

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5
提出年月日	平成30年9月12日

V-3-別添 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.	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	7
2.4	適用基準	9
2.5	記号の説明	10
3.	評価部位	13
4.	固有周期	14
4.1	固有周期の計算方法	14
4.2	固有周期の計算条件	14
4.3	固有周期の計算結果	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	20
5.4	設計用地震力	24
5.5	計算方法	25
5.6	計算条件	38
6.	評価結果	45

1. 概要

本資料は、添付書類「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」に基づき、鋼製防護壁止水機構が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を保持することを確認するものである。

津波荷重については、基準津波による津波荷重を考慮した評価と敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

鋼製防護壁止水機構は、鋼製防護壁と既設取水路間に設置する。

鋼製防護壁止水機構の配置位置を図 2-1 に示す。

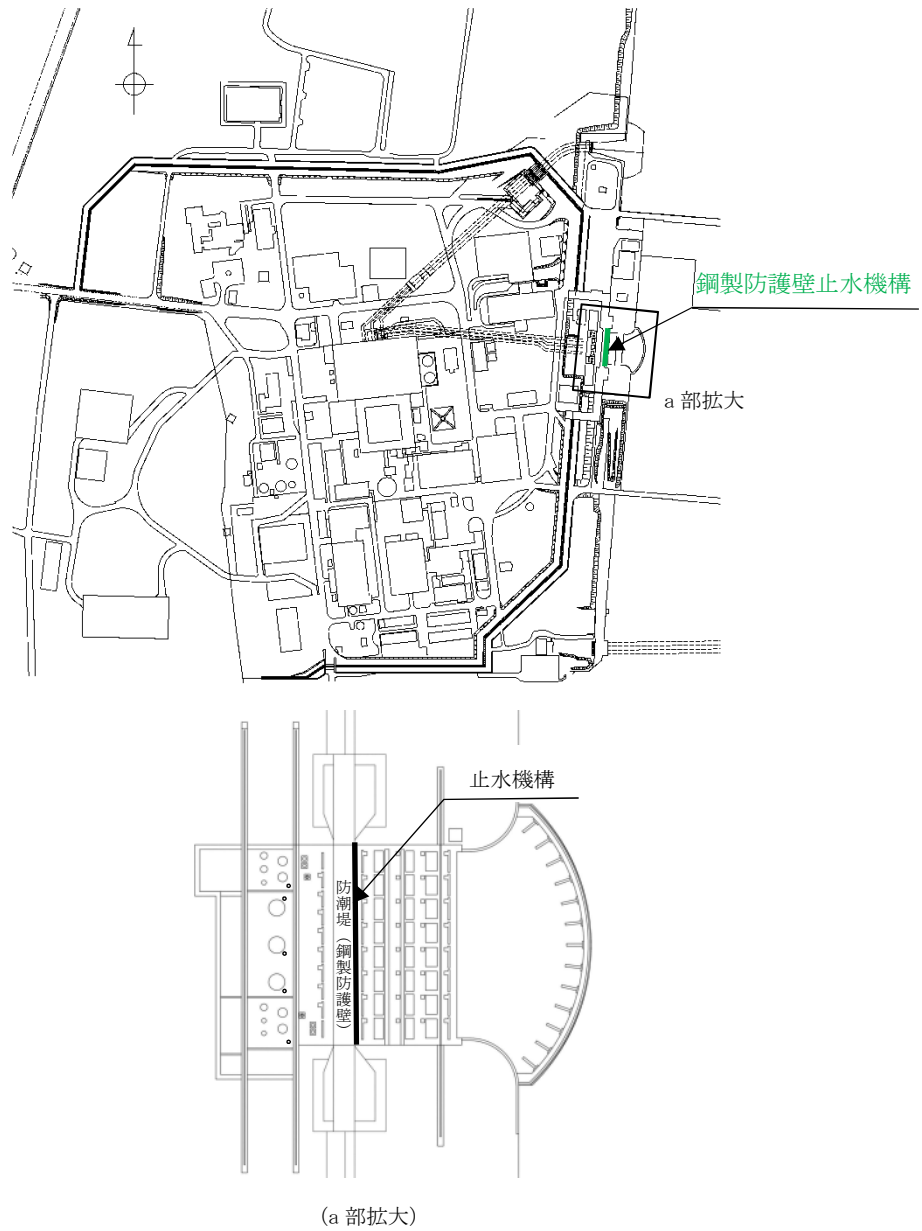


図 2-1 鋼製防護壁止水機構 位置図

2.2 構造計画

鋼製防護壁と既設取水路間に設置される止水機構は、1次止水機構、防衝板、2次止水機構から構成される。1次止水機構は、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押えにより支持する構造とし、また、津波の浸水を防止するため、止水板の底面と側面に水密ゴムを設置し、水密性を確保する構造とする。また、止水板を漂流物から防護するため、止水板押えを設置する。

1次止水機構の損傷又は保守に伴う取り外し時に、漂流物が2次止水機構に到達することを防止するため、2次止水機構の前面に防衝板を設置する構造とする。

また、1次止水機構の止水板からの微少漏えいに対して、敷地内に津波を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。

