

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-014-19改02
提出年月日	2023年5月18日

VI-3-別添 2-11 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備
の強度計算書

S2 補 VI-3-別添 2-11 R0

2023年5月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	6
3.	強度評価方法	7
3.1	記号の定義	7
3.2	評価対象部位	9
3.3	荷重及び荷重の組合せ	9
3.3.1	荷重の設定	9
3.3.2	荷重の組合せ	12
3.4	許容限界	13
3.5	評価方法	14
3.5.1	鋼板の評価方法	14
3.5.2	架構の評価方法	16
3.5.3	アンカーボルトの評価方法	18
4.	評価条件	20
5.	強度評価結果	21

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の安全機能維持を考慮して、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

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

2.1 位置

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の配置図を図 2-1 に示す。



図 2-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の配置図

2.2 構造概要

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、構造を設定する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、降下火砕物及び積雪が堆積することを防止する鋼板、鋼板を支持する架構及び架構をコンクリートに固定するアンカーボルトから構成される。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、鳥瞰図を図 2-5 に示す。

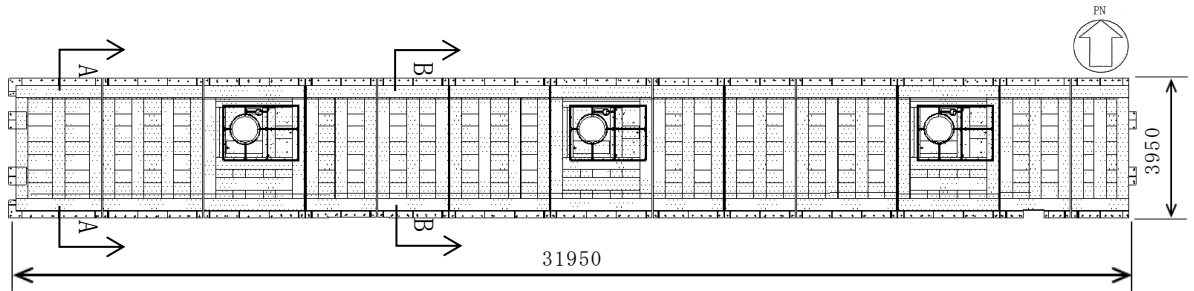


図 2-2 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略平面図 (単位:mm)

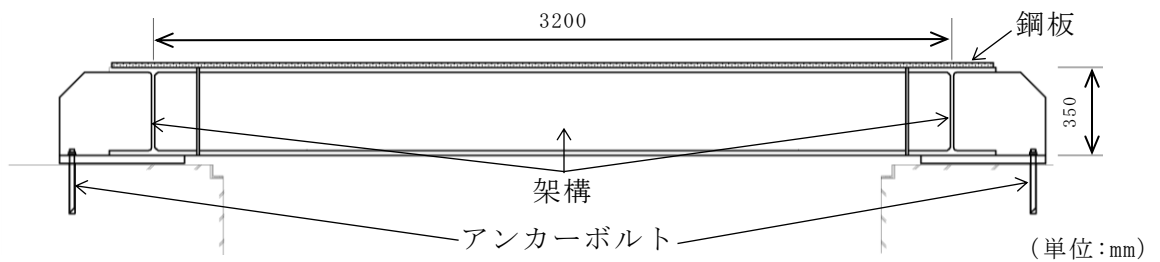


図 2-3 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略断面図 (A-A 断面)

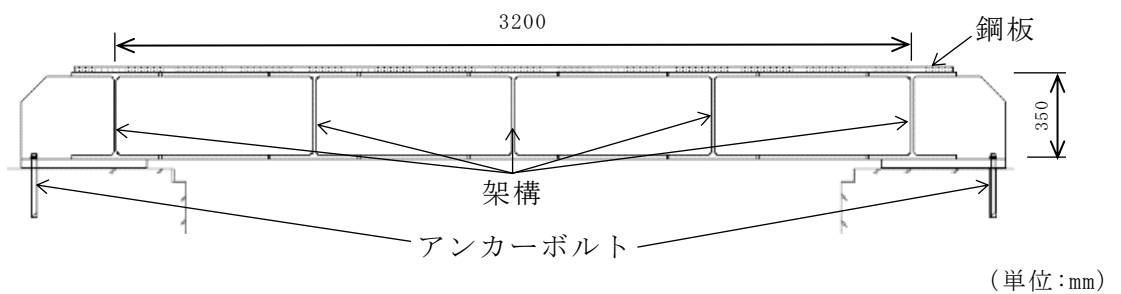


図 2-4 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の概略断面図 (B-B 断面)

