

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機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5
提出年月日	平成30年3月29日

V-3-別添2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

目次

V-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

V-3-別添 2-1-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書

V-3-別添 2-1-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

V-3-別添 2-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

V-3-別添 2-1-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

V-3-別添 2-1-5 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書

V-3-別添 2-1-6 建屋の強度計算書

V-3-別添 2-2 防護対策施設の強度計算の方針

V-3-別添 2-2-1 防護対策施設の強度計算書

: 今回ご説明分

V-3-別添 2-1-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	11
4. 評価条件	14
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ポンプが降下火砕物等堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

残留熱除去系海水系ポンプは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、残留熱除去系海水系ポンプの「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

残留熱除去系海水系ポンプは、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

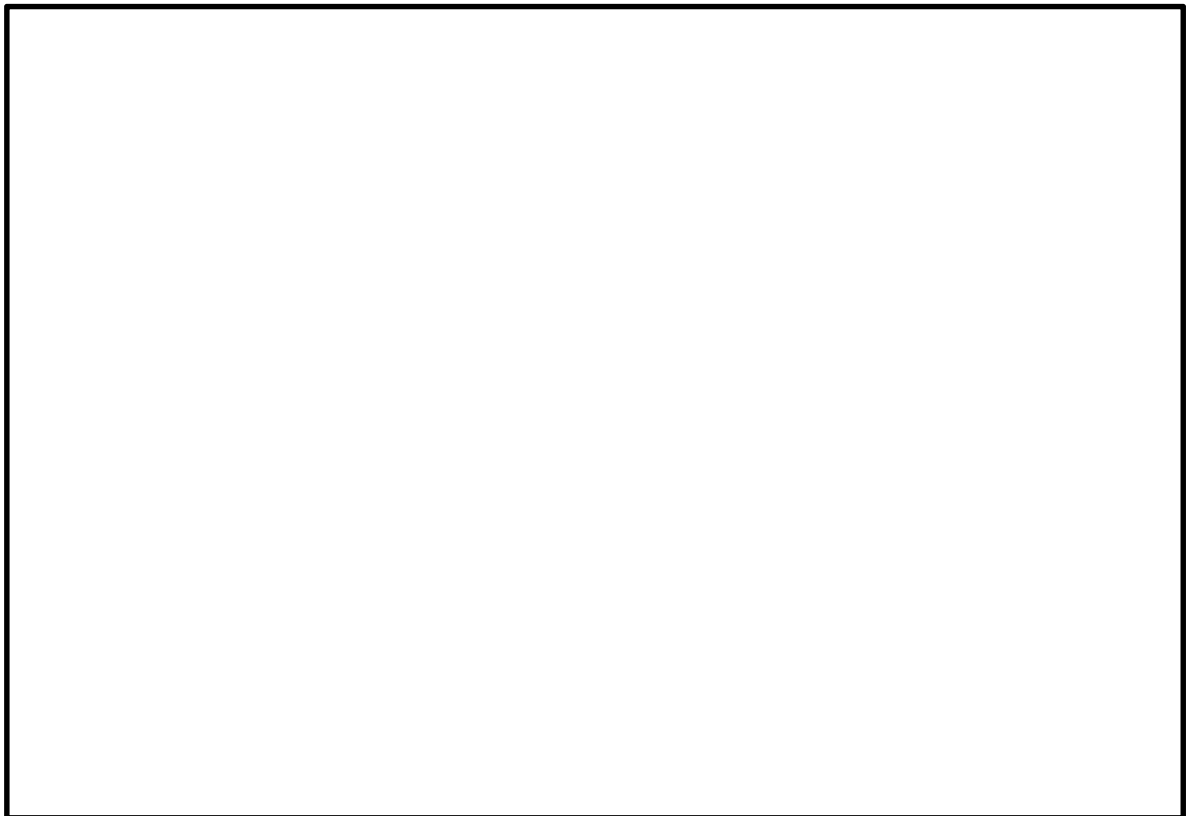


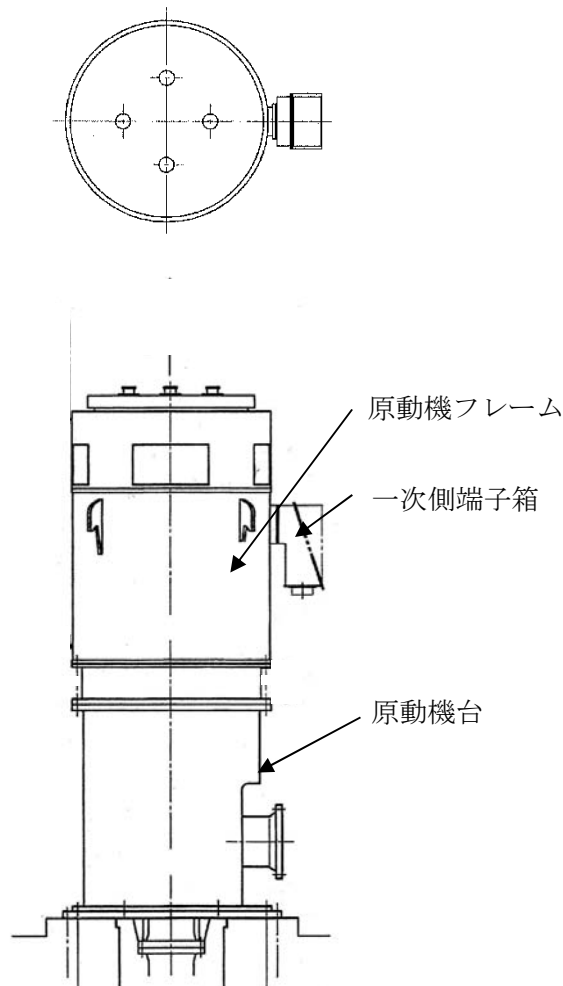
図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

