

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-018-02 改 19
提出年月日	2023年5月31日

津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料

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。

補足説明資料目次

今回提出範囲：

1. 入力津波の評価
 - 1.1 潮位観測記録の評価
 - 1.2 遡上・浸水域の評価の考え方
 - 1.3 港湾内の局所的な海面の励起
 - 1.4 管路解析のモデル
 - 1.5 入力津波の不確かさの考慮
 - 1.6 遡上解析のモデル
 - 1.7 入力津波の流路縮小工による水位低減効果の考慮
 - 1.8 海域活断層上昇側最大ケースの津波

2. 津波防護対象設備
 - 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置
 - 2.2 タービン建物（Sクラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリアにおけるSクラス設備に対する浸水影響

3. 取水性に関する考慮事項
 - 3.1 砂移動による影響確認
 - 3.2 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評価
 - 3.3 除じん機の取水性への影響
 - 3.4 循環水ポンプ停止手順
 - 3.5 循環水ポンプ渦防止板の取水性への影響

4. 漂流物に関する考慮事項
 - 4.1 設計に用いる遡上波の流速
 - 4.2 漂流物による影響確認
 - 4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力
 - 4.4 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係
 - 4.5 漂流物による衝突荷重
 - 4.6 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価
 - 4.7 防波壁通路防波扉の運用対応

5. 浸水防護施設の設計における補足説明
 - 5.1 耐津波設計における現場確認プロセス
 - 5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成
 - 5.3 津波による溢水に対して浸水対策を実施する範囲の考え方
 - 5.4 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の津波に対する健全性
 - 5.5 屋外タンク等からの溢水評価
 - 5.6 除じん系ポンプ他移設に関する影響評価
 - 5.7 タービン補器海水ポンプ出口弁の地震起因による溢水に対する健全性

3.3 除じん機¹⁾の取水性への影響

取水槽には、海水中の塵芥を除去するために除じん機¹⁾が設置されている。この除じん機¹⁾が基準津波による水位差により破損してそれ自体が漂流物となる可能性があるため、取水性へ影響を及ぼすことがないことを確認する。

(1) 確認方法

除じん機¹⁾の概要は図3.3-1に示すとおりであり、多数のバケットがキャリングチェーンにより接合される構造となっている。このため、入力津波の流速により生じるスクリーン部の水位差（損失水頭）により、キャリングチェーン及びバケットが破損し、バケットが分離して漂流物となる可能性について確認する。ここで、キャリングチェーンは頭軸及び尾軸に端部が固定されており、その長さは約15mである。キャリングチェーンは2枚のプレートで固定しており自由に回転可能であることから、津波荷重の作用する方向に対し十分に柔な構造である。キャリングチェーンの構造を図3.3-2に示す。

基準津波の管路解析による取水槽内の流速評価位置と流速評価結果を図3.3-3に示す。流速²⁾評価結果を踏まえ、評価に用いる流速は、取水槽除じん機¹⁾エリアにおける最大流速1.06m/sを上回る2.0m/sとし、この時の発生水位差を3.7mとする。

