

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-01-0140-1_改 31
提出年月日	2021年10月15日

補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料

目次

1. 入力津波の評価
 - 1.1 潮位観測記録の考え方について
 - 1.2 遡上・浸水域の考え方について
 - 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について
 - 1.4 管路解析モデルについて
 - 1.5 入力津波の不確かさの考慮について
 - 1.6 津波シミュレーションにおける解析モデルについて
 - 1.7 非常用取水設備内に貯留される水量の算定について
2. 津波防護対象設備
 - 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について
3. 取水性に関する考慮事項
 - 3.1 砂移動による影響確認について
 - 3.2 除塵装置の取水性への影響について
 - 3.3 非常用海水ポンプの波力に対する強度評価について
4. 漂流物に関する考慮事項
 - 4.1 設計に用いる遡上波の流速について
 - 4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性
 - 4.3 漂流物による衝突荷重について
5. 設計における考慮事項
 - 5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について
 - 5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて
 - 5.3 津波防護に関する施設の機能設計・構造設計に係る許容限界について
 - 5.4 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性について
 - 5.5 スロッシングによる貯水量に対する影響評価
 - 5.6 津波防護施設の強度計算における津波荷重，余震荷重及び衝突荷重の組合せについて
 - 5.7 浸水防護施設の評価における衝突荷重，風荷重及び積雪荷重について
 - 5.8 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況について
 - 5.9 耐震及び耐津波設計における許容限界について
 - 5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について
 - 5.11 地殻変動後の津波襲来時における海水ポンプの取水性への影響について
 - 5.12 浸水防護施設のアンカーボルトの設計について

- 5.13 強度計算に用いた規格・基準類の適用性について
- 5.14 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について
- 5.15 浸水量評価について
- 5.16 強度評価における津波荷重等の鉛直方向荷重の考え方について
- 5.17 津波に対する止水性能を有する施設の評価について
- 5.18 防潮壁内のスロッシングによる非常用海水ポンプへの没水影響について
- 5.19 津波監視設備の設備構成及び電源構成について
- 5.20 軽油タンクエリアにおける浸水防護重点化範囲について
- 5.21 屋外タンク等からの溢水影響評価について
- 5.22 復水器水室出入口弁の津波に対する健全性について
- 5.23 タービン補機冷却海水系ポンプ吐出弁の津波に対する健全性について
- 5.24 津波への流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価
 - 5.24.1 3号機補機放水側配管の基準地震動 S_s に対する耐震評価
 - 5.24.2 3号機海水系ポンプの基準地震動 S_s に対する耐震評価
 - 5.24.3 3号機取水側海水系配管の基準地震動 S_s に対する耐震評価
 - 5.24.4 2号機および3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
 - 5.24.5 2号機および3号機海水系配管・弁の津波に対する強度評価
- 5.25 第3号機海水熱交換器建屋の回転の影響について
- 5.26 大津波警報発表時等における常用系海水系の運用について
- 5.27 防潮壁の止水構造について
- 5.28 3号機海水系に関する津波時の敷地への流入影響について
- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
 - 6.1 防潮堤に関する補足説明
 - 6.2 取放水路流路縮小工に関する補足説明
 - 6.3 防潮壁に関する補足説明
 - 6.4 貯留堰に関する補足説明
 - 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
 - 6.5.1 逆流防止設備に関する補足説明
 - 6.5.2 水密扉に関する補足説明
 - 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
 - 6.5.4 浸水防止壁に関する補足説明
 - 6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明
 - 6.5.6 貫通部止水処置に関する補足説明
 - 6.6 津波監視設備に関する補足説明
 - 6.6.1 津波監視カメラに関する補足説明

6.6.2 取水ピット水位計に関する補足説明

: 本日の提出範囲

5.23 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の津波に対する健全性について

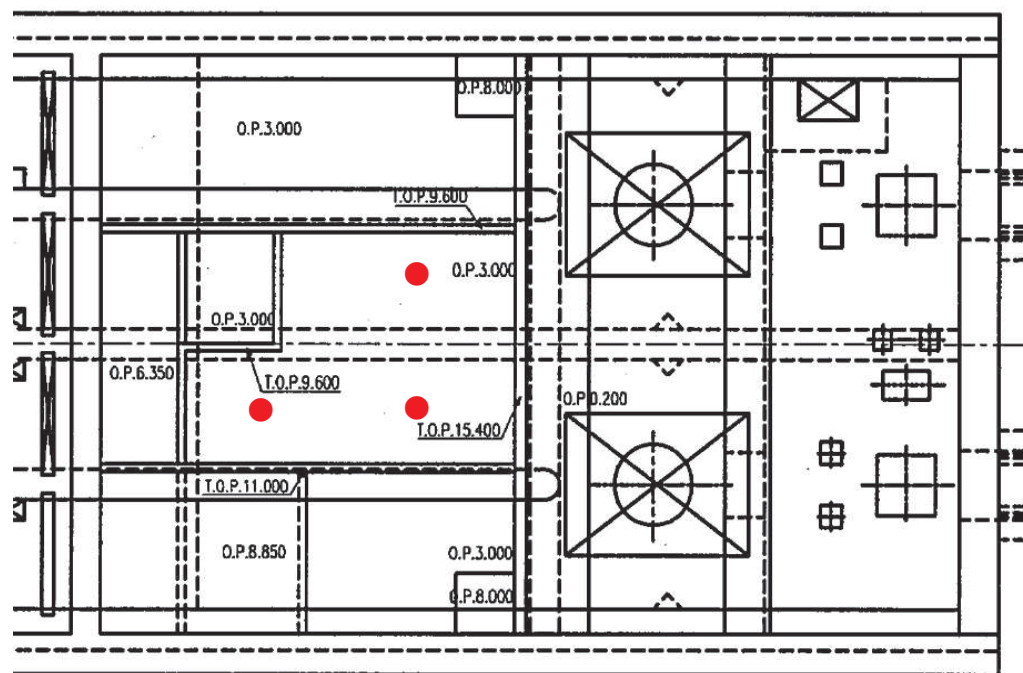
5.23.1 概要

本資料は、内部溢水対策となるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が、溢水を隔離し弁閉止した後、津波の圧力影響として浸水津波荷重（以下「津波荷重」という。）及び余震を考慮した荷重に対し、構造健全性を有することを確認するものである。VI-1-1-2-2-4「入力津波による津波防護対象設備への影響評価 3.4 津波による溢水の重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止（内郭防護）に係る評価（4）津波防護対策」で津波到達時において、弁の閉止維持を含めた津波のバウンダリが津波の圧力に対してタービン建屋への津波の流入を防止する設備のうち、タービン補機冷却海水系ポンプ吐出弁に関して示すものである。

5.23.2 一般事項

(1) 配置計画

強度評価の対象設備となるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の配置計画を図 5.23.2-1 に示す。



海水ポンプ室

●: タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

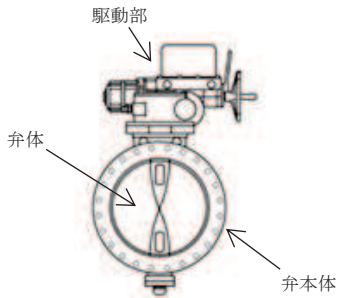
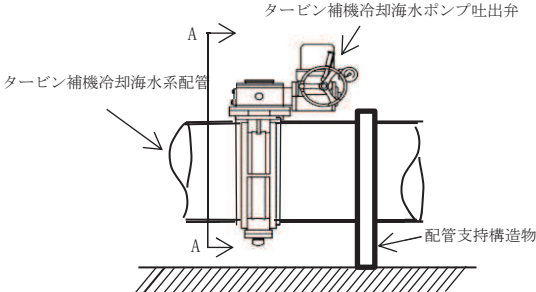
* 設置床高さは O. P. 3. 000 (m)

図 5.23.2-1 配置計画

(2) 構造計画

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表 5.23.2-1 に示す。

表 5.23.2-1 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体, 弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	タービン補機冷却海水系配管に設置され, 配管にて支持される。 配管については, 支持構造物にて支持される。	 <p>A-A 断面図</p>  <p>弁設置位置図</p>

5.23.3 評価震度

(1) 評価震度の解析方法

解析モデルは、VI-2-別添 2-7「タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」と同一とする。

(2) 設計震度の計算条件

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の設計条件について、表 5.23.3-1 に示す。

表 5.23.3-1 設計条件

評価対象	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	外径 (mm)	配管厚さ (mm)	材料	縦弾性係数 (MPa)
タービン補機冷却 海水ポンプ吐出弁	0.69	41	558.8	9.5		

(3) 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を表 5.23.3-2 に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した弾性設計用地震動 S_d のものを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5.23.3-2 設計用地震力

建屋・構築物	標高	減衰定数 (%)
海水ポンプ室	O.P. 7.250(m)	2.0
海水ポンプ室	O.P. 2.250(m)	2.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.23.4 設計震度の計算結果

(1) タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁弁体部の評価震度を表 5.23.4-1 に示す。

表 5.23.4-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁弁体部の評価震度

適用する地震動等	S d		
	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
動的解析結果	X 方向	Z 方向	Y 方向
		4.451	0.413
動的震度* ²	1.370		1.130

注記 *1：動的解析から得られる各方向の震度。

*2：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を 1.2 倍した震度 (1.2ZPA)

(2) タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の各モードの固有周期及び刺激係数を表 5.23.4-2 に示す。

表 5.23.4-2 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の各モードの固有周期及び刺激係数

モード	固有周期(s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.191	0.003	0.040	0.008
2 次	0.172	0.005	0.011	0.037
3 次	0.100	0.028	0.001	0.020
4 次	0.086	0.036	0.003	0.057
5 次	0.073	0.045	0.007	0.005
6 次	0.070	0.062	0.019	0.003
7 次	0.058	0.122	0.008	0.009
8 次	0.057	0.003	0.001	0.016
9 次	0.055	0.034	0.001	0.019
10 次	0.051	0.000	0.011	0.001
11 次	0.047	0.001	0.042	0.009

注記 *：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

5.23.5 構造強度評価

(1) 荷重の設定

a. 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重として、津波流入を想定した流速成分による荷重と、経路からの津波に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_p \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

ここで、 P_t : 突き上げ津波荷重

ρ_0 : 海水の密度

U : 流速 (津波流速を保守側に設定)

C_p : 抗力係数 (2.01*)

g : 重力加速度

H : 評価高さ (設計津波高さ－設置位置高さ)

*出典：津波漂流物対策施設設計ガイドライン 表-3.4.7 抗力係数
(H26.3 沿岸技術研究センター)

b. 余震荷重 ($K S d$)

余震荷重は、VI-3-別添 3-1-1「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 $S d$ に伴う力とする。

余震に伴う加速度で弁体に発生する慣性力と、余震による動水圧荷重を考慮し、以下の式より算出する。弁体 (閉止状態) 及び弁本体の内面に加わる圧力荷重として評価。

$$K S d = m \cdot g \cdot \alpha_H / A + \rho_0 \cdot \alpha_V \cdot g \cdot H$$

ここで、 $K S d$: 余震荷重

m : 弁体部質量

g : 重力加速度

α_H : 弁体部の配管軸方向余震震度

A : 弁体受圧面投影面積 ($= \pi \cdot D_1^2 / 4$ D_1 : 弁口径)

ρ_0 : 海水の密度

α_V : 弁体部の鉛直方向余震震度

H : 評価高さ (設計津波高さ－設置位置高さ)

c. 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁本体及び配管の自重を考慮する。

(弁体は水平配管に設置されるため、弁体の配管軸方向荷重評価(内圧と重畳する方向)については0となる。)

5.23.6 荷重の組合せ

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 5.23.6-1 に示す。

表 5.23.6-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

機器名称	荷重の組合せ
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	$D + P_t + K S d^{*1, *2}$

注記 *1: Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, $K S d$ は余震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び余震荷重 ($K S d$) の組み合わせが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) 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評価を実施する。

5.23.7 許容限界

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁については, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の水圧試験の圧力を表 5.23.7-1 に示す。

表 5.23.7-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 許容限界

評価部位	水圧試験の圧力 (MPa)
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	0.75

5.23.8 計算条件

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる計算条件を表 5.23.8-1～表 5.23.8-3 に示す。

表 5.23.8-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる計算条件

弁体の材質	弁体の質量 m_1 (kg)	弁体受圧面の外径 (弁口径) D_1 (mm)
	70	550

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)
9.80665	1030

表 5.23.8-2 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる流速条件

	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁
突き上げ津波荷重評価流速 U (m/s) *	1.0

注記 * : タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が閉止されている状態では、弁体部に流れはないが、海水ポンプ室（水位上昇側）の最大鉛直流速に対し、保守的に設定した値を評価流速とする。

表 5.23.8-3 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる評価高さ

	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 (O.P. (m))
①最高津波高さ*1*3	18.6
②設置位置高さ*2*3	2.85
③価高さ H (①-②)	15.75

注記 *1 : 取水路からの海水ポンプ室の入力津波高さ (VI-1-1-2-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価) に設計上の裕度 0.5(m) を考慮する。

*2 : タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁を設置する高さとする。

*3 : 高さは地盤沈下を考慮(-1.0m)した表記としている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.23.9 評価結果

(1) 構造健全性評価

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価結果を表 5.23.9-1 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、評価部位であるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が構造健全性を有することを確認した。

表5.23.9-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁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)
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	0.36	0.75

5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

(1) 概要

津波の流入防止に係る津波のバウンダリとなる設備については、地震時及びその後の津波に対して構造強度を有することで、敷地への浸水防止（外郭防護1）及び浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策（内郭防護）を期待する設備である。また、内郭防護の設計において、津波による溢水量低減を期待する設備については、地震時及びその後の津波に対して構造強度を有する必要がある。

よって、これらの設備に関して、耐震評価、津波に対する強度評価を行い、津波バウンダリの維持を説明するものである

(2) 評価方針

津波の流入防止に係る津波のバウンダリとなる設備について抽出し、これらの系統における津波時の影響を考慮した評価を実施する。

- a. 評価対象施設は、津波時の敷地への浸水防止、浸水防護重点化範囲への浸水防止の観点から、屋外に設置され、取水路、放水路から津波の影響を受ける範囲の設備とする。
- b. 津波の影響として、津波のバウンダリとなる部位の形状等を考慮して、評価を実施する。また、系統が弁で仕切られているような終端部について、満水状態であれば、津波時においても直接的な流れがないと考えられるが、保守的に流路の水位上昇速度を用いて評価を実施する。

(3) 評価結果

津波の流入防止に係る津波のバウンダリとなる設備について抽出し、これらの系統における耐震評価、津波に対する強度評価を実施した。いずれの設備についても構造強度を有することで、津波バウンダリを維持することを確認した。これらの確認結果については、表 5.24-1 に示す。

表 5.24-1 津波の流入防止に係る津波のバウンダリとなる設備の構造評価結果 (1/2)

No.	津波の流入経路	評価対象施設	津波に対する終端部	設置エリア	耐震評価		強度評価	
					内容	評価結果の紐づけ書類	内容	評価結果の紐づけ書類
1	2号取水路	2号原子炉補機冷却海水ポンプ	—	2号海水ポンプ室補機エリア	Sクラス施設の耐震評価により構造強度を有することを確認	VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
2	2号取水路	2号原子炉補機冷却海水系配管	—	2号海水ポンプ室補機エリア	Sクラス施設の耐震評価により構造強度を有することを確認	VI-2-5-7-1-6 管の耐震性についての計算書(原子炉補機冷却海水系及び原子炉補機冷却海水系)	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
3	2号取水路	2号高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ	—	2号海水ポンプ室補機エリア	Sクラス施設の耐震評価により構造強度を有することを確認	VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
4	2号取水路	2号高圧炉心スプレィ補機冷却海水系配管	—	2号海水ポンプ室補機エリア	Sクラス施設の耐震評価により構造強度を有することを確認	VI-2-5-7-2-5 管の耐震性についての計算書(高圧炉心スプレィ補機冷却海水系及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水系)	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
5	2号取水路	2号タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	終端部	2号海水ポンプ室補機エリア	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	VI-2-別添 2-7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書	タービン補機冷却海水系隔離システムによりポンプ停止及び吐出弁が全閉となり、その後の津波の影響を受けるため、終端部の吐出弁に対して強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.23. 2号タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の津波に対する強度評価
6	2号取水路	2号タービン補機冷却海水ポンプ	—	2号海水ポンプ室補機エリア	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
7	2号取水路	2号タービン補機冷却海水系配管	—	2号海水ポンプ室補機エリア	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	VI-2-別添 2-7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書	タービン補機冷却海水系隔離システムによりポンプ停止及び吐出弁が全閉となり、その後の津波の影響を受けるため、吐出弁までの屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
8	2号取水・放水路	2号復水器水室出入口弁	終端部	2号タービン建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	VI-2-別添 2-8 復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書	循環水系隔離システムによりポンプ停止及び復水器水室出入口弁が全閉となり、その後の津波の影響を受けるため、終端部の復水器水室出入口弁に対して強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.22. 復水器水室出入口弁の津波に対する強度評価
9	2号取水・放水路	2号循環水系配管(復水器水室出入口弁接続配管)	—	2号タービン建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	VI-2-別添 2-8 復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書	循環水系隔離システムによりポンプ停止及び復水器水室出入口弁が全閉となり、その後の津波の影響を受けるため、復水器水室出入口弁までのタービン建屋内配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
10	2号取水路	2号循環水ポンプ	—	2号海水ポンプ室循環水ポンプエリア	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
11	2号取水路	2号循環水系配管(循環水ポンプ接続配管)	—	2号海水ポンプ室循環水ポンプエリア	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	循環水系隔離システムによりポンプ停止及び復水器水室出入口弁が全閉となり、その後の津波の影響を受けるため、屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価

表 5.24-1 津波の流入防止に係る津波のバウンダリとなる設備の構造評価結果 (2/2)

No.	津波の流入経路	評価対象施設	津波に対する終端部	設置エリア	耐震評価		強度評価	
					内容	評価結果の紐づけ書類	内容	評価結果の紐づけ書類
12	3号取水路	3号原子炉補機冷却海水ポンプ	—	3号海水熱交換器建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.2. 3号機海水ポンプの基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
13	3号取水路	3号原子炉補機冷却海水系配管	—	3号海水熱交換器建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.3 3号機取水側海水配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
14	3号取水路	3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	—	3号海水熱交換器建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.2. 3号機海水ポンプの基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
15	3号取水路	3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	—	3号海水熱交換器建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.3 3号機取水側海水配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
16	3号取水路	3号タービン補機冷却海水ポンプ	—	3号海水熱交換器建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.2. 3号機海水ポンプの基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
17	3号取水路	3号タービン補機冷却海水系配管	—	3号海水熱交換器建屋	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.3 3号機取水側海水配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
18	3号取水路	3号循環水ポンプ	—	3号海水ポンプ室	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.2. 3号機海水ポンプの基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波時の運転状態及び入力津波高さを考慮した水頭圧を考慮し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.4. 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価
19	3号放水路	3号循環水配管	■	3号海水ポンプ室	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.3 3号機取水側海水配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
20	3号放水路	3号原子炉補機冷却海水系配管	—	3号補機放水ビット	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.1. 3号機補機放水側配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
21	3号放水路	3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	—	3号補機放水ビット	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.1. 3号機補機放水側配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
22	3号放水路	3号タービン補機冷却海水系配管	—	3号補機放水ビット	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.1. 3号機補機放水側配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価
23	3号放水路	3号非放射性ドレン移送系配管	—	3号補機放水ビット	基準地震動 Ss による耐震性評価により構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.1. 3号機補機放水側配管の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける屋外配管の強度評価を実施し、構造強度を有することを確認	補足 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価

5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

5.24.1 3号機補機放水側配管の基準地震動 S_s に対する耐震評価

(1) 概要

3号機補機冷却海水系放水ピットには浸水防止蓋を設置するとともに、浸水防止蓋を貫通する屋外に露出する配管の貫通部は基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能を維持し、貫通部には止水処置を実施する設計としている。浸水防止蓋及び貫通部止水処置の配置については、図5.24.1-1及び図5.24.1-2に示す。

本資料は、添付資料「VI-3-別添3-2-10 貫通部止水処置の強度計算書」に示す貫通部止水処置（3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部）を実施する屋外に露出する配管について、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」の手法を参考に耐震評価を実施し、基準地震動 S_s に対し、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

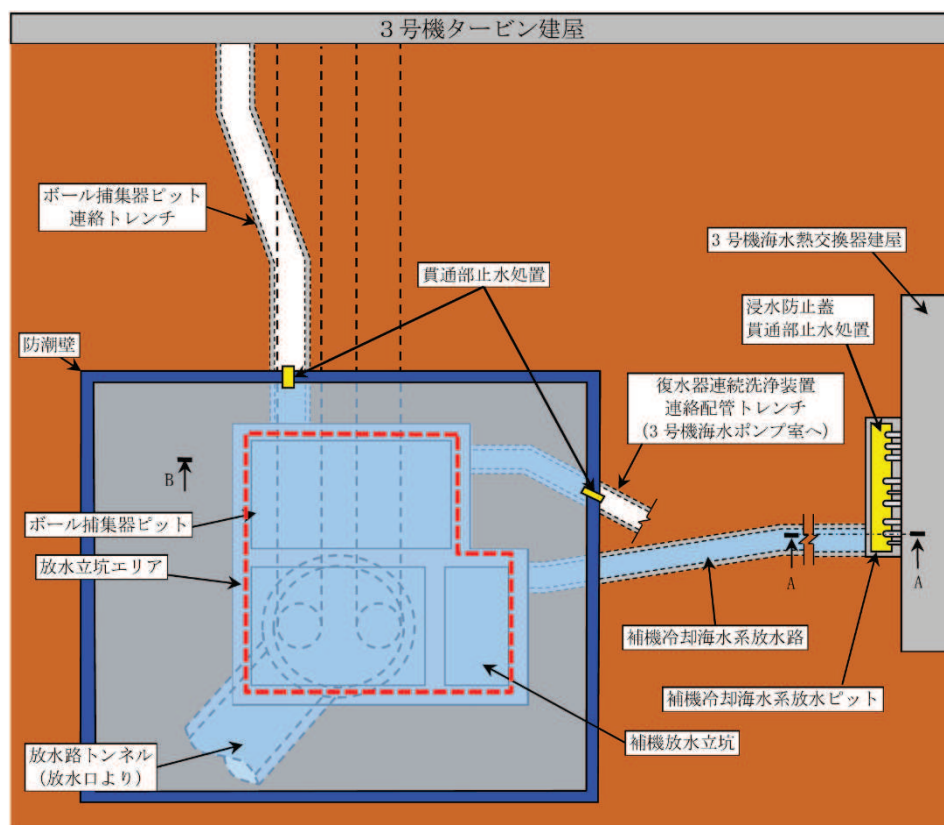


図 5.24.1-1 3号機 放水立坑 浸水対策配置図（平面図）

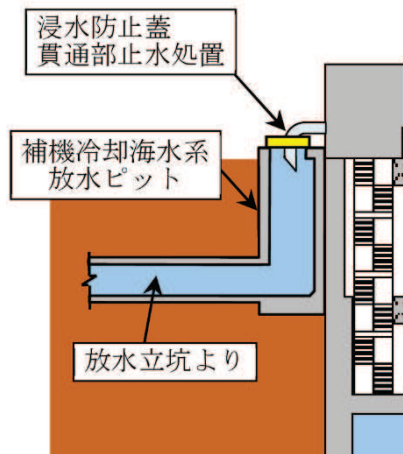


図 5.24.1-2 3号機 放水立坑 浸水対策配置図 (A-A 断面図)

(2) 評価条件

a. 計算方法

3次元はりモデルにより基準地震動 S_s に対する健全性評価を実施する。解析コードは、「MSAP(配管)」を使用する。

b. 荷重及び荷重の組合せ

(a) 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

- ・常時作用する荷重 (D)
死荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。
- ・内圧荷重 (P_D)
内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。
- ・機械的荷重 (M_D)
当該設備に設計上定められた機械的荷重とする。
- ・地震荷重 (S_s)
地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

(b) 荷重の組み合わせ

評価に用いる荷重の組合せを表 5.24.1-1, 2 に示す。

表 5.24.1-1 配管の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
$IV_A S$	$D + P_D + M_D + S_s$	配管

表 5.24.1-2 支持構造物の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	D + P _D + M _D + S _s	脚, 支持構造物, ボルト等

c. 許容限界

評価における許容限界を表 5.24.1-3, 4 に示す。

表 5.24.1-3 配管の許容限界

区分	耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界* ¹			
				一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+ 二次応力	一次+二次+ ピーク応力
配管	S, C	D + P _D + M _D + S _s	IV _A S	0.6 · S _u	左欄の 1.5 倍 の値	* ² S _s 地震動のみによる疲労解析 を行い, 疲労累積係数が 1.0 以 下であること。但し, 地震動の みによる一次+二次応力の変動 値が 2 · S _y 以下であれば, 疲労 解析は不要。	

注記 * 1 : 軸力による全断面平均応力については許容応力状態 III_AS の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

* 2 : 2 · S_y を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3536(1), (2), (4) 及び(5) (ただし, S_m は 2/3 · S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5. 24. 1-4 支持構造物の許容限界

耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界 ^{*1, *2, *3} (ボルト等以外)										許容限界 ^{*2, *4} (ボルト等)	形式試験に よる場合		
			一次応力					一次+二次応力							一次応力	
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈			引張	せん断
S, C	$D + P_D + M$ $D + S S$	$IV_{\Delta S}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_b$ 又 $1.5 \cdot f_s$ 又 は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$T_L \cdot 0.6$ $\frac{S_{y d}}{S_{y t}}$	

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：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。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して， $III_{\Delta S}$ の許容応力を一次引張応力に対しては f_t ，一次せん断応力に対しては f_s とし，また $IV_{\Delta S} \rightarrow III_{\Delta S}$ として応力評価を行う。

*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては，クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

d. 評価対象系統

評価対象の配管仕様を表 5. 24. 1-5 に示す。

表 5. 24. 1-5 評価対象の配管仕様

系統名称	ライン数	口径	板厚 (mm)	材質
3号機原子炉補機冷却海水系	4	500A	9.5	
3号機タービン補機冷却海水系	3	500A	9.5	
3号機非放射性ドレン移送系	1	50A	5.5	
3号機高圧炉心スプレイ補機冷却海水系	1	200A	8.2	

e. 使用材料の許容応力評価条件

使用材料の許容応力条件を表 5. 24. 1-6 に示す。

表 5. 24. 1-6 使用材料の許容応力評価条件

材料	最高使用温度 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)
	50		
	40		
	66		
	50		

f. 評価モデル

各系統代表の評価モデルを図 5. 24. 1-3~6 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

アンカー
リジット

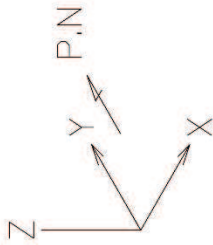
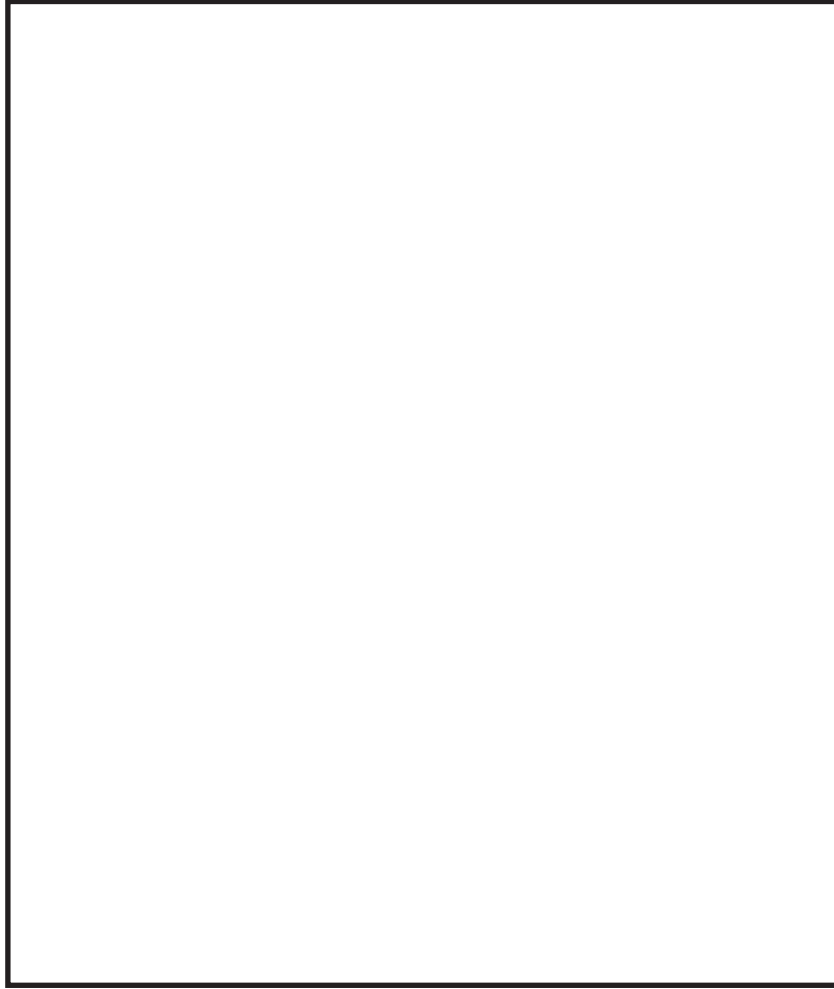
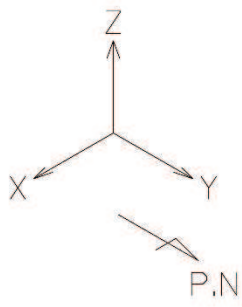




図 5.24.1-3 3号機原子炉補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



 アンカー
 リジット

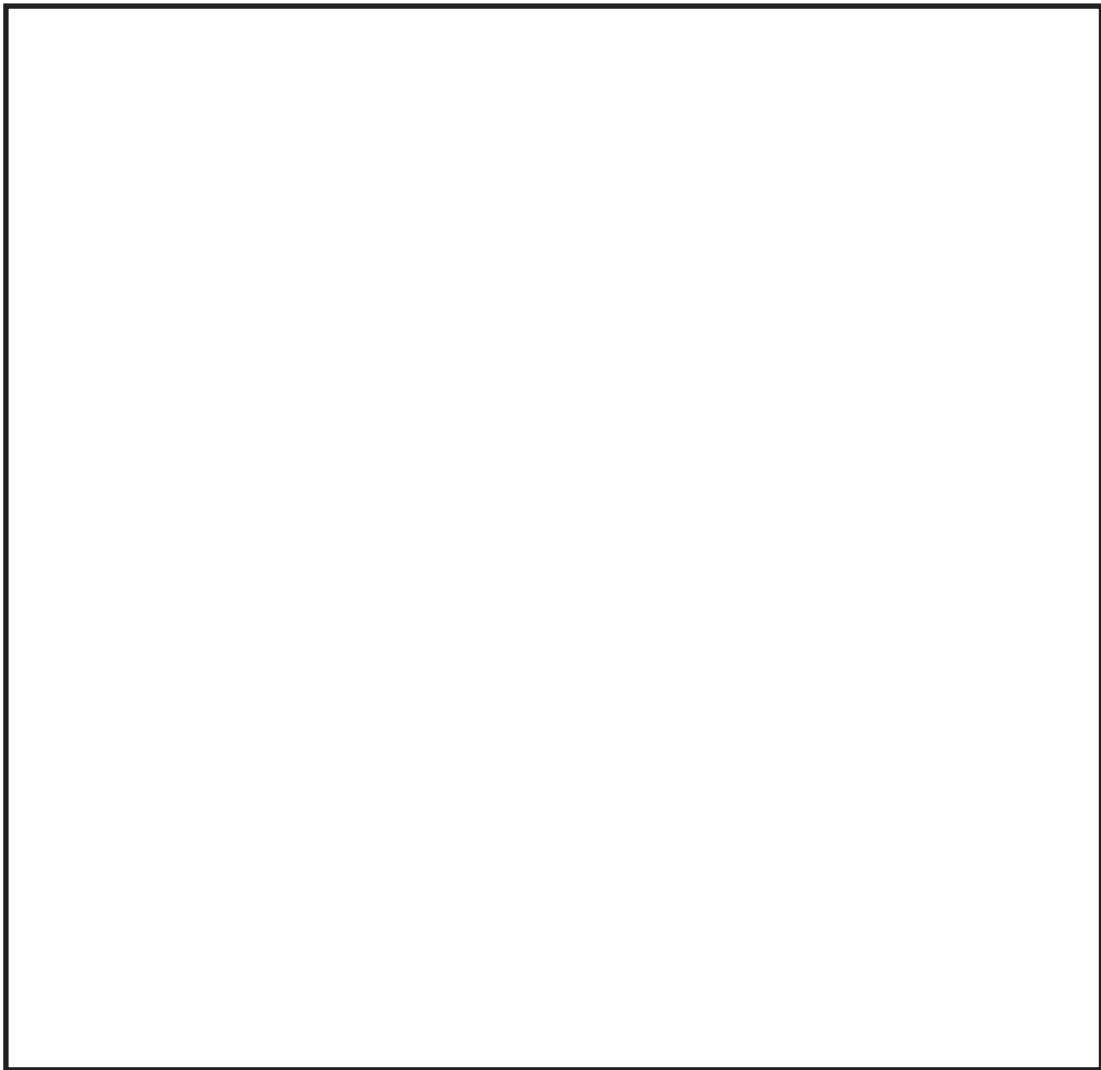


図 5. 24. 1-4 3号機タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

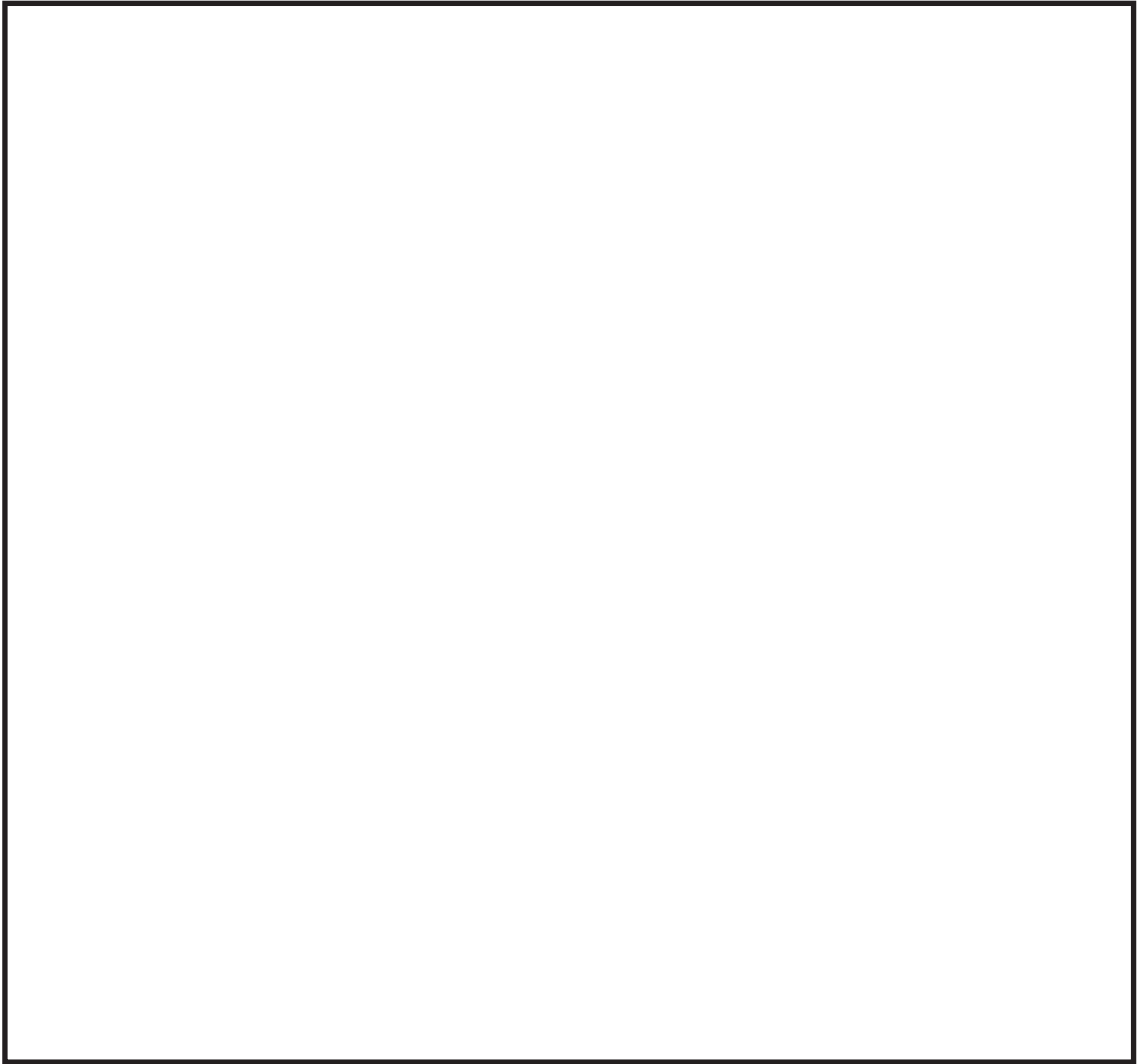
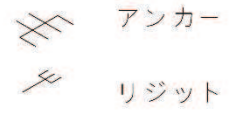
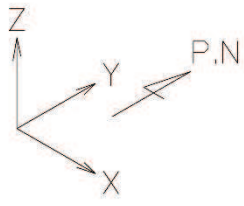
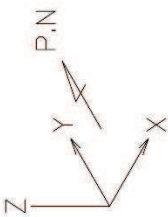


図 5.24.1-5 3号機非放射性ドレン移送系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



アンカー
リジット

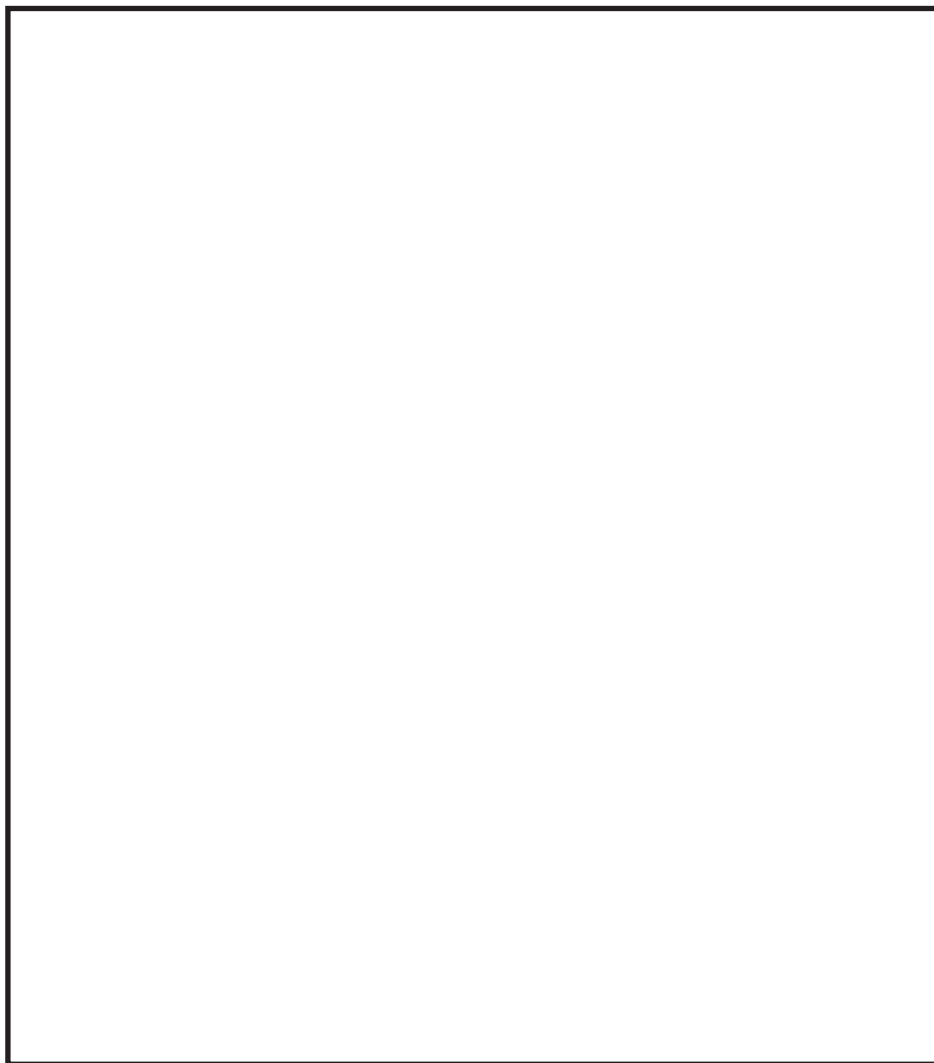



図 5.24.1-6 3号機高圧炉心スプレイト補機冷却海水系 系統評価モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

e. 設計用地震力

本資料において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を表 5.24.1-7 及び図 5.24.1-7～10 に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」を参考に策定した基準地震動 S_s のものを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」を参考に策定した減衰定数を用いる。

表 5.24.1-7 設計用床応答曲線

建物・構築物	標高 (O.P. (m))	減衰定数 (%)
3号海水熱交換器建屋	14.00	0.5
	7.00	

構造物名：3号海水熱交換器建屋
減衰定数：0.5

標高：0.P. 15.000m
波形名：Ss-AL

——水平方向

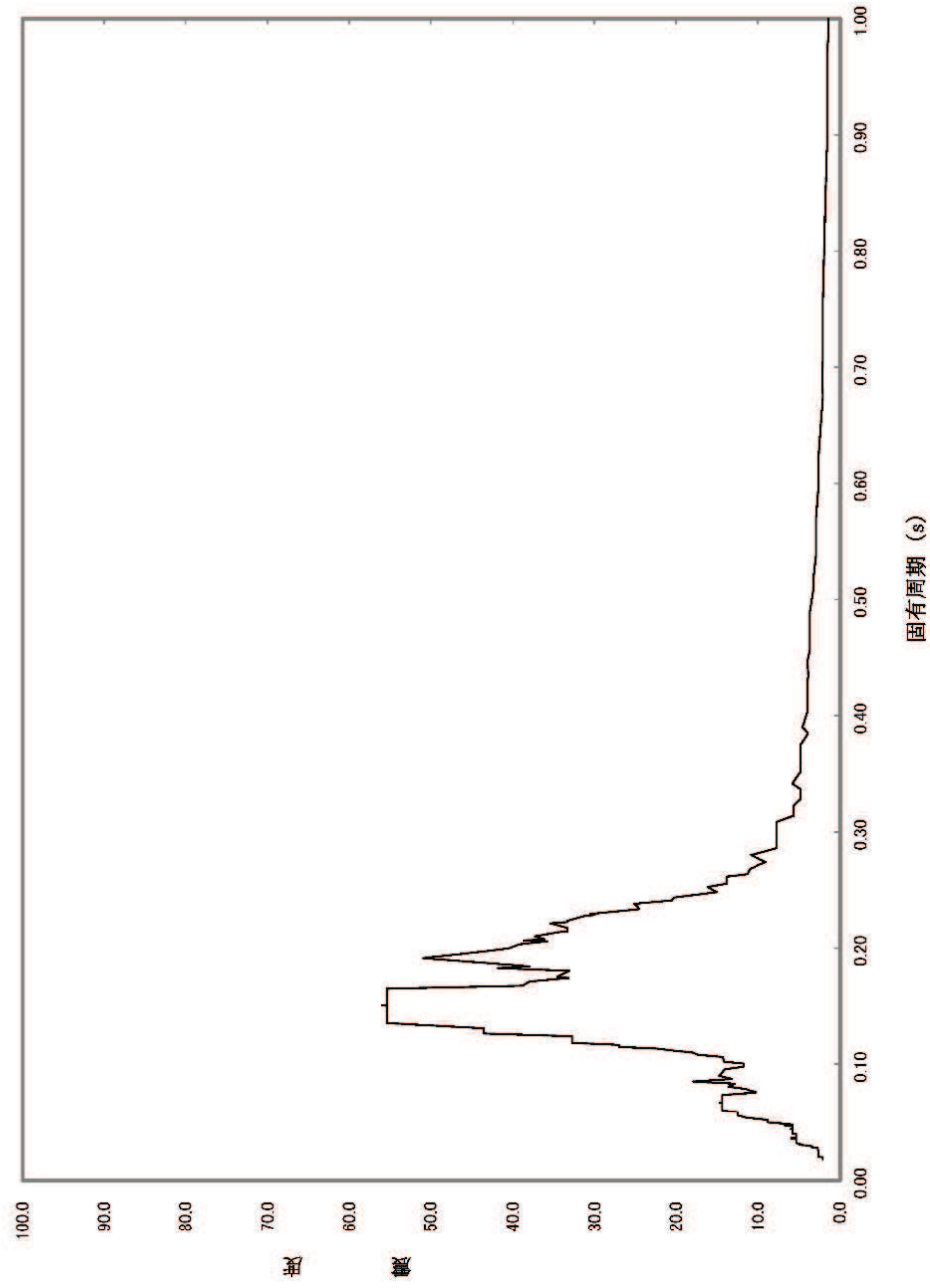


图 5.24.1-7 設計用床応答曲線 (O.P. 14.00m) 水平方向

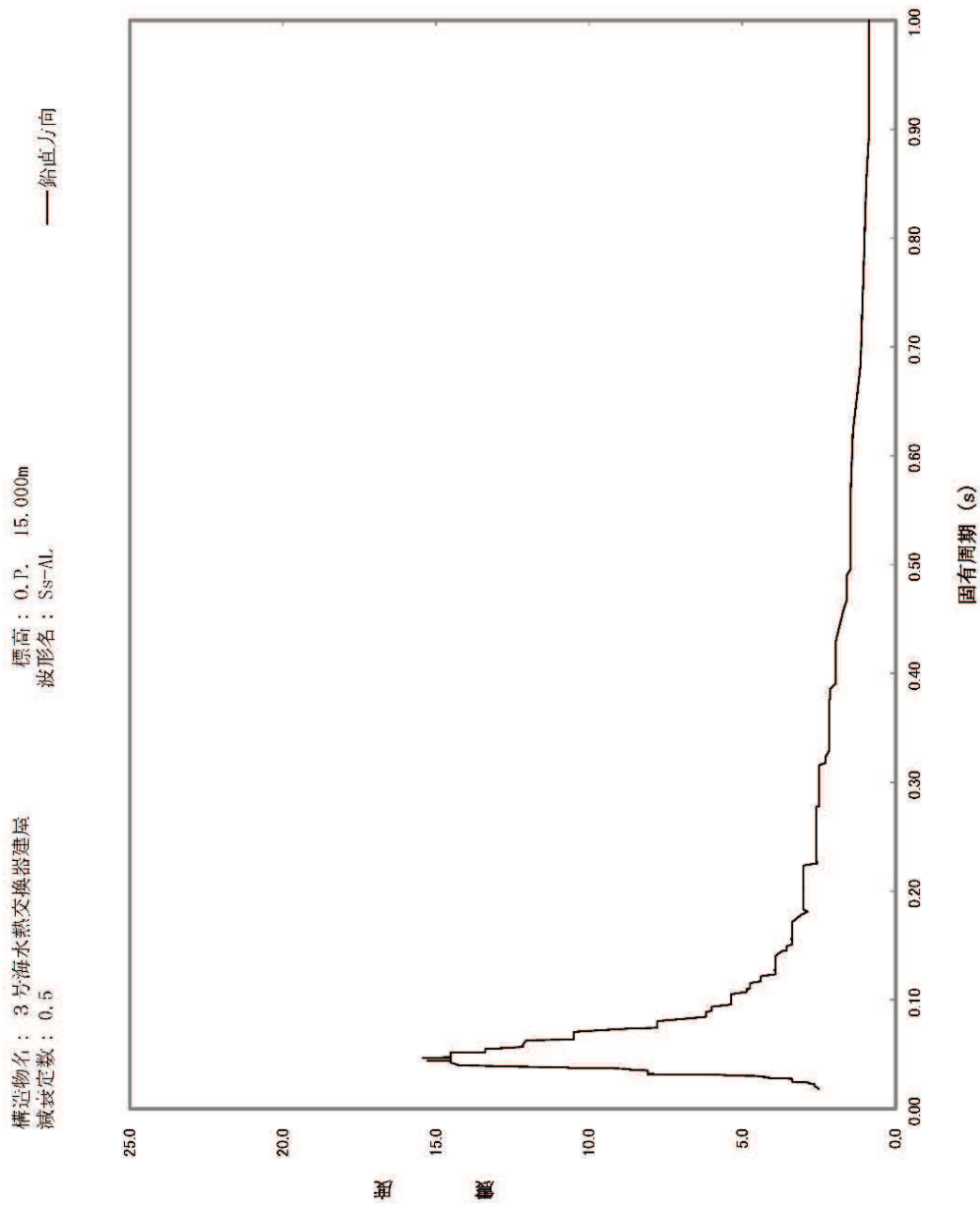


图 5.24.1-8 設計用床応答曲線 (O.P. 14.00m) 鉛直方向

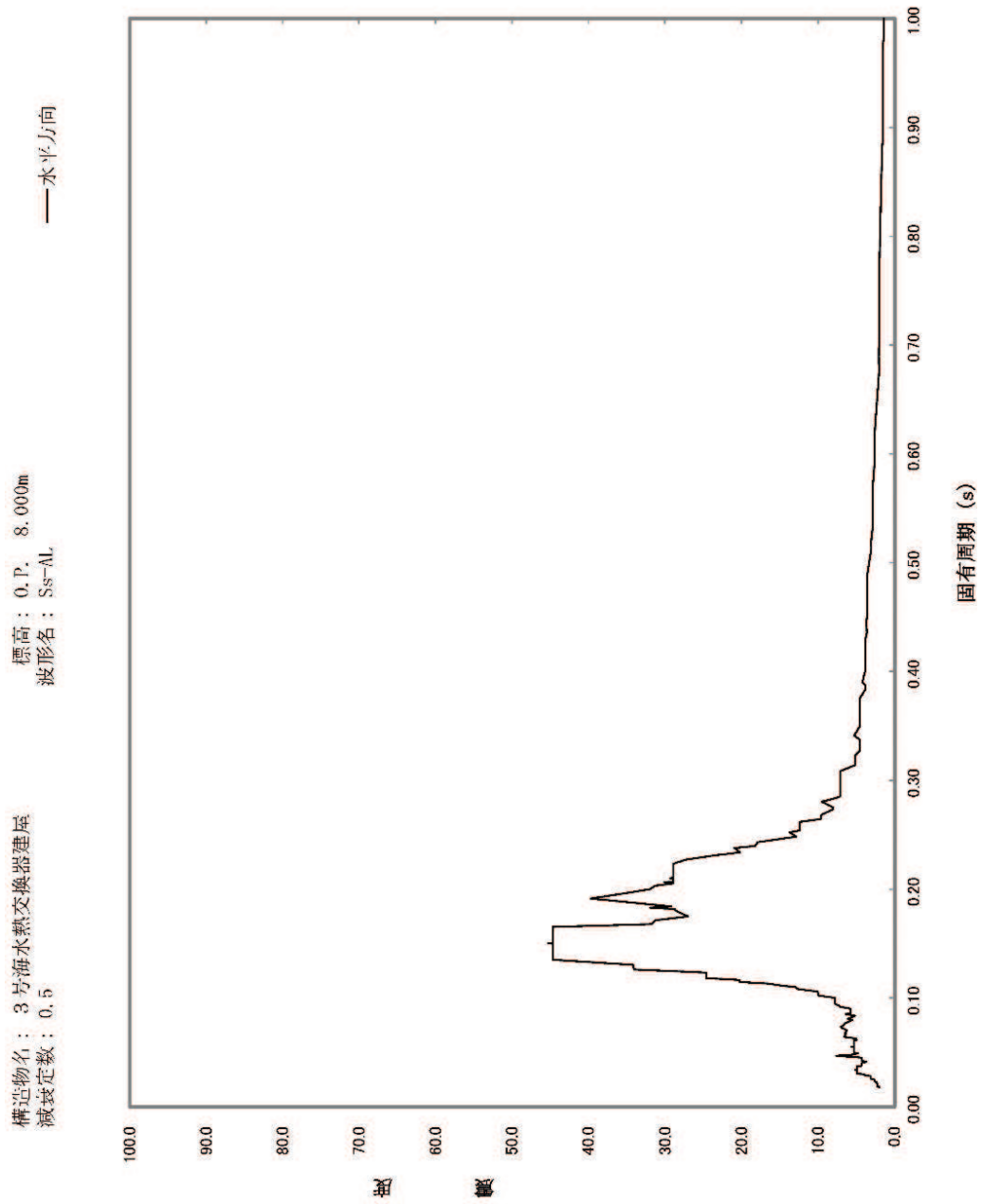


图 5.24.1-9 設計用床応答曲線 (0.P.7.00m) 水平方向

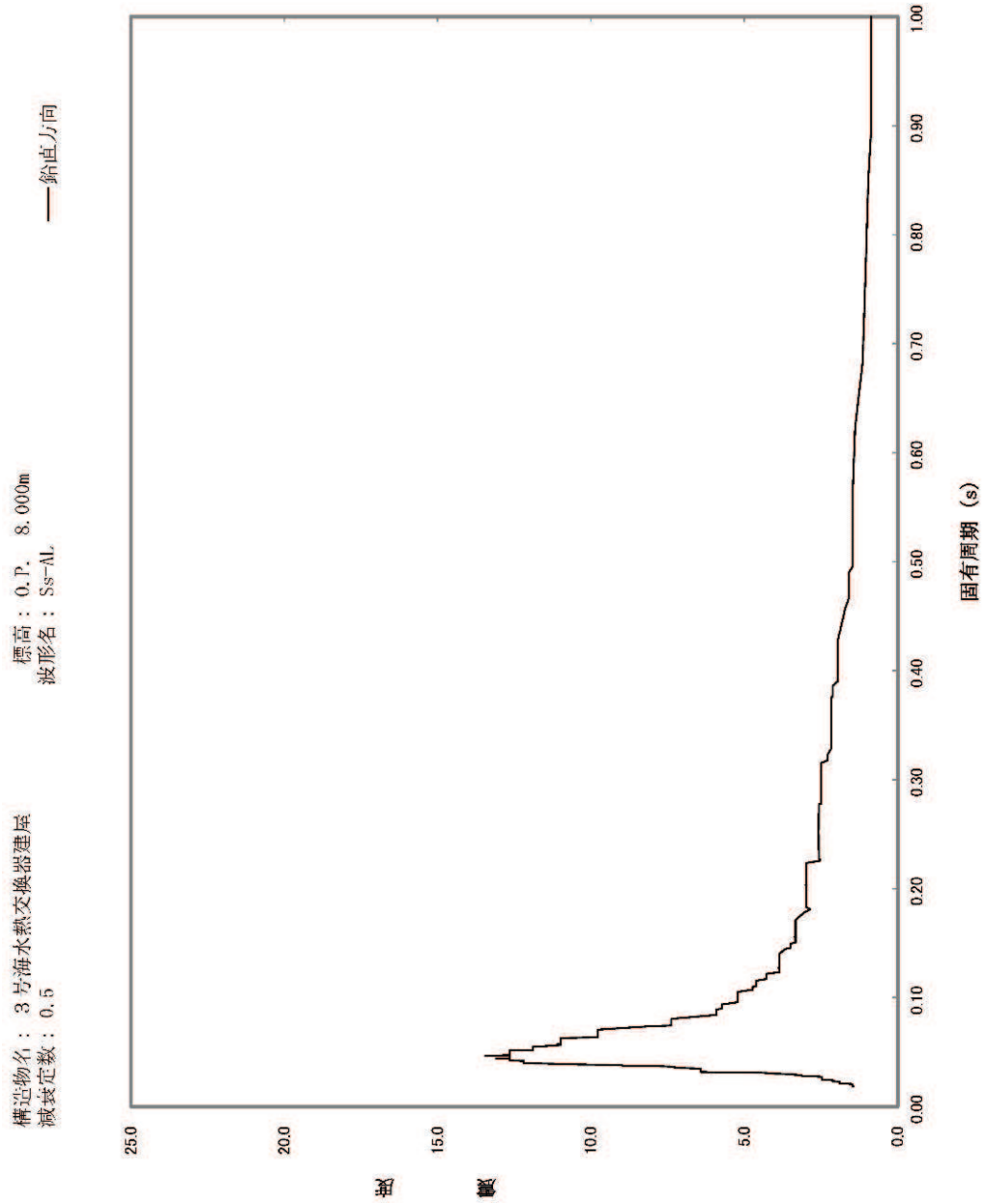


图 5.24. 1-10 設計用床応答曲線 (O.P. 7.00m) 鉛直方向

(3) 解析結果及び評価

a. 固有周期及び設計震度

各系統代表の固有周期及び設計震度を表 5. 24. 1-8～11 に示す。

表 5. 24. 1-8 原子炉補機冷却海水系 固有周期及び設計震度

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次*2	0.028	—	—	—
動的震度*3		2.95	2.95	1.95
静的震度		—	—	—

注記 *1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

*3：S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

表 5. 24. 1-9 タービン補機冷却海水系 固有周期及び設計震度

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次*2	0.037	—	—	—
動的震度*3		2.95	2.95	1.95
静的震度		—	—	—

注記 *1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

*3：S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

表 5.24.1-10 非放射性ドレン移送系 固有周期及び設計震度

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次*2	0.046	—	—	—
動的震度*3		2.95	2.95	1.95
静的震度		—	—	—

注記 *1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

*3：S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

表 5.24.1-11 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 固有周期及び設計震度

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次*2	0.025	—	—	—
動的震度*3		2.95	2.95	1.95
静的震度		—	—	—

注記 *1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

*3：S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

b. 代表的振動モード図

振動モード図は，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，図 5.24.1-11～14 に示す。

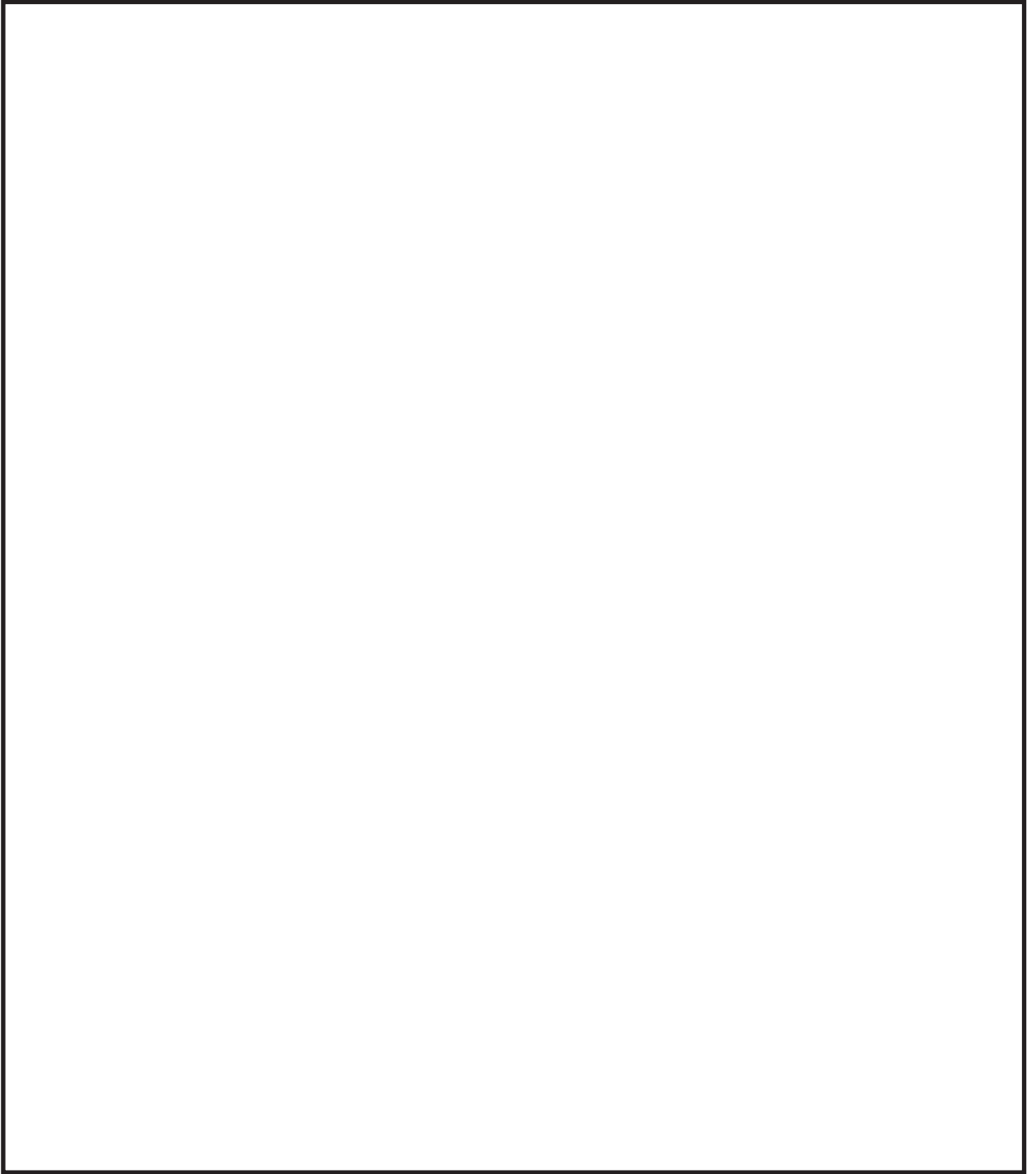


図 5.24.1-11 3号機原子炉補機冷却海水系 代表的振動モード図 (1次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

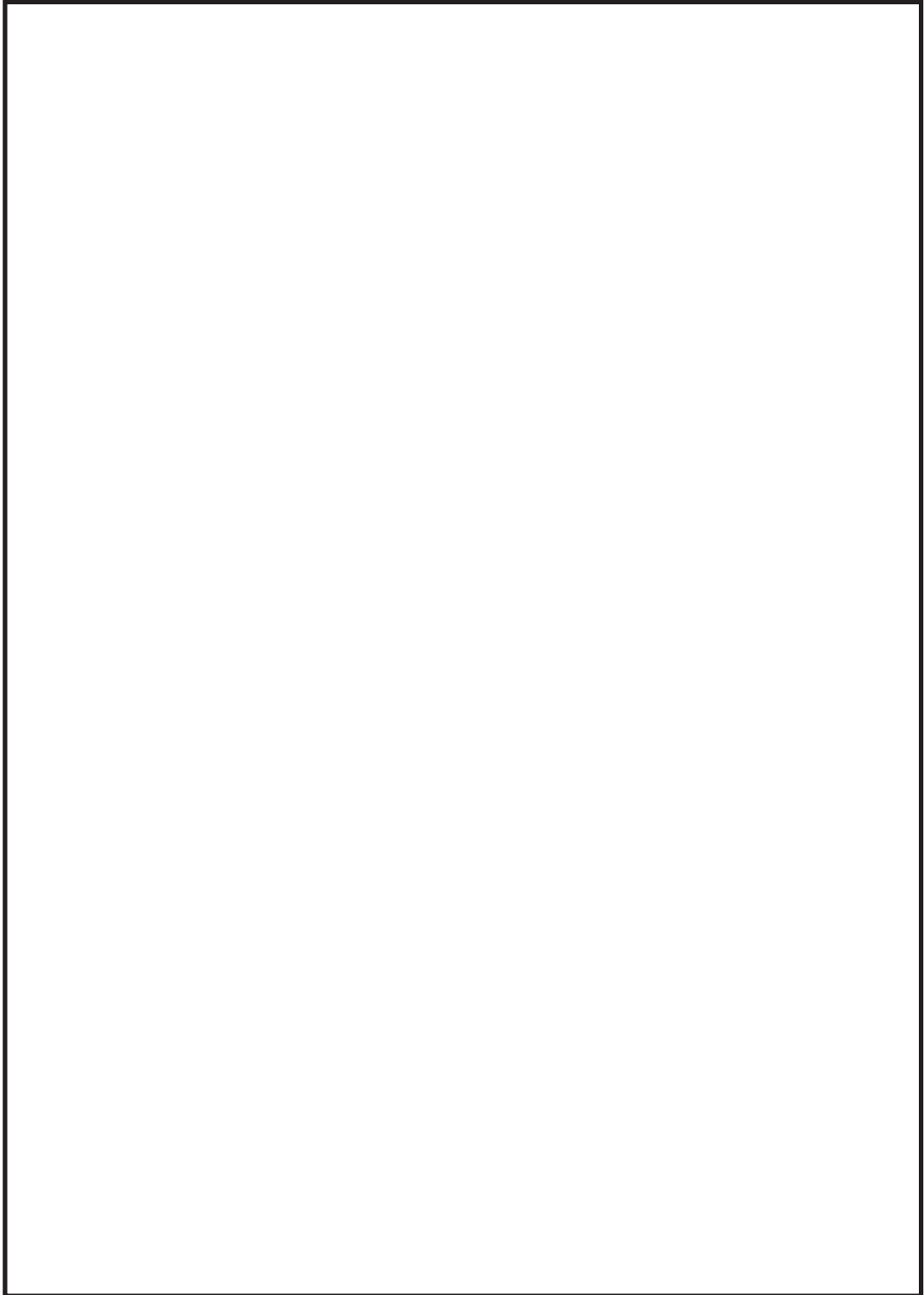


図 5.24.1-12 3号機タービン補機冷却海水系 代表的振動モード図（1次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