残留熱除去系海水系ポンプは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

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

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



(b) 側面図

図 2-2 残留熱除去系海水系ポンプの概要図

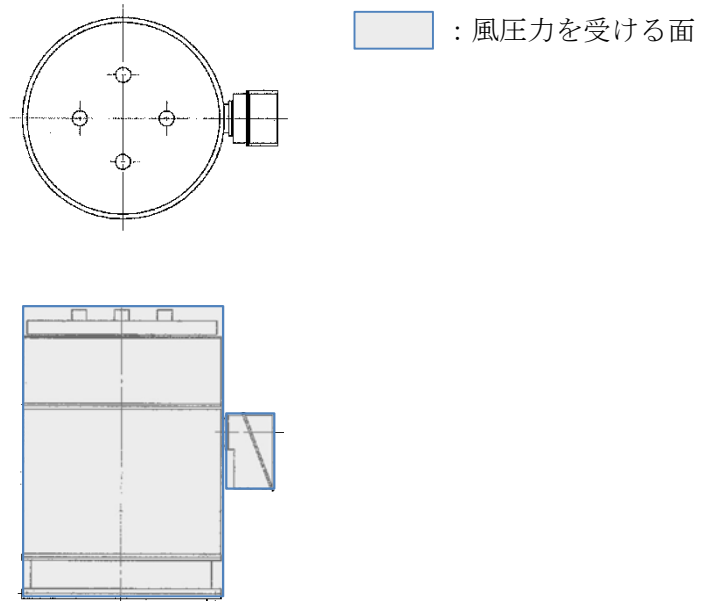


図 2-3 風圧力を受ける面の概要図

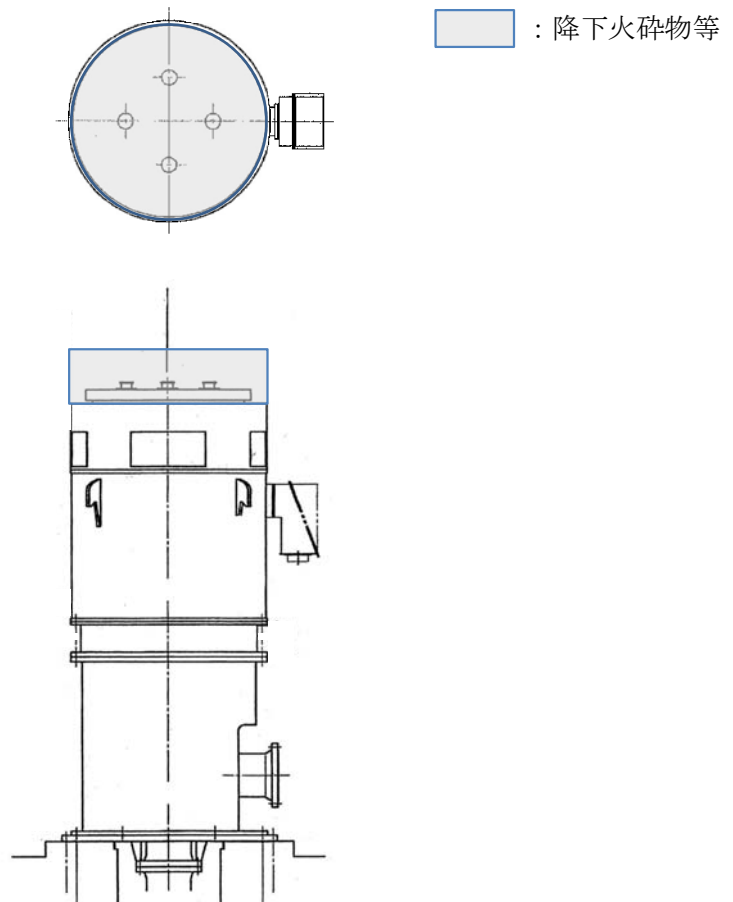


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

2.3 評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、ポンプの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。残留熱除去系海水系ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。強度評価には、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」に示す立形ポンプの評価式を用いる。残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態 III_AS とする。

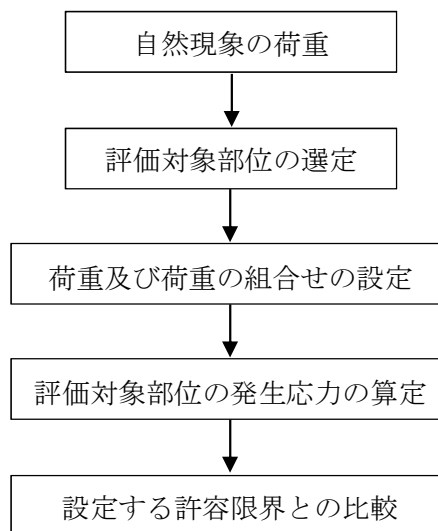


図2-5 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 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

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A_1	m^2	風の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A_2	m^2	降下火砕物等の堆積面積
A_w	mm^2	原動機フレーム溶接部の断面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
B_3	mm	原動機フレーム外径
B_4	mm	原動機フレーム内径
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
f_s	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
f_t	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	N	原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
h	mm	取付面から荷重作用点までの距離
h_w	mm	原動機フレーム溶接部高さ
M	$N \cdot mm$	原動機フレームに作用するモーメント
M_1	$N \cdot mm$	風荷重により原動機フレームに作用するモーメント
M_2	$N \cdot mm$	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント

表 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
m	kg	原動機の質量
P	kg	ポンプスラスト荷重
q	N/m ²	速度圧
S	mm ²	原動機台の断面積
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
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り強さ
V _D	m/s	基準風速
W	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
π	—	円周率
σ _c	MPa	原動機台に生じる圧縮応力
σ _t	MPa	原動機フレーム溶接部に生じる引張応力
τ	MPa	せん断応力

3.2 評価対象部位

残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機台及び原動機フレームとする。

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

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

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

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

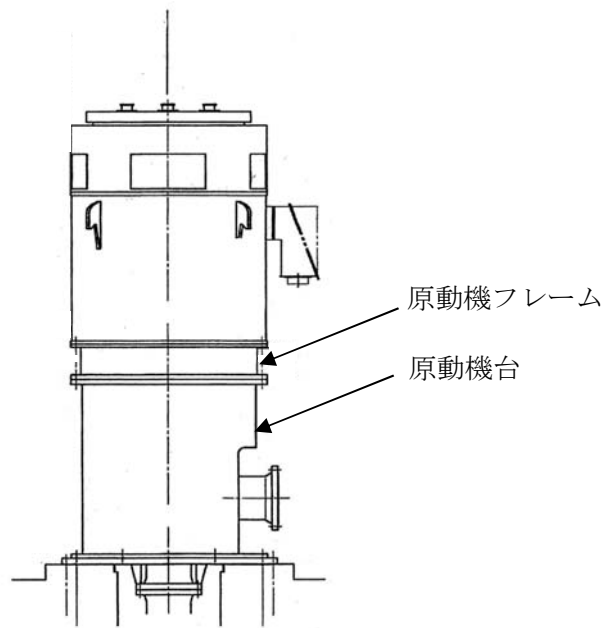


図 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、原動機の自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v)

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

c. 風荷重 (W)

風荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風荷重はV-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高 H が 5 m 以下であるため、 H が Z_b 以下の場合の式を用いる。

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

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

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

ここで

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

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

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

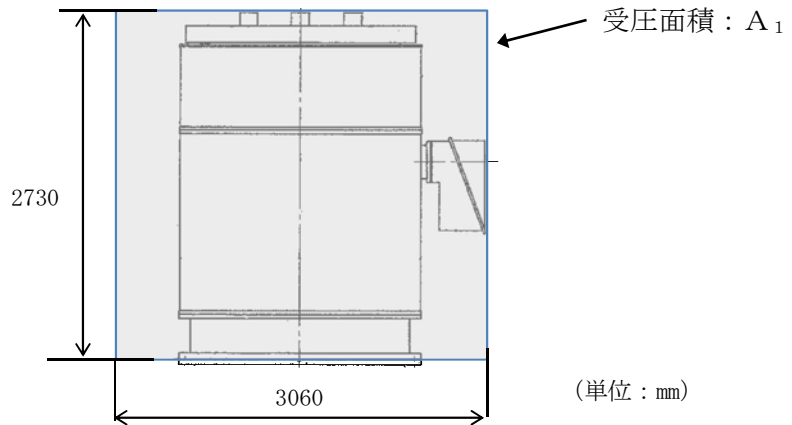


図 3-2 原動機フレーム及び一次側端子箱受圧部図

d. 運転時の状態で作用する荷重 (F_p)

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

(2) 荷重の組合せ

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

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

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

表 3-2 荷重の組合せ

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

3.4 許容限界

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づき許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力を用いる。

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_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ポンプの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 残留熱除去系海水系ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原動機台	Ⅲ _A S	一次応力	圧縮	1.5 f _c *
原動機フレーム (溶接部)	Ⅲ _A S	一次応力	引張	1.5 f _t *
			せん断	1.5 f _s *
			組合せ	1.5 f _t *
原動機フレーム	Ⅲ _A S	一次応力	圧縮	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

3.5 評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの応力評価は、V-3-別添 2-1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している立形ポンプの評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

