

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-256 改1
提出年月日	平成30年7月3日

V-2-10-2-6-4 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
3. 耐震評価部位	6
4. 固有値解析	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有振動数の計算方法	7
4.2.1 記号の説明	7
4.2.2 モデル	7
4.2.3 固有振動数の算出方法	8
4.2.4 固有振動数の計算条件	10
4.3 固有値解析結果	10
5. 応力評価	11
5.1 基本方針	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ	11
5.2.2 許容応力	12
5.3 設計用地震力	13
5.4 応力評価方法	13
5.4.1 記号の説明	13
5.4.2 応力計算	14
5.5 応力評価条件	19
6. 機能維持評価	20
6.1 機能維持評価方法	20
7. 耐震評価結果	20

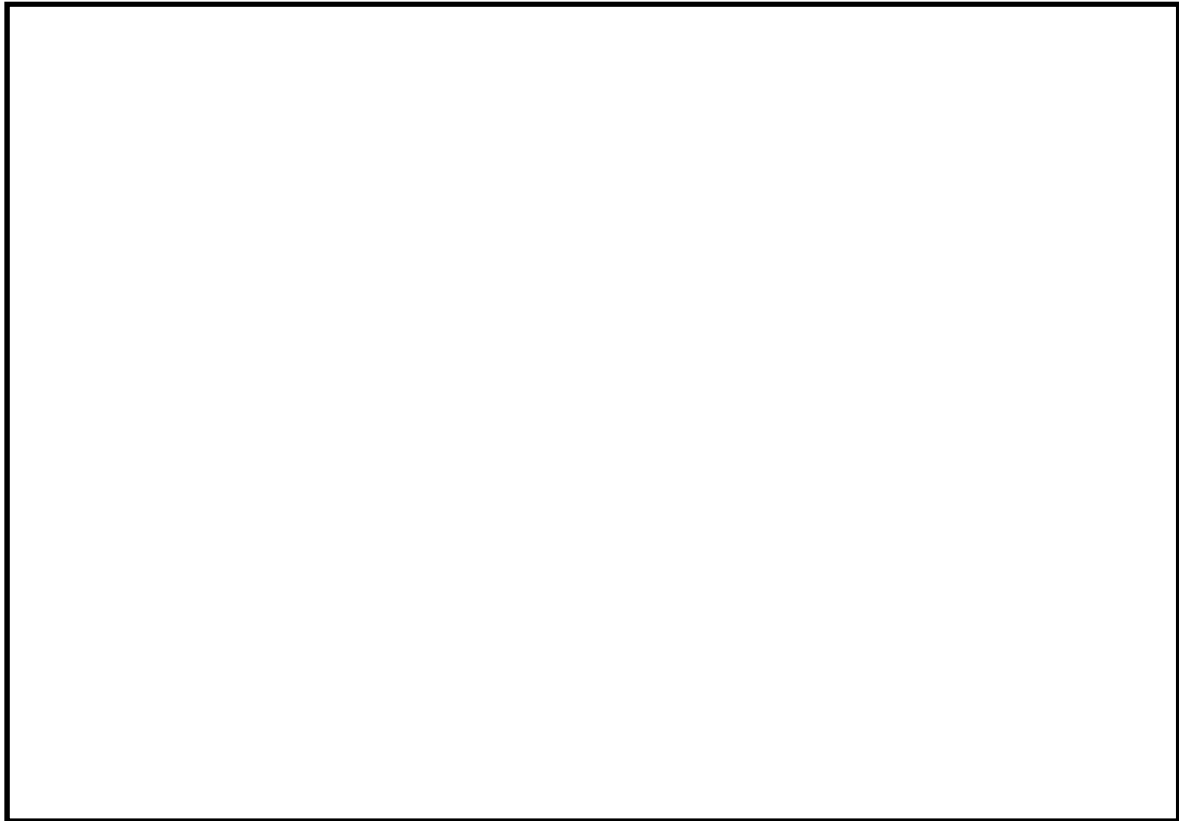
1. 概要

本資料は、添付資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は、逆止弁の固有値解析、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は、緊急用海水ポンプ室の床面に設置する。
緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設置位置を図 2-1 に示す。



