

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密あるい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-093 改 13
提出年月日	平成 30 年 6 月 22 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 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

V-3-別添 2-1-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

V-3-別添 2-1-4 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口の強度計算書

V-3-別添 2-1-6 建屋の強度計算書

V-3-別添 2-1-7 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度計算書

### 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

：今回ご説明分

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

## 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	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	7
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	17

## 1. 概要

本資料は、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」に示すとおり、残留熱除去系海水系ポンプが降下火砕物等堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、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

残留熱除去系海水系ポンプは、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」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、残留熱除去系海水系ポンプの「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

残留熱除去系海水系ポンプは、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」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

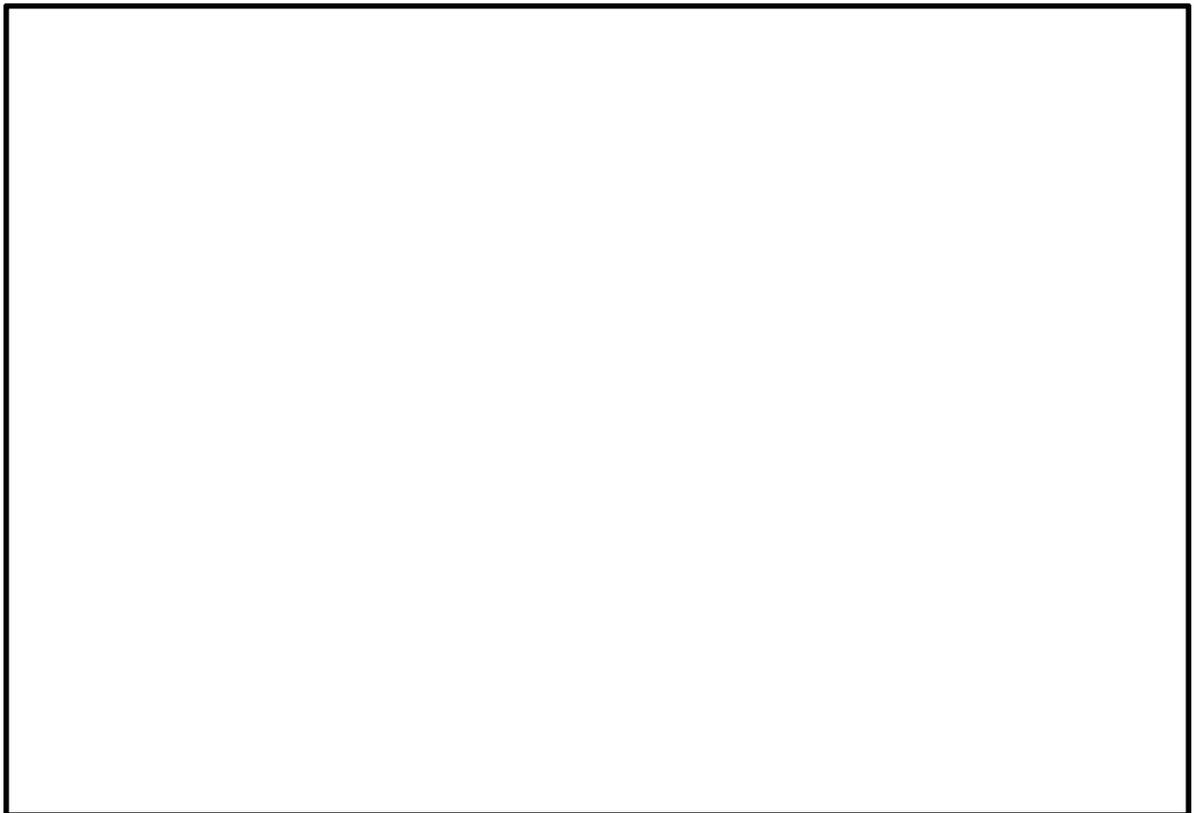


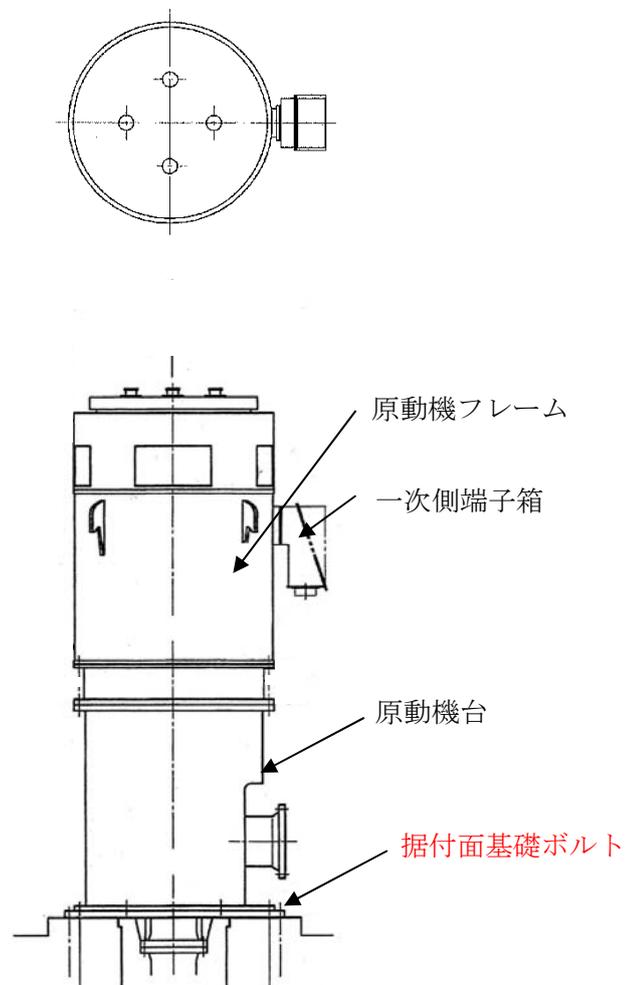
図 2-1 海水ポンプ室の位置図

## 2.2 構造概要

残留熱除去系海水系ポンプは、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」の「3.2機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

残留熱除去系海水系ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と、原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり、同一構造の残留熱除去系海水系ポンプ4台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

残留熱除去系海水系ポンプ原動機の形状は円筒形を基本としたフレームに、一次側端子箱が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重はすべて原動機フレーム、原動機台部に作用する構造とする。図2-3に原動機フレームが風圧力を最も多く受ける面の概要図を示し、図2-4に降下火砕物等が残留熱除去系海水系ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を示す。



(b) 側面図

図 2-2 残留熱除去系海水系ポンプの概要図

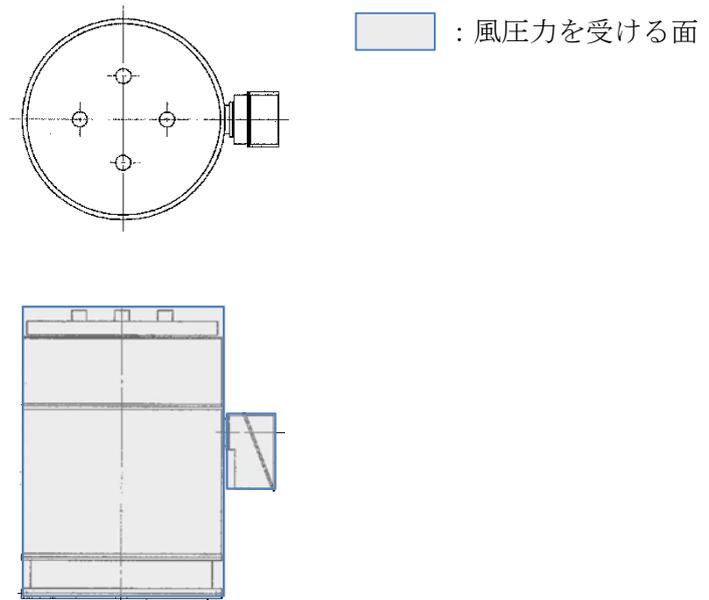


図 2-3 風圧力を受ける面の概要図

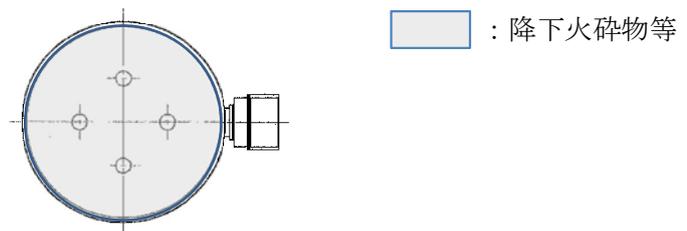


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

### 2.3 評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価は、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」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て、ポンプ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。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。残留熱除去系海水系ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重と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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、ポンプ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「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

JEAG4601-1987」( (社) 日本電気協会) 及び「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) (以下「JEAG4601」という。) における1質点系モデルによる評価方法を準用し、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」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、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」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG4601の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

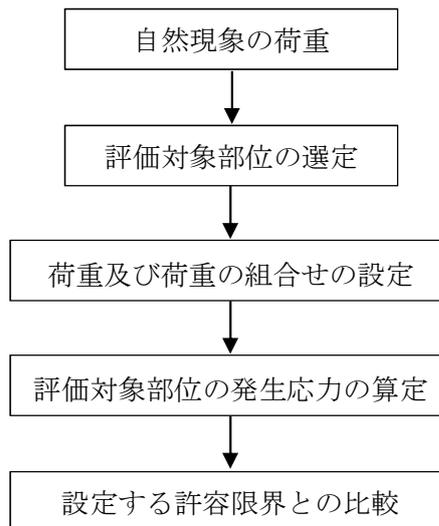


図2-5 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フロー

#### 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 ( (社) 日本電気協会)
- (5) 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)
- (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) (以下「JSME」という。)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	降下火砕物等の堆積面積
$A_b$	$mm^2$	ボルトの断面積
$B_1$	mm	原動機台外径
$B_2$	mm	原動機台内径
$B_3$	mm	原動機フレーム外径
$B_4$	mm	原動機フレーム内径
$C$	—	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
$E_r$	—	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す係数
$F_d$	N	原動機自重による軸方向荷重
$F_p$	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$f_c$	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
$f_s$	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
$f_t$	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$H$	N	原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$h$	mm	取付面から荷重作用点までの距離
$L_1$	mm	ボルト間の距離
$M$	$N \cdot mm$	原動機フレームに作用するモーメント
$M_1$	$N \cdot mm$	風荷重により原動機フレームに作用するモーメント
$M_2$	$N \cdot mm$	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント

表 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
m	kg	原動機の質量
N	—	ボルトの本数
P	kg	ポンプスラスト荷重
q	N/m <sup>2</sup>	速度圧
Q <sub>b</sub>	N	ボルトに対するせん断力
S	mm <sup>2</sup>	原動機台の断面積
S <sub>y</sub>	MPa	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S <sub>u</sub>	MPa	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W	N	風荷重による複合荷重
Z <sub>b</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示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1454号に掲げる数値
π	—	円周率
σ <sub>c</sub>	MPa	原動機台に生じる圧縮応力
σ <sub>b</sub>	MPa	原動機フレームに生じる曲げ応力
τ	MPa	せん断応力

### 3.2 評価対象部位

残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位は、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」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機台、原動機フレーム及び据付面基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積する原動機上部を介して支持している原動機フレーム及び原動機台下部に作用する。また、風荷重は、原動機フレームを介して原動機台に固定されている原動機フレーム及び据付面基礎ボルトに作用する。さらに、ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム、原動機台に作用する。

このことから、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては原動機台及び原動機フレームを、風荷重に対しては原動機フレーム及び据付面基礎ボルトを評価対象部位とする。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

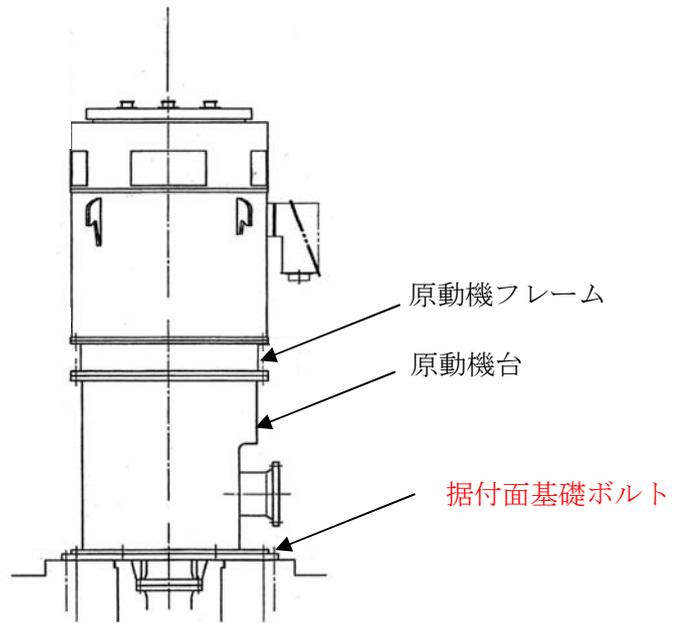


図 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、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」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。

#### (1) 荷重の設定

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重( $F_d$ )

常時作用する荷重は、原動機の自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重( $F_v$ )

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 $7565 \text{ N/m}^2$ とする。

c. 風荷重 ( $W$ )

風荷重は、基準風速  $30 \text{ m/s}$  に基づき算定する。

風荷重は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」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高 $H$ が  $5 \text{ m}$  以下であるため、 $H$ が $Z_b$ 以下の場合の式を用いる。

評価に用いる複合荷重は原動機フレーム、一次側端子箱に風圧力を受けた際の複合荷重とする。

風荷重を受ける面積は原動機フレーム、一次側端子箱を包含する面積を設定し、風荷重による複合荷重 $W$ は以下のようにして求める。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

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

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

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha$$

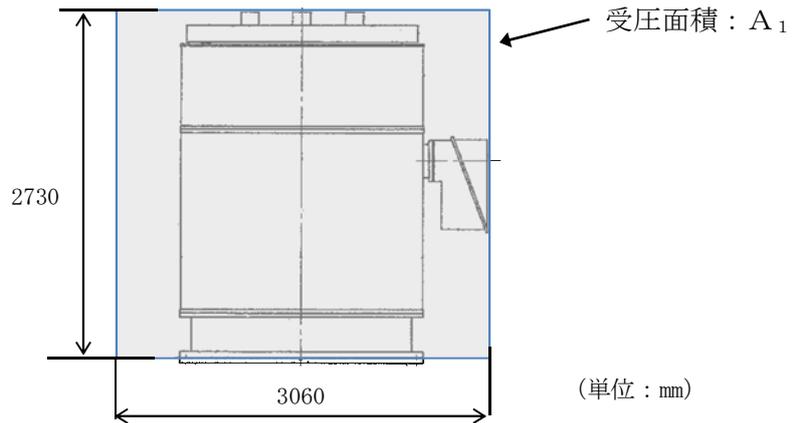


図 3-2 原動機フレーム及び一次側端子箱受圧部図

d. 運転時の状態で作用する荷重 ( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重は、鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

残留熱除去系海水系ポンプには、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
残留熱除去系海水系ポンプ	原動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③ポンプスラスト荷重
	原動機フレーム	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重 ④ポンプスラスト荷重
	据付面基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重 ④ポンプスラスト荷重

### 3.4 許容限界

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、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」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、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 残留熱除去系海水系ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力 状態	応力の種類		許容限界
原動機台	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	圧縮	1.5 f <sub>c</sub> *
原動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5 f <sub>b</sub> *
			圧縮	1.5 f <sub>c</sub> *
据付面基礎ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	1.5 f <sub>t</sub> *
			せん断	1.5 f <sub>s</sub> *
			組合せ	Min {1.5 f <sub>t</sub> *, (2.1 f <sub>t</sub> * - 1.6 τ) }

注記 \* : J S M E SSB-3120 に規定される供用状態Cに対する許容応力算定に用いる応力

### 3.5 評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの応力評価は、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」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

#### (1) 評価方法

##### a. 鉛直方向荷重

##### (a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-3 に示す。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

なお、基礎部面積に包含されない主回路端子箱の一部については、堆積面積の保守性に包含されるため考慮しない。また、吐出配管部については、円形断面であり降下火砕物等が堆積し難い構造であるため考慮しない。

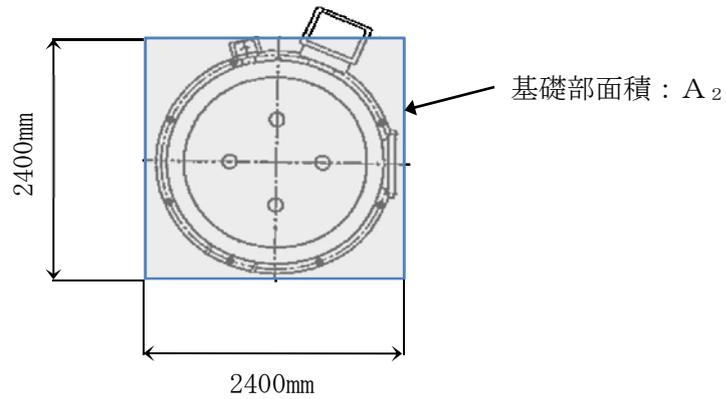


図 3-3 降下火砕物等の堆積面積図

(b) 原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重

$$H = F_d + F_p$$

ここで、

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 原動機台に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} (B_1^2 - B_2^2)$$

原動機台の断面図を図 3-4 に示す。

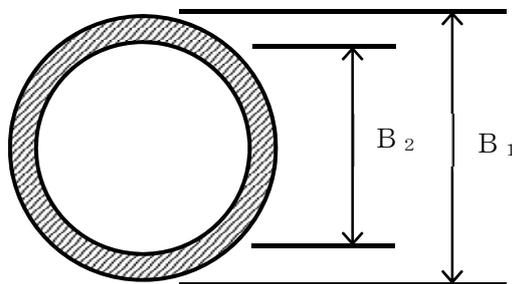


図 3-4 原動機台の断面図

(b) 原動機フレームに生じる曲げ応力

イ. 風荷重により原動機フレームに作用するモーメント  $M_1$

$$M_1 = W \cdot h$$

ロ. 鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント  $M_2$

$$M_2 = \frac{(F_v + H) \cdot B_3}{2}$$

よって、原動機フレームに作用するモーメントMは

$$M = M_1 + M_2$$

以上より、原動機フレームに生じる**曲げ**応力は次式により算出される。

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

ここで

$$Z = \frac{\pi}{32} \left( \frac{B_3^4 - B_4^4}{B_3} \right)$$

(c) 原動機フレームに生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} (B_3^2 - B_4^2)$$

