

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-899 改0
提出年月日	平成30年7月2日

V-3-別添 3-2-4-3

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度計算書

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.....	4
2.4 適用規格.....	5
3. 強度評価方法.....	6
3.1 記号の定義.....	6
3.2 評価対象部位.....	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	8
3.4 許容限界.....	9
3.5 評価方法.....	10
4. 評価条件.....	15
5. 強度評価結果.....	16

1. 概要

本資料は、資料V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護設備のうちSA用海水ピット開口部浸水防止蓋が津波荷重並びに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。

2. 基本方針

2.1 位置

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋は，S A用海水ピット開口部に設置する。
S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

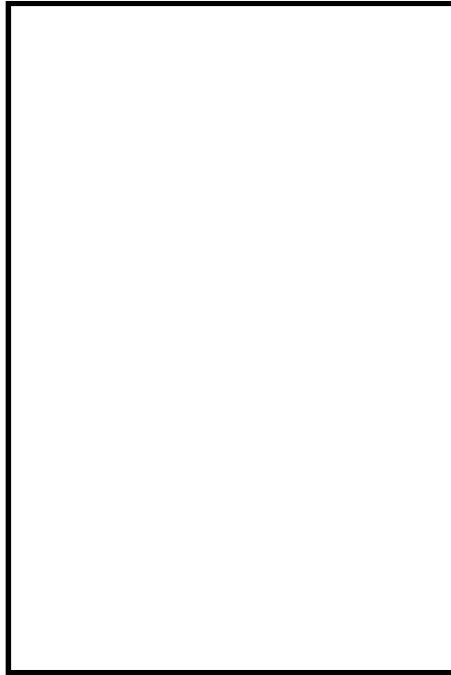


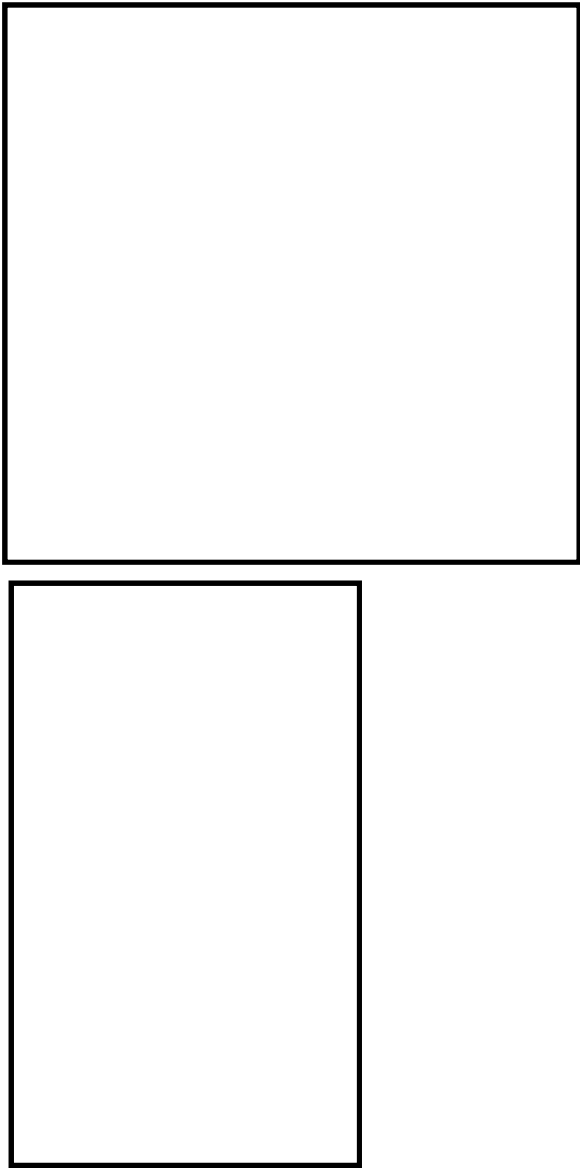
図 2-1 S A用海水ピット開口部浸水防止蓋設置位置図

2.2 構造概要

S A用海水ピット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(ともに溝形鋼)を組合せた構造とする。