(単位：mm)

図 2-1 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設置位置図

2.2 構造概要

緊急用海水ポンプ室床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。緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 緊急用海水ポンプ室床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	
緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁	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緊急用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

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の耐震評価は、添付資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」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 構造概要」に示す緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の構造を踏まえ、「3. 耐震評価部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」に示す方法にて確認する。また、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の機能維持評価は、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」に示す方法にて確認する。応力評価及び機能維持評価の確認結果を「7. 耐震評価結果」にて確認する。

ここで、機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

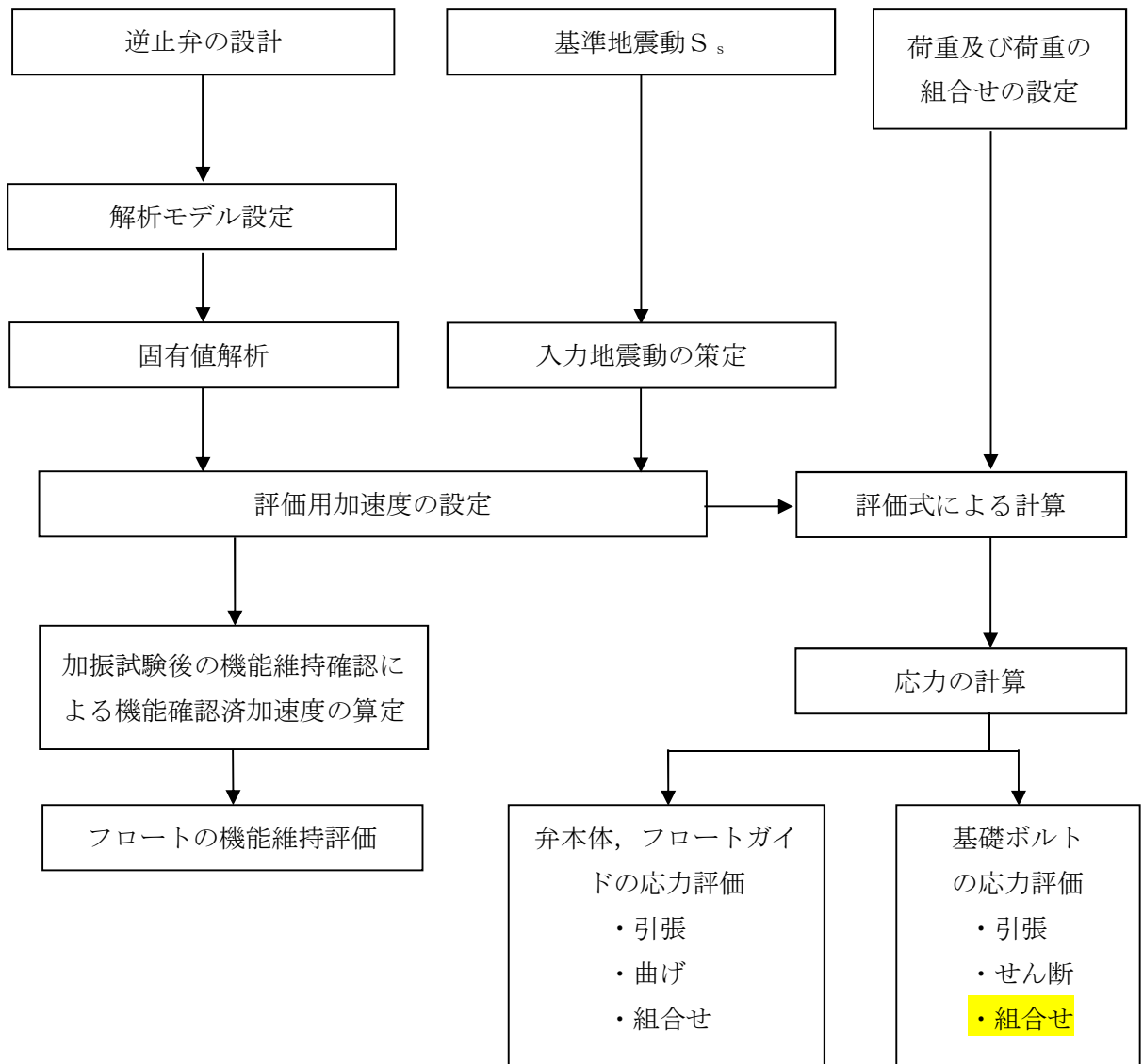
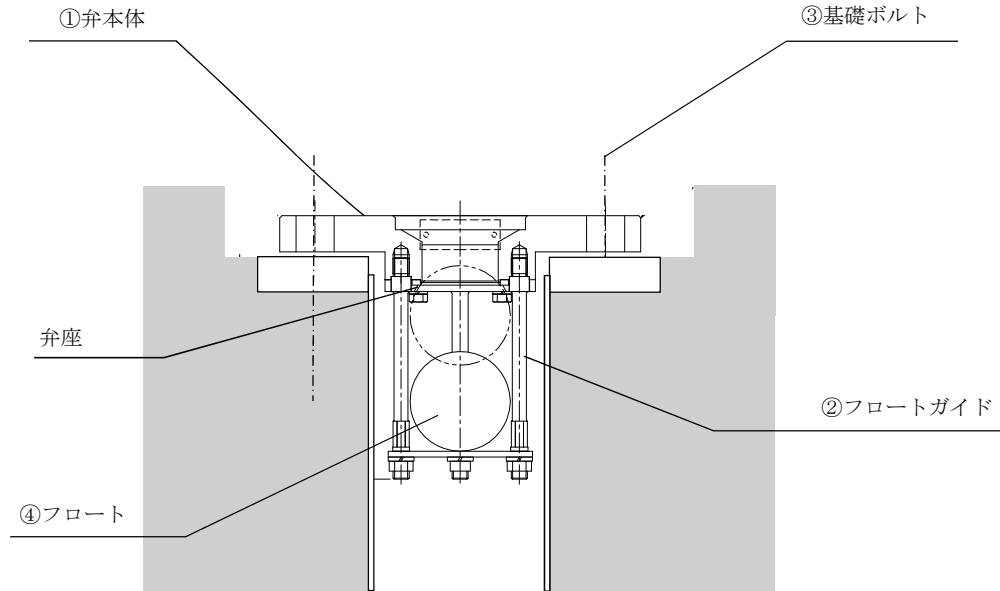


