

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-267 改9
提出年月日	平成30年9月26日

V-3-別添 3-2-2 放水路ゲートの強度計算書

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	6
2.4	適用基準	8
2.5	記号の説明	9
3.	評価部位	11
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	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
5.3	許容限界	19
5.4	設計用地震力	25
5.5	計算方法	26
5.6	計算条件	34
6.	評価結果	42

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、浸水防護施設のうち放水路ゲートが津波荷重、余震及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有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

放水路ゲートは、放水口に近い位置で放水路上に設置する。

放水路ゲートの設置位置図を図 2-1 に示す。

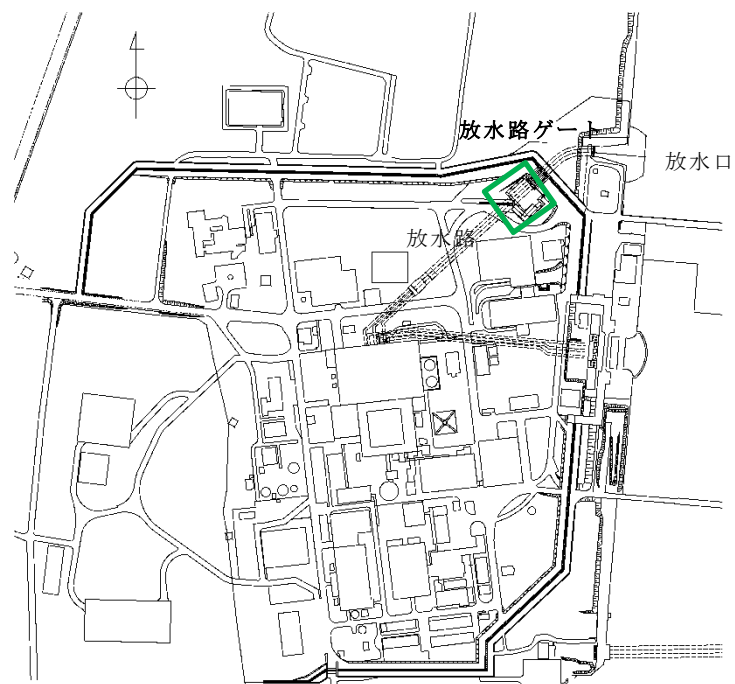


図 2-1 放水路ゲートの設置位置図

2.2 構造計画

放水路ゲートは、スライド式のゲートで扉体、戸当り、駆動装置及び間接支持構造物から構成されている。扉体は鋼製の構造であり、荷重を受ける受圧部にスキンプレートがあり、主桁、縦補助桁及び端桁により架構が構成され、スキンプレートにかかる津波荷重を架構が受ける構造である。扉体で受けた荷重については、扉体の支圧板から支承部の戸当りを介して間接支持構造物である防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））が受ける構造である。

また、扉体にはフラップ式の鋼製の小扉が設置されており、放水路ゲートが閉止後においても非常用海水ポンプの運転が可能な構造である。

扉体の駆動装置は、放水路ゲートの上部に設置されており、中央制御室からの信号により電動駆動式及び自重降下式の駆動機構によって確実に閉止する。

放水路ゲートの構造計画を表 2-1 に示す。

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	
防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））を設置する。	スキンプレート，主桁，縦補助桁，端桁，小扉，支圧板，戸当り及び駆動装置により構成する。	

NT2 補② V-3-別添3-2-2 R9

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	
防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））に設置する。	スキンプレート，主桁，縦補助桁，端桁，小扉，支圧板，戸当り及び駆動装置により構成する。	

NT2 補② V-3-別添 3-2-2 R9

2.3 評価方針

放水路ゲートの強度評価は、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、応力評価により実施する。応力評価では、放水路ゲート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、応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

放水路ゲートの強度評価フローを図 2-2 に示す。放水路ゲートの構造強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価部位を設定する。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の作用時（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。重畳時においては、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」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を設計震度として用いる。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。

放水路ゲートの間接支持構造物となる鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の構造物全体の強度については、添付書類「V-3-別添 3-2-1-2-2 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の強度計算書」において説明する。

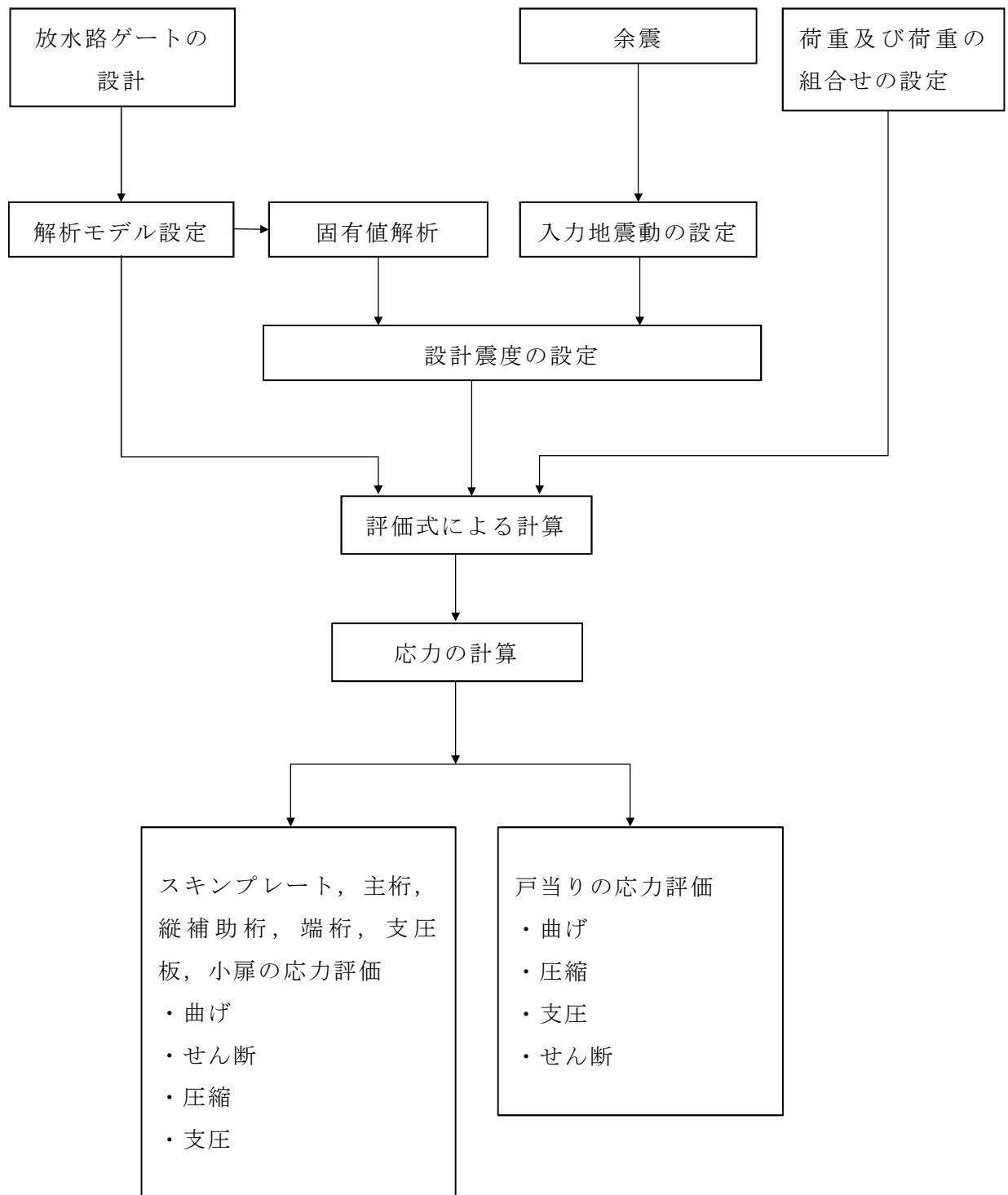


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 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）（ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月）
- (2) 構造力学公式集（土木学会 1986 年）
- (3) コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会 2002 年制定）
- (4) 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（土木学会 2005 年）
- (5) 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）
- (6) 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6 -2009（日本電気協会）
- (7) 建築基礎構造設計指針（日本建築学会 2001 年）
- (8) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010 年 11 月）
- (9) 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- (10) 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- (11) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会 2005 年 9 月）
- (12) 津波漂流物対策施設設計ガイドライン（沿岸技術研究センター 寒地港湾技術研究センター 2014 年 3 月）

