

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-011-14 改 01
提出年月日	2023年3月3日

VI-2-10-2-10 床ドレン逆止弁の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-10-2-10 R0

2023年3月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	4
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	11
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重及び荷重の組合せ	12
5.3 許容応力	13
5.4 設計用地震力	15
5.5 計算方法	16
5.6 計算条件	21
6. 機能維持評価	27
7. 評価結果	27

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、浸水防護施設のうち床ドレン逆止弁が設計用地震力（基準地震動 S_s ）に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

床ドレン逆止弁は、浸水防護施設としてSクラス及びCクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

床ドレン逆止弁の設置位置を表 2-1 に示す。

表 2-1 床ドレン逆止弁の設置位置

機器名称	設置場所	設置階	高さ (m)
床ドレン逆止弁	取水槽	—	EL 1.1
	タービン建物	地下 1 階	EL 2.0
	原子炉建物	地下 2 階	EL 1.3 EL 2.8

2.2 構造計画

床ドレン逆止弁は、フロート式の逆止弁であり、配管内で逆流が発生すると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。床ドレン逆止弁の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	基礎・支持構造	
80A 型 (ボルト取付式)	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に導くフロートガイドで構成する。	弁本体を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	
300A 型 (ボルト取付式)			
80A 型 (ねじ込み取付式)		配管の取付部に直接ねじ込み固定とする。	

2.3 評価方針

床ドレン逆止弁の応力評価は、VI-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 構造計画」に示す床ドレン逆止弁の構造を踏まえ、「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。また、床ドレン逆止弁の機能維持評価は、床ドレン逆止弁の固有周期を考慮して機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。なお、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。床ドレン逆止弁の耐震評価フローを図2-1に示す。

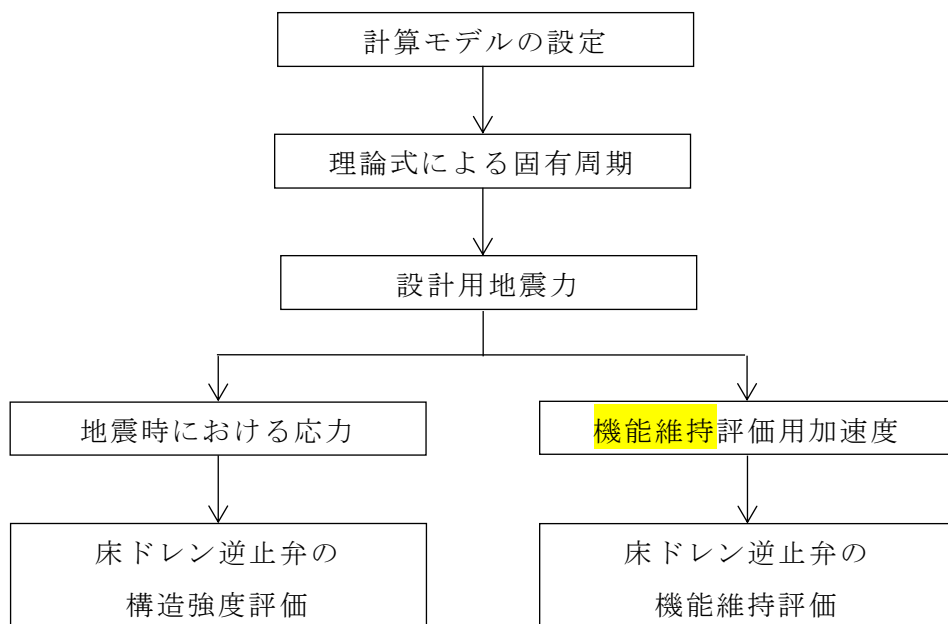


図2-1 床ドレン逆止弁の耐震評価フロー

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。)
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)

