

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2
提出年月日	平成30年7月25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.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	6
2.4	適用規格	8
3.	強度評価方法	9
3.1	記号の説明	9
3.2	評価対象部位	11
4.	固有周期	14
4.1	基本方針	14
4.2	固有振動数の計算方法	14
4.2.1	記号の説明	14
4.2.2	固有振動数の算出方法	14
4.2.3	固有振動数の計算条件	14
4.3	固有値解析結果	15
5.	応力評価	16
5.1	基本方針	16
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	16
5.2.1	荷重の組合せ	16
5.2.2	許容応力	16
5.3	設計用地震力	19
5.4	評価方法	20
5.5	評価条件	28
6.	強度評価結果	30

## 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。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

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。

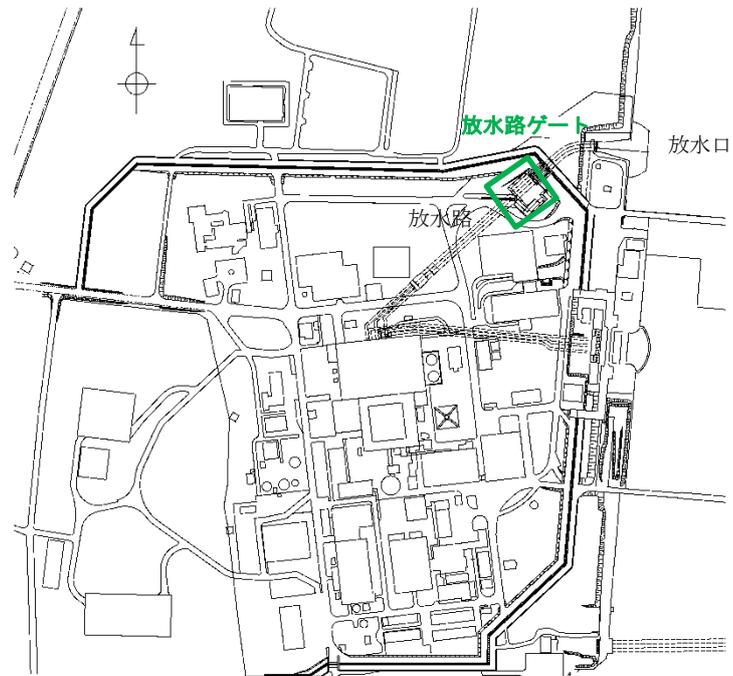


図 2-1 放水路ゲートの設置位置図

## 2.2 構造概要

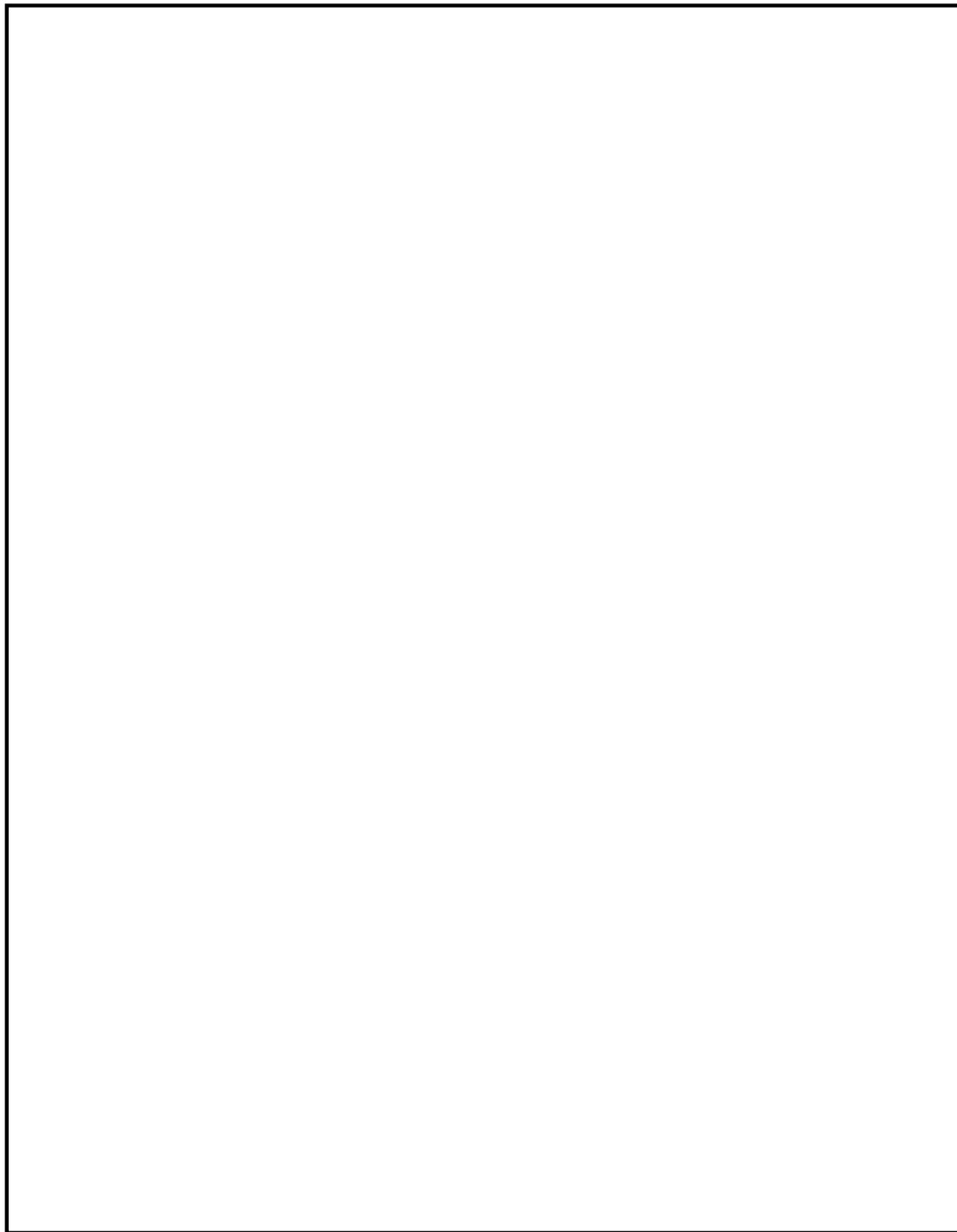
### (1) 放水路ゲート

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、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、端桁により架構が構成され、スキンプレートに掛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。

