

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-30
提出年月日	2022年11月10日

VI-2-11-2-7-15 除じん機の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-7-15 R0

2022年11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	6
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	8
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 構造強度評価	11
4.1 構造強度評価方法	11
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	22
4.5 設計用地震力	23
4.6 計算方法	24
4.7 計算条件	32
4.8 応力の評価	32
5. 評価結果	34
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	34
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	34

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除じん機（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、水路下流側に設置された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「HPSW 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

除じん機は、取水槽に設置されている。除じん機は、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 RSW ポンプ及び HPSW ポンプの水路上流側に設置されていることから、地震時に水中にあるフレーム等が損傷して脱落した場合は、RSW ポンプ及び HPSW ポンプに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

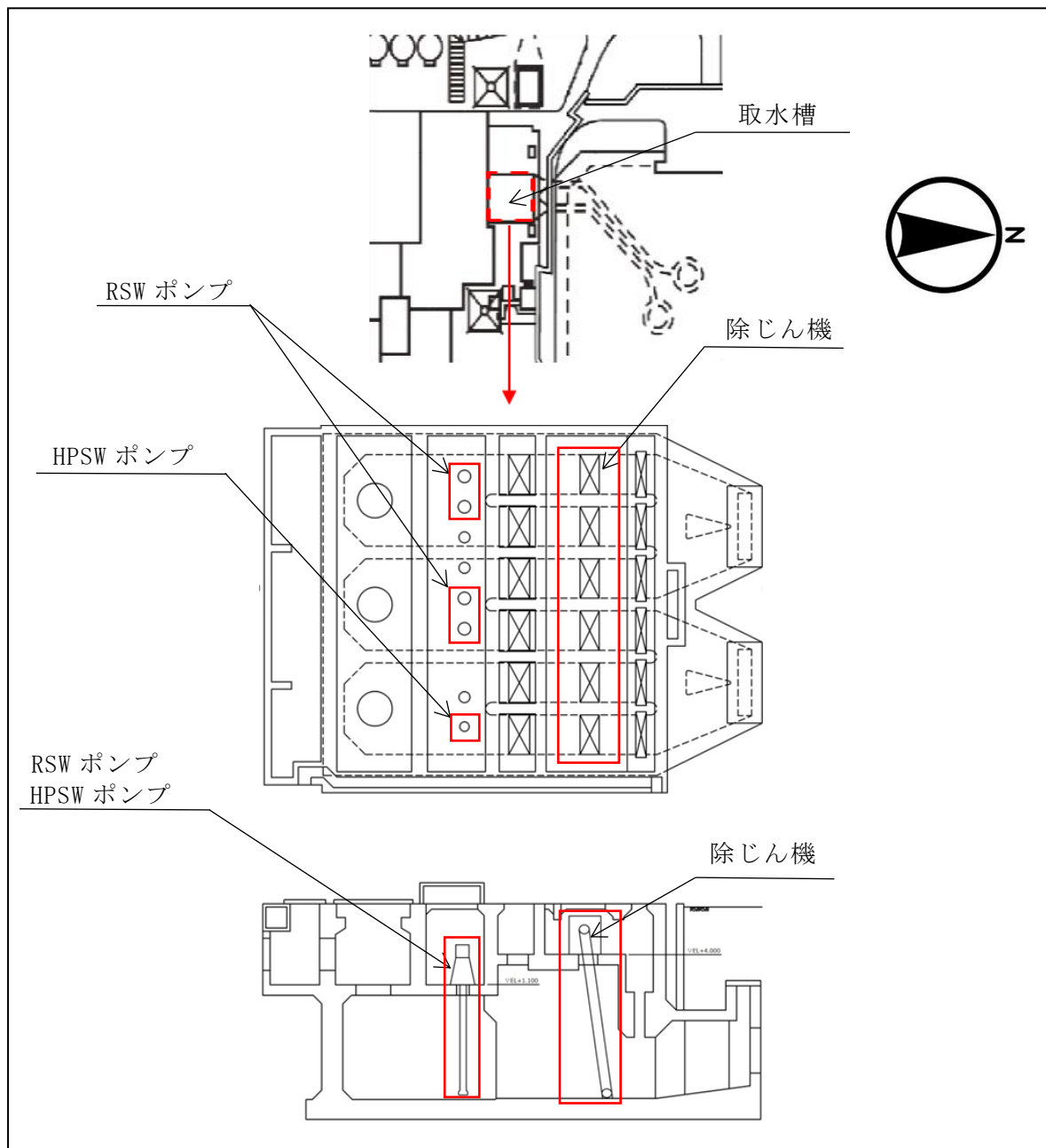


図 2-1 除じん機と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

除じん機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
1. ハウジング*は地上部にあり，底部4辺をハウジング取付ボルトによりハウジングベースを介して取水槽に固定されている。	鋼製溶接構造（鋼板，形鋼）	

注記*：損傷の際に水路部へ落下する構造ではないため，波及的影響の評価対象外とする。

表 2-1 構造計画 (2/3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>2. フレームは水路部にあり，上部をフレーム取付ボルトによりハウジングベースを介して取水槽に，中間部をフレーム耐震サポートにより取水槽壁に，底部をフレーム耐震ピン（水平方向支持）及びアジャストボルト（鉛直方向支持）により取水槽に固定されている。</p> <p>3. 尾軸は尾軸取付ボルトによりフレームに固定されている。</p>		

B'-(B'')

表 2-1 構造計画 (3/3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<div style="border: 2px solid black; width: 300px; height: 250px; margin: 0 auto; margin-bottom: 10px;"></div> <p style="text-align: center;">C 部</p> <p style="text-align: center;">D 部</p>

2.3 評価方針

除じん機の応力評価は、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」にて示す除じん機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 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、「4. 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「5. 評価結果」に示す。

