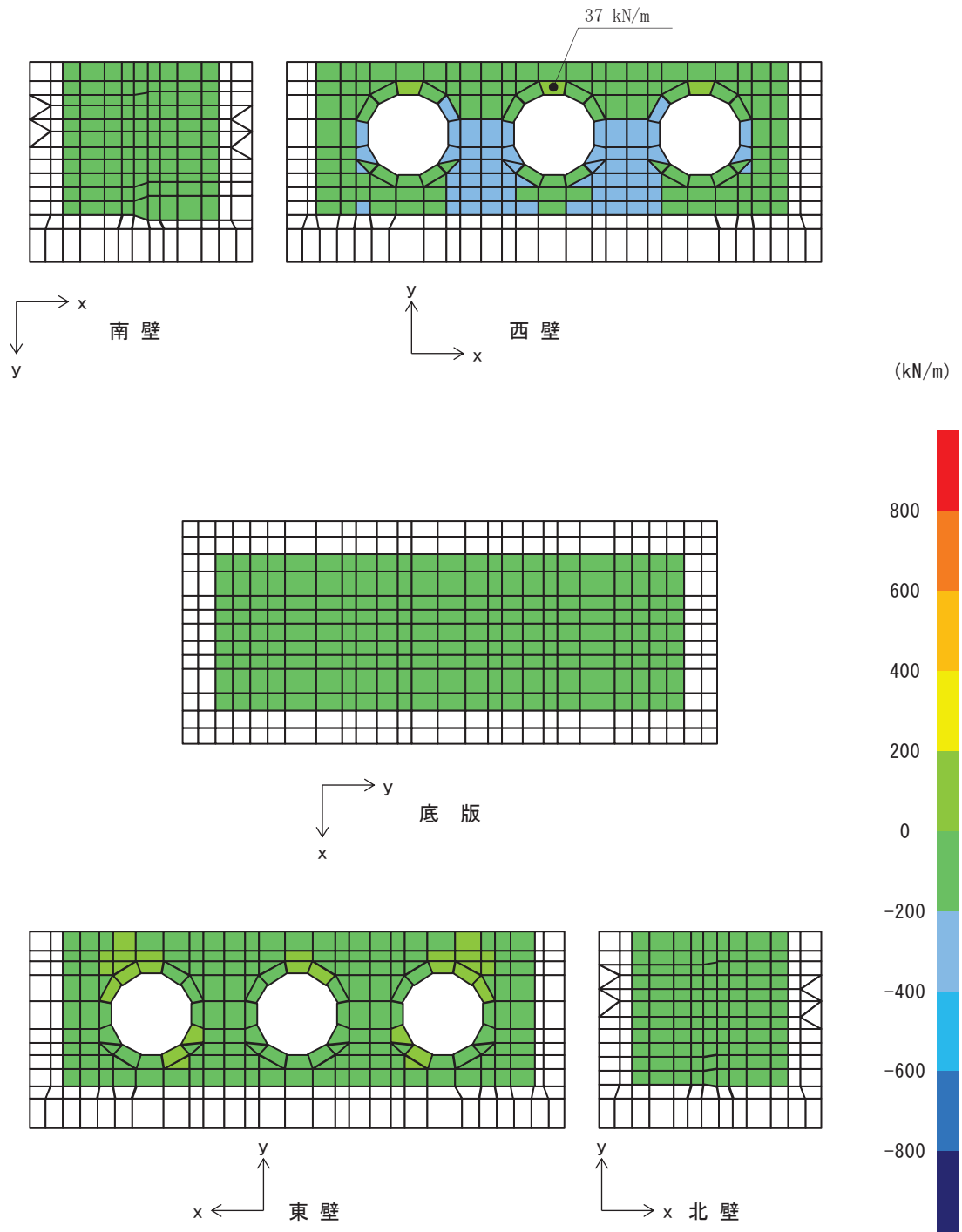


図 9-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

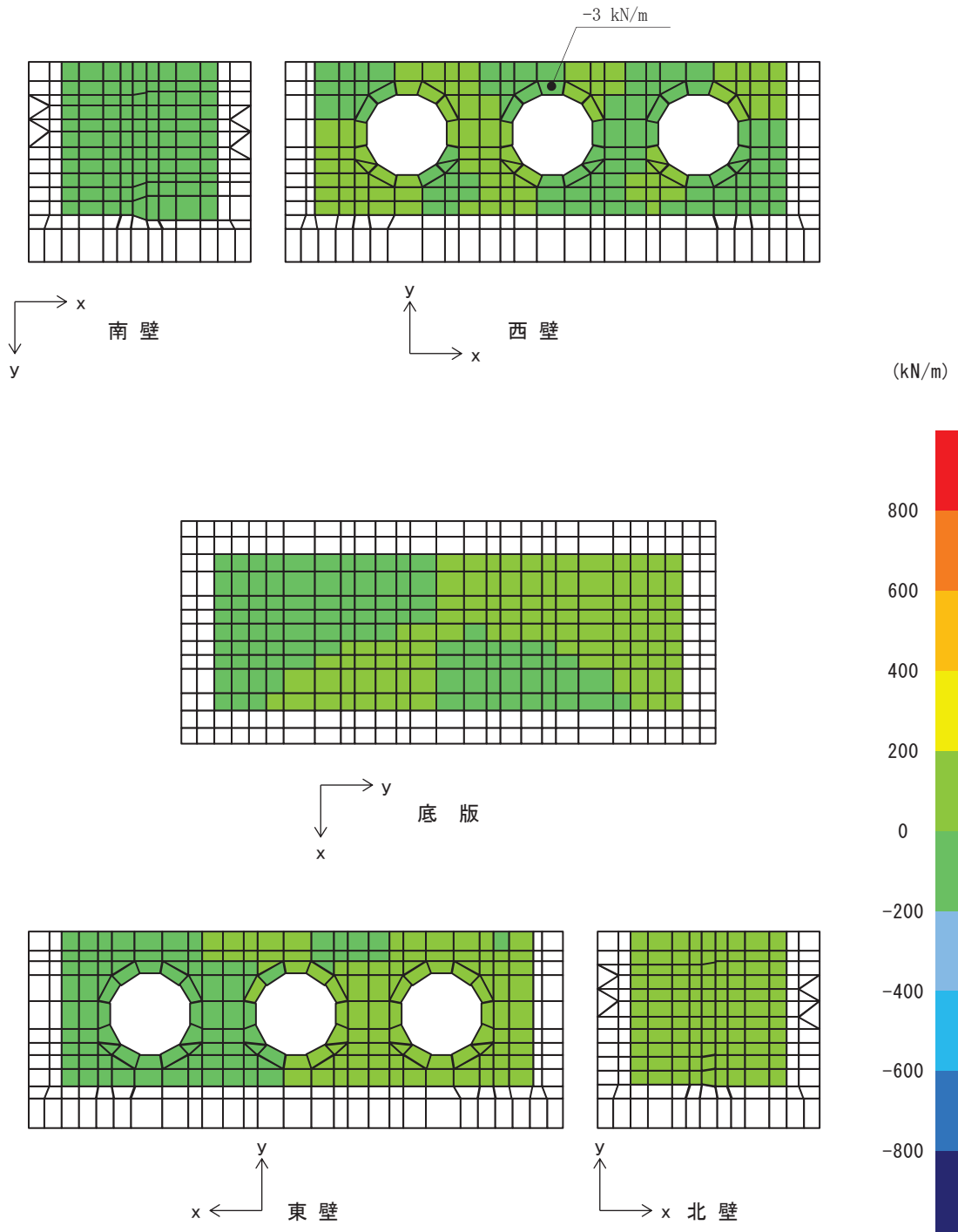


図 9-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力(kN/m) : N_{xy})
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F2 (-+)$)

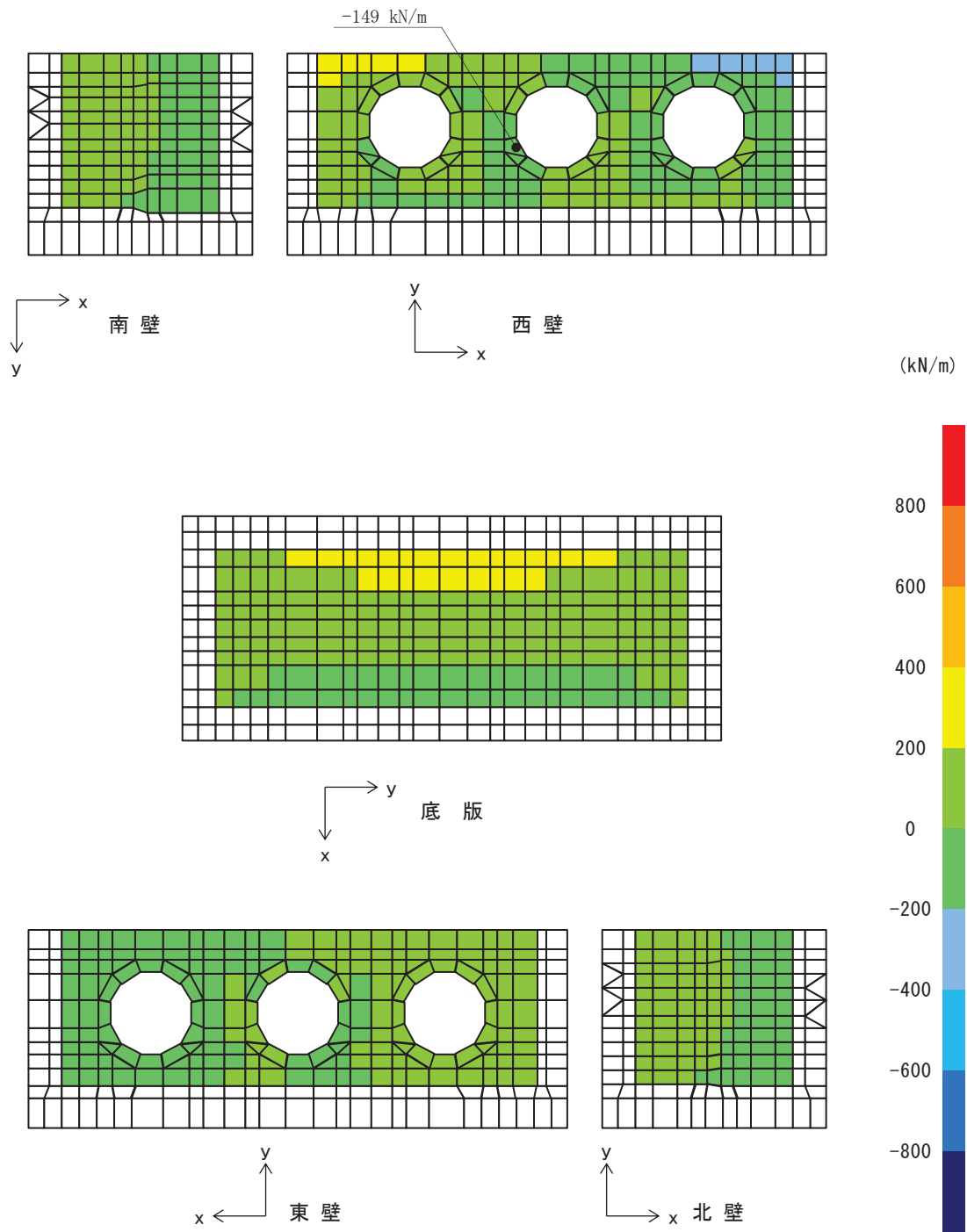


図 9-12 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - F2$ (-+))

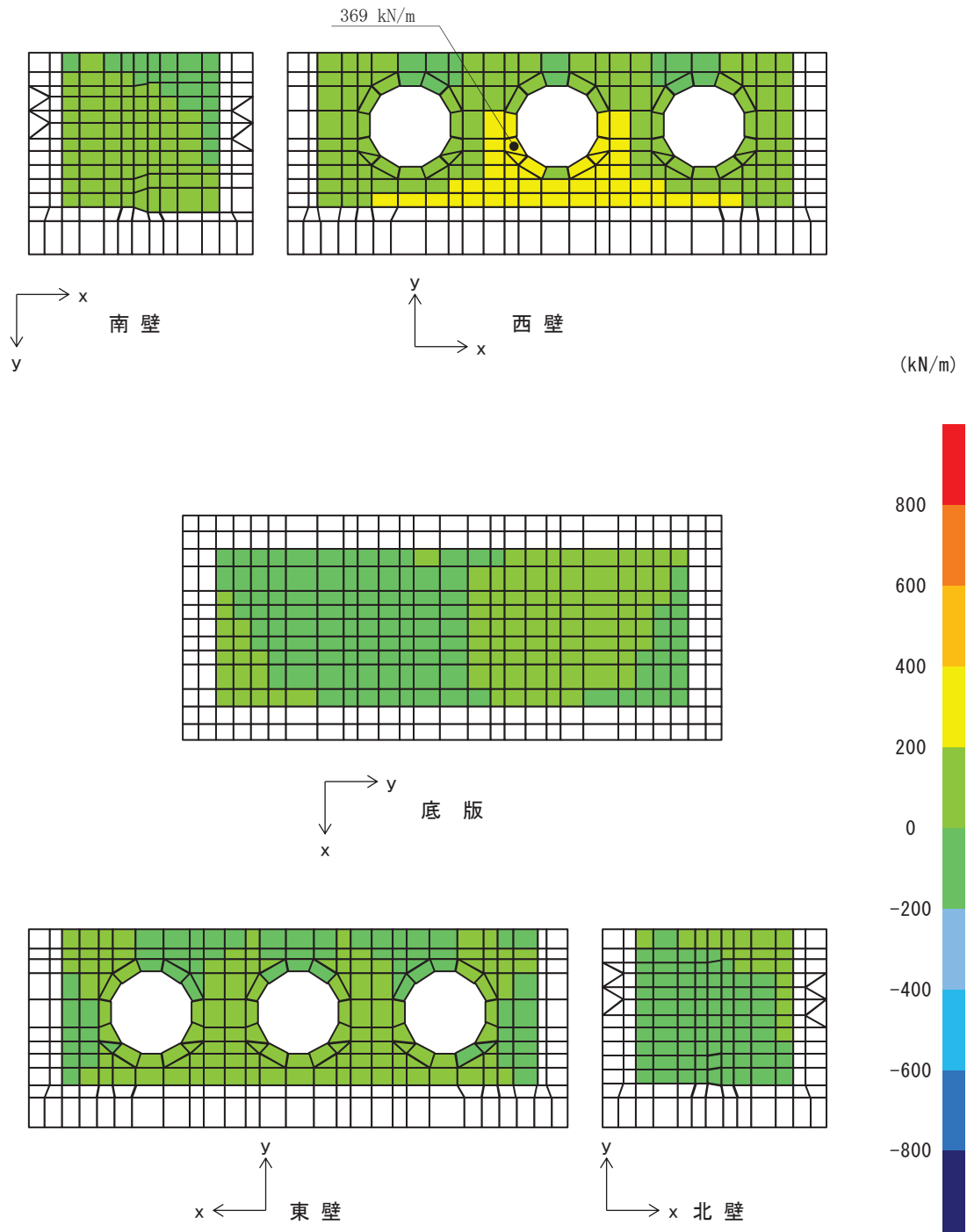


図 9-13 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - F2$ (-+))

10. 耐震評価

10.1 許容限界

10.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 10-1 及び表 10-2 に示す。

なお、西壁に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 10-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f' ck=30.0 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	11.0
許容せん断応力度 τ_{al}		0.5	0.75

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 10-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	196

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 10-1 及び表 10-2 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。なお、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、面内せん断力を軸力として考慮していることから、壁部材の面内せん断（層間変形角）に対しては、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において併せて確認している。

10.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤（狐崎部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表 10-3 に示す。

表 10-3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

10.2 評価方法

出口側集水ピットの耐震評価は、地震応答解析により得られた応答値から、三次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

構造部材の健全性評価については、三次元構造解析により算定した照査用応答値が、「10.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能については、地震応答解析から算定した最大接地圧が、「10.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

11. 評価結果

11.1 構造部材の健全性に対する評価結果

断面計算に用いた断面諸元を表 11-1 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-2 及び表 11-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-4 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 11-1 に示す。

出口側集水ピットの構造部材の発生応力度及び発生せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 11-1 鉄筋コンクリート断面諸元

部材	部材厚 (mm)	X方向 (EW方向・水平方向)		Y方向 (NS方向・鉛直方向)	
		配置鉄筋*1	芯かぶり*2 (mm)	配置鉄筋*1	芯かぶり*2 (mm)
底版	1500	D29@200(上側) D38@200(下側)	200	D29@200(上側) D29@200(下側)	200
南北壁	1200	D38@150(上側) D38@200(下側)	200	D29@200	200
東西壁	1200	D38@150(上側) D38@200(下側)	200	D38@200(外側) D29@200(内側)	200

注記 *1：特記のない場合、上縁・下縁の配筋は同配筋とする。

*2：実配筋は、格子鉄筋となるため、2方向の芯かぶりは鉄筋径分異なるが、保守的に有効高さが小さくなる側の芯かぶりを2方向に適用する

表 11-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c/σ'_{ca}
底版	1	③	S _s -F2 (-+)	284	-436	1.2	16.5	0.08
西壁	2	③	S _s -F2 (-+)	217	-287	1.5	16.5	0.10
東壁	3	③	S _s -F2 (-+)	-121	163	0.6	16.5	0.04
南北壁	4	③	S _s -F2 (-+)	157	-470	1.0	16.5	0.07

表 11-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s/σ_{sa}
底版	1	③	S _s -F2 (-+)	284	-443	13.2	294	0.05
西壁	2	③	S _s -F2 (-+)	-205	32	33.3	294	0.12
東壁	3	③	S _s -F2 (-+)	-121	168	29.8	294	0.11
南北壁	4	①	S _s -F3 (-+)	15	81	18.5	294	0.07

表 11-4 せん断破壊に対する照査

評価位置		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
底版	1	①	S _s -F3 (-+)	215	1227	0.18
西壁	2	③	S _s -F2 (-+)	370	1563	0.24
東壁	3	③	S _s -F2 (-+)	120	1563	0.08
南北壁	4	③	S _s -F2 (-+)	65	944	0.07

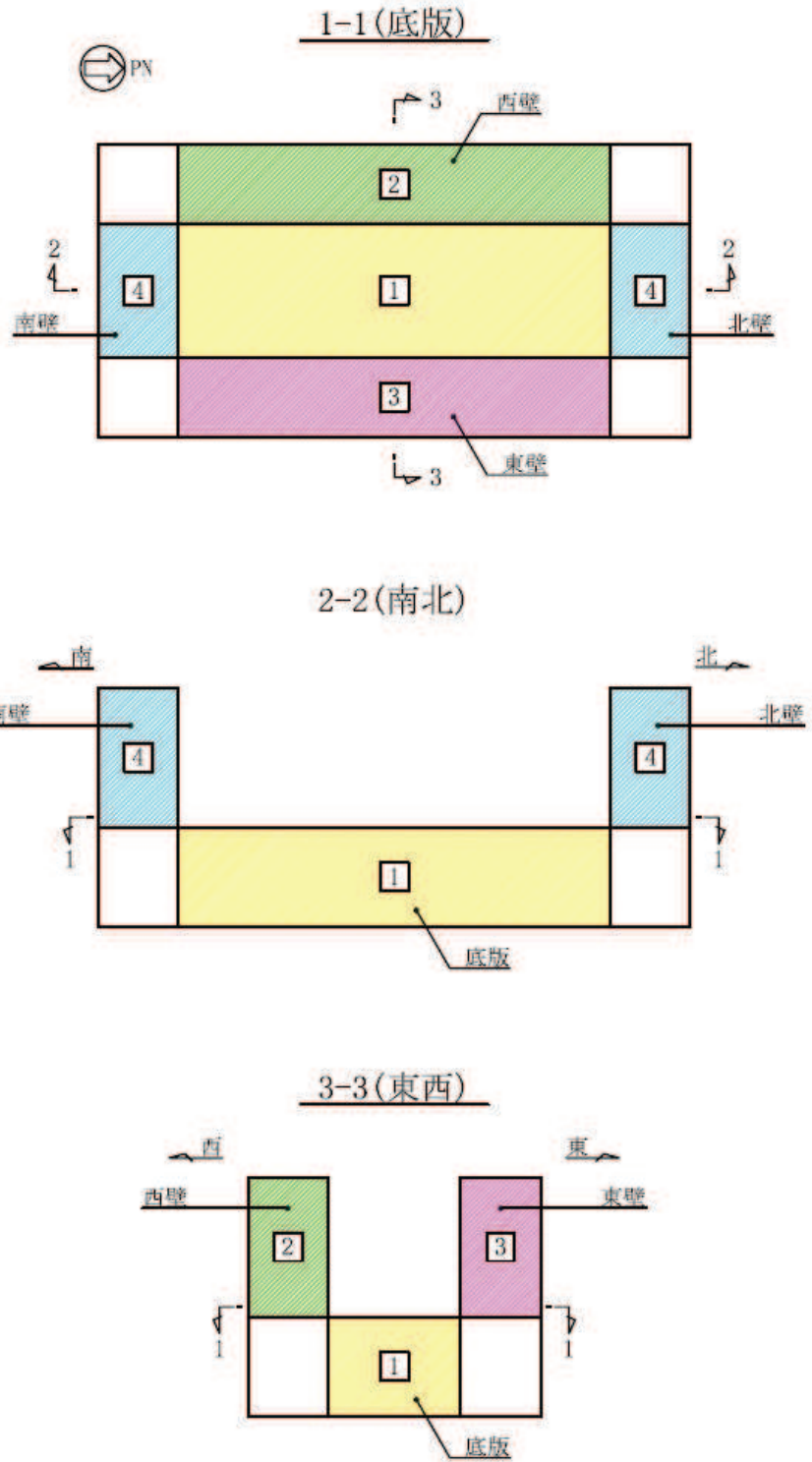


図 11-1 評価位置図

11.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 11-5 に示す。最大接地圧分布図を図 11-2 に示す。
 出口側集水ピットの基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 11-5 基礎地盤の支持性能照査結果

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S _s -F3 (-+)	0.3	13.7	0.03

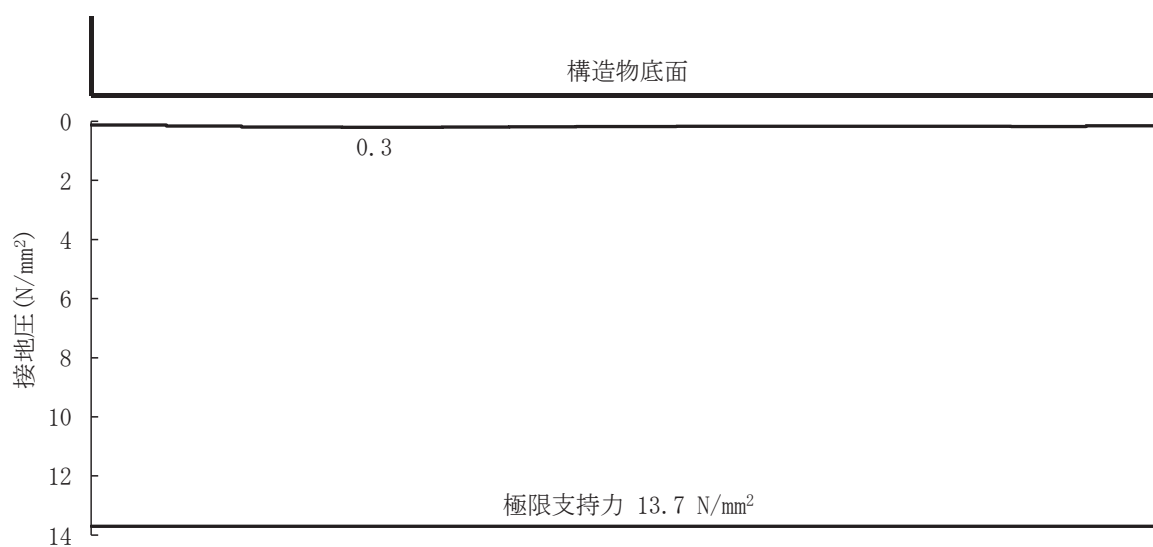


図 11-2 出口側集水ピットの基礎地盤の最大接地圧分布図
 (解析ケース①, S_s-F3 (-+))

VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の
耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価部位	10
4.	固有周期	12
4.1	固有周期の計算方法	12
4.1.1	閉門時	12
4.1.2	開門時	13
4.2	固有周期の計算結果	14
5.	構造強度評価	15
5.1	構造強度評価方法	15
5.2	荷重及び荷重の組合せ	15
5.2.1	荷重の設定	15
5.2.2	荷重の組合せ	15
5.3	許容限界	16
5.4	設計用地震力	18
5.5	計算方法	22
5.6	計算条件	60
6.	評価結果	64
7.	出口側集水ピットの強度評価	67
7.1	出口側集水ピットの構造概要	67
7.2	評価方針	70
8.	地震応答解析	72
8.1	地震時荷重算出断面	72
8.2	解析方法	73
8.3	荷重及び荷重の組合せ	77
8.3.1	耐震評価上考慮する状態	77
8.3.2	荷重	77
8.3.3	荷重の組合せ	78
8.4	入力地震動	79
8.5	解析モデル及び諸元	94
8.6	地震応答解析結果	97

9.	三次元構造解析	114
9.1	評価対象部材	114
9.2	解析方法	114
9.3	解析モデル及び諸元	115
9.4	照査時刻及び入力荷重	117
9.5	三次元構造解析結果	121
10.	耐震評価	129
10.1	許容限界	129
10.1.1	構造部材の健全性に対する許容限界	129
10.2	評価方法	130
11.	評価結果	131
11.1	構造部材の健全性に対する評価結果	131

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。また、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）が設置される出口側集水ピットは耐震重要度分類Sクラスの間接支持構造物としての機能が要求されることから、基準地震動 S_s に対して、構成する部材がおおむね弾性範囲にとどまることを確認するため、地震応答解析に基づく構造部材健全性評価を行う。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置位置を図 2-1 に示す。

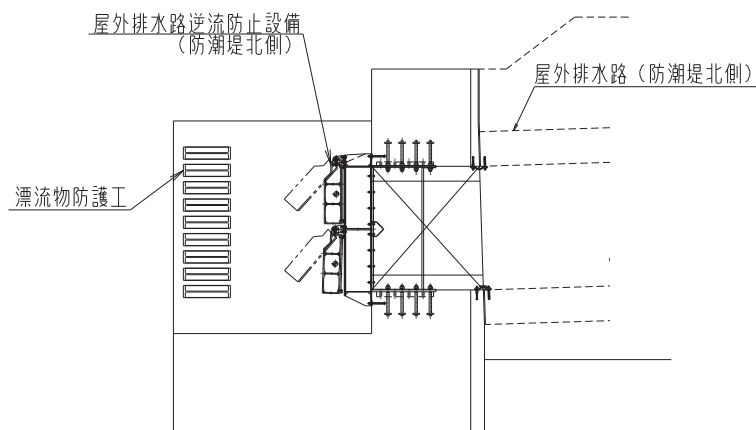
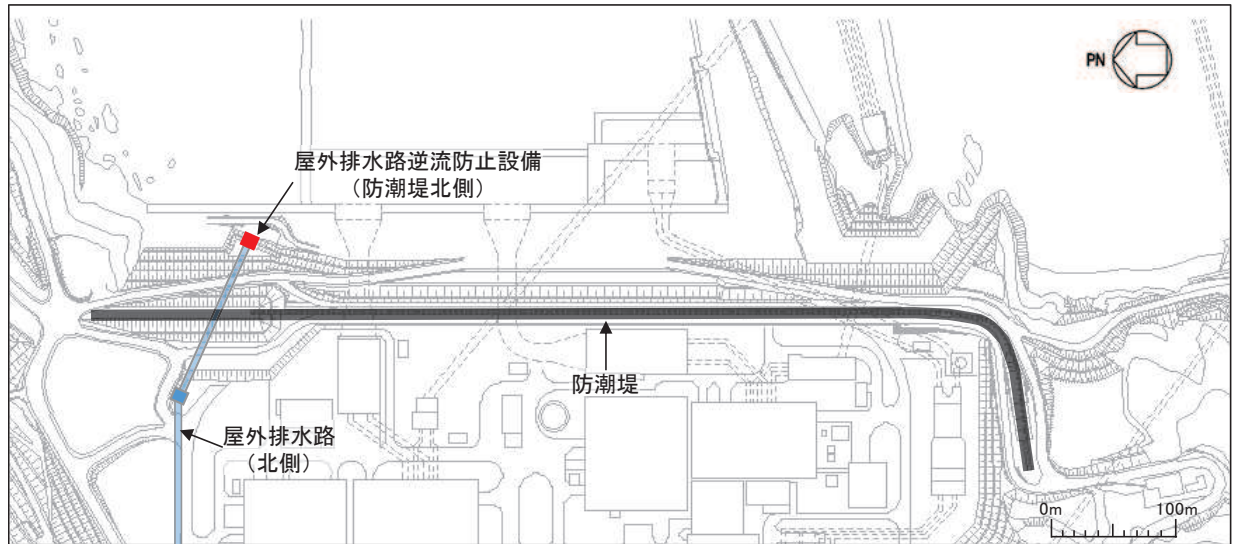


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置位置

2.2 構造計画

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、4門の鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

扉体、固定部及び漂流物防護工で構成される屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、防潮堤（盛土堤防）に設置された出口側集水ピット（鉄筋コンクリート製）にアンカーで固定し、屋外排水路を経由した津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>本体はアンカーを介して出口側集水ピットに固定する。</p>	<p>4門の鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工により構成する。</p>	

2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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に基づき、「2.2 構造計画」に示す屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、設計用地震力による応力等が許容限界以下であることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

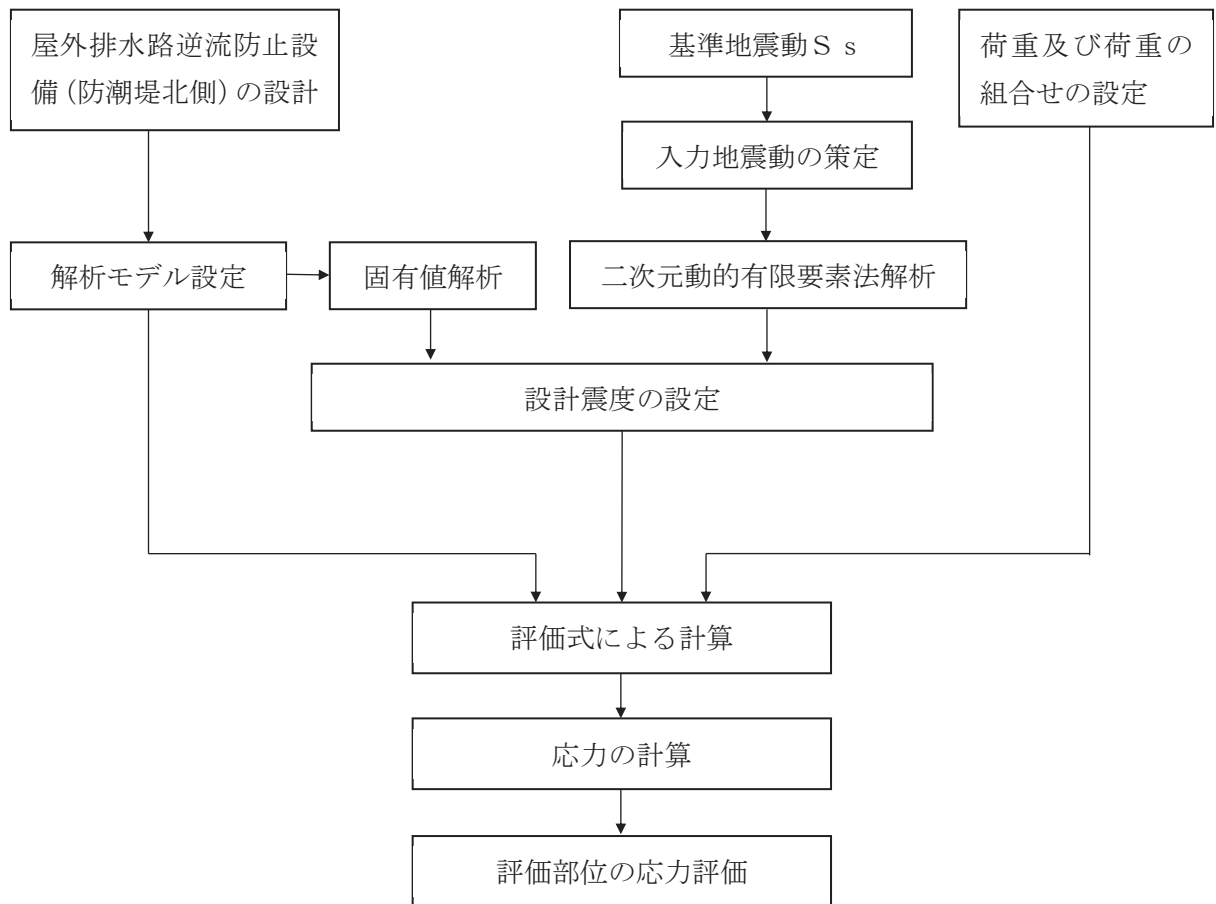


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補一
1984）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）
- (4) 日本工業規格 J I S G 4 0 5 3－2008 機械構造用合金鋼鋼材
- (5) 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- (6) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (7) 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- (8) 土木学会 1988 年 構造力学公式集
- (9) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (10) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (11) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編

2.5 記号の説明

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に用いる記号

記号	定義	単位
T	固有周期	s
f	一次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の断面二次モーメント	mm ⁴
m	扉体の単位長さ当たり質量	kg/mm
L	主桁の長さ	mm

表 2-3(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（1/4）

記号	定義	単位
G	固定荷重（1 門当たりの扉体の自重）	N
K _H	基準地震動 S _s による水平方向の設計震度	—
K _V	基準地震動 S _s による鉛直方向の設計震度	—
A ₁	扉体面積	mm ²
W ₀	水の単位体積重量	N/mm ³
k	スキンプレートの辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数	—
a ₁	スキンプレートの短辺	mm
b ₁	スキンプレートの長辺	mm
P ₁	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	N/mm ²
t ₁	スキンプレートの板厚	mm
W	各主桁に作用する等分布荷重	N/mm
L ₂	主桁支間長	mm
Z ₂	各主桁の断面係数	mm ³
A w ₂	各主桁のせん断抵抗断面積	mm ²
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重	N/mm ²
ℓ	補助縦桁の主桁間隔	mm
Z ₃	補助縦桁の断面係数	mm ³
A w ₃	補助縦桁のせん断抵抗断面積	mm ²

表 2-3(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（2/4）

記号	定義	単位
w_4	中央支柱に作用する荷重	N/mm
L_4	中央支柱固定高	mm
Z_4	中央支柱の断面係数	mm^3
$A w_4$	中央支柱のせん断抵抗断面積	mm^2
M_4	中央支柱両端に生じる曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
F_1	アンカーボルト①が負担する引張荷重（ $= 3 F_3$ ）	N
F_2	アンカーボルト②が負担する引張荷重（ $= 2 F_3$ ）	N
F_3	アンカーボルト③が負担する引張荷重	N
S_4	中央支柱両端に生じるせん断力	N
P_4	アンカーボルト1本に作用する最大引張力	N
Q_4	アンカーボルト1本に作用するせん断力	N
n_4	アンカーボルトの本数	本
w_5	中央横桁に作用する荷重	N/mm
L_5	中央横桁の支間長	mm
Z_5	中央横桁の断面係数	mm^3
$A w_5$	中央横桁のせん断抵抗断面積	mm^2
L_6	ヒンジ（吊りピン）支間長	mm
B_6	ヒンジ（吊りピン）受圧幅	mm
P	ヒンジに作用する荷重	N
P_{H6}	ヒンジに作用する水平地震荷重	N
Z_6	ヒンジ（吊りピン）の断面係数	mm^3
A_6	ヒンジ（吊りピン）の断面積	mm^2
P_{p4}	せん断作用位置における単位円周方向幅当たりの水平慣性力	N/mm^2
A_s	単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積	mm^2
l	せん断作用位置における周長	mm
P_7	ヒンジ（プレート）に作用する荷重	N
$A h_7$	ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積	mm^2
P_{H7}	ヒンジ（プレート）に作用する水平地震荷重	N
L_7	吊りピン中心からヒンジ（プレート）下端までの距離	mm
Z_7	ヒンジ（プレート）の断面係数	mm^3
A_p	支圧抵抗断面積	mm^2
A_b	取付けボルトの断面積	mm^2
P_{w8}	ヒンジ1箇所当たりが負担する扉体の自重	N
P_{v8}	鉛直地震力	N
P_{H8}	水平地震力	N

表 2-3(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（3/4）

記号	定義	単位
P_g	戸当りへ作用する荷重	N/mm^2
L_s	扉体幅	mm
L_c	戸当り支圧部の板厚	mm
q	戸当りへ作用する水平地震力	N/mm^2
L_x	戸当り横幅	mm
L_y	戸当り縦幅	mm
b_{w1}	上部戸当り支圧幅	mm
b_{w2}	側部戸当り支圧幅	mm
b_{w3}	下部戸当り支圧幅	mm
b_{w4}	中央支柱部の戸当り支圧幅	mm
S	戸当り幅	mm
P_{bh1}	防護梁に作用する水平荷重	N/mm
L_{b1}	防護梁のスペン長	mm
Z_{bh1}	防護梁の水平（強軸）方向の断面係数	mm^3
A_{wbh1}	防護梁の水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積	mm^2
P_{bv1}	防護梁に作用する鉛直荷重	N/mm
Z_{bv1}	防護梁の鉛直（弱軸）方向の断面係数	mm^3
A_{wbv1}	防護梁の鉛直（弱軸）方向のせん断抵抗断面積	mm^2
P_{10}	エンドプレート下端の鉛直荷重	N
A_{10}	エンドプレート下端の断面積	mm^2

表 2-3(4) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（4/4）

記号	定義	単位
P_{b2}	ブラケットに作用する水平力	N
ℓ_{b2}	側壁からエンドプレート中心までの長さ	mm
Z_{b2}	ブラケットの断面係数	mm ³
A_{wb2}	ブラケットのせん断抵抗断面積	mm ²
T	受け台に作用する引張力	N
a	ブラケット端部からつなぎ材ボルト中心までの長さ	mm
Z_c	受け台プレートの断面係数	mm ³
P_{b3}	つなぎ材プレートに作用する水平力	N
ℓ_{b3}	エンドプレートからボルト中心までの長さ	mm
Z_{b3}	つなぎ材プレートの断面係数	mm ³
A_{b3}	つなぎ材プレートの断面積	mm ²
B _p	有効プレート幅	mm
t _p	プレート厚さ	mm
P_d	つなぎ材ボルトに作用する引張力	N
A _d	つなぎ材ボルトの有効断面積	mm ²
P_{b4}	アンカーボルト 1 本の引張力	N
q_{b4}	アンカーボルト 1 本のせん断力	N
Z_{b4}	アンカーボルト群 1 列の断面係数	mm
n	アンカーボルト群 1 列の本数	本
F'	押さえ工（プレート）に作用する防護梁の地震慣性力	N
Z_{b5}	押さえ工（プレート）の断面係数	mm ³
A_{b5}	押さえ工（プレート）の断面積	mm ²
P_{b5}	押さえ工（ボルト）1本の引張力	N
q_{b5}	押さえ工（ボルト）1本のせん断力	N
ℓ_{b5}	押さえ工（ボルト）の鉛直方向のピッチ	mm
n_5	押さえ工（ボルト）の本数	本

3. 評価部位

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

耐震評価においては、スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及び漂流物防護工を、評価部位として選定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位を図 3-1 に示す。

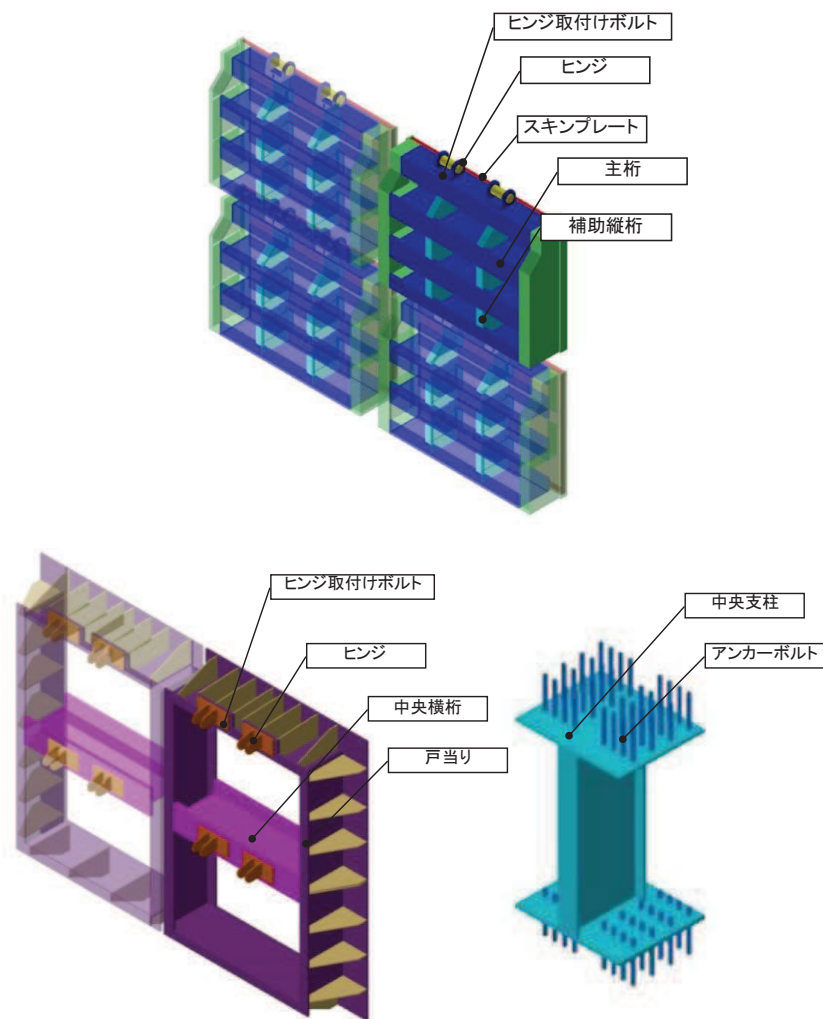


図 3-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位

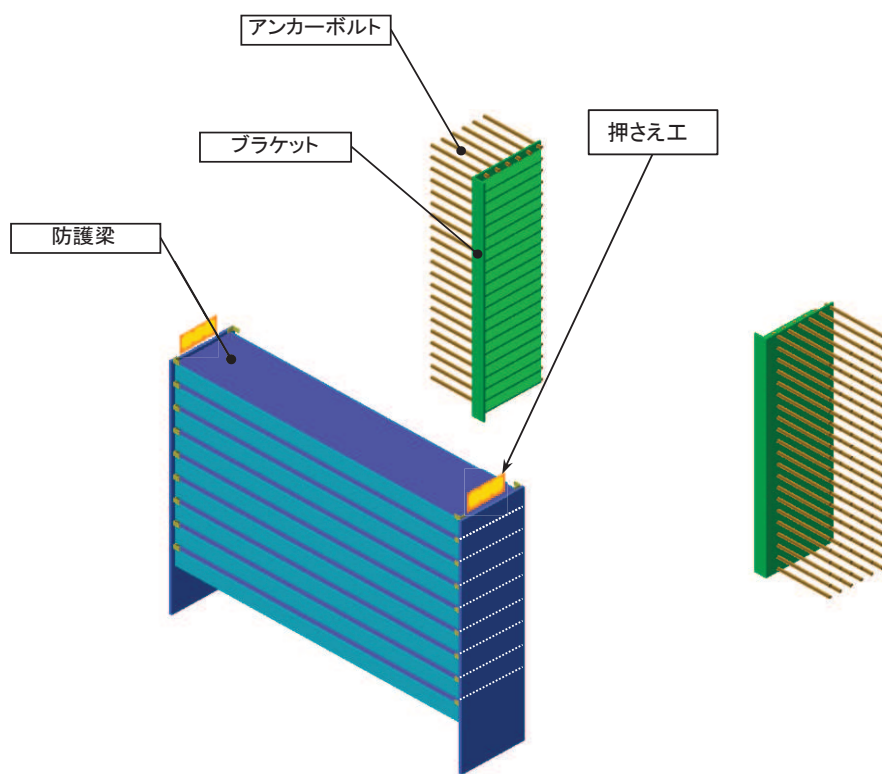


図 3-1(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は扉体及び固定部で構成されており、扉体に地震力が作用する状態は、扉体と戸当りが密着した状態（閉状態）であることから、戸当り部を支点とする単純梁でモデル化する。

また、扉体及び固定部は横断方向（扉体方向）に振動が生じる構造ではないと考えられるものの、念のため振動が生じた場合（開門時）についても想定する。その際の固有周期の計算は、扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化する。

なお、横断方向（扉体軸方向）及び鉛直方向については振動が生じる構造ではないことから、閉門時を想定して出口側集水ピットと一体の剛体として評価する。

4.1.1 閉門時

(1) 解析モデル

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体を単純梁としてモデル化する。

(2) 固有周期の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「構造力学公式集(1988年) 土木学会」より、単純梁の一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	1.93×10^5	N/mm ²
I	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体の断面二次モーメント	9.47×10^8	mm ⁴
m	扉体の単位長さ当たり質量	0.88235	kg/mm
L	主桁の長さ	1700	mm

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル

扉体の開門時の固有周期Tは、扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化して算出する。解析モデル図を図4-1に示す。

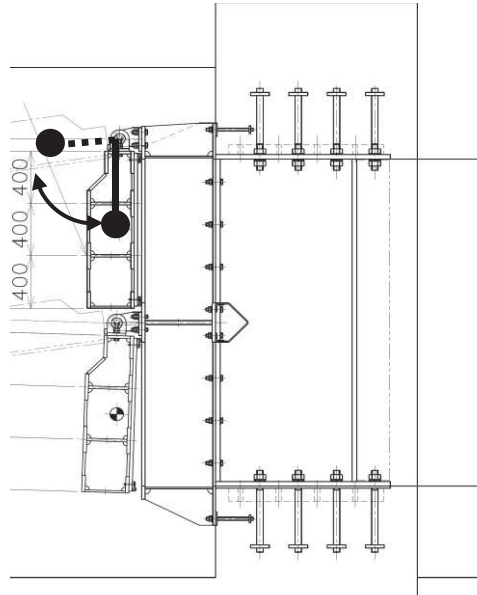


図4-1 解析モデル図

(2) 固有周期の計算

開門時の固有周期は下式により計算する。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L_2}}$$

$$T = 1/f$$

ここで、 L_2 :振り子の長さ (=95+1200/2 =695 mm)

(3) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に必要な諸元を表4-2に示す。

表4-2 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
L_2	振り子の長さ	695	mm

4.2 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。閉門時の固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。開門時の固有周期は 0.05s 以上であることから、設計用床応答曲線をもとに固有周期を考慮する。

表 4-3 固有周期の計算結果

	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
閉門時	247	0.0040
開門時	0.598	1.673

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。
 なお、屋外排水路から流下する排水による水圧作用方向は扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しないこととする。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動S_sによる地震力を考慮する。

5.2.2 荷重の組合せ

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の設計に考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
地震時	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

5.3 許容限界

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に規定される許容応力度を用いる。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界を表 5-2 に示す。

なお、地震後の再使用性を想定し、当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-2(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

評価部位	材質	許容応力度 (N/mm ²)				短期許容応力度 (N/mm ²) *2			
		曲げ σ_{ab} *1	引張 σ_{at} *1	せん断 τ_a *1	支圧 σ_{as} *1	曲げ	引張	せん断	支圧
スキンプレート	SUS304	103	—	—	—	154	—	—	—
主桁	1桁	103	103	59	—	154	154	88	—
	2,3桁								
	4桁								
補助縦桁	SUS304	103	103	59	—	153*3	154	88	—
中央支柱	SUS304	103	103	59	—	143*3	154	88	—
中央横桁	SUS304	103	103	59	—	153*3	154	88	—
戸当り	SUS304	—	—	—	154	—	—	—	231
戸当り部コンクリート	コンクリート	—	—	1.0	9.0	—	—	1.5	13.5
ヒンジ（吊りピン）	SUS304	103	103	59	—	154	154	88	—
ヒンジ（プレート）	SUS304	—	—	59	—	154	—	88	231
ヒンジ取付けボルト	SUS304	—	103	59	—	—	154	88	—

注記 *1 : σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2 : 許容限界は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、短期許容応力度とする。短期許容応力度は、鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-2(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

評価部位	材質	許容応力度 (N/mm ²)				短期許容応力度 (N/mm ²) *2			
		曲げ σ_{ab} *1	引張 σ_{at} *1	せん断 τ_a *1	支圧 σ_{as} *1	曲げ	引張	せん断	支圧
漂流物防護工 (防護梁)	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—
漂流物防護工 (ブラケット)	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—
漂流物防護工 (つなぎ材(M20))	強度区分 4.6	—	140	—	—	—	210	—	—
漂流物防護工 (つなぎ材プレート)	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—
漂流物防護工 (押さえ工 (プレート))	SM570	255	—	145	—	382	—	217	—
出口側集水ピット 底版コンクリート	コンクリート	—	—	1.0	9.0	—	—	1.5	13.5

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 許容限界は, 「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき, 短期許容応力度とする。短期許容応力度は, 鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-2(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

評価部位	材質	許容限界 (kN) *	
		引張*	せん断*
中央支柱 (アンカーボルト)	SUS304	292	204
漂流物防護工 (アンカーボルト)	SD345	105	85
漂流物防護工 (押さえ工 (ボルト), M20)	SS400	22.4	36.9

注記 *: 許容引張力及び許容せん断力の許容値は, 「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針同解説」に基づき算出する。

5.4 設計用地震力

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設計震度は、「8. 地震応答解析」に示す出口側集水ピットの地震応答解析結果に基づき設定する。加速度応答を抽出した節点位置を図 5-1 に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期は、閉門時は固有周期が 0.05s 以下である一方、開門時には固有周期が $T=1.673\text{ s}$ と 0.05 s 以上であることから、閉門時としての最大応答加速度と、開門時として添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の算定方針」に基づき作成した設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度をそれぞれ算定する。設計用床応答曲線の作成に用いる解析コードは「波形処理プログラム k WAVE forWindows ver.6.2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の地震応答解析結果を図 5-2 に、開門時に参照する基準地震動 S_s を包絡するよう作成した設計用床応答曲線を図 5-3 に示す。

上記より設定した逆流防止設備（扉体及び固定部）及び逆流防止設備（漂流物防護工）設計震度を表 5-3 に示す。なお、設計震度は図 5-1 に示す節点位置のうち、最大加速度となる節点の値を基に算定している。

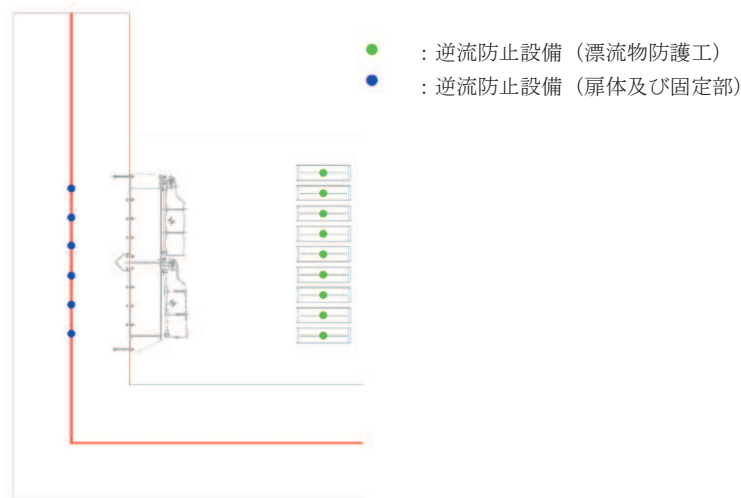
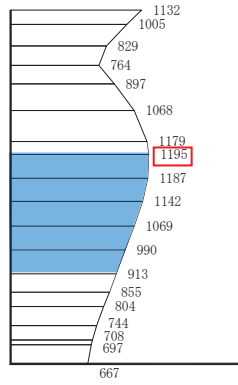
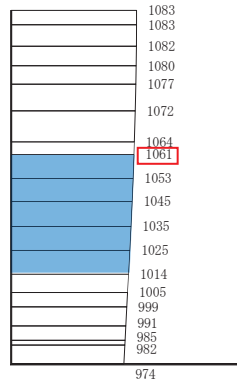


図 5-1 加速度応答を抽出した位置



(水平方向, Ss-D1(-+), 解析ケース①)

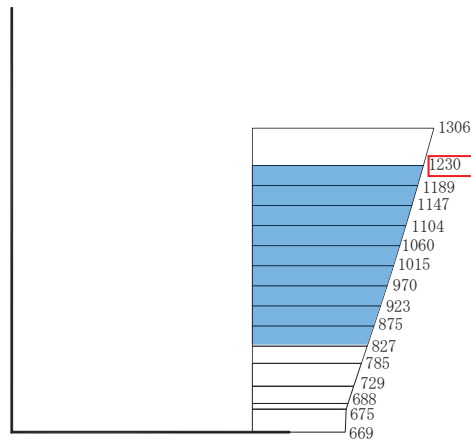


(鉛直方向, Ss-D1(++), 解析ケース①)

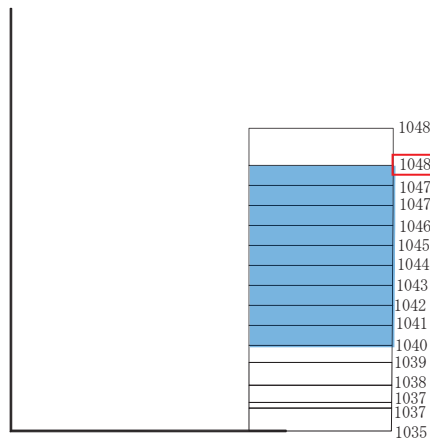
: 逆流防止設備(扉体及び固定部)設置範囲

構造スケール $0 \sim 2$ (m) 応答値スケール $0 \sim 1000$ (cm/s²)

図 5-2(1) 逆流防止設備 (扉体及び固定部) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)



(水平方向, Ss-D1(一十), 解析ケース①)



(鉛直方向, Ss-D2(一一), 解析ケース①)

■ : 逆流防止設備(漂流物防護工)設置範囲

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 5-2(2) 逆流防止設備 (漂流物防護工) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)

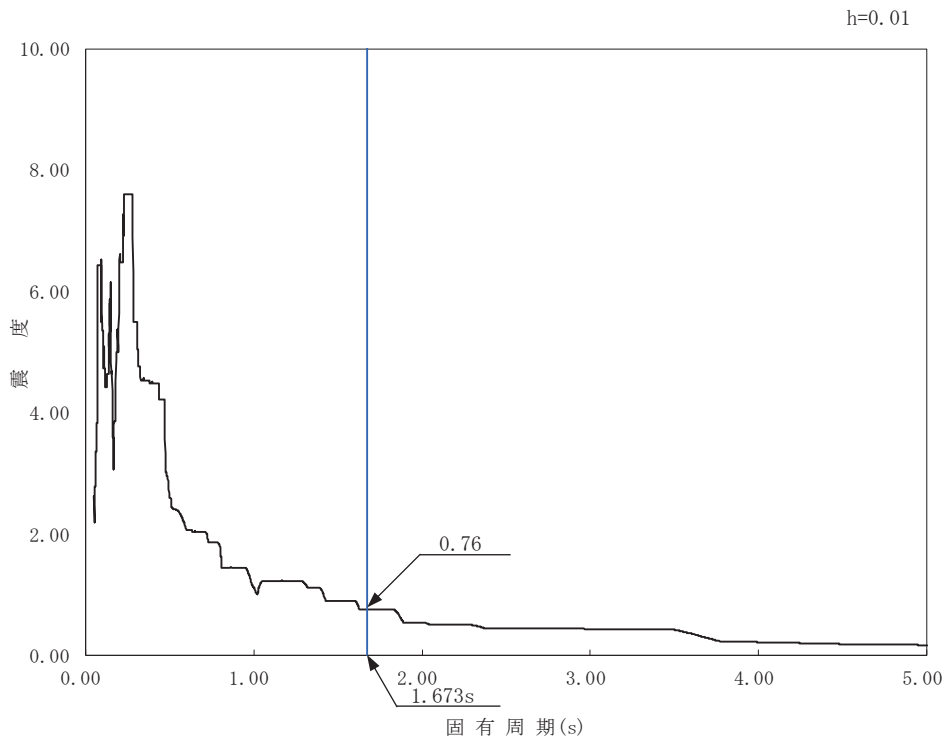


図5-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）における設計用床応答曲線

表 5-3(1) 設計用地震力（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体及び固定部）

地震動	解析ケース	設置場所及び床面高さ (m)	地震による設計震度	
S s - D 1 (-+)	解析ケース①	出口側集水ピット O. P. +6. 483m (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K_H	1. 3
S s - D 1 (++)	解析ケース①		鉛直方向 K_V	1. 1

表 5-3(2) 設計用地震力（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工）

地震動	解析ケース	設置場所及び床面高さ (m)	地震による設計震度	
S s - D 1 (-+)	解析ケース①	出口側集水ピット O. P. +5. 706m (出口側集水ピット底面高さ)	水平方向 K_H	1. 3
S s - D 2 (--)	解析ケース①		鉛直方向 K_V	1. 1

5.5 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

(1) スキンプレート

スキンプレートは、主桁、補助縦桁及び側部縦桁に溶接することで支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する四辺固定版としてモデル化し、発生する曲げモーメントより算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの構造図及びモデル図を図 5-4 に示す。

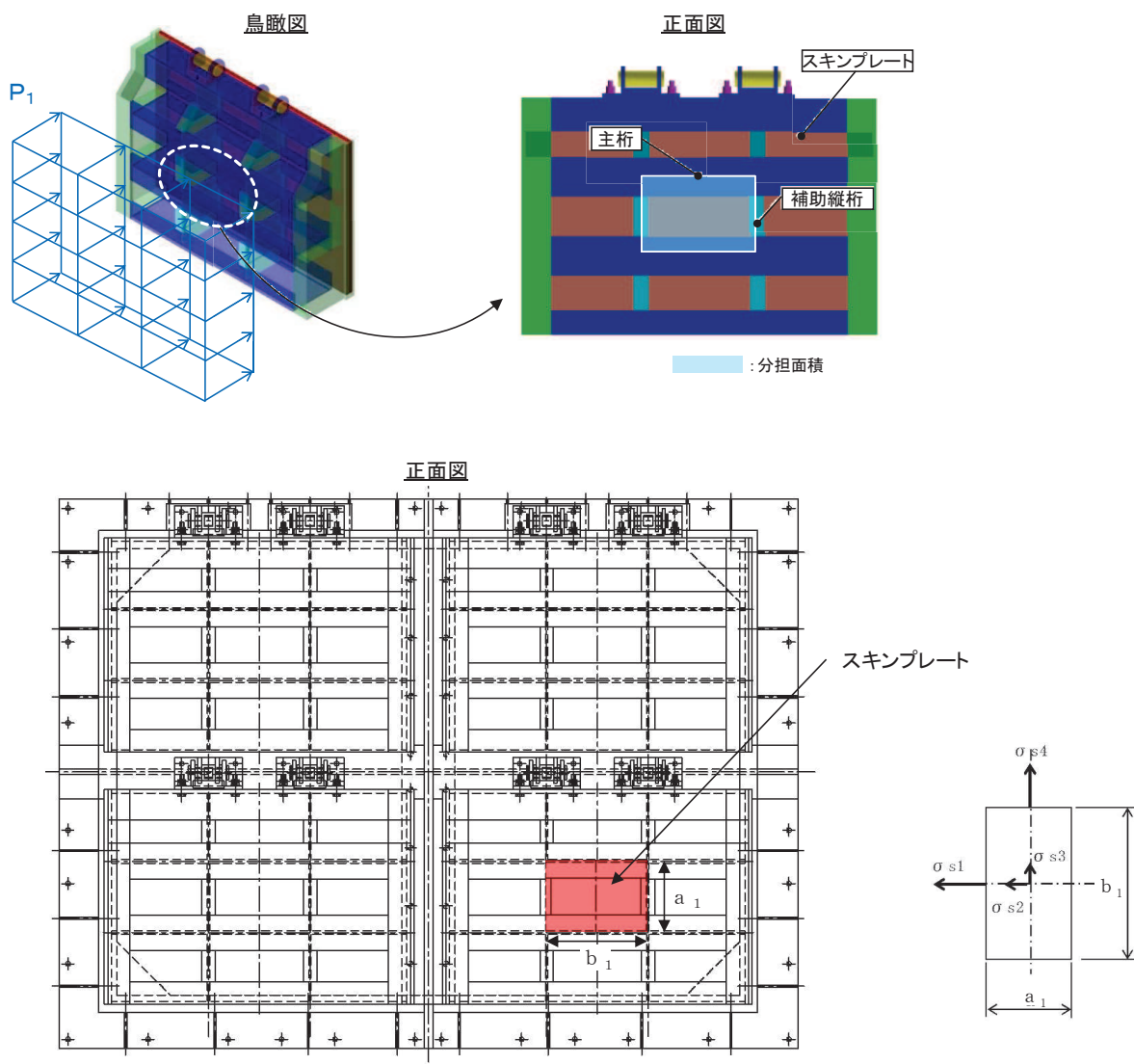


図 5-4 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレーートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{100} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

k : スキンプレーートの辺長比 (b_1/a_1) による係数

a_1 : スキンプレーートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレーートの長辺 (mm)

P_1 : スキンプレーートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

t_1 : スキンプレーートの板厚 (mm)

(2) 主桁

主桁は、戸当りと接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する両端ピン支点の単純梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

主桁の構造図及びモデル図を図 5-5 に示す。

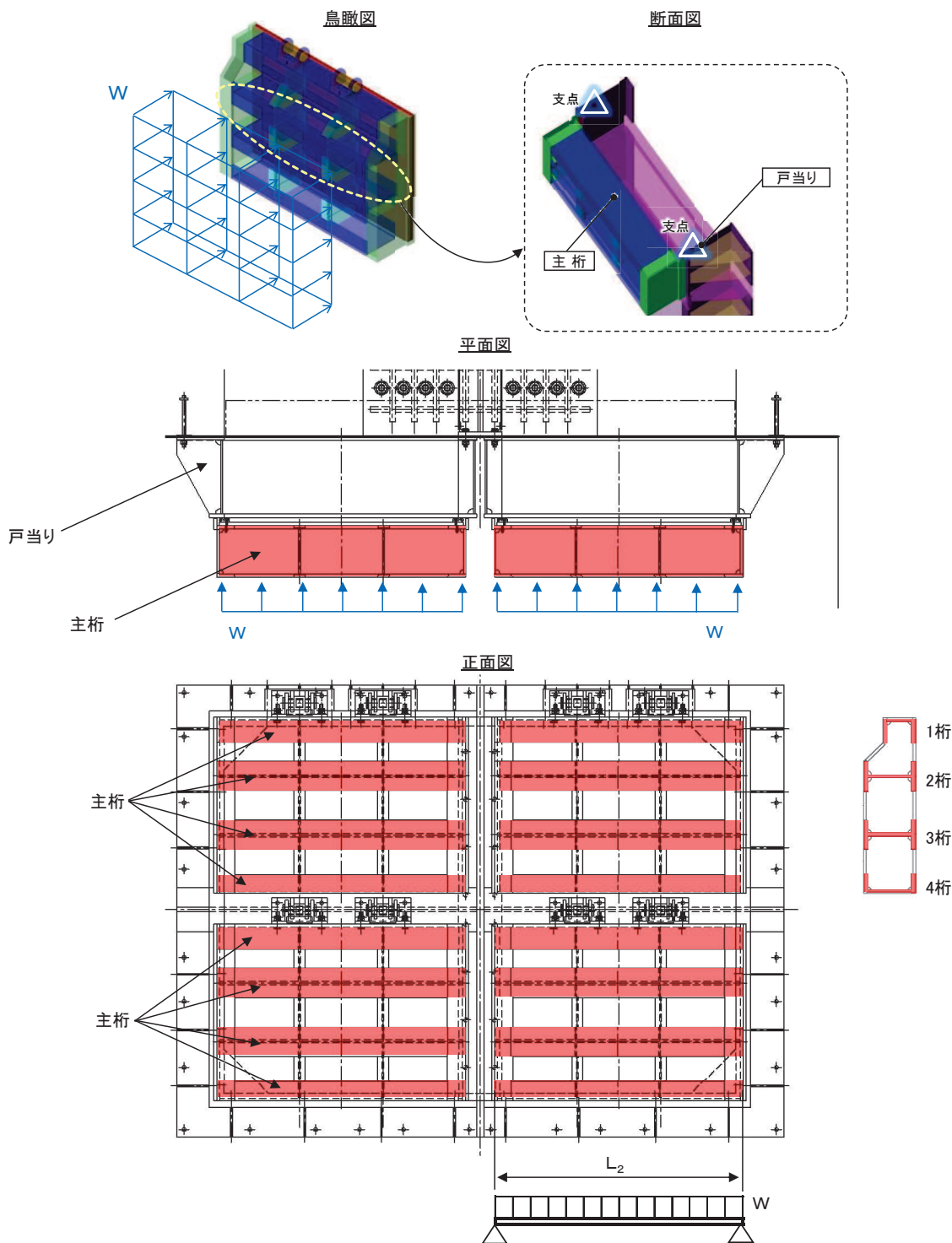


図 5-5 主桁の構造及びモデル図

また、主桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_2^2}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

W : 各主桁に作用する等分布荷重 (N/mm)

L₂ : 主桁支間長 (mm)

Z₂ : 各主桁の断面係数 (mm³)

A w₂ : 各主桁のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(3) 補助縦桁

補助縦桁は、主桁に溶接されることによって支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成31年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する、主桁によって溶接支持された単純梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の構造及びモデル図を図 5-6 に示す。

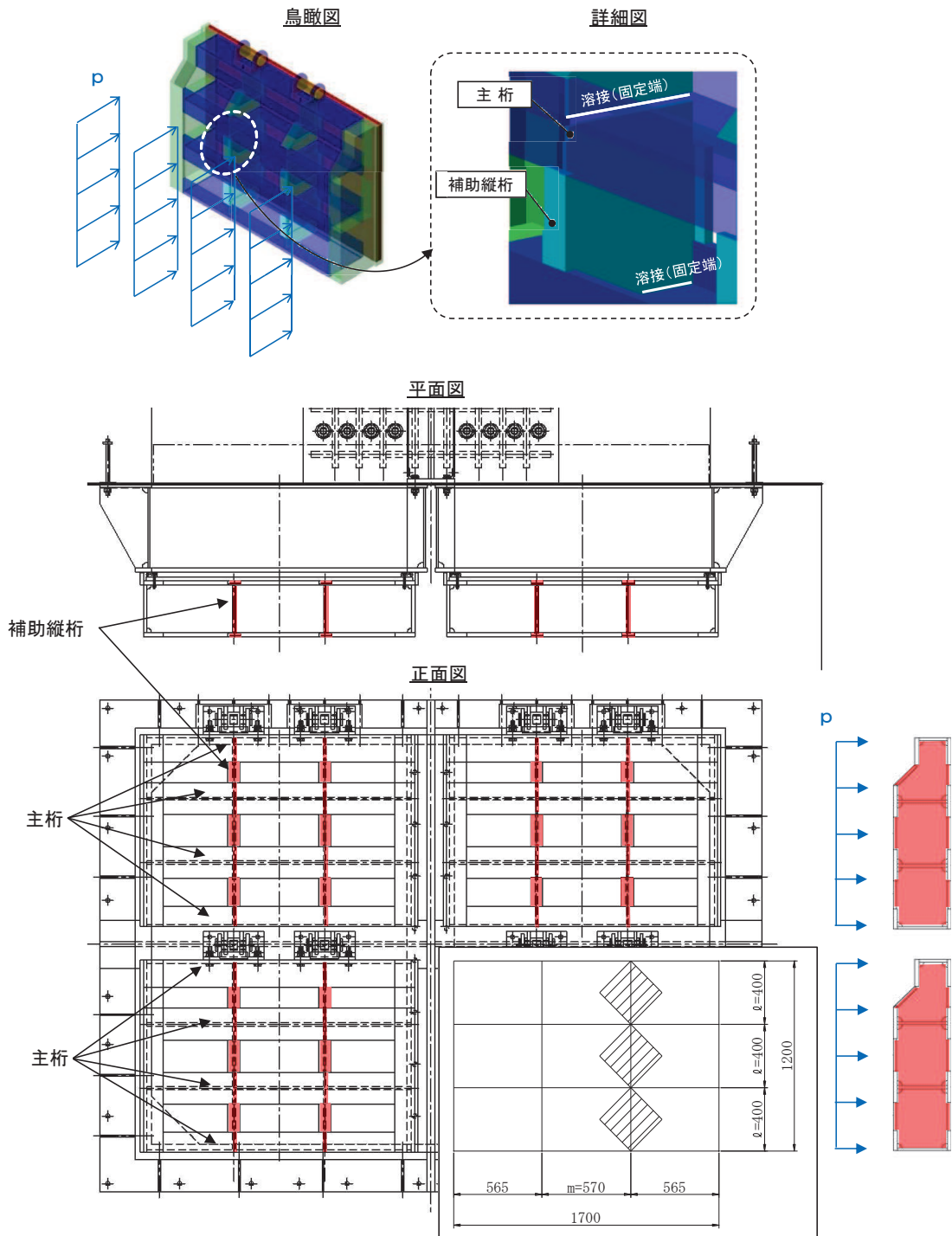


図 5-6 補助縦桁の構造図及びモデル図

また、補助縦桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^3}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^2}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_3}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w3}}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

p : 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (N/mm²)

ℓ : 補助縦桁の主桁間隔 (mm)

Z_3 : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_{w3} : 補助縦桁のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(4) 中央支柱

中央支柱は、アンカーボルトを打ち込んだコンクリートに支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する両端固定梁でモデル化し、曲げモーメント及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお、中央支柱は剛性が高く、たわみによる止水性への影響は小さいと考えられることから、たわみの評価は省略する。

中央支柱の構造図及びモデル図を図 5-7 に示す。

【中央支柱】

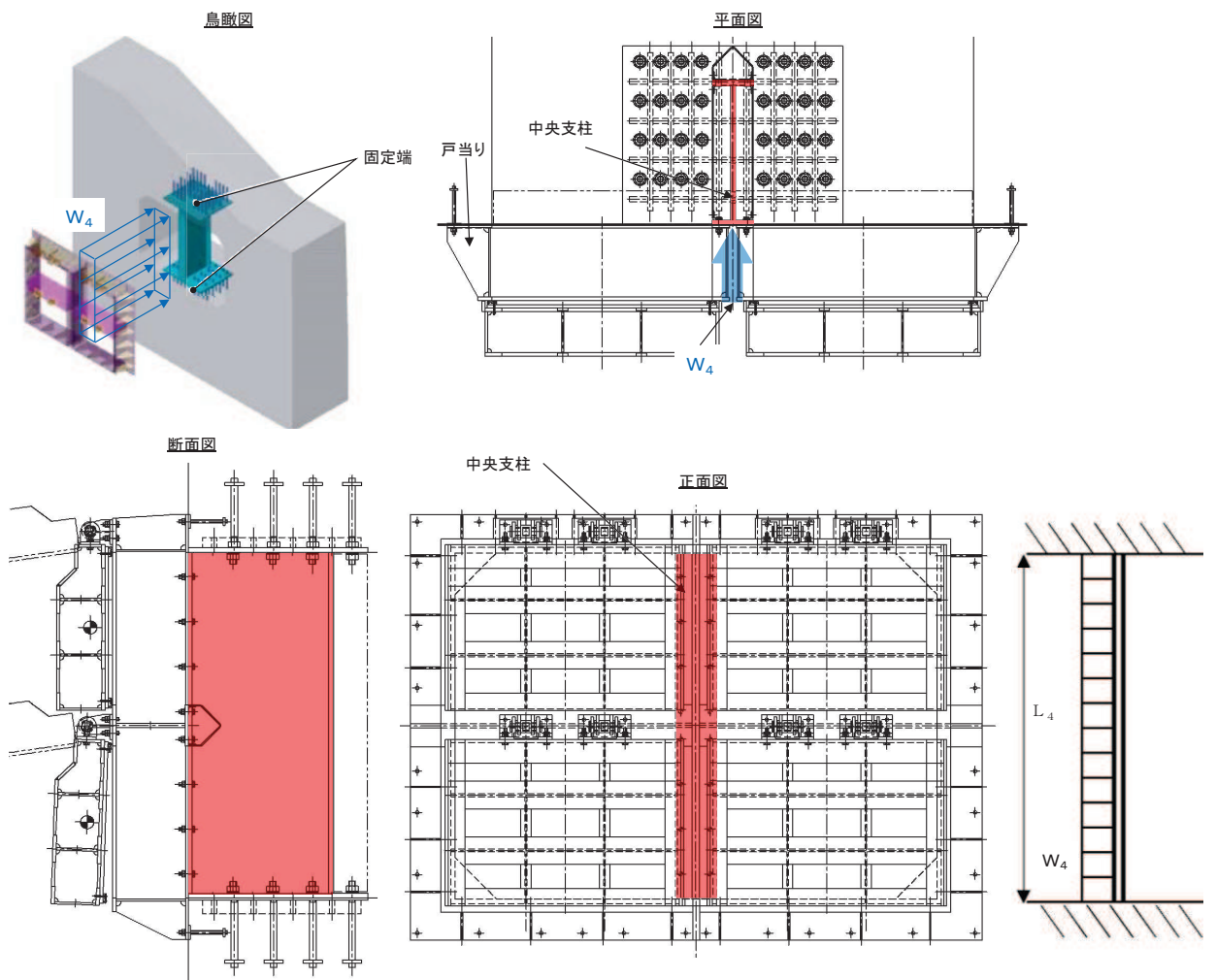


図5-7(1) 中央支柱の構造図及びモデル図

中央支柱の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{w_4 \cdot L_4^2}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{w_4 \cdot L_4}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_4}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- w_4 : 中央支柱に作用する荷重 (N/mm)
- L_4 : 中央支柱固定高 (mm)
- Z_4 : 中央支柱の断面係数 (mm³)
- $A w_4$: 中央支柱のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度

【中央支柱（アンカーボルト）】

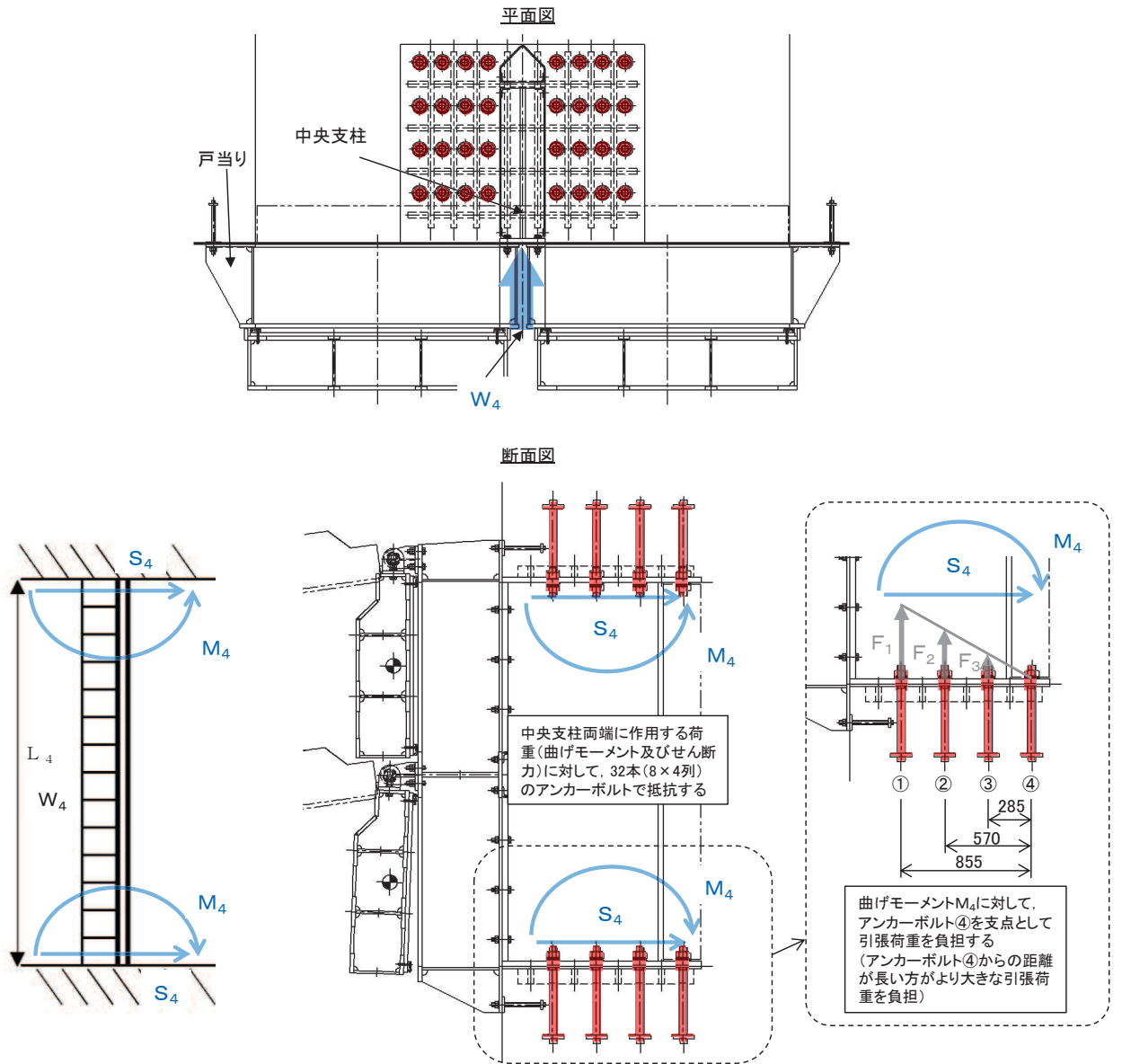


図5-7(2) 中央支柱（アンカーボルト）の構造図及びモデル図

中央支柱（アンカーボルト）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_4 = M_{\max} = \frac{w_4 \cdot L_4^2}{12} = (F_1 \cdot 855 + F_2 \cdot 570 + F_3 \cdot 285) \cdot 8$$

$$S_4 = S_{\max} = \frac{w_4 \cdot L_4}{2}$$

$$P_4 = F_1$$

$$Q_4 = \frac{S_{\max}}{n_4}$$

ここで、

- M_4 : 中央支柱両端に生じる曲げモーメント (N・mm)
- L_4 : 中央支柱固定高 (mm)
- M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{\max} : 最大せん断力 (N)
- F_1 : アンカーボルト①が負担する引張荷重 (= $3 F_3$) (N)
- F_2 : アンカーボルト②が負担する引張荷重 (= $2 F_3$) (N)
- F_3 : アンカーボルト③が負担する引張荷重 (N)
- S_4 : 中央支柱両端に生じるせん断力 (N)
- P_4 : アンカーボルト1本に作用する最大引張力 (N)
- Q_4 : アンカーボルト1本に作用するせん断力 (N)
- n_4 : アンカーボルトの本数(本)

(5) 中央横桁

中央横桁は、コンクリートおよび中間支柱と接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重（地震荷重）が作用する単純支持梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお、中央横桁は剛性が高く、たわみによる止水性への影響は小さいと考えられることから、たわみの評価は省略する。

中央横桁の構造図及びモデル図を図 5-8 に示す。

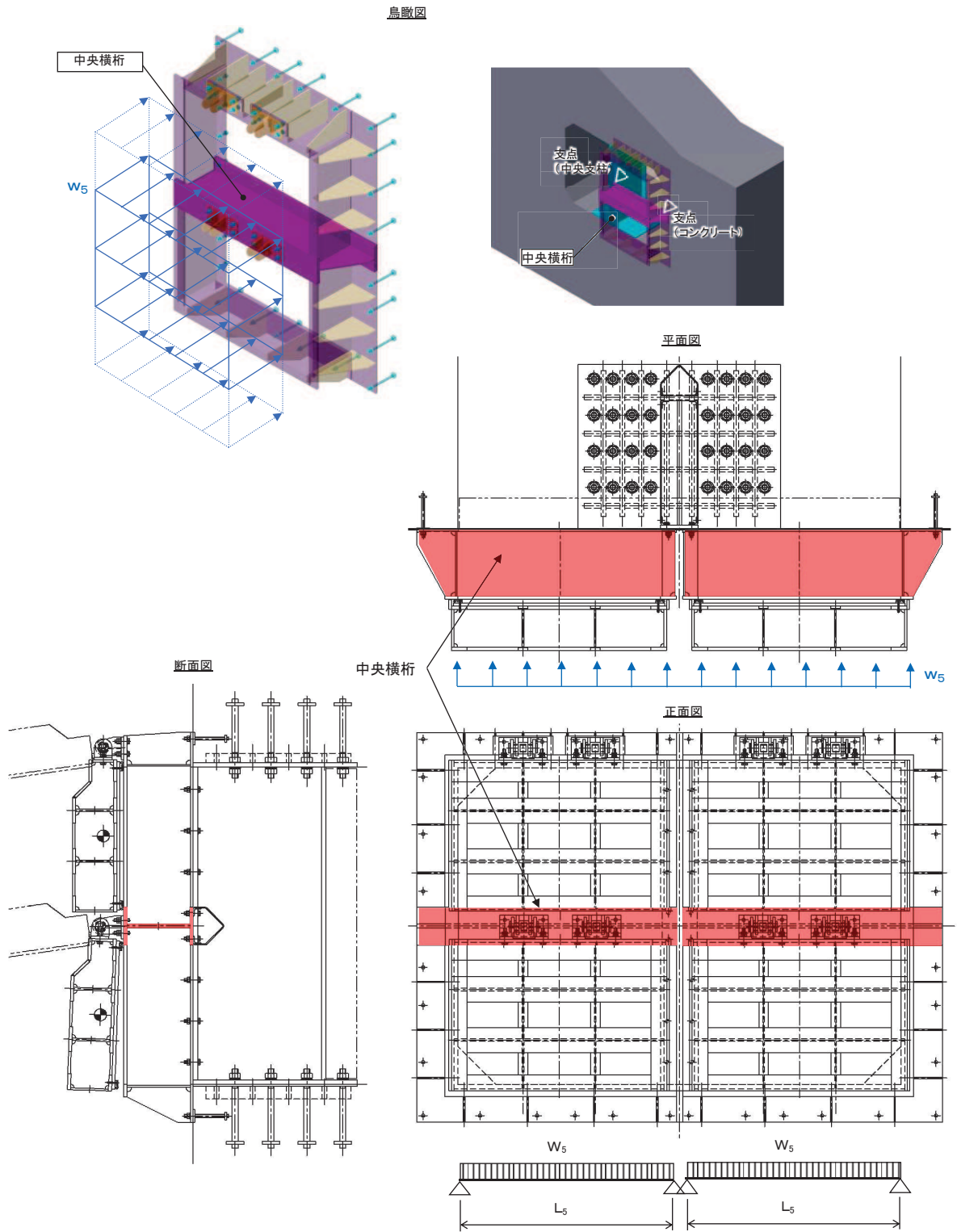


図 5-8 中央横桁の構造図及びモデル図

また、中央横桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{w_5 \cdot L_5^2}{8}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{w_5 \cdot L_5}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_5}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_5}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- w_5 : 中央横桁に作用する荷重 (N/mm)
- L_5 : 中央横桁の支間長 (mm)
- Z_5 : 中央横桁の断面係数 (mm³)
- $A w_5$: 中央横桁のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(6) ヒンジ (吊りピン)

ヒンジ (吊りピン) は、ヒンジ (プレート) と接触することによって、支持される構造である。計算方法は、等分布荷重 (扉体の自重および慣性力) が作用する単純梁としてモデル化し、ヒンジ (吊りピン) に発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

加えて、ヒンジ (吊りピン) 両端のエンドプレートが水路横断方向の加振時にヒンジプレートと接触する構造であることから、エンドプレートに発生するせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図を図 5-9 に示す。

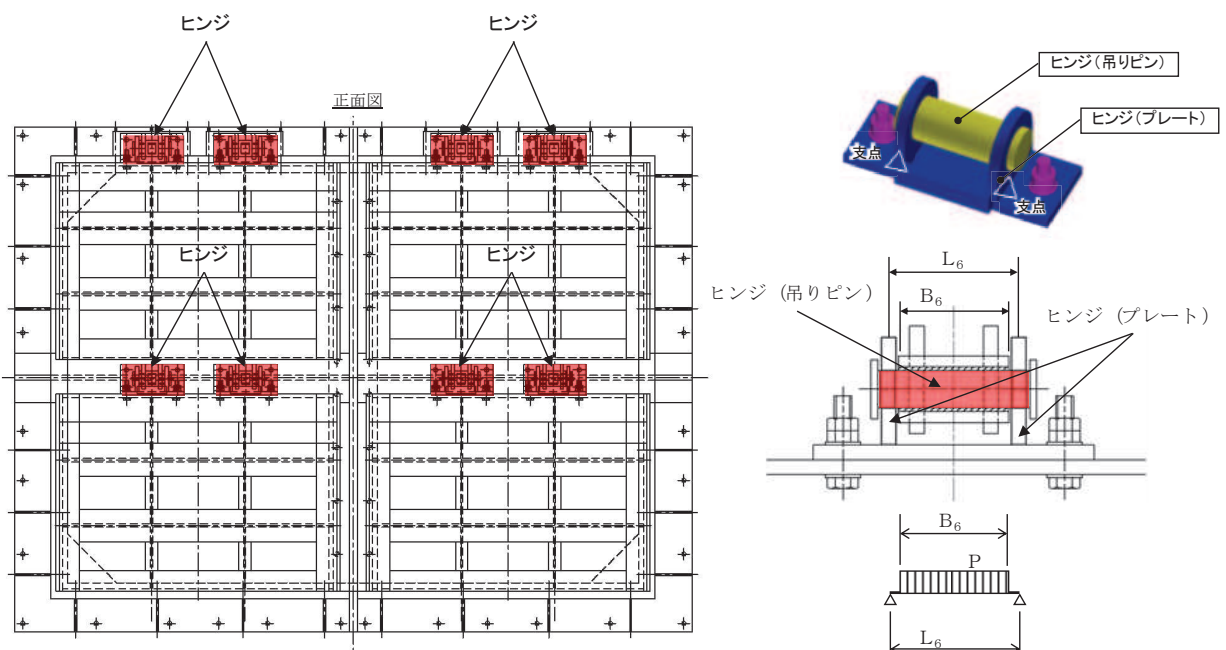


図 5-9(1) ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図 (水路縦断方向)

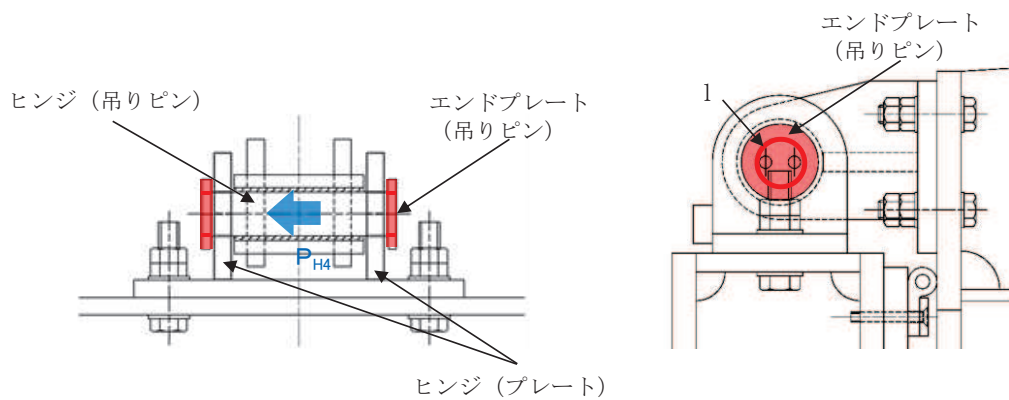


図5-9(2) ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図 (水路横断方向)

また、ヒンジ（吊りピン）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{P \cdot (2 \cdot L_6 - B_6)}{8}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{P}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_6}$$

$$\tau = \frac{4 \cdot S_{\text{max}}}{3 \cdot A_6}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

エンドプレート（吊りピン）のせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

$$\tau = P_{p4} / A_s$$

$$P_{p4} = P_{H6} / l$$

ここで、

L_6 : ヒンジ（吊りピン）支間長（mm）

B_6 : ヒンジ（吊りピン）受圧幅（mm）

P : ヒンジに作用する荷重（N）

P_{H6} : ヒンジに作用する水平地震荷重（N）

Z_6 : ヒンジ（吊りピン）の断面係数（mm³）

A_6 : ヒンジ（吊りピン）の断面積（mm²）

M_{max} : 最大曲げモーメント（N・mm）

S_{max} : せん断力（N）

σ : 曲げ応力度（N/mm²）

τ : せん断応力度（N/mm²）

σ_g : 合成応力度（N/mm²）

P_{p4} : せん断力作用位置における単位円周方向幅
当たりの水平慣性力（N/mm）

A_s : 単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積（mm）

l : せん断作用位置における周長（mm）

(7) ヒンジ (プレート)

ヒンジ (プレート) は、ヒンジ (吊りピン) に作用する荷重を支持する構造である。計算方法は、「(6) ヒンジ (吊りピン)」の単純梁検討における支点反力に対し、ヒンジ (プレート) が必要せん断耐力を有していることを確認する。ここで、ヒンジ (プレート) の照査断面はヒンジ (プレート) の最薄部とし、支点反力により発生するせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

また、吊ピンのエンドプレートを通じて伝達される水平地震荷重により生じる支圧応力度、ならびにヒンジ (プレート) 下端の曲げ応力度が許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ (プレート) の構造図を図 5-10 に示す。

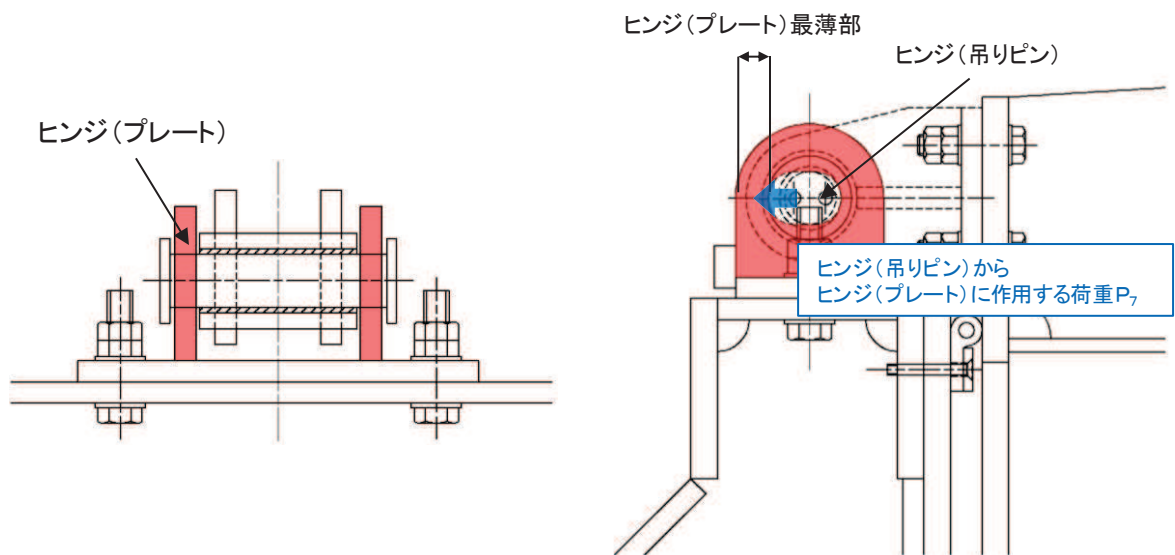


図5-10(1) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路縦断方向)

また、ヒンジ (プレート) の応力算定式は以下のとおりである。

$$\tau = \frac{P_7}{A h_7}$$

ここで、

- P_7 : ヒンジ (プレート) に作用する荷重 (N)
- $A h_7$: ヒンジ (プレート) の最薄部の断面積 (mm^2)
- τ : せん断応力度 (N/mm^2)

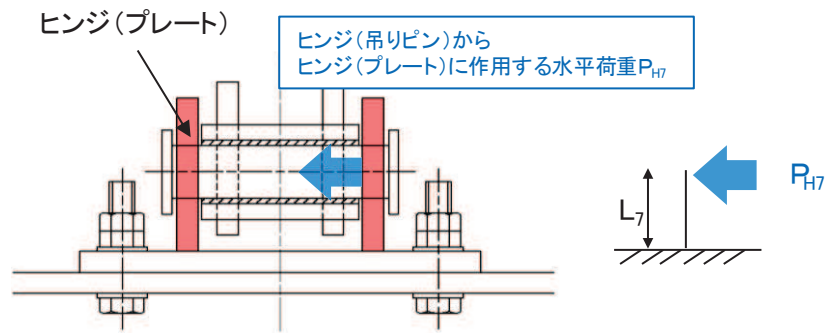


図5-10(2) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路横断方向)

また、ヒンジ (プレート) の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = P_{H7} \cdot L_7$$

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{Z_7}$$

$$\sigma_p = \frac{P_{H7}}{A_p}$$

ここで、

A_{h7} : ヒンジ (プレート) の最薄部の断面積 (mm^2)

τ : せん断応力度 (N/mm^2)

P_{H7} : ヒンジ (プレート) に作用する水平地震荷重 (N)

L_7 : 吊ピン中心からヒンジ (プレート) 下端までの距離 (mm)

M_{\max} : 最大曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

Z_7 : ヒンジ (プレート) の断面係数 (mm^3)

A_p : 支圧抵抗面積 (mm^2)

(8) ヒンジ取付けボルト

ヒンジ取付けボルトは、ヒンジ部に作用する扉体の自重および慣性力を負担する構造である。計算方法は、扉体自重および慣性力より算出されるヒンジ取付けボルトに発生する引張応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力度に対しても許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ取付けボルトの構造図を図5-11に、応力算定式を図5-12に示す。

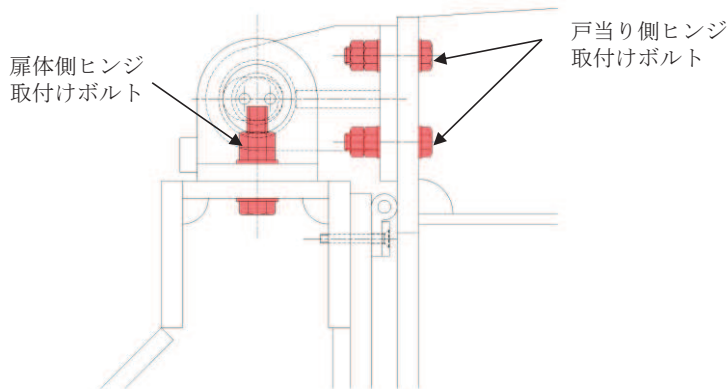
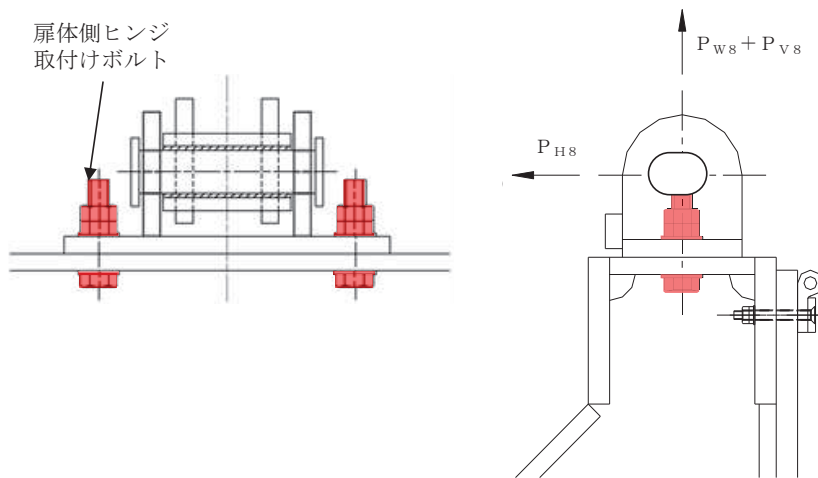


図 5-11 ヒンジ取付けボルトの構造図

【扉体側】



$$\sigma = \frac{P_{w8} + P_{v8}}{A b \cdot 2}$$

$$\tau = \frac{P_{H8}}{A b \cdot 2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$A b$: 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{w8} : ヒンジ1箇所あたりが負担する扉体の自重 (N)

P_{v8} : 鉛直地震力 (N)

P_{H8} : 水平地震力 (N)

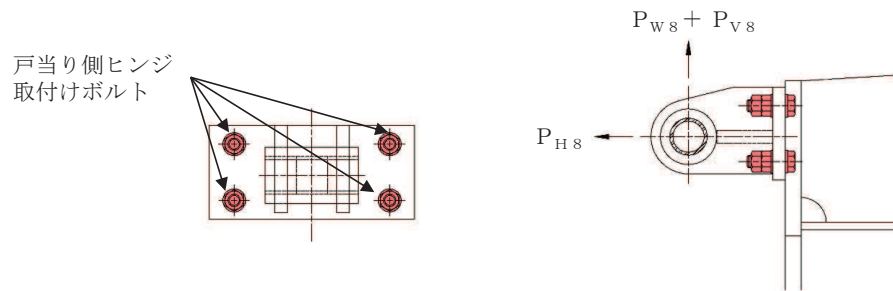
σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-12(1) ヒンジ取付けボルト (扉体側) の応力算定式

【戸当り側】



$$\sigma = \frac{P_{H8}}{A b \cdot 4}$$

$$\tau = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b \cdot 4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$A b$: 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{W8} : ヒンジ1箇所あたりが負担する扉体の自重 (N)

P_{V8} : 鉛直地震力 (N)

P_{H8} : 水平地震力 (N)

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-12(2) ヒンジ取付けボルト (戸当り側) の応力算定式

(9) 戸当り

戸当りは、アンカーボルトを打ち込んだコンクリート及び中央支柱と接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重（地震荷重）を受ける支圧材として、発生する支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図を図 5-13 に示す。

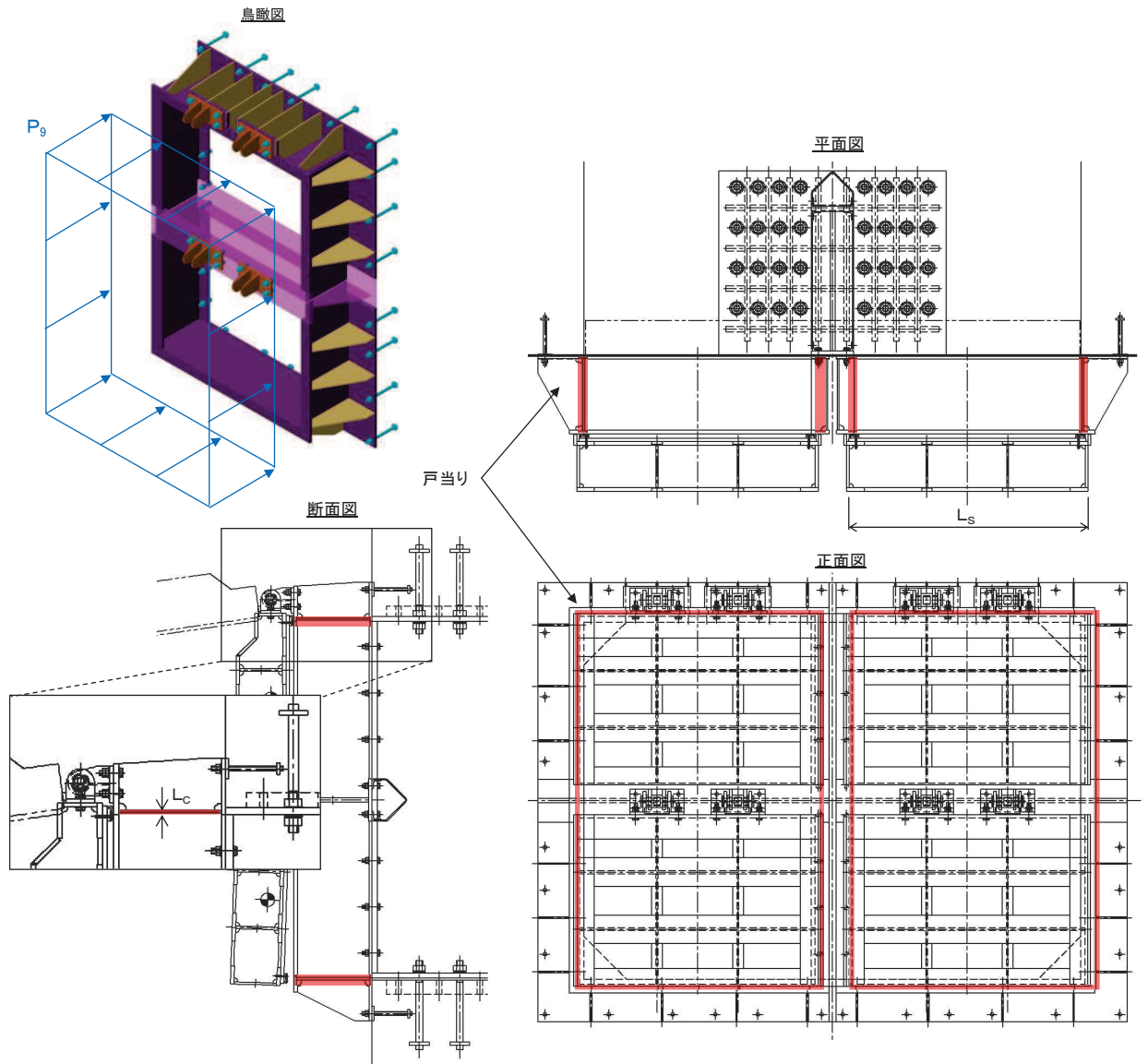


図 5-13 戸当りの構造図

また、戸当りの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{P_g \cdot L_s}{2 \cdot L_c}$$

ここで、

P_g : 戸当りへ作用する荷重 (N/mm²)

L_s : 扉体幅 (mm)

L_c : 戸当り支圧部の板厚 (mm)

σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)

(10) 戸当り部コンクリート

戸当り部コンクリートは、戸当りから伝達されてきた荷重を支持する構造である。計算方法は、戸当りから伝達されてきた荷重を戸当りとコンクリートの接触面で受圧した際に、コンクリートに発生する支圧応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当り部コンクリートの構造図を図 5-14 に示す。

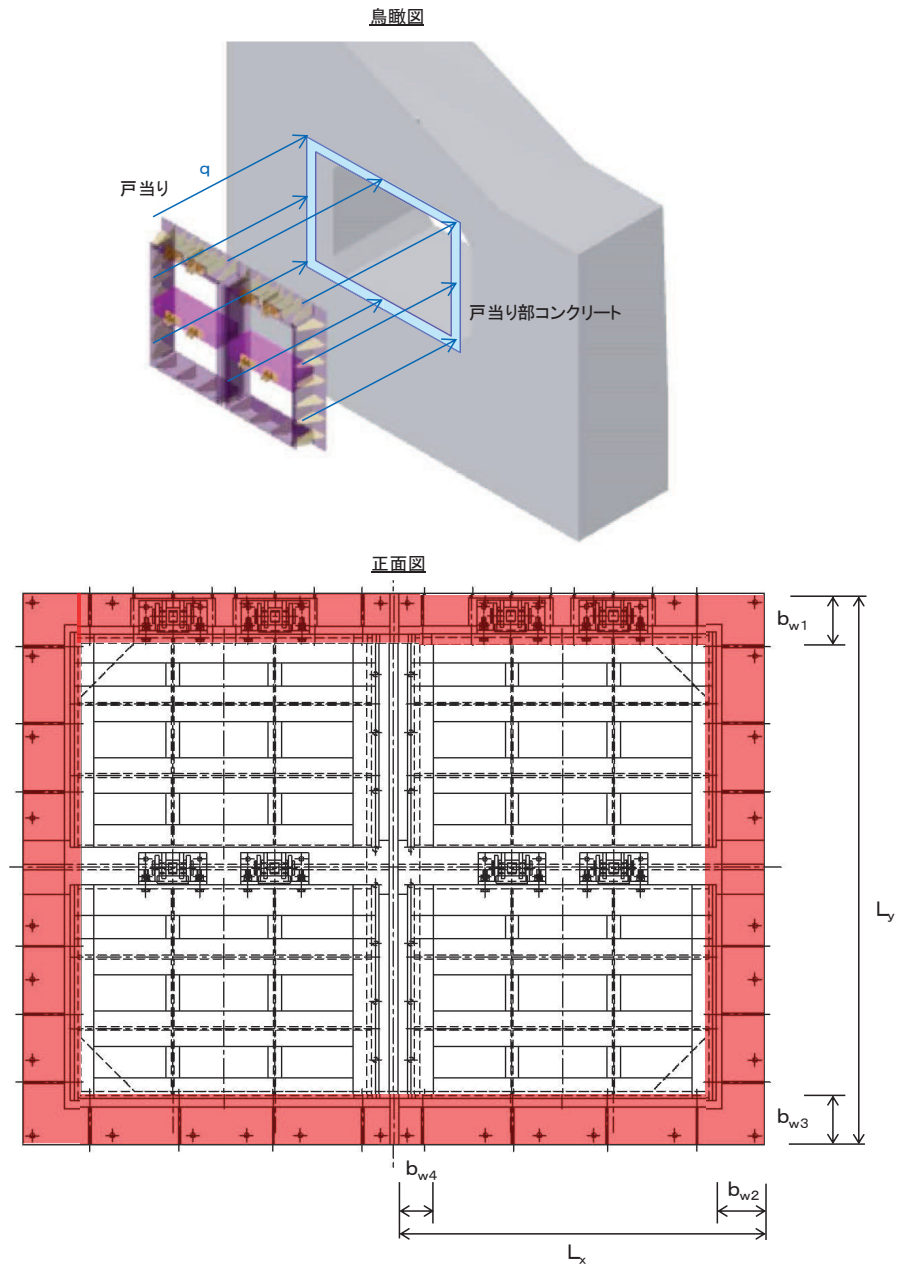


図 5-14 戸当り部コンクリートの構造図

また、戸当り部コンクリートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{q \cdot (L_x \cdot L_y)}{L_x (b_{w1} + b_{w3}) + (L_y - b_{w1} - b_{w3})(b_{w2} + b_{w4})}$$
$$\tau = \frac{\sigma_{bk} \cdot b_{w1}}{2 \cdot S}$$

ここで、

q : 戸当りへ作用する水平地震力 (N/mm²)

L_x : 戸当り横幅 (mm)

L_y : 戸当り縦幅 (mm)

b_{w1} : 上部戸当り支圧幅 (mm)

b_{w2} : 側部戸当り支圧幅 (mm)

b_{w3} : 下部戸当り支圧幅 (mm)

b_{w4} : 中央支柱部の戸当り支圧幅 (mm)

S : 戸当り幅 (mm) (上部及び下部戸当りの最小支圧幅)

σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(11) 漂流物防護工（防護梁）

防護梁は、両端のエンドプレートとブラケットが接触することによって支持される構成である。計算方法は、単純梁としてモデル化する。なお、評価においては防護梁の上下に設置するスキンプレートは考慮せず、防護梁本体の腐食代を 1mm 考慮する。

照査は、曲げ応力度、せん断応力度について行うとともに、曲げとせん断が同時に作用する場合は合成応力度の照査を行う。加えて、防護梁には水平方向及び鉛直方向の荷重が同時に作用することから、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」二軸応力状態の照査について行う。

また、エンドプレート最下端が出口側集水ピット底版に接しているため、エンドプレートが接する出口側集水ピット底版コンクリートの支圧応力度についても照査を行う。

なお、防護梁と出口側集水ピット側壁には隙間があり、出口側集水ピットの南北方向の変形に対しても防護梁の軸方向圧縮力が作用しない構造であることから、座屈を考慮しない。

防護梁の構造及びモデル図を図 5-15 に示す。

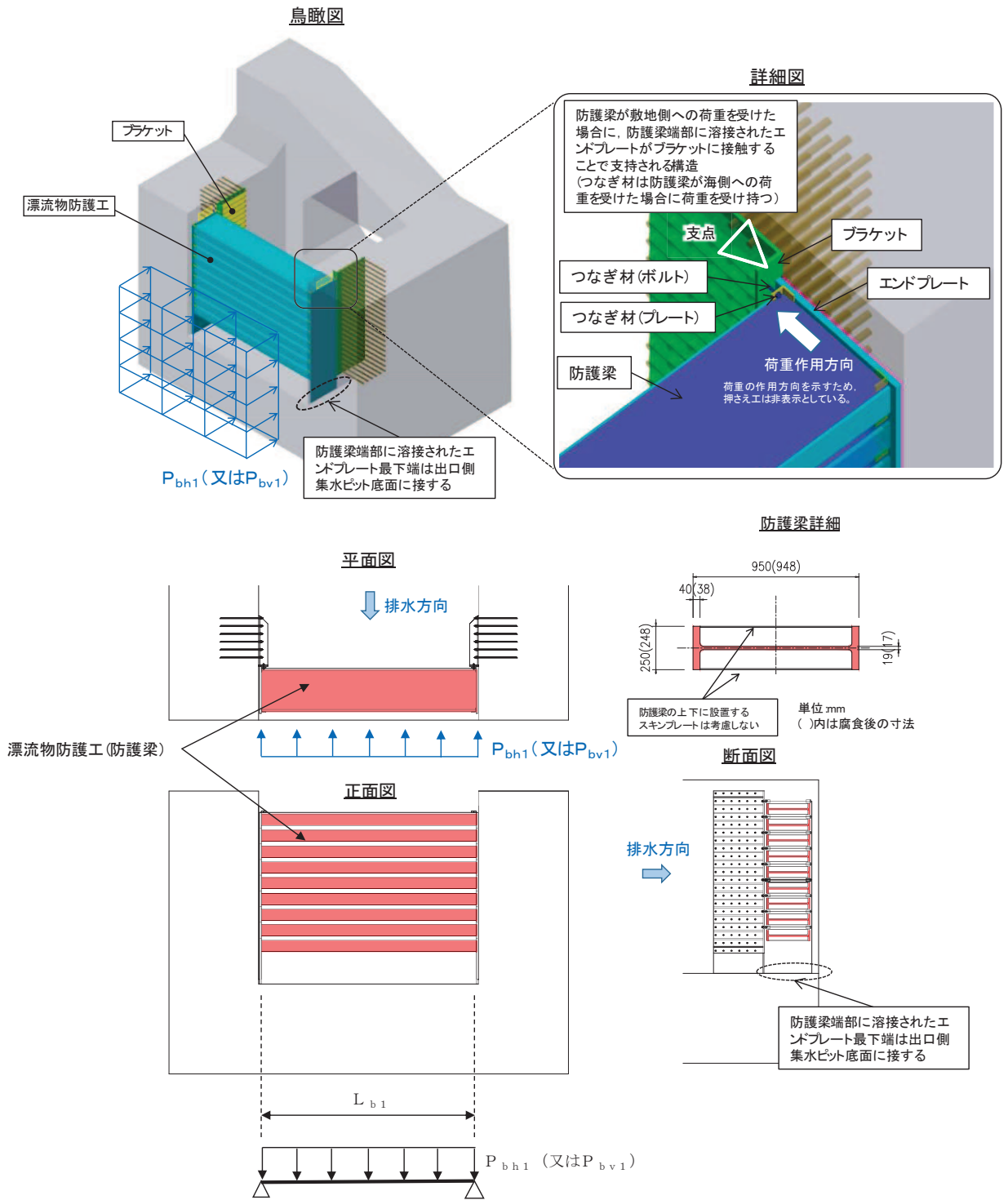


図 5-15 防護梁の構造及びモデル図

また、防護梁及び出口側集水ピット底板コンクリートの応力算定式は以下のとおり。

【水平方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}}{2}$$

$$\sigma_x = \frac{M_{max}}{Z_{bh1}}$$

$$\tau_x = \frac{S_{max}}{A_{wbh1}}$$

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_x}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad \text{(合成応力度)}$$

P_{bh1} : 防護梁に作用する水平荷重 (N/mm)

L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)

Z_{bh1} : 防護梁の水平(強軸)方向の断面係数 (mm³)

A_{wbh1} : 防護梁の水平(強軸)方向のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ_x : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ_x : せん断応力度 (N/mm²)

【鉛直方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bv1} \cdot L_{b1}^2}{8}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bv1} \cdot L_{b1}}{2}$$

$$\sigma_y = \frac{M_{max}}{Z_{bv1}}$$

$$\tau_y = \frac{S_{max}}{A_{wbv1}}$$

$$\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_y}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad \text{(合成応力度)}$$

P_{bv1} : 防護梁に作用する鉛直荷重 (N/mm)

L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)

Z_{bv1} : 防護梁の鉛直(弱軸)方向の断面係数 (mm³)

A_{wbv1} : 防護梁の鉛直(弱軸)方向のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ_y : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ_y : せん断応力度 (N/mm²)

【二軸応力状態の照査】

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right) + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2$$

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$$

ここに,

τ : 照査箇所が生じるせん断応力度 (N/mm²)

【出口側集水ピット底版コンクリート】

$$\sigma_{bk} = \frac{P_{10}}{A_{10}}$$

ここで,

σ_{bk} : エンドプレート下端コンクリートに作用する支圧応力度 (N/mm²)

P_{10} : エンドプレート下端の鉛直荷重 (N)

A_{10} : エンドプレート下端の断面積 (mm²)

(12) 漂流物防護工（ブラケット）

ブラケットは、出口側集水ピットの側壁に埋め込まれたアンカーボルトを固定端として支持される構造である。計算方法は、防護梁と一体化したエンドプレートを通じて伝達される荷重が作用する出口側集水ピットの側壁（北壁及び南壁）にアンカーボルトで固定された片持ち梁としてモデル化する。地震時においては、山側への荷重に対しては防護梁のエンドプレートを通じて荷重が作用し、海側への荷重に対してはエンドプレートに溶接されたつなぎ材を通じて荷重が作用する。これらの荷重は同値であるため、アーム長が大きくなり、照査値が厳しくなると想定される海側への荷重を考慮する。

なお、この荷重に対してブラケットは幅 350mm の π 形の断面で抵抗し、腐食代を 1mm 考慮する。

ブラケットの構造及びモデル図を図 5-16 に示す。

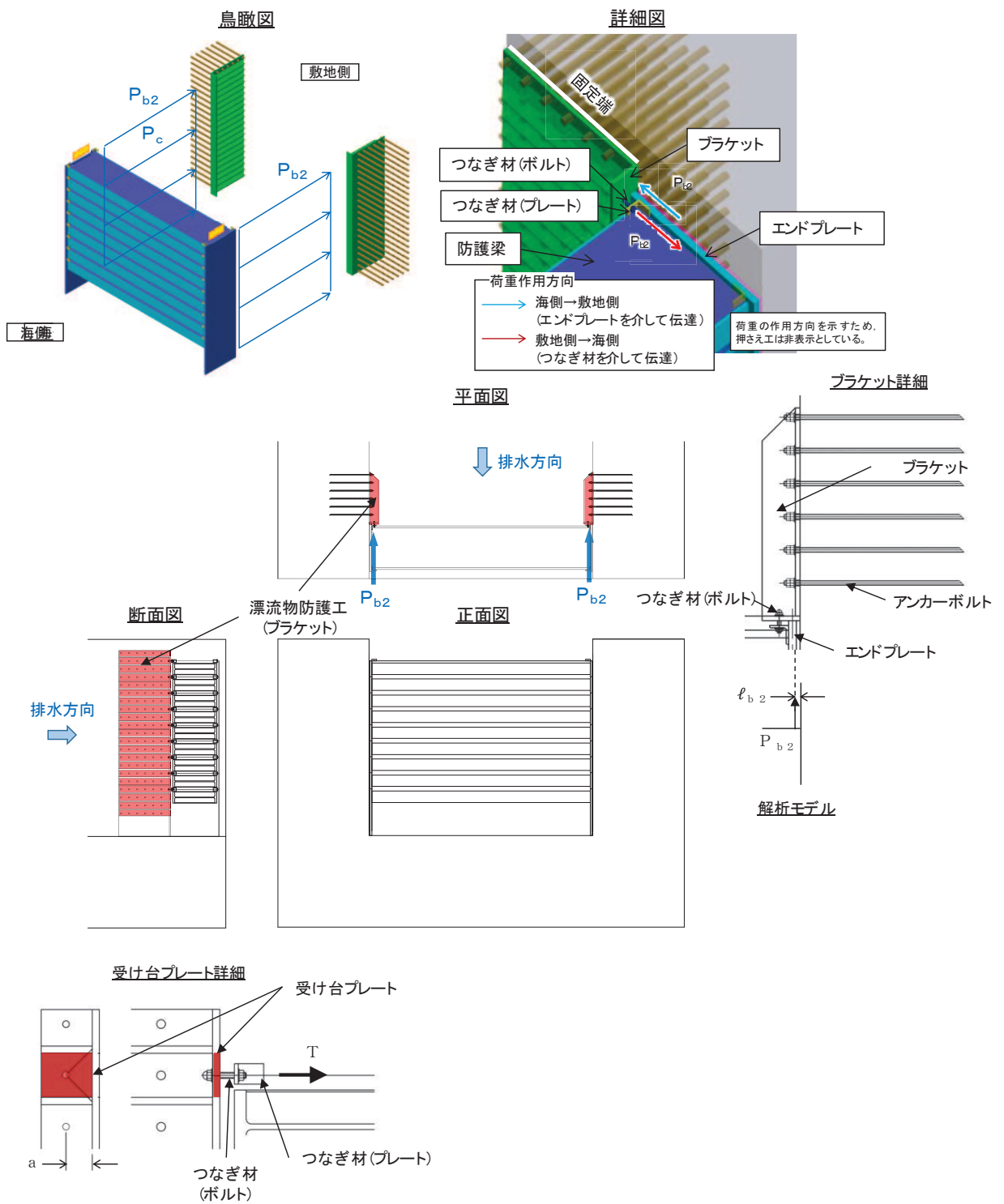


図 5-16 ブラケットの構造及びモデル図

また、漂流物防護工（ブラケット）の応力算定式は以下のとおりである。

【ブラケット本体】

$$M_{max} = P_{b2} \cdot \ell_{b2}$$

$$S_{max} = P_{b2}$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{b2}}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{wb2}}$$

P_{b2} : ブラケットに作用する水平力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 ℓ_{b2} : 側壁からエンドプレート中心までの長さ (mm)
 Z_{b2} : ブラケットの断面係数 (mm³)
 A_{wb2} : ブラケットのせん断抵抗断面積 (mm²)
 M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
 S_{max} : 最大せん断力 (N)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

【ブラケットのうち受け台プレート】

$$M_{max} = T \cdot a$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_c}$$

- T : 受け台に作用する引張力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 a : ブラケット端部からつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)
 Z_c : 受け台プレートの断面係数 (mm³)
 M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

(13) 漂流物防護工（つなぎ材）

つなぎ材は、エンドプレートに溶接されたプレートとブラケットをつなぐボルト（M20）からなり、敷地側から海側の荷重が作用した際に、ボルトを介してブラケットおよびアンカーボルトに荷重伝達する構造である。プレートの計算方法は、ボルトに生じる引張力が作用する片持ち梁（エンドプレートを固定端とする）としてモデル化する。プレートについては、曲げ応力度、せん断応力度について行うとともに、曲げとせん断が同時に作用する場合は合成応力度の照査を行う。ボルトについては、曲げ応力度の照査を行う。なお、つなぎ材の照査にあたっては腐食代を 1mm 考慮する。

つなぎ材の構造図を図 5-17 に示す。

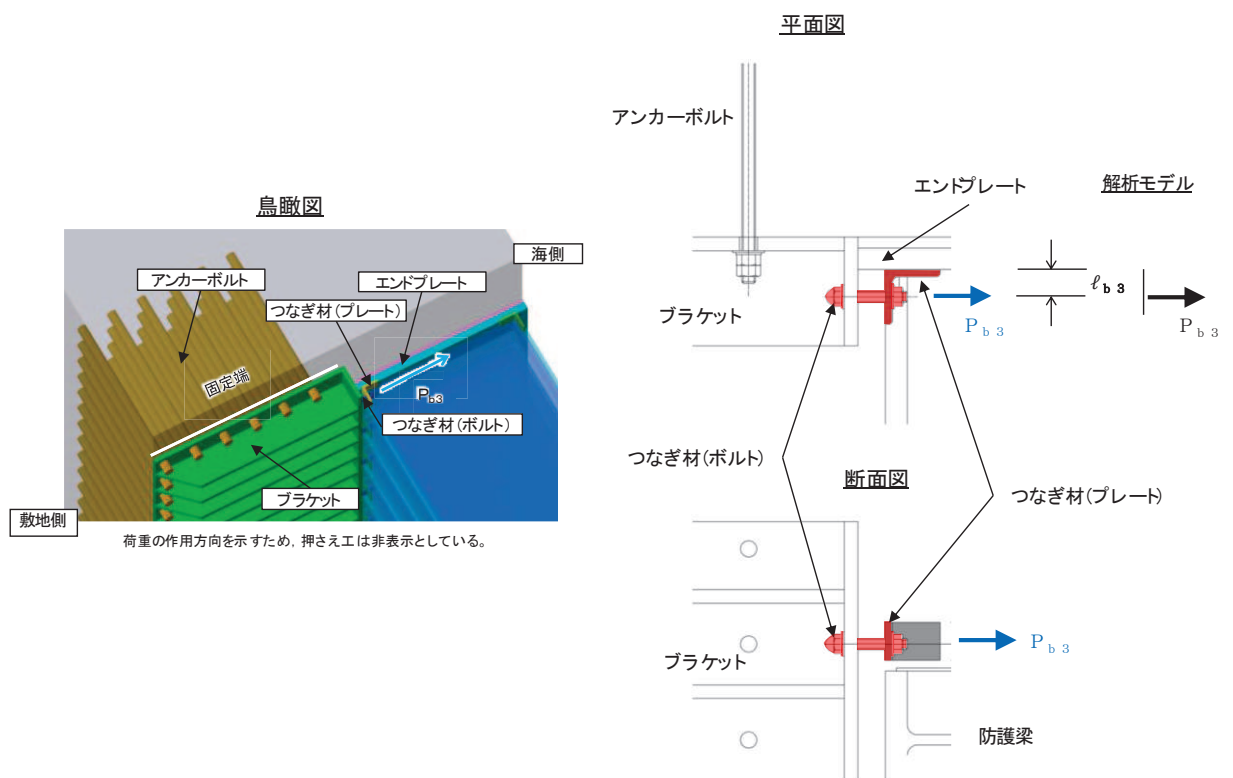


図 5-17(1) つなぎ材の構造図及びモデル図（水路縦断方向）

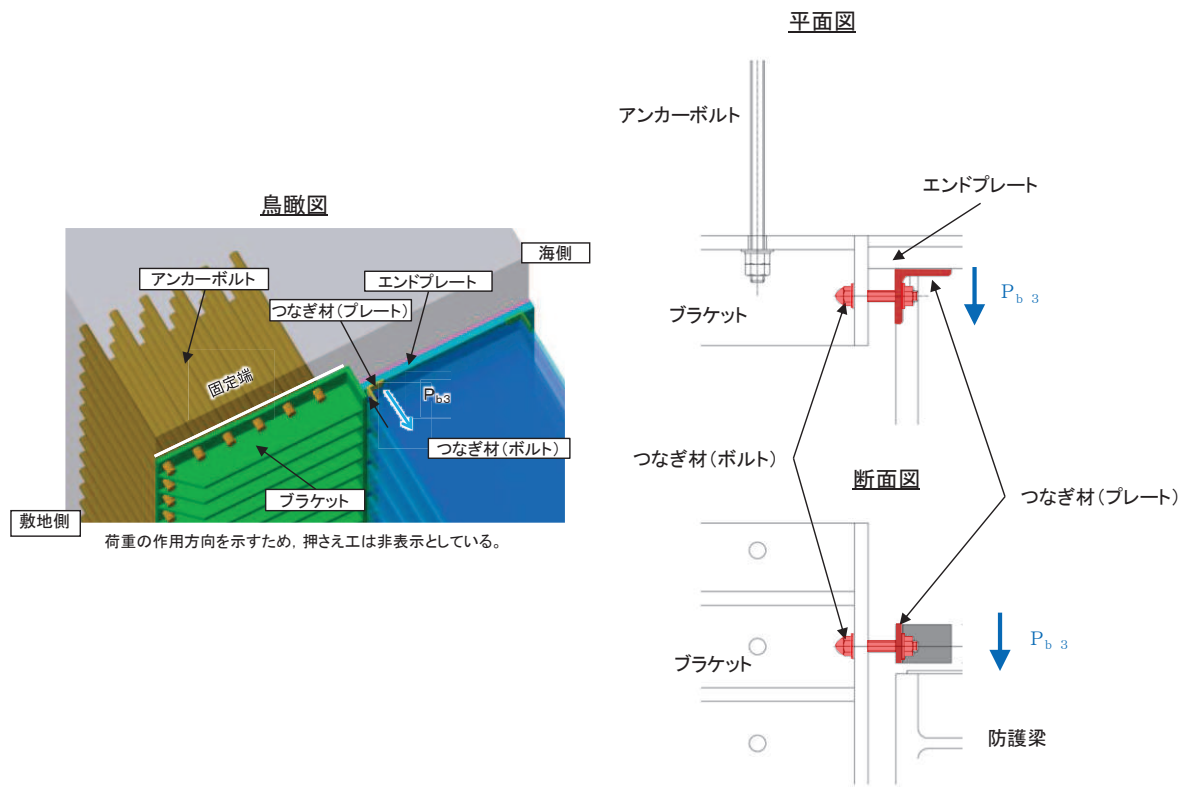


図5-17(2) つなぎ材の構造図及び計算モデル (水路横断方向)

また、つなぎ材の応力算定式は以下のとおりである。

【水路縦断方向】

(プレート)

$$M_{max} = P_{b3} \cdot \ell_{b3}$$

$$S_{max} = P_{b3}$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{b3}}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{b3}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

P_{b3} : つなぎ材プレートに作用する水平力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 ℓ_{b3} : エンドプレートからボルト中心までの長さ (mm)
 Z_{b3} : つなぎ材プレートの断面係数 (mm³)
 A_{b3} : つなぎ材プレートの断面積 (mm²)
 M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
 S_{max} : 最大せん断力 (N)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

(ボルト)

$$\sigma = \frac{P_d}{A_d}$$

P_d : つなぎ材ボルトに作用する引張力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 A_d : つなぎ材ボルトの有効断面積 (mm²)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

【水路横断方向】

(プレート)

$$\tau = \frac{P_{b3}}{B_p \cdot t_p}$$

ここで,

τ : せん断応力度 (N/mm²)

P_{b3} : つなぎ材プレートに作用する水平力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)

B_p : 有効プレート幅 (mm)

t_p : プレート厚さ (mm)

(14) 漂流物防護工（アンカーボルト）

漂流物防護工（アンカーボルト）は、側壁のコンクリートに埋め込むことによって、ブラケットを支持する構造である。ブラケットに発生したモーメントとせん断力は、埋め込まれたアンカーボルト群により側壁に荷重伝達される。

計算方法は、防護梁 1 本に作用する荷重に対して、図 5-18 に示すように、エンドプレート幅 350mm の範囲にある 6 本 2 列、計 12 本のアンカーボルトで抵抗する。

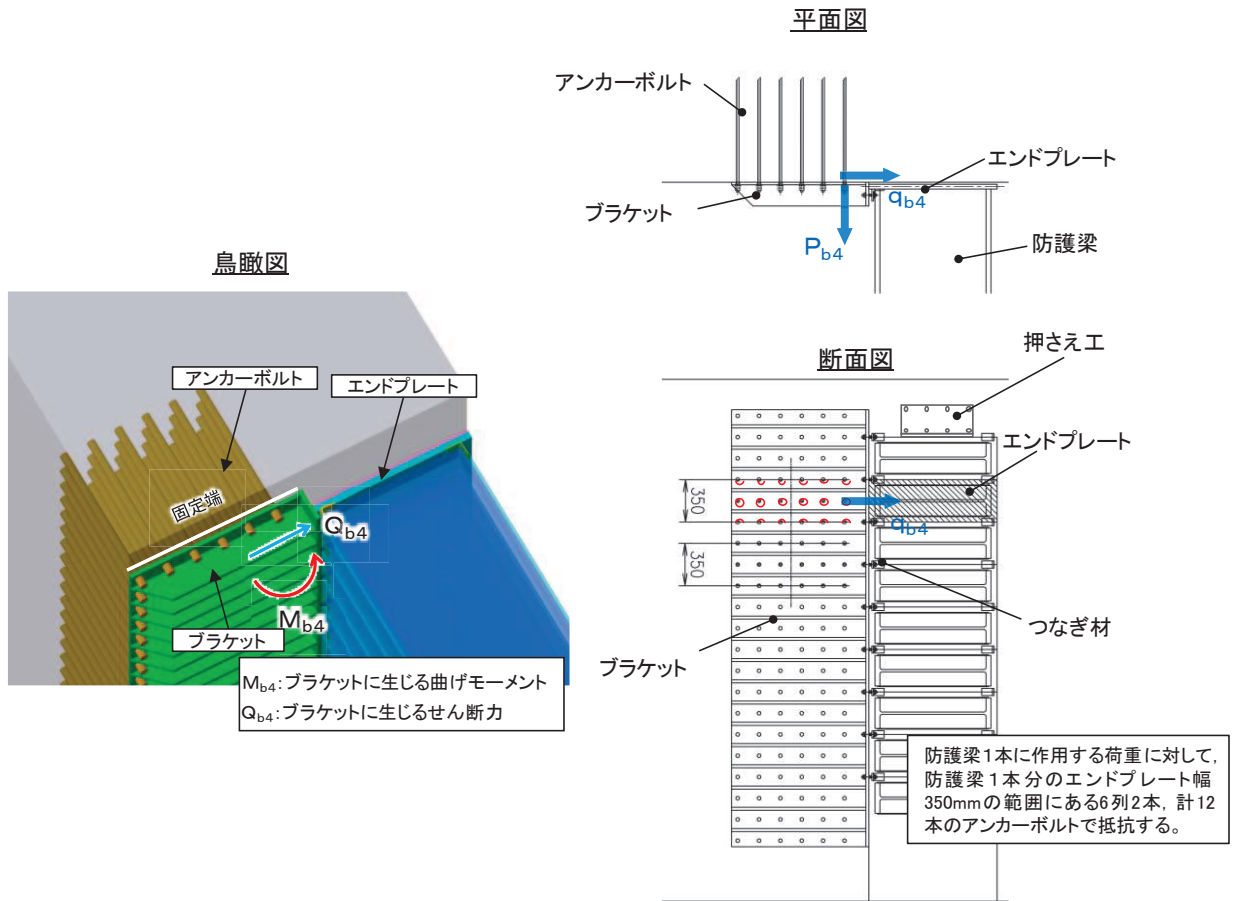


図 5-18 アンカーボルトの構造図

また、漂流物防護工（アンカーボルト）の応力算定式は以下のとおりである。

$$P_{b4} = \frac{(M_{b4}/2)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4} = \frac{(Q_{b4}/2)}{n}$$

$$\left(\frac{P_{b4}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{b4}}{q_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b4} : アンカーボルト1本の引張力 (N)
- q_{b4} : アンカーボルト1本のせん断力 (N)
- M_{b4} : ブラケットに生じる曲げモーメント (N・mm)
- Q_{b4} : ブラケットに生じるせん断力 (N)
- Z_{b4} : アンカーボルト群1列の断面係数 (mm)
- n : アンカーボルト群1列の本数 (本)

(15) 漂流物防護工（押さえ工）

押さえ工は、押さえ工（プレート）と押さえ工（ボルト）から構成し、防護梁のエンドプレートからの鉛直上向きの地震荷重に対して支持する構造である。計算方法は、図 5-19 に示すように、押さえ工（プレート）は側壁に押さえ工（ボルト）で固定された片持ち梁としてモデル化する。押さえ工（ボルト）は、押さえ工（プレート）に発生する荷重に対して、所用の引張力及びせん断力が確保できるか確認する。また、押さえ工の応力算定式は以下のとおりである。

【押さえ工（プレート）】

$$M_{\text{max}} = F' \cdot \ell_{b2}$$

$$S_{\text{max}} = F'$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{b5}}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{b5}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

F' : 押さえ工（プレート）に作用する防護梁の地震慣性力 (N)

ℓ_{b2} : 側壁からエンドプレート中心までの長さ (mm)

Z_{b5} : 押さえ工（プレート）の断面係数 (mm³)

A_{b5} : 押さえ工（プレート）の断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

【押さえ工（ボルト）】

$$P_{b5} = \frac{M_{b5}'}{\ell_{b5} \cdot n_5}$$

$$q_{b5} = \frac{Q_{b5}'}{n_5}$$

ここで、

- P_{b5} : 押さえ工（ボルト）1本の引張力（N）
- q_{b5} : 押さえ工（ボルト）1本のせん断力（N）
- M_{b5}' : 押さえ工（プレート）に生じる曲げモーメント（N・mm）
- ℓ_{b5} : 押さえ工（ボルト）の鉛直方向のピッチ（mm）
- Q_{b5}' : 押さえ工（プレート）に生じるせん断力（N）
- n_5 : 押さえ工（ボルト）の本数（本）

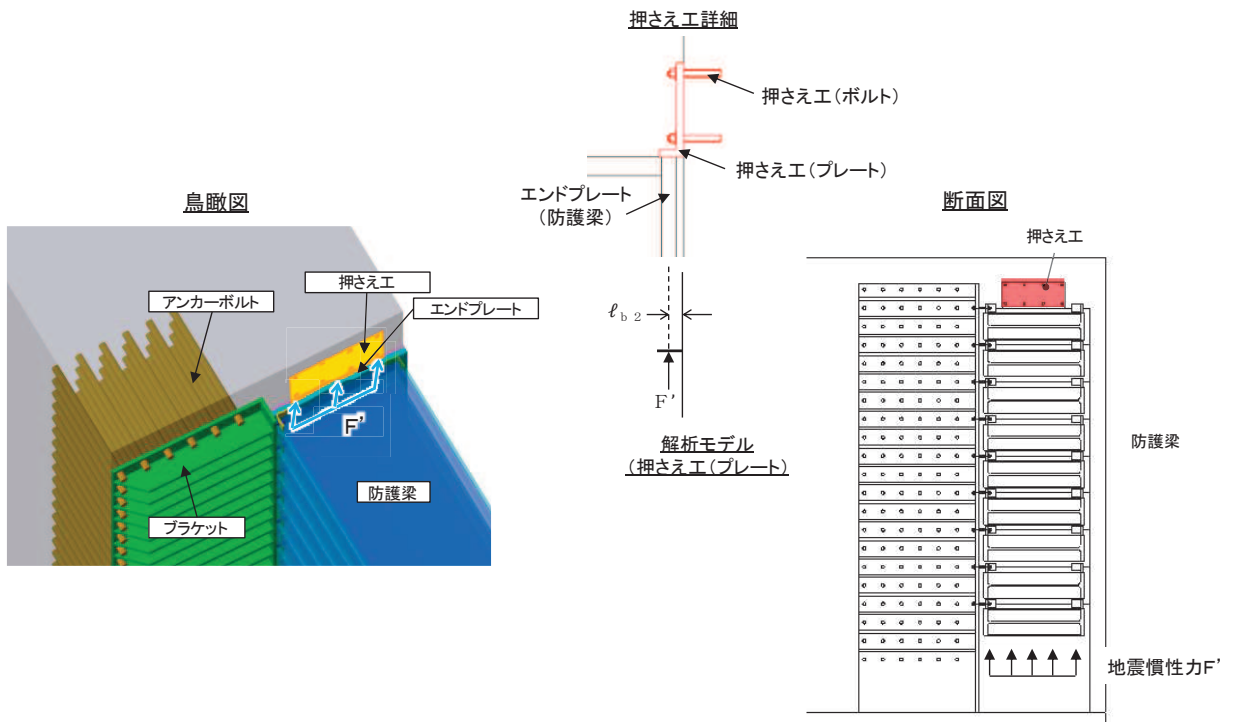


図 5-19 押さえ工の構造図及びモデル図

5.6 計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる計算条件を表5-4に示す。

表 5-4(1) 応力評価に用いる計算条件 (1/4)

固定荷重 (1門当たりの扉体の自重) G (N)	1門当たりの 扉体面積 A ₁ (mm ²)	水の単位体積重量 W ₀ (N/mm ³)
1.4709975×10 ⁴	2.04×10 ⁶	1.01×10 ⁻⁵

区画	スキンプレート				
	辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数k	短辺 a ₁ (mm)	長辺 b ₁ (mm)	板厚 t ₁ (mm)	単位面積当たりの 荷重 P ₁ (N/mm ²)
1~2桁	43.94	400	570	25	0.0094
2~3桁	43.94	400	570	25	0.0094
3~4桁	43.94	400	570	25	0.0094

区画	主桁へ作用する 等分布荷重 W (N/mm)	主桁支間長 L ₂ (mm)	主桁の 断面係数 Z ₂ (mm ³)	主桁の せん断抵抗断面積 A _{w2} (mm ²)
1桁	1.87	1700	8.130379×10 ⁵	3.40×10 ³
2, 3桁	3.75	1700	1.769048×10 ⁶	6.00×10 ³
4桁	1.87	1700	1.137798×10 ⁶	4.50×10 ³

補助縦桁に作用する 各区画の平均荷重 p (N/mm ²)	補助縦桁の 主桁間隔 ℓ (mm)	補助縦桁の断面係数 Z ₃ (mm ³)	補助縦桁の せん断抵抗断面積 A _{w3} (mm ²)
9.4×10 ⁻³	400	3.266545×10 ⁵	2.16×10 ³

アンカーボルト の本数 n ₄ (本)	中央支柱に作用 する荷重 w ₄ (N/mm)	中央支柱固定高 L ₄ (mm)	中央支柱の 断面係数 Z ₄ (mm ³)	中央支柱の せん断抵抗断面積 A _{w4} (mm ²)
32	71.82	2500	1.5535178×10 ⁷	3.43×10 ⁴

表 5-4(2) 応力評価に用いる計算条件 (2/4)

中央横桁に作用する荷重 w_5 (N/mm)	中央横桁の支間長 L_5 (mm)	中央横桁の断面係数 Z_5 (mm ³)	中央横桁のせん断抵抗断面積 A_{w5} (mm ²)
52.07	1600	4.897727×10^6	1.50×10^4

ヒンジ (吊りピン)				
支間長 L_6 (mm)	受圧幅 B_6 (mm)	ヒンジに作用する荷重 P (N)	断面係数 Z_6 (mm ³)	断面積 A_6 (mm ²)
176	150	18165	1.2272×10^4	1.963×10^3

単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積 A_s (mm ²)	せん断作用位置における周長 l (mm)
9	50π

ヒンジ (プレート)				
最薄部の断面積 A_{h7} (mm ²)	水平地震荷重 P_{H7} (N)	吊ピン中心からヒンジ (プレート) 下端までの距離 L_7 (mm)	断面係数 Z_7 (mm ³)	支圧抵抗面積 A_p (mm ²)
1.2×10^3	9561.4838	75	9.3333×10^3	3.063×10^3

取付けボルトの断面積 A_b (mm ²)	ヒンジ1箇所当たりが負担する扉体の自重 P_{w8} (N/mm ²)	鉛直地震力 P_{v8} (N)	水平地震力 P_{H8} (N)
234.89880	7354.9875	8090.4863	9561.4838

戸当りへ作用する荷重 P_9 (N/mm ²)	扉体幅 L_s (mm)	戸当り支圧部の板厚 L_c (mm)	戸当り横幅 L_x (mm)	戸当り縦幅 L_y (mm)
0.0225	1700	12	2075	3075

上部戸当り支圧幅 b_{w1} (mm)	側部戸当り支圧幅 b_{w2} (mm)	下部戸当り支圧幅 b_{w3} (mm)	中央支柱部戸当り支圧幅 b_{w4} (mm)
275	325	300	125

表 5-4(3) 応力評価に用いる計算条件 (3/4)

戸当りへ作用する水平地震力 q (N/mm ²)	戸当り幅 S (mm)
0.0225	275

防護梁			
作用する水平荷重 P_{bh1} (N/mm)	スパン長 L_{b1} (mm)	水平 (強軸) 方向の 断面係数 Z_{bh1} (mm ³)	水平 (強軸) 方向の せん断抵抗断面積 A_{wbh1} (mm ²)
6.743	4820	10.22×10^6	14.82×10^3

防護梁				
作用する 鉛直荷重 P_{bv1} (N/mm)	鉛直 (弱軸) 方向 の断面係数 Z_{bv1} (mm ³)	鉛直 (弱軸) 方向の せん断抵抗断面積 A_{wbv1} (mm ²)	エンドプレート 下端の鉛直荷重 P_{10} (N)	エンドプレート 下端の断面積 A_{10} (mm ²)
10.892	0.7819×10^6	18.85×10^3	3.08909475×10^5	39.824×10^3

ブラケットに 作用する水平力 P_{b2} (N)	側壁からエンドプレート 中心までの長さ l_{b2} (mm)	ブラケットの 断面係数 Z_{b2} (mm ³)	ブラケットの せん断抵抗断面積 A_{wb2} (mm ²)
16.3×10^3	110	14.67×10^6	50.6×10^3

受け台に作用する引張力 T (N)	ブラケット端部からつなぎ材 ボルト中心までの長さ a (mm)	受け台プレートの 断面係数 Z_c (mm ³)
16.3×10^3	90	13.225×10^3

つなぎ材プレートに 作用する水平力 P_{b3} (N)	エンドプレートから ボルト中心までの長さ l_{b3} (mm)	つなぎ材プレートの 断面係数 Z_{b3} (mm ³)	つなぎ材プレートの 断面積 A_{b3} (mm ²)
16.3×10^3	43	5.995×10^3	1.564×10^3

表5-4(4) 応力評価に用いる計算条件 (4/4)

つなぎ材ボルトに作用する引張力 P_d (N)	つなぎ材ボルトの有効断面積 A_d (mm ²)	アンカーボルト群 1列の断面係数 Z_{b4} (mm)	アンカーボルト群 1列の本数 n (本)
16.3×10^3	245	1225	6

つなぎ材ボルトの有効プレート幅 B_p (mm)	つなぎ材プレート厚 t_p (mm)
36.5	23

押さえ工 (プレート) に作用する防護梁の地震慣性力 F' (N)	押さえ工 (プレート) の断面係数 Z_{b5} (mm ³)	押さえ工 (プレート) の断面積 A_{b5} (mm ²)
2.035×10^5	3.5532×10^4	1.1844×10^4

押さえ工 (ボルト) の鉛直方向のピッチ l_{b5} (mm)	押さえ工 (ボルト) の本数 n_5 (本)
200	8

6. 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位の応力評価結果を表6-1 に示す。

発生応力が許容応力以下であることから構造部材が十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6-1(1) 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体）

評価部位		地震力方向	評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b		
扉体	スキンプレート	水路縦断方向	曲げ応力度	1.06	154	0.01		
	主桁	水路縦断方向	曲げ応力度	1桁	0.84	154	0.01	
				2,3桁	0.77	154	0.01	
				4桁	0.60	154	0.01	
			せん断応力度	1桁	0.47	88	0.01	
				2,3桁	0.54	88	0.01	
				4桁	0.36	88	0.01	
			—	合成応力度	1桁	1.17	154	0.01
					2,3桁	1.22	154	0.01
					4桁	0.87	154	0.01
	補助縦桁	水路縦断方向	曲げ応力度	0.16	153	0.01		
			せん断応力度	0.18	88	0.01		
		—	合成応力度	0.36	154	0.01		
	中央支柱	水路縦断方向	曲げ応力度	2.41	143	0.02		
			せん断応力度	2.62	88	0.03		
		—	合成応力度	5.14	154	0.04		
	中央支柱（アンカーボルト）	水路縦断方向	引張力*	3.60	292	0.02		
			せん断力*	2.81	204	0.02		
	中央横桁	水路縦断方向	曲げ応力度	3.41	153	0.03		
			せん断応力度	2.78	88	0.04		
		—	合成応力度	5.91	154	0.04		

注記*：アンカーボルトの照査については発生力（単位：kN），許容値（単位：kN）を示す。

表 6-1(2) 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体）

評価部位		地震力方向	評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b
扉体	ヒンジ (プレート)	水路縦断方向	せん断応力度	15.14	88	0.18
		水路横断方向	曲げ応力度	76.84	154	0.50
			支圧応力度	3.13	231	0.02
	ヒンジ(ピン)	水路縦断方向 鉛直方向	曲げ応力度	37.38	154	0.25
			せん断応力度	6.17	88	0.08
		—	合成応力度	38.88	154	0.26
	エンドプレート	水路横断方向	せん断応力度	6.8	88	0.08
	ヒンジ取付け ボルト	水路縦断方向 鉛直方向	引張応力度	32.88	154	0.22
			せん断応力度	20.36	88	0.24
		—	合成応力度	48.22	154	0.32

表 6-1(3) 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部）

評価部位		地震力方向	評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b
固定部	ヒンジ取付け ボルト	水路縦断方向	引張応力度	10.18	154	0.07
		鉛直方向	せん断応力度	16.44	88	0.19
			—	合成応力度	30.24	154
		水路横断方向 鉛直方向	せん断応力度	19.34	88	0.22
	戸当り	水路縦断方向	支圧応力度	1.60	231	0.01
	戸当り部コ ンクリート	水路縦断方向	支圧応力度	0.07	13.5	0.01
			せん断応力度	0.04	1.5	0.03

表 6-1(4) 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工）

評価部位		地震力方向	評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b	
漂流物防護工	防護梁	水路縦断方向	曲げ応力度	41	382	0.11	
		鉛直方向	せん断応力度	2	217	0.01	
		—	合成応力度	0.02	1.2	0.02	
		水路縦断方向 鉛直方向	二軸応力	0.02	1.2	0.02	
	出口側集水ピット 底版コンクリート	鉛直方向	支圧応力度	7.76	13.5	0.58	
	ブラケット	水路縦断方向	曲げ応力度	1	382	0.01	
			せん断応力度	1	217	0.01	
		—	合成応力度	0.01	1.2	0.01	
	つなぎ材 (M20)	水路縦断方向	引張応力度	67	210	0.32	
	つなぎ材 (プレート)	水路縦断方向	曲げ応力度	117	382	0.31	
			せん断応力度	11	217	0.06	
		—	合成応力度	0.10	1.2	0.09	
		水路横断方向	せん断応力度	20	217	0.10	
	アンカー ボルト			評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b
		水路縦断方向	引張	1	105	0.01	
			せん断	2	85	0.03	
		—	合成	0.01	1.2	0.01	
	押さえ工 (プレート)			評価応力	発生応力 a (N/mm ²)	許容応力 b (N/mm ²)	照査値 a/b
		鉛直方向	曲げ応力度	115	382	0.31	
せん断応力度			9	217	0.05		
合成応力度			0.10	1.2	0.09		
押さえ工 (ボルト)			評価項目	発生値 a (kN)	許容値 b (kN)	照査値 a/b	
	鉛直方向	引張	6	22.4	0.27		
		せん断	13	36.9	0.36		
		合成	0.20	1.2	0.17		

7. 出口側集水ピットの強度評価

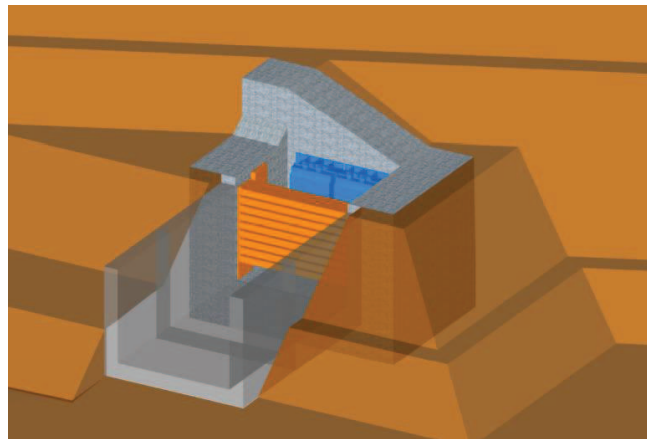
7.1 出口側集水ピットの構造概要

出口側集水ピットは、底版と3面の壁からなる箱型の鉄筋コンクリート構造物であり、防潮堤（盛土堤防）に設置する。出口側集水ピットが屋外排水路（防潮堤北側）と接続する箇所に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を設置する。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の間接支持機能を持つ出口側集水ピットは、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土に埋め込まれるため、漂流物が直接衝突することはない。

出口側集水ピットに要求される機能維持の確認として、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

出口側集水ピットの概念図を図7-1に、構造図を図7-2に、概略配筋図を図7-3に示す。



**構造概略図
(正面)**

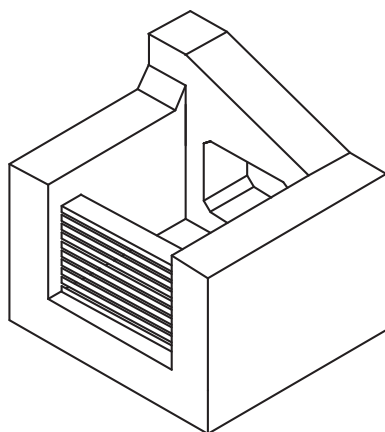


図7-1 出口側集水ピットの概念図

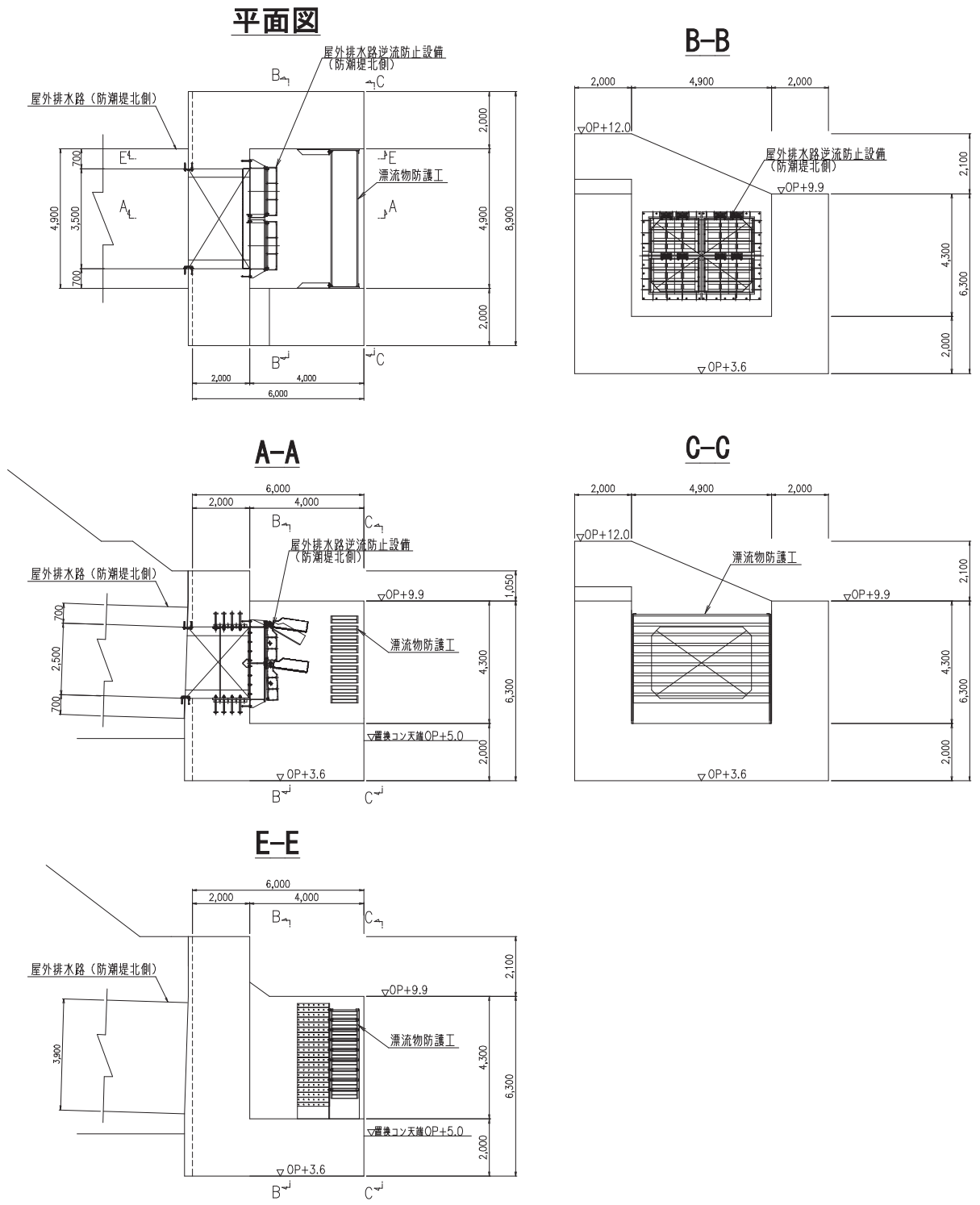
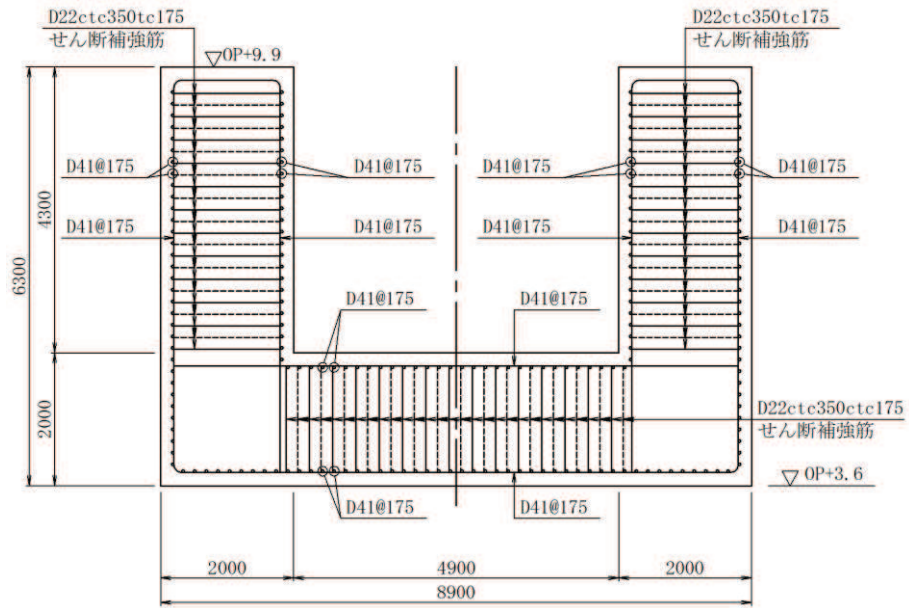


図 7-2 出口側集水ピット構造図

B-B 断面



E-E 断面

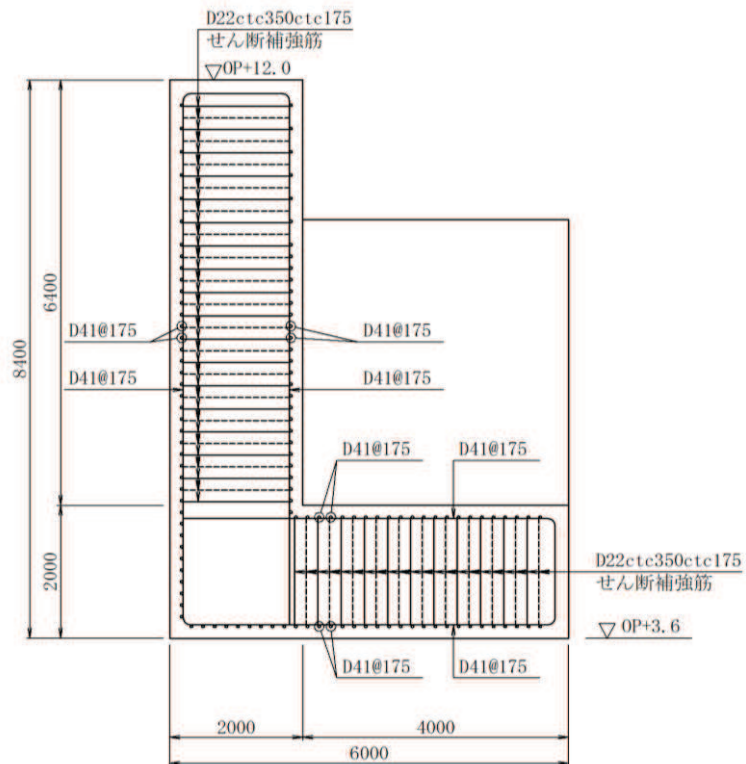


図 7-3 出口側集水ピット概略配筋図 (単位 : mm)

7.2 評価方針

出口側集水ピットの耐震評価は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s に対して実施する地震応答解析の結果に基づき、表 7-1 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を実施することにより、構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析から得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた線形シェル要素による三次元静的線形解析（以下「三次元構造解析」という。）を実施し、部材に発生する発生応力が許容限界以下であることを確認する。

