

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-118 改2
提出年月日	平成30年7月31日

V-3-別紙 3-2-1-1 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書

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	7
2.4	適用規格	9
3.	評価対象断面及び部位	10
4.	固有振動数	11
4.1.1	基本方針	11
4.2	固有振動数の算出方法	11
4.3	固有値解析結果	12
5.	応力評価	13
5.1	基本方針	13
5.2	荷重及び荷重の組合せ	13
5.1	荷重及び荷重の組合せ	16
5.1	基本方針	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	荷重の組み合わせ	17
5.2.3	許容限界	18
5.3	応力評価方法	21
6.	強度評価結果	34

1. 概要

本資料は、V-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、鋼製防護壁止水機構が津波の繰り返し襲来に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪による荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること、及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

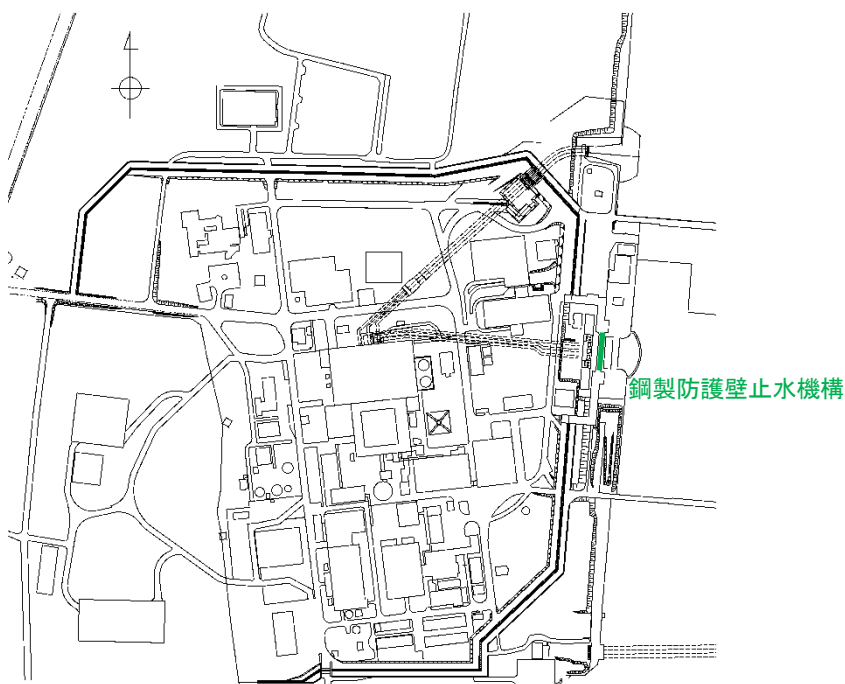
2. 基本方針

鋼製防護壁止水機構の検討対象断面位置は、V-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す「3.2 機能維持の方針」を踏まえて選定する。

鋼製防護壁止水機構の「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 位置

鋼製防護壁止水機構の位置図を第2-1図に示す。



第2-1図 鋼製防護壁止水機構 位置図

2.2 構造概要

鋼製防護壁と既設取水路間の止水構造は、津波による荷重、鋼製防護壁と取水路の相対変位に対する追従性を確保する必要があることから、止水板が可動できるよう止水板を押えて支持する構造とし、止水板の底面と側面に設置した水密ゴムにて水密性を確保する構造とする。

水密ゴムは、摩擦抵抗を低減し追従性を向上させるため、表面ライニング（樹脂）を施工した構造とする。

また、止水板には漂流物による影響も考慮し、止水板押えを設置する。

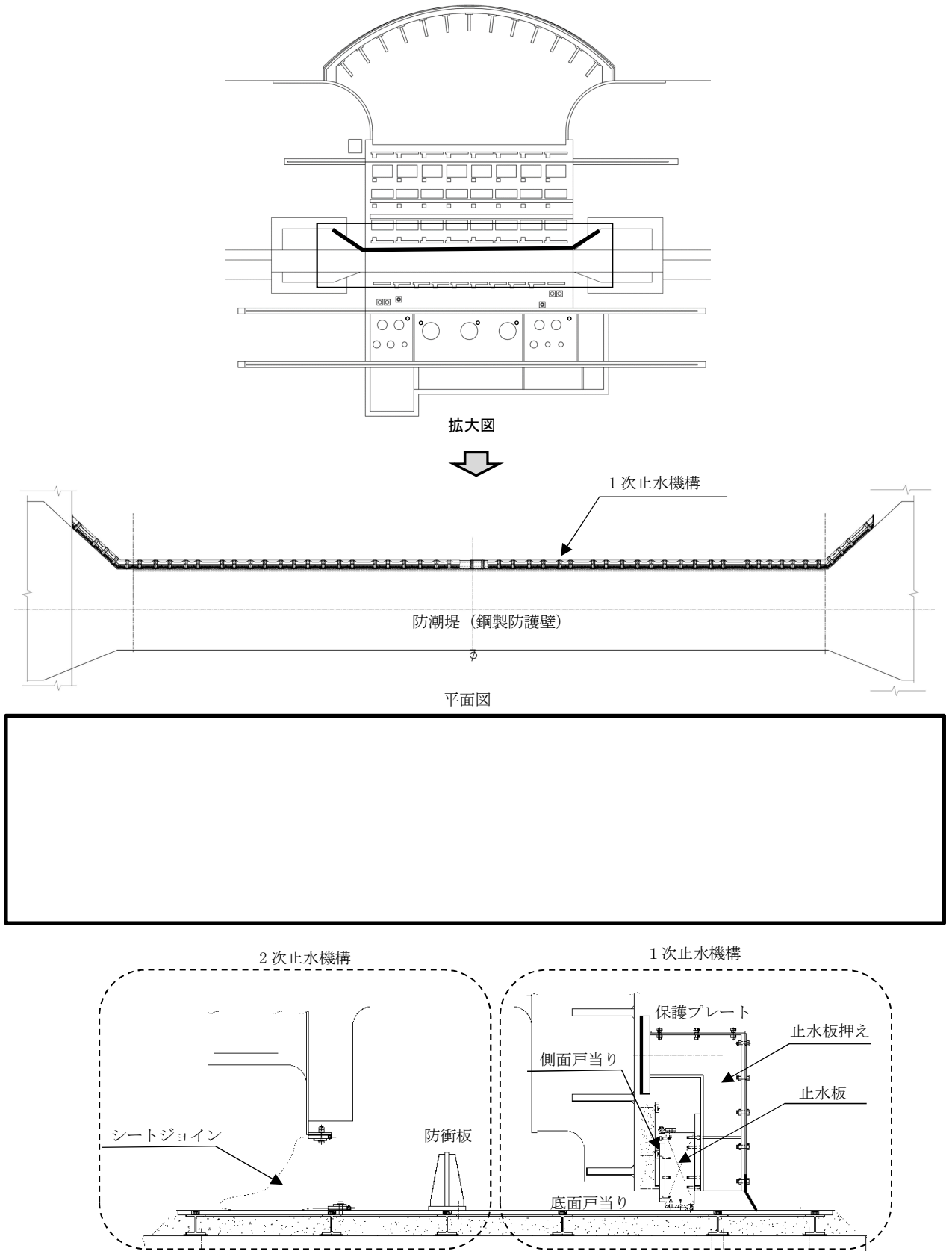
なお、止水板からの微少な漏えいも考慮し、敷地内に浸水させないよう陸側にシートジョイントからなる2次止水機構を設置する構造とする。