除じん機の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

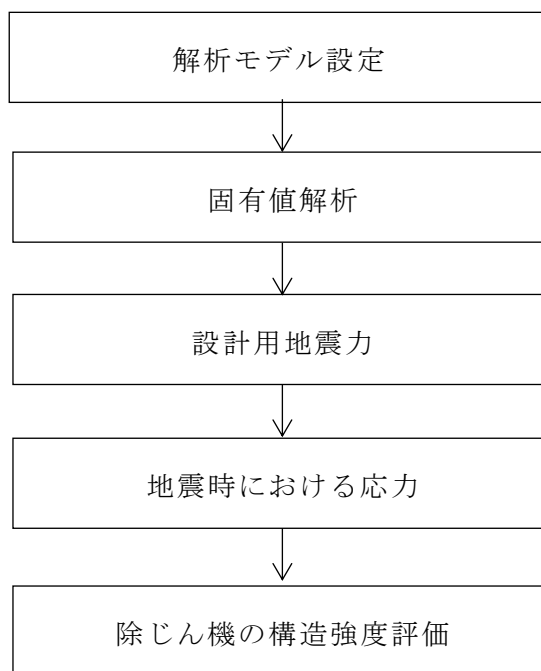


図 2-2 除じん機の耐震評価フロー

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}	フレーム耐震サポート断面積（水流方向）	mm^2
A_c	フレーム耐震ピンの断面積	mm^2
A_{hb}	フレーム耐震サポート断面積（水流直角方向）	mm^2
A_i	ボルトの有効断面積* ¹	mm^2
B	フレーム耐震サポート巾	mm
$C_{H(EW)}$	水流直角方向設計震度	—
$C_{H(NS)}$	水流方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	フレーム耐震ピン径	mm
d_{oi}	ボルトの有効径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_a	付加質量による荷重（水流方向）	N
F_{ac}	付加質量による地震時荷重（水流方向）	N
F_{ad}	水圧荷重（水流方向）	N
F_{at}	地震時における全荷重（水流方向）	N
F_{aw}	自重による地震時荷重（水流方向）	N
F_h	付加質量による荷重（水流直角方向）	N
F_{hc}	付加質量による地震時荷重（水流直角方向）	N
F_{ht}	地震時における全荷重（水流直角方向）	N
F_{hw}	自重による地震時荷重（水流直角方向）	N
F_v	付加質量による荷重（鉛直方向）	N
F_{vc}	付加質量による地震時荷重（鉛直方向）	N
F_{vt}	地震時における全荷重（鉛直方向）	N
F_{vw}	自重による地震時荷重（鉛直方向）	N
F_w	フレーム荷重	N
f_{bm}	許容曲げ応力	MPa
f_{cm}	許容圧縮応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sm}	許容せん断応力	MPa
H	フレーム耐震サポート高さ	mm
I_p	断面二次極モーメント	mm^4
I_y	断面二次モーメント	mm^4
I_z	断面二次モーメント	mm^4
J	ねじり定数	mm^4
i	断面二次半径	mm

記号	記号の説明	単位
L	フレーム耐震サポート長さ	mm
L _c	フレーム耐震ピン長さ	mm
l _k	部材長さ	mm
M _a	曲げモーメント（水流方向）	N・mm
M _h	曲げモーメント（水流直角方向）	N・mm
n _b	フレーム耐震サポート数	—
n _c	フレーム耐震ピン数	—
n _i	ボルトの本数* ¹	—
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
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℃における値	MPa
Z	断面係数	mm ³
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ _{a b}	フレーム耐震ピンに生じる曲げ応力（水流方向）	MPa
σ _{a b s}	フレーム耐震ピンに生じる組合せ応力（水流方向）	MPa
σ _{h b}	フレーム耐震ピンに生じる曲げ応力（水流直角方向）	MPa
σ _{h b s}	フレーム耐震ピンに生じる組合せ応力（水流直角方向）	MPa
σ _{v c}	アジャストボルトに生じる圧縮応力（鉛直方向）	MPa
τ _{a k}	部材に生じる水流方向せん断応力* ²	MPa
τ _{b k}	部材に生じる合成せん断応力* ²	MPa
τ _{h k}	部材に生じる水流直角方向せん断応力* ²	MPa
τ _{v k}	部材に生じる鉛直方向せん断応力* ²	MPa

注記*1：A_i，d_{o i}，n_iの添字iの意味は、以下のとおりとする。

i = 1：フレーム取付ボルト

i = 2：アジャストボルト

i = 3：尾軸取付ボルト

*2：τ_{a k}，τ_{b k}，τ_{h k}，τ_{v k}の添字kの意味は、以下のとおりとする。

k = 1：フレーム取付ボルト

k = 2：フレーム耐震サポート

k = 3：フレーム耐震ピン

k = 4：尾軸取付ボルト

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	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入	小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
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 ^{*5}		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: 設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3: 設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4: 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5: 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

除じん機の耐震評価は、「4.1 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フレームに対し、耐震評価上厳しくなるフレーム取付ボルト、フレーム耐震サポート、フレーム耐震ピン、アジャストボルト、尾軸取付ボルトについて実施する。除じん機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. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 除じん機は、フレームを取水槽にフレーム取付ボルト、フレーム耐震サポート、フレーム耐震ピン及びアジャストボルトにより固定する。
- (2) 地震力は、除じん機に対して、水平方向(水流(X)方向、水流直角(Z)方向)及び鉛直方向(鉛直(Y)方向)から個別に作用させる。
また、水平方向(水流(X)方向)及び鉛直方向(鉛直(Y)方向)の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 除じん機の質量には、除じん機自身の質量のほか、付加質量*を考慮する。
- (4) フレーム取付ボルトは、水流(X)方向と鉛直(Y)方向の荷重を支持する構造とする。
- (5) フレーム耐震サポートは、水流(X)方向及び水流直角(Z)方向の荷重を支持する構造とする。
- (6) フレーム底部は、フレーム耐震ピンで水流(X)方向及び水流直角(Z)方向の荷重を支持し、アジャストボルトで鉛直(Y)方向の荷重を支持する構造とする。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：付加質量とは、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、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

除じん機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4-1に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

除じん機の許容応力は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

除じん機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4-4に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表 4-1 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	除じん機	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

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 4-2 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	除じん機	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} 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 4-3 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	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IVAS						
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f^*_t$	$1.5 \cdot f^*_s$	$1.5 \cdot f^*_c$	$1.5 \cdot f^*_b$	$1.5 \cdot f^*_t$	$1.5 \cdot f^*_s$

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 4-4 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)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
フレーム取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205
フレーム耐震サポート	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205
フレーム耐震ピン	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205
尾軸取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205

表 4-5 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)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
フレーム取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205
フレーム耐震サポート	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205
フレーム耐震ピン	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205
尾軸取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	205