図7-4に出口側集水ピットの耐震評価フローを示す。

表 7-1 出口側集水ピットの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容せん断力

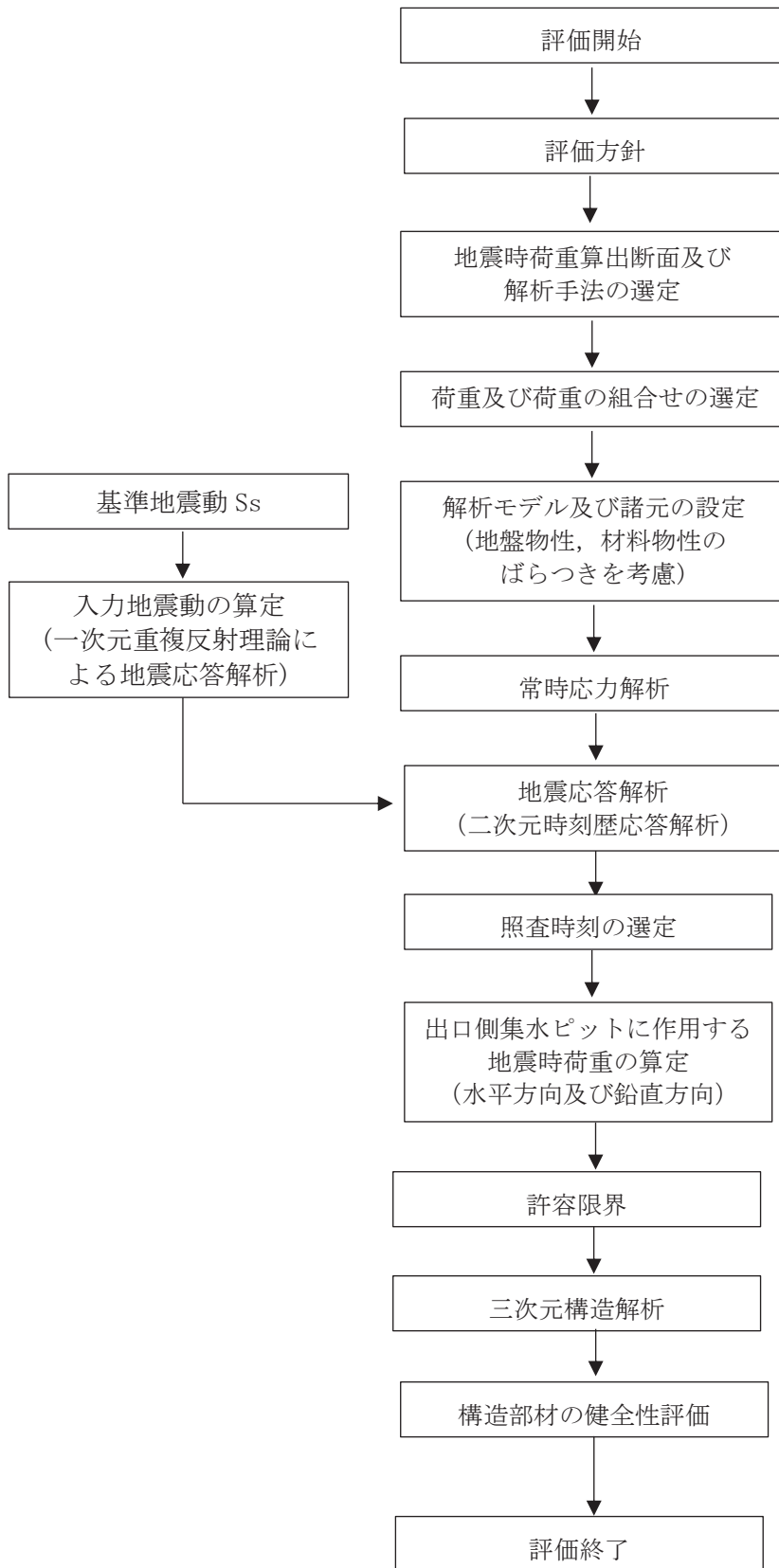


図 7-4 出口側集水ピットの耐震評価フロー

8. 地震応答解析

8.1 地震時荷重算出断面

出口側集水ピットの地震時荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。地震時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、ピットの縦断方向である A-A 断面とする。また、出口側集水ピットの評価対象断面図を図 8-2 に示す。

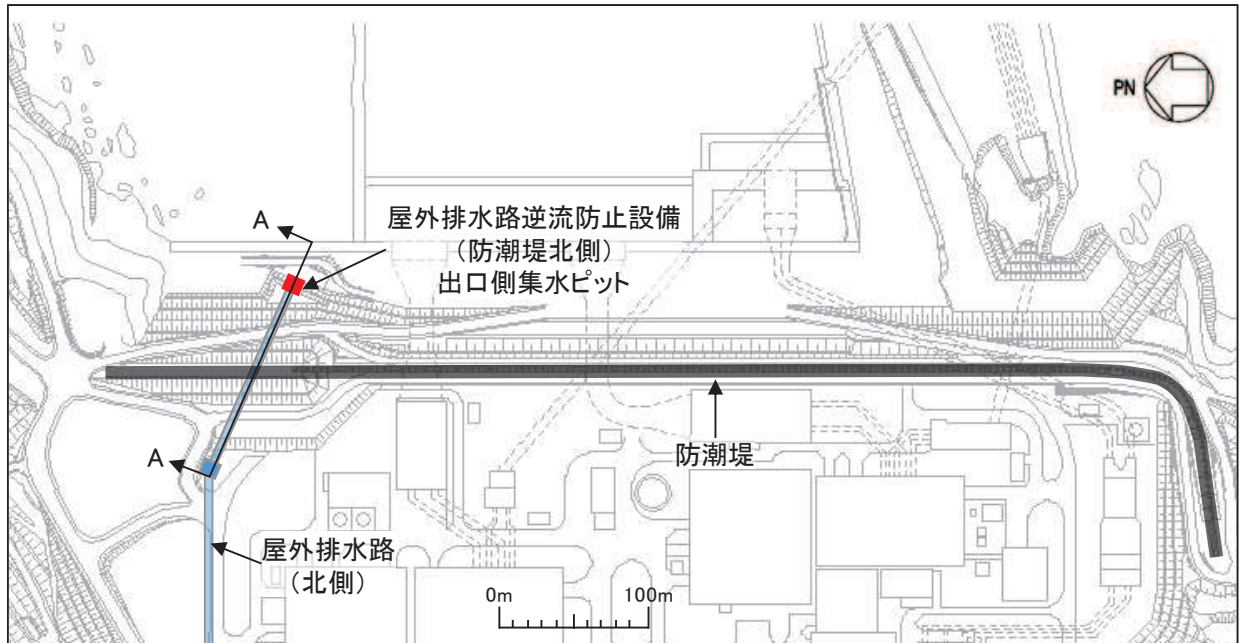


図 8-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

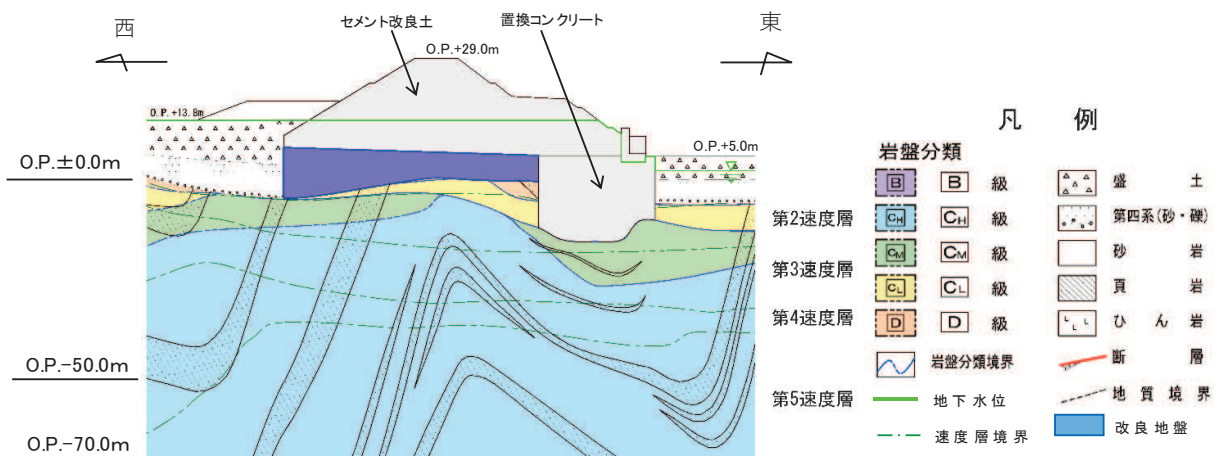


図 8-2 出口側集水ピットの評価対象断面図 (A-A 断面)

8.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析を行うこととし、地盤の有効応力の変化に応じた地震時挙動を考慮できる有効応力解析手法を用いる。

有効応力解析には、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(1) 構造部材

出口側集水ピットは、西壁及び底版は線形はり要素（ビーム要素）、南北壁は平面応力要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土は、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(2) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として旧表土、盛土、D 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に出口側集水ピットの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 8-1 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

なお、出口側集水ピットは、新設構造物であり許容応力度法により設計を行っており、十分に裕度を確保した設計としていることから、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④による耐震評価は実施せず、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出において、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

表 8-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

(3) 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし, 剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) とする。

(4) 地震応答解析の検討ケースの選定

a. 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて表 8-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 8-2 に示す。

表 8-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ	平均値
地震動 (位相)	$S_s - D 1$	++*1	○		
		--*1	○		
	$S_s - D 2$	++*1	○		
		--*1	○		
	$S_s - D 3$	++*1	○		
		--*1	○		
	$S_s - F 1$	++*1	○		
		--*1	○		
	$S_s - F 2$	++*1	○		
		--*1	○		
	$S_s - F 3$	++*1	○		
		--*1	○		
	$S_s - N 1$	++*1	○		
		--*1	○		

基準地震動 S_s (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。
照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。

注記 *1: 地震動の位相について (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

- b. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出のための解析ケース
 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として解析ケース①に加え、表 8-3 に示す解析ケース②～④を実施する。

表 8-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の
 応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*3
地震動（位相）	S s - D 1	++*1	○	○	○
		−+*1, 2	○	−	−
	S s - D 2	++*1	○	○	○
		−+*1, 2	○	−	−
	S s - D 3	++*1	○	○	○
		−+*1, 2	○	−	−
	S s - F 1	++*1	○	○	○
		−+*1, 2	○	−	−
	S s - F 2	++*1	○	○	○
		−+*1, 2	○	−	−
	S s - F 3	++*1	○	○	○
		−+*1, 2	○	−	−
	S s - N 1	++*1	○	○	○
		−+*1, 2	○	−	−

注記 *1：地震動の位相について（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「−」は位相を反転させたケースを示す。

*2：位相反転ケース（−+）でのケース②～④について、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、津波波圧が支配的な荷重であり、地震荷重が構造成立性に及ぼす影響が小さいことから検討を省略する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

8.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

8.3.1 耐震評価上考慮する状態

出口側集水ピットの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風の影響を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

8.3.2 荷重

出口側集水ピットの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重を考慮する。また、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(5) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

8.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8-4 に示す。

表 8-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重

8.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 8-3 に入力地震動算定の概念図を、図 8-4 に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示す。入力地震動の算定には、解析コード「Shake ver. 1.63」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

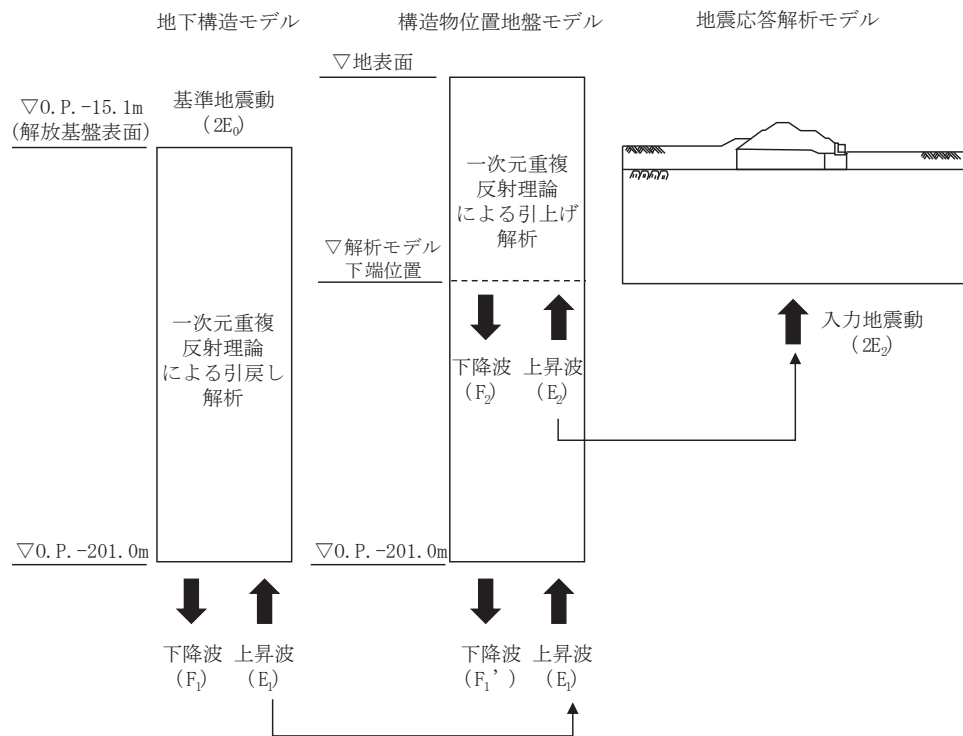
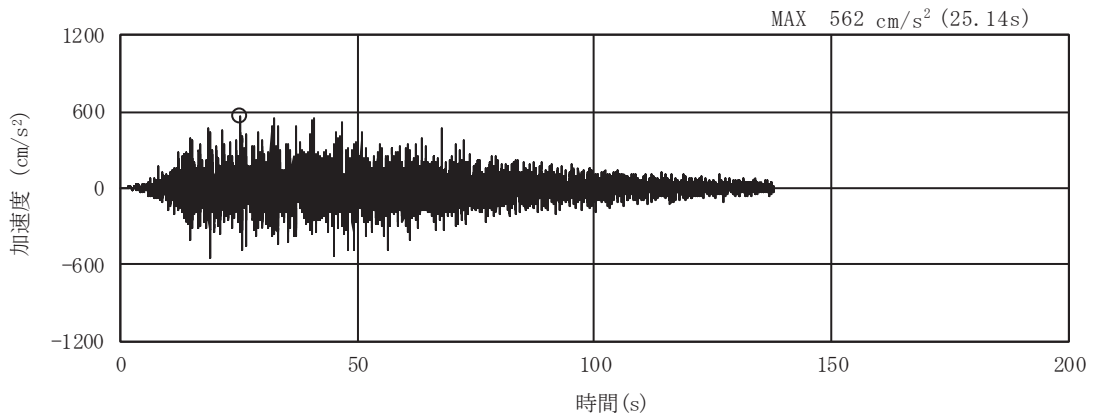
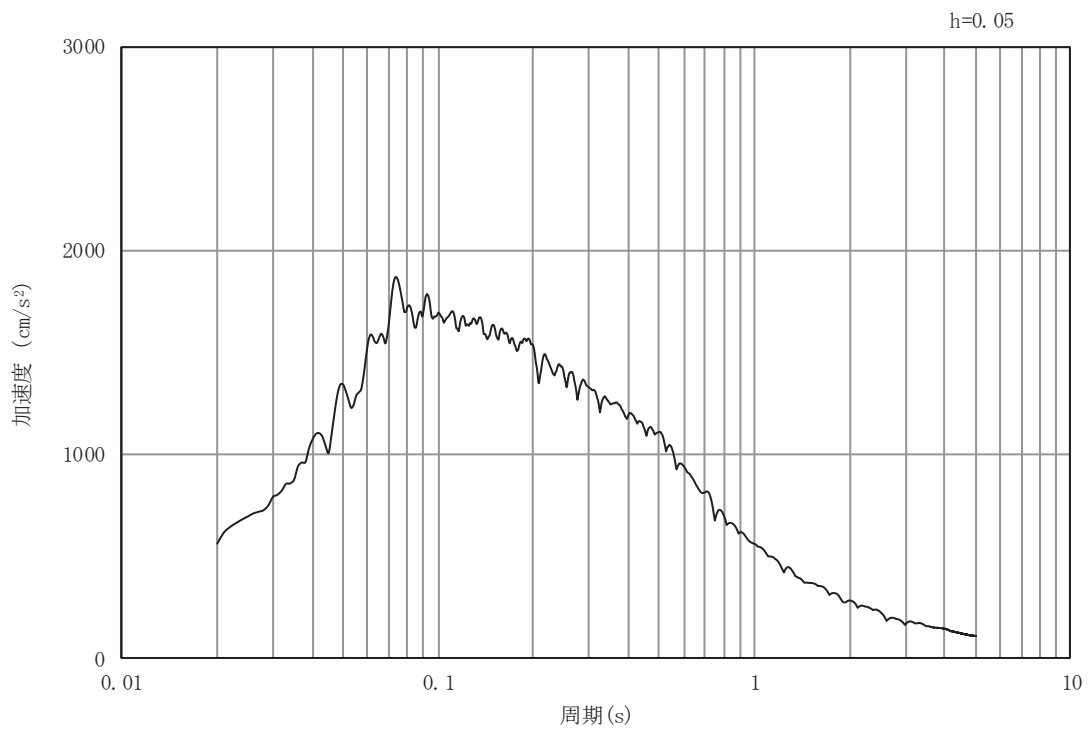


図 8-3 入力地震動算定の概念図

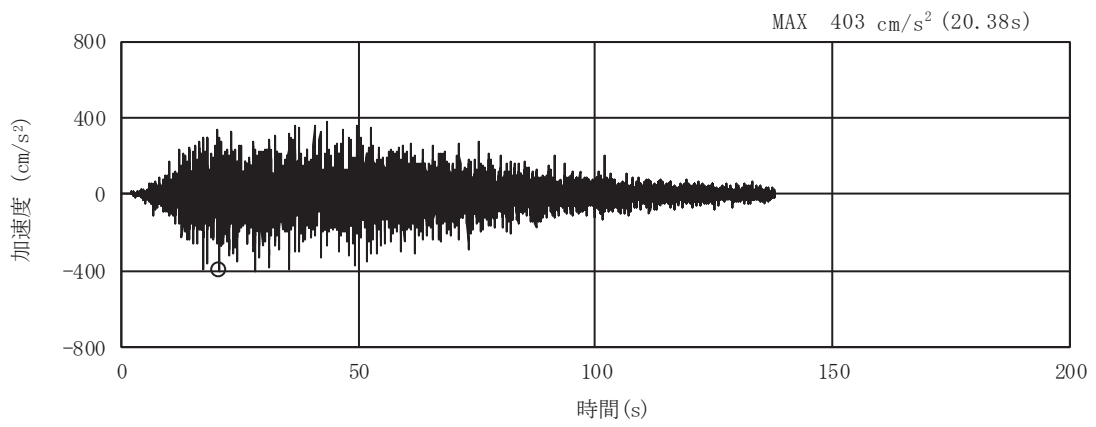


(a) 加速度時刻歴波形

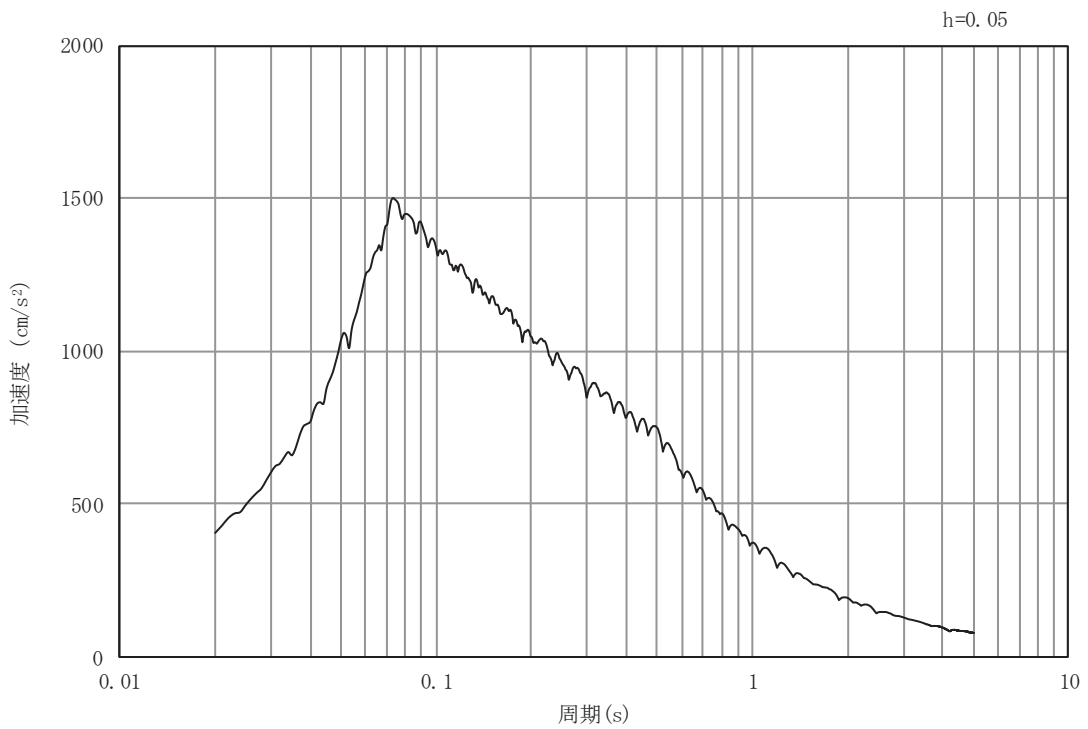


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(1) 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
(水平方向：S s - D 1)

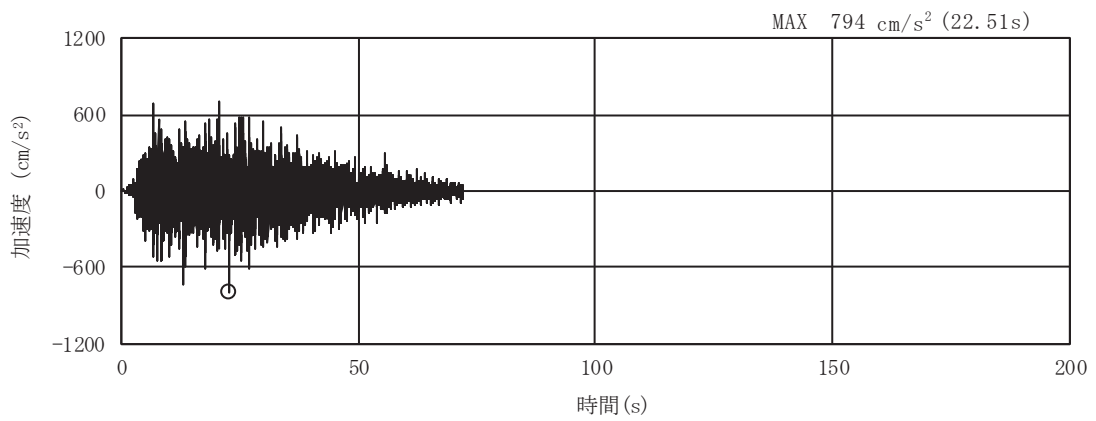


(a) 加速度時刻歴波形

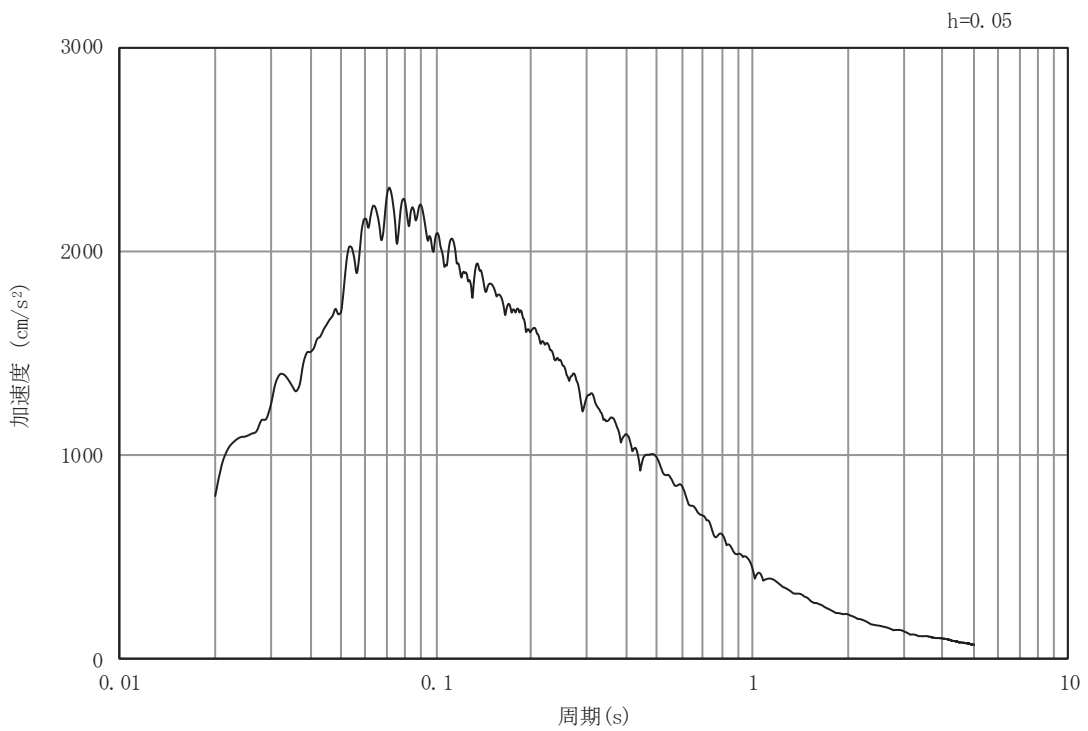


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(2) 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
(鉛直方向：S s - D 1)

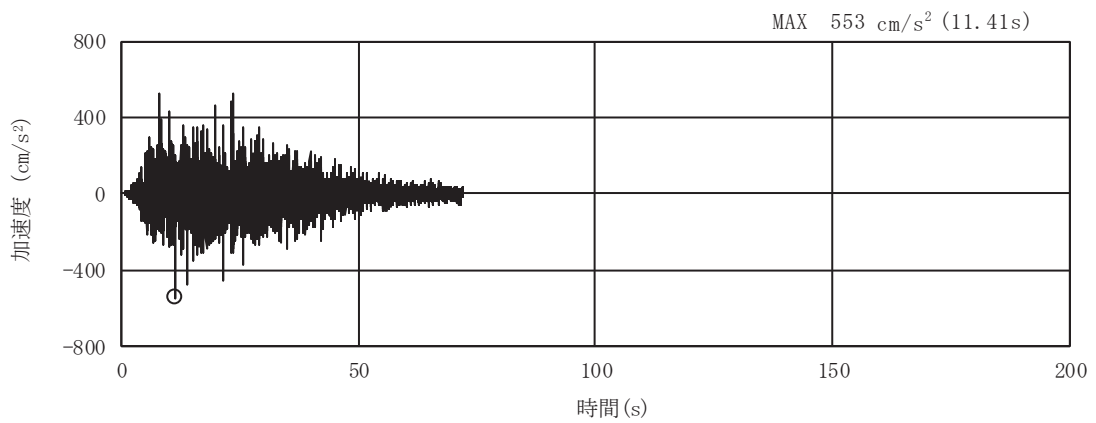


(a) 加速度時刻歴波形

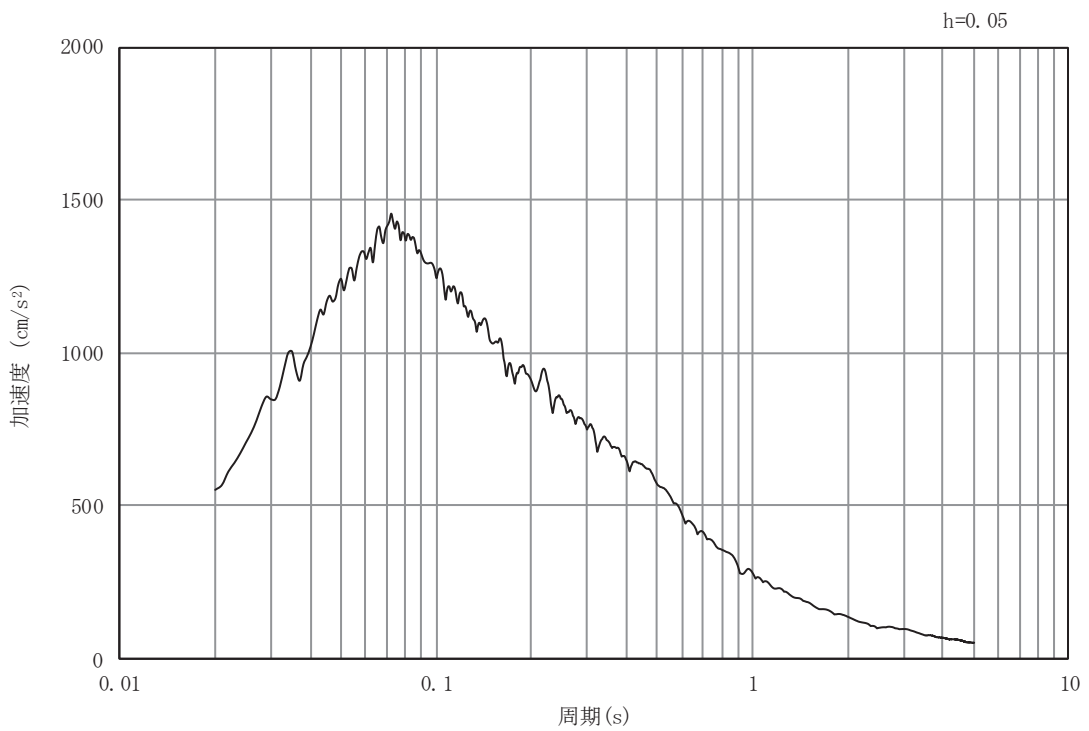


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(3) 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
(水平方向：S s - D 2)

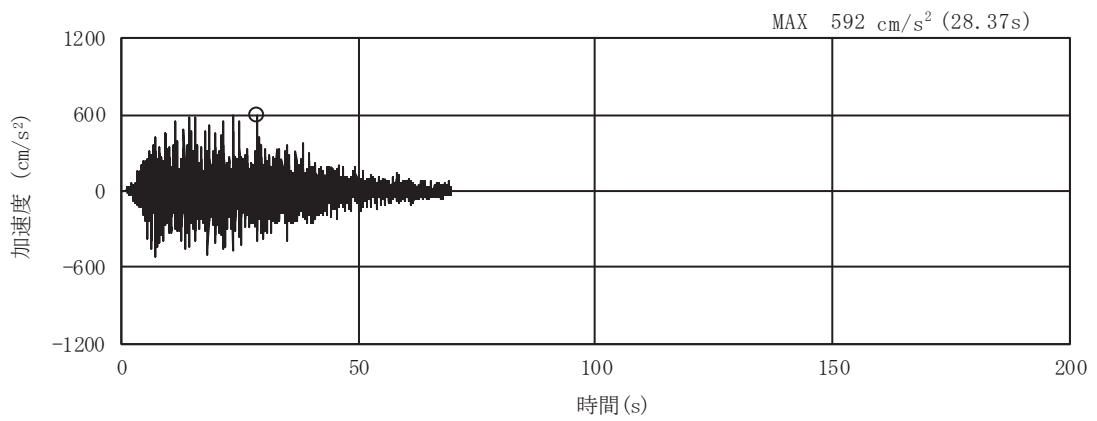


(a) 加速度時刻歴波形

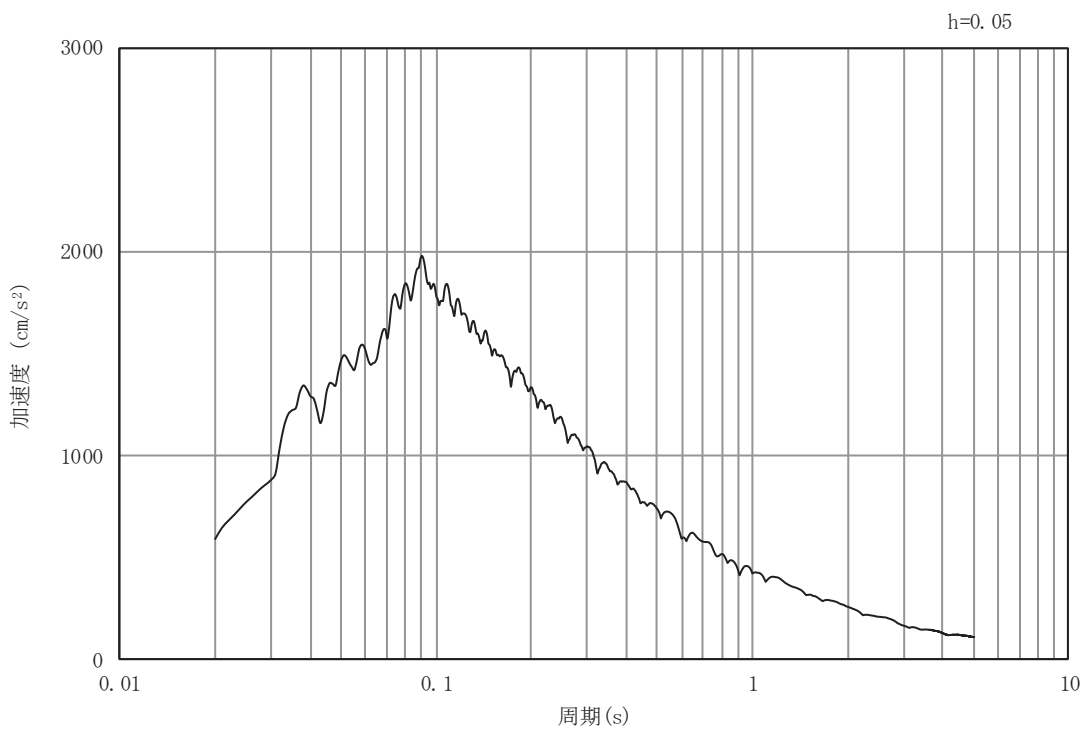


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(4) 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
(鉛直方向：S s -D 2)

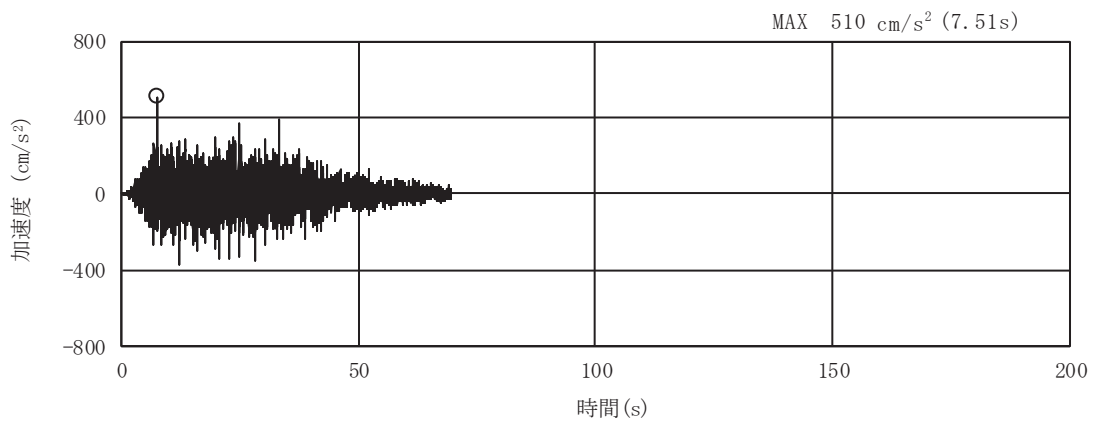


(a) 加速度時刻歴波形

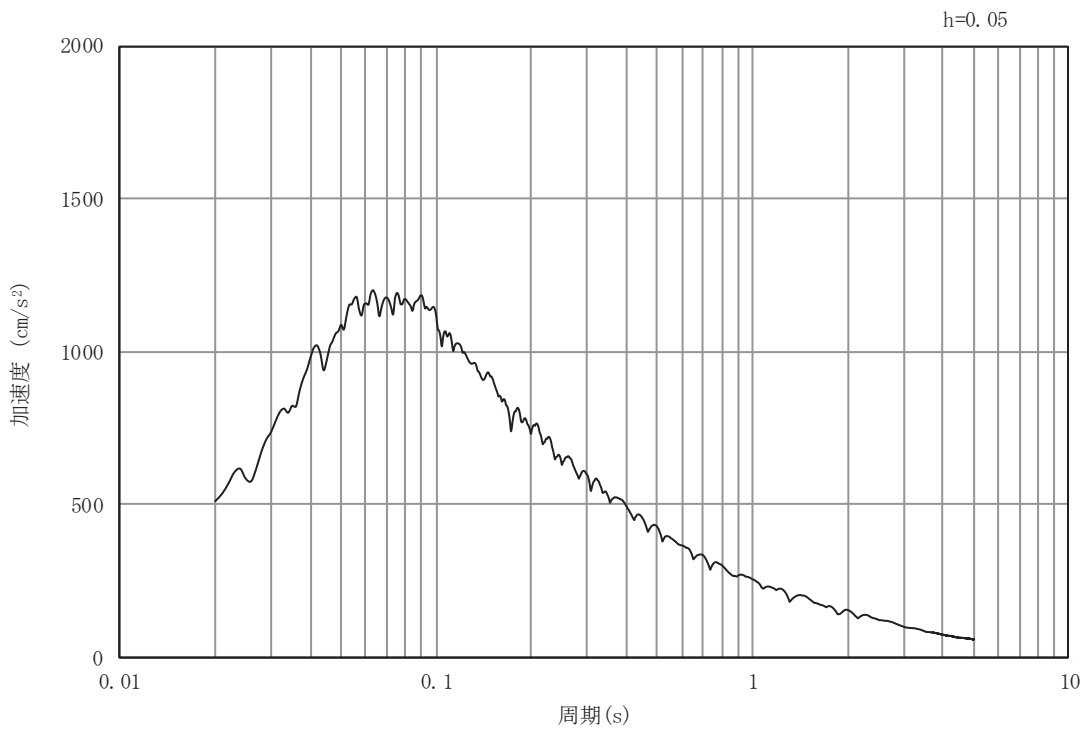


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(5) 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
(水平方向 : S s - D 3)

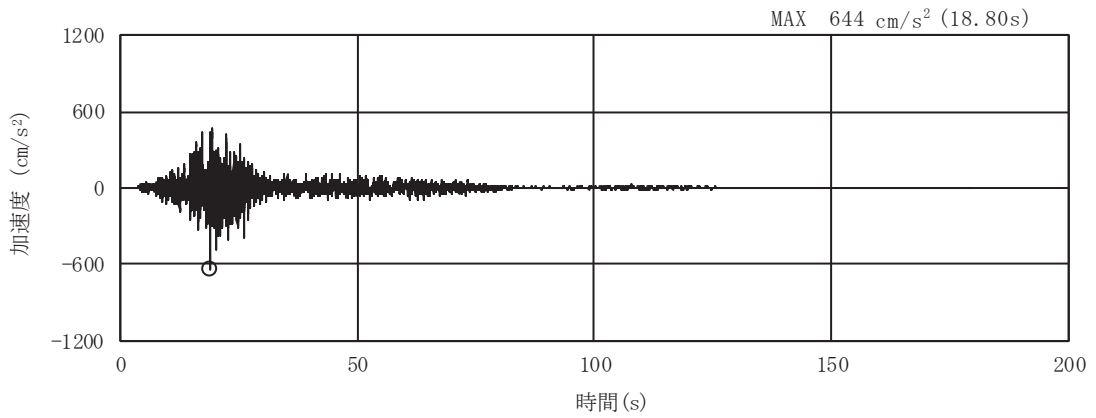


(a) 加速度時刻歴波形

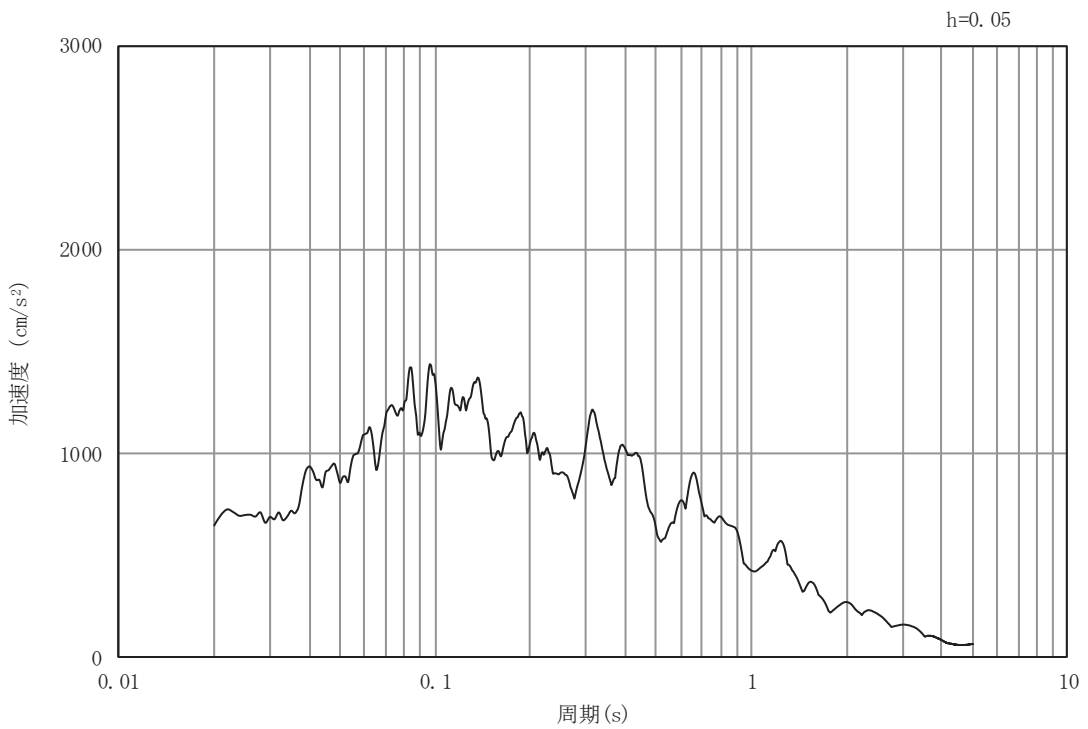


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(6) 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
(鉛直方向：S s - D 3)

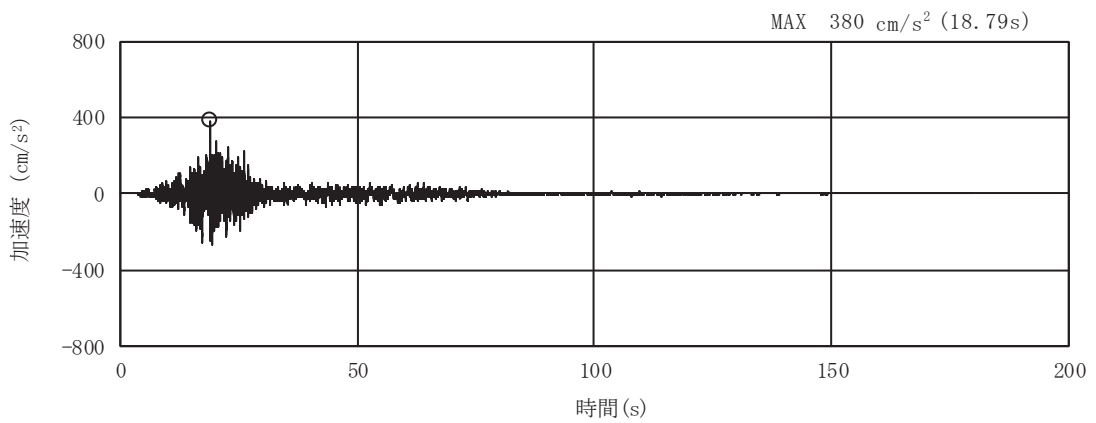


(a) 加速度時刻歴波形

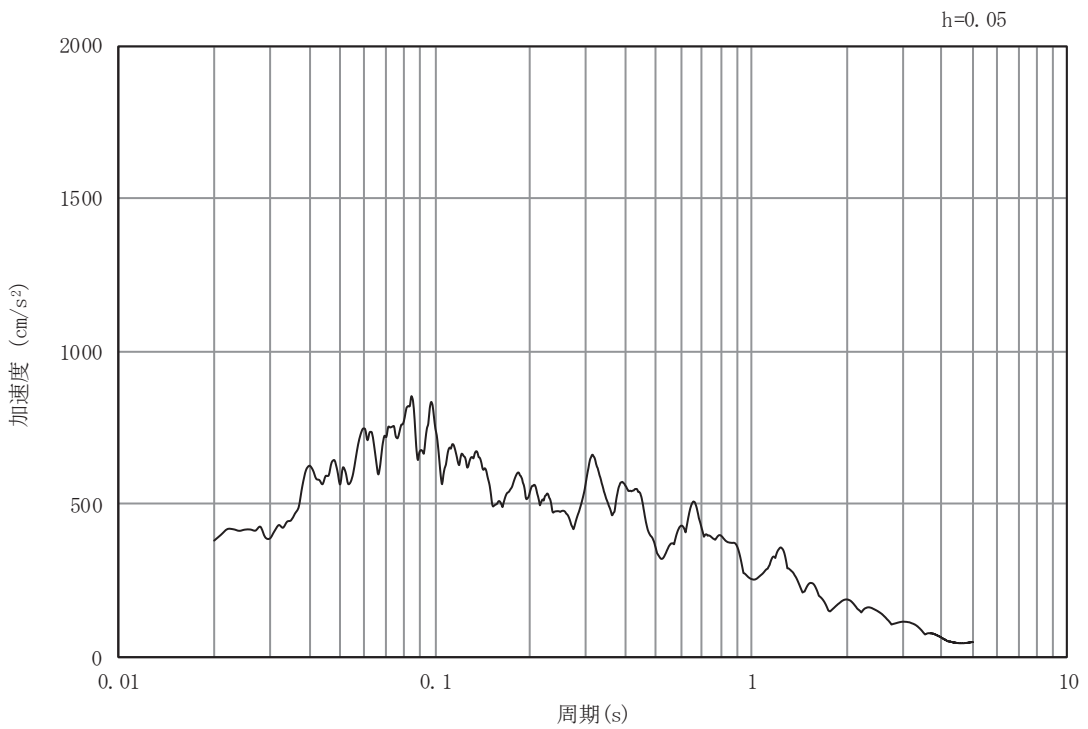


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(7) 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
(水平方向 : S s - F 1)

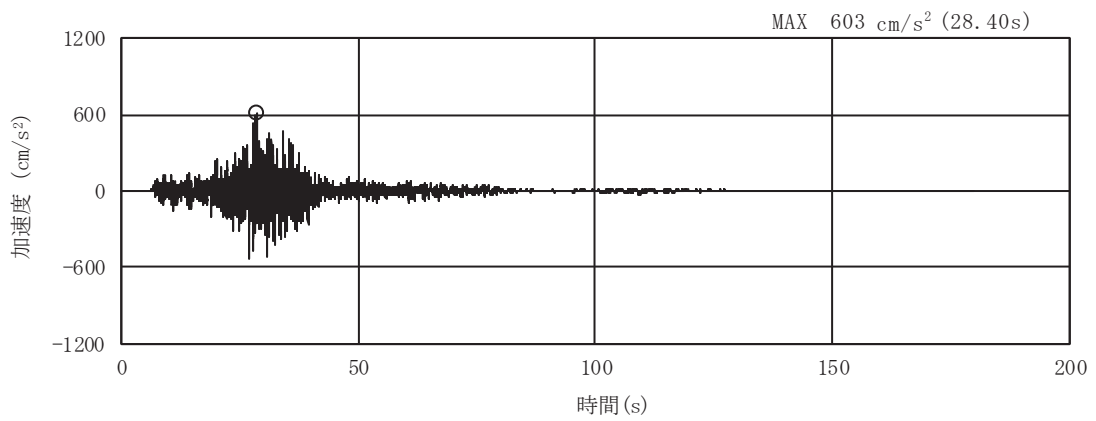


(a) 加速度時刻歴波形

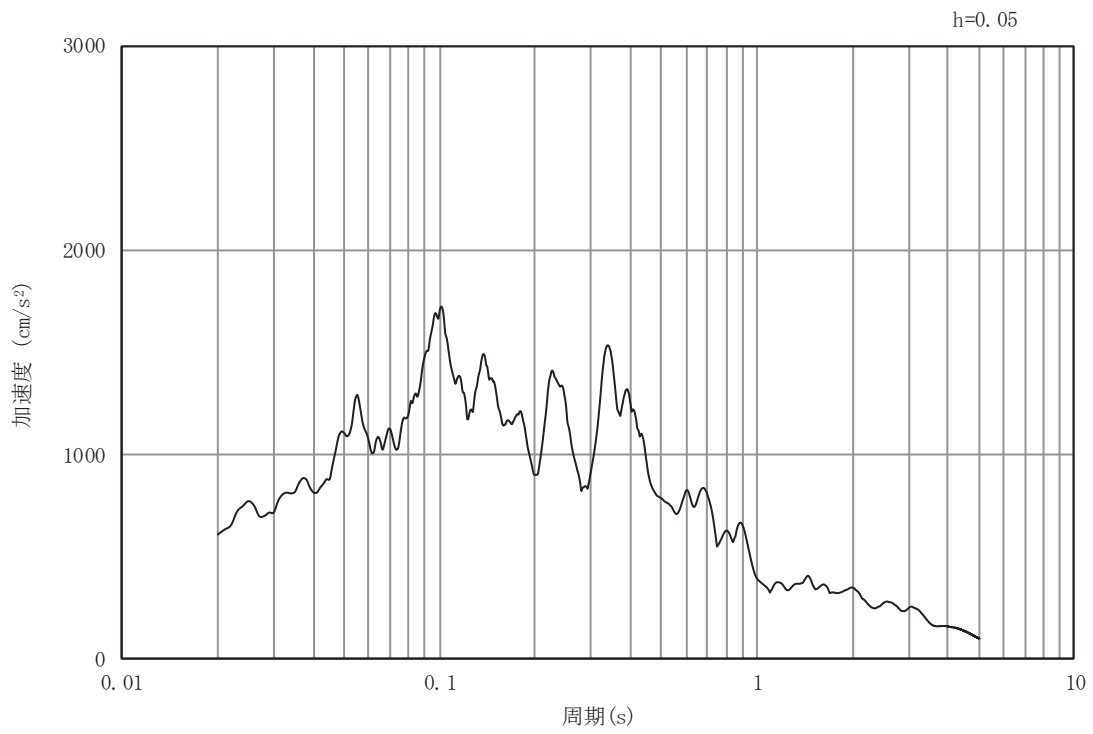


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(8) 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
(鉛直方向：S s - F 1)

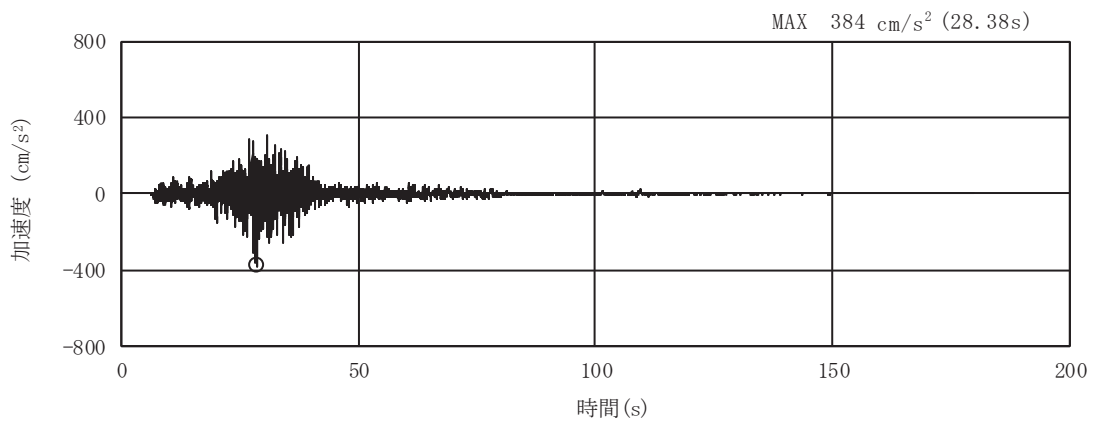


(a) 加速度時刻歴波形

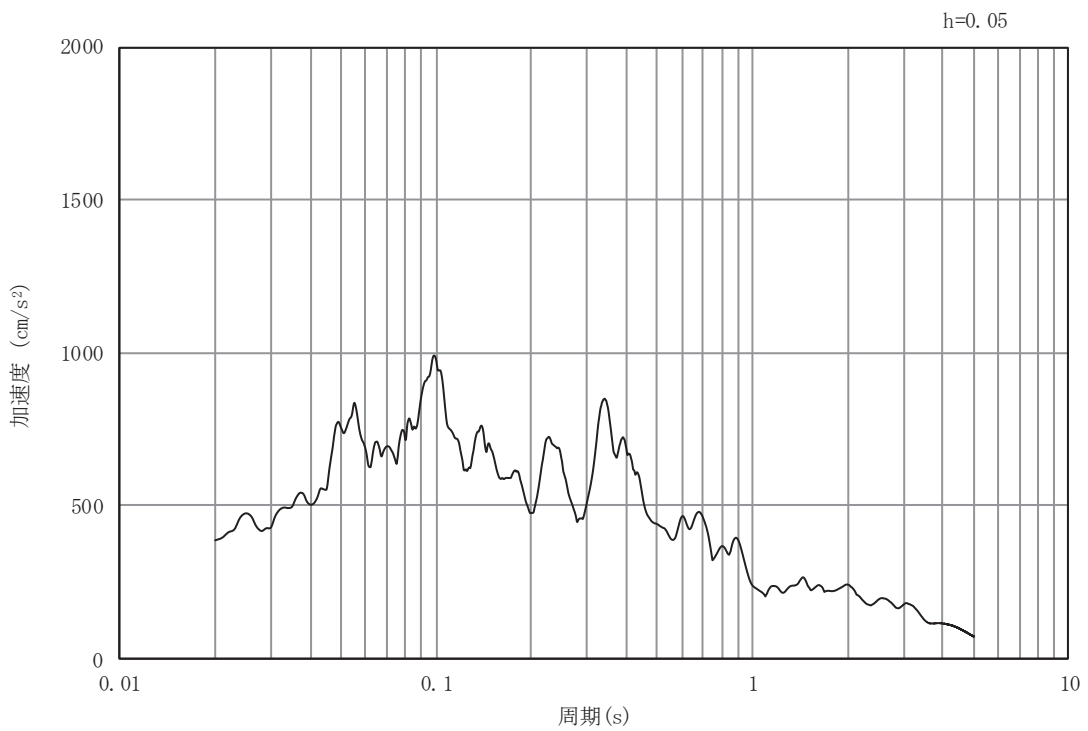


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(9) 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
(水平方向：S s - F 2)

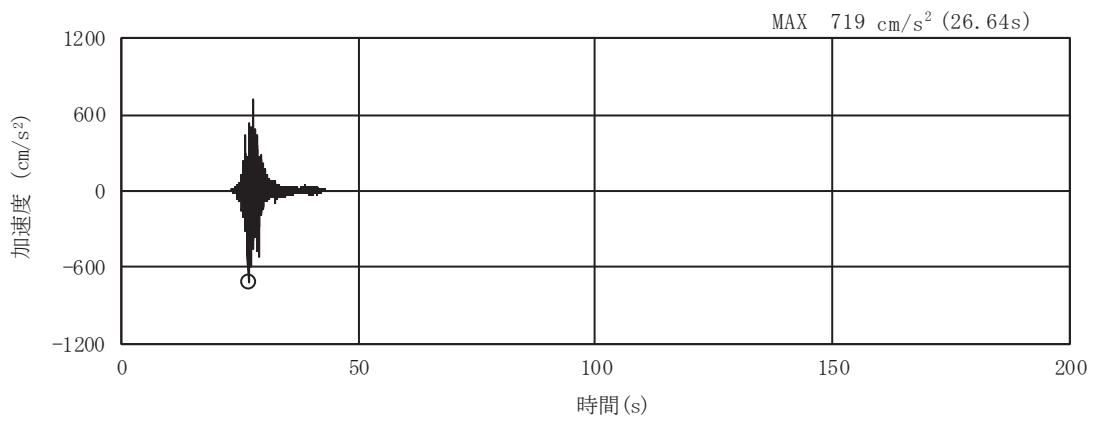


(a) 加速度時刻歴波形

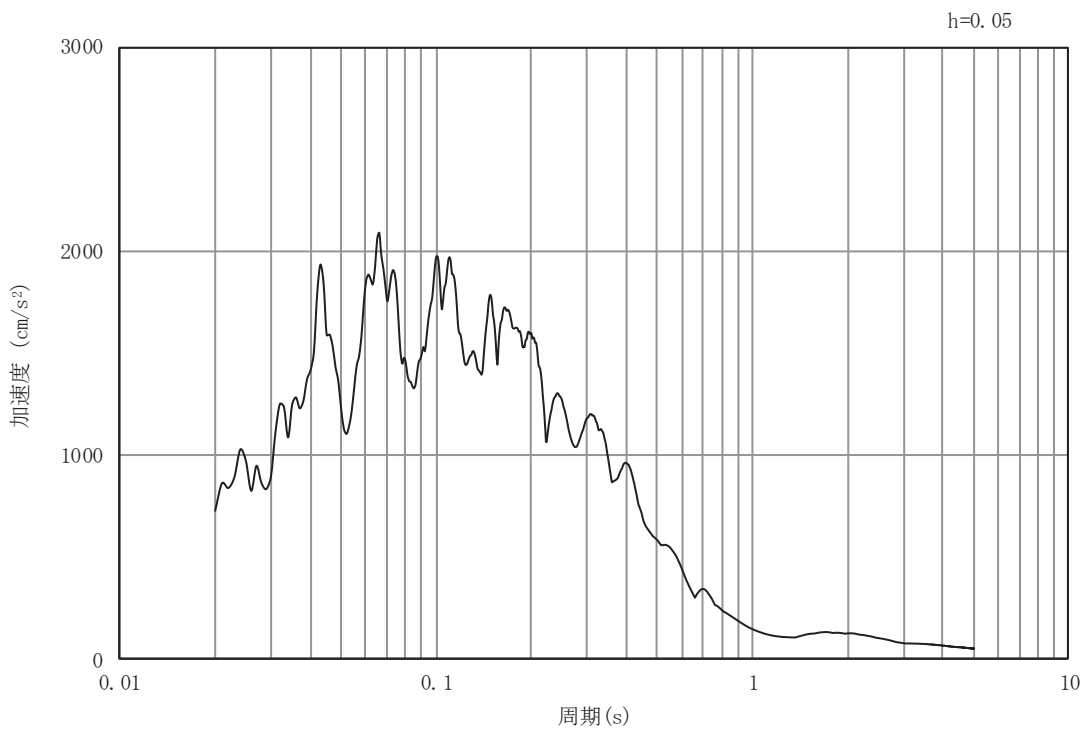


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(10) 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
(鉛直方向：S s - F 2)

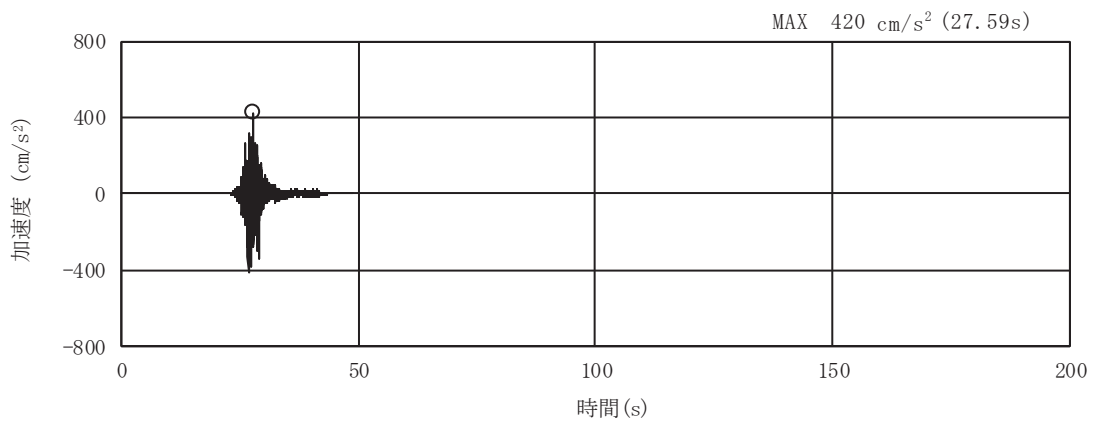


(a) 加速度時刻歴波形

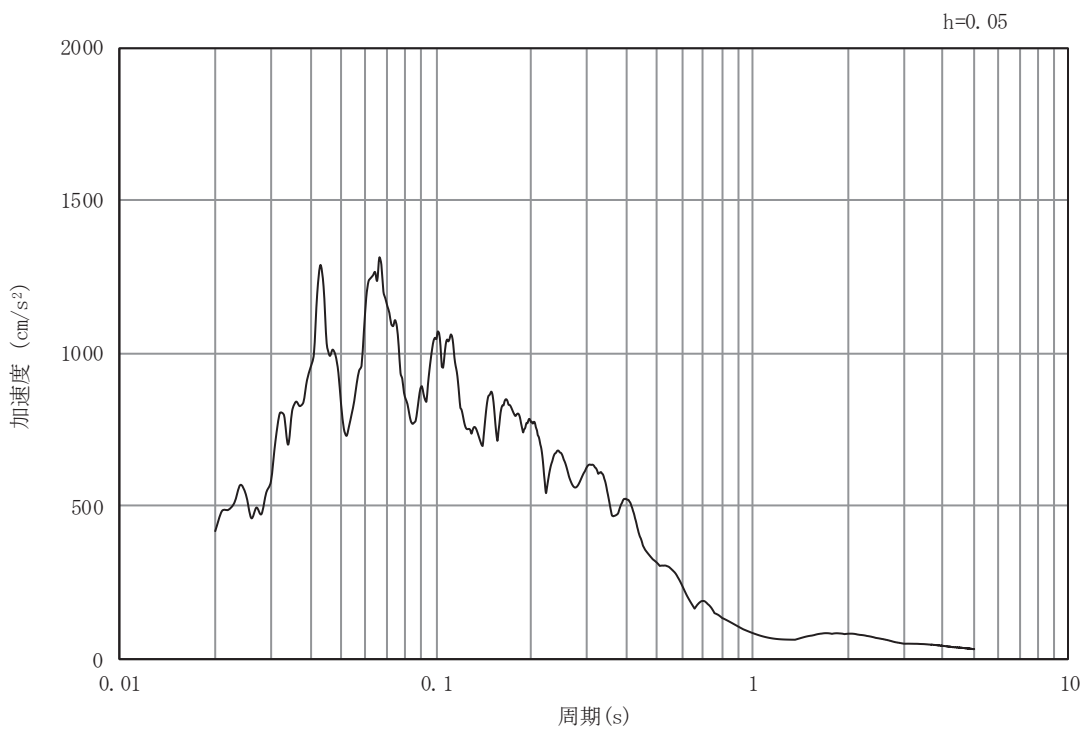


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(11) 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
(水平方向：S s - F 3)

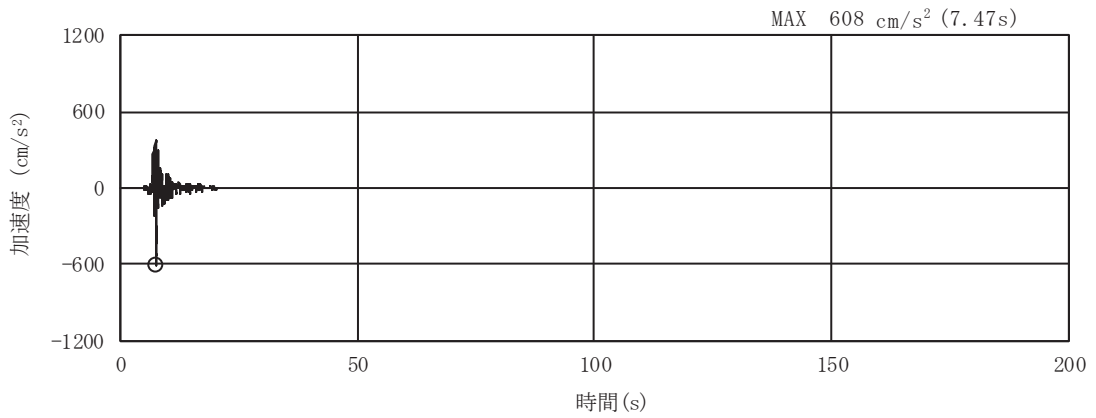


(a) 加速度時刻歴波形

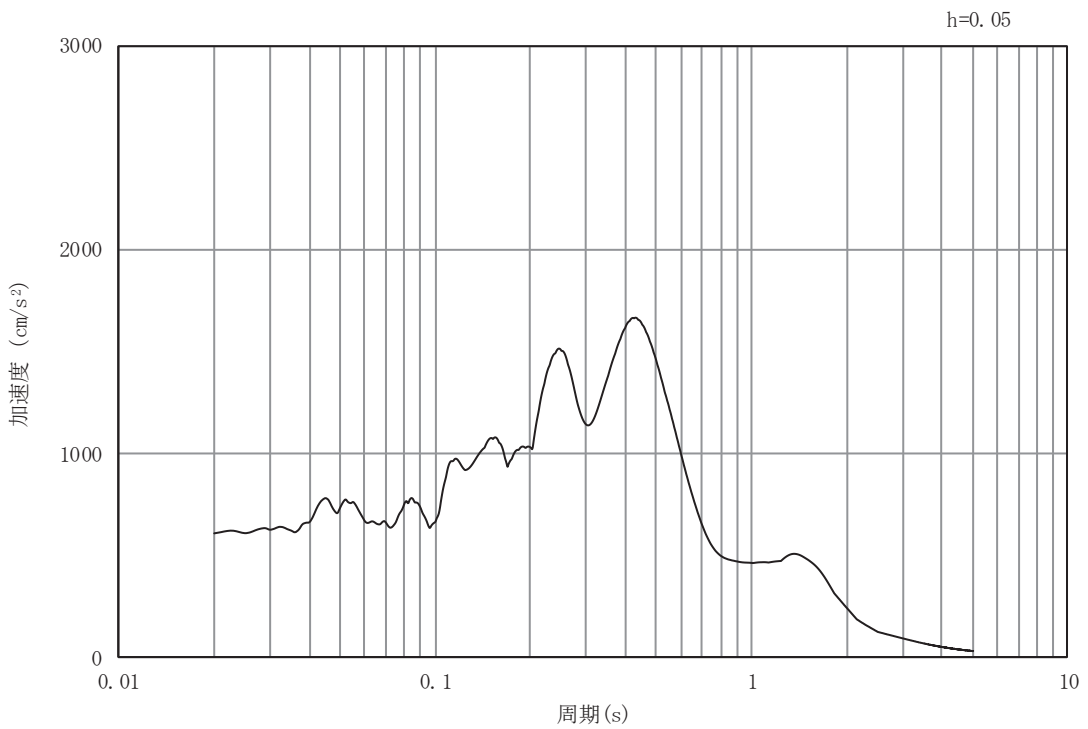


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(12) 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
(鉛直方向：S s - F 3)

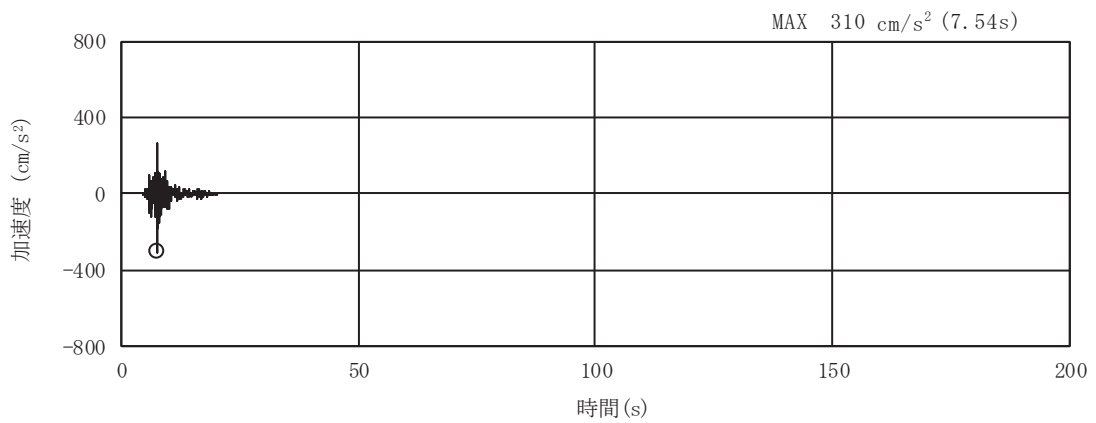


(a) 加速度時刻歴波形

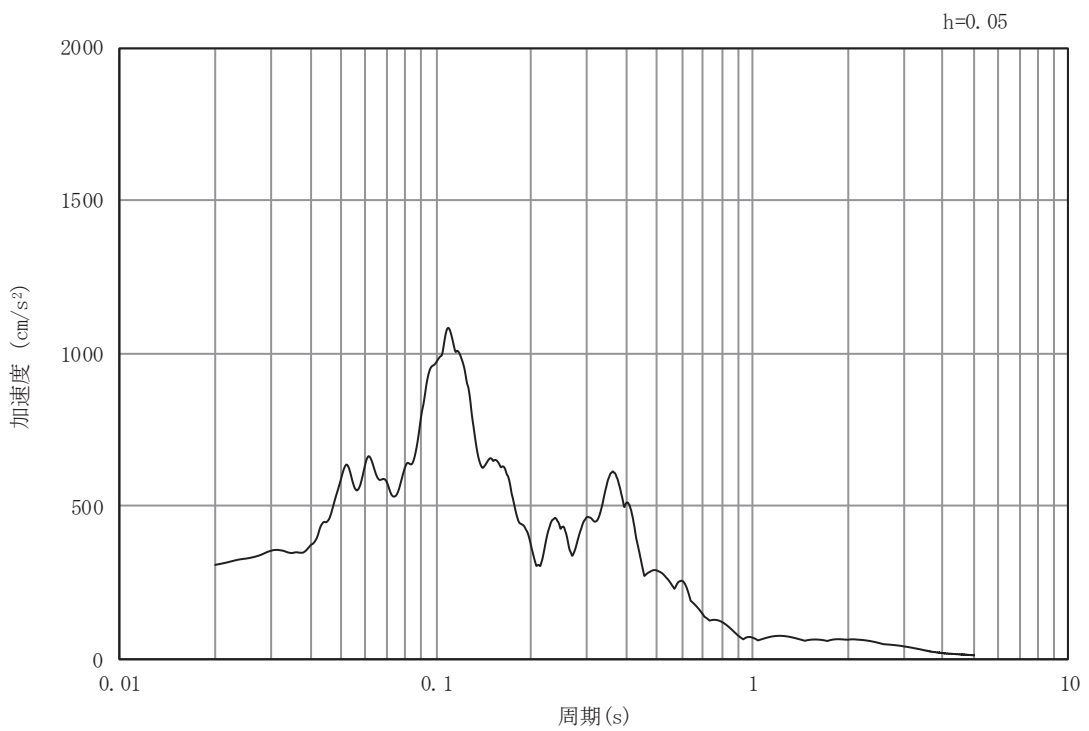


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(13) 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
 (水平方向：S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(14) 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
(鉛直方向：S s - N 1)

8.5 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-5 に示す。

a. 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

b. 境界条件

境界条件は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

c. 構造物のモデル化

出口側集水ピットは、線形はり要素（ビーム要素）及び平面応力要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土及び置換コンクリートは、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）及び線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

d. 地盤のモデル化

D₁級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。また、一般部に分布するD₂級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は地盤の非線形性を考慮するため、マルチスプリング要素でモデル化する。

e. ジョイントのモデル化

「セメント改良土・改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「セメント改良土と改良地盤」、「改良地盤と置換コンクリート」、「出口側集水ピットとセメント改良土」及び「出口側集水ピットと置換コンクリート」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

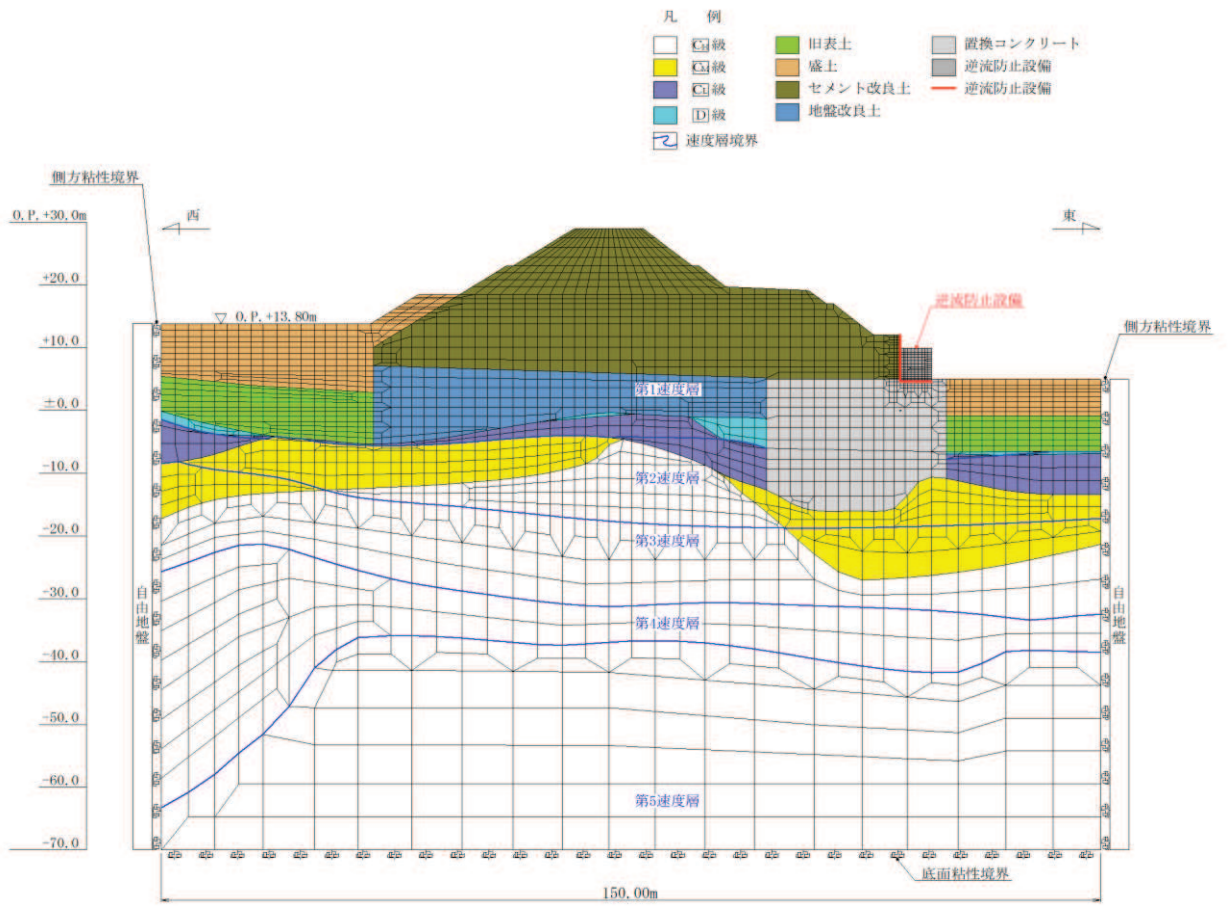


図 8-5 出口側集水ピットの解析モデル (A-A断面)

(2) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-5 に、材料の物性値を表 8-6 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

表 8-5 使用材料

諸元		
出口側集水ピット	鉄筋（主筋）	SD345
	コンクリート	設計基準強度 30 N/mm ²
防潮堤（盛土堤防）	置換コンクリート	設計基準強度 30 N/mm ²

表 8-6 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート（出口側集水ピット）	24.0	2.80×10 ⁴	0.2
コンクリート （防潮堤（盛土堤防）：置換コンクリート）	22.5	2.80×10 ⁴	0.2

(3) 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

(4) 地下水位

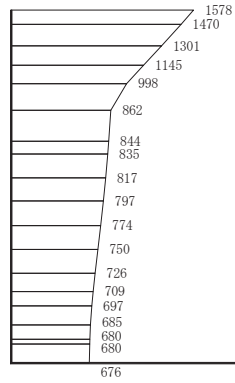
地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 8-2 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 8-7 に示す。

表 8-7 設計用地下水位の一覧

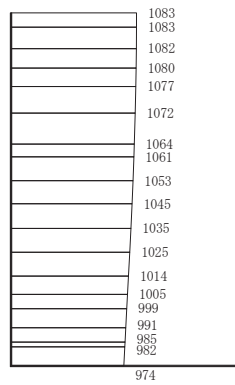
施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
出口側集水ピット	A-A断面	地表面に設定する。



8.6 地震応答解析結果

地震応答解析で得られた各ケースの東西方向の最大加速度分布を図 8-6 に示す。



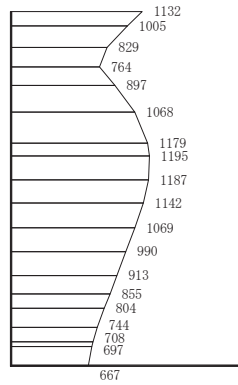
(a) S s - D 1 (++) 水平



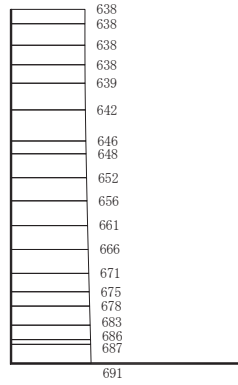
構造スケール 0  2 (m) 応答値スケール 0  1000 (cm/s²)

(b) S s - D 1 (++) 鉛直

図 8-6(1) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



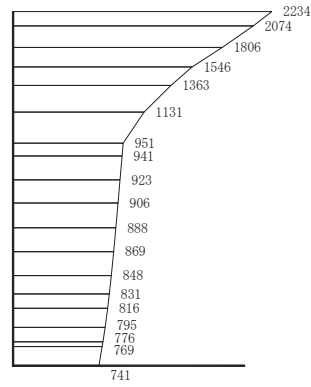
(a) S s - D 1 (- +) 水平



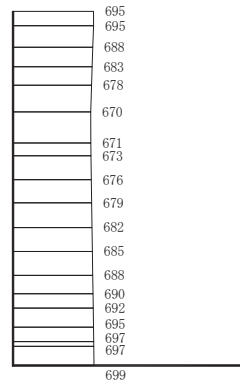
(b) S s - D 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

図 8-6(2) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



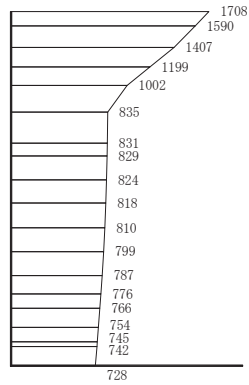
(a) S s - D 2 (++) 水平



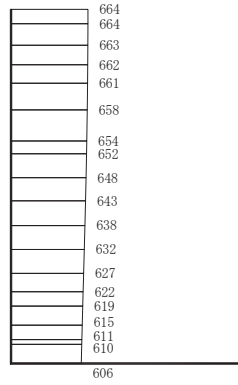
構造スケール 0 _____ 2 (m) 応答値スケール 0 _____ 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 2 (++) 鉛直

図 8-6(3) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



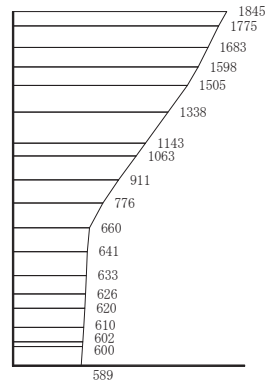
(a) $S_s - D 2$ (ー+) 水平



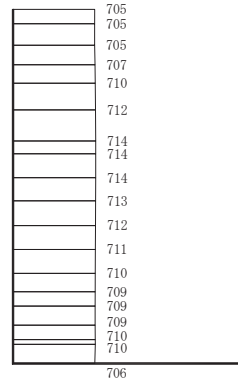
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) $S_s - D 2$ (ー+) 鉛直

図 8-6(4) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



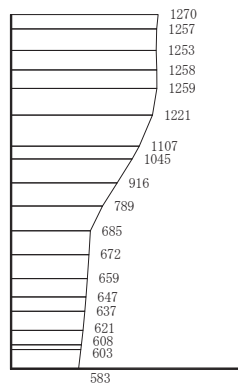
(a) S s - D 3 (++) 水平



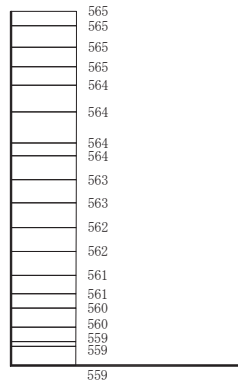
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) S s - D 3 (++) 鉛直

図 8-6(5) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



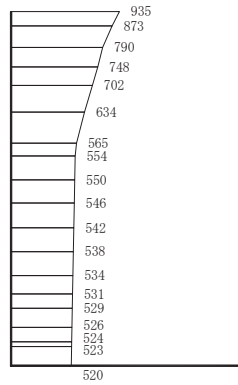
(a) S s - D 3 (- +) 水平



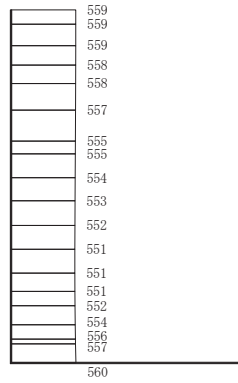
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 3 (- +) 鉛直

図 8-6(6) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



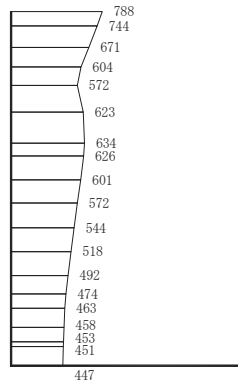
(a) S_s-F 1 (++) 水平



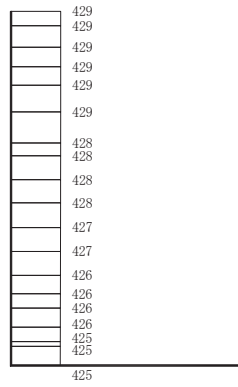
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) S_s-F 1 (++) 鉛直

図 8-6(7) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



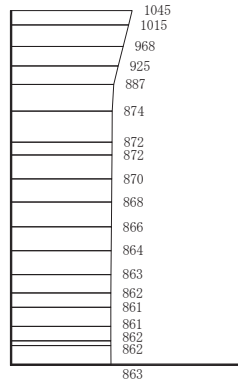
(a) $S_s - F 1$ (- +) 水平



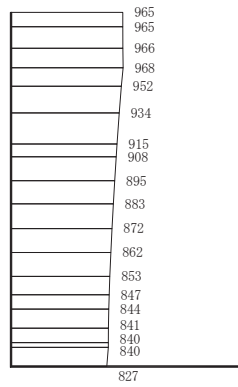
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F 1$ (- +) 鉛直

図 8-6(8) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



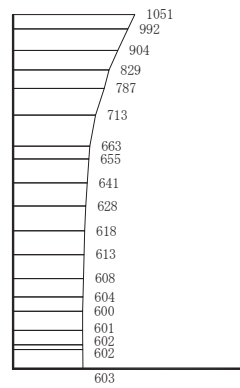
(a) $S_s - F_2$ (++) 水平



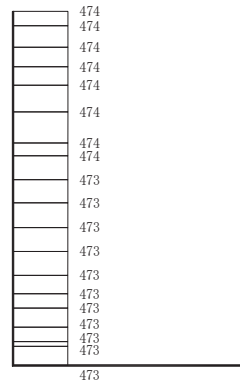
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F_2$ (++) 鉛直

図 8-6(9) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



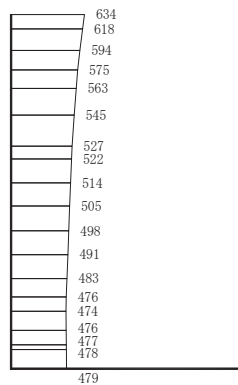
(a) $S_s - F 2$ (- +) 水平



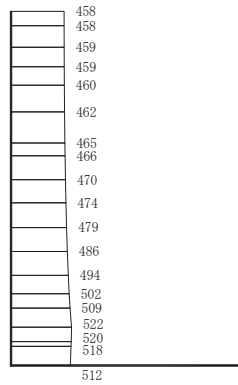
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)


(b) $S_s - F 2$ (- +) 鉛直

図 8-6(10) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



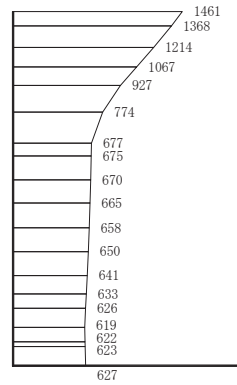
(a) S s - F 3 (++) 水平



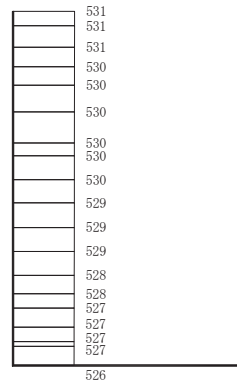
構造スケール 0  (m) 応答値スケール 0  (cm/s²)

(b) S s - F 3 (++) 鉛直

図 8-6(11) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



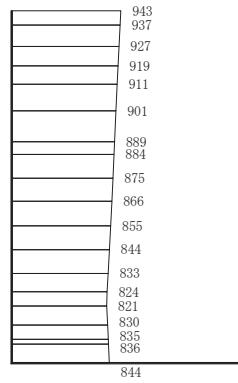
(a) $S_s - F 3 (-+)$ 水平



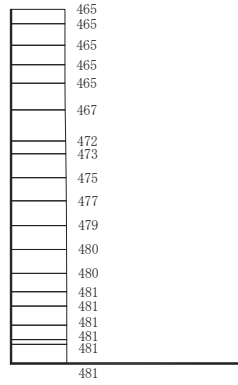
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F 3 (-+)$ 鉛直

図 8-6(12) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



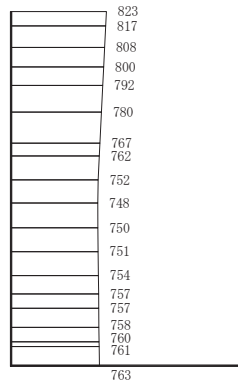
(a) $S_s - N 1$ (++) 水平



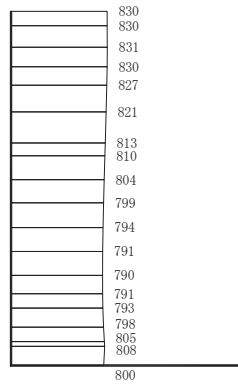
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - N 1$ (++) 鉛直

図 8-6(13) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



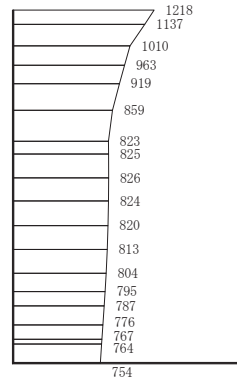
(a) S s - N 1 (- +) 水平



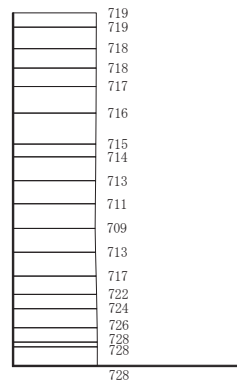
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

図 8-6(14) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



(a) S s - D 2 (- +) 水平

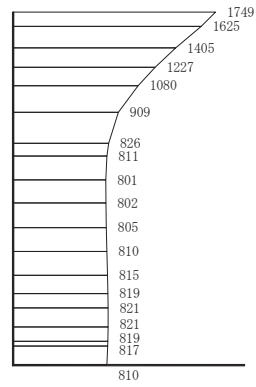


(b) S s - D 2 (- +) 鉛直

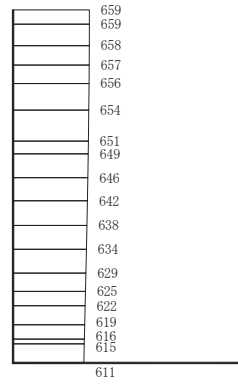
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

図 8-6(15) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース)



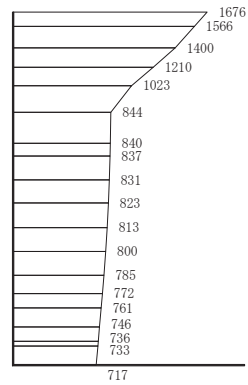
(a) S s - D 2 (-+) 水平



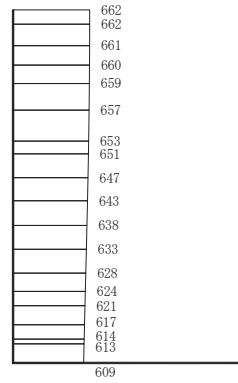
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 2 (-+) 鉛直

図 8-6(16) 最大加速度分布図
 (解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S s - D 2 (- +) 水平



構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 2 (- +) 鉛直

図 8-6(17) 最大加速度分布図

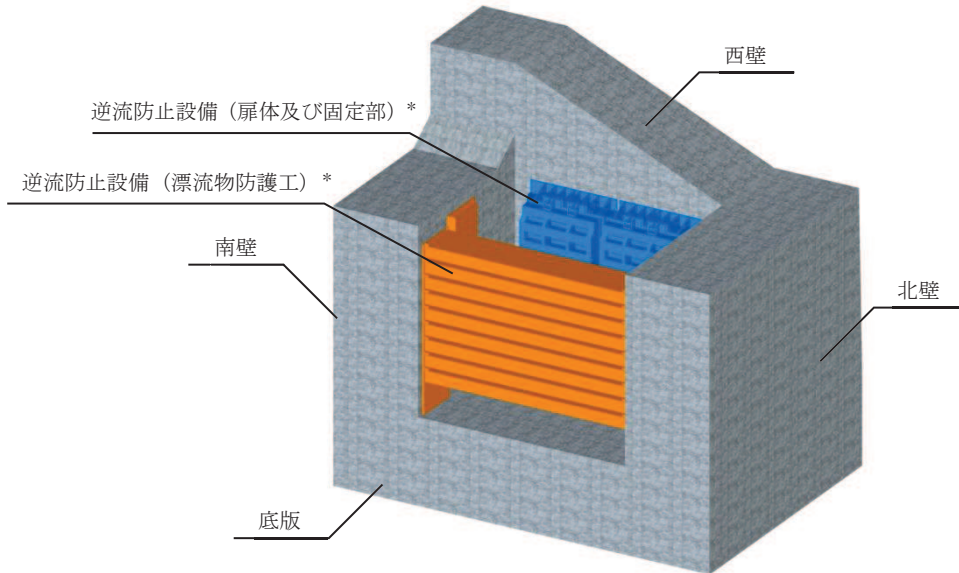
(解析ケース④：材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース)

9. 三次元構造解析

9.1 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、出口側集水ピットを構成する構造部材である側壁（北壁、南壁及び西壁）及び底版とする。

図 9-1 に評価対象部材を示す。



注記*：三次元構造解析においては、荷重としてモデル化

図 9-1 三次元構造解析の評価対象部材

9.2 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8. 地震応答解析」により得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「SLAP ver6.64」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

9.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 9-2 に、要素分割図を図 9-3 に示す。

a. 構造物のモデル化

構造物は、線形シェル要素でモデル化する。

b. 境界条件

構造物と周辺地盤には、境界条件としての地盤ばねを配置する。地盤ばねは節点ばねとする。

地盤ばねは、常時解析においては「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編」に基づき設定する。

地震時解析においては、支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、北壁及び南壁の法線方向に取り付け、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に基づき設定する。

支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。また、側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、北壁及び南壁の法線方向に取り付け、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に基づき設定する。

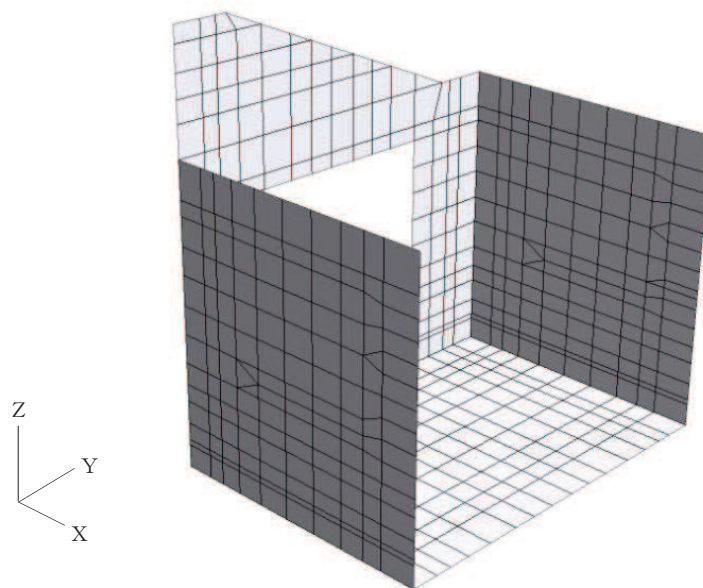


図 9-2 出口側集水ピットの解析モデル

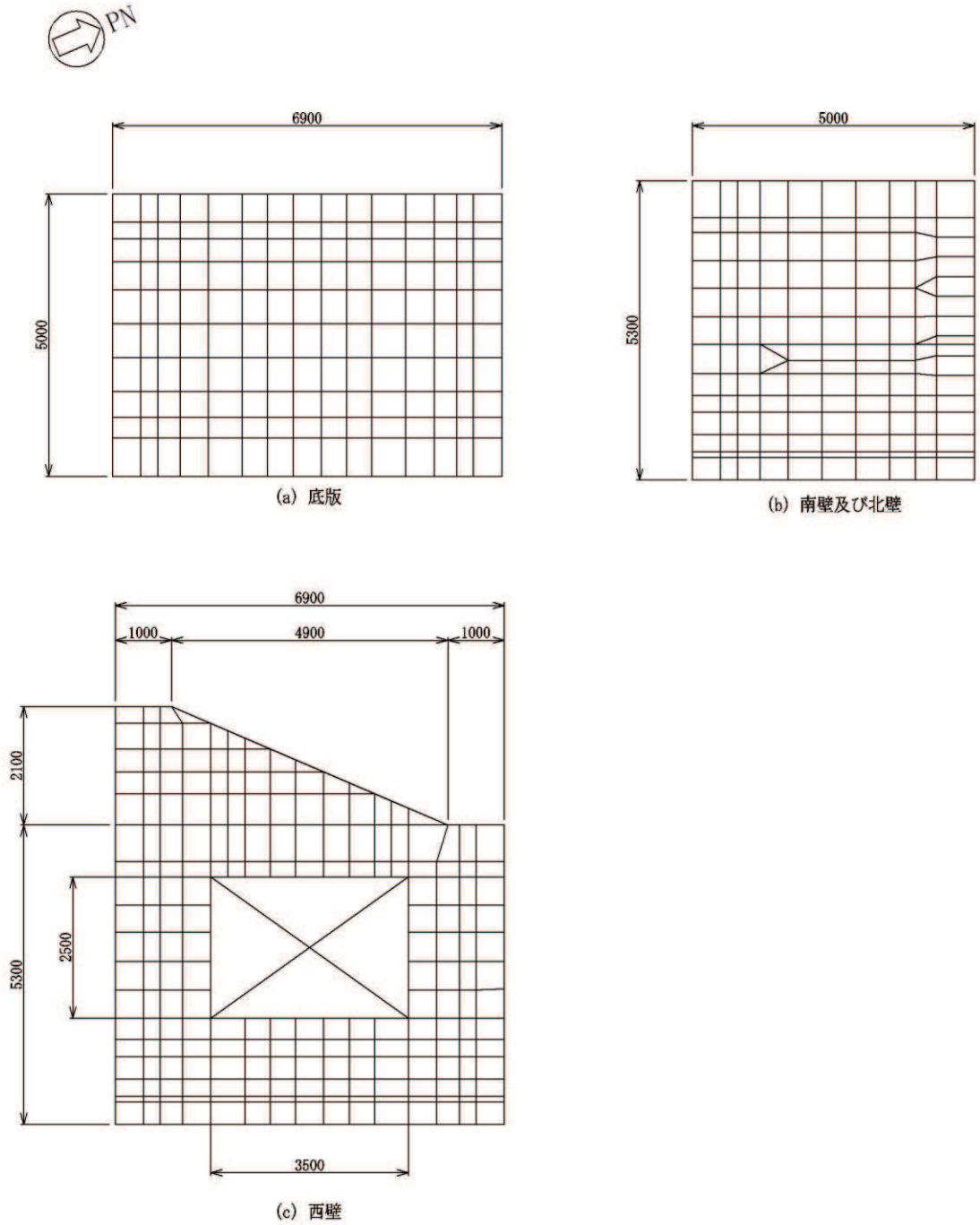


図 9-3 要素分割図

(2) 使用材料及び材料の物性値

出口側集水ピットの使用材料及び材料の物性値は、「8.5(2) 使用材料及び材料の物性値」と同様である。

9.4 照査時刻及び入力荷重

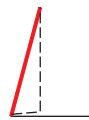

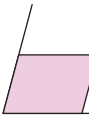
(1) 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モード毎及び部材毎に評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。

表 9-1 に照査時刻の選定の考え方を示す。

照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 9-4、照査値最大時刻震度分布図を図 9-5 に示す。

表 9-1 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		構造物の上面と下面の層間変位が最大となる時刻
時刻 2	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻
時刻 3 (時刻 1)	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻

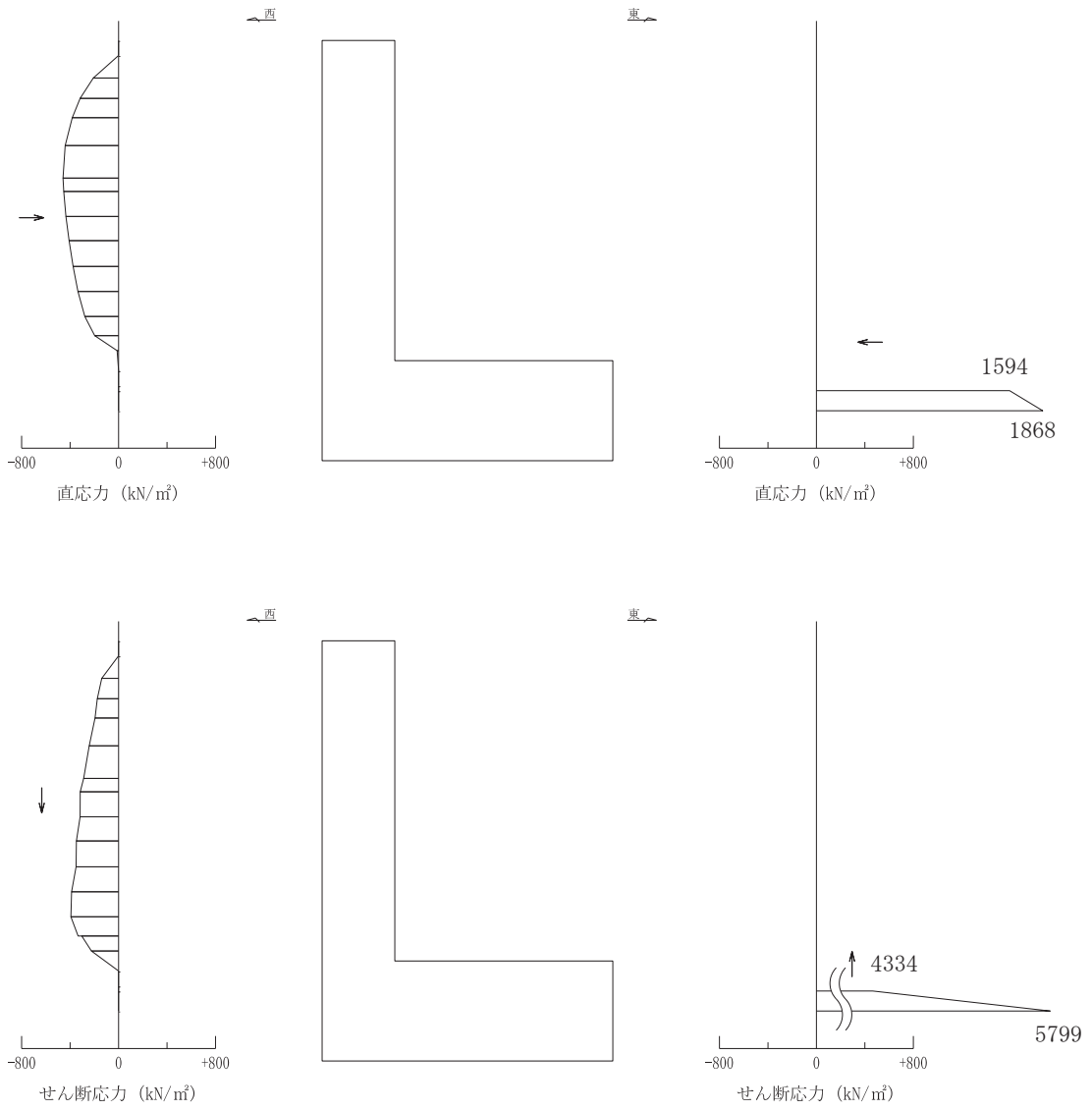
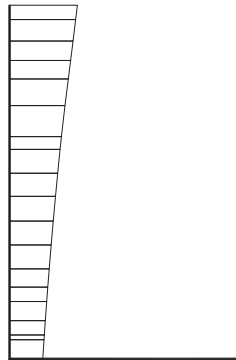


図 9-4 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (解析ケース③, S s - D 2 (-+))

構造スケール 0 2 (m)

設計震度スケール 0 1.0

← 設計震度 ← 設計震度 →

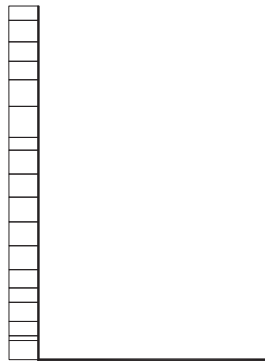


設計水平震度

構造スケール 0 2 (m)

設計震度スケール 0 1.0

← 設計震度 ↓ 設計震度 ↑



設計鉛直震度

図 9-5 照査値最大時刻震度分布図
(解析ケース③, S_s-D2 (-+))

(2) 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、二次元動的解析に基づく「9.4(1) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 9-2 に示す。

表9-2 三次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時 荷重	固定荷重	躯体自重
	積載荷重	機器・配管荷重
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体側面に作用する常時水圧
地震時 荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	地震時土圧	躯体側面に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体側面に作用する地震時水圧

9.5 三次元構造解析結果

シェル要素における各要素の断面力の方向を図9-6に示す。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図9-7～図9-11に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図9-12、図9-13に示す。

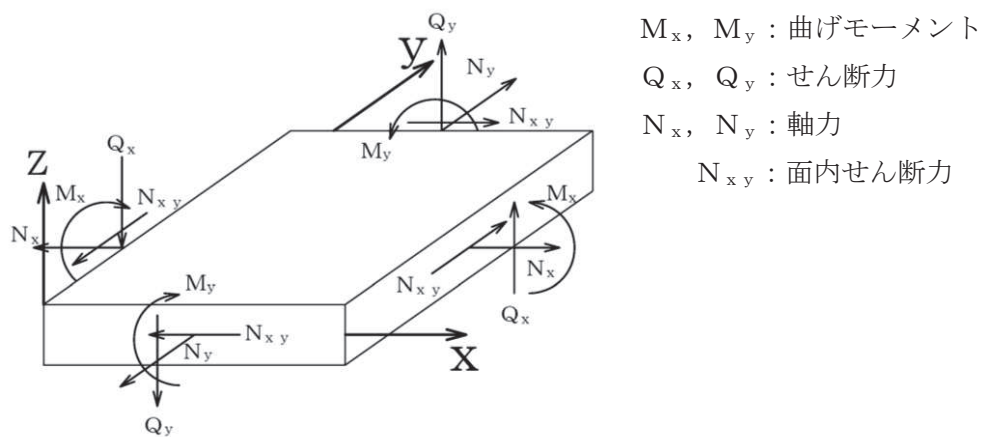


図9-6 シェル要素における応答断面力

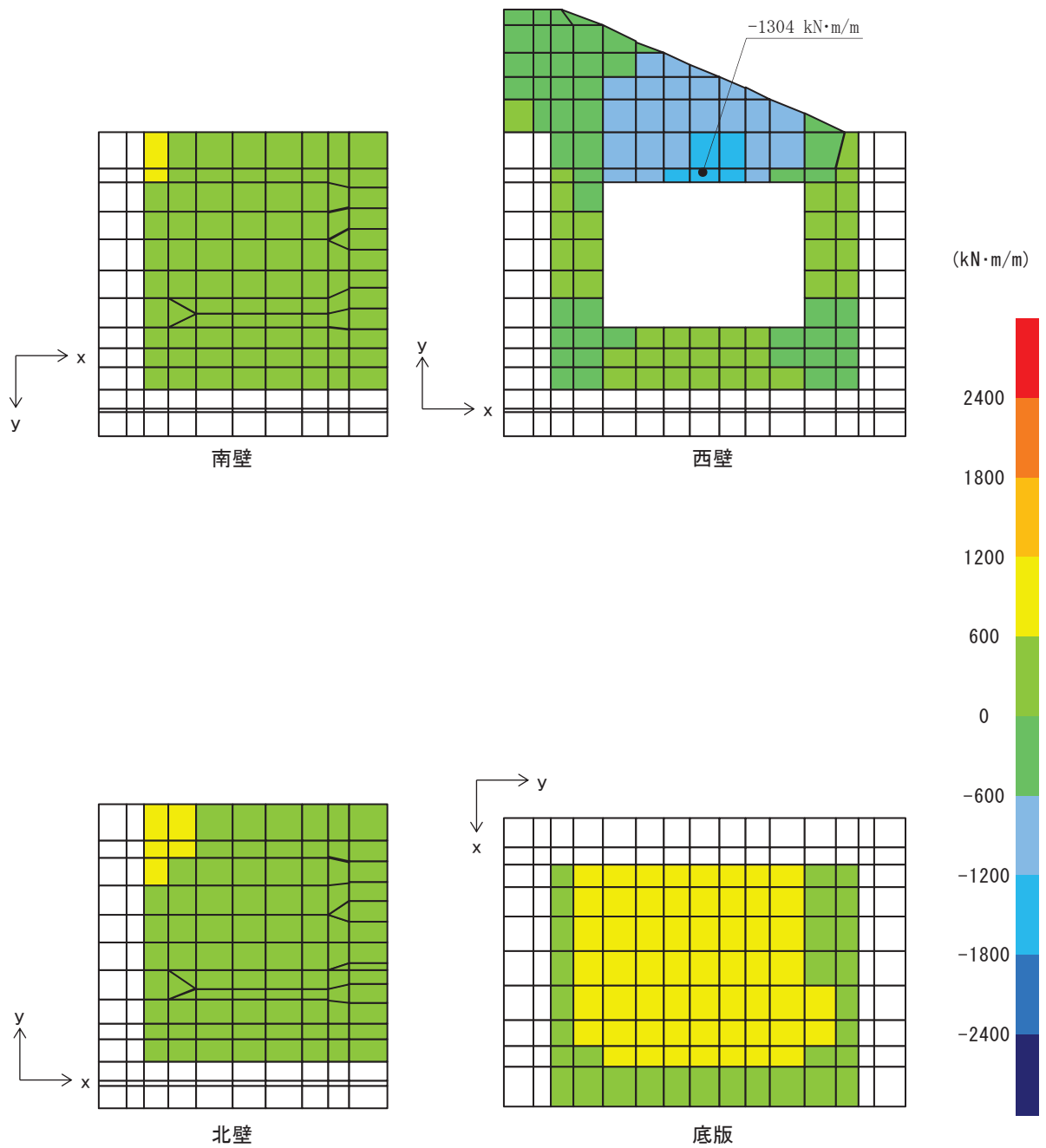


図 9-7 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_x)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

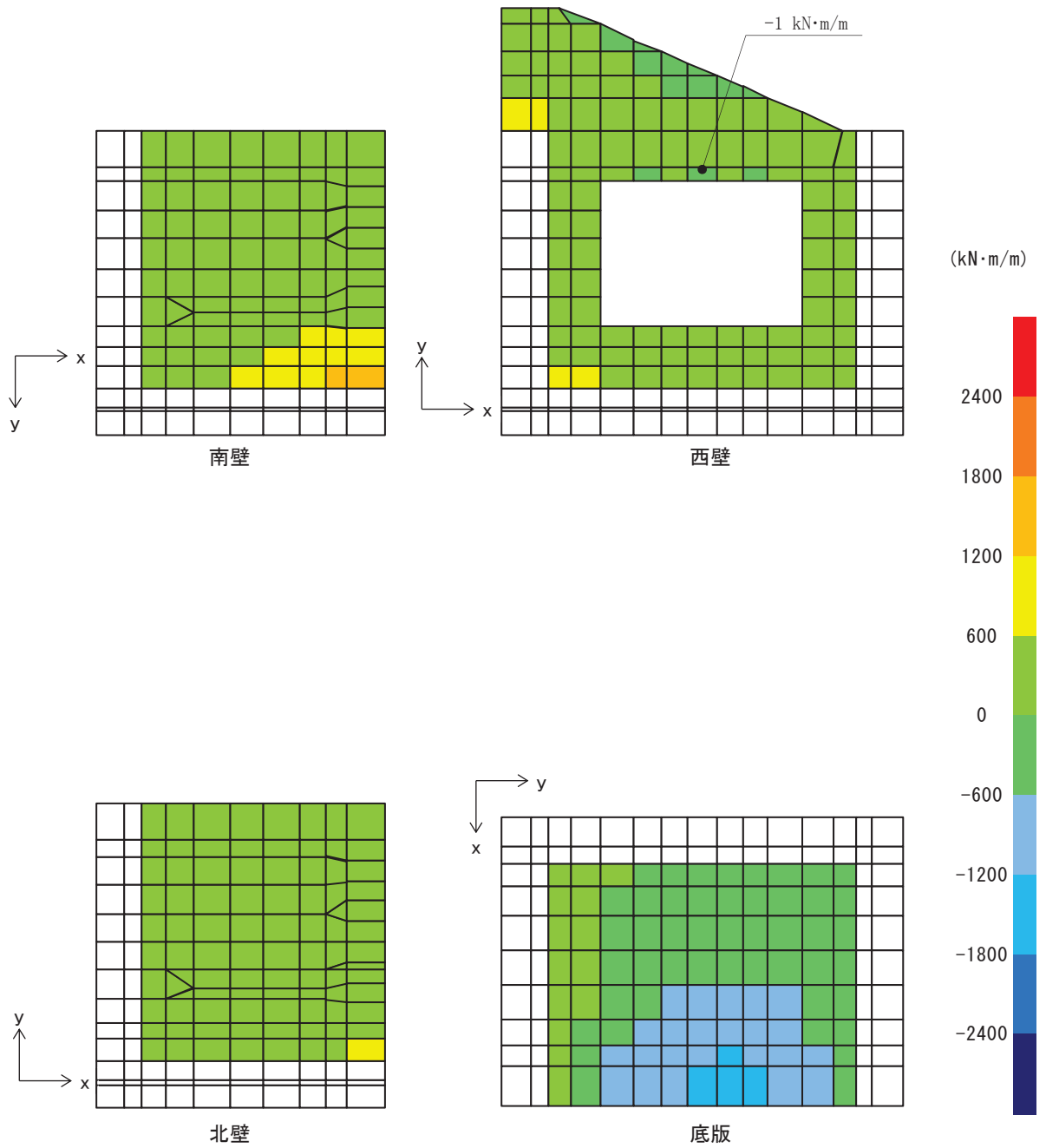


図 9-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント(kN・m/m) : M_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

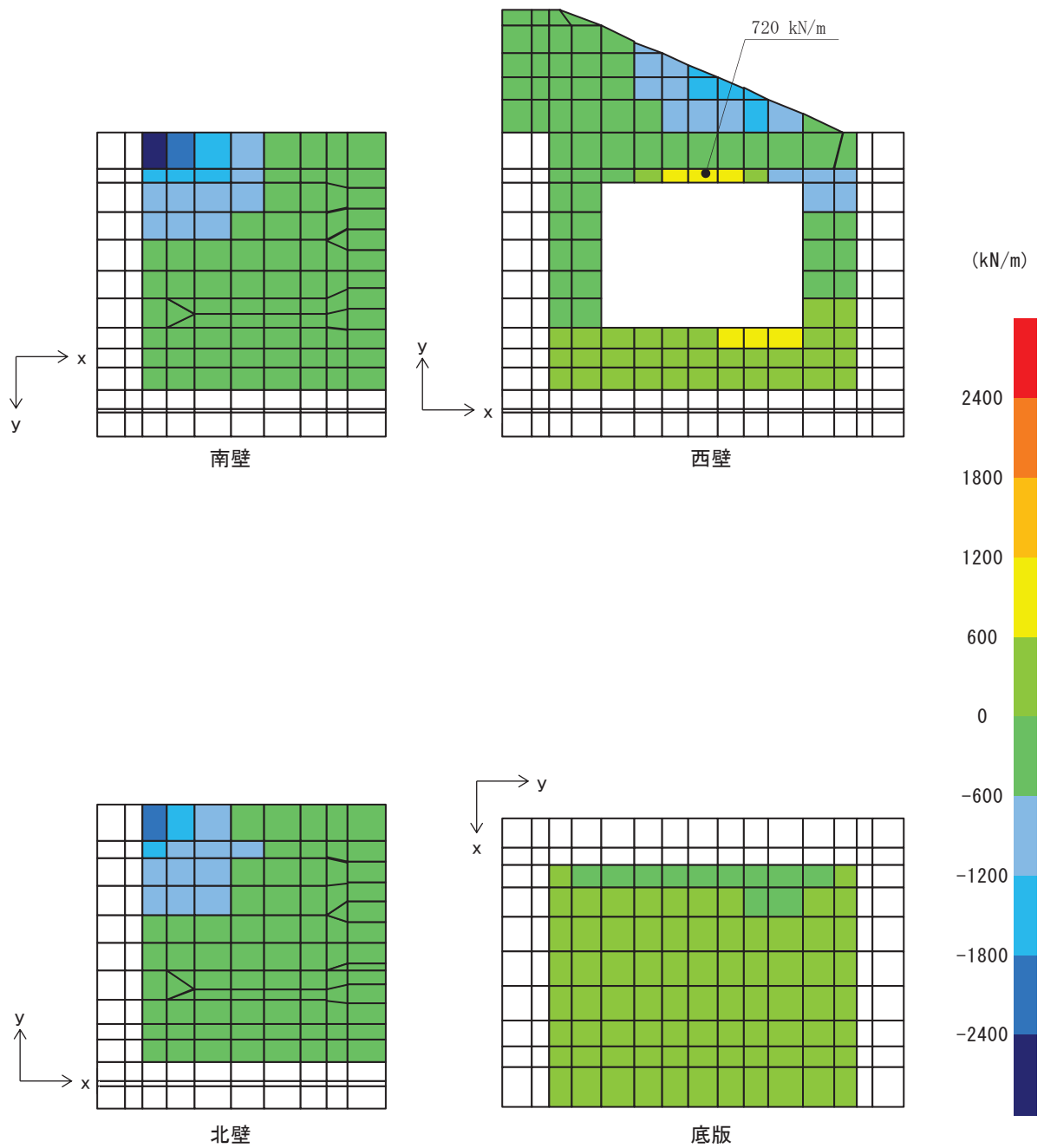


図 9-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_x)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

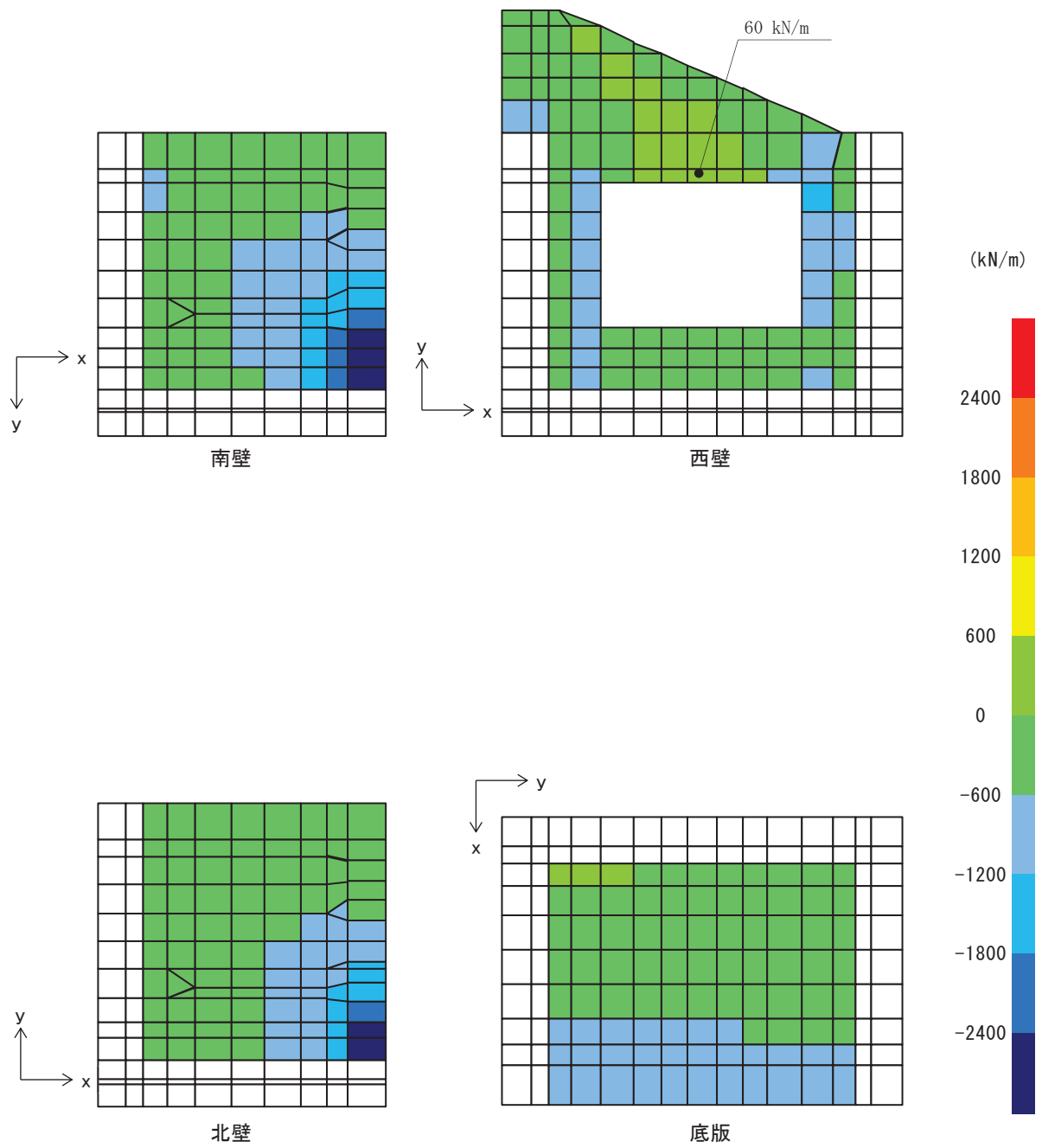


図 9-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (-+))

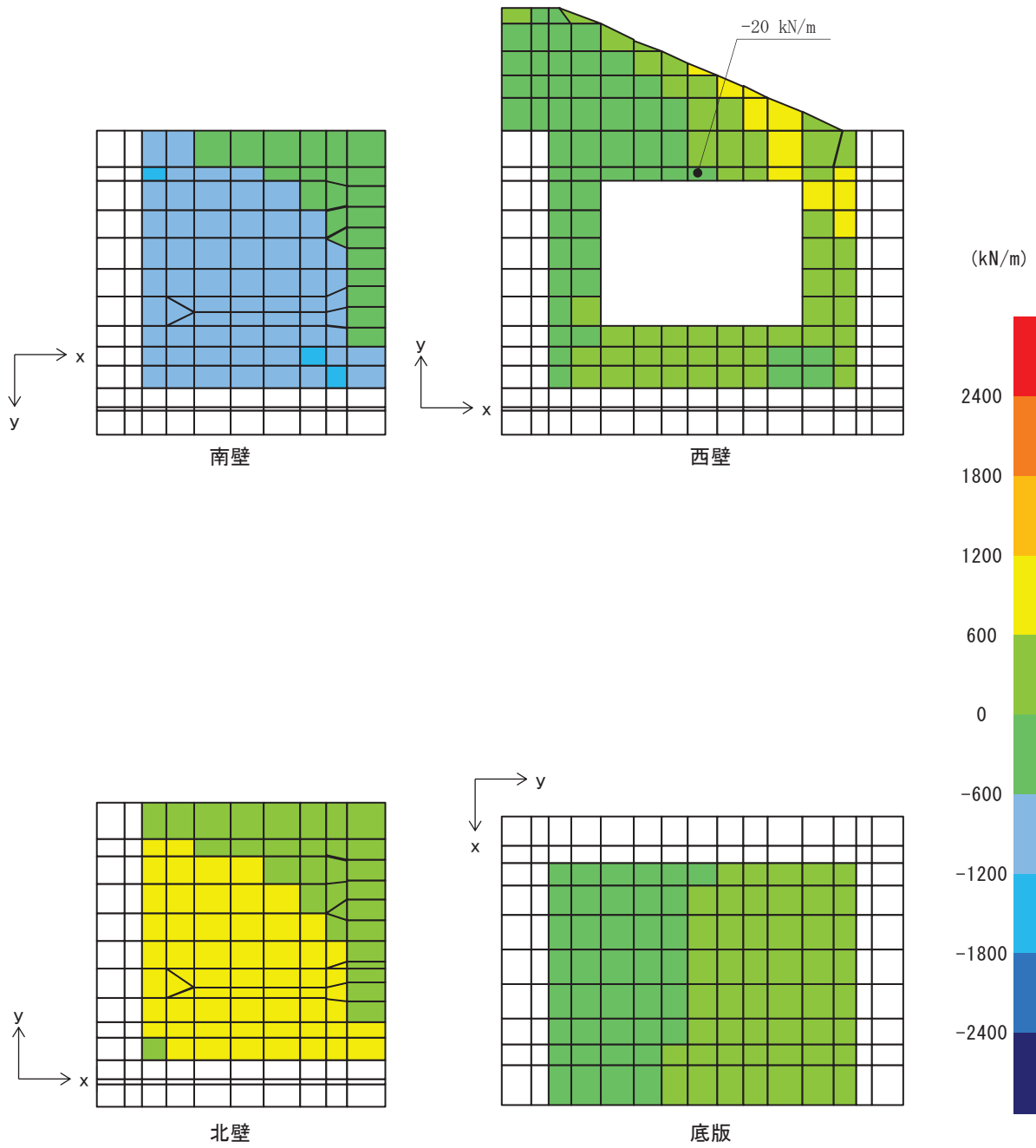


図 9-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(面内せん断力(kN/m) : N_{xy})

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

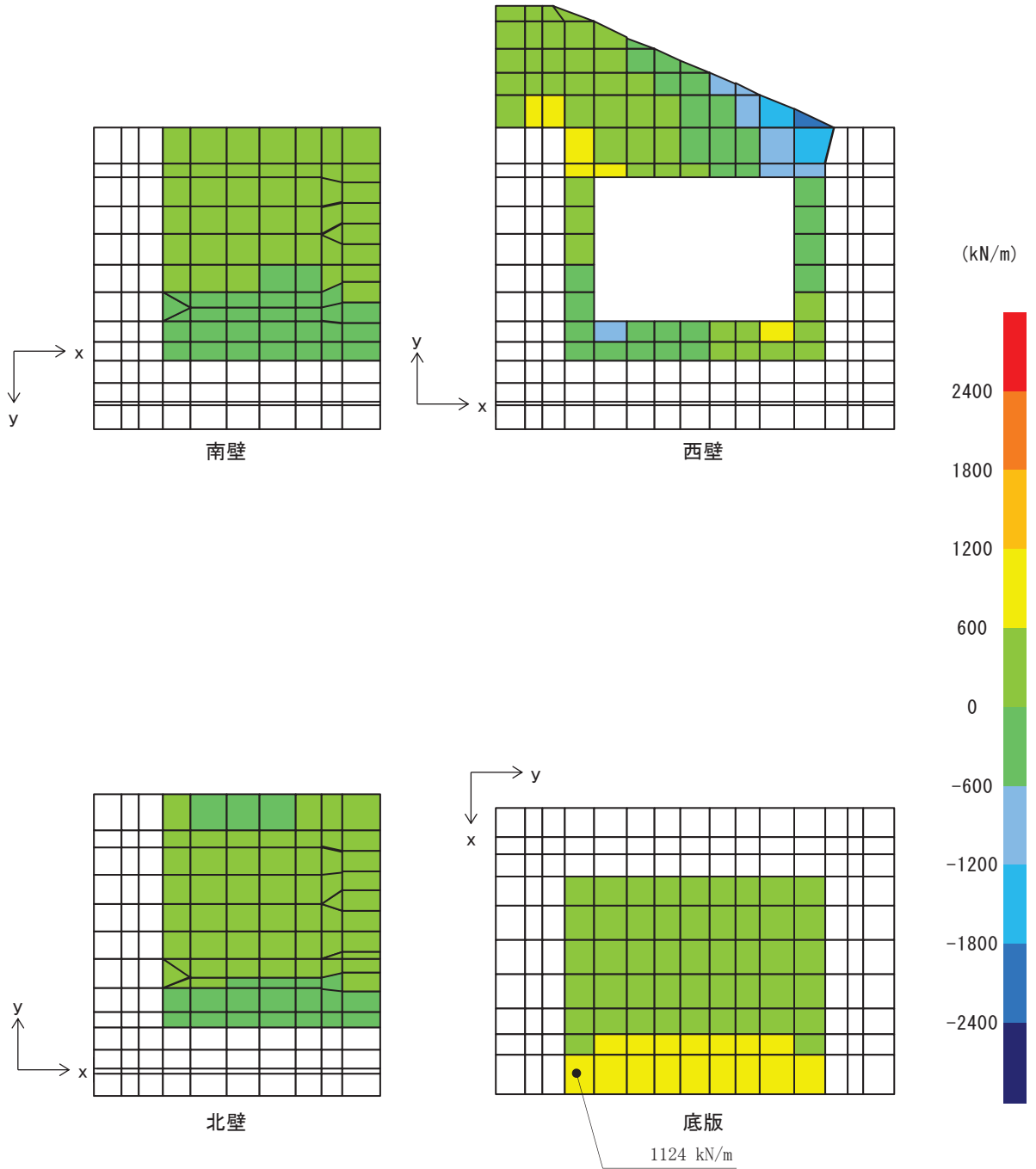


図 9-12 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(底版, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (-+))

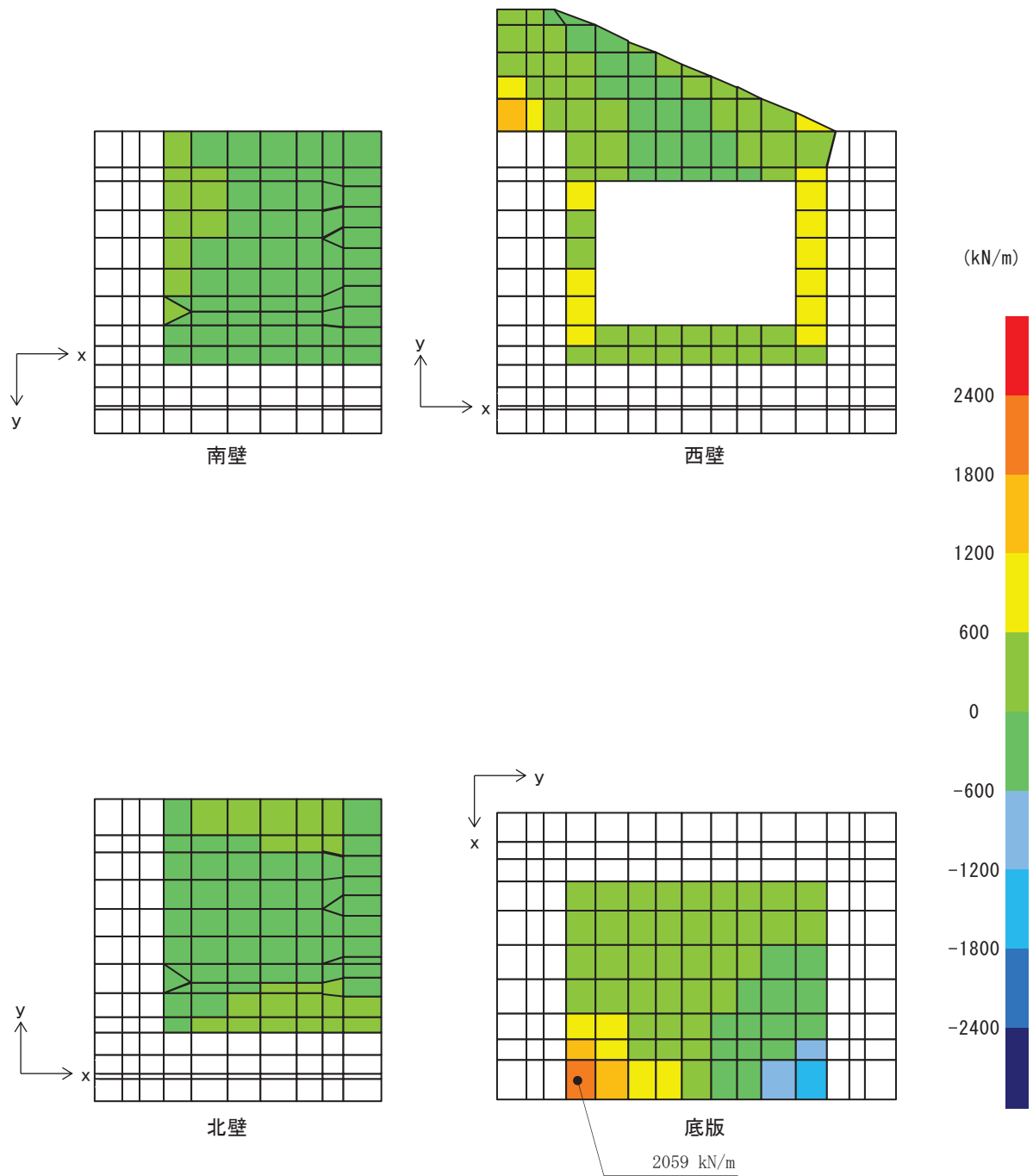


図 9-13 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (底版, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (-+))

10. 耐震評価

10.1 許容限界

10.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 10-1 及び表 10-2 に示す。

なお、西壁に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 10-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f' ck=30.0 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	11.0
許容せん断応力度 τ_{al}		0.5	0.75

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 10-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	196

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 10-1 及び表 10-2 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。なお、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、面内せん断力を軸力として考慮していることから、壁部材の面内せん断（層間変形角）に対しては、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において併せて確認している。

10.2 評価方法

出口側集水ピットの耐震評価は，地震応答解析により得られた応答値から，三次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

構造部材の健全性評価については，三次元構造解析により算定した照査用応答値が，「10.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

11. 評価結果

11.1 構造部材の健全性に対する評価結果

断面計算に用いた断面諸元を表 11-1 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-2 及び表 11-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-4 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 11-1 に示す。

出口側集水ピットの構造部材の発生応力度及び発生せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 11-1 鉄筋コンクリート断面諸元

部材	部材厚 (mm)	X方向 (EW方向・水平方向)		Y方向 (NS方向・鉛直方向)	
		配置鉄筋*1	芯かぶり*2 (mm)	配置鉄筋*1	芯かぶり*2 (mm)
底版	2000	D41@175 (上側) D41@175 (下側)	200	D41@175 (上側) D41@175 (下側)	200
南北壁	2000	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200
西壁	2000	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200	D41@175 (外側) D41@175 (内側)	200

注記 *1：特記のない場合、上縁・下縁の配筋は同配筋とする。

*2：実配筋は、格子鉄筋となるため、2方向の芯かぶりは鉄筋径分異なるが、保守的に有効高さが小さくなる側の芯かぶりを2方向に適用する

表 11-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c/σ'_{ca}
底版	1	③	S s - D 2 (-+)	-1283	-1051	2.7	16.5	0.17
南壁	2	③	S s - D 2 (-+)	1366	-4646	3.8	16.5	0.24
西壁	3	③	S s - D 2 (-+)	-1206	-363	2.5	16.5	0.16
北壁	4	③	S s - D 2 (-+)	667	-4029	2.7	16.5	0.17

表 11-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s/σ_{sa}
底版	1	③	S s - D 2 (-+)	594	824	102.2	294	0.35
南壁	2	③	S s - D 2 (-+)	624	420	77.2	294	0.27
西壁	3	③	S s - D 2 (-+)	-1304	740	152.2	294	0.52
北壁	4	①	S s - N 1 (++)	102	803	60.8	294	0.21

表 11-4 せん断破壊に対する照査

評価位置		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
底版	1	③	S s - D 2 (-+)	2060	3495	0.59
南壁	2	③	S s - D 2 (-+)	570	3495	0.17
西壁	3	③	S s - D 2 (-+)	1807	3495	0.52
北壁	4	③	S s - D 2 (-+)	251	3495	0.08

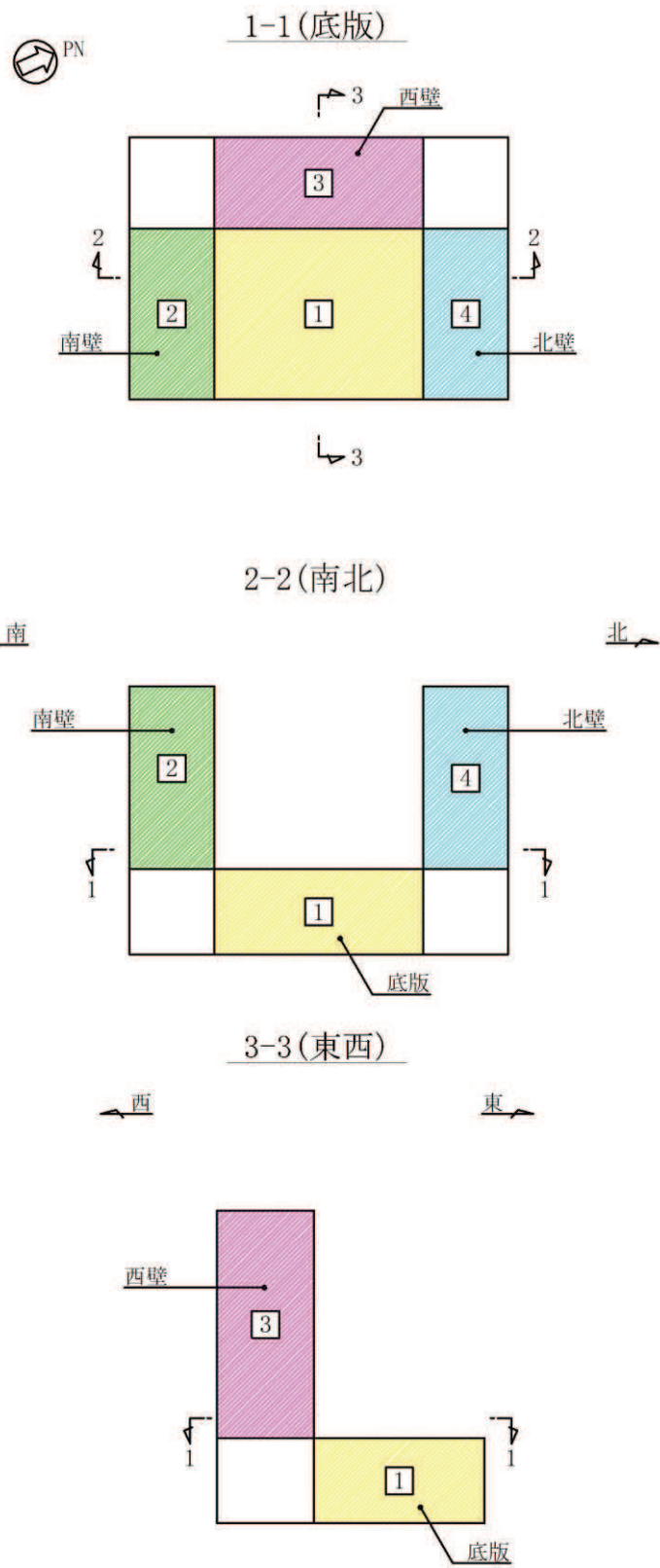


图 11-1 評価位置図

VI-2-10-2-6-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の
耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価部位	9
3.1	評価部位の選定	9
3.2	評価方向の整理	11
4.	固有周期	12
4.1	固有周期の計算	12
4.1.1	閉門時	12
4.1.2	開門時	13
4.2	固有周期の計算結果	15
5.	構造強度評価	16
5.1	構造強度評価方法	16
5.2	荷重及び荷重の組合せ	16
5.2.1	荷重の設定	16
5.2.2	荷重の組合せ	16
5.3	許容限界	18
5.3.1	使用材料	18
5.3.2	許容限界	18
5.4	設計用地震力	21
5.5	計算方法	25
5.5.1	スキンプレート	25
5.5.2	主桁	26
5.5.3	補助縦桁	28
5.5.4	ヒンジ部	29
5.5.5	戸当りコンクリート	38
5.5.6	戸当り	39
5.6	計算条件	40
6.	評価結果	43

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。

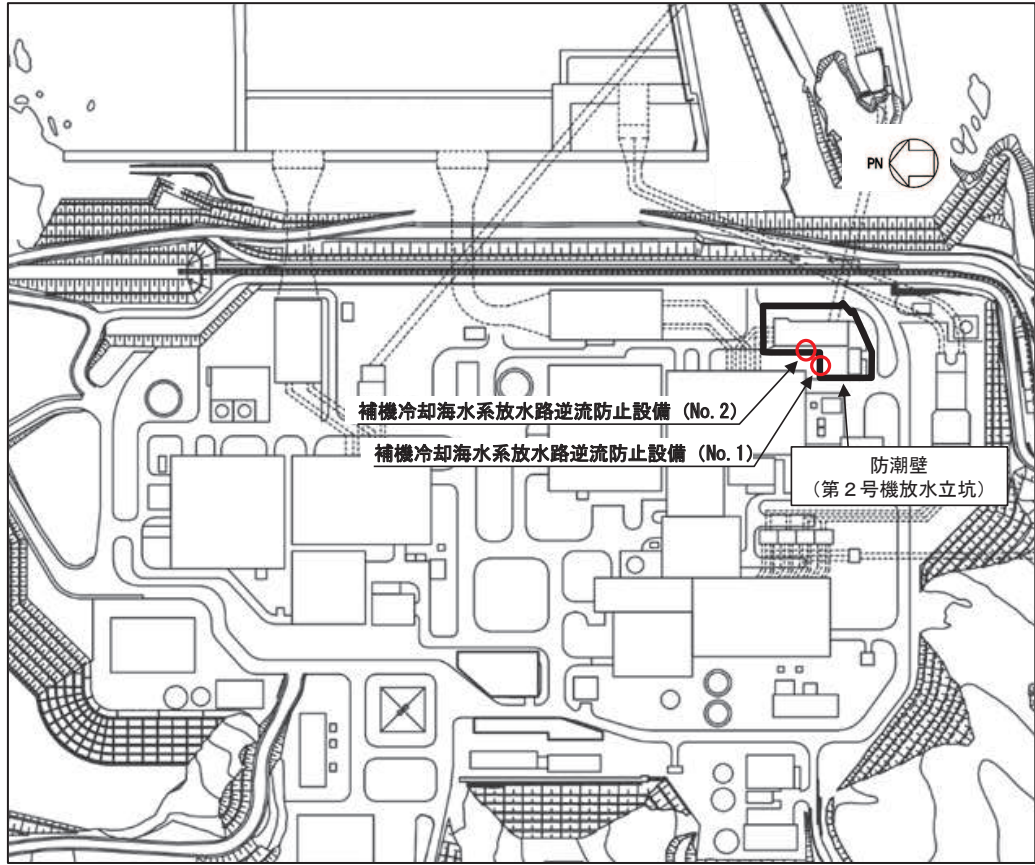
補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類され、津波防護施設である防潮壁（第2号機放水立坑）に支持される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

なお、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

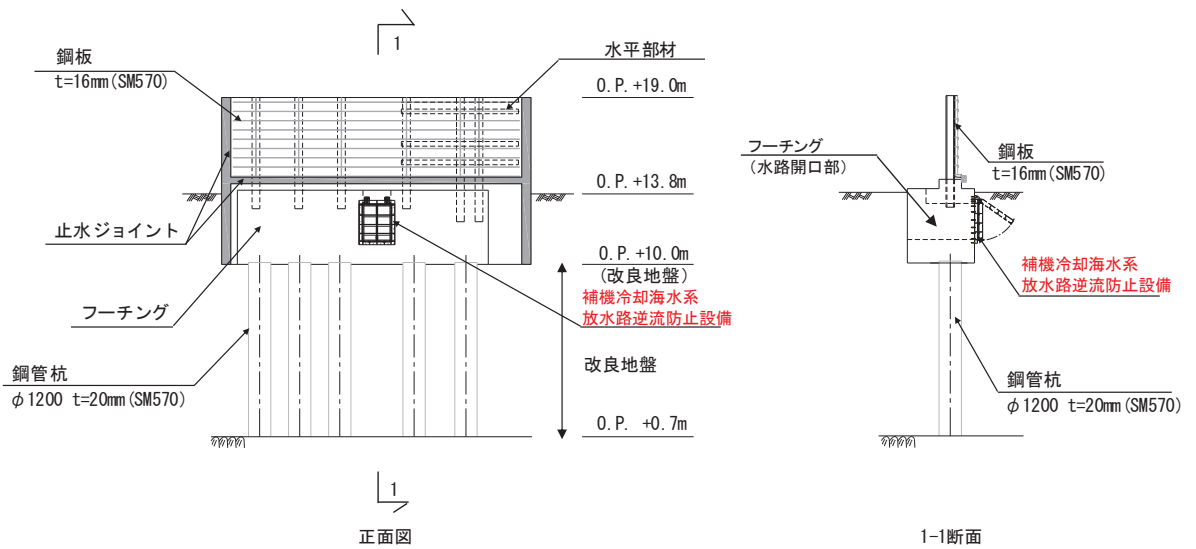
2. 一般事項

2.1 配置概要

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の設置位置を図 2-1 に示す。



(全体平面図)



(防潮壁(第2号機放水立坑)鋼製遮水壁(鋼板)断面⑦)

図 2-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の概要

2.2 構造計画

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造は、鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部及びヒンジ部アンカーボルト) 並びに戸当りを主体構造とし、第 2 号機放水立坑を經由した津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して防潮壁のフーチング部に伝達する構造とする。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2))

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
十分な支持機能を有する構造物に設置する。	鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部、ヒンジ部アンカーボルト) 並びに戸当り	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p>

2.3 評価方針

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価は, 添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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に基づき, 「2.2 構造計画」に示す補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造を踏まえ, 「3. 評価部位」にて設定する評価部位において, 「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力が許容限界以下であることを, 「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

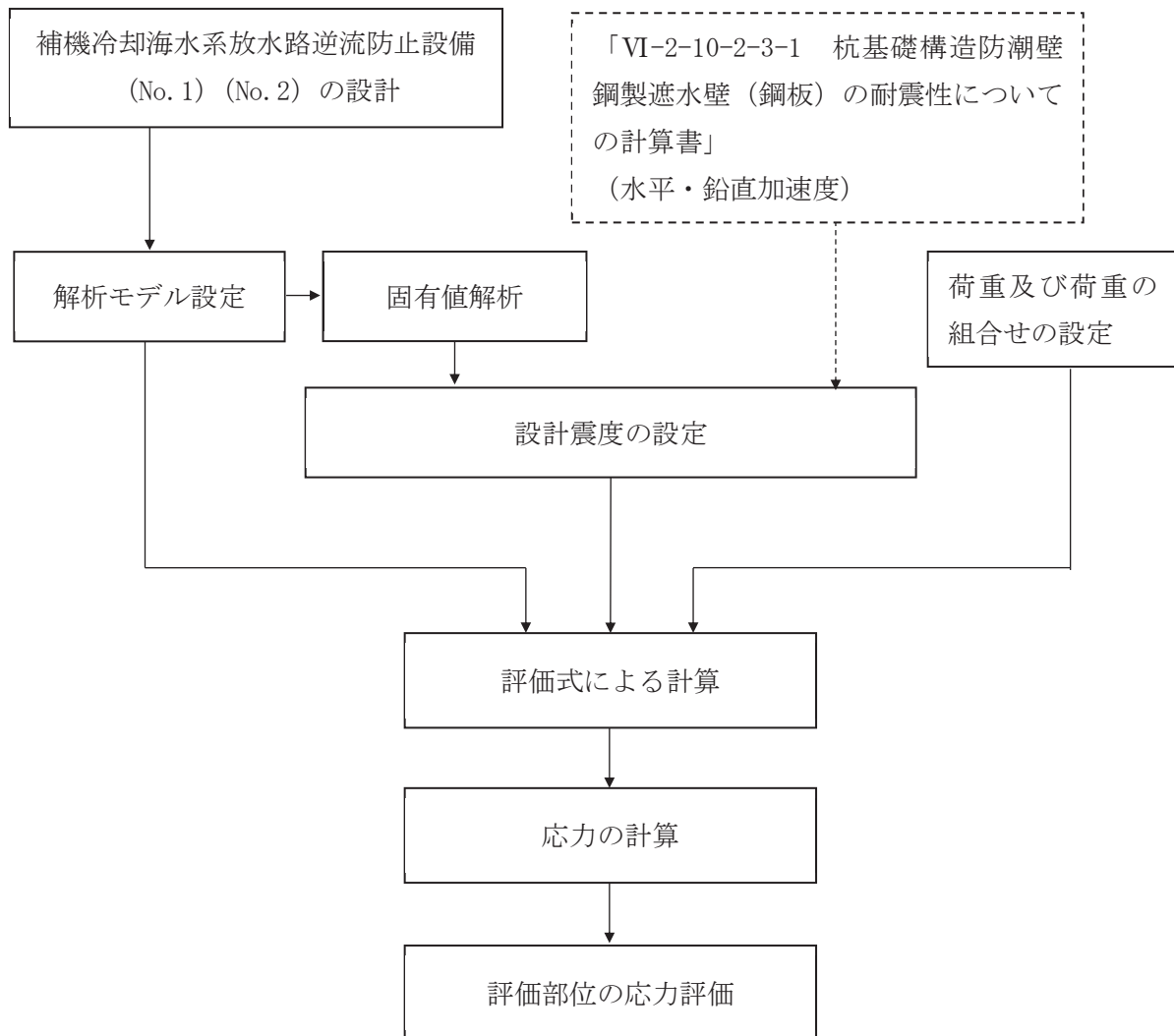


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- ・ ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）
- ・ 日本建築学会 2014 年 各種合成構造設計指針・同解説

2.5 記号の説明

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に用いる記号

記号	定義	単位
T	固有周期	s
f	1 次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	主桁の断面二次モーメント	mm ⁴
m	扉体部の単位長さ当たり質量	kg/mm
L ₁	主桁の長さ	mm
L ₂	振り子の長さ (ピン (回転軸) ~ 扉体重心までの長さ)	mm

表 2-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる記号 (1/3)

記号	定義	単位
G	固定荷重 (扉体の自重)	N
K _H	基準地震動 S _s による水路縦断方向の設計震度	—
K _V	基準地震動 S _s による鉛直方向の設計震度	—
K _{HX}	基準地震動 S _s による水路横断方向の設計震度	—
W _o	水の単位体積重量	N/mm ³
k	スキンプレートの辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数	—
a ₁	スキンプレートの短辺	mm
b ₁	スキンプレートの長辺	mm
P	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	N/mm ²
t ₁	スキンプレートの板厚	mm
W	主桁に加わる地震による荷重	N
b _{s1}	主桁 1 と主桁 2 の間隔	mm
b _{s2}	主桁 2 と主桁 3 の間隔	mm
b _{s3}	主桁 3 と主桁 4 の間隔	mm
b _{s4}	主桁 4 と主桁 5 の間隔	mm
L _{s1}	主桁圧縮フランジの固定間隔	mm
Z ₂	主桁の断面係数	mm ³
A _{w2}	主桁のウェブ断面積	mm ²
B	扉体の水密幅	mm

表 2-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる記号 (2/3)

記号	定義	単位
q_{s1}	主桁 1 での発生圧力	N/mm^2
q_{s2}	主桁 2 での発生圧力	N/mm^2
q_{s3}	主桁 3 での発生圧力	N/mm^2
q_{s4}	主桁 4 での発生圧力	N/mm^2
q_{s5}	主桁 5 での発生圧力	N/mm^2
p_3	補助縦桁に加わる各区分の平均荷重	N/mm^2
a_3	補助縦桁の主桁間隔	mm
Z_3	補助縦桁の断面係数	mm^3
A_{w3}	補助縦桁のウェブ断面積	mm^2
q_b	地震動により扉体に加わる最大分布荷重	N/mm^2
S	戸当り幅	mm
t_w	戸当り腹板の板厚	mm
I_{HSs}	基準地震動 S_s による水路縦断方向地震荷重	N
I_{HXSs}	基準地震動 S_s による水路横断方向地震荷重	N
I_{VSs}	基準地震動 S_s による鉛直方向地震荷重	N
i_{HSs}	基準地震動 S_s による単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重	N/mm^2
P_H	基準地震動 S_s によるヒンジ 1 箇所の水路縦断方向地震荷重	N
P_{HX}	基準地震動 S_s によるヒンジ 1 箇所の水路横断方向地震荷重	N
P_V	基準地震動 S_s によるヒンジ 1 箇所の鉛直方向地震荷重と固定荷重の和	N
D_4	ピンの直径	mm
Z_4	ピンの断面係数	mm^3
A_4	ピンの断面積	mm^2
L_4	ピンの支点間長さ	mm
B_4	ピンの分布荷重載荷長	mm
t_5	ヒンジ (連結部) の板厚	mm
L_5	ヒンジ (連結部) の端抜けせん断長さ	mm
B_5	ヒンジ (連結部) の板幅	mm
D_5	ヒンジ (連結部) のピン穴直径	mm
H_5	ヒンジ (連結部) のピン穴の距離	mm
L_6	アンカーボルト基部からピン穴中心の水平方向長さ	mm
H_6	鉛直方向アンカーボルト間距離	mm
a_6	アンカーボルトからピン穴中心までの鉛直方向長さ	mm
l_e	アンカーボルトのコンクリート内への有効埋め込み長さ	mm
D_A	頭付きアンカーボルト頭部の直径	mm
a_P	近接する 2 本のアンカーボルトの距離	mm
c	アンカーボルトのへりあき寸法	mm

表 2-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる記号 (3/3)

記号	定義	単位
H ₇	ヒンジ（扉体側）の照査部位からピン穴までの鉛直距離	mm
Z ₇	ヒンジ（扉体側）の断面係数	mm ³
A ₇	ヒンジ（扉体側）の断面積	mm ²
L ₈	ヒンジ（躯体側）の照査部位からピン穴までの水平距離	mm
Z ₈	ヒンジ（躯体側）の断面係数	mm ³
A ₈	ヒンジ（躯体側）の断面積	mm ²

3. 評価部位

3.1 評価部位の選定

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) は, 鋼製の扉体 (スキンプレート, 主桁, 側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部及びヒンジ部アンカーボルト) で構成されている。耐震評価においては, 扉体部の評価部位として, 主要部材であるスキンプレート, 主桁及び補助縦桁を, 固定部の評価部位としてヒンジ部 (ヒンジ, ピン (回転軸)) 及びヒンジ部アンカーボルトを選定するとともに, 戸当りについても評価する。側部縦桁については, 「地震時」の荷重が扉体に作用する状態において, 扉体が戸当りと密着した状態であることから, 側部縦桁には有意な変形等が生じないため評価を省略する。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造概要を図 3-1 に示す。

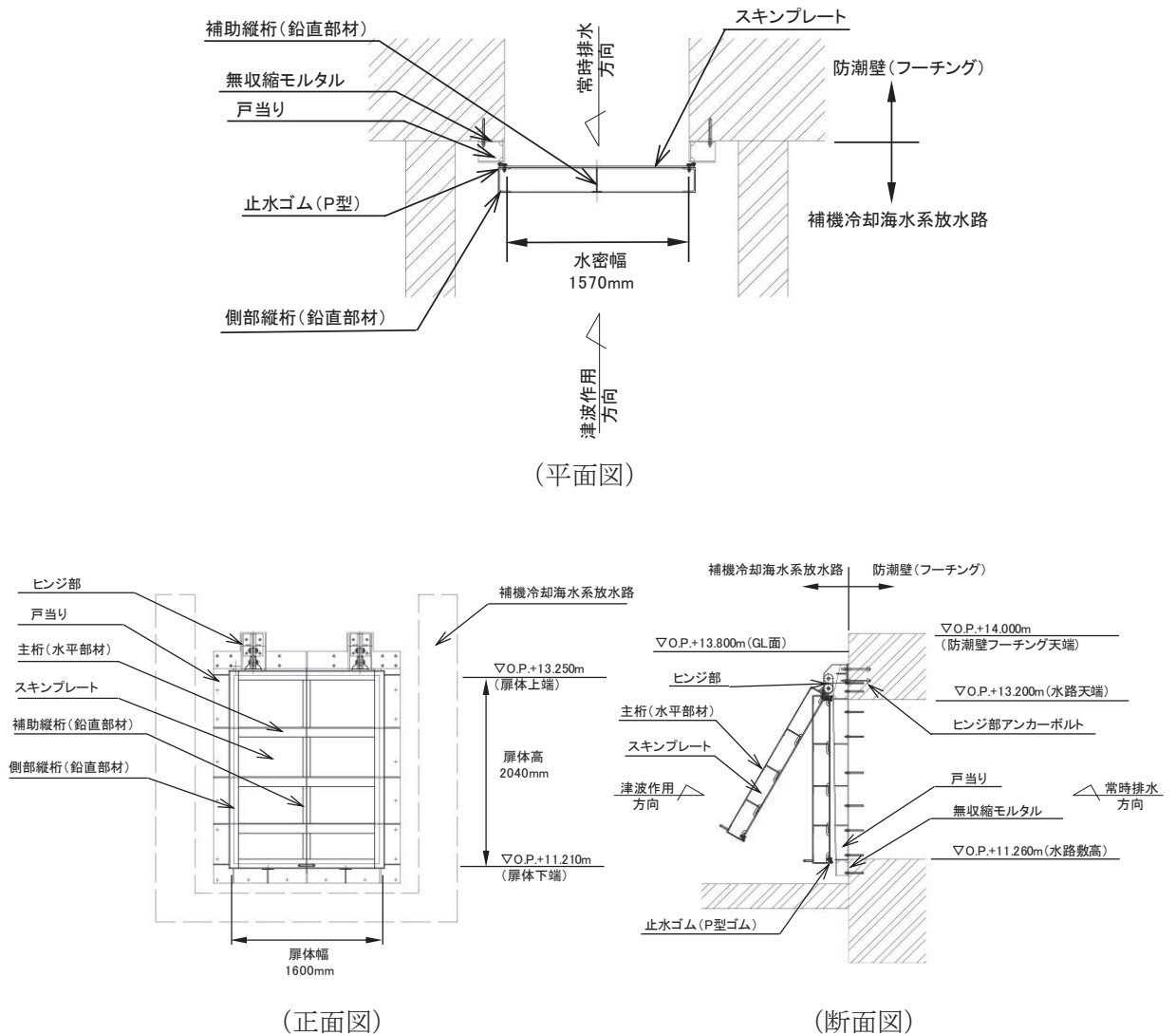


図 3-1(1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要

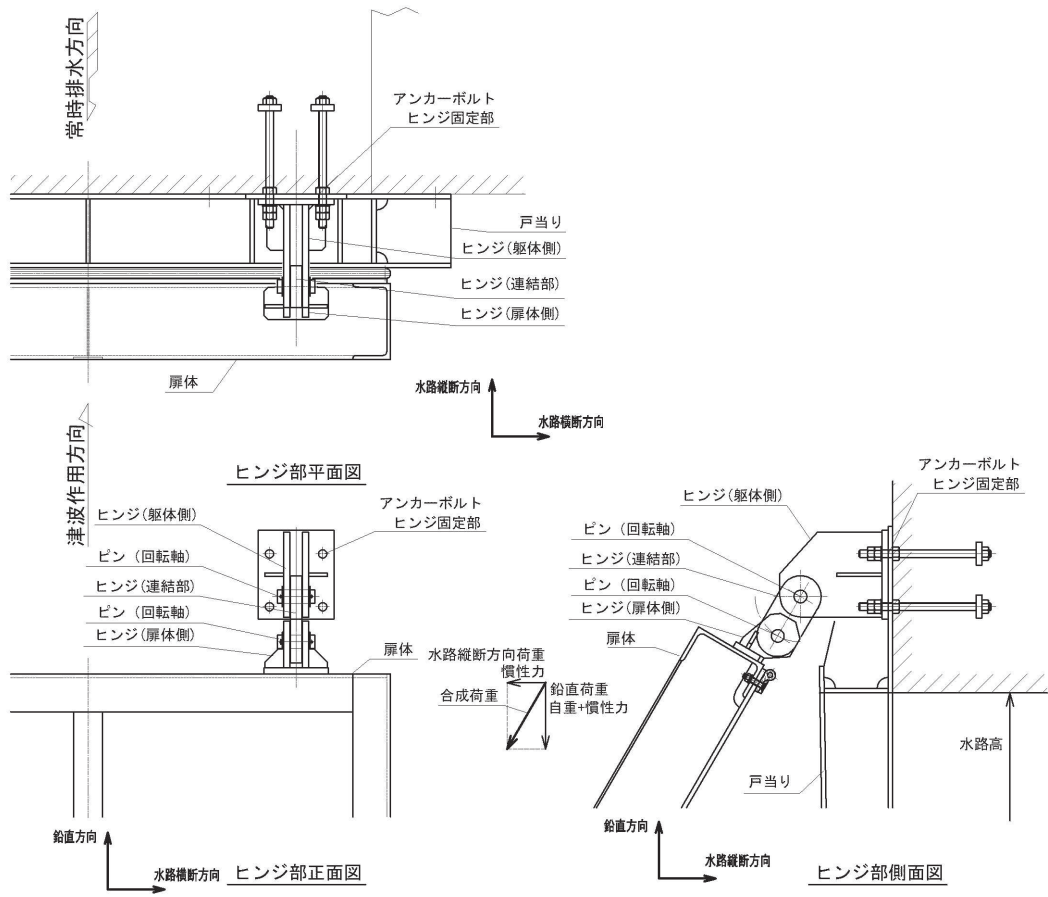


図 3-1(2) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要
(固定部 (ヒンジ部) 詳細)

