

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 12
提出年月日	平成 30 年 6 月 15 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 2-1-2 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

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	13
5. 強度評価結果	15

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ストレーナが降下火砕物等堆積時においても、**海水中の固形物を除去する機能**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ストレーナは、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ストレーナの「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ストレーナは、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。

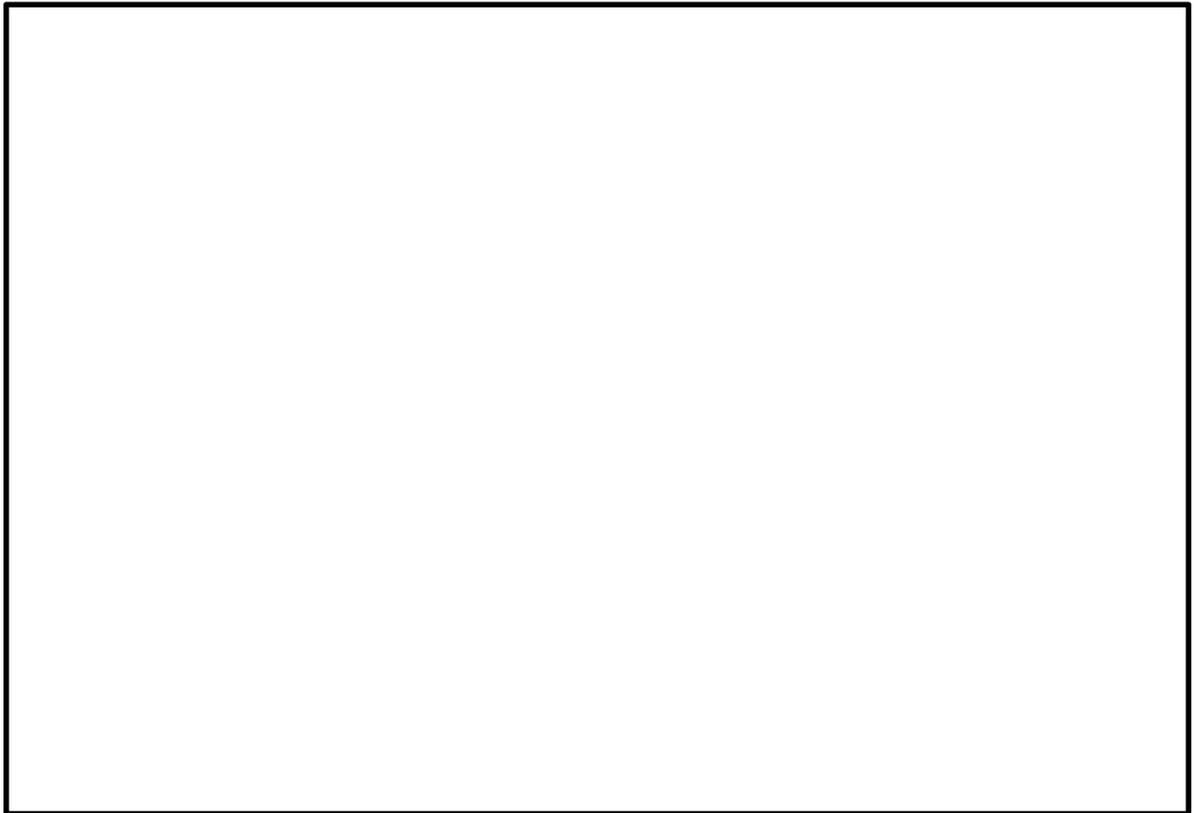


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

残留熱除去系海水系ストレーナは、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ストレーナは、胴板と支持脚が鋳物一体となった構造であり、基礎ボルトで固定されている。また、ストレーナの上部開口には蓋が設置されている。

同一設計の残留熱除去系海水系ストレーナを2台設置している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のストレーナの概要図を図2-2に示す。また、降下火砕物等が残留熱除去系海水系ストレーナに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-3に示す。

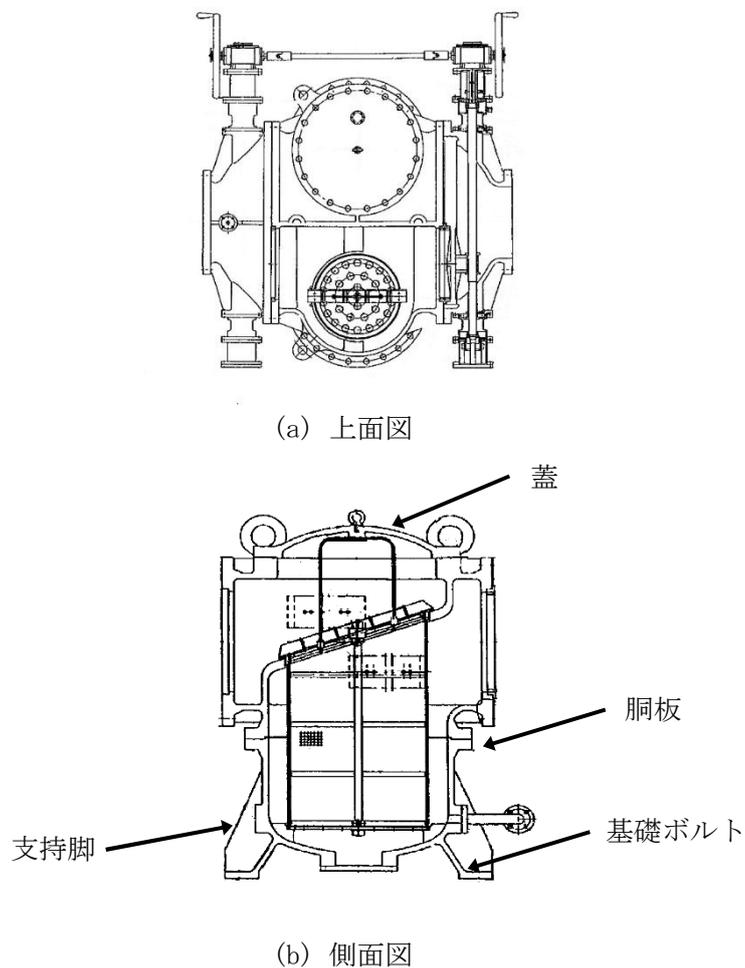
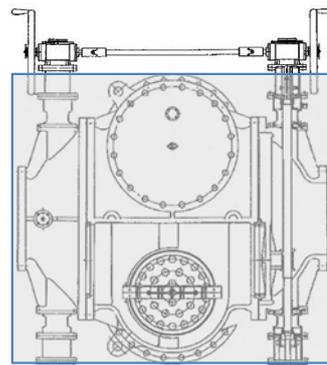


図 2-2 残留熱除去系海水系ストレーナの概要図



: 降下火砕物等の堆積面積*

注記 * : 保守的に基礎部面積分の降下火砕物がストレーナに堆積すると仮定し鉛直荷重を算出

図 2-3 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ストレーナの強度評価は、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、ストレーナ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ストレーナの強度評価フローを図2-4に示す。残留熱除去系海水系ストレーナ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、ストレーナ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 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。）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」に示すたて置円筒形容器の評価式を用いる。残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、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、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

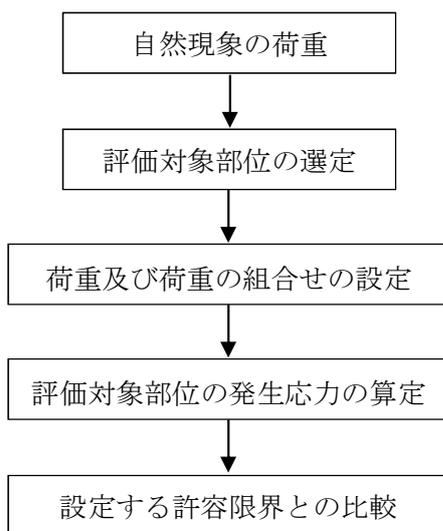


図2-4 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フロー

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

残留熱除去系海水系ストレーナ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ストレーナの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A ₁	m ²	降下火砕物等の堆積面積
A _b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
a	mm	蓋の外半径
B _{x1}	mm	支持脚の寸法
B _{x2}	mm	支持脚の寸法
B _{y1}	mm	支持脚の寸法
B _{y2}	mm	支持脚の寸法
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
D _o	mm	ストレーナ幅（全幅）
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	基礎ボルトに対する引張力
F _d	N	ストレーナ自重による荷重
F _v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F _p	N	内包水の荷重
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	支持脚に常時作用するストレーナ自重及び内包水の荷重
H _s	mm	ストレーナ高さ（全高）
h	mm	蓋の板厚
h _g	mm	ストレーナ重心高さ

表 3-1 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	—	基礎ボルトの本数
n_f	—	引張力を受ける基礎ボルトの本数
p	N/mm^2	蓋に作用する等分布荷重
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S	mm^2	支持脚の断面積
S_y	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張り強さ
V_d	m/s	基準風速
W	N	風荷重
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
π	—	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記 * : 有効運転質量は、容器の満水時における質量とする。

3.2 評価対象部位

残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位は、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、支持脚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ストレーナ上部の蓋、蓋等のストレーナ上部を介して鋳物一体成型の胴板及び支持脚に作用する。風荷重については、**胴板及び胴板一体の支持脚を介して基礎ボルトに作用する。**

このことから、降下火砕物が堆積する蓋及び蓋等のストレーナ上部を介して荷重が作用する胴板及び支持脚のうち、断面積が小さいため発生応力が大きくなる支持脚を降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対する評価対象部位として選定する。また、**風荷重により発生する応力は、支持断面積の小さい箇所が厳しくなることから、支持断面積の小さい**残留熱除去系海水系ストレーナの基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

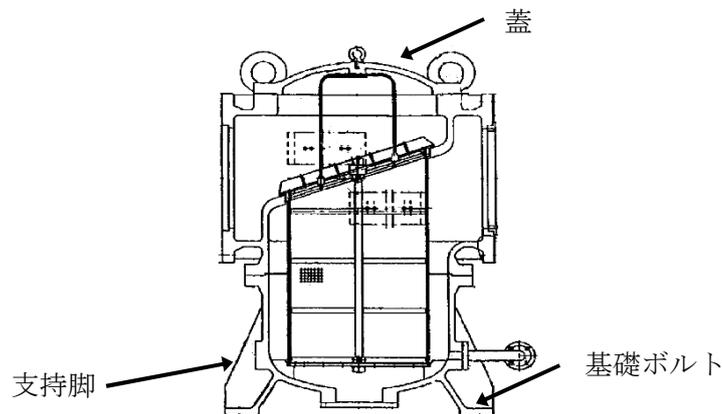


図 3-1 残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位

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ストレーナ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/m²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_sが5 m以下であるため、H_sがZ_b以下の場合の式を用いる。

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

ここで

$$A = H_s \cdot D_o$$

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

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

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

d. 運転時の状態で作用する荷重 (F_p)

運転時の状態で作用する荷重として、自重に内包水の荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

残留熱除去系海水系ストレーナの蓋及び支持脚には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。また、基礎ボルトには、自重、降下火砕物等体積による鉛直荷重、風荷重による荷重が作用する。

残留熱除去系海水系ストレーナ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 ストレーナ	蓋 支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	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

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、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_ASの許容応力を用いる。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、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_AS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ストレーナの許容限界について、蓋の許容限界を表 3-3、支持脚の許容限界を表 3-4、基礎ボルトの許容限界を表 3-5 に示す。

表 3-3 残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界 (蓋)

状態	許容限界
	曲げ
許容応力状態Ⅲ _A S	S_y

表 3-4 残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界 (支持脚)

状態	許容限界
	圧縮
許容応力状態Ⅲ _A S	$1.5 f_c^*$

* : 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

表 3-5 残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界 (基礎ボルト)

