

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添3-015-11改02
提出年月日	2023年4月21日

VI-3-別添 3-2-8 隔離弁，機器・配管の強度計算書

S2 補 VI-3-別添 3-2-8 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. タービン補機海水ポンプ	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 配置概要	2
2.2.2 構造計画	3
2.2.3 評価方針	5
2.2.4 適用規格・基準等	6
2.2.5 記号の説明	7
2.2.6 計算精度と数値の丸め方	9
2.3 評価部位	10
2.4 固有周期	10
2.4.1 固有値解析方法	10
2.4.2 解析モデル及び諸元	10
2.4.3 固有値解析結果	10
2.5 構造強度評価	12
2.5.1 構造強度評価方法	12
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
2.5.3 設計用地震力	16
2.5.4 計算方法	17
2.5.5 計算条件	20
2.5.6 応力の評価	20
2.6 評価結果	21
2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21

3.	循環水ポンプ	34
3.1	概要	34
3.2	一般事項	34
3.2.1	配置概要	34
3.2.2	構造計画	35
3.2.3	評価方針	37
3.2.4	適用規格・基準等	38
3.2.5	記号の説明	39
3.2.6	計算精度と数値の丸め方	41
3.3	評価部位	42
3.4	固有周期	42
3.4.1	固有値解析方法	42
3.4.2	解析モデル及び諸元	42
3.4.3	固有値解析結果	42
3.5	構造強度評価	47
3.5.1	構造強度評価方法	47
3.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	47
3.5.3	設計用地震力	51
3.5.4	計算方法	53
3.5.5	計算条件	56
3.5.6	応力の評価	56
3.6	評価結果	57
3.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	57
4.	配管及び隔離弁	84
4.1	概要	84
4.2	配置概要, 概略系統図及び鳥瞰図	85
4.2.1	配置概要	85
4.2.2	概略系統図	86
4.2.3	鳥瞰図	91
4.3	計算条件	93
4.3.1	計算方法	93
4.3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	94
4.3.3	設計条件	95
4.3.4	材料及び許容応力	101
4.3.5	設計用地震力	102
4.4	解析結果及び評価	103
4.4.1	固有周期及び設計震度	103
4.4.2	評価結果	109

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に基づき、浸水防止設備のうち津波の流入防止に係る津波バウンダリとなるポンプ、配管及び弁（以下「隔離弁、機器・配管」という。）が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、十分な構造健全性を有していることを説明するものである。

隔離弁、機器・配管の構成を表 1-1 に示す。また、概要図を図 1-1 に示す。

表 1-1 隔離弁、機器・配管の構成

機器名称		据付場所
隔離弁	タービン補機海水ポンプ出口弁	取水槽
	タービン補機海水ポンプ第二出口弁	取水槽
	タービン補機海水系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
	液体廃棄物処理系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
機器	循環水ポンプ	取水槽
	タービン補機海水ポンプ	取水槽
配管	原子炉補機海水系配管	原子炉補機冷却系熱交換器～放水槽
	高圧炉心スプレー補機海水系配管	高圧炉心スプレー補機冷却系熱交換器～ 原子炉補機海水系配管合流部
	循環水系配管	循環水ポンプ～取水槽
	タービン補機海水系配管	タービン補機海水ポンプ～タービン補機 海水ポンプ第二出口弁 タービン補機海水系逆止弁～放水槽
	液体廃棄物処理系配管	液体廃棄物処理系逆止弁～放水槽

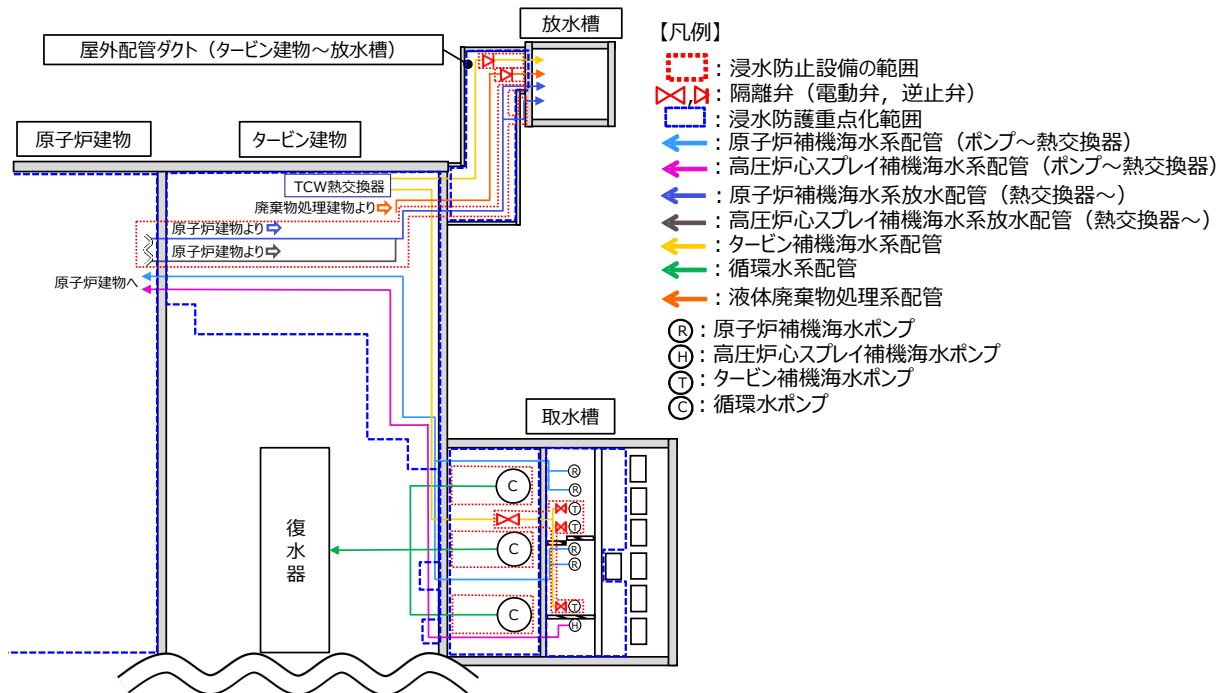


図 1-1 隔離弁、機器・配管の概要図

2. タービン補機海水ポンプ

2.1 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している強度評価に示すとおり、タービン補機海水ポンプが津波の流入に伴う津波荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 配置概要

タービン補機海水ポンプの配置図を図2.2-1に示す。

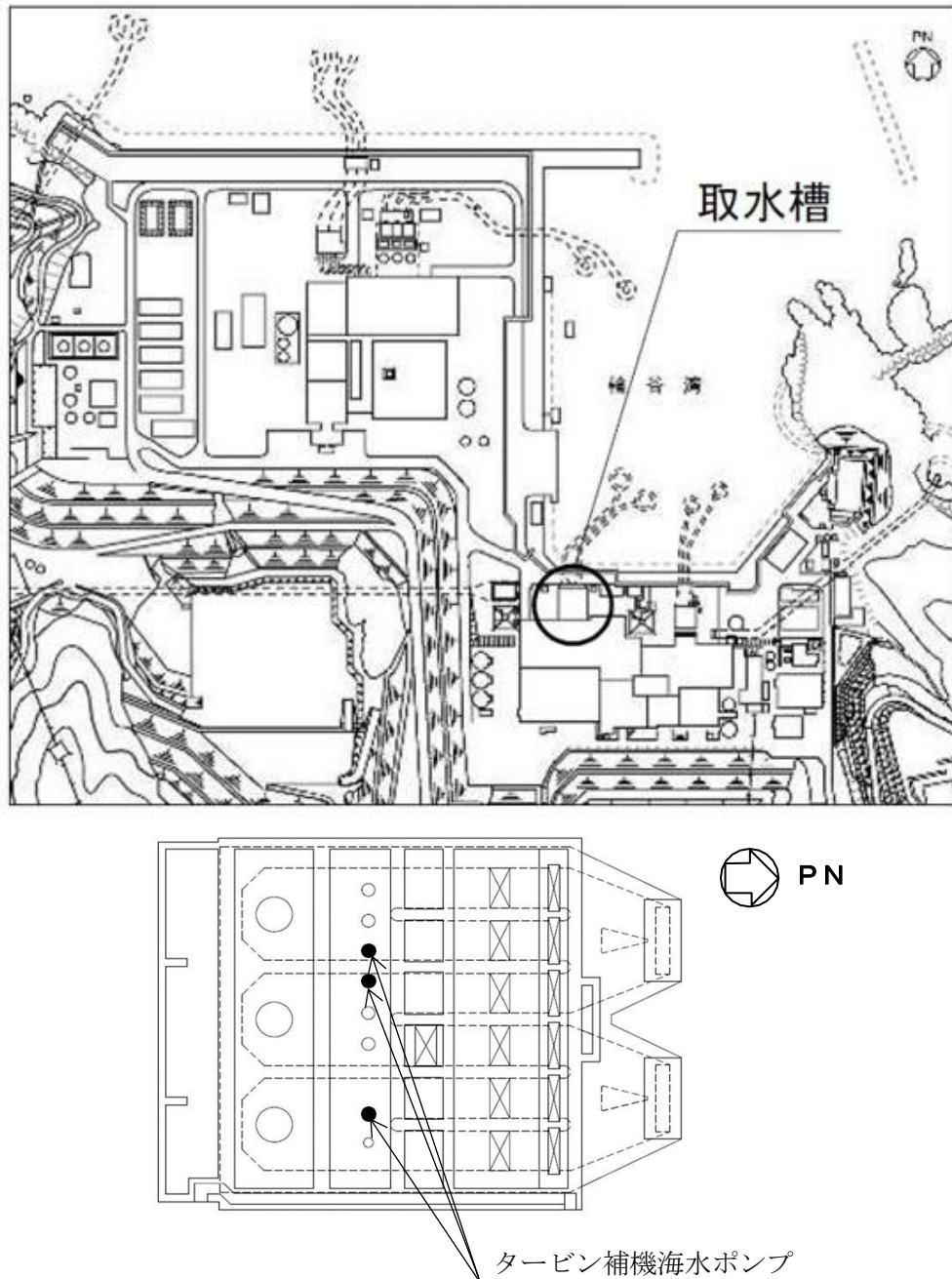


図 2.2-1 タービン補機海水ポンプ配置図

2.2.2 構造計画

タービン補機海水ポンプは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」で設定している荷重を踏まえ鋼製とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける構造としている。

タービン補機海水ポンプの構造計画を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2.3 評価方針

タービン補機海水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」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に基づき、応力評価を実施する。応力評価では、タービン補機海水ポンプの評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「2.5 構造強度評価」にて示す方法により、「2.5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて確認する。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

タービン補機海水ポンプの強度評価フローを図 2.2-2 に示す。

タービン補機海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。

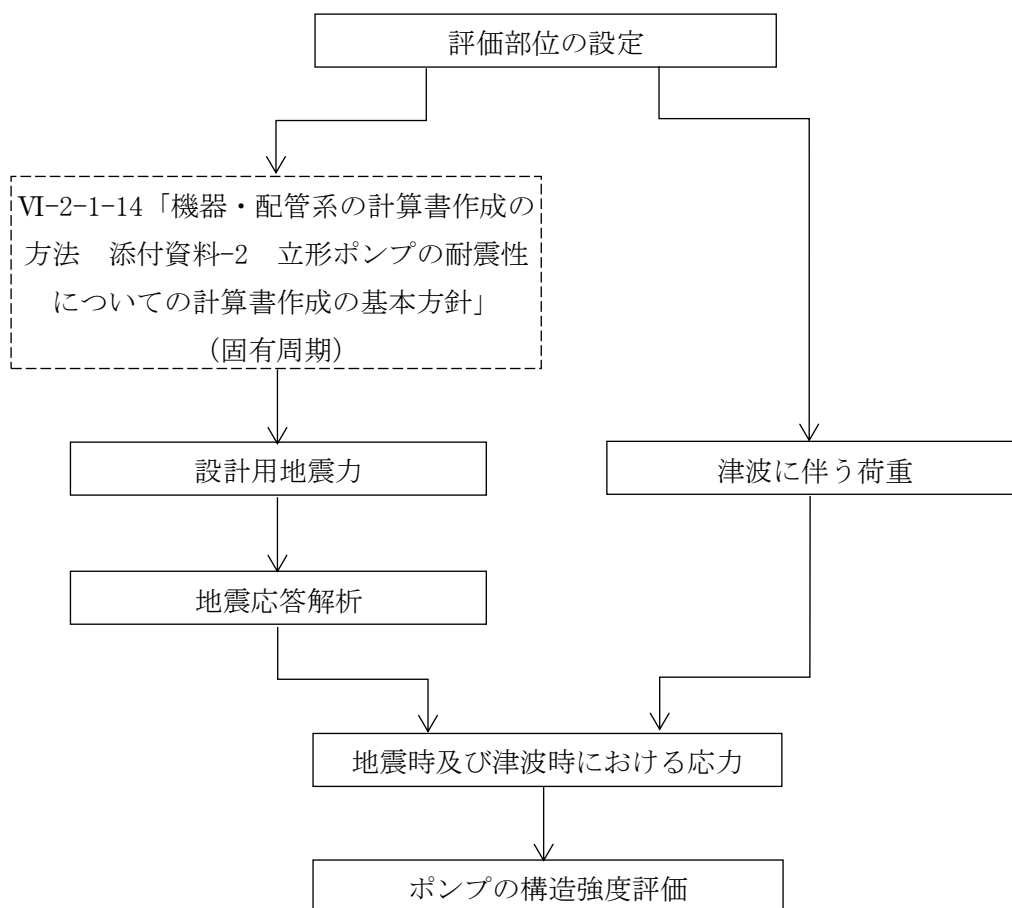


図 2.2-2 タービン補機海水ポンプの強度評価フロー

2.2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b a s	津波荷重を受ける面積	m ²
A b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C D	抗力係数	—
C H	水平方向設計震度	—
C p	ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	—
C v	鉛直方向設計震度	—
D	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D c m o	コラムパイプ外径	mm
D d	ディスチャージケーシングの内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値	MPa
F a	ポンプ据付部の反力	N
F b	地震による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F b t	津波による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F D	水平津波荷重による単位長さ当たりの流体抗力	N/mm
F u	津波による静水圧荷重	N
f s b	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f t o	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f t s	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H p	予想最大両振幅	μm
h	津波最大到達レベル	m
L	ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	mm
M a	ポンプ据付部の曲げモーメント	N・mm
M c p	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向のポンプ振動による転倒モーメント	N・mm
M d	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M d C p	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
M f b	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平津波荷重による転倒モーメント	N・mm
M p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{pm}	ディスチャージケーシングに作用する水平津波荷重によるモーメント	N・mm
M_0	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向地震による転倒モーメント	N・mm
m	据付面の運転時質量	kg
m_d	ポンプ床下部質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
P_d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q_b	水平方向地震及び水平方向のポンプ振動により基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_{bt}	水平津波荷重による基礎ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_{da}	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
V	津波流速	m/s
Z_d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
z	評価対象部位のレベル	m
π	円周率	—
ρ	海水の密度	kg/m ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{dCH1}	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ_{dCH2}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dCV1}	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa
σ_{dCV2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{pm}	水平津波荷重によりディスチャージケーシングに生じる曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2.2-2に示すとおりである。

