

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密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 24
提出年月日	2021年8月25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
- 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

 : 本日の説明範囲

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パウダリとなる設備の構造評価結果 (1/3)

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・弁の津波に対する強度評価
3	2号取水路	2号高圧炉心スプレイ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 高圧炉心スプレイ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号高圧炉心スプレイ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(高圧炉心スプレイ補機冷却海水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系)	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・弁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. 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・弁の津波に対する強度評価
8	2号取水・放水路	2号復水器出入口弁	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、復水器の復水器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. 2号機及び3号機海水系配管・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・弁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 2号機及び3号機海水系配管・弁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パウンダリとなる設備の構造評価結果 (2/3)

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吐出弁	終端部	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・弁の基準地震動 Ss に対する耐震評価	吐出弁が全閉状態で終端部となることを想定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 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管・弁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
14	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・弁の基準地震動 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・弁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ポンプ吐出弁	終端部	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・弁の基準地震動 Ss に対する耐震評価	吐出弁が全閉状態で終端部となることを想定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 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管・弁の津波に対する強度評価
16	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
17	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・弁の基準地震動 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・弁の津波に対する強度評価
18	3号取水路	3号タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	終端部	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・弁の基準地震動 Ss に対する耐震評価	吐出弁が全閉状態で終端部となることを想定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 140-1.5.24.5. 2号機及び3号機海水系配管・弁の津波に対する強度評価
19	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
20	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・弁の基準地震動 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・弁の津波に対する強度評価
21	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
22	3号取水路	3号循環水系配管	終端部	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・弁の基準地震動 Ss に対する耐震評価	津波の影響を受ける循環水吐出配管について、系統乾燥保管のために設置している閉止板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・弁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 (3/3)

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
23	3号放水水路	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・弁の津波に対する強度評価
24	3号放水水路	3号高圧炉心スプレイ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・弁の津波に対する強度評価
25	3号放水水路	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・弁の津波に対する強度評価
26	3号放水水路	3号非放射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・弁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。

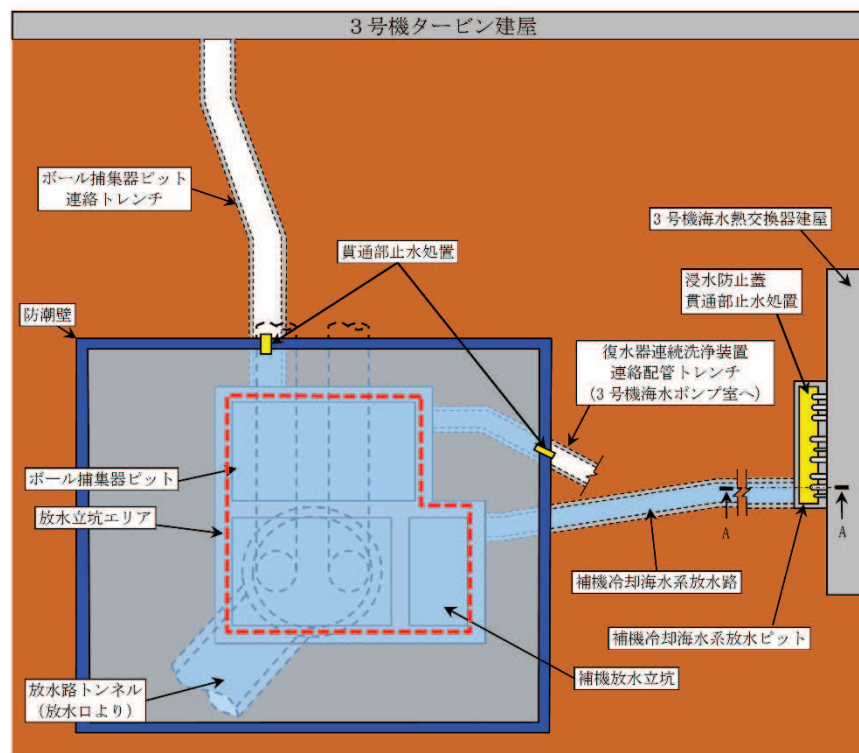


図 5.24.1-1 3号機 放水立坑 浸水対策配置図（平面図）

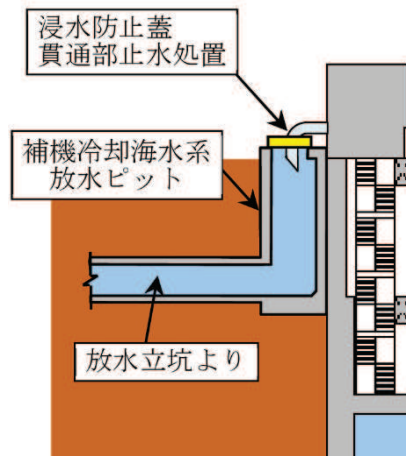


図 5.24.1-2 3号機 放水立坑 浸水対策配置図 (A-A 断面図)

(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	$D + P_D + M$ $D + S S$	$IV_{\Delta} S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$T_L \cdot 0.6$ $\frac{S_{y d}}{S_{y t}}$

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 として、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 $1.5 \cdot f_s$ 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 にまとめる。

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

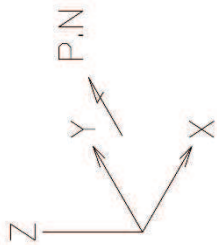
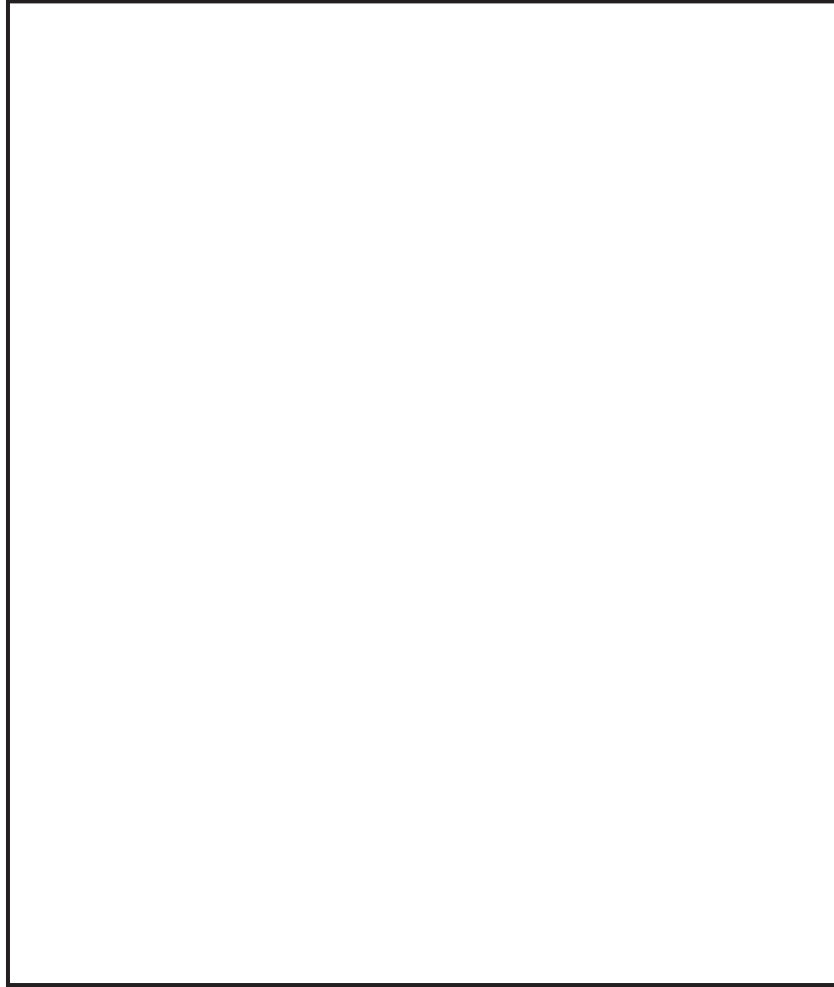


図 5.24.1-3 3号機原子炉補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

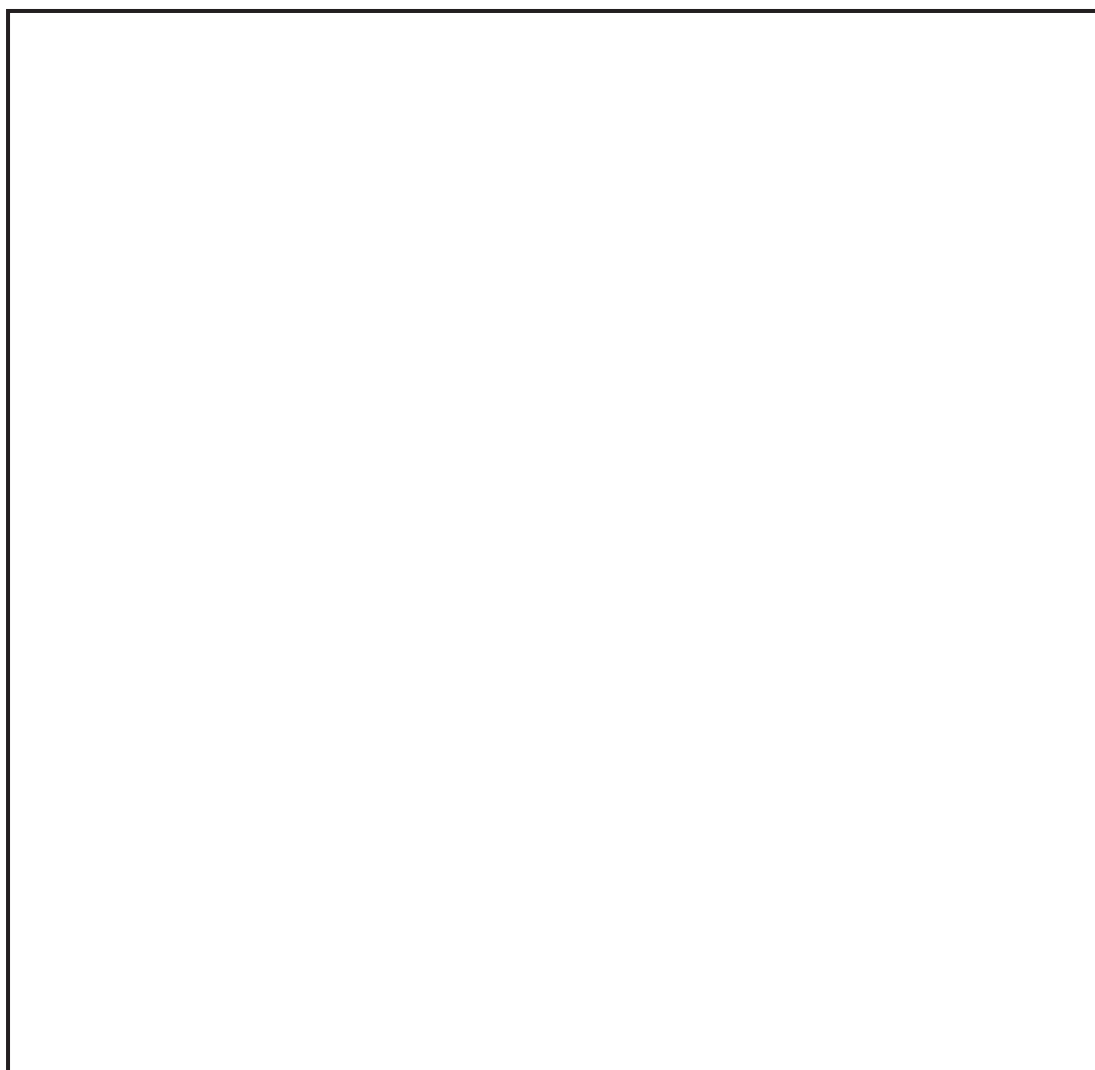


図 5.24.1-4 3号機タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

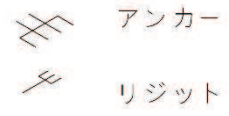
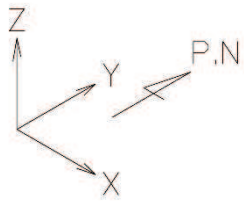


図 5.24.1-5 3号機非放射性ドレン移送系 系統評価モデル図

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

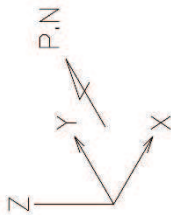
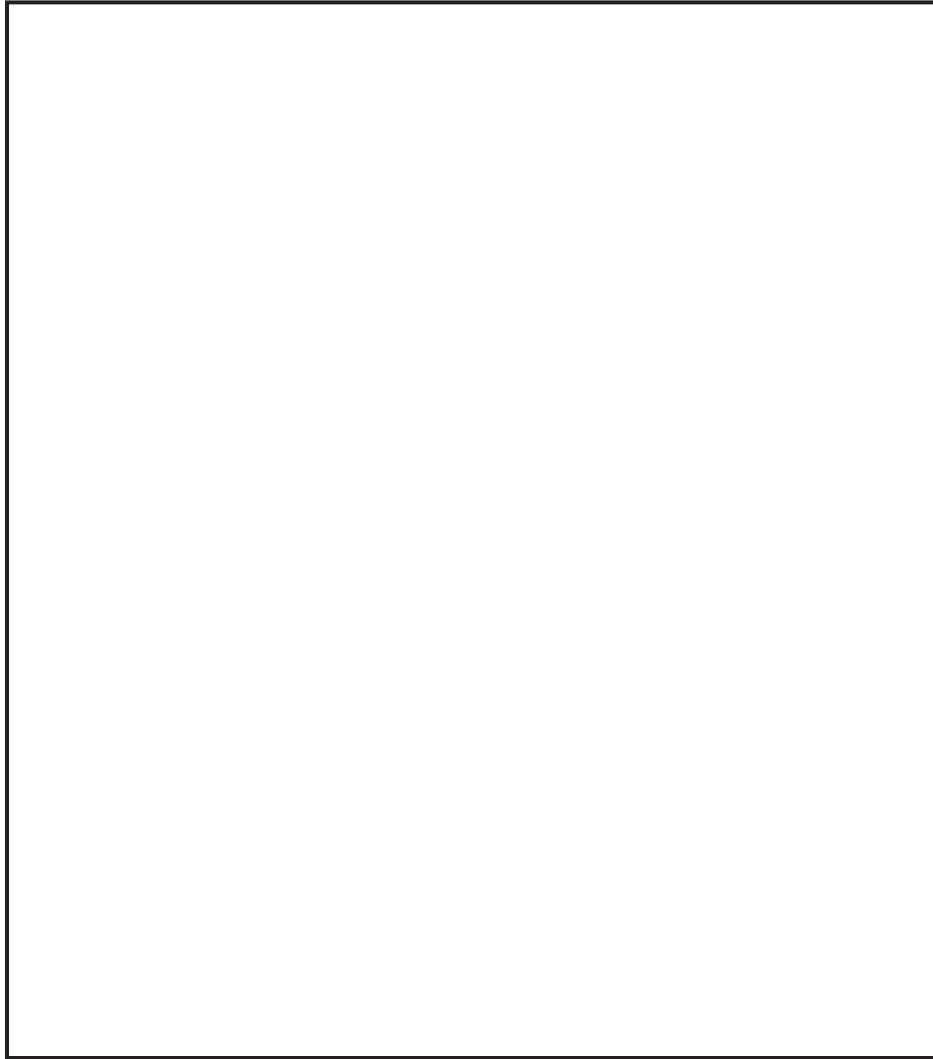


図 5. 24. 1-6 3号機高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 系統評価モデル

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	

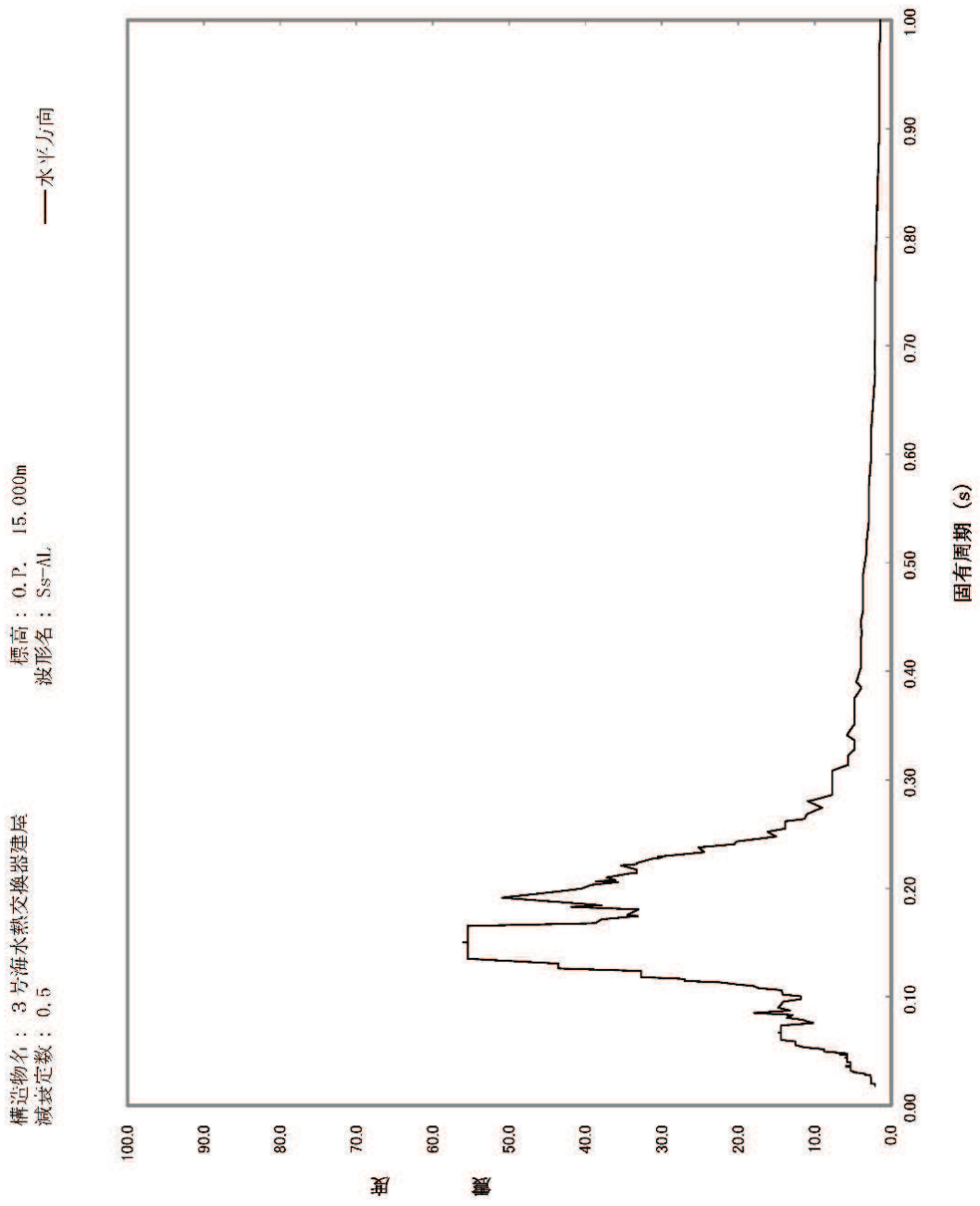


图 5.24.1-7 設計用床応答曲線 (O.P. 14.00m) 水平方向

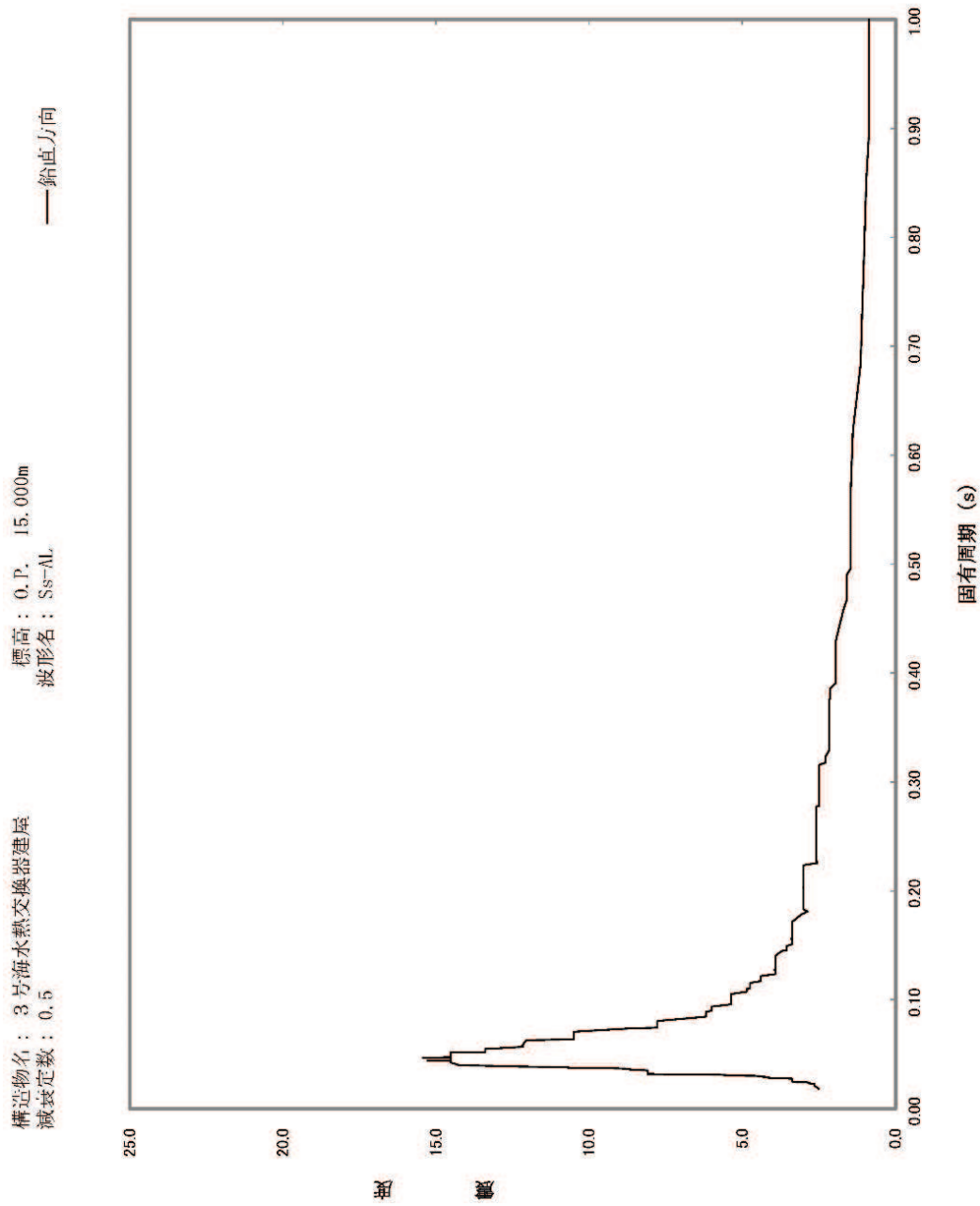


图 5.24.1-8 設計用床応答曲線 (O.P. 14.00m) 鉛直方向

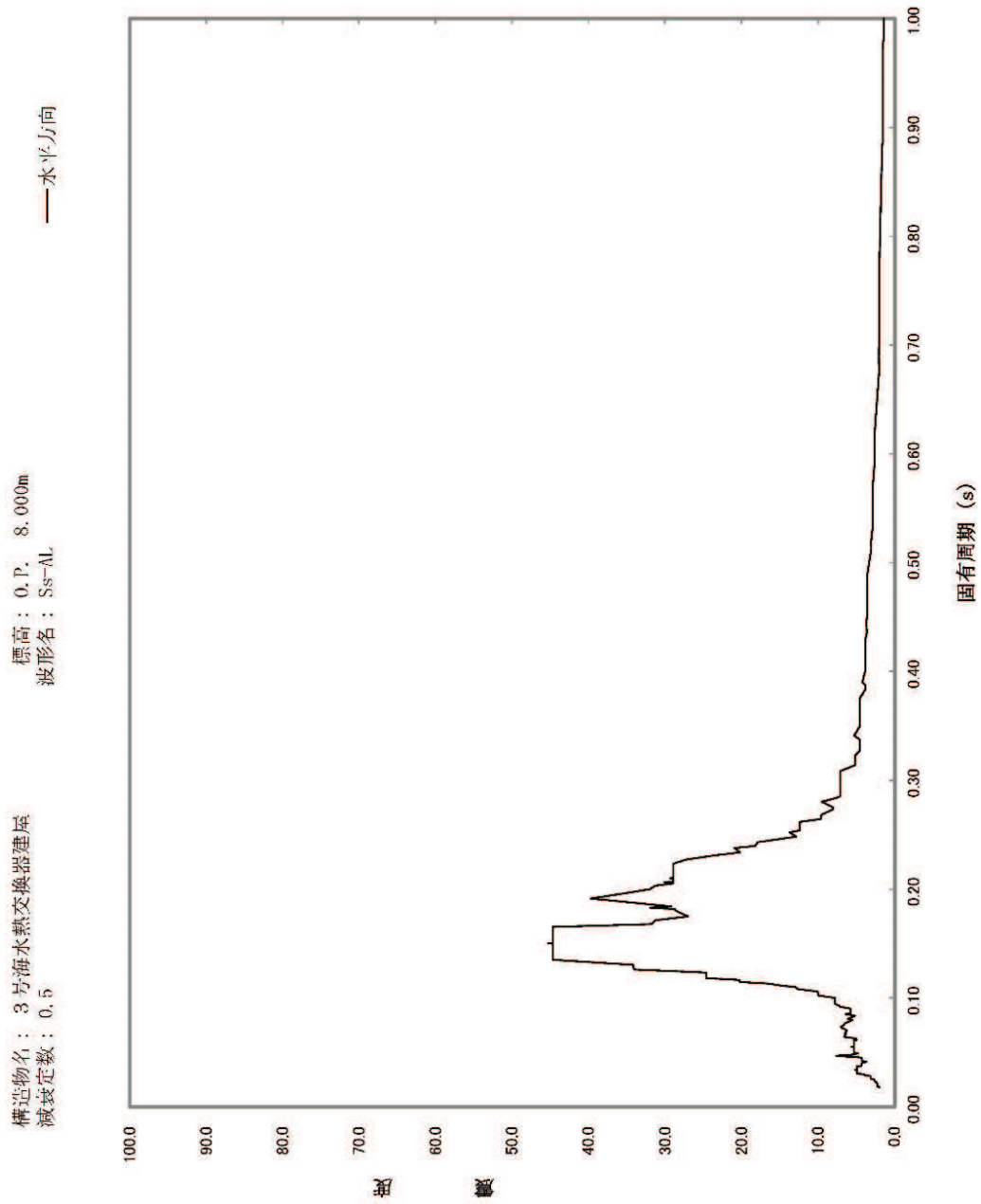


图 5.24.1-9 設計用床応答曲線 (0.P.7.00m) 水平方向

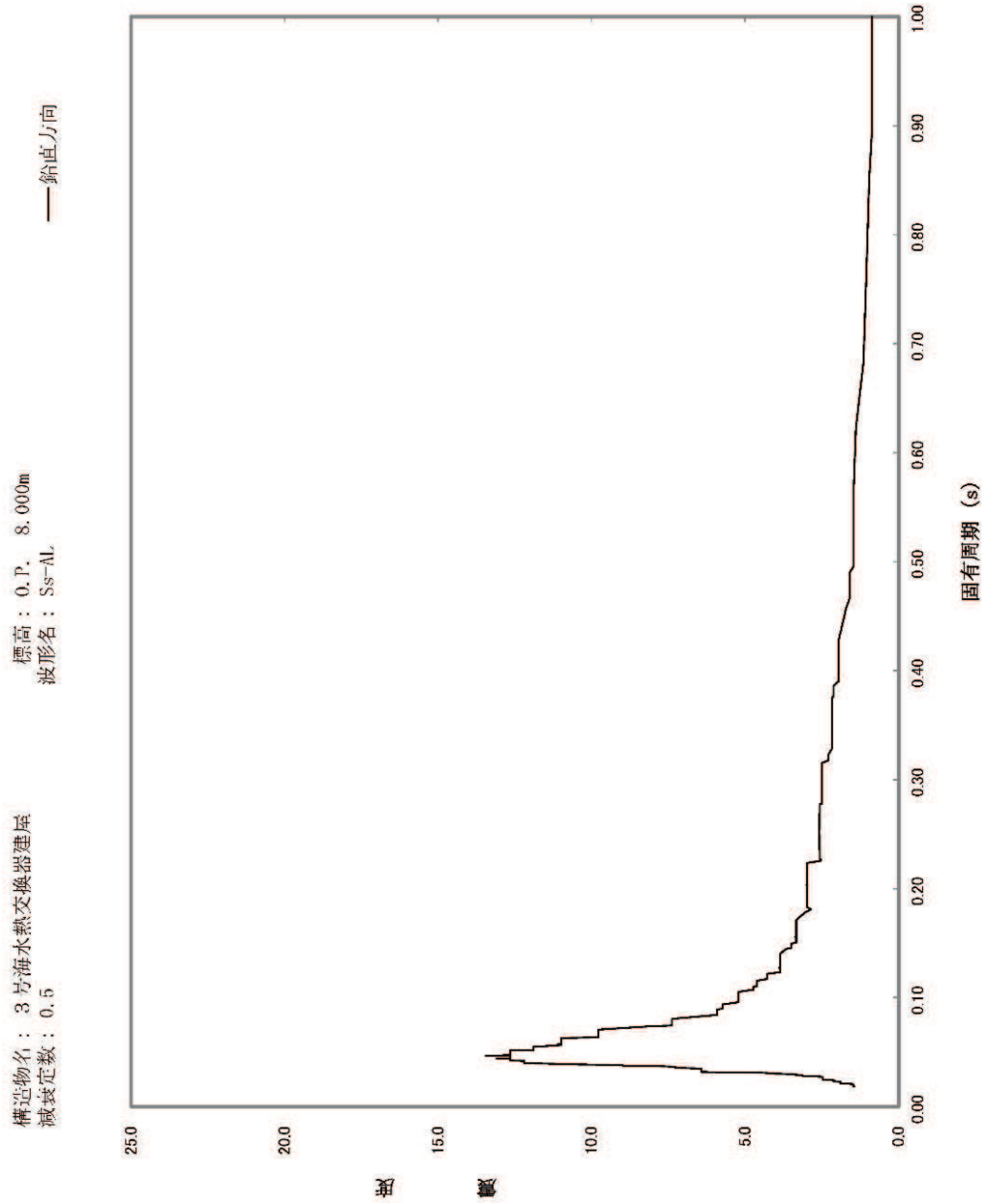


图 5.24.1-10 設計用床応答曲線 (O.P.7.00m) 鉛直方向

(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。

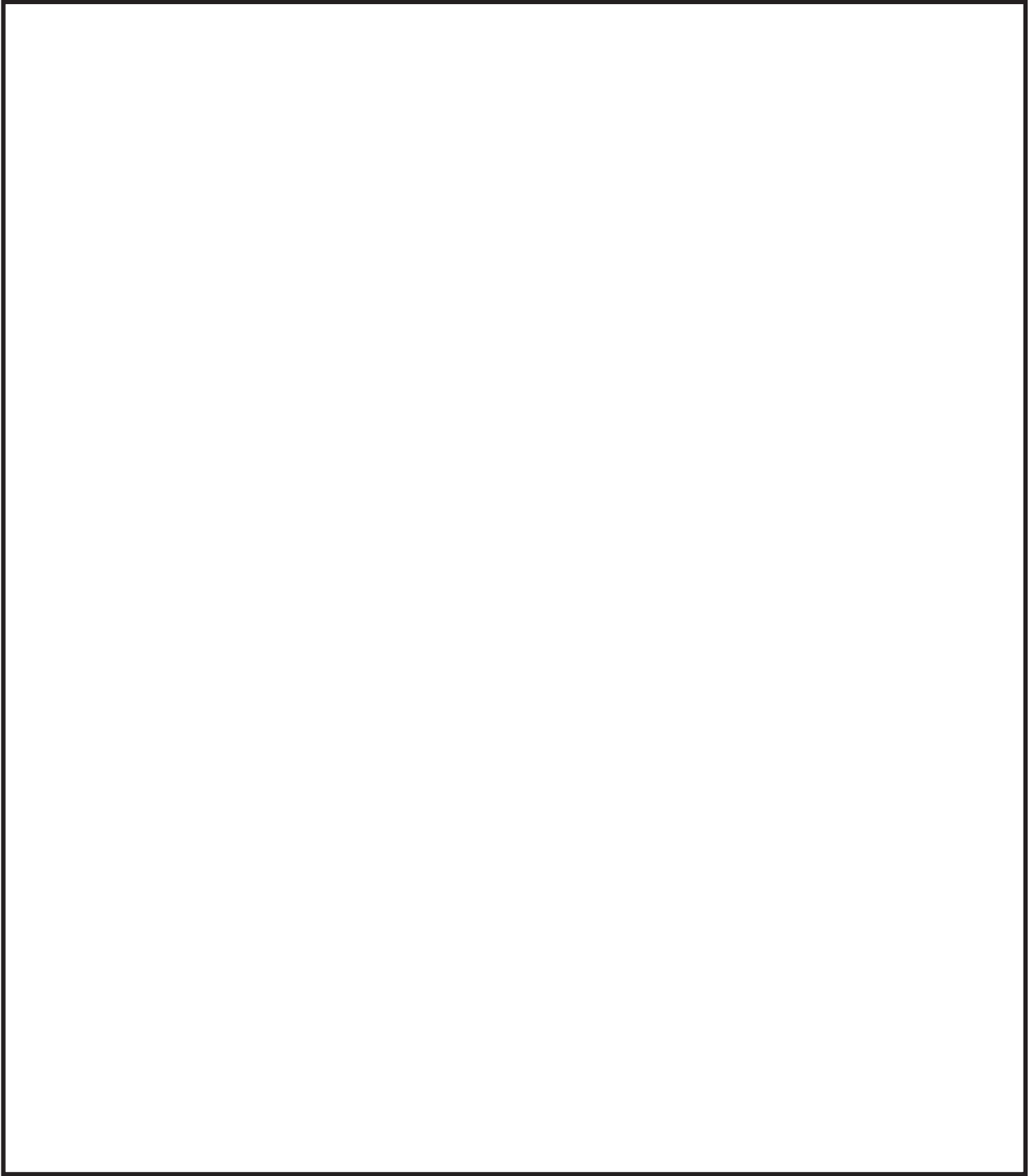


図 5.24.1-11 3号機原子炉補機冷却海水系 代表的振動モード図 (1次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

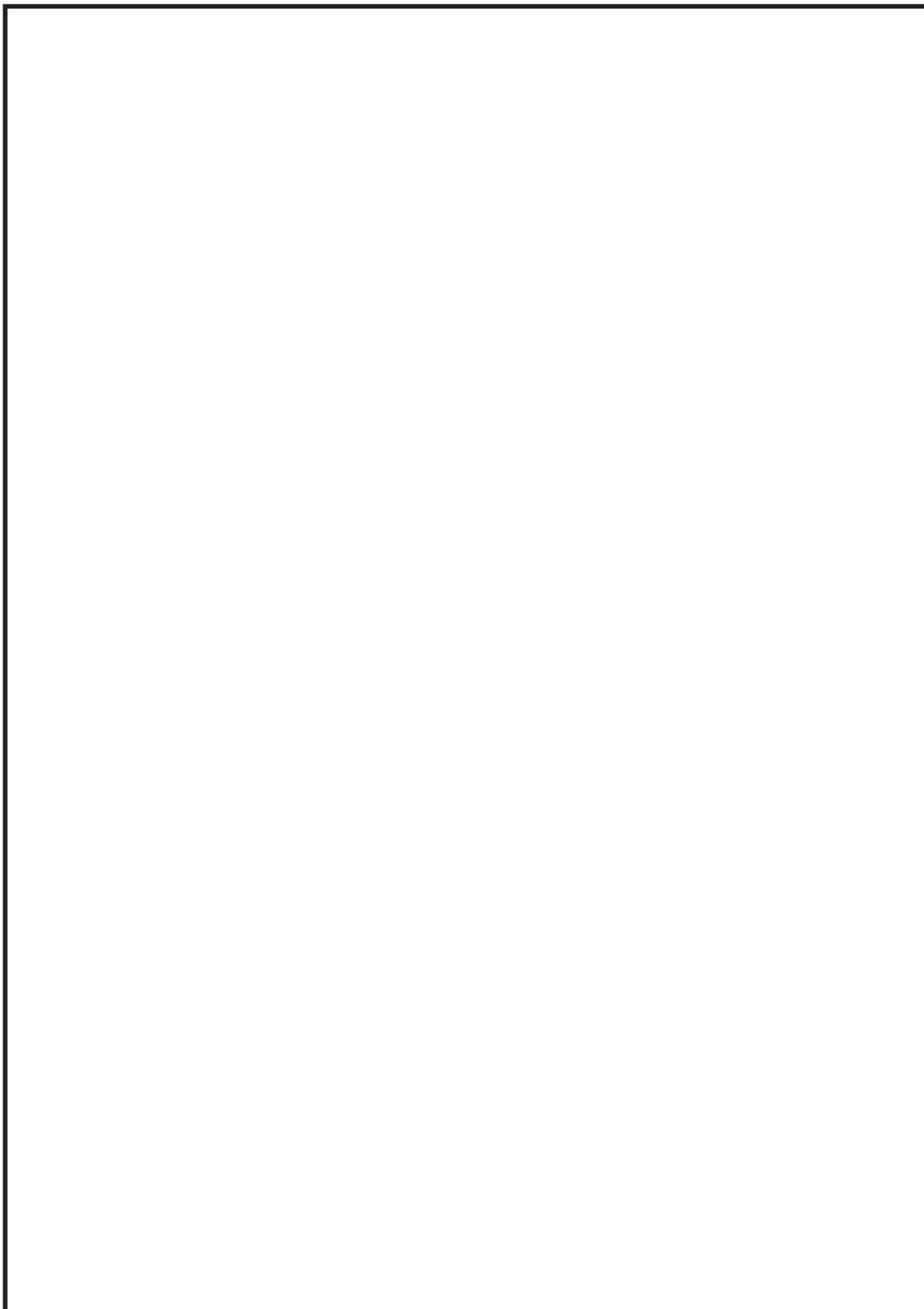


図 5.24.1-12 3号機タービン補機冷却海水系 代表的振動モード図（1次）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