4.3 解析モデル及び諸元

除じん機の解析モデルを図 4-1、断面番号を図 4-2、フレームの断面データを表 4-6、フレームの断面形状を図 4-3 に示す。

解析モデルの概要を以下に示す。なお、図中の X は水流方向，Y は鉛直方向，Z は水流直角方向を示す。また，機器の諸元を本計算書の【除じん機の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 除じん機のフレームをはり要素でモデル化した三次元 FEM モデルを用いる。
- (2) 拘束条件は，フレーム上部の取付部で，水流(X)方向，鉛直(Y)方向，水流直角(Z)方向を並進・回転固定，フレーム中間部のフレーム耐震サポート点で，水流(X)方向，水流直角(Z)方向を並進固定・回転自由，鉛直(Y)方向を並進・回転自由，フレーム底部のフレーム耐震ピン位置で，水流(X)方向，鉛直(Y)方向，水流直角(Z)方向を並進固定・回転自由とする。
- (3) 除じん機の質量は，除じん機自身の質量及び付加質量を考慮し，付加質量は，フレームの全体にわたって与える。
- (4) 解析コードは，「MSC. NASTRAN 2012 r 2」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる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。

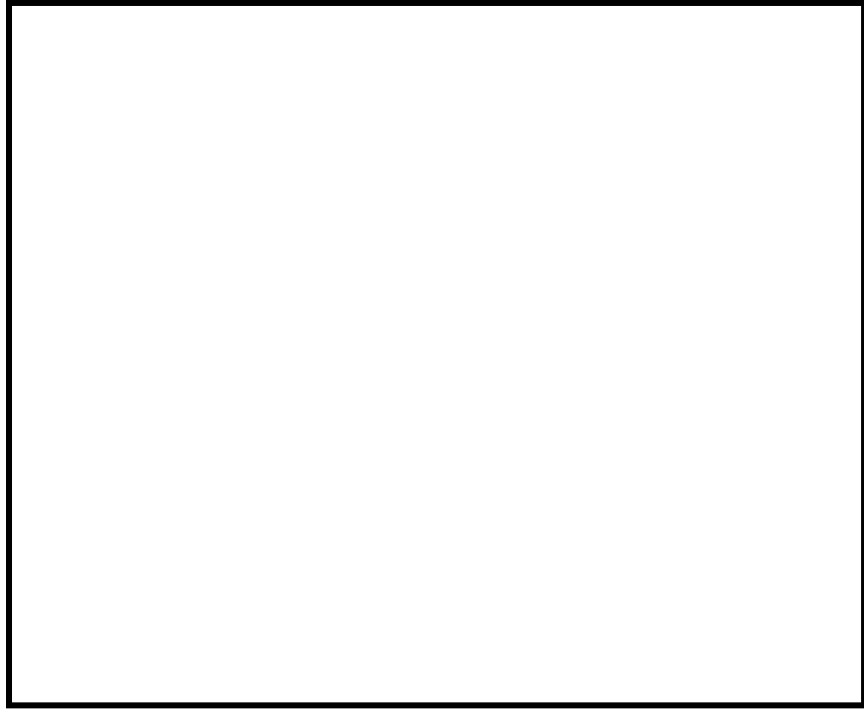


図 4-1 解析モデル

(X : 水流方向, Y : 鉛直方向, Z : 水流直角方向を示す。)

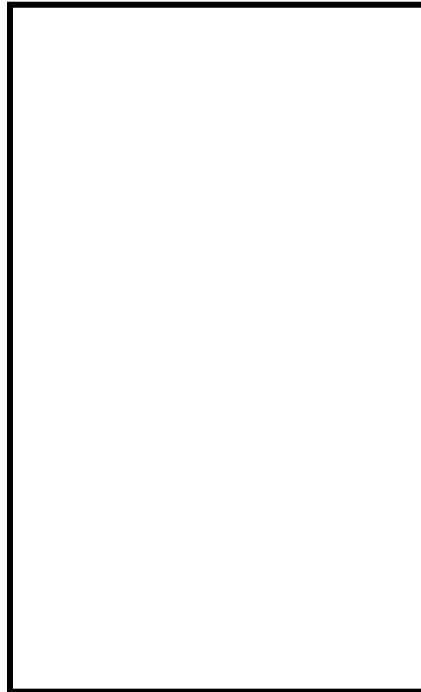
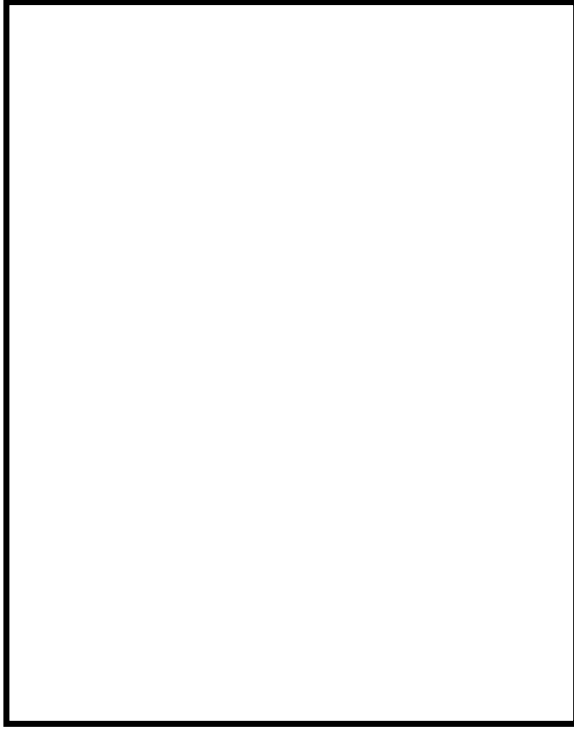


