

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又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 11
提出年月日	平成 30 年 4 月 9 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ーナの強度計算書

V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

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 1-1-3 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.....	28
5. 強度評価結果.....	32

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

2. 基本方針

残留熱除去系海水系ポンプについて、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。

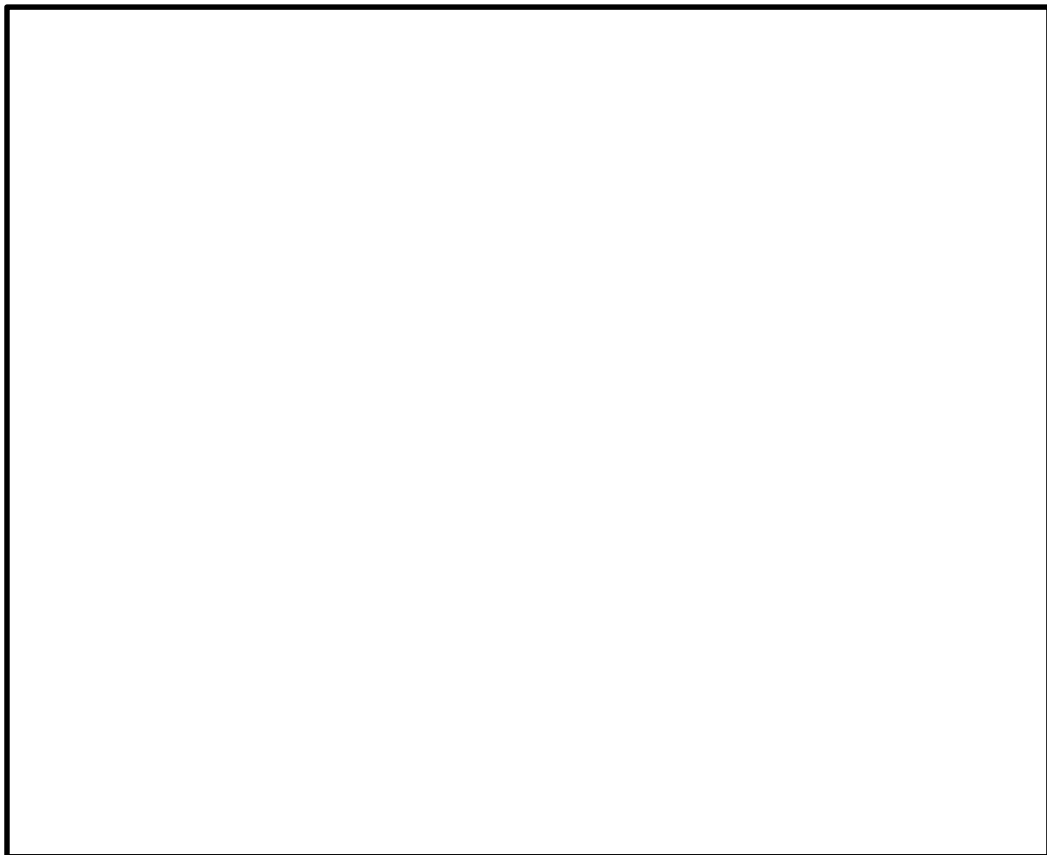


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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。

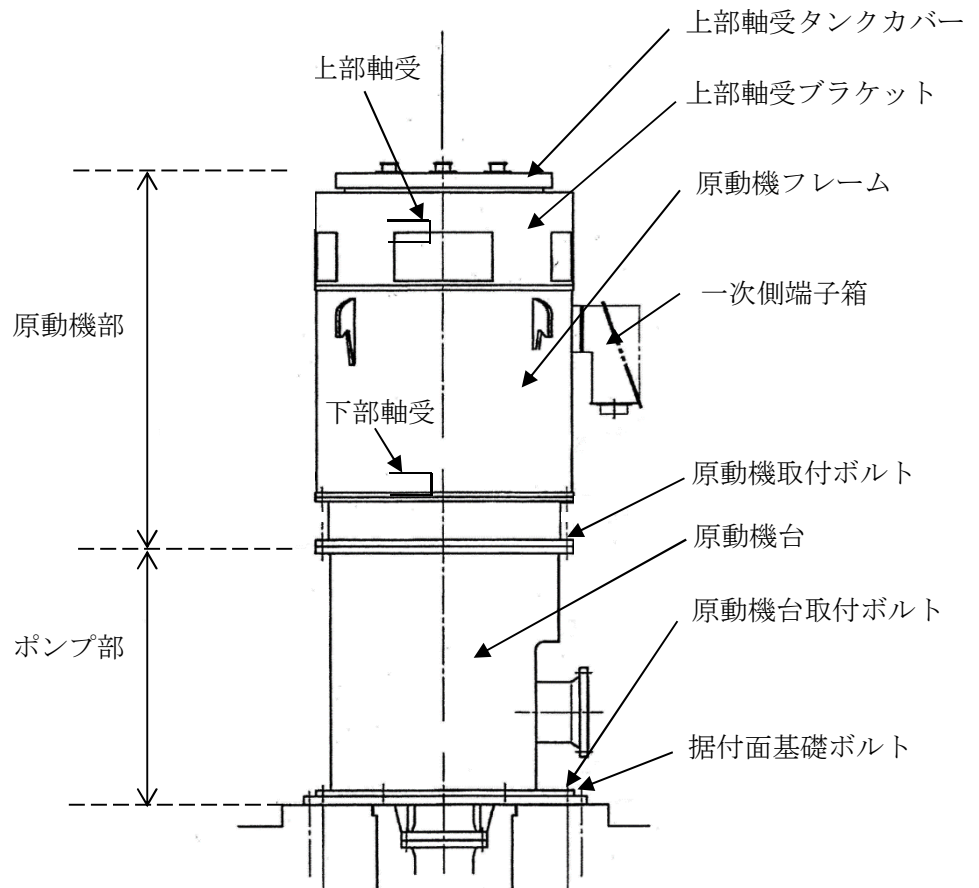


図2-2 残留熱除去系海水系ポンプの概要図

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。

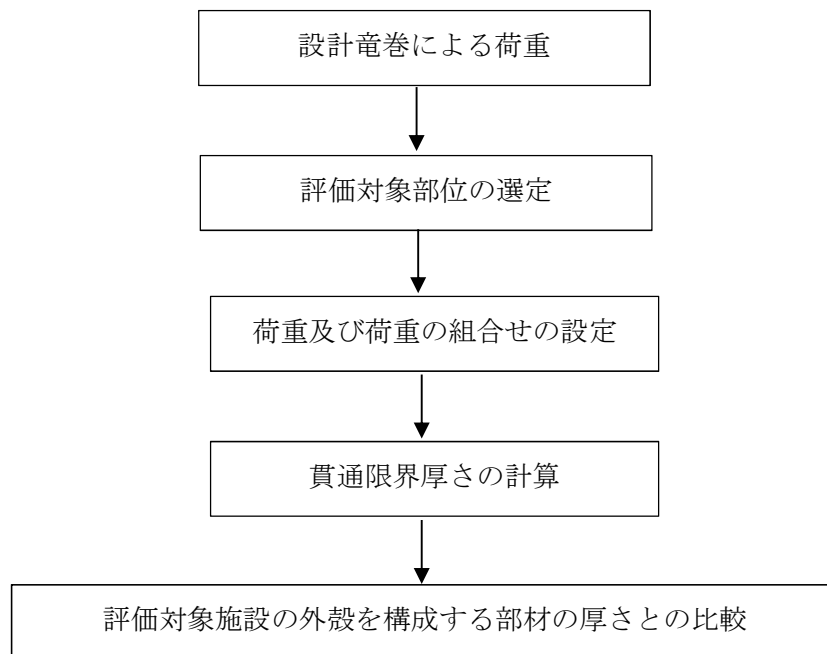


図2-3 残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価フロー

(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が想定する。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。

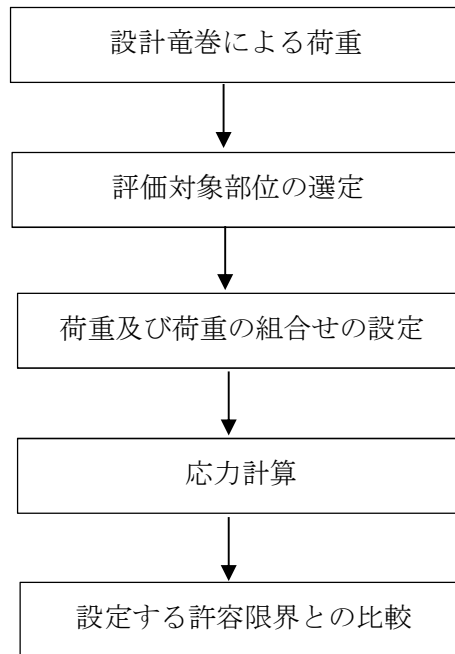


図2-4 残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価フロー

(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。

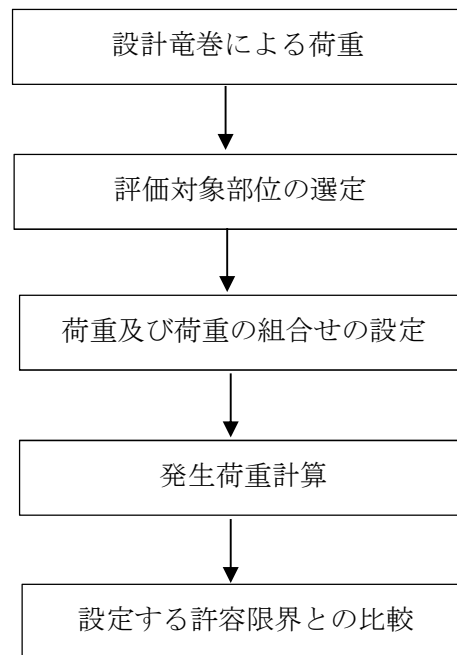


図2-5 残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価フロー

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 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 S M E 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 S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
f _t	MPa	J S M E SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
H	N	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。