2.5 記号の説明

床ドレン逆止弁の固有周期の計算に用いる記号及び応力評価に用いる記号を表 2-3 及び表 2-4 に示す。

表 2-3 床ドレン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 ²
d _m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D _{f m}	モデル化に用いるフロートガイドの直径	mm
D _m	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	床ドレン逆止弁の固有振動数	Hz
T	床ドレン逆止弁の固有周期	s
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	mm ⁴
I _m	モデルの等価断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m 1}	モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m 2}	モデル化に用いるフロートガイドの等価断面二次モーメント	mm 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	mm
ℓ ₂	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
n _f	フロートガイドの本数	本
y _g	フロートガイドの図心 G と X 軸の距離	mm

表 2-4 床ドレン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	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	フロートガイドの最小断面積	mm^2
A_3	基礎ボルトの断面積	mm^2
A_4	配管の最小断面積	mm^2
d_1	弁本体の内径	mm
d_2	配管の内径 (取付部の最小内径)	mm
D_1	弁本体の外径	mm
D_2	フロートガイドの最小直径	mm
D_3	配管の外径	mm
D_P	基礎ボルトの水平間距離	mm
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 (=9.80665)	m/s^2
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 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_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
f_t	設計・建設規格 SSB-3131(1)に定める値	MPa
f_s	設計・建設規格 SSB-3131.1(2)に定める値	MPa
n	基礎ボルトの本数	本
n_f	フロートガイドの本数	本
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
I_3	配管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
L_3	取付部境界から弁下端までの長さ	mm

表 2-4 床ドレン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
m_1	弁の全質量	kg
m_2	フロートガイド 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・mm
M_2	フロートガイドに発生する曲げモーメント	N・mm
M_3	取付部境界の配管に発生する曲げモーメント	N・mm
D	固定荷重	N
W_{d1}	弁本体の常時荷重	N
W_{d2}	フロートガイドの常時荷重	N
σ_{bH}	水平方向地震荷重によるモーメントにより基礎ボルト 1 本当たりに加わる引張応力	MPa
σ_{bV}	鉛直方向地震荷重により基礎ボルト 1 本当た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_{H3}	取付部境界の配管に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる引張応力	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
σ_{V3}	配管の最小断面積に加わる引張応力	MPa
τ_3	基礎ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力	MPa
f_{t0}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t を 1.5 倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
τ	ボルトに作用するせん断応力	MPa

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 2-5 に示すとおりである。

表 2-5 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
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}
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

床ドレン逆止弁の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる弁本体、フロートガイド、基礎ボルト及び取付部について実施する。床ドレン逆止弁の評価部位については、表 2-2 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

床ドレン逆止弁の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 一方の端を固定端，他方の端を自由端とした図 4-1 に示す 1 質点系振動モデルとする。
- b. 質量の不均一性を考慮して，自由端に弁の全質量が集中したモデルとする。
- c. モデル化は，円筒状の弁本体及び円柱状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。