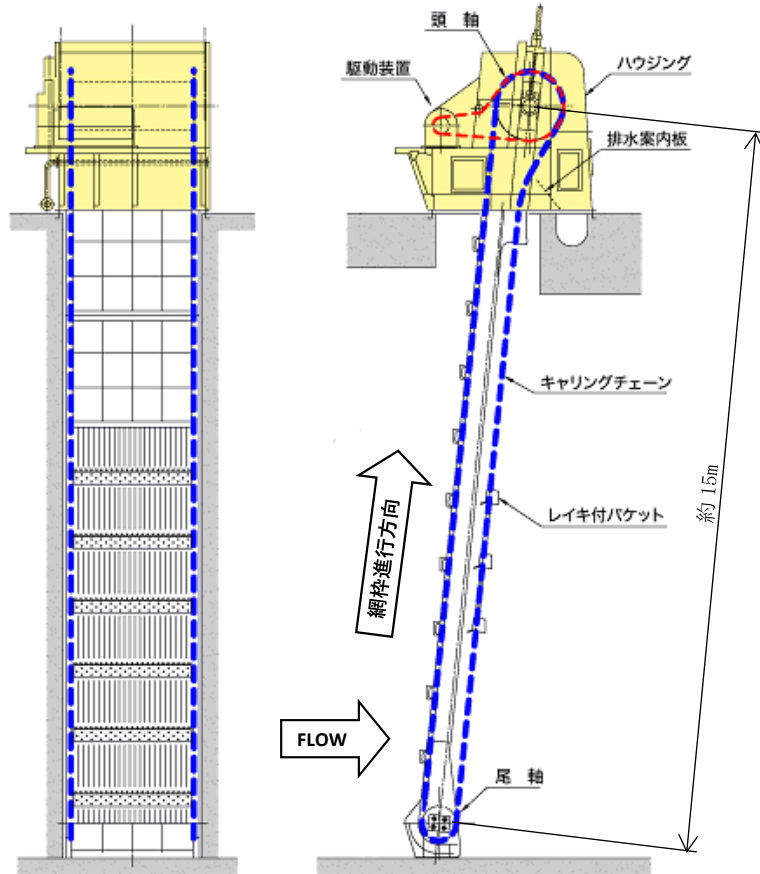


図 3.3-1 除じん機の概要

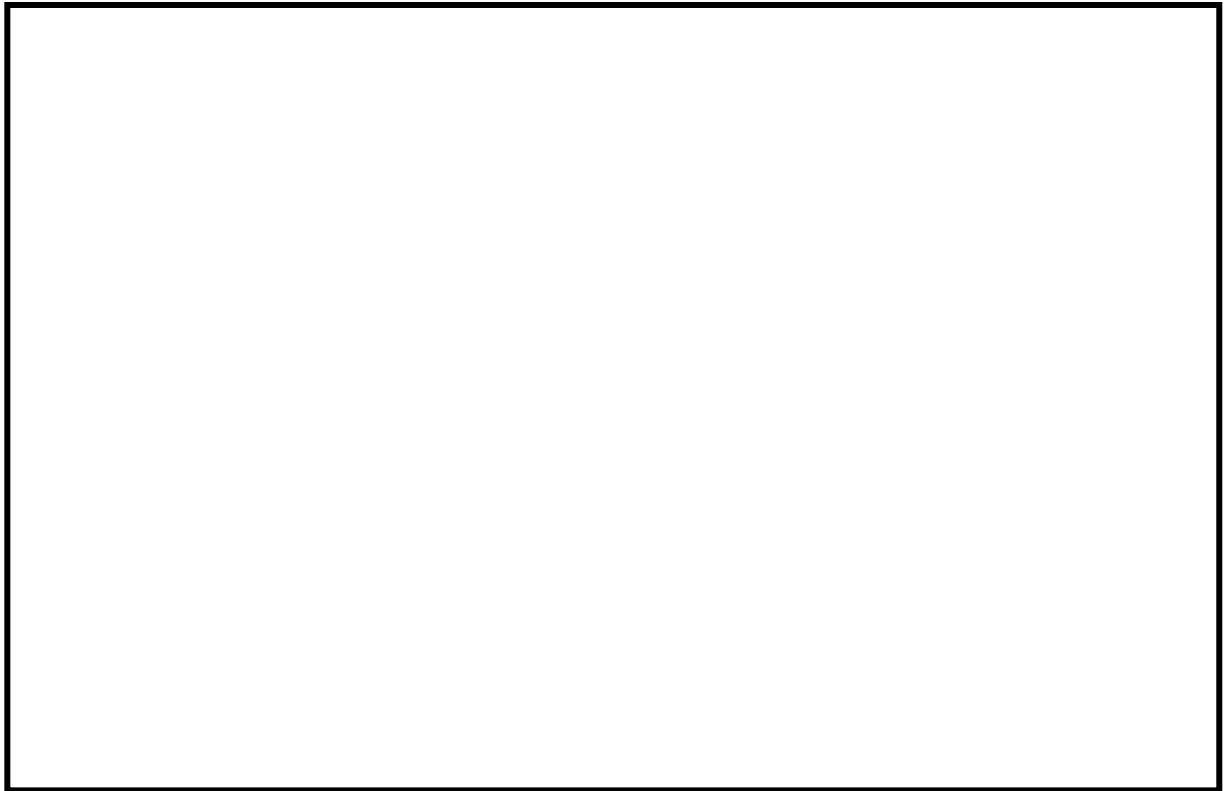


図 3.3-2 キャリングチェーンの構造

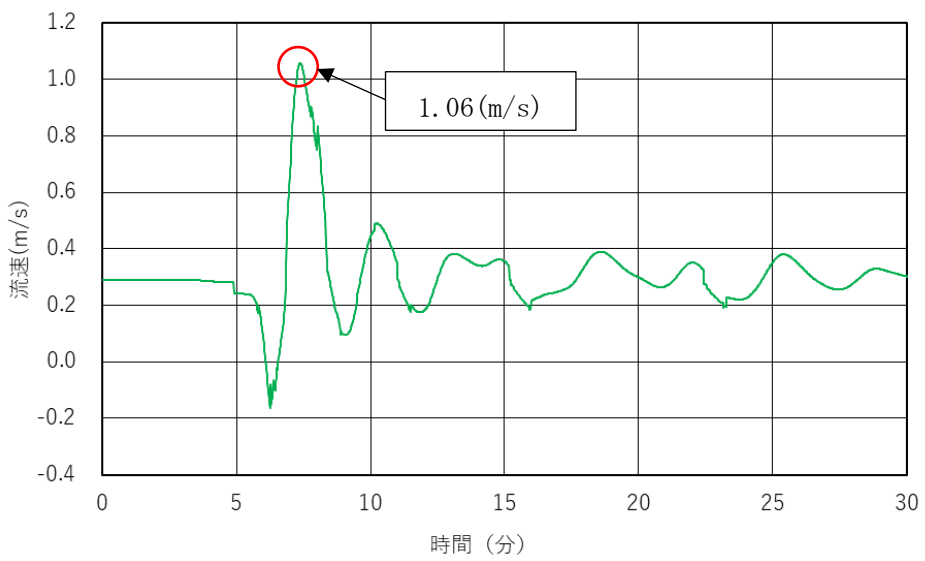
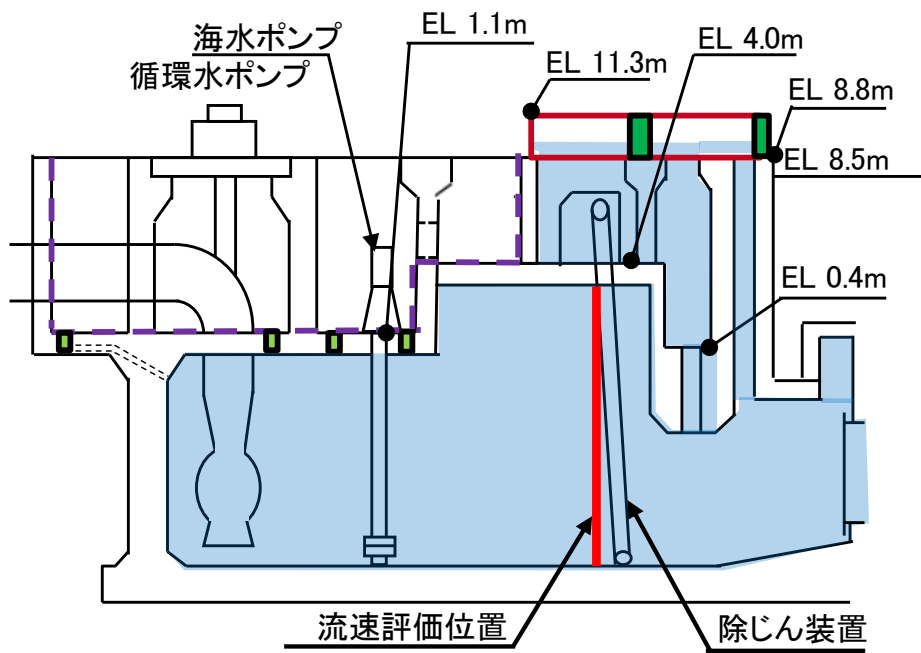


図3.3-3 取水槽除じん機エリアの流速評価位置と評価結果

(2) 評価部位

キャリングチェーン及びバケットが破損し、バケットが分離して漂流物とならないよう、キャリングチェーン及びバケット枠取付ピンを評価部位とする。

(3) 荷重の組合せ及び許容応力評価条件

バケット枠取付ピンの荷重の組合せ及び許容応力を表3.3-1に示す。なお、キャリングチェーンについては破断強度との比較を行う。

表3.3-1 荷重の組合せ及び許容応力

荷重の組合せ* ¹	許容応力状態	許容限界* ²		
		引張	せん断	曲げ
D+P _D +M _D	IV _A S	1.5・f _t * ³	1.5・f _s * ⁴	1.5・f _b * ⁵

