

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-093 改3
提出年月日	平成30年3月5日

V-3-別添2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

## 目次

- V-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針
  - V-3-別添 2-1-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-5 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書
  - V-3-別添 2-1-6 建屋の強度計算書
- V-3-別添 2-2 防護対策施設の強度計算の方針
  - V-3-別添 2-2-1 防護対策施設の強度計算書

V-3-別添 2-2 : 今回ご説明分

## V-3-別添 2-2 防護対策施設の強度計算の方針

## 目次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 対象施設	1
3. 構造強度設計	1
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	4
4.1 荷重及び荷重の組合せ	4
4.2 許容限界	7
5. 強度評価方法	8
5.1 防護対策施設	8
6. 適用規格	12

## 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」第7条及び「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」に適合する設計とするため、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」のうちV-1-1-2-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「V-1-1-2-4-3」という。）に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設を防護する防護対策施設が、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、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」のうちV-1-1-2-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「V-1-1-2-4-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

防護対策施設に実施する具体的な計算の方法及び結果は、V-3-別添2-2-1「防護対策施設の強度計算書」に示す。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「3. 構造強度設計」に示す防護対象施設を防護する防護対策施設を対象として、「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るべき他の荷重による組合せ荷重により生じる応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 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」で示す適用規格を用いて確認する。

### 2.1 対象施設

V-1-1-2-4-3「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」に基づき、以下の防護対象施設に施す防護対策施設を対象とする。

- ・非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフトファン（以下「ディーゼル発電機室ルーフトファン」という。）
- ・中央制御室換気系冷凍機

## 3. 構造強度設計

V-1-1-2-4-1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、V-1-1-2-4-3の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、防護対策施設の構造強度の設計方針を設定する。

防護対策施設の構造強度の設計方針を設定し、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、各施設の構造強度を保持するよう構造設計と評価方針を設定する。

### 3.1 構造強度の設計方針

防護対策施設は、防護対象施設へ降下火砕物の堆積を防止するものであり、V-1-1-2-4-3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目標を踏まえ、防護鋼板及び架構で構成し、次に示す設計とする。

#### (1) 防護鋼板

防護鋼板は、降下火砕物が防護対象施設へ堆積することを防止するために、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、構造強度を保持する設計とする。また、防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

#### (2) 架構

架構は、上載する防護鋼板を支持する機能を保持する設計とする。また、防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

### 3.2 機能維持の方針

V-1-1-2-4-3「4. 要求機能及び性能目標」で設定している防護対象施設の構造強度上の設計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V-1-1-2-4-1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を適切に考慮して、防護対策施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

#### (1) 防護対策施設

##### a. 構造設計

防護対策施設は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2)荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

防護対策施設は、防護鋼板及び架構で構成し、防護対象施設を取り囲むように設置することで、防護対象施設に降下火砕物が堆積することを防止する。

降下火砕物が防護対象施設に堆積することを防止するため、防護鋼板は構造健全性を維持する設計とする。防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等より構成され、施設の外殻に作用する荷重及び防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

防護対策施設の構造計画を表 3-1 に示す。

##### b. 評価方針

防護対策施設は、想定する降下火砕物及び積雪荷重に対し、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、防護鋼板及び架構がおおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、「5. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-1 防護対策施設の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>防護対策施設は、中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンを取り囲むように設置する。</p>			
防護対策施設	防護鋼板 架構	<p>降下火砕物の堆積荷重は、防護鋼板に作用し、架構を介し、原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。</p>	

NT2 補② V-3-別添 2-2 R1

#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

防護対策施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「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

対象施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、V-1-1-2-4-1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、持続的に生じる荷重であり、自重及び上載荷重とする。

###### b. 降下火砕物による荷重 ( $F_v$ )

降下火砕物による荷重は、湿潤密度  $1.5 \text{ g/cm}^3$  の降下火砕物が  $50 \text{ cm}$  堆積した  $7355 \text{ N/m}^3$  とする。

###### c. 積雪荷重 ( $F_s$ )

積雪深は、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」のうち、V-1-1-2-1-1「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基本方針」（以下「V-1-1-2-1-1」という。）の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、茨城県建築基準法等施工細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）による東海村の垂直積雪量  $30 \text{ cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮した  $10.5 \text{ cm}$  に設定し  $210 \text{ N/m}^2$  の荷重とする。

