

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-093 改 19
提出年月日	平成 30 年 7 月 20 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 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 2-1-7 建屋の強度計算書

V-3-別添 2-2 防護対策施設の強度計算の方針

V-3-別添 2-2-1 防護対策施設の強度計算書

: 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	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	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	9
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2-1「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。

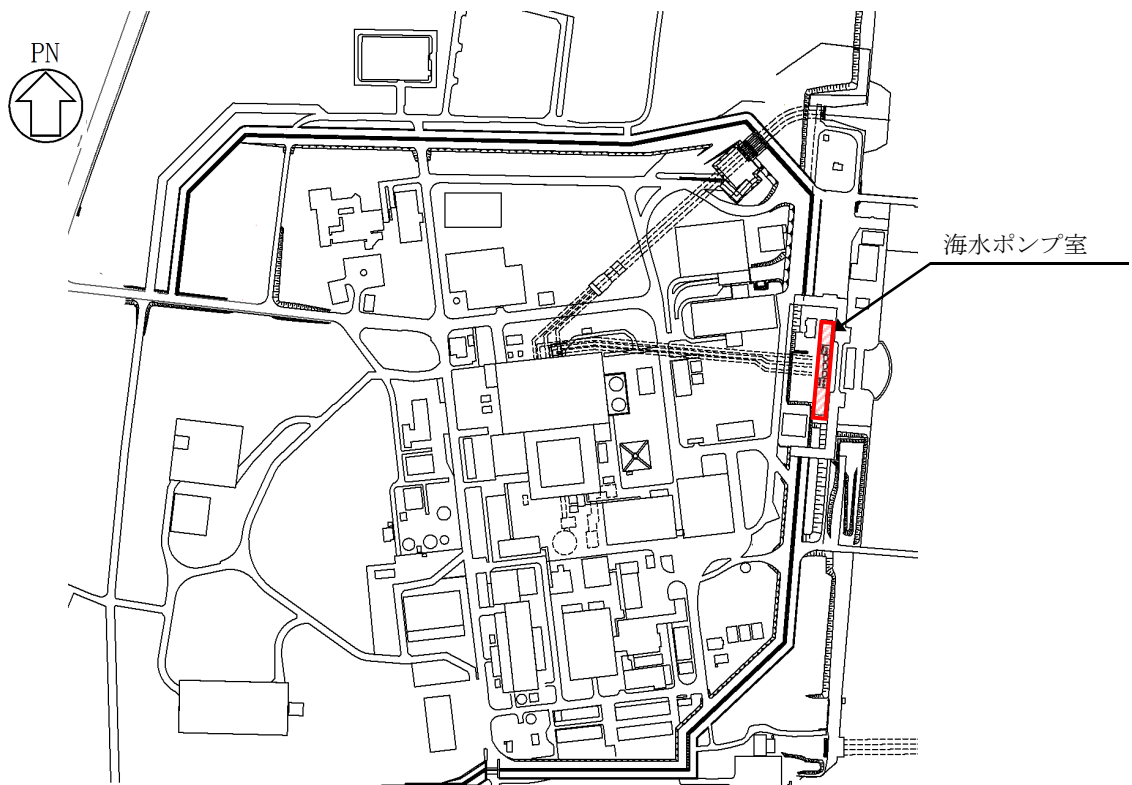


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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及び風（台風）による水平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。

残留熱除去系海水系ストレーナが風（台風）による水平荷重を受ける面の概要図を図2-3、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2-4に示す。

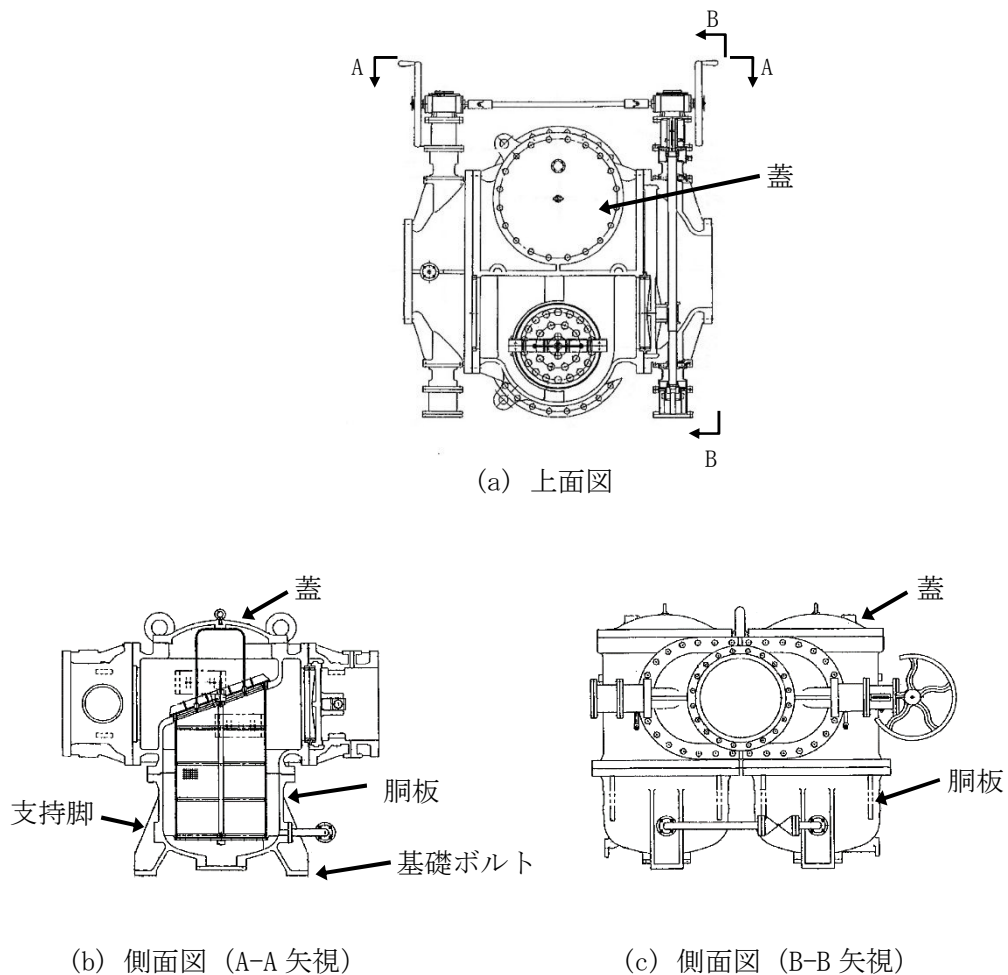


図 2-2 残留熱除去系海水系ストレーナの概要図

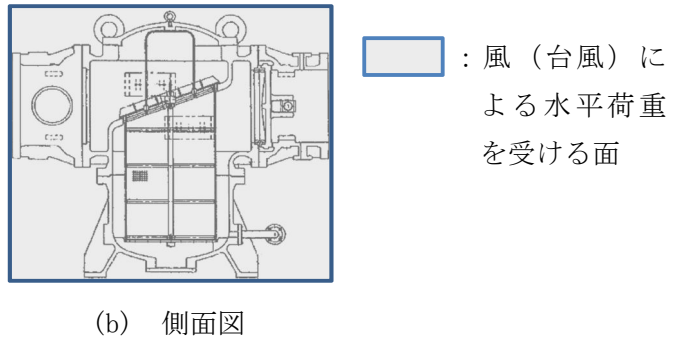
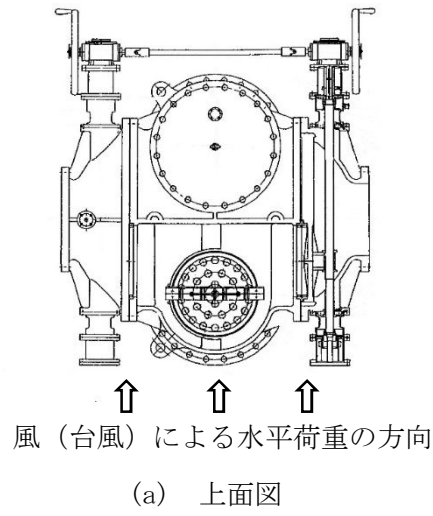


図 2-3 風（台風）による水平荷重を受ける面の概要図

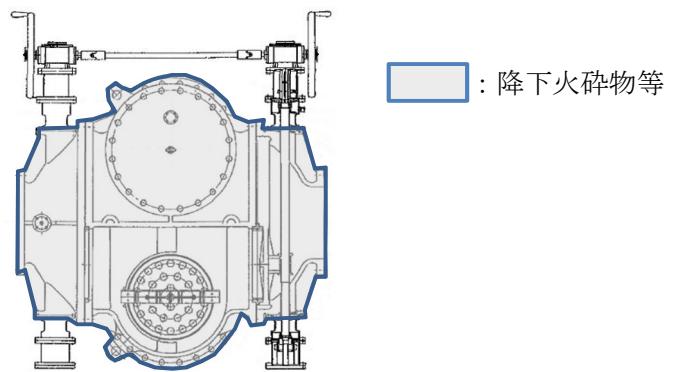


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

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2-5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（台風）による水平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、**設計降伏点及び J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_AS**とする。

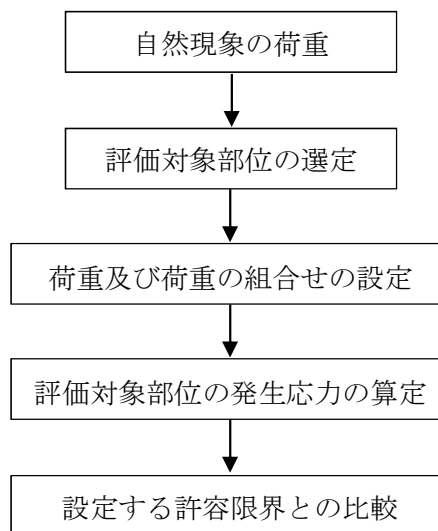


図2-5 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フロー

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_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（台風）による水平荷重
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_a	MPa	蓋に生じる曲げ応力
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、蓋、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胴板及び支持脚に作用する。風（台風）による水平荷重については、胴板及び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、降下火砕物が堆積する蓋及び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（台風）による水平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。