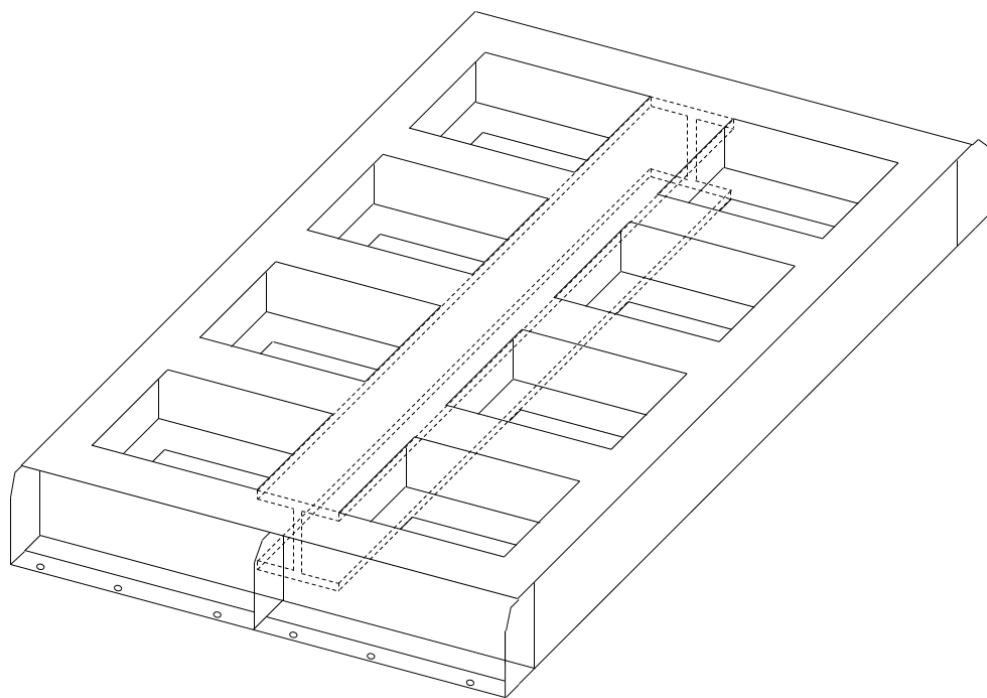


図 2-5(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 鳥瞰図
(架構の構造表示, 鋼板非表示)

