

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-091 改2
提出年月日	平成30年3月5日

V-3-別添1 竜巻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 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-2 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-3 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-4 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-5 残留熱除去系海水系ストレナの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-6 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 1-1-7 排気筒の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-8 配管及び弁の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-9 換気空調設備の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書
- V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書
- V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

: 今回ご説明分

V-3-別添 1-1-2 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書

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.....	2
2.4 適用規格.....	3
3. 強度評価方法.....	4
3.1 記号の定義.....	4
3.2 評価対象部位.....	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	9
3.4 許容限界.....	10
3.5 評価方法.....	11
4. 評価条件.....	23
5. 強度評価結果.....	24

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻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フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ（以下「ディーゼル発電機吸気フィルタ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、フィルタ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

V-3-別添1-1「竜巻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フィルタの「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フィルタは、V-3-別添1-1「竜巻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、ディーゼル発電機室屋上面に設置する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの位置図を図2-1に示す。



図 2-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機吸気フィルタについて、V-3-別添1-1「竜巻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フィルタの構造を示す。

ディーゼル発電機吸気フィルタは、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フィルタを設置している。

ディーゼル発電機吸気フィルタの構造は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フィルタの概要図を図2-2に示す。

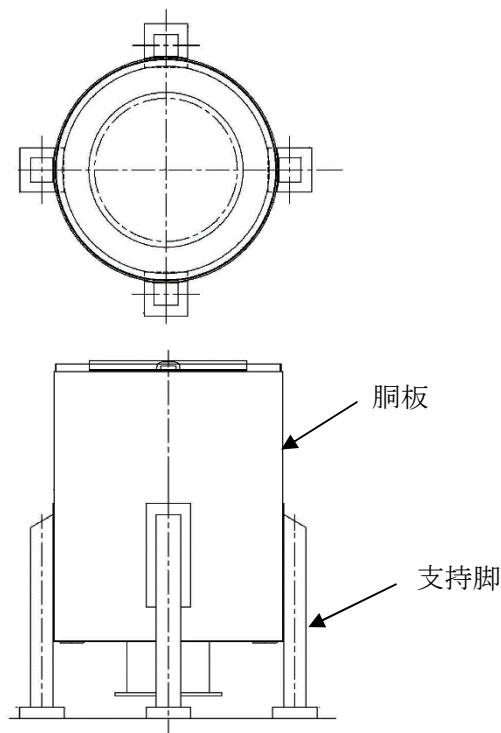


図2-2 ディーゼル発電機吸気フィルタ概要図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻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、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界を踏まえ、ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位に作用する応力等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フィルタの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による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、評価対象部位を設定する。

ディーゼル発電機吸気フィルタ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フィルタに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な

施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すディーゼル発電機吸気フィルタの評価式を用いる。ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻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。 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」((社) 日本電気協会) , 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」((社) 日本電気協会) 及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社) 日本電気協会) (以下「JEAG4601」という。) の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

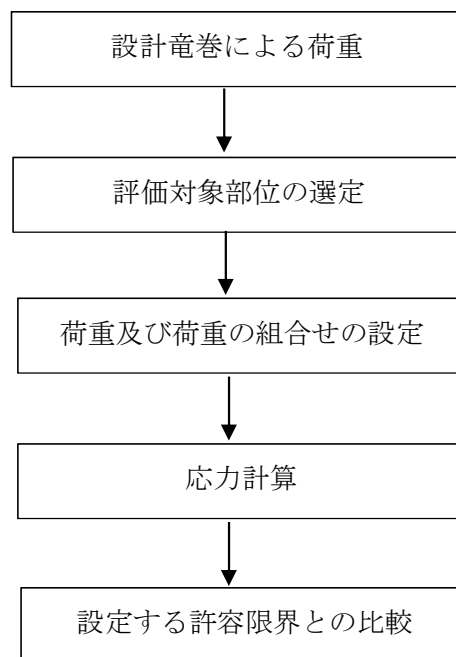


図2-3 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「建築物荷重指針・同解説」((社) 日本建築学会, 2004改定)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社) 日本電気協会)
- ・「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フィルタの強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 強度評価に用いる記号 (1/5)

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 _s	mm ²	脚の断面積
A _{s r}	mm ²	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積
A _{s t}	mm ²	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積
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	mm	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)
C ₂	mm	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)
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	mm	胴の内径
E	MPa	胴の縦弾性係数
E _s	MPa	脚の縦弾性係数
F	MPa	J S M E S S B-3121. 1(1)により規定される値
F _o	N	振動モデル系における水平力
f _c	MPa	脚の許容圧縮応力
f _{b r}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f _{b t}	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f _t	MPa	脚の許容引張応力
G	-	ガスト影響係数
G _s	MPa	脚のせん断弾性係数
g	m/s ²	重力加速度 (=9. 80665)
H	m	ディーゼル発電機吸気フィルタ高さ
I	mm ⁴	胴の断面 2 次モーメント
I _{s r}	mm ⁴	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント
I _{s t}	mm ⁴	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント
J _s	mm ⁴	脚のねじりモーメント係数
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)

表3-1 強度評価に用いる記号 (2/5)

記号	単位	定義
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)
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)
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	mm	脚の長さ
L_c	mm	脚の中立軸間の距離
L_g	mm	基礎から容器上部重心までの距離
M_1	N・mm	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
M_3	N・mm	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
M_c	N・mm	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)
M_L	N・mm	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)
M_x	N・mm	胴に生じる軸方向の曲げモーメント
M_ϕ	N・mm	胴に生じる周方向の曲げモーメント
m_0	kg	運転時質量
N_x	N/mm	胴に生じる軸方向の膜力
N_ϕ	N/mm	胴に生じる周方向の膜力
P	N	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
P_1	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
Q	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重
q	N/m ²	設計用速度圧
R	N	運転時質量による脚の軸力
R_1	N	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力
r_m	mm	胴の平均半径
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
t	mm	胴の板厚
u	mm	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離
W_1	N	風荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T1} = W_P$)

表3-1 強度評価に用いる記号 (3/5)

記号	単位	定義
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
W_M	N	設置 (変更) 許可を受けた竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
Z_{sr}	mm ³	脚の半径方向軸に対する断面係数
Z_{st}	mm ³	脚の周方向軸に対する断面係数
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
ΔP	N/m ²	気圧差
Δ_r	mm	運転時質量による胴の半径方向局部変位量
Δ_{r1}	mm	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量
Δ_{x1}	mm	水平力 F_0 による第1脚上端の水平方向変位量
Δ_{x3}	mm	水平力 F_0 による第2脚上端の水平方向変位量
Δ_{y1}	mm	水平力 F_0 による第1脚の鉛直方向変位量
θ	rad	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角
θ_0	rad	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角
θ_1	rad	水平力 F_0 による第1脚の傾き角 (圧縮側)
θ_2	rad	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
θ_3	rad	水平力 F_0 による第2脚の傾き角
π	-	円周率
ρ	-	比重
σ_0	MPa	胴の一次一般膜応力の最大値
$\sigma_{0\phi}$	MPa	胴の周方向一次一般膜応力
σ_{0x}	MPa	胴の軸方向一次一般膜応力
σ_1	MPa	胴の一次応力の最大値
σ_2	MPa	胴の一次+二次応力の最大値
$\sigma_{11} \sim \sigma_{14}$	MPa	風荷重 (Z方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力
σ_{15}, σ_{16}	MPa	風荷重 (X方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力
$\sigma_{21} \sim \sigma_{24}$	MPa	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
σ_{25}, σ_{26}	MPa	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
σ_s	MPa	脚の組合せ応力の最大値
σ_{s1}, σ_{s2}	MPa	運転時質量による脚の圧縮応力, 曲げ応力

表3-1 強度評価に用いる記号 (4/5)

記号	単位	定義
$\sigma_{s5} \sim \sigma_{s7}$	MPa	風荷重 (Z方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力
$\sigma_{s8} \sim \sigma_{s10}$	MPa	風荷重 (X方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{st}	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{sx}	MPa	風荷重 (X方向) が作用した場合の脚の組合せ応力
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	MPa	風荷重 (Z方向) が作用した場合の脚の組合せ応力
σ_{x1}	MPa	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 1}$	MPa	静水頭又は内圧による胴の周方向応力
σ_{x2}	MPa	運転時質量による胴の軸方向応力
σ_{x3}	MPa	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
$\sigma_{\phi 3}$	MPa	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
σ_{x4}	MPa	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
$\sigma_{\phi 4}$	MPa	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
σ_{x5}	MPa	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
$\sigma_{x61}, \sigma_{x62}$	MPa	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
$\sigma_{\phi 61}, \sigma_{\phi 62}$	MPa	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
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	MPa	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
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	MPa	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
$\sigma_{x81}, \sigma_{x82}$	MPa	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
$\sigma_{\phi 81}, \sigma_{\phi 82}$	MPa	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
$\sigma_{x91}, \sigma_{x92}$	MPa	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
$\sigma_{\phi 91}, \sigma_{\phi 92}$	MPa	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

表3-1 強度評価に用いる記号 (5/5)

記号	単位	定義
$\sigma_{x101}, \sigma_{x102}$	MPa	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
$\sigma_{\phi 101}, \sigma_{\phi 102}$	MPa	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
$\sigma_{x111}, \sigma_{x112}$	MPa	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
$\sigma_{\phi 111}, \sigma_{\phi 112}$	MPa	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
$\sigma_{xx1}, \sigma_{xx2}$	MPa	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
$\sigma_{xx3}, \sigma_{xx4}$	MPa	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
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	MPa	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
$\sigma_{xz5} \sim \sigma_{xz8}$	MPa	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
$\sigma_{\phi x1}, \sigma_{\phi x2}$	MPa	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
$\sigma_{\phi x3}, \sigma_{\phi x4}$	MPa	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
$\sigma_{\phi z1} \sim \sigma_{\phi z4}$	MPa	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
$\sigma_{\phi z5} \sim \sigma_{\phi z8}$	MPa	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
τ_3	MPa	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
τ_6	MPa	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
τ_{c1}	MPa	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
τ_{c4}	MPa	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
τ_{L1}	MPa	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
τ_{L2}	MPa	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
τ_{L5}	MPa	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

3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻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、「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する。

風圧力による荷重は、ディーゼル発電機吸気フィルタの胴板に作用し、支持脚に伝達される。

このことから、胴板及び支持脚を評価対象部位として設定する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

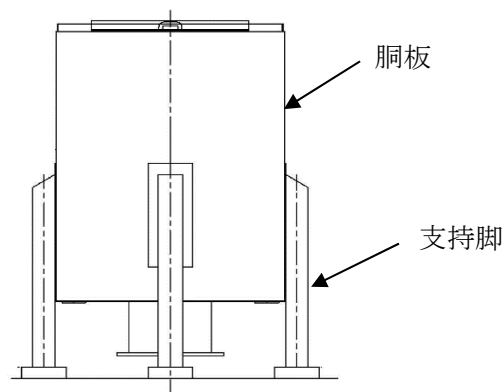


図3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位

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 1-1「竜巻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

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

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重を考慮する。ディーゼル発電機吸気フィルタは、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することがなく、ディーゼル発電機の吸気機能は維持されるため、衝撃荷重については考慮しない。

(a) 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

(b) 気圧差による荷重(W_p)

気圧差による荷重 W_p は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

(c) 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 W_T (W_{T1}, W_{T2})は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、ディーゼル発電機吸気フィルタは気圧差が生じ難い構造であるため、複合荷重の選定において、 W_{T2} としては気圧差を考慮するが、 W_{T1} の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの胴板及び支持脚には、自重及び風圧力、気圧差による荷重が作用する。

強度評価の荷重の組合せを表3-2に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	ディーゼル発電機吸 気フィルタ	・ 胴板 ・ 支持脚	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重

3.4 許容限界

ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻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に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界は、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」、支持脚については「クラス2, 3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計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は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、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E付録材料図表Part5, 6の表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フィルタの許容限界について、表3-3に示す。

表3-3 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
胴板	Ⅲ _A S	一次一般膜	$\text{Min}(S_y, 0.6S_u)$
		一次	上欄の1.5倍
		一次+二次	$2S_y$
支持脚	Ⅲ _A S	組合せ	f_t
		座屈	$\sigma_s / f_{br} + q / f_{bt} + q_c / f_c \leq 1$

3.5 評価方法

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価は、V-3-別添 1-1「竜巻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吸気フィルタの評価式を用いる。

(1) 計算モデル

受圧面の重心位置に風圧力による荷重が作用する1質点系モデルとして計算を行う。ディーゼル発電機吸気フィルタの評価モデル図を図3-2に示す。

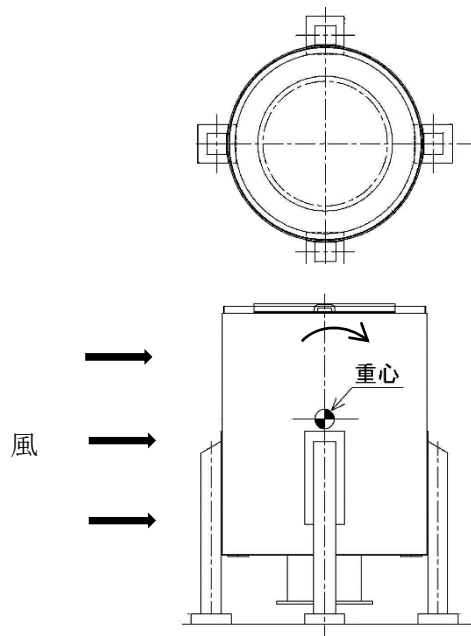


図3-2 ディーゼル発電機吸気フィルタの評価モデル図

(2) 計算方法

a. 荷重の設定

水平力の釣合より

$$2P_1 + 2Q = F_0$$

転倒モーメントの釣合より

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

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

$$\Delta_{x_1} + \Delta_{r_1} = \Delta_{x_3} + u \cdot \theta_3$$

さらに鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y_1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0$$

式を代入して、

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

式を代入して

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

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

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

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

(a) 静水頭又は内圧による応力

ディーゼル発電機吸気フィルタに静水頭、内圧は発生しないため、 σ_{ϕ_1} 及び σ_{x_1} は0となる。

(b) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi (D_i + t) t}$$

(c) 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 3-3 に示す。

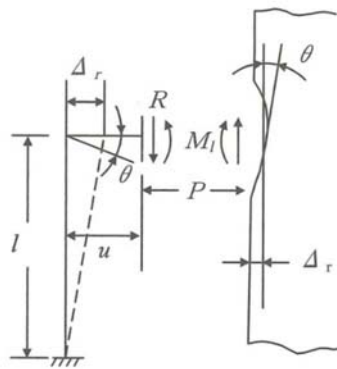


図 3-3 脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

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

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

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

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

したがって

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

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

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。

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

(d) 風荷重による胴の曲げ応力

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

(e) Z方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

イ. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

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

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

鉛直方向曲げモーメント M_1 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。

$$\tau_{c 1} = \frac{Q}{4C_1 \cdot t}$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L 2} = \frac{R_1}{4C_2 \cdot t}$$

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。

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

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

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。

$$\sigma_{\phi 7 2} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

$$\sigma_{x 7 2} = \left[\frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

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。

$$\sigma_{\phi 8 2} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

$$\sigma_{x 8 2} = \left[\frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

(f) 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。

$$\sigma_{\phi 9 1} = \sigma_{\phi 6 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 9 1} = \sigma_{x 6 1} / \sqrt{2}$$

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。

$$\sigma_{\phi 1 0 1} = \sigma_{\phi 7 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 1 0 1} = \sigma_{x 7 1} / \sqrt{2}$$

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。

$$\sigma_{\phi 1 1 1} = \sigma_{\phi 8 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 1 1 1} = \sigma_{x 8 1} / \sqrt{2}$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c 4} = \tau_{c 1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L 5} = \tau_{L 2} / \sqrt{2}$$

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。

$$\sigma_{\phi 9 2} = \sigma_{\phi 6 2} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 9 2} = \sigma_{x 6 2} / \sqrt{2}$$

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。

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

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

(g) 組合せ応力

(a)～(f)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

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

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

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

ロ. 一次応力 (膜+曲げ)

(イ) Z方向荷重が作用した場合

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 71}$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 71}$$

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

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 61}$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61}$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4(\tau_{L1} + \tau_{L2})^2} \right\}$$

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

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

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

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_3)^2} \right\}$$

(第2評価点)

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

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

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

(ロ) X方向荷重が作用した場合

(第1評価点)

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

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

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

(第2評価点)

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

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

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

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

ハ. 組合せ一次+二次応力

(イ) Z方向荷重が作用した場合

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

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

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

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

(第2評価点)

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

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

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

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 7} = 0$$

$$\sigma_{x z 7} = 0$$

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

(第2評価点)

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

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

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

(ロ) X方向荷重が作用した場合

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102}$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102}$$

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

(第2評価点)

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

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

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

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

c. 脚の応力計算

(a) 運転時質量による応力

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

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

(b) 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

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

(c) X方向荷重による応力

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

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

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

(d) 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

イ. Z方向荷重が作用した場合

(イ) 第1脚

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

(ロ) 第2脚

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

ロ. X方向荷重が作用した場合

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

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

(e) 組合せ圧縮応力

イ. Z方向荷重が作用した場合

(イ) 第1脚

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

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

$$\sigma_{sr} = 0$$

(ロ) 第2脚

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

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

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

ロ. X方向荷重が作用した場合

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

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

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

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。

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

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（ディーゼル発電機吸気フィルタ）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)
胴板	SS400	50	241	394	241
支持脚	SS400	50	241	394	241

表 4-2 評価条件

q (N/m ²)	G (-)	C (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	1.2	8.9×10^3	0

表 4-3 評価条件

A (m ²)	A_s (mm ²)	$A_{s r}$ (mm ²)	$A_{s t}$ (mm ²)	C_1 (mm)	C_2 (mm)
3.79	8550	4336	4728	150.0	347.5

D_i (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	F_o (N)	G_s (MPa)	I (mm ⁴)
1531	201000	201000	1	77300	6.398×10^9

$I_{s r}$ (mm ⁴)	$I_{s t}$ (mm ⁴)	J_s (mm ⁴)	L (mm)	L_c (mm)	L_g (mm)
3.155×10^7	2.697×10^7	4.316×10^7	1027.5	1702.0	1555.0

m_o (kg)	r_m (mm)	t (mm)	W_w (N)	W_P (N)	W_{T2} (N)
800	767.8	4.5	27740	33730	44610

$Z_{s r}$ (mm ³)	$Z_{s t}$ (mm ³)
3.824×10^5	3.569×10^5

5. 強度評価結果

強度評価結果を表 5-1 に示す。

ディーゼル発電機吸気フィルタ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フィルタの評価結果

評価部位	材料	応力	許容応力 [MPa]	発生応力 [MPa]
胴板	SS400	一次一般膜	236	4
		一次	354	20
		一次+二次	482	55
支持脚	SS400	組合せ	241	26
		座屈 (圧縮+曲げ)	1*	0.11

※：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 1-1-3 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.....	2
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.....	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	13
3.4 許容限界.....	15
3.5 評価方法.....	17
4. 評価条件.....	26
5. 強度評価結果.....	29

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻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竜巻時及び竜巻通過後においても、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ポンプについて、V-3-別添1-1「竜巻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1-1「竜巻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。