鋼製防護壁止水機構の構成を図 2-2、**止水機構**の構造概要を表 2-1 に示す。

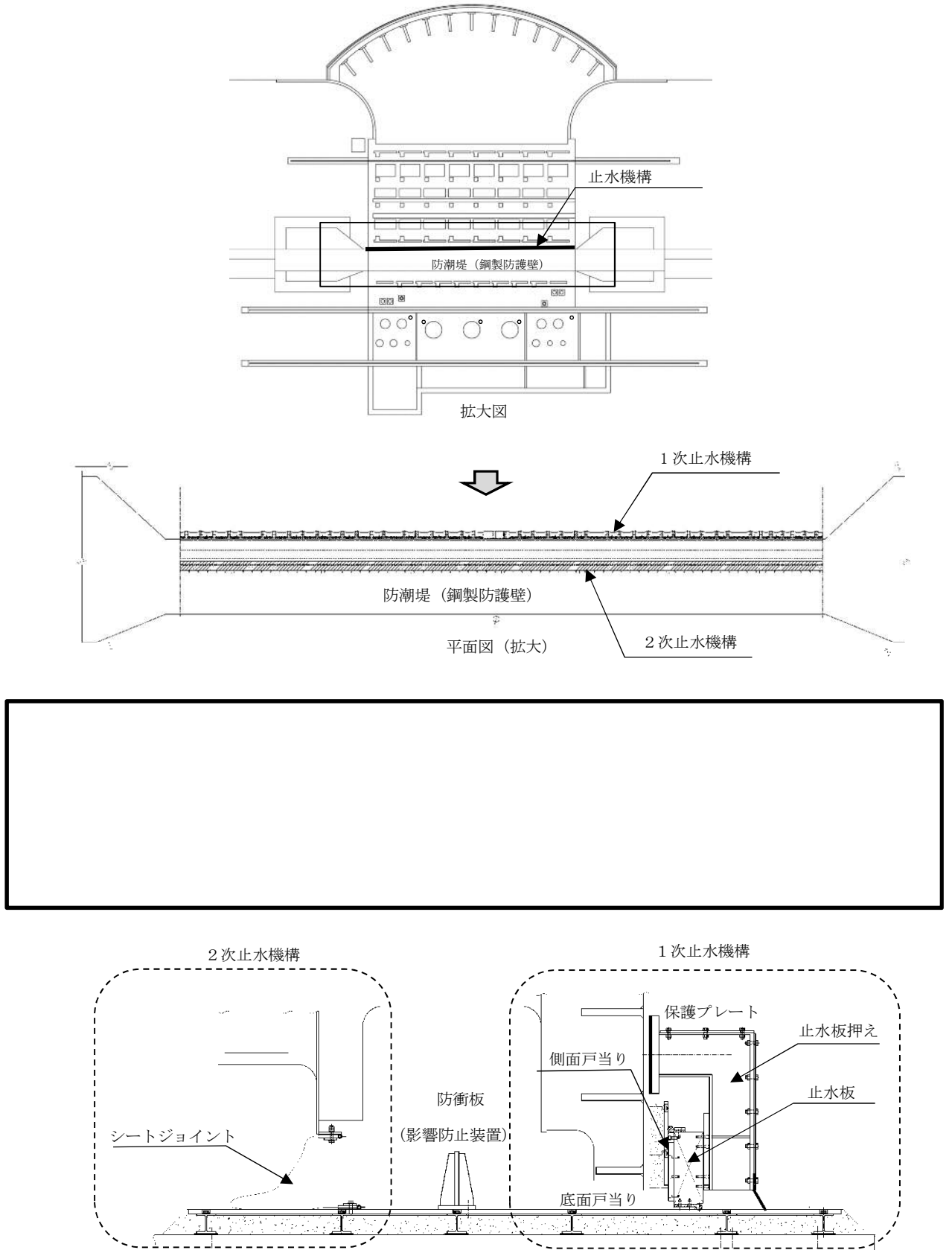


図2-2 止水機構の設置位置及び構造図

表2-1(1/2) 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
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。	止水板、止水板押え、保護プレート、側面戸当り、底面戸当りにより構成する。	

表2-1 (2/2) 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>シートジョイントは、取水路上版と鋼製防護壁に固定される。防衝板を取水路上版の取付けボルトにより固定する。</p>	<p>シートジョイントにより構成する。防衝板及び防衝板取付けボルトにより構成する。</p>	

2.3 評価方針

鋼製防護壁止水機構の強度評価は、添付書類「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応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では、止水機構の評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、鋼製防護壁止水機構の構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については、評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6. 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する応力評価及び構造健全性評価の結果を「6. 評価結果」にて確認する。

鋼製防護壁止水機構の強度評価フローを **図 2-3** 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、止水板押え、保護プレート、側面戸当り及び底面戸当り並びに、影響防止設備の防衝板について、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、評価部位の損傷モードごとに設定し、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（ S_a-D1 ）を、一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、鋼製防護壁の三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。

なお、強度評価に当たっては、基準津波による津波荷重を考慮した評価と敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

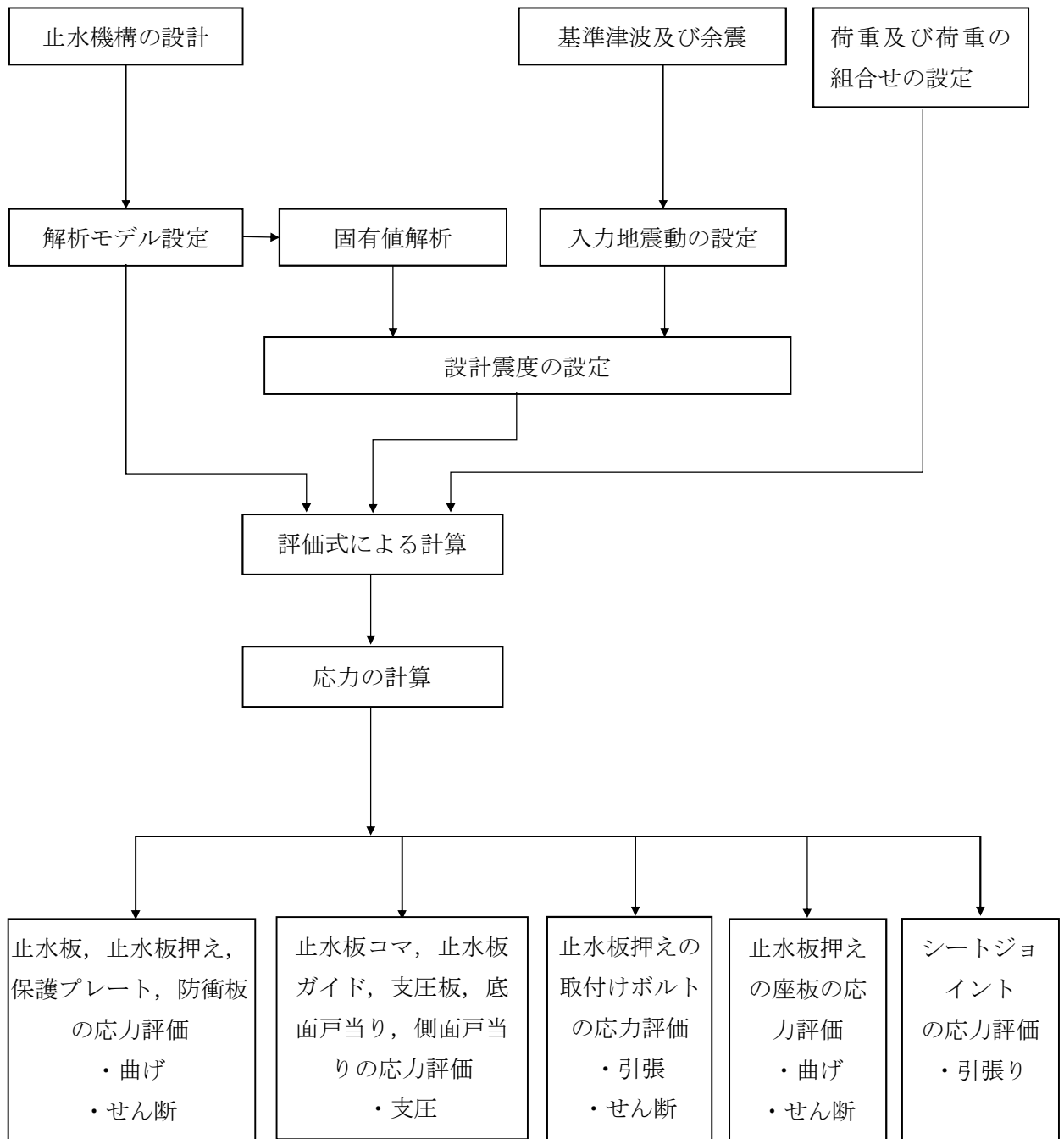


図 2-3 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）
- (2) 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]
電力土木技術協会，平成 29 年）
- (3) ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）ダム・施設技術基準協会
平成 25 年 6 月）
- (4) 汚濁防止膜技術資料(案) 港湾空港総合技術センター(平成 25 年 9 月)

2.5 記号の説明

止水機構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 に示す。

表 2-2 止水機構の固有周期の計算に用いる記号

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

表 2-3 止水機構の応力評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
I_{gi}	kN・m/s ²	地震時慣性力
P_s	kN/m	積雪荷重
P_w	kN/m	風荷重
P_H, PH	kN/m	水平荷重又は水圧荷重
P_v	kN/m	鉛直荷重
W	kN	部材自重
A, A_w	m ²	各部材の断面積
Z	mm ³	断面係数
M_A	kN・m	止水板に作用する水圧荷重による曲げモーメント
S_{max}	kN・m	止水板に作用する水圧荷重によるせん断力
M_{pmax}	kN・m	止水板に作用する衝突荷重による曲げモーメント
L	m	止水板の幅
a	mm	止水板支点からの張り出し部の長さ
L_1	m	止水板の支間の長さ
P	N	止水板に作用する衝突荷重
σ	N/mm ²	止水板に生じる曲げ応力度
τ	N/mm ²	止水板に生じるせん断応力度
P	kN	止水板コマに作用する全鉛直荷重
σ_p	N/mm ²	支圧板コマ及び支圧板に生じる支圧応力度
W_{pu}	kN/m	津波荷重
P_{du}	kN/m	動水圧荷重
B	m	止水板コマの評価に用いる止水板の幅
b	mm	支圧板コマの幅

