

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-40 改 02
提出年月日	2023年5月18日

VI-2-11-2-7-18 循環水ポンプ渦防止板の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-7-18 R0

2023年5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. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.3 設計用地震力	17
5.4 計算方法	19
5.5 計算条件	23
5.6 応力の評価	24
6. 評価結果	25
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	25
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	25

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である循環水ポンプ渦防止板（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による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することで、隣接している上位クラス施設である原子炉補機海水ポンプ（以下「RSWポンプ」という。）及び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。）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

循環水ポンプ渦防止板は、取水槽に設置されている。循環水ポンプ渦防止板は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設であるR SWポンプ及びHP SWポンプに隣接していることから、地震時に鋼板が損傷して脱落した場合は、R SWポンプ及びHP SWポンプに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

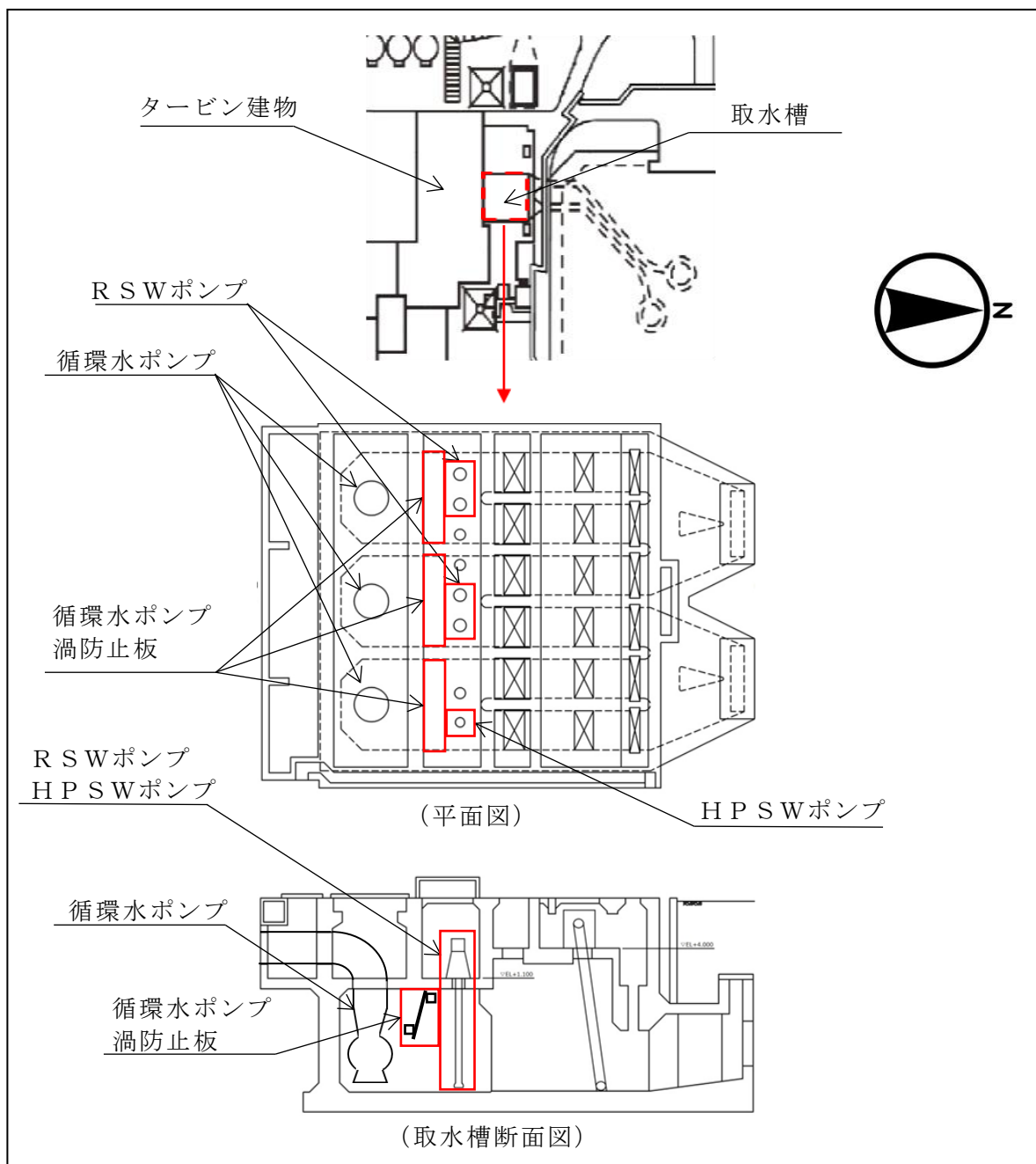


図 2-1 循環水ポンプ渦防止板と上位クラス施設の位置関係図

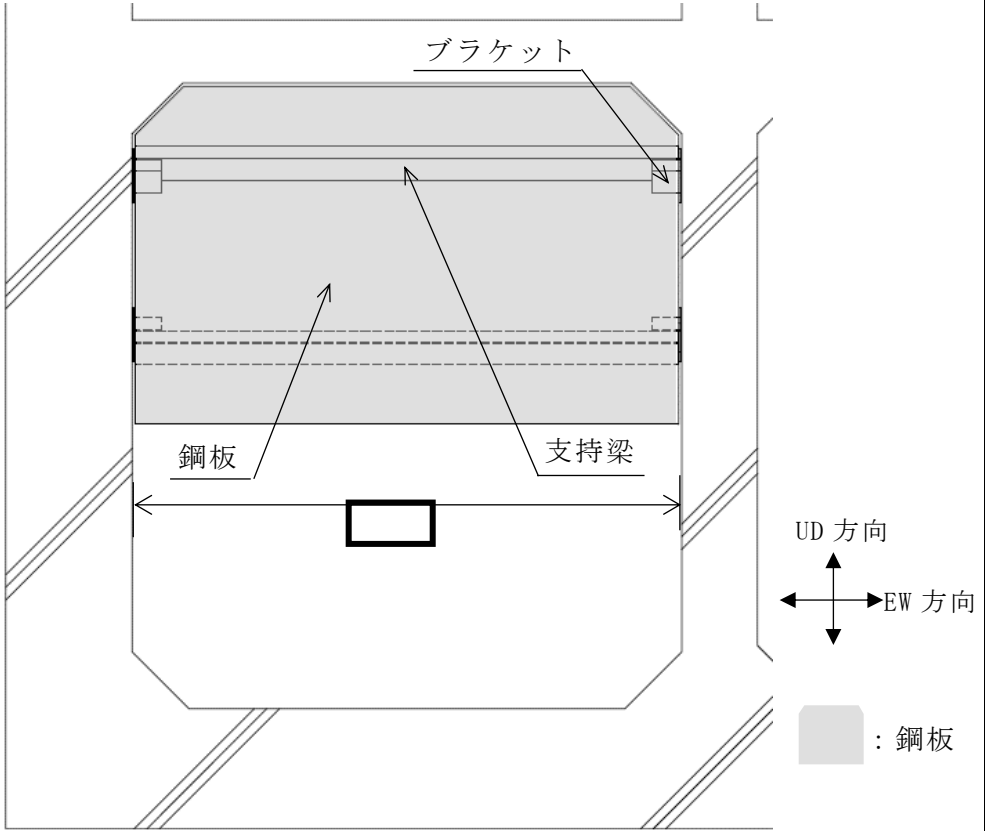
2.2 構造計画

循環水ポンプ渦防止板の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>鋼板は取付ボルト①で支持梁に固定され、支持梁は取付ボルト②でブラケットに固定される。ブラケットは基礎ボルトで取水槽壁に据え付ける。</p>	<p>鋼板, 支持梁, ブラケット, 取付ボルト及び基礎ボルトにより構成する。</p>	<p>(断面図)</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-1 構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		 <p>The diagram shows a schematic structural view of a rectangular structure. The structure consists of a central steel plate (鋼板) supported by a horizontal support beam (支持梁). Brackets (ブラケット) are attached to the top corners of the steel plate. The structure is supported by four diagonal bracing members. A coordinate system is shown on the right, with UD (Up/Down) direction pointing vertically and EW (East/West) direction pointing horizontally. A legend indicates that the shaded area represents the steel plate (鋼板). The unit is specified as mm (単位: mm). The diagram is labeled as a front view (正面図).</p> <p>(正面図)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.3 評価方針

循環水ポンプ渦防止板の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す循環水ポンプ渦防止板の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

循環水ポンプ渦防止板の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

なお、通常時水位において、表 2-1 に示す通り循環水ポンプ渦防止板は一部が気中に位置するが、大部分は没水しているため、耐震評価においては全て没水しているとして評価を実施する。