原動機フレームの断面図を図3-5に示す。

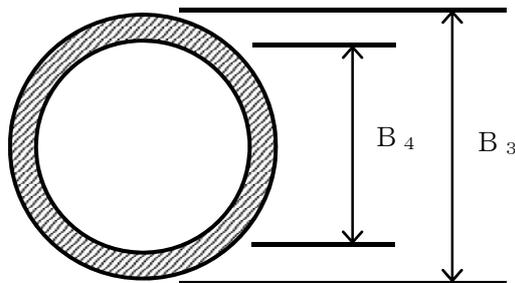


図3-5 原動機フレームの断面図

(d) 据付面基礎ボルトに生じる引張応力，せん断応力

イ. 引張応力

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \quad \dots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \dots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より、

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i} L_n$$

ここで、Mは以下による。

$$M = W \cdot h + (F_v + H) \cdot \frac{L_n}{2}$$

ここで

$$H = F_d + F_p$$

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

ボルトに生じる引張応力  $\sigma_b$  は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_n}{A_b}$$

ロ. せん断応力

ボルトに対するせん断応力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

- せん断力

$$Q_b = W$$

- せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 3-6 に示す。

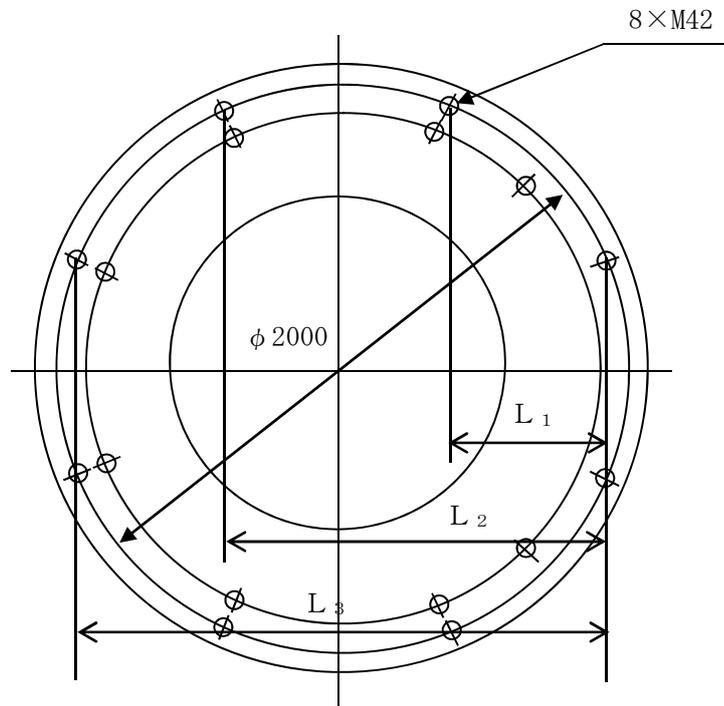


図 3-6 据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)	$1.5 f_b$ (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
原動機台	SS400	50* <sup>1</sup>	231	394	231	—	—	—	229
原動機フレーム	SS400	60* <sup>2</sup>	237	389	237	—	—	273	235
据付面基礎ボルト	S22C	50* <sup>1</sup>	260	430	260	195	150	—	—

注記 \*1：周囲環境温度

\*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	C (-)	$V_D$ (m/s)	$Z_b$ (m)	$Z_G$ (m)	$F_v'$ (N/m <sup>2</sup> )
960	2.2	1.2	30	5	350	7565

$\alpha$ (-)
0.15

表 4-3 評価条件 (原動機台, 原動機フレーム)

材料	$A_1$ (m <sup>2</sup> )	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	P (kg)	$B_1$ (mm)
SS400	8.354	5.760	15200	9.80665	4400	1680

$B_2$ (mm)	$B_3$ (mm)	$B_4$ (mm)	h (mm)
1648	1890	1878	1365

表 4-4 評価条件 (据付面基礎ボルト)

材料	$A_1$ ( $m^2$ )	$A_2$ ( $m^2$ )	$m$ (kg)	$g$ ( $m/s^2$ )	$P$ (kg)	$L_1$ (mm)
S22C	12.15	5.760	17800	9.80665	4400	541.2

$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	ボルト サイズ	$N$ (-)	$A_b$ ( $mm^2$ )	$h$ (mm)
1306.6	1847.8	M42	8	1385	2279

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

各評価部位に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機フレーム	SS400	曲げ	13	273
		圧縮	7	235
原動機台	SS400	圧縮	3	229
据付面基礎ボルト	S22C	引張	34	195
		せん断	2	150
		組合せ	34	195

V-3-別添 2-1-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

## 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	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	7
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	17

## 1. 概要

本資料は、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」に示すとおり、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「ディーゼル発電機用海水ポンプ」という。）が降下火砕物等堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、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

ディーゼル発電機用海水ポンプは、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」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電機用海水ポンプの「2.1 位置」、 「2.2 構造概要」、 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

ディーゼル発電機用海水ポンプは、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」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

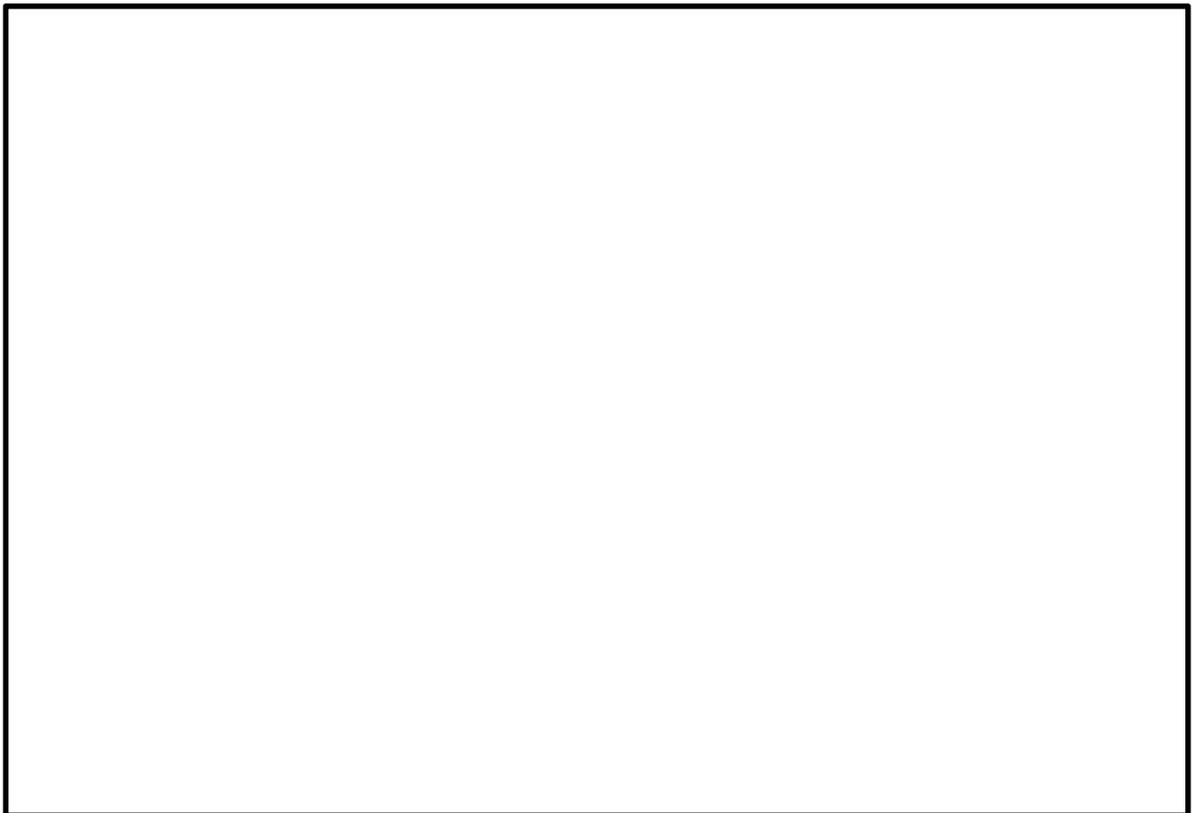


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

## 2.2 構造概要

ディーゼル発電機用海水ポンプは、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」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と、原動機台より上部の原動機部からなる、立形ポンプであり、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ2台及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ1台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプ原動機の形状は円筒形を基本としたフレームに、主回路端子箱等が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重はすべて原動機フレーム、原動機台部に作用する構造とする。図2-3に原動機フレームが風圧力を最も多く受ける面の概要図を示し、図2-4に降下火砕物等がディーゼル発電機用海水ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を示す。

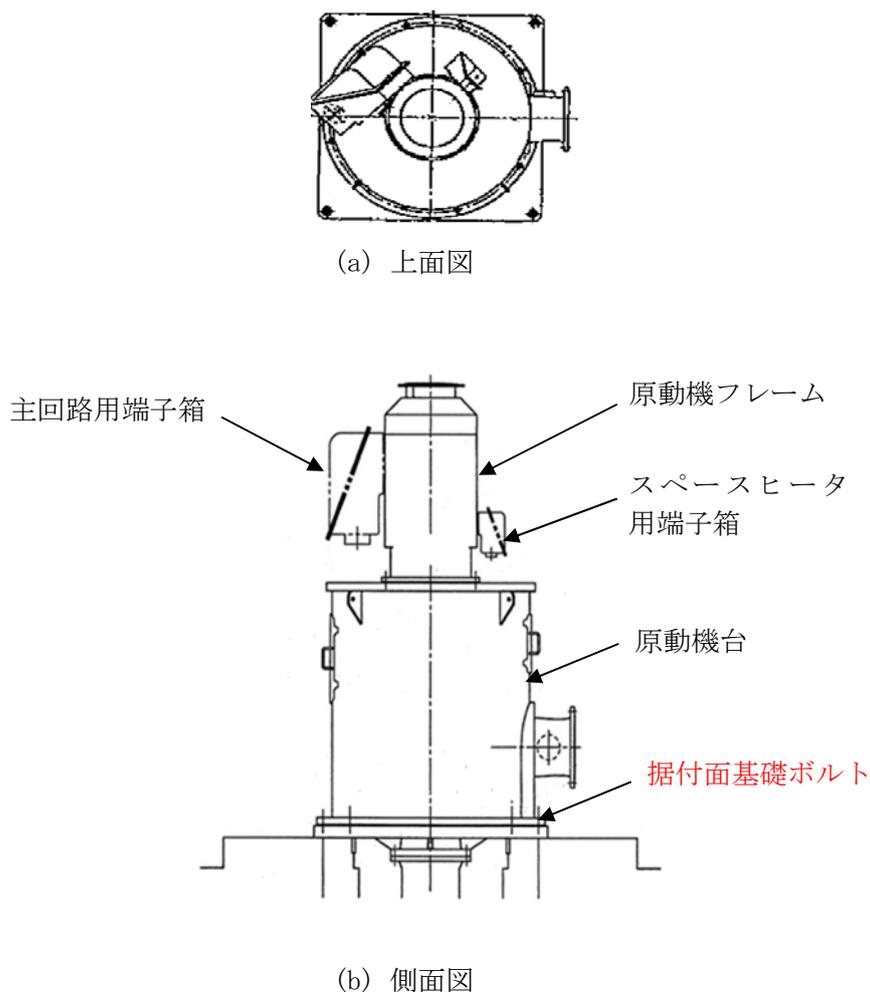


図 2-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

 : 風圧力を受ける面

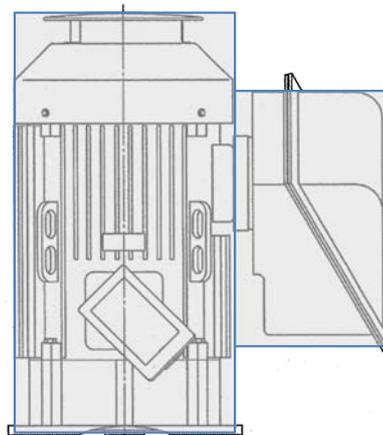


図 2-3 風圧力を受ける面の概要図

 : 降下火砕物等

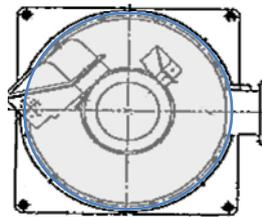


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

### 2.3 評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価は、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」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て、ポンプ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。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重と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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、ポンプ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「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

AG4601・補-1984」( (社) 日本電気協会) , 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」( (社) 日本電気協会) 及び「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) (以下「JEAG4601」という。) における1質点系モデルによる評価方法を準用し、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」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、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」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG4601の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

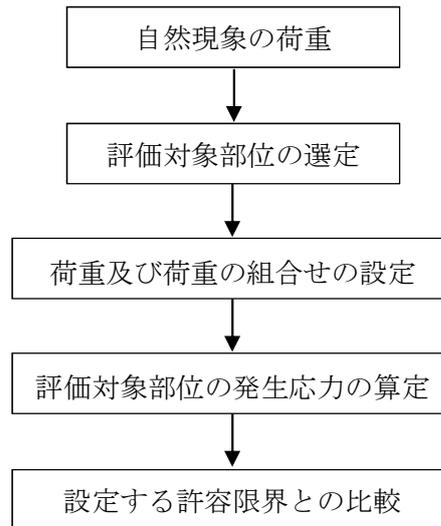


図2-5 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フロー

#### 2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 ( (社) 日本電気協会)
- (5) 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)
- (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) (以下「JSME」という。)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	降下火砕物等の堆積面積
$A_b$	$mm^2$	ボルトの断面積
$B_1$	mm	原動機台外径
$B_2$	mm	原動機台内径
$B_3$	mm	原動機フレーム外径
$B_4$	mm	原動機フレーム内径
$C$	—	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
$E_r$	—	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す係数
$F_d$	N	自重による軸方向荷重
$F_p$	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$f_c$	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
$f_s$	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
$f_t$	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$H$	N	原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$h$	mm	取付面から荷重作用点までの距離
$L_1$	mm	ボルト間の距離
$M$	$N \cdot mm$	原動機フレームに作用するモーメント
$M_1$	$N \cdot mm$	風荷重により原動機フレームに作用するモーメント
$M_2$	$N \cdot mm$	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
m	kg	自重
N	—	ボルトの本数
P	kg	ポンプスラスト荷重
q	N/m <sup>2</sup>	速度圧
Q <sub>b</sub>	N	ボルトに対するせん断力
S	mm <sup>2</sup>	原動機台の断面積
S <sub>y</sub>	MPa	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S <sub>u</sub>	MPa	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W	N	風荷重による複合荷重
Z <sub>b</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示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1454号に掲げる数値
π	—	円周率
σ <sub>c</sub>	MPa	原動機台に生じる圧縮応力
σ <sub>b</sub>	MPa	原動機フレームに生じる曲げ応力
τ	MPa	せん断応力

### 3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位は、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」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機台、原動機フレーム及び据付面基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積する原動機上部を介して支持している原動機フレーム及び原動機台下部に作用する。また、風荷重は、原動機フレームを介して原動機台に固定されている原動機フレーム及び据付面基礎ボルトに作用する。さらに、ポンプのスラスト荷重は全て原動機フレーム、原動機台に作用する。

このことから、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては原動機台及び原動機フレームを、風荷重に対しては原動機フレーム及び据付面基礎ボルトを評価対象部位とする。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

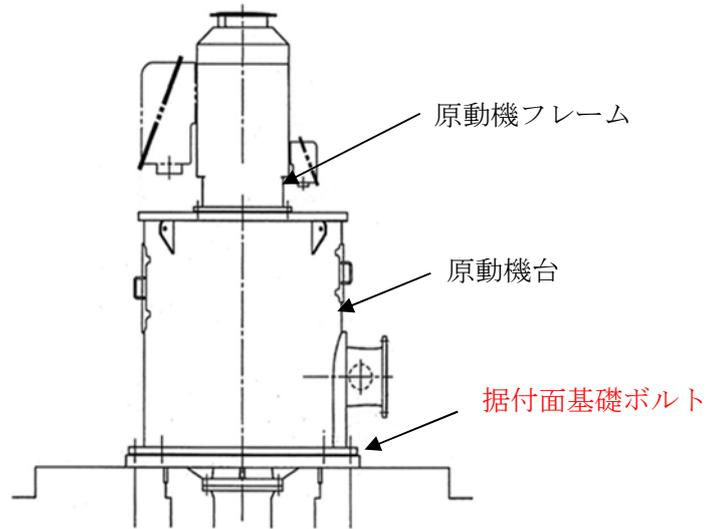


図 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、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」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。

#### (1) 荷重の設定

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重( $F_d$ )

常時作用する荷重は、原動機の自重を考慮する。

##### b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重( $F_v$ )

単位面積当たりの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. 風荷重 ( $W$ )

風荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風荷重は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」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高Hが5 m以下であるため、Hが $Z_b$ 以下の場合の式を用いる。

評価に用いる複合荷重は原動機フレーム、主回路用端子箱に風圧力を受けた際の複合荷重とする。

風荷重を受ける面積は原動機フレーム、主回路用端子箱を包含する面積を設定し、風荷重による複合荷重Wは以下のようにして求める。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

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

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

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha$$

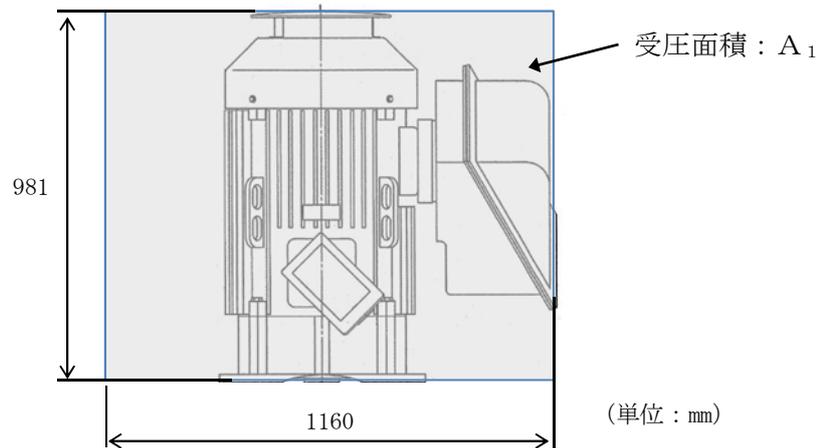


図 3-2 原動機フレーム及び主回路用端子箱受圧部図

d. 運転時の状態で作用する荷重 ( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重は、鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプには、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機用海水ポンプ	原動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③ポンプスラスト荷重
	原動機フレーム	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重 ④ポンプスラスト荷重
	据付面基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重 ④ポンプスラスト荷重

