

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-014-10
提出年月日	2022年9月12日

VI-3-別添 2-2-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の
強度計算の方針

S2 補 VI-3-別添 2-2-1 R0

2022年9月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
3. 構造強度設計	2
3.1 構造強度の設計方針	2
3.2 機能維持の方針	2
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	5
4.1 荷重及び荷重の組合せ	5
4.2 許容限界	9
5. 強度評価条件及び強度評価方法	11
5.1 強度評価条件	11
5.2 強度評価対象部位	12
5.3 強度評価方法	13
6. 適用規格・基準等	17

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「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」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」」という。）の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定している取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「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」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の具体的な計算の方法及び結果は、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」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを、「5. 強度評価条件及び強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格・基準等」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の構造強度を保持するよう機能維持の方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、主要な構造部材が十分な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する取水槽により支持する構造とする。降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物の降灰から 30 日を目途に降下火砕物を適切に除去すること、また、降灰時には除雪も併せて実施することを保安規定に定める。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 構造設計

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、取水槽循環水ポンプエリアに降下火砕物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。

想定する降下火砕物等の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する鋼板に作用し、架構に伝達する構造とする。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の設置位置を図 3-1 に、構造計画を表 3-1 に示す。

(2) 評価方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、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、架構及びアンカーボルトが、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。

降下火砕物等を考慮した荷重に対する強度評価を、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」に示す。