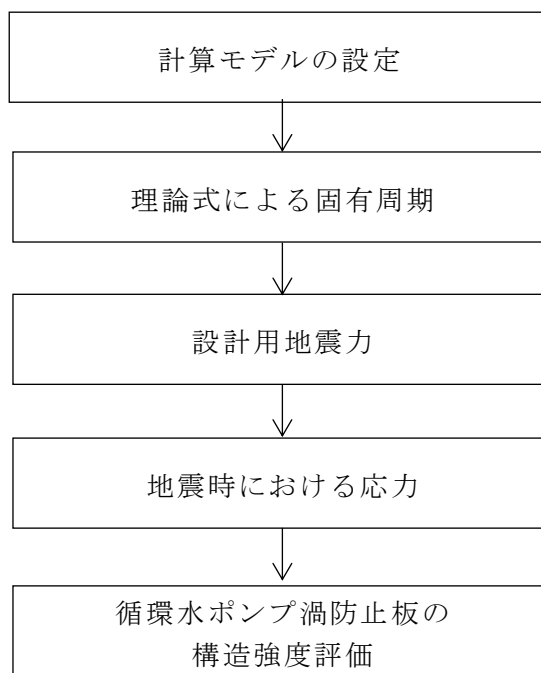


図 2-2 循環水ポンプ渦防止板の耐震評価フロー

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。)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Ab}	基礎ボルトの呼び径断面積	mm^2
A_B	支持梁の断面積	mm^2
A_{BR}	ブラケットの断面積	mm^2
A_{b1}	取付ボルト①の呼び径断面積	mm^2
A_{b2}	取付ボルト②の呼び径断面積	mm^2
A_{WBi}	支持梁のせん断断面積*	mm^2
A_{WBRi}	ブラケットのせん断断面積*	mm^2
A_{WP}	鋼板のせん断断面積	mm^2
C_D	抗力係数	—
C_{Hi}	水平方向設計震度*	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
e	ブラケットと鋼板の芯間距離	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
G	せん断弾性剛性	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
I_{Bi}	支持梁の断面2次モーメント*	mm^4
I_{BRi}	ブラケットの断面2次モーメント*	mm^4
L_B	支持梁の長さ	mm
L_{BR}	ブラケットの長さ	mm
L_C	鋼板の支持点間長さ	mm
L_L	鋼板の下側はね出し長さ	mm
L_U	鋼板の上側はね出し長さ	mm
L_{gh}	評価上鉛直方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルト間距離	mm
L_{gv}	評価上水平方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルト間距離	mm
M_1	循環水ポンプ渦防止板 (鋼板, 支持梁, ブラケット) の質量	kg
M_{11i}	循環水ポンプ渦防止板に対する水の付加質量*	kg
M_{Bi}	支持梁に生じる曲げモーメント*	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{BRi}	ブラケットに生じる曲げモーメント*	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	鋼板に生じる曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
N_{Ab}	基礎ボルトに生じる引張力	N
N_{b1}	取付ボルト①に生じる引張力	N
N_{b2}	取付ボルト②に生じる引張力	N

記号	記号の説明	単位
n_{Ab}	基礎ボルトの本数	本
n_{ah}	評価上水平方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	本
n_{av}	評価上鉛直方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	本
n_{b1}	取付ボルト①の単位長さ当たりの本数	本/m
n_{b2}	取付ボルト②のブラケット1体当たりの本数	本
Q_{Ab}	基礎ボルトに生じるせん断力	N
Q_{Bi}	支持梁に生じるせん断力*	N
Q_{BRi}	ブラケットに生じるせん断力*	N
Q_{b1}	取付ボルト①に生じるせん断力	N
Q_{b2}	取付ボルト②に生じるせん断力	N
Q_P	鋼板に生じるせん断力 (単位長さ当たり)	N/m
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_{si}	固有周期*	s
t_P	鋼板の厚み	mm
v_c	取水槽内流速 (循環水ポンプ運転時)	m/s
w	鋼板に作用する面外方向荷重	MPa
w_B	支持梁の単位長さ当たり質量	kg/m
w_F	循環水ポンプ運転時の流体力	MPa
Z_{Bi}	支持梁の断面係数*	mm ³
Z_{BRi}	ブラケットの断面係数*	mm ³
Z_P	鋼板の断面係数	mm ³
γ	鋼材の密度	kg/mm ³
θ	鋼板の取付角度 (仰角)	°
θ_1	支持梁と基礎部の芯ずれ角度	°
π	円周率	—
ρ	海水密度	kg/m ³
σ_{Ab}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{Bi}	支持梁に生じる曲げ応力*	MPa
σ_{BRi}	ブラケットに生じる曲げ応力*	MPa
σ_{b1}	取付ボルト①に生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	取付ボルト②に生じる引張応力	MPa
σ_P	鋼板に生じる曲げ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_{Ab}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{Bi}	支持梁に生じるせん断応力*	MPa
$\tau_{B Ri}$	ブラケットに生じるせん断応力*	MPa
τ_{b1}	取付ボルト①に生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	取付ボルト②に生じるせん断応力	MPa
τ_P	鋼板に生じるせん断応力	MPa

