

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-281 改3
提出年月日	平成30年8月24日

V-3-別添 3-2-5-1 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁  
の強度計算書

## 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	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	6
2.5	記号の説明	7
3.	評価部位	10
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	13
4.3	固有周期の計算結果	13
5.	構造強度評価	14
5.1	構造強度評価方法	14
5.2	荷重及び荷重の組合せ	14
5.3	許容限界	16
5.4	設計用地震力	18
5.5	計算方法	18
5.6	計算条件	23
6.	評価結果	25

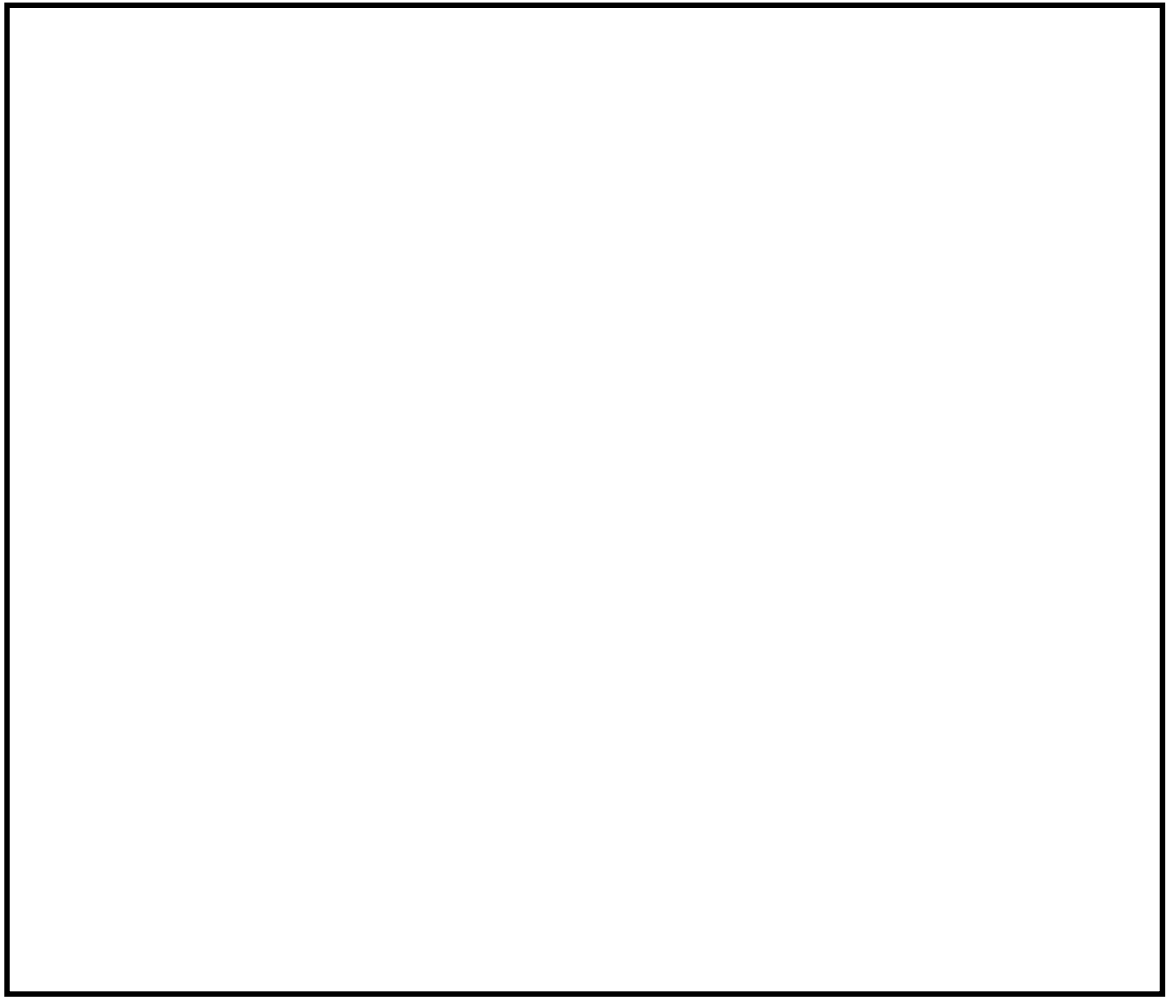
## 1. 概要

本資料は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁が基準津波及び敷地に遡上する津波による津波荷重並びに余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

海水ポンプグランド dren 排出口逆止弁は、海水ポンプ室の床面に設置する。  
海水ポンプグランド dren 排出口逆止弁の設置位置を図 2-1 に示す。



NT2 補② V-3-別添 3-2-5-1 R3

図 2-1 海水ポンプグランド dren 排出口逆止弁の設置位置図

## 2.2 構造計画

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、フロート式の逆止弁であり、津波の流入によりフロートが押し上げられ、弁座に密着することで止水する。海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の構造概要

設備名称	構造概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁 1, 2	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座へ導くフロートガイドで構成する。	弁本体のフランジ部を海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定する。	

### 2.3 評価方針

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度評価は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて、応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では、海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁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「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については、評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度評価フローを図 2-2 に示す。海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁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。重畳時においては、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動  $S_d$  を入力して得られた最大床応答加速度の最大値を設計震度として用いる。なお、津波に伴う荷重については、基準津波による荷重及び敷地に遡上する津波による荷重を考慮する。

