東海第二発電所　工事計画審査資料	
資料番号	工認-282 改 2
提出年月日	平成 30 年 9 月 5 日

Ⅴ-3-別添 3-2-5-2　取水ピット空気抜き配管逆止弁の強度計算書

NT2 補② Ⅴ-3-別添 3-2-5-2 R2

目　次

1.　概　要 ・・・

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取水ピット空気抜き配管逆止弁が津波荷重及び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。

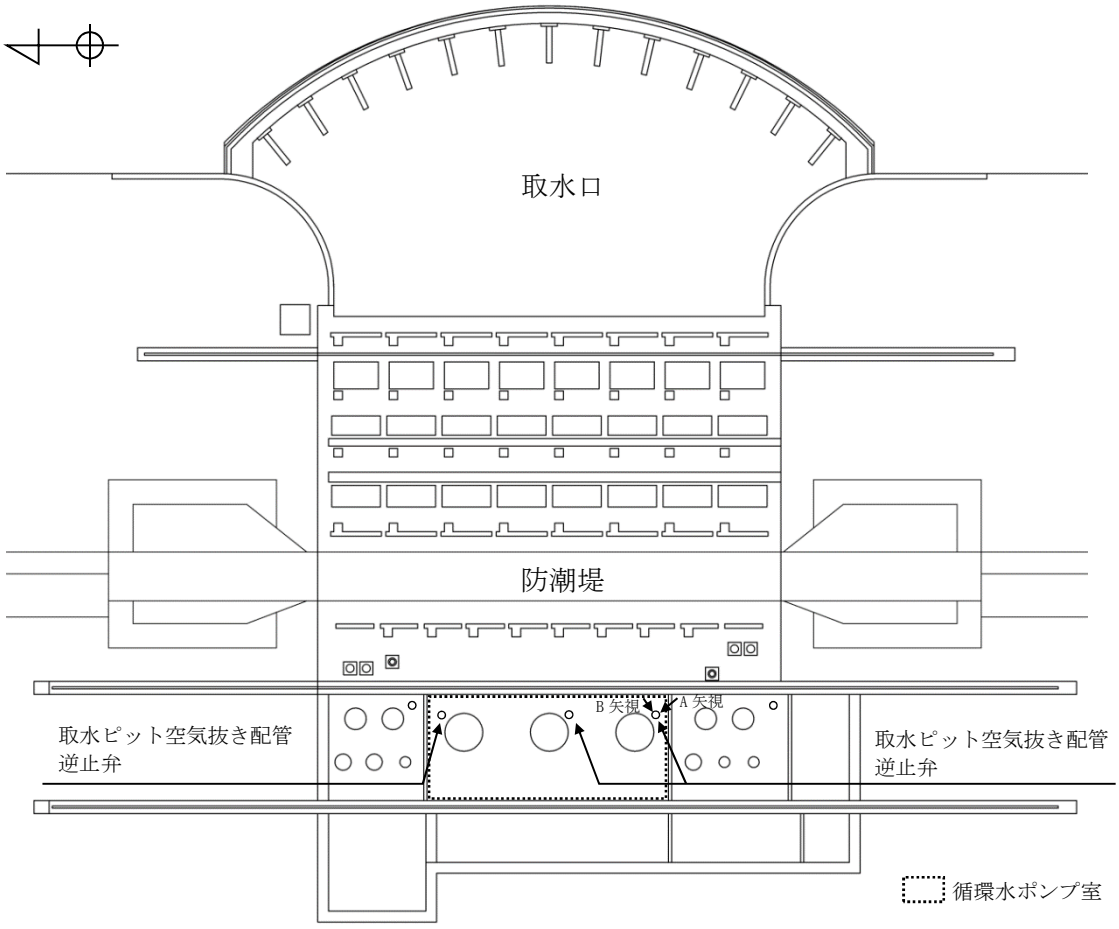
津波荷重については，基準津波による津波荷重を考慮した評価と敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

