

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-243 改4
提出年月日	平成30年9月26日

V-2-10-2-5-2 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の

耐震性についての計算書

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	9
4.	固有周期	10
4.1	固有周期の計算方法	10
4.2	固有周期の計算条件	10
4.3	固有周期の計算結果	10
5.	構造強度評価	11
5.1	構造強度評価方法	11
5.2	荷重及び荷重の組合せ	11
5.3	許容限界	12
5.4	設計用地震力	14
5.5	計算方法	14
5.6	計算条件	17
6.	評価結果	19

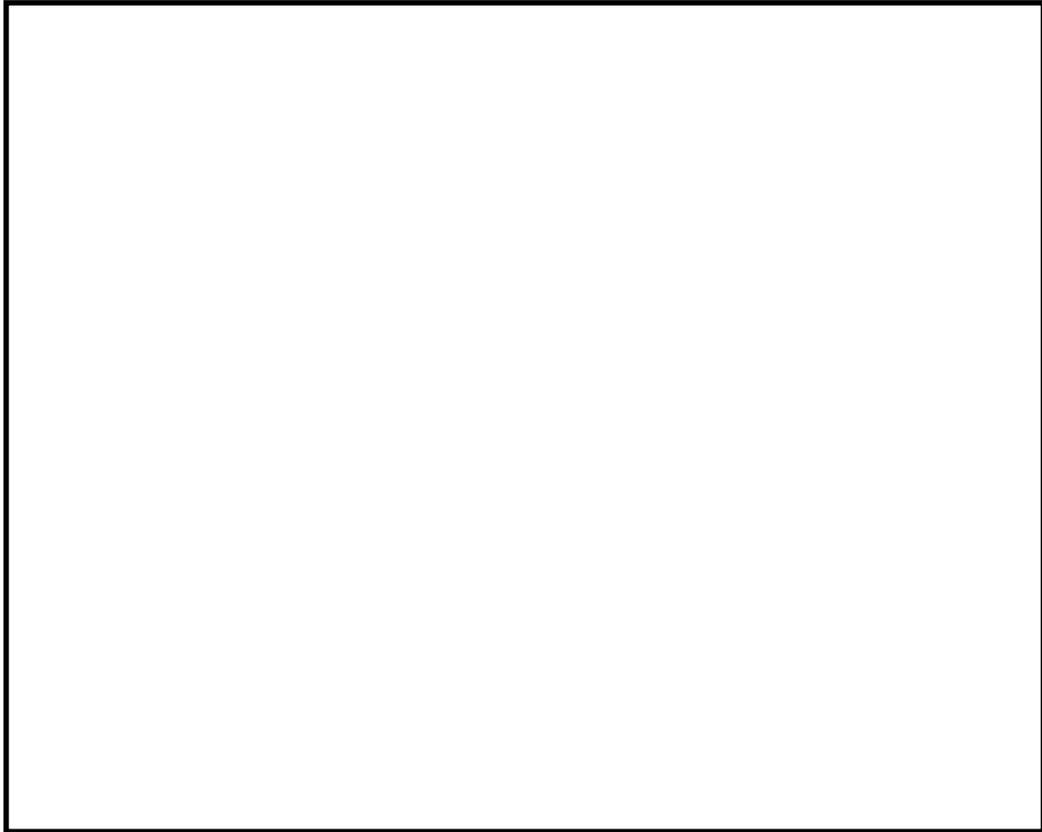
1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、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設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