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

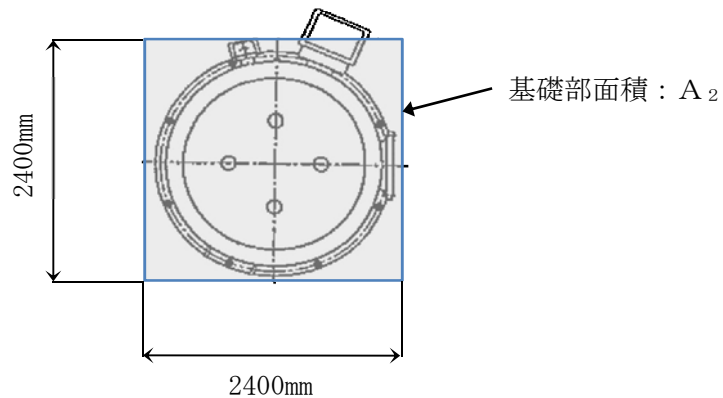


図 3-3 降下火砕物等の堆積面積図

(b) 原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重

$$H = F_d + F_p$$

ここで、

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 原動機台に生じる圧縮応力

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

ここで、

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

原動機台の断面図を図 3-3 に示す。

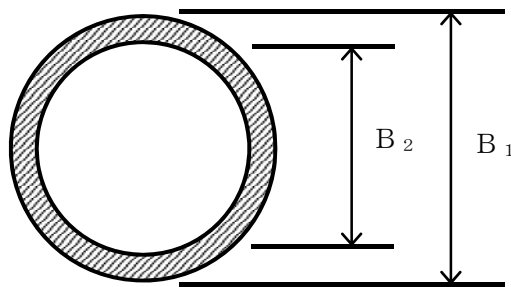


図 3-3 原動機台の断面図

(b) 原動機フレーム溶接部に生じる応力

イ. 風荷重により原動機フレームに作用するモーメント M_1

$$M_1 = W \cdot h$$

ロ. 鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント M_2

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

よって、原動機フレームに作用するモーメント M は

$$M = M_1 + M_2$$

以上より、原動機フレーム溶接部に生じる応力は次式により算出される。

・引張応力

$$\sigma_t = \frac{5.66 \cdot M}{\pi \cdot h_w \cdot B_3^2}$$

・せん断応力

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

(c) 原動機フレームに生じる圧縮応力

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

ここで,

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

原動機フレームの断面図を図 3-4 に示す。

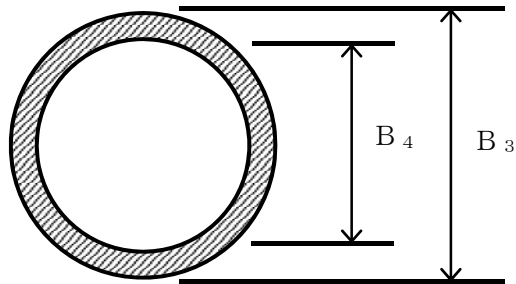


図 3-4 原動機フレームの断面図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
原動機台	SS400	50* ¹	231	394	231	—	—	229
原動機フレーム	SS400	60* ²	237	389	106	106	61	235

注記 *1：周囲環境温度

*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

材料	q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A_1 (m ²)	V_D (m/s)	Z_b (m)
SS400	960	2.2	1.2	8.354	30	5

Z_G (m)	α (-)	F_v' (N/m ²)	A_2 (m ²)	m (kg)	g (m/s ²)	P (kg)
350	0.15	7565	5.760	15200	9.80665	4400

B_1 (mm)	B_2 (mm)	B_3 (mm)	B_4 (mm)	h_w (mm)	h (mm)
1680	1648	1720	1702	6	1365

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。

原動機フレーム及び原動機台に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機フレーム (溶接部)	SS400	引張	22	106
		せん断	1	61
		組合せ	23	106
原動機フレーム	SS400	圧縮	5	235
原動機台	SS400	圧縮	3	229

V-3-別添 2-1-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

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	4
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	11
4. 評価条件	14
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ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「ディーゼル発電機用海水ポンプ」という。）が降下火砕物等堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機用海水ポンプは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電機用海水ポンプの「2.1 位置」、 「2.2 構造概要」、 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ディーゼル発電機用海水ポンプは、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に示す。

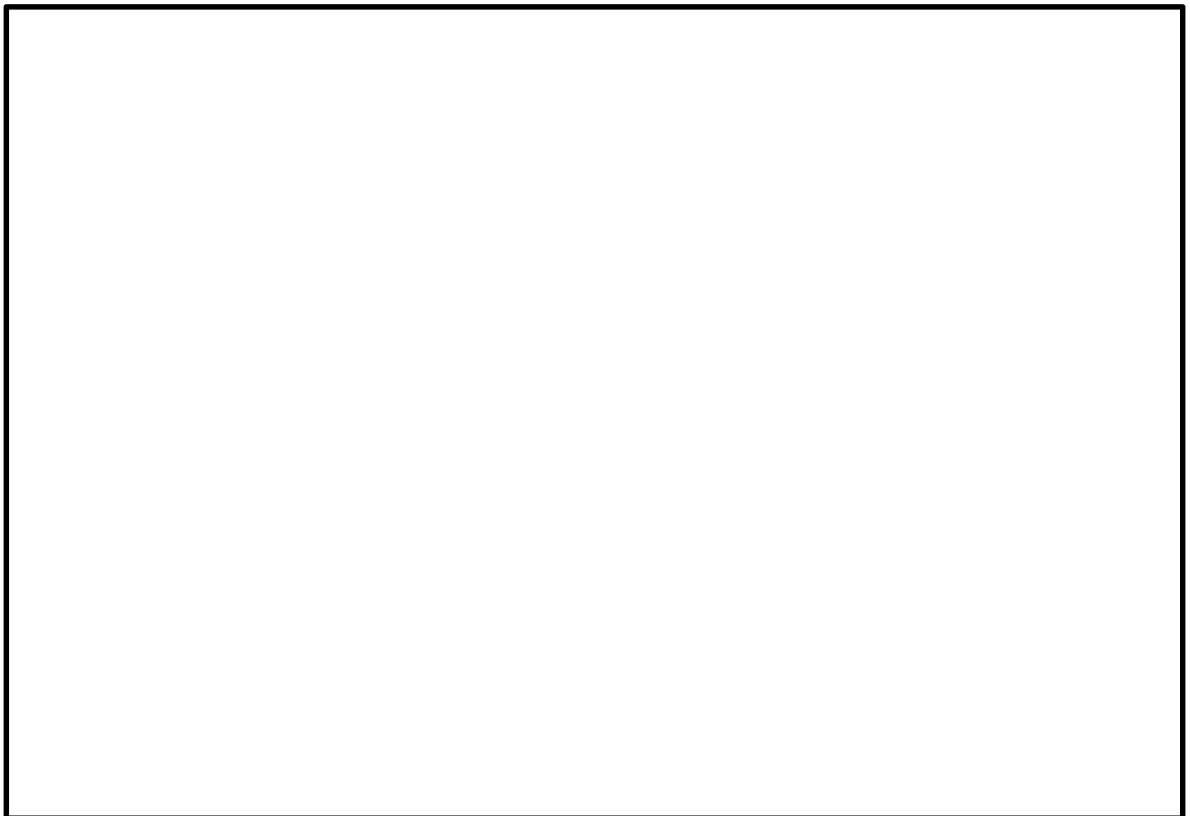


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機用海水ポンプは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