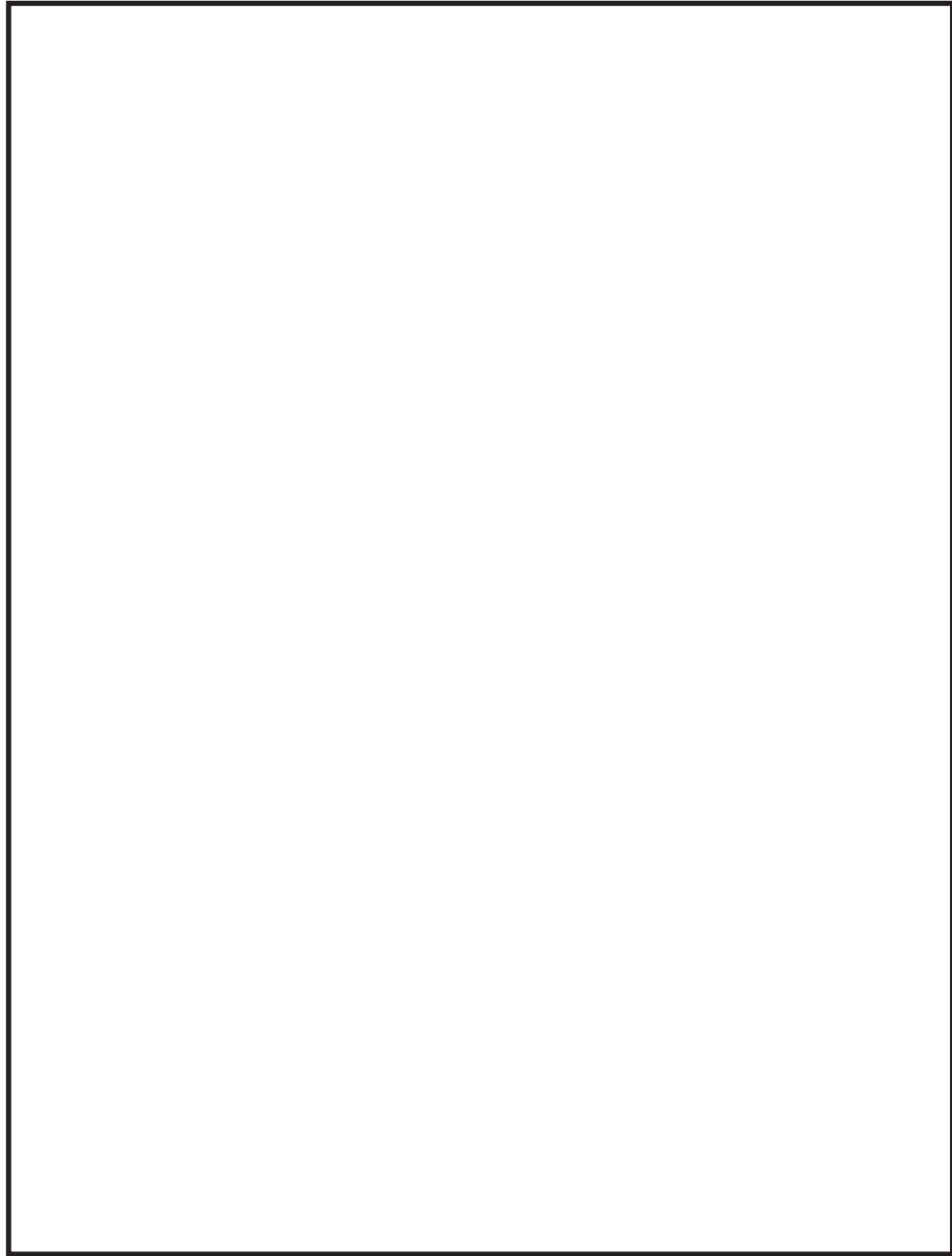


図 5.24.1-13 3号機非放射性ドレン移送系 代表的振動モード図 (1次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

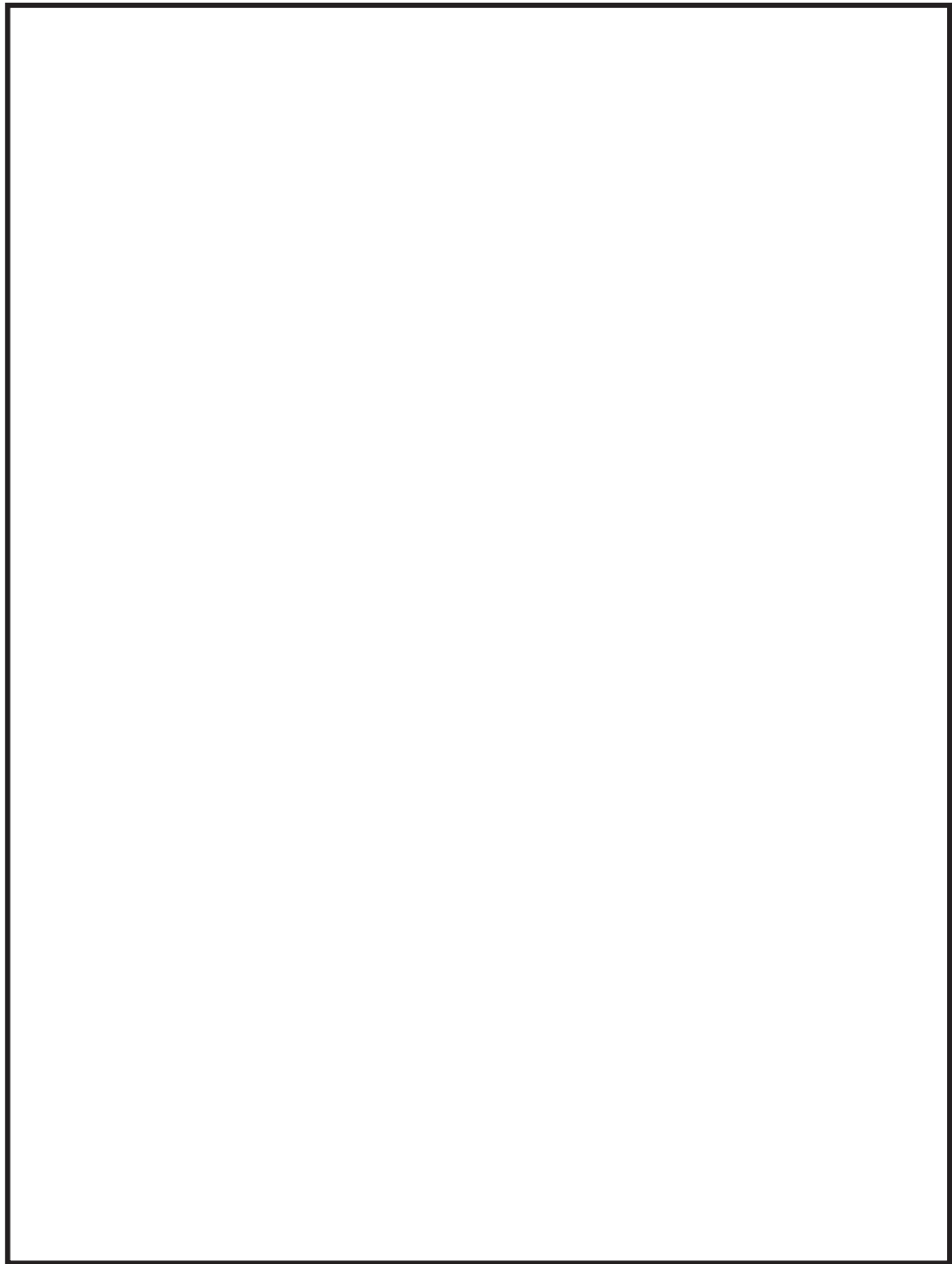


図 5.24.1-14 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 代表的振動モード図（1次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 評価結果

表 5.24.1-12 に示すとおり，最大応力はそれぞれの許容値以下である。

表 5.24.1-12 配管及び支持構造物の応力評価結果

系統名称	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
3号機原子炉補機冷却海水系	配管本体	一次＋二次	104	482
	支持構造物	曲げ	174	468
3号機タービン補機冷却海水系	配管本体	一次＋二次	110	490
	支持構造物	曲げ	275	490
3号機非放射性ドレン移送系	配管本体	一次＋二次	246	378
	支持構造物	引張	28	202
3号機高圧炉心スプレイ補機冷却海水系	配管本体	一次＋二次	63	418
	支持構造物	組合せ	38	290

評価結果は，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。

5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

5.24.2 3号機海水系ポンプの基準地震動 S_s に対する耐震評価

(1) 概要

3号機海水系ポンプについては、基準地震動 S_s による地震力により設備が損傷した場合、津波が敷地へ流入する可能性があるため、基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能を維持することが必要である。

本資料は、3号機海水系ポンプについて、基準地震動 S_s に対し、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

評価にあたって、3号循環水ポンプについては、3号機の再稼働まで停止する運用を保安規定にて定めることを踏まえて、3号循環水ポンプの乾燥保管運用による電動機の取外し、水中部のコラムパイプ、インペラ等の取外しを考慮して評価を実施する。

(2) 評価対象部位

3号機海水系ポンプの評価対象部位を表 5.24.2-1 に示す。

表 5.24.2-1 評価対象部位

機器名称	評価部位	設置場所
3号原子炉補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	3号機熱交換器建屋
3号タービン補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	3号機熱交換器建屋
3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	3号機熱交換器建屋
3号循環水ポンプ	基礎ボルト	3号機海水ポンプ室

(3) 評価方針

3号海水系ポンプについては、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」にて示している構造と同等であることから、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器、許容応力状態 $IV_A S$ の荷重の組合せを踏まえて、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」等に示す評価式及び解析方法を参考に評価する。

(4) 評価条件

a. 計算方法

固有値解析及び構造評価で用いる解析コードは、「MSC NASTRAN」を原子炉補機冷却海水ポンプ及びタービン補機冷却海水ポンプに使用し、「SAP2000」を高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに使用するものとする。

循環水ポンプについては、系統を停止して乾燥保管運用を実施しているため、循環水ポンプ電動機の取外し、水中部のコラムパイプ、インペラ等の取外しを行っている。そのため、津波のバウンダリとなる範囲はケーシングのみであり、これらをモデル化して固有周期及び構造評価を行う。

b. 荷重及び荷重の組合せ

(a) 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

- ・ 常時作用する荷重 (D)
死荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。
- ・ 内圧荷重 (P_D)
内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。
- ・ 機械的荷重 (M_D)
当該設備に設計上定められた機械的荷重とする。
- ・ 地震荷重 (S_s)
地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

(b) 荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せについて表5.24.2-2に示す。

表 5.24.2-2 荷重の組合せ及び許容応力状態

許容応力状態	荷重の組合せ	評価対象部位
IV _A S	D + P _D + M _D + S _s	基礎ボルト

c. 許容限界

3号機海水系ポンプの評価の許容限界は、許容応力状態IV_ASの許容応力を用いる。

評価に用いる許容限界を表 5.24.2-3 に、使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を表 5.24.2-4 に示す。

表 5.24.2-3 基礎ボルトの許容限界 (許容応力)

許容応力状態	許容限界	
	一次応力	
	曲げ	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$

表 5.24.2-4 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
原子炉補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト		50		
タービン補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト		50		
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト		50		
循環水ポンプ	基礎ボルト		50		

d. 解析モデル

解析モデルについては、J E A G 4 6 0 1 の立形ポンプに基づき、以下の方針にて設定している。

(a) 考慮する次元数

質点は鉛直方向 1 次元に配置され直交方向（水平方向）の震度に対して解析を行う。

(b) ポンプ構造体

ポンプのコラム、軸、電動機台、電動機の回転子・固定子等は曲げ変形及びせん断変形を考慮した弾性はりとする。

(c) 流体の影響

コラムパイプ、軸などの水中構造物に作用する流体力として、流体による低減効果は考慮しない。（非対角マスは考慮していない）

(d) 質点の取り方

原則として軸受部、断面の変化する部分及び評価点に質点を設ける。

(e) 付加水質量

付加水の質量は実マスとして考慮し質点質量に加える。

各ポンプの解析モデルを図 5.24.2-1～4 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

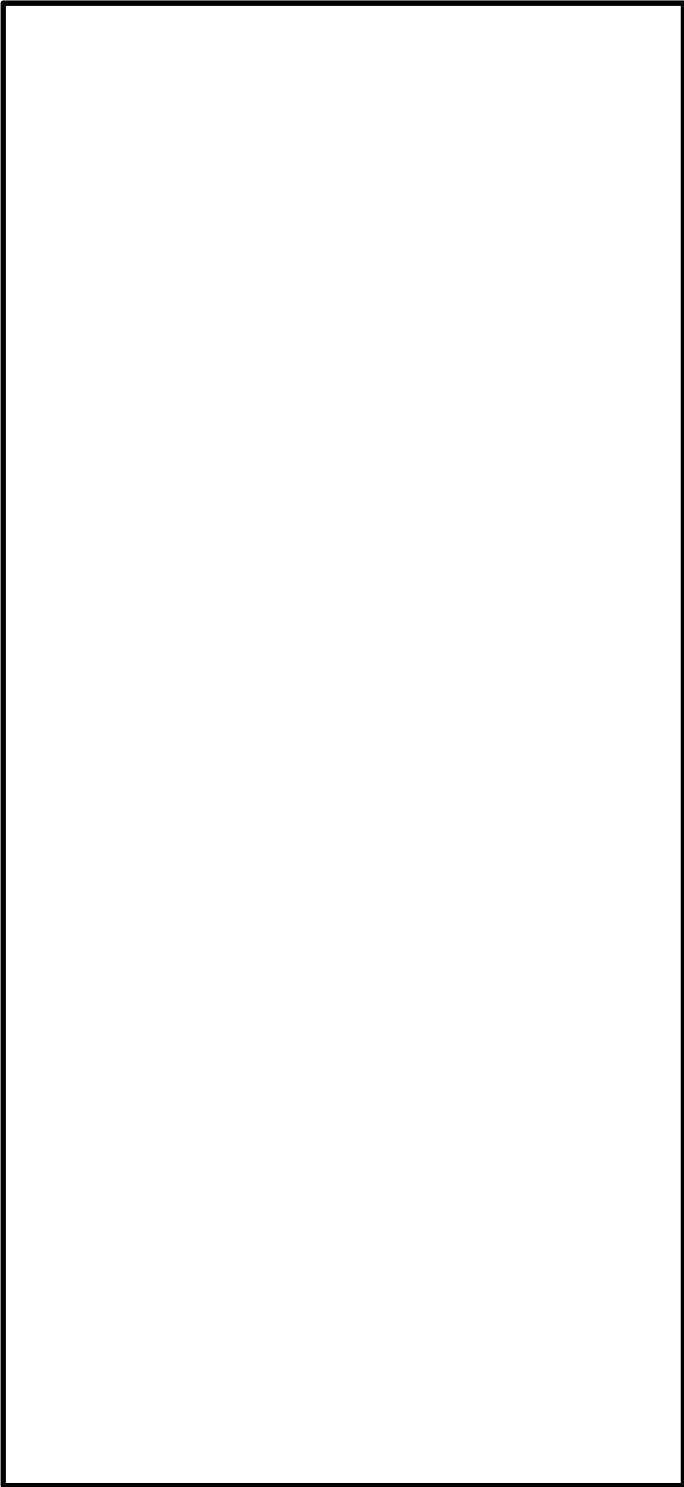
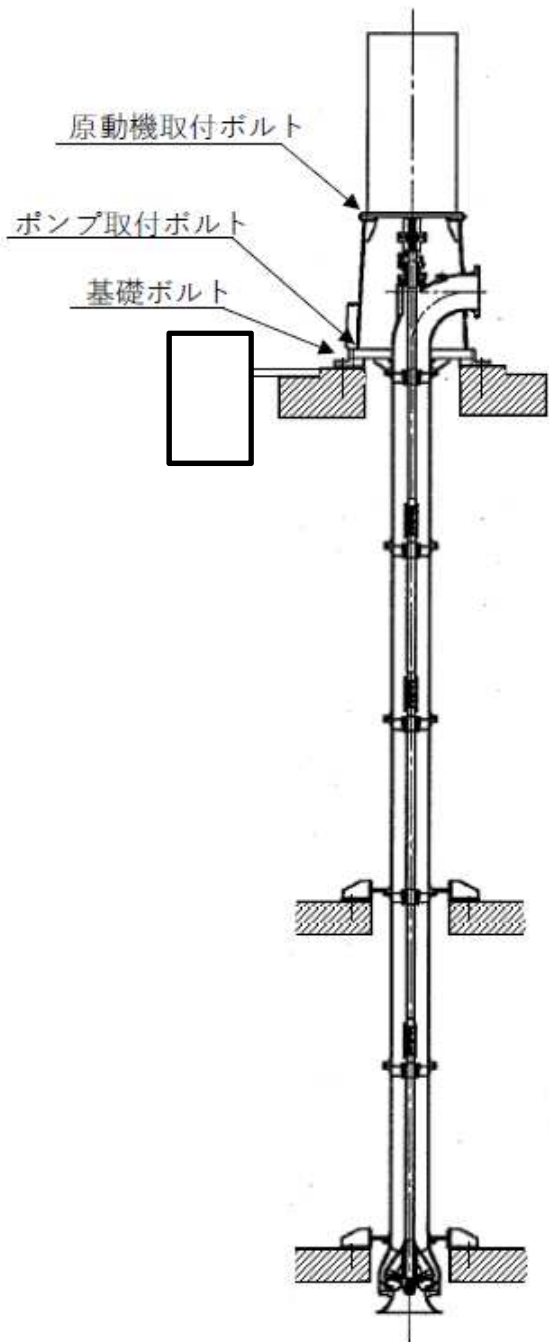


図 5.24.2-1 原子炉補機冷却海水ポンプの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

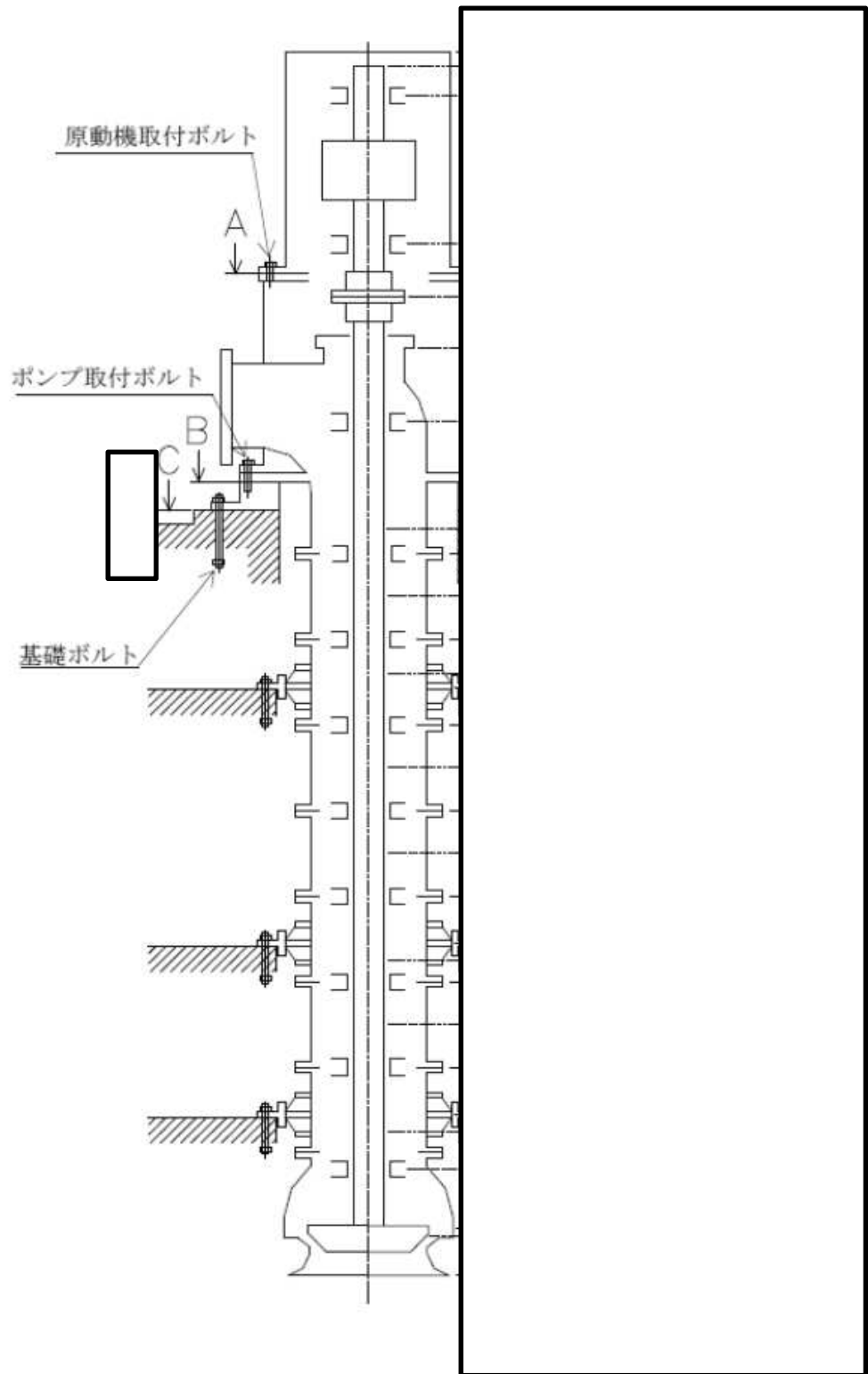


図 5.24.2-3 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

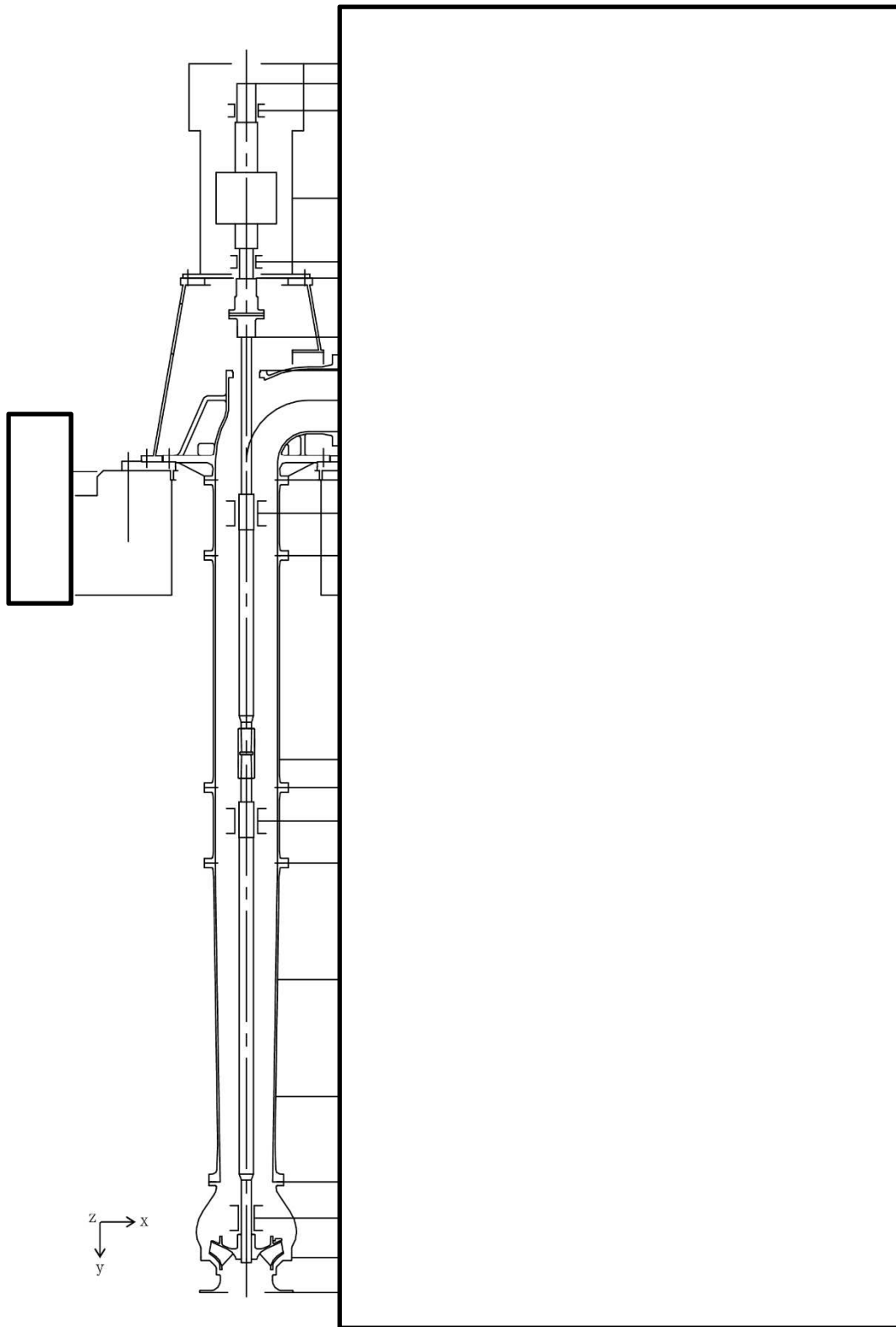


図 5. 24. 2-2 タービン補機冷却海水ポンプの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

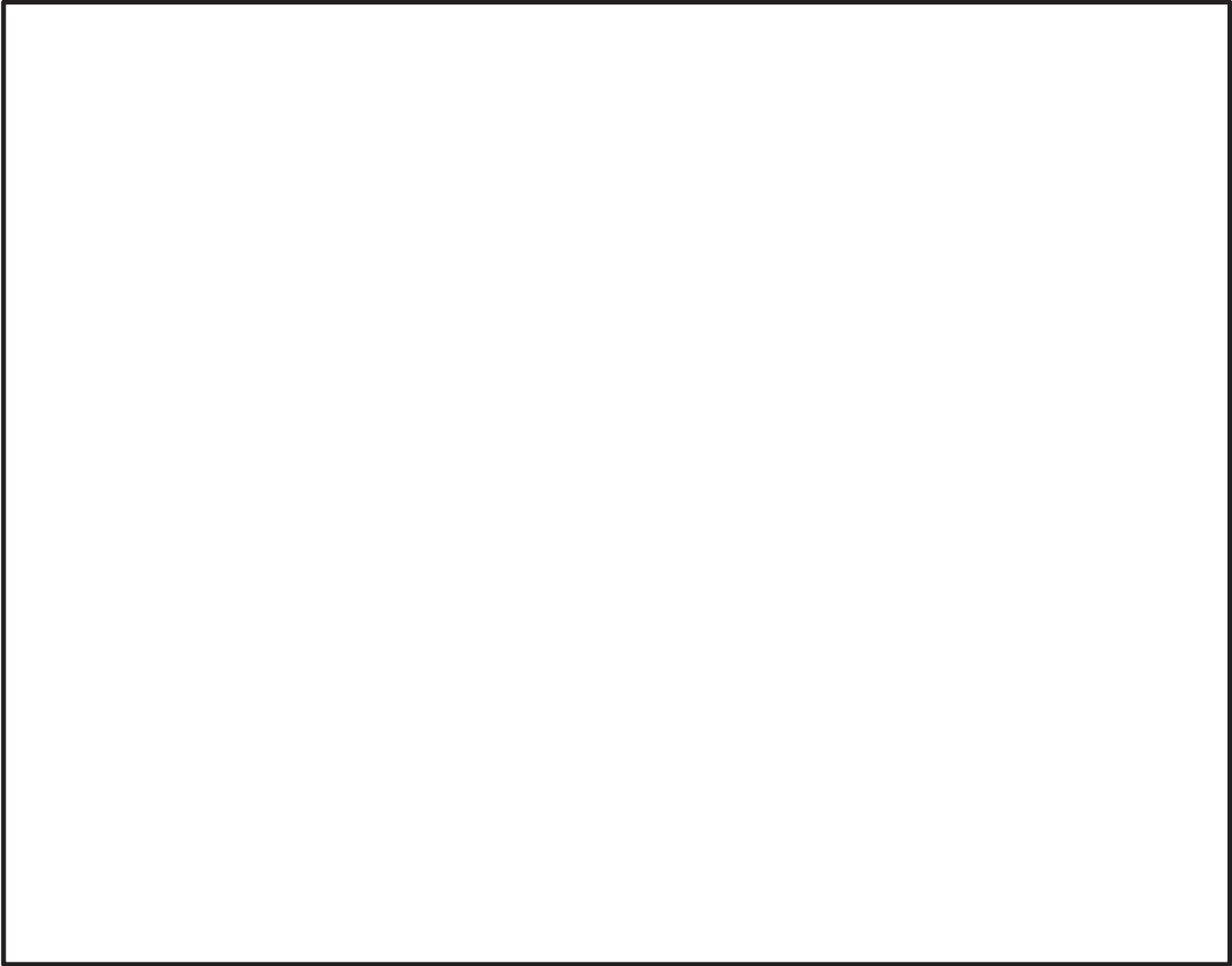


図 5.24.2-4 循環水ポンプの評価モデル図

【循環水ポンプの固有周期算出の計算式について】

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{m_i}{10^3} \left(\frac{h_i^3}{3E_i I_i} + \frac{h_i}{A_{si} G_i} \right)}$$

- T_i : 固有周期 (s)
- m_i : 機器の質量 (kg)
- E_i : 縦弾性係数 (MPa)
- I_i : 断面二次モーメント (mm⁴)
- A_{si} : 最小有効せん断断面積 (mm²)
- G_i : せん断弾性係数 (MPa)
- h_i : 据付面から重心までの距離 (mm)

※添え字 i...

1: 据付面上部, 2: 据付面下部

e. 固有値解析

固有値解析及び固有周期評価の結果を表 5.24.2-5~8, 振動モード図を図 5.24.2-5~7 に示す。

表 5.24.2-5 原子炉補機冷却海水ポンプの固有値解析結果

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 ^{*1}
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.051	-0.114	-0.114	0.000
2 次	水平	0.045	—	—	—

注記 *1 : 鉛直方向の固有値解析については、立形ポンプであり、水平方向に比べて十分剛構造であることから、J E A G 4 6 0 1 に基づき「剛」と判断する。

表 5.24.2-6 タービン補機冷却海水ポンプの固有値解析結果

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 ^{*1}
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.344	1.915	1.915	0.000
2 次	水平	0.050	0.829	0.829	0.000
3 次	水平	0.040	—	—	—

注記 *1 : 鉛直方向の固有値解析については、立形ポンプであり、水平方向に比べて十分剛構造であることから、J E A G 4 6 0 1 に基づき「剛」と判断する。

表 5.24.2-7 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプの固有値解析結果

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 ^{*1}
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.052	-0.372	-0.372	0.000
2 次	水平	0.038	—	—	—

注記 *1 : 鉛直方向の固有値解析については、立形ポンプであり、水平方向に比べて十分剛構造であることから、J E A G 4 6 0 1 に基づき「剛」と判断する。

表 5.24.2-8 循環水ポンプの固有周期評価結果

機器名	固有周期 (s)
循環水ポンプ (ケーシング)	0.014 ^{*2}

注記 *2 : 固有周期は 0.05s 以下であることから、剛構造である。

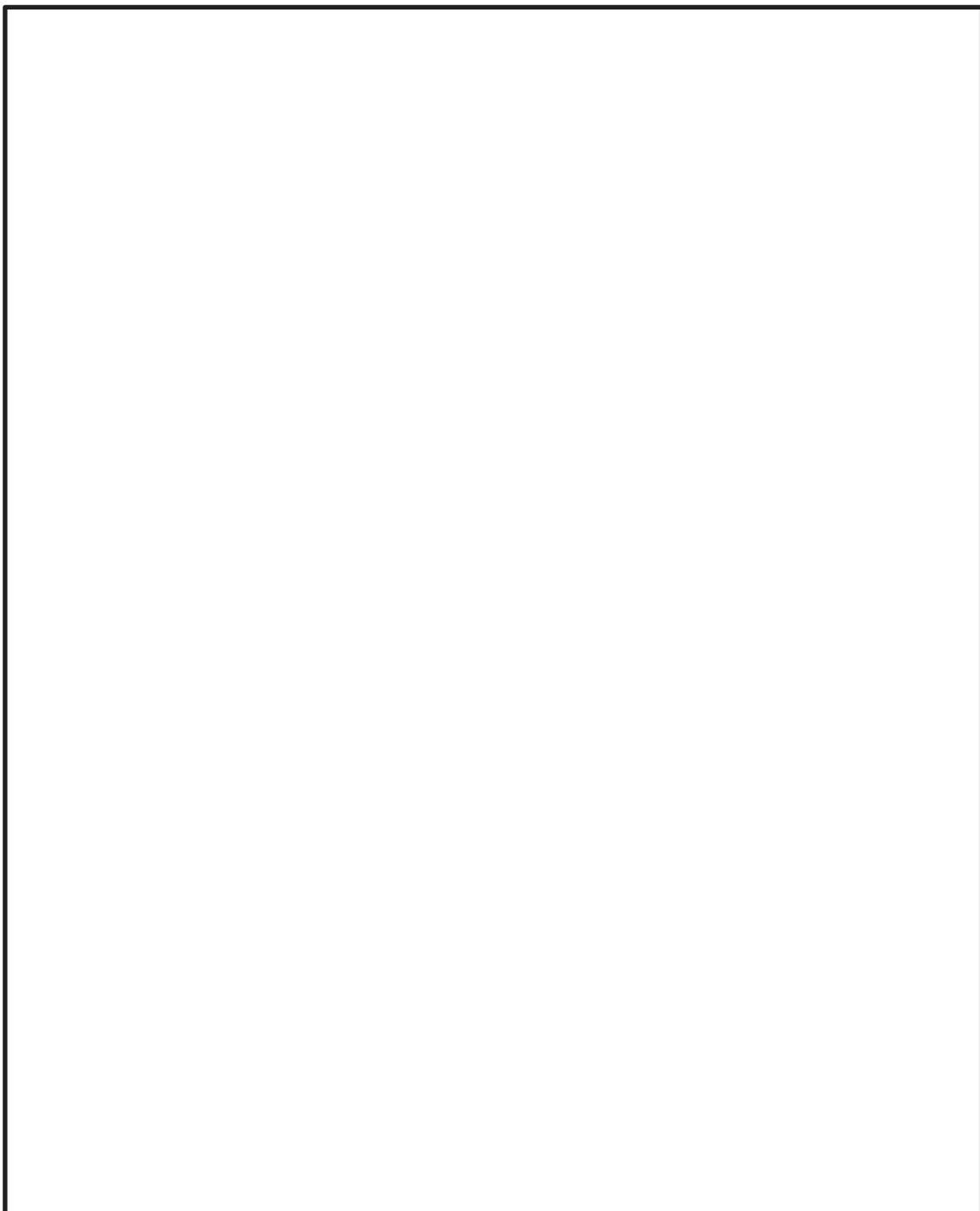


図 5.24.2-5 原子炉補機冷却海水ポンプの振動モード（1次モード）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

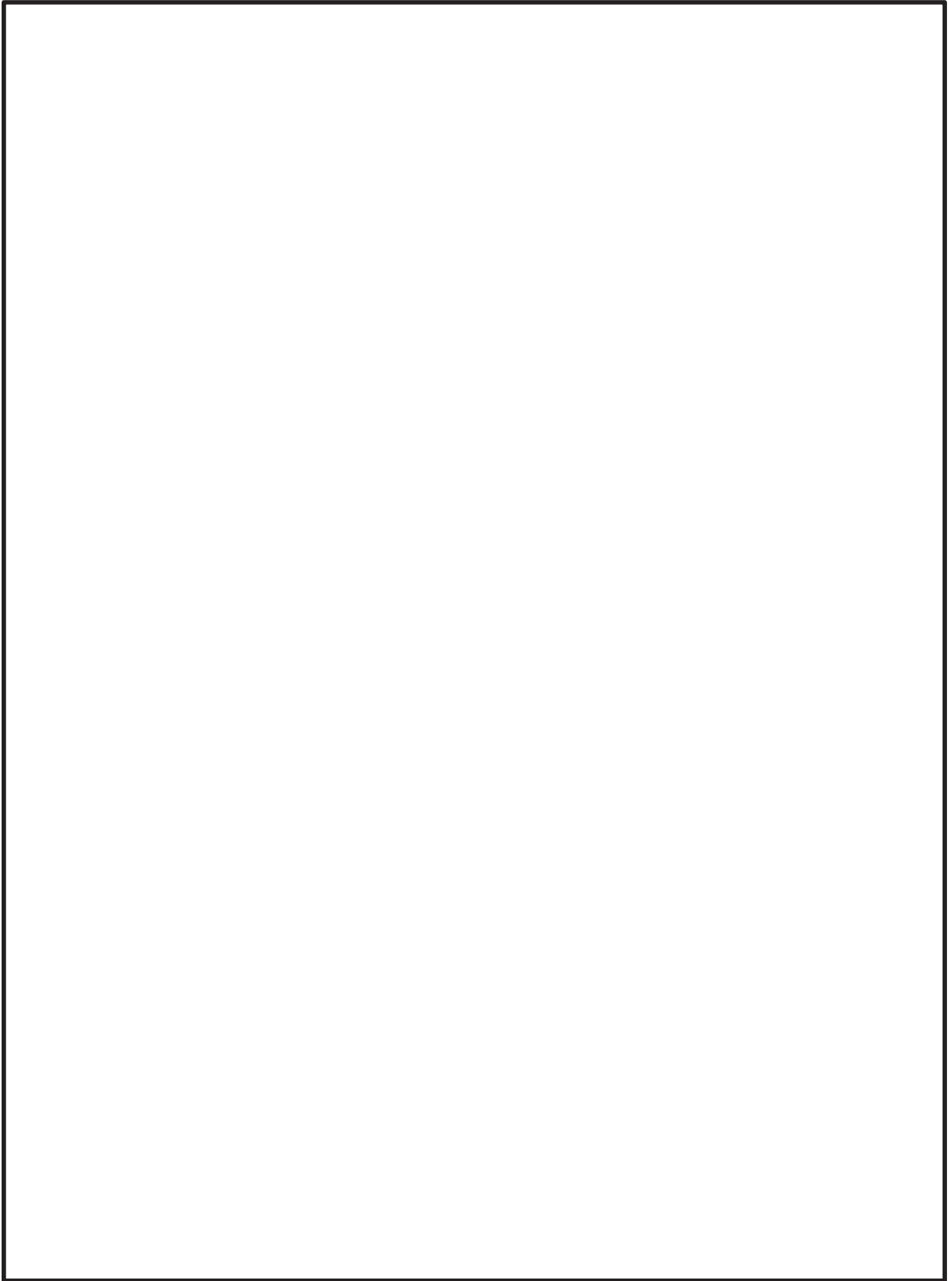


図 5.24.2-6 タービン補機冷却海水ポンプの振動モード（1次モード）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

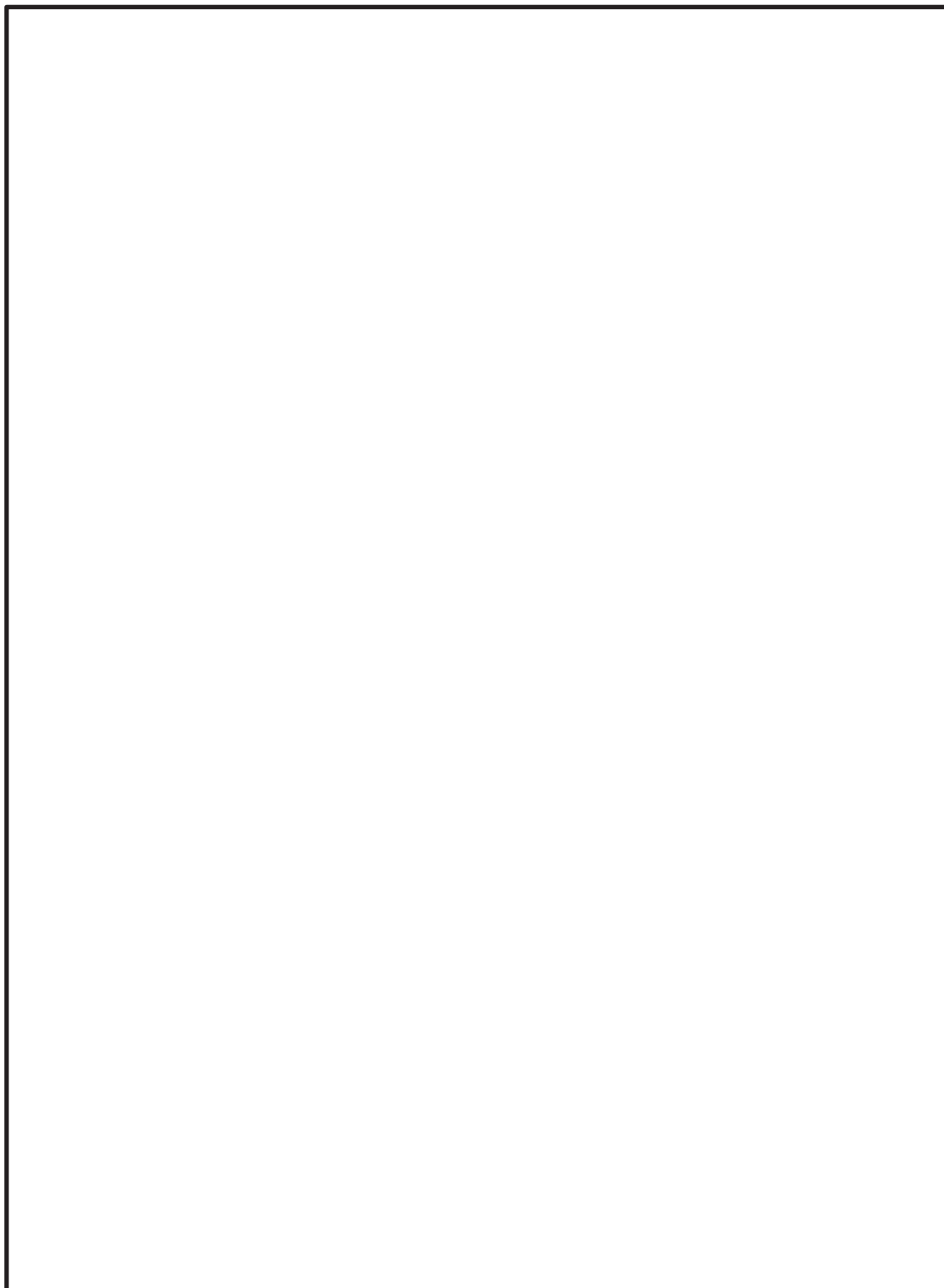


図 5.24.2-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの振動モード（1次モード）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 設計用地震力

本資料において考慮する設計用床応答曲線を表5.24.2-9及び図5.24.2-8～11に示す。設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」を参考に設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」を参考に設定する。

また、循環水ポンプの耐震評価に用いる設計震度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」を参考に、設置床の最大応答加速度の1.2倍を考慮した値とし、表5.24.2-10に示す。

表 5.24.2-9 設計用床応答曲線

建物・構築物	標高 (O.P. (m))	減衰定数 (%)
3号海水熱交換器建屋	7.00	1.0
	-2.10	

表 5.24.2-10 循環水ポンプの設計用地震力

地震動	床面高さ*1 O.P. (m)	場所	設計震度*2	
基準地震動 S s	-1.55	3号機海水 ポンプ室	水平方向 C _H	1.58
			鉛直方向 C _V	3.17

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「(3) e. 解析結果及び評価」より、循環水ポンプの固有周期が0.05s以下であることを確認したため、3号機海水ポンプ室の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

図番 : 02_3Hx_Ss-AL_C00_1.0_EWH_8.000_h_Rev00_a

標高 : 0.P. 8.000m
波形名 : Ss-AL

構造物名 : 3号海水熱交換器建屋
減衰定数 : 1.0

——水平方向

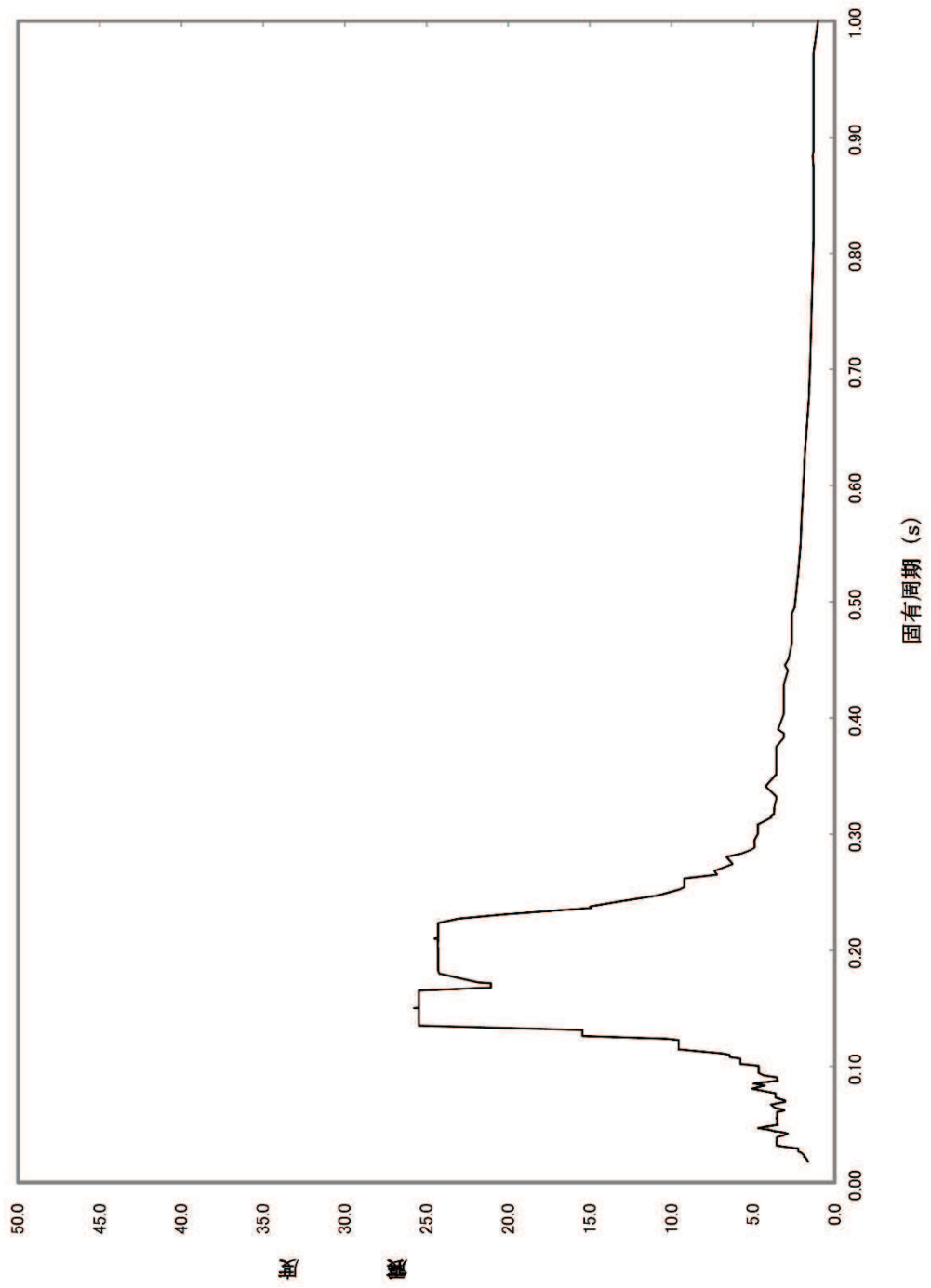


図 5.24-2-8 固有周期毎の水平方向の震度 (O.P. 7.00m)

構造物名： 3号海水熱交換器建屋
減衰定数： 1.0

標高： 0. P. 8. 000m
波形名： Ss-AL

図番： 02_3Hx_Ss-AL_C00_1. 0_IDH_8. 000_h_Rev00_a
——鉛直方向

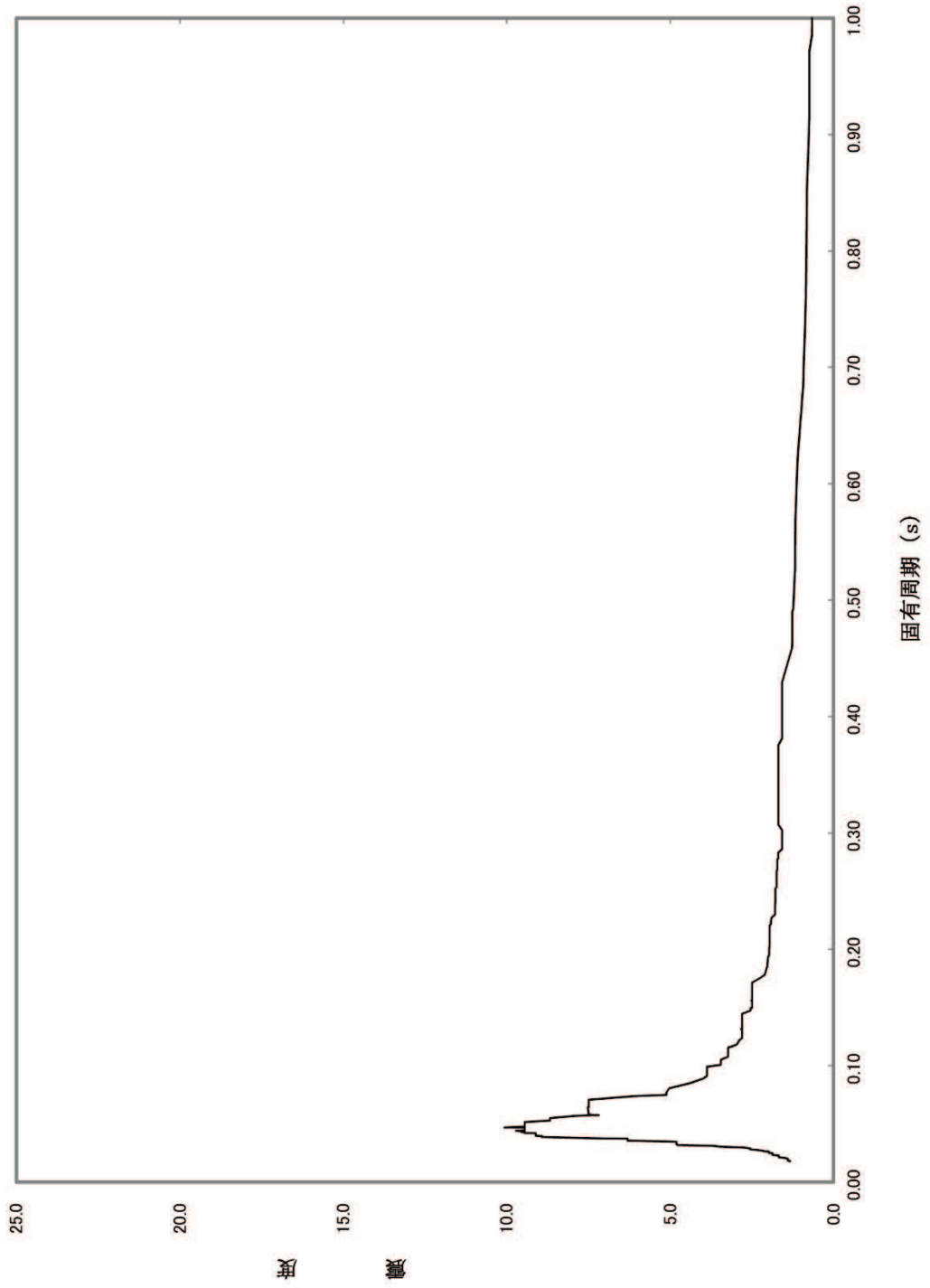


図 5.24-2-9 固有周期毎の鉛直方向の震度 (0. P. 7. 00m)

図番 : 02_3Hx_Ss-AL_C00_1.0_EWH_-1.100_h_Rev00_a

標高 : 0.P. -1.100m

波形名 : Ss-AL

構造物名 : 3号海水熱交換器建屋

減衰定数 : 1.0

——水平方向

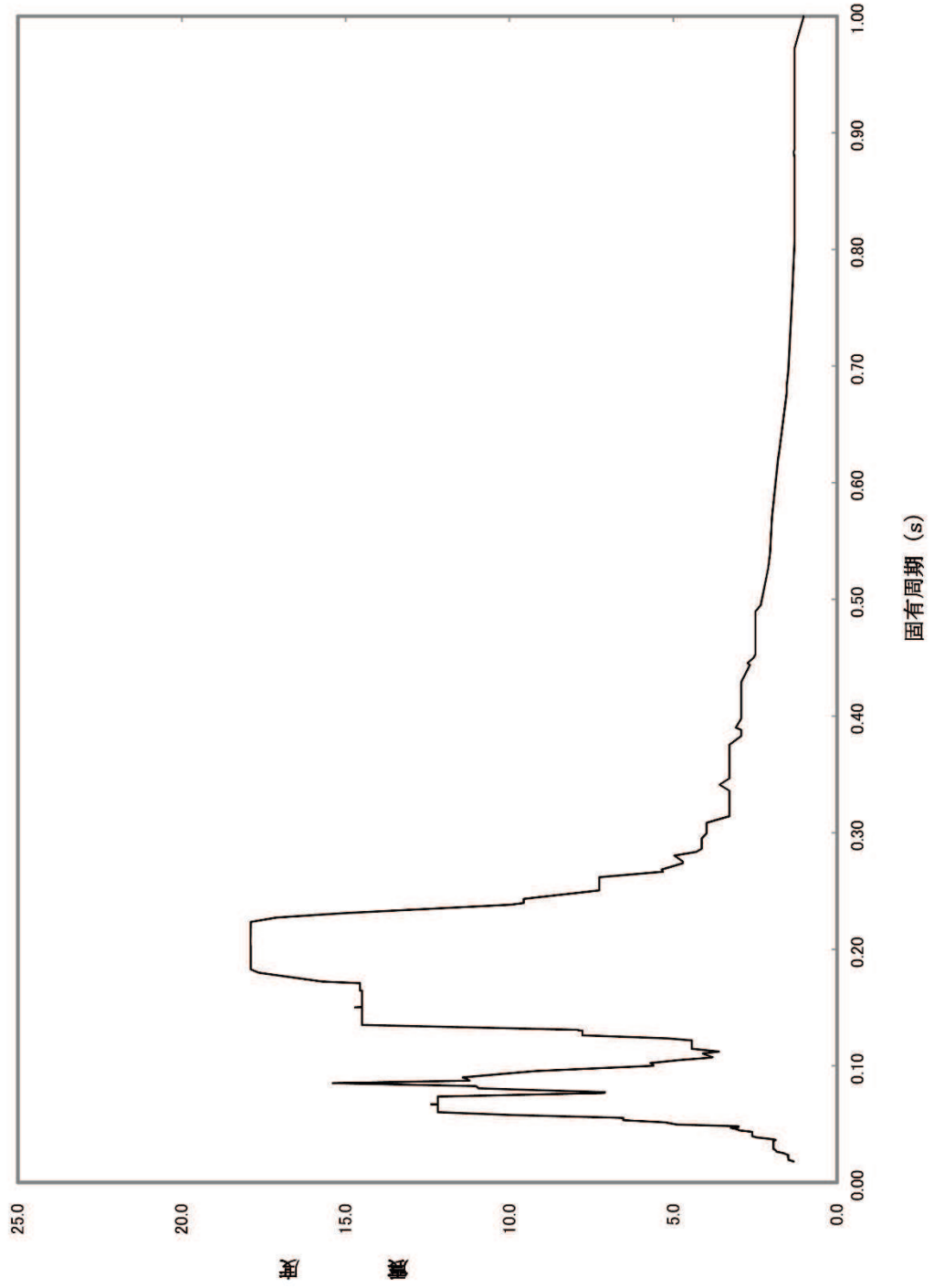


図 5.24-2-10 固有周期毎の水平方向の震度 (0.P.-2.10m)

図番 : 02_3Hx_Ss-AL_C00_1.0_UDH_-1.100_h_Rev00_a

標高 : 0.P. -1.100m
波形名 : Ss-AL

構造物名 : 3号海水熱交換器建屋
減衰定数 : 1.0

——鉛直方向

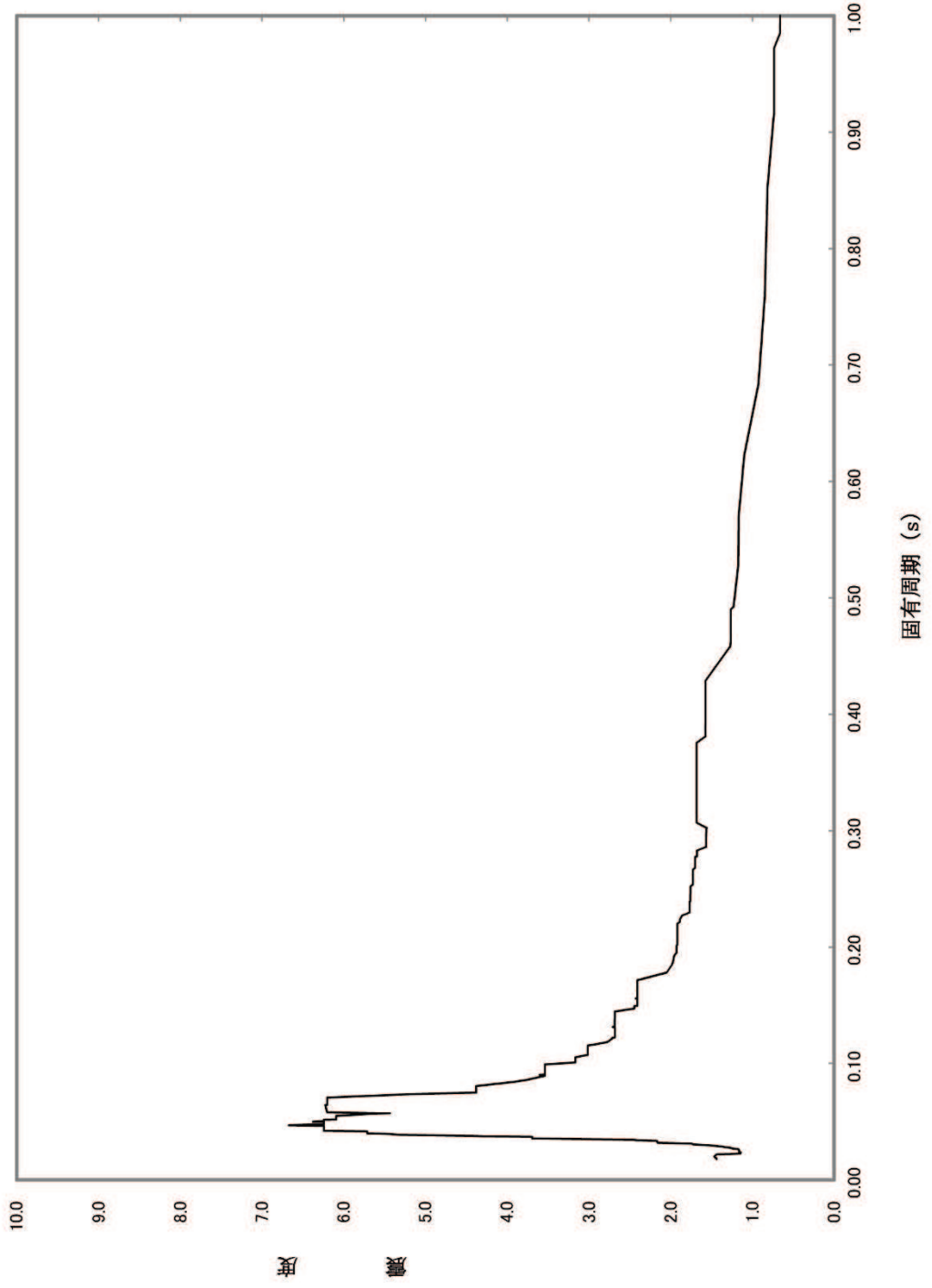


図 5.24-2-11 固有周期毎の鉛直方向の震度 (0.P.-2.10m)

(5) 評価結果

表 5. 24. 2-11 に示すとおり，算出応力はそれぞれの許容応力以下である。

表 5. 24. 2-11 ポンプ基礎ボルト評価結果

評価対象設備	評価対象部位	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機冷却海水ポンプ	基礎ボルト	41	475
タービン補機冷却海水ポンプ		143	184
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ		35	184
循環水ポンプ		30	190

評価結果は，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。

5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

5.24.3 3号機取水側海水系配管の基準地震動 S_s に対する耐震評価

(1) 概要

3号機取水側海水系配管のうち屋外に露出している配管については、基準地震動 S_s による地震力により設備が損傷した場合、津波が敷地へ流入する可能性があるため、基準地震動 S_s による地震力に対してバウンダリ機能を維持することが必要である。

本資料は、3号機取水側海水系配管のうち屋外に露出している配管について、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」の手法を参考に耐震評価を実施し、基準地震動 S_s に対し、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

(2) 評価条件

a. 計算方法

3次元はりモデルにより基準地震動 S_s に対する健全性評価を実施する。また、固有値解析及び構造評価で用いる解析コードは、「ISAP」を原子炉補機冷却海水系配管及び高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管に、「SAP-V」をタービン補機冷却海水系配管に、「AUTO-PIPE」を循環水系配管に使用するものとする。

b. 荷重及び荷重の組合せ

(a) 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

- ・常時作用する荷重 (D)
死荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。
- ・内圧荷重 (P_D)
内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。
- ・機械的荷重 (M_D)
当該設備に設計上定められた機械的荷重とする。
- ・地震荷重 (S_s)
地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

(b) 荷重の組み合わせ

評価に用いる荷重の組合せを表 5.24.3-1, 2 に示す。

表 5.24.3-1 配管の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
$IV_A S$	$D + P_D + M_D + S_s$	配管

表 5.24.3-2 支持構造物の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	D + P _D + M _D + S _s	脚, 支持構造物, ボルト等

c. 許容限界

配管評価における許容限界を表 5.24.3-3, 4 に示す。

表 5.24.3-3 配管の許容限界

区分	耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界* ¹			
				一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+ 二次応力	一次+二次+ ピーク応力
配管	S, C	D + P _D + M _D + S _s	IV _A S	0.6 · S _u	左欄の 1.5 倍 の値	* ² S _s 地震動のみによる疲労解析 を行い, 疲労累積係数が 1.0 以 下であること。但し, 地震動の みによる一次+二次応力の変動 値が 2 · S _y 以下であれば, 疲労 解析は不要。	