注記*：添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$ ：NS方向

$i=2$ ：EW方向

$i=3$ ：UD方向

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 に示すとおりである。

表 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 ^{*1}
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	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	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: 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. 評価部位

循環水ポンプ渦防止板の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、波及的影響を及ぼすおそれのある循環水ポンプ渦防止板に対し、耐震評価上厳しくなる鋼板、支持梁、ブラケット、取付ボルト（①及び②）及び基礎ボルトについて実施する。循環水ポンプ渦防止板の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

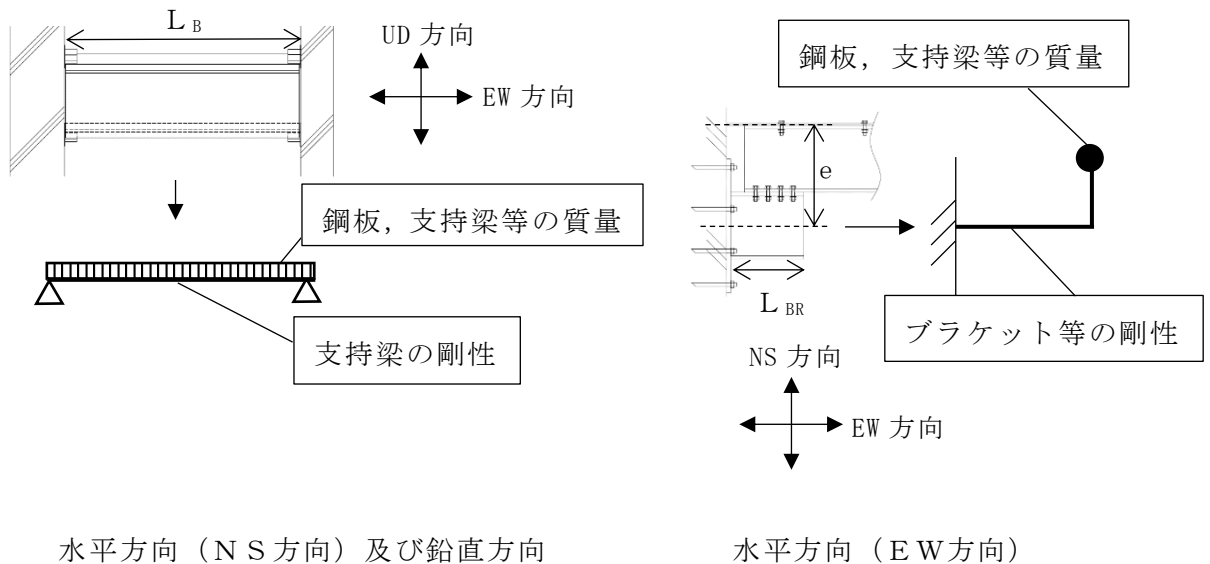
4.1 固有周期の計算方法

循環水ポンプ渦防止板の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 循環水ポンプ渦防止板の質量は重心に集中するものとする。
- b. 循環水ポンプ渦防止板はブラケットによる支持のため、図 4-1 に示すように単純梁とする。また、支持梁のみを構造部材とし、鋼板は質量のみを考慮する。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- d. 固有周期の算出には水の付加質量*を考慮する。付加質量は形状によって決まり、軸方向により断面形状が異なることから、軸方向ごとに算出する。

注記*：機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量



水平方向（NS方向）及び鉛直方向

水平方向（EW方向）

図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 固有周期

循環水ポンプ渦防止板の固有周期 T_{si} は次式により求める。

$$T_{si} = 2\pi \sqrt{\frac{M_1 + M_{11i}}{10^3 \cdot k_i}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

水平方向（NS方向）（ $i=1$ ）及び鉛直方向（ $i=3$ ）のばね定数は次式により求める。

$$k_i = \frac{1}{1/\left(\frac{384 \cdot E \cdot I_{Bi}}{5 \cdot L_B^3}\right) + 1/\left(\frac{2 \cdot A_{wBi} \cdot G}{L_B}\right)} \quad (\text{水平方向 (NS方向) 及び鉛直方向}) \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

水平方向（EW方向）（ $i=2$ ）のばね定数は次式により求める。

$$k_i = 1/\left(\frac{L_B}{2 \cdot E \cdot A_B} + \frac{1}{k_{BRi}}\right) \quad (\text{水平方向 (EW方向)}) \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

ここで、 k_{BRi} は以下に示す。

$$k_{BRi} = \frac{1}{\frac{L_{BR}}{E \cdot A_{BR}} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