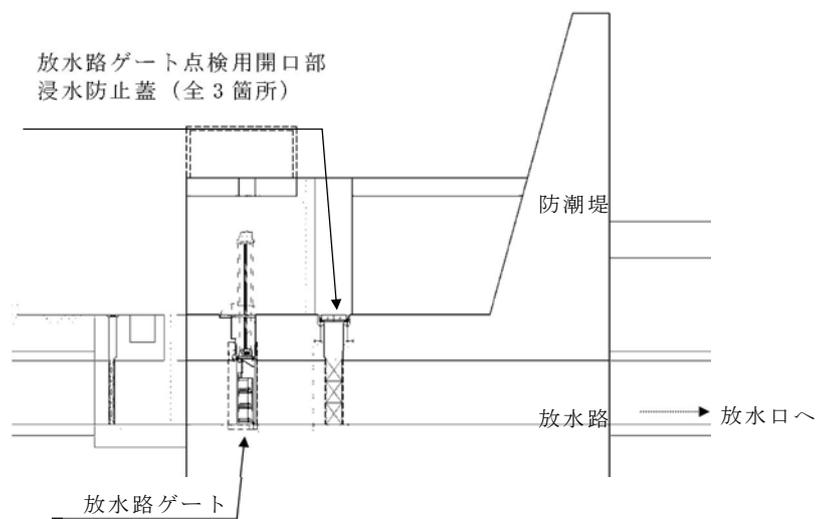
2. 一般事項

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耐震評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

NT2 補② V-2-10-2-5-2 R4

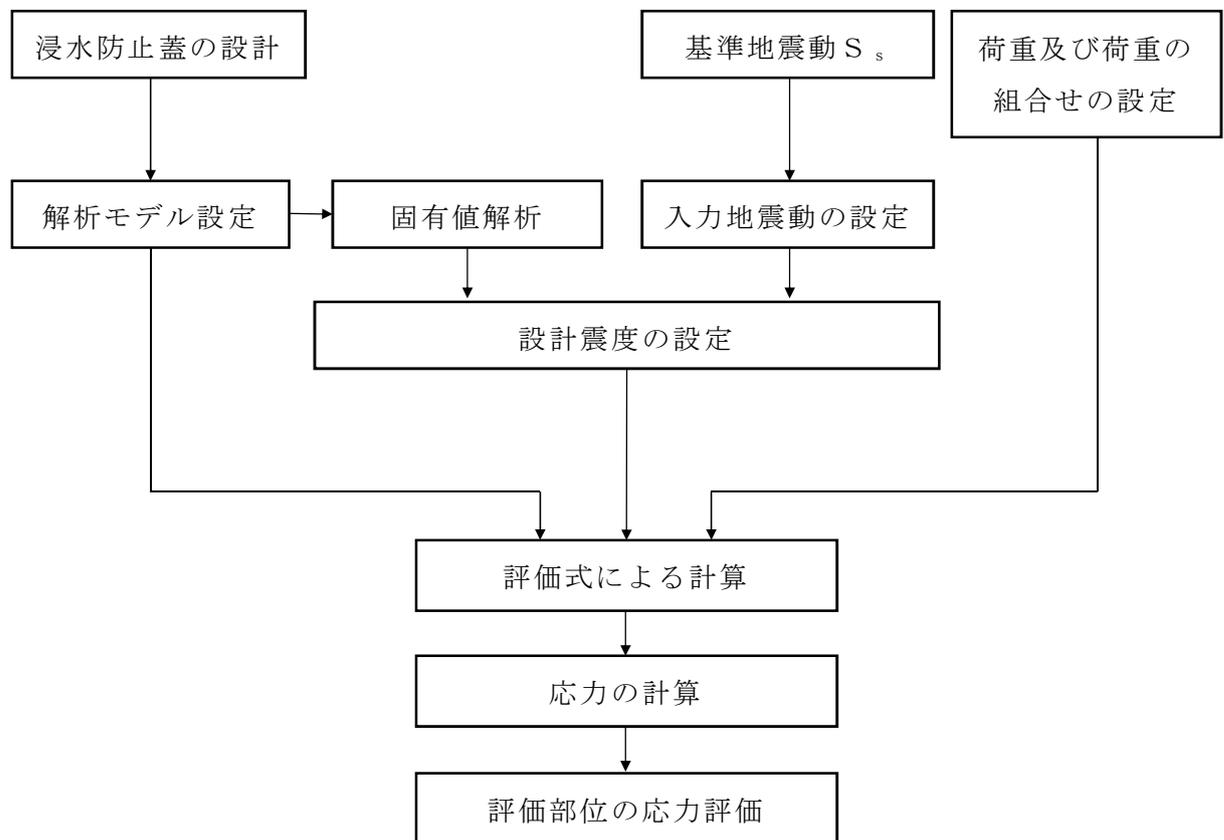


図 2-2 耐震評価フロー

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・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）

