

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-014-11改03
提出年月日	2023年4月7日

VI-3-別添 2-3 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

S2 補 VI-3-別添 2-3 R0

2023年4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	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
3. 強度評価の方法	9
3.1 評価対象部位	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	10
3.3 許容限界	11
3.4 評価方法	12
4. 評価条件	14
5. 強度評価結果	15

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設」の強度計算の方針に示すとおり、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。）が想定する降下火砕物の堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

海水ポンプは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設」の強度計算の方針の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、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

海水ポンプは、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設」の強度計算の方針の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の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。

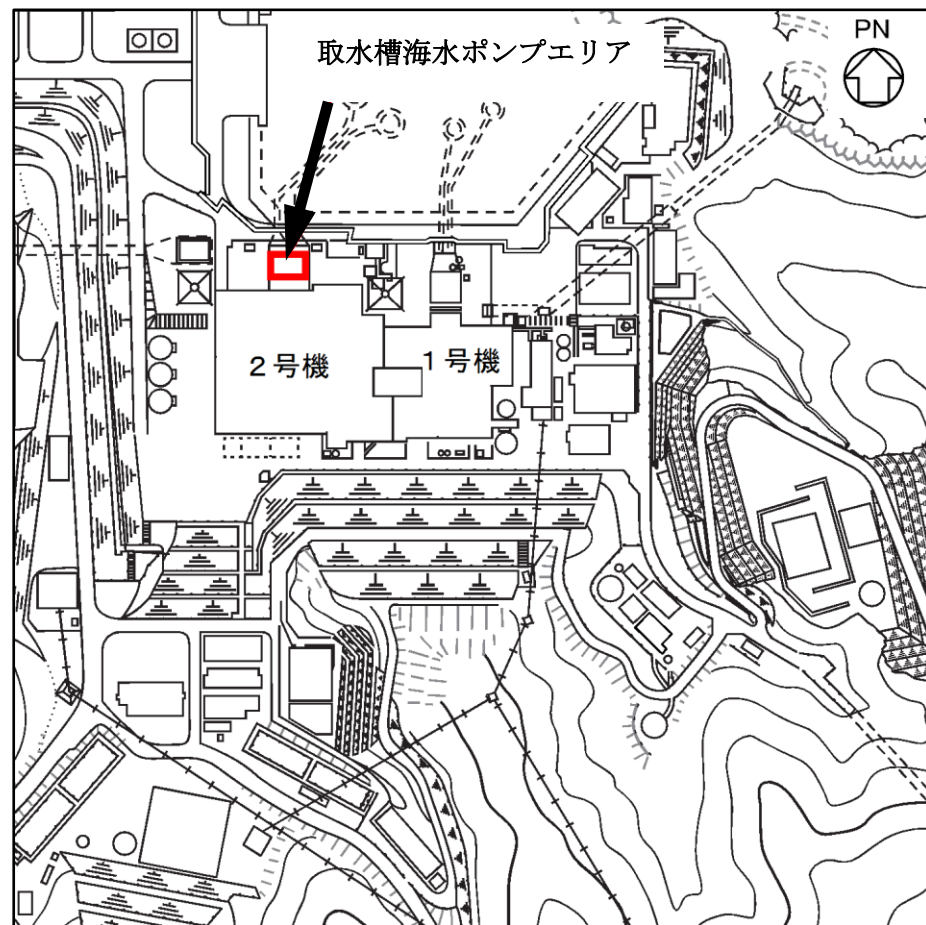


図 2-1 取水槽海水ポンプエリアの位置図

2.2 構造概要

海水ポンプは、VI-3-別添 2-1「**火山への配慮が必要な施設**の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり、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、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、原子炉補機海水ポンプ（以下「R SWポンプ」という。）は同一設計のものを4台、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「HP SWポンプ」という。）は1台設置している。降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を、図 2-2 及び図 2-3 に示す。