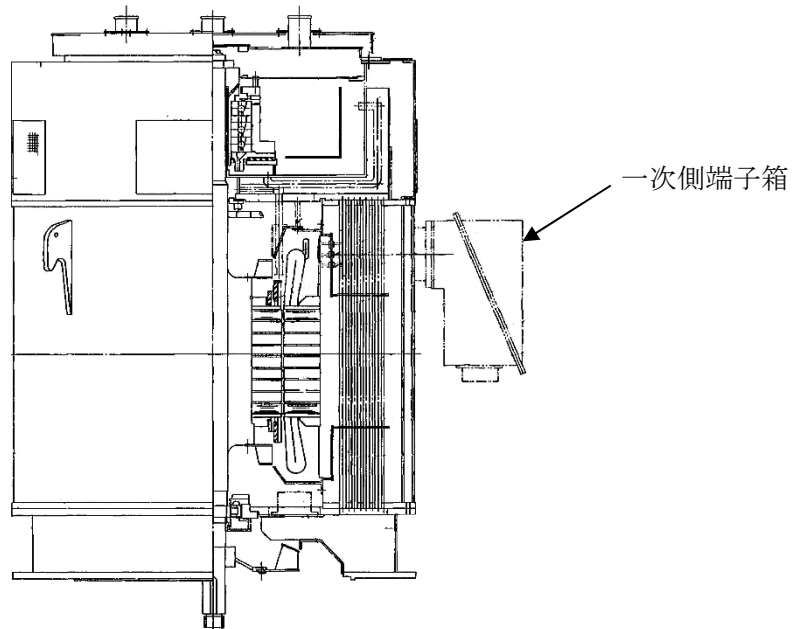


図3-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(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。

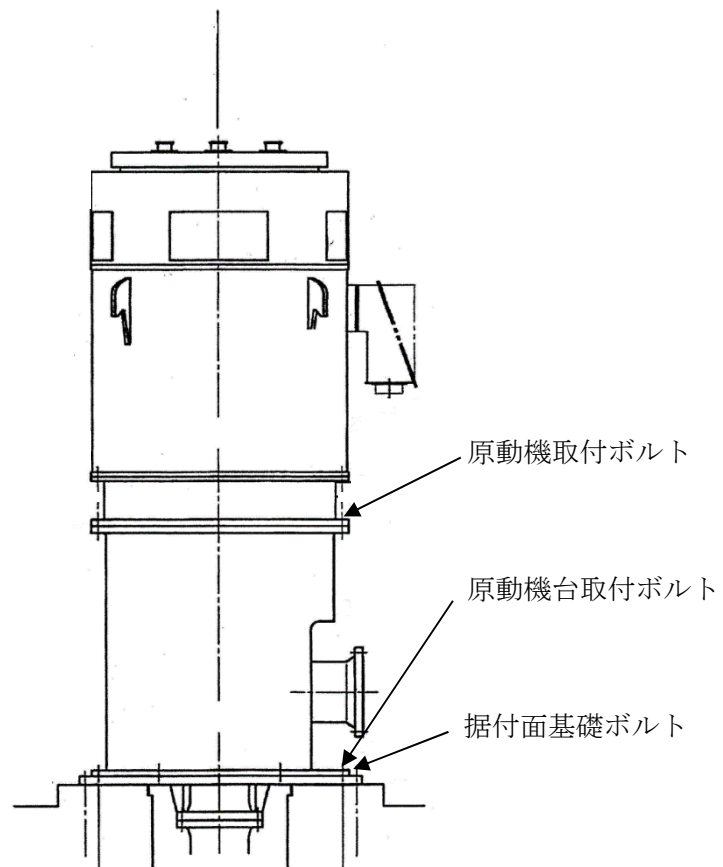


図3-2 残留熱除去系海水系ポンプ評価部位概略図（ポンプ部）

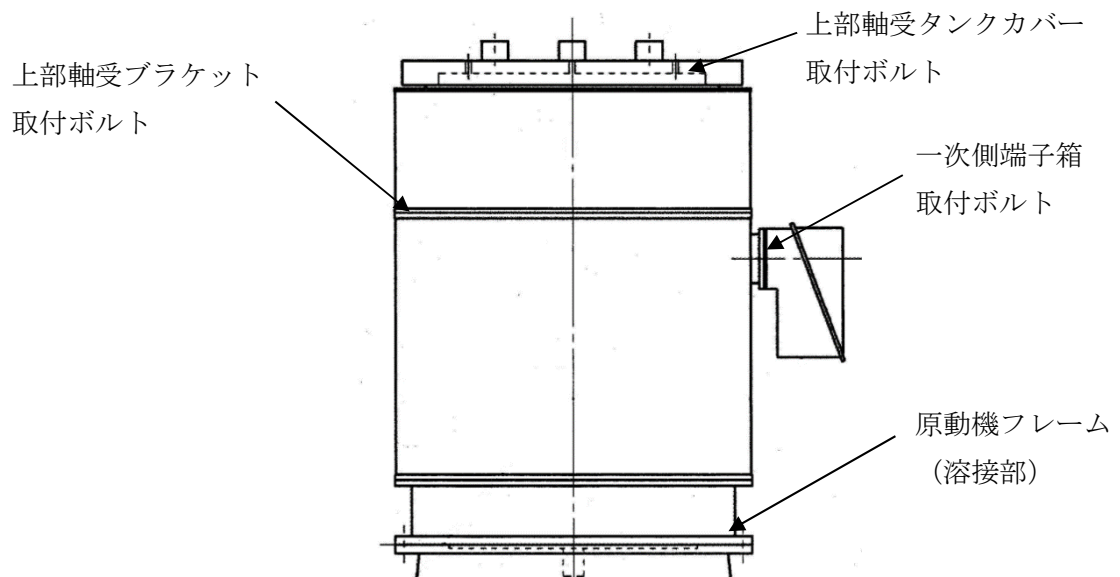


図 3-3 残留熱除去系海水系ポンプ評価対象部位概略図（原動機部）

(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。

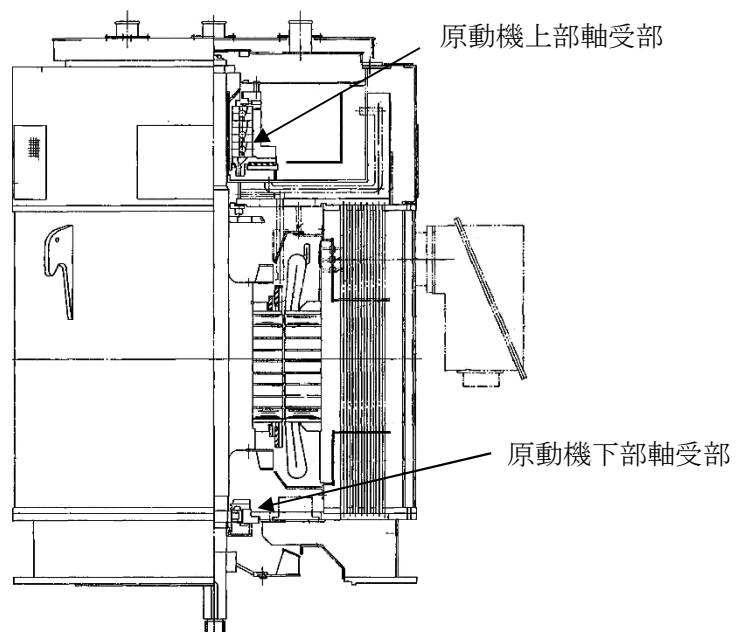


図 3-4 残留熱除去系海水系ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

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	<input type="text"/>
原動機下部軸受部	<input type="text"/>

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。

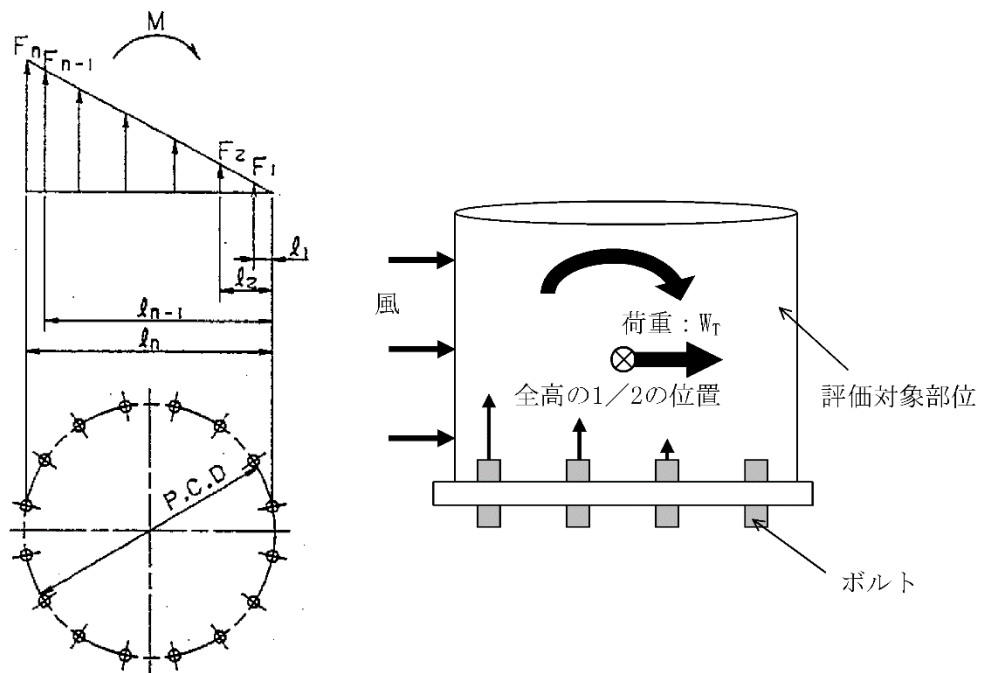


図 3-5 応力の計算モデル図（ポンプ部）

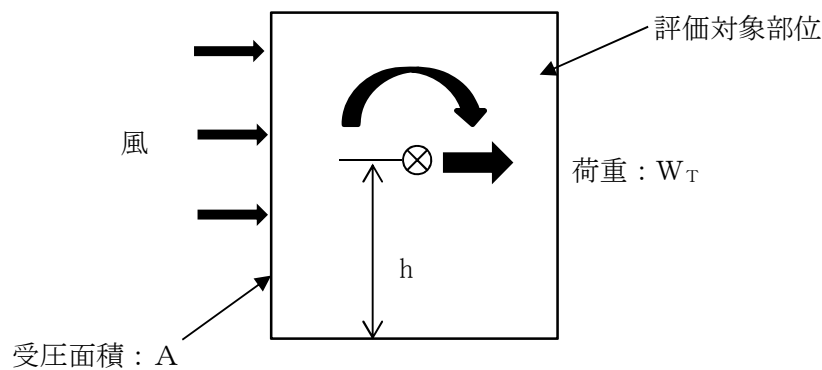


図 3-6 応力の計算モデル図（原動機部）

(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3-7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。