3.2 評価方向の整理

補機冷却海水系放水路は防潮壁フーチング前面に取り付く構造で、土圧等の影響を受けない構造であるため、耐震評価における主たる荷重は地震力である。したがって、各評価部位については、構造的特徴を踏まえ、評価を行う地震力の方向を設定する。具体的には部位及び評価項目毎に、水平方向(水路縦断方向)及び水平方向(水路横断方向)(以下、それぞれ水路縦断方向、水路横断方向という。)荷重と鉛直方向荷重の組合せを考慮する。

表3-1に評価を行う地震力の方向を示す。なお、評価方法の詳細は「5.5 計算方法」に示す。

表3-1 評価を行う地震力の方向

評価対象部位		評価項目	地震力		
			水平方向		鉛直方向
			水路縦断方向	水路横断方向	
扉体	スキンプレート	曲げ・せん断	○		
	主桁				
	補助縦桁				
固定部 (ヒンジ部)	ヒンジ(扉体側及び躯体側)	引張*	○		○
		曲げ・せん断		○	
	ピン(回転軸)	曲げ・せん断	○		○
	ヒンジ(連結部)	引張*	○		○
		曲げ・せん断		○	
	アンカーボルト	引抜き	○		○
せん断			○	○	
戸当り	金物	圧縮	○		
	コンクリート	せん断	○		

注記*：ヒンジ(扉体側及び躯体側)とヒンジ(連結部)における引張評価については、部材厚が最も薄く軸方向作用応力が最も大きくなると考えられるヒンジ(連結部)を代表に評価する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算

補機冷却海水系放水路逆流防止設備は扉体及び固定部で構成されており，扉体に地震力が作用する状態は，扉体と戸当りが密着した状態（閉状態）であることから，戸当り部を支点とする単純支持梁でモデル化する。固定部においては，扉体が戸当りから離れる状態（開状態）も想定し，その際の固有周期の計算は，扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化する。

なお，水路横断方向（扉体軸方向）及び鉛直方向については振動が生じる構造ではないことから，防潮壁と一体の剛体として評価する。

固有周期の計算を以下で実施する。

4.1.1 閉門時

(1) 解析モデル

解析モデルを図4-1に示す。主要な構造部材である主桁を単純支持梁としてモデル化し，スキンプレート及び補助縦桁等は保守的に考慮しないものとする。

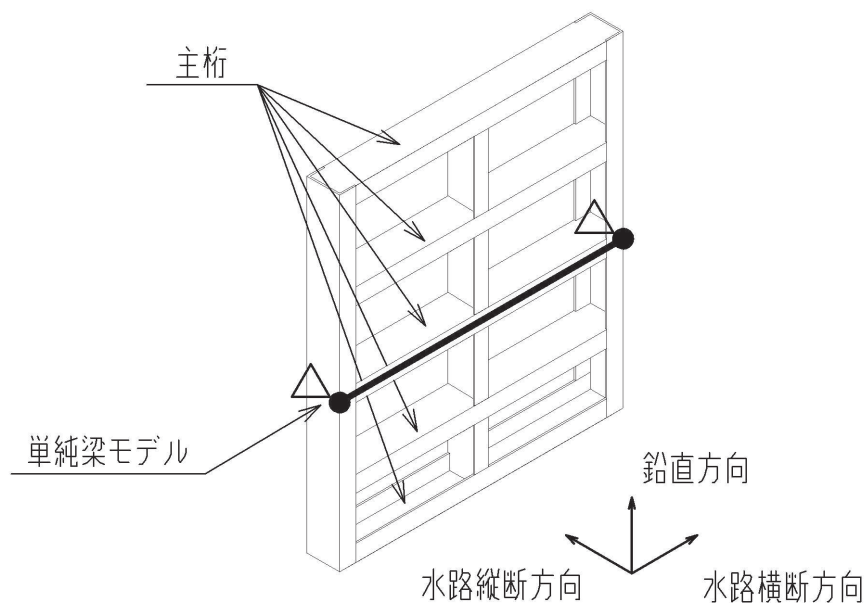


図4-1 両端単純支持梁によるモデル化

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

「構造力学公式集（土木学会，1986年）」より，両端支持梁の1次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L_1^2} \sqrt{\frac{E \times I \times 10^3}{m}}$$

(3) 固有周期の計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	1 次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	1.93×10^5	N/mm ²
I	主桁の断面二次モーメント	1.155×10^8	mm ⁴
m	扉体部の単位長さ当たり質量	0.46875	kg/mm
L ₁	主桁の長さ	1600	mm

全主桁の断面二次モーメントは以下により計算を行う。

$$I = I_0 \times 5$$

ここで,

I₀: 主桁 1 本あたりの断面二次モーメント (mm⁴)

主桁の形状は溝形鋼 (CH200×100×10×10) とする。主桁 1 本あたりの断面二次モーメントは日本産業規格 (JIS G 4317) より

$$I_0 = 2.3100 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

以上より,

$$I = 2.3100 \times 10^7 \times 5 = 1.1550 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル

解析モデルを図 4-2 に示す。扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化し算出する。

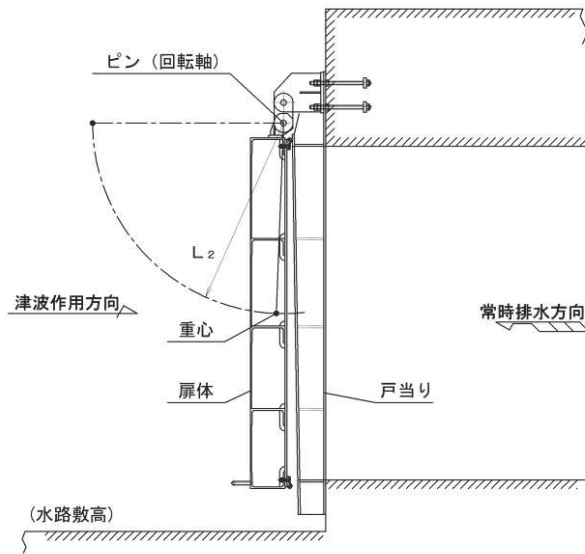


図4-2 解析モデル図

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

開門時の固有周期は下式により計算する。

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

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L_2}}$$

(3) 固有周期の計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に必要な諸元を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	1次固有振動数	—	Hz
g	重力加速度	9806.65	mm/s ²
L ₂	振り子の長さ (ピン (回転軸) ~ 扉体重心までの長さ)	1108	mm

4.2 固有周期の計算結果

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。閉門時の固有周期は, 0.05s 以下であることから, 剛構造である。開門時の固有周期は 2.11s と 0.05s 以上であることから, 設計用床応答曲線をもとに固有周期を考慮する。

表 4-3 固有周期の計算結果

分類	固有周期 (s) *
閉門時	0.0075
開門時	2.11

注記* : 計算過程を以下に示す。

(閉門時)

$$f = \frac{\pi^2}{2 \times \pi \times 1600^2} \sqrt{\frac{1.93 \times 10^5 \times 1.155 \times 10^8 \times 10^3}{0.46875}} = 133.843 \text{ Hz}$$

$$T = 1 \div 133.843 = 0.0075 \text{ s}$$

(開門時)

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9806.65}{1108}} = 0.474 \text{ Hz}$$

$$T = 1 \div 0.474 = 2.11 \text{ s}$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価は, 添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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, 「3. 評価部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) は, 防潮壁(第2号機放水立坑)を横断する補機冷却海水系放水路の開口部に設置されるため, その構造及び設置位置から風荷重及び積雪荷重の影響は考慮しない。また, 補機冷却海水系放水路を常時流下する放水の水圧は, 地震による扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しない。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として, 扉体自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として, 基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 5-1 に, 扉体に作用する荷重の概念図を図 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
地震時	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

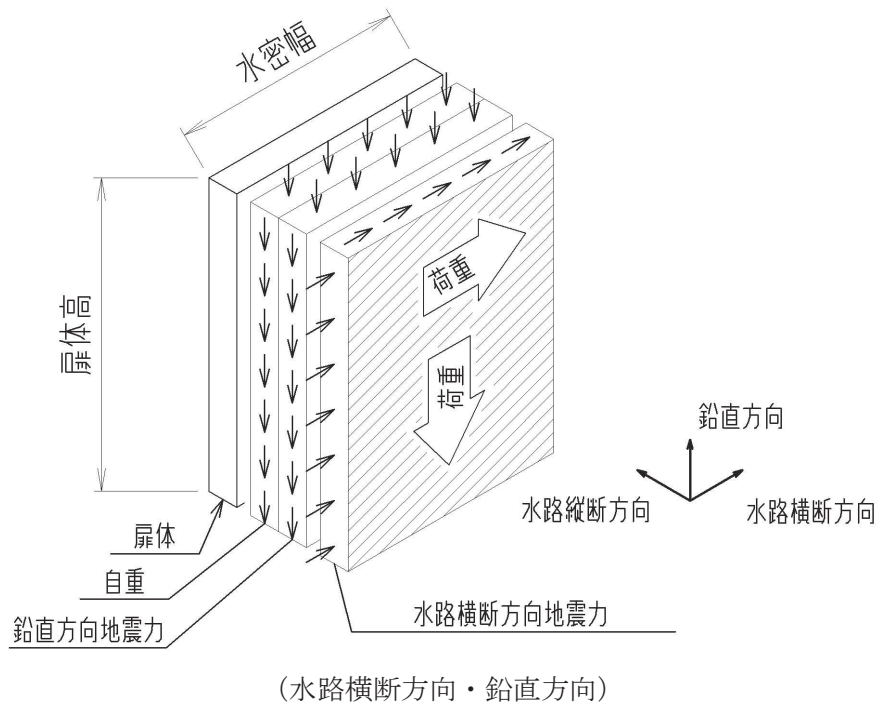
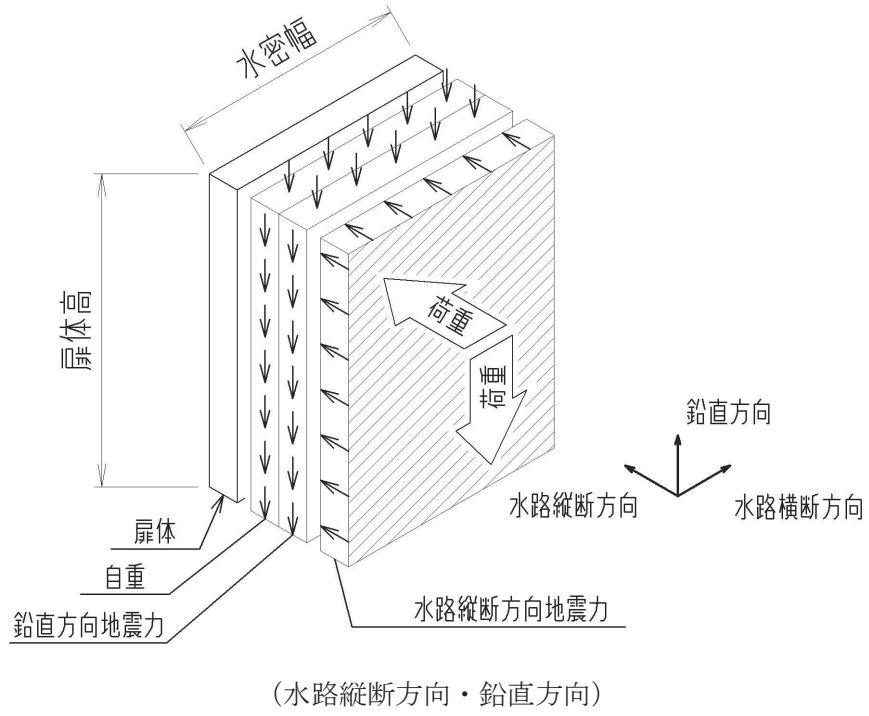


図5-1 扉体に作用する荷重の概念図

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

5.3.1 使用材料

補機冷却海水系放水路逆流防止設備を構成するスキンプレート、主桁、補助縦桁、固定ボルトの使用材料を表 5-2 に示す。

表 5-2 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SUS316L	PL12mm
主桁	SUS316L	CH200×100×10×10
補助縦桁	SUS316L	BT 200×75×6×6 (溶接構造)
ヒンジ	SUS316L	PL20mm×1 枚(連結部) PL16mm×2 枚(扉体部) PL16mm×2 枚(固定部)
ピン (回転軸)	SUS316L	φ 35mm
戸当り	SUS316L	PL12mm (腹板) $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ (コンクリート)
アンカーボルト	SUS316L	頭付きアンカーボルト (M20)

5.3.2 許容限界

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に規定される許容応力度を用いる。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界を表 5-3 に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件を表 5-4 に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果を表 5-5 にそれぞれ示す。

表 5-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界

許容限界*1			
曲げ	引張	せん断	支圧
$1.5 \sigma_{ab}^{*2}$	$1.5 \sigma_{at}^{*2}$	$1.5 \tau_a^{*2}$	$1.5 \sigma_{as}^{*2}$

注記 *1: 地震後, 津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し, 当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう, 設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

*2: 扉体の許容限界は, 「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき, 短期許容応力度とする。短期許容応力度は, 鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件 (1/2)

評価部位	材料	$\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{at}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\tau_a^{*1,2,3}$ (N/mm ²)	$\sigma_{as}^{*1,3}$ (N/mm ²)
スキンプレート	SUS316L	88	—	—	—
主桁	SUS316L	88	—	51	—
補助縦桁	SUS316L	88	—	51	—
ヒンジ	SUS316L	88	88	51	—
ピン (回転軸)	SUS316L	88	—	51	—
戸当り	SUS316L	—	88	—	—
戸当りコンクリート	コンクリート	—	—	0.40	5.9

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 鋼材の各許容応力度の値は, 「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づく。

*3: コンクリートの許容応力度の値は, 「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準 (案)」に基づく。

表 5-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件 (2/2)

評価部位	材料	$\sigma_Y^{*1,2}$ (N/mm ²)
アンカーボルト	SUS316L	175

*1: σ_Y : 耐力を示す。

*2: アンカーボルトの耐力の値は, 「J I S G 4304 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

表 5-5 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果(1/2)

許容応力 状態	評価部位	短期許容応力度				
		曲げ (N/mm ²)	引張/圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	支圧 (N/mm ²)	合成応力 (-)
短期許容 応力度	スキンプレート	132	—	—	—	—
	主桁	125* ¹	—	76	—	1.1
	補助縦桁	125* ¹	—	76	—	1.1
	ヒンジ	132	132	76	—	—
	ピン (回転軸)	132	—	76	—	1.1
	戸当り	—	132* ²	—	—	—
	戸当り コンクリート	—	—	0.6	8.8	—

注記 *1: 主桁, 補助縦桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は, 「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき, 許容曲げ応力度横倒れ座屈に対する配慮として許容応力の低減を考慮し算出する。

*2: 戸当りの照査に用いる腹板の許容軸方向圧縮応力度は, 構造上躯体に固定されており座屈に対する許容応力の低減検討が必要ないことから, 許容軸方向引張応力度の数値を使用する。

表 5-5 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果(2/2)

評価部位	許容荷重	
	引張* ^{1, 2} (N)	せん断* ^{1, 2} (N)
アンカーボルト	4.28×10 ⁴	3.00×10 ⁴
コンクリートの コーン状破壊	1.89×10 ⁵	1.19×10 ⁵

注記 *1: アンカーボルトに対する許容引張力, 許容せん断力の許容値は, 「日本建築学会 2014 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出する。

*2: アンカーボルトの埋め込まれるコンクリートのコーン状破壊に対する許容せん断力は, 「日本建築学会 2014 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出する。

5.4 設計用地震力

設計震度は、添付書類「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」に示す鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における、ゲート固定部の最大応答加速度に基づき設定する。なお、鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦は、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）を支持する断面で鋼製遮水壁（鋼板）の評価対象断面としている。補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）と補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）は、構造仕様が同じで、応答加速度の観点からも支持する鋼製遮水壁（鋼板）は、構造や地盤条件に有意な差が無いいため、鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦の応答加速度を用いた設計用地震力を用いた評価により、（No. 1）及び（No. 2）の評価を代表させる。

鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦の加速度応答を抽出した節点位置を図5-2に示す。

応答加速度は、「4. 固有周期」に示したとおり、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）の固有周期は、閉門時は固有周期が0.05s以下である一方、固定部の照査で考慮する開門時には固有周期が $T=2.11s$ と0.05s以上であることから、閉門時としてゲート固定部の最大応答加速度と、開門時として添付書類「V2-1-7 設計用床応答曲線の算定方針」に基づき作成した設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度をそれぞれ算定する。設計用床応答曲線の作成に用いる解析コードは「波形処理プログラム k-WAVE for Windows ver. 6. 2. 0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

なお、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）と補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）は構造仕様及び設計津波水位が同じとなっている。

地震応答解析ケースを表5-6に、地震応答解析結果を表5-7に、開門時に参照する設計用床応答曲線を図5-3に示す。

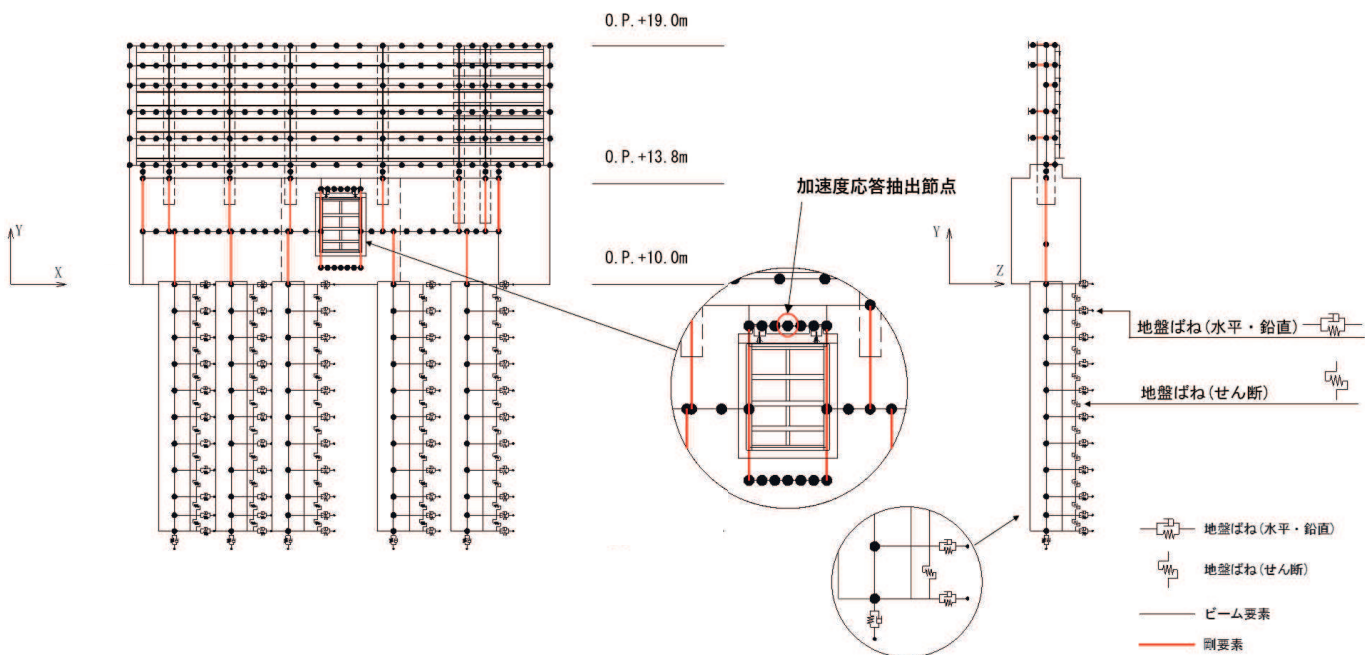


図5-2 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置

表 5-6 鋼製遮水壁（鋼板） 断面⑦の地震応答解析ケース（加速度応答抽出）

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*3
地震動（位相）	S _s -D 1	++*1	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-
	S _s -D 2	++*1	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-
	S _s -D 3	++*1	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-
	S _s -F 1	++*1	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-
	S _s -F 2	++*1	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-
	S _s -F 3	++*1	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-
	S _s -N 1	++*1	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-

注記*1：地震動の位相について（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：位相反転ケース（-+）については，構造的に位相の影響は小さいため影響確認の位置付けとし，ケース②～④は（++）に対してのみ実施する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

表 5-7 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における地震応答解析結果

分類	最大応答加速度 (cm/sec ²)		
	水平方向 (水路縦断方向)	水平方向 (水路横断方向)	鉛直方向
閉門時	2524.8 (Ss-D2(++), ケース③)	1344.0 (Ss-D2(++), ケース③)	678.7 (Ss-D2(++), ケース③)
開門時	512.4 (Ss-F2(++), ケース①)	—	—

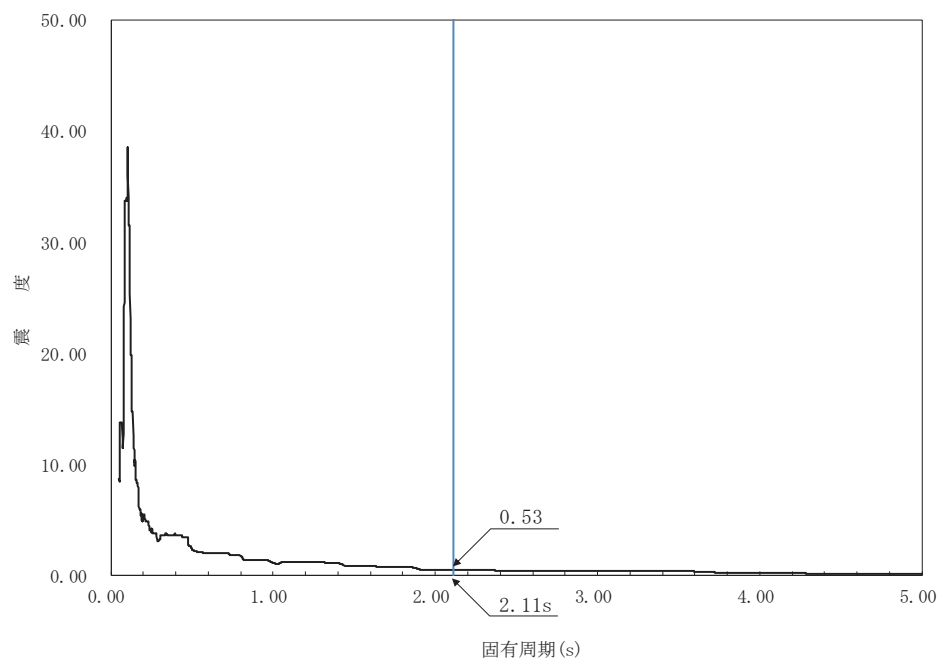


図5-3 鋼製遮水壁（鋼板）（断面⑦）における設計用床応答曲線

以上より、固定部の評価においては、「開門時」より震度の大きくなった「閉門時」における設計震度を応力評価に考慮する。補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1），（No. 2）の設計震度を表 5-8 に示す。

表 5-8 設計震度

設備名称	地震動	解析ケース	設置場所及び 床面高さ (m)	設計震度*	
補機冷却海水系放 水路逆流防止設備	S s - D 2 (++)	ケース③	防潮壁 (第 2 号機放水立坑) (図 5-2 参照)	水平方向 K_H (縦断)	2.6
	S s - D 2 (++)	ケース③		水平方向 K_{HX} (横断)	1.4
	S s - D 2 (++)	ケース③		鉛直方向 K_V	0.7

注記* : 最大応答加速度を考慮した設計震度 (最大応答加速度/980.665cm/s²) として設定

5.5 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

5.5.1 スキンプレート

スキンプレートに発生する曲げ応力は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、4 辺を固定支持された平板としてモデル化し、曲げ応力を算定する。

スキンプレートのモデル図及び応力算定式を図 5-4 に示す。

$$\sigma = \frac{k \cdot a_1^2 \cdot P}{100 \cdot t_1^2}$$

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

k : 辺長比 (b_1 / a_1) による係数

a_1 : スキンプレートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレートの長辺 (mm)

P : スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

t_1 : スキンプレートの板厚 (mm)

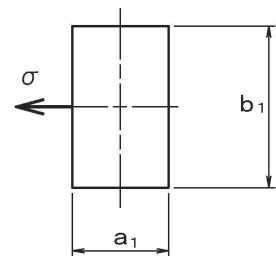
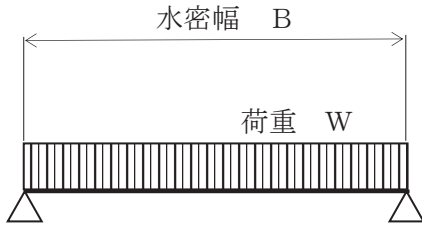


図 5-4 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.2 主桁

主桁に発生する断面力は、側部水密ゴムの位置を支点とする両端ピン支点の単純梁によりモデル化し、算定する。主桁のモデル図を図5-5に示す。

なお、各主桁が分担する荷重は「ダム・堰施設技術協会 平成28年 ダム・堰施設技術基準（案）」に基づき、図5-6に示す方法により算出する。



$$W = R \cdot B$$

$$M_{Max} = \frac{W \cdot B}{8}$$

$$S_{Max} = \frac{W}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{Max}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{Max}}{A_{w2}}$$

$$\kappa = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2}}{\sigma_a}$$

- W : 主桁に加わる地震による荷重 (N)
- R : 主桁に加わる地震による線荷重 (N/mm)
- M_{Max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{Max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- κ : 合成応力
- σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)
- B : 水密幅 (mm)
- Z_2 : 主桁の断面係数 (mm³)
- A_{w2} : 主桁のウェブ断面積 (mm²)

図5-5 主桁のモデル図及び応力算定式

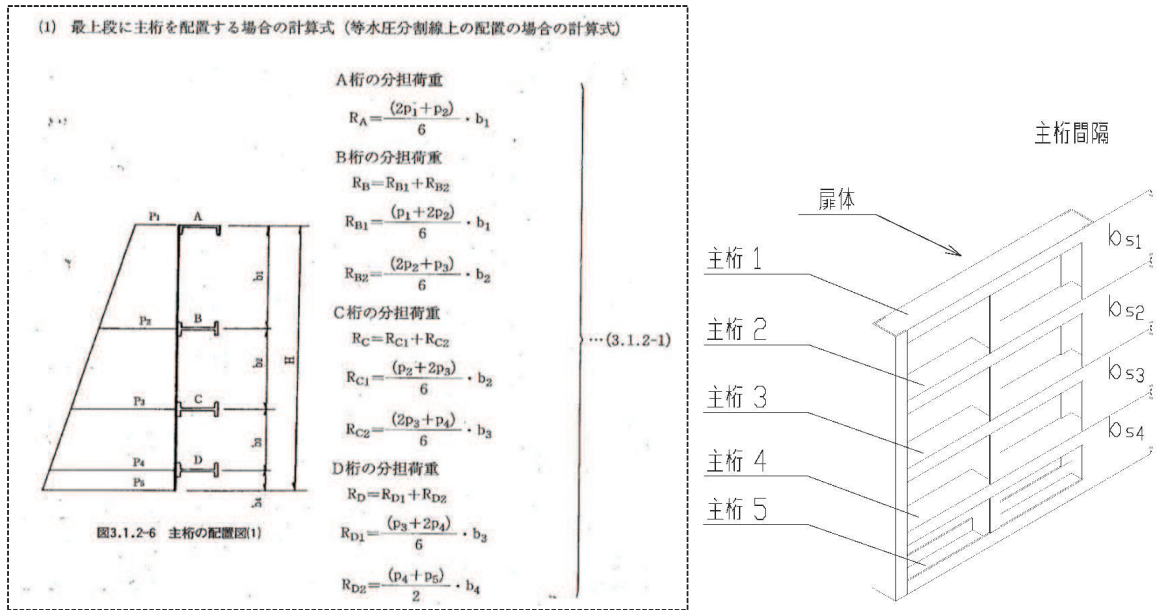


図 5-6 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図

「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）」より引用

上記算定式を本ゲートの構造に照らし合わせて主桁 1～5 がそれぞれ分担する線荷重 $R_1 \sim R_5$ を求める式を得る。

$$\text{主桁 1 : } R_1 = \frac{2 \times q_{s1} + q_{s2}}{6} b_{s1}$$

$$\text{主桁 2 : } R_2 = \frac{q_{s1} + 2 \times q_{s2}}{6} b_{s1} + \frac{2 \times q_{s2} + q_{s3}}{6} b_{s2}$$

$$\text{主桁 3 : } R_3 = \frac{q_{s2} + 2 \times q_{s3}}{6} b_{s2} + \frac{2 \times q_{s3} + q_{s4}}{6} b_{s3}$$

$$\text{主桁 4 : } R_4 = \frac{q_{s3} + 2 \times q_{s4}}{6} b_{s3} + \frac{2 \times q_{s4} + q_{s5}}{6} b_{s4}$$

$$\text{主桁 5 : } R_5 = \frac{q_{s4} + 2 \times q_{s5}}{6} b_{s4}$$

b_{s1} : 主桁 1, 主桁 2 の桁間隔 (mm)

b_{s2} : 主桁 2, 主桁 3 の桁間隔 (mm)

b_{s3} : 主桁 3, 主桁 4 の桁間隔 (mm)

b_{s4} : 主桁 4, 主桁 5 の桁間隔 (mm)

q_{s1} : 主桁 1 での発生圧力 (N/mm²)

q_{s2} : 主桁 2 での発生圧力 (N/mm²)

q_{s3} : 主桁 3 での発生圧力 (N/mm²)

q_{s4} : 主桁 4 での発生圧力 (N/mm²)

q_{s5} : 主桁 5 での発生圧力 (N/mm²)

5.5.3 補助縦桁

補助縦桁については、主桁によって支持された単純支持梁とし、荷重は平均水圧が菱形に作用したものとして、「水門鉄管協会 平成31年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき曲げ応力度及びせん断応力を算定する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。

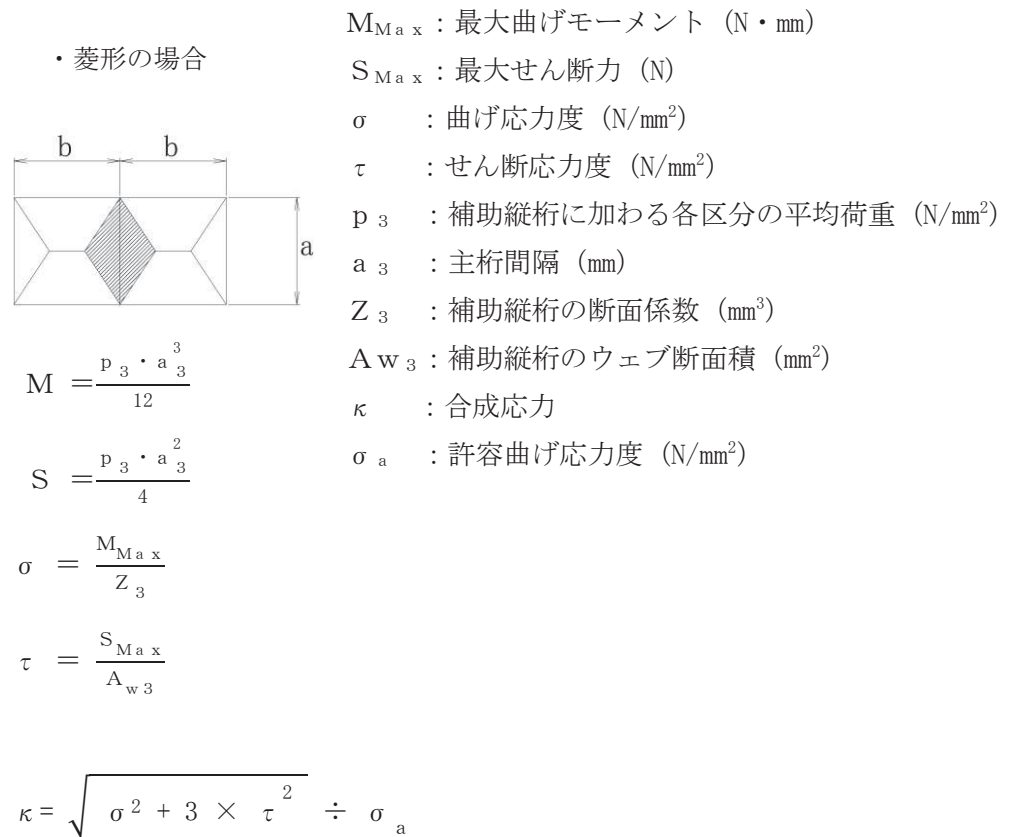


図5-7 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

5.5.4 ヒンジ部

ヒンジ部の構造概要を図5-8に、ヒンジに作用する荷重の計算モデルを図5-9に示す。ヒンジ部の評価は、「ダム・堰施設技術協会 平成28年 ダム・堰施設技術基準(案)」のピン接合として、ピン（回転軸）、ヒンジ及びアンカーボルトについて評価を行う。

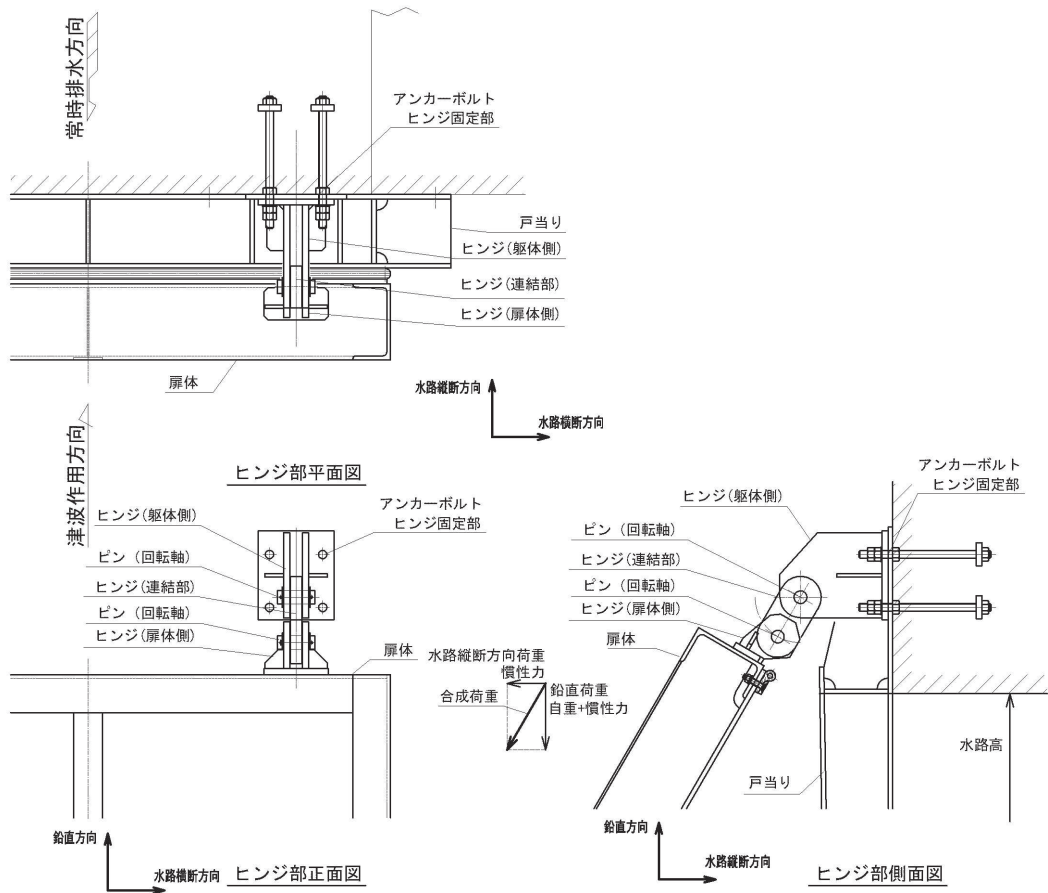
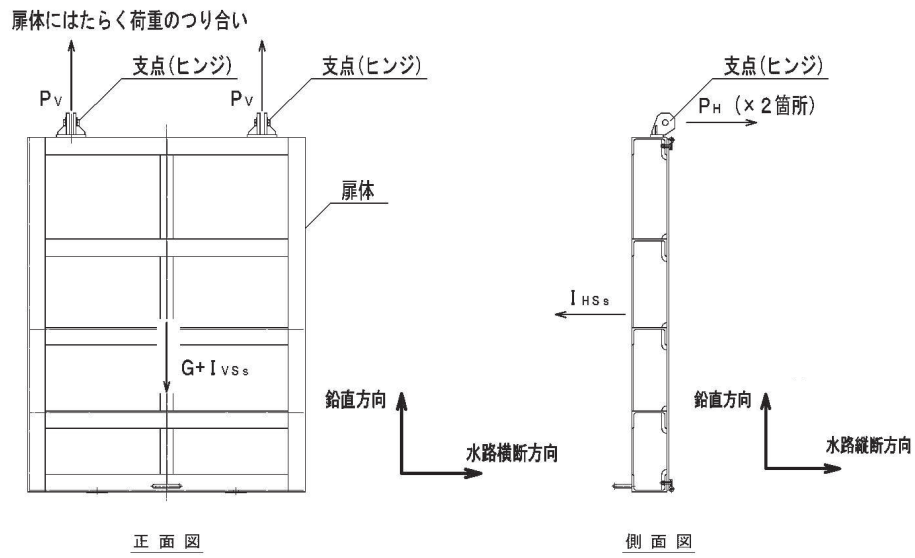


図5-8 ヒンジ部の構造概要



$$P_H = I_{HS_s} \div 2$$

$$P_V = (G + I_{VS_s}) \div 2$$

$$I_{HS_s} = G \times K_H$$

$$I_{VS_s} = G \times K_V$$

ここに、

P_H : ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重 (N)

P_V : ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重 (N)

I_{HS_s} : 水路縦断方向地震荷重 (N)

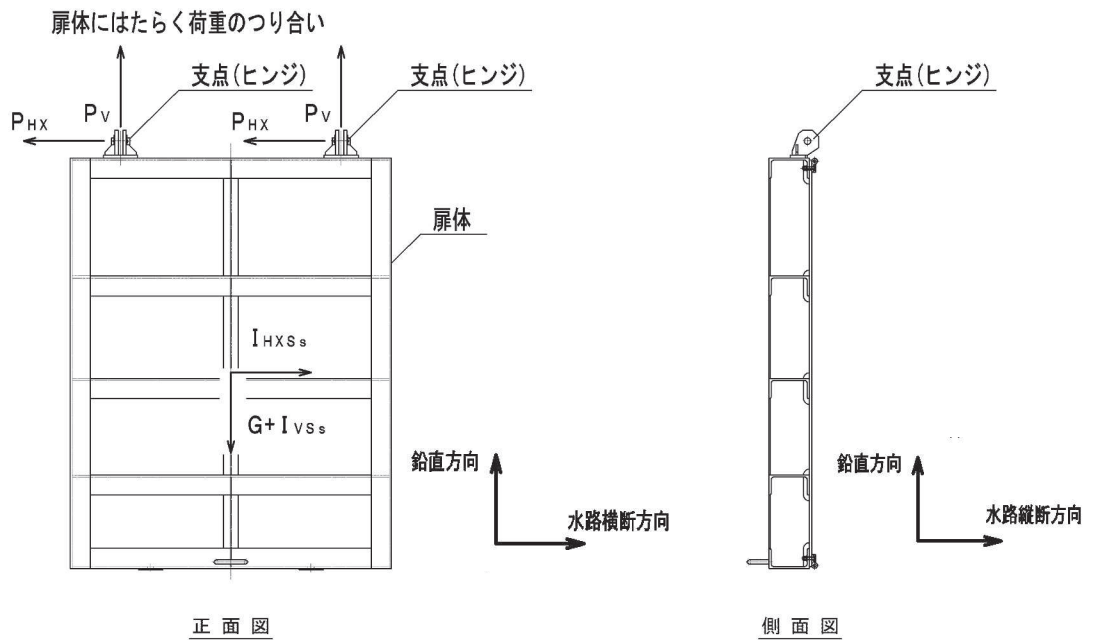
G : 扉体自重 (N)

I_{VS_s} : 鉛直方向地震荷重 (N)

K_H : 基準地震動 S_s による水路縦断方向設計震度

K_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向設計震度

図 5-9 ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル (1/2)
(水路縦断方向・鉛直方向)

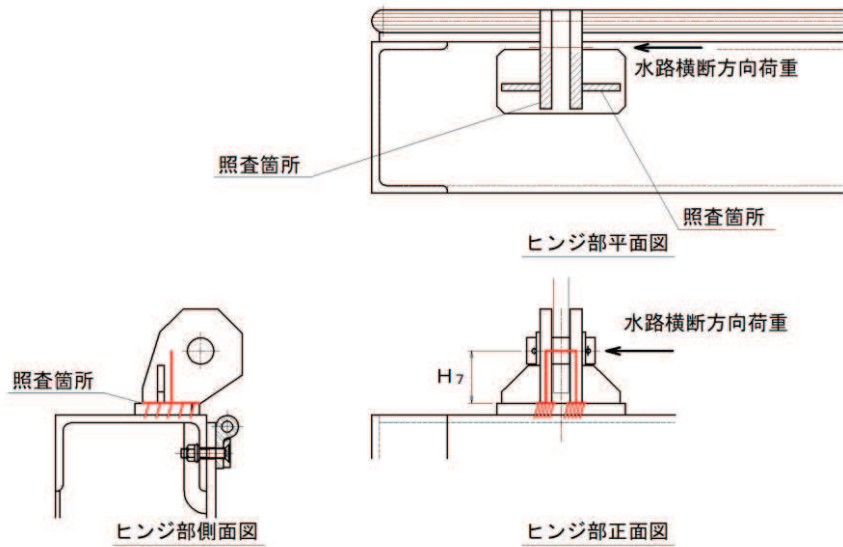


- ここに、
- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| $P_{HX} = I_{HXS_s} \div 2$ | P_{HX} : ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重 (N) |
| $P_V = (G + I_{VS_s}) \div 2$ | P_V : ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重 (N) |
| $I_{HXS_s} = G \times K_{HX}$ | I_{HXS_s} : 水路横断方向地震荷重 (N) |
| $I_{VS_s} = G \times K_V$ | G : 扉体自重 (N) |
| | I_{VS_s} : 鉛直方向地震荷重 (N) |
| | K_{HX} : 基準地震動 S_s による水路横断方向設計震度 |
| | K_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向設計震度 |

図 5-9 ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル (2/2)
(水路横断方向・鉛直方向)

(1) ヒンジ（扉体側）

ヒンジ（扉体側）に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が，許容限界以下となることを確認する。ヒンジ（扉体側）のモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$M = P_{HX} \times H_7$$

$$S = P_{HX}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z_7}$$

$$\tau = \frac{S}{A_7}$$

$$\kappa = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \div \sigma_a$$

ここに，

P_{HX} : ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重 (N)

Z_7 : ヒンジ（扉体側）の断面係数 (mm³)

A_7 : ヒンジ（扉体側）の断面積 (mm²)

H_7 : ヒンジ（扉体側）の照査部位からピン穴までの鉛直距離 (mm)

M : 曲げモーメント (N・mm)

S : せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

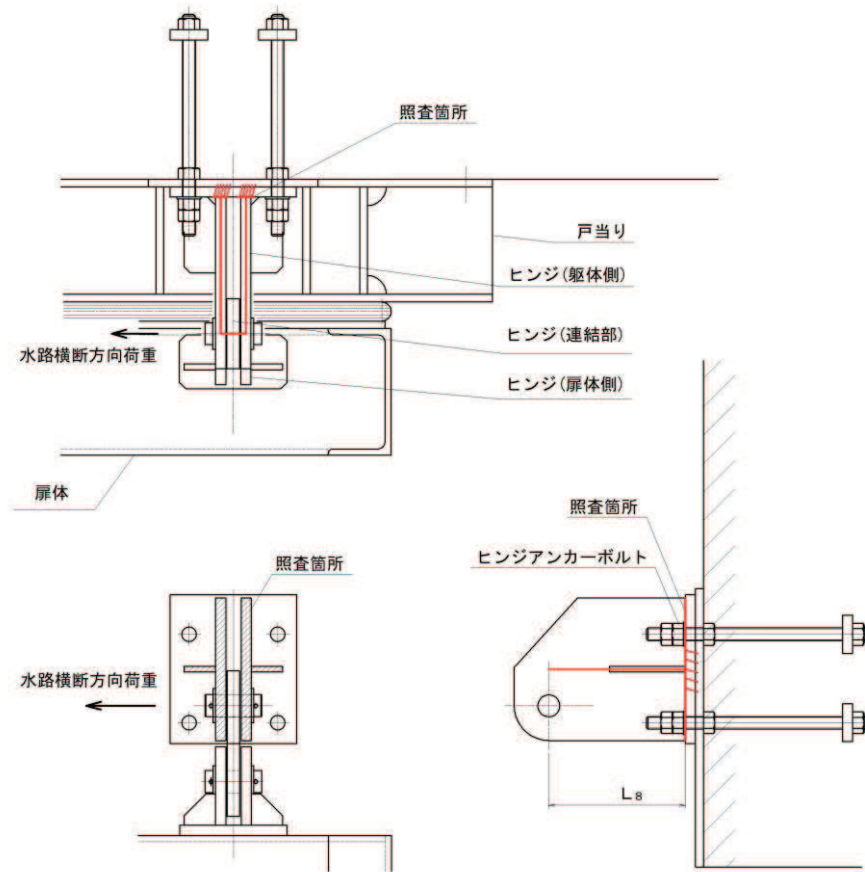
κ : 合成応力

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図5-10 ヒンジ（扉体側）の構造概要及び応力算定式

(2) ヒンジ（躯体側）

ヒンジ（躯体側）に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が，許容限界以下となることを確認する。ヒンジ（躯体側）のモデル図及び応力算定式を図5-11に示す。



$$M = P_{HX} \times L_8$$

$$S = P_{HX}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z_8}$$

$$\tau = \frac{S}{A_8}$$

$$\kappa = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \div \sigma_a$$

ここに，

P_{HX} : ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重 (N)

Z_8 : ヒンジ（躯体側）の断面係数 (mm^3)

A_8 : ヒンジ（躯体側）の断面積 (mm^2)

L_8 : ヒンジ（躯体側）の照査部位からピン穴までの水平距離 (mm)

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

S : せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm^2)

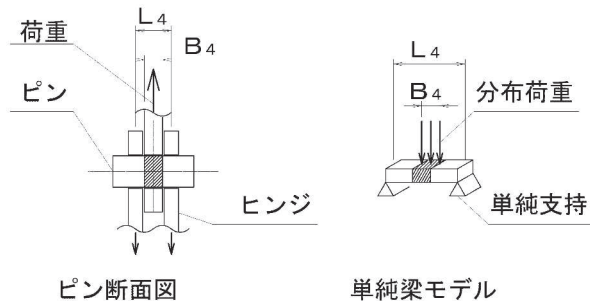
τ : せん断応力度 (N/mm^2)

κ : 合成応力

図 5-11 ヒンジ（躯体側）の構造概要及び応力算定式

(3) ピン (回転軸)

ピン (回転軸) に発生する曲げ応力度, せん断応力度, 合成応力度が, 許容限界以下となることを確認する。ピンのモデル図及び応力算定式を図5-12に示す。



$$M_H = \frac{P_H \times (2 \times L_4 - B_4)}{8}$$

$$M_V = \frac{P_V \times (2 \times L_4 - B_4)}{8}$$

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

$$S_V = \frac{P_V}{2}$$

$$\sigma_H = \frac{M_Z}{Z_4}$$

$$\sigma_V = \frac{M_V}{Z_4}$$

$$\tau_H = \frac{S_Z}{A_4}$$

$$\tau_V = \frac{S_V}{A_4}$$

$$\Sigma |\sigma| = |\sigma_H| + |\sigma_V|$$

$$\Sigma |\tau| = |\tau_H| + |\tau_V|$$

$$\kappa = \sqrt{\Sigma |\sigma|^2 + 3 \times \Sigma |\tau|^2} \div \sigma_a$$

ここに,

P_H : ヒンジ1箇所への水路縦断方向荷重

P_V : ヒンジ1箇所への鉛直方向荷重

Z_4 : ピンの断面係数 (mm^3)

A_4 : ピンの断面積 (mm^2)

L_4 : ピンの支点間長さ (mm)

B_4 : ピンの分布荷重載荷長 (mm)

M_H : 水路縦断方向荷重による曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

M_V : 鉛直方向荷重による曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

S_H : 水路縦断方向荷重によるせん断力 (N)

S_V : 鉛直方向荷重によるせん断力 (N)

σ_H : 水路縦断方向荷重による曲げ応力度 (N/mm^2)

σ_V : 鉛直方向荷重による曲げ応力度 (N/mm^2)

τ_H : 水路縦断方向荷重によるせん断応力度 (N/mm^2)

τ_V : 鉛直方向荷重によるせん断応力度 (N/mm^2)

$\Sigma |\sigma|$: 曲げ応力度の合計値 (N/mm^2)

$\Sigma |\tau|$: せん断応力度の合計値 (N/mm^2)

κ : 合成応力

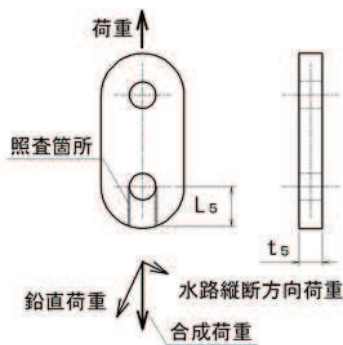
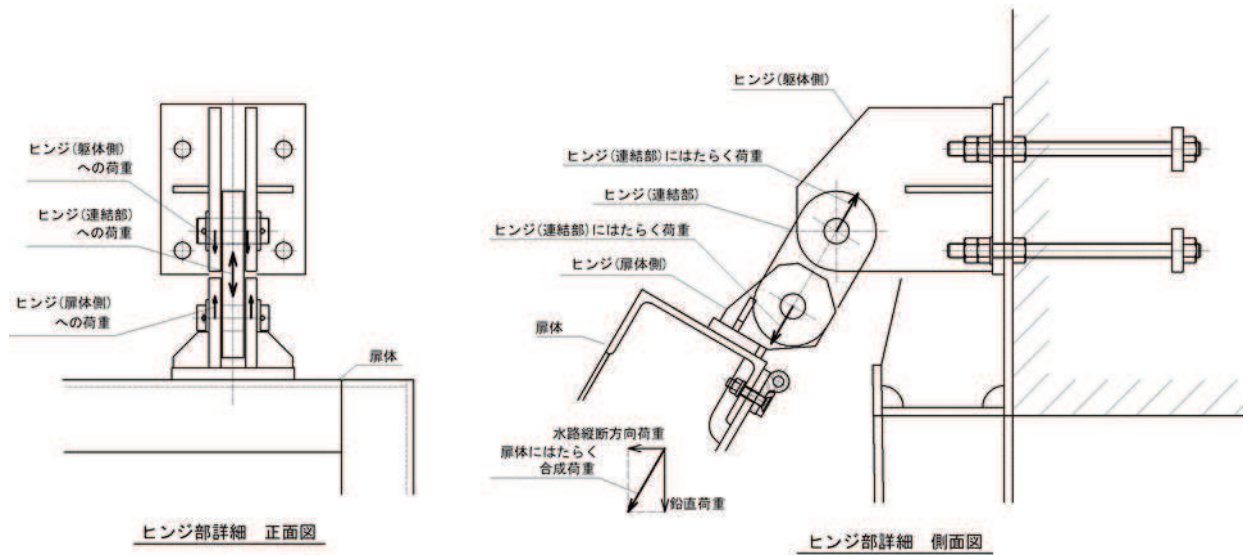
σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm^2)

図5-12 ピン (回転軸) の構造概要及び応力算定式

(4) ヒンジ (連結部)

a. 引張

ヒンジの扉体部側及び固定部側とその連結部のうち、作用荷重が最も大きくなる連結部のピン穴周りのせん断応力度が、許容限界以下となることを確認する。連結部のピン穴周りのせん断応力度のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す。



$$\tau = \frac{\sqrt{P_H^2 + P_V^2}}{2 \times L_5 \times t_5}$$

ここに、

P_H : ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重 (N)

P_V : ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重 (N)

t_5 : ヒンジ (連結部) の板厚 (mm)

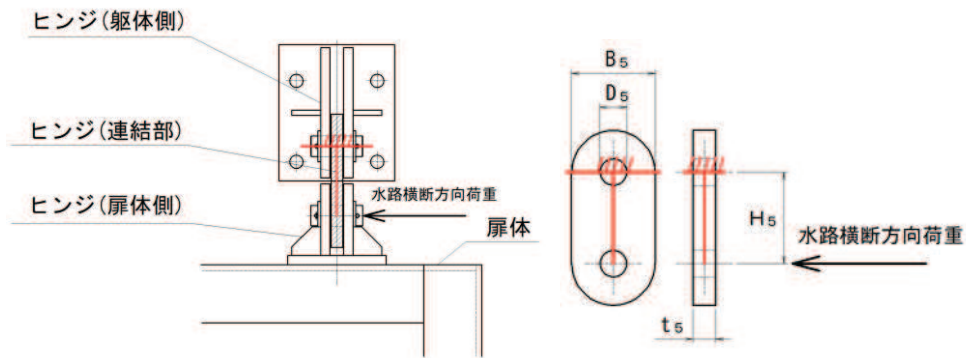
L_5 : ピン穴周りの端抜けせん断長さ (mm)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

図 5-13 ヒンジ (連結部) の構造概要及びせん断応力算定式

b. 曲げ・せん断

ヒンジ（連結部）に水路横断方向荷重が作用した際の曲げ応力度，せん断応力度及び合成応力度が，許容限界以下となることを確認する。連結部の発生応力度のモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す。



$$\sigma = \frac{P_{HX} \times H_5}{(B_5 - D_5) \times t_5^2 \div 6}$$

$$\tau = \frac{P_{HX}}{(B_5 - D_5) \times t_5}$$

$$\kappa = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \div \sigma_a$$

ここに，

P_{HX} : ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重 (N)

B_5 : ヒンジ (連結部) の板幅 (mm)

D_5 : ヒンジ (連結部) のピン穴の直径 (mm)

H_5 : ヒンジ (連結部) のピン穴の距離 (mm)

t_5 : ヒンジ (連結部) の板厚 (mm)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

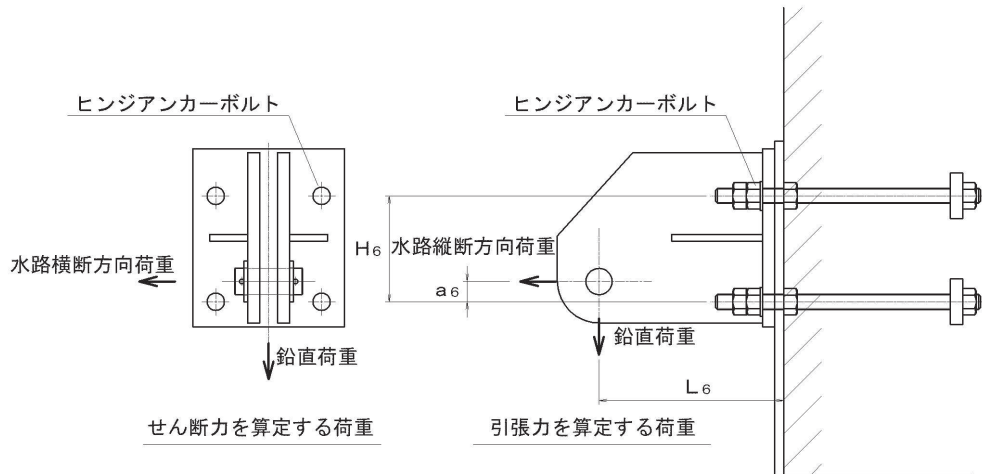
κ : 合成応力

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図 5-14 ヒンジ（連結部）の構造概要及びせん断応力算定式

(5) アンカーボルト

アンカーボルトは「日本建築学会 2014年 各種合成構造設計指針・同解説」に従い、アンカーボルトに発生する引張力、せん断力及びコンクリートのコーン状破壊が、許容限界以下となることを確認する。アンカーボルトのモデル図及び応力算定式を図5-15に示す。



$$P_6 = |P_H| \times \frac{a_6}{H_6} \div 2 + |P_V| \times \frac{L_6}{H_6} \div 2$$

$$Q_6 = \sqrt{|P_V|^2 + |P_{HX}|^2} \div 4$$

ここに、

P_H : ヒンジ1箇所への水路縦断方向荷重 (N)

P_V : ヒンジ1箇所への鉛直方向荷重 (N)

P_{HX} : ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重 (N)

P_6 : アンカーボルト1本に作用する引張力 (N)

Q_6 : アンカーボルト1本に作用するせん断力 (N)

L_6 : アンカーボルト基部からピン穴中心の水平方向長さ (mm)

H_6 : 鉛直方向アンカーボルト間距離 (mm)

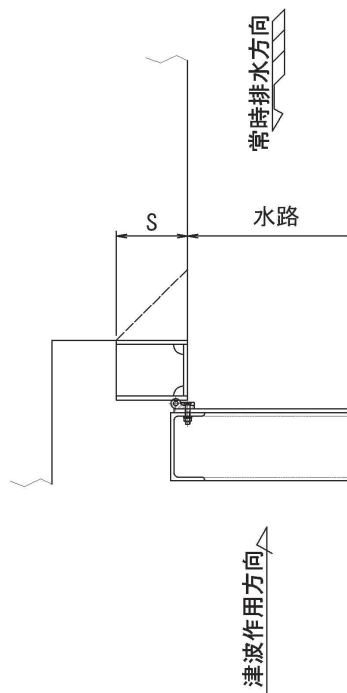
a_6 : アンカーボルトからピン穴中心までの鉛直方向長さ (mm)

図5-15 アンカーボルトの構造概要及び応力算定式

5.5.5 戸当りコンクリート

戸当りコンクリートは、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、扉体の下端からコンクリートに加わる圧力を戸当り全幅で支持するものとして、支圧応力及びせん断応力を評価する。

戸当り部コンクリートのモデル図及び応力算定式を図 5-16 に示す。



コンクリートの支圧応力度

$$\sigma_{bk} = \frac{q_b \times B}{2 \times S}$$

コンクリートのせん断応力度

$$\tau_c = \frac{q_b \times B}{2 \times 2 \times S}$$

q_b : 扉体への地震による最大分布荷重 (N/mm²)

B : 扉体水密幅 (mm)

S : 戸当り幅 (mm)

σ_{bk} : コンクリート支圧応力度 (N/mm²)

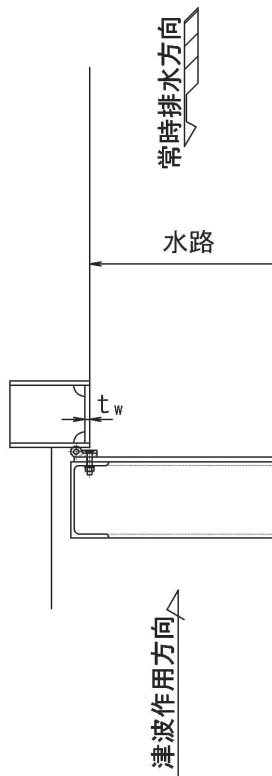
τ_c : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

図 5-16 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

5.5.6 戸当り

戸当りの腹板は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、扉体からコンクリートに加わる最大圧力を戸当りで負担するものとして、戸当り腹板の圧縮応力を評価する。

戸当りのモデル図及び応力算定式を図 5-17 に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

$$\sigma_{bw} = \frac{q_b \cdot B}{2 \cdot t_w}$$

q_b : 扉体への地震による最大分布荷重 (N/mm²)

B : 水密幅 (mm)

t_w : 戸当り腹板の板厚 (mm)

σ_{bw} : 戸当り腹板の圧縮応力度 (N/mm²)

図 5-17 戸当りのモデル図及び応力算定式

5.6 計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる計算条件を表5-9に示す。

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (1/3)

スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, ヒンジ及びピン (回転軸) の材質	固定荷重 (扉体の自重) G (N)	扉体高 H _p (mm)	水の単位体積重量 W _o (N/mm ³)
SUS316L	7.355×10^3	2.040×10^3	1.01×10^{-5}
スキンプレートの辺長比 (b_1/a_1) による係数 k	スキンプレートの短辺 a ₁ (mm)	スキンプレートの長辺 b ₁ (mm)	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 P (N/mm ²)
42.74	585	800	2.44×10^{-3}
スキンプレートの板厚 t ₁ (mm)	主桁に加わる扉体自重による荷重 W (N)	水密幅 B (mm)	主桁の断面係数 Z ₂ (mm ³)
12	5.13×10^3	1.570×10^3	2.3100×10^5
主桁のウェブ断面積 A _{w2} (mm ²)	主桁 1, 主桁 2 の桁間隔 b _{s1} (mm)	主桁 2, 主桁 3 の桁間隔 b _{s2} (mm)	主桁 3, 主桁 4 の桁間隔 b _{s3} (mm)
1.8000×10^3	585	510	480

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (2/3)

主桁 4, 主桁 5 の 桁間隔 b_{s4} (mm)	主桁圧縮フランジの 固定間隔 L_{s1} (mm)	主桁 1 での発生圧力 q_{s1} (N/mm ²)	主桁 2 での発生圧力 q_{s2} (N/mm ²)
465	800	5.97×10^{-3}	5.97×10^{-3}
主桁 3 での発生圧力 q_{s3} (N/mm ²)	主桁 4 での発生圧力 q_{s4} (N/mm ²)	主桁 5 での発生圧力 q_{s5} (N/mm ²)	補助縦桁の 主桁間隔 a_3 (mm)
5.97×10^{-3}	5.97×10^{-3}	5.97×10^{-3}	585
補助縦桁の断面係数 Z_3 (mm ³)	補助縦桁の ウェブ断面積 A_{w3} (mm ²)	補助縦桁に加わる 各区分の平均荷重 p_3 (N/mm ²)	ピンの断面係数 Z_4 (mm ³)
5.5232×10^4	1.1640×10^3	5.97×10^{-3}	4.2092×10^3
ピンの断面積 A_4 (mm ²)	ピンの支点間長さ L_4 (mm)	ピンの分布荷重 載荷長 B_4 (mm)	ヒンジ (連結部) の 板厚 t_5 (mm)
9.6211×10^2	50	30	30
ヒンジ (連結部) の 端抜けせん断長さ L_5 (mm)	アンカーボルト基部 からピン穴中心の 水平方向長さ L_6 (mm)	鉛直方向アンカー ボルト間距離 H_6 (mm)	アンカーボルトから ピン穴中心までの 鉛直方向長さ a_6 (mm)
52.057	244	140	27

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (3/3)

アンカーボルトの コンクリートへの 有効埋め込み長さ l_e (mm)	頭付きアンカー ボルト頭部の直径 D_A (mm)	水平方向アンカー ボルト間距離 a_p (mm)	アンカーボルトの へりあき寸法 c (mm)
220	60	140	228

扉体への地震による 最大分布荷重 q_b (N/mm ²)	戸当り幅 S (mm)	戸当り腹板の板厚 t_w (mm)	ヒンジ (連結部) の 板幅 B_5 (mm)
5.97×10^{-3}	210	12	110

ヒンジ (連結部) の ピン穴の直径 D_5 (mm)	ヒンジ (連結部) の ピン穴の距離 H_5 (mm)	ヒンジ (扉体側) の 照査部位からピン穴 までの鉛直距離 H_7 (mm)	ヒンジ (扉体側) の 断面係数 Z_7 (mm ³)
35.5	120	96	5.7425×10^4

ヒンジ (扉体側) の 断面積 A_7 (mm ²)	ヒンジ (躯体側) の 照査部位からピン穴 までの水平距離 L_8 (mm)	ヒンジ (躯体側) の 断面係数 Z_8 (mm ³)	ヒンジ (躯体側) の 断面積 A_8 (mm ²)
3.3000×10^3	216	9.4804×10^4	8.1000×10^3

6. 評価結果

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の扉体部及び固定部の評価結果を表6-1に、評価部位の最大照査値発生位置を図6-1～図6-3に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 耐震評価結果（補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1），（No. 2））（1/2）

評価部位	地震力方向	応力成分	応力度 又は荷重 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a / b)
スキンプレート	水路縦断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	2.5	132	0.02
主桁	水路縦断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	4.4	125	0.04
		せん断応力度 (N/mm ²)	1.5	76	0.02
	—	合成応力	0.05	1.1	0.05
補助縦桁	水路縦断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	1.9	125	0.02
		せん断応力度 (N/mm ²)	0.5	76	0.01
	—	合成応力	0.02	1.1	0.02
ヒンジ(扉体側)	水路横断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	8.7	132	0.07
		せん断応力度 (N/mm ²)	1.6	76	0.03
		合成応力	0.07	1.1	0.07
ヒンジ(躯体側)	水路横断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	11.8	132	0.09
		せん断応力度 (N/mm ²)	0.7	76	0.01
		合成応力	0.09	1.1	0.09
ピン	水路縦断方向 鉛直方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	32.9	132	0.25
		せん断応力度 (N/mm ²)	8.3	76	0.11
		合成応力	0.28	1.1	0.26
ヒンジ (連結部)	水路縦断方向 鉛直方向	せん断応力度 (N/mm ²)	3.7	76	0.05
	水路横断方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	55.3	132	0.42
		せん断応力度 (N/mm ²)	2.4	76	0.04
		合成応力	0.42	1.1	0.39

表 6-1 耐震評価結果（補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1），（No. 2））（2/2）

評価部位	地震力方向	応力成分	応力度 又は荷重 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a / b)
アンカーボルト	水路縦断方向 鉛直方向	引張力 (N)	6.37×10^3	4.28×10^4	0.15
	水路横断方向 鉛直方向	せん断力 (N)	2.03×10^3	3.00×10^4	0.07
アンカーボルト (コンクリートの コーン状破壊)	水路縦断方向 鉛直方向	引張力 (N)	6.37×10^3	1.89×10^5	0.04
	水路横断方向 鉛直方向	せん断力 (N)	2.03×10^3	1.19×10^5	0.02
戸当り コンクリート	水路縦断方向	支圧応力度 (N/mm ²)	0.03	8.8	0.01
		せん断応力度 (N/mm ²)	0.02	0.6	0.04
戸当り	水路縦断方向	圧縮応力度 (N/mm ²)	0.4	132	0.01

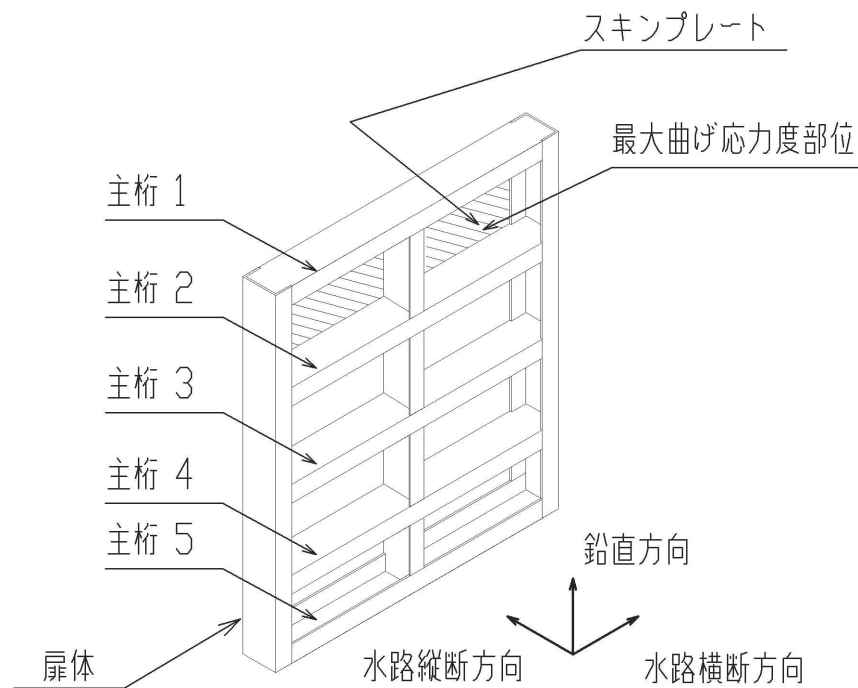


図 6-1 スキンプレート最大照査値発生位置

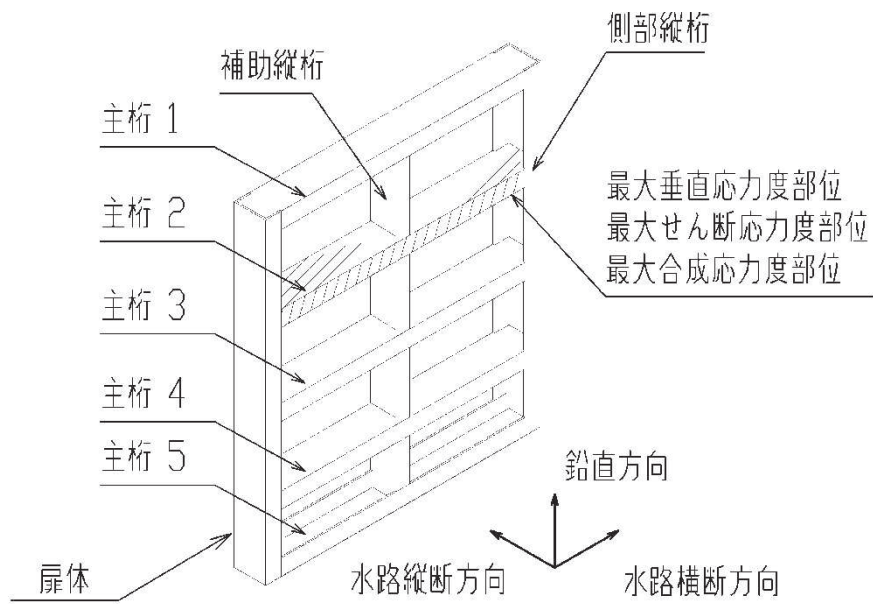


図 6-2 主桁最大照査値発生位置

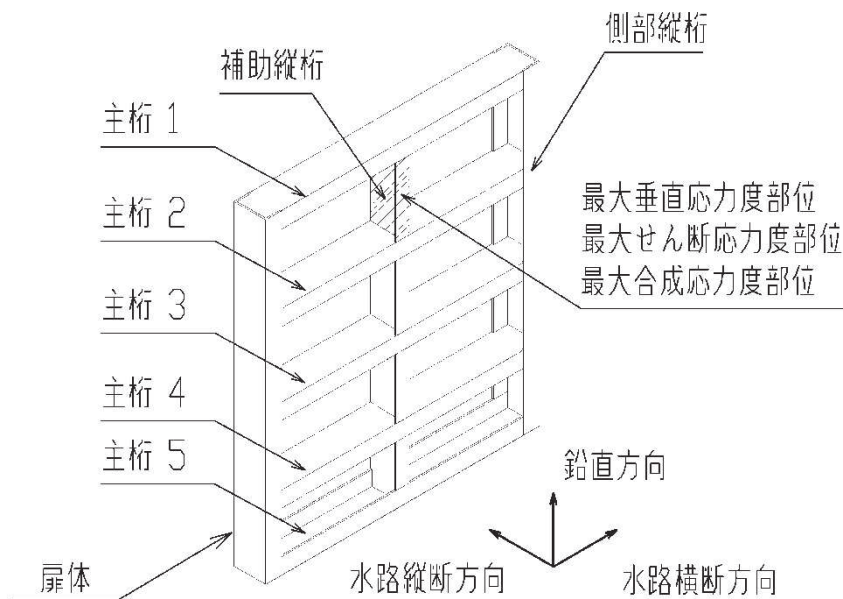


図 6-3 補助縦桁最大照査値発生位置

VI-2-10-2-7 水密扉の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-10-2-7-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-7-2 水密扉（溢水防護設備）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-7-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 検討対象水密扉一覧	2
2.2 配置概要	3
2.3 構造計画	10
2.4 評価方針	12
2.5 適用規格・基準等	14
2.6 記号の説明	15
3. 固有値解析	17
3.1 固有振動数の算出方法	17
3.1.1 解析モデルの設定	17
3.2 固有振動数の算出条件等	18
3.2.1 記号の説明	18
3.2.2 固有振動数の算出方法	18
3.2.3 固有振動数の算出条件	20
3.3 固有振動数の算出結果	22
4. 耐震評価	23
4.1 評価対象部位	23
4.2 荷重及び荷重の組合せ	27
4.2.1 荷重の組合せ	27
4.2.2 荷重	27
4.3 許容限界	28
4.3.1 使用材料	28
4.3.2 許容限界	29
4.4 設計用地震力	31
4.5 評価方法	32
4.5.1 応力算定	32
4.5.2 断面検定	47
4.6 評価条件	53
5. 評価結果	61

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、浸水防止設備である第3号機海水熱交換器建屋の水密扉、原子炉建屋の水密扉及び制御建屋の水密扉（以下「水密扉」という。）が、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

その耐震評価は、水密扉に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

水密扉は、設計基準対象施設においては浸水防止設備に分類される。以下に設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、水密扉の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

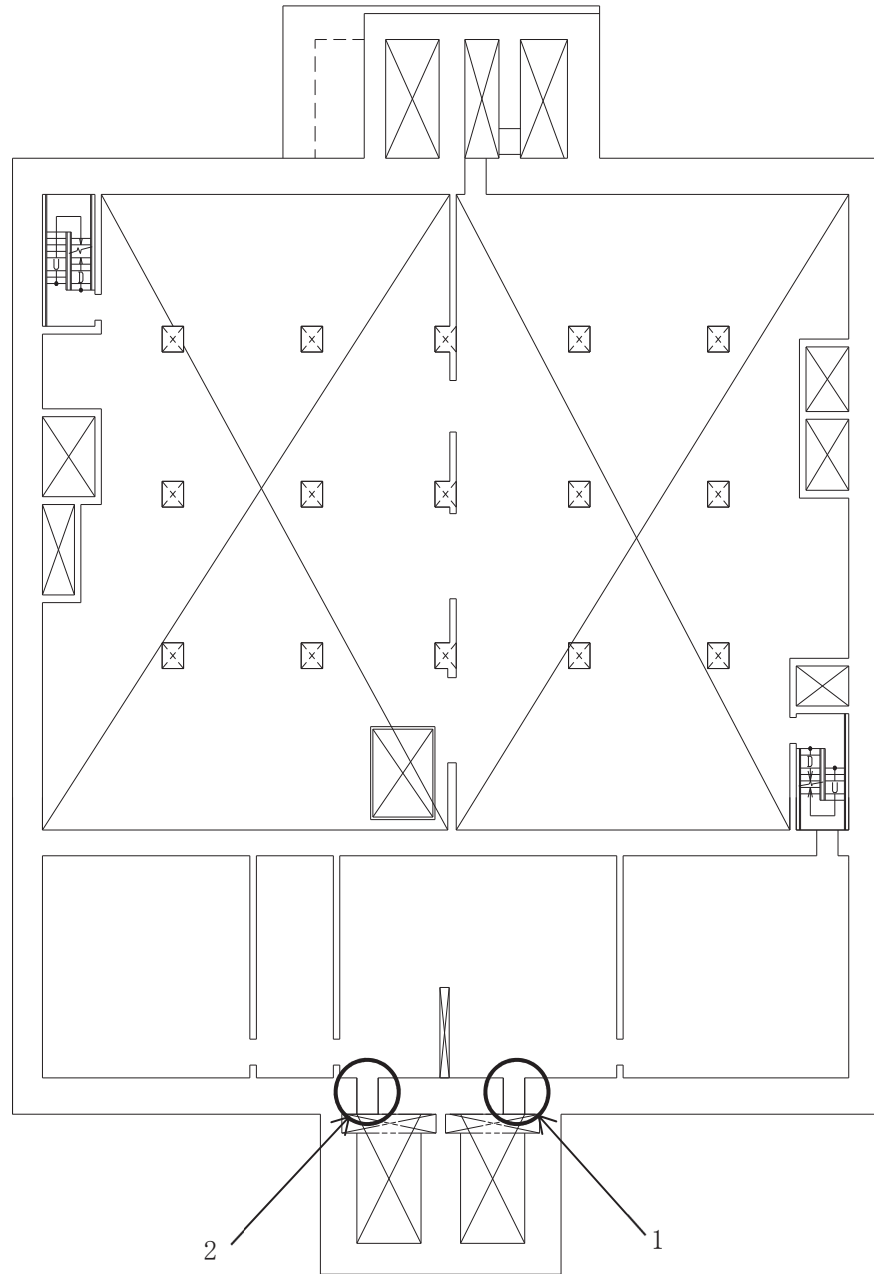
表 2-1 検討対象水密扉一覧

水密扉 No.	扉名称	設置高さ O.P. *
1	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)	2.00m
2	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)	2.00m
3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	14.00m
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	14.00m
5	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉	0.50m
6	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	0.50m
7	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	7.00m
8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	18.50m
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	14.00m
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	14.00m
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	14.00m
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	14.00m
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	22.50m

注記*：平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生していることを考慮した設計とし，地盤沈下量を考慮した高さを示す。

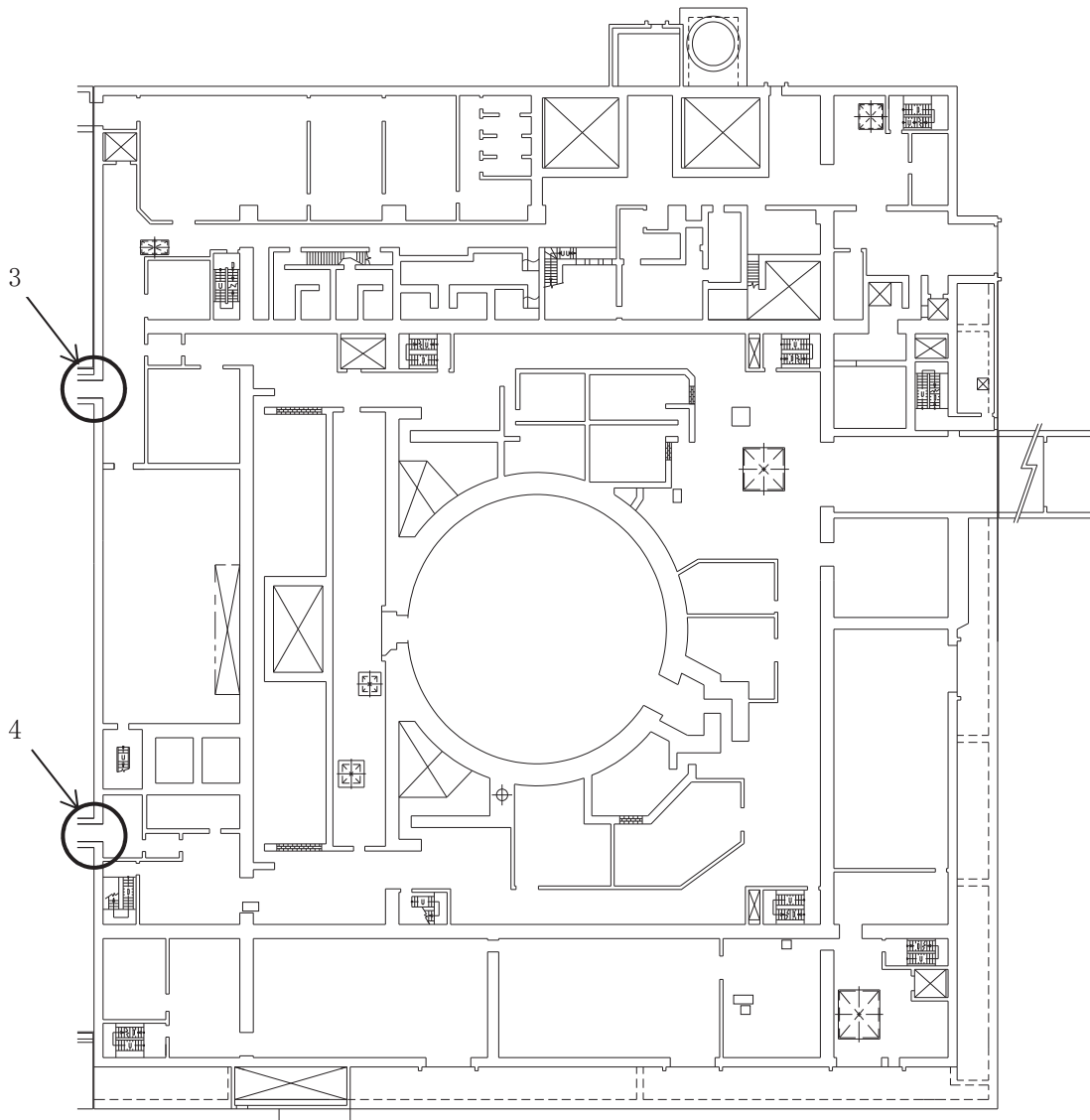
2.2 配置概要

第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図を図2-1に、原子炉建屋の水密扉の設置位置図を図2-2に、制御建屋の水密扉の設置位置図を図2-3に示す。



1	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)
2	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)

図2-1 第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図 O.P. 2.00m



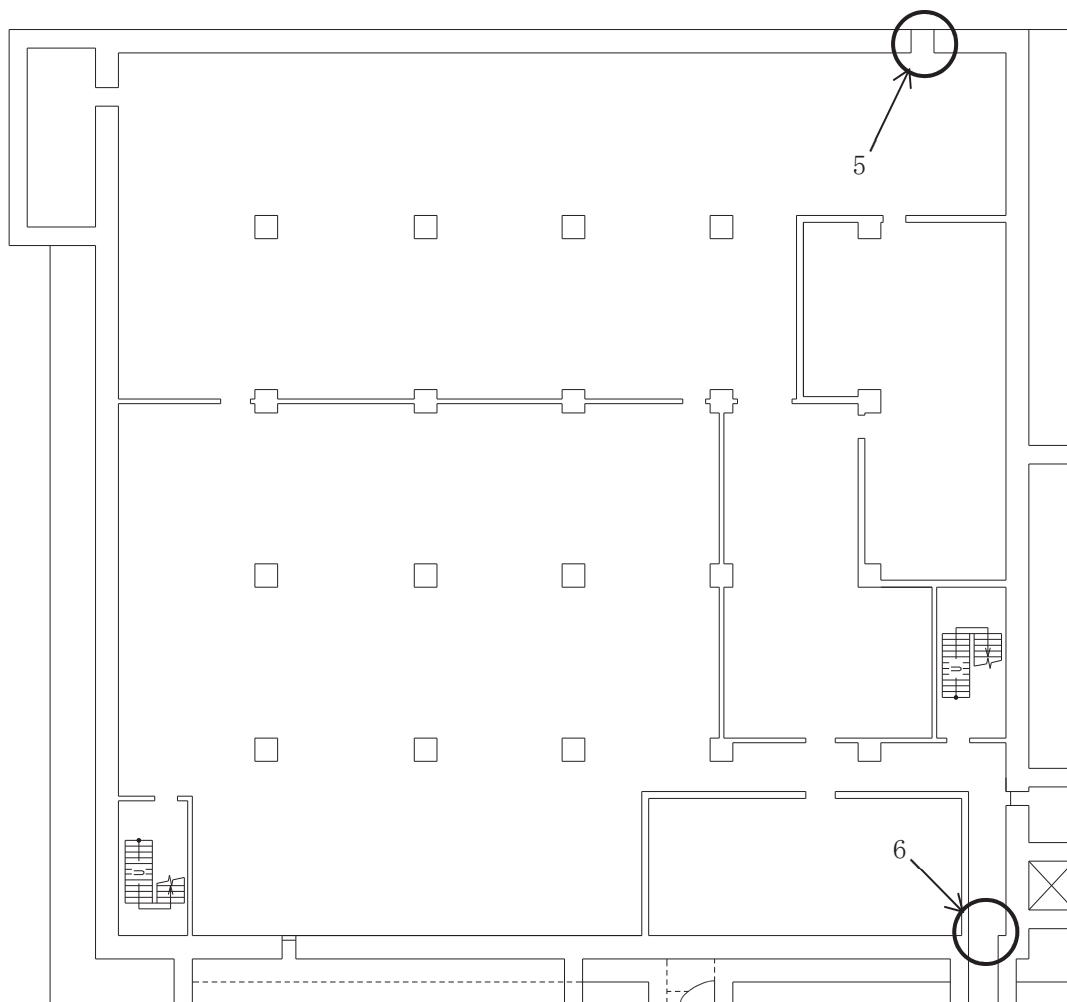
02 ⑥ VI-2-10-2-7-1 R3

3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)

図 2-2 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 0. P. 14. 00m

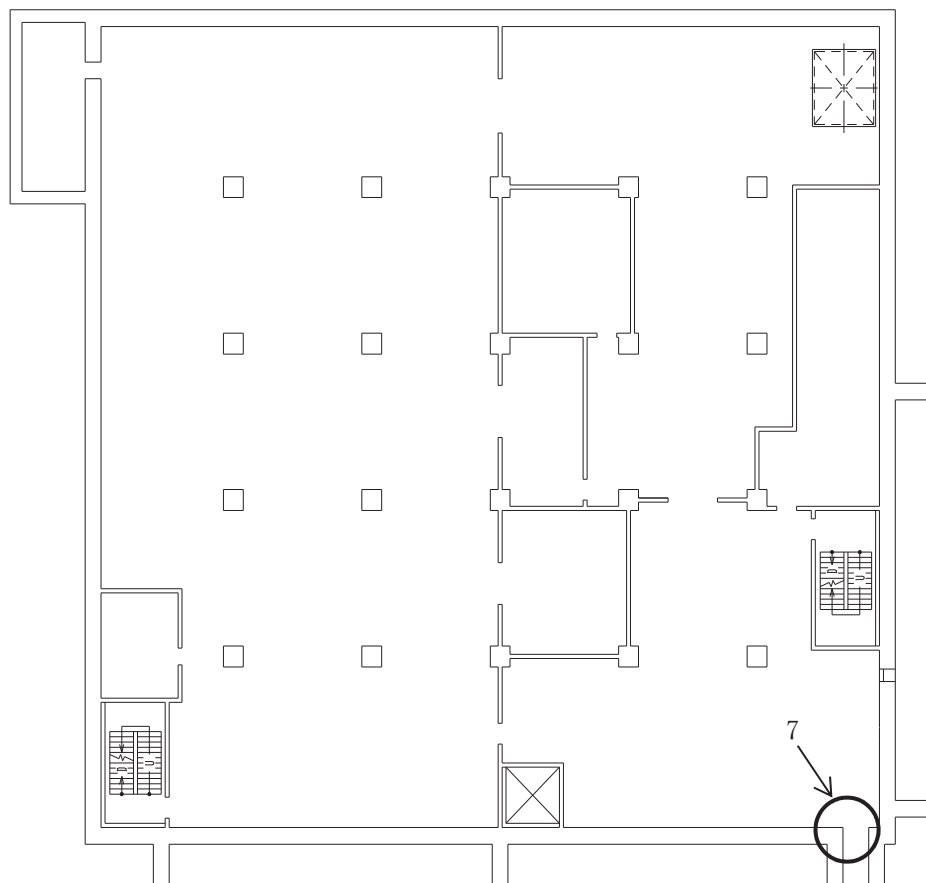


02 ⑥ VI-2-10-2-7-1 R3



5	制御建屋空調機械(A)室浸水防止水密扉
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉

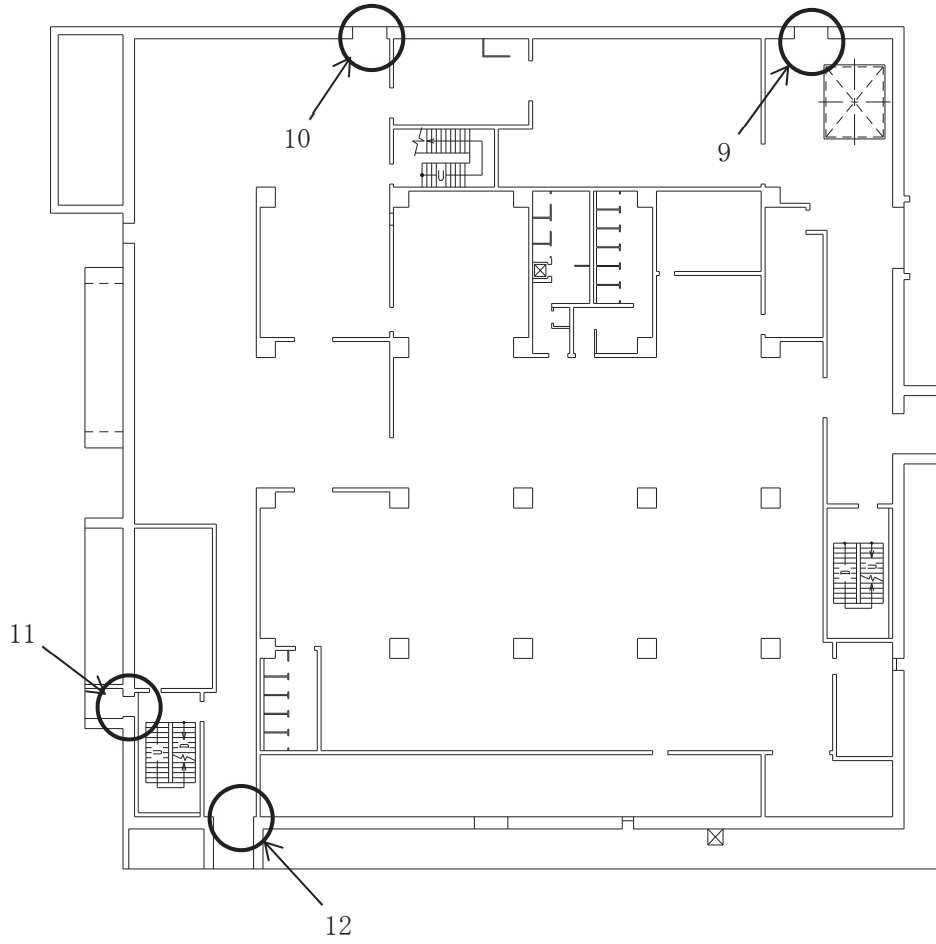
図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(1/5) O.P. 0.50m



02 ⑥ VI-2-10-2-7-1 R3

7	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉 (No. 3)
---	---------------------------

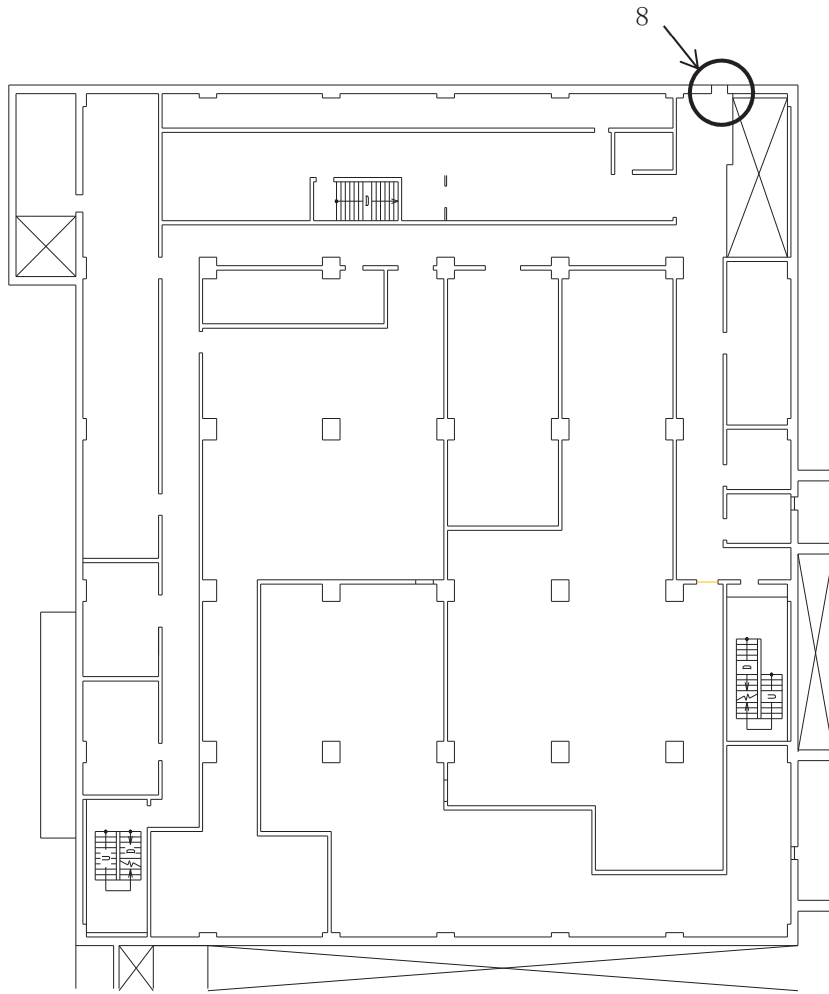
図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(2/5) 0. P. 7. 00m



O 2 ⑥ VI-2-10-2-7-1 R 3

9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (3/5) O.P. 14.00m

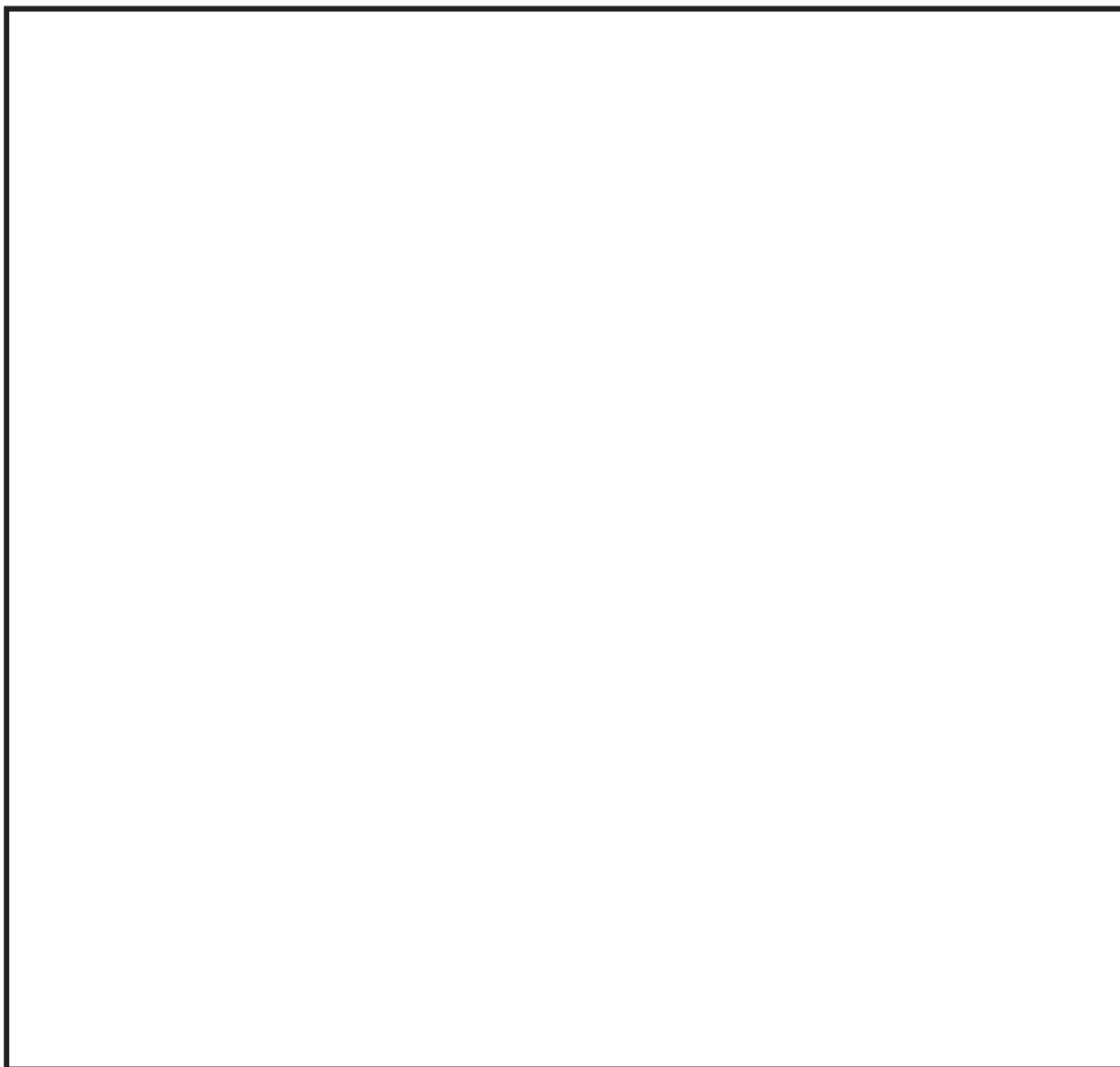


8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
---	---------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (4/5) 0.P. 18. 50m



02 ⑥ VI-2-10-2-7-1 R3



13	第2号機 MCR 浸水防止水密扉
----	------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(5/5) O.P. 22.50m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

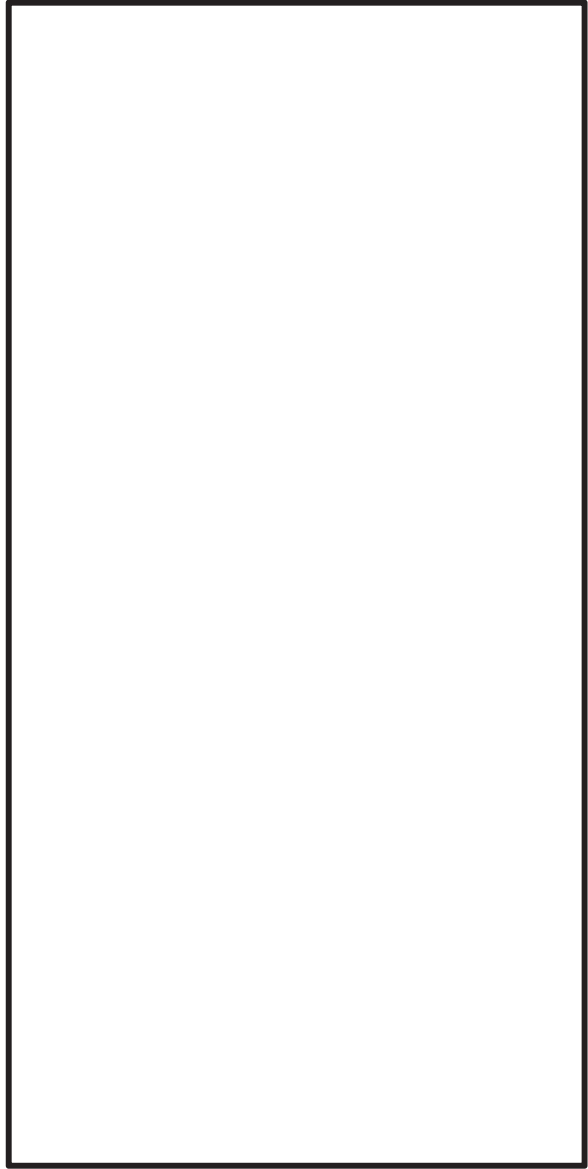
2.3 構造計画

水密扉は、片開き型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉止状態において、カンヌキ及びカンヌキ受けにより固定され止水性を確保しており、アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。

なお、くぐり戸付水密扉は、機器搬出入用の扉（以下、「大扉」という。）と人員用の扉（以下、「くぐり戸」という。）により構成された構造とする。


水密扉の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画 (1/2)

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と建屋躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-2 水密扉の構造計画 (2/2)

計画の概要		説明図 (くぐり戸付水密扉)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>大扉は扉開放時には、ヒンジにより大扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、扉固定部により、大扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>くぐり戸は扉開放時には、ヒンジによりくぐり戸が大扉に固定され、扉閉止時には、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>大扉は片開き型の鋼製扉とし、大扉に設置された扉固定部を扉枠と接合させ、大扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>くぐり戸は片開き型の鋼製扉とし、くぐり戸に設置されたくぐり戸用カンヌキを大扉に設置されたカンヌキ受けに差し込み、くぐり戸と大扉を一体化させる構造とする。</p> <p>また、大扉と建屋躯体の接続は大扉のヒンジを介する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 評価方針

水密扉の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4.5 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図2-4に示す。水密扉の耐震評価においては、その構造を踏まえ、基準地震動 S_s による地震荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

耐震評価においては、荷重を静的に作用させることにより、ヒンジ部(ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト)及びカンヌキ部(カンヌキ, カンヌキ受けピン, カンヌキ受けボルト)の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

また、くぐり戸付水密扉の大扉については、扉と躯体を固定する扉固定部(扉付固定ボルト, 枠付固定ボルト, ブラケット)の発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

アンカーボルトは壁に埋め込まれた方向によって下記のとおりと呼ぶこととする。

- ・0° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの直交方向に配置されている場合
- ・90° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向に配置されている場合

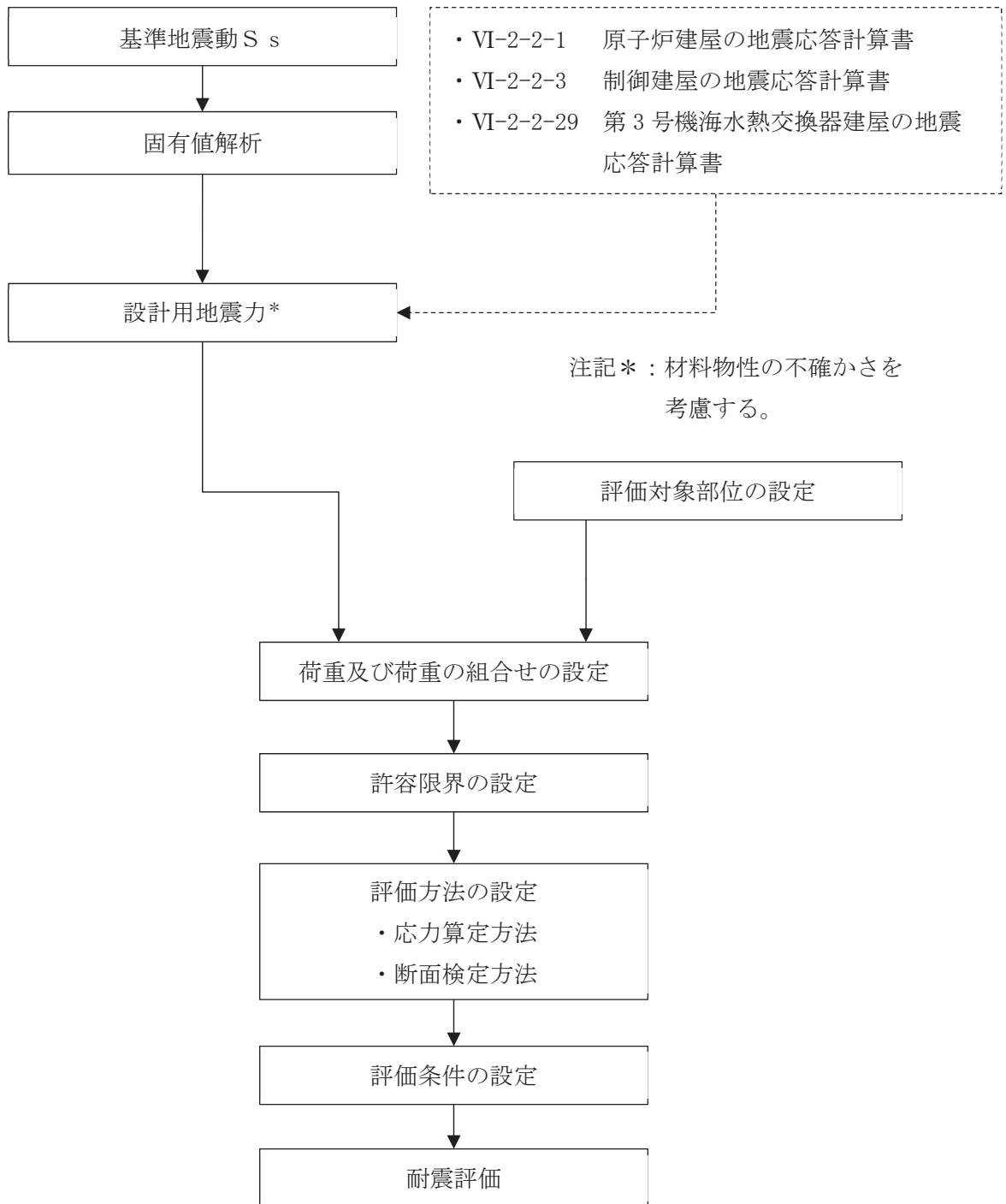


図 2-4 水密扉の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本機械学会 機械工学便覧

2.6 記号の説明

水密扉の耐震評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
G	kN	扉重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
F_1	N	転倒力
F_{1a}	N	扉と扉枠の重量を含んだ転倒力
R_1	N	地震力に伴う荷重の反力
L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	ヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離
L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離
L_5	mm	カンヌキの突出長さ
L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離
L_A	mm	ボルト中心からブラケット端部の長さ
M	N・mm	曲げモーメント
T	N	引張力
Q	N	せん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
n_2	本	カンヌキの本数
n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数
n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数
n_c	本	扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数
g	m/s ²	重力加速度
w_a	kN	扉枠の重量
w_{1a}	N	扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ_t	N/mm ²	引張応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
x	N/mm ²	組合せ応力度
Z	mm ³	断面係数
A	mm ²	断面積

表 2-3 耐震評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
A_s	mm ²	せん断断面積
T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{d1}	N	転倒力によるアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{d2}	N	スラスト荷重によるアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

水密扉の構造に応じて解析モデルを設定し，1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

水密扉は，ヒンジ及びカンヌキにより扉と扉枠を支持する構造であることから，扉閉止時については両端ヒンジ梁又は四辺支持の長方形板に，扉開放時についてはヒンジ，自由端梁に単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材又は扉板の長さは保守的に扉幅とする。解析モデル図を図3-1に示す。

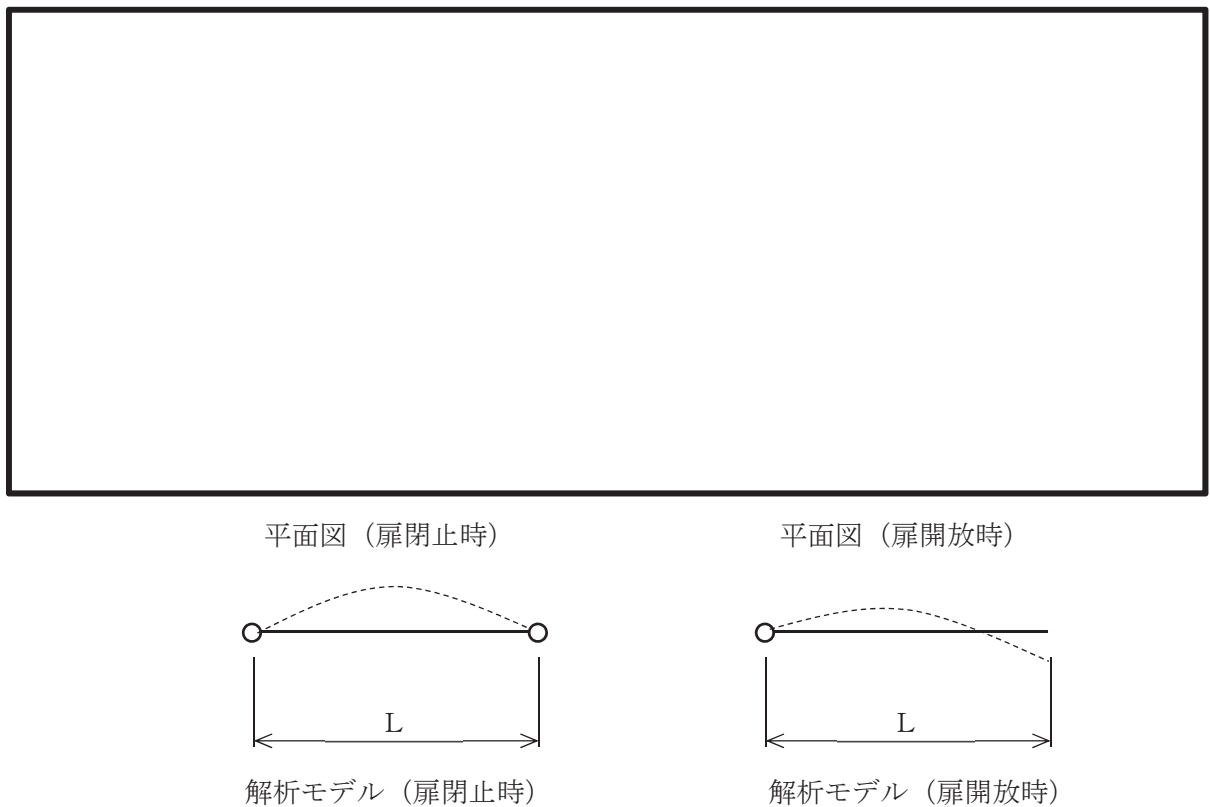


図3-1 水密扉の固有値解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

水密扉の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 水密扉の固有振動数に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	水密扉の 1 次固有振動数
L	cm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	kgf/cm ²	ヤング率
I	cm ⁴	断面二次モーメント
γ_m	kg/cm	質量分布
t	cm	扉板の板厚
a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)
b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)
ν	—	ポアソン比
m	—	辺 a に平行な節線の数(1)
n	—	辺 b に平行な節線の数(1)
γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ
g	cm/s ²	重力加速度

3.2.2 固有振動数の算出方法

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。ここで、固有振動数は水平方向 (扉体面外方向) について算出するものとし、鉛直方向 (扉体面内方向) については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は、扉板及び芯材の組合せによる断面を有する水密扉については芯材を、芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する水密扉については扉板とする。

(1) 扉閉止時

a. 両端ヒンジ梁モデル (芯材をモデル化)

$$f = \frac{\pi^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma_m}}$$

b. 四辺支持の長方形板モデル (扉板をモデル化)

$$f = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \gamma}}$$

(2) 扉開放時

扉開放時において水密扉は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないことから、本評価においては芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ，自由端梁モデル

$$f = \frac{3.927^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma_m}}$$

3.2.3 固有振動数の算出条件

水密扉の固有振動数の算出条件のうち、芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-2 に、扉板をモデル化した場合の算出条件を表 3-3 及び表 3-4 に示す。

表 3-2 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）

水密扉 No.	扉名称	梁長さ L (cm)	ヤング率 E (kgf/cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	質量分布 γ_m (kg/cm)
1	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)	90.0	1.97×10^6	2310	1.90
2	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)	90.0	1.97×10^6	2310	1.90
3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	135.0	2.09×10^6	2533	1.98
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	135.0	2.09×10^6	2533	1.98
5	制御建屋空調機械 (A) 室 浸水防止水密扉	101.7	2.09×10^6	4180	4.06
6	制御建屋空調機械 (B) 室 浸水防止水密扉	108.6	2.09×10^6	4180	4.07
7	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	145.9	2.09×10^6	6440	5.16
8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	140.6	2.09×10^6	1380	3.20
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	140.2	2.09×10^6	1380	2.91
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	170.2	2.09×10^6	4180	3.58
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	94.5	2.09×10^6	1380	2.62
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	196.2	2.09×10^6	4180	2.85

表 3-3 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時）

水密扉 No.	扉名称	板厚 t (cm)	ヤング 率 E (kgf/cm ²)	幅 a (cm)	高さ b (cm)	ポア ソン 比 ν (—)	単位 体積 の重さ γ (kg/cm ³)
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (くぐり戸)	11.5	2.09×10 ⁶	103.0	220.0	0.3	0.010
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (大扉)	11.5	2.09×10 ⁶	203.0	260.0	0.3	0.013

表 3-4 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉開放時）

水密扉 No.	扉名称	梁長さ L (cm)	ヤング率 E (kgf/cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	質量分布 γ _m (kg/cm)
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (くぐり戸)	103.0	2.09×10 ⁶	27880	24.76
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (大扉)	203.0	2.09×10 ⁶	32950	39.90

3.3 固有振動数の算出結果

水密扉の固有振動数の算出結果を表3-5に示す。各水密扉の固有振動数は20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-5 固有振動数の算出結果

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f	
		扉閉止時 (Hz)	扉開放時 (Hz)
1	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No.1)	297.06	464.15
2	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No.2)	297.06	464.15
3	原子炉建屋浸水防止水密扉(No.1)	139.56	218.07
4	原子炉建屋浸水防止水密扉(No.2)	139.56	218.07
5	制御建屋空調機械(A)室浸水防止水密扉	220.62	344.71
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉	193.23	301.93
7	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No.3)	118.02	184.41
8	制御建屋浸水防止水密扉(No.1)	74.70	116.73
9	制御建屋浸水防止水密扉(No.2)	78.79	123.10
10	制御建屋浸水防止水密扉(No.3)	83.88	131.07
11	制御建屋浸水防止水密扉(No.4)	182.76	285.56
12	制御建屋浸水防止水密扉(No.5)	70.75	110.55
13	第2号機MCR浸水防止水密扉（くぐり戸）	284.41	351.46
	第2号機MCR浸水防止水密扉（大扉）	84.78	77.49

4. 耐震評価

4.1 評価対象部位

評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震荷重により水密扉に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周辺の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトとする。

くぐり戸付水密扉のくぐり戸に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）に伝わり、十分な裕度を有するボルトにて支持する。くぐり戸は扉開放時においては、ヒンジにより扉が大扉に固定され、扉閉止時においては、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造としていることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。なお、大扉の重量にはくぐり戸の重量を含めて評価する。

くぐり戸付水密扉の大扉に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及び扉固定部（扉付固定ボルト、枠付固定ボルト、ブラケット）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周辺の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、扉固定部及びアンカーボルトとする。また、アンカーボルトに生じる応力が最大となる状態で評価を行うことを考慮し、扉が 0° 、 90° 又は 180° の開閉状態における評価を行うとともに、地震荷重の作用により応力が集中する扉の状態を踏まえ、ヒンジ側アンカーボルトを評価対象とする。

評価結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、水密扉 No. 6, 11, 12 及び 13 を抽出した。

水密扉閉止時に水密扉に作用する荷重の作用図を図 4-1 に、水密扉開放時に水密扉に作用する荷重の作用図を図 4-2 に示す。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

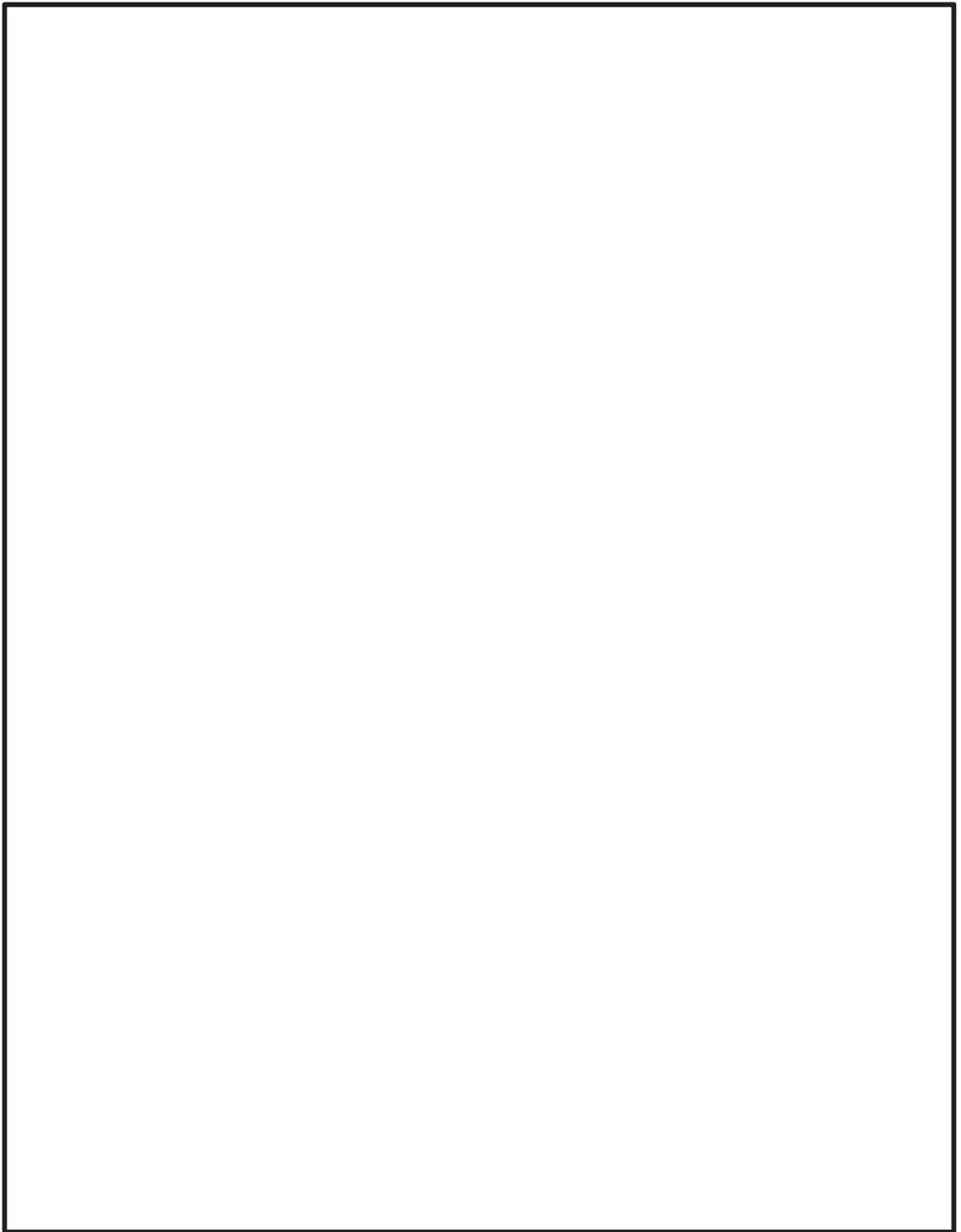
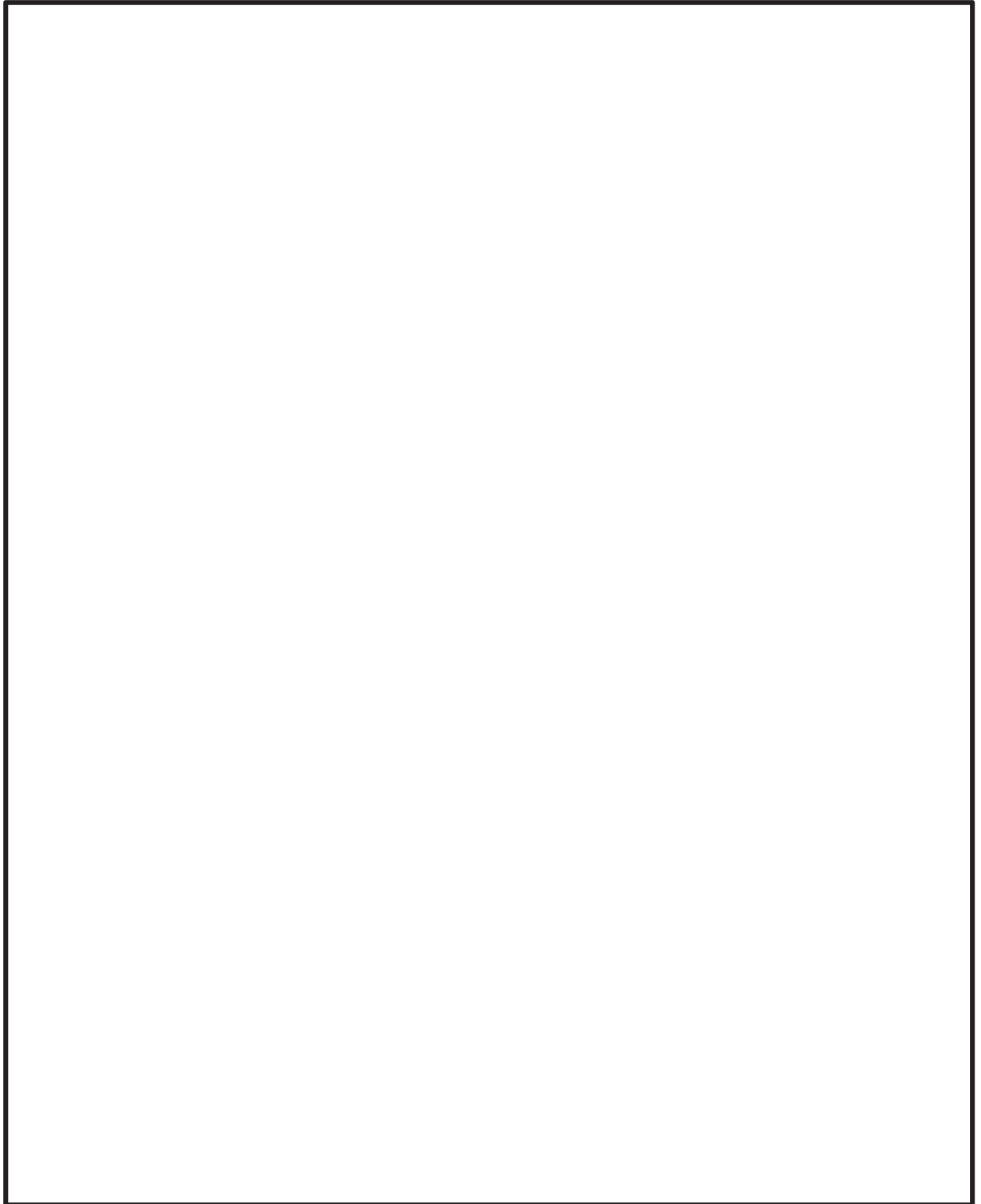


図 4-1 水密扉に作用する荷重の作用図（水密扉閉止時）（1/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位



<<ぐり戸付水密扉>

図 4-1 水密扉に作用する荷重の作用図（水密扉閉止時）（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

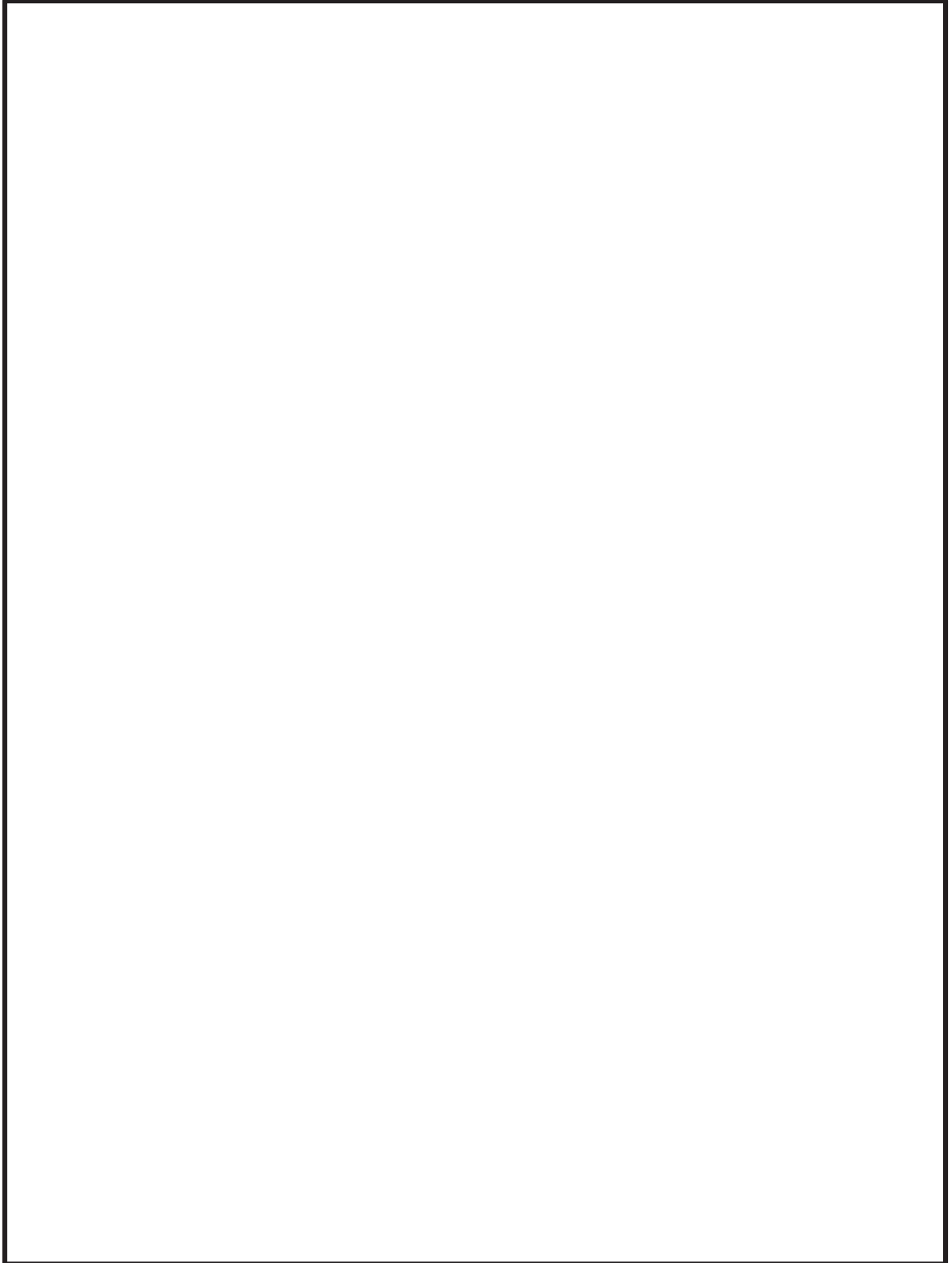


図 4-2 水密扉に作用する荷重の作用図（水密扉開放時）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

ここで、

G : 固定荷重(kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)

水密扉は、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。

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.6 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)

G : 固定荷重(kN)

k : 設計震度

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の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3 許容限界

許容限界は、「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

水密扉を構成するヒンジ部，カンヌキ部，扉固定部及びアンカーボルトの使用材料を表4-1に示す。

表 4-1 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	高さ(mm) 85, 100, 120, 150, 250 厚さ(mm) 40, 50, 60, 75, 80, 95, 120 100, 130
	ヒンジピン	S45C SCM440 SCM440H	径(mm) 45, 50, 55, 60, 110
	ヒンジボルト	10.9(SCM435)	M16, M20, M24, M30
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304N2 SCM440 SUS304	径(mm) 50, 60, 65, 90
	カンヌキ受けピン	SUS304N2 SCM435	径(mm) 30, 40, 60
	カンヌキ受けボルト	10.9 (SCM435, SCM440)	M16, M20
扉固定部	扉付固定ボルト	10.9(SCM435)	M20
	枠付固定ボルト	10.9(SCM435)	M20
	ブラケット	SS400	厚さ(mm) 13
アンカーボルト		SS400 SUS304	M16, M20, M24

4.3.2 許容限界

(1) 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法 ー」を踏まえて表 4-2 の値とする。

表 4-2 鋼材の許容限界

材質・強度区分* ¹	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ・引張	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ²	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) * ²	215	124
SS400 (100 < t) * ²	205	118
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
S45C	345	199
SCM435	651	375
SCM440	686	396
SCM440H	686	396
10.9(SCM435, SCM440)	728	420

注記*1：許容応力度を決定する基準値Fは、J I Sに基づく。

*2：tは板厚(mm)を示す。

(2) アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は、「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界を表 4-3 に示す。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容応力、及び付着力又はコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-3 アンカーボルトの許容限界

水密扉 No.	扉名称	許容耐力* (N/本)	
		引張	せん断
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉	67315	58068
11	制御建屋浸水防止水密扉(No. 4)	34073	25826
12	制御建屋浸水防止水密扉(No. 5)	67315	58068
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	57575	40302

注記*：扉が開放状態のとき，地震力による応力がヒンジ側に集中する扉の構造を考慮し，ヒンジ側アンカーボルトのみ選定した。

4.4 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示したとおり，水密扉の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，水密扉の耐震評価で用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとして「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」，「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」及び「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」によることとし，建屋の階ごとの設計震度を表 4-4 に示す。

ここで，最大応答加速度を保守的に評価するために，最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置階の上階の値とする。

表 4-4 設計震度

建屋	階	O. P. *	設計震度	
			水平方向 k_H	鉛直方向 k_{UD}
原子炉建屋	CRF	41.20m	2.86	1.58
	3F	33.20m	2.21	1.47
	2F	22.50m	1.77	1.30
	1F	15.00m	1.65	1.15
	B1F	6.00m	1.31	0.91
	B2F	-0.80m	1.11	0.73
	B3F	-8.10m	0.82	0.57
制御建屋	RF	29.15m	2.42	1.75
	3F	22.95m	2.32	1.54
	2F	19.50m	1.90	1.34
	1F	15.00m	1.87	1.09
	B1F	8.00m	1.62	0.79
	B2F	1.50m	1.13	0.60
第 3 号機海水熱交換器建屋	B1F	8.00m	1.87	1.11

注記*：各建屋の地震応答計算書における O. P. を示す。

4.5 評価方法

4.5.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ここで、扉の重量は2箇所ヒンジで支持することから、ヒンジ部に作用する転倒力には、扉上半分の重量を慣性力として作用させるものとする。ヒンジ部に作用する荷重の例を図4-3に示す。

$$W_1 = G \cdot 10^3 + k_{UD} \cdot G \cdot 10^3$$

$$F_1 = W_1 \cdot \frac{L_1}{L_2} + \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{2}$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重(N)

G : 扉重量(kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 転倒力(N)

L_1 : 扉重心とヒンジ芯間距離(mm)

L_2 : ヒンジ芯間距離(mm)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
[-----] : 評価対象部位

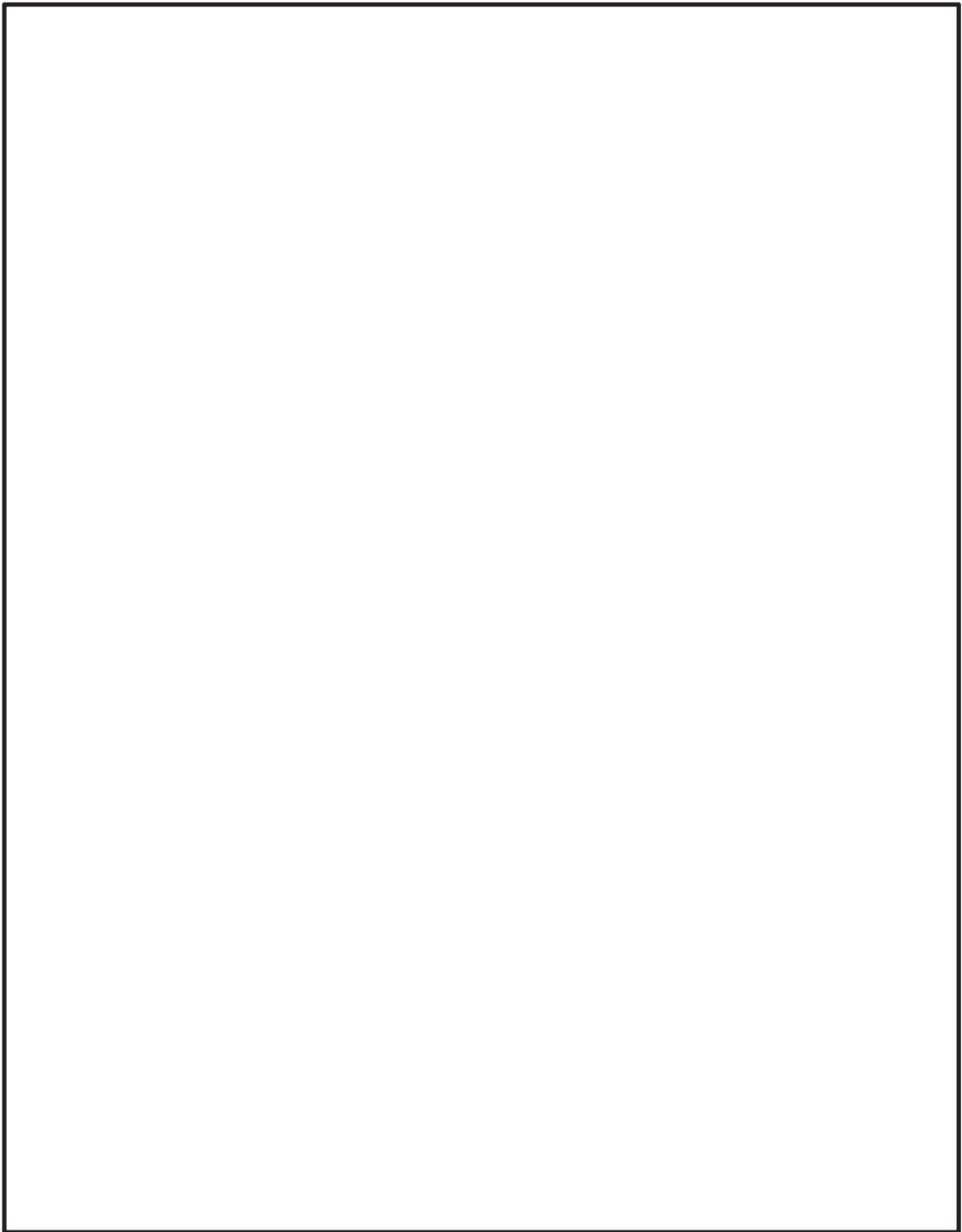


図 4-3 ヒンジ部に作用する荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に作用する荷重の例を図4-4に示す。

$$M = W_1 \cdot L_3$$

$$Q = W_1$$

ここで、

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント (N・mm)

W_1 : スラスト荷重 (N)

L_3 : ヒンジ板の2軸間距離 (mm)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力 (N)

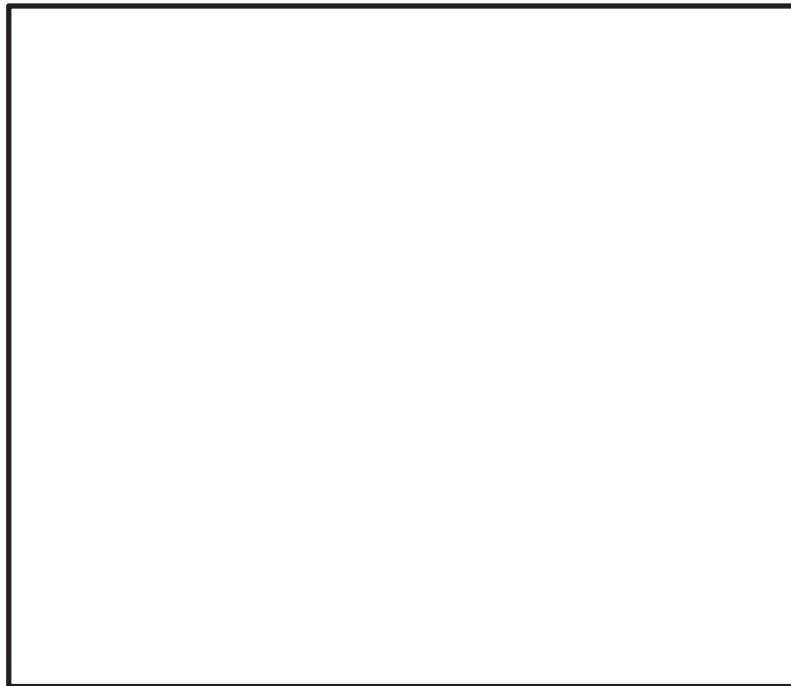


図4-4 ヒンジ板に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに作用する荷重の例を図4-5に示す。

(a) 受材が1箇所の場合

$$M = F_1 \cdot L_4$$

$$Q = F_1$$

(b) 受材が2箇所の場合

$$M = F_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_4$$

$$Q = F_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント(N・mm)

F₁ : 転倒力(N)

L₄ : ヒンジ板と受材間距離(mm)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力(N)

(受材が1箇所の場合)

(受材が2箇所の場合)



図4-5 ヒンジピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに作用する荷重の例を図4-6に示す。

(a) 受材が1箇所の場合

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 / n_1)^2}$$

(b) 受材が2箇所の場合

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot n_1})^2}$$

ここで、

Q : ヒンジボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

W₁ : スラスト荷重(N)

F₁ : 転倒力(N)

n₁ : ヒンジボルトの本数

(受材が1箇所の場合)

(受材が2箇所の場合)



図4-6 ヒンジボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、カンヌキ部に生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4-7 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G \cdot 10^3 / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力(N)

k_H : 水平震度

G : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
[-----] : 評価対象部位

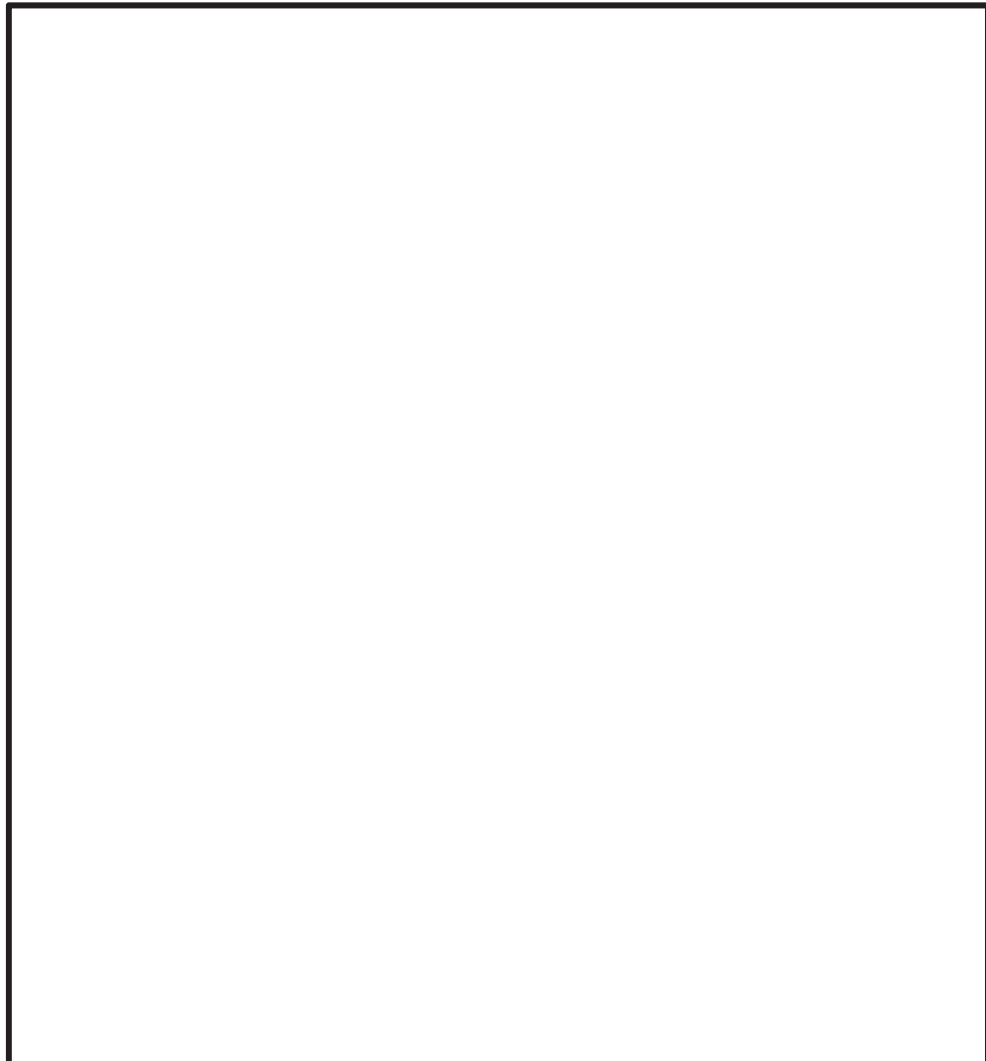


図 4-7 カンヌキ部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキ受けピン中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに作用する荷重の例を図4-8に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5$$

$$Q = R_1$$

ここで、

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント(N・mm)

R₁ : 地震力に伴う荷重の反力(N)

L₅ : カンヌキの突出長さ(mm)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力(N)

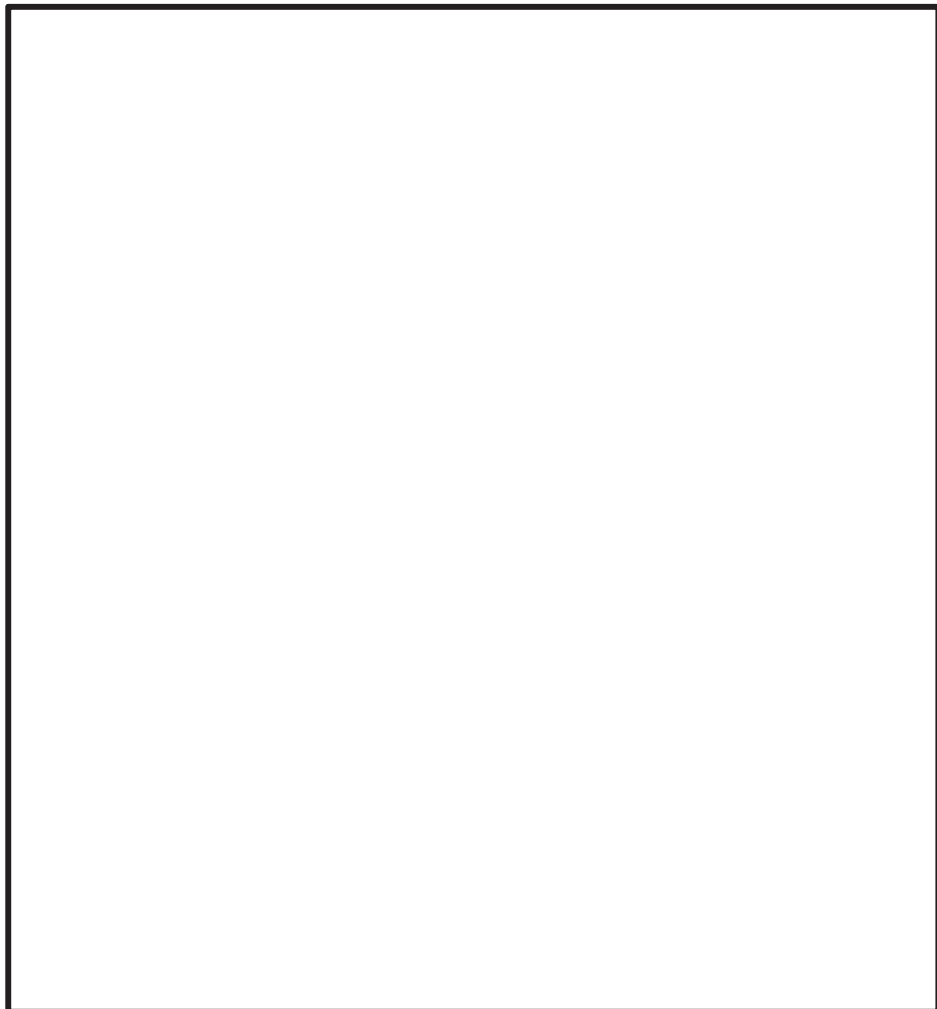


図4-8 カンヌキに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる応力は、カンヌキ受けピンを集中荷重が作用する単純梁とみなし、次式により算定する。カンヌキ受けピンに作用する荷重の例を図4-9に示す。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot \frac{1}{4}$$

$$Q = R_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R₁ : 地震力に伴う荷重の反力 (N)

L_p : カンヌキ受けピンの軸支持間距離 (mm)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

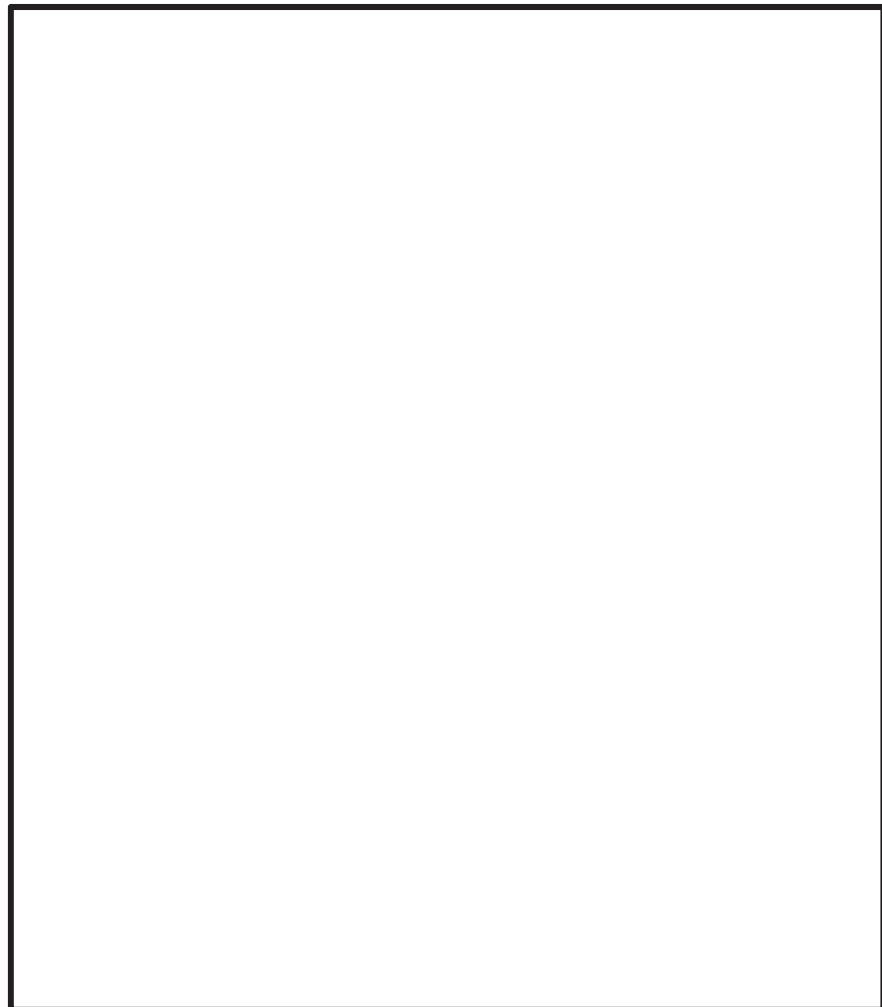


図4-9 カンヌキ受けピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例を図4-10に示す。

$$T = \frac{R_1}{n_b}$$

ここで、

T : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張力(N)

R₁ : 地震力に伴う荷重の反力(N)

n_b : カンヌキ受けボルトの本数

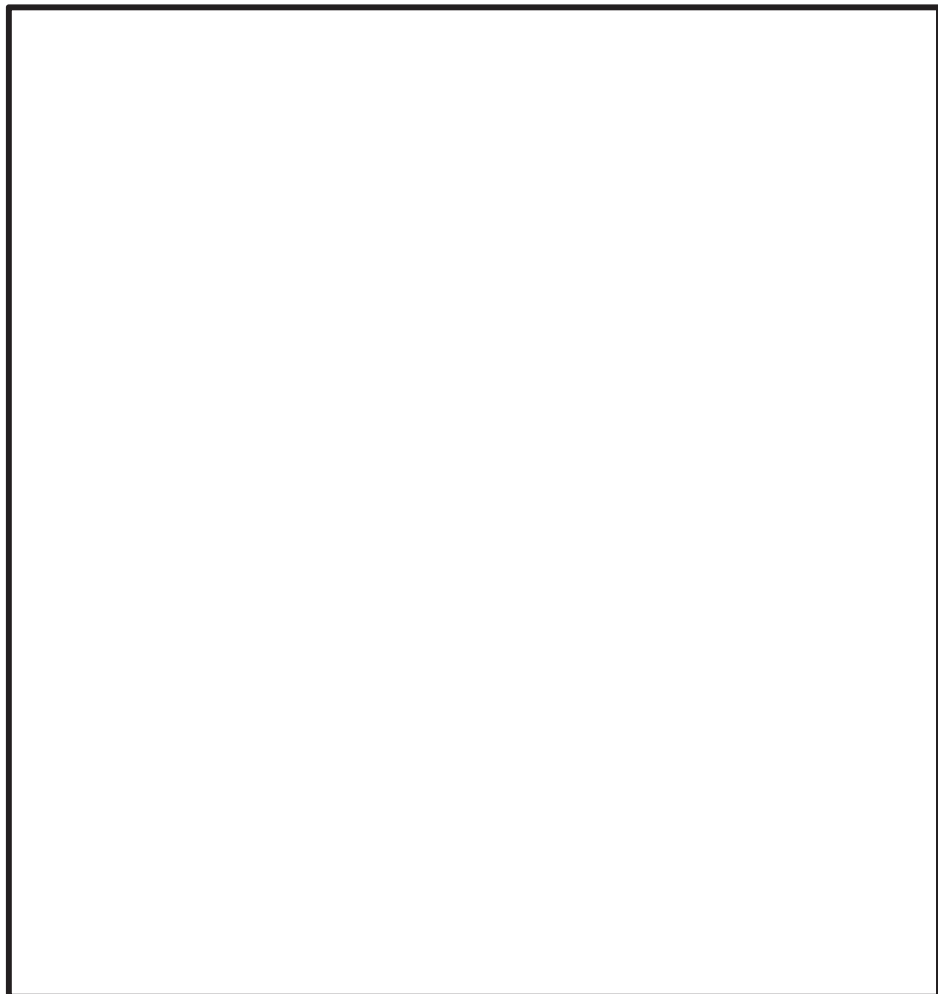


図4-10 カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 扉固定部

扉固定部は、扉付固定ボルト、枠付固定ボルト及びブラケットで構成されている。扉固定部に作用する荷重の例を図4-11に示す。

a. 扉付固定ボルト及び枠付固定ボルト

扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに生じる応力は、次式により算定する。

$$T = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c}$$

$$Q = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c}$$

ここで、

T : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張力(N)

k_H : 水平震度

G : 扉重量 (kN)

n_c : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数

Q : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断力(N)

b. ブラケット

ブラケットに生じる応力は、次式により算定する。

$$M = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c} \cdot L_A$$

$$Q = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c}$$

ここで、

M : ブラケットに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

k_H : 水平震度

G : 扉重量 (kN)

L_A : ボルト中心からブラケット端部の長さ (mm)

n_c : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数

Q : ブラケットに生じる最大せん断力 (N)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

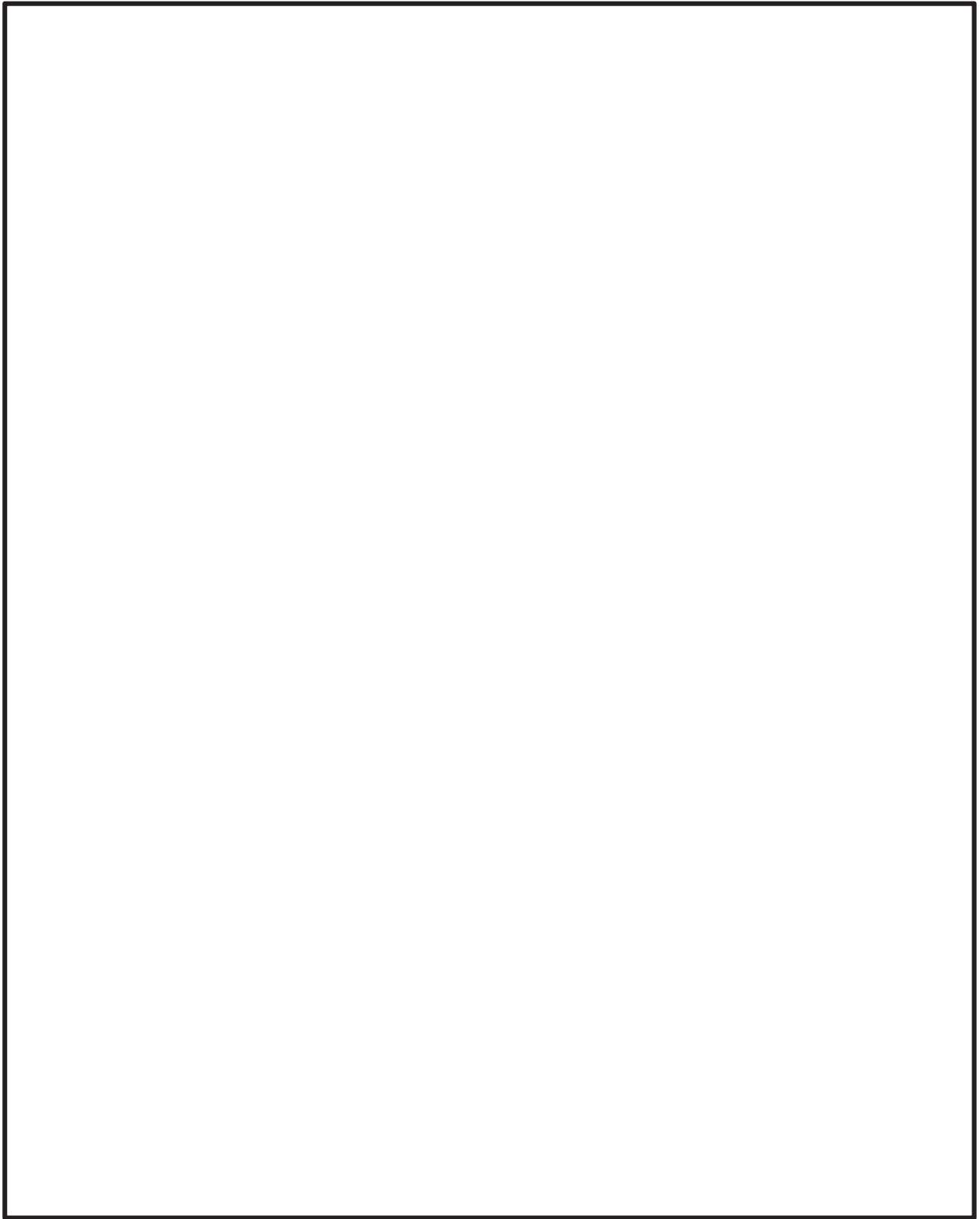


図 4-11 扉固定部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、「4.1 評価対象部位」に基づき、地震荷重を考慮する場合はヒンジ側のアンカーボルトで荷重を負担するものとして算出する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲の例は図4-12に示すとおり、転倒力が作用するヒンジ付近に限定し、枠の慣性力は枠全体の重量の1/2を評価において保守的に考慮する。また、扉体の開放角度ごとの荷重の作用状況を図4-13に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2}$$

$$W_{1a} = W_1 + (k_{UD} \cdot w_a + w_a) \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(N)

F_1 : 転倒力(N)

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重(N)

