

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-013-07改03
提出年月日	2023年2月17日

VI-3-別添 1-7 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの強度計算書

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	7
3.	強度評価方法	8
3.1	評価対象部位	8
3.2	荷重及び荷重の組合せ	12
3.3	許容限界	14
3.4	評価方法	16
4.	評価条件	17
5.	強度評価結果	21

1. 概要

本資料は、VI-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、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「海水ポンプ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、送水機能の維持することを確認するものである。

2. 基本方針

海水ポンプについて、VI-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」, 「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、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・基準等」を示す。

2.1 位置

VI-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、海水ポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。取水槽海水ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

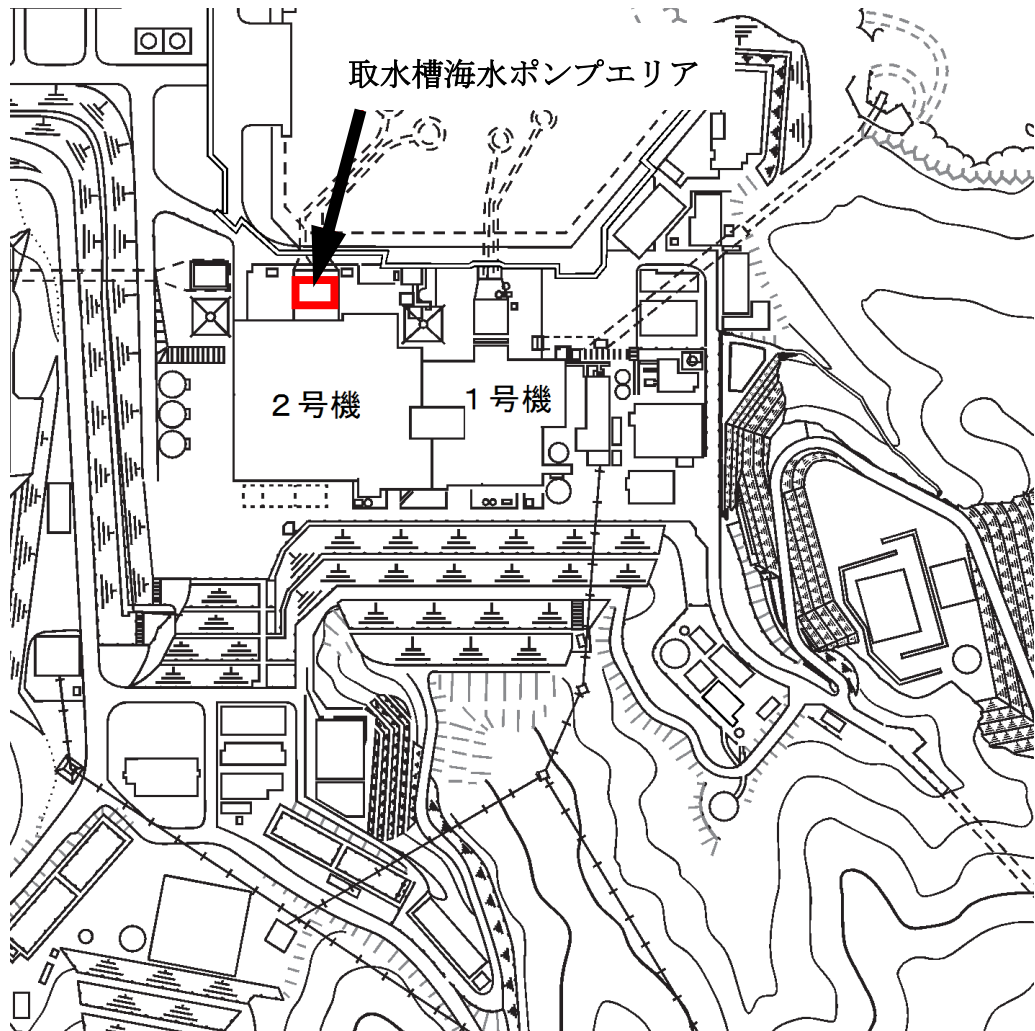


図2-1 取水槽海水ポンプエリアの位置図

2.2 構造概要

VI-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」に示す構造計画のとおり、海水ポンプの構造を設定している。