図 2-2 耐震評価フロー

3. 耐震評価部位

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は、弁本体、フロートガイド、基礎ボルト及び接続配管等で構成されている。耐震評価においては、そのうち主要部材である弁本体、フロート、フロートガイド及び基礎ボルトを評価対象部位とする。緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の評価対象部位について、図 3-1 に示す。



図中の①～③は応力評価箇所を、④は機能維持評価箇所を示す。

図 3-1 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の評価対象部位

4. 固有値解析

4.1 基本方針

- (1) 固有振動数計算モデルは1質点系モデルとして、重量の不均一性を考慮し、自由端に弁の集中質量を付加する。
- (2) 固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 固有振動数の計算方法

4.2.1 記号の説明

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数算出に用いる記号

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	m ²
D _{i m}	モデル化に用いる弁本体の内径	m
D _m	モデル化に用いるフロートガイドの直径	m
D _{o m}	モデル化に用いる弁本体の外径	m
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
I _a	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	m ⁴
I _m	モデルの等価断面二次モーメント	m ⁴
I _{m1}	モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント	m ⁴
I _{m2}	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	m ⁴
k	モデルのばね定数	N/m
ℓ ₁	モデル化に用いる弁本体の長さ	m
ℓ ₂	モデル化に用いるフロートガイドの長さ	m
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	m