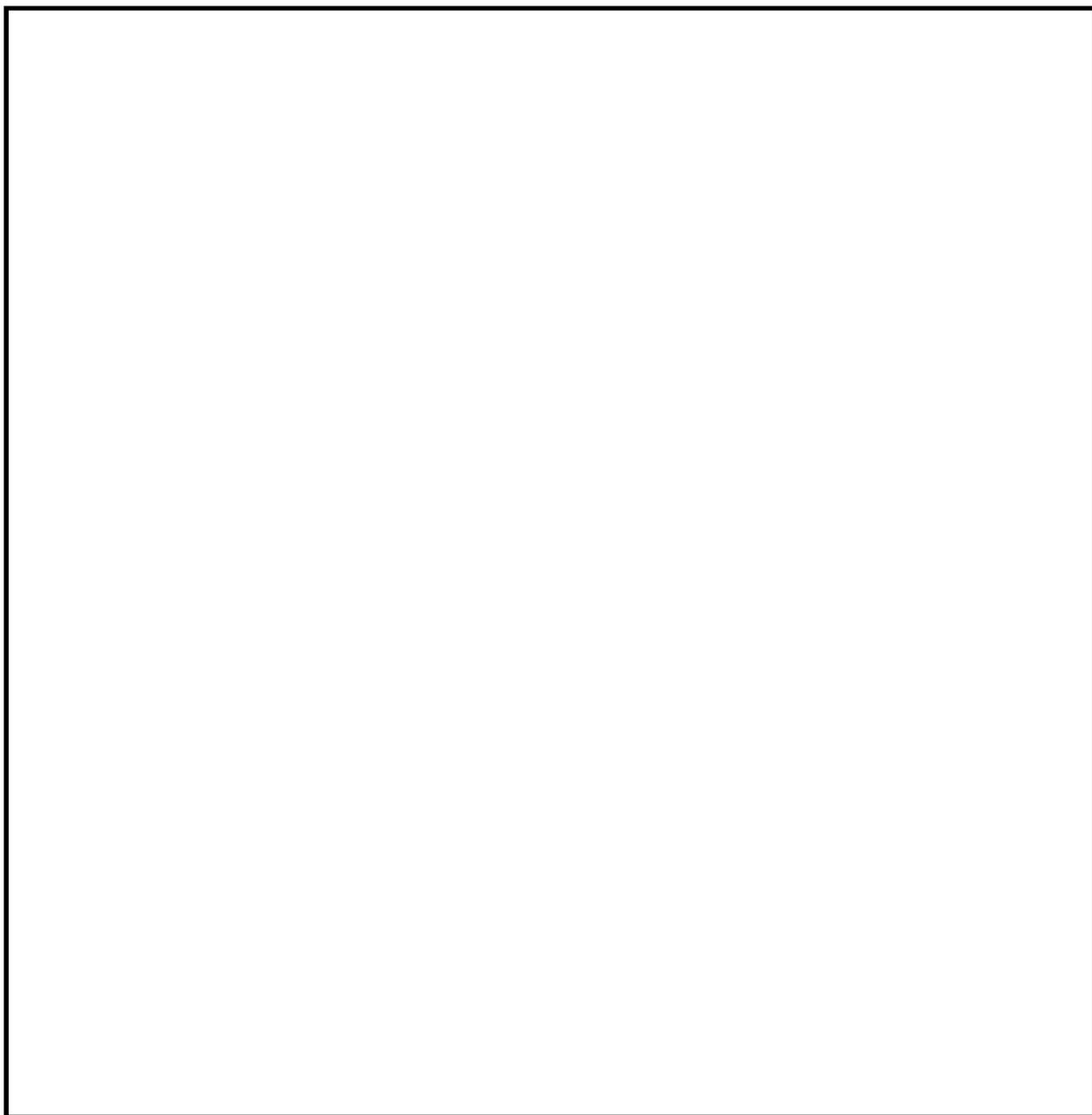
扉体の駆動装置は、放水路ゲートの上部に設置されており、中央制御室からの信号により電動駆動式と自重降下式の駆動機構によって確実に閉止する。

放水路ゲートの構造概要を図 2-2 及び図 2-3 に示す。



注：寸法は mm を示す。

図 2-2 放水路ゲートの構造概要（正面図及び平面図）



注：寸法は mm を示す。

図 2-3 放水路ゲートの構造概要（側面図）

### 2.3 評価方針

放水路ゲートの強度評価は、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、放水路ゲート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「5.4 評価方法」に示す方法により、「5. 応力評価」に示す評価条件を用いて評価し、「6. 強度評価結果」にて確認する。

放水路ゲートの強度評価フローを図 2-4 に示す。放水路ゲートの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最大床応答加速度の最大値を設計震度として用いる。

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、V-2-2-38-2「防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))の地震応答計算」において説明する。