注記*1：D：死荷重，P_D：水圧荷重，M_D：設計機械荷重

*2：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。

*3：設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値

*4：設計・建設規格 SSB-3121.1(2)に定める値

*5：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)e.に定める値

(4) バケット枠取付ピン及びキャリングチェーンの評価

a. バケット枠取付ピンの応力評価

バケット枠取付ピンの構造を図3.3-4に示す。

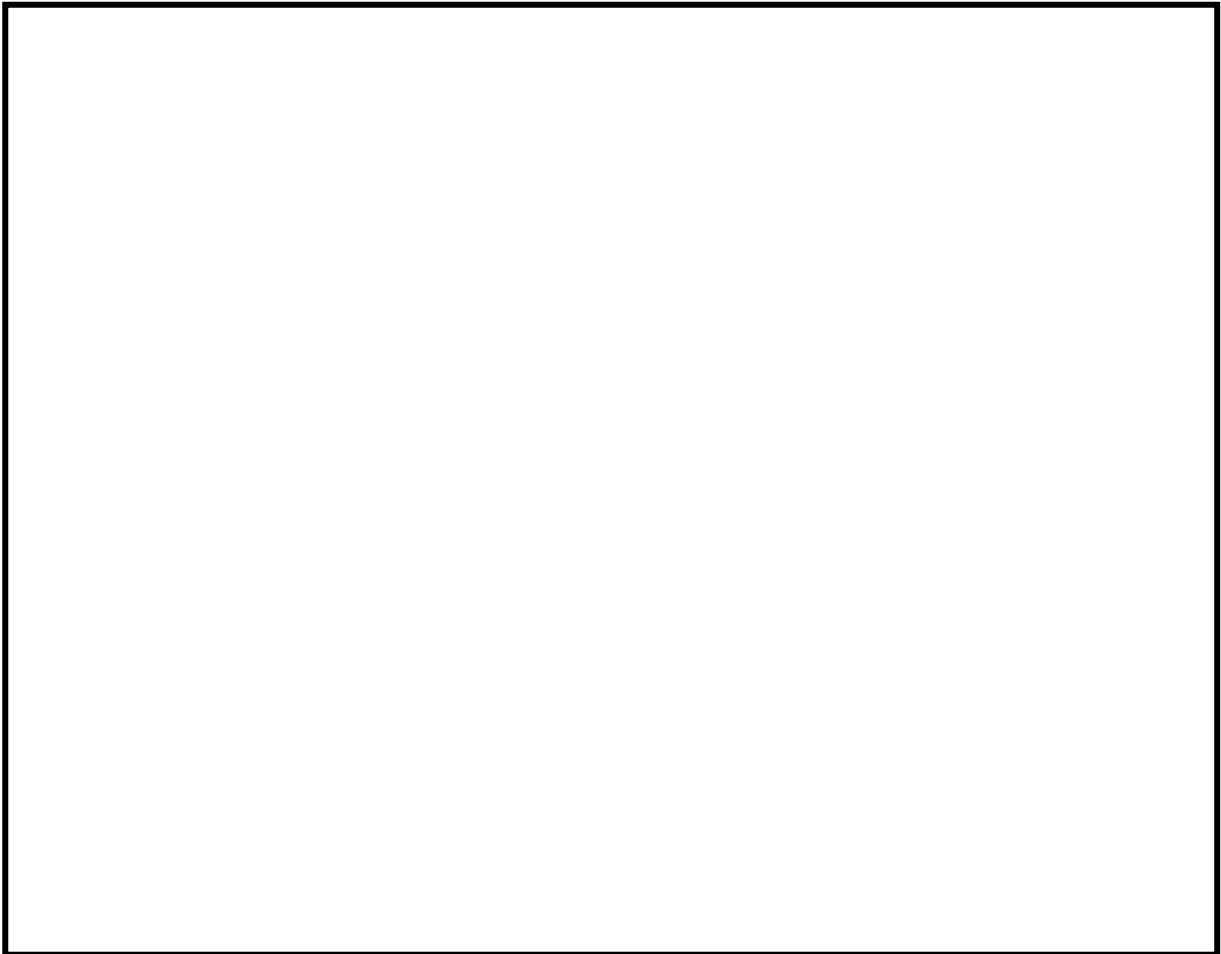


図 3.3-4 バケット枠取付ピンの構造

バケット枠取付ピンのせん断応力は次式で求める。

$$\tau = \frac{Fat}{A \times n}$$

τ	: せん断応力	:	71 MPa
Fat	: 津波時における全荷重 (1 枠)	:	70963 N
A	: 取付ピン有効せん断断面積	:	253 mm ²
n	: 取付ピン本数	:	4 本

バケット枠取付ピンの曲げ応力は次式で求める。

$$Ma = \frac{Fat}{n} \times L$$

Ma	: 曲げモーメント	:	150797 N・mm
Fat	: 津波時における全荷重 (1 枠)	:	70963 N
L	: 長さ	:	8.5 mm
n	: 取付ピン本数	:	4 本

$$\sigma_{ab} = \frac{Ma}{Z}$$

σ_{ab}	: 曲げ応力	:	172 MPa
Ma	: 曲げモーメント	:	150797 N・mm
Z	: 断面係数	:	877 mm ³

バケット枠取付ピンの組合せ応力は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_{ab}^2 + 3 \times \tau^2}$$

σ_s	: 組合せ応力	:	212 MPa
σ_{ab}	: 曲げ応力	:	172 MPa
τ	: せん断応力	:	71 MPa

b. キャリングチェーンの張力評価

キャリングチェーンには、除去した塵芥による塵芥搔揚荷重、バケット枠の自重による運行部荷重及び水位差によるローラとレールとの間の摩擦力による張力が作用する。キャリングチェーンに作用する力を表3.3-2に示す。

表3.3-2 キャリングチェーンに作用する荷重 (単位: mm)

塵芥搔揚荷重	17893
運行部荷重	93363
水位差によるローラとレールとの間の摩擦力	109782
合計	242838*

注記*: 荷重の合計値に余裕を考慮した値

(5) 確認結果

取水槽内の最大流速2.4m/sが作用した際の各部材における発生値と許容値の比較結果を表3.3-3に示す。各部位に発生する最大荷重及び最大応力が許容値を下回っていることから、除じん機が漂流物となることはない。

表3.3-3 除じん機の強度確認結果

設備	評価部位	材料	項目	発生値	許容値
除じん機	キャリングチェーン		引張	121419* (N)	617000 (N)
	バケット枠 取付ピン		せん断	71 (MPa)	142 (MPa)
			曲げ	172 (MPa)	335 (MPa)
			組合せ	212 (MPa)	246 (MPa)