2.5 記号の説明

放水路ゲート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 放水路ゲートの固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
E	縦弾性係数	N/mm ²
f	一次固有振動数	Hz
I	断面二次モーメント	cm ⁴
L	スパン長	m
m	扉体部自重	kg/m
T	固有周期	s
λ_n	支持条件 (単純支持梁, 1次モード)	—

表 2-3 放水路ゲートの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	定義	単位
a_1	スキンプレートの短辺	cm
a_2	縦補助桁の主桁間隔	m
a_3	小扉の短辺	cm
A	端桁の断面積	cm ²
A_{w1}	主桁のウェブ断面積	cm ²
A_{w2}	縦補助桁のウェブ断面積	cm ²
b_1	スキンプレートの長辺	cm
b_2	縦補助桁間隔	m
b_3	小扉の長辺	cm
b_f	戸当りの底面フランジ幅	mm
b_r	水路面より戸当り中心までの距離	mm
B	扉体水密幅	m 又は mm
e_f	戸当り底面フランジ張出幅	mm
E_1	支圧板の弾性係数	N/mm ²
E_2	支圧板当たりの弾性係数	N/mm ²
h_r	戸当りの高さ	mm
k_1	スキンプレートの辺長比 (b/a) による係数	—
k_2	小扉の辺長比 (b/a) による係数	—
L	主桁の支圧板中心間	m

表 2-3 放水路ゲートの応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	定義	単位
L_h	支圧板計算高さ	mm
M_{max}	最大曲げモーメント	kN・m
p	支圧板の評価に用いるヘルツの接触応力度	N/mm ²
p_d	戸当りの下部作用水圧	N/mm ²
P_1	スキンプレートにかかる水圧	N/m ²
P_2	縦補助桁にかかる各区分の平均水圧	kN/m ²
P_3	支圧板の計算に用いる計算荷重の常時換算値	N
P_4	小扉にかかる水圧	N/m ²
R_1	端桁にかかる主桁反力	kN
R_2	支圧板半径	mm
S	堰柱側面から底面フランジ端面までの距離	mm
S_{max}	最大せん断力	kN
t_1	スキンプレートの板厚	cm
t_2	小扉の板厚	cm
t_f	戸当りの底面フランジ厚さ	mm
t_w	戸当りのウェブ厚さ	mm
W	主桁にかかる荷重	kN/m
Z_1	主桁の断面係数	cm ³
Z_2	縦補助桁の断面係数	cm ³
α	スキンプレートの応力の補正係数	—
σ	曲げ応力, 圧縮応力	N/mm ²
σ_{cw}	戸当りの腹板に生じる圧縮応力度	N/mm ²
σ_f	戸当りの底面フランジに生じる曲げ応力度	N/mm ²
σ_k	戸当りのコンクリートに生じる支圧応力度	N/mm ²
τ	せん断応力	N/mm ²
τ_k	コンクリートのせん断応力度	N/mm ²

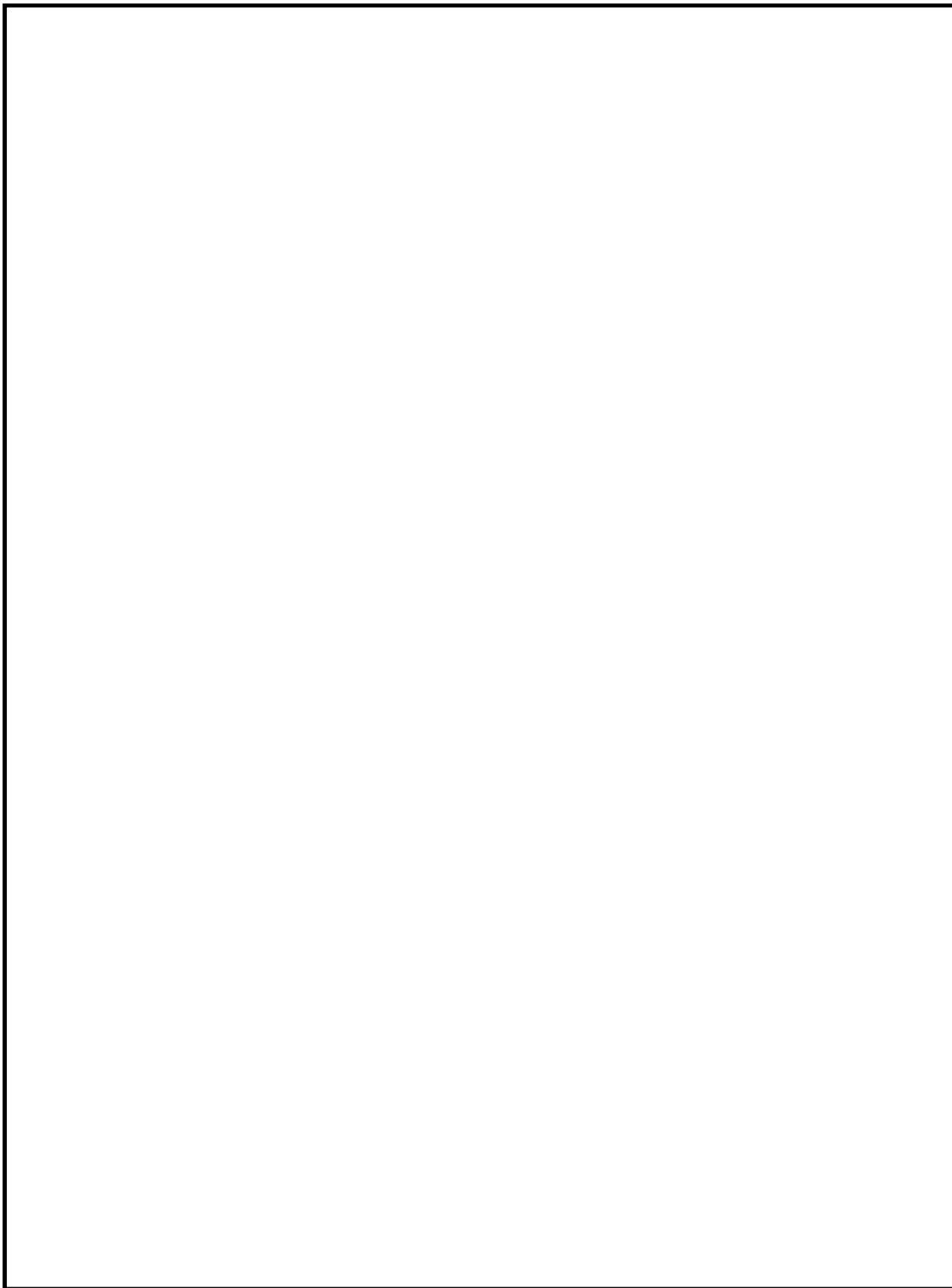
3. 評価部位

放水路ゲートの評価部位は、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書の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価部位を踏まえて、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し設定する。