W_1 : スラスト荷重(N)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

w_a : 扉枠の重量(kN)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

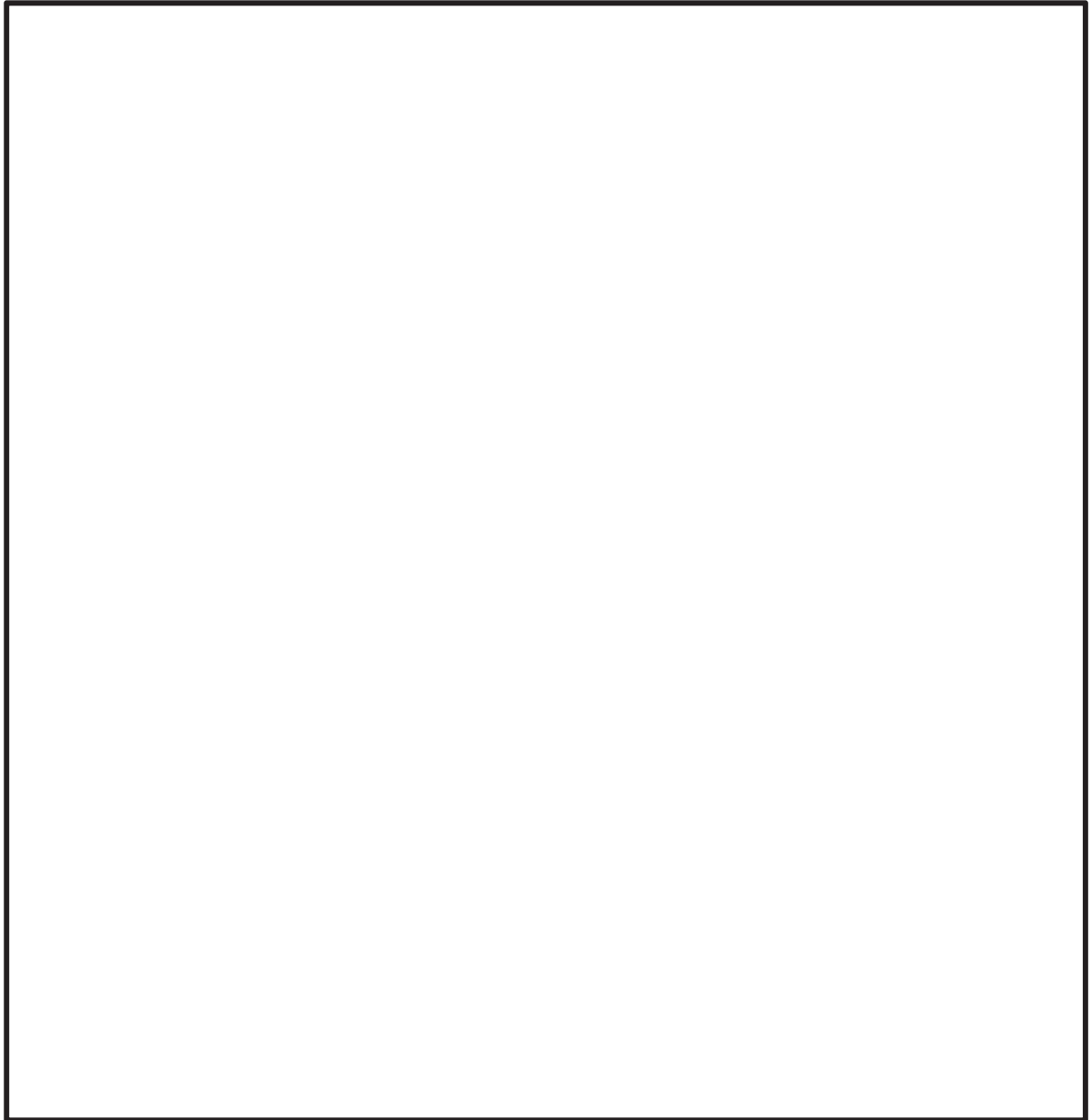


図 4-12 評価対象のアンカーボルトの範囲の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

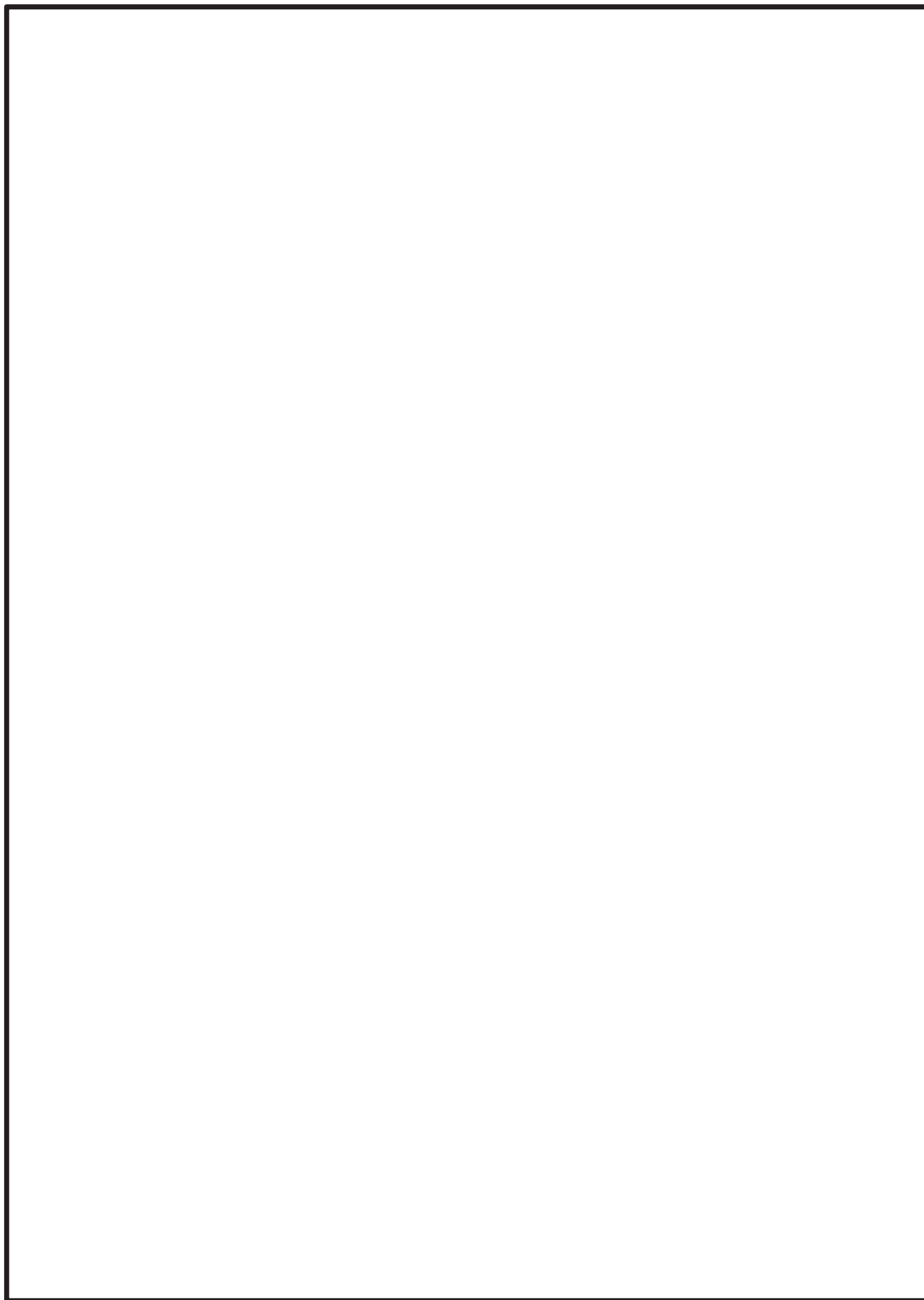


図 4-13 扉の開放角度別の荷重の作用状況

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5.2 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が，許容限界値を下回ることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，組合せを考慮する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し，ヒンジ板の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : ヒンジ板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント (N・mm)

Z : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : ヒンジ板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力 (N)

A_s : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し，ヒンジピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$\sigma = M / Z$

σ : ヒンジピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント (N・mm)

Z : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

$\tau = Q / A_s$

τ : ヒンジピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力 (N)

A_s : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し，ヒンジボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = Q / A_s$$

ここで，

τ : ヒンジボルトに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジボルトに生じる最大せん断力 (N)

A_s : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : カンヌキに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : カンヌキに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキ受けピンの断面係数 (mm³)

τ : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキ受けピンのせん断断面積 (mm²)

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

ここで、

σ_t : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張応力度 (N/mm²)

T : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張力 (N)

A : カンヌキ受けボルトの断面積 (mm²)

(3) 扉固定部

a. 扉付固定ボルト及び枠付固定ボルト

扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに生じる引張応力度又はせん断応力度を次式により算定し、扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ_t : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張応力度 (N/mm²)

T : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張力 (N)

A : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの断面積 (mm²)

τ : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断力 (N)

A_s : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトのせん断断面積 (mm²)

b. ブラケット

ブラケットに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」に基づく次式により算定し、ブラケットの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : ブラケットに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ブラケットに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : ブラケットの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : ブラケットに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ブラケットに生じる最大せん断力 (N)

A_s : ブラケットのせん断断面積 (mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト1本あたりに生じる引張力及びせん断力を次式により算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。また、引張力とせん断力が同時に作用する場合は、組合せ応力を「日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。

$$(Q_d / Q_a) \leq 1.0$$

$$(T_d / T_a)^2 + (Q_d / Q_a)^2 \leq 1.0$$

ここで、

$$T_d = F_{1a} / (n_3 / 2)$$

T_d : 転倒力によるアンカーボルト1本あたりに生じる引張力(N)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(N)

n_3 : ヒンジ側アンカーボルトの本数

$$Q_{d1} = F_{1a} / (n_3 / 2)$$

Q_{d1} : 転倒力によるアンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

$$Q_{d2} = W_{1a} / n_3$$

Q_{d2} : スラスト荷重によるアンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重(N)

$$Q_d = \sqrt{(Q_{d1}^2 + Q_{d2}^2)}$$

Q_d : アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

T_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容引張力(N)

Q_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容せん断力(N)

4.6 評価条件

「4.5 評価方法」に用いる評価条件を表4-5に示す。

表4-5 耐震評価に用いる評価条件(1/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				6	
共通	G	kN	扉重量	14.12	
	k_H	—	水平震度	1.62	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.79	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	837.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1226	
	W_1	N	スラスト荷重	25270	
	F_1	N	転倒力	28700	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	570
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	109
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	108
		τ	N/mm ²	せん断応力度	19
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	61
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	105
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	5
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	7

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(2/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				6	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	14.32	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	3	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	26870	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	29720	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張耐力	67315	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断耐力	58068	
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	108.6
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	4.07
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	-	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(3/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				11	
共通	G	kN	扉重量	7.65	
	k_H	—	水平震度	1.90	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.34	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	592.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1677	
	W_1	N	スラスト荷重	17900	
	F_1	N	転倒力	13590	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	320
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	86
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	51
		τ	N/mm ²	せん断応力度	9
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	36	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	2
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	37
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	50
		τ	N/mm ²	せん断応力度	6
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
σ_t		N/mm ²	引張応力度	24	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(4/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				11	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	6.18	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	8	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	4865	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	5791	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張耐力	34073	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断耐力	25826	
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	94.5
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	1380
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.62
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(5/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
共通	G	kN	扉重量	17.85	
	k_H	—	水平震度	1.90	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.34	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	1197.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1226	
	W_1	N	スラスト荷重	41770	
	F_1	N	転倒力	57760	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	480
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	84
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	36.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	236
		τ	N/mm ²	せん断応力度	37
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	114	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	96.1
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
σ_t		N/mm ²	引張応力度	9	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(6/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	15.69	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	7	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	20760	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	22470	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張耐力	67315	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断耐力	58068	
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	196.2
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.85
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(7/8)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					13 (大扉)
共通		G	kN	扉重量	79.43
		k_H	—	水平震度	2.42
		k_{UD}	—	鉛直震度	1.75
		L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	1273
		L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1992
		W_1	N	スラスト荷重	218400
		F_1	N	転倒力	235700
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	600
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	97
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	61
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	111
		τ	N/mm ²	せん断応力度	25
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	8
τ		N/mm ²	せん断応力度	72	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—	
	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—	
扉固定部	扉付固定ボルト	n_c	本	扉付固定ボルトの本数	11
		τ	N/mm ²	せん断応力度	72
	枠付固定ボルト	A	mm ²	枠付固定ボルトの断面積	245
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	72
	ブラケット	A	mm ²	ブラケットの断面積	1521
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
	τ	N/mm ²	せん断応力度	12	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(8/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13 (大扉)	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	24.03	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	29	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力	18260	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力	20210	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張耐力	57575	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断耐力	40302	
固有振動数	扉板 (開放)	L	cm	梁長さ	203.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	32950
		γ_m	kg/cm	質量分布	39.90
	扉板 (閉止)	t	cm	扉板厚さ	11.5
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	203.0
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	260.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	0.013
		ν	—	ポアソン比	0.3

5. 評価結果

水密扉の評価結果を表 5-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての水密扉において、発生応力度又は荷重が許容限界値を下回る。

表 5-1 評価結果(1/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界値 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界値	備考
6	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	110	215	0.52	組合せ
		ヒンジピン*1	113	345	0.33	組合せ
		ヒンジボルト	61	420	0.15	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	7	345	0.03	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	5	345	0.02	曲げ
		カンヌキ受けボルト	7	728	0.01	引張
	アンカーボルト*3		29720	58068	0.52	せん断
11	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	87	235	0.38	組合せ
		ヒンジピン*1	54	345	0.16	組合せ
		ヒンジボルト	36	420	0.09	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	38	205	0.19	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	50	345	0.15	曲げ
		カンヌキ受けボルト	24	728	0.04	引張
	アンカーボルト*3		5791	25826	0.23	せん断

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 5-1 評価結果(2/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界値 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界値	備考
12	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	85	215	0.40	組合せ
		ヒンジピン*1	245	345	0.72	組合せ
		ヒンジボルト	114	420	0.28	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	9	205	0.05	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	8	345	0.03	曲げ
		カンヌキ受けボルト	9	728	0.02	引張
	アンカーボルト*3		22470	58068	0.39	せん断
13 (大扉)	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	98	205	0.48	組合せ
		ヒンジピン*1	120	345	0.35	組合せ
		ヒンジボルト	72	420	0.18	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	—	—	—	—
		カンヌキ受けピン*2	—	—	—	—
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	扉固定 部	扉付固定ボルト	72	420	0.18	せん断
		枠付固定ボルト	72	728	0.10	引張
		ブラケット*1	12	135	0.09	せん断
	アンカーボルト*3		20210	40302	0.51	せん断

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

VI-2-10-2-7-2 水密扉（溢水防護設備）の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	検討対象水密扉一覧	2
2.2	配置概要	3
2.3	構造計画	7
2.4	評価方針	8
2.5	適用規格・基準等	10
2.6	記号の説明	11
3.	固有値解析	13
3.1	固有振動数の算出方法	13
3.1.1	解析モデルの設定	13
3.2	固有振動数の算出条件等	14
3.2.1	記号の説明	14
3.2.2	固有振動数の算出方法	14
3.2.3	固有振動数の算出条件	16
3.3	固有振動数の算出結果	19
4.	耐震評価	21
4.1	評価対象部位	21
4.2	荷重及び荷重の組合せ	24
4.2.1	荷重の組合せ	24
4.2.2	荷重	24
4.3	許容限界	25
4.3.1	使用材料	25
4.3.2	許容限界	27
4.4	設計用地震力	29
4.5	評価方法	30
4.5.1	応力算定	30
4.5.2	断面検定	47
4.6	評価条件	52
5.	評価結果	60

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、溢水防護設備である原子炉建屋の水密扉及びタービン建屋の水密扉(以下「水密扉」という。)が、設計用地震力に対して十分な構造強度有していることを説明するものである。

その耐震評価は、水密扉に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

水密扉は、設計基準対象施設においては溢水防護設備に分類される。以下に設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

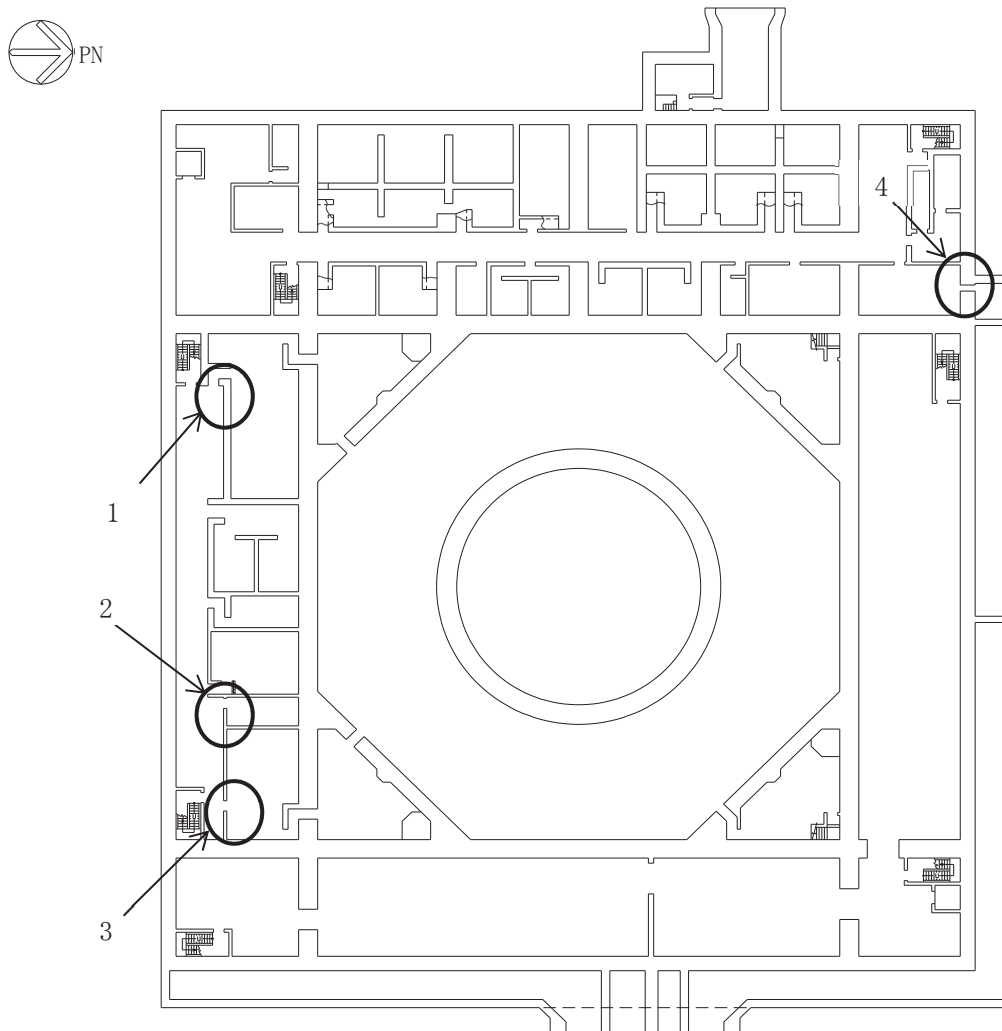
検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象水密扉一覧

水密扉 No.	扉名称	設置高さ O. P.
1	RCIC タービンポンプ室-共通通路浸水防止水密扉	-8.10m
2	FPMUW ポンプ室浸水防止水密扉	-8.10m
3	RHR ポンプ(C)室-共通通路浸水防止水密扉	-8.10m
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	-8.10m
5	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	2.00m
6	RHR Hx (A) 室-RHR Hx (B) 室浸水防止水密扉	15.00m
7	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 3)	15.00m
8	主排気ダクト連絡トレンチ (2T-5) 管理区域外伝播防止水密扉	15.00m
9	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)	15.00m
10	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 2)	15.00m
11	北西階段室管理区域外伝播防止水密扉	15.00m
12	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉	15.00m
13	原子炉建屋大物搬入口	15.00m
14	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉	0.80m

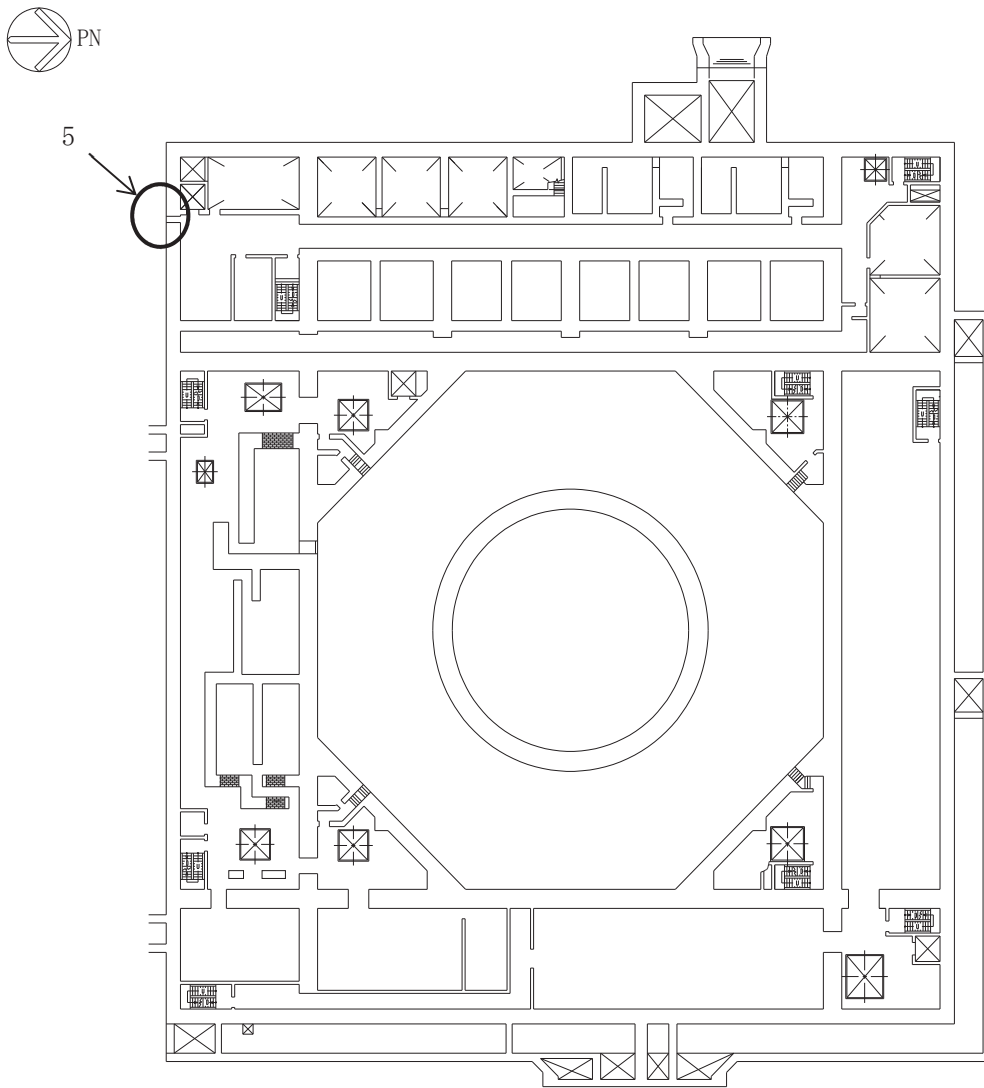
2.2 配置概要

原子炉建屋の水密扉の設置位置図を図 2-1 に、タービン建屋の水密扉の設置位置図を図 2-2 に示す。



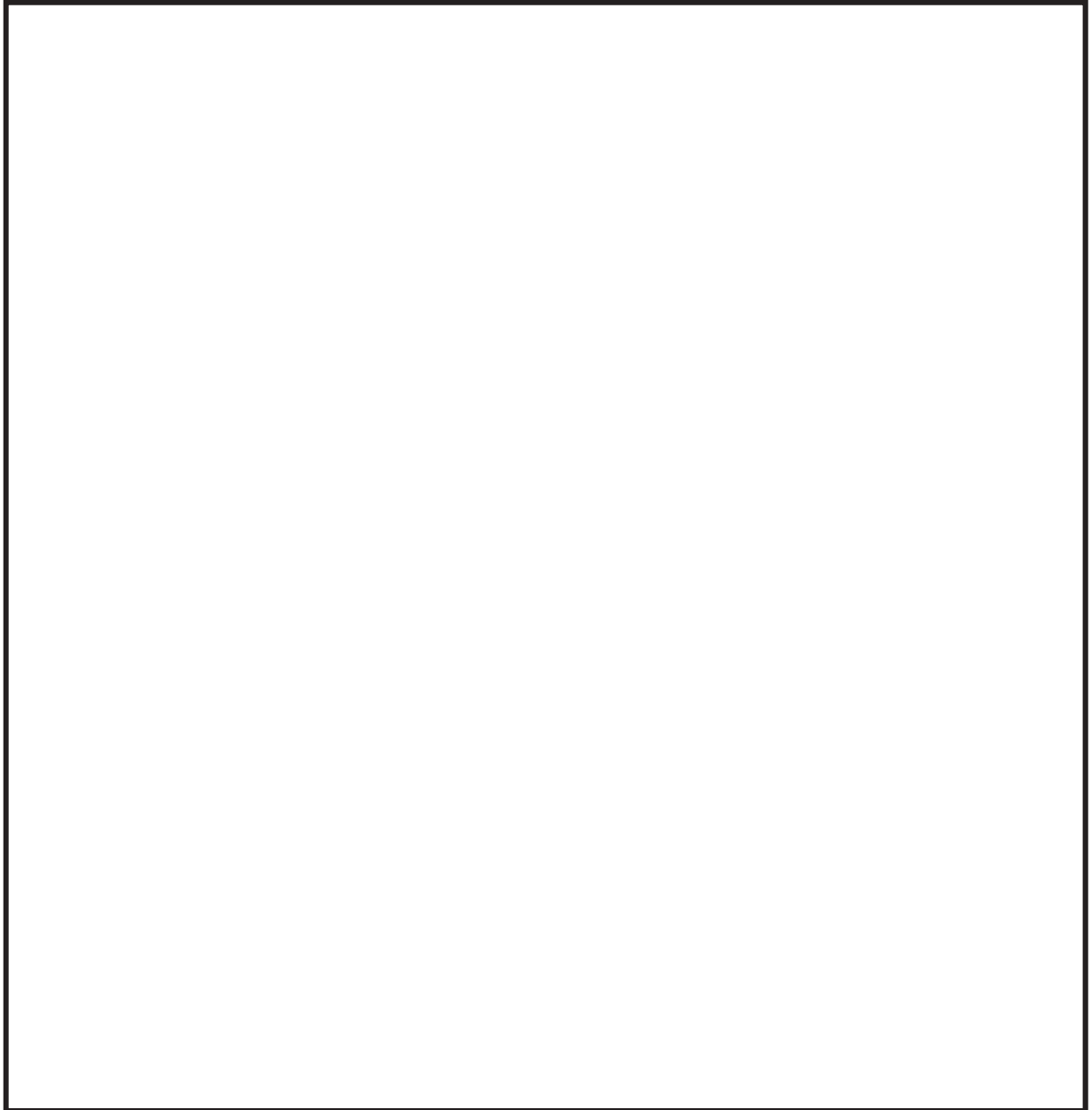
1	RCIC タービンポンプ室-共通通路浸水防止水密扉
2	FPMUW ポンプ室浸水防止水密扉
3	RHR ポンプ (C) 室-共通通路浸水防止水密扉
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 3)

図 2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 (1/3) O.P. -8.10m



5	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
---	----------------------

図 2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 (2/3) 0. P. 2. 00m (O. P. -0. 80m)



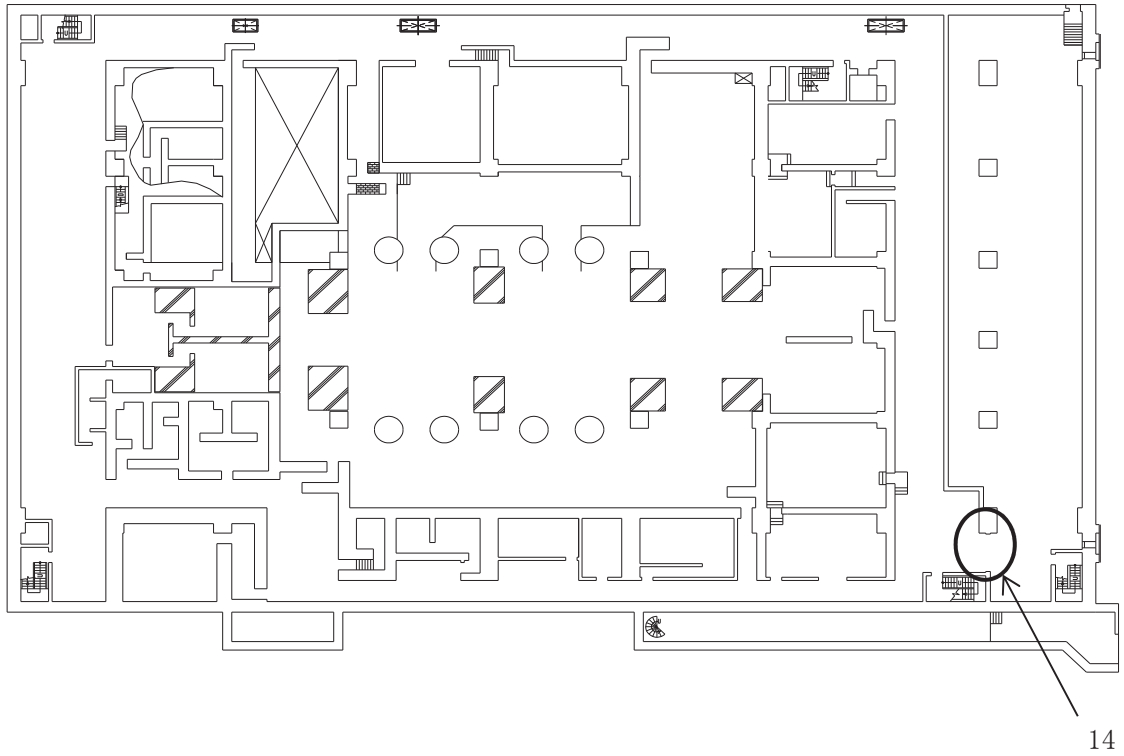
6	RHR Hx (A)室-RHR Hx (B)室浸水防止水密扉
7	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 3)
8	主排気ダクト連絡トレンチ (2T-5)管理区域外伝播防止水密扉
9	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)
10	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 2)
11	北西階段室管理区域外伝播防止水密扉
12	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉
13	原子炉建屋大物搬入口

図 2-1 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 (3/3) O. P. 15. 00m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



○ 2 ⑥ VI-2-10-2-7-2 R 3



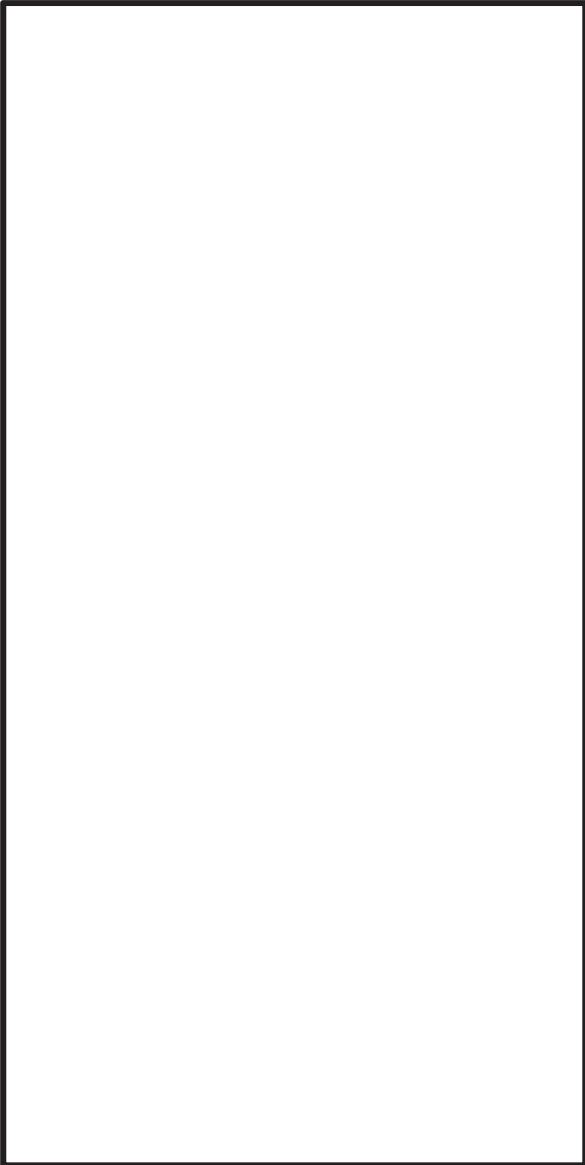
14	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉
----	--------------------

図 2-2 タービン建屋の水密扉の設置位置図 O.P. 0.80m

2.3 構造計画

水密扉は、片開き型の鋼製扉とし、扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉止状態において、カンヌキ及びカンヌキ受けにより固定され止水性を確保しており、アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。水密扉の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と建屋躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 評価方針

水密扉の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4.5 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-3 に示す。水密扉の耐震評価においては、その構造を踏まえ、基準地震動 S_s による地震荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

耐震評価においては、荷重を静的に作用させることにより、ヒンジ部(ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト), カンヌキ部 (カンヌキ, カンヌキ受けピン, カンヌキ受けボルト), 方立, マグサ及びパネル取付ボルトの発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

なお、パネル取付ボルトはカンヌキ受けボルトと同じ評価方法とする。

アンカーボルトは壁に埋め込まれた方向によって下記のとおりと呼ぶこととする。

- ・0° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの直交方向に配置されている場合
- ・45° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向から 45° 傾斜して配置されている場合
- ・90° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向に配置されている場合

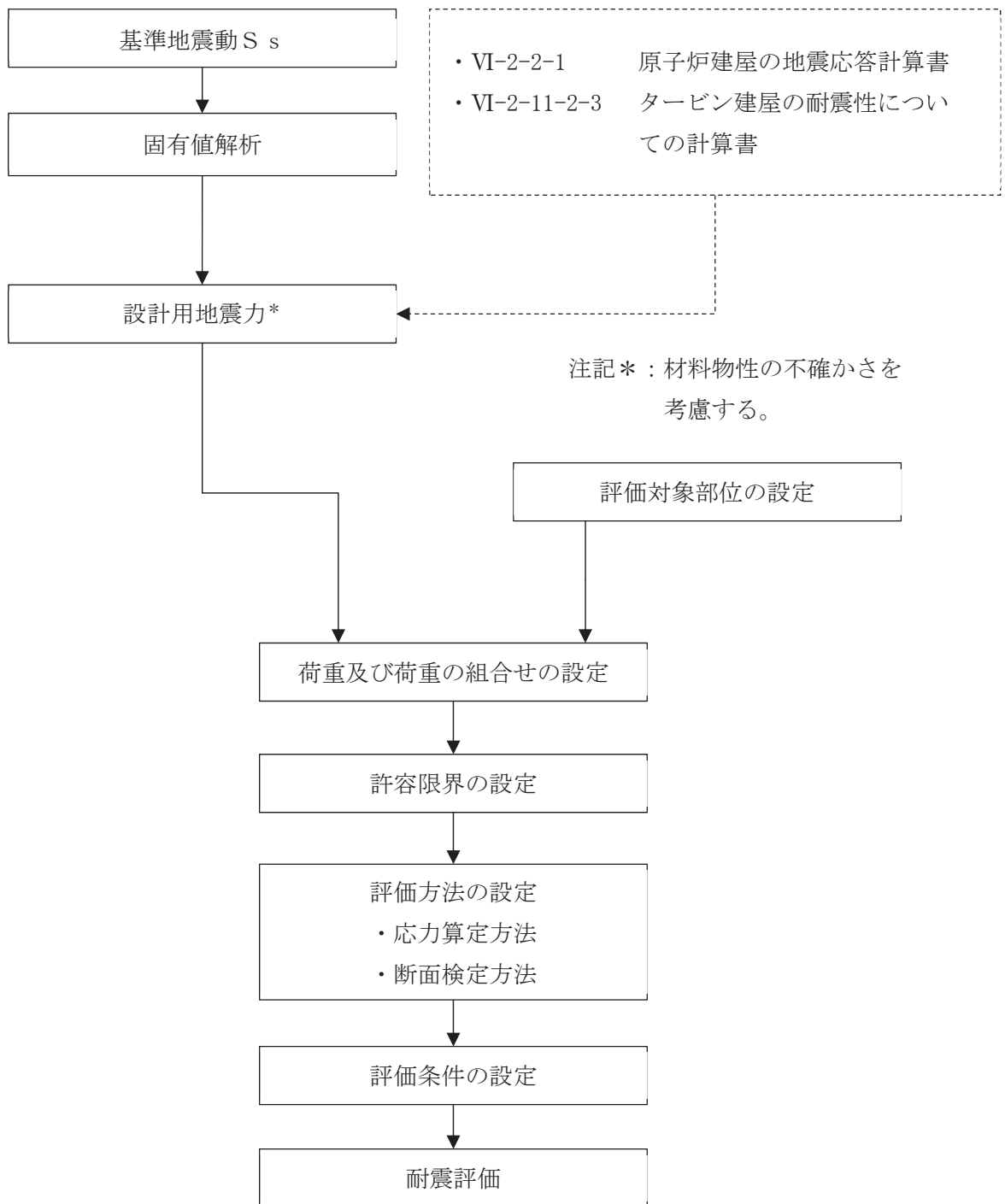


図 2-3 水密扉の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本機械学会 機械工学便覧

2.6 記号の説明

水密扉の耐震評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
G	kN	扉重量
W_p	kN	パネル重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
F_1	N	転倒力
F_{1a}	N	扉と扉枠の重量を含んだ転倒力
R_1	N	地震力に伴う荷重の反力
L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	ヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離
L_4	mm	ヒンジ板と受板間距離
L_5	mm	カンヌキの突出長さ
L_6	mm	方立の支持間距離
L_7	mm	マグサの支持間距離
L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離
M	N・mm	曲げモーメント
T	N	引張力
Q	N	せん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
n_2	本	カンヌキの本数
n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数
n_b	本	カンヌキ受けボルト又はパネル取付ボルトの本数
g	m/s ²	重力加速度
w_a	kN	扉枠の重量
W_{1a}	N	扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ_t	N/mm ²	引張応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
x	N/mm ²	組合せ応力度
Z	mm ³	断面係数
A	mm ²	断面積

表 2-3 耐震評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
A_s	mm^2	せん断断面積
T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{d1}	N	転倒力によるアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{d2}	N	スラスト荷重によるアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

水密扉の構造に応じて解析モデルを設定し，1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

水密扉は，ヒンジ及びカンヌキにより扉と扉枠を支持する構造であることから，扉閉止時については両端ヒンジ梁又は四辺支持の長方形板に，扉開放時についてはヒンジ，自由端梁に単純化したモデルとし，モデル化に用いる水平方向に配している芯材又は扉板の長さは保守的に扉幅とし，鉛直方向に配している芯材は扉閉止時については扉高さ，扉開放時については扉幅の保守的な値とした。解析モデル図を図3-1に示す。

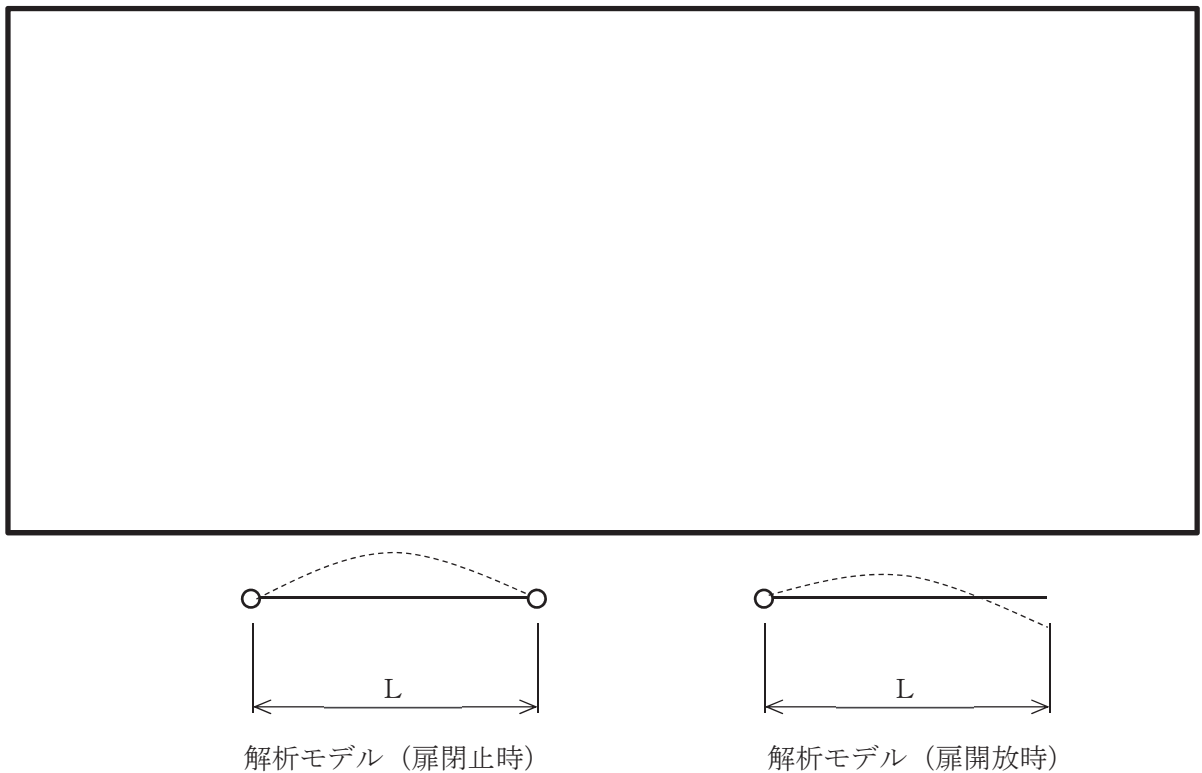


図3-1 水密扉の固有値解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

水密扉の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 水密扉の固有振動数に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	水密扉の 1 次固有振動数
L	cm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	kgf/cm ²	ヤング率
I	cm ⁴	断面二次モーメント
γ_m	kg/cm	質量分布
t	cm	扉板の板厚
a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)
b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)
ν	—	ポアソン比
m	—	辺 a に平行な節線の数(1)
n	—	辺 b に平行な節線の数(1)
γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ
g	cm/s ²	重力加速度

3.2.2 固有振動数の算出方法

1 次固有振動数 f を「日本機械学会編 機械工学便覧」に基づき以下の式より計算する。ここで、固有振動数は水平方向 (扉体面外方向) について算出するものとし、鉛直方向 (扉体面内方向) については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は、扉板及び芯材の組合せによる断面を有する水密扉については芯材を、芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する水密扉については扉板とする。

(1) 扉閉止時

a. 両端ヒンジ梁モデル (芯材をモデル化)

$$f = \frac{\pi^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma_m}}$$

b. 四辺支持の長方形板モデル (扉板をモデル化)

$$f = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \gamma}}$$

(2) 扉開放時

扉開放時において水密扉は、面外方向については、扉は端部をヒンジで固定されるもののヒンジを中心として自由に回転するため、慣性力を受け流すような状態となり、これに伴う荷重の増幅は生じないが、本評価においては芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ，自由端梁モデル

$$f = \frac{3.927^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma_m}}$$

3.2.3 固有振動数の算出条件

水密扉の固有振動数の算出条件のうち、芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-2 に、扉板をモデル化した場合の算出条件を表 3-3 及び表 3-4 に示す。

表 3-2 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）

水密扉 No.	扉名称	梁長さ L (cm)	ヤング率 E (kgf/cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	質量分布 γ_m (kg/cm)
1	RCIC タービンポンプ室-共通通路 浸水防止水密扉	106.0	2.09×10^6	1380	2.48
3	RHR ポンプ(C)室-共通通路 浸水防止水密扉	118.6	2.09×10^6	1380	2.61
8	主排気ダクト連絡トレンチ(2T-5) 管理区域外伝播防止水密扉	134.5	2.09×10^6	618.5	1.55
9	原子炉建屋管理区域外伝播防止 水密扉(No. 1)	134.5	2.09×10^6	618.5	1.62
10	原子炉建屋管理区域外伝播防止 水密扉(No. 2) (くぐり戸)	112.9	2.09×10^6	2490	3.91
	原子炉建屋管理区域外伝播防止 水密扉(No. 2) (大扉・扉閉止時)	460.0	2.09×10^6	119000	17.50
	原子炉建屋管理区域外伝播防止 水密扉(No. 2) (大扉・扉開放時)	495.0	2.09×10^6	62610	26.70
13	原子炉建屋大物搬入口	692.0	2.09×10^6	202700	9.63
14	タービン建屋管理区域外伝播防止 水密扉 (扉)	100.0	2.09×10^6	1380	1.68
	タービン建屋管理区域外伝播防止 水密扉 (パネル①)	109.0	2.09×10^6	188.0	0.54
	タービン建屋管理区域外伝播防止 水密扉 (パネル②)	109.5	2.09×10^6	188.0	0.77
	タービン建屋管理区域外伝播防止 水密扉 (パネル③)	101.0	2.09×10^6	188.0	0.79
	タービン建屋管理区域外伝播防止 水密扉 (パネル④)	109.0	2.09×10^6	188.0	0.37
	タービン建屋管理区域外伝播防止 水密扉 (パネル⑤)	109.5	2.09×10^6	188.0	0.78

表 3-3 扉板をモデル化した場合の算出条件 (扉閉止時)

水密扉 No.	扉名称	板厚 t (cm)	ヤング 率 E (kgf/cm ²)	幅 a (cm)	高さ b (cm)	ポア ソン 比 ν (—)	単位 体積 の重さ γ (kg/cm ³)
2	FPMUW ポンプ室 浸水防止水密扉	3.2	2.09×10^6	105.0	204.0	0.3	0.012
4	原子炉建屋 浸水防止水密扉 (No. 3)	6.0	2.09×10^6	92.5	136.0	0.3	0.016
5	原子炉建屋 浸水防止水密扉 (No. 4)	6.0	2.09×10^6	92.5	136.0	0.3	0.016
6	RHR Hx (A) 室-RHR Hx (B) 室 浸水防止水密扉 (扉)	3.2	2.09×10^6	95.0	209.0	0.3	0.012
	RHR Hx (A) 室-RHR Hx (B) 室 浸水防止水密扉 (パネル)	3.2	2.09×10^6	102.0	217.2	0.3	0.008
7	原子炉建屋管理区域外伝播 防止水密扉 (No. 3)	3.2	2.09×10^6	130.0	197.0	0.3	0.013
11	北西階段室管理区域外伝播 防止水密扉	3.2	2.09×10^6	90.0	134.0	0.3	0.016
12	Rw 制御室管理区域外伝播 防止水密扉 (扉)	3.2	2.09×10^6	105.0	204.0	0.3	0.012
	Rw 制御室管理区域外伝播 防止水密扉 (パネル①)	0.6	2.09×10^6	71.6	207.8	0.3	0.010
	Rw 制御室管理区域外伝播 防止水密扉 (パネル②)	0.6	2.09×10^6	86.3	182.2	0.3	0.011

表 3-4 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉開放時）

水密扉 No.	扉名称	梁長さ L (cm)	ヤング率 E (kgf/cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	質量分布 γ_m (kg/cm)
2	FPMUW ポンプ室浸水防止水密扉	105.0	2.09×10^6	557.1	8.10
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	92.5	2.09×10^6	2448	12.97
5	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	92.5	2.09×10^6	2448	12.97
6	RHR Hx (A) 室-RHR Hx (B) 室 浸水防止水密扉	95.0	2.09×10^6	570.7	7.89
7	原子炉建屋管理区域外伝播防止 水密扉 (No. 3)	130.0	2.09×10^6	537.9	8.46
11	北西階段室管理区域外伝播防止 水密扉	90.0	2.09×10^6	365.9	6.67
12	Rw 制御室管理区域外伝播防止 水密扉 (扉)	105.0	2.09×10^6	557.1	8.10

3.3 固有振動数の算出結果

水密扉の固有振動数の算出結果を表3-5に示す。各水密扉の固有振動数は20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-5 固有振動数の算出結果(1/2)

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f	
		扉閉止時 (Hz)	扉開放時 (Hz)
1	RCIC タービンポンプ室-共通通路 浸水防止水密扉	149.30	233.28
2	FPMUW ポンプ室浸水防止水密扉	72.13	83.58
3	RHR ポンプ(C)室-共通通路 浸水防止水密扉	116.25	181.65
4	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 3)	174.49	178.41
5	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 4)	174.49	178.41
6	RHR Hx(A)室-RHR Hx(B)室 浸水防止水密扉(扉)	84.05	104.71
	RHR Hx(A)室-RHR Hx(B)室 浸水防止水密扉(パネル)	90.32	—
7	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 3)	51.30	52.43
8	主排気ダクト連絡トレンチ(2T-5) 管理区域外伝播防止水密扉	78.53	122.70
9	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)	76.81	120.02
10	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 2)(くぐり戸)	140.79	219.99
	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 2)(大扉)	27.71	21.96
11	北西階段室管理区域外伝播防止水密扉	97.53	101.60

表 3-5 固有振動数の算出結果(2/2)

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f	
		扉閉止時 (Hz)	扉開放時 (Hz)
12	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉 (扉)	72.13	83.58
	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉 (パネル①)	28.18	—
	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉 (パネル②)	20.24	—
13	原子炉建屋大物搬入口*	48.84	33.65
14	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉 (扉)	203.82	318.46
	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉 (パネル①)	111.68	—
	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉 (パネル②)	92.67	144.80
	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉 (パネル③)	107.54	168.03
	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉 (パネル④)	134.92	—
	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉 (パネル⑤)	92.08	143.87

注記*：添付書類「VI-2-9-3-2 原子炉建屋大物搬入口の耐震性についての計算書」において算出している値。

4. 耐震評価

4.1 評価対象部位

評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震荷重により水密扉に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周辺の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部並びにアンカーボルトとする。また、アンカーボルトに生じる応力が最大となる状態で評価を行うことを考慮し、扉が 0° 、 90° 又は 180° の開閉状態における評価を行うとともに、地震荷重の作用により応力が集中する扉の状態を踏まえ、ヒンジ側アンカーボルトを評価対象とする。

パネル付きの水密扉については、パネル板を支える方立及びマグサ並びにパネル取付ボルトを評価対象部位として選定する。

また、評価結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、水密扉No.1, 9, 10及び12を抽出した。

水密扉閉止時に水密扉に作用する荷重の作用図を図4-1に、水密扉開放時に水密扉に作用する荷重の作用図を図4-2に示す。

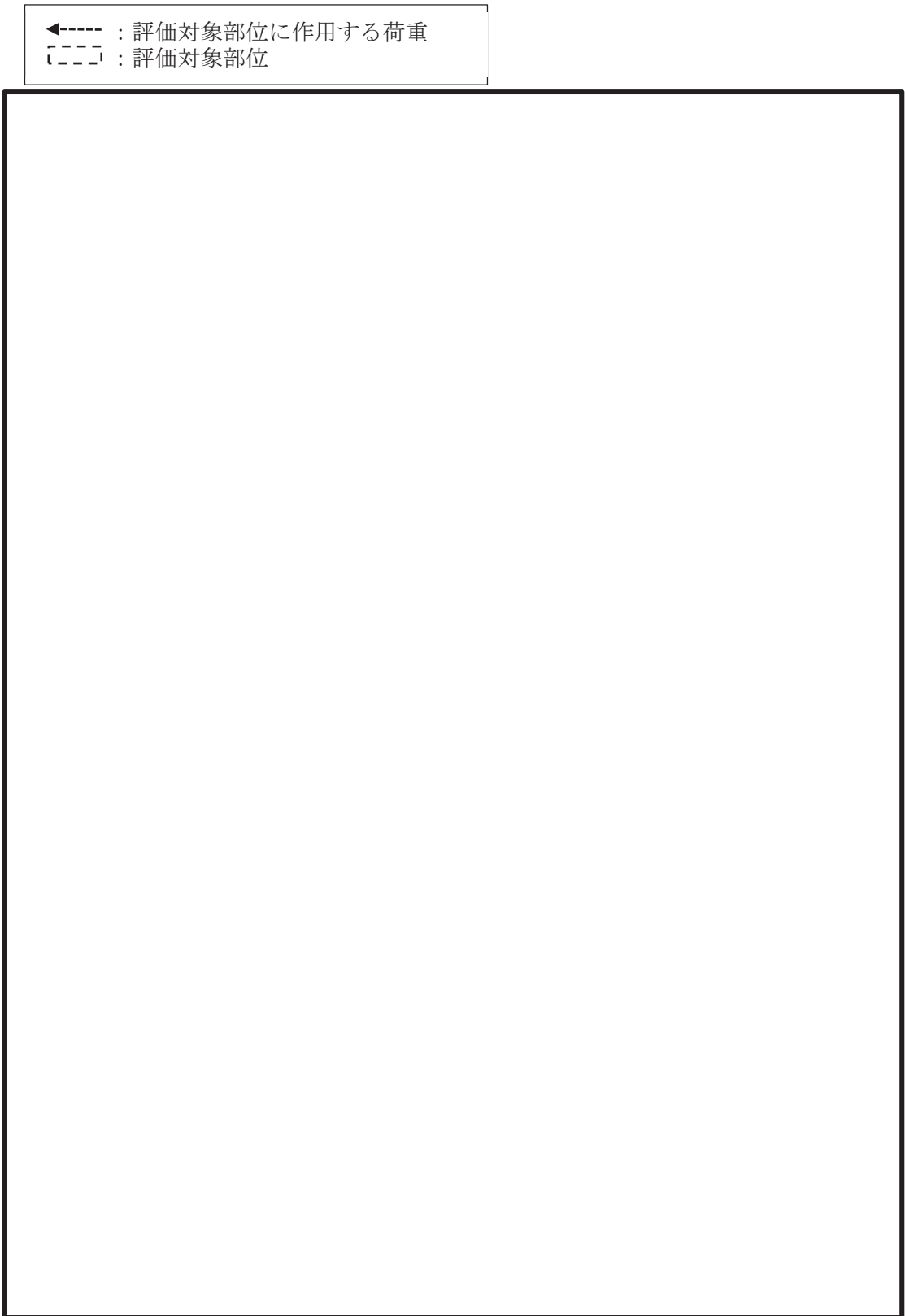


図 4-1 水密扉に作用する荷重の作用図（水密扉閉止時）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

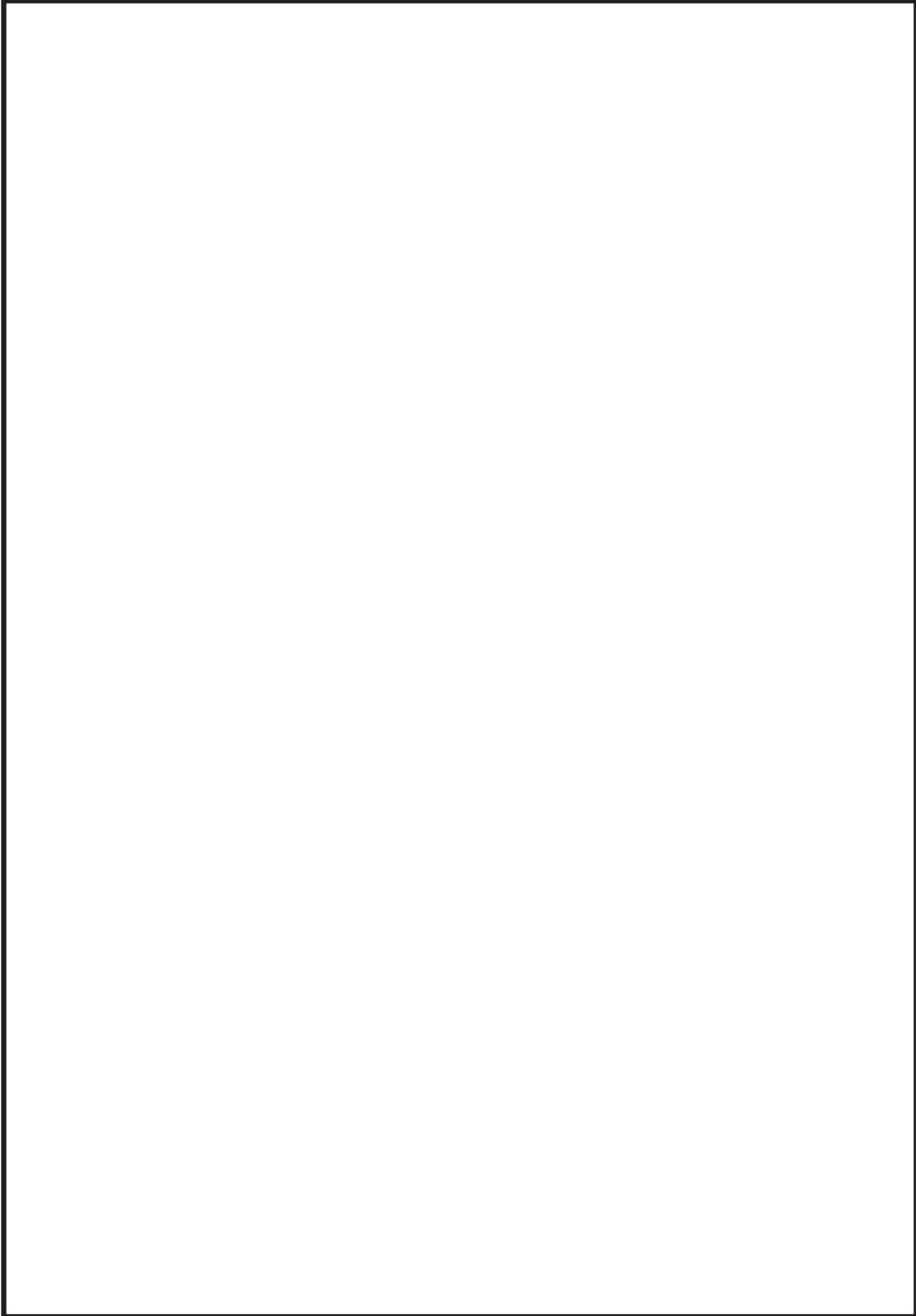


図 4-2 水密扉に作用する荷重の作用図（水密扉開放時）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

ここで、

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

水密扉は、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。

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.6 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

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の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3 許容限界

許容限界は、「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

水密扉を構成するヒンジ部，カンヌキ部，パネル取付ボルト，方立，マグサ及び及びアンカーボルトの使用材料を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	高さ (mm) 70, 80, 85, 100, 500, 560 厚さ (mm) 40, 70, 95, 200, 250
	ヒンジピン	S45C SCM440	径 (mm) 25, 35, 40, 45, 55, 60, 80, 240
	ヒンジボルト	10.9 (SCM435, SCM440) 12.9 (SCM435)	M12, M16, M24, M30, M42
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304 SUS304N2 SCM440	径 (mm) 45, 50, 60, 90, 120
	カンヌキ受けピン	SUS304N2 S45C SCM435 SUS304	径 (mm) 25, 30, 40, 45, 60, 65, 70
	カンヌキ受けボルト	10.9 (SCM435, SCM440) 12.9 (SCM435)	M16, M20
パネル取付ボルト		12.9 (SCM435)	M10, M12
方立		SS400	PL-9×276 [-250×90×11×14.5 H-200×200×8×12
マグサ		SS400	PL-9×276 [-250×90×11×14.5
アンカーボルト		SS400 SM490	M16, M20, M30, M36 φ 16

4.3.2 許容限界

(1) 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」を踏まえて表 4-2 の値とする。

表 4-2 鋼材の許容限界

材質・強度区分* ¹	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ・引張	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ²	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) * ²	215	124
SS400 (100 < t) * ²	205	118
SM490 (t ≤ 16) * ²	325	187
SM490 (16 < t ≤ 40) * ²	315	181
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
S45C	345	199
SCM435	651	375
SCM440	686	396
10.9(SCM435)	728	420
12.9(SCM435)	854	493

注記*1：許容応力度を決定する基準値Fは、J I Sに基づく。

*2：tは板厚(mm)を示す。

(2) アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は、「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界を表 4-3 に示す。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容応力及び付着力又はコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-3 アンカーボルトの許容限界

水密扉 No.	扉名称	許容耐力* (N/本)	
		引張	せん断
1	RCIC タービンポンプ室-共通通路浸水防止水密扉	37957	12824
9	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)	40463	40302
10	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 2)	131835	92284
12	Rw 制御室管理区域外伝播防止水密扉	26928	25826

注記* : 扉が開放状態のとき, 地震力による応力がヒンジ側に集中する扉の構造を考慮し,
ヒンジ側アンカーボルトのみ選定した。

4.4 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示したとおり，水密扉の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，水密扉の耐震評価で用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとして「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び「VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性についての計算書」によることとし，建屋の階ごとの設計震度を表 4-4 に示す。

ここで，最大応答加速度を保守的に評価するために，最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置階の上階の値とする。

表 4-4 設計震度

建屋	階	O. P.	設計震度	
			水平方向 k_H	鉛直方向 k_{UD}
原子炉建屋	CRF	41.20m	2.86	1.58
	3F	33.20m	2.21	1.47
	2F	22.50m	1.77	1.30
	1F	15.00m	1.65	1.15
	B1F	6.00m	1.31	0.91
	B2F	-0.80m	1.11	0.73
	B3F	-8.10m	0.82	0.57
タービン建屋	B1F	7.60m	1.39	0.75

4.5 評価方法

4.5.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ここで、扉の重量は2箇所（ヒンジ）で支持することから、ヒンジ部に作用する転倒力には、扉上半分の重量を慣性力として作用させるものとする。ヒンジ部に作用する荷重の例を図4-3に示す。

$$W_1 = G \cdot 10^3 + k_{UD} \cdot G \cdot 10^3$$

$$F_1 = W_1 \cdot \frac{L_1}{L_2} + \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{2}$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重(N)

G : 扉重量(kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 転倒力(N)

L_1 : 扉重心とヒンジ芯間距離(mm)

L_2 : ヒンジ芯間距離(mm)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

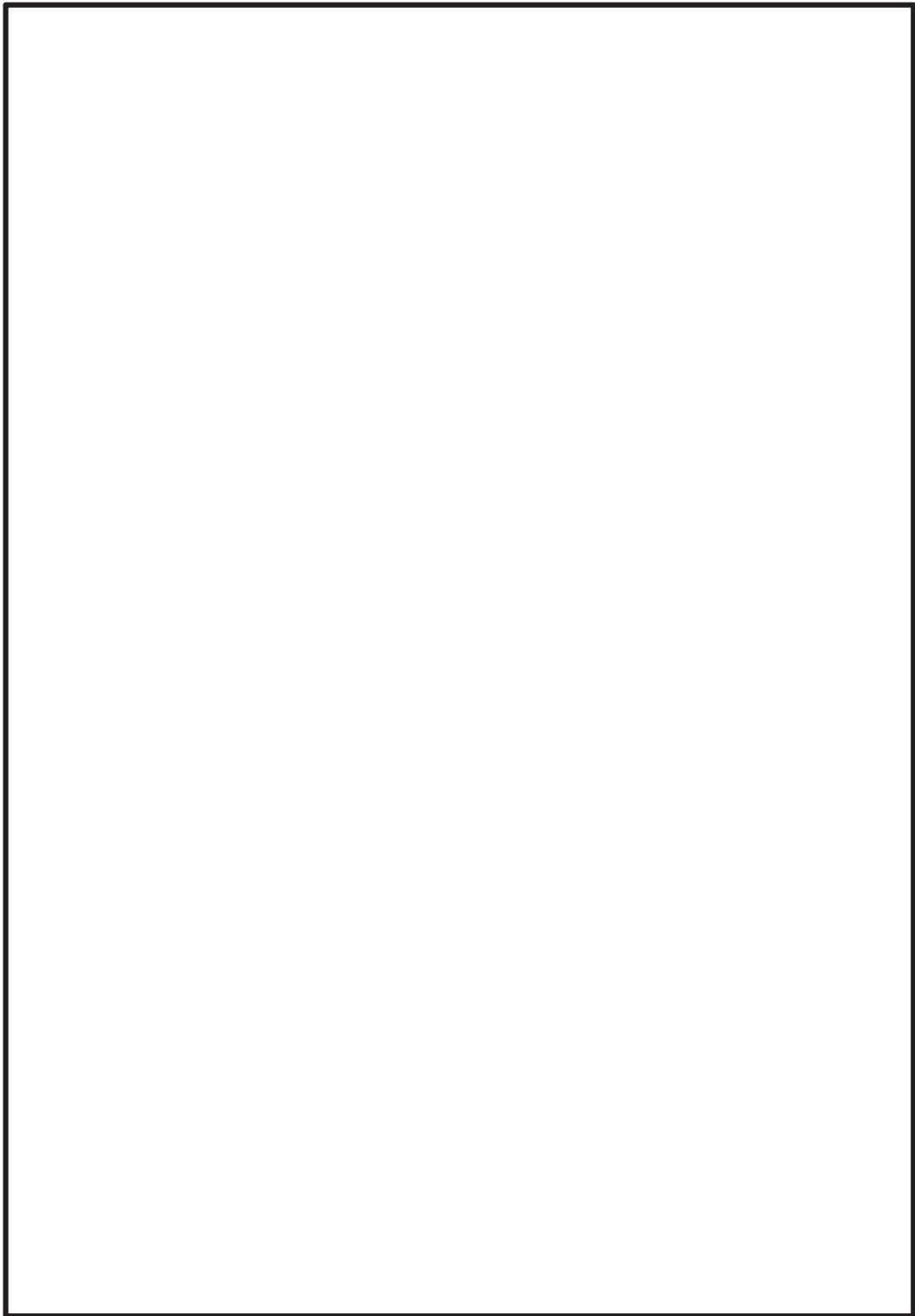


図 4-3 ヒンジ部に作用する荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は，次式により算定する。ヒンジ板に作用する荷重の例を図 4-4 に示す。

$$M=W_1 \cdot L_3$$

$$Q=W_1$$

ここで，

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント(N・mm)

W_1 : スラスト荷重(N)

L_3 : ヒンジ板の 2 軸間距離(mm)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力(N)

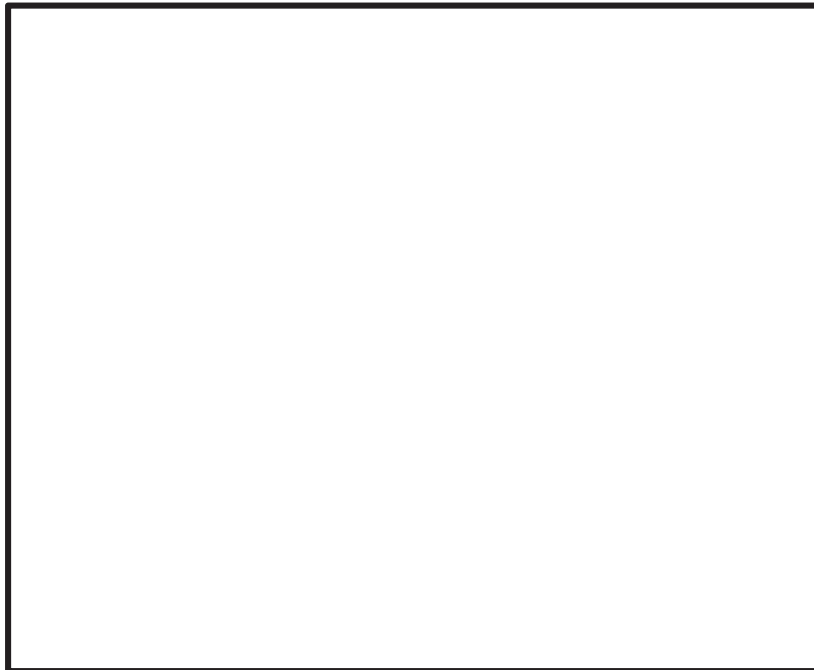


図 4-4 ヒンジ板に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに作用する荷重の例を図4-5に示す。

(a) 受材が1箇所の場合

$$M = F_1 \cdot L_4$$

$$Q = F_1$$

(b) 受材が2箇所の場合

$$M = F_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_4$$

$$Q = F_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント(N・mm)

F₁ : 転倒力(N)

L₄ : ヒンジ板と受材間距離(mm)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力(N)

(受材が1箇所の場合)

(受材が2箇所の場合)



図4-5 ヒンジピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに作用する荷重の例を図4-6に示す。

(a) 受材が1箇所の場合

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 / n_1)^2}$$

(b) 受材が2箇所の場合

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot n_1})^2}$$

ここで、

Q : ヒンジボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

W₁ : スラスト荷重(N)

F₁ : 転倒力(N)

n₁ : ヒンジボルトの本数

(受材が1箇所の場合)

(受材が2箇所の場合)



図4-6 ヒンジボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、カンヌキ部に生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4-7 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G \cdot 10^3 / n_2$$

ここで、

R_1 : カンヌキに作用する地震力に伴う荷重の反力(N)

n_2 : カンヌキの本数

k_H : 水平震度

G : 扉重量(kN)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
[-----] : 評価対象部位

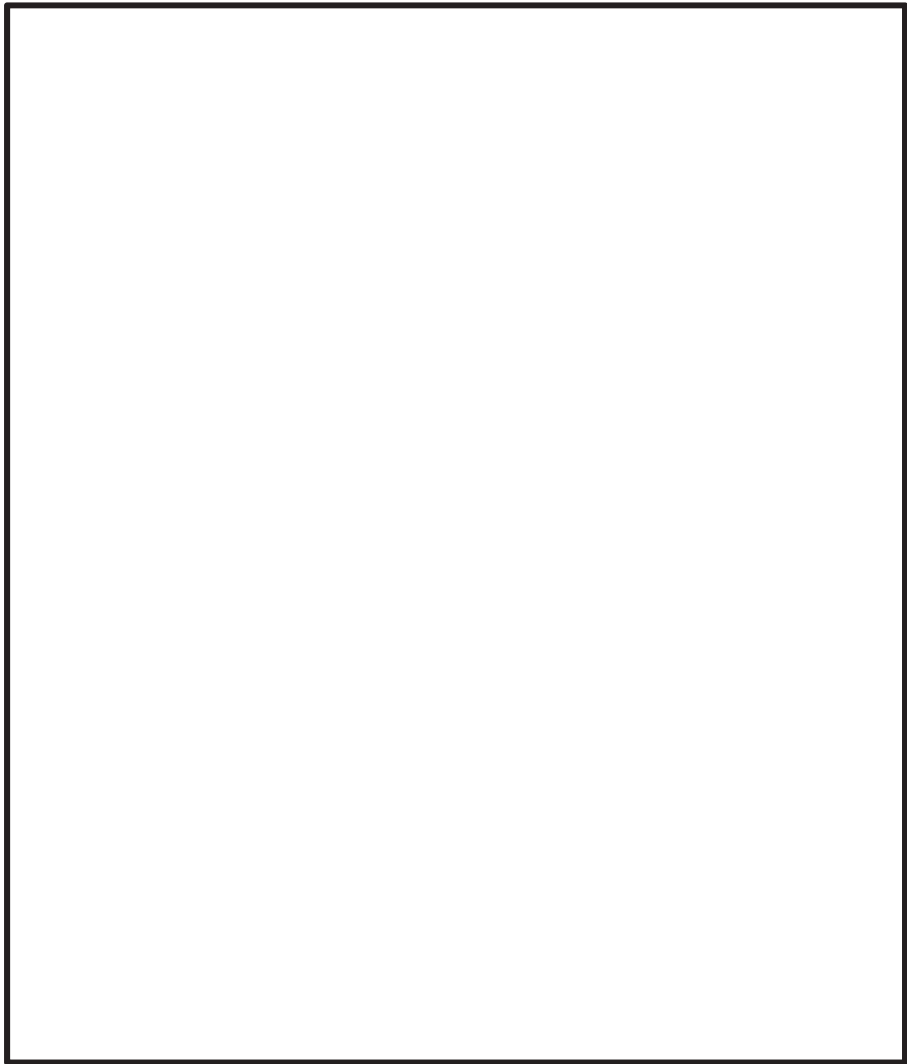


図 4-7 カンヌキ部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキ受けピン中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに作用する荷重の例を図4-8に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5$$

$$Q = R_1$$

ここで、

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント(N・mm)

R₁ : カンヌキに作用する地震力に伴う荷重の反力(N)

L₅ : カンヌキの突出長さ(mm)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力(N)



図4-8 カンヌキに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる応力は、カンヌキ受けピンを集中荷重が作用する単純梁とみなし、次式により算定する。カンヌキ受けピンに作用する荷重の例を図4-9に示す。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot \frac{1}{4}$$

$$Q = R_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R₁ : カンヌキに作用する地震力に伴う荷重の反力 (N)

L_p : カンヌキ受けピンの軸支持間距離 (mm)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)



図4-9 カンヌキ受けピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. カンヌキ受けボルト及びパネル取付ボルト

カンヌキ受けボルト及びパネル取付ボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例を図4-10に、パネル取付ボルトに作用する荷重の例を図4-11に示す。

$$T = \frac{R_1}{n_b}$$

ここで、

T : カンヌキ受けボルト又はパネル取付ボルトに生じる最大引張力(N)

R₁ : カンヌキ又はパネルに作用する地震力に伴う荷重の反力(N)

n_b : カンヌキ受けボルト又はパネル取付ボルトの本数

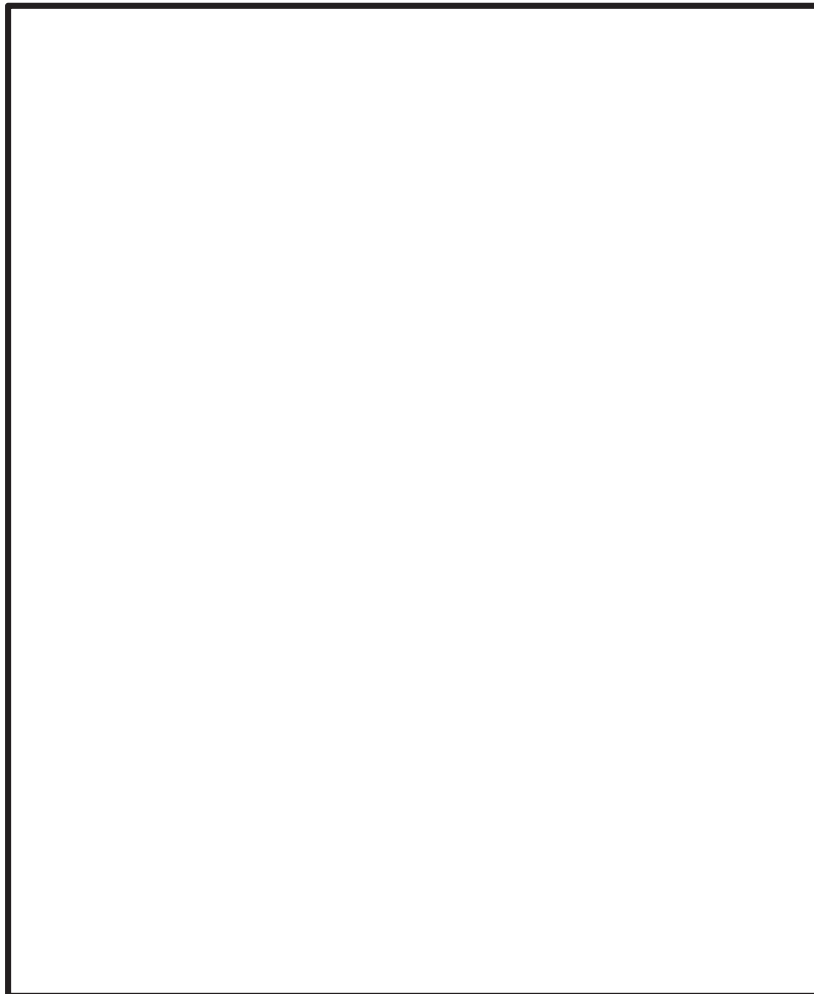


図4-10 カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

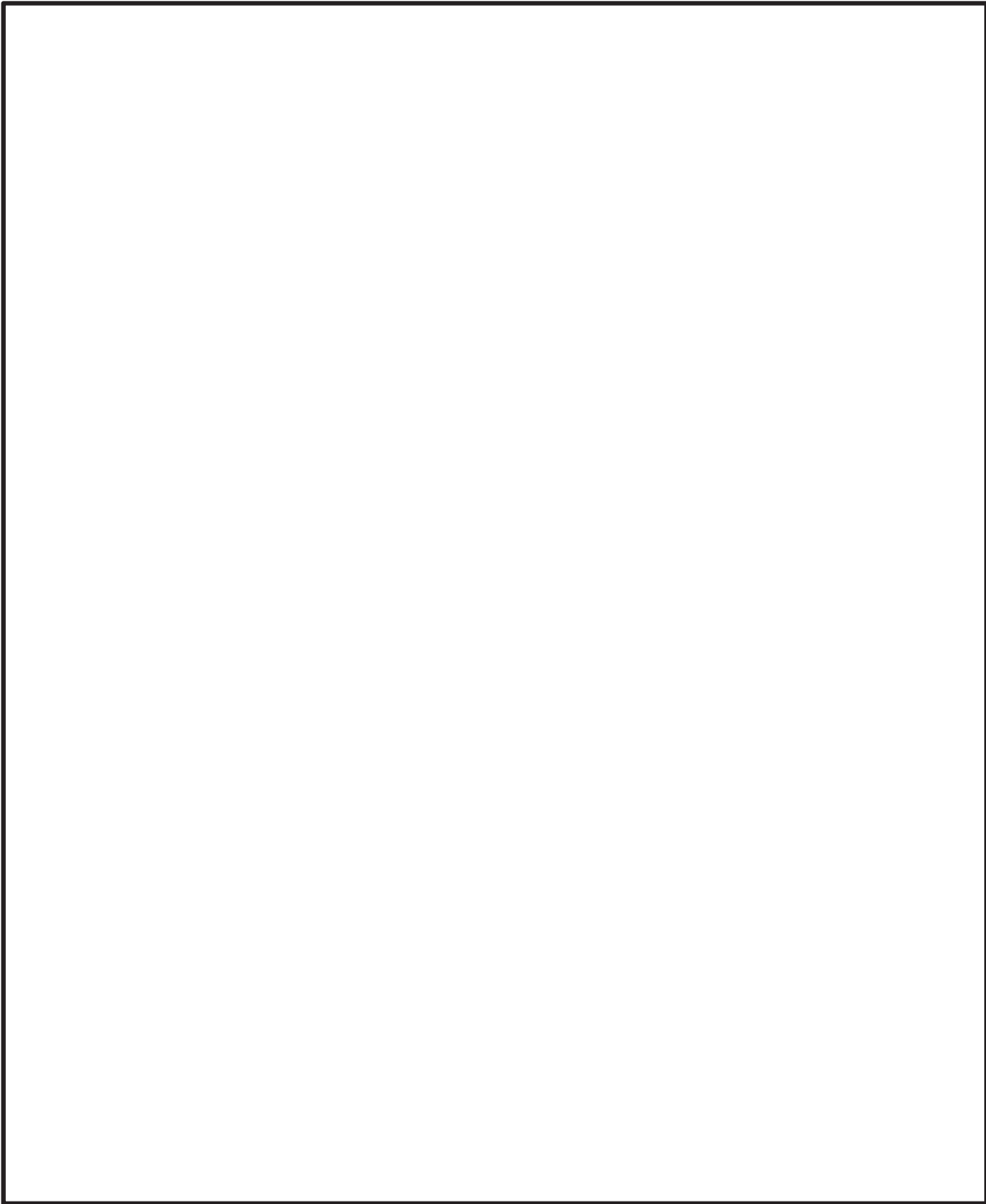


図 4-11 パネル取付ボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、「4.1 評価対象部位」に基づき、地震荷重を考慮する場合はヒンジ側のアンカーボルトで荷重を負担するものとして算出する。ここで、アンカーボルトに生じる荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲の例は図4-12に示すとおり、転倒力が作用するヒンジ付近に限定し、枠の慣性力は枠全体の重量の1/2を評価において保守的に考慮する。また、扉体の開放角度ごとの荷重の作用状況を図4-13に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2}$$

$$W_{1a} = W_1 + (k_{UD} \cdot w_a + w_a) \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(N)

F_1 : 転倒力(N)

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重(N)

W_1 : スラスト荷重(N)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

w_a : 扉枠の重量(kN)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

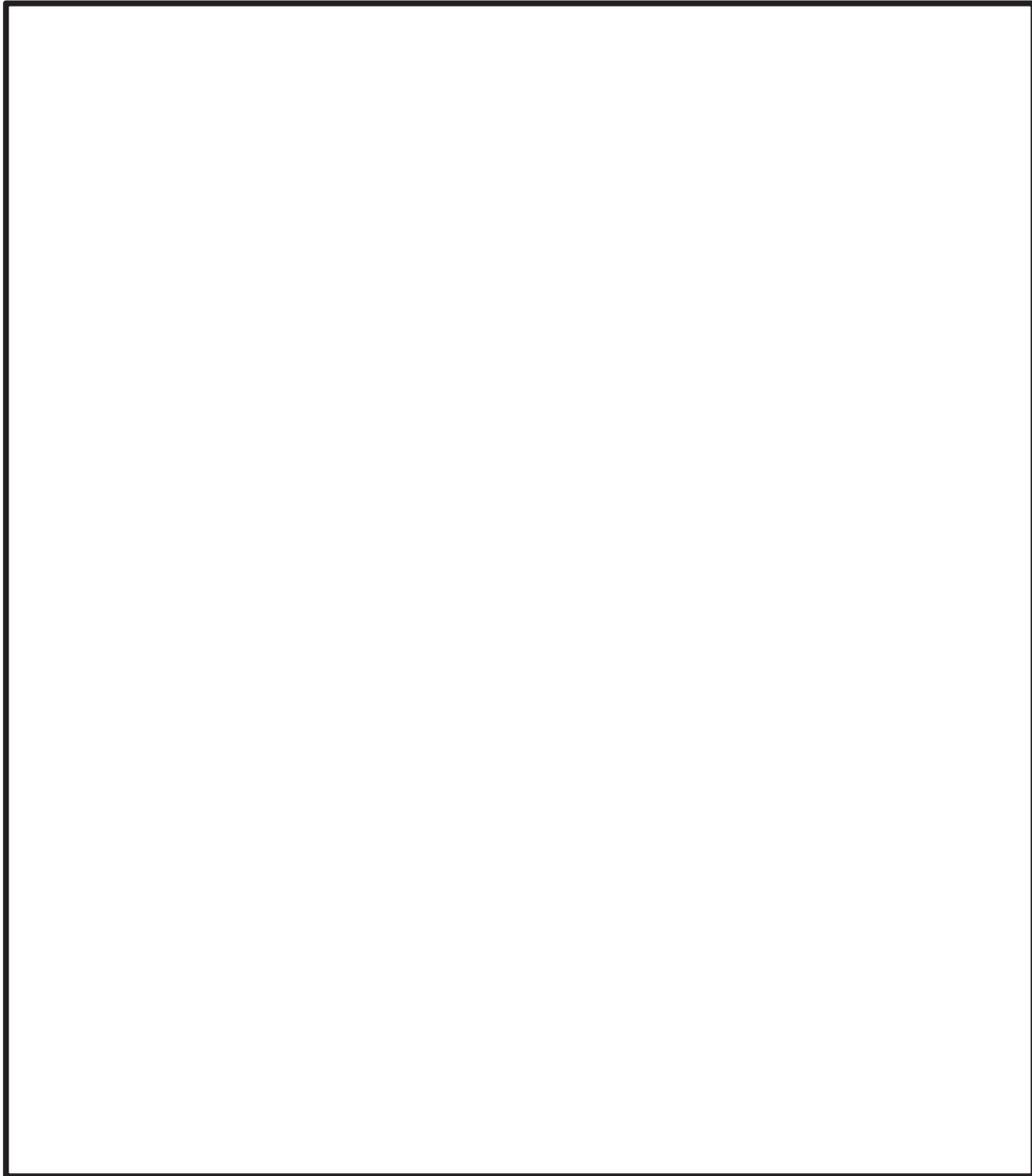


図 4-12 評価対象のアンカーボルトの範囲の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

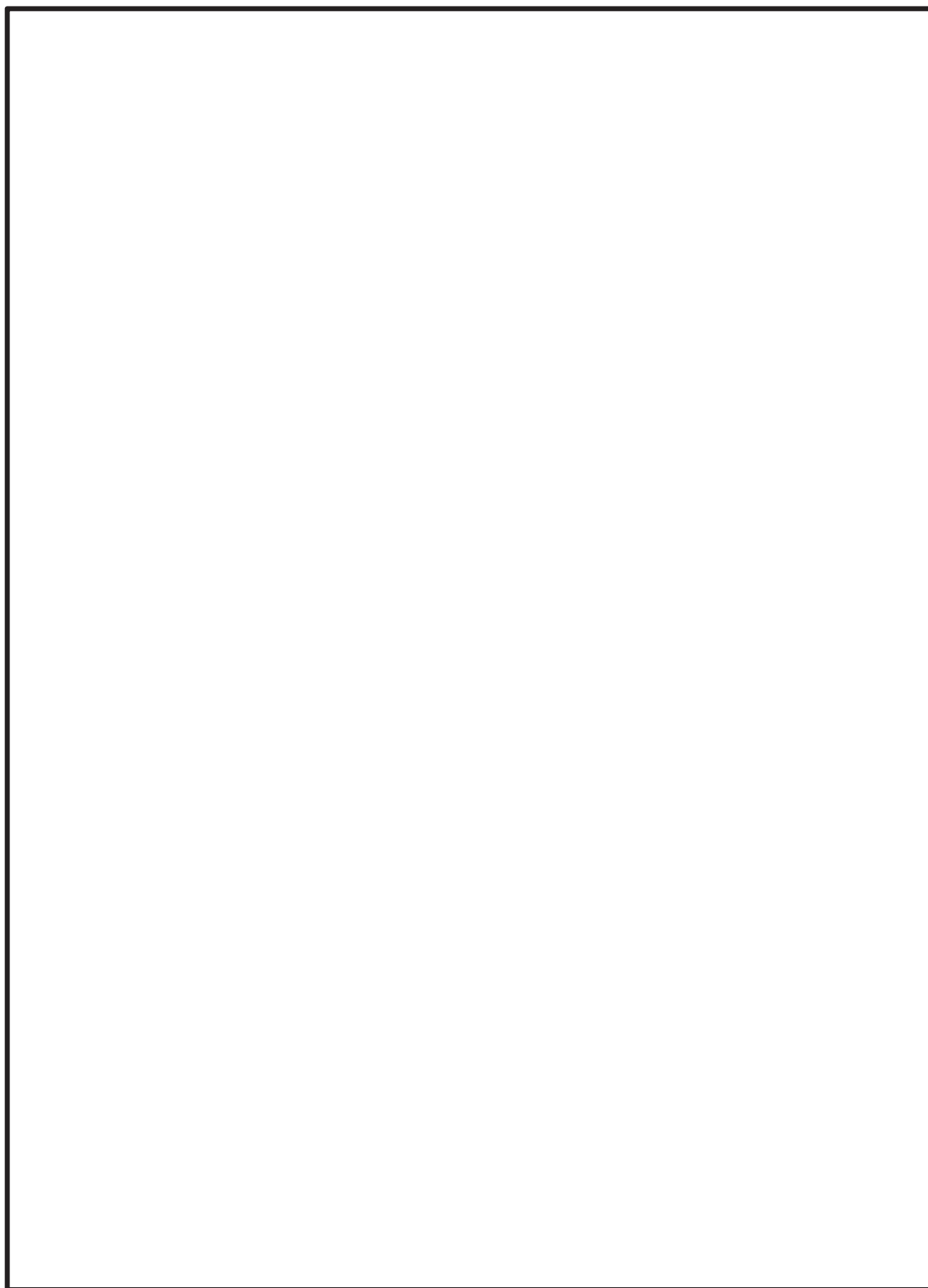


図 4-13 扉の開放角度別の荷重の作用状況

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 方立

方立に生じる応力は、扉体重量及びパネル重量による地震荷重の1/2が方立の中心に集中荷重で方立の中央に作用するものとして保守的に算出する。方立に作用する荷重の例を図4-14に示す。

$$R_1 = (G + W_p) \cdot k_H \cdot \frac{1}{2}$$

$$M = R_1 \cdot L_6 \cdot \frac{1}{4}$$

$$Q = R_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

G : 扉重量(N)

W_p : パネル重量(N)

k_H : 水平震度

M : 方立に生じる最大曲げモーメント(N・mm)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力(N)

L_6 : 方立の支持間距離(mm)

Q : 方立に生じる最大せん断力(N)

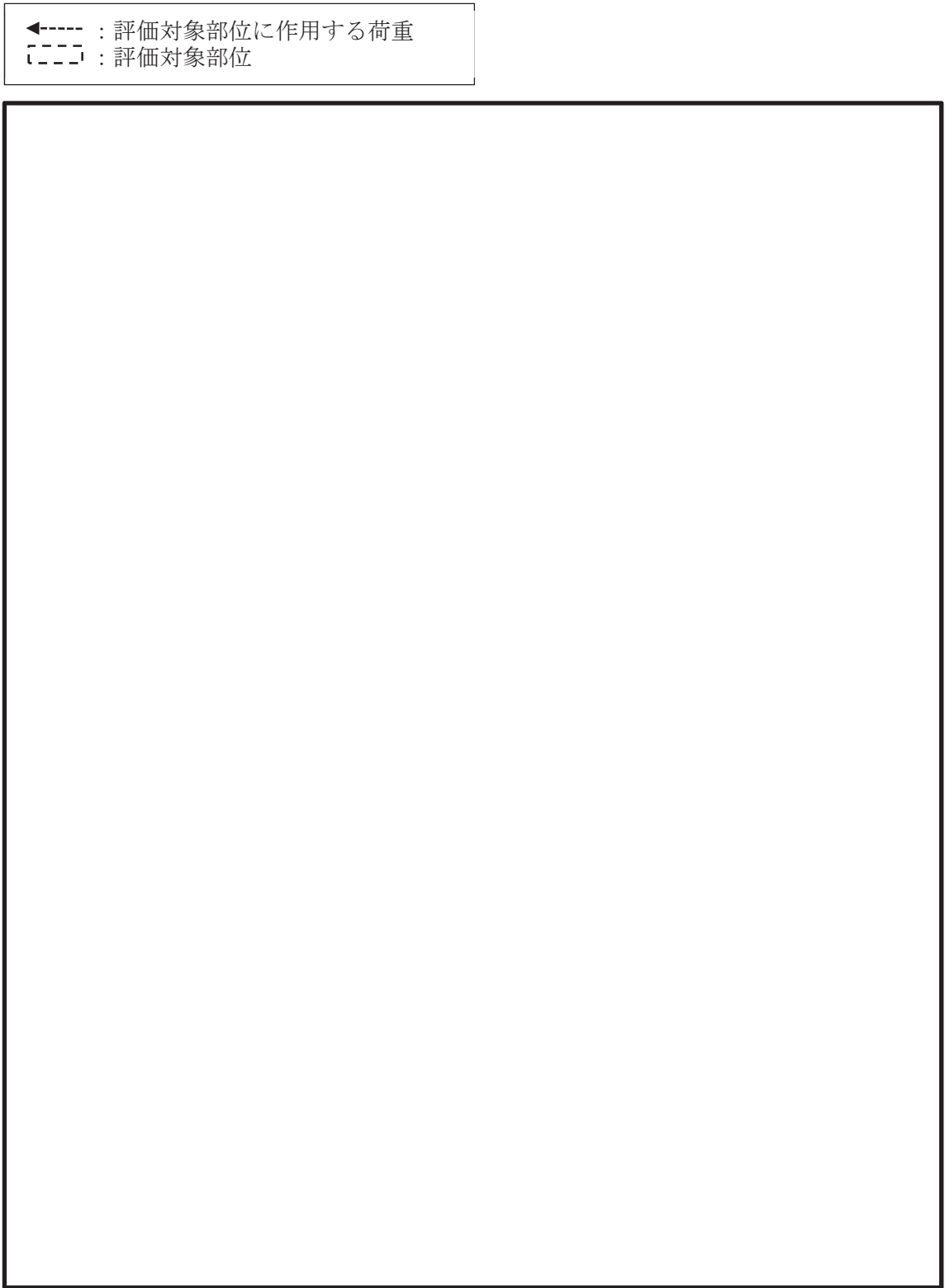


図 4-14 方立に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) マグサ

マグサに生じる応力は、方立に作用する地震力に伴う荷重の反力の 1/2 がマグサの中心に集中荷重でマグサの中央に作用するものとして保守的に算出する。マグサに作用する荷重の例を図 4-15 に示す。

$$M = R_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_7 \cdot \frac{1}{4}$$

$$Q = R_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : マグサに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R₁ : 地震力に伴う荷重の反力 (N)

L₇ : マグサの支持間距離 (mm)

Q : マグサに生じる最大せん断力 (N)

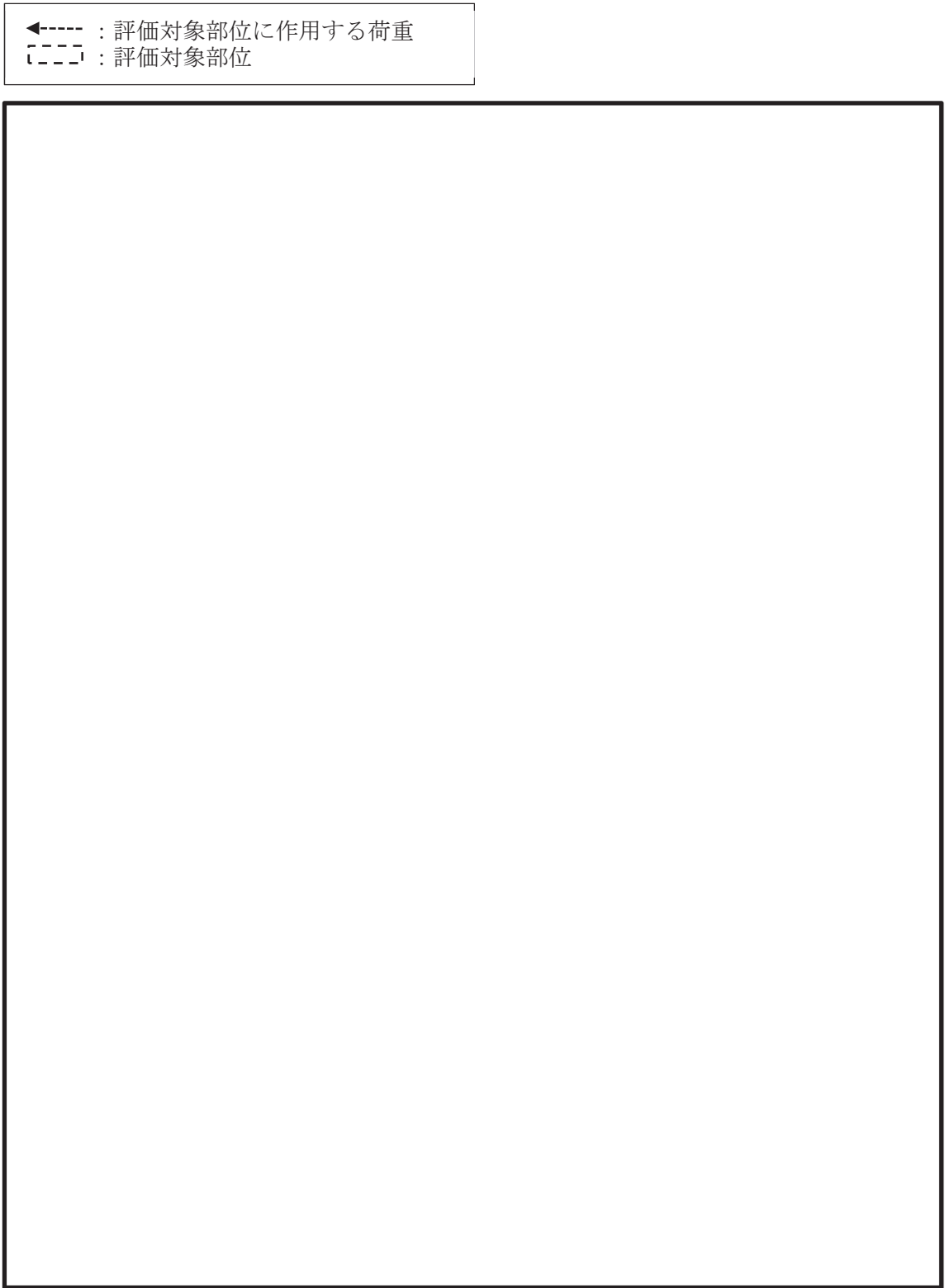


図 4-15 マグサに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5.2 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界を下回ることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : ヒンジ板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント (N・mm)

Z : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : ヒンジ板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力 (N)

A_s : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し，ヒンジピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$\sigma = M / Z$

σ : ヒンジピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント (N・mm)

Z : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

$\tau = Q / A_s$

τ : ヒンジピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力 (N)

A_s : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し，ヒンジボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = Q / A_s$$

ここで，

τ : ヒンジボルトに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジボルトに生じる最大せん断力 (N)

A_s : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : カンヌキに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : カンヌキに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキ受けピンの断面係数 (mm³)

τ : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキ受けピンのせん断断面積 (mm²)

c. カンヌキ受けボルト及びパネル取付ボルト

カンヌキ受けボルト及びパネル取付ボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルト及びパネル取付ボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

ここで、

σ_t : カンヌキ受けボルト又はパネル取付ボルトに生じる最大引張応力度(N/mm²)

T : カンヌキ受けボルト又はパネル取付ボルトに生じる最大引張力(N)

A : カンヌキ受けボルト又はパネル取付ボルトの断面積(mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力及びせん断力を次式により算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。また、引張力とせん断力が同時に作用する場合は、組合せ応力を「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。

$$(Q_d / Q_a) \leq 1.0$$

$$(T_d / T_a)^2 + (Q_d / Q_a)^2 \leq 1.0$$

ここで、

$$T_d = F_{1a} / (n_3 / 2)$$

T_d : 転倒力によるアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力(N)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(N)

n_3 : ヒンジ側アンカーボルトの本数

$$Q_{d1} = F_{1a} / (n_3 / 2)$$

Q_{d1} : 転倒力によるアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力(N)

$$Q_{d2} = W_{1a} / n_3$$

Q_{d2} : スラスト荷重によるアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力(N)

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重(N)

$$Q_d = \sqrt{(Q_{d1}^2 + Q_{d2}^2)}$$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力(N)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力(N)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力(N)

(4) 方立

方立に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、方立の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : 方立に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 方立に生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : 方立の断面係数 (mm³)

τ : 方立に生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 方立に生じる最大せん断力 (N)

A_s : 方立のせん断断面積 (mm²)

(5) マグサ

マグサに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、マグサの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : マグサに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : マグサに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : マグサの断面係数 (mm³)

τ : マグサに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : マグサに生じる最大せん断力 (N)

A_s : マグサのせん断断面積 (mm²)

4.6 評価条件

「4.5 評価方法」に用いる評価条件を表4-5に示す。

表4-5 耐震評価に用いる評価条件(1/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				1	
共通	G	kN	扉重量	7.35	
	k_H	—	水平震度	1.11	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.73	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	575	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1704	
	W_1	N	スラスト荷重	12720	
	F_1	N	転倒力	8372	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	220
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	66
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	31
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	170
		τ	N/mm ²	せん断応力度	18
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	46	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	12
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	62
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	12
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
σ_t		N/mm ²	引張応力度	5	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(2/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				1	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	2.45	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	7	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	2781	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	3497	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力	37957	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	12824	
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	106.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	1380
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.48
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(3/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				9	
共通	G	kN	扉自重	23.54	
	k_H	—	水平震度	1.77	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.30	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	762.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1665	
	W_1	N	スラスト荷重	54140	
	F_1	N	転倒力	45630	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	220
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	105
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	41
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	45
		τ	N/mm ²	せん断応力度	9
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	42	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	114.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	98
		τ	N/mm ²	せん断応力度	6
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	123
		τ	N/mm ²	せん断応力度	11
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
σ_t		N/mm ²	引張応力度	34	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(4/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				9	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	19.61	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	12	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	10500	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	12290	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	40463	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	40302	
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	134.5
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	618.5
		γ_m	kg/cm	質量分布	1.62
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(5/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				10	
共通	G	kN	扉自重	259.2	
	k_H	—	水平震度	1.77	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.30	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	2910	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	4012	
	W_1	N	スラスト荷重	596200	
	F_1	N	転倒力	661800	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	850
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	61
		τ	N/mm ²	せん断応力度	6
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	69
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	80
		τ	N/mm ²	せん断応力度	27
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	8
τ		N/mm ²	せん断応力度	199	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	176
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	141
		τ	N/mm ²	せん断応力度	10
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	75
		τ	N/mm ²	せん断応力度	11
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
σ_t		N/mm ²	引張応力度	—	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(6/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				10	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	32.36	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	33	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	41840	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	46030	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	131835	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	92284	
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	460.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	119000
		γ_m	kg/cm	質量分布	17.50
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(7/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
共通	G	kN	扉自重	8.34	
	k_H	—	水平震度	1.77	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.30	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	592.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1576	
	W_1	N	スラスト荷重	19180	
	F_1	N	転倒力	14590	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	190
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	64
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	35.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	62
		τ	N/mm ²	せん断応力度	8
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	33	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	91
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	28
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	44
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
σ_t		N/mm ²	引張応力度	12	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(8/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	17.65	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	12	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	5035	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	6015	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	26928	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	25826	
パネル取付 ボルト	n_b	本	パネル取付ボルトの本数	10	
	σ_t	N/mm ²	引張応力度	3	
方立	L	mm	方立の支持間距離	2225.5	
	σ	N/mm ²	曲げ応力度	40	
	τ	N/mm ²	せん断応力度	2	
マグサ	L	mm	マグサの支持間距離	2145	
	σ	N/mm ²	曲げ応力度	22	
	τ	N/mm ²	せん断応力度	1	
固有 振動 数	扉板 (開放)	L	cm	梁長さ	105.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	557.1
		γ_m	kg/cm	質量分布	8.10
	扉板 (閉止)	t	cm	扉板厚さ	3.2
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	105.0
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	204.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	0.012
		ν	—	ポアソン比	0.3

5. 評価結果

水密扉の評価結果を表 5-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての水密扉において、発生応力度又は荷重が許容限界を下回る。

表 5-1 評価結果(1/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界	備考
1	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	67	235	0.29	組合せ
		ヒンジピン*1	173	345	0.51	組合せ
		ヒンジボルト	46	420	0.11	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	13	205	0.07	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	12	345	0.04	曲げ
		カンヌキ受けボルト	5	728	0.01	引張
	アンカーボルト*3		3497	12824	0.28	せん断
9	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	106	215	0.50	組合せ
		ヒンジピン*1	48	686	0.07	組合せ
		ヒンジボルト	42	420	0.10	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	99	205	0.49	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	123	345	0.36	曲げ
		カンヌキ受けボルト	34	854	0.04	引張
	アンカーボルト*3		12290	40302	0.31	せん断
10	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	62	215	0.29	組合せ
		ヒンジピン*1	93	345	0.27	組合せ
		ヒンジボルト	199	420	0.48	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	143	345	0.42	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	75	345	0.22	曲げ
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		46030	92284	0.50	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張, せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 5-1 評価結果(2/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界	備考
12	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	65	215	0.31	組合せ
		ヒンジピン*1	64	686	0.10	組合せ
		ヒンジボルト	33	493	0.07	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	29	205	0.15	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	44	345	0.13	曲げ
		カンヌキ受けボルト	12	854	0.02	引張
	パネル取付ボルト		3	854	0.01	引張
	方立		40	235	0.18	曲げ
	マグサ		22	235	0.10	曲げ
	アンカーボルト*3		6015	25826	0.24	せん断

注記*1：曲げ、せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張、せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

VI-2-10-2-8 浸水防止蓋の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-2-8-1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-2 浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-3 浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-5 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-8-1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の
耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	11
4.	固有値解析	13
4.1	固有振動数の計算方法	13
4.2	固有振動数の計算条件	14
4.3	固有振動数の計算結果	14
5.	構造強度評価	15
5.1	構造強度評価方法	15
5.2	荷重及び荷重の組合せ	15
5.3	許容限界	16
5.4	設計用地震力	18
5.5	評価方法	19
5.6	評価条件	39
6.	評価結果	44

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）（以下、「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は，原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

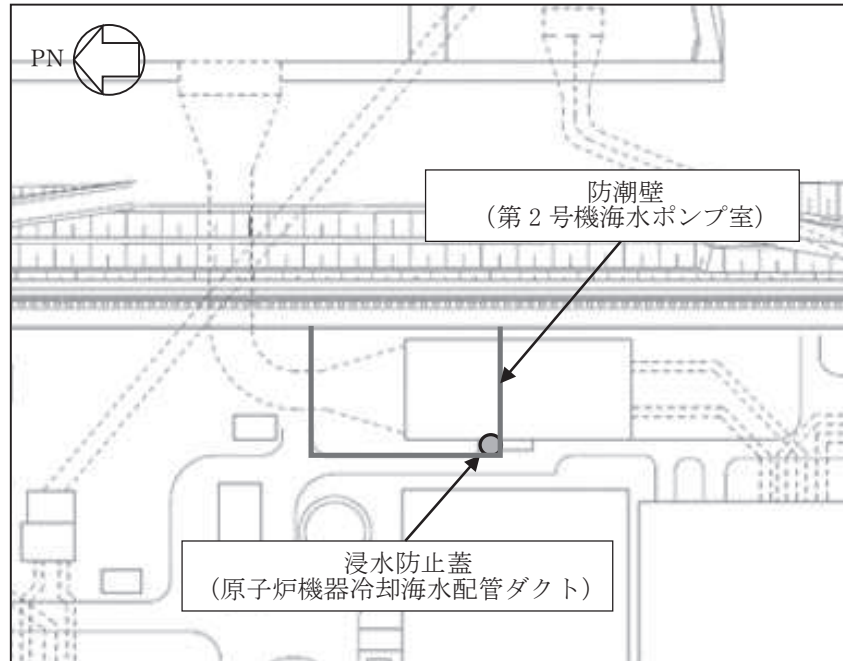


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	<p>The diagram illustrates the structural design of the flood prevention cover. It consists of a top-down view and a side view (B-B). The top-down view shows a rectangular frame made of main beams (H-shaped steel) with a central circular hatch. The side view (B-B) shows the cover being fixed to the top of a duct using fixed bolts. Section lines A-A and B-B are marked on the diagram.</p>

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。耐震評価フローを図2-2に示す。

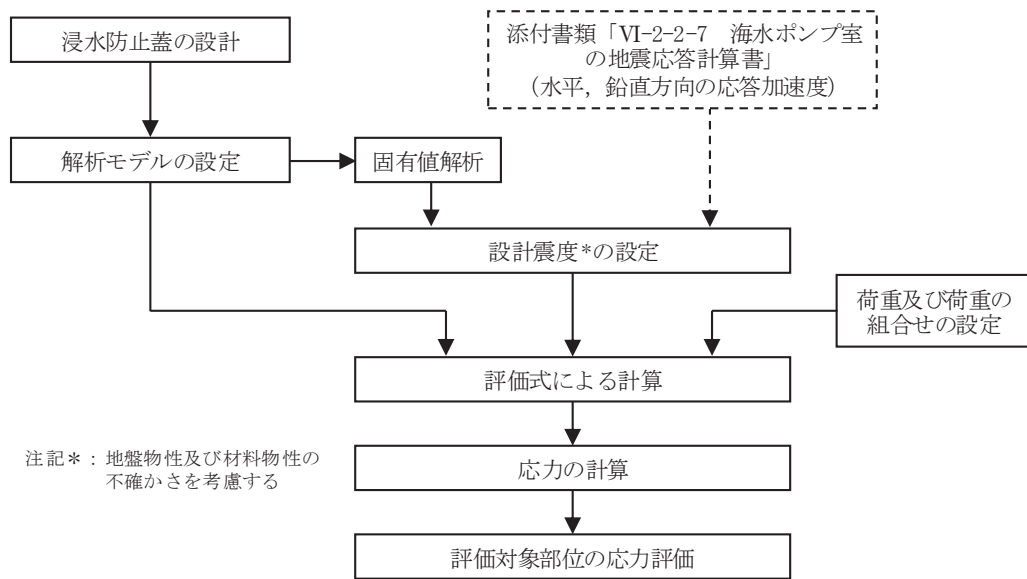


図2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	せん断断面積
Z	mm ³	断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心までの距離
L_4	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_5	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅
t_b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ
β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
T_d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
	k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
	G	kN	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{V1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm^2	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm^2	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm^2	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm^2	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm^2	鉛直方向のせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	σ	N/mm^2	合成応力度
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離
	Z_1	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_3	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_p	mm^3	極断面係数
A	mm^2	断面積	
A_1	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部)	
A_2	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接続部)	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	F	kN	ヒンジピンにはたらく合成荷重
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q_R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q_P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L_V	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L_H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイング ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイング ボルト ピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
ナット 受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
	t	mm	ナット受部の板厚
スイング ボルト ピン受部	σ	N/mm ²	引張応力度
	R_{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する 締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。評価対象部位を図3-1に示す。

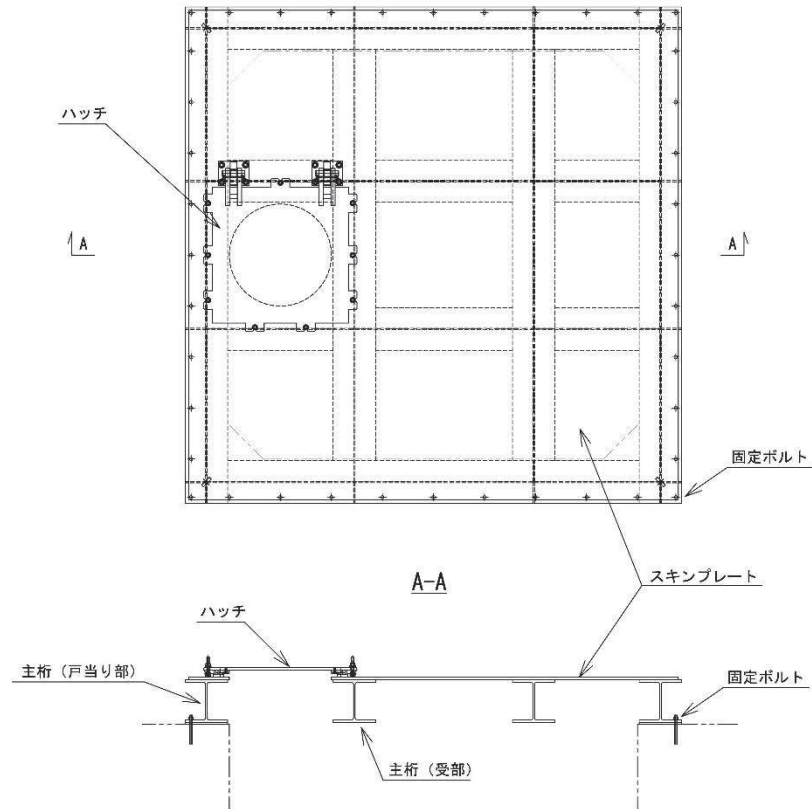
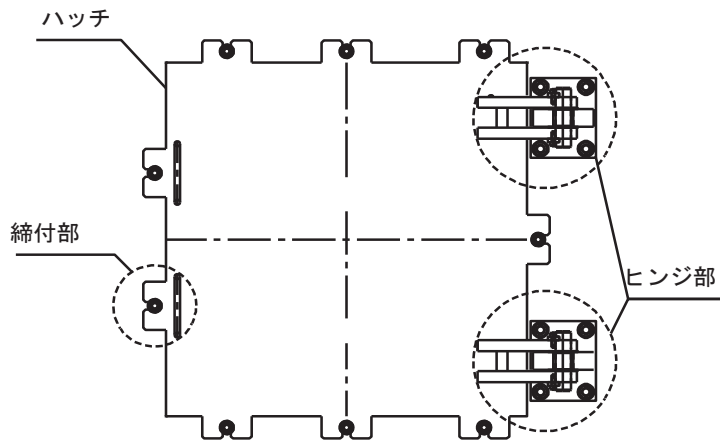
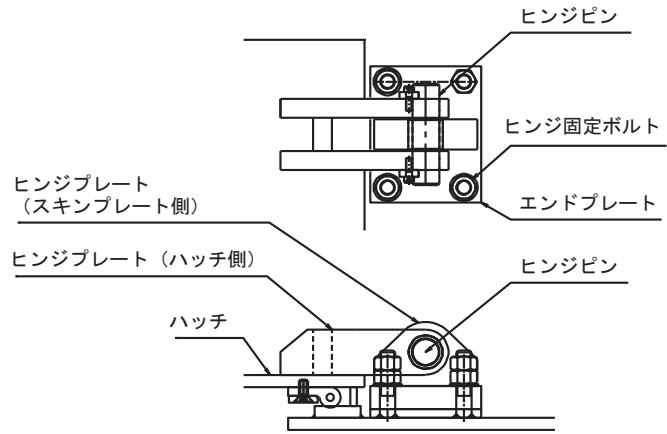


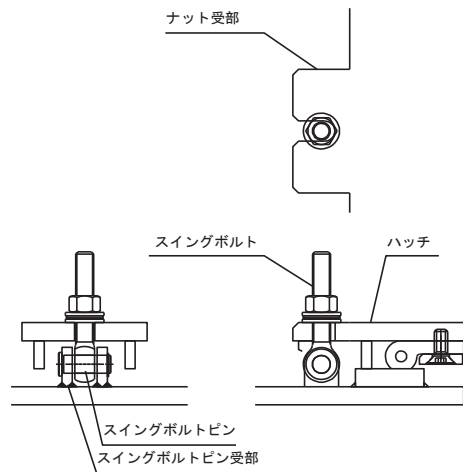
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに、固定ボルトを介し、浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端ピン支持に単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、主桁の全長とする。図4-1に解析モデル図を示す。

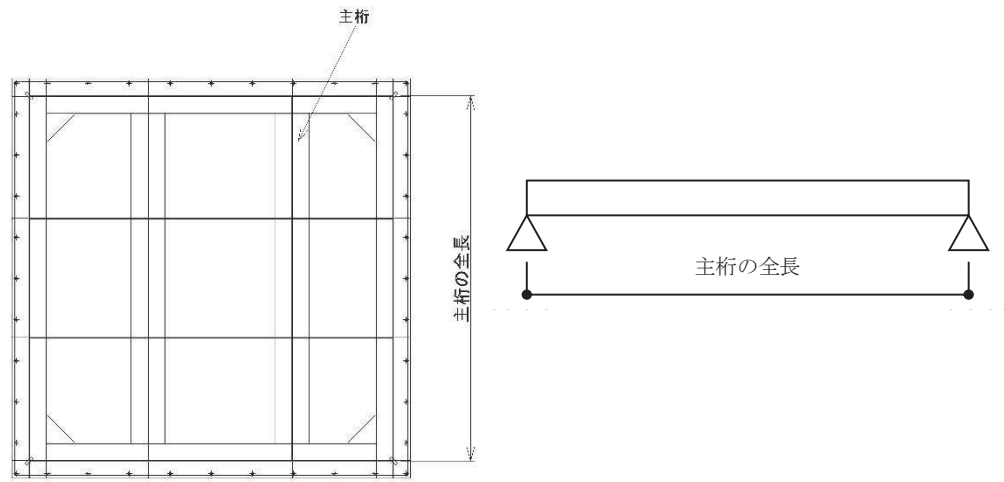


図4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はりの長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	主桁の断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f について「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/mm)
2670	2.05 × 10 ⁵	3.65 × 10 ⁷	7.18 × 10 ⁻²

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

固有振動数 (Hz)	71.13
---------------	-------

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、
 G : 固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : 固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート，主桁

鋼材の許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表 5-2 の値とする。

表 5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-3 に示す。

なお，固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
SM490Y	37.7	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-4 の値とする。

表 5-4 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数は 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S _s の設計震度	
		水平方向 k _H	鉛直方向 k _V
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	O.P. 14.0	4.92	2.15

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。主桁については、スキンプレートからの荷重を主で負担する主桁（受部）と固定ボルトで躯体と固定する主桁（戸当り部）の評価を実施する。主桁（受部）の評価は、評価上最も厳しい条件となる断面で実施する。主桁（戸当り部）については、スキンプレートに上向きの荷重が作用した際に主桁と固定ボルト間に発生する偏心荷重に対する下フランジの評価を実施する。

図 5-1 に評価の対象とする主桁を示す。スキンプレートについては、評価上最も厳しい条件となる断面で評価を実施する。図 5-2 に評価の対象とするスキンプレートを示す。また、図 5-3 に固定ボルトの納まりを示す。

5.5.1 主桁

(1) 主桁（受部）

主桁（受部）の支持条件は両端をピン支持とし、図 5-1 に示すとおり、主桁（受部）が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(a) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、

S_s	: 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
G	: 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
P_s	: 積雪荷重 (kN)
k_v	: 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、

$W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
G	: 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
S_s	: 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
P_s	: 積雪荷重 (kN)
L_1	: 主桁（受部）の負担幅 (mm)
A	: 浸水防止蓋の面積 (m ²)

(c) 主桁（受部）に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 主桁（受部）に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁（受部）に作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁（受部）のせん断断面積 (mm²)

ここで, $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁（受部）に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁（受部）全長 (mm)

(d) 主桁（受部）に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 主桁（受部）に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁（受部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

ここで, $M = 1/8 \cdot W_{s s'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

M : 主桁（受部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁（受部）全長 (mm)

(e) 主桁（受部）に作用する組合せ応力度

主桁（受部）に作用する曲げ応力度, せん断応力度を算定し, 主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また, 主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(2) 主桁（戸当り部）下フランジ

図 5-1 に示すとおり，スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁（戸当り部）と固定ボルトの偏心荷重による主桁（戸当り部）下フランジに対して，支持条件を片持ち梁として評価を実施する。

(a) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで， S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)
 Z : 主桁（戸当り部）下フランジの断面係数 (mm³)

$$\text{ここで, } M = T_d \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$$

$$Z = (B \cdot t_b) / 6$$

T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 L_3 : 固定ボルト中心位置から主桁（戸当り部）中心位置までの距離 (mm)
 B : 主桁（戸当り部）下フランジの有効幅 (mm)
 t_b : 主桁（戸当り部）下フランジの厚さ (mm)

(c) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 Q : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断力 (kN)
 A_s : 主桁（戸当り部）下フランジのせん断断面積 (mm²)

$$\text{ここで, } Q = T_d$$

T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

(d) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する組合せ応力度

主桁（戸当り部）下フランジに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、
 x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

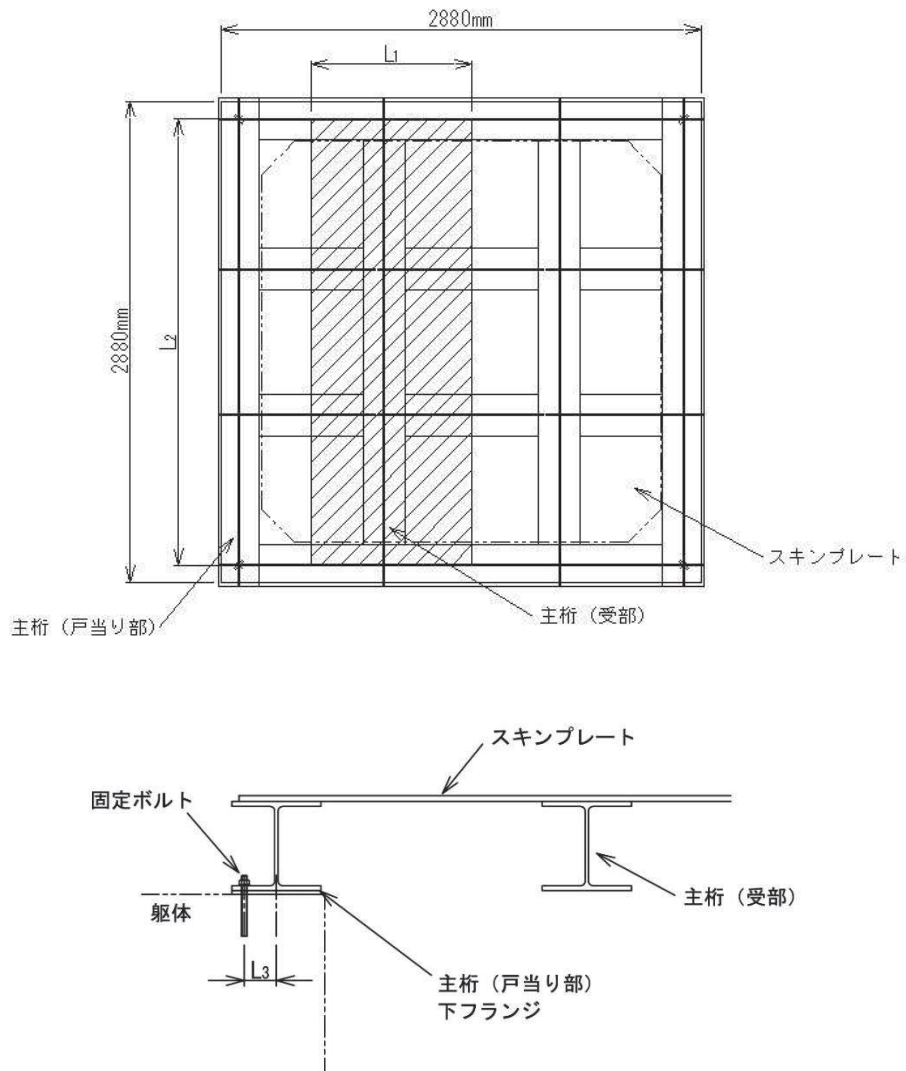


図 5-1 評価の対象とする主桁

5.5.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-2 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力及びせん断応力は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_5^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_5 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_4 \cdot L_5 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_4 + L_5) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_4 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - L_5 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

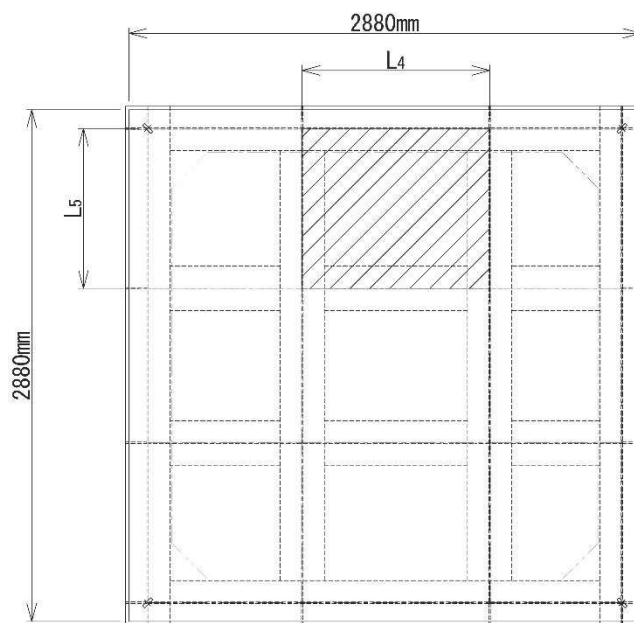


図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

5.5.3 固定ボルト

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = S_s / N$$

ここで、 T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = S_s / N$$

ここで、 q : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

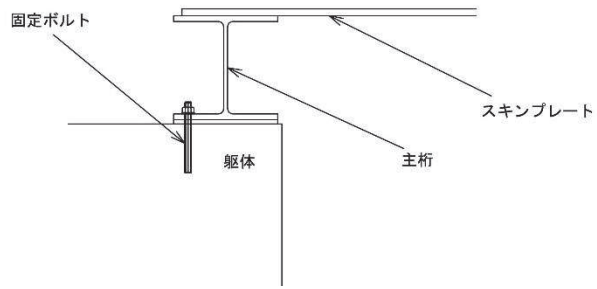
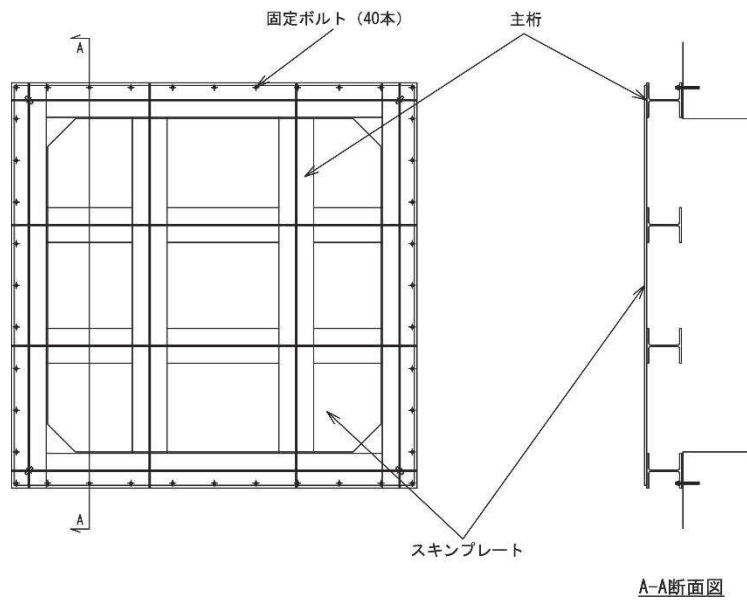


図 5-3 固定ボルトの納まり

5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-4に、荷重算定式を図5-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については，スイングボルト，スイングボルトピン，ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

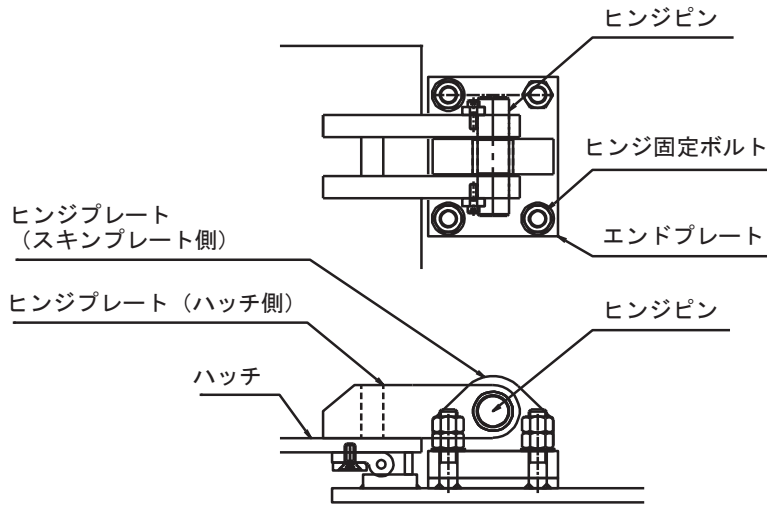


図5-4 (1) ヒンジ部の構造概要

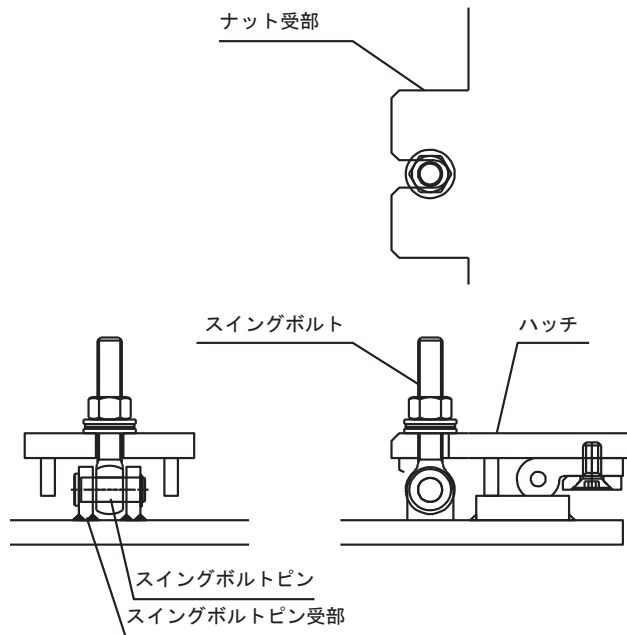
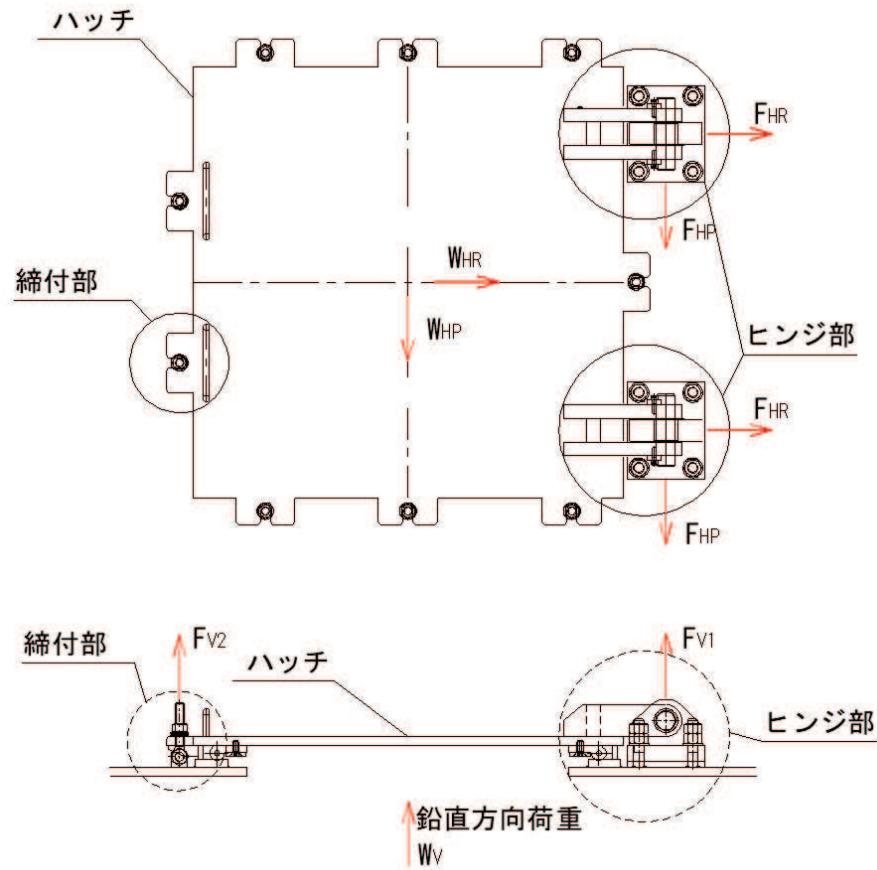


図5-4 (2) 締付部の構造概要



$$\begin{aligned}
 W_{HR} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_{HP} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_V &= (G + P_s) \\
 &\quad + (G + P_s) \cdot k_V \\
 F_{HR} &= \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R \\
 F_{HP} &= \alpha_2 \cdot W_{HP} \\
 F_{V1} &= \alpha_3 \cdot W_V \\
 F_{V2} &= \beta \cdot W_V
 \end{aligned}$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
- k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{V2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

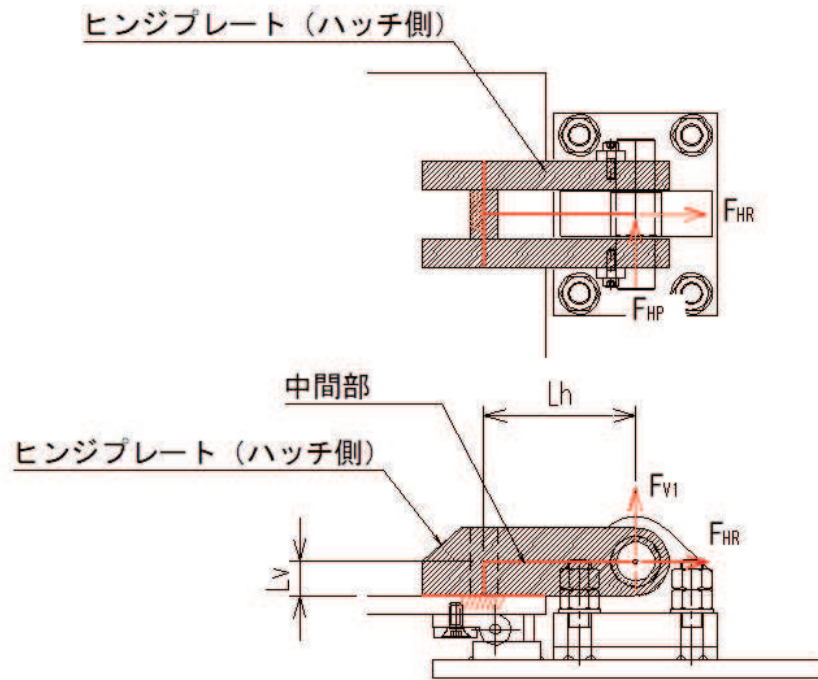
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。



ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

ここで、

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

τ_v : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

x : 合成応力度 (N/mm²)

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

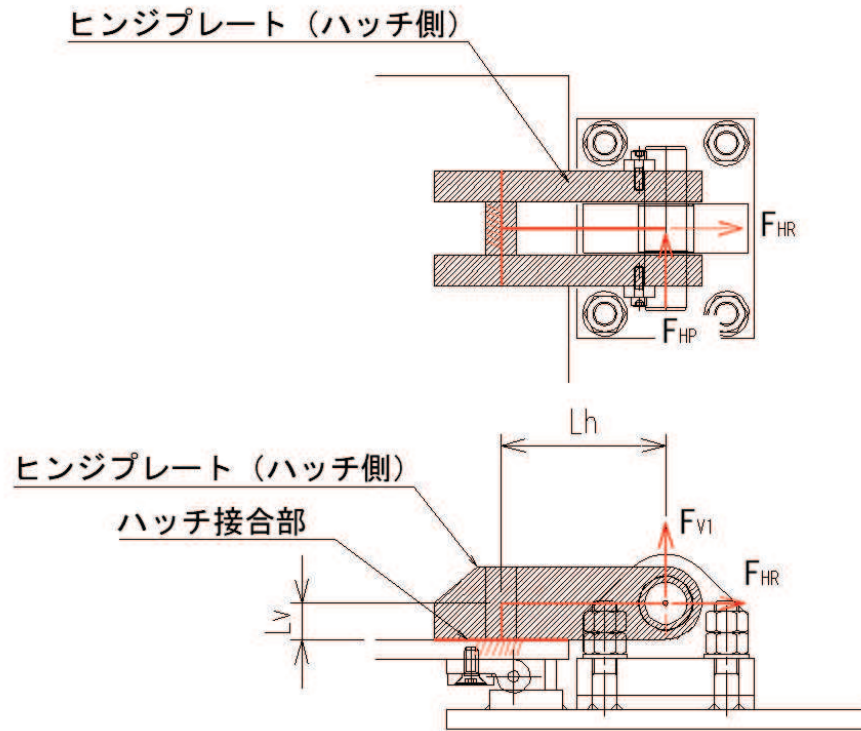
Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

A_1 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部) (mm²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図 5-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

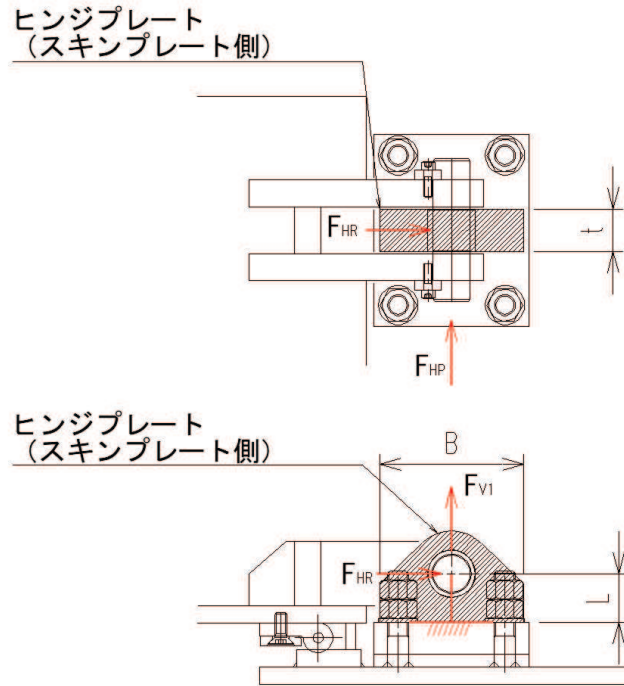
$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$	ここで、	
$\sigma_N = F_{V1} / A_2$	σ_N	: 軸方向引張応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$	σ_{bR}	: 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$	σ_{bP}	: 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$	σ_{bV1}	: 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$	τ_R	: 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_R = F_{HR} / A$	τ_P	: 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_P = F_{HP} / A$	τ_{PX}	: 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$	x	: 合成応力度 (N/mm ²)
	F_{V1}	: ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
	F_{HR}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
	F_{HP}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
	L_h	: ヒンジ支点間水平距離 (mm)
	L_v	: ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
	Z_3	: 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm ³)
	Z_4	: 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm ³)
	Z_p	: 極断面係数 (mm ³)
	A_2	: ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接合部) (mm ²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図5-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート (スキンプレート側) の断面積 (mm²)

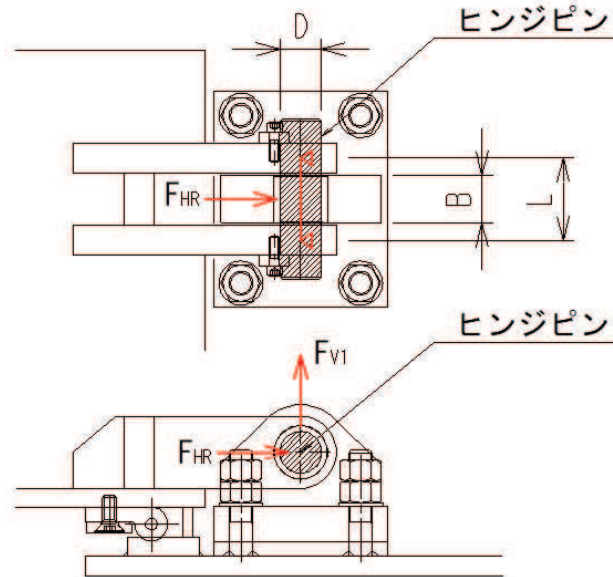
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ支点間距離 (mm)

B : 荷重の載荷長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

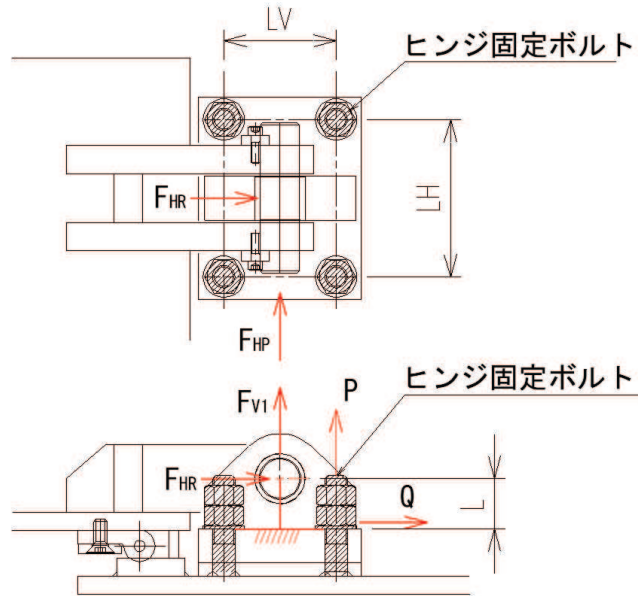
A : ヒンジピンの断面積 (mm²)

D : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図 5-9 に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

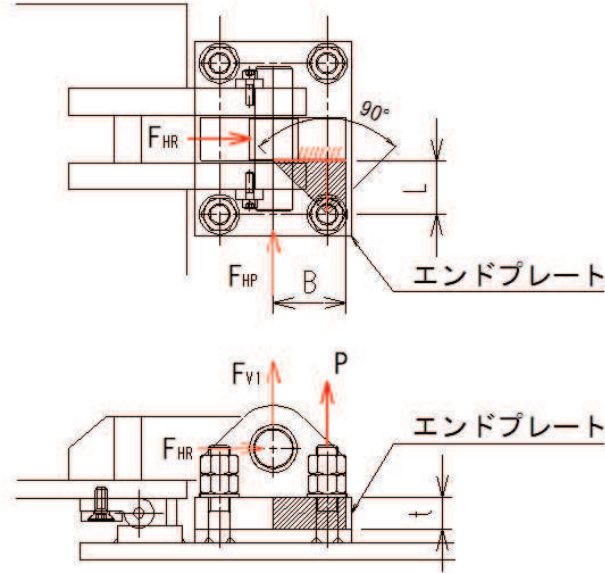
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図 5-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)

L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

t : エンドプレートの板厚 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

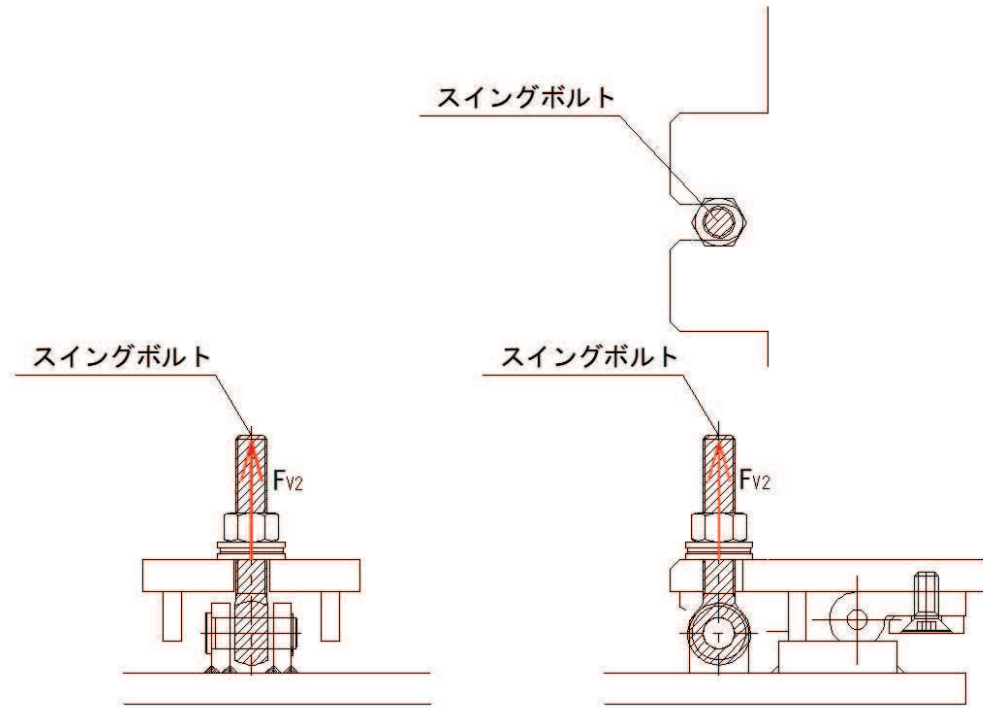
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す。



$$\sigma = F_{v2} / A$$

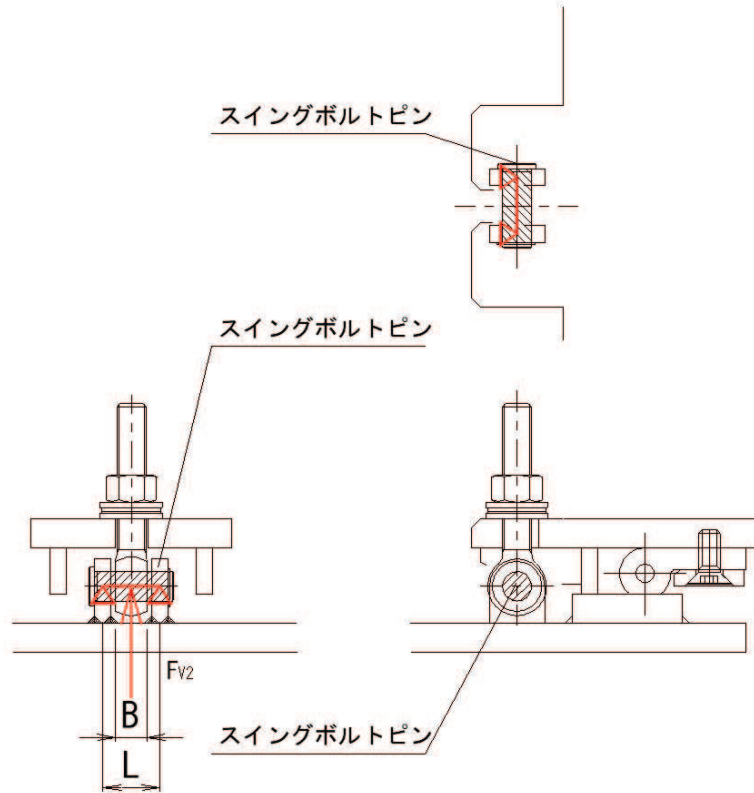
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図5-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

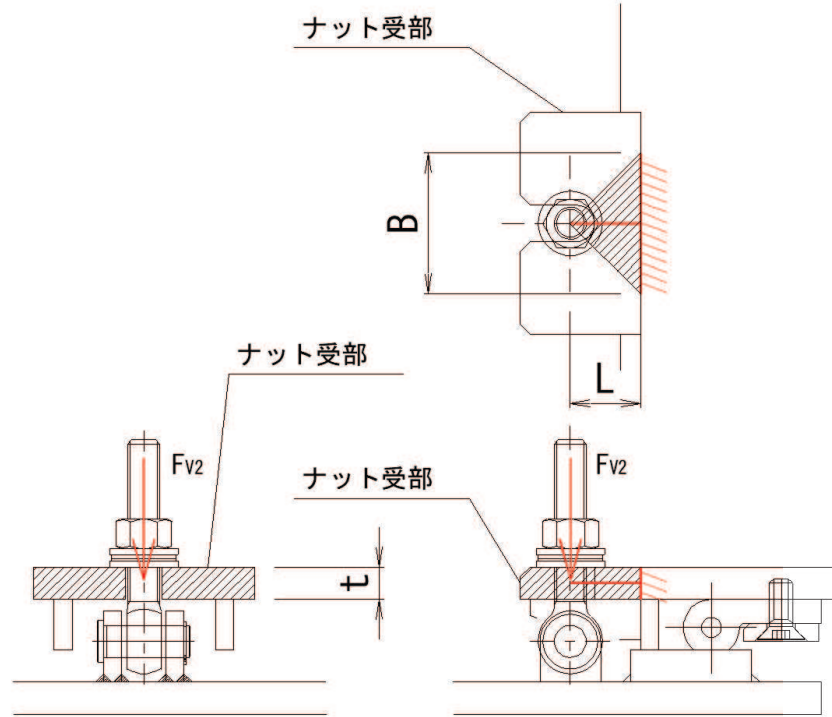
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 5-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : 腕長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

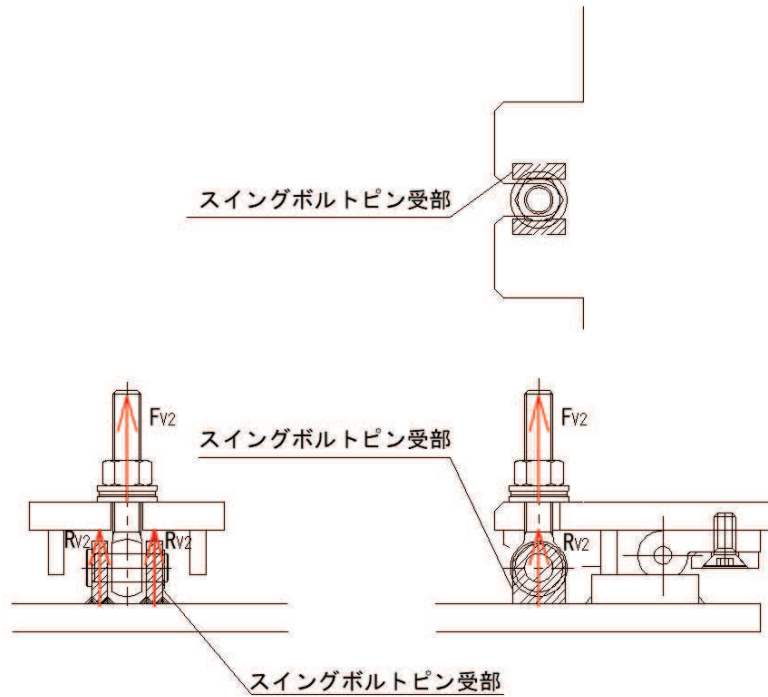
A : ナット受部の有効断面積 (mm²)

t : ナット受部の板厚 (mm)

図5-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す。



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 5-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁 (受部)	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	25.85
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	8.29
	L ₁	mm	主桁 (受部) の負担幅	963
	L ₂	mm	主桁 (受部) 全長	2670
	A _s	mm ²	主桁 (受部) のせん断断面積	1998
	Z	mm ³	主桁 (受部) の断面係数	8.46×10 ⁵
主桁 (戸当り部) 下フランジ	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	25.85
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	L ₃	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心位置までの距離	90
	B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅 (mm)	171
	t _b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ	14
スキン プレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	12.22
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	8.29
	L ₄	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	1055
	L ₅	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	900
	β ₂	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
固定 ボルト	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	25.85
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	40

表 5-6 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積	3500
A_2	mm ²	断面積	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.42
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

表 5-6 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	4.22
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	1.73
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁 (受け部)	曲げ	11	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	7	N/mm ²	188	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	17	N/mm ²	325	N/mm ²	0.06 < 1.0
主桁 (戸当り部) 下フランジ	曲げ	180	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	181	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
スキンプレート	曲げ	8	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	9	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
固定ボルト	引張	1.6	kN	37.7	kN	0.05 < 1.0
	せん断	3.5	kN	32.9	kN	0.11 < 1.0
	組合せ	—		—		0.02 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	7	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	5	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	12	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	153	N/mm ²	0.07 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
エンドプレート	曲げ	11	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	11	N/mm ²	291	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03 < 1.0

表 6-1 (3) 浸防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	23	N/mm ²	265	N/mm ²	0.09 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	24	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	28	N/mm ²	153	N/mm ²	0.19 < 1.0
	組合せ	50	N/mm ²	291	N/mm ²	0.18 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	21	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	23	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	33	N/mm ²	265	N/mm ²	0.13 < 1.0
	せん断	7	N/mm ²	153	N/mm ²	0.05 < 1.0
	組合せ	35	N/mm ²	291	N/mm ²	0.13 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	26	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	20	N/mm ²	153	N/mm ²	0.14 < 1.0
	組合せ	43	N/mm ²	291	N/mm ²	0.15 < 1.0
エンドプレート	曲げ	25	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	25	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03 < 1.0

VI-2-10-2-8-2 浸水防止蓋
(揚水井戸(第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内))の
耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	11
4.	固有値解析	13
4.1	固有振動数の計算方法	13
4.2	固有振動数の計算条件	14
4.3	固有振動数の計算結果	14
5.	構造強度評価	15
5.1	構造強度評価方法	15
5.2	荷重及び荷重の組合せ	15
5.3	許容限界	16
5.4	設計用地震力	18
5.5	評価方法	19
5.6	評価条件	39
6.	評価結果	44

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下、「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備として S クラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は，揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

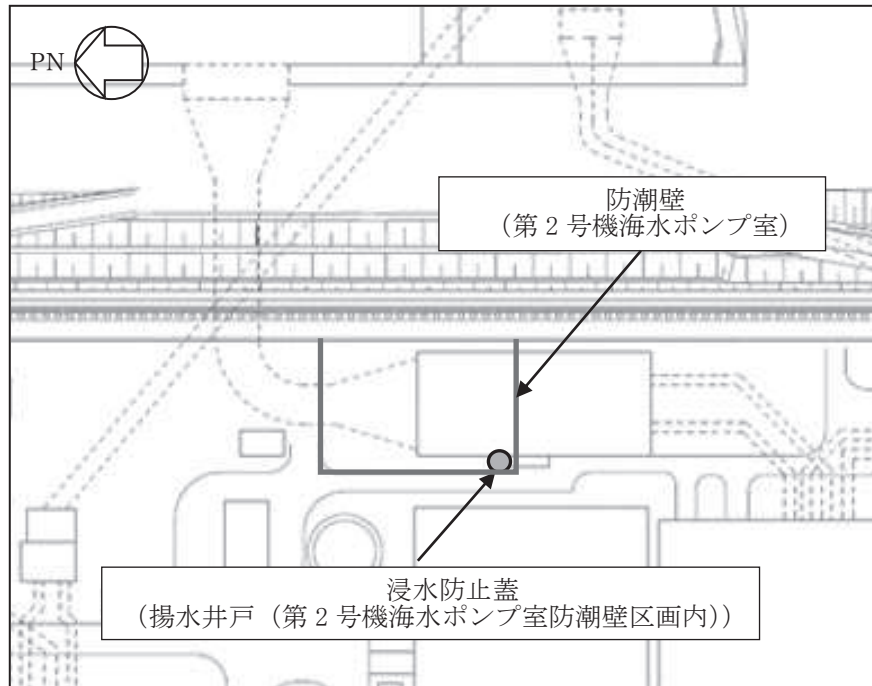


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキムプレートに主桁（H型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。耐震評価フローを図2-2に示す。

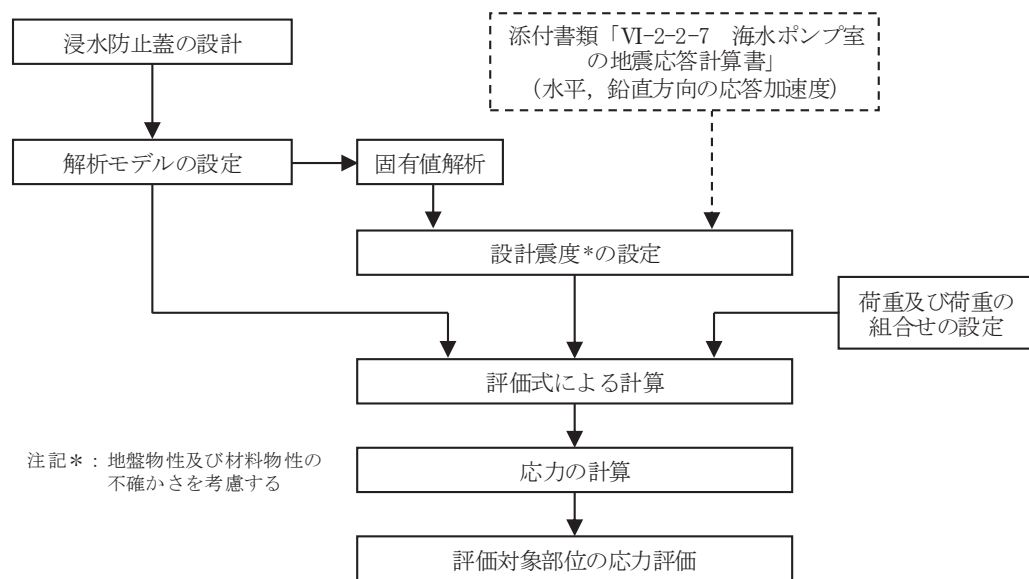


図2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	せん断断面積
Z	mm ²	断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心までの距離
L_4	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_5	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅
t_b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ
β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
T_d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
	k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
	G	kN	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{V1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm^2	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm^2	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm^2	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm^2	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm^2	鉛直方向のせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	σ	N/mm^2	合成応力度
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離
	Z_1	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_3	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_p	mm^3	極断面係数
A	mm^2	断面積	
A_1	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部)	
A_2	mm^2	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接続部)	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	F	kN	ヒンジピンにはたらく合成荷重
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q_R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q_P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L_V	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L_H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイング ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイング ボルト ピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
ナット 受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
	t	mm	ナット受部の板厚
スイング ボルト ピン受部	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する 締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。評価対象部位を図3-1に示す。

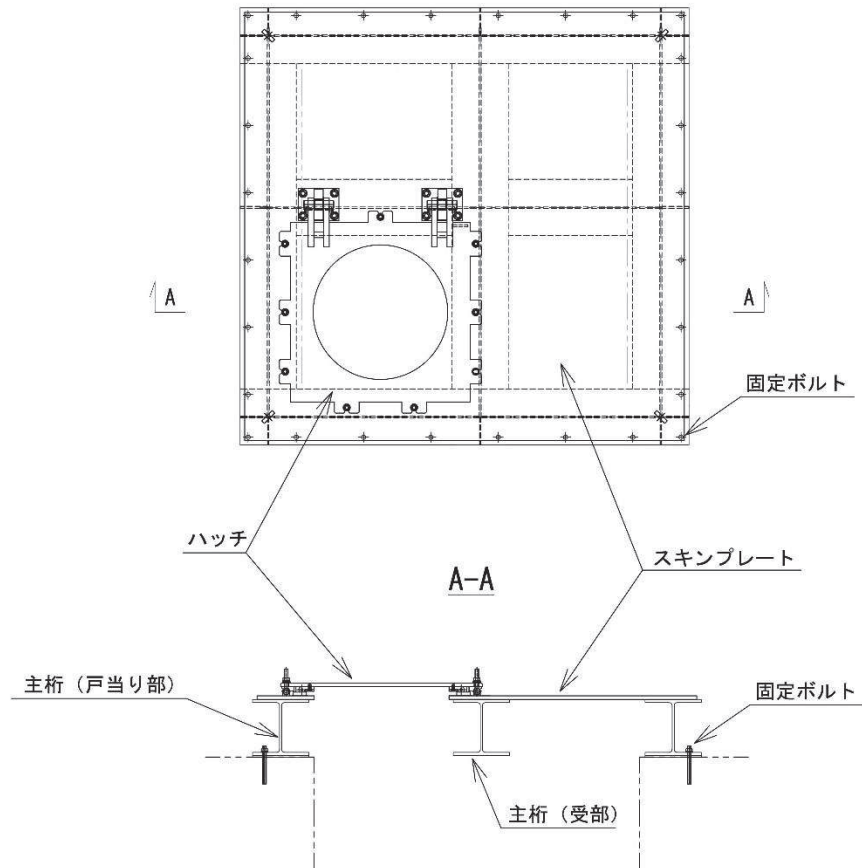
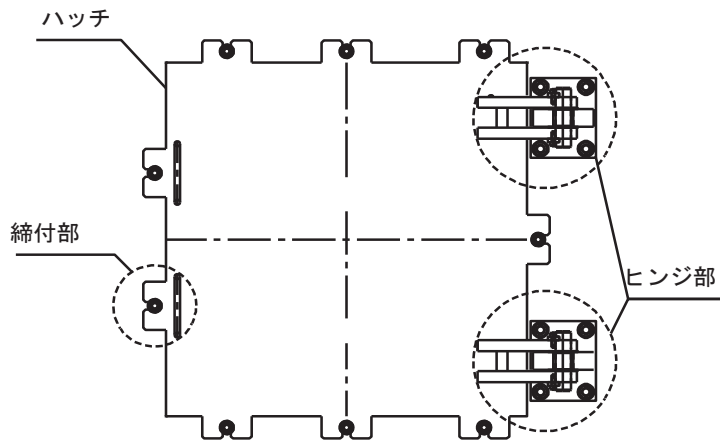
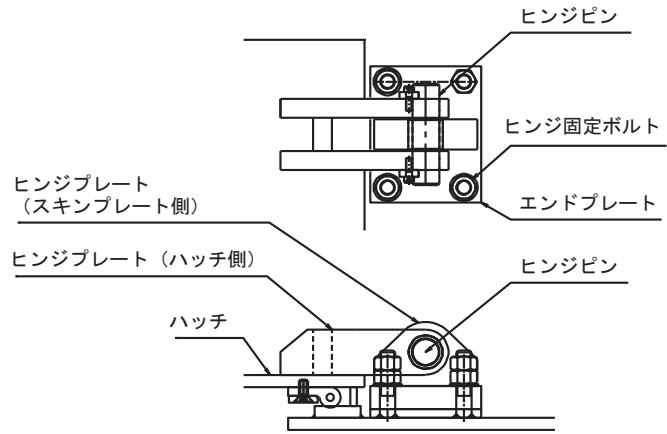