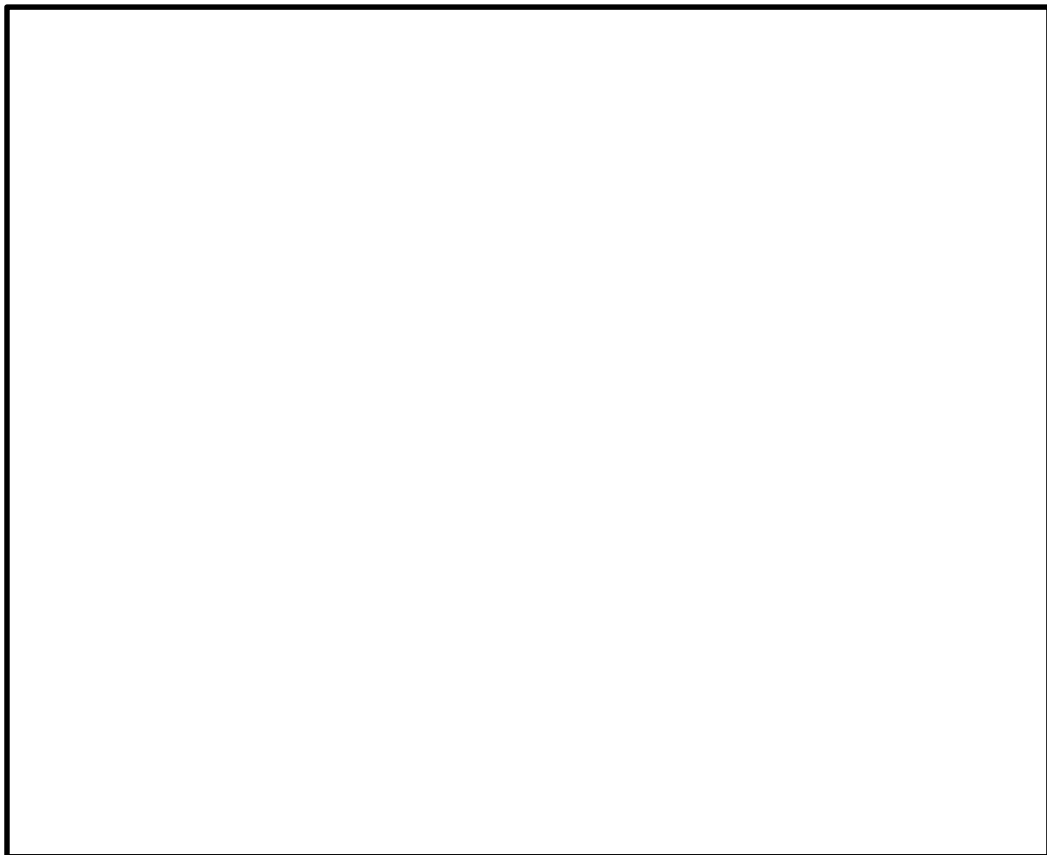


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

残留熱除去系海水系ポンプについて、V-3-別添1-1「竜巻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構造を示す。

残留熱除去系海水系ポンプは、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、同一設計の残留熱除去系海水系ポンプを4台設置している。残留熱除去系海水系ポンプの概要図を図2-2に示す。

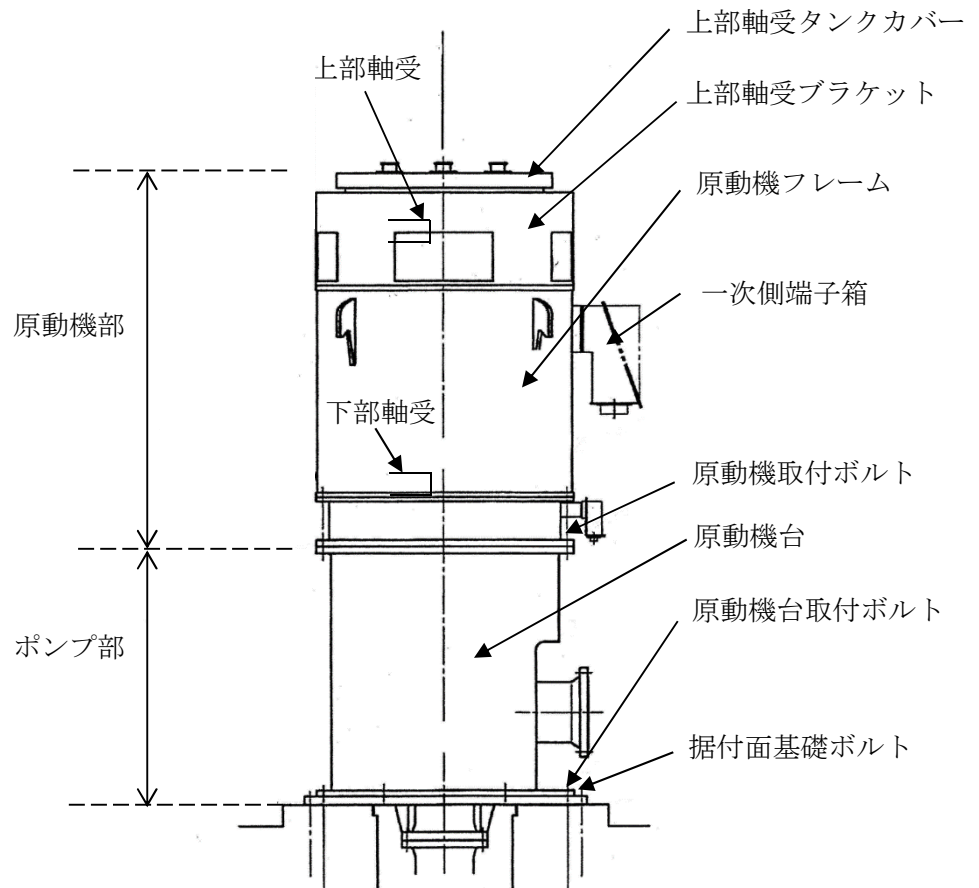


図2-2 残留熱除去系海水系ポンプの概要図

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1-1「竜巻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、残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、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においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による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。

(1) 衝突評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。

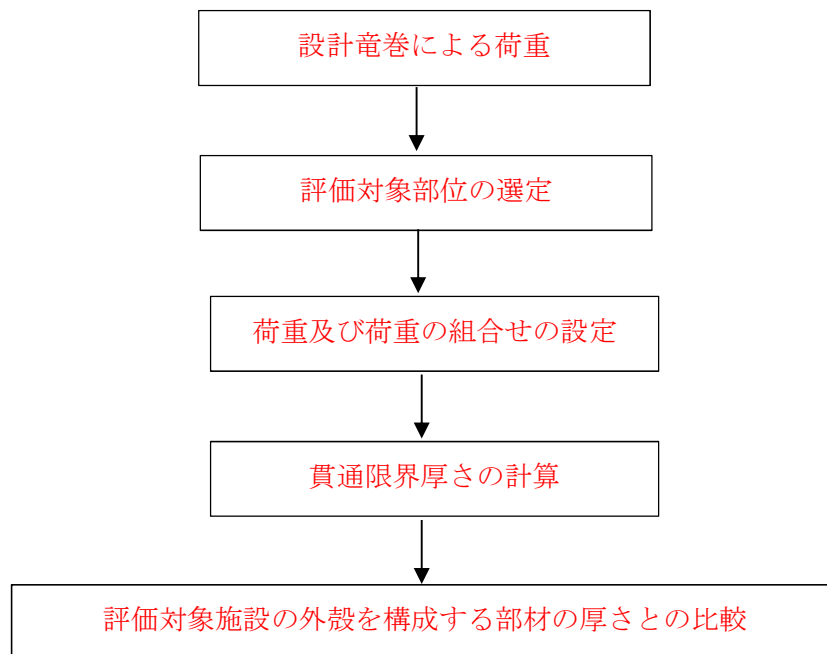


図2-3 残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フローを図2-4に示す。強度評価においては、残留熱除去系海水系ポンプに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の強度評価には、設計竜巻による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し、V-3-別添1-1「竜巻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強度評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻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。

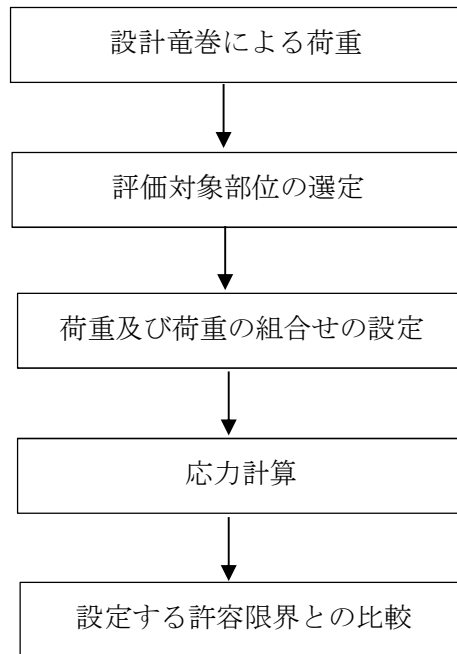


図2-4 残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価フロー

(3) 動的機能維持評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価フローを図 2-5 に示す。残留熱除去系海水系ポンプは動的機器であるため、構造強度評価に加え、軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては、ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たるとを想定し、設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下であることを確認する。動的機能維持評価では、V-3-別添 1-1「竜巻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。海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は、V-3-別添 1-1「竜巻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、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

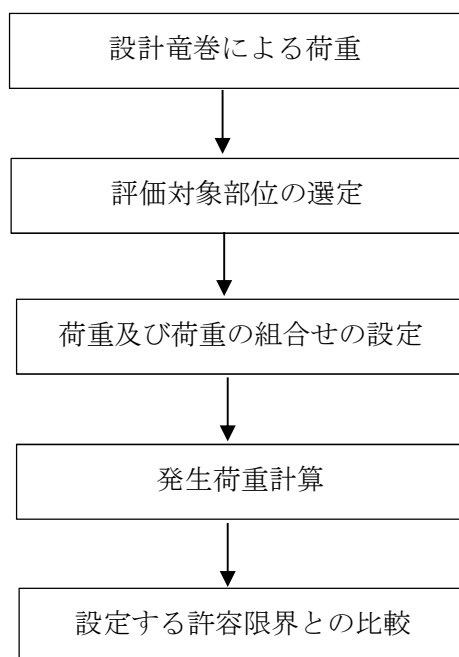


図2-5 残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価フロー

2.4 適用規格

- ・「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「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
- ・「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
- ・「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

(1) 衝突評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表3-2及び表3-3に示す。

表3-2 構造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 _b	mm ²	ボルトの断面積
A _w	mm ²	原動機フレーム溶接部の断面積
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	原動機フレーム外寸
F	MPa	J SME SSB-3121.1(1)により規定される値
F _b	N	ボルトに作用する引張力
F _H	N	ボルトに作用するせん断力
F _i	N	各ボルトに作用する引張力
f _s	MPa	J SME 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 SME 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	自重による荷重

表3-2 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
h	mm	基準面からの重心距離
h_u	mm	基準面から上端カバー上端までの高さ
h_w	mm	原動機フレーム溶接部高さ
L	mm	重心と支点間の距離
L_H	mm	重心と支点間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
$L_1 \sim L_8$	mm	支点と評価ボルト間の距離
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
m	kg	質量
N	—	ボルトの本数
q	N/m ²	設計用速度圧
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強さ
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T1} = W_P$)
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
W_M	N	設置 (変更) 許可を受けた竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率
σ_{mt}	MPa	原動機フレームの引張応力
σ_{bt}	MPa	ボルトの引張応力
τ	MPa	せん断応力

表3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (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	mm	部材間の長さ
a ₁	mm	ポンプ据付面から原動機台上端までの長さ
a ₂	mm	原動機台上端から原動機下部軸受までの長さ
a ₃	mm	原動機台上端から荷重作用点までの長さ
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
E	MPa	縦弾性係数
E _m	MPa	原動機フレームの縦弾性係数
E _p	MPa	原動機台の縦弾性係数
E _m '	MPa	回転子の縦弾性係数
G	—	ガスト影響係数
h'	mm	基準点から作用点までの距離
h ₁ '	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの距離
h ₂ '	mm	原動機下部軸受から荷重作用点までの距離
h ₃ '	mm	荷重作用点から荷重作用点までの距離
I	mm ⁴	断面二次モーメント
I _m	mm ⁴	原動機フレームの断面二次モーメント
I _m '	mm ⁴	回転子の断面二次モーメント
I _p	mm ⁴	原動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i ₁	rad	ポンプ据付面から原動機台上端部の傾斜
i ₃	rad	原動機台上端部から荷重作用点の傾斜
i ₄	rad	荷重作用点の傾斜
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M _a	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M _b	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M _c	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
q	N/m ²	設計用速度圧
W _T	N	設計竜巻による複合荷重
W _{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
W'	N	たわみ量及び発生荷重計算において設計竜巻による風圧を受ける面それぞれのW _{T2} の合計の複合荷重
W''	N	発生荷重
W _M	N	設置 (変更) 許可を受けた竜巻による飛来物の衝撃荷重

表3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_w	N	設計竜巻の風圧力による荷重
x	mm	荷重作用点から評価対象部位までの距離
x'	mm	評価対象部から支点までの距離
y	mm	たわみ量
y_1	mm	ポンプ据付面から原動機台上端部のたわみ量
y_2	mm	原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量
y_3	mm	原動機台上端部から荷重作用点のたわみ量
y_4	mm	荷重作用点のたわみ量
y_5	mm	荷重作用点から原動機上部軸受部のたわみ量
y_a	mm	原動機下部案内軸受部のたわみ量
y_b	mm	原動機上部案内軸受部のたわみ量
δ	mm	フレーム変位量
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量

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1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ、「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選定する。

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

残留熱除去系海水系ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる一次側端子箱を選定する。

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

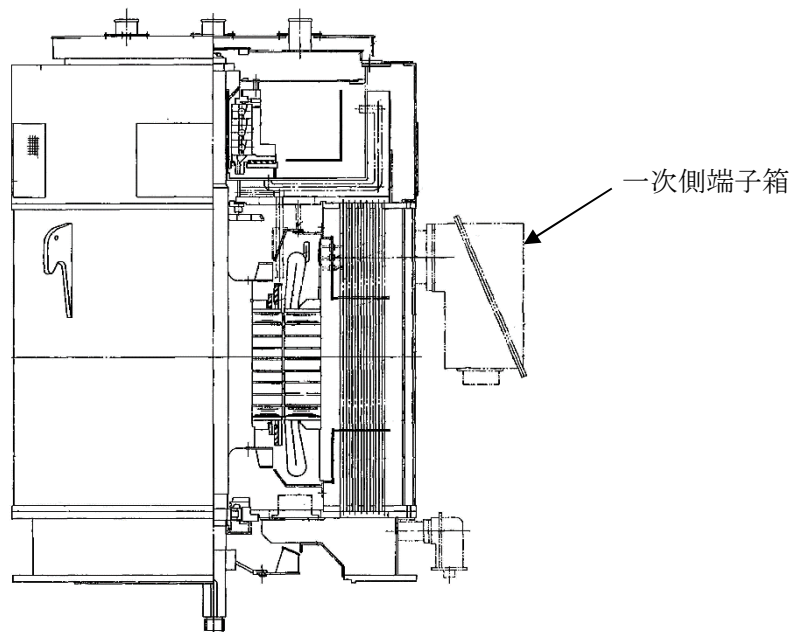


図3-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(2) 構造強度評価の評価対象部位

a. ポンプ部

ポンプ部について、原動機部等に作用する風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用し、原動機台を介して、基礎面及び原動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、以下の部位を強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・原動機取付ボルト
- ・原動機台取付ボルト
- ・据付面基礎ボルト

b. 原動機部

原動機部について，原動機部等に作用する風圧力による荷重及び気圧差による荷重は，原動機フレーム及び付属品に作用し，原動機フレーム及び付属品を介して，付属品の取付部を固定するボルトに作用する。

このことから，以下の部位を強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・原動機フレーム
- ・一次側端子箱取付ボルト
- ・上部軸受ブラケット取付ボルト
- ・上部軸受タンクカバー取付ボルト

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3-2，図3-3に示す。

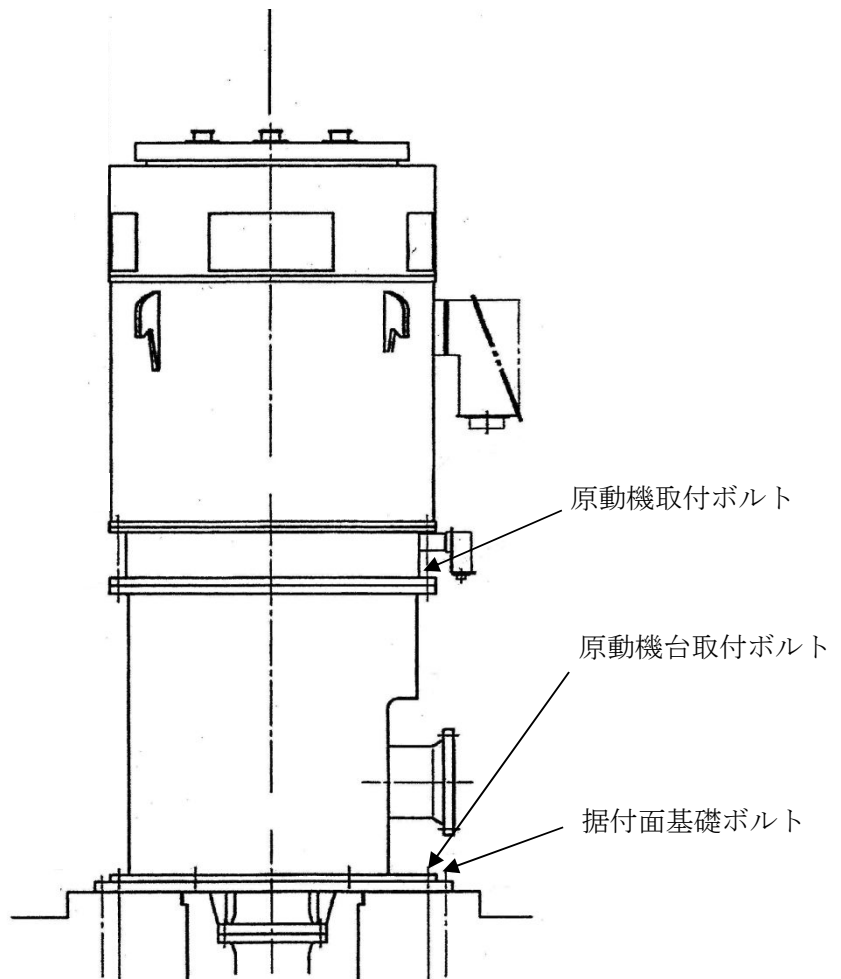


図3-2 残留熱除去系海水系ポンプ評価部位概略図（ポンプ部）

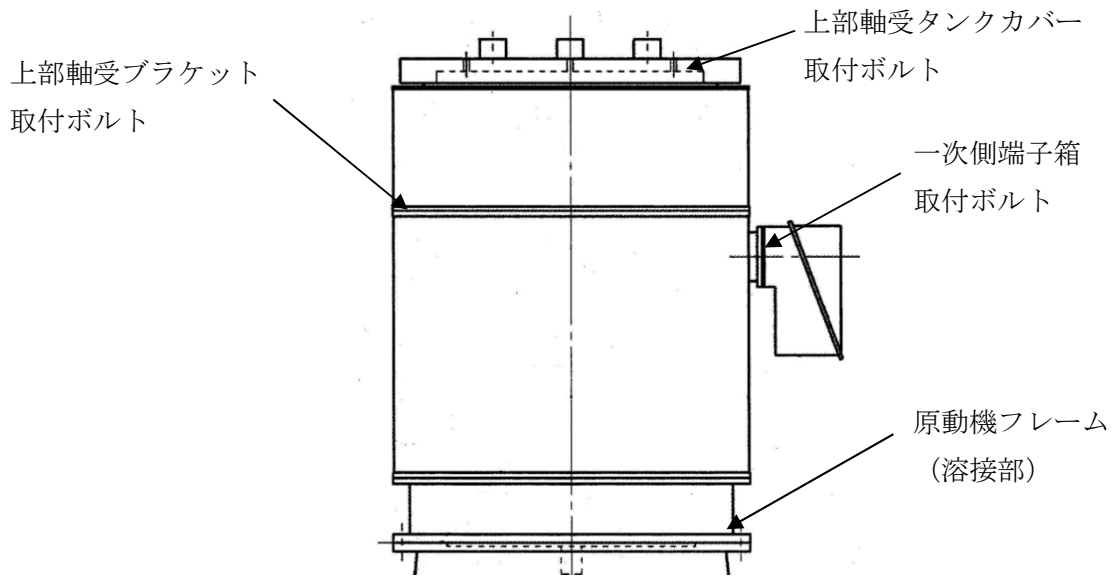


図 3-3 残留熱除去系海水系ポンプ評価対象部位概略図（原動機部）

(3) 動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に、原動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