表2.2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
力	N	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字4桁未満となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

2.3 評価部位

タービン補機海水ポンプは、浸水防止設備であるため、耐震評価上及び津波に伴う荷重評価上で厳しくなる基礎ボルト及びディスチャージケーシングについて構造強度の評価を行う。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

タービン補機海水ポンプの固有値解析方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」による。

2.4.2 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

2.4.3 固有値解析結果

取水槽が満水状態の固有値解析の結果を表 2.4-1、振動モード図を図 2.4-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 2.4-1 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.229	2.036	2.036	—

注記*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

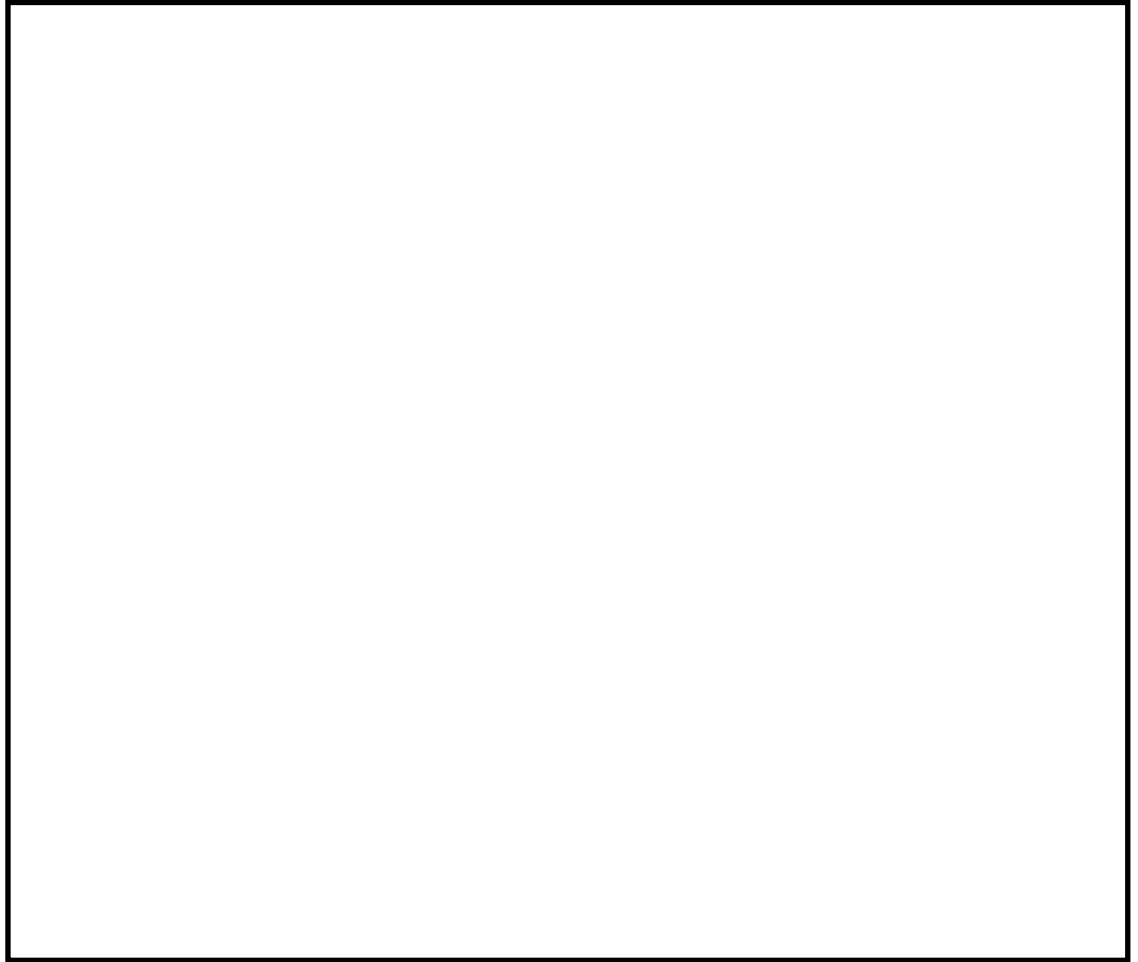


図 2.4-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.229s)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力に対する構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき行う。
- (2) 津波荷重は、ポンプ据付部より下のディスチャージケーシング，コラムパイプ等に作用するものとする。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ

タービン補機海水ポンプの強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。タービン補機海水ポンプの荷重の組合せを表 2.5-1 に示す。

2.5.2.2 許容応力

タービン補機海水ポンプの許容応力は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容応力に基づき表 2.5-2 及び表 2.5-3 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2.5-4 に示す。

表 2.5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	タービン補機海水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_t + P_h + S_d$	III [△] S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 2.5-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容限界			
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
III A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_t$ の大きい方	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次応力
			一次 + 二次 + ピーク応力
			* 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要

注記*: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 2.5-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	引張	せん断
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2.5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境温度	最高使用温度				
タービン補機 海水ポンプ	基礎ボルト		□		—	198	504	205
				30	—	245	400	—

□

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2.5-5 に示す。

弾性設計用地震動 S d は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 2.5-5 タービン補機海水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}		
固有周期(s)		水平：0.229 ^{*2} 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動 S d		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.229	2.84	3.34	—
動的震度 ^{*5, *6}		0.80	0.95	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 津波荷重の計算方法

(1) 津波による静水圧荷重

ポンプに作用する静水圧荷重の計算式は下式になる。

$$F_u = \rho \cdot g \cdot (h - z) \cdot A_{bas} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1)$$

(2) 津波による水平津波荷重

水平津波荷重によるポンプが受ける単位長さ当たりの流体抗力(等分布荷重)は下式になる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D_{cmo}}{1000} \right) / 1000 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2)$$

この流体抗力によりポンプ据付部を固定端とする片持ちはりに等分布荷重が作用するので反力と曲げモーメントは下式となる。

反力と曲げモーメント計算式

$$F_a = F_D \cdot L \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3)$$

$$M_a = \frac{1}{2} F_D \cdot L^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.4)$$

2.5.4.2 基礎ボルトの応力計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れた基礎ボルトについて計算する。

地震による引張力

$$F_b = \frac{\sqrt{M_0^2 + \left(C_v \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2} \right)^2} + M_{cp} + (C_p - 1) \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.1)$$

ここで、 M_0 及び M_{cp} は解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.2)$$

津波による引張力

$$F_{bt} = \frac{M_{fb} + \frac{3}{8} F_u \cdot D}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b + F_{bt}}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.2.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.5.4.2.5)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。なお、基礎ボルトについては、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力は地震応答解析により求める Q_b 、ポンプ回転により作用するモーメント M_p 及び水平津波荷重による反力を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + 2 \cdot M_p / D + Q_{bt}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.2.6)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (2.5.4.2.7)$$

$$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$$

2.5.4.3 ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた結果により、ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

(1) ポンプ振動による震度により生じる水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.1)$$

(2) 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.2)$$

(3) 自重及びポンプ振動による震度により生じる鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1 + C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.3)$$

(4) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.4)$$

(5) 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.6)$$

(6) 水平津波荷重による応力

$$\sigma_{pm} = \frac{M_{pm}}{Z_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.7)$$

以上の(1)～(6)の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} \\ + \sigma_{pm} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots\dots\dots (2.5.4.3.8)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.5.6.2 ディスチャージケーシングの応力評価

2.5.4.3項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、 S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S_{da}
	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機海水ポンプの設計基準対象施設としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
タービン補機海水ポンプ	S	取水槽 EL.1.1*1	0.229	0.05以下	$C_H=0.95^{*2}$ 又は*3	$C_V=0.63^{*2}$	$C_P=0.04$	30	<input type="text"/>	0.54

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度

*3: 設計用床芯答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床芯答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	8	8	—	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージャージョーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージャージョーシング	—	245* (厚さ≤16mm)	400* (厚さ≤16mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M ₀ (N・mm)		M _{CP} (N・mm)	M _{fb} (N・mm)	F _b (N)	F _{bt} (N)	Q _b (N)	Q _{bt} (N)
	弾性設計用地震動 S _d	津波に伴う荷重 によるモーメント						
基礎ボルト								

(2) デイスチャージケーシングに作用する力

部材	M _d		M _{dCP}	M _{pm}
	弾性設計用地震動 S _d	津波に伴う荷重 によるモーメント		
デイスチャージ ケーシング				

(単位：N・mm)

1.4 結論

(単位：s)

1.4.1 固有周期	固有周期
方向	0.229
水平方向	0.05 以下
鉛直方向	

1.4.2 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 14$	$f_{sb} = 118$

すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.3 ディスチャージケーシングの応力

(単位：MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S _d	一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
ディスチャージケーシング			$\sigma_d = 116$	$S_{da} = 240$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

1.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C _D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.37
コラムパイプ外径	D _{cmo}	mm	558.8
ポンプ据付部からバルマウス先端までの長さ	L	mm	5770
津波荷重を受ける面積	A _{bas}	m ²	1.131

1.5.2 耐震モデル関連

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
46			
47			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		4.909×10 ⁶
2	2-3	1		4.909×10 ⁶
3	3-4	1		4.528×10 ⁶
4	4-5	1		4.528×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	46-8	1		7.187×10 ⁶
8	8-9	1		7.187×10 ⁶
9	9-10	1		1.018×10 ⁷
10	10-11	1		1.018×10 ⁷
11	11-12	1		4.528×10 ⁶
12	12-13	1		4.528×10 ⁶
13	13-14	1		4.909×10 ⁶
14	14-15	1		4.909×10 ⁶
15	15-16	4		5.750×10 ⁷
16	16-17	6		3.221×10 ⁶
17	17-18	6		1.886×10 ⁷
18	18-19	6		1.886×10 ⁷
19	19-20	6		1.018×10 ⁷
20	21-22	1		2.195×10 ⁹
21	22-23	1		3.578×10 ⁹
22	23-24	1		3.578×10 ⁹
23	24-25	3		8.896×10 ⁸
24	25-26	3		8.896×10 ⁸
25	26-27	3		8.896×10 ⁸
26	27-28	3		8.896×10 ⁸
27	47-29	3		8.896×10 ⁸
28	29-30	3		8.896×10 ⁸
29	30-31	3		8.896×10 ⁸
30	31-32	3		8.896×10 ⁸
31	32-33	2		8.127×10 ⁸
32	33-34	2		8.127×10 ⁸
33	34-35	2		8.127×10 ⁸
34	44-36	4		5.075×10 ¹¹
35	36-37	2		9.799×10 ⁹
36	37-38	2		9.799×10 ⁹
37	38-39	2		9.799×10 ⁹
38	39-40	5		2.246×10 ⁹
39	40-41	5		2.246×10 ⁹
40	41-42	5		2.246×10 ⁹
41	42-43	5		9.684×10 ⁸
42	7-46	1		7.187×10 ⁶
43	28-47	3		8.896×10 ⁸

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	23		
6	27		
10	31		
17	40		
19	42		
19	42		
33	36		
33	36		

(4) 節点の質量

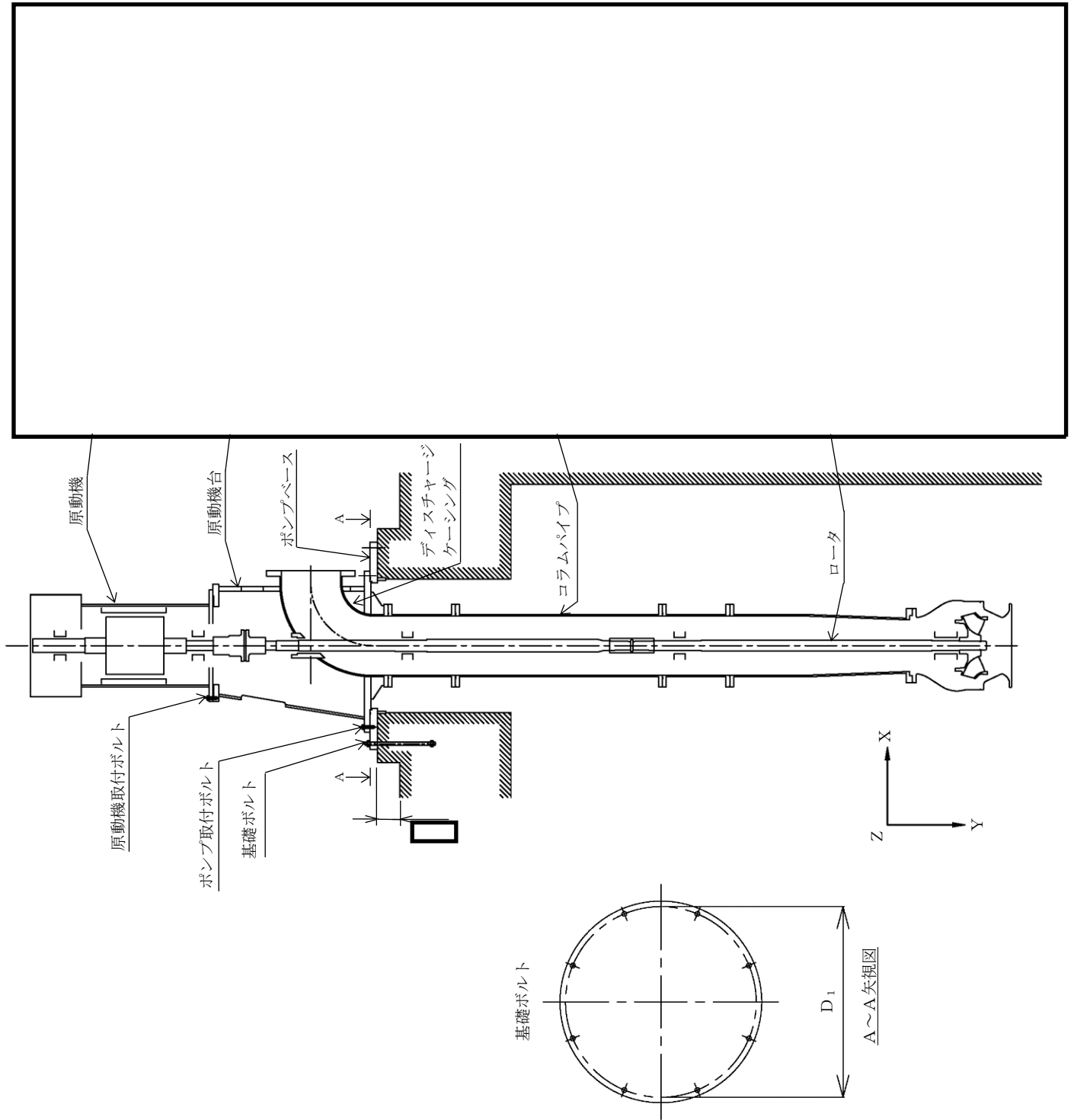
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
46	
47	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.02×10^5		0.3	
4	<input type="checkbox"/>	2.01×10^5		0.3	
5	—	2.00×10^5		0.3	
6	—	1.98×10^5		0.3	