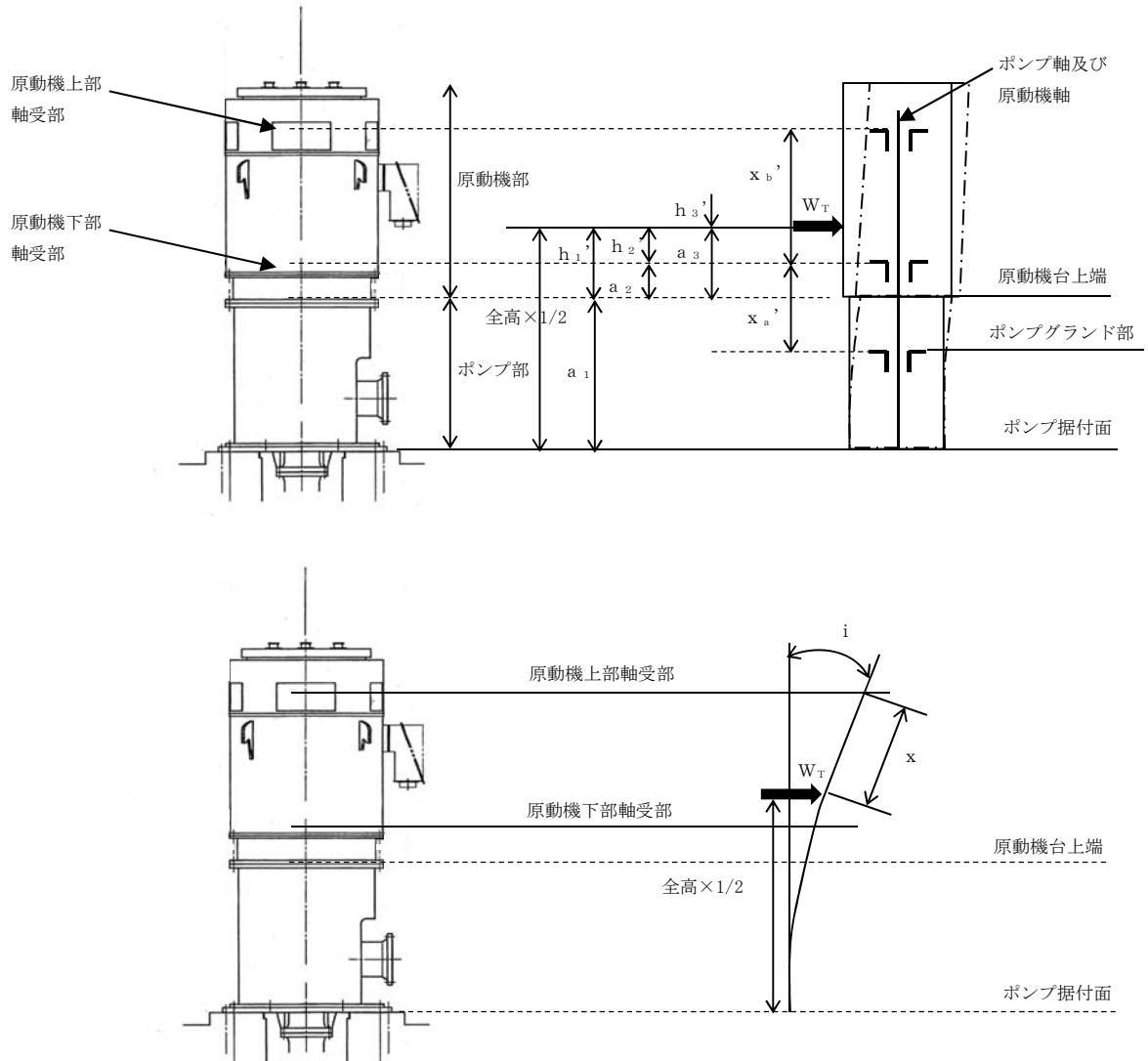


図 3-7 残留熱除去系海水系ポンプのたわみ量計算モデル図

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}

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

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

(3.1) (3.2) 式より,

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

よって,

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

(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3-8～図3-11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。

・引張応力

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

・せん断応力

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

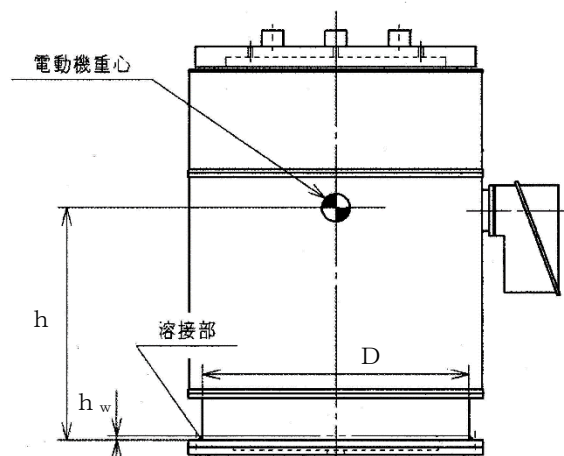


図 3-8 原動機フレーム溶接部詳細図

(ハ) 一次側端子箱ボルト部

一次側端子箱ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・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,