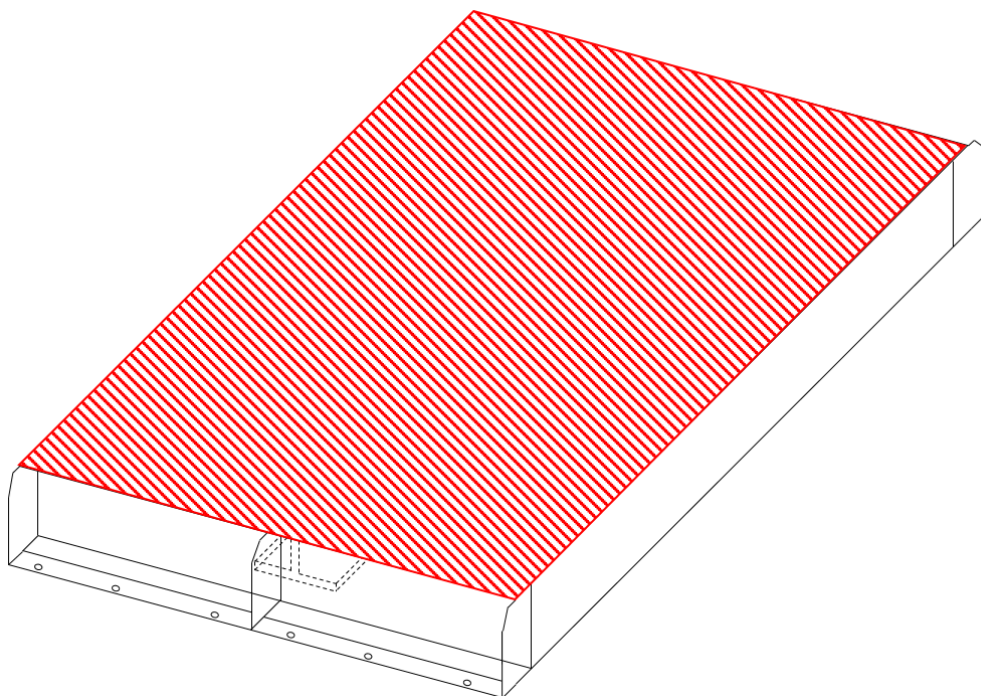


図 2-5(2) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 鳥瞰図
(鋼板表示)

2.3 評価方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「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し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価フローを図 2-6 に示す。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物及び積雪の堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重(以下「設計荷重」という。)の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

評価については、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界は、鋼板及び架構に対しては、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「鋼構造設計規準 - 許容応力設計法 - (社)日本建築学会, 2005 年改定)」に基づき算出した許容荷重とする。また、アンカーボルトに対しては、「各種合成構造設計指針・同解説(日本建築学会, 2010 年改訂)」に基づき算出した許容荷重とする。

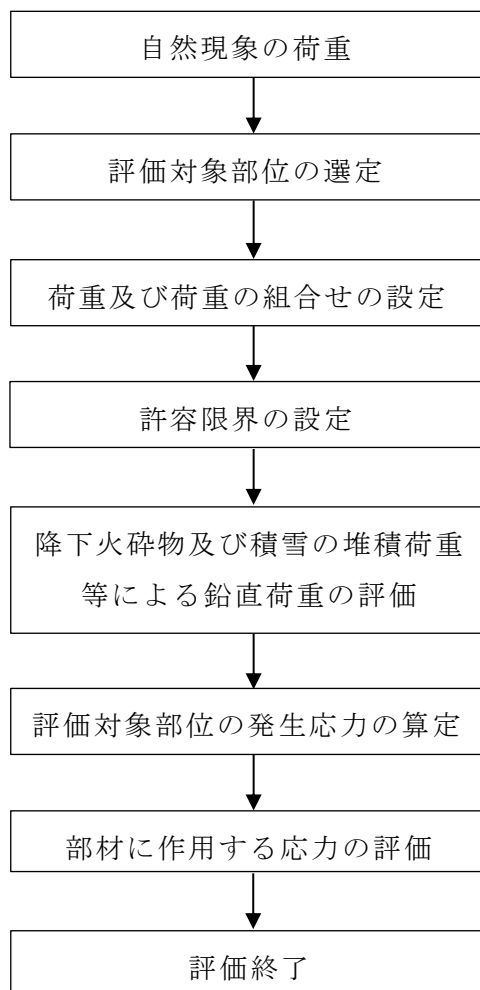


図 2-6 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - （（社）日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987 年）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	鋼板の短辺
a ₂	mm	架構が荷重を分担する鋼板の短辺
A	mm ²	鋼板の断面積
A _z	cm ²	架構の強軸方向のせん断断面積
b	mm	鋼板の長辺
b ₂	mm	架構の幅及び高さ
T _a	N	アンカーボルトに生じる引張力
h	mm	鋼板の厚さ
L	mm	アンカーボルト間の距離
L ₂	mm	架構の長さ
M	N・mm	鋼板に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
M ₂	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純支持梁(ピン結合)とした場合)
M ₃	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純固定梁とした場合)
n _a	-	架構 1 箇所当たりのアンカーボルトの本数
n ₂	-	評価対象とする架構に対し直交する架構の本数
p	N/mm	鋼板に作用する等分布荷重
p ₂	N/mm	架構に作用する等分布荷重
p ₃	N/mm	架構の単位長さあたりの自重
ρ	kN/m ³	鋼板の密度
ρ ₂	kN/m ³	架構の密度
Q	N	鋼板に作用する弱軸まわりのせん断力
Q ₂	N	架構に作用する強軸まわりのせん断力
Z	mm ³	鋼板の弱軸まわりの断面係数
Z ₂	mm ³	架構の強軸まわりの断面係数
σ	MPa	鋼板に生じる曲げ応力
σ ₂	MPa	架構に生じる曲げ応力