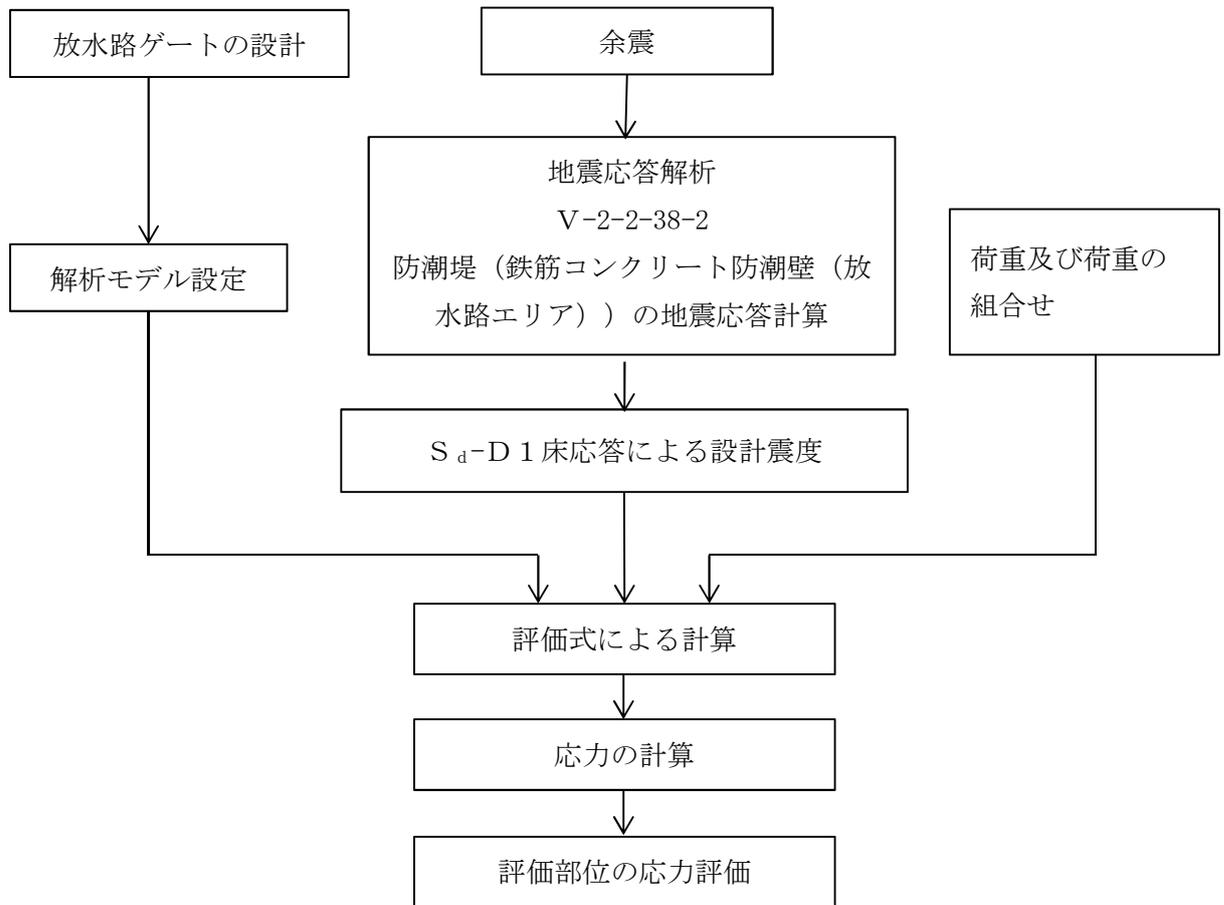


図 2-4 強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 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）
- ・ 構造力学公式集（（社）土木学会 1986 年）
- ・ コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会 2002 年制定）
- ・ 道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会 平成 24 年 3 月）
- ・ 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（（社）土木学会 2005 年）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 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（（社）日本電気協会）
- ・ 建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会 2001 年）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010 年 11 月）
- ・ 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）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会 2005 年 9 月）
- ・ 津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター（社）寒地港湾技術研究センター 2014 年 3 月）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の説明

放水路ゲートの強度評価に用いる記号を表 5-6 に示す。

表 5-6 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
$\sigma$	スキンプレートに生じる曲げ応力	N/mm <sup>2</sup>
k	スキンプレートの辺長比 (b/a) による係数	—
a	スキンプレートの短辺	mm
b	スキンプレートの長辺	mm
P	スキンプレートにかかる水圧	N/m <sup>2</sup>
t	スキンプレートの板厚	cm
M <sub>max</sub>	主桁に生じる最大曲げモーメント	kN・m
S <sub>max</sub>	主桁に生じる最大せん断力	kN
$\sigma$	主桁に生じる曲げ応力	N/mm <sup>2</sup>
$\tau$	主桁に生じるせん断応力	N/mm <sup>2</sup>
W	主桁にかかる扉体自重による荷重	kN/m
B	主桁の水密幅	m
L <sub>0</sub>	主桁の支圧板中心間	m
Z	主桁の断面係数	cm <sup>3</sup>
A <sub>w</sub>	主桁のウェブ断面積	cm <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	主桁の衝突荷重	kN
M <sub>max</sub>	縦補助桁に生じる最大曲げモーメント	kN・m
S <sub>max</sub>	縦補助桁に生じる最大せん断力	kn
$\sigma$	縦補助桁に生じる曲げ応力	N/mm <sup>2</sup>
$\tau$	縦補助桁に生じるせん断応力	N/mm <sup>2</sup>
p	縦補助桁にかかる各区分の平均水圧	N/mm <sup>2</sup>
a	縦補助桁の主桁間隔	m
b	縦補助桁間隔	m
Z	縦補助桁の断面係数	cm <sup>3</sup>
A <sub>w</sub>	縦補助桁のウェブ断面積	cm <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	補助桁の衝突荷重	kN
$\sigma$	端桁に生じる圧縮応力	N/mm <sup>2</sup>
R	端桁にかかる主桁反力	kN
A	端桁の断面積	cm <sup>2</sup>
p	支圧板の評価に用いるヘルツの接触応力度	N/mm <sup>2</sup>
C	支圧板とローラの接触幅の 1/2	mm

表 5-6 放水路ゲートの応力評価に用いる記号 (2/2)