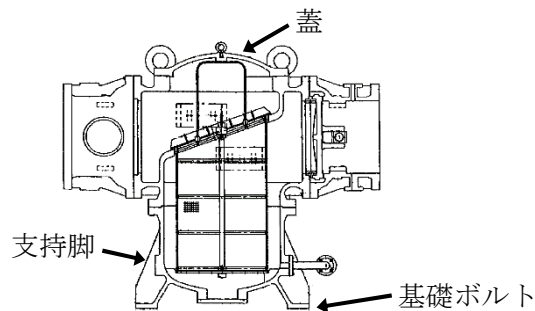


図 3-1 残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位

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（台風）による水平荷重 (W)

風（台風）による水平荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は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。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図3-2に示す。

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

ここで

$$A_1 = H_s \cdot D_o$$

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

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

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

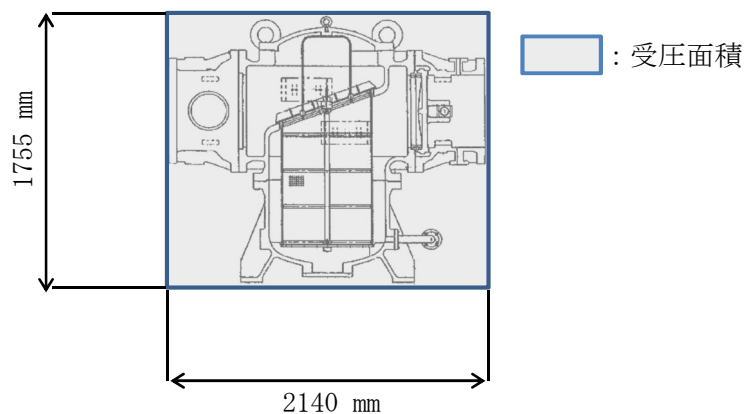


図3-2 風（台風）による水平荷重の受圧面積

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

強度評価に用いる荷重の組合せは、残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位ごとに設定する。

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、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風（台風）による水平荷重が作用する。

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	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	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（台風）による水平荷重

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。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、蓋に対しては弾性範囲である設計降伏点とし、支持脚及び基礎ボルトに対しては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。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界を表 3-3、許容応力を表 3-4 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

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	
蓋	—	一次応力	曲げ	S_y
支持脚	Ⅲ _A S	一次応力	圧縮	$1.5 f_c$
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	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$

表 3-4 残留熱除去系海水系ストレーナの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
蓋	SCS14	50*	180	429	185	184	—	—
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

3.5 評価方法

残留熱除去系海水系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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 評価モデル

a. 等分布荷重による評価

等分布荷重による評価を行うストレーナの蓋は、平板円板モデルとする。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。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

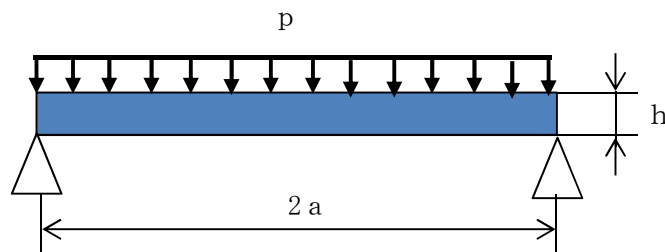


図 3-3 等分布荷重による計算モデル図

b. 1 質点系モデルによる評価

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（台風）による水平荷重に対する、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 1 質点系モデル図を図 3-4 に示す。

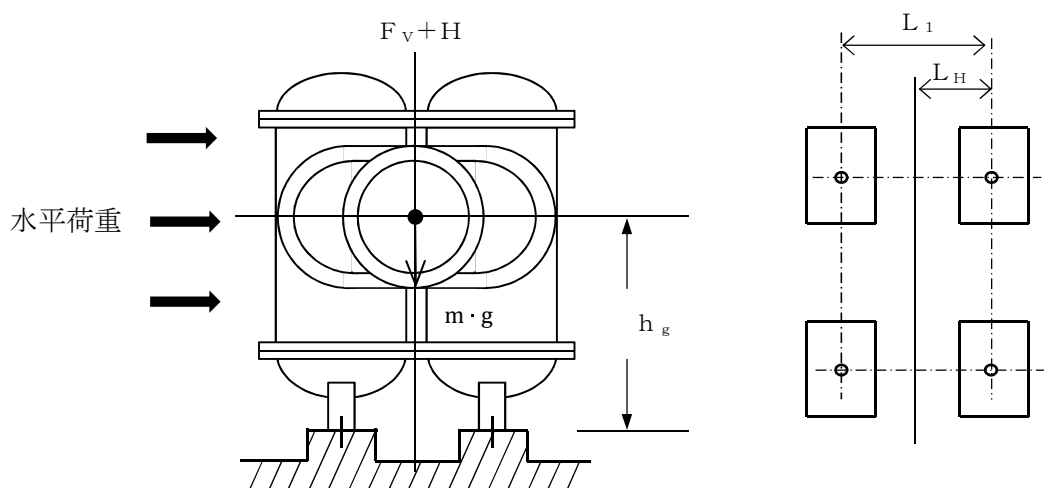


図 3-4 1 質点系モデル図

(2) 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

$$F_v = F'_v \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物等がストレーナに堆積すると仮定し、基礎部面積を受圧面積とする。

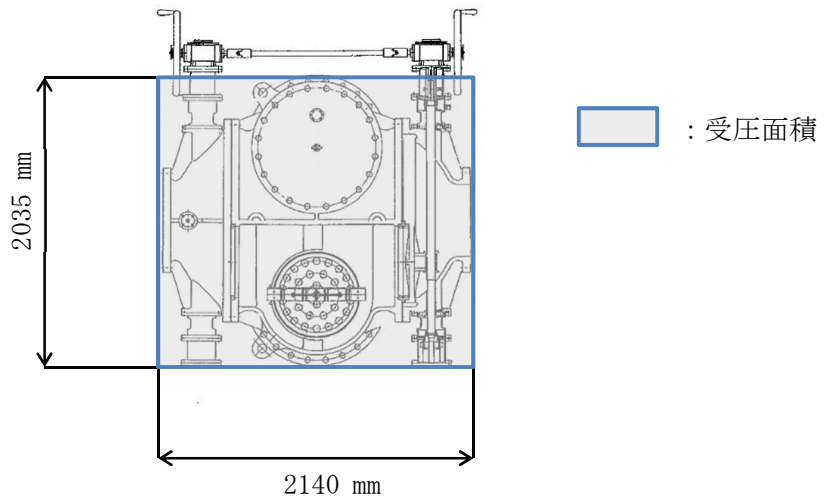


図3-5 鉛直荷重の受圧面積

(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) 蓋に生じる応力

イ. 曲げ応力

蓋に生じる曲げ応力 σ_a は次式より算出される。

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

(b) 支持脚に生じる応力

イ. 圧縮応力

支持脚に生じる圧縮応力 σ_c は次式より算出される。

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

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 3-6 に示す。

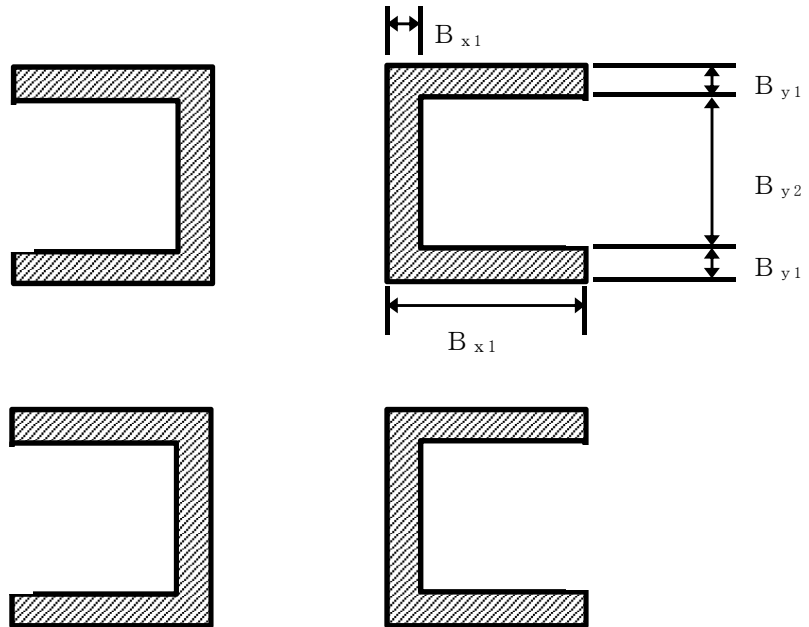


図 3-6 支持脚の断面図

(c) 基礎ボルト生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は次式より算出される。

最も厳しい条件として、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

基礎ボルトに生じるせん断応力 τ は次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力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 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

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

表 4-2 評価条件 (蓋)

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

表 4-3 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)
9.80665	7565	4.35	150	25	25

B _{y2} (mm)	L _H (mm)	L ₁ (mm)	D _o (mm)	H _s (mm)	m (kg)
174	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 に示す。

蓋，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

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
蓋	SCS14	曲げ	4	180
支持脚	SCS14	圧縮	3	184
基礎ボルト	SS400	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	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	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	9
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2-1「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、非商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。