海水ポンプ原動機の形状は円形を基本としたフレームに、端子箱が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重は軸受を介し、すべて原動機フレーム及び原動機台に作用する。海水ポンプが風荷重を受けることを想定する面の概要図を、図 2-4 及び図 2-5、降下火砕物等が海水ポンプに堆積することを想定する状態図を、図 2-6 及び図 2-7 に示す。

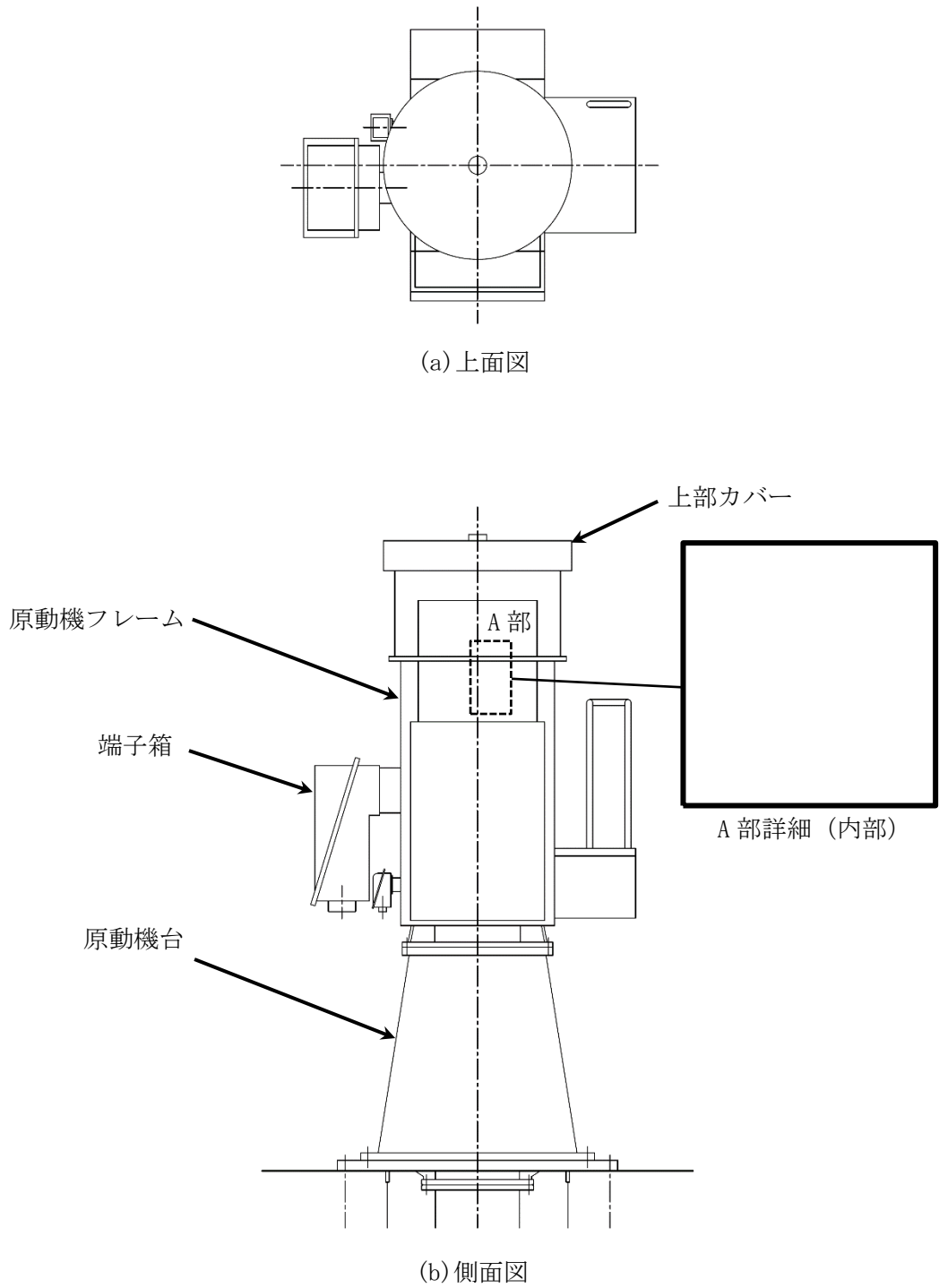
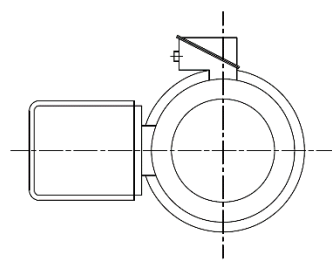
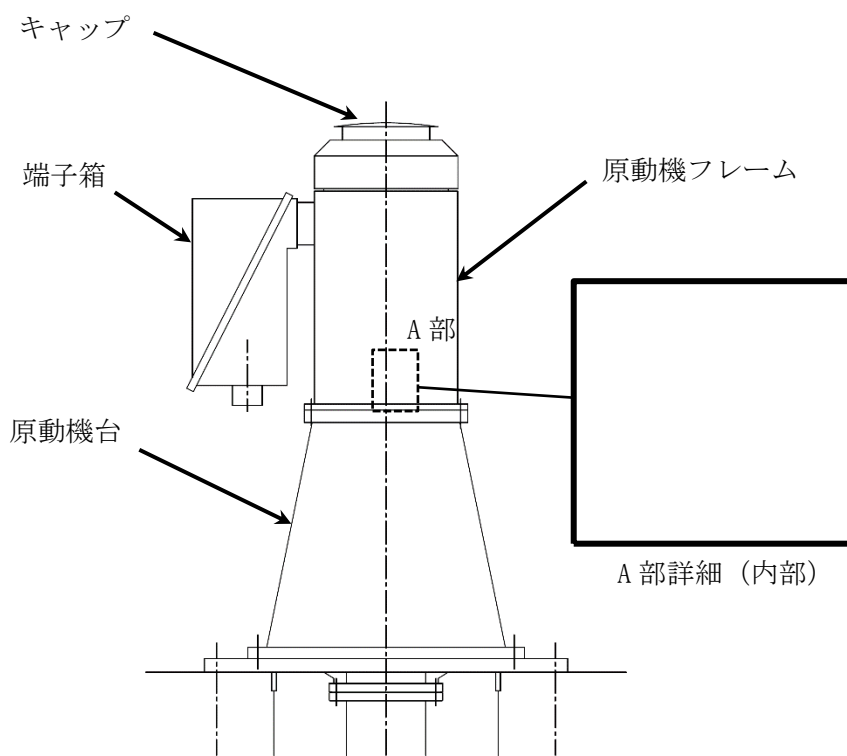