表 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
τ	MPa	鋼板に生じるせん断応力
τ_2	MPa	架構に生じるせん断応力
F	N/mm ²	鋼板及び架構の F 値
f_b	N/mm ²	鋼板及び架構の短期許容曲げ応力度
f_s	N/mm ²	鋼板及び架構の短期許容せん断応力度
ν	—	座屈安全率
λ_b	—	曲げ材の細長比
$p \lambda_b$	—	塑性限界細長比
$e \lambda_b$	—	弾性限界細長比
p_{a1}	N	接着系アンカーボルトの降伏により決まる場合の接着系アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
p_{a3}	N	接着系アンカーボルトの付着力により決まる場合の接着系アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
Φ_1, Φ_3	—	低減係数
$s \sigma_{pa}$	N/mm ²	接着系アンカーボルトの引張強度
$s_c a$	mm ²	接着系アンカーボルトの断面積
τ_a	N/mm ²	へりあき及びアンカーボルトのピッチを考慮した接着系アンカーボルトの引張力に対する付着強度
π	—	円周率
d_a	mm	接着系アンカーボルトの径
l_{ce}	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込み深さ

3.2 評価対象部位

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の評価対象部位は、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、鋼板、架構及びアンカーボルトとする。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.3.1 荷重の設定

(1) 鋼板及び架構

鋼板及び架構の鉛直荷重の一覧を表 3-2 に示す。鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、降下火砕物による荷重 ($F_{a'}$) 及び積雪荷重 ($F_{s'}$) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 56cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とし、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-2 荷重一覧（鋼板及び架構）

荷重		鋼板	架構
常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	1.54kN/m	2.19kN/m
	積載荷重 (P) *	0.98kN/m	2.65kN/m
降下火砕物による荷重 ($F_{a'}$)		8.24kN/m	8.65kN/m
積雪荷重 ($F_{s'}$)		0.70kN/m	0.74kN/m

注記*：積載荷重 (P) は、除灰時の人員荷重 981N/m^2 を含む。

鋼板及び架構に生じる各荷重について、算定方法を以下に示す。

a. 鋼板の固定荷重 (G)

$$G = \rho \cdot a \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot 10^{-3}$$

ρ : 鋼板の密度 (kN/m³)

a : 鋼板の短辺 (mm)

h : 鋼板の厚さ (mm)

b. 鋼板の積載荷重 (P)

$$P = P_1 \cdot 10^{-3} \cdot a \cdot 10^{-3}$$

P_1 : 除灰時の人員荷重 (N/m²)

a : 鋼板の短辺 (mm)

c. 鋼板の降下火砕物による荷重 (F_a')

$$F_a' = F_a \cdot 10^{-3} \cdot a \cdot 10^{-3}$$

F_a : 湿潤状態の降下火砕物による荷重 (N/m²)

a : 鋼板の短辺 (mm)

d. 鋼板の積雪荷重 (F_s')

$$F_s' = F_s \cdot 10^{-3} \cdot a \cdot 10^{-3}$$

F_s : 従荷重として組み合わせる積雪荷重 (N/m²)

a : 鋼板の短辺 (mm)

e. 架構の固定荷重 (G)

$$G = p_3 + \frac{n_2 \cdot (a_2 \cdot 10^{-3} \cdot b_2 \cdot 10^{-3}) \cdot p_3}{L_2 \cdot 10^{-3}}$$

p_3 : 架構の単位長さあたりの自重 (N/mm)

n_2 : 評価対象とする架構に対し直交する架構の本数

a_2 : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

b_2 : 架構の幅及び高さ (mm)