表 2-3 止水機構の応力評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
L_s	mm	止水板コマ及び支圧板の荷重を受ける支圧板の長さ
P_p	kN	支圧板に作用する全荷重
L	m	支圧板に作用する止水板の幅
b	mm	支圧板に作用する支圧板の幅
h_2	m	支圧板の止水高さ
P	kN	支圧板, 止水板押えに作用する衝突荷重
P_{hg}	kN/m	止水板押えに作用する地震時(余震時)慣性力
W_p	kN/m	止水板押えに作用する津波波圧(水平)
P_d	kN/m	止水板押えに作用する津波波圧(動水压荷重)
a, b	mm	保護プレートの最大取付け長さ
M_b, M_c	kN・m	止水板押えに生じる曲げモーメント
S_{cb}	kN	止水板押えに生じるせん断応力度
R_{ha}	kN	止水板押え上部に生じるA点にかかる反力
R_{hc}	kN	止水板押え上部に生じるC点にかかる反力
δ_t	N/mm ²	止水板押え取付けボルト1本当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_{max}	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_{max}	kN	止水板押え取付けボルトの最大せん断力
σ	N/mm ²	止水板座板に生じる曲げ応力度
τ	N/mm ²	止水板座板に生じるせん断応力度
M	kN・m	止水板座板の取付けボルトに作用する引抜き力による曲げモーメント
S_{max}	kN	止水板座板に作用する最大せん断力
t	Mm	止水板座板の板厚
n	本	止水板押え取付けボルト, 座板の取付けボルト
a	mm	保護プレートの最大取付け長さ(鉛直, 水平)
M	kN・m	保護プレートに作用する曲げモーメント
S, S_w	kN	保護プレートに作用するせん断力
σ_M	N/mm ²	保護プレートに生じる曲げ応力度
τ	N/mm ²	保護プレートに生じるせん断応力度
σ_p	N/mm ²	側面戸当りに生じる支圧応力度
P_p	kN	側面戸当りの支圧板に作用する全荷重
b	mm	側面戸当りに当たる支圧板の幅
L_s	mm	側面戸当りの荷重を受ける支圧板の長さ

表 2-3 止水機構の応力評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
σ_p	N/mm ²	底面戸当りの支圧応力度
P_p	kN	底面戸当りの止水板コマに作用する全荷重
b	mm	底面戸当りに当たる止水板コマの幅
L_s	mm	底面戸当りの荷重を受ける支圧板コマの長さ
σ	N/mm ²	防衝板に生じる曲げ応力
τ	N/mm ²	防衝板に生じるせん断応力
M	kN・m	防衝板に作用する地震時慣性力による曲げモーメント
S	kN	防衝板に作用する地震時慣性力によるせん断力
B	m	防衝板に作用する荷重分担幅
L	m	防衝板に作用する水平方向荷重の高さ
σ_t	N/mm ²	防衝板取付けボルトに生じる曲げ応力
τ	N/mm ²	防衝板取付けボルトに生じるせん断応力
M	kN・m	防衝板取付けボルトに作用する地震時慣性力による曲げモーメント
S	kN	防衝板取付けボルトに作用する地震時慣性力によるせん断力
F	kN	防衝板取付けボルトに作用する曲げモーメントに作用する引き抜き力
L_1	m	防衝板取付けボルトに作用する水平方向荷重の高さ
B	m	防衝板取付けボルトに作用する荷重分担幅
a	m	防衝板取付けボルトのボルト間隔
σ	N/mm ²	防衝板座板に生じる曲げ応力度
τ	N/mm ²	防衝板座板に生じるせん断応力度
t	Mm	防衝板座板の厚さ
M	kN・m	防衝板座板の取付けボルトに作用する引抜き力による曲げモーメント
F	kN	止水板座板に作用する引き抜き力
Q	kN	止水板座板に作用するせん断力
T	kN/m	シートジョイントに発生する最大張力
a	m	シートジョイントの径間距離 (L_1) の $1/2$
σ	m	シートジョイントのたわみ量
P	kN/m ²	シートジョイントに作用する水圧
L_1	m	シートジョイントの径間距離
L_2	m	シートジョイントの最大スパン

3. 評価部位

鋼製防護壁止水機構の評価対象部位は、添付書類「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、止水板押え、保護プレート、側面戸当り、底面戸当りについて評価する。また、影響防止装置の防衝板について評価する。2次止水機構は、シートジョイントについて評価する。

止水機構の評価部位について図 3-1 に示す。

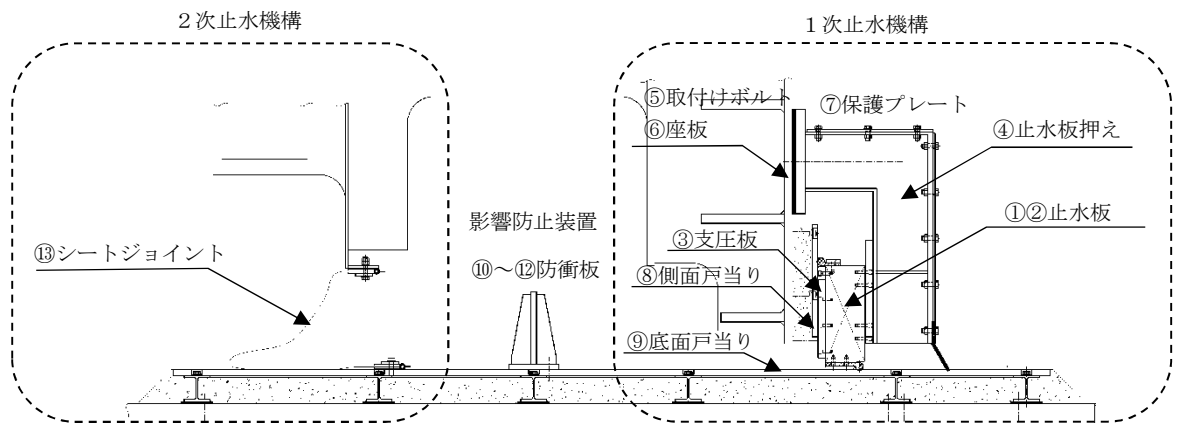


図3-1 止水機構の評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

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 を求め、固有周期 T (s) を算出する。

$$f = \frac{\lambda_n^2}{2\pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad T = \frac{1}{f}$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算条件

(1) 止水板

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)
197000	10350

(2) 止水板押え

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)
SM570	1.125	870

縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (cm ⁴)
200000	1324

(3) 保護プレート

保護プレートの 材質	スパン長 L (m)	保護プレートの 自重 m (kg/m)
SUS821L1	1.4	54

縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (cm ⁴)
197000	24.4

(4) 底面戸当り

底面戸当りの 材質	スパン長 L (m)	底面戸当りの 自重 m (kg/m)
SUS316	0.8	105

縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (cm ⁴)
197000	10.0

(5) 側面戸当り

側面戸当りの 材質	スパン長 L (m)	側面戸当りの 自重 m (kg/m)
SUS316	0.45	75

縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (cm ⁴)
197000	7.2

(6) 防衝板

防衝板の 材質	スパン長 L (m)	防衝板の 自重 m (kg/m)
SUS304	0.3	198

縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (cm ⁴)
197000	24.2

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果により、止水機構のうち止水板と止水板押えの固有周期が 0.05 s 以下であることを確認した。表 4-2 に固有周期の算出結果を示す。

表 4-2 固有周期の算出結果

止水板の固有周期 (s)	止水板押えの固有周期 (s)	保護プレートの固有周期 (s)
0.0057	0.0255	0.0043

底面戸当りの固有周期 (s)	側面戸当りの固有周期 (s)	防衝板の固有周期 (s)
0.0131	0.0041	0.0103

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

止水機構の強度評価は、添付書類「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「5.3 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、「5.5 計算方法」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

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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。

衝突荷重として、0.69 t 車両の FEMA (2012) *式による漂流物荷重を考慮した結果を表 5-1 に示す。

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	11	759
敷地に遡上する津波	15	1035

5.2.2 荷重の組合せ

鋼製防護壁止水機構の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 5-2 に、静水圧と動水圧の荷重作用図を図 5-1、図 5-2 に示す。