注記 *1: 軸力による全断面平均応力については許容応力状態 III_AS の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

*2: 2 · S_y を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3536 (1), (2), (4) 及び (5) (ただし, S_m は 2/3 · S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5. 24. 3-4 支持構造物の許容限界

耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界 ^{*1, *2, *3} (ボルト等以外)										許容限界 ^{*2, *4} (ボルト等)	形式試験に よる場合			
			一次応力					一次+二次応力							一次応力		
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈			引張	せん断	
S, C	D + P _D + M D + S S	IV _A S	1.5・ f _t [*]	1.5・ f _s [*]	1.5・ f _c [*]	1.5・ f _b [*]	1.5・ f _p [*]	3・f _t 3・f _s 3・f _b	3・f _s 3・f _b	1.5・ f _p [*]	1.5・ f _p [*]	1.5・ f _t [*]	1.5・ f _s [*]	1.5・ f _t [*]	1.5・ f _s [*]	1.5・ f _s [*]	T _L ・0.6 S _{y d} ・ S _{y t}

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：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。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，III_ASの許容応力を一次引張応力に対してはf_t，一次せん断応力に対してはf_sとして，またIV_AS→III_ASとして応力評価を行う。

*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては，クラスMC容器的座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して1.5・f_sとする。

*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めたf_bとする。

*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

d. 評価対象系統

評価対象の配管仕様及び使用材料の許容応力評価条件を表 5.24.3-5～6 に示す。

表 5.24.3-5 評価対象の配管仕様

評価対象	口径	板厚 (mm)	材質
3号機原子炉補機冷却海水系	500A	9.5	
3号機タービン補機冷却海水系	500A	9.5	
3号機高圧炉心スプレイ補機冷却海水系	200A	8.2	
3号機循環水系	3400φ	14.0	

表 5.24.3-6 使用材料の許容応力評価条件

材料	最高使用温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
	50		
	40		
	66		
	40		

e. 評価モデル

各系統の評価モデルを図5.24.3-1～7に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

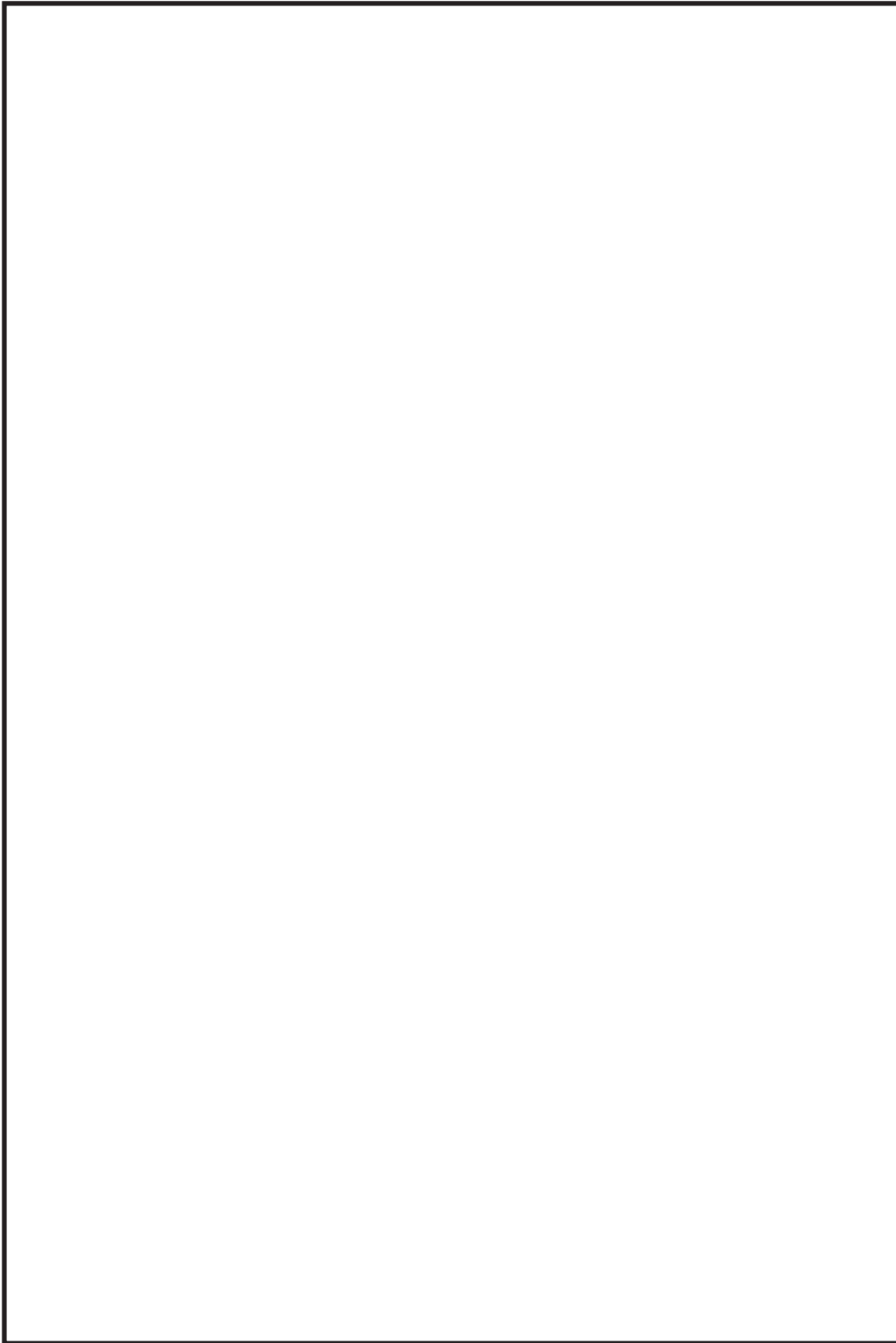


図 5.24.3-1 3号原子炉補機冷却海水系（A系） 系統評価モデル図

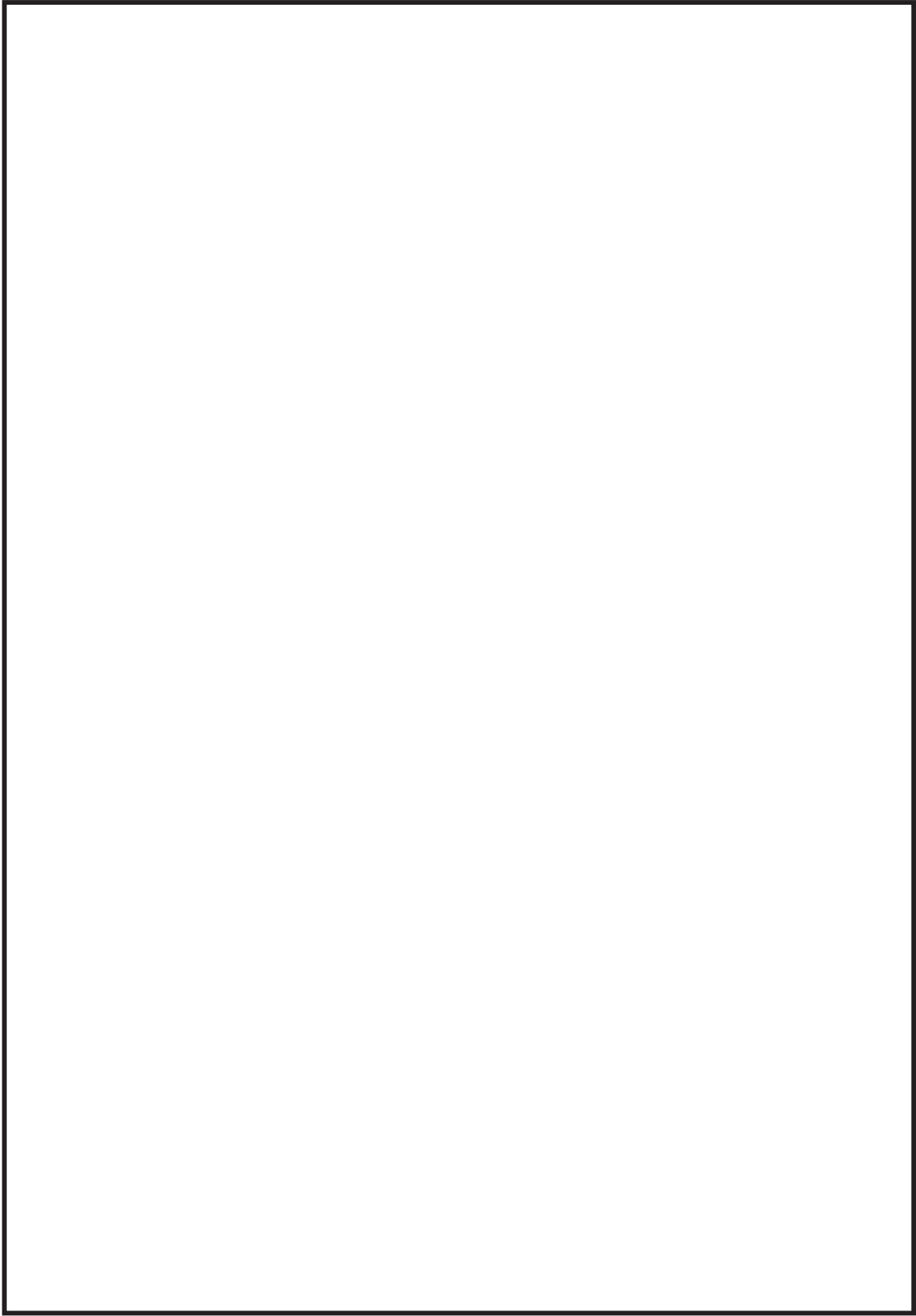


図 5.24.3-2 3号原子炉補機冷却海水系（B系） 系統評価モデル図

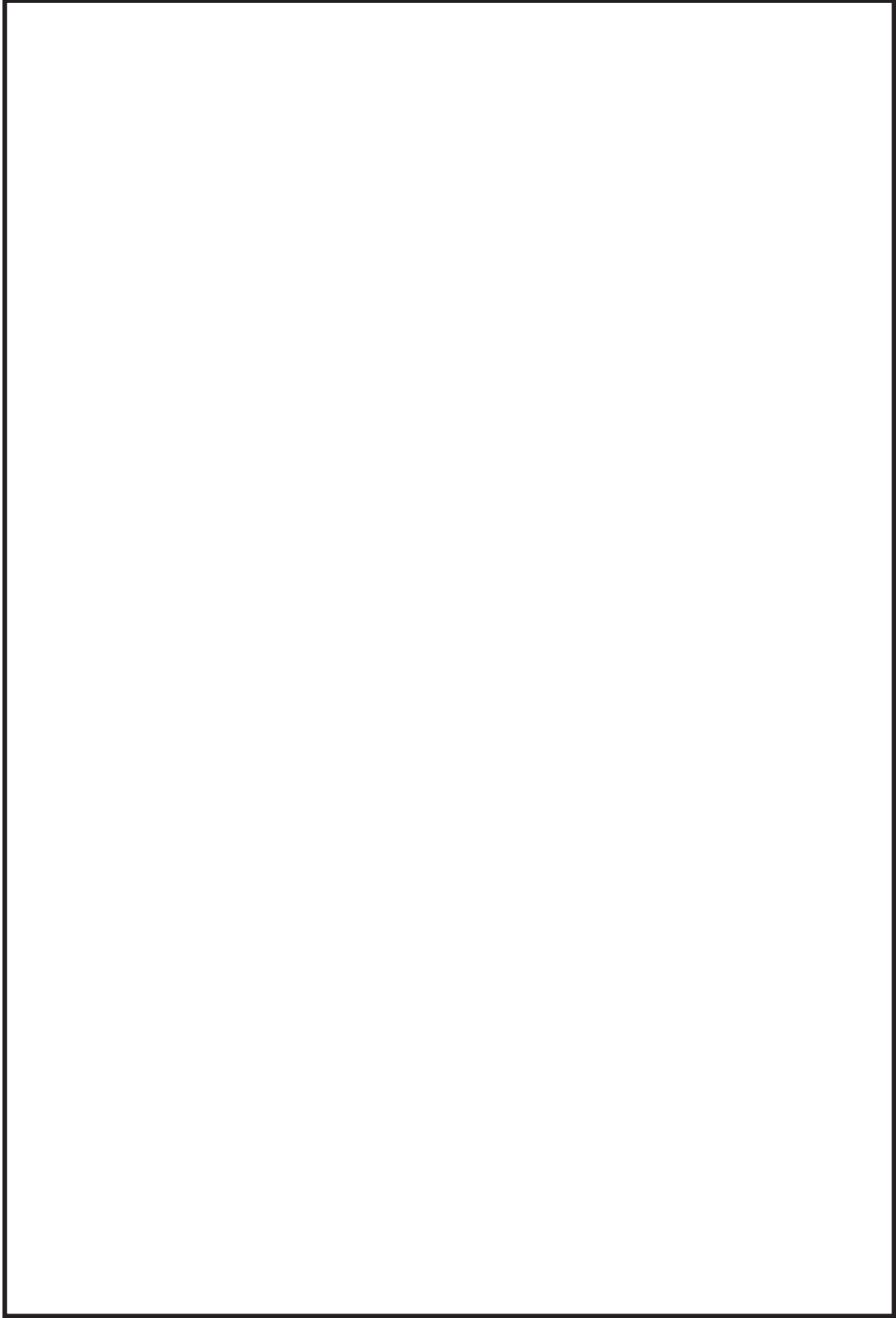


図 5.24.3-3 3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系 系統評価モデル図

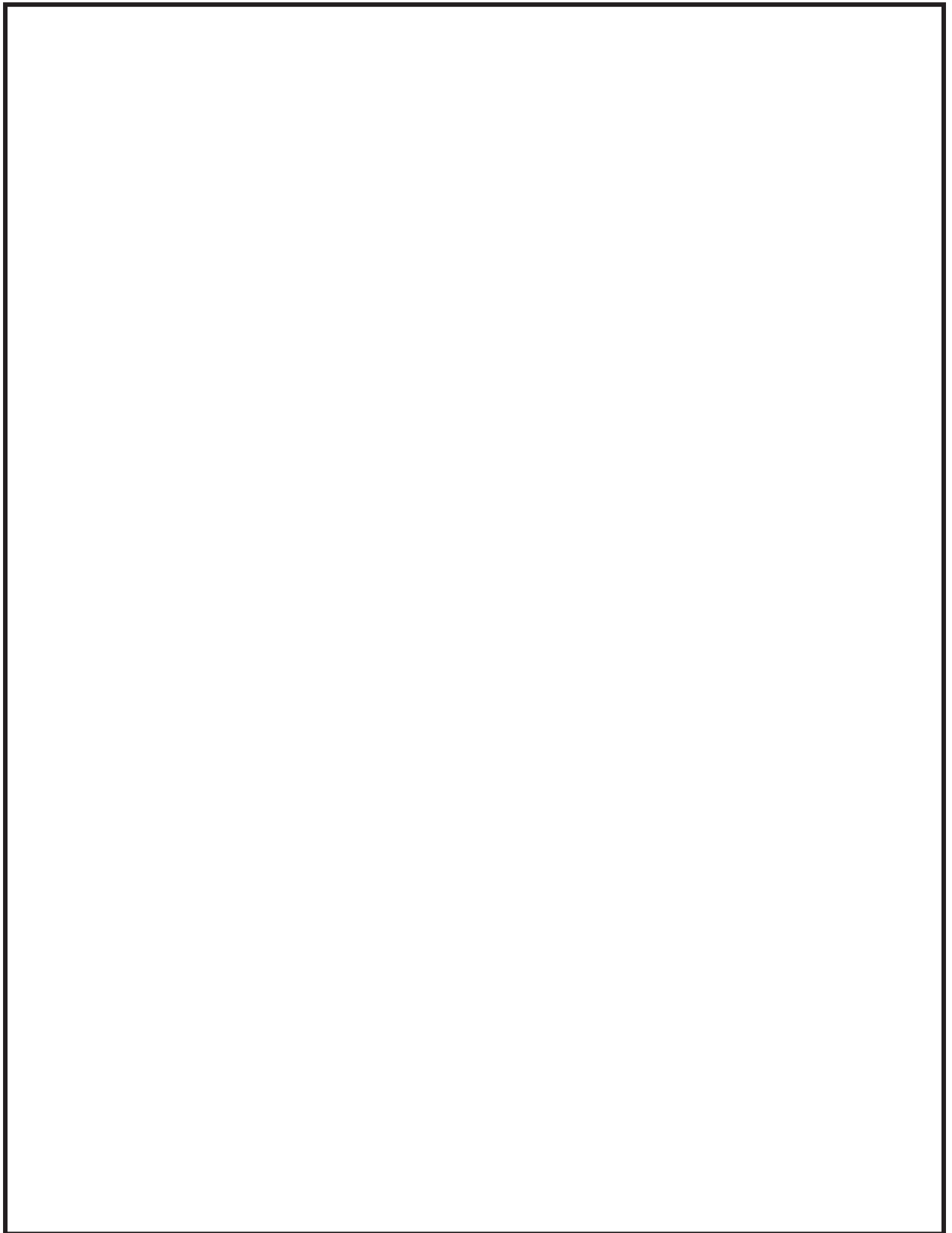


図 5.24.3-4 3号タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図 (1 / 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

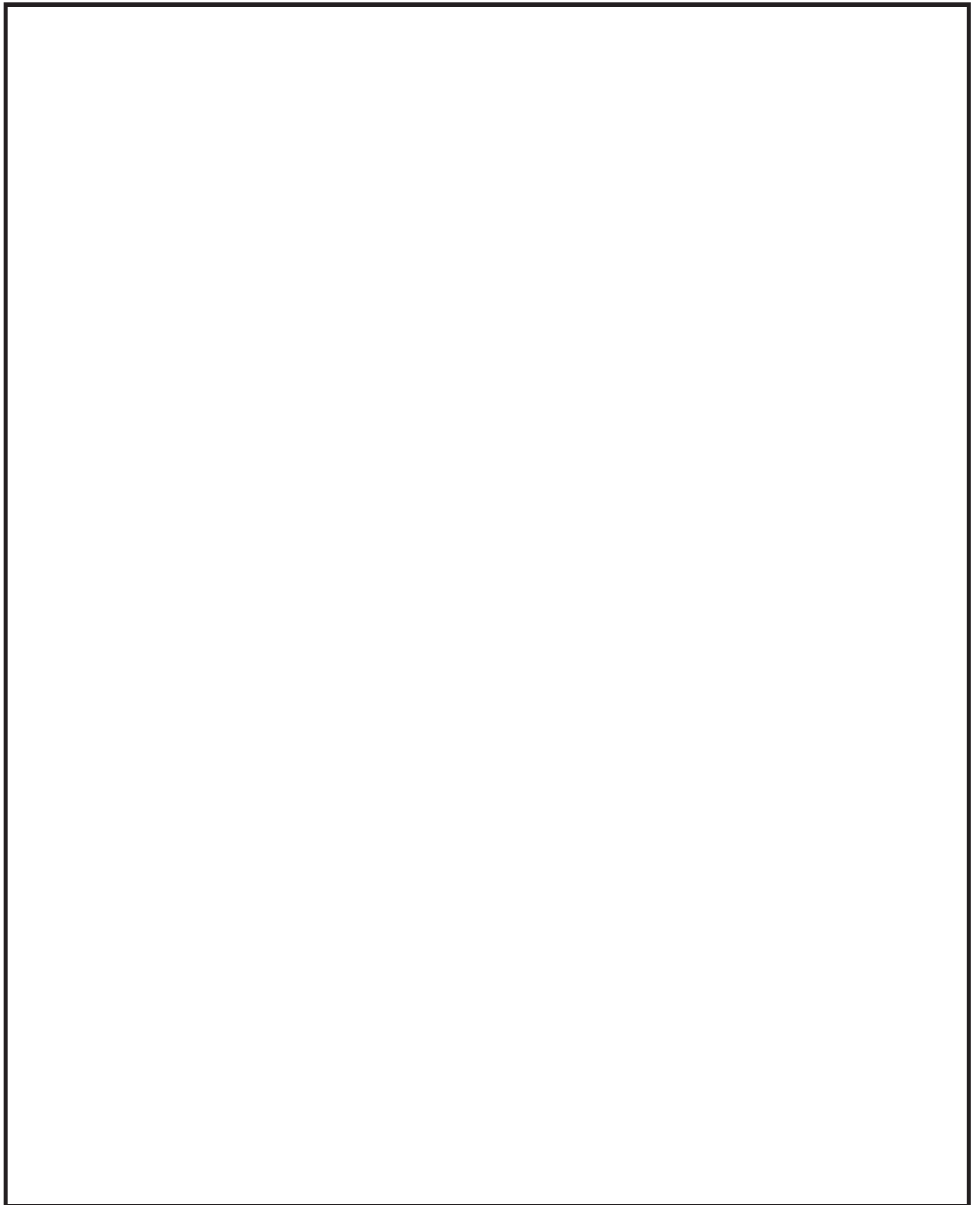


図 5.24.3-5 3号タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図 (2 / 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

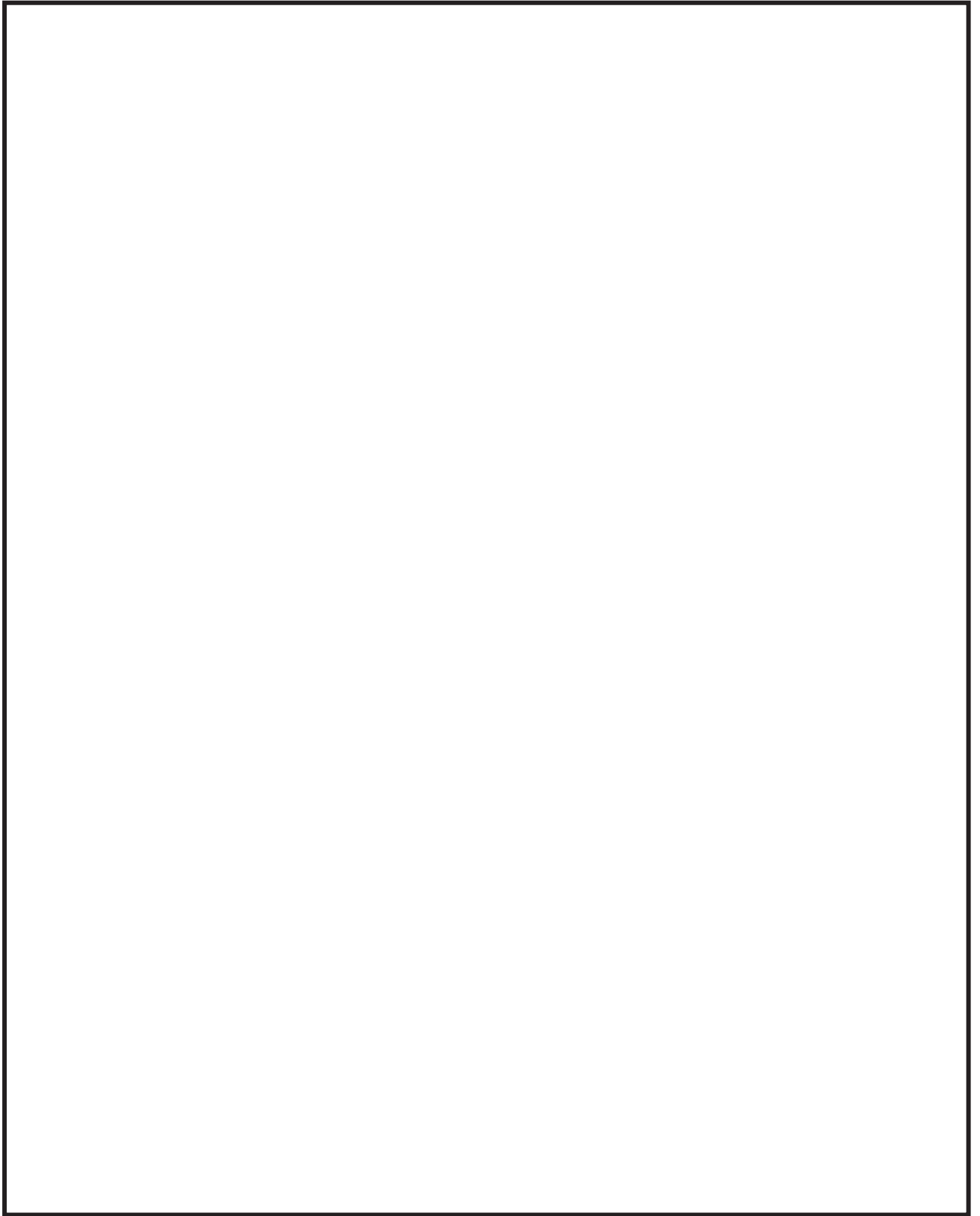


図 5.24.3-6 3号タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図 (3 / 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

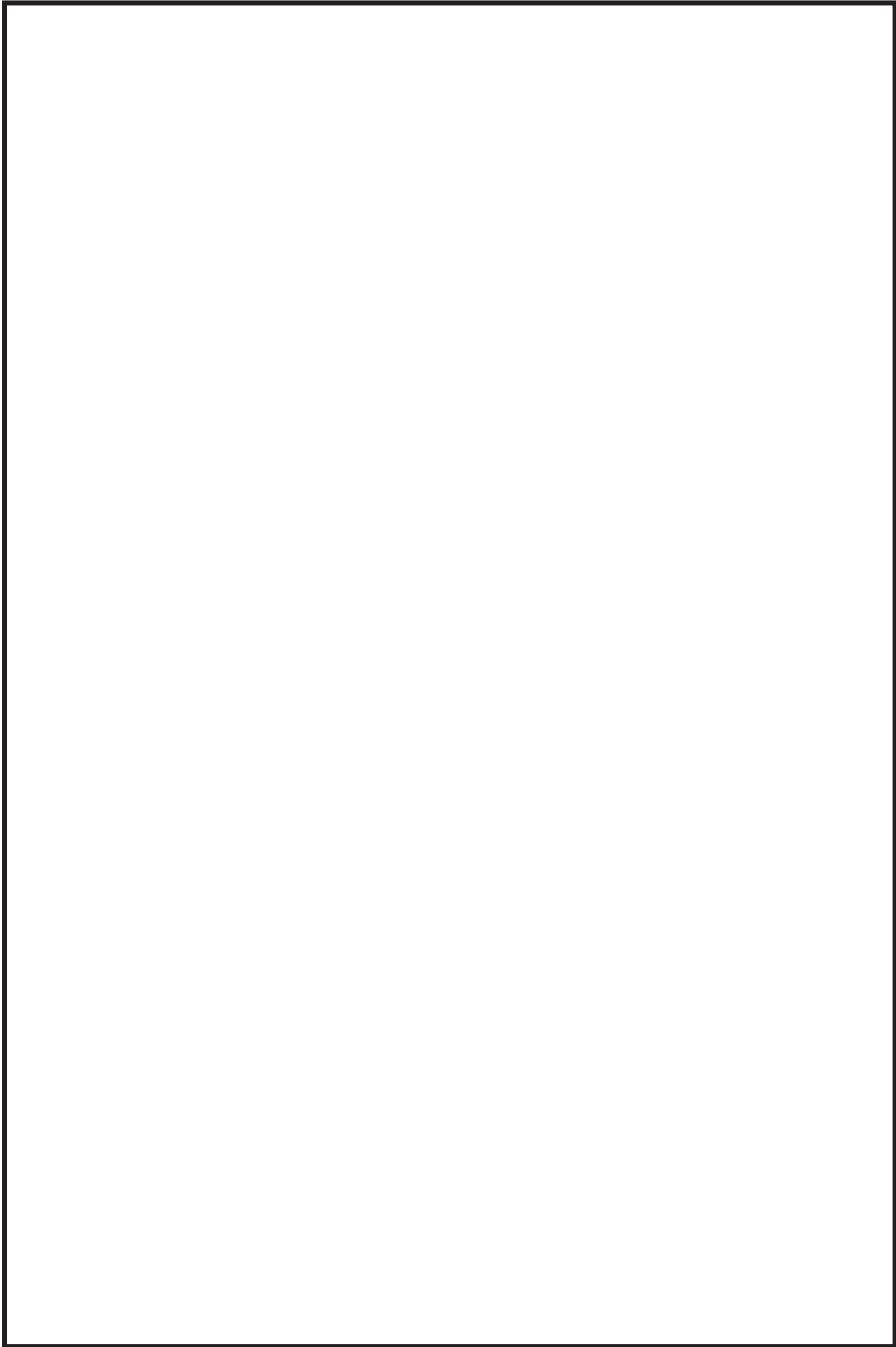


図 5.24.3-7 3号循環水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

f. 設計用地震力

本資料において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を表 5.24.3-7～8 及び図 5.24.3-8～17 に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」を参考に策定した基準地震動 S_s のものを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」を参考に策定した減衰定数を用いる。

表 5.24.3-7 3号原子炉補機冷却海水系配管, 3号タービン補機冷却海水系配管,
3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管の設計用地震力

建物・構築物	標高 (O.P. (m))	減衰定数 (%)
3号海水熱交換器建屋	14.0	2.0
	7.0	
	-2.1	

表 5.24.3-8 3号循環水系配管の設計用地震力

建物・構築物	標高 (O.P. (m))	減衰定数 (%)
3号海水ポンプ室 (循環水ポンプエリア)	6.25 -1.55	2.0

図番 : 02_3Hx_Ss-AL_C00_2.0.ENH_15.000_h_Rev00_a

建造物名 : 3号海水熱交換器建屋
減衰定数 : 2.0

標高 : 0.P. 15.000m
波形名 : Ss-AL

—— 水平方向

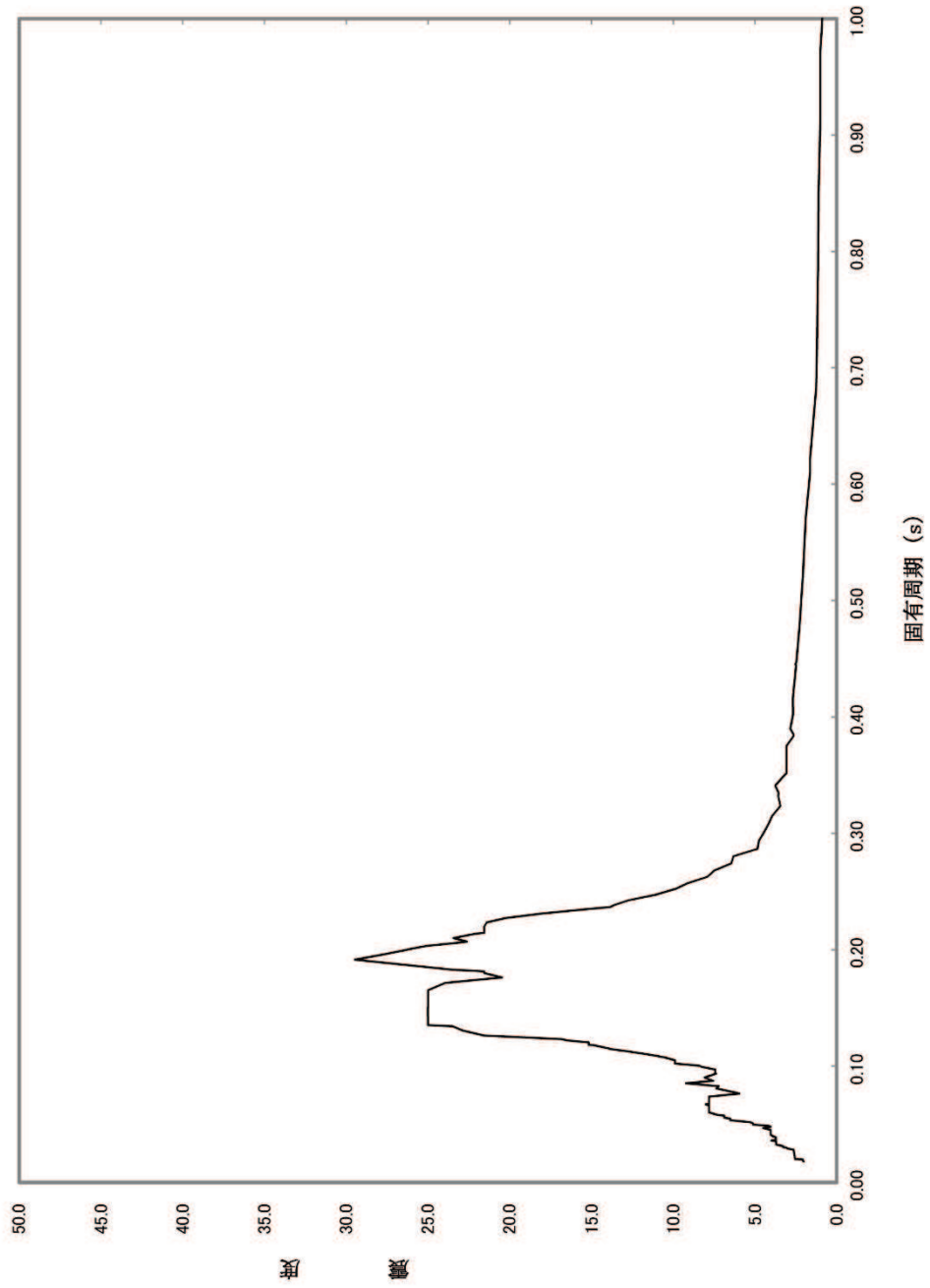


図 5.24.3-8 固有周期毎の水平方向の震度 3号海水熱交換器建屋 (0.P.14.00m)

図番： 02_3Hx_Ss-AL_C00_2.0_UDH_15.000_h_Rev00_a

構造物名： 3号海水熱交換器建屋
減衰定数： 2.0
標高： 0.P. 15.000m
波形名： Ss-AL

——鉛直方向

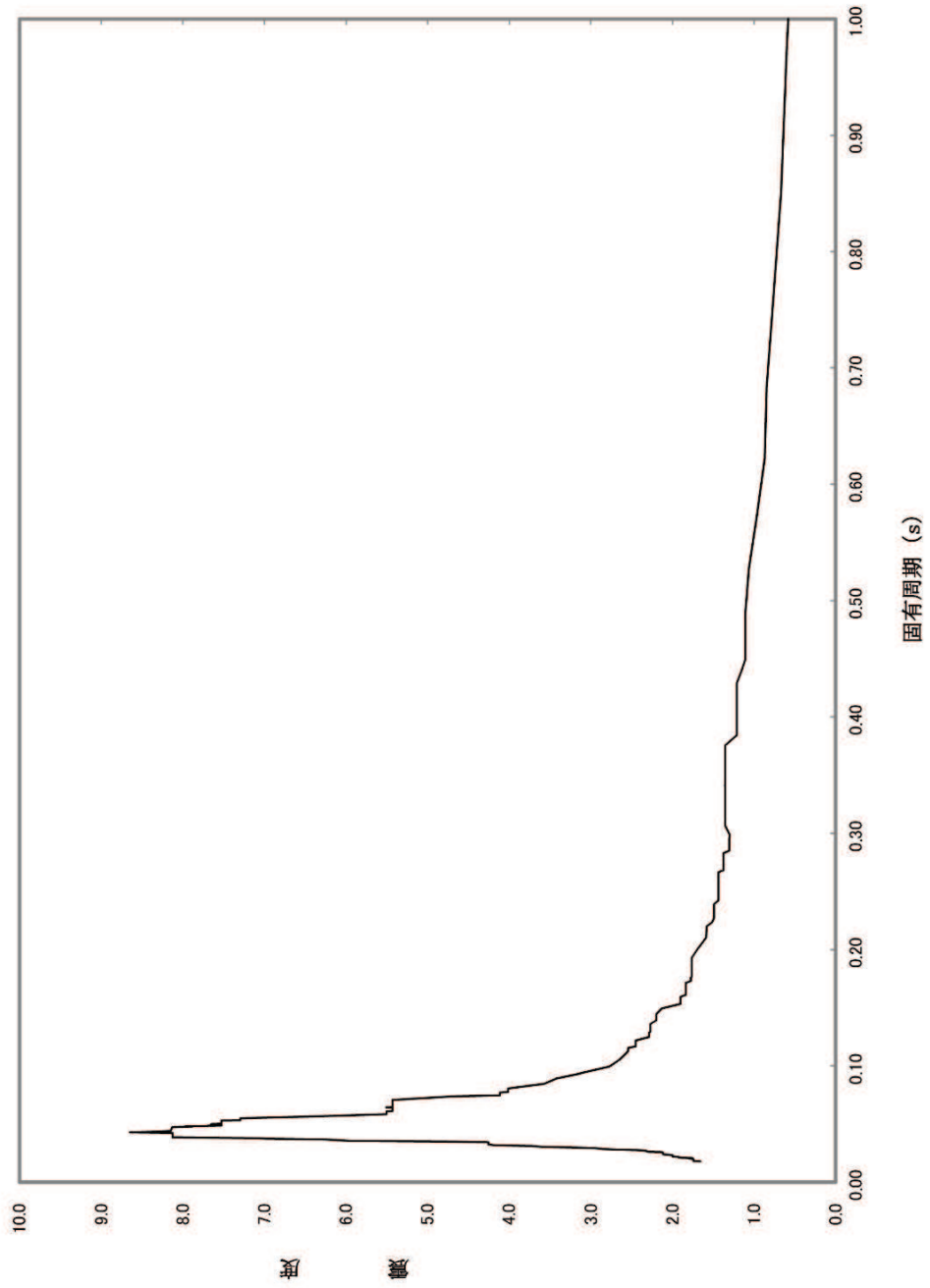
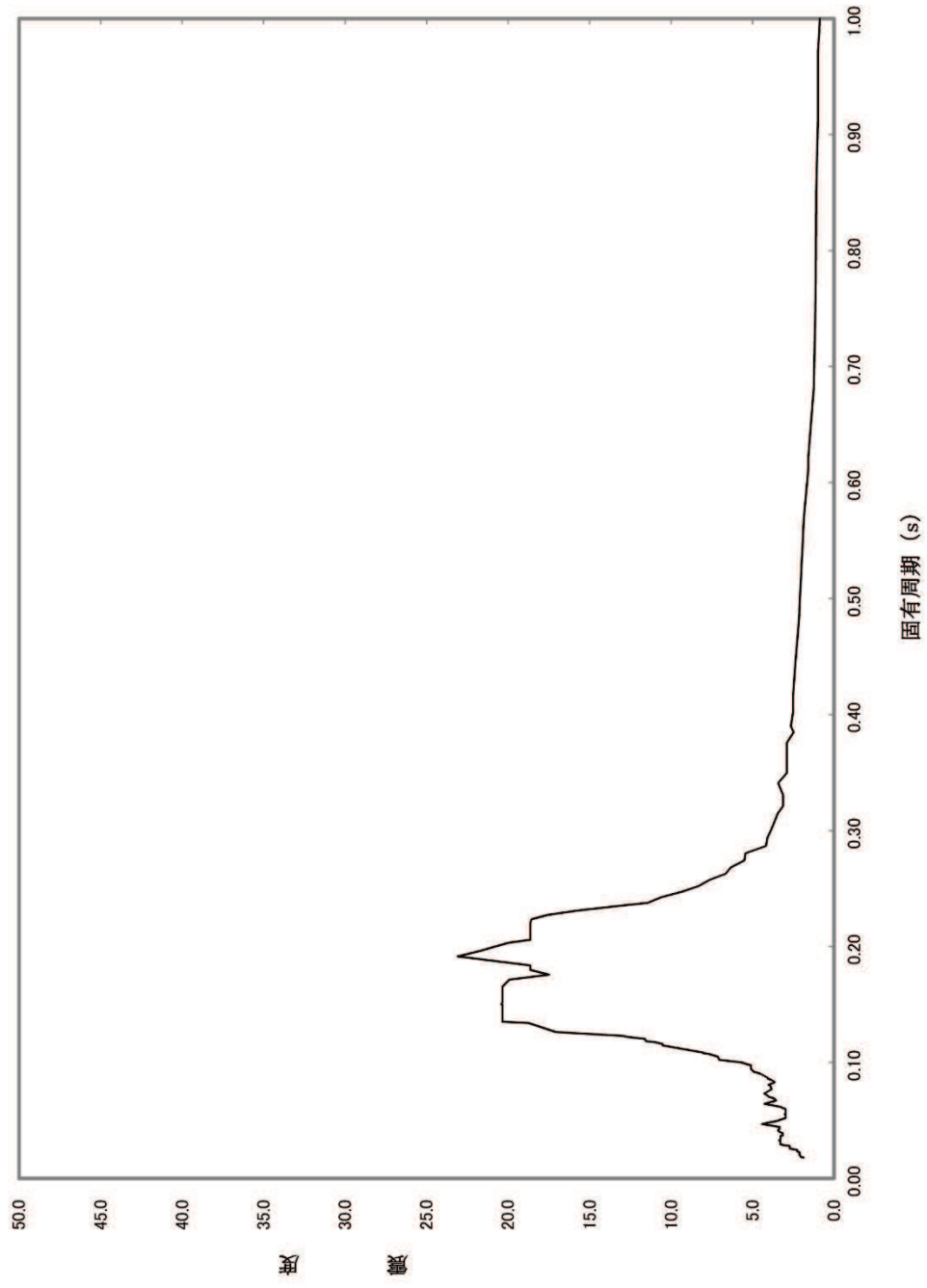


図 5.24.3-9 固有周期毎の鉛直方向の震度 3号海水熱交換器建屋 (O.P. 14.00m)

図番： 02_3Hx_Ss-AL_C00_2.0_ENH_8.000_h_Rev00_a
 構造物名： 3号海水熱交換器建屋
 標高： 0.P. 8.000m
 減衰定数： 2.0
 波形名： Ss-AL
 —— 水平方向



5.24.3-10 固有周期毎の水平方向の震度 3号海水熱交換器建屋 (O.P.7.00m)

図番： 02_31x_Ss-AL_C00_2.0_IDML8.000_h_Rev00_a
 構造物名： 3号海水熱交換器建屋
 減衰定数： 2.0
 標高： 0. P. 8.000m
 波形名： Ss-AL
 ——鉛直方向

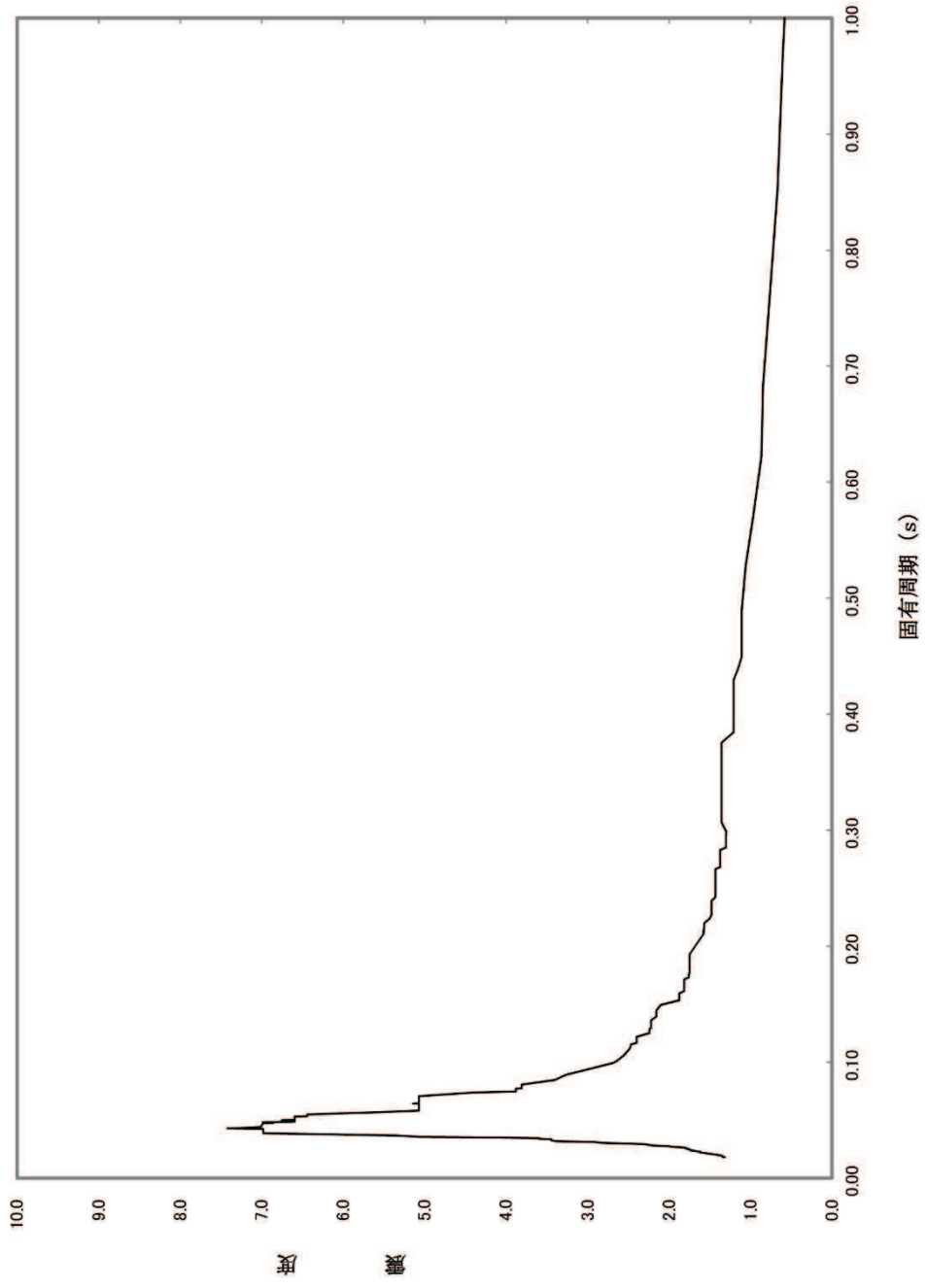


図 5. 24. 3-11 固有周期毎の鉛直方向の震度 3号海水熱交換器建屋 (0. P. 7. 00m)

構造物名： 3号海水熱交換器建屋
 減衰定数： 2.0
 標高： O.P. -1.100m
 波形名： Ss-AL
 図番： 02_3Hx_Ss-AL_C00_2.0_ENH_-1.100_h_Rev00_a
 ——水平方向

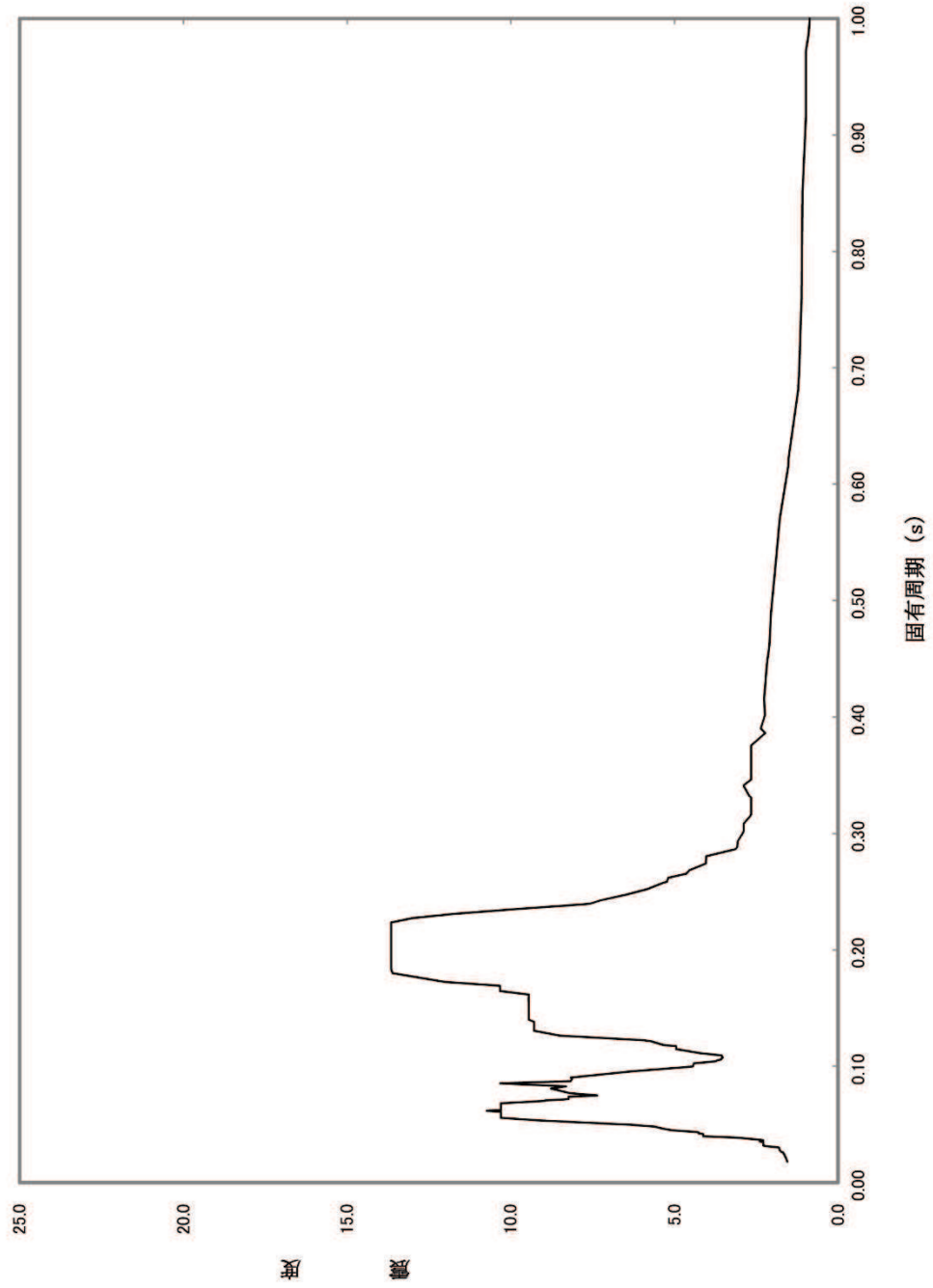


図 5.24.3-12 固有周期毎の水平方向の震度 3号海水熱交換器建屋 (O.P. -2.10m)

図番： 02_3Hx_Ss-AL_C00_2.0_UDH_-1.100_h_Rev00_a

構造物名： 3号海水熱交換器建屋
減衰定数： 2.0

標高： 0.P. -1.100m
波形名： Ss-AL

——鉛直方向

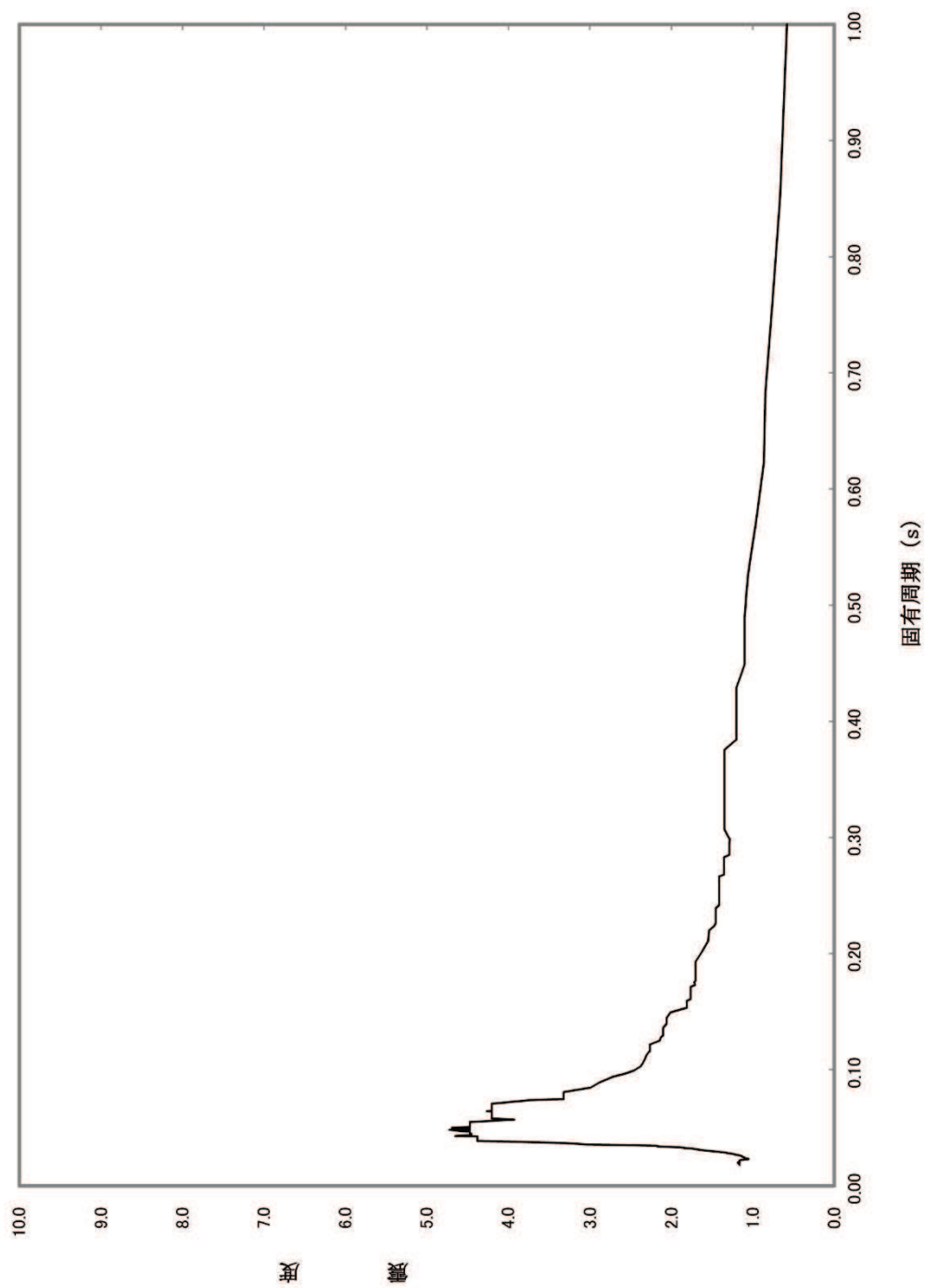


図 5.24.3-13 固有周期毎の鉛直方向の震度 3号海水熱交換器建屋 (0.P. -2.10m)

【RB-SsH-RB-020】

—— 水平方向

標高：0.P. 7.250

構造物名：3号海水ポンプ室

波形名：基準地震動 S s

減衰定数：2.0%

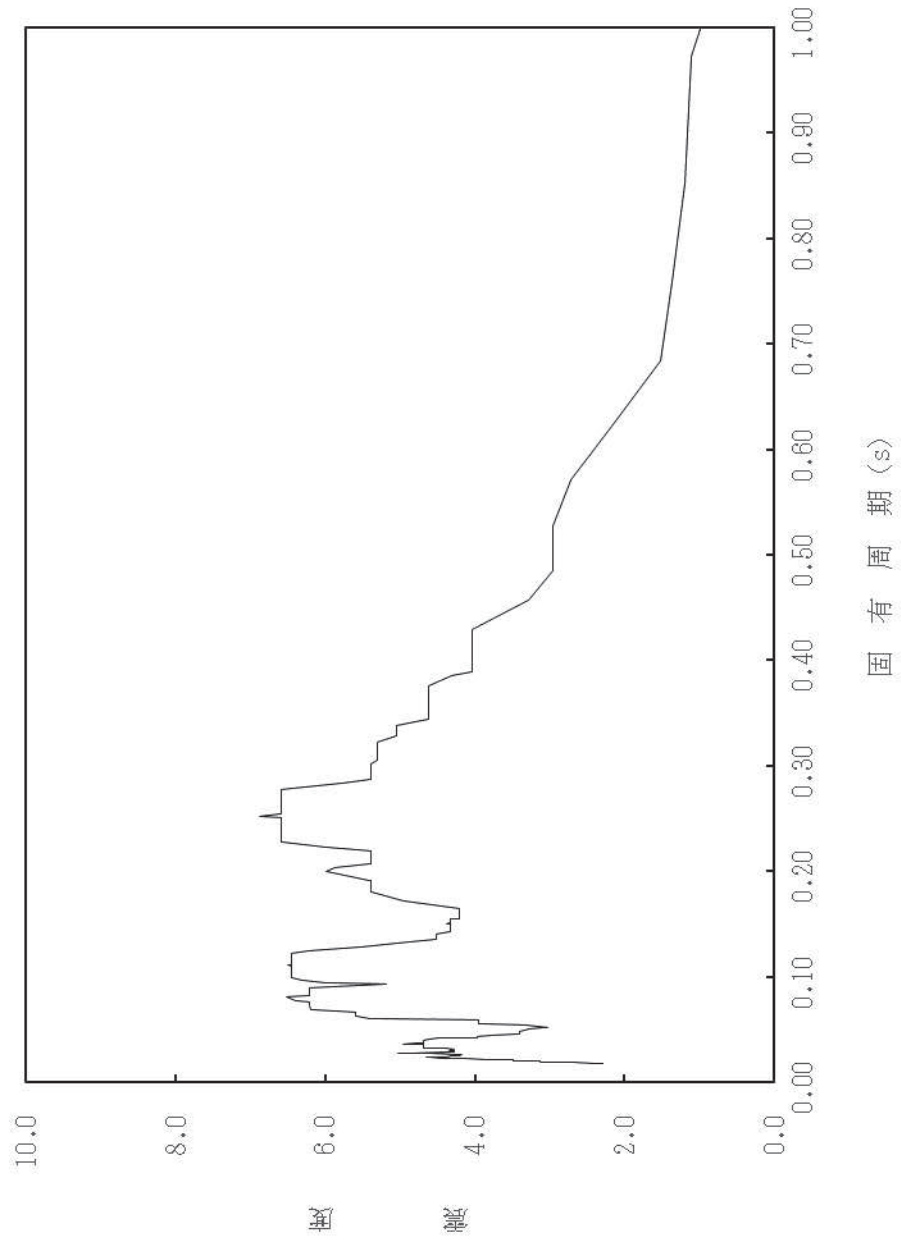


図 5. 24. 3-14 固有周期毎の水平方向の震度 3号海水ポンプ室（循環水ポンプエリア）(O.P. 6. 25m)

