

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-271 改3
提出年月日	平成30年9月12日

V-3-別添 3-2-4-2 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書

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	4
2.4	適用基準	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価部位	8
4.	固有周期	9
4.1	固有周期の計算方法	9
4.2	固有周期の計算条件	9
4.3	固有周期の計算結果	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	14
5.5	計算方法	15
5.6	計算条件	17
6.	評価結果	19

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点検用開口部浸水防止蓋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。

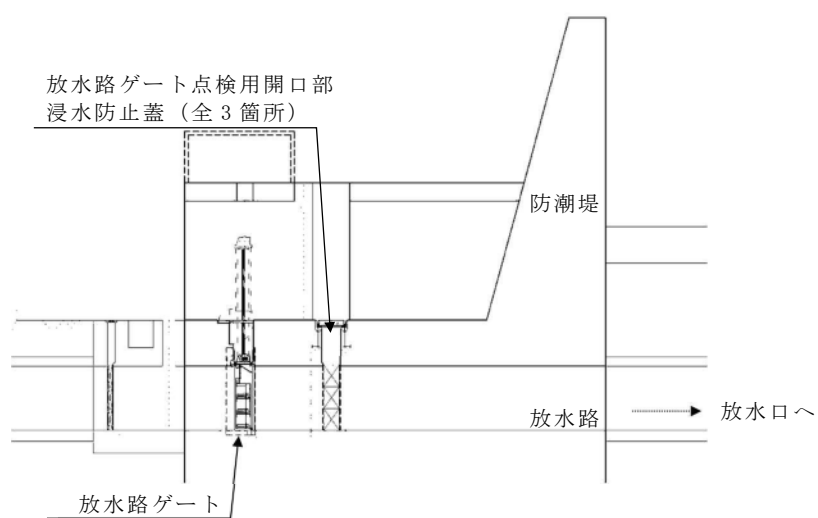
2. 一般事項

2.1 配置概要

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は，放水路上版に設置する。
 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の設置位置を図 2-1 に示す。



(平面図)



(A-A 断面図)

図 2-1 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の構造は、長方形の鋼板に主桁及び補助桁を組合せた構造とし、本体を放水路上版に固定ボルトにより固定することで、止水性を確保する。放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
放水路上版に固定ボルトで固定する。	蓋により構成する。	

2.3 評価方針

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度評価は、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、放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の**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、**評価結果を「6. 評価結果」にて確認する。**

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度評価フローを図 2-2 に示す。放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋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_a 」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考慮して設定した設計震度を用いる。** **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。**