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、上部の原動機部からなる鋼製の立形ポンプであり、原子炉補機海水ポンプ（以下「RSWポンプ」という。）は同一設計のポンプを4台、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「HPSWポンプ」という。）は1台設置している。RSWポンプの構造計画を表2-1に、HPSWポンプの構造計画を表2-2に示す。

表 2-1 RSWポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 RSWポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。			
RSWポンプ	鋼製のたて形ポンプ	基礎に基礎ボルトで固定する。	
RSWポンプモータ	鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

表 2-2 H P S Wポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>H P S Wポンプは屋外の取水槽海水ポンプエリアに設置する。</p>			
H P S Wポンプ	鋼製のたて形ポンプ	基礎に基礎ボルトで固定する。	
H P S Wポンプモータ	鋼製の原動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

2.3 評価方針

海水ポンプの強度評価は、VI-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」を踏まえ、海水ポンプの評価対象部位に生じ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」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、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、選定する。

(1) 衝突評価の評価方針

海水ポンプの衝突評価の方針を以下に、衝突評価フローを図 2-2 に示す。

- ・ 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。
- ・ 貫通限界厚さは、「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、VI-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」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いて、算出する。
- ・ 許容限界は、VI-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、外殻を構成する部材の厚さとする。

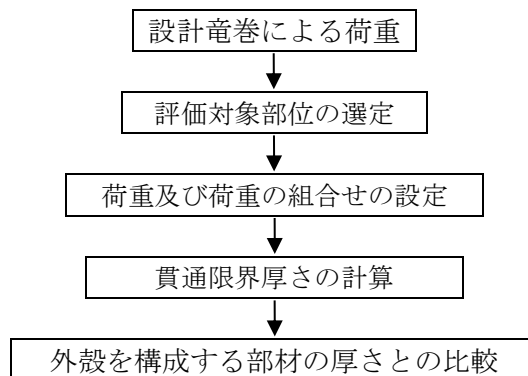


図 2-2 海水ポンプの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

海水ポンプの構造強度評価の評価方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-3 に示す。

- ・ 海水ポンプに対し、常時作用する荷重、設計竜巻による荷重及び運転時に作用する荷重により生じる応力が許容限界以下であることを確認する。
- ・ 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。
- ・ 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ため、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）、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）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）（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、VI-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」に示す評価式を用いて、算出する。

- ・許容限界は、VI-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、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

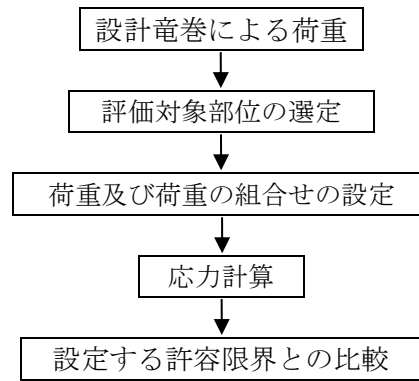


図 2-3 海水ポンプの構造強度評価フロー

(3) 動的機能維持評価の評価方針

海水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。海水ポンプの動的機能維持評価の評価方針を以下に、動的機能維持評価フローを図 2-4 に示す。

- ・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限界以下であることを確認する。
- ・発生荷重は、VI-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」に示す評価式を用いて、算出する。
- ・許容限界は、VI-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、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

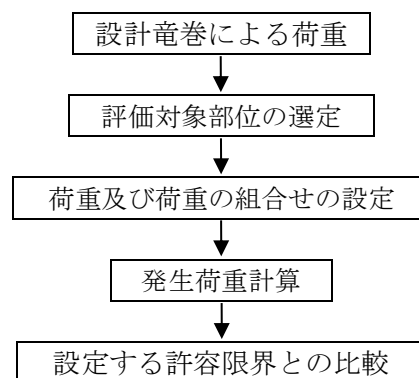


図 2-4 海水ポンプの動的機能維持評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・「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・補一 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。）
- ・新版機械工学便覧（1987 年 4 月 日本機械学会編）

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

海水ポンプの評価対象部位は、VI-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」に従い、「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