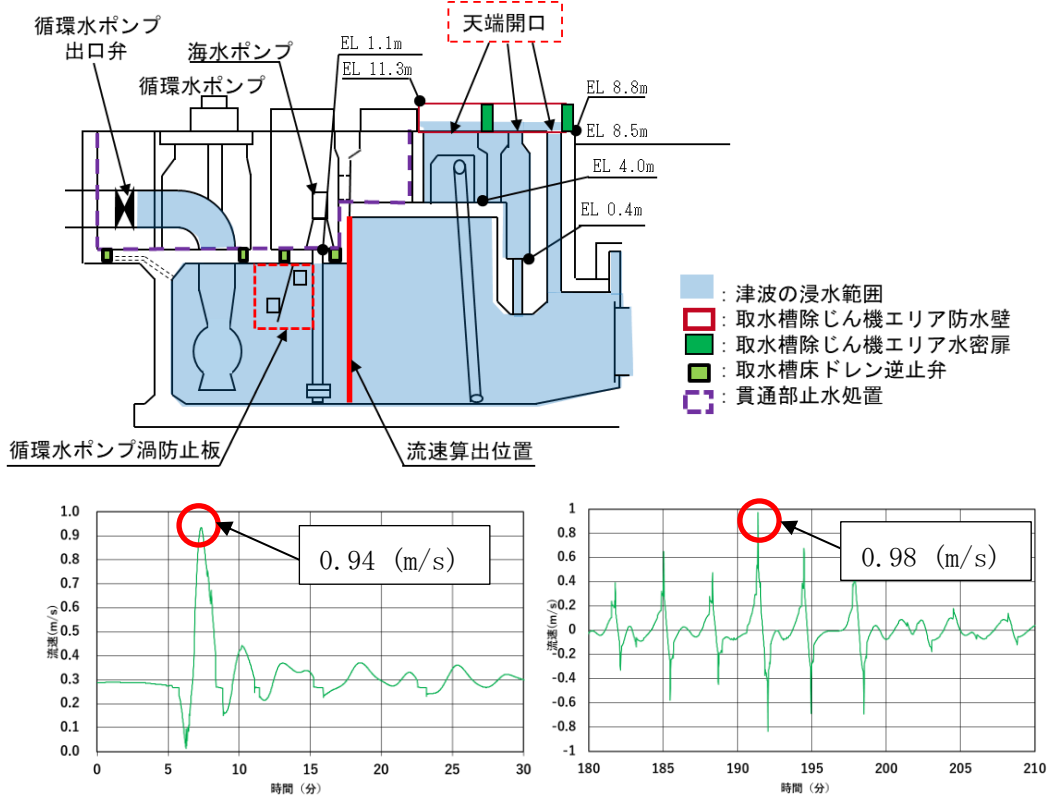
注記*：キャリングチェーン1本当たりの発生値

3.5 循環水ポンプ渦防止板の取水性への影響

津波発生時の荷重及び余震荷重を受けた場合の循環水ポンプ渦防止板の健全性を評価する。

(1) 評価条件

- a. 取水路の管路解析により算出された基準津波による循環水ポンプ渦防止板設置箇所の最大流速は図3.5-1に示すとおり水平方向が0.94m/s、鉛直方向が0.98m/sであるが、波力に対する強度評価では、保守的に水平方向・鉛直方向ともに1.0m/sを設定し、循環水ポンプ渦防止板に作用する流体力（抗力）を算出する。
- b. 循環水ポンプ渦防止板は、漂流物の影響を受けない取水槽に設置されていることから、流木、がれき等の影響は想定しない。
- c. 通常時水位において、図3.5-2に示すとおり循環水ポンプ渦防止板は一部が気中に位置するが、評価においては全て水中にあると仮定する。
- d. 余震荷重として弾性設計用地震動S_dによる地震力を適用する。
- e. 余震荷重により発生する応力の計算方法は、添付書類「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」に示す計算式と同様とする。



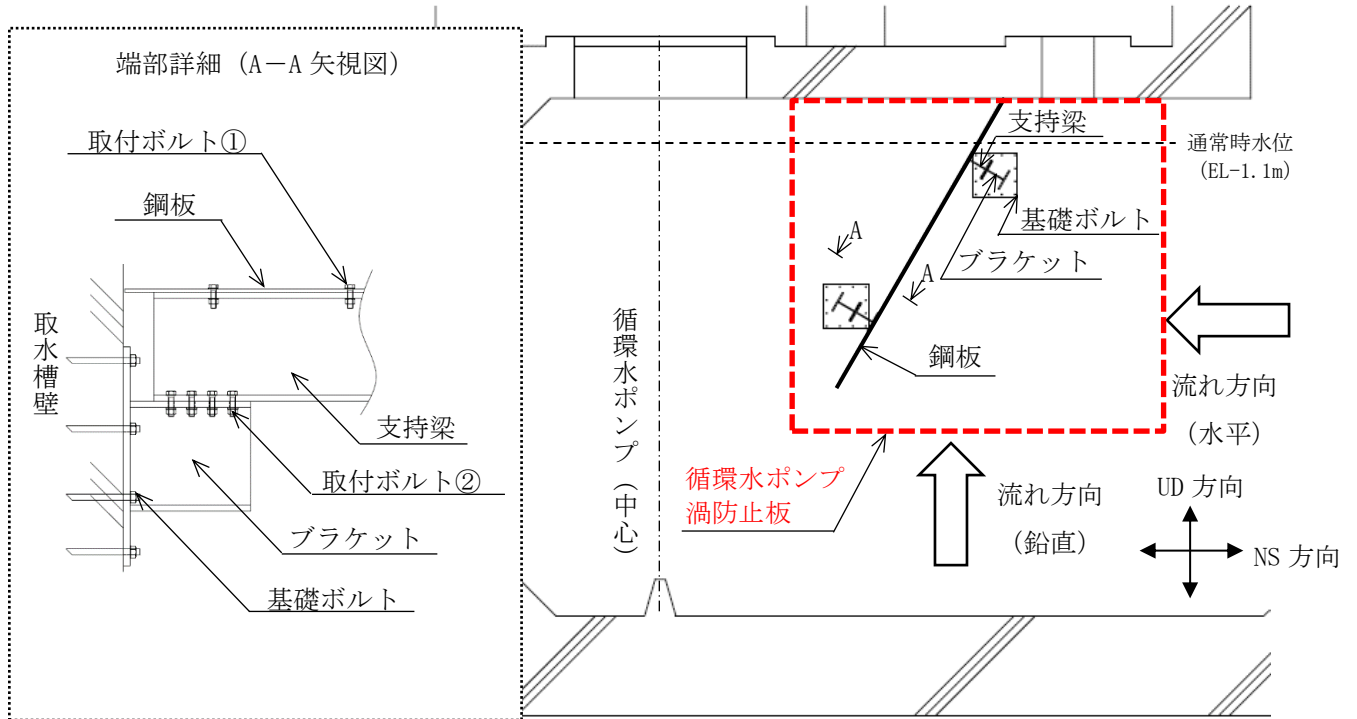
水平方向最大津波流速（基準津波 4）

鉛直方向最大津波流速（基準津波 6）

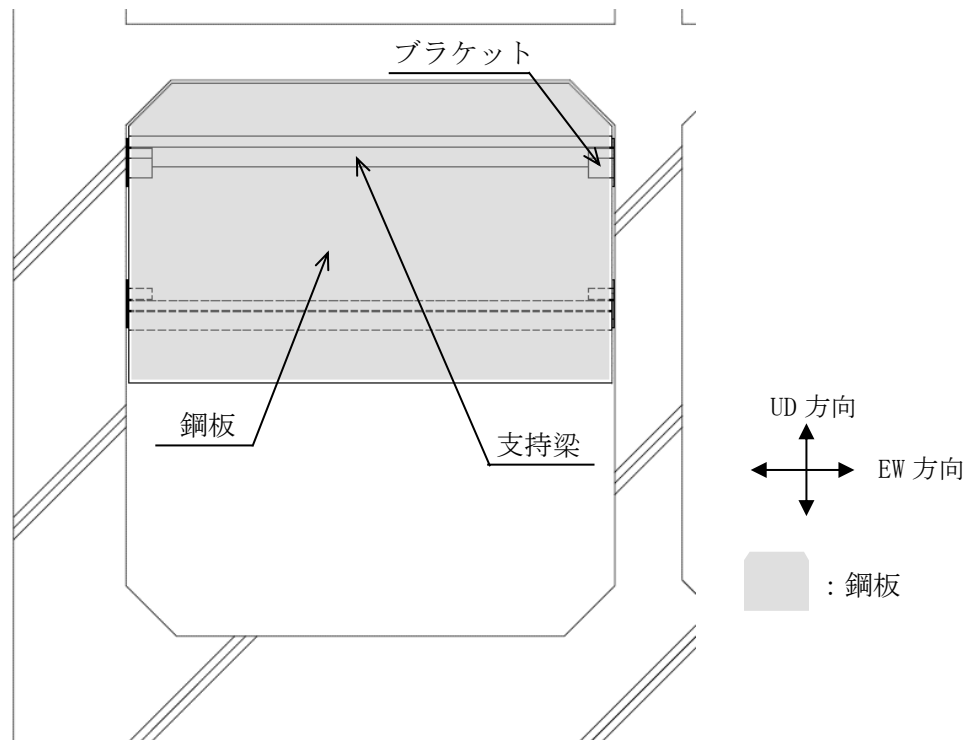
図 3.5-1 循環水ポンプ渦防止板設置箇所における津波最大流速

(2) 評価部位

循環水ポンプ渦防止板は、鋼板、支持梁、ブラケット、取付ボルト（①及び②）及び基礎ボルトから構成され、各部位に発生する荷重及び応力を評価する。各評価部位を図3.5-2に示す。