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋は、本体をS A用海水ピット開口部に設置する固定ボルト及びヒンジで固定する。S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造概要

設備名称	構造概要		説明図
	主体構造	支持構造	
S A用海水ピット開口部浸水防止蓋	浸水防止蓋	S A用海水ピット開口部に設置する固定ボルト及びヒンジにより本体を固定する。	

2.3 評価方針

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋は、Sクラス施設である浸水防護施設に分類される。

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度計算は、SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の評価対象部位に作用する応力が許容限界内以下であることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算する。

具体的な評価方針を以下に示す。

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度評価では、津波襲来時に余震が発生することを想定し、津波荷重及び余震荷重を考慮した強度評価を実施する。評価フローを図2-2に示す。

また、上記評価を実施するにあたり、SA用海水ピット開口部浸水防止蓋をモデル化した固有値解析を行う。

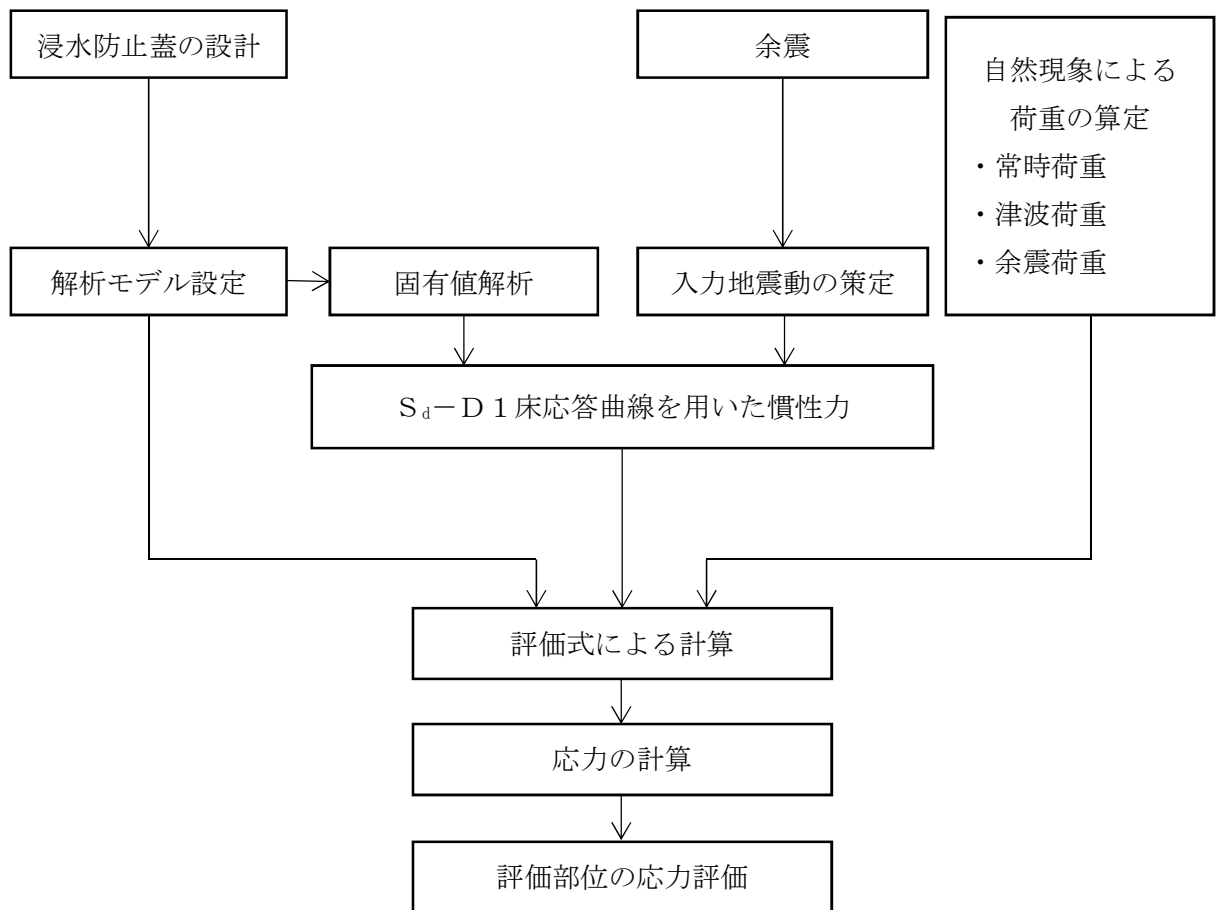


図 2-2 強度評価における評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 1987」((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 1991 追補版」((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007 ((社) 日本機械学会)
- ・日本工業規格
- ・「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)

3. 強度評価方法

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度評価は、「3.2 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4 許容限界」に示す荷重の種類及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「3.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1 記号の定義

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度計算に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度計算に用いる記号

記号	単位	定義
W_0	kg/m ³	海水の密度
g	m/s ²	重力加速度
K	G	余震時設計震度
H	m	津波水位(T.P.)
h	m	津波時設計水深
q	kN/m ²	津波時静水圧
q'	kN/m ²	津波時動水圧
σ_v	N/mm ²	日本工業規格に規定される材料の設計降伏点
σ_u	N/mm ²	日本工業規格に規定される材料の設計引張強さ
σ_a	N/mm ²	許容圧縮応力度, 許容引張応力度, 許容曲げ応力度 ダム・堰施設技術基準(案) $\sigma_a = \sigma_v / F^*$
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度 ダム・堰施設技術基準(案) $\tau_a = \sigma_a / \sqrt{3}$