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

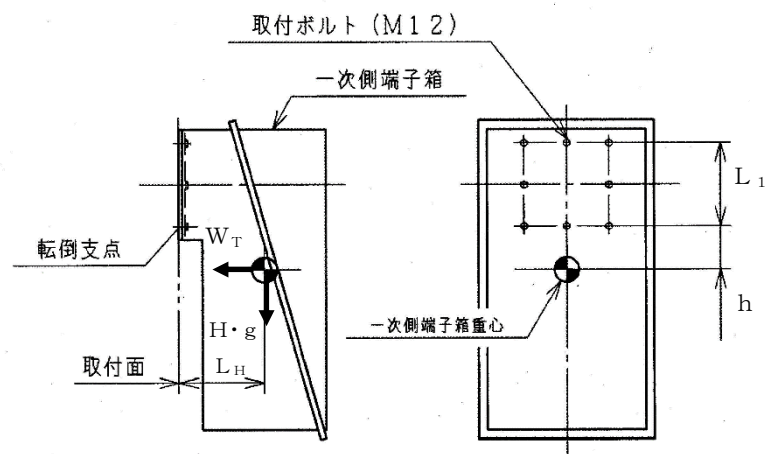


図 3-9 一次側端子箱詳細図

(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

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応力算出方法を以下に示す。

・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}

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

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

(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

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

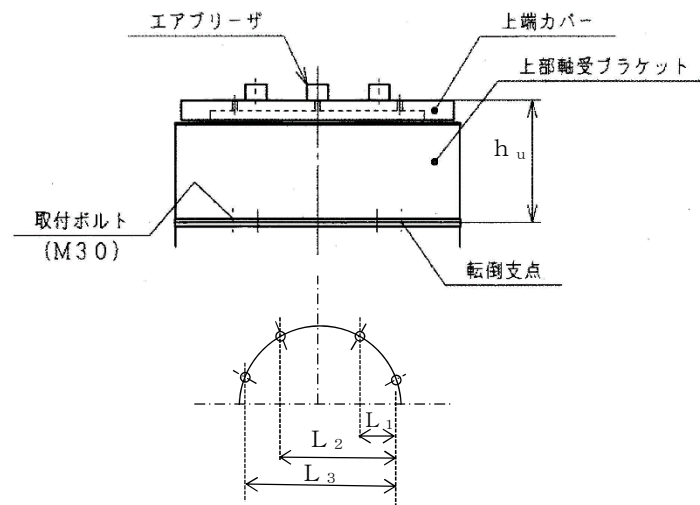


図 3-10 上部軸受ブラケット詳細図

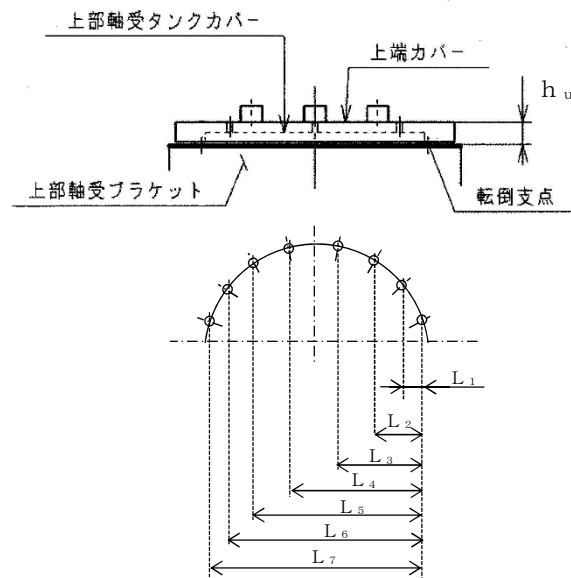


図 3-11 上部軸受タンクカバー詳細図

(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。

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

各部位の受圧部図を図3-12～図3-16に示す。

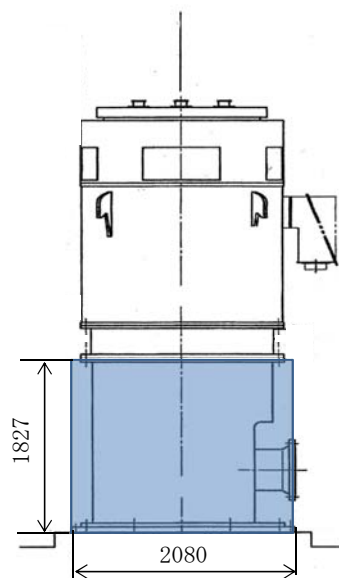


図3-12 原動機台の受圧部図

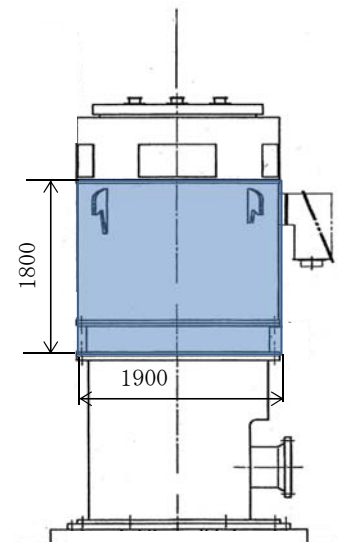


図3-13 原動機フレームの受圧部図

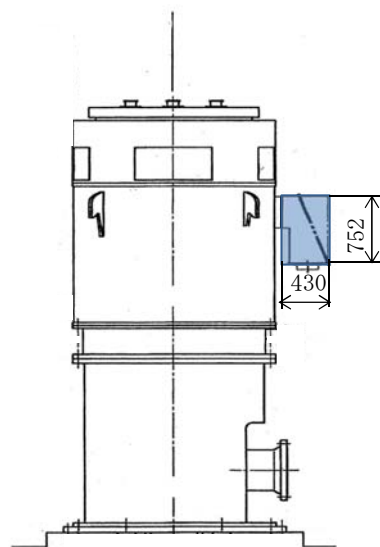


図3-14 一次側端子箱の受圧部図

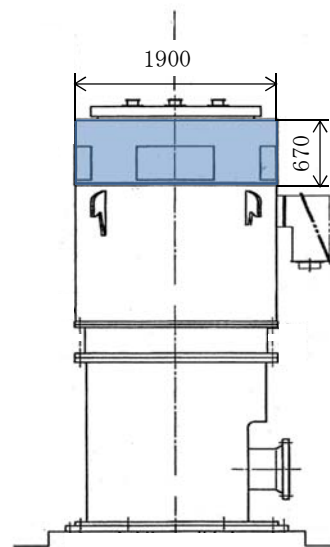


図3-15 上部軸受ブラケットの受圧部図

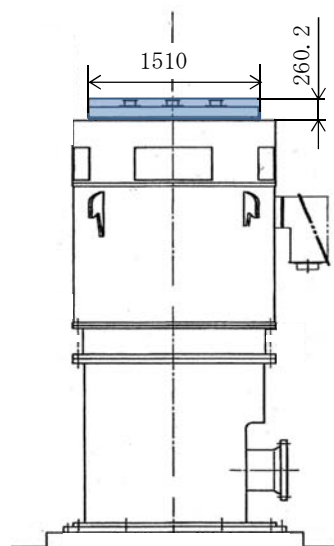


図3-16 上部軸受タンクカバーの受圧部図

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

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

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

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

ここで、原動機台の断面図を図3-17に示す。

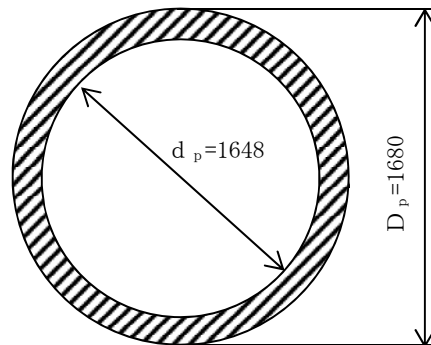


図3-17 原動機台の断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

・原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量 y_2

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

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

ここで、原動機フレームの断面図を図3-18に示す。

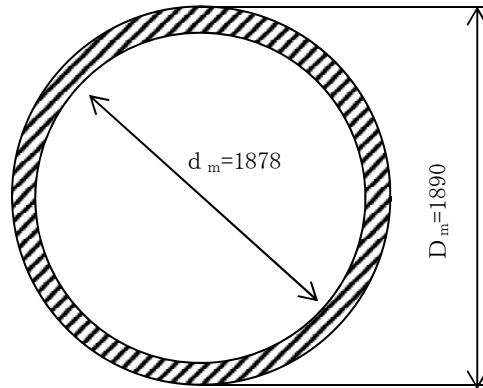


図3-18 原動機フレームの断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m = \frac{\pi (D_m^4 - d_m^4)}{64}$$

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

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

(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)
324.4	1013.2	1500.3	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	1365	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

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-10～表 4-14 に示す。

表 4-10 評価条件（たわみ量の算出）

原動機台の風力 係数 C (-)	原動機フレーム の風力係数 C (-)	一次側端子箱の 風力係数 C (-)	上部軸受ブラケ ットの風力係数 C (-)	上部軸受タンクカ バーの風力係数 C (-)
1.2	1.2	2.4	1.2	1.2

原動機台の受圧 面積 A (m ²)	原動機フレーム の受圧面積 A (m ²)	一次側端子箱の 受圧面積 A (m ²)	上部軸受ブラケ ットの受圧面積 A (m ²)	上部軸受タンクカ バーの受圧面積 A (m ²)
3.800	3.420	0.3234	1.273	0.3929

表 4-11 評価条件（原動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m ²)	G (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
SS400	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

h_1' (mm)	h_2' (mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	E_p (MPa)	I_p (mm ⁴)
407	追而	1872	追而	201000	2.895×10^{10}

E_m (MPa)	I_m (mm ⁴)
201000	1.576×10^{10}

表 4-12 評価条件（原動機下部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (°C)	E_m' (MPa)	I_m' (mm ⁴)	x_a' (mm)	y_a (mm)
追而	50	追而	追而	追而	追而

表 4-13 評価条件（原動機上部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m ²)	G (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
追而	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

x (mm)	h_3' (mm)	a_3 (mm)	E_m (MPa)	I_m (mm ⁴)
追而	0	407	201000	1.360×10^{10}

表 4-14 評価条件（原動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (°C)	E_m' (MPa)	I_m' (mm ⁴)	x_b'	y_b
追而	50	追而	追而	追而	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	2.3 (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	53	153
せん断	13	118
組合せ	53	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	14	106
せん断	4	61
組合せ	16	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

a. 原動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-8 に示す。

原動機下部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-8 評価結果（原動機下部軸受部）

発生荷重 W'' (N)	許容荷重 (N)
追而	

b. 原動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-9 に示す。

原動機上部軸受部の発生荷重は，許容荷重以下である。

表 5-9 評価結果（原動機上部軸受部）

発生荷重 W'' (N)	許容荷重 (N)
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.....	27
5. 強度評価結果.....	31

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

2. 基本方針

ディーゼル発電機用海水ポンプについて、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。

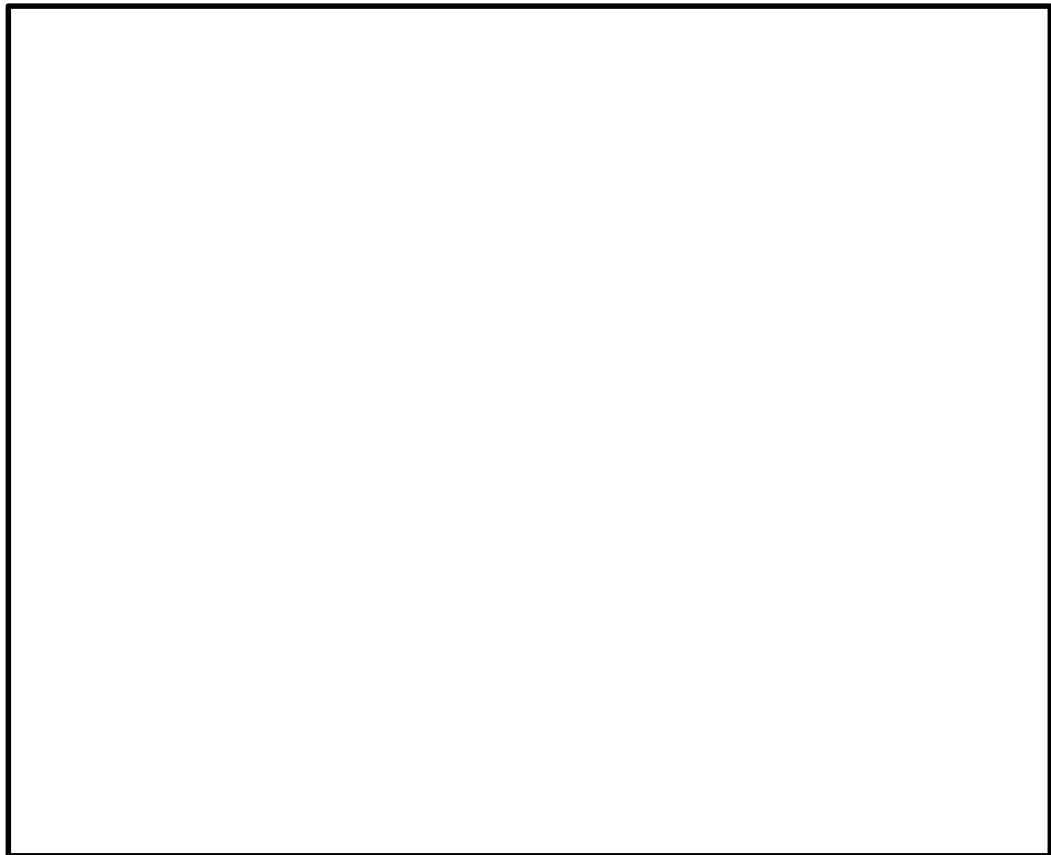


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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。

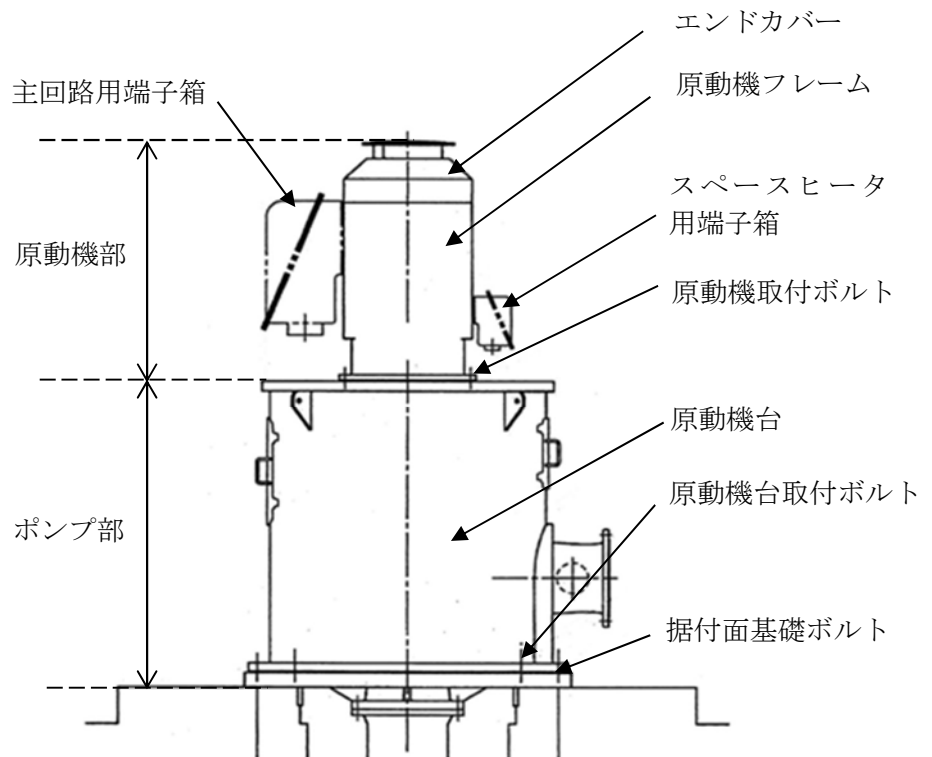


図2-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

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。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。