(取水槽断面図)



(取水槽正面図)

図3.5-2 評価部位

(3) 記号の説明

循環水ポンプ渦防止板の評価に使用する記号を表3.5-1に示す。

表3.5-1 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_H	抗力が作用する投影面積（水平方向）	m^2
A_V	抗力が作用する投影面積（鉛直方向）	m^2
A_{WBj}	支持梁のせん断断面積* ²	mm^2
A_{WBRj}	ブラケットのせん断断面積* ²	mm^2
A_{WP}	鋼板のせん断断面積	mm^2
B_B	支持梁の幅	mm
B_{BR}	ブラケットの幅	mm
C_D	抗力係数	—
C_{Hi}	水平方向設計震度* ¹	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{DH}	津波により鋼板に生じる流体力（水平方向）	N
F_{DV}	津波により鋼板に生じる流体力（鉛直方向）	N
F_H	循環水ポンプ渦防止板に作用する単位面積当たりの水平地震荷重	N/mm^2
F_V	循環水ポンプ渦防止板に作用する単位面積当たりの鉛直地震荷重	N/mm^2
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
H_B	支持梁の高さ	mm
H_{BR}	ブラケットの高さ	mm
L_B	支持梁の支持点間長さ	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
L_{gv}	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

記号	記号の説明	単位
m_B	支持梁の単位長さ当たりの質量	kg/mm
M_{Bj}	支持梁に生じる曲げモーメント* ²	N・mm
M_{BRj}	ブラケットに生じる曲げモーメント* ²	N・mm
M_P	鋼板に生じる曲げモーメント	N・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
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}	支持梁1本当たりの取付ボルト①の本数	本
n_{b2}	ブラケット1体当たりの取付ボルト②の本数	本
Q_{ab}	基礎ボルトに生じるせん断力	N
Q_{Bj}	支持梁に生じるせん断力* ²	N
Q_{BRj}	ブラケットのウェブに生じるせん断力* ²	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	N
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_{BRflg}	ブラケットのフランジの厚み	mm
t_{BRweb}	ブラケットのウェブの厚み	mm
t_{flg}	支持梁のフランジの厚み	mm
t_P	鋼板の厚み	mm
t_{web}	支持梁のウェブの厚み	mm
U	鉛直方向津波流速	m/s
V	水平方向津波流速	m/s
w_k	鋼板に作用する単位長さ当たりの荷重* ³	N/mm
Z_{Bj}	支持梁の断面係数* ²	mm ³
Z_{BRj}	ブラケットの断面係数* ²	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	°
θ_1	支持梁の取付角度	°
ρ	海水密度	kg/m ³
σ_{ab}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{B12}	支持梁に生じる組合せ曲げ応力	MPa
σ_{BC}	支持梁に生じる組合せ応力	MPa
σ_{Bj}	支持梁に生じる曲げ応力* ²	MPa
σ_{BR12}	ブラケットに生じる組合せ曲げ応力	MPa
σ_{BRC}	ブラケットに生じる組合せ応力	MPa
σ_{BRj}	ブラケットに生じる曲げ応力* ²	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_{PC}	鋼板に生じる組合せ応力	MPa
σ_P	鋼板に生じる曲げ応力	MPa
τ_{ab}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{B12}	支持梁に生じる組合せせん断応力	MPa
τ_{Bj}	支持梁に生じるせん断応力* ²	MPa
τ_{BR12}	ブラケットに生じる組合せせん断応力	MPa
τ_{BRj}	ブラケットに生じるせん断応力* ²	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*1：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：添字 j の意味は，以下のとおりとする。

j=1：支持梁又はブラケットの強軸方向

j=2：支持梁又はブラケットの弱軸方向

*3：添字 k の意味は，以下のとおりとする。

k=1：鋼板の面外方向

k=2：鋼板の面内方向

(4) 荷重の組合せ及び許容応力

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を表3.5-2に示す。許容応力状態は津波の繰り返しの来襲を想定し、許容応力状態Ⅲ_ASとする。また、循環水ポンプ渦防止板の評価部位に対する許容応力及び使用材料の許容応力評価条件を各々表3.5-3及び表3.5-4に示す。

また、算出した各応力に基づき、以下に示す組合せ応力を評価する。

a. 鋼板、支持梁及びブラケット

各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力が許容曲げ応力 f_{bm} 以下であること。

	津波及び弾性設計用地震動 S_d による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

b. 取付ボルト及び基礎ボルト

ボルトの引張応力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。

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

せん断応力はせん断力のみを受ける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。

	津波及び弾性設計用地震動 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

表 3.5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態

機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ*1,*2	許容応力状態
循環水ポンプ渦防止板	C	D + 津波荷重 + S d	Ⅲ _A S

注記*1：Dは固定荷重を示す。また、S dは余震荷重を示す。

*2：固定荷重が津波荷重を緩和する方向に作用する場合、保守的に組み合わせない。

表 3.5-3 許容応力

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)		許容限界 (ボルト)	
	一次応力		一次応力	
	曲げ	せん断	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_{t1}$	$1.5 \cdot f_{s1}$

f_s ：設計・建設規格 SSB-3121.1(2)に定める値

f_b ：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)に定める値

f_{t1} ：設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値

f_{s1} ：設計・建設規格 SSB-3131.1(2)に定める値

表 3.5-4 許容応力評価条件

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
循環水 ポンプ 渦防止板	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		周囲 環境 温度	40	175	480
	取付ボルト②		周囲 環境 温度	40	175	480
	基礎ボルト		周囲 環境 温度	40	175	480

S_y : 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値

S_u : 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値

S_y (R T) : 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値

(5) 固有周期の算出及び設計用地震力の設定

a. 固有周期の算出

循環水ポンプ渦防止板の固有周期の算出は、添付書類「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」の「4. 固有周期」に示す方法で実施する。計算の結果、表3.5-5に示すとおり、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 3.5-5 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	

b. 設計用地震力の設定

評価に用いる設計用地震力を表3.5-6に示す。弾性設計用地震力 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3.5-6 循環水ポンプ渦防止板 設計用地震力

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) :		^{*2}
	水平 (EW) :		^{*2}
	鉛直 :		^{*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		
	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度
	NS 方向	EW 方向	
	1.83 ^{*3}	0.92 ^{*4, *5}	1.58 ^{*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_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