3. 循環水ポンプ

3.1 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している強度評価に示すとおり、循環水ポンプが津波の流入に伴う津波荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

3.2 一般事項

3.2.1 配置概要

循環水ポンプの配置図を図3.2-1に示す。

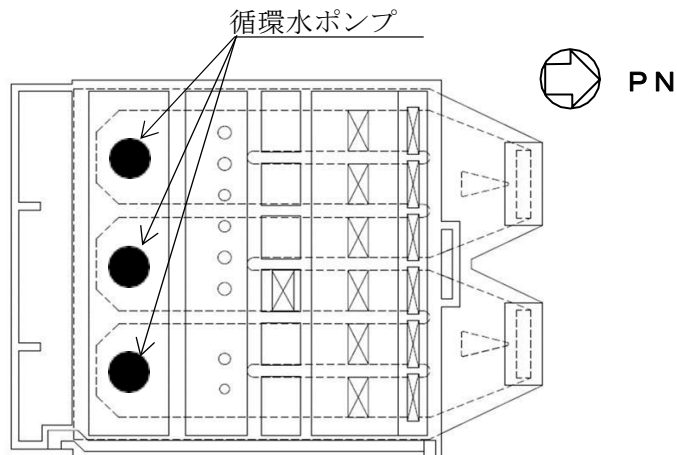
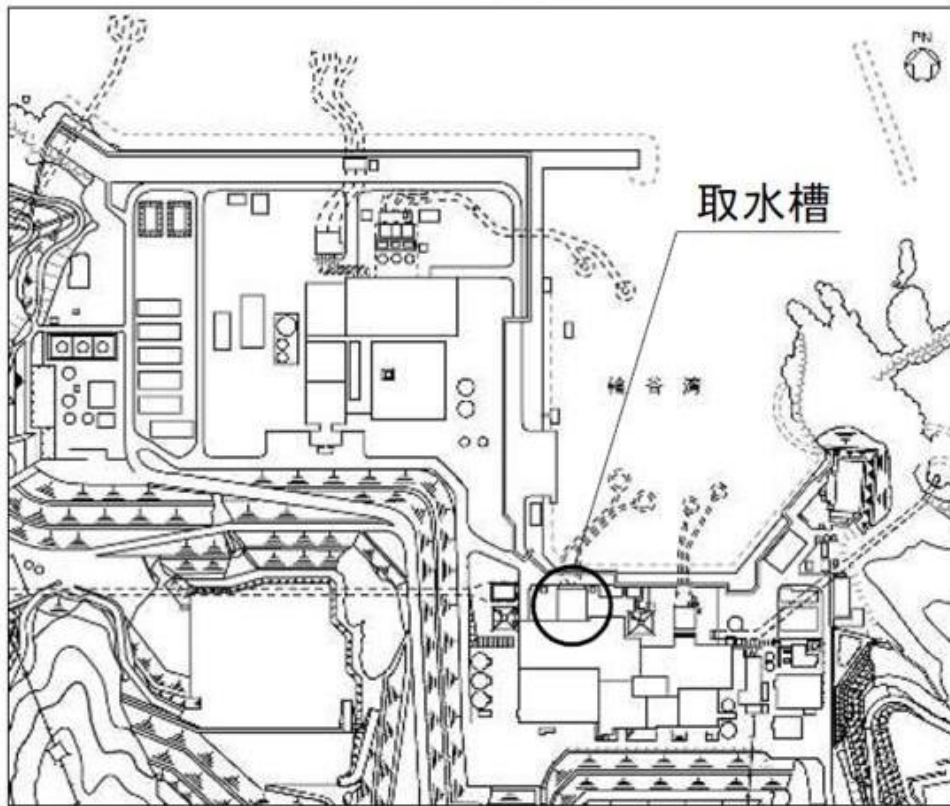


図 3.2-1 循環水ポンプ配置図

3.2.2 構造計画

循環水ポンプは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」で設定している荷重を踏まえ鋼製とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける構造としている。

循環水ポンプの構造計画を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定される。ポンプベースは円筒形のリブを介して水平方向の荷重を基礎に伝達する構造とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> <p>デイスチャージャは短管に接続され、短管は壁に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>(単位：mm)</p>

3.2.3 評価方針

循環水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」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に基づき、応力評価を実施する。応力評価では、循環水ポンプの評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「3.5 構造強度評価」にて示す方法により、「3.5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて確認する。確認結果を「3.6 評価結果」に示す。

循環水ポンプの強度評価フローを図 3.2-2 に示す。

循環水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。

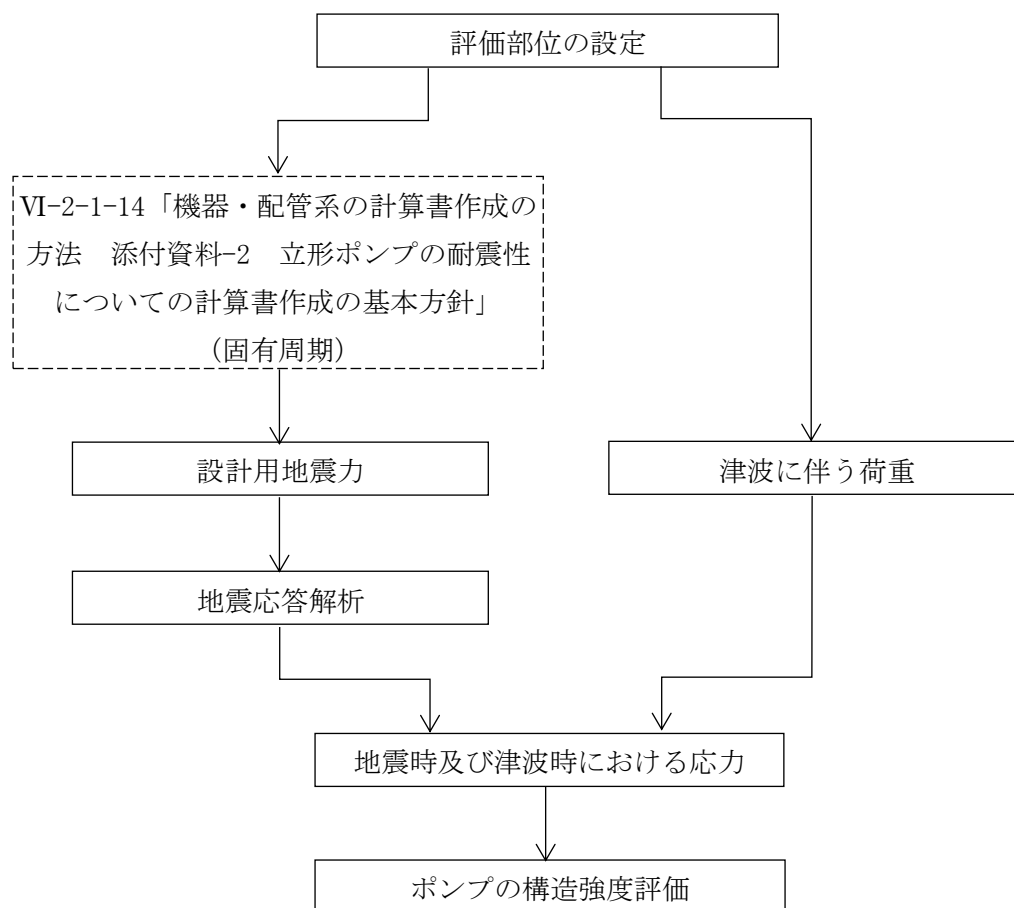


図 3.2-2 循環水ポンプの強度評価フロー

3.2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

3.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b a s	津波荷重を受ける面積	m ²
A b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C D	抗力係数	—
C H	水平方向設計震度	—
C p	ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	—
C v	鉛直方向設計震度	—
D	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D c m o	コラムパイプ外径	mm
D d	ディスチャージケーシングの内径	mm
D R	リブ外径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d R	リブ内径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値	MPa
F a	ポンプ据付部の反力	N
F b	地震による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F b t	津波による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F D	水平津波荷重による単位長さ当たりの流体抗力	N/mm
F u	津波による静水圧荷重	N
f s b	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f t o	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f t s	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H p	予想最大両振幅	μm
h	津波最大到達レベル	m
L	ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	mm
L R	溶接部のど厚	mm
M a	ポンプ据付部の曲げモーメント	N・mm
M c p	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向のポンプ振動による転倒モーメント	N・mm
M d	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M _{d C p}	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
M _{f b}	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平津波荷重による転倒モーメント	N・mm
M _p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
M _{p m}	ディスチャージケーシングに作用する水平津波荷重によるモーメント	N・mm
M ₀	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向地震による転倒モーメント	N・mm
m	据付面の運転時質量	kg
m _d	ポンプ床下部質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n	基礎ボルトの本数	—
n _f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
P _d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q _b	水平方向地震及び水平方向のポンプ振動により基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q _{b t}	水平津波荷重による基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q _R	溶接部に作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _{d a}	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t _d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
V	津波流速	m/s
Z _d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
z	評価対象部位のレベル	m
π	円周率	—
ρ	海水の密度	kg/m ³
σ _b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ _d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ _{d C H 1}	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ _{d C H 2}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ _{d C V 1}	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{dCV2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{pm}	水平津波荷重によりディスチャージケーシングに生じる曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_R	溶接部に作用するせん断応力	MPa

3.2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表3.2-2に示すとおりである。

表3.2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
力	N	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字4桁未満となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3.3 評価部位

循環水ポンプは、浸水防止設備であるため、耐震評価上及び津波に伴う荷重評価上で厳しくなる基礎ボルト及びディスチャージケーシングについて構造強度の評価を行う。

3.4 固有周期

3.4.1 固有値解析方法

循環水ポンプの固有値解析方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」による。

3.4.2 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【循環水ポンプの強度についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

3.4.3 固有値解析結果

取水槽が満水状態の固有値解析のうちNS方向モデルの結果を表3.4-1に、EW方向モデルの結果を表3.4-2に示す。振動モード図のうちNS方向モデルの図を図3.4-1、図3.4-2及び図3.4-3に、EW方向モデルの図を図3.4-4、図3.4-5及び図3.4-6に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は7次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表 3.4-1 固有値解析結果 (NS 方向モデル)

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1次	水平	0.138	9.135	—	—
2次	水平	0.129	3.090	—	—
3次	水平	0.073	1.952	—	—
4次	水平	0.059	0.567	—	—
5次	水平	0.051	-0.109	—	—
6次	水平	0.038	—	—	—

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

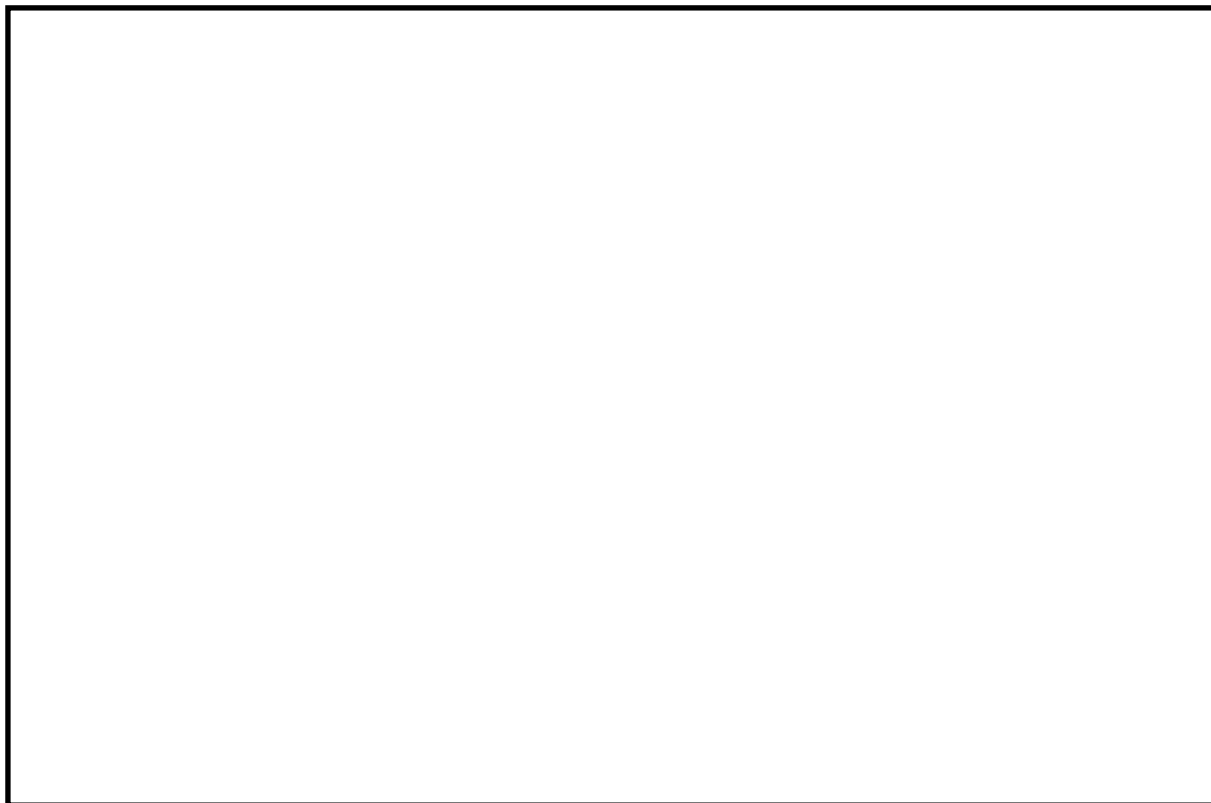


図 3.4-1 振動モード (NS 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)