表2-1に鋼製防護壁止水機構の主要要目、第2-2図に止水機構の設置位置及び構造図、第2-2表に止水機構に係る各部位の役割・機能を示す。

第2-1表 鋼製防護壁 止水機構 主要要目表

名 称		鋼製防護壁	
		止水機構	
種 類	—	津波防護設備	
主 要 寸 法	止 水 板 長 さ	mm	2000* / 1990*
	止 水 板 高 さ	mm	400*
	止 水 板 厚 さ	mm	150
材 料	—	SUS304	
個 数	—	27	

注記 *：公称値を示す。



第2-2図 止水機構の設置位置及び構造図

表2-2 1次止水機構に係る各部位の役割・機能

各部位の役割・機能については以下のとおり。名称は下図に示す。

	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
止水機構のうち1次止水機構	止水板等により構成する	止水板は、取水路上版に垂直に設置され、鋼製防護壁に設置された止水板押えにより支持される。	

表2-2 2次止水機構に係る各部位の役割・機能

各部位の役割・機能については以下のとおり。名称は下図に示す。

	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
止水機構のうち2次止水機構	シートジョイント等により構成する	シートジョイントは、取水上版と鋼製防護壁に固定されたボルトにより固定される。	

2.3 評価方針

鋼製防護壁止水機構は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

鋼製防護壁止水機構の強度評価は、V-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」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、鋼製防護壁止水機構の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「3. 強度評価方法」に示す方法により確認する。

鋼製防護壁止水機構の強度評価フローを第 2-3 図に示す。

鋼製防護壁止水機構の健全性評価においては、その構造を踏まえ、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

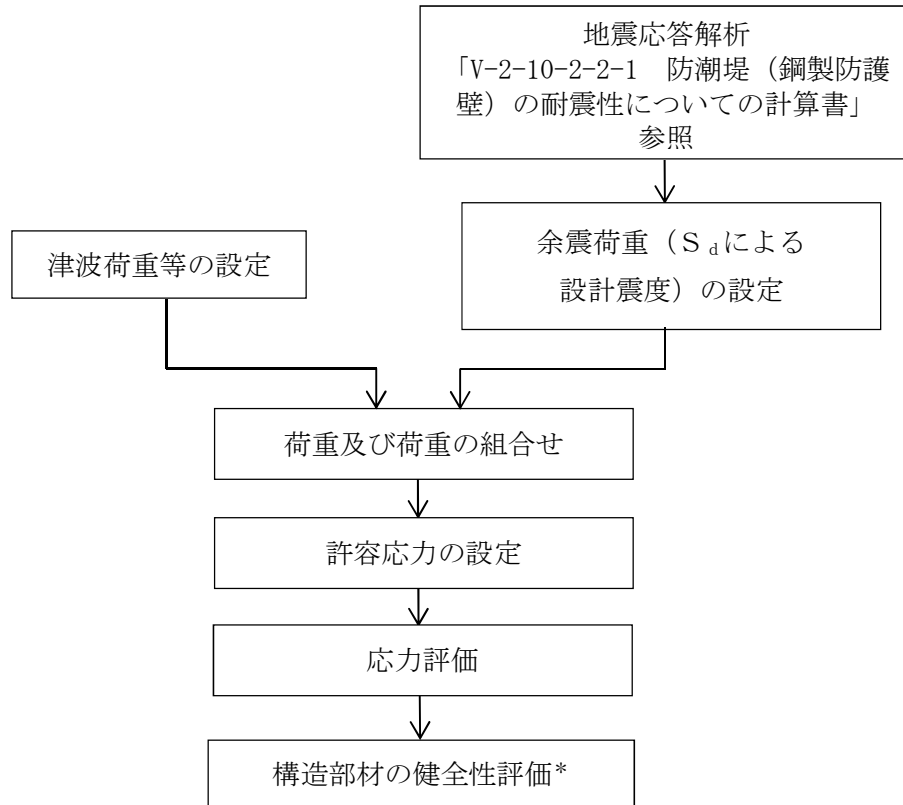
1次止水機構の健全性評価は、津波時においては荷重を静的に作用させる梁モデルにより、止水板、支圧板、止水板押え、保護プレート、取付ボルト、座板について、各部材に発生する応力を算定し、2次止水機構ではシートジョイントの引張応力が許容限界以下であることを確認する。

許容限界は、評価対象部位の損傷モードごとに設定し、1次・2次止水機構においては短期許容応力度とする。

重畳時においては、地震応答解析により設定した設計用震度を用いた静的解析により、鋼製防護壁止水機構に発生する応力を算定し、許容限界以下であることを確認する。

鋼製防護壁止水機構に対する重畳時の設計震度は、解放基盤面で定義される弾性設計用地震動を、1次元波動論による手法によって地震応答解析モデルの底面で評価し、鋼製防護壁の3次元動的解析から得られる応答加速度を用いて算出する。

鋼製防護壁の強度については、V-3-別添 3-2-1「防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書」において説明する。



注記 *：構造部材の健全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」を満足することを確認する。

図 2-3 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
- ・ 水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第 5 回改訂版]
（社）電力土木技術協会，平成 29 年）
- ・ ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（社）ダム・施設技術基準協会 平成 25 年 6 月）
- ・ 汚濁防止膜技術資料(案)（一財）港湾空港総合技術センター(平成 25 年 9 月)