σ_{ca}	N/mm ²	許容支圧応力度 ダム・堰施設技術基準(案) $\sigma_{ca} = 1.5 \times \sigma_a$

注記 * : 安全率Fは2程度

3.2 評価対象部位

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造を踏まえて、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。

なお、S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度計算における評価対象部位は、浸水防止蓋、固定ボルト及びヒンジとする。

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度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

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (G)

常時作用する荷重として、自重Gを考慮する。自重Gについては、SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の構成部材の質量を用いる。

(2) 津波荷重 (P_t)

津波時静水圧及び余震時動水圧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。津波時静水圧は、設計水深と海水の密度から算出し、津波時動水圧は、ウェスタガードの簡易式を用いて算出する。

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d-D1 による地震力を考慮する。

余震荷重 S_d は、SA用海水ピット開口部浸水防止蓋に作用する余震による慣性力を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防止設備	SA用海水ピット開口部 浸水防止蓋	$G + P_t + S_d$

注記 * : G : 自重, P_t : 津波荷重, S_d : 余震荷重

3.4 許容限界

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の許容限界は、評価対象部位ごとに、「ダム・堰施設技術基準（案）」に規定される許容応力度を用いる。

各評価対象部位の許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 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, ヒンジ	
	一次応力	
	曲げ	せん断
短期 (基準津波時)	$1.5 \sigma_a$	$1.5 \tau_a$
短期 (T. P. +24m 津波時)	$2.0 \sigma_a$	$2.0 \tau_a$

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 または 2.0 とする。

*2: σ_a : 許容曲げ応力度, τ_a : 許容せん断応力度

3.5 評価方法

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度評価は、津波荷重及び余震荷重による各部材の発生応力が許容値以下であることを確認するものとする。

3.5.1 荷重条件

(1) 固定荷重 (G)

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の構成部材の質量を用いる。

(2) 津波荷重 (P_t)

津波時の水圧は、静水圧と動水圧の2つを考慮するものとする。静水圧 q 及び動水圧 q' はそれぞれ以下のとおりとする。

$$q = h \cdot W_0$$

$$q' = \frac{7}{8} \cdot W_0 \cdot K \cdot \sqrt{H \cdot h} \quad (\text{ウエスタガードの簡易式})$$