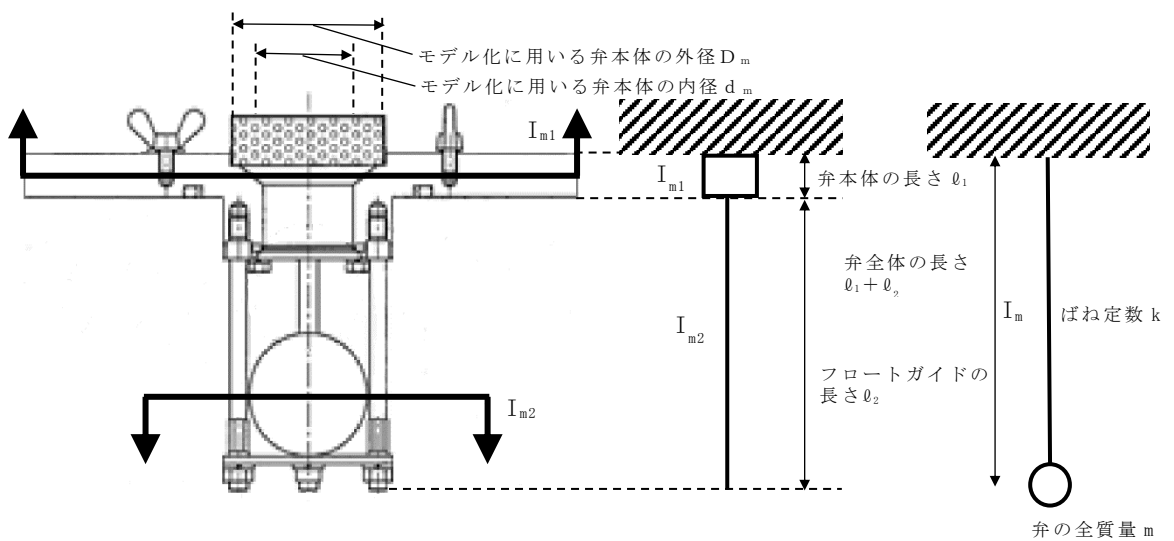


図 4-1 床ドレン逆止弁のモデル化の概略

(2) 固有周期の計算

水平方向の固有周期 T を以下の式より算出する。なお，鉛直方向の固有周期については，床ドレン逆止弁の構造上，水平方向よりも鉛直方向の方が剛性が高いため，水平方向の固有周期のみを確認する。

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

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

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(\ell_1 + \ell_2)^3} \times 10^3$$

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。

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

- b. モデル化に用いるフロートガイド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 y_g を用いて、モデル化に用いるフロートガイド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。フロートガイドの断面を図 4-2 に示す。

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

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

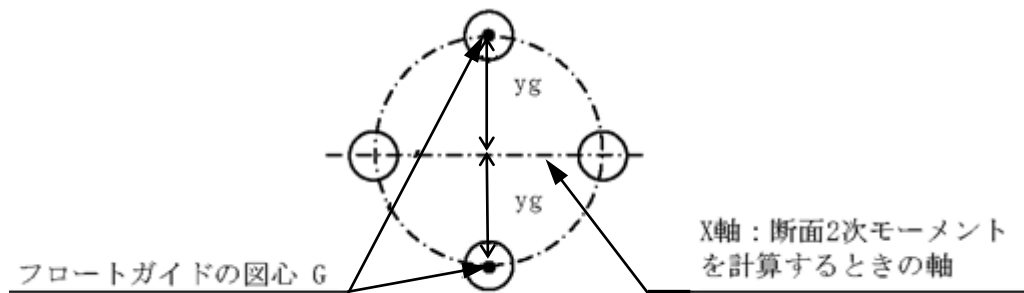


図 4-2 フロートガイドの断面 (4本の例)

- 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_m は、以下の式より算出する。

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

4.2 固有周期の計算条件

床ドレン逆止弁の 80A 型（ボルト取付式）、300A 型（ボルト取付式）及び 80A 型（ねじ込み取付式）における固有周期の計算条件を表 4-1、表 4-2 及び表 4-3 に示す。

表 4-1 80A 型（ボルト取付式）の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	5	72	38	7

フロートガイドと 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)	フロートガイド の本数 n _f (本)
30	37	102	1.94×10^5	4

注記*：「5.3 許容応力」における温度条件での縦弾性係数 E を用いる。

表 4-2 300A 型（ボルト取付式）の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	35	182	90	10

フロートガイドと 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)	フロートガイド の本数 n _f (本)
70.1	27	215	1.94×10^5	6

注記*：「5.3 許容応力」における温度条件での縦弾性係数 E を用いる。

表 4-3 80A 型（ねじ込み取付式）の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)
SUS304	2.19	72	38	7

フロートガイドと 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)	フロートガイド の本数 n_f (本)
30	20	110	1.94×10^5	4

注記*：「5.3 許容応力」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-4 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05s 以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-4 固有周期の計算結果

型式	固有周期 (s)
80A 型（ボルト取付式）	0.002
300A 型（ボルト取付式）	0.006
80A 型（ねじ込み取付式）	0.002

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～c.のほか、次の条件で計算する。

(1) 地震力は床ドレン逆止弁に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

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、弁本体の自重 W_{d1} 及びフロートガイドの自重 W_{d2} を以下の式より算出する。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g$$