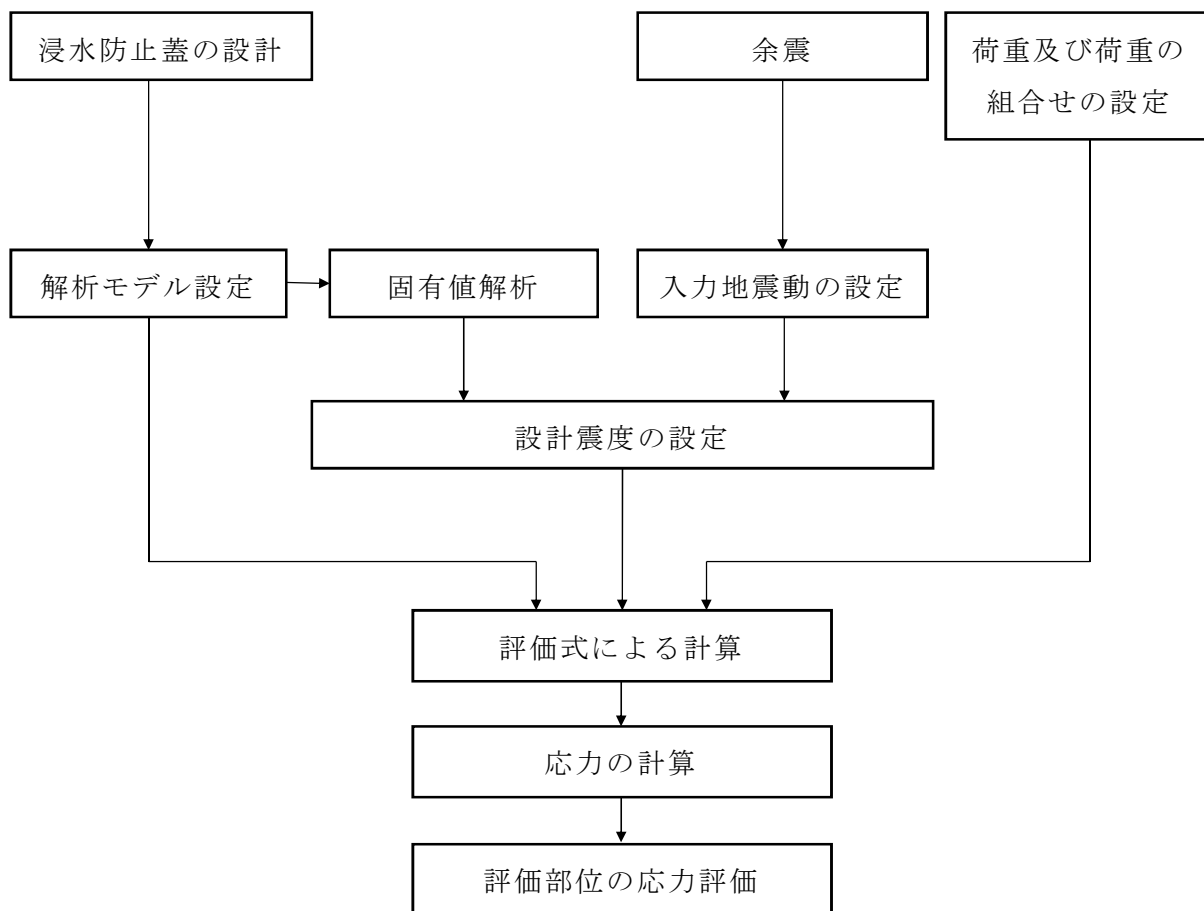


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (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) (日本電気協会)
- (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) 「ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・マニュアル編)」 (ダム・堰施設技術協会 平成 25 年 6 月)

2.5 記号の説明

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋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 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の固有周期に用いる記号

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 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の応力評価に用いる記号 (1/3)

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度	m/s ²
σ_v	日本工業規格に規定される材料の設計降伏点	N/mm ²
σ_u	日本工業規格に規定される材料の設計引張強さ	N/mm ²
σ_a	許容圧縮・引張・曲げ応力 ダム・堰施設技術基準 (案) $\sigma_a = \sigma_v / F^*$	N/mm ²
τ_a	許容せん断応力 ダム・堰施設技術基準 (案) $\tau_a = \sigma_a / \sqrt{3}$	N/mm ²
K_{Hsd}	弾性設計用地震動 S_d による水平方向の設計震度	—
K_{Vsd}	弾性設計用地震動 S_d による鉛直方向の設計震度	—
W_0	海水の密度	kg/m ³
h	津波荷重水位 (T.P. +)	m
q	津波時静水圧	N/mm ²
I_{Hsd}	余震による水平方向地震荷重	N
I_{Vsd}	余震による鉛直方向地震荷重	N
m_D	蓋の質量	Kg
m_s	積雪荷重による質量	kg
A	浸水防止蓋の面積	mm ²
M	浸水防止蓋に加わる最大曲げモーメント	N・mm

表 2-3 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度計算に用いる記号 (2/2)

記号	記号の説明	単位
B_2	荷重の作用幅	mm
L_2	支間	mm
S	浸水防止蓋に加わる最大せん断力	N
σ	浸水防止蓋に加わる最大曲げ応力	N/mm ²
Z	浸水防止蓋の断面係数	mm ³
τ	浸水防止蓋に加わる最大せん断応力	N/mm ²
A_w	浸水防止蓋のウェブ断面積	mm ²
σ_m	浸水防止蓋に加わる曲げ応力及びせん断応力による組合せ応力	N/mm ²
σ_b	固定ボルト 1 本あたりに加わる引張応力	N/mm ²
P_b	固定ボルト 1 本あたりに加わる引張荷重	N
A_b	固定ボルトの断面積	mm ²
τ_b	固定ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力	N/mm ²
S_b	固定ボルト 1 本あたりに加わるせん断荷重	N
σ_{bm}	固定ボルトに加わる曲げ引張応力及びせん断応力による組合せ応力	N/mm ²
τ	浸水防止蓋に加わる最大せん断応力	N/mm ²
A_s	積雪面積	m ²
w_s	積雪量 1cm ごとの積雪荷重	N/mm ³
d_s	垂直積雪量	cm
a	補助桁間隔	mm
b	主桁間隔	mm
t	スキンプレートの板厚	mm
γ	スキンプレートの評価に用いる応力の補正係数	—
k	スキンプレートの評価に用いる辺長比 (b/a) による係数	—
B_1	蓋のたて	mm
L_1	蓋のよこ	mm