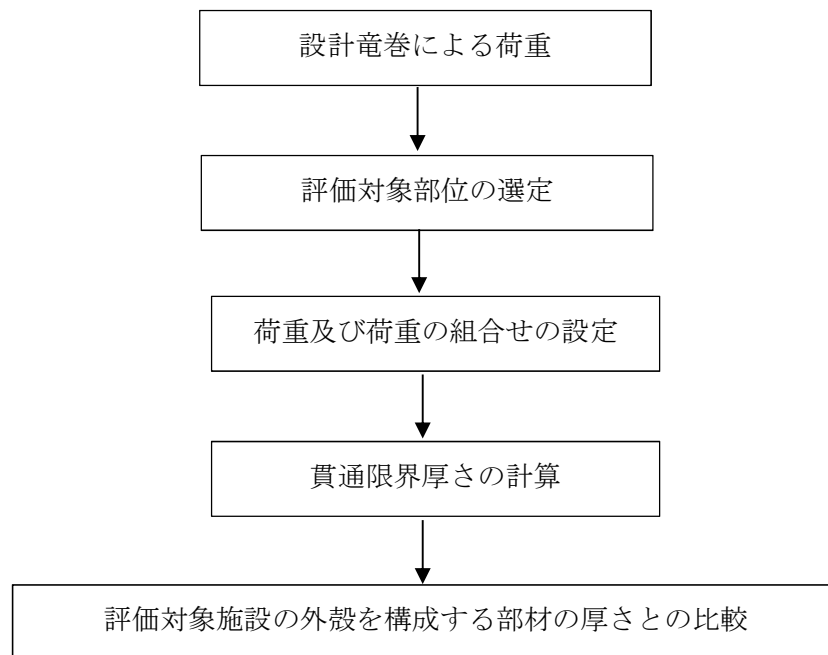


図2-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価フロー

(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2-4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

4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_AS とする。

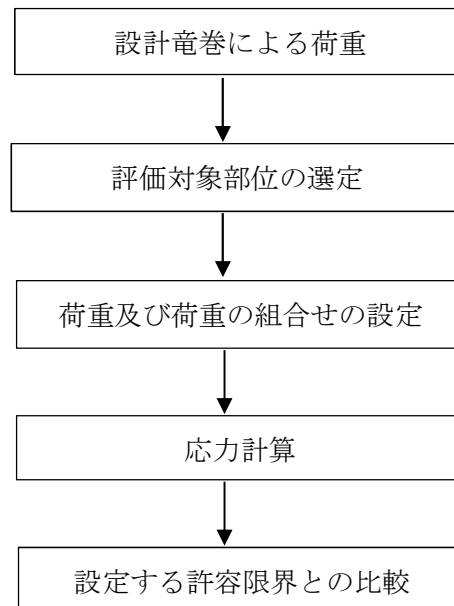


図2-4 ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価フロー

(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。

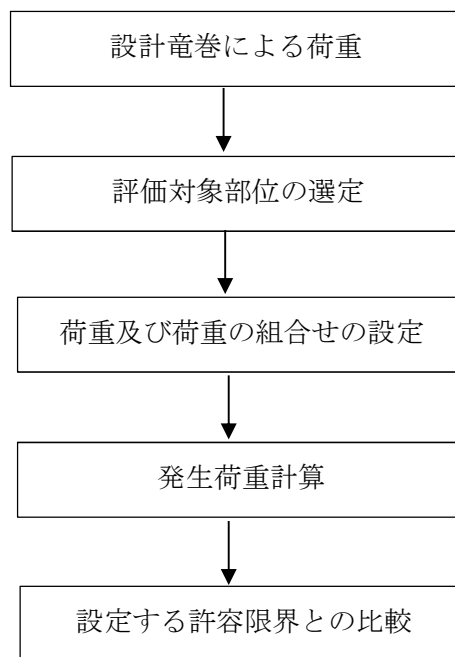


図2-5 ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価フロー

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 S M E 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 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

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 ($W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
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
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。

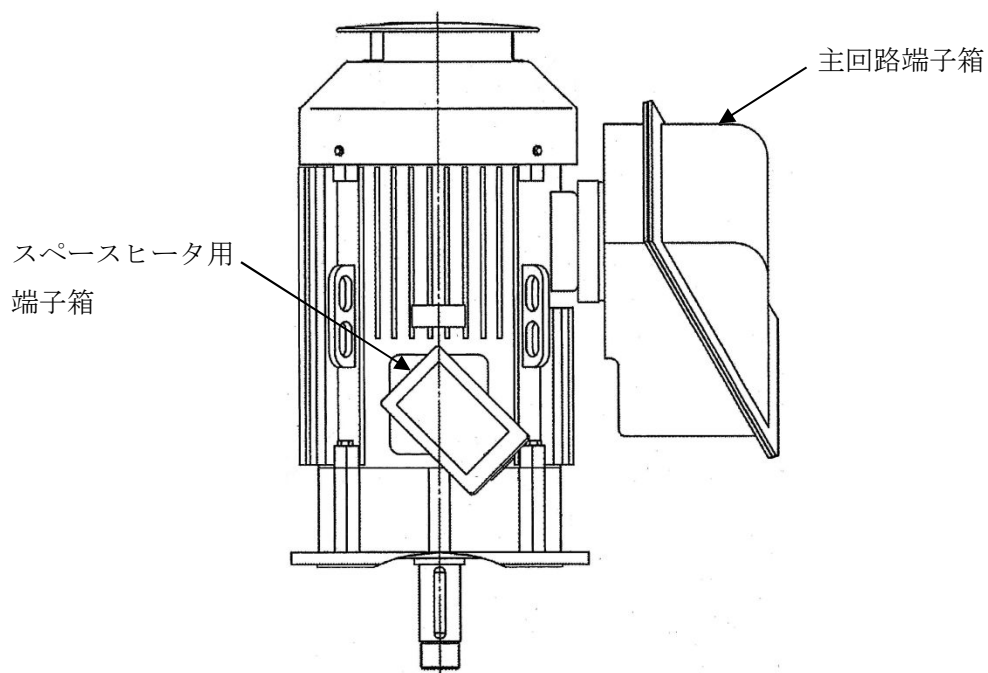


図3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(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。