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、貫入により機能を喪失する可能性がある箇所を評価対象部位として選定する。

海水ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により機能を喪失する可能性がある部位のうち、最薄部として、R SWポンプはスペースヒータ端子箱、HP SWポンプは防滴カバーを選定する。

海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

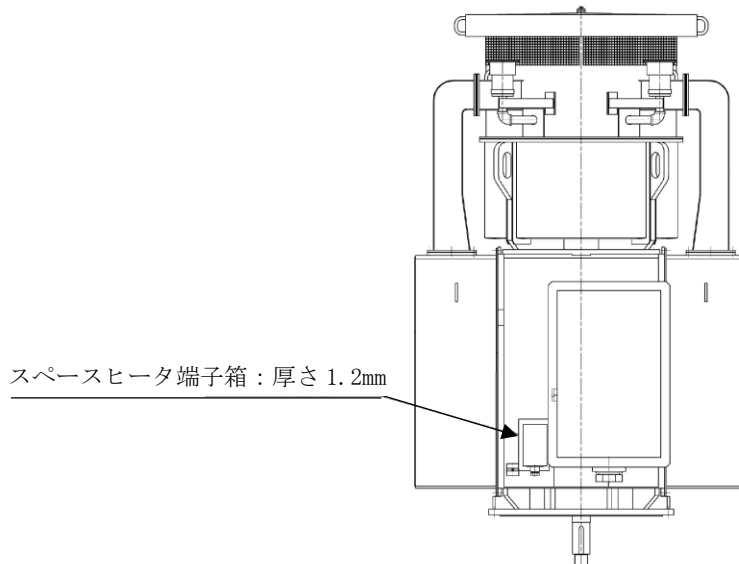


図 3-1 R SWポンプの評価対象部位

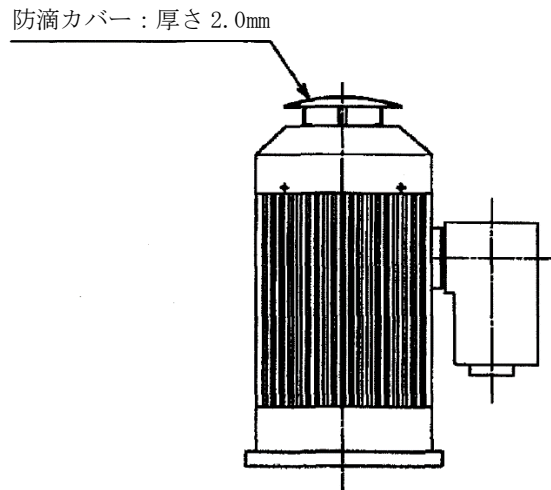


図 3-2 HP SWポンプの評価対象部位

(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設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用する。このため、ポンプ部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ため、以下の部位を評価対象部位として選定する。

- ・原動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・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設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び付属品に作用する。このため、付属品を固定する以下の部位を評価対象部位として選定する。

R SWポンプ

- ・原動機フレーム
- ・端子箱取付ボルト
- ・通風ダクト取付ボルト
- ・空気冷却器取付ボルト

H PSWポンプ

- ・原動機フレーム
- ・端子箱取付ボルト
- ・エンドカバー取付ボルト

なお、R SWポンプの上部カバーの取付ボルトについては、受圧面積が小さいため設計竜巻の影響は小さいことから、上部カバーの取付ボルトは評価対象部位として選定しない。海水ポンプの評価対象部位を図3-3及び図3-4に示す。