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
基礎ボルト	Ⅲ _A S	一次応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{ 1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau) \}$

3.5 評価方法

残留熱除去系海水ストレーナの応力評価は、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」にて設定している残留熱除去系海水ストレーナの評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 蓋に対する応力評価

ストレーナの蓋は、平板円板モデルとし評価を行う。なお、ストレーナの蓋はドーム型円板であるが、平板円板では鉛直荷重全てが平板円板に対する曲げ荷重として作用するのに対し、ドーム型円板では鉛直荷重の一部は径方向への部材に対する圧縮として作用し、曲げ荷重が緩和されるので、平板円板モデルとして評価するのは保守的である。

b. 支持脚に対する応力評価

(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 3-2 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物がストレーナに堆積すると仮定し、堆積面積を基礎部面積とする。

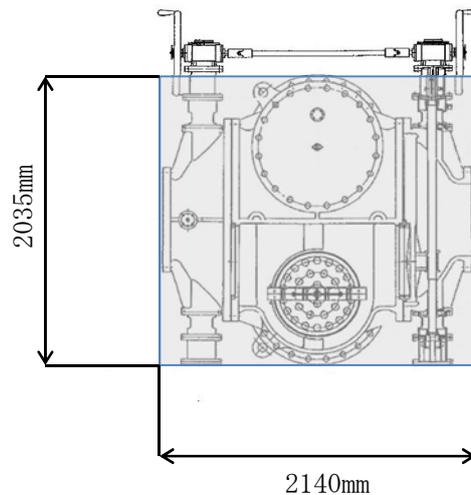


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

(b) 支持脚に常時作用するストレーナ自重による軸方向荷重

$$H = F_d$$

ここで、

$$F_d = m \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 蓋に生じる曲げ応力

鉛直荷重により蓋に作用する最大曲げ応力 σ_{max} は次による。

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

(b) 支持脚に生じる圧縮応力

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

ここで

$$S = \left\{ (B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2) + (B_{x2} \cdot B_{y2}) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 3-3 に示す。

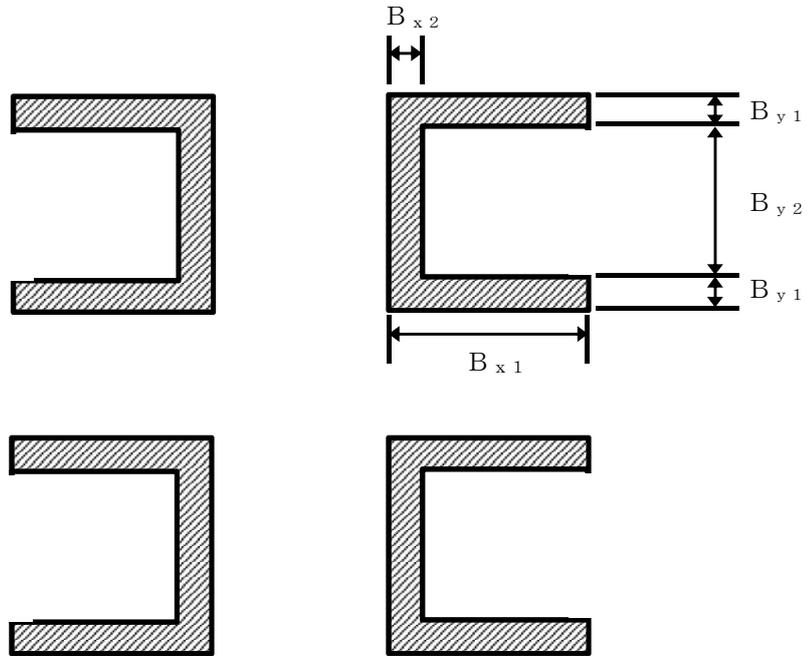


図 3-3 支持脚の断面図

c. 基礎ボルトに対する許容応力評価

(a) 計算モデル

降下火砕物等堆積による鉛直荷重、自重（鉛直荷重）並びに風荷重（水平荷重）に対する、基礎ボルトの構造健全性を1質点系モデルとして計算を行う。ここで、荷重の作用点は評価上高さの1/2より高いストレーナの重心位置とする。残留熱除去系海水系ストレーナのモデル図を図3-4に示す。

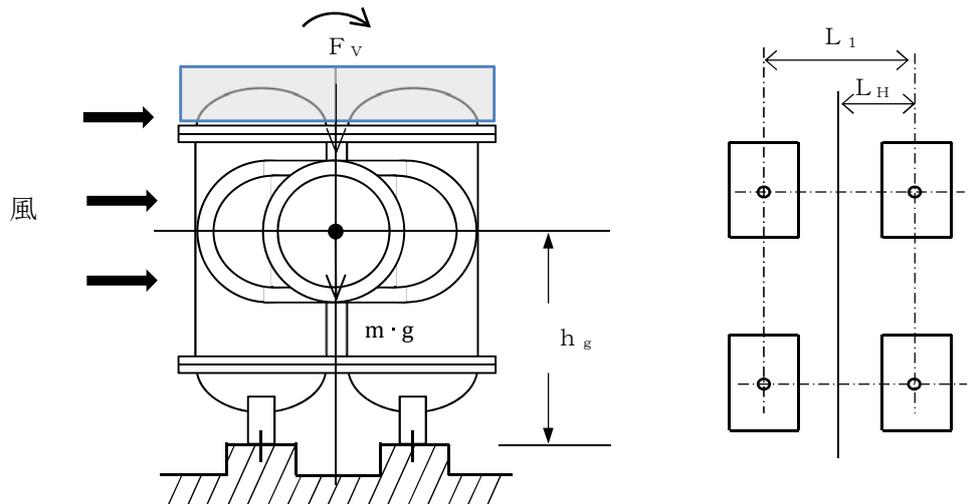


図3-4 残留熱除去系海水系ストレーナモデル図

(b) 計算方法

イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図3-4で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(イ) 引張力

$$F_b = \frac{W \cdot h_g + (m \cdot g + F_v) L_H}{n_f \cdot L_1}$$

ここで、

$$F_v = F_v' \cdot A_1$$

(ロ) 引張応力

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

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(イ) せん断力

$$Q_b = W$$

(ロ) 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～表 4-4 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件(残留熱除去系海水系ストレーナ)

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 _c (MPa)
蓋, 支持脚	SCS14	50*	180	429	185	—	—	184
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 (風荷重)

q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A (m ²)
960	2.2	2.4	3.76

表 4-3 評価条件 (蓋)

p (N/mm ²)	a (mm)	h (mm)
0.0115	460	28

表 4-4 評価条件(支持脚及び基礎ボルト)

g (m/s^2)	F_v' (N/m^2)	A_1 (m^2)	B_{x1} (mm)	B_{x2} (mm)	B_{y1} (mm)	B_{y2} (mm)
9.80665	7565	4.35	150	25	25	174

L_H (mm)	L_1 (mm)	D_o (mm)	H_s (mm)	m (kg)
515	1030	2140	1755	9850

ボルト サイズ	N (-)	n_f (-)	A_b (mm^2)	h_g (mm)	W (N)
M30	4	2	706.9	1188	8650

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、表 5-2 及び表 5-3 に示す。

支持脚及び基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 残留熱除去系海水系ストレーナの評価結果（蓋）

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
蓋	SCS14	曲げ	4	180

表 5-2 残留熱除去系海水系ストレーナの評価結果（支持脚）

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
支持脚	SCS14	圧縮	3	184

表 5-3 残留熱除去系海水系ストレーナの評価結果（基礎ボルト）

応力分類	風荷重Wによる応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	53	173
せん断	4	133
組合せ	53	173

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

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	13
5. 強度評価結果	15

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ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「ディーゼル発電機用海水ストレーナ」という。）が降下火砕物等堆積時においても、**海水中の固形物を除去する**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ストレーナは、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ストレーナの「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ストレーナは、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。

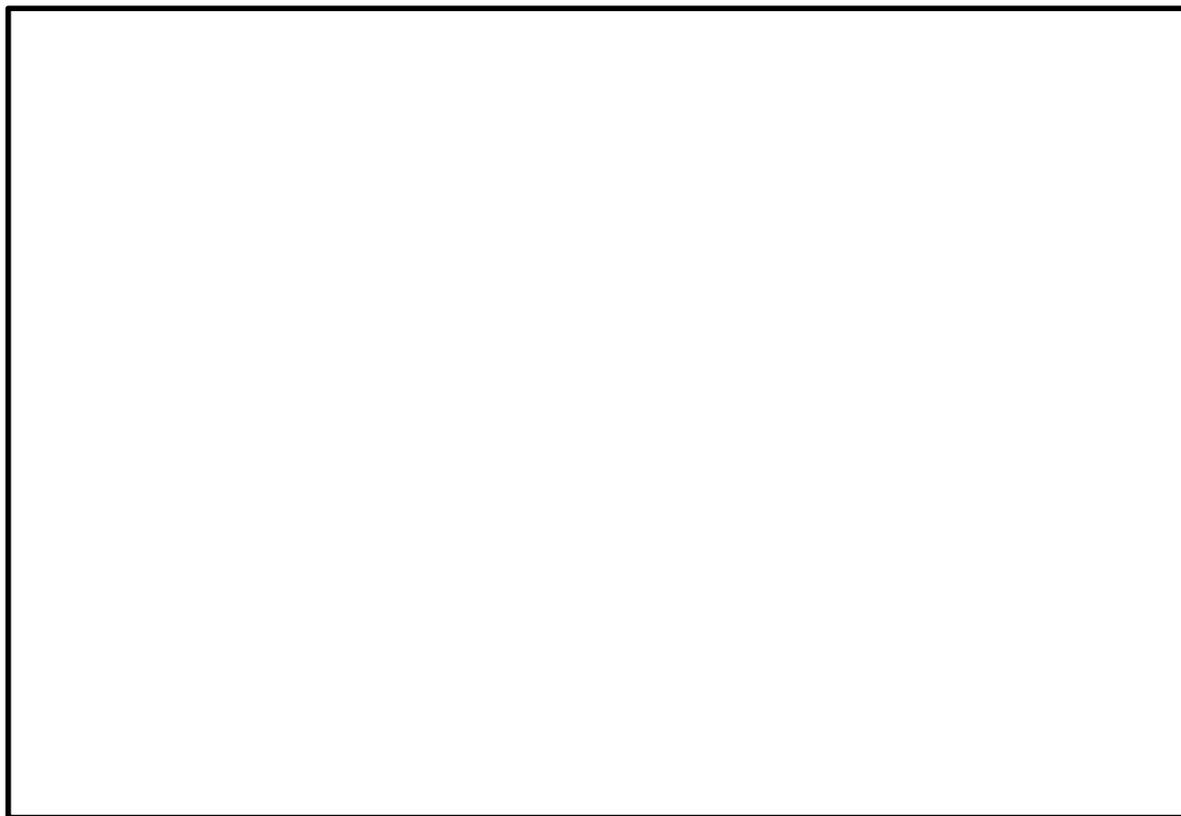


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機用海水ストレーナは、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ストレーナは、胴板と支持脚が鋳物一体となった構造であり、基礎ボルトで固定されている。また、ストレーナ上部開口部には蓋が設置されている。

同一設計のディーゼル発電機用海水ストレーナを3台設置している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のストレーナの概要図を図2-2に示す。また、降下火砕物等がディーゼル発電機用海水ストレーナに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-3に示す。