津波時は放水口側からの津波荷重を扉体（スキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁及び小扉）で受け支圧板から戸当り（底面フランジ及び腹板）より地中連続壁基礎に応力を伝達させる。また、重畳時にも同様に、放水口側からの津波荷重及び水平荷重の余震荷重が負荷された場合においても扉体（スキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁及び小扉）で受け支圧板から戸当り（底面フランジ及び腹板）より防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））に応力を伝達させる。鉛直方向の余震荷重が負荷された場合も同様である。

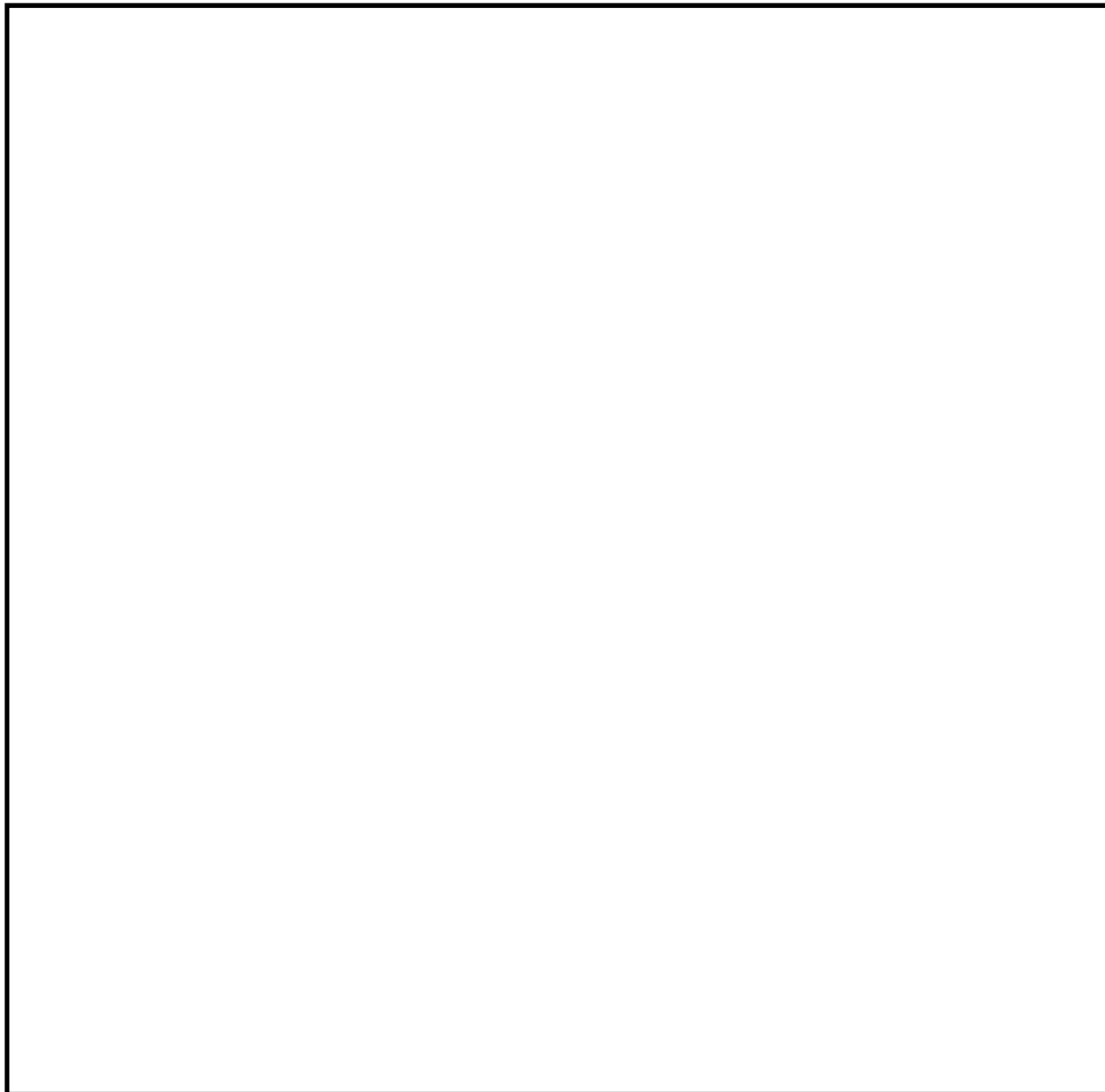
以上より、構造強度評価においては、応力評価による評価部位として、スキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁、支圧板及び小扉を選定する。また、支圧板から構成される戸当り（底面フランジ及び腹板）についても評価部位として選定する。

評価部位について図 3-1 及び図 3-2 に示す。



注：寸法は mm を示す。

図 3-1 放水路ゲートの評価部位（正面図及び平面図）



注：寸法は mm を示す。

図 3-2 放水路ゲートの評価部位（側面図）

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 解析モデル

放水路ゲートの固有周期計算モデルは、単純支持梁モデルとして計算する。

(2) 固有周期の計算方法

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

固有周期を以下の式より計算する。

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

4.2 固有周期の計算条件

表 4-1 に固有周期の計算条件を示す。

表 4-1 固有周期の計算条件

スパン長さ L (m)	扉体部自重 m (kg/m)	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 (単純 支持梁, 1次モ ード) λ_n
4.00	3370	206000	2088303	3.142

4.3 固有周期の計算結果

表 4-2 に固有周期の計算結果を示す。固有周期は、0.05 s 以下であることから、剛構造である。

表 4-2 固有周期の計算結果

固有振動数 (Hz)	111
固有周期 (s)	0.01

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

放水路ゲートの強度評価は、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。

放水路ゲートの強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「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。

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重 (W_g) を考慮する。

b. 突き上げ津波荷重 (P_t)

基準津波時及び敷地に遡上する津波時による扉体にかかる荷重を考慮する。津波の荷重作用図を図 5-1 に示す。

$$P_t = \frac{H_s (P_u + P_d) B}{2}$$

$$P_u = W_1 \cdot H_2$$

$$P_d = W_1 \cdot H_1$$

ここに、 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水圧 (kN/m^2)

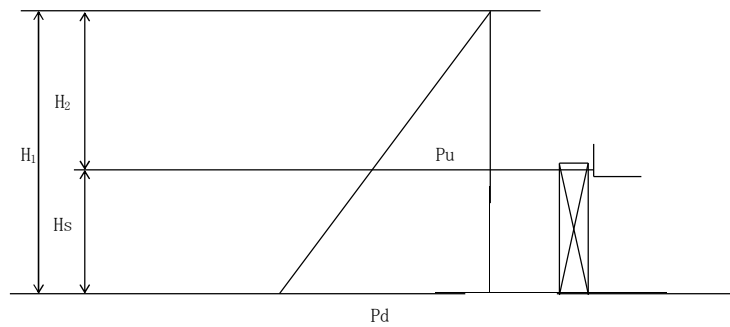


図 5-1 津波の荷重作用図

c. 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重は、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」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力（動水圧含む。）とする。