(2) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による地震荷重 F_{H1} , F_{H2} , F_{V1} , F_{V2} を以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{H2} = m_2 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_V \cdot g$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_V \cdot g$$

5.2.2 荷重の組合せ

床ドレン逆止弁の耐震計算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 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分	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
浸水防護施設 (浸水防止設備)	床ドレン逆止弁	S, C	D + S_s	Ⅲ _A S

注記*1: Dは固定荷重, S_s は基準地震動による地震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び基準地震動 (S_s) の組合せが荷重を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組み合わせない。

5.3 許容応力

床ドレン逆止弁の弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の許容応力を表 5-2 に，許容応力評価条件を表 5-3 にそれぞれ示す。また，弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の許容応力算出結果を表 5-4 に示す。

表 5-2 弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の許容応力

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		
	引張	曲げ	組合せ*3	引張	せん断	組合せ*4
Ⅲ _A S*5	1.2・S	1.2・S	1.2・S	1.5・f _t	1.5・f _s	f _{ts}

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 S 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_{ts} は，次のいずれか小さい方の値

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

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

*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，当該構造物全体の変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，基礎ボルト及び取付部の許容応力評価条件

型式	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
80A 型 (ボルト取 付式)	弁本体	SUS316L	40	111	—	—	—
	フロート ガイド	SUS316L	40	111	—	—	—
	基礎ボルト	SUS316L	40	—	175	480	175
300A 型 (ボルト取 付式)	弁本体	SUS316L	40	111	—	—	—
	フロート ガイド	SUS316L	40	111	—	—	—
	基礎ボルト	SUS316L	40	—	175	480	175
80A 型 (ねじ込み 取付式)	弁本体	SUS303*	40	129	—	—	—
	フロート ガイド	SUS304	40	129	—	—	—
	取付部	SUS304TP	40	129	—	—	—

注記* : SUS304 相当

表 5-4 弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の許容応力算出結果 (1/2)

許容 応力 状態	型式	評価部位	許容応力 (ボルト以外)			許容応力 (ボルト)		
			一次応力			一次応力		
			引 張 1.2・S (MPa)	曲 げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)	引 張 1.5・f _t (MPa)	せん断 1.5・f _s (MPa)	組合せ f _{ts} (MPa)
Ⅲ _A S	80A 型 (ボル ト取 付 式)	弁本体	133	133	133	—	—	—
		フロート ガイド	133	133	133	—	—	—
		基礎ボルト	—	—	—	105	80	105
	300A 型 (ボル ト取 付 式)	弁本体	133	133	133	—	—	—
		フロート ガイド	133	133	133	—	—	—
		基礎ボルト	—	—	—	105	80	105

表 5-4 弁本体, フロートガイド, 基礎ボルト及び取付部の許容応力算出結果 (2/2)

許容 応力 状態	型式	評価部位	許容応力 (ボルト以外)			許容応力 (ボルト)		
			一次応力			一次応力		
			引 張 1.2・S (MPa)	曲 げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)	引 張 1.5・f _t (MPa)	せん断 1.5・f _s (MPa)	組合せ f _{t s} (MPa)
Ⅲ _A S	80A 型 (ねじ 込み取 付式)	弁本体	154	154	154	—	—	—
		フロート ガイド	154	154	154	—	—	—
		取付部	154	154	154	—	—	—

5.4 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 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 5-5 設計用地震力

地震動	据付場所及び 床面高さ* ¹ (m)	地震による設計震度* ²	
		水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
基準地震動 S _s	取水槽 EL 1.1	1.86* ³	1.41* ³
	タービン建物 EL 2.0		
	原子炉建物 EL 1.3		
	原子炉建物 EL 2.8		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：耐震計算に用いる設計震度は、床ドレン逆止弁が設置されている各基準床レベルのうち、最大となる設計震度を設定した。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