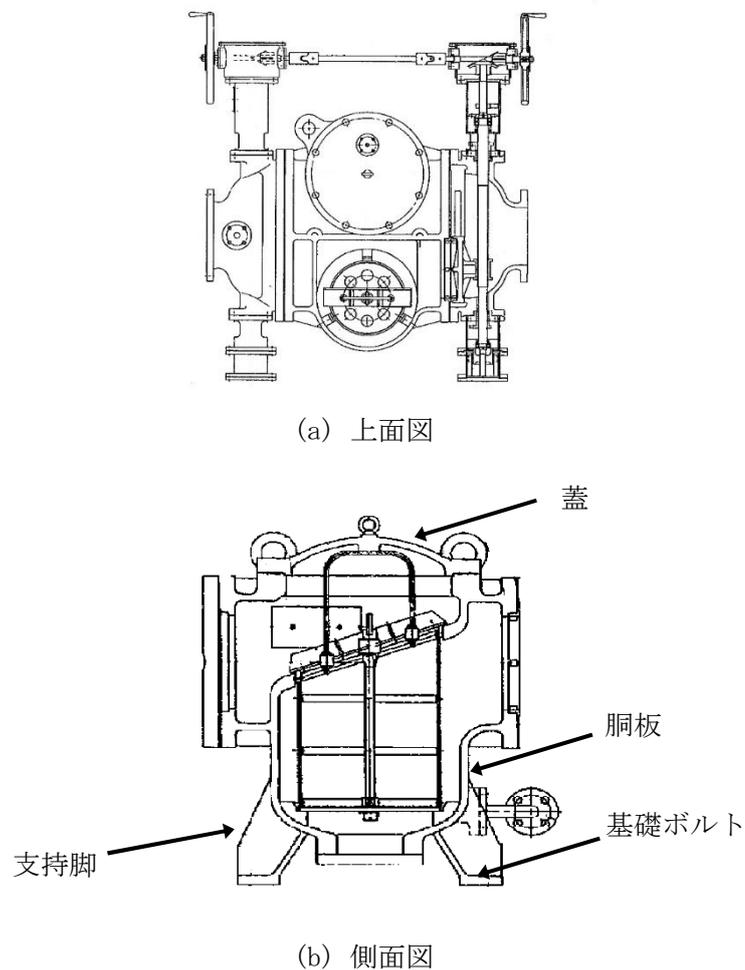
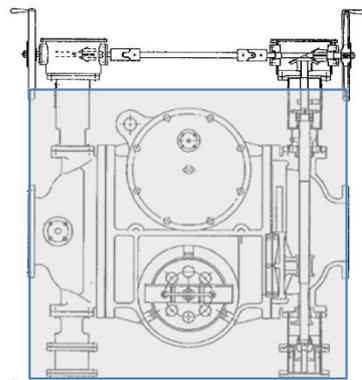


図 2-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図



□ : 降下火砕物等の堆積面積*

注記 * : 保守的に基礎部面積分の降下火砕物がストレーナに堆積すると仮定し鉛直荷重を算出

図 2-3 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ストレーナの強度評価は、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、ストレーナ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ストレーナの強度評価フローを図2-4に示す。ディーゼル発電機用海水ストレーナ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、ストレーナ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 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。）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」に示すたて置円筒形容器の評価式を用いる。残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、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、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

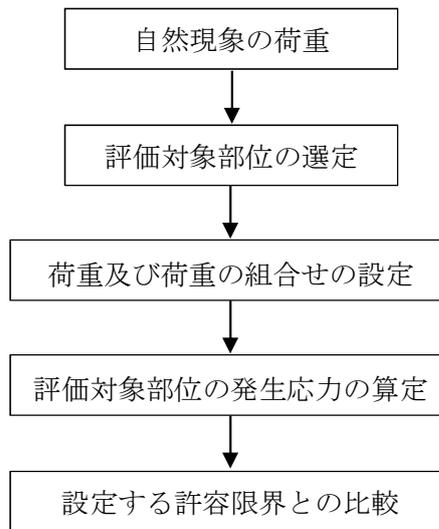


図2-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フロー

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

ディーゼル発電機用海水ストレーナ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ストレーナの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A ₁	m ²	降下火砕物等の堆積面積
A _b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
a	mm	蓋の外半径
B _{x1}	mm	支持脚の寸法
B _{x2}	mm	支持脚の寸法
B _{y1}	mm	支持脚の寸法
B _{y2}	mm	支持脚の寸法
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
D _o	mm	ストレーナ幅（全幅）
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	基礎ボルトに対する引張力
F _d	N	ストレーナ自重による荷重
F _v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F _p	N	内包水の荷重
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	支持脚に常時作用するストレーナ自重及び内包水の荷重
H _s	mm	ストレーナ高さ（全高）
h	mm	蓋の板厚
h _g	mm	ストレーナ重心高さ

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L_1	mm	基礎ボルト間の水平距離
L_H	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量*
N	—	基礎ボルトの本数
n_f	—	引張力を受ける基礎ボルトの本数
p	N/mm^2	蓋に作用する等分布荷重
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m^2	設計用速度圧
S	mm^2	支持脚の断面積
S_y	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張り強さ
V_d	m/s	基準風速
W	N	風荷重
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
π	—	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記 * : 有効運転質量は、容器の満水時における質量とする。

3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位は、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、支持脚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ストレーナ上部の蓋、蓋等のストレーナ上部を介して鋳物一体成型の胴板及び支持脚に作用する。風荷重については、**胴板及び胴板一体の支持脚を介して基礎ボルトに作用する。**

このことから、降下火砕物が堆積する蓋及び蓋等のストレーナ上部を介して荷重が作用する胴板及び支持脚のうち、断面積が小さい**ため発生応力が大きくなる**支持脚を降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対する評価対象部位として選定する。また、**風荷重により発生する応力は、支持断面積の小さい箇所が厳しくなることから、支持断面積の小さい**ディーゼル発電機用海水ストレーナの基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

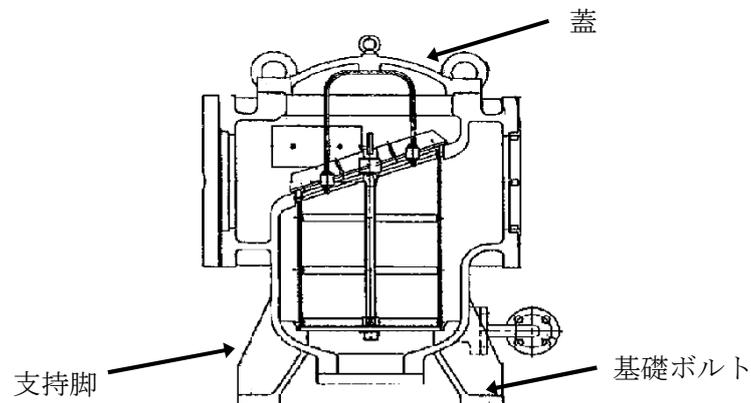


図 3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価部位

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ストレーナ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/m²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_sが5 m以下であるため、H_sがZ_b以下の場合の式を用いる。

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

ここで

$$A = H_s \cdot D_o$$

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

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

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

d. 運転時の状態で作用する荷重 (F_p)

運転時の状態で作用する荷重として、自重に内包水の荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

ディーゼル発電機用海水ストレーナの蓋及び支持脚には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。また、基礎ボルトには、自重、降下火砕物等体積による鉛直荷重、風荷重による荷重が作用する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナ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 海水ストレーナ	蓋 支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	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

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、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_AS の許容応力を用いる。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、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_AS 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ストレーナの許容限界について、蓋の許容限界を表 3-3、支持脚の許容限界を表 3-4、基礎ボルトの許容限界を表 3-5 に示す。

表 3-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界 (蓋)

状態	許容限界
	曲げ
許容応力状態Ⅲ _A S	S_y

表 3-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界 (支持脚)

状態	許容限界
	圧縮
許容応力状態Ⅲ _A S	$1.5 f_c^*$

* : 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

表 3-5 ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界 (基礎ボルト)

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
基礎ボルト	Ⅲ _A S	一次応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{ 1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau) \}$

3.5 評価方法

ディーゼル発電機用海水ストレーナの応力評価は、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ストレーナの評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 蓋に対する応力評価

ストレーナの蓋は、平板円板モデル*とし評価を行う。なお、ストレーナの蓋はドーム型円板であるが、平板円板では鉛直荷重全てが平板円板に対する曲げ荷重として作用するのに対し、ドーム型円板では鉛直荷重の一部は径方向への部材に対する圧縮として作用し、曲げ荷重が緩和されるので、平板円板モデルとして評価するのは保守的である。

b. 支持脚に対する許容応力評価

(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 3-2 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物がストレーナに堆積すると仮定し、堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

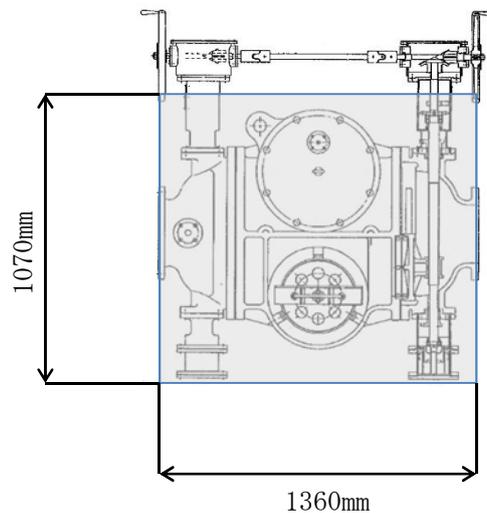


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

(b) 支持脚に常時作用するストレーナ自重による軸方向荷重

$$H = F_d$$

ここで

$$F_d = m \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 蓋に生じる曲げ応力

鉛直荷重により蓋に作用する最大曲げ応力 σ_{max} は次による。

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

(b) 支持脚に生じる圧縮応力

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

ここで

$$S = \left\{ (B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2) + (B_{x2} \cdot B_{y2}) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 3-3 に示す。

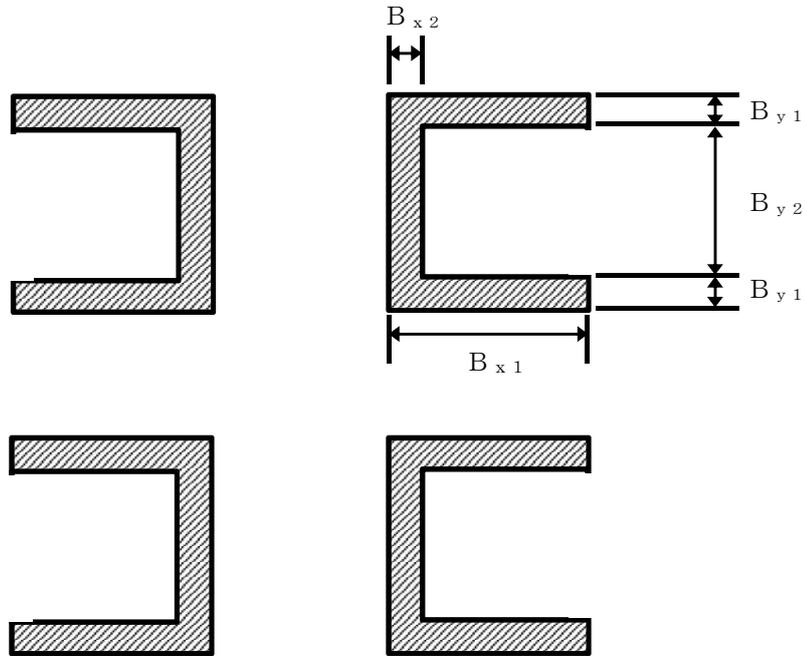


図 3-3 支持脚の断面図

c. 基礎ボルトに対する許容応力評価

(a) 計算モデル

降下火砕物等堆積による鉛直荷重、自重（鉛直荷重）並びに風荷重（水平荷重）に対する、基礎ボルトの構造健全性を1質点系モデルとして計算を行う。ここで、荷重の作用点は評価上高さの1/2より高いストレーナの重心位置とする。ディーゼル発電機用海水ストレーナのモデル図を図3-4に示す。