【RB-SsV-RB-020】

—— 鉛直方向

標高：0.P. 7.250

構造物名：3号海水ポンプ室

波形名：基準地震動 S s

減衰定数：2.0%

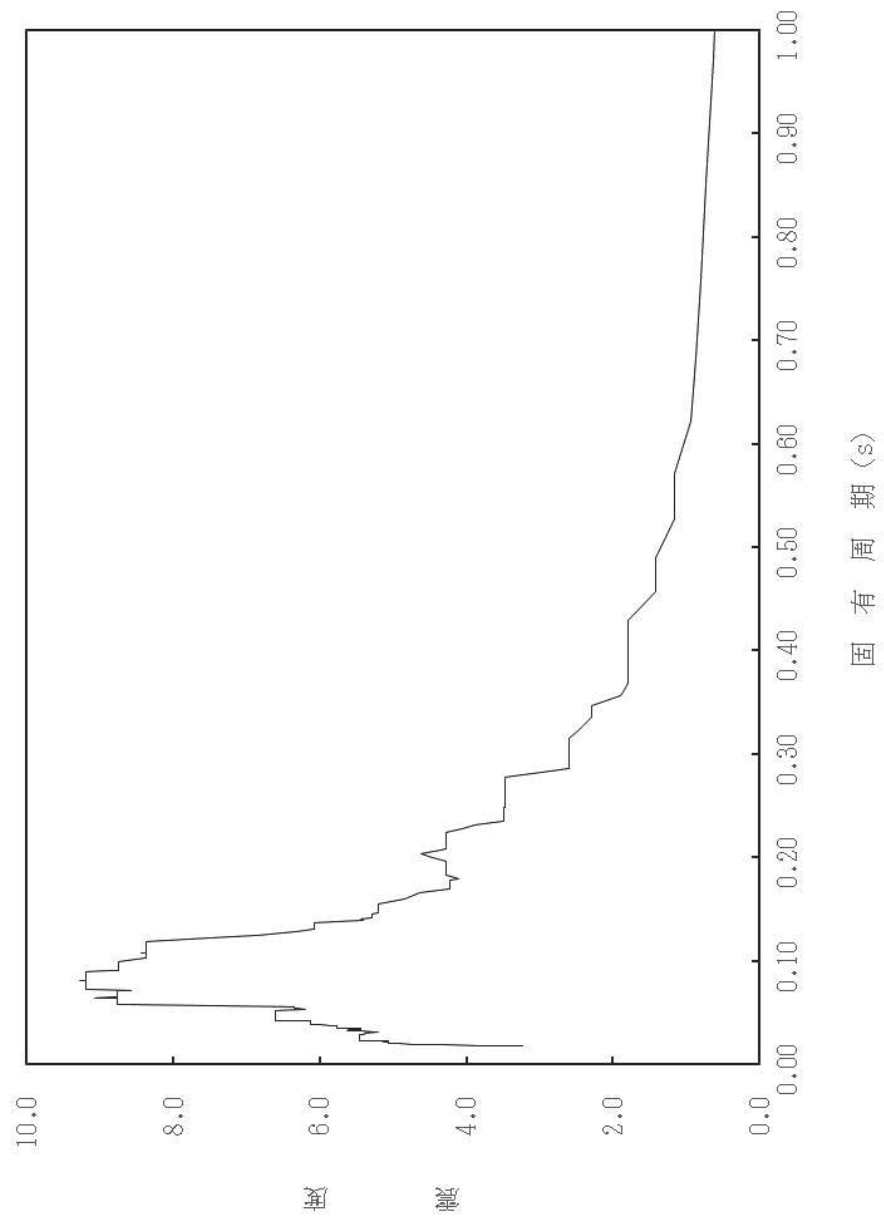


図 5. 24. 3-15 固有周期毎の鉛直方向の震度 3号海水ポンプ室（循環水ポンプエリア）（0.P. 6. 25m）

【RB-SsH-RB-020】

構造物名：3号海水ポンプ室

標高：0.P.-0.550

—— 水平方向

減衰定数：2.0%

波形名：基準地震動 S s

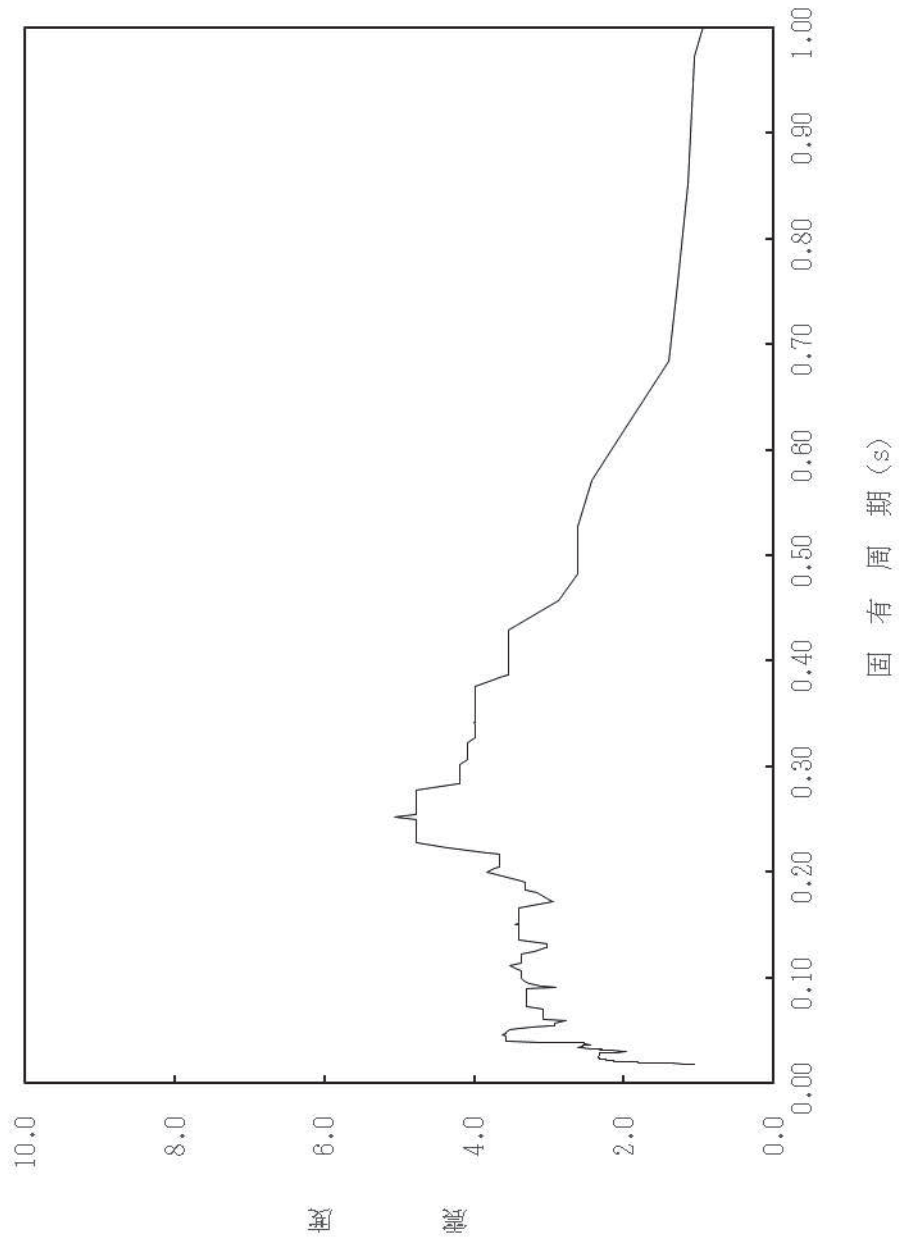


図 5. 24. 3-16 固有周期毎の水平方向の震度 3号海水ポンプ室（循環水ポンプエリア）（0.P.-1.55m）

【RB-SsV-RB-020】

—— 鉛直方向

標高：0.P.-0.550

構造物名：3号海水ポンプ室

波形名：基準地震動 S s

減衰定数：2.0%

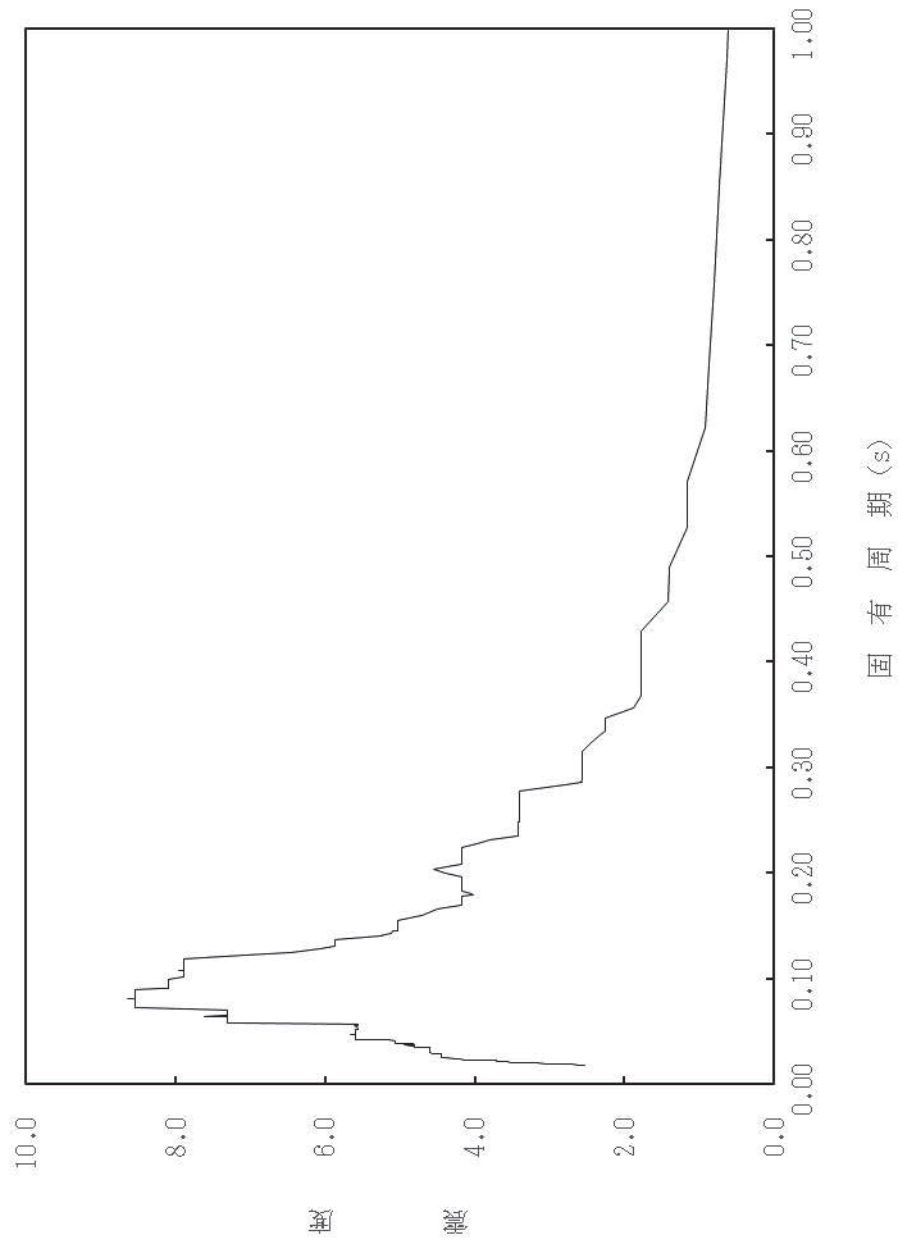


図 5. 24. 3-17 固有周期毎の鉛直方向の震度 3号海水ポンプ室 (循環水ポンプエリア) (O.P.-1.55m)

(3) 解析結果及び評価

a. 固有周期及び設計震度

各系統代表の固有周期及び設計震度を表 5. 24. 3-9～13 に示す。

表 5. 24. 3-9 3号原子炉補機冷却海水系配管（A系）の評価震度

適用する地震動		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.087	8.17	8.17	3.33
2 次	0.078	8.42	8.42	3.81
3 次	0.077	8.24	8.24	3.87
4 次	0.074	8.23	8.23	4.44
5 次	0.062	10.69	10.69	5.07
6 次	0.061	10.49	10.49	5.07
7 次	0.054	9.31	9.31	6.45
8 次*2	0.049	—	—	—
動的震度*3		2.24	2.24	1.59

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.05 s 以下であることを示す。

*3：基準地震動 S s に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。(1.2ZPA)

表 5. 24. 3-10 3号原子炉補機冷却海水系配管（B系）の評価震度

適用する地震動		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.078	8.39	8.39	3.81
2 次	0.077	8.05	8.05	3.88
3 次	0.075	7.37	7.37	3.88
4 次	0.070	9.32	9.32	5.07
5 次	0.060	10.31	10.31	5.07
6 次*2	0.049	—	—	—
動的震度*3		2.24	2.24	1.59

注記 *1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.05 s 以下であることを示す。

*3：基準地震動 S s に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。(1.2ZPA)

表 5.24.3-11 3号タービン補機冷却海水系配管の評価震度

適用する地震動		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.299	2.40	2.94	1.29
2 次	0.299	2.38	2.95	1.29
3 次	0.213	7.49	13.66	1.56
4 次	0.199	10.13	13.66	1.66
5 次	0.198	10.16	13.66	1.67
6 次	0.136	9.29	9.31	2.11
7 次	0.119	5.49	3.61	2.28
8 次	0.115	4.90	3.51	2.30
28 次	0.051	7.41	3.55	4.48
29 次*2	0.048	—	—	—
動的震度*3		1.74	1.74	1.24

注記 *1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.05 s 以下であることを示す。

*3：基準地震動 S s に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。(1.2ZPA)

表 5.24.3-12 3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管の評価震度

適用する地震動		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.090	8.16	8.16	3.37
2 次	0.071	8.95	8.95	5.44
3 次	0.064	10.31	10.31	5.49
4 次	0.056	10.31	10.31	6.46
5 次	0.051	7.03	7.03	7.53
6 次*2	0.048	—	—	—
動的震度*3		2.95	2.95	1.95

注記 *1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.05 s 以下であることを示す。

*3：基準地震動 S s に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。(1.2ZPA)

表 5. 24. 3-13 循環水系配管の評価震度

適用する地震動		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.094	9.33	9.33	17.74
2 次	0.068	9.29	9.29	16.56
3 次	0.050	4.68	4.68	8.10
4 次*2	0.045	—	—	—
動的震度*3		2.86	2.86	4.10

注記 *1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.05 s 以下であることを示す。

*3：基準地震動 S s に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。(1.2ZPA)

(4) 評価結果

表 5.24.3-14 に示すとおり，最大応力はそれぞれの許容値以下である。

表 5.24.3-14 配管及び支持構造物の応力評価結果*1

系統名称	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
3号原子炉補機冷却海水系配管	配管本体	一次＋二次	346	478
	支持構造物	組合せ	235	490
3号タービン補機冷却海水系配管	配管本体	一次＋二次	227	490
	支持構造物	組合せ	115	135
3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	配管本体	一次＋二次	305	418
	支持構造物	組合せ	283	490
3号循環水系配管	配管本体	一次＋二次	306	490
	支持構造物	せん断	124	135

注記 *1：評価結果は，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。

5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

5.24.4 2号機及び3号機海水ポンプの津波に対する強度評価

(1) 概要

2号機及び3号機海水ポンプについては、津波による圧力により設備が損傷した場合、津波が敷地へ流入する可能性があるため、津波に対して健全性を維持する必要がある。

本資料は、2号機及び3号機海水ポンプに対して、津波による圧力を考慮した荷重に対し、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

(2) 評価対象機器

評価対象機器について表 5.24.4-1 に示す。

表 5.24.4-1 評価対象機器

機器名称	設置場所
2号原子炉補機冷却海水ポンプ	2号海水ポンプ室補機ポンプエリア
2号タービン補機冷却海水ポンプ	2号海水ポンプ室補機ポンプエリア
2号高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	2号海水ポンプ室補機ポンプエリア
2号循環水ポンプ	2号海水ポンプ室循環水ポンプエリア
3号原子炉補機冷却海水ポンプ	3号海水熱交換器建屋
3号タービン補機冷却海水ポンプ	3号海水熱交換器建屋
3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	3号海水熱交換器建屋
3号循環水ポンプ (ケーシング開口部への閉止板含む)	3号海水ポンプ室

(3) 構造強度評価方法

津波のバウンダリとなるポンプケーシングについては、津波来襲時に取水ピット部に津波が到達し、津波高さに応じた圧力が作用することから、考慮する津波高さによる静水頭が内圧としてポンプケーシングに作用した場合の健全性について評価する。

また、3号海水系の評価については、保守的に津波高さによる静水頭に加えて、運転圧を考慮した評価を実施する。津波高さについては表 5.24.4-2、運転圧力については表 5.24.4-3 に示す。許容値は各系統の最高使用圧力とし、表 5.24.4-4 に示す。

なお、3号循環水ポンプは系統を停止しており、設備保護の観点からポンプシャフトの取外しを行っている。このため、ポンプケーシングに開口部が生じることから、閉止板を設置している。閉止板については津波バウンダリとなることから、閉止板及びボルトの強度評価を実施し、許容値を満足することを確認する。ポンプケーシング開口部への閉止板の取付概要を図 5.24.4-1, 2 に示す。

表 5. 24. 4-2 津波高さによる静水頭の算出条件

機器名称	設計津波高さ* ¹ (m)	ポンプ設置高さ (m)	備考
2号原子炉補機冷却海水ポンプ	0. P. +18. 6	0. P. +2. 0	
2号タービン補機冷却海水ポンプ	0. P. +18. 6	0. P. +2. 0	
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	0. P. +18. 6	0. P. +2. 0	
2号循環水ポンプ	0. P. +18. 6	0. P. -0. 8	
3号原子炉補機冷却海水ポンプ	0. P. +19. 5	0. P. +2. 0	
3号タービン補機冷却海水ポンプ	0. P. +19. 5	0. P. +2. 0	
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	0. P. +19. 5	0. P. +2. 0	
3号循環水ポンプ	0. P. +19. 0	0. P. -0. 8	

* 1 : 設計津波高さ=入力津波高さ+余裕 (0. 5m)

表 5. 24. 4-3 評価時の運転条件

機器名称	運転 有無	運転圧力* ¹ (MPa)	備考
2号原子炉補機冷却海水ポンプ	有	0. 58	津波時に運転を継続
2号タービン補機冷却海水ポンプ	無	—	津波時に停止する
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	有	0. 57	津波時に運転を継続
2号循環水ポンプ	無	—	津波時に停止する
3号原子炉補機冷却海水ポンプ	— ^{* 2}	0. 54	
3号タービン補機冷却海水ポンプ	— ^{* 2}	0. 518	
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	— ^{* 2}	0. 53	
3号循環水ポンプ	無	—	系統停止 (乾燥保管運用)

注記 * 1 : 運転圧力は保守的に工場試験で実施した締切運転時の全揚程実測値とする。

* 2 : 保守的に運転圧力を考慮する。

表 5. 24. 4-4 各系統の最高使用圧力（許容値）

機器名称	最高使用圧力（MPa）
2号原子炉補機冷却海水ポンプ	0.78
2号タービン補機冷却海水ポンプ	0.69
2号高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	0.78
2号循環水ポンプ	0.38
3号原子炉補機冷却海水ポンプ	0.80
3号タービン補機冷却海水ポンプ	0.70
3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	0.80
3号循環水ポンプ	0.38

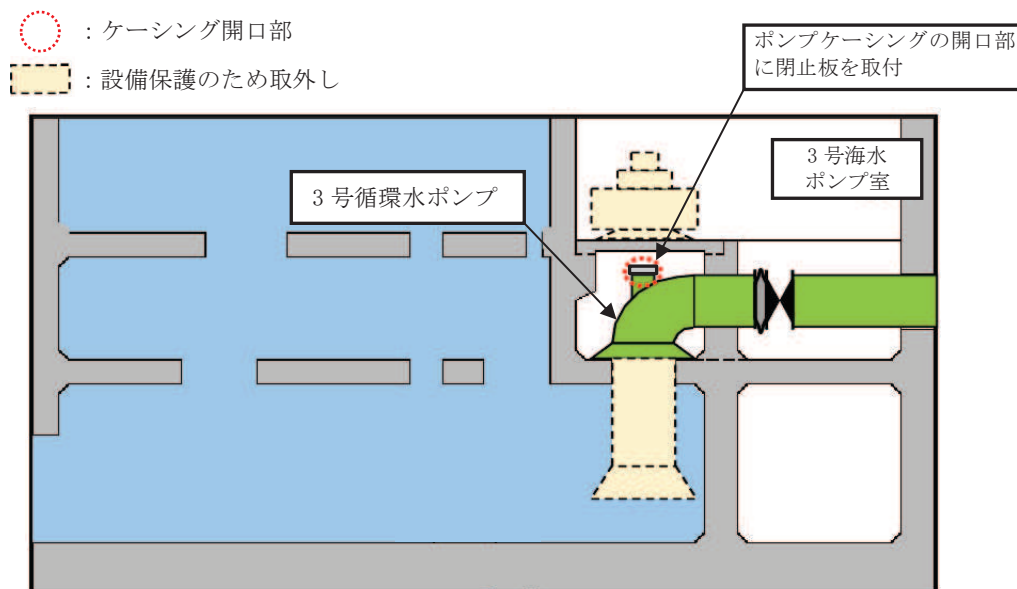


図 5. 24. 4-1 3号循環水ポンプケーシング開口部への閉止板設置箇所

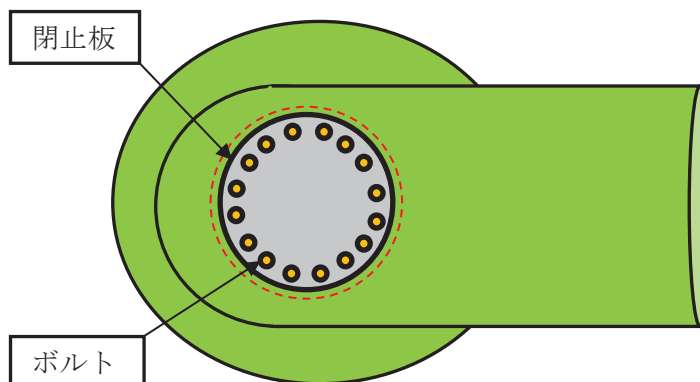


図 5. 24. 4-2 ポンプケーシングの開口部閉止板の取付概要（平面図）

(4) 計算条件

3号循環水ポンプケーシング開口部閉止板及びボルトの計算条件について表 5. 24. 4-5, 6 に示す。

表5. 24. 4-5 3号循環水ポンプケーシング開口部閉止板の計算条件

閉止板の材質	評価温度 (°C)	最高使用圧力 P (MPa)	閉止板の外径 d (mm)	閉止板の厚さ (mm)	
				呼び厚さ	最小厚さ
SUS316	50	0.38	990	60	59.2

表 5. 24. 4-6 ボルトの計算条件

ボルトの材質	評価温度 (°C)	最高使用圧力 P (MPa)	閉止板の外径 d (mm)	ボルト 呼び径	ボルトの 本数
SUS304	50	0.38	990	M36	16

(5) 計算方法

- a. 津波発生時にポンプが継続運転となる系統

$$\text{内圧} = \text{運転圧力} + \text{津波高さによる静水頭} (\rho_0 \cdot g \cdot H)$$

- b. 津波発生時にポンプが停止となる系統

$$\text{内圧} = \text{津波高さによる静水頭} (\rho_0 \cdot g \cdot H)$$

ρ_0 : 海水の密度 (1030 kg/m³)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 評価高さ (設計津波高さ - ポンプ設置高さ)

c. ケーシング開口部閉止板の必要板厚の計算

平板の計算上必要な厚さについては、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 PMD-3410 を適用する。また、ボルトの強度評価については、(b)の評価式を適用する。

- (a) 平板の計算上必要な厚さ

$$t = d \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}} = 990 \cdot \sqrt{\frac{0.17 \cdot 0.38}{129}} = 22.15 \approx 23.0 \text{ (mm)}$$

t : 平板の計算上必要な厚さ (mm)

d : 平板の外径 (mm)

K : 取付方法による係数 (=0.17) ※設計・建設規格 PMD-3410

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 設計・建設規格付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力 (MPa) (=129MPa)

(b) ボルトの評価式

(イ) ボルトの許容引張応力（許容値）

設計・建設規格付録材料図 表 Part5 表 7 SUS304 より、129MPa (40°C)、115MPa (75°C) であるため、50°Cの場合の許容引張応力について以下の式により算出する。

$$S_b = 129 + \frac{(115-129)}{(75-40)} \cdot (50-40) = 125.0 \text{ (MPa)}$$

S_b : ボルトの許容引張応力（最高使用温度における付録材料図 表 Part5 表5 に規定する材料の許容引張応力 (MPa))

(ロ) ボルトの最小断面積

ボルト呼び径 M36 のボルト谷径は 31.670mm であることから、ボルトの最小断面積について以下の式により算出する。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 31.670^2 = 787.74 \approx 787.7 \text{ (mm}^2\text{)}$$

A_b : ボルトの最小断面積 (mm²)

d_b : ボルト谷径 (mm)

(ハ) 閉止板にかかる荷重

閉止板全体に最高使用圧力がかかるものとして、以下の式により算出する。

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot P = \frac{\pi}{4} \cdot 990^2 \cdot 0.38 = 2.9251 \times 10^5 \approx 2.926 \times 10^5 \text{ (N)}$$

W : 閉止板にかかる荷重 (N)

d : 閉止板の外径 (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

(ニ) ボルト 1 本あたりの引張応力

閉止板にかかる荷重にボルト本数とボルトの最小断面積から、ボルト 1 本あたりの引張応力を算出する。

$$\sigma = \frac{W}{n \cdot A_b} = \frac{2.926 \times 10^5}{16 \cdot 787.7} = 23.21 \approx 23.3 \text{ (MPa)}$$

σ : ボルト1本あたりの引張応力 (MPa)

W : 閉止板にかかる荷重 (N)

n : ボルト本数

A_b : ボルトの最小断面積 (mm²)

(5) 評価結果

a. 内圧評価結果

表 5.24.4-7 に示すとおり，算出した内圧が許容値以下であることを確認した。

表 5.24.2-7 内圧評価結果

機器名称	内圧 (MPa)			許容値 (MPa)
	運転圧力	津波高さによる静水頭	合計	
2号原子炉補機冷却海水ポンプ	0.58	0.17	0.75	0.78
2号タービン補機冷却海水ポンプ	—	0.17	0.17	0.69
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	0.57	0.17	0.74	0.78
2号循環水ポンプ	—	0.20	0.20	0.38
3号原子炉補機冷却海水ポンプ	0.54	0.18	0.72	0.80
3号タービン補機冷却海水ポンプ	0.518	0.18	0.70 (0.698)	0.70
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	0.53	0.18	0.71	0.80
3号循環水ポンプ	—	0.20	0.20	0.38

b. 閉止板の構造強度評価結果

(a) 表 5.24.4-8 に示すとおり，3号循環水ポンプケーシング開口部閉止板について，閉止板の最小厚さは計算上必要な厚さを満足していることを確認した。

表5.24.4-8 3号循環水ポンプケーシング開口部閉止板の構造強度評価結果

評価対象	計算上必要な厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
閉止板	23.0	59.2

(b) 表 5.24.4-9 に示すとおり，ボルトの発生引張応力は許容引張応力を満足していることを確認した。

表 5.24.4-9 ボルトの構造強度評価結果

評価対象	許容引張応力 (MPa)	発生引張応力 (MPa)
ボルト	125.0	23.3

5.24 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

5.24.5 2号機及び3号機海水系配管の津波に対する強度評価

(1) 概要

2号機及び3号機の屋外に露出している海水系配管については、津波による圧力により設備が損傷した場合、津波が敷地へ流入する可能性があるため、津波に対して健全性を維持する必要がある。

本資料は、2号機及び3号機の屋外に露出している海水系配管において、津波による圧力を考慮した荷重に対し、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

(2) 構造強度評価方法

津波のバウンダリとなる配管については、津波来襲時に取水ピット、放水ピットを經由して津波が到達し、運転状態による圧力及び津波高さに応じた圧力が作用することから、これらの圧力が内圧として作用した場合を想定し、配管の最高使用圧力を下回ることを確認する。3号海水系配管については、津波高さに応じた圧力に加えて、保守的に運転圧力を考慮した評価を実施する。

また、津波時に閉止を期待する弁に接続する配管については、閉止した弁に発生する突き上げ荷重及び余震を考慮した荷重により発生する圧力が配管に作用した場合を想定し、配管の最高使用圧力を下回ることを確認する。

津波高さによる静水頭の算出条件については表 5.24.5-1、津波発生時の運転条件については表 5.24.5-2 に示す。

表 5. 24. 5-1 津波高さによる静水頭の算出条件

機器名称	設計津波高さ* ¹ (m)	配管設置高さ (m)	備考
2号原子炉補機冷却海水系配管	0. P. +18. 6	0. P. +2. 0* ²	
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0. P. +18. 6	0. P. +2. 0* ²	
2号タービン補機冷却海水系配管	0. P. +18. 6	0. P. +2. 0* ²	
2号循環水系配管（復水器水室出入口弁接続配管）	0. P. +18. 6	0. P. +1. 8	
2号循環水系配管（循環水ポンプ接続配管）	0. P. +18. 6	0. P. -0. 8* ²	
3号原子炉補機冷却海水系配管	0. P. +19. 5	0. P. +2. 0* ²	
3号タービン補機冷却海水系配管	0. P. +19. 5	0. P. +2. 0* ²	
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0. P. +19. 5	0. P. +2. 0* ²	
3号循環水配管	0. P. +19. 5	0. P. -0. 8* ²	
3号原子炉補機冷却海水系配管（放水側配管）	0. P. +18. 0	0. P. +13. 8* ³	
3号タービン補機冷却海水系配管（放水側配管）	0. P. +18. 0	0. P. +13. 8* ³	
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管（放水側配管）	0. P. +18. 0	0. P. +13. 8* ³	
3号非放射性ドレン移送系配管（放水側配管）	0. P. +18. 0	0. P. +13. 8* ³	

* 1 : 設計津波高さ=入力津波高さ+余裕 (0. 5m)

* 2 : 保守的にポンプ設置高さとする

* 3 : 保守的に敷地高さとする。

表 5. 24. 5-2 津波発生時の運転条件

機器名称	運転有無	運転圧力* ¹ (MPa)	備考
2号原子炉補機冷却海水系配管	有	0.58	津波時に運転を継続
2号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	有	0.57	津波時に運転を継続
2号タービン補機冷却海水系配管	無	—	津波時に閉止を期待するタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁に接続する配管
2号循環水系配管（復水器水室出入口弁接続配管）	無	—	津波時に閉止を期待する復水器水室出入口弁に接続する配管
2号循環水系配管（循環水ポンプ接続配管）	無	—	津波時に停止する
3号原子炉補機冷却海水系配管	—* ²	0.54	
3号タービン補機冷却海水系配管	—* ²	0.518	
3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	—* ²	0.53	
3号循環水配管	無	—	系統停止（乾燥保管運用）
3号原子炉補機冷却海水系配管（放水側配管）	—* ²	0.54	
3号タービン補機冷却海水系配管（放水側配管）	—* ²	0.518	
3号高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管（放水側配管）	—* ²	0.53	
3号非放射性ドレン移送系配管（放水側配管）	無	—	ドレンポンプの間欠運転のため運転圧力を考慮しない

注記 *1：運転圧力は保守的に工場試験で実施した締切運転時の全揚程実測値とする。

*2：保守的に運転圧力を考慮する。

(3) 設計仕様

各海水系配管の設計条件について、表 5.24.5-3 に示す。

評価対象部位に記載した設備の仕様を記載する。

表 5.24.5-3 各海水系配管の設計条件*

評価対象	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	配管厚さ (mm)	材料
2号原子炉補機冷却海水系配管	0.78	50	508.0	9.5	
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0.78	50	216.3	8.2	
2号タービン補機冷却海水系配管	0.69	41	762.0	9.5	
2号循環水系配管(復水器水室出入口弁接続配管)	0.38	41	2500	13.0	
2号循環水系配管(循環水ポンプ接続配管)	0.38	41	3400	16.0	
3号原子炉補機冷却海水系配管	0.80	50	508.0	9.5	
3号タービン補機冷却海水系配管	0.70	40	508.0	9.5	
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0.80	50	216.3	8.2	
3号循環水系配管	0.38	40	3400	14.0	
3号原子炉補機冷却海水系配管(放水側配管)	0.80	50	508.0	9.5	
3号タービン補機冷却海水系配管(放水側配管)	0.70	40	508.0	9.5	
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管(放水側配管)	0.80	50	216.3	8.2	
3号非放射性ドレン移送系配管(放水側配管)	0.70	66	60.5	5.5	

*：配管仕様は対象配管のうち最大口径を代表として記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 設計用地震力

本資料において考慮する設計用地震力を，表 5.24.5-4 に示す。

表 5.24.5-4 設計用地震力

地震動	評価対象	建屋・構築物	標高 O.P. (m)	減衰定数 (%)	備考
弾性設計用 地震動	2号タービン補機冷却 海水系配管	2号海水ポンプ 室補機ポンプエ リア	* 1	* 1	* 1 : VI-2-別添 2- 7「タービン補機冷 却海水ポンプ吐出弁 の耐震性についての 計算書」と同様
S d	2号循環水系配管（復 水器水室出入口弁接続 配管）	2号タービン建 屋	* 2	* 2	* 2 : VI-2-別添 2- 8「復水器水室出入 口弁の耐震性につい ての計算書」と同様

(5) 荷重の設定

a. 配管評価に関する荷重

(a) 運転圧力

運転圧力は保守的に工場試験で実施した締切運転時の全揚程実測値とする。

(b) 津波高さによる静水頭

津波高さによる静水頭圧は，「設計津波高さ－配管設置高さ」にて算出した静水頭圧を考慮する。

$$\text{津波高さによる静水頭圧} = \rho_0 \cdot g \cdot H$$

ρ_0 : 海水の密度 (=1030 (kg/m³))

g : 重力加速度

H : 評価高さ (設計津波高さ－配管設置高さ)

b. 津波時に閉止を期待する弁に接続する配管に関する荷重

津波時に閉止を期待する弁に接続する配管に考慮する圧力は，以下の津波及び余震を考慮した荷重により算出する。

(a) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重として，津波流入を想定した流速成分による荷重と，経路からの津波に伴う水位を用いた静水圧を考慮し，以下の式より算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_p \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

- P_t : 突き上げ津波荷重
 ρ_0 : 海水の密度
 U : 流速 (津波流速を保守側に設定)
 C_p : 抗力係数 (2.01*1)
 g : 重力加速度
 H : 評価高さ (設計津波高さ－設置位置高さ)

- *1 : 出典 : ①津波漂流物対策ガイドライン 表-3.4.7 抗力係数 (H26.3 沿岸技術研究センター)
 ②港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上巻) 表-参7.2.1 抗力係数 (社団法人日本港湾協会)

(b) 余震荷重 ($K S_d$)

余震荷重は、弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ に伴う地震力 (動水圧含む) とする。

津波時に閉止を期待する弁に接続する配管に対しては、余震に伴う加速度で終端部となる弁に発生する慣性力と、余震による動水圧荷重を考慮し、以下の式より算出する。

津波時に閉止を期待する弁に接続する配管は、余震による動水圧荷重を考慮し、以下の式より算出する。

津波時に閉止を期待する弁に接続する配管の内面に加わる動水圧荷重

$$K S_d = \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot g \cdot H$$

- $K S_d$: 余震荷重
 g : 重力加速度
 ρ_0 : 海水の密度 (=1030 (kg/m³))
 α_v : 評価部位の鉛直方向震度
 H : 評価高さ (設計津波高さ－設置位置高さ)

(c) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、配管の自重を考慮する。

(6) 荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重の組合せを表5. 24. 5-5に示す。

表5. 24. 5-5 強度評価にて考慮する荷重の組合せ

機器名称	荷重の組合せ
2号原子炉補機冷却海水系配管	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
2号タービン補機冷却海水系配管	$D + P_t + K S d^{*1, *2}$
2号循環水系配管（復水器水室出入口弁接続配管）	$D + P_t + K S d^{*1, *2}$
2号循環水系配管（循環水ポンプ接続配管）	津波高さによる静水頭圧
3号原子炉補機冷却海水系配管	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
3号タービン補機冷却海水系配管	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
3号循環水系配管	津波高さによる静水頭圧
3号原子炉補機冷却海水系配管（放水側配管）	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
3号タービン補機冷却海水系配管（放水側配管）	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管（放水側配管）	運転圧力+津波高さによる静水頭圧
3号非放射性ドレン移送系配管（放水側配管）	津波高さによる静水頭圧

注記 *1 : Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, $K S d$ は余震荷重を示す。

*2 : 固定荷重 (D) 及び余震荷重 ($K S d$) の組み合わせが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) 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評価を実施する。

(7) 許容限界

- a. 各海水系配管については、表5.24.5-6に示す各系統の最高使用圧力以下であることを確認する。

表5.24.5-6 各海水系配管の許容限界

機器名称	最高使用圧力(MPa)
2号原子炉補機冷却海水系配管	0.78
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0.78
2号タービン補機冷却海水系配管	0.69
2号循環水系配管(復水器水室出入口弁接続配管)	0.38
2号循環水系配管(循環水ポンプ接続配管)	0.38
3号原子炉補機冷却海水系配管	0.80
3号タービン補機冷却海水系配管	0.70
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0.80
3号循環水系配管	0.38
3号原子炉補機冷却海水系配管(放水側配管)	0.80
3号タービン補機冷却海水系配管(放水側配管)	0.70
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管(放水側配管)	0.80
3号非放射性ドレン移送系配管(放水側配管)	0.70

(8) 評価結果

- a. 各海水系配管の構造強度評価結果については、表5.24.5-7に示すとおり、発生圧力が許容値以下であり、構造健全性を維持することを確認した。

表5.24.5-7 構造強度評価結果

機器名称	発生圧力 (MPa)	許容値 (MPa)
2号原子炉補機冷却海水系配管	0.75	0.78
2号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0.74	0.78
2号タービン補機冷却海水系配管	0.36* ¹	0.69
2号循環水系配管 (復水器水室出入口弁接続配管)	0.28* ²	0.38
2号循環水系配管 (循環水ポンプ接続配管)	0.20	0.38
3号原子炉補機冷却海水系配管	0.72	0.80
3号タービン補機冷却海水系配管	0.70 (0.698)	0.70
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管	0.71	0.80
3号循環水系配管	0.20	0.38
3号原子炉補機冷却海水系配管 (放水側配管)	0.59	0.80
3号タービン補機冷却海水系配管 (放水側配管)	0.57	0.70
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管 (放水側配管)	0.58	0.80
3号非放射性ドレン移送系配管 (放水側配管)	0.05	0.70

注記 *1 : 「補足-140-1_5.23_タービン補機冷却海水系ポンプ吐出弁の津波に対する健全性について」にて算出された値を適用する。

*2 : 「補足-140-1_5.22_復水器水室出入口弁の津波に対する健全性について」にて算出された値を適用する。

6. 浸水防護施設に関する補足資料

6.5 浸水防止設備に関する補足説明

6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明

6.5.5.1 逆止弁付ファンネル（第2号機）の耐震性についての計算書に関する補足説明

目 次

1. 概要	6.5.5.1-1
2. 一般事項	6.5.5.1-2
2.1 配置概要	6.5.5.1-2
2.2 構造計画	6.5.5.1-6
2.3 評価方針	6.5.5.1-8
2.4 適用規格・基準等	6.5.5.1-9
2.5 記号の説明	6.5.5.1-10
3. 評価対象部位	6.5.5.1-11
4. 固有値解析	6.5.5.1-11
4.1 固有振動数の計算方法	6.5.5.1-11
4.1.1 解析モデル	6.5.5.1-11
4.1.2 記号の説明	6.5.5.1-12
4.1.3 固有振動数の計算	6.5.5.1-13
4.2 固有振動数の計算条件	6.5.5.1-13
4.3 固有振動数の計算結果	6.5.5.1-14
5. 構造強度評価	6.5.5.1-14
5.1 構造強度評価方法	6.5.5.1-14
5.2 荷重及び荷重の組合せ	6.5.5.1-14
5.2.1 荷重の設定	6.5.5.1-15
5.2.2 荷重の組合せ	6.5.5.1-15
5.3 許容限界	6.5.5.1-17
5.4 設計用地震力	6.5.5.1-19
5.5 計算方法	6.5.5.1-19
5.5.1 弁本体	6.5.5.1-20
5.5.2 弁体	6.5.5.1-21
5.6 計算条件	6.5.5.1-22
6. 機能維持評価	6.5.5.1-22
6.1 機能維持評価方法	6.5.5.1-23
7. 評価結果	6.5.5.1-20

7.1	基準地震動 S_s に対する評価対象部位の応力評価	6.5.5.1-23
7.2	基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価	6.5.5.1-23
7.3	基準地震動 S_s に対する評価対象部位の構造健全性評価	6.5.5.1-24

1. 概要

本書類は、添付書類「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に基づき、浸水防護施設のうち逆止弁付ファンネル（第2号機）（以下、逆止弁付ファンネルという。）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確認するものである。耐震評価は、逆止弁付ファンネルの固有値解析、応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価により行う。

逆止弁付ファンネルは、浸水防護施設としてS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を示す。

なお、逆止弁付ファンネルの耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

逆止弁付ファンネルは、第2号機海水ポンプ室の床面に設置する。逆止弁付ファンネルの設置位置図を図2-1、図2-2及び図2-3に示す。

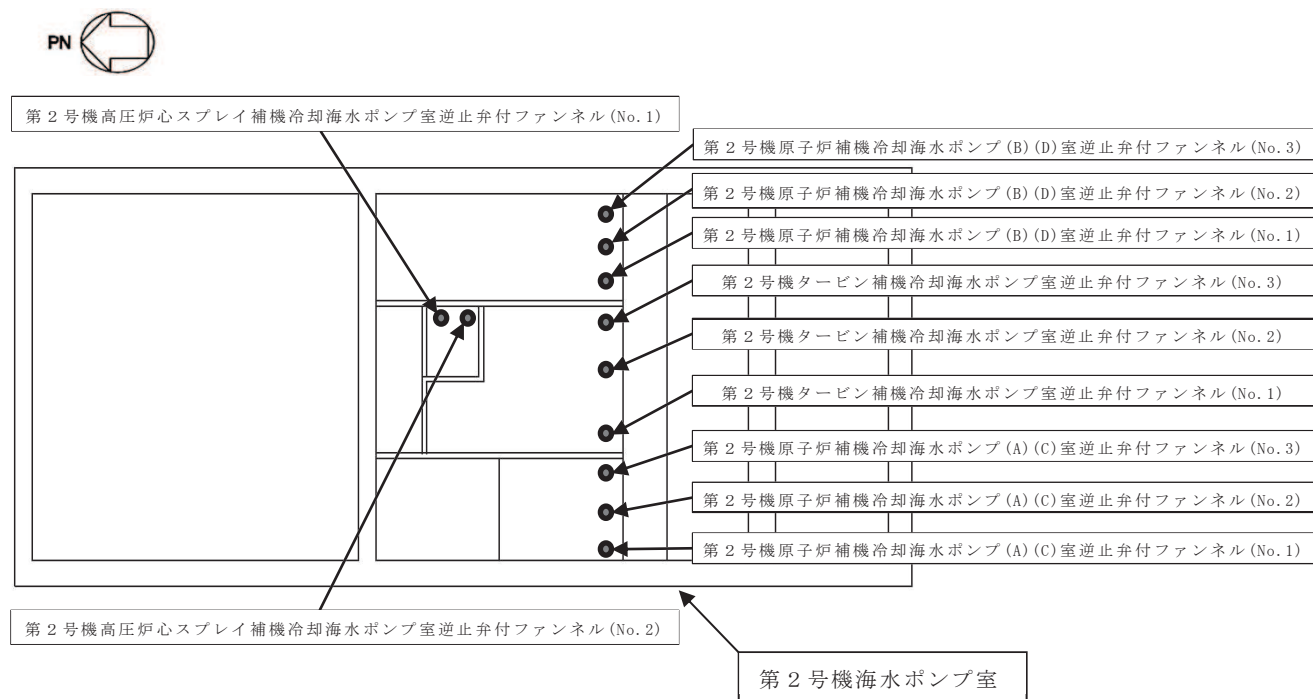


図2-1 逆止弁付ファンネルの設置位置図

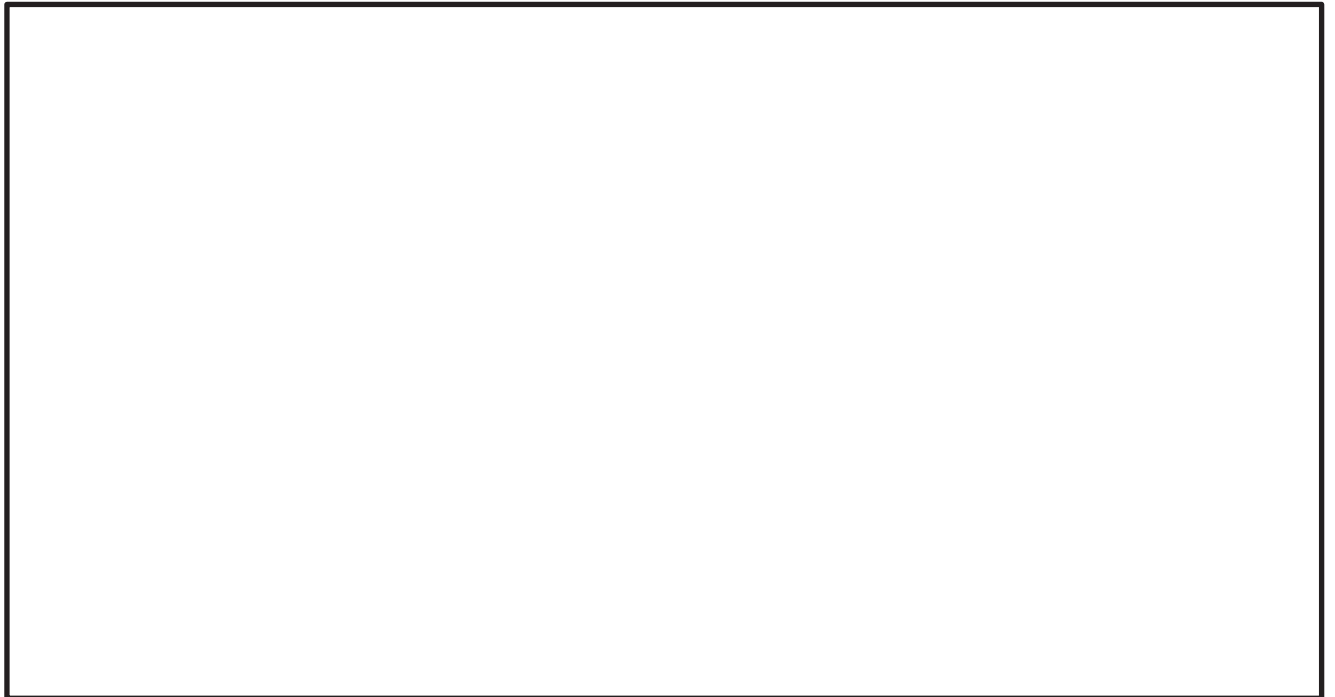


図 2-2 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

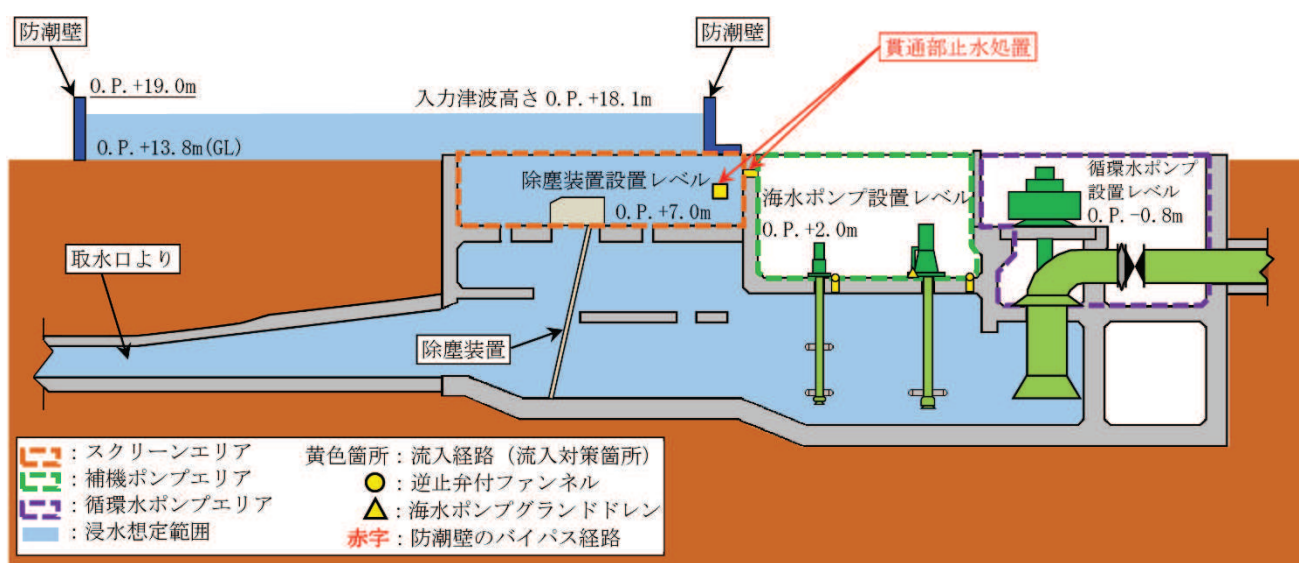



図 2-3 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (A-A 断面図)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.2 構造計画

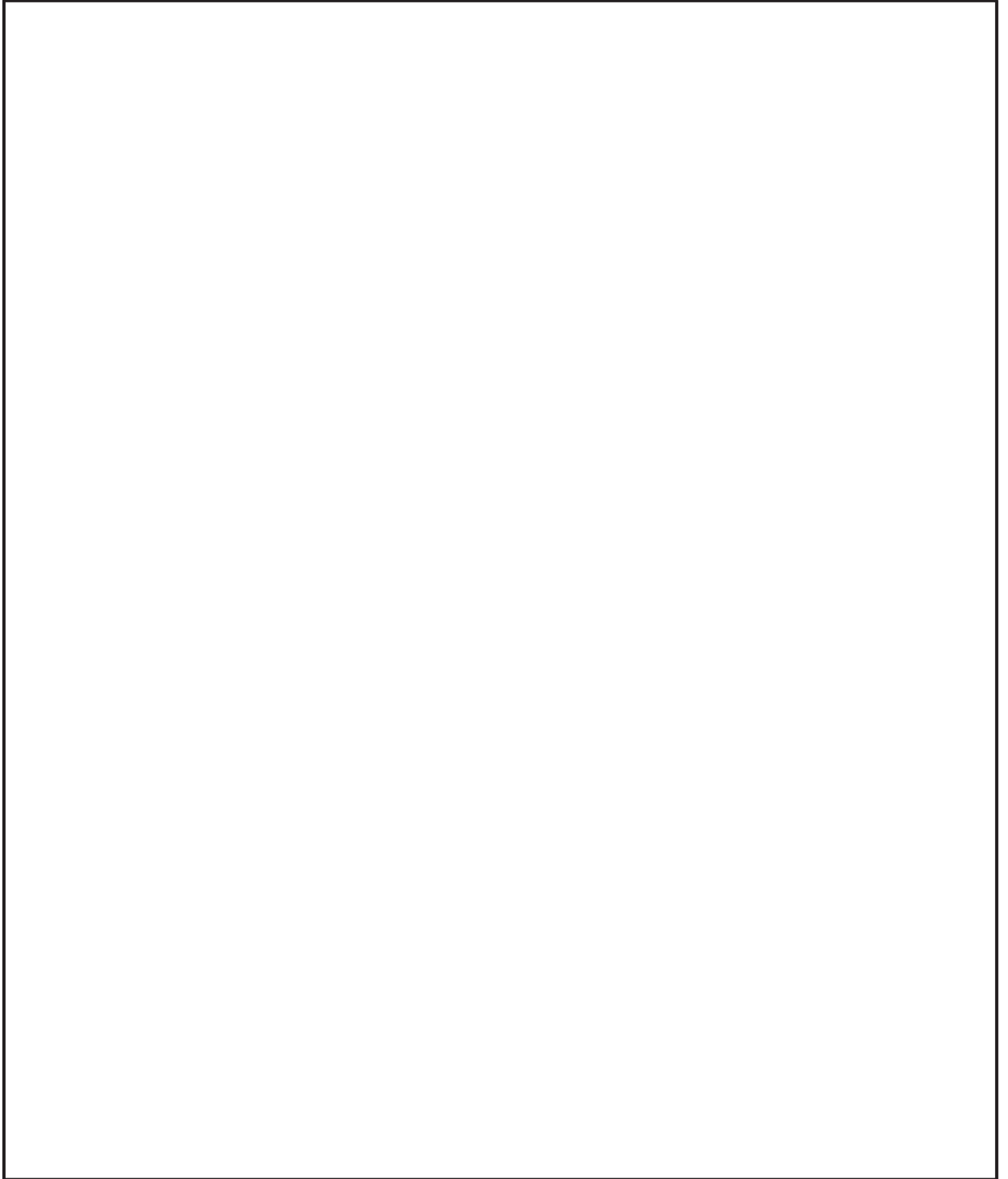
逆止弁付ファンネルは、圧縮スプリングのばね圧によりサポータを介して弁体を上側に引き上げていることから、常時弁体と弁座が密着している。弁体と弁座が密着している状態で津波が逆止弁付ファンネルの下側から流入してきた場合、弁体が更に押上げられ、弁座により密着することで止水する。逆止弁付ファンネルの構造計画を表 2-1 に、構造図詳細を図 2-4 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第 2 号機海水ポンプ室床面の配管にねじ込み継手で固定する。	弁座を含む弁本体及び弁体で構成する。弁体は弁本体に取付金具、取付金具ピンで取付けられる。また、弁体はサポータ、ガイド、圧縮スプリングで保持される。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

図 2-4 構造図詳細



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

逆止弁付ファンネルの耐震評価は、添付書類「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」にて示す逆止弁付ファンネルの構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した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。また、逆止弁付ファンネルの機能維持評価は、逆止弁付ファンネルの固有振動数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。さらに、構造健全性評価により耐震評価を実施する評価対象部位については、逆止弁付ファンネルの機能維持評価結果に基づき構造健全性を確認することで実施する。応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価の評価結果を「7. 評価結果」にて確認する。

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。

耐震評価フローを図 2-5 に示す。

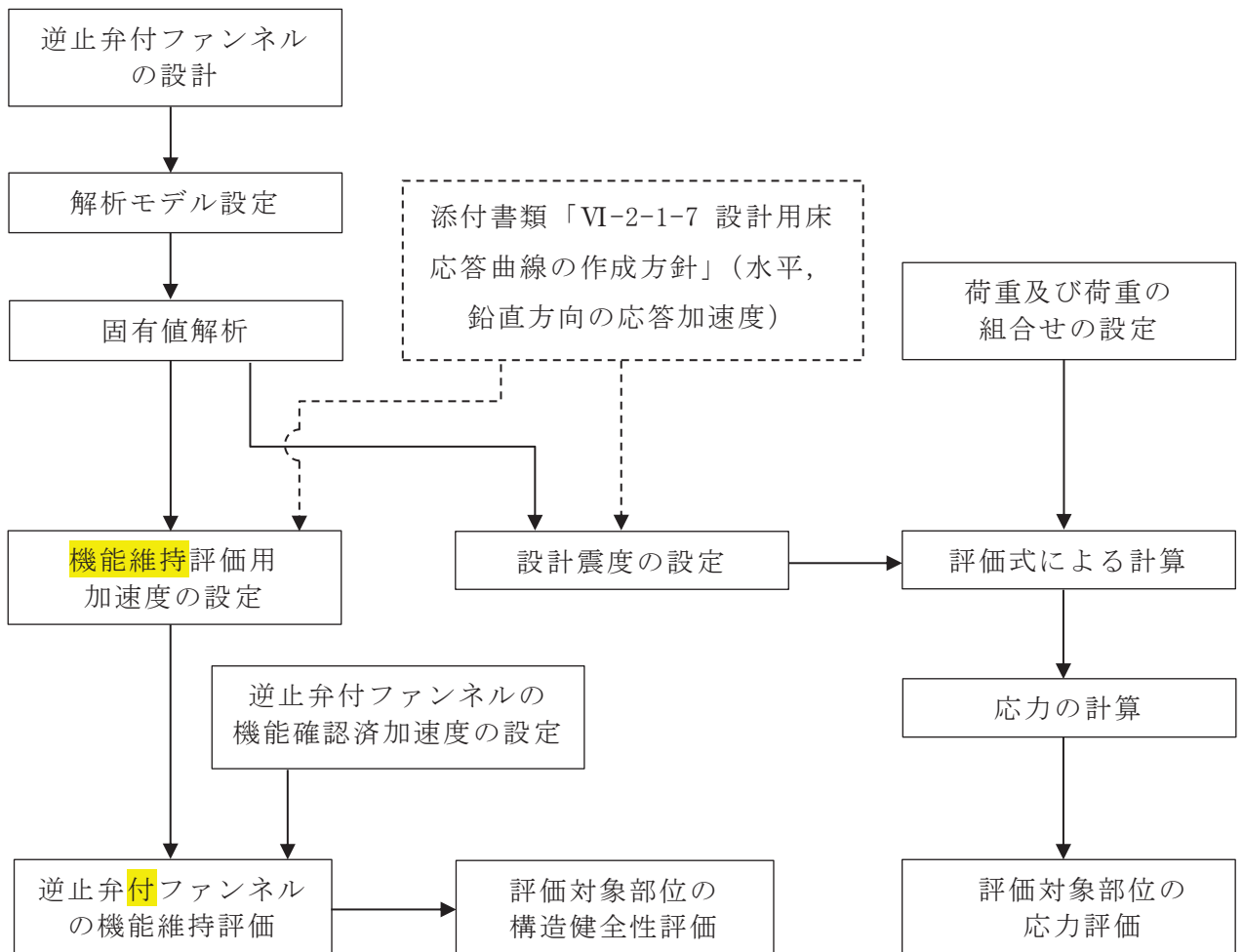


図 2-5 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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 (J E A G 4 6 0 1 ・補
-1984)
- (4) 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)
(以下「 J E A G 4 6 0 1 」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 機械工学便覧 (日本機械学会)

2.5 記号の説明

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 応力評価に用いる記号

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	—
C_V	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	弁体の断面積	mm^2
D_1	弁本体の外径	mm
D_2	弁体の外径	mm
d_1	弁本体の内径	mm
F_{H1}	弁本体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}	弁体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	mm^4
L_1	弁全体の長さ	mm
m_1	逆止弁付ファンネルの全質量	kg
m_2	弁体の質量	kg
t	弁体の厚さ	mm
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
D	固定荷重	—
S	設計・建設規格の付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料の各温度における許容引張応力	MPa
W_{d1}	逆止弁付ファンネルの自重	N
W_{d2}	弁体の自重	N
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる引張応力	MPa
σ_{V2}	弁体に加わる曲げ応力	MPa

3. 評価対象部位

逆止弁付ファンネルは、弁本体及び弁体等で構成されている。耐震評価においては、応力評価による評価対象部位として、津波を直接受ける部位である弁本体及び弁体を選定し、構造健全性評価による評価対象部位として圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部を選定する。また、機能維持評価による評価対象部位として、逆止弁付ファンネル（一式）を選定する。逆止弁付ファンネルの評価対象部位について、図 3-1 に示す。



図中の①～②は応力評価による評価対象部位を、③～⑧は構造健全性評価による評価対象部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆止弁付ファンネルの評価対象部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

逆止弁付ファンネルの構造に応じて、保守的に固有振動数が小さく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、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 20Hz 以上であることを確認する。

4.1.1 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、円筒状の弁本体の断面をもつ梁として設定する。モデル化の概略を図 4-1 に示す。

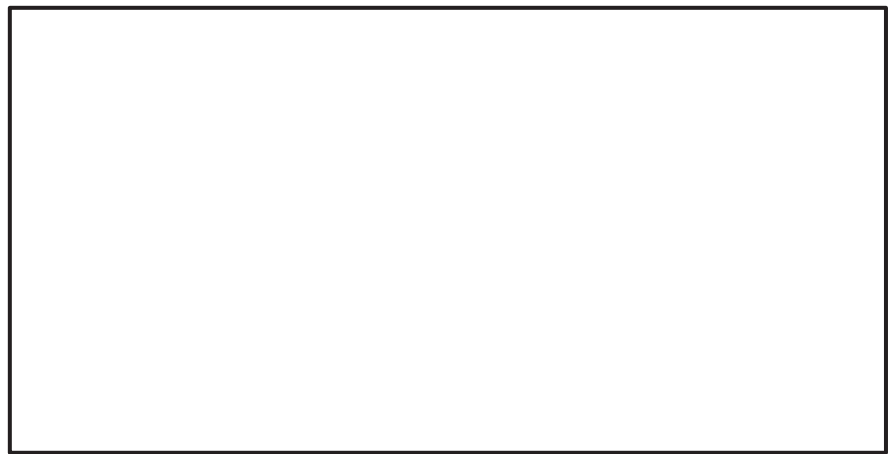


図 4-1 モデル化の概略

4.1.2 記号の説明

逆止弁付ファンネルの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
d_m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D_m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	弁本体の縦弾性係数	MPa
f	弁本体の一次固有振動数	Hz
I_m	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
k	ばね定数	N/m
ℓ_1	弁本体の長さ	mm
m	逆止弁付ファンネルの全質量	kg

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.3 固有振動数の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。水平方向の固有振動数 f を以下の式より算出する。なお、鉛直方向の固有振動数については、逆止弁付ファンネルの構造上、水平方向よりも鉛直方向の方が剛構造となるため、水平方向の固有振動数のみを確認する。

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

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{l_1^3} \times 10^3$$

弁本体の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_m は、以下の式より算出する。

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

4.2 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

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル 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)
SUS316L	1.5	73	70

弁本体の長さ ℓ ₁ (mm)	弁本体の 縦弾性係数* E (MPa)
140	1.94×10 ⁵

注記* : 「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
逆止弁付ファンネル	878

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

逆止弁付ファンネルの耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

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、逆止弁付ファンネルの自重 W_{d1} 及び弁体の自重 W_{d2} を考慮し、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_{V1} 、 F_{V2} を考慮し、以下の式より算出する。

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

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

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

5.2.2 荷重の組合せ

逆止弁付ファンネルの耐震計算にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分	機器名称	耐震重要度分類
浸水防護施設 (浸水防止設備)	逆止弁付ファンネル	S

荷重の組合せ ^{*1*2}	許容応力状態
D + S _s	Ⅲ _A S

注記 *1: Dは固定荷重, S_sは基準地震動 S_s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, 保守的にこれを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

逆止弁付ファンネルの弁本体及び弁体の許容限界を表 5-2 に, 許容応力評価条件を表 5-3 にそれぞれ示す。また, 弁本体及び弁体の許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。

表 5-2 弁本体及び弁体の許容限界

許容応力状態	許容限界 ^{*1}		
	一次応力		
Ⅲ _A S ^{*3}	引張	曲げ	組合せ ^{*2}
	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記 *1: 引張及び曲げは, J E A G 4 6 0 1 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: 引張応力と曲げ応力の組合せ応力である。

*3: 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 弁本体及び弁体の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S * (MPa)
弁本体	SUS316L	40	111
弁体			

注記*：鉄鋼材料（ボルト材を除く）の許容引張応力を示す。

表 5-4 弁本体及び弁体の許容応力算出結果

許容応力状態	評価対象 部位	許容限界		
		一次応力		
		引張 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
Ⅲ _A S	弁本体	133	133	133
	弁体	—	133	—

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す逆止弁付ファンネルにおける設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度を表 5-5 に示す。

なお，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成した，海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の基準地震動 S_s に対する設計用震度（強度評価用：1.2ZPA）を表 5-6 に示す。

表 5-5 逆止弁付ファンネルの設計震度

地震動	床面高さ* ¹ O. P. (mm)	場所	設計震度* ²	
基準地震動 S_s	1250	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア)	水平方向 C_H	1.83
			鉛直方向 C_V	1.94

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有値解析」より，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 5-6 海水ポンプ室（補機ポンプエリア）設置する機器等の設計用震度

（強度評価用：1.2ZPA）（基準地震動 S s 7 波包絡，不確かさ包絡）

標高* O.P. (m)	動的震度 (1.2ZPA) (単位：G)			
	NS	EW	水平包絡	鉛直
14.800	<u>1.56</u>	<u>7.34</u>	<u>7.34</u>	<u>2.72</u>
11.025	<u>1.17</u>	<u>3.15</u>	<u>3.15</u>	<u>2.47</u>
7.250	1.03	2.76	2.76	<u>2.26</u>
2.250	0.94	1.83	1.83	1.94
-0.550	0.89	<u>1.88</u>	<u>1.88</u>	1.48
-7.025	0.82	1.50	1.50	1.44
-9.800	0.82	1.18	1.18	1.44

注記 *：耐津波設計においては，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため，表記 O.P. より -1m した値を記載する。

5.5 計算方法

5.5.1 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。

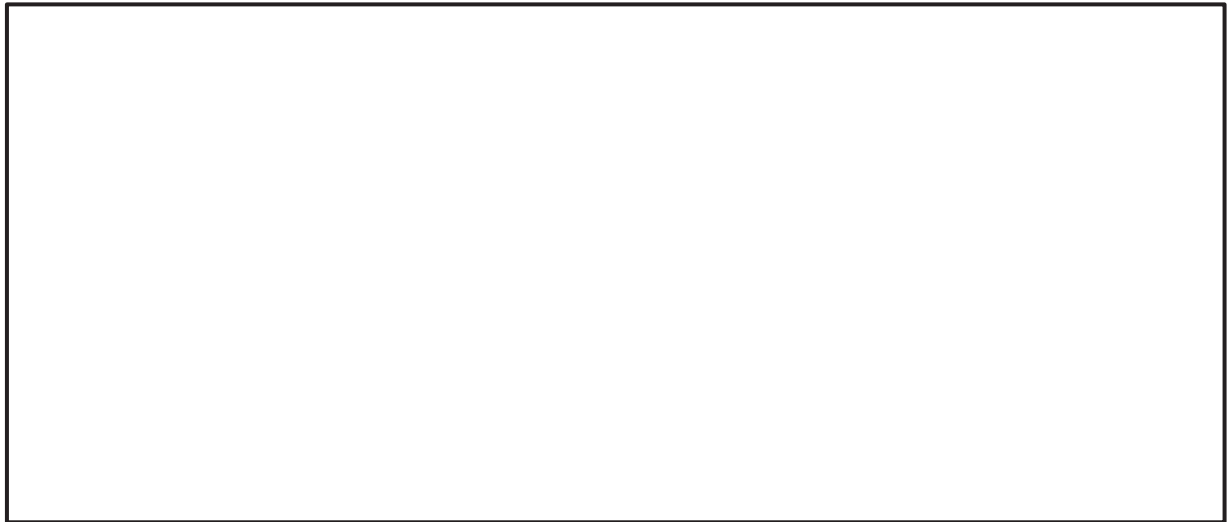


図 5-1 弁本体の構造図

(1) 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。

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

(2) 水平応答加速度負荷時

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。

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

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

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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.2 弁体

(1) 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により弁体は弁座に押し付けられ曲げ応力が発生する。曲げ応力 σ_{v2} を以下の式より算出する。ただし、弁体の自重による荷重 W_{d2} は曲げ応力 σ_{v2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。なお、曲げ応力の算出については、機械工学便覧（日本機械学会）より、円板、周辺単純支持、等分布荷重の応力計算式を用いる。

$$\sigma_{v2} = 1.24 \cdot \frac{\left(\frac{W_{d2} + F_{v2}}{A_2} \right)}{t^2} \cdot \left(\frac{D_2}{2} \right)^2$$



図 5-2 弁体に加わる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.6 計算条件

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件を表 5-7 に示す。

表 5-7 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	1.5	140	73

弁本体の内径 d_1 (mm)	弁本体の断面積 A_1 (mm ²)
70	336.9

弁体の材質	弁体の質量 m_2 (kg)	弁体の外径 D_2 (mm)	弁体の厚さ t (mm)
SUS316L	0.10	61	2

弁体の断面積 A_2 (mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)
2.922×10^3	9.80665

6. 機能維持評価

「3. 評価対象部位」にて評価対象部位として設定した逆止弁付ファンネルの地震時及び地震後の機能維持を確認するため、「6.1 機能維持評価方法」に示すとおり、逆止弁付ファンネルの加振試験後に逆止弁付ファンネルの漏えい試験を実施することにより逆止弁付ファンネルの機能維持評価を実施した。

6.1 機能維持評価方法

逆止弁付ファンネルの固有振動数を考慮して、地震時における逆止弁付ファンネル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。逆止弁付ファンネル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、逆止弁付ファンネルに対して、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-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に示す地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波を想定し、0.18MPa 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。また、最大漏えい量となる水圧（0.01MPa）においても、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、逆止弁付ファンネルの地震時及び地震後の機能維持を確認した。（「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。）

なお、固有値解析結果により、逆止弁付ファンネルの固有振動数 20Hz 以上であることを確認したため、機能維持評価用加速度には設置床の最大応答加速度を使用する。機能維持評価用加速度を表 6-2 に示す。