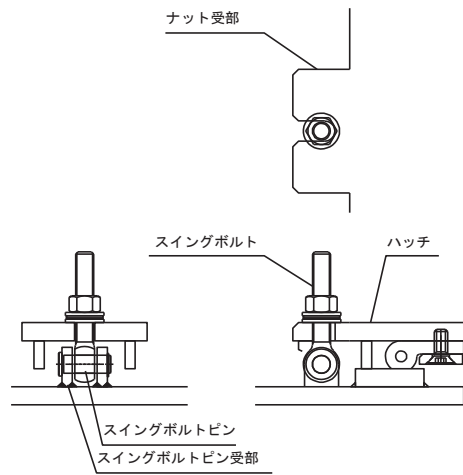
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに、固定ボルトを介し、浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端ピン支持に単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、主桁の全長とする。図4-1に解析モデル図を示す。

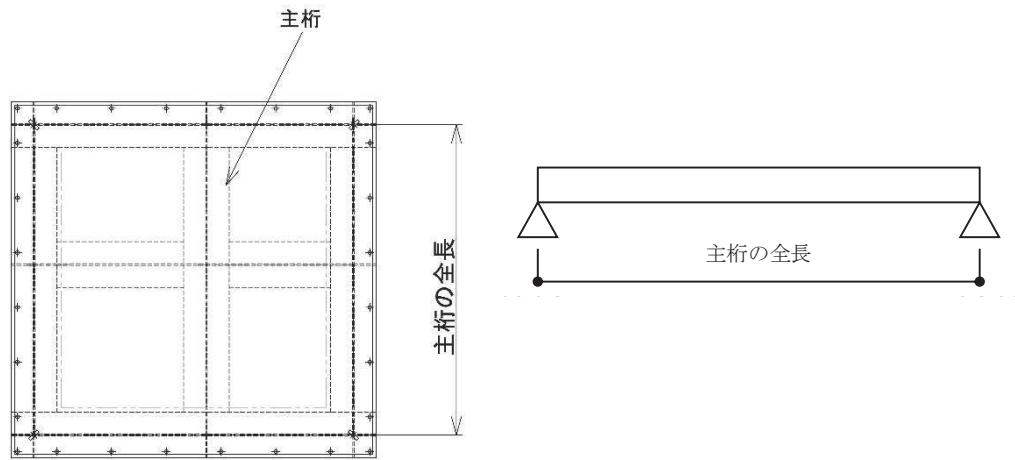


図4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はりの長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	主桁の断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f について「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/mm)
1700	2.05 × 10 ⁵	3.65 × 10 ⁷	7.18 × 10 ⁻²

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

固有振動数 (Hz)	175.46
---------------	--------

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、
 G : 固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

- ここで、
- S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 - G : 固定荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート，主桁

鋼材の許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」を踏まえて表 5-2 の値とする。

表 5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-3 に示す。

なお，固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
SM490Y	37.7	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-4 の値とする。

表 5-4 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数は 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S _s の設計震度	
		水平方向 k _H	鉛直方向 k _V
揚水井戸 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	4.92	2.15

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。主桁については、スキンプレートからの荷重を主で負担する主桁（受部）と固定ボルトで躯体と固定する主桁（戸当り部）の評価を実施する。主桁（受部）の評価は、評価上最も厳しい条件となる断面で実施する。主桁（戸当り部）については、スキンプレートに上向きの荷重が作用した際に主桁と固定ボルト間に発生する偏心荷重に対する下フランジの評価を実施する。図 5-1 に評価の対象とする主桁を示す。スキンプレートについては、評価上最も厳しい条件となる断面で評価を実施する。図 5-2 に評価の対象とするスキンプレートを示す。また、図 5-3 に固定ボルトの納まりを示す。

5.5.1 主桁

(1) 主桁（受部）

主桁（受部）の支持条件は両端をピン支持とし、図 5-1 に示すとおり、主桁（受部）が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(a) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
 G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 L_1 : 主桁（受部）の負担幅 (mm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(c) 主桁（受部）に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 主桁（受部）に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁（受部）に作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁（受部）のせん断断面積 (mm²)

ここで, $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁（受部）に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁（受部）全長 (mm)

(d) 主桁（受部）に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 主桁（受部）に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁（受部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

ここで, $M = 1/8 \cdot W_{s s'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

M : 主桁（受部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁（受部）全長 (mm)

(e) 主桁（受部）に作用する組合せ応力度

主桁（受部）に作用する曲げ応力度, せん断応力度を算定し, 主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また, 主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(2) 主桁（戸当り部）下フランジ

図 5-1 に示すとおり，スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁（戸当り部）と固定ボルトの偏心荷重による主桁（戸当り部）下フランジに対して，支持条件を片持ち梁として評価を実施する。

(a) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

- ここで，
- S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 - G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

- σ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
- M : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)
- Z : 主桁（戸当り部）下フランジの断面係数 (mm³)
- ここで， $M = T_d \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$
- $$Z = (B \cdot t_b) / 6$$
- T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 - L_3 : 固定ボルト中心位置から主桁（戸当り部）中心位置までの距離 (mm)
 - B : 主桁（戸当り部）下フランジの有効幅 (mm)
 - t_b : 主桁（戸当り部）下フランジの厚さ (mm)

(c) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

- τ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
- Q : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断力 (kN)
- A_s : 主桁（戸当り部）下フランジのせん断断面積 (mm²)
- ここで， $Q = T_d$
- T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

(d) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する組合せ応力度

主桁（戸当り部）下フランジに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、
 x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

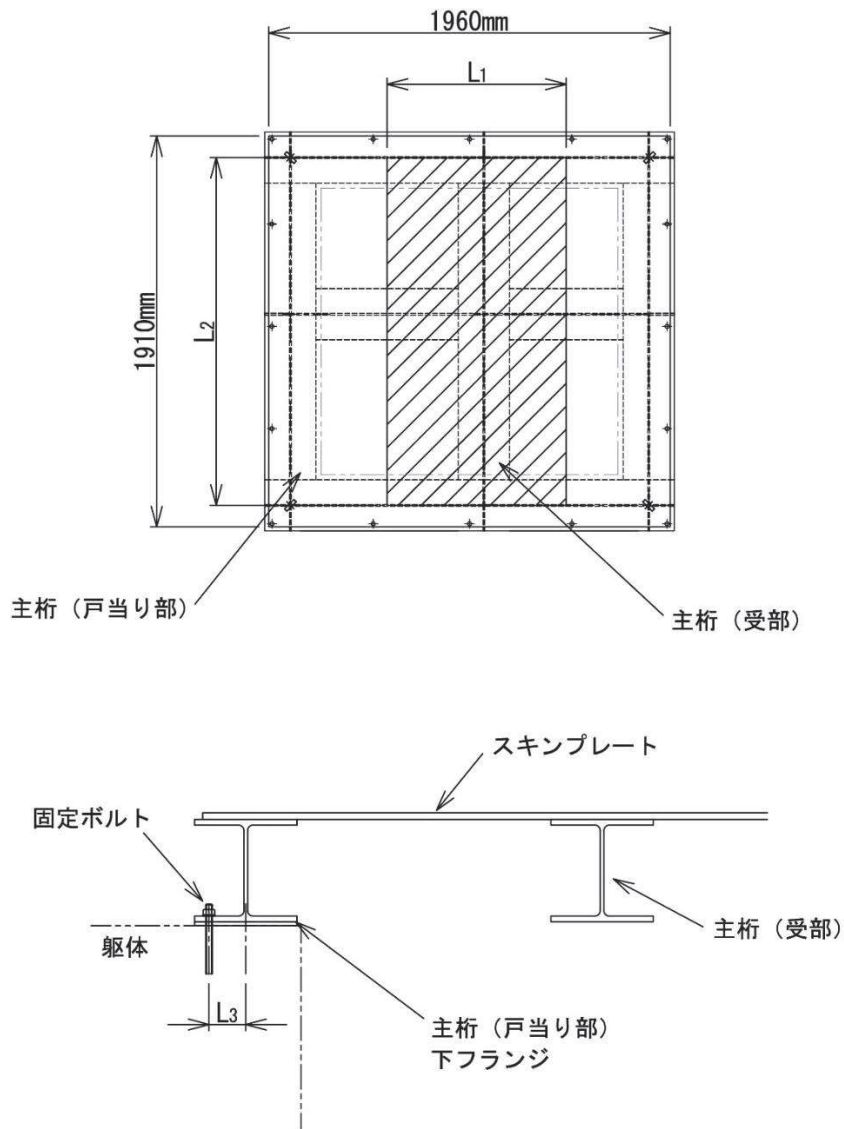


図 5-1 評価の対象とする主桁

5.5.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-2 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力及びせん断応力は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_5^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_5 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_4 \cdot L_5 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_4 + L_5) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_4 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - L_5 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

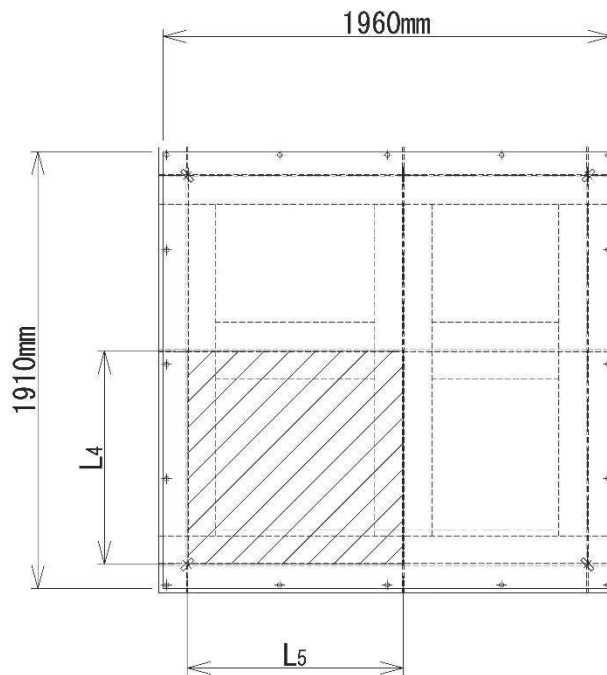


図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

5.5.3 固定ボルト

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = S_s / N$$

ここで、 T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = S_s / N$$

ここで、 q : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

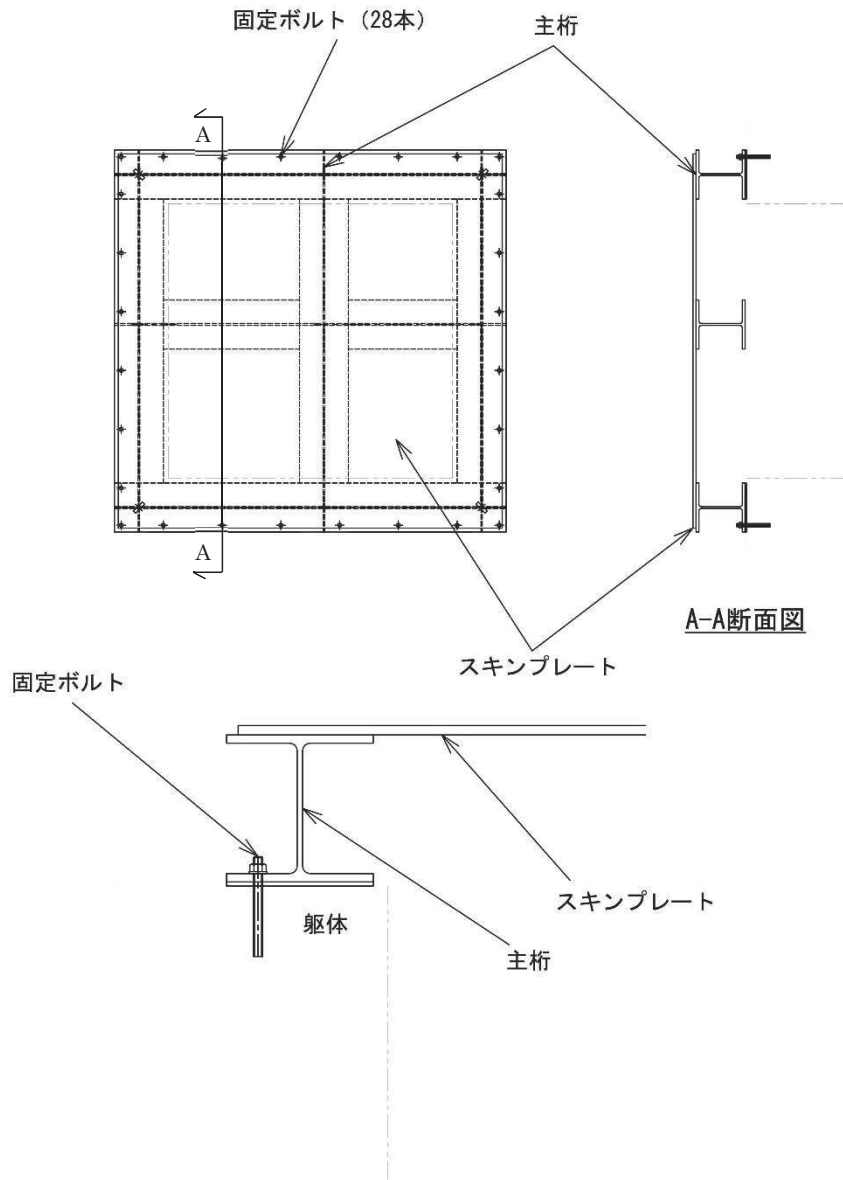


図5-3 固定ボルトの納まり

5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-4に、荷重算定式を図5-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については，スイングボルト，スイングボルトピン，ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

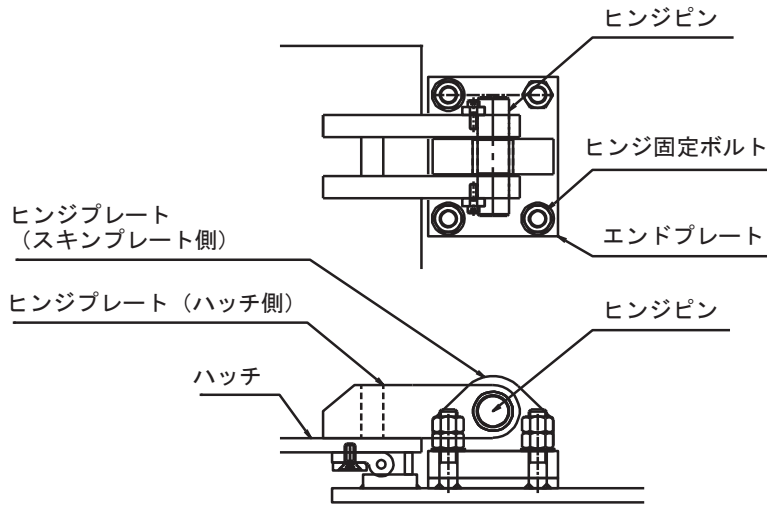


図5-4 (1) ヒンジ部の構造概要

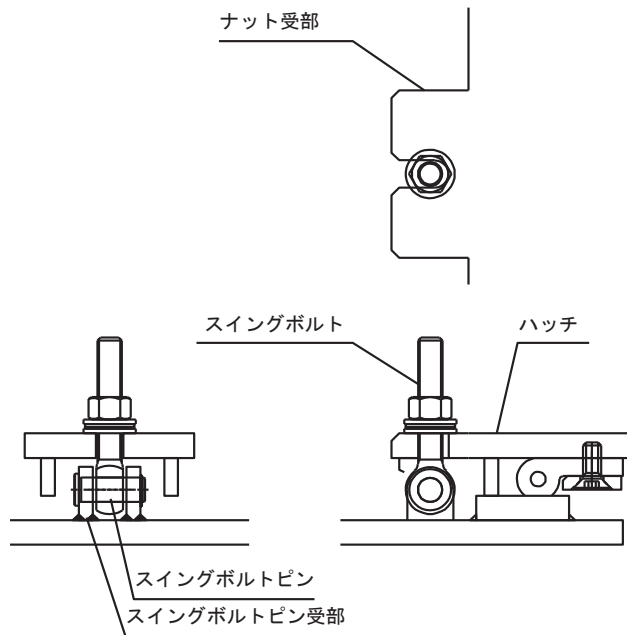
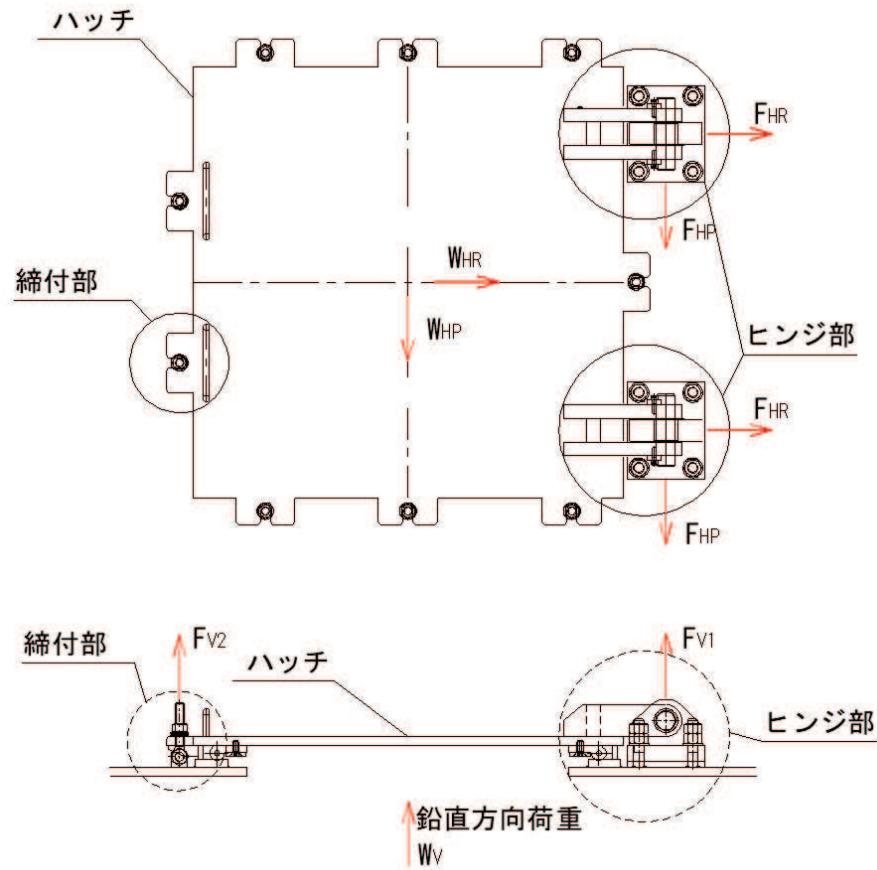


図5-4 (2) 締付部の構造概要



$$\begin{aligned}
 W_{HR} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_{HP} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_V &= (G + P_s) \\
 &\quad + (G + P_s) \cdot k_V \\
 F_{HR} &= \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R \\
 F_{HP} &= \alpha_2 \cdot W_{HP} \\
 F_{V1} &= \alpha_3 \cdot W_V \\
 F_{V2} &= \beta \cdot W_V
 \end{aligned}$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
- k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{V2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

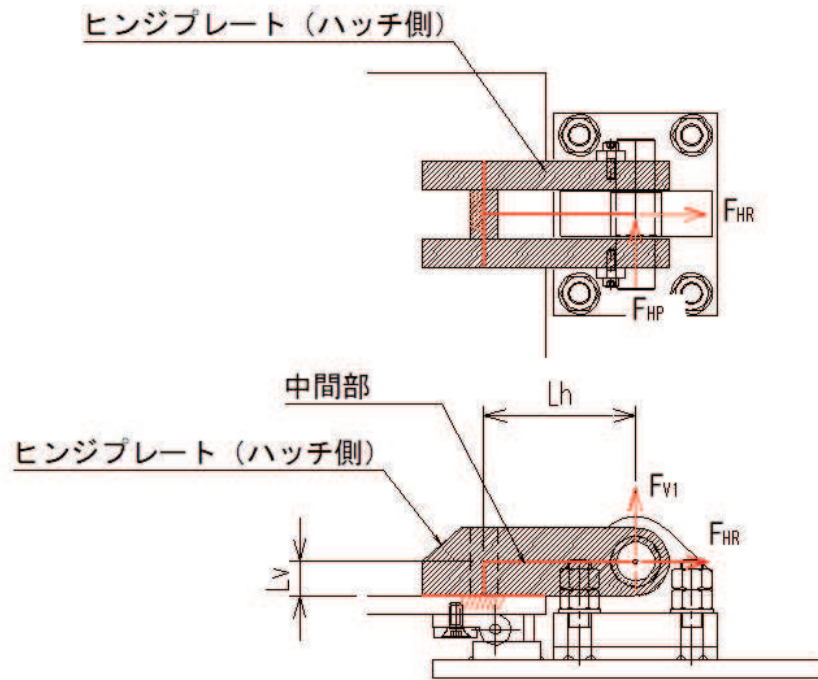
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。



ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

ここで、

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

τ_v : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

x : 合成応力度 (N/mm²)

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

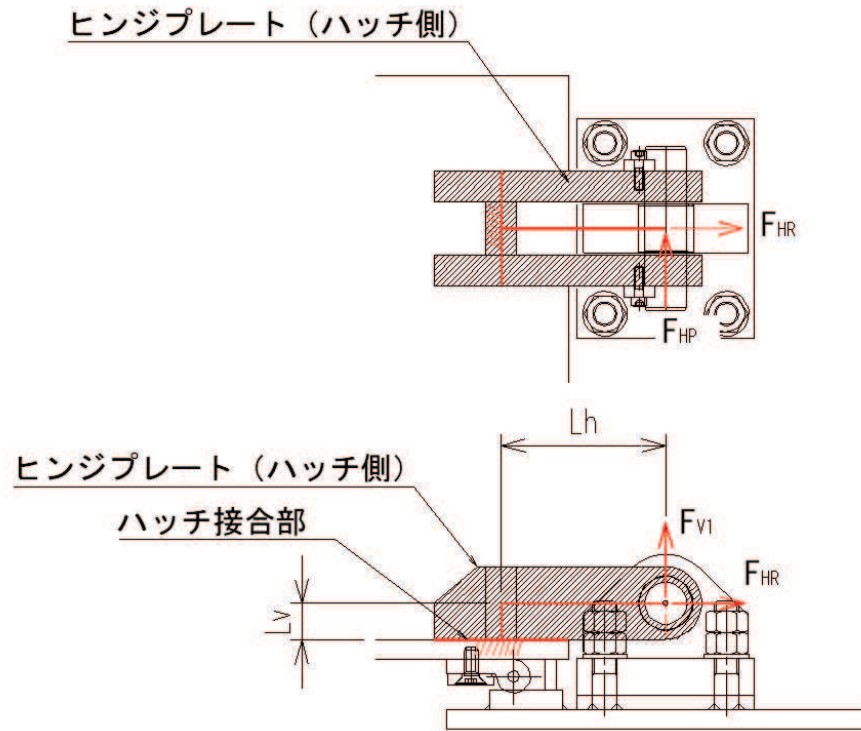
Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

A_1 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部) (mm²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図 5-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート（ハッチ側）ハッチ接合部

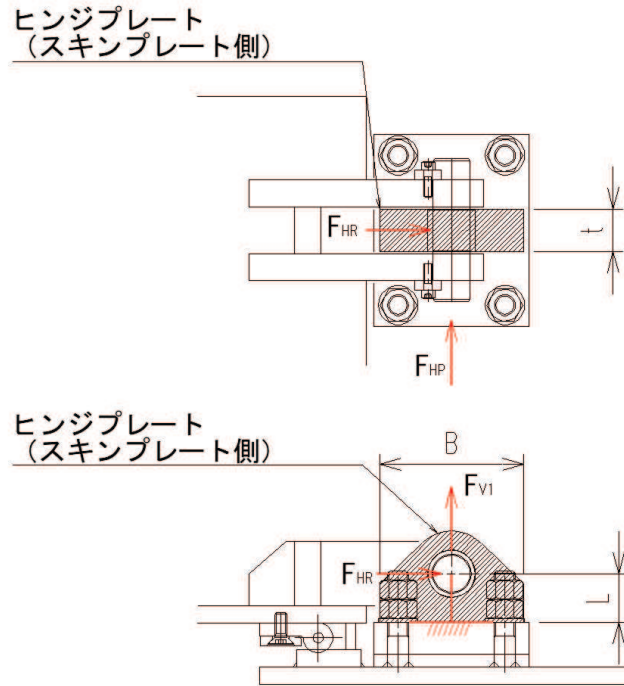
$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$	ここで、	
$\sigma_N = F_{V1} / A_2$	σ_N	: 軸方向引張応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$	σ_{bR}	: 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$	σ_{bP}	: 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$	σ_{bV1}	: 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm ²)
$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$	τ_R	: 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_R = F_{HR} / A$	τ_P	: 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_P = F_{HP} / A$	τ_{PX}	: 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm ²)
$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$	x	: 合成応力度 (N/mm ²)
	F_{V1}	: ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
	F_{HR}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
	F_{HP}	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
	L_h	: ヒンジ支点間水平距離 (mm)
	L_v	: ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
	Z_3	: 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm ³)
	Z_4	: 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm ³)
	Z_p	: 極断面係数 (mm ³)
	A_2	: ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接合部) (mm ²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図 5-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート (スキンプレート側) の断面積 (mm²)

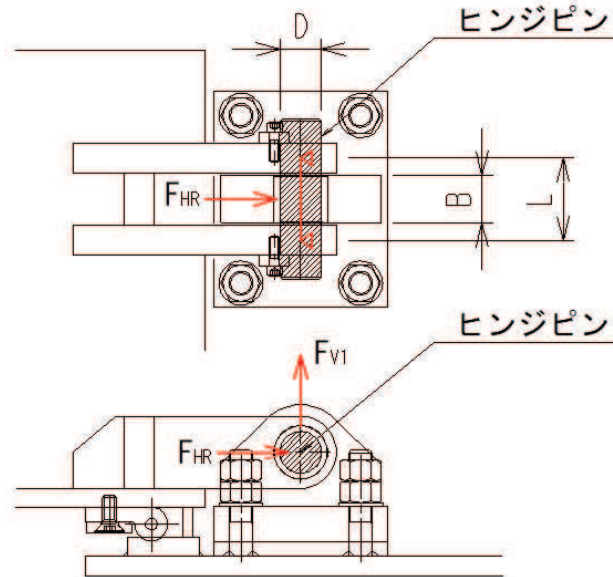
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ支点間距離 (mm)

B : 荷重の載荷長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

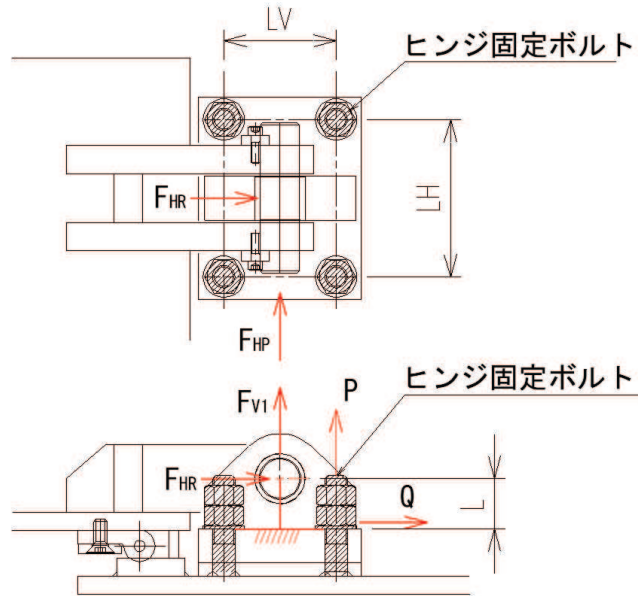
A : ヒンジピンの断面積 (mm²)

D : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図 5-9 に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

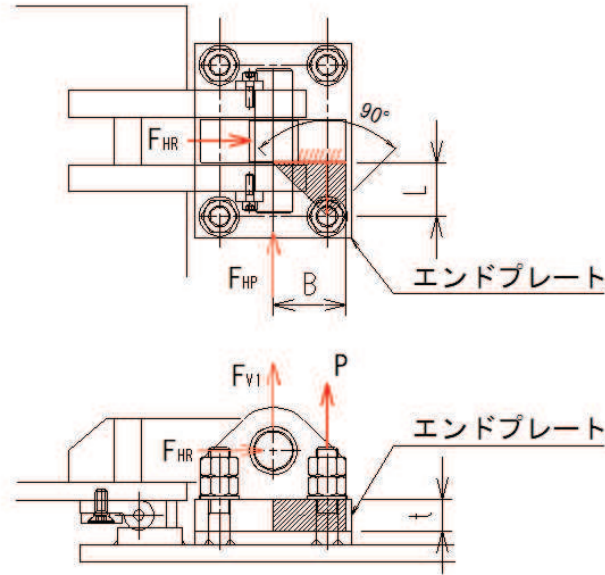
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図 5-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)

L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

t : エンドプレートの板厚 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

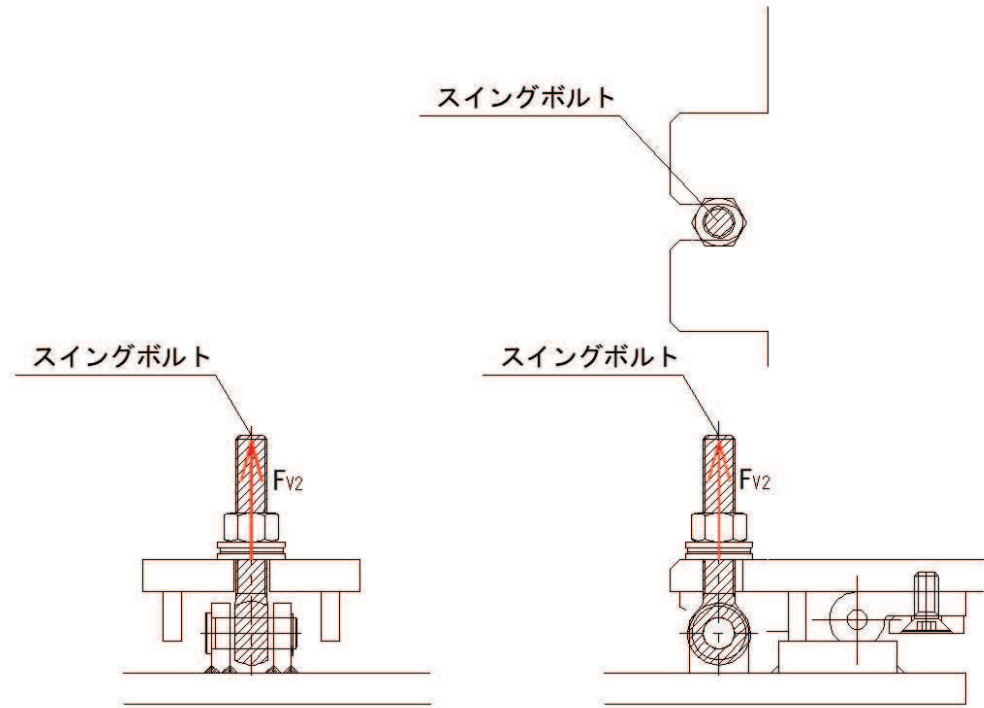
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す。



$$\sigma = F_{v2} / A$$

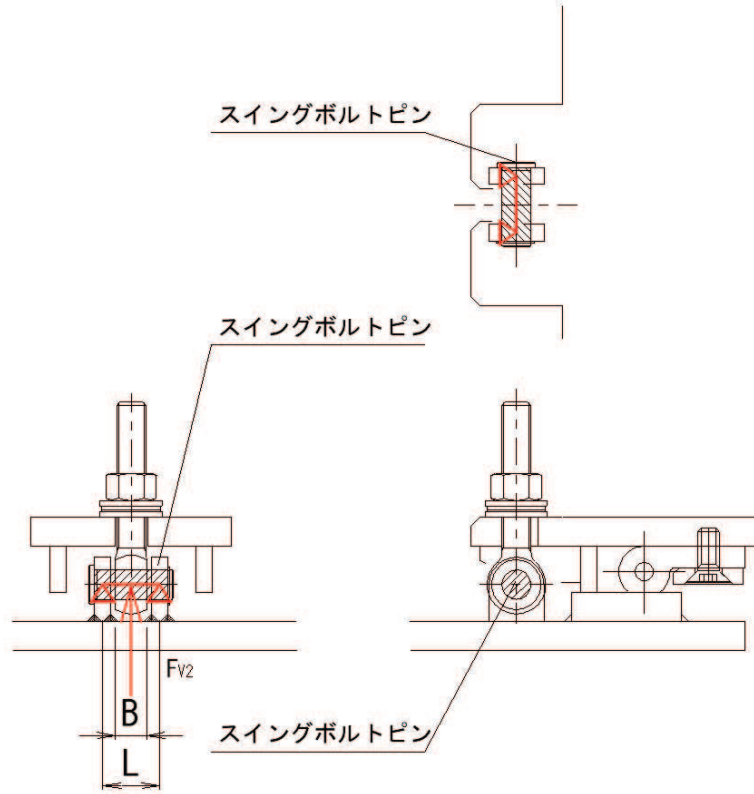
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図5-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

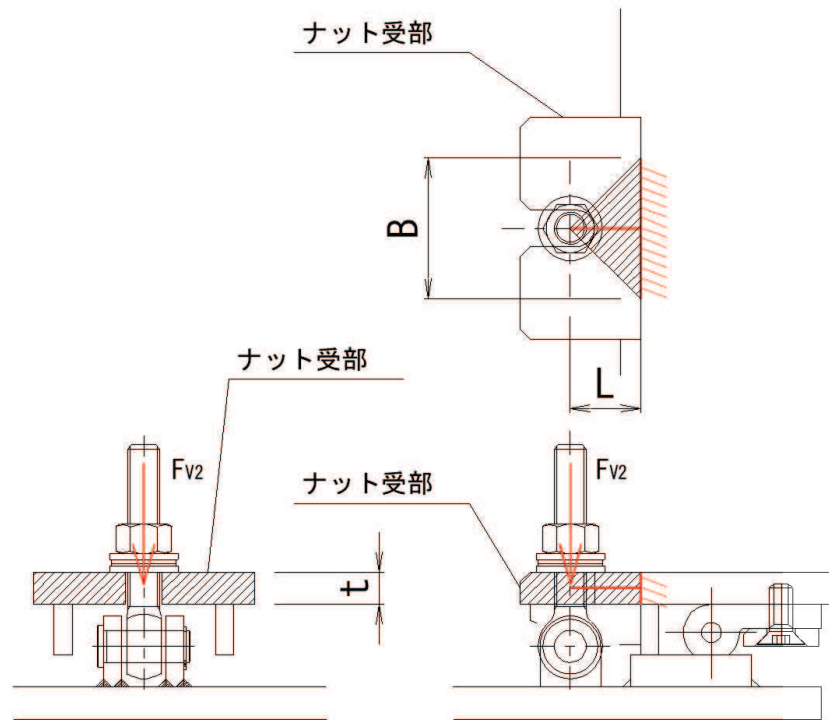
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 5-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : 腕長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

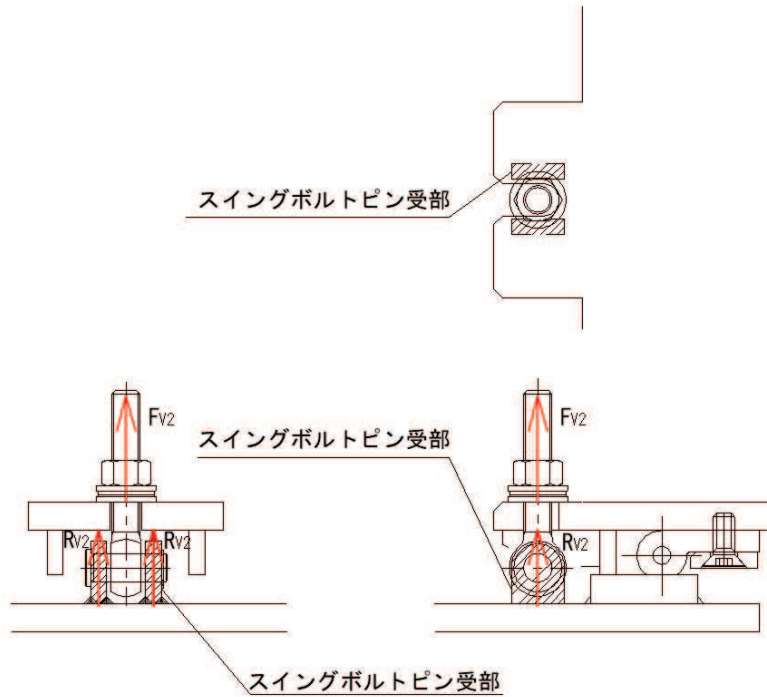
A : ナット受部の有効断面積 (mm²)

t : ナット受部の板厚 (mm)

図5-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す。



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 5-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁 (受部)	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.30
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	3.74
	L ₁	mm	主桁 (受部) の負担幅	875
	L ₂	mm	主桁 (受部) 全長	1700
	A _s	mm ²	主桁 (受部) のせん断断面積	1998
	Z	mm ³	主桁 (受部) の断面係数	8.46×10 ⁵
主桁 (戸当り部) 下フランジ	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.30
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	L ₃	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心位置までの距離	90
	B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅 (mm)	171
	t _b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ	14
スキン プレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	6.61
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	3.74
	L ₄	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	935
	L ₅	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	895
	β ₂	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
固定 ボルト	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.30
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	28

表 5-6 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積	3500
A_2	mm ²	断面積	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.42
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

表 5-6 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	4.22
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	1.73
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁 (受け部)	曲げ	5	N/mm ²	325	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	188	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
主桁 (戸当り部) 下フランジ	曲げ	180	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	181	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
スキンプレート	曲げ	9	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
固定ボルト	引張	1.2	kN	37.7	kN	0.04 < 1.0
	せん断	2.6	kN	32.9	kN	0.08 < 1.0
	組合せ	—		—		0.01 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	7	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	5	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	12	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	153	N/mm ²	0.07 < 1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
エンドプレート	曲げ	11	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	11	N/mm ²	291	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03 < 1.0

表 6-1 (3) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	23	N/mm ²	265	N/mm ²	0.09 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	24	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	28	N/mm ²	153	N/mm ²	0.19 < 1.0
	組合せ	50	N/mm ²	291	N/mm ²	0.18 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	21	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	23	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	33	N/mm ²	265	N/mm ²	0.13 < 1.0
	せん断	7	N/mm ²	153	N/mm ²	0.05 < 1.0
	組合せ	35	N/mm ²	291	N/mm ²	0.13 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	26	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	20	N/mm ²	153	N/mm ²	0.14 < 1.0
	組合せ	43	N/mm ²	291	N/mm ²	0.15 < 1.0
エンドプレート	曲げ	25	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	25	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03 < 1.0

VI-2-10-2-8-3 浸水防止蓋
(揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)) の
耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	11
4.	固有値解析	13
4.1	固有振動数の計算方法	13
4.2	固有振動数の計算条件	16
4.3	固有振動数の計算結果	16
5.	構造強度評価	17
5.1	構造強度評価方法	17
5.2	荷重及び荷重の組合せ	17
5.3	許容限界	18
5.4	設計用地震力	20
5.5	評価方法	21
5.6	評価条件	39
6.	評価結果	44
7.	揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価	47
7.1	概要	47
7.2	評価方針	48
7.3	適用基準	50
8.	地震応答解析	51
8.1	評価対象断面	51
8.2	評価方針	54
8.3	地盤の応答解析モデル	55
8.4	地盤応答	73
9.	耐震評価	74
9.1	評価方針	74
9.2	許容限界	74
9.3	評価方法	75
9.4	評価結果	77

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

あわせて、浸水防止蓋の間接支持構造物である揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を示す。

なお、浸水防止蓋及び揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

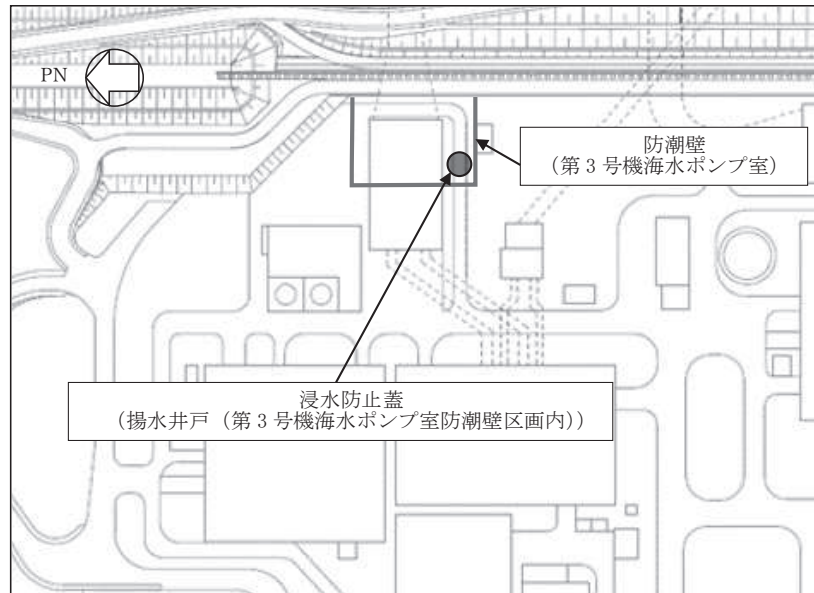


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、円形のスキンプレートに受桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。受桁は揚水井戸に溶接で固定する。	浸水防止蓋，受桁，ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数及び「8. 地震応答解析」から得られる加速度に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

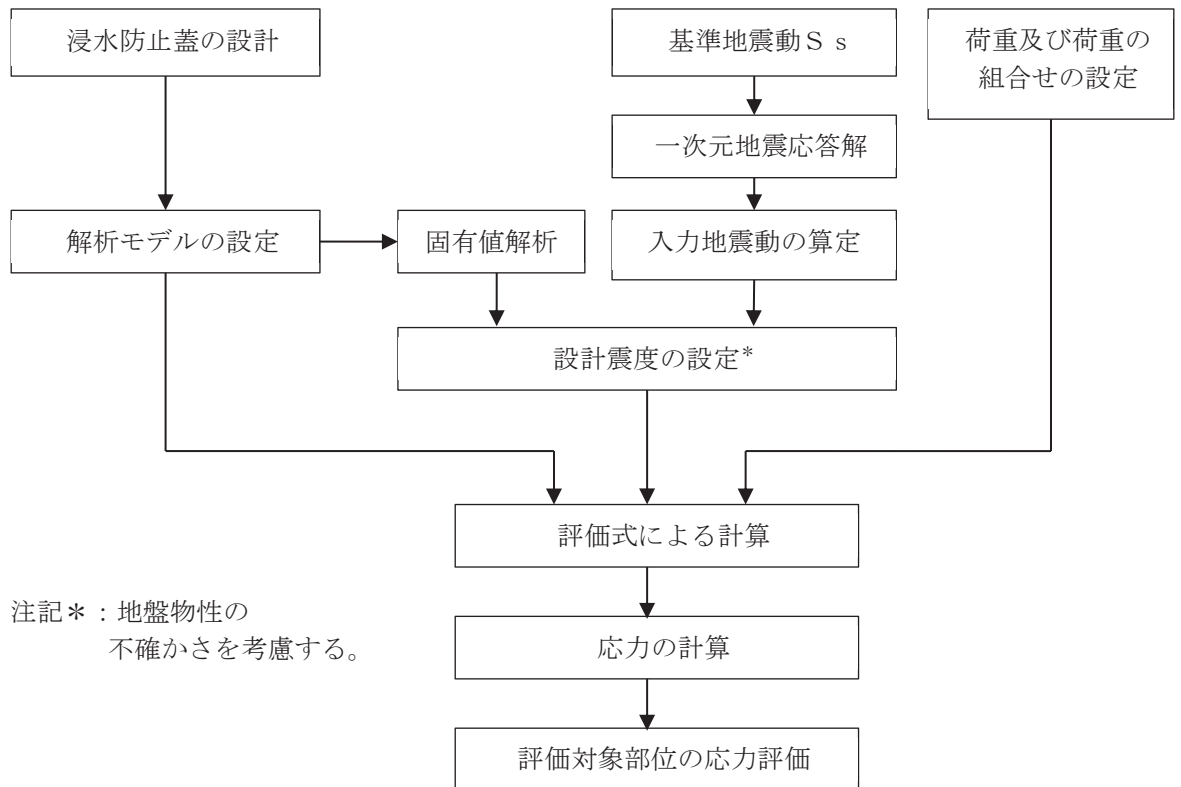


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (3) ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
k_v	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
L_1	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
L_2	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_3	mm	受桁の負担幅
L_4	mm	受桁全長
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
A'	mm ²	固定ボルトの有効断面積
σ_t	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
τ_s	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
	k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
	G	kN	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm ²	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm ²	鉛直方向のせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	σ	N/mm ²	合成応力度
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_p	mm ³	極断面係数
	A	mm ²	断面積
A_1	mm ²	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部)	
A_2	mm ²	ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接続部)	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	F	kN	ヒンジピンにはたらく合成荷重
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q_R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q_P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L_V	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L_H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
	t	mm	エンドプレートの板厚

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイング ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイング ボルト ピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
ナット 受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
	t	mm	ナット受部の板厚
スイング ボルト ピン受部	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する 締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力がスキンプレートに伝わり、受桁及び固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、受桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。評価対象部位を図3-1に示す。

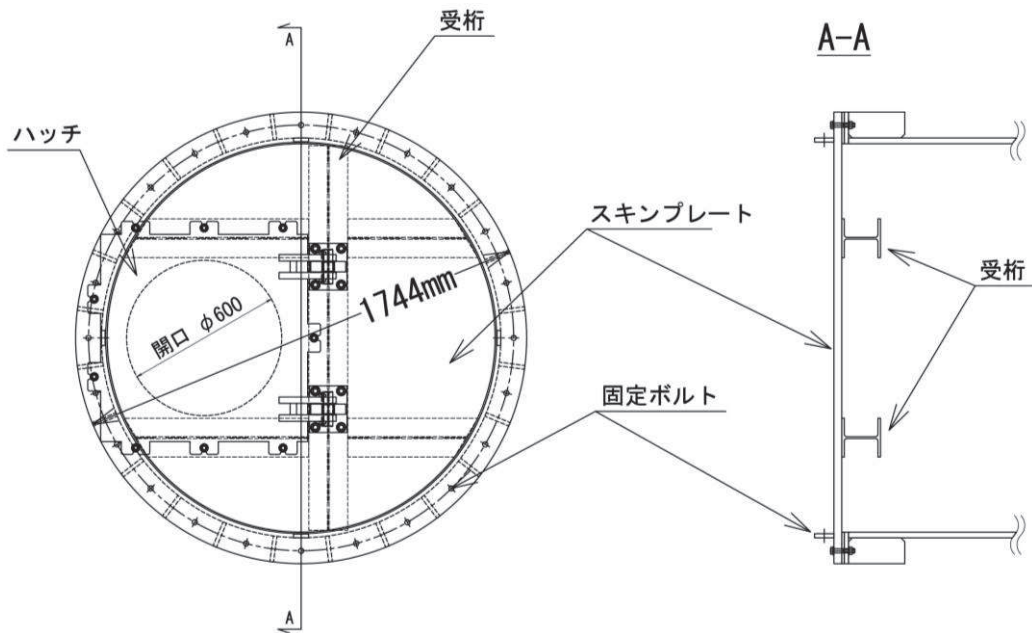
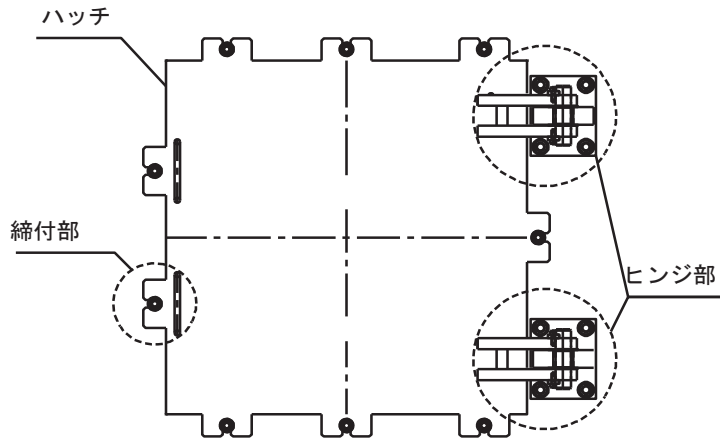
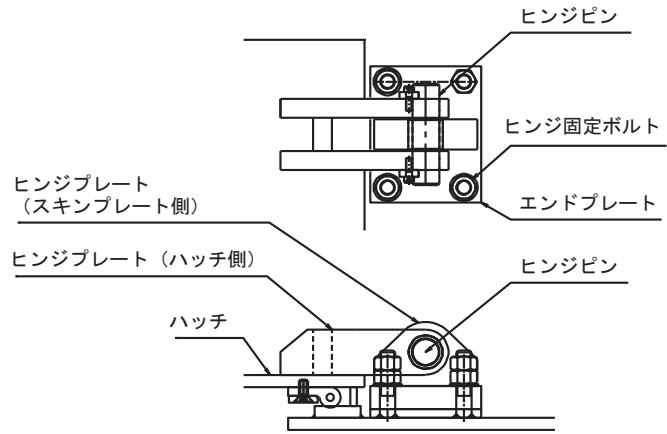


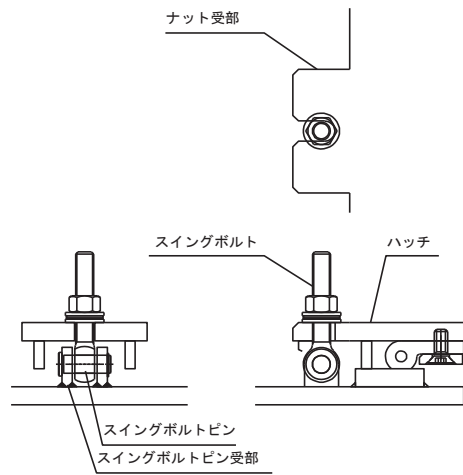
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、受桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

ハッチ部は基本閉止しスキンプレートと一体構造であることから、スキンプレートについては、円板に単純化したモデルとし、モデル化に用いる長さはスキンプレート直径とする。ハッチ部については、周囲をボルトで固定することから、四辺支持の長方形板に単純化したモデルとする。受桁については、剛な断面を有しているとともに、溶接で躯体と固定する構造であることから、両端固定支持に単純化したモデルとし、モデル化には、全長が最も長い受桁を対象とする。図4-1に解析モデル図を示す。

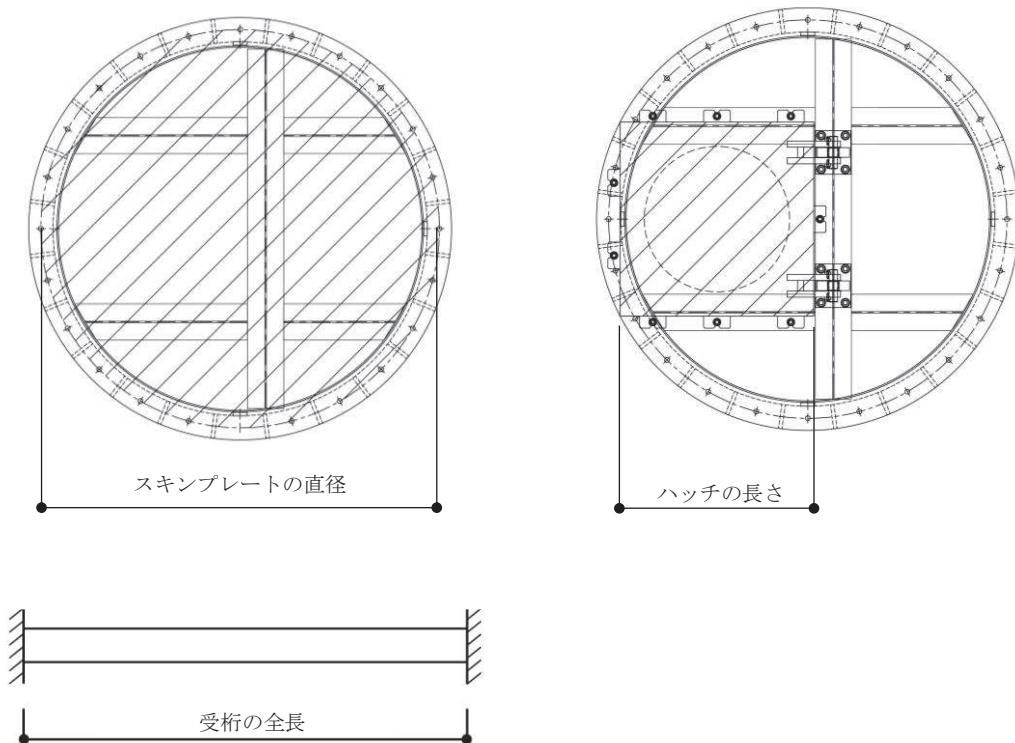


図4-1 スキンプレート、ハッチ及び受桁の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

各部材の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1(1) スキンプレートの固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f_1	Hz	一次固有振動数
t	mm	スキンプレートの厚さ
a	mm	スキンプレートの半径
E	N/mm ²	ヤング率
g	m/s ²	重力加速度
σ	-	ポアソン比
γ	N/mm ³	鋼材の単位体積重量

表 4-1(2) ハッチの固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f_2	Hz	一次固有振動数
t	mm	ハッチの厚さ
a	mm	ハッチの幅
b	mm	ハッチの長さ
E	N/mm ²	ヤング率
g	m/s ²	重力加速度
σ	-	ポアソン比
γ	N/mm ³	鋼材の単位体積重量

表 4-1(3) 受桁の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f_3	Hz	受桁の一次固有振動数
L_3	mm	受桁の全長
E	N/mm ²	ヤング率
I_3	mm ⁴	受桁の断面二次モーメント
m_3	kg/mm	受桁の質量分布

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「機械工学便覧（日本機械学会）」、「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

(1) スキンプレート

$$f_1 = \frac{11.00^2 \cdot t}{4\pi a^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \sigma^2) \cdot \gamma}}$$

(2) ハッチ

$$f_2 = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \sigma^2) \cdot \gamma}}$$

(3) 受桁

$$f_3 = \frac{4.73^2}{2\pi L_3^2} \sqrt{\frac{E \cdot I_3 \cdot 10^3}{m_3}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2(1) スキンプレーートの固有振動数の計算条件

スキンプレーートの厚さ t (mm)	スキンプレーートの半径 a (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	ポアソン比 σ (-)	単位体積重量 γ (N/mm ³)
16	872	2.05×10 ⁵	9.80665	0.3	7.7×10 ⁻⁶

表 4-2(2) ハッチの固有振動数の計算条件

ハッチの厚さ t (mm)	ハッチの幅 a (mm)	ハッチの長さ b (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	ポアソン比 σ (-)	単位体積重量 γ (N/mm ³)
16	800	800	2.05×10 ⁵	9.80665	0.3	7.7×10 ⁻⁶

表 4-2(3) 受桁固有振動数の計算条件

はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/mm)
1485	2.05×10 ⁵	5.63×10 ⁶	3.11×10 ⁻²

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

部位	固有振動数 (Hz)
スキンプレーート	62.65
ハッチ	384.04
受桁	311.06

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、
G : 固定荷重 (kN)
S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
P_s : 積雪荷重 (kN)

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
P_s : 積雪荷重 (kN)
W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
d_s : 積雪高さ 43 (cm)
A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : 固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
受桁	SM490Y	H-150×150×7×10 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート，受桁，固定ボルト

鋼材の許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表 5-2 の値とする。

表 5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は，「ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-3 の値とする。

表 5-3 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数が20Hz以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は「8. 地震応答解析」に示す地震応答解析結果を用いる。

耐震評価で用いる設計震度を表5-4に示す。

表5-4 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平方向 k_H	鉛直方向 k_v
揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	0.52	1.34

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-1 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_1^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、
 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_1 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_1 + L_2) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_1 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - L_2 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

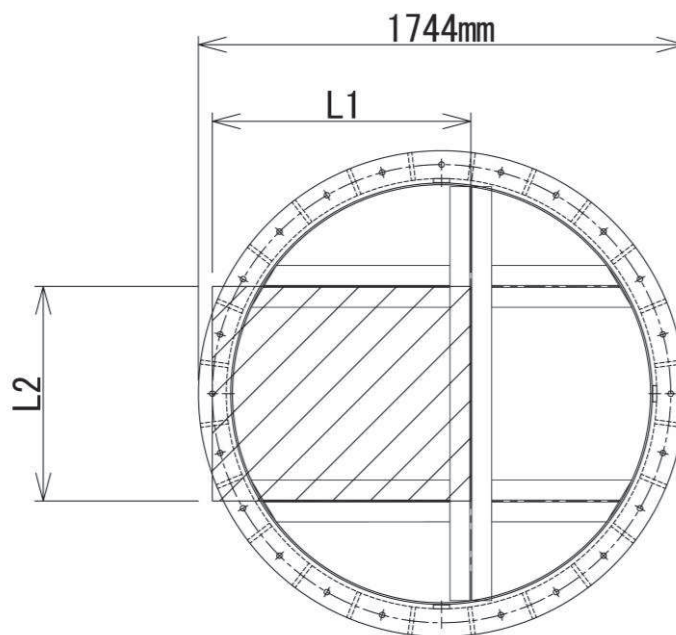


図 5-1 評価の対象とするスキンプレート

5.5.2 受桁

受桁の支持条件は両端を固定支持とし、受桁が負担する荷重は保守的にスキンプレートに上載される積雪荷重、スキンプレートの固定荷重の全重量及び地震荷重を受桁に作用させる。図5-2に評価の対象とする受桁を示す。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

- ここで、
- S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 - G : スキンプレートと受桁の固定荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(2) 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_3 \cdot 10^{-3} / A$$

- ここで、
- $W_{s s'}$: 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
 - G : 受桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
 - S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - L_3 : 受桁の負担幅 (mm)
 - A : スキンプレートの面積 (m²)

(3) 受桁に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

- τ : 受桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 Q : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)
 A_s : 受桁のせん断断面積 (mm²)

$$\text{ここで、 } Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

- Q : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)
- $W_{s s'}$: 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
- L_4 : 受桁全長 (mm)

(4) 受桁に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 受桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 受桁の断面係数 (mm³)

ここで、 $M = 1/8 \cdot W s s' \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2$

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

W s s' : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L₄ : 受桁全長 (mm)

(5) 受桁に作用する組合せ応力度

主桁に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、 x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

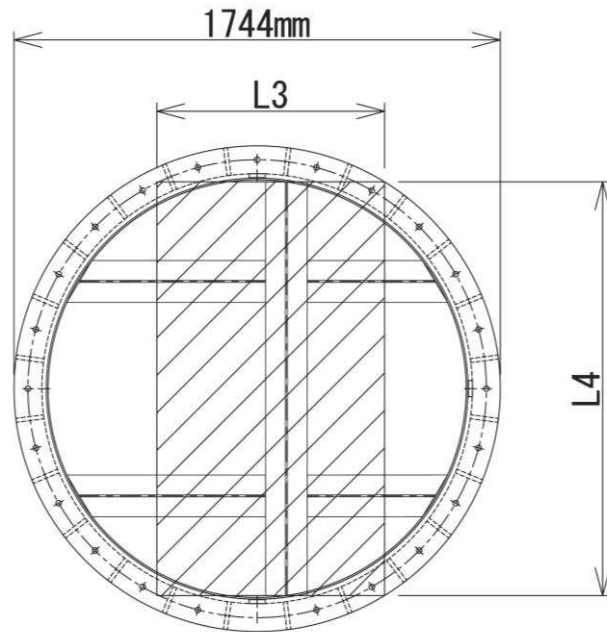


図 5-2 評価の対象とする受桁

5.5.3 固定ボルト

図 5-3 に固定ボルトの納まりを示す。

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、 $T_s = S_s / N$
 σ_t : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (N/mm)
 T_s : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm^2)

- (4) 固定ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力度 τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、 $q_s = S_s / N$
 τ_s : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm²)
 q : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm^2)

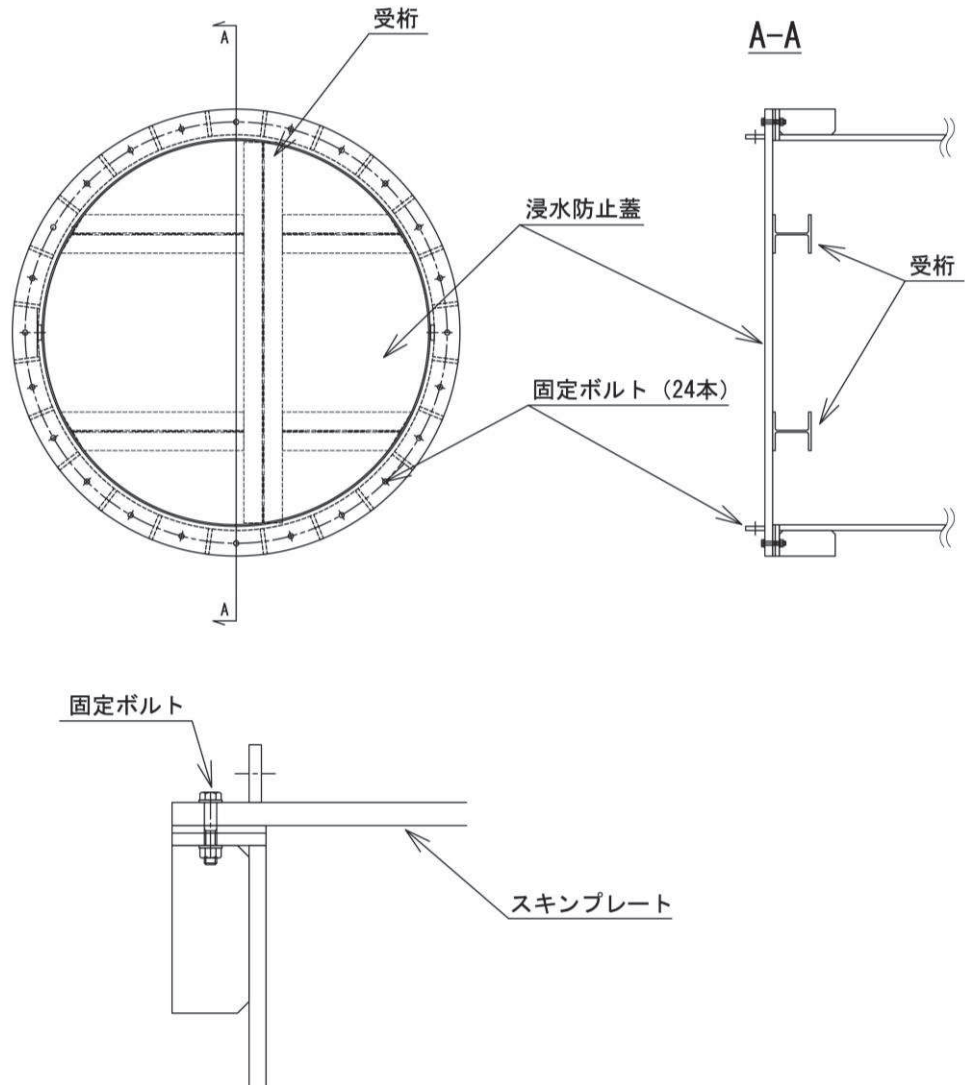


図5-3 固定ボルトの納まり

5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-4に、荷重算定式を図5-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については，スイングボルト，スイングボルトピン，ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

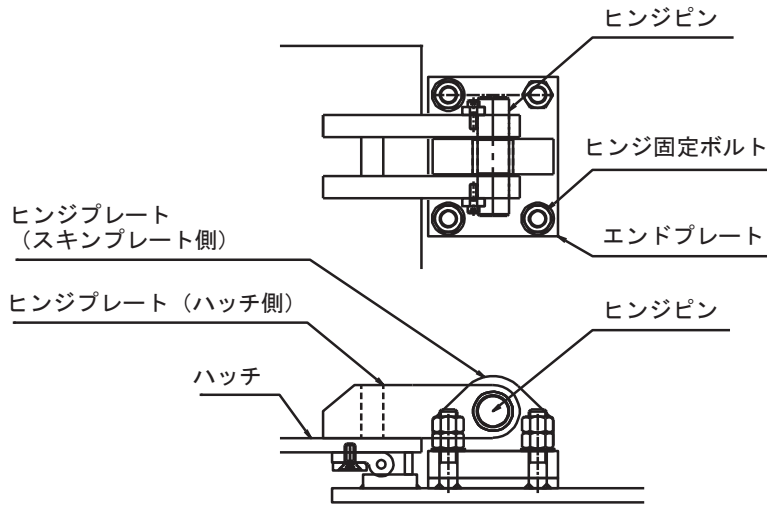


図5-4 (1) ヒンジ部の構造概要

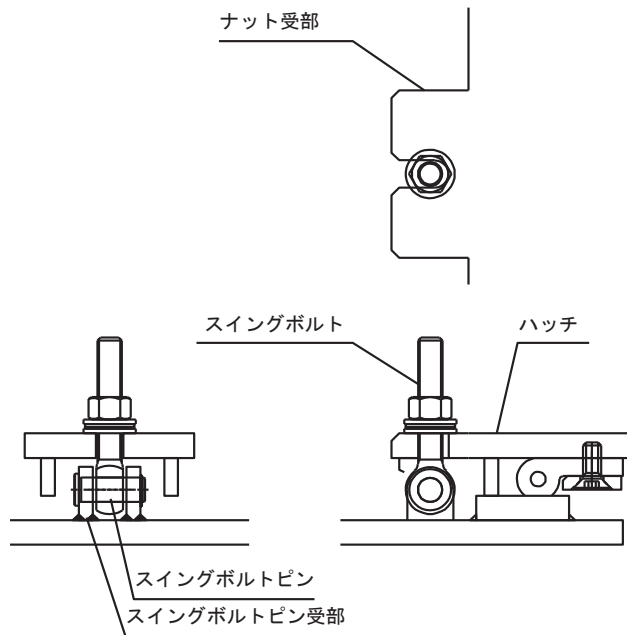
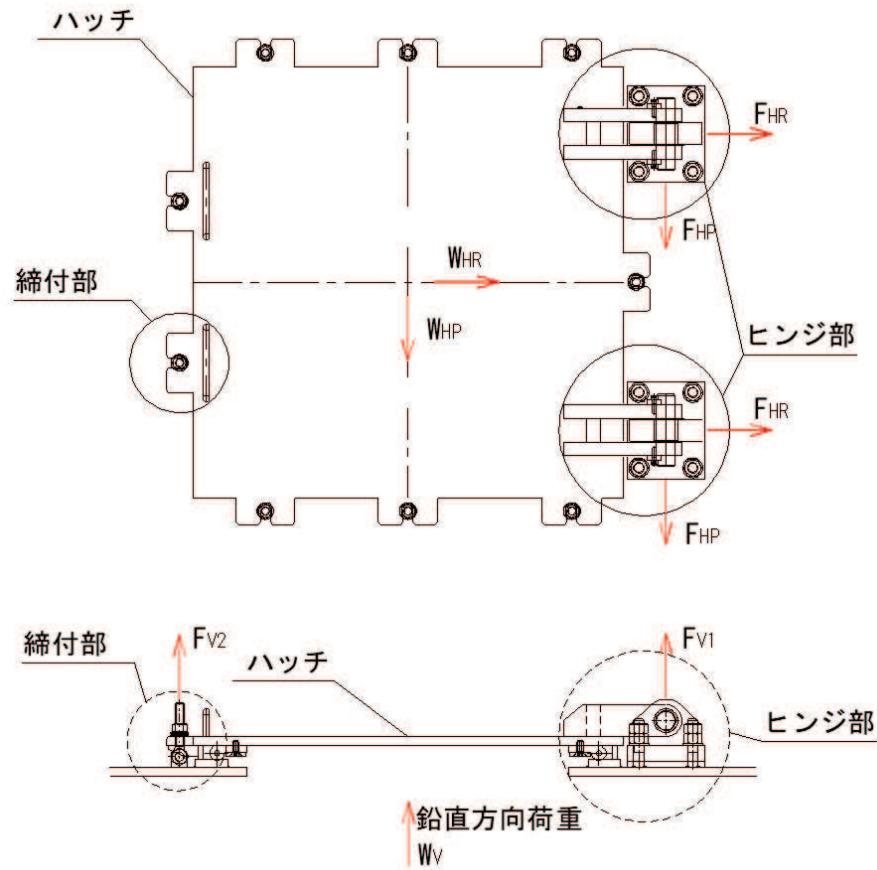


図5-4 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_{HP} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_V = (G + P_s) + (G + P_s) \cdot k_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
- k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{V2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

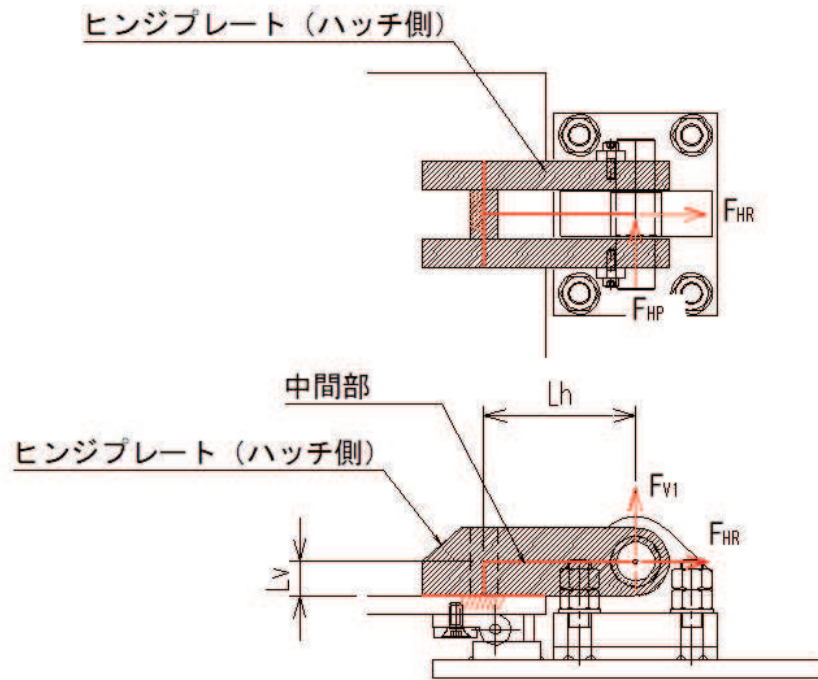
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。



ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

ここで、

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

τ_v : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

x : 合成応力度 (N/mm²)

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

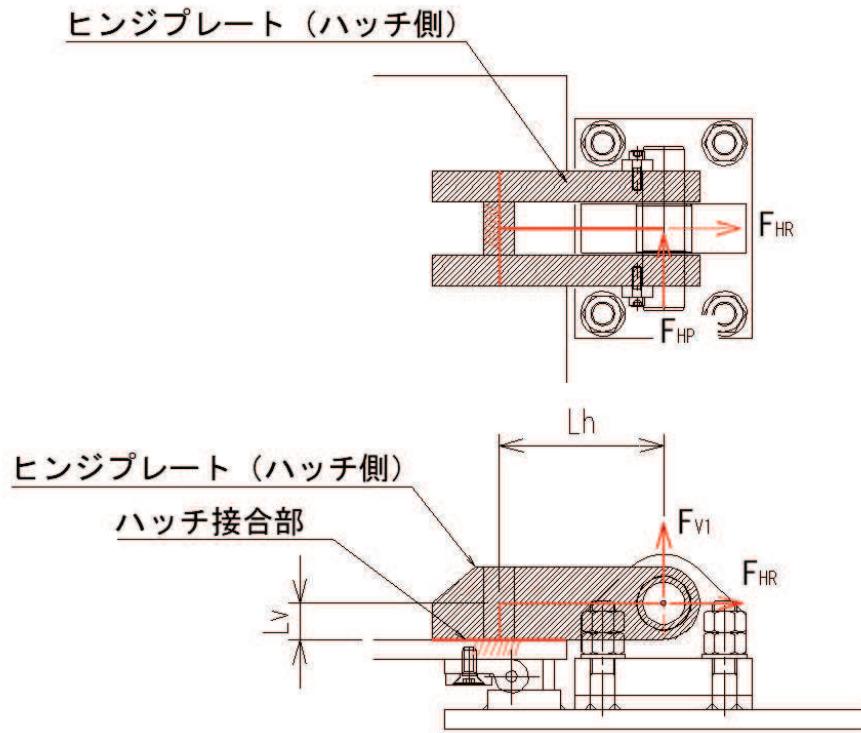
Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

A_1 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (中間部) (mm²)

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

図 5-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート（ハッチ側）ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

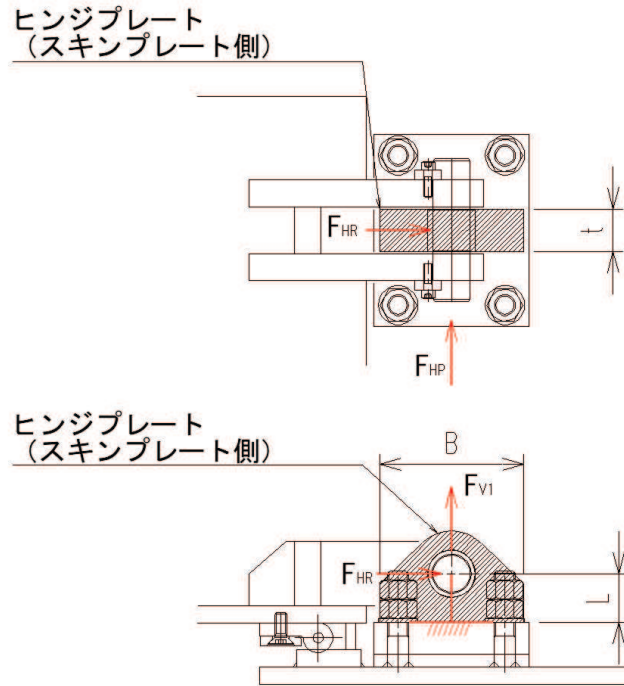
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_{PX} : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- L_v : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- Z_3 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_4 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_p : 極断面係数 (mm³)
- A_2 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (接合部) (mm²)

図5-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート (スキンプレート側) の断面積 (mm²)

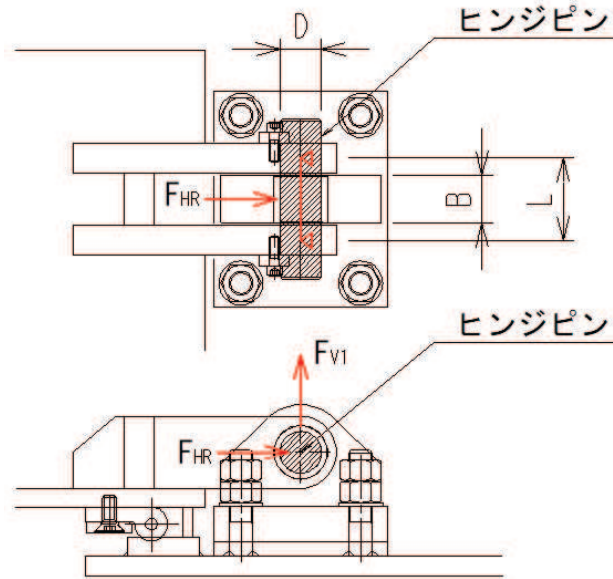
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ支点間距離 (mm)

B : 荷重の載荷長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

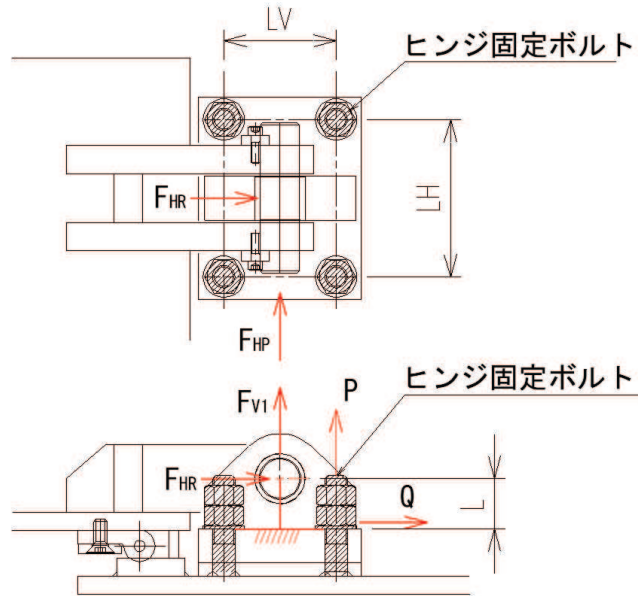
A : ヒンジピンの断面積 (mm²)

D : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図 5-9 に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

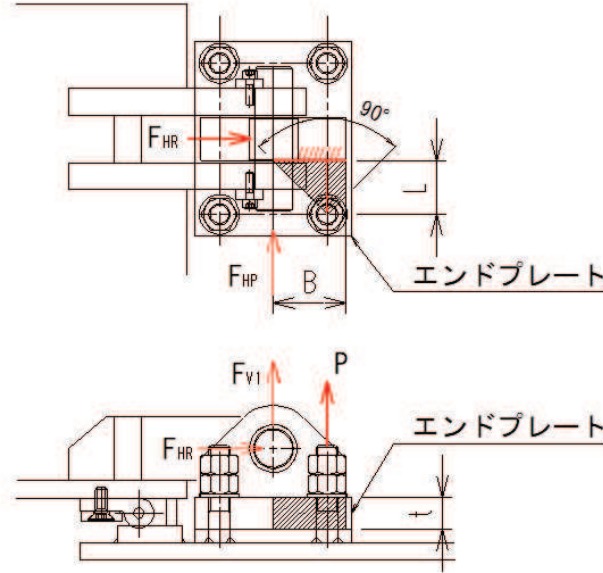
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図 5-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

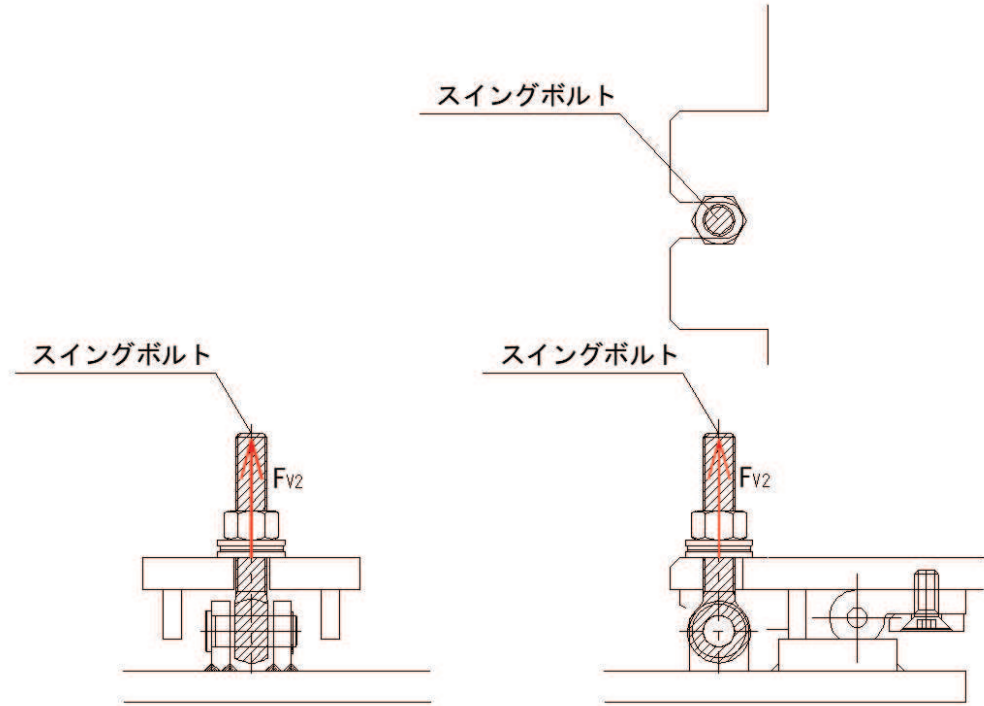
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- P : ボルト引張力 (kN)
- P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)
- P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)
- P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- B : 有効断面幅 (mm)
- A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)
- L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)
- t : エンドプレートの板厚 (mm)
- L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)
- L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)
- N_H : 回転軸平行方向のボルト本数
- N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す。



$$\sigma = F_{v2} / A$$

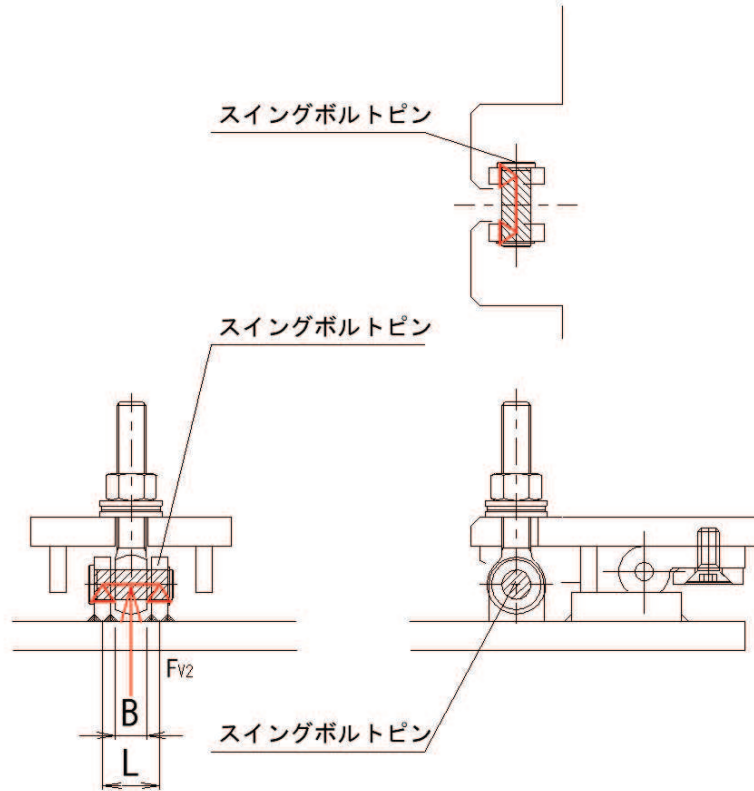
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図5-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

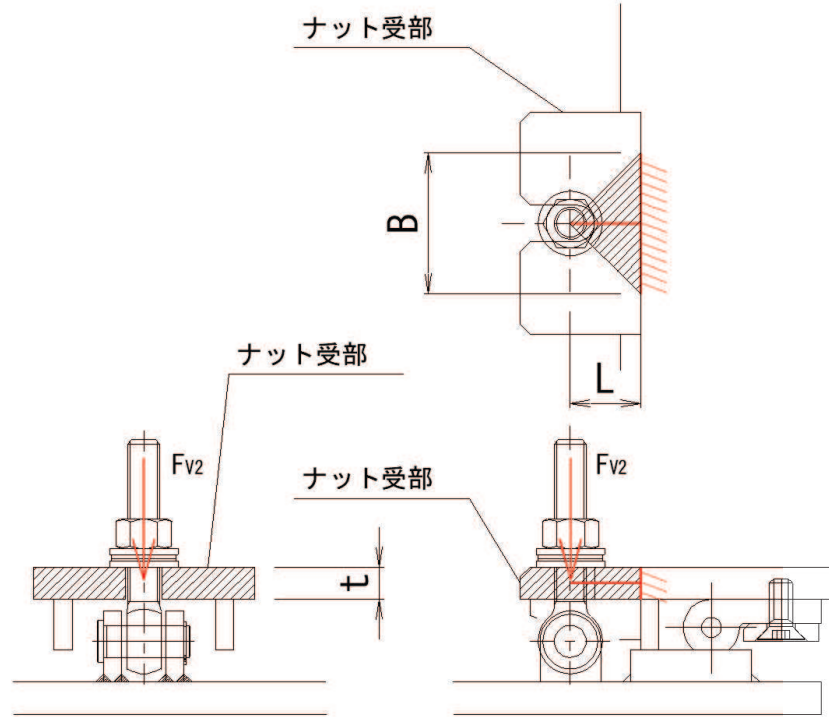
ここで、

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 5-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : 腕長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

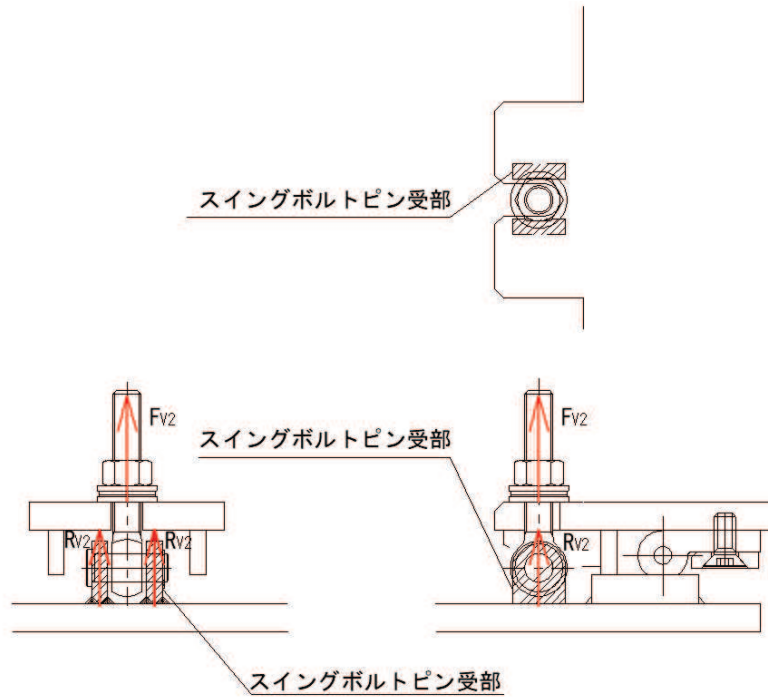
A : ナット受部の有効断面積 (mm²)

t : ナット受部の板厚 (mm)

図5-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す。



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 5-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 に示す。

表 5-5 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	2.39
	L ₁	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	770
	L ₂	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	927
	β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
受桁	G	kN	スキンプレートと受桁の固定荷重	6.14
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	L ₃	mm	受桁の負担幅	822
	L ₄	mm	受桁全長	1485
	A	m ²	受桁のせん断断面積	910
	Z	mm ⁴	受桁の断面係数	2.13×10^5
固定ボルト	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	24
	A'	mm ²	固定ボルトの有効断面積	157

表 5-5 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-5 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.26
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.23
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	121.50

表 5-5 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-5 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.45
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.18
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.23
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.919
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
スキンプレート	曲げ	6	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
受桁	曲げ	5	N/mm ²	325	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	188	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
固定ボルト	引張	3	N/mm ²	325	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	2	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	2	N/mm ²	291	N/mm ²	0.01 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	1	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	1	N/mm ²	291	N/mm ²	0.01 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	3	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	2	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02 < 1.0
エンドプレート	曲げ	2	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	2	N/mm ²	291	N/mm ²	0.01 < 1.0
スイングボルト	引張	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	13	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	13	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
ナット受部	曲げ	11	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	157	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	11	N/mm ²	300	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	4	N/mm ²	273	N/mm ²	0.02 < 1.0

表 6-1 (3) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	3	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	3	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	5	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03 < 1.0
エンドプレート	曲げ	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02 < 1.0
スイングボルト	引張	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	13	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	13	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
ナット受部	曲げ	11	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	157	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	11	N/mm ²	300	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	4	N/mm ²	273	N/mm ²	0.02 < 1.0

7. 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価

7.1 概要

揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）（以下、「揚水井戸」という。）は、鋼製シャフトからなる構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介しC_M級岩盤に設置する。揚水井戸の頂部開口部に浸水防止蓋を設置する。

揚水井戸に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

7.2 評価方針

揚水井戸の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 7-1 に示すとおり、構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

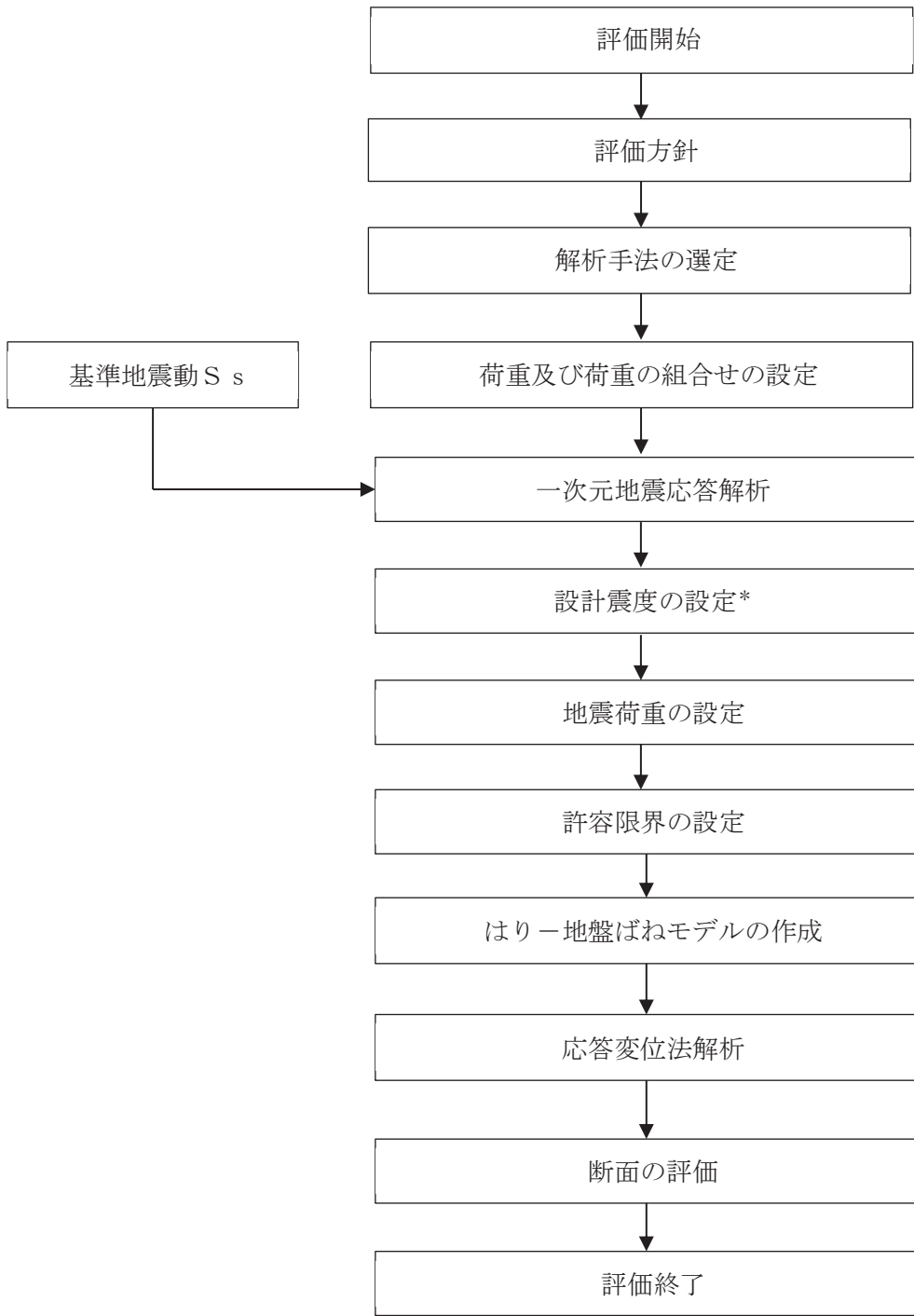
構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

揚水井戸の耐震評価フローを図 7-1 に示す。

表 7-1 揚水井戸の評価項目

評価方針	評価項目	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	鋼製シャフト	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。



注記*：一次元地震応答解析にて算出された最大加速度による設計震度を設定する。

図 7-1 揚水井戸の耐震評価フロー

7.3 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- (1) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (2) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）

8 地震応答解析

8.1 評価対象断面

評価対象断面の位置を図 8-1 に示す。また、揚水井戸の構造概要を図 8-2 及び揚水井戸設置位置の地質状況を図 8-3 に示す。

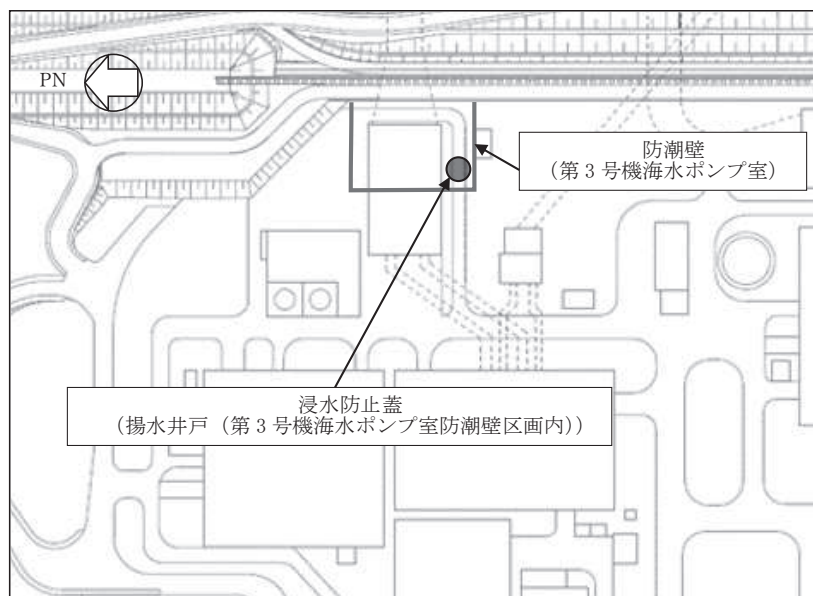
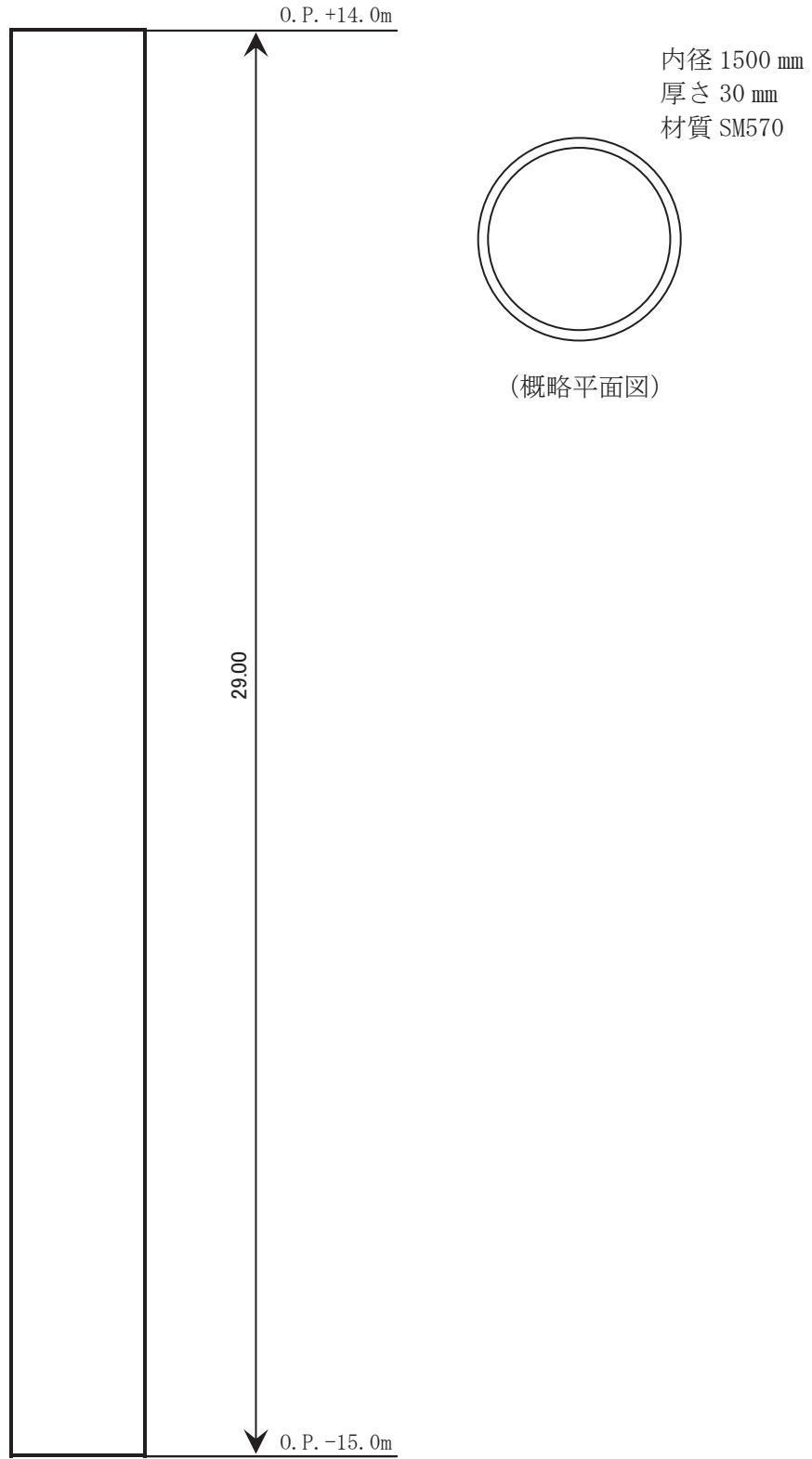


図 8-1 揚水井戸の平面配置図

02 ⑥ VI-2-10-2-8-3 R3



(概略断面図) (単位：m)

図 8-2 揚水井戸 構造概要図 (単位：m)

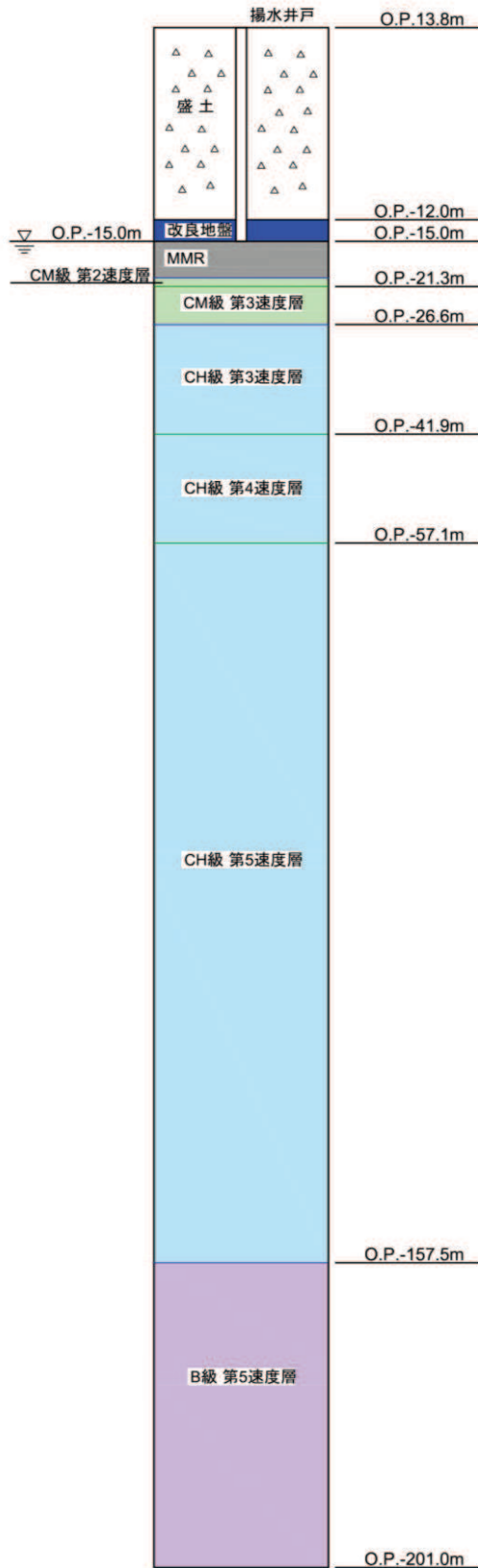


図 8-3 揚水井戸設置位置の地質状況

8.2 評価方針

揚水井戸設置位置の地盤の応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D2 に対して実施する。

地盤の応答解析は、「8.3 地盤の応答解析モデル」において設定した地盤モデルに基づき「8.4 地盤応答」を評価する。

地盤モデルには、地盤物性の不確かさを考慮し、地盤応答として地盤の地表面最大応答加速度を算出する。

8.3 地盤の応答解析モデル

地盤の応答解析は、基準地震動 S_s を用いて添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を踏まえて算定する。設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力して評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念を図 8-4 に、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 8-5 に示す。揚水井戸は液状化の影響が及ばないように周囲を地盤改良するため、解析手法は全応力解析とする。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようなモデル化し、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤の応答解析では地盤物性のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表 8-1 に、解析ケースを表 8-2 に示す。

解析コードには、引戻し解析に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地盤の応答解析による設計震度及び地盤変位算定には「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

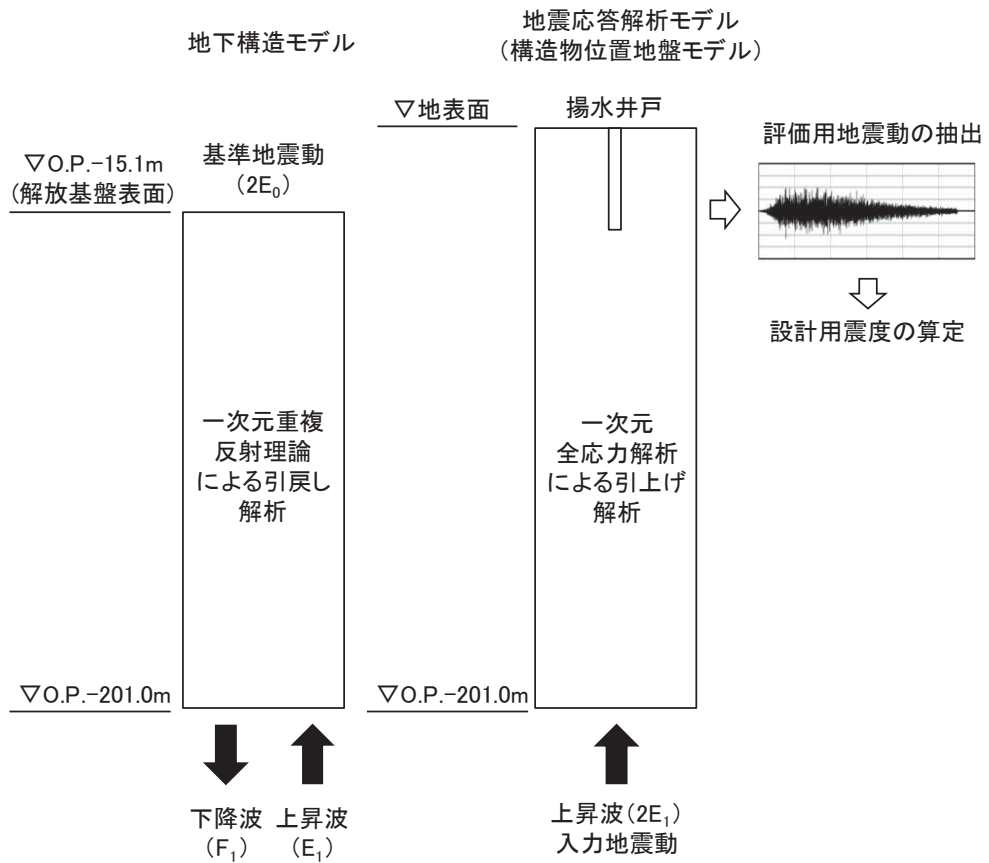


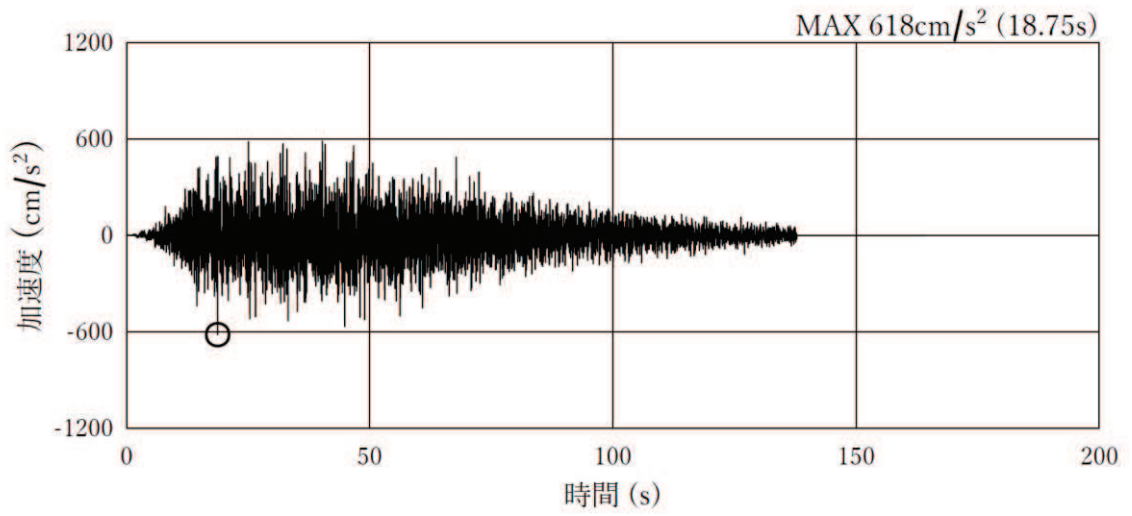
図 8-4 地震応答解析の概念

表 8-1 解析ケース（揚水井戸）

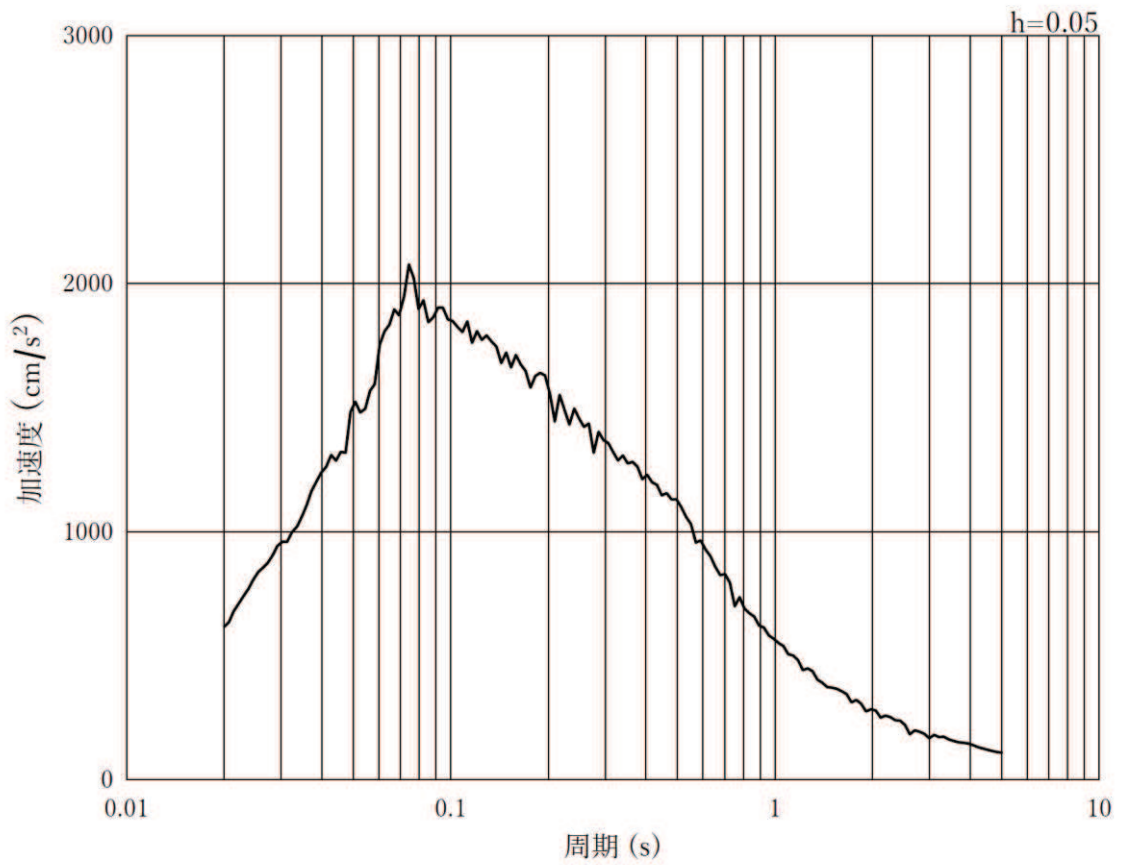
解析ケース	地盤物性
	盛土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + 1σ
ケース③	平均値 - 1σ

表 8-2 設計震度算定における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+ 1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (- 1σ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動	S s - D 1	○	○	○
	S s - D 2	○	○	○
	S s - D 3	○	○	○
	S s - F 1	○	○	○
	S s - F 2	○	○	○
	S s - F 3	○	○	○
	S s - N 1	○	○	○
	S d - D 2	○	○	○

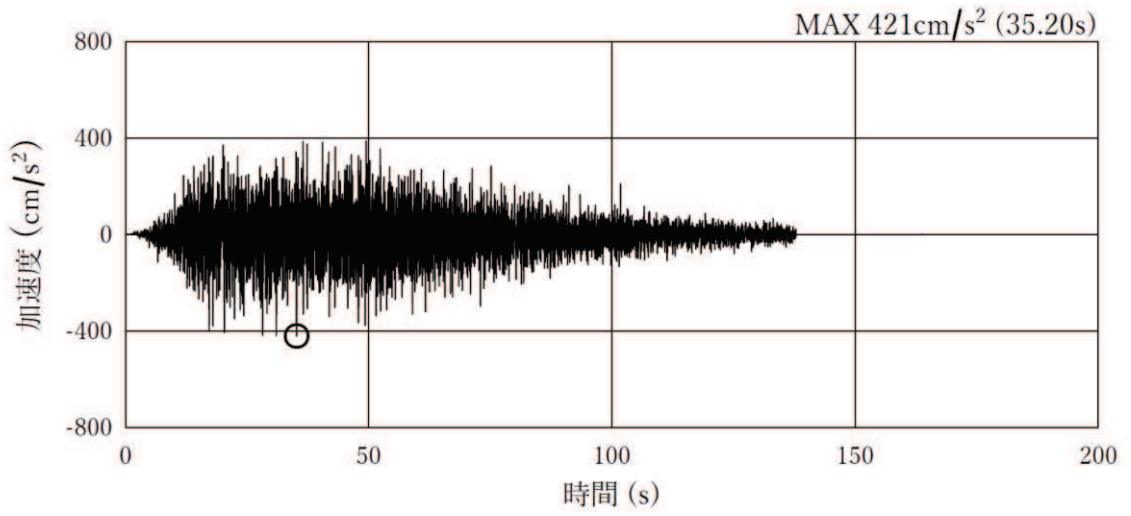


(a) 加速度時刻歴波形

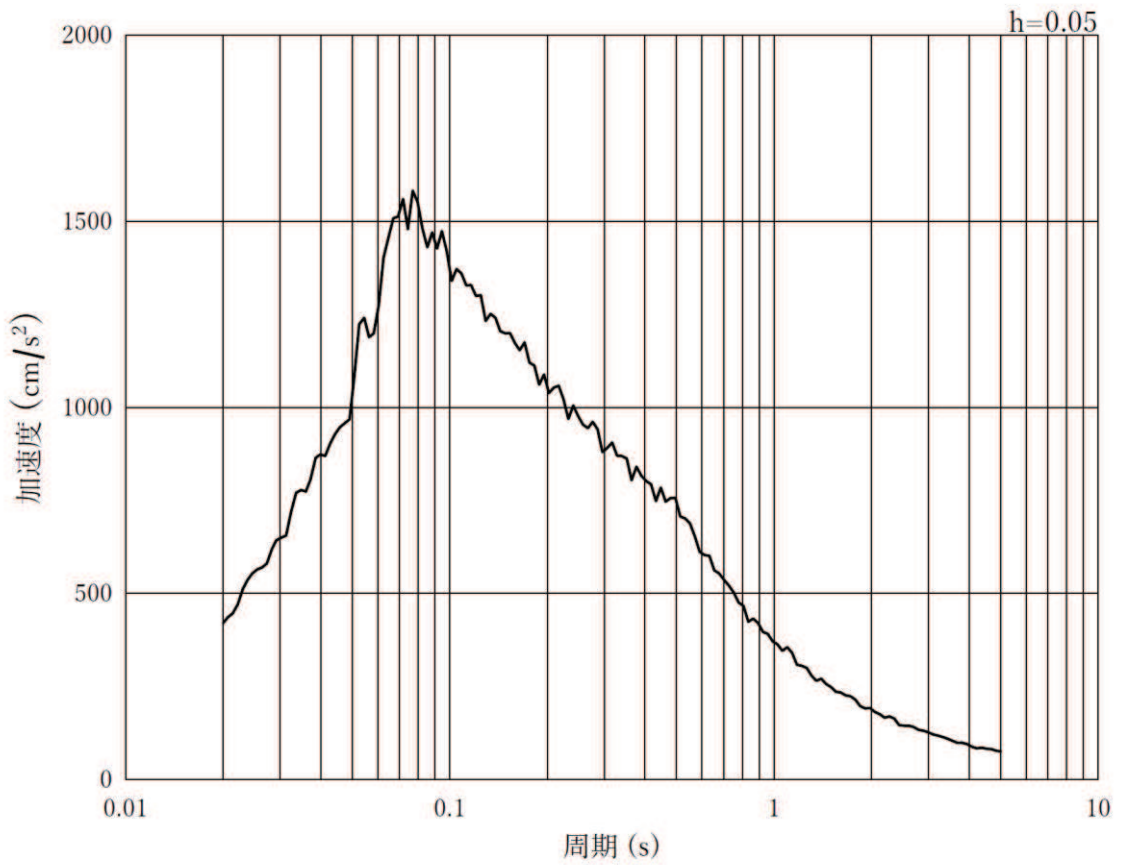


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(1) 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
(水平方向 : S s - D 1)

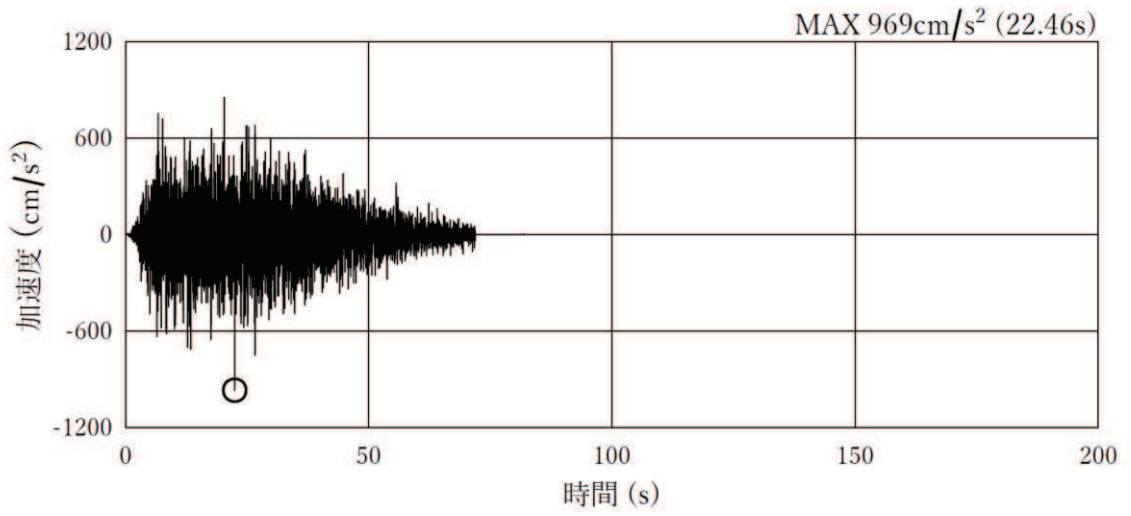


(a) 加速度時刻歴波形

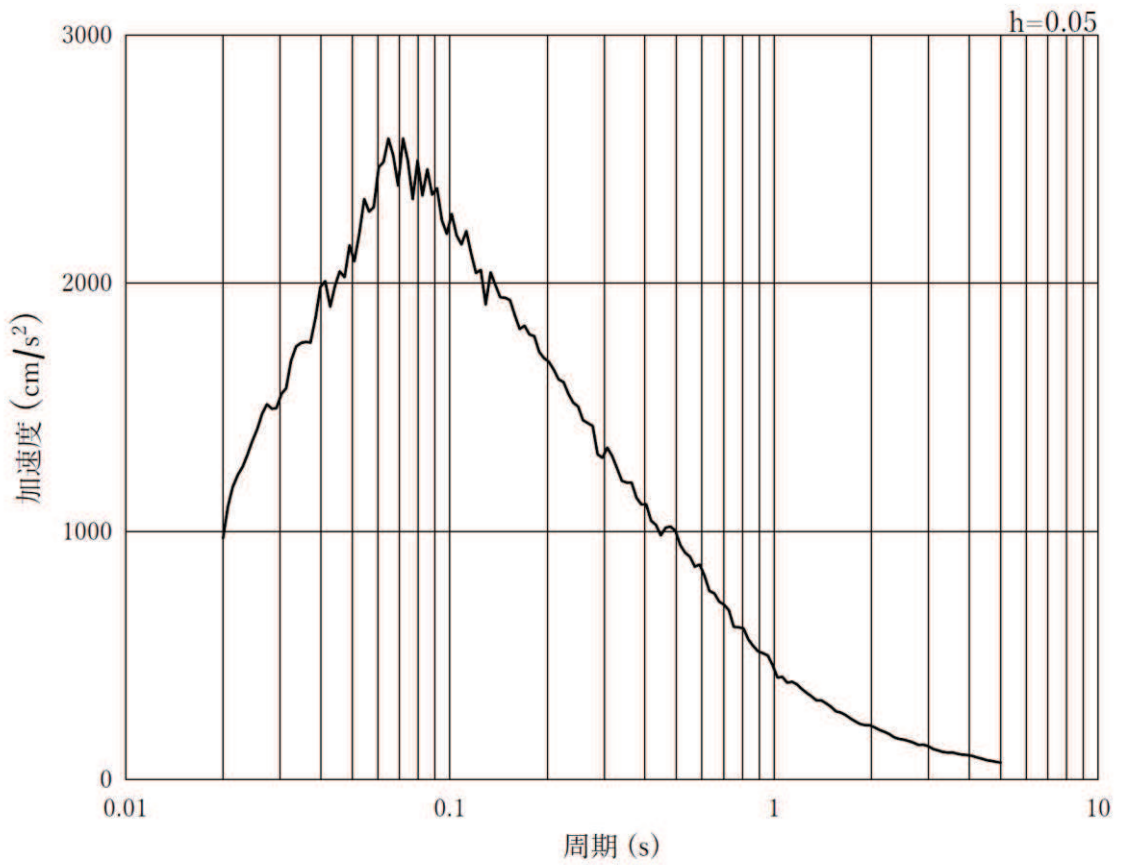


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(2) 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
(鉛直方向：S s - D 1)

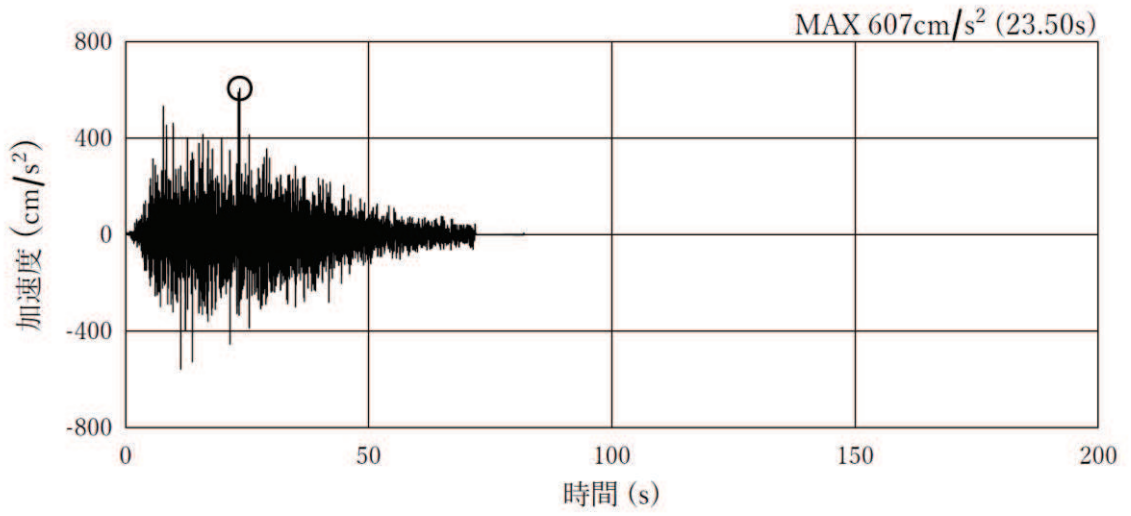


(a) 加速度時刻歴波形

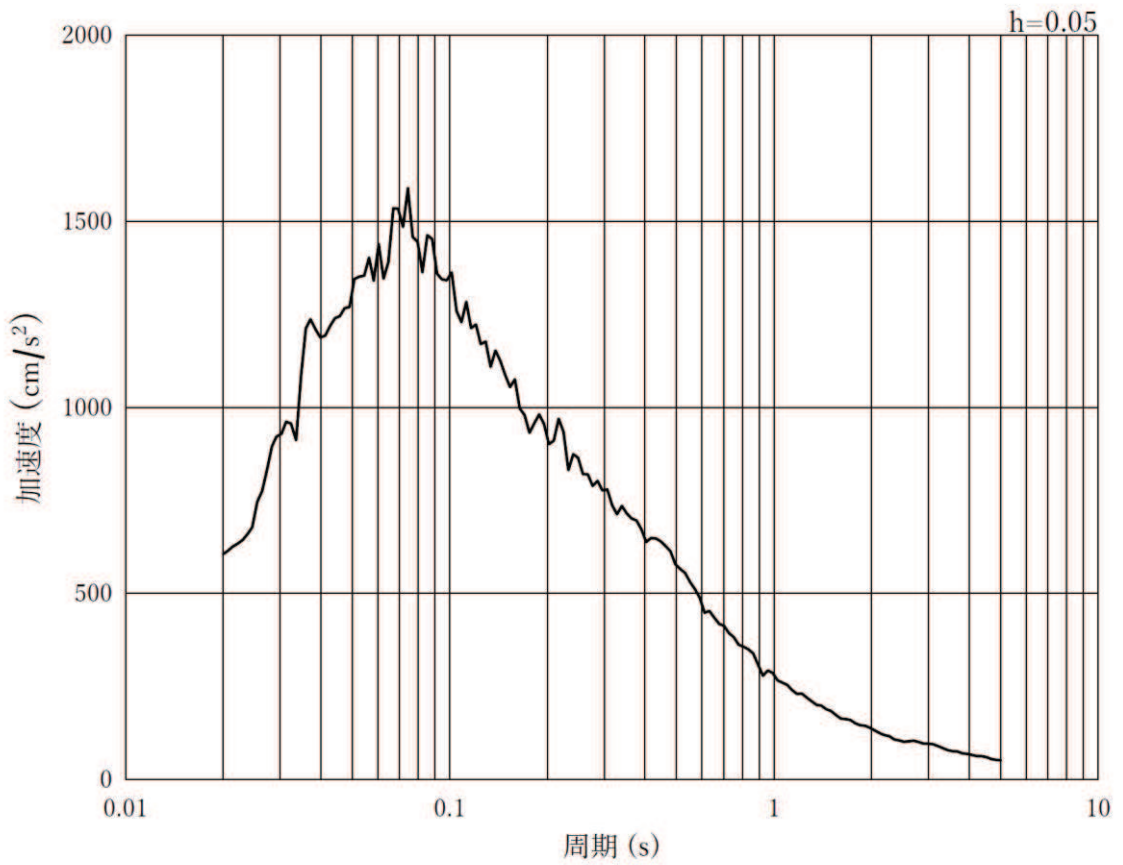


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(3) 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
(水平方向 : S s - D 2)

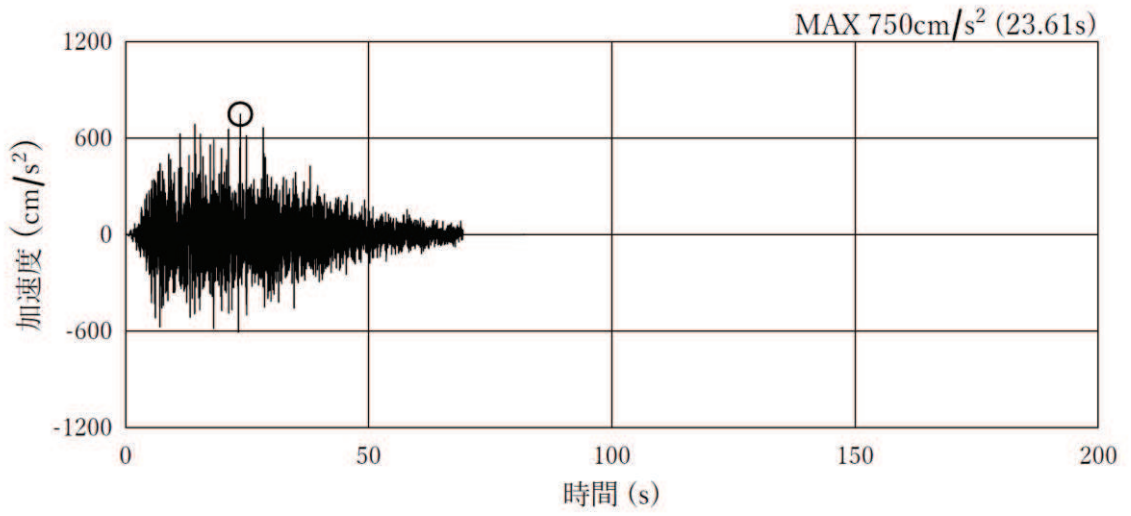


(a) 加速度時刻歴波形

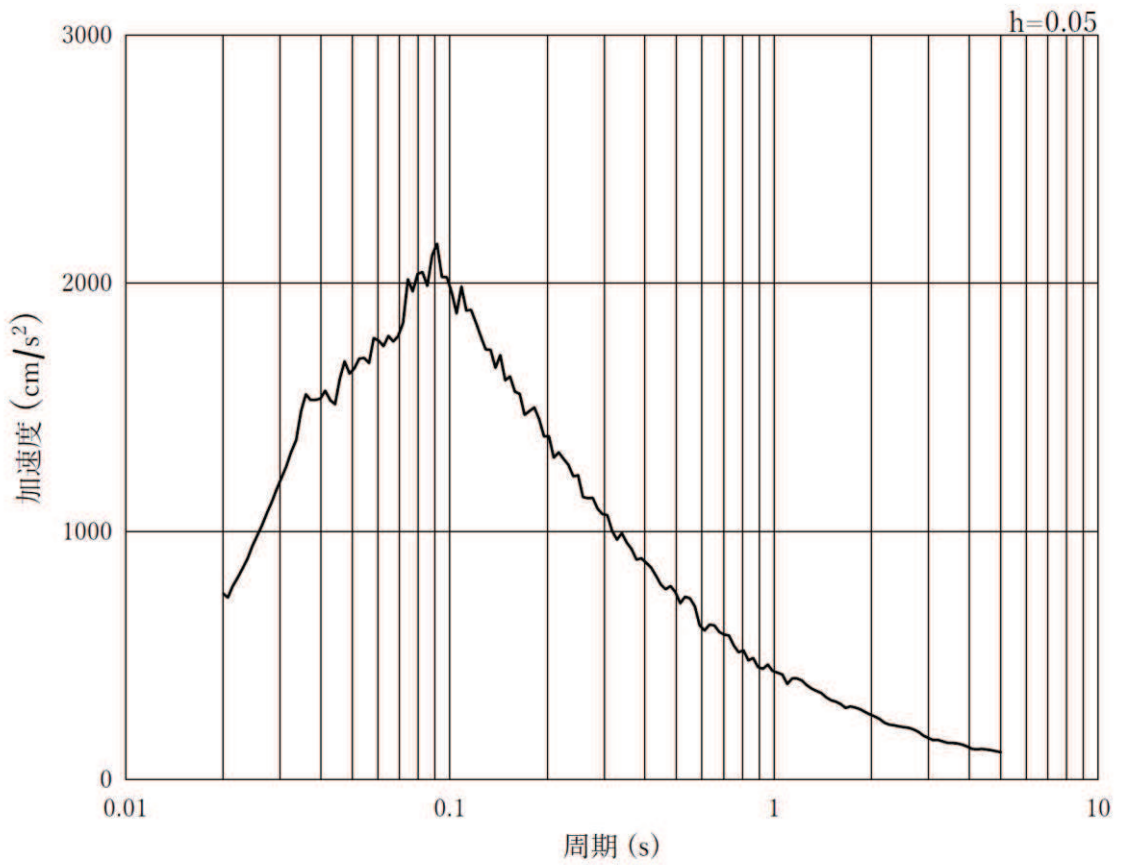


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(4) 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
(鉛直方向：S s - D 2)

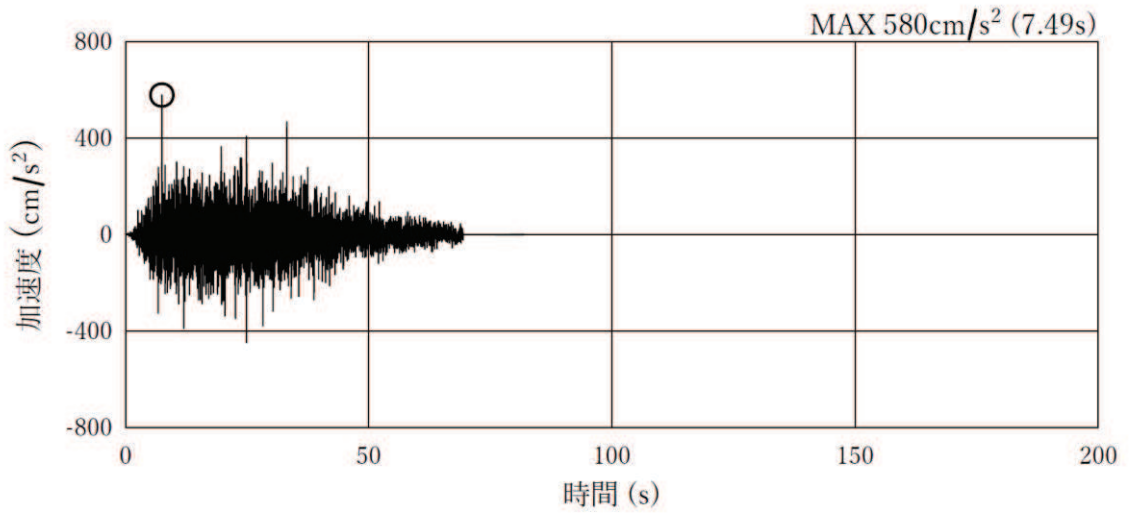


(a) 加速度時刻歴波形

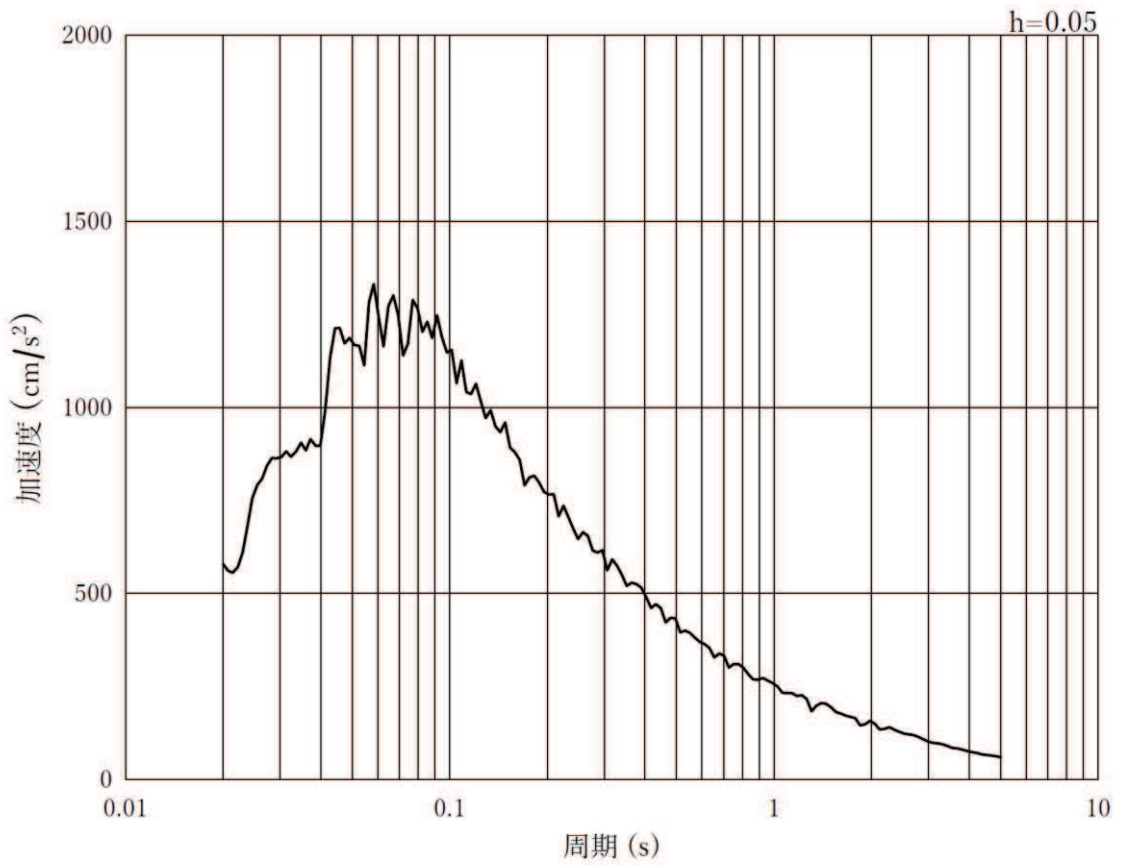


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(5) 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
(水平方向 : S s - D 3)

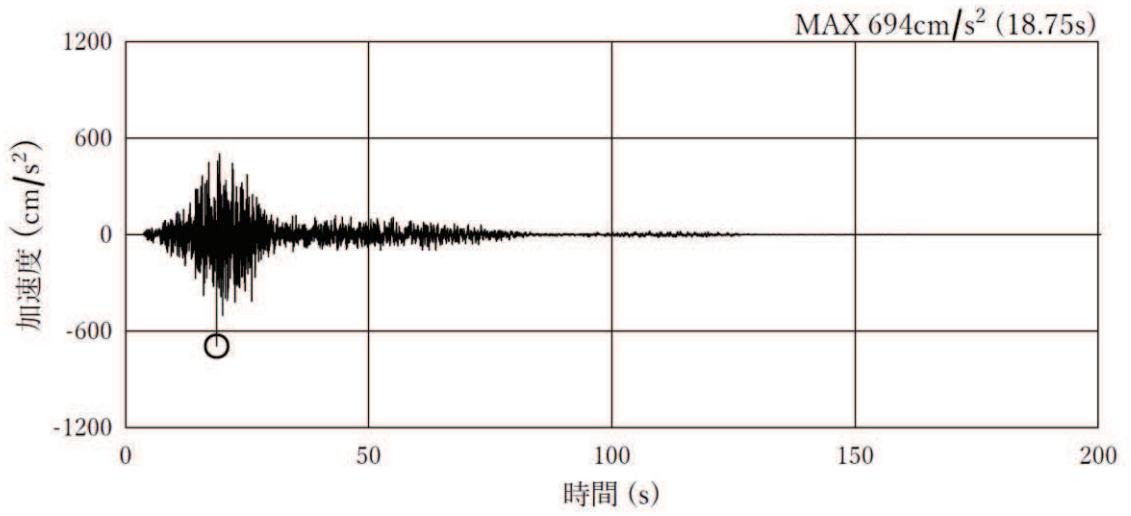


(a) 加速度時刻歴波形

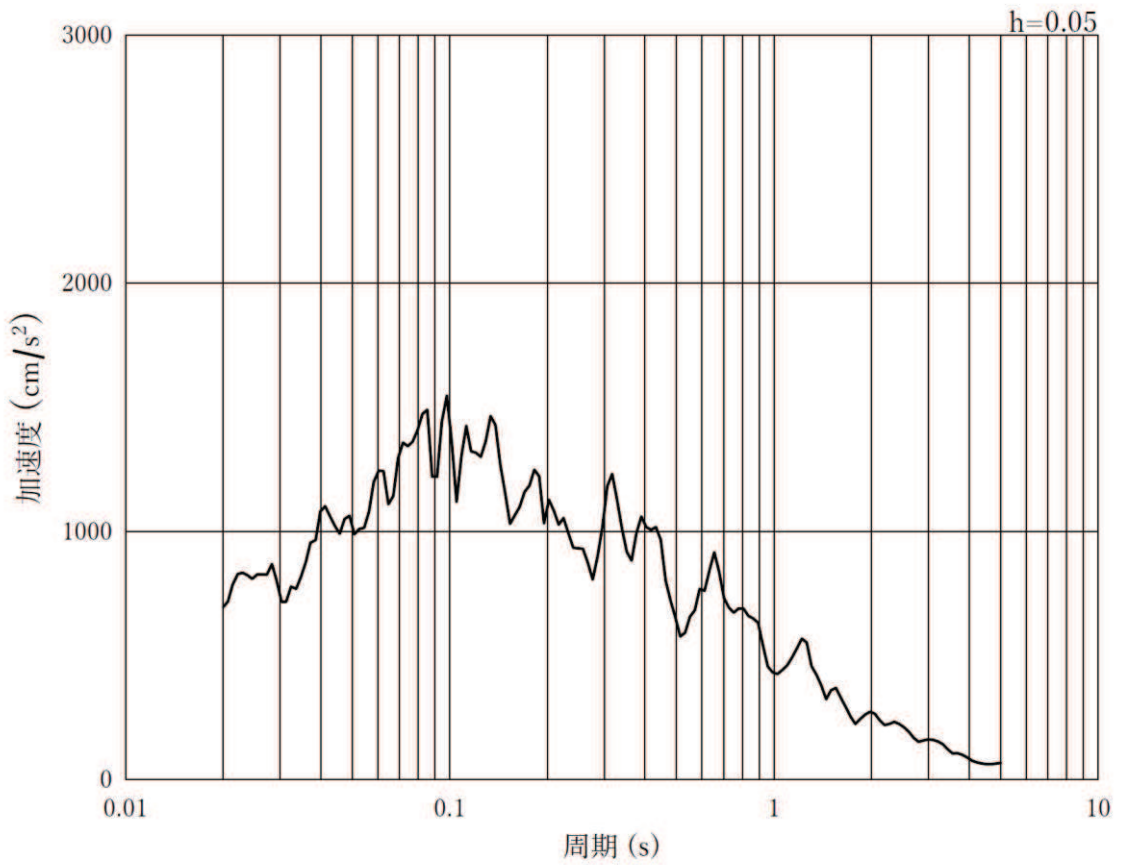


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(6) 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
(鉛直方向：S s - D 3)

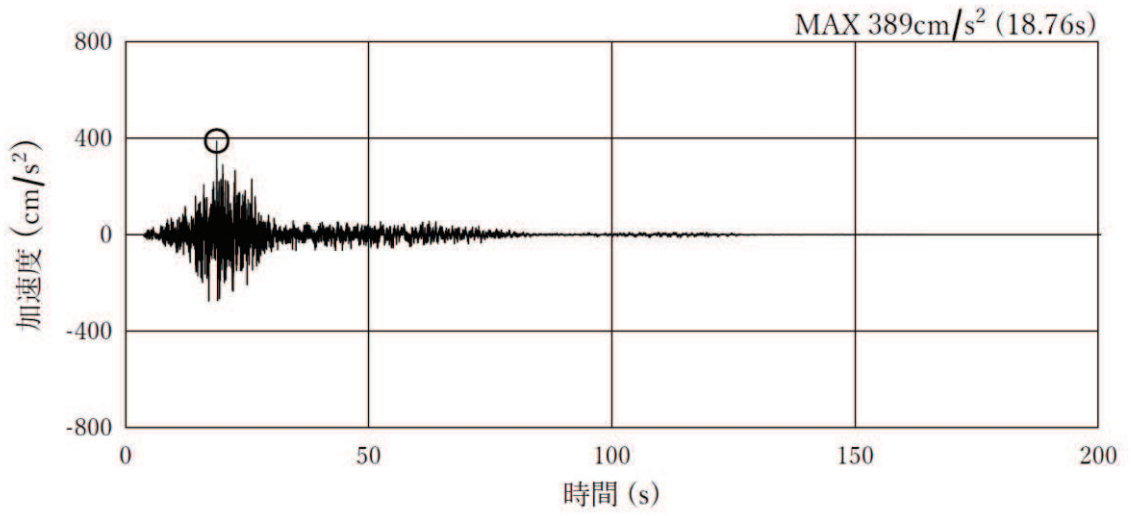


(a) 加速度時刻歴波形

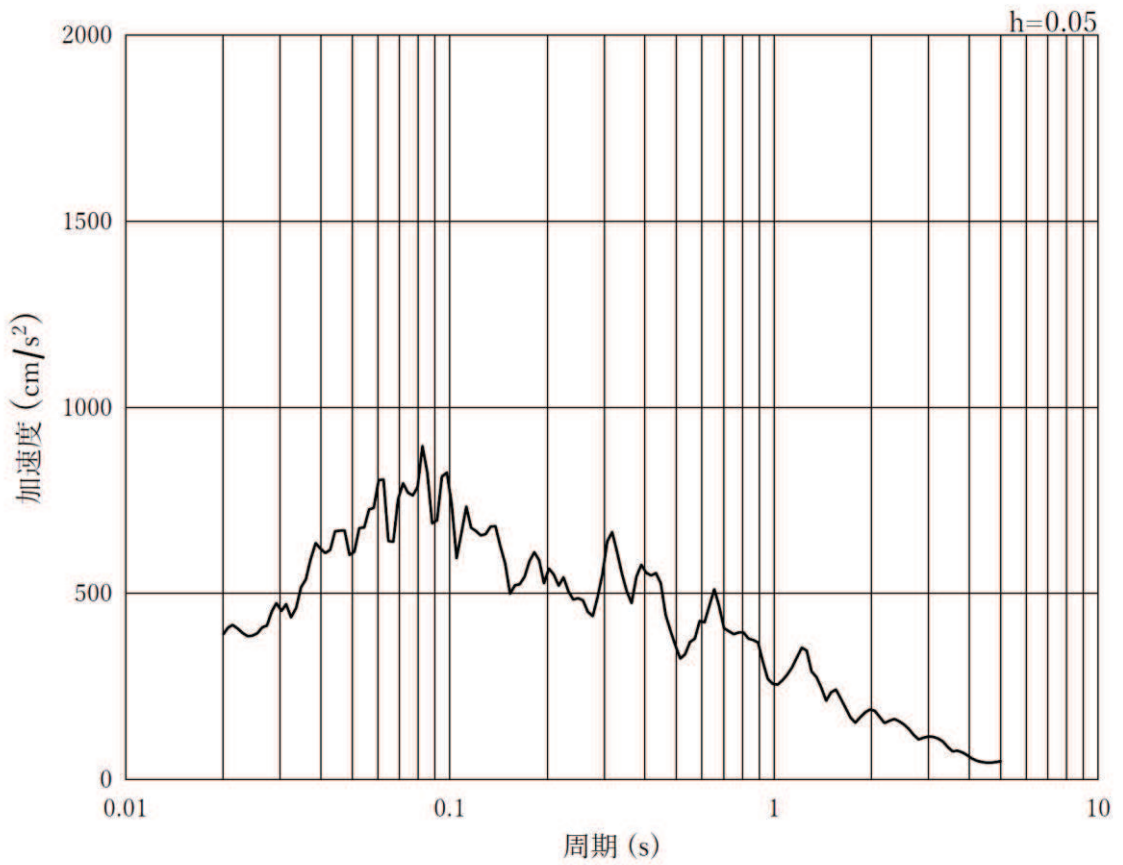


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(7) 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
(水平方向 : S s - F 1)

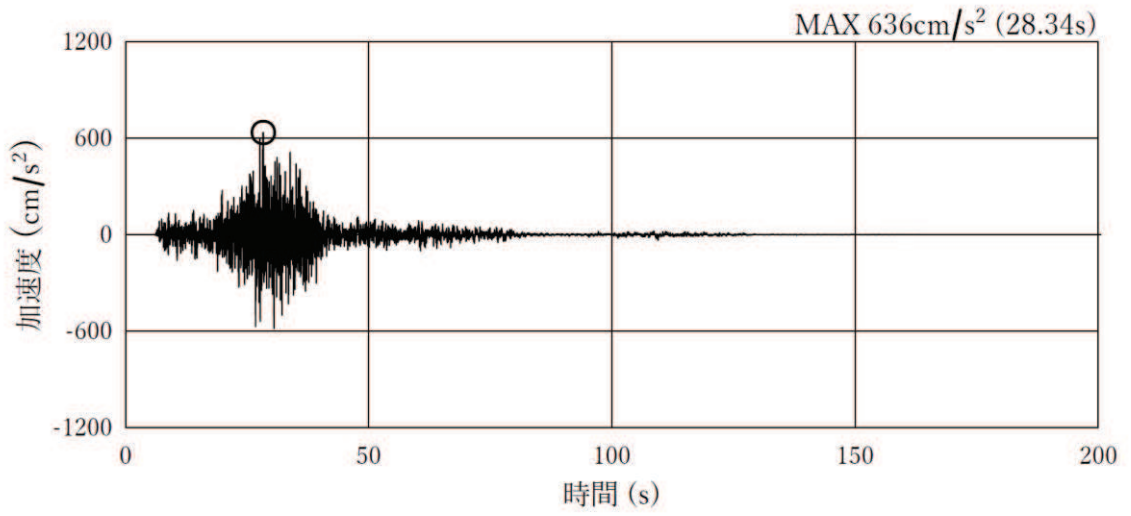


(a) 加速度時刻歴波形

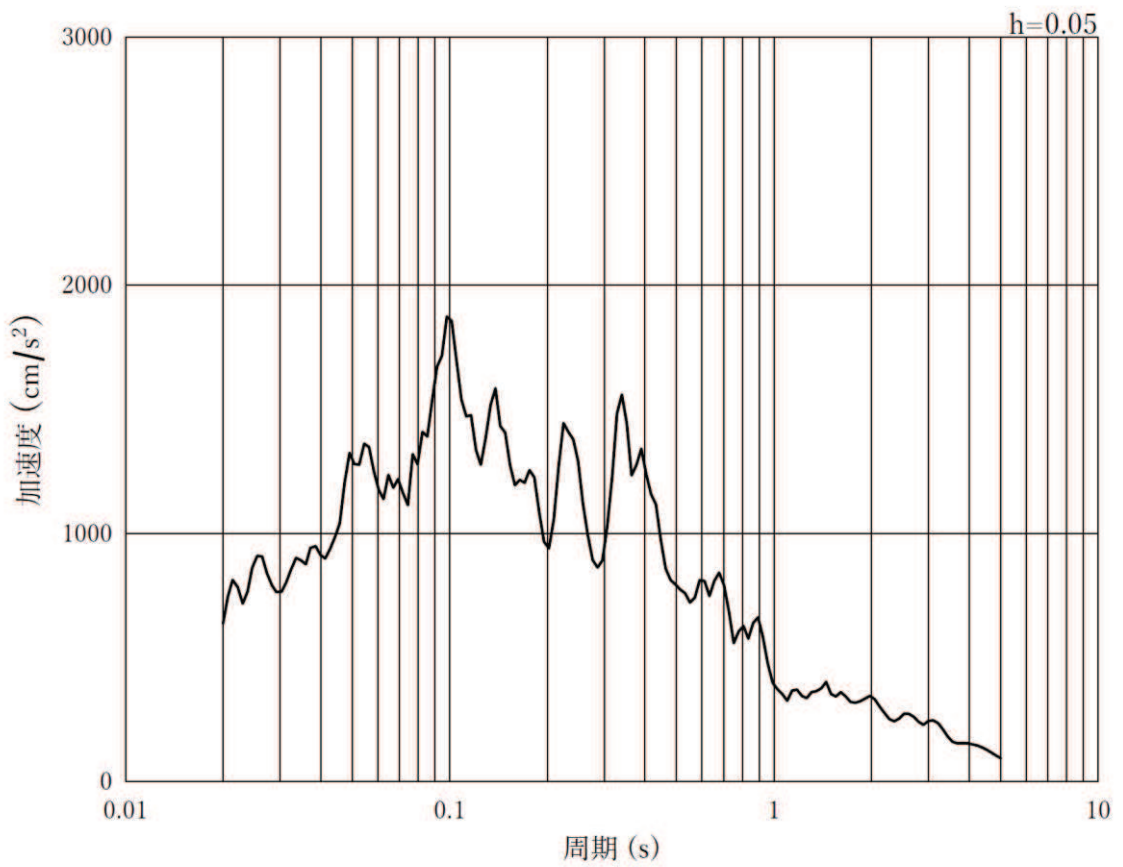


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(8) 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
(鉛直方向：S s - F 1)

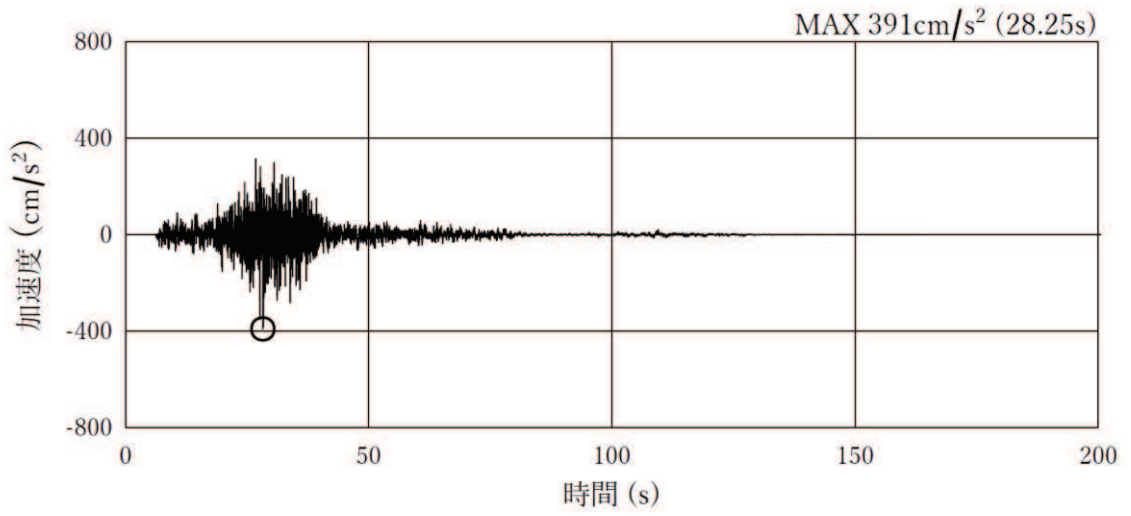


(a) 加速度時刻歴波形

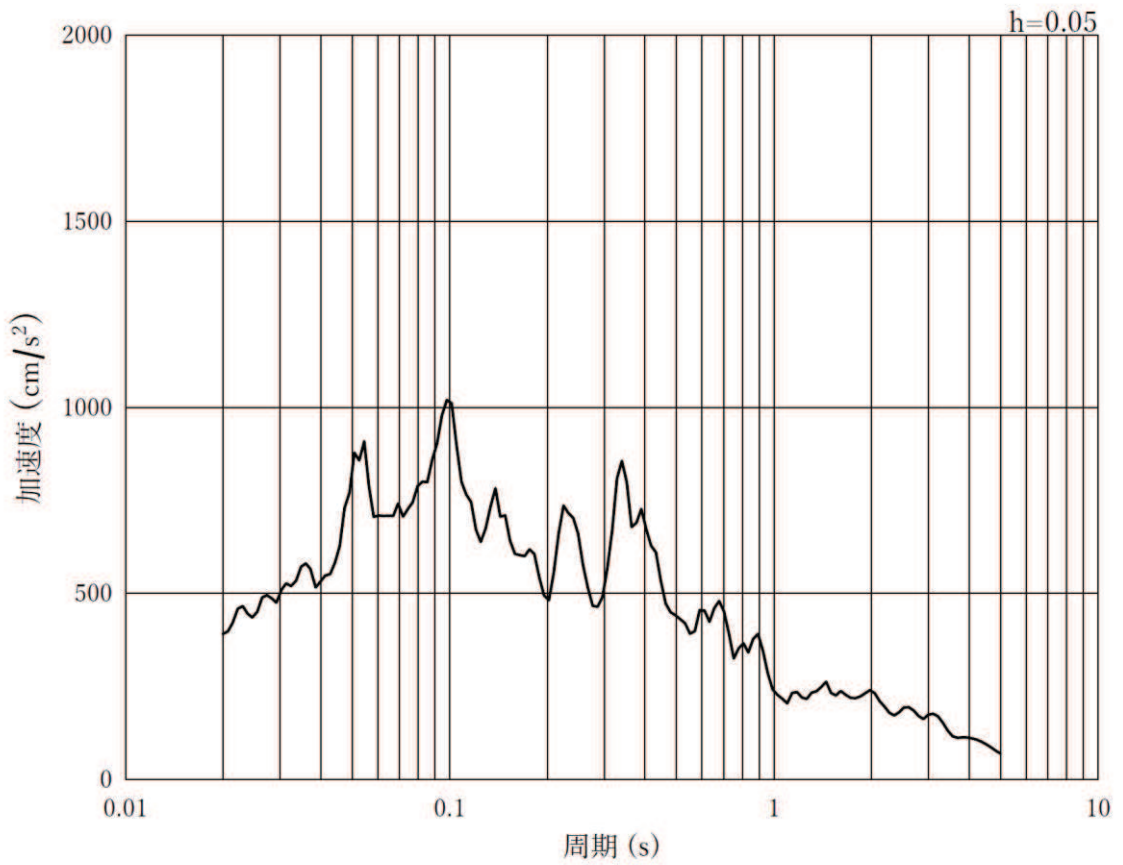


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(9) 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
(水平方向 : S s - F 2)

