

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-820 改4
提出年月日	平成30年9月26日

V-2-10-2-5-5 緊急用海水ポンプ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	5
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	12
5.4 設計用地震力	13
5.5 計算方法	14
5.6 計算条件	16
6. 評価結果	17

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緊急用海水ポンプ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。その耐震評価は緊急用海水ポンプ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

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、海水ポンプ点検用ピット最上部のスラブ部分（頂版部）に設置する。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。



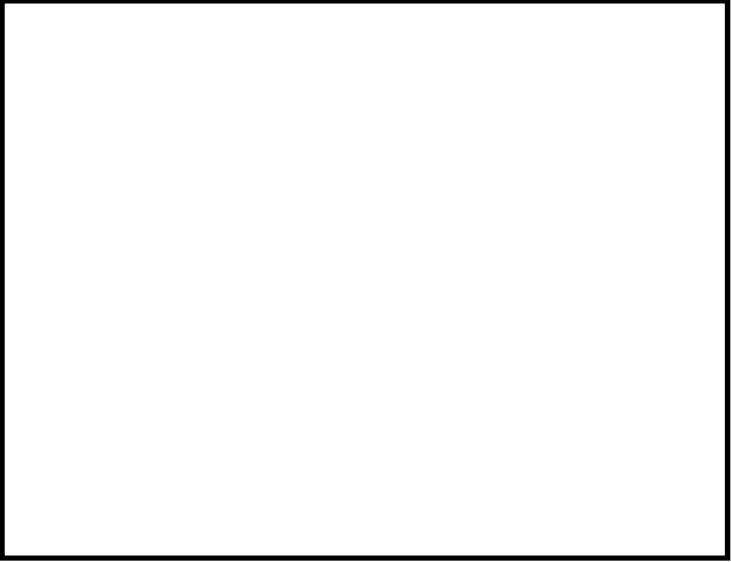
図 2-1 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋設置位置図

2.2 構造計画

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造は、長方形の鋼板に主桁（溝形鋼）及び補助桁（T形鋼）を組合せた構造とする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、本体を海水ポンプ点検用ピット最上部のスラブ部分（頂版部）に設置する固定ボルトで固定する。緊急用海水ポンプ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 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
海水ポンプ点検用ピット最上部のスラブ部分（頂版部）に設置する固定ボルトで固定する。	蓋により構成する。	

2.3 評価方針

緊急用海水ポンプ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」に示す緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力により算出した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」にて確認する。