L_2 : 架構の長さ (mm)

f. 架構の積載荷重 (P)

$$P = P_1 \cdot 10^{-3} \cdot a_2 \cdot 10^{-3} + \rho \cdot a_2 \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot 10^{-3}$$

P_1 : 除灰時の人員荷重 (N/m²)

a_2 : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

ρ : 鋼板の密度 (kN/m³)

h : 鋼板の厚さ (mm)

g. 架構の降下火砕物による荷重 (F_a')

$$F_a' = F_a \cdot 10^{-3} \cdot a_2 \cdot 10^{-3}$$

F_a : 湿潤状態の降下火砕物による荷重 (N/m²)

a_2 : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

h. 架構の積雪荷重 (F_s')

$$F_s' = F_s \cdot 10^{-3} \cdot a_2 \cdot 10^{-3}$$

F_s : 従荷重として組み合わせる積雪荷重 (N/m²)

a_2 : 架構が荷重を分担する鋼板の短辺 (mm)

(2) アンカーボルト

アンカーボルトに考慮する荷重は、積載荷重による圧縮力及び架構端部で発生した曲げモーメントによる引張力とする。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

	荷重			
	常時作用する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重
	固定荷重 (G)	積載荷重 (P) [*]	降下火砕物による荷重 (F_a)	積雪荷重 (F_s)
考慮する荷重の組合せ	○	○	○	○

注記*：積載荷重 (P) は，除灰時の人員荷重 981N/m^2 を含む。

3.4 許容限界

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界値は、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに設定する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を構成する鋼板及び架構の許容限界を、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)」に基づき、表 3-4 に示す。また、アンカーボルトの許容限界を、「各種合成構造設計指針・同解説(日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき、表 3-4 に示す。

鋼板及び架構の材料強度を表 3-5 に、コンクリートの短期許容応力度及びアンカーボルトの短期許容荷重を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-4 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界

機能設計上の性能目標	評価対象部位	応力等の状態	機能維持のための考え方	許容限界
構造強度を有すること	鋼板	曲げ, せん断	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法に準じた短期許容応力度
	架構	曲げ, せん断		
	アンカーボルト	引張		各種合成構造設計指針・同解説に準じた短期許容荷重

表 3-5 鋼板及び架構の材料強度

(単位: N/mm²)

材料	板厚	F 値	材料強度		
			引張り	圧縮 曲げ	せん断
SS400		234	234	234*	135

注記*: 上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-6 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.17

表 3-7 アンカーボルトの短期許容荷重

(単位：kN)

呼び径	引張
	52.4

3.5 評価方法

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の応力評価は、VI-3-別添 2-2「**火山**防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 強度評価条件及び強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

3.5.1 鋼板の評価方法

(1) 評価モデル

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重によって一様な応力が発生する鋼板を、単純支持梁（ピン結合）として、**新版機械工学便覧**（（社）日本機械学会，1987年）の計算方法を用いて評価を行う。評価対象部位及び応力評価モデル図を図 3-1 に示す。