図 3.4-2 振動モード (NS 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

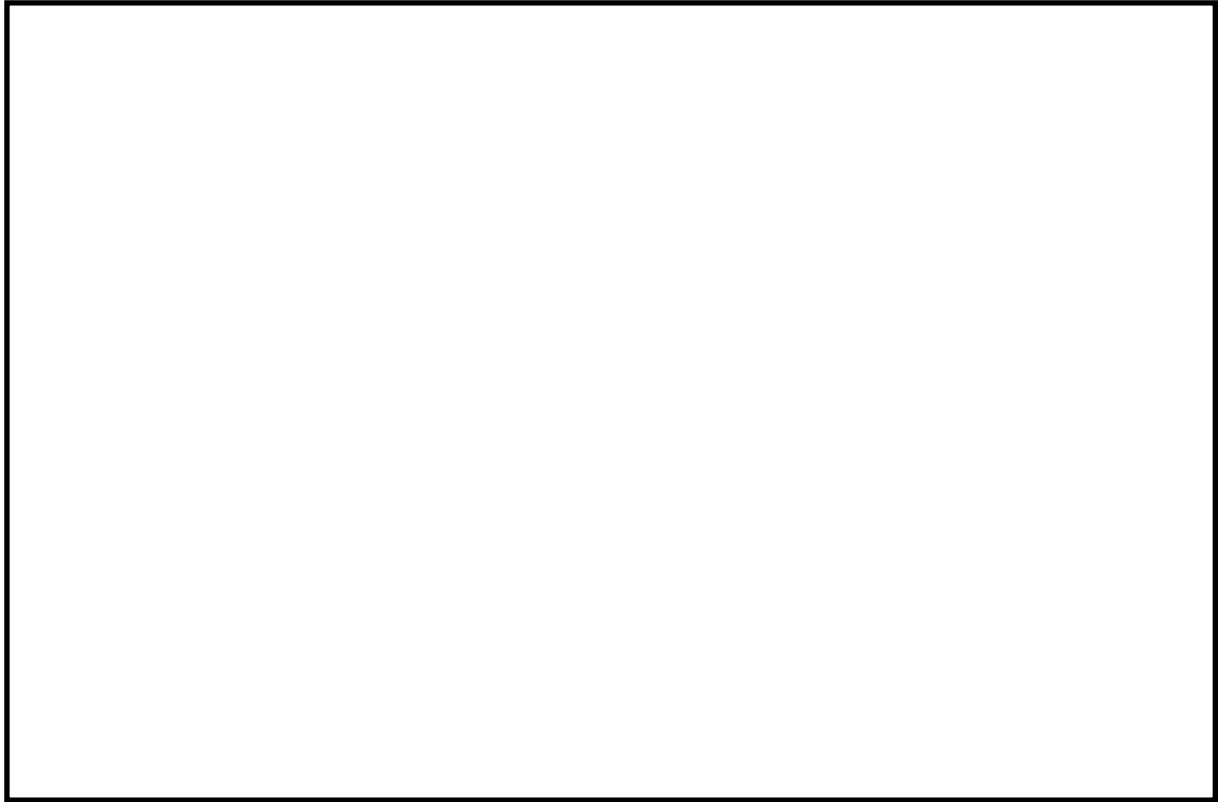


図 3.4-3 振動モード (NS 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

表 3.4-2 固有値解析結果 (EW 方向モデル)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.138	—	9.147	—
2 次	水平	0.129	—	3.013	—
3 次	水平	0.073	—	1.943	—
4 次	水平	0.059	—	0.550	—
5 次	水平	0.051	—	-0.109	—
6 次	水平	0.038	—	—	—

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

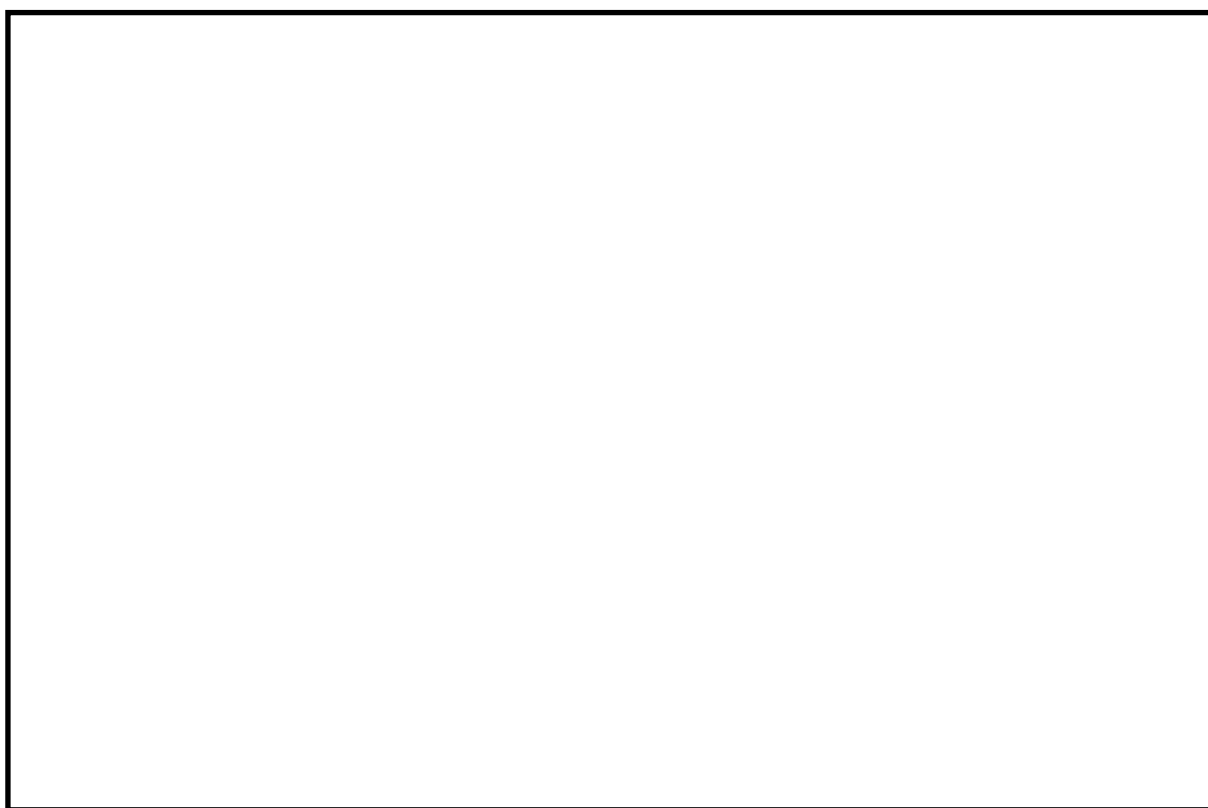


図 3.4-4 振動モード (EW 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)

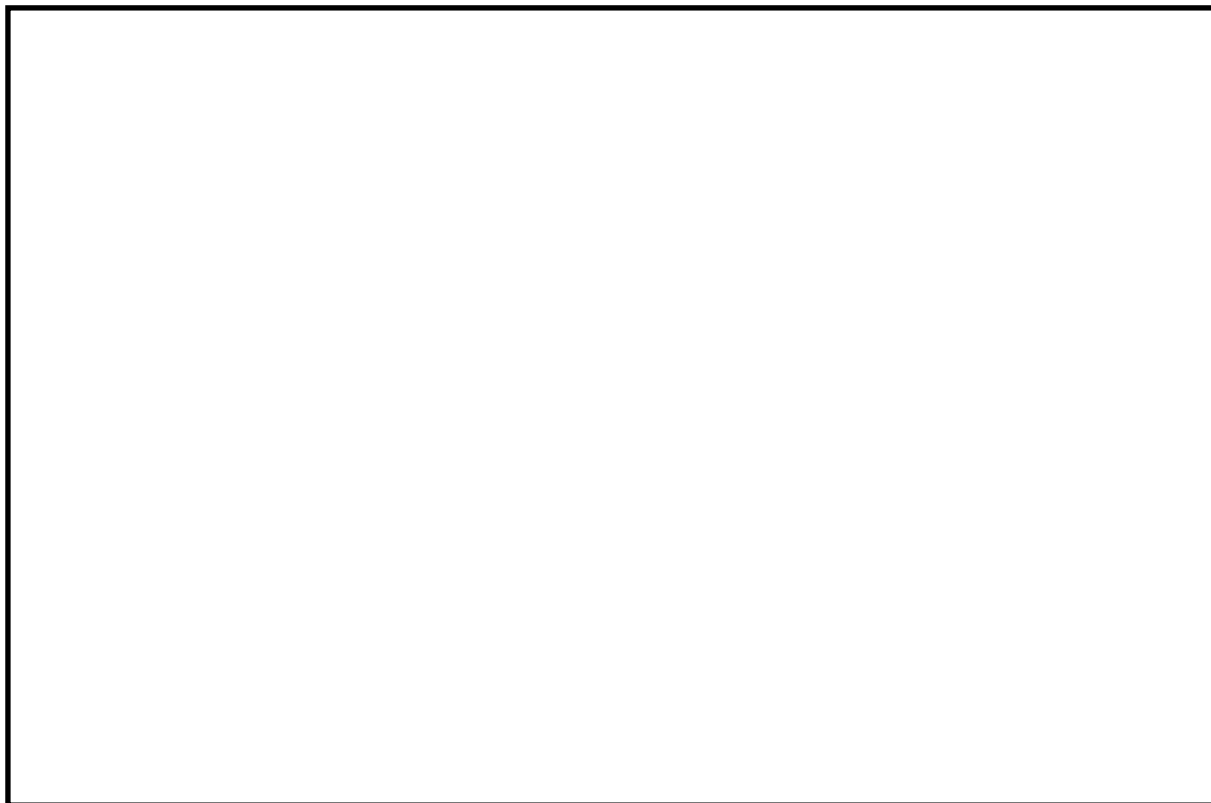


図 3.4-5 振動モード (EW 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

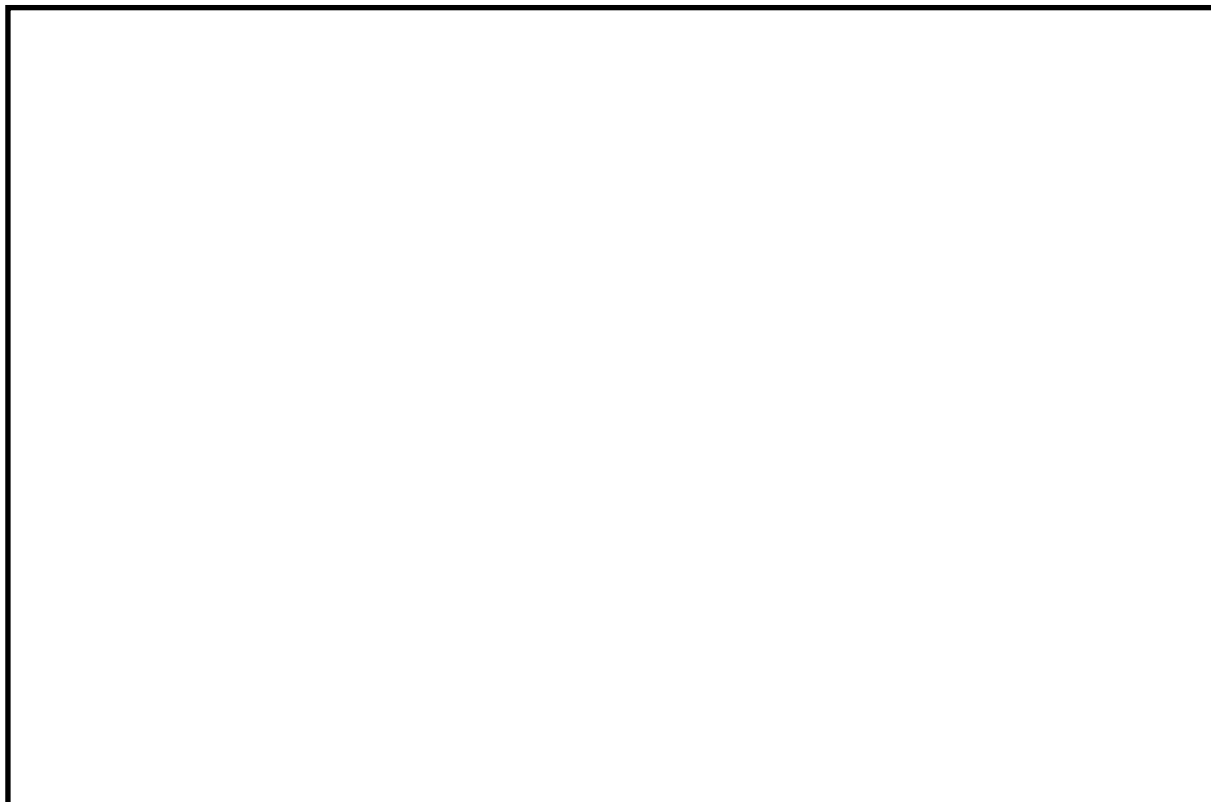


図 3.4-6 振動モード (EW 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力に対する構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき行う。
- (2) 津波荷重は、ポンプ据付部より下のディスチャージケーシング、コラムパイプ等に作用するものとする。
- (3) 基礎ボルトの構造強度評価において、水平方向の地震荷重、ポンプ振動によりポンプベースに作用する荷重及び津波による荷重は、ポンプベースのリブを介して基礎に伝達されるため基礎ボルトに作用しない。ただし、循環水ポンプは電動機とポンプが独立した基礎を有する構造であることから、ポンプ回転により作用するモーメントを考慮して基礎ボルトの評価を行う。また、リブはポンプベースに溶接で固定されることから、リブ溶接部に対して評価を行う。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ

循環水ポンプの強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。循環水ポンプの荷重の組合せを表 3.5-1 に示す。

3.5.2.2 許容応力

循環水ポンプの許容応力は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容応力に基づき表 3.5-2 及び表 3.5-3 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

循環水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3.5-4 に示す。

表 3.5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	循環水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_t + P_h + S_d$	Ⅲ [△] S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 3.5-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容限界			
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
III A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_t$ の大きい方	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次応力
			一次 + 二次 + ピーク応力
			* 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要

注記*: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3.5-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	引張	せん断
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3.5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境温度	最高使用温度				
循環水ポンプ	基礎ボルト		□		—	198	504	205
	ディスクャーシケーシング			30	—	235	400	—

□

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうちNS方向を表3.5-5に、EW方向を表3.5-6に示す。

弾性設計用地震動S_dによる地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3.5-5 循環水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）（NS 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}		
固有周期(s)		水平：0.138 ^{*2} 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動S _d		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向	
1次	0.138	4.04	—	—
2次	0.129	4.04	—	—
3次	0.073	2.43	—	—
4次	0.059	1.48	—	—
5次	0.051	1.13	—	—
動的震度 ^{*5, *6}		0.80	—	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルI（弾性設計用地震動S_d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度II（弾性設計用地震動S_d）又は設計用震度II（弾性設計用地震動S_d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 3.5-6 循環水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）（EW 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}		
固有周期(s)		水平：0.138 ^{*2} 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動 S d		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.138	—	4.72	—
2 次	0.129	—	4.70	—
3 次	0.073	—	2.38	—
4 次	0.059	—	1.60	—
5 次	0.051	—	1.28	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	0.95	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 津波荷重の計算方法