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

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

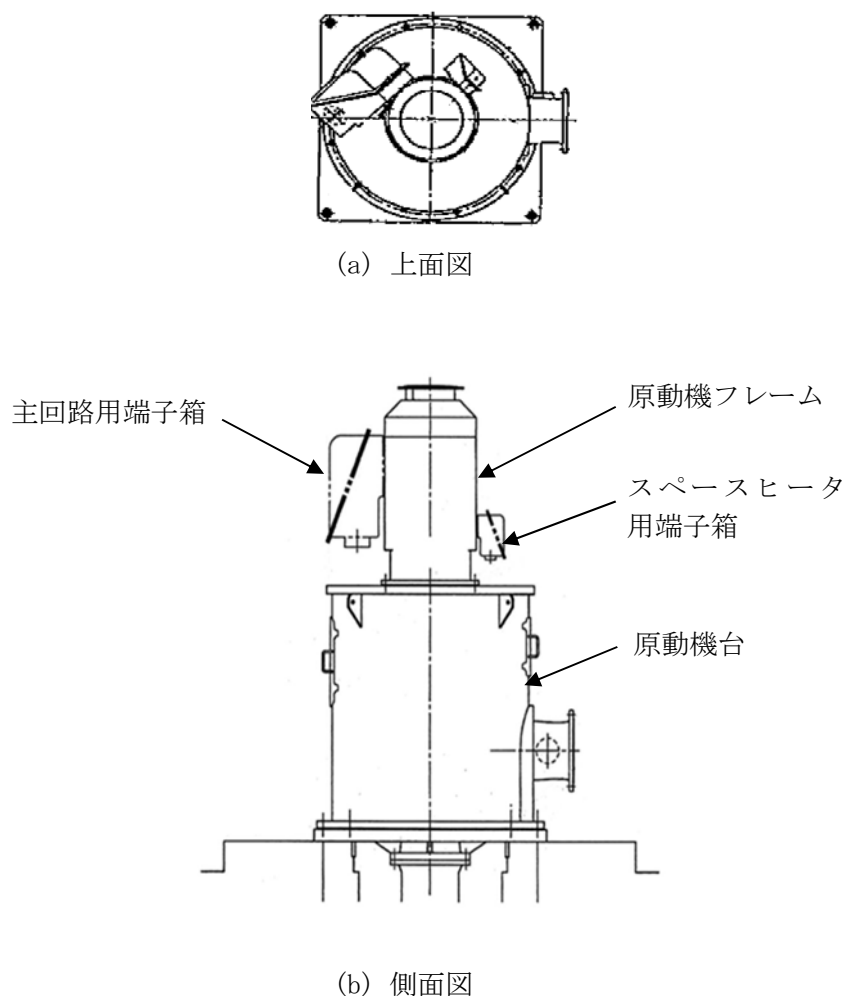



図 2-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

 : 風圧力を受ける面

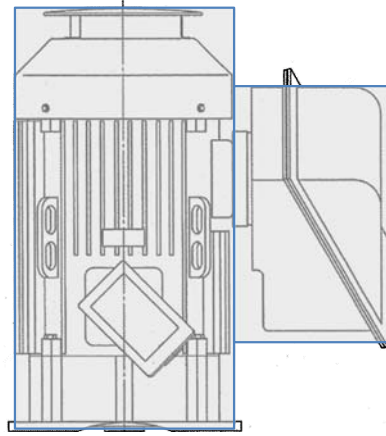


図 2-3 風圧力を受ける面の概要図

 : 降下火砕物等

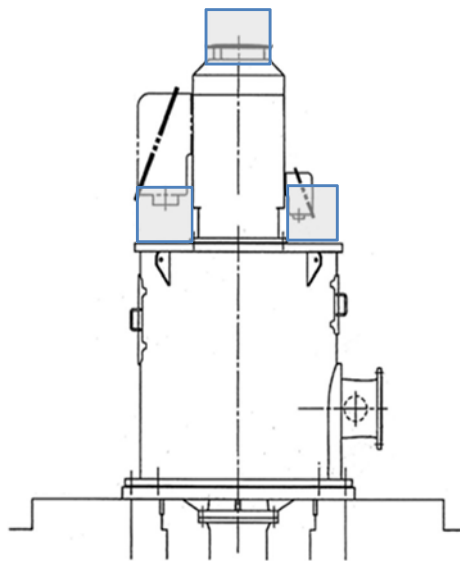
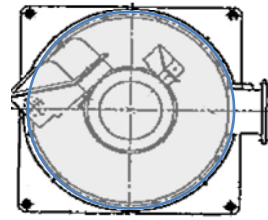


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、ポンプの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。強度評価には、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」に示す立形ポンプの評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG 4601の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

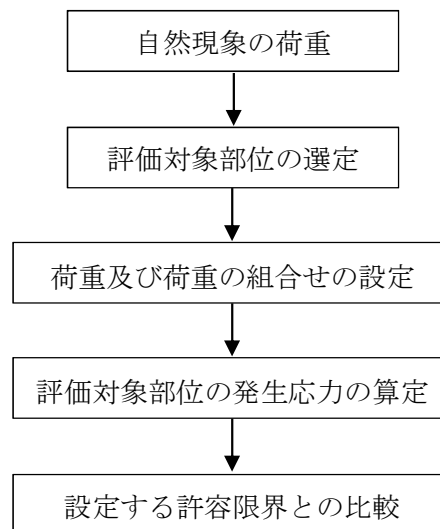


図2-5 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 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 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ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A_2	m^2	降下火砕物等の堆積面積
A_w	mm^2	原動機フレーム溶接部の断面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
B_3	mm	原動機フレーム外径
B_4	mm	原動機フレーム内径
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
f_s	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
f_t	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	N	原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
h	mm	取付面から荷重作用点までの距離
h_w	mm	原動機フレーム溶接部高さ
M	$N \cdot mm$	原動機フレームに作用するモーメント
M_1	$N \cdot mm$	風荷重により原動機フレームに作用するモーメント
M_2	$N \cdot mm$	鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
m	kg	原動機の質量
P	kg	ポンプスラスト荷重
q	N/m ²	速度圧
S	mm ²	原動機台の断面積
S _y	MPa	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
S _u	MPa	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
V _D	m/s	基準風速
W	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
π	—	円周率
σ _c	MPa	原動機台に生じる圧縮応力
σ _t	MPa	原動機フレーム溶接部に生じる引張応力
τ	MPa	せん断応力

3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機台及び原動機フレームとする。

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

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

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

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

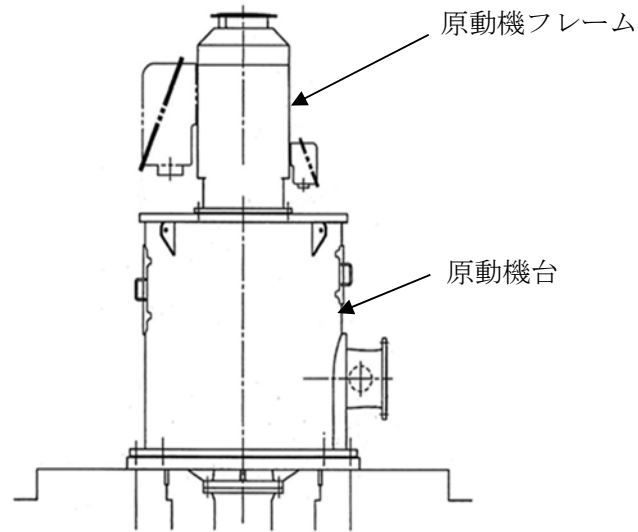


図 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、原動機の自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v)

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、7565 N/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原動機フレーム、主回路用端子箱に風圧力を受けた際の複合荷重とする。

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

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

ここで

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

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

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

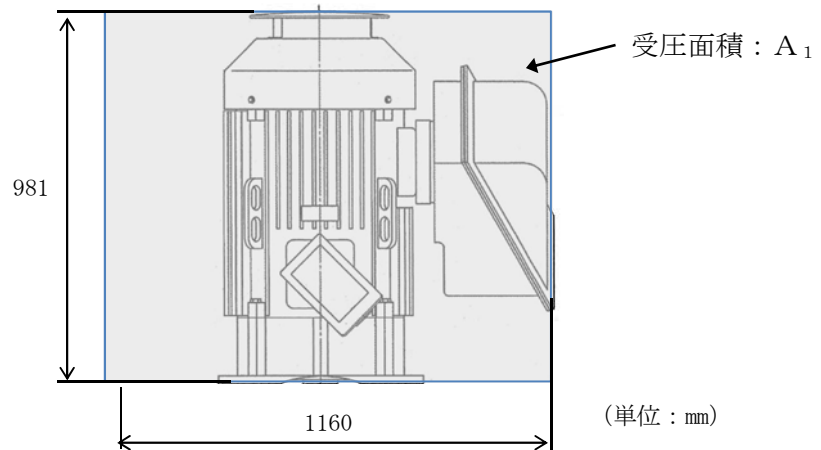


図 3-2 原動機フレーム及び主回路用端子箱受圧部図

d. 運転時の状態で作用する荷重 (F_p)

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

(2) 荷重の組合せ

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

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

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

表 3-2 荷重の組合せ

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

3.4 許容限界

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力を用いる。

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_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ポンプの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原動機台	Ⅲ _A S	一次応力	圧縮	1.5 f _c *
原動機フレーム (溶接部)	Ⅲ _A S	一次応力	引張	1.5 f _t *
			せん断	1.5 f _s *
			組合せ	1.5 f _t *
原動機フレーム	Ⅲ _A S	一次応力	圧縮	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

3.5 評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの応力評価は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している立形ポンプの評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_V = F_V' \cdot A_1$$