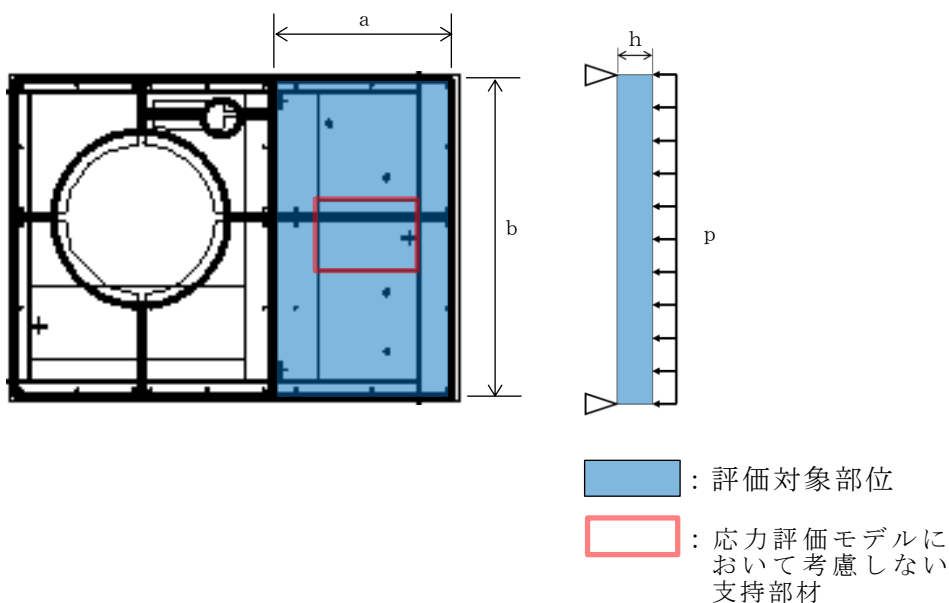


図 3-1 鋼板の評価対象部位及び応力評価モデル図

(2) 応力評価

a. 曲げ応力

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^{-9}}{Z \cdot 10^{-9}}$$

ここで,

$$M = 1/8 \cdot p \cdot b^2$$

$$p = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a \cdot h$$

$$Z = 1/6 \cdot a \cdot h^2$$

b. せん断応力

$$\tau = \frac{Q \cdot 10^{-6}}{A \cdot 10^{-6}}$$

ここで,

$$Q = 1/2 \cdot p \cdot b$$

$$A = a \cdot h$$

(3) 断面評価

断面の評価は、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づき、「3.5.1 鋼板の評価方法」で計算した鋼板に生じる各応力が、各許容限界を超えないことを確認する。

a. 短期許容曲げ応力度

$$f_b = \frac{F}{\nu} \cdot 1.5 \quad (\lambda_b \leq \lambda_{bp})$$

$$f_b = \left\{ 1 - 0.4 \cdot \frac{(\lambda_{bp} - \lambda_b)}{(\lambda_{be} - \lambda_{bp})} \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5 \quad (\lambda_{bp} < \lambda_b \leq \lambda_{be})$$

$$f_b = \frac{1}{\lambda_b^2} \cdot \frac{F}{2.17} \cdot 1.5 \quad (\lambda_{be} < \lambda_b)$$

b. 短期許容せん断応力度

$$f_s = \frac{F}{1.5 \sqrt{3}} \cdot 1.5$$

3.5.2 架構の評価方法

(1) 評価モデル

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重によって一様な応力が発生する架構を、単純支持梁（ピン結合）として、新版機械工学便覧（（社）日本機械学会、1987年）の計算方法を用いて評価を行う。評価対象部位及び応力評価モデル図を図3-2に示す。