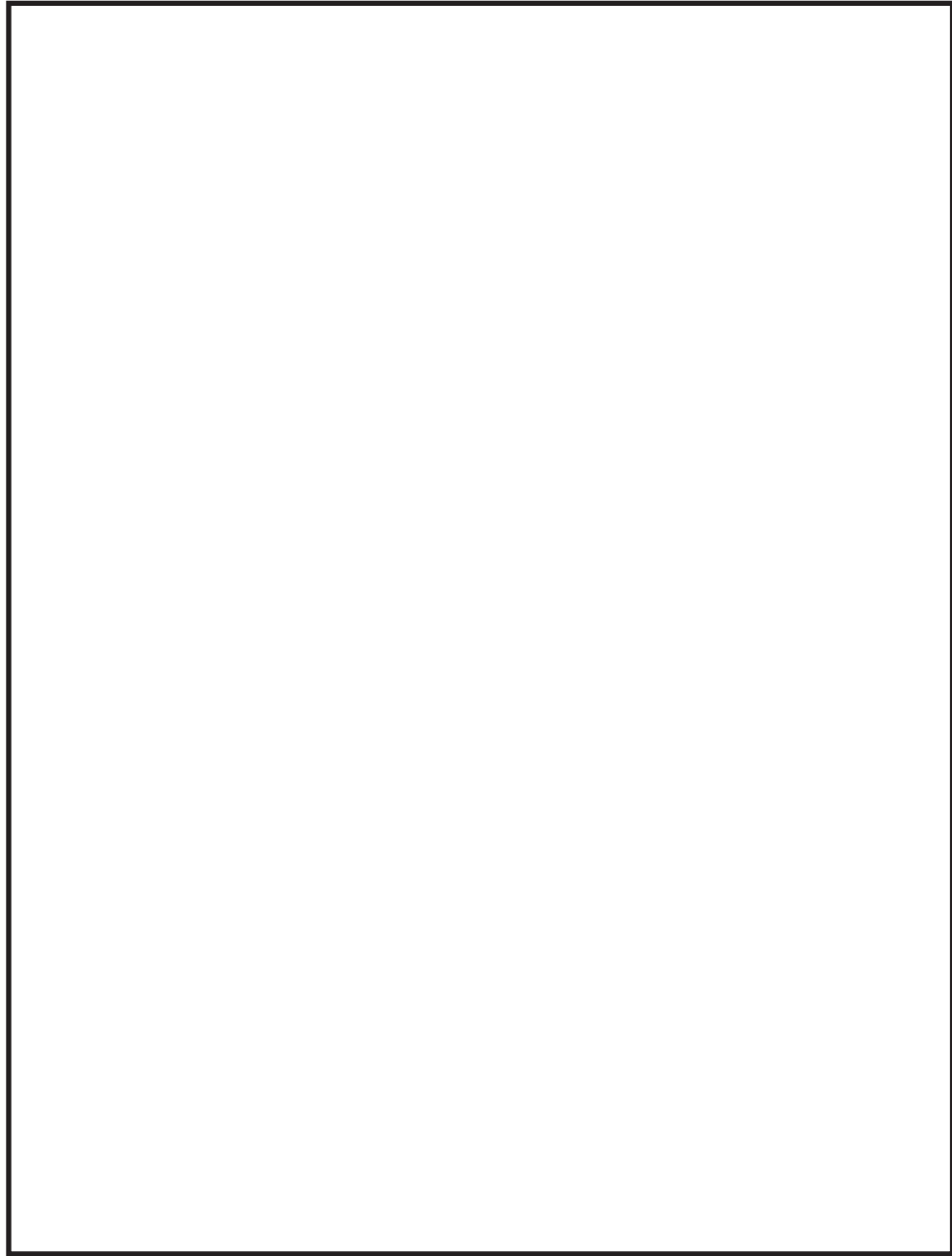


図 5.24.1-13 3号機非放射性ドレン移送系 代表的振動モード図 (1次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

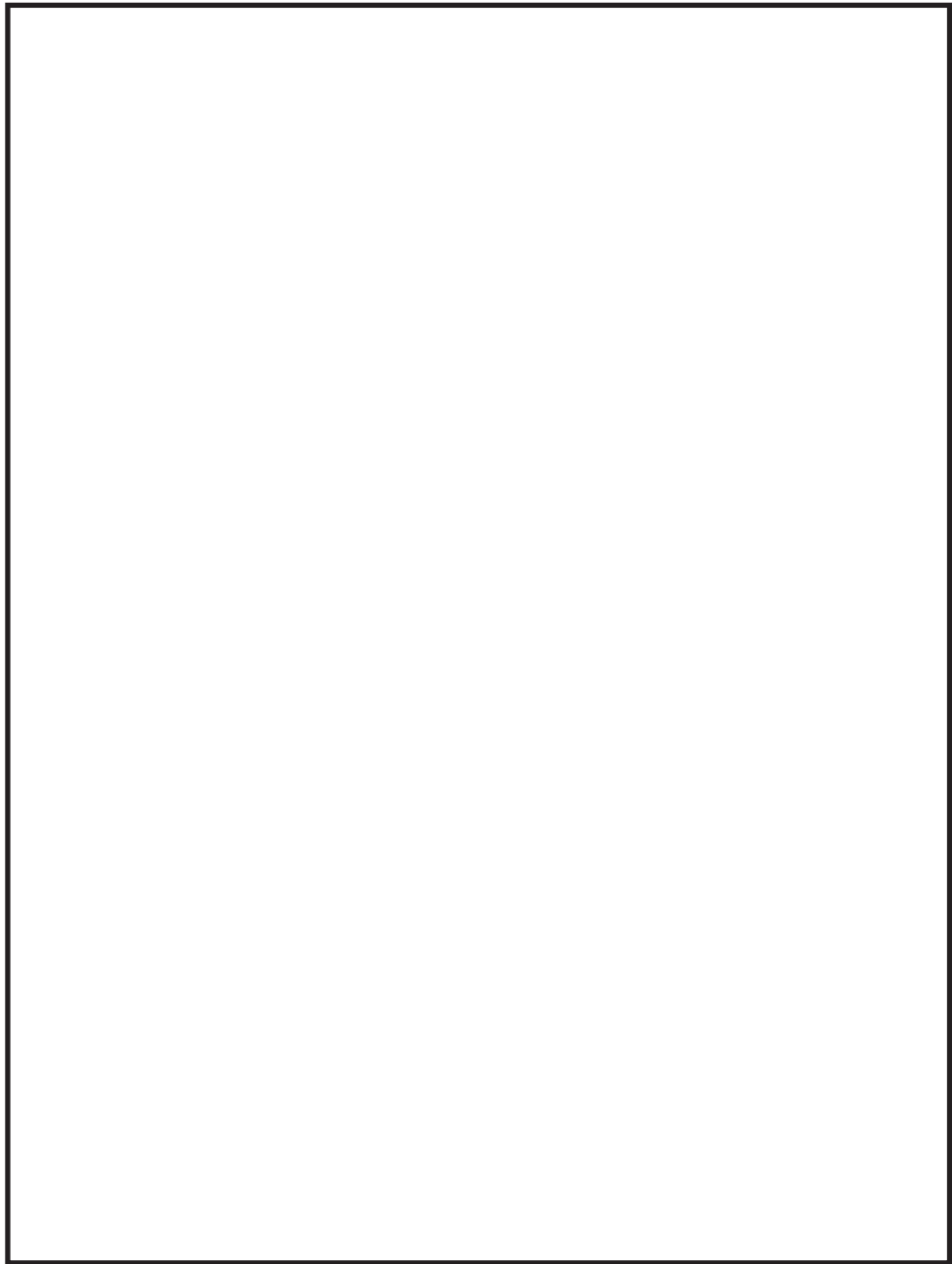


図 5.24.1-14 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 代表的振動モード図 (1次)

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

5.24.3 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、津波による溢水が敷地へ浸水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圧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	$D + P_D + M$ $D + S S$	$IV_{\Delta S}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_b, ^{*7, *8}$ $1.5 \cdot f_s \text{ 又}$ $1.5 \cdot f_c$ 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 として, 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。

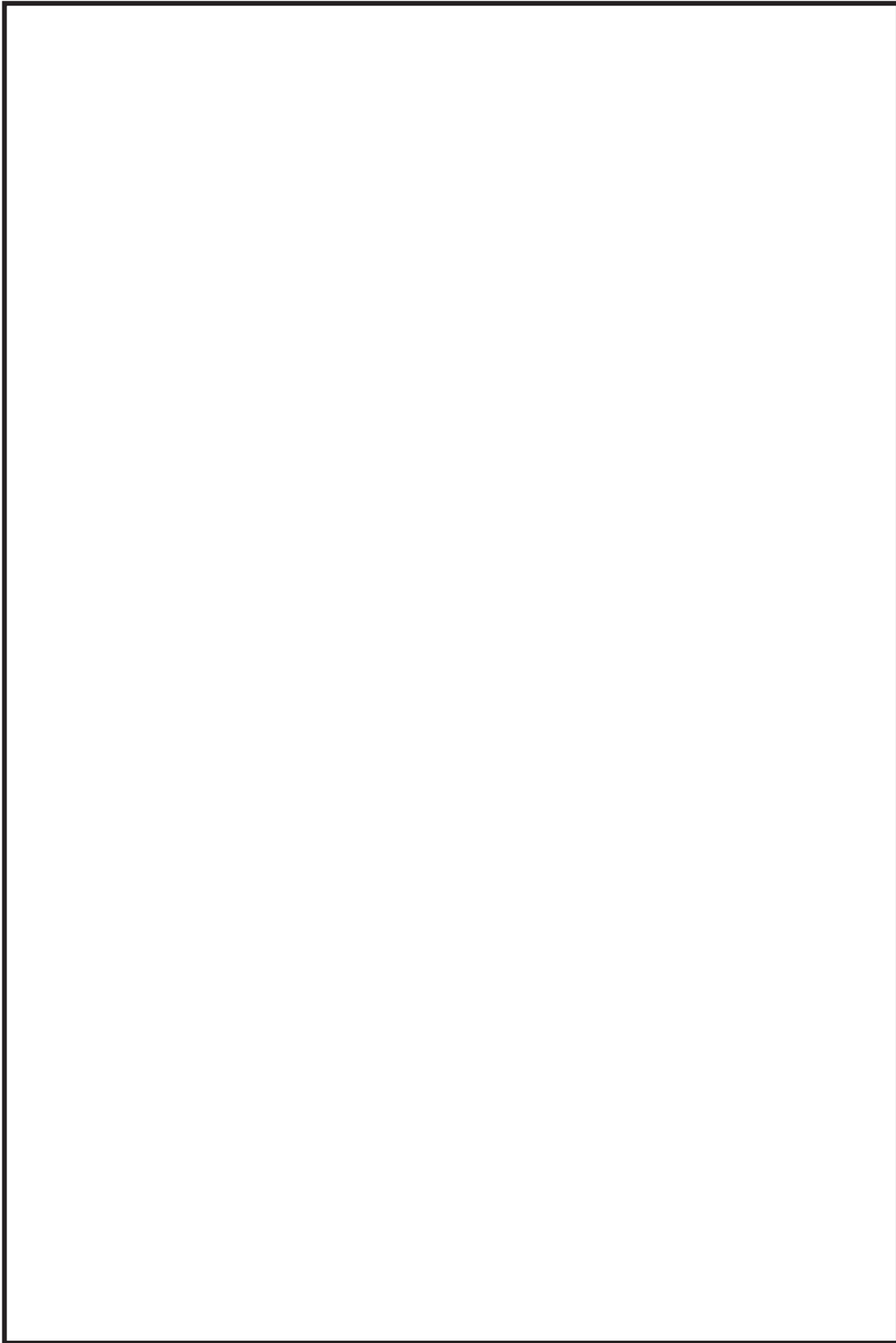


図 5.24.3-1 3号原子炉補機冷却海水系（A系） 系統評価モデル図

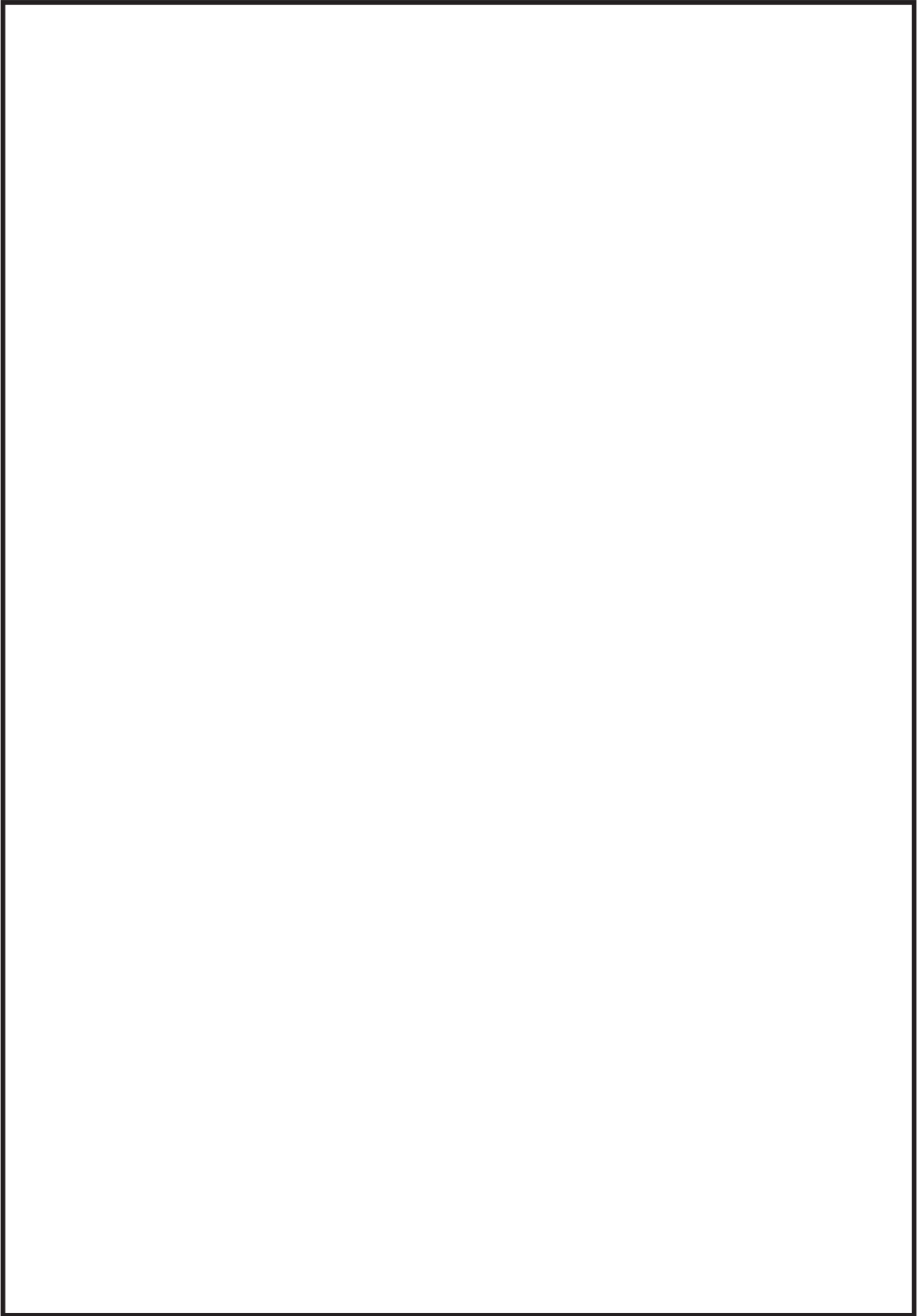


図 5.24.3-2 3号原子炉補機冷却海水系（B系） 系統評価モデル図

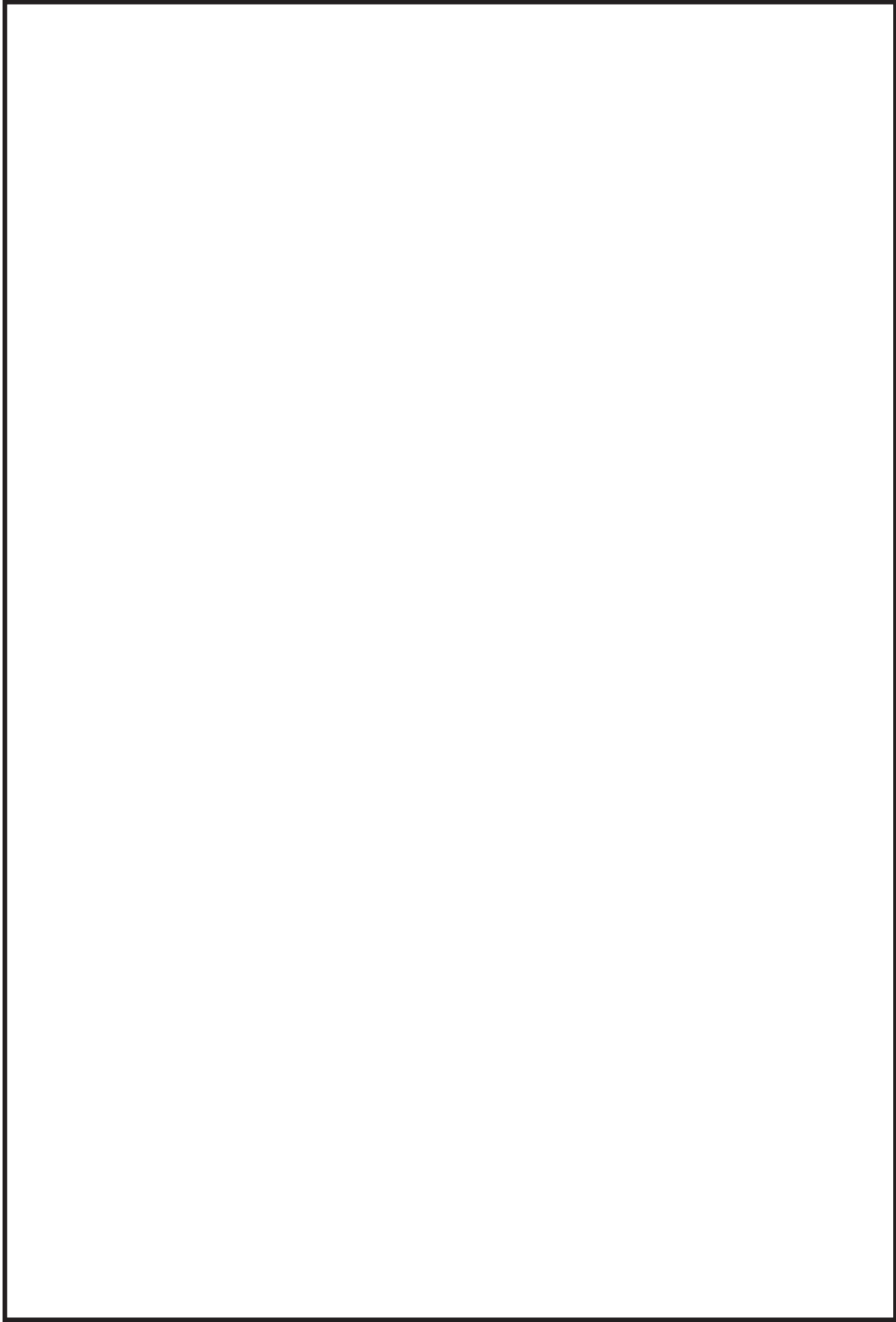


図 5.24.3-3 3号高压炉心ブレイ補機冷却海水系 系統評価モデル図

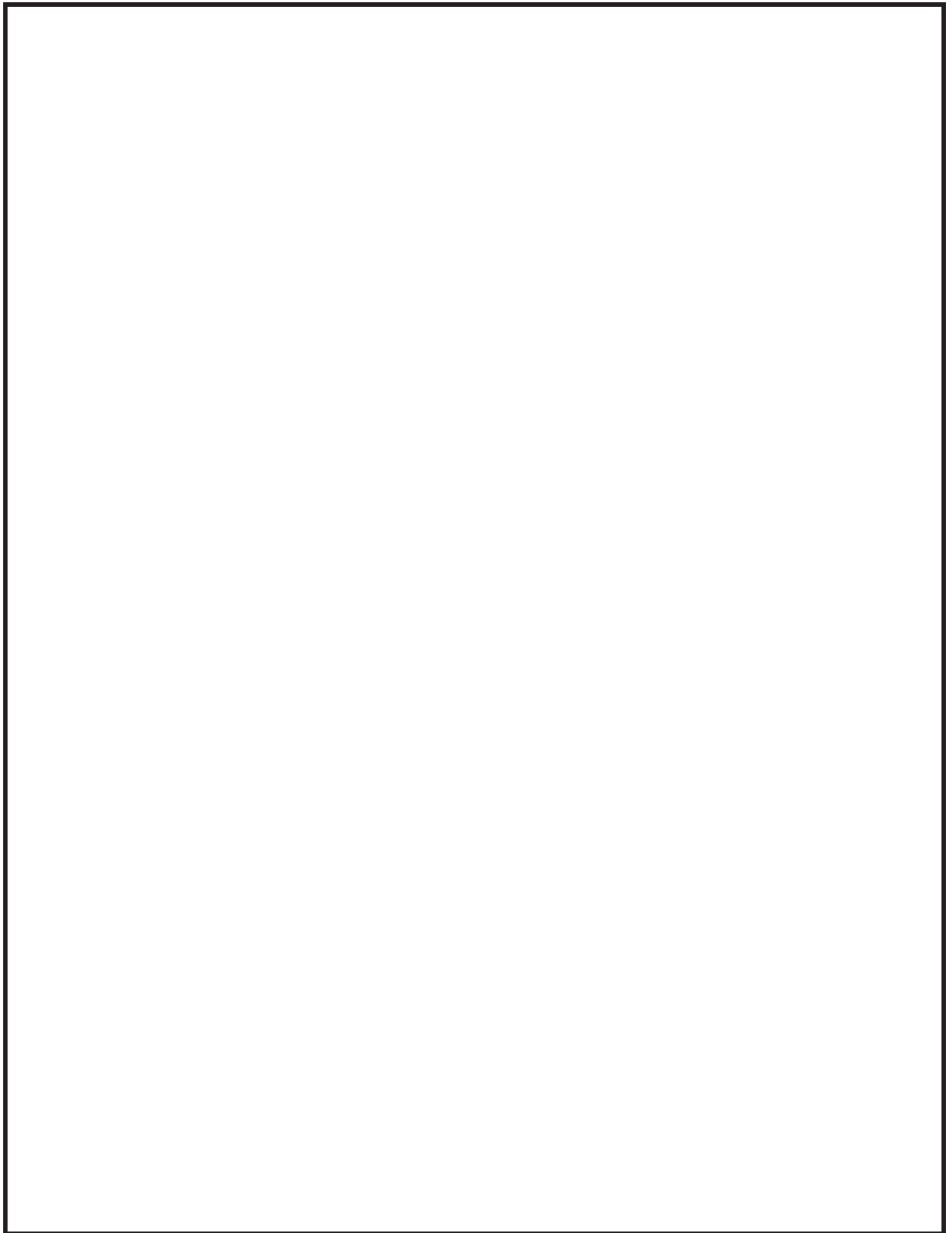


図 5.24.3-4 3号タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図 (1 / 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

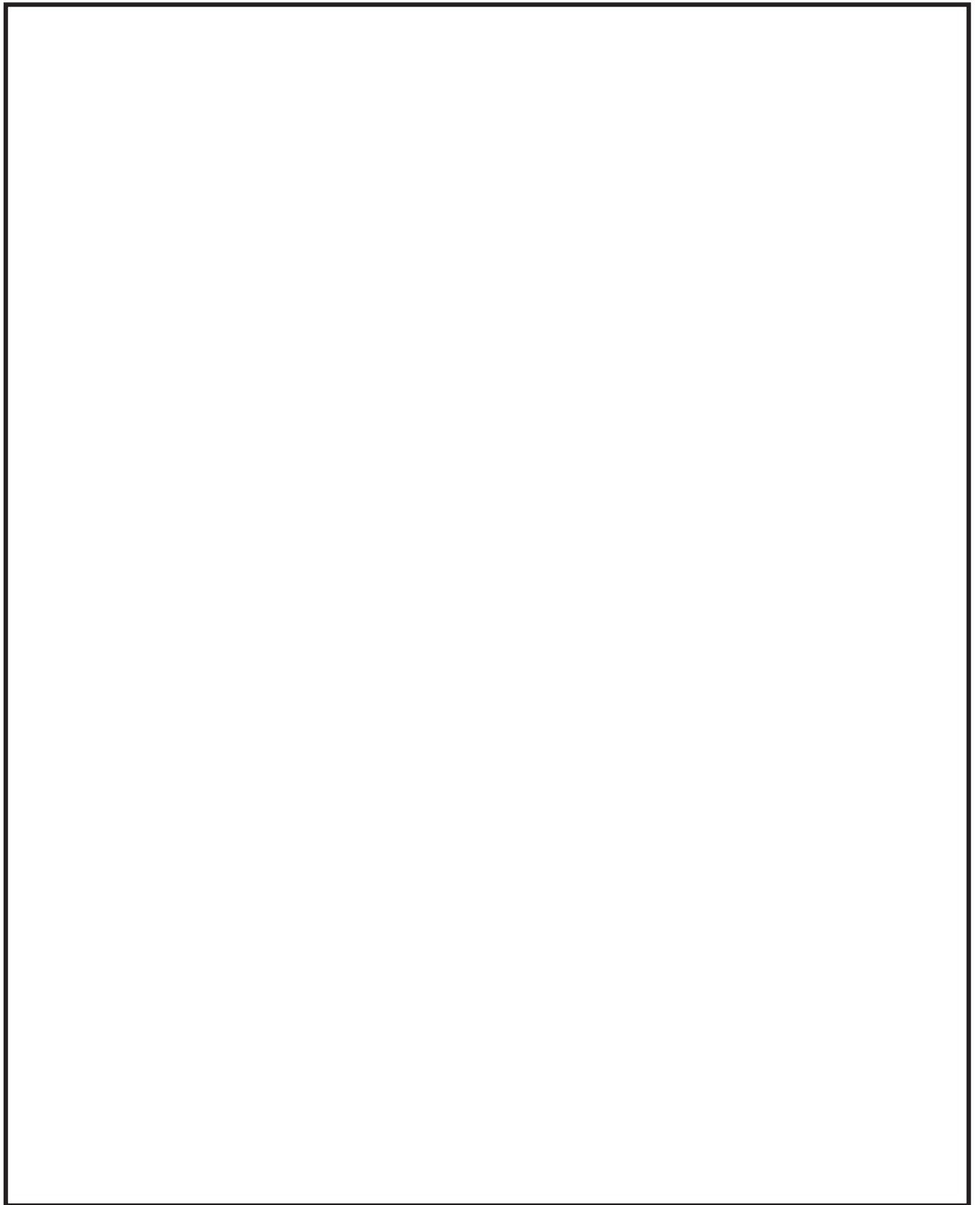


図 5.24.3-5 3号タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図 (2 / 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

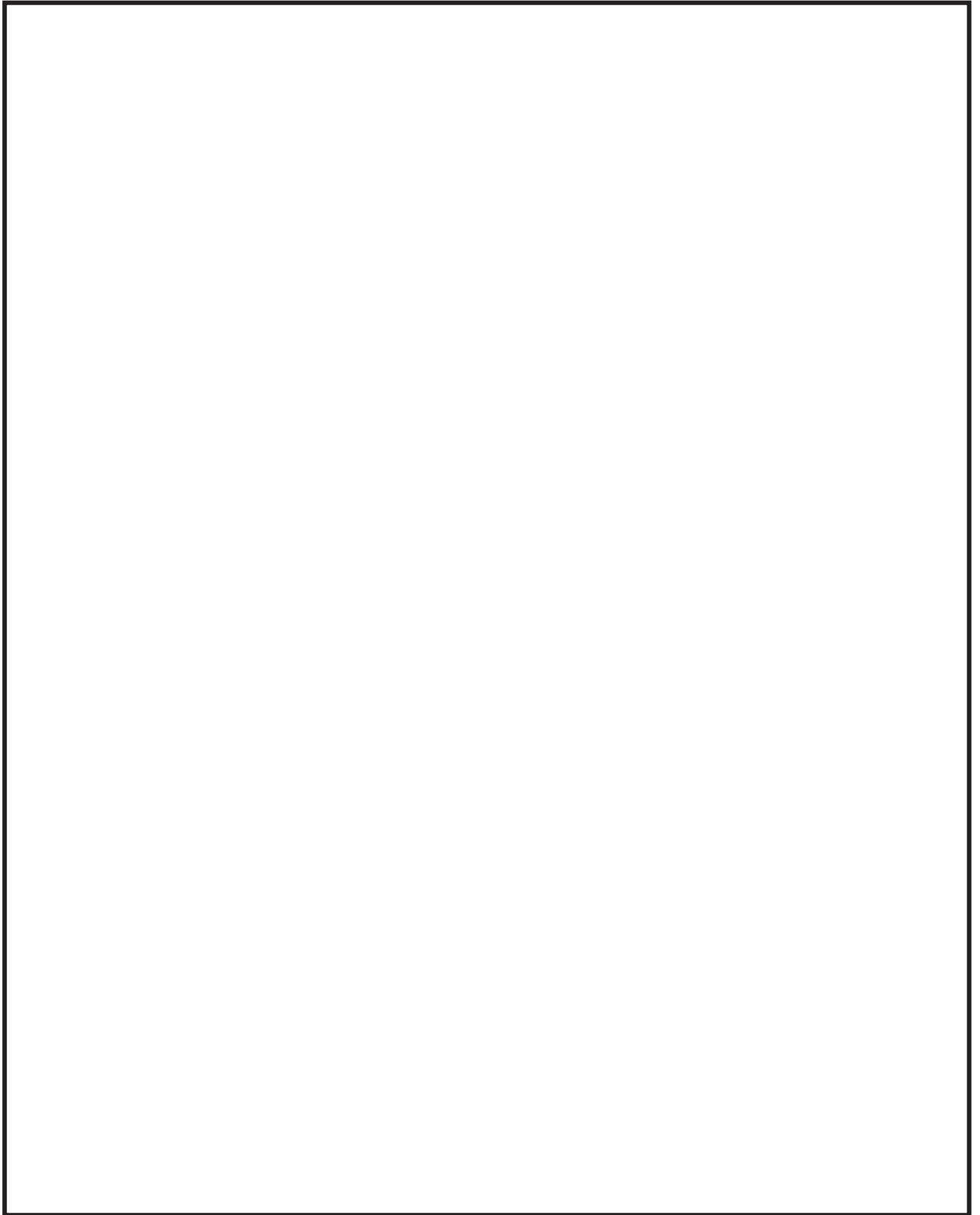


図 5.24.3-6 3号タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図 (3 / 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

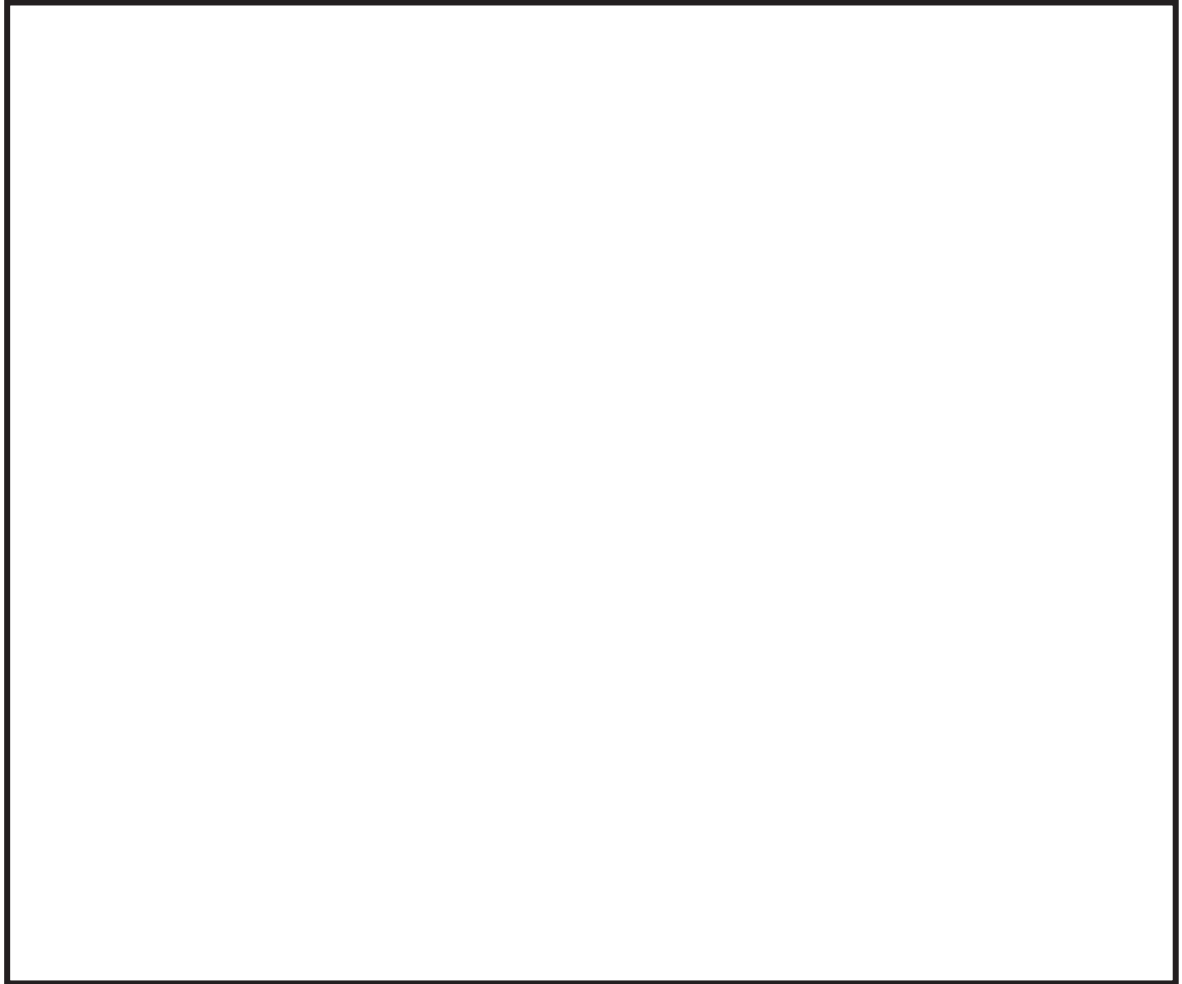


図 5.24.3-7 3号循環水系 系統評価モデル図

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 5.24.3-8~13 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

地震動	床面高さ*1 O.P. (m)	場所	設計震度*2	
			水平方向 C_H	2.86
基準地震動 S_s	-1.55	3号機海水ポンプ室	鉛直方向 C_V	4.10

注記 *1：基準床レベルを示す。

*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) を適用する。

図番 : 02_3Hx_Ss-AL_C00_2.0_ENH_15.000_h_Rev00_a
 標高 : 0. P. 15.000m
 波形名 : Ss-AL
 減衰定数 : 2.0
 構造物名 : 3号海水熱交換器建屋
 —— 水平方向

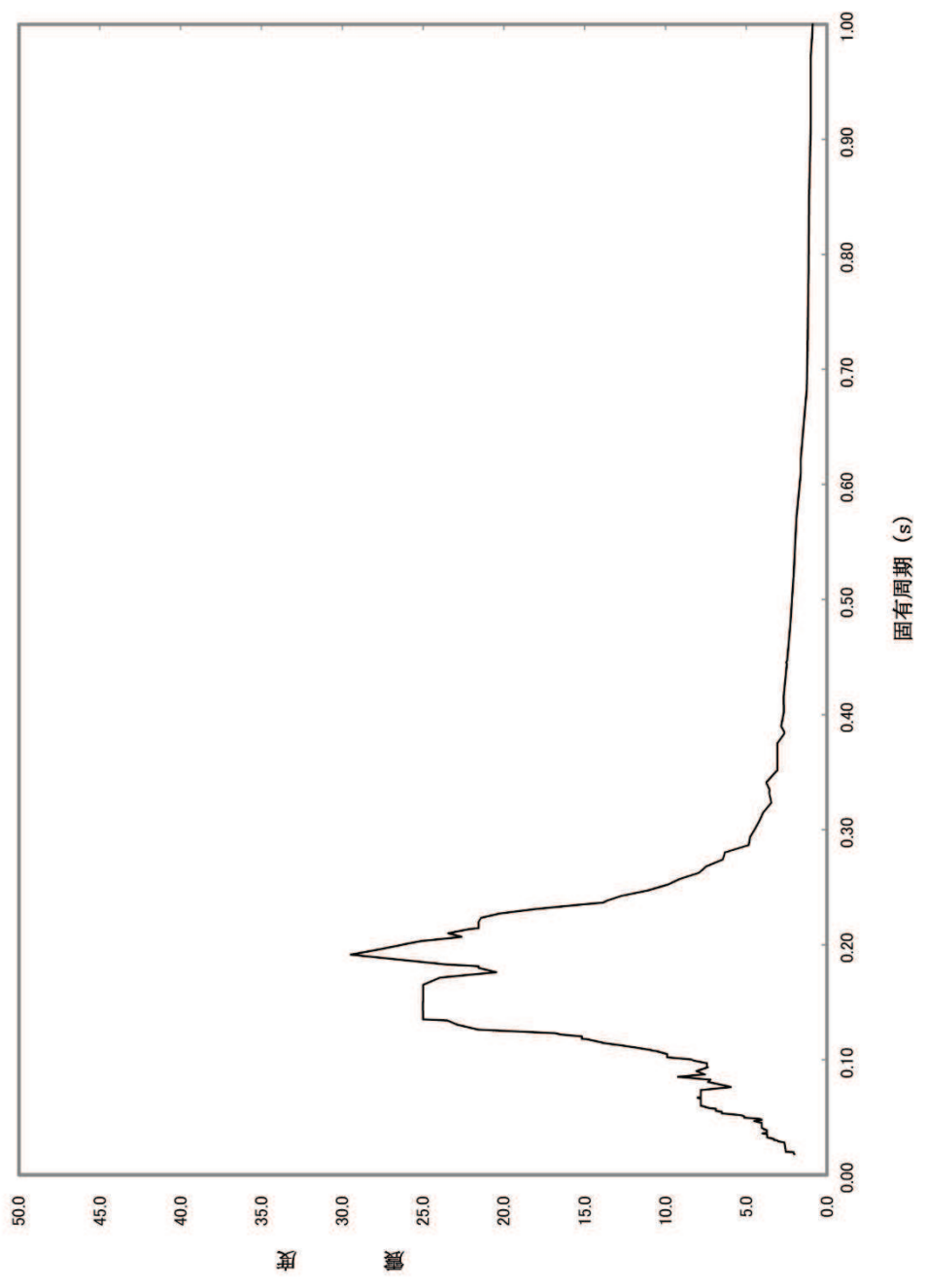


図 5.24.3-8 固有周期毎の水平方向の震度 第3号海水熱交換器建屋 (0. P. 14.00m)