*4：設計用震度 II（基準地震動 S_d ）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

(6) 循環水ポンプ渦防止板に作用する流体力と評価部位に発生する荷重の計算

循環水ポンプ渦防止板のうち鋼板に津波が作用することを想定し流体力を算出した。流体力の算出にあたり、保守的に水平方向津波による最大流体力と鉛直方向津波による最大流体力を同時に受けるとして計算する。

- a. 鋼板に作用する流体力（以下「抗力」という。）は次式より求める。評価結果を表3.5-7に示す。

$$F_{DH} = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_H$$

$$F_{DV} = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A_V$$

表3.5-7 津波により作用する抗力

項目	循環水ポンプ 渦防止板
抗力係数（平板） C_D	2.01*
海水密度 ρ (kg/m ³)	1030
水平方向津波流速 V (m/s)	1.0
鉛直方向津波流速 U (m/s)	1.0
抗力が作用する投影面積（水平方向） A_H (m ²)	46.6
抗力が作用する投影面積（鉛直方向） A_V (m ²)	27.0
抗力（水平方向） F_{DH} (N)	48238
抗力（鉛直方向） F_{DV} (N)	27950

注記*：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年）」より保守的に最大となる値を設定

(7) 鋼板の評価

a. 鋼板に発生するせん断応力

鋼板の面外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、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。図3.5-3に鋼板の計算モデル図を示す。ただし、 $L_U < L_L$ である。また、算定条件を表3.5-8に示す。

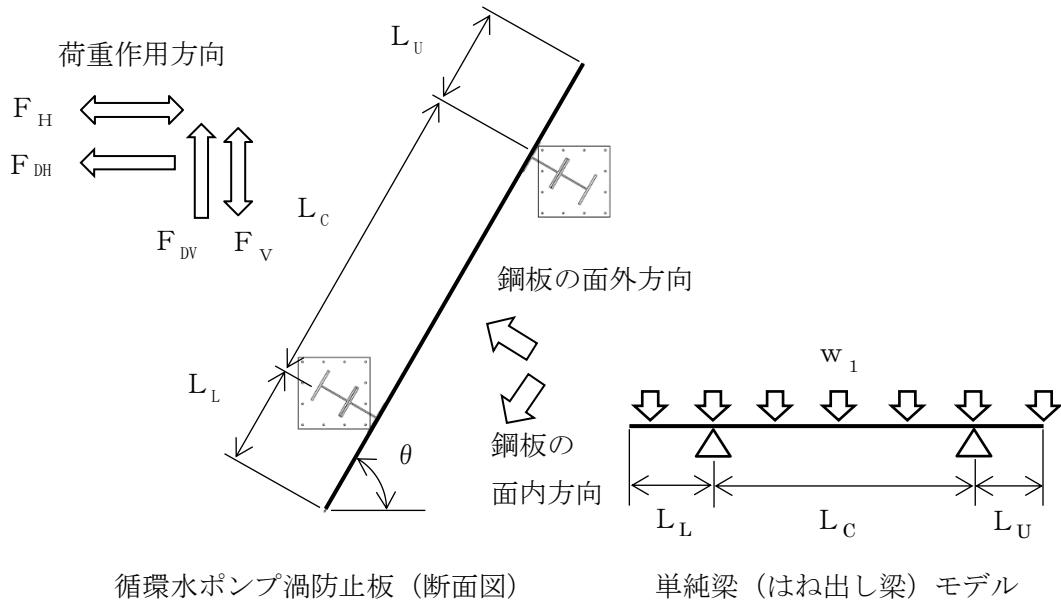


図3.5-3 鋼板の計算モデル図

$$Q_P = \frac{w_1 \cdot (L_U + L_C)^2 - w_1 \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C} - w_1 \cdot L_U$$

$$w_1 = \left\{ (F_{DH} \cdot \sin \theta / A_H + F_{DV} \cdot \cos \theta / A_V) + \sqrt{(F_H \cdot \sin \theta)^2 + (F_V \cdot \cos \theta)^2} - g \cdot \gamma \cdot t_p \cdot \cos \theta \right\} \cdot L_B$$

$$F_H = C_{H1} \cdot g \cdot \gamma \cdot t_P$$

$$F_V = C_{V1} \cdot g \cdot \gamma \cdot t_P$$

$$\tau_P = \frac{Q_P}{A_{WP}}$$

表3.5-8 鋼板に発生するせん断力及びせん断応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
鋼板の上側はね出し長さ L_U (mm)	
鋼板の支持点間長さ L_C (mm)	
鋼板の下側はね出し長さ L_L (mm)	
鋼板の取付角度 θ (°)	
鋼板の密度 γ (kg/mm ³)	7.98×10^{-6}
鋼板の厚み t_P (mm)	12
鋼板のせん断断面積 A_{WP} (mm ²)	103200
支持梁の支持点間長さ L_B (mm)	8185

b. 鋼板に発生する曲げ応力

鋼板の単位長さ当たりが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。また、算定条件を表 3.5-9 に示す。

$$M_P = \text{Max} \left(\frac{w_1 \cdot L_U^2}{2}, \frac{w_1 \cdot (L_U + L_C)^2 - w_1 \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C} \cdot \frac{L_C}{2} - \frac{w_1}{2} \cdot \left(L_U + \frac{L_C}{2} \right)^2 \right)$$

$$\sigma_P = \frac{M_P}{Z_P}$$

$$Z_P = \frac{W_P \cdot t_P^2}{6}$$

表3.5-9 鋼板に発生する曲げモーメント及び曲げ応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
鋼板の断面係数 Z_P (mm ³)	196440

c. 組合せ応力

鋼板に作用する組合せ応力 σ_{PC} を次式より求める。

$$\sigma_{PC} = \sqrt{\sigma_P^2 + 3 \cdot \tau_P^2}$$

(8) 支持梁の評価

a. 支持梁に発生するせん断応力

支持梁は、ブラケットにより支持される単純梁として抵抗する。支持梁1本当たりが負担する鋼板に作用する板面外力により発生するせん断力 Q_{B1} 、 Q_{B2} 及びせん断応力 τ_{Bj} は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。図3.5-4に支持梁の計算モデル図を示す。また、算定条件を表3.5-10に示す。