表 5-2 鋼製防護壁止水機構の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称		荷重の組合せ*	
浸水防護施設 (浸水防止設備)	鋼製防護壁 止水機構	基準津波	津波時	$G + P_s + W_s + P_c$
			重畳時	$G + P_s + P_e + I_{gi} + W_s$
		敷地に遡上 する津波	津波時	$G + P_s + W_s + P_c$
			重畳時	$G + P_s + P_e + I_{gi} + W_s$

* : G は固定荷重, P_s は静水圧, W_s は積雪荷重, P_c は衝突荷重,
 P_e は動水圧, I_{gi} は地震時慣性力

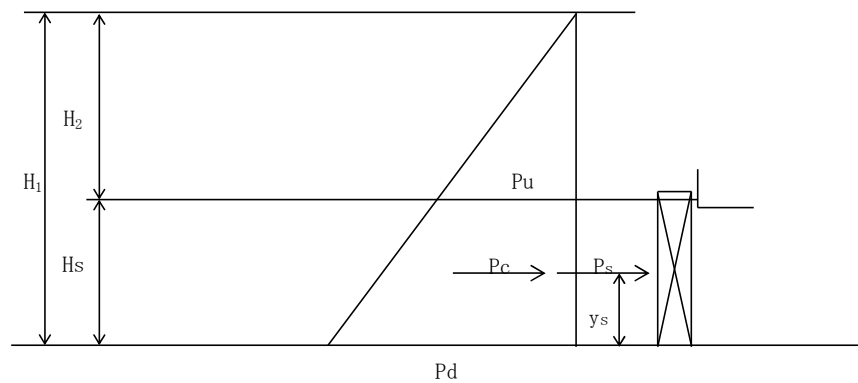


図 5-1 静水圧の荷重作用図

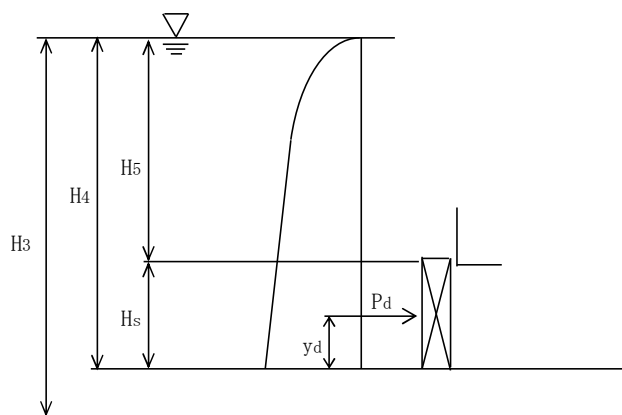


図 5-2 動水圧の荷重作用図

5.3 許容限界

(1) 基準津波と余震による重畳時

止水機構の許容限界を表 5-3 に、止水機構の許容応力算出結果を表 5-4、表 5-5、表 5-6 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	$1.5\sigma_{ab}$	$1.5\sigma_{ac}$	$1.5\sigma_{at}$	$1.5\tau_a$	$1.5\sigma_{as}$

注記 *：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。

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	σ_{ab} (N/mm ²)	σ_{ac} (N/mm ²)	σ_{at} (N/mm ²)	τ_a (N/mm ²)	σ_{as} (N/mm ²)
①止水板	SUS304N2	200	—	—	120	—
②止水板コマ	CAC703	—	—	—	—	218
③支圧板	UPE	—	—	—	—	13
④止水板押え (正面/上部)	SM570	268/255	—	—	145	—
⑤止水板押え 取付けボルト	S45CH	—	—	360	200	—
⑥止水板押え座板	SM570	255	—	—	145	—
⑦保護プレート	SUS821L1	238	—	—	136	—
⑧側面戸当り	SUS316	—	—	—	—	183
⑨底面戸当り	SUS316	—	—	—	—	183
⑩防衝板	SUS304	122	—	—	69	—
⑪防衝板 取付けボルト	SUS304	—	—	119	76	—
⑫防衝板座板	SUS304	122	—	—	69	—

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止水板コマ	—	—	—	—	328
	③支圧板	—	—	—	—	19
	④止水板押え (正面/上部)	402/382	—	—	217	—
	⑤止水板押え 取付けボルト	—	—	540	300	—
	⑥止水板押え座板	382	—	—	217	—
	⑦保護プレート	357	—	—	204	—
	⑧側面戸当り	—	—	—	—	274
	⑨底面戸当り	—	—	—	—	274
	⑩防衝板	183	—	—	104	—
	⑪防衝板 取付けボルト	—	—	179	115	—
	⑫防衝板座板	183	—	—	104	—

表 5-6 シートジョイントの許容応力度

評価項目			短期許容応力度 (kN/30cm)
膜材及び 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

(2) 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

止水機構の許容限界を表 5-7 に、止水機構の許容応力算出結果を表 5-8、表 5-9、表 5-10 にそれぞれ示す。

表 5-7 止水機構の許容限界

許容応力状態	許容限界*				
	1次応力				
	曲げ	圧縮	引張	せん断	支圧
短期許容応力度	$1.7 \sigma_{ab}$	$1.7 \sigma_{ac}$	$1.7 \sigma_{at}$	$1.7 \tau_a$	$1.7 \sigma_{as}$

注記 *：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 5-8 止水機構各部位の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	σ_{ab} (N/mm ²)	σ_{ac} (N/mm ²)	σ_{at} (N/mm ²)	τ_a (N/mm ²)	σ_{as} (N/mm ²)
①止水板	SUS304N2	200	—	—	120	—
②止水板コマ	CAC703	—	—	—	—	218
③支圧板	UPE	—	—	—	—	13
④止水板押え (正面/上部)	SM570	268/255	—	—	145	—
⑤止水板押え 取付けボルト	S45CH	—	—	360	200	—
⑥止水板押え座板	SM570	255	—	—	145	—
⑦保護プレート	SUS821L1	238	—	—	136	—
⑧側面戸当り	SUS316	—	—	—	—	183
⑨底面戸当り	SUS316	—	—	—	—	183
⑩防衝板	SUS304	122	—	—	69	—
⑪防衝板 取付けボルト	SUS304	—	—	119	76	—
⑫防衝板座板	SUS304	122	—	—	69	—

表 5-9 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	340	—	—	204	—
	②止水板コマ	—	—	—	—	372
	③支圧板	—	—	—	—	22
	④止水板押え (正面/上部)	455/433	—	—	246	—
	⑤止水板押え 取付けボルト	—	—	612	340	—
	⑥止水板押え座板	433	—	—	246	—
	⑦保護プレート	405	—	—	231	—
	⑧側面戸当り	—	—	—	—	311
	⑨底面戸当り	—	—	—	—	311
	⑩防衝板	207	—	—	118	—
	⑪防衝板 取付けボルト	—	—	203	130	—
	⑫防衝板座板	207	—	—	118	—

表 5-10 シートジョイントの許容応力度

評価項目			短期許容応力度 (kN/30cm)
膜材及び 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

5.4 設計用地震力

「4.3 固有周期」に示したとおり止水機構の固有周期が0.05 s以下であることを確認したため、止水機構の耐震計算に用いる設計震度は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す最大応答加速度を基に設定する。止水機構の耐震計算に用いる設計震度を表5-11に示す。