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

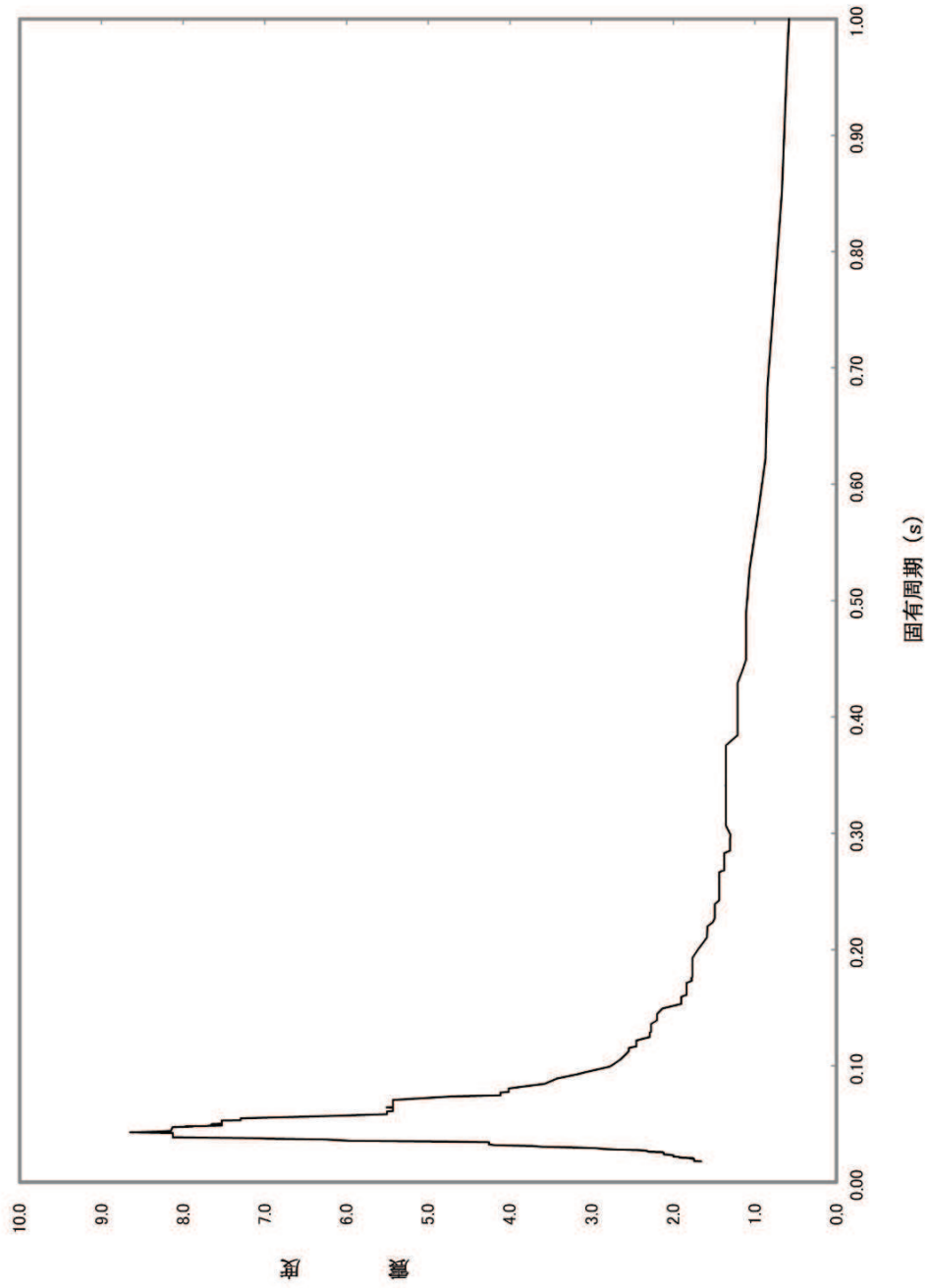
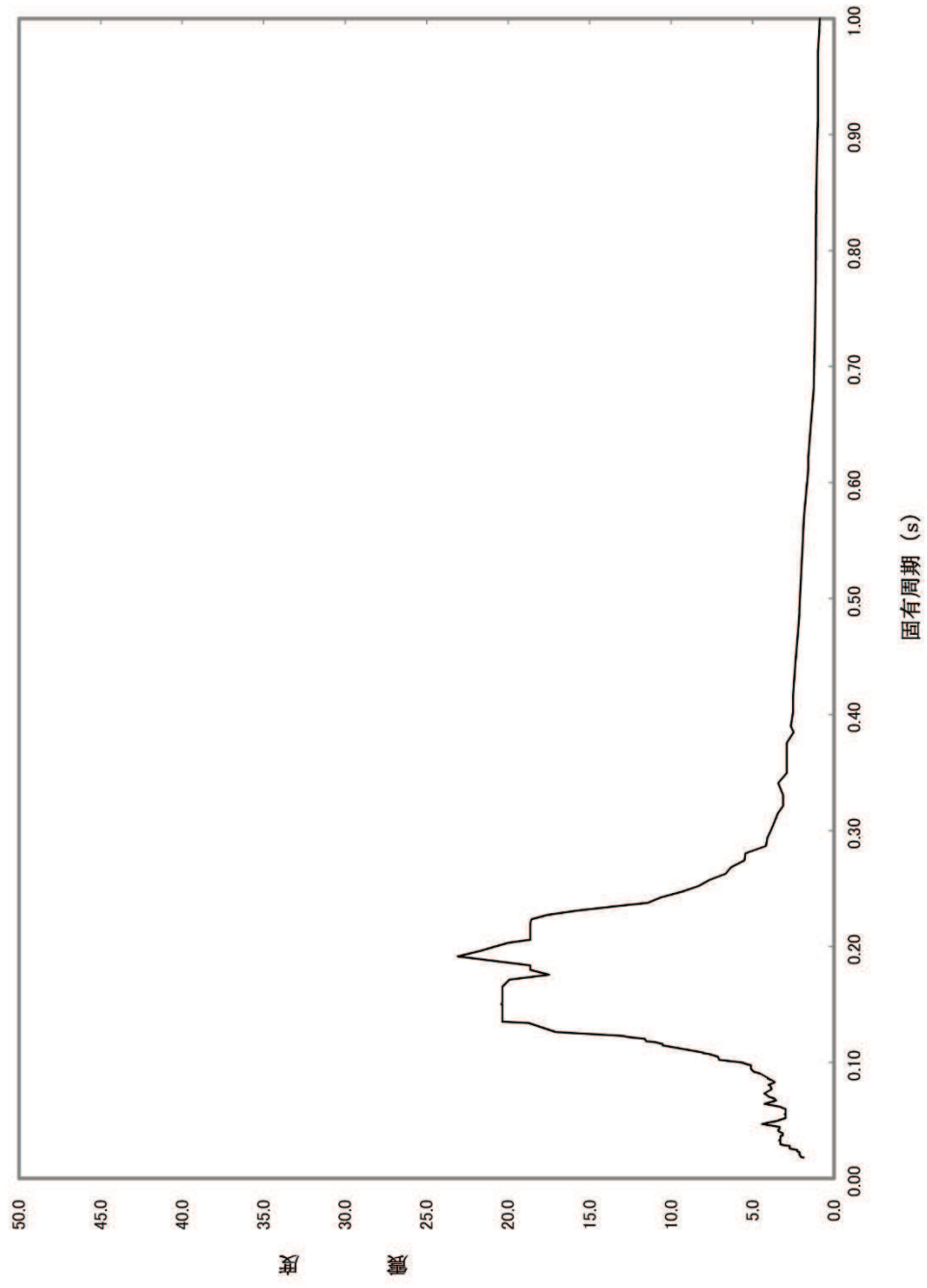


図 5.24.3-9 固有周期毎の鉛直方向の震度 第3号海水熱交換器建屋 (O.P. 14.00m)

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 第3号海水熱交換器建屋 (0.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

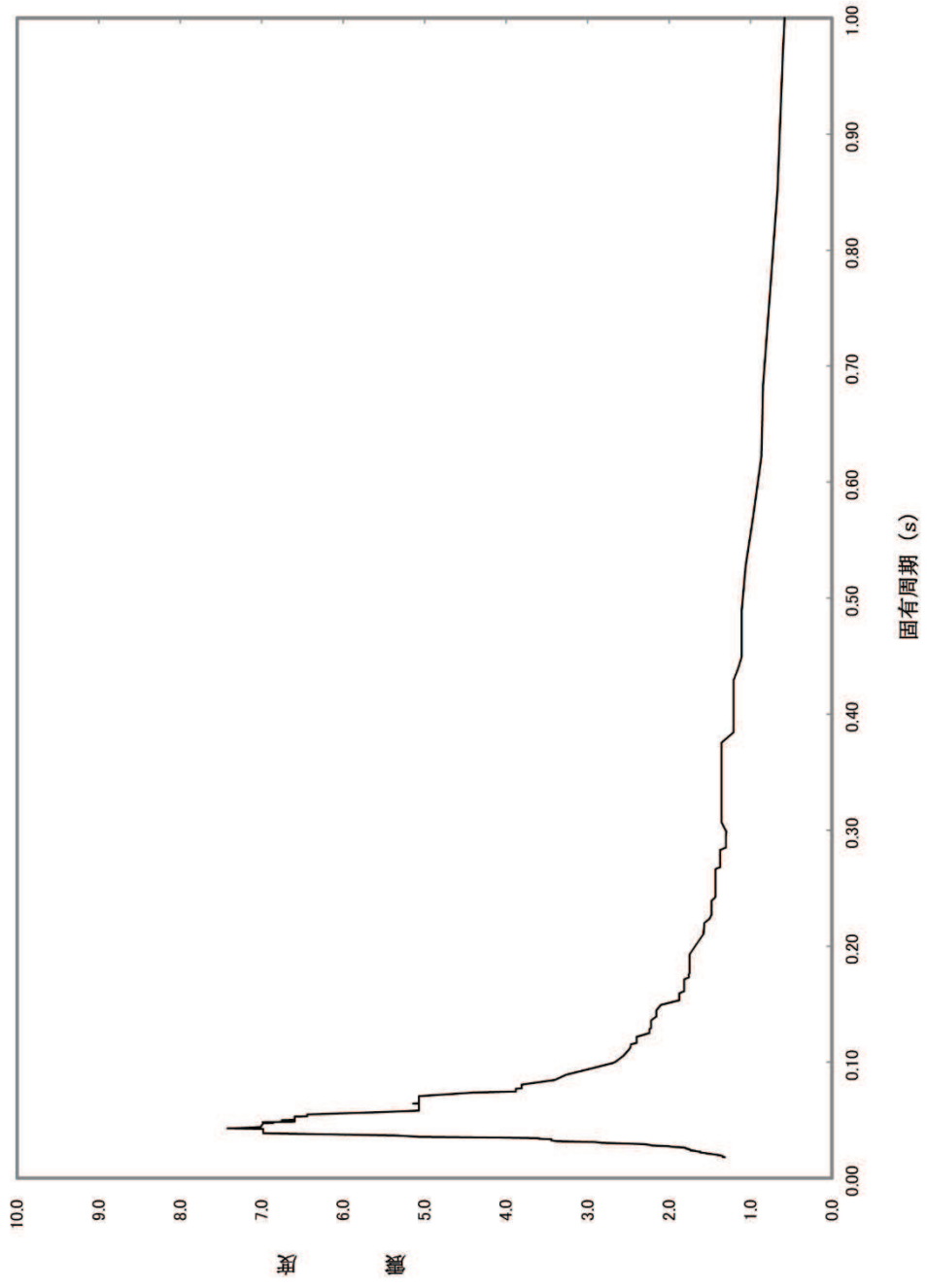


図 5.24.3-11 固有周期毎の鉛直方向の震度 第3号海水熱交換器建屋 (0. P. 7.00m)

構造物名： 3号海水熱交換器建屋
 減衰定数： 2.0
 標高： 0.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

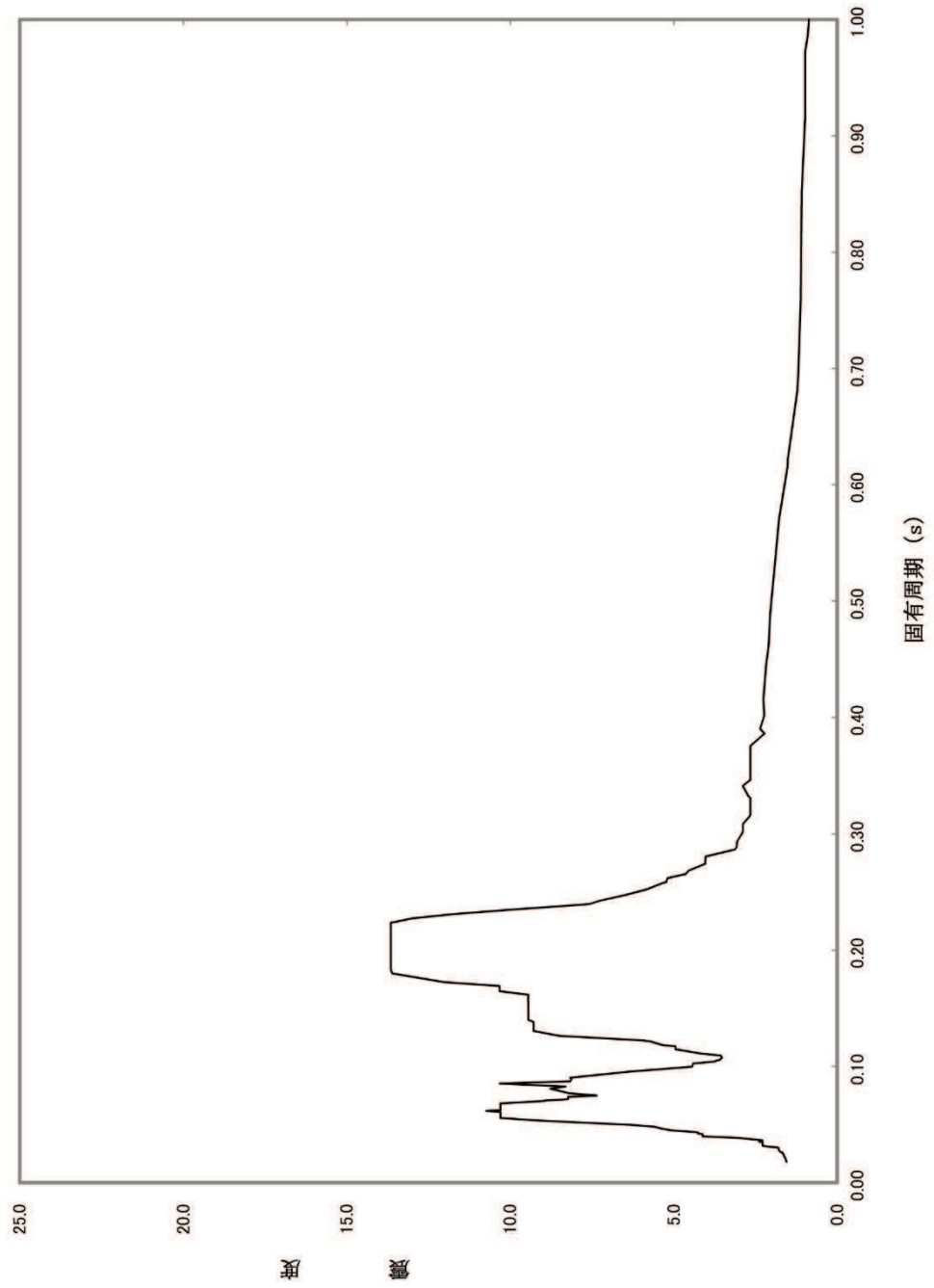


図 5. 24. 3-12 固有周期毎の水平方向の震度 第 3 号海水熱交換器建屋 (0.P. -2.10m)

図番 : 02_3Hx_Ss-AL_C00_2.0_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 : 2.0

——鉛直方向

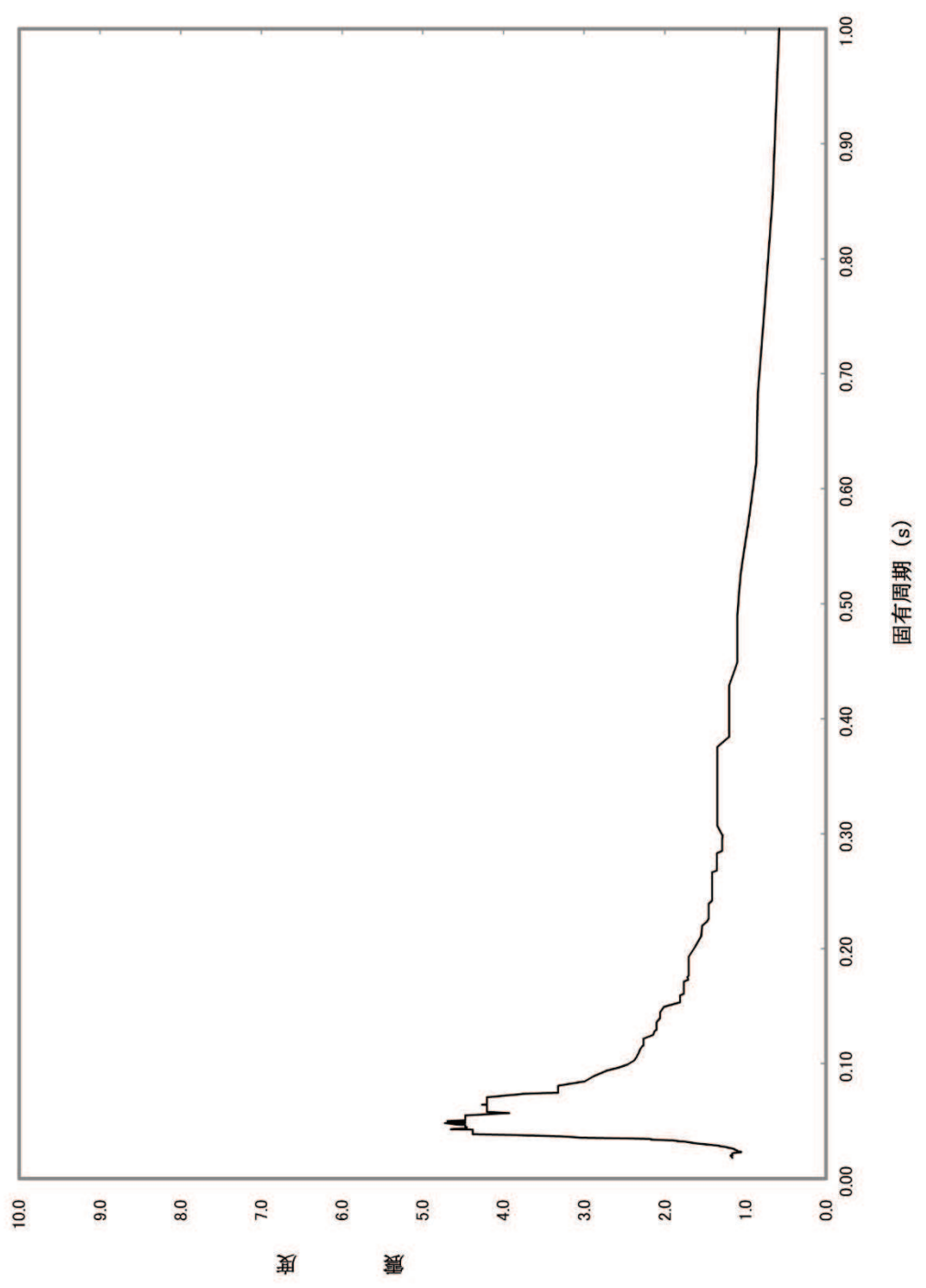


図 5.24.3-13 固有周期毎の鉛直方向の震度 第3号海水熱交換器建屋 (0.P.-2.10m)

(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）及び
3号原子炉補機冷却海水ポンプ吐出弁（A）（C）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）及び
3号原子炉補機冷却海水ポンプ吐出弁（B）（D）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及び
3号タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の評価震度

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号高压炉心スプレイ補機冷却海水系配管及び
3号高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ吐出弁の評価震度

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		鉛直震度
		X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次*1	0.013	—	—	—
動的震度*2		2.86	2.86	4.10

注記 *1：固有周期が 0.05 s 以下であることを示す。

*2：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	追而	追而	追而
3号高压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	29	270
	支持構造物*2	—	—	—

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。

*2：3号循環水系配管の評価対象範囲に支持構造物なし。

- 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

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、主要な構造部材が津波による溢水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)

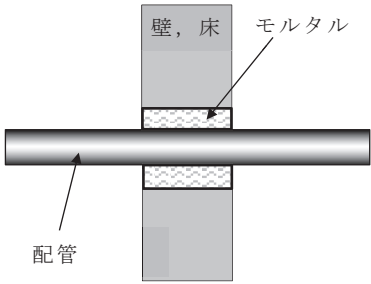
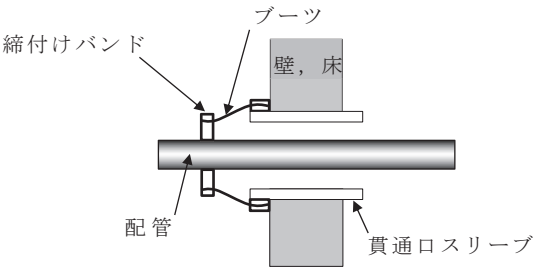
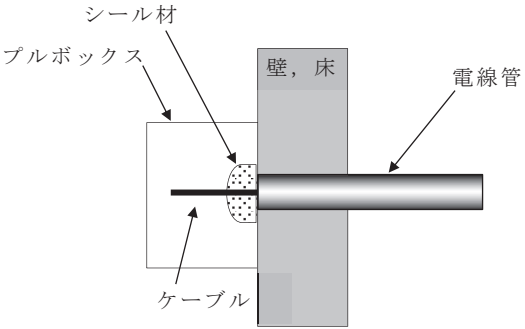
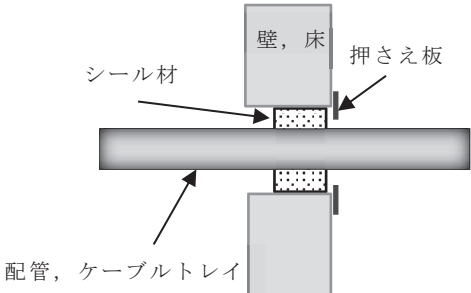
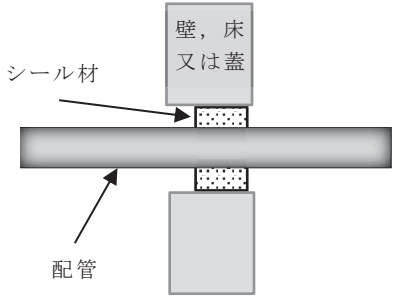
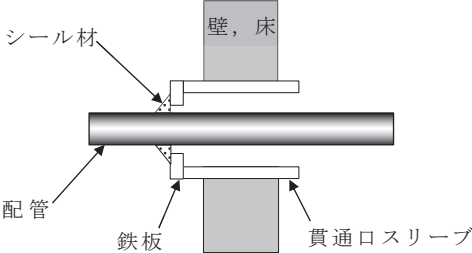
設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 <p>壁, 床 モルタル 配管</p>
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面の貫通ロスリーブと配管を締付けバンドにて締結する。	 <p>ブーツ 締付けバンド 壁, 床 配管 貫通ロスリーブ</p>
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所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

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		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	<p>充填タイプのシール材にて構成する。</p>	<p>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>	 <p>(押さえ板無し)</p>
	<p>コーキングタイプのシール材にて構成する。</p>	<p>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。</p>	

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。

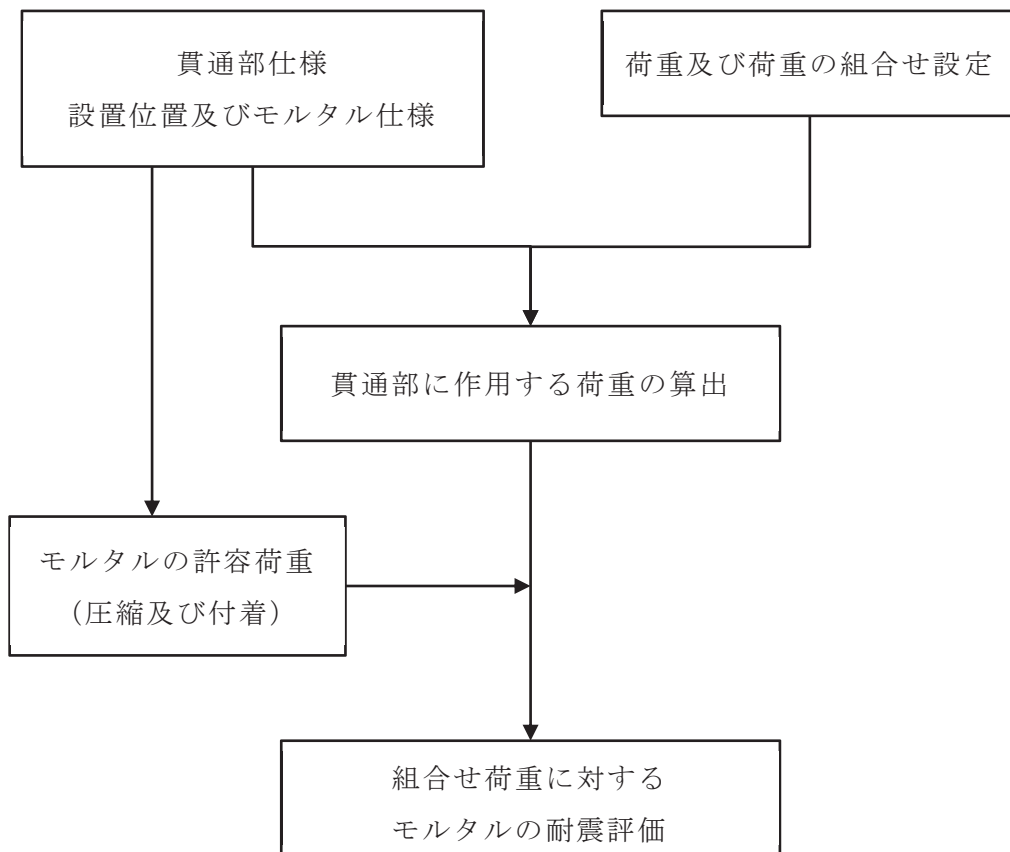


図 2-1 モルタルの耐震評価フロー

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、貫通物を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。

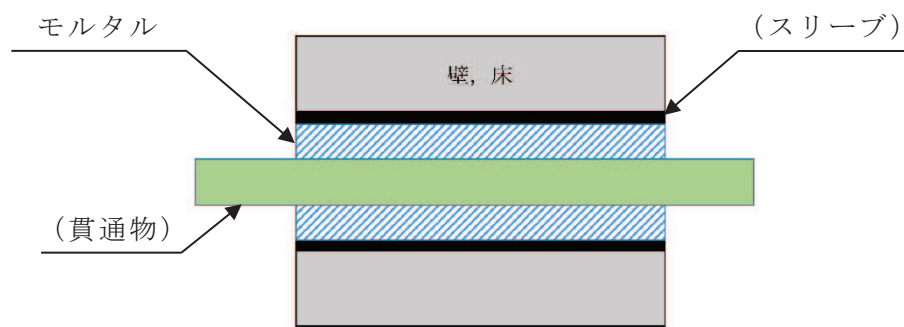


図 3-1 モルタルの評価対象部位

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。

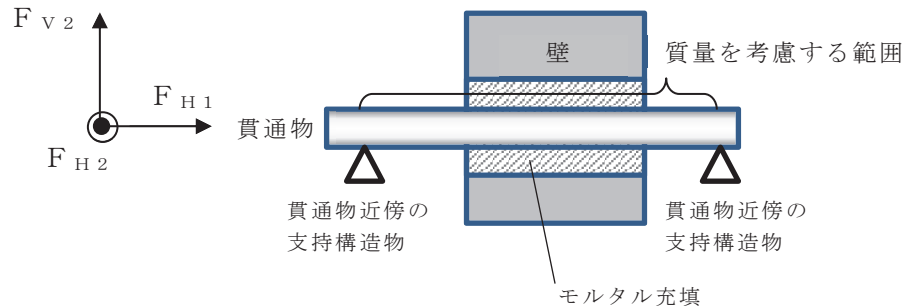


図 4-1 モルタルへの荷重作用図

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. 8400 (O.P. 11025* ²)
鉛直方向 C _V	24.33		

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毎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。

【SW-SsENVH-SW02-005】

構造物名：海水ポンプ室（補機ポンプエリア） 標高：0.P. 11.025m

減衰定数：0.5% 波形名：基準地震動 S s

——水平方向

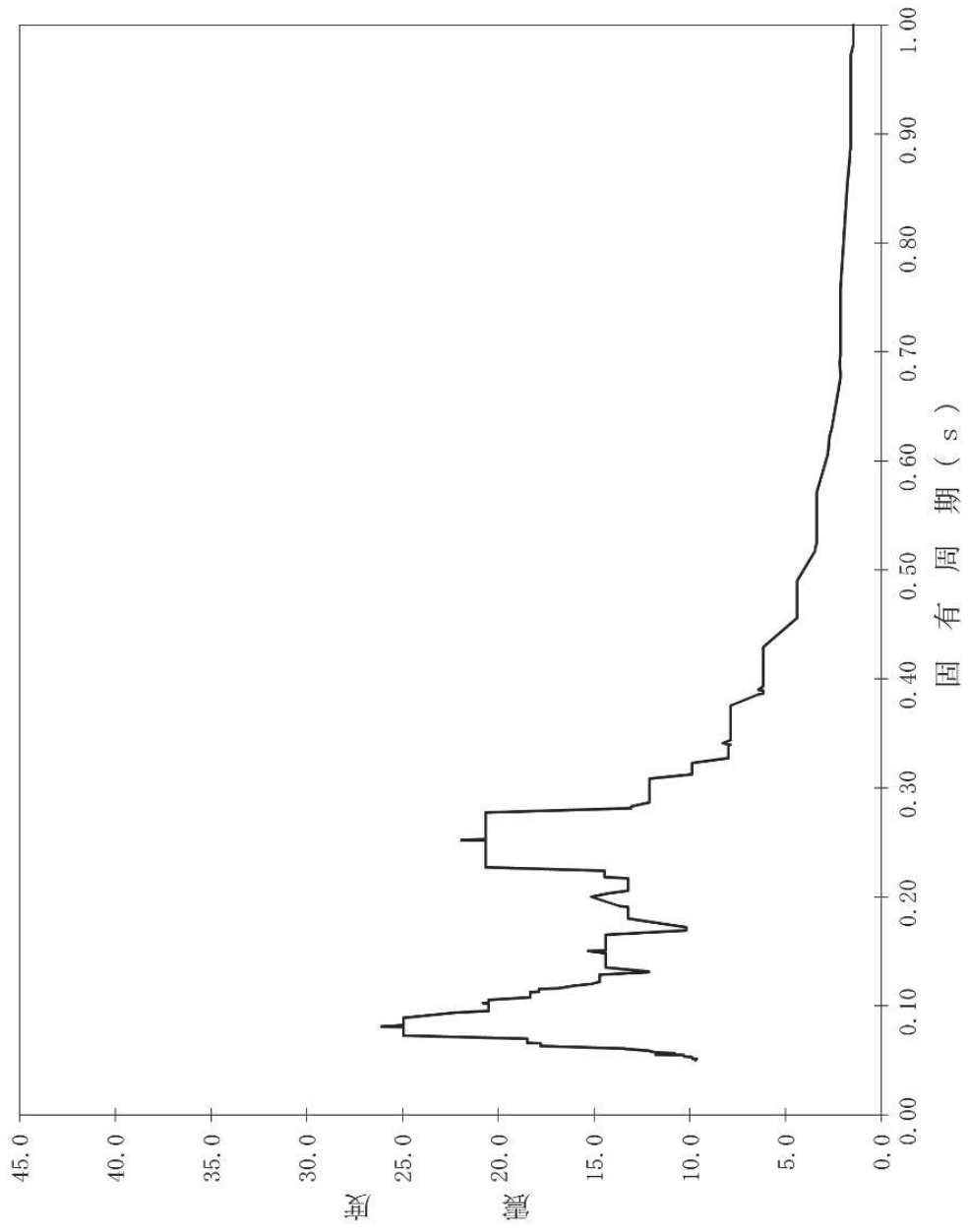


図 4-2 固有周期毎の水平方向の震度

【SW-SsENVV-SW02-005】

構造物名：海水ポンプ室（補機ポンプエリア） 標高：0.P. 11.025m
波形名：基準地震動 S s
減衰定数：0.5%

——鉛直方向

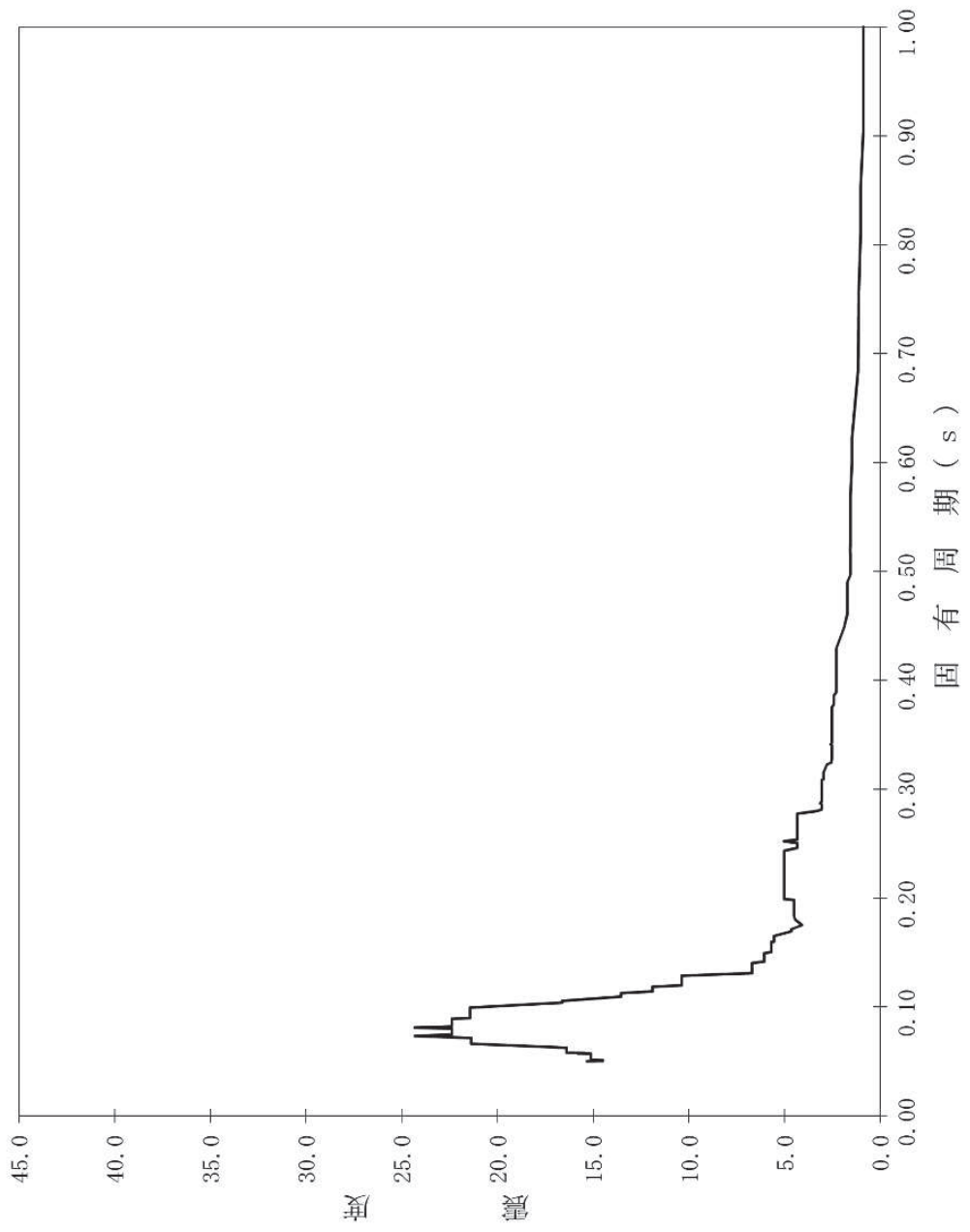


図 4-3 固有周期毎の鉛直方向の震度

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。

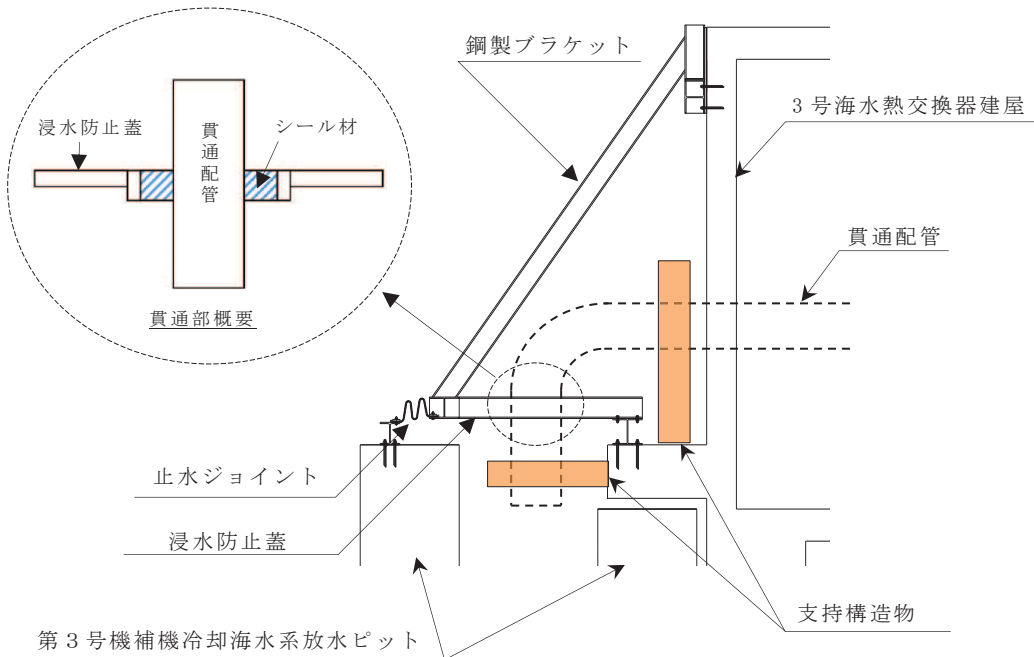


図-1 浸水防止蓋と貫通配管の配置概要

(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箇所に設置し，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おり，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に示すとおりであり，十分小さいことを確認している。