3. 評価対象断面及び部位

鋼製防護壁止水機構の評価対象断面は、V-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象を踏まえて設定する。

鋼製防護壁止水機構のうち1次止水機構は、止水板、支圧板、止水板押え、保護プレート、取付ボルト、座板について評価する。

2次止水機構は、防衝板及びシートジョイントについて評価する。

図3-1に止水機構の評価部位について示す。

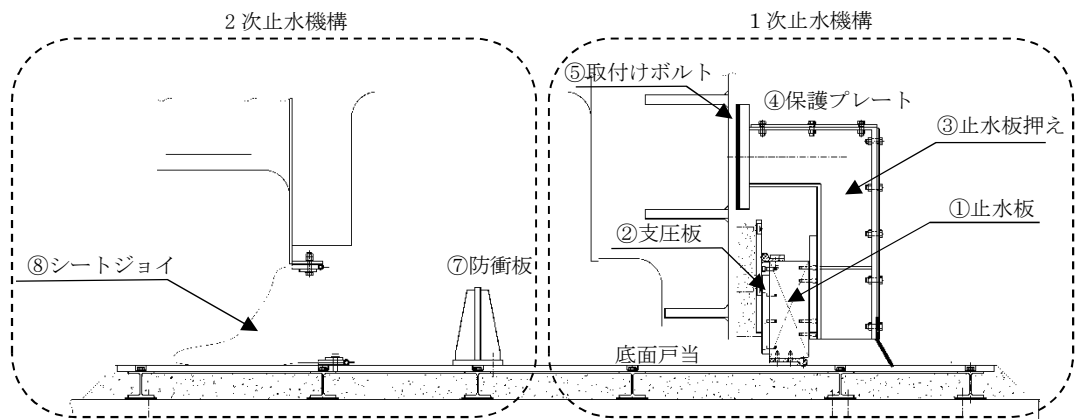


図3-1 止水機構の配置図

4. 固有振動数

4.1.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは、単純支持梁モデルとして計算する。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

4.2.1 記号の説明

止水機構のうち止水板と止水板押えの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 止水板と止水板押えの固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
L	スパン長	m
m	止水板, 止水板押え自重	kg/m
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	断面二次モーメント	cm ⁴
λ_n	支持条件 (単純支持梁, 1 次モード)	—

4.2.2 固有振動数の算出方法

止水機構のうち止水板と止水板押えを単純支持梁としてモデル化し、固有振動数 f を以下の式より算出する。

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

4.2.3 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(1/2) 止水板の固有振動数の計算条件

止水板の材質	スパン長 L (m)	止水板の 自重 m (kg/m)
SUS304N2	1.99	480

縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (cm ⁴)
197,000	10,350

表 4-2(2/2) 止水板押えの固有振動数の計算条件

止水板押えの 材質	スパン長 L (m)	止水板押えの 自重 m (kg/m)
SM490	1.125	870

縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (cm ⁴)	支持条件 λ n (-)
205,000	6658 / 1324	

4.3 固有値解析結果

固有振動数算出により、止水機構のうち止水板と止水板押えの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認した。表 4-3 に固有振動数の算出結果を示す。

表 4-3 固有振動数の算出結果

止水板の固有振動数 (Hz)	止水板押えの固有振動数 (Hz)
39.08	39.26

5. 応力評価

5.1 基本方針

止水機構の強度評価は、V-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

止水機構の強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.2.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.4 応力評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

5.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、止水機構各部位の自重 (W_g) を考慮する。

(2) 静水圧 (P_s)

津波時の止水機構各部位への作用静水圧を考慮する。静水圧の荷重作用図を図 5-1 に示す。

$$P_s = \{H_s(p_u + p_d) B\} / 2$$

$$p_u = W_1 \cdot H_2$$

$$p_d = W_1 \cdot H_1$$

ここで、 H_s : 水密高 (m)

H_1 : 津波時の下端止水位置までの水深 (m)

H_2 : 津波時の上端止水位置までの水深 (m)

B : 水密幅 (m)

W_1 : 水の単位体積重量 (kN/m^3)

p_u : 津波時の上端止水位置までの水深による作用水圧 (kN/m^2)

p_d : 津波時の下端止水位置までの水深による作用水圧 (kN/m^2)

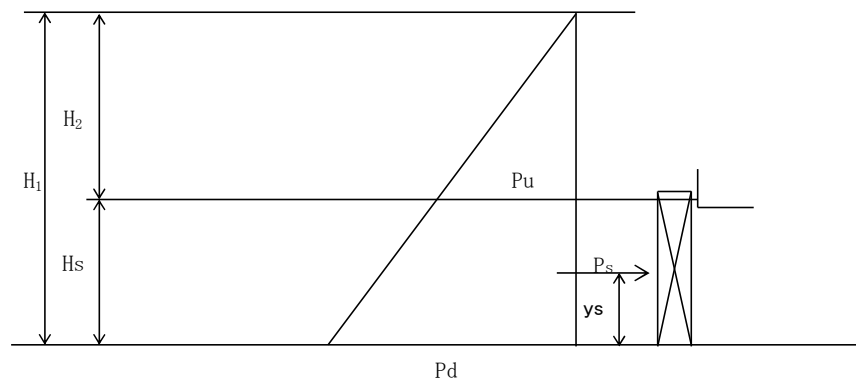


図 5-1 静水圧の荷重作用図

(3) 衝突荷重

衝突荷重として、表 5-1 に示す 0.69 t 車両の FEMA (2012) *式による漂流物荷重を考慮する。

注記 * : FEMA : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 5-1 衝突荷重

	流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
基準津波時	11	759

(4) 余震荷重 (K_H , K_V)

余震荷重は、添付資料 V-3-別添 3-1 「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力 (地震時動水圧含む。) とする。

「4.3 固有振動数の計算結果」に示したとおり止水機構 (止水板, 止水板押え) の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、耐震計算に用いる設計震度は、添付資料 V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に示す鋼製防護壁における最大応答加速度を用いる。止水機構各部位の耐震計算に用いる設計震度を表 5-2 に示す。

表 5-2 設計用地震力 暫定

地震動	設置場所及び床面高さ (T. P. m)	地震による設計震度	
余震時	止水機構 +3.1	水平方向 K_H	0.41
		鉛直方向 K_V	0.35

(5) 地震時動水圧 (P_e)