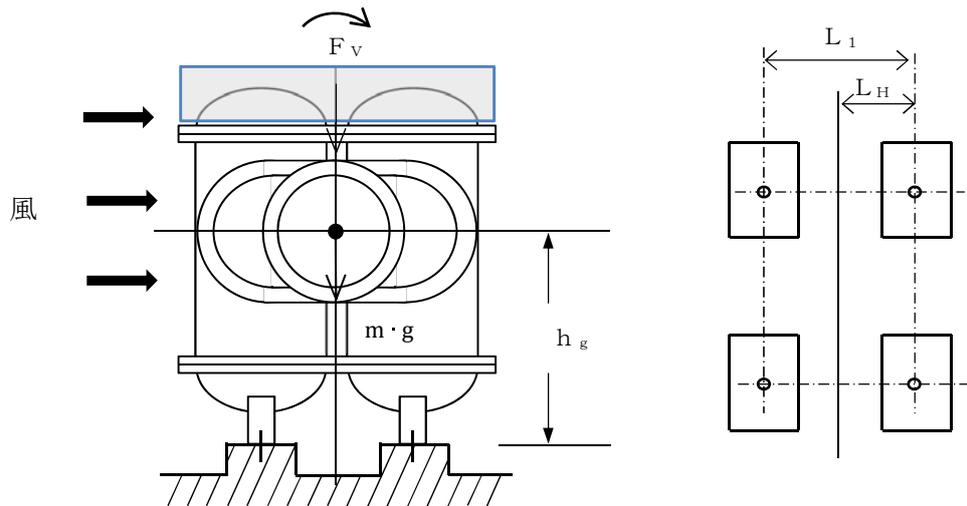


図3-4 残留熱除去系海水系ストレーナモデル図

(b) 計算方法

イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図3-4で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(イ) 引張力

$$F_b = \frac{W \cdot h_g + (m \cdot g + F_v) L_H}{n_f \cdot L_1}$$

ここで、

$$F_v = F_v' \cdot A_1$$

(ロ) 引張応力

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

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(イ) せん断力

$$Q_b = W$$

(ロ) 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～表 4-4 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件(ディーゼル発電機用海水ストレーナ)

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 _c (MPa)
蓋, 支持脚	SCS14	50*	180	429	185	—	—	184
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 (風荷重)

q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A (m ²)
960	2.2	2.4	1.29

表 4-3 評価条件 (蓋)

p (N/mm ²)	a (mm)	h (mm)
0.0115	460	28

表 4-4 評価条件(支持脚及び基礎ボルト)

g (m/s^2)	F_v' (N/m^2)	A_1 (m^2)	B_{x1} (mm)	B_{x2} (mm)	B_{y1} (mm)	B_{y2} (mm)
9.80665	7565	1.46	100	15	15	95

L_H (mm)	L_1 (mm)	D_o (mm)	H_s (mm)	m (kg)
270	540	1360	945	2050

ボルト サイズ	N (-)	n_f (-)	A_b (mm^2)	h (mm)	W (N)
M20	4	2	314.2	600	2960

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, 表 5-2 及び表 5-3 に示す。

支持脚及び基礎ボルトに発生する応力は, 許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価結果 (蓋)

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
蓋	SCS14	曲げ	3	180

表 5-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価結果 (支持脚)

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
支持脚	SCS14	圧縮	2	184

表 5-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価結果 (基礎ボルト)

応力分類	風荷重Wによる応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	31	173
せん断	3	133
組合せ	31	173

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。

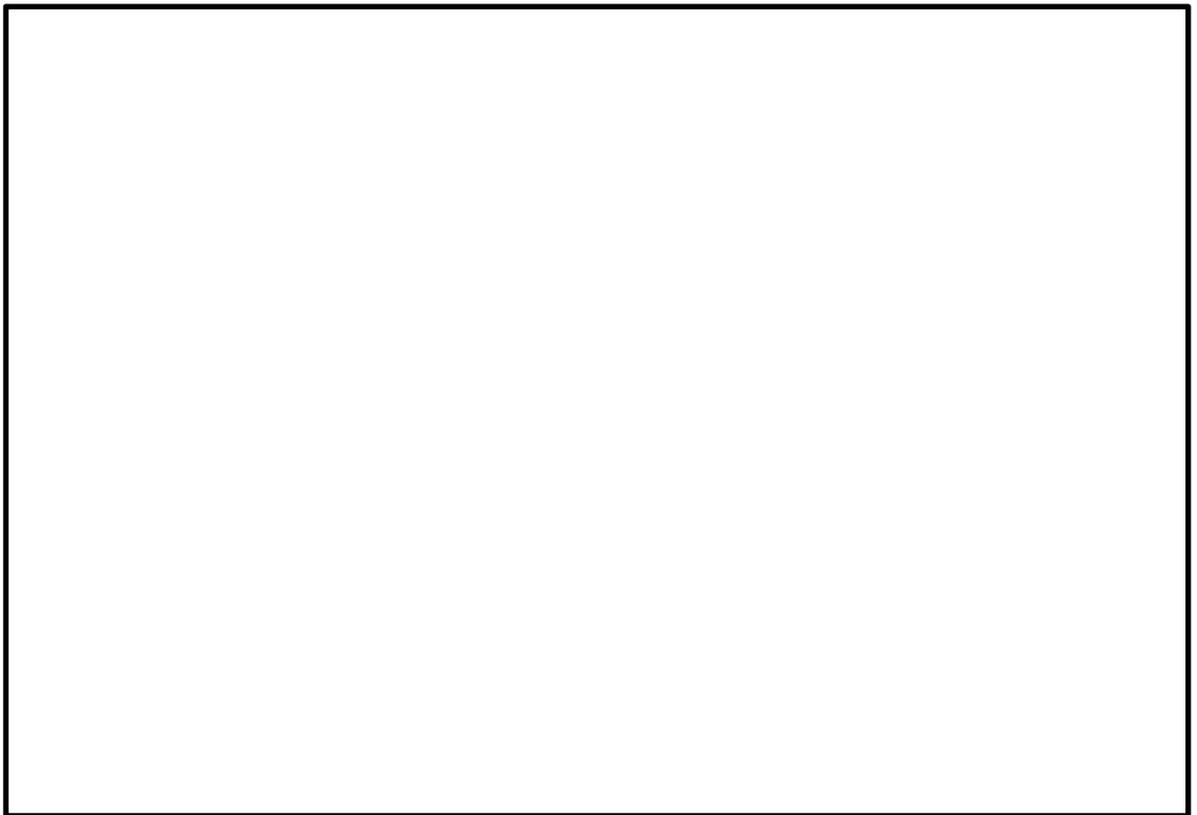


図 2-1 ディーゼル発電機吸気口 位置図

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。

吸気口の構造は4脚たて置円筒型容器構造であり、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。

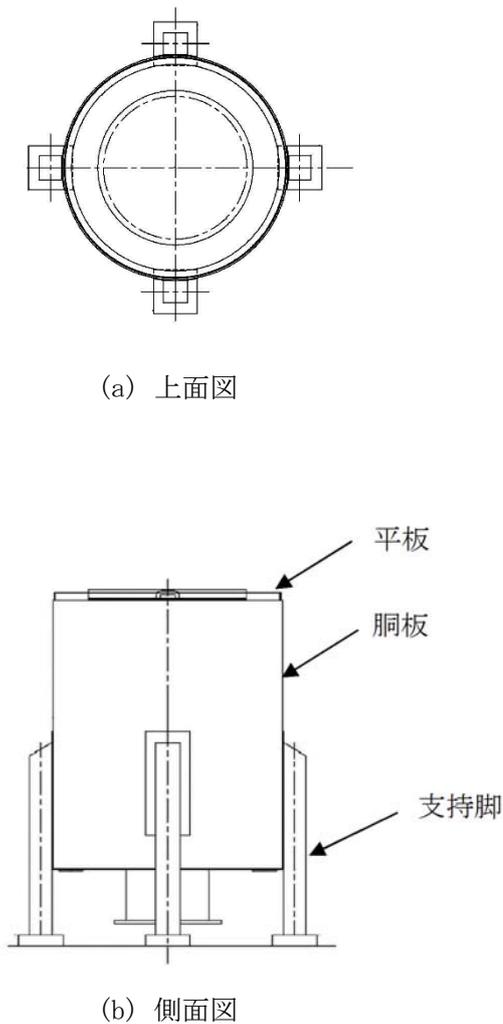


図 2-2 ディーゼル発電機吸気口の概要図

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 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4脚たて置円筒形容器の評価式を用いる。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_ASとする。

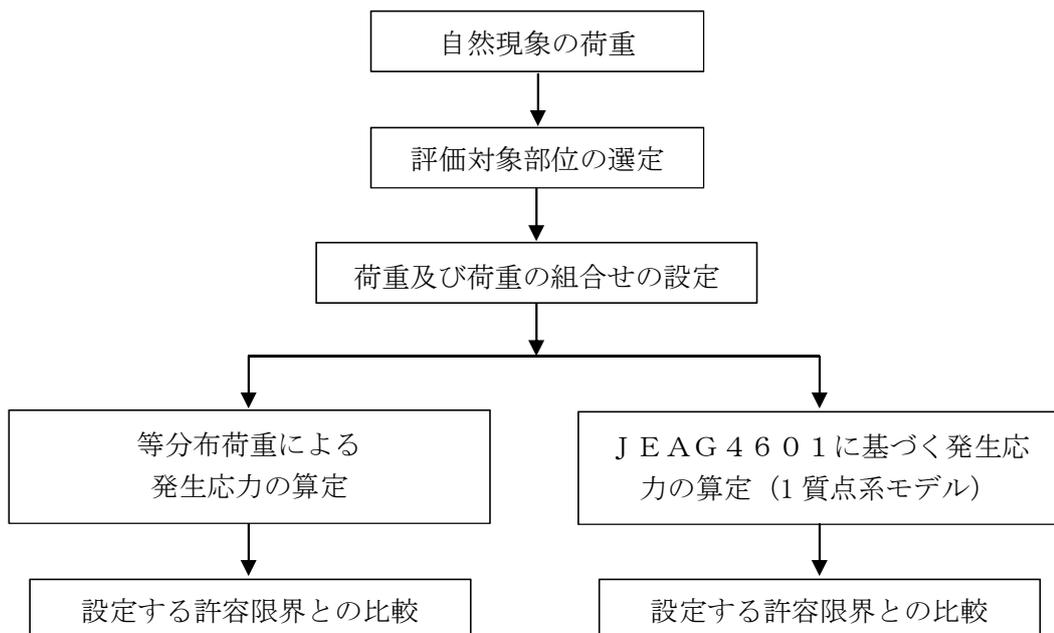


図2-3 ディーゼル発電機吸気口の強度評価フロー

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 ²
A _s	脚の断面積	mm ²
A _{s r}	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{s t}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
A _w	支持脚基礎溶接部の有効面積	mm ²
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 ₁	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 ₂	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 _c	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 _L	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 _i	胴の内径	mm
D _o	吸気口幅 (全幅)	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	脚の縦弾性係数	MPa
F	J S M E S S B-3121.1(1)により規定される値	MPa
F ₀	振動モデル系における水平力	N
F _d	運転時の状態で作用する荷重	N
F _v	降下火砕物等堆積による鉛直荷重	N
f _c	脚の許容圧縮応力	MPa
f _{b r}	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f _{b t}	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 _t	脚の許容引張応力	MPa
G	ガスト影響係数	-
G _s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
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 ⁴
I _{s r}	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm ⁴
I _{s t}	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm ⁴