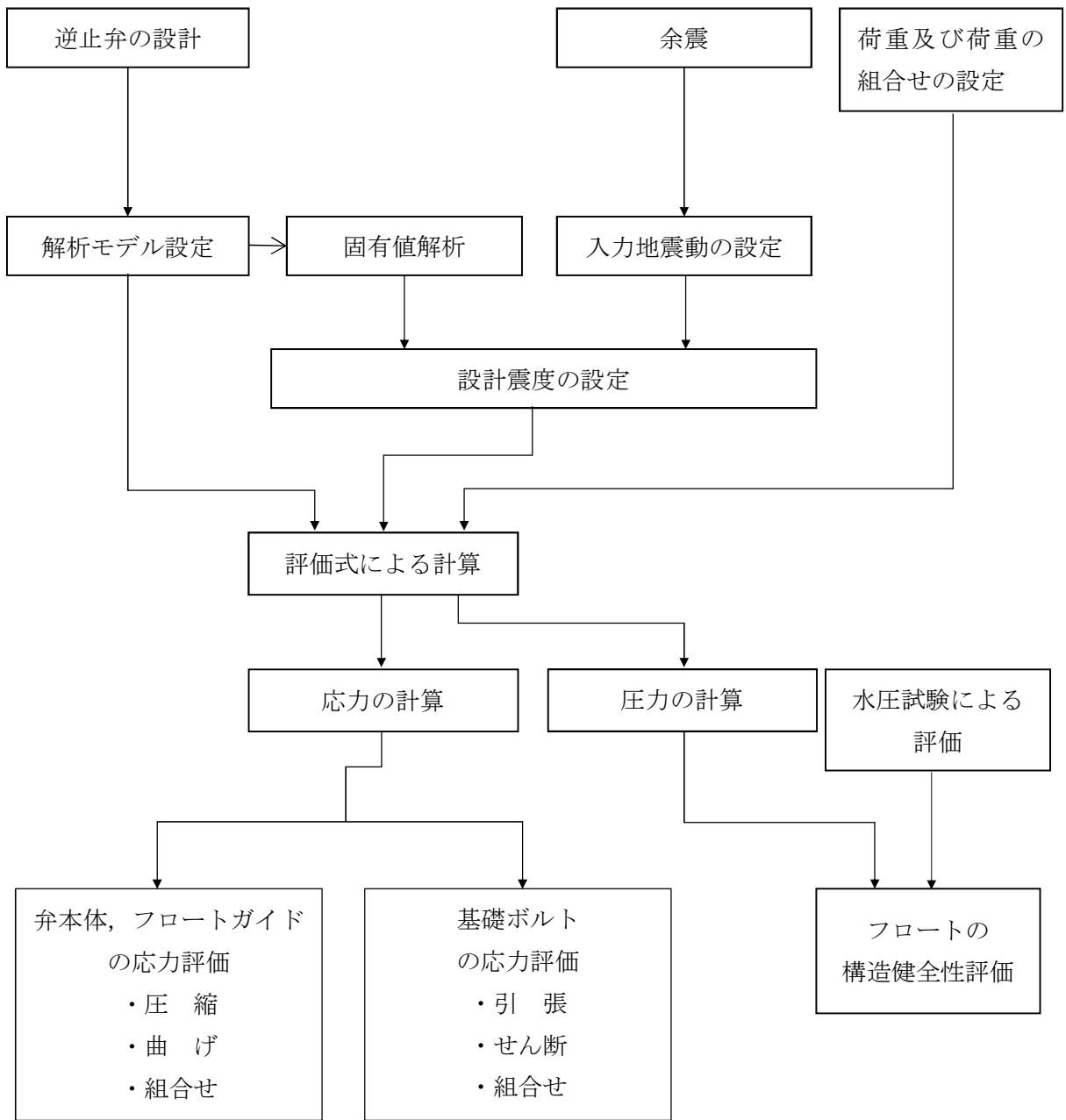


図 2-2 強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1－2005/2007（日本機械学会 2007年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年）
- ・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）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年）
- ・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）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年）



## 2.5 記号の説明

海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A	モデル化に用いるフロートガイドの断面積	mm <sup>2</sup>
d <sub>m</sub>	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D <sub>f m</sub>	モデル化に用いるフロートガイドの直径	mm
D <sub>m</sub>	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数	MPa
f	逆止弁の一次固有振動数	Hz
T	逆止弁の固有周期	s
I <sub>a</sub>	モデル化に用いるフロートガイド1本の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>m</sub>	モデルの等価断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>m1</sub>	モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>m2</sub>	モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
k	モデルのばね定数	N/mm
ℓ <sub>1</sub>	モデル化に用いる弁本体の長さ	mm
ℓ <sub>2</sub>	モデル化に用いるフロートガイドの長さ	mm
m	モデル化に用いる弁の全質量	kg
yg	フロートガイドの図心GとX軸の距離	mm

表 2-3 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の応力評価に用いる記号 (1/3)

記号	記号の説明	単位
C <sub>HSd</sub>	余震による水平方向の設計震度	—
C <sub>VSd</sub>	余震による鉛直方向の設計震度	—
A <sub>1</sub>	弁本体の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>2</sub>	突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>3</sub>	フロートガイドの最小断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>4</sub>	突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>5</sub>	基礎ボルトのねじ部の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>6</sub>	突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面積	mm <sup>2</sup>

表 2-3 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の応力評価に用いる記号 (2/3)

記号	記号の説明	単位
$C_d$	抗力係数	—
$D_2$	突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
$D_3$	フロートガイドの最小直径	mm
$D_4$	突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
$D_6$	突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
$d_1$	弁本体の内径	mm
$D_1$	弁本体の外径	mm
$D_P$	基礎ボルトのピッチサークル	mm
$f_t$	許容引張応力 (ボルト材) J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB-3131(1)に定める値とする。	MPa
$f_s$	許容せん断応力 J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB - 3131.1(2)に定める値とする。	MPa
$F_{H1}$	弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重	N
$F_{H2}$	フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
$F_{V1}$	弁本体に加わる鉛直方向地震荷重	N
$F_{V2}$	フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
$g$	重力加速度	$m/s^2$
$h$	津波荷重水位 (T.P. +)	m
$H$	接続高さ	m
$I_1$	弁本体の断面二次モーメント	$mm^4$
$I_2$	フロートガイドの断面二次モーメント	$mm^4$
$L_1$	弁全体の長さ	mm
$L_2$	フロートガイドの長さ	mm
$m_1$	弁の全質量	Kg
$m_2$	フロートガイドの1本当たりの質量	Kg
$M_1$	弁本体に発生する曲げモーメント	$N \cdot mm$
$M_2$	フロートガイドに発生する曲げモーメント	$N \cdot mm$
$n$	基礎ボルトの本数	本