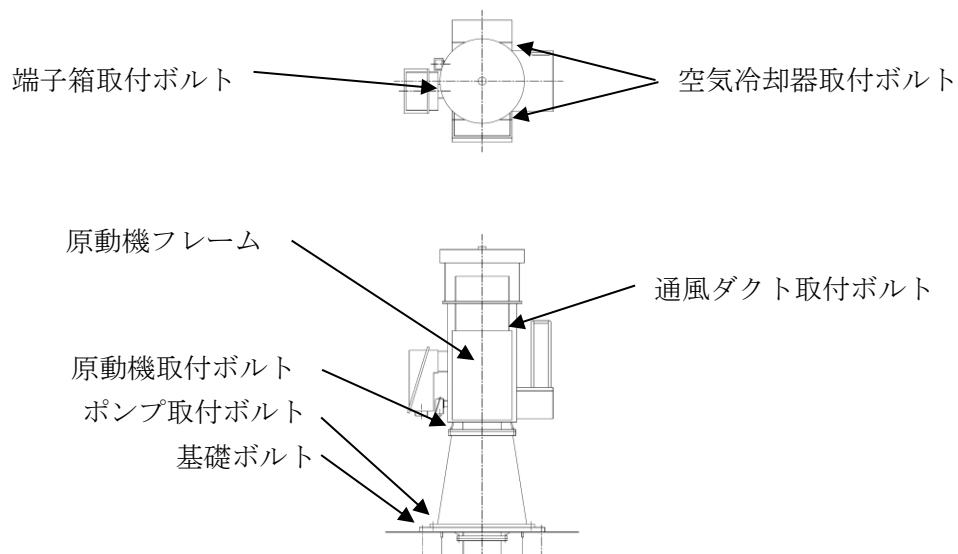


図3-3 R SWポンプの評価対象部位

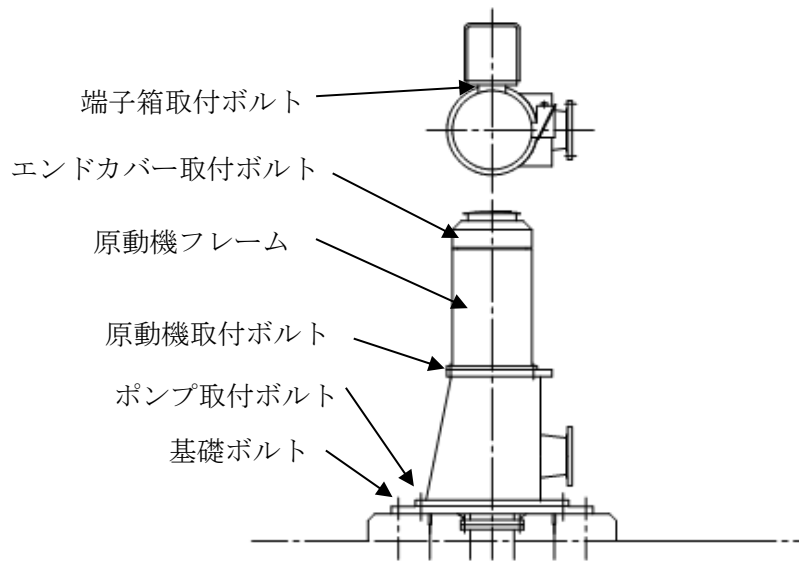


図 3-4 HPSWポンプの評価対象部位

(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が設計竜巻による荷重を受けた際に、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

海水ポンプの評価対象部位を図 3-5 及び図 3-6 に示す。

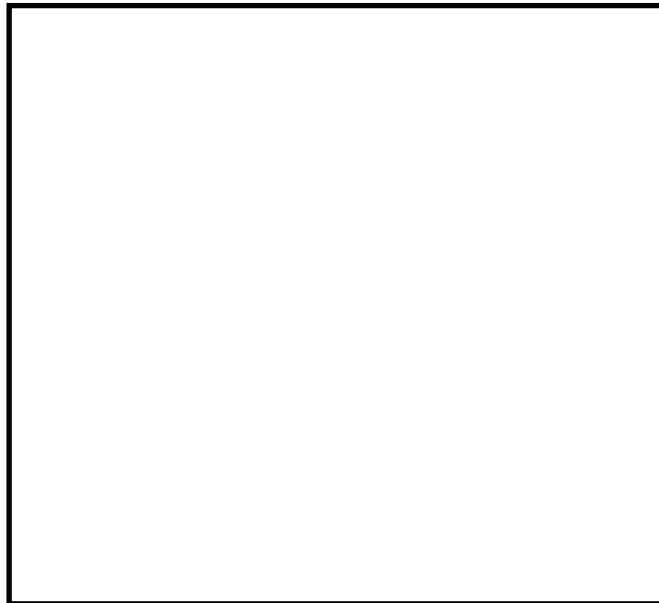


図 3-5 RSWポンプの評価対象部位



図 3-6 HPSWポンプの評価対象部位

3.2 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、VI-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」にて示す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 3-1、海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表 3-2 に示す。