注記 * : F は安全率

3. 評価部位

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の評価部位は、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、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」にて示すとおり、浸水防止蓋及び固定ボルトを対象とする。

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度評価における評価部位を、図 3-1 に示す。

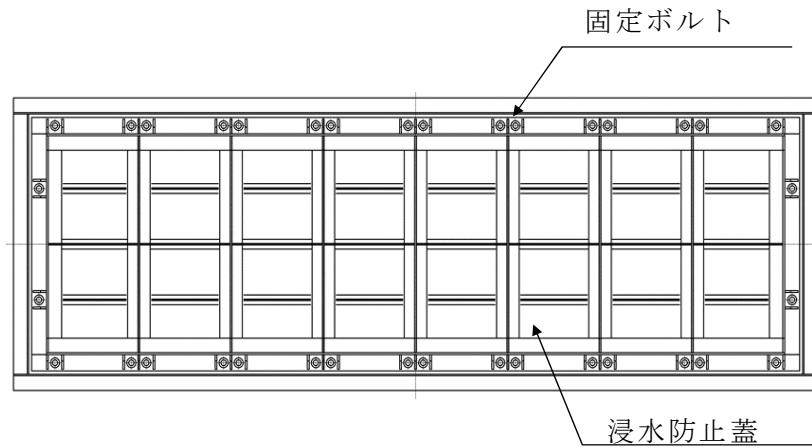


図 3-1 評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 解析モデル

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の主桁を単純支持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。

「構造力学公式集(1988年)、土木学会」より、固有周期は次のとおり与えられる。

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

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

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

縦弾性係数 E (N/mm ²)	主桁の断面二次 モーメント I (mm ⁴)	主桁の単位長さ 当たりの質量 m (kg/mm)	主桁の長さ L (mm)
2.06 × 10 ⁵	9.57 × 10 ⁷	54.3 × 10 ⁻³	1450

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、0.05s 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)	450
固有周期 (s)	0.0023

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度評価は、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」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。

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価対位に対し、「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。

なお、「3. 評価部位」にて設定した評価部位のうち蓋についてはその構造を踏まえ、主桁、補助桁及びスキンプレートについて評価を実施する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (D)

固定荷重として、自重を考慮する。

$$W = (m_D + m_s) \cdot g$$

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重を考慮して算出した設計水圧と各部材の受圧面積から各部材の津波荷重を算出する。

(3) 余震荷重 (S_d)

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。

$$I_{HSd} = W \cdot K_{HSd}$$

$$I_{VSd} = W \cdot (1 + K_{VSd})$$

$$P = 7/8 \cdot W_0 \cdot K_{VSd} \cdot \sqrt{H \cdot h_1}$$

(4) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重を考慮する。

積雪荷重 P_s については、添付書類「V-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」に示すとおり、30 cm 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。

$$m_s = \frac{0.35 \cdot w_s \cdot d_s \cdot A_s}{g}$$

$$A_s = B_1 \cdot L_1$$

5.2.2 荷重の組合せ

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は、放水路上版に設置されている浸水防止蓋であるため、その構造及び設置位置から風荷重の影響は考慮しない。

荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*1*2
浸水防護施設 (浸水防止設備)	放水路ゲート点検用 開口部浸水防止蓋	$D + P_t + S_d + P_s$

注記 *1: Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は余震による地震荷重, P_s は積雪荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び余震荷重 (S_d) の組合せが、強度評価上、突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合、保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

(1) 基準津波と余震による重畳時

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の許容限界は、評価部位ごとに、ダム・堰施設技術基準（案）に規定される許容応力度を用いる。

各評価部位の許容限界を表 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 許容限界

状態	許容限界*1*2					
	浸水防止蓋			固定ボルト		
	一次応力			一次応力		
短期	曲げ	せん断	組合せ	引張	せん断	組合せ
	$1.5 \sigma_a$	$1.5 \tau_a$	$1.65 \sigma_a$	$1.5 \sigma_a$	$1.5 \tau_a$	$1.65 \sigma_a$