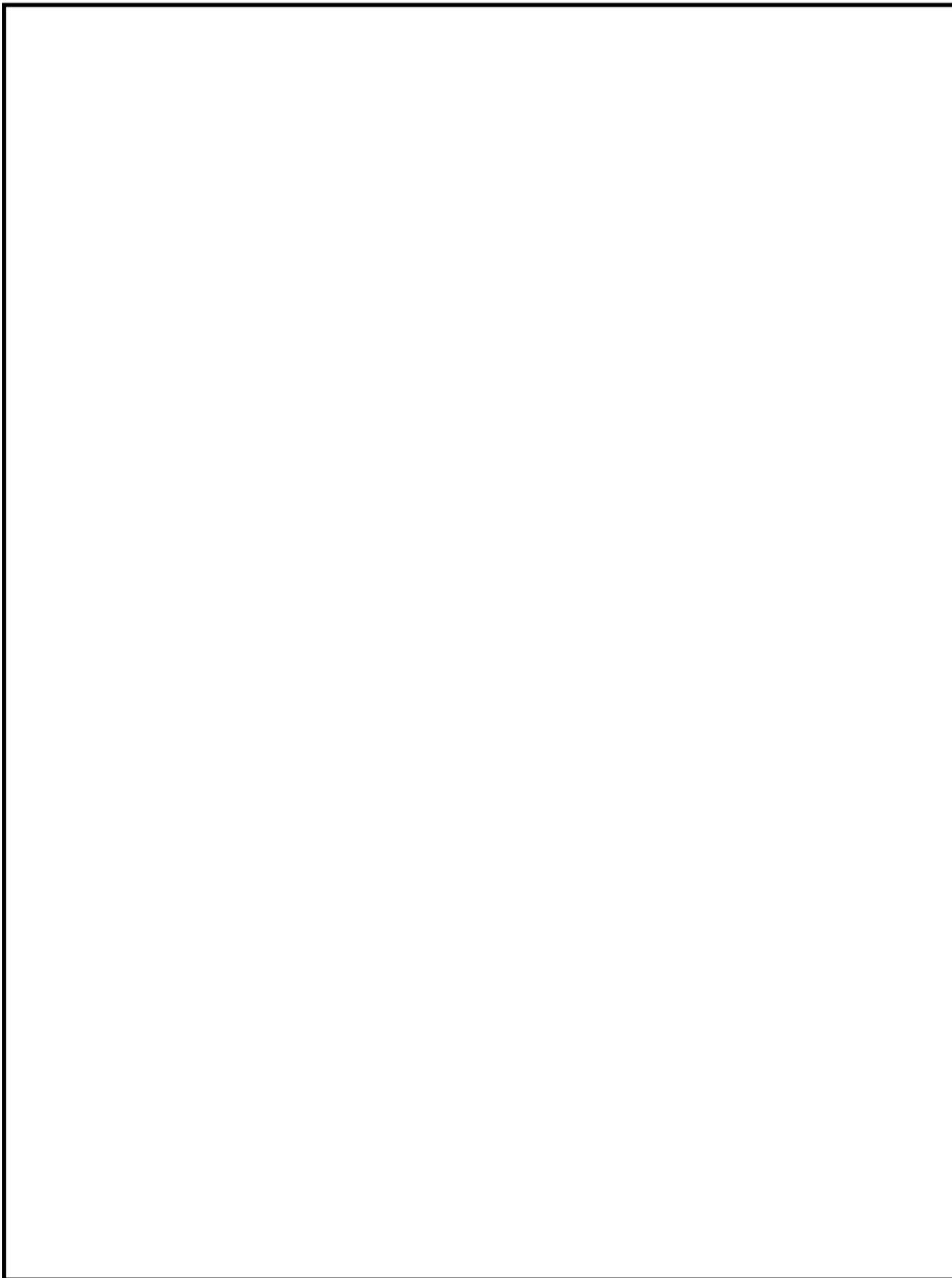
記号	定義	単位
Z	支圧板の最大せん断応力度が発生する深さ	mm
P	支圧板の計算に用いる計算荷重の常時換算値 = (Ps+Pw) / $\gamma$	N
Ps	支圧板の計算に用いる地震荷重	N
Pw	支圧板の計算に用いる風荷重	N
$\gamma$	支圧板の計算に用いる許容応力補正係数に裕度を乗じた係数 (1.5)	—
E <sub>1</sub>	支圧板の弾性係数	N/mm <sup>2</sup>
E <sub>2</sub>	支圧板当たりの弾性係数	N/mm <sup>2</sup>
Lh	支圧板計算高さ	mm
R	支圧板半径	mm
$\sigma_s$	小扉に生じる曲げ応力	N/m <sup>2</sup>
$\beta$	小扉の辺長比 (b/a) による係数	—
p	小扉にかかる水圧	N/m <sup>2</sup>
t	小扉の板厚	cm
a	小扉の短辺	cm
b	小扉の長辺	cm
$\sigma_f$	戸当りの底面フランジに生じる曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cw}$	戸当りの腹板に生じる圧縮応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_k$	戸当りのコンクリートに生じる支圧応力度	N/mm <sup>2</sup>
bf	戸当り底面フランジ幅	mm
tf	戸当り底面フランジ厚さ	mm
pd	戸当りの下部作用水圧	N/mm <sup>2</sup>
B	扉体水密幅	mm
tw	戸当りウェブ厚さ	mm
hr	戸当り高さ	mm
br	水路面より戸当り中心までの距離	mm
Pc	戸当りの衝突荷重	kN
Lw	衝突荷重の戸当りウェブ受圧長	Mm
$\sigma_k$	コンクリートの支圧応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_k$	コンクリートのせん断応力度	N/mm <sup>2</sup>
S	堰柱側面から底面フランジ端面までの距離 (S=br+bf/2)	mm
Pc	コンクリートの衝突荷重	kN
Lb	衝突荷重の戸当り底面受圧長	Mm

### 3.2 評価対象部位

放水路ゲートの評価対象部位は、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「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