取水ピット空気抜き配管逆止弁は，循環水ポンプ室の取水ピット空気抜き配管に設置する。

取水ピット空気抜き配管逆止弁の設置位置を図 2-1 に示す。



（平面図）

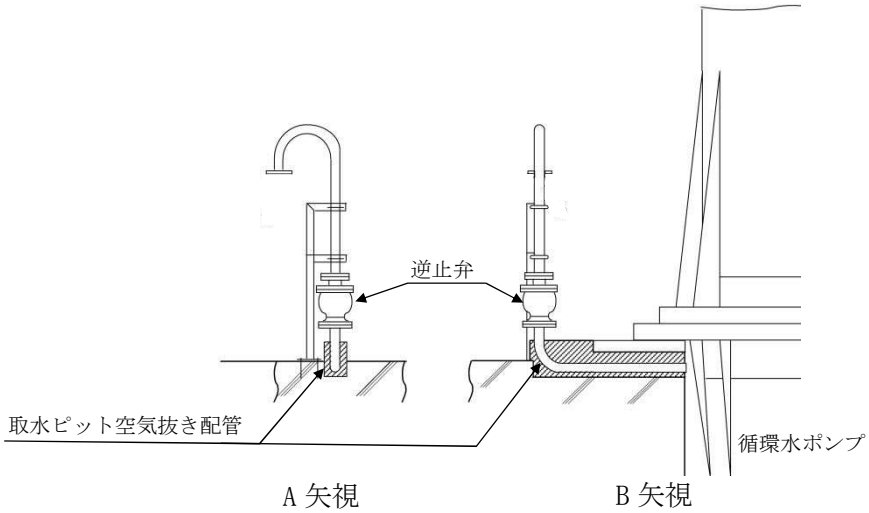
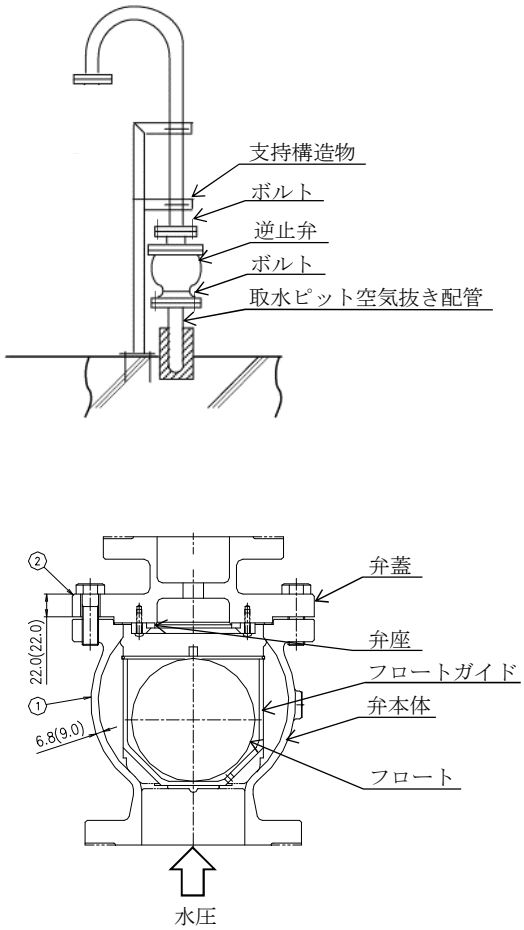


図 2-1　取水ピット空気抜き配管逆止弁の設置位置図

2.2　構造計画

取水ピット空気抜き配管逆止弁は，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上げられ，弁座に密着することで止水する。取水ピット空気抜き配管逆止弁の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1　取水ピット空気抜き配管逆止弁の構造概要

設備名称	構造概要		説　明　図
	基礎・支持構造	主体構造	
取水ピット空気抜き配管逆止弁 1, 2, 3	弁本体及び弁蓋のフランジ部を循環水ポンプ室に設置されている取水ピット空気抜き配管のフランジ面にボルトで固定する。また，配管系への支持構造物の取付けにより固定する。	弁本体，弁座を含む弁蓋，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。	

2.3　評価方針

取水ピット空気抜き配管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，取水ピット空気抜き配管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。

取水ピット空気抜き配管逆止弁の強度評価フローを図 2-2 に示す。取水ピット空気抜き配管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，評価対象部位を設定する。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，強度評価に当たっては，基準津波による津波荷重を考慮した評価と敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