図 2-2 R SWポンプの概要図




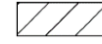
(a) 上面図

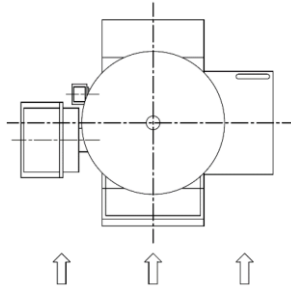


(b) 側面図

図 2-3 HP SWポンプの概要図

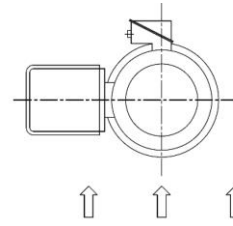
 : 風荷重を受ける面

 : 風荷重を受ける面



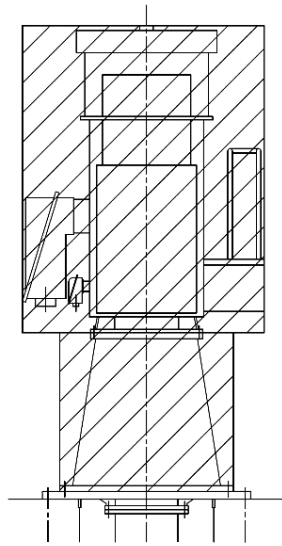
風（台風）による水平荷重の方向

(a) 上面図



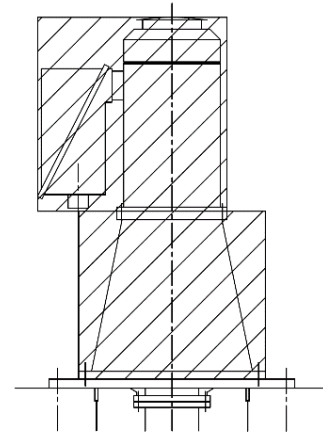
風（台風）による水平荷重の方向

(a) 上面図



(b) 側面図

図 2-4 風荷重を受けることを想定する面の概要図（RSWポンプ）



(b) 側面図

図 2-5 風荷重を受けることを想定する面の概要図（HPSWポンプ）

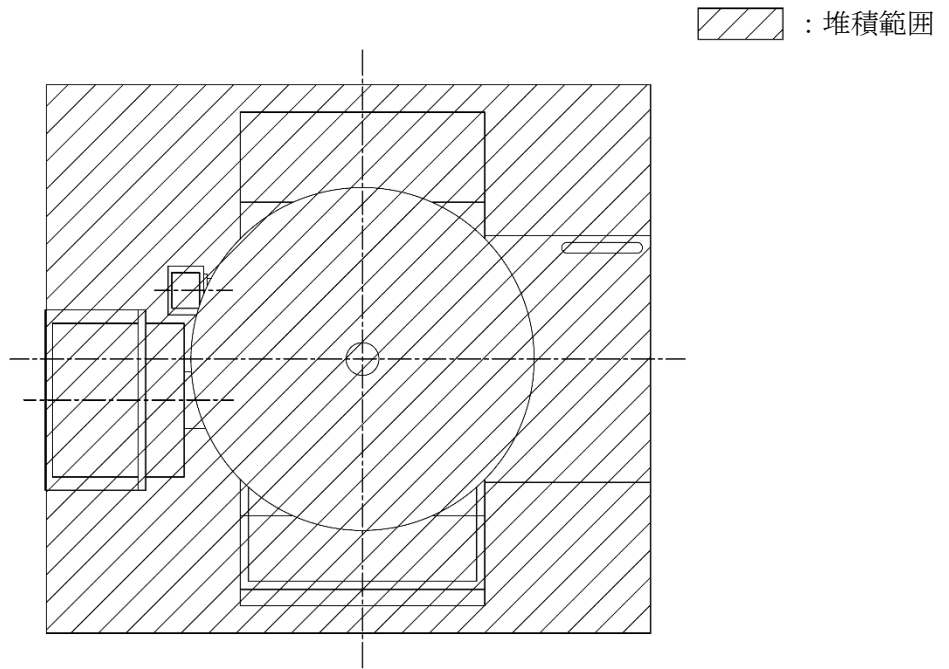


図 2-6 降下火砕物等の堆積状態図 (RSWポンプ)

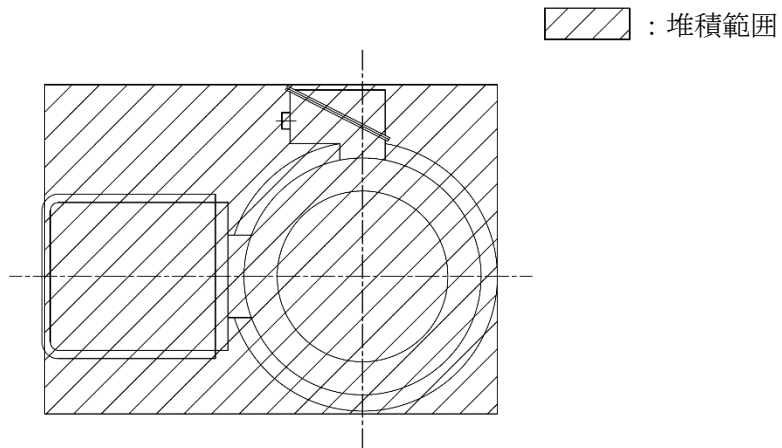


図 2-7 降下火砕物等の堆積状態図 (HPSWポンプ)