###### d. 風荷重 ( $W$ )

風速は、V-1-1-2-1-1の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」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号に定められた東海村の基準風速である  $30 \text{ m/s}$  とする。風荷重については、施設の形状より風力係数が異なるため、施設ごとに算出する。

###### e. 運転時に作用する荷重 ( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重は、配管等に作用する内圧等であり、防護対策施設には作用しないため考慮しない。

###### (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、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. 防護対策施設の荷重の組合せ

防護対策施設の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。

防護対策施設の荷重の考え方を表4-1に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

分類	強度評価の対象施設	荷重					
		常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )		降下火砕物による荷重 (F <sub>v</sub> )	積雪荷重 (F <sub>s</sub> )	風荷重 (W)	運転時の状態で作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
		自重	上載荷重				
防護対策施設	防護鋼板	○	○	○	○	—*1	—
	架構	○	○*2	○	○	○	—

注記 \*1：水平設置の防護鋼板のため、風荷重は考慮しない。

\*2：防護鋼板に作用する風圧力による荷重を含む。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式を以下に示す。

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 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E <sub>r</sub>	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
F <sub>v</sub>	N/m <sup>2</sup>	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F <sub>s</sub>	N/m <sup>2</sup>	積雪荷重
F <sub>v</sub> '	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f <sub>s</sub>	N/(m <sup>2</sup> ・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	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	m	全高
H <sub>s</sub>	cm	積雪深

表 4-2 荷重の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定 義
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z <sub>b</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
Z <sub>G</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。湿潤状態の降下火砕物による荷重は、以下である。

$$F_v = 7355 \text{ N/m}^2$$

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（以下「降下火砕物等堆積による鉛直荷重」という。）は、次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_v + F_s$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

f <sub>s</sub> (N/(m <sup>2</sup> ・cm))	H <sub>s</sub> (cm)
20	10.5

以上を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、7565 N/m<sup>2</sup>とする。

c. 水平荷重

水平荷重については、風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30 m/s に設定し、風荷重については施設の形状により異なるため施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき、以下のとおりである。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

## 4.2 許容限界

許容限界は、V-1-1-2-4-3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含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

評価対象部位ごとの許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ、評価項目を選定し定める。

「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」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987」（（社）日本電気協会）及び「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」（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）を準用できる施設については、J E A G 4 6 0 1 に基づき「発電用原子力設備規格設計・建設規格 J S M E S N C 1 - 2005/2007（以下「J S M E」という。）の付録材料図表及び J I S の材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については、J S M E や既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし、J S M E の適用を受ける機器であって、供用状態に応じた許容値の規定が J S M E にないものは機能維持の評価方針を考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づいた許容限界を設定する。

### (1) 防護対策施設

#### a. 防護鋼板

防護鋼板の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、おおむね弾性状態に留まる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、J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

#### b. 架構

架構の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、おおむね弾性状態に留まる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、J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

表 4-4 防護対策施設の許容限界

防護対策 施設部位	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防護鋼板	$F_d + F_v + F_s$	防護鋼板	圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態 III <sub>A</sub> S の許容応力以下とする*
		鋼板 中間梁	せん断 曲げ		
架構	$F_d + F_v + F_s + W$	架構	圧縮 曲げ 引張 せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態 III <sub>A</sub> S の許容応力以下とする*
		基礎 ボルト	引張 せん断		

$F_d$  : 常時作用する荷重

$W$  : 風荷重

$F_v$  : 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$F_s$  : 積雪による鉛直荷重

注記 \* : 表 4-5 その他支持構造物の許容限界を準用する。

表 4-5 その他の支持構造物の許容限界

許容応力状態	許容限界*			
	圧縮	曲げ	引張	せん断
III <sub>A</sub> S	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

注記 \* : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

## 5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既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。

- ・ F E M等を用いた解析法

降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う防護鋼板及び架構の強度評価方法を以下に示す。

### 5.1 防護対策施設

#### 5.1.1 防護鋼板

##### (1) 評価条件

防護鋼板の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物が堆積する防護鋼板及び防護鋼板の中間部にある梁に対して、FEM解析により評価を行う。
- b. FEM解析において、水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、保守的に水平方向の荷重は考慮しない。
- c. 計算値に用いる寸法は、公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価部位	応力等の状態
防護鋼板	曲げ
鋼板中間梁	せん断, 曲げ