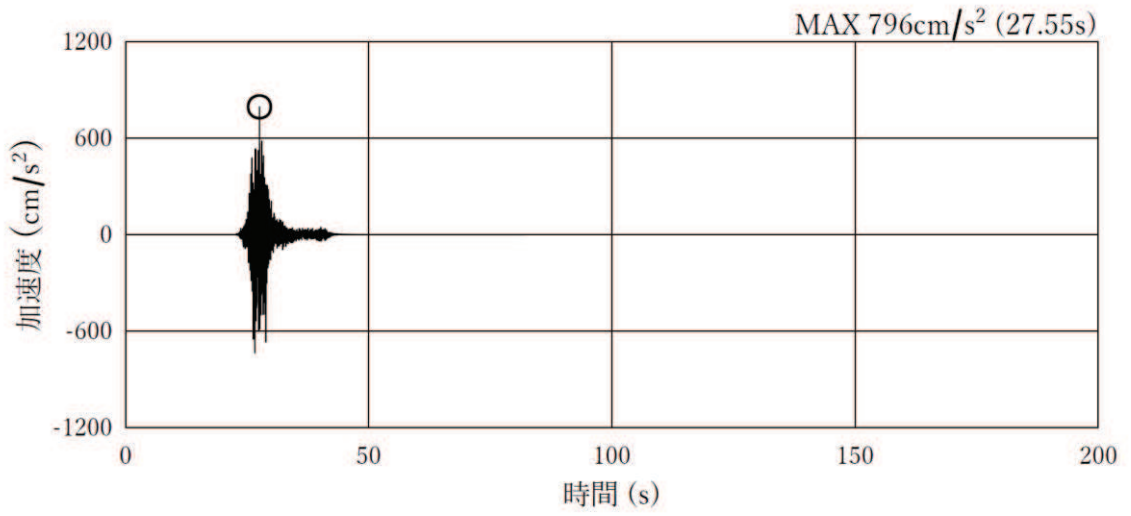


(a) 加速度時刻歴波形

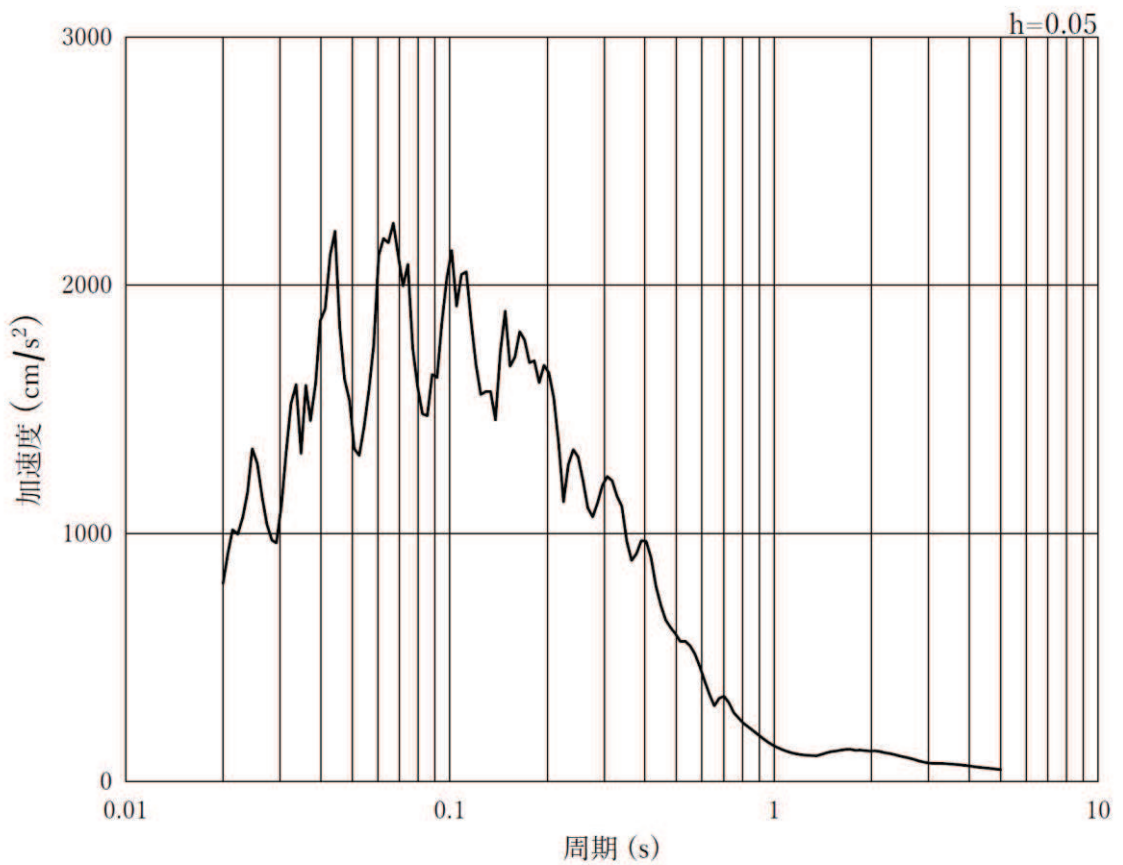


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(10) 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
(鉛直方向：S s - F 2)

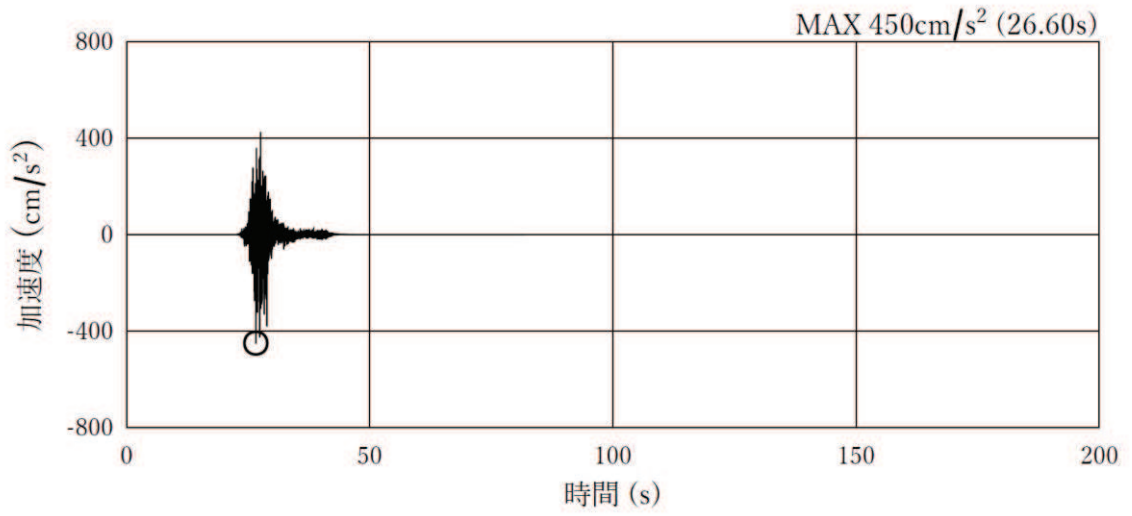


(a) 加速度時刻歴波形

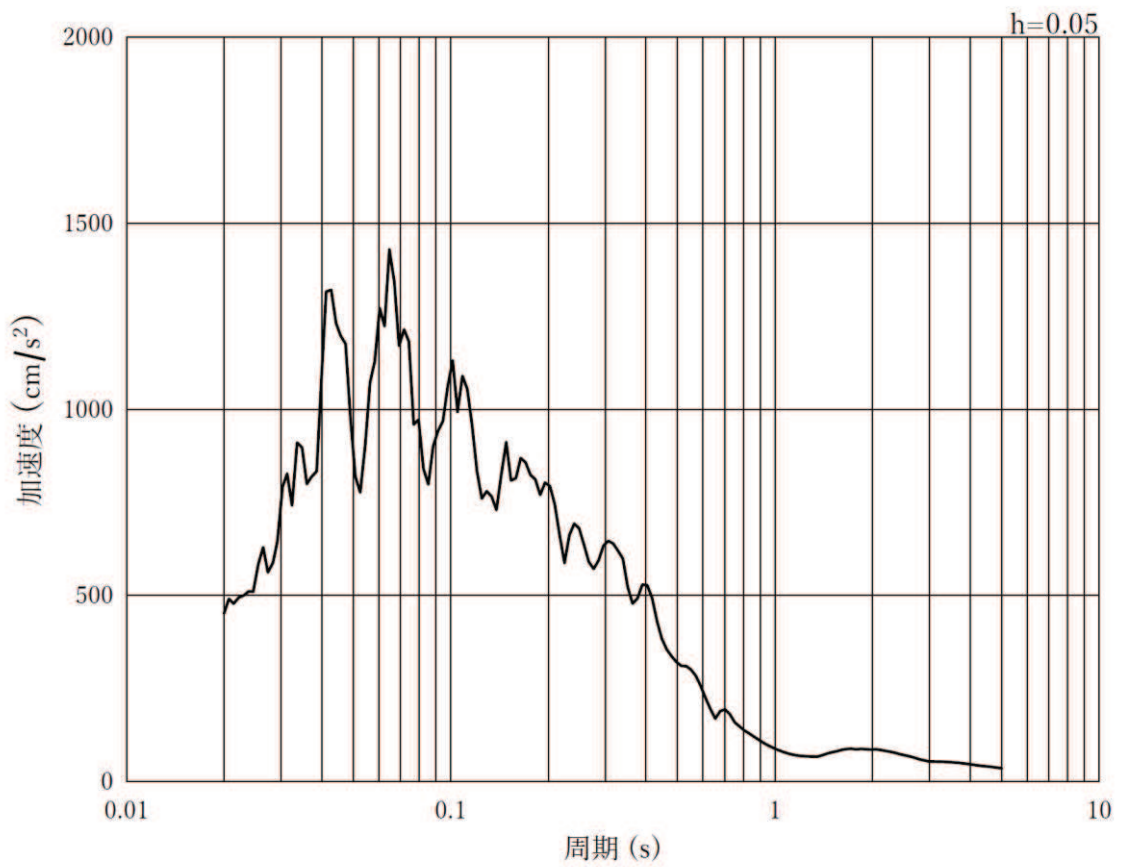


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(11) 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
(水平方向 : S s - F 3)

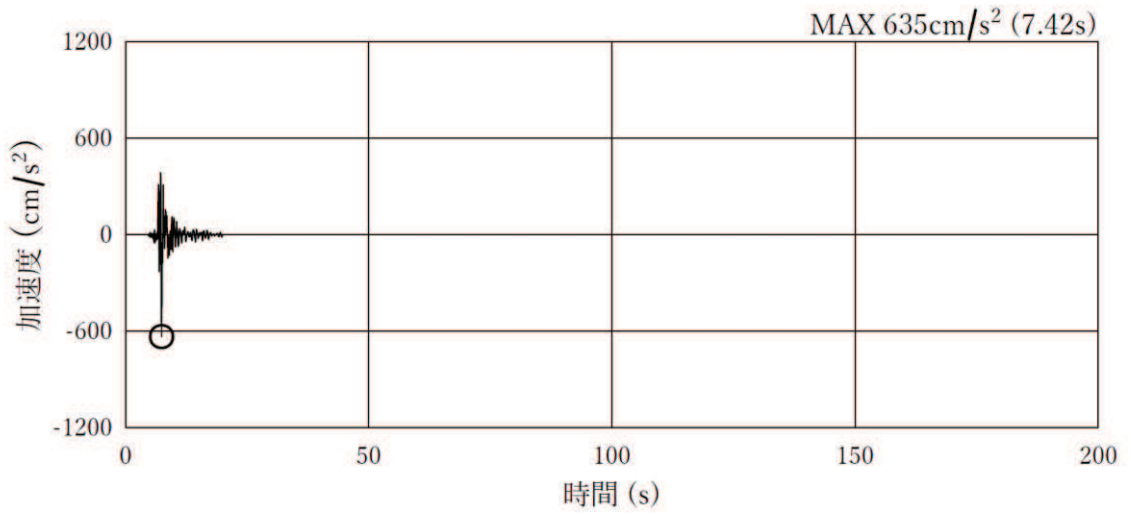


(a) 加速度時刻歴波形

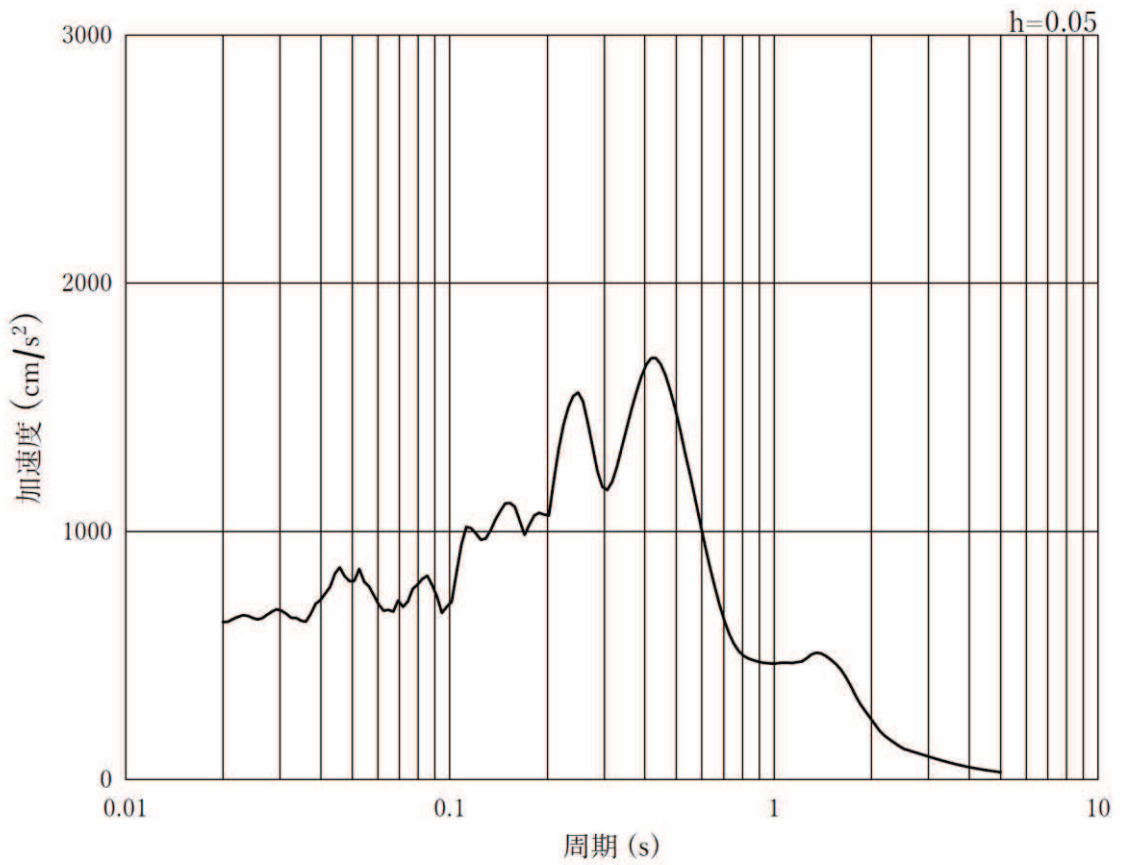


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(12) 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
(鉛直方向：S s - F 3)

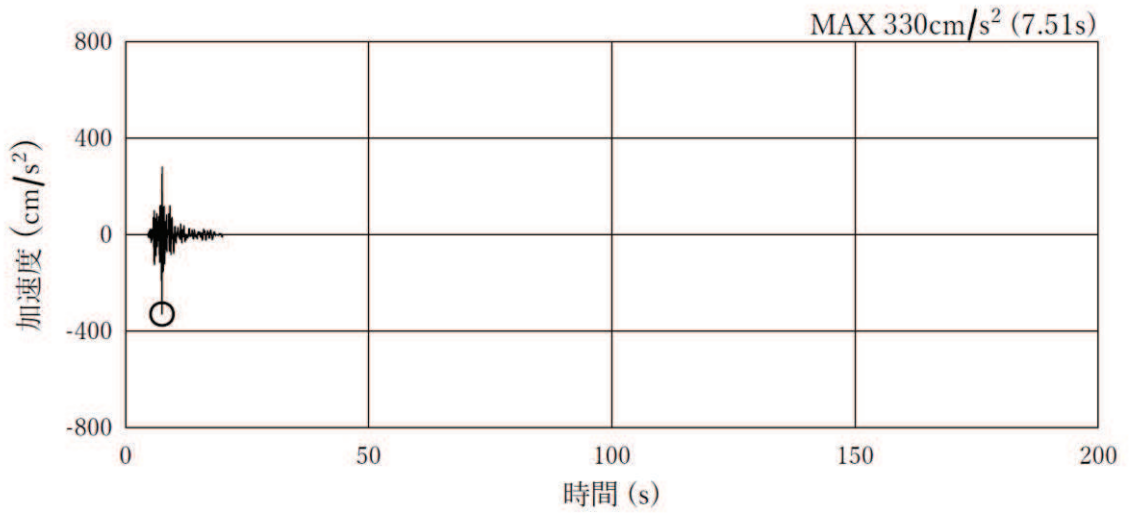


(a) 加速度時刻歴波形

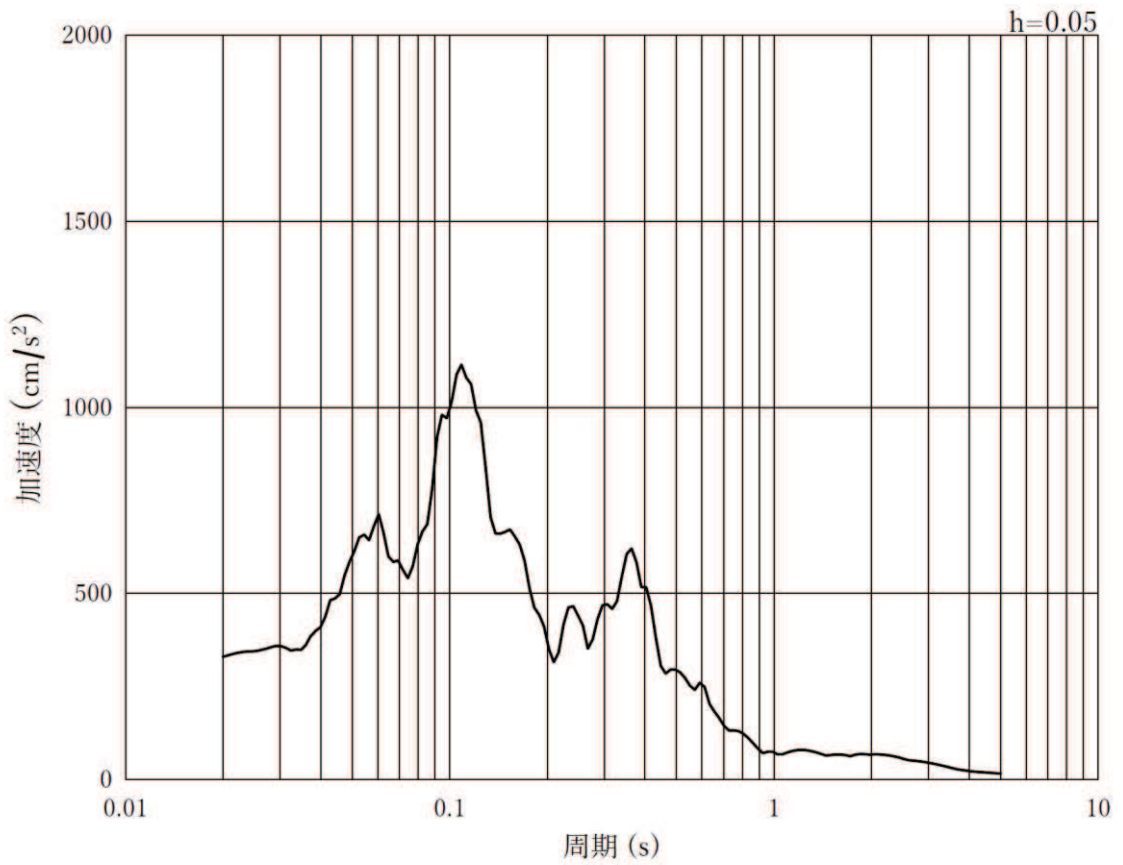


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(13) 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
(水平方向 : S s - N 1)

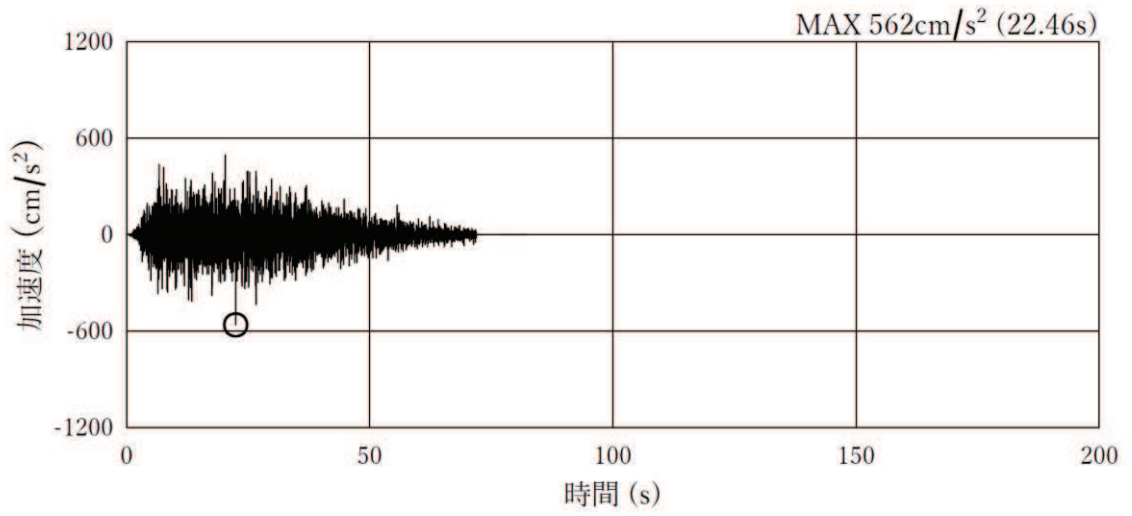


(a) 加速度時刻歴波形

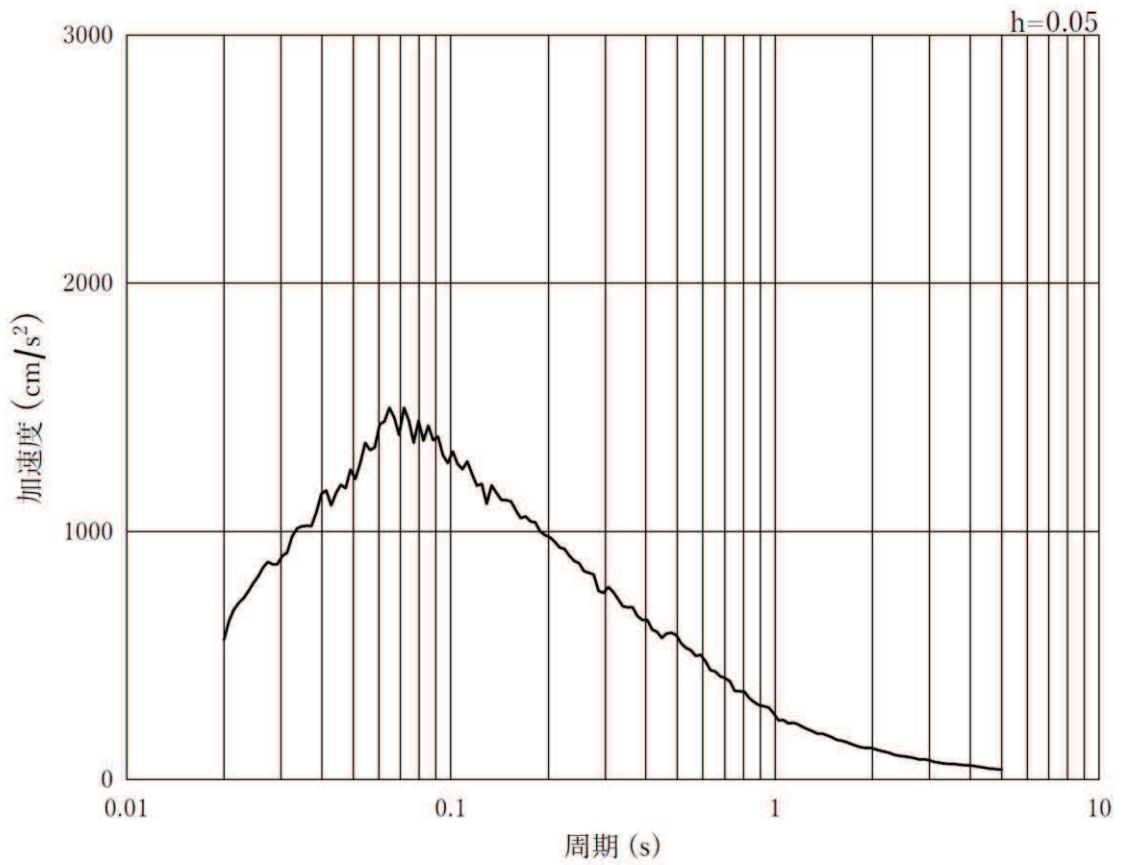


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(14) 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
(鉛直方向：S s - N 1)

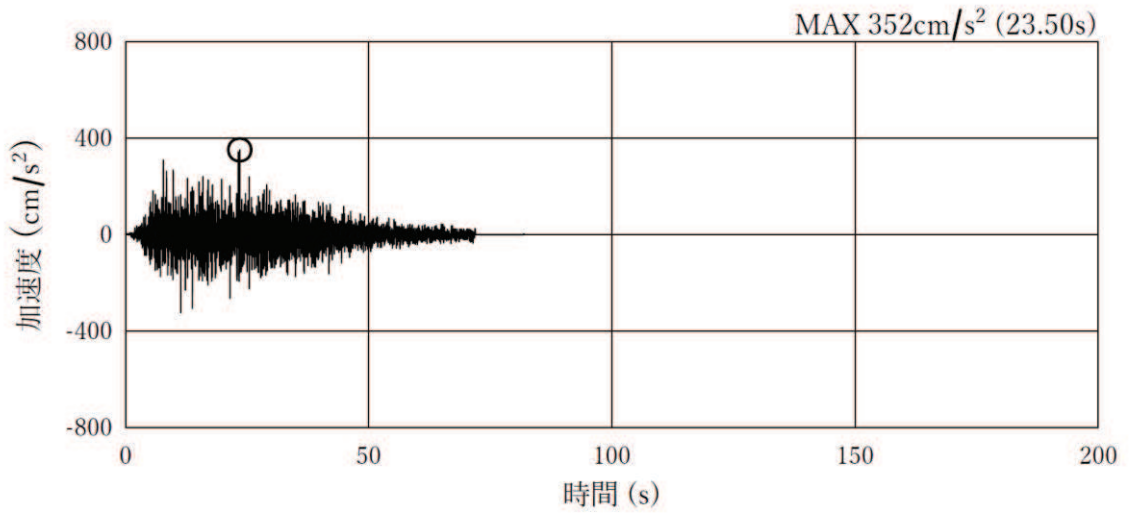


(a) 加速度時刻歴波形

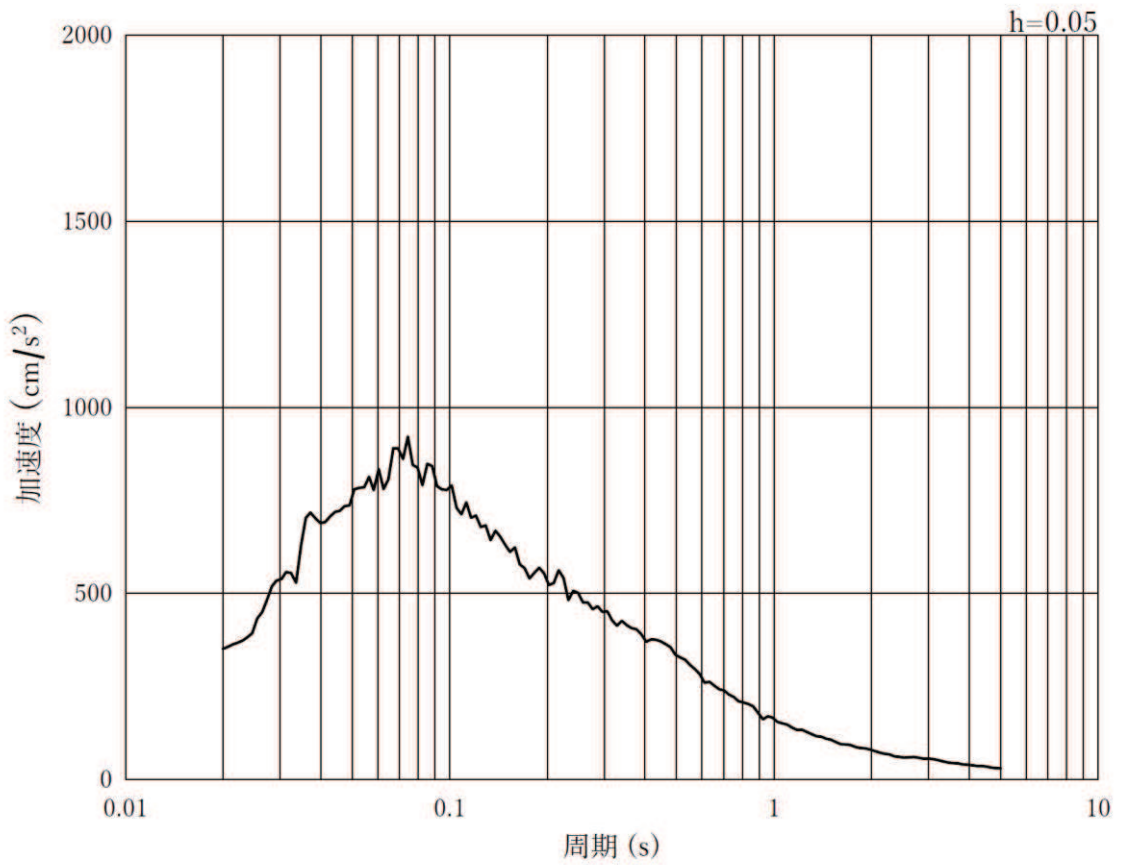


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(15) 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
(水平方向 : S d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(16) 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
(鉛直方向：S d - D 2)

8.4 地盤応答

解析結果のうち、すべての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D2 に対する地盤の地表面最大加速度を表 8-3 に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d-D2 の応答加速度については、浸水防止蓋の強度評価における余震荷重の算定に用いる。

表 8-3(1) 地盤の最大応答加速度 (ケース①)

(cm/s^2)

方向	S_s-D1	S_s-D2	S_s-D3	S_s-F1	S_s-F2	S_s-F3	S_s-N1	S_d-D2
水平	371.3	371.3	345.1	-341.2	382.3	350.2	-477.2	265.3
鉛直	-1170.2	1308.9	1007.2	532.3	-747.5	-812.4	848.9	759.8

表 8-3(2) 地盤の最大応答加速度 (ケース②)

(cm/s^2)

方向	S_s-D1	S_s-D2	S_s-D3	S_s-F1	S_s-F2	S_s-F3	S_s-N1	S_d-D2
水平	364.5	365.5	340.9	-335.9	377.9	353.6	-460.2	265.6
鉛直	-1158.3	1298.2	-1059.2	537.3	-702.9	-780.6	809.6	752.1

表 8-3(3) 地盤の最大応答加速度 (ケース③)

(cm/s^2)

方向	S_s-D1	S_s-D2	S_s-D3	S_s-F1	S_s-F2	S_s-F3	S_s-N1	S_d-D2
水平	374.8	375.9	354.4	-348.3	394.8	344.9	-505.5	262.9
鉛直	-1182.7	1260.8	954.2	541.7	-792.5	-886.3	882.0	733.7

9 耐震評価

9.1 評価方針

揚水井戸の評価は、添付書類「VI-2-6 耐震設計の基本方針」に基づき、応力解析による断面の評価を行うことで、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能の確認を行う。

9.2 許容限界

9.2.1 構造部材の健全性に対する許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

排水シャフトの許容限界は、「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき、表9-1 示す短期許容応力度とする。

表9-1 鋼製シャフトの許容応力度及び短期許容応力度

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度* (N/mm ²)
	SM570 (t ≤ 40mm)	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 σ_{sa}	
許容せん断応力度 τ_{sa}		145	217

注記*：「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」により鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割り増しを考慮する。

9.2.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表9-2に示す。

表9-2 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	牧の浜部層	11.4

9.3 評価方法

9.3.1 構造部材の健全性評価

鋼製シャフトの応力解析は、「8. 地震応答解析」で得られる地盤変位を用いた応答変位法を用いる。鋼製シャフトは線形はり要素としてモデル化し、地盤は「日本道路協会平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編」に基づき、地盤ばねでモデル化する。応答変位法では、水平方向の地盤ばねを介して地表面の地盤変位が最大となる時刻における地震時応力を算出する。

応答変位法に用いる地盤変位は表8-2に示す解析ケース①の地表面相対変位が最大となる時刻の変位分布とする。また、解析ケース②、③の地表面相対変位がケース①を上回る場合は、その変位分布を用いて検討を行う。

図9-1に解析モデルを示す。鋼製シャフトは曲げ及びせん断剛性を考慮した線形はり要素とする。鋼製シャフトの断面性能を表9-3に、物性値を表9-4に示す。

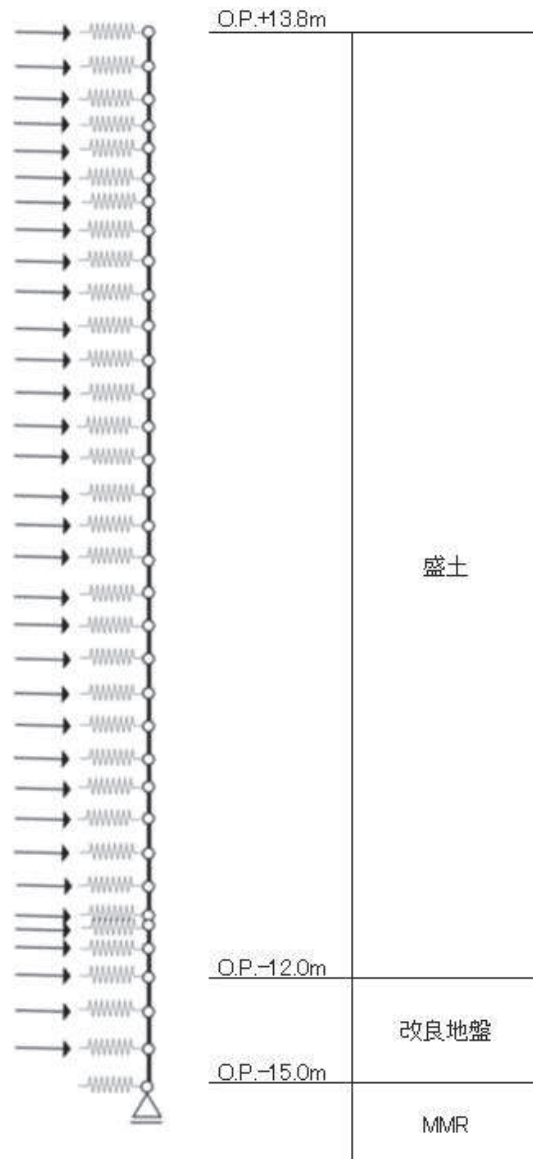


図9-1 応答変位法解析モデル

表 9-3 揚水井戸 鋼製シャフトの断面性能

標高 O.P. (m)	内径 (mm)	厚さ* (mm)	断面係数 (mm ³)	せん断断面積 (mm ²)
13.8～15.0	1500	30	5.06×10^7	1.35×10^5

注記*：鋼製シャフトの外表面が土中に接し内表面が湿潤状態となるため、各応力度の算定に当たっては、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編」に基づき、内側及び外側に 1mm の腐食代を考慮する。

表 9-4 揚水井戸 鋼製シャフトの材料物性

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼材	SM570	77.0	2.0×10^5	0.3

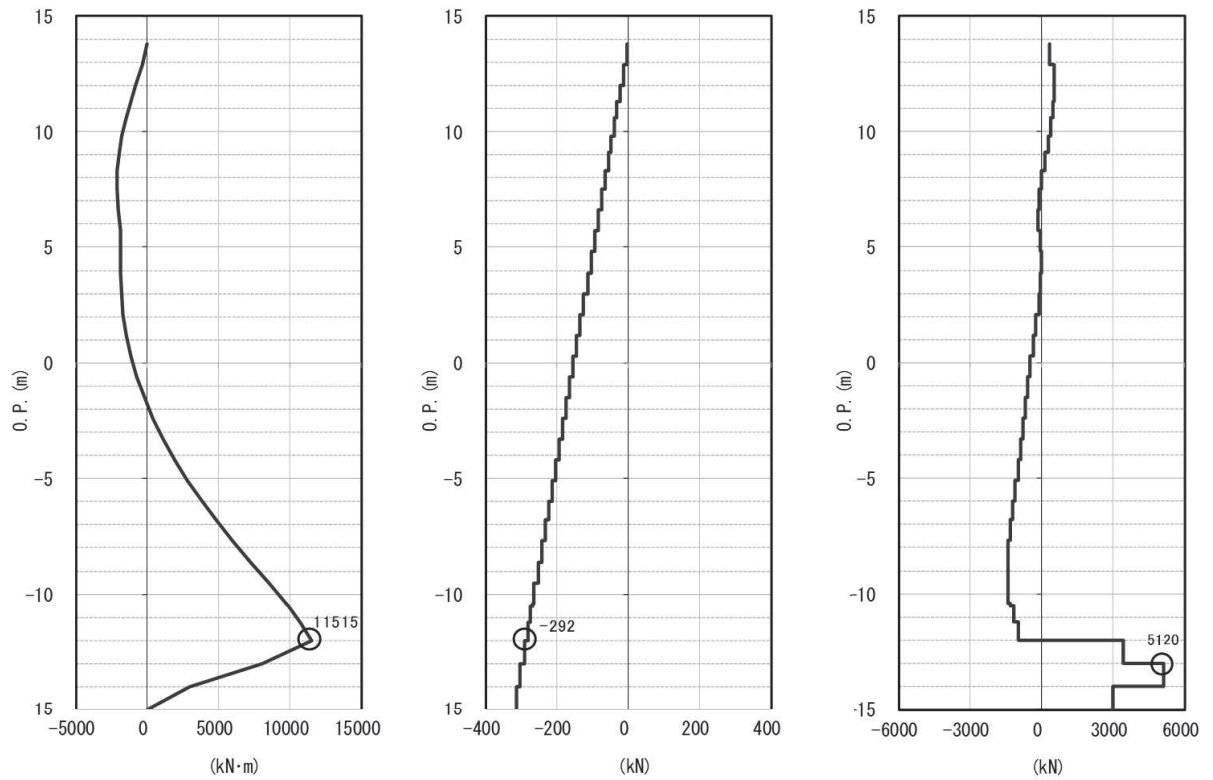
9.3.2 基礎地盤の支持性能評価

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能評価は、「8. 地震応答解析」で得られる鉛直加速度を用いた地震時慣性力に対して評価を行う。

9.4 評価結果

9.4.1 構造部材の健全性評価

鋼製シャフトの断面力分布図を図9-2に示す。また、鋼製シャフトの評価結果を表9-5に示す。



(a) 曲げモーメント

(b) 軸力*

(c) せん断力

注記*：+を引張，-を圧縮として示す

図9-2 断面力分布図

表 9-5(1) 鋼製シャフトの評価結果 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げ モーメント (kN/m)	軸力 (kN)			
S _s -N 1	①	11515	-292	230	382	0.61

表 9-5(2) 鋼製シャフトの評価結果 せん断破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -N 1	①	5120	77	217	0.36

9.4.2 基礎地盤の支持性能照査

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能照査結果を表 9-6 に示す。

表 9-6 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動	解析ケース	最大接地圧 R_u (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_u / R_{ua}
S _s -D 2	①	5.5	11.4	0.49

VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の
耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	8
3.1	応力評価の評価対象部位	8
3.2	変形性評価の評価対象部位	10
4.	固有値解析	11
4.1	固有値解析のモデルの設定及び解析手法	11
4.2	固有振動数の解析結果	13
5.	耐震評価	16
5.1	応力評価方法	16
5.2	変形性評価方法	28
6.	評価結果	34
7.	第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価の概要	38
8.	耐震評価の基本方針	39
8.1	構造概要	39
8.2	評価方針	46
8.3	適用基準	50
9.	地震応答解析	51
9.1	地震時荷重算出断面	51
9.2	解析方法	53
9.3	荷重及び荷重の組合せ	60
9.4	入力地震動	62
9.5	解析モデル及び諸元	91
9.6	地震応答解析結果	103
10.	耐震評価	105
10.1	構造部材の健全性及び止水機能に対する評価方法	105
10.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	120
10.3	許容限界	121
10.4	耐震評価結果	123

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析、応力評価及び変形性評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピットの上部に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

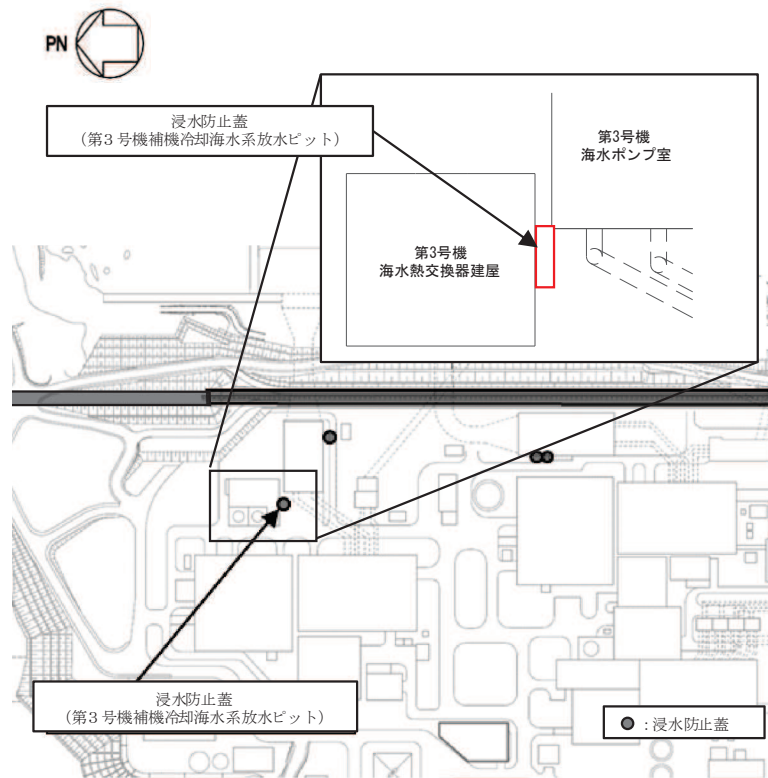


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピットからの浸水を防止するため、近接する第3号機海水熱交換器建屋側面に鋼製ブラケットを介して固定ボルトにて固定し、地震時に異なる挙動を示す可能性がある第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置することで止水性を確保する構造とする。

また、浸水防止蓋はメンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

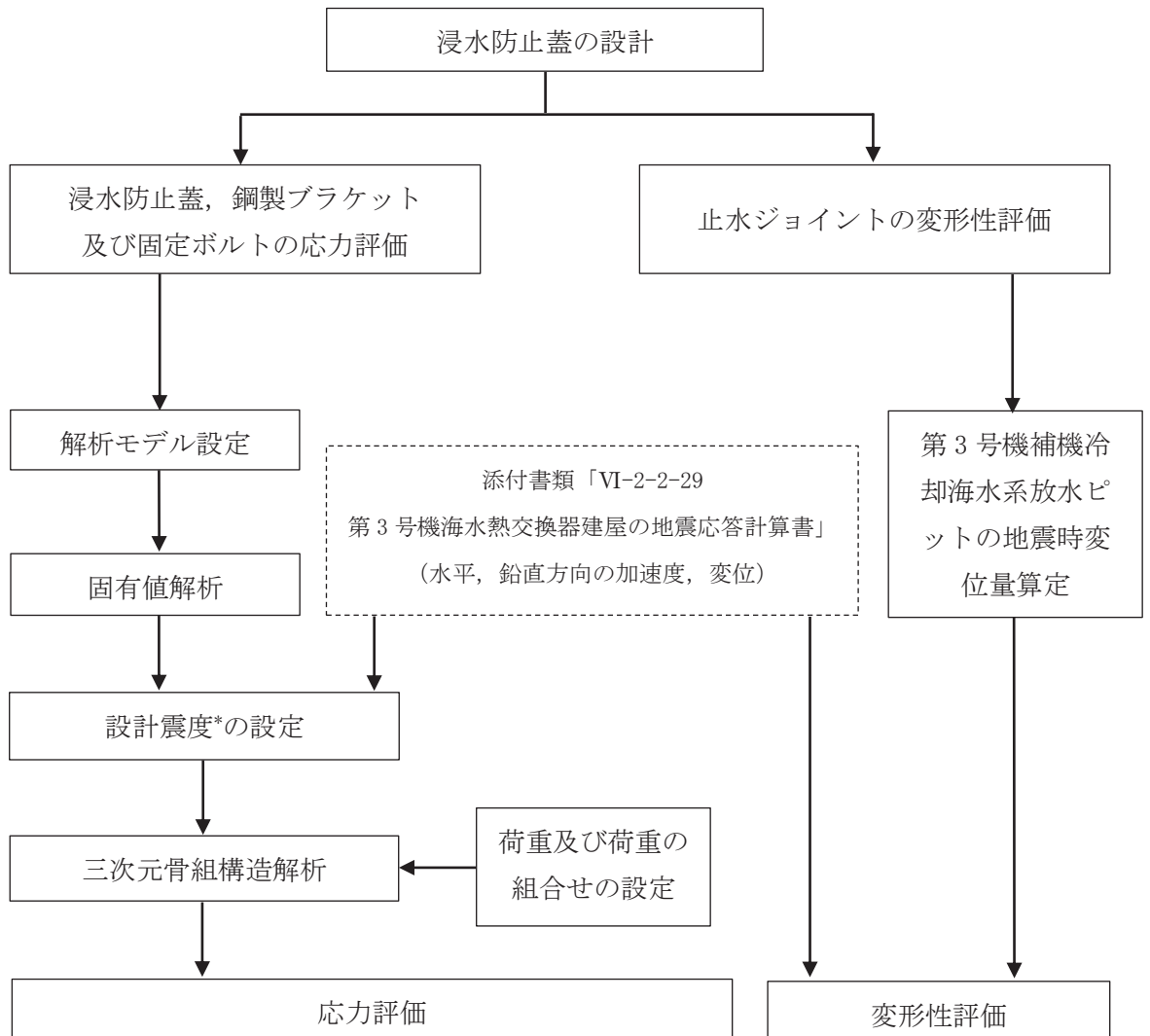
計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
十分な支持性能を有する第3号機海水熱交換器建屋側面に固定ボルトで固定する。	<p>浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトにより構成する。</p> <p>第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置する。</p> <p>また、浸水防止蓋にはハッチを設置する。</p>	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、応力評価と変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価については、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力 S_s により算出した応力が許容限界内に収まることを、「5. 耐震評価」にて示す方法にて確認する。

止水ジョイントの変形性評価については、止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量の和が許容限界内に収まることを、「5. 耐震評価」にて示す方法にて確認する。応力評価及び変形性評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。耐震評価フローを図2-2に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する

図2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 日本産業規格（J I S）
- (4) 日本建築学会 2018 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k	—	基準地震動 S_s の設計震度
$S_{sH(NS)}$	kN	基準地震動 S_s の水平方向 (N-S) の地震荷重
$S_{sH(EW)}$	kN	基準地震動 S_s の水平方向 (E-W) の地震荷重
S_{sv}	kN	基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重
$k_{H(NS)}$	—	基準地震動 S_s の水平方向 (N-S) の設計震度
$k_{H(EW)}$	—	基準地震動 S_s の水平方向 (E-W) の設計震度
k_v	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	N・mm	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積
Z	mm ³	浸水防止蓋の断面係数
α	—	平板のモーメントに関する係数
β	—	平板のせん断力に関する係数
w	kN/m ²	浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重
w'	N/mm ² ・mm	浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
l_x	mm	浸水防止蓋の短辺長
t	mm	浸水防止蓋の厚さ

表 2-2(2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
T d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力
R n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)
R m	kN・mm	固定ボルトの支点モーメント
R s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)
B	mm	照査箇所のボルト間隔
N	本	照査箇所の固定ボルトの本数
d n	mm	止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向)
d s	mm	止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向)
d b _{NS}	mm	第 3 号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位 (N-S 方向)
d b _{EW}	mm	第 3 号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位 (E-W 方向)
d p _{NS}	mm	第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの 地震時最大応答変位 (N-S 方向)
d p _{EW}	mm	第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの 地震時最大応答変位 (E-W 方向)
N	本	ハッチに取り付く固定ボルトの本数
A'	mm ²	固定ボルトの有効断面積
σ_t	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
τ_s	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向や伝達過程及び変形を考慮し設定する。

3.1 応力評価の評価対象部位

応力評価の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋及び鋼製ブラケットに作用し、鋼製ブラケットを固定している固定ボルトを介して躯体に伝達することから、浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトを応力評価の評価対象部位として設定する。

また、浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は締付部（固定ボルト）を介して浸水防止蓋に伝達されることから締付部の固定ボルトを評価対象部位として設定する。

応力評価の評価対象部位について図 3-1 に示す。

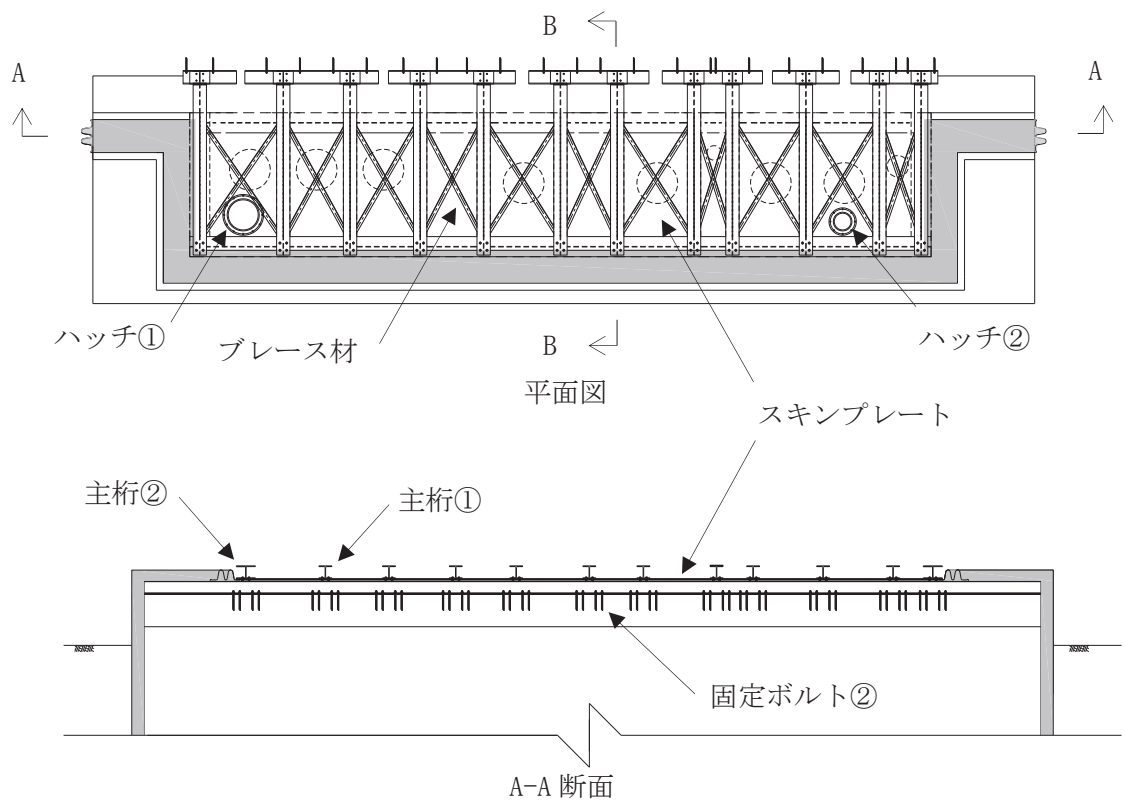


図 3-1(1) 評価対象部位（応力評価）

評価対象部位	
浸水防止蓋	スキンプレート
鋼製ブラケット	主桁①
	主桁②
	横桁
	斜材
	ブレース材
	縦桁
固定ボルト	固定ボルト①
	固定ボルト②

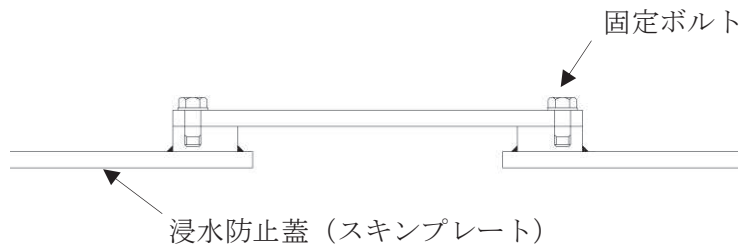
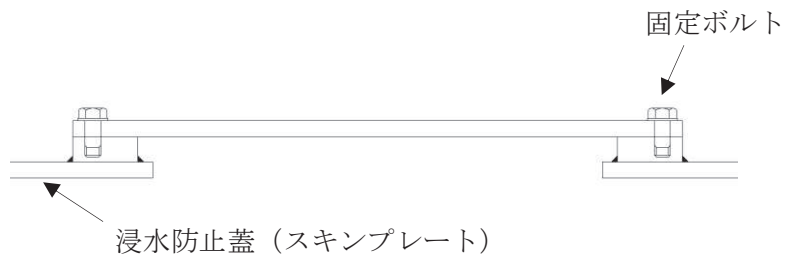
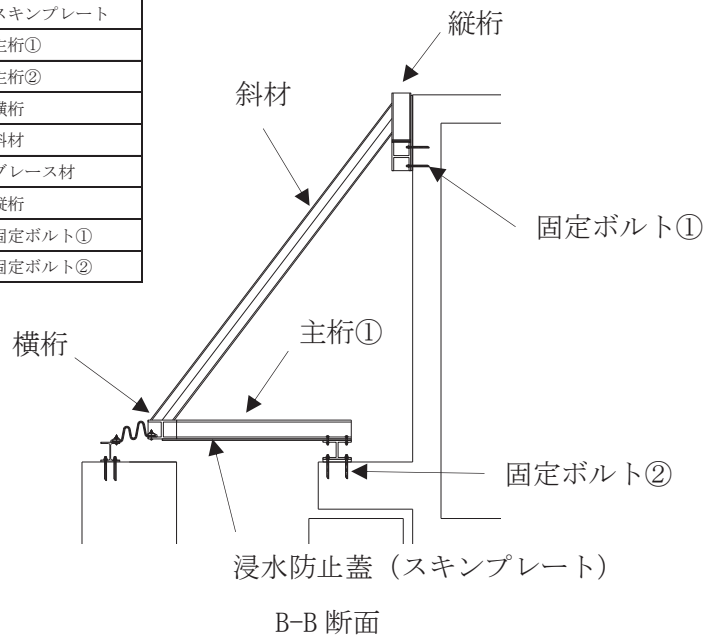
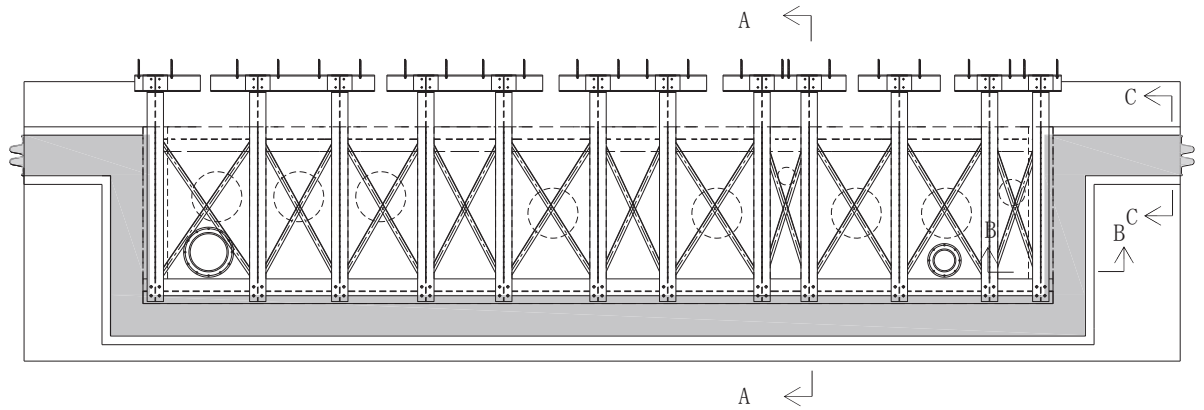


図 3-1(2) 評価対象部位 (応力評価)

3.2 変形性評価の評価対象部位

変形性評価の評価対象部位は、地震に伴う浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの変位が止水ジョイントに作用することから、止水ジョイントを変形性評価の評価対象部位として設定する。変形性評価の評価対象部位について図3-2に示す。



平面図

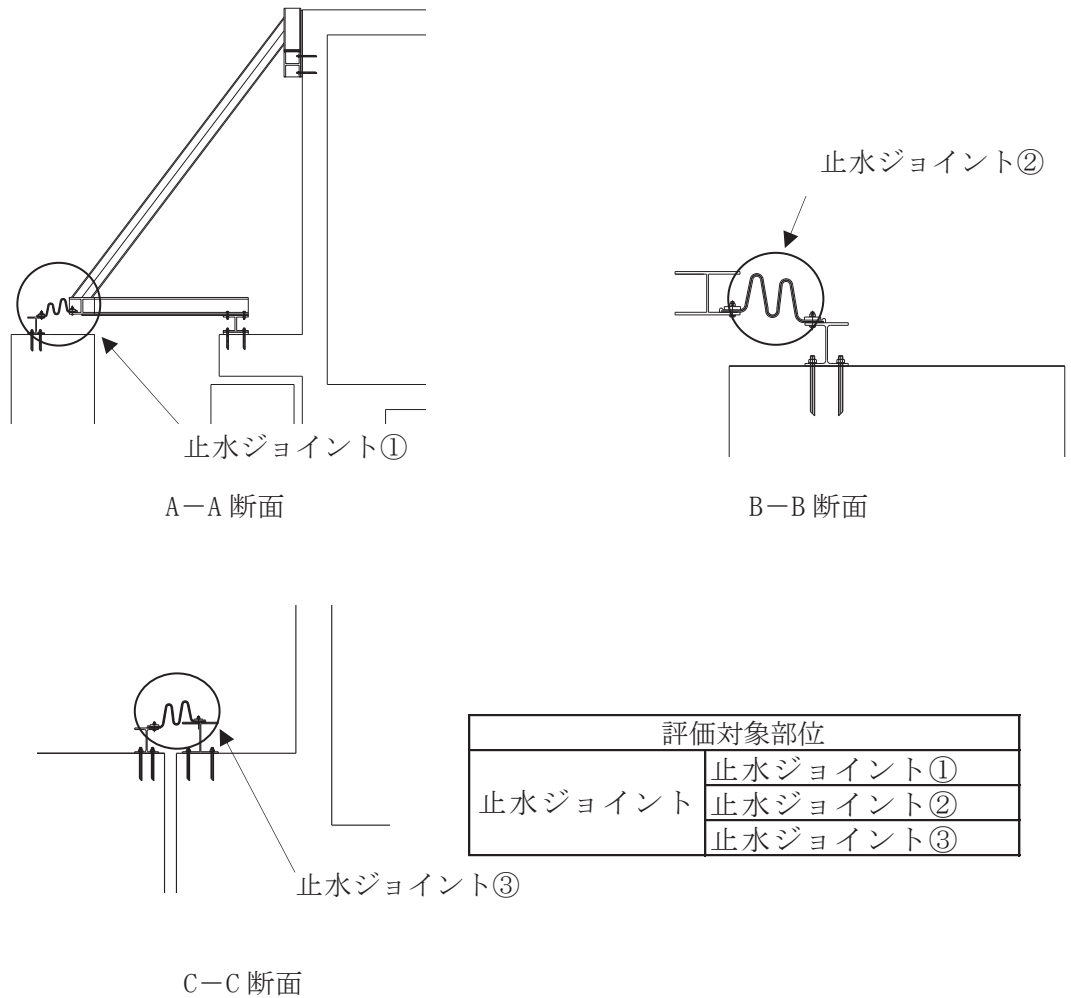


図3-2 評価対象部位 (変形性評価)

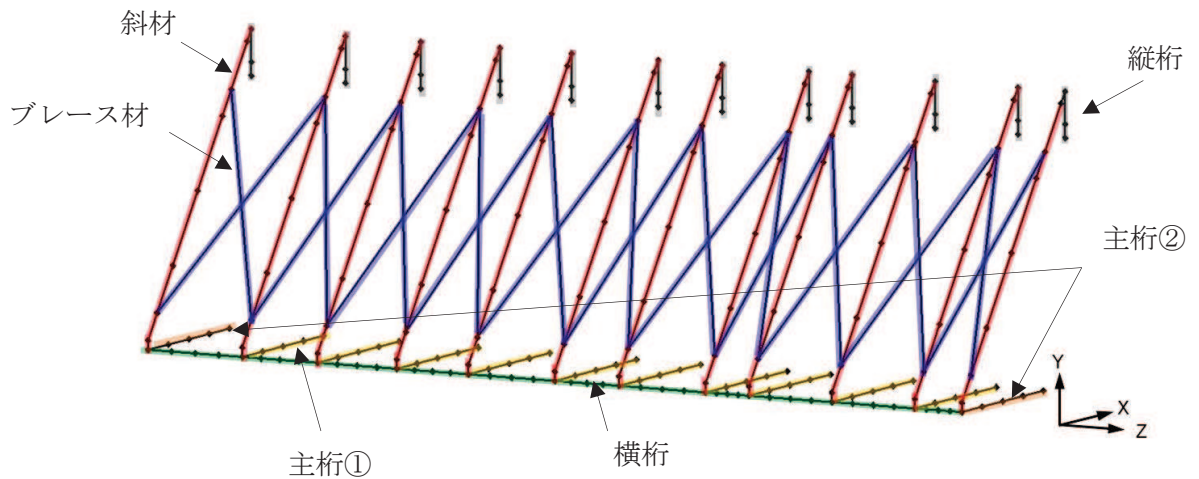
4. 固有値解析

4.1 固有値解析のモデルの設定及び解析手法

浸水防止蓋と鋼製ブラケットは一体化された三次元性を有する構造であることを踏まえ、図4-1に示す三次元フレームモデルにより固有値解析を実施する。

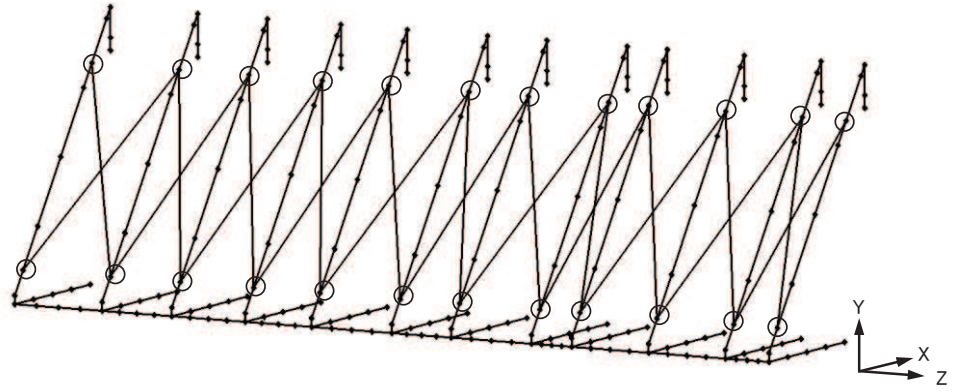
解析コードは「Engineer's StudioVer.6.00.4」を用いる。

解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



対象部材	材質	断面形状
— : 主桁①	SUS304	H-200×200×20×20
— : 主桁②	SUS304	H-200×300×20×20
— : 斜材	SUS304	H-200×200×8×12
— : 横桁	SUS304	H-200×300×20×20
— : ブレース材	SUS304	L-60×60×5
— : 縦桁	SUS304	H-200×200×8×12

図4-1(1) 固有値解析モデル (1/2)



記号	x	y	z
●	剛結	剛結	剛結
◎	ピン	ピン	ピン

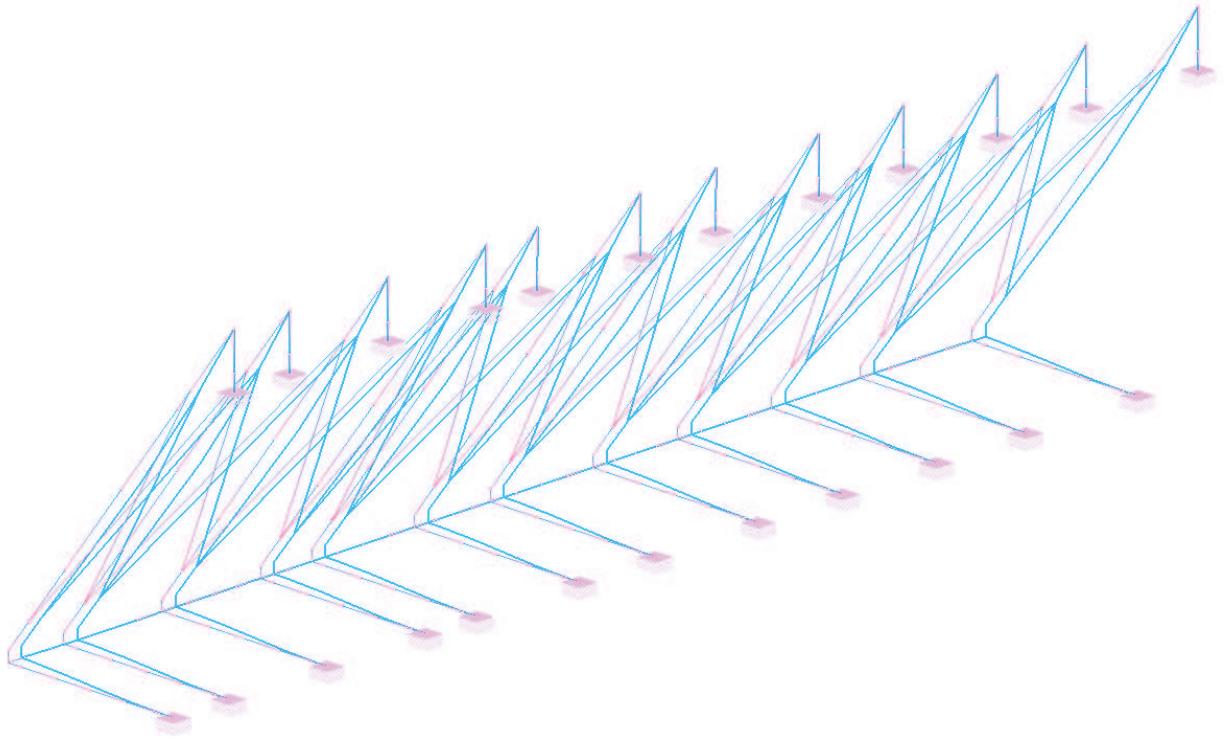
図 4-1(2) 固有値解析モデル (2/2)

4.2 固有振動数の解析結果

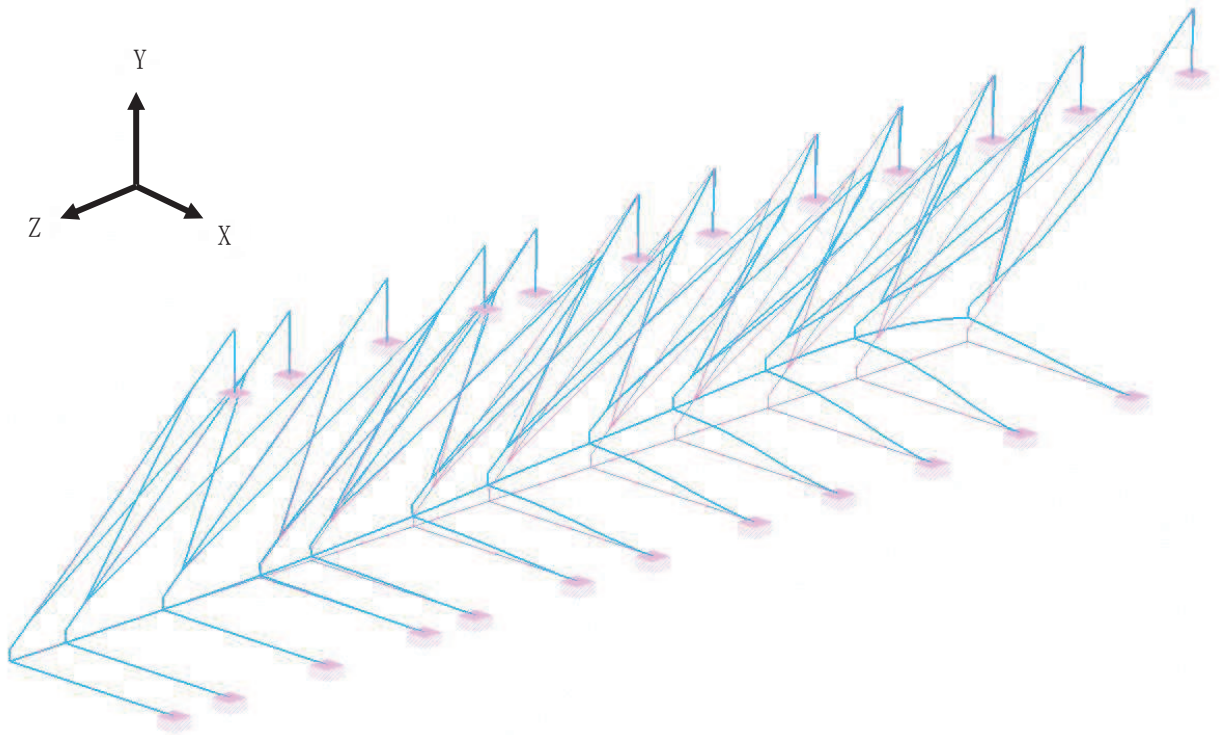
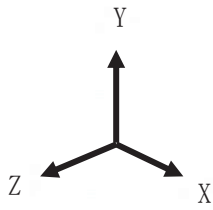
固有振動数の解析結果を表 4-1 及び図 4-2 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-1 固有値解析結果

振動モード 次数	卓越 方向	固有振動数 f (Hz)
1	Z	24.17
38	Y	108.71
95	X	276.20

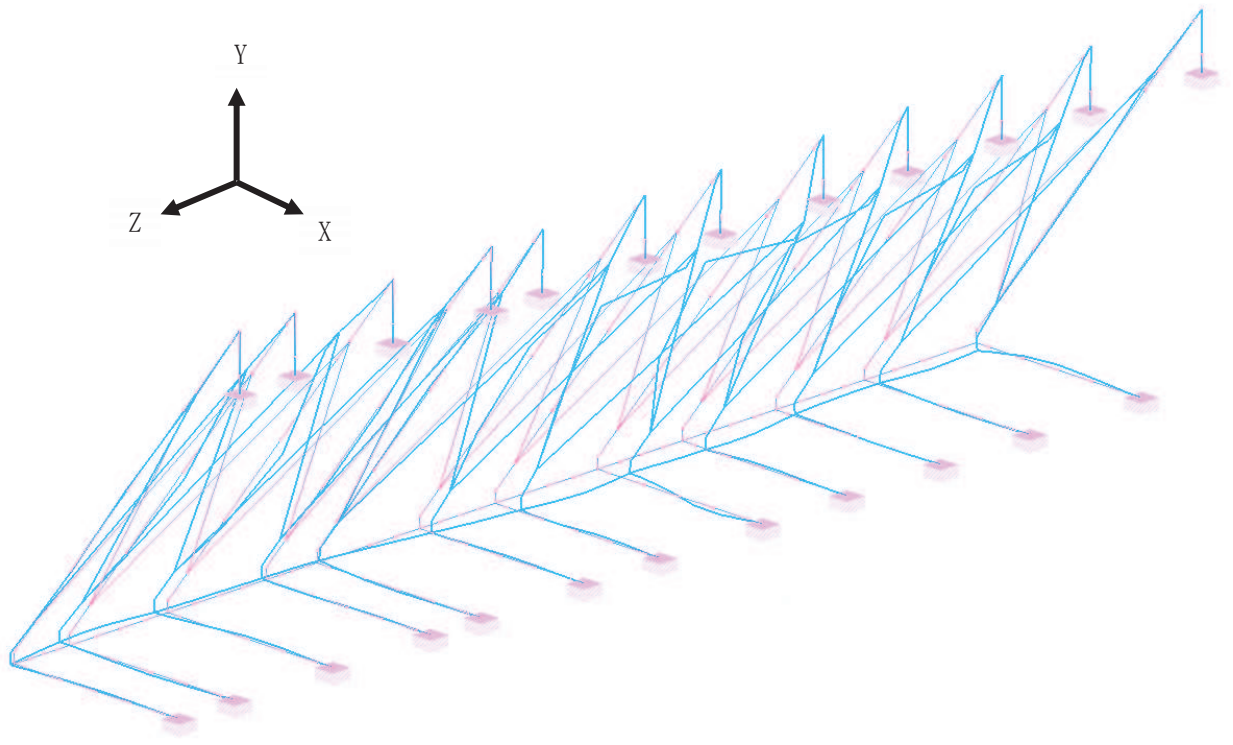


振動モード：1次，固有振動数 24.17Hz



振動モード：38次，固有振動数 108.71Hz

図4-2(1) 固有値解析結果 (1/2)



振動モード：95次，固有振動数 276.20Hz

図4-2(2) 固有値解析結果 (2/2)

5. 耐震評価

5.1 応力評価方法

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.1.2 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.1.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_s + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

b. 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、 P_s : 積雪荷重 (kN)

W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)

d_s : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

c. 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : 固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.1.2 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 使用材料

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及び固定ボルトの使用材料を表5-1に示す。

表5-1 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
浸水防止蓋	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
鋼製ブラケット	主桁①	SUS304	H-200×200×20×20 (mm)
	主桁②	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	横桁	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	斜材	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
	ブレース材	SUS304	L-60×60×5 (mm)
	縦桁	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
固定ボルト	固定ボルト①	SUS304	M20
	固定ボルト②	SUS304	M20
ハッチ①	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	M16
ハッチ②	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	M16

(2) 許容限界

a. 浸水防止蓋，鋼製ブラケット，ハッチ

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及びハッチの許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき表 5-2 の値とする。

表 5-2 浸水防止蓋，鋼製ブラケットの短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SUS304	205	118

b. 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-3 に示す。

固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

部位	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
固定ボルト①	SUS304	50.2	35.1
固定ボルト②	SUS304	37.8	18.4

5.1.3 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，応力評価に用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「V-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。荷重の組合せは表 5-4 のとおり，組合せ係数法 (1.0 : 0.4) により評価する。応力評価で用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-4 荷重の組合せ

ケース No.	荷重の組合せ
1	$G + P_s + 1.0 S_{sH(NS)} + 0.4 S_{sv}$
2	$G + P_s + 1.0 S_{sH(NS)} - 0.4 S_{sv}$
3	$G + P_s - 1.0 S_{sH(NS)} + 0.4 S_{sv}$
4	$G + P_s - 1.0 S_{sH(NS)} - 0.4 S_{sv}$
5	$G + P_s + 0.4 S_{sH(NS)} + 1.0 S_{sv}$
6	$G + P_s - 0.4 S_{sH(NS)} + 1.0 S_{sv}$
7	$G + P_s + 0.4 S_{sH(NS)} - 1.0 S_{sv}$
8	$G + P_s - 0.4 S_{sH(NS)} - 1.0 S_{sv}$
9	$G + P_s + 1.0 S_{sH(EW)} + 0.4 S_{sv}$
10	$G + P_s + 1.0 S_{sH(EW)} - 0.4 S_{sv}$
11	$G + P_s - 1.0 S_{sH(EW)} + 0.4 S_{sv}$
12	$G + P_s - 1.0 S_{sH(EW)} - 0.4 S_{sv}$
13	$G + P_s + 0.4 S_{sH(EW)} + 1.0 S_{sv}$
14	$G + P_s - 0.4 S_{sH(EW)} + 1.0 S_{sv}$
15	$G + P_s + 0.4 S_{sH(EW)} - 1.0 S_{sv}$
16	$G + P_s - 0.4 S_{sH(EW)} - 1.0 S_{sv}$

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

$S_{sH(NS)}$: 基準地震動 S_s の水平方向 (N-S) の地震荷重 ($(G + P_s) \times k_{H(NS)}$) (kN)

$S_{sH(EW)}$: 基準地震動 S_s の水平方向 (E-W) の地震荷重 ($(G + P_s) \times k_{H(EW)}$) (kN)

S_{sv} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重 ($(G + P_s) \times k_v$) (kN)

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S_s の設計震度		
		水平方向 (N-S) $k_{H(NS)}$	水平方向 (E-W) $k_{H(EW)}$	鉛直方向 k_v
第 3 号機海水 熱交換器建屋	O.P. 14.0	2.46	2.07	1.27

5.1.4 計算方法

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及び固定ボルトに発生する応力より算出する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋は図 5-1 に示すとおり主桁間に分割して設置することから三辺固定スラブモデルとして断面力を算出する。評価箇所は図 5-1 に示すとおり，断面力が大きいと考えられる主桁間の幅最大の箇所とする。浸水防止蓋に作用する等分布荷重（鉛直震度含む）が作用している板に発生する曲げ応力及びせん断応力は「日本建築学会 2018 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（図 5-2）より算出する。

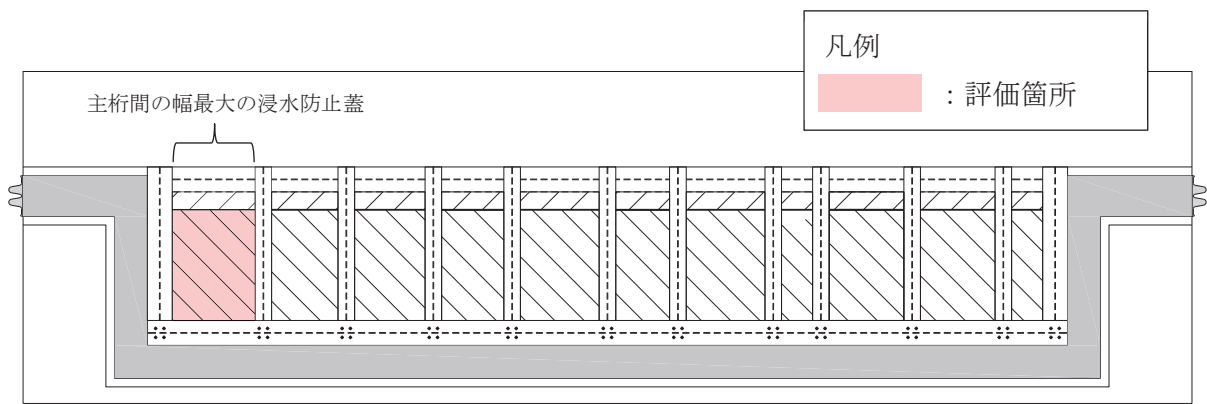


図 5-1 浸水防止蓋の評価箇所

a. 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_{sv}

$$S_{sv} = (G + P_s) \cdot k_v$$

- ここで、
- S_{sv} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重 (kN)
 - G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重 w

$$w = (G + P_s + S_{sv}) / A$$

- ここで、
- w : 浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重 (kN/m²)
 - G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - S_{sv} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重 (kN)
 - A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

c. 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重 w'

$$w' = w / 1000$$

ここで, w' : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
($N/mm^2 \cdot mm$)

d. 最大曲げ応力 σ

求めた曲げモーメントのうち最大となる曲げモーメントについて、以下の式にて最大曲げ応力を算出する。

$$M = \alpha \cdot w' \cdot l_x^2$$

ここで, M : 曲げモーメント ($N \cdot mm$)
 α : 平板のモーメントに関する係数
 w' : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
($N/mm^2 \cdot mm$)
 l_x : 浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\sigma = M / Z$$

ここで, σ : 最大曲げ応力 (N/mm^2)
 M : 最大曲げモーメント ($N \cdot mm$)
 Z : 浸水防止蓋の断面係数 (mm^3)

e. 最大せん断応力 τ

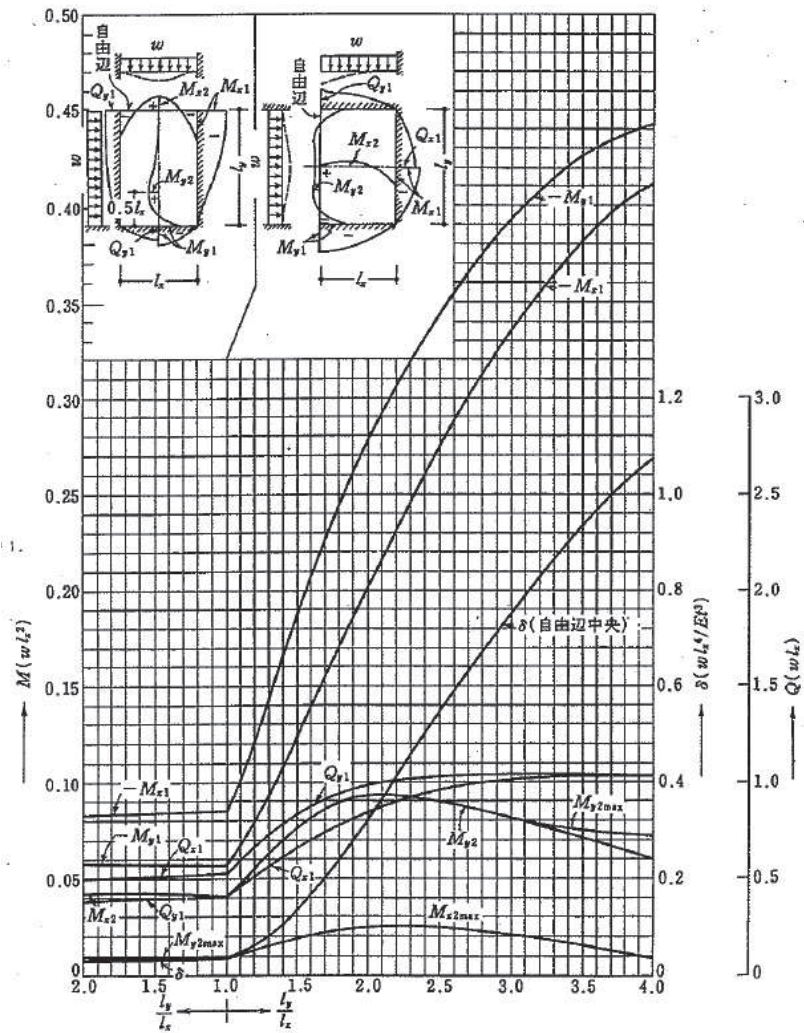
求めたせん断力のうち最大となるせん断力について、以下の式にて最大せん断応力度を算出する。

$$Q = \beta \cdot w' \cdot l_x$$

ここで, Q : 最大せん断力 (N)
 β : 平板のせん断に関する係数
 w' : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
(N/mm)
 l_x : 浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\tau = Q / A_s$$

ここで, τ : 最大せん断応力度 (N/mm^2)
 Q : 最大せん断力 (N)
 A_s : 浸水防止蓋のせん断断面積 (mm^2)



付図 15.3 等分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ δ^0 ($v=0$)

図 5-2 応力算出図

f. 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検討

浸水防止蓋に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
- σ : 最大曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)

(2) 鋼製ブラケット

鋼製ブラケットの応力評価に用いるモデルは固有値解析を行ったモデルと同一とし、鋼製ブラケットの計算には解析コード「Engineer's StudioVer.6.00.4」を使用して評価部位に生じる断面力を求める。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。モデルに入力する荷重は、「5.1.1 荷重及び荷重の組合せ」に示すとおりである。

(3) 固定ボルト

鋼製ブラケットの解析により得られる固定ボルト部の応力により、固定ボルトに作用する応力度を算出する。なお、固定ボルト①の照査箇所の本数は4本であり、また固定ボルト②の照査箇所の本数は8本である。

a. 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = R_n / N + R_m / B / (N / 2)$$

ここで、 T_d : 固定ボルト1本当りに作用する引張力 (kN)
 R_n : 固定ボルトの支点反力 (引張) (kN)
 R_m : 固定ボルトの支点モーメント (kN・mm)
 B : 照査箇所のボルト間隔 (mm)
 N : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

b. 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = R_s / N$$

ここで、 q : 固定ボルト1本当りに作用するせん断力 (kN)
 R_s : 固定ボルトの支点反力 (せん断) (kN)
 N : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

(4) ハッチ

固定ボルトに作用する荷重を以下の式により算出する。

なお、固定ボルト①の照査箇所のボルト本数は12本であり、また固定ボルト②の照査箇所のボルト本数は8本である。

a. 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : ハッチの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : ハッチの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

c. 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、
 $T_s = S_s / N$

σ_t : 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 (N/mm)
 T_s : 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : ハッチに取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

d. 固定ボルト1本あたりに生じるせん断応力度 τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、
 $q_s = S_s / N$

τ_s : 固定ボルト1本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm²)
 q : 固定ボルト1本あたりに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : ハッチに取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

5.1.5 計算条件

浸水防止蓋の応力評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋 (スキンプレート)	A_s	mm^2	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積	16
	α	—	平板のモーメントに関する係数	0.085
	β	—	平板のせん断に関する係数	0.55
	l_x	mm	浸水防止蓋の短辺長	1250
	A	m^2	浸水防止蓋の面積	1.86
	Z	mm^3	浸水防止蓋の断面係数	42.67
固定ボルト①	R_n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)	13.2
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	5362
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)	16.7
	B	mm	固定ボルトのボルト間隔	200
	N	本	照査箇所のボルト本数	4
固定ボルト②	R_n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)	1.9
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	4558
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)	33.9
	B	mm	固定ボルトのボルト間隔	200
	N	本	照査箇所のボルト本数	8
ハッチ①	T_s	kN	固定ボルト 1 本当りに生じる引張応力度	0.047
	N	本	照査箇所のボルト本数	12
	A'	mm^2	固定ボルトの有効断面積	157
ハッチ②	T_s	kN	固定ボルト 1 本当りに生じる引張応力度	0.032
	N	本	照査箇所のボルト本数	8
	A'	mm^2	固定ボルトの有効断面積	157

5.2 変形性評価方法

止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量の和が許容限界内に収まることを確認する。

浸水防止蓋の変位量は浸水防止蓋を支持する第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大変位量は材料物性の不確かさを考慮したものとして添付資料「V-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の算出結果を用いる。第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量は「5.2.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地盤応答解析方法」に示す方法により算出する。

5.2.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地盤応答解析方法

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて設定する。地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析（全応力解析）により行う。

5.2.2 第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面

第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面は、図5-3に示すとおりNS断面及びEW断面の2断面とする。

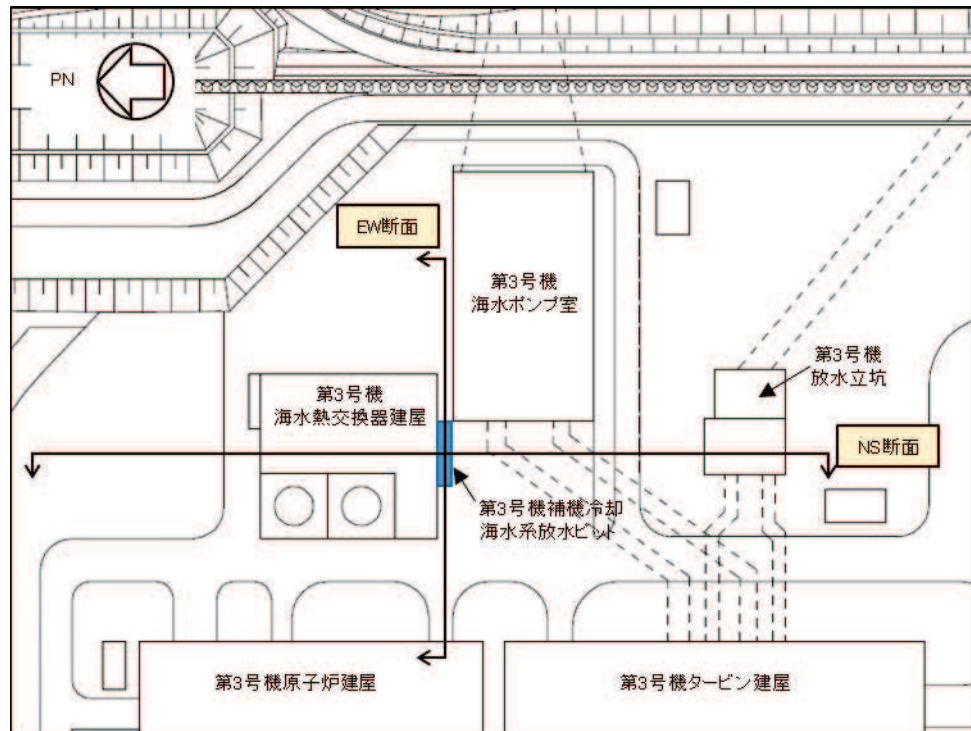


図5-3(1) 第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面（断面位置図）（1/3）

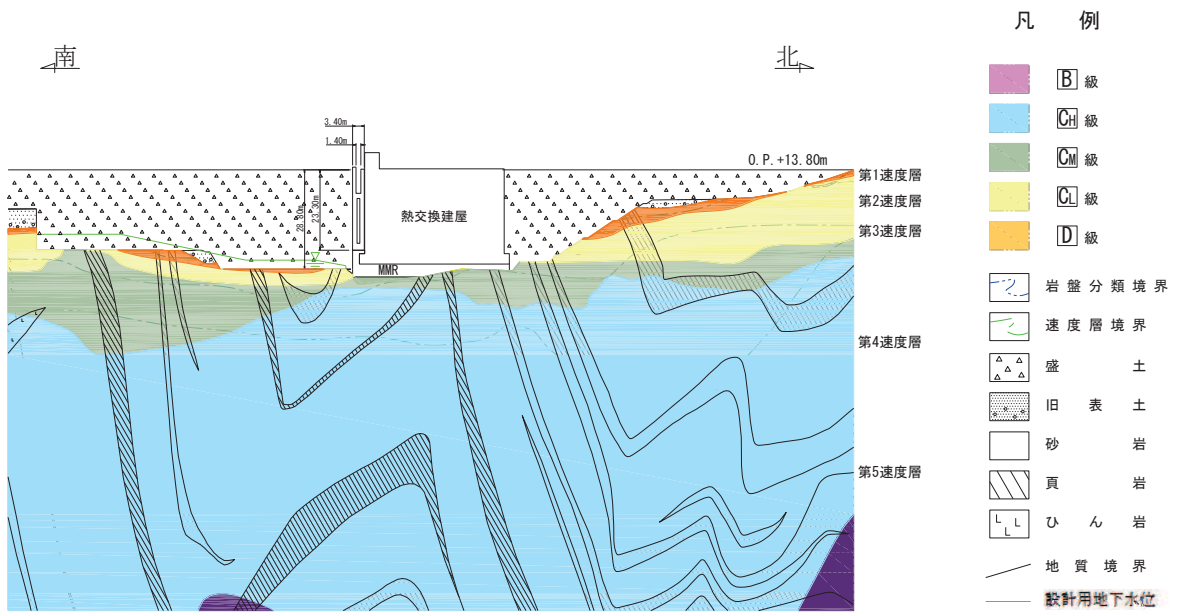


図 5-3(2) 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面図 (NS 断面) (2/3)

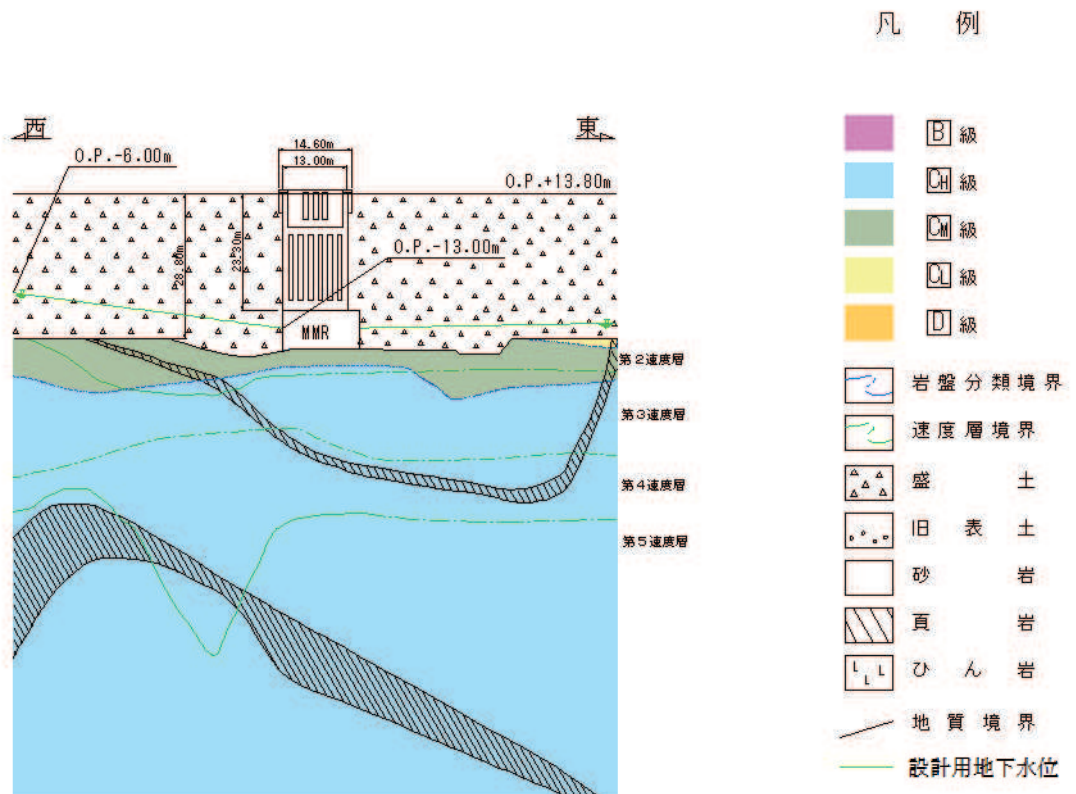


図 5-3(3) 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面図 (EW 断面) (3/3)

5.2.3 許容限界

止水ジョイント部材の変形量の許容限界は、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。表 5-7 に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

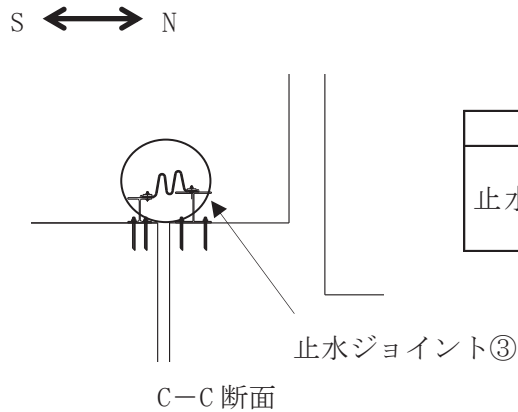
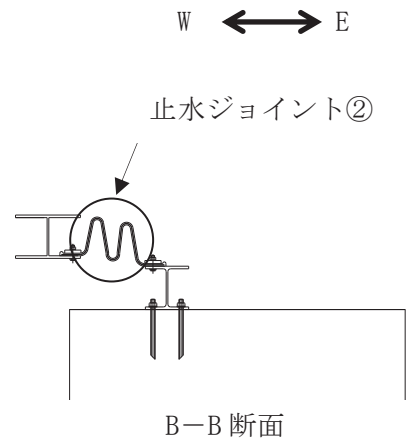
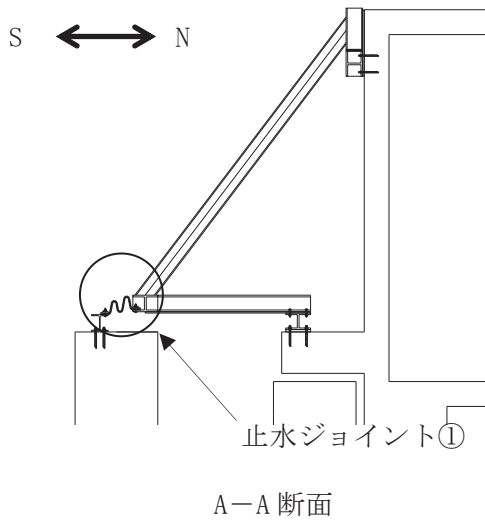
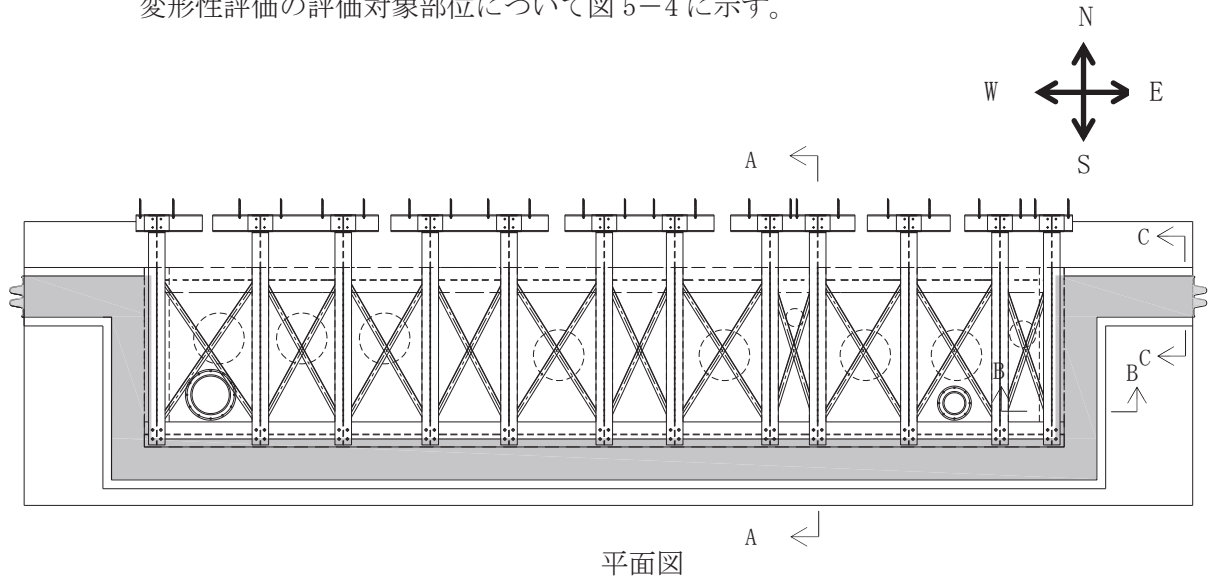
表 5-7 止水ジョイント部材の変形量の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)	
	開き方向	せん断方向
変形量	550	550

5.2.4 計算方法

止水ジョイント部材の地震時の評価について、NS 方向及び EW 方向ともに、地震荷重による最大相対変位量が許容限界以下であることを確認する。

変形性評価の評価対象部位について図 5-4 に示す。



評価対象部位	
止水ジョイント	止水ジョイント①
	止水ジョイント②
	止水ジョイント③

図 5-4 変形性評価の評価対象部位

(1) 止水ジョイント①

- a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量
- d_n

$$d_n = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、 d_n : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)
 $d_{b_{NS}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (N-S 方向) (mm)
 $d_{p_{NS}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (N-S 方向) (mm)

- b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量
- d_s

$$d_s = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、 d_s : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)
 $d_{b_{EW}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (E-W 方向) (mm)
 $d_{p_{EW}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (E-W 方向) (mm)

(2) 止水ジョイント②

- a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量
- d_n

$$d_n = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、 d_n : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)
 $d_{b_{EW}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (E-W 方向) (mm)
 $d_{p_{EW}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (E-W 方向) (mm)

- b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量
- d_s

$$d_s = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、 d_s : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向)
 (mm)
 $d_{b_{NS}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (N-S 方向) (mm)
 $d_{p_{NS}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (N-S 方向) (mm)

(3) 止水ジョイント③

a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量 d_n

$$d_n = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、
- d_n : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)
 - $d_{b_{NS}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
(N-S 方向) (mm)
 - $d_{p_{NS}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
(N-S 方向) (mm)

b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量 d_s

$$d_s = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、
- d_s : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)
 - $d_{b_{EW}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
(E-W 方向) (mm)
 - $d_{p_{EW}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答
(E-W 方向) (mm)

6. 評価結果

浸水防止蓋の応力評価結果を表 6-1 に変形性評価結果を表 6-2 に示す。全ての部材において発生応力、応力度及び変形量が許容限界以下であることを確認した。

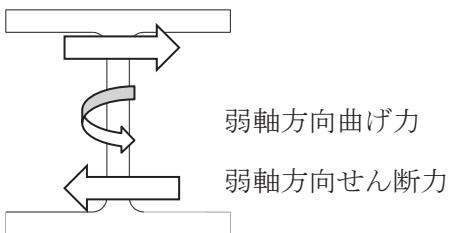
表 6-1(1) 応力評価結果（浸水防止蓋）（1/5）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水防止蓋 (スキンプレート)	曲げ	11	N/mm ²	205	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	12	N/mm ²	205	N/mm ²	0.06 < 1.0

表 6-1(2) 応力評価結果（鋼製ブラケット 弱軸方向）（2/5）

評価対象部位		発生値（弱軸方向*） （応力度又は荷重）		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	39	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	40	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0
主桁②	曲げ	41	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	42	N/mm ²	205	N/mm ²	0.21 < 1.0
斜材	曲げ	19	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	20	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0
横桁	曲げ	27	N/mm ²	205	N/mm ²	0.14 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	28	N/mm ²	205	N/mm ²	0.14 < 1.0
ブレース材	軸力	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
縦桁	曲げ	15	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	16	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0

注記* H鋼の弱軸について

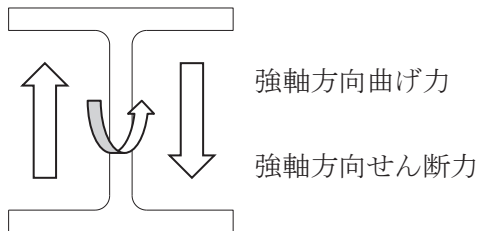


ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一樣

表 6-1(3) 応力評価結果（鋼製ブラケット 強軸方向）（3/5）

評価対象部位		発生値（強軸方向*） （応力度又は荷重）		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	8	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	205	N/mm ²	0.05 < 1.0
主桁②	曲げ	7	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	9	N/mm ²	205	N/mm ²	0.05 < 1.0
斜材	曲げ	7	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	9	N/mm ²	205	N/mm ²	0.05 < 1.0
横桁	曲げ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
ブレース材	軸力	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
縦桁	曲げ	14	N/mm ²	205	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	118	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	23	N/mm ²	205	N/mm ²	0.12 < 1.0

注記*：H鋼の強軸について



ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一様

表 6-1(4) 応力評価結果 固定ボルト (4/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
固定ボルト①	引張	16.7	kN	50.2	kN	0.34 < 1.0
	せん断	4.2	kN	35.1	kN	0.12 < 1.0
	組合せ	-		-		0.13 < 1.0
固定ボルト②	引張	6.0	kN	37.8	kN	0.16 < 1.0
	せん断	4.3	kN	18.4	kN	0.24 < 1.0
	組合せ	-		-		0.08 < 1.0

表 6-1(5) 応力評価結果 (ハッチ部固定ボルト) (5/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ハッチ①	引張	0.3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	0.6	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0
ハッチ②	引張	0.3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	0.4	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0

表 6-2 変形性評価結果

評価対象部位		地震時 最大変位量 (mm)		地震時 相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
		第 3 号機海水 熱交換器建屋	第 3 号機補機冷却 海水系放水ピット	評価用 変位量	
止水ジョイント ①	開き方向	20	52	72	550
	せん断方向	21	137	158	550
止水ジョイント ②	開き方向	21	137	158	550
	せん断方向	20	52	72	550
止水ジョイント ③	開き方向	20	52	72	550
	せん断方向	21	137	158	550

7. 第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価の概要

本資料は、浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の止水ジョイントが設置される第3号機補機冷却海水系放水ピットが基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

第3号機補機冷却海水系放水ピットに要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

浸水防止蓋の止水ジョイントの変形性評価に用いる第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量は本書の地震応答解析による解析値を用いている。

8. 耐震評価の基本方針

8.1 構造概要

第3号機補機冷却海水系放水ピットの概要図を図8-2～図8-7に、概略配筋図を図8-8～図8-10に示す。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、浸水防止設備である浸水防止蓋の止水ジョイントの支持構造物としての支持機能、および津波に対する止水機能が要求される。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、岩盤上にマンメイドロック（以下、「MMR」という。）を介して設置される。また、中床版を配した二階建て構造となっており、上部・下部ともに各エリアが隔壁により仕切られている。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する箱形構造物である。第3号機海水熱交換器建屋とは緩衝材を介して接している。

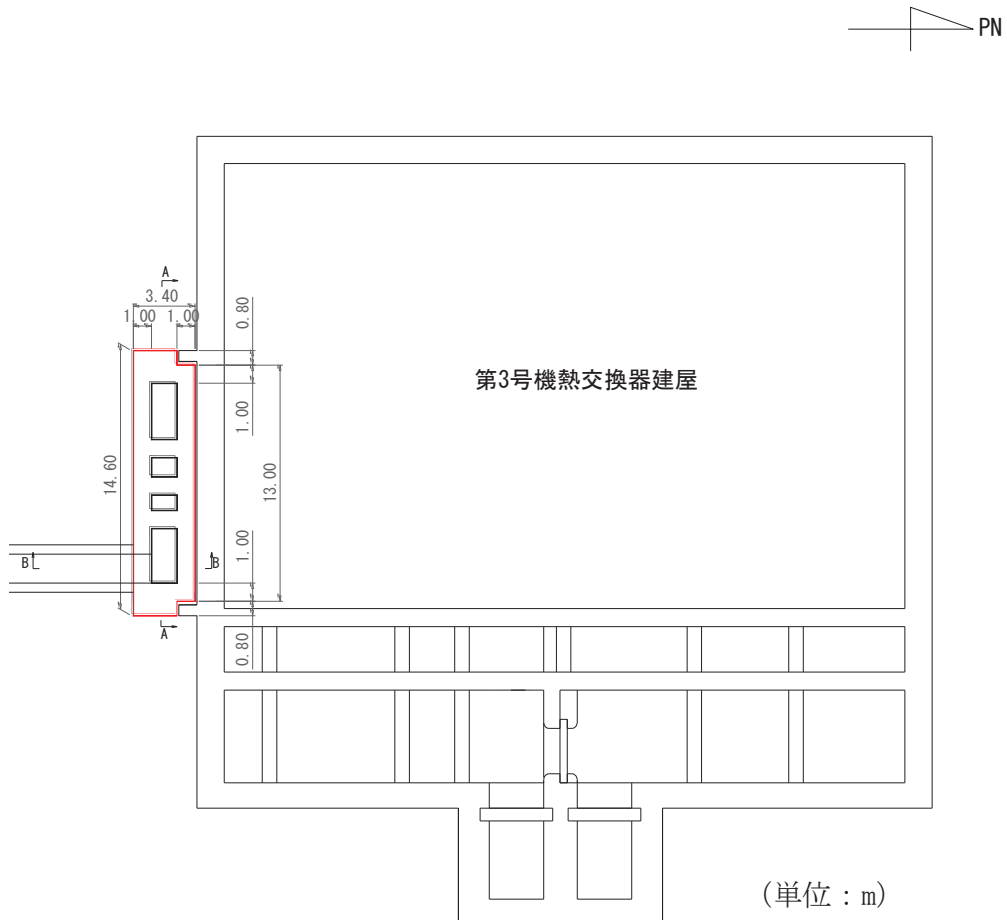


図8-2 第3号機補機冷却海水系放水ピット平面図

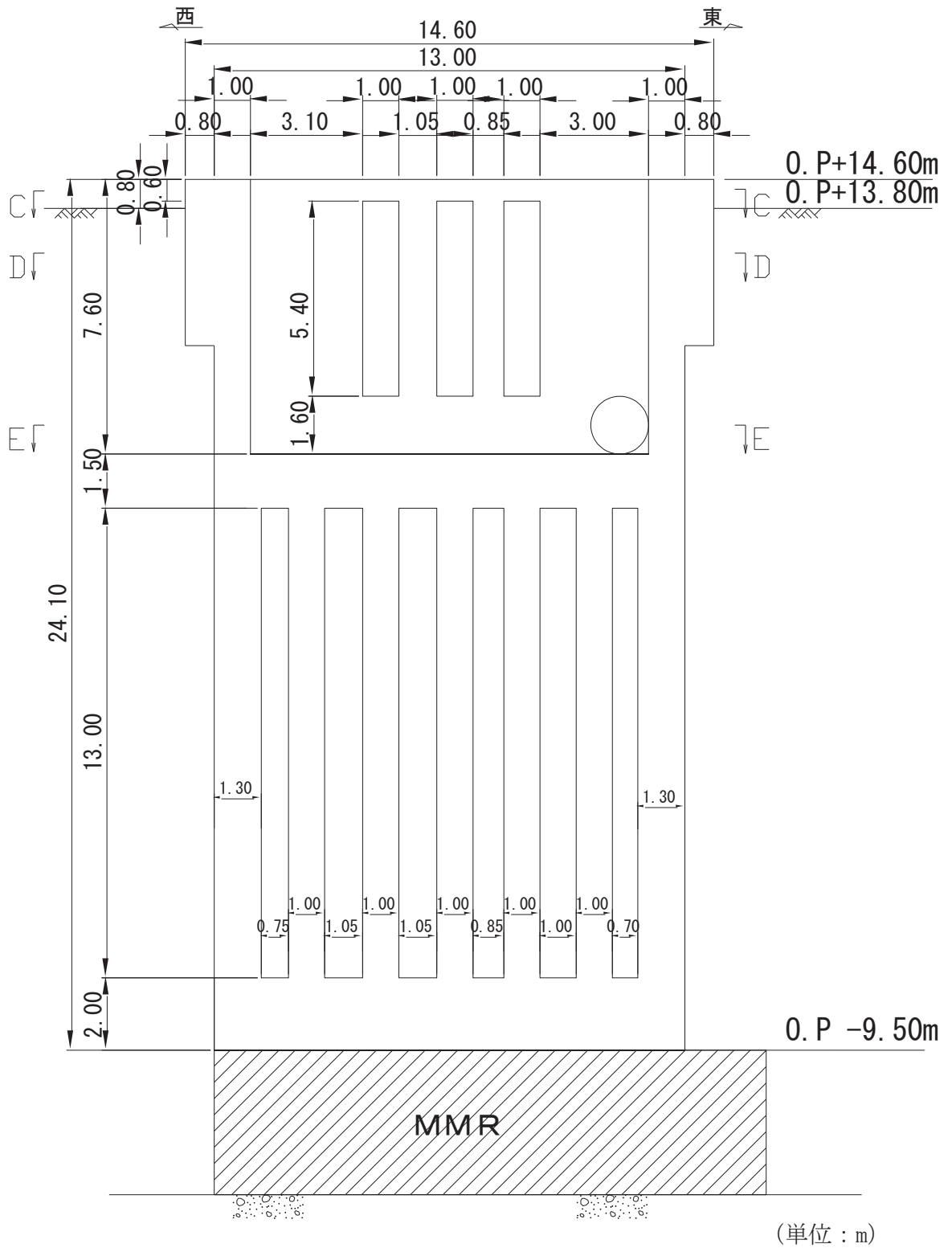


図 8-3 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット縦断図 (A-A 断面)

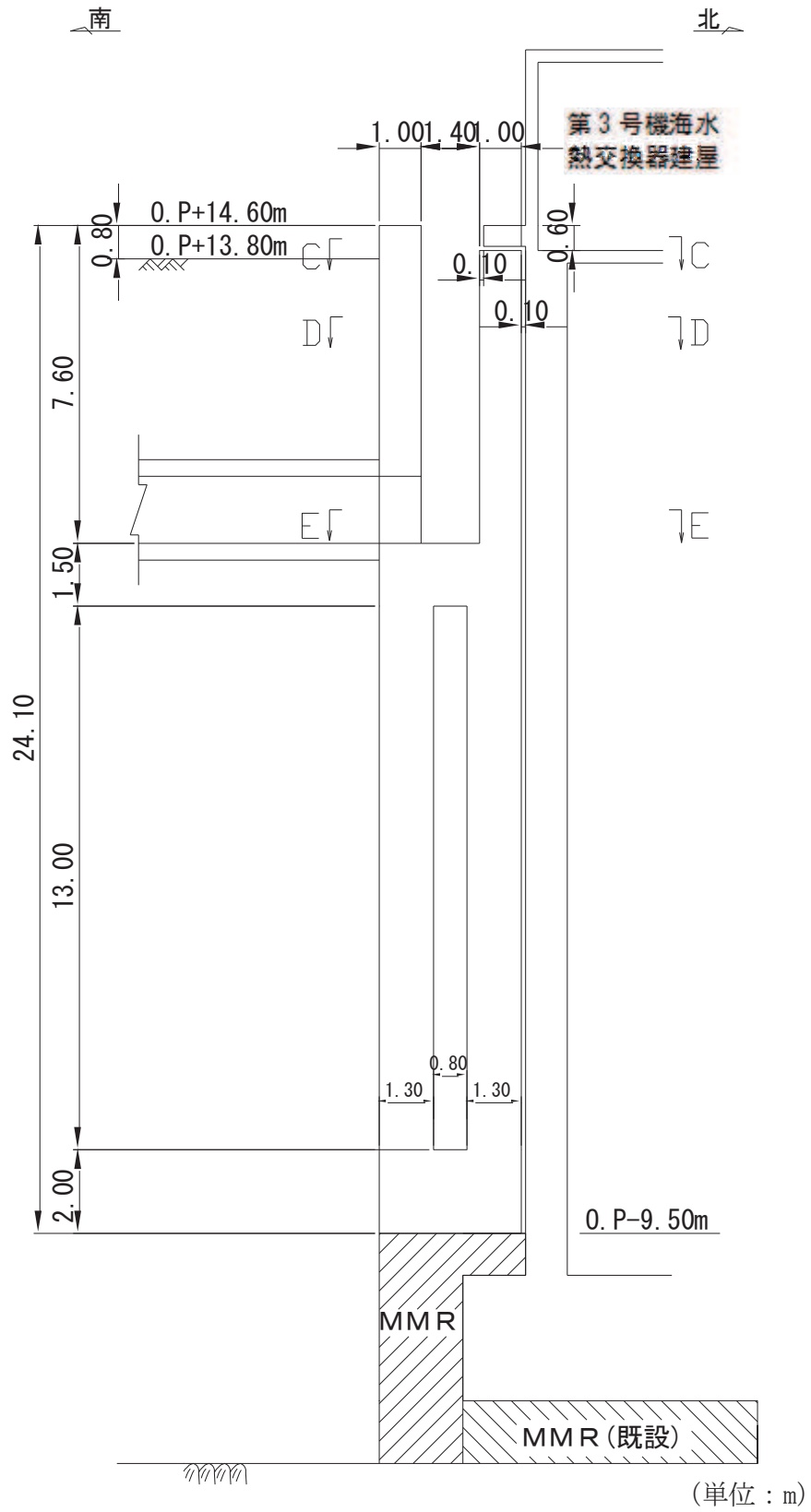


図8-4 第3号機補機冷却海水系放水ピット横断図（B-B断面）

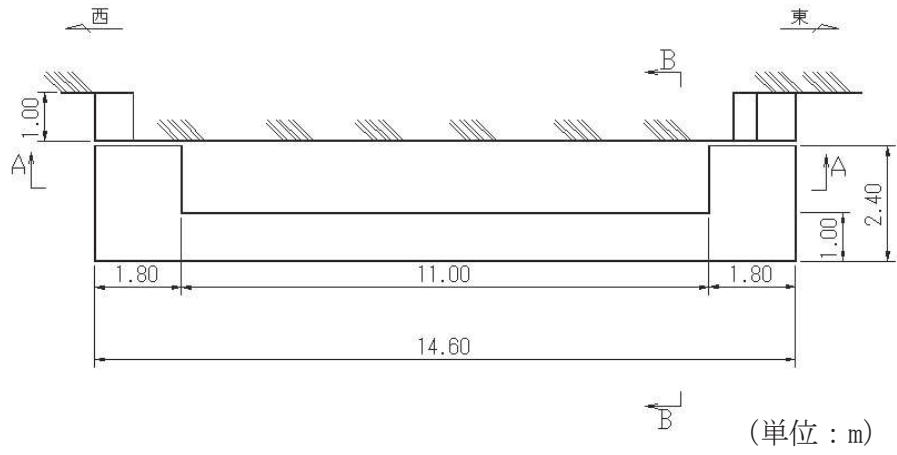


図 8-5 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面図 (C-C 断面)

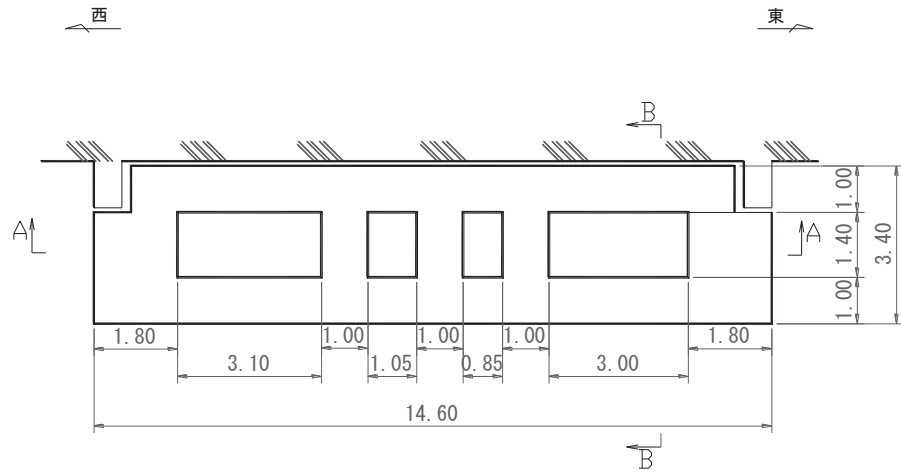


図 8-6 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面図 (D-D 断面)

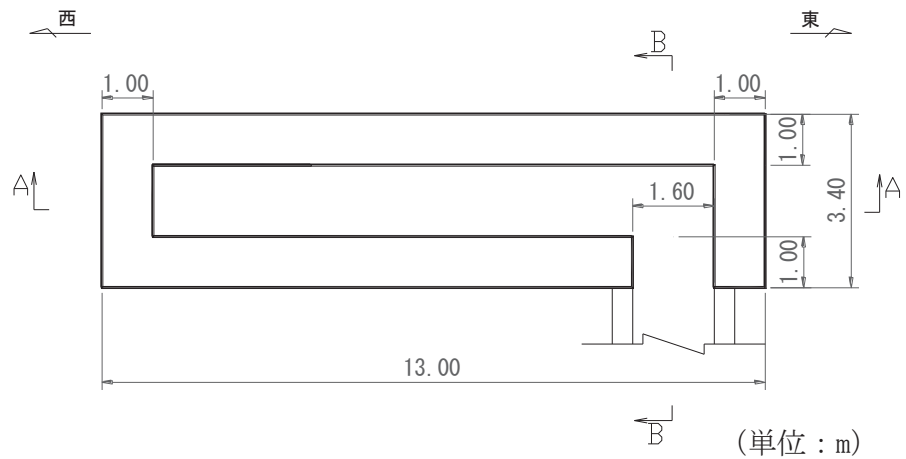


図 8-7 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面図 (E-E 断面)

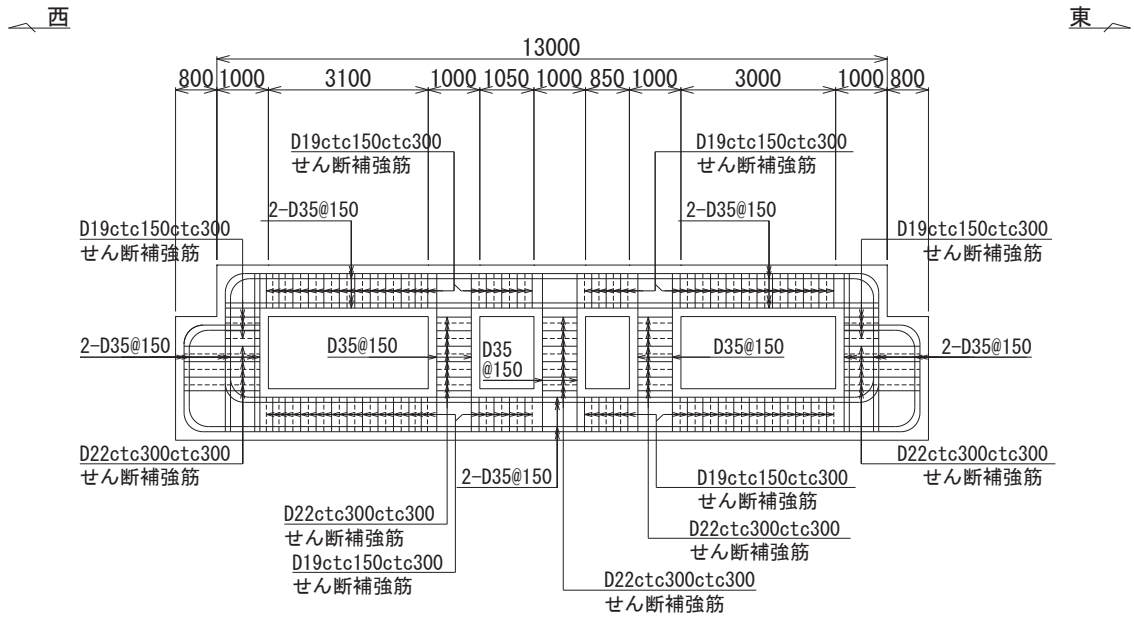


図 8-8 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット概略配筋図 (平面図)

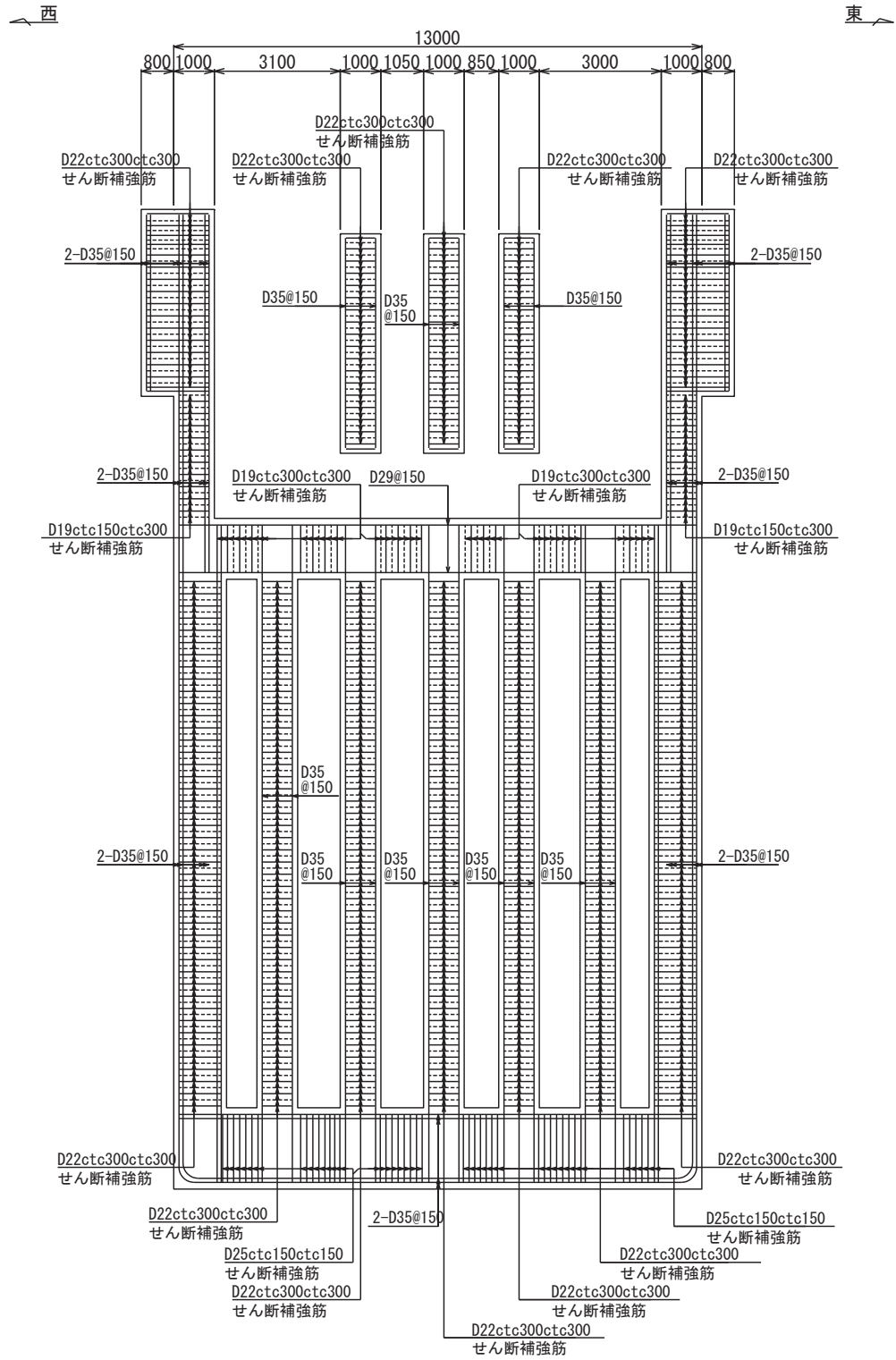


図 8-9 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット概略配筋図 (縦断図)

8.2 評価方針

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、浸水防止設備である浸水防止蓋の止水ジョイントを設置していることから基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していること及び止水機能を確認する。

第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価フローを図8-11、図8-12に示す。図8-11は地震応答解析の評価フロー図であり、図8-12は構造部材の健全性評価の評価フロー図である。

地震応答解析は、「8. 耐震評価の基本方針」に基づき、「9.1 地震時荷重算出断面」に示す断面において、「9.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による二次元有限要素法を用いた時刻歴応答解析により行うこととし、「9.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「9.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「9.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による地震時土圧、慣性力及び基礎地盤の接地圧は、第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価に用いる。

また、地震応答解析による第3号機補機冷却海水系放水ピット天端の地震時最大応答変位は浸水防止蓋の変形性評価に用いる。

第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表8-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及び支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価は、地震応答解析により算定される接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

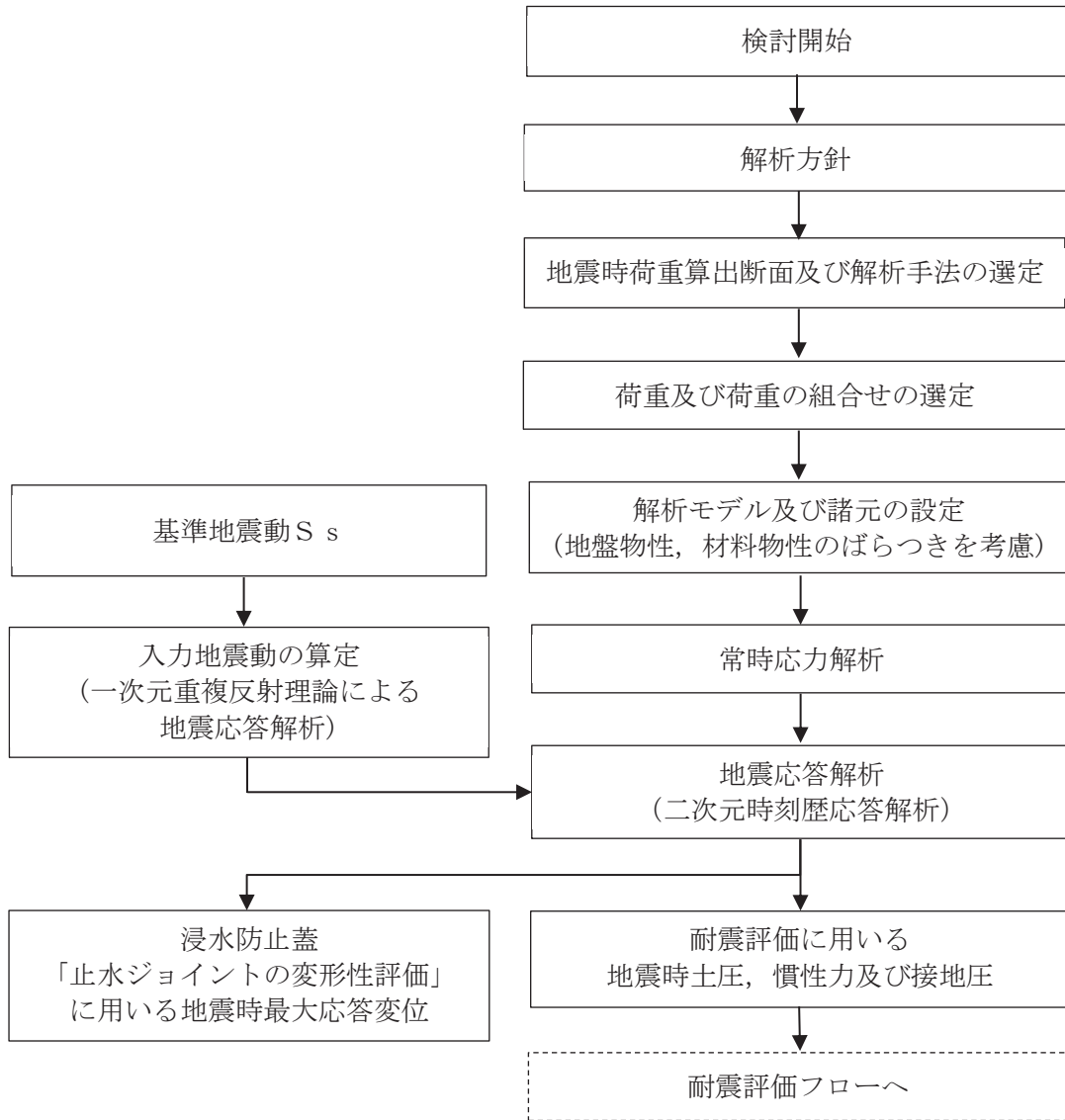


図 8-11 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析フロー

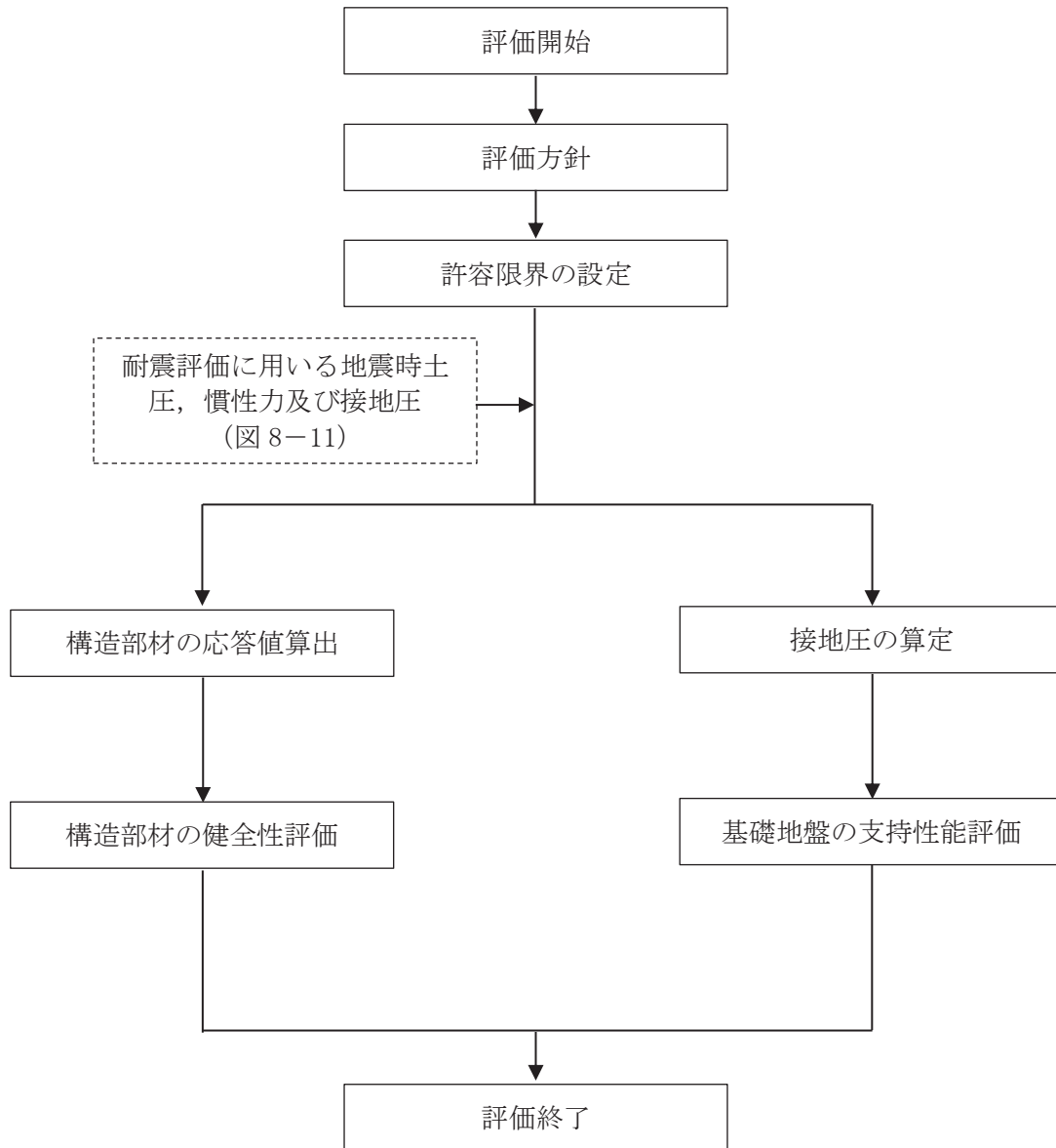


図8-12 第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価フロー

表 8-1 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
				曲げ・軸力	せん断力
構造強度を有すること及び支持機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生応力度，断面力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度	短期許容せん断力
				岩盤の極限支持力*	MMR の支圧強度*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認		
		MMR			
止水機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生応力度，断面力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度	短期許容せん断力

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

8.3 適用基準

第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価に当たっては、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（以下「コンクリート標準示方書」という。）、日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編、日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IIIコンクリート橋編及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）を適用する。

表 8-2 に適用する規格、基準類を示す。

表 8-2 適用する規格、基準類

項目	適用する規格、基準類	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IIIコンクリート橋編 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の材料諸元(γ, E, ν) コンクリートの材料諸元(γ, E, ν)
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 	<ul style="list-style-type: none"> 永久荷重, 偶発荷重等の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編 日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IIIコンクリート橋編 	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ・軸力系の破壊に対する照査において, 発生応力度が短期許容応力度(コンクリート許容圧縮応力度 24.0N/mm^2, 鉄筋許容引張応力度 435N/mm^2) 以下であることを確認* せん断破壊に対する照査において, 発生せん断力が短期許容せん断力(コンクリート許容せん断応力度 0.975N/mm^2, 鉄筋許容引張応力度 294N/mm^2 から算出される許容せん断力) 以下であることを確認*
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987) 	<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

9. 地震応答解析

9.1 地震時荷重算出断面

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時荷重算出断面位置を図9-1に示す。地震時荷重算出断面は、南北・東西方向ともに構造物中心を通る断面（NS断面，EW断面）とする。地震時荷重算出用地質断面図を図9-2～図9-3に示す。

なお，加振方向に平行に配置され耐震上見込むことができる面部材の配置から，南北方向（NS断面）が弱軸方向となり，東西方向（EW断面）が強軸方向となる。

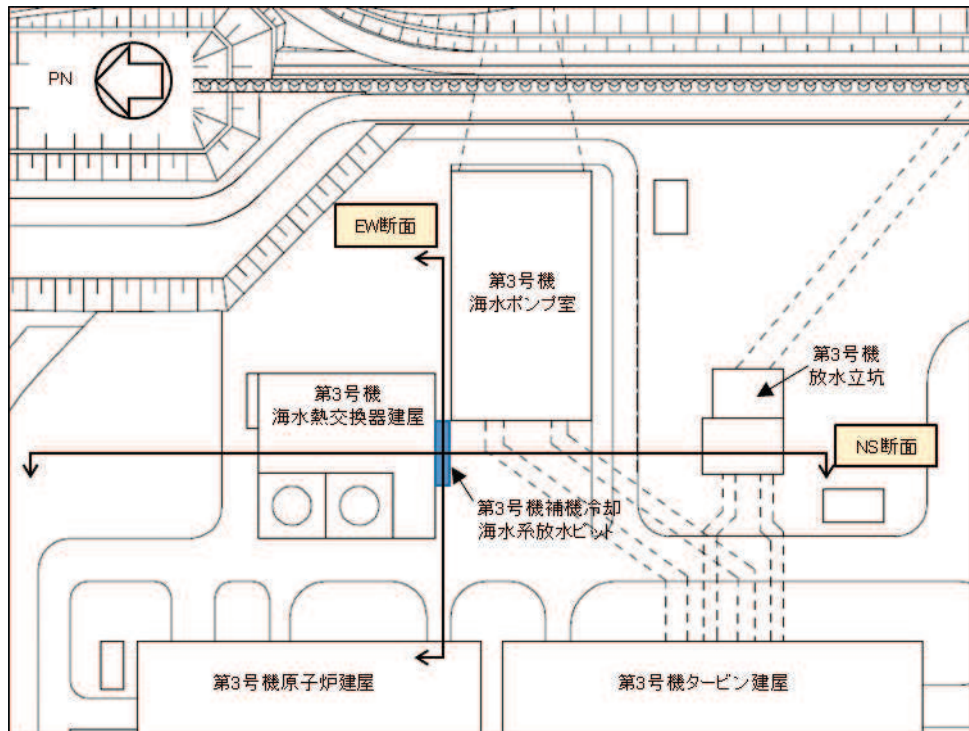


図9-1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時荷重算出断面位置図

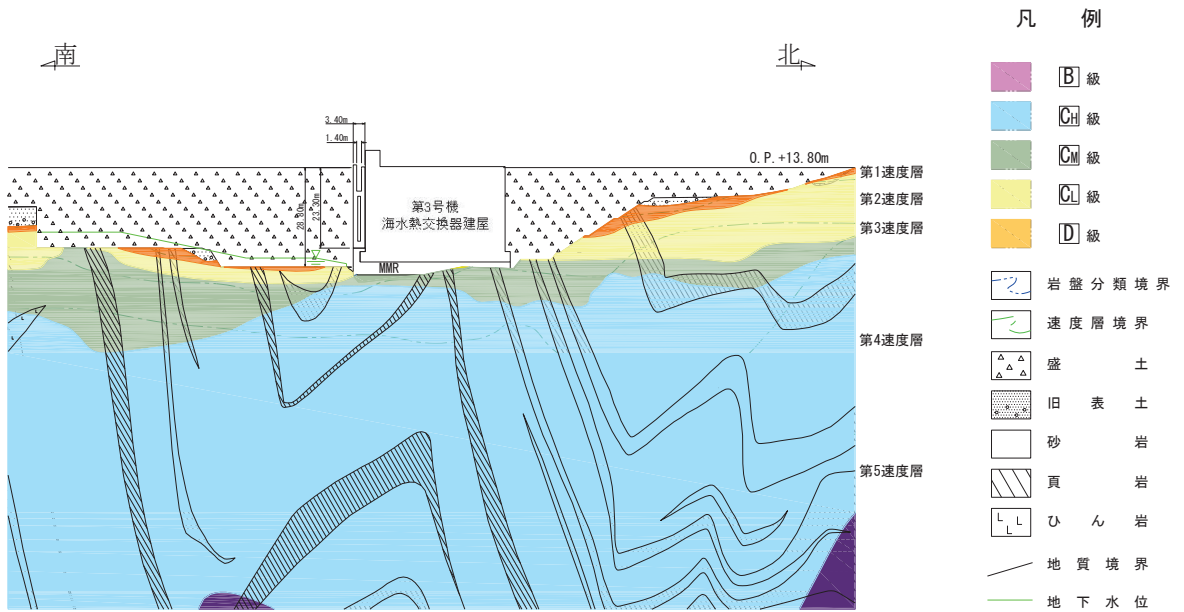


図9-2 第3号機補機冷却海水系放水ピット 地震時荷重算出用地質断面図 (NS断面)

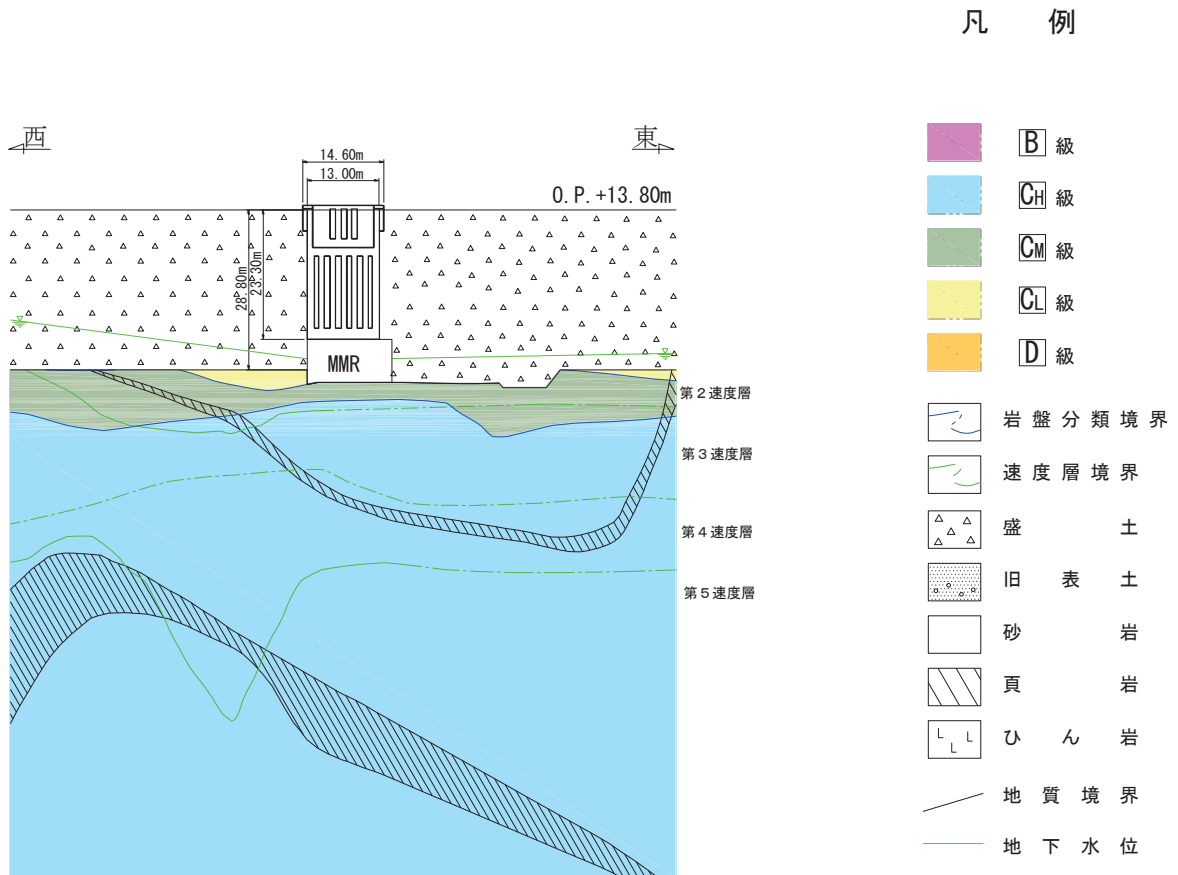


図9-3 第3号機補機冷却海水系放水ピット 地震時荷重算出用地質断面図 (EW断面)

9.2 解析方法

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととし、解析手法について、図9-4に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。図9-2、図9-3に示すとおり、第3号機補機冷却海水系放水ピット近傍の設計用地下水位は躯体底板より低いこと、また躯体より離れた箇所（南側及び西側）には躯体底板標高より上部に地下水位以深の盛土が存在するが、19～23m程度の土被りがあることから液状化の影響はないと判断した。従って、解析手法は「②全応力解析」を選定する。

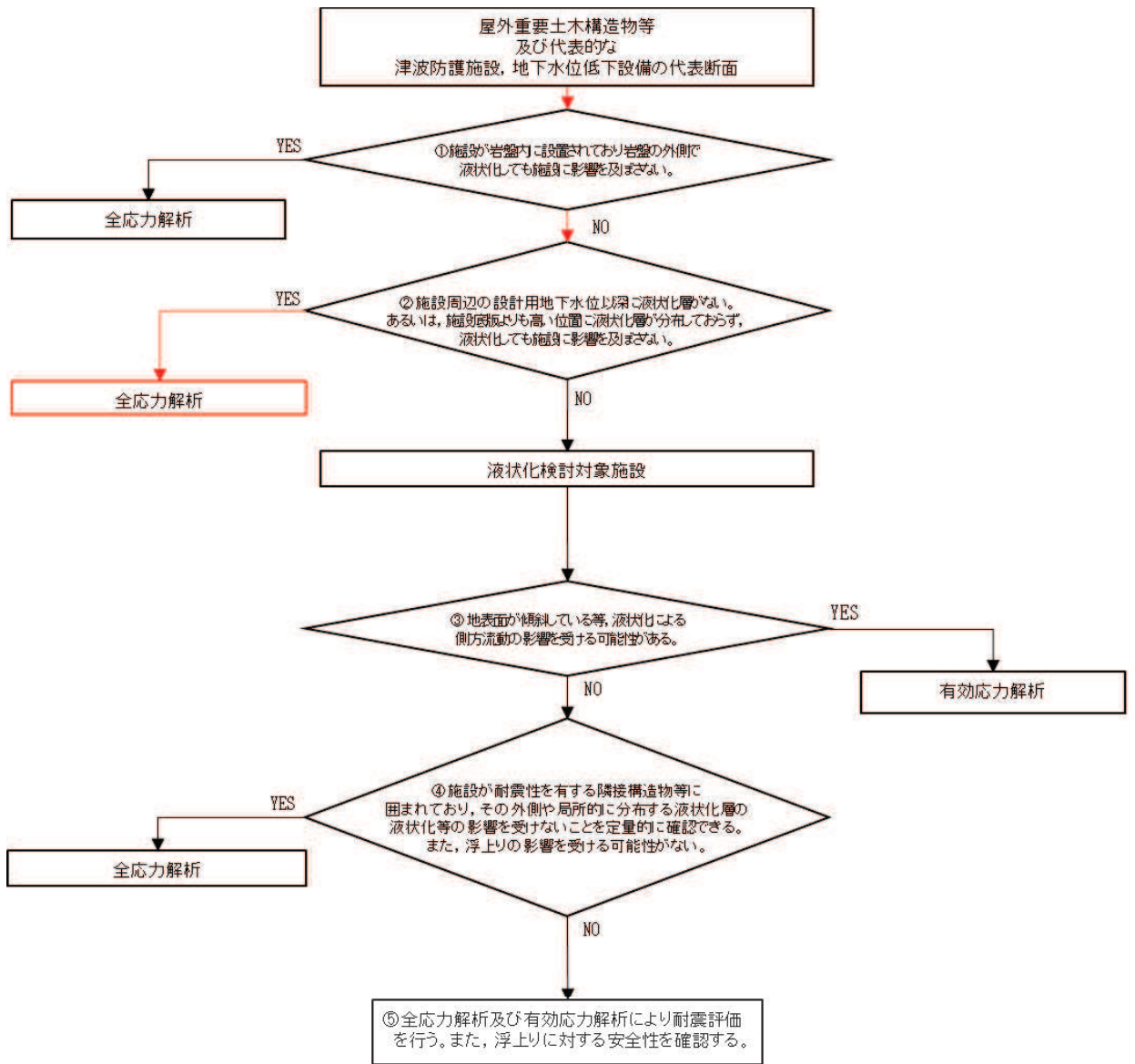
南北方向において第3号機補機冷却海水系放水ピットは一部MMRを介して第3号機海水熱交換器建屋に支持され、また緩衝材を介して接しており、隣接構造物の地震応答が第3号機補機冷却海水系放水ピットに伝達することが考えられるため、隣接構造物となる第3号機海水熱交換器建屋をモデル化する。第3号機補機冷却海水系放水ピットのモデル化については、独立した立坑構造であることを踏まえ第3号機補機冷却海水系放水ピット鉛直中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する線形はり要素にてモデル化*する。

地震応答解析については、解析コード「Soil Plus Dynamic 2015 Build3」を使用する。なお解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図9-5に示す。

注記*：側壁に類似した形状である原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、海水ポンプ室に懸架され一体構造となっており、水平断面が弱軸となるため、水平断面の2次元静的フレーム解析を実施（VI-2-2-12-2 第2号機原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書 参照）。

なお、第3号機補機冷却海水系放水ピット並びに原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は水平方向の版部材を有する構造であるため、接続する各部材の曲げモーメントの廻り込みを考慮している。



注記*：三次元構造解析に複数断面の荷重を作用させる場合、断面によって解析手法が異なる場合でも保守的に荷重の大きい組合せを採用する。

図 9-4 解析手法の選定フロー

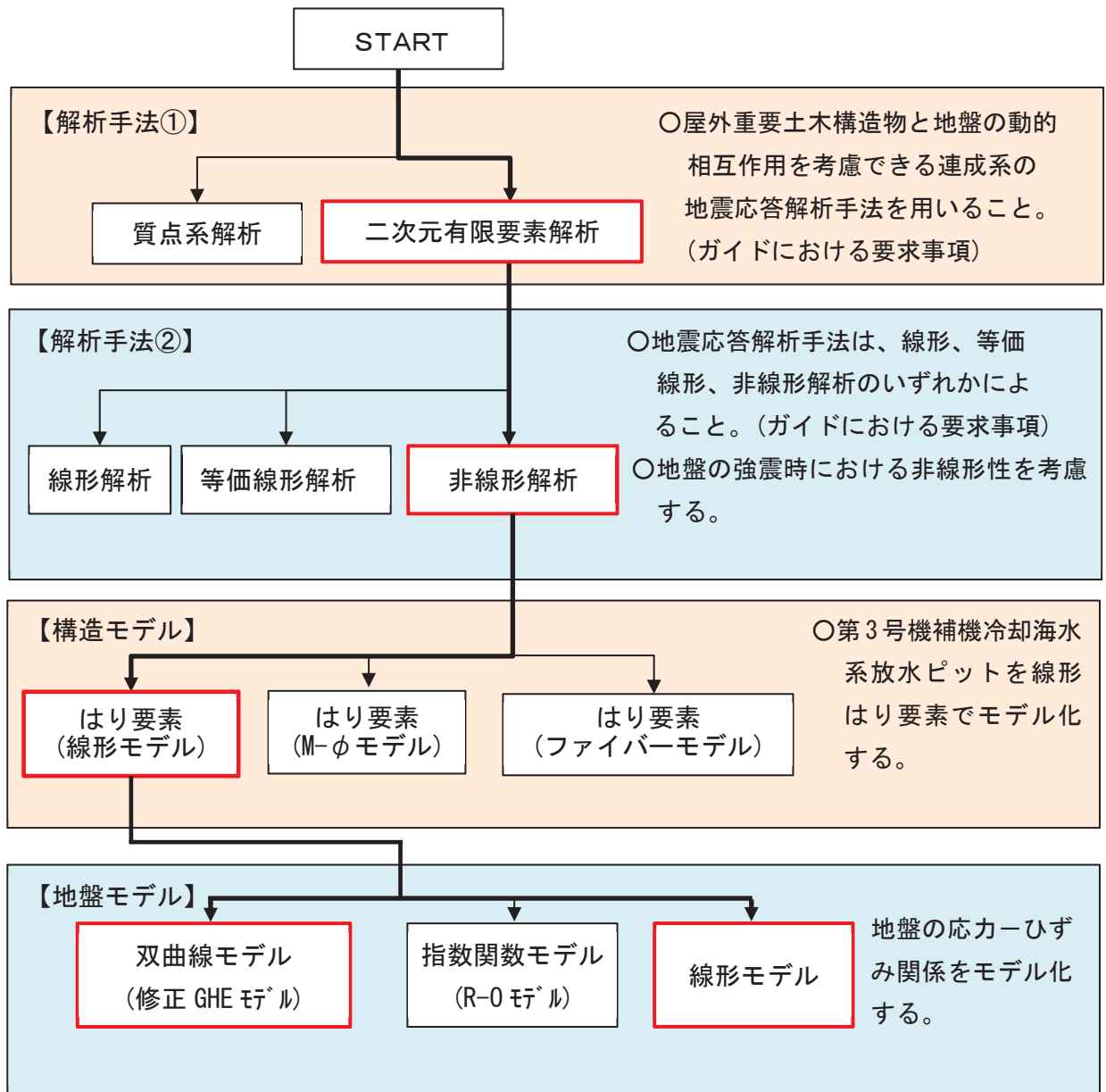


図 9-5 地震応答解析手法の選定フロー

9.2.1 構造部材

第3号機補機冷却海水系放水ピットの構造部材は、線形はり要素にてモデル化し、水平方向には構造物の幅に応じた仮想剛梁を設置する。

9.2.2 地盤物性及び材料特性の設定

地盤物性及び材料物性のばらつきの影響を考慮するため、表 9-1 に示す解析ケースを設定する。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、MMR 上に設置され、南北方向では、北側に海水熱交換器建屋が分布し、南側には盛土が分布する。一方、東西方向では、両側面に盛土が分布し、主たる荷重は盛土の土圧となることから、盛土、旧表土の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の推定強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

詳細な解析ケースの考え方は、「9.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表 9-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土 改良地盤, D 級岩盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C_L 級岩盤, C_N 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+ 1σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値- 1σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 新設構造物のため, 推定した圧縮強度とする

9.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 浸水防止蓋の止水ジョイントの耐震評価における解析ケース

浸水防止蓋の止水ジョイントの耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し解析ケース①（基本ケース）を実施する。ケース①（基本ケース）により得られた最大応答変位と第3号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位（基本ケース）の合計値が最大の地震動を用いてケース②～④を実施する。浸水防止蓋の止水ジョイントの耐震評価における解析ケースを表9-2に示す。

表9-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性			設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	推定に基づく圧縮強度*2
地震動 (位相)	S _s -D1	++*1	○	基準地震動 S _s (7波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7波) を加えた全 14波により照査を行ったケース① (基本ケース) により得られた最大応答変位と第3号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位 (基本ケース) の合計値が最大の地震動を用いてケース②～④を実施する。		
		-+*1	○			
	S _s -D2	++*1	○			
		-+*1	○			
	S _s -D3	++*1	○			
		-+*1	○			
	S _s -F1	++*1	○			
		-+*1	○			
	S _s -F2	++*1	○			
		-+*1	○			
	S _s -F3	++*1	○			
		-+*1	○			
	S _s -N1	++*1	○			
		-+*1	○			

注記*1：耐震評価にあたっては、土木学会 2005年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアルに従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：新設構造物のため推定した圧縮強度を使用する。

(2) 躯体の耐震評価における解析ケース

躯体の耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となるすべての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②～④を実施する。耐震評価における解析ケースを表 9-3 に示す。

表 9-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	推定に基づく圧縮強度*2
地震動（位相）	$S_s - D 1$	++*1	○	基準地震動 S_s （7 波）に水平動の位相反転を考慮した地震動（7 波）を加えた全 14 波により照査を行ったケース①（基本ケース）の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②～④を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。	
		–+*1	○		
	$S_s - D 2$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - D 3$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - F 1$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - F 2$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - F 3$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - N 1$	++*1	○		
		–+*1	○		

注記*1：耐震評価にあたっては、土木学会 2005 年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアルに従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：新設構造物のため推定した圧縮強度を使用する。

9.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

9.3.1 耐震評価上考慮する状態

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

9.3.2 荷重

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重及び内水重量を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

9.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 9-4 に示す。

表 9-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_sを含めて 4.9kN/m²を地表面に考慮)

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

9.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図9-6に入力地震動算定の概念図を、図9-7～図9-20にEW断面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9-21～図9-34にNS断面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示す。入力地震動の算定には、解析コード「Ark Quake Ver. 3.10」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