### 3.4 許容限界

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、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」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、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原動機台	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	圧縮	1.5 f <sub>c</sub> *
原動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5 f <sub>b</sub> *
			圧縮	1.5 f <sub>c</sub> *
据付面基礎ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	1.5 f <sub>t</sub> *
			せん断	1.5 f <sub>s</sub> *
			組合せ	Min {1.5 f <sub>t</sub> *, (2.1 f <sub>t</sub> * - 1.6 τ) }

注記 \* : J S M E SSB-3120 に規定される供用状態Cに対する許容応力算定に用いる応力

### 3.5 評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの応力評価は、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」の「5. 強度評価方法」にて設定しているディーゼル発電機用海水ポンプの評価式を用いる。

#### (1) 評価方法

##### a. 鉛直方向荷重

##### (a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_V = F_V' \cdot A_1$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-3 に示す。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

なお、基礎部面積に含まれない主回路端子箱の一部については、堆積面積の保守性に包含されるため考慮しない。また、吐出配管部については、円形断面であり降下火砕物等が堆積し難い構造であるため考慮しない。

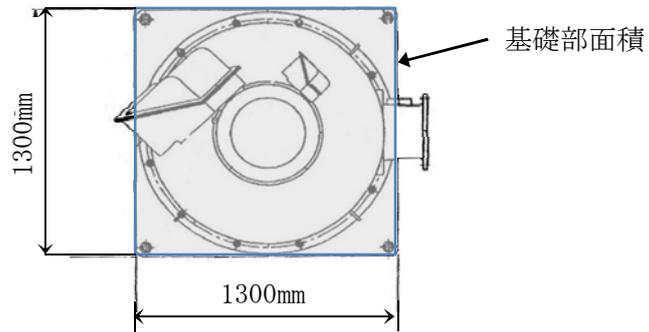


図 3-3 降下火砕物等の堆積面積図

- (b) 原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重

$$H = F_d + F_p$$

ここで、

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

- b. 応力評価

- (a) 原動機台に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} (B_1^2 - B_2^2)$$

原動機台の断面図を図 3-4 に示す。

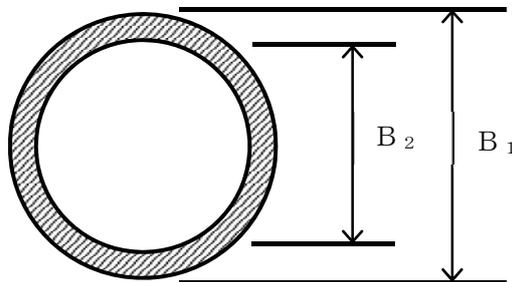


図 3-4 原動機台の断面図

- (b) 原動機フレームに生じる曲げ応力

- イ. 風荷重により原動機フレームに作用するモーメント  $M_1$

$$M_1 = W \cdot h$$

ロ. 鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント $M_2$

$$M_2 = \frac{(F_v + H) \cdot B_3}{2}$$

よって、原動機フレームに作用するモーメント $M$ は

$$M = M_1 + M_2$$

以上より、原動機フレームに生じる曲げ応力は次式により算出される。

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

ここで

$$Z = \frac{\pi}{32} \left( \frac{B_3^4 - B_4^4}{B_3} \right)$$

(c) 原動機フレームに生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} (B_3^2 - B_4^2)$$

原動機フレームの断面図を図 3-5 に示す。

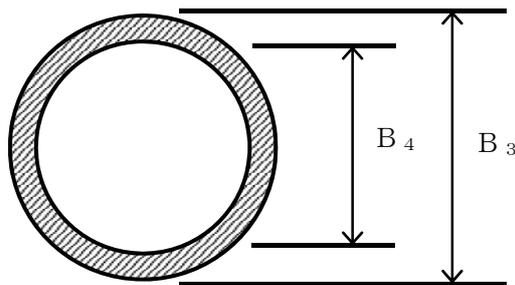


図 3-5 原動機フレームの断面図

(d) 据付面基礎ボルトに生じる引張応力、せん断応力

イ. 引張応力

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \quad \dots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \dots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i} L_n$$

ここで,  $M$ は以下による。

$$M = W \cdot h + (F_v + H) \cdot \frac{L_n}{2}$$

ここで

$$H = F_d + F_p$$

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

ボルトに生じる引張応力  $\sigma_b$  は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_n}{A_b}$$

ロ. せん断応力

ボルトに対するせん断応力は, ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・ せん断力

$$Q_b = W$$

・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 3-6 に示す。

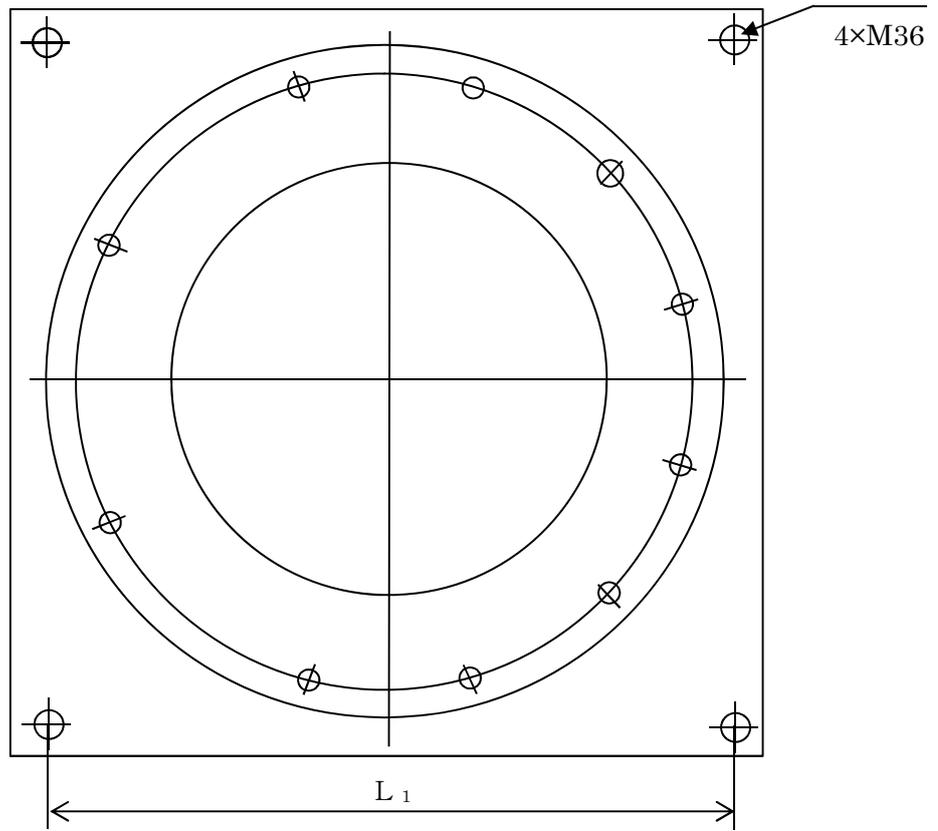


図 3-6 据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)	$1.5 f_b$ (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
原動機台	SS400	50* <sup>1</sup>	241	394	241	—	—	—	240
原動機フレーム	SS400	95* <sup>2</sup>	223	374	223	—	—	257	222
据付面基礎ボルト	S20C	50* <sup>1</sup>	241	391	241	180	139	—	—

注記 \*1：周囲環境温度

\*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	C (-)	$V_D$ (m/s)	$Z_b$ (m)	$Z_G$ (m)	$F_v'$ (N/m <sup>2</sup> )
960	2.2	1.2	30	5	350	7565

$\alpha$ (-)
0.15

表 4-3 評価条件 (原動機台, 原動機フレーム)

材料	$A_1$ (m <sup>2</sup> )	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	P (kg)	$B_1$ (mm)
SS400	1.138	1.690	1230	9.80665	900	1100

$B_2$ (mm)	$B_3$ (mm)	$B_4$ (mm)	h (mm)
1076	449	425	490.5

表 4-4 評価条件 (据付面基礎ボルト)

材料	$A_1$ ( $m^2$ )	$A_2$ ( $m^2$ )	$m$ (kg)	$g$ ( $m/s^2$ )	$P$ (kg)	$L_1$ (mm)
S20C	2.789	1.690	2130	9.80665	900	1200

ボルト サイズ	$N$ (-)	$A_b$ ( $mm^2$ )	$h$ (mm)
M36	4	1018	1126

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

各評価部位に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機フレーム	SS400	曲げ	5	257
		圧縮	3	222
原動機台	SS400	圧縮	1	240
据付面基礎ボルト	S20C	引張	12	180
		せん断	1	139
		組合せ	12	180

V-3-別添 2-1-5 ディーゼル発電機吸気口の強度計算書

## 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	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	12
3.5 評価方法	13
4. 評価条件	30
5. 強度評価結果	31

## 1. 概要

本資料は、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」に示すとおり、非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「ディーゼル発電機吸気口」という。）が降下火砕物等堆積時においても、吸気機能の維持を考慮して、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

ディーゼル発電機吸気口は、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」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電機吸気口の「2.1 位置」、 「2.2 構造概要」、 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

ディーゼル発電機吸気口は、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」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の図 2-1 に示す位置に設置する。

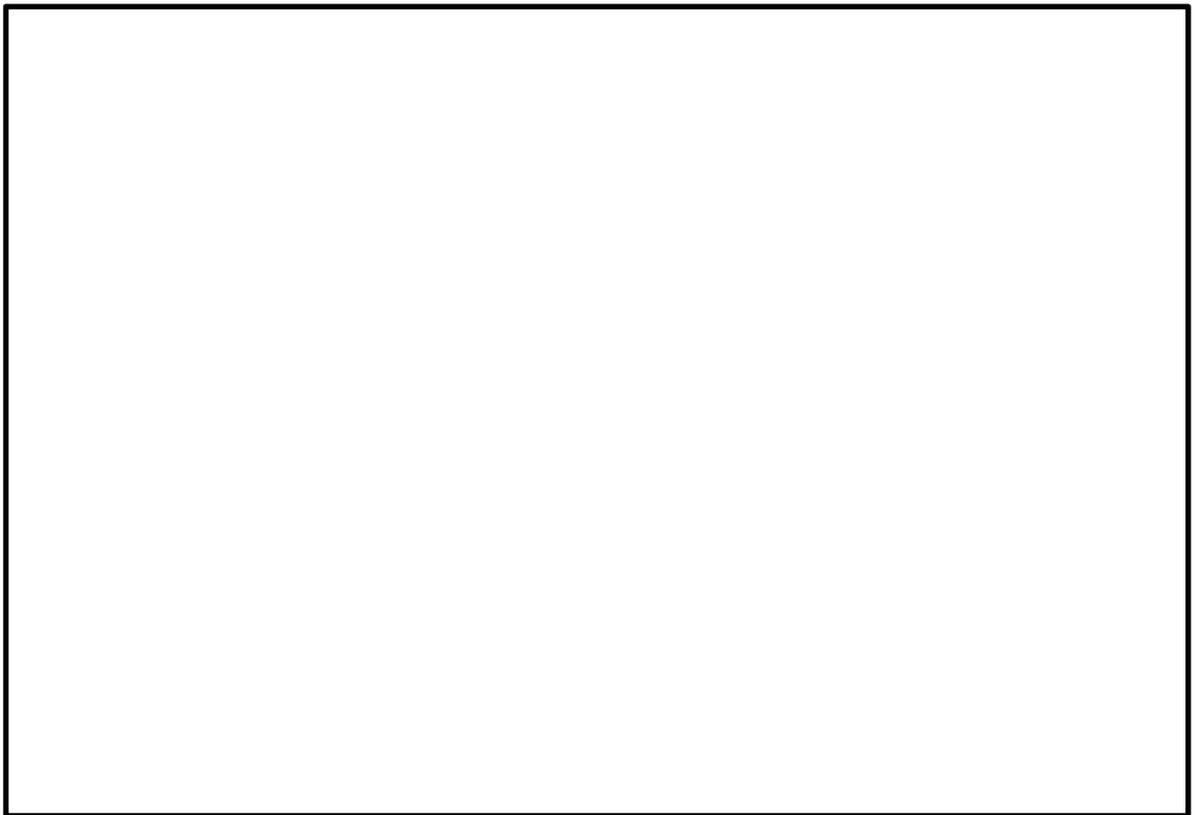


図 2-1 ディーゼル発電機吸気口 位置図

## 2.2 構造概要

ディーゼル発電機吸気口は、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」の「3.2機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル発電機吸気口は、ディーゼル発電機1基につき2台設置しており、計6台の同一構造の吸気口を設置している。

ディーゼル発電機吸気口の構造は4脚たて置円筒型容器構造であり、胴板と支持脚は溶接で接合しており、支持脚は基礎部に溶接により固定している。ディーゼル発電機吸気口の概要図を図2-2に示す。

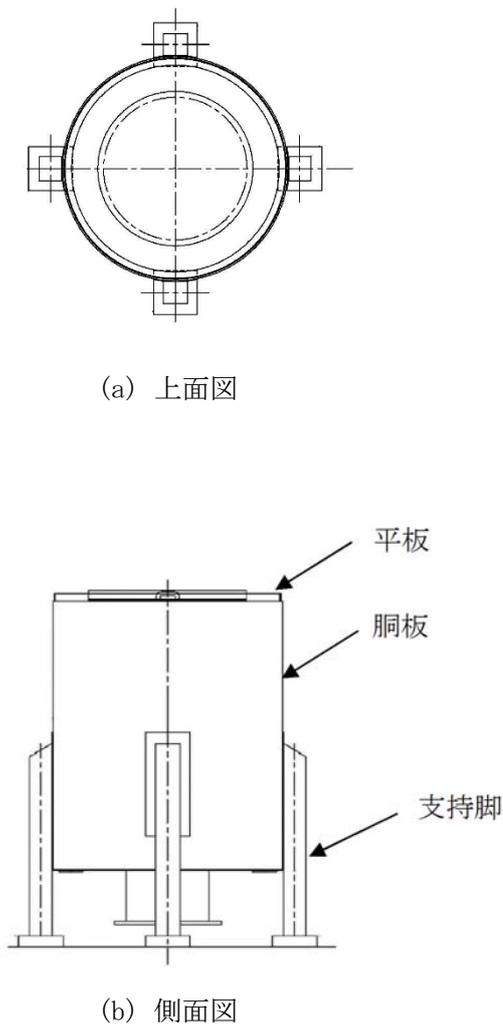


図 2-2 ディーゼル発電機吸気口の概要図

### 2.3 評価方針

ディーゼル発電機吸気口の強度評価は、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」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て、吸気口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。

ディーゼル発電機吸気口の強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機吸気口の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重と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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、吸気口上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「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・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（（社）日本電気協会）及び「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）（以下「JEAG 4601」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用する。それぞれの評価については、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」の「5. 強度評価方法」に示すディーゼル発電機吸気口の評価式を用いる。ディーゼル発電機吸気口の許容限界は、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」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG 4601の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

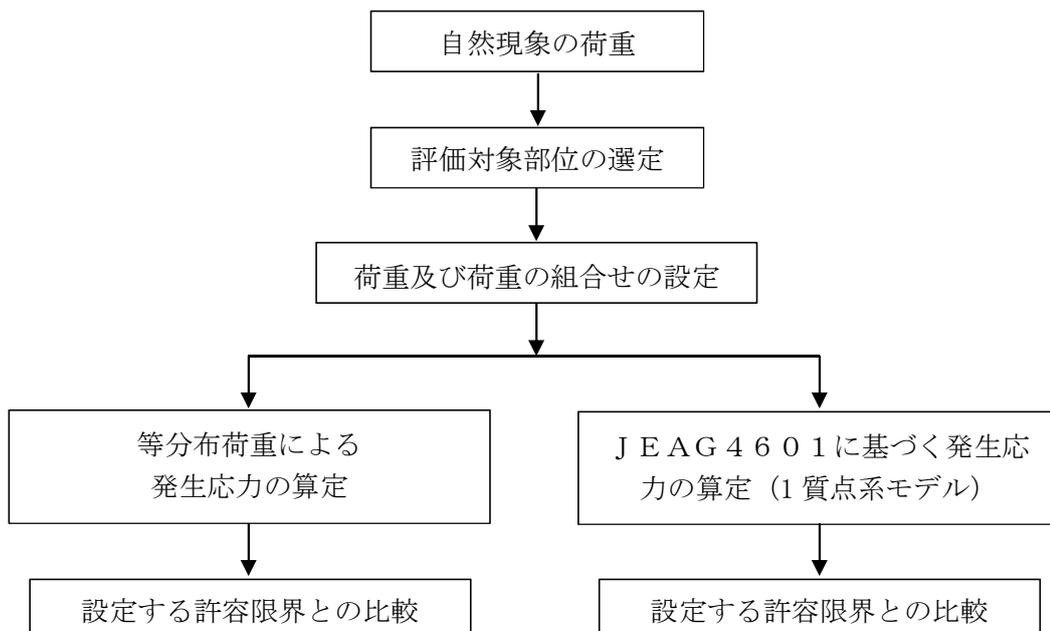


図2-3 ディーゼル発電機吸気口の強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 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）
- (3) 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・補 - 1984（（社）日本電気協会）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987（（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）（以下「JSME」という。）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表3-1 ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号 (1/6)