(a) 余震による地震力

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。

$$K_s = W_g \cdot K_H$$

ここに、 W_g ：扉体自重 (kN)

K_H ：設計震度

(b) 余震による動水圧

余震時の扉体に作用する動水圧を考慮する。動水圧の荷重作用図を図 5-2 に示す。

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

ここに、 P_{td} ：余震による動水圧 (kN)

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 ($H_5 = H_4 - H_s$) (m)

W_1 ：水の単位体積重量 (kN/m³)

K_H ：設計震度

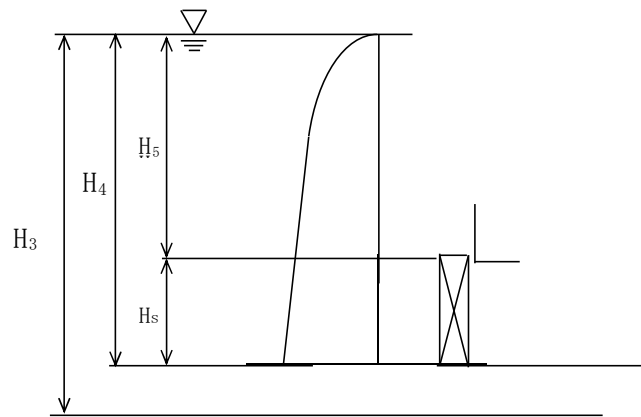


図 5-2 動水圧の荷重作用図

d. 積雪荷重 (P_s)

津波時・余震時とも扉体への積雪荷重を考慮する。

$$P_s = q_s \cdot D_s \cdot B_s$$

ここに、 q_s : 積雪深 30 cm のときの単位積雪荷重 (kN/m^2)

D_s : 扉体総桁高 (m)

B_s : 扉体受圧幅 (m)

(2) 荷重の組合せ

放水路ゲートの構造強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 放水路ゲートの構造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 (津波防護施設)	放水路ゲート	$G + P_t + K_{s,d} + P_s$

注記 * : G は固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, $K_{s,d}$ は余震荷重, P_s は積雪荷重を示す。

5.3 許容限界

(1) 基準津波に対する許容限界

放水路ゲートの許容限界を表 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 放水路ゲートの許容限界

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

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。

*2：扉体の許容限界は，「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）（ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 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。

*3： σ_{ab} ：許容曲げ応力度， σ_{ac} ：許容圧縮応力度， τ_a ：許容せん断応力度， σ_{as} ：許容支圧応力度を示す。

表 5-3 放水路ゲートの許容応力評価条件

評価部位	材料	$\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{ac}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\tau_a^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{as}^{*1,2}$ (N/mm ²)
スキンプレート	SM490	160	—	—	—
主桁	SM490	160	—	90	—
縦補助桁	SM490	160	—	90	—
端桁	SM490	—	160	—	—
支圧板	SUS304	—	—	—	—
小扉	SM490	160	—	—	—
戸当り（底面フランジ）	SM490	160	—	—	—
戸当り（腹板）	SM400	—	120	—	—
戸当り（コンクリート）	無筋コンクリート	—	—	0.40	5.9

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{ac} : 許容圧縮応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 各許容応力度の値は, 「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) (ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月)」に基づく。

表 5-4 放水路ゲートの許容応力算出結果

許容応力状態	評価部位	許容限界				
		1次応力				
		曲げ (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	支圧 (N/mm ²)	ローラ接触面の許容応力 (N/mm ²)
短期許容応力度	スキンプレート	240	—	—	—	—
	主桁	240	—	135	—	—
	縦補助桁	240	—	135	—	—
	端桁	—	240	—	—	—
	支圧板	—	—	—	—	241*1
	小扉	240	—	—	—	—
	戸当り (底面フランジ)	240	—	—	—	—
	戸当り (腹板)	—	180	—	—	—
戸当り (コンクリート)	—	—	0.6	8.9	—	

注記 *1：支圧板のローラ接触面の許容応力は、「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）（ダム・堰施設技術協会 平成28年3月）」に基づき、以下の計算式により算出する。

$$p_a = \frac{9.8 \cdot H_B}{2 \cdot \nu}$$

ここに、 p_a ：接触面の許容応力度（N/mm²）

H_B ：支圧板のブリネル硬さ（SUS304*2：150HB）（「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）（ダム・堰施設技術協会 平成28年3月）」より）

ν ：安全率（線接触の場合）（1.3）

*2：放水路ゲートの開閉時に水圧による扉体の振れが発生するため、支圧板が摺動されることから、戸当りとの摩擦抵抗を小さくするため、プラント排水側の荷重を受ける支圧板を CAC603 に、放水口側の荷重を受ける支圧板を SUS304 とする。放水路ゲートの支圧板の材質関係を図 5-3 に示す。

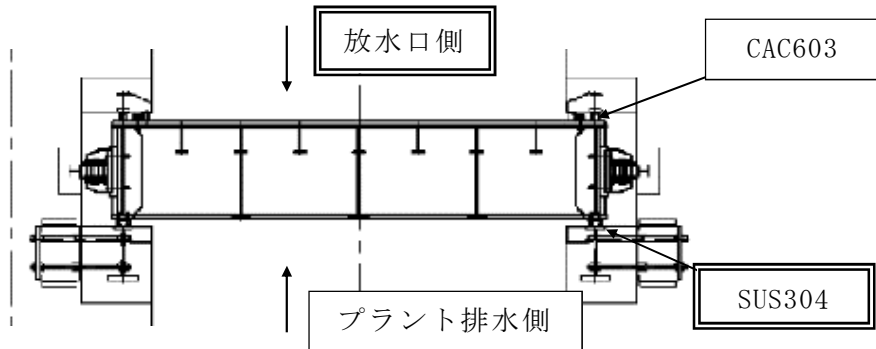


図 5-3 放水路ゲートの支圧板の材質関係図

(2) 敷地に遡上する津波に対する許容限界

放水路ゲートの許容限界を表 5-5 に、許容応力評価条件を表 5-6 に、許容応力算出結果を表 5-7 にそれぞれ示す。

表 5-5 放水路ゲートの許容限界

許容応力状態	許容限界*1			
	1次応力			
	曲げ	圧縮	せん断	支圧
短期許容応力度	$1.9\sigma_{ab}^{*2,3}$	$1.9\sigma_{ac}^{*2,3}$	$1.9\tau_a^{*2,3}$	$1.9\sigma_{as}^{*2,3}$

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。

*2：扉体の許容限界は、「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）（ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 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 1.9 倍の割増しを考慮する。

*3： σ_{ab} ：許容曲げ応力度， σ_{ac} ：許容圧縮応力度， τ_a ：許容せん断応力度， σ_{as} ：許容支圧応力度を示す。

表 5-6 放水路ゲートの許容応力評価条件

評価部位	材料	$\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{ac}^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\tau_a^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\sigma_{as}^{*1,2}$ (N/mm ²)
スキンプレート	SM490	160	—	—	—
主桁	SM490	160	—	90	—
縦補助桁	SM490	160	—	90	—
端桁	SM490	—	160	—	—
支圧板	SUS304	—	—	—	—
小扉	SM490	160	—	—	—
戸当り（底面フランジ）	SM490	160	—	—	—
戸当り（腹板）	SM400	—	120	—	—
戸当り（コンクリート）	無筋コンクリート	—	—	0.40	5.9

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{ac} : 許容圧縮応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 各許容応力度の値は, 「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) (ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月)」に基づく。