5.5 計算方法

(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。

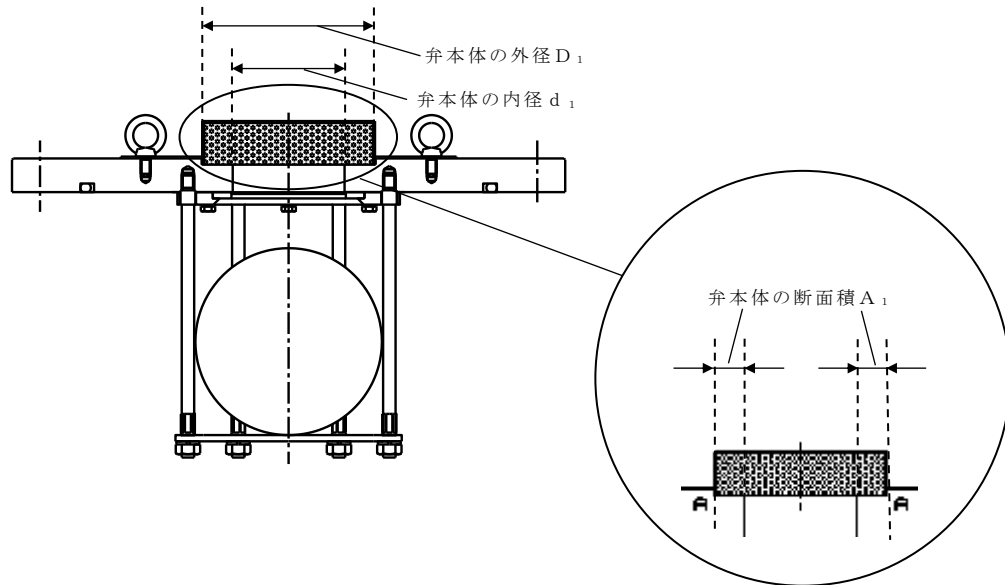


図 5-1 床ドレン逆止弁本体の構造図（300A 型（ボルト取付式）の例）

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、弁本体に加わる引張応力 σ_{V1} を以下の式より算出する。

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

b. 水平応答加速度負荷時

弁本体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、弁本体に加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。

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

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

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

(2) フロートガイド

フロートガイドの応力評価に用いるフロートガイドの最小断面積 A_2 は、図 5-2 に示すフロートガイドの最小直径 D_2 から求める。フロートガイドの最小断面積 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。