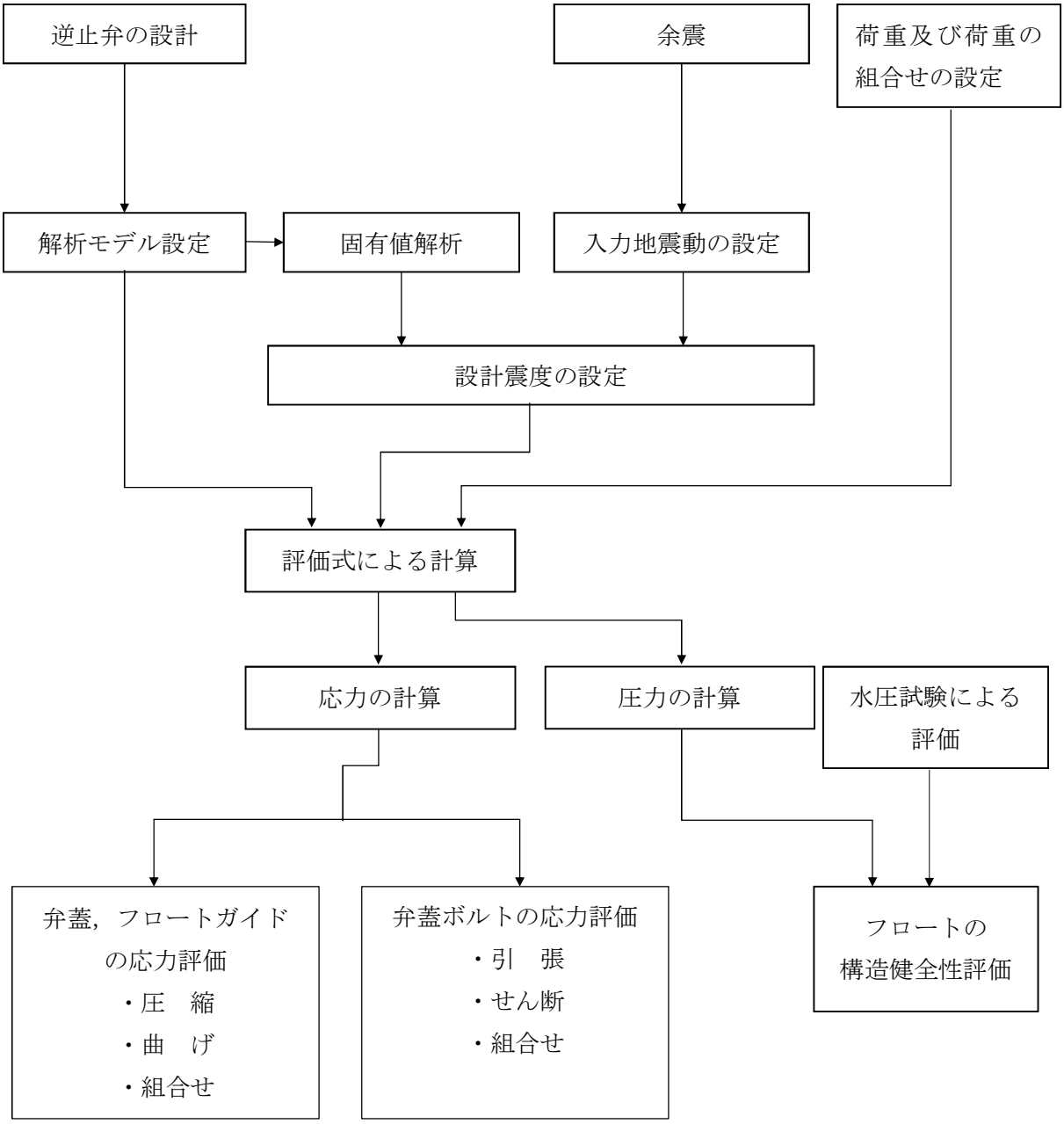

逆止弁の設計
余震
荷重及び荷重の組合せの設定
解析モデル設定
固有値解析
入力地震動の設定
設計震度の設定
評価式による計算
応力の計算
圧力の計算
水圧試験による評価
弁蓋，フロートガイドの応力評価
・圧　縮
・曲　げ
・組合せ
弁蓋ボルトの応力評価
・引　張
・せん断
・組合せ
フロートの構造健全性評価

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。

(1)　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。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005/2007（日本機械学会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984）（日本電気協会）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

2.5　記号の説明

取水ピット空気抜き配管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　取水ピット空気抜き配管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
d_1	モデル化に用いる弁蓋の内径	mm
D_1	モデル化に用いる弁蓋の外径	mm
E	モデル化に用いる部位の縦弾性係数	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_m	モデルの等価断面二次モーメント	mm^4
I_1	モデル化に用いる弁蓋の断面二次モーメント	mm^4
L_1	モデル化に用いる弁全体の長さ	mm
m	モデル化に用いる弁の全質量	kg