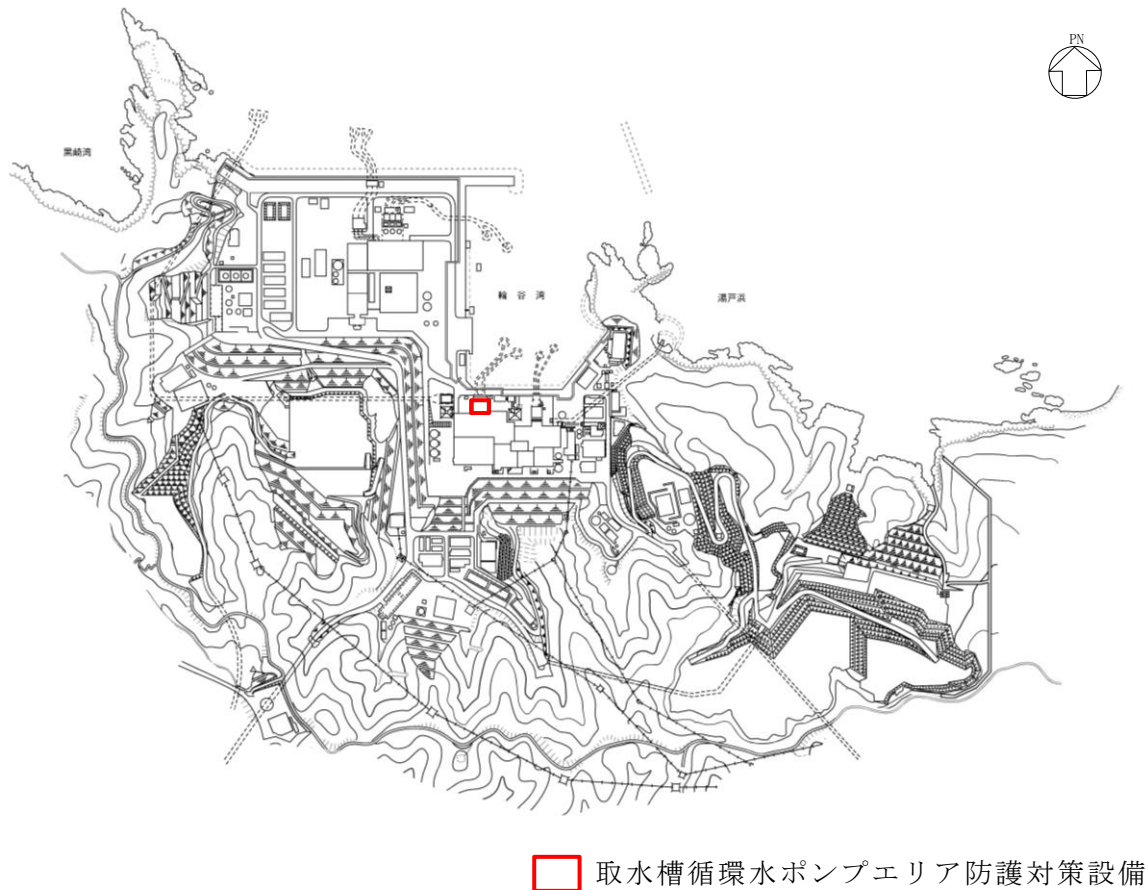


図 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の設置位置

表 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鋼板, 架構及びアンカーボルトにより構成する。</p>	<p>取水槽にアンカーボルトで固定する。</p>	<p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 平面図 (単位: mm)</p> <p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 A-A 断面図 (単位: mm)</p> <p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 B-B 断面図 (単位: mm)</p>

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重の種類，荷重の組合せ及び荷重の算定方法を「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って，持続的に生じる荷重である固定荷重及び積載荷重とする。積載荷重は，除灰時の人員荷重 981N/m^2 を含む。

b. 降下火砕物による荷重 (F_a)

降下火砕物による荷重は，VI-1-1-3「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」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」（以下「VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」」という。）の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，主荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，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堆積量 1cm ごとに 147.1N/m^2 の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 積雪荷重 (F_s)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、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とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

d. 風荷重 (W)

風速は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた松江市の基準風速である30m/sとする。風荷重については、施設の形状により風力係数等が異なるため、施設ごとに設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重については、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

上記を踏まえ、強度評価における荷重の組合せの設定については、施設の設置状況及び構造を考慮し設定する。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備における荷重の組合せを表4-1に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

	荷重*1				
	常時作用する荷重 (F _d)		主荷重	従荷重	
	固定荷重	積載荷重*2	降下火砕物による荷重 (F _a)	積雪荷重 (F _s)	風荷重 (W)
考慮する荷重の組合せ	○	○	○	○	—

注記*1 : ○は考慮する荷重を示す。なお、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、近傍に2号タービン建物及び取水槽海水ポンプエリア防水壁が設置されていること、風荷重を受ける部材の受圧面積が小さいことから、風荷重の組合せを考慮しない。

*2 : 積載荷重は、除灰時の人員荷重 981N/m²を含む。

(3) 荷重の算定方法

降下火砕物による荷重及び積雪荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	従荷重として組み合わせる積雪荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f'_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
g	m/s^2	重力加速度
H	m	全高
H_a	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	組合せ荷重として考慮する積雪深
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度
P_1	N/m^2	除灰時の人員荷重

b. 降下火砕物による荷重及び積雪荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_a + F_s$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (cm)	f'_s (N/ (m ² · cm))	H_s (cm)
1500	9.80665	56	20	35

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、8938N/m²とする。

また、「建築構造設計規準の資料（国土交通省 平成 30 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重を参考として、除灰時の人員荷重は、981N/m²とする。

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた許容限界を表 4-4 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物及び積雪を考慮した荷重に対し、評価対象部位ごとに求められる機能が担保できる許容限界を設定する。

(1) 鋼板，架構及びアンカーボルト

構造強度評価においては，降下火砕物の堆積による荷重及び積雪荷重に対し，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，架構及びアンカーボルトが，許容限界を超えないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，鋼板及び架構に対しては，「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)」に基づき算出した許容荷重を許容限界として設定する。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を許容限界として設定する。

表 4-4 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(評価基準値)
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 - 許容応力設計法に基づく短期許容応力度
	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・同解説に基づく短期許容荷重

5. 強度評価条件及び強度評価方法

評価手法は、以下に示すとおり、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・定式化された評価式を用いた解析法

具体的な評価においては、「鋼構造設計基準 - 許容応力設計法 - （（社）日本建築学会，2005 年改定）」及び「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）」を準用する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価方法を以下に示す。