- ・原動機下部軸受部
- ・原動機上部軸受部

残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-4 に示す。

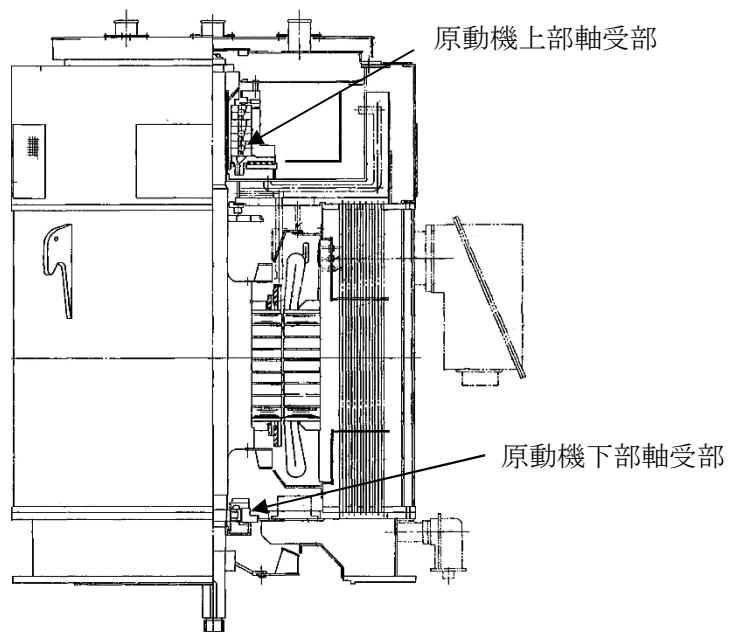


図 3-4 残留熱除去系海水系ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

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 1-1「竜巻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) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-4、残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価に用いる荷重を表3-5に示す。

表3-4 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-5 残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の防護対象施設	残留熱除去系海水系ポンプ	一次側端子箱	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

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

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。

イ. 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重(W_p)

気圧差による荷重 W_p はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の

方針」の「4.1(3)c. (b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 W_T (W_{T1} , W_{T2})はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、残留熱除去系海水系ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため、複合荷重の選定において、 W_{T2} としては気圧差を考慮するが、 W_{T1} の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、鉛直下向きに作用するポンプスラスト荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、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。

ボルト材の強度評価時に評価対象部位が鉛直方向に取り付けられており、自重が抗力となる場合は保守的に考慮せず、水平方向に取り付けられている場合（一次側端子箱取付ボルト）は、端子箱自重を考慮する。また、運転時荷重が作用する評価対象部位は全て鉛直方向に取り付けられており、運転時荷重は鉛直方向下向きに作用し抗力となるため、それぞれの構造強度評価を行う際の荷重としては保守的に考慮しない。

なお、防護対策として、竜巻防護ネットを設置する施設については、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護ネットを通過する小さな飛来物による衝撃荷重は、衝突される機器へ伝わる加速度が小さく、機器へ作用する荷重は強度に影響を与えないので $W_M=0$ とする。

残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重	
屋外の外部事 象防護対象施 設	残留熱除去系 海水系ポンプ	構造強度評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				原動機台取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				据付面基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機部	原動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				一次側端子箱取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③端子箱自重
				上部軸受ブラケット取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
		上部軸受タンクカバー取付ボルト		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
		動的機能維持評価	原動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
			原動機下部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	

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1-1「竜巻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」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さ、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力及び軸受の接触面圧の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表3-7に示す。

表3-7 残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
残留熱除去系海水系ポンプ	2.3mm (一次側端子箱)

(2) 構造強度評価における許容限界

構造強度評価における許容限界は 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。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計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は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、比例法を用いて計算する。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強度評価における許容限界について、表3-8に示す。

表3-8 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
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	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$
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	$1.5 f_t$

(3) 動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は、設計荷重により原動機フレームが変形する場合においても残留熱除去系海水系ポンプの運転継続が可能であるように、軸受の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受の接触面圧の許容荷重を表3-9に示す。

表3-9 軸受の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
原動機上部軸受部	
原動機下部軸受部	

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 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。

a. 計算モデル

(a) 構造強度評価

計算モデルは1質点系モデルとし、ポンプ部は全高の1/2の位置に、原動機部は風圧力による荷重の作用中心と同等、あるいはより高い重心作用位置に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び原動機部の応力の計算モデル図を図3-5及び図3-6に示す。

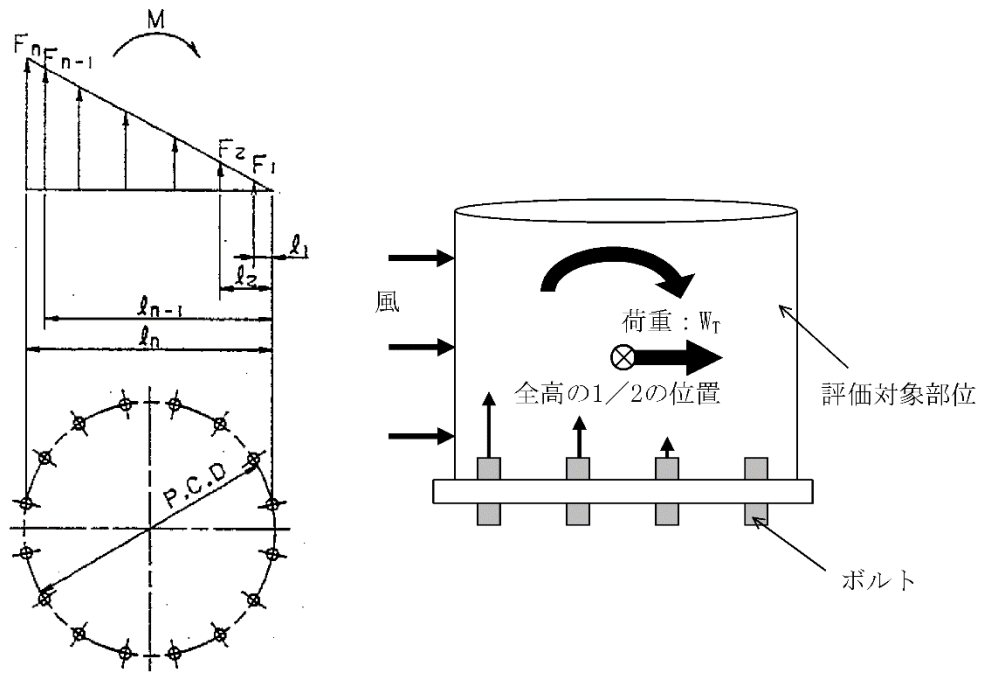


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

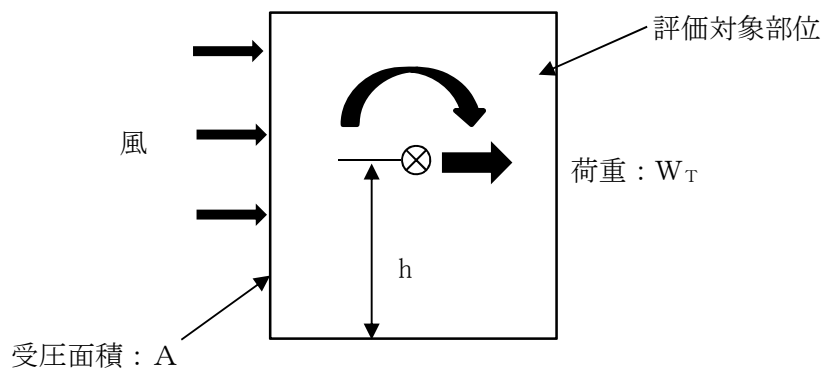


図 3-6 応力の計算モデル図 (原動機部)

(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の原動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から原動機台上端まで（ポンプ部）と、原動機台上端から原動機まで（原動機部）の片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は電動台が最も小さいことから、原動機部の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価する。原動機部については原動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-7に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体(原動機フレーム等)は、水平方向の複合荷重により、ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方、回転体(ポンプ軸及び原動機軸)は、風荷重を受けないため、変形せず、原動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態

を維持する。原動機フレーム等の変形により、軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

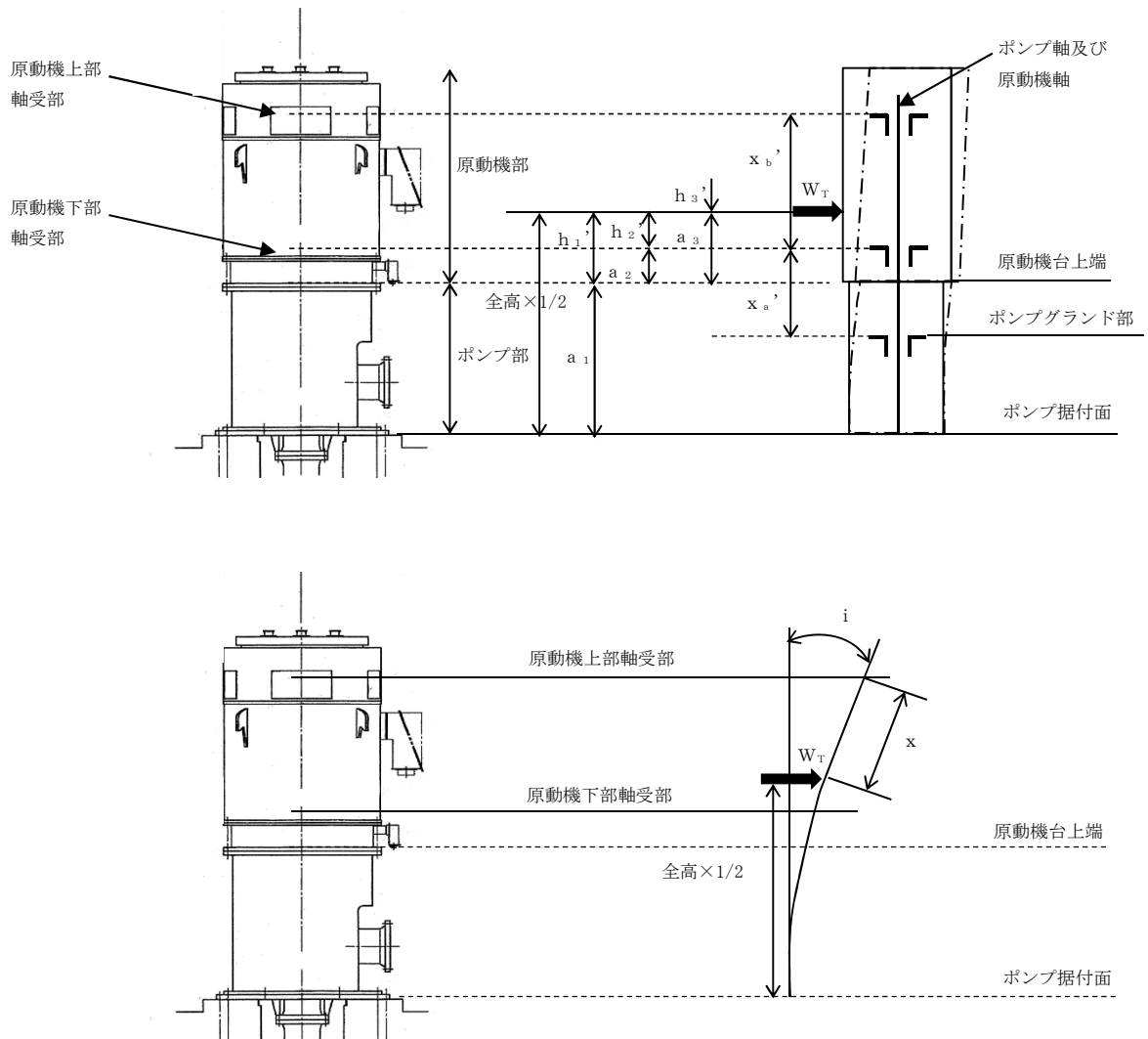


図 3-7 残留熱除去系海水系ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部 (ボルト部)

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \text{全高} / 2$$

(ロ) 引張応力 σ_{bt}

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

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

(3.1) (3.2) 式より,

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

よって、

$$\sigma_{b t} = \frac{F_n}{A_b}$$

(ハ) せん断応力 τ

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

ロ. 原動機部

原動機フレーム溶接部、一次側端子箱ボルト部、上部軸受ブラケット取付ボルト部、上部軸受タンクカバー取付ボルト部の詳細図を図3-7～図3-10に示す。

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h + H \cdot L_H \quad (\text{ボルト取付方向が水平方向の場合})$$

$$M = W_T \cdot h \quad (\text{ボルト取付方向が鉛直方向の場合})$$

(ロ) 原動機フレーム溶接部

原動機フレーム溶接部の応力算出方法を以下に示す。

原動機フレーム溶接部の詳細図を図 3-7 に示す。

・引張応力

$$\sigma_{m t} = \frac{5.66 \cdot M}{\pi \cdot h_w \cdot D^2}$$

・せん断応力

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

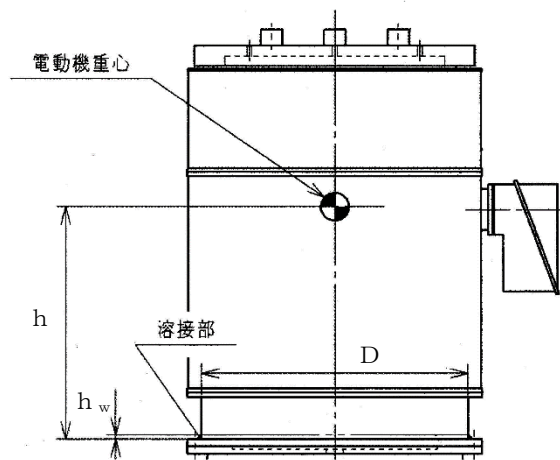


図 3-7 原動機フレーム溶接部詳細図

(ハ) 一次側端子箱ボルト部

・引張応力

$$F_b = \frac{M}{L_1 \cdot N}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

・せん断応力

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

ここで,

$$F_H = \sqrt{W_T^2 + H^2}$$

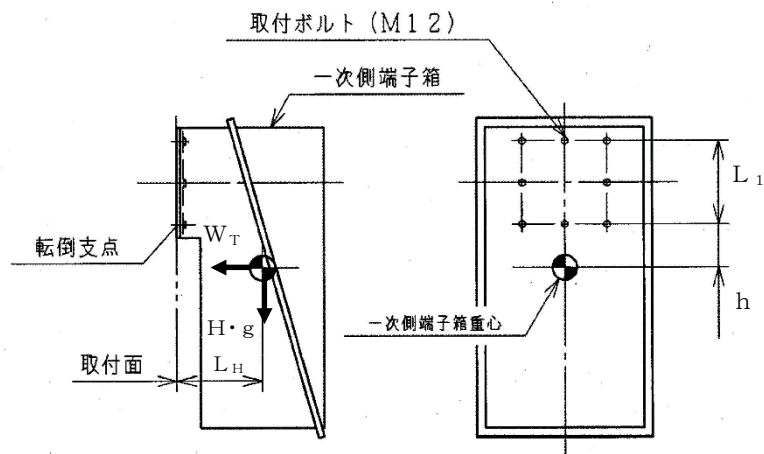


図 3-8 一次側端子箱詳細図

(ニ) 上部軸受ブラケット取付ボルト部, 上部軸受タンクカバー取付ボルト部

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が, 上端カバーの上端 (評価上厳しい条件) に作用した際の, 上部軸受ブラケット取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h_u$$

(ii) 引張応力 σ_{bt}

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

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

(3.1) (3.2) 式より,

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

よって,

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

(iii) せん断応力 τ

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

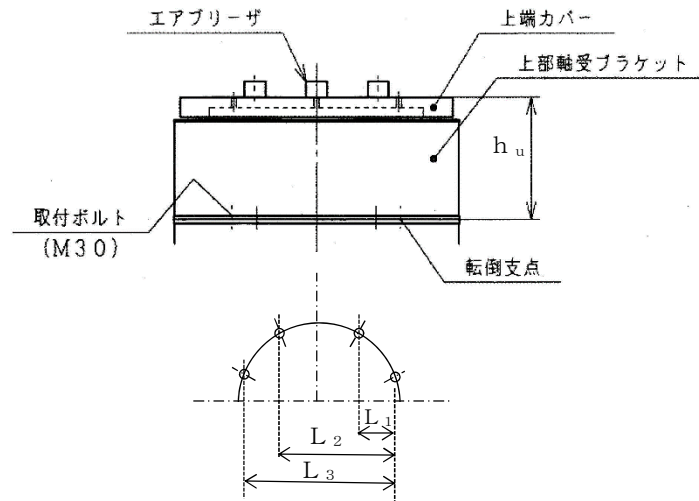


図 3-9 上部軸受ブラケット詳細図

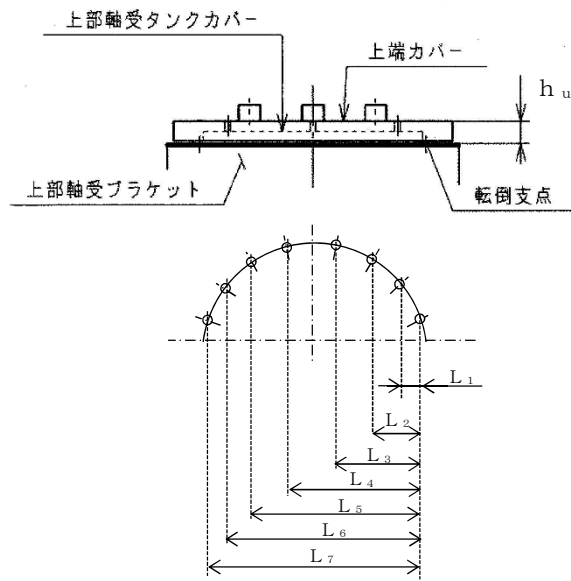


図 3-10 上部軸受タンクカバー詳細図

(b) 発生荷重の計算

イ. たわみ量の計算

たわみ量の算出において、竜巻による風圧力を受ける面（原動機台，原動機フレーム，一次側端子箱，上部軸受ブラケット，上部軸受タンクカバー）のそれぞれの W_{T2} の合計を複合荷重 W' とする。

$$W' = \Sigma W_{T2}$$

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量 y と傾斜 i を算出する。なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(イ) 原動機下部軸受部