表 5-11 設計用地震力

地震動	設置場所及び床面高さ (T. P.)	地震による設計震度	
		重畳時	止水機構 +3.10m (+2.81m)*
		鉛直方向K _v	1.78

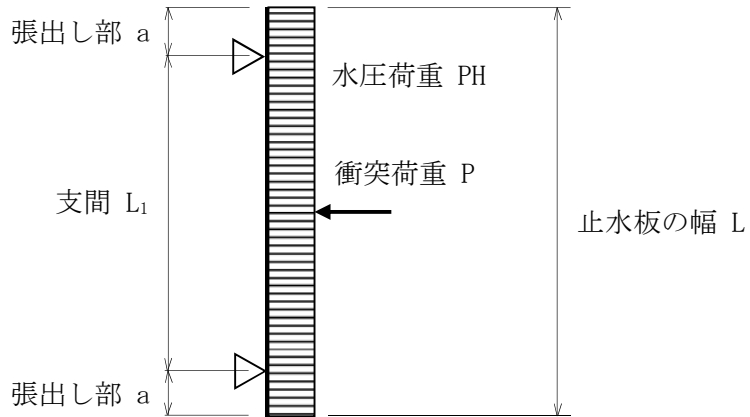
* 基準床レベルを示す。

5.5 計算方法

(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 5-1 に示す。



$$M_{wmax} = \frac{PH \cdot L}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{PH \cdot (L/2)^2}{2}$$

$$S_{max} = \frac{PH \cdot L}{2} - PH \cdot a$$

$$M_{pmax} = \frac{P \cdot L_1}{4}$$

M_A : 水圧荷重による曲げモーメント (kN・m)

S_{max} : 水平荷重によるせん断力 (kN・m)

M_{pmax} : 衝突荷重による曲げモーメント (kN・m)

P_H : 水圧荷重 (kN/m)

L : 止水板の幅 (2.00m)

a : 張り出し部 (m)

L_1 : 支間 (m)

P : 衝突荷重 (N)

<応力度の計算>

・曲げ応力度

$$\sigma = M_{max} / Z \quad (N/mm^2)$$

・せん断応力度

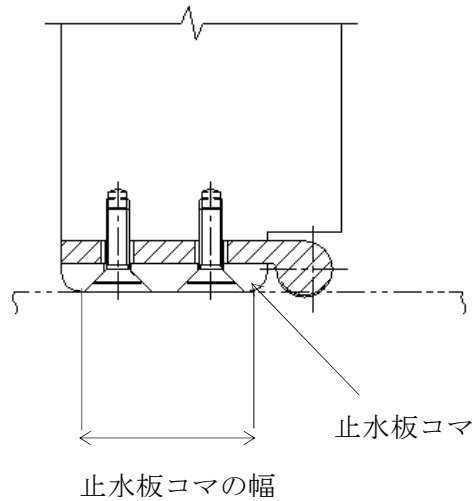
$$\tau = S_{max} / A_w \quad (N/mm^2)$$

図 5-1 止水板のモデル図

(2) 止水板コマ

止水板コマは、止水板の荷重を底面戸当りに伝達することから、止水板コマの接触面積より荷重を伝達する。

止水板コマの応力算定式を図 5-2 に示す。



$$P = (P_v + W_{pu} + p_{du}) \cdot B$$

$$\sigma_p = \frac{P}{b \cdot L_s}$$

P : 止水板コマに作用する全鉛直荷重 (kN)

σ_p : 止水板コマに生じる支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 鉛直荷重 ($P_v = W_g / B$) (kN/m) (W_g : 止水板自重 9.3kN/m)

W_{pu} : 津波荷重 (kN/m)

p_{du} : 動水圧荷重 (kN/m)

B : 止水板の幅 (1.99m)

b : 止水板コマ幅 (90mm)

L_s : 荷重を受ける止水コマ長さ (995mm)

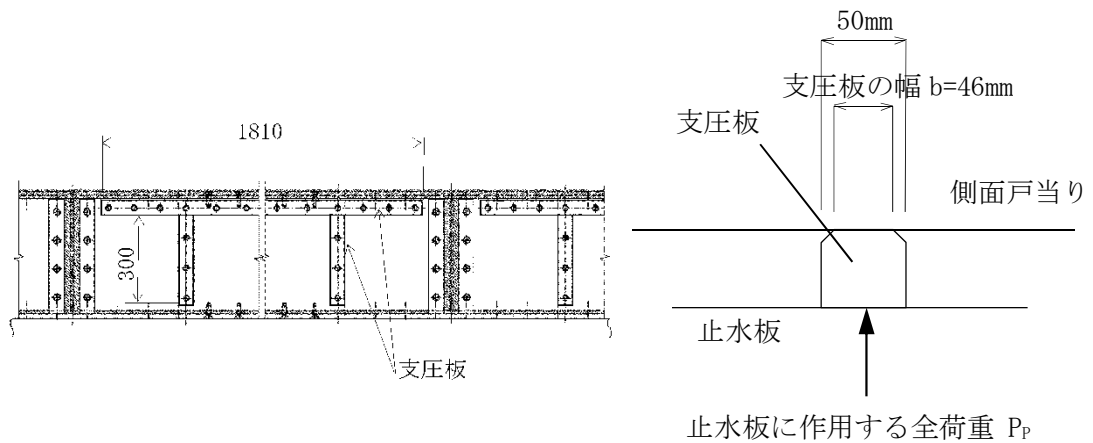
止水板長さの半分 (1.99m × 0.5) として算出

図 5-2 止水板コマの応力算定式

(3) 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 5-3 に示す。



$$P_p = PH \cdot h_2 \cdot L + P$$

$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot L_s}$$

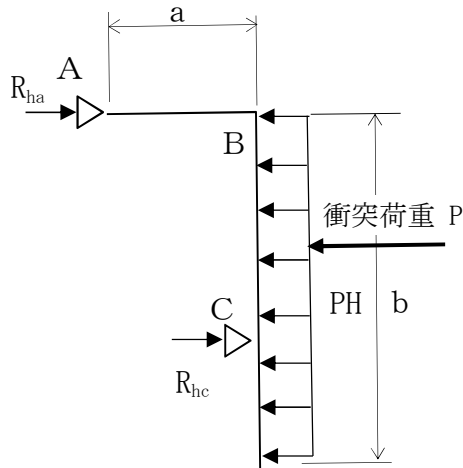
- P_p : 止水板に作用する全荷重 (kN)
- PH : 水圧荷重 (kN/m)
- h_2 : 止水高 (0.415m)
- L : 止水板の幅 (2.00m)
- b : 支圧板の幅 (46mm)
- L_s : 荷重を受ける支圧板の長さ (2310mm)
- P : 漂流物の衝突荷重
- σ_p : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm²)

図 5-3 支圧板のモデル図及び応力算定式

(4) 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、鋼製防護壁との取り付け箇所をピン支点とし、また、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 5-4 に示す。



$$PH = P_{hg} + W_p + P_d + P$$

PH : 水平荷重 (kN/m)

P_{hg} : 地震時 (余震時) 慣性力 (kN/m)

W_p : 津波波圧 (水平)

P_d : 津波波圧 (動水圧荷重)

P : 衝突荷重

a, b : 保護プレート最大取付け長さ (mm)

M_b, M_c : 曲げモーメント (kN・m)

S_{cb} : せん断応力度 (kN)

R_{ha} : A点にかかる反力 (kN)

R_{hc} : C点にかかる反力 (kN)

Z : 断面係数 (cm³)

A_w : 腹板の断面積 (止水板押えの鋼材) (cm²)

<モーメント, 反力の計算>

・ B点の曲げモーメント

$$M_b = R_{hc} \cdot b \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

・ C点の曲げモーメント

$$M_c = PH \cdot c^2 / 2 + P \cdot c \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

・ せん断による反力

$$S_{cb} = R_{ha} \quad (\text{kN})$$

<応力度の計算>

・ 上部止水板押え曲げ応力度 (σ_b)

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

・ 正面止水板押え曲げ応力度 (σ_c)

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

・ 上部の軸応力度 (σ_N)

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

<最大応力度の算出>

・ 最大曲げ応力度

$$\sigma = \sigma_{\max} + \sigma_N \quad (\text{N}/\text{mm}^2)$$

・ せん断応力度 (τ)