表 6-1 逆止弁付ファンネルの機能確認済加速度

評価対象部位	機能確認済加速度(×9.8m/s ²)	
	水平方向	鉛直方向
逆止弁付ファンネル	6.0	6.0

表 6-2 逆止弁付ファンネルの機能維持評価用加速度

海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の評価用震度

（静的・動的機能評価用：1.0ZPA）（基準地震動 S s 7 波包絡，不確かさ包絡）

標高* O. P. (m)	動的震度 (1.0ZPA) (単位：G)			
	NS	EW	水平包絡	鉛直
14.800	<u>1.30</u>	<u>6.12</u>	<u>6.12</u>	<u>2.27</u>
11.025	<u>0.98</u>	<u>2.62</u>	<u>2.62</u>	<u>2.06</u>
7.250	0.86	2.30	2.30	<u>1.89</u>
2.250	0.78	<u>1.53</u>	<u>1.53</u>	1.61
-0.550	0.74	1.57	1.57	1.23
-7.025	0.68	1.25	1.25	1.20
-9.800	0.68	0.98	0.98	1.20

注記 *：耐津波設計においては，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため，表記 O. P. より -1m した値を記載する。

7. 評価結果

7.1 基準地震動 S_s に対する評価対象部位の応力評価

基準地震動 S_s に対する評価対象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 に対する評価対象部位の応力評価

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	弁本体	引 張	1
曲 げ		1	133
組合せ*		2	133
弁体	曲 げ	1	133

注記 * : 引張 σ_{V1} + 曲げ σ_{H1} は, $\sigma_{V1} + \sigma_{V1} \leq 1.2S$ で評価

7.2 基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価

基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価結果を表 7-2 に示す。表 7-2 に示すとおり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逆止弁付ファンネルの機能維持を確認した。

表 7-2 逆止弁付ファンネルの機能維持評価結果

評価対象 部位	床面高さ O.P. (mm)	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*	機能確認 済加速度	機能維持 評価用 加速度*	機能確認 済加速度
逆止弁付 ファンネル	1250	海水ポン プ室 (補 機ポンプ エリア)	1.53	6.0	1.61	6.0

注記 * : 「4. 固有値解析」より, 逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため, 機能維持評価用加速度には海水ポンプ室 (補機ポンプエリア) における最大応答加速度を使用した。

7.3 基準地震動 S_s に対する評価対象部位の構造健全性評価

「7.2 基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価」に示したとおり、逆止弁付ファンネルの機能維持を確認したことにより、評価対象部位である圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部が構造健全性を有することを確認した。（「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。）

6. 浸水防護施設に関する補足資料

6.5 浸水防止設備に関する補足説明

6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明

6.5.5.2 逆止弁付ファンネル（第3号機）の耐震性についての計算書に関する補足説明

目 次

1. 概要	6.5.5.2-1
2. 一般事項	6.5.5.2-2
2.1 配置概要	6.5.5.2-2
2.2 構造計画	6.5.5.2-4
2.3 評価方針	6.5.5.2-6
2.4 適用規格・基準等	6.5.5.2-8
2.5 記号の説明	6.5.5.2-9
3. 評価対象部位	6.5.5.2-10
4. 固有値解析	6.5.5.2-11
4.1 固有振動数の計算方法	6.5.5.2-11
4.1.1 解析モデル	6.5.5.2-11
4.1.2 記号の説明	6.5.5.2-11
4.1.3 固有振動数の計算	6.5.5.2-12
4.2 固有振動数の計算条件	6.5.5.2-13
4.3 固有振動数の計算結果	6.5.5.2-13
5. 構造強度評価	6.5.5.2-14
5.1 構造強度評価方法	6.5.5.2-14
5.2 荷重及び荷重の組合せ	6.5.5.2-14
5.2.1 荷重の設定	6.5.5.2-14
5.2.2 荷重の組合せ	6.5.5.2-15
5.3 許容限界	6.5.5.2-15
5.4 設計用地震力	6.5.5.2-17
5.5 計算方法	6.5.5.2-19
5.5.1 弁本体	6.5.5.2-19
5.5.2 弁体	6.5.5.2-20
5.6 計算条件	6.5.5.2-21
6. 機能維持評価	6.5.5.2-22
6.1 機能維持評価方法	6.5.5.2-22
7. 評価結果	6.5.5.2-23

7.1	基準地震動 S_s に対する評価対象部位の応力評価	6.5.5.2-23
7.2	基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価	6.5.5.2-23
7.3	基準地震動 S_s に対する評価対象部位の構造健全性評価	6.5.5.2-24

1. 概要

本書類は、添付書類「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に基づき、浸水防護施設のうち逆止弁付ファンネル（第3号機）（以下、逆止弁付ファンネルという。）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確認するものである。耐震評価は、逆止弁付ファンネルの固有値解析、応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価により行う。

逆止弁付ファンネルは、浸水防護施設としてS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を示す。

なお、逆止弁付ファンネルの耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

逆止弁付ファンネルは、第3号機海水熱交換器建屋の床面に設置する。逆止弁付ファンネルの設置位置図を図2-1、図2-2 及び図2-3に示す。

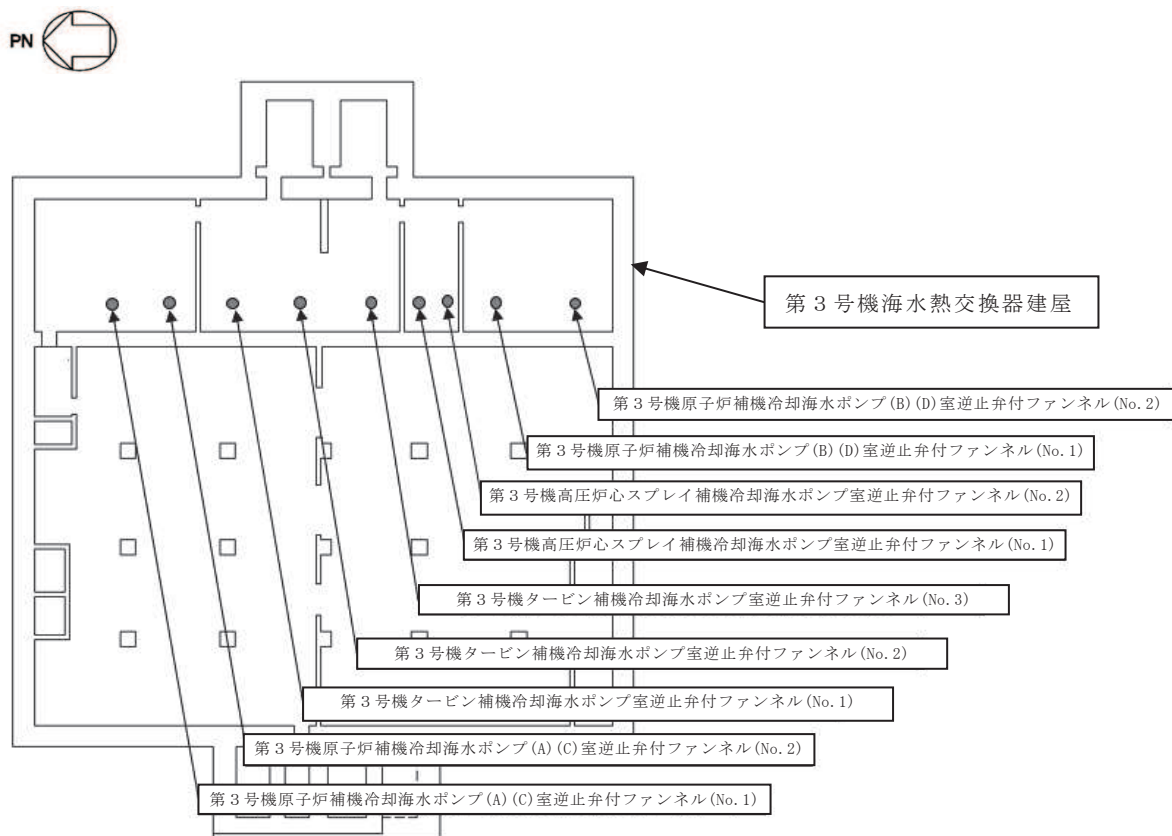


図2-1 逆止弁付ファンネルの設置位置図

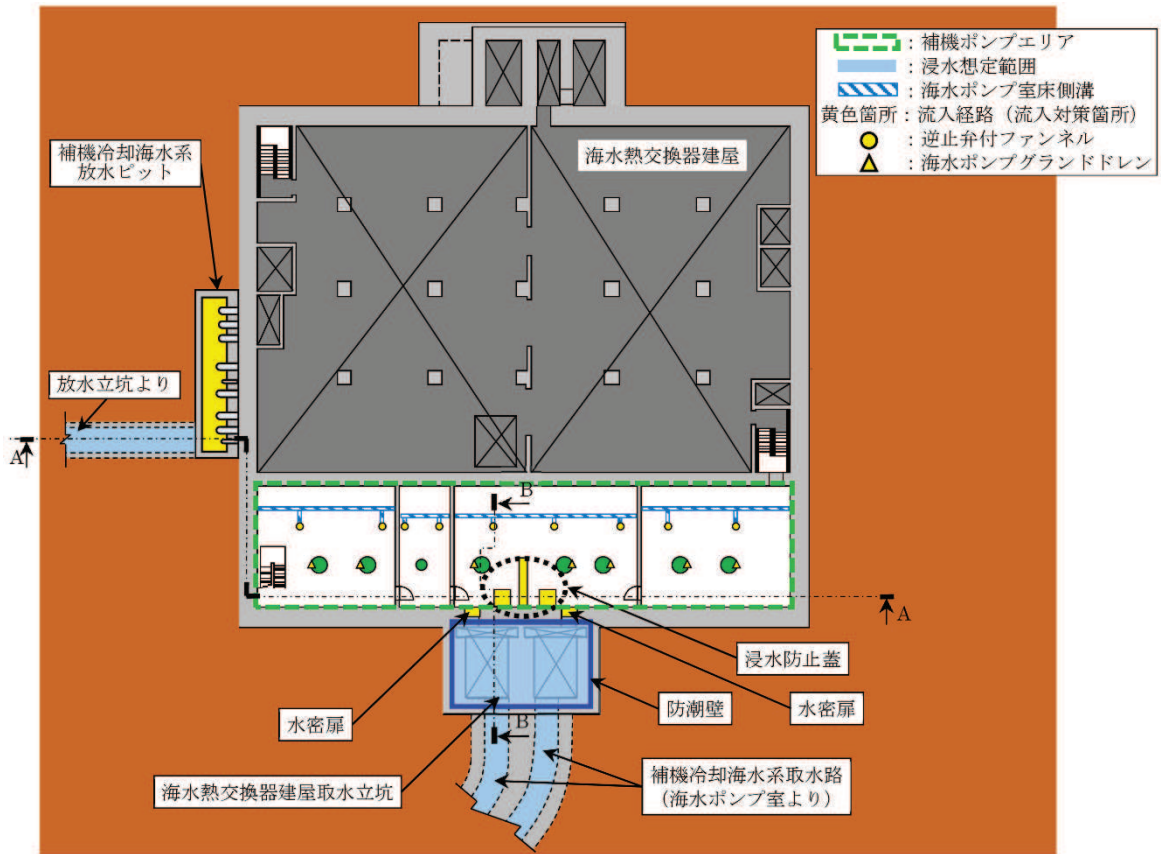


図 2-2 3号機 海水熱交換器建屋 流入対策配置図 (平面図)

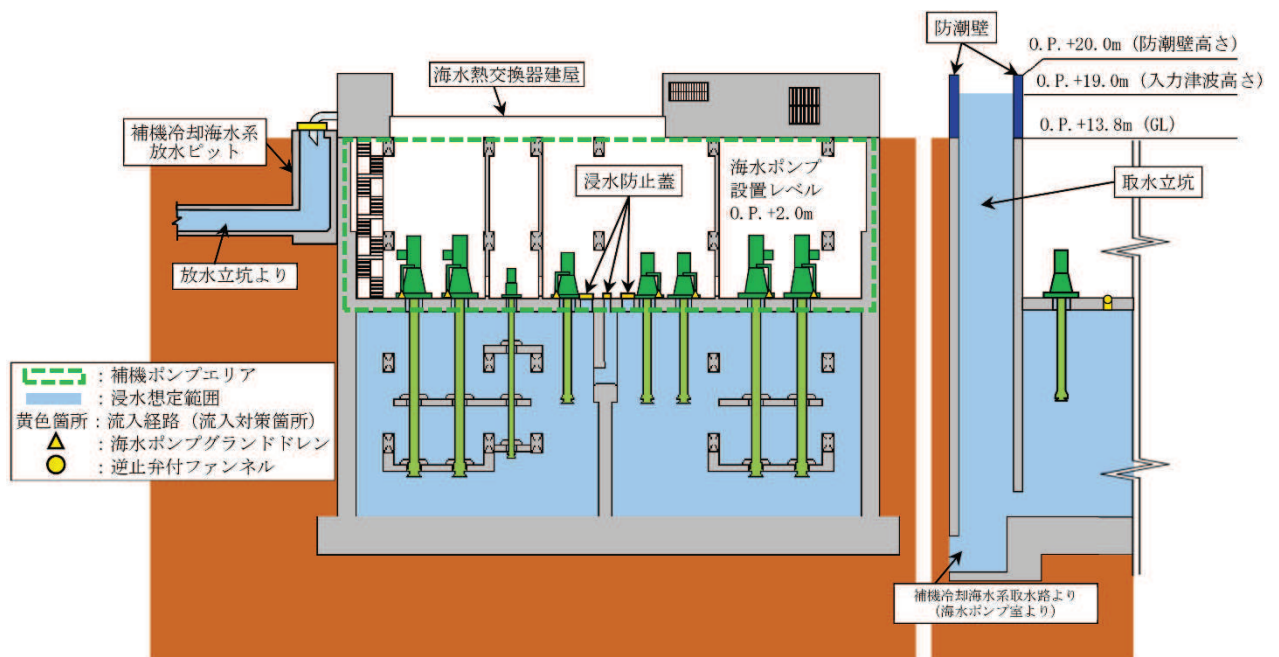



図 2-3 第 3 号機 海水熱交換器建屋 流入対策配置図
(左:A-A 断面図 右:B-B 断面図)

2.2 構造計画

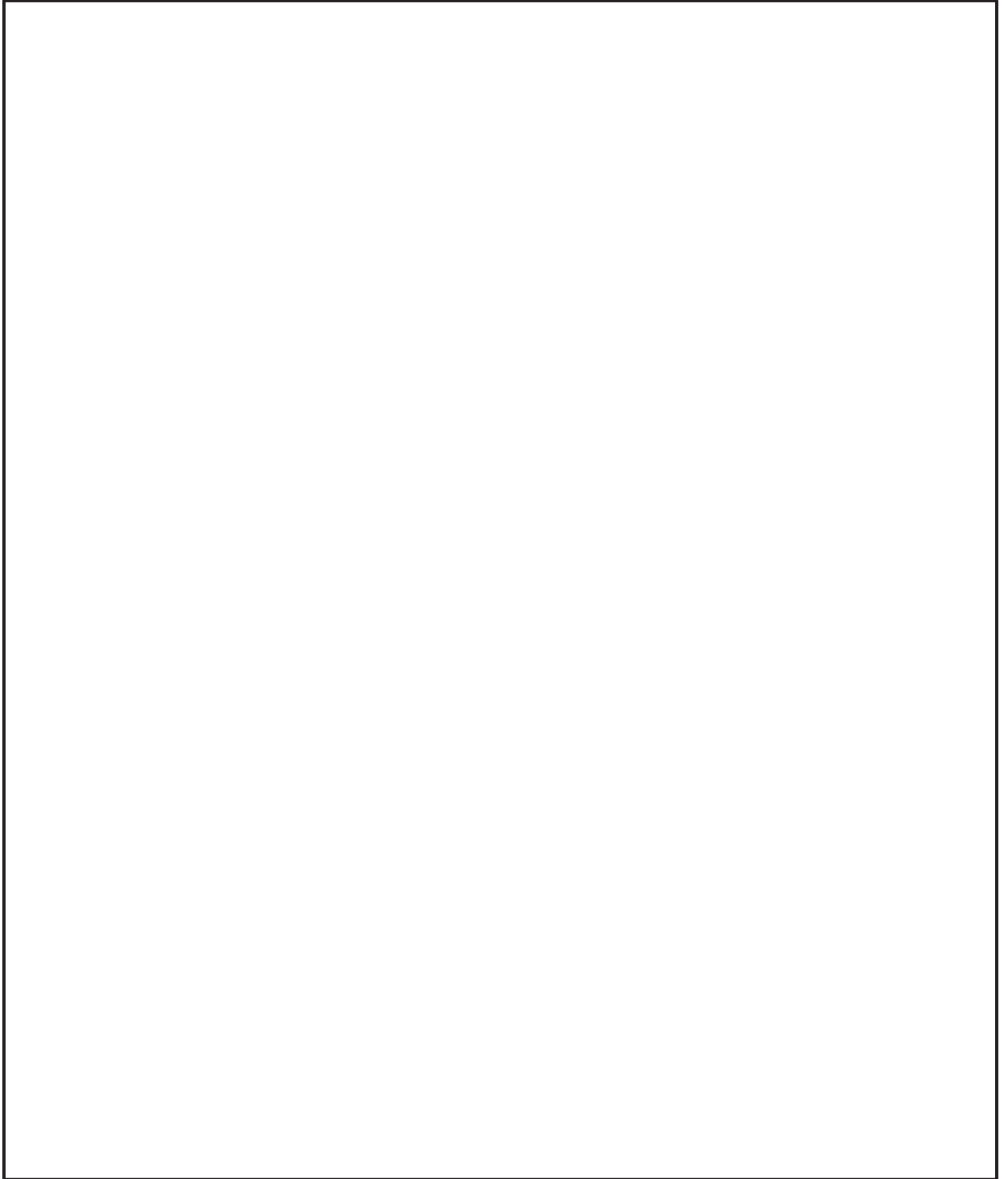
逆止弁付ファンネルは、圧縮スプリングのばね圧によりサポータを介して弁体を上側に引き上げていることから、常時弁体と弁座が密着している。弁体と弁座が密着している状態で津波が逆止弁付ファンネルの下側から流入してきた場合、弁体が更に押上げられ、弁座により密着することで止水する。逆止弁付ファンネルの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第 3 号機海水熱交換器建屋床面の配管にねじ込み継手で固定する。	弁座を含む弁本体及び弁体で構成する。弁体は弁本体に取付金具、取付金具ピンで取付けられる。また、弁体はサポータ、ガイド、圧縮スプリングで保持される。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

図 2-4 構造図詳細



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

逆止弁付ファンネルの耐震評価は、添付書類「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」にて示す逆止弁付ファンネルの構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した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。また、逆止弁付ファンネルの機能維持評価は、逆止弁付ファンネルの固有振動数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。さらに、構造健全性評価により耐震評価を実施する評価対象部位については、逆止弁付ファンネルの機能維持評価結果に基づき構造健全性を確認することで実施する。応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価の評価結果を「7. 評価結果」にて確認する。

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。

耐震評価フローを図 2-5 に示す。

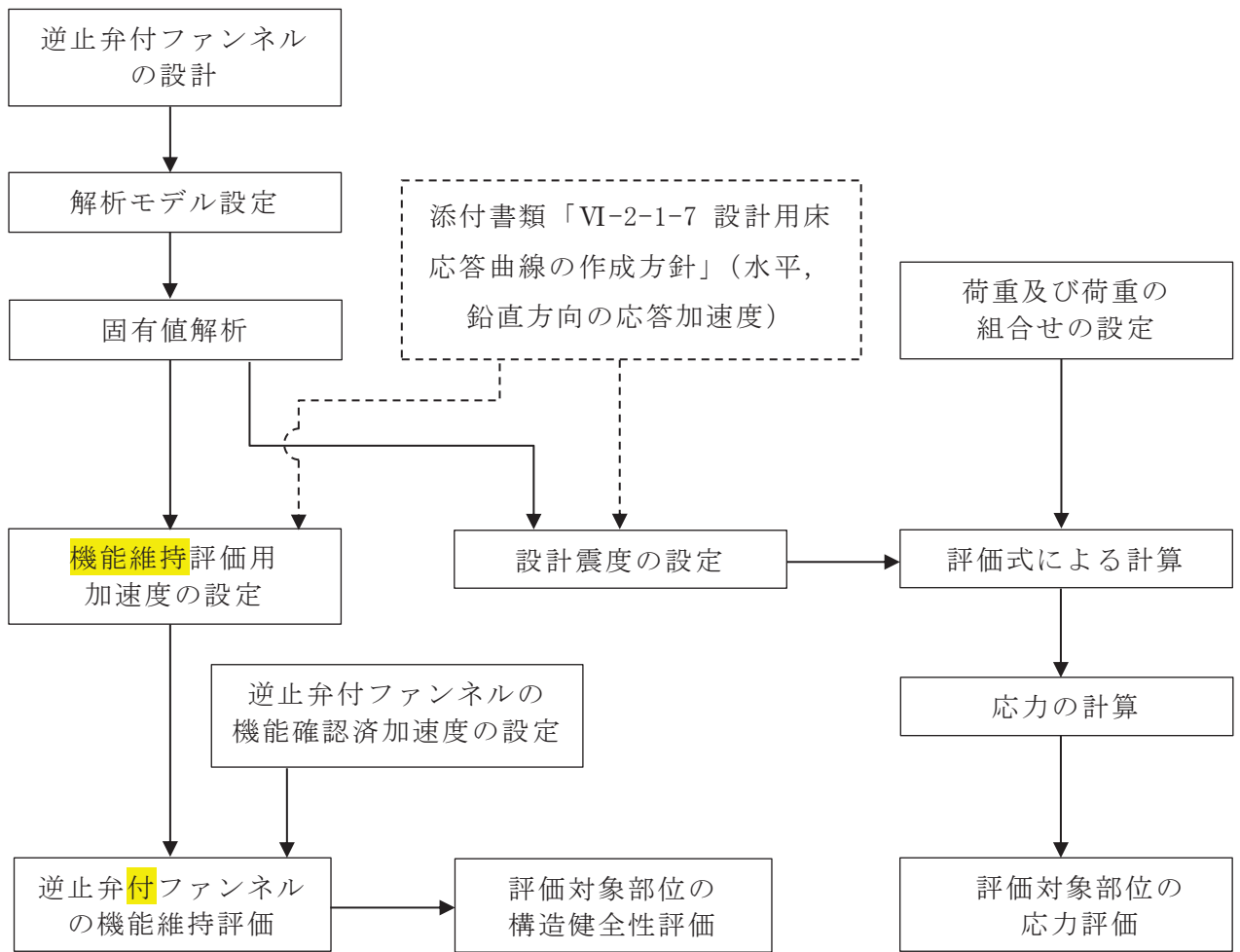


図 2-5 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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 (J E A G 4 6 0 1 ・補
-1984)
- (4) 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)
(以下「 J E A G 4 6 0 1 」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 機械工学便覧 (日本機械学会)

2.5 記号の説明

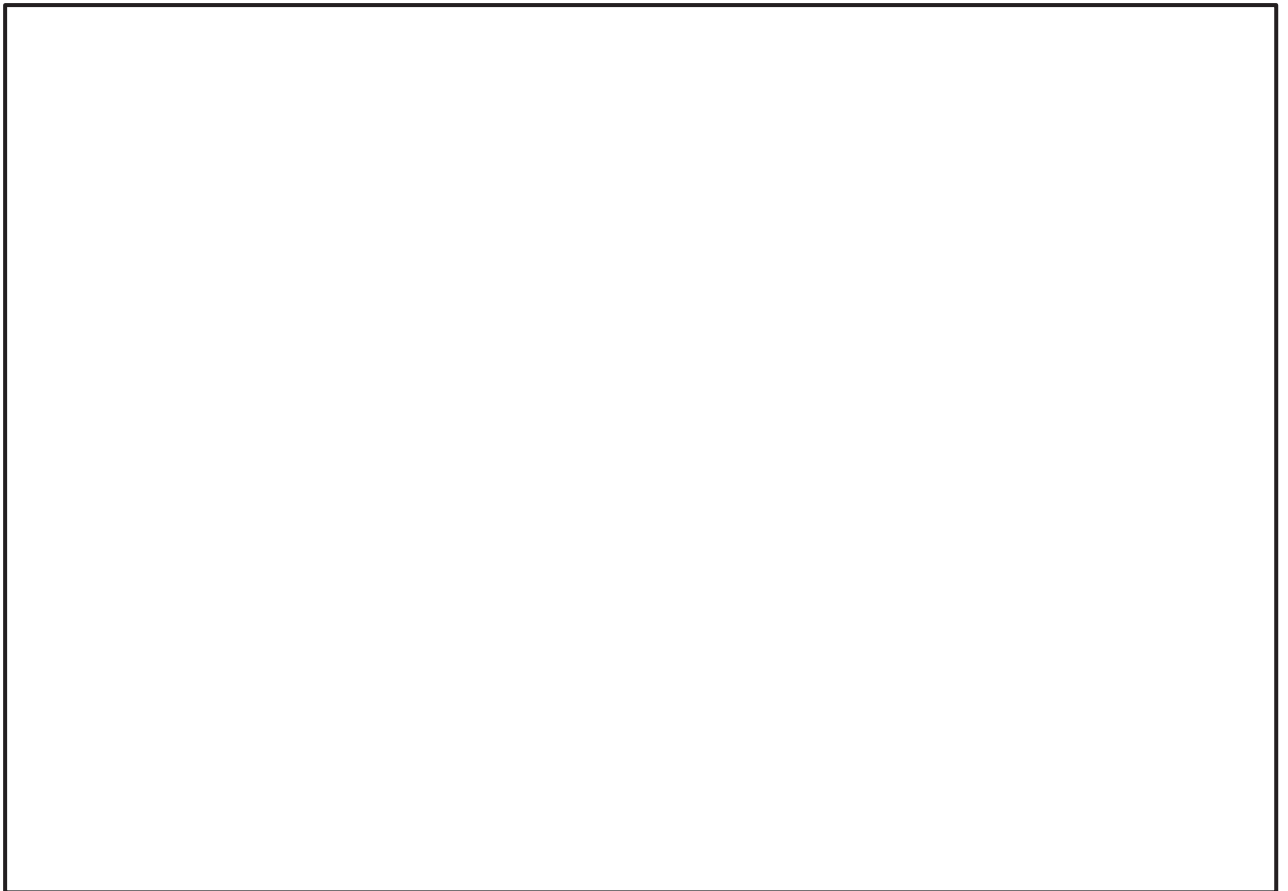
逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 応力評価に用いる記号

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	—
C_V	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	弁体の断面積	mm^2
D_1	弁本体の外径	mm
D_2	弁体の外径	mm
d_1	弁本体の内径	mm
F_{H1}	弁本体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}	弁体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	mm^4
L_1	弁全体の長さ	mm
m_1	逆止弁付ファンネルの全質量	kg
m_2	弁体の質量	kg
t	弁体の厚さ	mm
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
D	固定荷重	—
S	設計・建設規格の付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料の各温度における許容引張応力	MPa
W_{d1}	逆止弁付ファンネルの自重	N
W_{d2}	弁体の自重	N
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる引張応力	MPa
σ_{V2}	弁体に加わる曲げ応力	MPa

3. 評価対象部位

逆止弁付ファンネルは、弁本体及び弁体等で構成されている。耐震評価においては、応力評価による評価対象部位として、津波を直接受ける部位である弁本体及び弁体を選定し、構造健全性評価による評価対象部位として圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部を選定する。また、機能維持評価による評価対象部位として、逆止弁付ファンネル（一式）を選定する。逆止弁付ファンネルの評価対象部位について、図 3-1 に示す。



図中の①～②は応力評価による評価対象部位を、③～⑧は構造健全性評価による評価対象部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆止弁付ファンネルの評価対象部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

逆止弁付ファンネルの構造に応じて、保守的に固有振動数が小さく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、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 20Hz 以上であることを確認する。

4.1.1 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、円筒状の弁本体の断面をもつ梁として設定する。モデル化の概略を図 4-1 に示す。

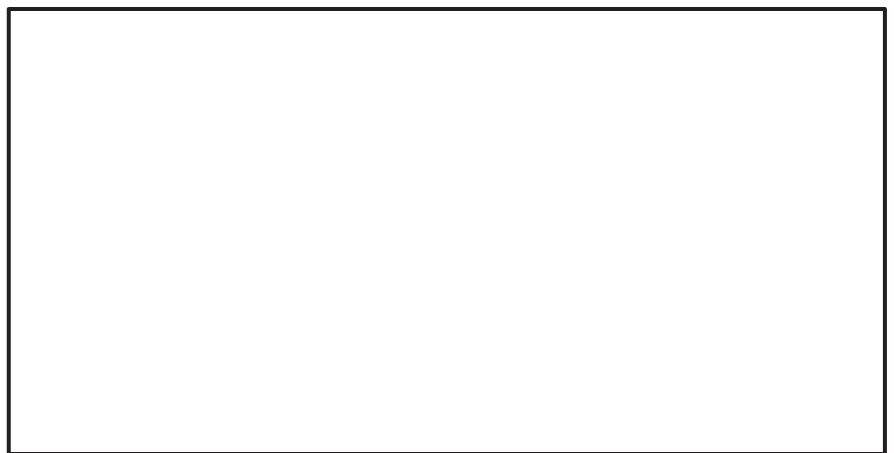


図 4-1 モデル化の概略

4.1.2 記号の説明

逆止弁付ファンネルの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
d_m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D_m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	弁本体の縦弾性係数	MPa
f	弁本体の一次固有振動数	Hz
I_m	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
k	ばね定数	N/m
ℓ_1	弁本体全体の長さ	mm
m	逆止弁付ファンネルの全質量	kg

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.3 固有振動数の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。水平方向の固有振動数 f を以下の式より算出する。なお、鉛直方向の固有振動数については、逆止弁付ファンネルの構造上、水平方向よりも鉛直方向の方が剛構造となるため、水平方向の固有振動数のみを確認する。

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

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{l_1^3} \times 10^3$$

弁本体の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_m は、以下の式より算出する。

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

4.2 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

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル 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)
SUS316L	1.5	73	70

弁本体全体の長さ ℓ ₁ (mm)	弁本体の 縦弾性係数* E (MPa)
140	1.94×10 ⁵

注記* : 「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
逆止弁付ファンネル	878

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

逆止弁付ファンネルの耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

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、逆止弁付ファンネルの自重 W_{d1} 及び弁体の自重 W_{d2} を考慮し、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_{V1} 、 F_{V2} を考慮し、以下の式より算出する。

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

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

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

5.2.2 荷重の組合せ

逆止弁付ファンネルの耐震計算にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分	機器名称	耐震重要度分類
浸水防護施設 (浸水防止設備)	逆止弁付ファンネル	S

荷重の組合せ ^{*1*2}	許容応力状態
D + S _s	Ⅲ _A S

注記 *1: Dは固定荷重, S_sは基準地震動 S_s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, 保守的にこれを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

逆止弁付ファンネルの弁本体及び弁体の許容限界を表 5-2 に, 許容応力評価条件を表 5-3 に示す。また, 弁本体及び弁体の許容応力算出結果を表 5-4 に示す。

表 5-2 弁本体及び弁体の許容限界

許容応力状態	許容限界 ^{*1}		
	一次応力		
Ⅲ _A S ^{*3}	引張	曲げ	組合せ ^{*2}
	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記 *1: 引張及び曲げは, J E A G 4 6 0 1 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: 引張応力と曲げ応力の組合せ応力である。

*3: 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 弁本体及び弁体の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S * (MPa)
弁本体	SUS316L	40	111
弁体			

注記*：鉄鋼材料（ボルト材を除く）の許容引張応力を示す。

表 5-4 弁本体及び弁体の許容応力算出結果

許容応力状態	評価対象 部位	許容限界		
		一次応力		
		引張 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
Ⅲ _A S	弁本体	133	133	133
	弁体	—	133	—

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す逆止弁付ファンネルにおける設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度を表 5-5 に示す。

なお、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成した、3号機海水熱交換器建屋の基準地震動 S_s に対する設計用震度（強度評価用：1.2ZPA）を表 5-6 に示す。

表 5-5 逆止弁付ファンネルの設計震度

地震動	床面高さ* ¹ O. P. (mm)	場所	設計震度* ²	
基準地震動 S_s	7000	3号機海水熱交換器 建屋	水平方向 C_H	2.24
			鉛直方向 C_V	1.59

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有値解析」より、逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、3号機海水熱交換器建屋の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 5-6 3号機海水熱交換器建屋内機器等の設計用震度
 (強度評価用：1.2ZPA) (基準地震動 S s 7 波包絡, 不確かさ包絡)

標高* O.P.(m)	動的震度(1.2ZPA) (単位:G)			
	NS	EW	水平包絡	鉛直
15.0	2.95	2.49	2.95	1.95
8.0	2.24	1.88	2.24	1.59
-1.1	1.74	1.67	1.74	1.24
-9.5	1.06	1.08	1.08	0.99

注記 * : 耐津波設計においては, 平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う, 牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため, 表記 O.P. より -1m した値を記載する。

5.5 計算方法

5.5.1 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 弁本体の構造図

(1) 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。

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

(2) 水平応答加速度負荷時

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。

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

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

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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.2 弁体

(1) 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により弁体は弁座に押し付けられ曲げ応力が発生する。曲げ応力 σ_{v2} を以下の式より算出する。ただし、弁体の自重による荷重 W_{d2} は曲げ応力 σ_{v2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。なお、曲げ応力の算出については、機械工学便覧（日本機械学会）より、円板、周辺単純支持、等分布荷重の応力計算式を用いる。

$$\sigma_{v2} = 1.24 \cdot \frac{\left(\frac{W_{d2} + F_{v2}}{A_2} \right)}{t^2} \cdot \left(\frac{D_2}{2} \right)^2$$

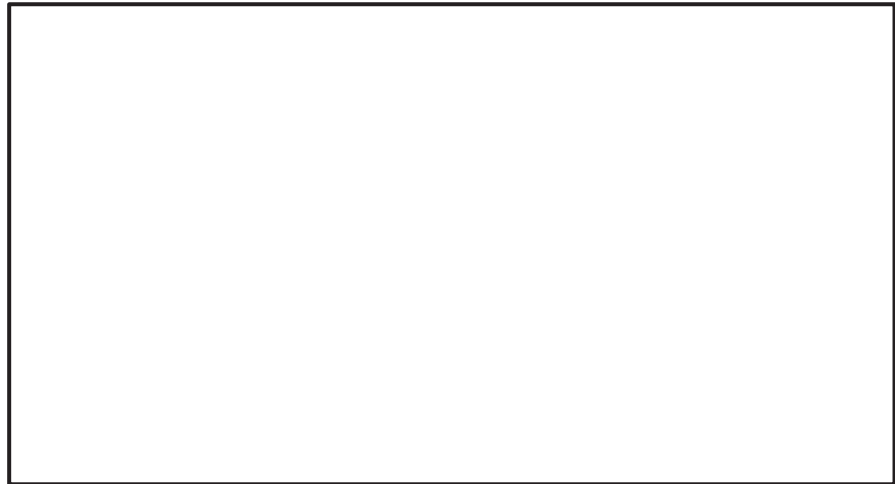


図 5-2 弁体に加わる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.6 計算条件

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件を表 5-7 に示す。

表 5-7 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	1.5	140	73

弁本体の内径 d_1 (mm)	弁本体の断面積 A_1 (mm ²)
70	336.9

弁体の材質	弁体の質量 m_2 (kg)	弁体の外径 D_2 (mm)	弁体の厚さ t (mm)
SUS316L	0.10	61	2

弁体の断面積 A_2 (mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)
2.922×10^3	9.80665

6. 機能維持評価

「3. 評価対象部位」にて評価対象部位として設定した逆止弁付ファンネルの地震時及び地震後の機能維持を確認するため、「6.1 機能維持評価方法」に示すとおり、逆止弁付ファンネルの加振試験後に逆止弁付ファンネルの漏えい試験を実施することにより逆止弁付ファンネルの機能維持評価を実施した。

6.1 機能維持評価方法

逆止弁付ファンネルの固有振動数を考慮して、地震時における逆止弁付ファンネル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。逆止弁付ファンネル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、逆止弁付ファンネルに対して、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-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に示す地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波を想定し、0.18MPa 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。また、最大漏えい量となる水圧 (0.01MPa) においても、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、逆止弁付ファンネルの地震時及び地震後の機能維持を確認した。(「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。)

なお、固有値解析結果により、逆止弁付ファンネルの固有振動数 20Hz 以上であることを確認したため、機能維持評価用加速度には設置床の最大応答加速度を使用する。機能維持評価用加速度を表 6-2 に示す。

表 6-1 逆止弁付ファンネルの機能確認済加速度

評価対象部位	機能確認済加速度(×9.8m/s ²)	
	水平方向	鉛直方向
逆止弁付ファンネル	6.0	6.0

表 6-2 逆止弁付ファンネルの機能維持評価用加速度

3号機海水熱交換器建屋内機器等の評価用震度

(静的・動的機能評価用：1.0ZPA) (基準地震動S s 7波包絡，不確かさ包絡)

標高 * O.P.(m)	動的震度(1.0ZPA) (単位:G)			
	NS	EW	水平包絡	鉛直
15.0	2.46	2.07	2.46	1.62
8.0	1.87	1.57	1.87	1.33
-1.1	1.45	1.39	1.45	1.03
-9.5	0.89	0.90	0.90	0.83

注記 * : 耐津波設計においては，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため，表記 O.P. より -1m した値を記載する。

7. 評価結果

7.1 基準地震動 S_s に対する評価対象部位の応力評価

基準地震動 S_s に対する評価対象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 に対する評価対象部位の応力評価

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	弁本体	引 張	1
曲 げ		1	133
組合せ*		2	133
弁体	曲 げ	1	133

注記 * : 引張 σ_{V1} + 曲げ σ_{H1} は, $\sigma_{V1} + \sigma_{V1} \leq 1.2S$ で評価

7.2 基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価

基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価結果を表 7-2 に示す。表 7-2 に示すとおり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逆止弁付ファンネルの機能維持を確認した。

表 7-2 逆止弁付ファンネルの機能維持評価結果

評価対象 部位	床面高さ O. P. (mm)	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*	機能確認 済加速度	機能維持 評価用 加速度*	機能確認 済加速度
逆止弁付 ファンネル	7000	3号機海 水熱交換 器建屋	1.87	6.0	1.33	6.0

注記 * : 「4. 固有値解析」より、逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、機能維持評価用加速度には 3号機海水熱交換器建屋における最大応答加速度を使用した。

7.3 基準地震動 S_s に対する評価対象部位の構造健全性評価

「7.2 基準地震動 S_s に対する逆止弁付ファンネルの機能維持評価」に示したとおり、逆止弁付ファンネルの機能維持を確認したことにより、評価対象部位である圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部が構造健全性を有することを確認した。（「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。）

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明
- 6.5.5.3 逆止弁付ファンネル（第2号機）の強度計算書に関する補足説明

目次

1.	概要	6.5.5.3-1
2.	一般事項	6.5.5.3-2
2.1	配置概要	6.5.5.3-2
2.2	構造計画	6.5.5.3-4
2.3	評価方針	6.5.5.3-6
2.4	適用規格・基準等	6.5.5.3-8
2.5	記号の説明	6.5.5.3-9
3.	評価対象部位	6.5.5.3-11
4.	固有値解析	6.5.5.3-12
4.1	固有振動数の計算方法	6.5.5.3-12
4.1.1	解析モデル	6.5.5.3-12
4.1.2	記号の説明	6.5.5.3-12
4.1.3	固有振動数の計算	6.5.5.3-13
4.2	固有振動数の計算条件	6.5.5.3-14
4.3	固有振動数の計算結果	6.5.5.3-14
5.	構造強度評価	6.5.5.3-15
5.1	構造強度評価方法	6.5.5.3-15
5.2	荷重及び荷重の組合せ	6.5.5.3-15
5.2.1	荷重の設定	16.5.5.3-15
5.2.2	荷重の組合せ	6.5.5.3-17
5.3	許容限界	6.5.5.3-17
5.4	設計用地震力	6.5.5.3-19
5.5	計算方法	6.5.5.3-21
5.5.1	荷重条件	6.5.5.3-21
5.5.2	応力計算	6.5.5.3-22
5.6	計算条件	6.5.5.3-24
6.	評価結果	6.5.5.3-25
6.1	応力評価	6.5.5.3-25
6.2	構造健全性評価	6.5.5.3-25

1. 概要

本資料は、VI-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逆止弁付ファンネル（第2号機）（以下、逆止弁付ファンネルという。）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。

なお、逆止弁付ファンネルの強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

逆止弁付ファンネルは、第2号機海水ポンプ室の床面に設置する。逆止弁付ファンネルの設置位置図を図2-1、図2-2及び図2-3に示す。

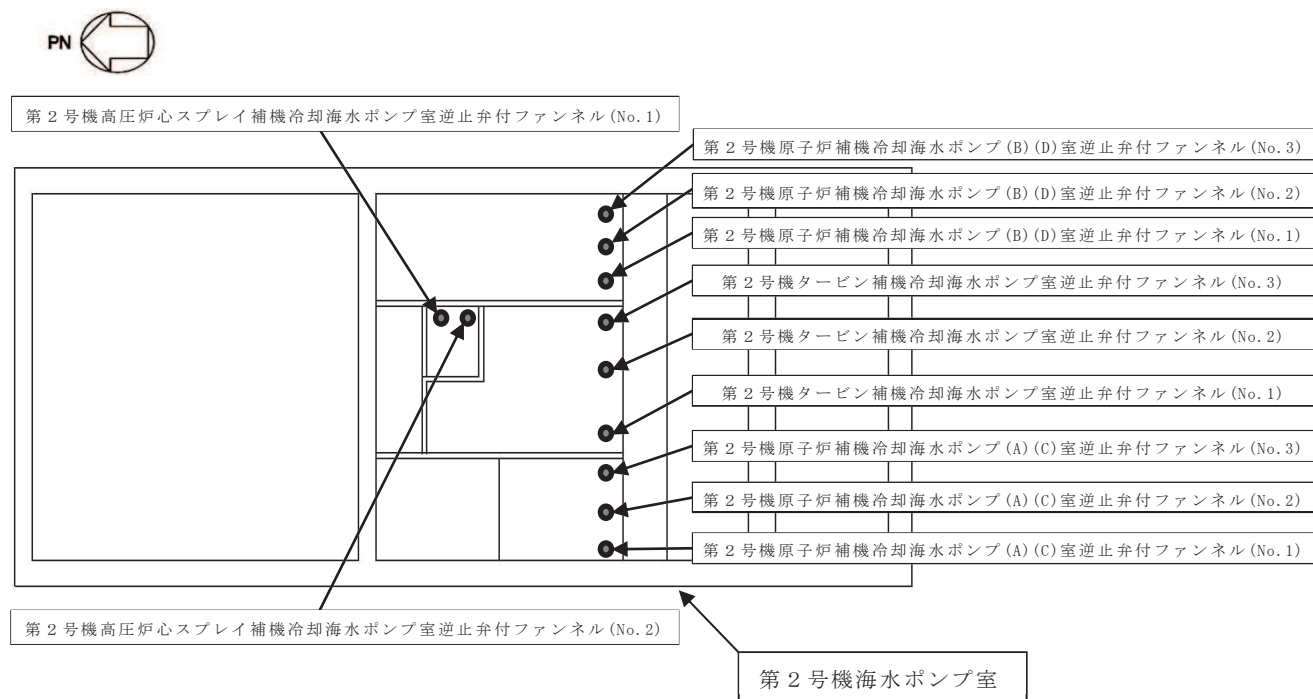


図2-1 逆止弁付ファンネルの設置位置図

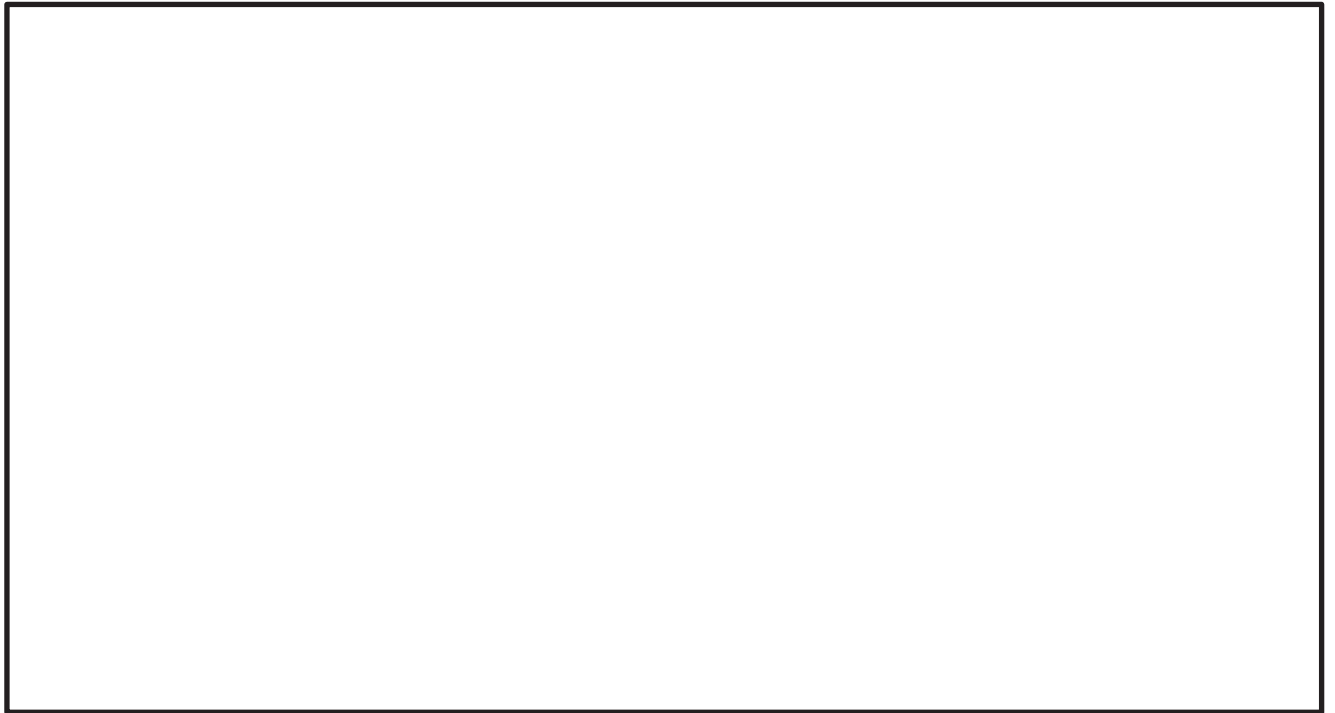


図 2-2 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

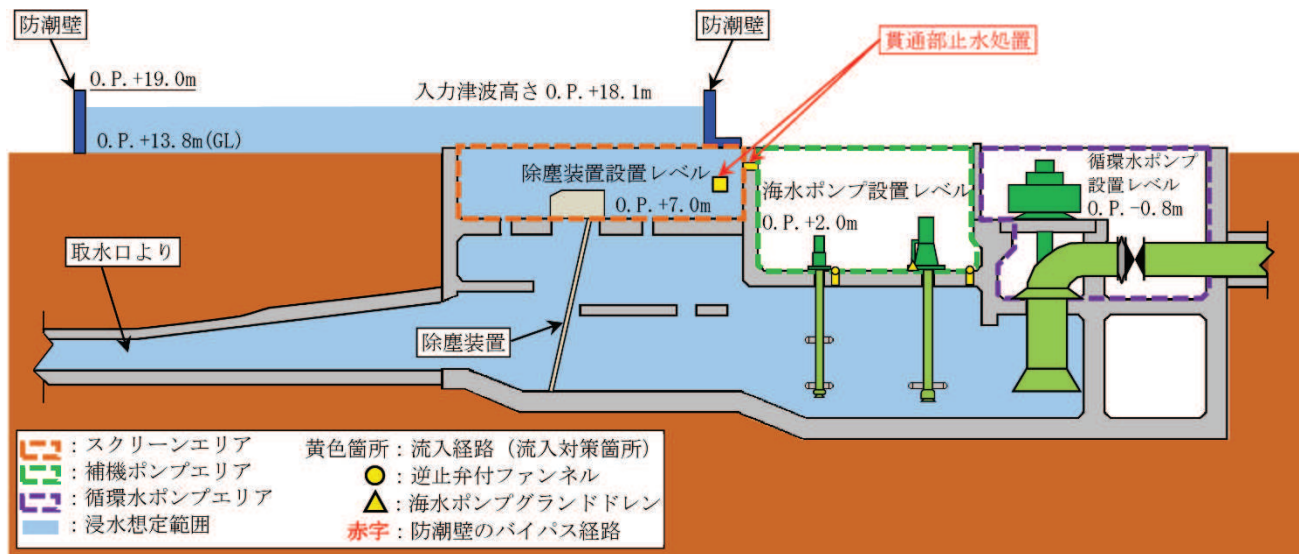


図 2-3 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (A-A 断面図)


枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.2 構造計画

逆止弁付ファンネルの構造計画は、VI-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」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

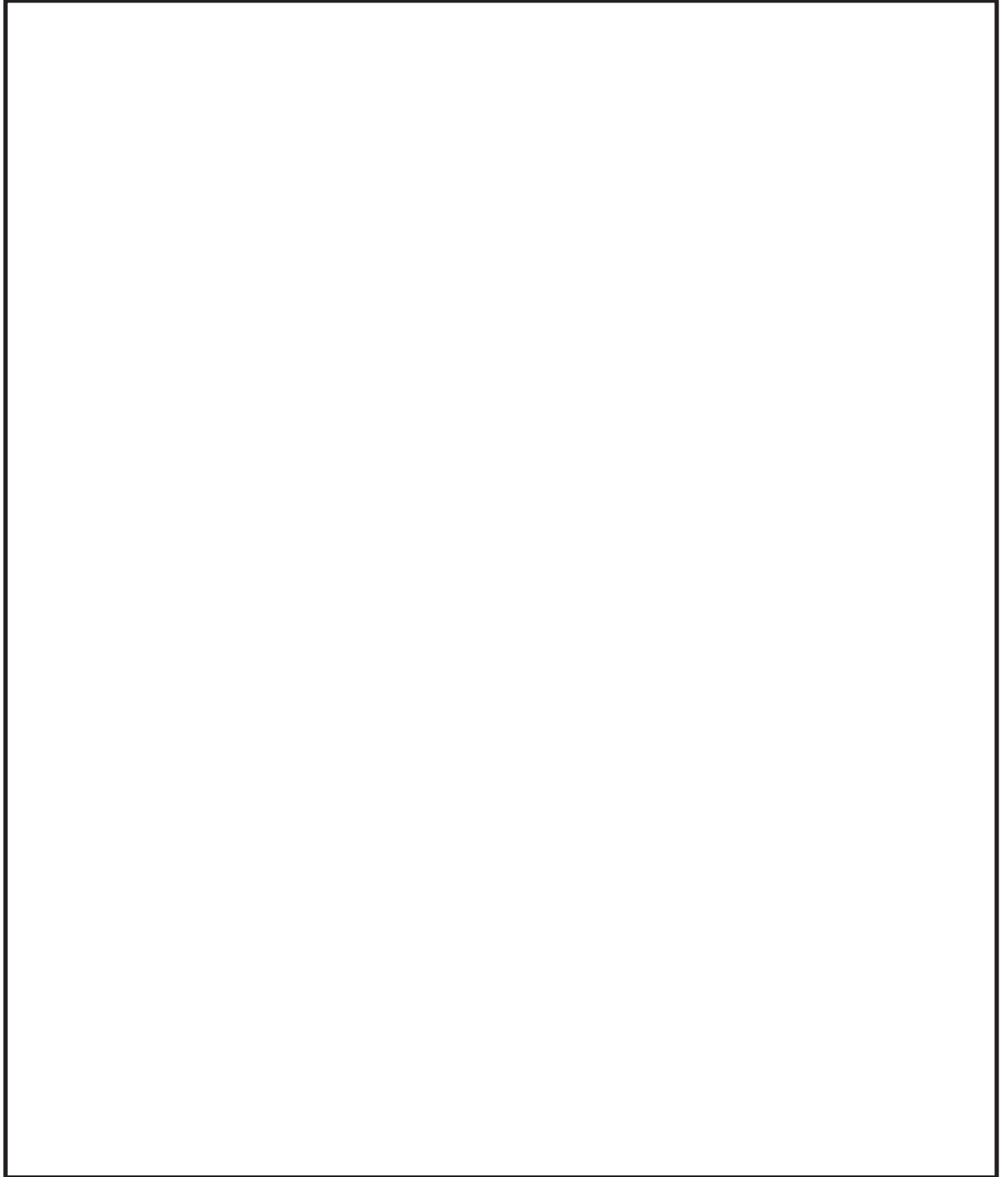
逆止弁付ファンネルは、**圧縮スプリングのばね圧により** サポータを介して弁体を上側に引き上げていることから、**常時弁体と弁座が密着している。** **弁体と弁座が密着している状態**で津波が逆止弁付ファンネルの下側から流入してきた場合、**弁体が更に**押し上げられ、弁座により密着することで止水する。逆止弁付ファンネルの構造計画を表 2-1、構造図詳細を図 2-4 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第 2 号機海水ポンプ室床面の配管にねじ込み継手で固定する。	弁座を含む弁本体及び弁体で構成する。弁体は弁本体に取付金具、取付金具ピンで取付けられる。また、弁体はサポータ、ガイド、圧縮スプリングで保持される。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

図 2-4 構造図詳細



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-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、逆止弁付ファンネルの評価対象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対象部位については、評価対象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。

逆止弁付ファンネルの強度評価フローを図 2-5 に示す。逆止弁付ファンネルの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波荷重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。重畳時における余震荷重は、添付書類「VI-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 $S_d - D_2$ による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

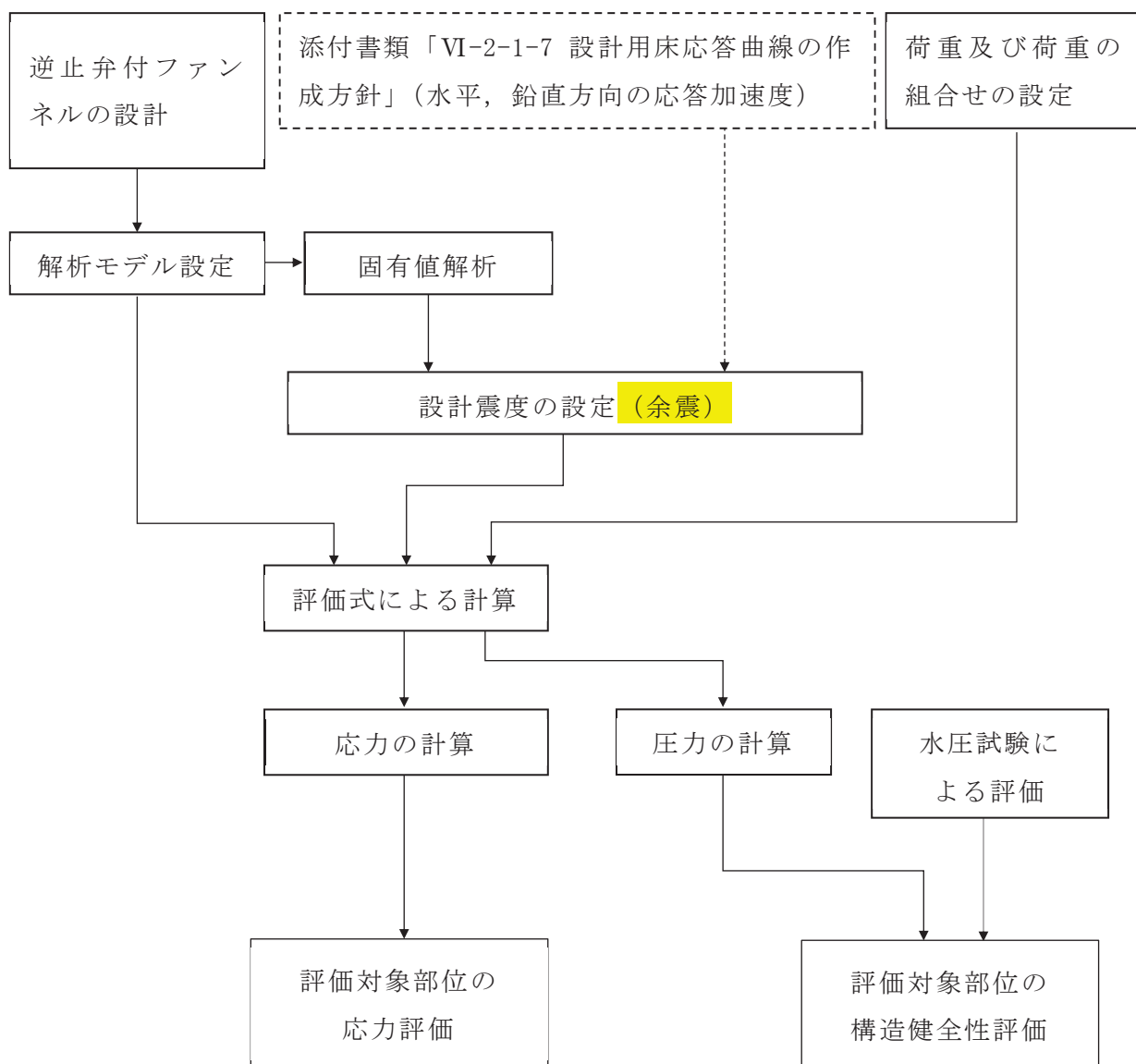


図 2-5 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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 (J E A G 4 6 0 1 ・補
-1984)
- (4) 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)
(以下「 J E A G 4 6 0 1 」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 日本港湾協会 2007 年 港湾の施設の技術上の基準・同解説
- (6) 機械工学便覧 (日本機械学会)

2.5 記号の説明

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	記号の説明	単位
S_d	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重	N
C_{HS_d}	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の設計震度	—
C_{VS_d}	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_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積	mm^2
A_3	突き上げ津波荷重が弁体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	弁本体の外径	mm
D_2	弁体の外径	mm
d_1	弁本体の内径	mm
F_{H1}	弁本体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}	弁体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	m
I_1	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
L_1	弁全体の長さ	mm
m_1	逆止弁付ファンネルの全質量	kg
m_2	弁体の質量	kg
t	弁体の厚さ	mm
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	$N \cdot mm$
D	固定荷重	—
P_t	突き上げ津波荷重	MPa
S	設計・建設規格の付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料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_{d1}	逆止弁付ファンネルの自重	N
W_{d2}	弁体の自重	N

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (2/2)

記 号	記号の説明	単 位
ρ_o	海水の密度	kg/m ³
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる圧縮応力 (重畳時)	MPa
σ_{V2}	弁体に加わる曲げ応力 (重畳時)	MPa
P_V	弁体に発生する圧力	MPa
P_w	逆止弁付ファンネルに発生する圧力	MPa

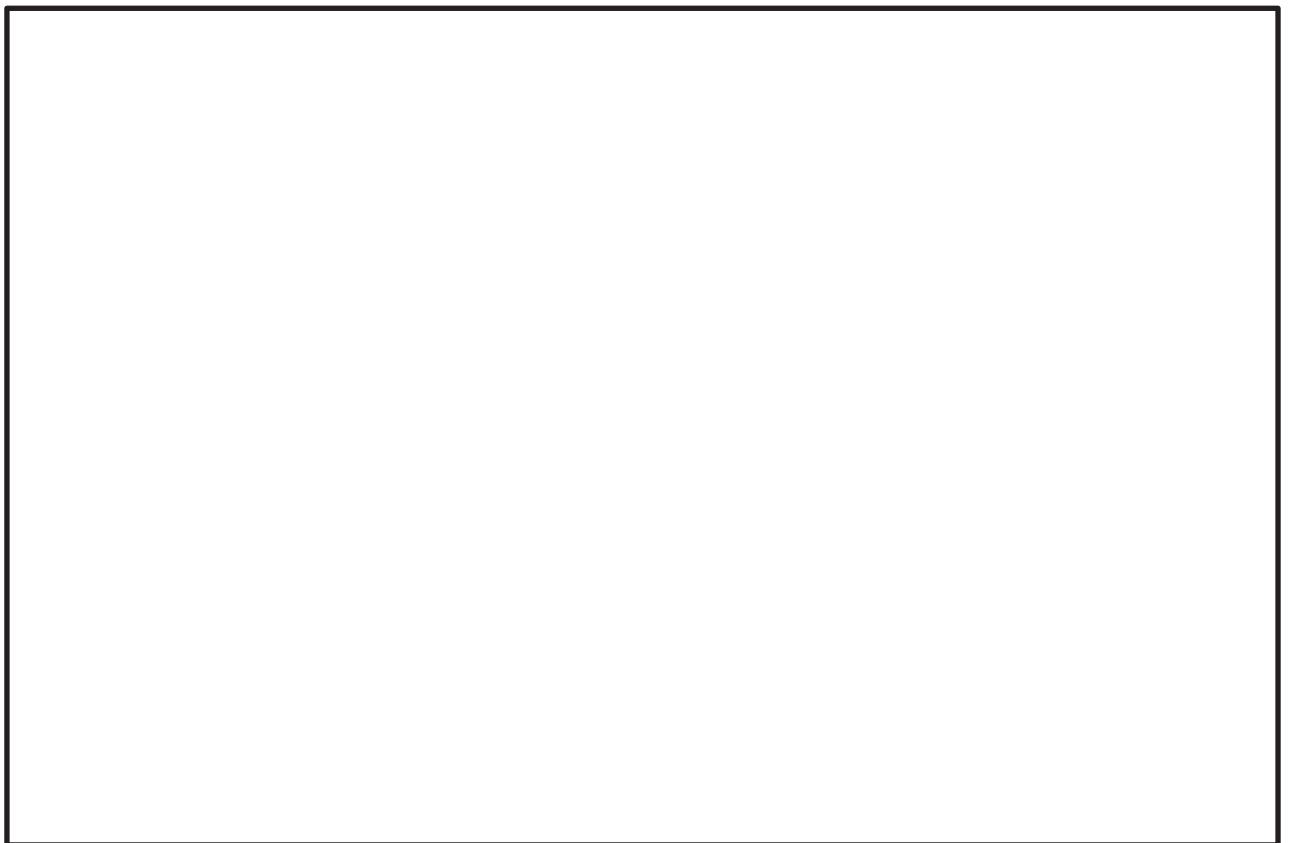
3. 評価対象部位

逆止弁付ファンネルの評価対象部位は、添付書類「VI-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」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、津波荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

津波時は逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により、弁本体に圧縮力が作用する。また、逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により弁体が弁座に密着し閉弁状態となる際に弁体に曲げ力が作用する。

重畳時に逆止弁付ファンネル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、弁本体には曲げモーメントが作用する。

このことから、強度評価においては、応力評価による評価対象部位として、弁本体及び弁体を選定し、構造健全性評価による評価対象部位として圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部を選定する。逆止弁付ファンネルの評価対象部位について、図 3-1 に示す。



図中の①～②は応力評価による評価対象部位を、③～⑧は構造健全性評価による評価対象部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆止弁付ファンネルの評価対象部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

逆止弁付ファンネルの構造に応じて、保守的に固有振動数が小さく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、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 20Hz 以上であることを確認する。

4.1.1 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、円筒状の弁本体の断面をもつ梁として設定する。モデル化の概略を図 4-1 に示す。



図 4-1 モデル化の概略

4.1.2 記号の説明

逆止弁付ファンネルの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
d_m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D_m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	弁本体の縦弾性係数	mm
f	弁本体の一次固有振動数	Hz
I_m	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
k	ばね定数	N/m
ℓ_1	弁本体全体の長さ	mm
m	逆止弁付ファンネルの全質量	kg

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.3 固有振動数の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。水平方向の固有振動数 f を以下の式より算出する。なお、鉛直方向の固有振動数については、逆止弁付ファンネルの構造上、水平方向よりも鉛直方向の方が剛構造となるため、水平方向の固有振動数のみを確認する。

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

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{l_1^3} \times 10^3$$

弁本体の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_m は、以下の式より算出する。

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

4.2 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

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル 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)
SUS316L	1.5	73	70