表 5-7 放水路ゲートの許容応力算出結果

許容応力状態	評価部位	許容限界				
		1次応力				
		曲げ (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	支圧 (N/mm ²)	ローラ接触面 の許容応力 (N/mm ²)
短期 許容 応力度	スキンプレート	304	—	—	—	—
	主桁	304	—	171	—	—
	縦補助桁	304	—	171	—	—
	端桁	—	304	—	—	—
	支圧板	—	—	—	—	241*
	小扉	304	—	—	—	—
	戸当り (底面フラ ンジ)	304	—	—	—	—
	戸当り (腹板)	—	228	—	—	—
戸当り (コンクリ ート)	—	—	0.76	11.2	—	

注記 * : 支圧板のローラ接触面の許容応力は、「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) (ダム・堰施設技術協会 平成28年3月)」に基づき、以下の計算式により算出する。

$$p_a = \frac{9.8 \cdot H_B}{2 \cdot \nu}$$

ここに、 p_a : 接触面の許容応力度 (N/mm²)

H_B : 支圧板のブリネル硬さ (SUS304 : 150HB) (「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) (ダム・堰施設技術協会 平成28年3月)」より)

ν : 安全率 (線接触の場合) (1.3)

5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり放水路ゲートの固有周期が 0.05 s 以下であることを確認したため、放水路ゲートの強度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」に示す防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））における設置床の最大応答加速度を基に設定する。放水路ゲートの強度計算に用いる設計震度を表 5-8 に示す。

表 5-8 放水路ゲートの強度計算に用いる設計震度

地震動	据付場所及び床面高さ (m)	地震による設計震度	
		基準地震動 S_s	放水路ゲート -2.5 (EL. 3.5*)
		鉛直方向 K_V	0.32

注記 * : 基準床レベルを示す。

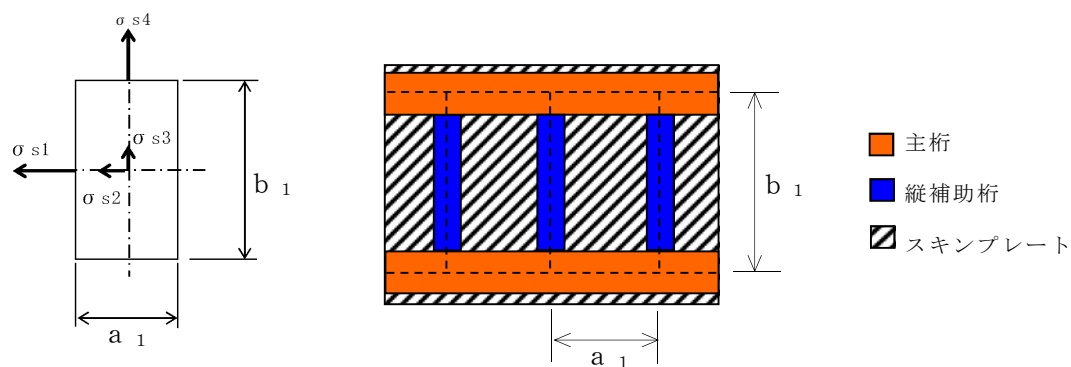
5.5 計算方法

(1) 扉体

a. スキンプレート

スキンプレートに発生する曲げモーメントは、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。



$$\sigma = \frac{k_1 \cdot P_1 \cdot a_1^2 \times 10^{-6}}{100 \times t_1^2} \cdot \alpha$$

σ : 曲げ応力 (N/mm²)

k_1 : 辺長比 (b/a) による係数

a_1 : 短辺 (cm)

b_1 : 長辺 (cm)

P_1 : 水圧 (N/m²)

t_1 : 板厚 (cm)

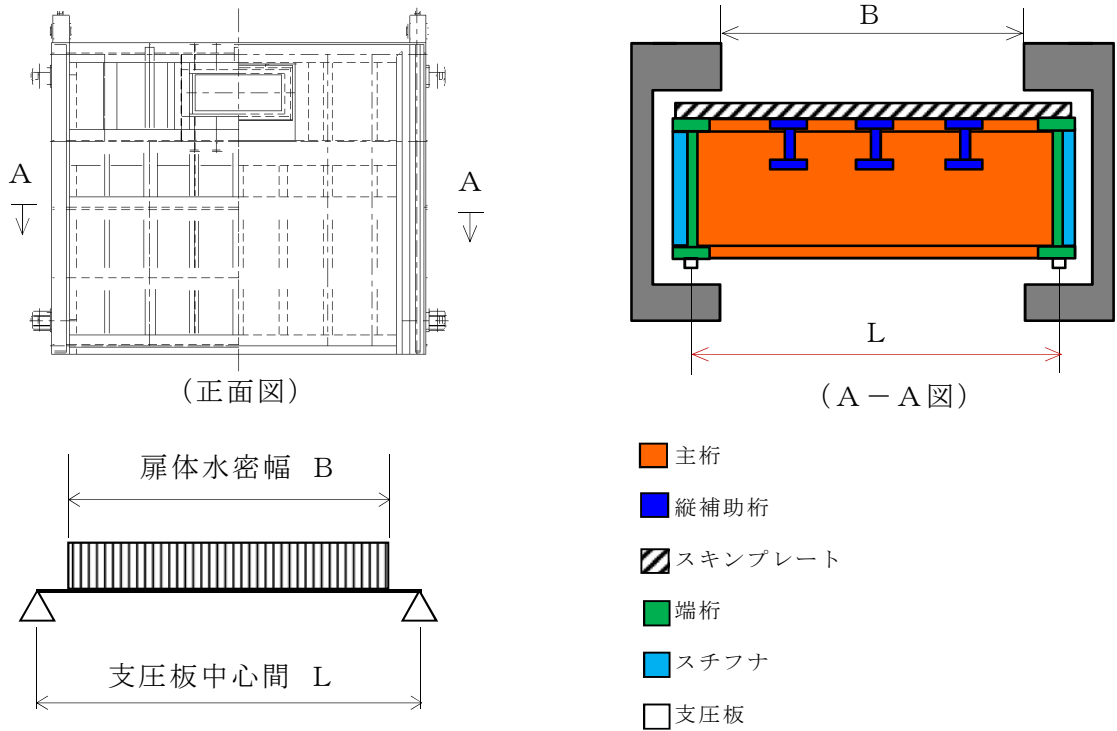
α : 応力の補正係数

図 5-4 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

b. 主桁

主桁は、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、支圧板の設置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。

主桁のモデル図及び応力算定式を図 5-5 に示す。



$$M_{\max} = \frac{W \cdot B}{8} \cdot (2 \cdot L - B)$$

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

$$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot 10^6}{Z_1 \cdot 10^3}$$

$$\tau = \frac{S_{\max} \cdot 10^3}{A_{w1} \cdot 10^2}$$

M_{\max} : 最大曲げモーメント (kN・m)

S_{\max} : 最大せん断力 (kN)

σ : 曲げ応力 (N/mm²)

τ : せん断応力 (N/mm²)

W : 主桁にかかる荷重 (kN/m)

B : 扉体水密幅 (m)

L : 支圧板中心間 (m)

Z_1 : 断面係数 (cm³)