(1) 津波による静水圧荷重

ポンプに作用する静水圧荷重の計算式は下式になる。

$$F_u = \rho \cdot g \cdot (h - z) \cdot A_{bas} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1)$$

(2) 津波による水平津波荷重

水平津波荷重によるポンプが受ける単位長さ当たりの流体抗力（等分布荷重）は下式になる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D_{cmo}}{1000} \right) / 1000 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.2)$$

この流体抗力によりポンプ据付部を固定端とする片持ちはりに等分布荷重が作用するので反力と曲げモーメントは下式となる。

反力と曲げモーメント計算式

$$F_a = F_D \cdot L \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.3)$$

$$M_a = \frac{1}{2} F_D \cdot L^2 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.4)$$

3.5.4.2 基礎ボルトの応力計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れた基礎ボルトについて計算する。

地震による引張力

$$F_b = \frac{\sqrt{M_0^2 + \left(C_v \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2} \right)^2} + M_{cp} + (C_p - 1) \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.1)$$

ここで、 M_0 及び M_{cp} は解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.2)$$

津波による引張力

$$F_{bt} = \frac{M_{fb} + \frac{3}{8} F_u \cdot D}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b + F_{bt}}{A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.2.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (3.5.4.2.5)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力は地震応答解析により求める Q_b 、ポンプ回転により作用するモーメント M_p 及び水平津波荷重による反力を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + 2 \cdot M_p / D + Q_{bt}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.2.6)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (3.5.4.2.7)$$

$$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$$

3.5.4.3 ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた結果により、ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

(1) ポンプ振動による震度により生じる水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.1)$$

(2) 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.2)$$

(3) 自重及びポンプ振動による震度により生じる鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1 + C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.3)$$

(4) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.4)$$

(5) 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.6)$$

(6) 水平津波荷重による応力

$$\sigma_{pm} = \frac{M_{pm}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.7)$$

以上の(1)～(6)の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{pm} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots\dots\dots (3.5.4.3.8)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

3.5.4.4 リブ溶接部の応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，リブ溶接部に生じる応力を次式で求める。なお，評価にあたり，リブ板厚より溶接部のど厚の方が小さいため保守的にこのど厚にて応力を算出する。

$$\tau_R = \frac{Q_R}{\left(\pi \cdot \frac{D_R + d_R}{2}\right) \cdot L_R} \dots\dots\dots (3.5.4.4.1)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】、の設計条件及び機器要目に示す。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

3.5.4.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.5.6.2 ディスチャージケーシングの応力評価

3.5.4.3項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、 S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S_{da}
	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.5.6.3 リブ溶接部の応力評価

3.5.4.4 項で求めた応力が周囲環境温度における許容応力以下であること。ただし、許容応力は下表による。

応力の種類	許容応力
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合
せん断応力	$1.5 \cdot f_s$

3.6 評価結果

3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環水ポンプの設計基準対象施設としての強度評価結果を以下に示す。循環水ポンプはNS方向及びEW方向で解析モデルが異なるため、各方向に対する強度評価結果を記載する。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設 (NS 方向)

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
循環水ポンプ	S	取水槽 EL. 1.1*1	0.138	0.05 以下	$C_H = 0.80^{*2}$ 又は *3	$C_V = 0.63^{*2}$	$C_p = 0.01$	30		0.31

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) 又は設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト					12	12	1.337×10^8	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージケーシング	—	235* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	400* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

(3) リブ溶接部

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D (mm)	d (mm)	L (mm)
リブ	—	231* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	394* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)			

注記*: 周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M ₀ (N・mm)		M _{CP} (N・mm)	M _{fb} (N・mm)	F _{bt} (N)	Q _{bd} (N)	Q _{bt} (N)
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d					
基礎ボルト							

(2) ディスチャージケージングに作用する力

部材	M _d		M _{dCP}	M _{pm}
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d		
ディスチャージ ケージング				

(3) リブ溶接部に作用する力 (単位: N)

部材	Q
	弾性設計用地震動 S _d
リブ	

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)	
方向	固有周期
水平方向	0.138
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 基礎ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 100$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 118$

すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.3 デイスチャージケーシングの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
デイスチャージケーシング		弾性設計用地震動 S _d	$\sigma_d = 71$ S _{da} = 235

すべて許容応力以下である。

1.4.4 リブ溶接部の応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
リブ		せん断	5	159

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

1.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C _D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.45
コラムパイプ外径	D _{cmo}	mm	2644
ポンプ据付部からバルマウス先端までの長さ	L	mm	9850
津波荷重を受ける面積	A _{bas}	m ²	8.553

1.5.2 耐震モデル関連

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	3		6.182×10 ⁸
2	2-3	3		6.182×10 ⁸
3	3-4	3		6.182×10 ⁸
4	4-5	3		6.182×10 ⁸
5	5-6	3		6.182×10 ⁸
6	6-7	3		6.182×10 ⁸
7	7-8	3		6.182×10 ⁸
8	8-9	3		6.182×10 ⁸
9	9-10	3		6.182×10 ⁸
10	10-11	3		6.182×10 ⁸
11	11-12	3		6.182×10 ⁸
12	12-13	3		3.321×10 ⁹
13	13-50	3		6.182×10 ⁸
14	14-15	3		4.833×10 ⁸
15	15-16	4		2.013×10 ⁹
16	16-17	4		3.017×10 ⁸
17	17-18	6		5.510×10 ⁸
18	19-20	1		3.595×10 ¹⁰
19	20-21	2		7.821×10 ⁹
20	21-22	2		7.821×10 ⁹
21	22-23	2		1.343×10 ⁹
22	23-24	2		1.343×10 ⁹
23	24-25	2		1.343×10 ⁹
24	25-26	2		7.550×10 ⁹
25	26-27	2		1.486×10 ⁹
26	27-28	2		1.486×10 ⁹
27	28-29	2		1.486×10 ⁹
28	29-51	2		1.486×10 ⁹
29	31-32	1		6.765×10 ¹⁰
30	32-33	1		9.954×10 ¹⁰
31	33-34	1		2.053×10 ¹¹
32	34-35	1		2.053×10 ¹¹
33	35-36	2		1.557×10 ¹¹
34	36-37	2		1.557×10 ¹¹
35	37-38	2		1.557×10 ¹¹
36	38-39	2		1.557×10 ¹¹
37	39-40	2		1.557×10 ¹¹
38	40-41	2		1.778×10 ¹¹
39	41-42	2		1.778×10 ¹¹
40	42-43	2		1.557×10 ¹¹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		



(4) 節点の質量

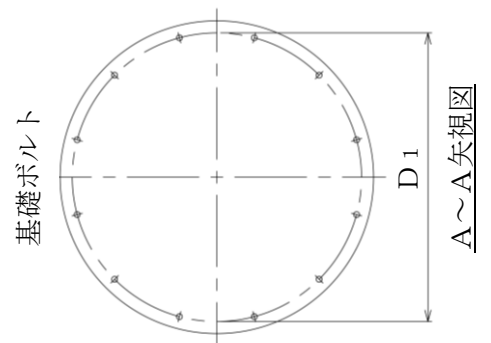
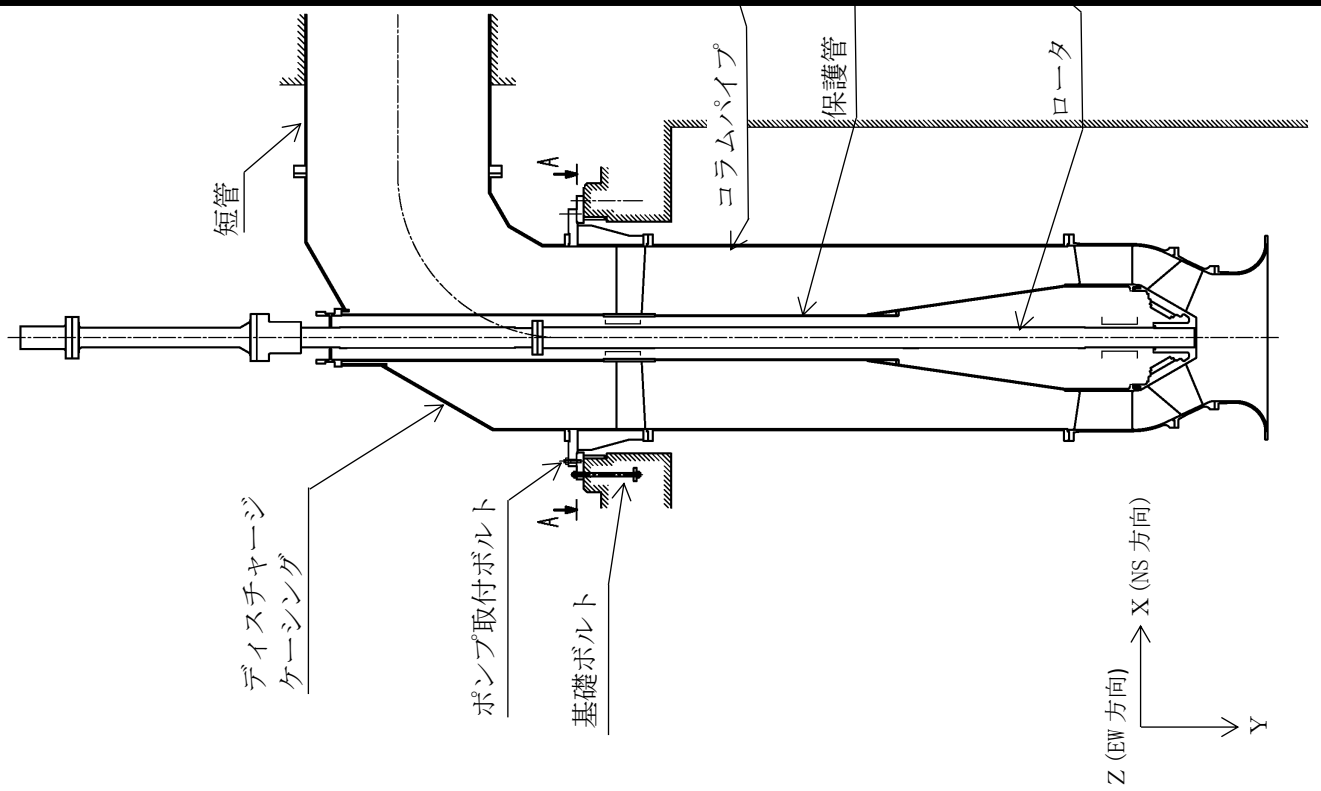
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4		2.00×10^5		0.3	
5		2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	



【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設 (EW 方向)

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
循環水ポンプ	S	取水槽 EL. 1.1*1	0.138	0.05 以下	$C_H = 0.95^{*2}$ 又は *3	$C_V = 0.63^{*2}$	$C_p = 0.01$	30	<input type="text"/>	0.31

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度

*3: 設計用床芯答スベクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床芯答スベクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12	12	1.337×10^8	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージャージケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージャージケーシング	—	235* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	400* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*: 最高使用温度で算出

(3) リブ溶接部

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D (mm)	d (mm)	L (mm)
リブ	—	231* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	394* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*: 周囲環境温度で算出

H _p (μm)	<input type="text"/>
N (rpm)	<input type="text"/>

2.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M ₀ (N・mm)		M _{CP} (N・mm)	M _{fb} (N・mm)	F _{bt} (N)	Q _{bd} (N)	Q _{bt} (N)
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d					
基礎ボルト							

(2) ディスチャージングに作用する力

部材	M _d		M _{dCP}	M _{pm}
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d		
ディスチャージ ケーシング				

(単位: N・mm)

(3) リブ溶接部に作用する力 (単位: N)

部材	Q
	弾性設計用地震動 S _d
リブ	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)	
方向	固有周期
水平方向	0.138
鉛直方向	0.050 以下

2.4.2 基礎ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 124$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 118$

すべて許容応力以下である。 注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2.4.3 デイスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
デイスチャージケーシング		弾性設計用地震動 S _d	S _{da} = 235
		$\sigma_d = 80$	

すべて許容応力以下である。

2.4.4 リブ溶接部の応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
リブ		せん断	5	159

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

2.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C _D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.45
コラムパイプ外径	D _{cmo}	mm	2644
ポンプ据付部からバルマウス先端までの長さ	L	mm	9850
津波荷重を受ける面積	A _{bas}	m ²	8.553

2.5.2 耐震モデル関連
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)
1	1-2	3		6.182×10^8
2	2-3	3		6.182×10^8
3	3-4	3		6.182×10^8
4	4-5	3		6.182×10^8
5	5-6	3		6.182×10^8
6	6-7	3		6.182×10^8
7	7-8	3		6.182×10^8
8	8-9	3		6.182×10^8
9	9-10	3		6.182×10^8
10	10-11	3		6.182×10^8
11	11-12	3		6.182×10^8
12	12-13	3		3.321×10^9
13	13-50	3		6.182×10^8
14	14-15	3		4.833×10^8
15	15-16	4		2.013×10^9
16	16-17	4		3.017×10^8
17	17-18	6		5.510×10^8
18	19-20	1		3.595×10^{10}
19	20-21	2		7.821×10^9
20	21-22	2		7.821×10^9
21	22-23	2		1.343×10^9
22	23-24	2		1.343×10^9
23	24-25	2		1.343×10^9
24	25-26	2		7.550×10^9
25	26-27	2		1.486×10^9
26	27-28	2		1.486×10^9
27	28-29	2		1.486×10^9
28	29-51	2		1.486×10^9
29	31-32	1		6.765×10^{10}
30	32-33	1		9.954×10^{10}
31	33-34	1		2.053×10^{11}
32	34-35	1		2.053×10^{11}
33	35-36	2		1.557×10^{11}
34	36-37	2		1.557×10^{11}
35	37-38	2		1.557×10^{11}
36	38-39	2		1.557×10^{11}
37	39-40	2		1.557×10^{11}
38	40-41	2		1.778×10^{11}
39	41-42	2		1.778×10^{11}
40	42-43	2		1.557×10^{11}