図 4-2 断面番号

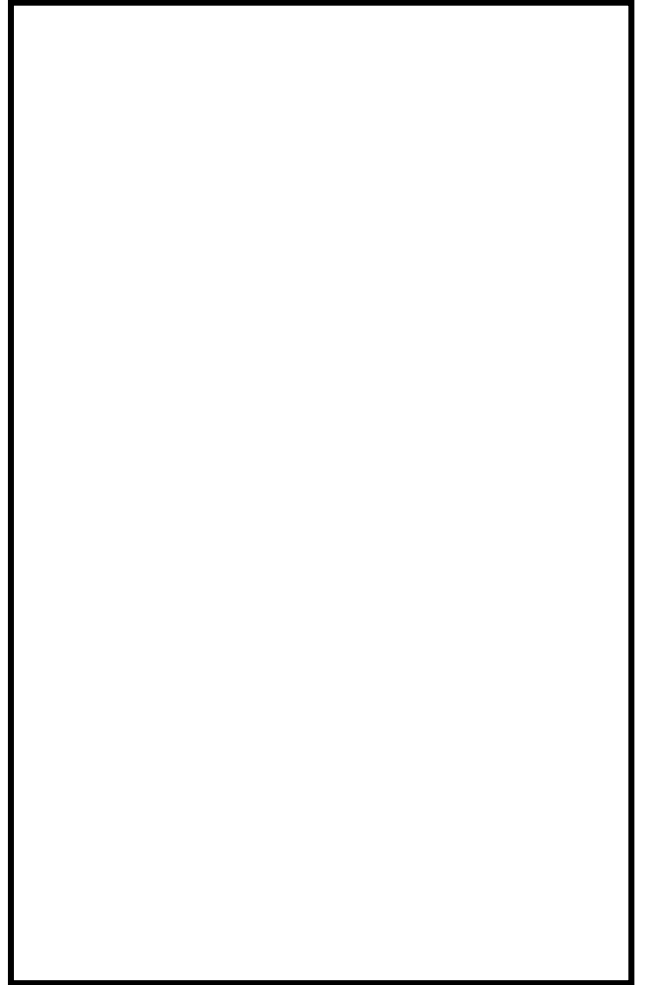
表 4-6 フレームの断面データ

断面 番号	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)		ねじり定数 (mm ⁴) J
		I _y	I _z	断面二次極モーメント (mm ⁴) I _p *
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