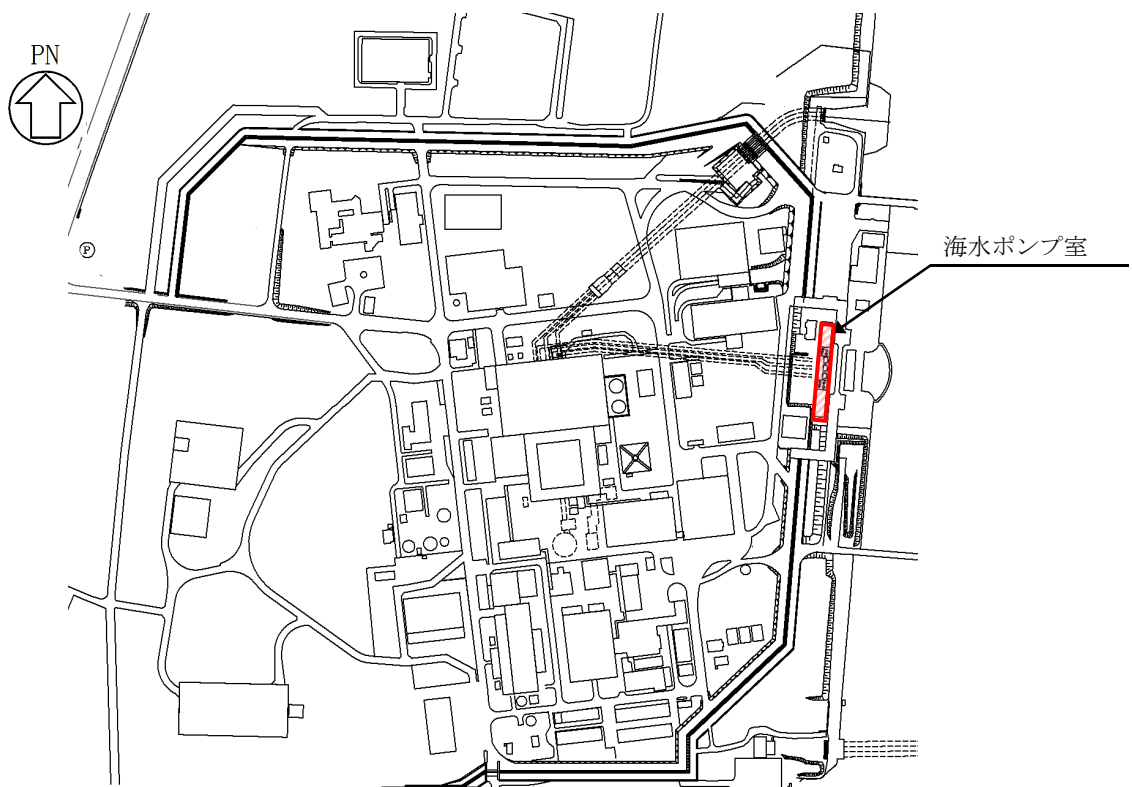


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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、ストレーナの上部開口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及び風（台風）による水平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。

ディーゼル発電機用海水ストレーナが風（台風）による水平荷重を受ける面の概要図を図2-3、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2-4に示す。

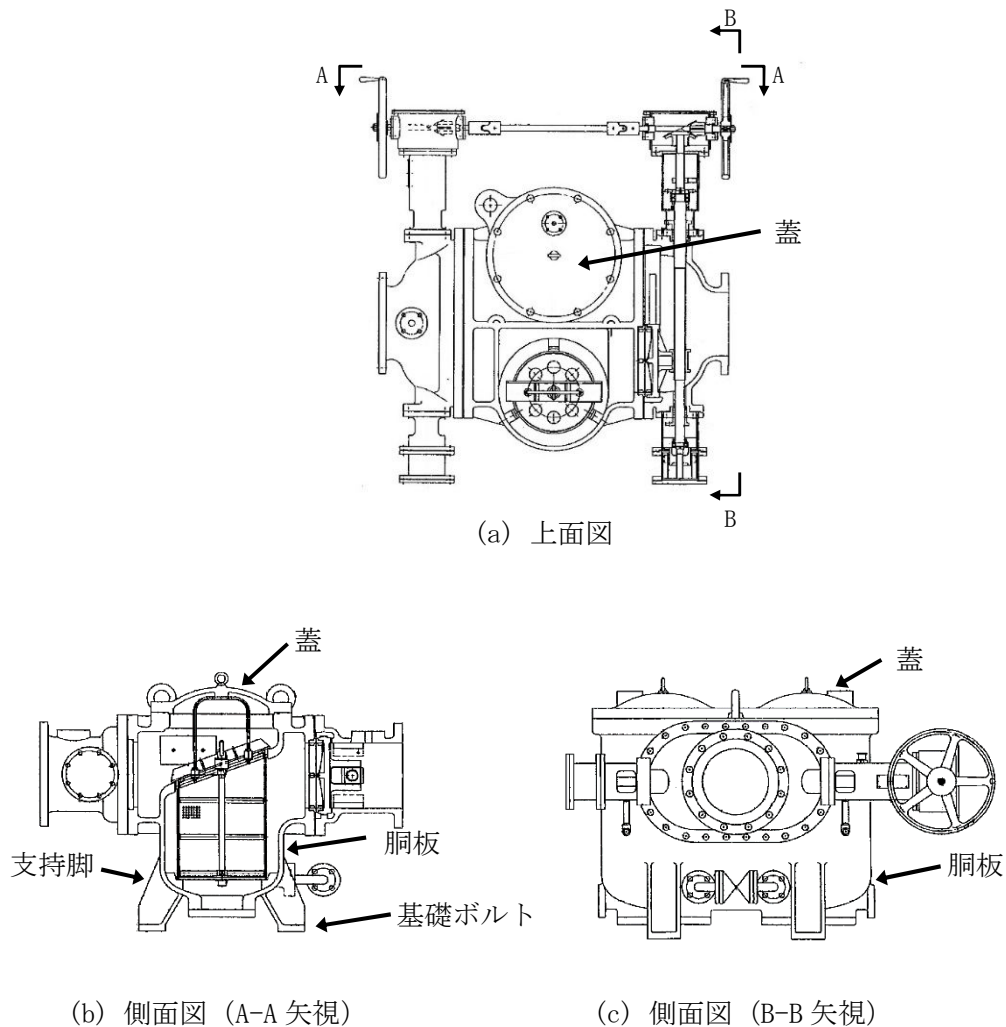


図 2-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図

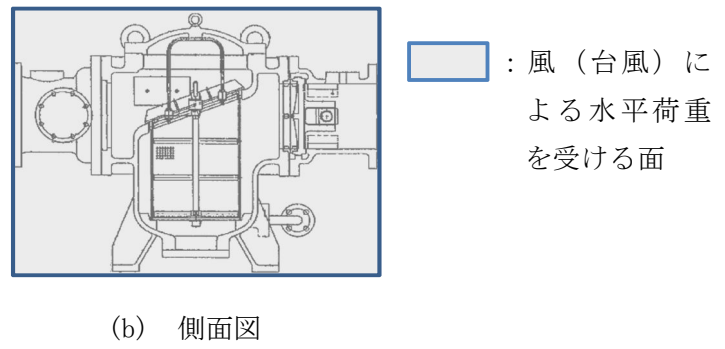
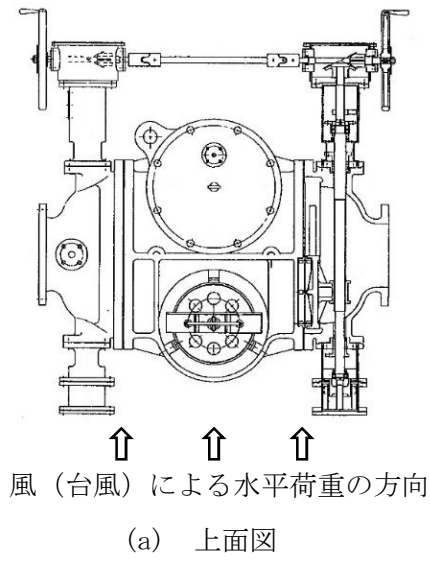


図 2-3 風（台風）による水平荷重を受ける面の概要図

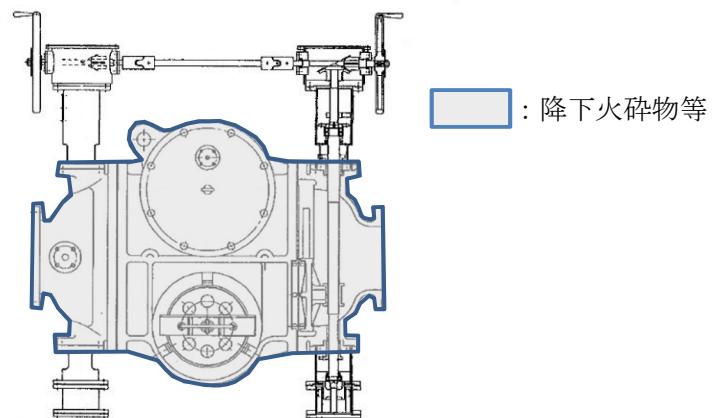


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

2.3 評価方針

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2-5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（台風）による水平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」に示す評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、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、**設計降伏点及び J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_AS**とする。

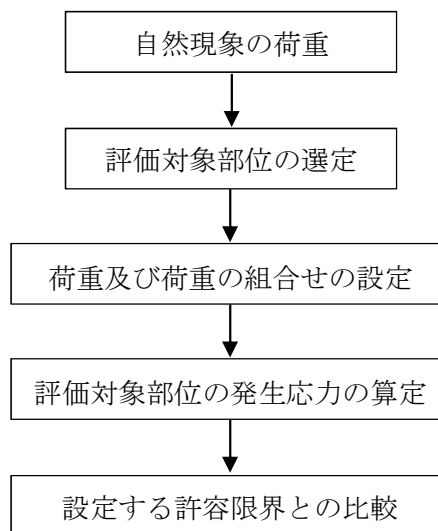


図2-5 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984（（社）日本電気協会）
- (4) 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）
- (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）（以下「J S M E」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_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（台風）による水平荷重
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_a	MPa	蓋に生じる曲げ応力
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、蓋、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胴板及び支持脚に作用する。風（台風）による水平荷重については、胴板及び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、降下火砕物が堆積する蓋及び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（台風）による水平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。

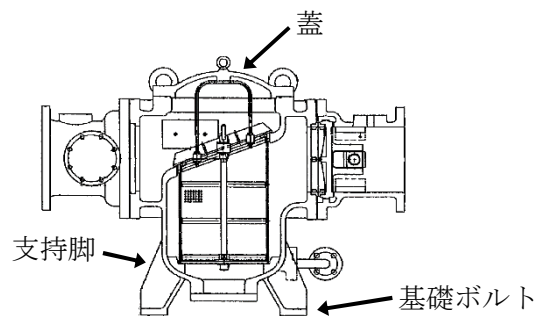


図 3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位

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（台風）による水平荷重 (W)