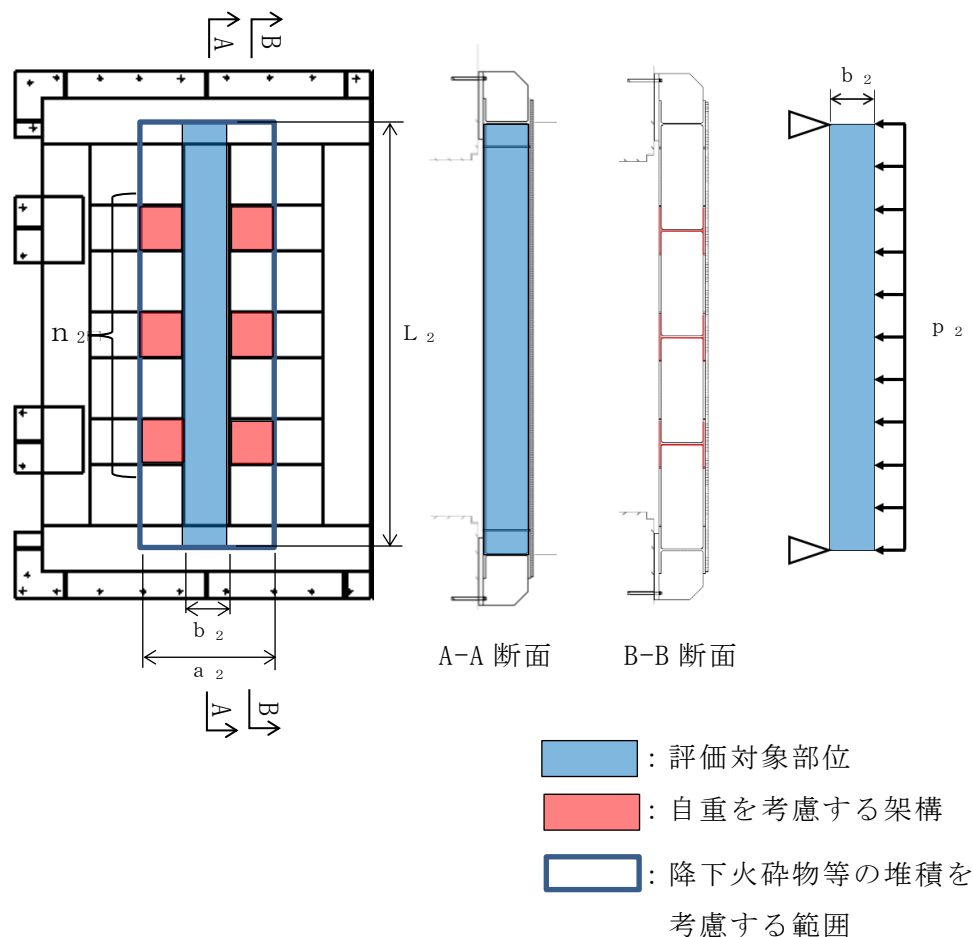


図3-2 架構の評価対象部位及び応力評価モデル図

(2) 応力評価

a. 曲げ応力

$$\sigma_2 = \frac{M_2 \cdot 10^9}{Z_2 \cdot 10^9}$$

ここで、

$$M_2 = 1/8 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$

$$p_2 = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a_2 + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a_2 \cdot h + p_3 + \frac{n_2 \cdot (a_2 - b_2) \cdot p_3}{L_2}$$

b. せん断応力

$$\tau_2 = \frac{Q_2 \cdot 10^6}{A_z \cdot 10^4}$$

ここで,

$$Q_2 = 1/2 \cdot p_2 \cdot L_2$$

(3) 断面評価

断面の評価は、「鋼構造設計規準 - 許容応力設計法 - ((社) 日本建築学会, 2005年改定)」に基づき、「3.5.2 架構の評価方法」で計算した架構に生じる各応力が、各許容限界を超えないことを確認する。

a. 短期許容曲げ応力度

$$f_b = \frac{F}{\nu} \cdot 1.5 \quad (\lambda_b \leq p\lambda_b)$$

$$f_b = \left\{ 1 - 0.4 \cdot \frac{(\lambda_b - p\lambda_b)}{(e\lambda_b - p\lambda_b)} \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5 \quad (p\lambda_b < \lambda_b \leq e\lambda_b)$$

$$f_b = \frac{1}{\lambda_b^2} \cdot \frac{F}{2.17} \cdot 1.5 \quad (e\lambda_b < \lambda_b)$$

b. 短期許容せん断応力度

$$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$$

3.5.3 アンカーボルトの評価方法

(1) 評価モデル

アンカーボルトに考慮する荷重は、積載荷重による圧縮力及び架構端部で発生した曲げモーメントによる引張力とする。

アンカーボルトに作用する曲げモーメントによる引張力の算定のため、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重によって一様な応力が発生する架構を単純固定梁として、新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987年）の計算方法を用いることとする。積載荷重による圧縮力及び端部で発生した曲げモーメントによる引張力を考慮する架構とその荷重を負担するアンカーボルトの概念図を図3-3に示す。