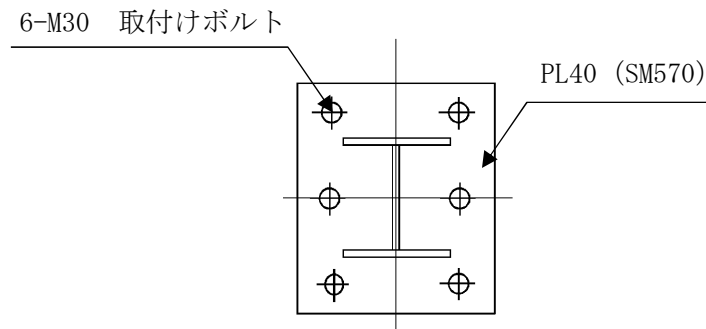
$$\tau_{cb} = S_{cb} / A_w \quad (\text{N}/\text{mm}^2)$$

図 5-4 止水板押えのモデル図及び応力計算式

(5) 止水板押え取付けボルト

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図5-5に示す。



$$\sigma_t = \frac{F_{\max}}{A}$$

$$\tau = \frac{S_a}{n \cdot A}$$

σ_t : 取付けボルト1本あたりの引張応力度 (N/mm²)

τ : 取付けボルト1本あたりのせん断応力度 (N/mm²) F_{\max}

S_a : 取付けボルト1本に作用する引き抜き力 (kN)

S_{\max} : 最大せん断力 (kN)

A : 取付けボルトの有効断面積 (561mm²)

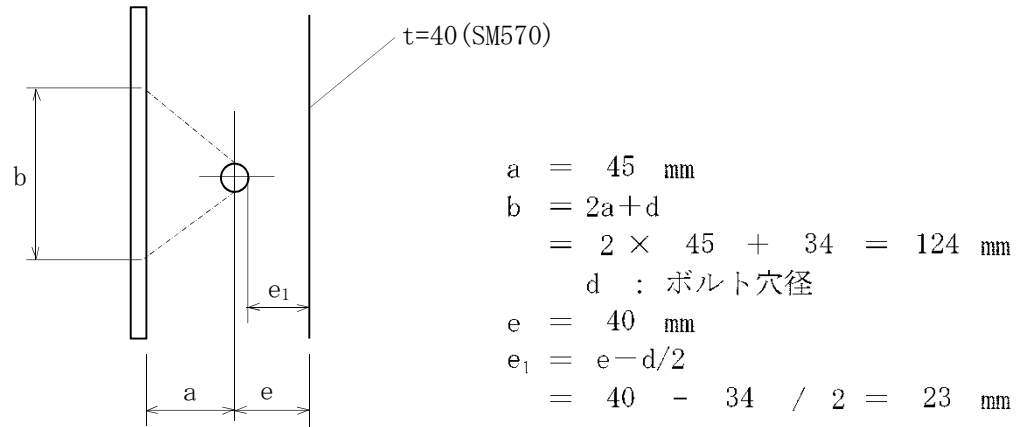
n : 取付けボルト本数 (荷重を受け持つ本数。半数) (本)

図5-5 取付けボルトのモデル図及び応力算定式

(6) 止水板押え座板

止水板押え座板は、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。

止水板押え座板のモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。



$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2} \quad \tau = \frac{S_a}{n \cdot e_1 \cdot t}$$

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

M : 座板に作用する曲げモーメント (kN・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (kN)

t : 板厚 (38mm)

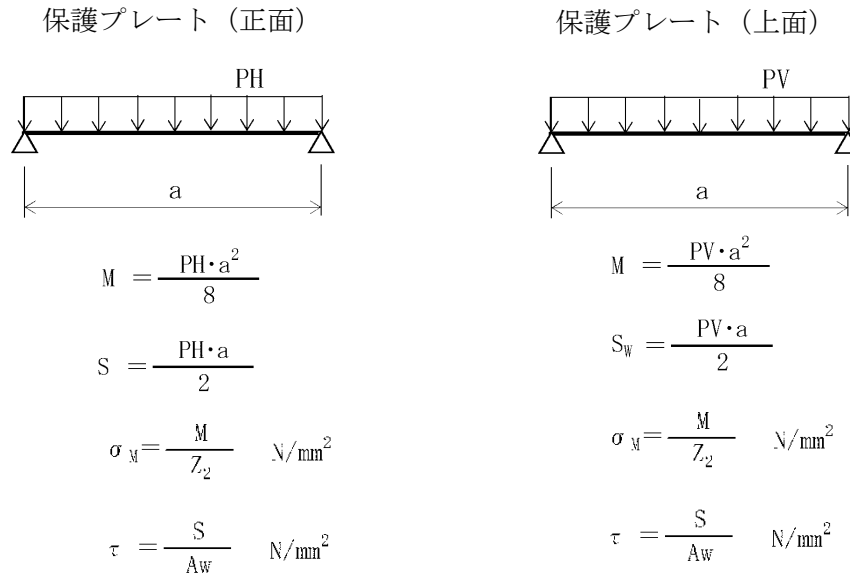
n : 取付けボルト本数 (荷重を受け持つ本数。半数) (本)

図 5-6 座板のモデル図及び応力算定式

(7) 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図 5-7 に示す。



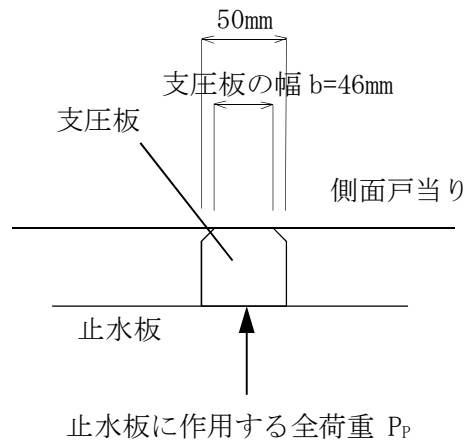
- PV : 鉛直荷重 (kN/m)
- PH : 水平荷重 (kN/m)
- a : 保護プレート最大取付け長さ (mm)
- M : 曲げモーメント (kN・m)
- S, S_w : せん断力 (kN)
- Z₂ : 断面係数 (cm³)
- σ_M : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- A_w : 保護プレートの断面積 (cm²)

図 5-7 保護プレートのモデル図及び応力算定式

(8) 側面戸当り

側面戸当りは、止水板の水平方向から支持する。止水板から受けた荷重は、鋼製防護壁側に伝達するものとして側面戸当りの支圧応力を評価する。

側面戸当りの応力算定式を図 5-8 に示す。



$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot L_s}$$

σ_p : 支圧応力度 (N/mm²)

P_p : 止水板に作用する全荷重

b : 支圧板の幅 (46mm)

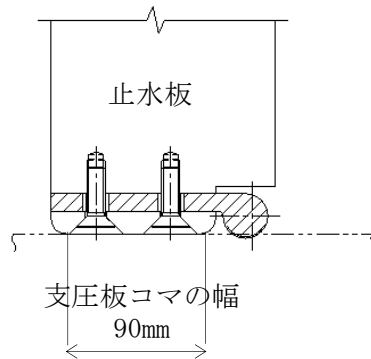
L_s : 荷重を受ける支圧板長さ (2310mm)

図 5-8 側面戸当りの応力算定式

(9) 底面戸当り

底面戸当りは、止水板の鉛直方向から支持する。止水板から受けた鉛直荷重は、底面のコンクリート側に伝達するものとして底面戸当りの支圧応力を評価する。

底面戸当りの応力算定式を図5-9に示す。



$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot L_s}$$

σ_p : 止水板コマの支圧応力度 (N/mm²)

P_p : 止水板コマに作用する全荷重

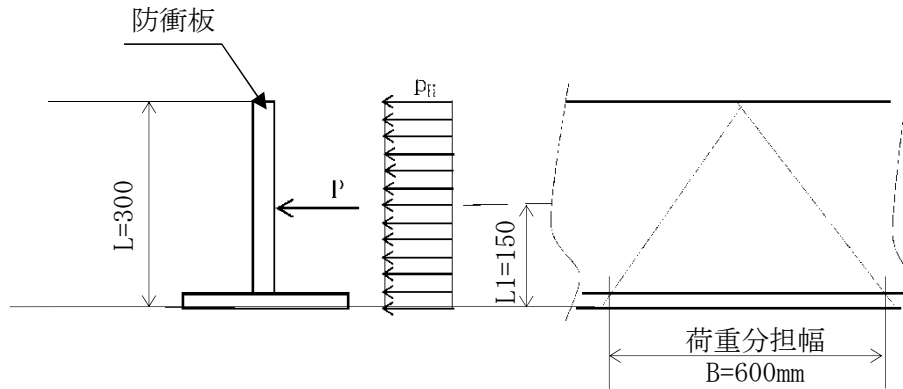
b : 止水板コマの幅 (90mm)