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

(4) 節点の質量

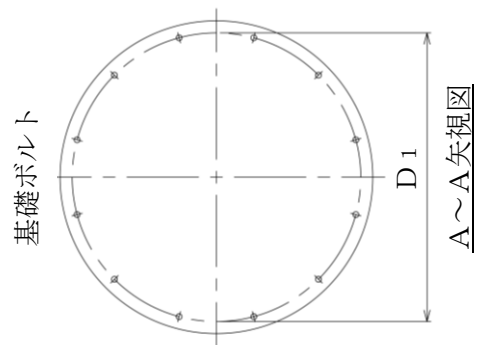
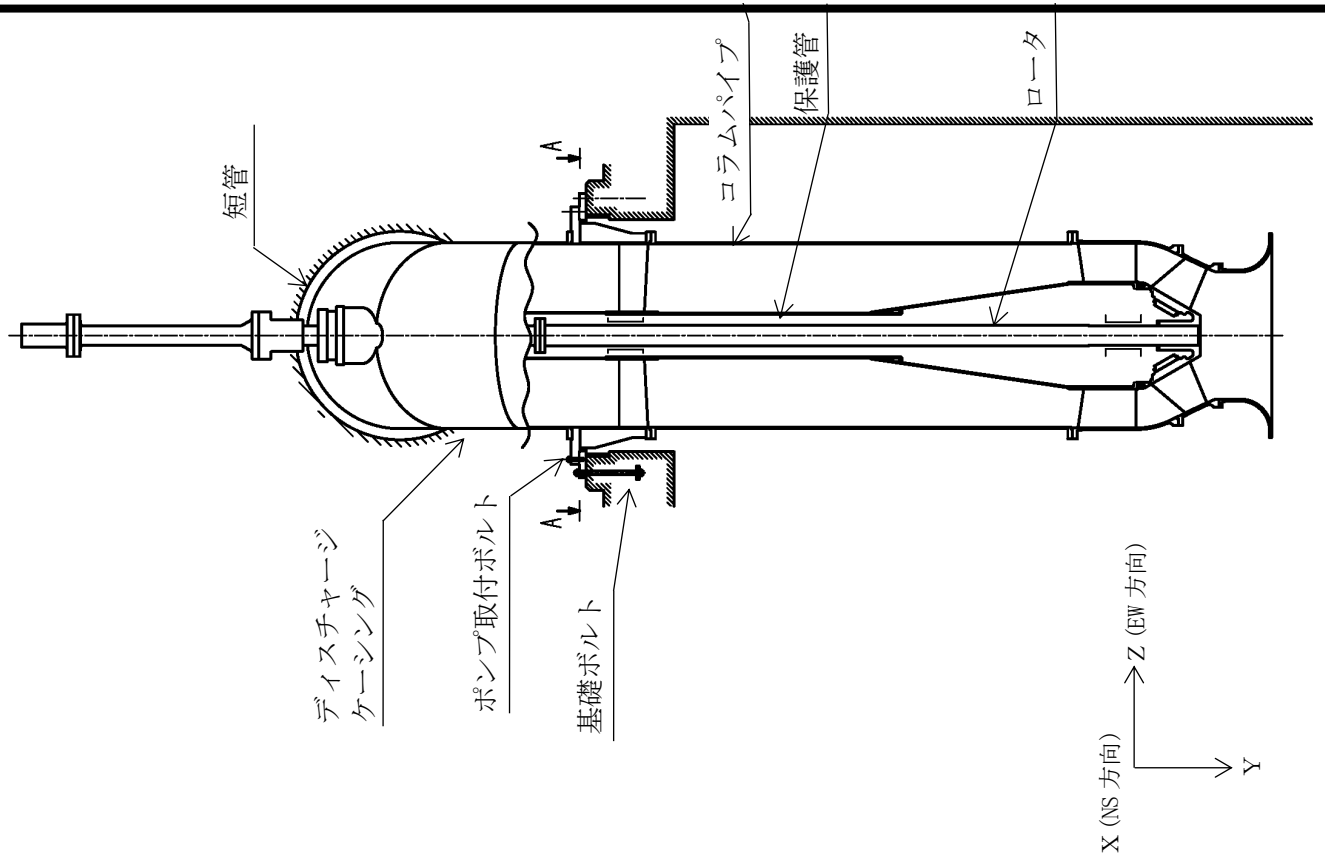
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4	□	2.00×10^5		0.3	
5	□	2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	



4. 配管及び隔離弁

4.1 概要

本計算書は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、浸水防護施設のうち配管及び隔離弁が津波によって生じる静水圧及び余震を考慮した荷重に対して十分な構造強度を有し、浸水防止機能を保持することを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

浸水防護施設の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全24モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.4.2(3)に記載する。

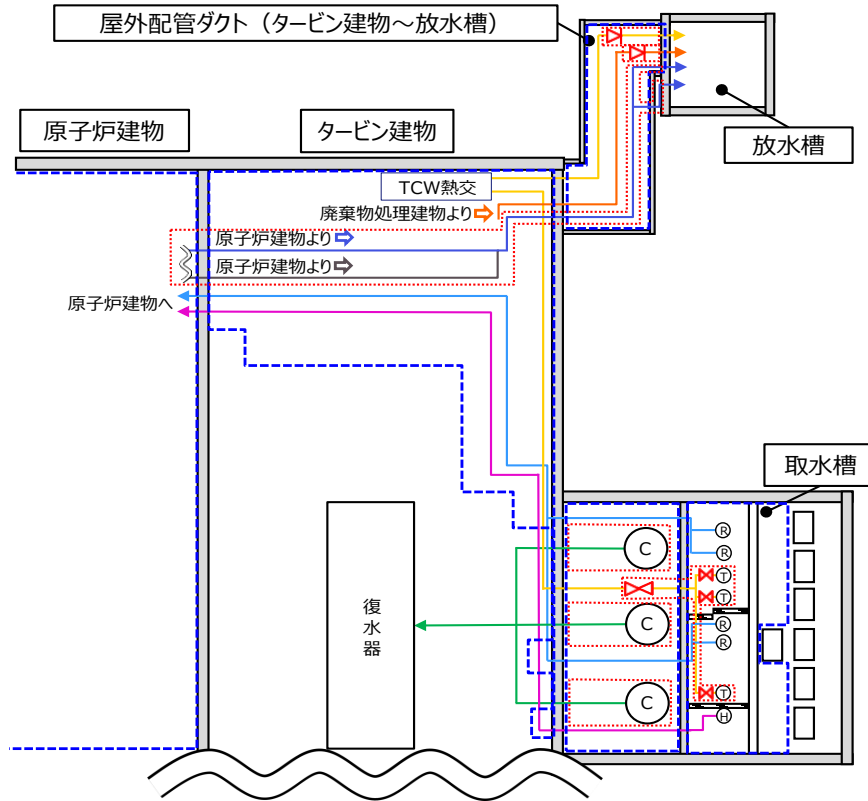
(2) 隔離弁

水圧試験により確認した圧力の弁本体に想定される算出圧力に対する裕度が最小となる弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

4.2 配置概要，概略系統図及び鳥瞰図

4.2.1 配置概要

図4.2-1に示すとおり，浸水防護重点化範囲への津波の流入を防止するため，隔離弁を設置するとともに，バウンダリ機能を保持する配管を設置する。



【凡例】

- : Sクラスとする範囲
- X : 隔離弁（電動弁，逆止弁）
- : 浸水防護重点化範囲
- ← : 原子炉補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 原子炉補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : タービン補機海水系配管（Cクラス）
- ← : 循環水系配管（Cクラス）（点線部は埋設配管を示す）
- ← : 液体廃棄物処理系配管（Cクラス）


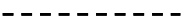
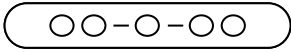


- R : 原子炉補機海水ポンプ（Sクラス）
- H : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（Sクラス）
- T : タービン補機海水ポンプ（Cクラス）
- C : 循環水ポンプ（Cクラス）

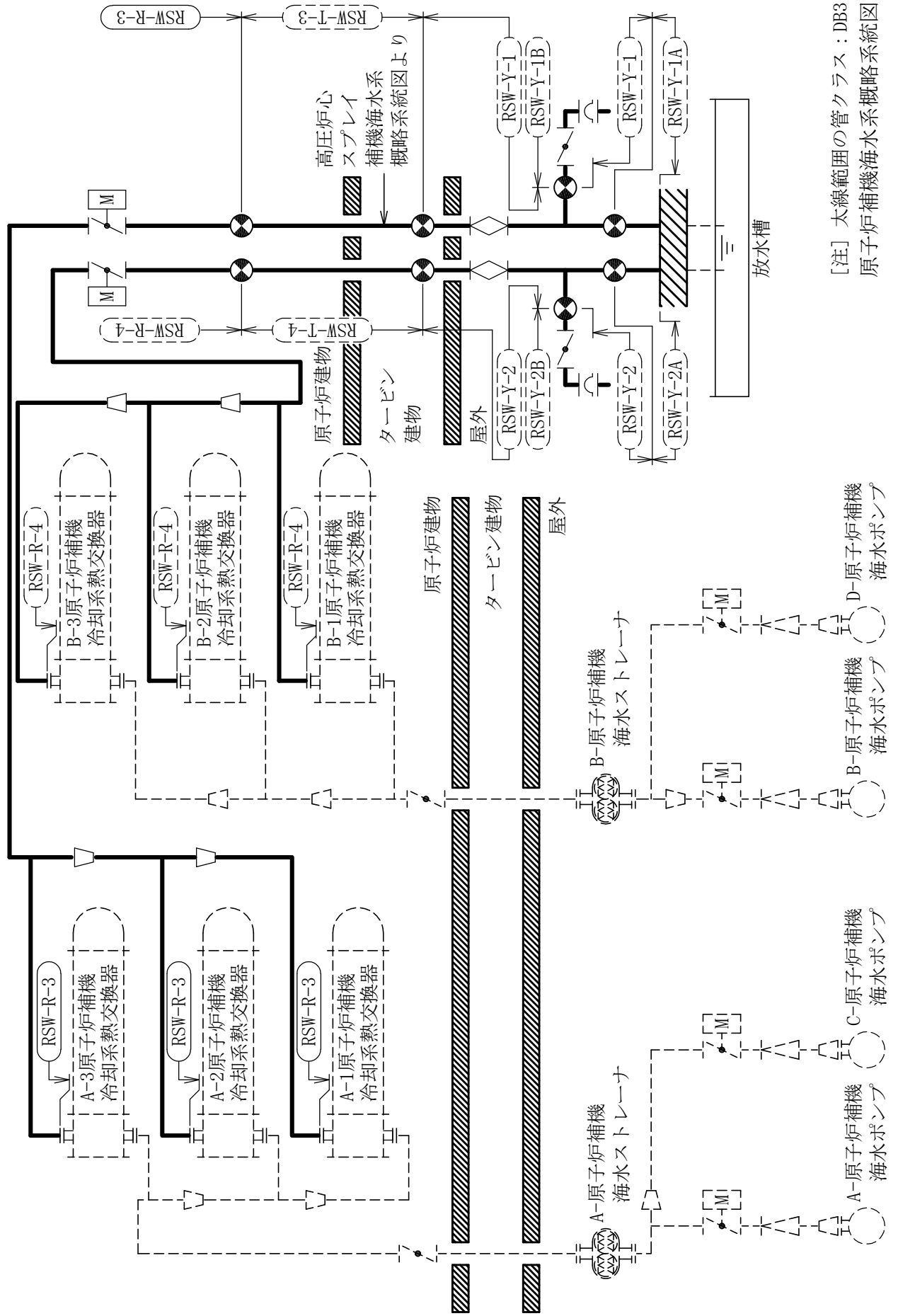
注) 浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図4.2-1 配置概要

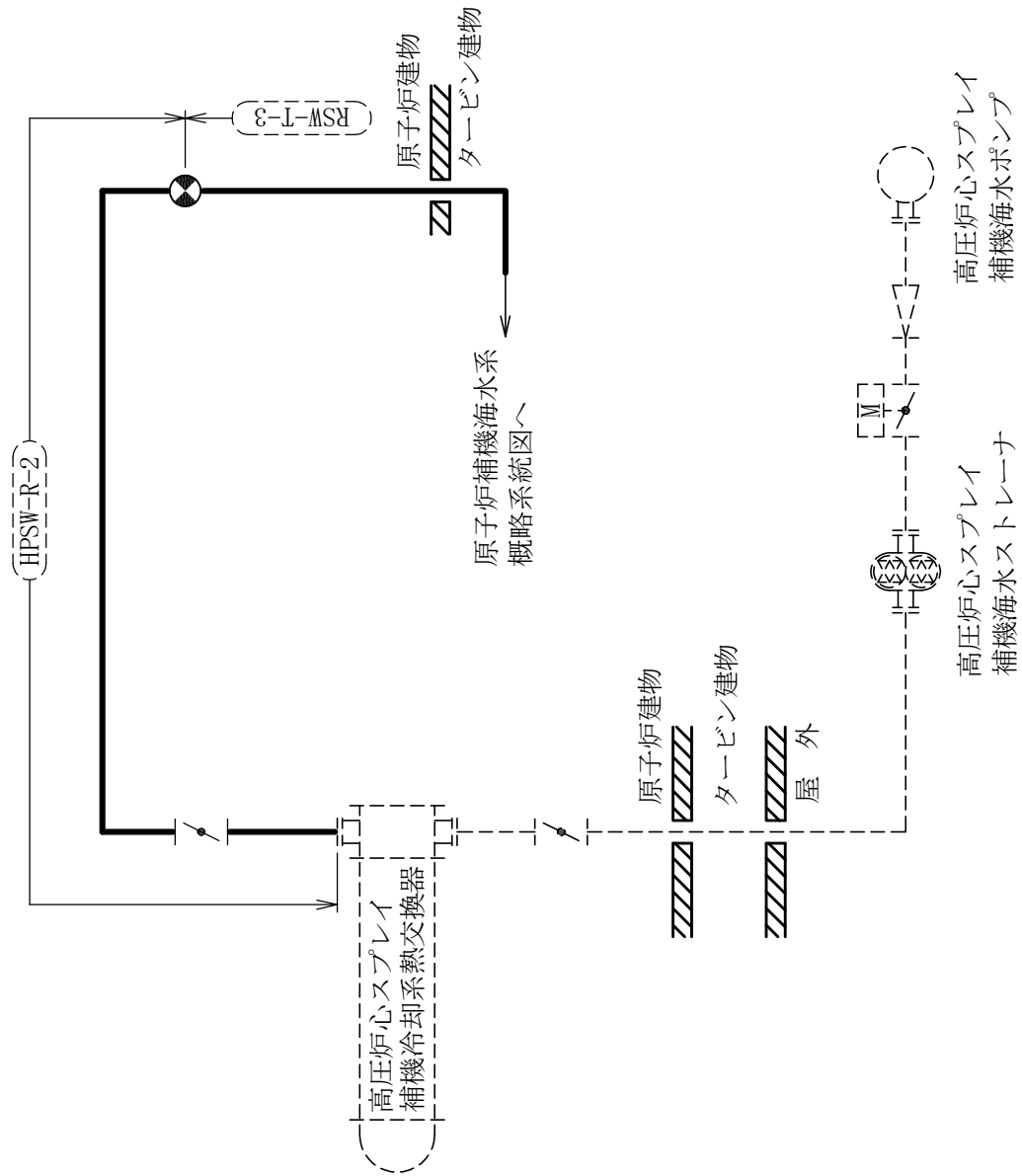
4.2.2 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