表 3-1 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	0.2	54	36

注記*：等価直径 d は、設計飛来物の砂利の寸法 (0.04×0.04×0.04 (m)) で、0.045 (m) となるが、簡便かつ安全側の評価を実施することを目的に d = 0.04 (m) を設定

表 3-2 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
屋外の外部事象 防護対象施設	R S Wポンプ用原動機	スペースヒータ端子箱	飛来物による衝撃荷重
	H P S Wポンプ用原動機	防滴カバー	

(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

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重は、VI-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」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重の組合せは、VI-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、海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ポンプスラスト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、ポンプスラスト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。海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 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	R S Wポンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①自重
				ポンプ取付ボルト	②風圧力による荷重
				基礎ボルト	③気圧差による荷重
		構造 強度 評価	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
				端子箱取付ボルト	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重
				通風ダクト取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				空気冷却器取付ボルト	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	原動機部	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	
	H P S Wポンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①自重
				ポンプ取付ボルト	②風圧力による荷重
				基礎ボルト	③気圧差による荷重
			構造 強度 評価	原動機部	原動機フレーム
		端子箱取付ボルト			①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重
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			
動的 機能 維持 評価		原動機部	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	

3.3 許容限界

海水ポンプの許容限界は、VI-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」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定した部位における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、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、外殻を構成する部材の厚さを許容限界とする。海水ポンプの許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-4 海水ポンプの許容限界

施設名称	外殻を構成する部材の厚さ
R S Wポンプ	1.2mm (スペースヒータ端子箱)
H P S Wポンプ	2.0mm (防滴カバー)

(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とする。材料の設計降伏点は J S M E 付録材料図表 Part5 表 8 より、設計引張強さは J S M E 付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度が J S M E 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。海水ポンプの許容限界を表 3-5、許容応力を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-5 海水ポンプの許容限界

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

表 3-6 R S Wポンプの許容応力(1/2)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (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	205	153	118
ポンプ 取付ボルト	SUS304	40* ²	205	520	205	205	153	118
基礎ボルト	SUS304	50* ¹	198	504	205	205	153	118
原動機 フレーム	SM400A	50* ¹	231	394	—	103	102	—

表 3-6 R S Wポンプの許容応力 (2/2)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	1.5・f _t (MPa)	1.5・f _s (MPa)
端子箱 取付ボルト	SUS304	95* ³	173	446	205	205	153	118
通風ダクト 取付ボルト	SUS304	50* ¹	198	504	205	205	153	118
空気冷却器 取付ボルト	SUS304	95* ³	173	446	205	205	153	118

注記* 1：周囲環境温度を安全側に考慮して設定した温度

* 2：内部流体の影響を考慮して設定した温度

* 3：試験により確認したフレームの温度上昇値と周囲環境温度を足し合わせた値

表 3-7 H P S Wポンプの許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (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	205	153	118
ポンプ 取付ボルト	SUS304	40* ²	205	520	205	205	153	118
基礎ボルト	SUS304	50* ¹	198	504	205	205	153	118
原動機 フレーム	SS400	50* ¹	211	394	—	211	95	—
端子箱 取付ボルト	SS400	50* ³	211	394	—	211	158	122
エンド カバー 取付ボルト	SS400	50* ¹	211	394	—	211	—	122

注記* 1：周囲環境温度を安全側に考慮して設定した温度

* 2：内部流体の影響を考慮して設定した温度

* 3：試験により有意なフレームの温度上昇が確認されなかったため、周囲環境温度を安全側に考慮して設定した温度

(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 3-8 に示す。

表 3-8 軸受の接触面圧の許容荷重

施設名称	評価対象部位	許容荷重 (N)
R S Wポンプ	原動機上部軸受部	□
	原動機下部軸受部	
H P S Wポンプ	原動機上部軸受部	
	原動機下部軸受部	