風（台風）による水平荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は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。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図3-2に示す。

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

ここで

$$A_1 = H_s \cdot D_o$$

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

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

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

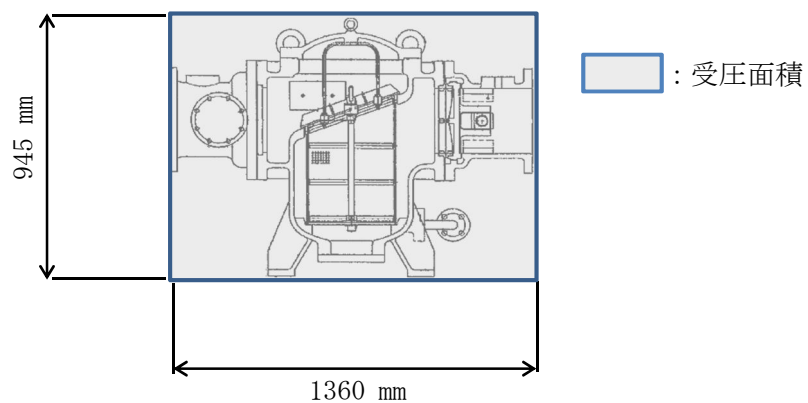


図3-2 風（台風）による水平荷重の受圧面積

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

強度評価に用いる荷重の組合せは、ディーゼル発電機用海水ストレーナ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、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風（台風）による水平荷重が作用する。

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	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	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（台風）による水平荷重

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。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、蓋に対しては弾性範囲である設計降伏点とし、支持脚及び基礎ボルトに対しては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。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界を表 3-3、許容応力を表 3-4 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

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	
蓋	—	一次応力	曲げ	S_y
支持脚	Ⅲ _A S	一次応力	圧縮	$1.5 f_c$
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	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$

表 3-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
蓋	SCS14	50*	180	429	185	184	—	—
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

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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 評価モデル

a. 等分布荷重による評価

等分布荷重による評価を行うストレーナの蓋は、平板円板モデルとする。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。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

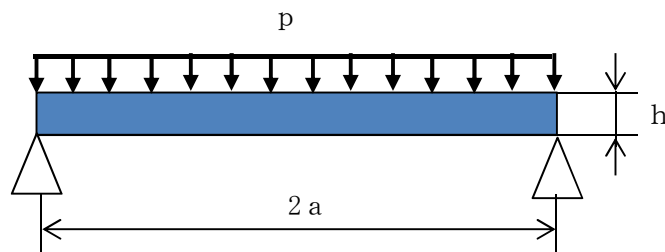


図 3-3 等分布荷重による計算モデル図

b. 1 質点系モデルによる評価

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（台風）による水平荷重に対する、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 1 質点系モデル図を図 3-4 に示す。

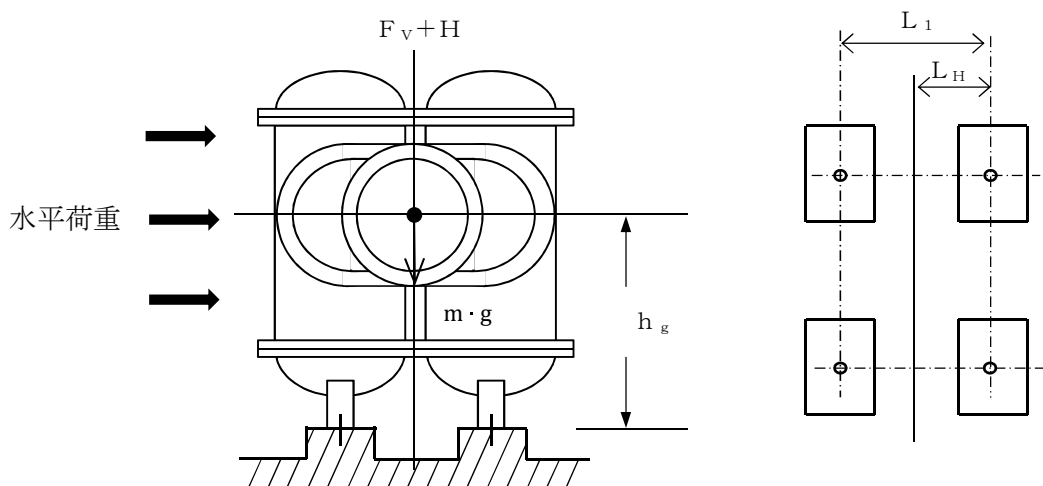


図 3-4 1 質点系モデル図

(2) 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

$$F_v = F'_v \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。保守的に基礎部面積分の降下火砕物等がストレーナに堆積すると仮定し、基礎部面積を受圧面積とする。

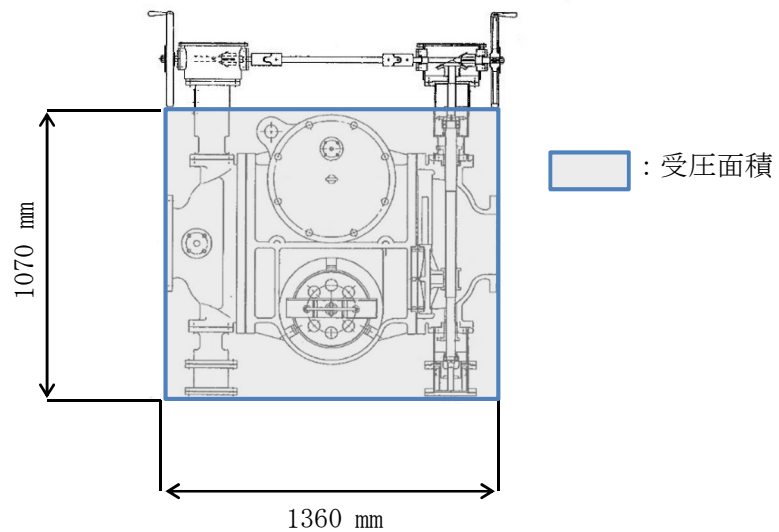


図3-5 鉛直荷重の受圧面積

(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) 蓋に生じる応力

イ. 曲げ応力

蓋に生じる曲げ応力 σ_a は次式より算出される。

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

(b) 支持脚に生じる応力

イ. 圧縮応力

支持脚に生じる圧縮応力 σ_c は次式より算出される。

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

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 3-6 に示す。

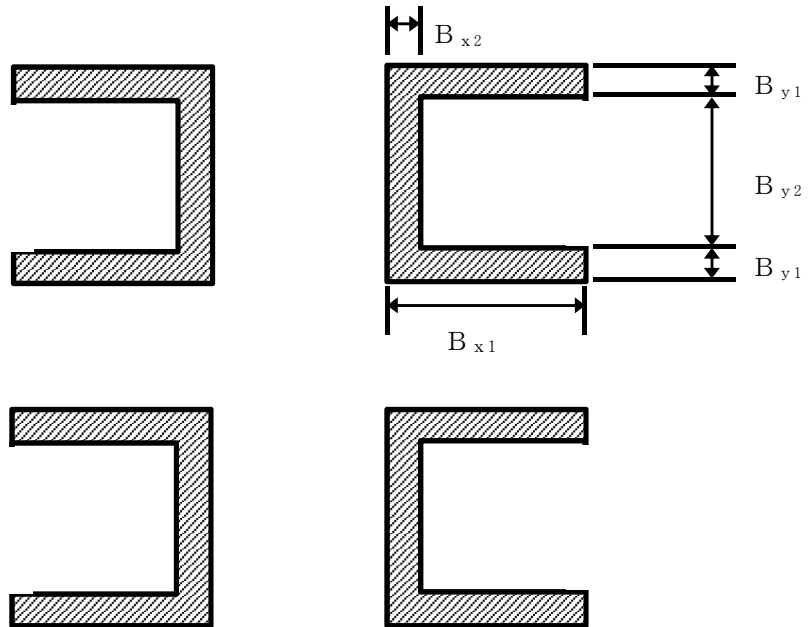


図 3-6 支持脚の断面図

(c) 基礎ボルト生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は次式より算出される。

最も厳しい条件として、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

基礎ボルトに生じるせん断応力 τ は次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力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 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

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

表 4-2 評価条件 (蓋)

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

表 4-3 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)
9.80665	7565	1.46	100	15	15

B _{y2} (mm)	L _H (mm)	L ₁ (mm)	D _o (mm)	H _s (mm)	m (kg)
95	270	540	1360	945	2050

ボルト サイズ	N (-)	n _f (-)	A _b (mm ²)	h _g (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 に示す。

蓋，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

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
蓋	SCS14	曲げ	3	180
支持脚	SCS14	圧縮	2	184
基礎ボルト	SS400	引張	31	173
		せん断	3	133
		組合せ	31	173

V-3-別添 2-2 防護対策施設の強度計算の方針

目次

1. 概要	2
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 強度評価の対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	5
4.1 荷重及び荷重の組合せ	5
4.2 許容限界	9
5. 強度評価方法	11
5.1 防護対策施設	11
6. 適用規格	17

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「V-1-1-2-4-3」という。）に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「V-1-1-2-4-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設の具体的な計算の方法及び結果は、V-3-別添2-2-1「防護対策施設の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 強度評価の対象施設」に示す評価対象施設について、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせすべき他の荷重による組合せ荷重又は応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 強度評価の対象施設

V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、防護対策施設を強度評価の対象施設（以下「評価対象施設」という。）とし表2-1 に示す。なお、防護対策施設以外の構造物への荷重を考慮する施設の強度評価の方針は、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。

表 2-1 評価対象施設

施設分類	評価対象施設
防護対策施設	・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

3. 構造強度設計

V-1-1-2-4-1で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、V-1-1-2-4-3の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

防護対策施設の構造強度の設計方針を設定し、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を示す。

(1) 防護対策施設

a. 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、原子炉建屋付属棟屋上面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

3.2 機能維持の方針

V-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえV-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 設備

a. 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

(a) 構造設計

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

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、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、防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する基礎ボルトから構成される

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する防護鋼板に作用し、架構に伝達する構造とする。また、風荷重は、架構及び架構を介して基礎ボルトに作用する。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造計画を表3-1に示す。