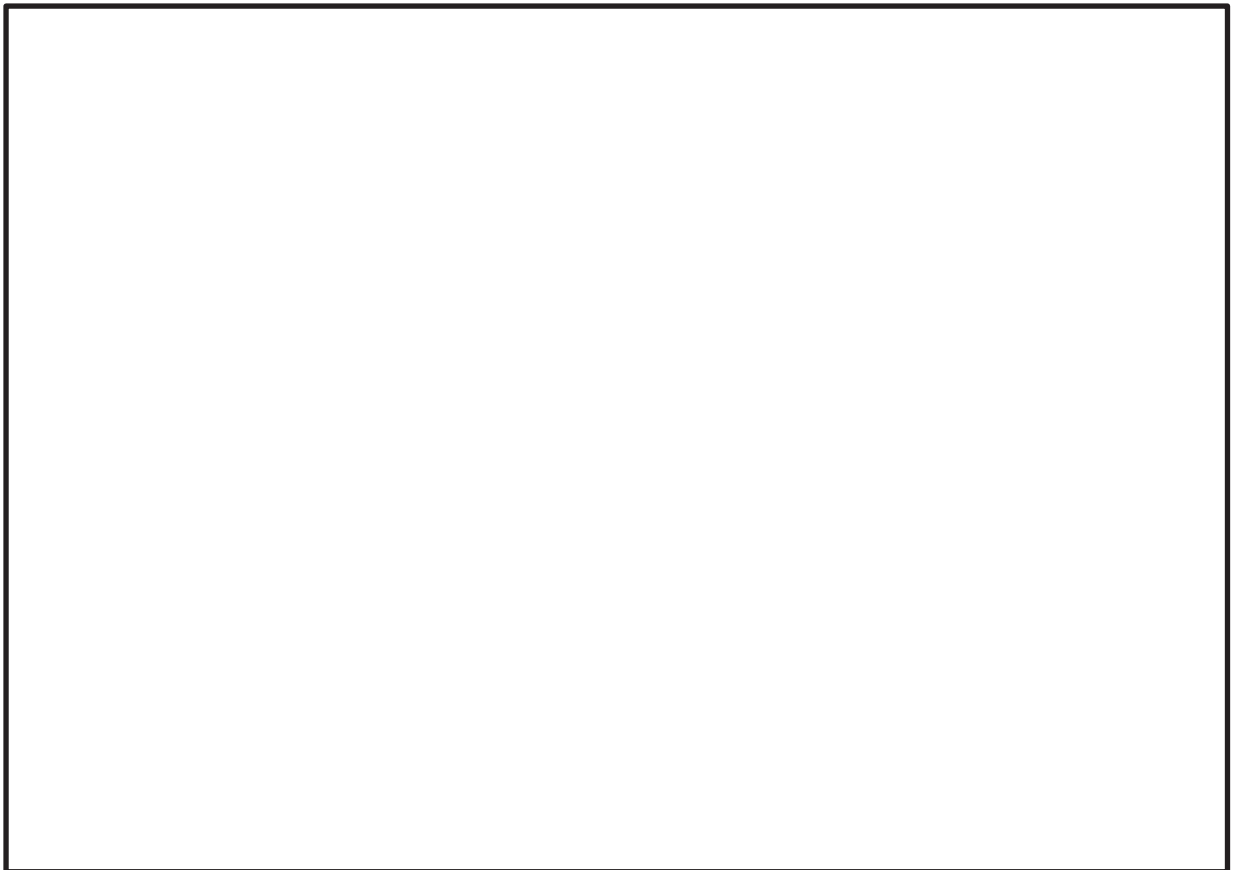


図-2 タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

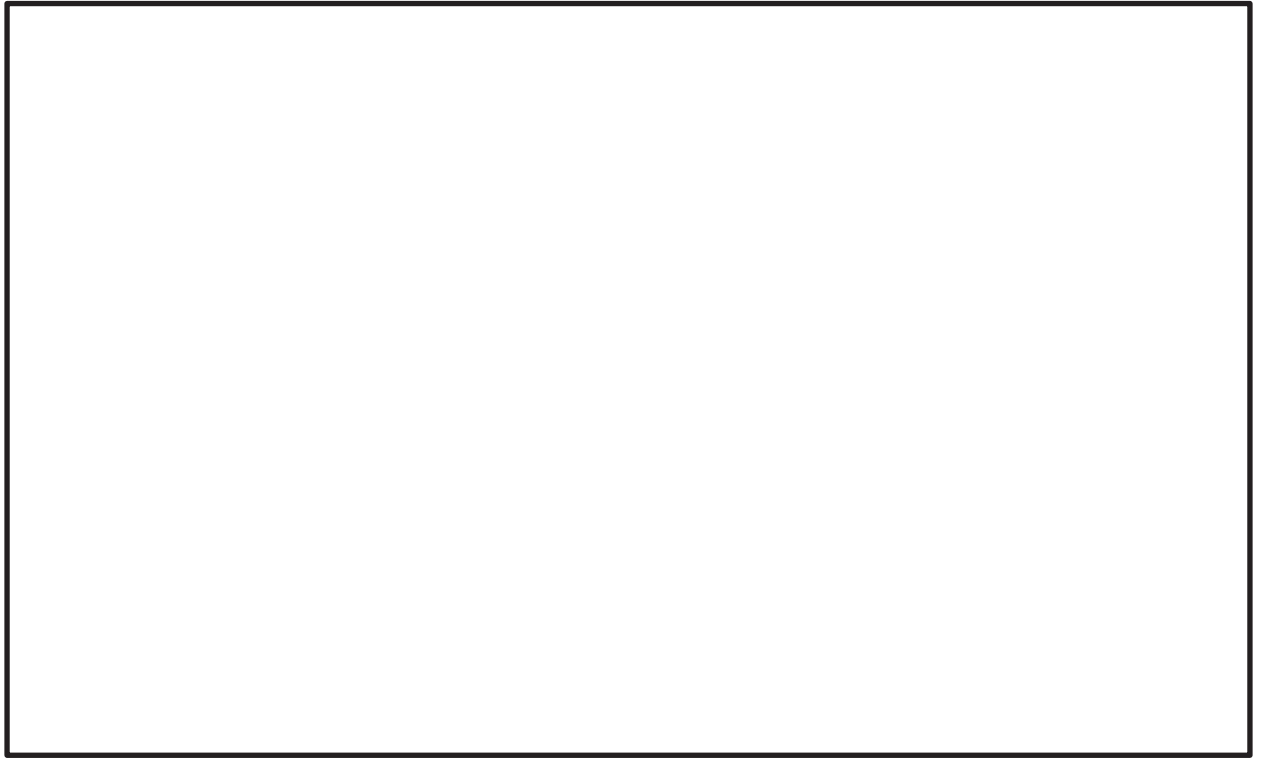


図-3 原子炉補機冷却海水系 系統評価モデル図

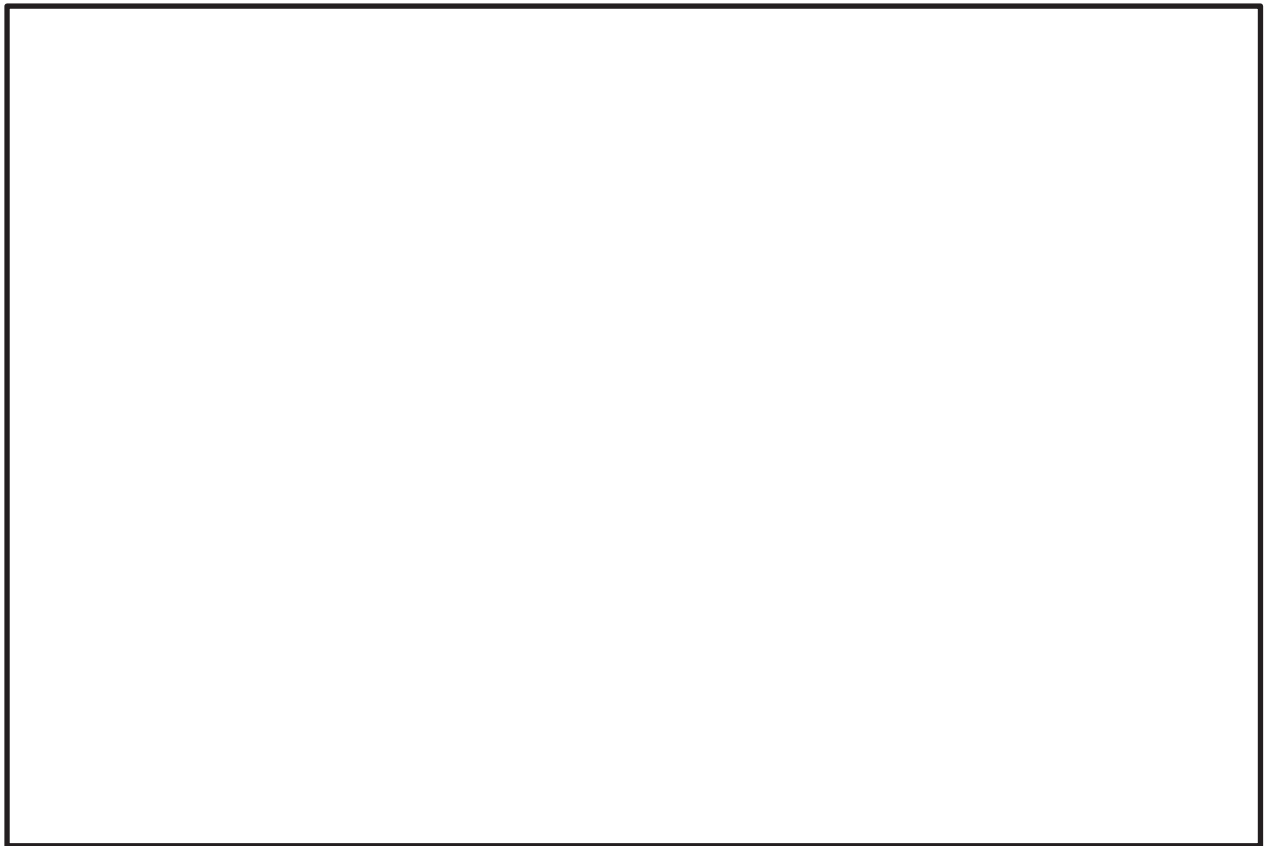


図-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

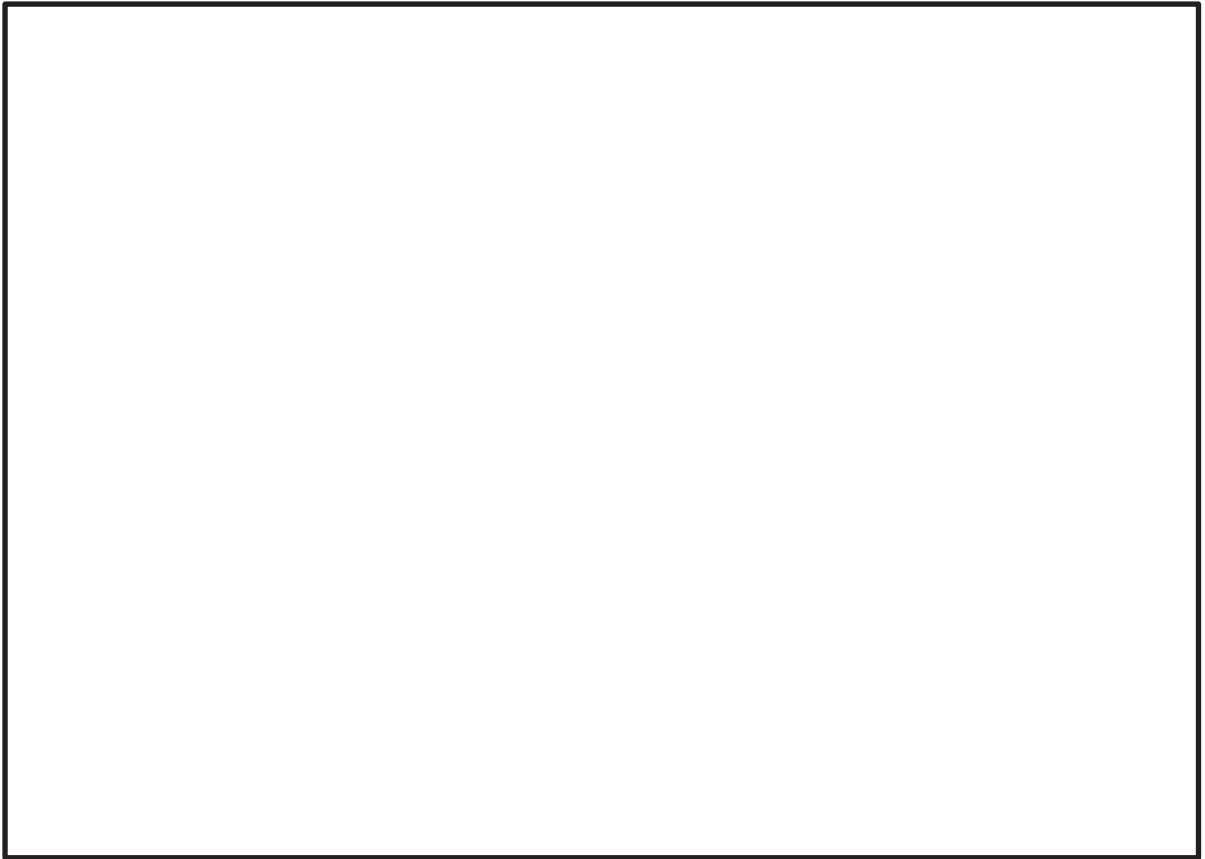


図-5 非放射性ドレン移送系 系統評価モデル図

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 (65A)	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

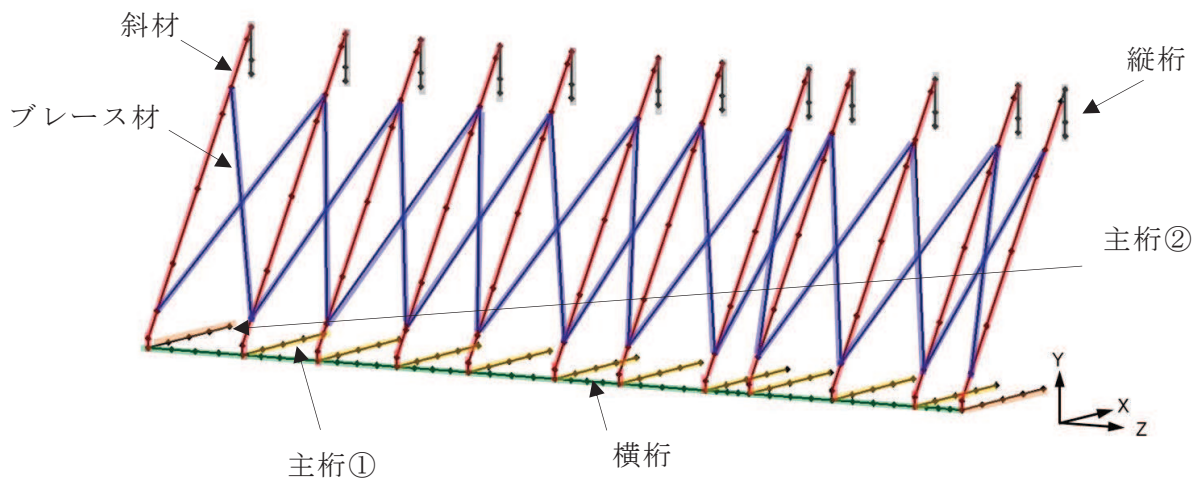
対象系統	最大相対変位 (mm)
タービン補機冷却海水系 (500A)	3
原子炉補機冷却海水系 (500A)	1
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 (200A)	1
非放射性ドレン移送系 (65A)	8

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	6.5.6.2-5
2.4 適用規格・基準等	6.5.6.2-7
2.5 記号の説明	6.5.6.2-8
3. 評価対象部位	6.5.6.2-10
4. 構造強度評価	6.5.6.2-11
4.1 構造強度評価方法	6.5.6.2-11
4.2 荷重及び荷重の組合せ	6.5.6.2-11
4.2.1 荷重の設定	6.5.6.2-11
4.2.2 荷重の組合せ	6.5.6.2-14
4.3 許容限界	6.5.6.2-15
4.4 設計用地震力	6.5.6.2-17
4.5 計算方法	6.5.6.2-20
4.5.1 シール材の強度評価（発生圧力計算）	6.5.6.2-20
4.5.2 モルタルの強度評価（荷重計算）	6.5.6.2-20
4.6 計算条件	6.5.6.2-21
5. 評価結果	6.5.6.2-26

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、地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重、津波による溢水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

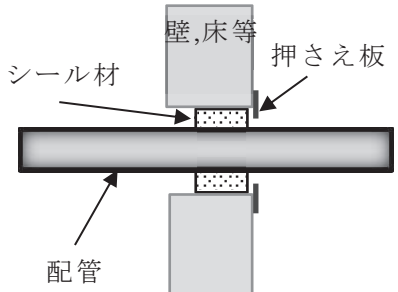
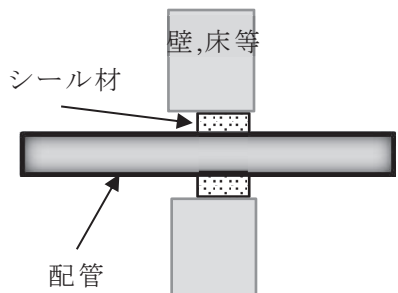
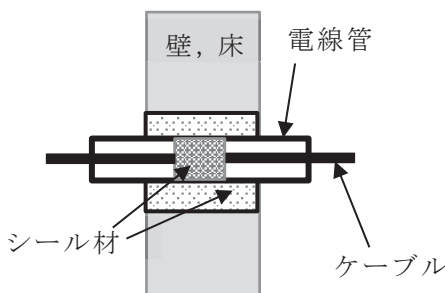
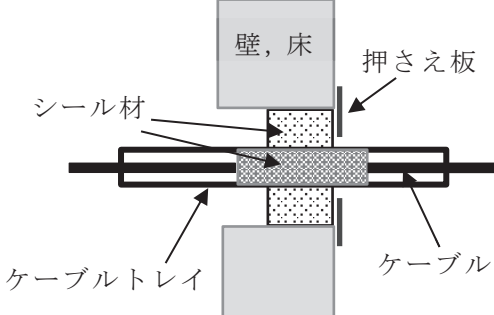
貫通部止水処置は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示すとおり、第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第2号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第3号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部、第2号機原子炉建屋、第2号機制御建屋及び第2号機軽油タンクエリアの貫通口と貫通物とのすき間又は貫通物の周囲に施工する。

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>シリコンシーリング材の構造例（押さえ板有り）</p>  <p>シリコンシーリング材の構造例（押さえ板無し）</p>  <p>シリコンシーリング材の構造例（電線管）</p>  <p>シリコンシーリング材の構造例（ケーブルトレイ）</p>

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>

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、シーリング材並びにモルタルに分けて設計を行うこととする。シーリング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。

シーリング材については、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。

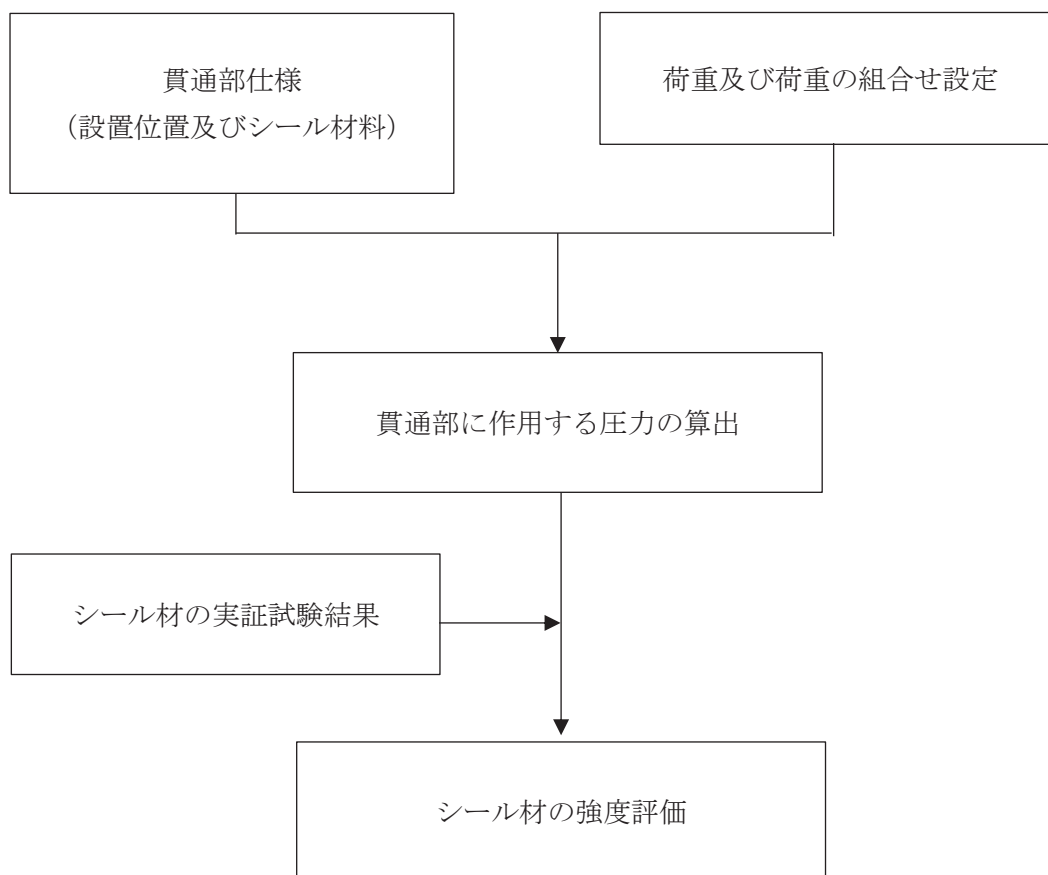


図 2-1 シーリング材の強度評価フロー

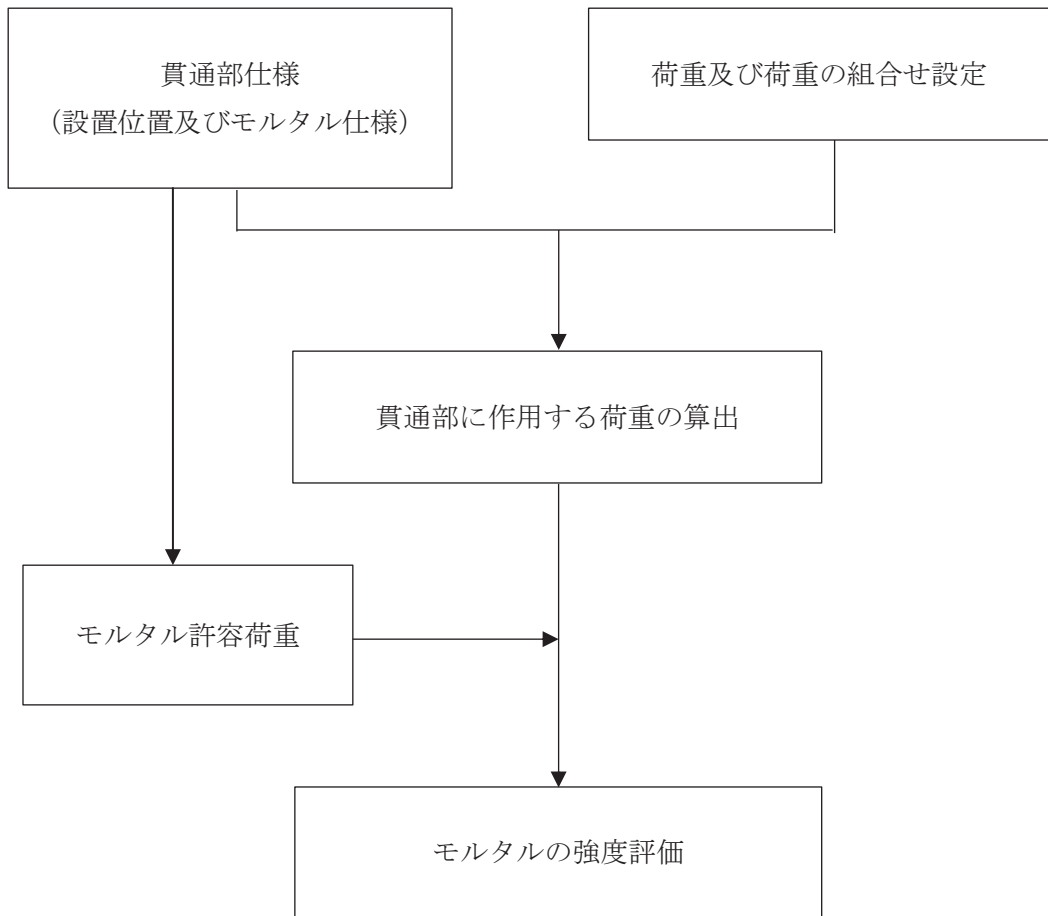


図 2-2 モルタルの強度評価フロー

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) JSME S NC 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 (JEAG 4601-1987)
- (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 (JEAG 4601・補-1984)
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1991 追補版)
(以下「JEAG 4601」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。

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重、津波による溢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は、止水処置全体へ伝達される。このことから、シール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。

シール材については、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 (=1.0) (「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。

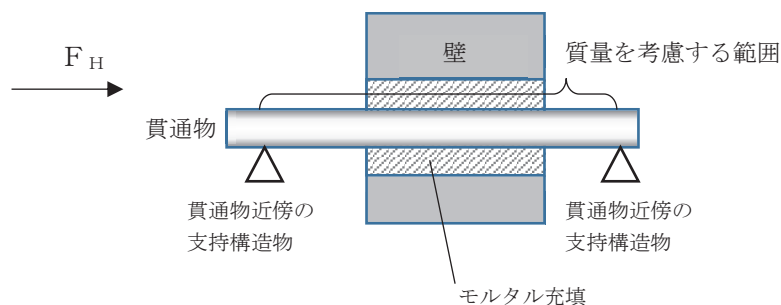


図 4-1 モルタルへの付着方向の余震荷重作用図

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. に示す指示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 (1.0) (「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さ (m)

h : 貫通部ににかかる水頭 (m)

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口)	$D + P_h + K S_d^{*1*3*4}$
	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 $P_{s,d}$) 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 : 垂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。

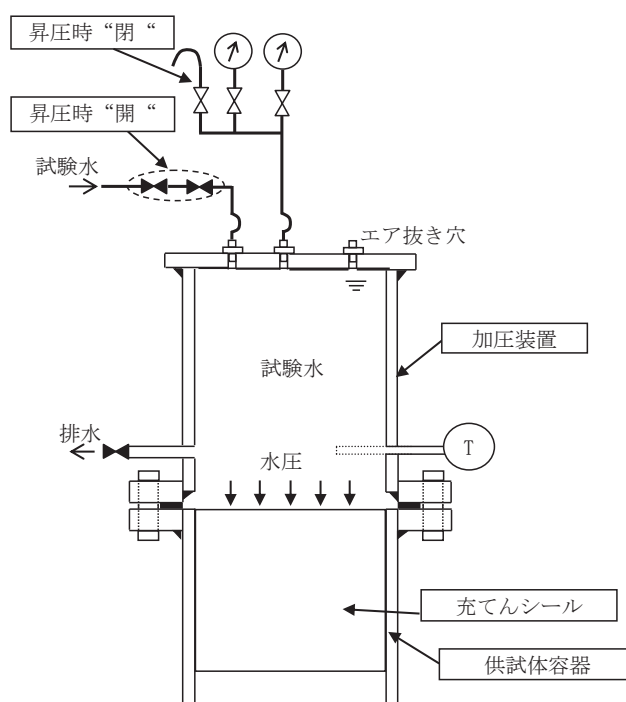


図4-2 シール材の水圧試験の概要

(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

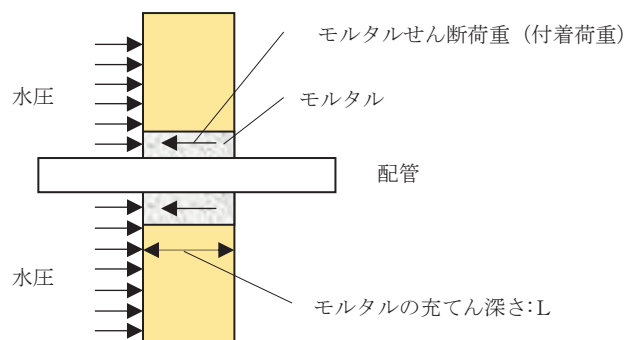


図 4-3 モルタルの施工例

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	8.60
			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_IH_14.800_h_Rev01_a

構造物名 : 軽油タンクピット(A)(B)-タンク側
標高 : 0.P. 14.800m
減衰定数 : 0.5
波形名 : Sd-AL

—— 水平方向

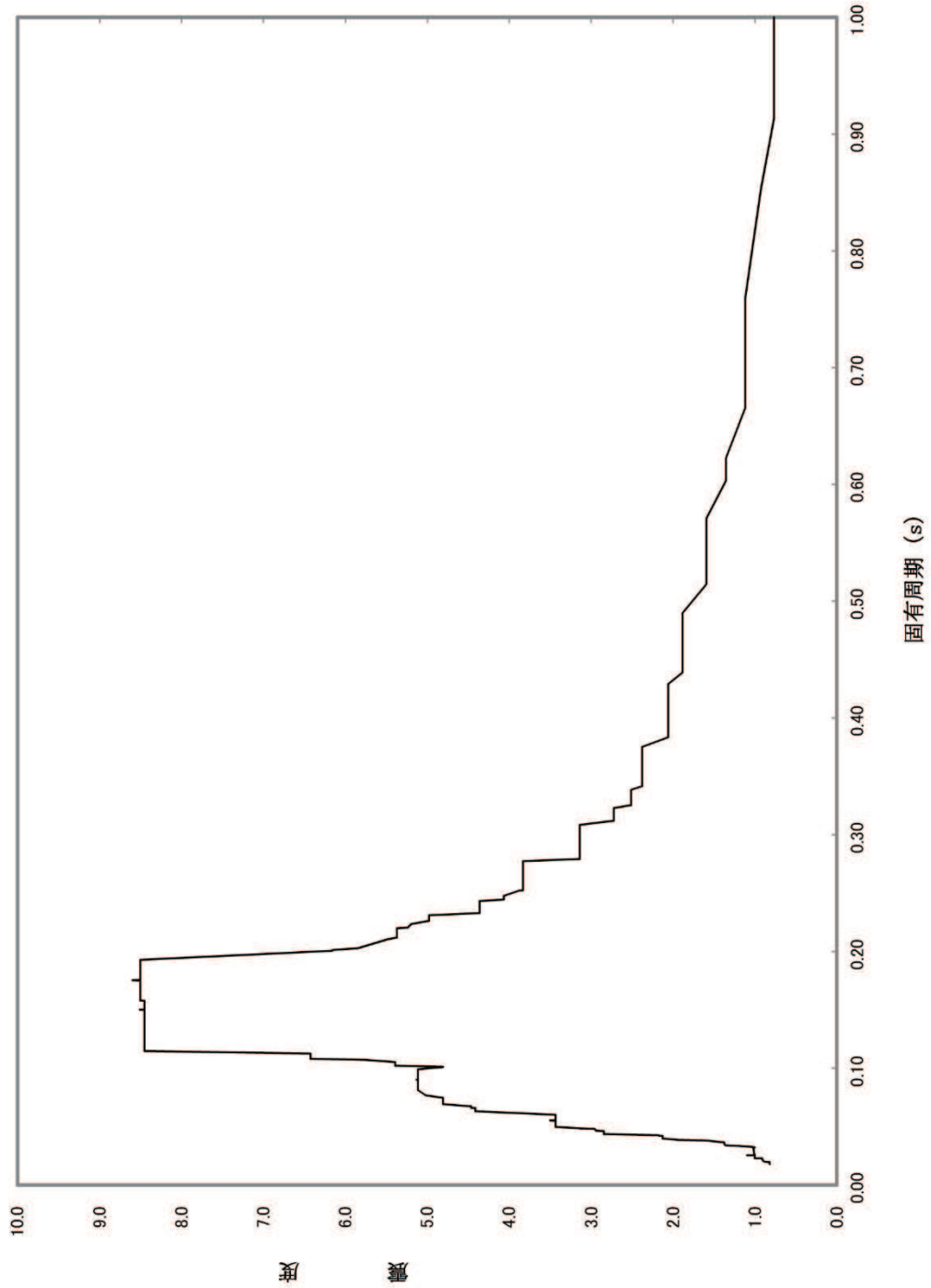


図 4-4 固有周期毎の水平方向の震度

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(0. 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 (0. 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 (0. P. 8. 836m) から入力津波水位に 0. 5 mの余裕を考慮した津波水位 (0. P. 18. 0m) までの寸法。

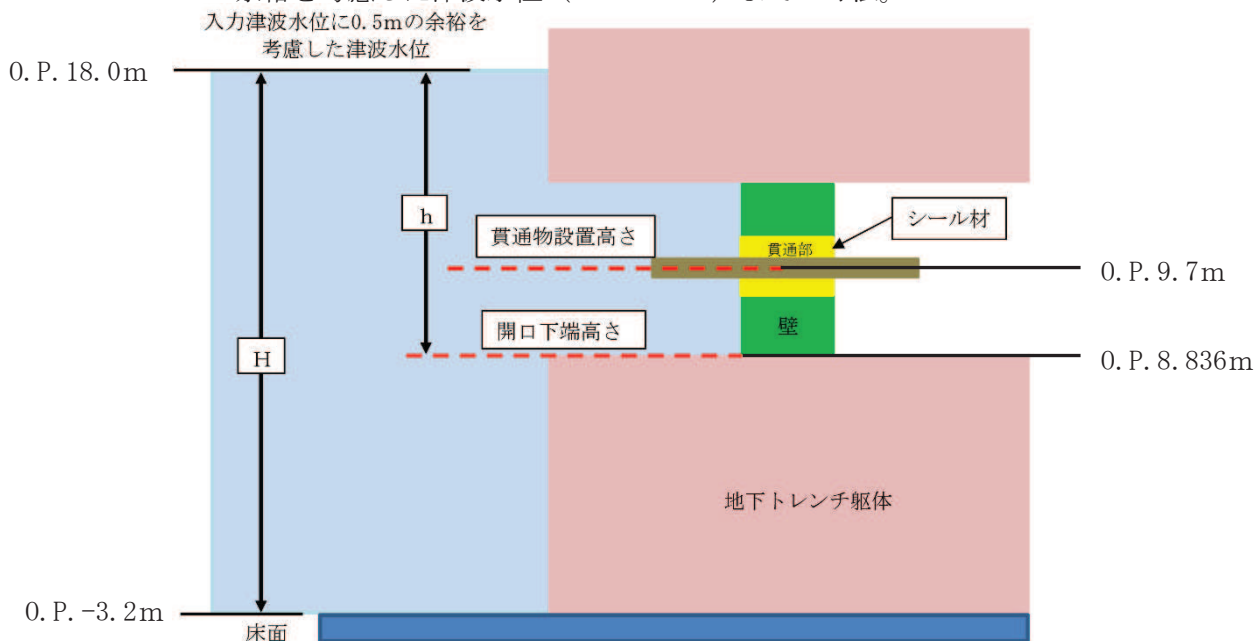


図 4-5 貫通部止水処置（貫通軸：水平）に加わる津波の概要

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 (O.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 (O.P. 18.0m) までの寸法。

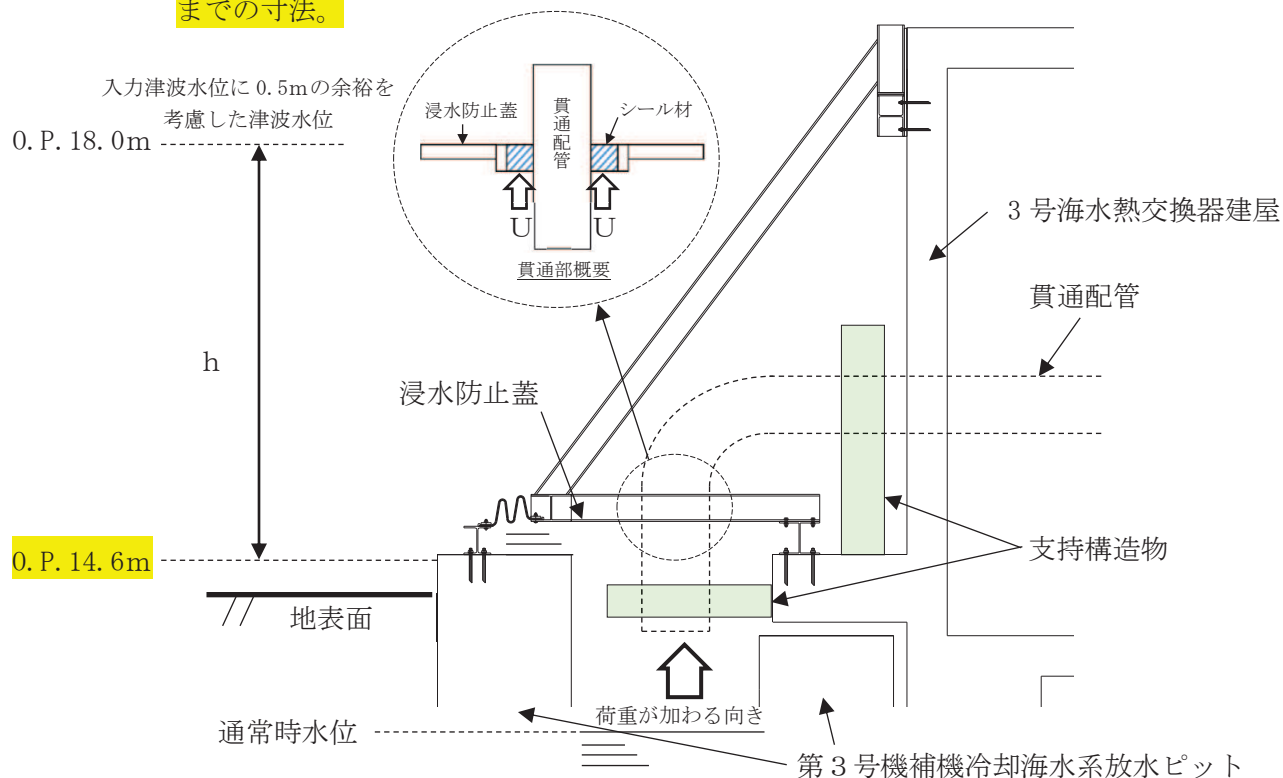


図 4-6 貫通部止水処置（貫通軸：鉛直）に加わる津波の概要

(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 床面からの浸水高さ 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 浸水高さ 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	0.89^{*2}

注記 * 1 : 貫通部敷設エリアの床面からの浸水高さ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

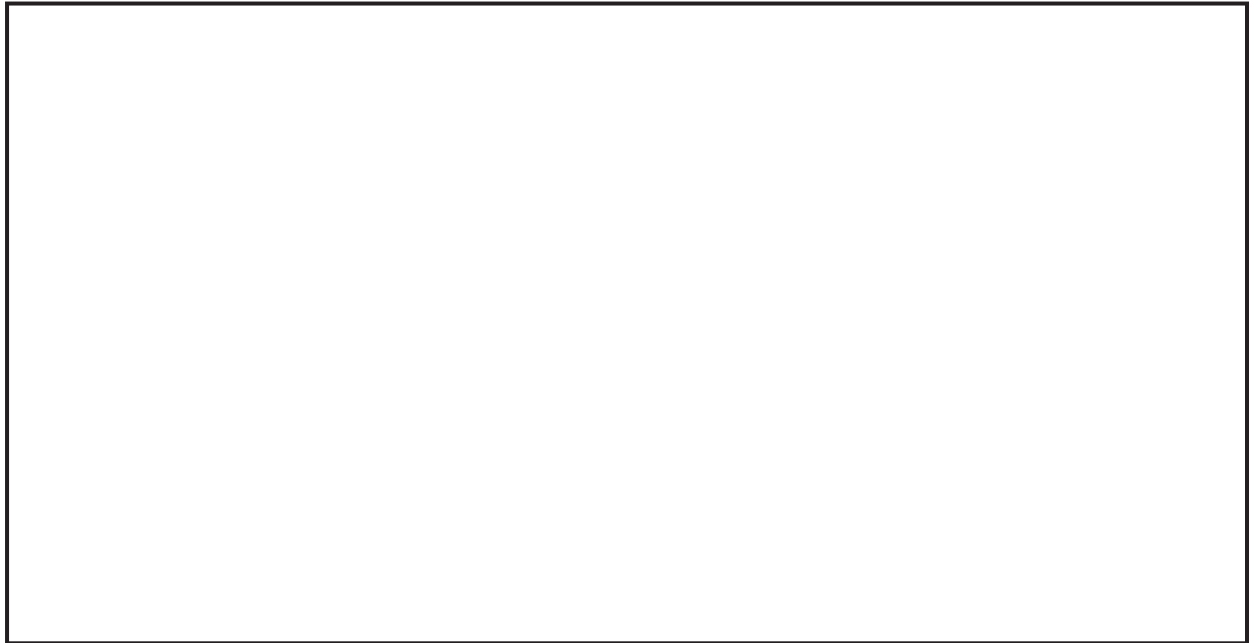


表 4-12 動水圧算出用の水平方向震度

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}	0.89
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	0.89	0.88	0.89	0.64
9.5	0.76	0.78	0.78	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。

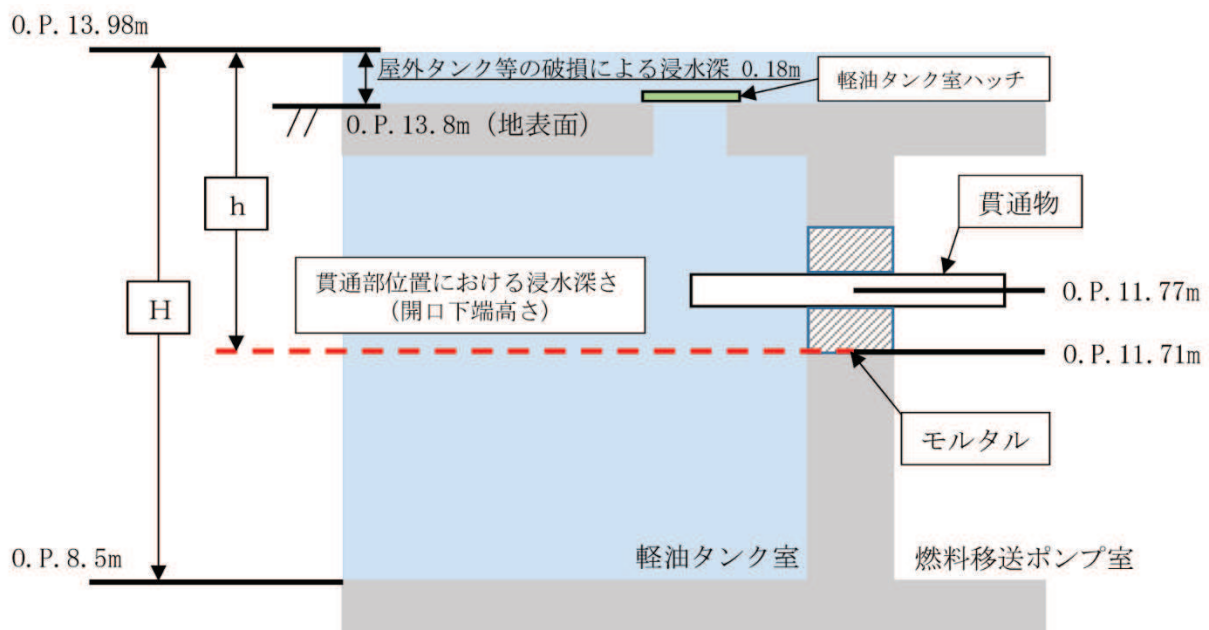


図 4-7 貫通部止水処置（モルタル）に加わる荷重の概要


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) 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。