4.2.2 モデル

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の構造に応じて、保守的に固有振動数が低く算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、一次固有振動数を算出する。また、その場合においても固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認する。重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本のプ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。

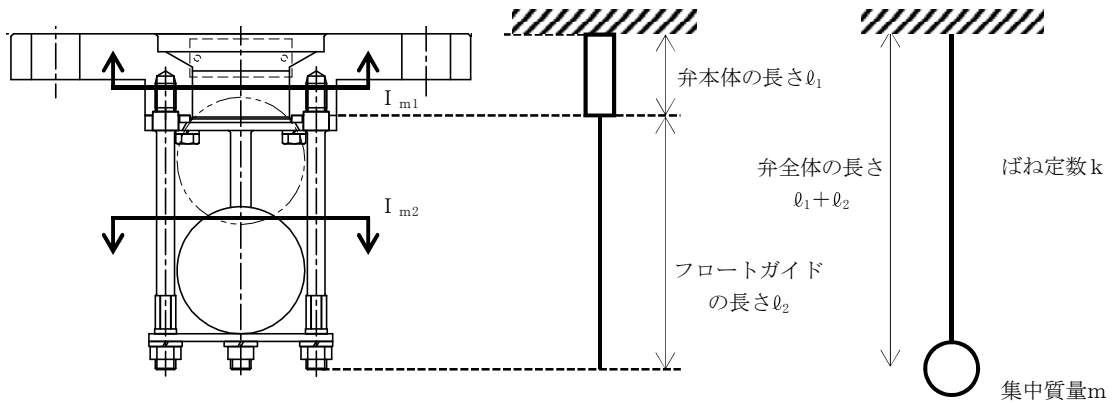


図4-1 モデル化の概略

4.2.3 固有振動数の算出方法

一次固有振動数 f を以下の式より算出する。

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

モデルのばね定数 k は、モデルの等価断面二次モーメント I_m を用いて、以下の式より算出する。

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(l_1 + l_2)^3}$$

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。

- (1) 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。

$$I_{m1} = (D_{om}^4 - D_{im}^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

- (2) モデル化に用いるプロートガイド4本の等価断面二次モーメント

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

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

$$I_{m2} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot (I_a + (yg)^2 \cdot A)$$

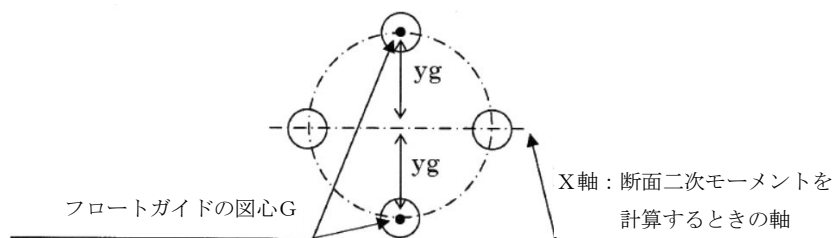


図 4-2 フロートガイド 4 本の断面

(3) 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_m は、以下の式より算出する。

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

4.2.4 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

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_{om} (m)	モデル化に用いる弁本体の内径 D_{im} (m)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D_m (m)
SUS316L	3.95	0.072	0.065	0.0066

フロートガイドの図心GとX軸の距離 y_g (m)	モデル化に用いる弁本体の長さ l_1 (m)	モデル化に用いるフロートガイドの長さ l_2 (m)	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数 E (MPa)
0.06	0.178	0.102	194000

4.3 固有値解析結果

固有振動数算出により、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認した。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、全重量に対して、重量が小さく、固有振動数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 4-3 に固有振動数の算出結果を示す。