- ・ポンプ据付面から原動機台上端部のたわみ量 y_1 ，傾斜 i_1

$$y_1 = \frac{M_a \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^3}{3 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$i_1 = \frac{M_a \cdot a_1}{E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$M_a = W' \cdot h_1'$$

- ・原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量 y_2

$$y_2 = \frac{M_b \cdot a_2^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_2^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_b = W' \cdot h_2'$$

よって、原動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

- (ロ) 原動機上部軸受部

- ・原動機台上端部から荷重作用点のたわみ量 y_3 ，傾斜 i_3

$$y_3 = \frac{M_c \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$i_3 = \frac{M_c \cdot a_3}{E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_c = W' \cdot h_3'$$

よって、荷重作用点のたわみ量 y_4 ，傾斜 i_4

$$y_4 = y_1 + y_3$$

$$i_4 = i_1 + i_3$$

荷重作用点から原動機上部軸受部のたわみ量 y_5

$$y_5 = x \cdot \sin(i_4)$$

以上より、原動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_4 + y_5$$

- ロ. 発生荷重の算出

軸受部において、フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し、発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重 W'' は次式より計算する。

δ = 評価対象部位の変位量 - 支点の変位量

また、発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x^3}$$

- (イ) 原動機下部軸受部の発生荷重

$$W''_m = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a^3}$$

ここで、 $\delta_a = y_a$

(ロ) 原動機上部軸受部の発生荷重

$$W_m = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b^3}$$

ここで, $\delta_b = y_b - y_a$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-14 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)
原動機取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118
原動機台取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118
据付面基礎ボルト	S22C	50*1	260	430	260	195	150
原動機フレーム	SS400	60*2	237	389	106	106	61
一次側端子箱取付ボルト	SS400	90*2	225	376	225	168	129
上部軸受ブラケット取付ボルト	SUS304	60*2	192	489	205	153	118
上部軸受タンクカバー取付ボルト	SUS304	90*2	175	451	205	153	118

注記 *1：周囲環境温度

*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

q (N/m ²)	G (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-3 評価条件 (原動機取付ボルト)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m ²)
487.1	1175.9	1663.0	1.2	2.73	8.354

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm ²)
M42	8	1385

表 4-4 評価条件 (原動機台取付ボルト)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m^2)
487.1	1175.9	1663.0	1.2	4.557	12.15

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)
M42	8	1385

表 4-5 評価条件 (据付面基礎ボルト)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m^2)
541.2	1306.6	1847.8	1.2	4.557	12.15

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm^2)
M42	8	1385

表 4-6 評価条件 (原動機フレーム)

C (-)	h (mm)	A (m^2)	D (mm)	h_w (mm)
1.2	1160	8.354	1720	6

表 4-7 評価条件 (一次側端子箱取付ボルト)

C (-)	A (m^2)	ボルト サイズ	A_b (mm^2)	m (kg)	g (m/s^2)
2.4	0.3910	M12	113.1	75	9.80665

N^* (-)	h (mm)	L_1 (mm)	L_H (mm)
8(3)	153	250	238

注記 * : () 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-8 評価条件（上部軸受ブラケット取付ボルト）

C (-)	A (m ²)	ボルト サイズ	A _b (mm ²)	N (-)	L ₁ (mm)
1.2	1.666	M30	706.9	8	303.1

L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	h _u (mm)
731.7	1034.7	824

表 4-9 評価条件（上部軸受タンクカバー取付ボルト）

C (-)	A (m ²)	ボルト サイズ	A _b (mm ²)	N (-)	L ₁ (mm)
1.2	0.3929	M12	113.1	16	109.7

L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	L ₅ (mm)	L ₆ (mm)	L ₇ (mm)
312.5	577.5	864.3	1129.2	1332.0	1441.8

h _u (mm)
260.2

- (2) 動的機能維持評価の評価条件
追而

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、残留熱除去系海水系ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
残留熱除去系海水系ポンプ	2.3mm (一次側端子箱)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

原動機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 評価結果 (原動機取付ボルト)

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	19	153
せん断	9	118
組合せ	19	153

b. 原動機台取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-2 に示す。

原動機台取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-2 評価結果（原動機台取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	45	153
せん断	13	118
組合せ	45	153

c. 据付面基礎ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-3 に示す。

据付面基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 評価結果（据付面基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	41	195
せん断	13	150
組合せ	41	195

d. 原動機フレーム

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-4 に示す。

原動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果（原動機フレーム）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	12	106
せん断	4	61
組合せ	14	106

e. 一次側端子箱取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-5 に示す。

一次側端子箱取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（一次側端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	16	168
せん断	9	129
組合せ	16	168

f. 上部軸受ブラケット取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-6 に示す。

上部軸受ブラケット取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（上部軸受ブラケット取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	7	153
せん断	4	118
組合せ	7	153

g. 上部軸受タンクカバー取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-7 に示す。

上部軸受タンクカバー取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（上部軸受タンクカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	2	153
せん断	3	118
組合せ	2	153

(3) 動的機能維持評価結果

追而

V-3-別添 1-1-4 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.....	2
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.....	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	13
3.4 許容限界.....	15
3.5 評価方法.....	17
4. 評価条件.....	25
5. 強度評価結果.....	28

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻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。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、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ポンプについて、V-3-別添1-1「竜巻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1-1「竜巻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。

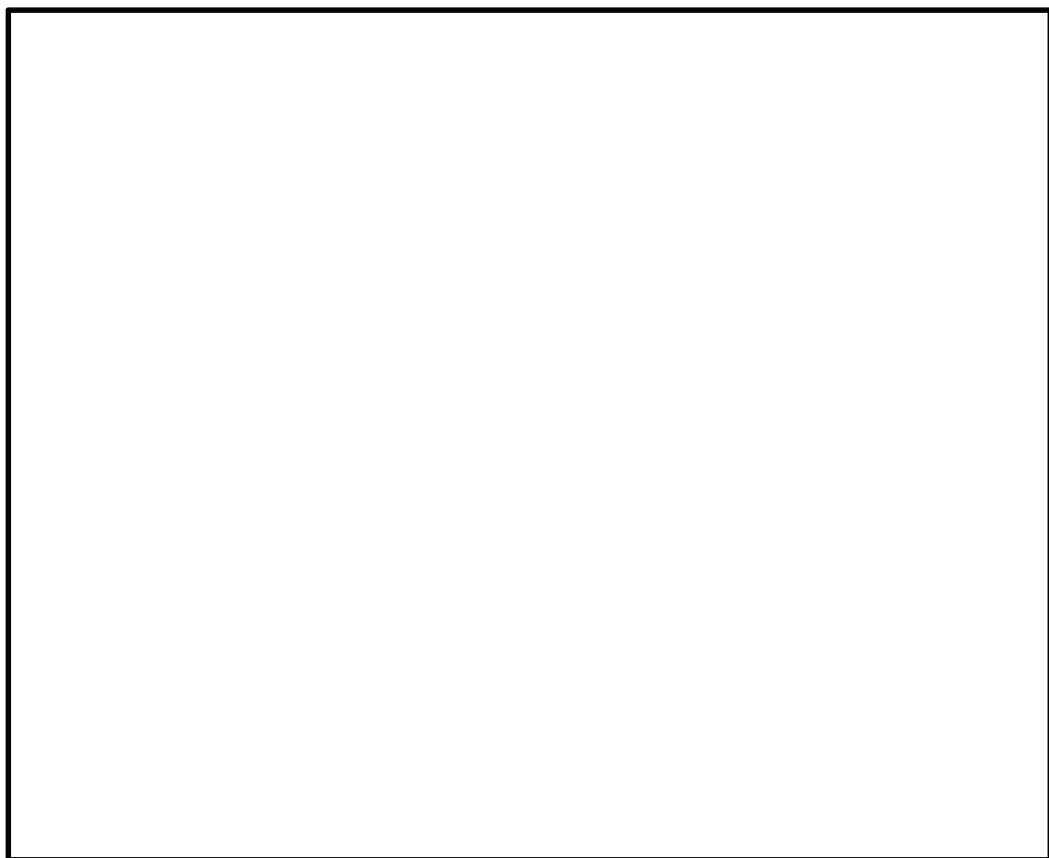


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機用海水ポンプについて、V-3-別添1-1「竜巻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構造を示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプは、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、同一設計のディーゼル発電機用海水ポンプを3台設置している。ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図を図2-2に示す。

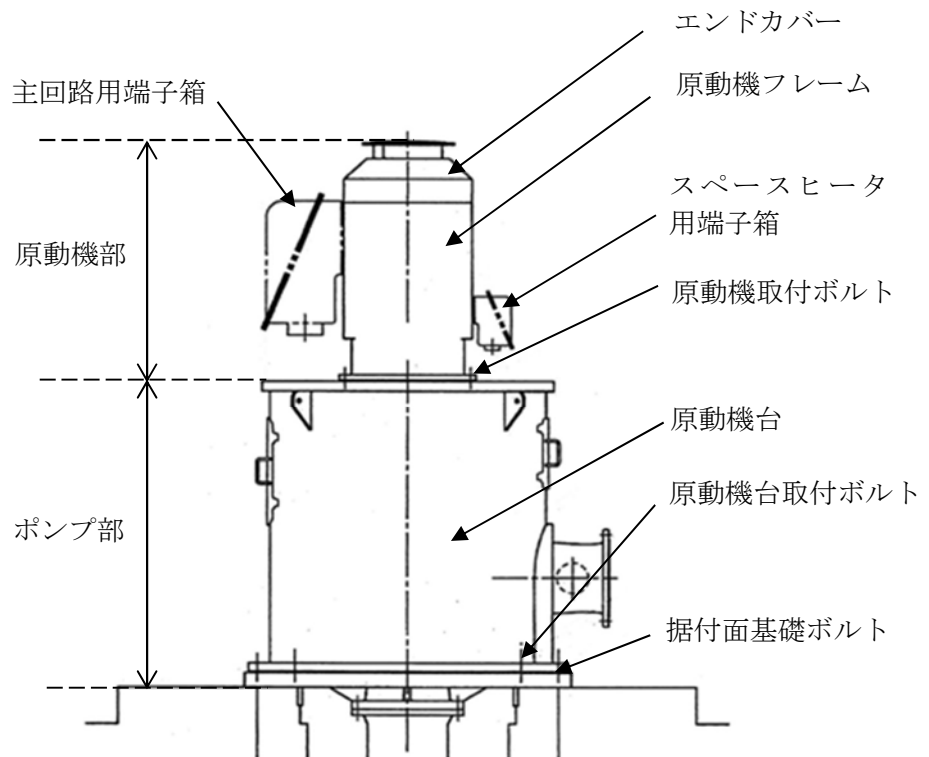


図2-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

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1-1「竜巻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、ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、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においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による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。

(1) 衝突評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外壳を構成す

る部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。

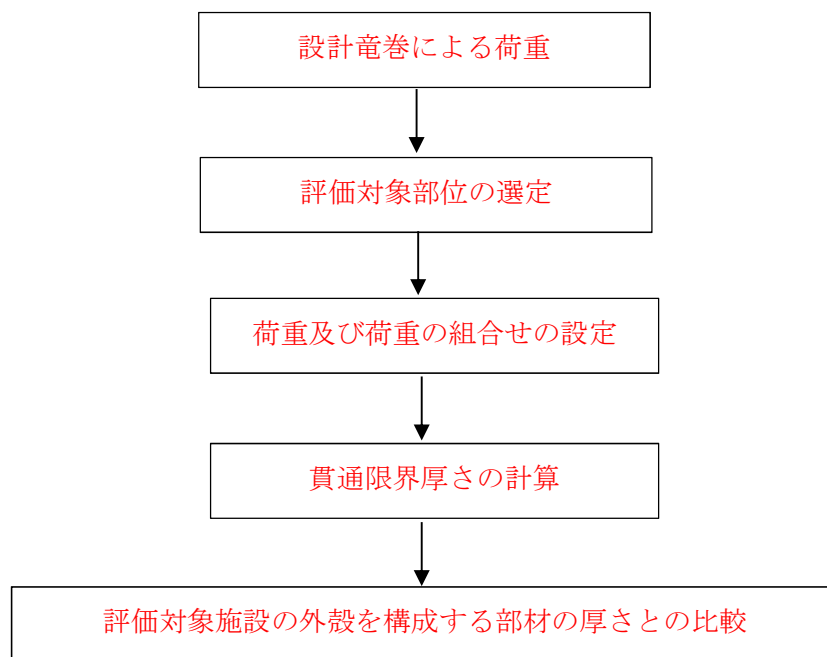


図2-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フローを図2-3に示す。強度評価においては、ディーゼル発電機用海水ポンプに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の強度評価には、設計竜巻による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1-1「竜巻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強度評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻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

4601の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

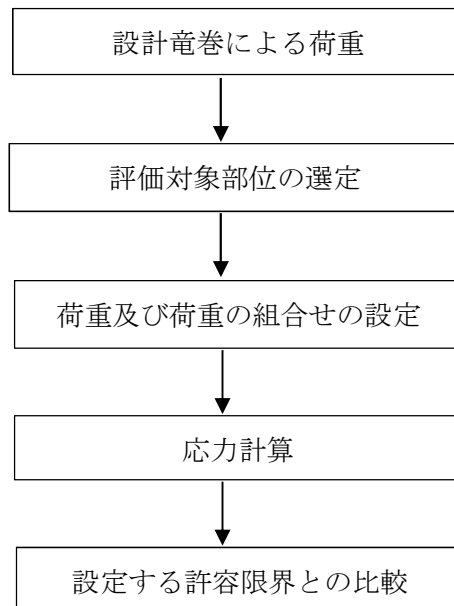


図2-4 ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価フロー

(3) 動的機能維持評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価フローを図2-5に示す。残留熱除去系海水系ポンプは動的機器であるため、構造強度評価に加え、軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては、ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し、設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下であることを確認する。動的機能維持評価では、V-3-別添1-1「竜巻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。海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻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、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

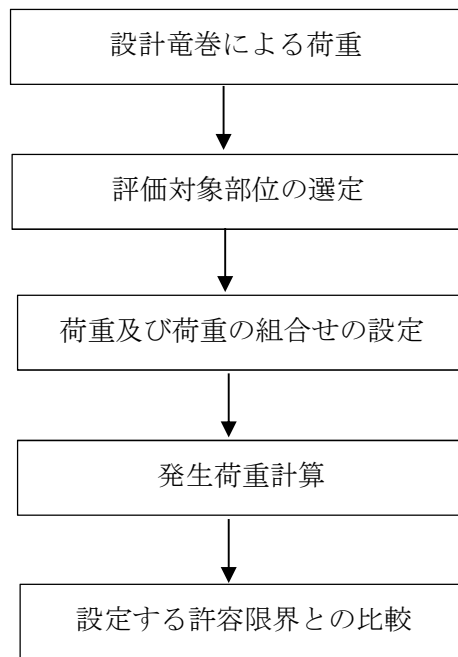


図2-5 ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価フロー

2.4 適用規格

- ・「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「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
- ・「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
- ・「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

(1) 衝突評価の記号の定義

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表3-2及び表3-3に示す。

表3-2 構造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 _b	mm ²	ボルトの断面積
A _w	mm ²	原動機フレーム溶接部の断面積
A ₁	m ²	主回路端子箱側面の受圧面積
A ₂	m ²	主回路端子箱上面の受圧面積
A ₃	m ²	原動機フレームの受圧面積
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	原動機フレーム外寸
F	MPa	J SME SSB-3121.1(1)により規定される値
F _b	N	ボルトに作用する引張力
F _H	N	ボルトに作用するせん断力
F _i	N	各ボルトに作用する引張力
f _s	MPa	J SME 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 SME 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

表3-1 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
H	N	自重による荷重
h	mm	基準面からの重心距離
h_u	mm	基準面から上端カバー上端までの高さ
h_w	mm	原動機フレーム溶接部高さ
L	mm	重心と支点間の距離
L_H	mm	重心と支点間の距離
$L_1 \sim L_4$	mm	支点と評価ボルト間の距離
L_i	mm	各ボルト間の距離
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
m	kg	質量
N	—	ボルトの本数
q	N/m ²	設計用速度圧
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強さ
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T1} = W_P$)
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
W_M	N	設置 (変更) 許可を受けた竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W_w	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率
σ_{mt}	MPa	原動機フレームの引張応力
σ_{bt}	MPa	ボルトの引張応力
τ	MPa	せん断応力

表3-2 動的機能維持評価に用いる記号 (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	mm	部材間の長さ
a ₁	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの長さ
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
E	MPa	縦弾性係数
E _p	MPa	原動機台の縦弾性係数
E _m '	MPa	回転子の縦弾性係数
G	—	ガスト影響係数
h'	mm	基準点から作用点までの距離
h ₁ '	mm	荷重作用点から荷重作用点までの距離
I	mm ⁴	断面二次モーメント
I _m '	mm ⁴	回転子の断面二次モーメント
I _p	mm ⁴	原動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i ₁	rad	ポンプ据付面から荷重作用点の傾斜
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M _a	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
q	N/m ²	設計用速度圧
W _T	N	設計竜巻による複合荷重
W _{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 (W _{T2} = W _w + 0.5・W _p + W _M)
W'	N	たわみ量及び発生荷重計算において設計竜巻による風圧を受ける面それぞれのW _{T2} の合計の複合荷重
W''	N	発生荷重
W _M	N	設置 (変更) 許可を受けた竜巻による飛来物の衝撃荷重
W _p	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W _w	N	設計竜巻の風圧力による荷重
x ₁	mm	荷重作用点から原動機下部軸受部までの距離
x ₂	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
x'	mm	評価対象部から支点までの距離
y	mm	たわみ量
y ₁	mm	ポンプ据付面から荷重作用点のたわみ量
y ₂	mm	荷重作用点から原動機下部軸受部のたわみ量
y ₃	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部のたわみ量

表3-2 動的機能維持評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
y_a	mm	原動機下部案内軸受部のたわみ量
y_b	mm	原動機上部案内軸受部のたわみ量
δ	mm	フレーム変位量
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量

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1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ、「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選定する。

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所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ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる主回路端子箱、スペースヒーター用端子箱を選定する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

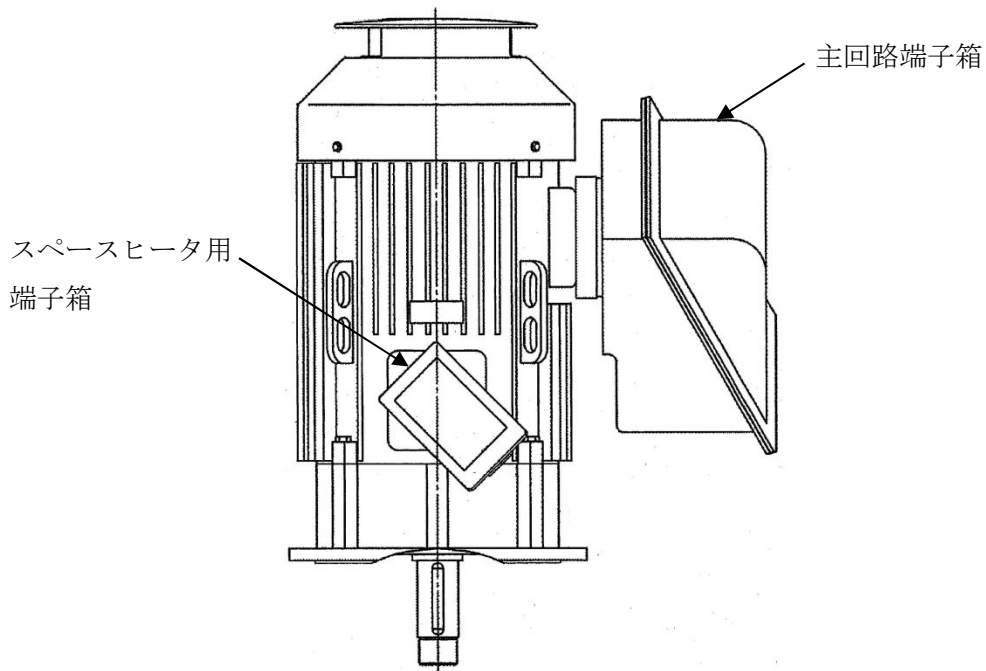


図3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(2) 構造強度評価の評価対象部位

a. ポンプ部

ポンプ部について、原動機部等に作用する風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用し、原動機台を介して、基礎面及び原動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、以下の部位を強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・原動機取付ボルト
- ・原動機台取付ボルト
- ・据付面基礎ボルト

b. 原動機部

原動機部について、原動機部等に作用する風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、原動機フレーム及び付属品に作用し、原動機フレーム及び付属品を介して、付属品の取付部を固定するボルトに作用する。