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	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_ϕ	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_ϕ	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	N/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
β, β_1, β_2 β_c, β_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	-
γ	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	-
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F_0 による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_0 による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F_0 による第1脚の鉛直方向変位量	mm
θ	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
θ_0	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F_0 による第1脚の傾き角 (圧縮側)	rad
θ_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
θ_3	水平力 F_0 による第2脚の傾き角	rad
π	円周率	-
ρ	比重	-
σ_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
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_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
σ_{15}, σ_{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
σ_{25}, σ_{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
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_t	支持脚基礎溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
σ_{s3}, σ_{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
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{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
σ_{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
σ_{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
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{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
σ_{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
σ_{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
σ_{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
σ_{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
σ_{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
τ	支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力	MPa
τ_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
τ_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、胴及び支持脚に作用する。

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。

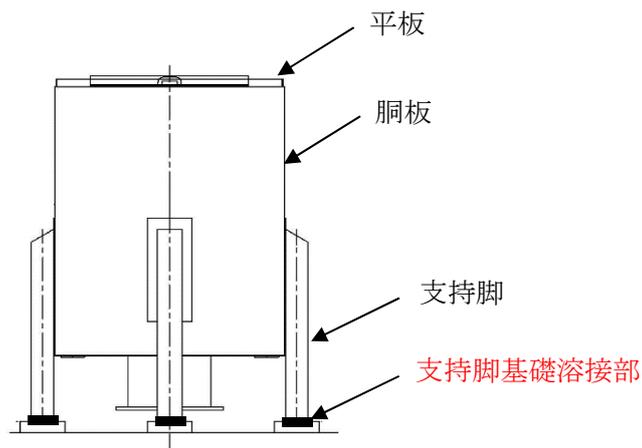


図3-1 ディーゼル発電機吸気口の評価対象部位

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/m²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_AS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_AS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 _A S	曲げ		S _y
胴板	Ⅲ _A S	一次一般膜		Min (S _y , 0.6S _u)
		一次		上欄の1.5倍
		一次+二次		2S _y
支持脚	Ⅲ _A S	組合せ		1.5 f _t
		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 _A S	一次	引張	1.5 f _t
			せん断	1.5 f _s

溶接部について上記応力の組合せが考えられる場合、J SME 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。

(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。

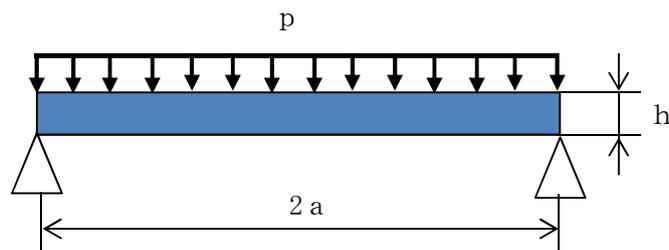


図 3-2 平板の評価モデル図

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。

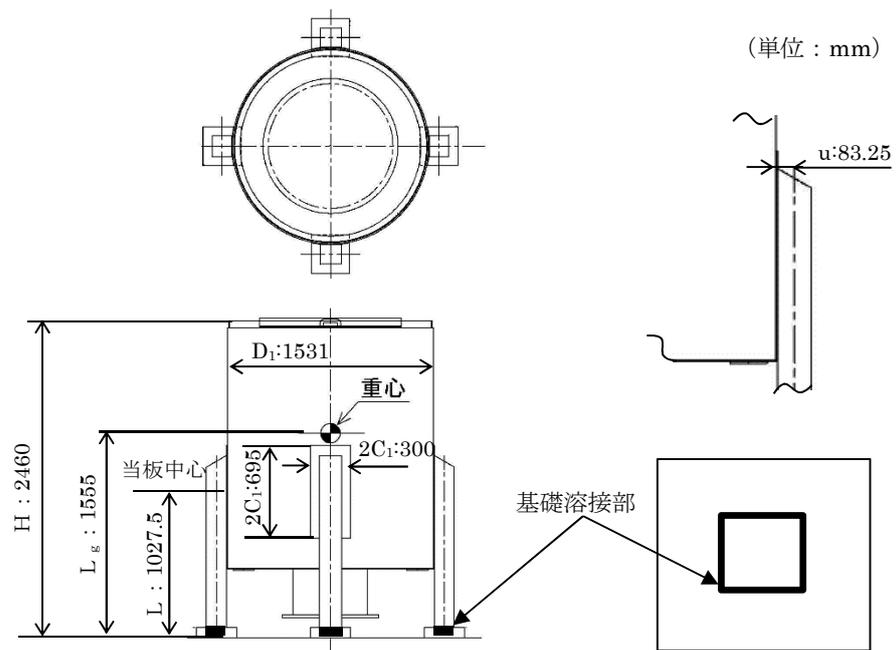


図 3-3 胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部の評価モデル図

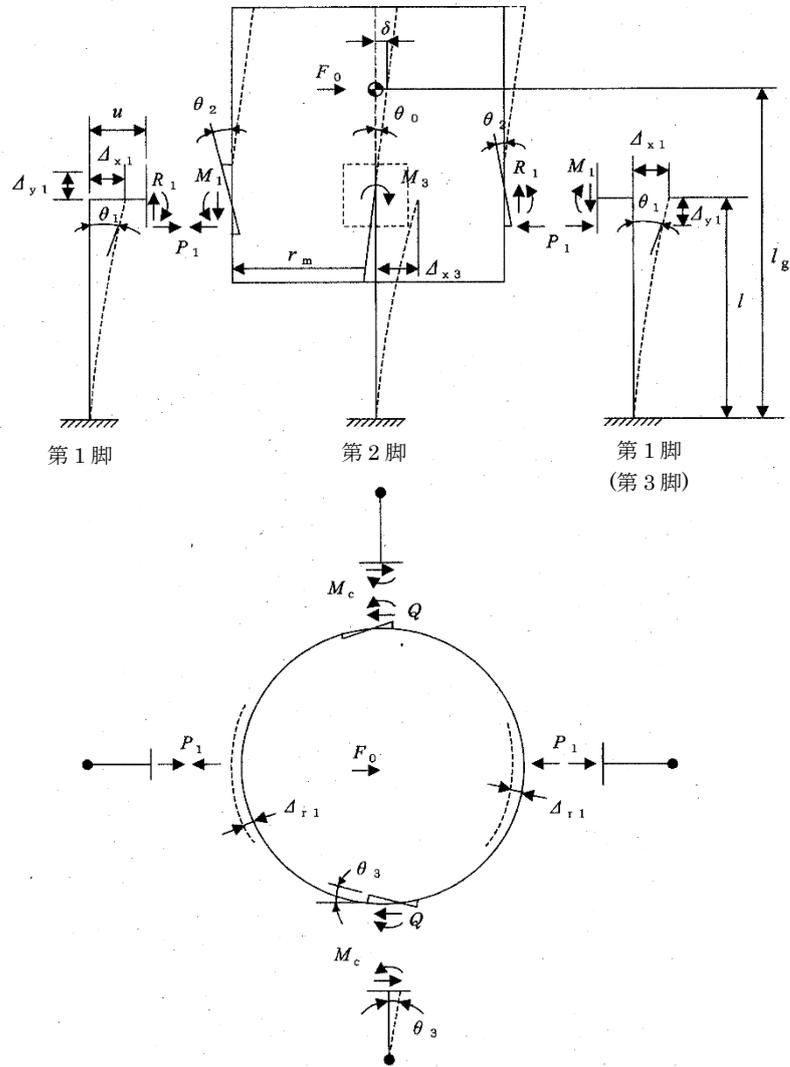


図 3-3 ディーゼル発電機吸気口の変形モード図

(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 σ_{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 Δ_{x1} , 傾き角 θ_1 , 鉛直方向変位量 Δ_{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 Δ_{r1} と局部傾き角 θ_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, β_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 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{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、 β_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

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

さらに鉛直方向変位の釣合より

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

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

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

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。

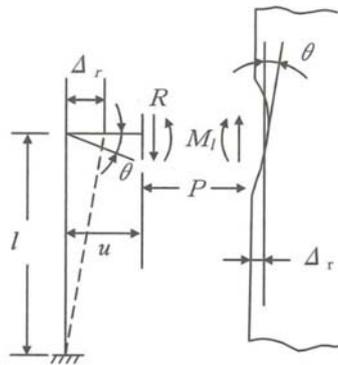


図 3-4 脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

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

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

$$P = \frac{\frac{m_0 \cdot g}{4} u - M_L}{\frac{2E_s \cdot I_{s t}}{L^3} + \frac{L}{G_s \cdot A_{s r}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

鉛直方向モーメント M_L により生じる胴の局部応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって参考文献の表より求めた値(以下*を付記する)を用いて次式により算定する。

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

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

ここで

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

$$\gamma = r_m / t$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m$$

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

$$\beta = \begin{cases} \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 \geq 1) \\ \left\{ 1 - \frac{4}{3} (1 - \beta_1 / \beta_2) (1 - K_2^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 < 1) \end{cases}$$

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P₁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M₁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_c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、 β_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)

【Z方向荷重が作用した場合】

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

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

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

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\}$$

(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)

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72}$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72}$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62}$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62}$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4(\tau_{L2} + \tau_{L3})^2}$$

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 7} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11}$$

$$\sigma_{x z 7} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11}$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_3)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 81} + \sigma_{\phi 82}$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 82}$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4(\tau_3 + \tau_{L3})^2}$$

【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

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9}$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10}$$

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 σ_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 τ 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 ²)	G (-)	C (-)	A (m ²)
960	2.2	1.2	3.79

表 4-3 評価条件（平板）

p (N/mm ²)	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 ²)	A_{sr} (mm ²)	A_{st} (mm ²)	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 ⁴)	I_{sr} (mm ⁴)
201000	201000	1	77300	6.398×10^9	3.155×10^7

I_{st} (mm ⁴)	J_s (mm ⁴)	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 ³)
767.8	4.5	4370	13800	393	3.824×10^5

Z_{st} (mm ³)
3.569×10^5

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 ²)	L_1 (mm)
4370	14193	1555.0	1800	9.80665	1203.5

L_H (mm)	A_w (mm ²)
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ベン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。