表 4-3 固有振動数の算出結果

固有振動数 (Hz)
195

5. 応力評価

5.1 基本方針

- (1) 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の評価部位の応力評価を実施し、発生応力を算出する。
- (2) 評価部位の発生応力と許容応力を比較し、発生応力が許容応力以下であることを確認する。詳細については、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」の表 5-3 のうち「評価部位」に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設計にて考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を表 5-1 に示す。

表 5-1 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設計にて考慮する
荷重の組合せ及び許容応力

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*1
浸水防護施設 (浸水防止設備)	緊急用海水ポンプ室 床ドレン排出口逆止弁	D + S _s

注記 *1：Dは固定荷重，S_sは地震荷重を示す。

5.2.2 許容応力

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設計にて考慮する許容応力状態を表 5-2 に示す。また、許容応力評価条件を表 5-3 に示す。

表 5-2 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設計にて考慮する許容応力状態

供用状態 (許容応力 状態)	評価対象 部位	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		
		引 張	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 _t	1.5・f _s	1.5・f _{t s}
C (Ⅲ _{AS})	弁本体	133	133	133	—	—	—
	フロート ガイド	133	133	133	—	—	—
	基礎 ボルト	—	—	—	153	117	153

注記 *1：引張及び曲げは、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：引張と曲げの組合せである。

*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_{t s} は、次のいずれか小さい方の値

$$f_{t s} = 1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_{t s} = f_{t o}$$

f_{t s}：せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力

f_{t o}：*2 にて示したボルトの許容引張応力

τ：ボルトに作用するせん断応力

表 5-3 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の許容応力評価条件

評価部位	材 料	温度条件 (°C)	S * ¹ (MPa)	S _y * ¹ (MPa)	S _u * ¹ (MPa)	F * ^{1*2} (MPa)
弁本体	SUS316L	40	111	—	—	—
フロートガイド	SUS316L		111	—	—	—
基礎ボルト	SUS304		—	175	480	175

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

*2：F = Min[S_y, 0.7・S_u] とする。

5.3 設計用地震力

地震力の算出に用いる設計震度 a_H 及び a_V については、V-2「耐震性に関する説明書」のうちV-2-10-2-6-4「緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書」の「4.3 固有値解析結果」より、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が20Hz以上であることを踏まえ、最大床応答加速度の1.2倍を考慮して設定した。

表 5-4 設計震度の諸元

追

地震動	設置場所 及び 床面高さ (EL. m)	建屋 及び高さ (EL. m)	地震による設計震度* ¹	
基準地震動 S_s	緊急用 海水 ポンプ室 0.8	緊急用 海水 ポンプピット 0.8	水平方向 C_H	1.83
			鉛直方向 C_V	1.05

* 1 : 固有値解析結果より、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20Hz 以上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。

5.4 応力評価方法

5.4.1 記号の説明

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の応力評価に用いる記号を表 5-5 に示す。

表 5-5 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	記号の説明	単位
C_H	基準地震動 S_s による水平方向の設計震度	$\times 9.8\text{m/s}^2$
C_V	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	$\times 9.8\text{m/s}^2$
A_1	弁本体の最小断面積	m^2
A_2	フロートガイドの最小断面積	m^2
A_3	基礎ボルトのねじ部の断面積	m^2
D_i	弁本体の最大内径	m
D_o	弁本体の最小外径	m
D_2	フロートガイドの最小直径	m
D_P	基礎ボルトのサークルピッチ	m

表 5-5 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	記号の説明	単位
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
I_1	弁本体の断面二次モーメント	m^4
I_2	フロートガイドの断面二次モーメント	m^4
L_1	弁全体の長さ	m
L_2	フロートガイドの長さ	m
m	弁の全質量	kg
m_f	フロートガイド1本当りりの質量	kg
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	N・m
M_2	フロートガイドに発生する曲げモーメント	N・m
n	基礎ボルトの本数	本
W_{d1}	弁全体の常時荷重	N
W_{d2}	フロートガイド1本当りに作用する常時荷重	N
σ_{bH}	水平方向地震加速度によるモーメント力により基礎ボルト 1 本当りに加わる引張応力	MPa
σ_{bV}	鉛直方向地震加速度により基礎ボルト 1 本当りに加わる引張応力	MPa
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体の最小断面積に加わる引張応力	MPa
σ_{V2}	フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力	MPa
τ_3	基礎ボルトの最小断面積に加わるせん断応力	MPa