3.4 評価方法

海水ポンプの強度評価は、VI-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」にて設定している強度評価が必要な機器の評価式を用いる。

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 評価条件

q (N/m ²)	G (-)	ΔP_{max} (N/m ²)	W _M (N)
5189	1.0	7500	-

表 4-2 評価条件 (原動機取付ボルト)

施設名称	C (-)	h ₂ (mm)	M _{Cp} (N・mm)	m (kg)	D (mm)	C _p (-)
R S Wポンプ	1.2	1348.5	2744820	6400	940	0.06
H P S Wポンプ	1.2	577	271304	963	600	0.06

施設名称	A _b (mm ²)	n _f (-)	n (-)	A (m ²)	ボルト サイズ
R S Wポンプ	453	8	8	5.6	M24
H P S Wポンプ	315	8	8	1.23	M20

表 4-3 評価条件 (ポンプ取付ボルト)

施設名称	C (-)	h ₁ (mm)	M _{Cp} (N・mm)	m (kg)	D (mm)	C _p (-)
R S Wポンプ	1.2	2091	7662173	16600	1460	0.06
H P S Wポンプ	1.2	1103	1169919	4933	1030	0.06

施設名称	A _b (mm ²)	n _f (-)	n (-)	A (m ²)	ボルト サイズ
R S Wポンプ	1018	12	12	7.62	M36
H P S Wポンプ	707	12	12	2.25	M30

表 4-4 評価条件 (基礎ボルト)

施設名称	C (-)	h ₁ (mm)	M _{Cp} (N・mm)	m (kg)	D (mm)	C _p (-)
R S Wポンプ	1.2	2091	7372672	17730	1760	0.06
H P S Wポンプ	1.2	1103	1276651	5525	1360	0.06

施設名称	A _b (mm ²)	n _f (-)	n (-)	A (m ²)	ボルト サイズ
R S Wポンプ	1018	8	8	7.62	M36
H P S Wポンプ	707	8	8	2.25	M30

表 4-5 評価条件 (原動機フレーム)

施設名称	C ₁ (-)	C ₂ (-)	h _g (mm)	A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)
R SWポンプ	2.4	1.2	1025	2.793	1.269
HP SWポンプ	1.2	-	458	1.23	-

施設名称	D (mm)	h _w (mm)
R SWポンプ	820	10
HP SWポンプ	500	6

表 4-6 評価条件 (端子箱の取付ボルト)

施設名称	C ₁ (-)	h _g (mm)	L ₁ (mm)	L _g (mm)	A ₁ (m ²)
R SWポンプ	2.1	356	250	124	0.6593
HP SWポンプ	2.4	210.5	170	140	0.43

施設名称	A _b (mm ²)	n _f (-)	n (-)	m (kg)	ボルト サイズ
R SWポンプ	113.1	3	8	144	M12
HP SWポンプ	201.1	2	4	80	M16

表 4-7 評価条件 (通風ダクトの取付ボルト)

C ₁ (-)	C ₂ (-)	A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)	h _g (mm)	L ₁ (mm)
2.4	1.2	0.5256	0.5495	788	850

L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	L ₅ (mm)	L ₆ (mm)	L ₇ (mm)
743	637	531	425	319	213

L ₈ (mm)	A _b (mm ²)	n _f (-)	n (-)	ボルト サイズ
107	78.5	4	40	M10

表 4-8 評価条件 (空気冷却器の取付ボルト)

C ₁ (-)	C ₂ (-)	A ₁ (m ²)	A ₂ (m ²)	h _g (mm)	L ₁ (mm)
2.1	1.2	0.5657	0	273	890

L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	L ₅ (mm)	L ₆ (mm)	L ₇ (mm)
775	665	555	445	335	225

L ₈ (mm)	A _b (mm ²)	n _f (-)	n (-)	ボルト サイズ
115	78.5	2	40	M10

表 4-9 評価条件 (エンドカバーの取付ボルト)

C (-)	A (mm ²)	N (rpm)	P (kw)	D (mm)	n (-)
1.2	0.1	1200	75	497	2

A _b (mm ²)	ボルト サイズ
50.27	M8

(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)

q (N/m ²)	G (-)	ΔP _{max} (Pa)	W _M (N)	温度 (°C)
5189	1.0	7500	-	50

表 4-11 評価条件 (原動機下部軸受部 (たわみ量の算出))