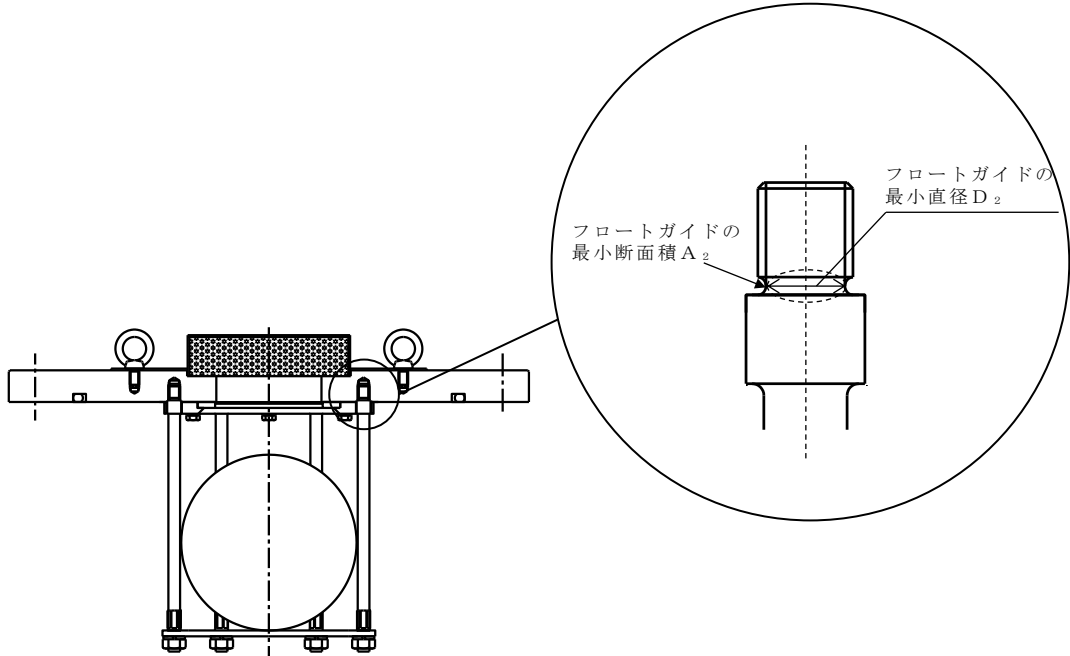


図 5-2 フロートガイドの応力評価に用いる断面積（300A 型（ボルト取付式）の例）

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。

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

b. 水平応答加速度負荷時

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、水平応答加速度にフロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力 σ_{H2} を以下の式より算出する。

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

$$I_2 = D_2^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

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

(3) 基礎ボルト

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、基礎ボルト 1 本あたりに加わる引張応力 σ_{bV} を以下の式より算出する。

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

b. 水平応答加速度負荷時

(a) せん断応力

水平応答加速度により、基礎ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 τ_3 を以下の式より算出する。

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

(b) モーメントによる引張応力

水平応答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、弁全体の最下端に集中荷重が作用した場合において、水平方向地震荷重によるモーメントにより基礎ボルト1本あたりに加わる引張応力 σ_{bH} を以下の式より算出する。図5-3にモーメントによる引張応力の作用イメージを示す。

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

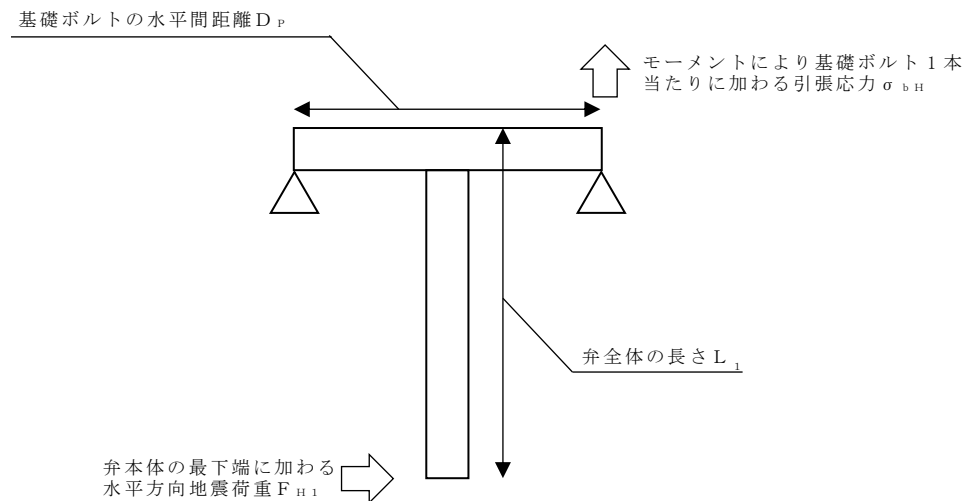


図5-3 モーメントによる引張応力の作用イメージ

(4) 取付部

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、取付部の配管の最小断面積に加わる引張応力 σ_{v3} を以下の式より算出する。配管の最小断面積 A_4 は、ねじ山がかみ合うことにより荷重は分散されるが、図5-4に示すとおり、保守的に最小断面積となる配管谷径 d_2 、配管外径 D_3 を計算に用いる。