5.4.2 応力計算

(1) 弁本体

弁本体の発生応力を算出する。弁本体の応力評価に用いる断面積 A_1 は、図 5-1 に示すとおり、弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。

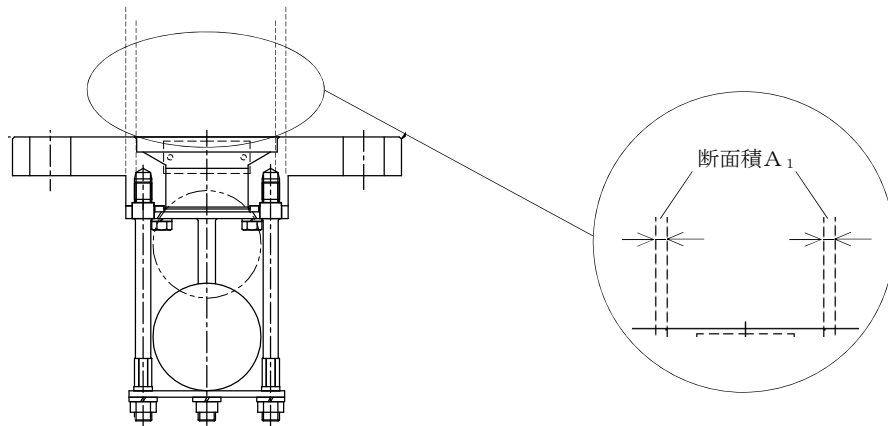


図 5-1 逆止弁本体の構造図

a. 鉛直加速度負荷時

評価用鉛直加速度により発生する引張応力 σ_{V1} を算出する。

$$W_{d1} = m \cdot g$$

$$F_{V1} = m \cdot C_V \cdot g$$

$$\sigma_{V1} = \frac{W_{d1} + F_{V1}}{A_1}$$

b. 水平加速度負荷時

評価用水平加速度により弁本体に発生する応力については、弁体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として発生する曲げ応力 σ_{H1} を算出する。

$$F_{H1} = m \cdot C_H \cdot g$$

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

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_0}{2}\right)}{I_1}$$

(2) フロートガイド

フロートガイドの発生応力を算出する。フロートガイドの応力評価に用いる断面積 A_2 は、以下の図 5-2 に示す最小直径 D_2 から求める。断面積 A_2 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。