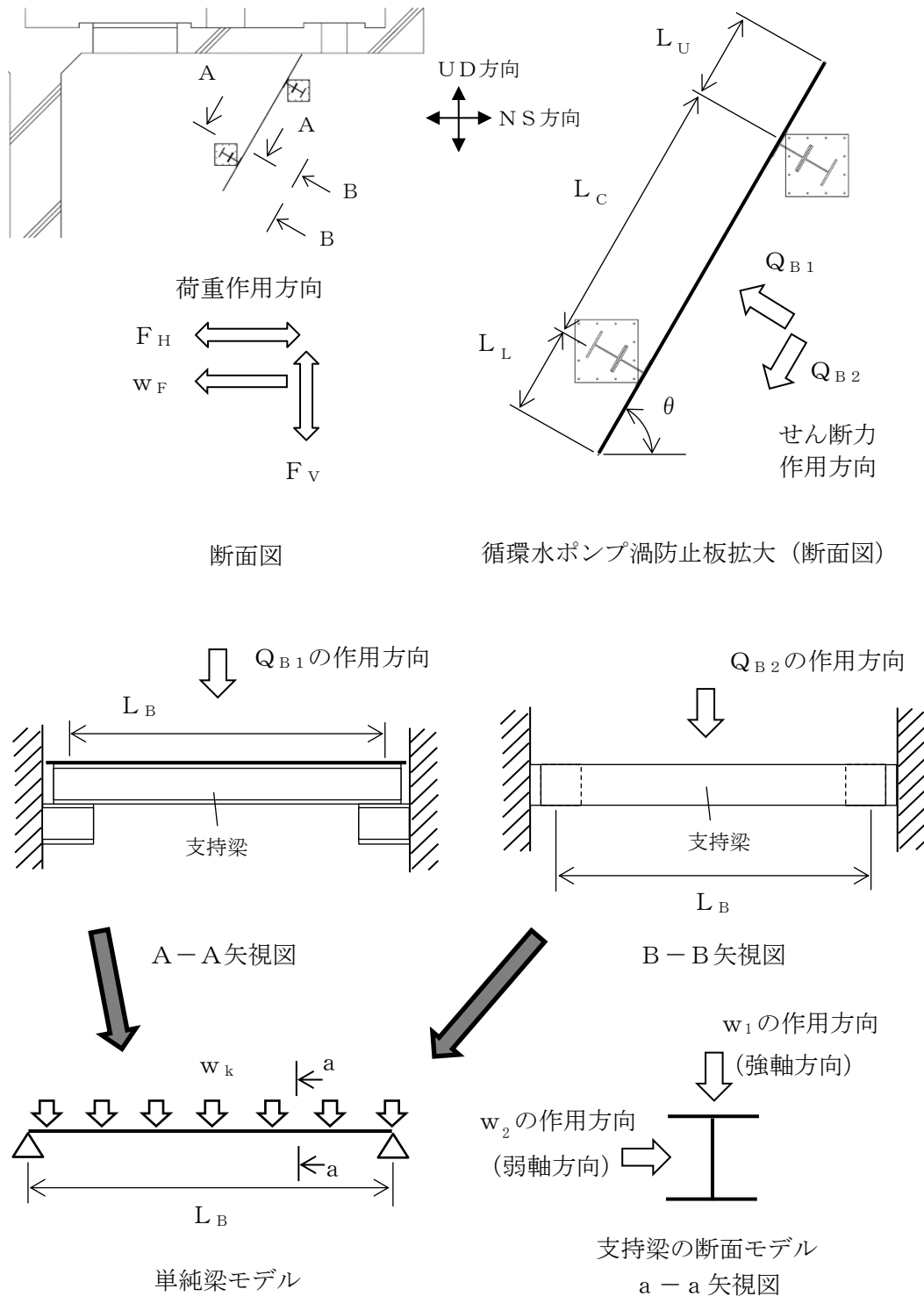


図3.5-4 支持梁の計算モデル図

$$Q_{B1} = \frac{w_1}{2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) + g \cdot m_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \sin \theta)^2 + (C_V \cdot \cos \theta)^2} - \cos \theta \right) \times \frac{L_B}{2}$$

$$Q_{B2} = \frac{w_2}{2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) + g \cdot m_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \cos \theta)^2 + (C_V \cdot \sin \theta)^2} + \sin \theta \right) \times \frac{L_B}{2}$$

$$w_2 = \left\{ (F_{DH} \cdot \cos \theta / A_H + F_{DV} \cdot \sin \theta / A_V) + \sqrt{(F_H \cdot \cos \theta)^2 + (F_V \cdot \sin \theta)^2} + g \cdot \gamma \cdot t_p \cdot \sin \theta \right\} \cdot L_B$$

$$\tau_{Bj} = \frac{Q_{Bj}}{A_{WBj}}$$

$$\tau_{B12} = \sqrt{\tau_{B1}^2 + \tau_{B2}^2}$$

表 3.5-10 支持梁に発生するせん断力及びせん断応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
支持梁の支持点間長さ L_B (mm)	8185
支持梁の単位長さ当たりの質量 m_B (kg/mm)	0.187
支持梁のせん断面積 A_{WB1} (mm ²)	4344
支持梁のせん断面積 A_{WB2} (mm ²)	15200

b. 支持梁に発生する曲げ応力

支持梁に生じる曲げモーメント M_{Bj} 及び曲げ応力 σ_B は次式より求める。また、算定条件を表 3.5-11 に示す。

$$M_{Bj} = \frac{Q_{Bj} \cdot L_B}{4}$$

$$\sigma_{Bj} = \frac{M_{Bj}}{Z_{Bj}}$$

$$\sigma_{B12} = \sigma_{B1} + \sigma_{B2}$$

$$Z_{B1} = \frac{\{H_B^3 \cdot B_B - (H_B - 2 \cdot t_{flg})^3 \cdot (B_B - t_{web})\} / 12}{H_B / 2}$$

$$Z_{B2} = \frac{\{2 \cdot B_B^3 \cdot t_{flg} + t_{web}^3 \cdot (H_B - 2 \cdot t_{flg})\} / 12}{B_B / 2}$$

表 3.5-11 支持梁に発生する曲げモーメント及び曲げ応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
支持梁の高さ H_B (mm)	400
支持梁の幅 B_B (mm)	400
支持梁のフランジの厚み t_{flg} (mm)	19
支持梁のウェブの厚み t_{web} (mm)	12
支持梁の断面係数 Z_{B1} (mm ³)	2997500
支持梁の断面係数 Z_{B2} (mm ³)	1013600

c. 組合せ応力

支持梁に作用する組合せ応力 σ_{BC} を次式より求める。

$$\sigma_{BC} = \sqrt{\sigma_{B12}^2 + 3 \cdot \tau_{B12}^2}$$

(9) ブラケットの評価

a. ブラケットに発生するせん断応力

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_{BRj} 及びせん断応力 τ_{BR} は次式より求める。図3.5-5にブラケットの計算モデル図を示す。また、算定条件を表3.5-12に示す。

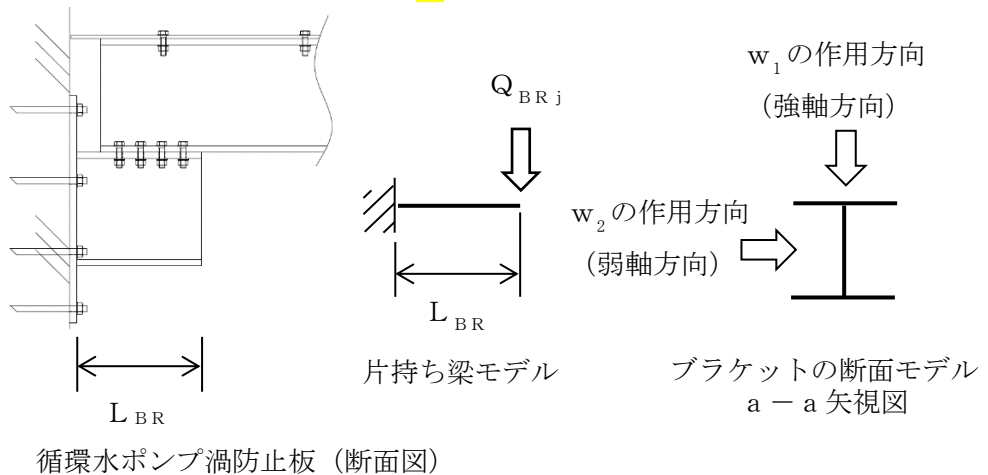


図3.5-5 ブラケットの計算モデル図

$$Q_{BRj} = Q_{Bj}$$

$$\tau_{BRj} = \frac{Q_{BRj}}{A_{WBRj}}$$

$$\tau_{BR12} = \sqrt{\tau_{BR1}^2 + \tau_{BR2}^2}$$

表3.5-12 支持梁に作用するせん断力及びせん断応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
ブラケットのせん断断面積 A_{WBR1} (mm ²)	4344
ブラケットのせん断断面積 A_{WBR2} (mm ²)	15200