弁本体全体の長さ ℓ ₁ (mm)	弁本体の 縦弾性係数* E (MPa)
140	1.94×10 ⁵

注記* : 「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
逆止弁付ファンネル	878

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-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」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。

逆止弁付ファンネルの強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「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「VI-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」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、逆止弁付ファンネルの自重を考慮し、以下の式より算出する。

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

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

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、基準津波による津波荷重水位を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = (\rho_o \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_o \cdot U^2) / 10^6$$

(3) 余震荷重 (S_d)

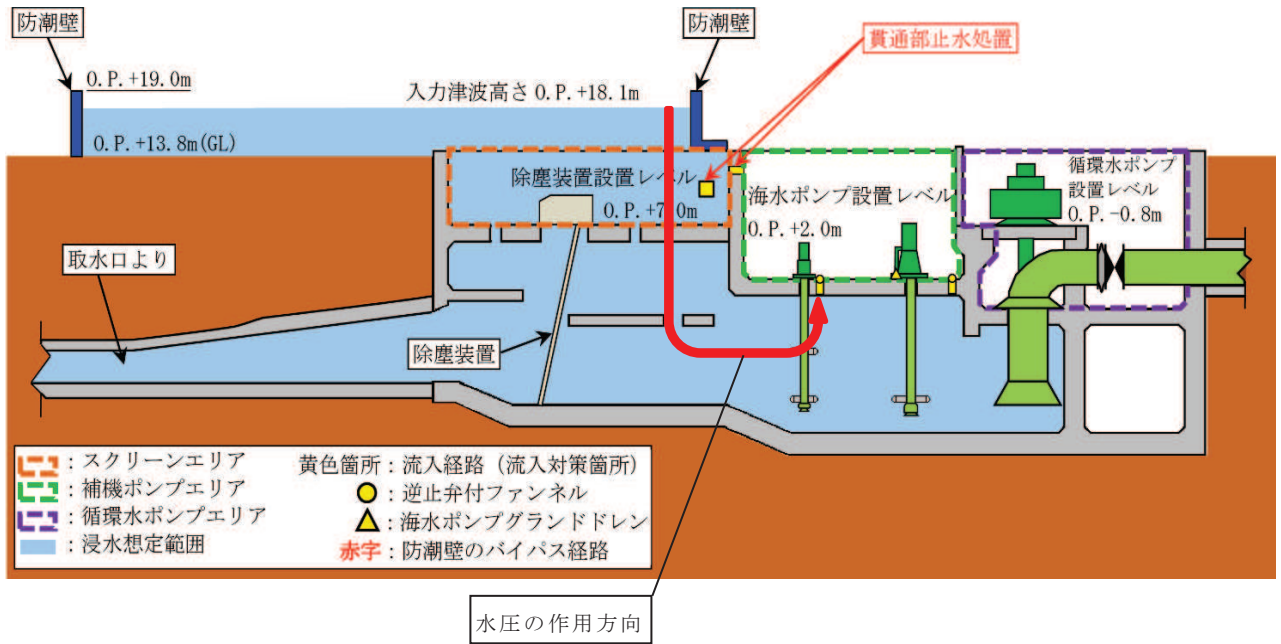
余震荷重は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力及び慣性力を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力とする。また、評価高さの考え方を図 5-1 に示す。

余震による地震荷重 F_{H1}, F_{V1}, F_{V2} を以下の式より算出する。

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

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_2 / 10^6$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_3 / 10^6$$



評価高さH = 設計津波水位 - 逆止弁付ファンネル設置レベル
 = 0. P. 18.6m - 0. P. 2.0m
 = 16.6m

図 5-1 評価高さの考え方

5.2.2 荷重の組合せ

逆止弁付ファンネル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 逆止弁付ファンネル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)	逆止弁付ファンネル	$D + P_t + S_d^{*1*2}$

注記 *1: Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (S_d) の組合せが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

逆止弁付ファンネルの許容限界は, VI-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」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ, 「3. 評価対象部位」にて設定している評価対象部位 **ごと** に, 機能損傷モードを考慮し, 弁本体及び弁体については, 設計・建設規格に準じた供用状態 C の許容応力を用いる。

圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部については, 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, 逆止弁付ファンネルの閉状態に対して, 突き上げ津波荷重を模擬した静水圧 1.2MPa を圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部に負荷し, 有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。(「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。)

逆止弁付ファンネルの弁本体及び弁体の許容限界を表 5-2 に, 許容応力評価条件を表 5-3 に, 弁本体及び弁体の許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。また, 圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-2 弁本体及び弁体の許容限界

供用状態 (許容応力状態)	許容限界* ¹		
	一次応力		
C (Ⅲ _A S)* ³	圧縮	曲げ	組合せ* ²
	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記 *1: 圧縮及び曲げは, JEAG 4601 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: 圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力である。

*3: 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 弁本体及び弁体の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S* (MPa)
弁本体	SUS316L	40	111
弁体			

注記*: 鉄鋼材料 (ボルト材を除く) の許容引張応力を示す。

表 5-4 弁本体及び弁体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		
		一次応力		
		圧縮 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
C (Ⅲ _A S)	弁本体	133	133	133
	弁体	—	133	—

表 5-5 圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む),
取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界

評価対象部位	水圧試験の圧力 (MPa)
圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部	1.2

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，逆止弁付ファンネルの強度計算に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す逆止弁付ファンネルにおける設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度を表 5-6 に示す。

なお，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成した，海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ に対する設計用震度を表 5-7 に示す。

表 5-6 逆止弁付ファンネルの設計震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (mm)	場所	余震による設計震度* ²	
弾性設計用地震動 $S_d - D_2$	1250	海水ポンプ室 (補機ポンプエリア)	水平方向 C_{HSd}	1.05
			鉛直方向 C_{VSD}	1.03

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有値解析」より，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 5-7 海水ポンプ室（補機ポンプエリア）設置する機器等の設計用震度

（強度評価用：1.2ZPA）（弾性設計用地震動 S d - D 2，不確かさ包絡）

標高* O.P. (m)	動的震度 (1.2ZPA) (単位：G)			
	NS	EW	水平包絡	鉛直
14.800	<u>0.69</u>	<u>3.02</u>	<u>3.02</u>	<u>1.29</u>
11.025	<u>0.67</u>	<u>1.64</u>	<u>1.64</u>	1.15
7.250	<u>0.60</u>	1.37	1.37	1.10
2.250	<u>0.53</u>	1.05	1.05	1.03
-0.550	0.47	0.95	0.95	0.84
-7.025	0.43	<u>0.82</u>	<u>0.82</u>	0.72
-9.800	0.43	0.64	0.64	0.67

注記 *：耐津波設計においては，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため，表記 O.P. より -1m した値を記載する。

5.5 計算方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は、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。

5.5.1 荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する。

(1) 固定荷重 (D)

逆止弁付ファンネルの自重は突き上げ津波荷重を緩和する方向に作用することから、考慮しない。ただし、余震による水平地震力を求めるに当たって、固定荷重として逆止弁付ファンネルの自重を考慮する。

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重 P_t は、逆止弁付ファンネル上流から作用するものとする。

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重 S_d は、逆止弁付ファンネルの設置位置における水平方向及び鉛直方向の地震荷重を考慮する。

5.5.2 応力計算

(1) 弁本体

a. 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により、弁本体に加わる圧縮応力 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、弁本体のうち突き上げ津波荷重を受ける面積が最も広い箇所を適用する。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は弁本体の外径 D_1 の円の面積を適用する。弁本体の断面積 A_1 は、図 5-2 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。ただし、逆止弁付ファンネルの自重 W_{d1} は圧縮応力 σ_{v1} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{v1} = \frac{W_{d1} + F_{v1} + P_t \cdot A_2}{A_1}$$



図 5-2 弁本体の構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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。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) 弁体

a. 曲げ

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により、弁体に加わる曲げ応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。また、突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 は、図 5-3 に示すとおり、突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる弁体の外径 D_2 の円の面積を適用する。ただし、弁体の自重による荷重 W_{d2} は曲げ応力 σ_{V2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。なお、曲げ応力の算出については、機械工学便覧（日本機械学会）より、円板、周辺単純支持、等分布荷重の応力計算式を用いる。

$$P_V = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_3} + P_t$$

$$\sigma_{V2} = 1.24 \cdot \frac{P_{V2}}{t^2} \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2$$

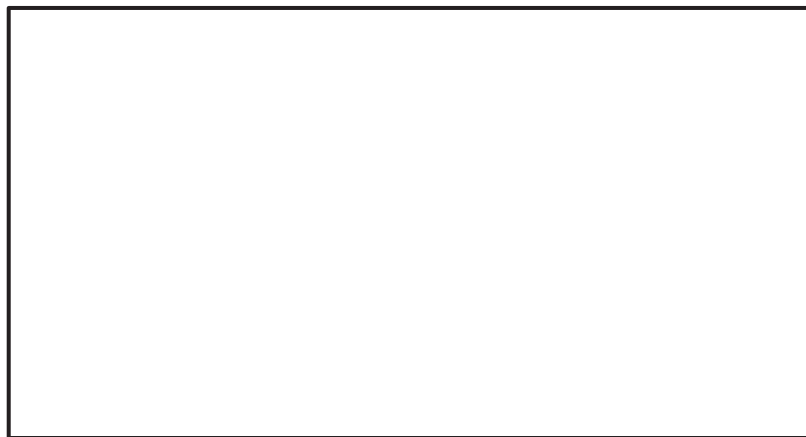


図 5-3 弁体の寸法図

(3) 弁体、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部

突き上げ津波荷重により弁体、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部に発生する圧力 P_w は以下の式より算出する。

$$P_w = P_t$$

5.6 計算条件

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件を表 5-8 に示す。

表 5-8 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネルの全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	1.5	140	73
弁本体の内径 d_1 (mm)	弁本体の断面積 A_1 (mm 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積 A_2 (mm ²)	
70	336.9	4.185×10^3	
弁体の材質	弁体の質量 m_2 (kg)	弁体の外径 D_2 (mm)	弁体の厚さ t (mm)
SUS316L	0.10	61	2
突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 (mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	海水の密度 ρ_o (kg/m ³)	抗力係数 C_d
2.922×10^3	9.80665	1030	1.2
津波荷重水位 h (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)	慣性力(鉛直方向)評価高さ H (m)	
18.6	1.0	16.6	

注記 * : 海水ポンプ室における最大鉛直流速 (0.86m/s) に対し, 保守的に設定した値。

6. 評価結果

6.1 応力評価

逆止弁付ファンネルの強度評価結果を表 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 逆止弁付ファンネルの応力評価結果

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	弁本体	圧縮	
曲げ		1	133
組合せ*		6	133
弁体	曲げ	105	133

注記 * : 圧縮 σ_{V1} + 曲げ σ_{H1} は, $\sigma_{V1} + \sigma_{V1} \leq 1.2S$ で評価

6.2 構造健全性評価

逆止弁付ファンネル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、評価対象部位である圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部が構造健全性を有することを確認した。（「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。）

表 6-2 圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、
取付金具ピン及びねじ切り部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)
	圧縮スプリング、ガイド、サポータ、 取付金具（取付ねじ含む）、 取付金具ピン及びねじ切り部	圧縮	

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明
- 6.5.5.4 逆止弁付ファンネル（第3号機）の強度計算書に関する補足説明

目次

1.	概要	6.5.5.4-1
2.	一般事項	6.5.5.4-2
2.1	配置概要	6.5.5.4-2
2.2	構造計画	6.5.5.4-4
2.3	評価方針	6.5.5.4-6
2.4	適用規格・基準等	6.5.5.4-8
2.5	記号の説明	6.5.5.4-9
3.	評価対象部位	6.5.5.4-11
4.	固有値解析	6.5.5.4-12
4.1	固有振動数の計算方法	6.5.5.4-12
4.1.1	解析モデル	6.5.5.4-12
4.1.2	記号の説明	6.5.5.4-12
4.1.3	固有振動数の計算	6.5.5.4-13
4.2	固有振動数の計算条件	6.5.5.4-14
4.3	固有振動数の計算結果	6.5.5.4-14
5.	構造強度評価	6.5.5.4-15
5.1	構造強度評価方法	6.5.5.4-15
5.2	荷重及び荷重の組合せ	6.5.5.4-15
5.2.1	荷重の設定	6.5.5.4-15
5.2.2	荷重の組合せ	6.5.5.4-17
5.3	許容限界	6.5.5.4-17
5.4	設計用地震力	6.5.5.4-19
5.5	計算方法	6.5.5.4-20
5.5.1	荷重条件	6.5.5.4-20
5.5.2	応力計算	6.5.5.4-21
5.6	計算条件	6.5.5.4-23
6.	評価結果	6.5.5.4-24
6.1	応力評価	6.5.5.4-24
6.2	構造健全性評価	6.5.5.4-24

1. 概要

本資料は、VI-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逆止弁付ファンネル（第3号機）（以下、逆止弁付ファンネルという。）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。

なお、逆止弁付ファンネルの強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

逆止弁付ファンネルは、第3号機海水熱交換器建屋の床面に設置する。逆止弁付ファンネルの設置位置図を図2-1、図2-2 及び図2-3に示す。

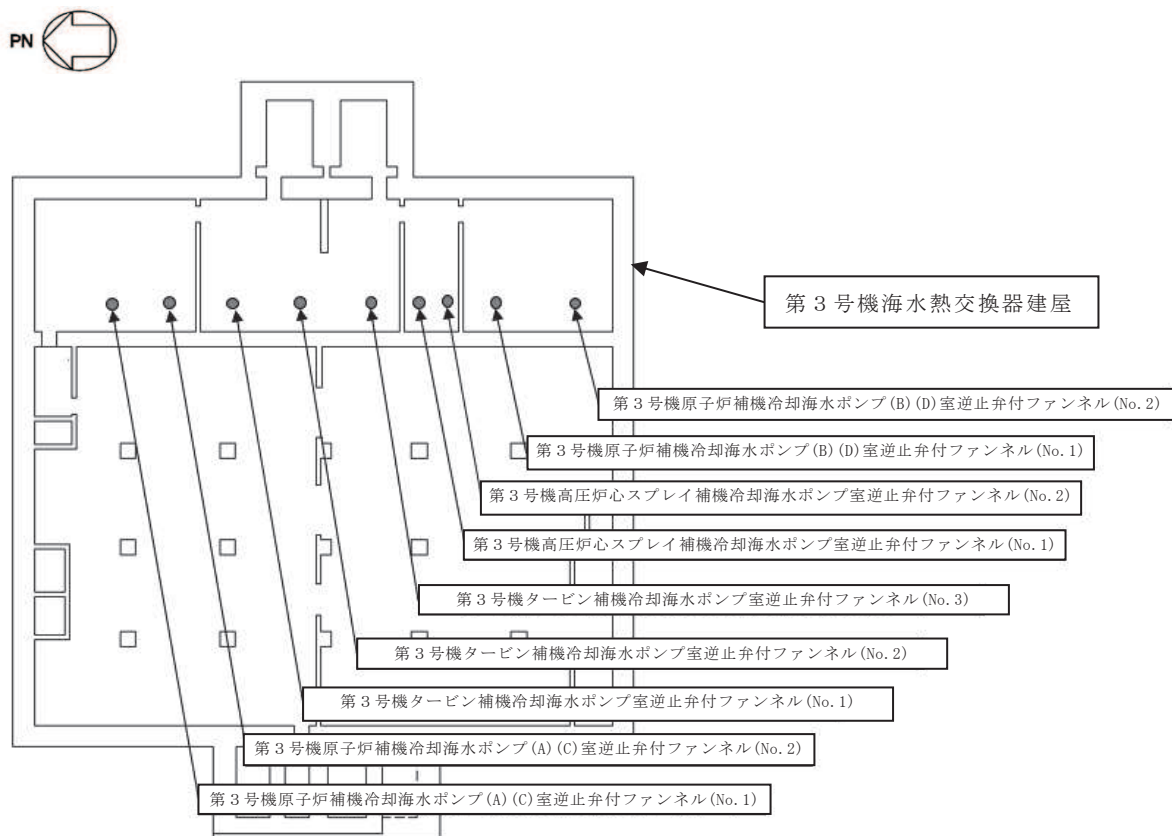


図2-1 逆止弁付ファンネルの設置位置図

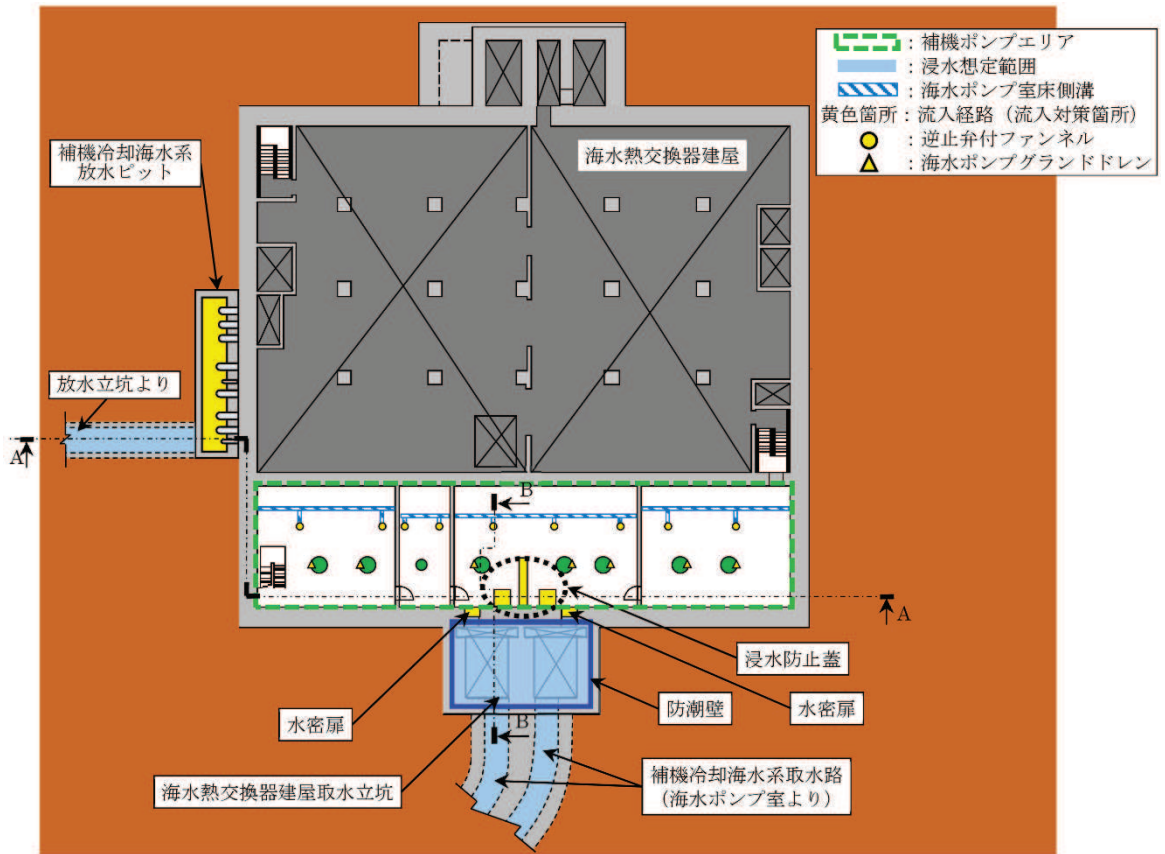


図 2-2 3号機 海水熱交換器建屋 流入対策配置図 (平面図)

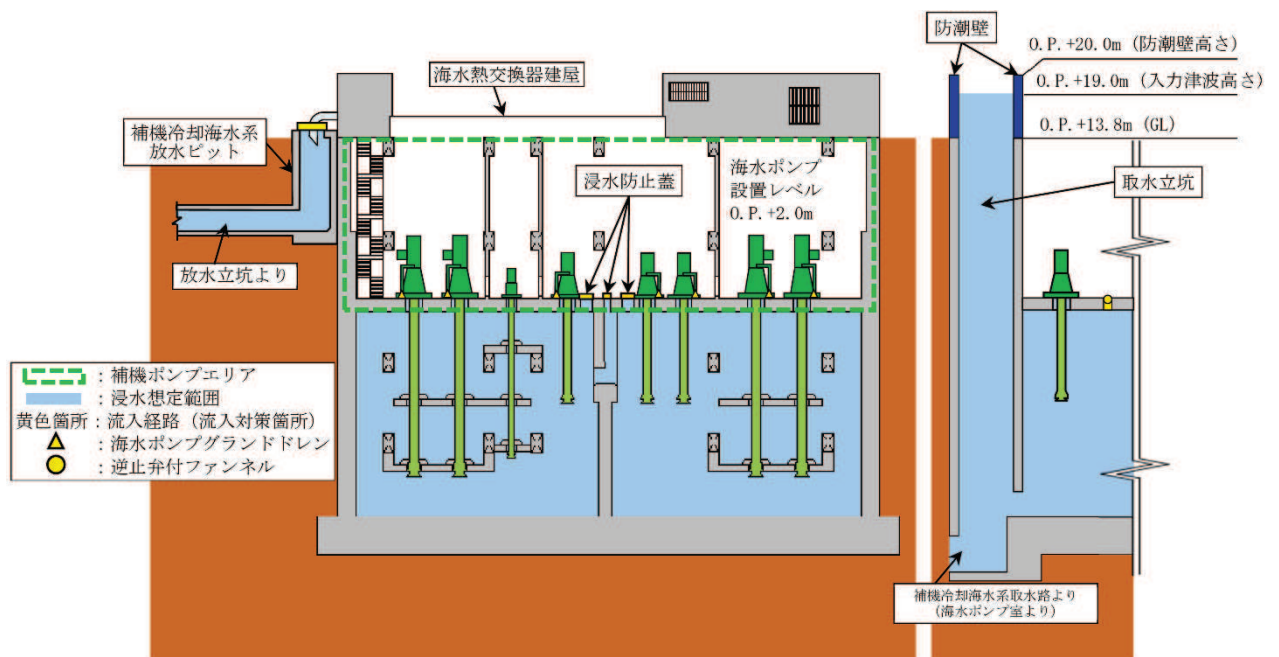


図 2-3 第 3 号機 海水熱交換器建屋 流入対策配置図

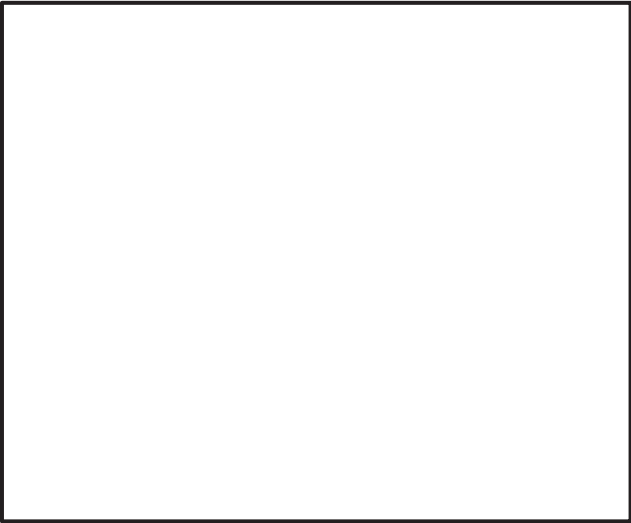
(左:A-A 断面図 右:B-B 断面図)

2.2 構造計画

逆止弁付ファンネルの構造計画は、VI-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」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

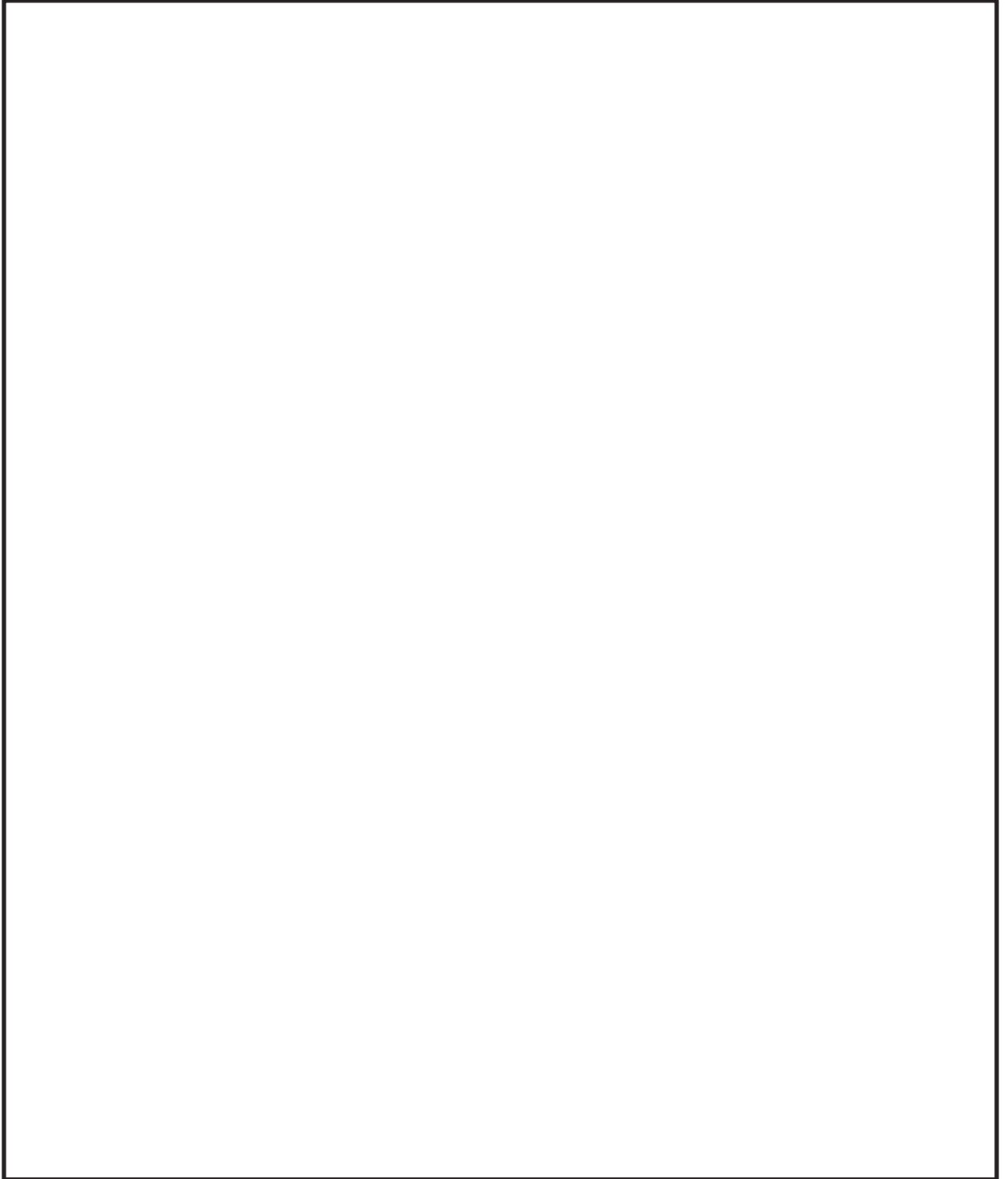
逆止弁付ファンネルは、**圧縮スプリングのばね圧により** サポータを介して弁体を上側に引き上げていることから、**常時弁体と弁座が密着している。** **弁体と弁座が密着している状態**で津波が逆止弁付ファンネルの下側から流入してきた場合、**弁体が更に**押し上げられ、弁座により密着することで止水する。逆止弁付ファンネルの構造計画を表 2-1、構造図詳細を図 2-4 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第 3 号機海水熱交換器建屋床面の配管にねじ込み継手で固定する。	弁座を含む弁本体及び弁体で構成する。弁体は弁本体に取付金具、取付金具ピンで取付けられる。また、弁体はサポータ、ガイド、圧縮スプリングで保持される。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

図 2-4 構造図詳細



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-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、逆止弁付ファンネルの評価対象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対象部位については、評価対象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。

逆止弁付ファンネルの強度評価フローを図 2-5 に示す。逆止弁付ファンネルの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波荷重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。重畳時における余震荷重は、添付書類「VI-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 $S_d - D2$ による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 $S_d - D2$ を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

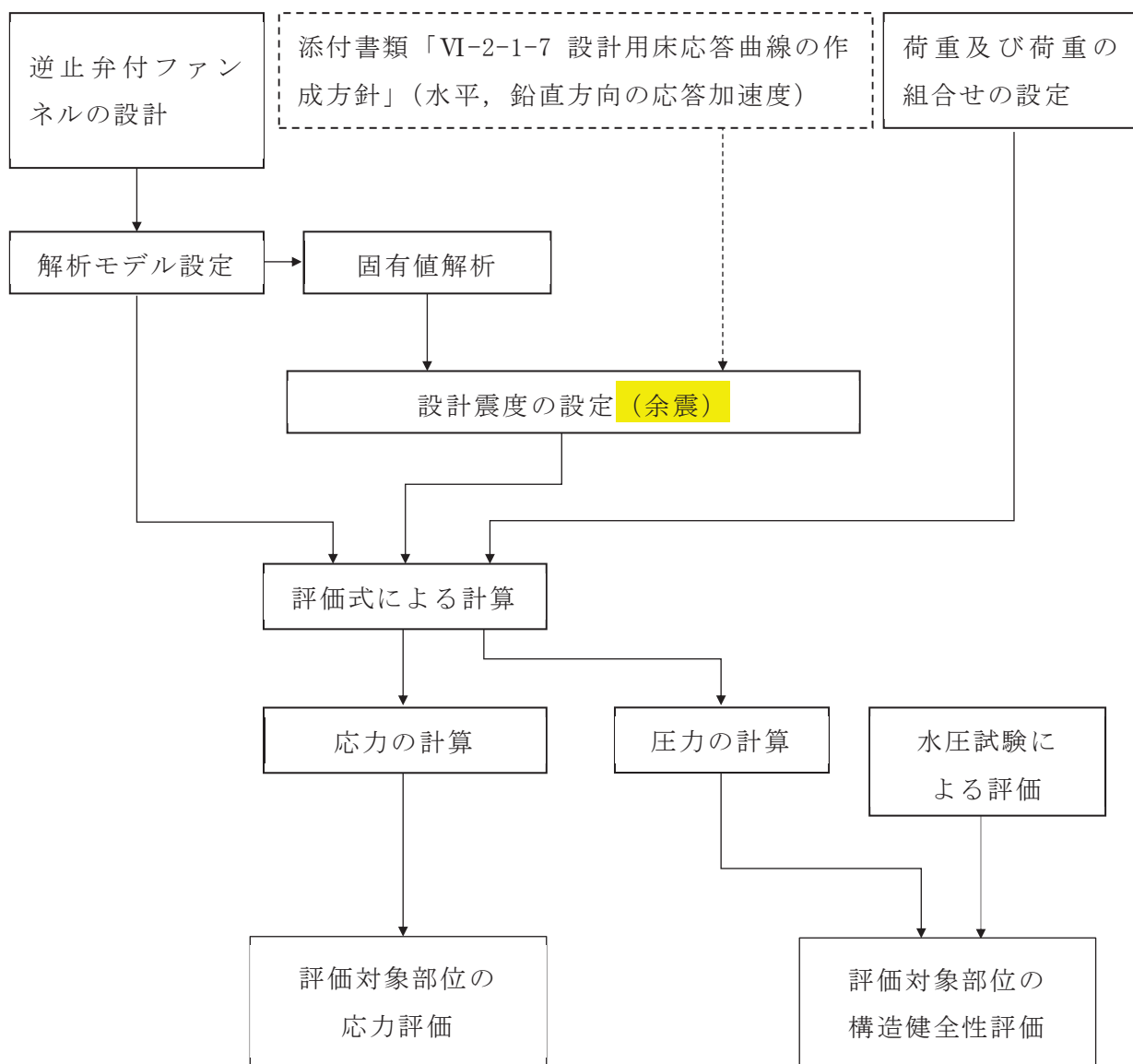


図 2-5 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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 (J E A G 4 6 0 1 ・補
-1984)
- (4) 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)
(以下「 J E A G 4 6 0 1 」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 日本港湾協会 2007 年 港湾の施設の技術上の基準・同解説
- (6) 機械工学便覧 (日本機械学会)

2.5 記号の説明

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	記号の説明	単位
S _d	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による余震荷重	N
C _{HS_d}	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による水平方向の設計震度	—
C _{VS_d}	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による鉛直方向の設計震度	—
A ₁	弁本体の断面積	mm ²
A 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積	mm ²
A ₃	突き上げ津波荷重が弁体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	弁本体の外径	mm
D ₂	弁体の外径	mm
d ₁	弁本体の内径	mm
F _{H1}	弁本体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}	弁体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	m
I ₁	弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
L ₁	弁全体の長さ	mm
m ₁	逆止弁付ファンネルの全質量	kg
m ₂	弁体の質量	kg
t	弁体の厚さ	mm
M ₁	弁本体に発生する曲げモーメント	N・mm
D	固定荷重	—
P _t	突き上げ津波荷重	MPa
S	設計・建設規格の付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料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 _{d1}	逆止弁付ファンネルの自重	N
W _{d2}	弁体の自重	N

表 2-2 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる記号 (2/2)

記 号	記号の説明	単 位
ρ_o	海水の密度	kg/m ³
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる圧縮応力 (重畳時)	MPa
σ_{V2}	弁体に加わる曲げ応力 (重畳時)	MPa
P_V	弁体に発生する圧力	MPa
P_w	逆止弁付ファンネルに発生する圧力	MPa

3. 評価対象部位

逆止弁付ファンネルの評価対象部位は、添付書類「VI-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」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、津波荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

津波時は逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により、弁本体に圧縮力が作用する。また、逆止弁付ファンネル上流からの津波荷重により弁体が弁座に密着し閉弁状態となる際に弁体に曲げ力が作用する。

重畳時に逆止弁付ファンネル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、弁本体には曲げモーメントが作用する。

このことから、強度評価においては、応力評価による評価対象部位として、弁本体及び弁体を選定し、構造健全性評価による評価対象部位として圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部を選定する。逆止弁付ファンネルの評価対象部位について、図 3-1 に示す。



図中の①～②は応力評価による評価対象部位を、③～⑧は構造健全性評価による評価対象部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆止弁付ファンネルの評価対象部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

逆止弁付ファンネルの構造に応じて、保守的に固有振動数が小さく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、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 20Hz 以上であることを確認する。

4.1.1 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、円筒状の弁本体の断面をもつ梁として設定する。モデル化の概略を図 4-1 に示す。



図 4-1 モデル化の概略

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.2 記号の説明

逆止弁付ファンネルの固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
d_m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D_m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	弁本体の縦弾性係数	mm
f	弁本体の一次固有振動数	Hz
I_m	弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
k	ばね定数	N/m
ℓ_1	弁本体全体の長さ	mm
m	逆止弁付ファンネルの全質量	kg

4.1.3 固有振動数の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。水平方向の固有振動数 f を以下の式より算出する。なお、鉛直方向の固有振動数については、逆止弁付ファンネルの構造上、水平方向よりも鉛直方向の方が剛構造となるため、水平方向の固有振動数のみを確認する。

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

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{l_1^3} \times 10^3$$

弁本体の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_m は、以下の式より算出する。

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

4.2 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

弁本体の材質	逆止弁付ファンネル 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)
SUS316L	1.5	73	70

弁本体全体の長さ ℓ ₁ (mm)	弁本体の 縦弾性係数* E (MPa)
140	1.94×10 ⁵

注記* : 「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)
逆止弁付ファンネル	878

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は、添付書類「VI-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」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。

逆止弁付ファンネルの強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「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「VI-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」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、逆止弁付ファンネルの自重を考慮し、以下の式より算出する。

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

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

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、基準津波による津波荷重水位を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = (\rho_o \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_o \cdot U^2) / 10^6$$

(3) 余震荷重 (S_d)

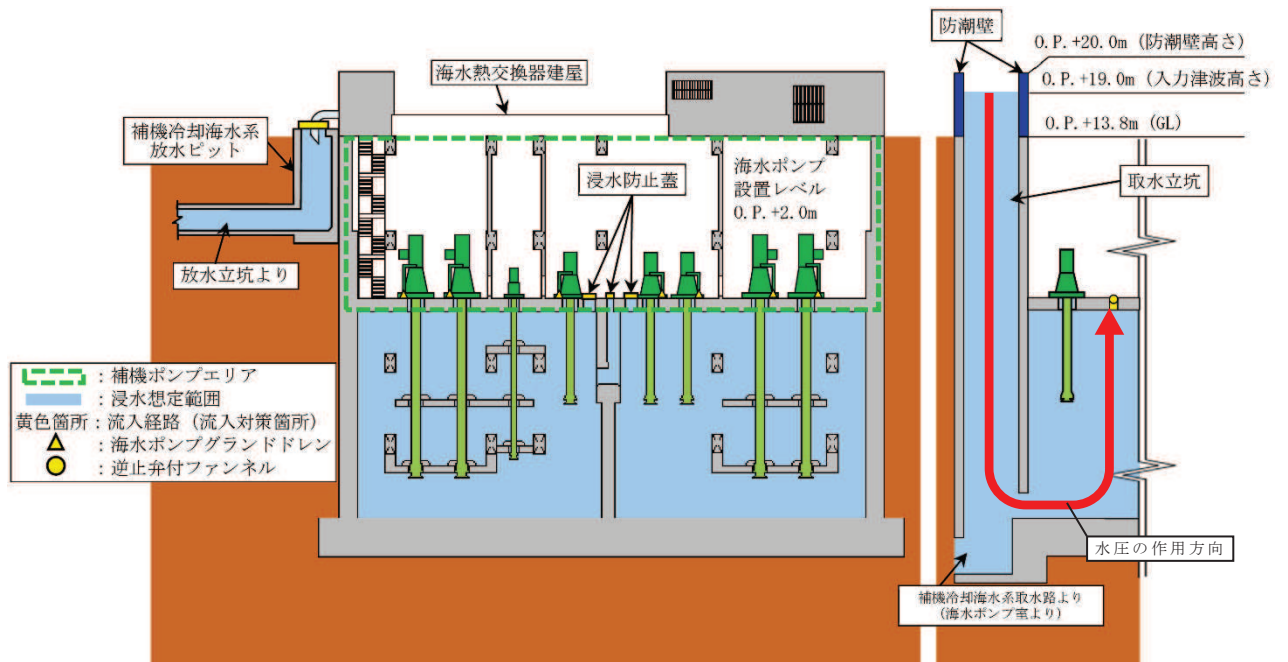
余震荷重は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力及び慣性力を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S_d-D₂ に伴う地震力とする。また、評価高さの考え方を図 5-1 に示す。

余震による地震荷重 F_{H1}, F_{V1}, F_{V2} を以下の式より算出する。

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

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_2 / 10^6$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_{VSd} \cdot g + \rho_o \cdot C_{VSd} \cdot g \cdot H \cdot A_3 / 10^6$$



評価高さ $H = \text{設計津波水位} - \text{逆止弁付ファンネル設置レベル}$
 $= \text{O.P. } 19.5\text{m} - \text{O.P. } 2.0\text{m}$
 $= 17.5\text{m}$

図 5-1 評価高さの考え方

5.2.2 荷重の組合せ

逆止弁付ファンネル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 逆止弁付ファンネル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)	逆止弁付ファンネル	$D + P_t + S_d^{*1*2}$

注記 *1: D は固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (S_d) の組合せが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

逆止弁付ファンネルの許容限界は, VI-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」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ, 「3. 評価対象部位」にて設定している評価対象部位 **ごと**に, 機能損傷モードを考慮し, 弁本体及び弁体については, 設計・建設規格に準じた供用状態 C の許容応力を用いる。

圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部については, 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, 逆止弁付ファンネルの閉状態に対して, 突き上げ津波荷重を模擬した静水圧 1.2MPa を圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部に負荷し, 有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。(「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。)

逆止弁付ファンネルの弁本体及び弁体の許容限界を表 5-2 に, 許容応力評価条件を表 5-3 に, 弁本体及び弁体の許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。また, 圧縮スプリング, ガイド, サポータ, 取付金具 (取付ねじ含む), 取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-2 弁本体及び弁体の許容限界

供用状態 (許容応力状態)	許容限界* ¹		
	一次応力		
C (Ⅲ _A S)* ³	圧縮	曲げ	組合せ* ²
	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記 *1：圧縮及び曲げは，J E A G 4 6 0 1 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：圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力である。

*3：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 弁本体及び弁体の許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S* (MPa)
弁本体	SUS316L	40	111
弁体			

注記*：鉄鋼材料（ボルト材を除く）の許容引張応力を示す。

表 5-4 弁本体及び弁体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		
		一次応力		
		圧縮 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
C (Ⅲ _A S)	弁本体	133	133	133
	弁体	—	133	—

表 5-5 圧縮スプリング，ガイド，サポータ，取付金具（取付ねじ含む），
取付金具ピン及びねじ切り部の許容限界

評価対象部位	水圧試験の圧力 (MPa)
圧縮スプリング，ガイド，サポータ，取付金具 (取付ねじ含む)，取付金具ピン及びねじ切り部	1.2

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，逆止弁付ファンネルの強度計算に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す逆止弁付ファンネルにおける設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。逆止弁付ファンネルの耐震計算に用いる設計震度を表 5-6 に示す。

なお，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成した，海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の弾性設計用地震動 S d - D 2 に対する設計用震度を表 5-7 に示す。

表 5-6 逆止弁付ファンネルの設計震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (mm)	場所	余震による設計震度* ²	
			水平方向 C _{HSd}	鉛直方向 C _{VSD}
弾性設計用地震動 S d - D 2	7000	3号機海水 熱交換器建屋	水平方向 C _{HSd}	1.40
			鉛直方向 C _{VSD}	0.77

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有値解析」より，逆止弁付ファンネルの固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 5-7 海水熱交換器建屋内機器等の設計用震度（余震評価用）

（強度評価用：1.2ZPA）（弾性設計用地震動 S d - D 2，不確かさ包絡）

標高* O.P.(m)	動的震度(1.2ZPA) (単位:G)			
	NS	EW	水平包絡	鉛直
15.0	1.89	1.66	1.89	0.89
8.0	1.40	1.32	1.40	0.77
-1.1	0.89	0.90	0.90	0.60
-9.5	0.51	0.51	0.51	0.46

注記 *：耐津波設計においては，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため，表記 O.P. より -1m した値を記載する。

5.5 計算方法

逆止弁付ファンネルの強度評価は、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。

5.5.1 荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する。

(1) 固定荷重 (D)

逆止弁付ファンネルの自重は突き上げ津波荷重を緩和する方向に作用することから、考慮しない。ただし、余震による水平地震力を求めるに当たって、固定荷重として逆止弁付ファンネルの自重を考慮する。

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重 P_t は、逆止弁付ファンネル上流から作用するものとする。

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重 S_d は、逆止弁付ファンネルの設置位置における水平方向及び鉛直方向の地震荷重を考慮する。

5.5.2 応力計算

(1) 弁本体

a. 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により、弁本体に加わる圧縮応力 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、弁本体のうち突き上げ津波荷重を受ける面積が最も広い箇所を適用する。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は弁本体の外径 D_1 の円の面積を適用する。弁本体の断面積 A_1 は、図 5-2 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。ただし、逆止弁付ファンネルの自重 W_{d1} は圧縮応力 σ_{v1} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{v1} = \frac{W_{d1} + F_{v1} + P_t \cdot A_2}{A_1}$$



図 5-2 弁本体の構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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。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) 弁体

a. 曲げ

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により，弁体に加わる曲げ応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。また，突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 は，図 5-3 に示すとおり，突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる弁体の外径 D_2 の円の面積を適用する。ただし，弁体の自重による荷重 W_{d2} は曲げ応力 σ_{V2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。なお，曲げ応力の算出については，機械工学便覧（日本機械学会）より，円板，周辺単純支持，等分布荷重の応力計算式を用いる。

$$P_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_3} + P_t$$

$$\sigma_{V2} = 1.24 \cdot \frac{P_{V2}}{t^2} \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2$$

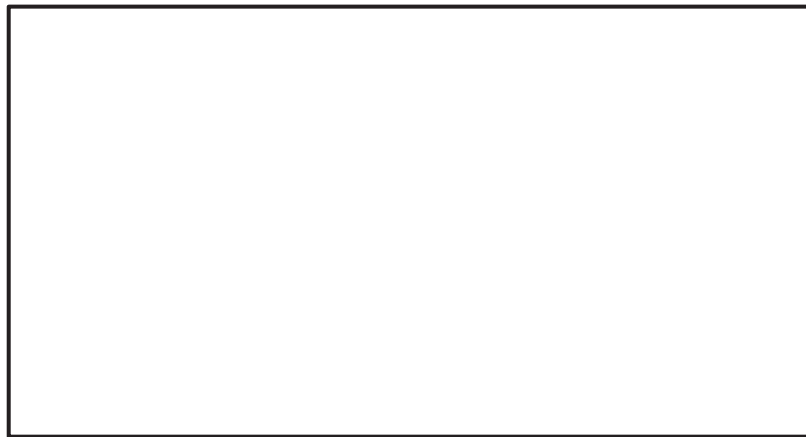


図 5-3 弁体の寸法図

(3) 弁体，取付金具（取付ねじ含む），取付金具ピン及びねじ切り部

突き上げ津波荷重により弁体，取付金具（取付ねじ含む），取付金具ピン及びねじ切り部に発生する圧力 P_w は以下の式より算出する。

$$P_w = P_t$$

5.6 計算条件

逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件を表 5-8 に示す。

表 5-8 逆止弁付ファンネルの応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	逆止弁付ファンネルの全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	1.5	140	73
弁本体の内径 d_1 (mm)	弁本体の断面積 A_1 (mm 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積 A_2 (mm ²)	
70	336.9	4.185×10^3	
弁体の材質	弁体の質量 m_2 (kg)	弁体の外径 D_2 (mm)	弁体の厚さ t (mm)
SUS316L	0.10	61	2
突き上げ津波荷重が弁体に作用する評価に用いる受圧面積 A_3 (mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	海水の密度 ρ_o (kg/m ³)	抗力係数 C_d
2.922×10^3	9.80665	1030	1.2
津波荷重水位 h (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)	慣性力(鉛直方向)評価高さ H (m)	
19.5	1.0	17.5	

注記 * : 3号海水ポンプ室における最大鉛直流速 (0.72 m/s) に対し, 保守的に設定した値。

6. 評価結果

6.1 応力評価

逆止弁付ファンネルの強度評価結果を表 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 逆止弁付ファンネルの応力評価結果

評価対象部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	弁本体	圧縮	
曲げ		1	133
組合せ*		6	133
弁体	曲げ	97	133

注記 * : 圧縮 σ_{V1} + 曲げ σ_{H1} は, $\sigma_{V1} + \sigma_{V1} \leq 1.2S$ で評価

6.2 構造健全性評価

逆止弁付ファンネル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、評価対象部位である圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、取付金具ピン及びねじ切り部が構造健全性を有することを確認した。（「補足-140-1 6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」に記載。）

表 6-2 圧縮スプリング、ガイド、サポータ、取付金具（取付ねじ含む）、
取付金具ピン及びねじ切り部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)
	圧縮スプリング、ガイド、サポータ、 取付金具（取付ねじ含む）、 取付金具ピン及びねじ切り部	圧縮	

6. 浸水防護施設に関する補足資料

6.5 浸水防止設備に関する補足説明

6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明

6.5.5.5 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について

(1) 概要

浸水防護設備のうち、逆止弁付ファンネルについては、添付書類「VI-2-10-2-10 逆止弁付ファンネルの耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-3-別添 3-2-9 逆止弁付ファンネルの強度計算書」の応力評価において、耐津波のバウンダリとなる各部材の評価を示している。本資料では、逆止弁付ファンネルを構成する部材全てを評価し、逆止弁付ファンネルとしての性能目標を満足することを確認する。

(2) 逆止弁付ファンネルを構成する各部材の評価及び機能保持の確認方法についての評価方針

逆止弁付ファンネルの性能目標としては、地震後、津波後の再使用性や津波の繰返しの作用を想定し、部材がおおむね弾性状態にとどまることとし、止水機能を喪失しない設計としている。

以上に示した性能目標を満足していることを確認する方法として、加振試験、水圧試験及び漏えい試験を実施し、各部材の構造強度健全性及び弁座部の止水性を確認することにより止水機能が保持されていることを確認する方針とする。

具体的には、地震後、津波後の再使用性や津波の繰返しの作用を想定した止水機能保持確認として、次に示す試験にて確認する方針とする。

地震を想定して、加振試験を実施し、各部材の構造強度健全性を確認する。また、津波を想定して、加振試験後に水圧試験及び漏えい試験を実施し、各部材の構造強度健全性及び弁座部の止水性を確認する。

表-1 に止水機能保持確認方針として、逆止弁付ファンネルの各部材の限界状態と評価内容を示す。また、図-1 に逆止弁付ファンネルの構造を示す。

表-1 逆止弁付ファンネル止水機能保持確認方針

部材	限界状態	評価内容
弁本体	変形, 損傷	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験を実施し, 構造強度健全性を確認することにより, 止水機能保持を確認する。 ・加振試験後に水圧試験を実施し, 構造強度健全性を確認することにより, 止水機能保持を確認する。 ・加振試験後に漏えい試験を実施し, 弁座部の止水性を確認することにより, 止水機能保持を確認する。 ・応力評価の評価対象部材
弁体	変形, 損傷, 漏えい	
弁座	変形, 損傷, 漏えい	
圧縮スプリング	変形, 損傷	
ガイド	変形, 損傷	
サポータ	変形, 損傷	
取付金具 (取付ねじ含む)	変形, 損傷, 緩み	
取付金具ピン	変形, 損傷	
ねじ切り部	変形, 損傷 緩み	

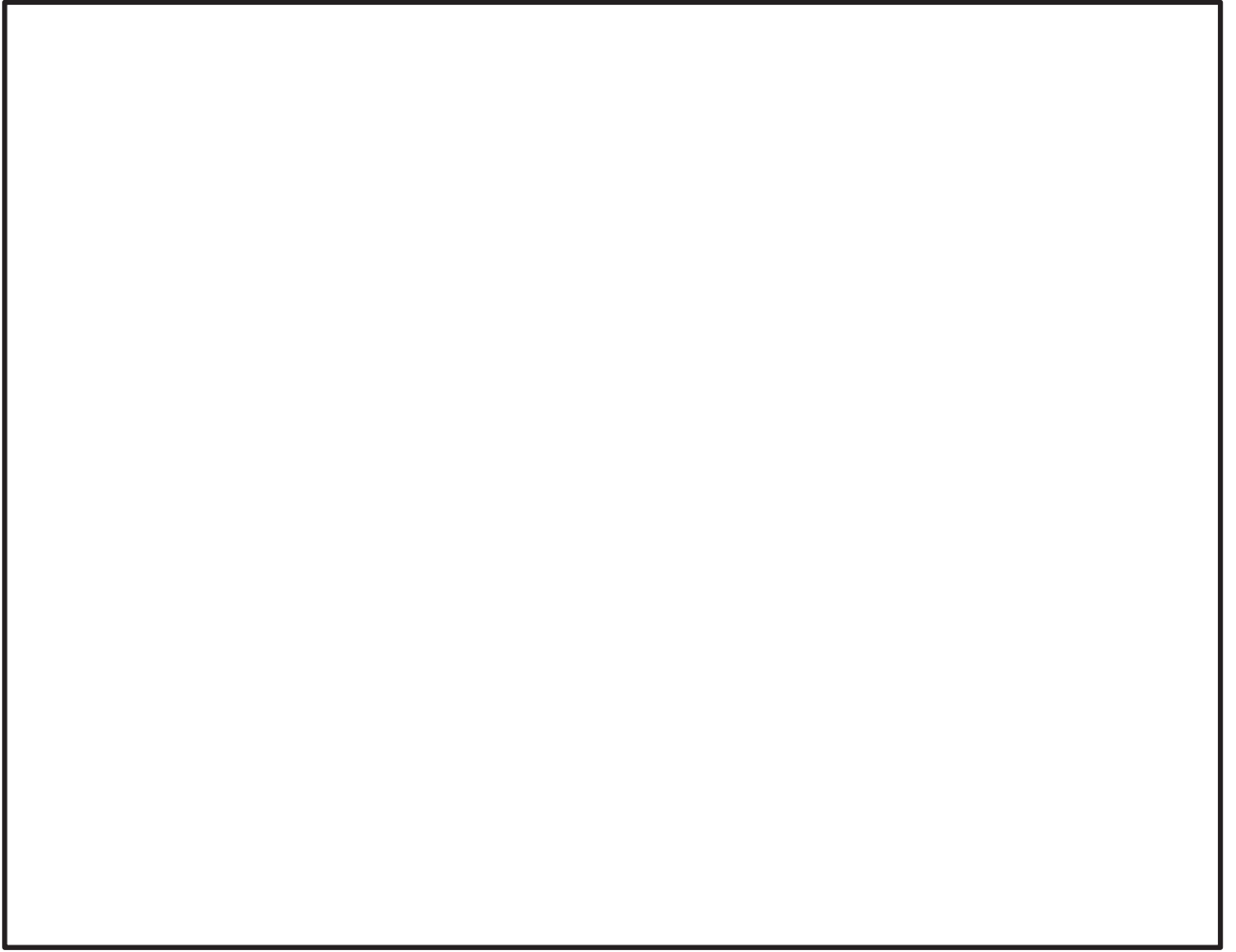


図-1 逆止弁付ファンネル構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 評価方法

以下に示す条件にて試験を実施し、試験毎に示す判定基準により評価する。

a. 加振試験

基準地震動 S_s による逆止弁付ファンネルの設置箇所の設計震度*を上回るものとして、「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1991 追補版)」に示される一般弁の機能確認済加速度と同じ $6G$ ($58.8m/s^2$) で加振する。

なお、加振試験を実施する前に、水平、鉛直方向それぞれについて、振動数 $5\sim 50Hz$ の範囲で掃引試験を行い、振動数 $5\sim 50Hz$ の範囲に固有振動数がなく、逆止弁付ファンネルが剛構造として加振試験を実施できることを確認する。

表-2 に加振試験の条件、方法及び判定基準を示す。

表-3 に加振試験装置の主要仕様、図-2 に加振試験装置の外観を示す。

加振試験時の固定箇所は、図-1 に示す。

表-2 加振試験の条件、方法及び判定基準

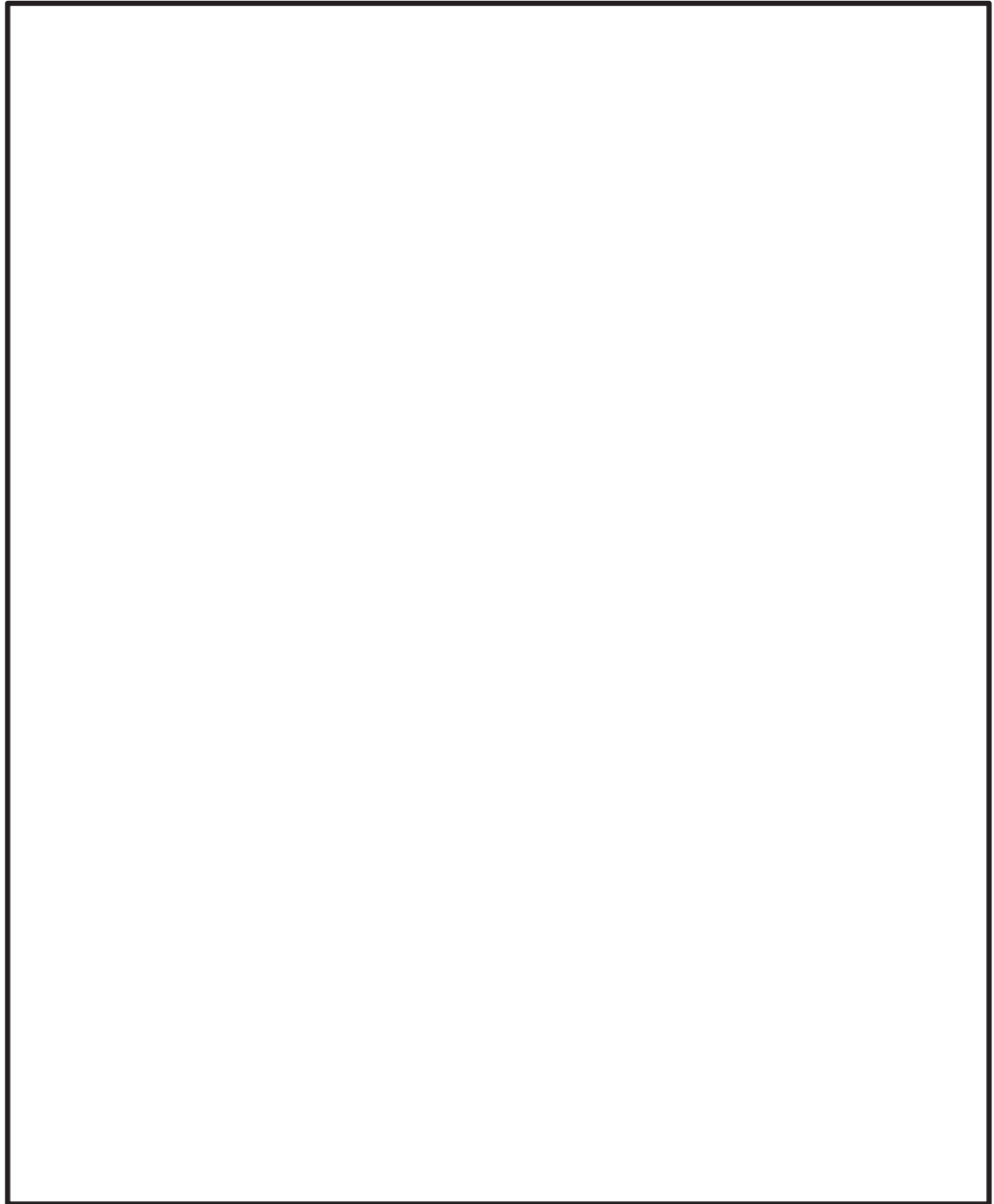
試験条件	試験方法	判定基準
<ul style="list-style-type: none"> 振動波形：正弦波 最大加速度：水平 $6G$、鉛直 $6G$ 振動数：$33Hz$ 弁本体の取付部を剛構造の治具を介して、加振試験装置に固定する。 	加振した後に、外観目視により各部材を確認する。 水平方向と鉛直方向毎に、それぞれで加振する。	機能に影響を及ぼす変形、損傷及び緩みがないこと。

表-3 加振試験装置主要仕様

項目		仕様	
		鉛直加振	水平加振
定格加振力	正弦波	16.0kN	16.0kN
	ランダム波	12.8kNrms	12.8kNrms
最大加速度	正弦波	105G	105G
	ランダム波	105G	105G
最大変位		56mm _{p-p}	56mm _{p-p}
振動数範囲		5~3000Hz	5~2000Hz
最大積載量		200kg	200kg
加振台寸法		500mm×500mm	500mm×500mm

* 逆止弁付ファンネル設置箇所の設計震度は以下のとおり。

- 2号機海水ポンプ室補機ポンプエリア
水平方向： 1.83 、鉛直方向： 1.94
- 3号機海水熱交換器建屋
水平方向： 2.24 、鉛直方向： 1.59



図－2 加振試験装置の外観

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 水圧試験

基準津波による各逆止弁付ファンネルの設置箇所の許容津波高さに津波の突き上げ力を考慮した圧力*を大きく上回る圧力として、1.2MPa 以上の水圧とする。

水圧の保持時間は、「JSME S NC 1-2005/2007 発電用原子力設備規格設計・建設規格」に示される耐圧試験に準じて、10 分間以上とする。

また、水圧試験は、加振試験実施後に行うことを条件とする。

表-4 に水圧試験の条件、方法及び判定基準を示す。

表-4 水圧試験の条件、方法及び判定基準

試験条件	試験方法	判定基準
<ul style="list-style-type: none"> 試験圧力：1.2MPa 以上の水圧 水圧保持時間：10 分間以上 加振試験後に実施 	試験条件に示した圧力及び保持時間で加圧する。加圧後に外観目視により各部材を確認する。	機能に影響を及ぼす変形、損傷がないこと。

* 許容津波高さに津波の突き上げ力を考慮した圧力は、以下のとおり。

- ・ 2号機海水ポンプ室補機ポンプエリア：0.19MPa
- ・ 3号機海水熱交換器建屋：0.20MPa

c. 漏えい試験

各逆止弁付ファンネルの設置個所に加わる津波荷重水位を上回る圧力として、0.18MPa*を最大として段階的に漏えい試験を行う。

漏えい量を測定する時間は、メーカ実績より1分間とし、1時間に換算した値で判定を行う。

また、漏えい試験は、加振試験実施後に行うことを条件とする。

判定基準は、外郭防護2の浸水量評価において、設定している許容漏えい量 $3.4 \times 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{h}$ 以下とする。

表-5 に漏えい試験の条件、方法及び判定基準を示す。

表-5 漏えい試験の条件、方法及び判定基準

試験条件	試験方法	判定基準
<ul style="list-style-type: none"> 試験圧力：0.18MPa (最大) 水圧保持時間：1 分間以上 加振試験後に実施 	試験条件に示した圧力及び時間で弁座部からの漏えい量を測定する。	許容漏えい量 ($3.4 \times 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{h}$) 以下であること。

※：設計津波水位 O.P. 19.5m および逆止弁付ファンネル設置高さ O.P. 2.0m の差である O.P. 17.5m に余裕を考慮した水圧

(4) 評価結果

以下に、加振試験、水圧試験及び漏えい試験の結果と止水機能保持の確認を示す。

a. 加振試験

表-6 に逆止弁付ファンネルの加振試験結果及び止水機能保持確認を示す。

なお、掃引試験により、振動数 5～50Hz に逆止弁付ファンネルの固有振動数がないことを確認した。

表-6 逆止弁付ファンネルの加振試験結果

部位	加振試験結果
弁本体	変形及び損傷なし
弁体	変形及び損傷なし
弁座	変形及び損傷なし
圧縮スプリング	変形及び損傷なし
ガイド	変形及び損傷なし
サポータ	変形及び損傷なし
取付金具 (取付ねじ含む)	変形、損傷及び緩みなし
取付金具ピン	変形及び損傷なし
ねじ切り部	変形、損傷及び緩みなし

b. 水圧試験

表-7 に逆止弁付ファンネルの水圧試験結果及び止水機能保持確認を示す。

表-7 逆止弁付ファンネルの水圧試験結果及び止水機能保持確認

部位	水圧試験結果	止水機能保持確認
弁本体	変形及び損傷なし	止水性能は保持されている。
弁体	変形及び損傷なし	
弁座	変形及び損傷なし	
圧縮スプリング	変形及び損傷なし	
ガイド	変形及び損傷なし	
サポータ	変形及び損傷なし	
取付金具 (取付ねじ含む)	変形、損傷及び緩みなし	
取付金具ピン	変形及び損傷なし	
ねじ切り部	変形、損傷及び緩みなし	

c. 漏えい試験

表-8に逆止弁付ファンネルの漏えい試験結果及び止水機能保持確認を示す。

表-8 逆止弁付ファンネルの漏えい試験結果及び止水機能保持確認

部位	漏えい試験結果		止水機能保持確認
弁本体	有意な漏えいなし		止水性能は保持されている。
弁体			
弁座	試験圧力 (MPa)	漏えい量 (m ³ /h)	
圧縮スプリング	0.0006	0	
ガイド	0.005	2.4×10 ⁻⁴	
サポータ	0.01	3.4×10 ⁻²	
取付金具 (取付ねじ含む)	0.02	2.4×10 ⁻²	
	0.04	2.4×10 ⁻²	
取付金具ピン	0.06	4.3×10 ⁻³	
	0.12	1.3×10 ⁻³	
ねじ切り部	0.18	2.3×10 ⁻³	

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.6 貫通部止水処置に関する補足説明
- 6.5.6.1 貫通部止水処置の耐震性についての計算書に関する補足説明