記号	定義	単位
A	受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)	m <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	脚の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s r</sub>	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s t</sub>	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>w</sub>	支持脚基礎溶接部の有効面積	mm <sup>2</sup>
a	平板の外半径	mm
C	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数	-
C <sub>1</sub>	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の周方向)	mm
C <sub>2</sub>	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の軸方向)	mm
C <sub>c</sub>	応力の補正係数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2))より得られる値	-
C <sub>L</sub>	応力の補正係数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2))より得られる値	-
D <sub>i</sub>	胴の内径	mm
D <sub>o</sub>	吸気口幅 (全幅)	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E <sub>s</sub>	脚の縦弾性係数	MPa
F	J S M E S S B - 3 1 2 1 . 1 ( 1 ) により規定される値	MPa
F <sub>0</sub>	振動モデル系における水平力	N
F <sub>d</sub>	運転時の状態で作用する荷重	N
F <sub>v</sub>	降下火砕物等堆積による鉛直荷重	N
f <sub>c</sub>	脚の許容圧縮応力	MPa
f <sub>b r</sub>	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f <sub>b t</sub>	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f <sub>t</sub>	脚の許容引張応力	MPa
G	ガスト影響係数	-
G <sub>s</sub>	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
H	吸気口高さ	m
h	平板の板厚	mm
I	胴の断面 2 次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>s r</sub>	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>s t</sub>	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm <sup>4</sup>

表3-1 ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号 (2/6)

記号	定義	単位
$J_s$	脚のねじりモーメント係数	$\text{mm}^4$
$K_1, K_2$	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)よりの定数	-
$K_c$	脚の胴つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-4)より得られる値)	-
$K_L$	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-4)より得られる値)	N/mm
$K_r$	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-4)より得られる値)	N/mm
$k_L$	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	-
$k_c$	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)によるアタッチメントパラメータ周方向の補正係数	-
$L$	脚の長さ	mm
$L_1$	支持脚間水平距離	mm
$L_c$	脚の中立軸間の距離	mm
$L_g$	基礎から容器上部重心までの距離	mm
$L_H$	重心から支持脚間の水平距離	mm
$M_1$	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_3$	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部のねじりモーメント	N・mm
$M_c$	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向モーメント (圧縮側)	N・mm
$M_L$	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント (引張側)	N・mm
$M_{L2}$	降下火砕物荷重, 積雪荷重による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント (引張側)	N・mm
$M_x$	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm
$M_\phi$	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm
$m_0$	運転時質量	kg
$N_x$	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
$N_\phi$	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
$p$	平板に作用する等分布荷重	$\text{N}/\text{mm}^2$
$P$	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
$P_1$	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
$P_2$	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
$Q$	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重	N
$Q_1$	支持脚に作用するせん断荷重	N

表3-1 ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号 (3/6)

記号	定義	単位
$q$	設計用速度圧	$N/m^2$
$R$	運転時質量による脚の軸力	$N$
$R_1$	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力	$N$
$R_2$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により脚に作用する軸力	$N$
$r_m$	胴の平均半径	$mm$
$S_y$	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点	$MPa$
$t$	胴の板厚	$mm$
$T$	支持脚に作用する引張荷重	$N$
$u$	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離	$mm$
$W_1$	風荷重	$N$
$W_2$	降下火砕物荷重	$N$
$W_3$	積雪荷重	$N$
$Z_{sr}$	脚の半径方向軸に対する断面係数	$mm^3$
$Z_{st}$	脚の周方向軸に対する断面係数	$mm^3$
$\beta, \beta_1, \beta_2$ $\beta_c, \beta_L$	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるアタッチメントパラメータ	-
$\gamma$	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるシェルパラメータ	-
$\Delta_r$	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	$mm$
$\Delta_{r1}$	水平力 $F_0$ による胴の半径方向局部変位量	$mm$
$\Delta_{x1}$	水平力 $F_0$ による第1脚上端の水平方向変位量	$mm$
$\Delta_{x3}$	水平力 $F_0$ による第2脚上端の水平方向変位量	$mm$
$\Delta_{y1}$	水平力 $F_0$ による第1脚の鉛直方向変位量	$mm$
$\theta$	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角	$rad$
$\theta_0$	水平力 $F_0$ による胴の中心軸の傾き角	$rad$
$\theta_1$	水平力 $F_0$ による第1脚の傾き角 (圧縮側)	$rad$
$\theta_2$	水平力 $F_0$ による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角	$rad$
$\theta_3$	水平力 $F_0$ による第2脚の傾き角	$rad$
$\pi$	円周率	-
$\rho$	比重	-
$\sigma_0$	胴の一次一般膜応力の最大値	$MPa$
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	$MPa$
$\sigma_{0x}$	胴の軸方向一次一般膜応力	$MPa$
$\sigma_1$	胴の一次応力の最大値	$MPa$
$\sigma_2$	胴の一次+二次応力の最大値	$MPa$

表3-1 ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号 (4/6)

記号	定義	単位
$\sigma_{11} \sim \sigma_{14}$	風荷重 (Z方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{15}, \sigma_{16}$	風荷重 (X方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{24}$	風荷重 (Z方向) が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力	MPa
$\sigma_{25}, \sigma_{26}$	風荷重 (X方向) が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力	MPa
$\sigma_s$	脚の組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_t$	支持脚基礎溶接部に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{s1}, \sigma_{s2}$	運転時質量による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{s3}, \sigma_{s4}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5} \sim \sigma_{s7}$	風荷重 (Z方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8} \sim \sigma_{s10}$	風荷重 (X方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{sc}$	脚の圧縮応力の和	MPa
$\sigma_{sr}$	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
$\sigma_{st}$	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
$\sigma_{sx}$	風荷重 (X方向) が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	風荷重 (Z方向) が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{x1}$	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x2}$	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x5}$	応力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{x7}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{x8}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x9}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力	MPa

表3-1 ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号 (5/6)

記号	定義	単位
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x 10}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の局部応力	MPa
$\sigma_{\phi 11}, \sigma_{x 11}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の局部応力	MPa
$\sigma_{x 61}, \sigma_{x 62}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 61}, \sigma_{\phi 62}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x 71}, \sigma_{x 72}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x 81}, \sigma_{x 82}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 81}, \sigma_{\phi 82}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x 91}, \sigma_{x 92}$	風荷重(X方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 91}, \sigma_{\phi 92}$	風荷重(X方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x 101}, \sigma_{x 102}$	風荷重(X方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 101}, \sigma_{\phi 102}$	風荷重(X方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x 111}, \sigma_{x 112}$	風荷重(X方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 111}, \sigma_{\phi 112}$	風荷重(X方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x x 1}, \sigma_{x x 2}$	風荷重(X方向)が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x x 3}, \sigma_{x x 4}$	風荷重(X方向)が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 1} \sim \sigma_{x z 4}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 5} \sim \sigma_{x z 8}$	風荷重(Z方向)が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa

表3-1 ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる記号 (6/6)

記号	定義	単位
$\sigma_{\phi x 1}, \sigma_{\phi x 2}$	風荷重 (X方向) が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x 3}, \sigma_{\phi x 4}$	風荷重 (X方向) が作用した場合の胴の周方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 1} \sim \sigma_{\phi z 4}$	風荷重 (Z方向) が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 5} \sim \sigma_{\phi z 8}$	風荷重 (Z方向) が作用した場合の胴の周方向一次+二次応力の和	MPa
$\tau$	支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_3$	風荷重 (Z方向) により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
$\tau_6$	風荷重 (X方向) により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
$\tau_{c 1}$	風荷重 (Z方向) により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{c 4}$	風荷重 (X方向) により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{L 1}$	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{L 2}$	風荷重 (Z方向) により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{L 3}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{L 5}$	風荷重 (X方向) により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa

### 3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位は、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」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、降下火砕物が堆積する平板、平板に接続する胴板、及び支持脚に作用する。また、風荷重は、ディーゼル発電機吸気口の胴板に作用し、支持脚及び支持脚基礎溶接部に伝達される。

このことから、平板、胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部を評価対象部位として設定する。

ディーゼル発電機吸気口の強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

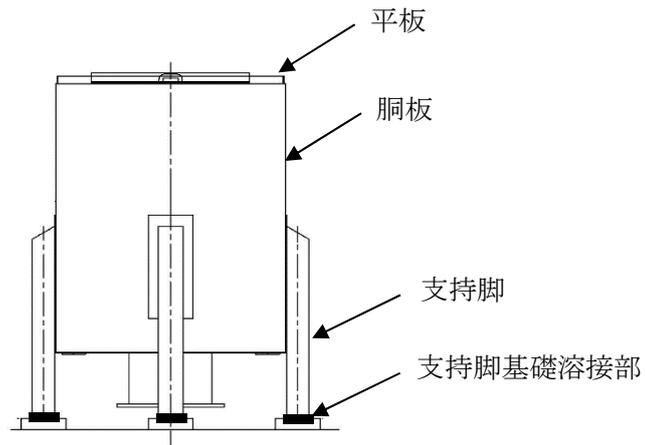


図3-1 ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、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」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。

#### (1) 荷重の設定

ディーゼル発電機吸気口の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

- a. 常時作用する荷重( $F_d$ )  
常時作用する荷重は、自重を考慮する。
- b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重( $F_v$ )  
単位面積当たりの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. 風荷重 ( $W_1$ )

風荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風荷重は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」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高Hが5 m 以下であるため、Hが $Z_b$ 以下の場合の式を用いる。

$$W_1 = q \cdot C \cdot A$$

ここで

$$A = H \cdot D_o$$

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

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

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha$$

d. 運転時の状態で作用する荷重( $F_d$ )

運転時の状態で作用する荷重としては、ディーゼル発電機吸気口に作用する内圧を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位ごとに設定する。なお、ディーゼル発電機吸気口は完全開放された施設であるため、内圧による荷重は考慮しない。

ディーゼル発電機吸気口の平板については、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。

ディーゼル発電機吸気口の胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風荷重が作用する。

ディーゼル発電機吸気口の評価にて考慮する荷重の組合せを表3-2に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機 吸気口	・ 平板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	・ 胴板 ・ 支持脚 ・ 支持脚基礎溶接部	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重

3.4 許容限界

ディーゼル発電機吸気口の許容限界値は、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」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、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

ディーゼル発電機吸気口の許容限界は、平板に対しては弾性範囲である設計降伏点とし、それ以外の評価対象部位についてはJ E A G 4 6 0 1を準用し、胴板については「クラス 2, 3 容器」、支持脚及び支持脚基礎溶接部については支持構造物の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力を許容限界とする。また、座屈については評価式を満足することを確認する。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機吸気口の許容限界を表 3-3 に示す。

表3-3 ディーゼル発電機吸気口の許容限界

評価対象 部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
平板	Ⅲ <sub>A</sub> S	曲げ		S <sub>y</sub>
胴板	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次一般膜		Min (S <sub>y</sub> , 0.6S <sub>u</sub> )
		一次		上欄の1.5倍
		一次+二次		2S <sub>y</sub>
支持脚	Ⅲ <sub>A</sub> S	組合せ		1.5f <sub>t</sub>
		座屈		$\sigma_{sr}/f_{br} + \sigma_{st}/f_{bt} + \sigma_{sc}/f_c \leq 1$
支持脚 基礎溶接部	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次	引張	1.5f <sub>t</sub>
			せん断	1.5f <sub>s</sub>

支持脚については、圧縮、曲げの組合せ応力の最大値を求め、引張応力の許容値で評価する。

また、溶接部について上記応力の組合せが考えられる場合、J S M E SSB-3121.1(6)、SSB-3121.2、SSB-3121.3を準用し、組合せ応力に対しても評価を行う。

以下に組合せ応力の許容応力の評価式を示す。

垂直応力とせん断応力を生じる構造部分の応力は、次の計算式を満足しなければならない。

$$1.5 f_t \geq \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

### 3.5 評価方法

ディーゼル発電機吸気口の応力評価は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているディーゼル発電機吸気口の評価式を用いる。

評価式は、J E A G 4 6 0 1 の 4 脚たて置き円筒型容器に準拠するが、J E A G 4 6 0 1 の参考文献の範囲に含まれない箇所については、解析コード「MSC/NASTRAN」を用いて、3次元 FEM モデルによりモデル化し評価を実施する。

(1) 評価モデル

a. 平板

ディーゼル発電機吸気口平板は円板であるため、等分布荷重が作用する周辺支持円板とする。ディーゼル発電機吸気口平板の評価モデル図を図 3-2 に示す。

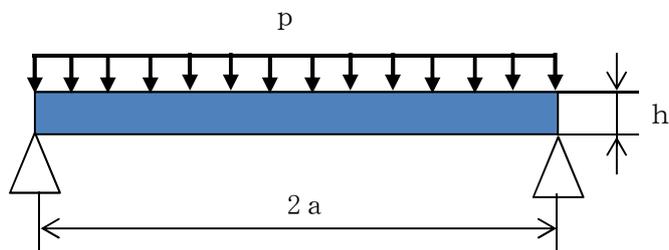


図 3-2 平板の評価モデル図

b. 胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部

降下火砕物等堆積による鉛直荷重、自重（鉛直荷重）及び風荷重（水平荷重）に対する、胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部の構造強度を 1 質点系モデルとして評価を行う。ここで、荷重の作用点はディーゼル発電機吸気口高さの 1/2 より高い重心位置に作用させる。ディーゼル発電機吸気口胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部の評価モデル図を図 3-3 に、ディーゼル発電機吸気口の変形モード図を図 3-4 に示す。

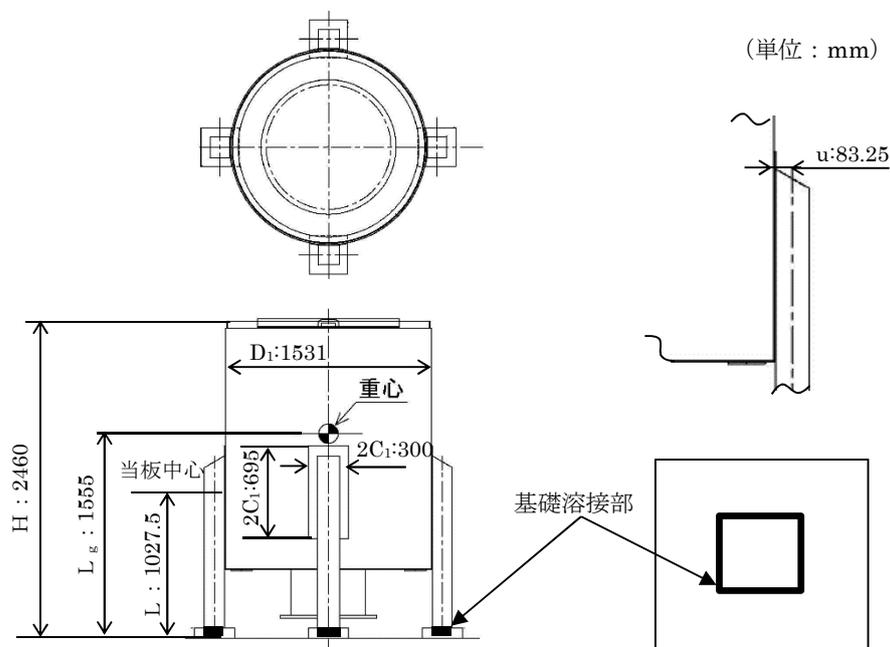


図 3-3 胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部の評価モデル図

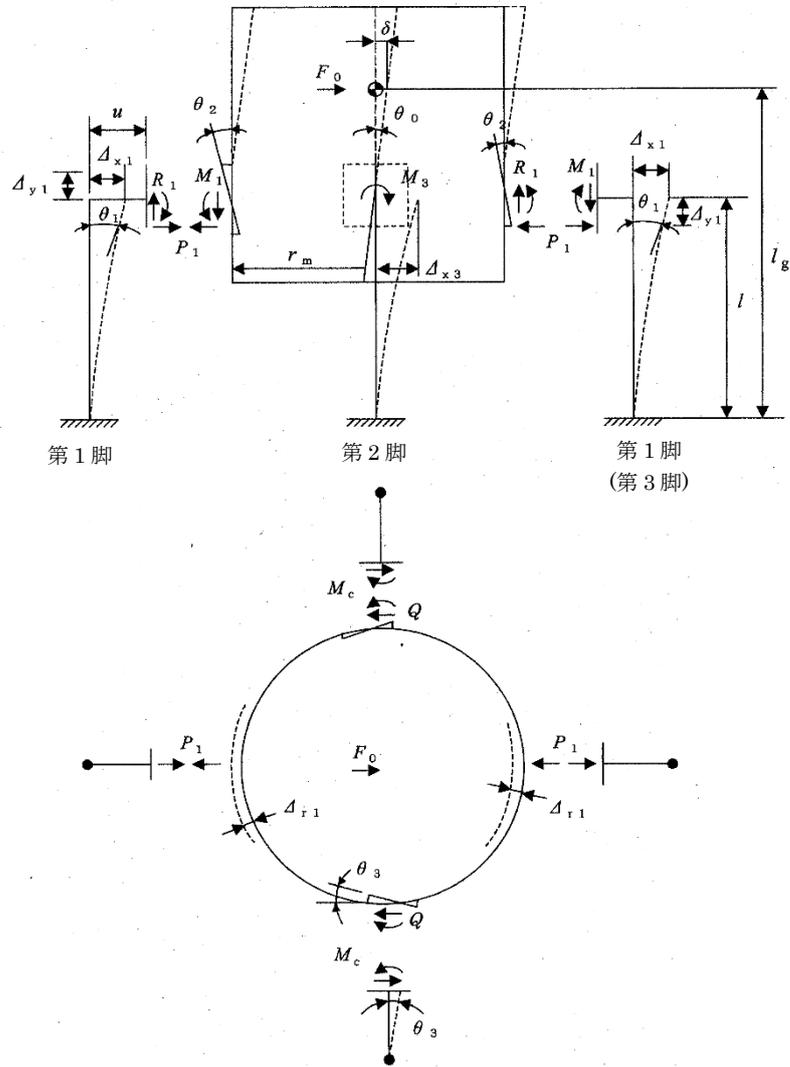


図 3-3 ディーゼル発電機吸気口の変形モード図

(2) 評価方法

a. 平板

鉛直荷重により平板に作用する最大曲げ応力  $\sigma_{max}$  は次による。

$$\sigma_{max} = 1.24 \cdot \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

b. 胴板及び支持脚

(a) 荷重の設定

水平力の釣合より

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0$$

転倒モーメントの釣合より

$$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0(L_g - L)$$

ただし,

$$r_m = (D_i + t) / 2$$

第1脚の水平方向変位量  $\Delta_{x1}$ , 傾き角  $\theta_1$ , 鉛直方向変位量  $\Delta_{y1}$ は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