表 2-3　取水ピット空気抜き配管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_{HSd}	余震による水平方向の設計震度	－
C_{VSd}	余震による鉛直方向の設計震度	－
A_1	弁蓋の断面積	mm^2
A_2	突き上げ津波荷重が弁蓋に作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_3	フロートガイドの断面積	mm^2
A_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積	mm^2
A_5	弁蓋ボルトのねじ部の断面積	mm^2
A_6	突き上げ津波荷重が弁蓋ボルトに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
C_d	抗力係数	－
D_1	突き上げ津波荷重が弁蓋に作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
D_2	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_2	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内径	mm
d_3	弁蓋の内径	mm
D_3	弁蓋の外径	mm
d_4	フロートガイドの内径	mm

表 2-3　取水ピット空気抜き配管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
D_4	フロートガイドの外径	mm
D_p	弁蓋ボルトのピッチサークル	mm
f_b	許容曲げ応力　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007　SSB－3121.1(4)に定める値とする。	MPa
f_c	許容圧縮応力　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007　SSB－3121.1（3）に定める値とする。	MPa
f_s	許容せん断応力　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007 SSB－3121.1(2)に定める値とする。	MPa
f_t	許容引張応力（ボルト材）　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007　SSB－3131（1）に定める値とする。	MPa
f_{ts}	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（ボルト材）　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007 SSB－3131（3）に定める値とする。	MPa
τ	ボルトに作用するせん断応力	MPa
F_{H1}	弁全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}	弁蓋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	弁蓋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	フロートガイドの質量	kg
M_1	弁蓋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
n	弁蓋ボルトの本数	本
D	固定荷重	－
P_t	突き上げ津波荷重	MPa
S_d	余震荷重	－
P_{HSd}	水平加速度により加わる動水圧荷重	MPa
P_{VSd}	鉛直加速度により加わる動水圧荷重	MPa

表 2-3　取水ピット空気抜き配管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
U	取水ピット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常時荷重	N
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	－
ρ_o	海水の密度	kg/m^3
σ_{H1}	弁蓋に加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	フロートガイドに加わる曲げ応力	MPa
σ_{t1}	弁蓋に加わる圧縮応力（津波時）	MPa
σ_{t2}	フロートガイドに加わる圧縮応力（津波時）	MPa
σ_{t3}	弁蓋ボルト１本当たりのねじ部に加わる引張応力（津波時）	MPa
σ_{V1}	弁蓋に加わる圧縮応力（重畳時）	MPa
σ_{V2}	フロートガイドに加わる圧縮応力（重畳時）	MPa
σ_{V3}	弁蓋ボルト１本当たりのねじ部に加わる引張応力（重畳時）	MPa
σ_{V4}	モーメントにより弁蓋ボルト１本当たりのねじ部に加わる引張応力（重畳時）	MPa
τ_1	弁蓋ボルトのねじ部に加わるせん断応力	MPa
P_W	波圧によりフロートに発生する圧力	MPa

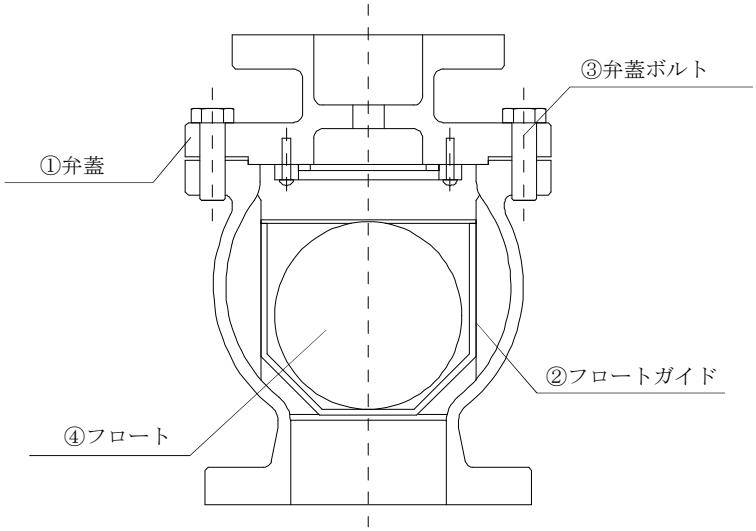
3. 評価部位

取水ピット空気抜き配管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，弁蓋及びフロートガイドに圧縮力が作用し，弁蓋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，弁蓋ボルトにせん断力が，弁蓋及びフロートガイドには曲げモーメントが作用し，それに伴い弁蓋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，弁蓋，フロートガイド及び弁蓋ボルトを選定し，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。取水ピット空気抜き配管逆止弁の評価部位について，図 3-1 に示す。