評価フローを図 2-2 に示す。

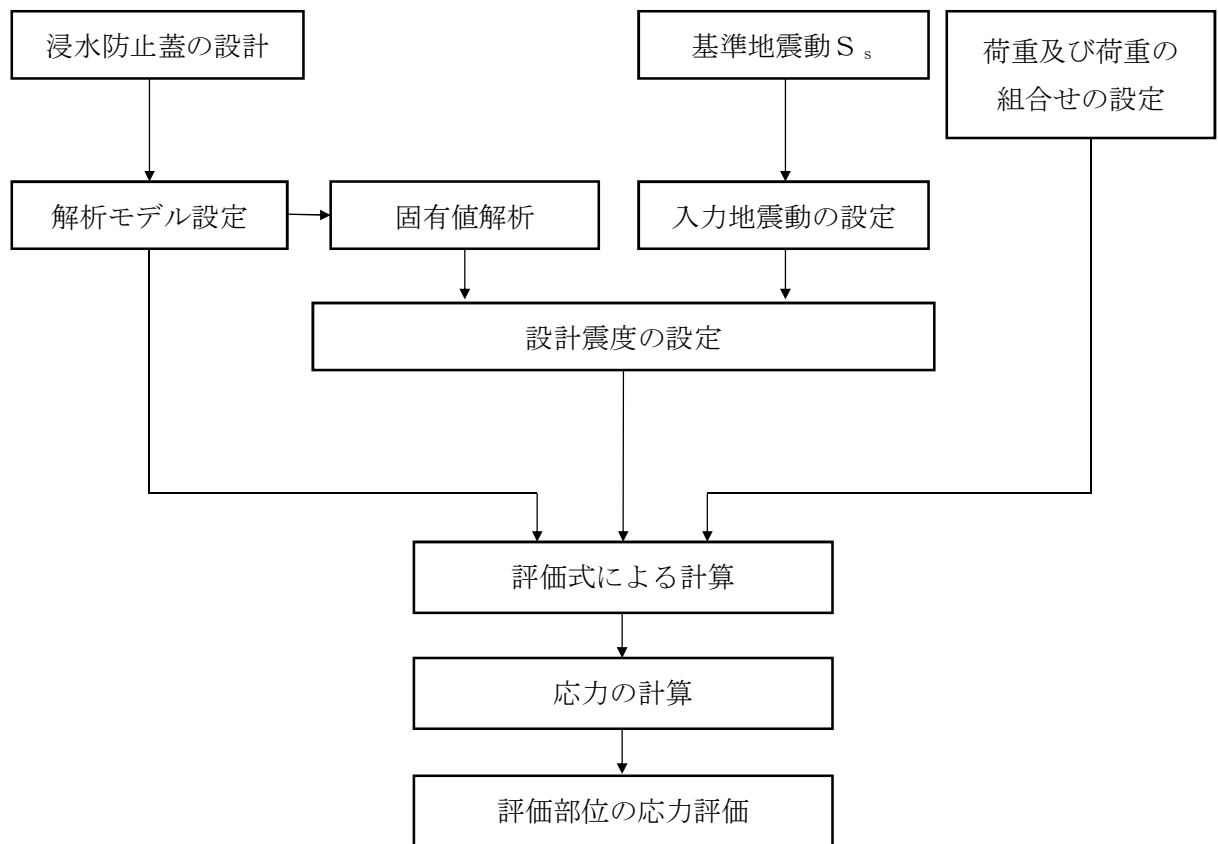


図 2-2 耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- (2) 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)
- (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)
- (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

緊急用海水ポンプ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 緊急用海水ポンプ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	定義	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	主桁の断面二次モーメント	mm ⁴
m	主桁の単位長さ当たりの質量	kg/mm
L	主桁の長さ	mm

表 2-3 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の応力評価に用いる記号 (1/2)

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_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	荷重の負担幅	mm
L	支間	mm

表 2-3 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	記号の説明	単位
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
A _s	積雪面積	m ²
w _s	積雪量 1 cm 毎の積雪荷重	N/mm ³
d _s	垂直積雪量	mm
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

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

なお、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の耐震計算における評価対象部位は、浸水防止蓋及び固定ボルトとする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の耐震評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。



図 3-1 評価対象部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 解析モデル

緊急用海水ポンプ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)
1.93 × 10 ⁵	2.901 × 10 ⁹	1952.55 × 10 ⁻³	2740

4.3 固有周期の計算結果

表 4-2 に固有周期の算出結果を示す。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 固有周期の算出結果

固有振動数 (Hz)	112
固有周期 (s)	0.009

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

緊急用海水ポンプ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。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せに関して以下に示す。

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。

(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。

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

$$A_s = B_1 \cdot L_1$$

5.2.2 荷重の組合せ

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、緊急用海水ポンプ点検用ピット最上部の頂版部に設置されているため、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)	緊急用海水ポンプ点検用 開口部浸水防止蓋	$D + S_s + P_s$

注記 * : D : 自重, S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重, P_s : 積雪荷重

5.3 許容限界

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の各部材の許容限界は、評価対象部位ごとに、「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 各評価対象部位の許容限界

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
	$1.5 \sigma_a$	$1.5 \tau_a$	$1.65 \sigma_a$	$1.5 \sigma_a$	$1.5 \tau_a$	$1.65 \sigma_a$

注記 *1: 「ダム・堰施設技術基準（案）（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）」に準じ，短期時許容値割増 1.5 または 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	SUS304	100	60
補助桁	SUS304	100	60
スキンプレート	SUS304	100	—
固定ボルト	SUS304	—	60

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・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)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
短期許容応力度	主桁	端部桁	150	90	165
		中間桁	150	90	165
	補助桁		150	90	165
	スキンプレート		150	—	—
	固定ボルト		—	90	—

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)」に基づき算出する。

5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり緊急用海水ポンプ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, 緊急用海水ポンプ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」に示す緊急用海水ポンプピット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。緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の耐震計算に用いる設計用地震力を表 5-3 に示す。

表 5-5 設計用地震力

地震動	据付場所 及び床面高さ (m)	地震による設計震度*1	
		水平方向 K _H	
基準地震動 S _s	緊急用海水 ポンプピット 8.0 (EL. 8.0*2)	水平方向 K _H	1.93
		鉛直方向 K _V	0.65

注記 *1 : 「4. 固有周期」より, 緊急用海水ポンプ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, 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 耐震評価

(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。

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

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

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

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

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

緊急用海水ポンプ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 緊急用海水ポンプ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

浸水防止蓋の材質	蓋の質量 m_D (kg)	積雪質量 m_s (kg)	荷重の負担幅 B (mm)
SUS304	5.35×10^3	1.142×10^3	2.700×10^3

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_b (mm^2)
2.730×10^3	SUS304	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 (mm)	固定ボルトの本数 n	重力加速度 g (m/s^2)
2.0×10^6	300	30	9.80665

補助桁間隔 a (mm)	主桁間隔 b (mm)
685	480

6. 評価結果

緊急用海水ポンプ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。評価結果から、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の各部位の発生応力は、許容応力以下であり、地震荷重に対して構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 6-1 耐震評価結果

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
		曲げ	せん断		
浸水防 止蓋	スキンプレート		曲げ	3	150
	主桁	端部桁	曲げ	2	150
			せん断	1	90
			組合せ*	2	165
		中間桁	曲げ	4	150
			せん断	2	90
			組合せ*	4	165
	補助桁	曲げ	1	150	
		せん断	1	90	
		組合せ*	1	165	
固定ボルト		せん断	7	90	

注記 * : 曲げとせん断の組合せ応力