ここで

$$u = \frac{L_c}{2} - r_m$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s}$$

胴の半径方向局部変位量  $\Delta_{r1}$ と局部傾き角  $\theta_2$ は次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$

$$\theta_2 = \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

ここで,  $\beta_L$ は次による。

$$\beta_L = k_L \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角  $\theta_0$ と水平方向変位量  $\Delta_{x3}$ は, 次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0$$

第2脚のねじり角と局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c)L}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E}$$

ここで、 $\beta_c$ は次による。

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\triangle_{x1} + \triangle_{r1} = \triangle_{x3} + u \cdot \theta_3$$

さらに鉛直方向変位の釣合より

$$\triangle_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0$$

式を代入して

$$\frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s} - \frac{u(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を代入して

$$\frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_1^2 \cdot E} + \frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} = 0$$

式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} - \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

したがって、6変数 $P_1, Q, R_1, M_1, M_3, M_c$ に対して上記式を連立させることにより方程式ができる。

(b) 胴の応力計算

イ. 静水頭又は内圧による応力

ディーゼル発電機吸気口に静水頭，内圧は発生しないため， $\sigma_{\phi 1}$ 及び $\sigma_{x 1}$ は 0 となる。

ロ. 運転時質量及び降下火砕物と積雪荷重による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi (D_i + t) t}$$

$$\sigma_{x 7} = \frac{W_2 + W_3}{\pi (D_i + t) t}$$

ハ. 運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合，軸力Rは次による。

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4}$$

脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形を図 3-4 に示す。

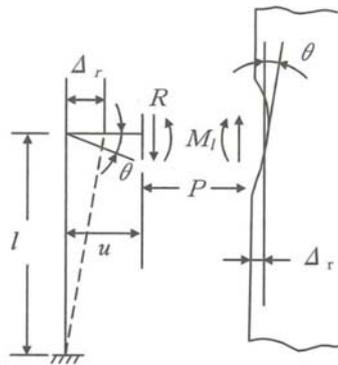


図 3-4 脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r = \frac{-P \cdot L^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{s t}} + \frac{-P \cdot L}{G_s \cdot A_{s r}} + \frac{(R \cdot u - M_L)L^2}{2E_s \cdot I_{s t}} = \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E}$$

また，脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta = \frac{(R \cdot u - M_L)L}{E_s \cdot I_{s t}} - \frac{P \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{s t}} = \frac{K_L \cdot M_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

したがって

$$M_L = \frac{\left( \frac{L^3}{12E_s \cdot I_{s t}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{s r}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot L}{4E_s \cdot I_{s t}}}{\left( \frac{L^3}{3E_s \cdot I_{s t}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{s r}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \left( \frac{L}{E_s \cdot I_{s t}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E} \right) - \left( \frac{L^2}{2E_s \cdot I_{s t}} \right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{m_0 \cdot g}{4} u - M_L}{2E_s \cdot I_{s t}} L^2$$

$$P = \frac{L^3}{3E_s \cdot I_{s t}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{s r}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}$$

鉛直方向モーメント $M_L$ により生じる胴の局部応力は、**図 3-4 に示す 3 次元 FEM モデル**より求める(以下\*を付記する)ことにより算定する。

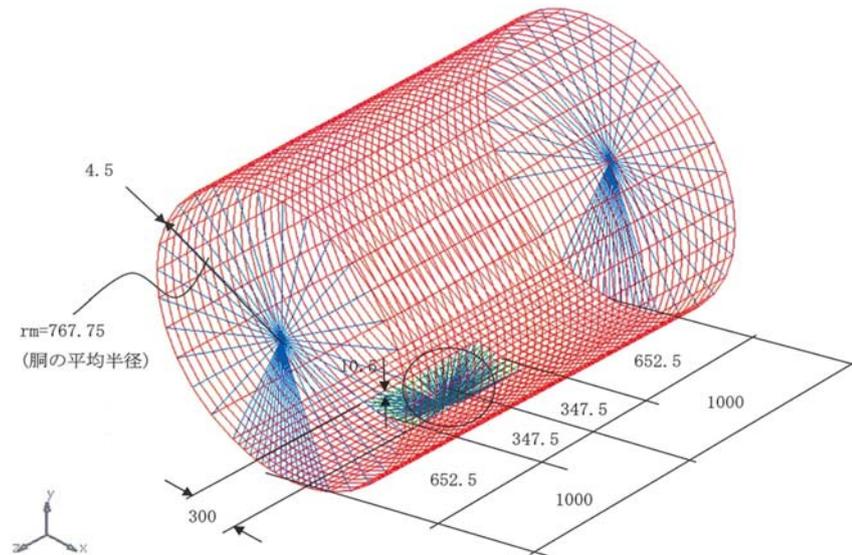


図 3-4 3 次元 FEM モデル

$$\sigma_{\phi 3} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_L / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_L}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

$$\sigma_{x 3} = \left[ \frac{N_x}{M_L / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_L}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

半径方向荷重Pにより生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 4} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P/r_m} \right]^* \left( \frac{P}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x 4} = \left[ \frac{N_x}{P/r_m} \right]^* \left( \frac{P}{r_m \cdot t} \right)$$

反力Rによるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L 1} = \frac{R}{4C_2 \cdot t}$$

二. 風荷重による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x 5} = \frac{W_1(L_g - L)(D_i + 2t)}{2I}$$

ホ. Z方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

(イ) 一次応力

半径方向荷重P<sub>1</sub>により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 6 1} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P_1/r_m} \right]^* \left( \frac{P_1}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x 6 1} = \left[ \frac{N_x}{P_1/r_m} \right]^* \left( \frac{P_1}{r_m \cdot t} \right)$$

鉛直方向曲げモーメントM<sub>1</sub>により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 7 1} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_1/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

$$\sigma_{x 7 1} = \left[ \frac{N_x}{M_1/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

周方向曲げモーメントM<sub>c</sub>により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 8 1} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_c/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_c} \right) C_c^*$$

$$\sigma_{x 8 1} = \left[ \frac{N_x}{M_c/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_c} \right) C_c^*$$

ここで、 $\beta_c$ は次式による。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2}$$

周方向せん断力 $Q$ によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4C_1 \cdot t}$$

鉛直方向せん断力 $R_1$ によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L2} = \frac{R_1}{4C_2 \cdot t}$$

ねじりモーメント $M_3$ により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2\pi \cdot C_1^2 \cdot t}$$

(ロ) 二次応力

半径方向荷重 $P_1$ により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 62} = \left[ \frac{M_\phi}{P_1} \right]^* \left( \frac{6P_1}{t^2} \right)$$

$$\sigma_{x 62} = \left[ \frac{M_x}{P_1} \right]^* \left( \frac{6P_1}{t^2} \right)$$

鉛直方向曲げモーメント $M_1$ により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 72} = \left[ \frac{M_\phi}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

$$\sigma_{x 72} = \left[ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

周方向曲げモーメント $M_c$ により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 82} = \left[ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

$$\sigma_{x 82} = \left[ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

へ. X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

(イ) 一次応力

半径方向荷重  $P_1$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 91} = \sigma_{\phi 61} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 91} = \sigma_{x 61} / \sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 101} = \sigma_{\phi 71} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 101} = \sigma_{x 71} / \sqrt{2}$$

周方向曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 111} = \sigma_{\phi 81} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 111} = \sigma_{x 81} / \sqrt{2}$$

周方向せん断力  $Q$  によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力  $R_1$  によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L5} = \tau_{L2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメント  $M_3$  により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2}$$

(ロ) 二次応力

半径方向荷重  $P_1$  により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2}$$

周方向曲げモーメント $M_c$ により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2}$$

ト. 降下火砕物と積雪荷重による胴の脚つけ根部の応力

脚下端を固定する場合の軸力 $R_2$ 、胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント $M_{L2}$ 及び半径方向荷重 $P_2$ は、次による。

$$R_2 = \frac{W_2 + W_3}{4}$$

$$M_{L2} = \frac{\left( \frac{L^3}{12E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) R_2 \cdot u \cdot L}{\left( \frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \left( \frac{L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E} \right) - \left( \frac{L^2}{2E_s \cdot I_{st}} \right)^2}$$

$$P_2 = \frac{\frac{R_2 \cdot u - M_{L2} L^2}{2E_s \cdot I_{st}}}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

(イ) 一次応力

鉛直方向曲げモーメント  $M_{L2}$ により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 8} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_{L2} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_{L2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

$$\sigma_{x 8} = \left[ \frac{N_x}{M_{L2} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_{L2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

半径方向荷重 $P_2$ により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 9} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P_2 / r_m} \right]^* \left( \frac{P_2}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x 9} = \left[ \frac{N_x}{P_2 / r_m} \right]^* \left( \frac{P_2}{r_m \cdot t} \right)$$

(ロ) 二次応力

鉛直方向曲げモーメント $M_{L2}$ により生じる胴の局部応力は次による。

$$\sigma_{\phi 10} = \left[ \frac{M_{\phi}}{M_{L2}/(r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_{L2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

$$\sigma_{x 10} = \left[ \frac{M_x}{M_{L2}/(r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6M_{L2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

半径方向荷重  $P_2$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 11} = \left[ \frac{M_{\phi}}{P_2} \right]^* \left( \frac{6P_2}{t^2} \right)$$

$$\sigma_{x 11} = \left[ \frac{M_x}{P_2} \right]^* \left( \frac{6P_2}{t^2} \right)$$

せん断応力は、次による。

$$\tau_{L3} = \frac{R_2}{4C_2 \cdot t}$$

チ. 組合せ応力

イ.～ト. 項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は、次により組み合わせる。

(イ) 一次一般膜応力

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7}$$

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}]$$

(ロ) 一次応力 (膜+曲げ)

胴の評価点を図 3-5 に示す。

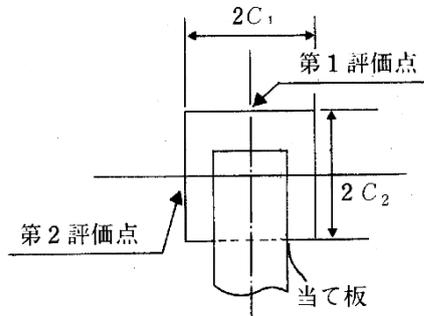


図 3-5 胴の評価点

【Z 方向荷重が作用した場合】

- ・ 第 1 脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 7 1}$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 7 1}$$

$$\sigma_{1 1} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 6 1}$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 6 1}$$

$$\sigma_{1 2} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_{L 2} + \tau_{L 3})^2} \right\}$$

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9}$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9}$$

$$\sigma_{1 3} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4(\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \right\}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 8 1}$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 8 1}$$

$$\sigma_{1 4} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_3 + \tau_{L 3})^2} \right\}$$

【X方向荷重及び降下火砕物荷重、積雪荷重が作用した場合】

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 0 1}$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 0 1}$$

$$\sigma_{1 5} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 1 1}$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 1 1}$$

$$\sigma_{1 6} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_{L 5} + \tau_6 + \tau_{L 3})^2} \right\}$$

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{1 1}, \sigma_{1 2}, \sigma_{1 3}, \sigma_{1 4}, \sigma_{1 5}, \sigma_{1 6}]$$

(ハ) 組合せ一次+二次応力

**【Z方向荷重及び降下火砕物荷重、積雪荷重が作用した場合】**

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2} + \sigma_{\phi 7 1} + \sigma_{\phi 7 2}$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 6 2} + \sigma_{x 7 1} + \sigma_{x 7 2}$$

$$\sigma_{2 1} = \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2}$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 6 2}$$

$$\sigma_{2 2} = \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4(\tau_{L 2} + \tau_{L 3})^2}$$

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 7} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{\phi 1 1}$$

$$\sigma_{x z 7} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{x 1 1}$$

$$\sigma_{2 3} = \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4(\tau_{c 1} + \tau_3)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 8 1} + \sigma_{\phi 8 2}$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 8 1} + \sigma_{x 8 2}$$

$$\sigma_{2 4} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4(\tau_3 + \tau_{L 3})^2}$$

【X方向荷重が作用した場合】

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102}$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102}$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112}$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112}$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{L5} + \tau_6 + \tau_{L3})^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}]$$

(c) 脚の応力計算

イ. 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max[|R \cdot u - M_L - P \cdot L|, |R \cdot u - M_L|]}{Z_{st}}$$

ロ. 降下火砕物荷重, 積雪荷重による応力

$$\sigma_{s3} = \frac{R_2}{A_s}$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\max[|R_2 \cdot u - M_{L2} - P_2 \cdot L|, |R_2 \cdot u - M_{L2}|]}{Z_{st}}$$

ハ. 風荷重 (Z方向) による応力

(イ) 第1脚

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{Z_{st}}$$

(ロ) 第2脚

$$\sigma_{s7} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{Z_{sr}}$$

(ハ) X方向荷重による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s}$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\max\left[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}}$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\max\left[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}}$$

ニ. 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

(イ) Z方向荷重及び降下火砕物荷重、積雪荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sz1} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6}$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sz2} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7}$$

(ロ) X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10}$$

$$\sigma_s = \max[\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}]$$

ホ. 組合せ圧縮応力

(イ) Z方向荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s5}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s6}$$

$$\sigma_{sr} = 0$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4}$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7}$$

(ロ) X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{s c} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 3} + \sigma_{s 8}$$

$$\sigma_{s t} = \sigma_{s 2} + \sigma_{s 4} + \sigma_{s 9}$$

$$\sigma_{s r} = \sigma_{s 10}$$

圧縮と曲げの組合せについて、座屈評価用の式を次式より求める。

$$\frac{\sigma_{s r}}{f_{b r}} + \frac{\sigma_{s t}}{f_{b t}} + \frac{\sigma_{s c}}{f_c} \leq 1$$

(d) 支持脚基礎溶接部の応力計算

イ. 引張応力の算出

風圧力による荷重 $W_1$ によるモーメント $M$ により、2本の支持脚には吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重 $T$ が作用する。

モーメントの釣り合いを考えると、

$$M = W_1 \cdot L_g + (m_0 \cdot g + F_v) L_H = 2 \cdot T \cdot L_1$$

よって、吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重 $T$ は以下のようになる。

$$T = \frac{W_1 \cdot L_g + (m_0 \cdot g + F_v) L_H}{2L_1}$$

吸気口の支持脚基礎溶接部に生じる引張応力 $\sigma_t$ は以下のようになる。

$$\sigma_t = \frac{T}{A_w} = \frac{W_1 \cdot L_g + (m_0 \cdot g + F_v) L_H}{2L_1 \cdot A_w}$$

ロ. せん断応力の算出

吸気口の支持脚基礎溶接部に作用するせん断荷重 $Q$ は以下のようになる。

$$Q_1 = \frac{W_1}{4}$$

よって、吸気口の支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力 $\tau$ は以下のようになる。

$$\tau = \frac{Q_1}{A_w} = \frac{W_1}{4A_w}$$

(c) 組合せ応力の算出

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau^2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-5 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件（ディーゼル発電機吸気口）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
平板	SS400	50	211	—	—	—	—
胴板	SS400	50	241	394	—	—	—
支持脚	SS400	50	241	394	241	241	—
支持脚基礎溶接部	SS400	50	241	394	241	241	139

表 4-2 評価条件（風荷重）

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	C (-)	A (m <sup>2</sup> )
960	2.2	1.2	3.79

表 4-3 評価条件（平板）

p (N/mm <sup>2</sup> )	a (mm)	h (mm)
0.0153	770.0	100.0

表 4-4 評価条件（胴板及び支持脚）（1/2）

$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{sr}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{st}$ (mm <sup>2</sup> )	$C_1$ (mm)	$C_2$ (mm)	$D_i$ (mm)
8550	4336	4728	150.0	347.5	1531

E (MPa)	$E_s$ (MPa)	$F_o$ (N)	$G_s$ (MPa)	I (mm <sup>4</sup> )	$I_{sr}$ (mm <sup>4</sup> )
201000	201000	1	77300	$6.398 \times 10^9$	$3.155 \times 10^7$

$I_{st}$ (mm <sup>4</sup> )	$J_s$ (mm <sup>4</sup> )	L (mm)	$L_c$ (mm)	$L_g$ (mm)	$m_o$ (kg)
2697	4316	1027.5	1702.0	1555.0	1800

表 4-4 評価条件（胴板及び支持脚）（2/2）

$r_m$ (mm)	$t$ (mm)	$W_1$ (N)	$W_2$ (N)	$W_3$ (N)	$Z_{sr}$ (mm <sup>3</sup> )
767.8	4.5	4370	13800	393	$3.824 \times 10^5$

$Z_{st}$ (mm <sup>3</sup> )
$3.569 \times 10^5$

表 4-5 評価条件（支持脚基礎溶接部）

$W_1$ (N)	$F_v$ (N)	$L_g$ (mm)	$m_o$ (kg)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$L_1$ (mm)
4370	14193	1555.0	1800	9.80665	1203.5

$L_H$ (mm)	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )
601.75	4455

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

ディーゼル発電機吸気口に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機吸気口の評価結果

評価部位	材料	応力	許容応力 [MPa]	発生応力 [MPa]	
平板	SS400	曲げ	211	2	
胴板	SS400	一次一般膜	236	2	
		一次	354	5	
		一次＋二次	482	9	
支持脚	SS400	組合せ	241	5	
		座屈（圧縮＋曲げ）	1※	0.02※	
支持脚基礎溶接部	SS400	一次	引張	241	3
			せん断	139	1
			組合せ	241	4

※：検定比（下式）による。

$$\sigma_{sr}/f_{br} + \sigma_{st}/f_{bt} + \sigma_{sc}/f_c \leq 1$$

V-3-別添 2-1-7 ディーゼル発電機室ルーフトファンの強度計算書

## 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.....	3
2.4 適用規格.....	4
3. 強度評価方法.....	5
3.1 記号の定義.....	5
3.2 評価対象部位.....	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	7
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.....	17

## 1. 概要

本資料は、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」に示すとおり、非常用ディーゼル発電機室ルーフベン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ベントファン（以下「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。）が降下火砕物堆積時においても、その施設の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