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　取水ピット空気抜き配管逆止弁の評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

取水ピット空気抜き配管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。当該逆止弁は配管を介して支持されているが，剛構造となる支持間隔で支持していることから，固有周期の計算におけるモデル化に当たっては弁のみをモデル化する。

(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，各部位の寸法や形状を踏まえ，弁蓋の最小断面が最も大きい固有周期を有するものとし，これを弁全体に一様断面をもつ片持ちはりに単純化したモデルとする。モデル化の概略を図4-1に示す。

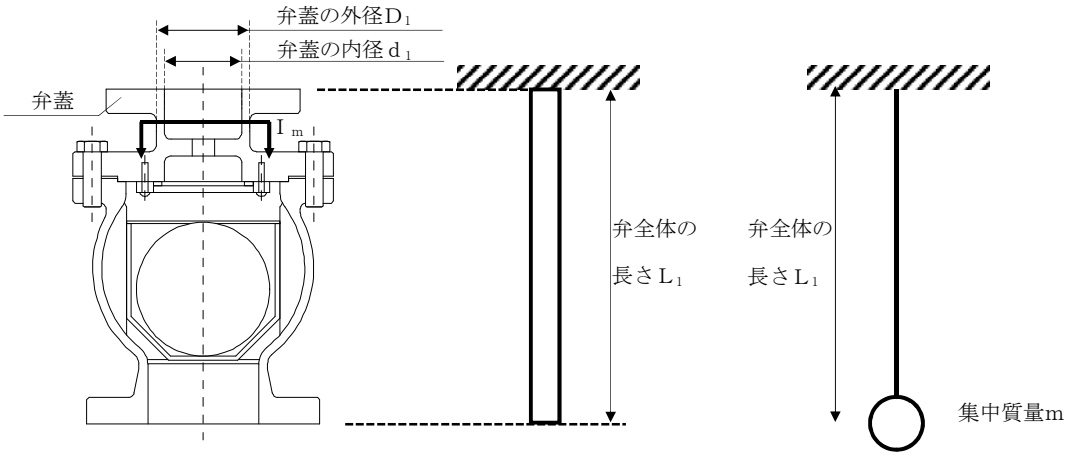


図4-1 モデル化の概略

(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。

固有周期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。

モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメントI_1は，以下の式より算出する。

$$I_1 = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

以下のとおり弁蓋の断面二次モーメントI_1をモデルの断面二次モーメントI_mに適用する。

$$I_m = I_1$$

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蓋の外径D_1 (mm)
SUS316L	31	88

モデル化に用いる弁蓋の内径d_1 (mm)	モデル化に用いる弁全体の長さL_1 (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数E (MPa)
70	292	1.94×10^5

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。

表 4-2　固有周期の計算結果

固有振動数 (Hz)	183
固有周期 (s)	0.006

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

取水ピット空気抜き配管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。

取水ピット空気抜き配管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，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，弁全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_t）

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。

突き上げ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_d）

余震荷重は，添付資料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_d－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_{H1}，F_{V1}，F_{H2}，F_{V2}，余震による動水圧荷重P_{VSd}及びP_{HSd}を考慮し，以下の式より算出する。

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

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

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

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

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

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

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。）の差であるが，ここでは保守的に津波荷重水位とした。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。