ここで、 α_i は以下に示す。

$$\alpha_i = \frac{e^2 \cdot L_{BR}}{2 \cdot E \cdot I_{BRi}} + L_{BR} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{e \cdot L_{BR}}{2 \cdot E \cdot I_{BRi}}\right)^2}\right) \quad \dots\dots\dots (4.1.5)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【循環水ポンプ渦防止板の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、水平方向（NS方向）及び鉛直方向の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（EW方向）の固有周期は 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位: s)

水平方向（NS方向）	
水平方向（EW方向）	
鉛直方向	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、循環水ポンプ渦防止板に対して、水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。ここで水平方向地震力は、NS方向に作用する場合とEW方向に作用する場合を考慮する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRSS法を適用する。
- (2) 循環水ポンプ渦防止板には、同ポンプ運転に伴い発生する流速による流体力を考慮する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

循環水ポンプ渦防止板の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

循環水ポンプ渦防止板の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

循環水ポンプ渦防止板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5-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	循環水ポンプ渦防止板	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	循環水ポンプ渦防止板	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	せん断	曲げ	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _s *	1.5・f _b *	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)				

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 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度			
鋼板		周囲環境温度	40	175	480
支持梁		周囲環境温度	40	175	480
ブラケット		周囲環境温度	40	175	480
取付ボルト (①, ②)		周囲環境温度	40	175	480
基礎ボルト		周囲環境温度	40	175	480

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度			
鋼板		周囲環境温度	40	175	480
支持梁		周囲環境温度	40	175	480
ブラケット		周囲環境温度	40	175	480
取付ボルト (①, ②)		周囲環境温度	40	175	480
基礎ボルト		周囲環境温度	40	175	480

5.3 設計用地震力

循環水ポンプ渦防止板の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 に示す。

「基準地震動 S_s」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 5-6 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 (NS) : <input type="text"/> * ²		水平 (EW) : <input type="text"/> * ²		鉛直 : <input type="text"/> * ²	
減衰定数(%)	水平 : 2.0		鉛直 : 2.0			
設計用地震力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
	—	—	—	3.00* ³	1.50* ^{4,5}	2.70* ³

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：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により得られる設計震度

*5：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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 (NS) : <input type="text"/> ^{*2}		水平 (EW) : <input type="text"/> ^{*2}		鉛直 : <input type="text"/> ^{*2}
減衰定数(%)	水平 : 2.0		鉛直 : 2.0		
設計用地震力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s	
	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度	
	NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向
	—	—	—	3.00 ^{*3}	1.50 ^{*4, *5}

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：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により得られる設計震度

*5：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 鋼板の応力

(1) せん断応力

鋼板の単位幅（取水路幅方向）に作用する荷重に対してはね出し単純梁として抵抗するため、鋼板に発生するせん断力 Q_P 及びせん断応力 τ_P は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

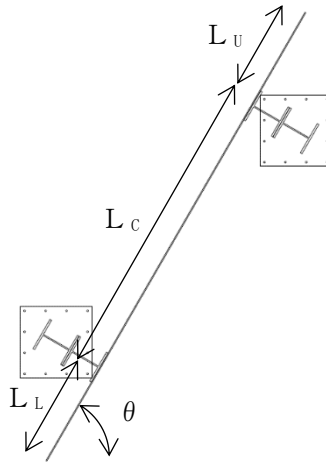


図5-1 鋼板の計算モデル図

$$\tau_P = \frac{Q_P}{A_{WP}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$Q_P = \frac{w \cdot (L_U + L_C)^2 - w \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C} - w \cdot L_U \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、 w は鋼板に作用する面外方向荷重であり、次式による。

$$w = w_F \cdot \sin \theta + \sqrt{(F_H \cdot \sin \theta)^2 + (F_V \cdot \cos \theta)^2} + g \cdot \gamma \cdot t_p \cdot \cos \theta \dots (5.4.1.1.3)$$

$$F_H = C_{H1} \cdot g \cdot \left(\gamma \cdot t_p + \frac{2 \cdot M_{111}}{L_B \cdot (L_U + L_C + L_L) \cdot \sin \theta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$F_V = C_V \cdot g \cdot \left(\gamma \cdot t_p + \frac{2 \cdot M_{113}}{L_B \cdot (L_U + L_C + L_L) \cdot \cos \theta} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

$$w_F = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot v_c^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

(2) 曲げ応力

鋼板に発生する曲げモーメント M_P 及び曲げ応力 σ_P は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

$$\sigma_P = \frac{M_P}{Z_P} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$M_P = \text{MAX} \left(\frac{w \cdot L_U^2}{2}, \frac{w \cdot (L_U + L_C)^2 - w \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C} \cdot \frac{L_C}{2} - \frac{w}{2} \cdot \left(L_U + \frac{L_C}{2} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