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

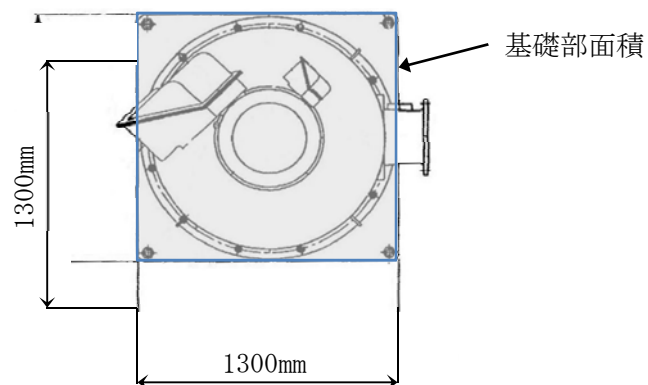


図 3-3 降下火砕物等の堆積面積図

(b) 原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重

$$H = F_d + F_p$$

ここで、

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 原動機台に生じる圧縮応力

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

ここで、

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

原動機台の断面図を図 3-3 に示す。

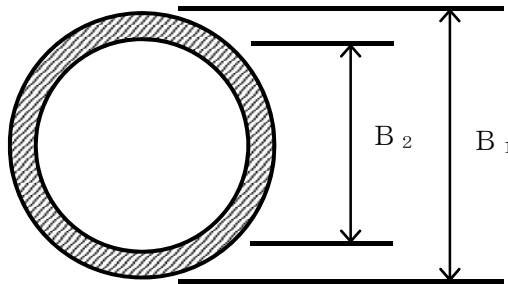


図 3-3 原動機台の断面図

(b) 原動機フレーム溶接部に生じる応力

イ. 風荷重により原動機フレームに作用するモーメント M_1

$$M_1 = W \cdot h$$

ロ. 鉛直荷重により原動機フレームに作用するモーメント M_2

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

よって、原動機フレームに作用するモーメント M は

$$M = M_1 + M_2$$

以上より、原動機フレーム溶接部に生じる応力は次式により算出される。

・引張応力

$$\sigma_t = \frac{5.66 \cdot M}{\pi \cdot h_w \cdot B_3^2}$$

・せん断応力

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

(c) 原動機フレームに生じる圧縮応力

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

ここで,

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

原動機フレームの断面図を図 3-4 に示す。

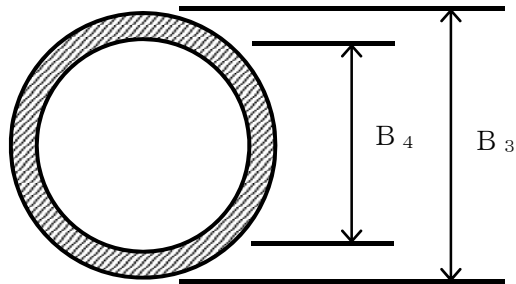


図 3-4 原動機フレームの断面図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
原動機台	SS400	50* ¹	241	394	241	—	—	240
原動機フレーム	SS400	95* ²	223	374	100	100	57	222

注記 *1：周囲環境温度

*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

材料	q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A_1 (m ²)	V_D (m/s)	Z_b (m)
SS400	960	2.2	1.2	1.138	30	5

Z_G (m)	α (-)	F_v' (N/m ²)	A_2 (m ²)	m (kg)	g (m/s ²)	P (kg)
350	0.15	7565	1.690	1230	9.80665	900

B_1 (mm)	B_2 (mm)	B_3 (mm)	B_4 (mm)	h_w (mm)	h (mm)
1100	1076	449	425	6	490.5

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。

原動機台に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機フレーム (溶接部)	SS400	引張	13	100
		せん断	1	57
		組合せ	14	100
原動機フレーム	SS400	圧縮	3	222
原動機台	SS400	圧縮	1	240

V-3-別添 2-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

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	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	11
4. 評価条件	15
5. 強度評価結果	16

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、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

残留熱除去系海水系ストレーナは、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。

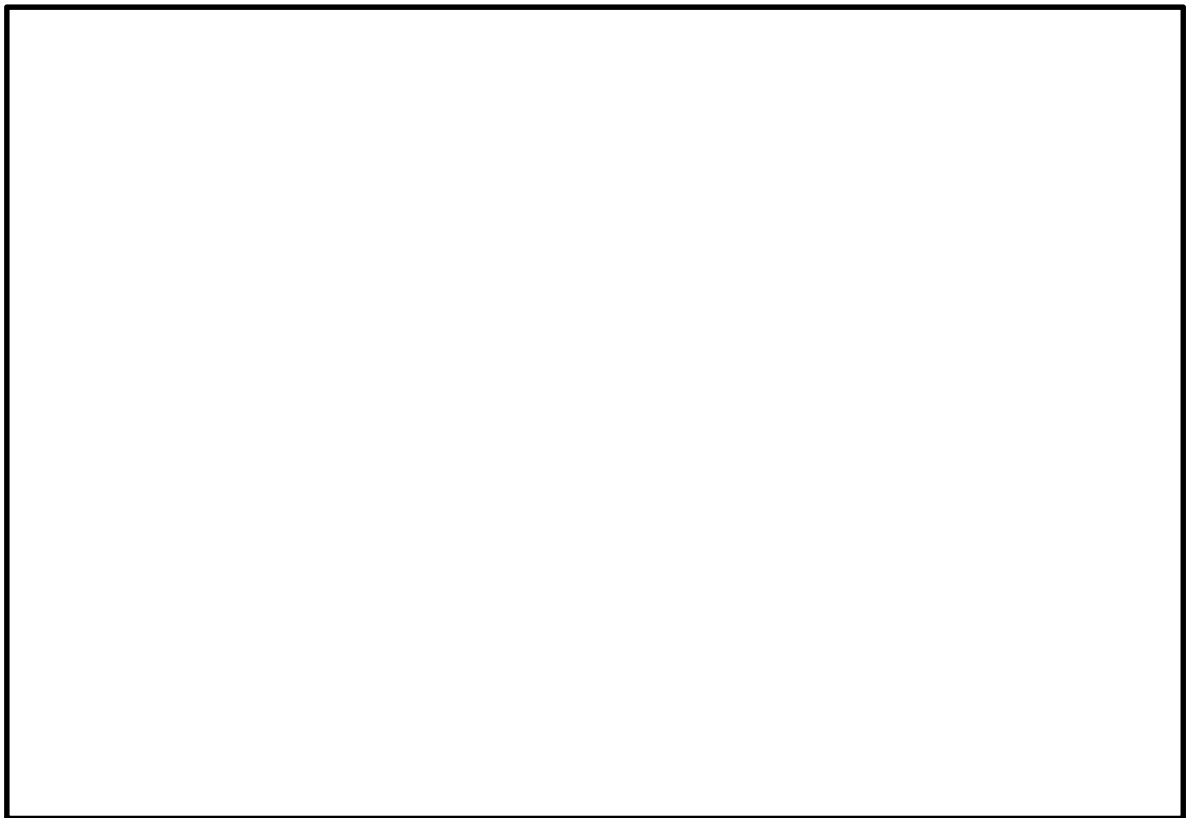


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器であり、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。