表 2-3 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の応力評価に用いる記号 (3/3)

記号	記号の説明	単位
D	固定荷重	—
$P_{HSd}$	水平加速度により加わる動水圧荷重	MPa
$P_t$	突き上げ津波荷重	MPa
$P_{VSd}$	鉛直加速度により加わる動水圧荷重	MPa
$P_w$	波圧によりフロートに発生する圧力	MPa
S	J S M E S N C 1 付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料 (ボルト材を除く) の各温度における許容引張応力	MPa
U	海水ポンプ室における津波の最大流速 (鉛直方向)	m/s
$W_1$	弁全体の常時荷重	N
$W_2$	フロートガイドに作用する荷重	N
$\beta$	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
$\rho_o$	海水の密度	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_b$	基礎ボルト 1 本当たりに加わる引張応力	MPa
$\sigma_{H1}$	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
$\sigma_{H2}$	フロートガイドに加わる曲げ応力	MPa
$\sigma_{V1}$	弁本体に加わる圧縮応力 (重畳時)	MPa
$\sigma_{V2}$	フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力 (重畳時)	MPa
$\sigma_{V3}$	基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力 (重畳時)	MPa
$\sigma_{V4}$	モーメントにより基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力 (重畳時)	MPa
$\tau_3$	基礎ボルトのねじ部に加わるせん断応力	MPa

### 3. 評価部位

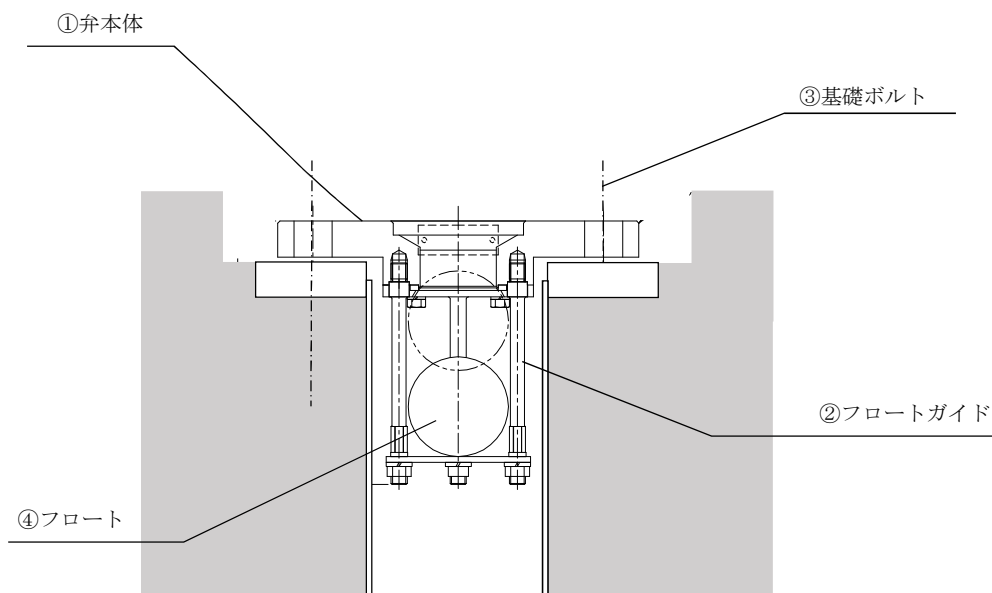
海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の評価部位は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価部位を踏まえて、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

津波時は逆止弁上流からの津波荷重により、弁本体及びフロートガイドに圧縮力が作用し、基礎ボルトに引張力が作用する。また、逆止弁上流からの津波荷重によりフロートが弁座に密着し閉弁状態となる際にフロートに圧縮力が作用する。

重畳時に逆止弁上流からの津波荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は、津波時と同様の力が作用する。一方、水平方向の余震荷重が負荷される場合は、基礎ボルトにせん断力が、弁本体及びフロートガイドには曲げモーメントが作用し、それに伴い基礎ボルトに引張力が作用する。

このことから、強度評価においては、応力評価による評価部位として、弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトを選定し、構造健全性評価による評価部位としてフロートを選定する。海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の評価部位について、図 3-1 に示す。

NT2 補② V-3-別添 3-2-5-1 R3



図中の①～③は応力評価による評価部位を、④は構造健全性評価による評価部位をそれぞれ示す。

図 3-1 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁の構造に応じて、保守的に固有周期が大きく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、固有周期を算出する。また、その場合においても固有周期が0.05s以下であることを確認する。

(1) 解析モデル

質量の不均一性を考慮し、一方の端を固定端、他方の端を自由端の1質点系モデルとして、自由端に弁の全質量mが集中したモデルを組む。モデル化は、円筒状の弁本体及び円柱状の4本のフロートガイドの異なる2つの断面をもつ梁の組合せとして設定する。モデル化の概略を図4-1に示す。