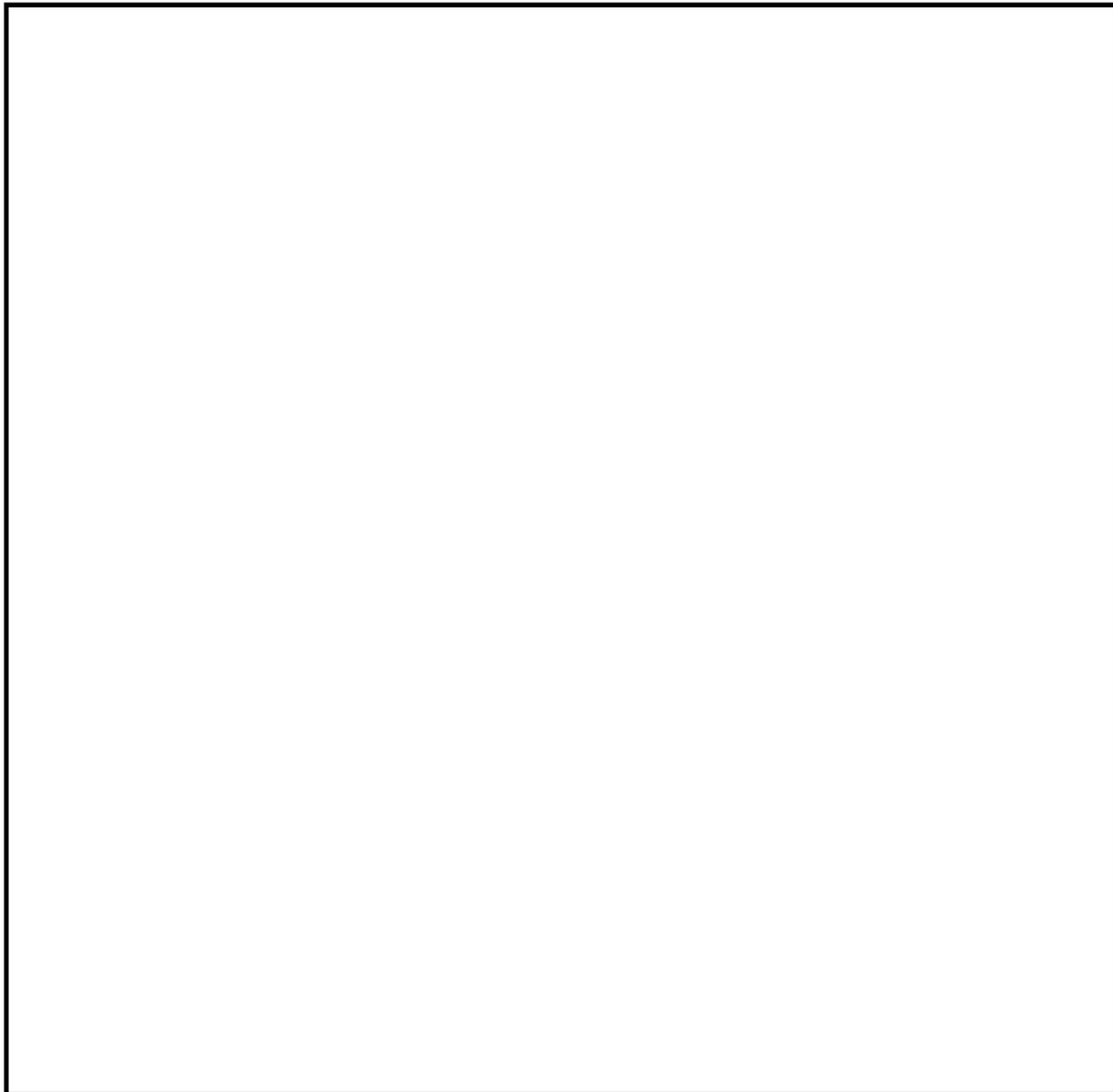
津波時は放水口側からの津波荷重を扉体（スキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁、小扉）で受け支圧板から戸当り（底面フランジ、腹板）より地中連続壁基礎に応力を伝達させる。また、重畳時にも同様に、放水口側からの津波荷重及び水平荷重の余震荷重が負荷された場合においても扉体（スキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁、小扉）で受け支圧板から戸当り（底面フランジ、腹板）より防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））に応力を伝達させる。鉛直方向の余震荷重が負荷された場合も同様である。

以上より、扉体の主要構成部材であるスキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁、支圧板、小扉を評価対象部位として設定する。また、支圧板から構成される戸当り（底面フランジ、腹板）についても評価対象部位として設定する。評価対象部位について図 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対象部位（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対象部位（側面図）

4. 固有周期

4.1 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 固有振動数の計算方法

4.2.1 記号の説明

放水路ゲートの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 放水路ゲート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	扉体部自重	kg/m
E	縦弾性係数	N/mm <sup>2</sup>
I	断面二次モーメント	cm <sup>4</sup>
$\lambda_n$	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

放水路ゲート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 固有振動数の計算条件

扉体の材質	スパン長 L (m)	扉体部自重 m (kg/m)
SM490	4.00	3370
縦弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (cm <sup>4</sup> )	支持条件 $\lambda_n$ (—)
206000	2088303	3.142

#### 4.3 固有値解析結果

固有振動数算出により，放水路ゲートの固有振動数が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

固有振動数 (Hz)
111

## 5. 応力評価

### 5.1 基本方針

- (1) 放水路ゲートの評価対象部位の応力評価を実施し、発生応力を算出する。
- (2) 評価対象部位の発生応力と許容応力を比較し、発生応力が許容応力以下であることを確認する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ

放水路ゲートの設計にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 放水路ゲートの設計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*1
浸水防護施設 (津波防護施設)	放水路ゲート	$G + P_s + P_e + I_{gi} + W_s$ *1

注記 \*1: Gは固定荷重,  $P_s$ は静水圧,  $P_e$ は動水圧,  $I_{gi}$ は地震時慣性力,  $W_s$ は積雪荷重を示す。

#### 5.2.2 許容応力

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、放水路ゲートの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	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・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。

\*3: 許容支圧応力度については、材料が弾性域内に収まることを基本とするため、1.5倍の割増しは考慮しない。

表 5-3 放水路ゲートの許容応力評価条件

評価対象部位	材料	$\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ac}^{*1,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{at}^{*1,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_a^{*1,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{as}^{*1,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )
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	—	—	—
小扉	SM490	160	—	—	—	—
支圧板	SUS304	—	—	—	—	150
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	—	5.4	—	0.40	—