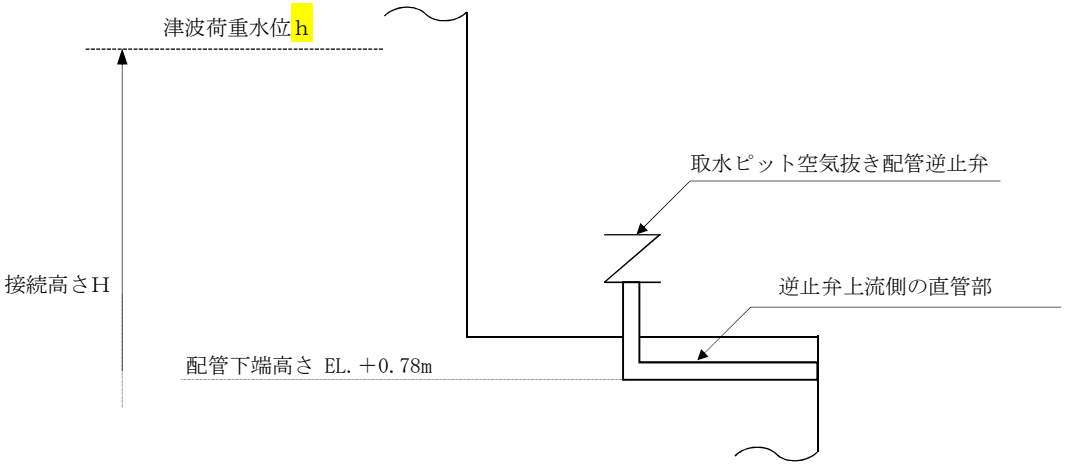


図5-1　取水ピット空気抜き配管逆止弁の動水圧の算出に用いる接続高さHの設定

5.2.2　荷重の組合せ

取水ピット空気抜き配管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　取水ピット空気抜き配管逆止弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

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）	取水ピット空気抜き配管逆止弁	$D+P_t+S_d$

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

取水ピット空気抜き配管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，弁蓋，フロートガイド及び弁蓋ボルトについては，ＪＳＭＥ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，閉弁状態の逆止弁に対して，波圧を模擬した静水圧 2.0MPa 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。

取水ピット空気抜き配管逆止弁の弁蓋，フロートガイド及び弁蓋ボルトの許容限界を表 5-2 に，取水ピット空気抜き配管逆止弁の許容応力評価条件を表 5-3 に，弁蓋，フロートガイド及び弁蓋ボルト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　弁蓋，フロートガイド及び弁蓋ボルトの許容限界

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_{AS}) *5	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_{ts}

注記　＊1：引張及び曲げは，ＪＥＡＧ４６０１・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，ＪＥＡＧ４６０１・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，ＪＳＭＥ　ＮＣ１－2005/2007 による。

＊3：引張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

τ：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　弁蓋，フロートガイド及び弁蓋ボルトの許容応力評価条件

評価部位	材　料	温度条件 (℃)	S *1 (MPa)	S_y *1 (MPa)	S_u *1 (MPa)	F *1*2 (MPa)
弁蓋	SCS16A	40	120	—	—	—
フロートガイド	SUS316L		111	—	—	—
弁蓋ボルト	SUS316L		—	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：$F=\mathrm{Min}[1.35\cdot S_y,\ 0.7\cdot S_u,\ S_y(RT)]$とする

表 5-4　弁蓋，フロートガイド及び弁蓋ボルトの許容応力算出結果

供用状態 (許容応力状態)	評価部位	許容限界 (ボルト以外) 一次応力 引　張	曲　げ	組合せ	許容限界 (ボルト) 一次応力 引　張	せん断
C (III_AS)	弁蓋	144	144	144	—	—
	フロートガイド	133	133	133	—	—
	弁蓋ボルト	—	—	—	153*	117

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau,\ f_{to}]$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」に示したとおり取水ピット空気抜き配管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，取水ピット空気抜き配管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。取水ピット空気抜き配管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)	基準床レベル (EL. m)	余震による設計震度*	
弾性設計用地震動 S_d－D1	循環水ポンプ室 0.800	取水構造物 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，取水ピット空気抜き配管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

取水ピット空気抜き配管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)　弁蓋

a.　圧　縮

鉛直加速度，静水圧及び動水圧により，弁蓋に加わる圧縮応力 σ_{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，弁蓋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蓋に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 から求める。弁蓋の断面積 A_1 は，図 3-3 に示すとおり，弁蓋のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。

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

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，弁蓋に加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。弁全体の長さ L_1，弁蓋の外径 D_3 及び内

径ｄ$_3$について図5-2に示す。

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

$$I_1 = (D_3^4 - d_3^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot (\frac{D_3}{2})}{I_1}$$