(b) 評価方針

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、中央制御室換気系冷凍機を構成する防護鋼板、架構及び基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、V-3-別添2-1-1「防護対策施設の強度計算書」に示す。

表 3-1 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は原子炉建屋付属棟屋上に設置する設計とする。</p>			
中央制御室換気系冷凍機防護対策施設	防護鋼板、架構及び基礎ボルトにより構成する。	降下火砕物の堆積荷重は、防護鋼板に作用し、架構及び基礎ボルトを介し、原子炉建屋付属棟躯体に伝達する構造とする。	<p>上面図</p> <p>側面図</p> <p>■ : 中央制御室換気系冷凍機</p> <p>■ : 防護鋼板</p>

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重は、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-3にて設定しており、それらを「(1) 荷重の種類」に示す。また、評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せの考え方は、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-3にて定めており、これらを踏まえて、強度評価において考慮すべき荷重の組合せを設定する。評価対象施設の荷重の組合せを「(2) 荷重の組合せ」に示す。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、V-1-1-2-4-1の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用している荷重に従って、持続的に生じる荷重である自重及び積載荷重とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_v)

降下火砕物による荷重は、V-1-1-2-4-1の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」の降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、湿潤密度 1.5 g/cm^3 の降下火砕物が 50 cm 堆積した場合の荷重とする。

c. 積雪荷重 (F_s)

積雪深は、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-1-1「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」(以下「V-1-1-2-1-1」という。)の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、茨城県建築基準法等施行細則(昭和45年3月9日茨城県規則第9号)による東海村の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重*を与えるための係数 0.35 を考慮する。積雪荷重については、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1 cm ごとに 20 N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

注記 *：建築物荷重指針・同解説(2014)

d. 風荷重 (W)

風速は、V-1-1-2-1-1の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた東海村の基準風速である 30 m/s とする。風荷重については、施設の形状により風力係数等が異なるため、施設ごとに設定する。

e. 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、配管等に作用する内圧等であり、評価対象施設には作用しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重については，それらの組合せを考慮し，自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 評価対象施設の荷重の組合せ

評価対象施設の荷重の組合せについては，自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

なお，常時作用する荷重，積雪荷重，風荷重及び運転時の状態で作用する荷重については，組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には，評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ，評価対象施設の強度評価における荷重の組合せの設定については，施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1 対象施設ごとの荷重の組合せ

施設分類	強度評価の対象施設	荷 重						
		常時作用する荷重(F_d)			降下火砕物による荷重(F_v)	積雪荷重(F_s)	風荷重(W)	運転時の状態で作用する荷重等(F_p)
		自重	積載荷重	水頭圧				
防護対策施設	中央制御室換気系 冷凍機防護対策施設	○	—	—	○	○	○	—

(○：考慮する荷重を示す。)

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式を以下に示す。鉛直荷重については、V-3-別添 2-2-1「防護対策施設の強度計算書」にて使用するための算出式を用いた荷重の算出も行う。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定 義
A	m ²	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E _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わす係数
F _v	N/m ²	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F _s	N/m ²	積雪荷重
F _v '	N/m ²	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f _s	N/(m ² ・cm)	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
H	m	全高
H _v	m	降下火砕物の層厚
H _s	cm	積雪深
q	N/m ²	設計用速度圧
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第 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第 1454 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
ρ	Kg/cm ³	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_v = \rho \cdot g \cdot H_v$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = 0.35 \cdot f_s \cdot H_s$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	G (m/s ²)	H _s (m)	f _s (N/(m ² ・cm))	H _s (cm)
1500	9.80665	0.5	20	10.5

上記式より、 $F_v = 7355 \text{ N/m}^2$ 、 $F_s = 210 \text{ N/m}^2$ である。

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重（以下「降下火砕物等堆積による鉛直荷重」という。）は、次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_v + F_s$$

以上より、 $F_v' = 7565 \text{ N/m}^2$ とする。

c. 水平荷重

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

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき、以下のとおりである。

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

ここで

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

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

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

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

4.2 許容限界

許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

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

(1) 防護対策施設

a. 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 防護鋼板、架構及び基礎ボルト

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設を構成する防護鋼板、架構及び基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、**防護鋼板に対しては弾性範囲である設計降伏点を許容限界として設定する。また、架構及び基礎ボルトに対しては J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態 III_A S の許容応力を許容限界として設定する。**

表 4-4 防護対策施設の許容限界

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
中央制御室 換気系冷凍機 防護対策施設	$F_d + F_v + F_s$	防護鋼板	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	弾性範囲内である設計降伏点とする。
	$F_d + F_v + F_s + W$	架構	曲げ 圧縮 引張 せん断 組合せ		
		基礎 ボルト	引張 せん断 組合せ		J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ _A S の許容応力以下とする*

F_d : 常時作用する荷重

W : 風荷重

F_v : 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

F_p : 運転時の状態で作用する荷重

注記 * : 表 4-5 その他支持構造物の許容限界を準用する。

表 4-5 その他支持構造物

許容応力状態	許容限界* (ボルト以外)				許容限界* (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	圧縮	曲げ	引張	せん断	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

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

5. 強度評価方法

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

- ・ F E M等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

風荷重を考慮した、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、防護対策施設の強度評価方法を以下に示す。

5.1 防護対策施設

5.1.1 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設

(1) 評価条件

中央制御室防護対策施設の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物が堆積する防護鋼板は、等分布荷重が作用する長方形板として**機械工学便覧の計算方法を準用して**評価を行う。
- b. 架構及び基礎ボルトは、F E M解析を用いて**構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定し評価を行う。**
- c. 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- d. 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。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
防護鋼板	曲げ
架構	曲げ, 圧縮, 引張, せん断, 組合せ
基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	防護鋼板の短辺
A	mm ²	架構の断面積
A ₁	m ²	受圧面積 (風向きに垂直な面に投影した面積)
A ₂	mm ²	降下火砕物の堆積面積
A _a	mm ²	基礎ボルトの 1 本当たりの断面積
A _z	mm ²	架構の強軸方向のせん断断面積
A _y	mm ²	架構の弱軸方向のせん断断面積
b	mm	防護鋼板の長辺
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D _o	mm	防護対策施設の長辺
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 _a	N	架構に作用する最大引抜き力 (1 箇所当たり)
F _c	N	架構に作用する圧縮力
F _t	N	架構に作用する引張力
F _{v1} '	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
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度 (=9.80665)
h	mm	防護鋼板の厚さ
H	mm	防護対策施設の地表面からの高さ
H _s	mm	防護対策施設の全高
M _z	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント
M _y	N・mm	架構に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
m	kg	防護鋼板 1 枚の質量

表 5-2 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
n	—	架構 1 箇所当たりの基礎ボルトの本数
P_f	N	自重により架構に作用する軸力で F_t 又は F_c のいずれか大きい方
p	N/mm	防護鋼板に作用する等分布荷重
Q_s	N	架構脚部基礎ボルトに作用する最大せん断力
Q_z	N	架構に作用する強軸方向のせん断力
Q_y	N	架構に作用する弱軸方向のせん断力
q	N/m ²	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W	N	風（台風）による水平荷重
Z_b	M	地表面祖度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面祖度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
Z_z	mm ³	架構の強軸まわりの断面係数
Z_y	mm ³	架構の弱軸まわりの断面係数
β	—	防護鋼板の最大応力の係数（機械工学便覧から算出）
σ	MPa	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
σ_a	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_b	MPa	架構に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力
σ_f	MPa	架構に生じる組合せ応力
σ_t	MPa	架構に生じる引張応力
τ	MPa	架構に生じるせん断応力
τ_a	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

b. 評価モデル

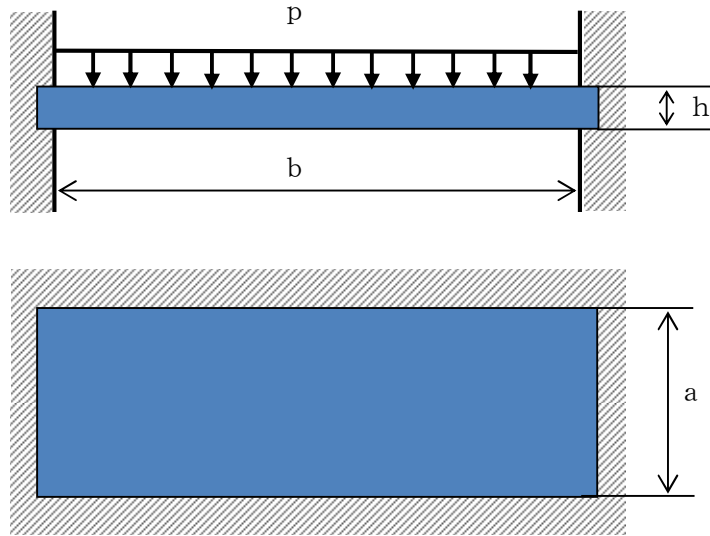


図 5-1 等分布荷重による計算モデル図

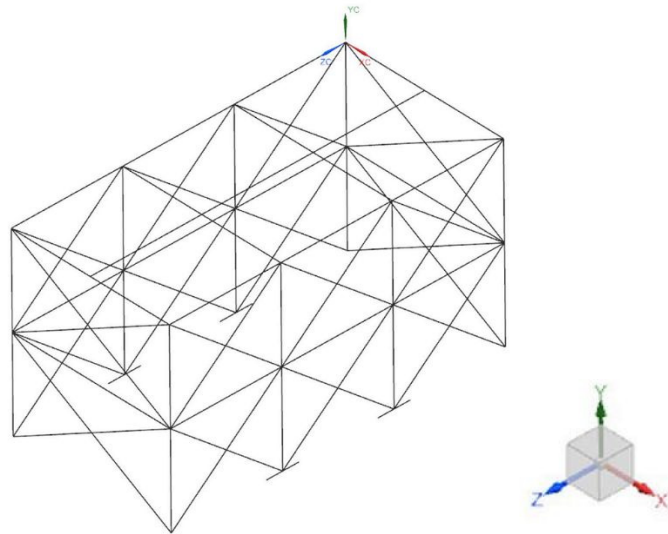


図 5-2 FEM解析に用いるモデル図

c. 強度評価方法

(a) 防護鋼板に生じる応力

イ. 曲げ応力

防護鋼板に生じる曲げ応力 σ は次式より算出される。

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

ここで

$$p = F_v + \frac{m \cdot g}{a \cdot b}$$

(b) 架構に生じる応力

イ. 引張応力

架構に生じる引張応力 σ_t は次式より算出される。

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

ロ. 圧縮応力

架構に生じる圧縮応力 σ_c は次式より算出される。

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

ハ. せん断応力

架構に生じるせん断応力 τ は次式より算出される。

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2}$$

ニ. 曲げ応力

架構に生じる曲げ応力 σ_b は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}$$

ホ. 組合せ応力

架構に生じる軸力、曲げモーメント及びせん断力による組合せ応力 σ_f は次式より算出される。

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{P_f}{A} + \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}\right)^2 + 3 \cdot \left\{ \left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2 \right\}}$$