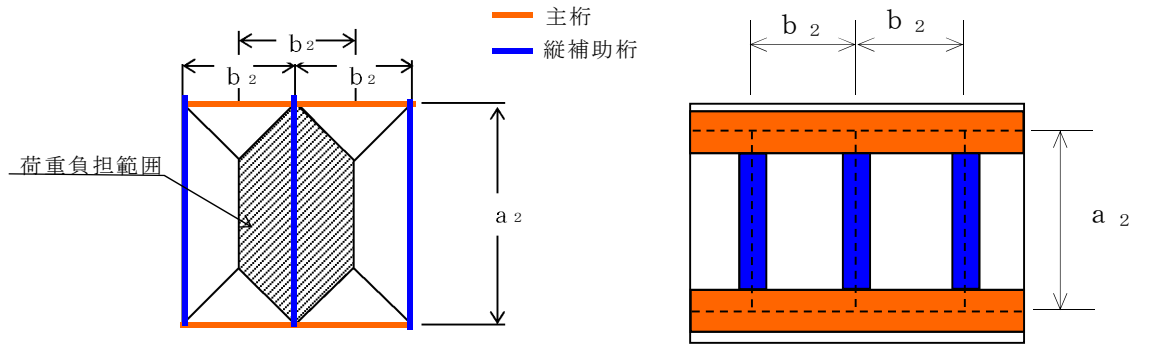
A_{w1} : ウェブ断面積 (cm²)

図 5-5 主桁のモデル図及び応力算定式

c. 縦補助桁

縦補助桁については、主桁によって支持された単純支持梁とし、荷重は平均水圧が亀甲形に作用したものとして、曲げ応力及びせん断応力を算定する。

縦補助桁のモデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。



$$M_{\max} = \frac{P_2 \cdot b_2}{2 \cdot 4} (3 \cdot a_2^2 - b_2^2)$$

$$S_{\max} = \frac{P_2 \cdot b_2}{2} \left(a_2 - \frac{b_2}{2} \right)$$

$$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot 10^6}{Z_2 \cdot 10^3}$$

$$\tau = \frac{S_{\max} \cdot 10^3}{A_{w2} \cdot 10^2}$$

M_{\max} : 最大曲げモーメント (kN・m)

S_{\max} : 最大せん断力 (kN)

σ : 曲げ応力 (N/mm²)

τ : せん断応力 (N/mm²)

P_2 : 各区分の平均水圧 (kN/m²)

a_2 : 主桁間隔 (m)

b_2 : 縦補助桁間隔 (m)

Z_2 : 断面係数 (cm³)

A_{w2} : ウェブ断面積 (cm²)

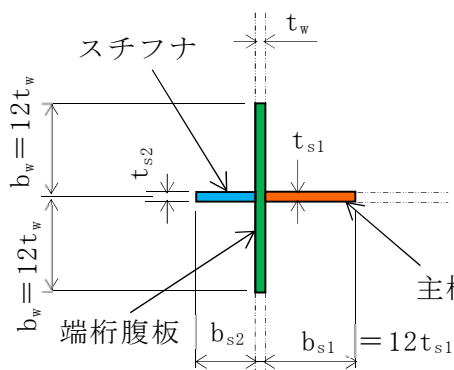
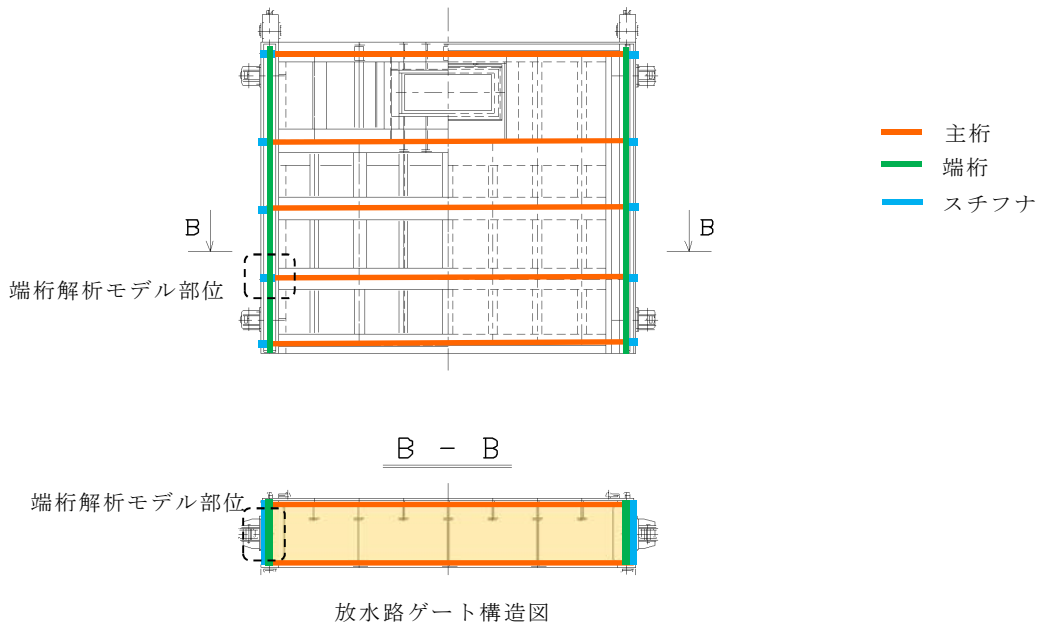
図 5-6 縦補助桁のモデル図及び応力算定式

d. 端桁

本設備はスライドゲートであるため、端桁は主桁端部に生じた反力が戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する役割を果たしている。そのため、垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点として腹板強度の計算を行う。

端桁腹板には垂直補剛材として主桁ウェブとスチフナを有する。端桁腹板は上下方向に、主桁ウェブは径間方向に部材が伸びているが、実際に荷重が作用している有効断面のみで検討する

端桁のモデル図及び応力算定式を図 5-7 に示す。



有効断面積 $A = A_w + A_{s1} + A_{s2}$

$A_w = 2b_w \cdot t_w$ (端桁腹板)
 $A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1}$ (主桁ウェブ)
 $A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2}$ (スチフナ)
 (ただし $A \leq 1.7 A_{s1}$)

$$\sigma = \frac{R_1 \cdot 10^3}{A \cdot 10^2}$$

σ : 圧縮応力 (N/mm²)

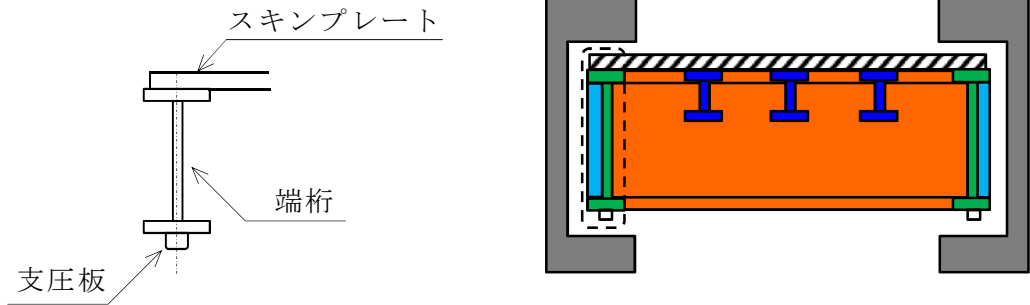
R_1 : 主桁反力 (kN)

A : 断面積 (cm²)

図 5-7 端桁のモデル図及び応力算定式

e. 支圧板

支圧板の面圧は踏面に曲率を設けるため、ローラの線接触に沿って計算する。
支圧板のモデル図及び応力算定式を図 5-8 に示す。



$$p = 0.591 \sqrt{\frac{P_3 \cdot E_1 \cdot E_2}{L_h \cdot R_2 \cdot (E_1 + E_2)}}$$