このことから、以下の部位を強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・原動機フレーム
- ・主回路端子箱取付ボルト
- ・スペースヒータ用端子箱取付ボルト
- ・エンドカバー取付ボルト

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3-2、図3-3に示す。

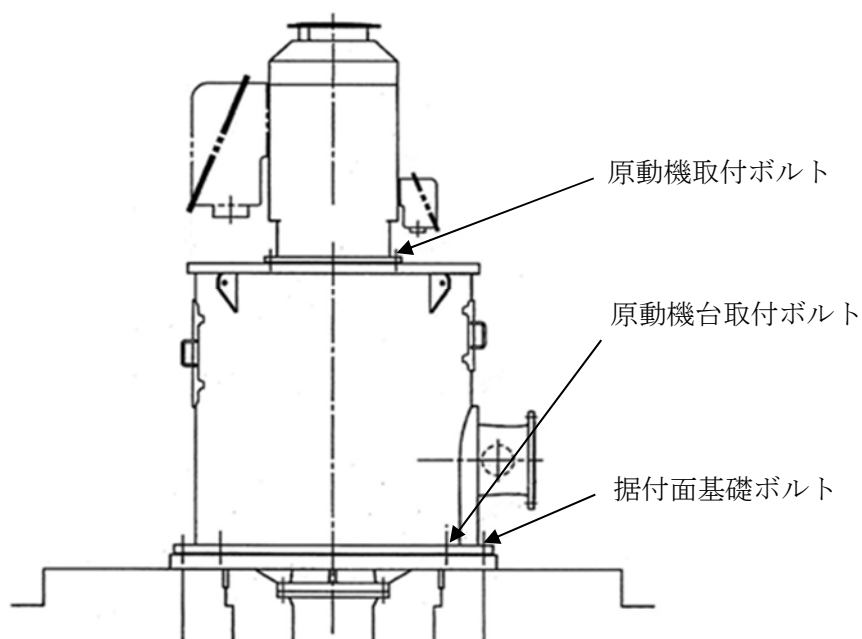


図3-2 ディーゼル発電機用海水ポンプ評価部位概略図（ポンプ部）

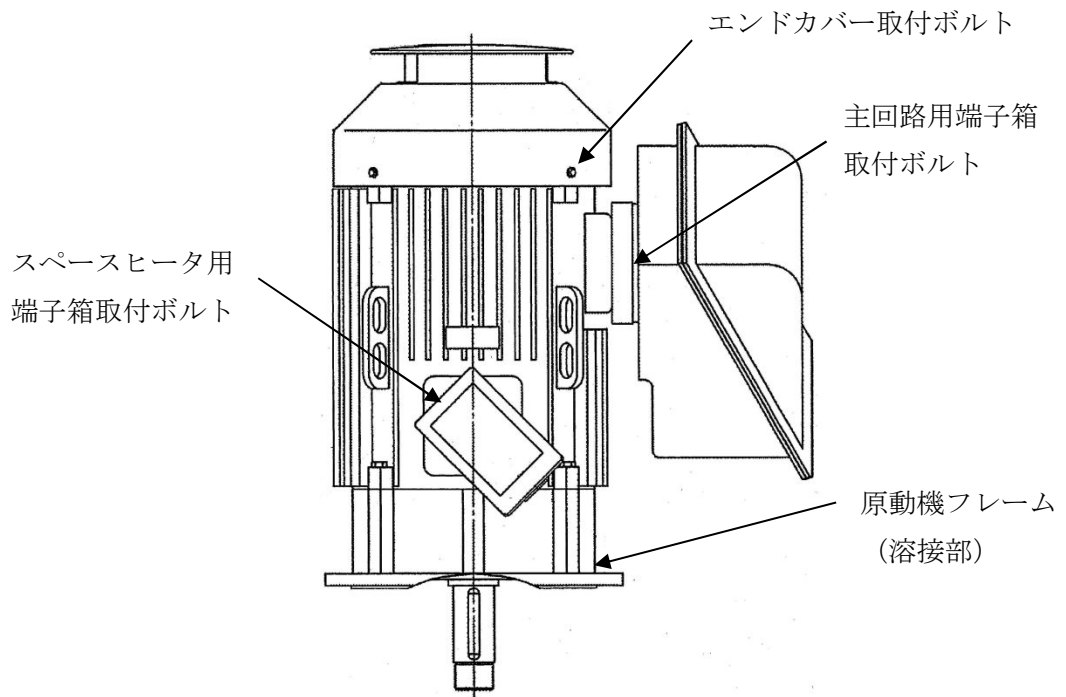


図 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプ評価対象部位概略図 (原動機部)

(3) 動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に、原動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

- ・原動機下部軸受部
- ・原動機上部軸受部

ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-3 に示す。

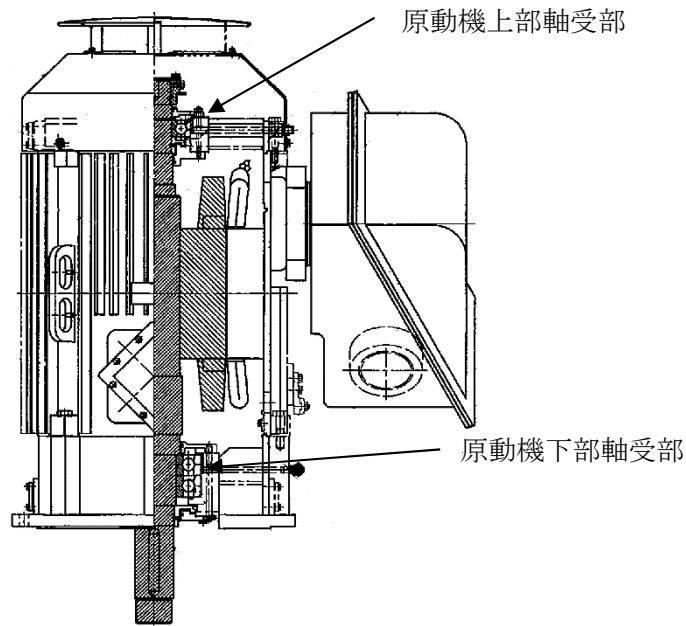


図 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

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 1-1「竜巻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) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-4、ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表3-5に示す。

表3-4 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-5 ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の防護対象施設	ディーゼル発電機用 海水ポンプ	・主回路端子箱 ・スペースヒータ用端子箱	飛来物による 衝撃荷重

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

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

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。

イ. 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重(W_p)

気圧差による荷重 W_p はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 W_T (W_{T1} , W_{T2})はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、ディーゼル発電機用海水ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため、複合荷重の選定において、 W_{T2} としては気圧差を考慮するが、 W_{T1} の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5W_p + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、鉛直下向きに作用するポンプスラスト荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ボルト材の強度評価時に評価対象部位が鉛直方向に取り付けられており、自重が抗力となる場合は保守的に考慮せず、水平方向に取り付けられている場合（主回路用端子箱取付ボルト、スペースヒータ用端子箱取付ボルト）は、端子箱自重を考慮する。また、運転時荷重が作用する評価対象部位は全て鉛直方向に取り付けられており、運転時荷重は鉛直方向下向きに作用し抗力となるため、それぞれの構造強度評価を行う際の荷重としては保守的に考慮しない。

なお、防護対策として、竜巻防護ネットを設置する施設については、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護ネットを通過する小さな飛来物による衝撃荷重は、衝突される機器へ伝わる加速度が小さく、機器へ作用する荷重は強度に影響を与えないので $W_M=0$ とする。

ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	ディーゼル発電 機用海水ポンプ	ポンプ部	原動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機台取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			据付面基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
		原動機部	原動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			主回路用端子箱取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③端子箱自重
			スペースヒータ用端子箱取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③端子箱自重
			エンドカバー取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重

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1-1「竜巻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 に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。ディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表3-7に示す。

表3-7 ディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
ディーゼル発電機用海水ポンプ	2.3mm (主回路端子箱, スペースヒータ用端子箱)

(2) 構造強度評価における許容限界

構造強度評価における許容限界は 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。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計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は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、比例法を用いて計算する。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強度評価における許容限界について、表3-8に示す。

表3-8 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
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	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$
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	$1.5 f_t$

(3) 動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は、設計荷重により原動機フレームが変形する場合においてもディーゼル発電機用海水ポンプの運転継続が可能であるように、軸受の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受の接触面圧の許容荷重を表3-9に示す。

表3-9 軸受の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
原動機上部軸受部	□
原動機下部軸受部	□

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、V-3-別添 1-1「竜巻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。

a. 計算モデル

(a) 構造強度評価

計算モデルは1質点系モデルとし、ポンプ部は全高の1/2の位置に、原動機部は風圧力による荷重の作用中心と同等、あるいはより高い重心作用位置に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び原動機部の応力の計算モデル図を図3-5及び図3-6に示す。

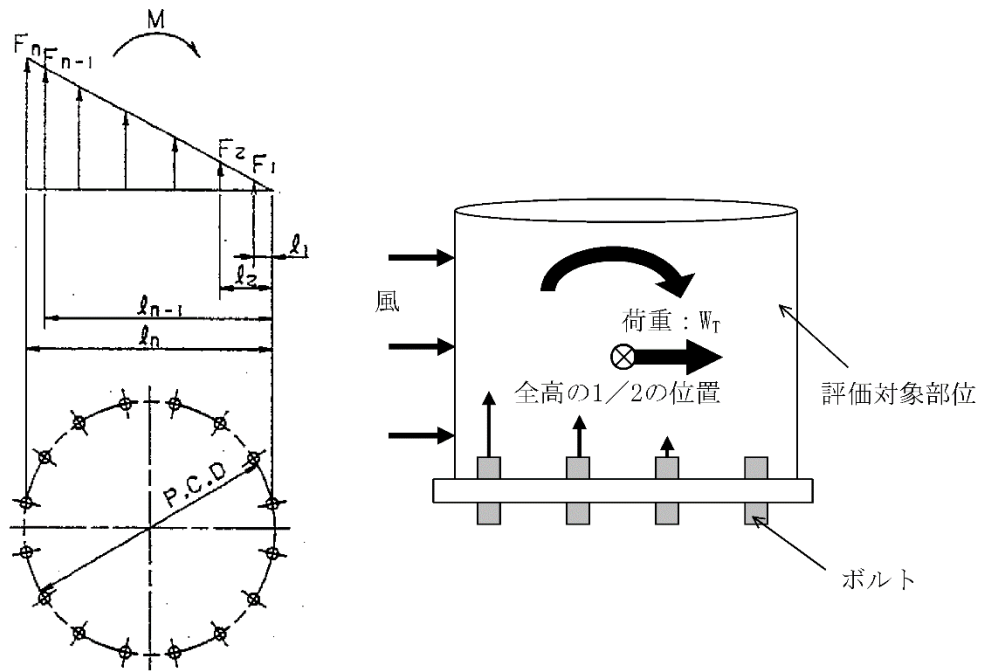


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

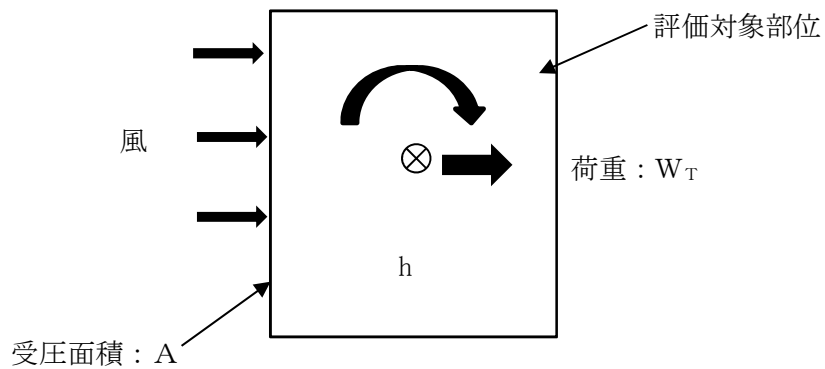


図 3-6 応力の計算モデル図 (原動機部)

(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の原動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から原動機台上端まで（ポンプ部）と、原動機台上端から原動機まで（原動機部）の片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は電動台が最も小さいことから、原動機台の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価する。原動機部については原動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-6に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体(原動機フレーム等)は、水平方向の複合荷重により、ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方、回転体(ポンプ軸及び原動機軸)は、風荷重を受けないため、変形せず、原動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態を維持する。原動機フレーム等の変形により、軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

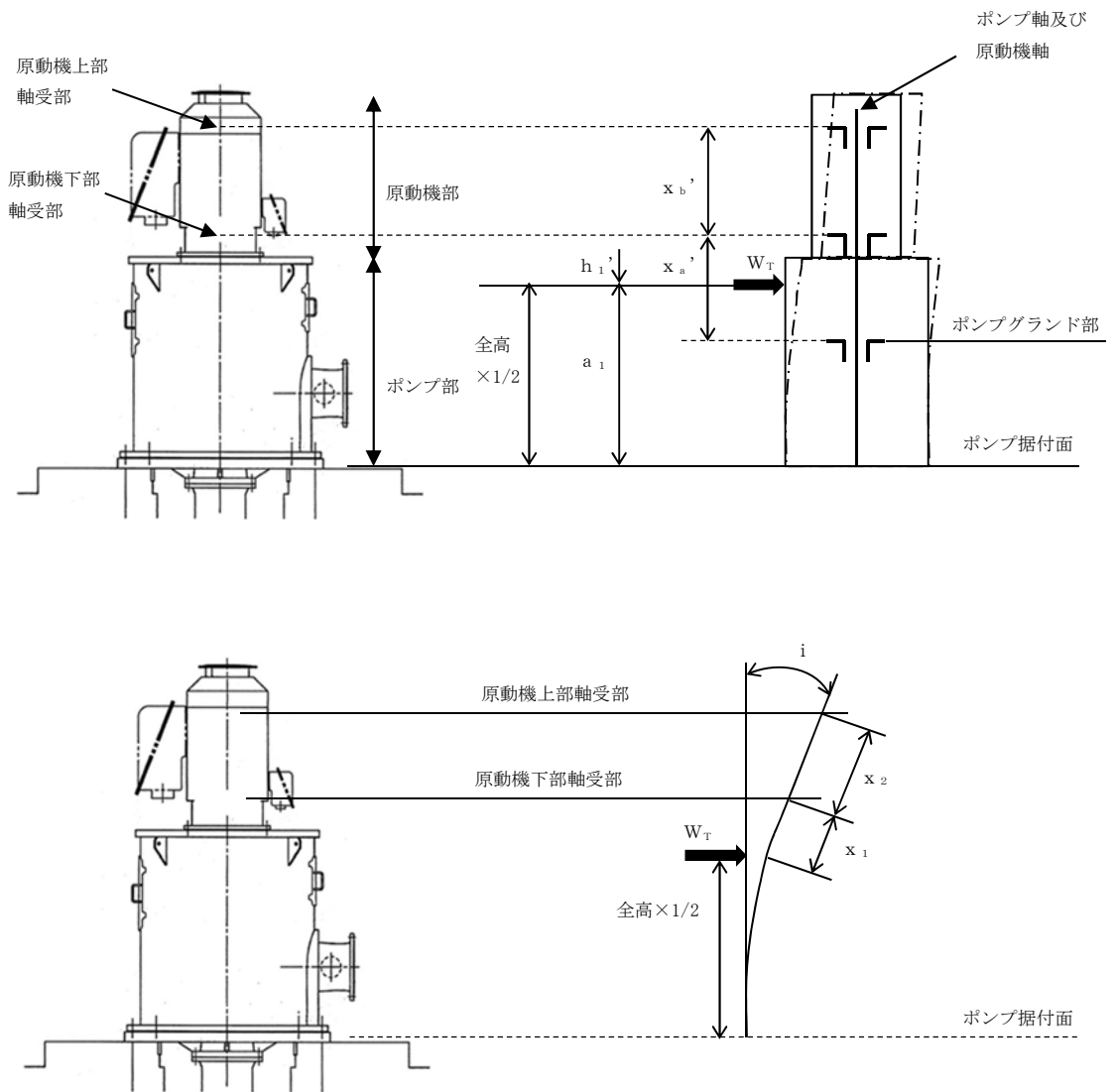


図 3-7 ディーゼル発電機用海水ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部 (ボルト部)

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \text{全高} / 2$$

(ロ) 引張応力 σ_{bt}

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

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

(3.1) (3.2) 式より,

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

よって,

$$\sigma_{b t} = \frac{F_n}{A_b}$$

(ハ) せん断応力 τ

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

ロ. 原動機部

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h + H \cdot L_H \quad (\text{ボルト取付方向が水平方向の場合})$$

$$M = W_T \cdot h \quad (\text{ボルト取付方向が鉛直方向の場合})$$

(ロ) 原動機フレーム溶接部

原動機フレーム溶接部の応力算出方法を以下に示す。

原動機フレーム溶接部の詳細図を図 3-7 に示す。

・引張応力

$$\sigma_{m t} = \frac{5.66 \cdot M}{\pi \cdot h_w \cdot D^2}$$

・せん断応力

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

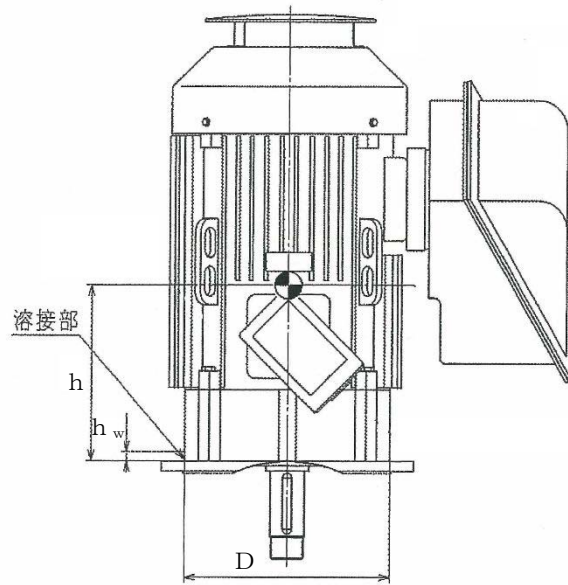


図 3-7 原動機フレーム溶接部詳細図

(ハ) 主回路用端子箱ボルト部, スペースヒータ用端子箱ボルト部

・引張応力

$$F_b = \frac{M}{L_1 \cdot N}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