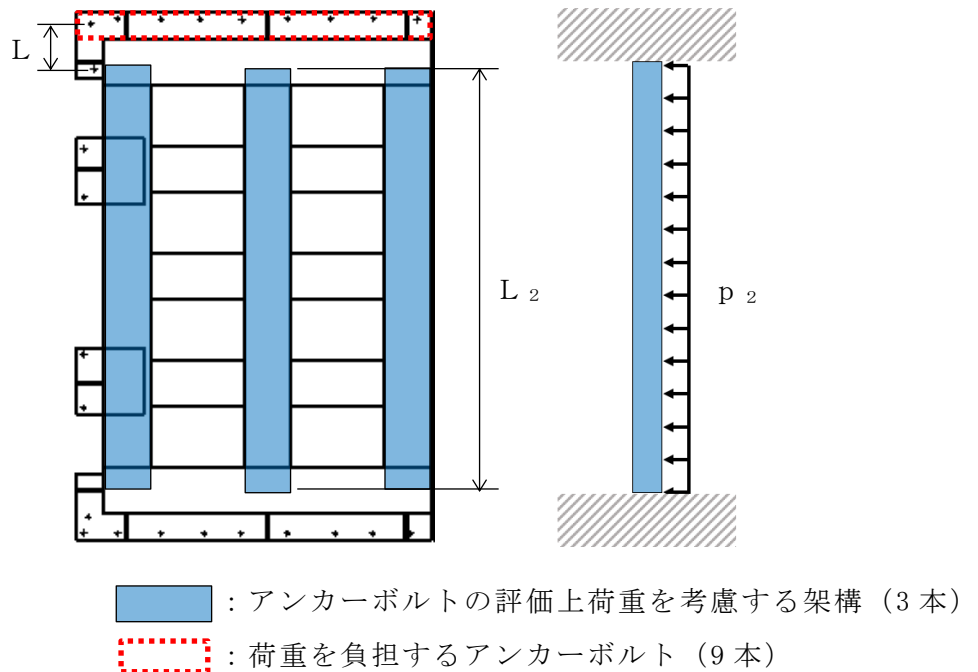


図3-3 荷重を負担するアンカーボルトの概念図

したがって、1本の架構の荷重を負担するアンカーボルトの本数 n_a は、以下のとおりとなる。

$$n_a = 9 \text{ (本 (アンカーボルト))} \div 3 \text{ (本 (架構))} = 3$$

(2) 応力評価

a. 引張力

$$T_a = \frac{p_2 \cdot L_2}{n_a} - \frac{M_3}{L \cdot n_a}$$

ここで,

$$M_3 = 1/12 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$

(3) 断面評価

断面の評価は、「各種合成構造設計指針・同解説(日本建築学会, 2010年改定)」に基づき、「3.5.3 アンカーボルトの評価方法」で計算したアンカーボルトに生じる引張力が、許容限界を超えないことを確認する。

a. 短期許容引張力

$$p_{a1} = \Phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法(2)応力評価」に用いる評価条件を表4-1～表4-3に、「3. 強度評価方法(3)断面評価」に用いる評価条件を表4-4及び表4-5に示す。

表4-1 応力評価条件(鋼板)

a (mm)	a ₂ (mm)	A (mm ²)	b (mm)	h (mm)	ρ (kN/m ³)
1000	1050		1420		77

表4-2 応力評価条件(架構)

n ₂ (-)	A _z (cm ²)	b ₂ (mm)	L ₂ (mm)	p ₃ (N/mm)
3			3200	1.324

表4-3 応力評価条件(アンカーボルト)

n _a (-)	L (mm)
3	400

表4-4 断面評価条件(鋼板及び架構)

F (N/mm ²)	ν (-)	λ _b (-)	pλ _b (-)	eλ _b (-)
235	1.501	0.049	0.3	1.291

表4-5 断面評価条件(アンカーボルト)

Φ ₁ (-)	sσ _{pa} (N/mm ²)	sca (mm ²)	Φ ₃ (-)	τ _a (N/mm ²)	d _a (mm)	l _{ce} (mm)
1	295		2/3	8.45		133.4

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時における強度評価結果を表 5-1 に示す。

鋼板、架構及びアンカーボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の評価結果

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)
取水槽循環 水ポンプエ リア防護対 策設備	鋼板	SS400	曲げ		
			せん断		
	架構	SS400	曲げ		
			せん断		
	アンカー ボルト	SS400	引張*		

注記*：単位は kN とする。