L_s : 荷重を受ける止水板コマの長さ (995mm)

図5-9 底面戸当りの応力算定式

(10) 防衝板

防衝板は、2次止水機構のシートジョイントに直接漂流物等が侵入しないよう設置する。防衝板が直接荷重を受けるため、せん断応力と曲げ応力について評価する。防衝板の応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \tau = \frac{S}{A}$$

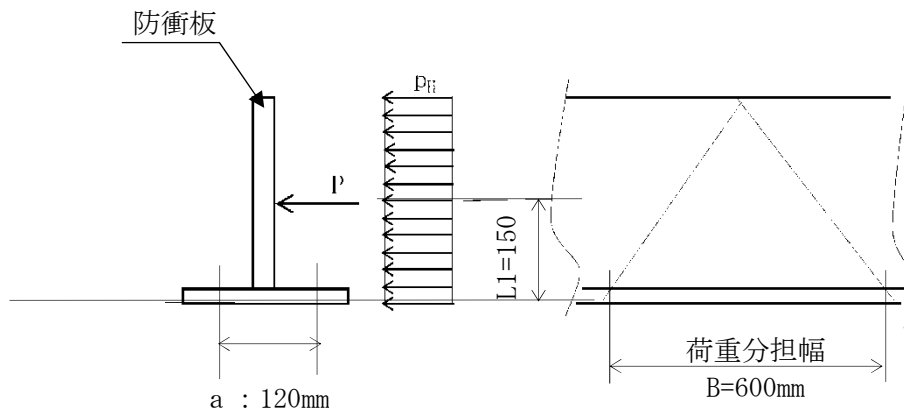
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- M : 水圧荷重による曲げモーメント ($M=P_H \cdot B \cdot L^2/2$) (kN・m)
- S : 水圧荷重によるせん断力 (kN)
- P_H : 水圧荷重 (kN/m)
- B : 荷重分担幅 (0.6m)
- L : 水平方向荷重の高さ (0.3m)
- Z : 断面係数 (62500mm³)

図5-10 防衝板の応力算定式

(11) 防衝板取付けボルト

防衝板は、2次止水機構のシートジョイントに直接漂流物等が侵入しないよう設置する。
防衝板の据付け箇所の取付けボルトについて評価する。

防衝板取付けボルトの応力算定式を図5-11に示す。



$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad F = \frac{M}{a} \cdot \frac{b}{B}$$

$$\tau = \frac{S}{A} \quad Q = S \cdot \frac{b}{B}$$

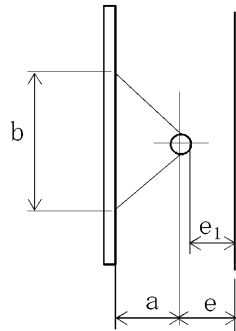
- σ_t : 引張り応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- M : 水圧荷重による曲げモーメント (M=P_H・B・L1)
- S : 水圧荷重によるせん断力 (S=P_H・B)
- P_H : 水圧荷重 (kN/m)
- L1 : 水平方向荷重の高さ (0.15m)
- B : 荷重分担幅 (0.6m)
- A : ボルトの有効断面積 (265mm²)
- F : 引き抜き力 (kN)
- a : ボルト間隔 (mm)

図5-11 防衝板取付けボルトの応力算定式

(12) 防衝板座板

防衝板は、2次止水機構のシートジョイントに直接漂流物等が侵入しないよう設置する。
防衝板の据付け箇所の座板について評価する。

防衝板の座板の応力算定式を図5-12に示す。



$$\begin{aligned}
 a &= 59.5 \text{ mm} \\
 b &= 2a + d \\
 &= 2 \times 59.5 + 24 = 143 \text{ mm} \\
 d &: \text{ボルト穴径} \\
 e &= 40 \text{ mm} \\
 e_1 &= e - d/2 \\
 &= 40 - 24 / 2 = 28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2} \qquad Z = \frac{b \cdot t^2}{6}$$

$$\tau = \frac{Q}{n \cdot e_1 \cdot t}$$

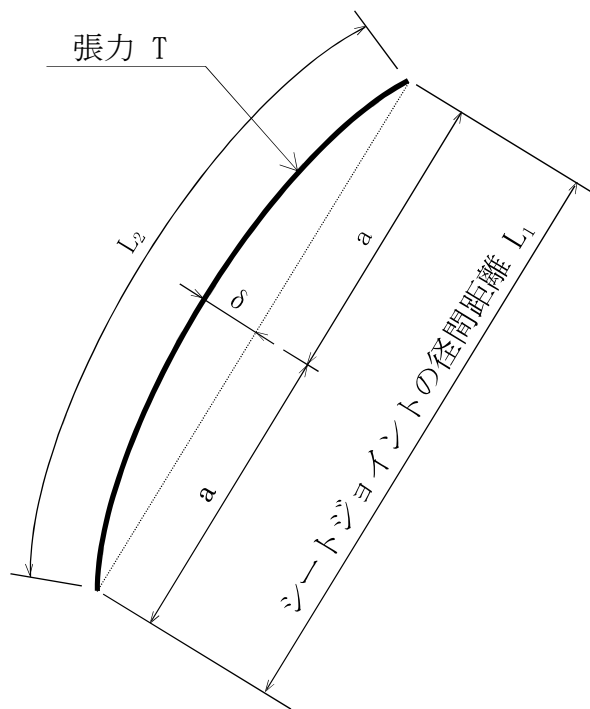
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- M : 座板に作用する曲げモーメント (M=F・a)
- F : 引き抜き力 (kN)
- Q : せん断力 (kN)
- t : 座板の厚さ (25mm)

図5-12 防衝板の座板の応力算定式

(13) 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。シートジョイント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図 5-13 に示す。



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

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

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

- T : 最大張力 (kN/m)
- a : 径間距離 (L_1) の 1/2 (m)
- σ : たわみ量 (m)
- P : 津波圧力 (kN/m²)
- L_1 : 径間距離 (0.67m)
- L_2 : 最大スパン長 (m)

図 5-13 シートジョイントのモデル図及び張力算定式

5.6 計算条件

(1) 強度評価に用いる止水機構の仕様及び荷重条件

止水機構の応力評価に用いる計算条件を表 5-12 に応力評価条件を示す。

なお、基準津波と敷地に遡上する津波の計算条件が異なる場合は、基準津波を上段に遡上する津波を下段に記載する。

表 5-12 止水機構の強度評価に用いる条件

① 止水板の評価条件（津波時／重畳時）

止水板の材質	止水板の固定荷重 G (kN)	止水板の水圧荷重 P _H (kN/m)	止水板の幅 L (m)
SUS304N2	9.3	96.2 / 215.8	2.00
		134.5 / 169.1	

止水板の張り出し部 a (m)	止水板の支間 L ₁ (m)	止水板の衝突荷重 P (kN)
0.375	1.25	759

② 止水板コマの評価条件（津波時／重畳時）

止水板コマの材質	止水板に作用する鉛直荷重 P _v (kN)	止水板に作用する津波荷重（鉛直） W P _u (kN/m)	動水圧荷重（鉛直） P _{du} (kN/m)
CAC703	4.7 / 13.1	41.3 / 41.3	0.0 / 46.6
		58.0 / 58.0	0.0 / 153.7