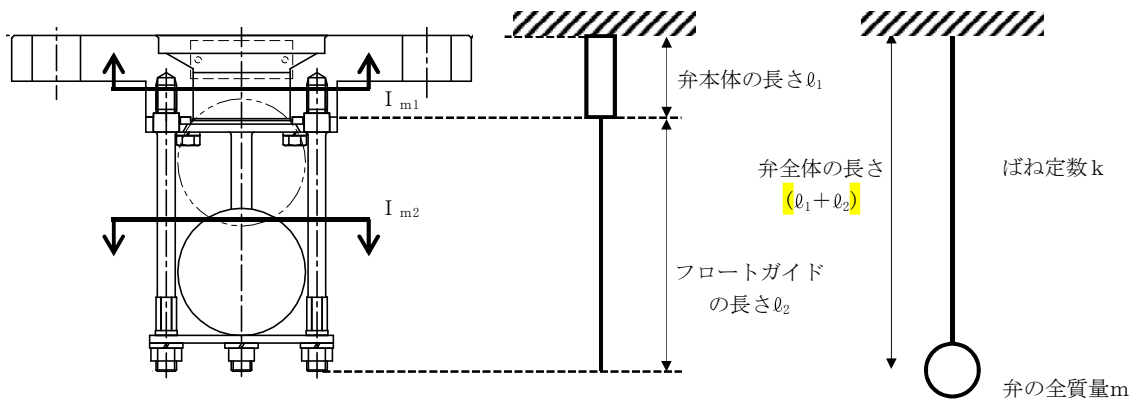


図4-1 モデル化の概略

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

固有振動数Tを以下の式より算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(L_1)^3}$$

モデルの等価断面二次モーメント  $I_m$  の算出過程を以下に示す。

a. モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント

モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント  $I_{m1}$  は、以下の式より算出する。

$$I_{m1} = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

b. モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント

平行軸の定理から、フロートガイドの図心GとX軸の距離ygを用いて、モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメントI<sub>m2</sub>は、以下の式より算出する。フロートガイド4本の断面を図4-2に示す。

$$I_a = D_{fm}^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_{m2} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot \left( I_a + (y_g)^2 \cdot A \right)$$

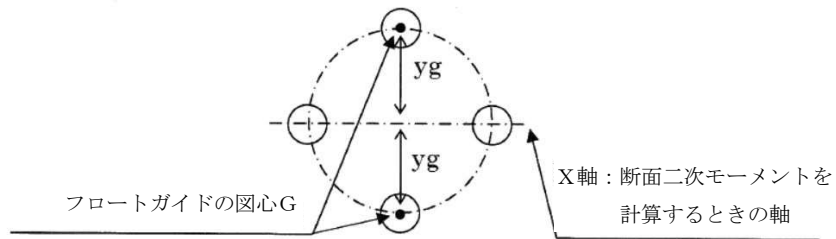


図4-2 フロートガイド4本の断面

c. モデルの等価断面二次モーメント

モデルの等価断面二次モーメントI<sub>m</sub>は、以下の式より算出する。

$$I_m = \frac{(\ell_1 + \ell_2)^3 \cdot I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} \cdot \ell_2^3 + I_{m2} \cdot (\ell_1^3 + 3 \cdot \ell_1 \cdot \ell_2^2 + 3 \cdot \ell_1^2 \cdot \ell_2)}$$

#### 4.2 固有周期の計算条件

表 4-1 に固有周期の計算条件を示す。

表 4-1 固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 $m$ (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 $D_m$ (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 $d_m$ (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 $D_{fm}$ (mm)
SUS316L	3.95	75	65	7

フロートガイドの図心GとX軸の距離 $y_g$ (mm)	モデル化に用いる弁本体の長さ $l_1$ (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの長さ $l_2$ (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数 $E$ (MPa)
30	30	102	$1.93 \times 10^5$

#### 4.3 固有周期の計算結果

表 4-2 に固有周期の計算結果を示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。なお、フロートガイド内を自由に動くフロートについては、全質量に対して、質量が小さく、固有周期への影響は軽微であるため、考慮しないものとして評価した。

表 4-2 固有周期の計算結果

固有振動数 (Hz)	466
固有周期 (s)	0.003

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の強度評価は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-3-別添 3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### 5.2.1 荷重の設定

##### (1) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁本体及びフロートガイドの自重を考慮し、以下の式より算出する。

$$W_1 = m_1 \cdot g$$

##### (2) 突き上げ津波荷重 (P<sub>t</sub>)

突き上げ津波荷重 (以下「波圧」という。) は、基準津波による津波荷重水位及び敷地に遡上する津波による津波荷重水位を考慮する。

津波荷重は以下の式より算出する。

$$P_t = \rho_o \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_o \cdot U^2$$

##### (3) 余震荷重 (S<sub>d</sub>)

余震荷重は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D1 に伴う地震力 (動水圧含む。) とする。

余震による地震荷重 F<sub>H1</sub>, F<sub>V1</sub>, F<sub>H2</sub>, F<sub>V2</sub>, 余震による動水圧荷重 P<sub>Vs<sub>d</sub></sub> 及び P<sub>Hs<sub>d</sub></sub> を考慮し、以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_{HSd} \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_{Vs_d} \cdot g$$

$$F_{H2} = m_2 \cdot C_{HSd} \cdot g$$



$$F_{V2} = m_2 \cdot C_{Vsd} \cdot g$$

$$P_{Vsd} = \rho_o \cdot C_{Vsd} \cdot g \cdot H$$

$$P_{Hsd} = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho_o \cdot C_{Hsd} \cdot g \cdot H$$

動水圧の算出に用いるHは、津波荷重水位hから逆止弁上流側の直管部が接続される高さ（以下「接続高さ」という。）の差である。動水圧の設定に用いる接続高さHの考え方を図5-1に示す。