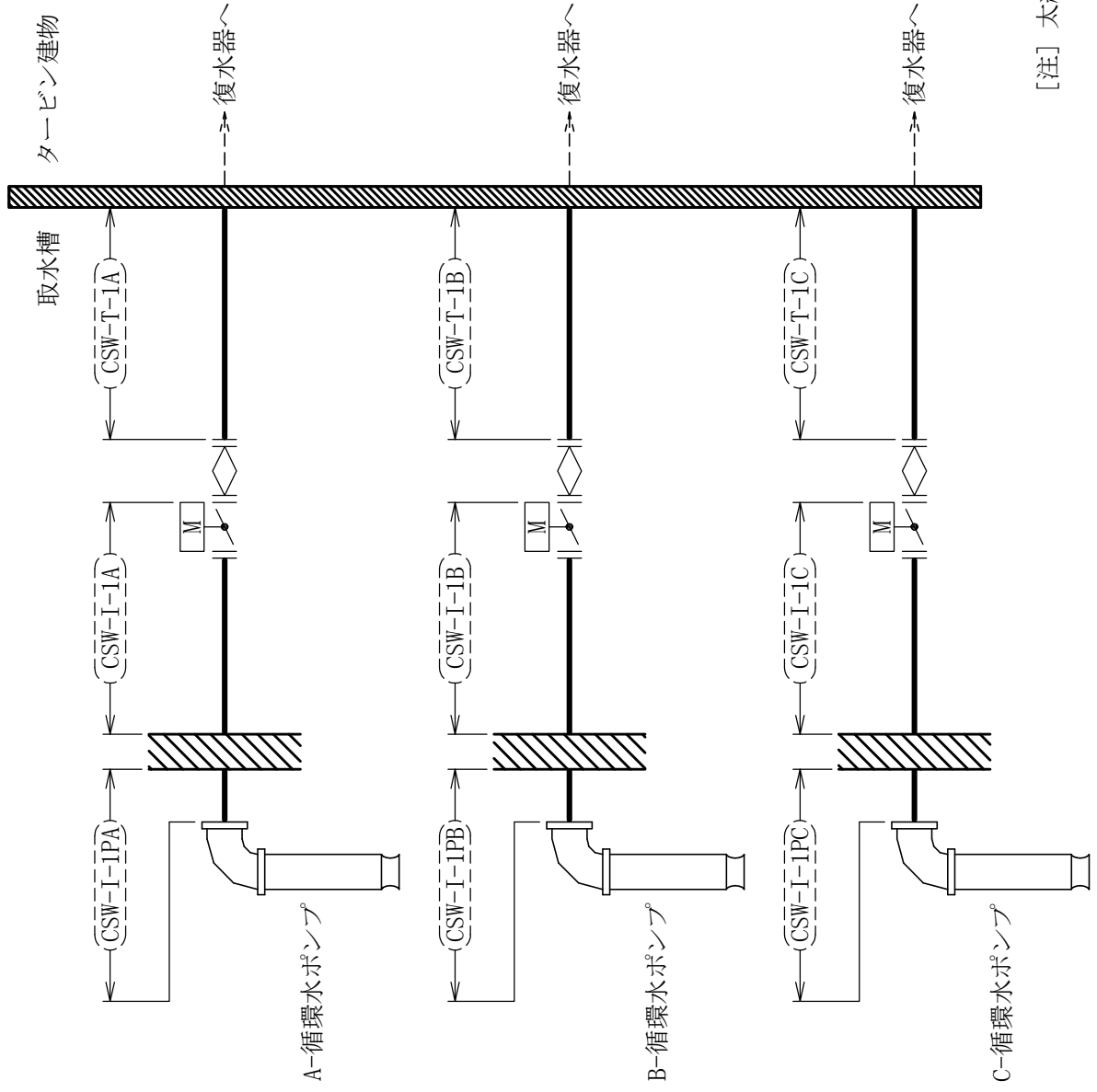


[注] 太線範囲の管クラス：DB3
原子炉補機海水系概略系統図

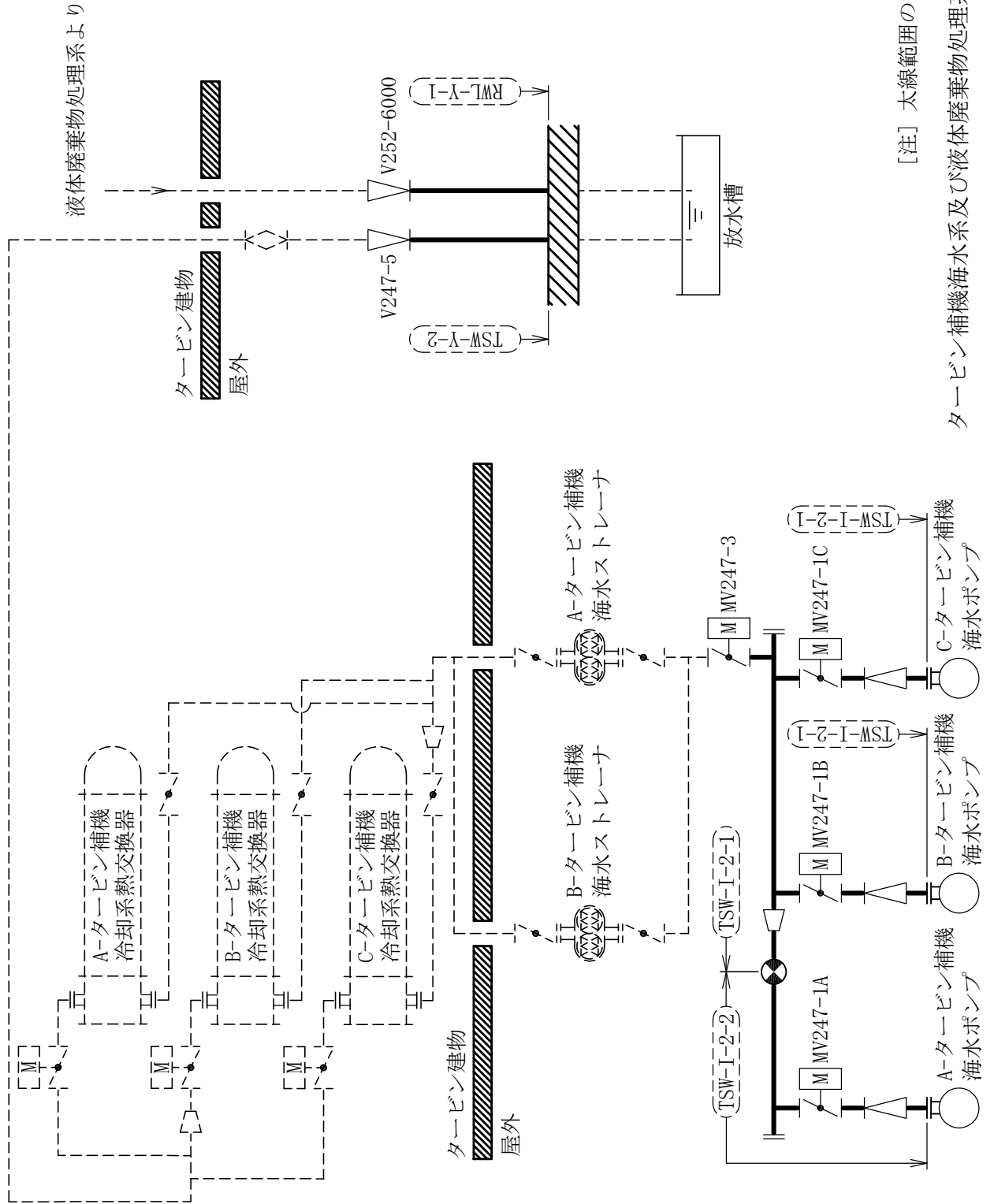


[注] 太線範囲の管クラス：DB3

高圧炉心スプレー補機海水系概略系統図



[注] 太線範囲の管クラス：DB3
 循環水系概略系統図
 (取水槽廻り)


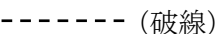


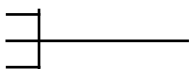
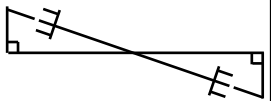
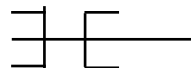
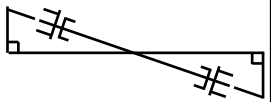

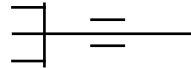
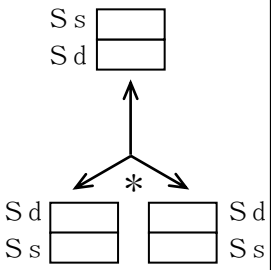


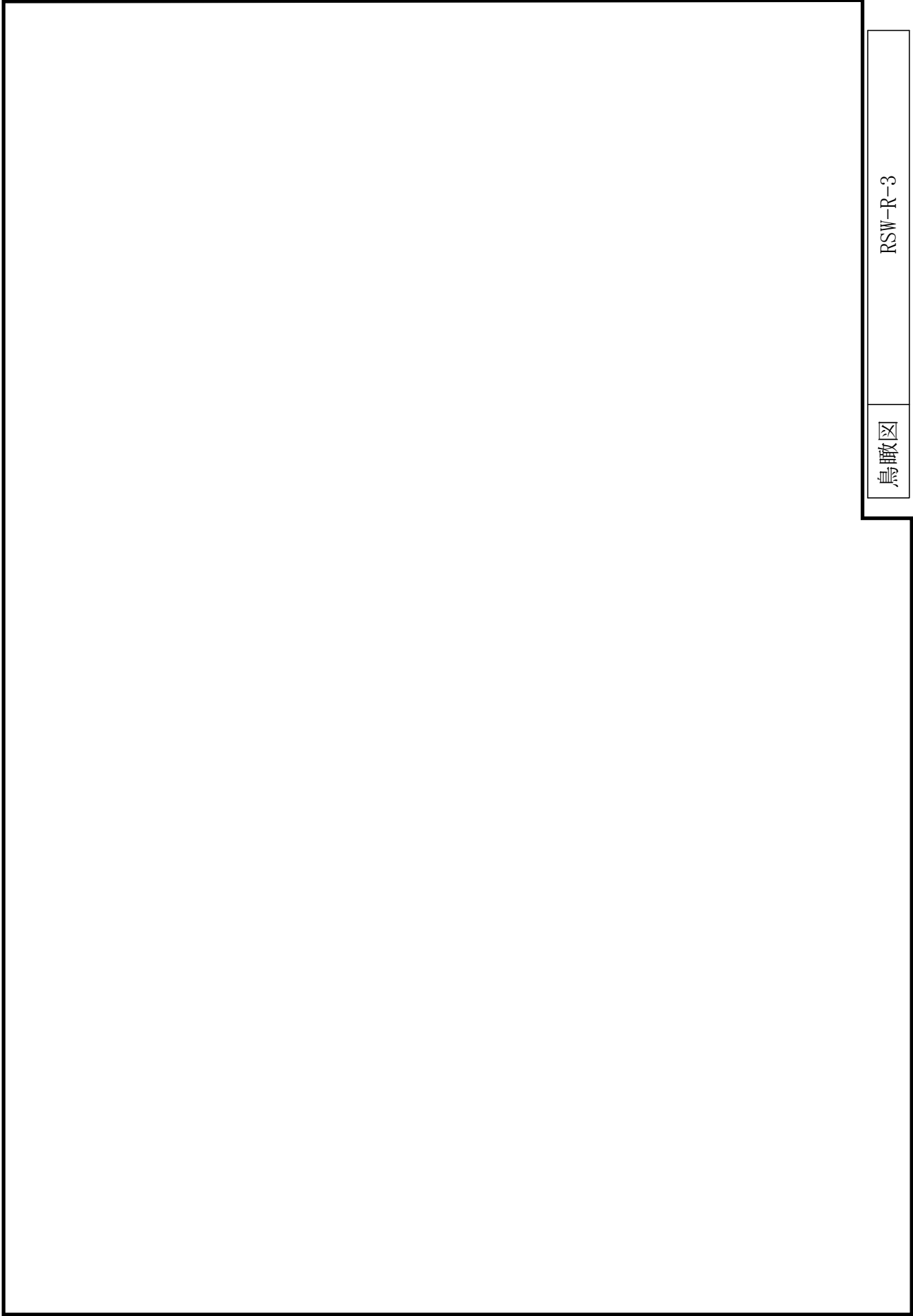
[注] 太線範囲の管クラス：DB3

タービン補機海水系及び液体廃棄物処理系概略系統図

4.2.3 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図

RSW-R-3

4.3 計算条件

4.3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」又は「M S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

また、隔離弁は、弁体に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認する。

なお、津波によって生じる静水圧 P_h は、基準津波による水位を考慮する。津波によって生じる静水圧 P_h は以下の式により算出する。ここで、 ρ は海水密度、 g は重力加速度、 h は津波評価高さを示す。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*1	許容応力状態*2
浸水防護施設 (浸水防止設備)	—	原子炉補機海水系	クラス3管	S	D+Ph+Sd	ⅢAS
		高压炉心スプレイ補機海水系				
		循環水系				
		タービン補機海水系				
		液体廃棄物処理系				

注記*1：Dは自重荷重，Phは津波による静水圧荷重，Sdは余震荷重（動水圧含まない。）を示す。自重荷重（D）及び余震荷重（Sd）の組合せが，静水圧による荷重を緩和する方向に作用する場合は，保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

*2：管の許容限界は，VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に基づき，許容応力状態ⅢASを用いる。なお，隔離弁の許容限界は，水圧試験により確認した圧力とする。水圧試験では，隔離弁の閉状態に対して，静水圧を負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

4.3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-R-3

管 番 号	対応する評価点	最高 使用 圧力* (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~12, 15~73N 22~79N	0.98	40	457.2	9.5	SM41A
2	13~19	0.98	40	558.8	9.5	SM41A
3	20~52F, 60F~67A	0.98	40	711.2	9.5	SM41A
4	55F~60F	0.98	40	711.2	9.5	SM400A