ここで、 P_f は F_t 又は F_c のいずれか大きい方とする。

(c) 基礎ボルト

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力 σ_a は次式より算出される。

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_a \cdot n}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じる引張応力 τ は次式より算出される。基礎ボルトは全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{Q_a}{A_a \cdot n}$$

6. 適用規格

V-1-1-2-4-1 においては，降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，評価対象施設の強度評価に用いる規格，基準等を以下に示す。

- (1) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）
- (2) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 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）

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	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	9
3.4 許容限界	11
3.5 評価方法	13
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

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、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

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、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。中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の位置図を図 2-1 に示す。

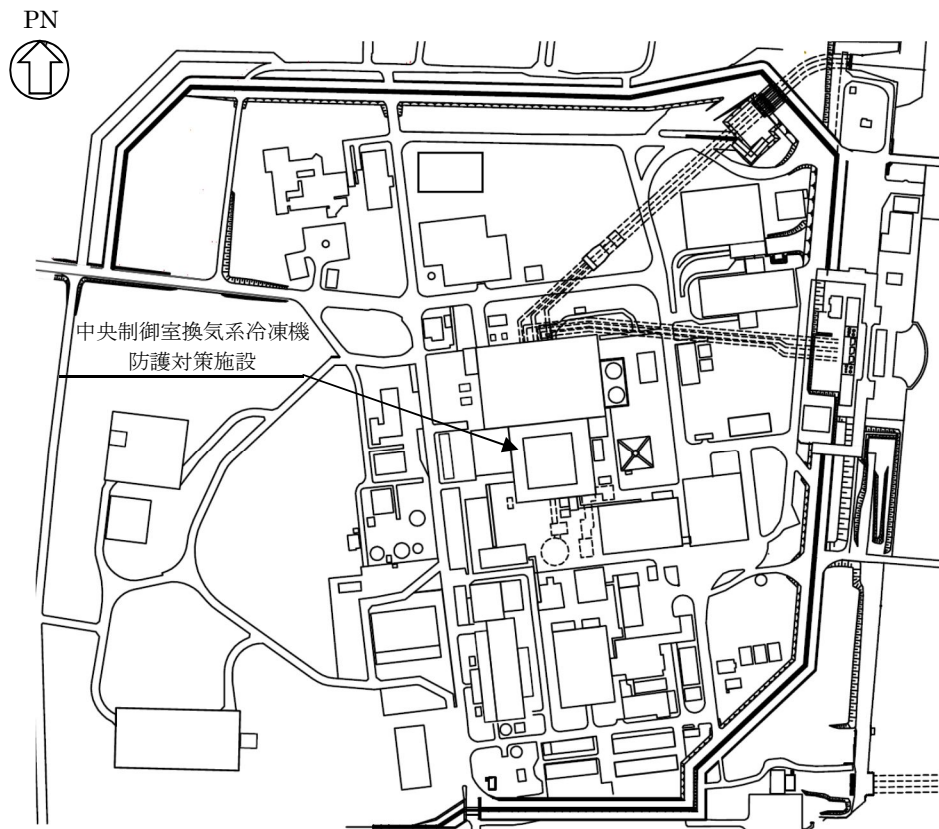


図 2-1 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の位置図

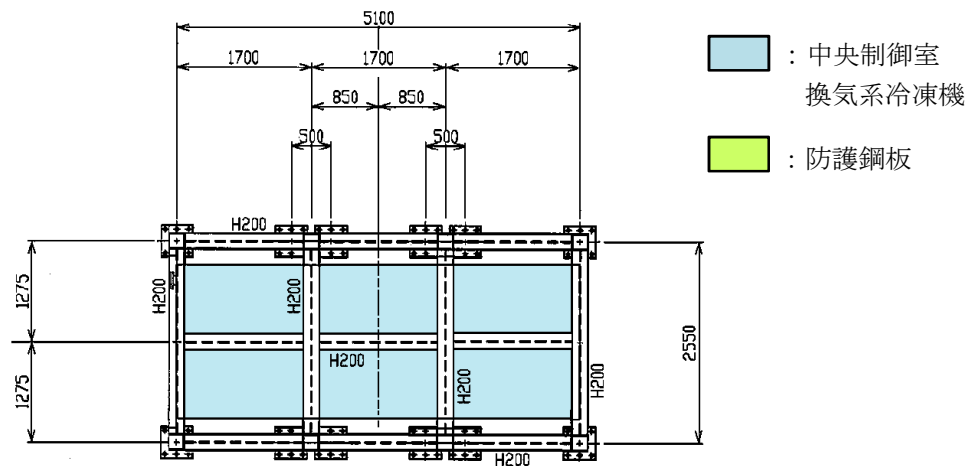
2.2 構造概要

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、V-3-別添 2-2 「防護対策施設の強度計算の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

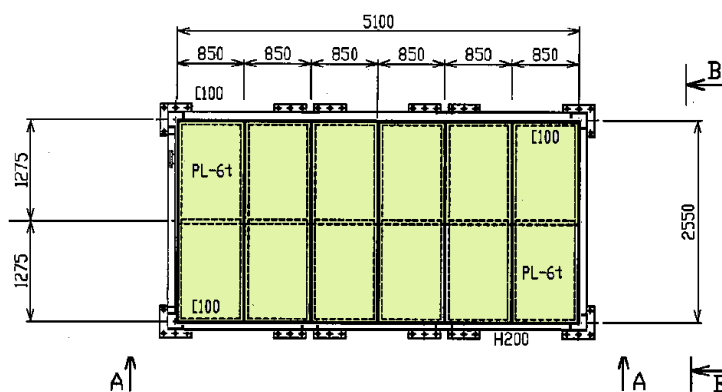
中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、中央制御室換気系冷凍機へ降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板、防護鋼板を支持する架構及び基礎ボルトから構成される。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部の概要図を図 2-2 に示す。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設が風（台風）による水平荷重を受ける概要図を図 2-3、降下火砕物等が中央制御室換気系冷凍機防護対策施設に最も多く堆積することが想定される状態図を図 2-4 に示す。



(a) 上面図（架構のみ）



(b) 上面図（防護鋼板含む）

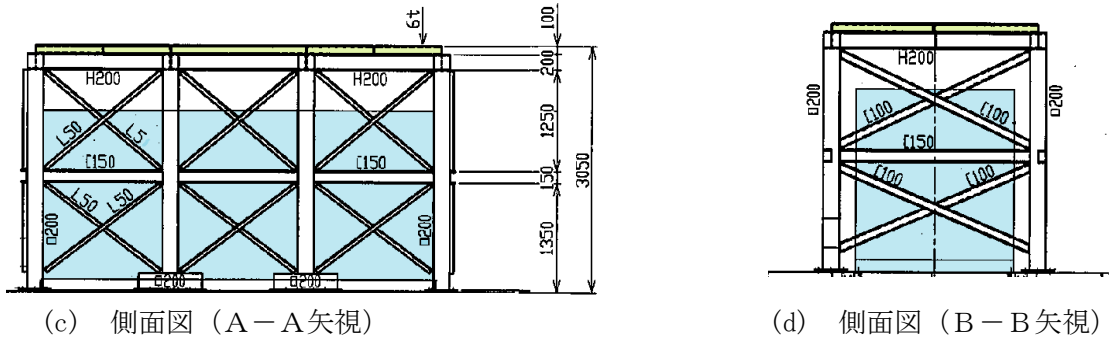
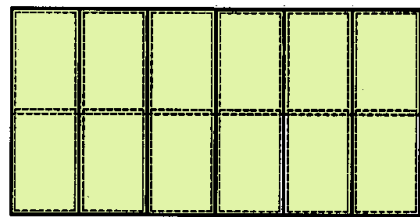
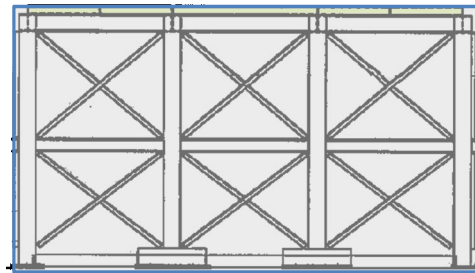


図 2-2 防護対策施設の概要図



↑ ↑ ↑
風 (台風) による水平荷重の方向

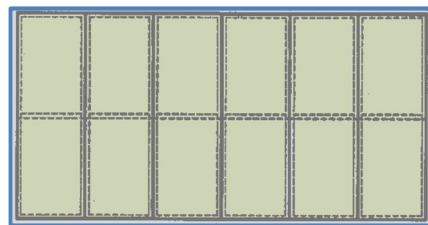
(a) 上面図



□ : 風 (台風) による水平荷重を受ける面

(b) 側面図

図 2-3 風 (台風) による水平荷重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

中央制御室換気系冷凍機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、中央制御室換気系冷凍機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。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価フローを図2-5に示す。中央制御室換気系冷凍機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、防護鋼板上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を想定する。また、風（台風）による水平荷重は、架構及び基礎ボルトに対し算出し入力荷重として設定する。それぞれの評価については、V-3-別添2-2「防護対策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。なお、**架構及び基礎ボルトは、FEM解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。**

中央制御室換気系冷凍機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書の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、**設計降伏点及びJ E A C 4 6 0 1の許容応力状態 III_ASとする。**