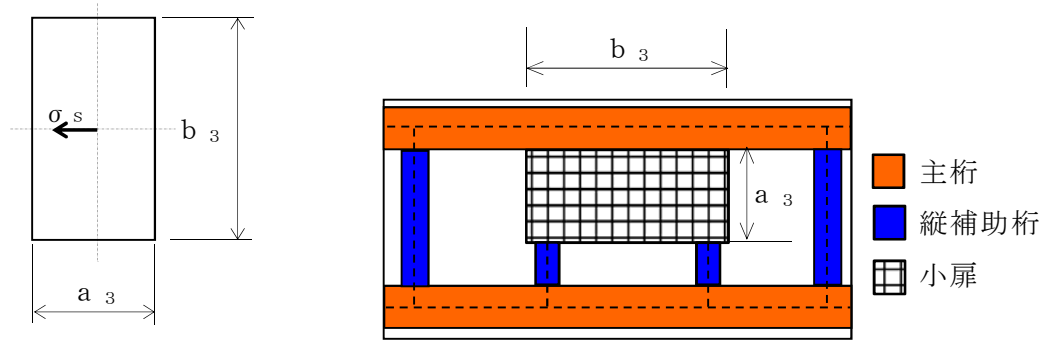
- p : ヘルツの接触応力度 (N/mm²)
- P₃ : 支圧板の計算に用いる計算荷重の常時換算値 (N)
- E₁ : 支圧板の弾性係数 (N/mm²)
- E₂ : 支圧板当たりの弾性係数 (N/mm²)
- L_h : 支圧板計算高さ (mm)
- R₂ : 支圧板半径 (mm)

図 5-8 支圧板のモデル図及び応力算定式

f. 小扉

周辺単純支持板の分布荷重による曲げ応力を算出する。（「構造力学公式集（土木学会編）」より）

小扉のモデル図及び応力算定式を図 5-9 に示す。



$$\sigma = \frac{6 \cdot k_2 \cdot P_4 \cdot a_3^2 \cdot 10^{-4}}{t_2^2}$$

σ : 曲げ応力 (N/mm²)

k_2 : 小扉の辺長比 (b/a) による係数

P_4 : 水圧 (N/m²)

t_2 : 板厚 (cm)

a_3 : 短辺 (cm)

b_3 : 長辺 (cm)

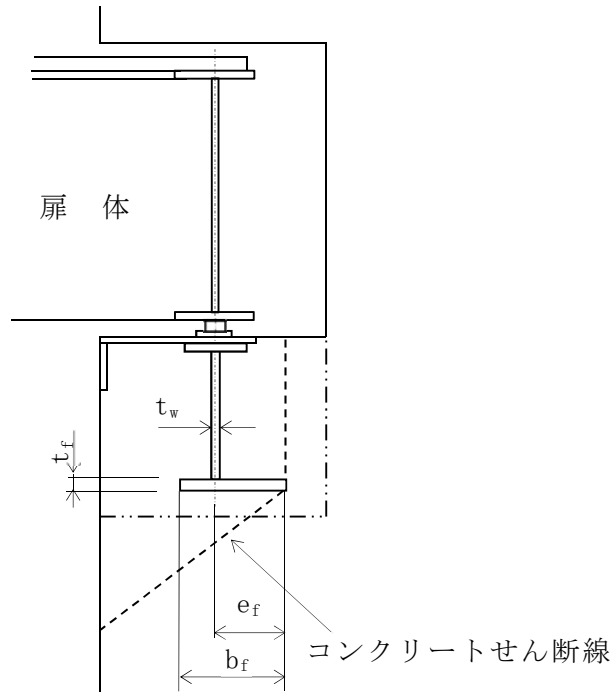
図 5-9 小扉のモデル図及び応力算定式

(2) 戸当り

a. 鋼材

戸当りの鋼材は、下面の水圧が高いため作用水圧とする。

戸当り鋼材のモデル図及び応力算定式を図 5-10 に示す。



$$\sigma_k = \frac{p_d \cdot B}{2 \cdot b_f}$$

$$\sigma_f = \frac{6 \cdot \sigma_k \cdot e_f^2}{2 \cdot t_f^2}$$

$$\sigma_{c w} = \frac{p_d \cdot B}{2 \cdot t_w}$$

σ_k : 戸当りのコンクリートに生じる支圧応力度 (N/mm²)

σ_f : 戸当りフランジに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c w}$: 戸当りの腹板に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

p_d : 下部作用水圧 (N/mm²)

B : 扉体水密幅 (mm)

b_f : 戸当りの底面フランジ幅 (mm)

e_f : 戸当りの底面フランジ張出幅 (mm)

t_f : 戸当りの底面フランジ厚さ (mm)

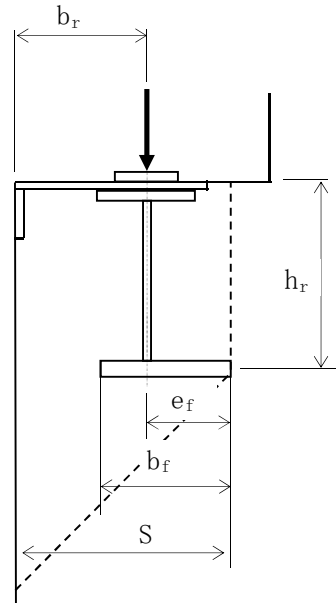
t_w : 戸当りのウェブ厚さ (mm)

図 5-10 戸当り鋼材のモデル図及び応力算定式

b. コンクリート

戸当りのコンクリートへの荷重は、前項の鋼材の作用力として受ける支圧応力及びせん断応力を評価する。

戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式を図 5-11 に示す。



$$\sigma_k = \frac{p_d \cdot B}{2 \cdot b_f}$$

$$\tau_k = \frac{\sigma_k \cdot b_f}{h_r + 2 \cdot S}$$

σ_k : 戸当りのコンクリートに生じる支圧応力度 (N/mm²)

τ_k : コンクリートに生じるせん断応力度 (N/mm²)

p_d : 下部作用水圧 (N/mm²)

B : 扉体水密幅 (mm)

b_f : 戸当りの底面フランジ幅 (mm)

h_r : 戸当りの高さ (mm)

S : 水面路から底面フランジ端面までの距離
($S=b_r+e_f$) (mm)

b_r : 水面路より戸当り中心までの距離 (mm)

e_f : 戸当りの底面フランジ張出幅 (mm)

図 5-11 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

5.6 計算条件

放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件を表 5-9 及び表 5-10 に示す。

表 5-9 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（基準津波時）（1/4）

スキンプレート, 主桁, 縦補助桁, 端桁の材質	支圧板の材質	扉体自重による 荷重 W_g (kN)	津波波力 P_t (kN)
SM490	SUS304	120	4018.507
水密高さ H_s (m)	津波時の下端止水 位置までの水深 H_1 (m)	津波時の上端止水 位置までの水深 H_2 (m)	扉体水密幅 B (m)
3.6	32.5	28.9	3.6
水の単位体積荷重 W_1 (kN/m ³)	動水圧 P_{td} (kN)	余震時の基礎地盤 までの深さ H_3 (m)	余震時の設計水深 H_4 (m)
10.1	1651.688	35.0	32.5
余震荷重 K_{sd} (kN)	積雪荷重 P_s (kN)	単位積雪荷重 q_s (kN/m ²)	扉体総桁高 D_s (m)
52.8	0.73	0.21	0.828