・せん断応力

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

ここで,

$$F_H = \sqrt{W_T^2 + H^2}$$

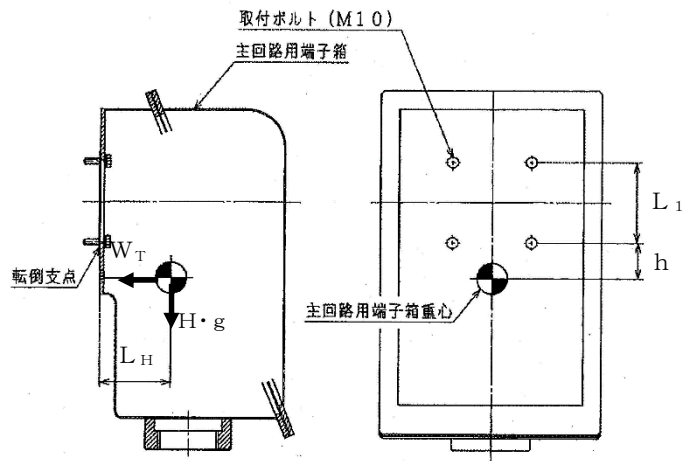


図 3-8 主回路用端子箱詳細図

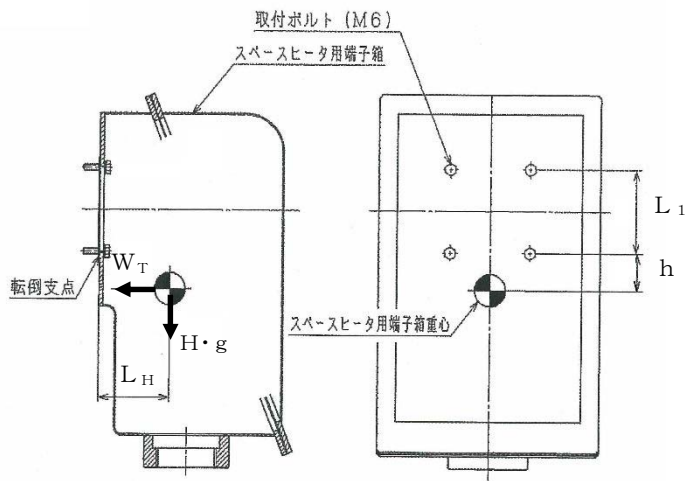


図 3-9 スペースヒータ用端子箱詳細図

(二) エンドカバー取付ボルト部

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が、エンドカバーの上端（評価上厳しい条件）に作用した際の、エンドカバー取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h_u$$

(ii) 引張応力 σ_{bt}

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

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

(3.1) (3.2) 式より,

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

よって,

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

(iii) せん断応力 τ

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

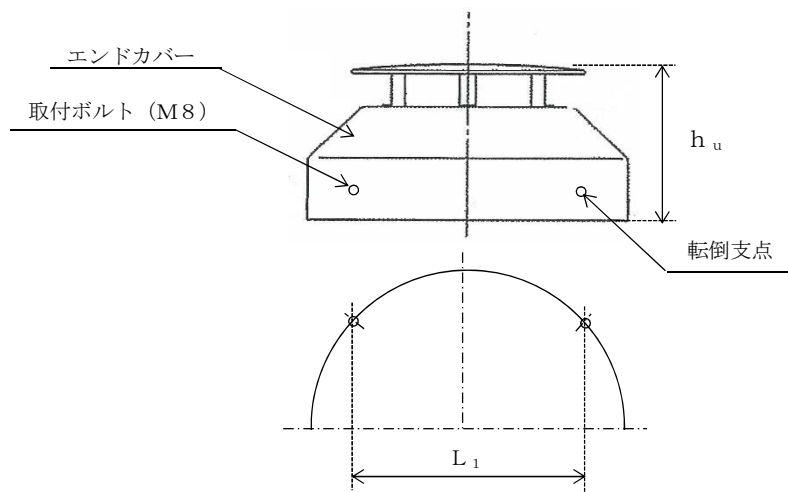


図 3-10 エンドカバー詳細図

(b) 発生荷重の計算

イ. たわみ量の計算

たわみ量の算出において、竜巻による風圧力を受ける面（原動機台，原動機フレーム，主回路用端子箱，スペースヒータ用端子箱，エンドカバー）のそれぞれの W_{T2} の合計を複合荷重 W' とする。

$$W' = \sum W_{T2}$$

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量 y と傾斜 i を算出する。なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(イ) 原動機下部軸受部

- ・ポンプ据付面から荷重作用点のたわみ量 y_1 ，傾斜 i_1

$$y_1 = \frac{M_a \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^3}{3 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$i_1 = \frac{M_a \cdot a_1}{E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$M_a = W' \cdot h_1'$$

- ・荷重作用点から原動機下部軸受部のたわみ量 y_2

$$y_2 = x_1 \cdot \sin(i_1)$$

以上より，原動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

- (ロ) 原動機上部軸受部

- ・原動機下部軸受部から原動機上部軸受部のたわみ量 y_3

$$y_3 = x_2 \cdot \sin(i_1)$$

以上より，原動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_a + y_3$$

- ロ. 発生荷重の算出

軸受部において，フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し，発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重 W'' は次式より計算する。

δ = 評価対象部位の変位量 - 支点の変位量

また，発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x^3}$$

- (イ) 原動機下部軸受部の発生荷重

$$W''_m = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'^3}$$

ここで， $\delta_a = y_a$

- (ロ) 原動機上部軸受部の発生荷重

$$W''_m = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b'^3}$$

ここで， $\delta_b = y_b - y_a$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-9 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)
原動機取付ボルト	SUS304	50 ^{*1}	198	504	205	153	118
原動機台取付ボルト	SUS304	50 ^{*1}	198	504	205	153	118
据付面基礎ボルト	S20C	50 ^{*1}	241	391	241	180	139
原動機フレーム	SS400	95 ^{*2}	223	374	100	100	57
主回路端子箱取付ボルト	SS400	100 ^{*2}	221	373	221	165	127
スペースヒータ用端子箱取付ボルト	SS400	100 ^{*2}	221	373	221	165	127
エンドカバー取付ボルト	SS400	50 ^{*1}	241	394	241	180	139

注記 *1：周囲環境温度

*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

q (N/m ²)	G (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-3 評価条件 (原動機取付ボルト)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m ²)
135.3	326.6	461.9	1.2	0.981	1.138

ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm ²)
M16	8	201.1

表 4-4 評価条件（原動機台取付ボルト）

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	C (-)	全高 (m)
218.0	570.6	923.3	1141.3	1.2	2.251

A (m ²)	ボルト サイズ	N (-)	A_b (mm ²)
2.789	M30	10	706.9

表 4-5 評価条件（据付面基礎ボルト）

L_1 (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m ²)	ボルト サイズ	N (-)
848.5	1.2	2.251	2.789	36	4

A_b (mm ²)
1018

表 4-6 評価条件（原動機フレーム）

C (-)	h (mm)	A (m ²)	D (mm)	h_w (mm)
1.2	378	1.138	444	6

表 4-7 評価条件（主回路端子箱取付ボルト）

C (-)	A (m ²)	ボルト サイズ	A_b (mm ²)	m (kg)	g (m/s ²)
2.4	0.2019	M10	78.54	25	9.80665

N^* (-)	h (mm)	L_H (mm)	L_1 (mm)
4(2)	57.5	109.3	130

注記 * : () 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-8 評価条件（スペースヒータ用端子箱取付ボルト）

C	A	ボルト サイズ	A _b	m	g
(-)	(m ²)		(mm ²)	(kg)	(m/s ²)
2.4	0.0360	M6	28.27	3.6	9.80665

N*	h	L _H	L ₁
(-)	(mm)	(mm)	(mm)
4(2)	3.8	57.3	80

注記 * : () 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-9 評価条件（エンドカバー取付ボルト）

C	A	ボルト サイズ	A _b	N	L ₁
(-)	(m ²)		(mm ²)	(-)	(mm)
1.2	0.1426	M8	50.27	4	362.7

h
(mm)
278

- (2) 動的機能維持評価の評価条件
 追而

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)とディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、ディーゼル発電機用海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
ディーゼル発電機用 海水ポンプ	2.3mm (主回路端子箱, スペース ヒータ用端子箱)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

原動機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 評価結果 (原動機取付ボルト)

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	23	153
せん断	9	118
組合せ	23	153

b. 原動機台取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-2 に示す。

原動機台取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-2 評価結果（原動機台取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	12	153
せん断	5	118
組合せ	12	153

c. 据付面基礎ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-3 に示す。

据付面基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 評価結果（据付面基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	22	180
せん断	9	139
組合せ	22	180

d. 原動機フレーム

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-4 に示す。

原動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果（原動機フレーム）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	8	100
せん断	2	57
組合せ	9	100

e. 主回路端子箱取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-5 に示す。

主回路端子箱取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（主回路端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	13	165
せん断	13	127
組合せ	13	165

f. スペースヒータ用端子箱取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-6 に示す。

スペースヒータ用端子箱取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（スペースヒータ用端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	2	165
せん断	7	127
組合せ	2	165

g. エンドカバー取付ボルト

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-7 に示す。

エンドカバー取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（エンドカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	13	180
せん断	9	139
組合せ	13	180

(2) 動的機能維持評価結果

追而

V-3-別添 1-1-5 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.....	2
2.4 適用規格.....	4
3. 強度評価方法.....	5
3.1 記号の定義.....	5
3.2 評価対象部位.....	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	7
3.4 許容限界.....	9
3.5 評価方法.....	10
4. 評価条件.....	13
5. 強度評価結果.....	14

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻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竜巻時及び竜巻通過後においても、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について、V-3-別添1-1「竜巻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1-1「竜巻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。

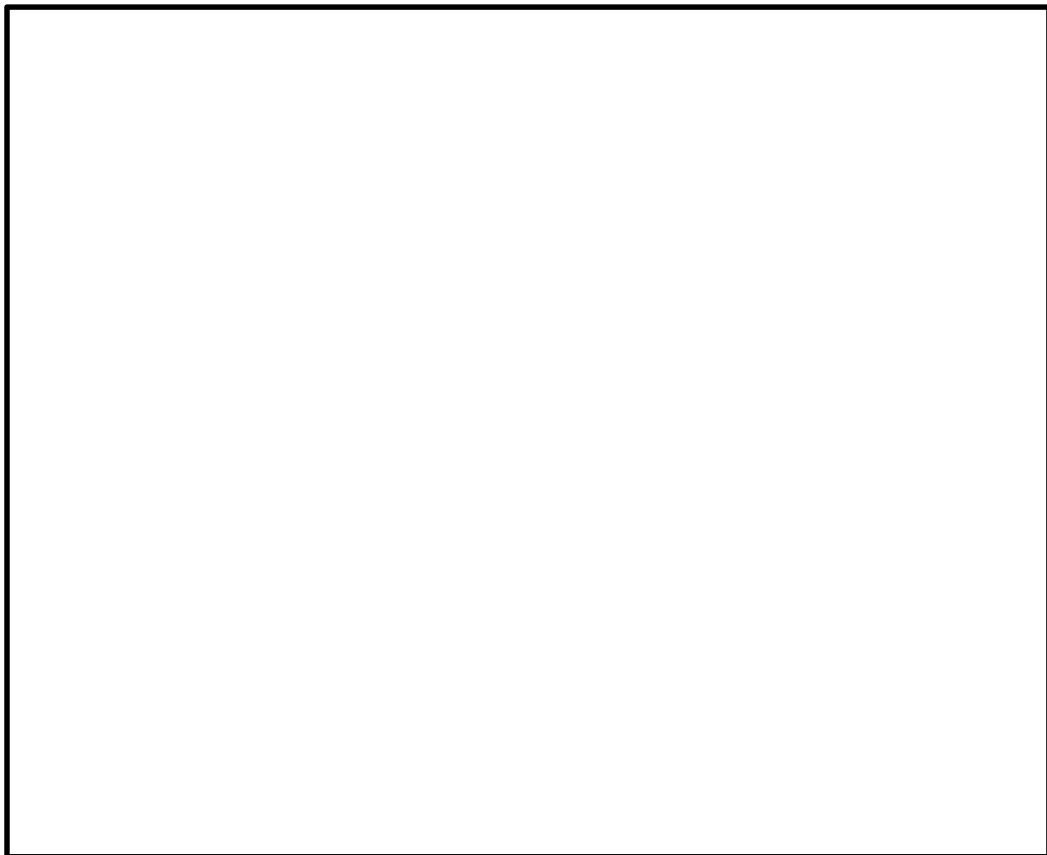


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

残留熱除去系海水系ストレーナの構造について、V-3-別添1-1「竜巻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き円筒形容器であり、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。

残留熱除去系海水系ストレーナの概要図を図2-2に示す。

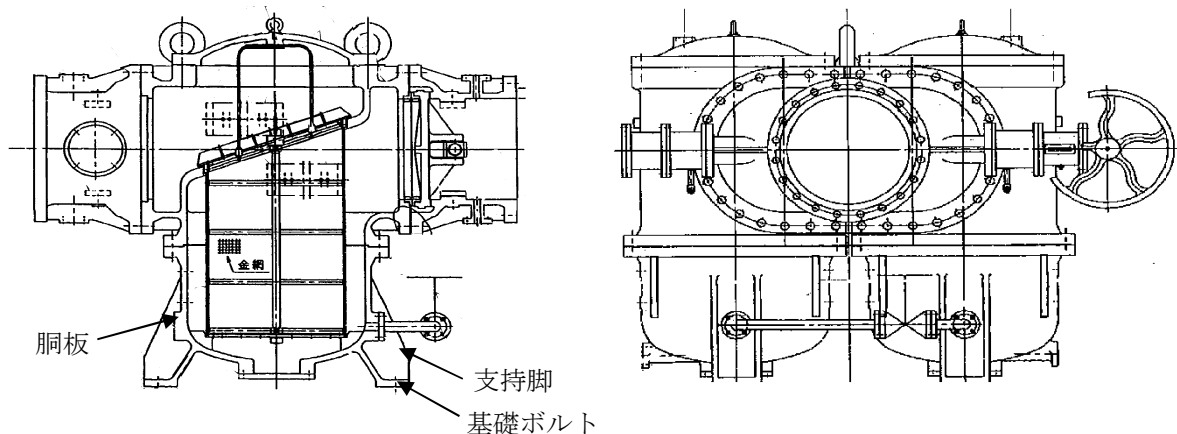


図2-2 残留熱除去系海水系ストレーナの概要図

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1-1「竜巻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、残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、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。

(1) 衝突評価の評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

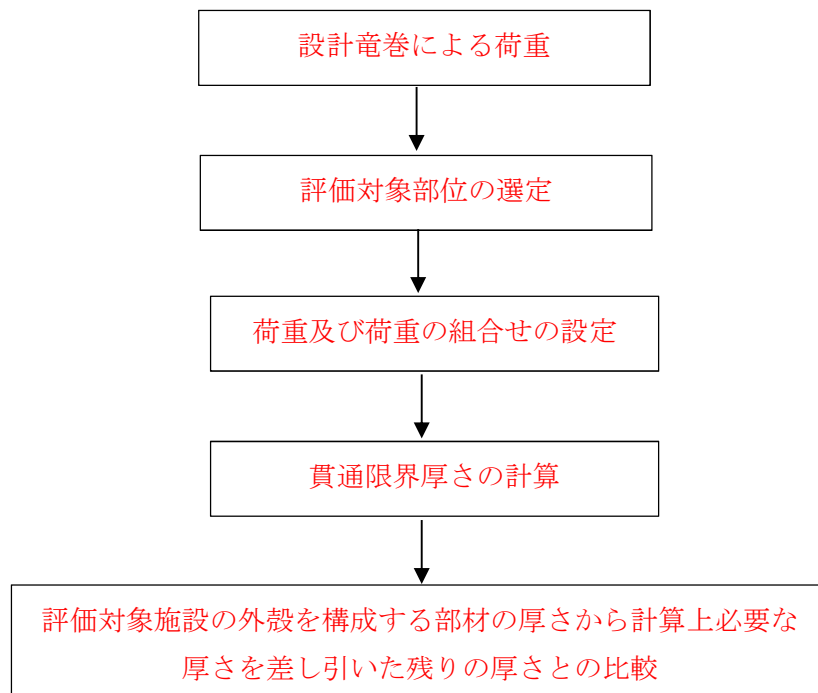


図2-3 残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フローを図2-3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、設計竜巻による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。強度評価においては、残留熱除去系海水系ストレーナに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の強度評価には、設計竜巻による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1-1「竜巻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」に示すたて置き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1-1「竜巻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。

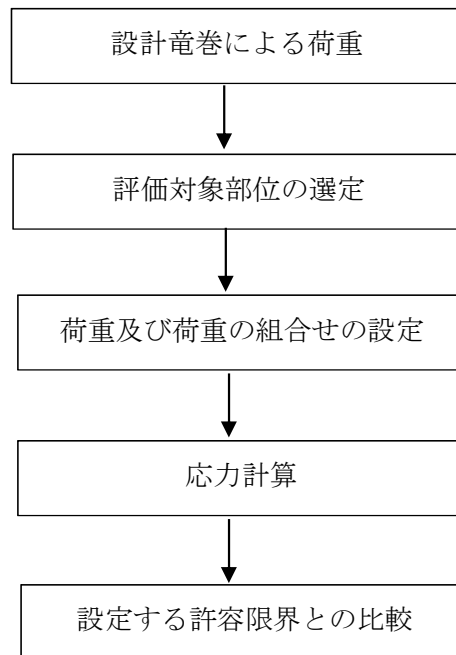


図2-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「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
- ・「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
- ・「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

(1) 衝突評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
D_i	mm	胴の内径
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
P	MPa	最高使用圧力
S	MPa	許容引張応力
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
t	mm	胴の計算上必要な厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
η	—	継手効率

(2) 構造強度評価の記号の定義

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 構造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_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
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）
F	MPa	J SME 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_s	MPa	J SME 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 SME 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	ストレーナ高さ（全高）
h	mm	ストレーナ重心高さ

表3-2 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
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_u	MPa	J SME 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 SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
W_M	N	設置（変更）許可を受けた竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T1} = W_P$)
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
W_w	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
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1-1「竜巻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、「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する。

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、残留熱除去系海水系ストレーナに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所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全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として胴板を選定する。

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

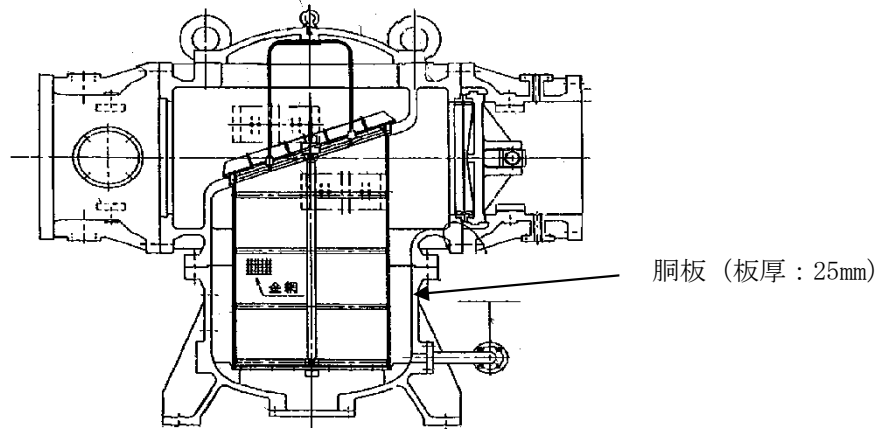


図3-1 残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価の評価対象部位

(2) 構造強度評価の評価対象部位

風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、銅板及び銅板一体の支持脚を介して基礎ボルトに作用する。