5.1 強度評価条件

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (1) 鉛直荷重によって一様な応力が発生する取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の鋼板及び架構は、機械工学便覧の計算方法を準用して評価を行う。
- (2) 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を考慮し、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）」に基づき評価を行う。
- (3) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

5.2 強度評価対象部位

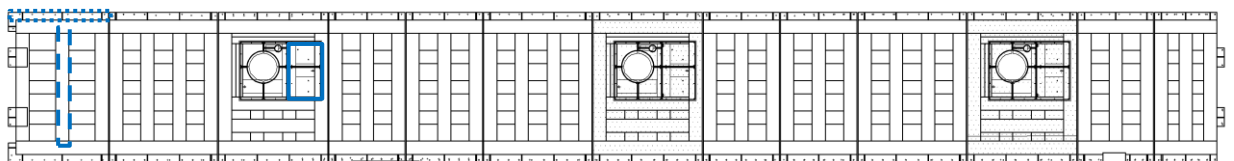
強度評価内容を表 5-1 に、評価対象部位を図 5-1 に示す。

なお、降下火砕物等の堆積を考慮する場合、鋼板及び架構の支持間隔が長いほど、発生する応力が大きくなる。このため、鋼板及び架構の支持間隔が最長となる箇所を、評価対象部位として選定する。なお、評価対象部位とした鋼板の中間部に位置する支持部材については、保守的な評価のため、考慮しない。また、アンカーボルトについては、評価対象の箇所とした架構で発生した応力が伝達される箇所を、評価対象として選定する。

降下火砕物等の堆積を考慮する範囲は、鋼板については、評価対象として選定した箇所と同様の範囲とする。また、架構については、評価対象として選定したものの上部の鋼板のうち、当該架構が荷重を分担する範囲とする。

表 5-1 強度評価内容

施設名称	評価対象部位	応力等の状態
取水槽循環水ポンプ エリア防護対策設備	鋼板	曲げ、せん断
	架構	曲げ、せん断
	アンカーボルト	引張



- : 評価対象部位 (鋼板)
- : 評価対象部位 (架構)
- : 評価対象部位 (アンカーボルト)

図 5-1 評価対象部位

5.3 強度評価方法

(1) 記号の定義

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を表 5-2 に示す。

表 5-2 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
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 本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
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 5-2 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

(2) 評価対象部位及び応力評価モデル図

評価対象部位及び応力評価モデル図を図 5-2 及び図 5-3 に示す。

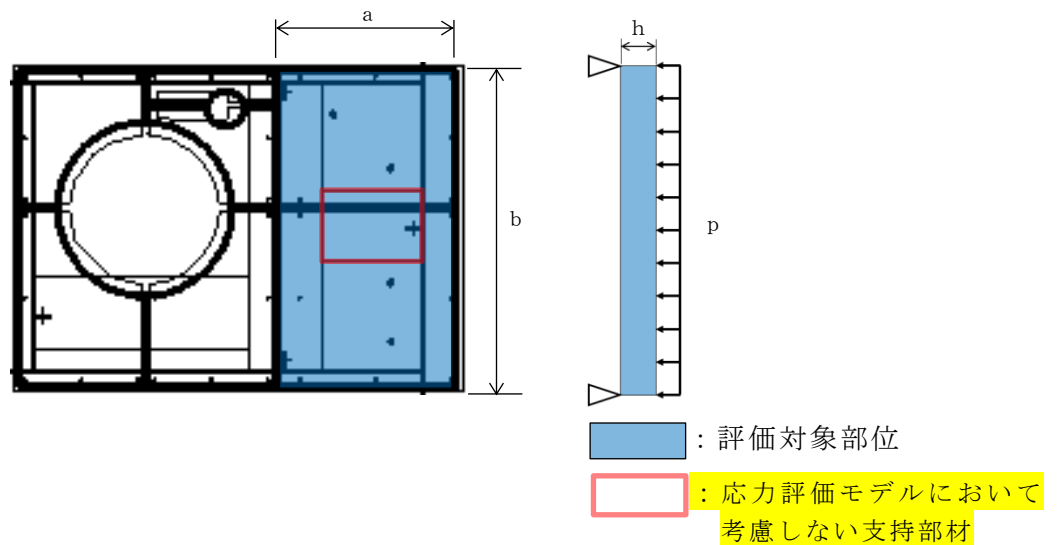


図 5-2 評価対象部位及び応力評価モデル図 (鋼板)