注記 \*1： $\sigma_{ab}$ ：許容曲げ応力度， $\sigma_{ac}$ ：許容圧縮応力度， $\sigma_{at}$ ：許容引張応力度， $\tau_a$ ：許容せん断応力度， $\sigma_{as}$ ：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・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	評価対象部位	許容限界				
		1次応力				
		曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	引張 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	ローラ接触面の 許容応力
短期許容 応力度	スキンプレート	240	—	—	—	—
	主桁	237* <sup>1</sup>	—	—	135	—
	縦補助桁	193* <sup>1</sup>	—	—	135	—
	端桁	—	240	—	—	—
	支圧板	—	—	—	—	241* <sup>2</sup>
	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）	—	8.9	—	0.6	—

注記 \*1：主桁，縦補助桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は，「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，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，以下の計算式により算出する。

$$\frac{L}{b} \leq \frac{8}{K} \quad : \quad 160 \times 1.5 = 240 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\frac{8}{K} < \frac{L}{b} \leq 30 \quad : \quad \sigma_{ca} = \left( 160 - 1.6 \left( K \frac{L}{b} - 8 \right) \right) \times 1.5 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2 \cdot A_c}} \quad \text{ただし, } \frac{A_w}{A_c} \leq 2 \quad \text{の場合} \quad K = 2$$

ここに, L : 圧縮フランジの固定間隔 (mm)

b : 圧縮フランジ幅 (mm)

A<sub>w</sub> : 腹板の総断面積 (mm<sup>2</sup>)

A<sub>c</sub> : 圧縮フランジの総断面積 (mm<sup>2</sup>)

\*2：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・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，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<sub>a</sub> : 接触面の許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

H<sub>B</sub> : 支圧板のブリネル硬さ

ν : 安全率（線接触の場合） (1.3)

### 5.3 設計用地震力

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の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 $S_d-D1$ に伴う地震力（動水圧含む。）とする。強度評価における弾性設計用地震動 $S_d-D1$ に伴う地震力については、表 5-5 にて示す設計震度を用いて設定する。

表 5-5 設計用地震力

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	
		基準地震動 $S_s$	放水路ゲート -2.5
鉛直方向 $K_V$	0.32		

## 5.4 評価方法

放水路ゲートの強度評価は、構造部材に作用する応力が許容限界以下であることを確認する。荷重の組合せとして最も厳しい状態である重畳時における評価式を以下に記載する。

### (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 5-1 に示す。

$$\sigma = \frac{k \cdot a^2 \cdot P \cdot 10^{-6}}{100 \cdot t^2}$$

$\sigma$  : 曲げ応力 (N/mm<sup>2</sup>)

k : 辺長比 (b/a) による係数

a : 短辺 (mm)

b : 長辺 (mm)

P : 水圧 (N/m<sup>2</sup>)

t : 板厚 (cm)

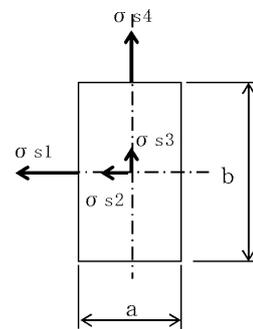
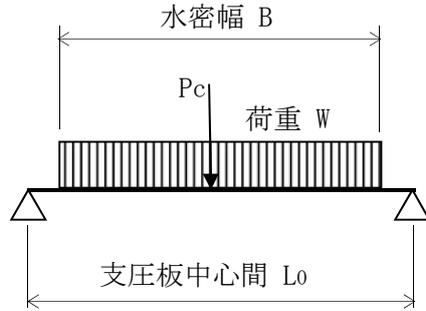


図 5-1 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

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 5-2 に示す。



$$M_{\max} = \frac{W \cdot B}{8} \cdot (2 \cdot L_0 - B) + \frac{P_c}{4} \cdot L_0$$

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

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

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

$M_{\max}$  : 最大曲げモーメント (kN・m)

$S_{\max}$  : 最大せん断力 (kN)

$\sigma$  : 曲げ応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$W$  : 扉体自重による荷重 (kN/m)

$B$  : 水密幅 (m)

$L_0$  : 支圧板中心間 (m)

$Z$  : 断面係数 (cm<sup>3</sup>)

$A_w$  : ウェブ断面積 (cm<sup>2</sup>)

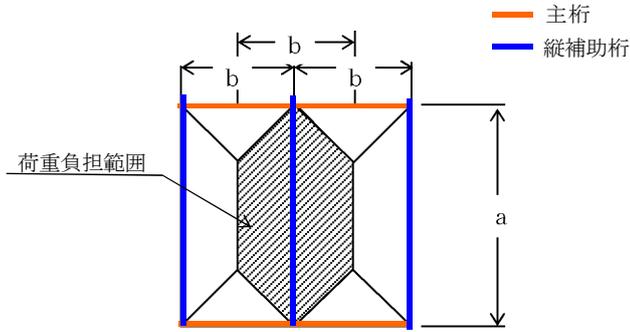
$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

図 5-2 主桁の応力算定式とモデル図

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または菱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 5-3 に示す。



$M_{max}$  : 最大曲げモーメント (kN・m)

$S_{max}$  : 最大せん断力 (kN)

$\sigma$  : 曲げ応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$p$  : 各区分の平均水圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$a$  : 主桁及び横補助桁間隔 (m)

$b$  : 縦補助桁間隔 (m)

$Z$  : 断面係数 (cm<sup>3</sup>)

$A_w$  : ウェブ断面積 (cm<sup>2</sup>)

$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

最大曲げモーメント

$$M = \frac{p \cdot b}{24} (3 \cdot a^2 - b^2) + \frac{P_c \cdot a}{4} \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

最大せん断力

$$S = \frac{p \cdot b}{2} \left( a - \frac{b}{2} \right) + \frac{P_c}{2} \quad (\text{kN})$$