5.4.1.2 支持梁の応力

(1) せん断応力

支持梁は、ブラケットにより支持される単純梁であるため、支持梁 1 本当たりが負担する鋼板に作用する面外力と自重による地震慣性力を加えたせん断力 Q_B 及びせん断応力 τ_B は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

なお、水平 EW 方向 ($i=2$) に発生するせん断力は構造上、十分小さいため算出を省略する。

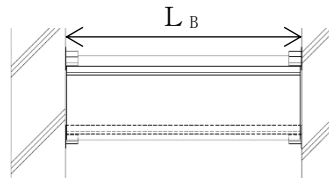


図5-2 支持梁の計算モデル図

$$\tau_{Bi} = \frac{Q_{Bi}}{A_{wBi}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$Q_{B1} = \left\{ w \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) + g \cdot w_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \sin \theta)^2 + (C_V \cdot \cos \theta)^2} + \cos \theta \right) \right\} \times \frac{L_B}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

$$Q_{B3} = \left(w_F \cdot \cos \theta + \sqrt{(F_H \cdot \cos \theta)^2 + (F_V \cdot \sin \theta)^2} + g \cdot \gamma \cdot t_P \cdot \sin \theta \right) \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) \times \frac{L_B}{2} + g \cdot w_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \cos \theta)^2 + (C_V \cdot \sin \theta)^2} + \sin \theta \right) \times \frac{L_B}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) 曲げ応力

支持梁に発生する曲げモーメント M_B 及び曲げ応力 σ_B は次式より求める。

$$\sigma_{Bi} = \frac{M_{Bi}}{Z_{Bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

$$M_{Bi} = \frac{Q_{Bi} \cdot L_B}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 ブラケットの応力

(1) せん断応力

支持梁より伝達されるせん断力がブラケットに生じるせん断力となるため、せん断力 Q_{BR} 及びせん断応力 τ_{BR} は次式より求める。

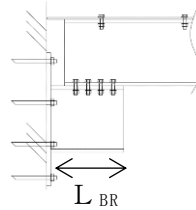


図5-3 ブラケットの計算モデル図

$$\tau_{BRi} = \frac{Q_{BRi}}{A_{WBRi}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

$$Q_{BRi} = Q_{Bi} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

(2) 曲げ応力

ブラケットに発生する曲げモーメント M_{BR} 及び曲げ応力 σ_{BR} は次式より求める。

$$\sigma_{BRi} = \frac{M_{BRi}}{Z_{BRi}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

$$M_{BRi} = Q_{BRi} \cdot L_{BR} \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

5.4.1.4 取付ボルト①の応力

(1) 引張応力

はね出し梁である鋼板の支持点荷重が取付ボルト①に作用する引張力となる。従って、鋼板単位幅当たりで発生する取付ボルト①群の引張力 N_{b1} 及び取付ボルト①の引張応力 σ_{b1} は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

$$\sigma_{b1} = \frac{N_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

$$N_{b1} = \frac{w \cdot (L_U + L_C)^2 - w \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C \cdot n_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

(2) せん断応力

取付ボルト①に発生するせん断力 Q_{b1} 及びせん断応力 τ_{b1} は次式により求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

$$Q_{b1} = \frac{\left(w_F \cdot \cos \theta + \sqrt{(F_H \cdot \cos \theta)^2 + (F_V \cdot \sin \theta)^2} + \gamma \cdot g \cdot t_p \cdot \sin \theta \right) \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right)}{n_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

5.4.1.5 取付ボルト②の応力

(1) 引張応力

ブラケット 1 体当たりの取付ボルト②に作用する引張力は支持梁に作用するせん断力と等しいため、取付ボルト②の引張力 N_{b2} 及び引張応力 σ_{b2} は次式より求める。

$$\sigma_{b2} = \frac{N_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.1)$$

$$N_{b2} = \frac{Q_{B1}}{n_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.2)$$

(2) せん断応力

取付ボルト②に発生するブラケット 1 体当たりのせん断力 Q_{b2} 及びせん断応力 τ_{b2} は次式により求める。

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_{b2} \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.3)$$

$$Q_{b2} = Q_{B3} \dots\dots\dots (5.4.1.5.4)$$

5.4.1.6 基礎ボルトの応力

(1) 引張応力

基礎ボルトに発生する引張力 N_{Ab} 及び引張応力 σ_{Ab} は次式より求める。

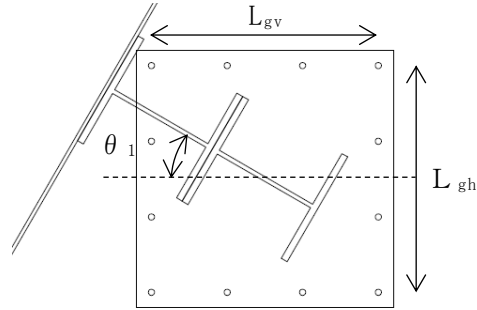


図 5-4 基礎ボルトの計算モデル図

$$\sigma_{Ab} = \frac{N_{Ab}}{A_{Ab}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.1)$$