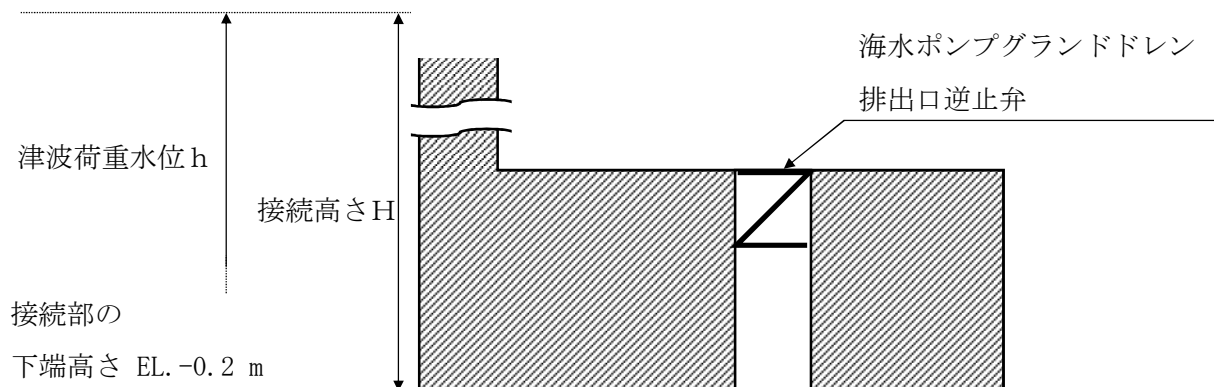


図 5-1 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の動水圧の算出に用いるHの設定

### 5.2.2 荷重の組合せ

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 (浸水防止設備)	海水ポンプグランドドレン 排出口逆止弁	$D + P_t + S_d$

注記 \* : Dは固定荷重,  $P_t$ は突き上げ津波荷重,  $S_d$ は余震荷重を示す。

### 5.3 許容限界

#### (1) 基準津波に対する許容限界

海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の許容限界は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定している評価部位毎に、機能損傷モードを考慮し、弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトについては、J S M E に準じた供用状態 C の許容応力を用いる。

フロートについては、水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では、逆止弁を閉弁状態の逆止弁に対して、波圧を模擬した静水圧 2.0 MPa をフロートに負荷し、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトの許容限界を表 5-2 に、許容応力評価条件を表 5-3 に、弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトの許容応力算出結果の許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。また、フロートの許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-2 弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトの許容限界

供用状態 (許容応力状態)	許容限界*1 (ボルト以外)			許容限界*2 (ボルト)		
	一次応力			一次応力		
C (Ⅲ <sub>AS</sub> ) *5	圧縮	曲げ	組合せ*3	引張	せん断	組合せ*4
	1.2・S	1.2・S	1.2・S	1.5・f <sub>t</sub>	1.5・f <sub>s</sub>	1.5・f <sub>ts</sub>

注記 \*1：圧縮及び曲げは、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 を準用し、「管」の許容限界のうちクラス 2，3 配管に対する許容限界に準じて設定する。

\*2：引張及びせん断は、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。組合せは、J S M E N C 1 -2005/2007 による。

\*3：圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力

\*4：せん断応力と引張応力の組合せ応力

せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  は、次のいずれか小さい方の値

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_{ts} = f_{to}$$

$f_{ts}$ ：せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力

$f_{to}$ ：\*2 にて示したボルトの許容引張応力

$\tau$ ：ボルトに作用するせん断応力

\*5：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の变形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 弁本体，フロートガイド及び基礎ボルトの許容応力評価条件

評価部位	材 料	温度条件 (°C)	S <sup>*1</sup> (MPa)	S <sub>y</sub> <sup>*1</sup> (MPa)	S <sub>u</sub> <sup>*1</sup> (MPa)	F <sup>*1*2</sup> (MPa)
弁本体	SUS316L	50	110	—	—	—
フロートガイド	SUS316L		110	—	—	—
基礎ボルト	SUS304		—	198	504	205

注記 \*1：S：鉄鋼材料（ボルト材を除く）の許容引張応力，S<sub>y</sub>：設計降伏点，S<sub>u</sub>：設計引張強さ，F：許容応力算定用基準値を示す。

\*2：F = Min[1.35・S<sub>y</sub>，0.7・S<sub>u</sub>，S<sub>y</sub>(R T)]とする。

表 5-4 弁本体，フロートガイド及び基礎ボルトの許容応力算出結果

供用状態 (許容応力 状態)	評価対象 部位	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)	
		一次応力			一次応力	
		引 張	曲 げ	組 合せ	引 張	せん断
C (Ⅲ <sub>AS</sub> )	弁本体	132	132	132	—	—
	フロート ガイド	132	132	132	—	—
	基礎 ボルト	—	—	—	153*	117

注記 \*：f<sub>ts</sub> = Min[1.4・f<sub>to</sub> - 1.6・τ，f<sub>to</sub>]より算出

表 5-5 フロートの許容限界

評価対象部位	水圧試験の圧力 (MPa)
フロート	2.0

(2) 敷地に遡上する津波に対する許容限界

「(1) 基準津波に対する許容限界」と同様。

#### 5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため、海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度計算に用いる設計震度は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す取水構造物における最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度計算に用いる設計震度を表 5-6 に示す。

表 5-6 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (EL. m)	建屋 及び高さ (EL. m)	余震による設計震度*	
			水平方向 $C_{HSd}$	
弾性設計用 地震動 $S_d-D1$	海水 ポンプ室 0.800	取水構造物 (海水ポンプ室 断面) 0.300	水平方向 $C_{HSd}$	0.61
			鉛直方向 $C_{VSd}$	0.43

注記 \* : 「4. 固有周期」より、海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

#### 5.5 計算方法

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度評価は、構造部材に作用する応力が、「5.3 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