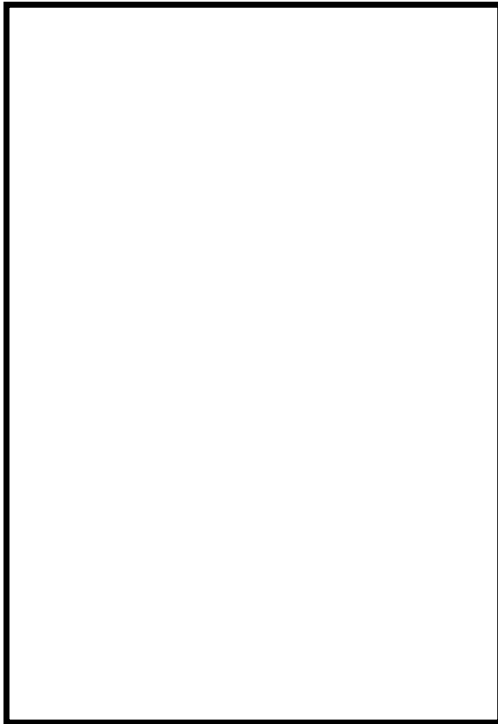
注記* : 断面番号 9 は, 断面二次極モーメントの値を示す。



断面番号 1



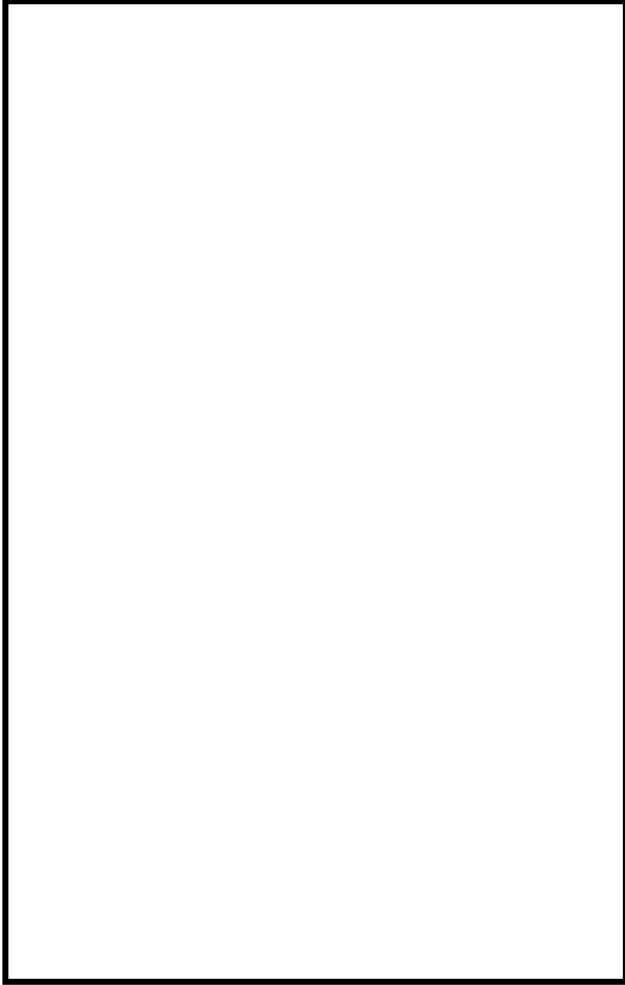
断面番号 2



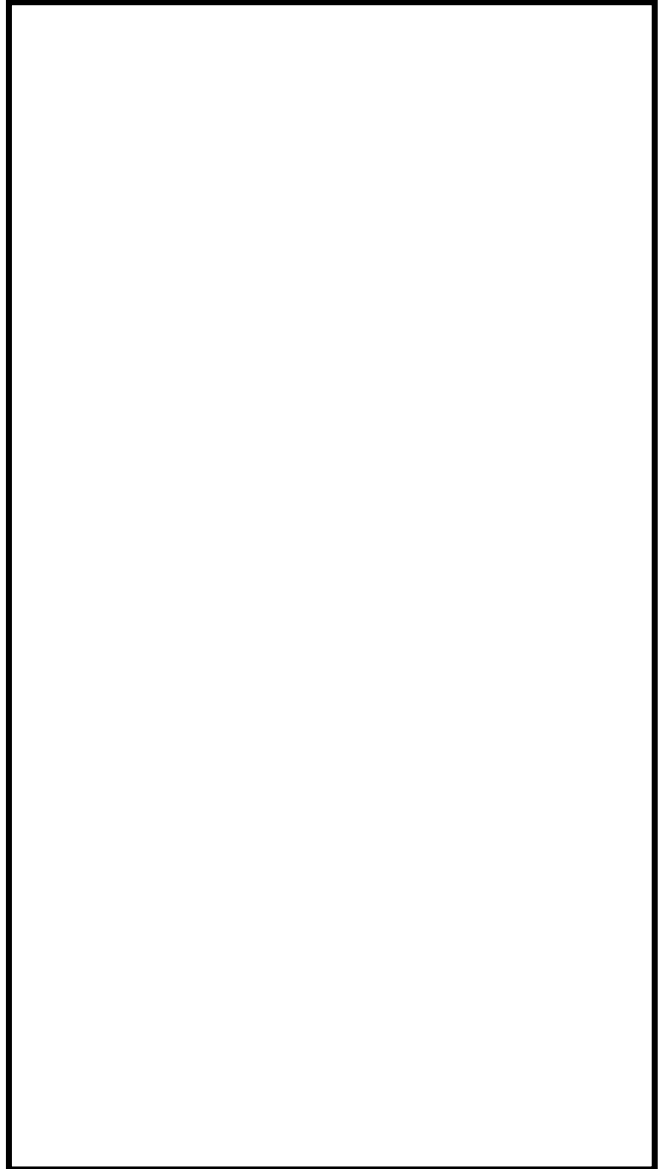
断面番号 3

単位 : mm

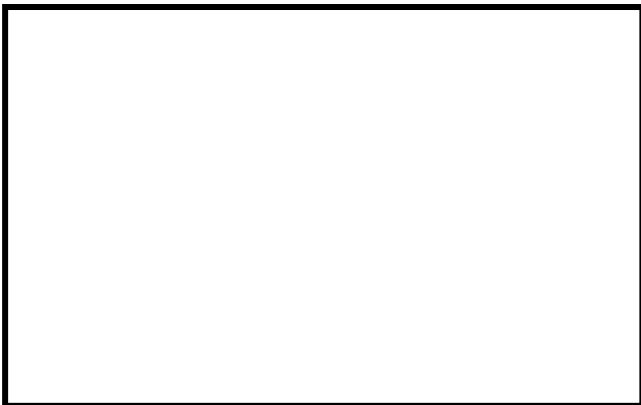
図 4-3 フレームの断面形状 (1/3)



断面番号 4



断面番号 5



断面番号 6



断面番号 7

単位：mm

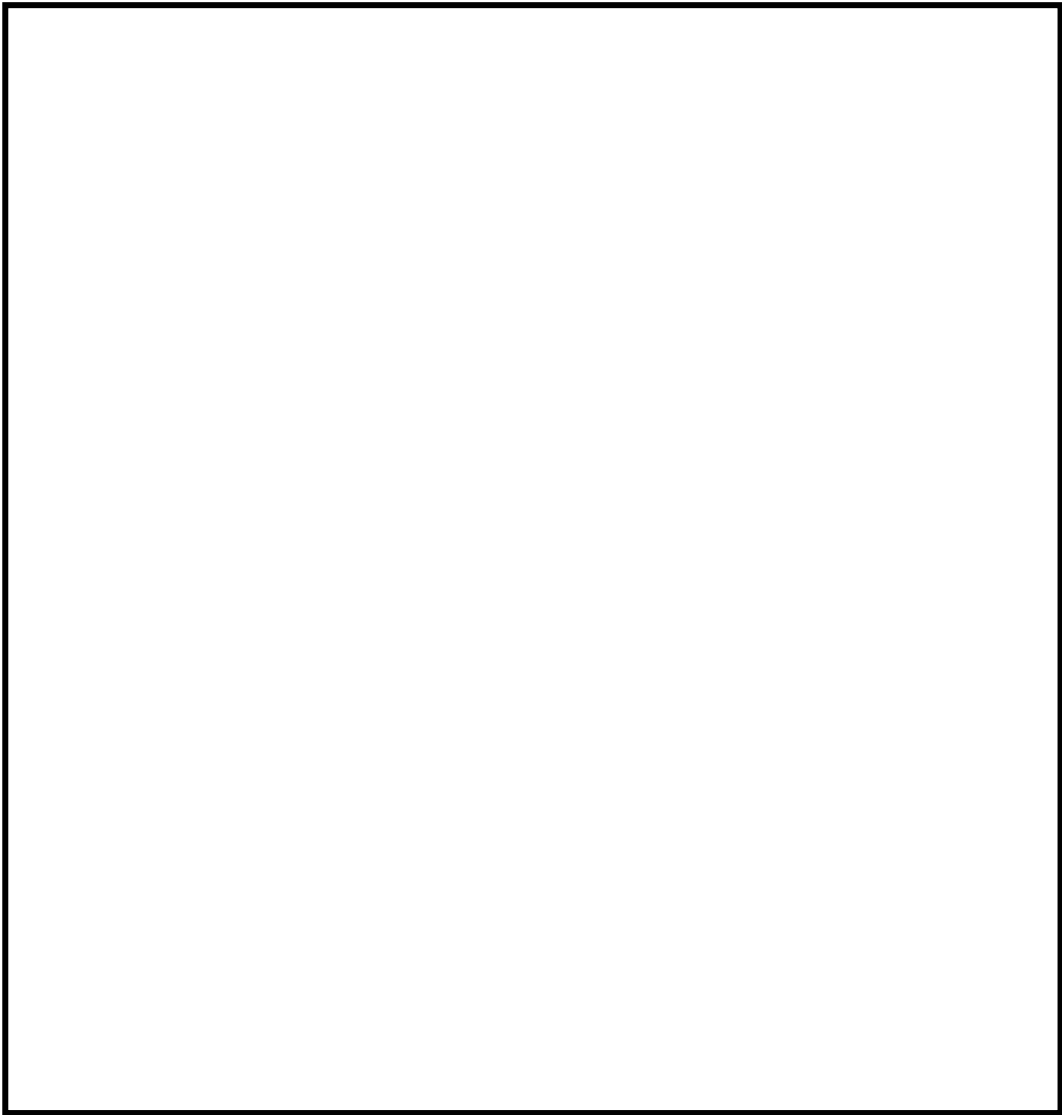
図 4-3 フレームの断面形状(2/3)



断面番号 8



断面番号 9



断面番号 10

単位：mm

図 4-3 フレームの断面形状 (3/3)

4.4 固有周期

固有周期解析の結果を表 4-7 に示す。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。また、1 次の振動モード図を図 4-4 に示す。

表 4-7 固有値解析結果

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
			水流方向	水流直角方向	
1 次	水平	<input type="text"/>	—	—	—