(3) 強度評価方法

- a. 記号の定義

防護鋼板の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 防護鋼板の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
$A_w$	鋼材の断面積	$\text{mm}^2$
$M$	曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$Q$	せん断力	$\text{N}$
$Z_x$	鋼材の断面係数	$\text{mm}^3$
$\tau$	鋼板中間梁に生じるせん断応力	$\text{MPa}$
$\sigma_b$	鋼板中間梁に生じる曲げ応力	$\text{MPa}$
$\sigma_t$	鋼板中間梁に生じる引張応力	$\text{MPa}$
$\sigma_1$	防護鋼板に生じる 1 軸方向の垂直応力	$\text{MPa}$
$\sigma_2$	防護鋼板に生じる 2 軸方向の垂直応力	$\text{MPa}$
$\sigma_3$	防護鋼板に生じる 3 軸方向の垂直応力	$\text{MPa}$
$\sigma_M$	von Mises の応力	$\text{MPa}$

## b. 応力計算

FEM解析結果から得られる各部材の応力成分より各種応力を算出する。防護鋼板及び鋼板中間梁については、以下の式を用いて応力を算出する。

## (a) 防護鋼板

## イ. 曲げ応力

互いに直交する応力が発生するため、von mises の応力により評価する。

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

## (b) 鋼板中間梁の評価

## イ. せん断応力

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

## ロ. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_x}$$

## 5.1.2 架構

## (1) 評価条件

架構の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物が堆積する防護鋼板を支持する架構に対して、FEM解析により評価を行う。
- c. 計算値に用いる寸法は、公称値を使用する。

## (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

評価部位	応力等の状態
架構	圧縮, 曲げ, 引張, せん断
基礎ボルト	引張, せん断

## (3) 強度評価方法

## a. 記号の定義

架構の強度評価に用いる記号を表 5-4 に示す。

表 5-4 架構の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
A	鋼材の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	ボルトの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s y</sub>	Y軸方向のせん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s z</sub>	Z軸方向のせん断断面積	mm <sup>2</sup>
F <sub>b x</sub>	ボルトに生じるX軸方向の引張力	N
F <sub>b y</sub>	ボルトに生じるY軸方向のせん断力	N
F <sub>b z</sub>	ボルトに生じるZ軸方向のせん断力	N
M <sub>y</sub>	Y軸まわりの曲げモーメント	N・mm
M <sub>z</sub>	Z軸まわりの曲げモーメント	N・mm
N <sub>t</sub>	引張り側の軸力	N
N <sub>c</sub>	圧縮側の軸力	N
Q <sub>y</sub>	Y軸方向のせん断力	N
Q <sub>z</sub>	Z軸方向のせん断力	N
Z <sub>y</sub>	Y軸周りのせん断力	N
Z <sub>z</sub>	Z軸周りのせん断力	N
σ <sub>b y</sub>	Y軸方向の曲げ応力	MPa
σ <sub>b z</sub>	Z軸方向の曲げ応力	MPa
σ <sub>c</sub>	架構に生じる圧縮応力	MPa
σ <sub>t</sub>	架構に生じる引張り応力	MPa
σ <sub>t b</sub>	ボルトに生じる引張り応力	MPa
τ <sub>y</sub>	Y軸方向のせん断力	MPa
τ <sub>z</sub>	Z軸方向のせん断力	MPa
τ <sub>b</sub>	ボルトに生じるせん断応力	MPa

## b. 応力計算

FEM解析結果から得られる各部材の応力成分より各種応力を算出する。防護鋼板及び鋼板中間梁については、以下の式を用いて応力を算出する。

## (a) 架構

## イ. 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

## ロ. 曲げ応力

$$\sigma_{b y} = \frac{M_y}{Z_y}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

ハ. 引張り応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

ニ. せん断応力

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s_y}}$$

$$\tau_z = \frac{Q_z}{A_{s_z}}$$

(b) 基礎ボルト

イ. 引張り応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{bx}}{A_b}$$

ロ. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{bx} + F_{by}}{A_b}$$

## 6. 適用規格

V-1-1-2-4-1 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、各対象施設の強度評価に用いる規格、基準等を以下に示す。

- (1) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）
- (2) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987（（社）日本電気協会）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・捕-1984（（社）日本電気協会）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (6) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007（（社）日本機械学会）