荷重の組合せとして最も厳しい状態である重畳時における評価式を以下に記載する。

##### (1) 弁本体

##### a. 圧縮

鉛直加速度、静水圧及び動水圧により、弁本体に加わる圧縮応力  $\sigma_{V1}$  を以下の式より算出する。また、突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積  $A_2$  は、弁本体のうち波圧を受ける面積が最も広い箇所を適用し、突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径  $D_2$  から求める。弁本体の断面積  $A_1$  は、弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。弁本体の寸法を図 5-2 に示す。

$$\sigma_{V1} = \frac{W_1 + F_{V1} + (P_t + P_{HSd} + P_{VSd}) \cdot A_2}{A_1}$$

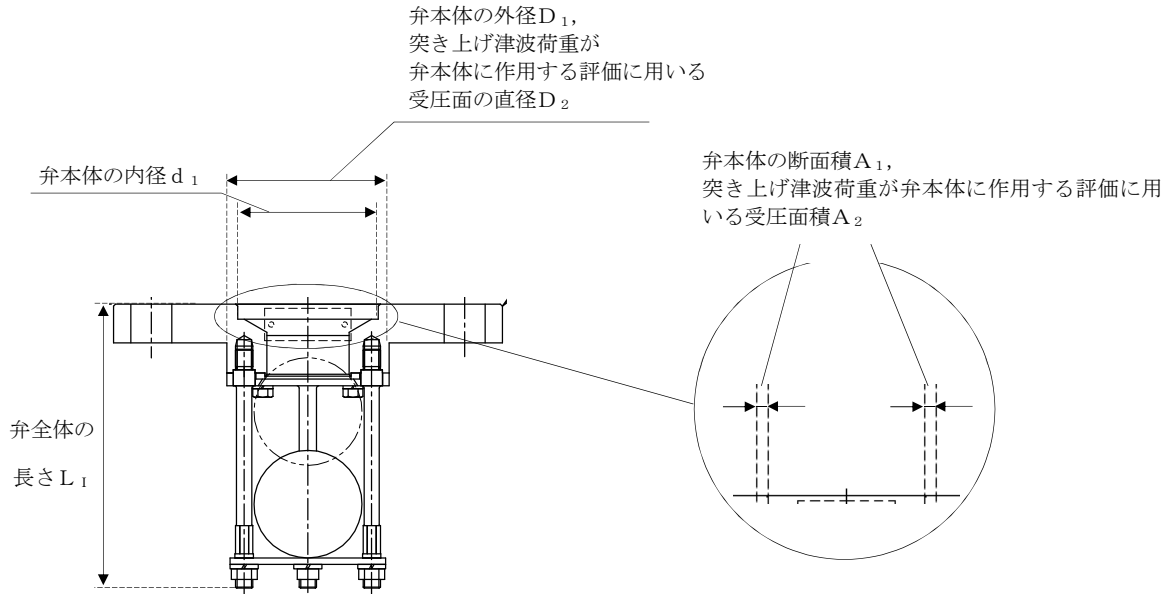


図 5-2 弁本体の寸法図

b. 曲げ

弁全体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平加速度により、弁本体に加わる曲げ応力  $\sigma_{H1}$  を以下の式より算出する。弁全体の長さ  $L_1$ 、弁本体の外径  $D_1$  及び内径  $d_1$  について図 5-2 に示す。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$I_1 = (D_1^4 - d_1^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}{I_1}$$

(2) フロートガイド

a. 圧縮

鉛直加速度、静水圧及び動水圧により、フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力  $\sigma_{V2}$  を以下の式より算出する。また、突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積  $A_4$  は、突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径  $D_4$  から求める。フロートガイドの最小断面積  $A_3$  はフロートガイドのうち最も肉厚が薄い断面を適用する。フロートガイドの寸法を図 5-3 に示す。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_2 + F_{V2} + (P_t + P_{HSd} + P_{VSd}) \cdot A_4}{A_3}$$