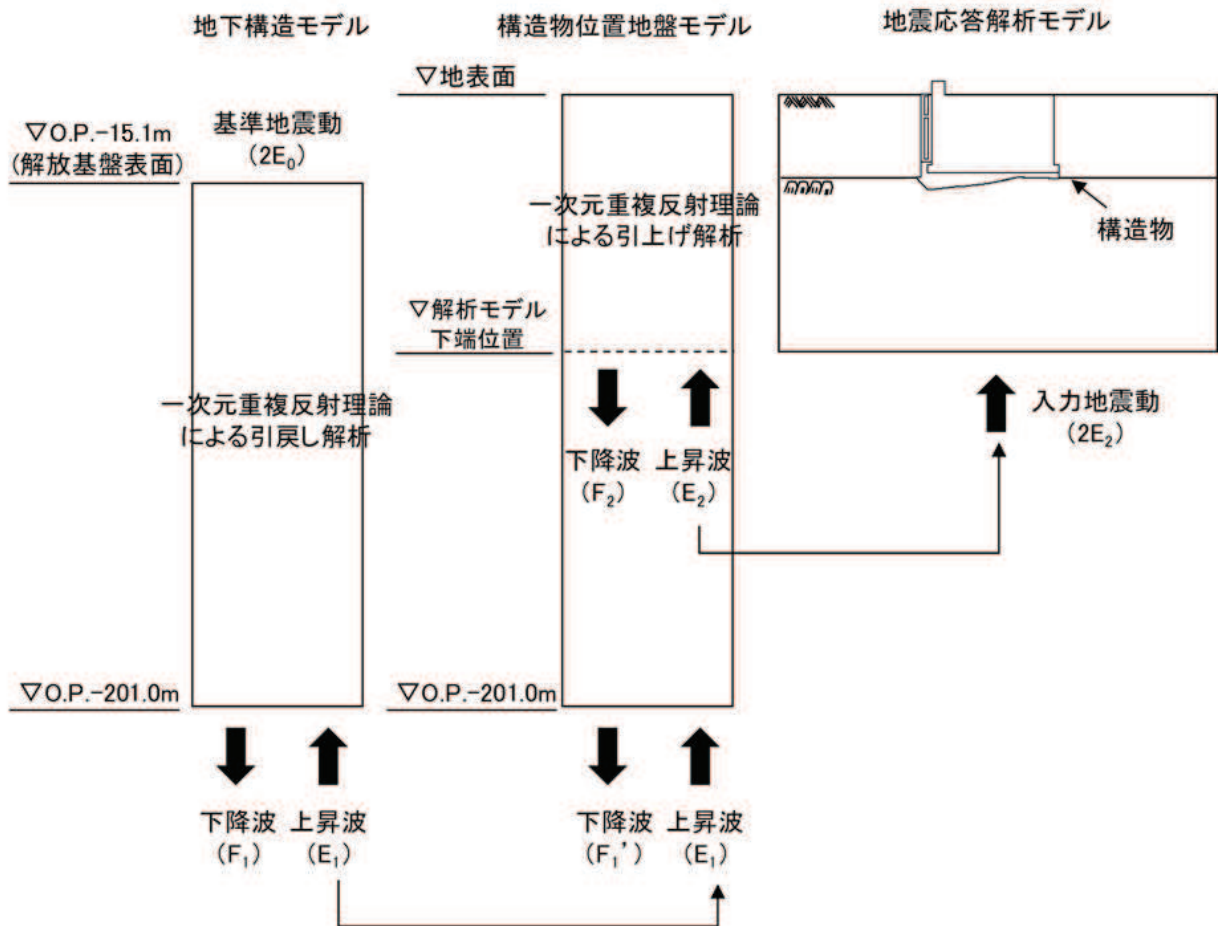
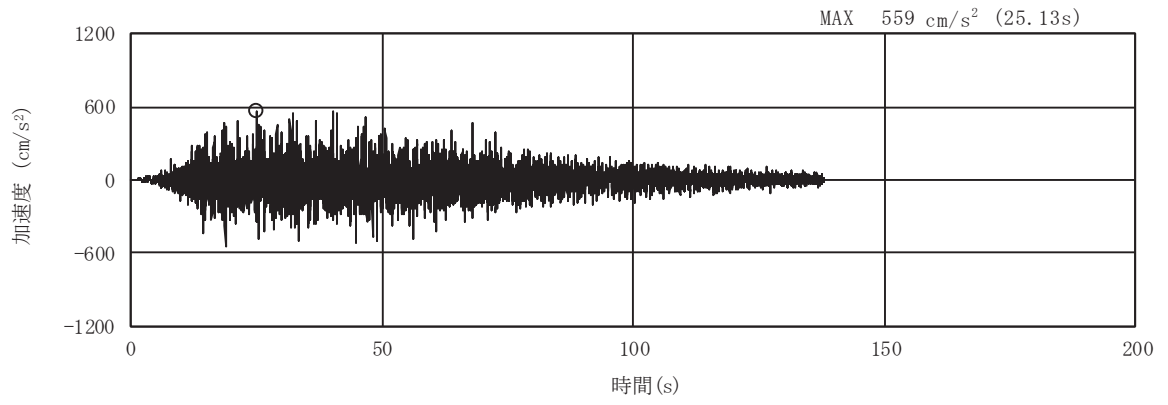
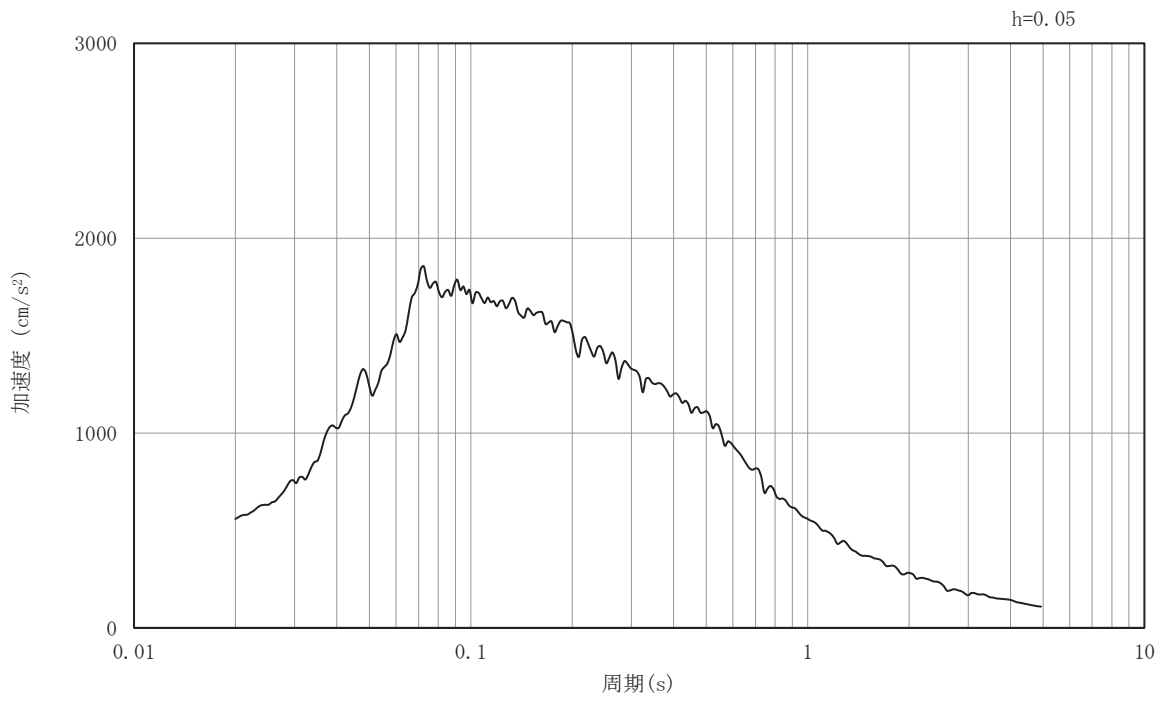


図 9-6 入力地震動算定の概念図

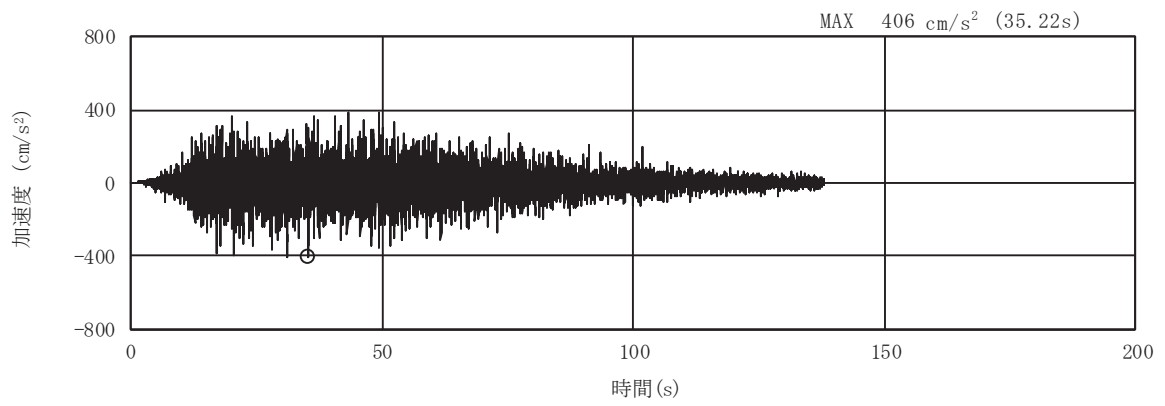


(a) 加速度時刻歴波形

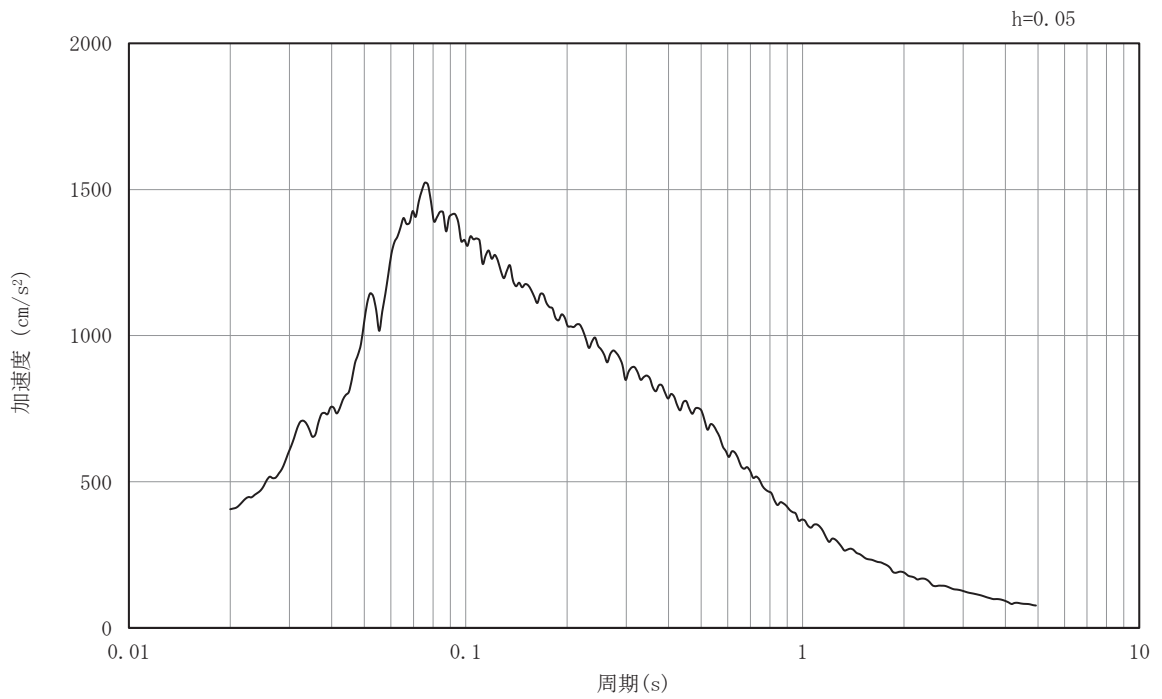


(b) 加速度応答スペクトル

図9-7 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
(EW断面 水平成分 : S s - D 1)

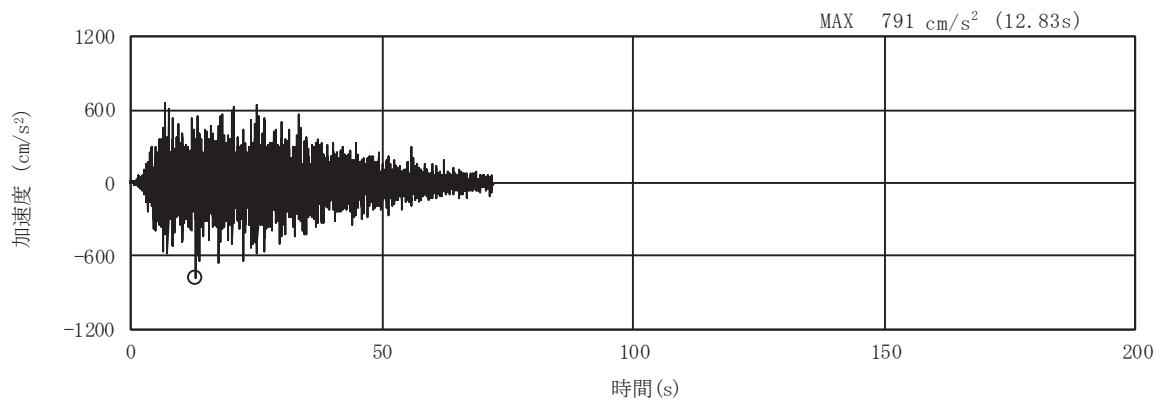


(a) 加速度時刻歴波形

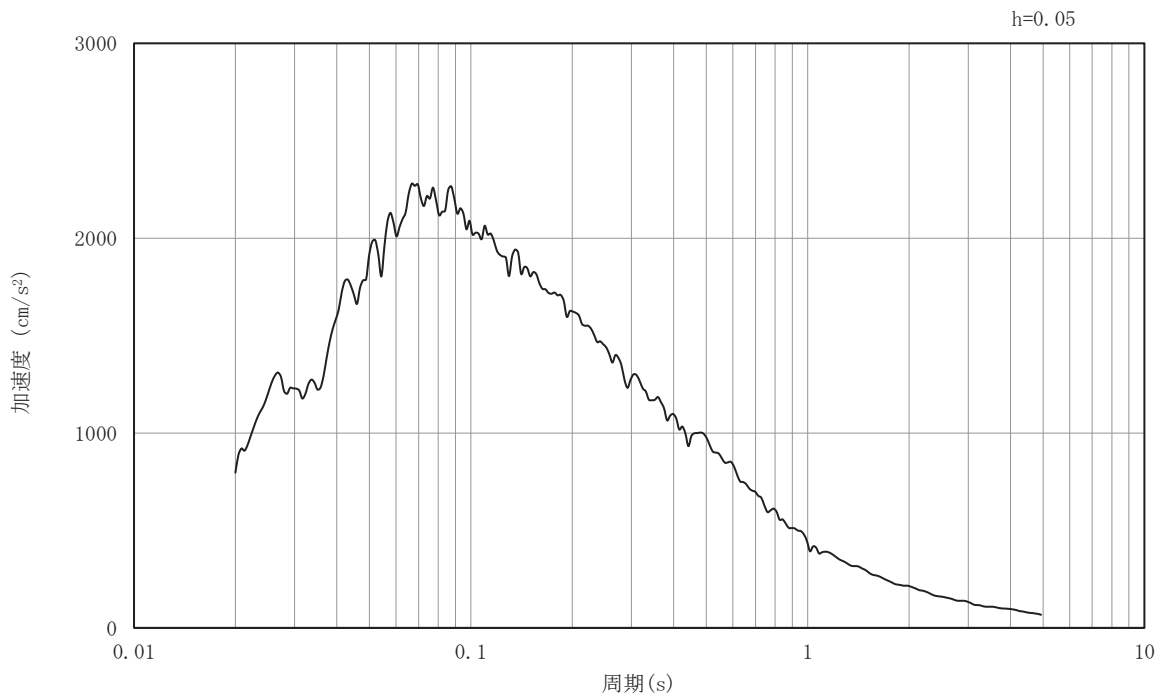


(b) 加速度応答スペクトル

図9-8 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
(EW断面 鉛直成分：S s - D 1)

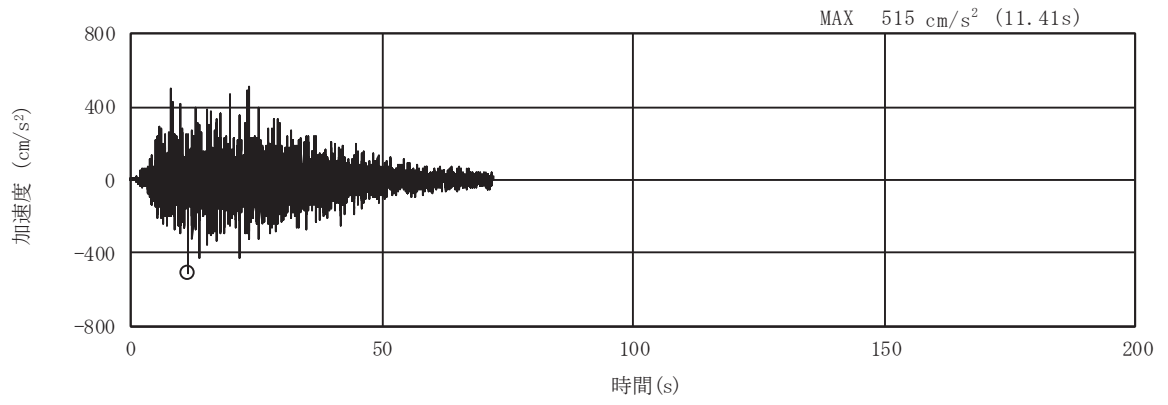


(a) 加速度時刻歴波形

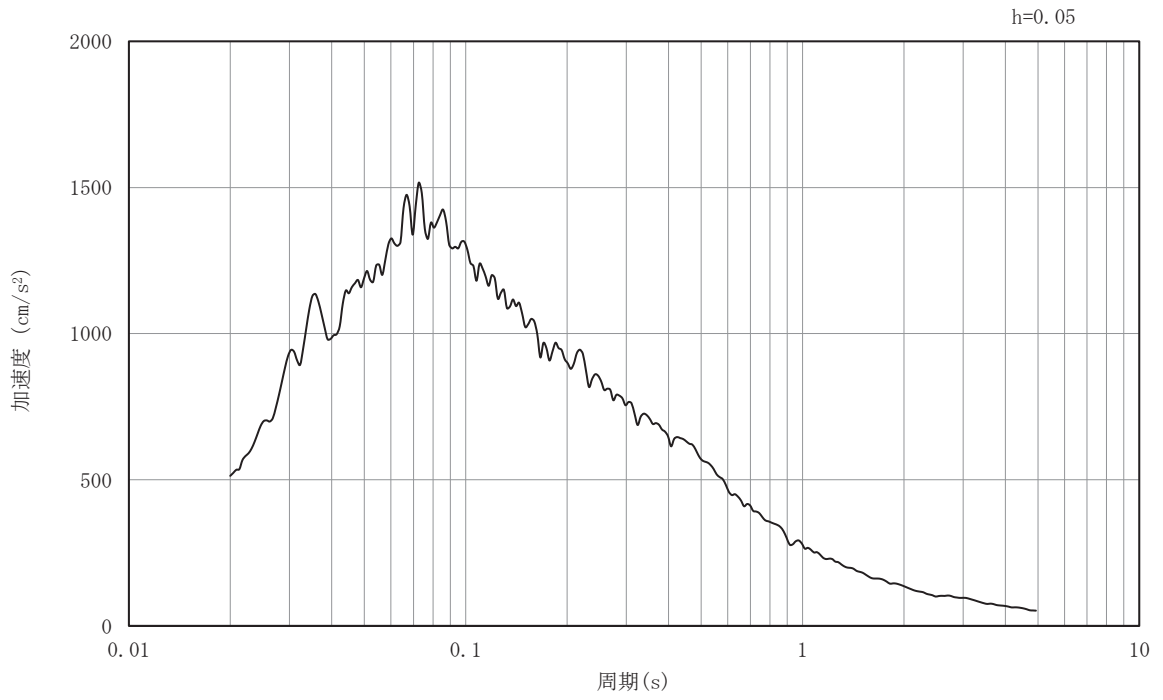


(b) 加速度応答スペクトル

図9-9 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
(EW断面 水平成分 : S s - D 2)

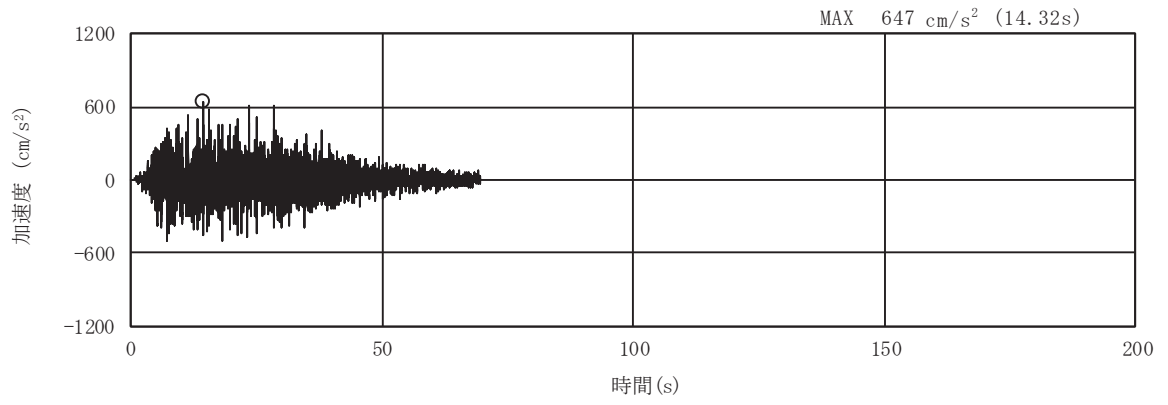


(a) 加速度時刻歴波形

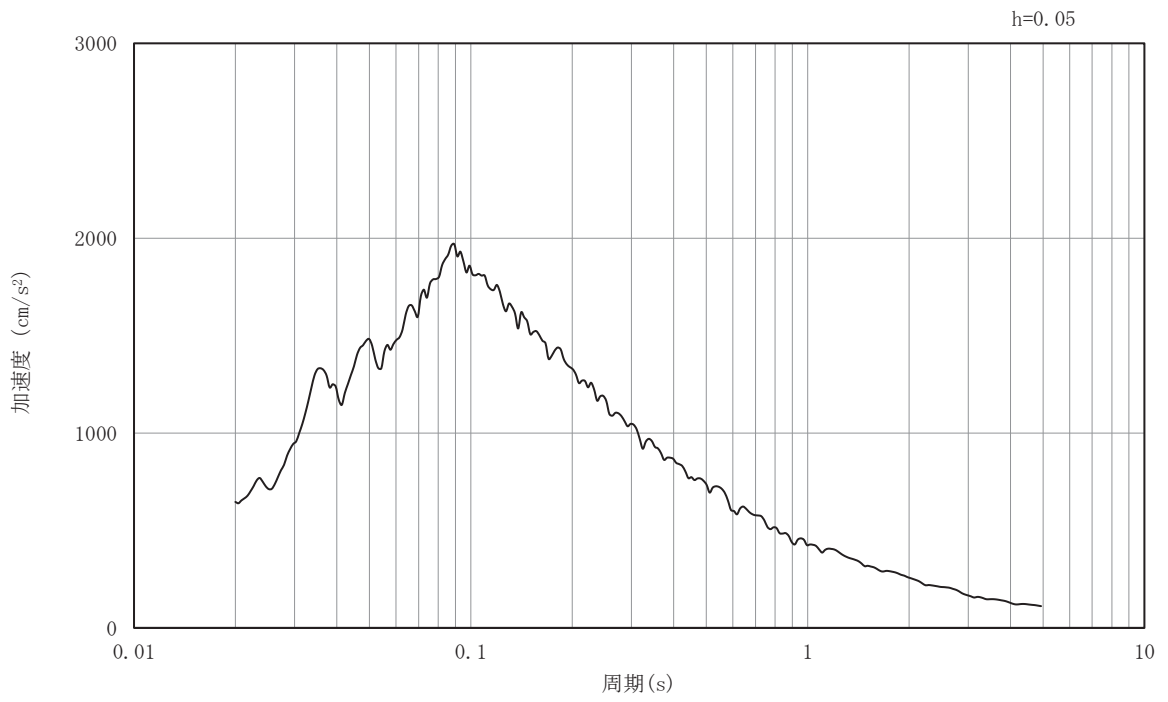


(b) 加速度応答スペクトル

図9-10 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
(EW断面 鉛直成分 : S s - D 2)

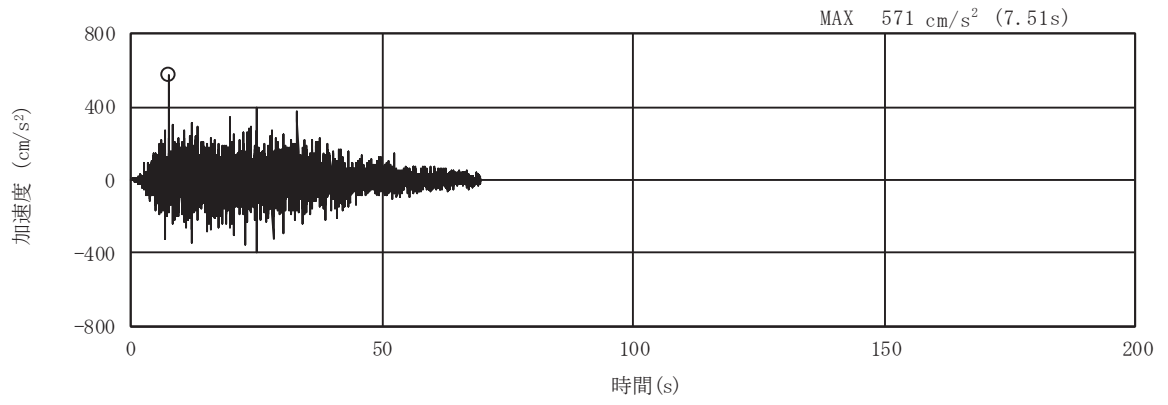


(a) 加速度時刻歴波形

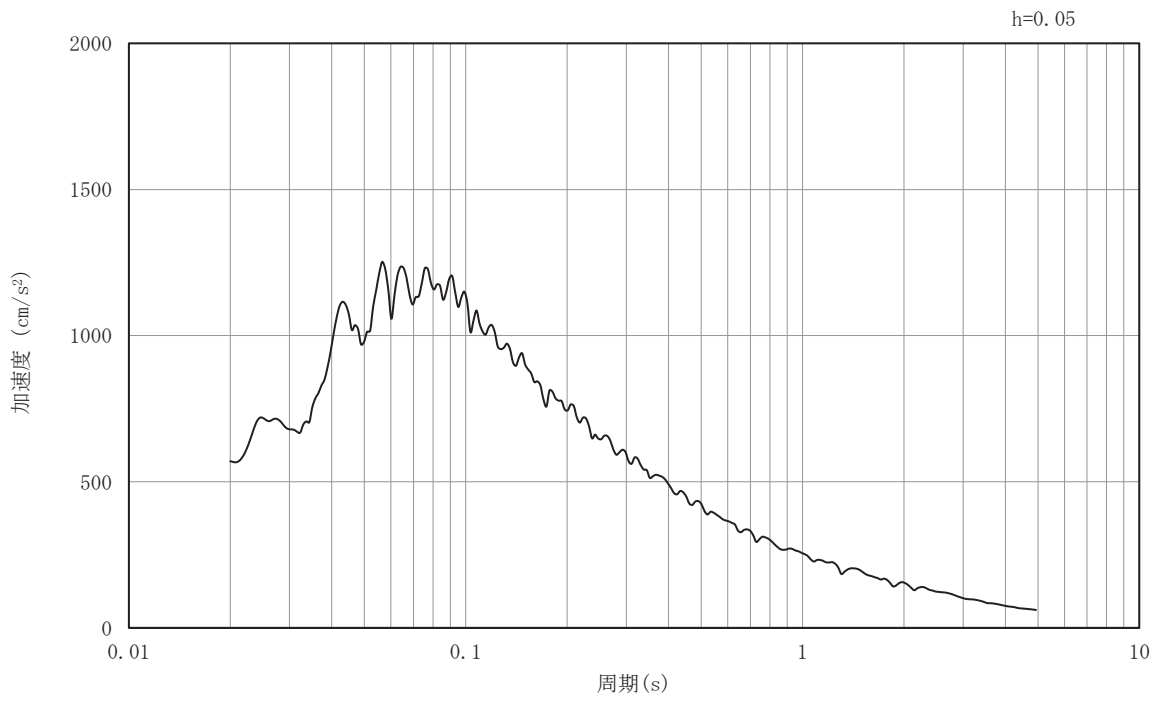


(b) 加速度応答スペクトル

図9-11 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
(EW断面 水平成分 : S s - D 3)

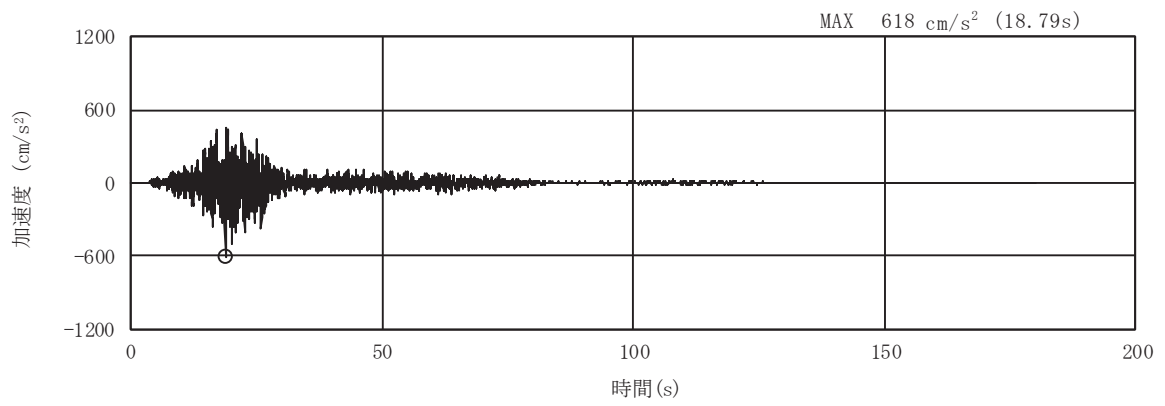


(a) 加速度時刻歴波形

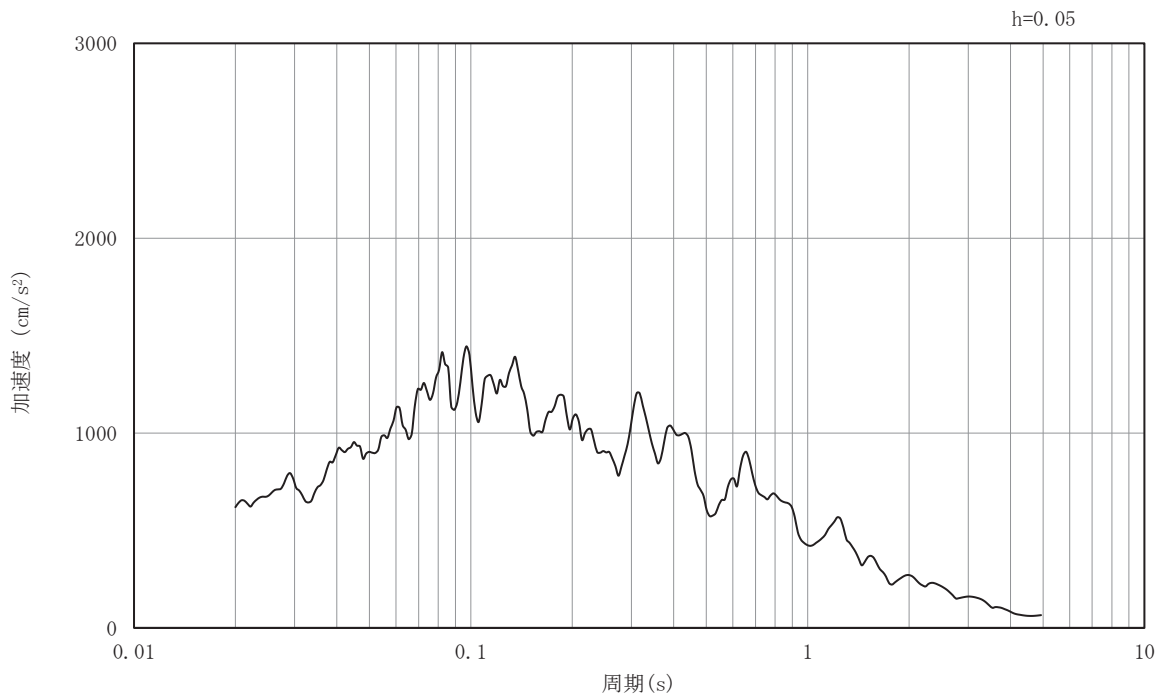


(b) 加速度応答スペクトル

図9-12 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
(EW断面 鉛直成分 : S s - D 3)

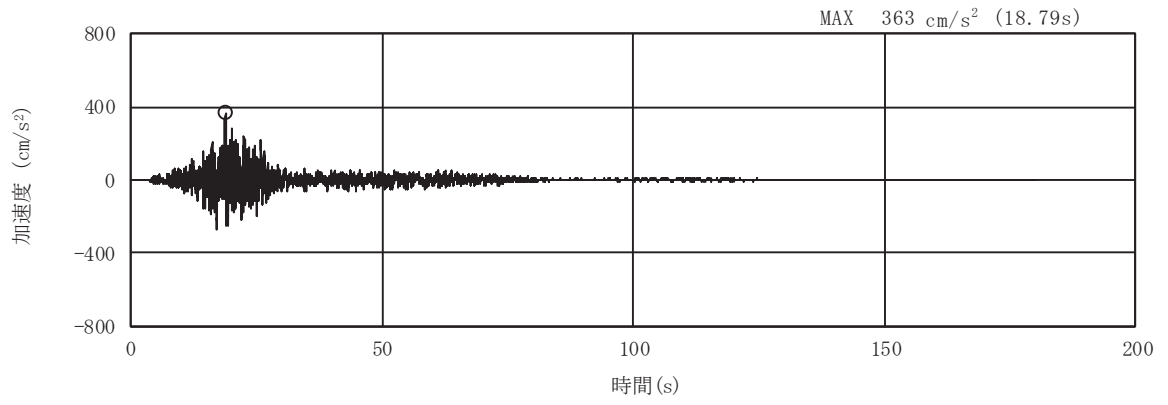


(a) 加速度時刻歴波形

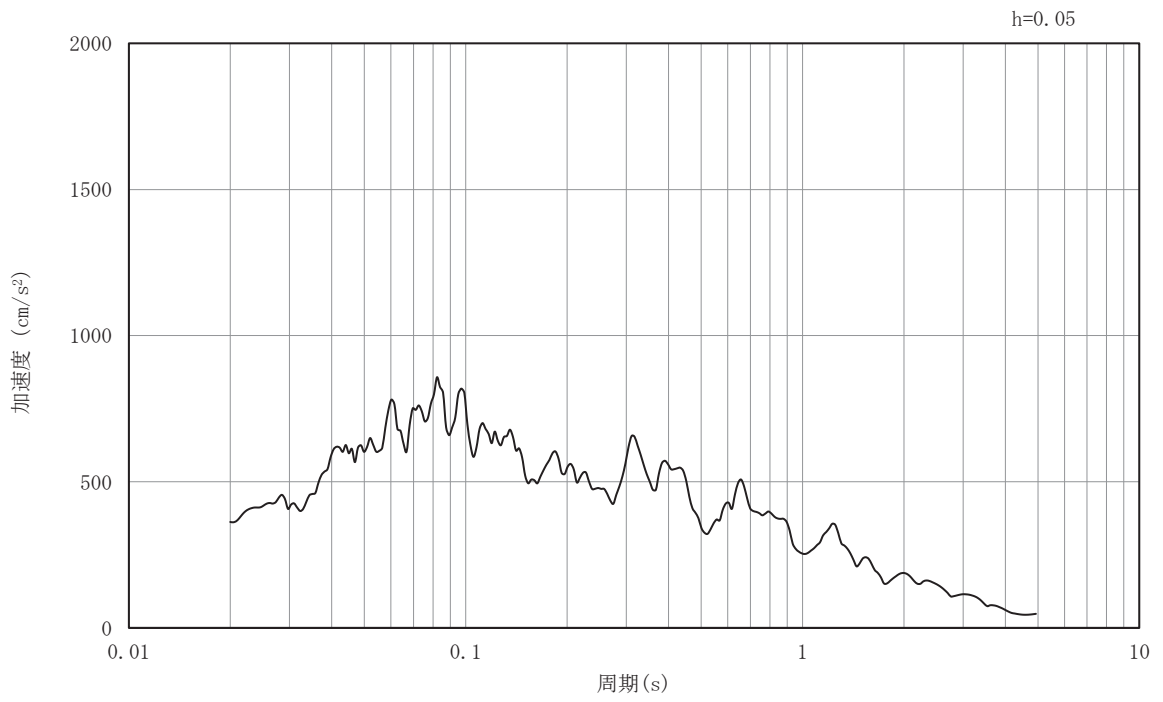


(b) 加速度応答スペクトル

図9-13 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
(EW断面 水平成分 : S s - F 1)

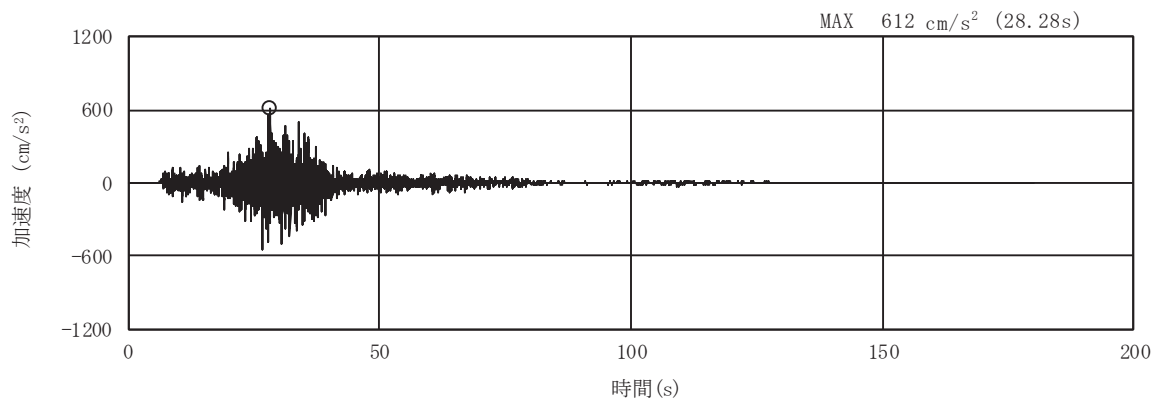


(a) 加速度時刻歴波形

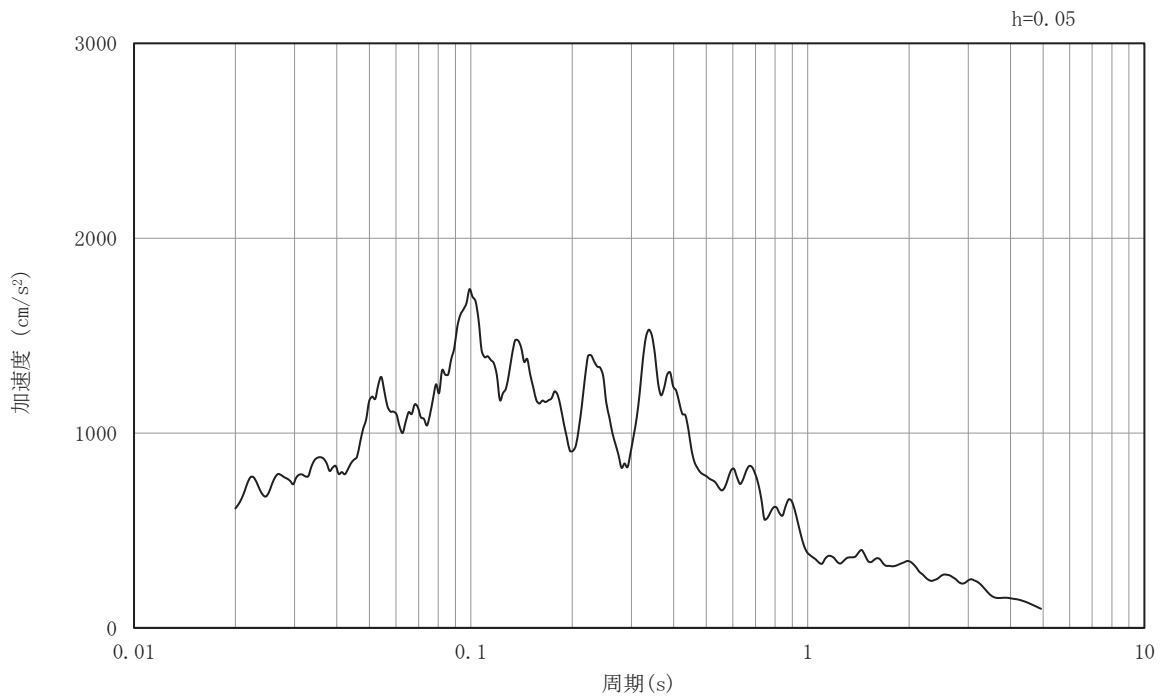


(b) 加速度応答スペクトル

図9-14 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
(EW断面 鉛直成分 : S s - F 1)

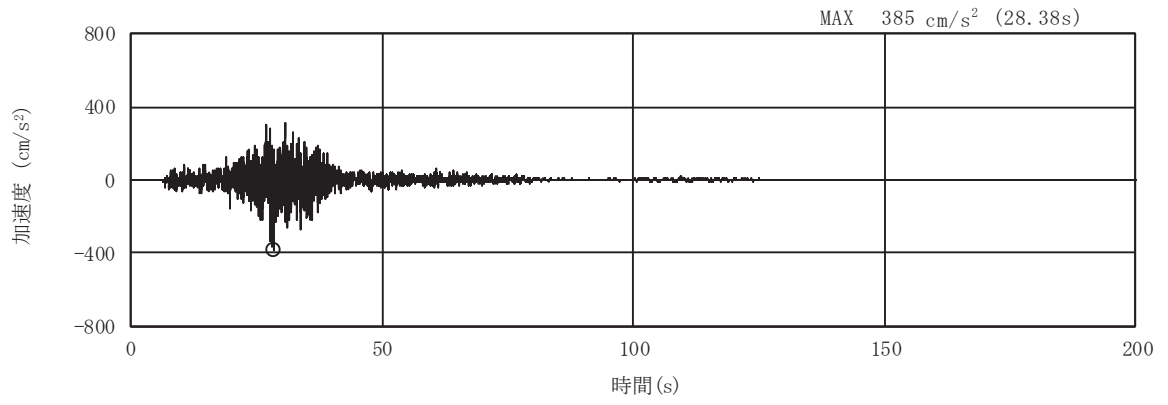


(a) 加速度時刻歴波形

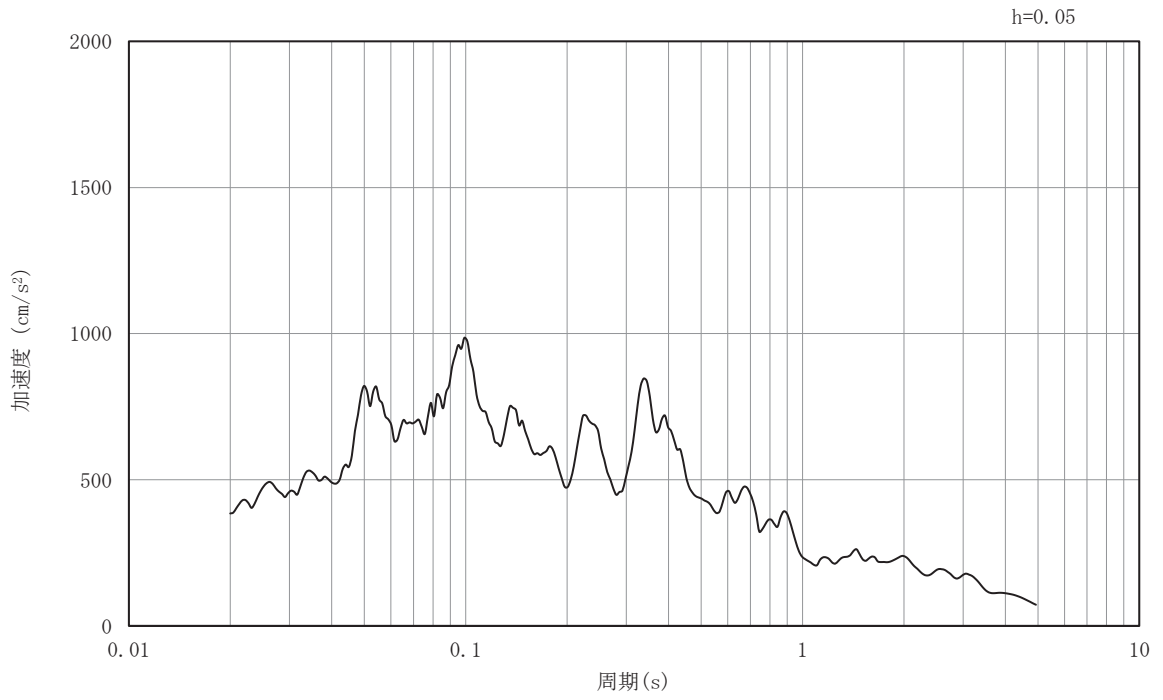


(b) 加速度応答スペクトル

図9-15 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
(EW断面 水平成分 : S s - F 2)

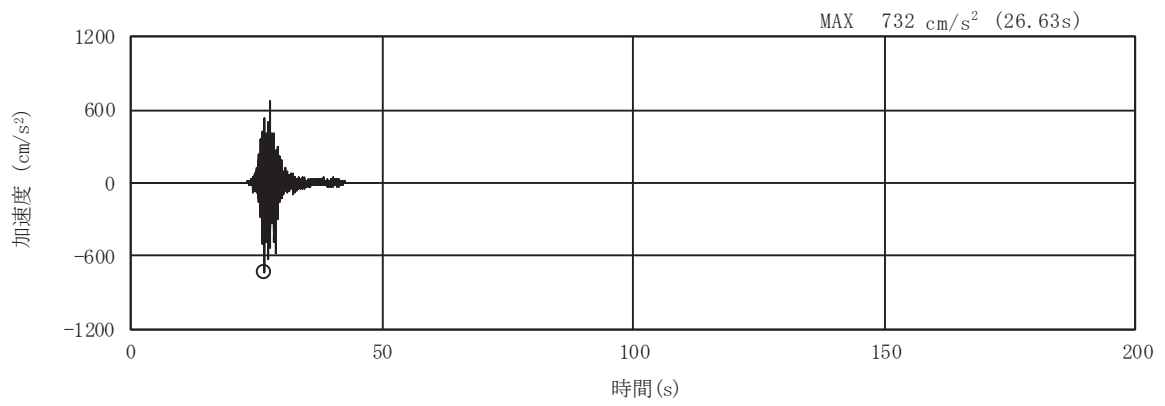


(a) 加速度時刻歴波形

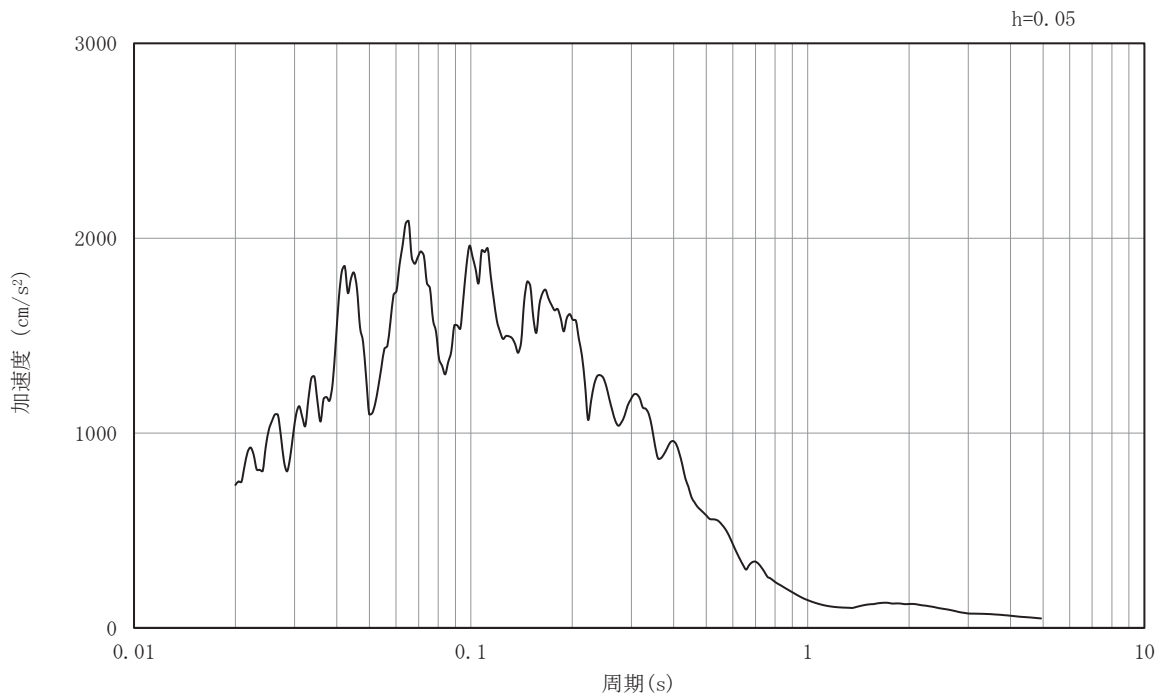


(b) 加速度応答スペクトル

図9-16 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
(EW断面 鉛直成分 : S s - F 2)

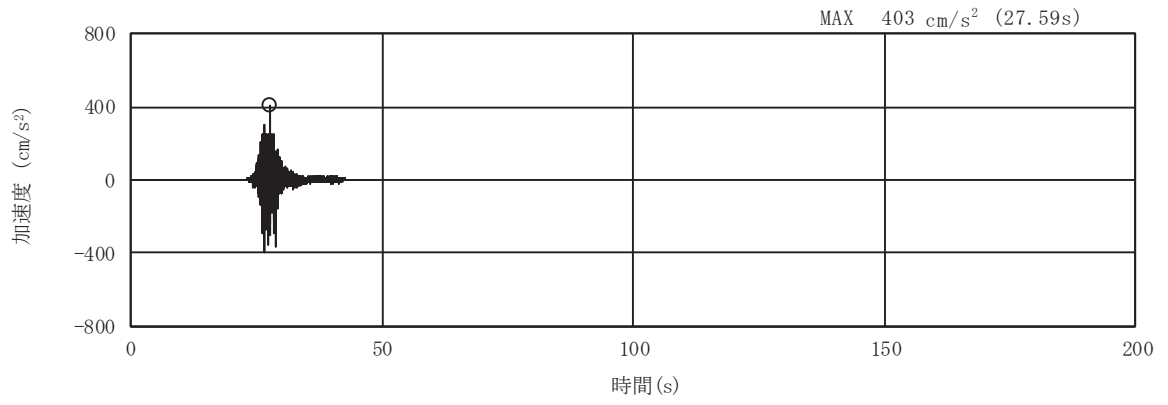


(a) 加速度時刻歴波形

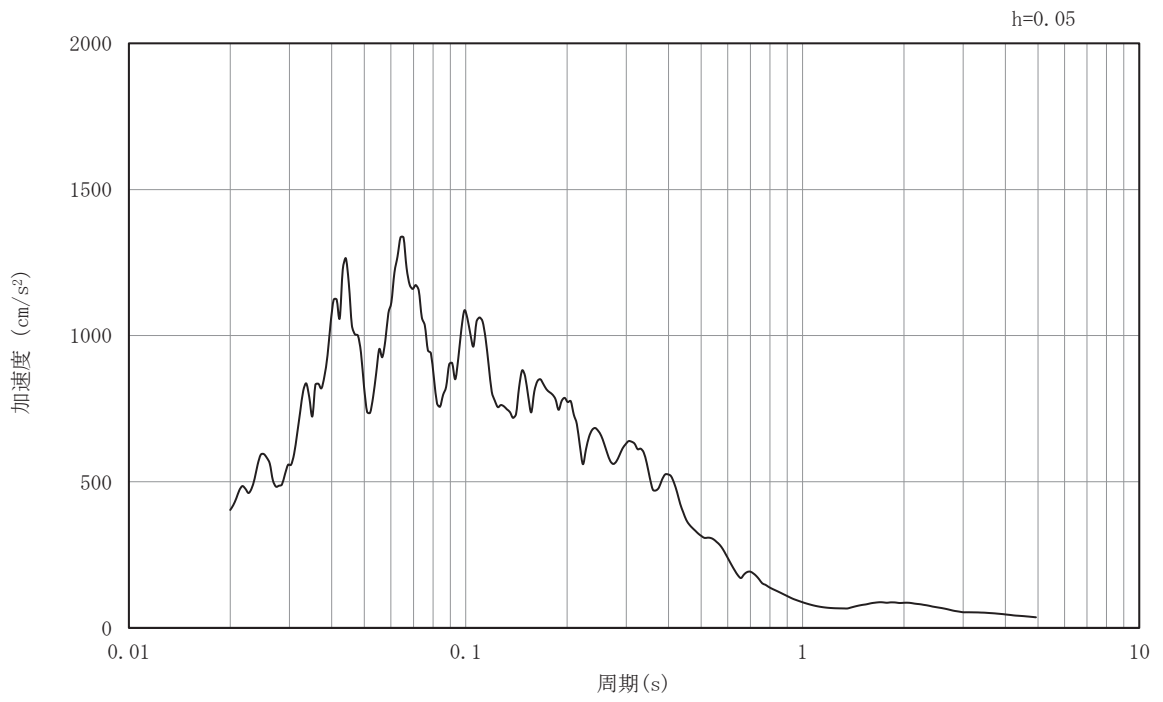


(b) 加速度応答スペクトル

図9-17 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
(EW断面 水平成分 : S s - F 3)

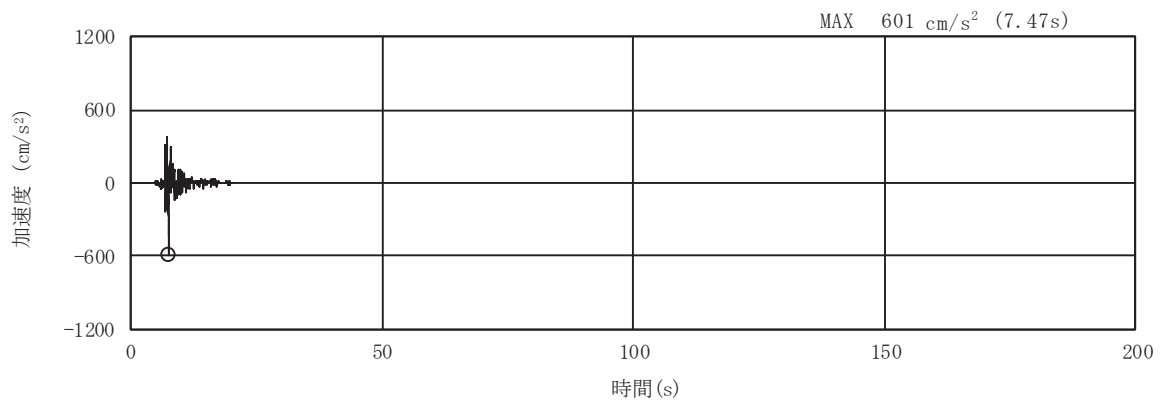


(a) 加速度時刻歴波形

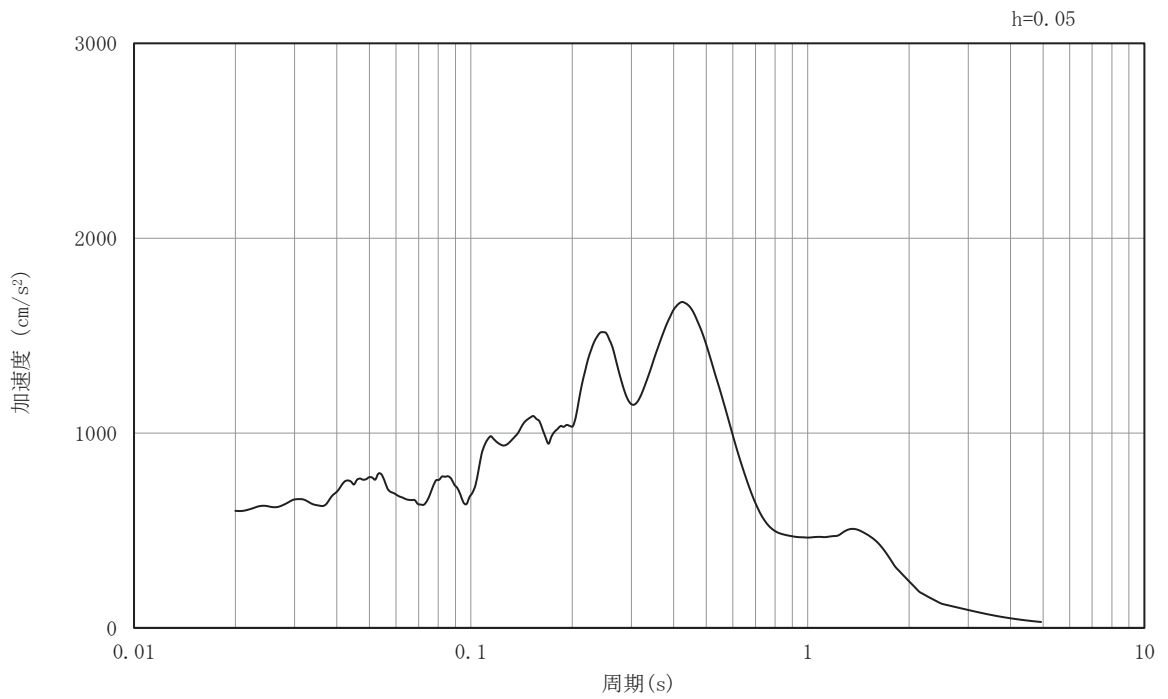


(b) 加速度応答スペクトル

図9-18 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
(EW断面 鉛直成分 : S s - F 3)

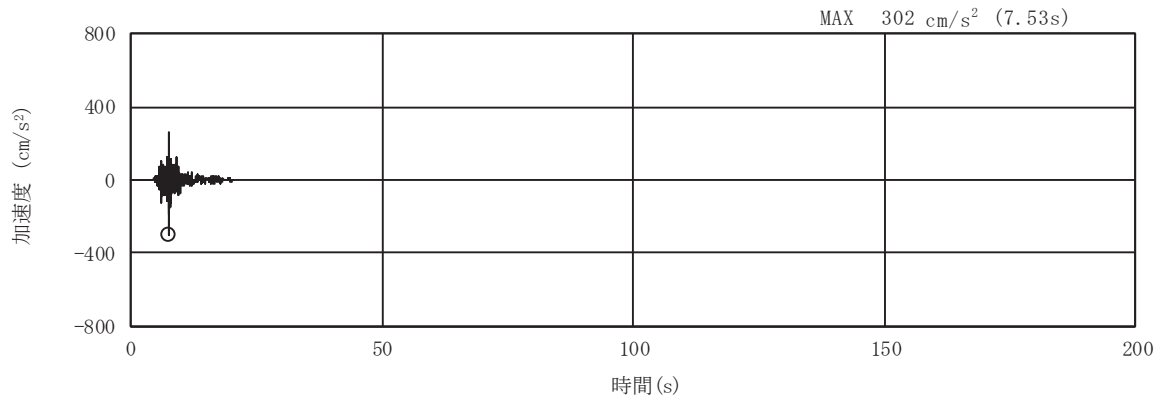


(a) 加速度時刻歴波形

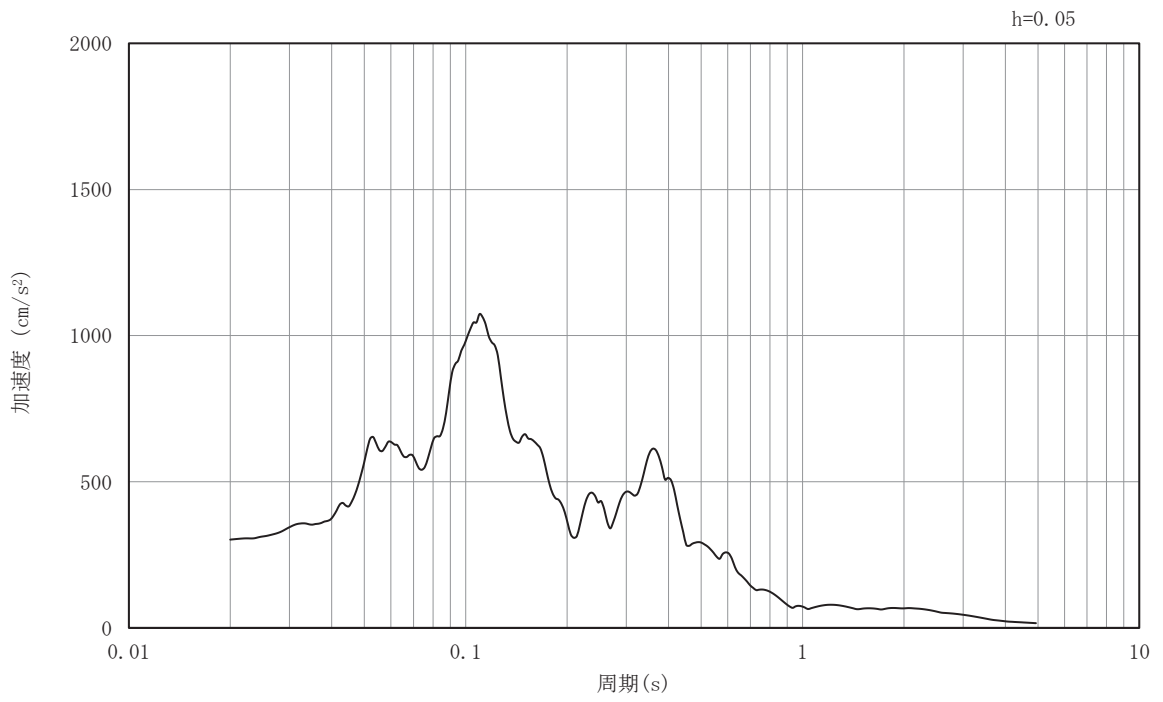


(b) 加速度応答スペクトル

図9-19 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
(EW断面 水平成分 : S s - N 1)

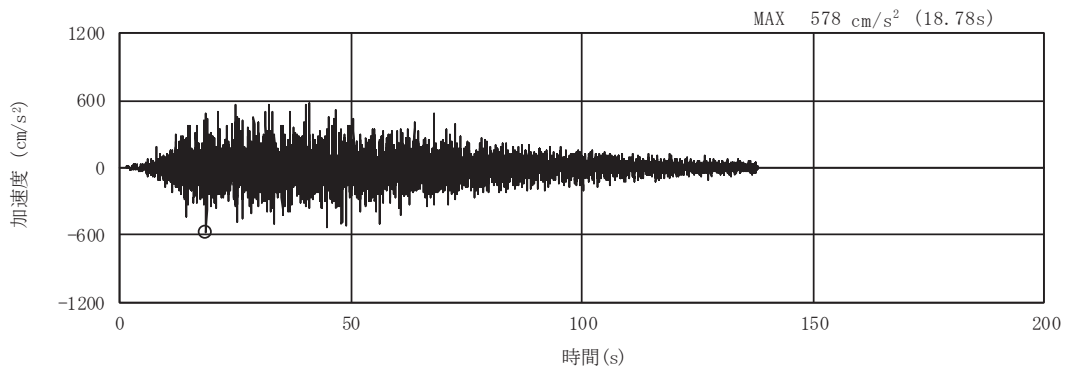


(a) 加速度時刻歴波形

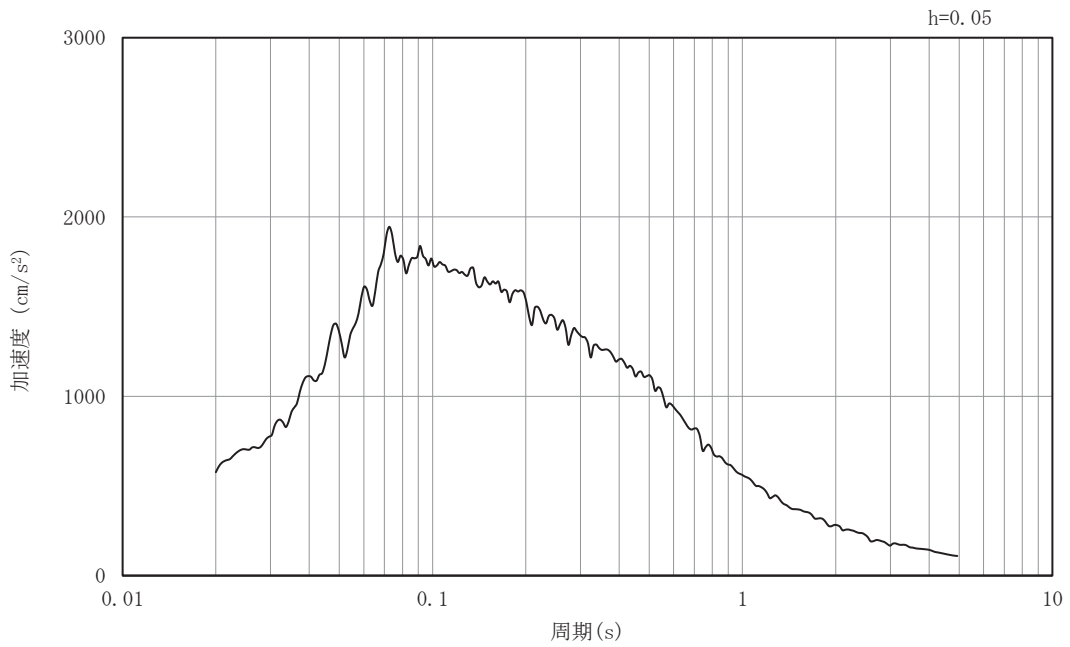


(b) 加速度応答スペクトル

図9-20 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
(EW断面 鉛直成分 : S s - N 1)

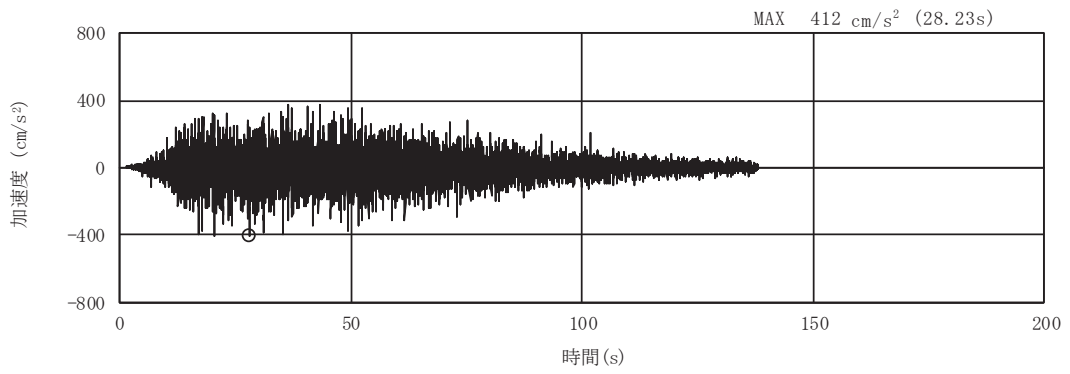


(a) 加速度時刻歴波形

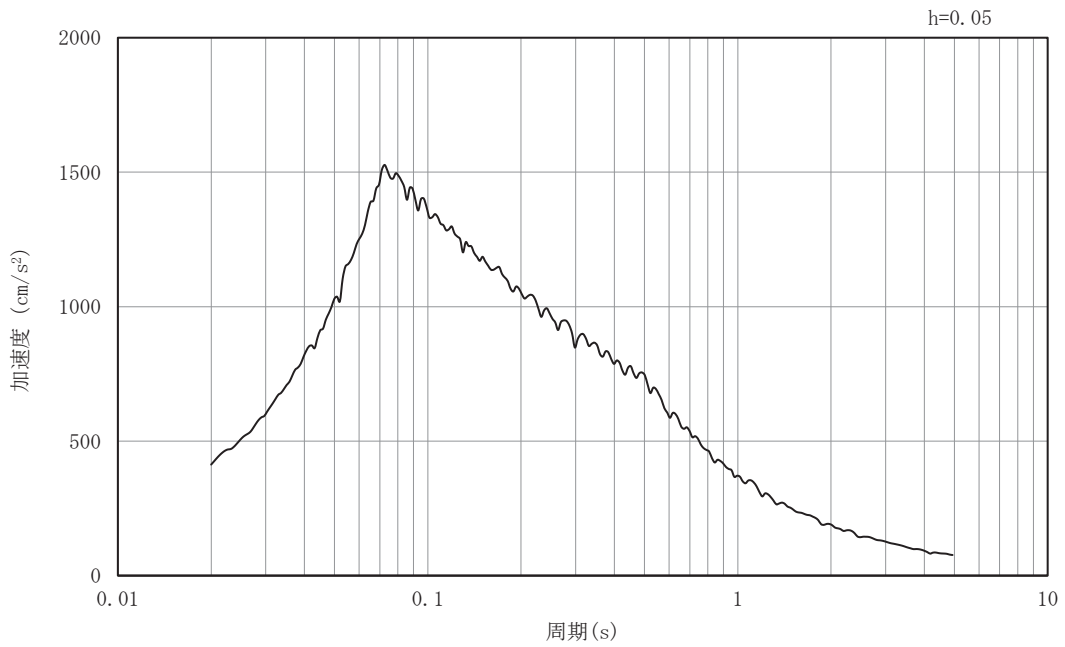


(b) 加速度応答スペクトル

図9-21 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
(NS断面 水平成分：S s - D 1)

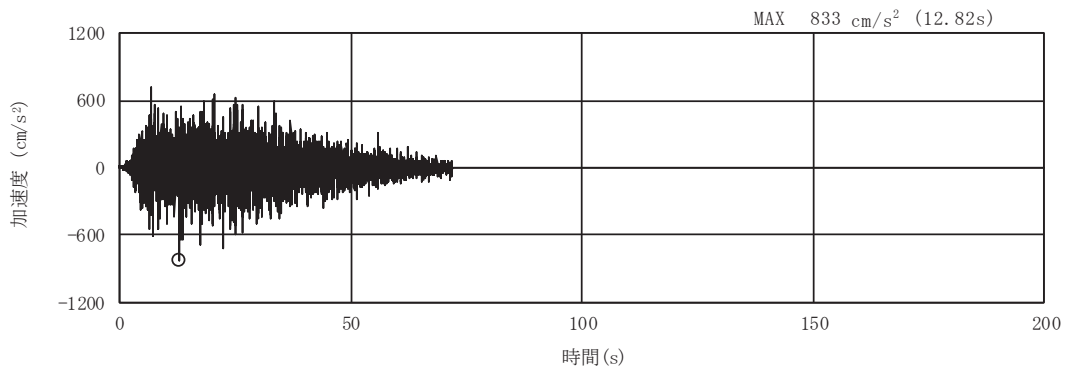


(a) 加速度時刻歴波形

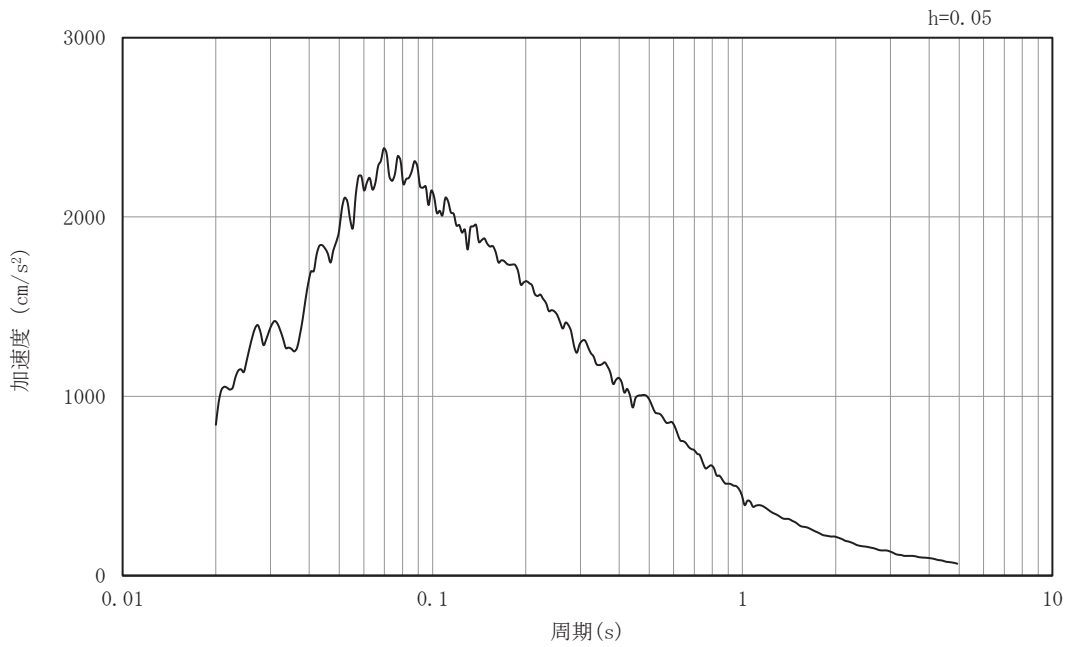


(b) 加速度応答スペクトル

図9-22 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
(NS断面 鉛直成分：S s - D 1)

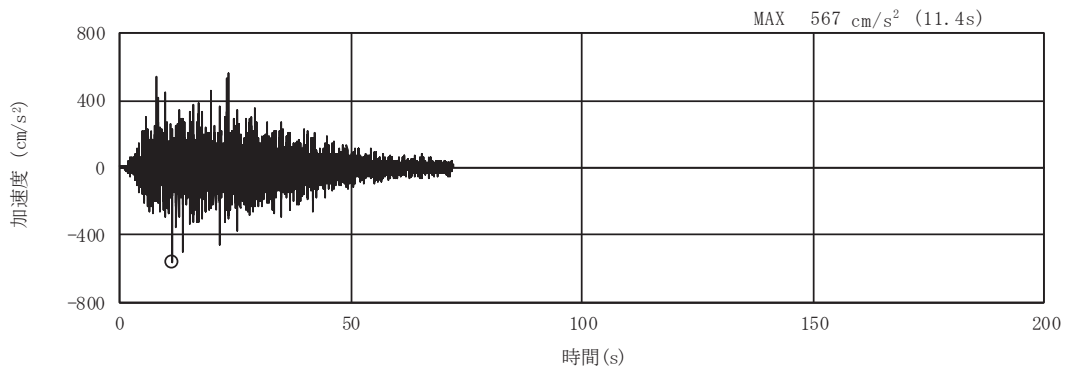


(a) 加速度時刻歴波形

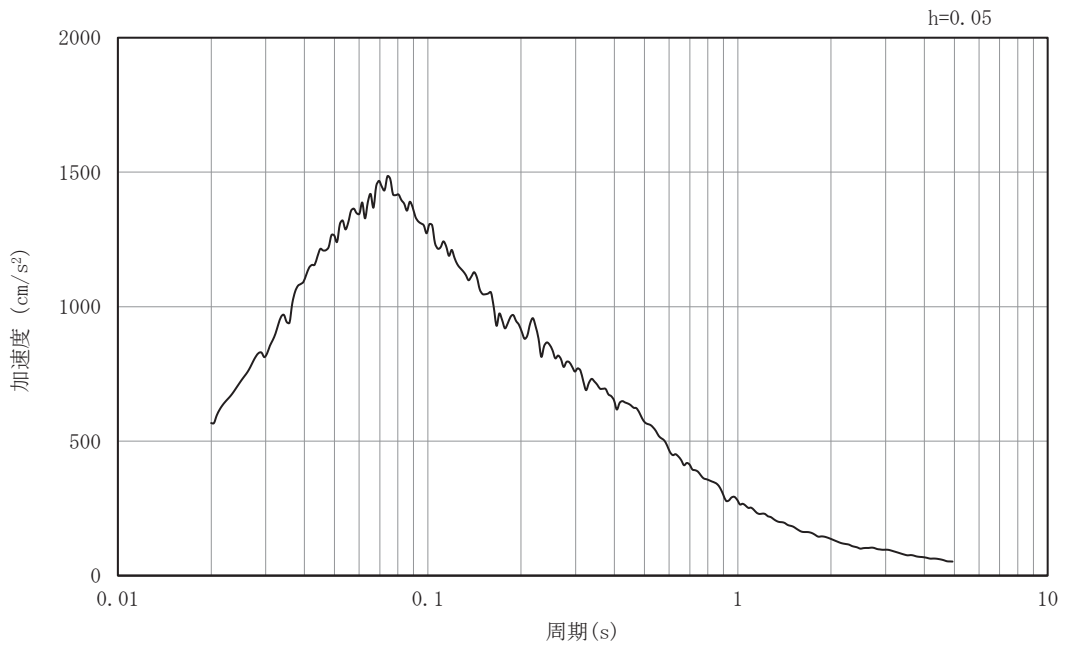


(b) 加速度応答スペクトル

図9-23 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
(NS断面 水平成分：S s - D 2)

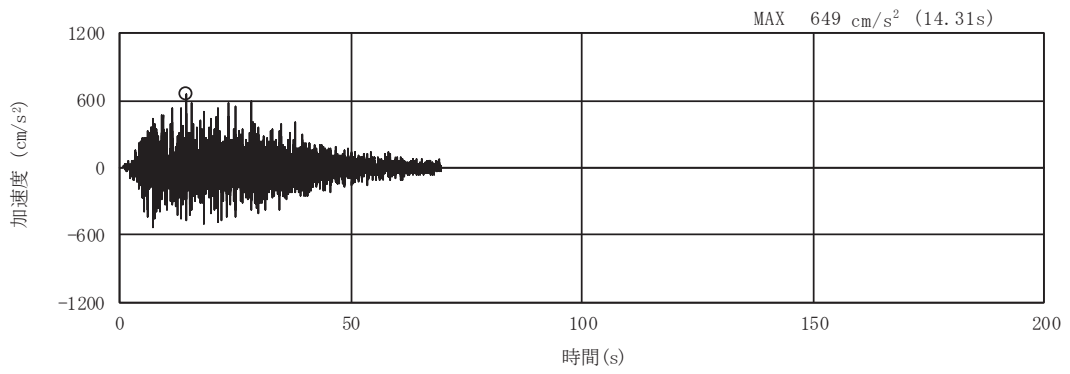


(a) 加速度時刻歴波形

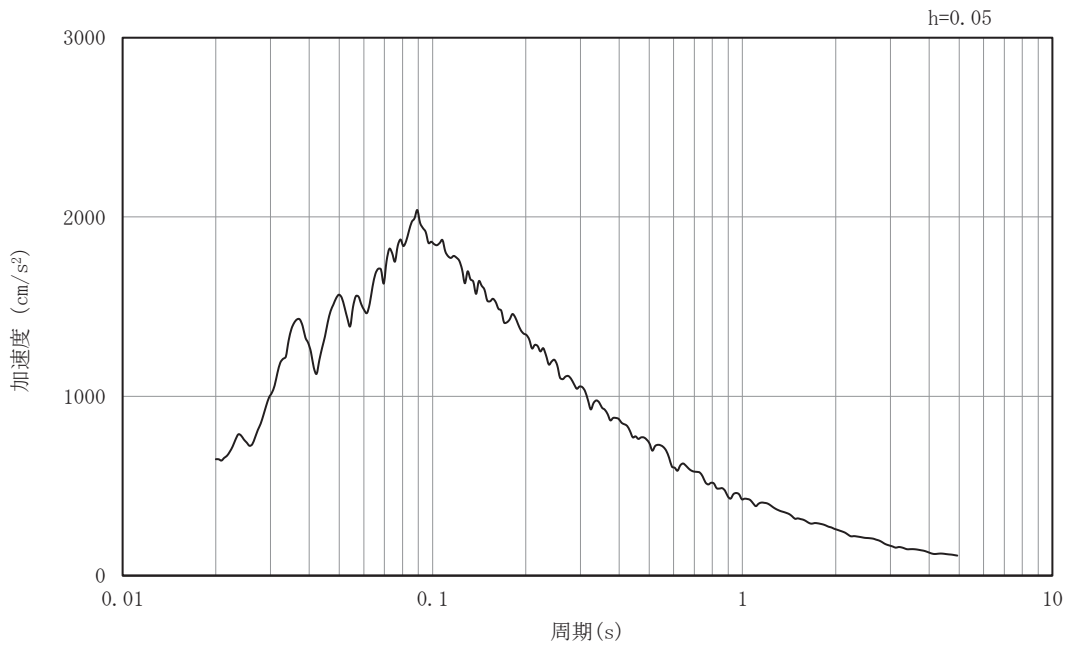


(b) 加速度応答スペクトル

図9-24 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
(NS断面 鉛直成分: S s - D 2)

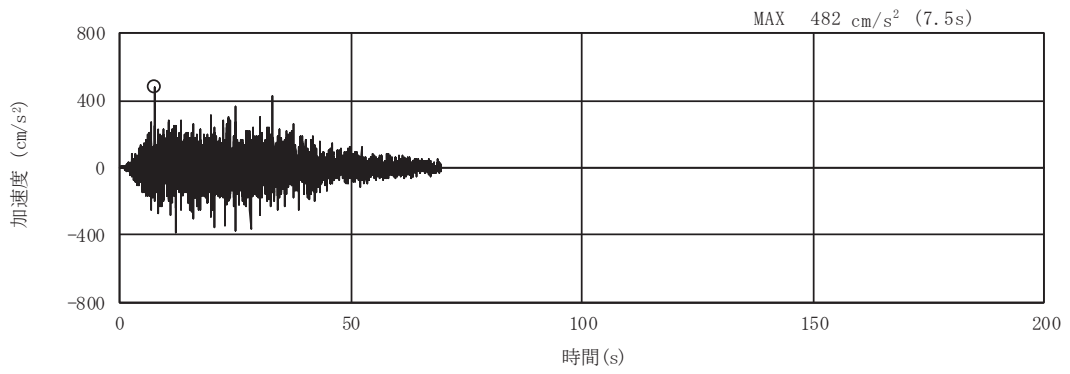


(a) 加速度時刻歴波形

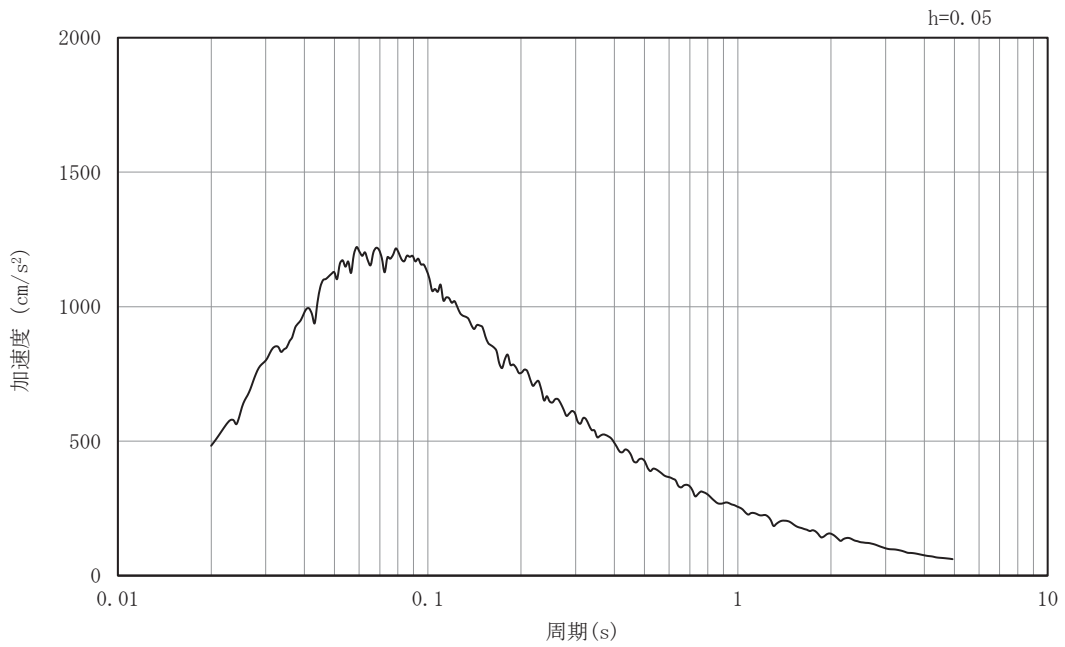


(b) 加速度応答スペクトル

図9-25 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
(NS断面 水平成分：S s - D 3)

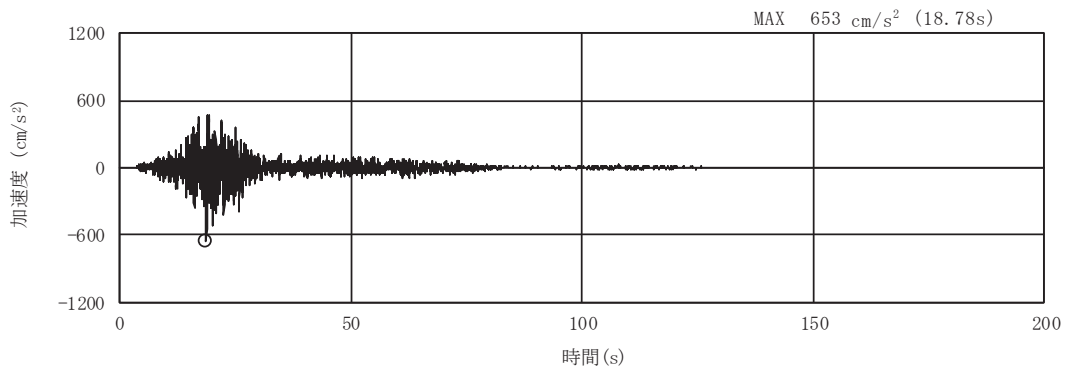


(a) 加速度時刻歴波形

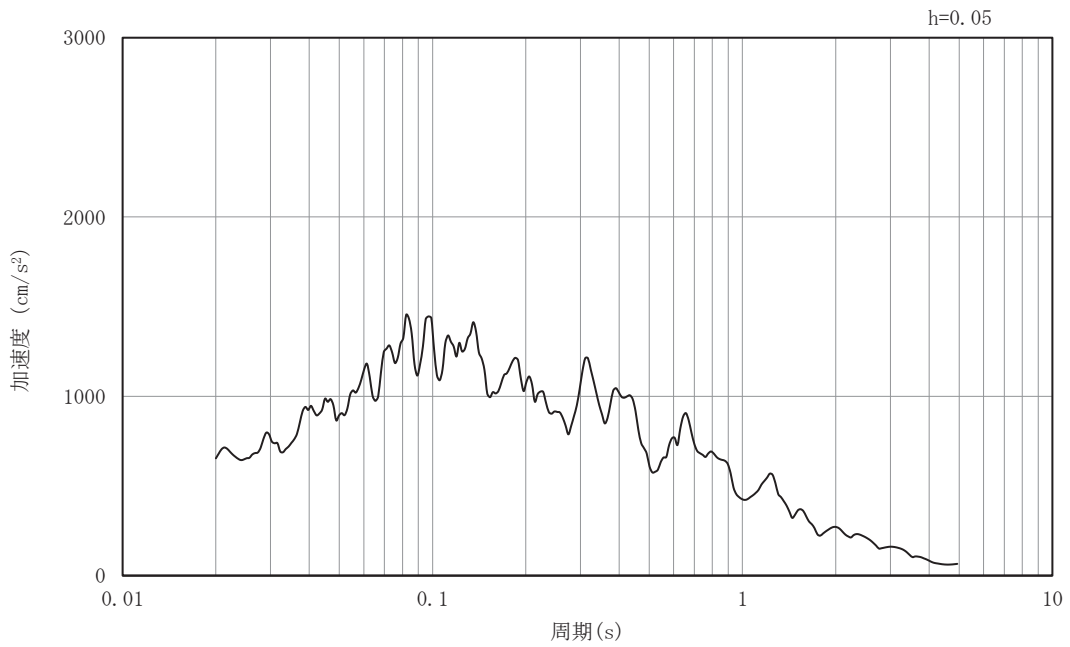


(b) 加速度応答スペクトル

図9-26 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
(NS断面 鉛直成分: S s - D 3)

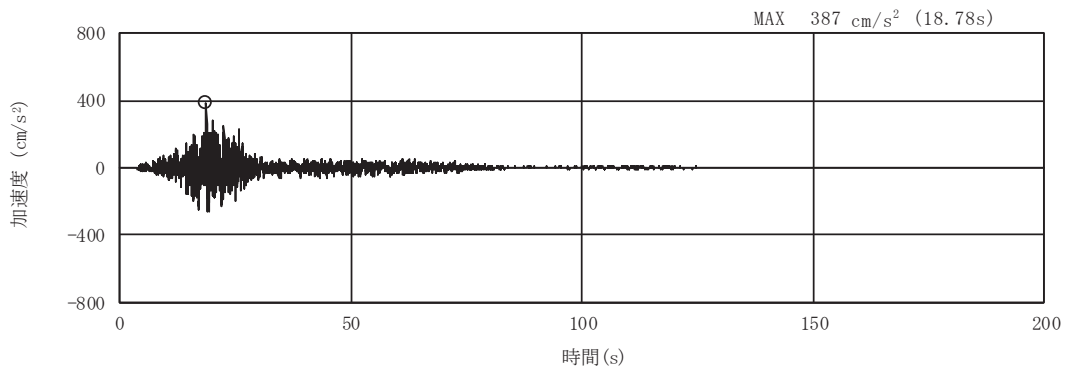


(a) 加速度時刻歴波形

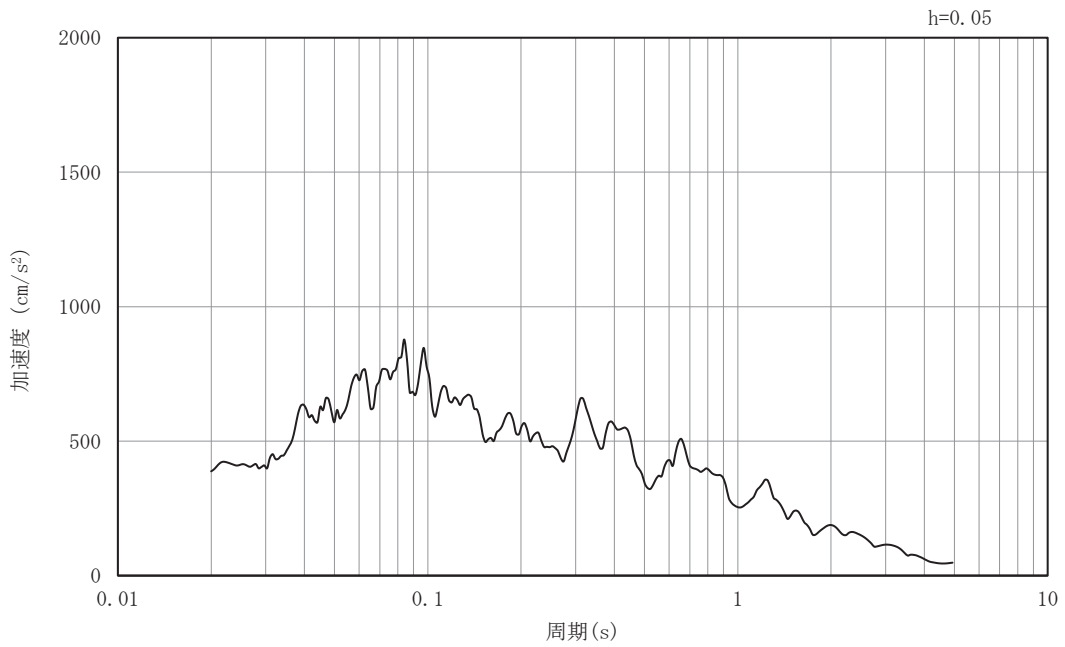


(b) 加速度応答スペクトル

図9-27 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
(NS断面 水平成分：S s - F 1)

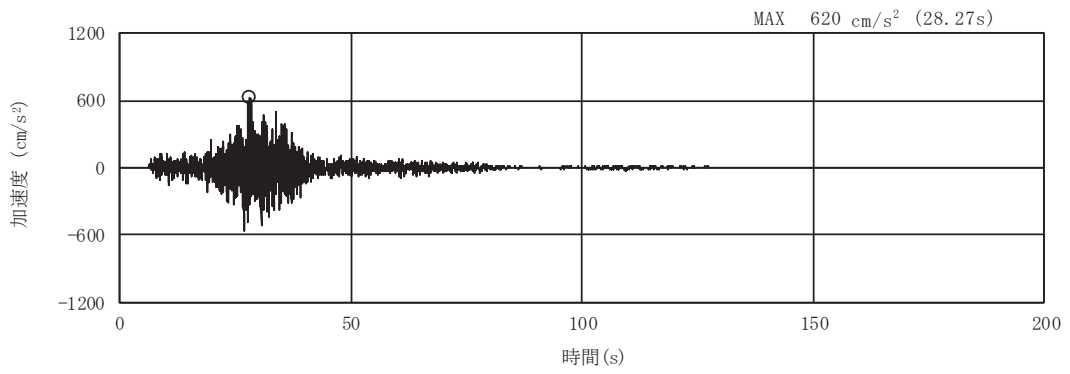


(a) 加速度時刻歴波形

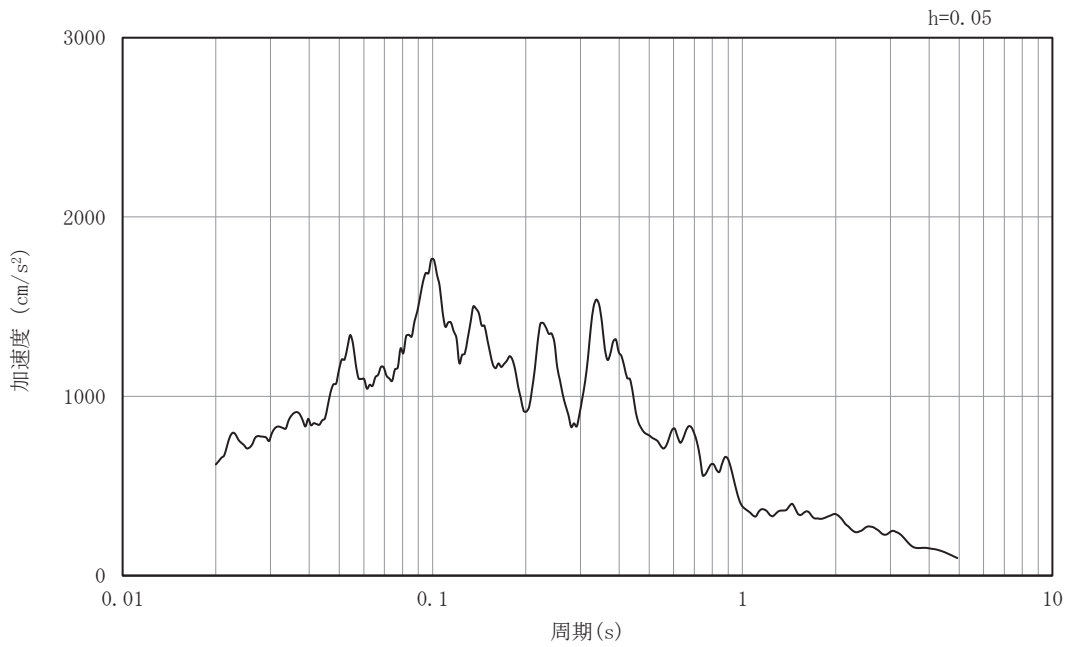


(b) 加速度応答スペクトル

図9-28 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
(NS断面 鉛直成分：S s - F 1)

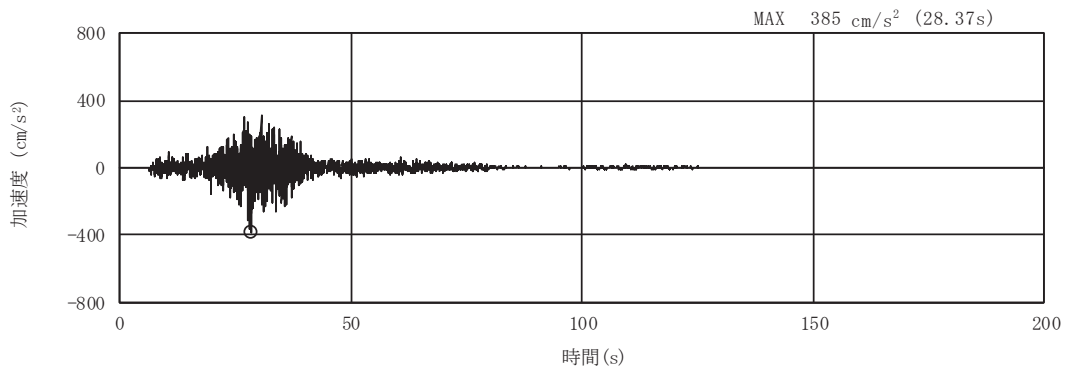


(a) 加速度時刻歴波形

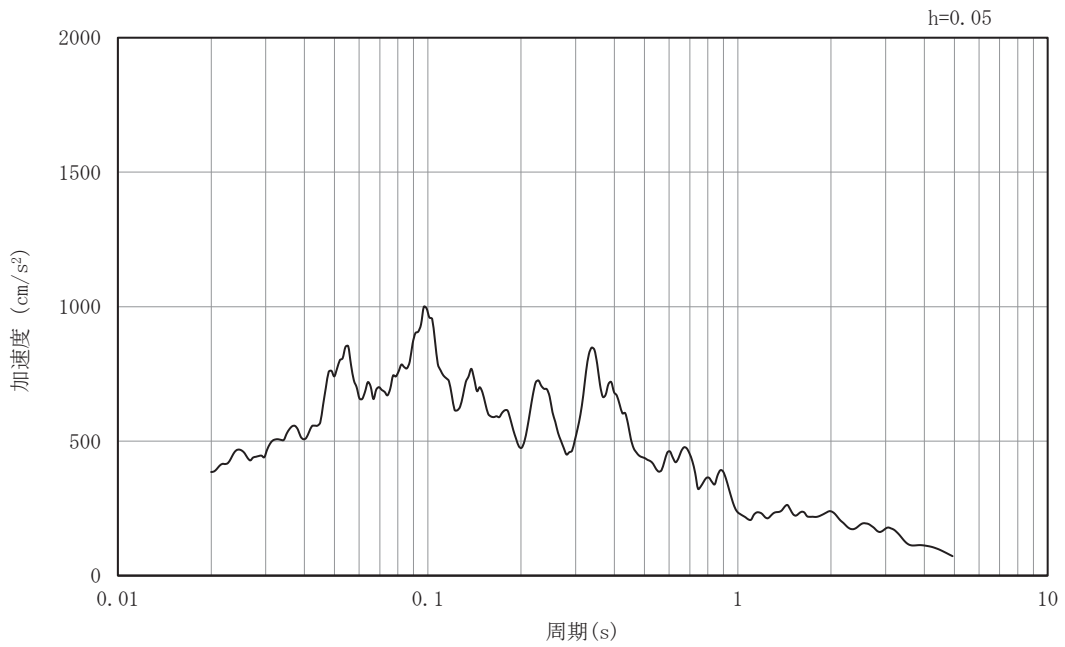


(b) 加速度応答スペクトル

図9-29 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
(NS断面 水平成分：S s - F 2)

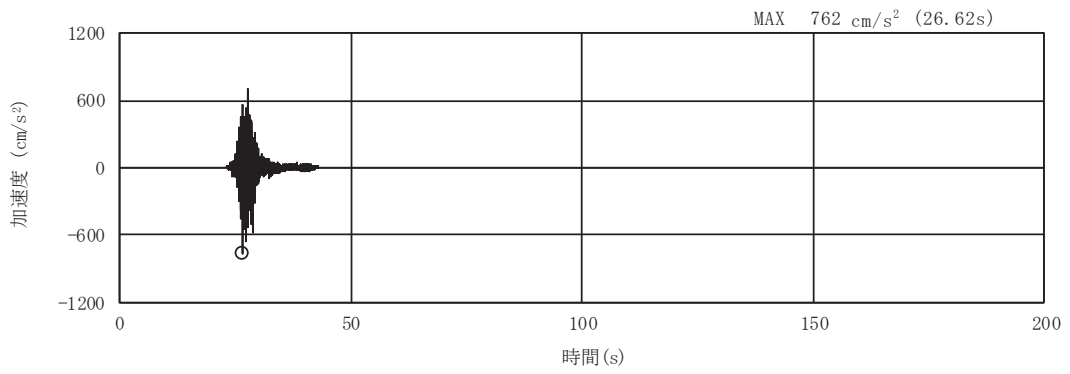


(a) 加速度時刻歴波形

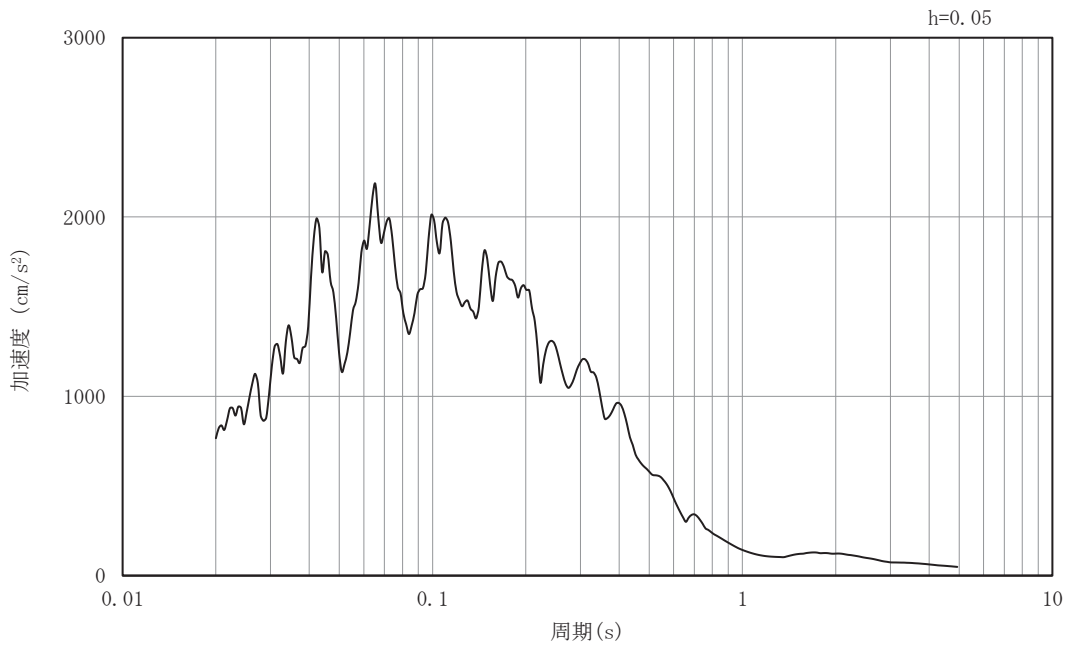


(b) 加速度応答スペクトル

図9-30 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
(NS断面 鉛直成分：S s - F 2)

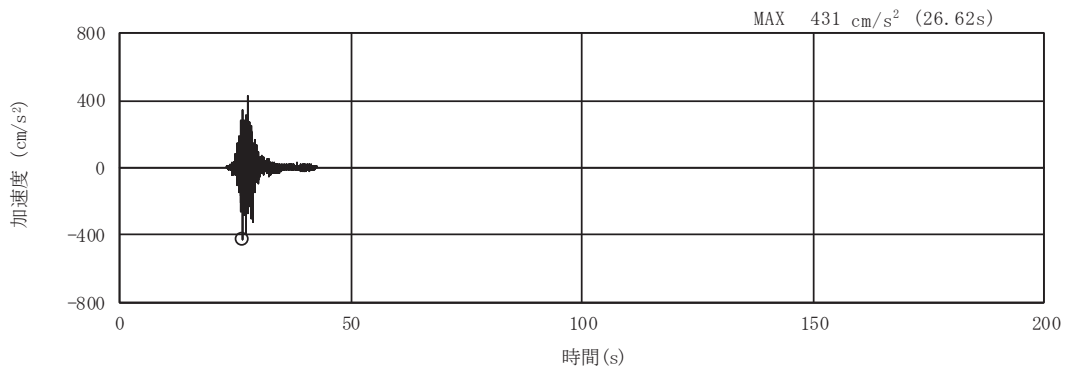


(a) 加速度時刻歴波形

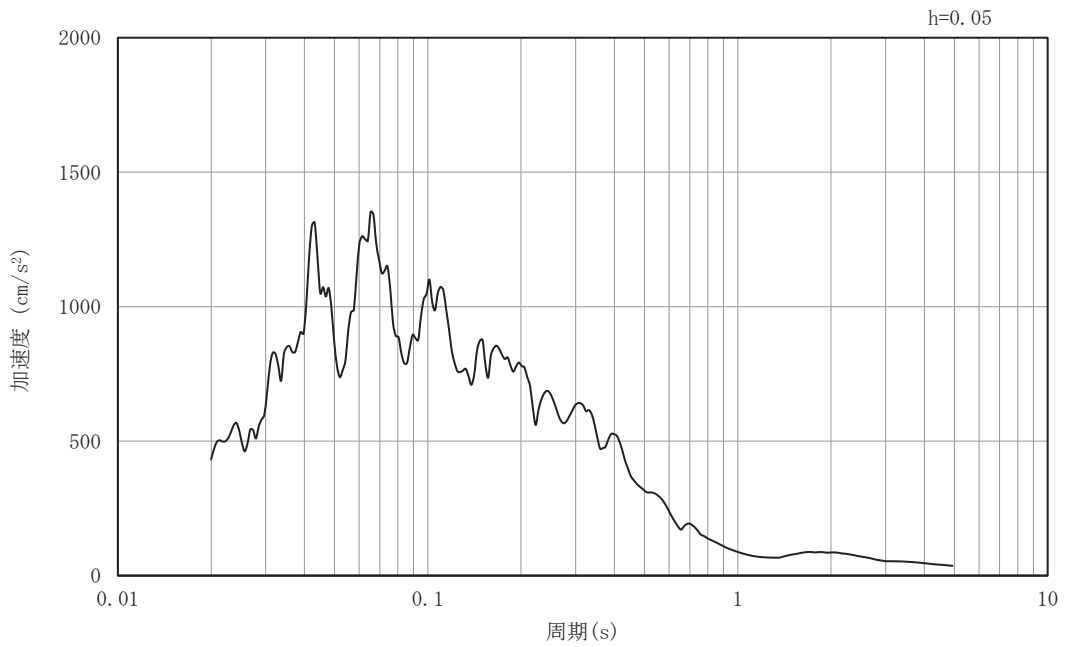


(b) 加速度応答スペクトル

図9-31 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
(NS断面 水平成分：S s - F 3)

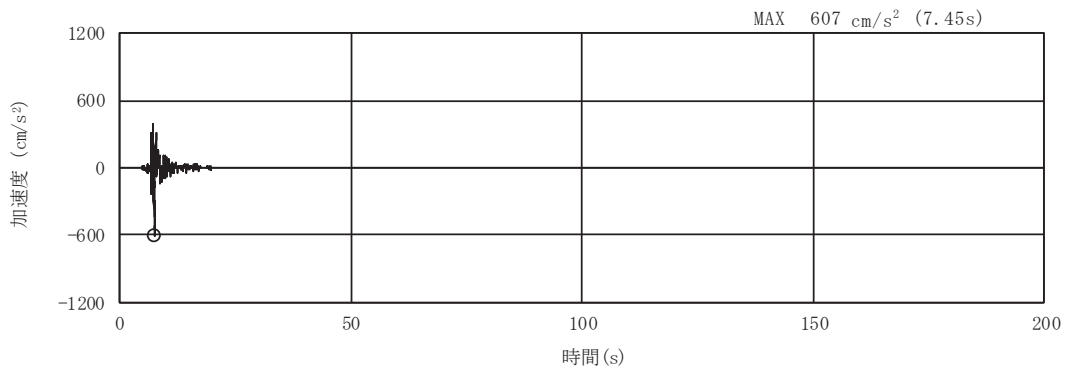


(a) 加速度時刻歴波形

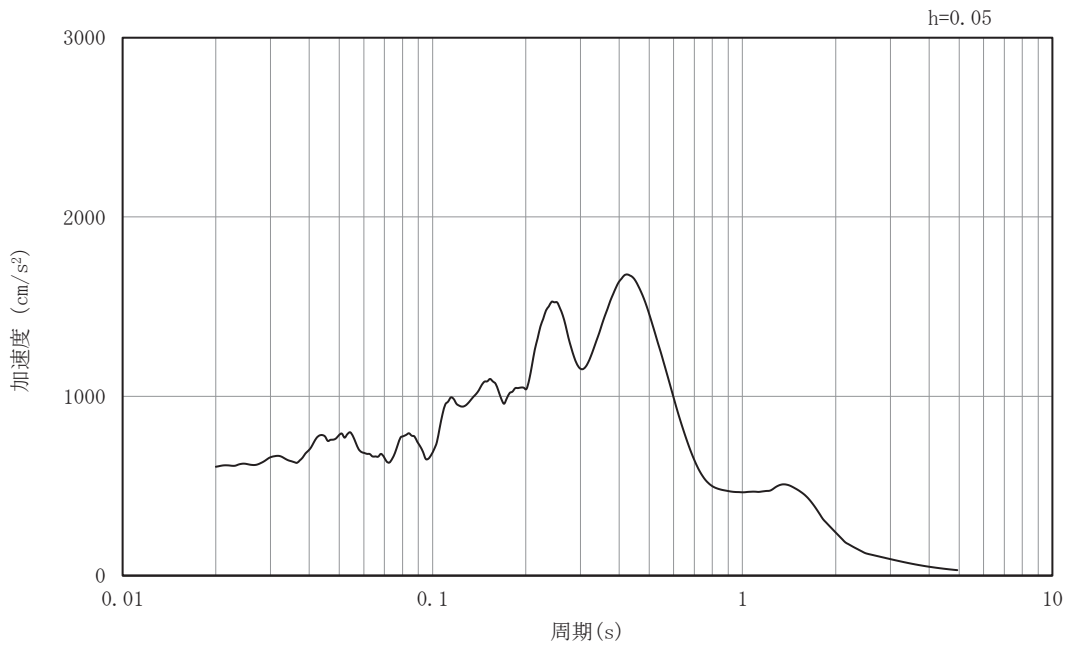


(b) 加速度応答スペクトル

図9-32 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
(NS断面 鉛直成分：S s - F 3)

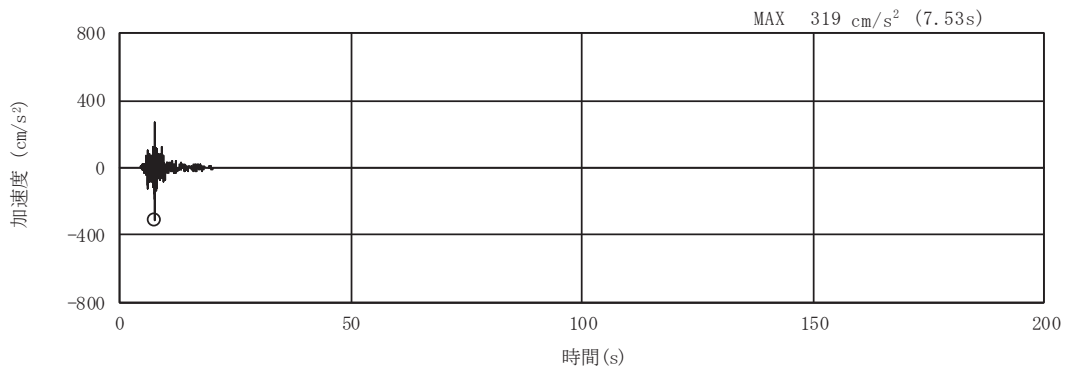


(a) 加速度時刻歴波形

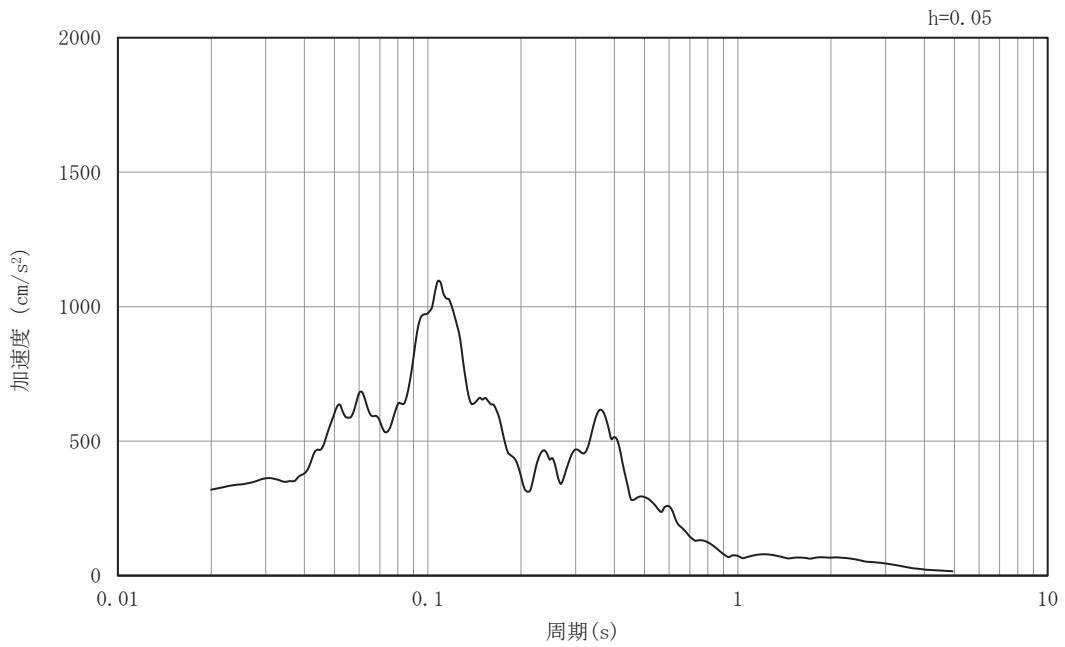


(b) 加速度応答スペクトル

図9-33 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
(NS断面 水平成分：S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図9-34 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
(NS断面 鉛直成分: S s - N 1)

9.5 解析モデル及び諸元

9.5.1 解析モデル

(1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）を参考に、図9-35に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の5倍程度以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の2倍程度以上確保する。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するため、対象とする波長の5分の1程度を考慮し設定する。

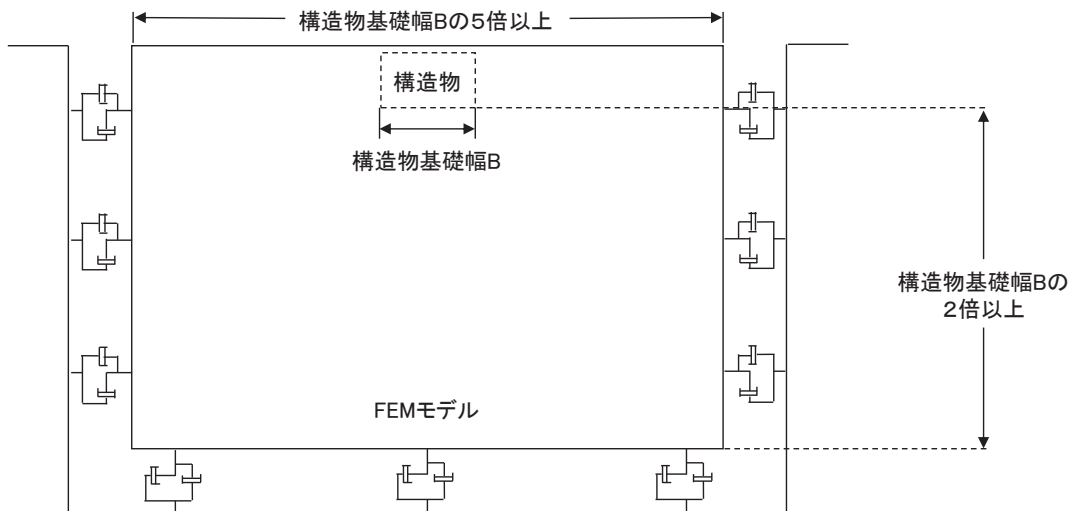


図9-35 モデル化範囲の考え方

(2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

第3号機補機冷却海水系放水ピットは断面形状に応じた断面諸元を有する構造はり（線形はり要素）によりモデル化する。構造はりの剛性は構造物の奥行き方向の剛性を単位奥行き当りに換算し設定する。

第3号機補機冷却海水系放水ピットの幅，並びに底版部の健全性等を適切に評価するため，水平方向には構造物寸法と等しい仮想剛はりを設置する。軸剛性及び曲げ剛性は線形はり要素の1000倍，質量はゼロとする。

構造物の解析モデル詳細を図9-36に示す。

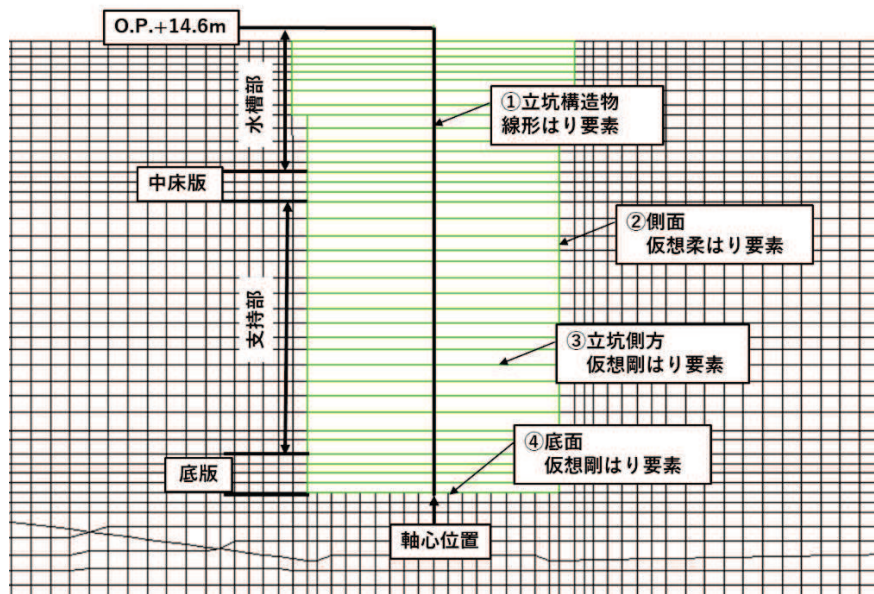


図9-36(1) 構造物の解析モデル(EW)

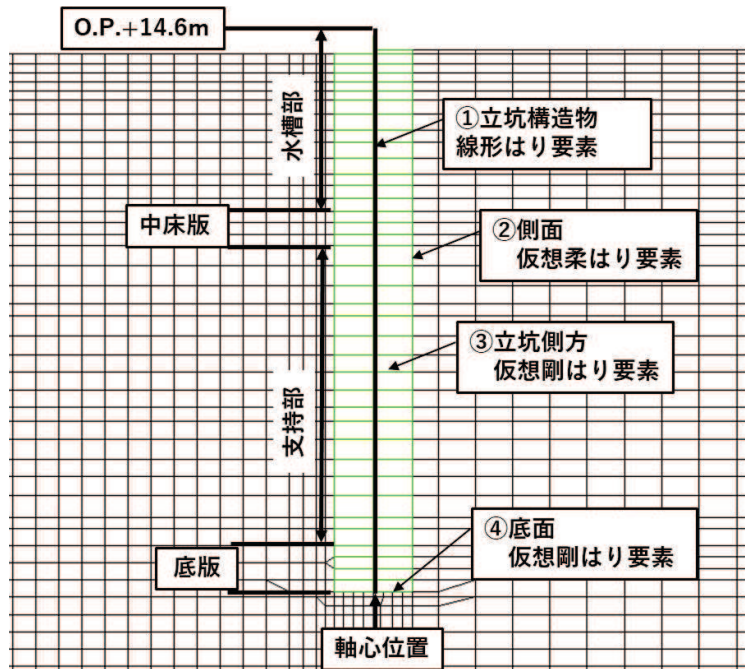


図9-36(2) 構造物の解析モデル(NS)

(4) 隣接構造物のモデル化

NS 方向において隣接構造物となる第 3 号機海水熱交換器建屋は、第 3 号機補機冷却海水系放水ピットと緩衝材を介して接しており、荷重の伝達を考慮する必要がある。そのため、第 3 号機海水熱交換器建屋と等価な剛性（奥行き方向の剛性を単位奥行き当りに換算し設定）を付与させたモデルとする。構造部材については、平面応力要素によりモデル化する。

等価剛性モデルの設定方法は第 3 号機海水熱交換器建屋の S R モデルは添付資料「V-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」を参考に節点位置における変位と新たに作成した二次元平面応力要素モデルの変位が等しくなるようにコンクリートのせん断弾性係数を補正し、等価剛性モデルに付与する。剛性の調整方法を図 9-37 に、剛性の調整結果を図 9-38 に示す。

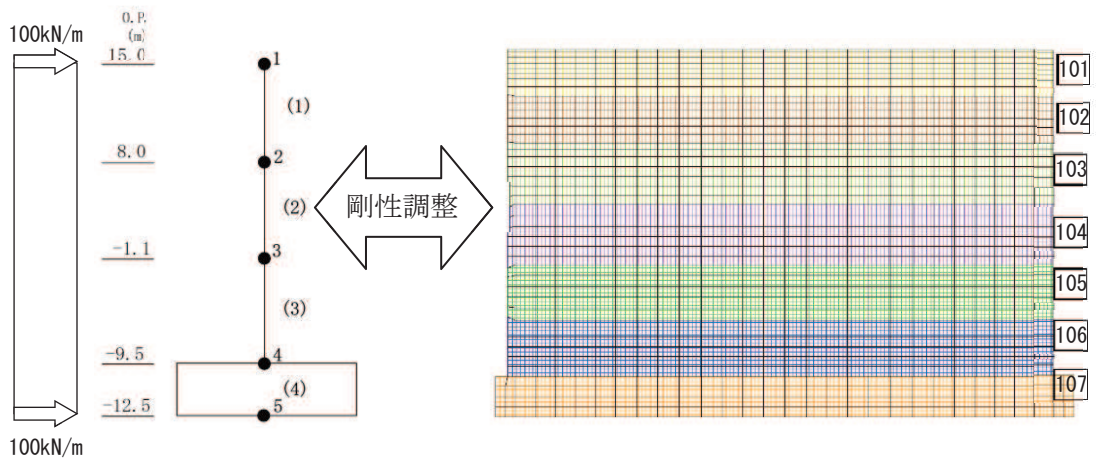


図 9-37 剛性の調整方法

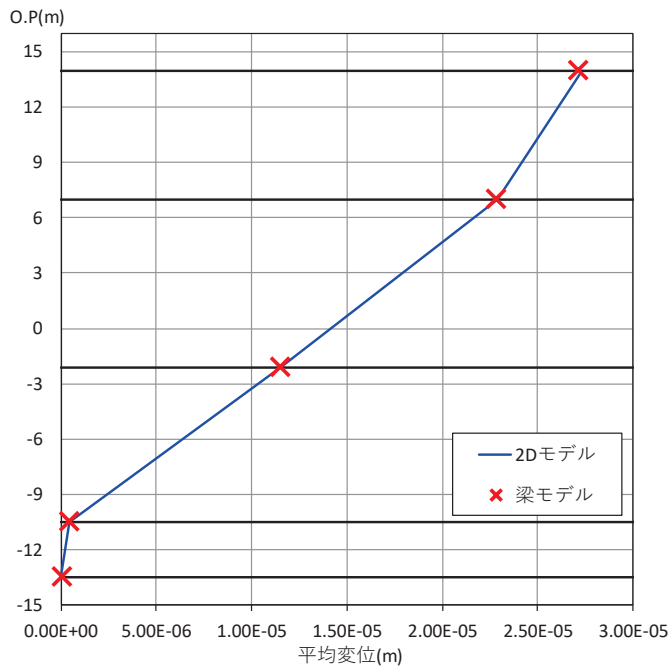


図 9-38 剛性の調整結果

(5) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土、旧表土及びD級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析モデルを図9-39～図9-40に示す。

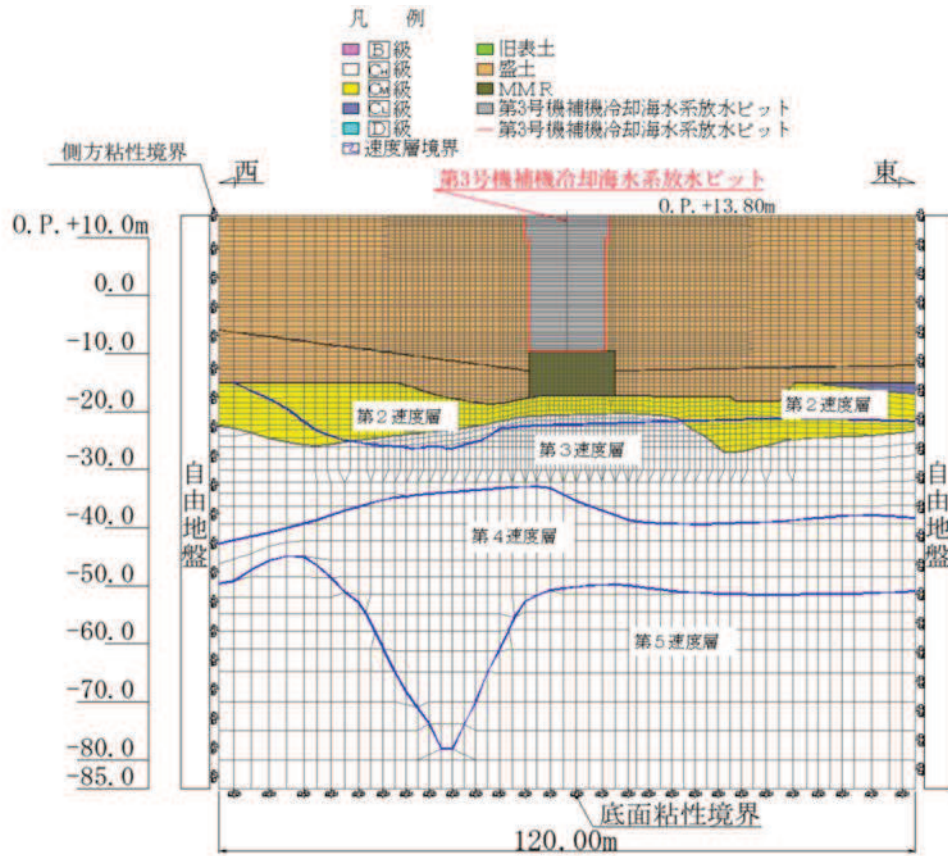


図9-39 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析モデル図 (EW断面)

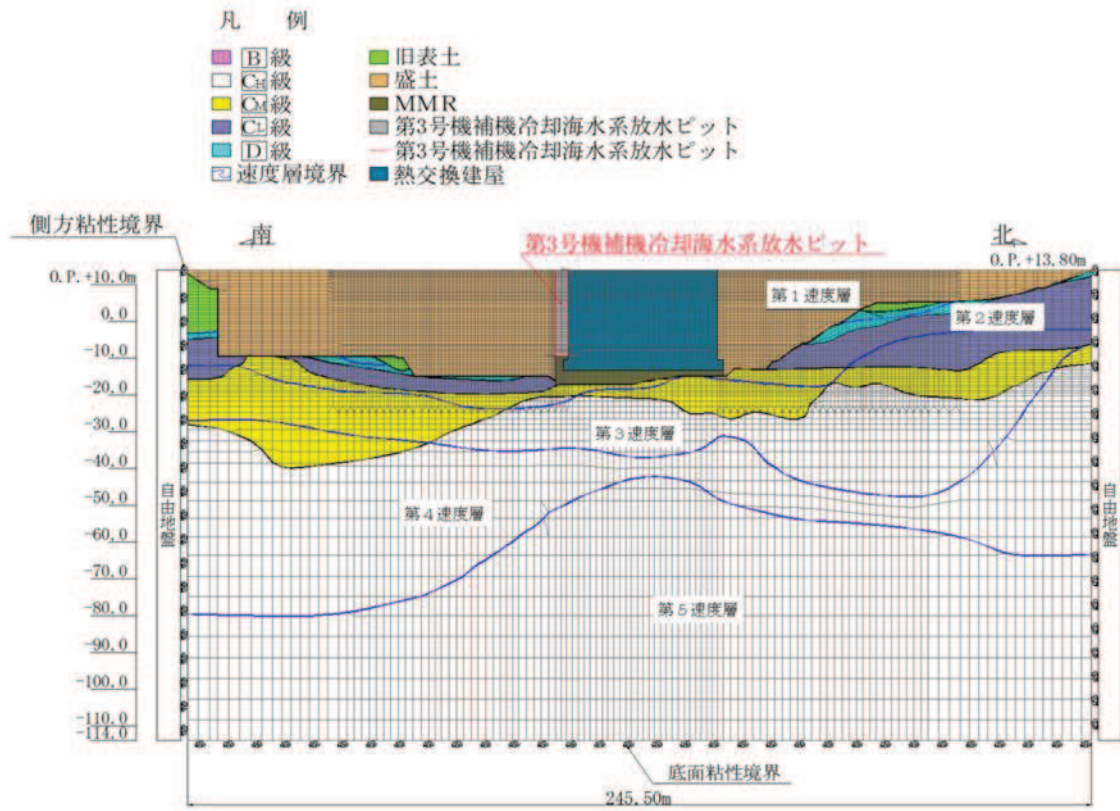


図9-40 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析モデル図 (NS断面)

(6) ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより、強震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 9-5 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、境界の各強度のうちせん断強度が小さい地盤強度を設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

τ_f : せん断強度 (kN/m²)

c : 粘着力 (kN/m²)

ϕ : 内部摩擦角 (度)

σ' : 破壊面の直応力 (kN/m²)

表 9-5 周辺地盤との境界に用いる強度特性

周辺の状況	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (度)
盛土*1	100.0	33.9
盛土*2	60.0	30.0
旧表土*1	0.0	38.7
旧表土*2	80.0	26.2
D級	100.0	24.0
D _L 級	460.0	44.0
D _M 級	780.0	50.0
D _H 級	1290.0	54.0
既設 MMR	3104.4	40.0
新設 MMR	6000.0	40.0

注記*1：地下水位以浅

*2：地下水位以深

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp1061-1070，2009）に従い，表 9-6 のとおり設定する。
 ジョイント要素の力学特性を図 9-41 に示す。

表 9-6 ジョイント要素のばね定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
盛土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤	1.0×10^7	1.0×10^7

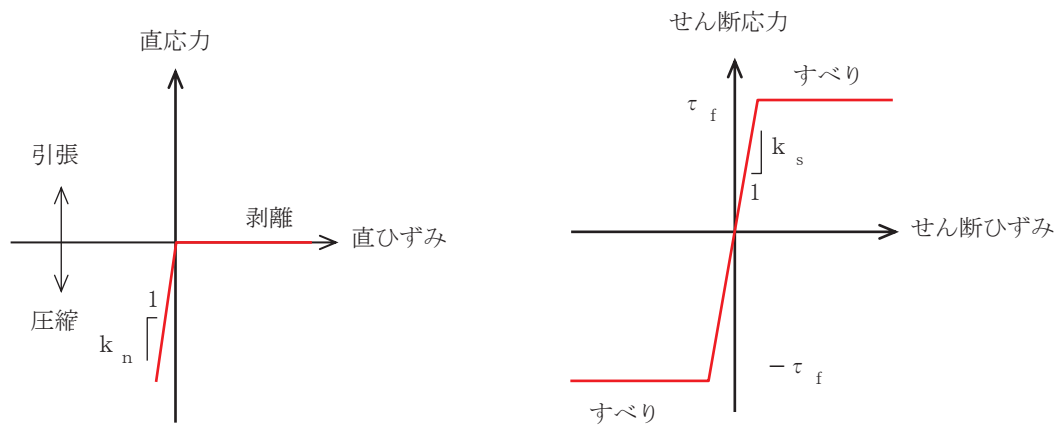


図 9-41 ジョイント要素の力学特性

第3号機補機冷却海水系放水ピットは第3号機海水熱交換器建屋と緩衝材を介して接しており、この間にも境界条件としてジョイント要素を設置して圧縮力の伝達を考慮している。この間のジョイント要素のばね定数を表9-7に示す。圧縮剛性の第一勾配は緩衝材の剛性から設定し、緩衝材の厚さ(10cm)までの変位に対して適用する。第二勾配は数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として設定し、緩衝材の厚さ以上の変位が生じた場合、衝突を考慮する。力学特性を図9-42に、ジョイント要素の配置図を図9-43に示す。

表9-7 第3号機補機冷却海水系放水ピットと第3号機海水熱交換器建屋間のジョイント要素のばね定数

緩衝材厚さ	圧縮剛性(第一勾配) k_{n1} (kN/m^3)	圧縮剛性(第二勾配) k_{n2} (kN/m^3)
10cm	$6.9 \times 10^{3*}$	1.0×10^7

注記* : 緩衝材の剛性から設定

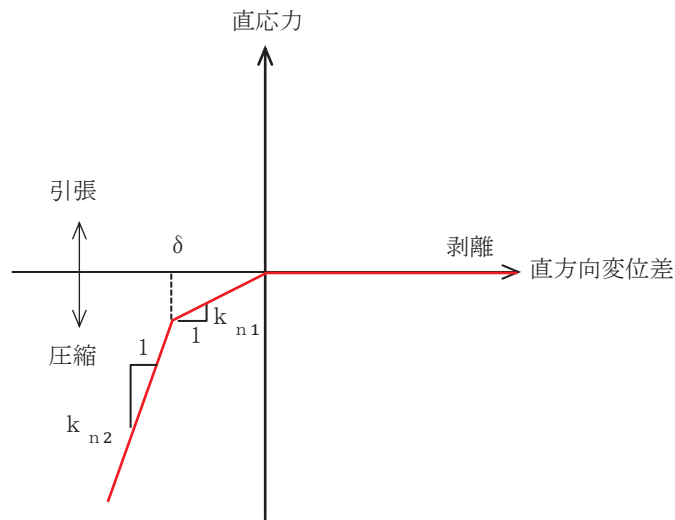


図9-42 第3号機補機冷却海水系放水ピットと第3号機海水熱交換器建屋間のジョイント要素の力学特性

凡 例

- | | |
|---------|--------------------|
| ■ B級 | ■ 旧表土 |
| □ CH級 | ■ 盛土 |
| ■ CM級 | ■ MMR |
| ■ CL級 | ■ 第3号機補機冷却海水系放水ピット |
| ■ D級 | — ジョイント要素 |
| □ 速度層境界 | |

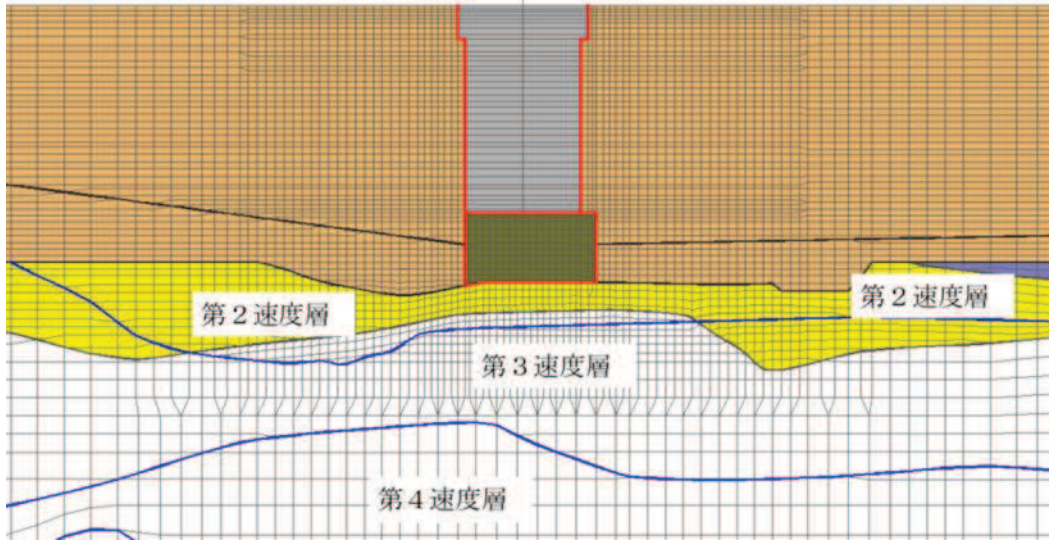


図 9-43(1) ジョイント要素の配置図 (EW 断面)

凡 例

- | | |
|---------|--------------------|
| ■ B級 | ■ 旧表土 |
| □ CH級 | ■ 盛土 |
| ■ CM級 | ■ MMR |
| ■ CL級 | ■ 第3号機補機冷却海水系放水ピット |
| ■ D級 | — ジョイント要素 |
| □ 速度層境界 | ■ 熱交換建屋 |

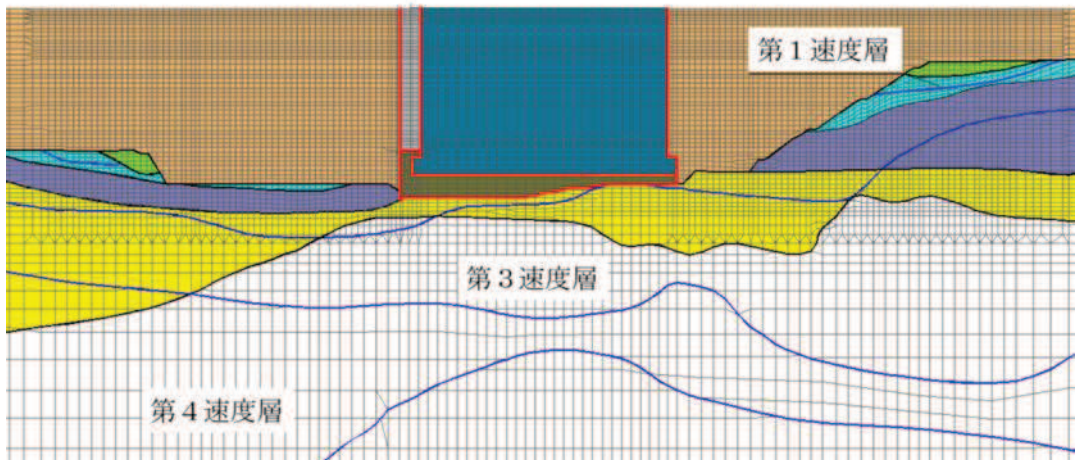


図 9-43(2) ジョイント要素の配置図 (NS 断面)

9.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 9-8 に、材料の物性値を表 9-9 に示す。

表 9-8 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 50.0N/mm ²
鉄筋	SD345, SD490

表 9-9 材料の物性値

材料	項目		材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)		24.0	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	設計基準強度	3.30×10 ⁴	解析ケース ①, ②, ③
	ポアソン比			

9.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

9.5.4 地下水位

設計用地下水位は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位の一覧を表 9-10 に、設計用地下水位を図 9-44～図 9-45 に示す。

表 9-10 設計用地下水位の一覧

施設名称	地震時荷重算出断面	設計用地下水位
第 3 号機補機冷却海水系 放水ピット	EW 断面	O.P. -13.00m～O.P. -6.00m
	NS 断面	O.P. -14.00m～O.P. -4.875m

O 2 ⑥ VI-2-10-2-8-4 R 5

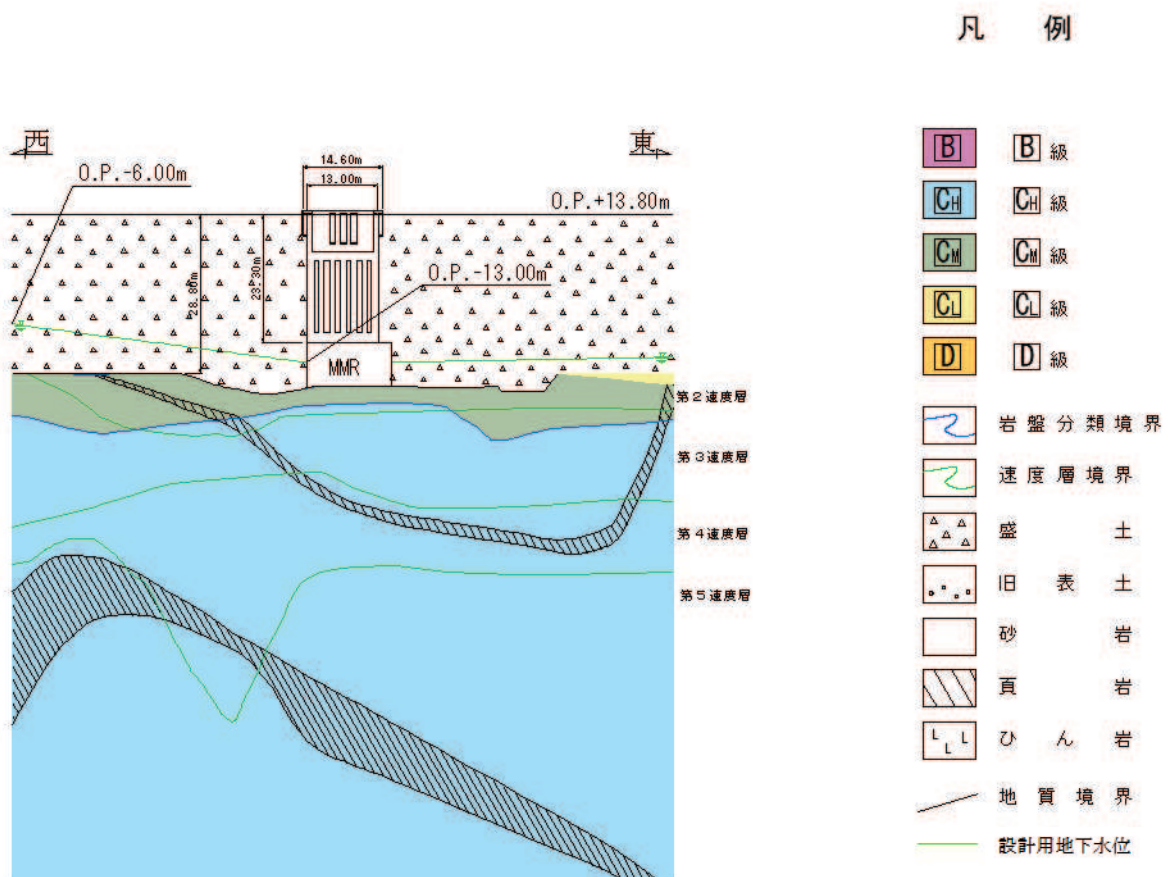


図 9-44 設計用地下水位 (EW 断面)

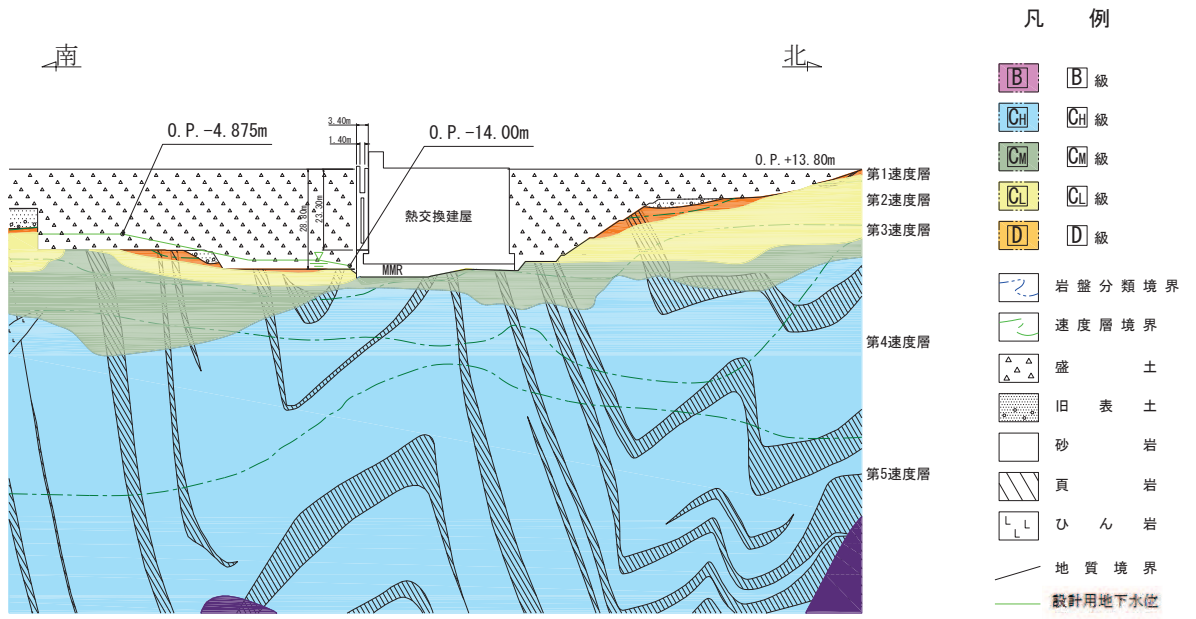


図 9-45 設計用地下水位 (NS 断面)

9.6 地震応答解析結果

9.6.1 浸水防止蓋の変形性評価に用いる EW 断面の解析結果

基準地震動 S_s に対する、第3号機補機冷却海水系放水ピット天端位置での地震時最大応答変位結果を表9-11に示す。

表9-11 地震時最大応答変位結果 (EW 断面)

地震動名		最大応答変位 (mm)			
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
$S_s - D1$	++	59			
	-+	55			
$S_s - D2$	++	52			
	-+	56			
$S_s - D3$	++	48			
	-+	46			
$S_s - F1$	++	74			
	-+	72			
$S_s - F2$	++	77			
	-+	70			
$S_s - F3$	++	38			
	-+	36			
$S_s - N1$	++	130			
	-+	137	135	136	136

今回ケース①により得られた最大応答変位と第3号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位の合計値が最大であった地震動 ($S_s - N1$ (-+)) のケース②~④を実施。

9.6.2 浸水防止蓋の変形性評価に用いる NS 断面の解析結果

基準地震動 S_s に対する，第 3 号機補機冷却海水系放水ピット天端位置での地震時最大応答変位結果を表 9-12 に示す。

表 9-12 地震時最大応答変位結果 (NS 断面)

地震動名		最大応答変位 (mm)			
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
$S_s - D 1$	++	42			
	-+	40			
$S_s - D 2$	++	43			
	-+	45	42	43	45
$S_s - D 3$	++	37			
	-+	41			
$S_s - F 1$	++	42			
	-+	38			
$S_s - F 2$	++	42			
	-+	44			
$S_s - F 3$	++	26			
	-+	46			
$S_s - N 1$	++	51	49	51	52
	-+	45			

今回ケース①により得られた最大応答変位と第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位の合計値が最大であった地震動 ($S_s - D 2$ (-+)) のケース②~④を実施。また，ケース①で最大応答変位となった地震動 ($S_s - N 1$ (++)) のケース②~④を実施。

10. 耐震評価

10.1 構造部材の健全性及び止水機能に対する評価方法

10.1.1 評価方針

第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの詳細設計フローを図 10-1、各部材評価で照査対象とする鉄筋を図 10-2、各部材評価で照査対象とする鉄筋種別概念を図 10-3、各部材評価で照査対象とする鉄筋を表 10-1 に示す。

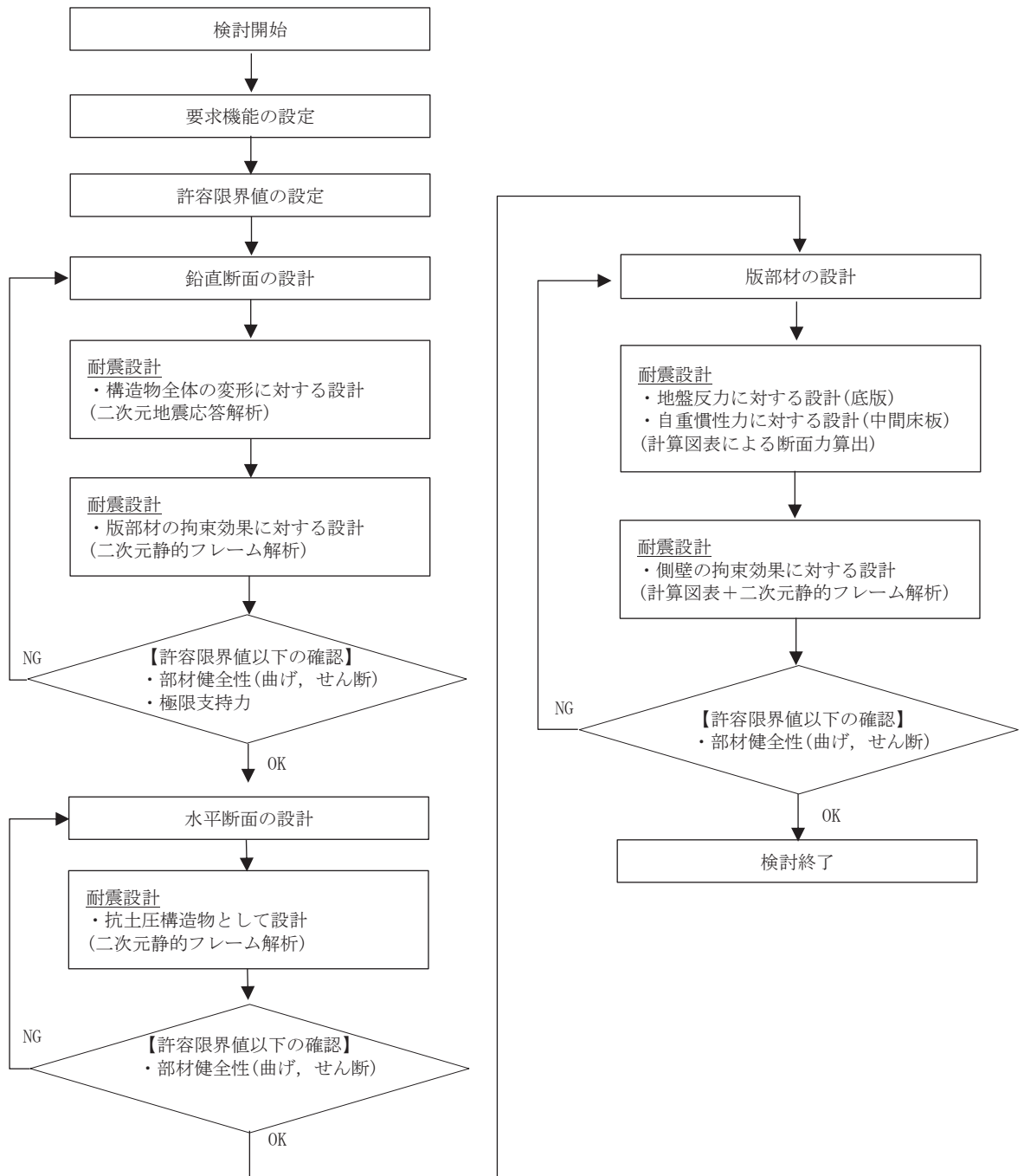
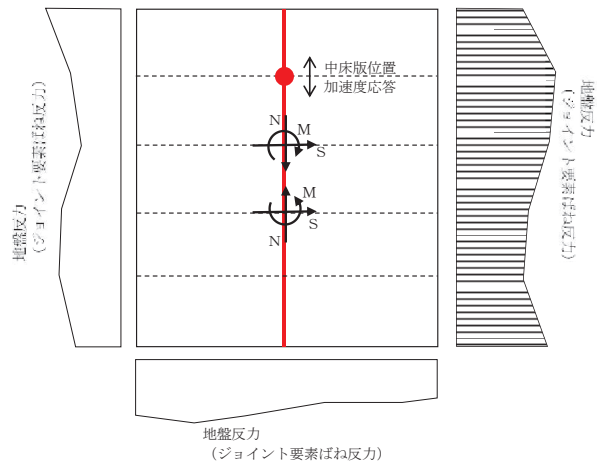
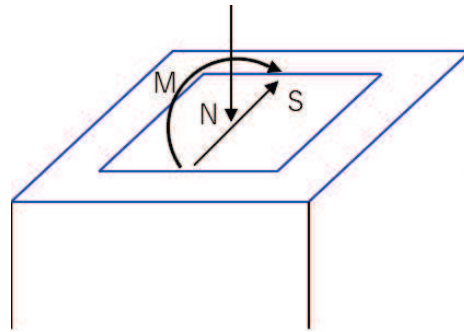


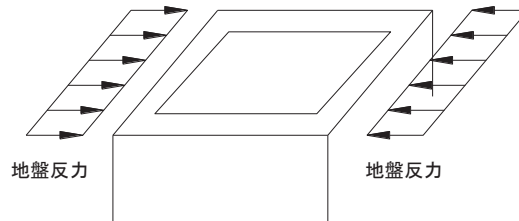
図 10-1 詳細設計フロー



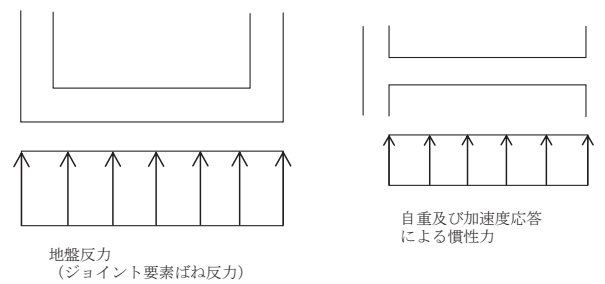
a) 二次元地震応答解析からの応答値の抽出



b) 鉛直方向梁要素の鉛直断面設計



c) 水平断面の設計 (二次元静的フレーム計算)



d) 中床版及び底版の設計

図 10-2 部材評価概念図

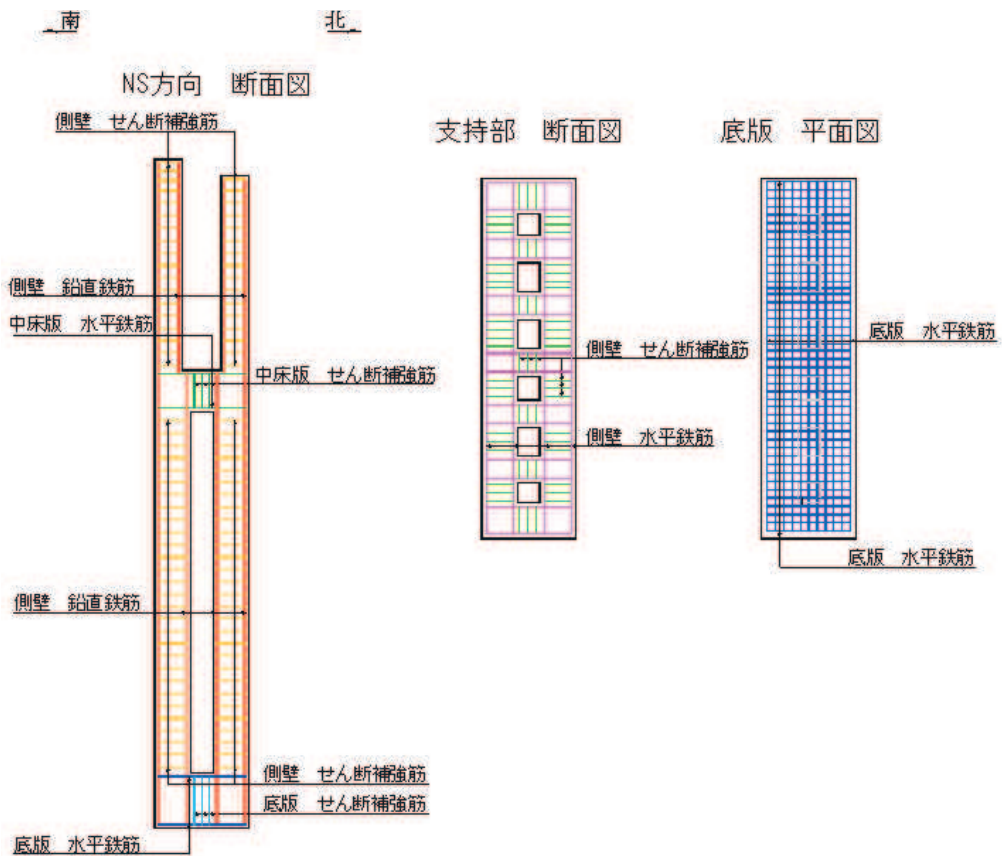


図 10-3 各部材評価で照査対象とする鉄筋種別概念図

表 10-1 各部材評価で照査対象とする鉄筋

部材	照査対象鉄筋	記号	部材評価	備考
側壁	鉛直鉄筋	—	構造物線形はり要素の鉛直断面設計(曲げ軸力)	
	水平鉄筋	—	構造物線形はり要素の鉛直断面設計(せん断力)	*
			水平断面の設計(曲げ軸力)	
	せん断補強筋	—	水平断面の設計(せん断力)	
底版	水平鉄筋	—	底版の設計(曲げモーメント)	
	せん断補強筋	—	底版の設計(せん断力)	
中床版	水平鉄筋	—	中床版の設計(曲げモーメント)	
	せん断補強筋	—	中床版の設計(せん断力)	

注記*：側壁における水平方向の鉄筋の設計について、二次元地震応答解析モデルにおける側壁の面内方向のせん断力に対するせん断力照査で設計する水平鉄筋（面内方向のせん断補強筋）と、水平断面フレーム解析モデルにおける同側壁の面外方向の最大荷重に対する曲げ軸力照査で設計する水平鉄筋（主鉄筋）は同じ方向の鉄筋であり、両設計で算定される必要水平鉄筋量を足し合わせた合計必要水平鉄筋量以上を同側壁の面内方向に配置する。これとともに、水平断面フレーム解析モデルにおける同側壁の面外方向の最大荷重に対するせん

断力照査で設計するせん断補強筋を同側壁の面外方向に配置する。

本構造物は南北方向よりも東西方向の寸法が大きく、隔壁等の配置から弱軸方向、強軸方向が明確である。そのため、評価は弱軸方向である南北方向で行い、上記の設計計算により面内方向の合計必要鉄筋量以上の鉄筋を、強軸方向である東西方向にも配置するものとする。

10.1.2 評価対象断面の方向

本構造物の位置を図 10-4 に示す。

本構造物は大きく分けて放流水を一時的に貯留する区画（水槽部）、それを支持する区画（支持部）に分けられ、それぞれの区画に南北方向に複数の隔壁を有する箱型構造物である。また外形寸法は南北方向が 3.4m であるのに対して東西方向の寸法は 13.0m である。これらから弱軸断面方向、強軸断面方向は明確であり、評価対象断面は南北方向とする。南北方向の設計計算により算出された必要鉄筋量以上の鉄筋を構造物全周に配置するものとする。