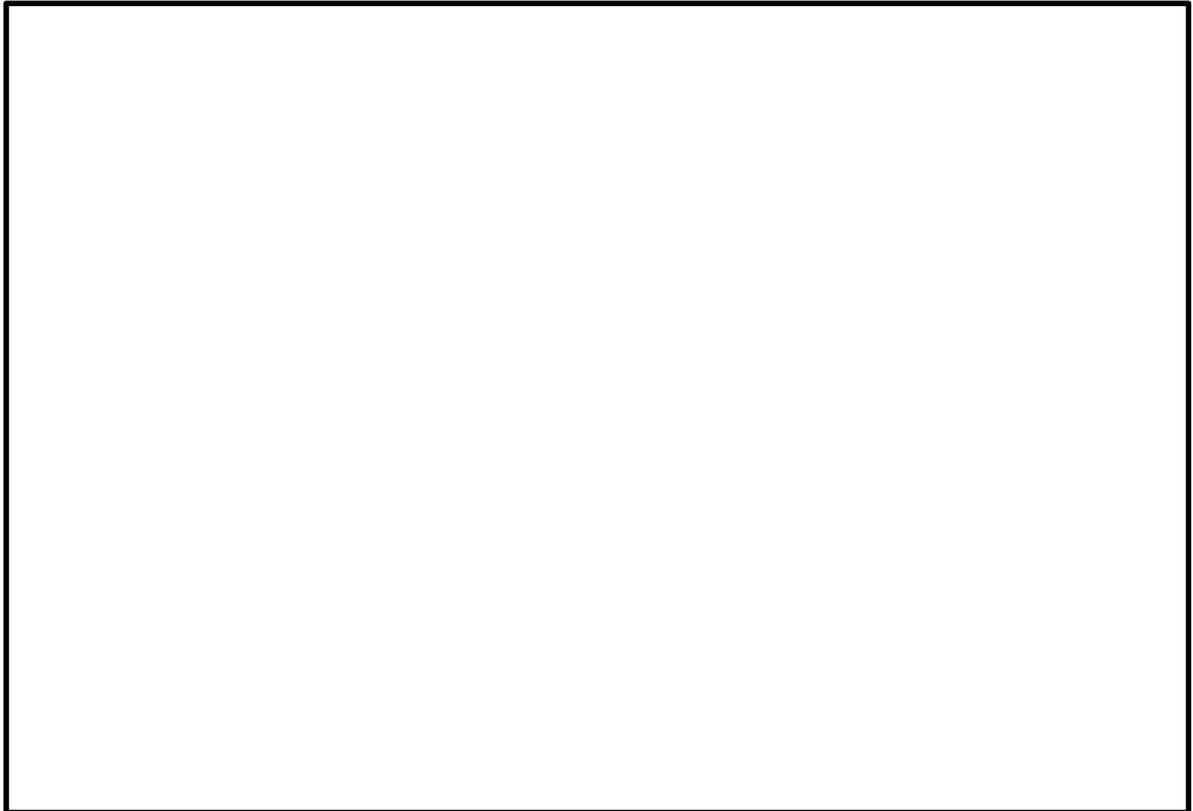


図 2-1 ディーゼル発電機室ルーフベントファン 位置図

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。

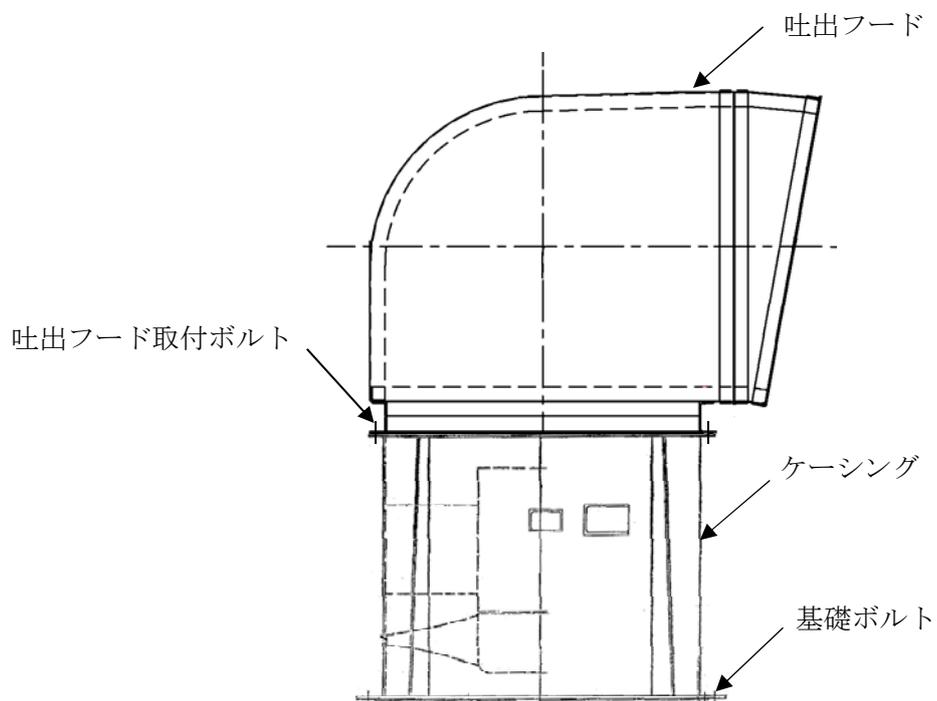


図 2-2 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの概要図

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_ASとする。

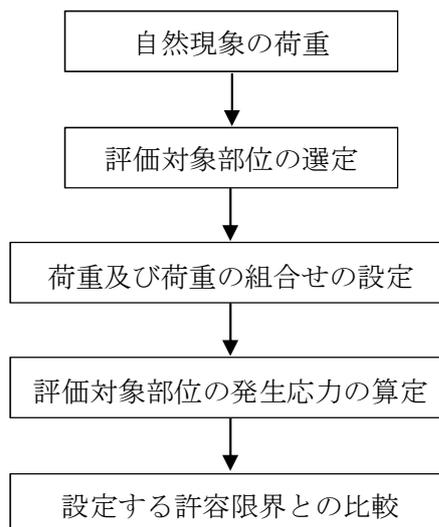


図2-3 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価フロー

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・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
β	—	天板の最大応力の係数
π	—	円周率
σ_b	MPa	ボルトに生じる引張応力
σ_c	MPa	ケーシングに生じる圧縮応力
τ	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、吐出フード天板のフランジ以降の先端部は防雨が目的であり、ファンの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。

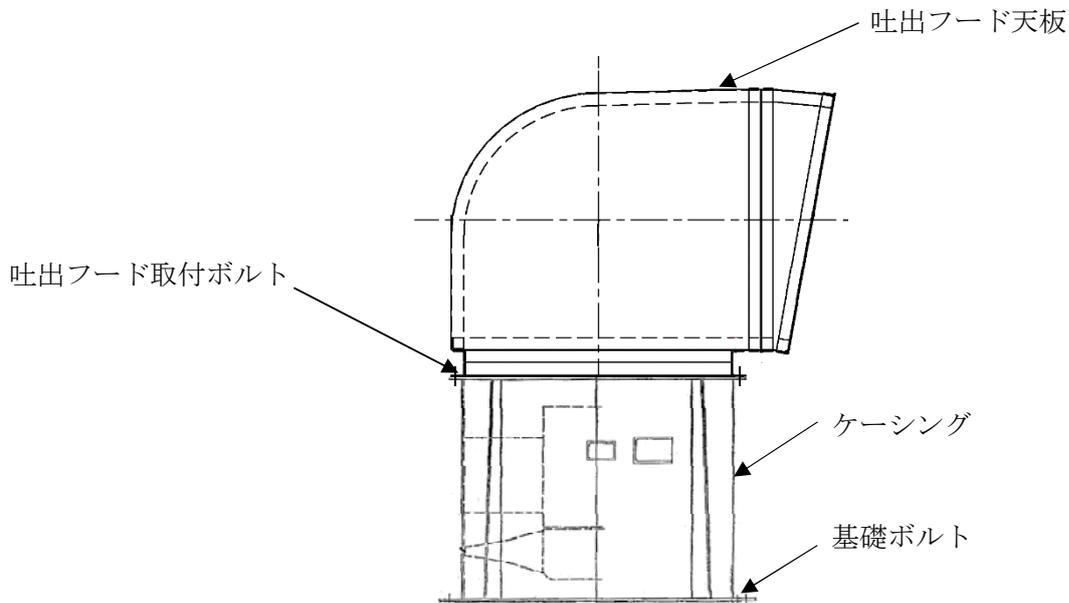


図 3-1 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの評価対象部位

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ベン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/m²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ベントファンは、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ベン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ベントファンには、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ベン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 ベントファン	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_AS の許容応力を用いる。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界は、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_AS 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ベ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 _A S	一次応力	曲げ	S_y
ケーシング	Ⅲ _A 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 _A 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。