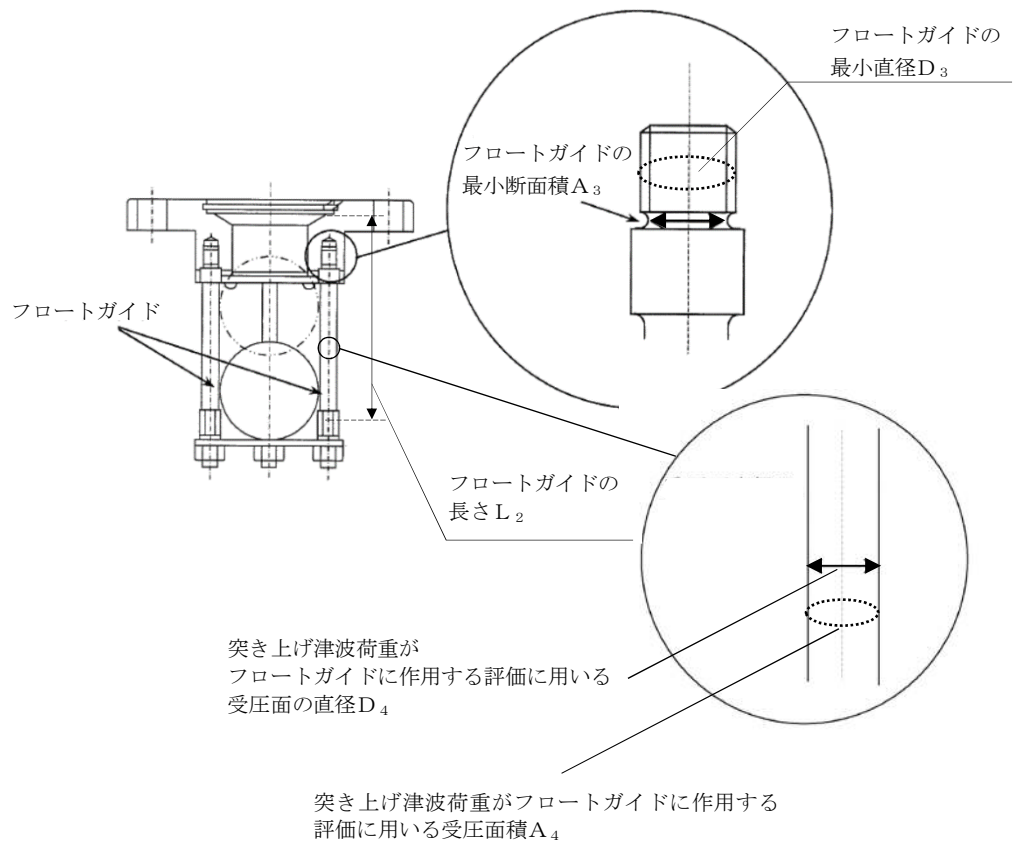


図 5-3 フロートガイドの寸法図

b. 曲げ

フロートガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平加速度により、フロートガイドに加わる曲げ応力 $\sigma_{H2}$ を以下の式より算出する。フロートガイドの長さ $L_2$ 、フロートガイドの最小直径 $D_3$ について図 5-3 に示す。

$$M_2 = F_{H2} \cdot L_2$$

$$I_2 = D_3^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_3}{2}\right)}{I_2}$$

(3) 基礎ボルト

a. 引張

鉛直加速度、静水圧及び動水圧により、基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力  $\sigma_{V3}$  を以下の式より算出する。また、突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面積  $A_6$  は、突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径  $D_6$  から求める。基礎ボルトのねじ部の断面積  $A_5$  は最も肉厚が薄い断面を適用する。基礎ボルトの寸法を図 5-4 に示す。

$$\sigma_{V3} = \frac{W_1 + F_{V1} + (P_t + P_{HSd} + P_{VSd}) \cdot A_6}{A_5 \cdot n}$$

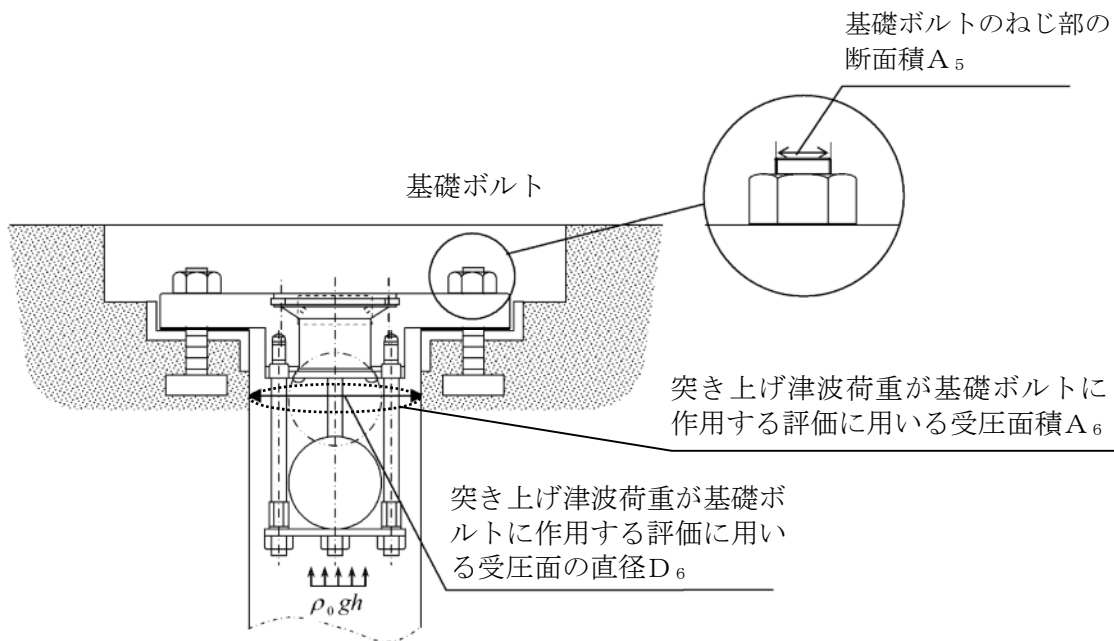


図 5-4 基礎ボルトの寸法図

b. モーメントによる引張

水平加速度により対角線上の基礎ボルト 2 点支持したと仮定し、弁全体の最下端に集中荷重が作用した場合において、モーメントにより基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力  $\sigma_{V4}$  を算出する。図 5-5 にモーメントによる引張力の作用イメージを示す。

$$\sigma_{V4} = \frac{F_{H1} \cdot L_1}{D_P \cdot A_5}$$

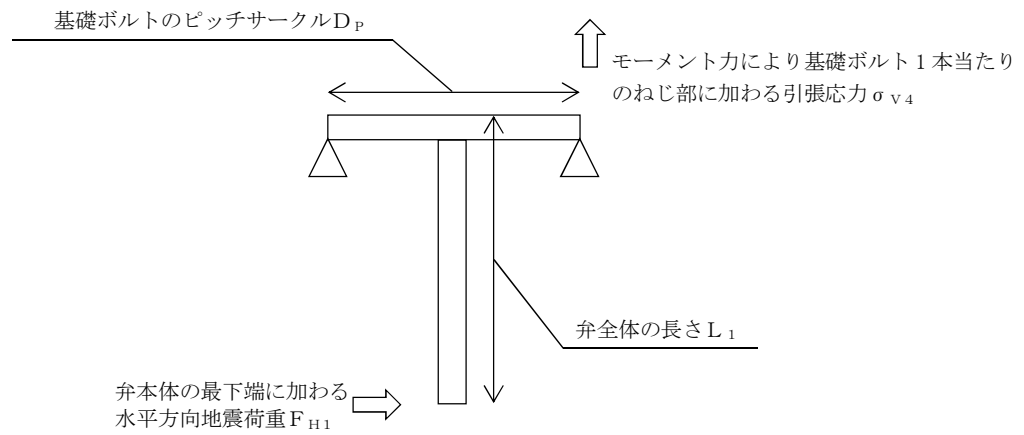


図 5-5 モーメントによる引張力の作用イメージ

c. せん断

水平加速度により基礎ボルトのねじ部に加わるせん断応力 $\tau_3$ を以下の式より算出する。

$$\tau_3 = \frac{F_{H1}}{A_5 \cdot n}$$

(4) フロート

波圧によりフロートに発生する圧力 $P_w$ は以下の式より算出する。

$$P_w = P_t$$



## 5.6 計算条件

### (1) 諸元及び固定条件

海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の強度評価に用いる諸元及び固定条件を表 5-7 に示す。