$$\sigma_{v3} = \frac{W_{d1} + F_{v1}}{A_4}$$

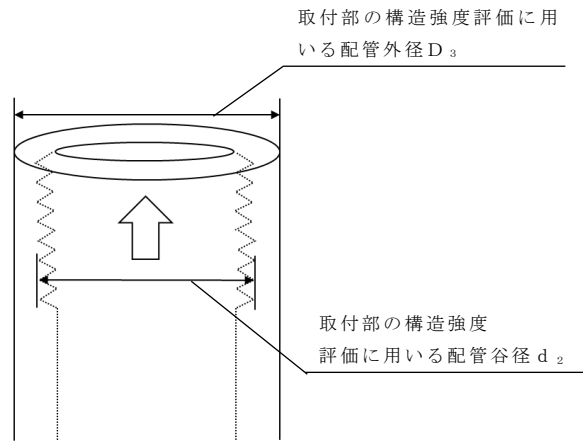


図 5-4 取付部の構造強度評価に用いる断面積

b. 水平応答加速度負荷時

水平応答加速度により，床ドレン逆止弁取付部の配管に加わる曲げ応力 σ_{H3} を以下の式より算出する。取付部境界から弁全体の最下端までの長さ L_3 について図 5-5 に示す。

$$M_3 = F_{H1} \cdot L_3$$

$$I_3 = \left(D_3^4 - d_2^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H3} = \frac{M_3 \cdot \left(\frac{D_3}{2} \right)}{I_3}$$

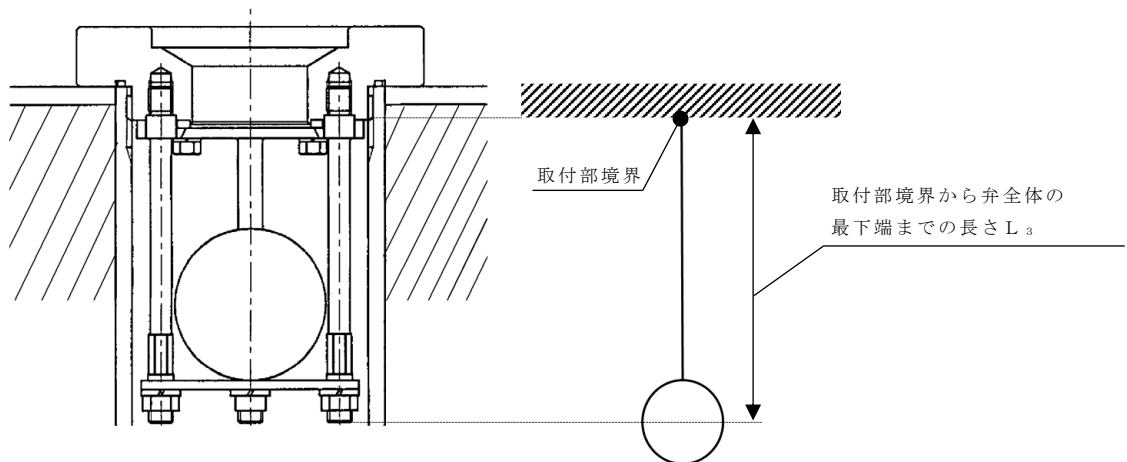


図 5-5 取付部境界から弁全体の最下端までの長さ

5.6 計算条件

床ドレン逆止弁の応力評価に用いる計算条件を表 5-6、表 5-7 及び表 5-8 に示す。

表 5-6 80A 型（ボルト取付式）の応力評価に用いる計算条件(1/2)

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS316L	2.937×10^3	5	139

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)
72	38

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 (mm^2)	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)
SUS316L	34.21	0.05	102

フロートガイドの最小直径 D_2 (mm)	フロートガイドの本数 n_f (本)
6.6	4

表 5-6 80A 型 (ボルト取付式) の応力評価に用いる計算条件 (2/2)

基礎ボルトの材質	基礎ボルトの 断面積 A_s (mm^2)	基礎ボルトの本数 n (本)	基礎ボルトの 水平間距離 D_P (mm)
SUS316L	113.1	2	260

重力加速度 g (m/s^2)
9.80665

表 5-7 300A 型 (ボルト取付式) の応力評価に用いる計算条件 (1/2)

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS316L	1.965×10^4	35	242

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)
182	90

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 (mm^2)	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)
SUS316L	55.42	0.15	215