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

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

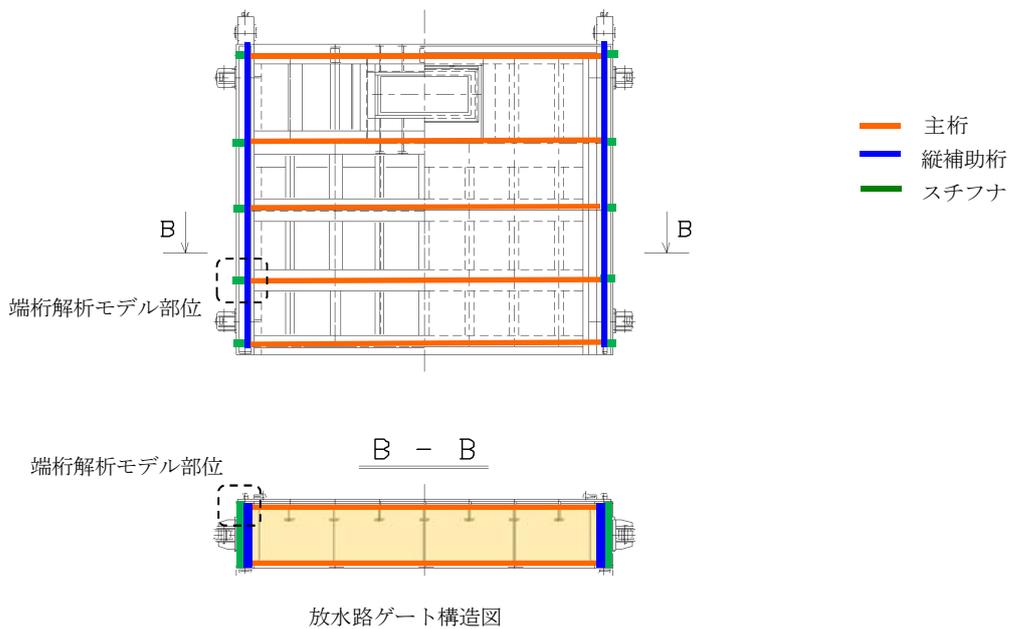
図 5-3 縦補助桁のモデル図及び応力算定式

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照査を行う。

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。縦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 5-4 に示す。



有効断面積  $A = A_w + A_{s1} + A_{s2}$

$$A_w = 2b_w \cdot t_w \quad (\text{端桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主桁ウェブ})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

(ただし  $A \leq 1.7 A_{s1}$ )

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

$\sigma$  : 圧縮応力 (N/mm<sup>2</sup>)

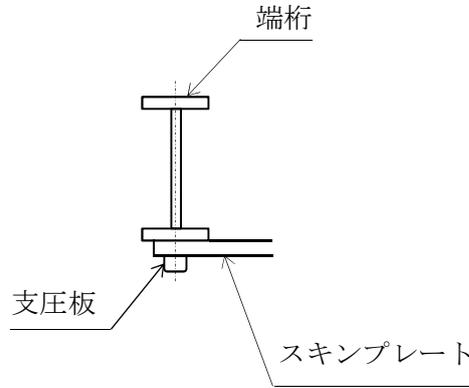
R : 主桁反力 (kN)

A : 断面積 (cm<sup>2</sup>)

図 5-4 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算出する。  
端桁のモデル図及び応力算定式を図 5-5 に示す。



$$p = 0.591 \sqrt{\frac{P \cdot E_1 \cdot E_2}{Lh \cdot R \cdot (E_1 + E_2)}}$$

$$C = 1.080 \sqrt{\frac{P \cdot R \cdot (E_1 + E_2)}{Lh \cdot E_1 \cdot E_2}}$$

$$Z = 0.78 \cdot C$$

ここに、

- p : ヘルツの接触応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- P : 計算荷重の常時換算値 = (Ps + Pc) / γ (N)
- pd : 扉体下端水圧 (N/mm<sup>2</sup>)
- B : 扉体水密幅
- γ : 許容応力補正係数に裕度を乗じた係数
- E<sub>1</sub> : 支圧板の弾性係数
- E<sub>2</sub> : 支圧板当りの弾性係数
- Lh : 支圧板計算高さ
- R : 支圧板半径 (mm)
- C : 接触幅の1/2 (mm)
- Z : 最大せん断応力度が発生する深さ (mm)

図 5-5 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 5-6 に示す。

$$\sigma_s = \frac{6 \cdot \beta \cdot p \cdot a^2 \cdot 10^{-6}}{t^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここに、 $\beta$ ：辺長比(b/a)による係数

a：短辺 (cm)

b：長辺 (cm)

p：水圧 (N/m<sup>2</sup>)

t：板厚 (cm)

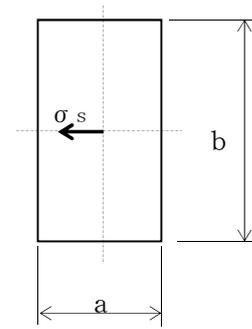
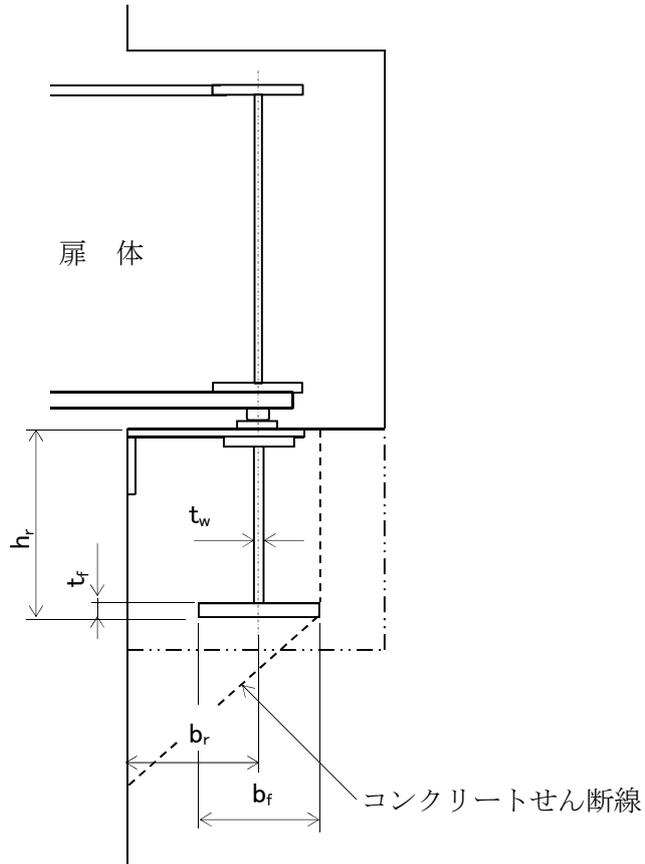