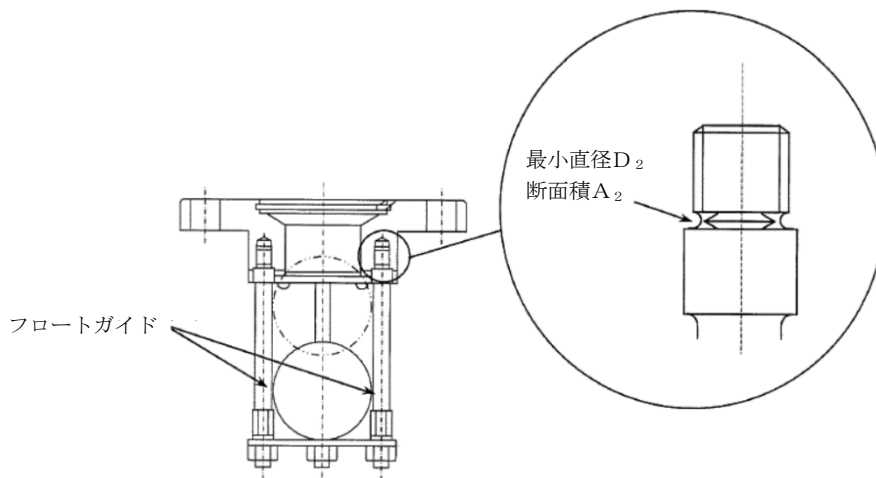


図 5-2 フロートガイドの応力評価に用いる断面積

a. 鉛直加速度負荷時

評価用鉛直加速度により発生する引張応力 σ_{V2} を算出する。

$$W_{d2} = m_f \cdot g$$

$$F_{V2} = m_f \cdot C_V \cdot g$$

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_2}$$

b. 水平加速度負荷時

評価用水平加速度により発生する応力については、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発生する曲げ応力 σ_{H2} を算出する。

$$F_{H2} = m_f \cdot C_H \cdot g$$

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

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)}{I_2}$$

(3) 基礎ボルト

基礎ボルトのねじ部の発生応力を算出する。基礎ボルトの評価に用いる断面積 A_3 は、図 5-3 に示すとおり、最も肉厚が薄い断面を適用する。

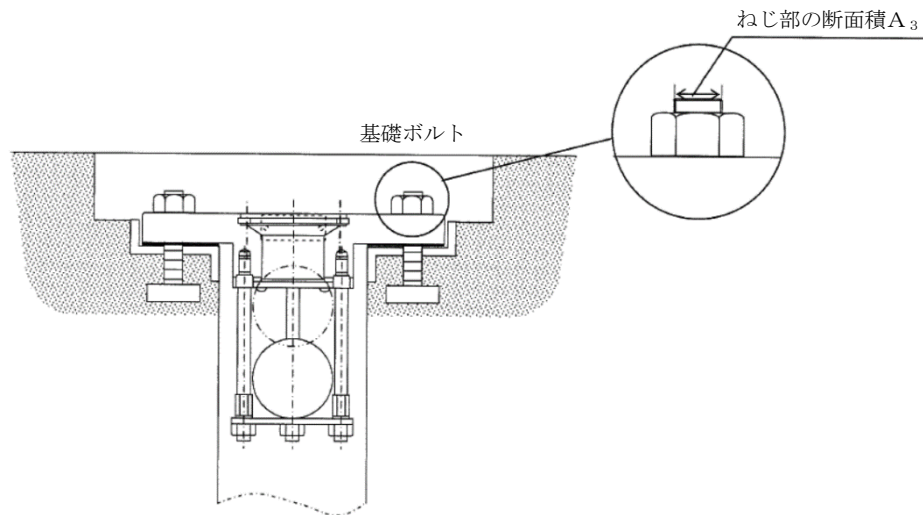


図 5-3 基礎ボルトの応力評価に用いる断面積

a. 鉛直加速度負荷時

評価用鉛直加速度により基礎ボルト 1 本あたりに発生する引張応力 σ_{bV} を算出する。

$$\sigma_{bV} = \frac{W_{d1} + F_{V1}}{A_3 \cdot n}$$

b. 水平加速度負荷時

(a) せん断応力

評価用水平加速度による基礎ボルトに加わるせん断応力 τ_3 を算出する。

$$\tau_3 = \frac{F_{H1}}{A_3 \cdot n}$$

(b) モーメントによる引張応力

評価用水平加速度により対角線上の基礎ボルトを 2 本支持したと仮定し、弁体の最下端に集中荷重が作用した場合において、基礎ボルトに発生するモーメントによる引張応力 σ_{bH} を算出する。図 5-4 にモーメントによる引張応力の作用イメージを示す。