全荷重 P (kN)	止水板の幅 B (m)	止水板コマ幅 b (mm)	止水板を受ける止水コマ長さ L _s (mm)
91.5 / 201.0	1.99	90	995
124.8 / 447.4			

③ 支圧板の評価条件（津波時／重畳時）

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 水圧荷重 P_H (kN)	止水高 h_2 (m)
超高分子量 ポリエチレン	838.8 / 179.1	96.2 / 215.8	0.415
	1146.6 / 246.8	134.5 / 297.3	

荷重を受ける 支圧板の長さ L_s (mm)	止水板の幅 L (m)	止水板コマ幅 b (mm)
2310	2.00	46

④ 止水板押えの評価条件（津波時／重畳時）

止水板押え間隔の長い 1400mm 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)	地震時（余震時） 慣性力 P_{hg} (kN/m)	止水板押えの 漂流物の衝突荷重 P_c (kN)
SM570	8.7	0.0 / 10.2	759
		0.0 / 2.1	1035

止水板押えの 津波波圧（鉛直） W_{pu} (kN/m)	止水板押えの 津波波圧（水平） W_p (kN/m)	止水板押えの 津波波圧 （動水圧荷重） P_{du} (kN/m)	A点にかかる反力 R_{ha} (kN)
252.6	263.0	0 / 280.8	824.8 / 341.8
356.6	367.0	0 / 404.2	141.2 / 301.2

C点にかかる反力 R_{hc} (kN)	止水板押えの長さ a/b (mm)	止水板押えの 腹板の断面積 A_w (cm^2)	止水板押えの 断面係数 Z (cm^3)
172.5	0.425/0.700	51.2	739/584
242.9			

⑤ 取付けボルトの評価条件（津波時／重畳時）

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)	せん断力 S (kN)
S45CH	561	177.3/107.8	141.2/301.2
		239.2/152.2	197.4/424.0

取付けボルト本数 (荷重を受持つ半数) n (本)
3

⑥ 座板の評価条件（津波時／重畳時）

座板の材質	座板の板厚 t (mm)	座板に作用する曲げ モーメント M ($kN \cdot mm$)	最大せん断力 S_{max} (kN)
SM570	38	7978.5/4851.0	141.2/301.2
		10764.0/6849.0	197.4/424.0

⑦ 保護プレートの評価条件（津波時／重畳時）

保護プレート間隔の長い 1300mm 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)	水平荷重 PH (kN/m)	鉛直荷重 PV (kN/m)
SUS821L1	1.1	209.7 / 453.3	122.5 / 259.3
		294.3 / 633.3	172.4 / 368.4

保護プレートの 最大取付け長さ a (mm)	保護プレートの 曲げモーメント (正面) M (kN・m)	保護プレートの せん断力 (正面) S (kN・m)	保護プレートの 曲げモーメント (上面) M (kN・m)
1300	44.3 / 95.6	136.4 / 294.6	25.8 / 54.7
	62.2 / 133.6	191.4 / 411.6	36.4 / 77.7

保護プレートの せん断力 (上面) S (kN・m)	保護プレートの 断面係数 (正面) Z ₂ (cm ³)	保護プレートの 断面係数 (上面) Z ₂ (cm ³)	保護プレートの 断面積 (正面) A _w (cm ²)
79.6 / 168.5	593.9	288.8	64.8
112.1 / 239.5			

保護プレートの 断面積 (上面) A _w (cm ²)
40.0

⑧ 側面戸当りの評価条件（津波時／重畳時）

戸当りの材質	支圧板に作用する 全荷重 P_p (kN)	支圧板の幅 b (mm)	荷重を受ける 支圧板長さ L_s (mm)
SUS316	838.8 / 179.1	46	2310
	1146.6 / 140.4		

⑨ 底面戸当りの評価条件（津波時／重畳時）

戸当りの材質	支圧板コマに 作用する全荷重 P (N)	支圧板コマの幅 b (mm)	荷重を受ける 止水板コマ長さ L_s (mm)
SUS316	91500 / 201000	90	995
	124800 / 447400		

⑩ 防衝板の評価条件（津波時／津波時）

防衝板の材質	水圧荷重による曲げ モーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm ³)	水圧荷重 PH (kN/m)
SUS304	6370000 / 6930000	62500	233.8
	8890000 / 9430000		326.2

断面積 A (mm ³)	せん断力 S_{max} (kN)
15000	42300 / 46200
	59000 / 62800

⑪ 防衝板取付けボルトの評価条件（津波時／重畳時）

防衝板据付けボルト の材質	水圧荷重による 曲げモーメント M (kN・m)	水圧荷重による せん断力 S (kN)	ボルト間隔 v (m)
SUS304	6.37／6.93	14.1／15.4	0.12
	8.89／9.43	19.7／20.9	

荷重分担幅 B (m)	ボルト有効断面積 A (mm ²)
0.6	265

⑫ 防衝板座板の評価条件（津波時／重畳時）

防衝板据付けボルト の材質	座板に作用する曲げ モーメント M (kN・m)	引き抜き力 F (kN)	せん断力 Q (kN)
SUS304	1079.7／1177.3	17.7／19.3	14.1／15.4
	1506.7／1598.2	24.7／26.2	19.7／20.9

⑬ シートジョイント

シートジョイントの 材質	径間距離 A1 の 1/2 a (m)	たわみ量 σ (m)	津波水圧 P (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	211.1
			334.5

(2) 強度評価に用いる津波荷重の条件 (参考)

以下に評価に用いる津波荷重の条件を示す。

対象の津波	入力津波高さ (T. P. +m)	静水圧の津波荷重 H_1 (m)	動水圧の津波荷重 H_3 (m)
基準津波	17.9	23.15	—
敷地に遡上する津波	24.0	—	16.7

6. 評価結果

(1) 基準津波と余震による重畳時

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。

止水機構の評価部位全ての発生応力は，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	本 体	曲 げ	181/20	300
			せん断	15/3	180
②		止水板コマ	支圧	1/3	328
③		支圧板	支圧	8/2	19
④	止水板押え	本 体	曲げ	268/133	402/382
			せん断	162/67	217
⑤		取付けボルト	引張り	316/193	540
			せん断	84/179	300
⑥	座 板	曲げ	268/163	382	
		せん断	54/115	217	
⑦	保護プレート		曲 げ（正面）	75/161	357
			せん断（正面）	21/46	204
			曲 げ（上面）	90/190	357
			せん断（上面）	20/43	204
⑧	側面戸当り		支圧	8/2	274
⑨	底面戸当り		支圧	1/3	274
⑩	防衝板	本 体	曲げ	102/111	183
			せん断	3/4	104
⑪		取付けボルト	引張り	67/73	179
			せん断	54/59	115
⑫	座板	曲げ	71/78	183	
		せん断	21/22	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（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)
⑬	シートジョイント	引張り	37	60

(2) 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

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 6-3 にシートジョイントの応力評価結果を表 6-4 に示す。

止水機構の評価部位全ての発生応力は，許容応力以下であることを確認した。

表 6-3 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	本 体	曲 げ	247/27	340
			せん断	21/4	204
②		止水板コマ	支圧	2/5	372
③		支圧板	支圧	11/3	22
④		本 体	曲げ	366/188	455/433
			せん断	221/94	246
⑤	止水板押え	取付けボルト	引張り	427/272	612
			せん断	118/252	340
⑥		座 板	曲げ	361/230	433
			せん断	76/162	246
⑦		保護プレート	曲 げ（正面）	105/225	405
			せん断（正面）	30/64	231
	曲 げ（上面）		126/269	405	
	せん断（上面）		28/60	231	
⑧	側面戸当り	支圧	11/3	311	
⑨	底面戸当り	支圧	2/5	311	
⑩	防衝板	本 体	曲げ	142/151	207
			せん断	4/5	118
⑪		取付けボルト	引張り	94/99	203
			せん断	75/79	130
⑫		座板	曲げ	100/106	207
			せん断	29/30	118

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（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)
⑬	シートジョイント	引張り	64	60