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重は、以下のとおりとする。

$$W_g = K \cdot M \cdot g$$

ここで、

W_g : 余震時地震荷重(kN)

K : 余震時設計震度(G)

M : 固定荷重による全体質量(kg)

g : 重力加速度(m/s²)

3.5.2 強度評価

(1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋の荷重条件は、地震荷重を等分布荷重とし、浸水防止蓋を構成する主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。なお、主桁については、「ダム・堰施設技術基準（案）」に準じ、たわみ度も確認する。

a. 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度 σ は、それぞれ、次式により算出する。

$$\sigma = M / Z$$

ここに、

σ : 最大曲げ応力度

M : 主桁及び補助桁に発生する最大曲げモーメント

Z : 浸水防止蓋の主桁及び補助桁の断面係数

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度 τ は次式により算出する。

$$\tau = S / A_w$$

ここに、

τ : 最大せん断応力度

S : 主桁及び補助桁に発生する最大せん断力

A_w : 浸水防止蓋の主桁及び補助桁のウェブ断面積

c. たわみ度

浸水防止蓋の主桁のたわみ度 $\Delta\delta$ を次式により算出する。

$$\Delta\delta = \frac{w \cdot B}{48 \cdot E \cdot I} \left(L^3 - \frac{L \cdot B^2}{2} + \frac{B^3}{8} \right)$$

ここで、

δ : 主桁のたわみ度

w : 主桁に作用する地震荷重による等分布荷重

E : 鋼材の縦弾性係数

I : 主桁の断面二次モーメント

B : 水密荷重作用幅

L : 主桁の支間距離

(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、鉛直方向荷重及び水平方向荷重に対して評価を行う。

a. 引張応力

固定ボルト 1 本あたりの引張応力度 σ_b は、次式により算出する。

$$\sigma_b = P_b / A_b$$

ここで、

σ_b : 固定ボルト 1 本あたりの引張応力度

P_b : 固定ボルト 1 本あたりに作用する引張応力

A_b : 固定ボルトの有効断面積

b. せん断応力

固定ボルト 1 本あたりのせん断応力度 τ_b は、次式により算出する。

$$\tau_b = S_b / A_b$$

ここで、

τ_b : 固定ボルト 1 本あたりのせん断応力度

S_b : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断荷重

A_b : 固定ボルトの有効断面積

c. 組合せ応力

固定ボルトに発生する曲げ応力 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。

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

(3) ヒンジ

ヒンジに作用する引張荷重は、ヒンジ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、鉛直方向荷重及び水平方向荷重に対して評価を行う。なお、ヒンジの評価は、ヒンジを構成するブラケット及びピンで行う。

a. 曲げ応力(ブラケット)

ブラケットの根本に発生する曲げ応力度 σ_{bu} を、次式により算出する。

$$\sigma_{bu} = M_{bu} / Z_{bu}$$

ここで、

σ_{bu} : ブラケットに発生する曲げ応力度

M_{bu} : ブラケットを片持ち梁でモデル化した時に発生する最大曲げモーメント

Z_{bu} : ブラケット根本の断面二次係数

b. せん断応力(ブラケット)

ブラケットに作用するせん断応力度 τ_{bu} を、次式により算出する。

$$\tau_{bu} = S_{bu} / A_{bu}$$

ここで、

τ_{bu} : ブラケットに作用するせん断応力度

S_{bu} : ブラケットに作用する最大せん断荷重

A_{bu} : 最大せん断荷重発生箇所におけるブラケットの断面積

c. 組合せ応力(ブラケット)

ブラケットに発生する曲げ応力 σ_{bu} 及びせん断応力 τ_{bu} による組合せ荷重 σ_{bum} をダム・堰施設技術基準(案)記載の次式により算出する。

$$\sigma_{bum} = \sqrt{\sigma_{bu}^2 + 3\tau_{bu}^2}$$

d. 曲げ応力(ピン)