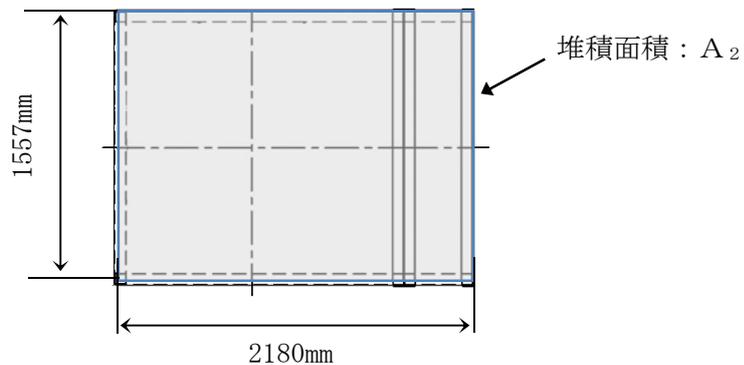


図3-2 降下火砕物等の堆積面積図（ファンを上面から見た図）

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。

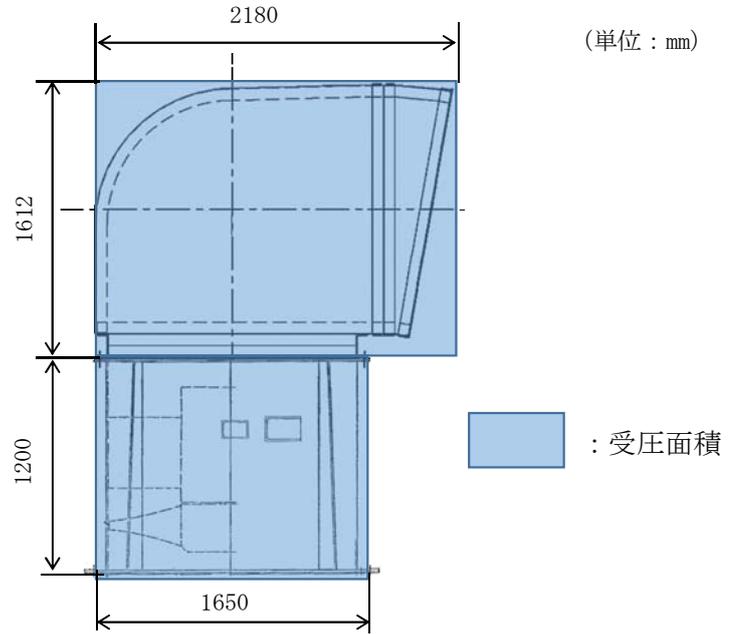


図 3-3 ファンモデル図

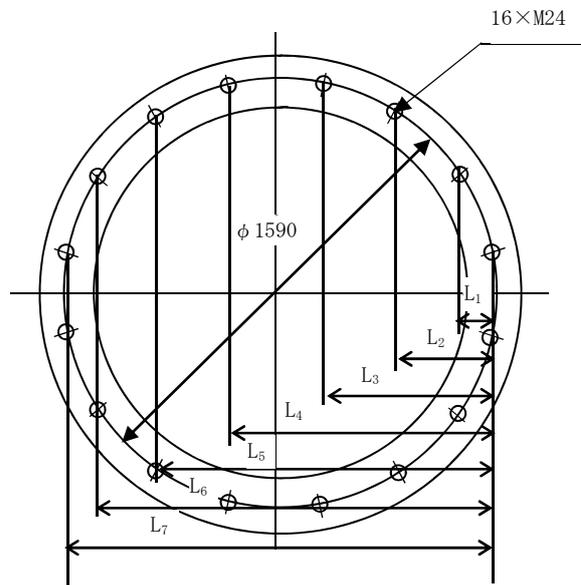


図 3-4 基礎ボルト配置図

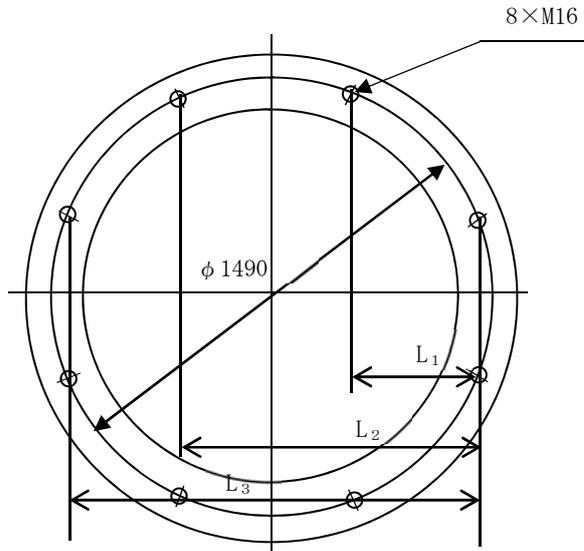


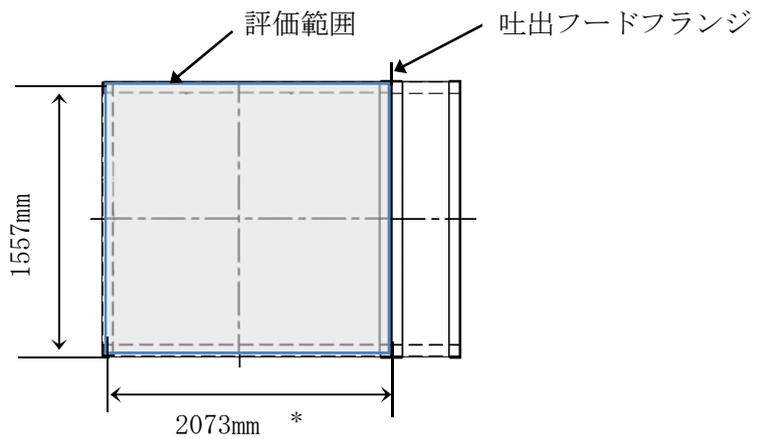
図 3-5 吐出フード取付ボルト配置図

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長方形板として評価を行う。

吐出フード天板の評価範囲図を図 3-6 に示す。



注記 * : 保守的に曲がり部を平面とみなした寸法

図3-6 吐出フード天板の評価面積図（吐出フードを上面から見た図）

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 σ_{\max} は次による。

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

- (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。

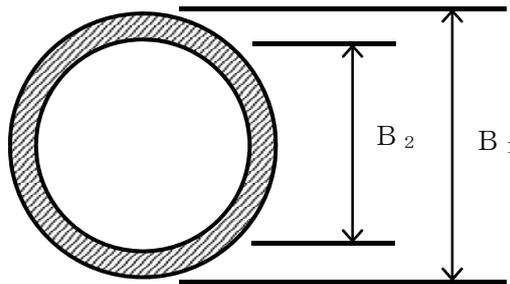


図 3-7 ケーシングの断面図

- (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

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

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

(3.1) (3.2) 式より、

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

ここで

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

ボルトに生じる引張応力 σ_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 _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	1.5 f _t (MPa)	1.5 f _s (MPa)	1.5 f _c (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 ²)	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 ₁ (m ²)	吐出フードの 受圧面積A ₁ (m ²)
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 ²)	a (mm)	h _t (mm)
0.45	8.258×10 ⁻³	1557	9

表 4-4 評価条件 (ケーシング)

B ₁ (mm)	B ₂ (mm)	m (kg)
1418	1400	2440

表 4-5 評価条件 (基礎ボルト)

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

L ₇ (mm)	g (m/s ²)	m (kg)	ボルト サイズ	N (-)	A _b (mm ²)
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 ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	g (m/s ²)	m (kg)	ボルト サイズ
403.2	973.4	1376.6	9.80665	1500	M16

N (-)	A _b (mm ²)	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	17
5. 強度評価結果	18

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。

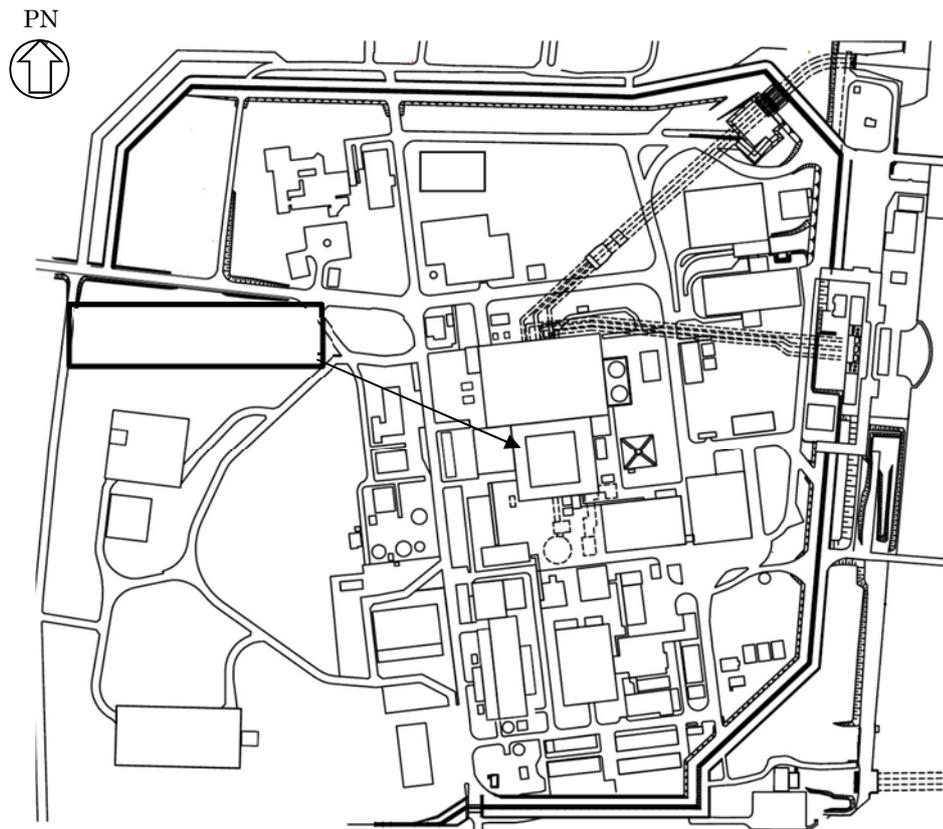
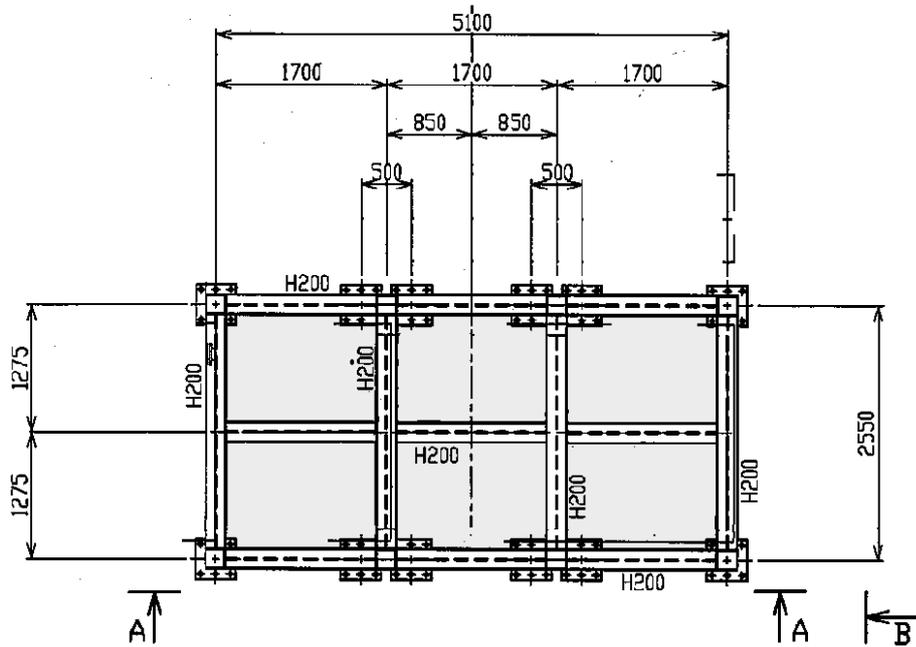
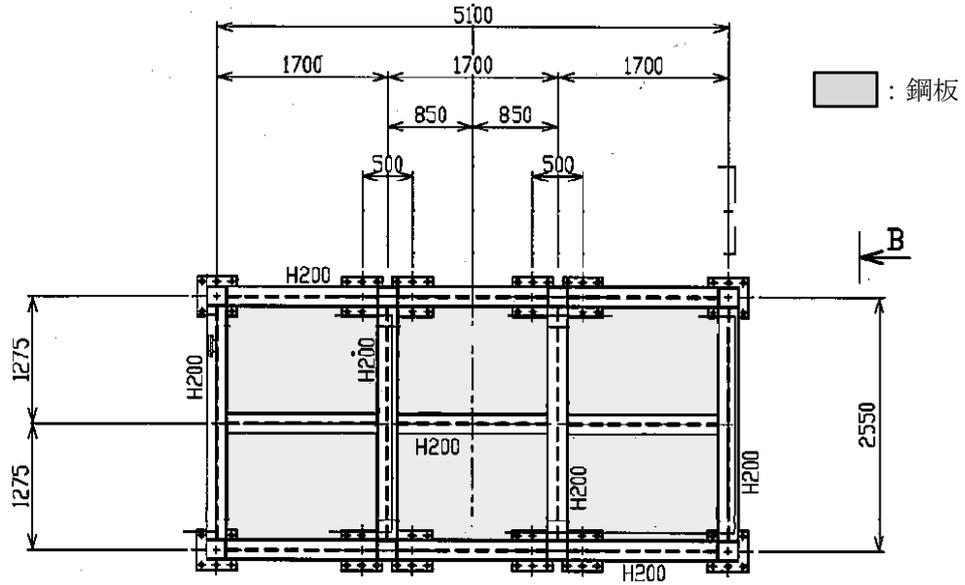


図 2-1 防護対策施設の設置位置図

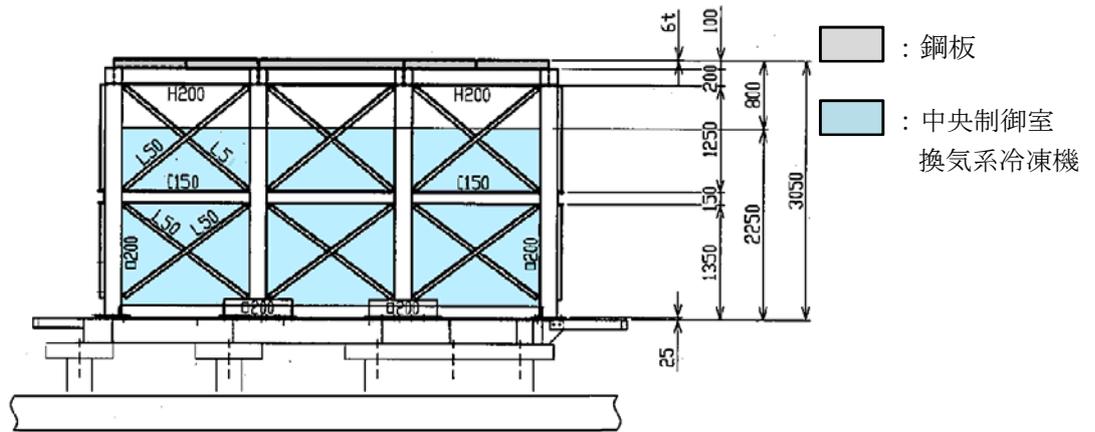
2.2 構造概要

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。

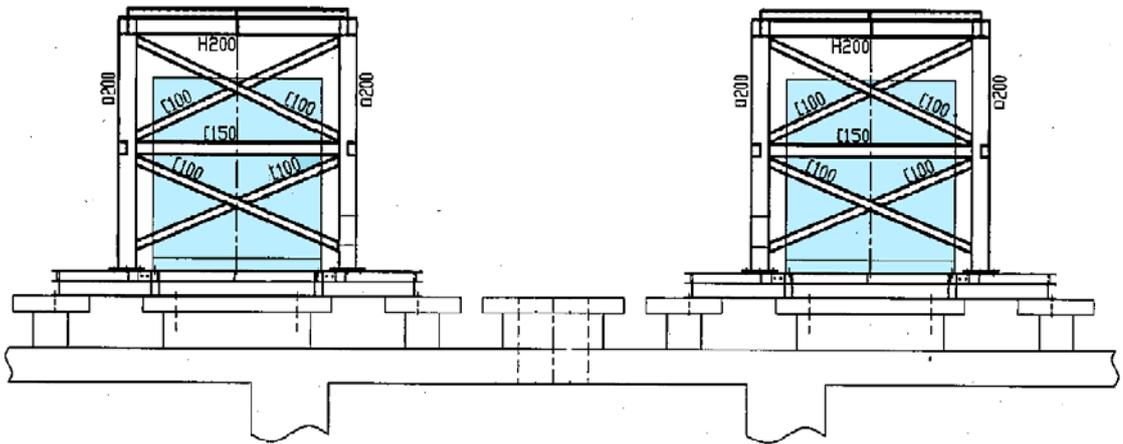
防護対策施設は、中央制御室換気系冷凍機へ降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板と、防護鋼板を支持する架構から構成される。