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電機室ルーフベントファンの「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、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」に示すとおり、屋外の図 2-1 に示す位置に設置する。

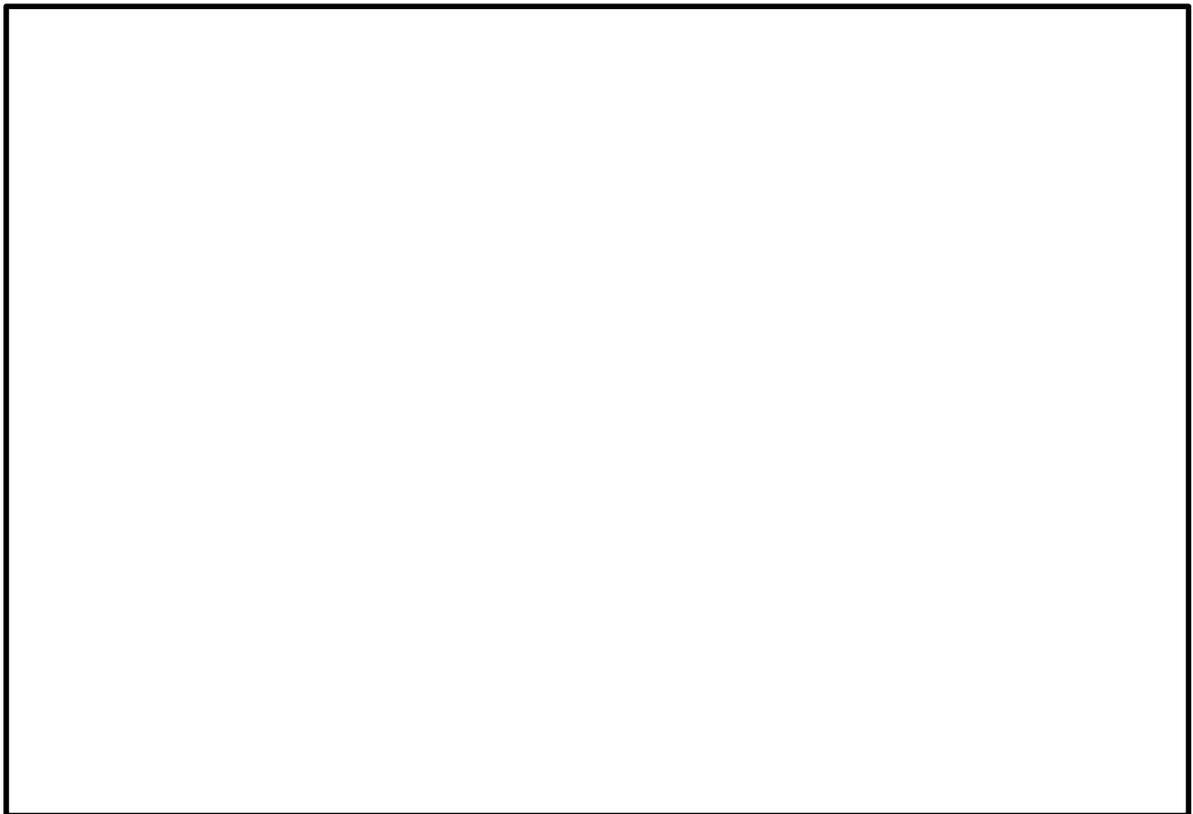


図 2-1 ディーゼル発電機室ルーフベントファン 位置図

## 2.2 構造概要

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、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」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。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは据付面からケーシング部とケーシング部より上部の吐出フードからなる軸流ファンであり、同一構造のディーゼル発電機室ルーフベントファンを非常用ディーゼル発電機 2 C 室用、非常用ディーゼル発電機 2 D 室用及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室用にそれぞれ 2 台、計 6 台を屋外に設置している。

ファンの概要図を図 2-2 に示す。

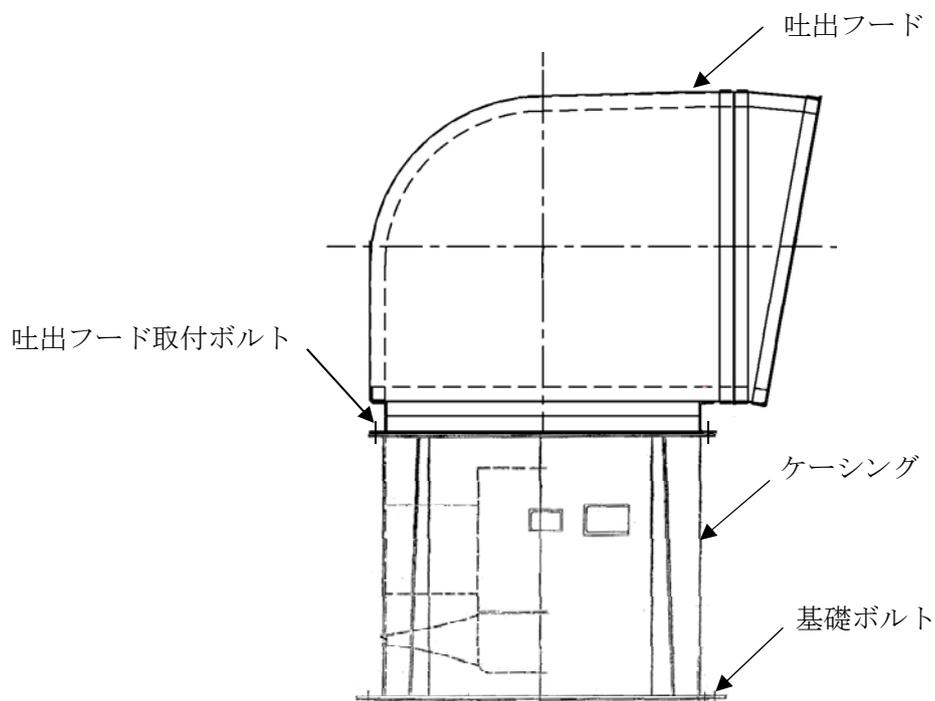


図 2-2 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの概要図

### 2.3 評価方針

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」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て、ディーゼル発電機室ルーフベントファン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。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重と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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、ディーゼル発電機室ルーフベントファン上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「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・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（（社）日本電気協会）及び「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）（以下「JEAG 4601」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、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」の「5. 強度評価方法」に示すディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価式を用いる。ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界は、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」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG 4601の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

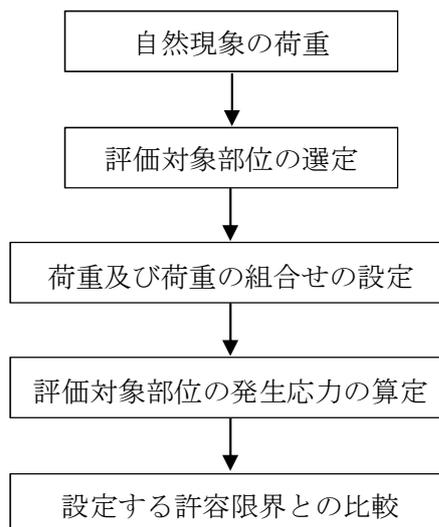


図2-3 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 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）
- (3) 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・補 - 1984（（社）日本電気協会）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987（（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）（以下「JSME」という。）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

ディーゼル発電機室ルーフトファンの強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 ディーゼル発電機室ルーフトファンの強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	天板の短辺
$A_1$	$m^2$	受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
$A_2$	$m^2$	降下火砕物の堆積面積
$A_b$	$mm^2$	ボルトの軸断面積
$B_1$	mm	ケーシング外径
$B_2$	mm	ケーシング内径
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
c	mm	補強ピッチ
$E'$	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
$E_r$	—	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す係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1(1)により規定される値
$F_b$	N	ボルトに対する引張力
$F_d$	N	常時作用する荷重
$F_i$	N	各ボルトに作用する引張力
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$f_b$	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力
$f_c$	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容圧縮応力
$f_s$	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
$f_t$	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	$m/s^2$	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
h	mm	全高
$h_t$	mm	天板厚さ
$L_1 \sim L_7$	mm	支点と評価ボルト間の距離

表3-1 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$L_i$	mm	各ボルト間の距離
$M$	$N \cdot mm$	ファンに作用するモーメント
$m$	kg	質量
$N$	—	ボルトの本数
$p$	$N/mm^2$	天板に作用する等分布荷重
$Q_b$	N	ボルトに対するせん断力
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$S$	$mm^2$	ケーシングの断面積
$S_u$	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
$S_y$	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
$V_D$	m/s	基準風速
$W_b$	N	風荷重による複合荷重
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示1454号に掲げる数値
$\beta$	—	天板の最大応力の係数
$\pi$	—	円周率
$\sigma_b$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	ケーシングに生じる圧縮応力
$\tau$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

### 3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価対象部位は、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」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、吐出フード天板、ケーシング、吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積する吐出フード上部を介して支持している吐出フード及びケーシングに作用する。また、風荷重は吐出フード及びケーシングを介してケーシングに固定されている吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトに作用する。

このことから、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては吐出フード天板及びケーシングを、また、風荷重により発生する応力は、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることから、支持断面積の小さい吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

なお、吐出フード天板は、天板部とフランジ以降の先端部に分かれるが、フランジ以降の先端部は防雨が目的であり、ファンの排気機能に直接影響を与えないことから吐出フード天板には含めない。

吐出フードの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

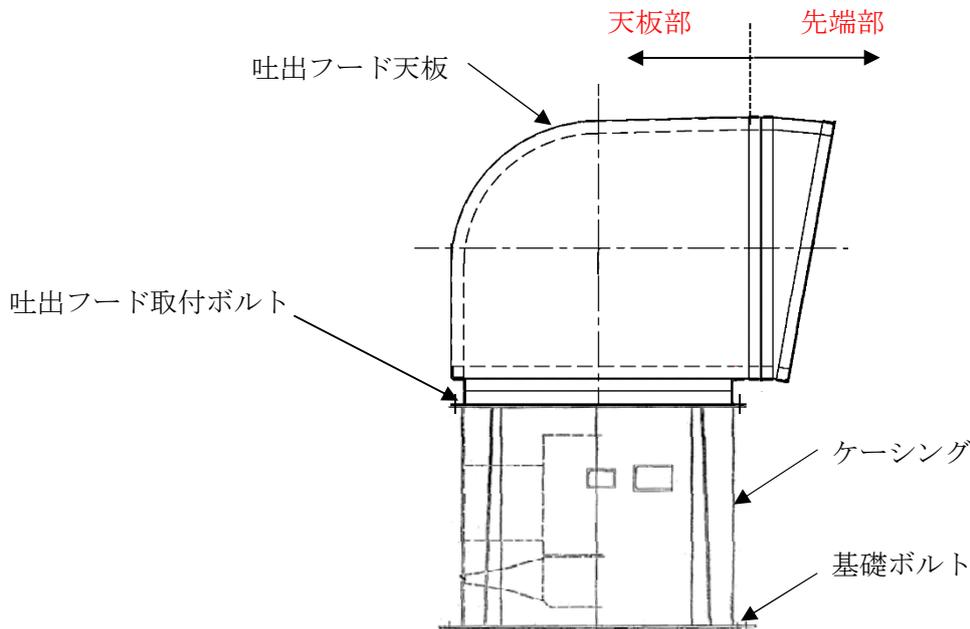


図 3-1 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、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」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。

#### (1) 荷重の設定

ディーゼル発電機室ルーフトファンの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重( $F_d$ )

常時作用する荷重は、ファンの自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重( $F_v$ )

単位面積当たりの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. 風荷重 ( $W$ )

風荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風荷重は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」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高Hが5 m以下であるため、Hが $Z_b$ 以下の場合の式を用いる。

評価に用いる複合荷重は吐出フード、ケーシングに風圧力を受けた際の複合荷重とする。

風荷重を受ける面積は吐出フード、ケーシングを包含する面積を設定し、風荷重による複合荷重Wは以下のようにして求める。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

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

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

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha$$

d. 運転時の状態で作用する荷重 ( $F_p$ )

ディーゼル発電機室ルーフトファンは、完全開放された施設であるため、内圧による荷重は考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、ディーゼル発電機室ルーフトファンの評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機室ルーフトファンには、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風荷重が作用する。

ディーゼル発電機室ルーフトファンの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機室ルーフトントファン	吐出フード天板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	ケーシング	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	吐出フード取付ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重

### 3.4 許容限界

ディーゼル発電機室ルーフトントファンの許容限界は、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」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、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を用いる。

ディーゼル発電機室ルーフトントファンの許容限界は、吐出フード天板に対しては弾性範囲である設計降伏点とし、それ以外の評価対象部位については J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機室ルーフトントファンの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界

評価対象部位	許容応力 状態	応力の種類		許容限界
		一次応力	曲げ	
吐出フード天板	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	曲げ	$S_y$
ケーシング	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	圧縮	$1.5f_c$
吐出フード取付 ボルト, 基礎ボ ルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{ 1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau) \}$

## 3.5 評価方法

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの応力評価は、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」の「5. 強度評価方法」にて設定しているディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価式を用いる。

## (1) 評価方法

## a. 鉛直方向荷重

## (a) 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-2 に示す。

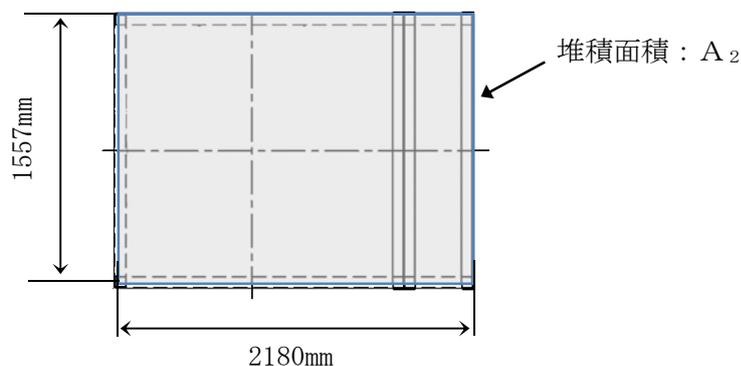


図3-2 降下火砕物等の堆積面積図 (ファンを上面から見た図)

## b. 計算モデル

ファンの計算モデルは1質点モデルとし、ファンの上端に風荷重が作用することとする。受圧面積を含めたファンモデル図を図3-3に、基礎ボルト配置図及び吐出フード取付ボルト配置図を図3-4、図3-5に示す。

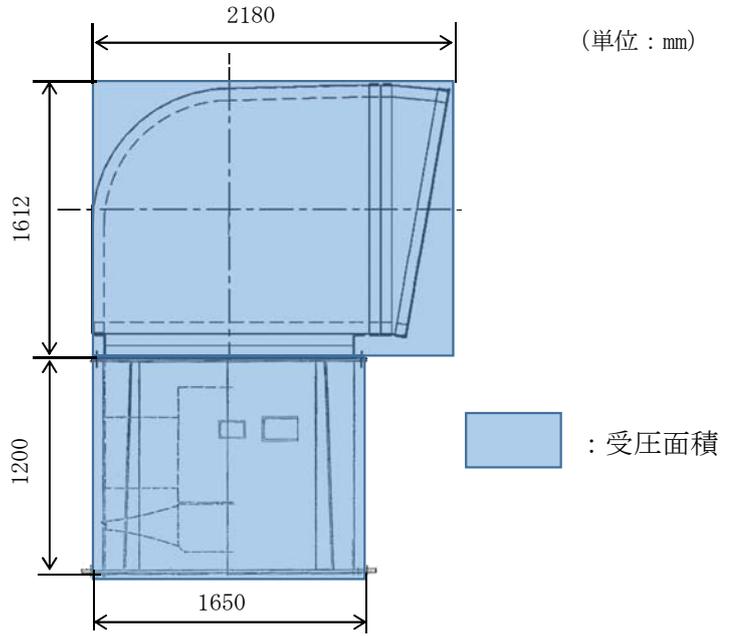


図 3-3 ファンモデル図

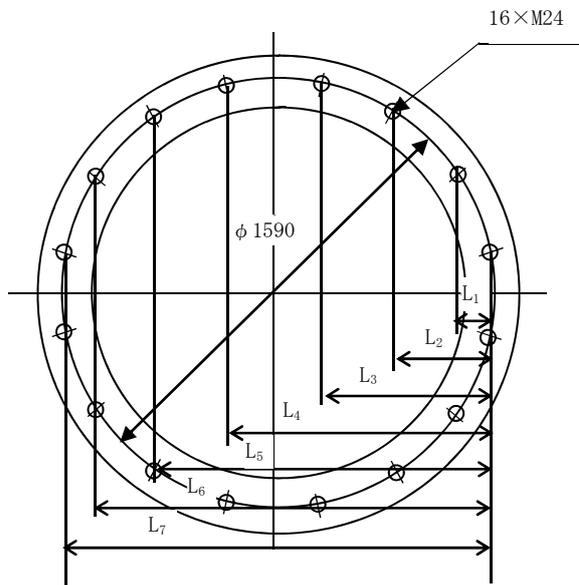


図 3-4 基礎ボルト配置図

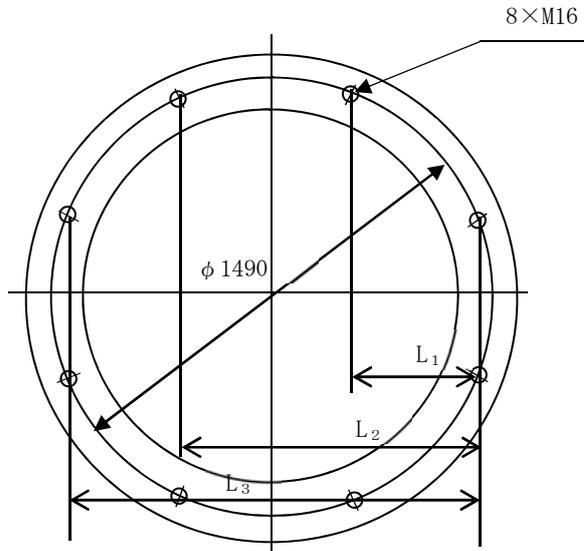


図 3-5 吐出フード取付ボルト配置図

c. 計算方法

(a) 吐出フード天板部に対する応力評価

吐出フード天板については、吐出フード天板の端部から吐出フードフランジまでの四辺固定の長方形板として評価を行う。なお、評価用の面積としては、保守的に吐出フード曲がり部を平面とみなして評価を行う。