2.5 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算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
T	固有周期	s
f	一次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm ²
I	解析モデルの断面二次モーメント	mm ⁴
m	解析モデルの単位長さ当たりの質量	kg/mm
L	解析モデルの長さ	mm

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	許容引張応力度・許容曲げ応力度 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_H	基準地震動 S_s による水平方向の設計震度	—
K_v	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	—
I_H	水平方向地震荷重	N
I_v	鉛直方向地震荷重	N
i_v	鉛直地震分布荷重	N/mm ²
m_D	蓋の質量	kg
m_s	積雪質量	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
B_2	荷重の負担幅	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

注記 * : F は安全率

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 (2/3)

記号	記号の説明	単位
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
w _s	積雪量 1 cm 毎の積雪荷重	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	スキンプレーットの板厚	mm
γ	スキンプレーットの評価に用いる応力の補正係数	—
k	スキンプレーットの評価に用いる辺長比 (b/a) による係数	—
A _s	積雪面積	m ²
B ₀	蓋の幅	mm
L ₀	蓋の長さ	mm
q ₁	端部桁に作用する単位面積あたりの荷重	N/mm ²
w ₁	端部桁負担荷重	N/mm ²
Z ₁	端部桁の断面係数	mm ³
A _{s1}	端部桁の端部ウェブ断面積	mm ²
q ₂	中間桁に作用する単位面積あたりの荷重	N/mm ²
w ₂	中間桁負担荷重	N/mm ²
Z ₂	中間桁の断面係数	mm ³
A _{s2}	中間桁の端部ウェブ断面積	mm ²
q ₃	スキンプレーットに作用する単位面積あたりの荷重	N/mm ²
q ₄	補助桁に作用する単位面積あたりの荷重	N/mm ²
Z ₄	補助桁の断面係数	mm ³

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 (3/3)

記号	記号の説明	単位
A_{s4}	補助桁の端部ウェブ断面積	mm^2
n	固定ボルトの本数	本

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、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえ選定する。

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋に対して、地震発生による荷重が作用する。蓋に作用する荷重は、それを固定している基礎ボルトに伝達することから、蓋及び基礎ボルトを評価部位として設定する。

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の評価部位を、図 3-1 に示す。

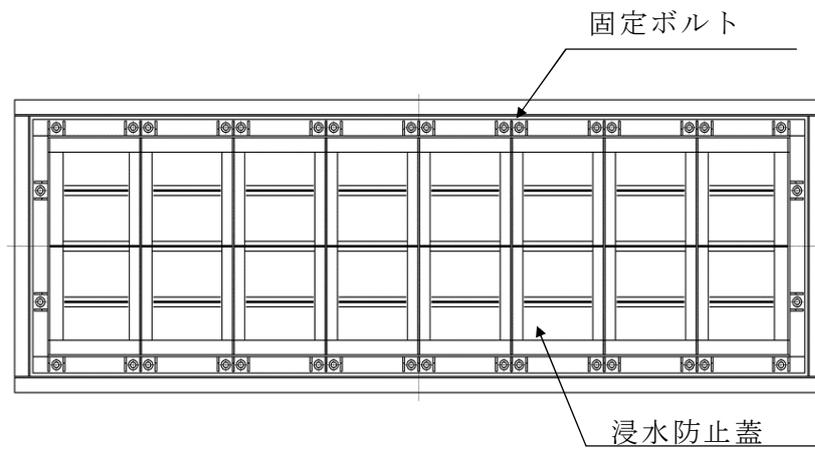


図 3-1 評価部位

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)	解析モデルの断面二次モーメント I (mm ⁴)	解析モデルの単位長さ当たりの質量 m (kg/mm)	解析モデルの長さ L (mm)
2.06 × 10 ⁵	1.75 × 10 ⁹	2.01333	1350