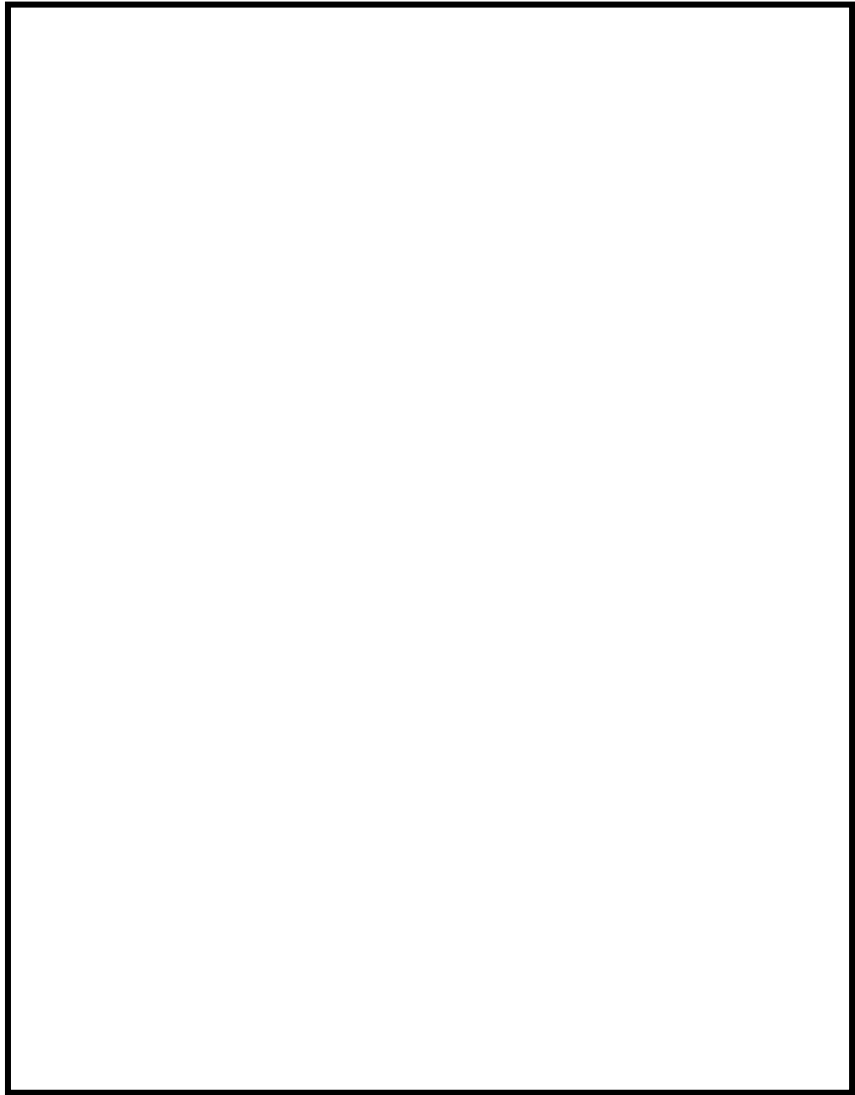


図 4-4 振動モード (1 次)

4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-8 及び表 4-9 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。

表 4-8 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)	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		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直 角方向)	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直角 方向)	鉛直方向 設計震度
取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0m* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _H (NS) =3.30* ²	C _H (EW) =2.07* ²	C _V = 1.92* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

表 4-9 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)	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		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直 角方向)	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直角 方向)	鉛直方向 設計震度
取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0m* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _H (NS) =3.30* ²	C _H (EW) =2.07* ²	C _V = 1.92* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

フレーム取付ボルト，フレーム耐震サポート及びフレーム耐震ピンの水流方向の全荷重 F_{at} ，水流直角方向の全荷重 F_{ht} ，鉛直方向の全荷重 F_{vt} の負担割合を図 4-5 に示す。

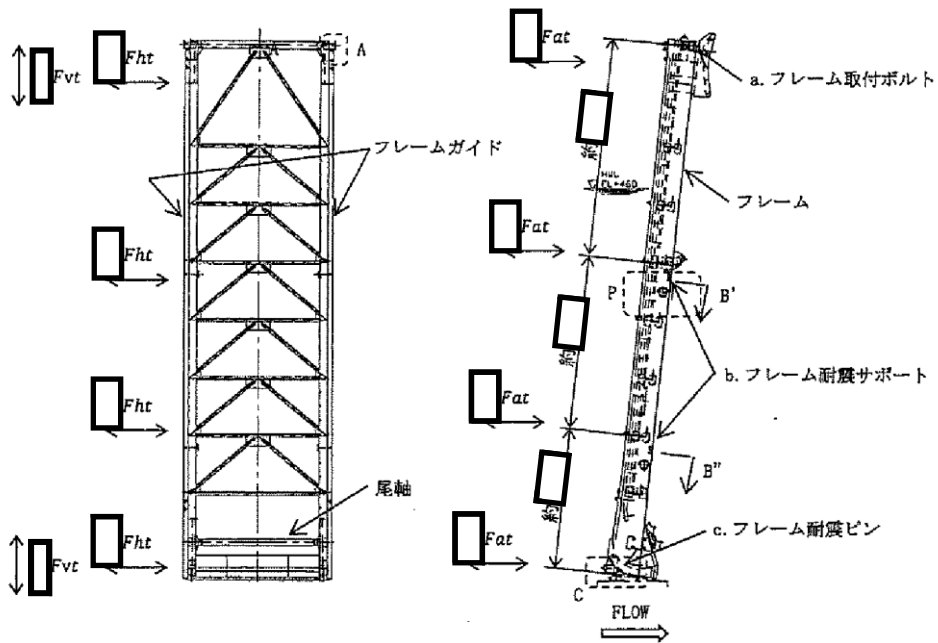


図 4-5 フレーム各支持点での荷重負担

4.6.1.1 フレーム取付ボルトの計算方法

①せん断応力 1 - 水流方向

$$\tau_{a1} = \frac{F_{at}}{A_1 \times n_1} \dots \dots \dots (4.6.1.1.1)$$

ここで，フレーム取付ボルト有効断面積 A_1 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_1 = \frac{\pi \times d_{o1}^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.1.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} \dots \dots \dots (4.6.1.1.3)$$

また，水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.1.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.1.5)$$