$$N_{Ab} = \frac{M_{BR3} \cdot \sin \theta_1}{n_{av} \cdot L_{gh}} + \frac{M_{BR1} \cdot \cos \theta_1}{n_{ah} \cdot L_{gv}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.2)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに発生するせん断力 Q_{Ab} 及びせん断応力 τ_{Ab} は次式より求める。

$$\tau_{Ab} = \frac{Q_{Ab}}{A_{Ab}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.3)$$

$$Q_{Ab} = \frac{\sqrt{Q_{BR1}^2 + Q_{BR3}^2}}{n_{Ab}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.4)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【循環水ポンプ渦防止板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。

5.6 応力の評価

5.6.1 鋼板，支持梁及びブラケットの応力評価

5.4.1.1～5.4.1.3 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。
 ただし，組合せ応力 σ が許容曲げ応力 $f_{b m}$ 以下であること。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_j^2 + 3 \cdot \tau_j^2} \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

(j : 部材符号で P=鋼板， B=支持梁， B R =ブラケットを示す)

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 $f_{s m}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_{b m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 $f_{c m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.2 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

5.4.1.4～5.4.1.6 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 $f_{t s}$ 以下であること。ただし， $f_{t o}$ は下表による。

$$f_{t s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o}] \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s b}$ 以下であること。ただし， $f_{s b}$ は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t o}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環水ポンプ渦防止板の設計基準対象施設としての耐震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。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

循環水ポンプ渦防止板の重大事故等対処設備としての耐震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。

【循環水ポンプ渦防止板の耐震性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	耐震設計上の重要度分類	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 又は静的震度			基準地震動 S s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向 (NS 方向)	水平方向 (EW 方向)	鉛直方向	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	
						NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向		
循環水ポンプ渦防止板	C	取水槽 EL 1.1*1				—	—	—	3.00*2	1.50*3	2.70*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）により得られる設計震度

1.2 機器要目

	I_{B1} (mm ⁴)	I_{B3} (mm ⁴)	A_B (mm ²)	I_{BR2} (mm ⁴)	A_{BR} (mm ²)	e (mm)	M_1 (kg)	M_{111} (kg)	M_{112} (kg)	M_{113} (kg)
固有周期	5.003×10^8	3.019×10^8	19544	5.003×10^8	19544	606				

	C_D (-)	ρ (kg/m ³)	v_c (m/s)
流体力	2.01	1030	0.35

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	t_f (mm)	L_U (mm)	L_C (mm)	L_L (mm)	θ (°)
鋼板	194000	7.98×10^{-6}	12				

部材	E (MPa)	G (MPa)	γ (kg/mm ³)	L_B (mm)	W_B (kg/mm)	A_{WB1} (mm ²)	A_{WB3} (mm ²)	Z_{B1} (mm ³)	Z_{B3} (mm ³)
支持梁	194000	75000	7.98×10^{-6}	8165	0.187	4344	15200	2.9975×10^6	1.0136×10^6

S2 補 VI-2-11-2-7-18 R0

部材	E (MPa)	G (MPa)	γ (kg/mm ³)	L _{BR} (mm)	A _{BR1} (mm ²)	A _{BR3} (mm ²)	Z _{BR1} (mm ³)	Z _{BR3} (mm ³)
ブラケット	194000	75000	7.98×10 ⁻⁶	440	4344	15200	2.9975×10 ⁶	1.0136×10 ⁶

部材	呼び径	n _{b1} (本)	A _{b1} (mm ²)
取付ボルト①	M20	2	314

部材	呼び径	n _{b2} (本)	A _{b2} (mm ²)
取付ボルト②	M20	16	314

部材	呼び径	A _{Ab} (mm ²)	n _{Ab} (本)	n _{av} (本)	n _{ah} (本)	L _{gv} (mm)	L _{gh} (mm)	θ_1 (°)
基礎ボルト	M20	314	12	4	4	700	600	

1.3 計算数値

1.3.1 地震荷重

部材	荷重	地震荷重
鋼板	せん断	9.883×10^3 (N/m)
	曲げ	5.101×10^6 (N・mm)
支持梁	せん断	7.772×10^4 (N)
	曲げ	1.590×10^8 (N・mm)
ブラケット	せん断	7.772×10^4 (N)
	曲げ	3.420×10^7 (N・mm)
取付ボルト①	引張	8.941×10^3 (N)
	せん断	2.319×10^3 (N)
取付ボルト②	引張	4.858×10^3 (N)
	せん断	4.250×10^3 (N)
基礎ボルト	引張	3.384×10^4 (N)
	せん断	1.173×10^4 (N)