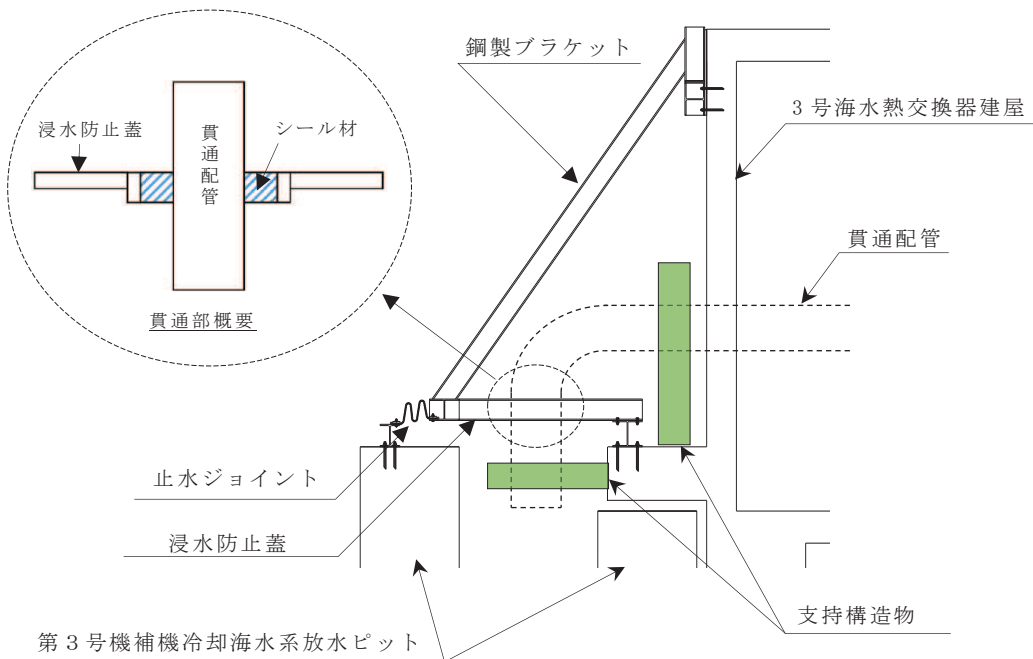


図-1 浸水防止蓋と貫通配管の配置概要

(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箇所に設置し，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おり，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に示すとおりであり，十分小さいことを確認している。

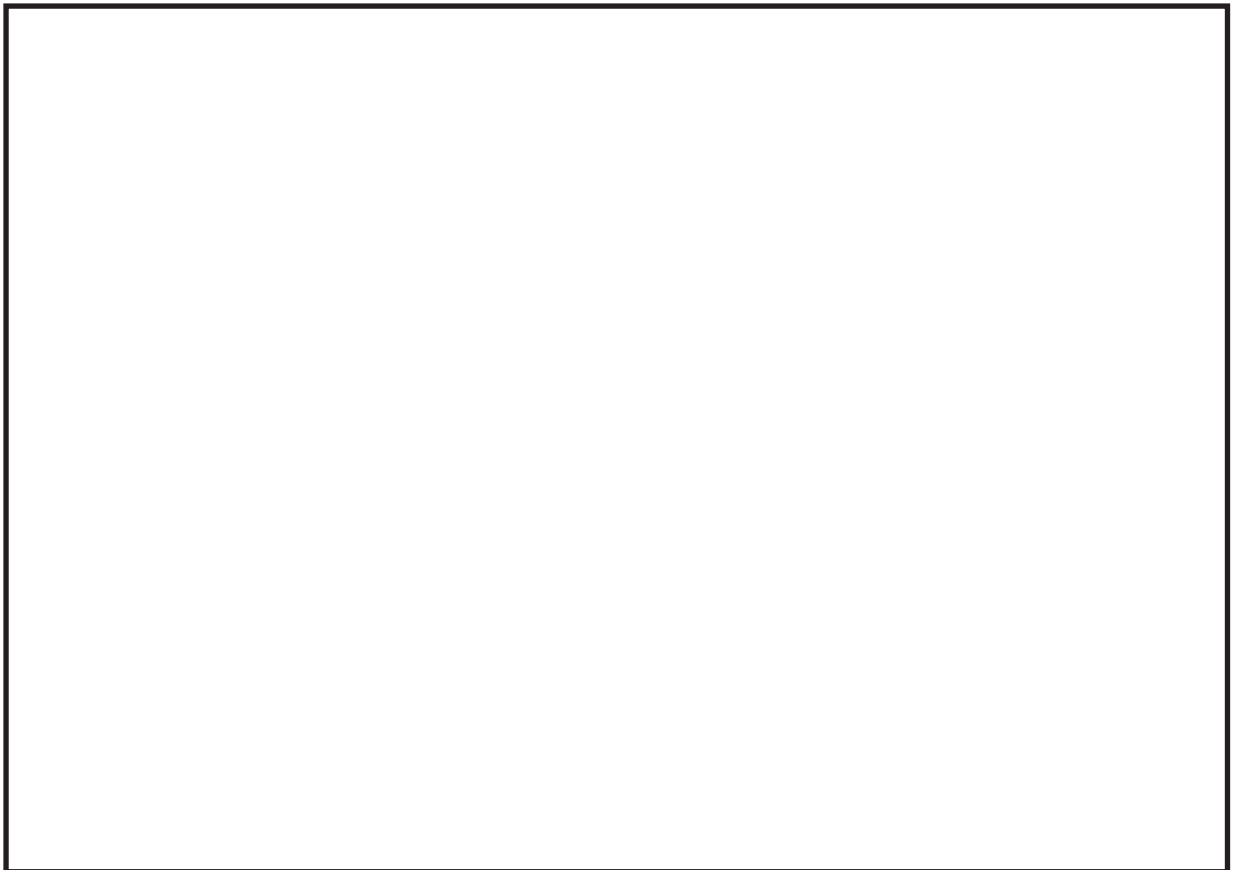


図-2 タービン補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

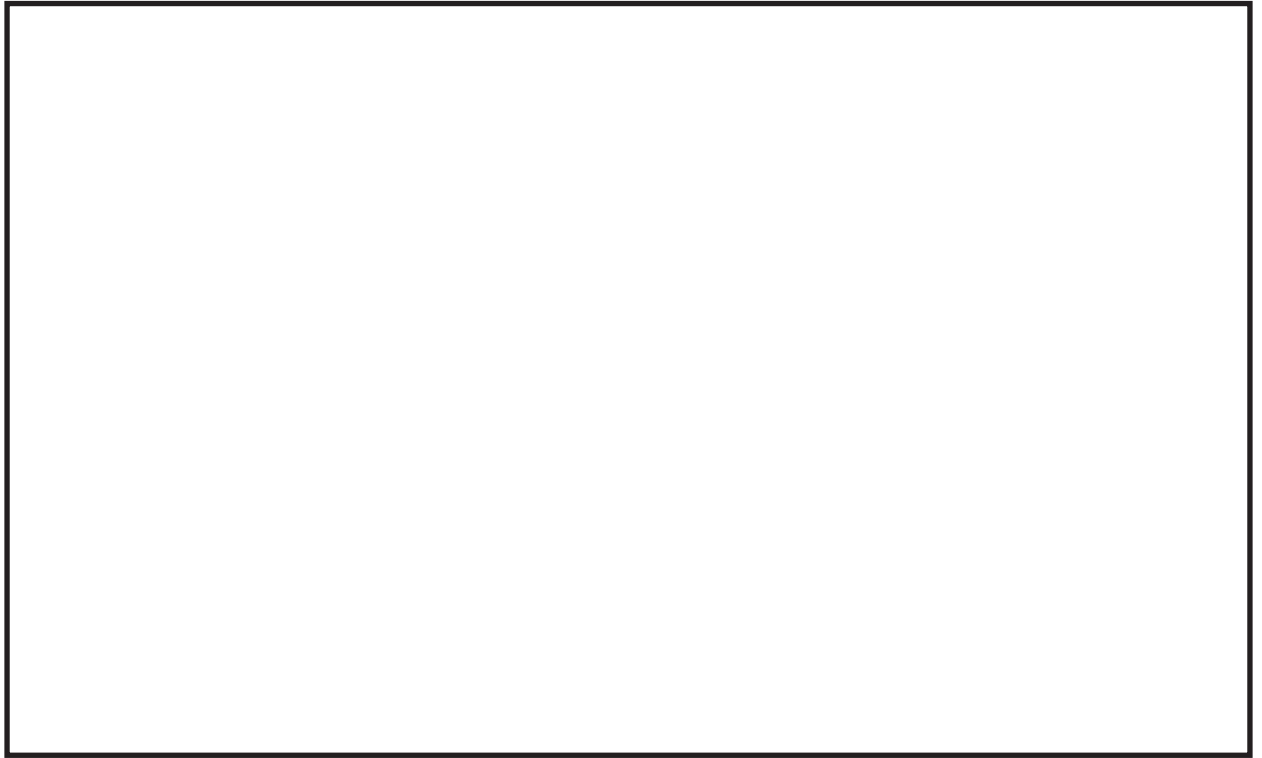


図-3 原子炉補機冷却海水系 系統評価モデル図

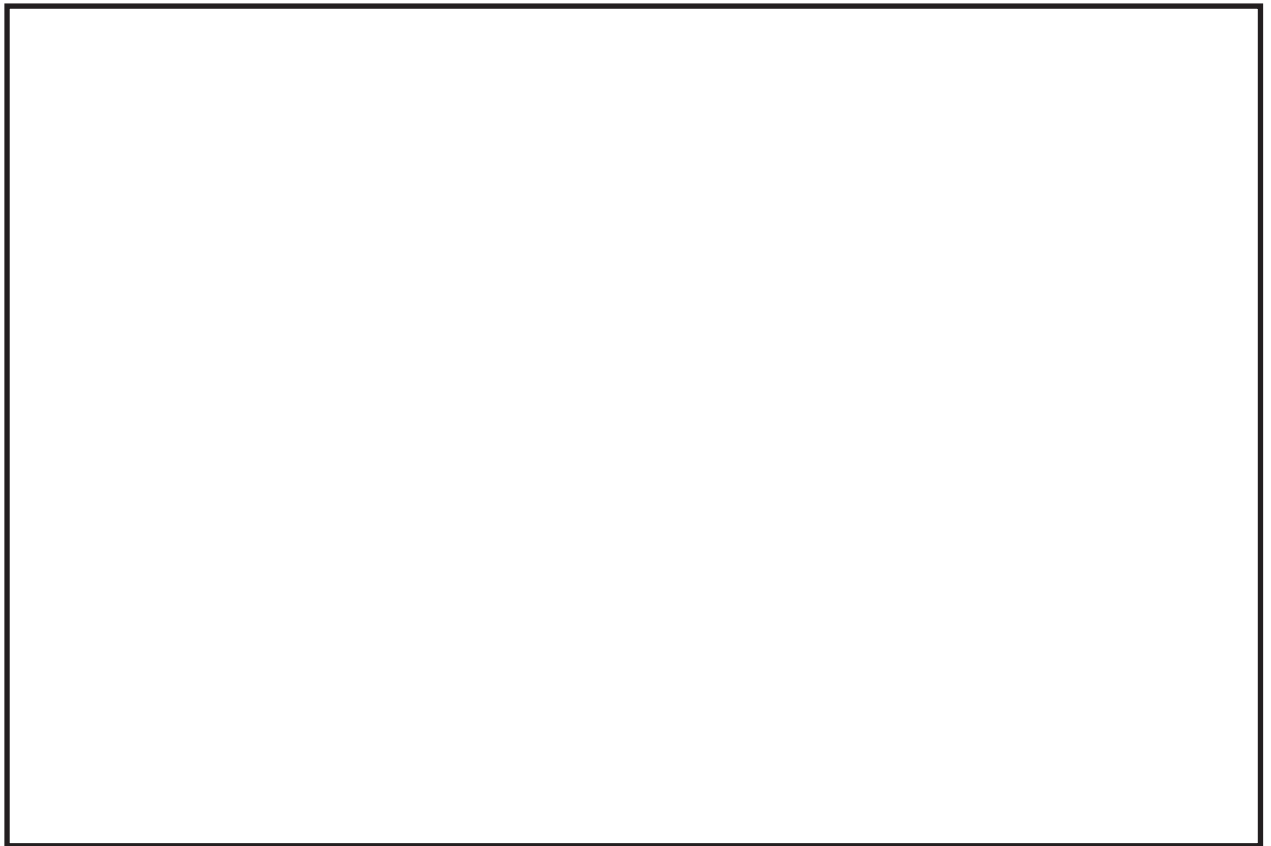


図-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 系統評価モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

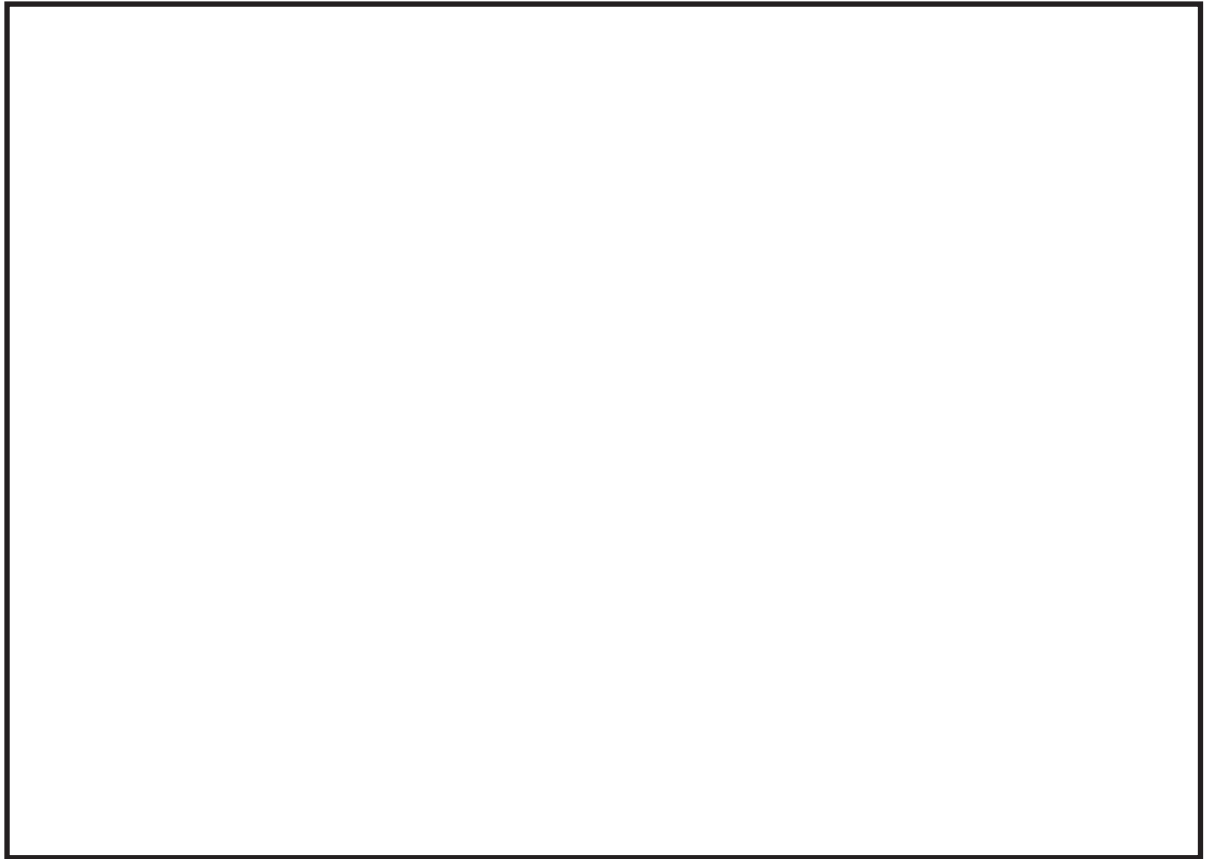


図-5 非放射性ドレン移送系 系統評価モデル図

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 (65A)	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

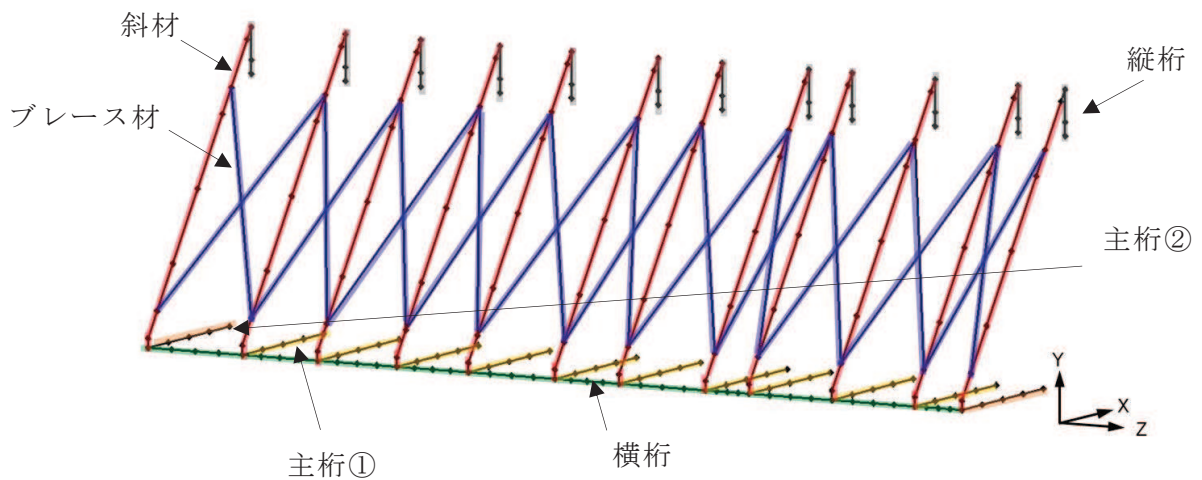
対象系統	最大相対変位 (mm)
タービン補機冷却海水系 (500A)	3
原子炉補機冷却海水系 (500A)	1
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系 (200A)	1
非放射性ドレン移送系 (65A)	8

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
- 6.6 津波監視設備に関する補足説明

目 次

- 6.6.1 津波監視カメラに関する補足説明
- 6.6.2 取水ピット水位計の設計に関する補足説明

6.6.1 津波監視カメラに関する補足説明

6.6.1.1 概要

本資料は、津波監視設備のうち津波監視カメラの耐震計算の詳細について説明するものである。津波監視カメラは、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、波力及び漂流物の影響を受けない場所として、原子炉建屋屋上及び防潮堤にカメラ本体を設置し、昼夜にわたり監視可能な設計とする。また、カメラ本体からの映像信号を中央制御室に設置する津波監視設備制御盤に伝送し、中央制御室にて監視可能な設計とする。対象となる津波監視カメラの配置を図 6.6.1-1 に示す。

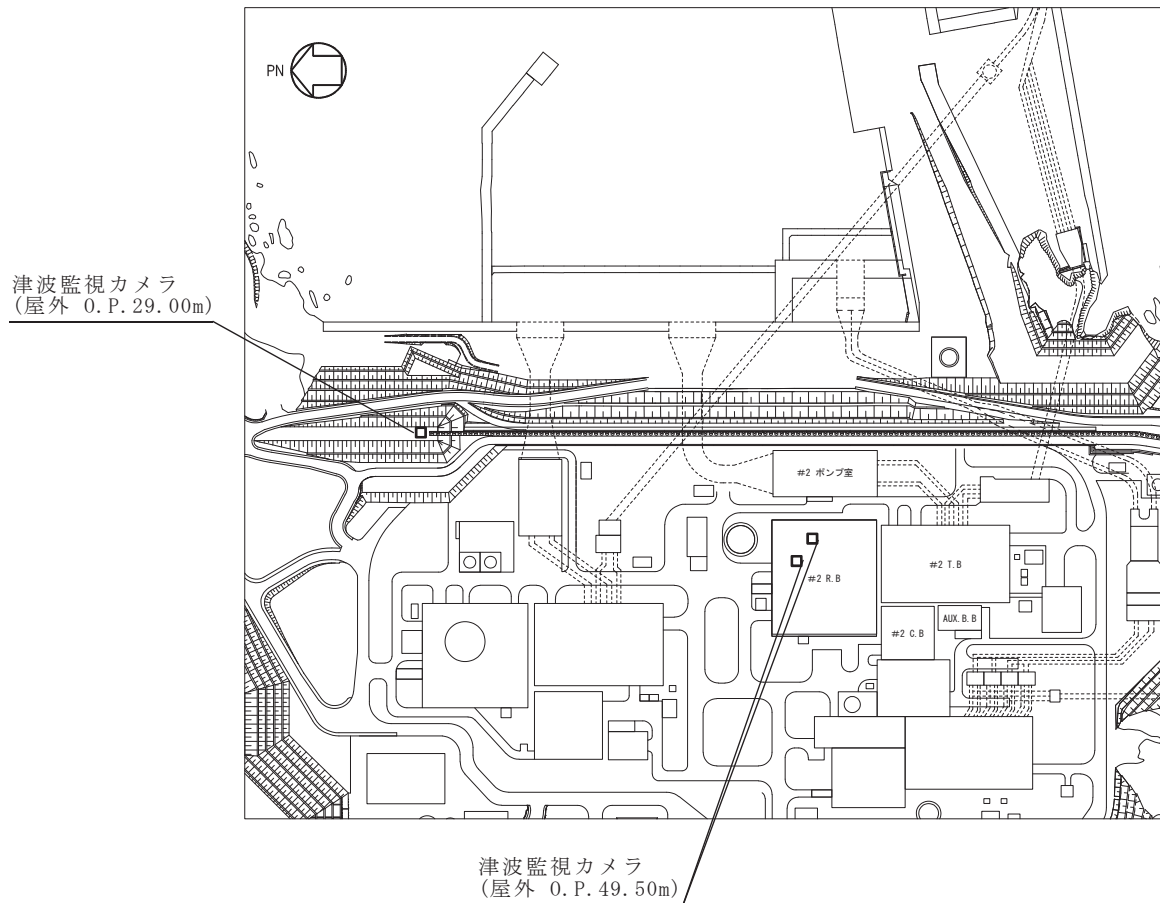


図 6.6.1-1 津波監視カメラ配置図

6.6.1.2 基本方針

津波監視カメラの耐震計算は、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及び機能維持の設計方針に基づき、津波監視カメラが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認する。

耐震計算に当たっては津波監視カメラの構成機器を踏まえ評価対象機器を以下のとおり設定する。

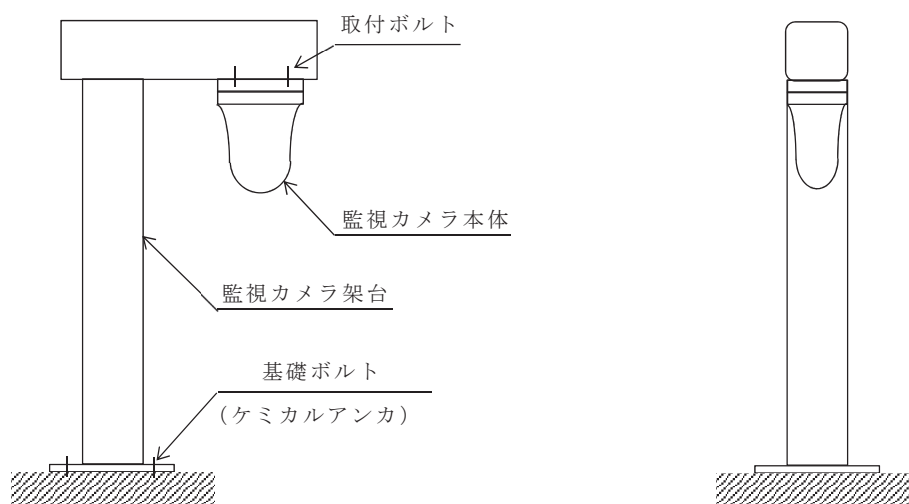
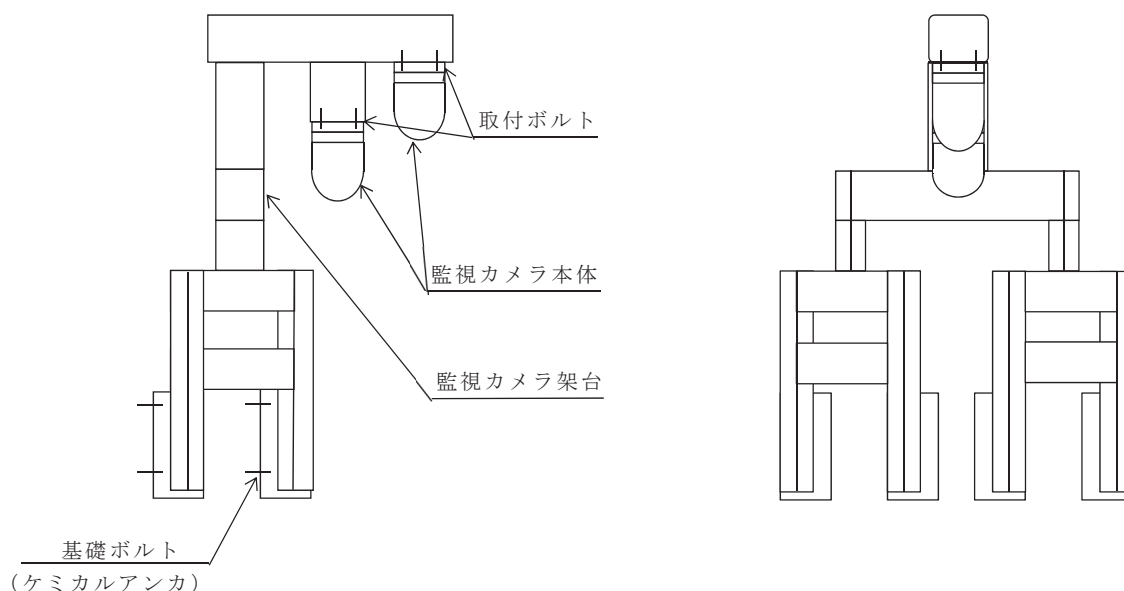
- (1) 津波監視カメラ
- (2) 津波監視設備制御盤

6.6.1.3 評価方法

(1) 津波監視カメラ

a. 一般事項

図 6.6.1-2 及び図 6.6.1-3 に津波監視カメラの概略構造図を示す。



原子炉建屋屋上に設置される監視カメラは、取付ボルトにより監視カメラ架台に固定され、監視カメラ架台は原子炉建屋屋上の外壁に基礎ボルトで設置される。

防潮堤に設置される監視カメラは、取付ボルトにより監視カメラ架台に固定され、監視カメラ架台は防潮堤基礎部に基礎ボルトで設置される。

b. 固有周期

津波監視カメラの固有周期は、三次元はりモデルによる固有値解析により求める。固有値解析の結果、固有周期が0.05秒以下であり、剛であることを確認している。

津波監視カメラの解析モデルを図6.6.1-4及び図6.6.1-5に示す。また、固有振動モード図を図6.6.1-6及び図6.6.1-7に示す。

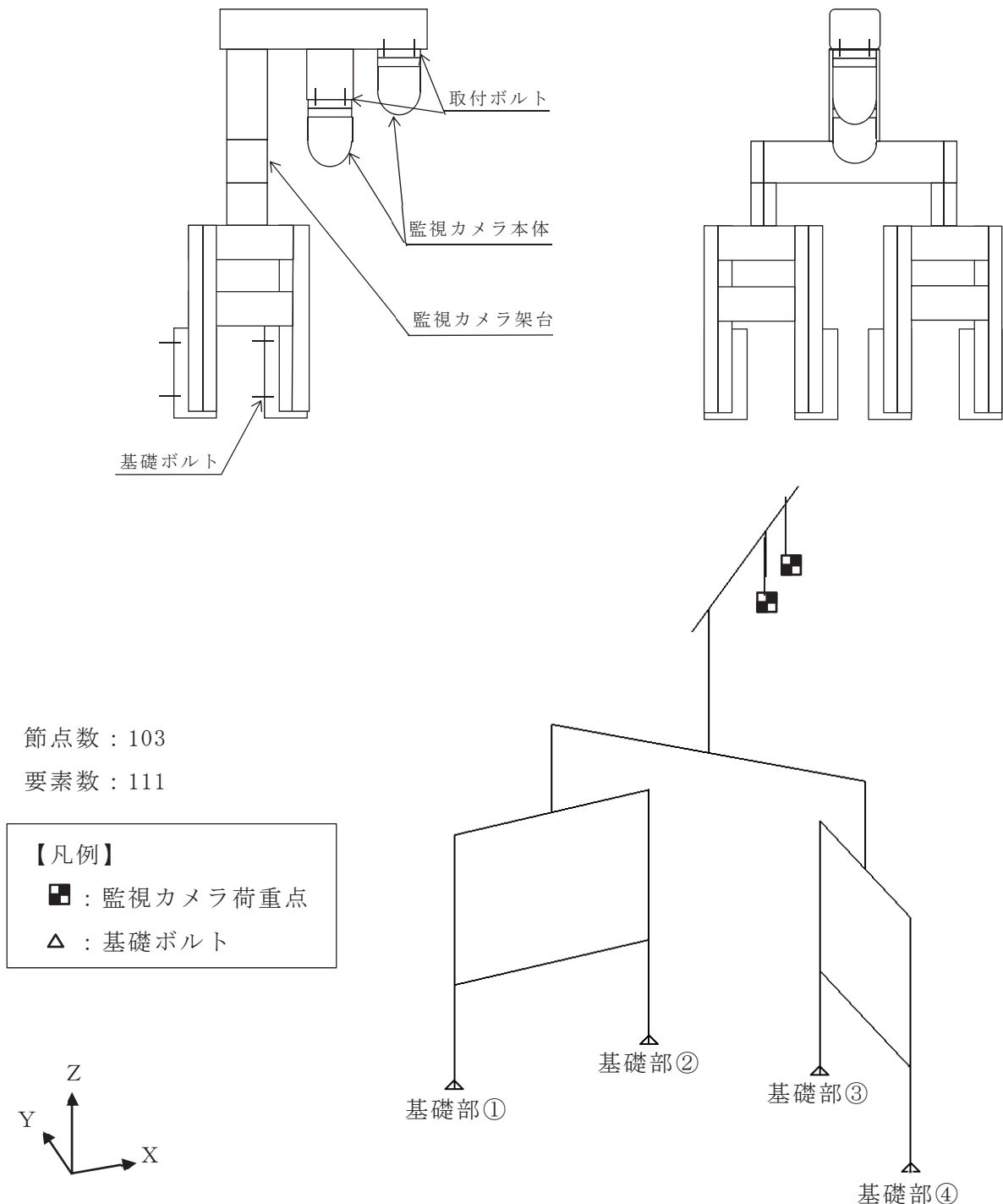
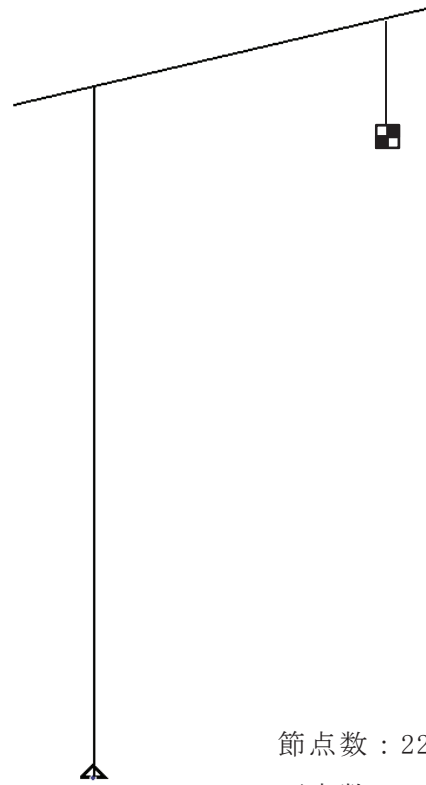
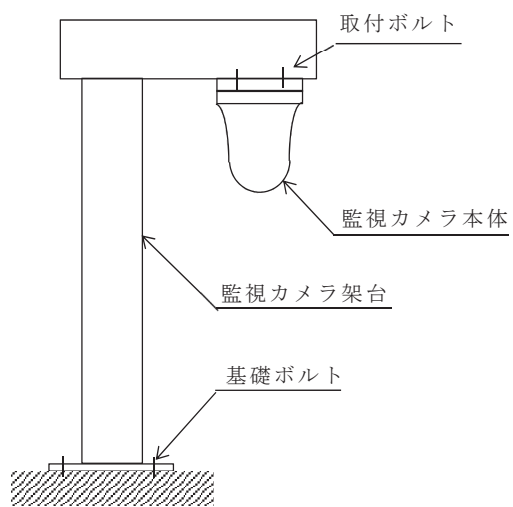
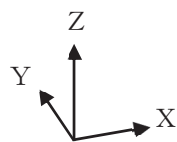


図 6.6.1-4 解析モデル（原子炉建屋屋上）



節点数：22

要素数：23



【凡例】

■：監視カメラ荷重点

△：基礎ボルト

図 6.6.1-5 解析モデル（防潮堤）

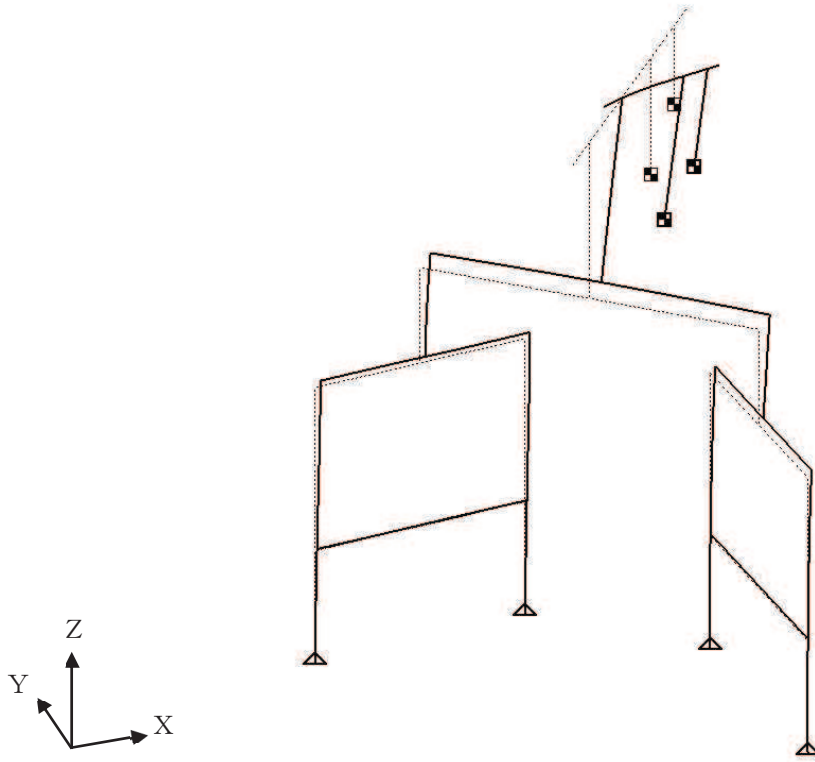


図 6.6.1-6 津波監視カメラ（原子炉建屋屋上） 固有振動モード図（一次モード）

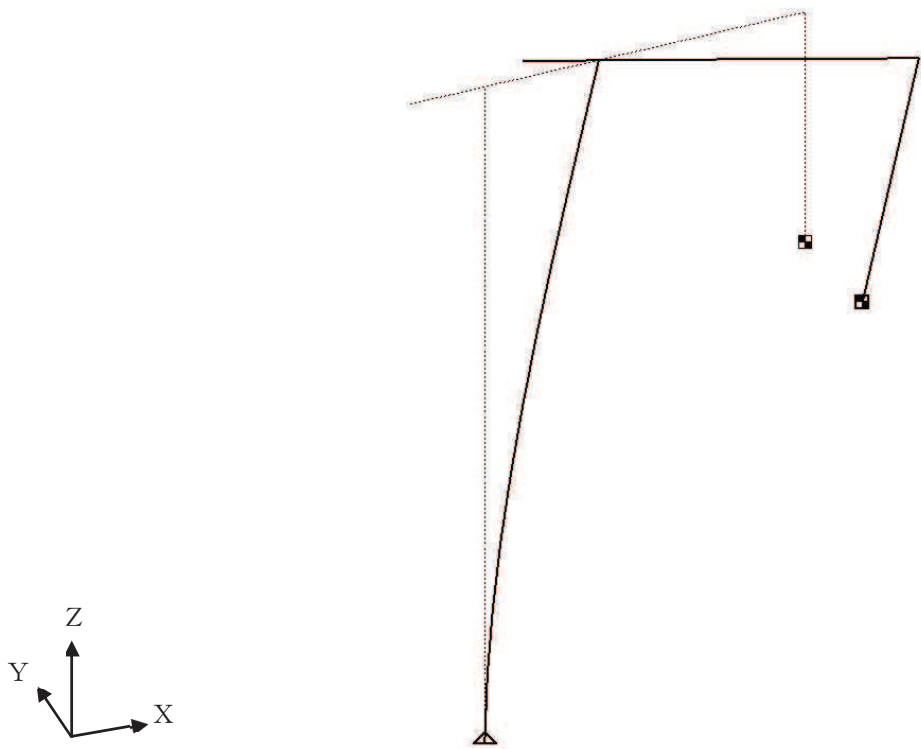


図 6.6.1-7 津波監視カメラ（防潮堤） 固有振動モード図（一次モード）

c. 構造強度評価

(a) 評価条件

評価条件に用いる設計用地震力を表 6.6.1-1 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-10-2-2-2 防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書」に基づき設定する。

表 6.6.1-1 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
津波監視カメラ	原子炉建屋 O.P. 50.50	—	—	$C_H=7.28$	$C_V=2.09$
	防潮堤 O.P. 29.00	—	—	$C_H=1.69$	$C_V=1.21$

(b) 応力計算

津波監視カメラは屋外に設置されるため、耐震計算に考慮する荷重の組合せは以下のとおりとする。

$$\cdot \text{固定荷重} + \text{基準地震動} (S_s) + \text{風荷重} + \text{積雪荷重}$$

イ. 固定荷重

津波監視カメラに作用する固定荷重を表 6.6.1-2 に示す。

表 6.6.1-2 固定荷重

(単位：kg)

部位	荷重
津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)	1834
津波監視カメラ (防潮堤)	121

ロ. 風荷重

津波監視カメラに作用する風荷重 W_{WL} は次式にて求める。

$$W_{WL} = C_f \cdot q$$

ここで

W_{WL} : 風荷重 (N/m²)

C_f^* : 風力係数 = 2.4

q : 風荷重の速度圧 (N/m²)

注記* : 風力係数 C_f は日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)の値を使用する。

風荷重の速度圧 q は建築基準法施行令第87条に基づき次式にて求める。

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_o^2$$

ここで

V_o : 設計基準風速 (m/s) = 30 m/s

E : 速度圧の高さ方向の分布を表す係数

風荷重の速度圧の高さ方向の分布を表す係数 E は次式にて求める。

$$E = E_r^2 \cdot G_r$$

G_r^* : ガスト影響係数

原子炉建屋屋上 = 2.029

防潮堤 = 2.165

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$E_r = 1.7 \cdot \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ より大きい場合})$$

ここで

H : カメラ設置高さ (m)

原子炉建屋屋上 = 地上 35.8 m

防潮堤 = 地上 15.2 m

α^* : 地表面粗度区分による係数 = 0.15

Z_b : 地表面粗度区分による係数 = 5

Z_G : 地表面粗度区分による係数 = 350

注記* : 当該地の地表面粗度区分Ⅱとして建設省告示第1454号の値を使用する。

(イ) 原子炉建屋屋上の風荷重 W_{WL}

$$E_r = 1.7 \times \left(\frac{35.7}{350} \right)^{0.15}$$
$$= 1.21$$

$$E = 1.21^2 \times 2.029$$
$$= 2.98$$

$$q = 0.6 \times 2.98 \times 30^2$$
$$= 1610$$

以上より,

$$W_{WL} = 2.4 \times 1610$$
$$= \underline{3864 \text{ N/m}^2}$$

(ロ) 防潮堤の風荷重 W_{WL}

$$E_r = 1.7 \times \left(\frac{15.2}{350} \right)^{0.15}$$
$$= 1.07$$

$$E = 1.07^2 \times 2.165$$
$$= 2.48$$

$$q = 0.6 \times 2.48 \times 30^2$$
$$= 1340$$

以上より,

$$W_{WL} = 2.4 \times 1340$$
$$= \underline{3216 \text{ N/m}^2}$$

ハ. 積雪荷重

津波監視カメラに作用する単位面積当たりの積雪荷重 W_{SNL} は次式にて求める。

$$W_{SNL} = d_s \cdot \rho_s \cdot 0.35$$

ここで

d_s^{*1} : 積雪の垂直推積量 (cm) = 43

ρ_s^{*2} : 積雪の単位荷重 (N/m²/cm) = 20

0.35 : 平均的な積雪荷重を与えるための係数

注記* 1 : 添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づく積雪量。

* 2 : 建築基準法施行令第 86 条第 2 項に基づく積雪の単位荷重。

以上より,

$$\begin{aligned} W_{S N L} &= 43 \times 20 \times 0.35 \\ &= \underline{301 \text{ N/m}^2} \end{aligned}$$