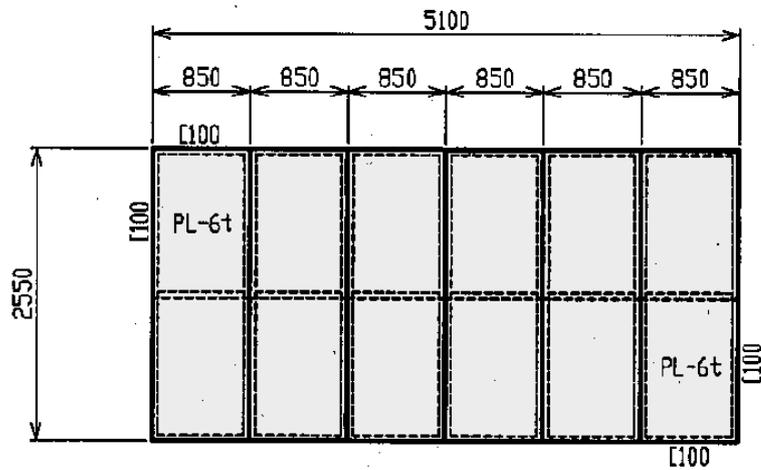
(a) 上面図



(b) 側面図 (A-A 矢視)



(c) 側面図 (B-B 矢視)



(D) 防護鋼板 (PL-6t)

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。

防護対策施設の許容限界は、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」に示す許容限界を採用する。

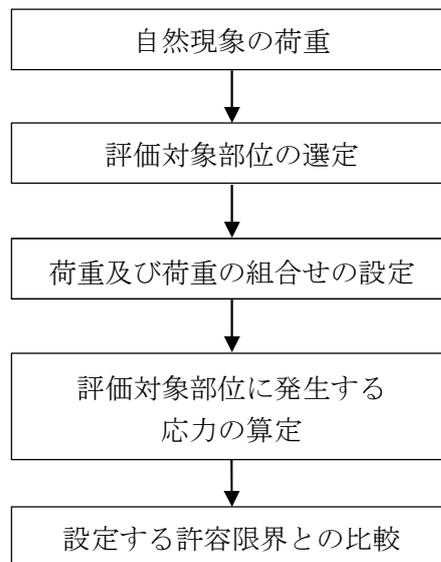


図2-3 防護対策施設の強度評価フロー

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
σ	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
q	積雪及び降下火砕物堆積による分布荷重	N/mm
l	防護鋼板の長さ	mm
Z	防護鋼板の断面係数	mm ³
A_{p1}	防護鋼板の受圧面積	mm ²
A_{p2}	防護鋼板の側面の断面積（短辺方向）	mm ²
A_{p3}	防護鋼板の側面の断面積（長辺方向）	mm ²
t	板厚	mm

(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 (1/2)

記号	定義	単位
σ_a	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b1}	自重により架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_{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
σ_{b3}	風荷重により架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_b	架構に生じる組合せ曲げ応力	MPa
σ_{c1}	自重により架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_{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
σ_{c3}	風荷重により架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_c	架構に生じる組合せ圧縮応力	MPa
σ_{f1}	自重により架構に生じる組合せ応力	MPa
σ_{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
σ_{f3}	風荷重により架構に生じる組合せ応力	MPa
σ_f	架構に生じる組合せ応力	MPa
σ_{t1}	自重により架構に生じる引張応力	MPa
σ_{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
σ_{t3}	風荷重により架構に生じる引張応力	MPa
σ_t	架構に生じる組合せ引張応力	MPa
τ_1	自重により架構に生じるせん断応力	MPa
τ_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
τ_3	風荷重により架構に生じるせん断応力	MPa
τ	架構に生じる組合せせん断応力	MPa
τ_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

表 3-2 架構及び基礎ボルトの強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	定義	単位
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
A_a	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A	架構の断面積	mm ²
A_x	架構の x 軸方向のせん断断面積	mm ²
A_y	架構の y 軸方向のせん断断面積	mm ²
Z_x	架構の x 軸まわりの断面係数	mm ³
Z_y	架構の y 軸まわりの断面係数	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。

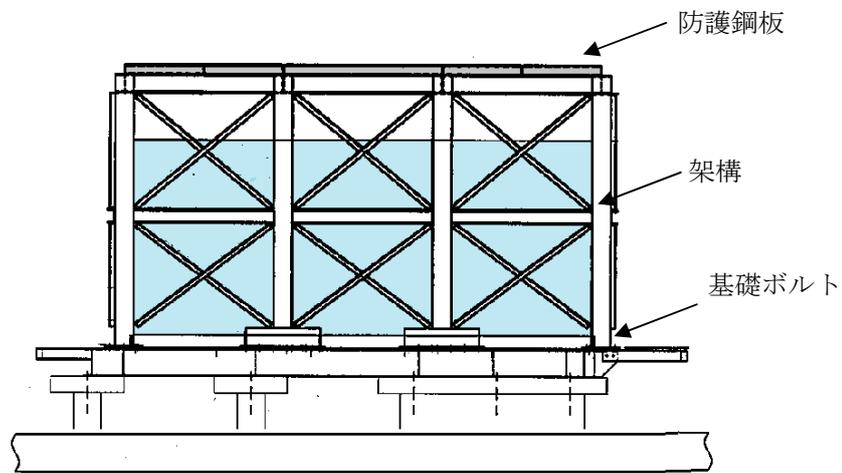


図 3-1 防護対象施設の評価対象部位

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. 降下火砕物による荷重 (F_v)

単位面積当たりの降下火砕物による鉛直荷重は 7355 N/m^2 とする。

c. 積雪による荷重 (F_s)

単位面積当たりの積雪による鉛直荷重は 210 N/m^2 とする。

d. 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 以上であるため、 H が Z_b を超える場合の式を用いる。

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

ここで

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

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

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

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、鉛直上向きの荷重が働き、鉛直した下向きの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積雪荷重 ③降下火砕物堆積による荷重
	架構	①自重 ②積雪荷重 ③降下火砕物堆積による荷重 ④風荷重
	基礎ボルト	①自重 ②積雪荷重 ③降下火砕物堆積による荷重 ④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た許容応力を用いる。

防護対策施設の許容限界値には、短期の許容応力を適用する。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おおむね弾性状態に留まる設計とするため、以下の許容応力を許容限界値とする。

防護鋼板及び架構、基礎ボルト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

応力条件	温度条件 (°C)	許容限界			
		圧縮	曲げ	引張	せん断
短期応力	40*	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

注記 * : 周囲環境温度

表 3-4 基礎ボルトの許容限界

応力条件	温度条件 (°C)	許容限界	
		引張	せん断
短期応力	40*	$1.5 f_{t0}$	$1.5 f_{s0}$

注記 * : 周囲環境温度

3.5 評価方法

(1) 荷重条件

荷重条件を表 3-5 に示す。

水平方向の風荷重が作用した場合、防護鋼板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風荷重による上向き荷重は考慮しない。自重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重を入力荷重として設定する。

表 3-5 防護対策施設の荷重条件

荷重条件	入力荷重 (MPa)
積雪荷重	0.210×10^{-3}
降下火砕物による堆積荷重	7.355×10^{-3}

(2) 計算モデル及び諸元

防護鋼板は架構に支持されていることから両端単純支持はりとしてモデル化し、応力を算出する。

防護鋼板の応力計算モデルを図 3-2 に、諸元を表 3-6 に示す。

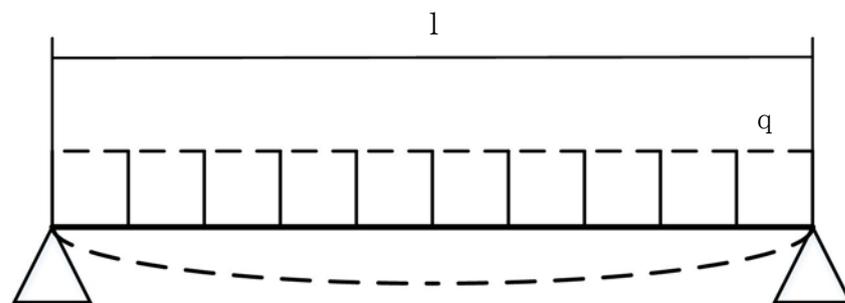


図 3-2 防護鋼板の応力計算モデル

架構及び基礎ボルトは、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。

架構及び基礎ボルトの応力計算モデルを図 3-3 に、諸元を表 3-6～表 3-8 に示す。

表 3-6 諸元 (防護鋼板)

材料	長辺 (mm)	短辺 (mm)	板厚 (mm)	評価温度 (°C)
SS400	2550	850	6	40

表 3-7 諸元 (架構)

部材	材料	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)		評価温度 (°C)
			X	Y	
□-200×200×9	STKR400	6.667×10 ³	3.99×10 ⁵	3.99×10 ⁵	40
H-200×200×8×12	SS400	6.353×10 ³	4.72×10 ⁵	1.60×10 ⁵	40
[-150×75×6.5×10	SS400	2.371×10 ³	1.15×10 ⁵	2.24×10 ⁴	40

表 3-8 諸元 (基礎ボルト)

呼び径	材料	軸断面積 (mm ²)
M24	SS400	452.4

(3) 評価方法

a. 防護鋼板

$$\sigma = \frac{q l^2}{8} \cdot \frac{1}{Z}$$

b. 架構

(a) 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。

(b) 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。

(c) 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。

(d) 荷重の組合せによる応力

(1)～(3)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

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

ホ. 組合せ曲げ応力

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

c. 基礎ボルト

(a) 引張応力

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

(b) せん断応力

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

4. 評価条件

強度評価に使用する入力条件を表 4-1, 表 4-2 に示す。

表 4-1 入力条件 (防護鋼板)

A_{p1} (mm^2)	A_{p2} (mm^2)	A_{p3} (mm^2)	t (mm)
1.08375×10^6	5100	7650	6

表 4-2 入力条件 (架構)

部材	A (mm^2)	ν (ポアソン比)	密度 (kg/mm^3)
□-200×200×9	6667	0.3	7.85×10^{-6}
H-200×200×8×12	6353	0.3	7.85×10^{-6}
[-150×75×6.5×10	2371	0.3	7.85×10^{-6}

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。

表 5-1 評価結果 (防護鋼板)

発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
追而	280

表 5-2 評価結果 (架構)

応力	最大発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	追而	280
圧縮		280
せん断		162
曲げ		280

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	追而	210
せん断		161