余震時の止水機構各部位に作用する動水圧を考慮する。地震時動水圧の荷重作用図を図 5-2 に示す。

$$P_e = 7/12 \cdot W_1 \cdot K_H \cdot \sqrt{H_3} \cdot (\sqrt{H_4^3} - \sqrt{H_5^3}) \cdot B$$

ここで、 H_3 : 水密高さ (m)

H_4 : 余震時基礎地盤までの深さ (m)

H_5 : 余震時設計水深 (m)

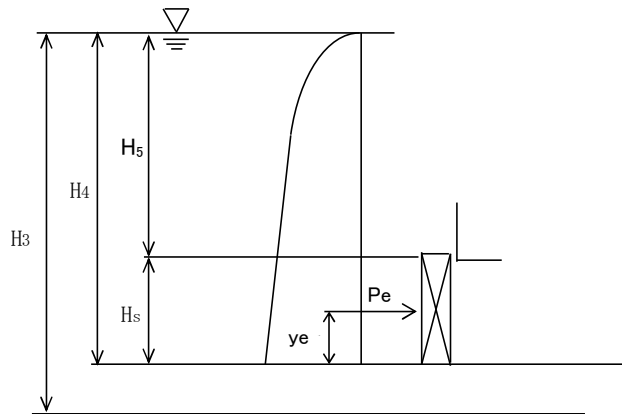


図 5-2 地震時動水圧の荷重作用図

(6) 地震時慣性力 (I_{gi})

津波時・余震時の止水機構各部位への自重による慣性力を考慮する。

$$I_{gi} = W_g \cdot K_H$$

(7) 積雪荷重 (W_s)

津波時・余震時とも止水機構各部位への積雪荷重を考慮する。

$$W_s = q_s \cdot D_s \cdot B_s$$

ここで、 q_s : 積雪深 30cm のときの単位積雪荷重 (kN/m²)

D_s : 各部位の総桁高 (m)

B_s : 各部位の受圧幅 (m)

5.1 荷重及び荷重の組合せ

5.1 基本方針

止水機構の強度評価は、V-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

止水機構の強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.2.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.4 応力評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

(1) 荷重設定

荷重強度には、以下の荷重を用いる。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

b. 静水圧 (P_s)

津波時の止水機構各部位への作用静水圧を考慮する。

$$P_s = \{H_s(p_u + p_d)B\} / 2$$

$$p_u = W_1 \cdot H_2$$

$$p_d = W_1 \cdot H_1$$

c. 動水圧 (P_e)

余震時の止水機構各部位への作用動水圧を考慮する。

$$P_e = 7/12 \cdot W_1 \cdot K_H \cdot \sqrt{H_3} \cdot (\sqrt{H_4^3} - \sqrt{H_5^3}) \cdot B$$

d. 地震時慣性力 (I_{gi})

余震時の止水機構各部位への自重による慣性力を考慮する。

$$I_{gi} = W_g \cdot K_i$$

e. 積雪荷重 (W_s)

津波時・余震時とも止水機構各部位への積雪荷重を考慮する。

$$W_s = q_s \cdot D_s \cdot B_s$$

f. 衝突荷重 (P_c)

津波時は漂流物による衝突荷重を集中荷重として考慮する。

5.2.2 荷重の組み合わせ

鋼製防護壁止水機構の設計に考慮する荷重の組み合わせを表 5-2 に、静水圧と動水圧の荷重用作用図を図 5-3、図 5-4 に示す。

表 5-2 荷重の組み合わせ

ケース	荷重の組み合わせ
基準津波時	$G + P_s + W_s + P_c$
余震+基準津波時	$G + P_s + P_e + I_{gi} + W_s$

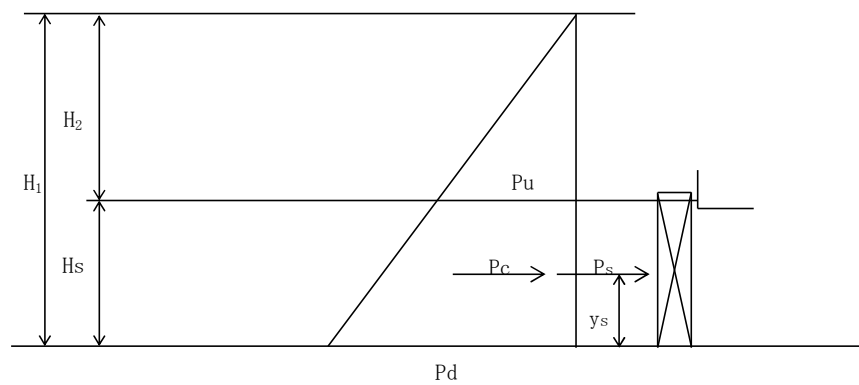


図 5-3 静水圧の荷重用作用図

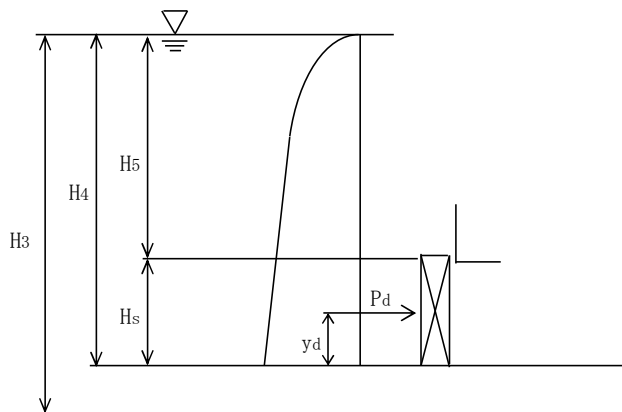


図 5-4 動水圧の荷重用作用図

5.2.3 許容限界

鋼製防護壁止水機構の許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象断面の機能損傷モードを考慮し、V-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 鋼製防護壁止水機構の許容限界

評価位置において止水板など鋼材の曲げ応力、せん断応力が許容限界以下であることを確認する。

許容応力度については、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会、平成24年3月）」に基づき、第3-3表のとおり設定する。なお、第3-3表に示す許容応力度は短期許容応力度とし、短期許容応力度は耐震設計上考慮する荷重が地震荷重であることを考慮し許容応力度について、基準津波時及び余震＋基準津波時に対しては1.5倍の割増しを考慮する。