(c) 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，三次元はりモデルによる個別解析から基礎ボルト部の内力を求めて，その結果を用いて手計算にて計算する。

ここで， N ， Q_x ， Q_y ， M_x ， M_y 及び M_z は基礎部に作用する力及びモーメントであり解析により求まる。基礎部に作用する力を図 6.6.1-8 及び図 6.6.1-9 に示す。

イ 原子炉建屋屋上基礎ボルト

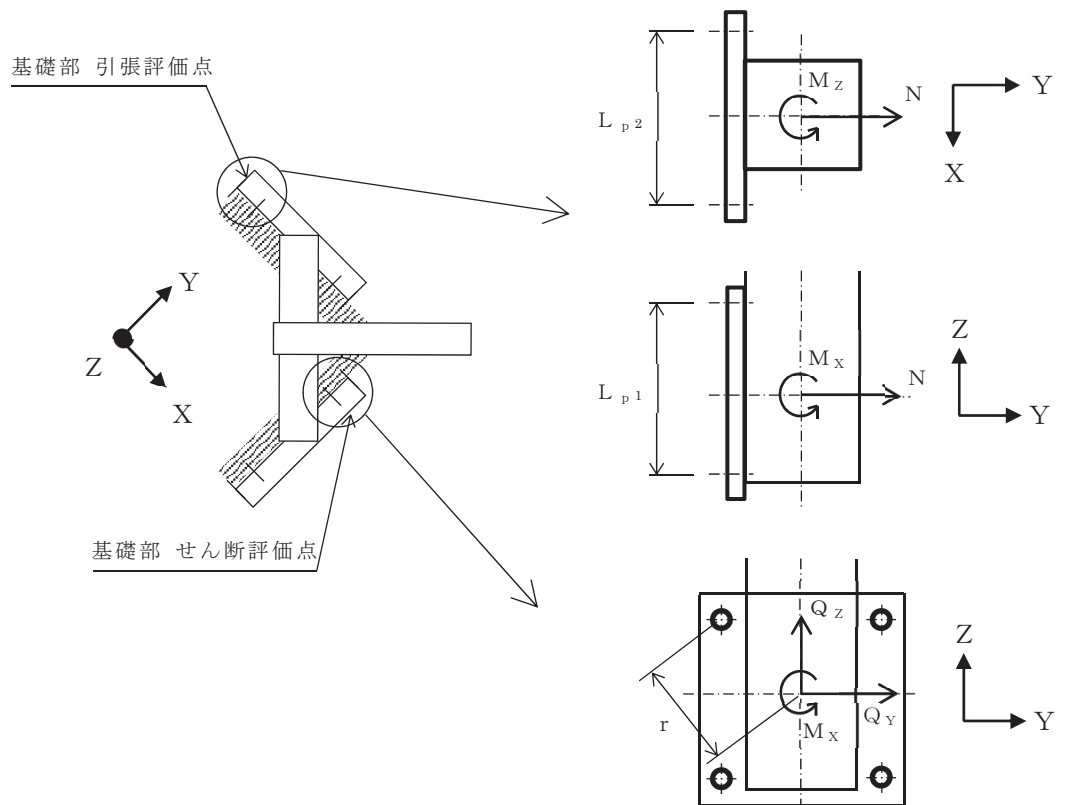


図 6.6.1-8 計算モデル（原子炉建屋屋上 基礎ボルト）

(イ) 引張応力

基礎ボルトに作用する引張力 F_b

$$\begin{aligned}
 F_b &= \frac{N}{n} + \frac{M_x}{L_{p1} \cdot (n/2)} + \frac{M_z}{L_{p2} \cdot (n/2)} \\
 &= \frac{2.529 \times 10^4}{4} + \frac{1.560 \times 10^7}{400 \times (4/2)} + \frac{2.248 \times 10^5}{400 \times (4/2)} \\
 &= \underline{2.610 \times 10^4 \text{ N}}
 \end{aligned}$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_b

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F_b}{A_b} \\ &= \frac{2.610 \times 10^4}{380.1} \\ &= 68.66 \\ &= \underline{69 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

(ロ) せん断応力

基礎ボルトに作用するせん断力 Q_b

$$\begin{aligned}Q_b &= \sqrt{Q_Y^2 + Q_Z^2} + \frac{M_X}{r} \\ &= \sqrt{(3.445 \times 10^4)^2 + (7.169 \times 10^4)^2} + \frac{1.277 \times 10^7}{283} \\ &= 1.247 \times 10^5 \text{ N}\end{aligned}$$

ここで

r : 基礎ボルト中心から基礎部中心までの距離 = 283 mm

基礎ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力 τ_b

$$\begin{aligned}\tau_b &= \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \\ &= \frac{1.247 \times 10^5}{4 \times 380.1} \\ &= 82.01 \\ &= \underline{83 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

ここで

n : 基礎ボルトの本数 = 4 本

A_b : 基礎ボルトの軸断面積 = 380.1 mm²

ロ 防潮堤基礎ボルト

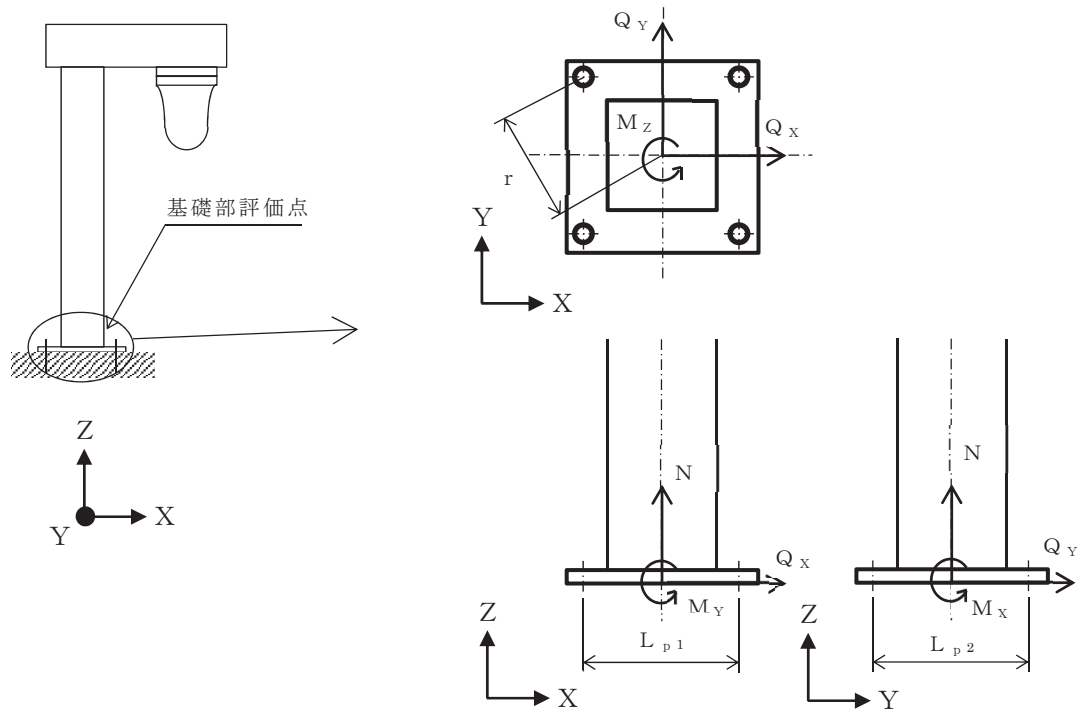


図 6.6.1-9 計算モデル（防潮堤 基礎ボルト）

(イ) 引張応力

基礎ボルトに作用する引張力 F_b

$$\begin{aligned}
 F_b &= \frac{N}{n} + \frac{M_x}{L_{p2} \cdot (n/2)} + \frac{M_y}{L_{p1} \cdot (n/2)} \\
 &= \frac{2.489 \times 10^2}{4} + \frac{0}{320 \times (4/2)} + \frac{2.474 \times 10^6}{220 \times (4/2)} \\
 &= \underline{5.685 \times 10^3 \text{ N}}
 \end{aligned}$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_b

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= \frac{F_b}{A_b} \\
 &= \frac{5.685 \times 10^3}{201.1} \\
 &= 28.26 \\
 &= \underline{29 \text{ MPa}}
 \end{aligned}$$

(ロ) せん断応力

基礎ボルトに作用するせん断力 Q_b

$$\begin{aligned} Q_b &= \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} + \frac{M_z}{r} \\ &= \sqrt{(8.885 \times 10^{-11})^2 + (3.707 \times 10^3)^2} + \frac{3.452 \times 10^5}{194} \\ &= \underline{5.486 \times 10^3 \text{ N}} \end{aligned}$$

ここで

r : 基礎ボルト中心から基礎部中心までの距離 = 194 mm

基礎ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力 τ_b

$$\begin{aligned} \tau_b &= \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \\ &= \frac{5.486 \times 10^3}{4 \times 201.1} \\ &= 6.81 \\ &= \underline{7 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

ここで

n : 基礎ボルトの本数 = 4 本

A_b : 基礎ボルトの軸断面積 = 201.1 mm²

(d) 基礎ボルトの応力評価方法

基礎ボルトの許容応力評価条件を表 6.6.1-3 に、許容応力の算出方法を表 6.6.1-4 に示す。

表 6.6.1-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境 温度				
基礎ボルト (原子炉建屋屋上)	SNB7 (d ≤ 63)	周囲環境 温度	40	725	860	—
基礎ボルト (防潮堤)	SNB7 (d ≤ 63)	周囲環境 温度	40	725	860	—

表 6.6.1-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容応力*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	1.5 · f _t	1.5 · f _s

注記*1：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。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

イ 原子炉建屋屋上の許容応力

(イ) 許容引張応力

許容引張応力 $f_{t s}$

$$f_{t s} = \text{Min} (1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o}) \cdot 0.8$$

$$f_{t o} = \frac{F}{2} \cdot 1.5$$

$$= \frac{602}{2} \times 1.5$$

$$= \underline{451 \text{ MPa}}$$

$$f_{t s} = \text{Min} (1.4 \times 451 - 1.6 \times 64, 451) \times 0.8$$

$$= \text{Min} (529, 451) \times 0.8$$

$$= \underline{360 \text{ MPa}}$$

注：JEAG4601・補－1984に基づき，後施工アンカの許容応力は20%低減を考慮する。

(ロ) 許容せん断応力

許容せん断応力 $f_{s b}$

$$f_{s b} = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5 \cdot 0.8$$

$$= \frac{602}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5 \times 0.8$$

$$= \underline{278 \text{ MPa}}$$

注：JEAG4601・補－1984に基づき，後施工アンカの許容応力は20%低減を考慮する。

ロ 防潮堤の許容応力

(イ) 許容引張応力

許容引張応力 $f_{t s}$

$$f_{t s} = \text{Min} (1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o}) \cdot 0.8$$

$$f_{t o} = \frac{F}{2} \cdot 1.5$$

$$= \frac{602}{2} \times 1.5$$

$$= \underline{451 \text{ MPa}}$$

$$f_{t s} = \text{Min} (1.4 \times 451 - 1.6 \times 5, 451) \times 0.8$$

$$= \text{Min} (623, 451) \times 0.8$$

$$= \underline{360 \text{ MPa}}$$

注：JEAG4601・補－1984に基づき，後施工アンカの許容応力は20%低減を考慮する。

(ロ) 許容せん断応力

許容せん断応力 $f_{s b}$

$$f_{s b} = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5 \cdot 0.8$$

$$= \frac{602}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5 \times 0.8$$

$$= \underline{278 \text{ MPa}}$$

注：JEAG4601・補－1984に基づき，後施工アンカの許容応力は20%低減を考慮する。

(e) 監視カメラ架台の計算方法

監視カメラ架台は、三次元はりモデルによる個別解析から監視カメラ架台の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

監視カメラ架台に作用する力は図 6.6.1-10 及び図 6.6.1-11 に示す。

イ 原子炉建屋屋上の監視カメラ架台

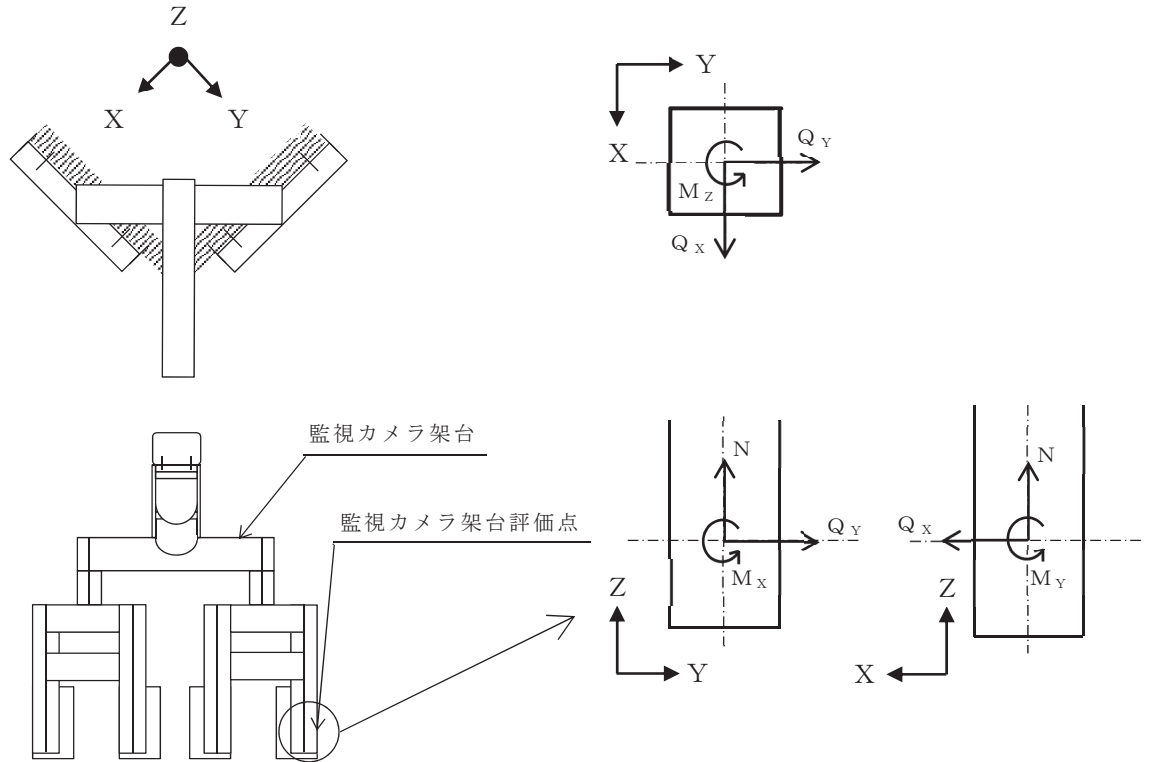


図 6.6.1-10 計算モデル（原子炉建屋屋上 監視カメラ架台）

原子炉建屋屋上の監視カメラ架台に作用する圧縮応力 σ_c ，曲げ応力 σ_{bx} ， σ_{by} ，せん断応力 τ_x ， τ_y 及び組合せ応力 σ_m は次式より求める。

$$\sigma_c = \frac{|N|}{A} = \frac{5.031 \times 10^4}{6.667 \times 10^3} = 7.54 = \underline{8 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{9.791 \times 10^6}{3.99 \times 10^5} = 24.53 = \underline{25 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y} = \frac{1.560 \times 10^7}{3.99 \times 10^5} = 39.09 = \underline{40 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{sx} = \frac{Q_x}{A_{sx}} = \frac{1.854 \times 10^4}{2.628 \times 10^3} = 7.05 = \underline{8 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{sy} = \frac{Q_y}{A_{sy}} = \frac{2.190 \times 10^4}{2.628 \times 10^3} = 8.33 = \underline{9 \text{ MPa}}$$

$$\tau_t = \frac{M_z}{\alpha} = \frac{2.248 \times 10^5}{6.567 \times 10^5} = 0.34 = \underline{1 \text{ MPa}}$$

$$\tau_x = \tau_{s_x} + \tau_t = 8 + 1 = \underline{9 \text{ MPa}}$$

$$\tau_y = \tau_{s_y} + \tau_t = 9 + 1 = \underline{10 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_m = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_x} + \sigma_{b_y})^2 + 3\tau^2}$$

$$\tau = \text{Max}(\tau_x, \tau_y)$$

$$= \text{Max}(9, 10)$$

$$= \underline{10 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_m = \sqrt{(8 + 25 + 40)^2 + 3 \times 10^2}$$

$$= 75.02$$

$$= \underline{76 \text{ MPa}}$$

ここで、 N 、 M_x 、 M_y 、 Q_x 、 Q_y は原子炉建屋屋上の監視カメラ架台に作用する力及びモーメントであり解析により求まる。

ロ 防潮堤の監視カメラ架台

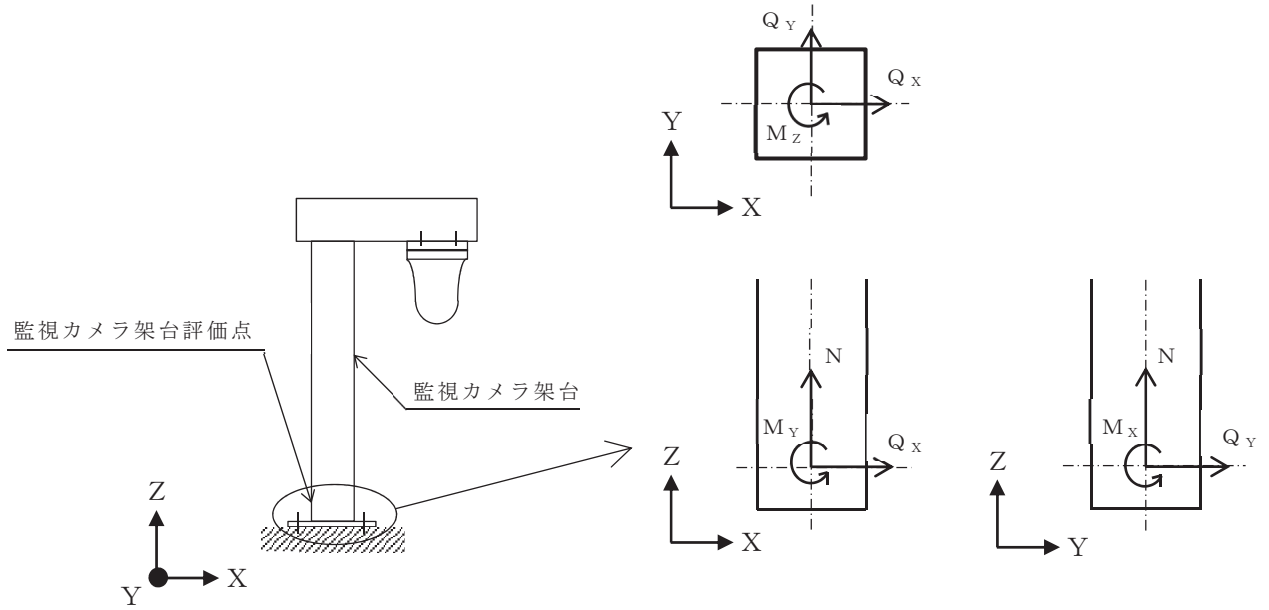


図 6.6.1-11 計算モデル (防潮堤 監視カメラ架台)

防潮堤の監視カメラ架台に作用する圧縮応力 σ_c 、曲げ応力 σ_{bx} 、 σ_{by} 、せん断応力 τ_x 、 τ_y 及び組合せ応力 σ_m は次式より求める。

$$\sigma_c = \frac{|N|}{A} = \frac{2.543 \times 10^3}{6.667 \times 10^3} = 0.38 = \underline{1 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{0}{4.38 \times 10^5} = \underline{0 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y} = \frac{2.664 \times 10^6}{3.30 \times 10^5} = 8.07 = \underline{9 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{sx} = \frac{Q_x}{A_{sx}} = \frac{3.566 \times 10^3}{1.728 \times 10^3} = 2.06 = \underline{3 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{sy} = \frac{Q_y}{A_{sy}} = \frac{0}{3.528 \times 10^3} = \underline{0 \text{ MPa}}$$

$$\tau_t = \frac{M_z}{\alpha} = \frac{0}{6.117 \times 10^5} = \underline{0 \text{ MPa}}$$

$$\tau_x = \tau_{sx} + \tau_t = 3 + 0 = \underline{3 \text{ MPa}}$$

$$\tau_y = \tau_{sy} + \tau_t = 0 + 0 = \underline{0 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_m = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bx} + \sigma_{by})^2 + 3\tau^2}$$

$$\begin{aligned}\tau &= \text{Max} (\tau_x, \tau_y) \\ &= \text{Max} (3, 0) \\ &= \underline{3 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \sqrt{(1+0+9)^2 + 3 \times 3^2} \\ &= 11.26 \\ &= \underline{12 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

ここで、 N 、 M_x 、 M_y 、 Q_x 、 Q_y は監視カメラ架台に作用する力であり解析により求まる。

ハ 監視カメラ架台の応力計算方法

(イ) 圧縮

監視カメラ架台の圧縮応力 σ_c は下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$$

(ロ) 曲げ

監視カメラ架台の曲げ応力 σ_{bx} , σ_{by} は下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_{bx}}{1.5 \cdot f_{bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{by}}{1.5 \cdot f_{by}} \leq 1$$

(ハ) せん断

監視カメラ架台のせん断応力 τ_x , τ_y は下式を満足すること。

$$\frac{\tau_x}{1.5 \cdot f_s} \leq 1$$

$$\frac{\tau_y}{1.5 \cdot f_s} \leq 1$$

(ニ) 組合せ

監視カメラ架台の組合せ応力は下式を満足すること。

$$\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bx} + \sigma_{by})^2 + 3\tau^2}}{1.5 \cdot f_t} \leq 1$$

ここで, $\tau = \text{Max}(\tau_x, \tau_y)$

(f) 応力の評価方法

監視カメラ架台の許容応力評価条件を表 6.6.1-5 に、許容応力の算出方法を表 6.6.1-6 に示す。

表 6.6.1-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
監視カメラ架台 (原子炉建屋屋上)	STKR400	周囲環境 温度	40	245	400	—
監視カメラ架台 (防潮堤)	STKR400	周囲環境 温度	40	245	400	—

表 6.6.1-6 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容応力*1, *2 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$

注記*1：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。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

(g) 計算条件

評価に用いる数値を表 6.6.1-7 及び表 6.6.1-8 に示す。

表 6.6.1-7 計算条件 (原子炉建屋屋上)

項目	記号	単位	数値等
運転時質量	m	kg	1834
水平方向設計震度	C_H	—	7.28
鉛直方向設計震度	C_V	—	2.09
風荷重の減速圧	q	N/m^2	1610
風力係数	C_f	—	2.4
積雪の垂直堆積量	d_s	cm	43
積雪の単位荷重	ρ_s	$N/m^2/cm$	20
基礎ボルトの呼び径	d	mm	22
基礎ボルトの軸断面積	A_b	mm^2	380.1
基礎ボルトの本数	n	—	4
せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	$f_{s b}$	MPa	278
引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{t o}$	MPa	451
引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{t s}$	MPa	360
基礎ボルト中心間距離	$L_{p 1}$	mm	400
基礎ボルト中心間距離	$L_{p 2}$	mm	400
基礎ボルト中心から基礎部中心までの距離	r	mm	283

表 6.6.1-8 計算条件 (防潮堤)

項目	記号	単位	数値等
運転時質量	m	kg	121
水平方向設計震度	C_H	—	1.69
鉛直方向設計震度	C_V	—	1.21
風荷重の減速圧	q	N/m^2	1340
風力係数	C_f	—	2.4
積雪の垂直堆積量	d_s	cm	43
積雪の単位荷重	ρ_s	$N/m^2/cm$	20
基礎ボルトの呼び径	d	mm	16
基礎ボルトの軸断面積	A_b	mm^2	201.1
基礎ボルトの本数	n	—	4
せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	$f_{s b}$	MPa	278
引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{t o}$	MPa	451
引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	$f_{t s}$	MPa	360
基礎ボルト中心間距離	$L_{p 1}$	mm	220
基礎ボルト中心間距離	$L_{p 2}$	mm	320
基礎ボルト中心から基礎部中心までの距離	r	mm	194

(h) 部材の機器要目

部材の機器要目を表 6.6.1-9 及び表 6.6.1-10 に示す。

表 6.6.1-9 (1) 部材の機器要目 (原子炉建屋屋上)

機器名称			津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)			
対象要素			柱 (下段)	梁 (下段)	柱 (中段)	梁 (中段)
材料			STKR400	STKR400	STKR400	STKR400
断面形状			角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管
寸法		mm	200×200×9	200×200×9	200×200×9	250×250×9
断面積	A	mm ²	6.667×10 ³	6.667×10 ³	6.667×10 ³	8.467×10 ³
断面二次 モーメント	I _x	mm ⁴	3.99×10 ⁷	3.99×10 ⁷	3.99×10 ⁷	8.09×10 ⁷
	I _y	mm ⁴	3.99×10 ⁷	3.99×10 ⁷	3.99×10 ⁷	8.09×10 ⁷
ねじり定数	J	mm ⁴	6.271×10 ⁷	6.271×10 ⁷	6.271×10 ⁷	1.260×10 ⁸
せん断面積	A _{sx}	mm ²	2.628×10 ³	2.628×10 ³	2.628×10 ³	3.528×10 ³
	A _{sy}	mm ²	2.628×10 ³	2.628×10 ³	2.628×10 ³	3.528×10 ³
断面係数	Z _x	mm ³	3.99×10 ⁵	3.99×10 ⁵	3.99×10 ⁵	6.47×10 ⁵
	Z _y	mm ³	3.99×10 ⁵	3.99×10 ⁵	3.99×10 ⁵	6.47×10 ⁵

表 6.6.1-9 (2) 部材の機器要目 (原子炉建屋屋上)

機器名称			津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)			
対象要素			柱 (上段)	梁 (上段)	梁 (カメラ設置部)	カメラ台
材料			STKR400	STKR400	STKR400	STKR400
断面形状			角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管
寸法		mm	250×250×9	250×150×6	250×150×4.5	250×250×6
断面積	A	mm ²	8.467×10 ³	4.563×10 ³	3.432×10 ³	5.763×10 ³
断面二次 モーメント	I _x	mm ⁴	8.09×10 ⁷	3.89×10 ⁷	2.949×10 ⁷	5.67×10 ⁷
	I _y	mm ⁴	8.09×10 ⁷	1.77×10 ⁷	1.353×10 ⁷	5.67×10 ⁷
ねじり定数	J	mm ⁴	1.260×10 ⁸	3.818×10 ⁷	2.937×10 ⁷	8.716×10 ⁷
せん断面積	A _{sx}	mm ²	3.528×10 ³	1.368×10 ³	1.107×10 ³	2.568×10 ³
	A _{sy}	mm ²	3.528×10 ³	2.568×10 ³	2.007×10 ³	2.568×10 ³
断面係数	Z _x	mm ³	6.47×10 ⁵	3.11×10 ⁵	2.359×10 ⁵	4.54×10 ⁵
	Z _y	mm ³	6.47×10 ⁵	2.36×10 ⁵	1.804×10 ⁵	4.54×10 ⁵

表 6.6.1-10 部材の機器要目 (防潮堤)

機器名称			津波監視カメラ (防潮堤)		
対象要素			梁	梁 (カメラ設置部)	柱
材料			STKR400	STKR400	STKR400
断面形状			角形鋼管	角形鋼管	角形鋼管
寸法		mm	250×150×6	250×150×4.5	250×150×9
断面積	A	mm ²	4.563×10 ³	3.432×10 ³	6.667×10 ³
断面二次 モーメント	I _x	mm ⁴	3.89×10 ⁷	2.949×10 ⁷	5.48×10 ⁷
	I _y	mm ⁴	1.77×10 ⁷	1.353×10 ⁷	2.47×10 ⁷
ねじり定数	J	mm ⁴	3.818×10 ⁷	2.937×10 ⁷	5.441×10 ⁷
せん断面積	A _{sx}	mm ²	1.368×10 ³	1.107×10 ³	1.728×10 ³
	A _{sy}	mm ²	2.568×10 ³	2.007×10 ³	3.528×10 ³
断面係数	Z _x	mm ³	3.11×10 ⁵	2.359×10 ⁵	4.38×10 ⁵
	Z _y	mm ³	2.36×10 ⁵	1.804×10 ⁵	3.30×10 ⁵

(i) 構造強度評価結果

基礎ボルトの構造強度評価の結果を表 6.6.1-11 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、基礎ボルトが構造健全性を有することを確認した。

表 6.6.1-11 基礎ボルトの応力評価結果

評価部位	設置場所	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
基礎ボルト	原子炉建屋 屋上	引張り	$\sigma_b = 69$	$f_{ts} = 360^*$
		せん断	$\tau_b = 83$	$f_{sb} = 278$
基礎ボルト	防潮堤	引張り	$\sigma_b = 29$	$f_{ts} = 360^*$
		せん断	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 278$

注記* : $f_{sb} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

監視カメラ架台の構造強度評価の結果を表 6.6.1-12 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、監視カメラ架台が構造健全性を有することを確認した。

表 6.6.1-12 監視カメラ架台の応力評価結果

評価部位	設置場所	応力		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
監視 カメラ 架台	原子炉 建屋 屋上	圧縮		$\sigma_c = 8$	$1.5 \cdot f_c = 224$
		曲げ	X方向	$\sigma_{bx} = 25$	$1.5 \cdot f_{bx} = 245$
			Y方向	$\sigma_{by} = 40$	$1.5 \cdot f_{by} = 245$
		せん断	X方向	$\tau_x = 9$	$1.5 \cdot f_s = 141$
			Y方向	$\tau_y = 10$	$1.5 \cdot f_s = 141$
		組合せ	垂直+せん断	$\sigma_m = 76$	$1.5 \cdot f_t = 245$
監視 カメラ 架台	防潮堤	圧縮		$\sigma_c = 1$	$1.5 \cdot f_c = 223$
		曲げ	X方向	$\sigma_{bx} = 0$	$1.5 \cdot f_{bx} = 245$
			Y方向	$\sigma_{by} = 9$	$1.5 \cdot f_{by} = 245$
		せん断	X方向	$\tau_x = 3$	$1.5 \cdot f_s = 141$
			Y方向	$\tau_y = 0$	$1.5 \cdot f_s = 141$
		組合せ	垂直+せん断	$\sigma_m = 12$	$1.5 \cdot f_t = 245$

(2) 津波監視設備制御盤

a. 一般事項

図 6.6.1-12 に津波監視設備制御盤の概略構造図を示す。

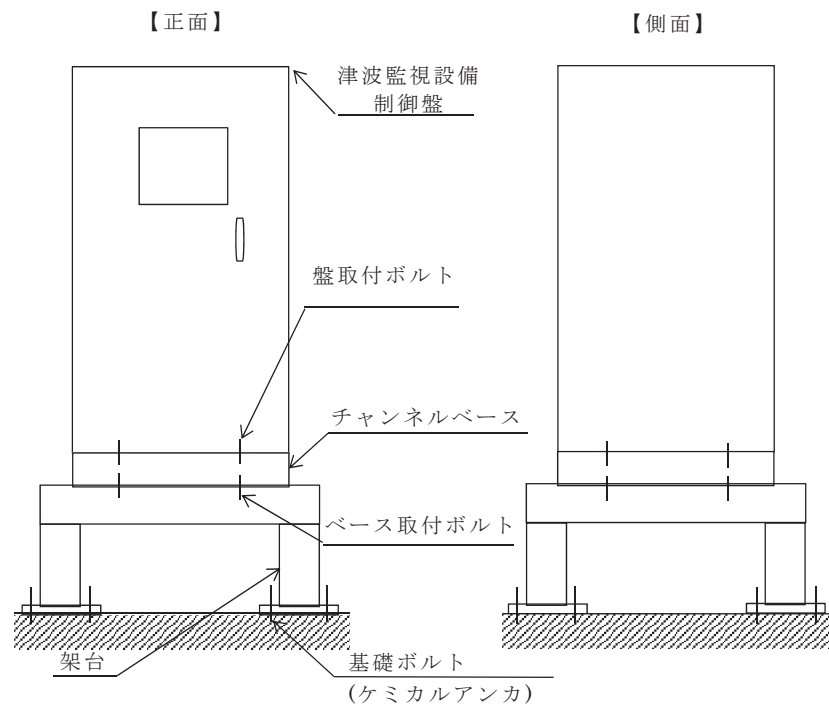


図 6.6.1-12 概略構造図（津波監視設備制御盤）

b. 固有周期

津波監視設備制御盤の固有周期は、振動試験装置により固有振動数を測定する。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

c. 構造強度評価

(a) 評価条件

評価に用いる設計用地震力を表 6.6.1-13 に示す。

津波監視設備制御盤の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

表 6.6.1-13 設計用地震力

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
津波監視設備 制御盤	制御建屋 O.P. 22.95*	—	—	$C_H=2.78$	$C_V=2.00$

注記*：基準床レベルを示す。

(b) 応力計算

イ 引張応力

(イ) 盤取付ボルト

盤取付ボルトに作用する引張力 F_{b1}

$$\begin{aligned}
 F_{b1} &= \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g - m_1 \cdot (1 - C_V) \cdot l_{21} \cdot g}{n_{f1} \cdot (l_{11} + l_{21})} \\
 &= \frac{955 \times 2.78 \times 2300 \times 9.80665 - 955 \times (1 - 2.00) \times 920 \times 9.80665}{4 \times (0 + 920)} \\
 &= \underline{1.861 \times 10^4 \text{ N}}
 \end{aligned}$$

盤取付ボルトに作用する引張応力 σ_{b1}

$$\begin{aligned}
 \sigma_{b1} &= \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \\
 &= \frac{1.861 \times 10^4}{201.1} \\
 &= \underline{93 \text{ MPa}}
 \end{aligned}$$

(ロ) ベース取付ボルト

ベース取付ボルトに作用する引張力 F_{b2}

$$\begin{aligned} F_{b2} &= \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g - m_2 \cdot (1 - C_V) \cdot l_{22} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{12} + l_{22})} \\ &= \frac{1145 \times 2.78 \times 2450 \times 9.80665 - 1145 \times (1 - 2.00) \times 920 \times 9.80665}{2 \times (0 + 920)} \\ &= \underline{4.718 \times 10^4 \text{ N}} \end{aligned}$$

ベース取付ボルトに作用する引張応力 σ_{b2}

$$\begin{aligned} \sigma_{b2} &= \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \\ &= \frac{4.718 \times 10^4}{314.2} \\ &= \underline{151 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

(ハ) 基礎ボルト

基礎ボルトに作用する引張力 F_{b3}

$$\begin{aligned} F_{b3} &= \frac{m_3 \cdot C_H \cdot h_3 \cdot g - m_3 \cdot (1 - C_V) \cdot l_{23} \cdot g}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} \\ &= \frac{1650 \times 2.78 \times 2950 \times 9.80665 - 1650 \times (1 - 2.00) \times 1082.5 \times 9.80665}{4 \times (62.5 + 1082.5)} \\ &= \underline{3.280 \times 10^4 \text{ N}} \end{aligned}$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_{b3}

$$\begin{aligned} \sigma_{b3} &= \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \\ &= \frac{3.280 \times 10^4}{201.1} \\ &= \underline{164 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

ロ せん断応力

(イ) 盤取付ボルト

盤取付ボルトに作用するせん断力 Q_{b1}

$$\begin{aligned} Q_{b1} &= m_1 \cdot C_H \cdot g \\ &= 955 \times 2.78 \times 9.80665 \\ &= \underline{2.604 \times 10^4 \text{ N}} \end{aligned}$$

盤取付ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力 τ_{b1}

$$\begin{aligned}\tau_{b1} &= \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \\ &= \frac{2.604 \times 10^4}{12 \times 201.1} \\ &= \underline{11 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

(ロ) ベース取付ボルト

ベース取付ボルトに作用するせん断力 Q_{b2}

$$\begin{aligned}Q_{b2} &= m_2 \cdot C_H \cdot g \\ &= 1145 \times 2.78 \times 9.80665 \\ &= \underline{3.122 \times 10^4 \text{ N}}\end{aligned}$$

盤取付ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力 τ_{b2}

$$\begin{aligned}\tau_{b2} &= \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \\ &= \frac{3.122 \times 10^4}{16 \times 314.2} \\ &= \underline{7 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

(ハ) 基礎ボルト

基礎ボルトに作用するせん断力 Q_{b3}

$$\begin{aligned}Q_{b3} &= m_3 \cdot C_H \cdot g \\ &= 1650 \times 2.78 \times 9.80665 \\ &= \underline{4.498 \times 10^4 \text{ N}}\end{aligned}$$

基礎ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力 τ_{b3}

$$\begin{aligned}\tau_{b3} &= \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \\ &= \frac{4.498 \times 10^4}{16 \times 201.1} \\ &= \underline{14 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

(c) 応力の評価方法

許容応力評価条件を表 6.6.1-14 に示す。

表 6.6.1-14 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
		周囲環境 温度					
取付ボルト (i = 1)	SS400 (d ≤ 16)	周囲環境 温度	40	245	400	245	280
ベース取付ボルト (i = 2)	SS400 (16 < d ≤ 40)	周囲環境 温度	40	235	400	235	280
基礎ボルト (i = 3)	SNB7 (d ≤ 63)	周囲環境 温度	40	725	860	602	602

イ 許容引張応力

(イ) 盤取付ボルト

許容引張応力 $f_{t s 1}$

$$f_{t s 1} = \text{Min} (1.4 \cdot f_{t o 1} - 1.6 \cdot \tau_{b 1}, f_{t o 1})$$

$$f_{t o 1} = \frac{F_1}{2} \cdot 1.5$$

$$= \frac{245}{2} \times 1.5$$

$$= \underline{183 \text{ MPa}}$$

$$f_{t s 1} = \text{Min} (1.4 \times 183 - 1.6 \times 11, 183)$$

$$= \underline{183 \text{ MPa}}$$

(ロ) ベース取付ボルト

許容引張応力 $f_{t s 2}$

$$f_{t s 2} = \text{Min} (1.4 \cdot f_{t o 2} - 1.6 \cdot \tau_{b 2}, f_{t o 2})$$

$$f_{t o 2} = \frac{F_2}{2} \cdot 1.5$$

$$= \frac{235}{2} \times 1.5$$

$$= \underline{176 \text{ MPa}}$$

$$f_{t s 1} = \text{Min} (1.4 \times 176 - 1.6 \times 7, 176)$$

$$= \underline{176 \text{ MPa}}$$

(ハ) 基礎ボルト

許容引張応力 $f_{t s 3}$

$$f_{t s 3} = \text{Min} (1.4 \cdot f_{t o 3} - 1.6 \cdot \tau_{b 3}, f_{t o 3}) \cdot 0.8$$

$$f_{t o 3} = \frac{F_3}{2} \cdot 1.5$$

$$= \frac{602}{2} \times 1.5$$

$$= \underline{451 \text{ MPa}}$$

$$f_{t s 3} = \text{Min} (1.4 \times 451 - 1.6 \times 14, 451) \times 0.8$$

$$= \underline{360 \text{ MPa}}$$

注：JEAG4601・補-1984に基づき，後施工アンカの許容応力は20%
低減を考慮する。

ロ 許容せん断応力

(イ) 盤取付ボルト

許容せん断応力 $f_{s b 1}$

$$f_{s b 1} = \frac{F_1}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$$

$$= \frac{245}{1.5 \times \sqrt{3}} \times 1.5$$

$$= \underline{141 \text{ MPa}}$$

(ロ) ベース取付ボルト

許容せん断応力 $f_{s b 2}$

$$f_{s b 2} = \frac{F_2}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$$

$$= \frac{235}{1.5 \times \sqrt{3}} \times 1.5$$

$$= \underline{135 \text{ MPa}}$$

(ハ) 基礎ボルト

許容せん断応力 $f_{s\ b3}$

$$\begin{aligned} f_{s\ b3} &= \frac{F_3}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5 \cdot 0.8 \\ &= \frac{602}{1.5 \times \sqrt{3}} \times 1.5 \times 0.8 \\ &= \underline{278 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