以上より、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3-2に示す。

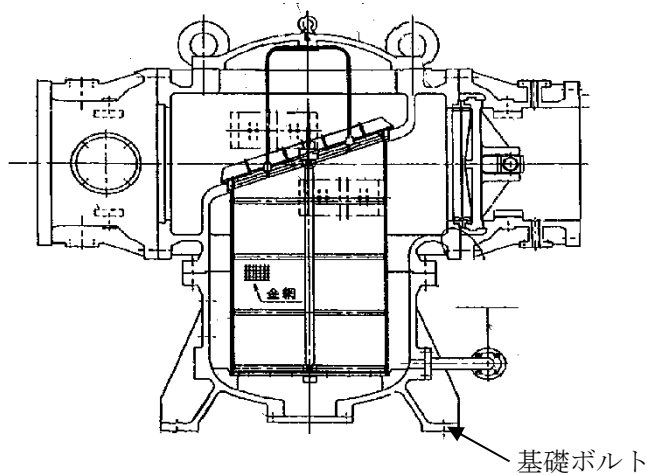


図3-2 残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価の評価対象部位

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 1-1 「竜巻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) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3、残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-4 残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の防護対象施設	残留熱除去系海水系ストレーナ	胴板	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造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

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。

イ. 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重(W_p)

気圧差による荷重 W_p はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 W_T (W_{T1} , W_{T2})はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、評価対象部位は基礎ボルトであり、気圧差による荷重は発生しない。

め、複合荷重の選定において、 W_{T2} としては気圧差を考慮するが、 W_{T1} の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重として、自重に加え内包水の荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添 1-1「竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、残留熱除去系海水系ストレナの評価対象部位ごとに設定する。

なお、防護対策として、竜巻防護ネットを設置する施設については、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護ネットを通過する小さな飛来物による衝撃荷重は、衝突される機器へ伝わる加速度が小さく、機器へ作用する荷重は強度に影響を与えないので $W_M=0$ とする。

強度評価の荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	残留熱除去系海水系 ストレナ	基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重

3.4 許容限界

残留熱除去系海水系ストレナの許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻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」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及びJ E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが残留熱除去系海水系ストレナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

残留熱除去系海水系ストレナにおける計算上必要な厚さは、J S M E PVC-3120 (胴の厚さの規定) に基づき、以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

残留熱除去系海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6 残留熱除去系海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
残留熱除去系海水系ストレーナ	25	12.9	12.1

(2) 構造強度評価の許容限界

構造強度評価における許容限界は 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。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計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は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、比例法を用いて計算する。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強度評価における許容限界について、表3-7に示す。

表3-7 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
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

(1) 衝突評価の評価方法

残留熱除去系海水系ストレーナの衝突評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出す

る。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価の評価方法

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価は、V-3-別添 1-1「竜巻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き円筒型容器の評価式を用いる。

a. 計算モデル

設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、有効運転質量を考慮した荷重に対する、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 3-3 に示す。

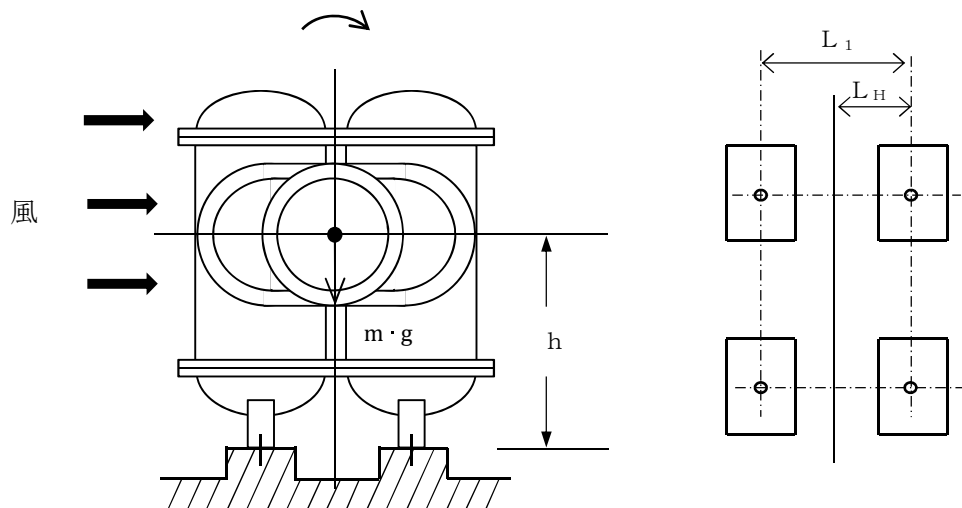


図 3-3 残留熱除去系海水系ストレーナモデル図

b. 計算方法

(a) 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 3-3 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

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

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

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

(b) 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

$$Q_b = W_{T2}$$

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

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
胴板	SCS14	50*	—	—	108	—	—	—
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 (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-3 評価条件 (胴板)

P (MPa)	D_i (mm)	S (MPa)	η (-)
3.45	790	108	1.0

表 4-4 評価条件 (基礎ボルト)

L_H (mm)	L_1 (mm)	C (-)	D_o (mm)	H (mm)	A (m ²)
515	1030	2.4	2140	1755	3.76

m (kg)	g (m/s ²)	ボルト サイズ	N (-)	n_f (-)	A_b (mm ²)
9850	9.80665	M30	4	2	706.9

h (mm)	W_{T2} (N)
1188	71780

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と残留熱除去系海水系ストレーナの外壳を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、残留熱除去系海水系ストレーナの外壳を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

防護対象施設	外壳を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
残留熱除去系海水系 ストレーナ	12.1	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

強度評価結果を表 5-2 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-2 評価結果 (基礎ボルト)

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	25	173
せん断	26	133
組合せ	25	173

V-3-別添 1-1-6 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.....	2
2.4 適用規格.....	4
3. 強度評価方法.....	5
3.1 記号の定義.....	5
3.2 評価対象部位.....	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	7
3.4 許容限界.....	9
3.5 評価方法.....	10
4. 評価条件.....	13
5. 強度評価結果.....	14

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻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。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、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について、V-3-別添1-1「竜巻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1-1「竜巻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。

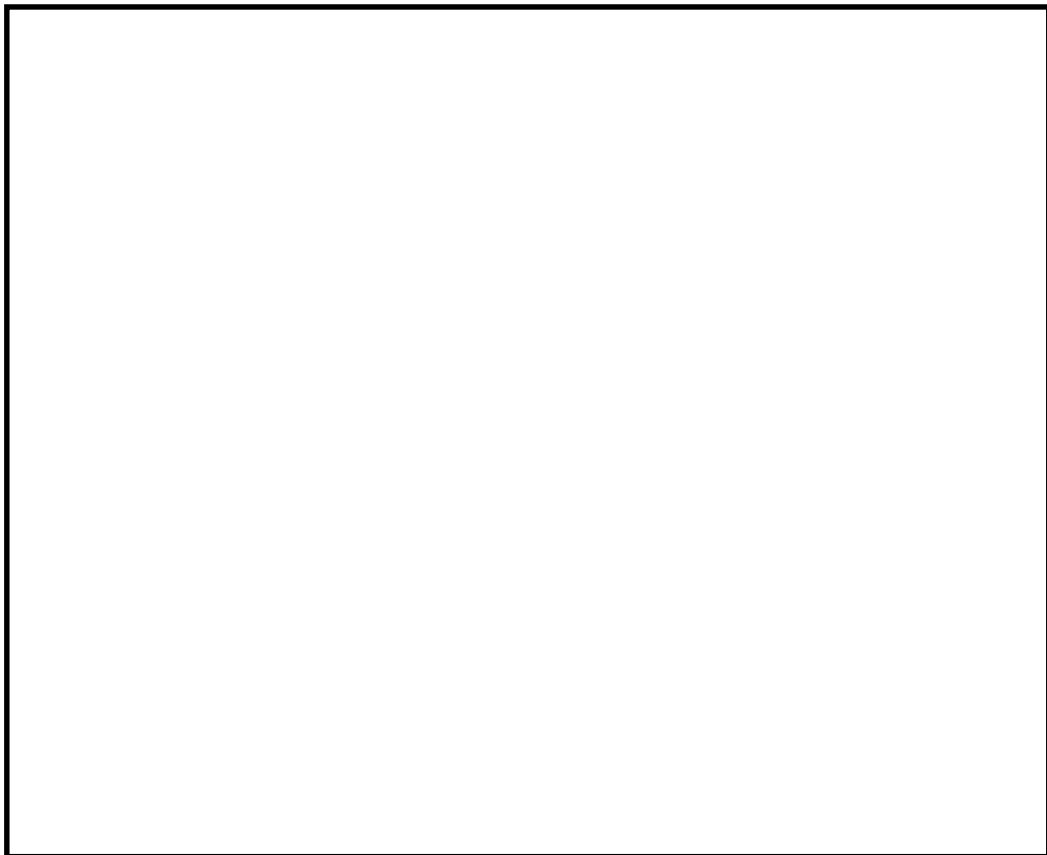


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造について、V-3-別添1-1「竜巻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き円筒型容器であり、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。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図を図2-2に示す。

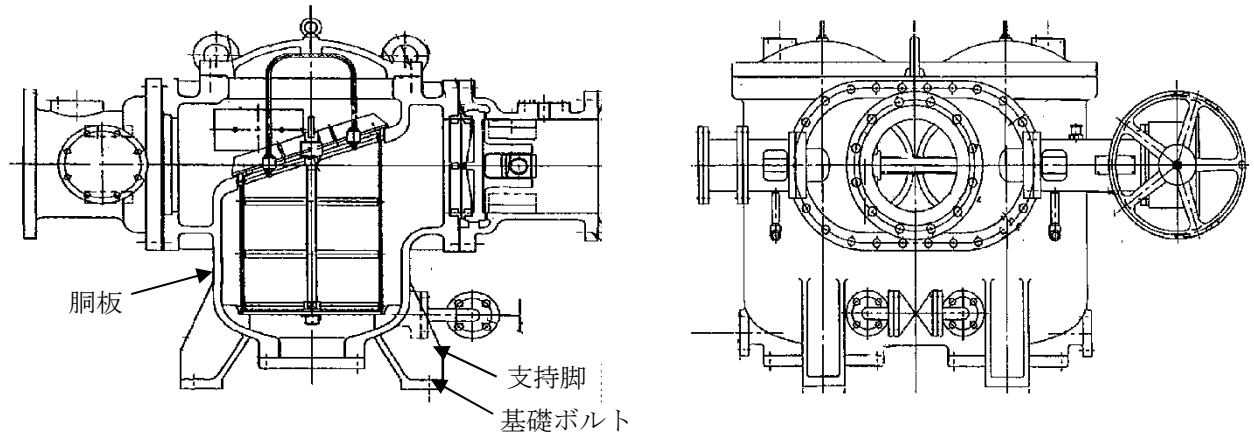


図2-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナ概要図

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1-1「竜巻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、ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、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。

(1) 衝突評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

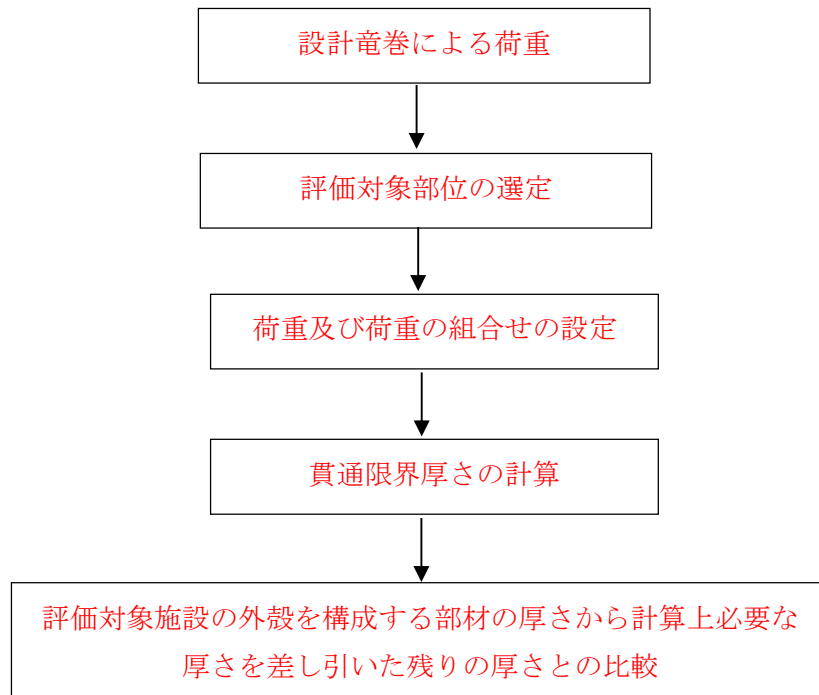


図2-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フローを図2-3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、設計竜巻による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。強度評価においては、ディーゼル発電機用海水ストレーナに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の強度評価には、設計竜巻による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1-1「竜巻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」に示すたて置き円筒形容器の評価式を用いる。

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1-1「竜巻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。

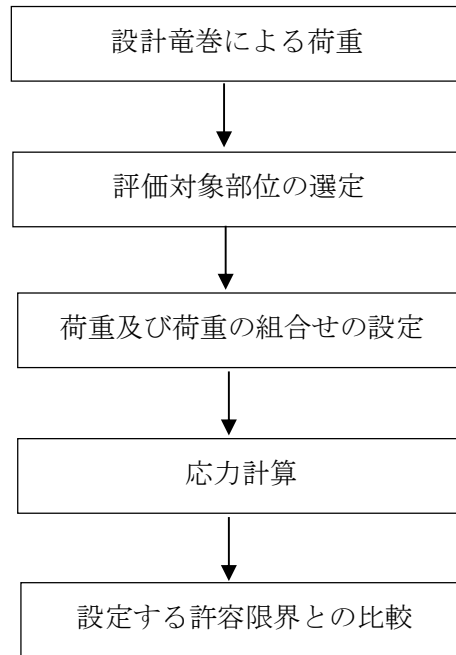


図2-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「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
- ・「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
- ・「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

(1) 衝突評価の記号の定義

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
D_i	mm	胴の内径
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
P	MPa	最高使用圧力
S	MPa	許容引張応力
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
t	mm	胴の計算上必要な厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
η	—	継手効率

(2) 構造強度評価の記号の定義

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3-2 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_b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積
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）
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_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	ストレーナ高さ（全高）

表3-2 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
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
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_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
W_M	N	設置（変更）許可を受けた竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T1} = W_P$)
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
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1-1「竜巻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、「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する。

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、ディーゼル発電機用海水ストレーナに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所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全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として胴板を選定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

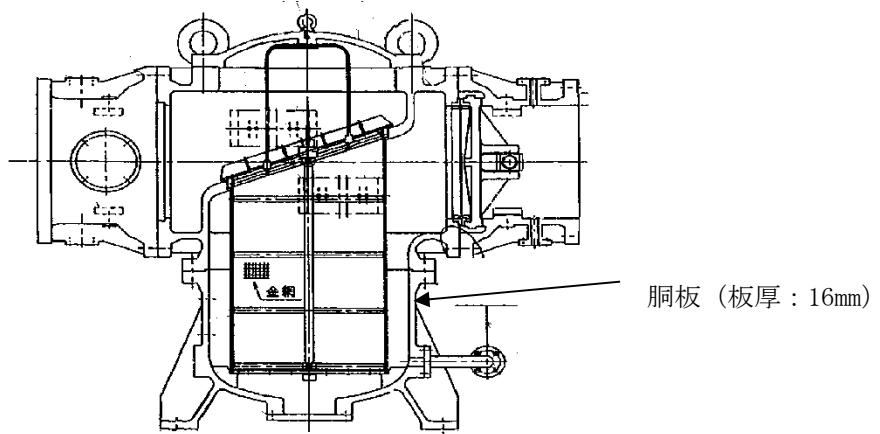


図3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価の評価対象部位

(2) 構造強度評価の評価対象部位

風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、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。

以上より、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3-2に示す。

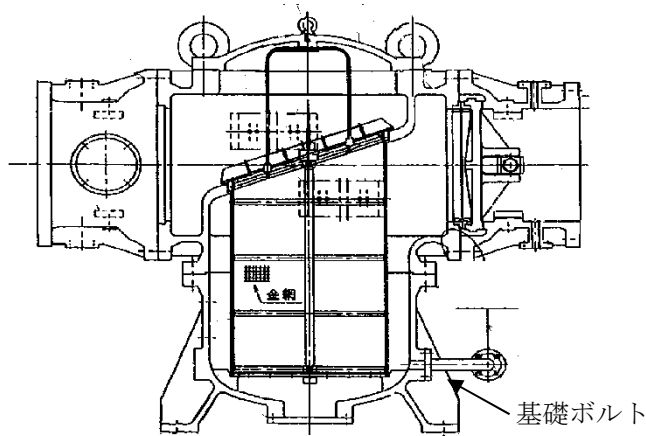


図3-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位

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 1-1「竜巻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) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3、ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の防護対象施設	ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	胴板	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造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

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。

イ. 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重(W_p)

気圧差による荷重 W_p はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 W_T (W_{T1} , W_{T2})はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、評価対象部位は基礎ボルトであり、気圧差による荷重は発生しないため、複合荷重の選定において、 W_{T2} としては気圧差を考慮するが、 W_{T1} の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重として、自重に加え内包水の荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、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。

なお、防護対策として、竜巻防護ネットを設置する施設については、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護ネットを通過する小さな飛来物による衝撃荷重は、衝突される機器へ伝わる加速度が小さく、機器へ作用する荷重は強度に影響を与えないので $W_M=0$ とする。

強度評価の荷重の組合せを表3-5に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重

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1-1「竜巻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に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さがディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

ディーゼル発電機用海水ストレーナにおける計算上必要な厚さは、J S M E PVC-3120 (胴の厚さの規定)に基づき、以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

ディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6 ディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
ディーゼル発電機用海水ストレーナ	16	1.4	14.6

(2) 構造強度評価の許容限界

構造強度評価における許容限界は 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。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計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は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、比例法を用いて計算する。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強度評価における許容限界について、表3-7に示す。

表3-7 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
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	Min {1.5 f _t , (2.1 f _t - 1.6 τ)}

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ストレーナの衝突評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価の評価方法

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 1-1「竜巻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き円筒型容器の評価式を用いる。

a. 計算モデル

設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、有効運転質量を考慮した荷重に対する、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3-3に示す。

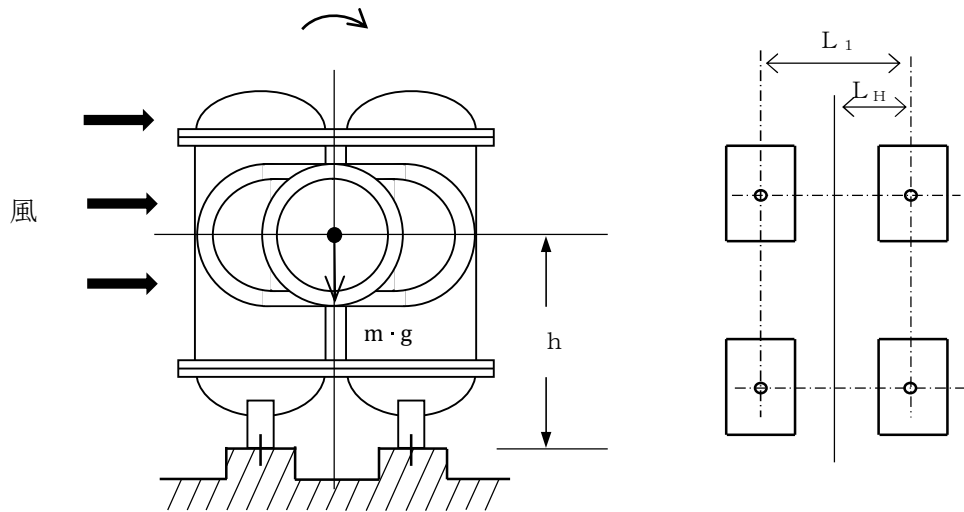


図 3-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナモデル図

b. 計算方法

(a) 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3-3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