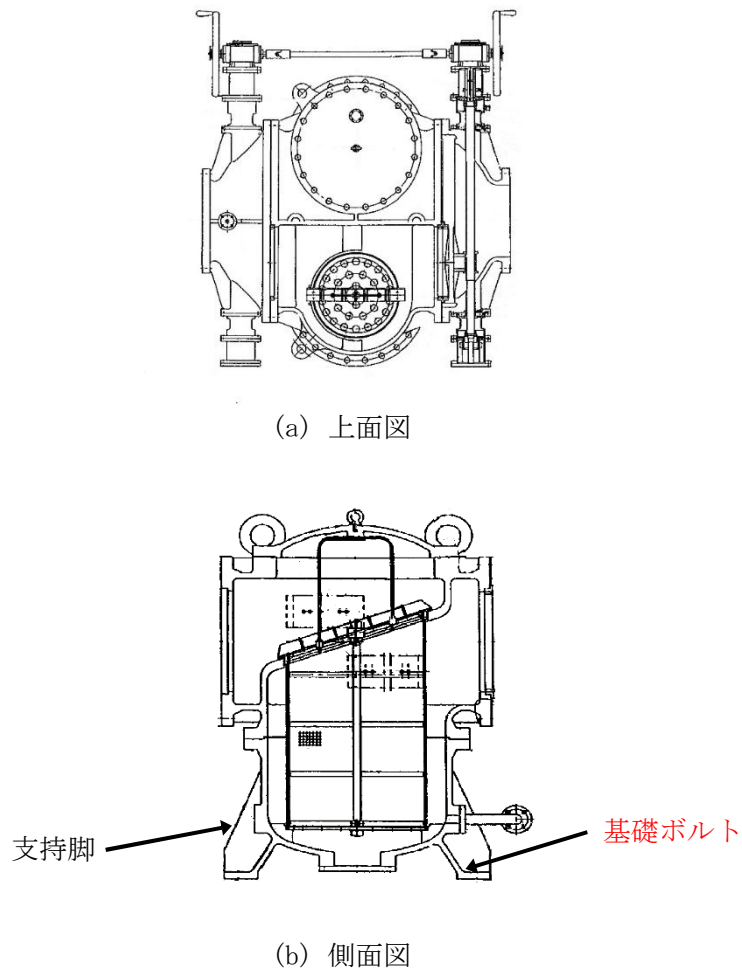


図 2-2 残留熱除去系海水系ストレーナの概要図

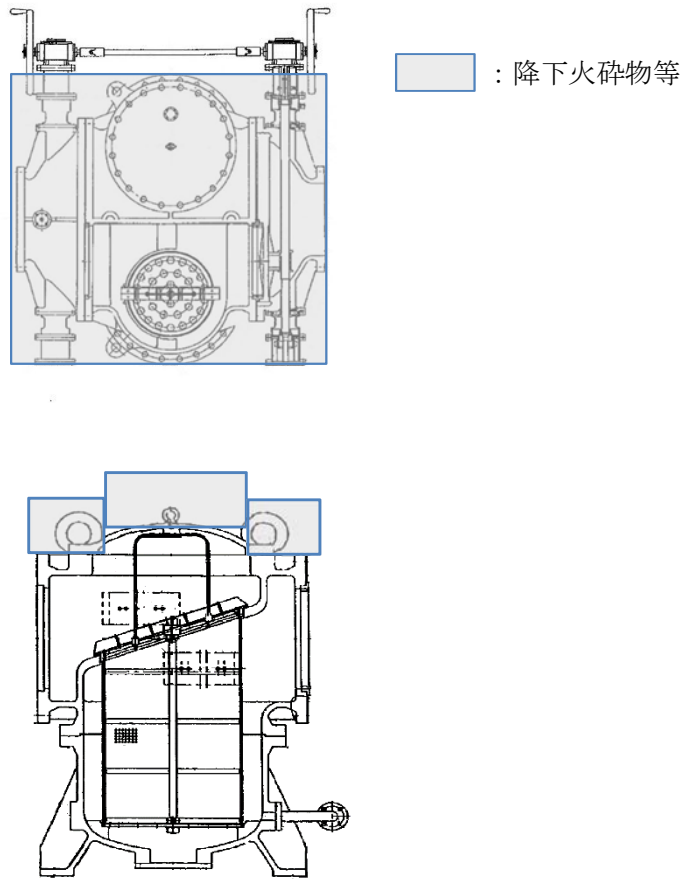


図 2-3 降下火砕物等の堆積状態図

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

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。

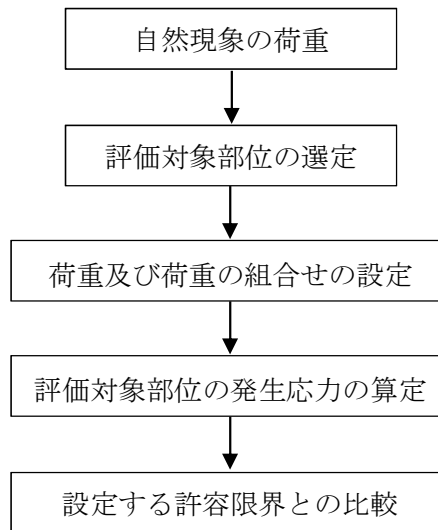


図2-4 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フロー

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 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

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
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	ストレーナ重心高さ
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

表 3-1 残留熱除去系海水系ストレナーの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
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
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を介して支持脚に作用する。また、風荷重については、鋳物一体成形の胴板及び支持脚を介して基礎ボルトに作用する。

応力は、支持断面積の小さな部位に大きく発生する。ストレーナ据付面より上部の各部位のうち、ストレーナ胴板、支持脚は鋳物一体成型であり1個の大きなブロックと見なせることから、鉛直荷重に対して断面積が小さい支持脚、風による水平荷重に対して断面積が小さい基礎ボルトを評価対象部位として選定しています。

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。

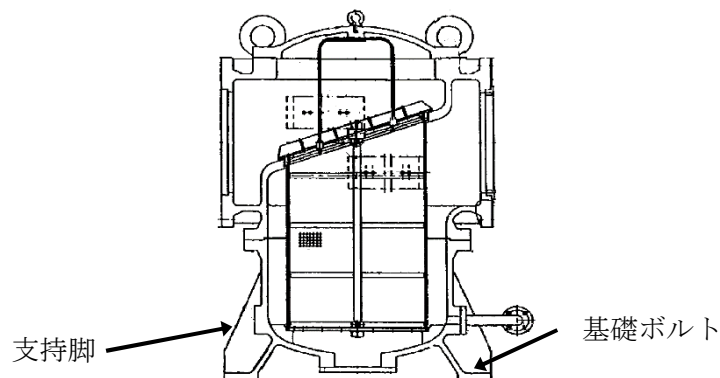


図 3-1 残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位

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ナの支持脚には、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 ストレナ	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、支持脚の許容限界を表 3-3、基礎ボルトの許容限界を表 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(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 3-4 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」にて設定しているたて置円筒形容器の評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 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。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

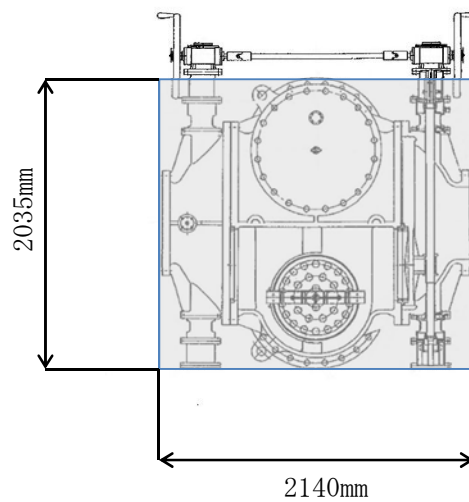


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

(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) 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。