図 5-6 小扉のモデル図及び応力算定式

(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。  
戸当りのモデル図及び応力算定式を図 5-7 に示す。



底面フランジ曲げ応力度

$$\sigma_f = \frac{6 \cdot \sigma_k \cdot b_f^2}{8 \cdot t_f^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

腹板の圧縮応力度

$$\sigma_{cw} = \frac{p_d \cdot B}{2 \cdot t_w} + \frac{P_c}{L_w \cdot b_f} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$\sigma_k$  : コンクリートの支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_f$  : 戸当り底面フランジ幅 (mm)

$t_f$  : 戸当り底面フランジ厚さ (mm)

$p_d$  : 下部作用水圧 (N/mm<sup>2</sup>)

$B$  : 扉体水密幅 (mm)

$t_w$  : 戸当りウェブ厚さ (mm)

$h_r$  : 戸当り高さ (mm)

$b_r$  : 水路面より戸当り中心までの距離 (mm)

$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

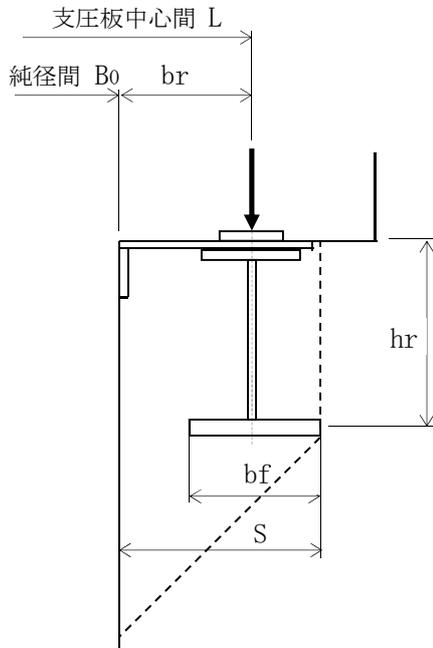
$L_w$  : 衝突荷重の戸当りウェブ受圧長 (mm)

図 5-7 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は、前項の鋼材の作用力を受ける部材として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 5-8 に示す。



コンクリートの支圧応力度

$$\sigma_k = \frac{pd \cdot B}{2 \cdot bf} + \frac{Pc}{Lb \cdot bf} \quad (\text{N/mm}^2)$$

コンクリートのせん断応力度

$$\tau_k = \frac{\sigma_k \cdot bf}{hr + 2 \cdot S} \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここに、

- pd : 下部作用水圧 (N/mm<sup>2</sup>)
- B : 扉体水密幅 (mm)
- bf : 戸当り底面フランジ幅 (mm)
- hr : 戸当り高さ (mm)
- S : 堰柱側面から底面フランジ端面までの距離 (S = br + bf/2) (mm)
- Pc : 衝突荷重 (kN)
- Lb : 衝突荷重の戸当り底面受圧長 (mm)

図 5-8 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

### 5.5 評価条件

放水路ゲートの強度評価に用いる各諸元及び評価条件を表 5-6 に示す。

表 5-6(1/2) 放水路ゲートの強度評価に用いる条件

スキンプレート, 主桁, 補助桁, 端桁の材質	支圧板の材質	固定荷重 G (kN)	静水圧 $P_e$ (kN/m <sup>2</sup> )
SM490	SUS304	120	328.25
動水圧 $P_e$ (kN)	地震時慣性力 $I_{g1}$ (kN)	積雪荷重 $W_s$ (kN)	津波高さ H (T. P. +m)
1146.054	79.2	0.365	20.0
水密高さ $H_s$ (m)	津波時の設計水深 $H_0$ (T. P. +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)
3.6	30.0	32.5	28.9
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)	水密幅 B (m)	水の単位体積荷重 $W_1$ (kN/m <sup>3</sup> )
35.0	32.5	3.6	10.1

表 5-6(2/2) 放水路ゲートの強度評価に用いる条件

扉体自重による荷重 $W_g$ (kN)	風荷重 $P_w$ (kN)	空気密度 $\rho$ ( $\text{kN}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$ )	ガスト応答係数 $G$
120	26.4	0.00123	1.9

形状係数 $C_d$	投影面積 $A$ ( $\text{m}^2$ )	単位積雪荷重 $q_s$ ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	扉体総桁高 $P_s$ (m)
1.6	15.67	0.21	0.828

扉体受圧幅 $B_s$ (m)	スキンプレート厚 $t_s$ (mm)
4.2	26

NT2 補② V-3-別添 3-2-2 R2

6. 強度評価結果

扉体，戸当りの応力評価結果（重畳時）を表 6-1 と表 6-2 に示す。

放水路ゲートの扉体，戸当り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 扉体（鋼材）の応力評価結果（重畳時）

No	部 位	評価応力	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )
①	スキンプレート	曲 げ	129	240
②	主桁	曲 げ	197	237
		せん断	97	135
③	縦補助桁	曲 げ	153	193
		せん断	86	135
④	端桁	圧 縮	101	240
⑤	支圧板	支 圧	118	241
⑥	小扉	曲 げ	92	240

表 6-2 戸当り（鋼材，コンクリート）の応力評価結果（重畳時）

No	部 位		評価応力	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )
⑦	戸当り	底面フランジ	曲 げ	216	240
		腹板	圧 縮	70	180
		コンクリート	支 圧	2.8	8.9
			せん断	0.4	0.6