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位 : s)

方向	固有周期
水平方向 (NS 方向)	
水平方向 (EW 方向)	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位 : MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
鋼板		せん断	—	—	1	121
		曲げ	—	—	213	242
		組合せ	—	—	214	242
支持梁		せん断	—	—	19	121
		曲げ	—	—	148	210
		組合せ	—	—	152	210
ブラケット		せん断	—	—	19	121
		曲げ	—	—	32	210
		組合せ	—	—	46	210
取付ボルト①		引張	—	—	29	157*
		せん断	—	—	8	121
取付ボルト②		引張	—	—	16	157*
		せん断	—	—	14	121
基礎ボルト		引張	—	—	108	115*
		せん断	—	—	38	96

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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 又は静的震度			基準地震動 S s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向 (NS 方向)	水平方向 (EW 方向)	鉛直方向	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	
						NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向		
循環水ポンプ 渦防止板	C	取水槽 EL 1.1*1				—	—	—	3.00*2	1.50*3	2.70*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）により得られる設計震度

2.2 機器要目

	I_{B1} (mm ⁴)	I_{B3} (mm ⁴)	A_B (mm ²)	I_{BR2} (mm ⁴)	A_{BR} (mm ²)	e (mm)	M_1 (kg)	M_{111} (kg)	M_{112} (kg)	M_{113} (kg)
固有周期	5.003×10^8	3.019×10^8	19544	5.003×10^8	19544	606				

	C_D (-)	ρ (kg/m ³)	v_c (m/s)
流体力	2.01	1030	0.35

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	t_f (mm)	L_U (mm)	L_C (mm)	L_L (mm)	θ (°)
鋼板	194000	7.98×10^{-6}	12				

部材	E (MPa)	G (MPa)	γ (kg/mm ³)	L_B (mm)	W_B (kg/mm)	A_{WB1} (mm ²)	A_{WB3} (mm ²)	Z_{B1} (mm ³)	Z_{B3} (mm ³)
支持梁	194000	75000	7.98×10^{-6}	8165	0.187	4344	15200	2.9975×10^6	1.0136×10^6

S2 補 VI-2-11-2-7-18 R0

部材	E (MPa)	G (MPa)	γ (kg/mm ³)	L _{BR} (mm)	A _{BR1} (mm ²)	A _{BR3} (mm ²)	Z _{BR1} (mm ³)	Z _{BR3} (mm ³)
ブラケット	194000	75000	7.98×10^{-6}	440	4344	15200	2.9975×10^6	1.0136×10^6

部材	呼び径	n _{b1} (本)	A _{b1} (mm ²)
取付ボルト①	M20	2	314

部材	呼び径	n _{b2} (本)	A _{b2} (mm ²)
取付ボルト②	M20	16	314

部材	呼び径	A _{Ab} (mm ²)	n _{Ab} (本)	n _{av} (本)	n _{ah} (本)	L _{gv} (mm)	L _{gh} (mm)	θ_1 (°)
基礎ボルト	M20	314	12	4	4	700	600	

2.3 計算数値

2.3.1 地震荷重

部材	荷重	地震荷重
鋼板	せん断	9.883×10^3 (N/m)
	曲げ	5.101×10^6 (N・mm)
支持梁	せん断	7.772×10^4 (N)
	曲げ	1.590×10^8 (N・mm)
ブラケット	せん断	7.772×10^4 (N)
	曲げ	3.420×10^7 (N・mm)
取付ボルト①	引張	8.941×10^3 (N)
	せん断	2.319×10^3 (N)
取付ボルト②	引張	4.858×10^3 (N)
	せん断	4.250×10^3 (N)
基礎ボルト	引張	3.384×10^4 (N)
	せん断	1.173×10^4 (N)

32

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位 : s)

方向	固有周期
水平方向 (NS 方向)	
水平方向 (EW 方向)	
鉛直方向	

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
鋼板		せん断	—	—	1	121
		曲げ	—	—	213	242
		組合せ	—	—	214	242
支持梁		せん断	—	—	19	121
		曲げ	—	—	148	210
		組合せ	—	—	152	210
ブラケット		せん断	—	—	19	121
		曲げ	—	—	32	210
		組合せ	—	—	46	210
取付ボルト①		引張	—	—	29	157*
		せん断	—	—	8	121
取付ボルト②		引張	—	—	16	157*
		せん断	—	—	14	121
基礎ボルト		引張	—	—	108	115*
		せん断	—	—	38	96

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。