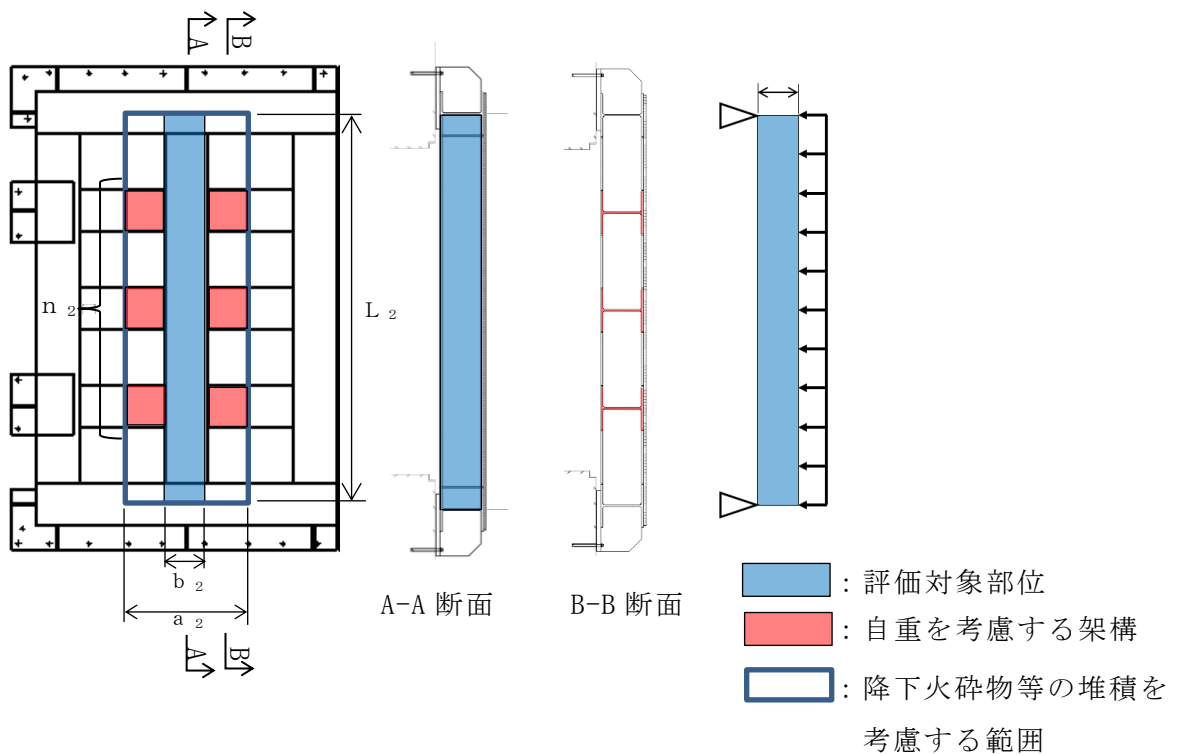


図 5-3 評価対象部位及び応力評価モデル図 (架構)

(3) 強度評価方法

a. 鋼板に生じる応力

鋼板の計算モデルは、単純支持梁（ピン結合）とする。

(a) 曲げ応力

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで、

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

$$p = (F_v' + P_1) \cdot a + \rho \cdot a \cdot h$$

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

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここで、

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

$$A = a \cdot h$$

b. 架構に生じる応力

架構の計算モデルは、単純支持梁（ピン結合）とする。

(a) 曲げ応力

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{Z_2}$$

ここで、

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

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

(b) せん断応力

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_z}$$

ここで、

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

c. アンカーボルトに生じる応力

(c) 引張力

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

ここで,

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

6. 適用規格・基準等

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、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規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・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）