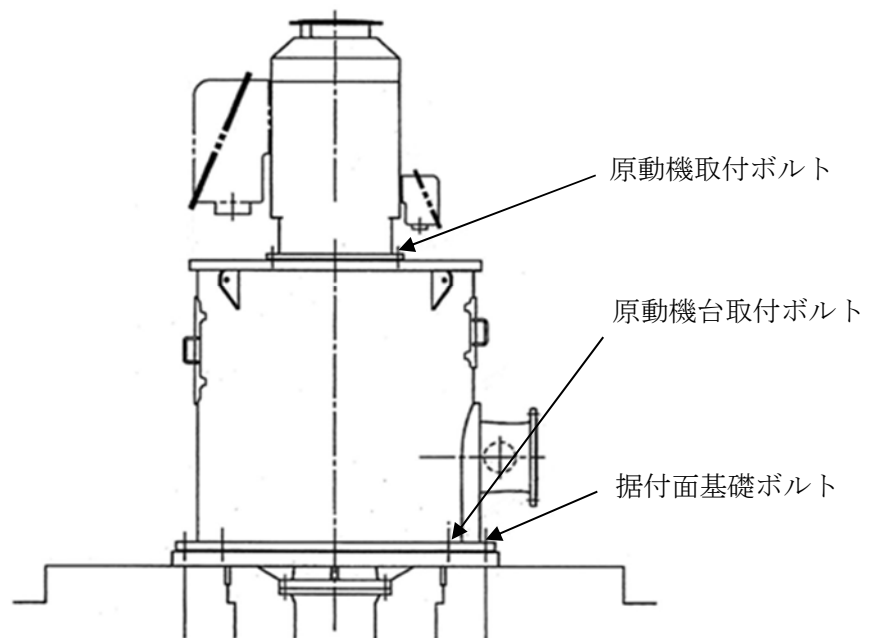


図3-2 ディーゼル発電機用海水ポンプ評価部位概略図（ポンプ部）

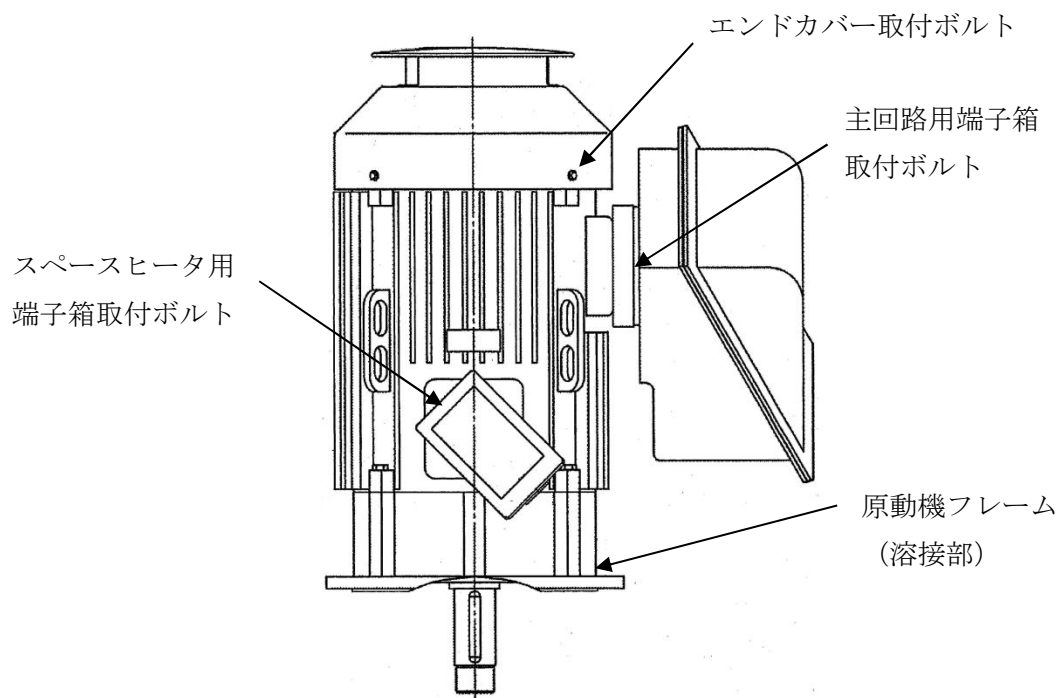


図 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプ評価対象部位概略図（原動機部）

(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 3-4 に示す。

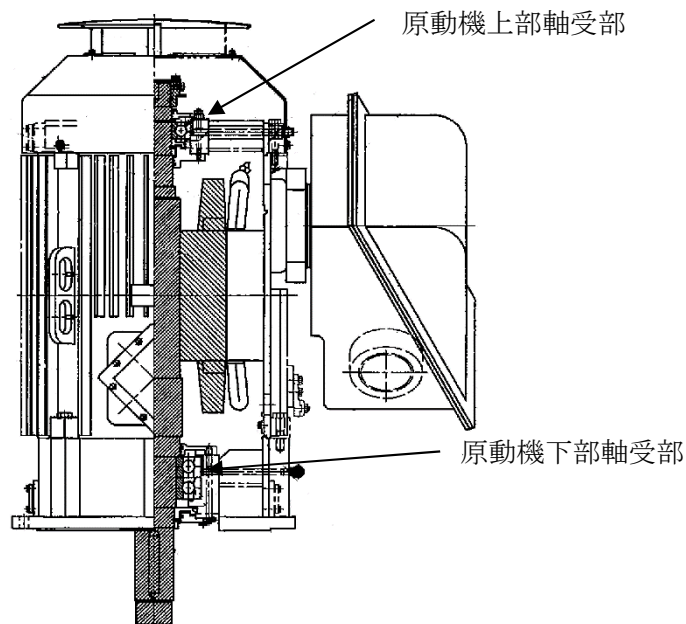


図 3-4 ディーゼル発電機用海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

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して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	<input type="text"/>
原動機下部軸受部	<input type="text"/>

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。

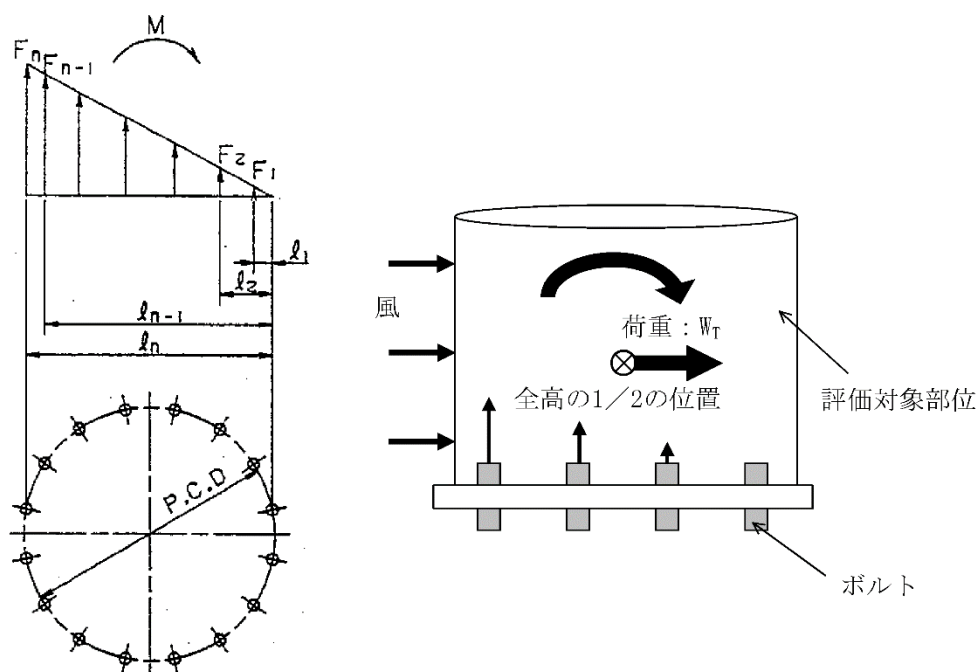


図 3-5 応力の計算モデル図（ポンプ部）

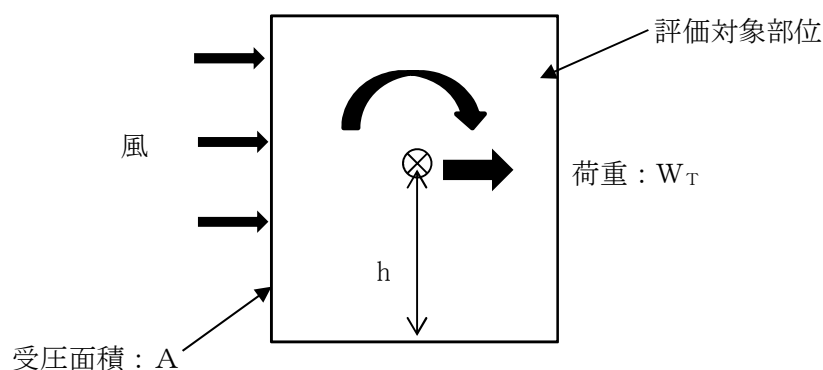


図 3-6 応力の計算モデル図（原動機部）

(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。

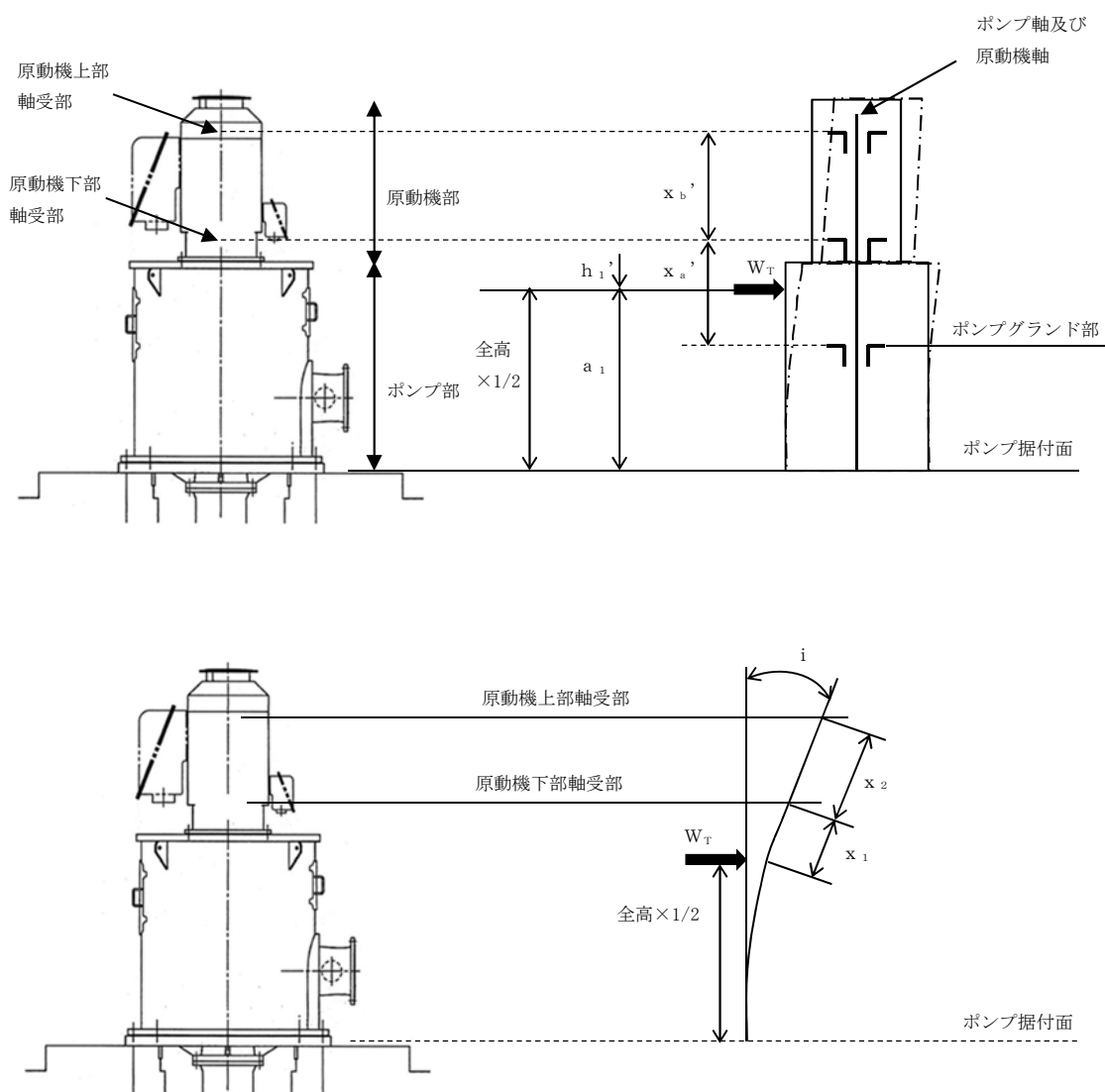


図 3-7 ディーゼル発電機用海水ポンプのたわみ量計算モデル図

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}

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

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

(3.1) (3.2) 式より,

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

よって,

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

(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, 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, エンドカバー取付ボルト部の詳細図を図3-8～図3-11に示す。