注記 *1: ダム・堰施設技術基準（案）に準じ、短期時許容値割増 1.5 又は 1.65 とする。

*2: σ_a : 許容曲げ応力度, τ_a : 許容せん断応力度

表 5-3 許容応力評価条件

評価部位	材料	$\sigma_a^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\tau_a^{*1,2}$ (N/mm ²)
主桁	SM490	160	90
補助桁	SM490	160	90
スキンプレート	SM490	160	—
固定ボルト	SCM435	392	226

注記 *1: σ_a : 許容曲げ応力度, τ_a : 許容せん断応力度を示す。

*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) (ダム・堰施設技術協会 平成 25 年 6 月)」に基づく。

表 5-4 許容応力算出結果

許容応力度	評価部位		許容限界		
			1 次応力		
			曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
短期許容応力度	主桁	端部桁	240	135	264
		中間桁	240	135	264
	補助桁		240	135	264
	スキンプレート		240	—	—
	固定ボルト		588	339	646

(2) 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の許容限界は、評価部位ごとに、ダム・堰施設技術基準（案）に規定される許容応力度を用いる。

各評価部位の許容限界を表 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 各評価部位の許容限界

状態	許容限界 *1*2					
	浸水防止蓋			固定ボルト		
	一次応力			一次応力		
短期	曲げ	せん断	組合せ	引張	せん断	組合せ
	$1.7 \sigma_a$	$1.7 \tau_a$	$1.87 \sigma_a$	$1.7 \sigma_a$	$1.7 \tau_a$	$1.87 \sigma_a$

注記 *1：ダム・堰施設技術基準（案）に準じ、短期時許容値割増 1.7 又は 1.87 とする。

*2： σ_a ：許容曲げ応力度， τ_a ：許容せん断応力度

表 5-6 許容応力評価条件

評価部位	材料	$\sigma_a^{*1,2}$ (N/mm ²)	$\tau_a^{*1,2}$ (N/mm ²)
主桁	SM490	160	90
補助桁	SM490	160	90
スキンプレート	SM490	160	—
固定ボルト	SCM435	392	226

注記 *1： σ_a ：許容曲げ応力度， τ_a ：許容せん断応力度を示す。

*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）（ダム・堰施設技術協会 平成 25 年 6 月）」に基づく。

表 5-7 許容応力算出結果

許容応力度	評価部位		許容限界		
			1 次応力		
			曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
短期許容応力度	主桁	端部桁	272	153	299
		中間桁	272	153	299
	補助桁		272	153	299
	スキンプレート		272	—	—
	固定ボルト		666	384	733

5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり，放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の固有周期が 0.05 s 以下であることを確認したため，放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋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の 1.2 倍を考慮して設定する。放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度計算に用いる設計震度を表 5-8 に示す。

表 5-8 設計用地震力

地震動	据付場所 及び床面高さ (m)	余震による設計震度*1	
		弾性設計用地震動 $S_d - D 1$	防潮堤（鉄筋コン クリート防潮壁 （放水路エリア） EL. 3.500*2
		鉛直方向 $K_{V S d}$	0.32

注記 *1：「4. 固有周期」に示したとおり，放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため，設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

*2：基準床レベルを示す。

5.5 計算方法

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度評価は、構造部材に作用する応力が、「5.3 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 荷重条件

荷重を等分布荷重として受ける鋼構造物として評価する。応力の算出に必要な荷重を次式により算出する。

$$q = h \cdot W_0$$

$$i_{vSd} = I_{vSd} / A$$

$$w = q + i_{vSd} + P$$

5.5.2 応力計算

(1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋は、荷重を等分布荷重として受ける鋼構造物として評価する。浸水防止蓋を構成するスキンプレート、主桁及び補助桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力はダム・堰施設技術基準(案)に規定される計算式を用いる。

$$\text{(曲げモーメント (主桁)) } M = \frac{w \cdot B_2 \cdot (2L_2 - B_2)}{8}$$

$$\text{(曲げモーメント (補助桁)) } M = \frac{w \cdot a \cdot (3 \cdot b^2 - a^2)}{24}$$

$$\text{(せん断力 (主桁)) } S = \frac{w \cdot B_2}{2}$$

$$\text{(せん断力 (補助桁)) } S = \frac{w \cdot a}{2} \cdot \left(b - \frac{a}{2}\right)$$