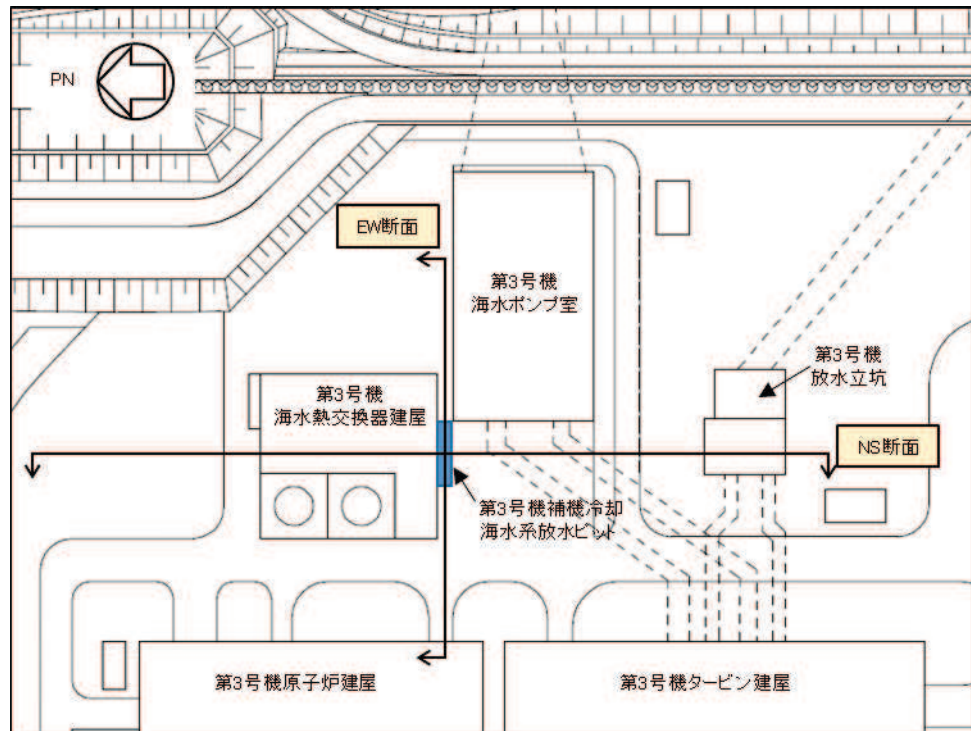


図 10-4 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面配置図

10.1.3 鉛直断面に対する耐震評価

(1) 鉛直断面の曲げ軸力に対する評価

第3号機補機冷却海水系放水ピットは選定された断面（南北方向）を解析断面として選定し、二次元地震応答解析を実施し部材の設計を行う。鉛直鉄筋は二次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生断面力（曲げモーメント及び軸力）を用いて照査を行い、構造部材の曲げ軸力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。図10-5に線形はり要素の鉛直断面設計概念図を示す。

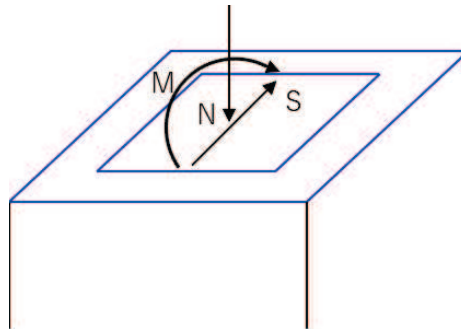


図10-5 線形はり要素の鉛直断面設計概念図

図10-6に鉛直鉄筋配置の概念図を示す。鉛直鉄筋を配置する範囲は長辺方向の側壁内とする。側壁の開口幅は側壁よりも大きいため、この区間は開口部以外に配置される鉄筋のみを有効として照査を行うことで開口の影響を考慮する。

なお、ここに示されていない区間（南北方向側壁及び隔壁）の鉛直鉄筋は南北方向の設計計算により算出された必要鉄筋量と同じ鉄筋量とする。

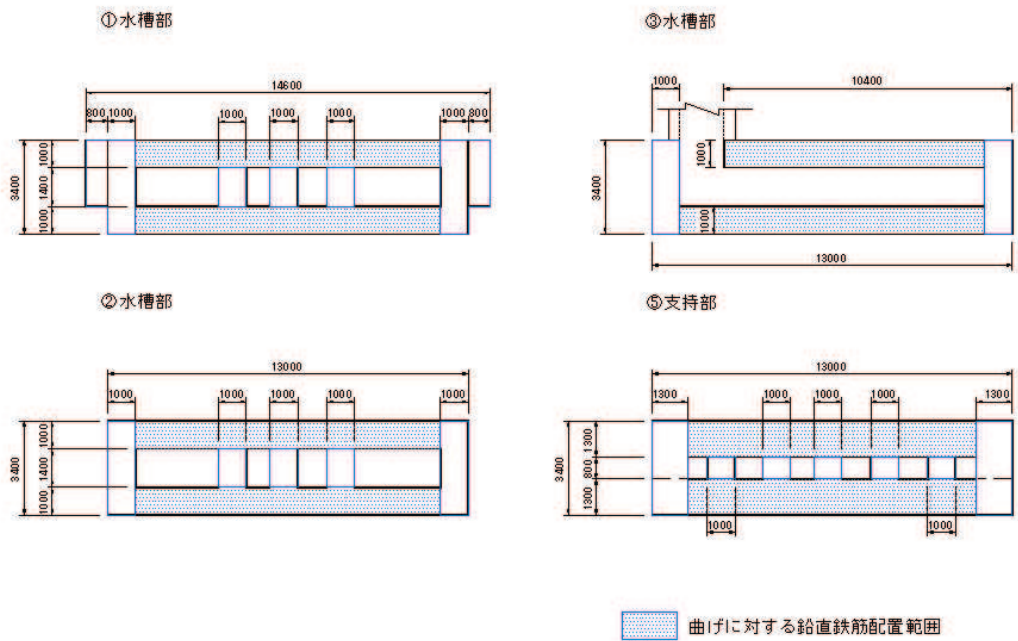
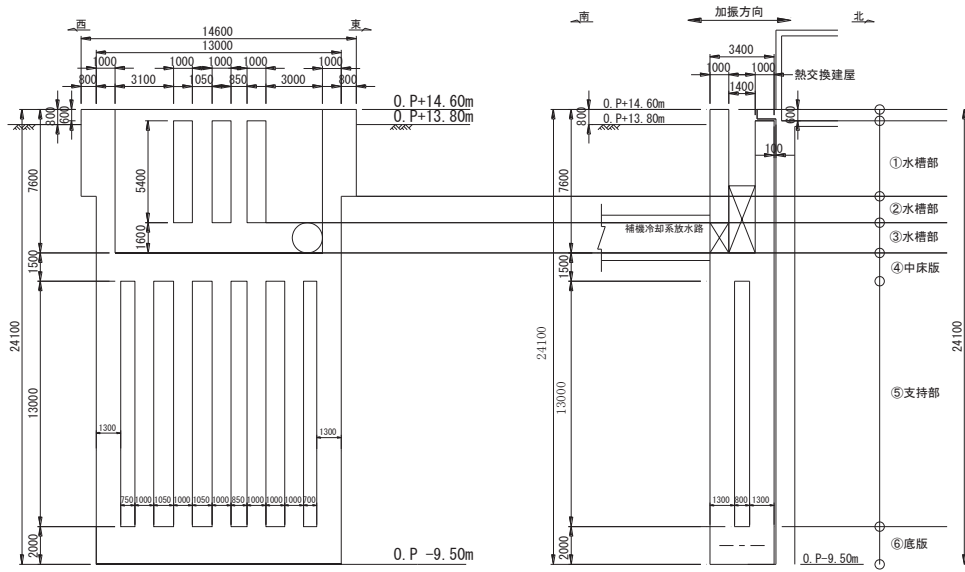


図 10-6 鉛直鉄筋配置概念図

(2) 鉛直断面のせん断力に対する評価

鉛直断面のせん断照査については、二次元地震応答解析により算出される線形はり要素の発生せん断力（ S ）に対して図 10-7 に示す有効断面積部分（ A_w ， 図中赤塗範囲）のコンクリートとせん断補強筋（ A_{s1} ）が抵抗するものとし、構造部材の発生せん断力が鉄筋コンクリートとしての許容限界すなわち短期許容せん断力 V_a 以下であることを確認する。

本構造物を 1 本の線形はりとしてモデル化した場合、加振方向の側壁（耐震壁）ははり要素のウェブとして機能する。はり要素に発生する面外せん断力に対し、はり要素のウェブでせん断に抵抗するものとし、はり要素のせん断応力度 τ を算定する。このときの A_w ははりの有効せん断面積（=ウェブの断面積）である。

なお、配筋に当たっては、「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・III コンクリート橋編」，「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編」並びに「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」が示す細目を比較し、構造物の特性を考慮した規定を採用する。

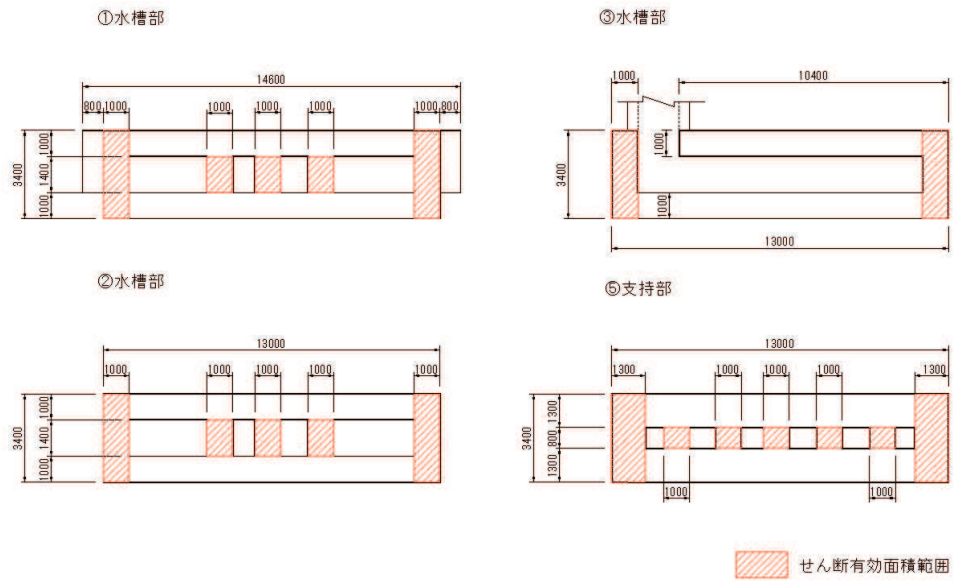
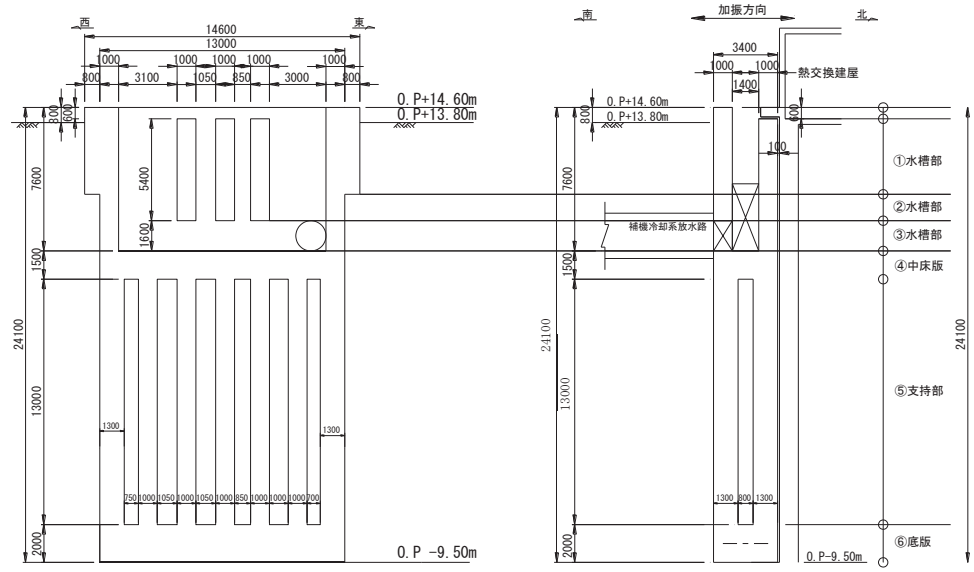


図 10-7 せん断有効断面積概念図

(3) 版部材が側壁を固定することによる隅角部の評価（曲げ）

側壁と版部材の隅角部には，各部材の剛性に起因する端曲げが発生するために，隅角部における曲げモーメントの廻り込みに対する影響検討を行う。

a. 版部材の拘束効果による側壁の検討

図 10-8 に版部材から側壁に廻り込む曲げモーメントを算定する場合の概念図を，図 10-9 にはり要素の設置する形状ばねの算出方法を示す。

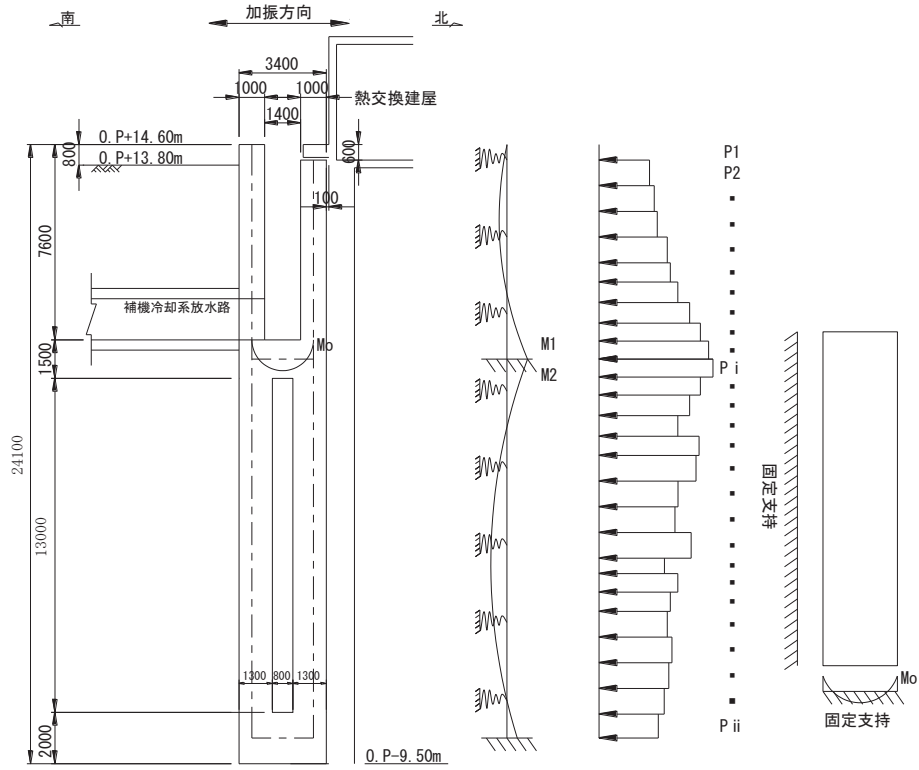


図 10-8 版部材から側壁に廻り込む曲げモーメント概念図

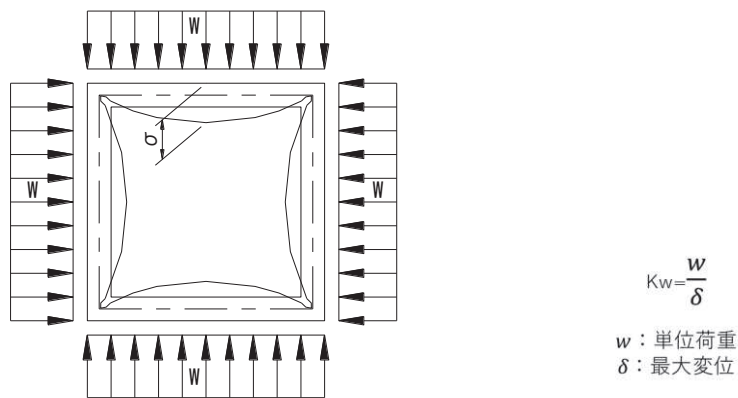


図 10-9 矩形立坑の形状ばねの算出方法

版部材と側壁の隅角部には、版部材の曲げモーメント (M_0) が側壁に廻り込む。また、側壁が版部材に支持される拘束効果により、地震時荷重を面外方向に受けた場合に曲げモーメントが反転する (M_1, M_2)。この現象は二次元地震応答解析において考慮することができない。このためここでは、側壁と版部材の結合部における曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した検討を行う。

版部材の端曲げモーメント (M_0) は、境界条件を固定支持として「日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」により算定する。

側壁は版部材中心間距離で固定支持された、単位幅を有するはり要素でモデル化し、地震時荷重を作用させた場合に、支持位置に発生する曲げモーメント (M_1, M_2) を算定する。

地震時荷重については各鉛直スパンの地盤反力 (ジョイント要素の直方向反力) の合算値が最大となる時刻の地盤反力分布を用いる。

本検討において側壁を単位奥行き当たりのはり要素でモデル化するが、実際には直交壁が存在し、側壁の変形を抑制している。そのため、立坑の形状ばねを考慮した弾性床上のはりとしてモデル化を行い曲げモーメントを算定する。矩形断面の形状ばねの算定は、側壁、直交壁で閉鎖された形状に対し、単位荷重を作用させた場合に側壁に発生する最大変位を用いて算出する。

版部材の端曲げモーメント (M_0) 及び版部材に拘束された側壁に発生する端曲げモーメント (M_1, M_2 のうちモーメントの連続性を考えて両者の最大値を用いる) の和を設計曲げモーメントとする。

上記により得られる設計曲げモーメントから鉛直鉄筋の引張応力度を算定し、鉛直断面の設計における鉛直鉄筋の引張応力度に加算した照査を行い、必要な場合は補強鉄筋を配置する。

b. 側壁の拘束効果による版部材の検討

版部材については版部材の端曲げモーメント (M_0) 及び側壁から版部材へ廻り込むモーメント (M_1, M_2 のうち最大値) の和を設計曲げモーメントとする。

上記により得られる設計曲げモーメントから版部材主鉄筋の引張応力度を算定し、版部材の設計における版部材主鉄筋の引張応力度を加算した照査を行い、必要な場合は補強鉄筋を配置する。

10.1.4 水平断面に対する耐震評価

(1) 設計断面の選定

水平断面については，構造物側壁及び隔壁を線形はり要素としてモデル化した二次元静的フレーム解析に常時荷重，地震時荷重を作用させたときに発生する断面力に対し，水平鉄筋及びせん断補強筋の設計を行う。

作用させる荷重は，二次元地震応答解析結果から抽出した構造物側方の地震時地盤反力（ジョイント要素ばね反力）のうち全時刻最大値と，二次元地震応答解析と同じメッシュで鉛直方向に重力加速度を載荷して算出した常時地盤反力（ジョイント要素ばね反力）の和である。

構造物の曲げモーメント，軸力，せん断力による発生応力度が許容限界以下であることを確認する。なお，ここで設計する主鉄筋（ A_s ）は，二次元フレーム解析モデルの側壁面外方向の地震時最大地盤反力で生じる曲げ軸力に対する鉄筋である。

図 10-10 に水平断面の設計断面選定図を示す。

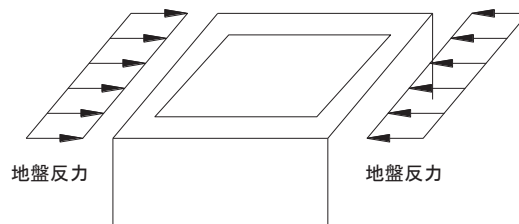


図 10-10 水平断面の評価概念図（フレーム計算）

本構造物は側壁の厚さ，隔壁の枚数が異なることから，図 10-11 に示す 2 断面を選定し，設計を行う。

ルに準拠して、各分割要素が断面厚または有効高さの 2.0 倍以下として設定する。

図 10-12 に二次元静的フレーム解析における剛域の考え方を示す。二次元静的フレーム解析においては、「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に準拠し、隅角部に剛域を設ける。

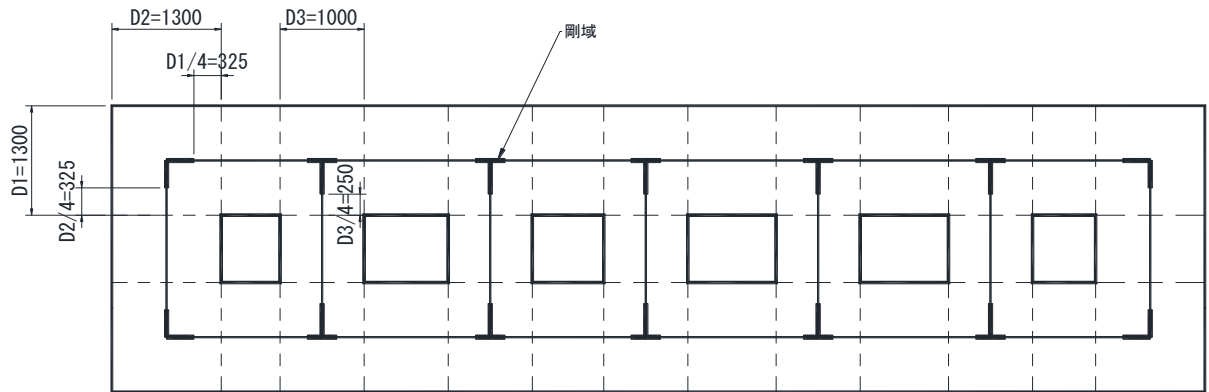


図 10-12 二次元静的フレーム解析における剛域の考え方

b. 開口部を含む水平断面（対象：水槽部検討断面）

側壁に開口部がある場合、及び全高にわたり設置されていない隔壁が存在する場合については構造物側壁及び隔壁を線形はり要素としてモデル化し、側壁開口部または隔壁欠損部上下に位置する部材に相当する等価剛性を入力した静的フレーム解析により水平断面の照査を行う。

等価剛性は、開口部、欠損部を考慮しない状態で算出された剛性を検討高さで除すことにより奥行き 1.0m 当たりで設定する。

境界条件、はり要素の要素分割及び剛域の設定は、「a. 開口部がない水平断面（対象：支持部検討断面）」と同じ設定とする。

(3) 荷重条件

図 10-13 に水平断面の荷重図を示す。

地盤と構造物の連成系モデルによる二次元地震応答解析結果に基づき、水平断面の検討では、構造物の両側に地盤からの最大荷重を作用させる場合（両押し時）と、片側のみに地盤からの最大荷重を作用させる場合（片押し時）について検討する。また、片側のみ荷重を載荷させる場合は、構造物の、南北方向の非対称性を考慮して片側一方ずつ載荷する。従って都合三つの荷重状態について検討する。

水平断面の設計荷重として、図 10-13 に示すように、両押し時は二次元地震応答解析により得られる構造物側方の地震時地盤反力（ジョイント要素ばね反力）の全時刻最大値を抽出し、構造物平面の両側から同じ最大荷重を常時荷重とともに作用させる。

片押し時は、両押し時と同じ地震時地盤反力の最大値を構造物平面の片側から最大荷重として常時荷重とともに作用させる。

常時荷重については常時土圧を考慮する。設計断面の適用範囲毎に最浅部（最小）と最深部（最大）の常時荷重を算定し、図 10-13 に示すように、構造物水平断面の静的フレーム解析に用いる。

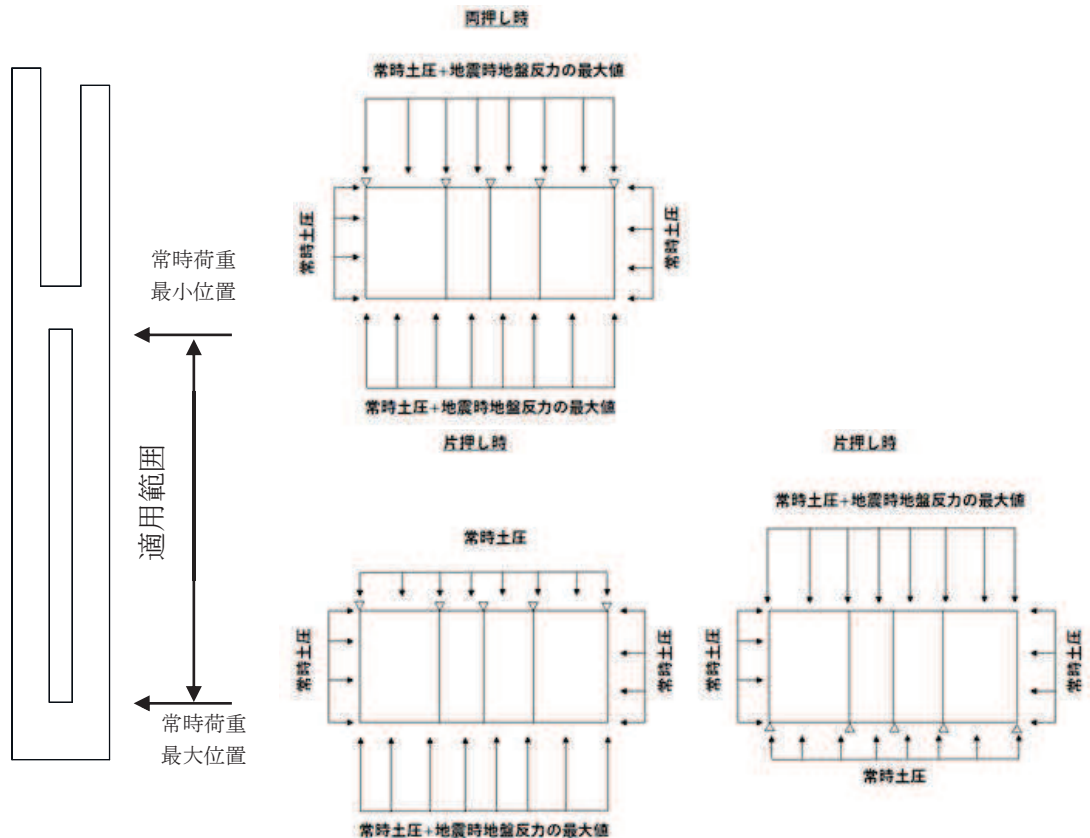


図 10-13 構造物水平断面の荷重図

10.1.5 版部材の設計

底版及び中床版については，種々の境界条件の下で理論式により導き出された平板の断面力計算図表「日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」により設計断面力を算定する。

スパンは側壁及び隔壁の中心間距離とし，境界条件は単純支持とする。

設計荷重は，中床版は躯体及び内水の慣性力，底版は仮想剛梁要素（底面）下面の地盤反力（ジョイント要素ばね反力）とし，平板全面に等分布として一律載荷する。慣性力算定のための鉛直方向加速度，仮想剛梁要素（底面）下面の地盤反力はいずれも検討地震動最大とする。

なお，設計断面力の算定及び評価は最もスパンが長い位置で行い，算定された必要鉄筋量と同量を全スパンにおいても配置する。

中床版及び底板断面力の算出寸法を図 10-14 に示す。

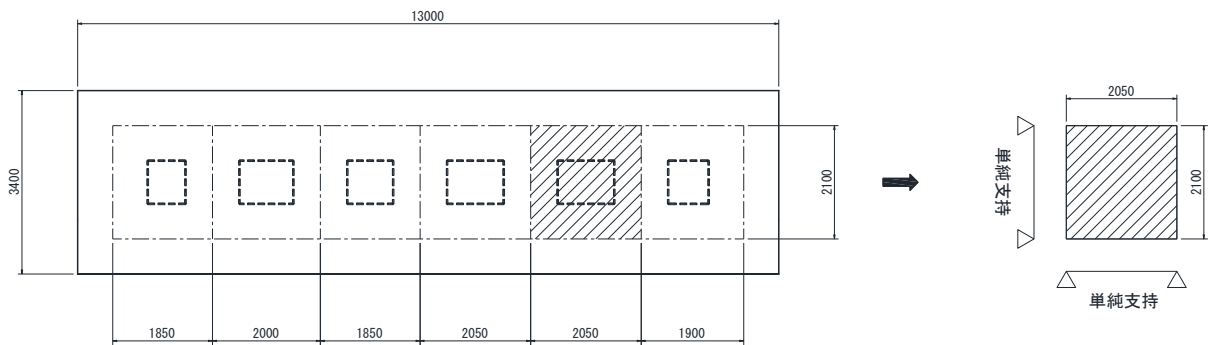


図 10-14 中床版及び底板断面力算出寸法

10.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は第 3 号機補機冷却海水系放水ピットを直接支持する MMR と、新設する MMR を支持する基礎地盤とし、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

10.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 構造部材の健全性に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・III コンクリート橋編に基づき、短期許容応力度とする。また、せん断破壊に対する許容限界は、コンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 10-2～表 10-3 に示す。

浸水防止蓋の止水ジョイントを支持する機能及び止水機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能及び止水機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 10-2 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f'ck=50.0(N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	16.0
許容せん断応力度 τ_{al}		0.65	0.975

注記*：日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・III コンクリート橋編により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 10-3 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD490	許容引張応力度 σ_{sa}	290
SD345	196		294

注記*：日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤（牧の浜部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤（牧の浜部層）の許容限界を表 10-4 に示す。

表 10-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	牧の浜部層	11.4

MMR（新設）に発生する接地圧に対する許容限界は、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（新設）の許容限界を表 10-5 に示す。

表 10-5 MMR（新設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（新設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck} = 30.0 \text{ N/mm}^2$)	$f'_a = 30.0$

10.4 耐震評価結果

10.4.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの断面諸元

鉛直断面，水平断面及び版部材の評価に用いる断面諸元を表10-6に示す。

表10-6 鉄筋コンクリート断面諸元

部材	部材厚 (mm)	X方向 (水平方向)		Y方向 (鉛直方向)		せん断補強筋
		配置鉄筋	芯かぶり (mm)	配置鉄筋	芯かぶり (mm)	
底版	2000	2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150	165	D25@150×150
中床版	1500	D29@150 D29@150	130	D29@150 D29@150	165	D19@300×300
側壁①	1000	2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150	165	D19@150×300
側壁②	1300	2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150	165	D22@300×300
側壁③	1800	2-D35@150 2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150 2-D35@150	165	D22@300×300
隔壁①	1000	D35@150 D35@150	130	D35@150 D35@150	165	D22@300×300

10.4.2 鉛直断面に対する耐震評価結果

(1) 構造部材の曲げ軸力に対する評価結果

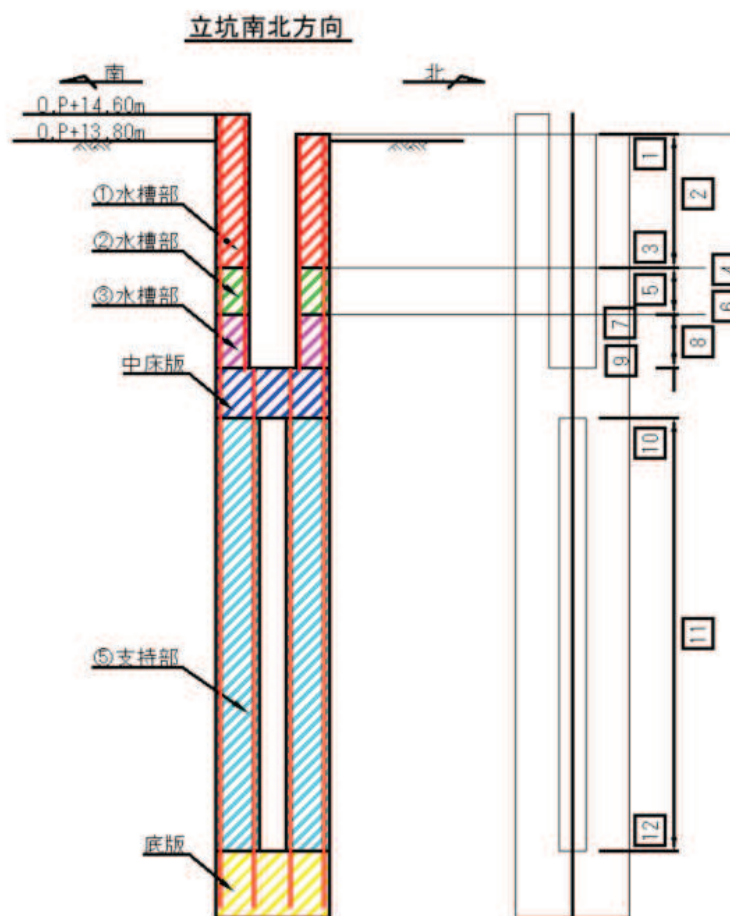
コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表10-7に、断面力図を図10-15に示す。

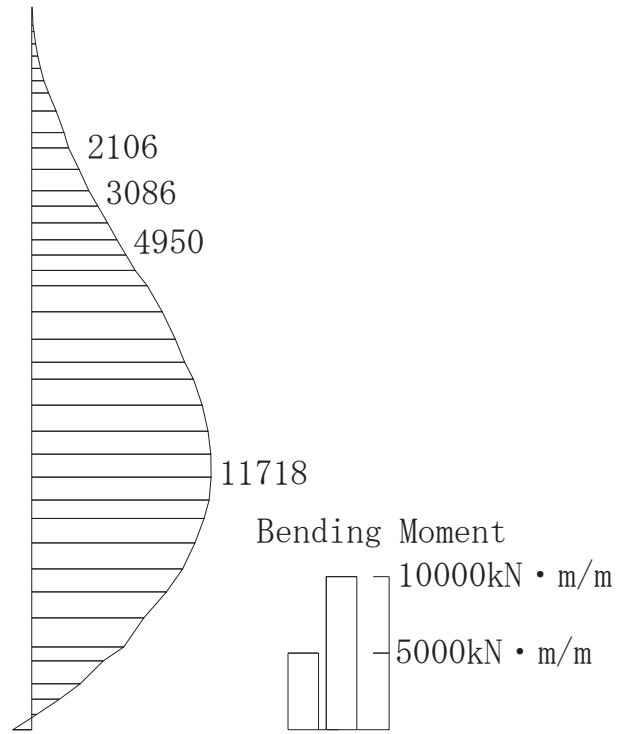
また、鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表10-8に、断面力図を図10-16に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 10-7 各評価位置における曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉛直断面コンクリート）

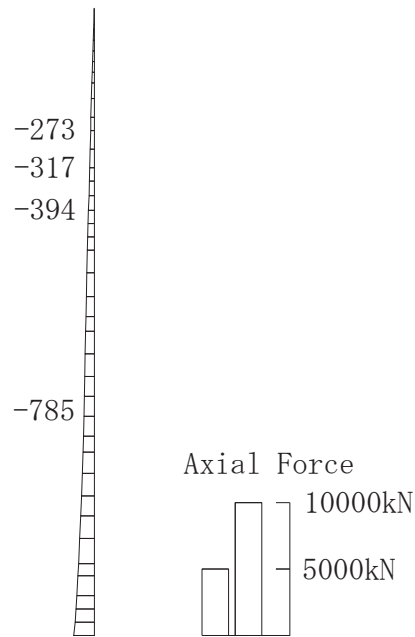
評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c / \sigma'ca$	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
①水槽部	3	14600	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D1 (+)	-2793	228	1.97	24	0.09
②水槽部	6	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	4405	-284	2.61	24	0.11
③水槽部	9	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	6214	-423	4.02	24	0.17
⑤支持部	11	13000	3400	2750	4-D35@150 4-D35@150	④	Ss-D2 (+)	11718	-785	7.88	24	0.33



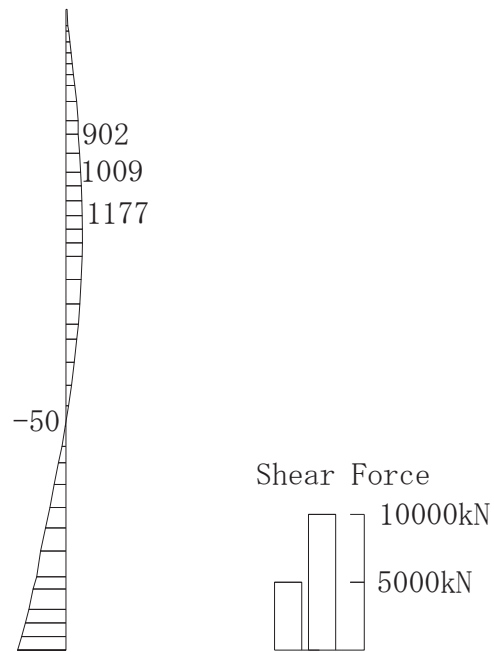


(a) 曲げモーメント (kN・m/m)

図 10-15(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面コンクリート, ⑤支持部, 解析ケース④)



(b) 軸力 (kN/m)

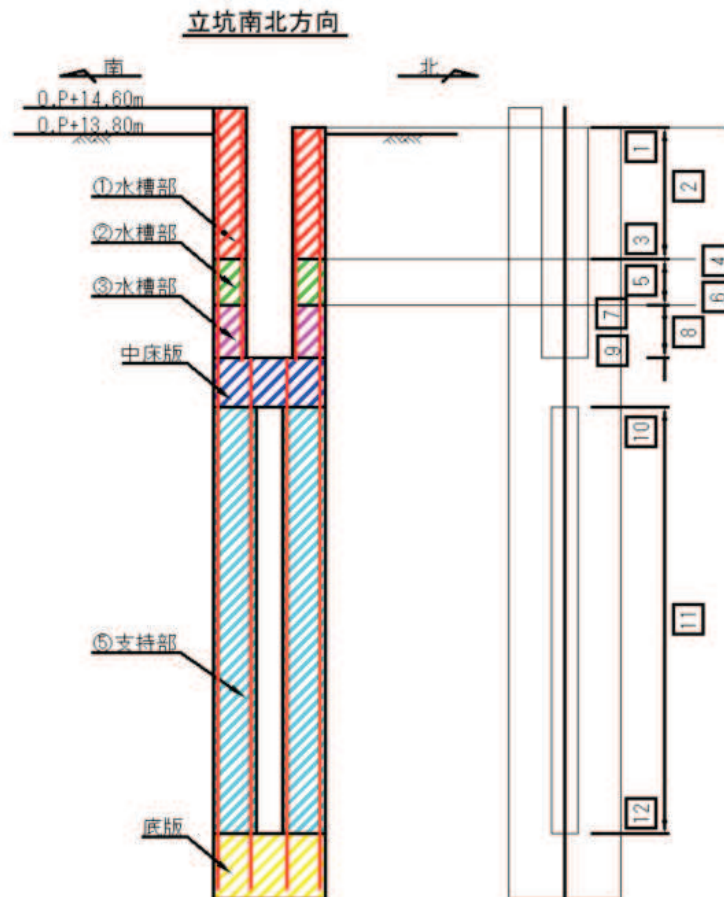


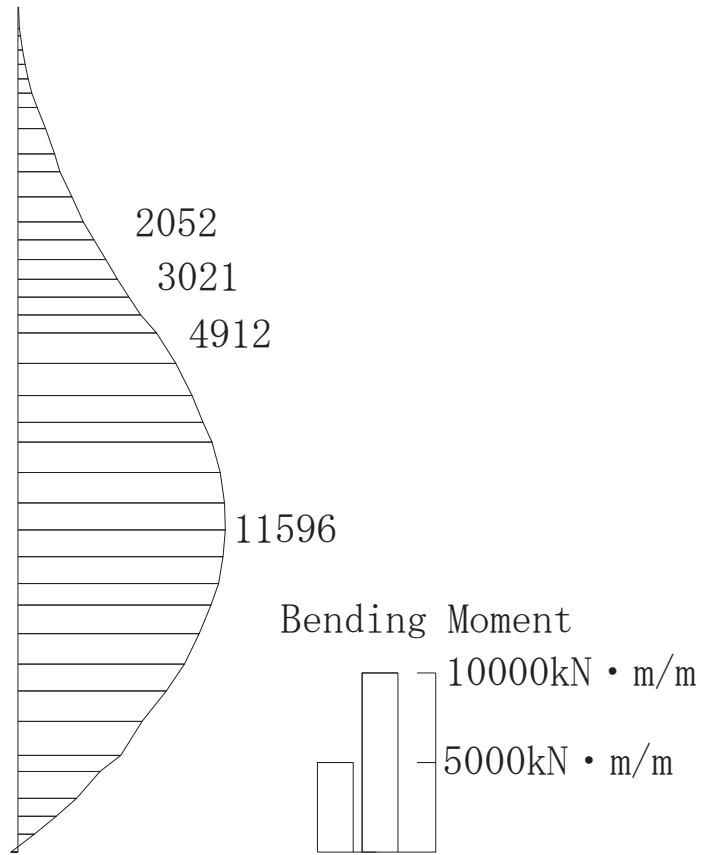
(c) せん断力 (kN/m)

図 10-15(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面コンクリート, ⑤支持部, 解析ケース④)

表 10-8 各評価位置における曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉛直断面鉄筋）

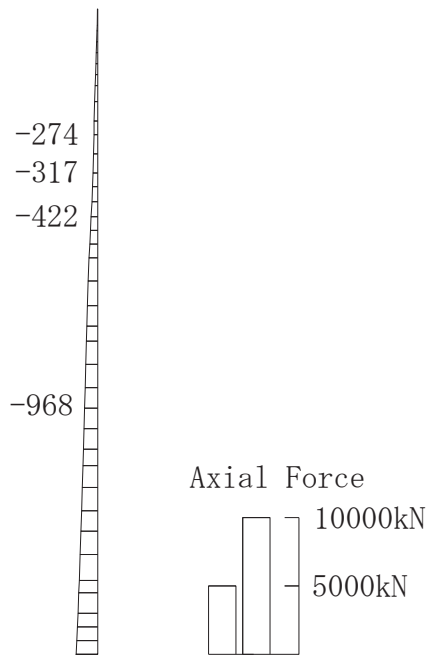
評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
①水槽部	3	14600	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D1 (+)	3089	-257	85	435	0.20
②水槽部	6	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	4405	-284	105	435	0.25
③水槽部	9	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	6214	-423	142	435	0.33
⑤支持部	11	13000	3400	2750	4-D35@150 4-D35@150	④	Ss-D2 (+)	11596	-968	355	435	0.82



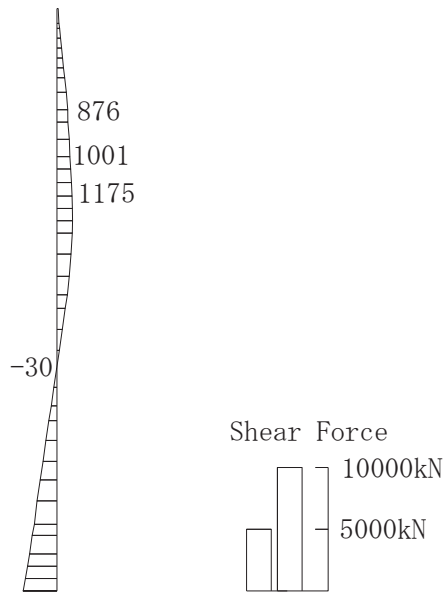


(a) 曲げモーメント (kN・m/m)

図 10-16(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面鉄筋, ⑤支持部, 解析ケース④)



(b) 軸力 (kN/m)



(c) せん断力 (kN/m)

図 10-16(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面鉄筋, ⑤支持部, 解析ケース④)

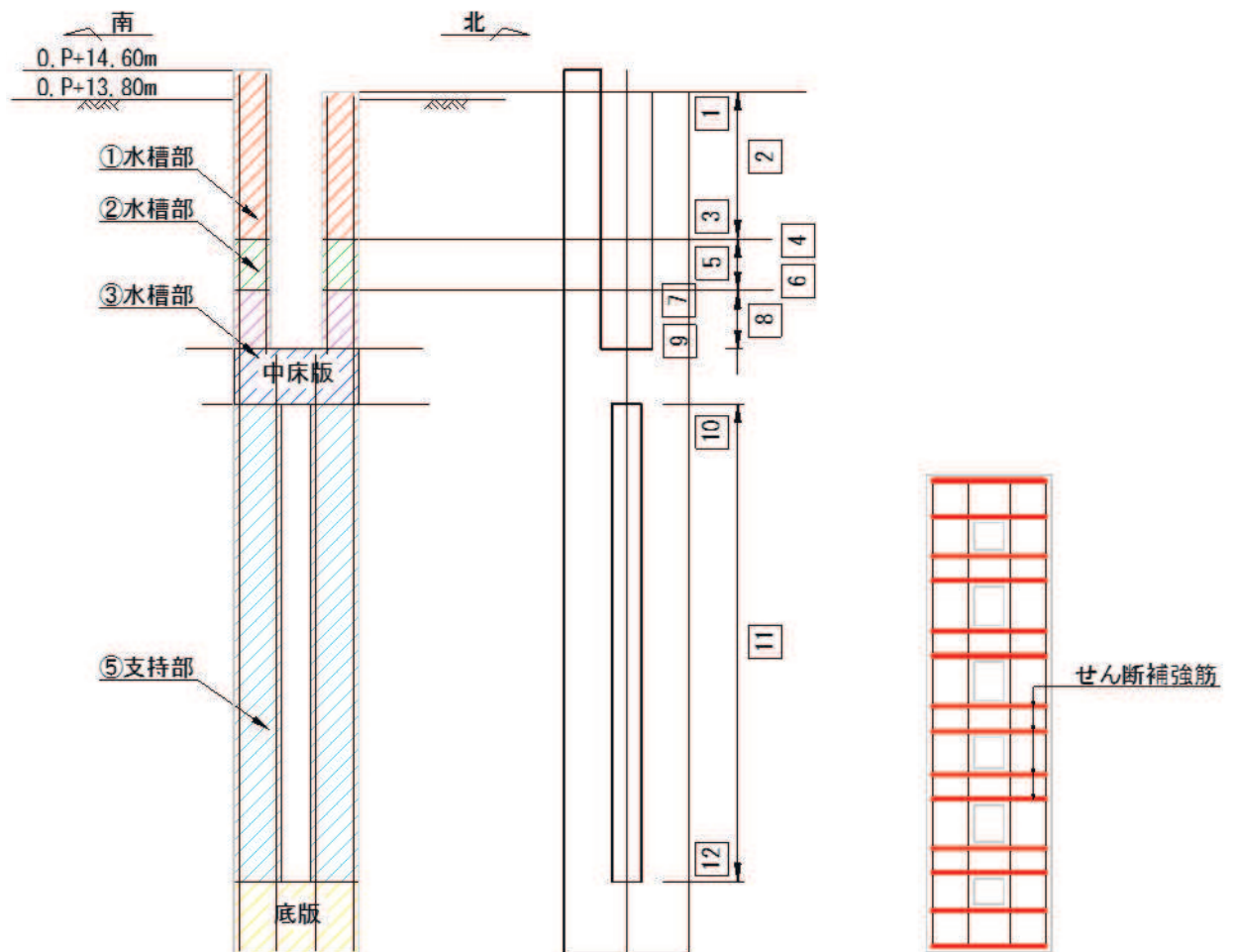
(2) 鉛直断面のせん断力に対する耐震評価結果

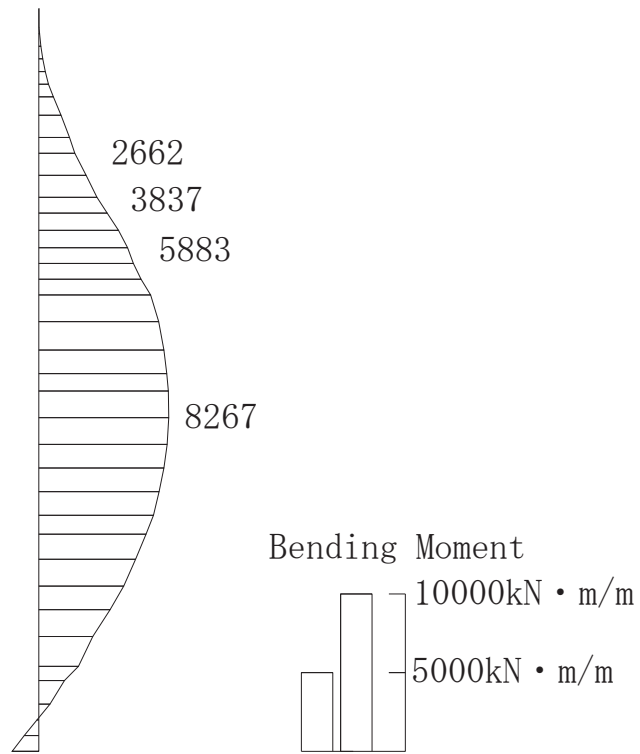
せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-9 に示し、断面力図を図 10-17 に示す。鉛直断面のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

表 10-9 各評価位置におけるせん断力破壊に対する最大照査値（鉛直断面）

評価位置		断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生せん断力 V (kN)	短期許容せん断力 Va (kN)	照査値 V / Va
		部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
①水槽部	2	14600	3400	2900	4-D35×2 2-D35×3	①	Ss-D2 (++)	18198	72050	0.26
②水槽部	6	13000	3400	2900	4-D35×2 2-D35×3	③	Ss-D2 (-+)	15516	72050	0.22
③水槽部	9	13000	3400	2900	4-D35×2	①	Ss-D2 (++)	17485	39716	0.45
⑤支持部	12	13000	3400	2750	4-D35×2 2-D35×5	①	Ss-F3 (-+)	-34233	91988	0.38

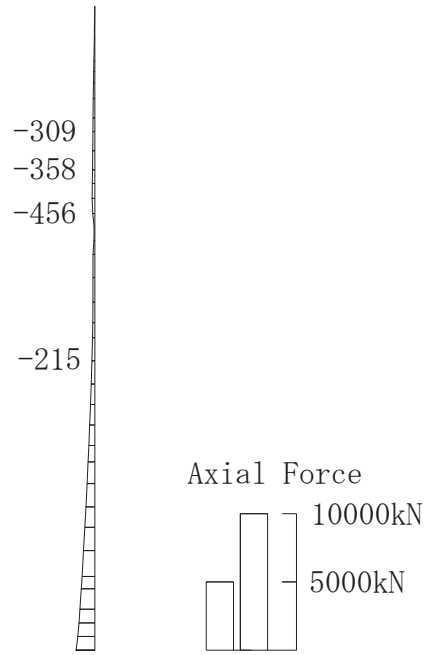
立坑南北方向



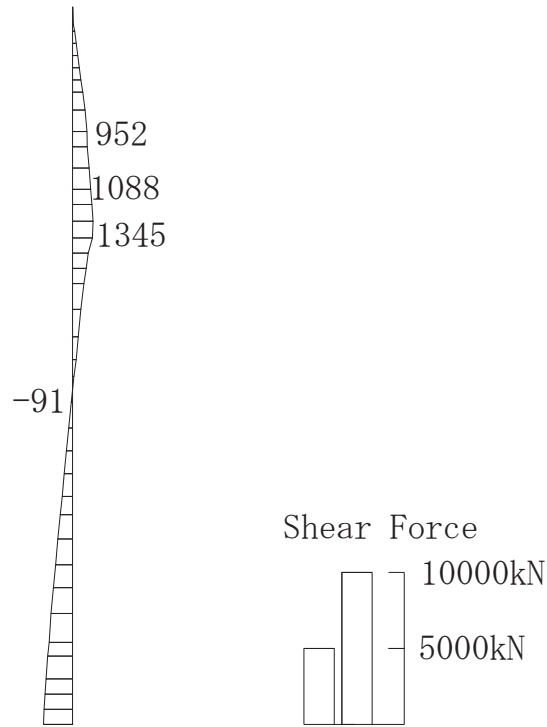


(a) 曲げモーメント (kN・m/m)

図 10-17(1) せん断力の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面, ③水槽部, 解析ケース①)



(b) 軸力 (kN/m)



(c) せん断力 (kN/m)

図 10-17(2) せん断力の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面, ③水槽部, 解析ケース①)

10.4.3 水平断面に対する耐震評価結果

(1) 水平断面の曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表 10-10 に、断面力図を図 10-19 に示す。
鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表 10-11 に、断面力図を図 10-20 に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

水平方向の設計断面は 2 断面とし、地震時荷重の載荷方法（両押し、片押し（第 3 号機熱交間器建屋側）、片押し（盛土側））、地震時荷重の方向及び常時土水圧の大小により 1 つの設計断面に対し 1 地震波につき 9 ケースの解析を行い、側壁及び中壁の応力度照査を行っている（図 10-18）。

各照査表においては、1 地震波に対し 9 ケースの解析を行い、照査値が最大となる組合せに対する照査結果を示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

地震時荷重の 載荷方法	両押し	片押し(第3号機熱交換器建屋側)	片押し(盛土側)
常時土圧 最小			
左右地盤反力 最大			
常時土圧 最大			
凡例			

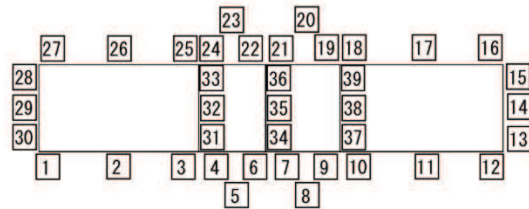
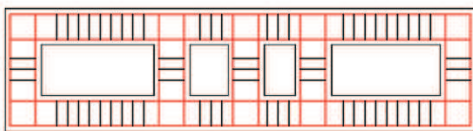
図 10-18 照査表における決定ケースの識別方法

表 10-10 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（水平断面コンクリート）

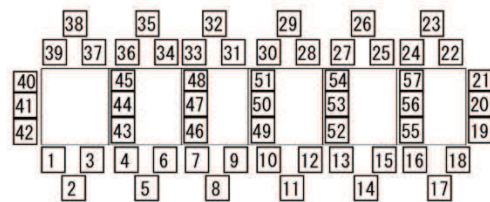
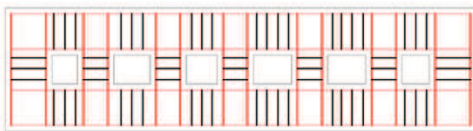
評価位置	荷重 方法	断面性状			鉄筋 仕様	解 析 ケ ース	地震 動	発生断面力		発生 応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期 許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c$ / $\sigma'ca$	
		部材 幅 (mm)	部材 高 (mm)	有効 高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
水槽部 長辺	11	片押し (海水熱 交換建 器屋側)	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (++)	438	341	2.55	24	0.11
水槽部 短辺	15	両押し	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (++)	815	1151	4.95	24	0.21
水槽部 隔壁	39	片押し (海水熱 交換器 建屋側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1 (++)	268	1650	2.61	24	0.11
支持部 長辺	35	片押し (盛土 側)	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (++)	135	227	0.52	24	0.03
支持部 短辺	20	両押し	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (++)	133	721	0.75	24	0.04
支持部 隔壁	52	片押し (盛土 側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3 (++)	28	1544	1.42	24	0.06

O 2 ⑥ VI-2-10-2-8-4 R 5

水槽部



支持部



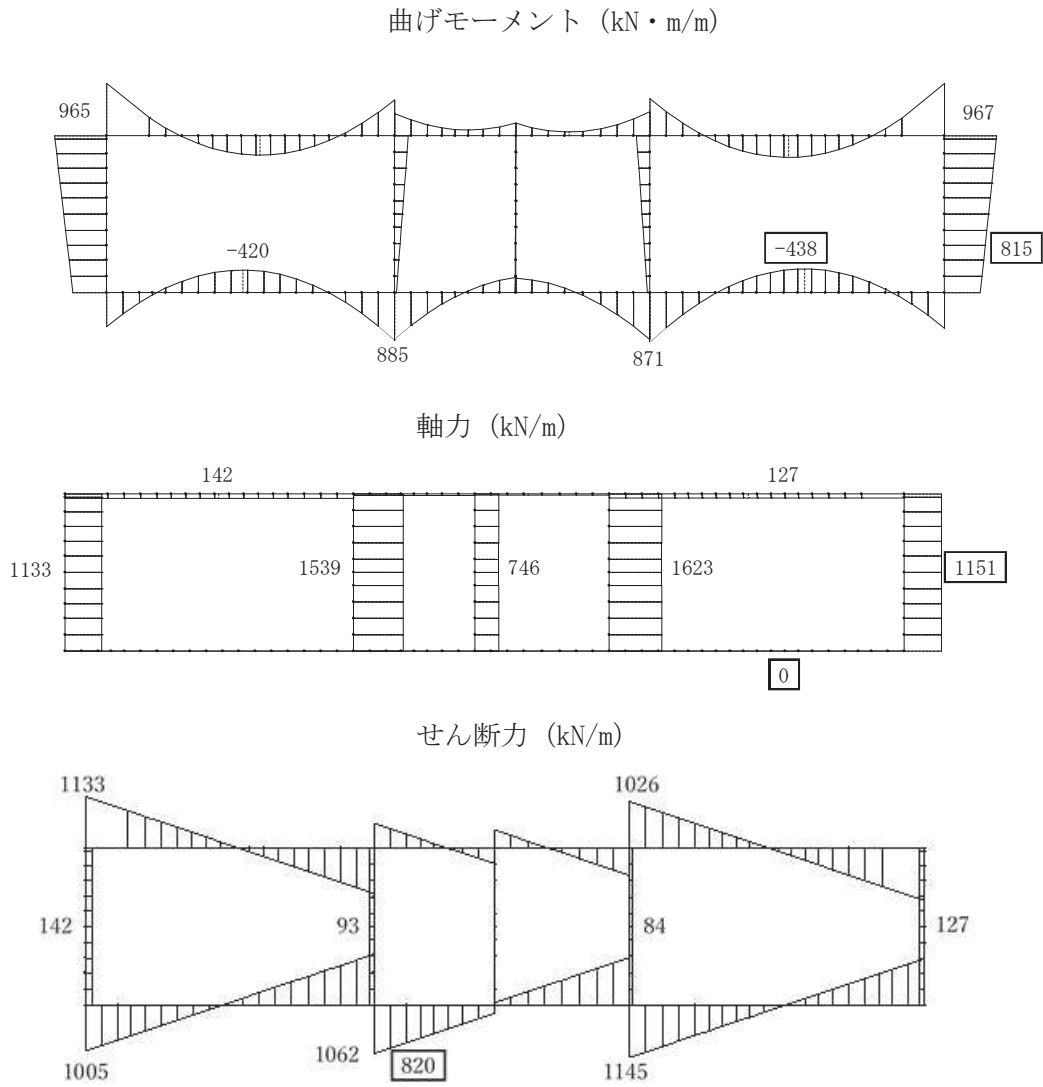
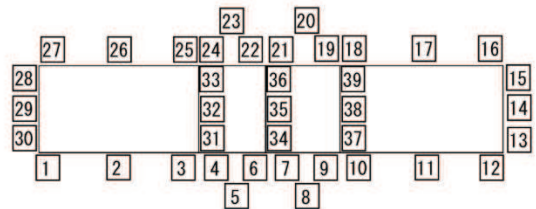
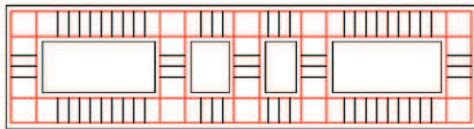


図 10-19 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(水平断面コンクリート, 水槽部短辺, 解析ケース①)

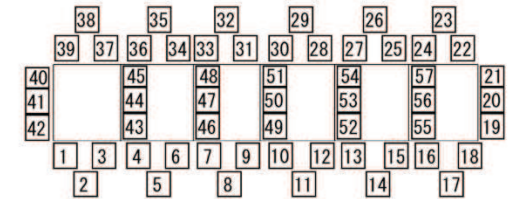
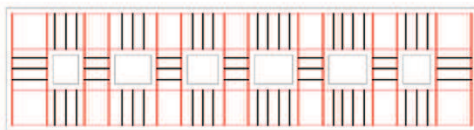
表 10-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（水平断面鉄筋）

評価位置	荷重 方法	断面性状			鉄筋仕様	解 析 ケ ー ス	地 震 動	発生断面力		発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期 許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
		部材 幅 (mm)	部材 高 (mm)	有効 高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
水槽部 長辺	11	両押し	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (-+)	438	0	55	435	0.13
水槽部 短辺	15	両押し	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (-+)	815	1151	59	435	0.14
水槽部 隔壁	33	片押し (海水 熱交換 器建屋 側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1 (-+)	183	1112	-5 (圧縮)	435	-
支持部 長辺	14	両押し	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (-+)	94	0	9	435	0.03
支持部 短辺	20	両押し	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (-+)	54	263	-1 (圧縮)	435	-
支持部 隔壁	45	片押し (海水 熱交換 器建屋 側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3 (-+)	11	470	-6 (圧縮)	435	-

水槽部



支持部



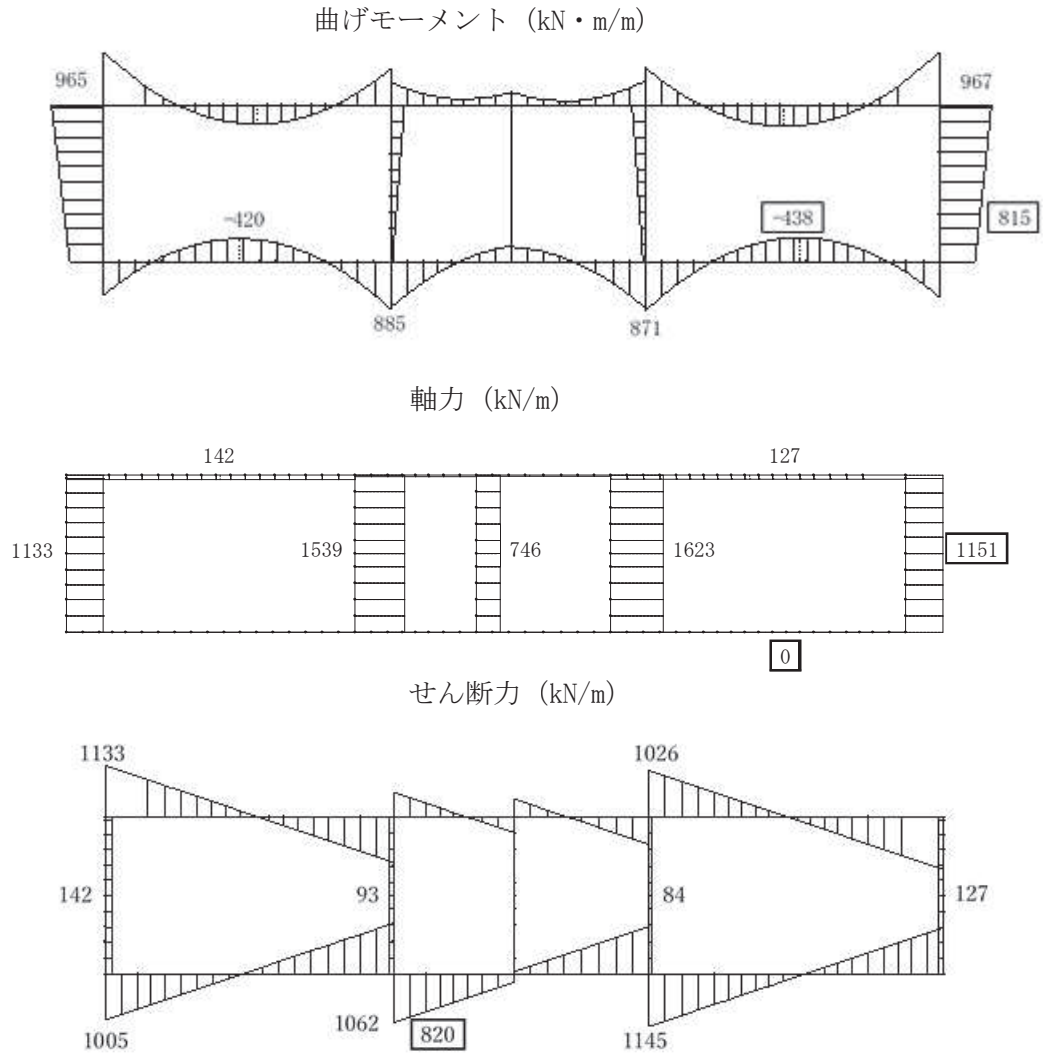


図 10-20 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(水平断面鉄筋, 水槽部短辺, 解析ケース①)

(2) 水平断面のせん断力に対する耐震評価結果

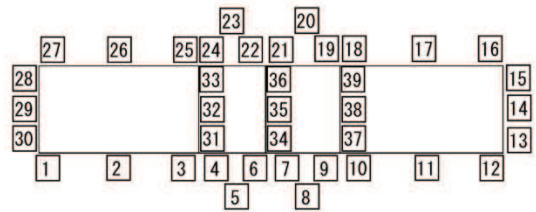
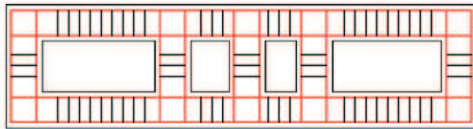
せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-12 に、断面力図を図 10-21 に示す。水平断面のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

また、水平鉄筋に対しては、面外方向の最大土圧により発生する応力度と、面内方向のせん断力により発生する応力度を足し合わせた応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。表 10-13 に水平鉄筋の足し合わせ最大照査値を示す。

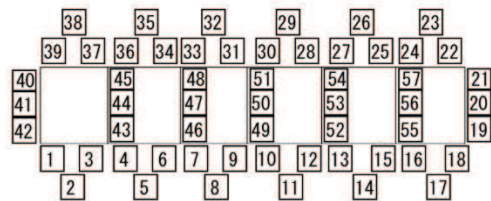
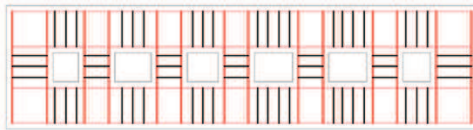
表 10-12 せん断力の破壊に対する最大照査値（水平断面）

評価位置	荷 方 法	断面性状			鉄筋仕様	解 析 ケ ー ス	地 震 動	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 Va (kN/m)	照査値 V/Va	
		部材 幅 (mm)	部材 高 (mm)	有効 高 (mm)							
水槽部 長辺	9	両押し	1000	1000	820	D19@150× 300	①	Ss-D1 (-+)	820	1682	0.49
水槽部 短辺	30	片押し (盛土 側)	1000	1000	820	D22@300× 300	①	Ss-D1 (-+)	421	1682	0.26
水槽部 隔壁	31	片押し (海水熱 交換器 建屋側)	1000	1000	870	D22@300× 300	①	Ss-D1 (-+)	241	1325	0.19
支持部 長辺	39	片押し (海水熱 交換器 建屋側)	1000	1300	1120	D22@300× 300	①	Ss-F3 (-+)	450	1706	0.27
支持部 短辺	19	片押し (海水熱 交換器 建屋側)	1000	1300	1120	D22@300× 300	①	Ss-F3 (-+)	137	1706	0.09
支持部 隔壁	52	片押し (盛土 側)	1000	1000	870	D22@300× 300	①	Ss-F3 (-+)	64	1325	0.05

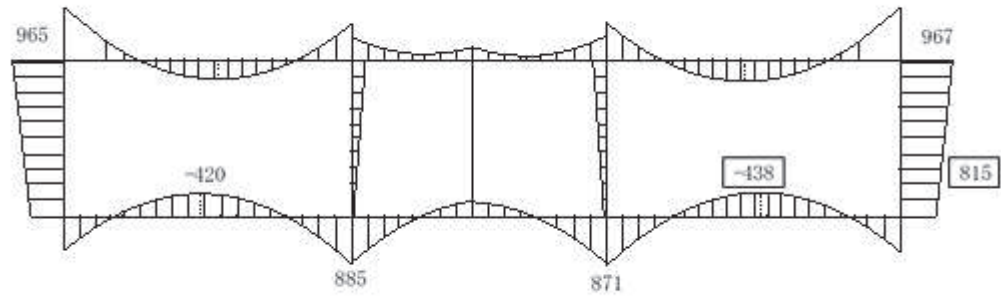
水槽部



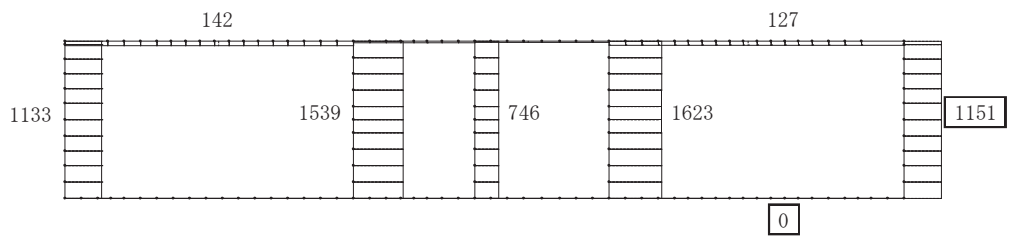
支持部



曲げモーメント (kN・m/m)



軸力 (kN/m)



せん断力 (kN/m)

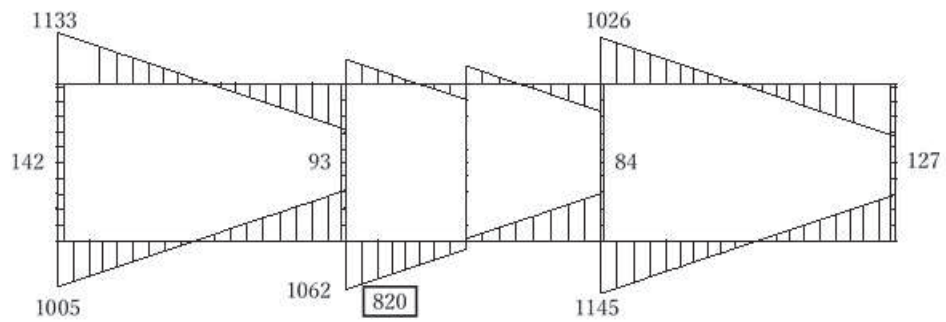


図 10-21 せん断破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(水平断面, 水槽部長辺, 解析ケース①)

表 10-13 水平鉄筋足し合わせ最大照査値

評価位置	検討方法*	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
水槽部 短辺	面外方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1(+)	59	294	0.21
	面内方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1(+)	74	294	0.26
	合計	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1(+)	133	294	0.46
水槽部 隔壁	面外方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1(+)	-5(圧縮)	294	-
	面内方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1(+)	74	294	0.26
	合計	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1(+)	74	294	0.26
支持部 短辺	面外方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3(+)	-1(圧縮)	294	-
	面内方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21
	合計	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21
支持部 隔壁	面外方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3(+)	-6(圧縮)	294	-
	面内方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21
	合計	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21

注記* 面外方向検討：二次元フレーム解析により算定される，最大土圧が作用することにより水平方向主鉄筋に発生する応力度

面内方向検討：鉛直断面のせん断力に対し，水平方向主鉄筋をせん断補強筋とみなして算定する応力度

10.4.4 中床版に対する耐震評価結果の曲げに対する耐震評価結果

(1) 中床版の曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表 10-14 に示す。

鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表 10-15 に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

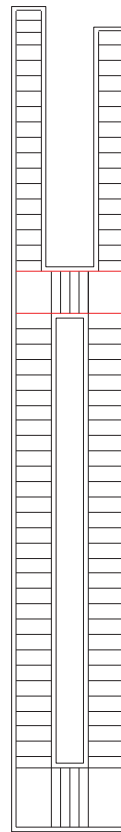
表 10-14 中床版曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c$ / $\sigma'ca$
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
④中床版	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D1 (+)	33	0	0.14	24	0.01

表 10-15 中床版曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
④中床版	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D1 (-+)	25	0	5	435	0.02

中床版評価位置図



(2) 中床版のせん断に対する耐震評価結果

せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-16 に示す。中床版のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

表 10-16 せん断力の破壊に対する最大照査値

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V/V_a
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
④中床版	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D1(+)	146	1076	0.14

評価位置図



10.4.5 底版に対する耐震評価結果

(1) 底版の曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表 10-17 に示す。

鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表 10-18 に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

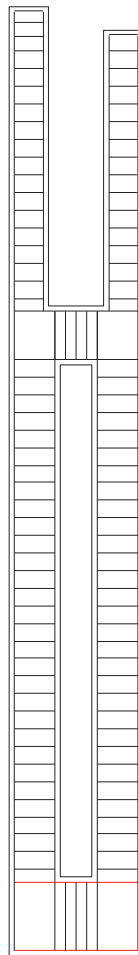
表 10-17 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c$ / $\sigma'ca$
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
底版	1000	2000	1820	2-D35@150 2-D35@150	④	Ss-D2 (-+)	1609	0	2.50	24	0.11

表 10-18 底版曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
底版	1000	2000	1820	2-D35@150 2-D35@150	④	Ss-D2 (-+)	1225	0	61	435	0.15

評価位置図



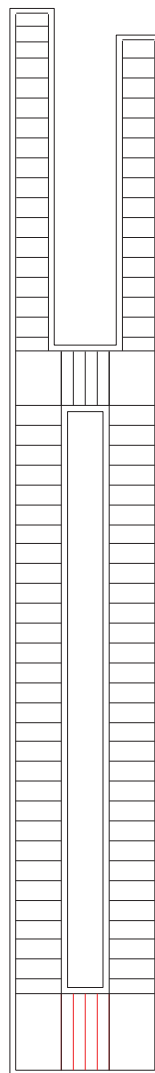
(2) 底版のせん断に対する耐震評価結果

せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-19 に示す。底版のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

表 10-19 せん断力の破壊に対する最大照査値

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V/V_a
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
底版	1000	2000	1820	D25@150×150	④	Ss-D2 (+)	7012	11249	0.63

評価位置図



10.4.6 版部材が側壁を固定することによる隅角部の評価結果

版部材が側壁を固定することによる隅角部の評価結果について、表 10-20 に底版及び中床版主鉄筋の曲げに対する評価結果を、表 10-21 に側壁鉛直鉄筋の評価結果を示す。

構造物躯体における許容応力度法による照査を行った結果、評価位置において鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

以上より、版部材が側壁を固定することによる隅角部の発生値は、許容限界以下であることを確認した。

表 10-20 中床版，底版の評価結果

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		引張応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
中床版	計算図表	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D2(++)	32	0	7	435	0.02
	拘束効果による曲げ	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D2(++)	385	0	72	435	0.17
	合計	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D2(++)	417	0	78	435	0.18
底版	計算図表	1000	3000	2820	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	1556	0	80	435	0.19
	拘束効果による曲げ	1000	3000	2820	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	153	0	8	435	0.02
	合計	1000	3000	2820	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	1709	0	88	435	0.21

表 10-21 側壁鉛直鉄筋の評価結果

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		引張応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
側壁 (中床版部)	鉛直断面の曲げ軸力破壊による照査	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2(++)	6214	423	142	435	0.33
	中床版からの拘束効果による曲げ	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D2(++)	417	0	57	435	0.14
	合計	/	/	/	/	/	/	/	/	199	435	0.46
側壁 (底版)	鉛直断面の曲げ軸力破壊による照査	13000	3400	2750	4-D35@150 4-D35@150	②	Ss-D2(+)	5913	1976	234	435	0.54
	中床版からの拘束効果による曲げ	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	1709	0	155	435	0.36
	合計	/	/	/	/	/	/	/	/	389	435	0.90

10.4.7 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

(1) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能に対する最大照査値を表 10-22 に、照査結果を表 10-23 に示す。
また、最大接地圧分布図を図 10-22 に示す。

第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力を下回ることを確認した。

表 10-22 基礎地盤の支持性能最大照査値

地震動		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
S _s -D 1	++	0.10			
	-+	0.12			
S _s -D 2	++	0.11			
	-+	0.09	0.08	0.08	0.09
S _s -D 3	++	0.09			
	-+	0.10			
S _s -F 1	++	0.08			
	-+	0.11			
S _s -F 2	++	0.12			
	-+	0.09			
S _s -F 3	++	0.10			
	-+	0.10			
S _s -N 1	++	0.12			
	-+	0.11			

表 10-23 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	Ss-N1(++)	1.3	11.4	0.12

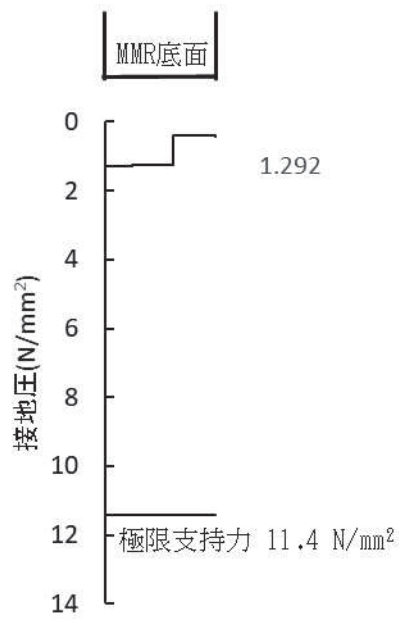


図 10-22 基礎地盤の最大接地圧分布図

(2) MMR (新設)

MMR (新設) の支持性能に対する最大照査値を表10-24に、照査結果を表10-25に示す。
また、最大接地圧分布図を図10-23に示す。

第3号機補機冷却海水系放水ピットのMMR (新設) に発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表10-24 MMRの支持性能最大照査値

地震動		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
S _s -D1	++	0.18			
	-+	0.18			
S _s -D2	++	0.19			
	-+	0.21	0.20	0.20	0.21
S _s -D3	++	0.16			
	-+	0.17			
S _s -F1	++	0.17			
	-+	0.16			
S _s -F2	++	0.17			
	-+	0.17			
S _s -F3	++	0.16			
	-+	0.16			
S _s -N1	++	0.16			
	-+	0.15			

表 10-25 MMR（新設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_a
④	Ss-D2(++)	6.1	30.0	0.21

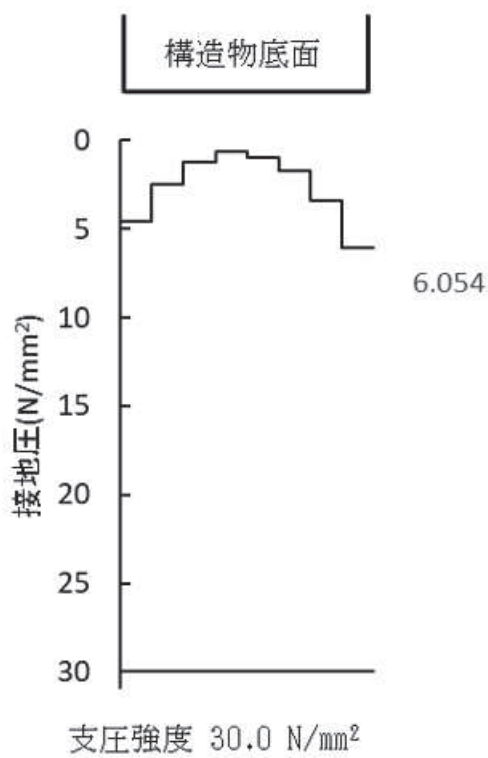


図 10-23 MMR（新設）の最大接地圧分布図

VI-2-10-2-8-5 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の

耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価対象部位及び評価対象設備	8
4. 固有値解析	10
4.1 固有値解析の計算方法	10
4.2 固有振動数の計算条件	11
4.3 固有振動数の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重及び荷重の組合せ	13
5.3 許容限界	15
5.4 設計用地震力	16
5.5 評価方法	17
5.6 評価条件	28
6. 評価結果	30

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No.1），（No.2）（以下、「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリアの床面に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

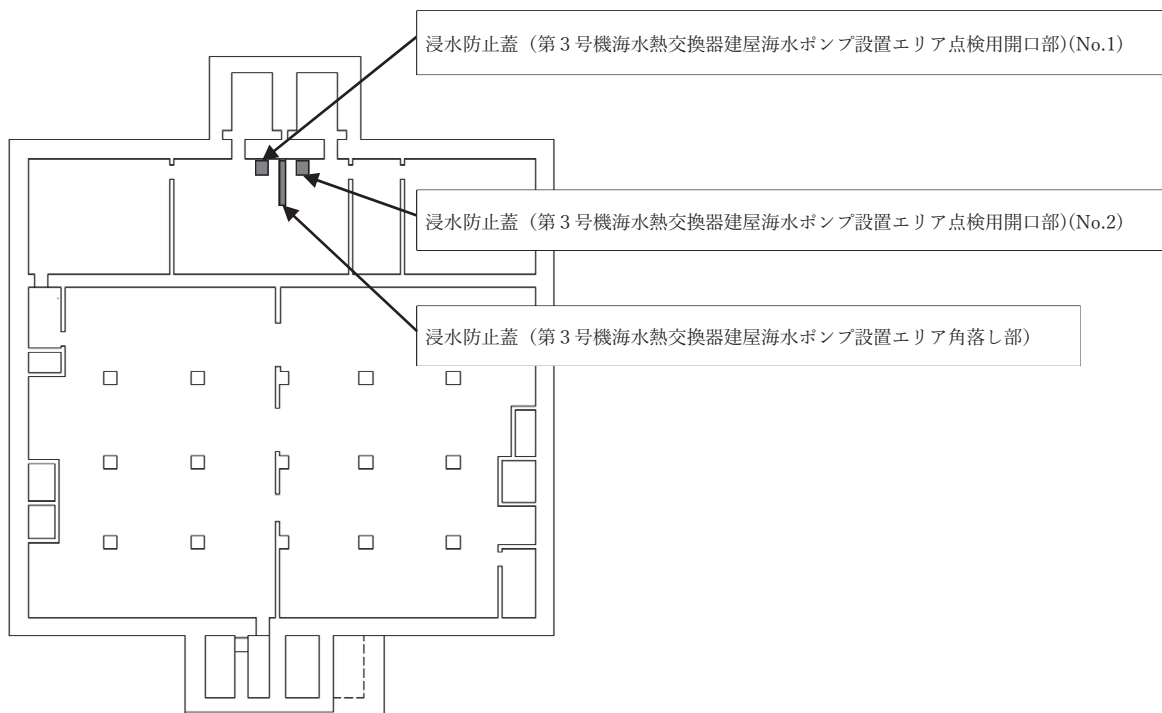




図2-1 浸水防止蓋の設置位置図
(第3号機海水熱交換器建屋 地下中2階)

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形又は正方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼又は鋼板）を組合せた構造とする。

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	
		<p>浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）</p> 
		<p>浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

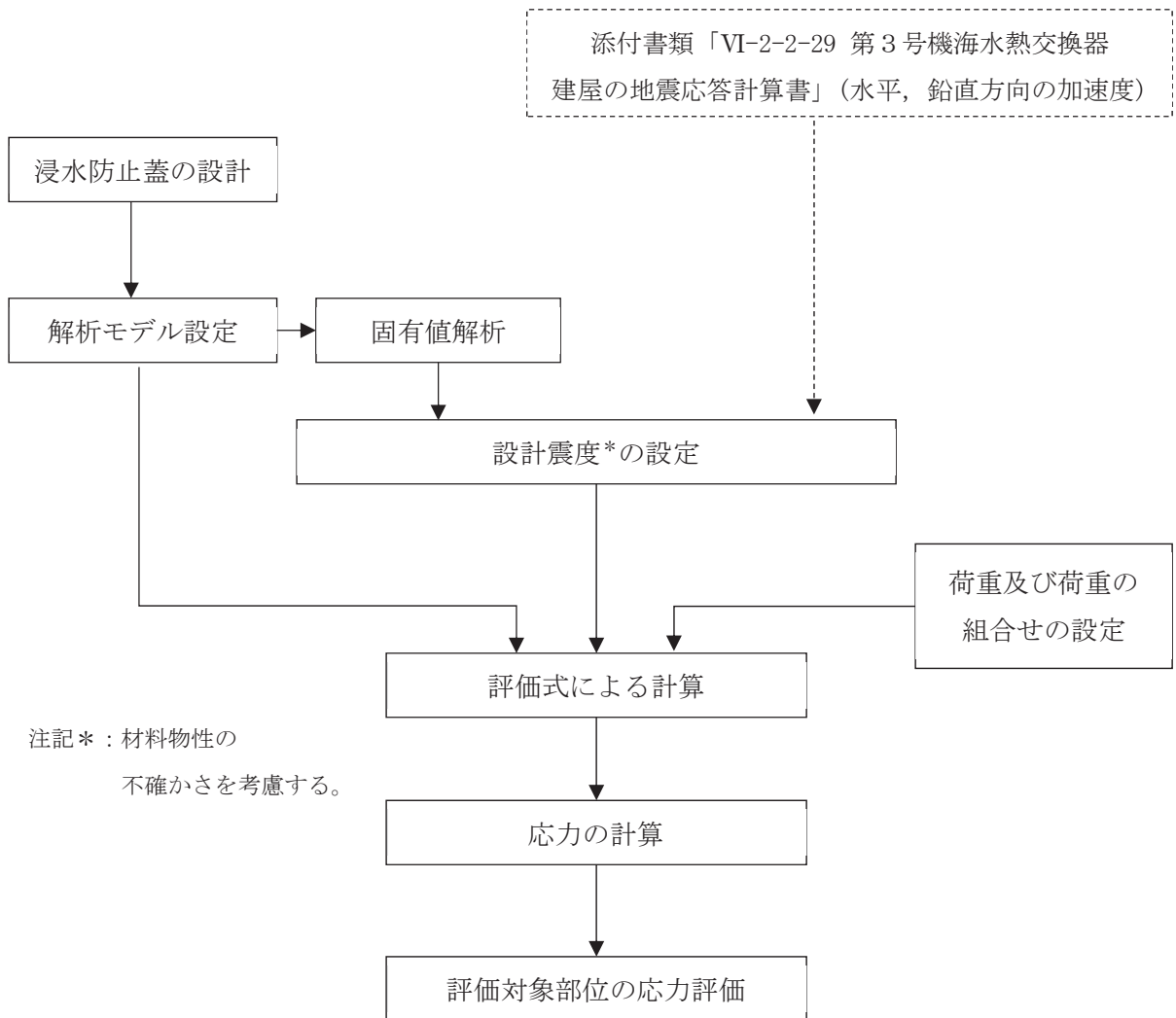


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 機械工学便覧（日本機械学会）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k_H	-	基準地震動 S_s に伴う水平方向の設計震度
k_V	-	基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	主桁のせん断断面積
Z	mm ³	主桁の断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_4	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
β_1	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
N	本	固定ボルト (2) の本数
T_d	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
σ_t	N/mm ²	固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
τ_s	N/mm ²	固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
T_s	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力
q_s	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力
A'	mm ²	固定ボルト (1) の有効断面積
n_s	本	固定ボルト (1) の本数
σ_f	N/mm ²	枠下フランジに生じる最大曲げ応力度
M_f	kN・m	枠下フランジに作用する最大曲げモーメント
Z_f	mm ³	枠下フランジの断面係数
L_7	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離
τ_f	N/mm ²	枠下フランジに生じる最大せん断応力度
Q_f	kN	枠下フランジに生じる最大せん断力
A_f	mm ²	枠下フランジのせん断断面積
Q_w	kN	枠ウェブに作用する最大せん断力
τ_w	N/mm ²	枠ウェブに生じる最大せん断応力度
A_{sw}	mm ²	枠ウェブのせん断断面積
C_w	kN	鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力
σ_{cw}	N/mm ²	鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度
A_w	mm ²	枠ウェブの断面積
T_a	kN	固定ボルト (2) の短期許容引張荷重
q_a	kN	固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重
σ_b	N/mm ²	ベースプレートに生じる最大曲げ応力度
M_b	kN・m	ベースプレートに作用する最大曲げモーメント
Z_b	mm ³	ベースプレートの断面係数
L_8	mm	ベースプレートの評価長さ
B	mm	ベースプレートの有効幅
t_b	mm	ベースプレートの板厚
τ_b	N/mm ²	ベースプレートに生じる最大せん断応力度
Q_b	kN	ベースプレートに作用する最大せん断力
A_{sb}	mm ²	ベースプレートのせん断断面積

3. 評価対象部位及び評価対象設備

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。また、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)は構成部材の寸法、規格が等しく、評価結果が変わらないことから、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)を評価対象設備とする。

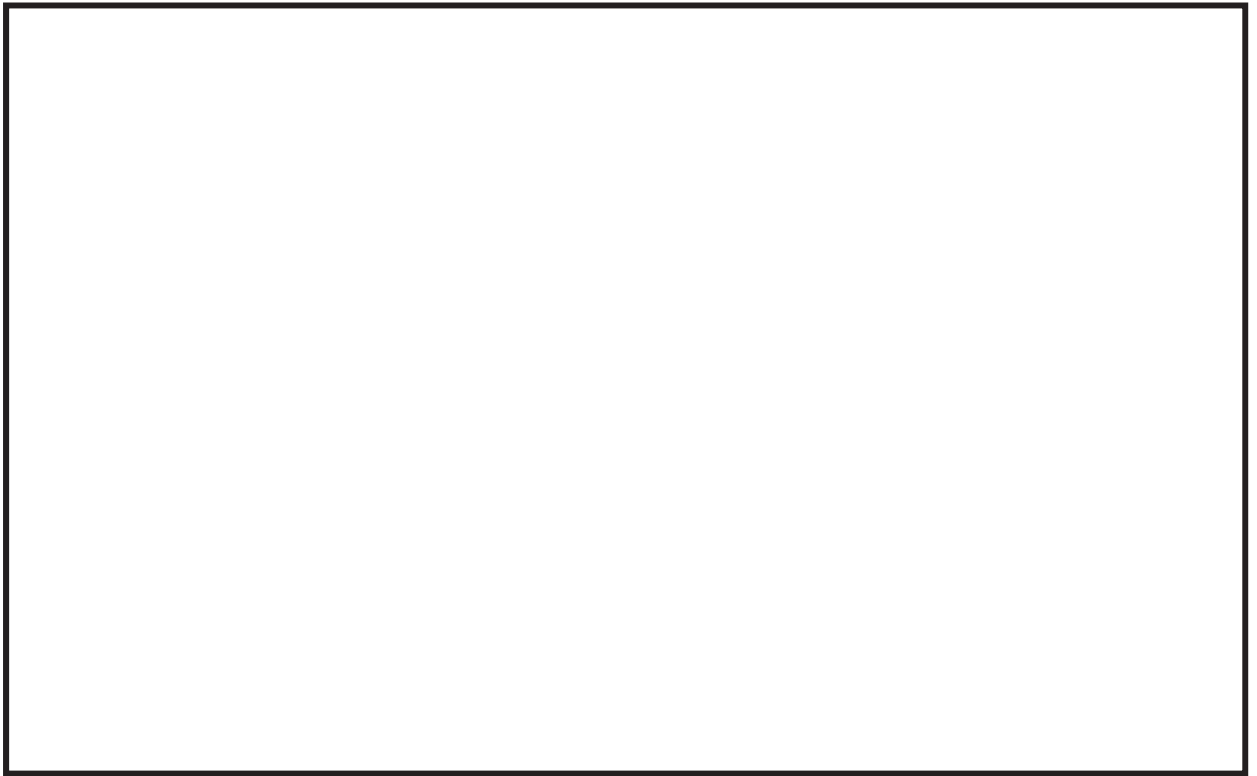
浸水防止蓋の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁、固定ボルト（1）、枠及びベースプレートに伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルト（2）を介して躯体に伝達されることから、浸水防止蓋の評価対象部位は、スキンプレート、主桁、固定ボルト（1）、固定ボルト（2）、枠及びベースプレートとする。評価対象部位を図3-1に示す。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）

図3-1 評価対象部位（1/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No.1），（No.2）

図3-1 評価対象部位（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有値解析の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに、固定ボルト (1)、枠及びベースプレートを介し、固定ボルト (2) にて浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端支持はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、主桁の全長とする。図 4-1 に解析モデル図を示す。

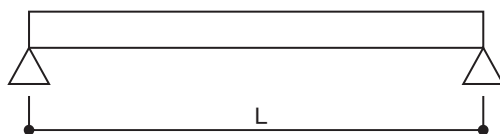


図 4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はり長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

4.1.3 固有振動数の算出方法

一次固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2 \pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

設備名称	はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/mm)
浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	420	1.93×10^5	7.11×10^5	0.097
浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア点検用開口 部）(No. 1), (No. 2)	1000	1.93×10^5	4.50×10^6	0.080

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の算出結果

設備名称	固有振動数(Hz)
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	335
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)	163

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位に生じる応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、 P_s : 積雪荷重 (kN)

W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)

d_s : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による慣性力を考慮する。ここで、地震荷重は、浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k : 基準地震動 S_s に伴う設計震度 (k_H または k_V)

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成するスキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、枠及びベースプレートの使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

設備名称	評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角なし部)	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	主桁	SUS304	C-80×40×5×5 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M16
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	ベースプレート	SUS304	t = 19 (mm)
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)	スキンプレート	SUS304	t = 12 (mm)
	主桁	SUS304	PL-16×150 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M30
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	枠	SUS304	H-150×150×7×10 (mm)
	ベースプレート	SUS304	t = 19 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、枠、ベースプレート

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」を踏まえて表 5-2 の値とする。

表 5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)			
	曲げ	引張	せん断	圧縮
SUS304	205	205	118	192

注：許容応力度を決定する場合の基準値 F は、日本産業規格 (J I S) に基づく。

(2) 固定ボルト (2)

固定ボルト (2) の許容荷重は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」に記載した固定ボルト (2) に作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の許容荷重を表 5-3 に示す。

なお、固定ボルト (2) は躯体に埋め込まれていることから、固定ボルト (2) が引張力を受ける場合においては、固定ボルト (2) の降伏により決まる許容荷重、付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、固定ボルト (2) がせん断力を受ける場合においては、固定ボルト (2) のせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の短期許容荷重

設備名称	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	SUS304	32.1	22.3
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)		32.1	22.5

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震地応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。浸水防止蓋耐震評価で用いる設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平 k_H	鉛直 k_V
第 3 号機海水熱交換器建屋 MB2F	0. P. 2. 0	1. 87	1. 11

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する主桁、スキンプレート、固定ボルト (1)、枠及びベースプレートに発生する応力度並びに固定ボルト (2) に発生する応力が、許容限界以下であることを確認する。

主桁とスキンプレートについては、箇所によって評価結果に差異が生じることから、図 5-1 及び図 5-2 にそれぞれ評価の対象とする主桁、スキンプレートを示す。

また、図 5-3 に、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、枠及びベースプレートの納まりを示す。

5.5.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 5-1 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

(2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 W_{s_s}'

$$W_{s_s}' = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 W_{s_s}' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

L_1 : 主桁の負担幅 (mm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 主桁に生じる最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 主桁に生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁に生じる最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁のせん断断面積 (mm²)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s_s}' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

W_{s_s}' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に生じる最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = M \cdot 10^6 / Z$$

σ : 主桁に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

ここで, $M = 1/8 \cdot W_{ss}' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

W_{ss}' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に生じる組合せ応力度 x

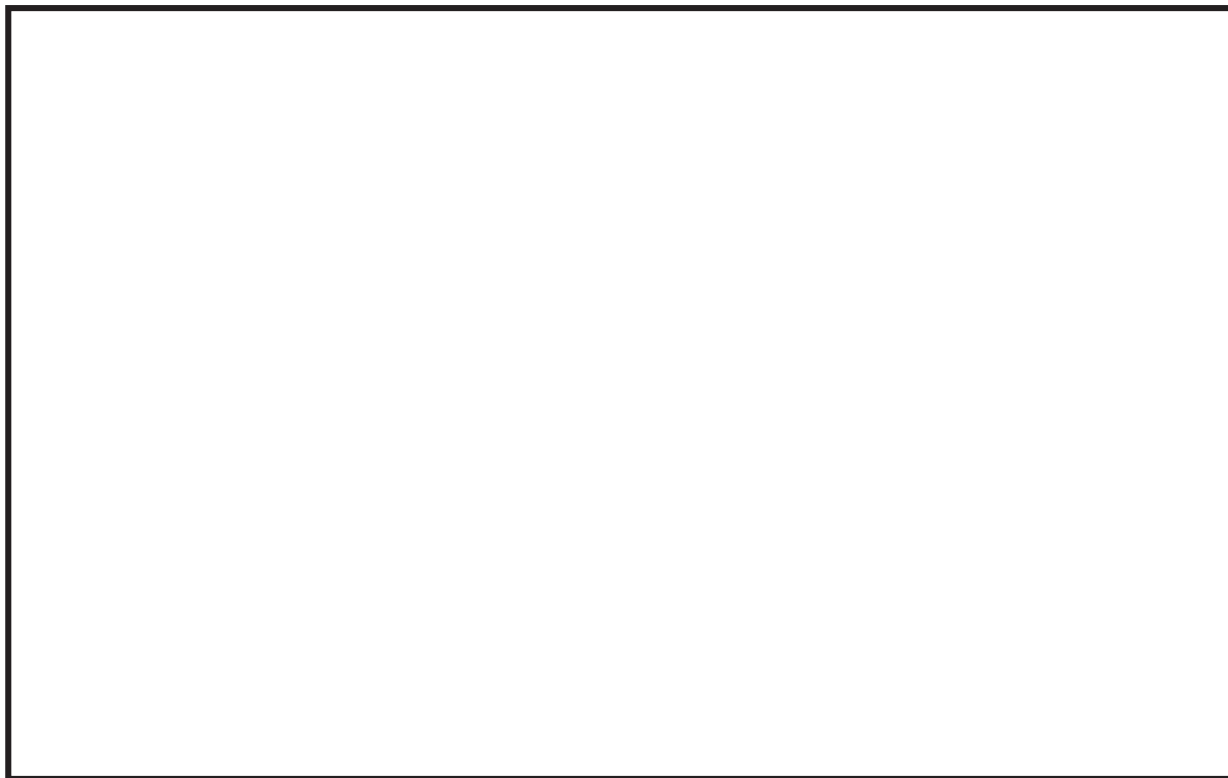
主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し, 短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-1 評価の対象とする主桁

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.2 スキンプレート

図5-2に示すとおり、スキンプレートが荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

- ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)
 G : 固定荷重(kN)
 P_s : 積雪荷重(kN)
 k_v : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 W_{s_s}

$$W_{s_s} = (G + S_s + P_s) / A$$

- ここで、 W_{s_s} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重
(kN/m²)
 G : 固定荷重(kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)
 P_s : 積雪荷重(kN)
 A : 浸水防止蓋の面積(m²)

(3) スキンプレートに生じる最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot W_{s_s} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

- ここで、 σ : スキンプレートに生じる最大曲げ応力度(N/mm²)
 W_{s_s} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重
(kN/m²)
 L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)
 β_1 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 t : スキンプレートの厚さ(mm)

(4) スキンプレートに生じる最大せん断応力度 τ

$$\tau = W_{s_s} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / \{2 \cdot (L_3 + L_4) \cdot t\}$$

- ここで、 τ : スキンプレートに生じる最大せん断応力度(N/mm²)
 W_{s_s} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重
(kN/m²)
 L_3 : スキンプレートの支持長辺長さ(mm)
 L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)
 t : スキンプレートの厚さ(mm)

(5) スキンプレートに生じる組合せ応力度 x

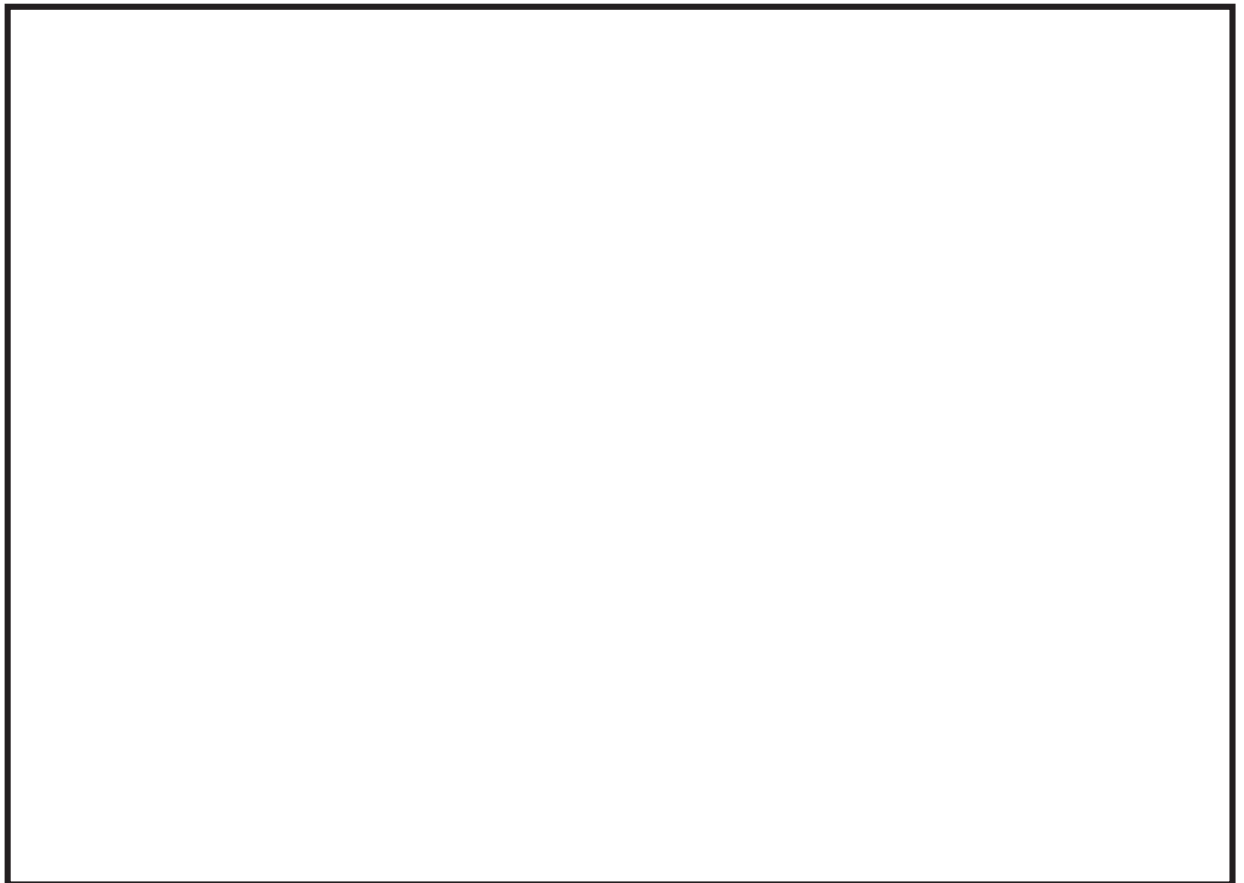
スキンプレートに生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。またスキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.3 固定ボルト (1)

- (1) 基準地震動
- S_s
- による水平方向の地震荷重
- S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s に伴う水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動
- S_s
- による鉛直方向の地震荷重
- S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_V : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
- σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで, $T_s = S_s / n_s$

σ_t : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

n_s : 固定ボルト (1) の本数 (本)

A' : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm²)

- (4) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
- τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで, $q_s = S_s / n_s$

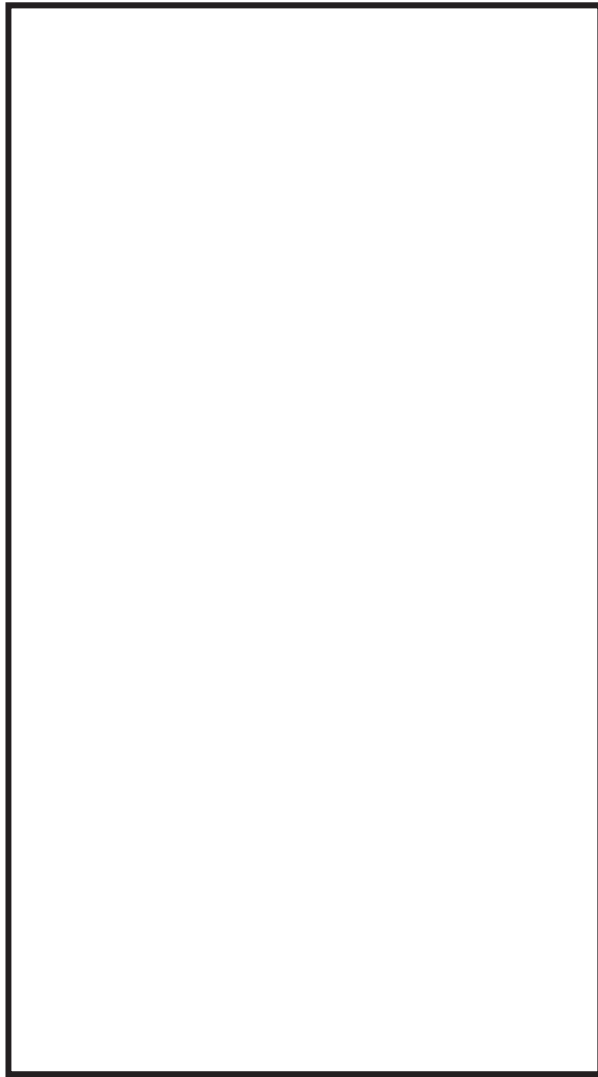
τ_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm²)

q_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

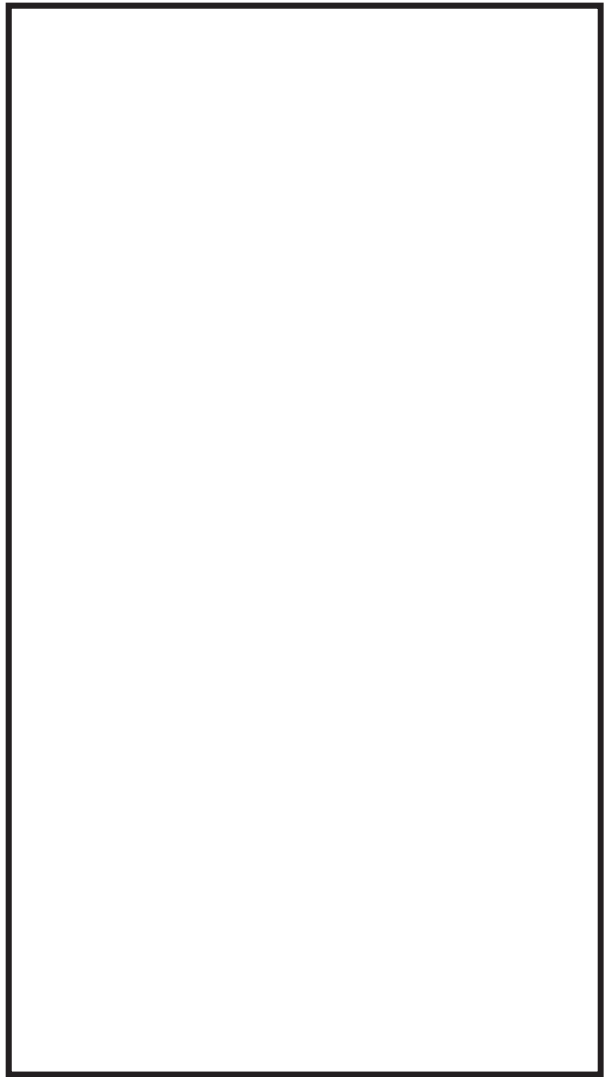
S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

n_s : 固定ボルト (1) の本数 (本)

A' : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm²)



平面図



A-A 断面図



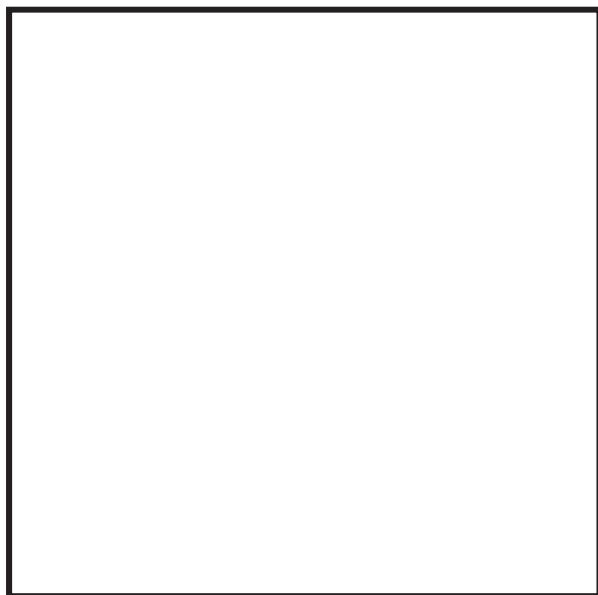
B-B 断面図

a 部詳細図

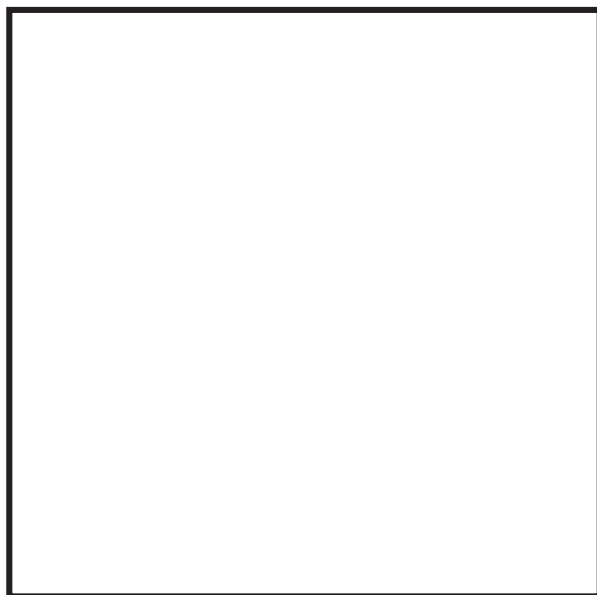
a-a 断面図

図 5-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (1/2)

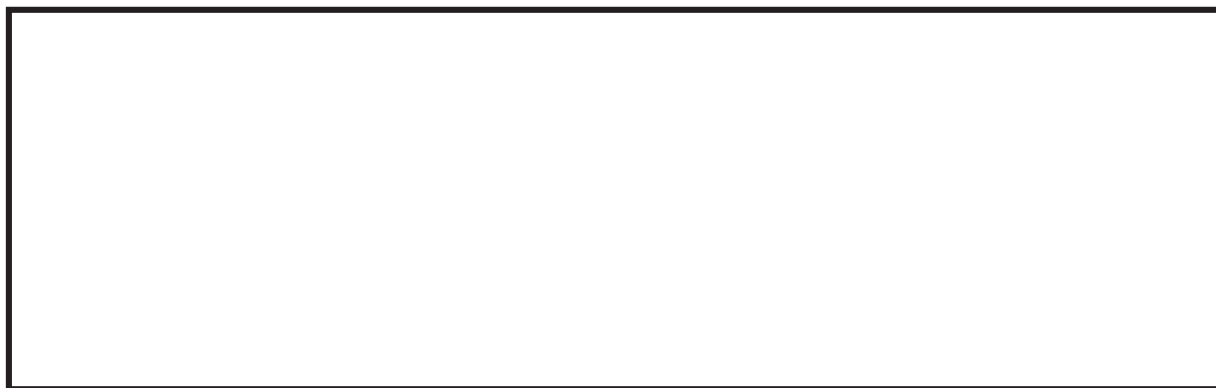
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



平面図



A-A 断面図



B-B 断面図



a 部詳細図

a-a 見下げ図

図 5-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.4 固定ボルト (2)

- (1) 基準地震動
- S_s
- による水平方向の地震荷重
- S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s に伴う水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動
- S_s
- による鉛直方向の地震荷重
- S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_V : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
- T_d

$$T_d = S_s / N$$

ここで, T_d : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

N : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (4) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
- q

$$q = S_s / N$$

ここで, q : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

N : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (5) 組合せ評価方法

組合せによる評価を「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し, 1 以下であることを確認する。

$$(T_d / T_a)^2 + (q / q_a)^2 \leq 1$$

ここで, T_d : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

T_a : 固定ボルト (2) の短期許容引張荷重 (kN)

q : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

q_a : 固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重 (kN)

5.5.5 枠

枠上フランジについては、直接荷重を負担しない構造となっていることから、下フランジ及びウェブについて評価を実施する。

(1) 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 σ_f

$$\sigma_f = (M_f \cdot 10^6) / Z_f$$

σ_f : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_f : 枠下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z_f : 枠下フランジの断面係数 (mm³)

$$\text{ここで, } M_f = S_s / 8 \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

L_7 : 枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離 (mm)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

(2) 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 τ_f

$$\tau_f = Q_f \cdot 10^3 / A_f$$

$$Q_f = S_s / 8$$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

τ_f : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_f : 枠下フランジに生じる最大せん断力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

A_f : 枠下フランジのせん断断面積 (mm²)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

(3) 枠下フランジに生じる組合せ応力度 x

$$x = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

- (4) 水平方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大せん断力 Q_w

$$Q_w = S_s / 2$$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

Q_w : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s に伴う水平方向の設計震度

- (5) 水平方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大せん断応力度 τ_w

$$\tau_w = (Q_w \cdot 10^3) / A_{s_w}$$

τ_w : 水平方向の地震荷重により枠ウェブに生じる
最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_w : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

A_{s_w} : 枠ウェブのせん断断面積 (mm²)

- (6) 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力 C_w

$$C_w = S_s / 4$$

C_w : 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

- (7) 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度 σ_{cw}

$$\sigma_{cw} = (C_w \cdot 10^3) / A_w$$

σ_{cw} : 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度 (N/mm²)

A_w : 枠ウェブの断面積 (mm²)

5.5.6 ベースプレート

ベースプレートは片持ち梁として評価を実施する。

- (1) ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 σ_b

$$\sigma_b = (M_b \cdot 10^6) / Z_b$$

σ_b : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_b : ベースプレートに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z_b : ベースプレートの断面係数 (mm³)

ここで, $M_b = T_d \cdot L_s \cdot 10^{-3}$

T_d : 固定ボルト (2) 1本当りに作用する引張力 (kN)

L_s : ベースプレートの評価長さ (mm)

$$Z_b = (B \cdot t_b^2) / 6$$

B : ベースプレートの有効幅 (mm)

t_b : ベースプレートの板厚 (mm)

- (2) ベースプレートに生じる最大せん断応力度 τ_b

$$\tau_b = (Q_b \cdot 10^3) / A_{s_b}$$

$$Q_b = T_d$$

τ_b : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_b : ベースプレートに作用する最大せん断力 (kN)

A_{s_b} : ベースプレートのせん断断面積 (mm²)

- (3) ベースプレートに生じる組合せ応力度 x

$$x = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ_b : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ_b : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 及び表 5-6 に示す。

表 5-5 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）
の耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	G	kN	固定荷重	3.040
	P _s	kN	積雪荷重	0.481
主桁	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.6
	L ₁	mm	主桁の負担幅	430
	L ₂	mm	主桁全長	420
	A _s	mm ²	主桁のせん断断面積	400
	Z	mm ³	主桁の断面係数	1.78×10 ⁴
スキン プレート	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.6
	L ₃	mm	スキンプレーートの支持長辺長さ	430
	L ₄	mm	スキンプレーートの支持短辺長さ	420
	β ₁	-	スキンプレーートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレーートの厚さ	16
固定 ボルト(1)	n _s	本	固定ボルト(1)の本数	36
	A'	mm ²	固定ボルト(1)の有効断面積	157
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	27
ベース プレート	L ₈	mm	ベースプレートの評価長さ	36
	Z _b	mm ³	ベースプレートの断面係数	4332
	B	mm	ベースプレートの有効幅	72
	t _b	mm	ベースプレートの板厚	19
	A _{s_b}	mm ²	ベースプレートのせん断断面積	1368

表 5-6 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	G	kN	固定荷重	3.138
	P _s	kN	積雪荷重	0.301
主桁	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.0
	L ₁	mm	主桁の負担幅	250
	L ₂	mm	主桁全長	1000
	A _s	mm ²	主桁のせん断断面積	2400
	Z	mm ³	主桁の断面係数	6.00×10 ⁴
スキンプレート	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.0
	L ₃	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	250
	L ₄	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	200
	β ₁	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.5
	t	mm	スキンプレートの厚さ	12
固定 ボルト(1)	n _s	本	固定ボルト(1)の本数	8
	A'	mm ²	固定ボルト(1)の有効断面積	561
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	15
枠	L ₇	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離	75
	A _w	mm ²	枠ウェブの断面積	7000
	A _{s w}	mm ²	枠ウェブのせん断断面積	7000
	Z _f	mm ³	枠下フランジの断面係数	14170
	A _f	mm ²	枠下フランジのせん断断面積	10000
ベース プレート	L ₈	mm	ベースプレートの評価長さ	80
	Z _b	mm ³	ベースプレートの断面係数	9627
	B	mm	ベースプレートの有効幅	160
	t _b	mm	ベースプレートの板厚	19
	A _{s b}	mm ²	ベースプレートのせん断断面積	3040

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 浸水防止蓋(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)
の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
スキンプレート	曲げ	2	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
固定ボルト (2)	引張	0.2	kN	32.1	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.3	kN	22.3	kN	0.02 < 1.0
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	2	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0

表 6-2 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)の
耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値	
主桁	曲げ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	組合せ	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0	
スキンプレート	曲げ	2	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	組合せ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
固定ボルト (2)	引張	0.3	kN	32.1	kN	0.01 < 1.0	
	せん断	0.5	kN	22.5	kN	0.03 < 1.0	
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0	
枠	下フランジ	曲げ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
		組合せ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	ウェブ	圧縮	1	N/mm ²	192	N/mm ²	0.01 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	組合せ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	

VI-2-10-2-8-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）
の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	8
4.	固有値解析	9
4.1	固有振動数の計算方法	9
4.2	固有振動数の計算条件	10
4.3	固有振動数の計算結果	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重及び荷重の組合せ	12
5.3	許容限界	13
5.4	設計用地震力	16
5.5	評価方法	16
5.6	評価条件	20
6.	評価結果	22

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No.1）、（No.2）及び地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は、浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

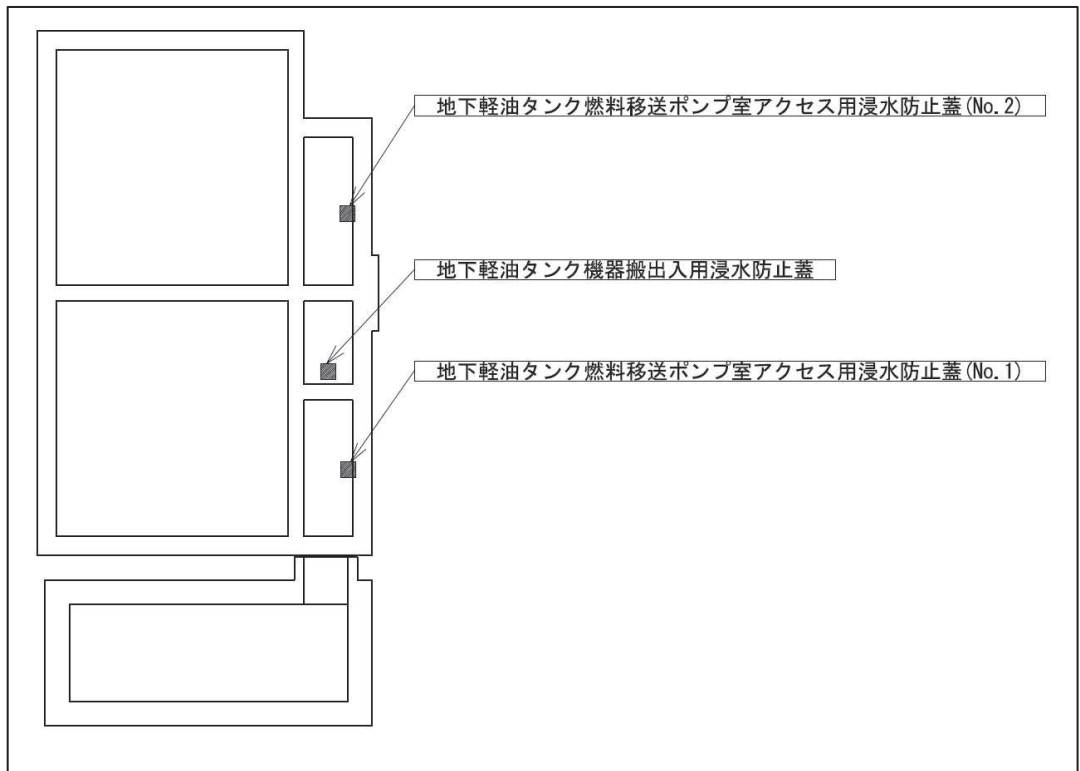




図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図（軽油タンクエリア上部）

2.2 構造計画

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトにて固定することで止水性を確保する構造とする。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	 <p>地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1), (No. 2)</p>  <p>地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す浸水防止蓋の構造を踏まえ「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

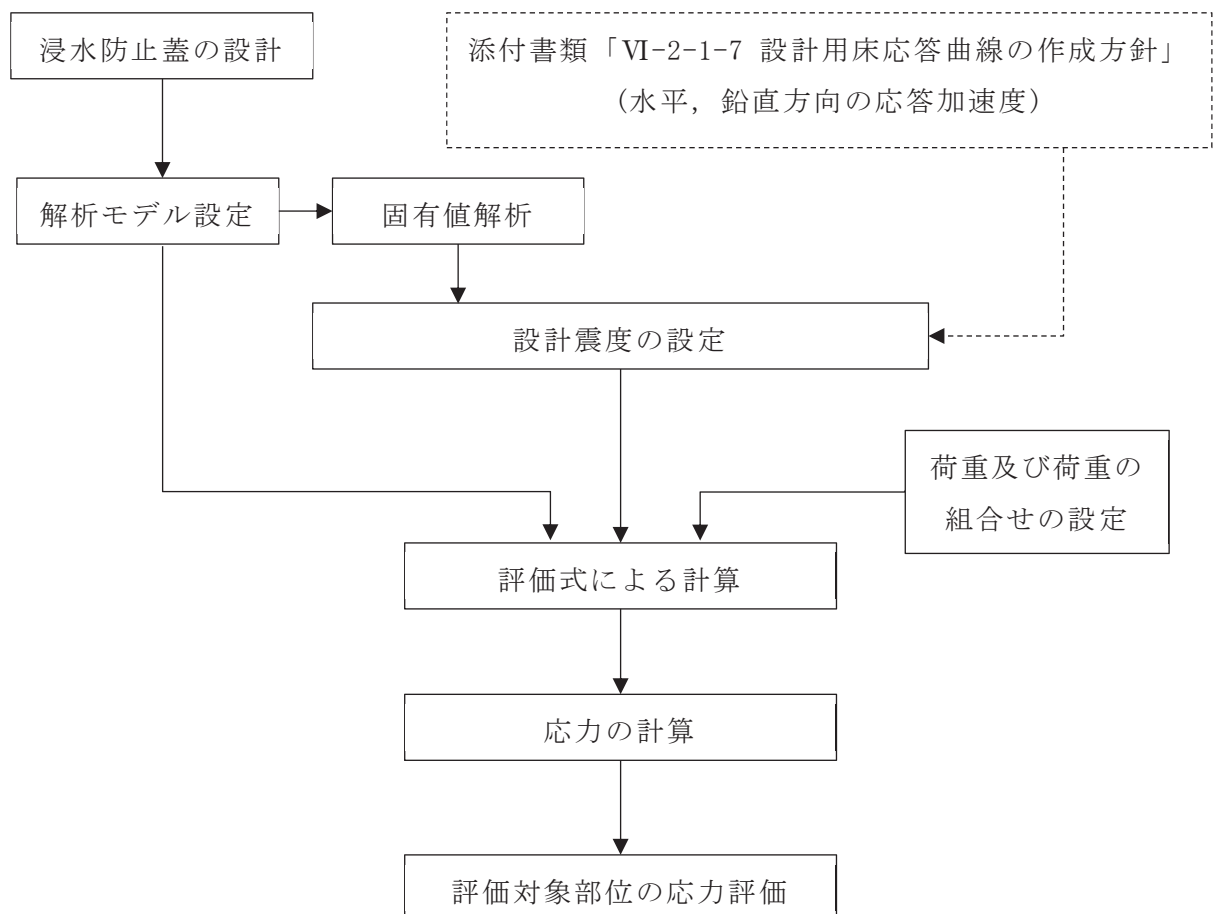


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む) J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 (日本機械学会)) (以下, 設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版 (日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 機械工学便覧 (日本機械学会)
- (6) 日本産業規格 (J I S)

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	浸水防止蓋の長さ (長辺)
b	mm	浸水防止蓋の幅 (短辺)
g	m/s ²	重力加速度
t	mm	浸水防止蓋の厚さ
m	kg	浸水防止蓋を構成する部材の重量
D	N	固定荷重
P _s	Pa	積雪荷重
F	MPa	許容応力算定用基準値 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.(b)に定める, S _y 及び 0.7・S _u のいずれか小さい方の値とする。
f _b	MPa	許容曲げ応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)に定める値とする。
f _s	MPa	許容せん断応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(2)に定める値とする。
f _t	MPa	許容引張応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値とする。
f _{t s}	MPa	せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力
S _y	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 8 に規定される材料の設計降伏点
S _u	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 9 に規定される材料の設計引張強さ
C _H	—	基準地震動 S _s による水平方向の設計震度
C _V	—	基準地震動 S _s による鉛直方向の設計震度
K _{H s s}	N	基準地震動 S _s による水平方向の地震荷重
K _{V s s}	N	基準地震動 S _s による鉛直方向の地震荷重
A	mm ²	浸水防止蓋の面積
ω	Pa/cm	積雪の単位荷重
β ₂	—	浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数
σ _{b s s}	MPa	浸水防止蓋に加わる曲げ応力
σ	MPa	浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力
τ _{s s}	MPa	浸水防止蓋に加わるせん断応力
A _b	mm ²	ボルトの断面積
n	本	ボルトの本数

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
τ_{kss}	MPa	ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力
f_{t0}	MPa	ボルトに作用する許容引張応力 (f_t を 1.5 倍した値)

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋に対して積雪及び地震（ S_s ）による荷重が作用し、これらの荷重は鋼製の浸水防止蓋から浸水防止蓋を固定している鋼製の固定ボルトに伝達することから、主要構成部材である浸水防止蓋及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋の耐震評価における評価対象部位について図 3-1 及び図 3-2 に示す。



図 3-1 評価対象部位（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋
(No. 1) , (No. 2))

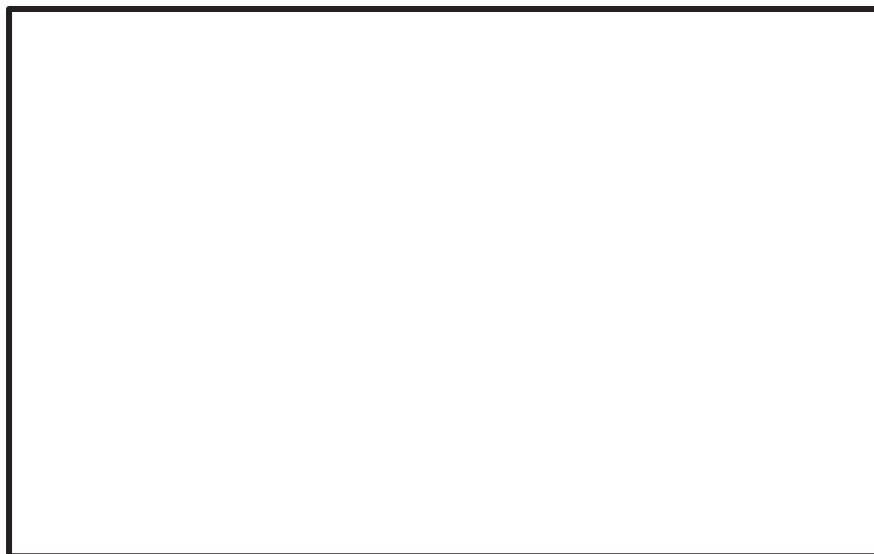


図 3-2 評価対象部位（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、全周囲を固定ボルトにて固定された構造であることから、荷重がかかる浸水防止蓋は図 4-1 に示す周辺固定の長方形板モデルとする。

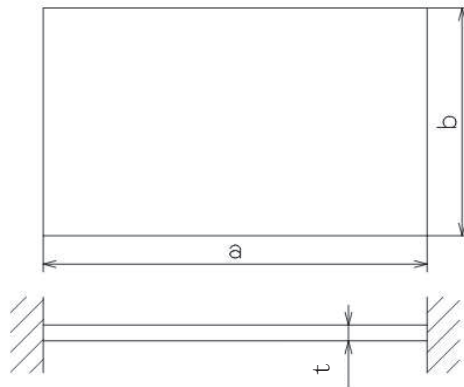


図 4-1 浸水防止蓋の概略モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
T	s	固有周期
f	Hz	一次固有振動数
a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）
b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）
t	mm	浸水防止蓋の厚さ
g	m/s ²	重力加速度
λ	—	振動数係数（板モデルの固有振動数算出）
E	MPa	縦弾性係数 設計・建設規格の付録材料図表 Part6 表 1 より温度を考慮して求めた値
ρ	kg/m ³	材料の密度
ν	—	ポアソン比

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有周期 T 及び周辺固定の長方形板モデルの一次固有振動数 f は、「機械工学便覧（日本機械学会）」より、次式を用いて算出する。

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

$$f = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot b^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件 (1/2)

設備名称	材質	浸水防止蓋の厚さ t (mm)	浸水防止蓋の長さ a (mm)	浸水防止蓋の幅 b (mm)	振動数係数 λ^{*1}
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用浸水防止蓋 (No.1), (No.2)	SUS304	16	1.336×10^3	1.070×10^3	2.74
地下軽油タンク 機器搬出入用浸水防止蓋	SUS304	16	1.336×10^3	1.030×10^3	2.74

表 4-2 固有振動数の計算条件 (2/2)

温度条件 ^{*2} (°C)	縦弾性係数 E (MPa)	重力加速度 g (m/s ²)	ポアソン比 ν	材料の密度 ρ (kg/m ³)
40	1.94×10^5	9.80665	0.3	7.93×10^3

注記*1：浸水防止蓋の振動数係数 λ は、いずれも $1 < a/b < 1.5$ のため、より小さな値として算出される $a/b = 1.5$ の場合の定数 $\lambda = 2.74$ を用いた。

*2：屋外設備としての環境条件を考慮する。

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数(Hz)
地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No.1) , (No.2)	90.03
地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	97.16

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$D + S_s + P_s$$

ここで、D : 固定荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重

P_s : 積雪荷重

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

(1) 固定荷重 (D)

常時作用する固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮し、以下の式により算出する。

$$D = m \cdot g$$

ここで、D : 固定荷重 (N)

m : 浸水防止蓋を構成する部材の重量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s²)

(2) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

地震荷重を以下の式より算出する。

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D + P_s \cdot A)$$

$$K_{V s s} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、 $K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

$K_{V s s}$: 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (N)

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度

C_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度

D : 固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付資料「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量を以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot \omega \cdot 43$$

ここで、 P_s : 積雪荷重 (Pa)

ω : 積雪の単位荷重 (Pa/cm)

5.3 許容限界

許容限界は、添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する浸水防止蓋、固定ボルト①、固定ボルト②及び固定ボルト③の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋	SUS304	厚さ 16 mm
固定ボルト①②③	SUS304	M16

5.3.2 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している許容限界を踏まえ、設計・建設規格に準じた許容応力を用いる。なお、浸水防止蓋の浮き上がりによるボルトの引張が起こらないため、固定ボルトの発生応力においては引張を考慮しないことから、引張応力及び組合せ応力については許容限界を設定しない。

浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界を表 5-2 に、許容応力評価条件を表 5-3 に、許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。

表 5-2 浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界（許容応力）

許容応力 状態	許容限界* ¹ (MPa)					
	浸水防止蓋			固定ボルト①②③		
	一次応力			一次応力		
	曲げ	せん断	組合せ* ²	引張	せん断	組合せ* ³
Ⅲ _{AS} * ⁴	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	f_{ts}

注記*¹：曲げ及びせん断は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。組合せは、設計・建設規格による。

*²：曲げとせん断の組合せである。

*³：せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 f_{ts} は、次のいずれか小さい方の値から算出。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \tau_{kss}$$

$$f_{ts} = f_{t0}$$

*⁴：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
浸水防止蓋	SUS304	40	205	520	205
固定ボルト①					
固定ボルト②					
固定ボルト③					

注記*： $F = \text{Min} [S_y, 0.7 \cdot S_u]$ とする。

表 5-4 許容応力算出結果

許容応力 状態	評価対象 部位	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)	
		一次応力			一次応力	
		曲げ (MPa)	せん断 (MPa)	組合せ (MPa)	引張 (MPa)	せん断 (MPa)
Ⅲ _A S	浸水防止蓋	204	117	204	—	—
	固定ボルト①	—	—	—	—	117
	固定ボルト②	—	—	—	—	117
	固定ボルト③	—	—	—	—	117

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す軽油タンク室（ポンプ室）における最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-5 設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度 C_H^*	鉛直方向設計震度 C_V^*
基準地震動 S_s	軽油タンク室（ポンプ室） O.P. 13.80	1.69	0.95

注記＊：「4. 固有値解析」より，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

5.5 評価方法

浸水防止蓋，固定ボルト①，固定ボルト②及び固定ボルト③に発生する応力より算出する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 浸水防止蓋

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に，浸水防止蓋に発生する曲げ応力及びせん断応力は，「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 最大曲げ応力

$$\sigma_{bss} = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + K_{Vss}}{A} + P_s \right) \cdot b^2}{t^2}$$

- ここで， σ_{bss} : 浸水防止蓋に加わる曲げ応力 (MPa)
 β_2 : 浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数
 D : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)
 K_{Vss} : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (N)
 A : 浸水防止蓋の面積 (mm²)
 P_s : 積雪荷重 (Pa)
 b : 浸水防止蓋の幅（短辺） (mm)
 t : 浸水防止蓋の厚さ (mm)

(2) 最大せん断応力

$$\tau_{s s} = \frac{D + K_{V s s} + P_s \cdot A}{t \cdot (a + b) \cdot 2}$$

- ここで、 $\tau_{s s}$: 浸水防止蓋に加わるせん断応力 (MPa)
 D : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)
 $K_{V s s}$: 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (N)
 P_s : 積雪荷重 (Pa)
 A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)
 t : 浸水防止蓋の厚さ (mm)
 a : 浸水防止蓋の長さ (長辺) (mm)
 b : 浸水防止蓋の幅 (短辺) (mm)

(3) 組合せ応力評価

浸水防止蓋に発生する曲げ応力やせん断応力の組合せ応力を以下の式より算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{b s s}^2 + 3 \cdot \tau_{s s}^2} \quad *$$

注記* : 設計・建設規格 SSB-3121.1

- ここで、 σ : 浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力 (MPa)
 $\sigma_{b s s}$: 浸水防止蓋に加わる曲げ応力 (MPa)
 $\tau_{s s}$: 浸水防止蓋に加わるせん断応力 (MPa)

5.5.2 固定ボルト①

固定ボルト①に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋の水平方向荷重をすべての固定ボルト①で負担するものとして評価する。固定ボルト①のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_1 \cdot A_{b 1}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_1 + P_s \cdot A)$$

ここで、 $\tau_{k s s}$: ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度

D_1 : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

n_1 : 固定ボルト①の本数 (本)

$A_{b 1}$: 固定ボルト①の呼び径断面積 (mm^2)

5.5.3 固定ボルト②

固定ボルト②に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト②で負担するものとして評価する。固定ボルト②のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_2 \cdot A_{b 2}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_2 + P_s \cdot A)$$

ここで、 $\tau_{k s s}$: ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度

D_2 : 浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

n_2 : 固定ボルト②の本数 (本)

$A_{b 2}$: 固定ボルト②の呼び径断面積 (mm^2)

5.5.4 固定ボルト③

固定ボルト③に作用するせん断荷重は，浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト③で負担するものとして評価する。固定ボルト③のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_3 \cdot A_{b 3}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_3 + P_s \cdot A)$$

ここで， $\tau_{k s s}$: ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度

D_3 : 浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

n_3 : 固定ボルト③の本数 (本)

$A_{b 3}$: 固定ボルト③の呼び径断面積 (mm^2)

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No.1）
（No.2））の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋	D	N	浸水防止蓋の固定荷重	3.040×10^3
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	1.336×10^3
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	1.070×10^3
	A	mm ²	浸水防止蓋の面積	1.430×10^6
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D ₁	N	浸水防止蓋の固定荷重	3.040×10^3
	n ₁	本	固定ボルト①の本数	8
	A _{b1}	mm ²	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D ₂	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	4.590×10^3
	n ₂	本	固定ボルト②の本数	12
	A _{b2}	mm ²	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D ₃	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	6.472×10^3
	n ₃	本	固定ボルト③の本数	16
	A _{b3}	mm ²	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

表 5-7 浸水防止蓋（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋	D	N	固定荷重	2.550×10^3
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	1.336×10^3
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	1.070×10^3
	A	mm ²	浸水防止蓋の面積	1.376×10^6
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D ₁	N	浸水防止蓋の固定荷重	2.550×10^3
	n ₁	本	固定ボルト①の本数	8
	A _{b1}	mm ²	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D ₂	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	4.295×10^3
	n ₂	本	固定ボルト②の本数	12
	A _{b2}	mm ²	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D ₃	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	6.178×10^3
	n ₃	本	固定ボルト③の本数	16
	A _{b3}	mm ²	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。全ての部材において発生応力が許容応力以下であることを確認した。

表 6-1 耐震評価結果

評価対象部位		評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用 浸水防止蓋 (No. 1) , (No. 2)	浸水防止蓋	曲げ	10	204
		せん断	1	117
		組合せ*	11	204
	固定ボルト①	せん断	4	117
	固定ボルト②	せん断	4	117
	固定ボルト③	せん断	4	117
地下軽油タンク 機器搬出入用 浸水防止蓋	浸水防止蓋	曲げ	8	204
		せん断	1	117
		組合せ*	9	204
	固定ボルト①	せん断	4	117
	固定ボルト②	せん断	4	117
	固定ボルト③	せん断	4	117

注記*：浸水防止蓋の組合せ応力値は曲げとせん断の組合せである。

VI-2-10-2-9 浸水防止壁の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	7
4.	固有値解析	8
4.1	固有振動数の計算方法	8
4.2	固有振動数の計算条件	9
4.3	固有振動数の計算結果	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重及び荷重の組合せ	10
5.3	許容限界	11
5.4	設計用地震力	12
5.5	評価方法	13
5.6	評価条件	17
6.	評価結果	18

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち第2号機海水ポンプ室浸水防止壁（以下「浸水防止壁」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は、浸水防止壁の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止壁は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止壁の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止壁は、第2号機海水ポンプ室（以下「海水ポンプ室」という。）躯体上部に設置する。

浸水防止壁の設置位置図を図2-1に示す。

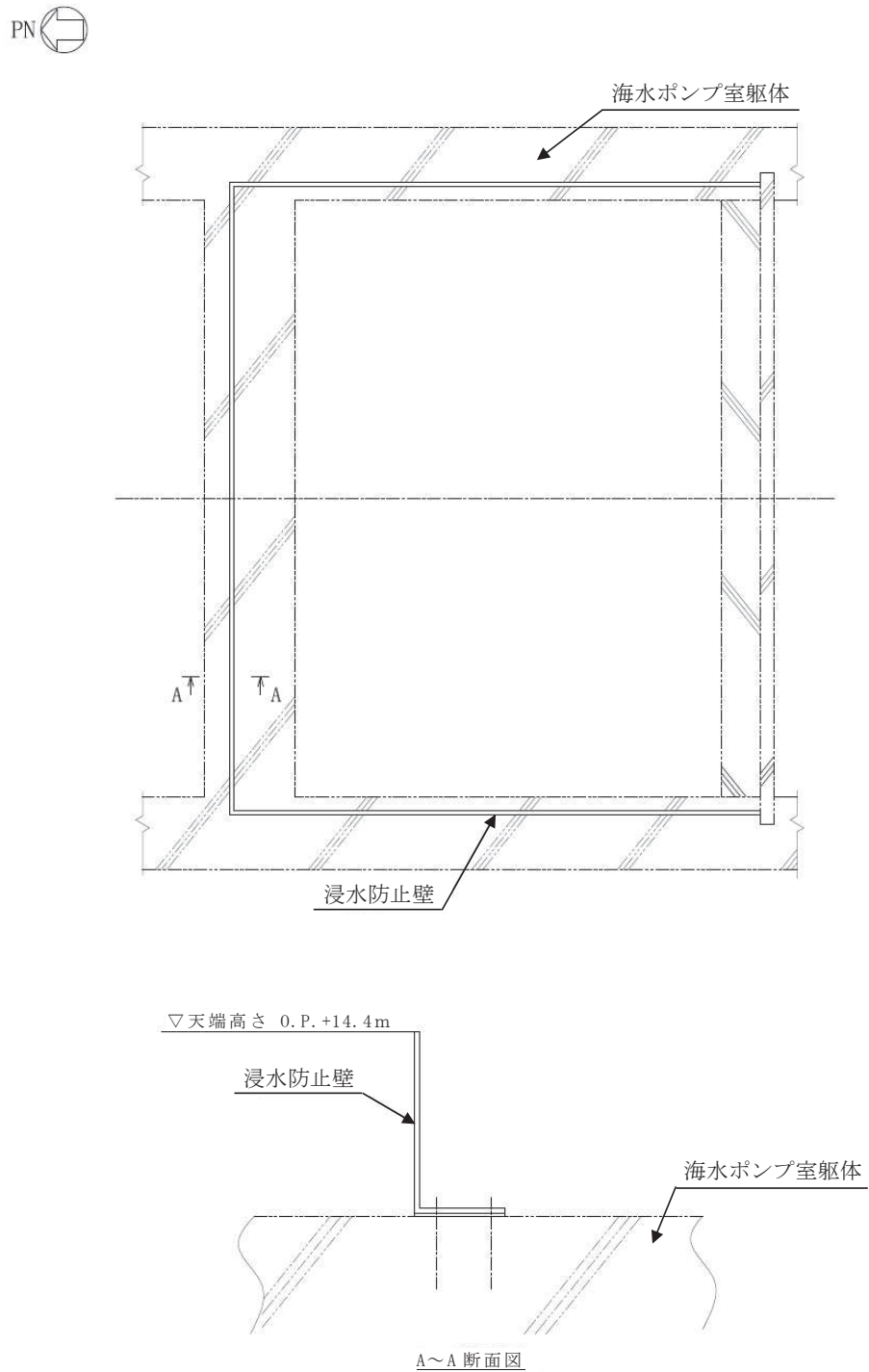


図2-1 浸水防止壁の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体上部にL字型の浸水防止壁を設置する構造とする。浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体との間にシーリング材を挟みこみ、基礎ボルトで固定する。浸水防止壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止壁の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
海水ポンプ室の躯体上部に基礎ボルトで固定する。	浸水防止壁により構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止壁の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止壁の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

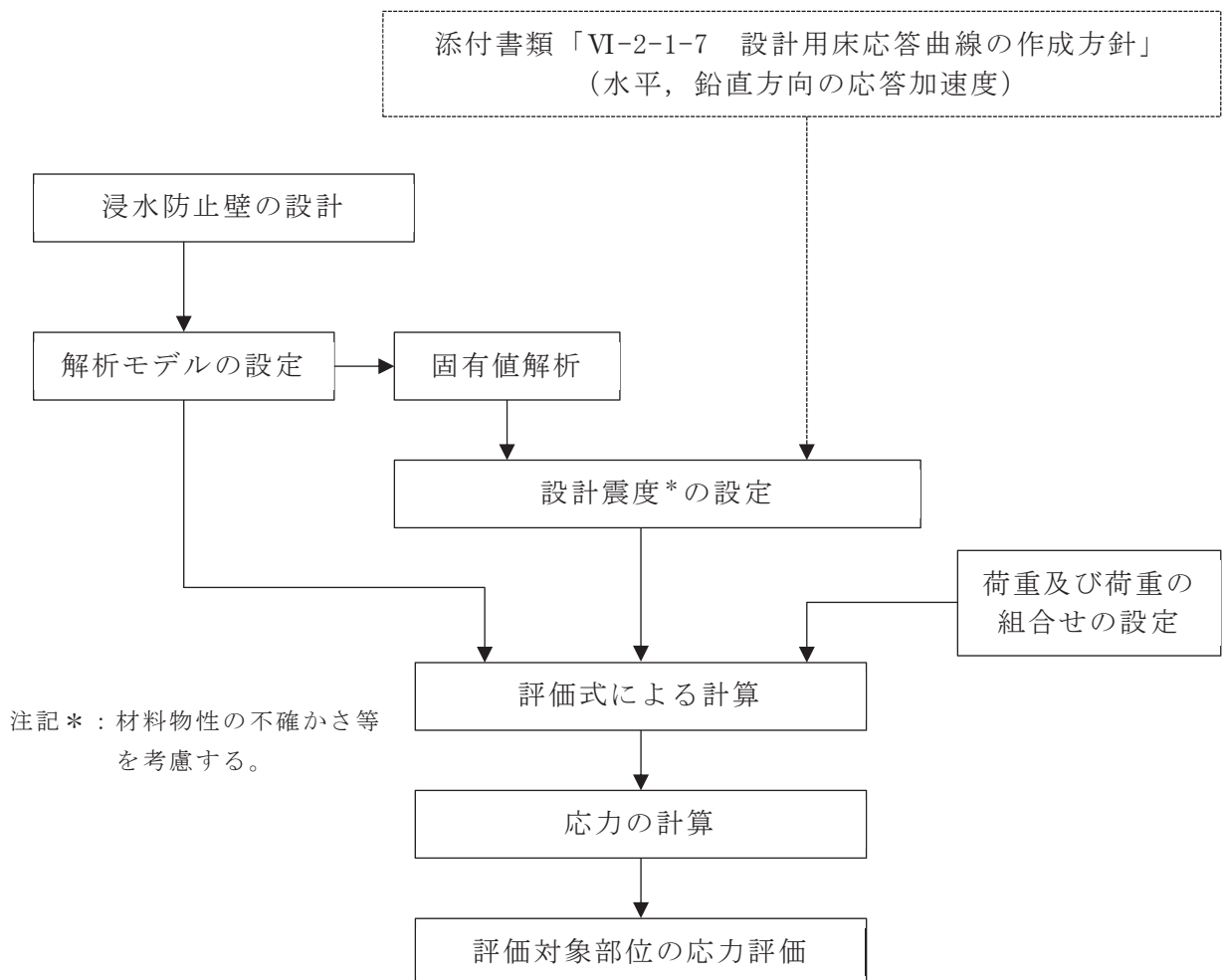


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- (2) 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- (3) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- (4) 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- (5) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (6) 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説

2.5 記号の説明

浸水防止壁の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
G	-	固定荷重
S_s	-	基準地震動 S_s による地震荷重
P_k	-	風荷重
w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重
W_v	N	浸水防止壁の固定荷重
$w_{s s H}$	N/mm	地震の水平方向の等分布荷重
$P_{s s v}$	N	地震の鉛直方向の荷重
C_H	-	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
C_V	-	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
w_{P_k}	N/mm	風の等分布荷重
q	N/mm ²	速度圧
C_f	-	風力係数
M	N・mm	浸水防止壁に作用する曲げモーメント
Q	N	浸水防止壁に作用するせん断力
H	mm	浸水防止壁の高さ
σ_b	N/mm ²	浸水防止壁の曲げ応力度
τ	N/mm ²	浸水防止壁のせん断応力度
σ	N/mm ²	浸水防止壁の組合せ応力度
A	mm ²	浸水防止壁の断面積
Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数
$T_{b o}$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$Q_{b o}$	N	基礎ボルトに作用するせん断力
b	mm	基礎ボルト間寸法
n	本	基礎ボルトの本数
P_a	N	基礎ボルトの短期許容引張力
q_a	N	基礎ボルトの短期許容せん断力

3. 評価対象部位

浸水防止壁の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止壁に対して、地震（ S_s ）及び風による荷重が作用し、これらの荷重は浸水防止壁に伝わり、浸水防止壁を固定している基礎ボルトを介して躯体に伝達されることから、浸水防止壁及び基礎ボルトを評価対象部位として設定する。評価対象部位を図 3-1 に示す。

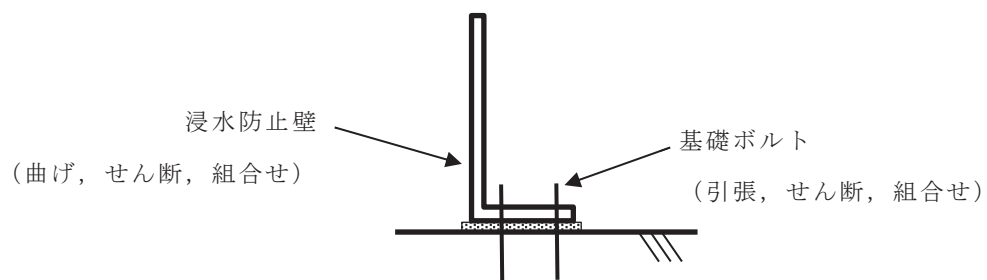


図 3-1 評価対象部位

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止壁を図 4-1 に示す片持ちはりとしてモデル化する。

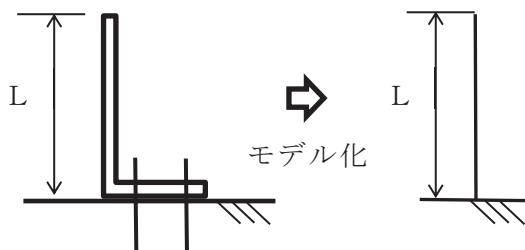


図 4-1 浸水防止壁の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止壁の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
δ_{st}	mm	質量が振動する方向にその質量の重さに等しい力が静的に作用するときのたわみ
w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重
L	mm	浸水防止壁の長さ
E	N/mm ²	浸水防止壁の縦弾性係数
I	mm ⁴	浸水防止壁の断面二次モーメント

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f は、「土木学会 構造力学公式集」より、次式を用いて算出する。

$$f = \frac{4.98}{\sqrt{\delta_{st} \cdot 10^{-1}}} \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、

$$\delta_{st} = \frac{w_s \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} \dots\dots\dots (4.2)$$

4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。なお、単位長さ(1000 mm)当たりで計算を行う。

表 4-2 固有振動数の計算条件

たわみ δ_{st} (mm)	浸水防止壁 の固定等分 布荷重 w_s (N/mm)	浸水防止壁 長さ L (mm)	縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)
0.1001	9.238×10^{-1}	400	2.05×10^5	1.440×10^5

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

固有振動数 f (Hz)
49.78

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止壁の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s + P_k$$

ここで、 G : 固定荷重
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重
 P_k : 風荷重

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として鋼板の自重を考慮する。

w_s : 浸水防止壁の固定等分布荷重 (N/mm)

W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)

(2) 基準地震動 S_s による地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による地震荷重を以下の式より算出する。

$$w_{S_s H} = w_s \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、 $w_{S_s H}$: 地震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)

C_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

$$P_{S_s V} = W_v \cdot C_V \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、 $P_{S_s V}$: 地震の鉛直方向の荷重 (N)

C_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(3) 風荷重 (P_k)

風の等分布荷重は、「建築基準法・同施行令」に基づき次式により算出する。

$$w_{P_k} = q \cdot C_f \cdot 1000 \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで、 w_{P_k} : 風の等分布荷重 (N/mm)

q : 速度圧 (N/mm²)

C_f : 風力係数

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止壁及び基礎ボルトの使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材料	仕様
浸水防止壁	SS400	t=12(mm)
基礎ボルト	SS400	M16

5.3.2 許容限界

(1) 浸水防止壁

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき設定した浸水防止壁の短期許容応力度を表 5-2 に示す。

表 5-2 浸水防止壁の短期許容応力度

種類	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ	せん断	組合せ
SS400	235	135	235

(2) 基礎ボルト

基礎ボルトの許容荷重は、「3. 評価対象部位」に記載した基礎ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重を表 5-3 に示す。

なお、基礎ボルトは躯体に埋め込まれていることから、引張力を受ける場合においては、基礎ボルトの降伏により決まる許容荷重及び基礎ボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、せん断力を受ける場合においては、基礎ボルトのせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重

種類	短期許容荷重(N)	
	引張	せん断
SS400	28225	25826

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止壁の固有周波数が 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止壁の耐震評価に用いる設計震度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す海水ポンプ室躯体上部における最大応答加速度を設定する。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

設置場所	床面高さ(m)	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平方向 C_H	鉛直方向 C_V
海水ポンプ室	O.P. 13.80*	6.12	2.27

注記*：基準床レベルを示す。

5.5 評価方法

浸水防止壁の耐震評価は、地震時より生じる応力度又は荷重が「5.3 許容限界」で設定した許容限界値を超えないことを確認する。

5.5.1 浸水防止壁の評価方法

浸水防止壁に生じる応力は、地震荷重を受ける片持ちはりとして、躯体と接合部に生じる曲げモーメント及びせん断力を算定し、浸水防止壁に生じる曲げ及びせん断力に対する確認を行う。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 応力算定

地震荷重、風荷重により生じる応力は、図 5-1 及び図 5-2 に示すとおり、等分布荷重が作用するものとして算定する。

a. 曲げモーメント

曲げモーメントは次式により算定する。

$$M = \frac{1}{2} \cdot (w_{S s H} + w_{P k}) \cdot H^2 \dots\dots\dots (5.4)$$

ここで、M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)

$w_{S s H}$: 地震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)

$w_{P k}$: 風の等分布荷重 (N/mm)

H : 浸水防止壁の高さ (mm)

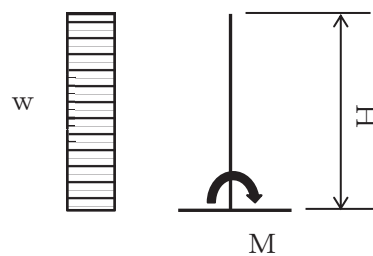


図 5-1 曲げモーメント算定モデル化

b. せん断力

せん断力は次式により算定する。

$$Q = (w_{S s H} + w_{P k}) \cdot H \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

- ここで、 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 $w_{S s H}$: 地震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
 $w_{P k}$: 風の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

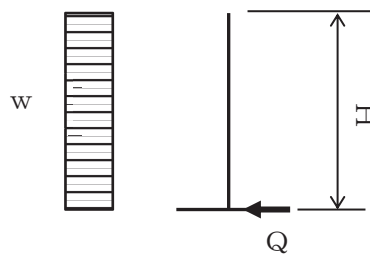


図 5-2 せん断力算定モデル化

(2) 断面検定

a. 浸水防止壁に生じる曲げ応力度

浸水防止壁に生じる曲げ応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

- ここで、 σ_b : 浸水防止壁の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 Z : 浸水防止壁の断面係数 (mm³)

b. 浸水防止壁に生じるせん断応力度

浸水防止壁に生じるせん断応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

- ここで、 τ : 浸水防止壁のせん断応力度 (N/mm²)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 A : 浸水防止壁の断面積 (mm²)

c. 浸水防止壁に生じる組合せ応力度

浸水防止壁に生じる曲げとせん断の組合せ応力度は「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式より算出し、浸水防止壁の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで、 σ : 浸水防止壁の組合せ応力度 (N/mm²)

5.5.2 基礎ボルトの評価方法

基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。基礎ボルトに生じる引張力に対する確認においては、浸水防止壁の自重による鉛直方向上向きの地震荷重を組み合わせるものとする。鉛直方向下向きに生じる荷重は、海水ポンプ室躯体により支持されるため設計に考慮しない。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 評価方法

「5.5.1 浸水防止壁の評価方法」にて算出した浸水防止壁に生じる応力を基に基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。

(2) 荷重算定

a. 基礎ボルトに生じる引張力

基礎ボルトに生じる引張力は次式より算出し、基礎ボルトの短期許容引張力を下回ることを確認する。

$$T_{b.o} = \frac{M}{b \cdot \frac{n}{2}} + \frac{P_{s.s.v} - W_v}{n} \dots\dots\dots (5.9)$$

- ここで、 $T_{b.o}$: 基礎ボルトに作用する引張力 (N)
- M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
- b : 基礎ボルト間寸法 (mm)
- $P_{s.s.v}$: 地震の鉛直方向の荷重 (N)
- W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)
- n : 基礎ボルトの本数 (本)

b. 基礎ボルトに生じるせん断力

基礎ボルトに生じるせん断力が，基礎ボルトの短期許容せん断力を下回ることを確認する。

$$Q_{b.o} = \frac{Q}{n} \dots\dots\dots (5.10)$$

- ここで， $Q_{b.o}$: 基礎ボルトに作用するせん断力 (N)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 n : 基礎ボルトの本数 (本)

c. 基礎ボルトに生じる組合せ荷重

基礎ボルトに生じる引張とせん断の組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式より算出し，1以下であることを確認する。

$$\left(\frac{T_{b.o}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{Q_{b.o}}{q_a}\right)^2 \leq 1 \dots\dots\dots (5.11)$$

- ここで， P_a : 基礎ボルトの短期許容引張力 (N)
 q_a : 基礎ボルトの短期許容せん断力 (N)

5.6 評価条件

浸水防止壁の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 に示す。

表 5-5 浸水防止壁の耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
浸水 防止壁	w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重	9.238×10^{-1}
	W_v	N	浸水防止壁の固定荷重	543.2
	q	N/mm ²	速度圧	9.598×10^{-4}
	C_f	-	風力係数	1.2
	H	mm	浸水防止壁の高さ	400
	Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数	24000
	A	mm ²	浸水防止壁の断面積	12000
基礎 ボルト	b	mm	基礎ボルト間寸法	120
	n	本	基礎ボルトの本数	6

6. 評価結果

浸水防止壁の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力度又は荷重が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 浸水防止壁の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (発生応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水 防止壁	曲げ	23	N/mm ²	235	N/mm ²	0.10 < 1
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1
	組合せ	24	N/mm ²	235	N/mm ²	0.11 < 1
基礎 ボルト	引張	1628	N	28225	N	0.06 < 1
	せん断	454	N	25826	N	0.02 < 1
	組合せ	-		-		0.01 < 1