(イ) 風による転倒モーメント M

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

$M = W_T \cdot h$ (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。

・引張応力

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

・せん断応力

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

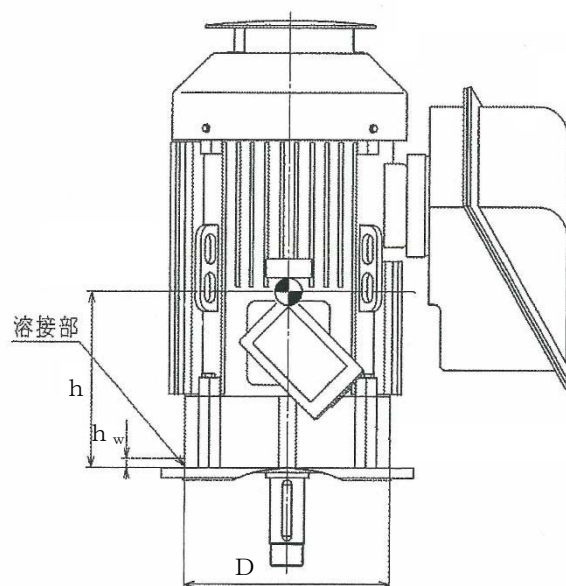


図 3-8 原動機フレーム溶接部詳細図

(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

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の応力算出方法を以下に示す。

・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，

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

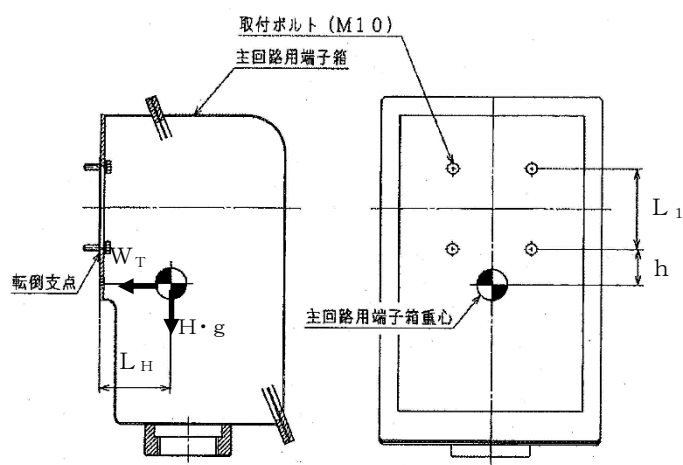


図 3-9 主回路用端子箱詳細図

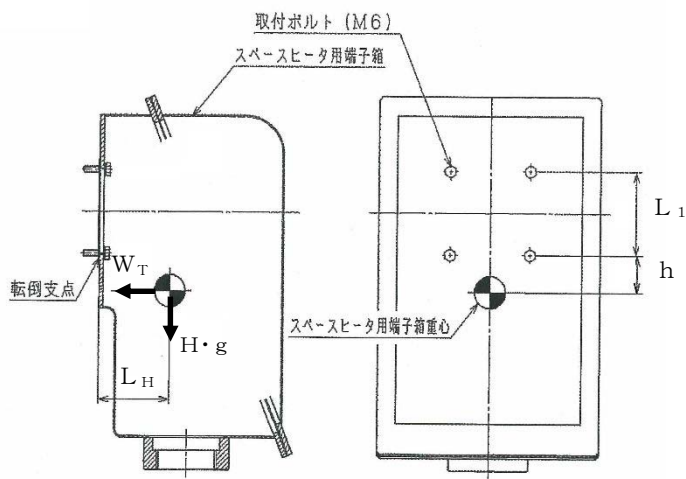


図 3-10 スペースヒータ用端子箱詳細図

(二) エンドカバー取付ボルト部

エンドカバー取付ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・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}

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

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

(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

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

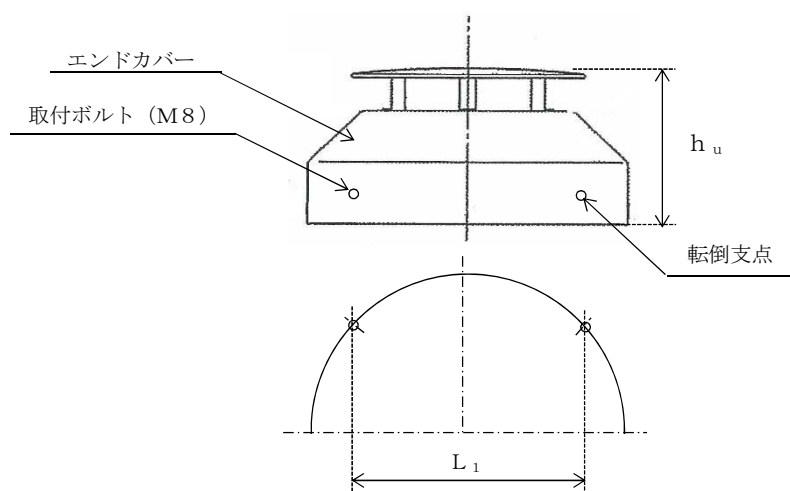


図 3-11 エンドカバー詳細図

(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，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。

スペースヒータ用端子箱は原動機フレームと受圧面積が重なるため、荷重算出において考慮しない。

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

各部位の受圧部図を図3-12～図3-15に示す

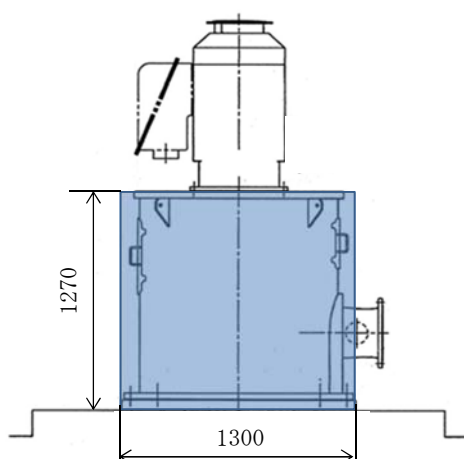


図3-12 原動機台の受圧部図

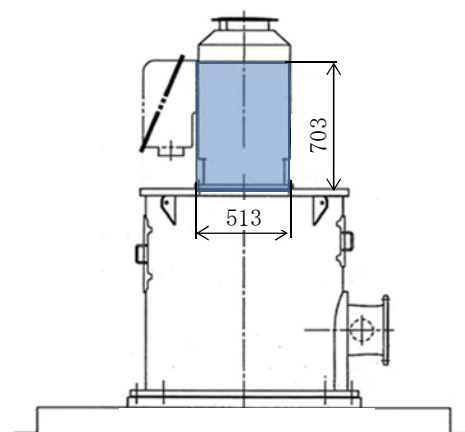


図3-13 原動機フレームの受圧部図

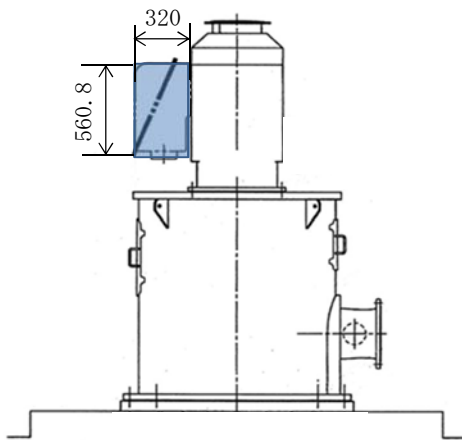


図3-14 主回路用端子箱の受圧部図

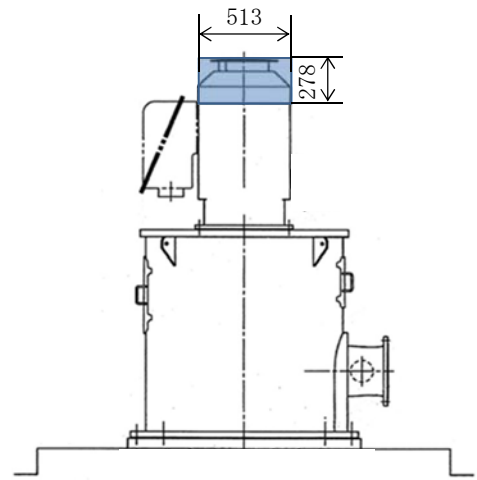


図3-15 エンドカバーの受圧部図

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

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

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

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

ここで、原動機台の断面図を図3-16に示す。

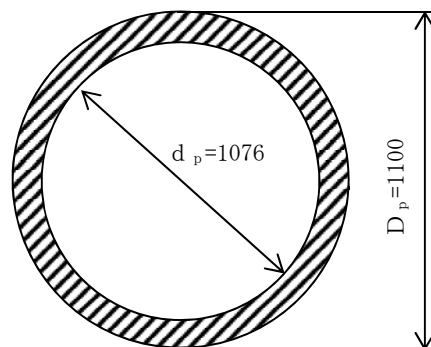


図3-16 原動機台の断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

- ・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)
155.3	424.3	734.8	1099.2	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	490.5	1.138	449	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 (m ²)	ボルト サイズ	A _b (mm ²)	m (kg)	g (m/s ²)
2.4	0.0360	M6	28.27	3.6	9.80665

N [*] (-)	h (mm)	L _H (mm)	L ₁ (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 (m ²)	ボルト サイズ	A _b (mm ²)	N (-)	L ₁ (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

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-10～表 4-14 に示す。

表 4-10 評価条件（たわみ量の算出）

原動機台の 風力係数 C (-)	原動機フレームの 風力係数 C (-)	主回路用端子箱の 風力係数 C (-)	エンドカバーの 風力係数 C (-)
1.2	1.2	2.4	1.2

原動機台の 受圧面積 A (m ²)	原動機フレームの 受圧面積 A (m ²)	主回路用端子箱の 受圧面積 A (m ²)	エンドカバーの 受圧面積 A (m ²)
1.651	0.3606	0.1795	0.1426

表 4-11 評価条件（原動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m ²)	G (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
SS400	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

h_1' (mm)	a_1 (mm)	E_p (MPa)	I_p (mm ⁴)	x_1 (mm)	y_a (mm)
0	1126	201000	6.070×10^9	追而	追而

表 4-12 評価条件（原動機下部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (°C)	E_m' (MPa)	I_m' (mm ⁴)	x_a' (mm)
追而	50	追而	追而	追而

表 4-13 評価条件（原動機上部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m ²)	G (-)	ΔP (N/m ²)	W_M (N)
SS400	50	6.1×10^3	1.0	8.9×10^3	0

x_2 (mm)	y_b (mm)
追而	追而

表 4-14 評価条件（原動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モデルの材質	温度 (°C)	E_m' (MPa)	I_m' (mm ⁴)	x_b' (mm)
追而	50	追而	追而	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	2.3 (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	15	153
せん断	5	118
組合せ	15	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	10	100
せん断	2	57
組合せ	11	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