フロートガイドの最小直径 D_2 (mm)	フロートガイドの本数 n_f (本)
8.4	6

表 5-7 300A 型 (ボルト取付式) の応力評価に用いる計算条件 (2/2)

基礎ボルトの材質	基礎ボルトの 断面積 A_s (mm^2)	基礎ボルトの本数 n (本)	基礎ボルトの 水平間距離 D_P (mm)
SUS316L	314.2	8	400

重力加速度 g (m/s^2)
9.80665

表 5-8 80A 型（ねじ込み取付式）の応力評価に用いる計算条件(1/2)

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS303	2.937×10^3	2.19	130

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)
72	38

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 (mm^2)	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)
SUS304	34.21	0.05	110

フロートガイドの最小直径 D_2 (mm)	フロートガイドの本数 n_f (本)
6.6	4

表 5-8 80A 型（ねじ込み取付式）の応力評価に用いる計算条件 (2/2)

配管の材質	配管の最小断面積 A_4 (mm^2)	取付部境界から弁下 端までの 長さ L_3 (mm)	配管の外径 D_3 (mm)
SUS304TP	1.014×10^3	99	89.1

配管の内径（取付部 の最小内径） d_2 (mm)
81.5

6. 機能維持評価

床ドレン逆止弁の固有周期を考慮して、地震時における床ドレン逆止弁の機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が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。床ドレン逆止弁の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として、床ドレン逆止弁に対して、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、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に示す津波による溢水または内部溢水を踏まえ、それらの浸水後の水位を上回る圧力として 0.30MPa 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した。本漏えい試験の結果により、床ドレン逆止弁の地震時及び地震後の機能維持を確認した。

表 6-1 床ドレン逆止弁の機能確認済加速度

評価部位	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
	水平方向	鉛直方向
床ドレン逆止弁	6.0	6.0

7. 評価結果

床ドレン逆止弁の耐震評価結果を以下に示す。(1)及び(2)に示す評価結果から、床ドレン逆止弁が耐震性を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価結果を表 7-1 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 7-1 基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価

(単位：MPa)

型式	評価部位	評価応力	発生応力	許容応力
80A 型 (ボルト取付式)	弁本体	引 張	1	133
		曲 げ	1	133
		組合せ* ¹	1	133
	フロートガイド	引 張	1	133
		曲 げ	4	133
		組合せ* ¹	4	133
	基礎ボルト	引 張* ²	1	105
		せん断	1	80
300A 型 (ボルト取付式)	弁本体	引 張	1	133
		曲 げ	1	133
		組合せ* ¹	1	133
	フロートガイド	引 張	1	133
		曲 げ	11	133
		組合せ* ¹	11	133
	基礎ボルト	引 張* ²	2	105
		せん断	1	80
80A 型 (ねじ込み取付式)	弁本体	引 張	1	154
		曲 げ	1	154
		組合せ* ¹	1	154
	フロートガイド	引 張	1	154
		曲 げ	4	154
		組合せ* ¹	4	154
	取付部	引 張	1	154
		曲 げ	1	154
		組合せ* ¹	1	154

注記*1：引張 (σ_v) + 曲げ (σ_H) は、 $\sigma_v + \sigma_H \leq 1.2S$ で評価

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

(2) 機能維持評価結果

床ドレン逆止弁の機能維持評価結果を表 7-2 に示す。機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることから、床ドレン逆止弁が機能維持することを確認した。

表 7-2 床ドレン逆止弁の機能維持評価結果

評価部位	設置床 (m)	据付場所	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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			機能維持 評価用 加速度 ^{*1}	機能確認済 加速度	機能維持 評価用 加速度 ^{*1}	機能確認済 加速度
床ドレン 逆止弁	EL 1.1	取水槽	1.55 ^{*2}	6.0	1.17 ^{*2}	6.0
	EL 2.0	タービン建物				
	EL 1.3	原子炉建物				
	EL 2.8	原子炉建物				

注記*1: 機能維持評価用加速度は、床ドレン逆止弁が設置されている各基準床レベルのうち、最大となる加速度を設定した。

*2: 設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度