吐出フード天板の評価範囲図を図 3-6 に、評価用面積図を図 3-7 に示す。

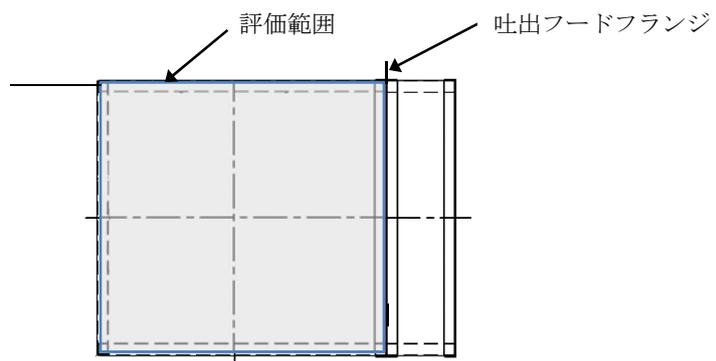


図3-6 吐出フード天板の評価範囲図（吐出フードを上面から見た図）

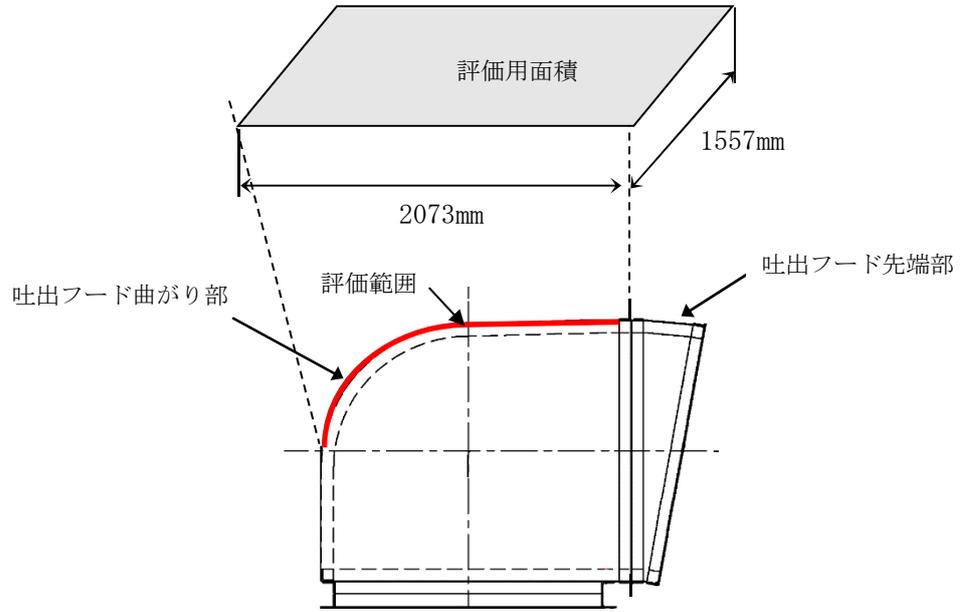


図3-7 吐出フード天板の評価用面積図（吐出フードを側面から見た図）

鉛直荷重により吐出フード天板部に作用する最大曲げ応力  $\sigma_{max}$  は次による。

$$\sigma_{max} = \beta \cdot \frac{p \cdot a^2}{h_t^2}$$

- (b) ケーシングに対する応力評価  
 ケーシングに生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + F_d}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} (B_1^2 - B_2^2)$$

ケーシングの断面図を図 3-7 に示す。

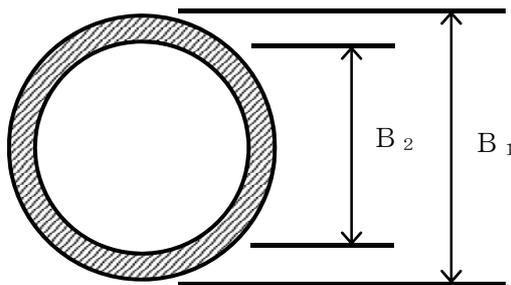


図 3-8 ケーシングの断面図

- (c) 基礎ボルト，吐出フード取付ボルトに対する応力評価  
 イ. 引張応力

$$M=2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \quad \dots \quad (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \dots \quad (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より，

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i} L_n$$

ここで

$$M = W_w \cdot h + (m \cdot g + F_v) \cdot \frac{L_n}{2}$$

ボルトに生じる引張応力  $\sigma_b$  は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_n}{A_b}$$

- ロ. せん断応力

ボルトに対するせん断応力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

- ・ せん断力

$$Q_b = W_w$$

- ・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 から表 4-6 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件(ディーゼル発電機ルーフベントファン)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)*	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5 f <sub>t</sub> (MPa)	1.5 f <sub>s</sub> (MPa)	1.5 f <sub>c</sub> (MPa)
吐出フード天板	SS400	50	241	—	—	—	—	—
ケーシング	SS400	50	241	394	241	—	—	240
吐出フード取付 ボルト	SS400	50	231	394	231	173	133	—
基礎ボルト	SS400	50	231	394	231	173	133	—

注記 \* : 周囲環境温度

表 4-2 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	ケーシングの 風力係数C (-)	吐出フードの 風力係数C (-)	ケーシングの 受圧面積A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	吐出フードの 受圧面積A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )
960	2.2	1.2	2.4	1.980	3.514

表 4-3 評価条件 (吐出フード天板)

β (-)	p (N/mm <sup>2</sup> )	a (mm)	h <sub>t</sub> (mm)
0.45	8.258×10 <sup>-3</sup>	1557	9

表 4-4 評価条件 (ケーシング)

B <sub>1</sub> (mm)	B <sub>2</sub> (mm)	m (kg)
1418	1400	2440

表 4-5 評価条件 (基礎ボルト)

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	L <sub>4</sub> (mm)	L <sub>5</sub> (mm)	L <sub>6</sub> (mm)
118.7	338.0	624.6	934.8	1221.4	1440.7

L <sub>7</sub> (mm)	g (m/s <sup>2</sup> )	m (kg)	ボルト サイズ	N (-)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
1559.4	9.80665	2440	M24	16	452.4

h (mm)
2812

表 4-6 評価条件 (吐出フード取付ボルト)

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	g (m/s <sup>2</sup> )	m (kg)	ボルト サイズ
403.2	973.4	1376.6	9.80665	1500	M16

N (-)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	h (mm)
8	201.1	1612

## 5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

吐出フード天板，ケーシング，基礎ボルト，吐出フード取付ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機ルーベントファンの強度評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
吐出フード天板	SS400	曲げ	112	241
ケーシング	SS400	圧縮	2	240
基礎ボルト	SS400	引張	16	173
		せん断	2	133
		組合せ	16	173
吐出フード取付 ボルト	SS400	引張	47	173
		せん断	6	133
		組合せ	47	173

V-3-別添 2-2-1 防護対策施設の強度計算書

## 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	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	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	10
3.4 許容限界	11
3.5 評価方法	12
4. 評価条件	16
5. 強度評価結果	17

1. 概要

本資料は、V-3-別添 2-2 「防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、中央制御室換気系冷凍機に施す防護対策施設が降下火砕物等堆積時においても、中央制御室換気系冷凍機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

防護対策施設は、V-3-別添 2-2 「防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、防護対策施設の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

防護対策施設は、V-3-別添 2-2 「防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、原子炉建屋付属棟屋上に設置する。防護対策施設の設置位置図を図 2-1 に示す。

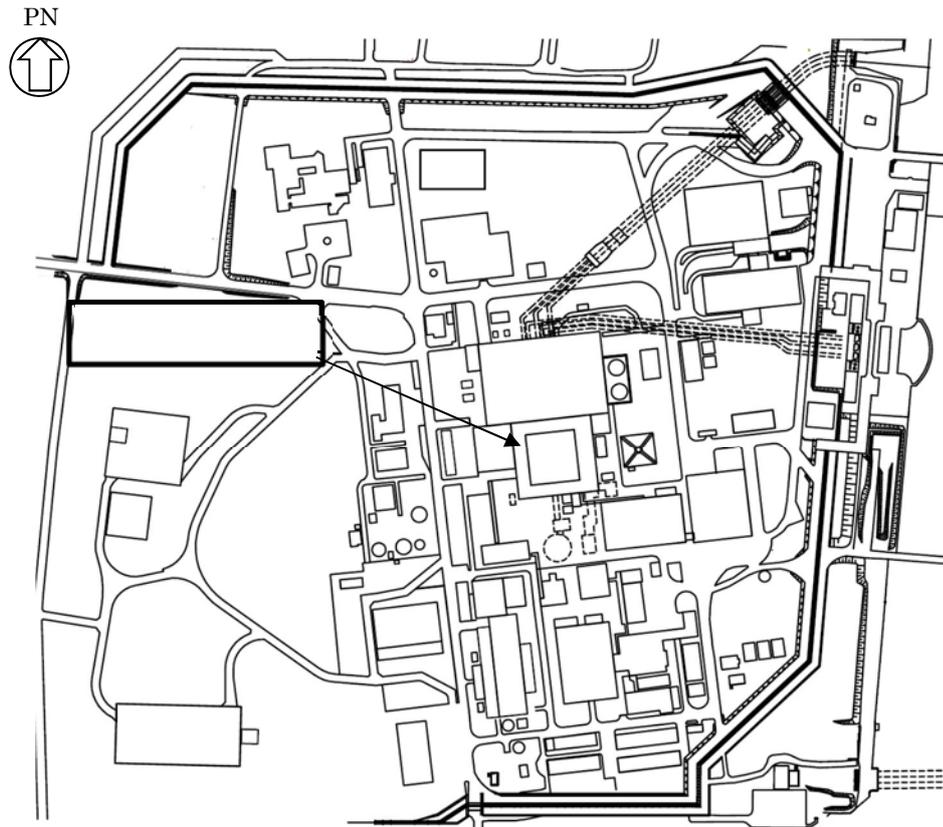
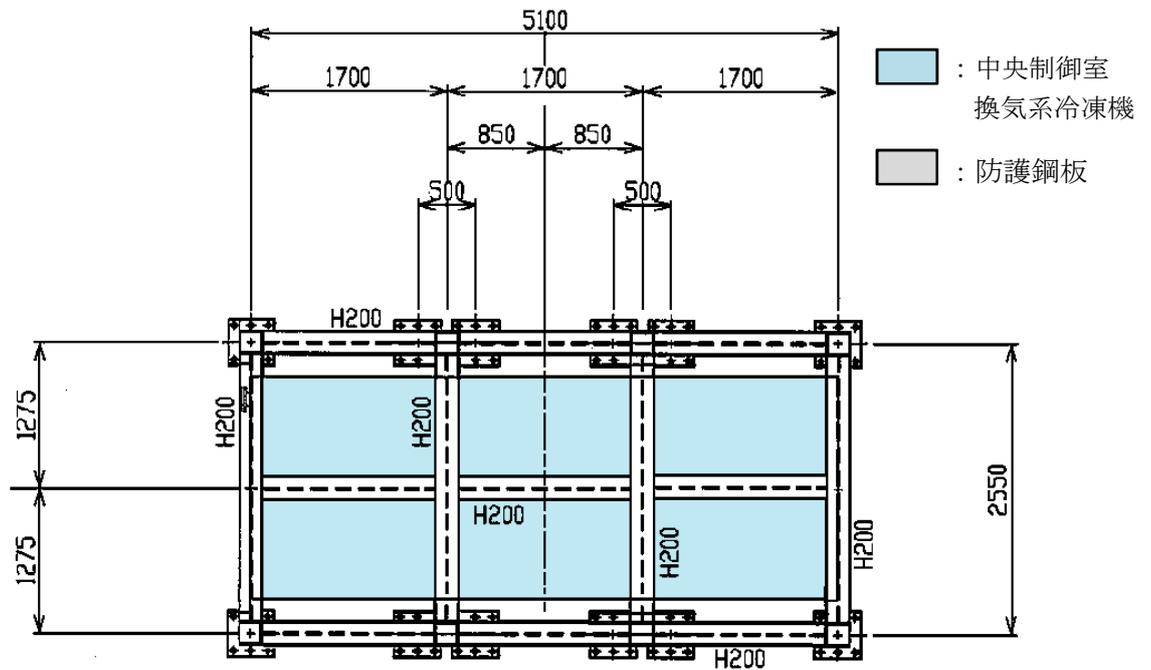


図 2-1 防護対策施設の設置位置図

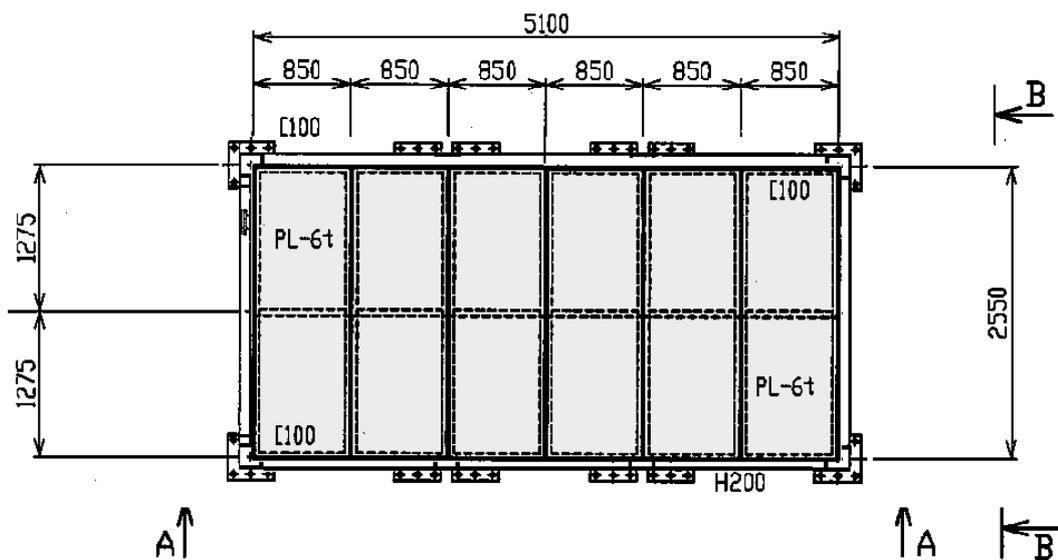
## 2.2 構造概要

防護対策設備は、V-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

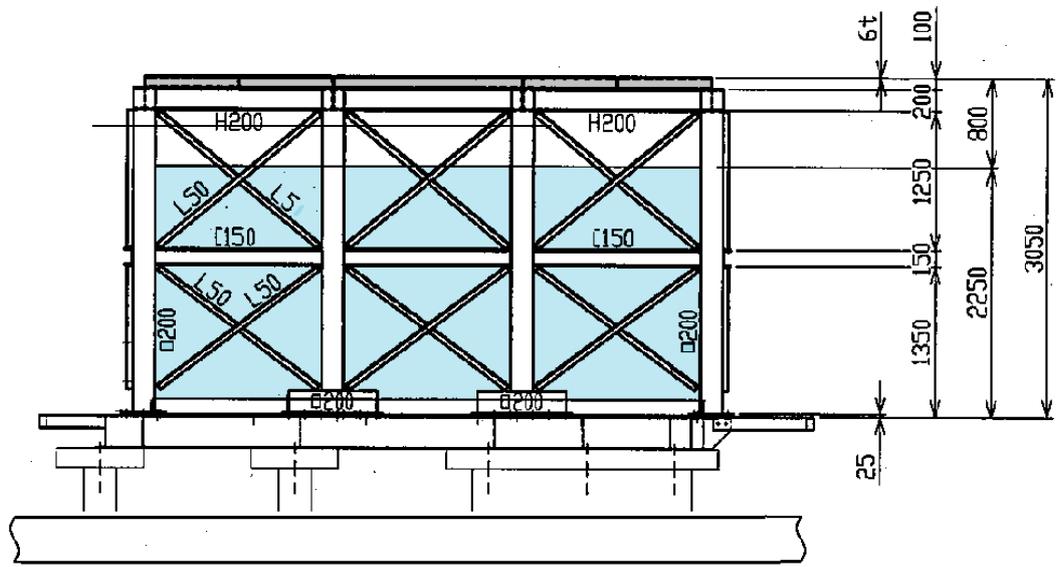
防護対策施設は、中央制御室換気系冷凍機へ降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板と、防護鋼板を支持する架構から構成される。



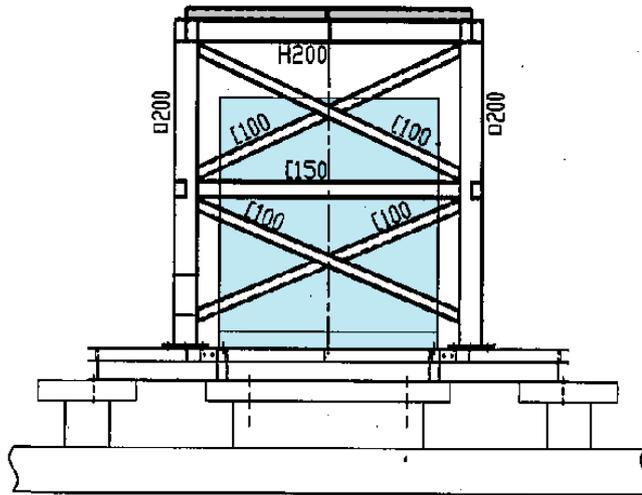
(a) 上面図 (架構のみ)



(b) 上面図 (防護鋼板含む)



(c) 側面図 (A-A 矢視)



(d) 側面図 (B-B 矢視)

図 2-2 防護対策施設の概要図

### 2.3 評価方針

防護対策施設の強度評価は、V-3-別添2-2「防護対策施設の強度計算の方針」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て、防護対策施設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。

防護対策施設の強度評価フローを図2-3に示す。防護対策施設の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重と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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、防護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。水平荷重については、架構に対し風荷重を算出し入力荷重として設定する。各構成部材について、これらの荷重を考慮した強度評価を実施する。強度評価は、V-3-別添2-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示す評価式を用いる。防護対策施設の許容限界は、V-3-別添2-2「火山への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A C 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