a. 原動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-8 に示す。

原動機下部軸受部の発生荷重は，許容荷重以下である。

表 5-8 評価結果（原動機下部軸受部）

発生荷重 W'' (N)		許容荷重 (N)	
追而			

b. 原動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-9 に示す。

原動機上部軸受部の発生荷重は，許容荷重以下である。

表 5-9 評価結果（原動機上部軸受部）

発生荷重 W'' (N)		許容荷重 (N)	
追而			

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。

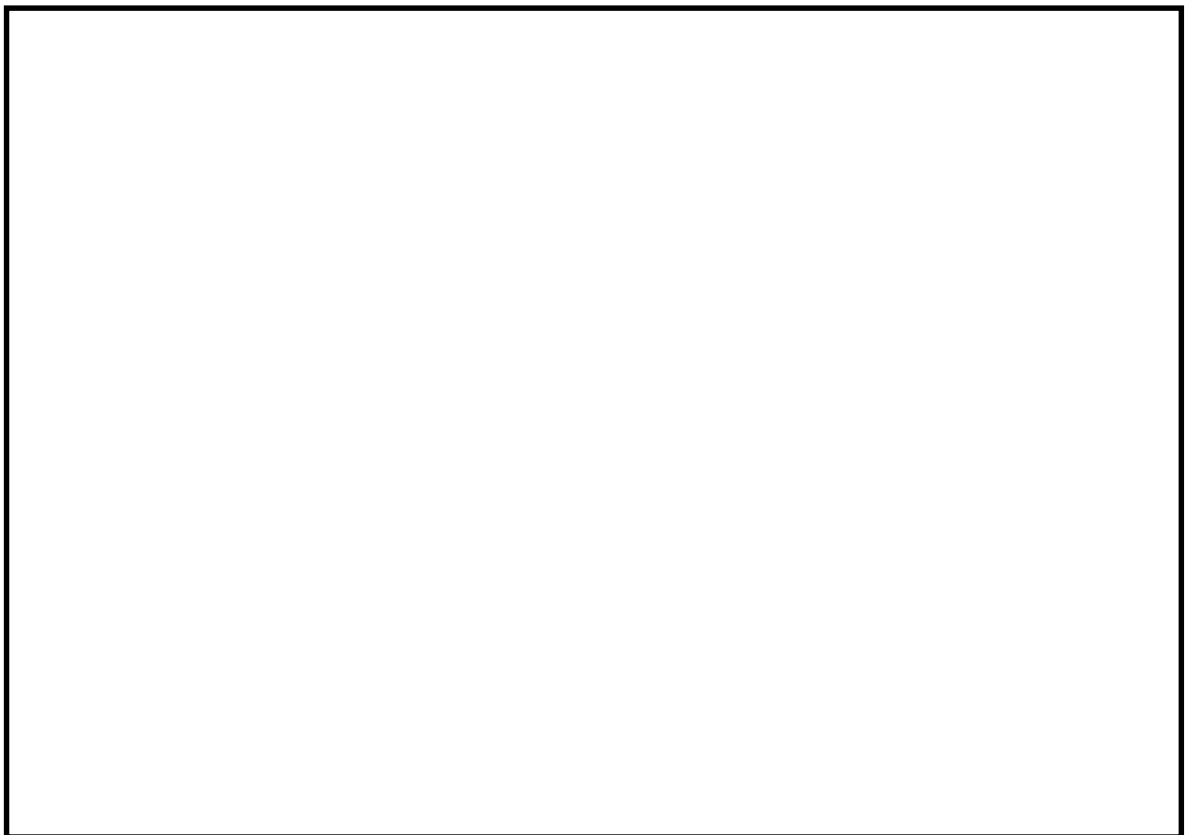


図 2-1 中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り、非常用ガス処理系排気配管の配管及び弁の位置図

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。

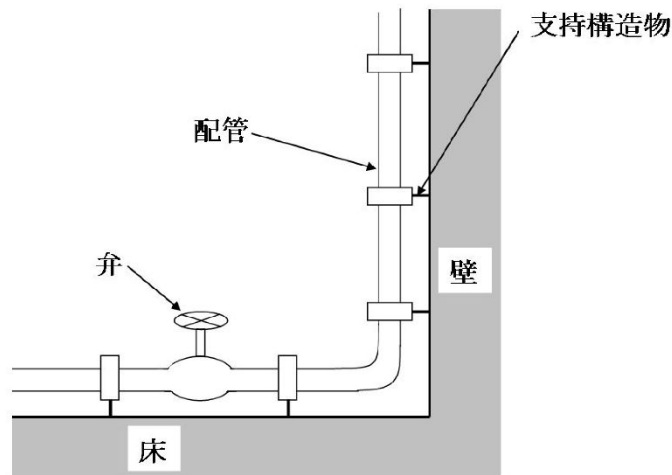


図2-2 配管及び弁の概要図

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。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。

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、**且つ速やかに補修する方針とするため**、非常用ガス処理系排気配管の衝突評価は行わない。

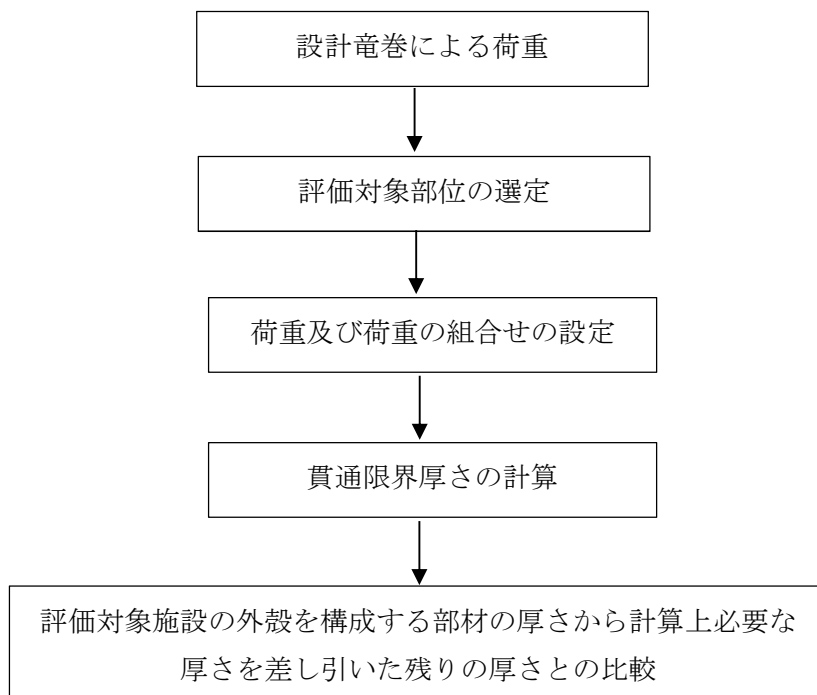


図2-3 配管及び弁の衝突評価フロー

(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 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。)の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

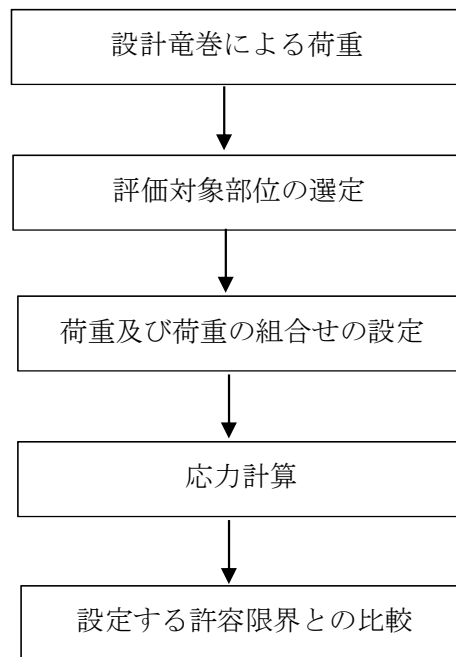


図2-4 配管及び弁の構造強度評価フロー

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 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

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・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。

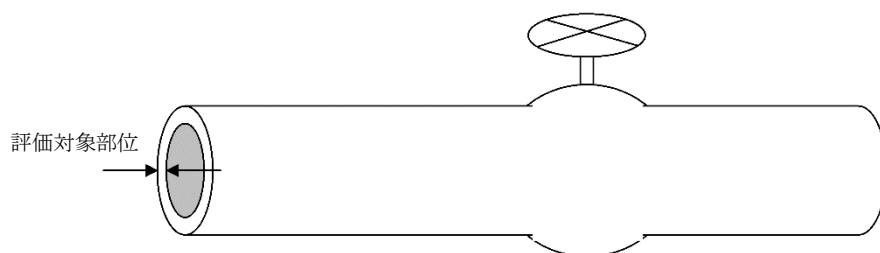


図3-1 配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

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。

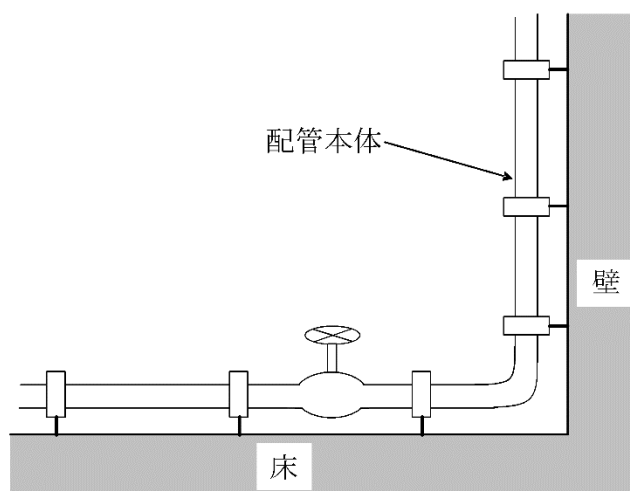


図3-1 配管及び弁の評価対象部位

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、**且つ速やかに補修する方針とするため**、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 PPD-3411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。

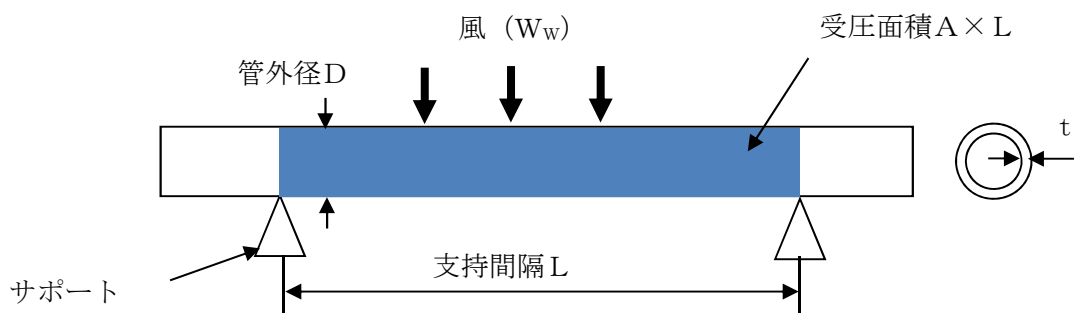


図 3-2 配管モデル図

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	14.20	11.1	196.6	0.5556	3.46
508.0	SM50B	14.20	12.7	337.9	0.7080	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	11.03	9.3	119.9	0.4674	0.7

表 4-6 評価条件（非常用ガス処理系排気配管）

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)
457.2	SM41B	21.04	14.3	156.0	0.4572	0.014

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	77	179	239
508.0	SM50B	72	127	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	44	154	239

d. 非常用ガス処理系排気配管

強度評価結果を表5-6に示す。

非常用ガス処理系排気配管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 強度評価結果（非常用ガス処理系排気配管）

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
457.2	SM41B	40	127	232