②せん断応力2-鉛直方向

$$\tau_{v1} = \frac{F_{vt}}{A_1 \times n_1} \dots \dots \dots (4.6.1.1.6)$$

ここで、鉛直方向の地震時における全荷重 F_{vt} は以下の式で算出される。

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \dots \dots \dots (4.6.1.1.7)$$

また、鉛直方向の自重による地震時荷重 F_{vw} 及び鉛直方向の付加質量による地震時荷重 F_{vc} は以下の式で算出される。

$$F_{vw} = F_w \times C_{V+FW} \dots \dots \dots (4.6.1.1.8)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_V \dots \dots \dots (4.6.1.1.9)$$

③せん断応力合成

$$\tau_{b1} = \sqrt{\tau_{a1}^2 + \tau_{v1}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.1.10)$$

4.6.1.2 フレーム耐震サポートの計算方法

フレーム耐震サポートの評価は、構造が同じなため、荷重が大きい上側の計算を実施する。

①せん断応力1－水流方向

$$\tau_{a2} = \frac{\boxed{\phantom{F_{at}}} F_{at}}{A_{ab} \times n_b} \dots \dots \dots (4.6.1.2.1)$$

ここで、フレーム耐震サポート断面積 A_{ab} 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_{ab} = B \times L \dots \dots \dots (4.6.1.2.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} \dots \dots \dots (4.6.1.2.3)$$

また、水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.5)$$

②せん断応力2－水流直角方向

$$\tau_{h2} = \frac{\boxed{\phantom{F_{ht}}} F_{ht}}{A_{hb} \times n_b} \dots \dots \dots (4.6.1.2.6)$$

ここで、フレーム耐震サポート断面積 A_{hb} 、水流直角方向の地震時における全荷重 F_{ht} は以下の式で算出される。

$$A_{hb} = B \times H \dots \dots \dots (4.6.1.2.7)$$

$$F_{ht} = F_{hw} + F_{hc} \dots \dots \dots (4.6.1.2.8)$$

また、水流直角方向の自重による地震時荷重 F_{hw} 及び水流直角方向の付加質量による地震時荷重 F_{hc} は以下の式で算出される。

$$F_{hw} = F_w \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.9)$$

$$F_{hc} = F_h \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.10)$$

4.6.1.3 フレーム耐震ピンの計算方法

①せん断応力1－水流方向

$$\tau_{a3} = \frac{F_{at}}{A_c \times n_c} \dots \dots \dots (4.6.1.3.1)$$

ここで、フレーム耐震ピン断面積 A_c 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_c = \frac{\pi \times D^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.3.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} \dots \dots \dots (4.6.1.3.3)$$

また、水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.5)$$

②せん断応力2－水流直角方向

$$\tau_{h3} = \frac{F_{ht}}{A_c \times n_c} \dots \dots \dots (4.6.1.3.6)$$

ここで、フレーム耐震ピン断面積 A_c 及び水流直角方向の地震時における全荷重 F_{ht} は以下の式で算出される。

$$A_c = \frac{\pi \times D^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.3.7)$$

$$F_{ht} = F_{hw} + F_{hc} \dots \dots \dots (4.6.1.3.8)$$

また、水流直角方向の自重による地震時荷重 F_{hw} 及び水流直角方向の付加質量による地震時荷重 F_{hc} は以下の式で算出される。

$$F_{hw} = F_w \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.9)$$

$$F_{hc} = F_h \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.10)$$

③ 曲げによる引張応力1－水流方向

$$\sigma_{ab} = \frac{M_a}{Z} \dots \dots \dots (4.6.1.3.11)$$

ここで、曲げモーメント M_a 及び断面係数 Z は次式で計算される。

$$M_a = \frac{\boxed{\phantom{F_{at}}} F_{at}}{n_c} \times L_c \dots \dots \dots (4.6.1.3.12)$$

$$Z = \frac{\pi \times D^3}{32} \dots \dots \dots (4.6.1.3.13)$$

④ 曲げによる引張応力2－水流直角方向

$$\sigma_{hb} = \frac{M_h}{Z} \dots \dots \dots (4.6.1.3.14)$$

ここで、曲げモーメント M_h 及び断面係数 Z は次式で計算される。

$$M_h = \frac{\boxed{\phantom{F_{ht}}} F_{ht}}{n_c} \times L_c \dots \dots \dots (4.6.1.3.15)$$

$$Z = \frac{\pi \times D^3}{32} \dots \dots \dots (4.6.1.3.16)$$

⑤ 組合せ応力1－水流方向

$$\sigma_{abs} = \sqrt{\sigma_{ab}^2 + 3 \cdot \tau_a^2} \dots \dots \dots (4.6.1.3.17)$$

⑥ 組合せ応力2－水流直角方向

$$\sigma_{hbs} = \sqrt{\sigma_{hb}^2 + 3 \cdot \tau_h^2} \dots \dots \dots (4.6.1.3.18)$$

4.6.1.4 アジャストボルトの計算方法

①圧縮応力－鉛直方向

$$\sigma_{vc} = \frac{F_{vt}}{A_2 \times n_2} \dots \dots \dots (4.6.1.3.17)$$

アジャストボルト有効断面積 A_2 ，鉛直方向の地震時における全荷重 F_{vt} は以下の式で算出される。

$$A_2 = \frac{\pi \times d_o^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.3.18)$$

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \dots \dots \dots (4.6.1.3.19)$$

また，鉛直方向の自重による地震時荷重 F_{vw} 及び鉛直方向の付加質量による地震時荷重 F_{vc} は以下の式で算出される。

$$F_{vw} = F_w \times C_v + F_w \dots \dots \dots (4.6.1.3.20)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_v \dots \dots \dots (4.6.1.3.21)$$

4.6.1.5 尾軸取付ボルトの計算方法

①せん断応力1－水流方向

$$\tau_{a4} = \frac{F_{at}}{A_3 \times n_3} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.1)$$

ここで、尾軸取付ボルト有効断面積 A_3 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_3 = \frac{\pi \times d_{o3}^2}{4} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} + F_{ad} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.3)$$

また、水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.5)$$

②せん断応力2－鉛直方向

$$\tau_{v4} = \frac{F_{vt}}{A_3 \times n_3} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.6)$$

ここで、尾軸取付ボルト有効断面積 A_3 及び鉛直方向の地震時における全荷重 F_{vt} は以下の式で算出される。

$$A_3 = \frac{\pi \times d_{o3}^2}{4} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.7)$$