注記*：最高使用圧力が運転圧力と津波による静水圧が同時に作用する場合の圧力を包絡しているため，最高使用圧力を適用する。

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
□	1N～12, 15～73N, 22～79N
□	13～19
□	20～52F, 55F～67A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
	1N, 73N, 79N
	5F, 8F, 10F, 69F, 75F
	14F, 17F
	21F, 24F, 27F, 30F, 34F, 37F, 40F, 43F, 46F, 49F, 63F, 66F
	52F
	55F
	60F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	53		540
	5401		54

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
52F~53				53~540			
540~5401				5401~54			
53~55F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
401						
** 6001 **						
11						
18						
2201						
29						
33						
42						
50						
58						
64						
67A						
73N						
79N						

S2 補 VI-3-別添3-2-8 R0

4.3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41A	40	—	245	—	—
SM400A	40	—	245	—	—

隔離弁の許容限界を下表に示す。

弁番号	型式	評価部位	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.81
MV247-3	電動弁	弁本体	2.10
V247-5	逆止弁	弁本体	0.81
V252-6000	逆止弁	弁本体	1.47

4.3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RSW-R-3	原子炉建物				

4.4 解析結果及び評価

4.4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d ^{*2}			基準地震動 S s		
モード ^{*1}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直震度 ^{*3}	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度 ^{*4, *5}							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：余震条件として弾性設計用地震動 S d を考慮する。

*3：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

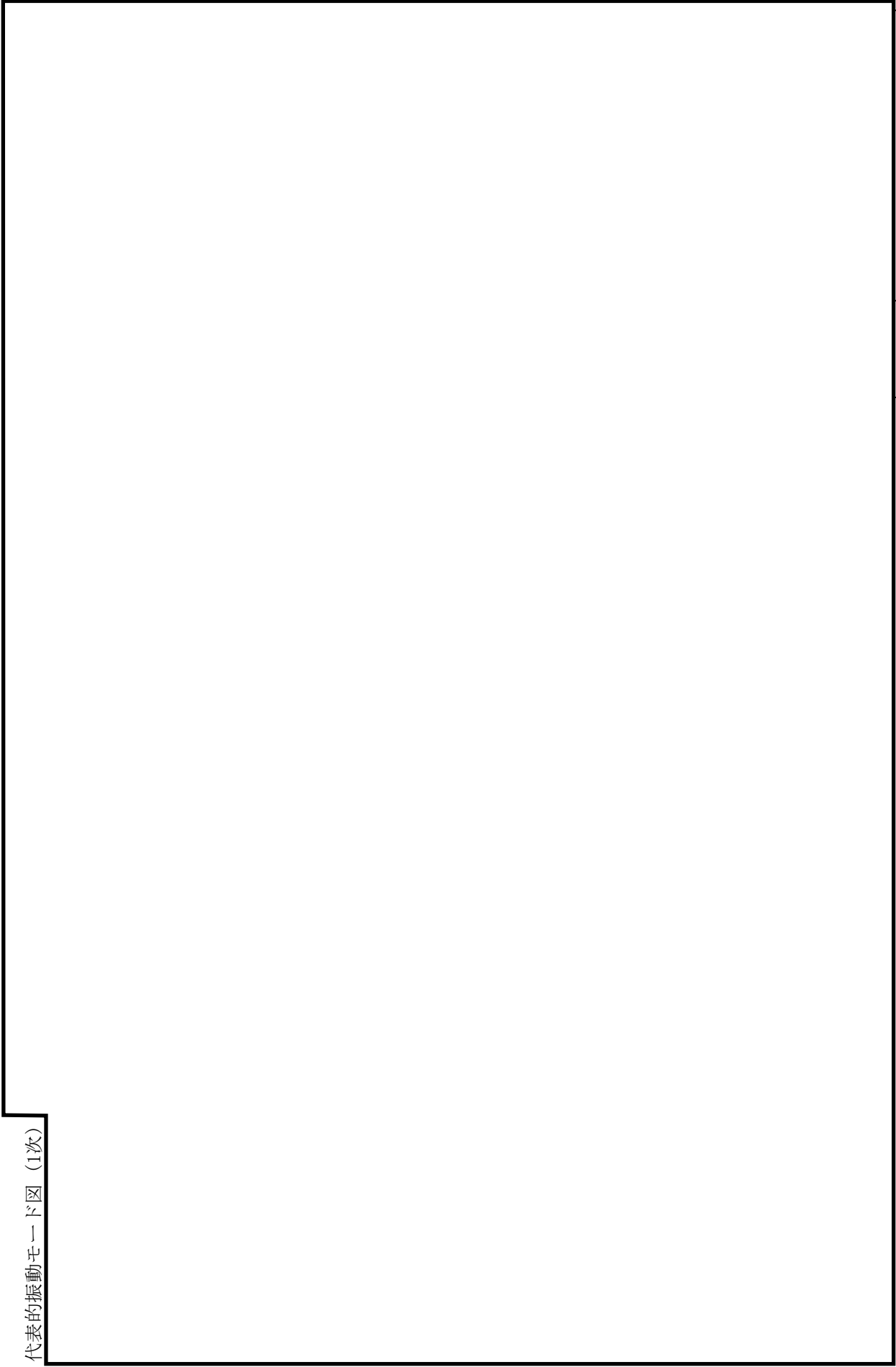
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

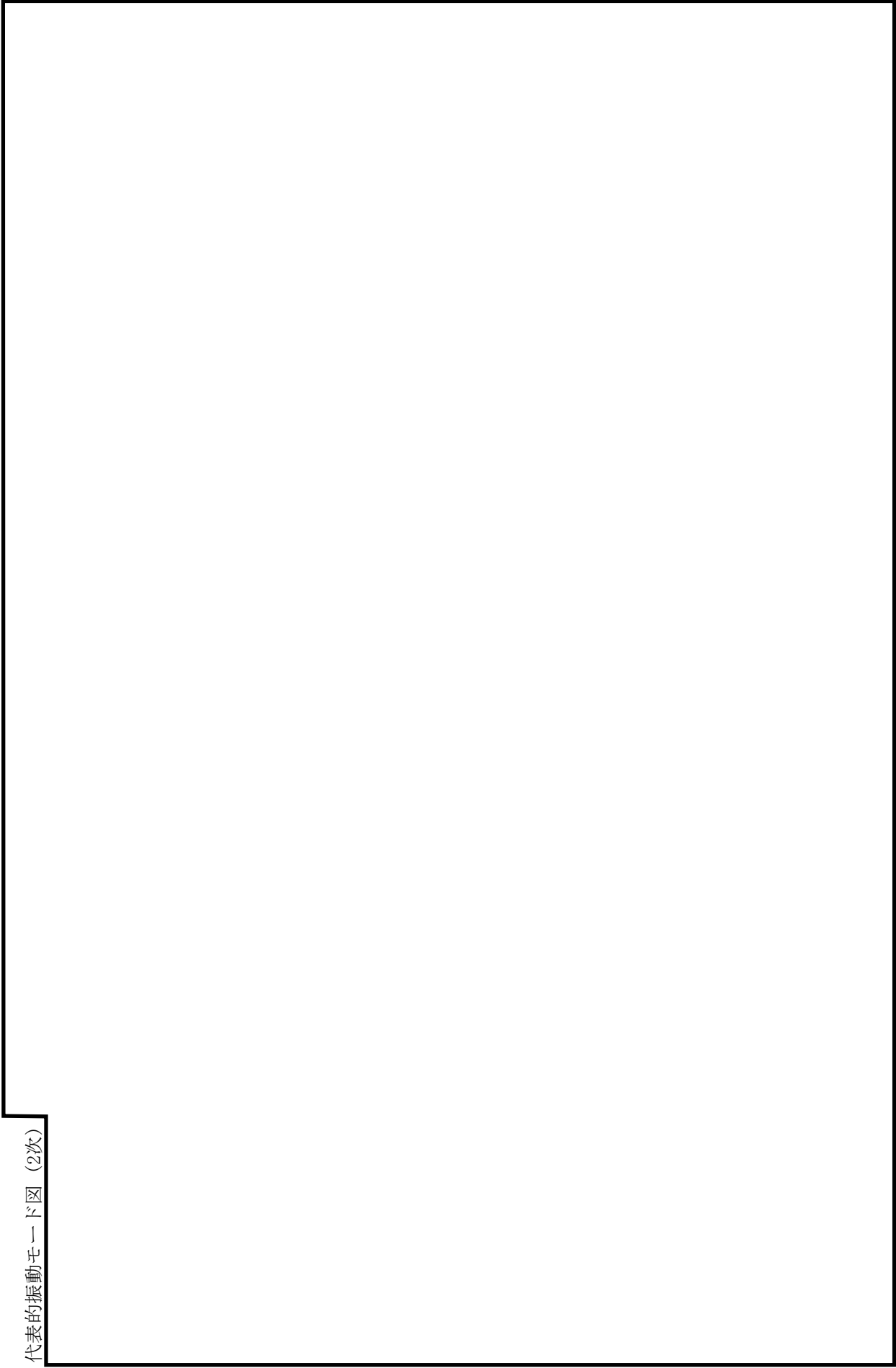
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

R S W - R - 3

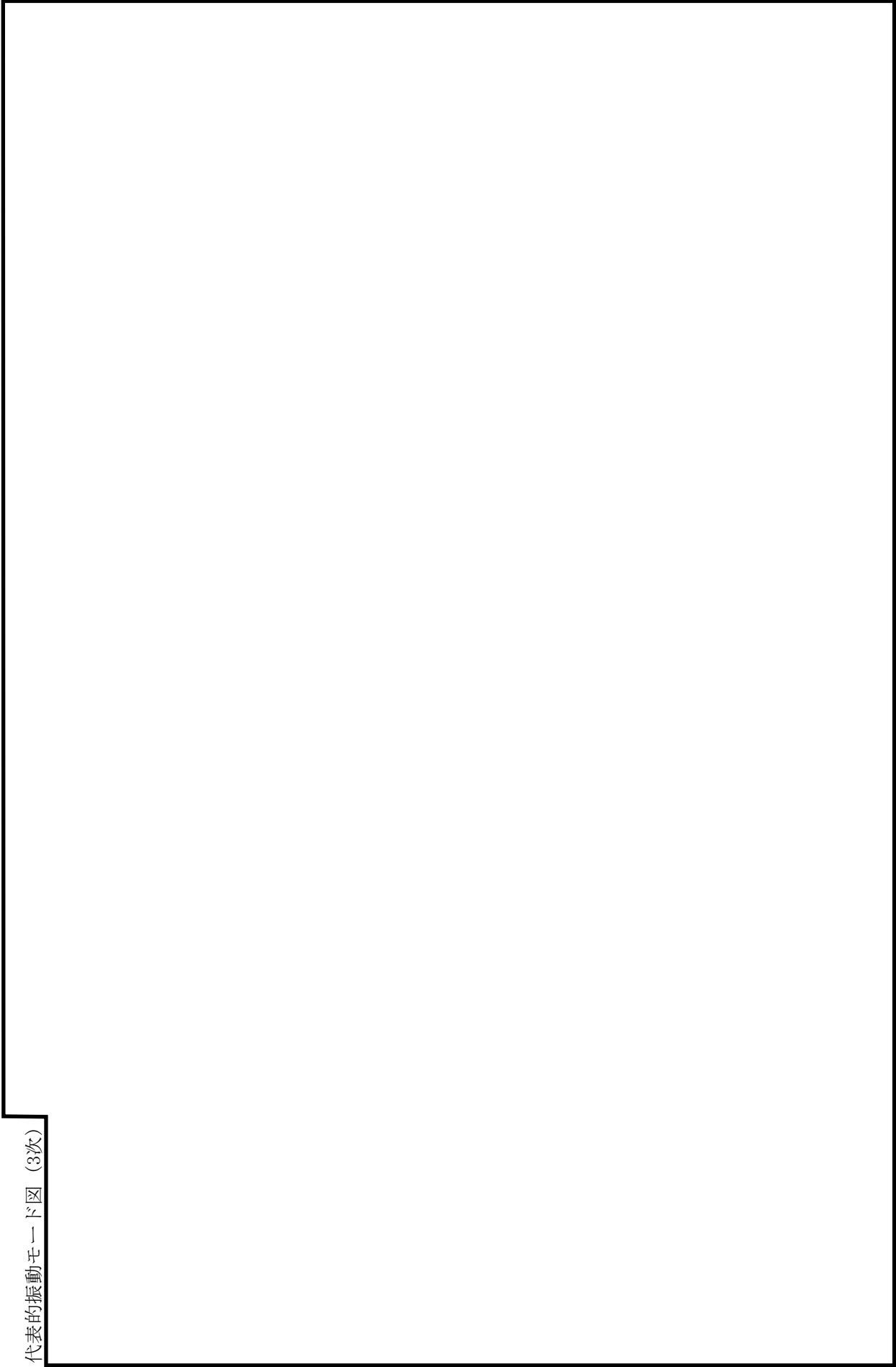
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

RSW-R-3

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

R S W - R - 3

4.4.2 評価結果

(1) 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力は許容値以下である。

クラス3管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価	
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
III _A S	一次応力 $S_{p r m}(S y^*)$	RSW-R-3	22	148	245

注記*：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $S y$ と1.2・ S のうち大きい方とする。

(2) 弁の健全性評価結果

下表に示すとおり発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることを確認した。

弁番号	型式	評価部位	発生圧力 (MPa)	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.17	0.81
V247-5	逆止弁	弁本体	0.31	0.81

(3) 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S				
		一次応力評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1	RSW-R-3	22	148	245	1.65	○
2	RSW-R-4	16	113	245	2.16	—
3	RSW-T-3	66	92	215	2.33	—
4	RSW-T-4	10	56	245	4.37	—
5	RSW-Y-1	411	50	245	4.90	—
6	RSW-Y-1A	813	35	245	7.00	—
7	RSW-Y-1B	816	47	245	5.21	—
8	RSW-Y-2	511	48	245	5.10	—
9	RSW-Y-2A	814	34	245	7.20	—
10	RSW-Y-2B	2	35	245	7.00	—
11	HPSW-R-2	36	71	215	3.02	—
12	CSW-T-1A	8A	32	235	7.34	—
13	CSW-T-1B	8A	32	235	7.34	—
14	CSW-T-1C	8A	32	235	7.34	—
15	CSW-I-1A	1A	16	235	14.68	—
16	CSW-I-1B	1A	16	235	14.68	—
17	CSW-I-1C	1A	16	235	14.68	—
18	CSW-I-1PA	4A	33	235	7.12	—
19	CSW-I-1PB	4A	33	235	7.12	—
20	CSW-I-1PC	4A	33	235	7.12	—
21	TSW-I-2-1	441	62	245	3.95	—
22	TSW-I-2-2	401	57	245	4.29	—
23	TSW-Y-2	7	63	245	3.88	—
24	RWL-Y-1	852	44	231	5.25	—