表 5-7 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の強度評価に用いる諸元及び固定条件 (1/2)

弁本体の材質	弁本体の 断面積 $A_1$ ( $\text{mm}^2$ )	弁の全質量 $m_1$ (kg)	弁全体の長さ $L_1$ (mm)
SUS316L	$1.100 \times 10^3$	3.95	132
弁本体の 外径 $D_1$ (mm)	弁本体の 内径 $d_1$ (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小断面積 $A_3$ ( $\text{mm}^2$ )
75	65	SUS316L	34.21
フロートガイドの 1本当たりの質量 $m_2$ (kg)	フロートガイドの 長さ $L_2$ (mm)	フロートガイドの 最小直径 $D_3$ (mm)	突き上げ津波荷重が フロートガイドに作 用する評価に用いる 受圧面の直径 $D_4$ (mm)
0.05	102	6.6	7
基礎ボルトの 材質	基礎ボルトの ねじ部の断面積 $A_5$ ( $\text{mm}^2$ )	基礎ボルトの本数 $n$ (本)	基礎ボルトの ピッチサークル $D_P$ (mm)
SUS304	$2.011 \times 10^2$	4	145

表 5-7 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度評価に用いる諸元及び固定条件 (2/2)

重力加速度 $g$ ( $m/s^2$ )	海水の密度 $\rho_0$ ( $kg/m^3$ )	津波荷重水位 $h$ (T. P. +m)	海水ポンプ室における津波の最大流速 (鉛直方向) $U$ ( $m/s$ )
9.80665	1030	22.0	2.0

接続高さ $H$ ( $m$ )	突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 $D_2$ ( $mm$ )	突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 $D_6$ ( $mm$ )	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 $\beta$
22.2	75	80	1.0

抗力係数 $C_d$
2.01

(2) 突き上げ津波荷重の計算に考慮する条件

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度評価に用いる突き上げ津波荷重の計算に考慮する条件を表 5-8 に示す。表 5-8 には基準津波及び敷地に遡上する津波毎に定まる条件を示す。

表 5-8 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度評価に用いる突き上げ津波荷重の計算に考慮する条件

対象の津波	津波荷重水位 $h$ (T. P. +m)	海水ポンプ室における津波の最大流速 (鉛直方向) $U$ ( $m/s$ )	接続高さ $H$ ( $m$ )
基準津波	22.0	2.0	22.2
敷地に遡上する津波	26.0	2.0	26.2

## 6. 評価結果

### (1) 基準津波と余震による重畳時

海水ポンプグラウンド dren 排出口逆止弁の強度評価結果を以下に示す。「a. 重畳時における評価部位の応力評価」及び「b. フロートの構造健全性評価」に示す評価結果から、海水ポンプグラウンド dren 排出口逆止弁が構造健全性を有することを確認した。

#### a. 重畳時における評価部位の応力評価

重畳時における評価部位の応力評価結果を表 6-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 重畳時における評価部位の応力評価結果

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
弁本体	圧縮	1	132
	曲げ	1	132
	組合せ*1	2	132
フロートガイド	圧縮	1	132
	曲げ	2	132
	組合せ*1	3	132
基礎ボルト	引張*2	3	153*3
	せん断	1	117

注記 \*1: 圧縮 ( $\sigma_V$ ) + 曲げ ( $\sigma_H$ ) は,  $\sigma_V + \sigma_H \leq 1.2S$  で評価

\*2: 基礎ボルトの引張応力は,  $\sigma_{V3} + \sigma_{V4}$

\*3:  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$  より算出

#### b. フロートの構造健全性評価

フロートの構造健全性評価結果を表 6-2 に示す。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から、評価部位であるフロートが構造健全性を有することを確認した。

表 6-2 フロートの構造健全性評価結果

評価対象部位	発生圧力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
フロート	圧縮	0.3	2.0

(2) 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

海水ポンプグラウンドレン排出口逆止弁の強度評価結果を以下に示す。「a. 重畳時における評価部位の応力評価」及び「b. フロートの構造健全性評価」に示す評価結果から、海水ポンプグラウンドレン排出口逆止弁が構造健全性を有することを確認した。

a. 重畳時における評価部位の応力評価

重畳時における評価部位の応力評価結果を表 6-3 に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 6-3 重畳時における評価部位の応力評価結果

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	弁本体	圧縮	
曲げ		1	132
組合せ*1		2	132
フロートガイド	圧縮	1	132
	曲げ	2	132
	組合せ*1	3	132
基礎ボルト	引張*2	3	153*3
	せん断	1	117

注記 \*1: 圧縮 ( $\sigma_V$ ) + 曲げ ( $\sigma_H$ ) は,  $\sigma_V + \sigma_H \leq 1.2S$  で評価

\*2: 基礎ボルトの引張応力は,  $\sigma_{V3} + \sigma_{V4}$

\*3:  $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$  より算出

b. フロートの構造健全性評価

フロートの構造健全性評価結果を表 6-4 に示す。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から、評価部位であるフロートが構造健全性を有することを確認した。

表 6-4 フロートの構造健全性評価結果

評価対象部位	発生圧力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
	フロート	圧縮	