a. 曲げ応力

a) 主桁及び補助桁に発生する曲げ応力

津波時水圧により浸水防止蓋の主桁及び補助桁に発生する最大曲げ応力 σ は次式により算出する。

$$\sigma = M / Z$$

b) スキンプレートに発生する曲げ応力

浸水防止蓋のスキンプレートに発生する最大曲げ応力 σ は次式により算出する。

$$\sigma = \frac{k \cdot a^2 \cdot w \cdot \gamma}{100 \cdot t}$$

b. せん断応力

浸水防止蓋の主桁及び補助桁に発生する最大せん断応力 τ は次式により算出する。

$$\tau = S / A_w$$

c. 組合せ応力

浸水防止蓋に加わる曲げ応力 σ 及びせん断応力 τ による組合せ応力 σ_m をダム・堰施設技術基準(案)記載の次式により算出する。

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

(2) 固定ボルト

固定ボルトに作用する荷重は、固定ボルト設置位置及び間隔から浸水防止蓋に対する負担面積を設定し、水平方向荷重及び鉛直方向荷重に対して評価を行う。

a. 引張応力

固定ボルト 1 本あたりに加わる引張応力 σ_b は次式により算出する。

$$\sigma_b = P_b / A_b$$

b. せん断応力

固定ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 τ_b は次式により算出する。

$$\tau_b = S_b / A_b$$

c. 組合せ応力

固定ボルトに加わる引張応力 σ_b 及びせん断応力 τ_b による組合せ荷重 σ_{bm} をダム・堰施設技術基準(案)記載の次式により算出する。

$$\sigma_{bm} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

5.6 計算条件

(1) 強度評価に用いる放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の仕様及び津波荷重に関する計算条件を除く計算条件

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の仕様及び津波荷重に関する計算条件を除く計算条件を表 5-9 に示す。

表 5-9 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度評価に関する評価条件

浸水防止蓋の材質	蓋の質量 m_D (kg)	積雪質量 m_s (kg)	荷重の作用幅 B_2 (mm)
SM490	3.00×10^3	1.44×10^2	1.150×10^3

支間 L_2 (mm)	固定ボルトの材質	固定ボルトの呼び径 (mm)	固定ボルトの断面積 A_b (mm ²)
1.450×10^3	SCM435	30	7.06858×10^2

積雪量 1 cm 毎の積雪荷重 w_s (N/mm ³)	垂直積雪量 d_s (cm)	固定ボルトの本数 n (本)	重力加速度 g (m/s ²)
2.0×10^6	30	36	9.80665

補助桁間隔 a (mm)	主桁間隔 b (mm)	積雪面積 A_s (m ²)	蓋のたて B_1 (mm)
340	613	6.615	1.350×10^3

蓋のよこ L_1 (mm)
4.90×10^3

(2) 強度評価に用いる放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の津波荷重に関わる計算条件

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の津波荷重に関わる計算条件を表 5-10 に示す。

表 5-10 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の津波荷重に関わる計算条件

対象の津波	津波荷重水位 h_1 (T.P. + m)
基準津波	30.0
敷地に遡上する津波	39.0

6. 評価結果

(1) 基準津波と余震による重畳時

重畳時における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 重畳時における評価部位の応力評価結果

評価部位			評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)
蓋	主桁	端部桁	曲げ	47	240
			せん断	21	135
			組合せ* ¹	60	264
		中間桁	曲げ	74	240
			せん断	42	135
			組合せ* ¹	104	264
	補助桁	曲げ	37	240	
		せん断	27	135	
		組合せ* ¹	60	264	
	スキンプレート	曲げ	37	240	
固定ボルト			引張	76	588
			せん断	1	339
			組合せ* ²	77	646

注記 *1：曲げとせん断の組合せ応力

*2：引張とせん断の組合せ応力

(2) 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

重畳時における評価部位の応力評価結果を表 6-2 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 6-2 重畳時における評価部位の応力評価結果

評価部位			評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)
蓋	主桁	端部桁	曲げ	56	272
			せん断	25	153
			組合せ*1	71	299
		中間桁	曲げ	88	272
			せん断	50	153
			組合せ*1	124	299
	補助桁	曲げ	48	272	
		せん断	34	153	
		組合せ*1	76	299	
	スキンプレート	曲げ	37	272	
固定ボルト	引張	91	666		
	せん断	1	384		
	組合せ*2	92	733		

注記 *1：曲げとせん断の組合せ応力

*2：引張とせん断の組合せ応力