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

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

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

(b) 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

$$Q_b = W_{T2}$$

□. 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

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
胴板	SCS14	50*	—	—	108	—	—	—
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 (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

表 4-3 評価条件 (胴板)

P (MPa)	D_i (mm)	S (MPa)	η (-)
0.70	430	108	1.0

表 4-4 評価条件 (基礎ボルト)

L_H (mm)	L_1 (mm)	C (-)	D_o (mm)	H (mm)	A (mm ²)
270	540	2.4	1360	945	1.29

m (kg)	g (m/s ²)	ボルト サイズ	N (-)	n_f (-)	A_b (mm ²)
2050	9.80665	M20	4	2	314.2

h (mm)	W_{T2} (N)
600	24630

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)とディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、ディーゼル発電機用海水ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	14.6	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

強度評価結果を表 5-2 に示す。

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 評価結果 (基礎ボルト)

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	28	173
せん断	20	133
組合せ	28	173

V-3-別添 1-1-8 配管及び弁の強度計算書

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.....	2
2.4 適用規格.....	4
3. 強度評価方法.....	5
3.1 記号の定義.....	5
3.2 評価対象部位.....	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	7
3.4 許容限界.....	9
3.5 評価方法.....	10
4. 評価条件.....	13
5. 強度評価結果.....	15

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外に設置している中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及び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。）周りの配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気配管が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管及び弁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

配管及び弁について、V-3-別添1-1「竜巻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、配管及び弁の「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

屋外に設置している中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気配管は、V-3-別添1-1「竜巻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、図2-1に示す位置に設置する。

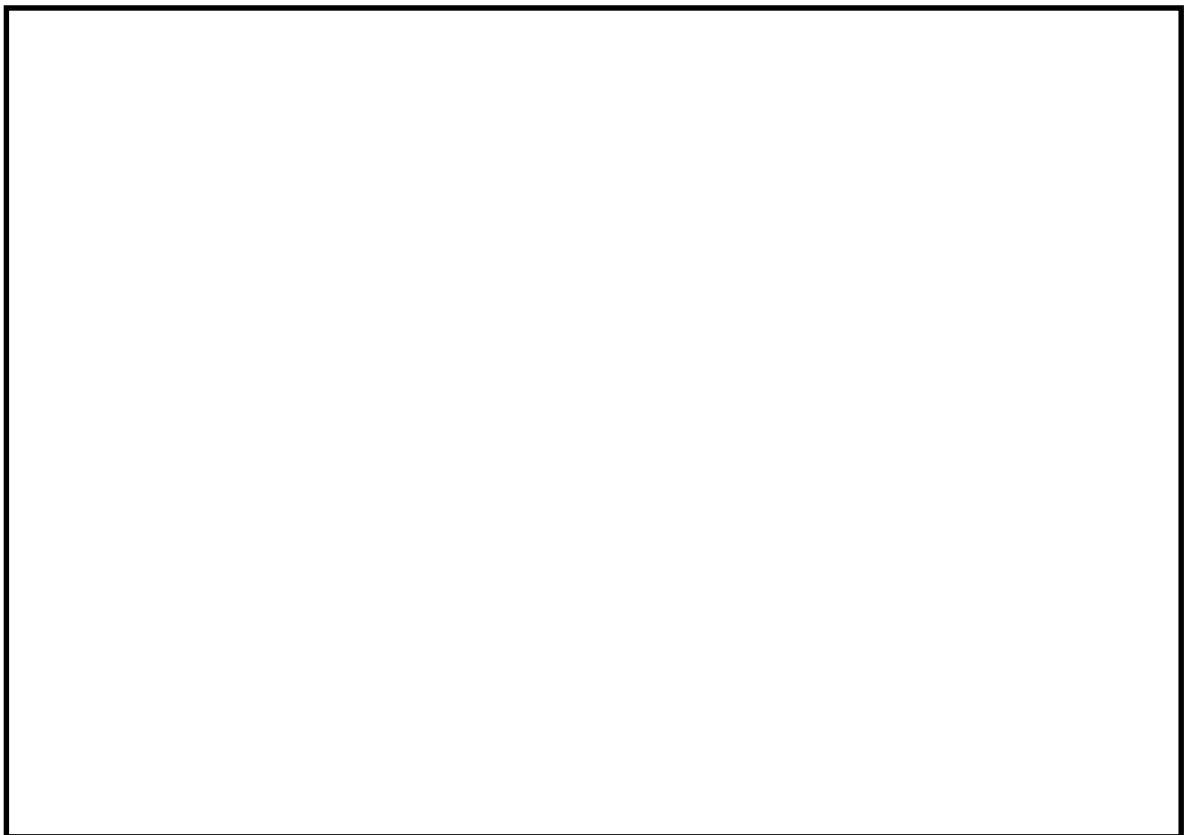


図 2-1 中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り、非常用ガス処理系排気配管の配管及び弁の位置図

2.2 構造概要

配管及び弁について、V-3-別添1-1「竜巻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、配管及び弁の構造を示す。

配管及び弁は、配管本体及び弁で構成され、支持構造物により床、壁等から支持する構造となる。配管及び弁の概要図を図2-2に示す。

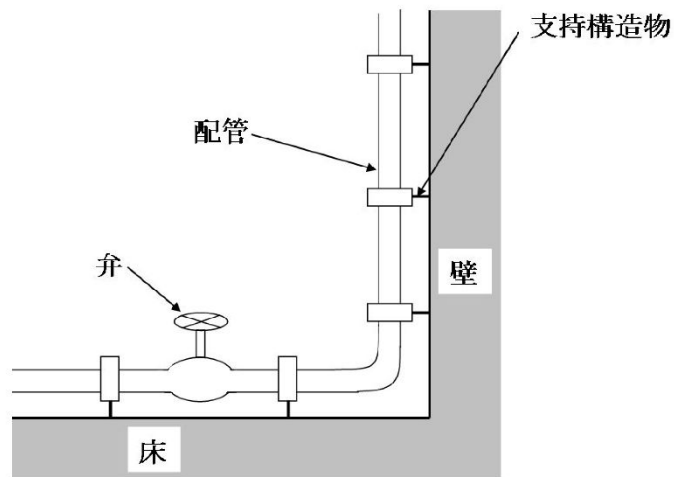


図2-2 配管及び弁の概要図

2.3 評価方針

配管及び弁の強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻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、配管及び弁の評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、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。

配管及び弁の強度評価フローを図2-3に示す。配管及び弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による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。

(1) 衝突評価の評価方針

配管及び弁の衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外壳を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。配管及び弁の衝突評価における許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」に示す許容限界である、外壳を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

なお、非常用ガス処理系排気配管が仮に飛来物による衝突によって貫通しても、その貫通

箇所又は本来の排気箇所から排気されるため、非常用ガス処理系排気配管の衝突評価は行わない。

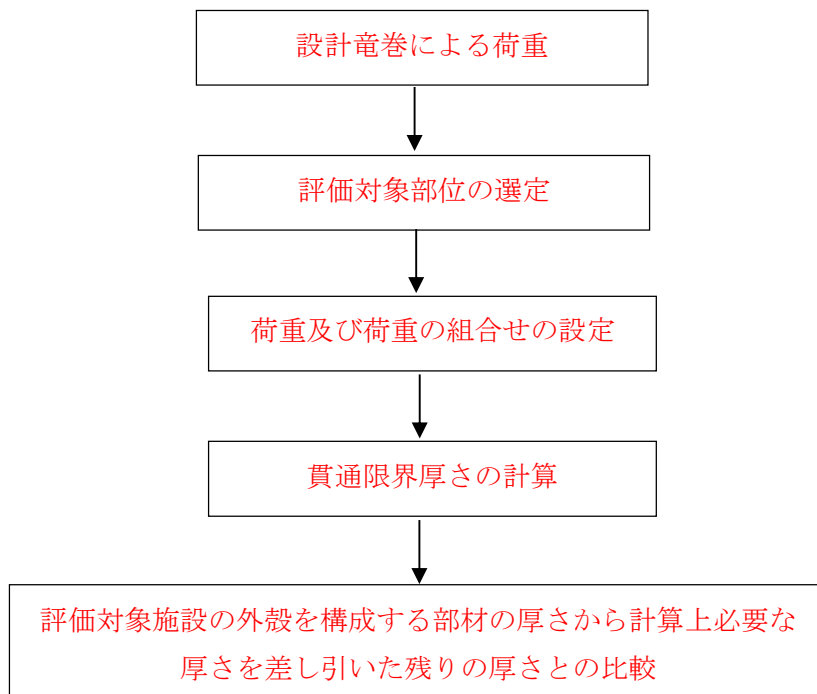


図2-3 配管及び弁の衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

配管及び弁の構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価において、配管及び弁に対し、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、V-3-別添1-1「竜巻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」に示す配管及び弁の評価式を用いる。配管及び弁の許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻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、「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。)の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

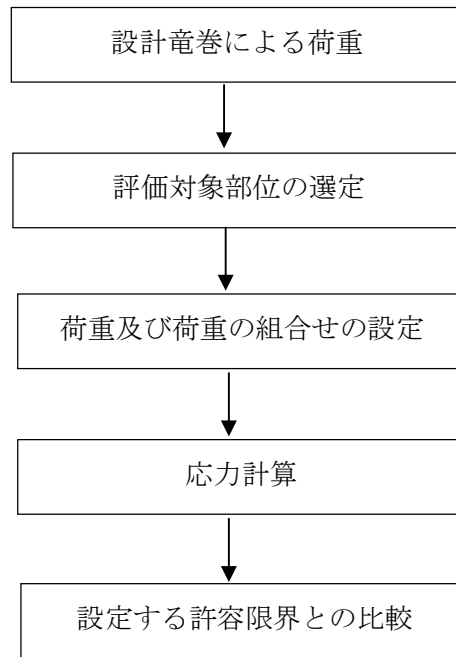


図2-4 配管及び弁の構造強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「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
- ・「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
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」（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

(1) 衝突評価の記号の定義

配管及び弁の衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
D_o	mm	配管の外径
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
P	MPa	最高使用圧力
S	MPa	許容引張応力
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
t	mm	配管の計算上必要な厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
η	—	継手効率

(2) 構造強度評価の記号の定義

配管及び弁の強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m^2/m	単位長さ当たりの施設の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
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	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度 ($g = 9.80665$)
L	m	支持間隔
M	$N \cdot m$	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m^2	設計用速度圧
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
t	mm	板厚
W_w	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重

表3-2 強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm ³	断面係数
π	—	円周率
ΔP	N/m ²	気圧差
σ_1, σ_2	MPa	配管に生じる応力
σ_{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1}, \sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
σ_{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

3.2 評価対象部位

配管及び弁の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻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、「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する。

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、配管及び弁に衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。弁が設置されている箇所においては、弁の板厚は配管の板厚に比べ厚く、配管の評価に包絡されるため、配管の評価のみ実施する。

配管及び弁の衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

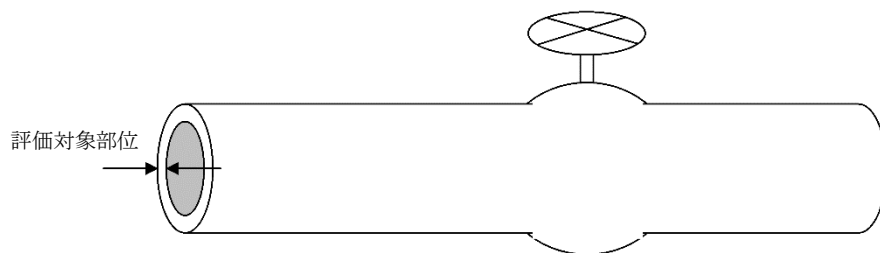


図3-1 配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、配管本体に作用する。なお、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく、配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。サポート（配管支持構造物）については、建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。

このことから、配管本体を評価対象部位として選定する。
 配管及び弁の強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。

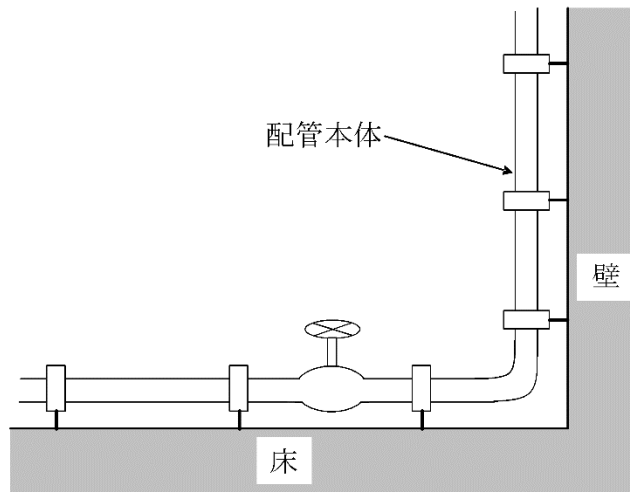


図3-1 配管及び弁の評価対象部位

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 1-1「竜巻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) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40(mm)）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3、配管及び弁の衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-4 配管及び弁の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の防護対象施設	配管及び弁	配管	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造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

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等による風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。なお、非常用ガス処理系排気配管は開放された施設であるため、気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。また、非常用ガス処理系排気配管が仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されるため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重(W_p)

気圧差による荷重 W_p は、V-3-別添1-1「竜巻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」に示す評価方法に従って、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(2) 計算方法」に示す。

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

b. 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、配管及び弁の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。

なお、防護対策として、竜巻防護ネットを設置する施設については、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護ネットを通過する小さな飛来物による衝撃荷重は、衝突される機器へ伝わる加速度が小さく、機器へ作用する荷重は強度に影響を与えないので $W_M=0$ とする。

強度評価に用いる荷重の組合せを表3-5に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	配管及び弁（中央制御室 換気系冷凍機，残留熱除 去系海水系ポンプ及び ディーゼル発電機海水 ポンプ周り）	配管本体	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧
	非常用ガス処理系排気 配管	配管本体	①風圧力による荷重 ②自重

3.4 許容限界

配管及び弁の許容限界は，V-3-別添1-1「竜巻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」にて設定した評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及びJ E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は，評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し，外殻を構成する部材が，機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため，評価式により算定した貫通限界厚さが配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁における計算上必要な厚さについては，昭和50年6月5日付け50資庁第4488号にて認可された工事計画の工事計画書の添付書類「Ⅲ-1-2-1 残留熱除去系海水系配管の規格計算書」の値を用いる。

また，ディーゼル発電機海水ポンプ周りの配管及び弁における計算上必要な厚さについては，昭和50年10月6日付け50資庁第8313号にて認可された工事計画の工事計画書の添付書類「Ⅲ-1-12-2 非常用予備電源装置内燃機関冷却系海水配管の規格計算書」の値を用いる。

中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁における計算上必要な厚さは，J S M E P P D - 3 4 1 1 に基づき，以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表 3-7 に示す。

表3-7 配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁	6.0*	1.9*	4.1
ディーゼル発電機海水ポンプ周りの配管及び弁	9.3	1.0	8.3
中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁	5.5	0.3	5.2

注記 * : 工事計画書記載の配管のうち、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが最小となる配管を選定

(2) 構造強度評価の許容限界

許容限界は J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス2,3配管」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。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計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は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、比例法を用いて計算する。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。

配管の強度評価における許容限界について、表3-8に示す。

表3-8 配管の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力 (膜+曲げ)
Ⅲ _A S	S _y

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

配管及び弁の衝突評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について (昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価の評価方法

配管及び弁の強度評価は、V-3-別添 1-1「竜巻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」にて設定している配管及び弁の評価式を用いる。

a. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を図3-2に示す。

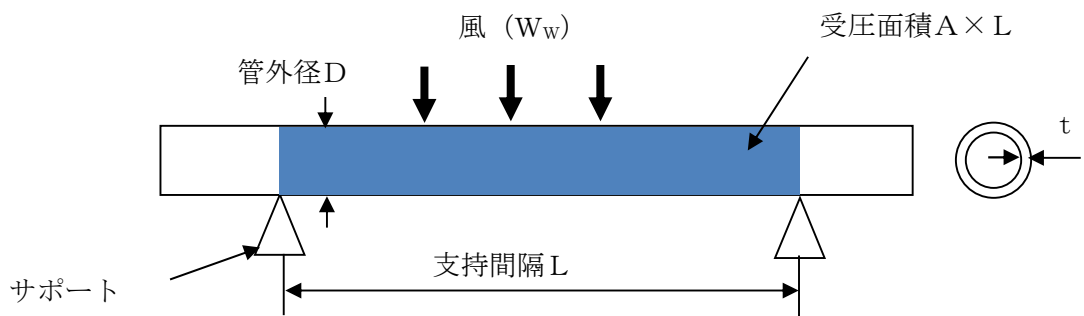


図 3-2 配管モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \{D^4 - (D - 2 \cdot t)^4\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる1次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{wP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、(a)、(b)項の複合荷重により生じる応力 σ_{WT1} 及び σ_{WT2} は以下の式に

より算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる1次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる1次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により σ_1 及び σ_2 を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

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 4-6 に示す。

表 4-1 許容応力計算に用いる条件

評価対象配管	温度条件 (°C)	S _y (MPa)
中央制御室換気系冷凍機周り配管	65.6	231
残留熱除去系海水系ポンプ周り配管	50*	239
	50*	319
ディーゼル発電機用海水ポンプ周り配管	50*	239

注記 * : 周囲環境温度

表 4-2 共通評価条件

ガスト係数 G (-)	風力係数 C (-)	設計用速度圧 q (N/m ²)	気圧低下量 ΔP (N/m ²)	重力加速度 g (m/s ²)
1	1.2	6100	8900	9.80665

表 4-3 評価条件 (中央制御室換気系冷凍機周り配管)

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当た りの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
89.1	STPT410	3.25	5.5	18.4	0.1891	0.54

表 4-4 評価条件 (残留熱除去系海水系ポンプ周り配管)

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当た りの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
355.6	STPT410	14.2	11.1	181.6	0.3556	3.46
508.0	SM490B	14.2	12.7	337.9	0.5080	3.46

表 4-5 評価条件（ディーゼル発電機用海水ポンプ周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
267.4	STPT410	11.0	9.3	107.8	0.2674	0.7

表 4-6 評価条件（非常用ガス処理系排気配管）

追而

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-2 配管及び弁の衝突評価結果 (砂利)

防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
残留熱除去系海水系ポンプ 周りの配管及び弁	4.1	1.0	貫通しない
ディーゼル発電機海水ポンプ 周りの配管及び弁	8.3	1.0	貫通しない
中央制御室換気系冷凍機周 りの配管及び弁	5.2	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁

強度評価結果を表5-3に示す。

中央制御室換気系冷凍機周りの配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-3 強度評価結果（中央制御室換気系冷凍機周り）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
89.1	STPT410	11	68	231

- b. 残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁
強度評価結果を表5-4に示す。

残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-4 強度評価結果（残留熱除去系海水系ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
355.6	STPT410	73	138	239
508.0	SM490B	70	109	319

- c. ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁
強度評価結果を表5-5に示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-5 強度評価結果（ディーゼル発電機用海水ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
267.4	STPT410	40	103	239

- d. 非常用ガス処理系排気配管

追而