2.3 評価方針

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

海水ポンプの強度評価フローを図 2-8 に示す。海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、ポンプ上面に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風（台風）による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、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設」の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。海水ポンプの許容限界は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設」の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG 4601 の許容応力状態Ⅲ_AS とする。

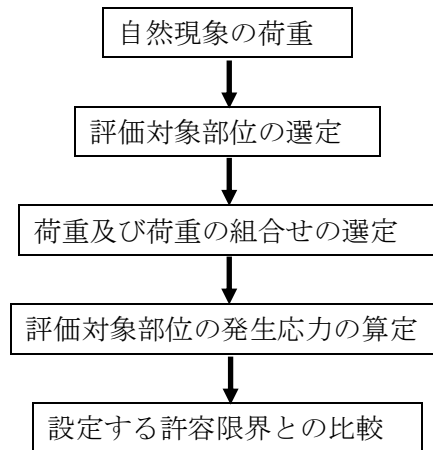


図 2-8 海水ポンプの強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日 松江市規則第 234 号）
- (3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 年改定）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- (6) 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）
- (7) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））（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。）
- (8) 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会，1987 年）

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 2-1「火山への配慮が必要な施設」の強度計算の方針の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機フレーム、原動機台、上部カバー及びキャップとする。

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

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物等が堆積する原動機の上部カバー又はキャップ、上部カバー又はキャップに接続する原動機フレームに作用し、原動機フレームを介して原動機台に作用する。また、風（台風）による水平荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用する。さらに、ポンプのスラスト荷重はすべて原動機フレーム及び原動機台に作用する。

このことから、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重に対しては、原動機フレーム、原動機台、上部カバー及びキャップを評価対象部位とする。また、風（台風）による水平荷重に対しては、原動機フレーム及び原動機台を評価対象部位とする。