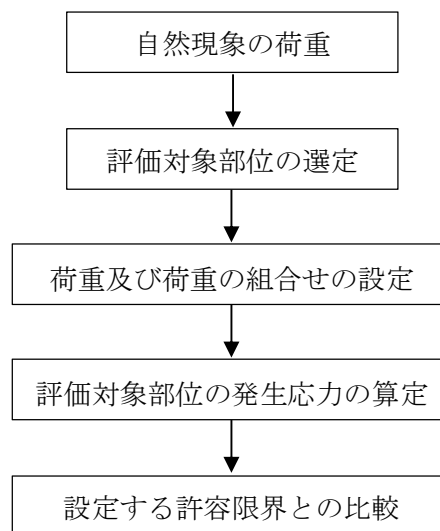


図2-5 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価フロー

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

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	防護鋼板の短辺
A	mm ²	架構の断面積
A ₁	m ²	受圧面積 (風向きに垂直な面に投影した面積)
A ₂	mm ²	降下火砕物の堆積面積
A _a	mm ²	基礎ボルトの 1 本当たりの断面積
A _z	mm ²	架構の強軸方向のせん断断面積
A _y	mm ²	架構の弱軸方向のせん断断面積
b	mm	防護鋼板の長辺
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D _o	mm	防護対策施設の長辺
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 _a	N	架構に作用する最大引抜き力 (1 箇所当たり)
F _c	N	架構に作用する圧縮力
F _t	N	架構に作用する引張力
F _{v1'}	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
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度 (=9.80665)
h	mm	防護鋼板の厚さ
H	mm	防護対策施設の地表面からの高さ
H _s	mm	防護対策施設の全高
M _z	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント
M _y	N・mm	架構に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
m	kg	防護鋼板 1 枚の質量

表 3-1 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
n	—	架構 1 箇所当たりの基礎ボルトの本数
P_f	N	自重により架構に作用する軸力で F_t 又は F_c のいずれか大きい方
p	N/mm	防護鋼板に作用する等分布荷重
Q_s	N	架構脚部基礎ボルトに作用する最大せん断力
Q_z	N	架構に作用する強軸方向のせん断力
Q_y	N	架構に作用する弱軸方向のせん断力
q	N/m ²	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W	N	風（台風）による水平荷重
Z_b	M	地表面祖度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面祖度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
Z_z	mm ³	架構の強軸まわりの断面係数
Z_y	mm ³	架構の弱軸まわりの断面係数
β	—	防護鋼板の最大応力の係数（機械工学便覧から算出）
σ	MPa	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
σ_a	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_b	MPa	架構に生じる曲げ応力
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力
σ_f	MPa	架構に生じる組合せ応力
σ_t	MPa	架構に生じる引張応力
τ	MPa	架構に生じるせん断応力
τ_a	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

3.2 評価対象部位

中央制御室換気系冷凍機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及び防護鋼板を介して架構に作用する。風（台風）による水平荷重については、架構及び架構を介して架構を固定している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防護鋼板及び架構を、風（台風）による水平荷重に対しては架構及び基礎ボルトを評価対象部位とする。

中央制御室換気系冷凍機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。

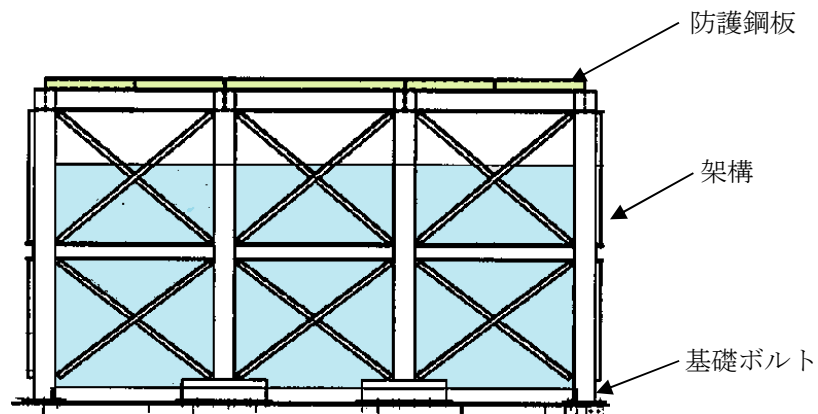


図 3-1 中央制御室換気系冷凍機防護対象施設の評価対象部位

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 7565 N/m^2 とする。
- c. 風（台風）による水平荷重 (W)

風（台風）による水平荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重 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。 H が 5m 以上であるため、 H が Z_b 超える場合の式を用いる。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

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

ここで

$$A_1 = H_s \cdot D_o$$

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

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

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

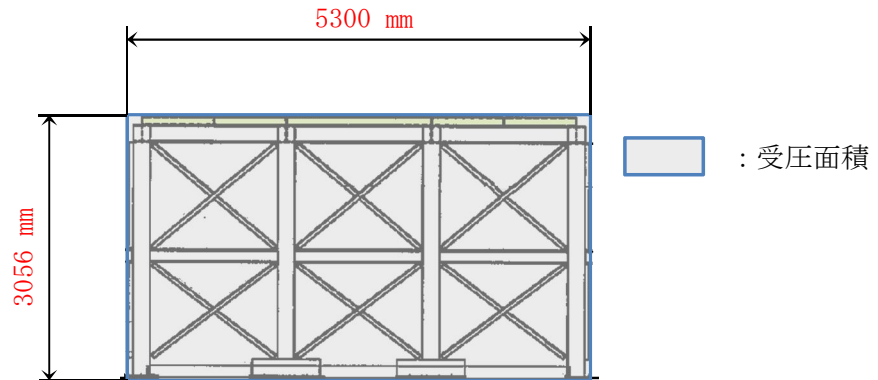


図 3-2 風（台風）による水平荷重の受圧面積

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、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の評価対象部位ごとに設定する。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の防護鋼板には、自重及び降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。また、架構及び基礎ボルトには、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重が作用する。なお、防護鋼板に対し、風（台風）による水平荷重が作用すると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（台風）による水平荷重は考慮しない。

中央制御施設換気系冷凍機防護対策施設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
中央制御室換気系 冷凍機防護対策施設	防護鋼板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	架構	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重
	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（台風）による水平荷重

3.4 許容限界

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、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 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。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界は、**防護鋼板に対しては弾性範囲である設計降伏点とし、架構及び基礎ボルトに対してはJ E A G 4 6 0 1を準用し、「その他支持構造物」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。

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界を表 3-3、**許容応力を表 3-4**に示す。

表 3-3 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容限界

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		
防護鋼板	—	一次応力	曲げ	S_y
架構	Ⅲ _A S	一次応力	曲げ	$1.5 f_t$
			圧縮	$1.5 f_c$
			引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$1.5 f_t$
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	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$

表 3-4 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の許容応力

評価対象 部位	材料	環境 条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
防護鋼板	SS400	50*1	241	—	—	—	—	—
架構	STKR400	50*1	241	394	241	*2	241	139
	SS400		241	394	241	*2	241	139
基礎 ボルト	SS400	50*1	231	394	231	—	173	133

注記 *1：周囲環境温度

*2：部材長さに応じて算出

3.5 評価方法

中央制御室換気系冷凍機防護対策施設の応力評価は、V-3-別添 2-2「防護対策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) 評価モデル

a. 等分布荷重による評価

等分布荷重による評価を行う防護鋼板は、長方形板（四辺固定）モデルとする。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 3-3 に示す。

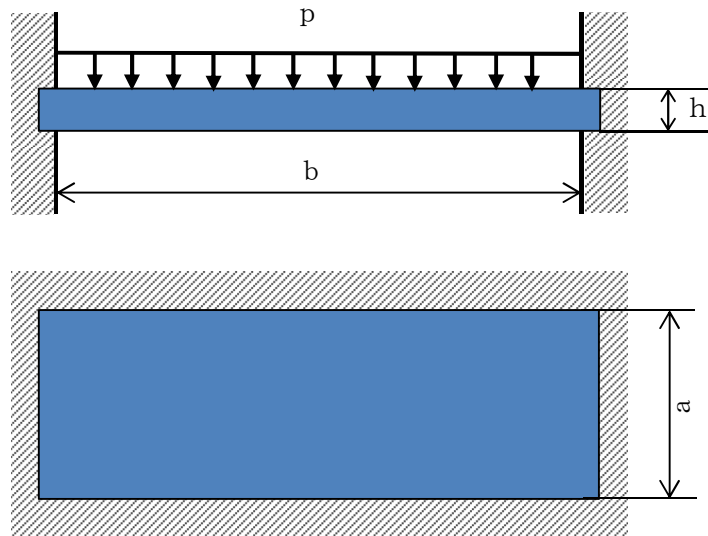


図 3-3 等分布荷重による計算モデル図

b. FEM解析による評価

架構及び基礎ボルトは、FEM解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。FEM解析に用いるモデル図を図 3-4 に示す。FEM解析に使用するコードは「ABAQUS Ver. 6.4-4」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、添付「V-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。