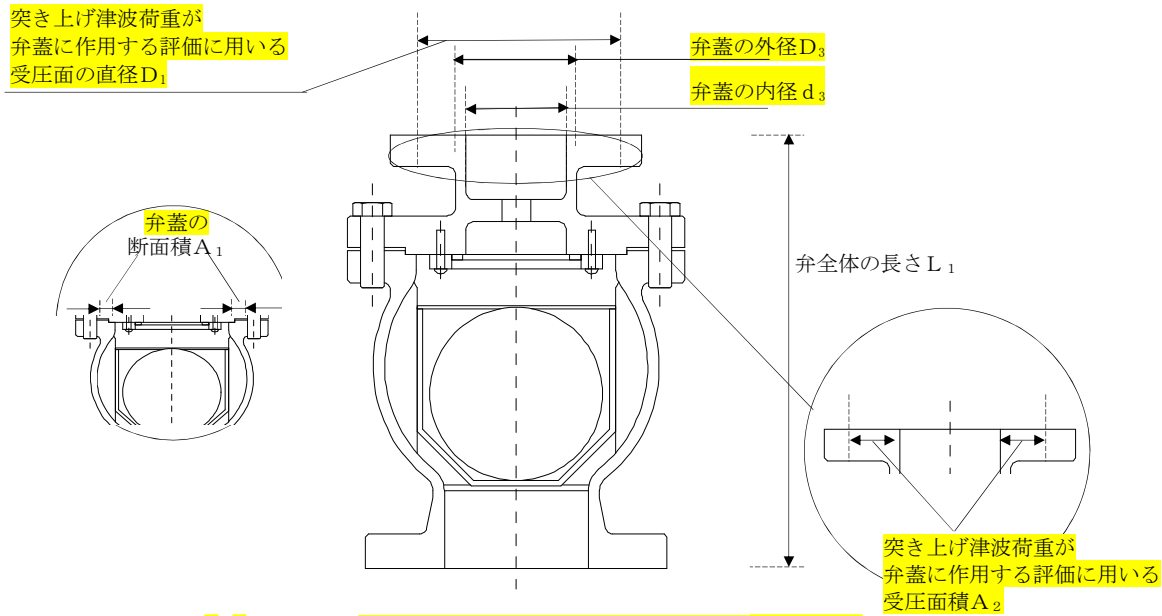


図5-2　弁蓋の強度評価に用いる受圧面直径及び断面積

(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σ_{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，以下の図3-5に示す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_2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。

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

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σ_{H2}を以下の式より算出する。フロートガイドの長さL_2，フロートガイドの外径D_4及び内径d_4について図5-3に示す。

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

$$I_2=(D_4{}^4-d_4{}^4)\cdot\frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H2}=\frac{M_2\cdot(\frac{D_4}{2})}{I_2}$$

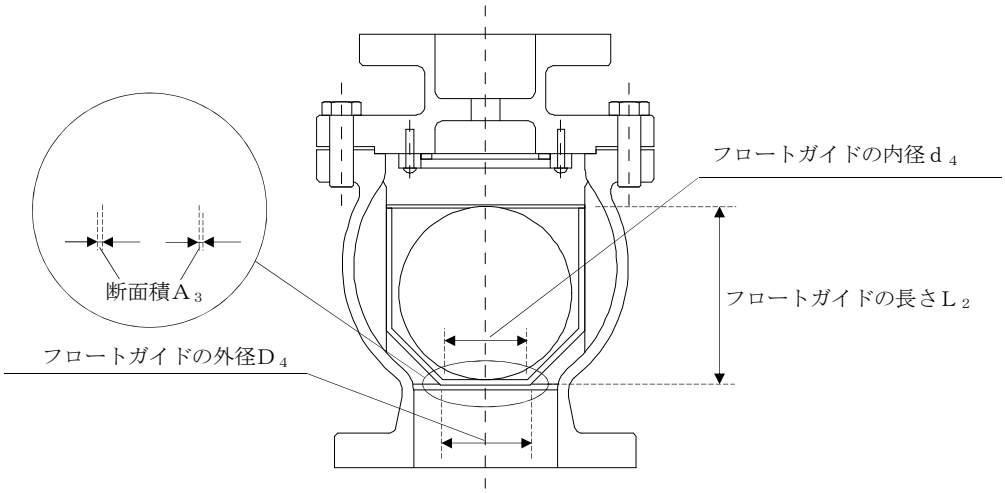


図5-3　フロートガイドの強度評価に用いるフロートガイドの長さ，
フロートガイドの外径及び内径

(3)　弁蓋ボルト

a.　引　張

鉛直加速度，静水圧及び動水圧により，弁蓋ボルト１本当たりのねじ部に加わる引張応力σ_{V3}を以下の式より算出する。また，突き上げ津波荷重が弁蓋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弁蓋ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径D_1から求める。弁蓋ボルトのねじ部の面積A_5は最も肉厚が薄い断面を適用する。

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

b.　モーメントによる引張

水平加速度により対角線上の弁蓋ボルト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，モーメントにより弁蓋ボルト１本当たりのねじ部に加わる引張応力σ_{V4}を算出する。図5-4にモーメントによる引張力の作用イメージを示す。