目 次

1.	概要	6.5.6.1-1
2.	一般事項	6.5.6.1-2
2.1	配置概要	6.5.6.1-2
2.2	構造計画	6.5.6.1-2
2.3	評価方針	6.5.6.1-5
2.4	適用規格・基準等	6.5.6.1-7
2.5	記号の説明	6.5.6.1-8
3.	評価対象部位	6.5.6.1-9
4.	構造強度評価	6.5.6.1-10
4.1	構造強度評価方法	6.5.6.1-10
4.2	荷重及び荷重の組合せ	6.5.6.1-10
4.2.1	荷重の設定	6.5.6.1-10
4.2.2	荷重の組合せ	6.5.6.1-11
4.3	許容限界	6.5.6.1-11
4.4	設計用地震力	6.5.6.1-13
4.5	計算方法	6.5.6.1-16
4.5.1	荷重計算	6.5.6.1-16
4.6	計算条件	6.5.6.1-17
5.	評価結果	6.5.6.1-18
(参考) 第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋及び貫通配管に対する地震時の影響について		
		6.5.6.2-19

1. 概要

本計算書は、添付書類「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に基づき、浸水防護施設のうち、貫通部止水処置が設計用地震力に対して、主要な構造部材が地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入、地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水又は内部溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は貫通部止水処置の荷重又は応力評価により行う。

貫通部止水処置は、設計基準対象施設においては浸水防止設備としてSクラス及びCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、耐津波設計による貫通部止水処置の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

貫通部止水処置は原子炉建屋，タービン建屋，制御建屋，海水ポンプ室，軽油タンクエリア，第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部，第2号機放水立坑防潮壁横断部，第3号機海水ポンプ室防潮壁横断部，第3号機放水立坑防潮壁横断部及び第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部の貫通口と貫通物とのすき間に施工する。

2.2 構造計画

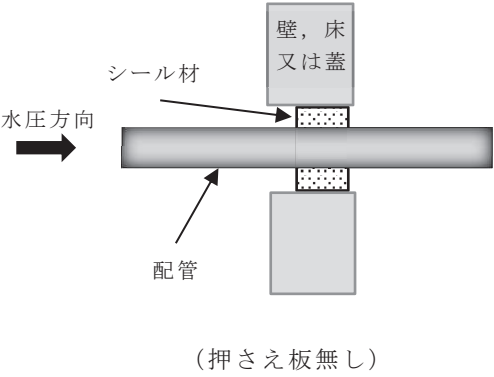
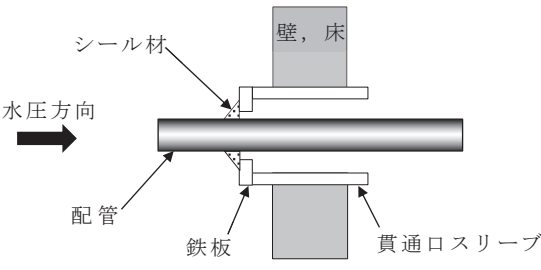
貫通部止水処置は，貫通部の位置や条件に応じて，シール材，モルタル及びブーツを使用し，各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁，床面又は蓋の貫通口と貫通物のすき間に施工し，壁，床面又は蓋と貫通物を接合する構造とする。ブーツは，伸縮性ゴムを用い，壁又は床面の貫通口スリーブと配管を締付けバンドにて固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (1/2)

設備名称	計画の概要		説明図*
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面の貫通ロスリーブと配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 <p>(押さえ板有り)</p>

注記* : 水圧方向は、主たる作用方向を示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		説明図*
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	充填タイプの シール材にて 構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 <p>(押さえ板無し)</p>
	コーキングタイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部と貫通部の隙間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	

注記*：水圧方向は、主たる作用方向を示す。

2.3 評価方針

貫通部止水処置の耐震評価は、添付書類「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」に示す貫通部止水処置の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、発生する荷重が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施し、確認結果を「5. 評価結果」に示す。貫通部止水処置のうちモルタルの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

なお、シール材については、貫通部近傍に支持構造物を設置しており、地震時は建屋壁、防潮壁、第2号機海水ポンプ室壁面、第3号機海水ポンプ室壁面及び浸水防止蓋と貫通物が一体で動くことから、相対変位が軽微な箇所に設置している。また、電線管、ケーブルトレイ内に適用するシール材は、柔軟性及び余長を有するケーブルすき間に充填することとしており、地震時にケーブルに発生する荷重は小さく軽微である。このため、地震によるシール材への影響は軽微であることから耐震評価の対象部位としない。また、第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋については、浸水防止蓋及び貫通する配管共に地震時の影響において剛構造であり、有意な配管変位は発生しないことを確認している。

ブーツについては、伸縮性ゴムを使用しており、配管の地震変位に対しても十分な伸縮性を有している。このため、地震による影響は軽微であることから耐震評価の対象部位としない。

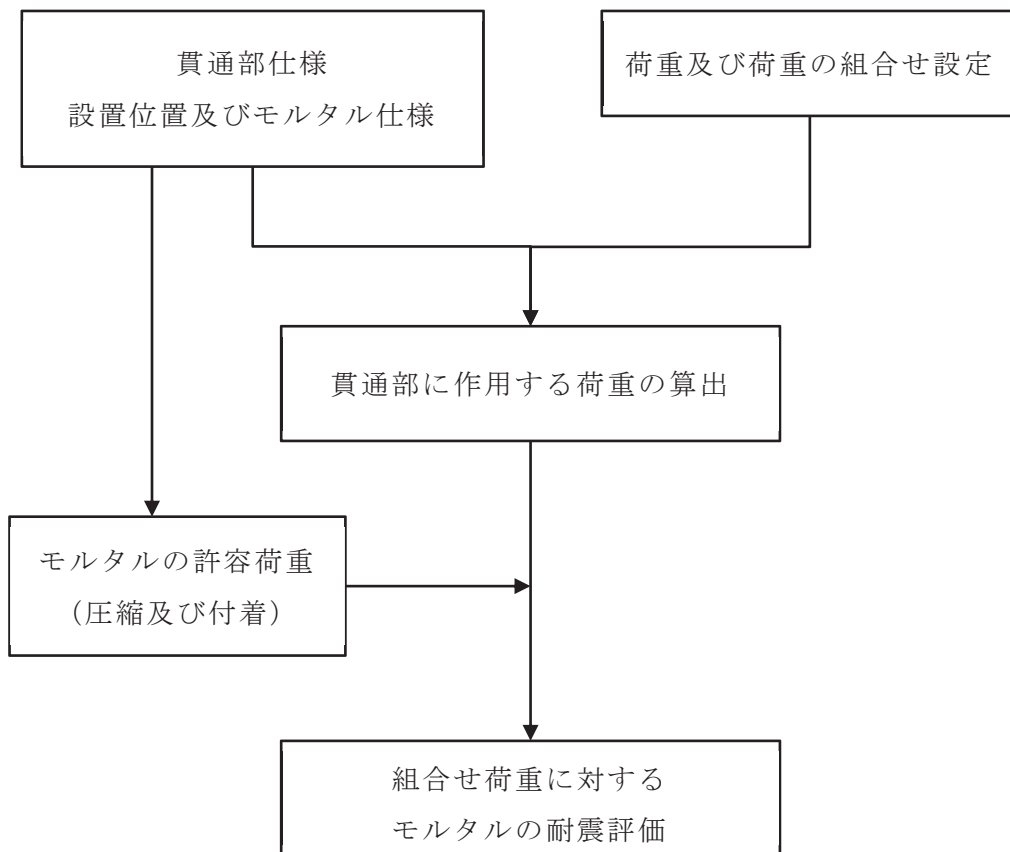


図 2-1 モルタルの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- (2) 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)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (4) 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)
(以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- (5) 機械工学便覧 (日本機械学会)

2.5 記号の説明

モルタルの耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 モルタルの耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_P	貫通物の投影面積	mm^2
C_H	基準地震動 S_s により生じる貫通物の水平方向設計震度	-
C_V	基準地震動 S_s により生じる貫通物の鉛直方向設計震度	-
f_c	モルタルの許容圧縮荷重	kN
d	モルタル貫通物の直径	mm
f_s	モルタルの許容付着荷重	kN
f'_{bok}	モルタル付着強度	N/mm^2
f'_{ck}	モルタル圧縮強度	N/mm^2
F_c	貫通物反力によりモルタルに生じる圧縮荷重	kN
F_{H1}	壁貫通物の軸方向に作用する付着荷重	N
F_{H2}	床及び壁貫通物の軸直方向に作用する圧縮荷重	N
F_{V1}	床貫通物の軸方向に作用する付着荷重	N
F_{V2}	壁貫通物の軸直方向に作用する圧縮荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
L	貫通物の支持間隔	mm
L_w	モルタルの充填深さ	mm
S	貫通物の周長	mm
w	貫通物の支持間隔の単位長さ当たりの質量	kg/m
γ_c	材料定数	-

3. 評価対象部位

貫通部止水処置の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造に従って、地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

モルタルについては、地震時に貫通物の反力が直接作用することが考えられるため、モルタルを評価対象部位とする。また、全ての建屋の中でモルタルに作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価する。モルタルを用いた貫通部のうち、貫通物がないため埋め戻しを行っている貫通部は貫通物の追従により生じる荷重がないため、貫通物が通っている場合の評価に包絡される。

モルタルの評価対象部位を図 3-1 に示す。

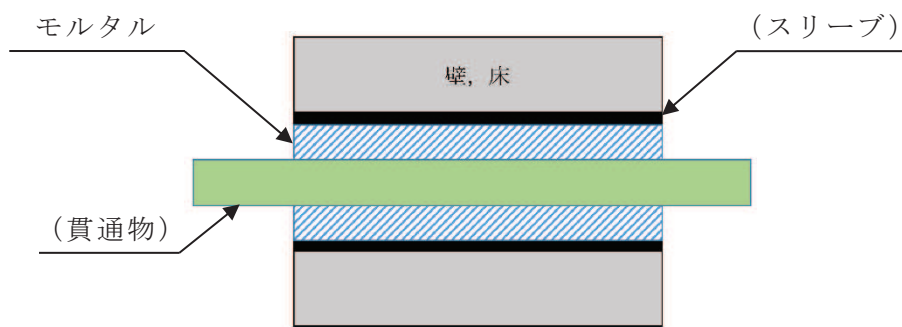


図 3-1 モルタルの評価対象部位

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 貫通部止水処置の評価対象部位の荷重評価を実施し，発生荷重を算出する。
- (2) 評価対象部位の発生荷重と許容荷重を比較し，発生荷重が許容荷重以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せに関して以下に示す。

4.2.1 荷重の設定

(1) モルタルに作用する地震荷重

強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

a. 固定荷重(D)

固定荷重として，貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）及びその内容物の質量を考慮する。

b. 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重は，基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

モルタルに作用する荷重は，付着荷重及び圧縮荷重を考慮する。地震動により貫通物に地震荷重が発生し，その荷重がモルタルに作用するものとして算出する。

(a) 貫通物からモルタルに作用する地震荷重

モルタルに作用する荷重はモルタル端部とモルタルから最も近い支持構造物までの間の貫通物の固定荷重と地震荷重が作用する。評価においては，安全側の評価となる様に貫通部の両側の支持構造物間の貫通物の固定荷重及び地震力がモルタルに作用し，モルタルに反力が発生するものとして荷重を算出する。貫通物からモルタルに作用する荷重作用図を図 4-1 に示す。

また，貫通部は柔構造となる場合もあることから，貫通物の設置場所における床応答スペクトル，当該スペクトルが無い場合は上層の床応答スペクトルの最大応答加速度を用いて算出する。

(b) 評価において考慮する貫通部

評価においては、それぞれの貫通部のうち、発生する荷重が最も大きいものを算出する。

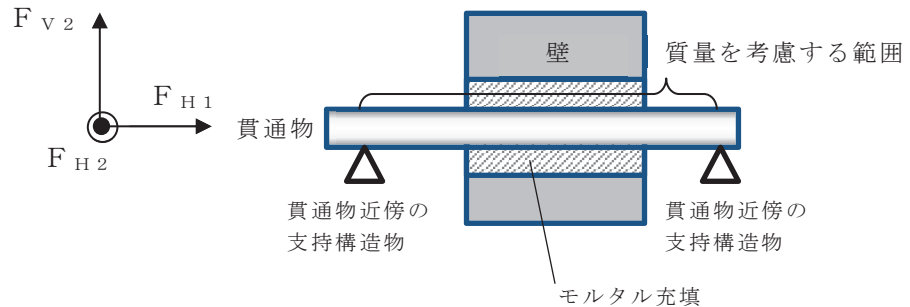


図 4-1 モルタルへの荷重作用図

4.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置（モルタル）の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 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	貫通部止水処置 (モルタル)	D + S _s

注記 * : Dは固定荷重, S_sは基準地震動 S_sによる地震荷重を示す。

4.3 許容限界

貫通部止水処置の許容限界に関して以下に示す。

(1) モルタル

各評価対象部位の許容値は、土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 4-2, 貫通部止水処置の許容限界評価条件を表 4-3, 貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 4-4 に示す。

表 4-2 貫通部止水処置の設計にて考慮する許容限界（許容荷重）

状態	許容限界*	
	付着荷重	圧縮荷重
短期	f_s	f_c

注記 *：モルタルの許容限界は、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]により、モルタルの許容付着荷重 f_s 、モルタル付着強度 f'_{bok} 及びモルタルの許容圧縮荷重 f_c を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。なお、同一貫通部に異なる口径の貫通物が設置されている場合、許容付着荷重の計算に使う周長 S は保守的に最も口径の小さい貫通物の周長を適用し、許容圧縮荷重の計算に使う直径 d も保守的に最も口径の小さい貫通物の直径を適用する。本計算書では、許容付着荷重の計算に適用する貫通物の口径 25A、許容圧縮荷重の計算に適用する貫通物の口径 25A、モルタルの充填深さ $L_w = 300$ mm とする。

$$\text{許容付着荷重 } f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L_w / \gamma_c$$

ここで、 S : 周長 (= 外径 34mm $\times \pi = 106.8142$ mm)

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

$$\text{許容圧縮荷重 } f_c = f'_{ck} \cdot A_p / \gamma_c$$

$$A_p = d \cdot L_w$$

表 4-3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価対象部位	$f'_{ck}{}^{*1}$ (N/mm ²)	$\gamma_c{}^{*2}$
モルタル	30	1.3

注記 *1：モルタル圧縮強度

*2：材料定数

表 4-4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価対象部位	許容限界	
		付着荷重 f_s (kN)	圧縮荷重 f_c (kN)
短期	モルタル	26	235

4.4 設計用地震力

モルタルの耐震計算に用いる設計震度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。モルタルの耐震計算に用いる設計震度を表 4-5 に示す。また、固有周期毎の設計震度を図 4-2，図 4-3 に示す。

表 4-5 モルタルの耐震計算に用いる設計震度

地震動	設置場所及び 床面高さ (mm)	地震による設計震度* ¹	
		基準地震動 S _s	海水ポンプ室 O.P. 14800 (O.P. 11025* ²)
鉛直方向 C _V	24.86		

注記 *1：モルタルは評価対象箇所が多いことから、設計震度の算出が建屋ごと²に全ての対象箇所を包絡するように全周期帯の最大加速度を用いた。また、保守的な評価となるように設置場所の床応答曲線は減衰定数 0.5%を適用した。

*2：設置場所より上層の基準床レベルを示す。(O.P. 11025)

なお、モルタルを用いた貫通部の設置場所の標高は O.P. 8400 である。

【02-SW-SsH-SW14800-005】

構造物名：海水ポンプ室

標高：0.P. 14.800m

—— 水平方向

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動 S s

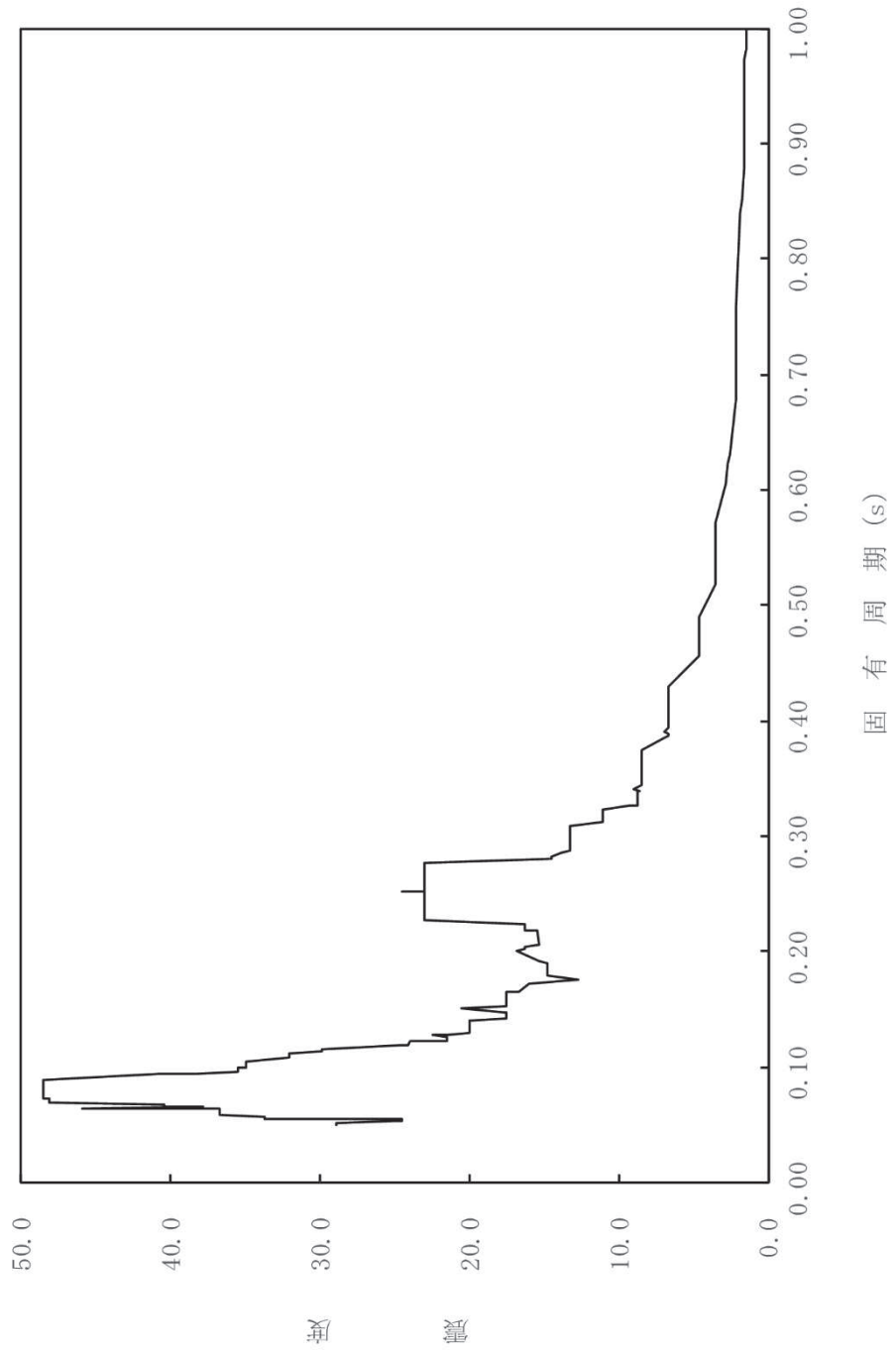


図 4-2 固有周期毎の水平方向の震度

【02-SW-SsV-SW14800-005】

構造物名：海水ポンプ室

標高：O.P. 14.800m

— 鉛直方向

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動 S s

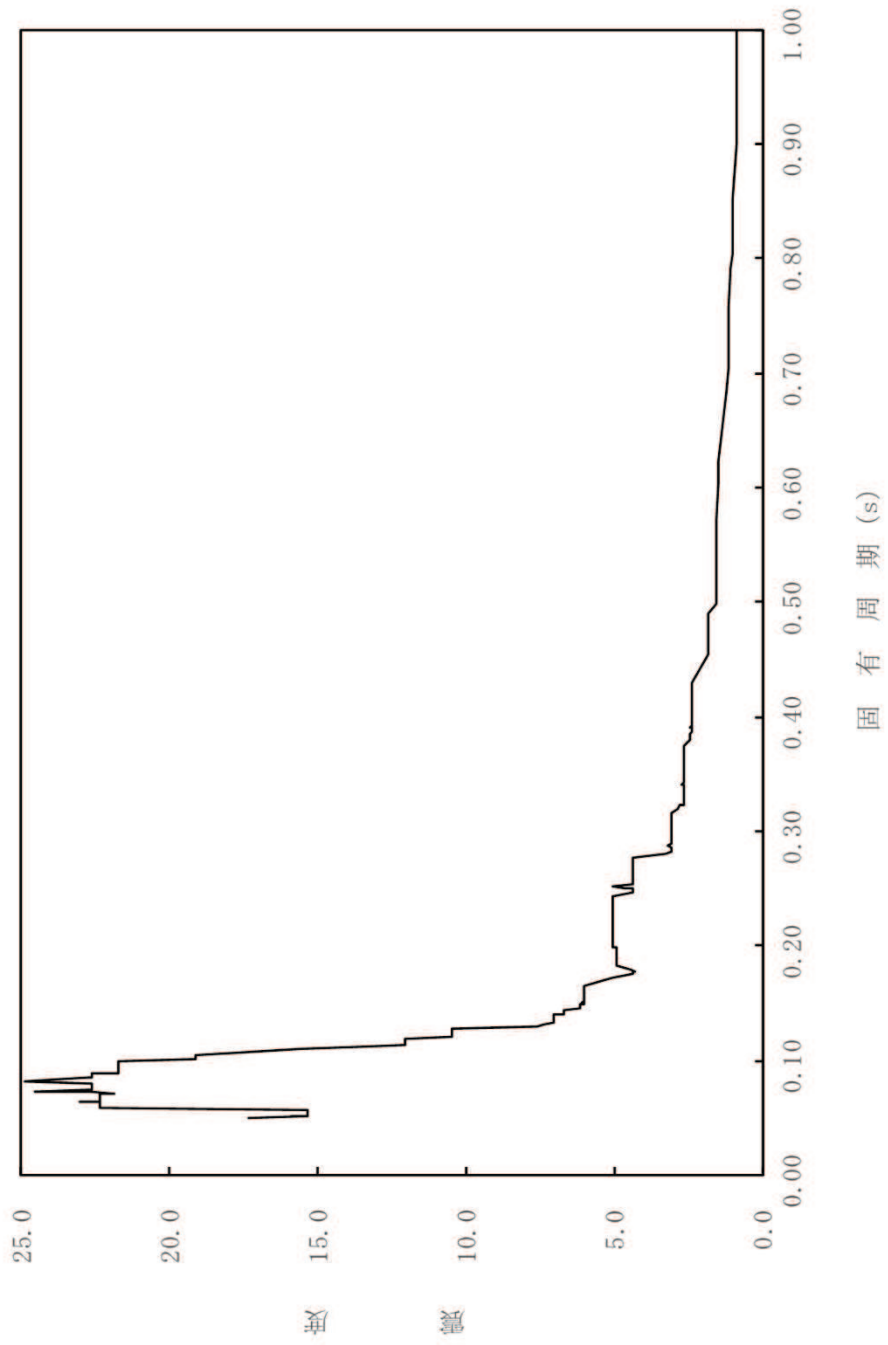


図 4-3 固有周期毎の鉛直方向の震度

4.5 計算方法

4.5.1 荷重計算

(1) モルタル

固定荷重及び基準地震動 S_s による貫通物の反力によりモルタルに生じる荷重を算出する。

a. 付着荷重

付着荷重は、貫通物の水平反力又は鉛直反力から次のとおり算出する。

(a) 床貫通部

$$F_{V1} = w (1 + C_V) \cdot L \cdot g$$

(b) 壁貫通部

$$F_{H1} = w \cdot C_H \cdot L \cdot g$$

b. 圧縮荷重

圧縮荷重は、貫通物の水平反力及び鉛直反力から次のとおり算出する。

(a) 床貫通部

床貫通部には、水平2方向から F_{H2} の荷重が作用するため、2方向の合成荷重を圧縮荷重 F_C とする。

$$F_{H2} = 5/8 \cdot w \cdot C_H \cdot L \cdot g$$

$$F_C = \sqrt{2 \cdot F_{H2}^2}$$

(b) 壁貫通部

壁貫通部には、水平方向と鉛直方向から各々 F_{H2} 、 F_{V2} のせん断力が圧縮荷重として作用するため、2方向の合成荷重を圧縮荷重 F_C とする。

$$F_{H2} = 5/8 \cdot w \cdot C_H \cdot L \cdot g$$

$$F_{V2} = 5/8 \cdot w (1 + C_V) \cdot L \cdot g$$

$$F_C = \sqrt{F_{H2}^2 + F_{V2}^2}$$

4.6 計算条件

(1) モルタル

貫通部止水処置（モルタル）の耐震評価に関する荷重評価条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 モルタルの耐震評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	モルタルの充填深さ L_w (mm)	貫通部から近傍支持 点までの距離 L (mm)	貫通部から支持点ま での単位長さ当たり の質量 w (kg/m)
海水ポンプ室 壁貫通部 (モルタル)	300	2870	□

注記 * : 貫通部から支持点までの単位長さ当たりの質量の算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 評価結果

貫通部止水処置（モルタル）の耐震評価結果を表5-1に示す。貫通部止水処置の評価対象部位における発生荷重は許容荷重以下であり、構造部材が設計用地震力に対して溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを確認した。

表5-1 モルタルの耐震評価結果

荷重	発生荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
付着荷重	<input type="text"/>	26
圧縮荷重	<input type="text"/>	235

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(参考) 第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋及び貫通配管に対する地震時の影響について

1. 概要

第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋（以下、浸水防止蓋という。）には配管が貫通しており、貫通部には貫通部止水処置を実施している。浸水防止蓋及び貫通配管については、3号機海水熱交換器建屋から定着部を設定しているが、地震時において、浸水防止蓋及び貫通配管に有意な変位が発生した場合には、貫通部止水処置の性能に影響を与える可能性があるため、地震時の影響について確認する。

2. 浸水防止蓋と貫通配管の支持構造

(1) 貫通配管の支持構造

第3号機補機冷却海水系放水ピットに設置されている浸水防止蓋と貫通配管の配置の概要について、図-1に示す。

屋外部の貫通配管を支持する支持構造物は2箇所設置しており、3号機海水熱交換器建屋から支持している。

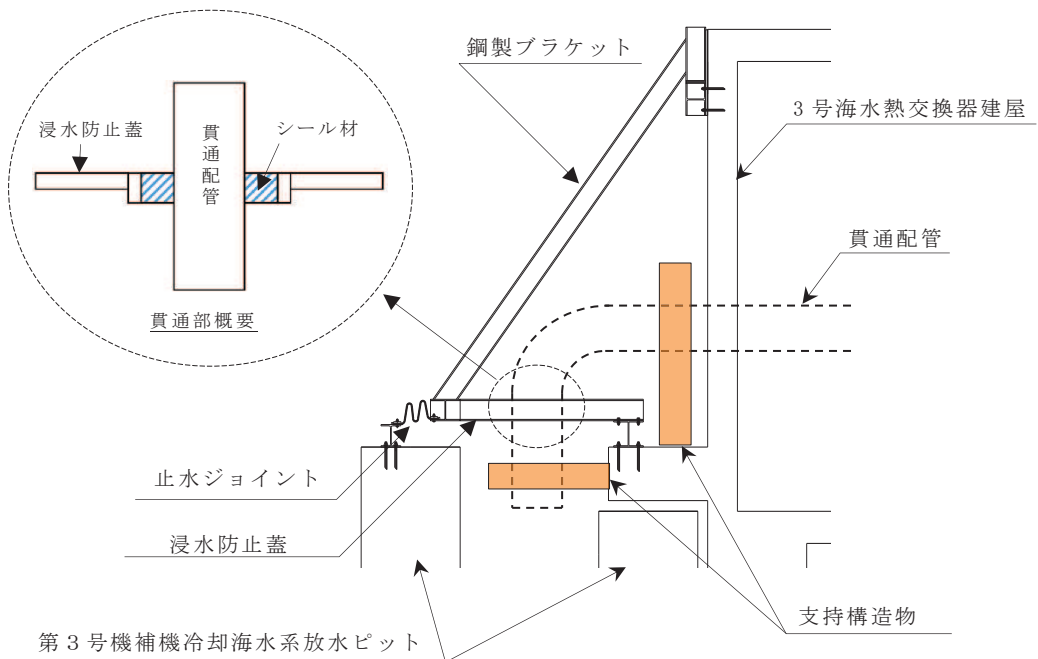


図-1 浸水防止蓋と貫通配管の配置概要

(2) 浸水防止蓋の支持構造について

浸水防止蓋，鋼製ブラケットで構成され，3号海水熱交換器建屋に支持する構造としている。また，第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）が設置されており，第3号機補機冷却海水系放水ピット側の相対変位の影響を受けない構造としている。

3. 貫通配管の地震時の影響

「補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料 5.24.1 3号機補機放水側配管の基準地震動 S_s に対する耐震評価」において，基準地震動 S_s 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確認している。また，図-2～5に示す評価モデルにより固有値解析を実施している。

評価の結果，表-1に示すように固有周期が0.050s以下であることから，剛構造であり，地震時は建屋と配管系が一体で動く構造であることを確認している。また，配管の支持構造物は，配管貫通部の前後の2箇所を設置し，それぞれ軸直角方向にて拘束することで，地震における発生する変位が小さくなるように設計している。浸水防止蓋との貫通部における基準地震動 S_s における最大変位は表-2に示すとおり，非放射性ドレン移送系の8mmであり，非放射性ドレン移送系におけるシール材については，50mmの変位に対応できることを確認しているため，変位の影響は十分小さい。

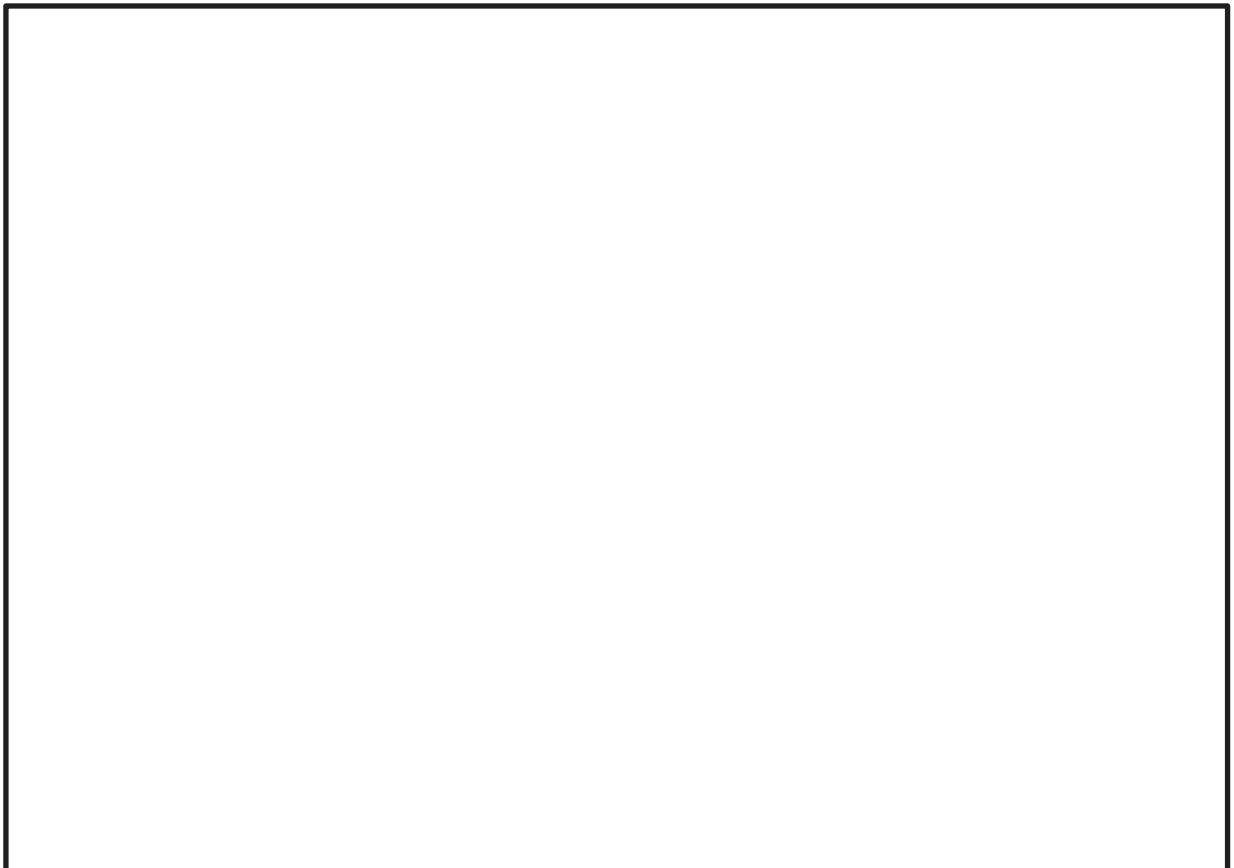


図-2 タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図

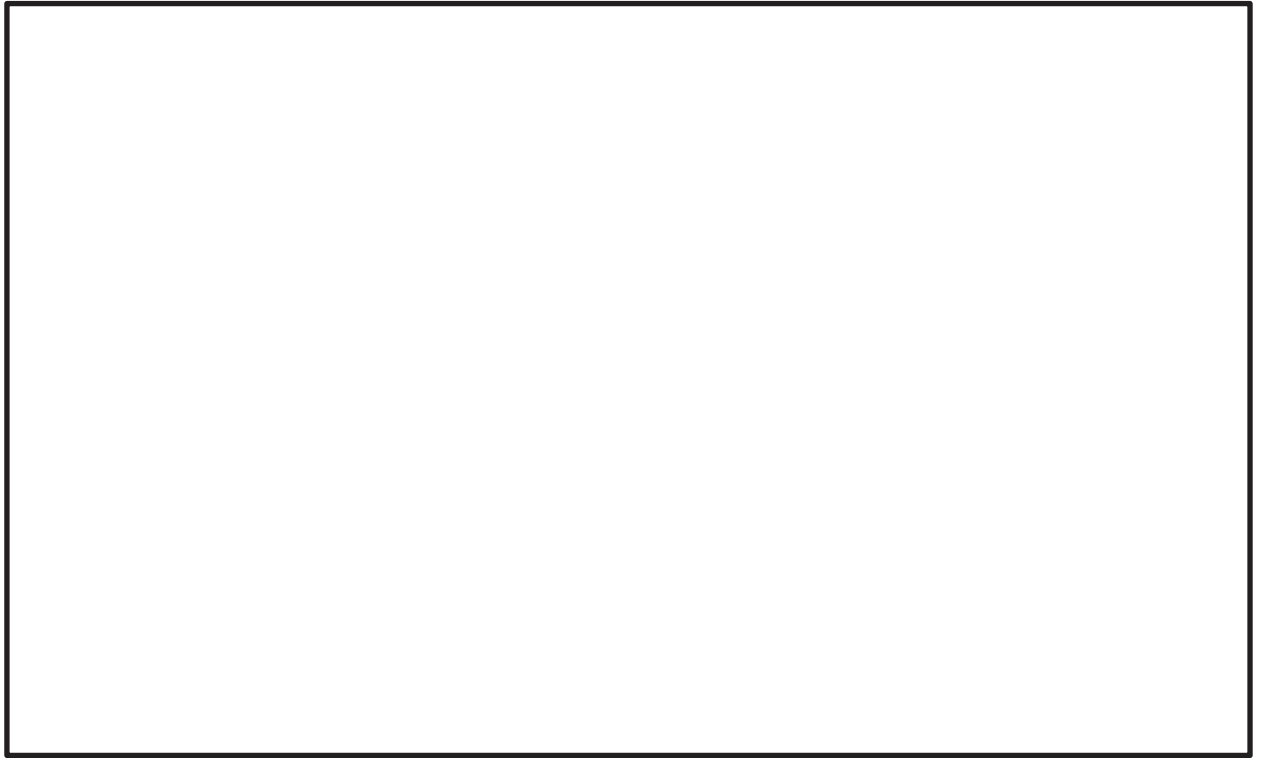


図-3 原子炉補機冷却海水系 系統評価モデル図

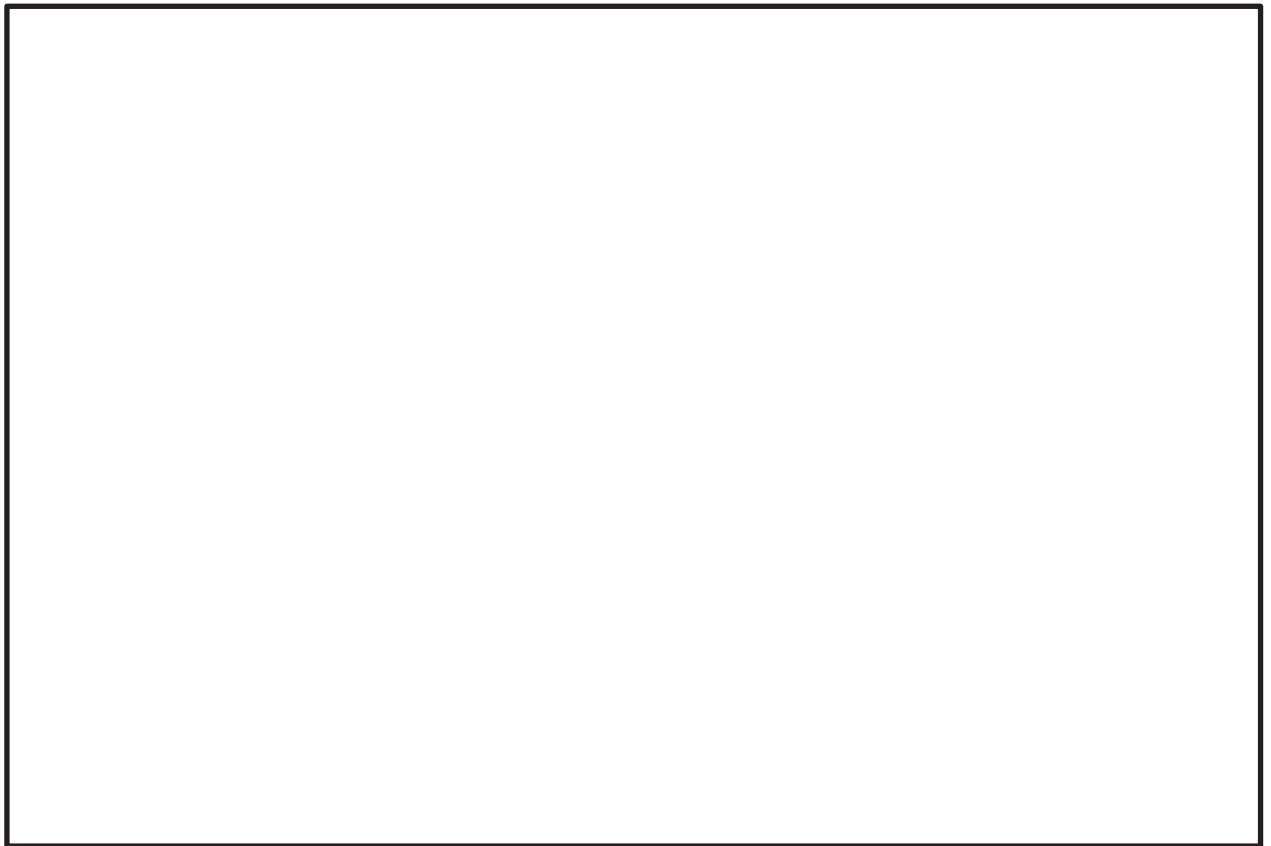


図-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

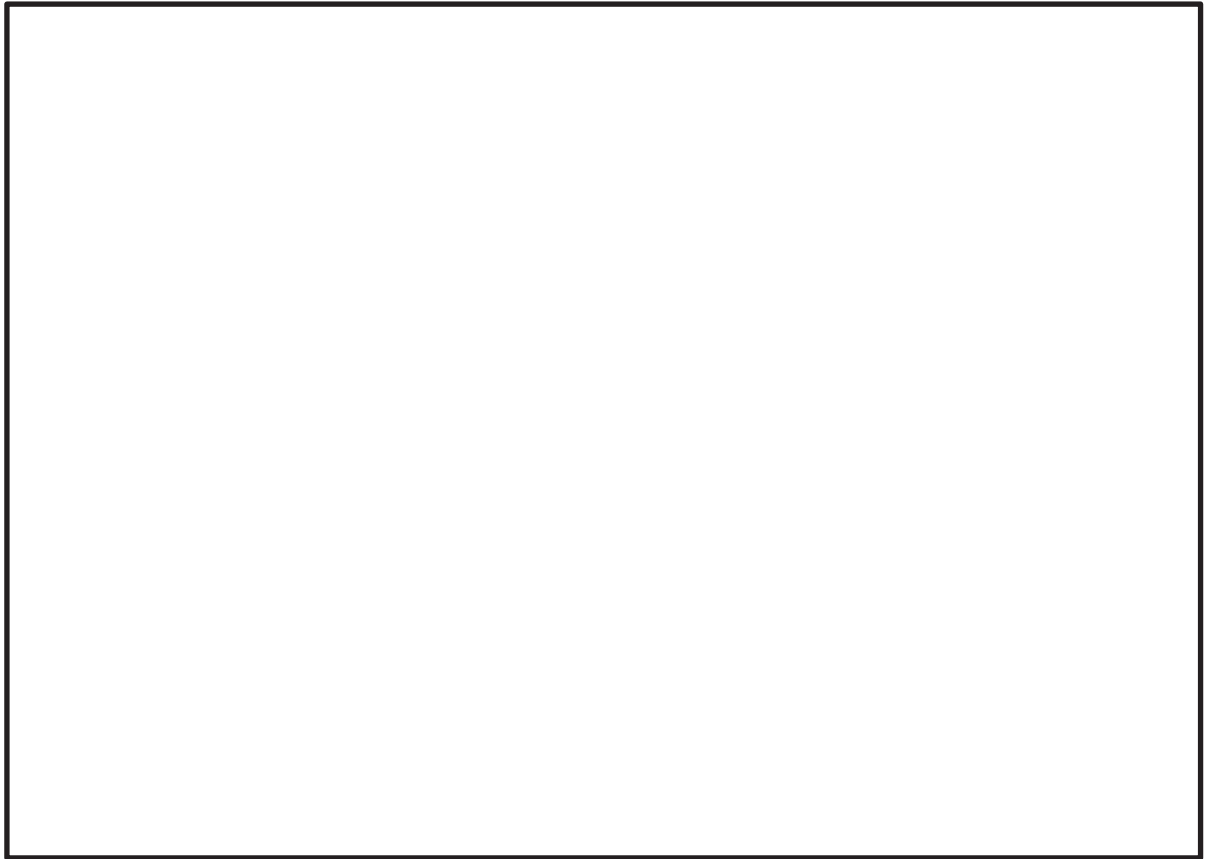


図-5 非放射性ドレン移送系 系統評価モデル図

表-1 固有周期

対象系統	固有周期 (s)	(参考) 固有振動数 (Hz)
タービン補機冷却海水系 (500A)	0.037	27.02
原子炉補機冷却海水系 (500A)	0.028	35.71
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 (200A)	0.025	40.00
非放射性ドレン移送系 (50A)	0.046	21.73

表-2 浸水防止蓋部における3号海水熱交換器建屋に対する最大相対変位

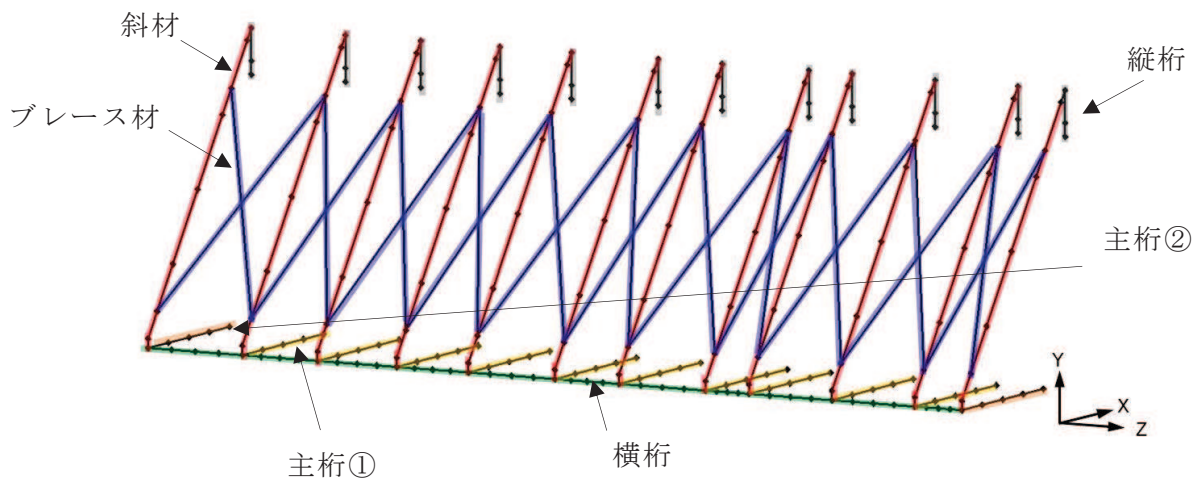
対象系統	最大相対変位 (mm)
タービン補機冷却海水系 (500A)	3
原子炉補機冷却海水系 (500A)	1
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 (200A)	1
非放射性ドレン移送系 (50A)	8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 浸水防止蓋の地震時の影響

添付資料「VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）耐震計算書」において、基準地震動 S_s 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確認している。また、図-6 に示す三次元フレームモデルにより固有値解析を実施しており、表-3 に示すとおり固有振動数が 20Hz 以上であることから、剛構造であることを確認している。

評価の結果、表-3 に示すとおり、固有振動数が 20Hz 以上であることから、剛構造であり、地震時は建屋と浸水防止蓋が一体で動く構造であり、変位量は十分小さいことを確認している。



対象部材	材質	断面形状
— : 主桁①	SUS304	H-200×200×20×20
— : 主桁②	SUS304	H-200×300×20×20
— : 斜材	SUS304	H-200×200×8×12
— : 横桁	SUS304	H-200×300×20×20
— : ブレース材	SUS304	L-60×60×5
— : 縦桁	SUS304	H-200×200×8×12

図-6 固有値解析モデル

表-3 固有値解析結果

振動モード 次数	卓越 方向	固有振動数 f (Hz)
1	Z	24.17
38	Y	108.71
95	X	276.20

5. 貫通部止水処置への影響

貫通する配管の地震時における3号海水熱交換器建屋との相対変位は最大で8mmである。また、浸水防止蓋の地震時における3号海水熱交換器建屋との相対変位は十分に小さいことを確認しており、貫通する配管とシール材を施工する浸水防止蓋との間には十分なすき間を確保する設計としていることから、貫通する配管と浸水防止蓋が干渉することはない。

貫通部止水処置については、貫通する配管と浸水防止蓋の相対変位が小さいことに加えて、シール材は柔軟性に優れたゴム系材料を使用しており、地震時における相対変位についても、十分追従できるように設計していることから、シール材に対して有意な配管荷重は発生しない。このため、地震による相対変位や荷重によるシール材への影響は軽微であり、地震時において貫通部止水処置の性能に影響を与えない。

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.6 貫通部止水処置に関する補足説明
- 6.5.6.2 貫通部止水処置の強度計算書に関する補足説明

目次

1. 概要	6.5.6.2-1
2. 一般事項	6.5.6.2-2
2.1 配置概要	6.5.6.2-2
2.2 構造概要	6.5.6.2-2
2.3 評価方針	6.5.6.2-6
2.4 適用規格・基準等	6.5.6.2-8
2.5 記号の説明	6.5.6.2-9
3. 評価対象部位	6.5.6.2-11
4. 構造強度評価	6.5.6.2-12
4.1 構造強度評価方法	6.5.6.2-12
4.2 荷重及び荷重の組合せ	6.5.6.2-12
4.2.1 荷重の設定	6.5.6.2-12
4.2.2 荷重の組合せ	6.5.6.2-15
4.3 許容限界	6.5.6.2-16
4.4 設計用地震力	6.5.6.2-18
4.5 計算方法	6.5.6.2-21
4.5.1 シール材の強度評価（発生圧力計算）	6.5.6.2-21
4.5.2 モルタルの強度評価（荷重計算）	6.5.6.2-21
4.6 計算条件	6.5.6.2-22
5. 評価結果	6.5.6.2-27
(参考1) 第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋及び貫通配管に対する地震時の影響について	6.5.6.2-28
(参考2) 遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部止水処置の強度評価について	6.5.6.2-34

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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貫通部止水処置が、地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、地震による溢水に加えて津波の流入又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重に対して、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。

なお、貫通部止水処置の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

貫通部止水処置は、添付書類「VI-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」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示すとおり、第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第2号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第3号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部、第2号機原子炉建屋、第2号機制御建屋及び第2号機軽油タンクエリアの貫通口と貫通物とのすき間又は貫通物の周囲に施工する。

2.2 構造概要

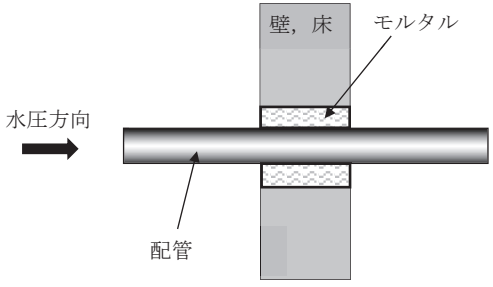
貫通部止水処置の構造は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は、貫通部の位置条件及び貫通物の強度条件に応じて、シール材又はモルタルを使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁又は床面等の貫通口と貫通物のすき間に施工し、壁又は床面等と貫通物を接合する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画

計画の概要		説明図*
基礎・支持構造	主体構造	
貫通部の開口部にシリコンシーリング材を充填する。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	充填タイプのシリコンシーリング材にて構成する。	<p style="text-align: center;">説明図*</p> <p style="text-align: center;">シリコンシーリング材の構造例（押さえ板有り）</p> <p style="text-align: center;">シリコンシーリング材の構造例（押さえ板無し）</p> <p style="text-align: center;">シリコンシーリング材の構造例（電線管）</p> <p style="text-align: center;">シリコンシーリング材の構造例（ケーブルトレイ）</p>

注記*：水圧方向は、主たる作用方向を示す。

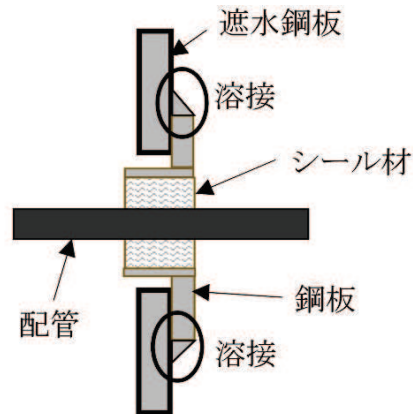
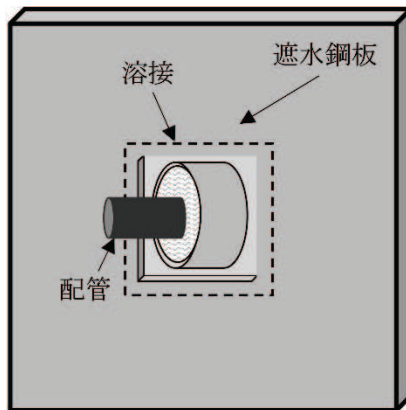
計画の概要		説明図*
基礎・支持構造	主体構造	
貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	モルタルにて構成する。	 <p>モルタルの構造例</p>

注記*：水圧方向は、主たる作用方向を示す。

(遮水鋼板へ施工する貫通部止水処置の構造)

(1) 配管の貫通部止水処置 (構造概要)

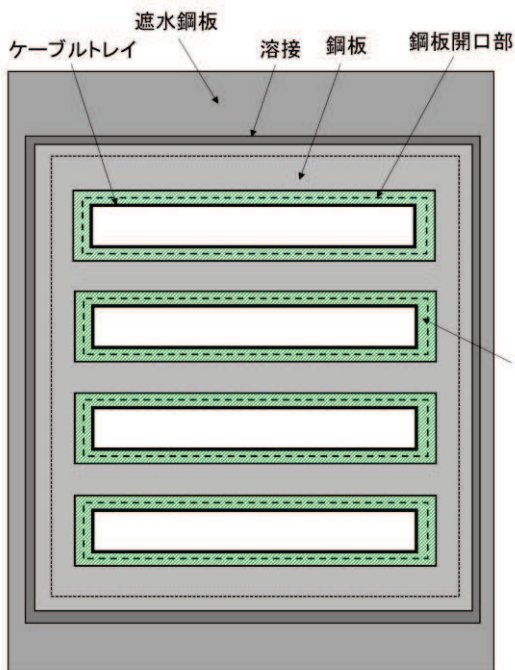
遮水鋼板を貫通する配管貫通部の止水をするため、配管を囲うように鋼板及び鋼製スリーブを遮水鋼板に溶接し、鋼製スリーブと配管の隙間に対し充填タイプのシール材を施工する。



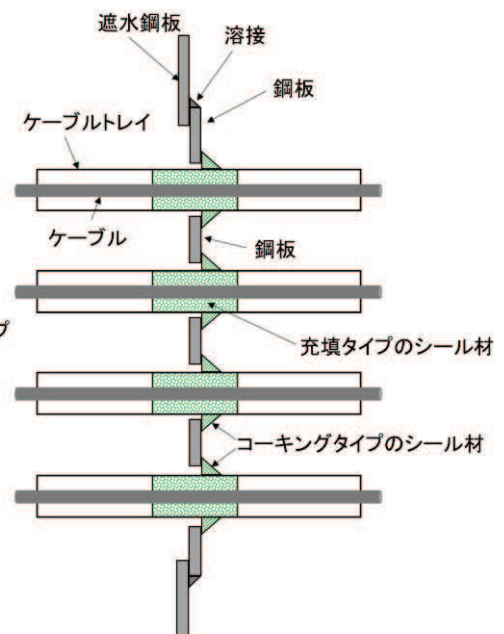
(2) ケーブルトレイの貫通部止水処置 (構造概要)

遮水鋼板を貫通するケーブルトレイ貫通部の止水をするため、ケーブルトレイを囲うように鋼板を遮水鋼板に溶接し、鋼板とケーブルトレイの隙間に対しコーキングタイプのシール材を施工する。ケーブルトレイの内部については充填タイプのシール材を施工する。

また、コーキングタイプのシール材の強度評価については参考2に示す。



(正面図)



(側面図)

2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-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、貫通部止水処置の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

貫通部止水処置は構造上の特徴の違いから、シーラ材並びにモルタルに分けて設計を行うこととする。シーラ材の強度評価フローを図 2-1 に、モルタルの強度評価フローを図 2-2 に示す。

シーラ材については、添付書類「VI-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」の「4.2 許容限界」にて設定しているとおり、計算により求めた圧力が、水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する。

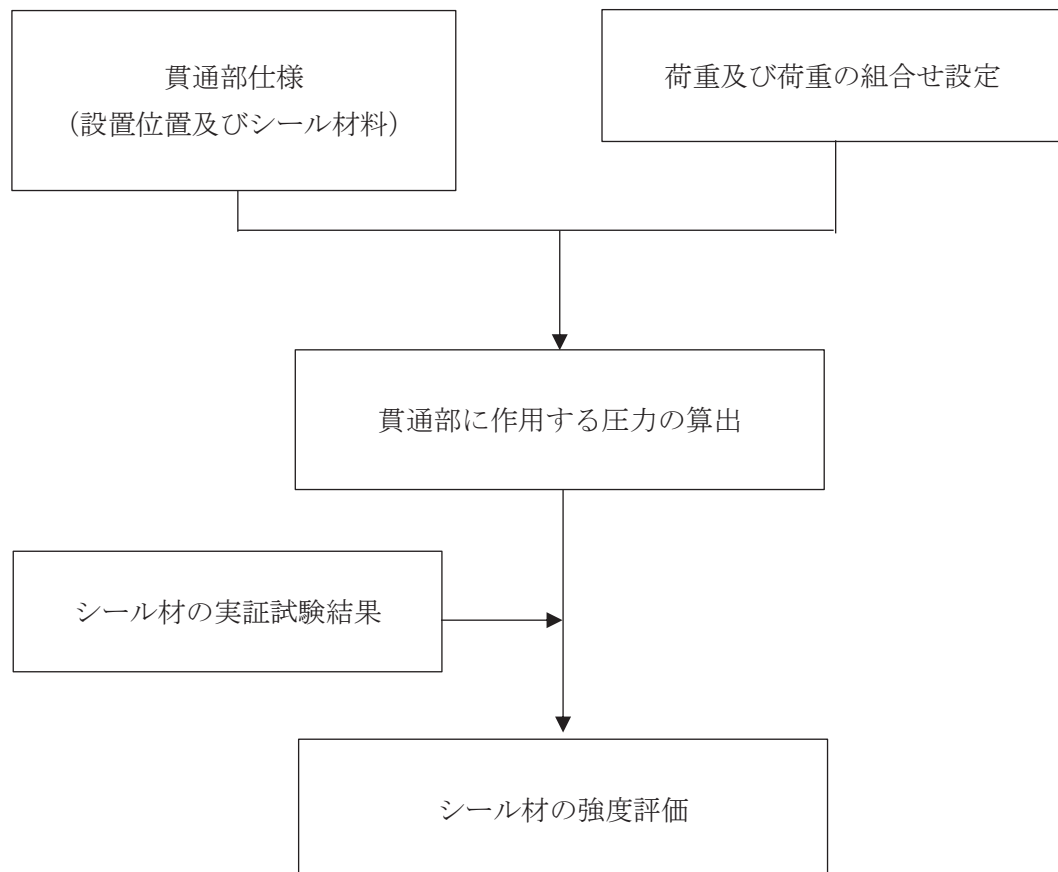


図 2-1 シーラ材の強度評価フロー

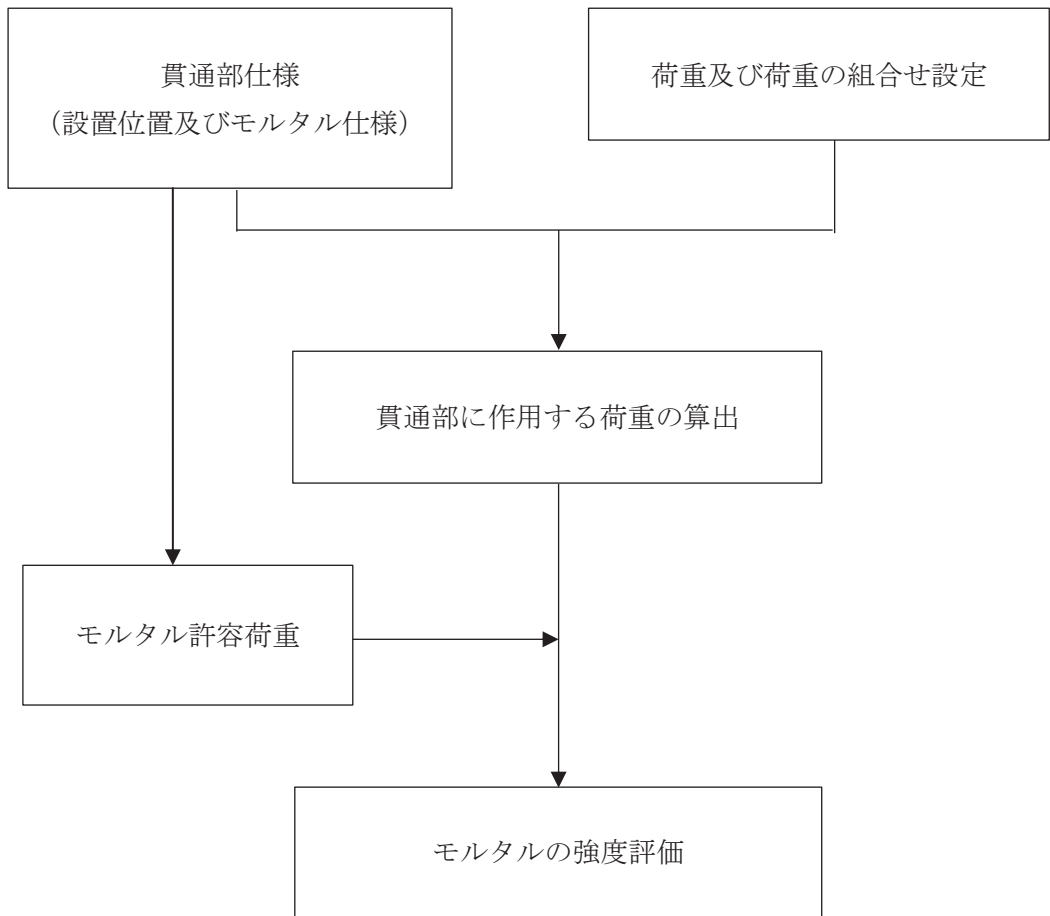


図 2-2 モルタルの強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す

- (1) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (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 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)
- (4) 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)
(以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- (5) 日本水道協会 2009年 水道施設耐震工法指針・解説
- (6) 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]

2.5 記号の説明

貫通部止水処置の強度評価に用いる記号を表 2-2、表 2-3 に示す。

表 2-2 シール材の強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
C_H	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による水平方向の設計震度	—
C_v	弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による鉛直方向の設計震度	—
g	重力加速度	m/s^2
h	貫通部にかかる水頭	m
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
C_D	抗力係数	—
U	貫通部に加わる流体の速度	m/s
P_d	余震による動水圧	MPa
P_h	浸水津波荷重	MPa
P_t	突き上げ津波荷重	MPa
P_{s_d}	余震による慣性力	MPa
$P_{H\ total}$	貫通物の貫通軸が水平方向であるシール材に加わる荷重	MPa
$P_{v\ total}$	貫通物の貫通軸が鉛直方向であるシール材に加わる荷重	MPa

表 2-3 モルタルの強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A'	モルタルが水圧を受ける面積	mm^2
f_s	モルタルの許容付着強度	N
f'_{bok}	モルタルの付着強度	N/mm^2
f'_{ck}	モルタルの圧縮強度	N/mm^2
F_H	貫通物の軸方向に作用する荷重	N
F_S	貫通物の自重によりモルタルに生じるせん断荷重	N
$F_{S\ total}$	モルタル部に生じる合計せん断荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
h	貫通部にかかる水頭	m
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
$K S d$	弾性設計用地震動に伴う余震荷重	N
L	モルタルの充てん深さ	m
P_d	動水圧	N/m^2
P_h	静水圧荷重	N/m^2
C_H	弾性設計用地震動 S_d による水平方向の設計震度	—
C_{HW}	動水圧算出用の水平方向震度（余震）	—
C_v	弾性設計用地震動 S_d による鉛直方向の設計震度	—
S	貫通物の周長	m
W	貫通物の支持間隔の質量	kg
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
γ_c	材料定数	—

3. 評価対象部位

貫通部止水処置の評価部位は、添付書類「VI-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」に示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、地震による溢水に加えて津波の流入によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重は、止水処置全体へ伝達される。このことから、シーラ材及びモルタルを用いた止水処置の全体を評価部位として設定する。

シーラ材については、作用する圧力による荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。モルタルについては、作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-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」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 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、「4.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

4.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (D)

固定荷重は、貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）の質量及び内容物の質量による荷重である。

(2) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重として、津波による水位を用いた静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

ここで、 ρ : 海水の密度 (=1030kg/m³)
 g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)
 h : 貫通部にかかる水頭 (m)

(3) 突き上げ津波荷重 (P_t)

貫通部止水処置に加わる津波速度を考慮する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho \cdot U^2 + \rho \cdot g \cdot h$$

ここで、 C_D : 抗力係数 (=2.01)
 ρ : 海水の密度 (=1030kg/m³)
 U : 貫通部に加わる流体の速度 (=1.0m/s)
 g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)
 h : 貫通部にかかる水頭 (m)