b. ブラケットに発生する曲げ応力

ブラケットに発生する曲げモーメント M_{BRj} 及び曲げ応力 σ_{BRj} は次式より求める。また、算定条件を表3.5-13に示す。

$$M_{BRj} = Q_{BRj} \cdot L_{BR}$$

$$\sigma_{BRj} = \frac{M_{BRj}}{Z_{BRj}}$$

$$\sigma_{BR12} = \sigma_{BR1} + \sigma_{BR2}$$

$$Z_{BR1} = \frac{\{H_{BR}^3 \cdot B_{BR} - (H_{BR} - 2 \cdot t_{BRflg})^3 \cdot (B_{BR} - t_{BRweb})\}}{12 \cdot H_{BR}/2}$$

$$Z_{BR2} = \frac{\{2 \cdot B_{BR}^3 \cdot t_{BRflg} + t_{BRweb}^3 \cdot (H_{BR} - 2 \cdot t_{BRflg})\}}{12 \cdot B_{BR}/2}$$

表3.5-13 ブラケットに作用する曲げモーメント及び曲げ応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
ブラケットの長さ L_{BR} (mm)	440
ブラケットの高さ H_{BR} (mm)	400
ブラケットの幅 B_{BR} (mm)	400
ブラケットのフランジの厚み t_{BRflg} (mm)	19
ブラケットのウェブの厚み t_{BRweb} (mm)	12
ブラケットの断面係数 Z_{BR1} (mm ³)	2997500
ブラケットの断面係数 Z_{BR2} (mm ³)	1013600

c. 組合せ応力

ブラケットに作用する組合せ応力 σ_{BRC} を次式より求める。

$$\sigma_{BRC} = \sqrt{\sigma_{BR12}^2 + 3 \cdot \tau_{BR12}^2}$$

(10) 取付ボルト①の評価

a. 取付ボルト①に発生する引張応力

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ため、取付ボルト①の引張力 N_{b1} 及び引張応力 σ_{b1} は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。また、算定条件を表 3.5-14 に示す。

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

$$\sigma_{b1} = \frac{N_{b1}}{A_{b1}}$$

表3.5-14 取付ボルト①に発生する引張力及び引張応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
取付ボルト①の呼び径	M20
支持梁 1 本当たりの取付ボルト①の本数 n_{b1} (本)	16
取付ボルト①の断面積 A_{b1} (mm ²)	314

b. 取付ボルト①に発生するせん断応力

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、次式より求める。

$$Q_{b1} = w_2 \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) / n_{b1}$$

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}}$$

(11) 取付ボルト②の評価

a. 取付ボルト②に発生する引張応力

単純梁である支持梁の支持点荷重が取付ボルト②に作用する引張力となるため、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。また、算定条件を表 3.5-15 に示す。

$$N_{b2} = \frac{Q_{B1}}{n_{b2}}$$

$$\sigma_{b2} = \frac{N_{b2}}{A_{b2}}$$

表3.5-15 取付ボルト②に発生する引張力及び引張応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
取付ボルト②の呼び径	M20
ブラケット1体当たりの取付ボルト②の本数 n_{b2} (本)	16
取付ボルト②の断面積 A_{b2} (mm^2)	314

b. 取付ボルト②に発生するせん断応力

取付ボルト②に発生するせん断力 Q_{b2} 及びせん断応力 τ_{b2} は、次式より求める。

$$Q_{b2} = \frac{Q_{B2}}{n_{b2}}$$

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}}$$

(12) 基礎ボルトの評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力

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3.5-6に基礎ボルトの計算モデル図を示す。また、算定条件を表3.5-16に示す。

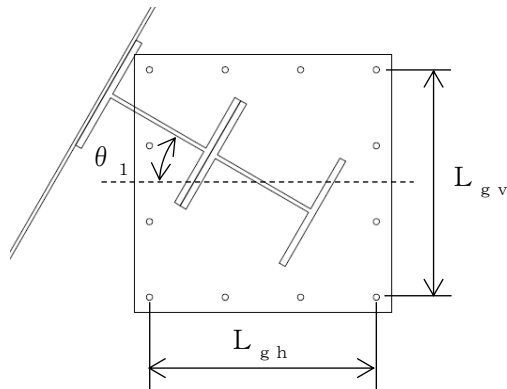


図3.5-6 基礎ボルトの計算モデル図

$$N_{ab} = \frac{M_{BR1} \cdot \cos \theta_1 + M_{BR2} \cdot \sin \theta_1}{n_{ah} \cdot L_{gh}} + \frac{M_{BR1} \cdot \sin \theta_1 + M_{BR2} \cdot \cos \theta_1}{n_{av} \cdot L_{gv}}$$

$$\sigma_{ab} = \frac{N_{ab}}{A_{ab}}$$

表3.5-16 基礎ボルトに発生する引張力及び引張応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
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 L_{gh} (mm)	700
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 L_{gv} (mm)	600
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 n_{ah} (本)	4
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 n_{av} (本)	4
支持梁の取付角度 θ_1 (°)	
基礎ボルトの呼び径	M20
基礎ボルトの呼び径断面積 A_{ab} (mm ²)	314

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力

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。また、算定条件を表 3.5-17 に示す。

$$Q_{ab} = \frac{\sqrt{Q_{BR1}^2 + Q_{BR2}^2}}{n_{ab}}$$

$$\tau_{ab} = \frac{Q_{ab}}{A_{ab}}$$

表3.5-17 基礎ボルトに発生するせん断力及びせん断応力の算定条件

項目	循環水ポンプ 渦防止板
ブラケット 1 体当たりの基礎ボルト本数 n_{ab} (本)	12

(13) 評価結果

循環水ポンプ渦防止板に発生する応力を表 3.5-18 に示す。発生応力は、許容応力以下であることから、津波発生時の荷重及び余震荷重に対して循環水ポンプ渦防止板の健全性は確保されることを確認した。

表 3.5-18 評価結果一覧

循環水ポンプ 渦防止板	評価部位	材料	項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
	鋼板			せん断	1
曲げ				120	201
組合せ				120	201
支持梁			せん断	14	101
			曲げ	157	175
			組合せ	159	175
ブラケット			せん断	14	101
			曲げ	34	175
			組合せ	42	175
取付ボルト①			引張	17	131
			せん断	16	101
取付ボルト②			引張	12	131
			せん断	12	101
基礎ボルト			引張	86	131
			せん断	22	80