5.2.2 許容応力

止水機構の許容限界を表5-3に、許容応力評価条件を表5-3に、止水機構の許容応力算出結果を表5-4、表5-5にそれぞれ示す。

表 5-3 止水機構の許容限界

許容応力状態	許容限界*1				
	1次応力				
	曲げ	圧縮	引張	せん断	支圧
短期許容応力度	$1.5 \sigma_{ab}^{*2}$	$1.5 \sigma_{ac}^{*2}$	$1.5 \sigma_{at}^{*2}$	$1.5 \tau_a^{*2}$	$1.0 \sigma_{as}^{*3}$

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：許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会 平成25年6月）」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 5-4 止水機構各部位の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	$\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{ac}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{at}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\tau_a^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{as}^{*1,2}$ (N/mm ²)
①止水板	SUS304	200	—	—	120	—
②支圧板	UPE	—	—	—	—	13
③止水板押え (正面／上部)	SM570	268／255	186	—	144	—
④保護プレート	SUS304	122	—	—	70	—
⑤取付けボルト	炭素鋼	—	—	360	200	—
⑥座板	SM570	255	—	—	144	—
⑦防衝板	SUS304	122	—	—	70	—

表 5-5 止水機構各部位の許容応力算出結果

許容応力 状態	評価対象部位	許容限界				
		1次応力				
		曲げ (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	引張 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	支圧 (N/mm ²)
短期許容 応力度	①止水板	300	—	—	180	—
	②支圧板	—	—	—	—	19
	③止水板押え (正面／上部)	402／382	279	—	217	—
	④保護プレート	183	—	—	104	—
	⑤取付けボルト	—	—	540	300	—
	⑥座板	382	—	—	217	—
	⑦防衝板	183	—	—	104	—

(2) シートジョイントの許容限界

評価位置においてシートジョイントについては膜材および固定部の引張強度が許容限界以下であることを確認する。

許容応力度については、実測値とその安全率に基づき設定する。なお、表 5-5 に示す許容応力度は短期許容応力度とし、短期許容応力度は耐震設計上考慮する荷重が地震荷重であることを考慮し許容応力度について、基準津波時及び余震+基準津波時に対しては 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-5 シートジョイントの許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (kN/30cm)
膜材および 固定部	ポリエステル繊維 (#800 二重) 補強ベルト (100×2 t 両面)	引張強度	60

5.3 応力評価方法

鋼製防護壁止水機構の評価方法は、V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

5.3.1 記号の説明

強度評価に用いる記号を表5-6に示す。

表 5-6 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P_s	kN/m^2	静水圧
P_e	kN/m^2	動水圧
I_{gi}	$kN \cdot m/s^2$	地震時慣性力
W_s	kN	積雪荷重
P_c	kN	衝突荷重
P_H	kN/m	水平荷重
P_V	kN/m	鉛直荷重
h	m	設計水深
W	kN	部材自重
A	m^2	各部材の断面積
σ_p	N/mm^2	支圧板に生じる支圧応力度
P_p	kN	支水板に作用する全荷重
b	mm	支圧板の幅
Ls	mm	荷重を受ける支圧板の長さ
W	kN	止水板押えの自重及び保護プレートの自重
Q_1, Q_2	kN	止水板押えの梁の半分（張出し分）に作用する荷重
a, b, c, d	m	止水板押えの寸法
W	kN	保護プレート自重
a	mm	保護プレートの最大取付け長さ（鉛直，水平）
w	kN	保護プレートの流送物の重量
v	m/s	保護プレートの表面流速
Mw	$kN \cdot m$	保護プレートの水平荷重による最大曲げモーメント
Mp	$kN \cdot m$	保護プレートの衝突荷重による最大曲げモーメント
M	$kN \cdot m$	保護プレートの最大曲げモーメント

表 5-6 強度評価に用いる記号(2/2)

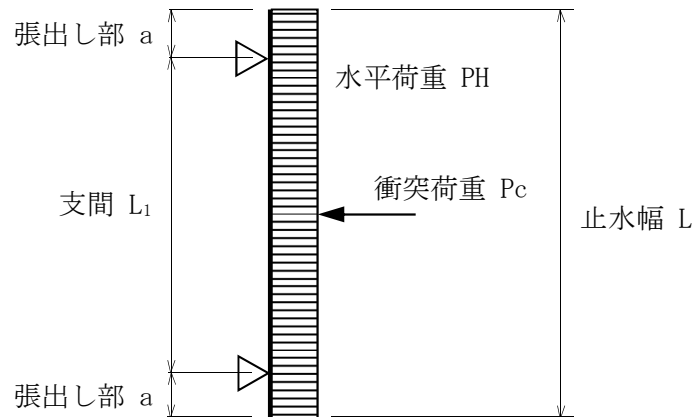
記号	単位	定義
S_w	kN	保護プレートの水平荷重による最大せん断力
S_p	kN	保護プレートの衝突荷重による最大せん断力
S	kN	保護プレートの最大せん断力
F	kN	止水板押え取付けボルト曲げによって作用する引抜き力
F_1	kN	止水板押え取付けボルト 1 本に作用する引抜き力
M	kN・m	止水板押え取付けボルトの最大曲げモーメント
R_{ha}	kN	止水板押え取付けボルトの水圧荷重と衝突荷重による作用反力
b	m	止水板押え取付けボルトの間隔
n	本	止水板押え取付けボルトの全数
n_1	本	止水板押え取付けボルトの片側の本数
n_2	本	止水板押え取付けボルト全数/2
δ_t	N/mm ²	止水板押え取付けボルト 1 本あたりの引張り応力度
τ	N/mm ²	止水板押え取付けボルト 1 本あたりのせん断応力度
F_1	kN	止水板押え取付けボルト 1 本に作用する引抜き力
A	mm ²	止水板押え取付けボルトの有効断面積
S	kN	止水板押え取付けボルトの最大せん断力
M	kN・m	座版の取付けボルトの最大曲げモーメント
F_1	kN	座版の取付けボルト 1 本に作用する引き抜き力
t	Mm	座版の板厚
τ	N/mm ²	座版のせん断応力度
S	kN	座版の最大せん断力
σ	N/mm ²	座版の曲げ応力度
n_2	本	座版のせん断力を受け持つ取付けボルト本数
T	kN/m	膜に発生する最大張力
a	m	膜の径間距離 L_1 の 1/2
δ	mm	膜の最大たわみ
P	kN/m ²	膜の作用水圧
L_1	M	膜の径間距離
L_2	m	膜の最大スパン長

5.4.2 応力計算

(1) 止水板

止水板は、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、止水板と壁面戸当りとの接触位置を支点とする両端をピン支点の単純梁によりモデル化する。