海水ポンプの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 及び図 3-2 に示す。

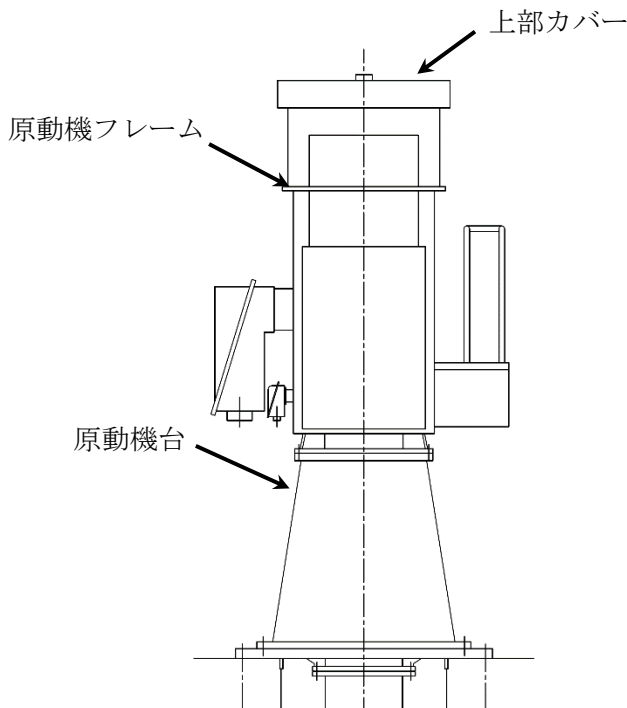


図 3-1 評価対象部位（R SWポンプ）

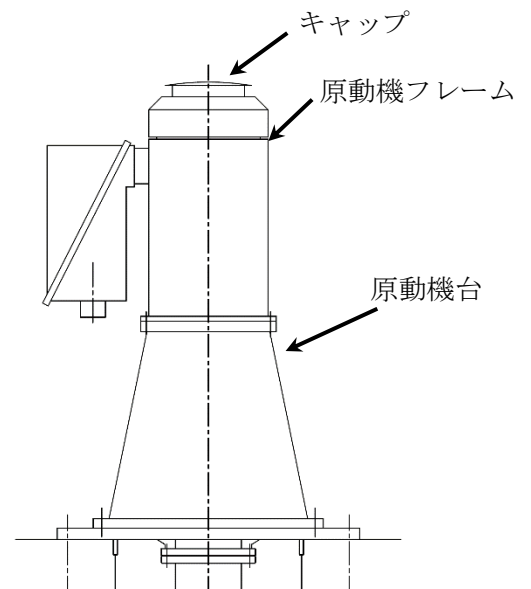


図 3-2 評価対象部位（HP SWポンプ）

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

(1) 荷重の選定

海水ポンプの強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

海水ポンプには、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、風荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷 重
R SWポンプ H P SWポンプ	原動機台	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③ 風荷重 ④ ポンプスラスト荷重
	原動機フレーム	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③ 風荷重 ④ ポンプスラスト荷重
	上部カバー (R SWポンプ) キャップ (H P SWポンプ)	① 自重 ② 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

3.3 許容限界

海水ポンプの許容限界値は、VI-3-別添 2-1「**火山への配慮が必要な施設**の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づき許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力を用いる。

海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値もしくは原動機運転による温度上昇を考慮した値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

海水ポンプの許容限界を表 3-2、許容応力を表 3-3 及び表 3-4 に示す。

表 3-2 海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
原動機台	Ⅲ _A S	一次応力	曲げ	$1.5 \cdot f_b$
			圧縮	$1.5 \cdot f_c$
原動機フレーム	Ⅲ _A S	一次応力	曲げ	$1.5 \cdot f_b$
			圧縮	$1.5 \cdot f_c$
上部カバー, キャップ	Ⅲ _A S	一次応力	曲げ	$1.5 \cdot f_b$

表 3-3 海水ポンプの許容応力 (R S Wポンプ)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	$1.5 \cdot f_c$ (MPa)	$1.5 \cdot f_b$ (MPa)
原動機台	SM41B*3	50*1	231	394	231	230	231
原動機 フレーム	SM400A	95*2	214	374	214	213	214
上部カバー	SS400	95*2	223	374	223	—	257

注記*1：周囲環境温度

*2：原動機運転による温度上昇を考慮した値

*3：SM400B 相当

表 3-4 海水ポンプの許容応力 (HP SWポンプ)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 \cdot f_c$ (MPa)	$1.5 \cdot f_b$ (MPa)
原動機台	SM41B*3	50*1	241	394	241	240	241
原動機 フレーム	SS41*4	90*2	225	376	225	223	225
キャップ	SUS304	90*2	175	451	175	—	202

注記*1：周囲環境温度

*2：原動機運転による温度上昇を考慮した値

*3：SM400B 相当

*4：SS400 相当

3.4 評価方法

海水ポンプの応力評価は、VI-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。なお、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重の受圧面積を図 3-3 及び図 3-4 に、風荷重の受圧面積を図 3-5 及び図 3-6 にそれぞれ示す。