(4) 余震荷重

余震荷重は、添付書類「VI-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-D2} に伴う地震力（動水圧含む。）とする。

ただし、モルタルの余震荷重の算出においては、弾性設計用地震動 S_{d-D2} よりも保守的な値である弾性設計用地震動 S_d（7波包絡）に伴う地震力を用いることとする。

a. シール材

(a) 余震による動水圧 (K S d)

余震による動水圧がシール材に作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_H \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

ここで、 β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (=) (「日本水道協会 2009年 水道施設耐震工法指針・解説」より)

ρ : 海水の密度 (=1030kg/m³)

C_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

H : 貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ

h : 貫通部ににかかる水頭 (m)

(b) 余震による慣性力 (S d)

津波による静水頭が余震を受けた場合の慣性力を考慮する。

$$P_{s d} = h \cdot \rho \cdot g \cdot C_v$$

ここで、 h : 貫通部ににかかる水頭 (m)

ρ : 海水の密度 (=1030kg/m³)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

C_v : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による鉛直方向の設計震度

b. モルタル

(a) 余震による地震力

イ. 貫通物による余震荷重

貫通物からモルタルに作用する荷重として、支持構造物間の固定荷重及び地震力を考慮する。図 4-1 にモルタルへの付着方向の地震力(余震荷重)の作用図を示す。

また、貫通物は柔構造となる場合があることから、貫通物の設置場所における床応答スペクトルを用いて設計震度を算出する。

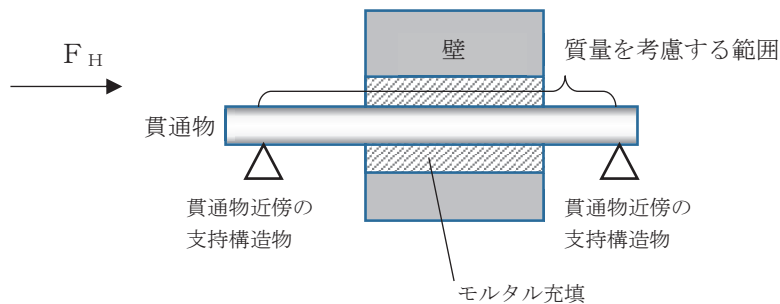


図 4-1 モルタルへの付着方向の余震荷重作用図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ロ. 評価において考慮する貫通部

評価においては、イ. に基づく余震荷重と最も荷重が大きくなる貫通物を考慮して算出する。

ハ. モルタルに作用する付着荷重

モルタルに作用する余震による付着荷重については、イ. に示す支持構造物間の貫通物に作用する余震荷重から算出する。

(b) 余震による動水圧 (K S d)

余震による動水圧がモルタルに作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

ここで、 β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (「日本水道協会 2009年 水道施設耐震工法指針・解説」より)

ρ : 海水の密度 (=1030kg/m³)

C_{HW} : 動水圧算出用の水平方向震度 (余震)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

H : 貫通部敷設エリアの床面からの浸水深度 (m)

h : 貫通部ににかかる水頭 (m)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 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)	貫通部止水処置 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁横断部, 第 2 号機放水立坑防潮壁横断部, 第 3 号機海水ポンプ室防潮壁横断部, 第 3 号機放水立坑防潮壁横断部, 第 2 号機原子炉建屋, 第 2 号機制御建屋及び第 2 号機軽油タンクエリアの貫通部)	$D + P_h + K S_d^{*1*3*4}$
	貫通部止水処置 (第 3 号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部)	$D + P_t + S_d^{*2*3*5}$

注記 * 1 : Dは固定荷重, P_h は浸水津波荷重, $K S_d$ は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (余震による動水圧 P_d) を示す。ただし, モルタルは弾性設計用地震動 S_d (7波包絡) による余震荷重 (貫通物による余震荷重及び余震による動水圧 P_d) を示す。

* 2 : Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 (余震による慣性力 P_{sd}) を示す。

* 3 : 固定荷重 (D) について, シール材を施工する配管貫通部は, 耐震性を満足させるため, 貫通部近傍の配管に支持構造物を設置する設計としており, シール材に加わる固定荷重の影響は軽微であるため考慮しない。

* 4 : 水平方向に荷重を受ける箇所に適用する。

* 5 : 鉛直方向に荷重を受ける箇所に適用する。

4.3 許容限界

(1) シール材

シール材の許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水压を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。シール材の水圧試験の概要を図4-2に示す。実機施工時には、試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し、かつ、想定するシール材に加わる圧力が、許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。

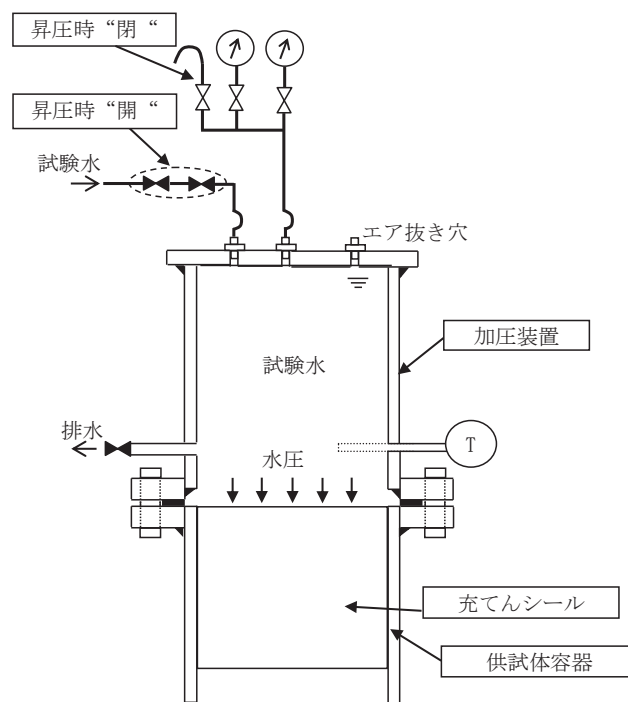


図4-2 シール材の水圧試験の概要

(2) モルタル

各評価対象部位の許容値は、土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 4-2, 許容限界評価条件を表 4-3, 貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 4-4 に示す。また、モルタルの施工例を図 4-3 に示す。

表 4-2 貫通部止水処置の許容限界 (許容荷重)

状態	許容限界*
	付着荷重
短期	f_s

注記* :モルタルの許容限界は、土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]によりモルタルの許容付着荷重 f_s , モルタル付着強度 f'_{bok} を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。また、評価において最も裕度が小さくなる貫通物の口径=50A, モルタル充填深さ $L=1000\text{mm}$ とする。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

ここで, S : 周長 (=外径 $60.5\text{mm} \times \pi = 190.0664\text{mm}$)

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

表 4-3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価対象部位	f'_{ck} (N/mm^2)	γ_c (-)
モルタル	30	1.3

表 4-4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価対象部位	許容限界
		付着荷重 (kN)
短期	モルタル	158

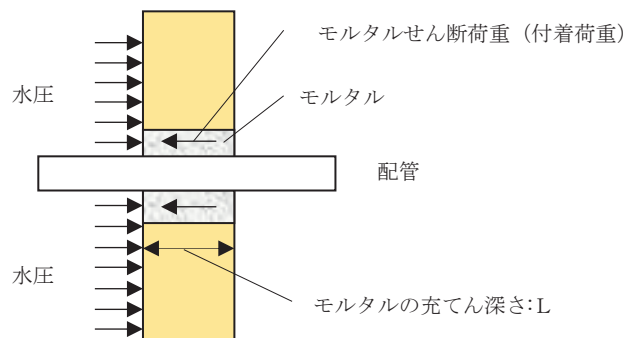


図 4-3 モルタルの施工例

4.4 設計用地震力

(1) シール材

シール材の強度評価における弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方法」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。貫通部止水処置の強度評価に用いる設計用震度を表 4-5、表 4-6、表 4-7 に示す。

表 4-5 シール材の強度計算に用いる設計用震度

地震動	床面高さ* ¹	貫通部止水処置の設置場所	余震による設計震度* ²	
	O.P. (m)			
弾性設計用地震動 S d - D 2	13.8	第 3 号機放水立坑防潮壁横断部 (第 3 号機放水立坑)	水平方向 C _H	0.40
	14.0	第 3 号機補機冷却海水系放水 ピット浸水防止蓋貫通部 (第 3 号機海水熱交換器建屋)	鉛直方向 C _V	0.89

注記 *1：貫通部止水処置の設置場所より高い基準床レベルを設定している。

*2：最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

表 4-6 女川 3 号機放水立坑に設置する機器等の評価用震度（余震評価用）

（強度評価用：1.2ZPA）（弾性設計用地震動 S d - D 2，不確かさ包絡）

標高* O.P. (m)	動的震度 (1.2ZPA) (単位：G)					
	水平			鉛直		
	鋼桁 5	鋼桁 6	水平 包絡	鋼桁 5	鋼桁 6	鉛直 包絡
14.800	0.40	0.37	0.40	0.85	0.95	0.95
11.000	0.37	0.32	0.37	0.78	0.88	0.88

注記 *：耐津波設計においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため、表記 O.P. より -1m した値を記載する。

表 4-7 3号海水熱交換器建屋内機器等の評価用震度（余震評価用）
（強度評価用：1.2ZPA）（弾性設計用地震動 S d - D 2，不確かさ包絡）

標高 * O.P.(m)	動的震度(1.2ZPA) (単位:G)			
	NS	EW	水平包絡	鉛直
15.0	1.89	1.66	1.89	0.89
8.0	1.40	1.32	1.40	0.77
-1.1	0.89	0.90	0.90	0.60
-9.5	0.51	0.51	0.51	0.46

注記 *：耐津波設計においては，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う，牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため，表記 O.P. より -1 m した値を記載する。

(2) モルタル

モルタルの強度評価における弾性設計用地震動 S d に伴う地震力については，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。貫通部止水処置の強度評価に用いる設計用震度を表 4-8 に示す。また，固有周期毎の水平方向の震度を図 4-4 に示す。

表 4-8 モルタルの強度計算に用いる設計用震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (m)	貫通部止水処置の設置場所	余震による設計震度* ²	
			水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
弾性設計用地震動 S d (7波包絡)	13.8	軽油タンク室 (A, B) (タンク室)	水平方向 C _H	8.62
			鉛直方向 C _V	6.77

注記 *¹：貫通部止水処置の設置場所より高い基準床レベルを設定している。

*²：モルタルは評価対象箇所が多いことから，設計震度の算出については，設置場所である軽油タンク室 (A, B) (タンク室) の全ての対象箇所を包絡するように全周期帯の最大加速度を用いた。また，保守的な評価となるように設置場所の床応答曲線は減衰定数 0.5% を適用した。

図番 : 02_DOT_Sd-AL_C00_0.5_HH_14.800_h_Rev00_h2

構造物名 : 軽油タンクピット(A)(B)-タンク側
標高 : O.P. 14.800m
減衰定数 : 0.5
波形名 : Sd-AL

——水平方向

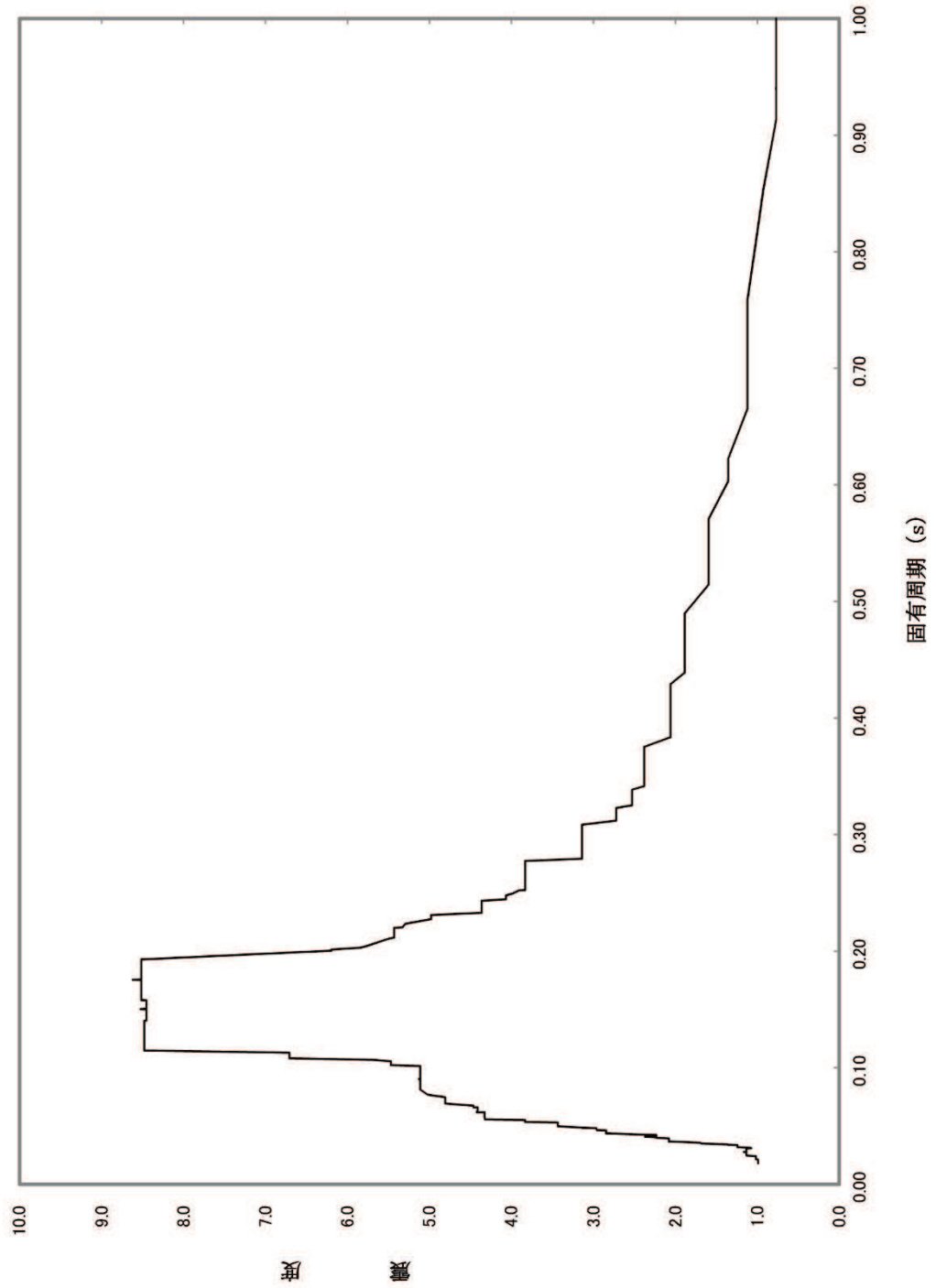


図 4-4 固有周期毎の水平方向の震度

4.5 計算方法

4.5.1 シール材の強度評価（発生圧力計算）

貫通物の貫通軸が水平方向であるシール材は，浸水津波荷重 P_h と余震による動水圧 P_d を考慮する。

$$P_{H \text{ total}} = P_h + P_d$$

貫通物の貫通軸が鉛直方向であるシール材は，津波による突き上げ津波荷重 P_t と余震による慣性力 $P_{s d}$ を考慮する。

$$P_{v \text{ total}} = P_t + P_{s d}$$

4.5.2 モルタルの強度評価（荷重計算）

(1) 貫通物の反力により生じる荷重

固定荷重及び地震時の貫通物の反力によりモルタルに生じる荷重は，次のとおり算出する。せん断荷重は，水平反力と貫通軸上の貫通物の質量から次のとおり算出する。

$$F_H = W \cdot g \cdot (1 + C_H)$$

$$F_S = F_H$$

(2) 合計荷重

モルタルに発生する合計せん断荷重 $F_{S \text{ total}}$ は次のとおり算出する。

$$F_{S \text{ total}} = F_S + (P_h + P_d) \cdot A'$$

ここで， A' : モルタルが水圧を受ける面積（=0.011 m²）

ここでは，モルタルの面積が保守的になるように，貫通物の面積を考慮しない，スリーブ口径（100A=外径 114.3mm）の面積を適用している。

4.6 計算条件

(1) シール材

シール材の強度評価に用いる計算条件を表 4-9 及び表 4-10 に示す。また、貫通部止水処置に加わる津波概要を図 4-5 及び図 4-6 に示す。

表 4-9 シール材（貫通軸：水平）の強度評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m ³)	貫通部施設エリアの床 面からの浸水深さ* ¹ H (m)
第3号機放水立坑防 潮壁横断部 (シール材)	□	1030	21.2

貫通部位置における浸水深さ* ² h (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 による 水平方向の設計震度 C_H	重力加速度 g (m/s ²)
9.164	0.40	9.80665

注記 * 1 : 貫通部施設エリアの床面からの浸水深さ(H)は、貫通部施設エリアの床面(O. P. -3.2m)から入力津波水位に0.5mの余裕を考慮した津波水位(O. P. 18.0m)までの寸法。

* 2 : 貫通部位置における浸水深さhは開口下端高さ(O. P. 8.836m)から入力津波水位に0.5mの余裕を考慮した津波水位(O. P. 18.0m)までの寸法。

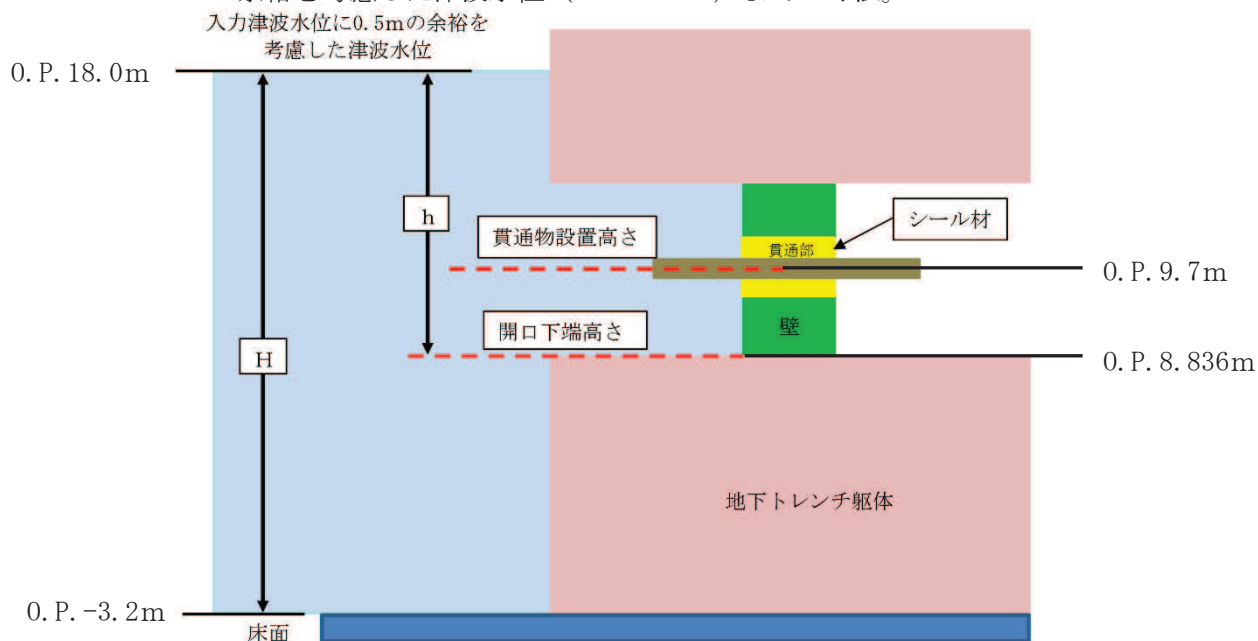


図 4-5 貫通部止水処置（貫通軸：水平）に加わる津波の概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-10 シール材（貫通軸：鉛直）の強度評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	海水の密度 ρ (kg/m ³)	抗力係数 C_D (-)	貫通部に加わる流体 の流速 U (m/s)
第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部*1 (シール材)	1030	2.01	1.0

貫通部位置における浸水深さ h (m)	重力加速度 g (m/s ²)
3.4*2	9.80665

注記 *1:第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋及び貫通配管については剛構造であり、地震時において有意な相対変位が発生しないことを確認したうえでシール材の施工を適用している。

*2:貫通部位置における浸水深さは、第3号機補機冷却海水系放水ピット躯体の天端高さ(0.P.14.6m)から入力津波水位に0.5mの余裕を考慮した津波水位(0.P.18.0m)までの寸法。

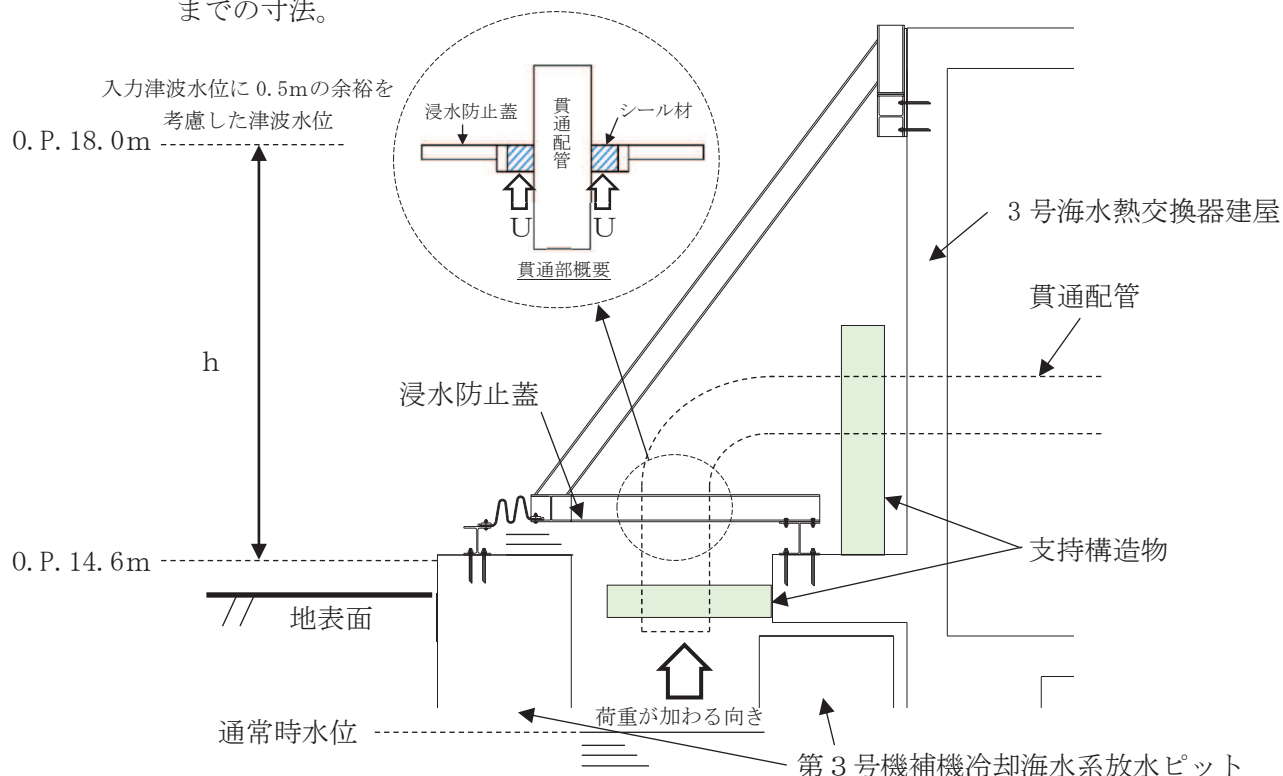


図 4-6 貫通部止水処置（貫通軸：鉛直）に加わる津波の概要

(2) モルタル

モルタルの強度評価に用いる計算条件を表 4-11 に示す。また、貫通部止水処置に加わる荷重の概要を図 4-7 に示す。

表 4-11 モルタルの強度評価に用いる計算条件

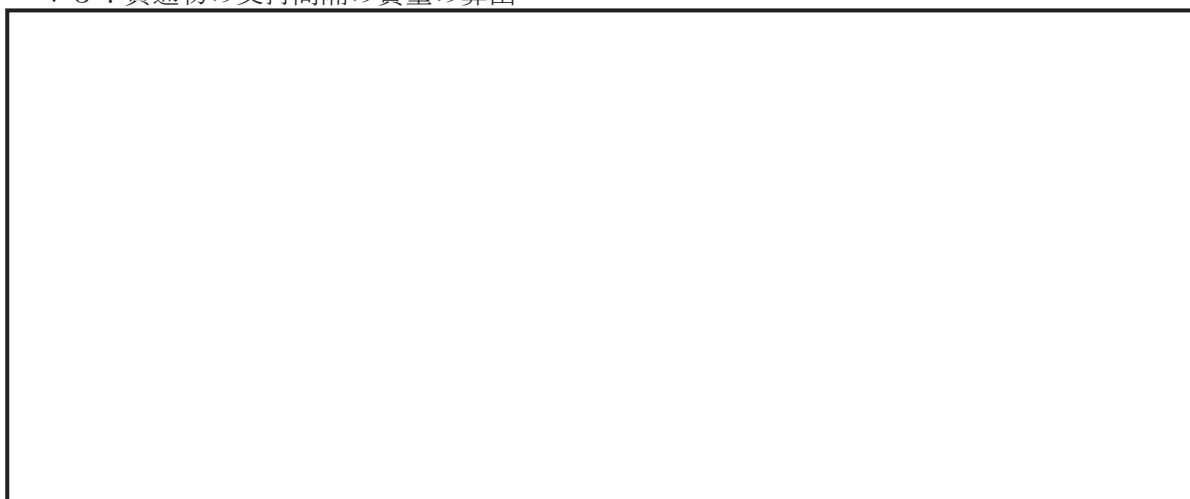
貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m^3)	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (m)
第 2 号軽油 タンクエリア (モルタル)	□	1030	5.48* ¹

貫通部位置における 浸水深さ h (m)	貫通物の支持間隔 の質量 (kg)	モルタルが水圧を 受ける面積 A' (m^2)	動水圧算出用の 水平方向震度 C _{HW}
2.27	□	0.011	0.99* ²

注記 * 1 : 貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さHは、軽油タンク室が没水するとして、軽油タンク室の床面(0. P. 8. 5m)から屋外タンク等の破損による浸水深(0. P. 13. 8m+0. 18m)までの高さ。

* 2 : 動水圧算出用の水平方向震度は、弾性設計用地震動S_d (7波包絡)に伴う地震力として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方法」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。動水圧算出用の水平方向震度を表 4-12、表 4-13 に示す

* 3 : 貫通物の支持間隔の質量の算出



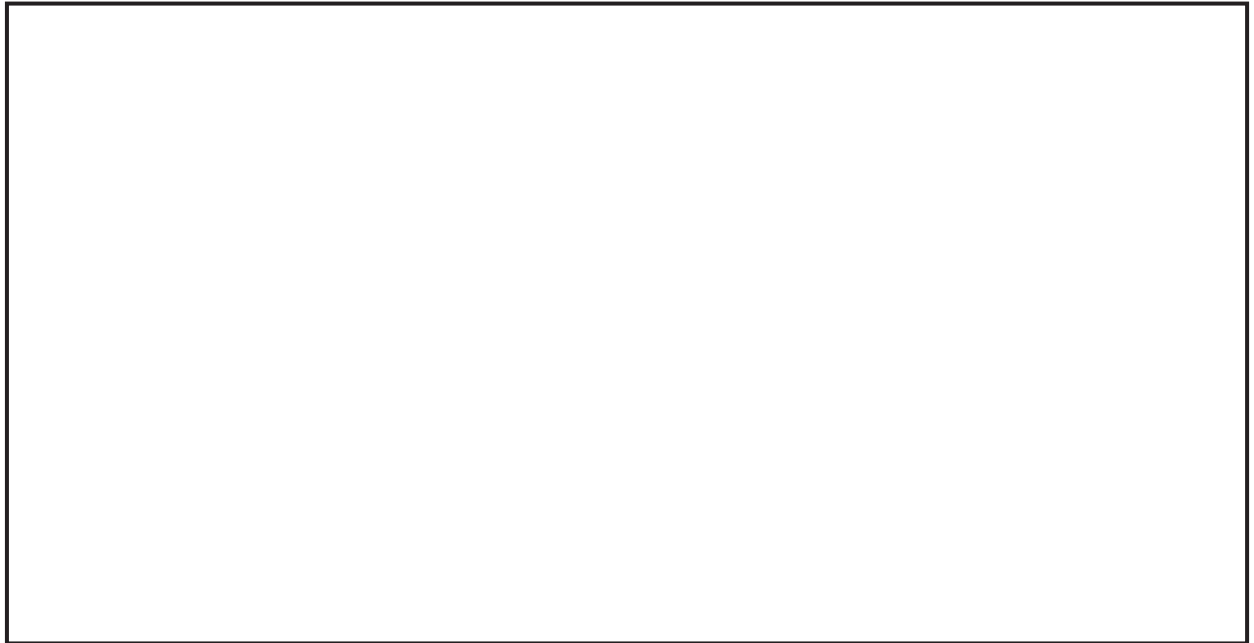


表 4-12 動水圧算出用の水平方向震度

地震動	床面高さ* ¹ O.P. (m)	貫通部止水処置の設置場所	余震による設計震度* ²	
			水平 方向震度 C _{HW}	0.99
弾性設計用地震動 S d (7波包絡)	13.8	軽油タンク室 (A, B) (タンク室)		

注記 *1: 貫通部止水処置の設置場所より高い基準床レベルを設定している。

*2: 最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

表 4-13 軽油タンク室 (A, B) (タンク室) 内機器等の評価用震度 (余震評価用)

(強度評価用: 1.2ZPA) (弾性設計用地震動 S d 7波包絡, 不確かさ包絡)

標高* O.P.(m)	動的震度(1.2ZPA) (単位:G)			
	NS(タンク室)	EW(タンク室)	水平包絡	鉛直
14.8	0.99	0.88	0.99	0.64
9.5	0.79	0.78	0.79	0.60

注記 *: 耐津波設計においては, 平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴う, 牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下を考慮するため, 表記 O.P. より -1 m した値を記載する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

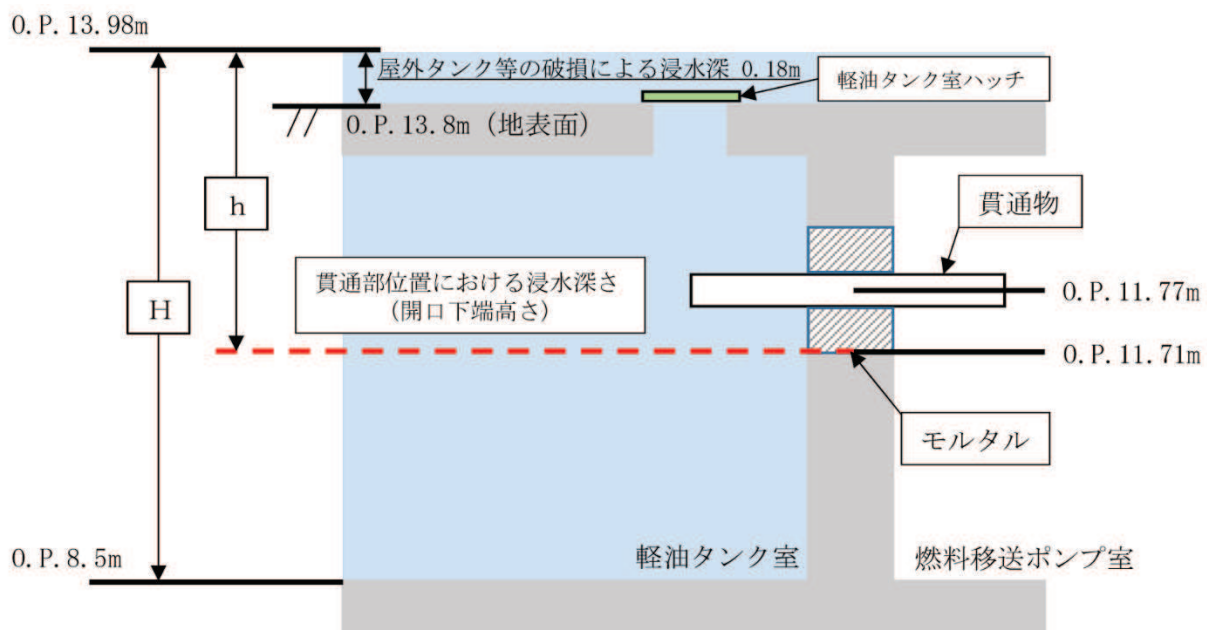


図 4-7 貫通部止水処置（モルタル）に加わる荷重の概要


5. 評価結果

シーラ材及びモルタルの強度評価結果をそれぞれ表 5-1, 表 5-2 に示す。シーラ材, モルタルの発生圧力又は発生荷重は, 許容圧力又は許容荷重以下であることを確認した。

表 5-1 シーラ材の浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シーラ材 (貫通軸：水平)	0.15	0.40
シーラ材 (貫通軸：鉛直)	0.07	0.40

表 5-2 モルタルの浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	せん断荷重 (付着荷重)		159

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(参考1) 第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋及び貫通配管に対する地震時の影響について

1. 概要

第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋（以下、浸水防止蓋という。）には配管が貫通しており、貫通部には貫通部止水処置を実施している。浸水防止蓋及び貫通配管については、3号機海水熱交換器建屋から定着部を設定しているが、地震時において、浸水防止蓋及び貫通配管に有意な変位が発生した場合には、貫通部止水処置の性能に影響を与える可能性があるため、地震時の影響について確認する。

2. 浸水防止蓋と貫通配管の支持構造

(1) 貫通配管の支持構造

第3号機補機冷却海水系放水ピットに設置されている浸水防止蓋と貫通配管の配置の概要について、図-1に示す。

屋外部の貫通配管を支持する支持構造物は2箇所設置しており、3号機海水熱交換器建屋から支持している。

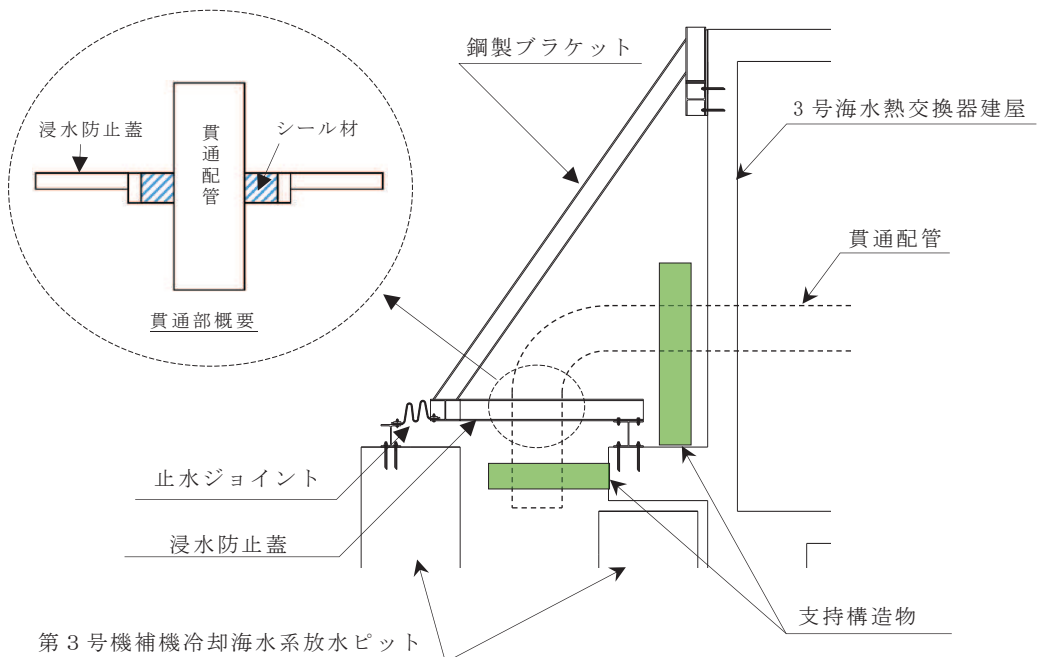


図-1 浸水防止蓋と貫通配管の配置概要

(2) 浸水防止蓋の支持構造について

浸水防止蓋，鋼製ブラケットで構成され，3号海水熱交換器建屋に支持する構造としている。また，第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）が設置されており，第3号機補機冷却海水系放水ピット側の相対変位の影響を受けない構造としている。

3. 貫通配管の地震時の影響

「補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料 5.24.1 3号機補機放水側配管の基準地震動 S_s に対する耐震評価」において，基準地震動 S_s 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確認している。また，図-2～5に示す評価モデルにより固有値解析を実施している。

評価の結果，表-1に示すように固有周期が0.050s以下であることから，剛構造であり，地震時は建屋と配管系が一体で動く構造であることを確認している。また，配管の支持構造物は，配管貫通部の前後の2箇所を設置し，それぞれ軸直角方向にて拘束することで，地震における発生する変位が小さくなるように設計している。浸水防止蓋との貫通部における基準地震動 S_s における最大変位は表-2に示すとおり，非放射性ドレン移送系の8mmであり，非放射性ドレン移送系におけるシール材については，50mmの変位に対応できることを確認しているため，変位の影響は十分小さい。

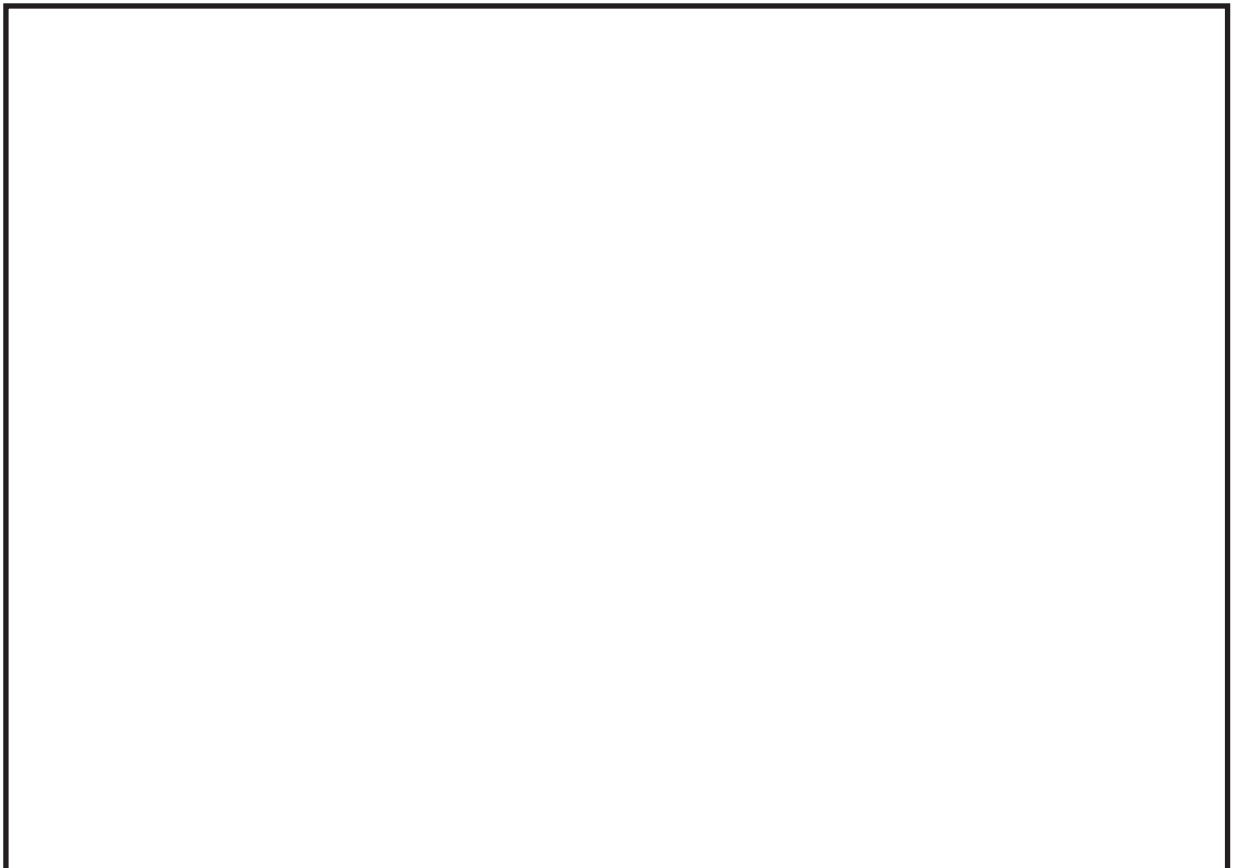


図-2 タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図

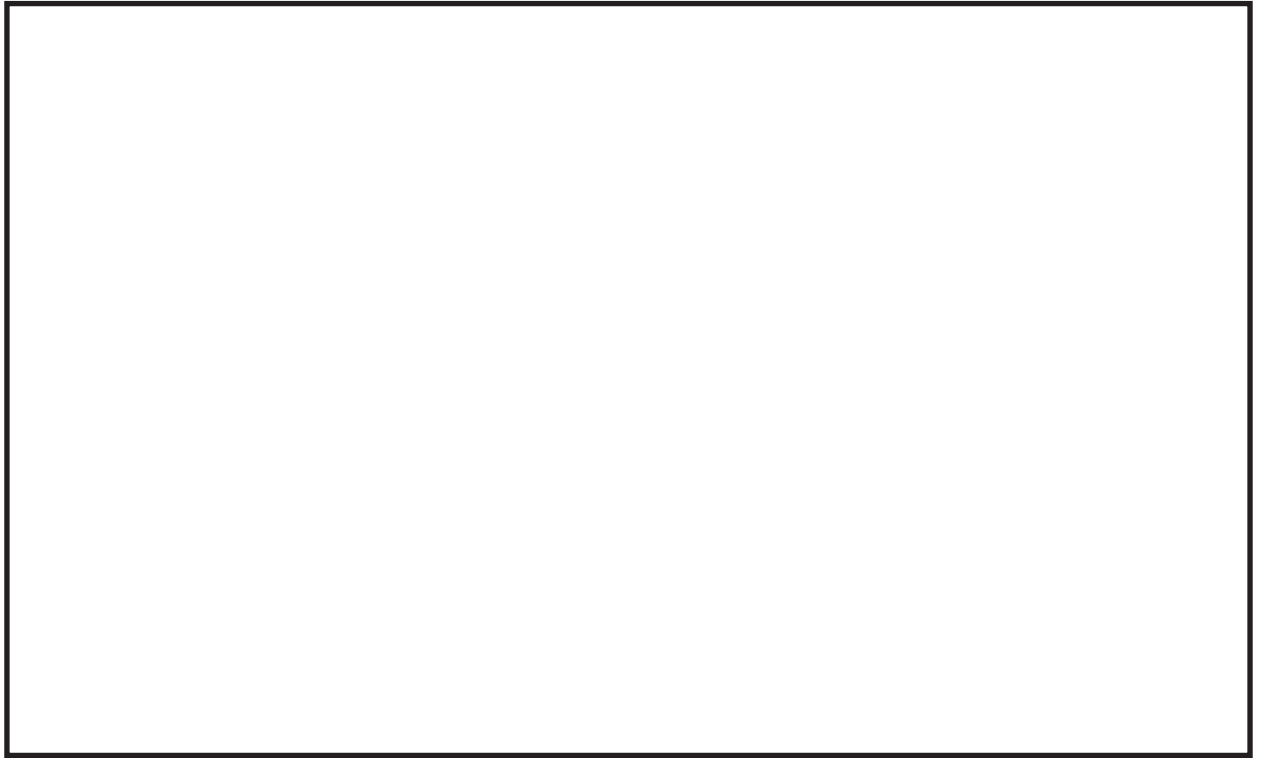


図-3 原子炉補機冷却海水系 系統評価モデル図

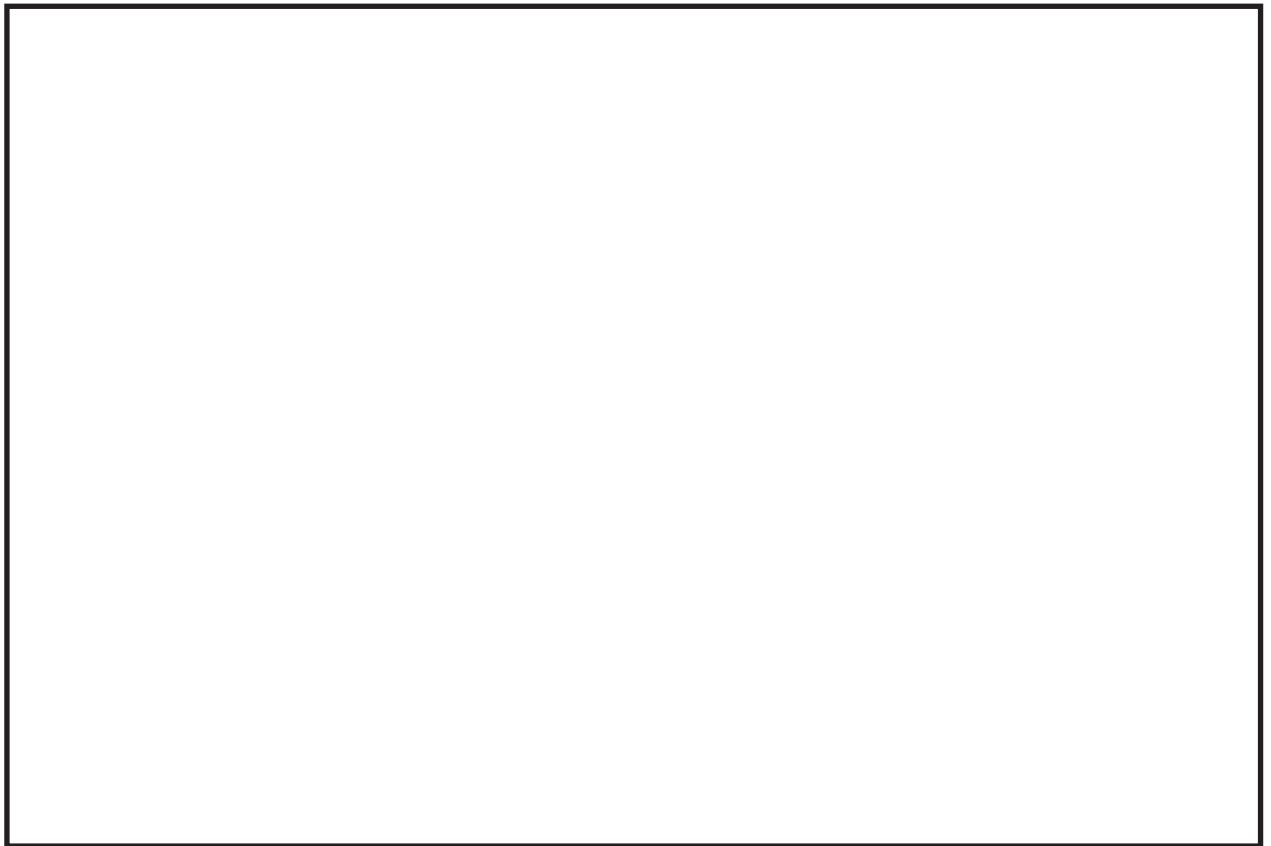


図-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

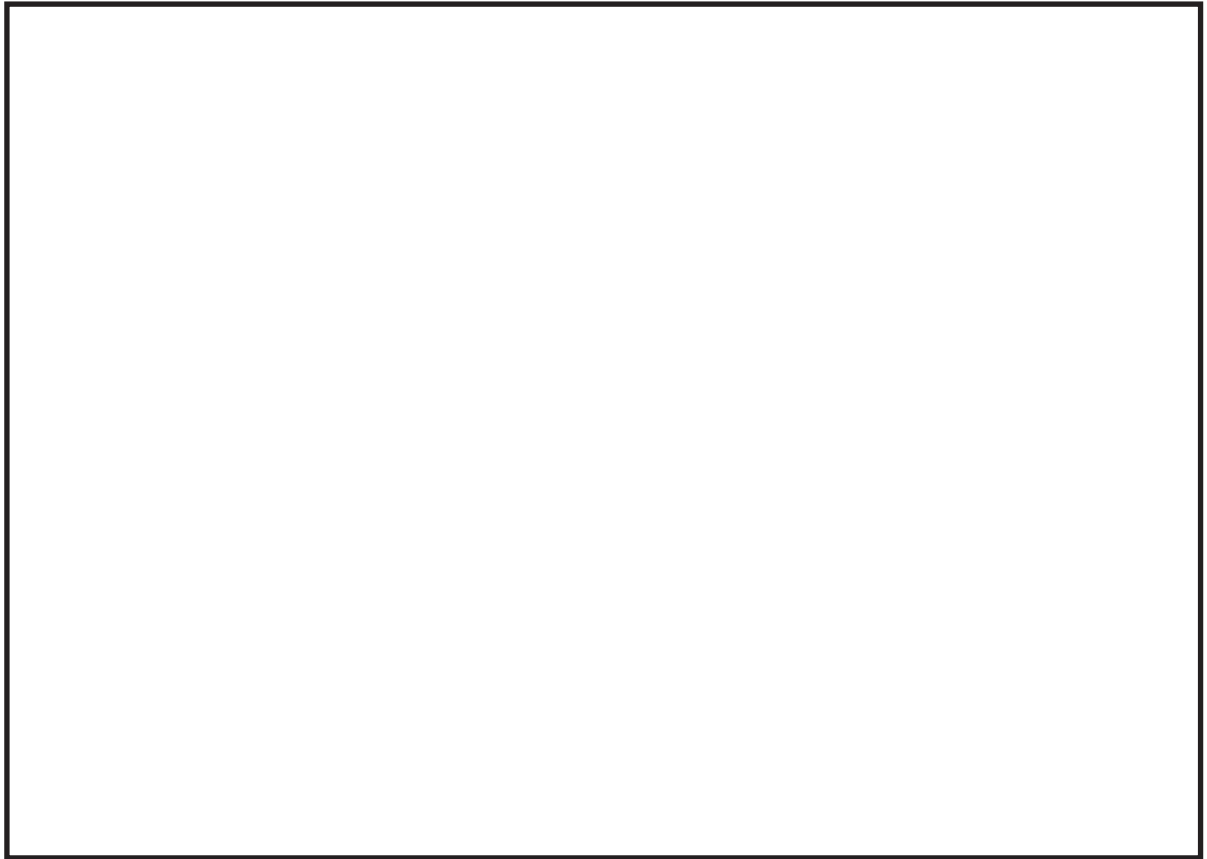


図-5 非放射性ドレン移送系 系統評価モデル図

表-1 固有周期

対象系統	固有周期 (s)	(参考) 固有振動数 (Hz)
タービン補機冷却海水系 (500A)	0.037	27.02
原子炉補機冷却海水系 (500A)	0.028	35.71
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 (200A)	0.025	40.00
非放射性ドレン移送系 (50A)	0.046	21.73

表-2 浸水防止蓋部における3号海水熱交換器建屋に対する最大相対変位

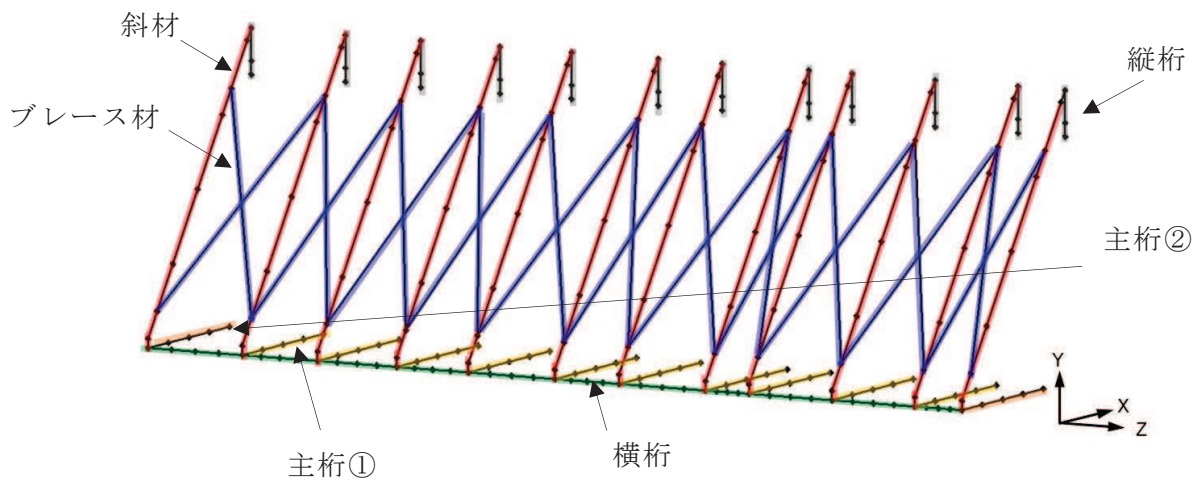
対象系統	最大相対変位 (mm)
タービン補機冷却海水系 (500A)	3
原子炉補機冷却海水系 (500A)	1
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 (200A)	1
非放射性ドレン移送系 (50A)	8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 浸水防止蓋の地震時の影響

添付資料「VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）耐震計算書」において、基準地震動 S_s 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確認している。また、図-6 に示す三次元フレームモデルにより固有値解析を実施しており、表-3 に示すとおり固有振動数が 20Hz 以上であることから、剛構造であることを確認している。

評価の結果、表-3 に示すとおり、固有振動数が 20Hz 以上であることから、剛構造であり、地震時は建屋と浸水防止蓋が一体で動く構造であり、変位量は十分小さいことを確認している。



対象部材	材質	断面形状
— : 主桁①	SUS304	H-200×200×20×20
— : 主桁②	SUS304	H-200×300×20×20
— : 斜材	SUS304	H-200×200×8×12
— : 横桁	SUS304	H-200×300×20×20
— : ブレース材	SUS304	L-60×60×5
— : 縦桁	SUS304	H-200×200×8×12

図-6 固有値解析モデル

表-3 固有値解析結果

振動モード 次数	卓越 方向	固有振動数 f (Hz)
1	Z	24.17
38	Y	108.71
95	X	276.20

5. 貫通部止水処置への影響

貫通する配管の地震時における3号海水熱交換器建屋との相対変位は最大で8mmである。また、浸水防止蓋の地震時における3号海水熱交換器建屋との相対変位は十分に小さいことを確認しており、貫通する配管とシール材を施工する浸水防止蓋との間には十分なすき間を確保する設計としていることから、貫通する配管と浸水防止蓋が干渉することはない。

貫通部止水処置については、貫通する配管と浸水防止蓋の相対変位が小さいことに加えて、シール材は柔軟性に優れたゴム系材料を使用しており、地震時における相対変位についても、十分追従できるように設計していることから、シール材に対して有意な配管荷重は発生しない。このため、地震による相対変位や荷重によるシール材への影響は軽微であり、地震時において貫通部止水処置の性能に影響を与えない。

(参考2) 遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部止水処置の強度評価について

1. 遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部止水処置方法

遮水鋼板を貫通するケーブルトレイ貫通部の止水をするため、ケーブルトレイを囲うように鋼板を遮水鋼板に溶接し、鋼板とケーブルトレイの隙間に対しコーキングタイプのシール材を施工する。ケーブルトレイの内部については充填タイプのシール材を施工する。

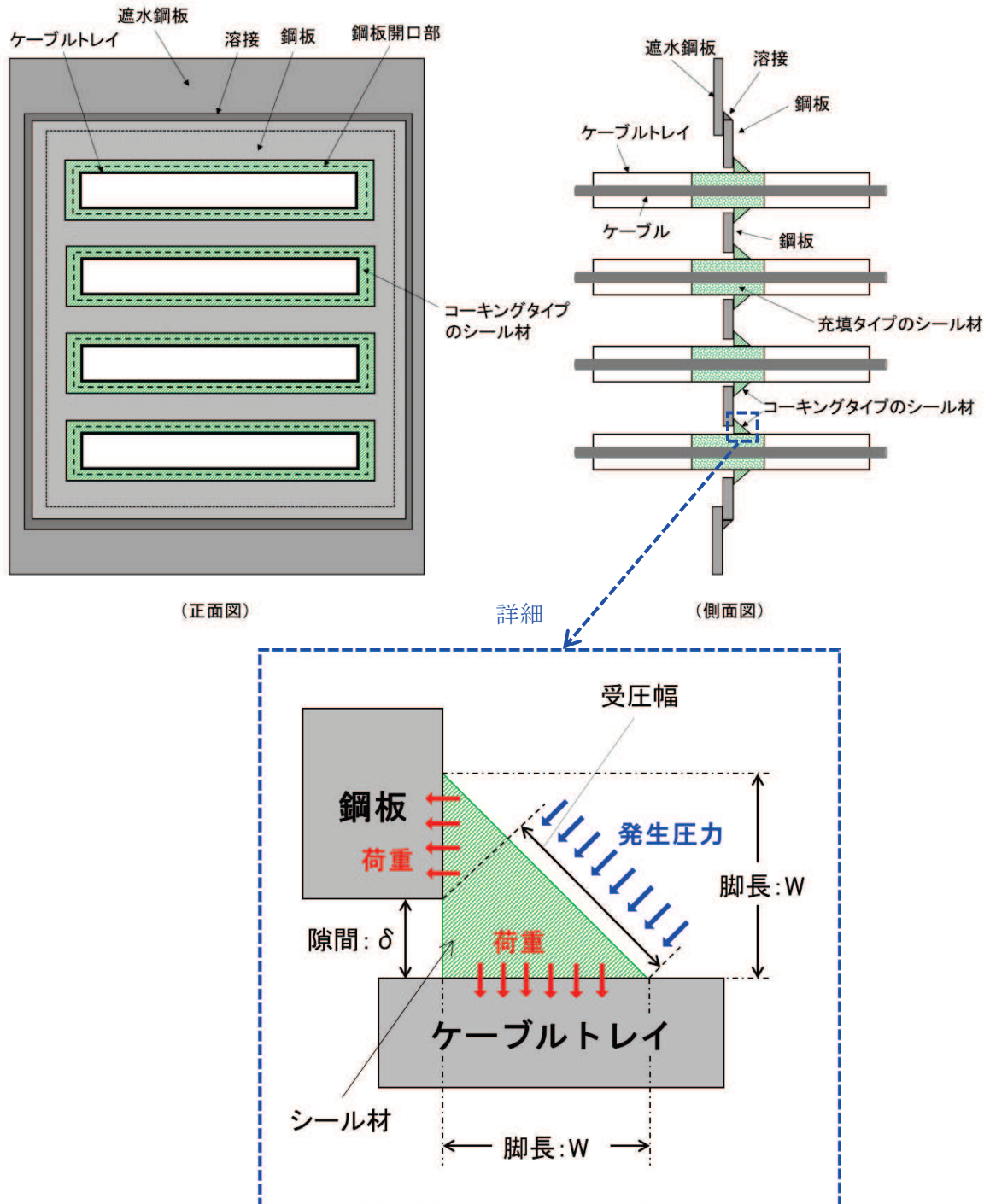


図1 遮水鋼板のケーブルトレイ貫通部止水処置方法

2. 構造強度評価

ケーブルトレイ貫通部止水処置の強度評価は、第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部に対し、「3. 荷重及び荷重の組合せ」及び「4. 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、「6. 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3. 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

(1) 荷重の設定

ケーブルトレイ貫通部のシール材の評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(a) 固定荷重 (D)

固定荷重は、貫通軸上の貫通物（ケーブルトレイを示す。以下同じ。）の質量及び内容物の質量による荷重である。

(b) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重として、津波による水位を用いた静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

ここで、 ρ : 海水の密度 (=1030kg/m³)
 g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)
 h : 貫通部ににかかる水頭 (m)

(c) 余震荷重

余震荷重は、添付書類「VI-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 - D 2 に伴う地震力（動水圧含む。）とする。

余震による動水圧 ($K S d$) がシール材に作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_H \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

ここで、 β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (=) (「日本水道協会 2009年 水道施設耐震工法指針・解説」より)
 ρ : 海水の密度 (=1030kg/m³)
 C_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平方向の設計震度
 g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)
 H : 貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ
 h : 貫通部ににかかる水頭 (m)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 荷重の組合せ

シール材の評価にて考慮する荷重の組合せを表1に示す。

表1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*1*2
浸水防護施設 (浸水防止設備)	貫通部止水処置 (第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部)	$D + P_h + K S d$

注記 *1 : Dは固定荷重, P_h は浸水津波荷重, $K S d$ は弾性設計用地震動 $S d - D 2$ による余震荷重(余震による動水圧 P_d)を示す。

*2 : 固定荷重(D)について, シール材を施工するケーブルトレイ貫通部は, 耐震性を満足させるため, 貫通部近傍のケーブルトレイに支持構造物を設置する設計としており, シール材に加わる固定荷重の影響は軽微であるため考慮しない。

4. 許容限界

コーキングタイプのシール材の許容限界値は, 実機で使用している形状, 寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。試験より得られたシール材の許容圧力を表2, シール材の水圧試験の概要を図2に示す。実機施工時においては, 鋼板とケーブルトレイ間の隙間に対し, シール材の脚長は試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し, かつ, 想定するシール材に加わる圧力が, 許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。


表2 シール材の浸水に対する許容圧力

評価部位	隙間 (mm)	脚長 (mm)	許容圧力 (MPa)
シール材	20	31	0.38

7. 計算条件

評価に用いる計算条件を表4に示す。また、ケーブルトレイ貫通部止水処置に加わる津波概要を図3に示す。

表4 シール材の評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m^3)	貫通部施設エリアの床面からの浸水深さ* ¹ H (m)
第2号機海水ポンプ室 防潮壁横断部 (シール材)		1030	15.1

貫通部位置における浸水深さ* ² h (m)	弾性設計用地震動Sd-D2による 水平方向の設計震度 C_H	重力加速度 g (m/s^2)
8.95	0.40	9.80665

注記 *1:貫通部施設エリアの床面からの浸水深さ(H)は、貫通部施設エリアの床面(O.P. 2.8m)から入力津波水位に0.5mの余裕を考慮した津波水位(O.P. 17.9m)までの寸法。

*2:貫通部位置における浸水深さhは開口下端高さ(O.P. 8.95m)から入力津波水位に0.5mの余裕を考慮した津波水位(O.P. 17.9m)までの寸法。

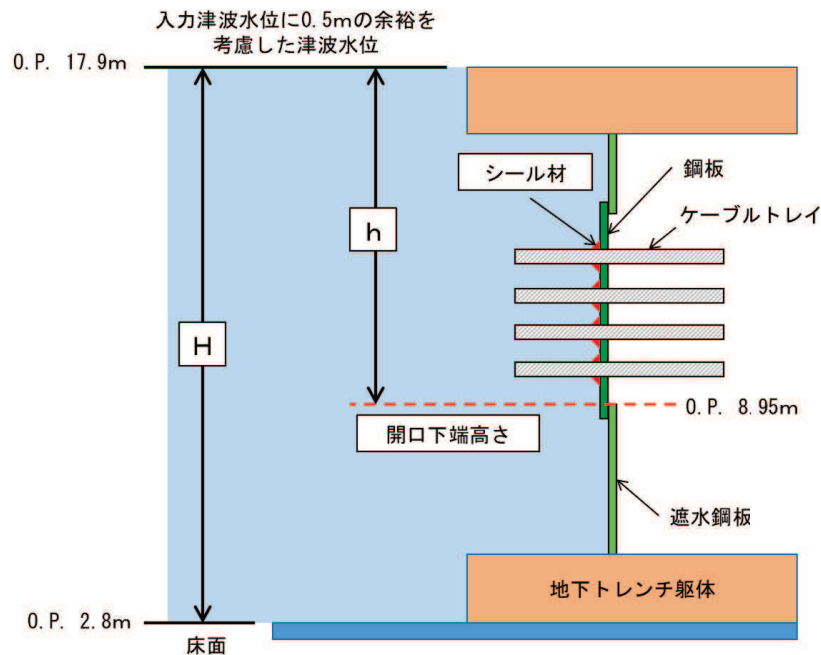


図3 貫通部止水処置に加わる津波の概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

8. 評価結果

シール材の評価結果を表 5 に示す。シール材の発生圧力は，許容圧力以下であることを確認した。

表 5 シール材の浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材	0.14	0.38