注：JEAG4601・補－1984に基づき，後施工アンカの許容応力は20%低減を考慮する。

(d) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6.6.1-15 に示す。発生応力が許容応力以下であることから，ボルトが構造健全性を有することを確認した。

表 6.6.1-15 津波監視設備制御盤の構造強度評価

評価部位	評価応力	算出応力(MPa)	許容応力(MPa)
盤取付ボルト (i=1)	引張り	$\sigma_{b1} = 93$	$f_{t\ s1} = 183^*$
	せん断	$\tau_{b1} = 11$	$f_{s\ b1} = 141$
ベース取付ボルト (i=2)	引張り	$\sigma_{b2} = 151$	$f_{t\ s2} = 176^*$
	せん断	$\tau_{b2} = 7$	$f_{s\ b2} = 135$
基礎ボルト (i=3)	引張り	$\sigma_{b3} = 164$	$f_{t\ s3} = 360^*$
	せん断	$\tau_{b3} = 14$	$f_{s\ b3} = 278$

注記*： $f_{t\ s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t\ o} - 1.6 \cdot \tau_{b}, f_{t\ o}]$

すべて許容応力以下である。

6.6.2 取水ピット水位計の設計に関する補足説明

(1) 概要

本資料は、津波監視設備のうち取水ピット水位計の耐震計算の詳細について説明するものである。耐震計算にあたっては、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及び機能維持の設計方針に基づき、強度計算にあたっては、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」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水ピット水位計の耐震計算書及び強度計算書に示した評価について補足するものである。対象となる取水ピット水位計の配置を図 6.6.2-1 に示す。

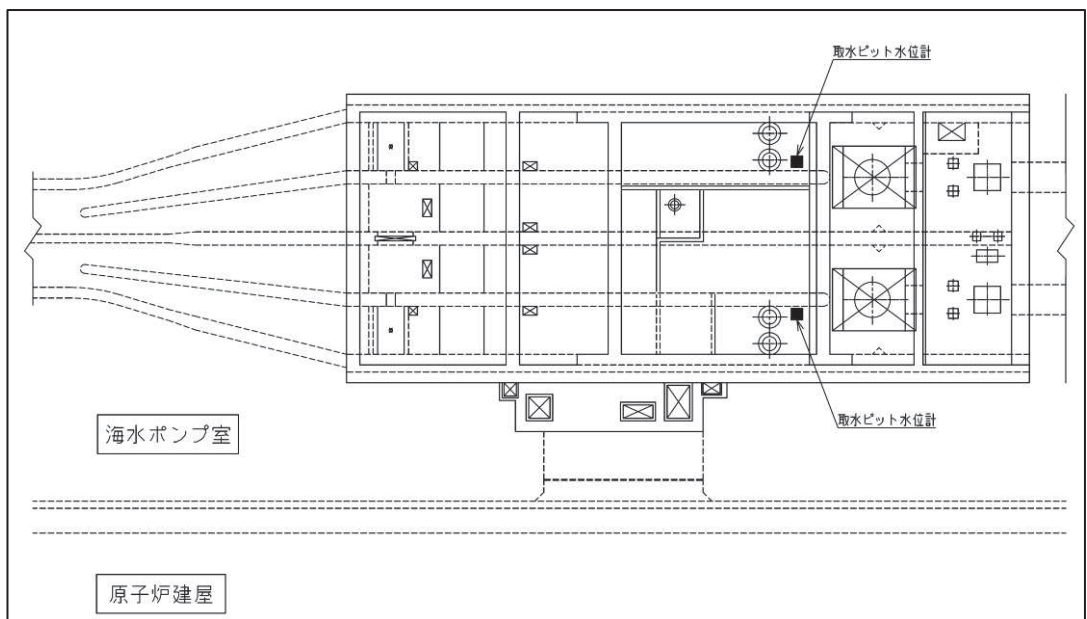


図 6.6.2-1 取水ピット水位計配置図

(2) 基本方針

取水ピット水位計の耐震計算は、表 6. 6. 2-1 に示す添付書類にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水ピット水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認する。耐震計算にあたっては取水ピット水位計の構成機器を踏まえ評価対象機器を以下のとおり設定する。

表 6. 6. 2-1 評価対象機器

評価対象機器	参照する基本方針
a. 検出器	添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」
b. バブラー管	添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」
c. バブラー管（フランジ部）	添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」
d. アキュムレータ	添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」
e. ボンベラック	添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」
f. 管	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」

取水ピット水位計の強度計算は、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」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水ピット水位計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。

(3) 耐震計算における評価方法

a. 検出器

(a) 一般事項

図6.6.2-2に検出器の概略構造図を示す。

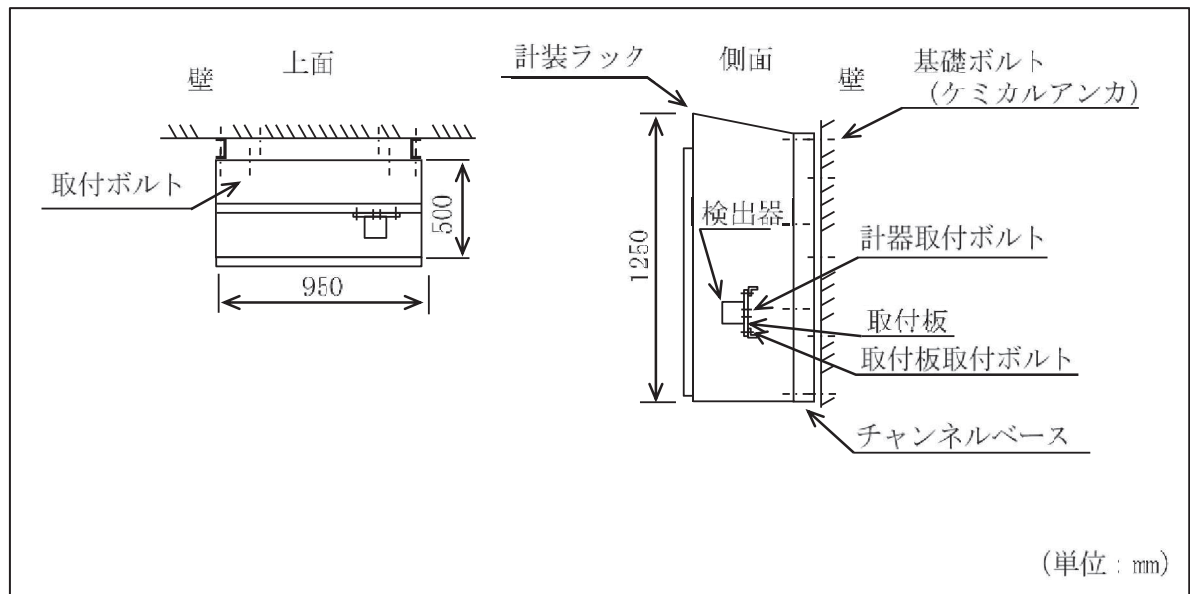


図6.6.2-2 検出器の概略構造図

(b) 評価条件

<設計用地震力>

設置場所（海水ポンプ室）の最大応答加速度を適用する。

S_s 水平方向震度 (C_H) : 2.76

鉛直方向震度 (C_V) : 2.21

<雰囲気温度>

40°C (屋外)

(c) 固有周期

検出器が設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験（打振試験）にて求める。結果、固有周期は0.05秒以下であることを確認したため剛である。

(d) 応力計算

<耐震評価（基礎ボルト）>

①引張応力

基礎ボルトに作用する引張力 F_{b1}

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g - m_1 \cdot C_H \cdot \ell_{11} \cdot g}{n_{fv1} \cdot \ell_{21}}$$

--

$$= 6981.50$$

$$= 6.982 \times 10^3 \text{ (N)}$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_{b1}

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$$

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}}$$

②せん断応力

基礎ボルトに作用するせん断力 Q_{b1}

$$Q_{b11} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

--

$$= 8661.23 \text{ (N)}$$

$$Q_{b21} = m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot g$$

--

$$= 10073.3 \text{ (N)}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$\begin{aligned}
Q_{b1} &= \sqrt{(Q_{b11})^2 + (Q_{b21})^2} \\
&= \sqrt{(8661.23)^2 + (10073.3)^2} \\
&= 13284.8 \\
&= \underline{1.328 \times 10^3 \text{ (N)}}
\end{aligned}$$

基礎ボルトに作用するせん断応力 τ_{b1}

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

$$\tau_{b1} = \frac{1.328 \times 10^3}{1 \cdot 117.7463}$$

$$= 11.7463$$

$$= \underline{12 \text{ (MPa)}}$$

③ F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

40°C における $S_{y1} = 205$

40°C における $S_{u1} = 520$

$$F_1 = \text{Min}(S_{y1}, 0.7 \cdot S_{u1})$$

$$= \text{Min}(205, 0.7 \times 520)$$

$$= \text{Min}(205, 364)$$

$$= \underline{205 \text{ (MPa)}}$$

④ 許容引張応力

許容引張応力 f_{ts1}

$$f_{ts1} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{tol} - 1.6 \cdot \tau_{b1}, f_{tol}) \cdot 0.8$$

$$f_{tol} = F_1 / 2 \cdot 1.5$$

$$= 205 / 2 \times 1.5$$

$$= 153.75$$

$$= \underline{153 \text{ (MPa)}}$$

$$f_{ts1} = \text{Min}(1.4 \times 153.75 - 1.6 \times 11.7463, 153.75) \times 0.8$$

$$= \text{Min}(196, 153.75) \times 0.8$$

$$= \underline{123 \text{ MPa}}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984 に基づき、後施工アンカの許容応力は 20% 低減を考慮する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑤許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sbl}

$$f_{sbl} = F_1 / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \cdot 1.5 \cdot 0.8$$

$$= 205 / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5 \times 0.8$$

$$= 94.6854$$

$$= 94 \text{ (MPa)}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984に基づき、後施工アンカの許容応力は20%低減を考慮する。

<耐震評価（取付ボルト）>

①引張応力

取付ボルトに作用する引張力 F_{b2}

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g - m_2 \cdot C_H \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{fV2} \cdot \ell_{22}}$$

$$= 5722.23$$

$$= 5.722 \times 10^3 \text{ (N)}$$

取付ボルトに作用する引張応力 σ_{b2}

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2$$

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}}$$

②せん断応力

取付ボルトに作用するせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b12} = m_2 \cdot C_H \cdot g$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$=7578.57 \text{ (N)}$$

$$Q_{b22} = m_2 \cdot (1 + C_v) \cdot g$$

$$\boxed{\phantom{=8814.21 \text{ (N)}}}$$

$$=8814.21 \text{ (N)}$$

$$Q_{b2} = \sqrt{(Q_{b12})^2 + (Q_{b22})^2}$$

$$= \sqrt{(7578.57)^2 + (8814.21)^2}$$

$$=11624.3$$

$$=1.162 \times 10^3 \text{ (N)}$$

取付ボルトに作用するせん断応力 τ_{b2}

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}}$$

$$\boxed{}$$

$$=12.8477$$

$$=13 \text{ (MPa)}$$

③ F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

$$40^\circ\text{C} \text{ における } S_{y2} = 205$$

$$40^\circ\text{C} \text{ における } S_{u2} = 520$$

$$F_2 = \text{Min}(S_{y2}, 0.7 \cdot S_{u2})$$

$$= \text{Min}(205, 0.7 \times 520)$$

$$= \text{Min}(205, 364)$$

$$=205 \text{ (MPa)}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

④許容引張応力

許容引張応力 f_{ts2}

$$f_{ts2} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{to2} - 1.6 \cdot \tau_{b2}, f_{to2})$$

$$f_{to2} = F_2 / 2 \cdot 1.5$$

$$= 205 / 2 \times 1.5$$

$$= 153.75$$

$$= \underline{153 \text{ (MPa)}}$$

$$f_{ts2} = \text{Min}(1.4 \times 153.75 - 1.6 \times 12.8477, 153.75)$$

$$= \text{Min}(194, 153.75)$$

$$= \underline{153 \text{ (MPa)}}$$

⑤許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sb2}

$$f_{sb2} = F_2 / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \cdot 1.5$$

$$= 205 / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5$$

$$= 118.356$$

$$= \underline{118 \text{ (MPa)}}$$

<耐震評価結果>

検出器の耐震評価結果を表 6.6.2-2 に示す。

表 6.6.2-2 検出器の耐震評価結果

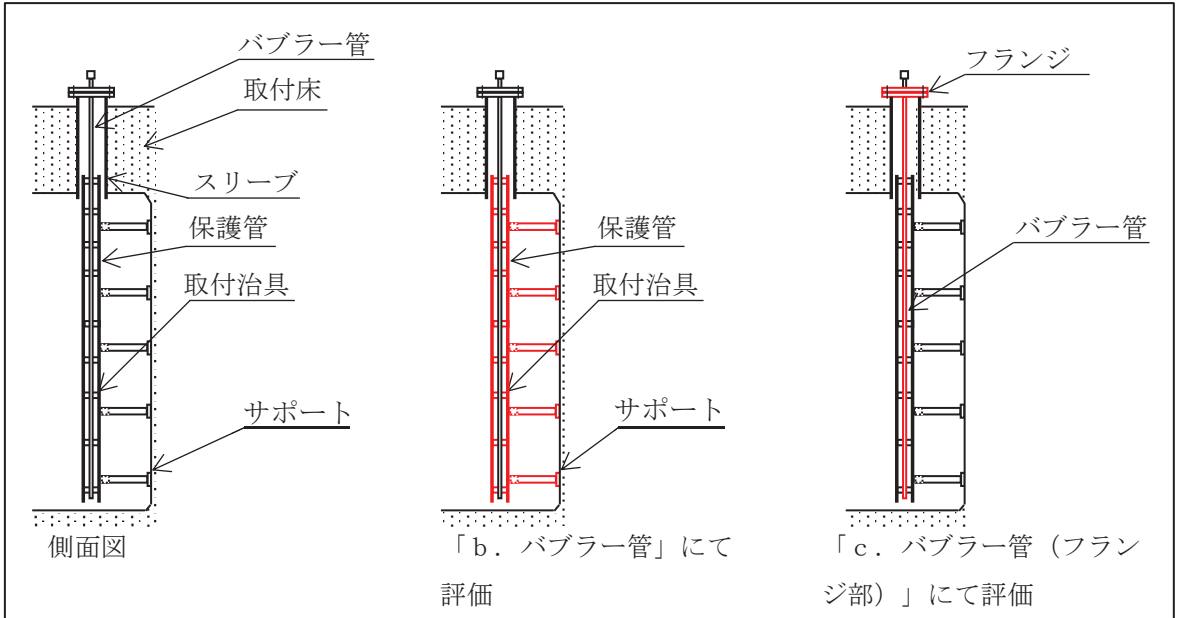
部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
基礎ボルト (i = 1)	引張	62	123*	OK
	せん断	12	94	OK
取付ボルト (i = 2)	引張	51	153*	OK
	せん断	13	118	OK

注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

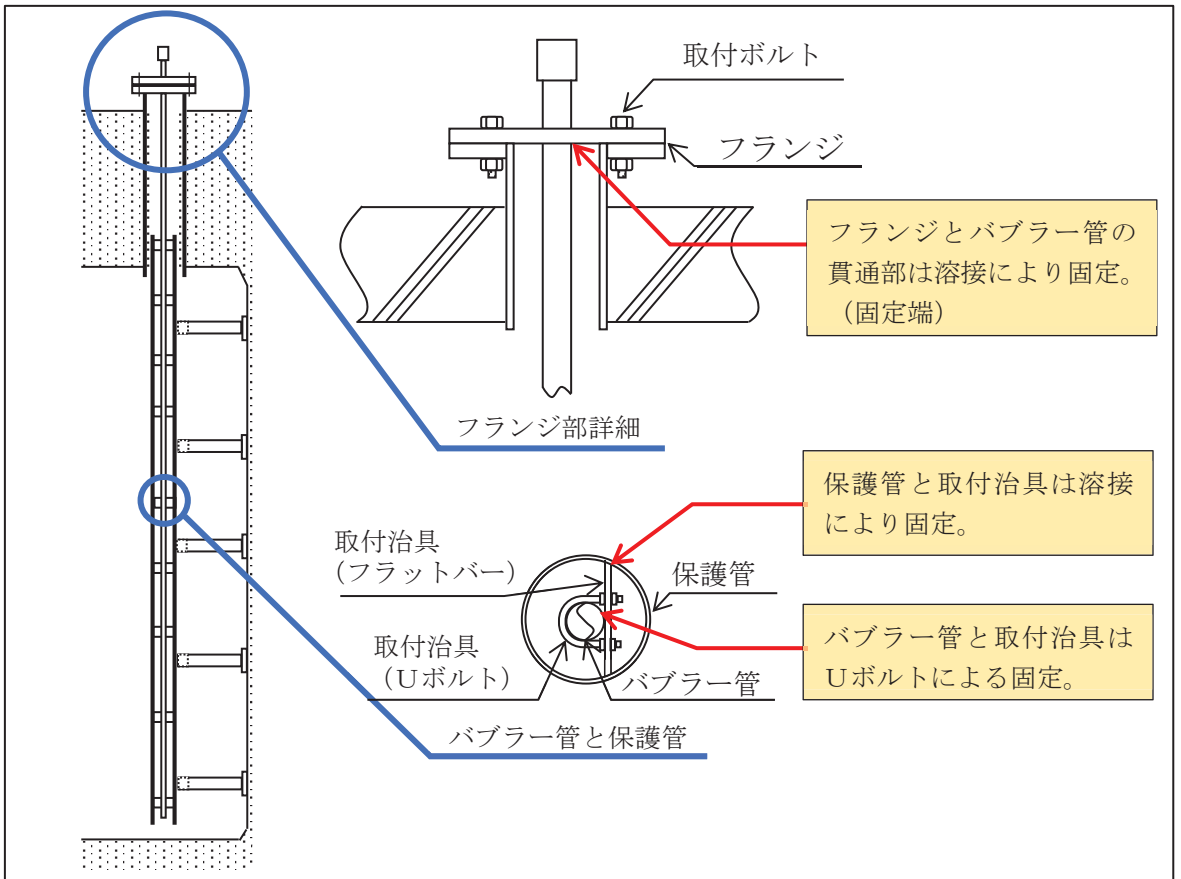
b. バブラー管

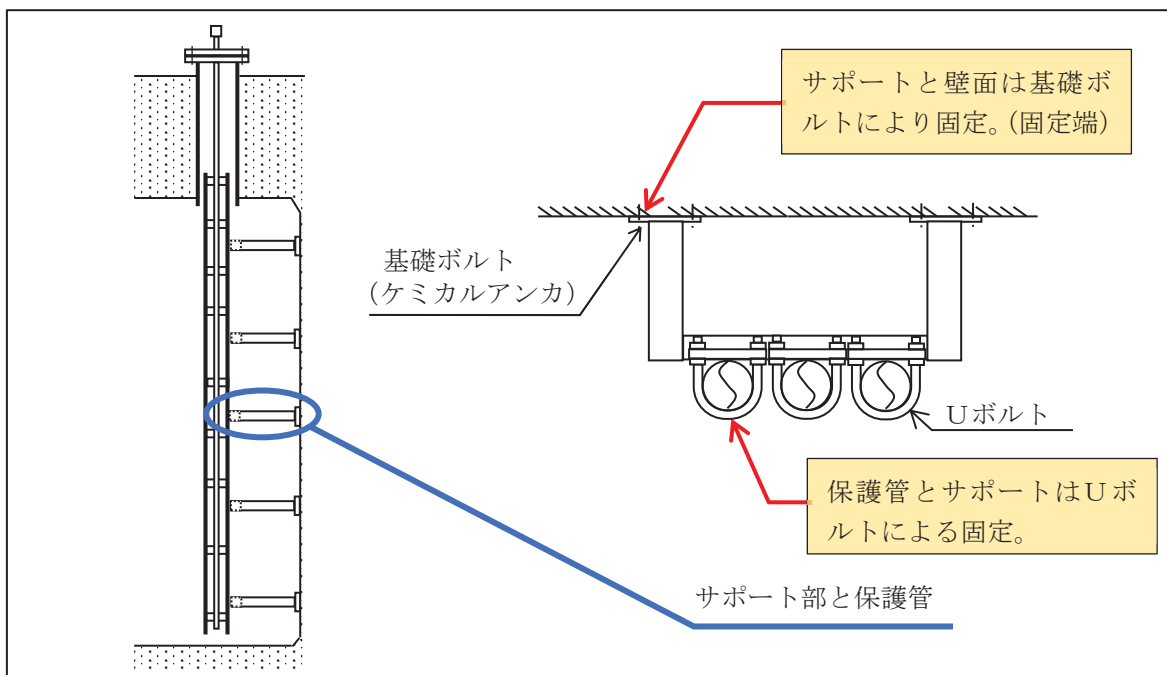
(a) モデル化の考え方について

バブラー管の構造及び固定方法は複雑であるため、フランジ部を固定端とするバブラー管（フランジ部）のモデルと、サポートと壁面部を固定端とするバブラー管（サポート）のモデルに分けて評価を行っている。



各固定方法については以下のとおりとなっている。





このように複雑な構造物を一体ものとしてモデル化し評価するのは困難であるため、バブラー管（フランジ含む）とその他（保護管，取付治具，サポート）を分けてモデル化を行っている。

(b) 一般事項

図6.6.2-3にバブラー管の概略構造図を示す。

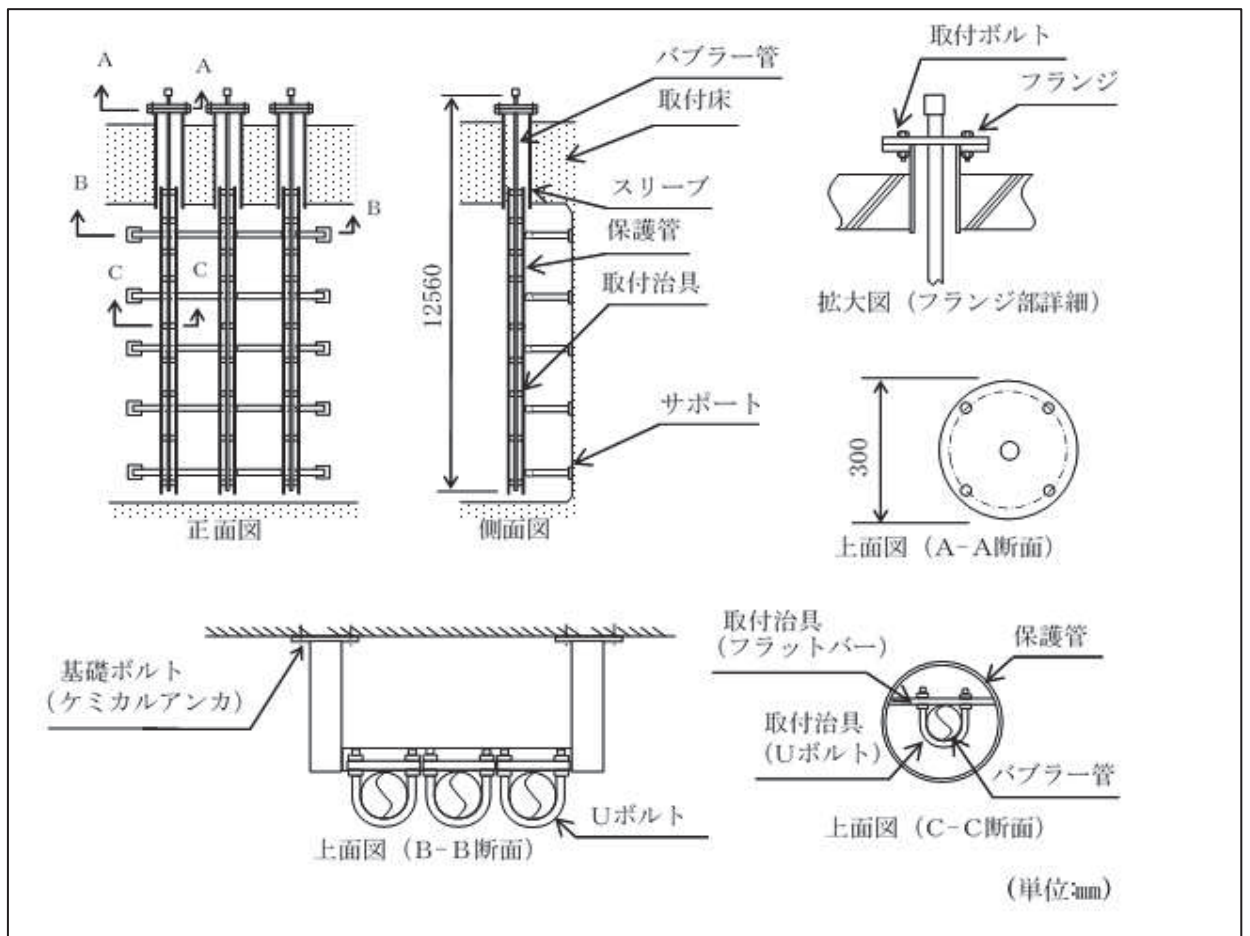


図6.6.2-3 バブラー管の概略構造図

(c) 評価条件

<設計用地震力>

設置場所（海水ポンプ室）の最大応答加速度を適用する。

S_s 水平方向震度 (C_H) : 1.67

鉛直方向震度 (C_V) : 1.94

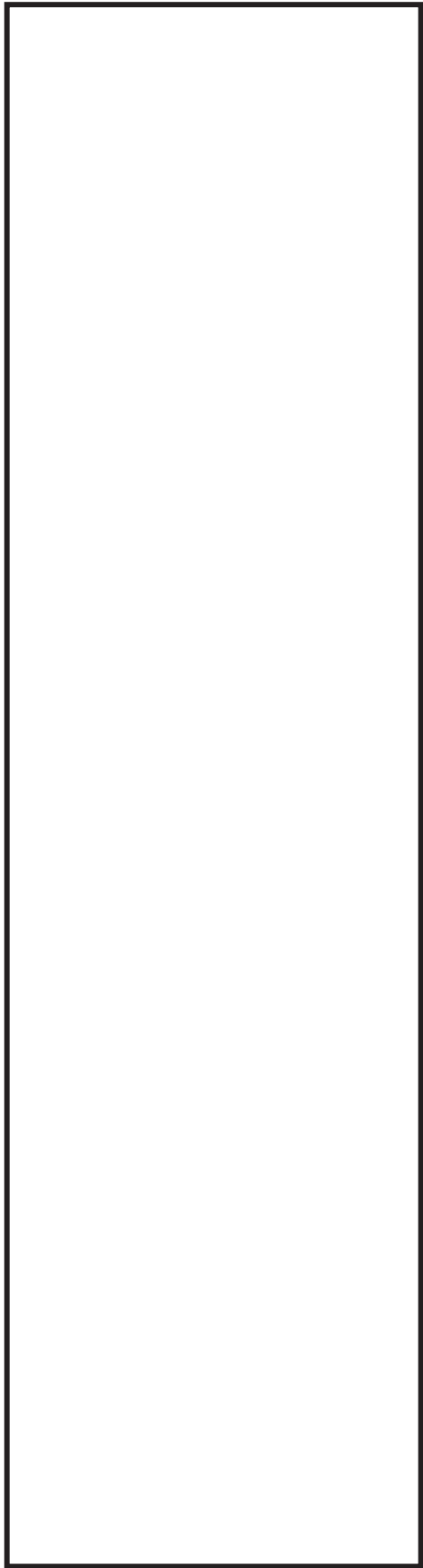
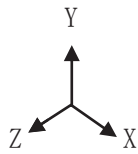
<雰囲気温度>

40°C (屋外)

(d) 固有周期

バブラー管の固有周期は、3次元はりモデルによる固有値解析により求める。固有値解析の結果、1次モードは水平方向に卓越し、固有周期が0.05秒以下(0.035秒)であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は48次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下(0.006秒)であり剛であることを確認した。バブラー管の解析モデルを図6.6.2-4に、部材の諸元を表6.6.2-3に、固有振動モード図を図6.6.2-5に示す。

△ : 支持点
△ : 拘束点

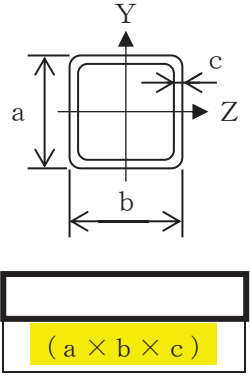
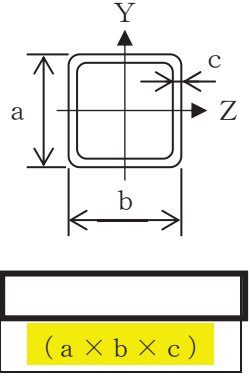
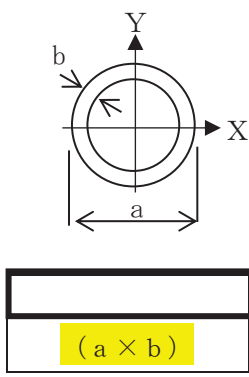


注記* : 各部材の諸元については、表 6.6.2-3 に示す。

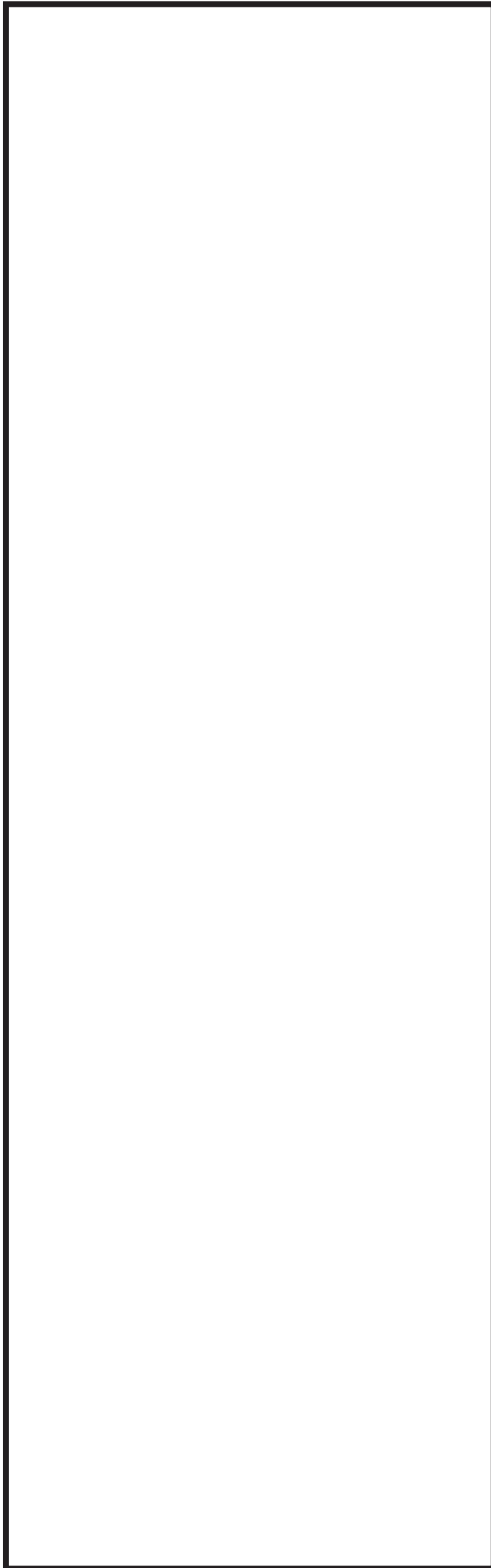
図 6.6.2-4 解析モデル (バブラー管)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

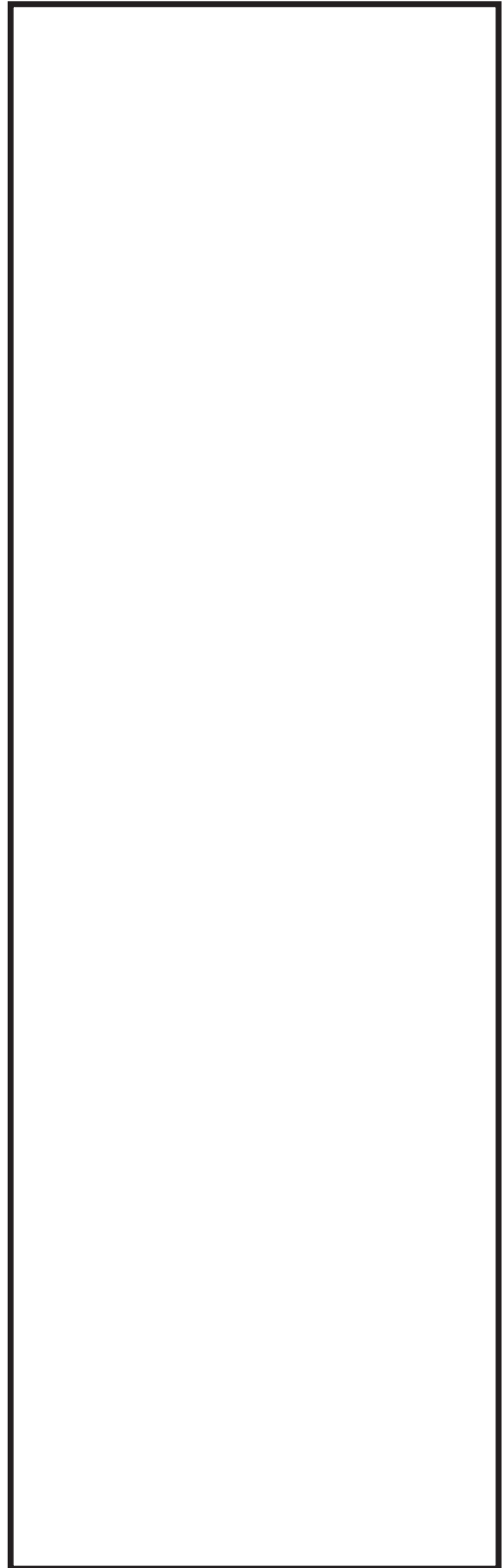
表 6.6.2-3 部材の諸元

番号	①	②	③
材料			
A (mm ²)			
I _X (mm ⁴)			
I _Y (mm ⁴)			
I _Z (mm ⁴)			
I _P (mm ⁴)			
断面形状 (mm)			
温度条件 (雰囲気温度) (°C)	40		
縦弾性係数			
ポアソン比			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



1次固有振動モード図（水平方向）



48次固有振動モード図（鉛直方向）

図 6. 6. 2-5 固有振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(e) 応力計算

<耐震評価（基礎ボルト）>

①引張応力

基礎ボルトに作用する引張力 F_b

$$F_b = \frac{F_z}{n} + \frac{M_y}{\ell_1 \cdot n_y} + \frac{M_x}{\ell_2 \cdot n_x}$$

$$= 1348.94$$

$$= 1349 \text{ (N)}$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_b

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

②せん断応力

基礎ボルトに作用するせん断力 Q_b

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_x^2}}{n} + \frac{M_z}{\ell_3 \cdot n}$$

$$= 892.687$$

$$= 892.7 \text{ (N)}$$

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_1, \ell_2)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

基礎ボルトに作用するせん断応力 τ_b

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

$$\tau_b = \frac{7.89310}{0.00097}$$

$$= 7.89310$$

$$= 8 \text{ (MPa)}$$

③ F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

40°C における $S_y = 205$

40°C における $S_u = 520$

$$F = \text{Min}(S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

$$= \text{Min}(205, 0.7 \times 520)$$

$$= \text{Min}(205, 364)$$

$$= 205 \text{ MPa}$$

④ 許容引張応力

許容引張応力 f_{ts}

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}) \cdot 0.8$$

$$f_{to} = F / 2 \cdot 1.5$$

$$= 205 / 2 \times 1.5$$

$$= 153.75$$

$$= 153 \text{ (MPa)}$$

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \times 153.75 - 1.6 \times 7.89310, 153.75) \times 0.8$$

$$= \text{Min}(202, 153.75) \times 0.8$$

$$= 123 \text{ MPa}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984 に基づき、後施工アンカの許容応力は 20% 低減を考慮する。

⑤ 許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sb}

$$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \cdot 1.5 \cdot 0.8$$

$$= 205 / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5 \times 0.8$$

$$= 94.6854$$

$$= 94 \text{ MPa}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984 に基づき、後施工アンカの許容応力は 20% 低減を考慮する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

<耐震評価結果>

バブラー管の耐震評価結果を表 6.6.2-4 に示す。

表 6.6.2-4 バブラー管の耐震評価結果

部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
基礎ボルト	引張	12	123*	OK
	せん断	8	94	OK

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

c. バブラー管（フランジ部）

(a) 一般事項

図6.6.2-6にバブラー管（フランジ部）の概略構造図を示す。

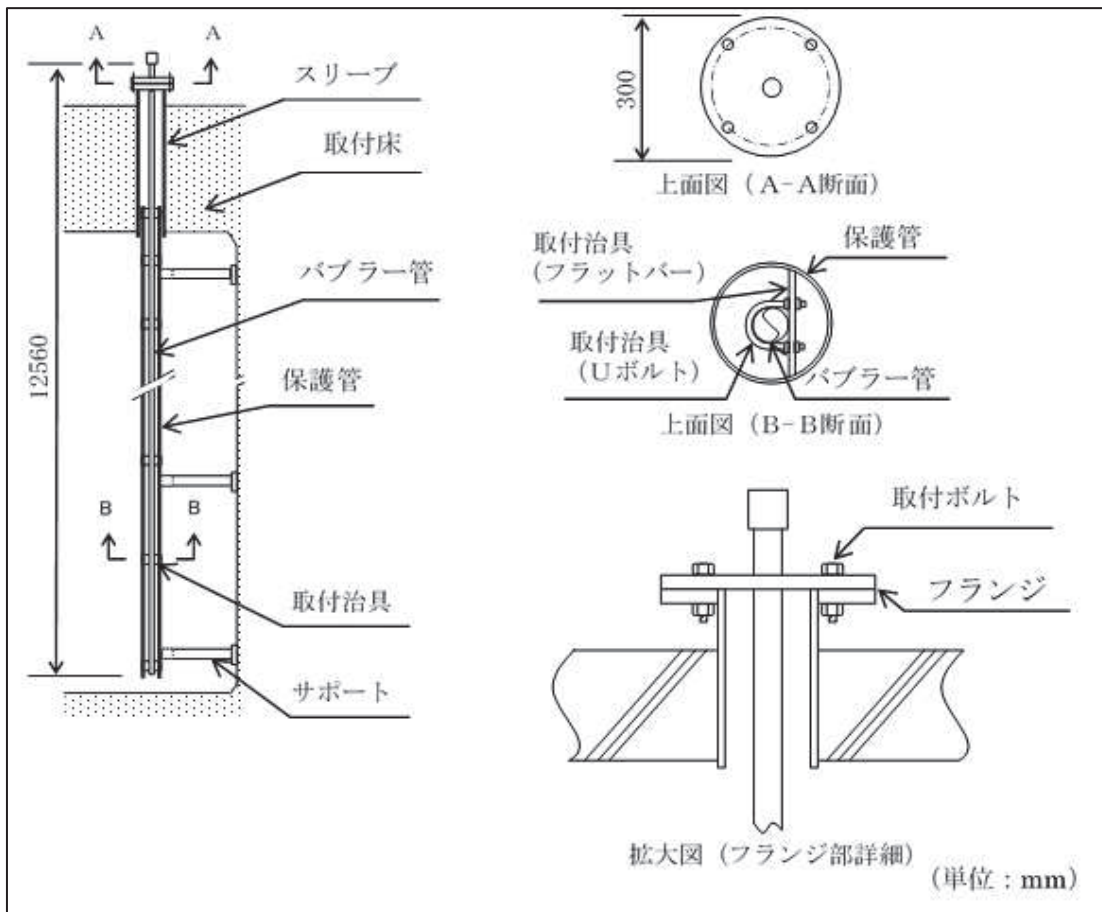


図6.6.2-6 バブラー管（フランジ部）の概略構造図

(b) 評価条件

<設計用地震力>

設置場所（海水ポンプ室）の最大応答加速度を適用する。

S_s 水平方向震度 (C_H) : 1.67

鉛直方向震度 (C_V) : 1.94

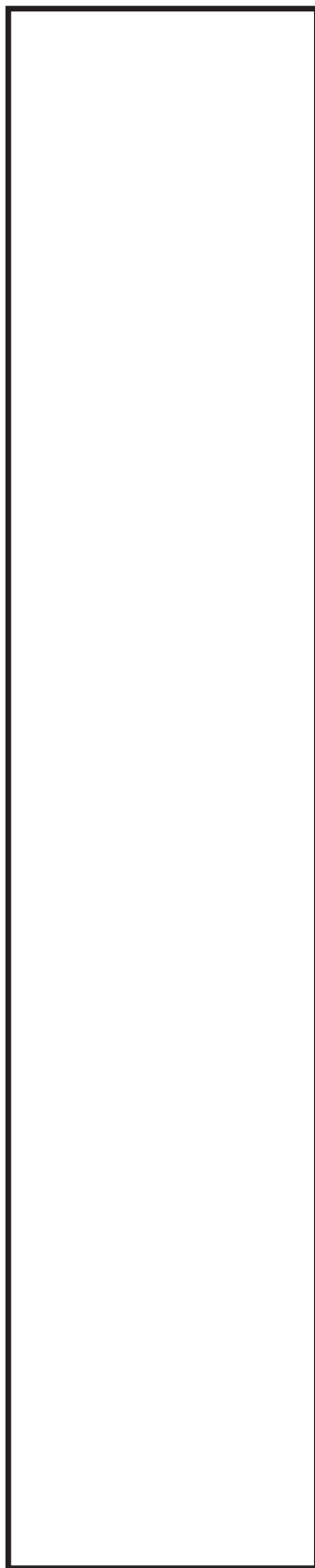
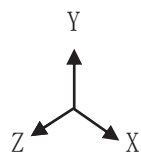
<雰囲気温度>