施設名称	変位量計算 モデルの材質	h ₁ ' (mm)	h ₂ ' (mm)	a ₁ (mm)	a ₂ (mm)
R S Wポンプ	SM400A	641	491	1415	150
	SM400B				
H P S Wポンプ	SS400	51	99.5	1052	150.5
	SM400B				

施設名称	E _p (MPa)	I _p (mm ⁴)	E _m (MPa)	I _m (mm ⁴)
R S Wポンプ	201000	9.799×10 ⁹	201000	3.837×10 ⁹
H P S Wポンプ	201000	2.429×10 ⁹	201000	5.480×10 ⁸

表 4-12 評価条件 (原動機下部軸受部 (発生荷重の算出))

施設名称	発生荷重計算 モデルの材質	E_m' (MPa)	I_m' (mm ⁴)	x_a' (mm)	δ_a (mm)
R S Wポンプ	S25C	201000	2.485×10^7	1565	0.06
H P S Wポンプ	S35C	200000	1.553×10^6	1202.5	0.021

表 4-13 評価条件 (原動機上部軸受部 (たわみ量の算出))

施設名称	変位量計算 モデルの材質	h_3' (mm)	a_3 (mm)	E_m (MPa)	I_m (mm ⁴)
R S Wポンプ	SM400A	0	641	201000	3.837×10^9
H P S Wポンプ	SS400	0	51	201000	5.480×10^8

表 4-14 評価条件 (原動機上部軸受部 (発生荷重の算出))

施設名称	発生荷重計算 モデルの材質	E_m' (MPa)	I_m' (mm ⁴)	x_b' (mm)	δ_b (mm)
R S Wポンプ	S25C	201000	2.485×10^7	1657	0.113
H P S Wポンプ	S35C	200000	1.553×10^6	762.5	0.023

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。砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と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、海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	T (mm)	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	結果
R SWポンプ (スペースヒータ端子箱)	1.0	1.2	貫通しない
H P SWポンプ (防滴カバー)	1.0	2.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 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 5-3 評価結果 (原動機取付ボルト)

施設名称	応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R SWポンプ	引張	40	153
	せん断	16	118
	組合せ	40	153
H P SWポンプ	引張	9	153
	せん断	5	118
	組合せ	9	153

b. ポンプ取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ポンプ取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果 (ポンプ取付ボルト)

施設名称	応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	9	153
	せん断	7	118
	組合せ	9	153
H P S Wポンプ	引張	1	153
	せん断	3	118
	組合せ	1	153

c. 基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 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 5-5 評価結果 (基礎ボルト)

施設名称	応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	5	153
	せん断	10	118
	組合せ	5	153
H P S Wポンプ	引張	-	153
	せん断	4	118
	組合せ	-	153

d. 原動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 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 5-6 評価結果 (原動機フレーム)

施設名称	応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	16	102
H P S Wポンプ		7	95

e. 端子箱の取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

端子箱の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（端子箱の取付ボルト）

施設名称	応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
R S Wポンプ	引張	20	153
	せん断	11	118
	組合せ	20	153
H P S Wポンプ	引張	17	158
	せん断	9	122
	組合せ	17	158

f. 通風ダクトの取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

通風ダクトの取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-8 評価結果（通風ダクトの取付ボルト）

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

g. 空気冷却器の取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

空気冷却器の取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-9 評価結果（空気冷却器の取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	5	153
せん断	3	118
組合せ	5	153

h. エンドカバーの取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-10 に示す。

エンドカバーの取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-10 評価結果（エンドカバーの取付ボルト）

応力分類	複合荷重 W_{T2} による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
せん断	34	122

(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 5-11 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 5-11 評価結果（原動機下部軸受部）

施設名称	発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
R S Wポンプ	235	
H P S Wポンプ	12	

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 5-12 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 5-12 評価結果（原動機上部軸受部）

施設名称	発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
R S Wポンプ	373	
H P S Wポンプ	48	