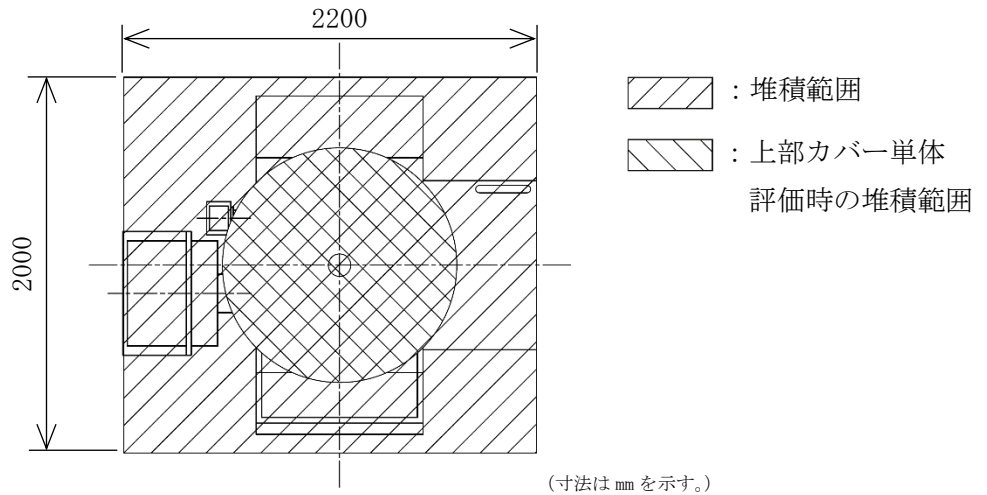


図 3-3 鉛直荷重の受圧面積 (R SWポンプ)

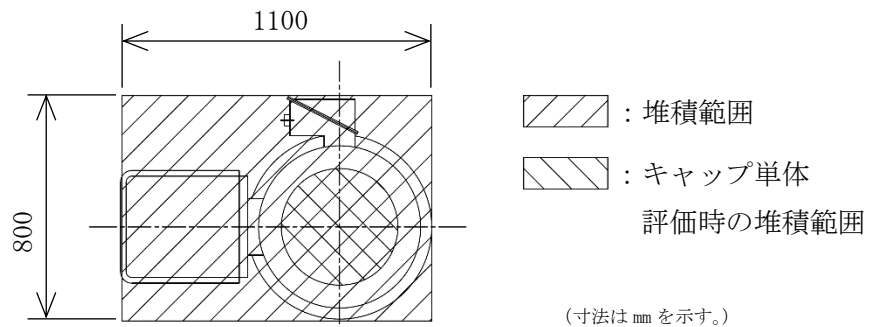
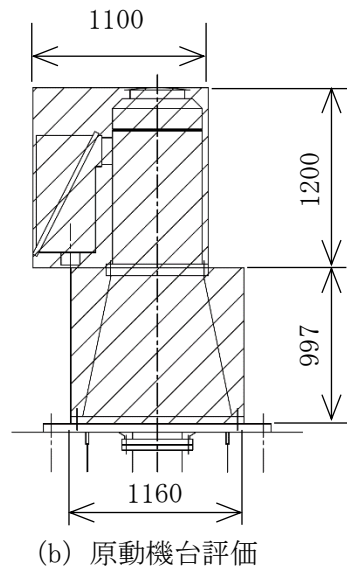
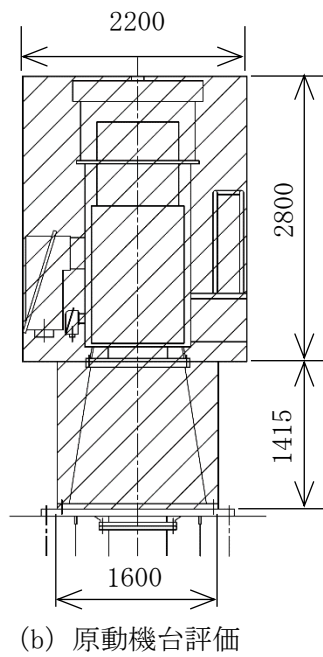
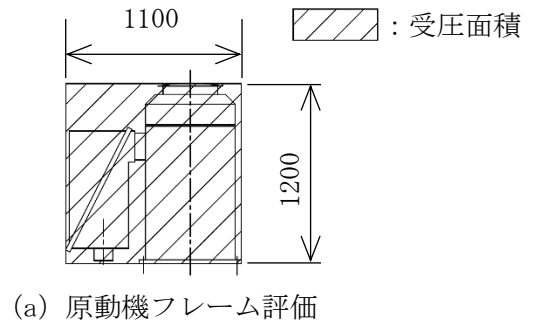
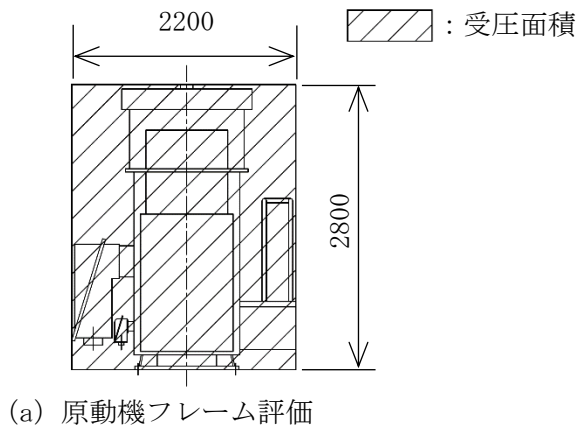