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

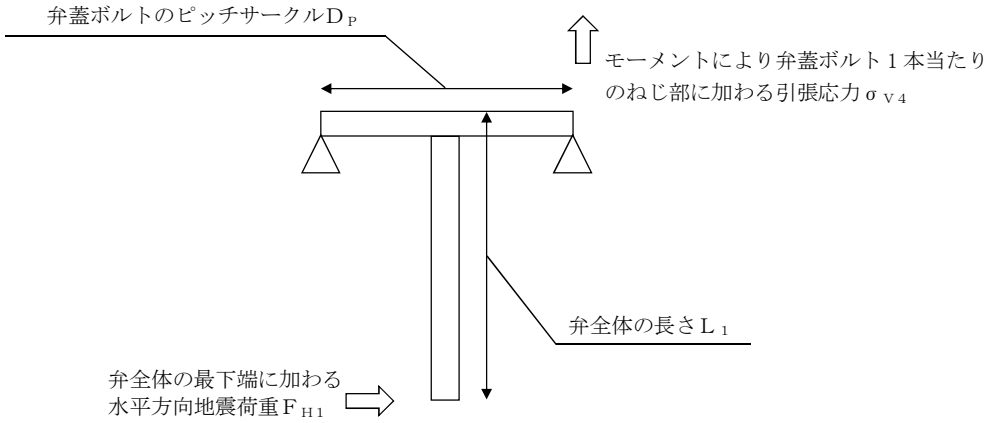


図5-4　モーメントによる引張力の作用イメージ

c.　せん断

水平加速度により，弁蓋ボルトのねじ部に加わるせん断応力τ_1を以下の式より算出する。

$$\tau_1=\frac{F_{H1}}{A_5\cdot n}$$

(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) 強度評価に用いる逆止弁の仕様及び津波荷重に関わる計算条件を除く計算条件

取水ピット空気抜き配管逆止弁の仕様及び津波荷重に関わる計算条件を除く計算条件を表5-7に示す。

表5-7 取水ピット空気抜き配管逆止弁の仕様及び津波荷重に関わる計算条件を除く計算条件（1/2）

弁蓋の材質	弁蓋の断面積A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SCS16A	2.234×10^3	31	292

弁蓋の外径D_3 (mm)	弁蓋の内径d_3 (mm)	フロートガイドの材質	フロートガイドの断面積A_3 (mm^2)
88	70	SUS316L	556.1

フロートガイドの質量m_2 (kg)	フロートガイドの長さL_2 (mm)	フロートガイドの外径D_4 (mm)	フロートガイドの内径d_4 (mm)
1.8	123	62	56

弁蓋ボルトの材質	弁蓋ボルトのねじ部の断面積A_5 (mm^2)	弁蓋ボルトの本数 n (本)	弁蓋ボルトのピッチサークルD_P (mm)
SUS316L	2.011×10^2	8	200

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_o (kg/m^3)	突き上げ津波荷重が弁蓋に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_1 (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_2 (mm)
9.80665	1030	154	135.7

表 5-7　取水ピット空気抜き配管逆止弁の仕様及び津波荷重に関わる計算条件を除く計算条件（2/2）

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内径 d_2 (mm)	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 β	抗力係数 C_d
128	1.0	2.01

(2)　強度評価に用いる逆止弁の津波荷重に関わる計算条件

取水ピット空気抜き配管逆止弁の津波荷重に関わる計算条件を表 5-8 に示す。

表 5-8　取水ピット空気抜き配管逆止弁の津波荷重に関わる計算条件

対象の津波	津波荷重水位 h (T.P.＋m)	取水ピット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	22.0
敷地に遡上する津波	26.0	2.0	26.0

6.　評価結果

(1)　基準津波と余震による重畳時

取水ピット空気抜き配管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，取水ピット空気抜き配管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

評価部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
弁蓋	圧　縮	4	144
	曲　げ	2	144
	組合せ*1	6	144
フロートガイド	圧　縮	2	133
	曲　げ	1	133
	組合せ*1	3	133
弁蓋ボルト	引　張*2	7	130*3
	せん断	1	100

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

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

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

取水ピット空気抜き配管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，取水ピット空気抜き配管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

評価部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
弁蓋	圧　縮	4	144
	曲　げ	2	144
	組合せ*1	6	144
フロートガイド	圧　縮	2	133
	曲　げ	1	133
	組合せ*1	3	133
弁蓋ボルト	引　張*2	8	130*3
	せん断	1	100

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