表 5-9 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（基準津波時）（2/4）

扉体受圧幅 B_s (m)	スキンプレートの 長辺比 (b/a) によ る係数 k_1	スキンプレートの 短辺 a_1 (cm)	スキンプレートの 長辺 b_1 (cm)
4.2	49.92	50	105

スキンプレートに かかる水圧 P_1 (N/m ²)	スキンプレートの 板厚 t_1 (cm)	スキンプレートの 応力の補正係数 α	主桁にかかる荷重 W (kN/m)
431762	2.6	0.8	369.715

主桁の 支圧板中心間 L (m)	主桁の断面係数 Z_1 (cm ³)	主桁の ウェブ断面積 A_{w1} (cm ²)	縦補助桁にかかる 各区分の平均水圧 P_2 (kN/m ²)
4	3796	70	425.346

縦補助桁の 主桁間隔 a_2 (m)	縦補助桁間隔 b_2 (m)	縦補助桁の 断面係数 Z_2 (cm ³)	縦補助桁の ウェブ断面積 A_{w2} (cm ²)
1.05	0.5	190	10.7

表 5-9 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（基準津波時）（3/4）

端桁にかかる 主桁反力 R_1 (kN)	端桁の断面積 A (cm^2)	支圧板の計算に用 いる計算荷重の 常時換算値 P_3 (N)	支圧板の弾性係数 E_1 (N/mm^2)
665.487	67.24	2015813	75900

支圧板当たりの 弾性係数 E_2 (N/mm^2)	支圧板計算高さ L_h (mm)	支圧板半径 R_2 (mm)	小扉の辺長比 (b/a) による係数 k_2
193000	3630	800	0.0975

小扉にかかる水圧 P_4 (N/m^2)	小扉の板厚 t_2 (cm)	小扉の短辺 a_3 (cm)	小扉の長辺 b_3 (cm)
425346	3.4	63	118

戸当りの 下部作用水圧 p_d (N/mm^2)	戸当りの底面 フランジ幅 b_f (mm)	戸当りの底面 フランジ張出幅 e_f (mm)	戸当りの底面 フランジ厚さ t_f (mm)
0.462767	450	300	55

表 5-9 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（基準津波時）（4/4）

戸当りの ウェブ厚さ t_w (mm)	戸当りの高さ h_r (mm)	水面路より戸当り 中心までの距離 b_r (mm)
12	989	250

表 5-10 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（敷地に遡上する津波時）（1/4）

スキンプレート, 主桁, 縦補助桁, 端桁の材質	支圧板の材質	扉体自重による 荷重 W_g (kN)	津波波力 P_t (kN)
SM490	SUS304	120	5196.571

水密高さ H_s (m)	津波時の下端止水 位置までの水深 H_1 (m)	津波時の上端止水 位置までの水深 H_2 (m)	扉体水密幅 B (m)
3.6	41.5	37.9	3.6

水の単位体積荷重 W_1 (kN/m ³)	動水圧 P_{td} (kN)	余震時の基礎地盤 までの深さ H_3 (m)	余震時の設計水深 H_4 (m)
10.1	2106.064	44.0	41.5

余震荷重 K_{sd} (kN)	積雪荷重 P_s (kN)	単位積雪荷重 q_s (kN/m ²)	扉体総桁高 D_s (m)
52.8	0.73	0.21	0.828

表 5-10 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（敷地に遡上する津波時）（2/4）

扉体受圧幅 B_s (m)	スキンプレートの 長辺比 (b/a) によ る係数 k_1	スキンプレートの 短辺 a_1 (cm)	スキンプレートの 長辺 b_1 (cm)
4.2	49.92	50	105

スキンプレートに かかる水圧 P_1 (N/m ²)	スキンプレートの 板厚 t_1 (cm)	スキンプレートの 応力の補正係数 α	主桁にかかる荷重 W (kN/m)
557741	2.6	0.8	472.823

主桁の 支圧板中心間 L (m)	主桁の断面係数 Z_1 (cm ³)	主桁の ウェブ断面積 A_{w1} (cm ²)	縦補助桁にかかる 各区分の平均水圧 P_2 (kN/m ²)
4	3796	70	551.347

縦補助桁の 主桁間隔 a_2 (m)	縦補助桁間隔 b_2 (m)	縦補助桁の 断面係数 Z_2 (cm ³)	縦補助桁の ウェブ断面積 A_{w2} (cm ²)
1.05	0.5	190	10.7

表 5-10 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（敷地に遡上する津波時）（3/4）

端桁にかかる 主桁反力 R_1 (kN)	端桁の断面積 A (cm^2)	支圧板の計算に用 いる計算荷重の 常時換算値 P_3 (N)	支圧板の弾性係数 E_1 (N/mm^2)
851.081	67.24	1923224	75900

支圧板当たりの 弾性係数 E_2 (N/mm^2)	支圧板計算高さ L_h (mm)	支圧板半径 R_2 (mm)	小扉の辺長比 (b/a) による係数 k_2
193000	3630	800	0.0975

小扉にかかる水圧 P_4 (N/m^2)	小扉の板厚 t_2 (cm)	小扉の短辺 a_3 (cm)	小扉の長辺 b_3 (cm)
551347	3.4	63	118

戸当りの 下部作用水圧 p_d (N/mm^2)	戸当りの底面 フランジ幅 b_f (mm)	戸当りの底面 フランジ張出幅 e_f (mm)	戸当りの底面 フランジ厚さ t_f (mm)
0.588682	450	300	55

表 5-10 放水路ゲートの応力評価に用いる計算条件（敷地に遡上する津波時）（4/4）

戸当りの ウェブ厚さ t_w (mm)	戸当りの高さ h_r (mm)	水面路より戸当り 中心までの距離 b_r (mm)
12	989	250

6. 評価結果

(1) 基準津波と余震による重畳時

放水路ゲートの応力評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。表 6-1 及び表 6-2 に示すとおり発生応力が許容応力以下であることから、放水路ゲートが構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 扉体（鋼材）の評価結果

No	部 位	評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)
①	スキンプレート	曲 げ	64	240
②	主桁	曲 げ	193	240
		せん断	96	135
③	縦補助桁	曲 げ	143	240
		せん断	80	135
④	端桁	圧 縮	99	240
⑤	支圧板	支 圧	115	241
⑥	小扉	曲 げ	86	240

表 6-2 戸当り（鋼材，コンクリート）の評価結果

No	部 位		評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)
⑦	戸当り	底面フランジ	曲 げ	166	240
		腹板	圧 縮	70	180
		コンクリート	支 圧	1.9	8.9
			せん断	0.4	0.6

(2) 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

放水路ゲートの応力評価結果を表 6-3 及び表 6-4 に示す。表 6-3 及び表 6-4 に示すとおり発生応力が許容応力以下であることから、放水路ゲートが構造健全性を有することを確認した。

表 6-3 扉体（鋼材）の評価結果

No	部 位	評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)
①	スキンプレート	曲 げ	83	304
②	主桁	曲 げ	247	304
		せん断	122	171
③	縦補助桁	曲 げ	185	304
		せん断	104	171
④	端桁	圧 縮	127	304
⑤	支圧板	支 圧	113	241
⑥	小扉	曲 げ	111	304

表 6-4 戸当り（鋼材，コンクリート）の評価結果

No	部 位	評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	
⑦	戸当り	底面フランジ	曲 げ	211	304
		腹板	圧 縮	89	228
		コンクリート	支 圧	2.4	11.2
			せん断	0.51	0.76