図 3-4 鉛直荷重の受圧面積 (HP SWポンプ)



(寸法は mm を示す。)

(寸法は mm を示す。)

図 3-5 風荷重の受圧面積
(RSWポンプ)

図 3-6 風荷重の受圧面積
(HPSWポンプ)

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1から表4-7に示す。

表4-1 評価条件

G (-)	V_D (m/s)	Z_b (m)	Z_G (m)	F_v' (N/m ²)	α (-)	g (m/s ²)
2.2	30	5	350	8938	0.15	9.80665

表4-2 評価条件 (原動機台 (RSWポンプ))

C (-)	A_{11} (m ²)	A_2 (m ²)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	P (kg)	B_1 (mm)	B_2 (mm)	h_1 (mm)
1.2	8.424	4.4	2512	6400	5300	1114	1076	2107.5

表4-3 評価条件 (原動機台 (HP SWポンプ))

C (-)	A_{11} (m ²)	A_2 (m ²)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	P (kg)	B_1 (mm)	B_2 (mm)	h_1 (mm)
1.2	2.477	0.88	1624	960	1725	775.5	747.5	1098.5

表4-4 評価条件 (原動機フレーム (RSWポンプ))

C (-)	A_{12} (m ²)	A_2 (m ²)	m_2 (kg)	P (kg)	B_3 (mm)	B_4 (mm)	h_2 (mm)
2.1	6.16	4.4	6400	5300	820	782	1400

表4-5 評価条件 (原動機フレーム (HP SWポンプ))

C (-)	A_{12} (m ²)	A_2 (m ²)	m_2 (kg)	P (kg)	B_3 (mm)	B_4 (mm)	h_2 (mm)
2.4	1.32	0.88	960	1725	500	476	600

表4-6 評価条件 (上部カバー (RSWポンプ))

a (mm)	t (mm)	p (N/m ²)
1070	4.5	9701

表4-7 評価条件 (キャップ (HP SWポンプ))

a (mm)	t (mm)	p (N/m ²)
430	2.0	9127

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

原動機台，原動機フレーム，上部カバー及びキャップに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1 評価結果（R S Wポンプ）

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SM41B	曲げ	7	231
		圧縮	3	230
原動機フレーム	SM400A	曲げ	9	214
		圧縮	4	213
上部カバー	SS400	曲げ	171	257

表 5-2 評価結果（H P S Wポンプ）

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SM41B	曲げ	4	241
		圧縮	2	240
原動機フレーム	SS41	曲げ	5	225
		圧縮	2	223
キャップ	SUS304	曲げ	131	202