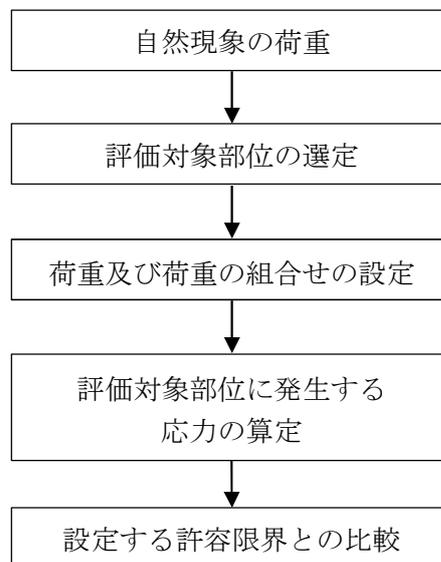


図2-3 防護対策施設の強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準，指針等を以下に示す。

- (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 J E A G 4 6 0 1-1987（（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 J E A G 4 6 0 1・捕-1984  
（（社）日本電気協会）
- (5) 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）
- (6) 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（（社）日本機械学会）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

(1) 防護鋼板の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 防護鋼板の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
$\sigma$	積雪及び降下火砕物堆積により防護鋼板に生じる曲げ応力	MPa
$a$	防護鋼板の長辺	mm
$b$	防護鋼板の短辺	mm
$h$	防護鋼板の厚さ	mm
$p$	防護鋼板に作用する等分布荷重	N/mm
$\beta$	防護鋼板の最大応力の係数	—

(2) 架構及び基礎ボルトの強度評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表 3-2 架構及び基礎ボルトの強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	定義	単位
$\sigma_a$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b1}$	自重により架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{b2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{b3}$	風荷重により架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_b$	架構に生じる組合せ曲げ応力	MPa
$\sigma_{c1}$	自重により架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{c2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{c3}$	風荷重により架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_c$	架構に生じる組合せ圧縮応力	MPa
$\sigma_{f1}$	自重により架構に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{f2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{f3}$	風荷重により架構に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_f$	架構に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{t1}$	自重により架構に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{t2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{t3}$	風荷重により架構に生じる引張応力	MPa
$\sigma_t$	架構に生じる組合せ引張応力	MPa
$\tau_1$	自重により架構に生じるせん断応力	MPa

表 3-2 架構及び基礎ボルトの強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	定義	単位
$\tau_2$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に生じるせん断応力	MPa
$\tau_3$	風荷重により架構に生じるせん断応力	MPa
$\tau$	架構に生じる組合せせん断応力	MPa
$\tau_a$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$n_a$	架構 1 箇所当たりの基礎ボルトの本数	—
$F_a$	架構に作用する最大引抜き力 (1 箇所当たり)	N
$F_{c1}$	自重により架構に作用する圧縮力	N
$F_{c2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に作用する圧縮力	N
$F_{c3}$	風荷重により架構に作用する圧縮力	N
$F_{t1}$	自重により架構に作用する引張力	N
$F_{t2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に作用する引張力	N
$F_{t3}$	風荷重により架構に作用する引張力	N
$P_{f1}$	自重により架構に作用する軸力で $F_{t1}$ 又は $F_{c1}$ のいずれか大きい方	N
$P_{f2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に作用する軸力で $F_{t2}$ 又は $F_{c2}$ のいずれか大きい方	N
$P_{f3}$	風荷重により架構に作用する軸力で $F_{t3}$ 又は $F_{c3}$ のいずれか大きい方	N
$Q_{x1}$	自重により架構に作用する x 軸方向のせん断力	N
$Q_{x2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に作用する x 軸方向のせん断力	N
$Q_{x3}$	風荷重により架構に作用する x 軸方向のせん断力	N
$Q_{y1}$	自重により架構に作用する y 軸方向のせん断力	N
$Q_{y2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に作用する y 軸方向のせん断力	N
$Q_{y3}$	風荷重により架構に作用する y 軸方向のせん断力	N
$Q_a$	架構に作用する最大せん断力 (1 箇所当たり)	N
$M_{x1}$	自重により架構に作用する x 軸まわりの曲げモーメント	N・mm
$M_{x2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に作用する x 軸まわりの曲げモーメント	N・mm
$M_{x3}$	風荷重により架構に作用する x 軸まわりの曲げモーメント	N・mm
$M_{y1}$	自重により架構に作用する y 軸まわりの曲げモーメント	N・mm
$M_{y2}$	積雪及び降下火砕物堆積により架構に作用する y 軸まわりの曲げモーメント	N・mm
$M_{y3}$	風荷重により架構に作用する y 軸まわりの曲げモーメント	N・mm

表 3-2 架構及び基礎ボルトの強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	定義	単位
$A_a$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$A$	架構の断面積	$\text{mm}^2$
$A_1$	降下火砕物の堆積面積	$\text{mm}^2$
$A_2$	受圧面積 (風向きに垂直な面に投影した面積)	$\text{m}^2$
$A_x$	架構の x 軸方向のせん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_y$	架構の y 軸方向のせん断断面積	$\text{mm}^2$
$C$	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数	—
$E'$	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値	—
$E_r$	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す係数	—
$F_v$	降下火砕物等堆積による鉛直荷重	N
$F_v'$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重	$\text{N}/\text{mm}^2$
$G$	ガスト影響係数	—
$q$	設計用速度圧	$\text{N}/\text{m}^2$
$V_D$	基準風速	$\text{m}/\text{s}$
$W_b$	風荷重による複合荷重	N
$Z_b$	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値	M
$Z_G$	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値	m
$Z_x$	架構の x 軸まわりの断面係数	$\text{mm}^3$
$Z_y$	架構の y 軸まわりの断面係数	$\text{mm}^3$

### 3.2 評価対象部位

防護対策施設の評価対象部位はV-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、防護鋼板、架構及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮して設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、降下火砕物が堆積する防護鋼板に作用し、架構及び基礎ボルトを介して床面に伝達する。また、風荷重については、架構に作用し、基礎ボルトを介して床面に伝達する。

このことから、防護鋼板、架構及び基礎ボルトを評価対象部位として選定している。防護対策施設の強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

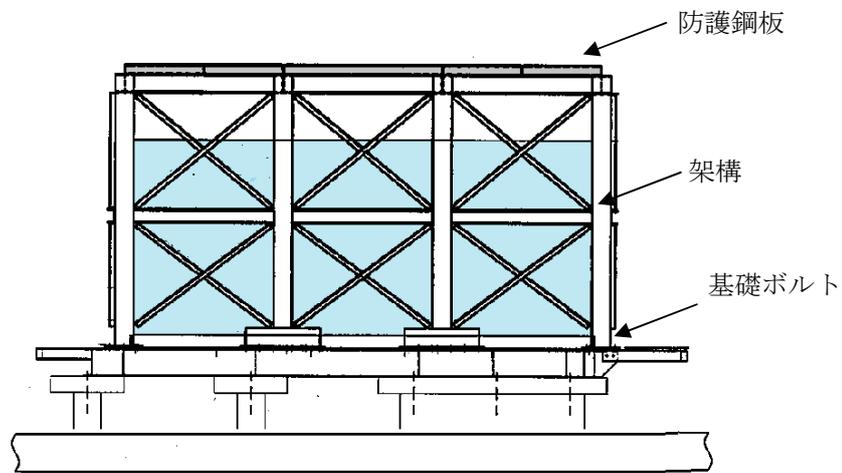


図 3-1 防護対象施設の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 2-2「防護対策施設の強度評価の方針」の「3.1 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。

#### (1) 荷重の設定

防護対策施設の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重としては、自重を考慮する。

##### b. 降下火砕物等堆積による荷重 ( $F_v$ )

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は 75655 N/m<sup>2</sup> とする。

##### c. 風荷重 ( $W$ )

風荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風荷重 $W$ はV-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高 $H$ が 5m以下であるため、 $H_s$ が $Z_b$ 超える場合の式を用いる。

$$W_b = q \cdot C \cdot A_2$$

ここで

$$A = H_s \cdot D。$$

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

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

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha$$

##### 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

強度評価に用いる荷重の組合せは、防護対策施設の評価対象部位ごとに設定する。

防護対策施設の防護鋼板には、自重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重が作用する。また、水平方向の風荷重が作用すると、防護鋼板に対し、鉛直上向き荷重が働き、鉛直した下向き荷重が低減されるため、保守的に風荷重は考慮しない。

架構には、自重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重並びに風荷重による荷重が作用する。

防護対策施設の評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設分類	評価対象部位	荷重
防護対策施設	防護鋼板	①自重 ②降下火砕物等堆積による荷重
	架構	①自重 ②降下火砕物等堆積による荷重 ③風荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による荷重 ③風荷重

### 3.4 許容限界

防護対策施設は、V-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」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」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4601に基づき許容応力状態ⅢA Sの許容応力を用いる。

防護対策施設の許容限界は、J E A G 4601を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される機能を維持できるように弾性設計よするため、許容応力状態ⅢA Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4601に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

防護対策施設の許容限界について、表 3-3 及び表 3-4 に示す。

表 3-3 防護鋼板及び架構の許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
		一次応力	曲げ	
防護鋼板	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	曲げ	$S_y$
架構	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	組合せ	$1.5 f_t$
基礎ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5 f_t$
		一次応力	せん断	$1.5 f_s$

### 3.5 評価方法

防護対策施設の応力評価は、V-3-別添 2-2「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

架構は、FEM解析による評価を行う。FEM解析に使用するコードは「ABAQUS Ver. 6.4-4」（以下「ABAQUS」という。）である。なお、解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、付録「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### (1) 荷重条件

##### a. 鉛直方向荷重

##### (a) 降下火砕物堆積等による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_1$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-2 に示す。堆積面積は防護鋼板の面積とする。

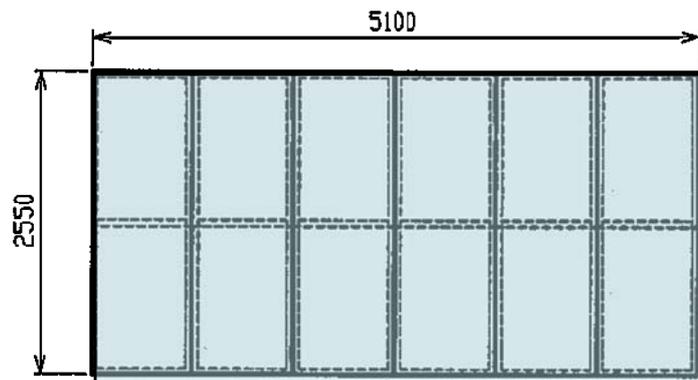


図 3-2 降下火砕物の堆積面積図

##### b. 応力評価

##### (a) 防護鋼板に生じる曲げ応力

鉛直荷重により防護鋼板に作用する曲げ応力  $\sigma$  は次による。

$$\sigma = \beta \cdot \frac{p \cdot b^2}{h}$$

## (b) 架構に生じる応力

イ. 自重による応力

(イ) 引張応力

$$\sigma_{t1} = \frac{F_{t1}}{A}$$

(ロ) 圧縮応力

$$\sigma_{c1} = \frac{F_{c1}}{A}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau_1 = \sqrt{\left(\frac{Q_{x1}}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{Q_{y1}}{A_y}\right)^2}$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = \frac{M_{x1}}{Z_x} + \frac{M_{y1}}{Z_y}$$

(ホ) 軸力、曲げモーメント及びせん断力による組合せ応力

$$\sigma_{f1} = \sqrt{\left(\frac{P_{f1}}{A} + \frac{M_{x1}}{Z_x} + \frac{M_{y1}}{Z_y}\right)^2 + 3 \cdot \left\{ \left(\frac{Q_{x1}}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{Q_{y1}}{A_y}\right)^2 \right\}}$$

ここで、 $P_{f1}$ は $F_{t1}$ 又は $F_{c1}$ のいずれか大きい方とする。

ロ. 積雪及び降下火砕物堆積による応力

(イ) 引張応力

$$\sigma_{t2} = \frac{F_{t2}}{A}$$

(ロ) 圧縮応力

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{A}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau_2 = \sqrt{\left(\frac{Q_{x2}}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{Q_{y2}}{A_y}\right)^2}$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{M_{x2}}{Z_x} + \frac{M_{y2}}{Z_y}$$

(ホ) 軸力、曲げモーメント及びせん断力による組合せ応力

$$\sigma_{f2} = \sqrt{\left(\frac{P_{f2}}{A} + \frac{M_{x2}}{Z_x} + \frac{M_{y2}}{Z_y}\right)^2 + 3 \cdot \left\{ \left(\frac{Q_{x2}}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{Q_{y2}}{A_y}\right)^2 \right\}}$$

ここで、 $P_{f1}$ は $F_{t2}$ 又は $F_{c2}$ のいずれか大きい方とする。

ハ. 風荷重による応力

(イ) 引張応力

$$\sigma_{t3} = \frac{F_{t3}}{A}$$

(ロ) 圧縮応力

$$\sigma_{c3} = \frac{F_{c3}}{A}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau_3 = \sqrt{\left(\frac{Q_{x3}}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{Q_{y3}}{A_y}\right)^2}$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_{b3} = \frac{M_{x3}}{Z_x} + \frac{M_{y3}}{Z_y}$$

(ホ) 軸力、曲げモーメント及びせん断力による組合せ応力

$$\sigma_{f3} = \sqrt{\left(\frac{P_{f3}}{A} + \frac{M_{x3}}{Z_x} + \frac{M_{y3}}{Z_y}\right)^2 + 3 \cdot \left\{ \left(\frac{Q_{x3}}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{Q_{y3}}{A_y}\right)^2 \right\}}$$

ここで、 $P_{f1}$ は $F_{t3}$ 又は $F_{c33}$ のいずれか大きい方とする。

二. 荷重の組合せによる応力

イ.～ハ.によって算出した架構の応力を次式により組合せる。

(イ) 組合せ引張応力

$$\sigma_t = \sigma_{t1} + \sigma_{t2} + \sigma_{t3}$$

(ロ) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_c = \sigma_{c1} + \sigma_{c2} + \sigma_{c3}$$

(ハ) 組合せせん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_{x1} + Q_{x2} + Q_{x3}}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{Q_{y1} + Q_{y2} + Q_{y3}}{A_y}\right)^2}$$

(ニ) 組合せ曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{b1} + \sigma_{b2} + \sigma_{b3}$$

(c) 基礎ボルト

イ. 引張応力

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_a \times N_a}$$

ロ. せん断応力

$$\tau_a = \frac{Q_a}{A_a \times N_a}$$

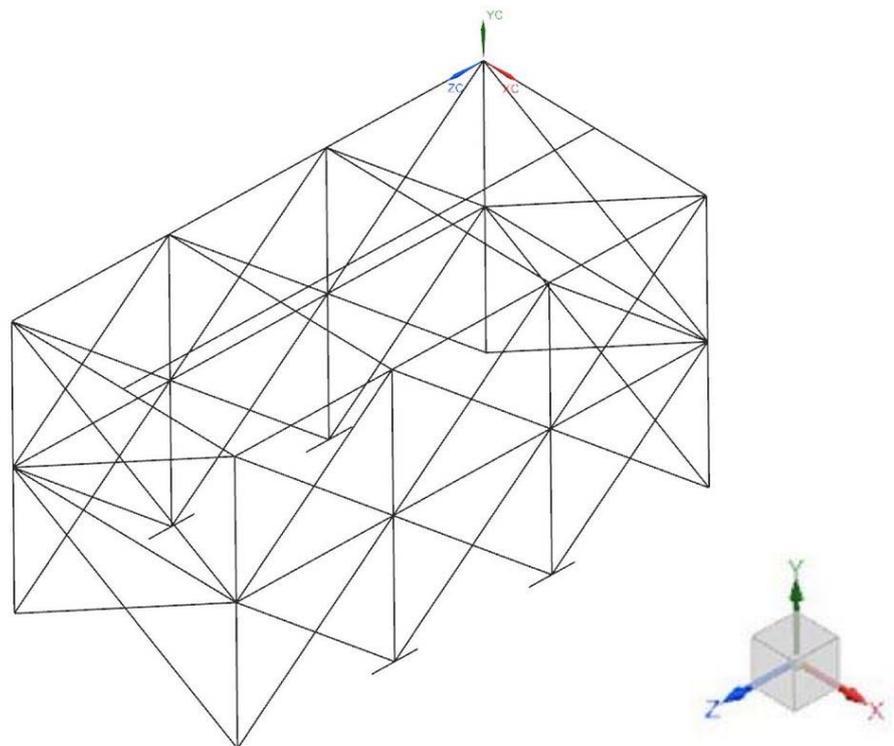


図 3-3 架構の応力計算モデル

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

評価対象 部位	材料	環境 条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
防護鋼板	SS400	50*	241	—	—	—	—
架構	SS400	50*	241	394	241	241	—
基礎 ボルト	SS400	50*	231	394	241	207	159

注記 \* : 周囲環境温度

表 4-2 評価条件 (防護鋼板)

$\beta'$ (—)	p (N/mm <sup>2</sup> )	b (mm)	h (mm)
0.75	$8.027 \times 10^{-3}$	850	6

表 4-3 評価条件 (架構)

部材	A (mm)	Z <sub>x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	A <sub>x</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )
□-200×200×9	6667	$3.99 \times 10^5$	$3.99 \times 10^5$	2952	2952
H-200×200×8×12	6353	$4.72 \times 10^5$	$1.60 \times 10^5$	4800	1408
[-150×75×6.5×10	2371	$1.15 \times 10^5$	$2.24 \times 10^4$	1361	806

表 4-4 評価条件 (基礎ボルト)

ボルトサイズ	$N_a$ (—)	$A_a$ (mm <sup>2</sup> )
M24	6	452.4

5. 強度評価結果

強度評価結果を表 5-1, 表 5-2, 表 5-3 に示す。

評価結果は速報値のため、数値確定に伴って変更の可能性があります。

表 5-1 評価結果 (防護鋼板)

応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	121	241

表 5-2 評価結果 (架構)

応力	最大発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
組合せ	25	241

表 5-3 評価結果 (基礎ボルト)

応力	最大発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	25	207
せん断	8	159