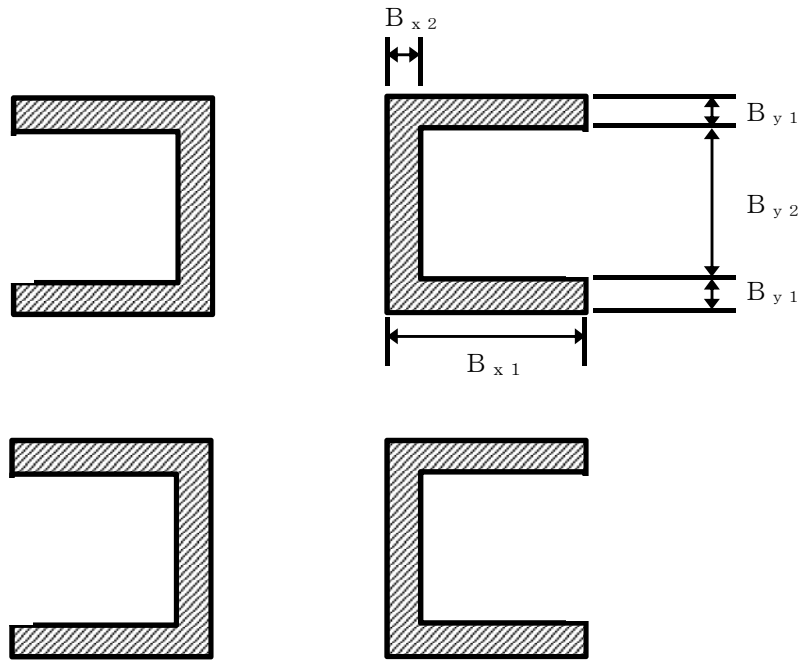


図 3-3 支持脚の断面図

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。

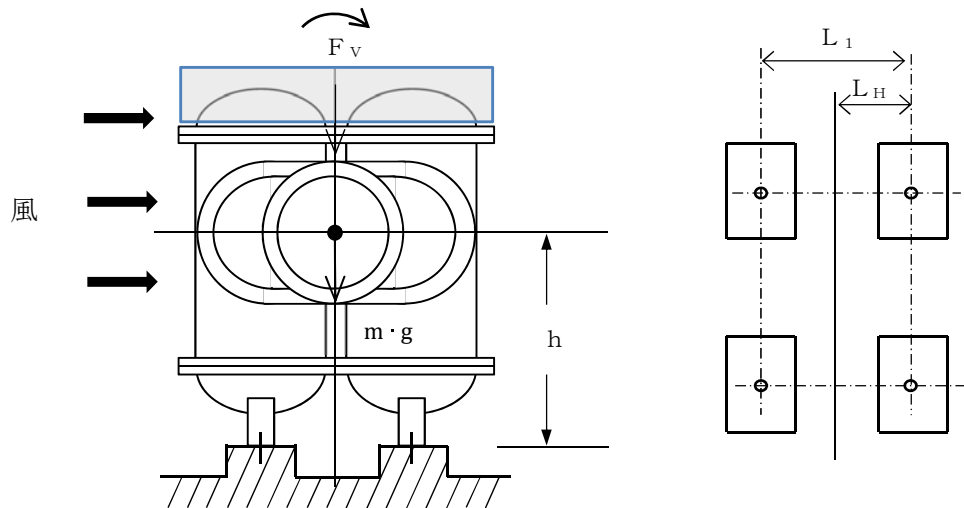


図 3-4 残留熱除去系海水系ストレーナモデル図

(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

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

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 4-3 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)
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(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 (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 及び表 5-2 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(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 5-2 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	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	11
4. 評価条件	15
5. 強度評価結果	16

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、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナは、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。

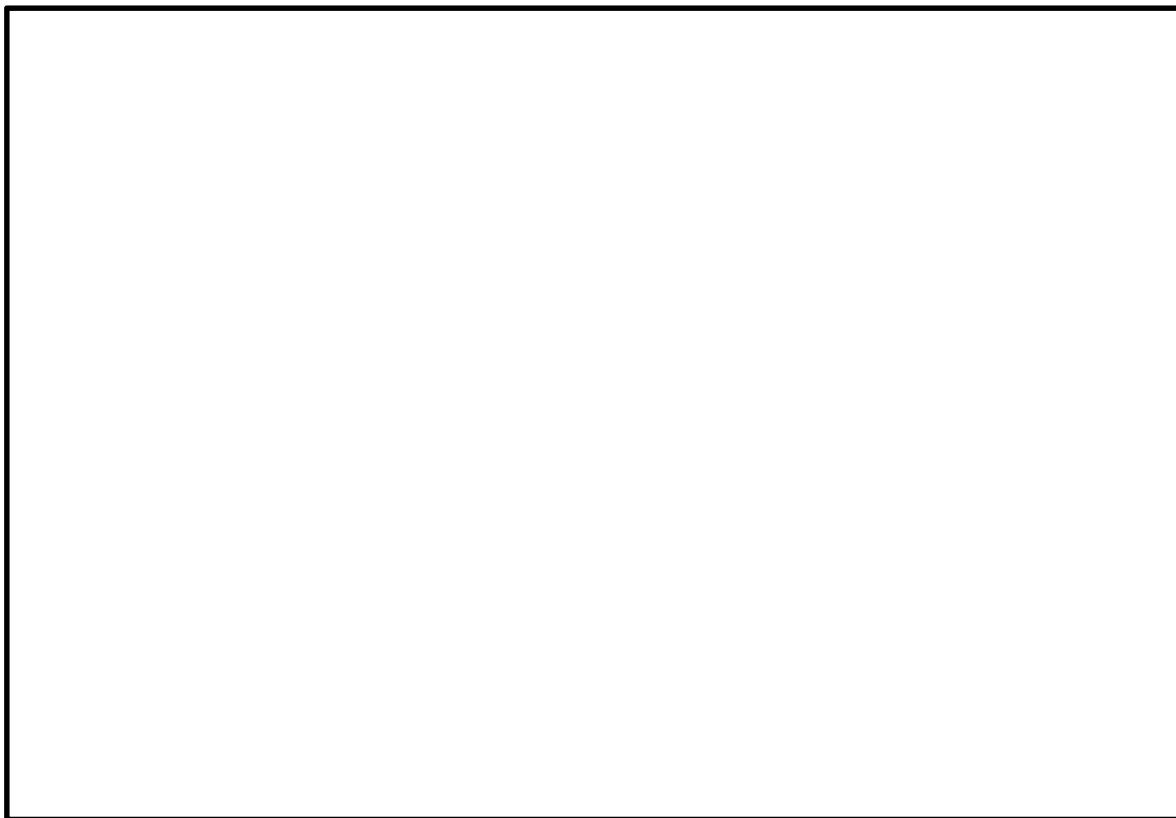


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器であり、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。

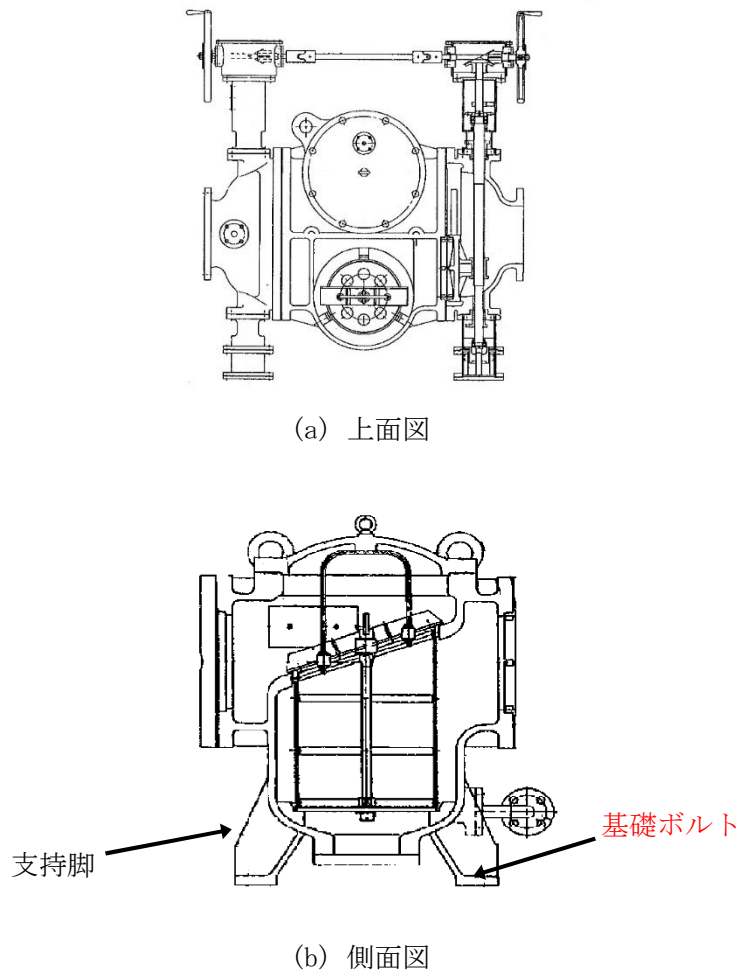


図 2-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図

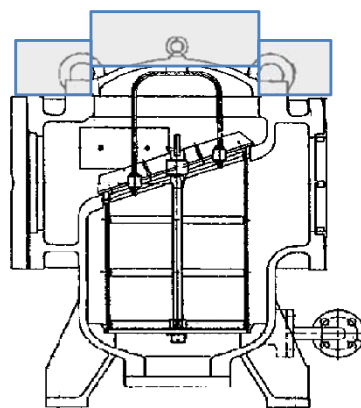
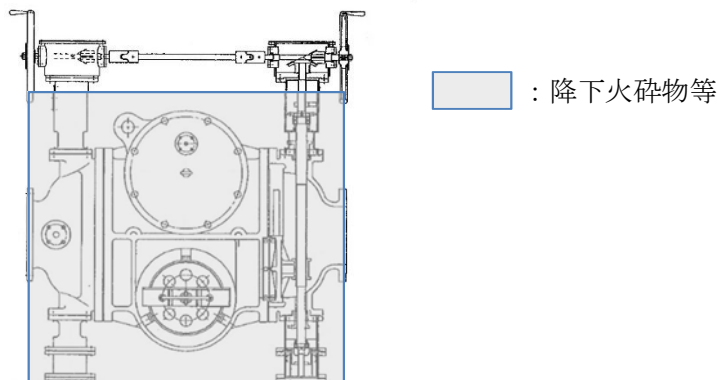