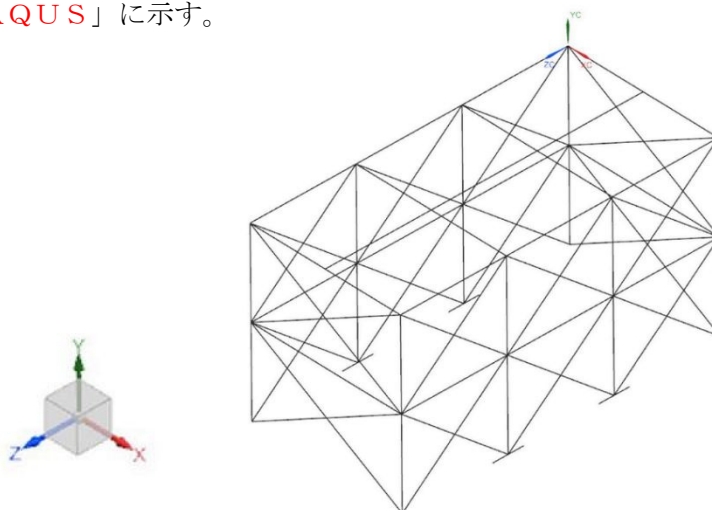


図 3-4 FEM解析に用いるモデル図

(2) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物堆積等による鉛直荷重

$$F_{v1}' = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-5 に示す。

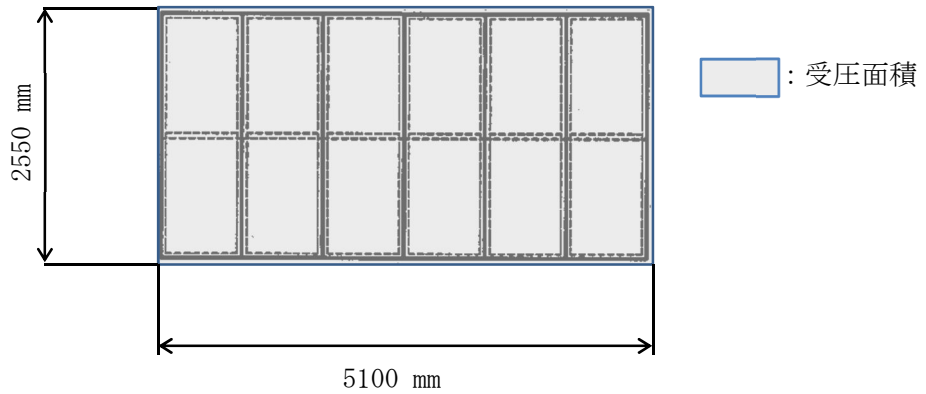


図 3-5 降下火砕物の堆積面積図

b. 応力評価

(a) 防護鋼板に生じる応力

イ. 曲げ応力

防護鋼板に生じる曲げ応力 σ は次式より算出される。

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

ここで

$$p = F_v' + \frac{m \cdot g}{a \cdot b}$$

(b) 架構に生じる応力

イ. 引張応力

架構に生じる引張応力 σ_t は次式より算出される。

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

ロ. 圧縮応力

架構に生じる圧縮応力 σ_c は次式より算出される。

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

ハ. せん断応力

架構に生じるせん断応力 τ は次式より算出される。

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2}$$

二. 曲げ応力

架構に生じる曲げ応力 σ_b は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}$$

ホ. 組合せ応力

架構に生じる軸力、曲げモーメント及びせん断力による組合せ応力 σ_f は次式より算出される。

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{P_f}{A} + \frac{M_z}{Z_z} + \frac{M_y}{Z_y}\right)^2 + 3 \cdot \left\{ \left(\frac{Q_z}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{A_y}\right)^2 \right\}}$$

ここで、 P_f は F_t 又は F_c のいずれか大きい方とする。

(c) 基礎ボルト

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力 σ_a は次式より算出される。

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_a \cdot n}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じる引張応力 τ は次式より算出される。基礎ボルトは全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{Q_a}{A_a \cdot n}$$

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 評価条件

q (N/m ²)	C (-)	G (-)	V _D (m/s)	H (m)	Z _G (m)	α (-)
1507	1.2	2.1	30	26.26	350	0.15

A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)
16.20	13.01

表 4-2 評価条件 (防護鋼板)

β (-)	p (N/mm ²)	a (mm)	b (mm)	h (mm)	m (kg)
0.45	8.027×10 ⁻³	850	1275	6	51

表 4-3 評価条件 (架構)

部材	材料	A (mm)	Z _z (mm ³)	Z _y (mm ³)	A _z (mm ²)	A _y (mm ²)
□-200×200×9	STKR400	6667	3.99×10 ⁵	3.99×10 ⁵	3061	3061
H-200×200×8×12	SS400	6353	4.72×10 ⁵	1.60×10 ⁵	3207	1438
[-150×75×6.5×10	SS400	2371	1.15×10 ⁵	2.24×10 ⁴	1079	839.4
[-100×50×5×7.5	SS400	1192	3.76×10 ⁴	7.52×10 ³	536.4	426.4
L-50×50×6	SS400	564.4	3.55×10 ³	3.55×10 ³	210.7	210.7

表 4-4 評価条件 (基礎ボルト)

ボルト サイズ	n (-)	A _a (mm ²)
M24	6	452.4

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。

防護鋼板、架構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 中央制御室換気系冷凍機防護対策施設評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生箇所
防護鋼板	SS400	曲げ	73	241	—
架構*1	SS400	曲げ	21	241	要素 No. 86
		圧縮	1	225	
		引張*2	—	—	
		せん断	7	139	
		組合せ	25	241	
基礎ボルト*1	SS400	引張	11	173	節点 No. 536
		せん断	1	133	
		組合せ	11	173	

注記 *1：架構及び基礎ボルトの発生応力は、組合せ応力の最大発生箇所の応力を示す。

*2：圧縮応力が発生し引張応力は発生しない。

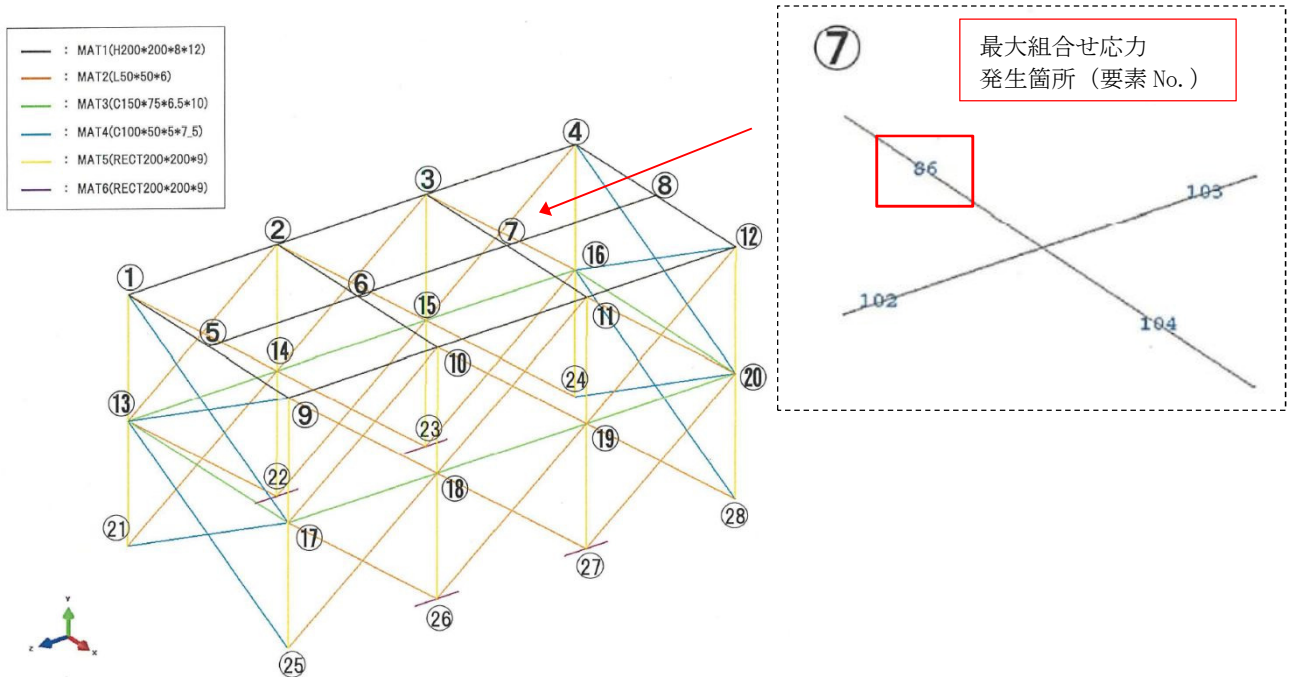


図 5-1 架構の最大応力発生箇所

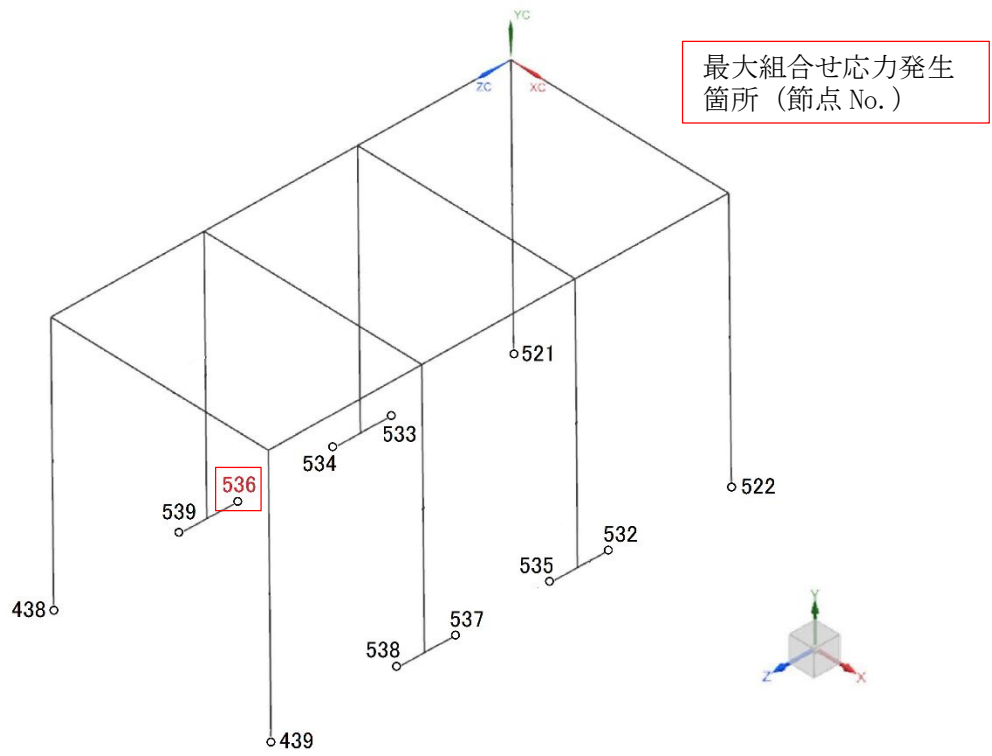


図 5-2 基礎ボルトの最大応力発生箇所 (ブレース等非表示モデル図)