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)	364
固有周期 (s)	0.0028

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耐震評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

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

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

(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) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による地震荷重を考慮する。

なお、鉛直震度は、自重と同じ鉛直下向きに考慮する。

$$I_H = W \cdot K_H$$

$$I_V = W \cdot (1 + K_V)$$

(3) 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。

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

$$A_s = B_0 \cdot L_0$$

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*
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	$D + S_s + P_s$

注記 * : Dは固定荷重, S_s は地震荷重, P_s は積雪荷重を示す。

5.3 許容限界

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 : 許容引張応力度・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 : 許容引張応力度・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・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 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)	引張 (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	175*	—	135	264
		中間桁	216*	—	135	264
	補助桁		208*	—	135	264
	スキンプレート		240	—	—	—
	固定ボルト		—	588	339	646

注記 * : 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・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, 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_w : 腹板の総断面積 (mm²)

A_c : 圧縮フランジの総断面積 (mm²)

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耐震計算に用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-5 設計用地震力

地震動	設置場所 及び床面高さ (m)	地震による設計震度*1	
		基準地震動 S_s	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	0.90

注記 *1: 「4. 固有周期」より、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

5.5.1 荷重条件

地震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。

$$i_v = I_v / A$$

$$w = i_v \cdot b$$

5.5.2 応力計算

(1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋は、地震荷重を等分布荷重とし、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

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。

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

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

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の耐震評価に関する応力評価条件を表 5-6 に示す。

表 5-6 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の耐震評価に関する応力評価条件 (1/2)

浸水防止蓋の材質	蓋の質量 m_D (kg)	積雪質量 m_s (kg)	蓋の幅 B_0 (mm)
SM490	2.713×10^3	1.44×10^2	1.350×10^3

支間 L (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_{b5} (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	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)	端部桁の受圧幅 b_1 (mm)
340	613	6.615	2.26×10^2

蓋の長さ L_0 (mm)	端部桁に作用する単位面積あたりの荷重 q_1 (N/mm^2)	端部桁負担荷重 w_1 (N/mm^2)	端部桁の断面係数 Z_1 (mm^3)
4.90×10^3	8.2×10^{-3}	1.85	3.707×10^5

端部桁の端部ウェブ 断面積 A_{s1} (mm^2)	中間桁に作用する単位面積あたりの荷重 q_2 (N/mm^2)	中間桁負担荷重 w_2 (N/mm^2)	中間桁の断面係数 Z_2 (mm^3)
1.944×10^3	8.2×10^{-3}	5.03	6.381×10^5

表 5-6 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の耐震評価に関する応力評価条件 (2/2)

中間桁の端部ウェブ 断面積 A_{s2} (mm ²)	スキンプレートに作 用する単位面積あた りの荷重 q_3 (N/mm ²)	補助桁に作用する単 位面積あたりの荷重 q_4 (N/mm ²)	補助桁の断面係数 Z_4 (mm ³)
2.592×10^3	8.2×10^{-3}	8.2×10^{-3}	1.182×10^5

補助桁の端部ウェブ 断面積 A_{s4} (mm ²)	固定ボルトの本数 n (本)
8.73×10^2	36

6. 評価結果

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の耐震評価結果

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	2	175
			せん断	1	135
			組合せ*1	3	264
		中間桁	曲げ	3	216
			せん断	2	135
			組合せ*1	5	264
	スキンプレート		曲げ	1	240
	補助桁		曲げ	1	208
			せん断	1	135
			組合せ*1	2	264
固定ボルト			せん断	3	339

注記 *1：曲げとせん断の組合せ応力