図 2-3 降下火砕物等の堆積状態図

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

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。

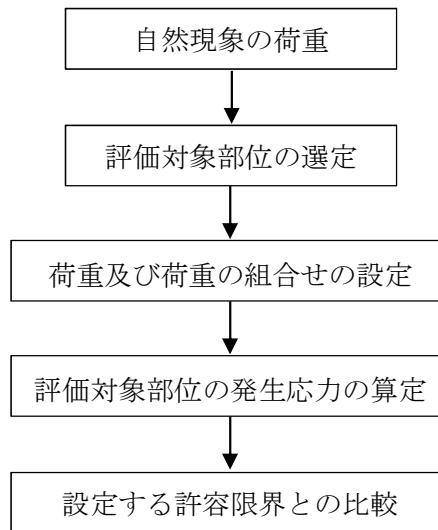


図2-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フロー

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 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	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
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	ストレーナ重心高さ
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

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
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
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を介して支持脚に作用する。また、風荷重については、鋳物一体成形の胴板及び支持脚を介して基礎ボルトに作用する。

応力は、支持断面積の小さな部位に大きく発生する。ストレーナ据付面より上部の各部位のうち、ストレーナ胴板、支持脚は鋳物一体成型であり1個の大きなブロックと見なせることから、鉛直荷重に対して断面積が小さい支持脚、風による水平荷重に対して断面積が小さい基礎ボルトを評価対象部位として選定しています。

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。

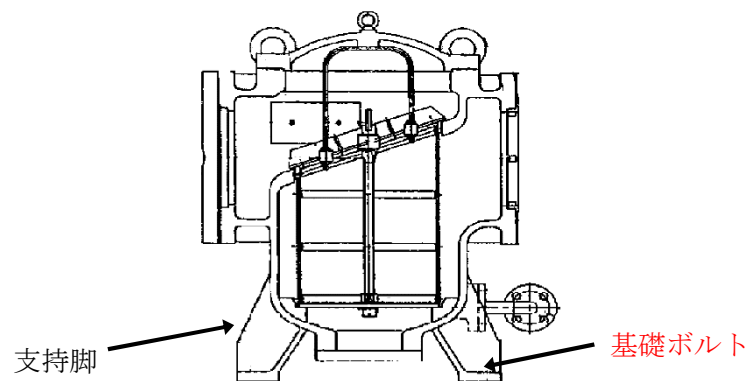


図 3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価部位

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

$$A = H_s \cdot D_o$$

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

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

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

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	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、支持脚の許容限界を表 3-3、基礎ボルトの許容限界を表 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(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 3-4 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」にて設定しているたて置円筒形容器の評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 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。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

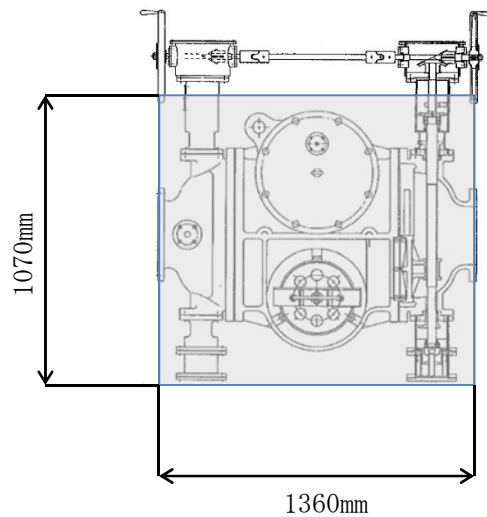


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

(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) 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。

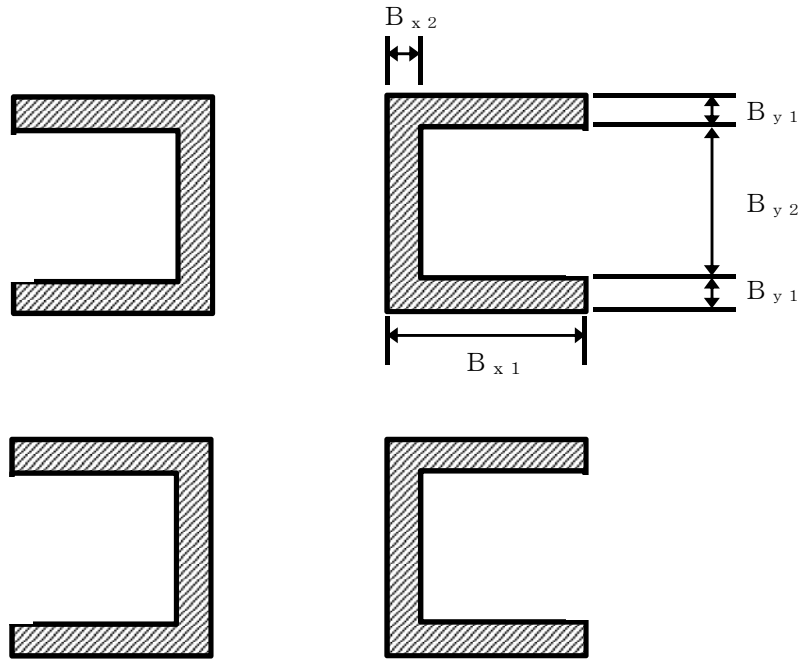


図 3-3 支持脚の断面図

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。

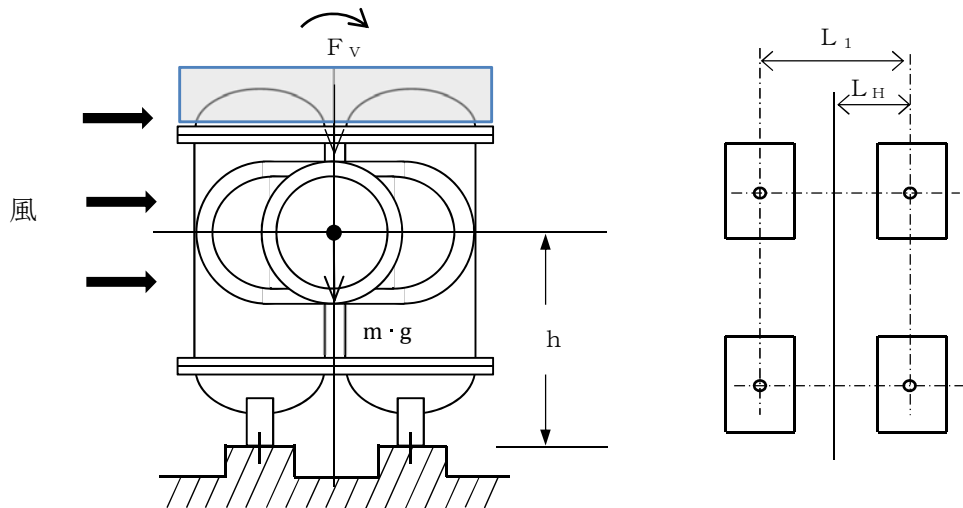


図 3-4 残留熱除去系海水系ストレーナモデル図

(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

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

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 4-3 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)
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(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 及び表 5-2 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(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 5-2 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