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.8)$$

また、鉛直方向の自重による地震時荷重 F_{vw} 及び鉛直方向の付加質量による地震時荷重 F_{vc} は以下の式で算出される

$$F_{vw} = F_w \times C_{V+} + F_w \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.9)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_v \dots \dots \dots (4.6.1.4.10)$$

③せん断応力合成

$$\tau_{b4} = \sqrt{\tau_{a4}^2 + \tau_{v4}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.4.11)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（除じん機）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【除じん機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。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6 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、組合せ応力が許容曲げ応力 $f_{b m}$ 以下であること。

$\begin{matrix} & \text{基準地震動 } S_s \text{ による} \\ & \text{荷重との組合せの場合} \end{matrix}$	
許容圧縮応力 $f_{c m}$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
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 $f_{b m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.4)$$

とする。

4.8.2 ボルトの応力評価

せん断応力 τ_{ak} , τ_{bk} , τ_{hk} , τ_{vk} 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。

	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_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

除じん機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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

除じん機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。

【除じん機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	鉛直方向	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	
除じん機	C	取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _H (NS) = 3.30* ²	C _H (EW) = 2.07* ²	C _V = 1.92* ²	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム取付ボルト	SUS304				205	520	205

部材	材質	B (mm)	L (mm)	H (mm)	A _{a b} (mm ²)	A _{h b} (mm ²)	n _b	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震サポート	SUS304							205	520	205

部材	材質	D (mm)	A _c (mm ²)	n _c	L _c (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震ピン	SUS304					205	520	205

部材	材質	d o i (mm)	A i (mm ²)	n i	i (mm)	l k (mm)	E (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	F* (MPa)
アジャストボルト	SUS304						194000	205	520	205

部材	材質	d o i (mm)	A i (mm ²)	n i	S y (MPa)	S u (MPa)	F* (MPa)
尾軸取付ボルト	SUS304				205	520	205

(単位：N)

	荷重		
	水流 (X) 方向	鉛直 (Y) 方向	水流直角 (Z) 方向
フレーム荷重 (F w)			
付加荷重 (F a, F v, F h)			

1.3 計算数値

1.3.1 地震荷重

(単位：N)

部材	荷重	地震荷重
フレーム取付ボルト	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.701×10^5
フレーム耐震サポート	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
フレーム耐震ピン	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
	曲げ (水流方向)	5.313×10^5
	曲げ (水流直角方向)	4.351×10^5
アジャストボルト	圧縮 (鉛直)	2.701×10^5
尾軸取付ボルト	せん断 (水流方向)	1.022×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.709×10^4

1.3.2 水圧荷重

(単位：N)

部材	荷重	水圧荷重		
		水流 (X) 方向	鉛直 (Y) 方向	水流直角 (Z) 方向
尾軸取付ボルト	フレーム水圧			

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位 : s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	0.05 以下

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
フレーム取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk}=39$	$f_{sb}=118$
フレーム耐震サポート	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak}=77$	$f_{sb}=118$
フレーム耐震ピン	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak}=13$	$f_{sb}=118$
		曲げ	—	—	$\sigma_{ab}=90$	$f_{bm}=205$
		組合せ	—	—	$\sigma_{abs}=92$	$f_{bm}=205$
アジャストボルト	SUS304	圧縮	—	—	$\sigma_{vc}=39$	$f_{cm}=204$
尾軸取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk}=36$	$f_{sb}=118$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

フレーム要素

要素数	<input type="text"/>
節点数	<input type="text"/>

フレーム材料物性

材質	使用温度 (°C)	E (MPa)	ν	S _y (MPa)	S _u (MPa)
SS400	40°C以下	202000	0.30	245	400
SUS304	40°C以下	194000	0.30	205	520

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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	鉛直方向	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	
除じん機	—	取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _{H (NS)} = 3.30* ²	C _{H (EW)} = 2.07* ²	C _V = 1.92* ²	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム取付ボルト	SUS304				205	520	205

部材	材質	B (mm)	L (mm)	H (mm)	A _{a b} (mm ²)	A _{h b} (mm ²)	n _b	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震サポート	SUS304							205	520	205

部材	材質	D (mm)	A _c (mm ²)	n _c	L _c (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震ピン	SUS304					205	520	205

S2 補 VI-2-11-2-7-15 R0

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	i (mm)	l _k (mm)	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
アジャストボルト	SUS304						194000	205	520	205

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
尾軸取付ボルト	SUS304				205	520	205

(単位：N)

	荷重(N)		
	水流 (X) 方向	鉛直 (Y) 方向	水流直角 (Z) 方向
フレーム荷重 (F _w)			
付加荷重 (F _a , F _v , F _h)			

2.3 計算数値

2.3.1 地震荷重

(単位：N)

部材	荷重	地震荷重
フレーム取付ボルト	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.701×10^5
フレーム耐震サポート	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
フレーム耐震ピン	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
	曲げ (水流方向)	5.313×10^5
	曲げ (水流直角方向)	4.351×10^5
アジャストボルト	圧縮 (鉛直)	2.701×10^5
尾軸取付ボルト	せん断 (水流方向)	1.022×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.709×10^4

2.3.2 水圧荷重

(単位：N)

部材	荷重	水圧荷重		
		水流 (X) 方向	鉛直 (Y) 方向	水流直角 (Z) 方向
尾軸取付ボルト	フレーム水圧			

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位 : s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	0.05 以下

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
フレーム取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk}=39$	$f_{sb}=118$
フレーム耐震サポート	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak}=77$	$f_{sb}=118$
フレーム耐震ピン	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak}=13$	$f_{sb}=118$
		曲げ	—	—	$\sigma_{ab}=90$	$f_{bm}=205$
		組合せ	—	—	$\sigma_{abs}=92$	$f_{bm}=205$
アジャストボルト	SUS304	圧縮	—	—	$\sigma_{vc}=39$	$f_{cm}=204$
尾軸取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk}=36$	$f_{sb}=118$

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

フレーム要素

要素数	<input type="text"/>
節点数	<input type="text"/>

フレーム材料物性

材質	使用温度 (°C)	E (MPa)	ν	S_y (MPa)	S_u (MPa)
SS400	40°C以下	202000	0.30	245	400
SUS304	40°C以下	194000	0.30	205	520