止水板のモデル図を図 5-5 に示す。



$$PH = P_s + P_e + I_{gi}$$

ここに、

PH : 水平荷重 (kN/m)

P_s : 津波波圧 (kN/m)

P_e : 動水圧荷重 (kN/m)

I_{gi} : 地震時慣性力 (kN/m)

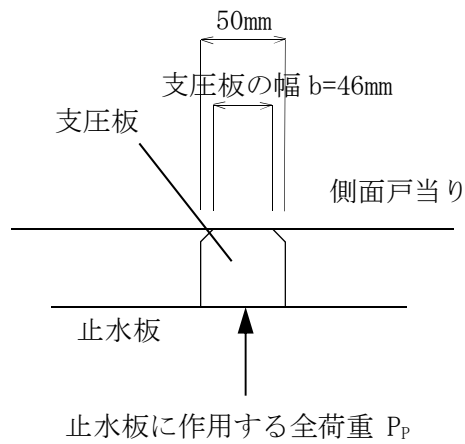
P_c : 衝突荷重 (kN)

図 5-5 止水板のモデル図

(2) 支圧板

支圧板は、前項の止水板の作用力を側面戸当りに伝達するものとして支圧応力を評価する。

支圧板のモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。



$$\sigma_p = \frac{P_p}{2 \cdot b \cdot L_s} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

ここに、

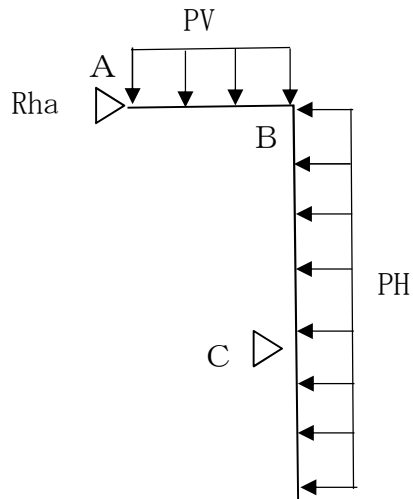
- σ_p : 支圧応力度
- P_p : 止水板に作用する全荷重
- b : 支圧板の幅
- L_s : 荷重を受ける支圧板長さ = 2280 mm

図 5-6 支圧板のモデル図及び応力算定式

(3) 止水板押え

止水板押えは、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、鋼製防護壁との取付け箇所をピン支点としました、止水板との接地箇所を鉛直ローラーとして骨組計算により曲げ応力及びせん断応力を算定する。

止水板押えのモデル図及び応力算定式を図 10-7 に示す。



$$PV = W + P_s + P_e + I_{gi} + W_s$$

PV : 鉛直荷重 (kN/m)

PH : 垂直荷重 (kN/m)

W : 止水板押え自重及び保護プレート自重

P_s : 津波波圧 (kN)

P_e : 動水圧荷重 (kN/m)

I_{gi} : 地震時慣性力 (kN/m)

W_s : 積雪荷重 (kN)

Q_1 : 梁の半分 (張出分) に作用する荷重 (kN)

M_b : B点曲げモーメント (kN・m)

M_c : C点曲げモーメント (kN・m)

R_{ha} : A点の圧縮荷重 (kN)

S_{cb} : せん断応力度 (kN)

A_w : 腹板の断面積

< 応力度の計算 >

- ・ 正面止水板押え

$$\sigma_M = M_c / Z \quad (\text{N/mm}^2)$$

- ・ 上部止水板押え

$$\sigma_b = M_b / Z \quad (\text{N/mm}^2)$$

- ・ 上部圧縮応力度

$$\sigma_N = R_{ha} / A \quad (\text{N/mm}^2)$$

- ・ せん断応力度

$$\tau = S_{cb} / A_w \quad (\text{N/mm}^2)$$

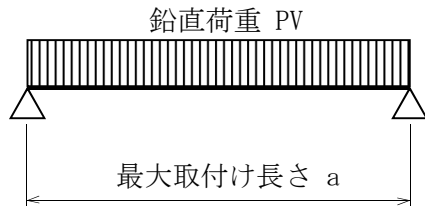
図 5-7 止水板押えのモデル図及び応力計算式

(4) 保護プレート

保護プレートは、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、保護プレートの取付け位置を支点とする両端をピン支点の単純梁によりモデル化する。

保護プレートのモデル図及び応力算定式を第図 10-8 に示す。

上面保護プレート



$$M = \frac{PV \cdot a^2}{8} \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

$$S = \frac{PV \cdot a}{2} \text{ (kN)}$$

$$PV = W + P_s + P_e + I_{gi} + W_s$$

ここに、

PV : 鉛直荷重 (kN/m)

W : 保護プレート自重

P_s : 津波波圧

P_e : 動水圧荷重

I_{gi} : 地震時慣性力

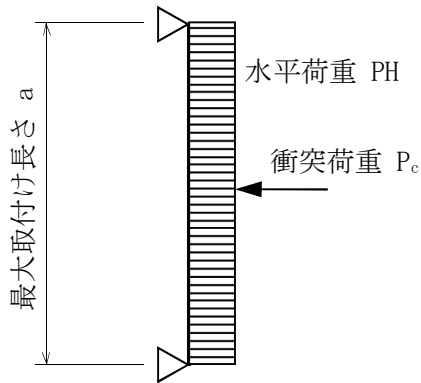
W_s : 積雪、降灰荷重

a : 最大取付け長さ = 1.40 m

M : 最大曲げモーメント

S : 最大せん断力

正面保護プレート



$$M_w = \frac{PH \cdot a^2}{8} \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

$$M_p = \frac{P_c \cdot a}{4} \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

$$M = M_w + M_p$$

$$S_w = \frac{PH \cdot a}{2} \text{ (kN)}$$

$$S_p = \frac{P_c}{2} \text{ (kN)}$$

$$S = S_w + S_p$$

$$PH = P_s + P_e + I_{gi}$$

$$P_c = 0.1 \cdot w \cdot v$$

ここに、

PH : 水平荷重 (kN/m)

P_s : 津波波圧

(設計津波高さ : T.P. +24.0m)

P_e : 動水圧荷重

I_{gi} : 地震時慣性力

P_c : 衝突荷重

(津波遡上高さ : T.P. +24.0m)

w : 流送物の重量 (流木)

v : 表面流速

(PRA(+24m)津波)

a : 最大取付け長さ = 1.40 m

M_w : 水平荷重による最大曲げモーメント

M_p : 衝突荷重による最大曲げモーメント

M : 最大曲げモーメント (kN・m)