ピンに発生する曲げ応力度 σ_p を、次式により算出する。

$$\sigma_p = M_p / Z_p$$

ここで、

σ_p : ピンに発生する曲げ応力度

M_p : ピンを両端支持梁でモデル化した時に発生する最大曲げモーメント

Z_p : ピンの断面二次係数

e. せん断応力(ピン)

ピンに発生するせん断応力度 τ_p を、次式により算出する。

$$\tau_p = S_p / 2A_p$$

ここで、

τ_p : ピンに作用するせん断応力度

S_p : ピンを両端支持梁でモデル化した時に発生する最大せん断荷重

A_p : ピンの断面積

3.5.3 固有値解析

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の耐震評価にあたり、「2.3 評価方針」に記載したとおり、当該設備をモデル化した固有値解析を実施する。

(1) 解析モデル

SA用海水ピット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) 固有振動数の計算

SA用海水ピット開口部浸水防止蓋は、主桁を単純支持梁としてモデル化し、評価を行う。「構造力学公式集(1988年)、土木学会」より、両端支持梁の一次固有振動数は次のとおり与えられる。

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

各記号の定義並びに評価に必要な諸元を表 3-5 に示す。

表 3-5 固有振動数の計算における記号の定義と評価に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
f	一次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	2.06×10^{11}	N/m ²
I	主桁の断面二次モーメント	9.57×10^{-5}	m ⁴
m	主桁の単位長さ当りの重量	673	kg/m
L	主桁の長さ	1.32	m

(3) 固有値解析結果

固有振動数の算出結果を表 3-6 に示す。固有振動数は、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

表 3-6 固有振動数の算出結果

(単位 : Hz)

機器名称	固有振動数
SA用海水ピット 開口部浸水防止蓋	175

4. 評価条件

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の強度評価に関する評価条件を以下に説明する。

(1) 評価対象部位の諸元

評価対象部位である、浸水防止蓋、ヒンジ及び固定ボルトの各諸元を、表 4-1、表 4-2 に示す。

表 4-1 評価対象部位の各諸元（浸水防止蓋）

項目		材質	鋼材仕様
浸水防止蓋	スキンプレート	SM400	PL-13
	主桁	SM400	BC-160×70×10×9(端部) BC-160×70×12×9(端部以外)
	補助桁	SM400	BT-50×100×9×9
	端桁	SM400	BC-160×70×19×19
ヒンジ	ブラケット	SM490	PL-32
	ピン	SUS316L	φ 60

表 4-2 評価対象部位の各諸元（固定ボルト）

材質	呼び径 (mm)
SUS316L	36

5. 強度評価結果

蓋、固定ボルト及びヒンジの強度評価結果を表 5-1, 5-2 に示す。S A用海水ピット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、基準津波荷重を考慮した荷重及びT. P. +24m 津波荷重を考慮した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 5-1 強度評価結果（重畳時（基準津波））

（単位：N/mm²）

		評価応力	発生応力	許容応力
浸水防止蓋	主桁	曲げ	70.3	180
		せん断	39.2	105
		たわみ	1/1769	1/600
	スキンプレート	曲げ	52.5	180
	補助桁	曲げ	35.7	180
		せん断	20.1	105
	端桁	曲げ	31.8	180
		せん断	53.6	105
固定ボルト		引張	48.7	135
ヒンジ	ブラケット	曲げ	113.9	240
		せん断	27.6	135
	ピン	曲げ	52.4	135
		せん断	12.9	75

表 5-2 強度評価結果（重畳時（T.P. +24 m 津波））

（単位：N/mm²）

		評価応力	発生応力	許容応力
浸水防止蓋	主桁	曲げ	144.6	240
		せん断	80.6	140
		たわみ	1/860	1/600
	スキンプレート	曲げ	108.0	240
	補助桁	曲げ	73.3	240
		せん断	41.4	140
	端桁	曲げ	65.4	240
		せん断	110.3	140
固定ボルト		引張	100.2	180
ヒンジ	ブラケット	曲げ	234.4	320
		せん断	56.8	180
	ピン	曲げ	107.9	180
		せん断	26.6	100