$$\sigma_{bH} = \frac{F_{H1} \cdot L_1}{D_P \cdot A_3}$$

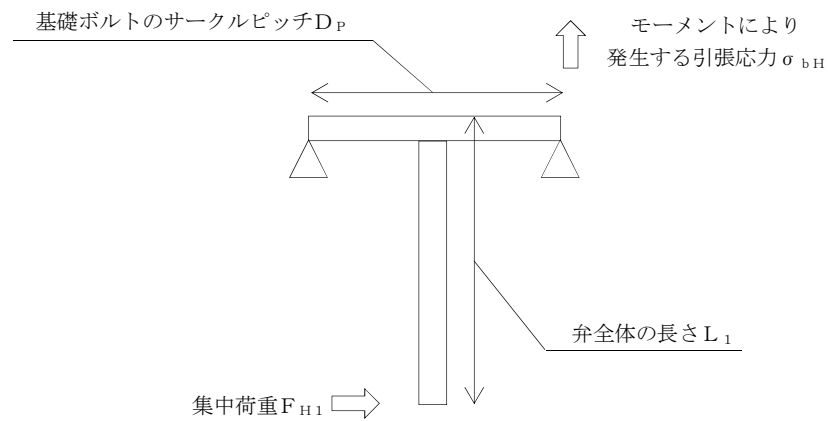


図 5-4 モーメントによる引張力の作用イメージ

5.5 応力評価条件

表 5-6 に応力評価条件を示す。

表 5-6 応力評価条件

弁本体の材質	弁本体の最小 断面積 A_1 (m^2)	弁の全質量 m (kg)	弁全体の長さ L_1 (m)
SUS316L	1.1×10^{-3}	3.95	0.132

弁本体の最小 外径 D_o (m)	弁本体の最大 内径 D_i (m)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小断面積 A_2 (m^2)
0.075	0.065	SUS316L	3.4×10^{-5}

フロートガイドの 1 本当たりの質量 m_f (kg)	フロートガイドの 長さ L_2 (m)	フロートガイド の最小直径 D_2 (m)	基礎ボルトの材質
0.05	0.102	0.0066	SUS304

基礎ボルトの ねじ部の断面積 A_3 (m^2)	基礎ボルトの本数 n	基礎ボルトの サークルピッチ D_P (m)	重力加速度 g (m/s^2)
1.5×10^{-4}	4	0.145	9.80665

注記 *1: 固有値解析結果より, 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため, 評価用加速度には最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

6. 機能維持評価

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は、地震時及び地震後に止水性の機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

6.1 機能維持評価方法

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

具体的な機能維持確認は、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁に対して、正弦波により水平方向及び鉛直方向の加振試験を実施後、V-1-1-2「耐震設計上重要な設備を設置する施設に関する説明書（自然現象への配慮に関する説明を含む。）」のうちV-1-1-2-2-3「入力津波の設定」に示す入力津波を踏まえ、それらの津波荷重水位を上回る圧力として0.3 MPa以上の水圧にて漏えい試験を実施し、漏えい量が許容漏えい量以下であることを確認するものとする。なお、固有値解析結果より、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が20 Hz以上であることを確認したため、評価用加速度には最大床加速度を使用する。

表 6-1 機能確認済加速度

部 位	機能確認済加速度（ $\times 9.8\text{m/s}^2$ ）	
	水平方向	鉛直方向
フロート	6.0	6.0

7. 耐震評価結果

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する構造強度評価結果を表 7-1 に示す。

表 7-1 基準地震動 S_s による評価結果

追而

部 位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
弁本体	引 張	1	133
	曲 げ	1	133
	組合せ*1	2	133
フロートガイド	引 張	1	133
	曲 げ	1	133
	組合せ*1	2	133
基礎ボルト	引 張*2	2	153
	せん断	1	117
	組合せ*3	2	153*4

注記 *1: 引張 (σ_v) + 曲げ (σ_H) は, $\sigma_v + \sigma_H \leq f_t$ で評価

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

*3: 引張とせん断の組合せである。

*4: 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

(2) 機能維持に対する評価

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁のフロート部の機能維持について、機能維持確認結果を表 7-2 に示す。

表 7-2 基準地震動 S_s による評価結果

追而

部 位	機能確認済加速度との比較			
	水平加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
	応答加速度	機能確認済 加速度	応答加速度	機能確認済 加速度
フロート	1.83	6.0	1.05	6.0