S_w : 水平荷重による最大せん断力

S_p : 衝突荷重による最大せん断力

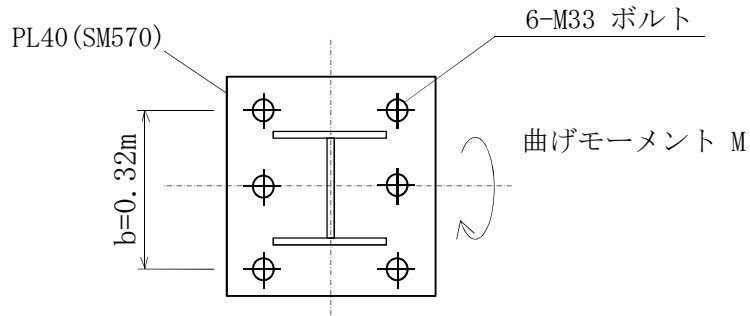
S : 最大せん断力 (kN)

図 5-8 保護プレートのモデル図及び応力算定式

(5) 取付けボルト

止水板押えと鋼製防護壁との取付け箇所についてはボルト接続であるため、取付け箇所に作用する曲げ応力及びせん断応力からボルト1本当りに作用する引張応力度とせん断応力度を算出して評価する。

取付けボルトのモデル図及び応力算定式を第図 10-9 に示す。



$$F = \frac{M}{b} \quad (\text{kN})$$

$$F_1 = \frac{F}{n_1} + \frac{R_{ha}}{n} \quad (\text{kN})$$

ここに、

- F : 曲げによって作用する片側の引抜き力 (kN)
- F₁ : 取付けボルト1本に作用する引抜き力 (kN)
- M : 最大曲げモーメント (kN・m)
- b : ボルト間隔 (m)
- R_{ha} : 水圧荷重と衝突荷重による作用反力 (kN)
- n : 取付けボルト全数
- n₁ : 取付けボルト片側の本数

$$\sigma_t = \frac{F_1}{A} \times 1000$$

$$\tau = \frac{S}{n_2 \cdot A} \times 1000$$

ここに、

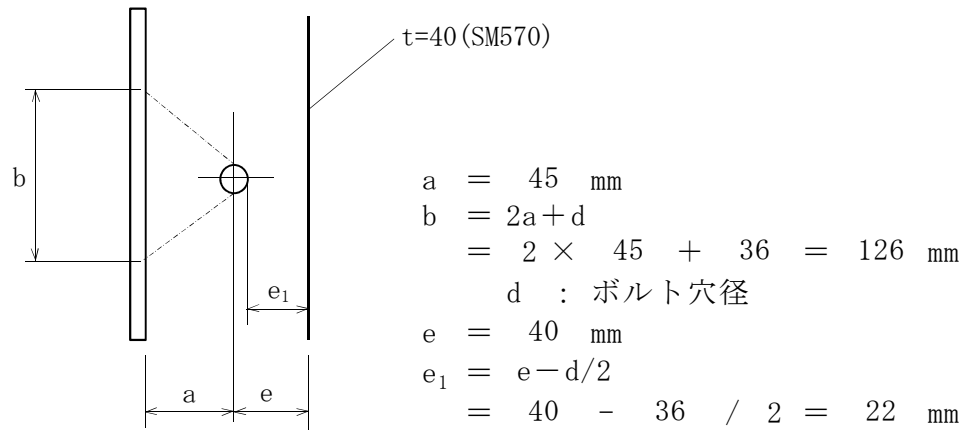
- σ_t : 取付けボルト1本当りの引張応力度 (N/mm²)
- τ : 取付けボルト1本当りのせん断応力度 (N/mm²)
- F₁ : 取付けボルト1本に作用する引抜き力 (kN)
- A : 取付けボルトの有効断面積 = 694 (mm²)
- S : 最大せん断力 (kN)
- n₂ : 取付けボルト全数/2 = 3 本
(半数にて荷重を受け持つ)

図 5-9 取付けボルトのモデル図及び応力算定式

(6) 座板

座板は、前項の取付けボルトに作用する引抜き力及びせん断力から曲げ応力度とせん断応力度を算出して評価する。

座板のモデル図及び応力算定式を第図 5-10 に示す。



$$\begin{aligned}
 M &= F_1 \cdot a \\
 \sigma &= \frac{M}{Z} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2} \\
 \tau &= \frac{S}{n_2 \cdot e_1 \cdot t}
 \end{aligned}$$

ここに、

- M : 取付けボルト1本に作用する曲げモーメント (kN・m)
- F_1 : 取付けボルト1本に作用する引抜き力 (kN)
- σ : 座板の曲げ応力度 (N/mm²)
- t : 板厚 (腐食代片面1mm、両面2mm控除) = 38.0 mm
- τ : 座板のせん断応力度 (N/mm²)
- S : 最大せん断力 (kN)
- n_2 : せん断力を受け持つ取付けボルト本数 = 3 本

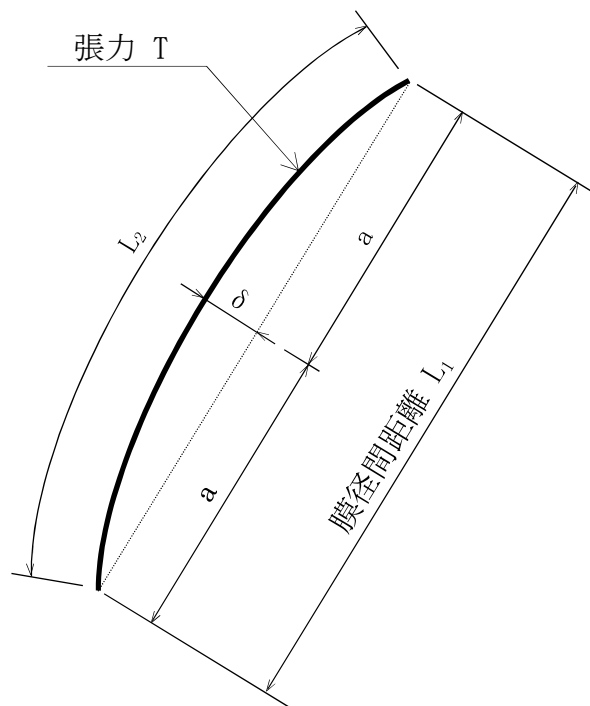
図 5-10 座板のモデル図及び応力算定式

【2次止水機構】

(1) シートジョイント

シートジョイントは、一般財団法人 港湾空港総合技術センター発行(平成 25 年 9 月)の「汚濁防止膜技術資料(案)」を参考に計算するものとする。膜材に発生する最大張力(T)は、「汚濁防止膜技術資料(案)」のカーテン部の性能照査と同様、以下の式を用いて求める。膜のスパン長 L_2 の算出においては、 L_2 が最大となるようにひずみ δ を決定する。

シートジョイントのモデル図及び張力算定式を第図 5-11 に示す。



$$T = \frac{P \cdot a}{2 \cdot \delta} \cdot \sqrt{a^2 + 4 \cdot \delta^2}$$

$$L_2 = L_1 \cdot \left(1 + \frac{8}{3} n^2 - \frac{32}{5} n^4 \right)$$

$$n = \frac{\delta}{L_1}$$

ここに、

T : 膜に発生する最大張力 (kN/m)

a : 膜径間距離 (L_1) の1/2(m)

δ : たわみ量(m)

P : 作用水圧 (kN/m²)

L_1 : 膜径間距離 = 0.56 m

L_2 : 膜の最大スパン長(m)

図 5-11 止水膜のモデル図及び張力算定式

5.5 応力評価条件

表 5-7(1/2) 止水機構の強度評価に用いる条件

(1) 止水板の評価条件

止水板の材質	止水板の固定荷重 G (kN)	止水板の 地震時慣性力 鉛直荷重 I_{g1} (kN/m)	止水板の 地震時慣性力 水平荷重 I_{g1} (kN/m)
SUS304	9.3	1.6	1.9

止水板の津波波圧 P _s (kN/m)	止水板の動水圧荷重 P _e (kN/m)	止水板の 漂流物の衝突荷重 P _c (kN)
96.2	23.5	759

(2) 支圧板の評価条件

支圧板の材質	支圧板にかかる 全荷重 基準津波 P _p (kN)	支圧板にかかる 全荷重 重畳時 P _p (kN)	支圧板の幅 b (mm)
超高分子量 ポリエチレン	838.8	100.9	46

支圧板の荷重を受け る長さ L _s (m)
2.3

(3) 止水板押えの評価条件

止水板押え間隔の長い 1500mm の計算を実施する。

止水板押えの計算には保護プレートの自重も考慮する。

止水板押えの材質	止水板押えの 固定荷重 W (kN/m)	止水板押えの 積雪荷重 Ws (kN/m)	止水板押えの 地震時慣性力 鉛直荷重 I _{g1} (kN/m)
SM570	8.5	0.2	3.0

止水板押えの 地震時慣性力 水平荷重 I _{g1} (kN/m)	止水板押えの 動水圧 (鉛直) Ps (kN/m)	止水板押えの 津波波圧 (水平) Pe (kN/m)	止水板押えの 漂流物の衝突荷重 Pc (kN)
3.5	55.2	64.1	759

(4) 保護プレートの評価条件

保護プレート間隔の長い 1400mm の計算を実施する。

保護プレートの材質	保護プレートの 固定荷重 W (kN/m)	保護プレートの 積雪荷重 Ws (kN/m)	保護プレートの 地震時慣性力 鉛直荷重 I _{g1} (kN/m)
SM570	1.6	0.1	0.6

保護プレートの 地震時慣性力 水平荷重 I _{g1} (kN/m)	保護プレートの 静水圧荷重 (鉛直) Ps (kN/m)	保護プレートの 静水圧荷重 (水平) Ps (kN/m)	保護プレートの 動水圧荷重 (鉛直) Pe (kN/m)
0.7	121.3	209.7	26.5

保護プレートの 動水圧荷重（水平） Pe (kN/m)	保護プレートの 漂流物の衝突荷重 (鉛直) Ps (kN)
51.3	0.2

(5) 据付けボルト

ボルトの材質	ボルトの有効断面積 A (mm)	曲げモーメントによ る引き抜き力 F (kN)	ボルト間隔 b (mm)
炭素鋼	694	-169.4	0.32

曲げモーメントによ る引き抜き力 M (kN・m)	水圧荷重と衝撃荷重 による作用反力 R _{ha} (kN)	取付けボルトの 全数 n (本)	取付けボルトの 片側の本数 n ₁ , n ₂ (本)
-54.2	-555.7	6	3

(6) 座板

座板の材質	座板の板厚 t (mm)	取付けボルト 1 本に 作用する引き抜き力 F1 (kN)	取付けボルト 1 本に 作用する曲げモーメント M (kN・m)
SM570	40	177.3	7978.5

取付けボルトの 全数 n (本)	取付けボルトの 片側の本数 n ₁ (本)
6	3

(7) シートジョイント

シートジョイントの 材質	膜径間距離 A1 の 1/2 α (m)	たわみ量 σ (m)	水圧 P1 (kN/m ²)
ポリエステル繊維膜 材(#800 二重) 補強ベルト (100×2 t 両面)	0.335	0.31	334.5

6. 強度評価結果

止水機構の各部材における応力評価結果（津波時，重畳時）を表 6-1 にシートジョイントの応力評価結果を表 6-2 に示す。

止水機構の発生応力は許容応力以下であることを確認した。

表 6-1 止水機構の各部材における応力評価結果（津波時／重畳時）

No	部 位	評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)
①	止水板	曲 げ	181/11	300
		せん断	15/2	300
②	支圧板	支 圧	8/1	19
③	止水板押え	曲げ（正面）	268/—	402
		曲げ（上部）	63/77	382
		圧縮（上部）	80/—1	279
		せん断（正面）	162/—	217
		せん断（上部）	32/—	217
④	保護プレート	曲 げ（正面）	65/81	183
		せん断（正面）	23/29	104
		曲 げ（上面）	65/80	183
		せん断（上面）	22/27	104
⑤	取付けボルト	引張り	255	540
		せん断	67	300
⑥	座板	曲げ	263	382
		せん断	56	217
⑦	防衝板	曲げ	131	183
		せん断	4	104

表 6-2 止水機構のシートジョイントにおける応力評価結果（基準津波時／重畳時）

No	部 位	評価応力	発生張力 (kN/30cm)	許容 引張り強さ (kN/30cm)
⑧	シートジョイント	引張り	38	60