40°C（屋外）

(c) 固有周期

バブラー管（フランジ部）の固有周期は、3次元はりモデルによる固有値解析により求める。固有値解析の結果、1次モードは水平方向に卓越し、固有周期が0.05秒以下（0.044秒）であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は41次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下（0.001秒）であり剛であることを確認した。バブラー管（フランジ部）の解析モデルを図6.6.2-7に、部材の諸元を表6.6.2-5に、固有振動モード図を図6.6.2-8に示す。

△ : 支持点
△ : 拘束点



注記* : 部材の諸元については、表 6.6.2-5 に示す。

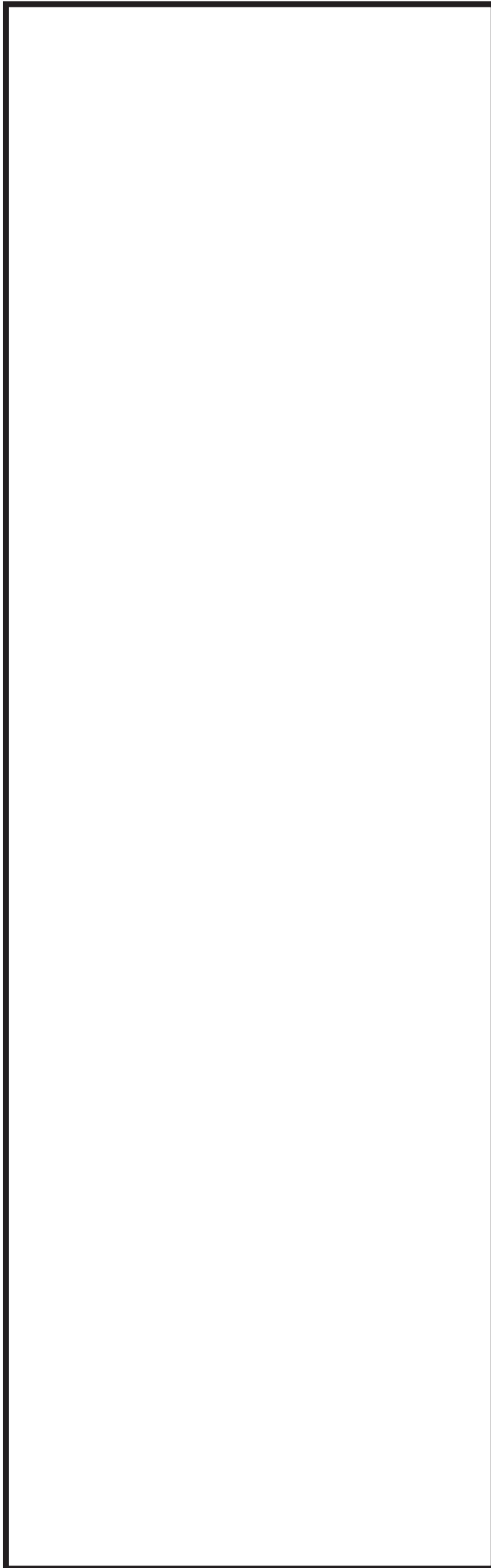
図 6.6.2-7 解析モデル (バブラー管 (フランジ部))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

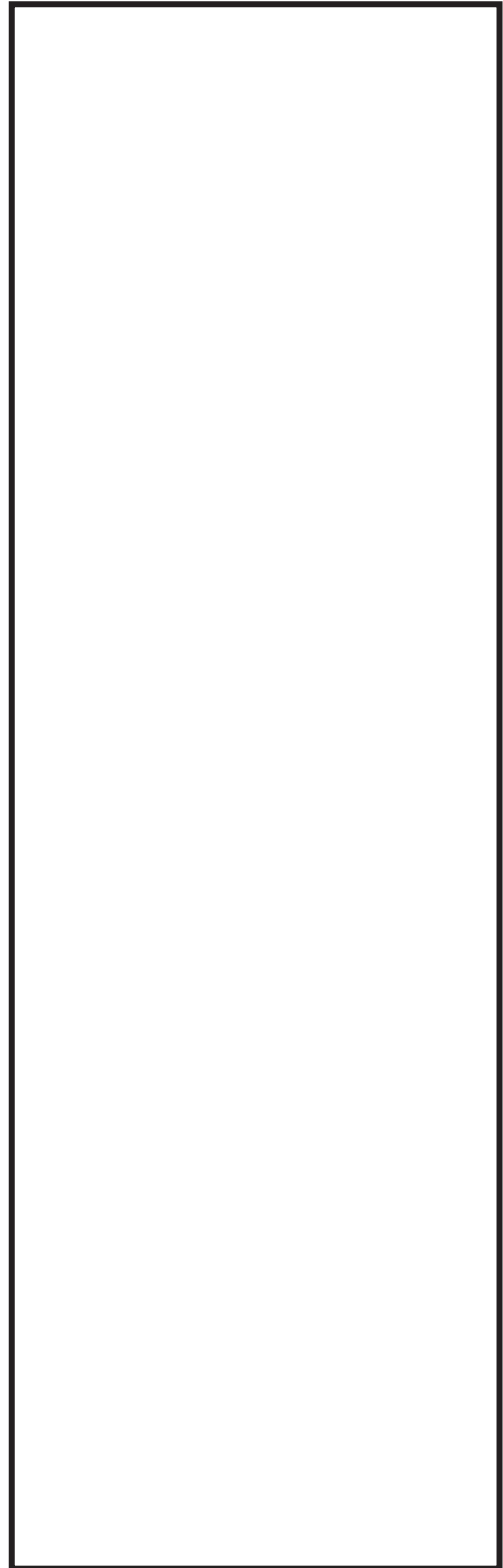
表 6.6.2-5 部材の諸元

番号	①
材料	
A (mm ²)	
I _X (mm ⁴)	
I _Y (mm ⁴)	
I _Z (mm ⁴)	
I _P (mm ⁴)	
断面形状 (mm)	
温度条件 (雰囲気温度) (°C)	40
縦弾性係数	
ポアソン比	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



1次固有振動モード図（水平方向）



41次固有振動モード図（鉛直方向）

図 6. 6. 2-8 固有振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(d) 応力計算

<耐震評価（取付ボルト）>

①引張応力

取付ボルトに作用する引張力 F_b

$$F_b = \frac{F_Y}{n} + \frac{M_X}{\ell_1 \cdot n_X} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z}$$

--

$$= 174.873$$

$$= 174.9 \text{ (N)}$$

取付ボルトに作用する引張応力 σ_b

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

②せん断応力

取付ボルトに作用するせん断力 Q_b

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_X^2 + F_Z^2}}{n}$$

--

$$= 16.2500$$

$$= 16.25 \text{ (N)}$$

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_1, \ell_2)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

取付ボルトに作用するせん断応力 τ_b

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

$$\tau_b = \frac{0.0517254}{0.0001}$$

$$= 0.0517254$$

$$= 0 \text{ (MPa)}$$

③ F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

40°C における $S_y = 205$

40°C における $S_u = 520$

$$F = \text{Min}(S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

$$= \text{Min}(205, 0.7 \times 520)$$

$$= \text{Min}(205, 364)$$

$$= 205 \text{ MPa}$$

④ 許容引張応力

許容引張応力 f_{ts}

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$$

$$f_{to} = F / 2 \cdot 1.5$$

$$= 205 / 2 \times 1.5$$

$$= 153.75$$

$$= 153 \text{ (MPa)}$$

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \times 153.75 - 1.6 \times 0.0517254, 153.75)$$

$$= \text{Min}(215, 153.75)$$

$$= 153 \text{ MPa}$$

⑤ 許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sb}

$$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \cdot 1.5$$

$$= 205 / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5$$

$$= 118.356$$

$$= 118 \text{ MPa}$$

<耐震評価結果>

バブラー管（フランジ部）の耐震評価結果を表 6.6.2-6 に示す。

表 6.6.2-6 バブラー管（フランジ部）の耐震評価結果

部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
取付ボルト	引張	1	153*	OK
	せん断	0	118	OK

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

d. アキュムレータ

(a) 一般事項

図6.6.2-9にアキュムレータの概略構造図を示す。

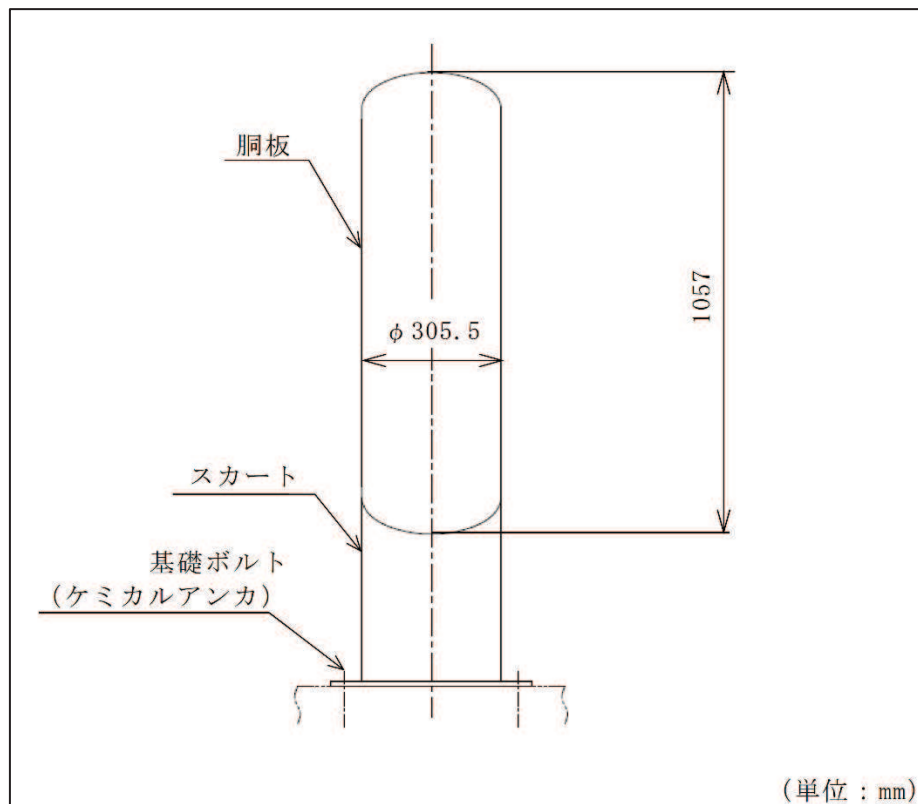


図6.6.2-9 アキュムレータの概略構造図

(b) 評価条件

<設計用地震力>

設置場所（海水ポンプ室）の最大応答加速度を適用する。

S_s 水平方向震度 (C_H) : 2.67

鉛直方向震度 (C_V) : 2.21

<雰囲気温度>

50°C (屋外)

66°C (最高使用温度: 胴板に適用)

(c) 固有周期

アキュムレータの固有周期は、添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の固有周期の計算方法に基づき算出する。計算の結果、固有周期が0.05秒以下であり、剛であることを確認している。

(d) 応力計算

<耐震評価（胴：一次一般膜応力）>

①内圧による応力

内圧により胴に生じる周方向応力 $\sigma_{\phi 1}$

$$\begin{aligned}\sigma_{\phi 1} &= \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \\ &= 0.86 \times (305.5 + 1.2 \times 6.5) / (2 \times 6.5) \\ &= 20.726 \\ &= \underline{21 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力 $\sigma_{\phi 2}$

$$\begin{aligned}\sigma_{\phi 2} &= 0 \\ &= \underline{0 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

内圧により胴に生じる軸方向応力 $\sigma_{x 1}$

$$\begin{aligned}\sigma_{x 1} &= \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \\ &= 0.86 \times (305.5 + 1.2 \times 6.5) / (4 \times 6.5) \\ &= 10.363 \\ &= \underline{11 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

②運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴の運転時質量による軸方向引張応力 $\sigma_{x 2}$

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_0 - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$= 0.0615691$$

$$= \underline{0 \text{ (MPa)}}$$

胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力 $\sigma_{x 5}$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_0 - m_e) \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$= 0.136067$$

$$= \underline{1 \text{ (MPa)}}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

胴の運転時質量による軸方向引張応力 σ_{x3}

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

[Redacted]

$$= 0.138530$$

$$= 1 \text{ (MPa)}$$

胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力 σ_{x6}

$$\sigma_{x6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

[Redacted]

$$= 0.306152$$

$$= 1 \text{ (MPa)}$$

③ 水平方向地震による応力

水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力 σ_{x4}

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

[Redacted]

$$= 2.06395$$

$$= 2 \text{ (MPa)}$$

地震により胴に生じるせん断応力 τ

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

[Redacted]

$$= 1.10454$$

$$= 2 \text{ (MPa)}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

④組合せ応力

組合せ引張応力 σ_{ot}

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$= 20.726 + 0$$

$$= 20.726$$

$$= \underline{21 \text{ (MPa)}}$$

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5}$$

$$= 10.363 + 0.0615691 + 2.06395 + 0.136067$$

$$= 12.6245$$

$$= \underline{13 \text{ (MPa)}}$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$= 0.5 \times (20.726 + 12.6245 + \sqrt{(20.726 - 12.6245)^2 + 4 \times 1.10454^2})$$

$$= 20.8738$$

$$= \underline{21 \text{ (MPa)}}$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2}$$

$$= 10.363 + 0.0615691 + \sqrt{2.06395^2 + 0.136067^2}$$

$$= 12.4929$$

$$= \underline{13 \text{ (MPa)}}$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$= 0.5 \times (20.726 + 12.4929 + \sqrt{(20.726 - 12.4929)^2 + 4 \times 1.10454^2})$$

$$= 20.8716$$

$$= \underline{21 \text{ (MPa)}}$$

組合せ圧縮応力 σ_{oc}

$$\begin{aligned}\sigma_{\phi} &= -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \\ &= -20.726 - 0 \\ &= -20.726 \\ &= \underline{-20 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

【絶対値和】

$$\begin{aligned}\sigma_{xc} &= -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \\ &= 10.363 + 0.138530 + 2.06395 + 0.306152 \\ &= -7.85437 \\ &= \underline{-7 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{oc} &= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \\ &= 0.5 \times (-20.726 + (-7.85437) + \sqrt{(-20.726 - (-7.85437))^2 + 4 \times 1.10454^2}) \\ &= -7.76020 \\ &= \underline{-7 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

【SRSS法】

$$\begin{aligned}\sigma_{xc} &= -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \\ &= 10.363 + 0.138530 + \sqrt{2.06395^2 + 0.306152^2} \\ &= -8.13793 \\ &= \underline{-8 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{oc} &= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \\ &= 0.5 \times (-20.726 + (-8.13793) + \sqrt{(-20.726 - (-8.13793))^2 + 4 \times 1.10454^2}) \\ &= -8.04171 \\ &= \underline{-8 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

<耐震評価（胴：地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値）>

①組合せ応力

組合せ引張応力 σ_{2t}

$$\begin{aligned}\sigma_{2\phi} &= \sigma_{\phi 2} \\ &= 0 \\ &= 0 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

【絶対値和】

$$\begin{aligned}\sigma_{2xt} &= \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \\ &= 2.06395 + 0.136067 \\ &= 2.20001 \\ &= 3 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{2t} &= \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \\ &= 0 + 2.20001 + \sqrt{(0 - 2.20001)^2 + 4 \times 1.10454^2} \\ &= 5.31771 \\ &= 6 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

【SRSS法】

$$\begin{aligned}\sigma_{2xt} &= \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \\ &= \sqrt{2.06395^2 + 0.136067^2} \\ &= 2.06842 \\ &= 3 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{2t} &= \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \\ &= 0 + 2.06842 + \sqrt{(0 - 2.06842)^2 + 4 \times 1.10454^2} \\ &= 5.09470 \\ &= 6 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

組合せ圧縮応力 σ_{2c}

$$\begin{aligned}\sigma_{2\phi} &= -\sigma_{\phi 2} \\ &= 0 \\ &= \underline{0 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

【絶対値和】

$$\begin{aligned}\sigma_{2xc} &= \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \\ &= 2.06395 + 0.306152 \\ &= 2.37010 \\ &= \underline{3 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{2c} &= \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \\ &= 0 + 2.37010 + \sqrt{((0 - 2.37010)^2 + 4 \times 1.10454^2)} \\ &= 5.61007 \\ &= \underline{6 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

【SRSS 法】

$$\begin{aligned}\sigma_{2xc} &= \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \\ &= \sqrt{2.06395^2 + 0.306152^2} \\ &= 2.08653 \\ &= \underline{2 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{2c} &= \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \\ &= 0 + 2.08653 + \sqrt{((0 - 2.08653)^2 + 4 \times 1.10454^2)} \\ &= 5.12522 \\ &= \underline{6 \text{ (MPa)}}\end{aligned}$$

<耐震評価（スカート）>

①運転時質量及び鉛直方向地震による応力

運転時質量による軸方向応力 σ_{s1}

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s}$$

=0.262674

=1 (MPa)

鉛直方向地震による軸方向応力 σ_{s3}

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s}$$

=0.580510

=1 (MPa)

②水平方向地震による応力

水平方向地震によりスカートに生じる曲げモーメントによる軸方向応力 σ_{s2}

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell)$$

=2.46303 × 10⁶

=2.463 × 10⁶ (N・mm)

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}}$$

=9.46661

=10 (MPa)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

地震によりスカートに生じるせん断応力 τ_s

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s}$$



$$= 1.44996$$

$$= 2 \text{ (MPa)}$$

③ 組合せ応力

組合せ引張応力 $\sigma_{\phi t}$

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$= 20.726 + 0$$

$$= 20.726$$

$$= 21 \text{ (MPa)}$$

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2}$$

$$= \sqrt{(0.262674 + 9.46661 + 0.580510)^2 + 3 \times 1.44996^2}$$

$$= 10.6112$$

$$= 11 \text{ (MPa)}$$

【SRSS 法】

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2} \right)^2 + 3 \cdot \tau_s^2}$$

$$= \sqrt{(0.262674 + \sqrt{9.46661^2 + 0.580510^2})^2 + 3 \times 1.44996^2}$$

$$= 10.0654$$

$$= 11 \text{ (MPa)}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

<耐震評価（基礎ボルト）>

①引張応力

基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

ここで、 $\sigma_b = 25.0287$ 、 $\sigma_c = 0.279422$ と仮定する。

$$= 1 / (1 + (25.0287 / (15 \times 0.279422)))$$

$$= 0.143440$$

基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k)$$

$$= \cos^{-1} (1 - 2 \times k \cdot 0.143440)$$

$$= 0.776857$$

定数 e, z, Ct

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\}$$

$$= 0.5 \times (((\pi - 0.776857) \times \cos^2(0.776857) + 0.5 \times (\pi - 0.776857) + 1.5 \times \sin(0.776857) \times \cos(0.776857)) / (\sin(0.776857) - 0.776857 \times \cos(0.776857))) + (0.5 \times 0.776857 - 1.5 \times (\sin(0.776857) \times \cos(0.776857) + 0.776857 \times \cos^2(0.776857))) / (\sin(0.776857) - 0.776857 \times \cos(0.776857))$$

$$= 0.770791$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right)$$

$$= 0.5 \times (\cos(0.776857) + (0.5 \times 0.776857 - 1.5 \times \sin(0.776857) \times \cos(0.776857) + 0.776857 \times \cos^2(0.776857)) / (\sin(0.776857) - 0.776857 \times \cos(0.776857)))$$

$$= 0.470812$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$= 2 \times ((\pi - 0.776857) \times \cos(0.776857) + \sin(0.776857)) / (1 + \cos(0.776857))$$

$$= 2.78717$$

F_t を求める

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$\boxed{}$$

$$= 8930.78$$

$$= 8.931 \times 10^3 \text{ (N)}$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\boxed{}$$

$$= 25.0284$$

$$= 25 \text{ (MPa)}$$

②せん断応力

A_b を求める

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$= \pi / 4 \times 16^2$$

$$= 201.1 \text{ (mm}^2\text{)}$$

基礎ボルトに作用するせん断応力 τ_b

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b}$$

$$\boxed{}$$

$$= 4.37422$$

$$= 5 \text{ (MPa)}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

$$40^\circ\text{C} \text{における } S_y=215, \quad 75^\circ\text{C} \text{における } S_y=203$$

$$40^\circ\text{C} \text{における } S_u=400, \quad 75^\circ\text{C} \text{における } S_u=381$$

周囲環境温度 50°C における S_y の算出

$$S_y=203+(215-203) \times (75-50)/(75-40)$$

$$=211.57$$

$$=211 \text{ (MPa)}$$

周囲環境温度 50°C における S_u の算出

$$S_u=203+(400-381) \times (75-50)/(75-40)$$

$$=394.57$$

$$=394 \text{ (MPa)}$$

$$F=\text{Min}(S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

$$=\text{Min}(211.57, 0.7 \times 394.57)$$

$$=\text{Min}(211.57, 276.20)$$

$$=211 \text{ (MPa)}$$

④ 許容引張応力

許容引張応力 f_{ts}

$$f_{ts}=\text{Min}(1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}) \cdot 0.8$$

$$f_{to}=F/2 \cdot 1.5$$

$$=211.57/2 \times 1.5$$

$$=158.677$$

$$=158 \text{ (MPa)}$$

$$f_{ts}=\text{Min}(1.4 \times 158.677-1.6 \times 4.37422, 158.25) \times 0.8$$

$$=\text{Min}(215.149, 158.25) \times 0.8$$

$$=126 \text{ MPa}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984 に基づき、後施工アンカの許容応力は 20%低減を考慮する。

⑤ 許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sb}

$$f_{sb}=F/(1.5 \cdot \sqrt{3}) \cdot 1.5 \cdot 0.8$$

$$=211.57/(1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5 \times 0.8$$

$$=97.7199$$

$$=97 \text{ (MPa)}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984 に基づき、後施工アンカの許容応力は 20%低減を考慮する。

<耐震評価結果>

アキュムレータの耐震評価結果を表 6.6.2-7 に示す。

表 6.6.2-7 アキュムレータの耐震評価結果

部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
胴板	一次一般膜	21	188	OK
	一次+二次	6	377	OK
スカート	組合せ	11	205	OK
基礎ボルト	引張	25	126*	OK
	せん断	5	97	OK

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

e. ボンベラック

(a) 一般事項

図6.6.2-10にボンベラックの概略構造図を示す。

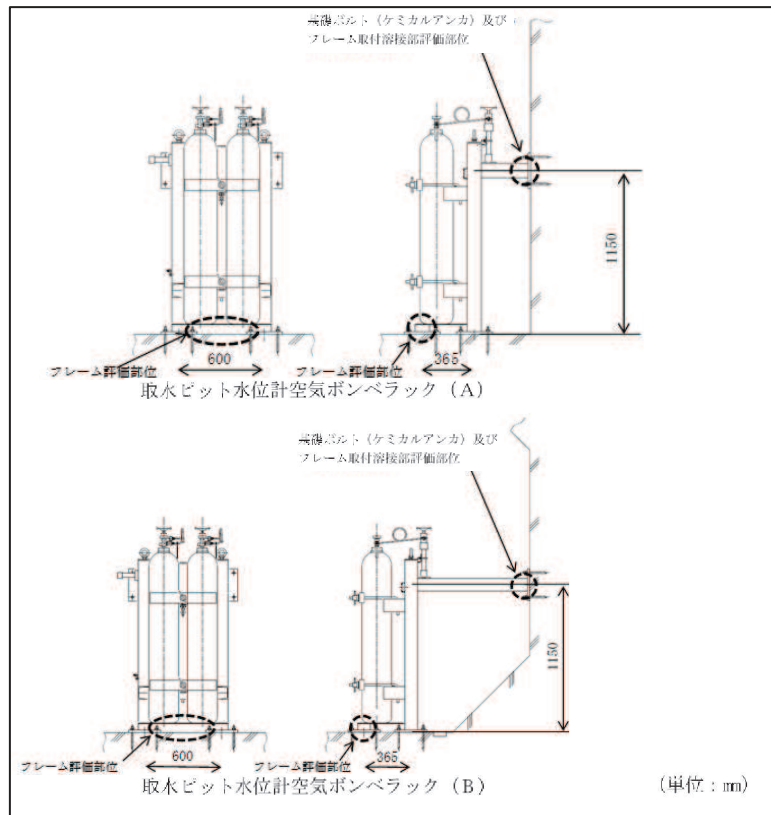


図6.6.2-10 ボンベラックの概略構造図

(b) 評価条件

<設計用地震力>

設置場所（海水ポンプ室）の最大応答加速度を適用する。

S_s 水平方向震度 (C_H) : 2.76

鉛直方向震度 (C_V) : 2.21

<雰囲気温度>

40°C（屋外）

(c) 固有周期

ボンベラックの固有周期は、3次元はりモデルによる固有値解析により求める。固有値解析の結果、固有周期が0.05秒以下であり、剛であることを確認している。ボンベラックの解析モデルを図6.6.2-11~14に固有振動モード図を図6.6.2-15~16に示す。

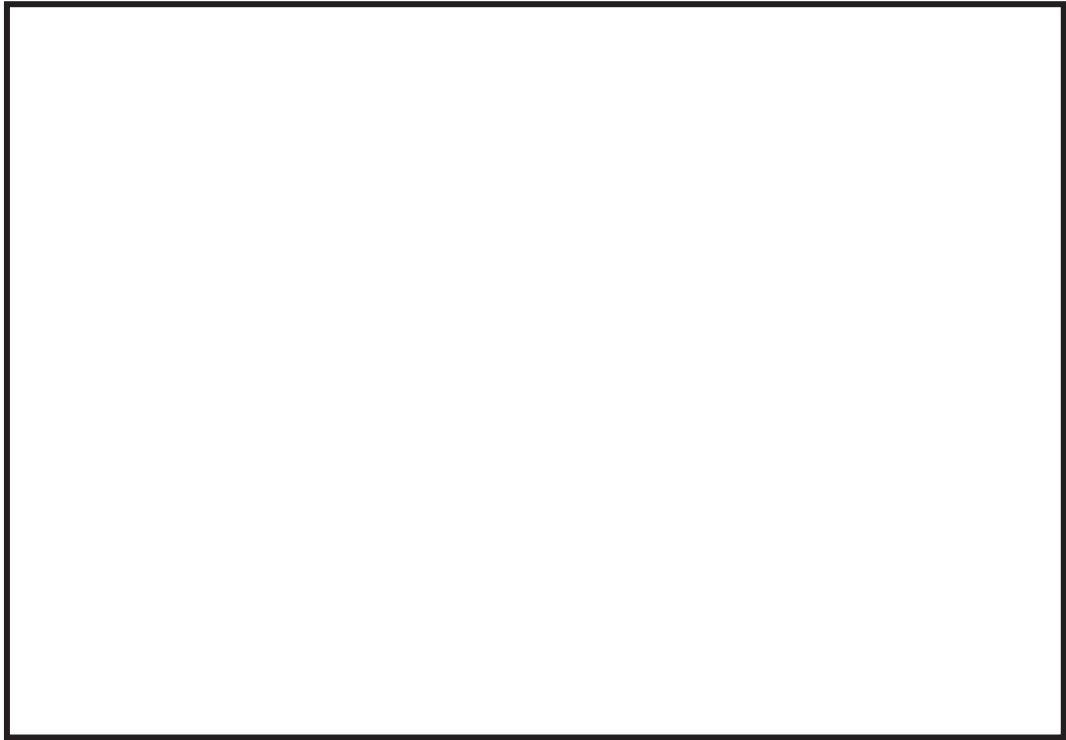


図 6.6.2-11 解析モデル(ボンベラック (A) (要素番号記載))

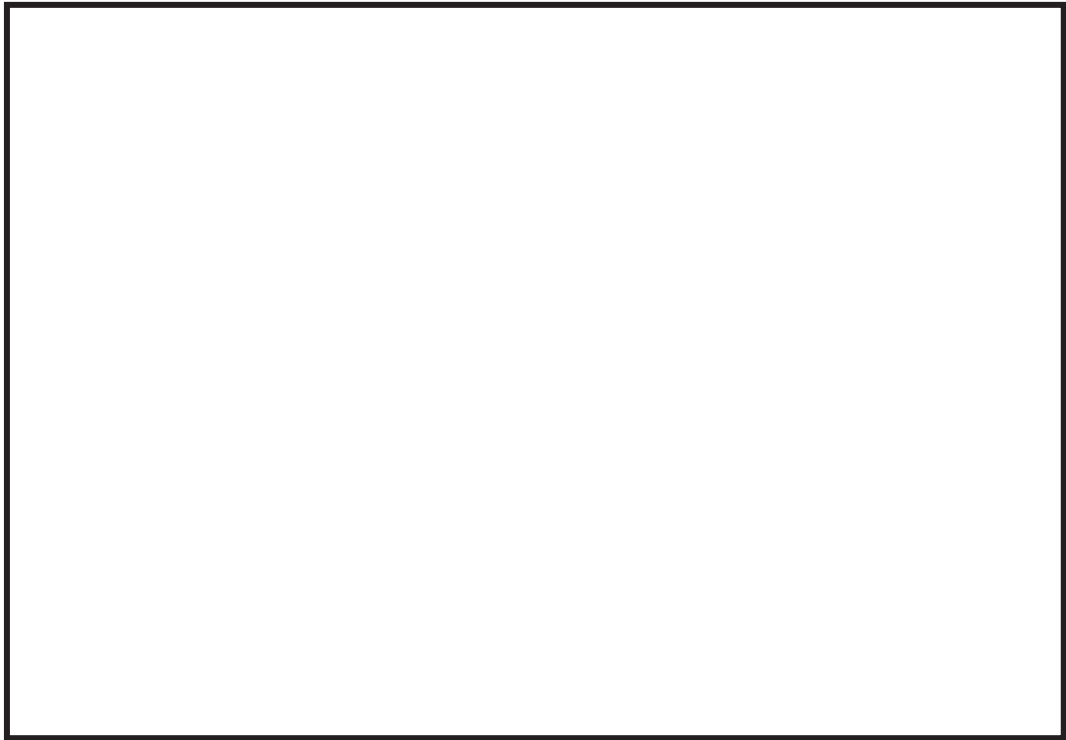


図 6.6.2-12 解析モデル(ボンベラック (A) (節点番号記載))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

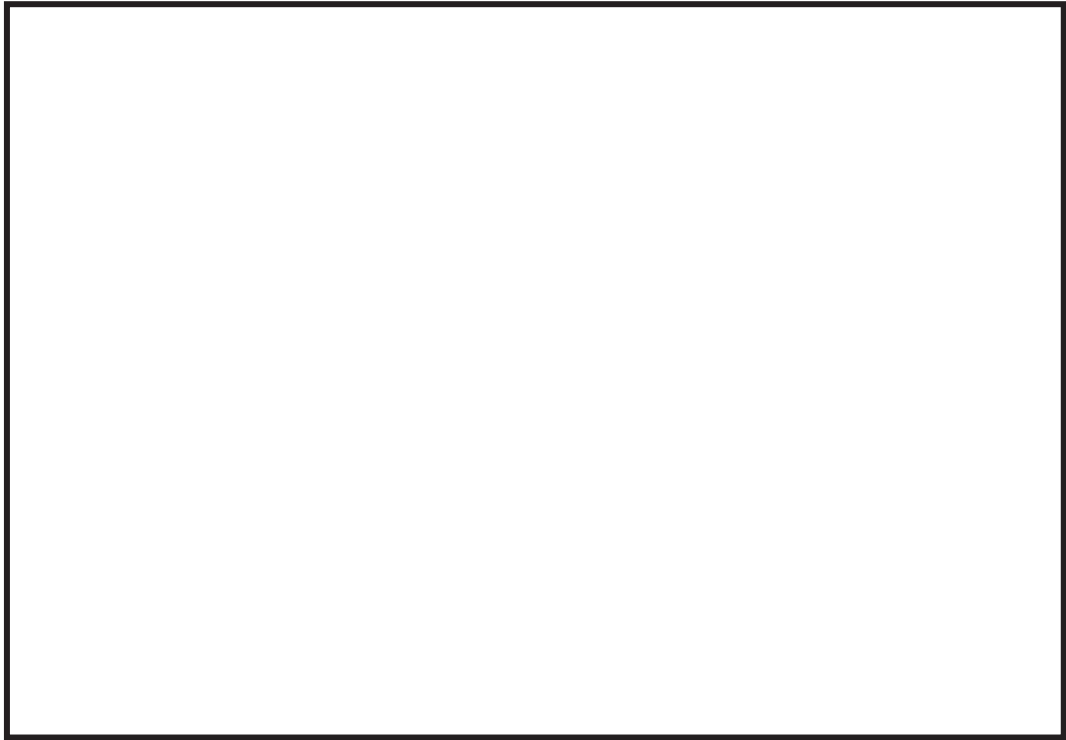


図 6.6.2-13 解析モデル(ボンベラック (B) (要素番号記載))

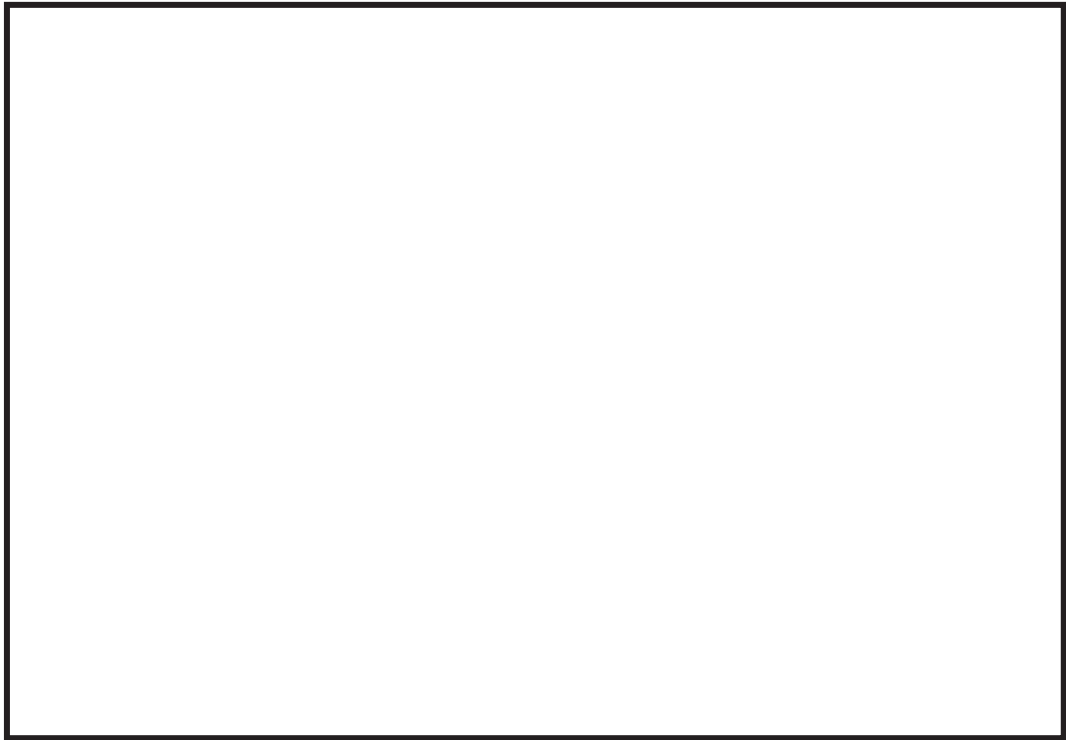


図 6.6.2-14 解析モデル(ボンベラック (B) (節点番号記載))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

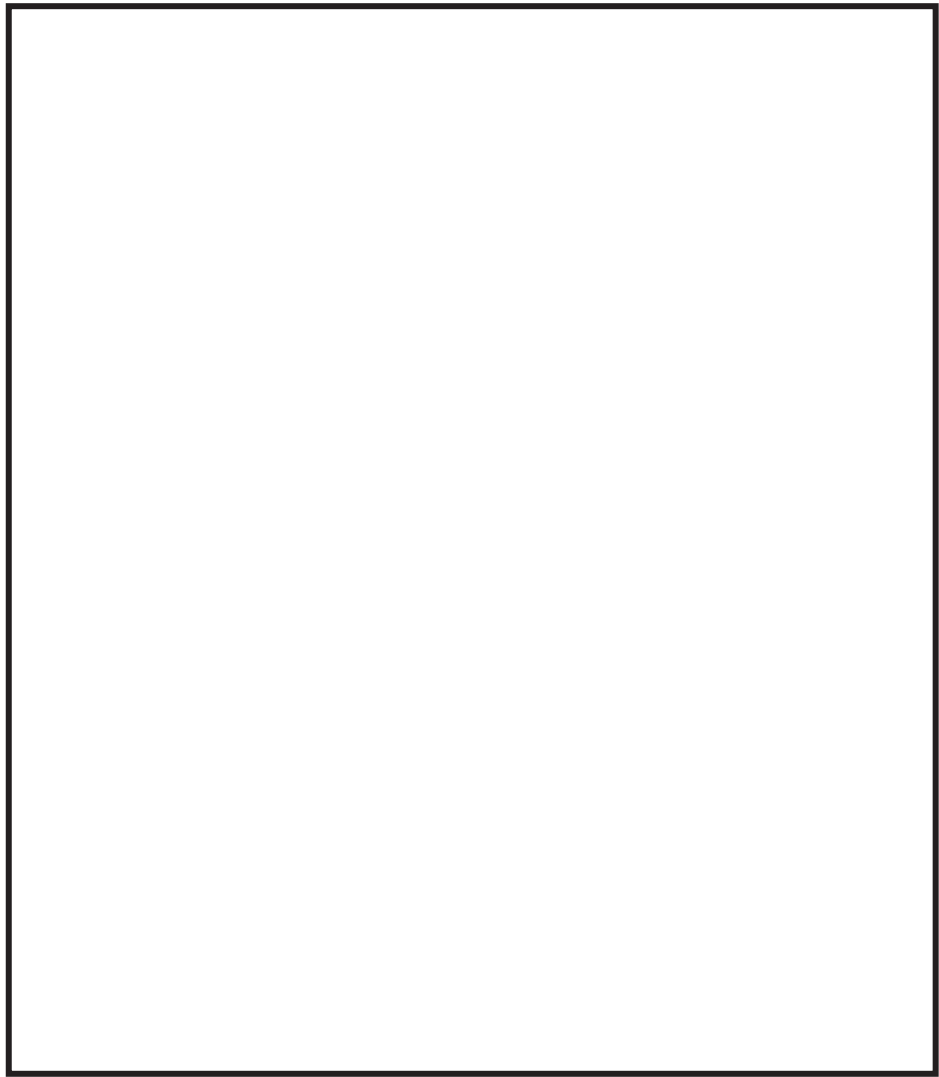


図 6.6.2-15 ボンベラック (A) 固有振動モード図 (1次：水平方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

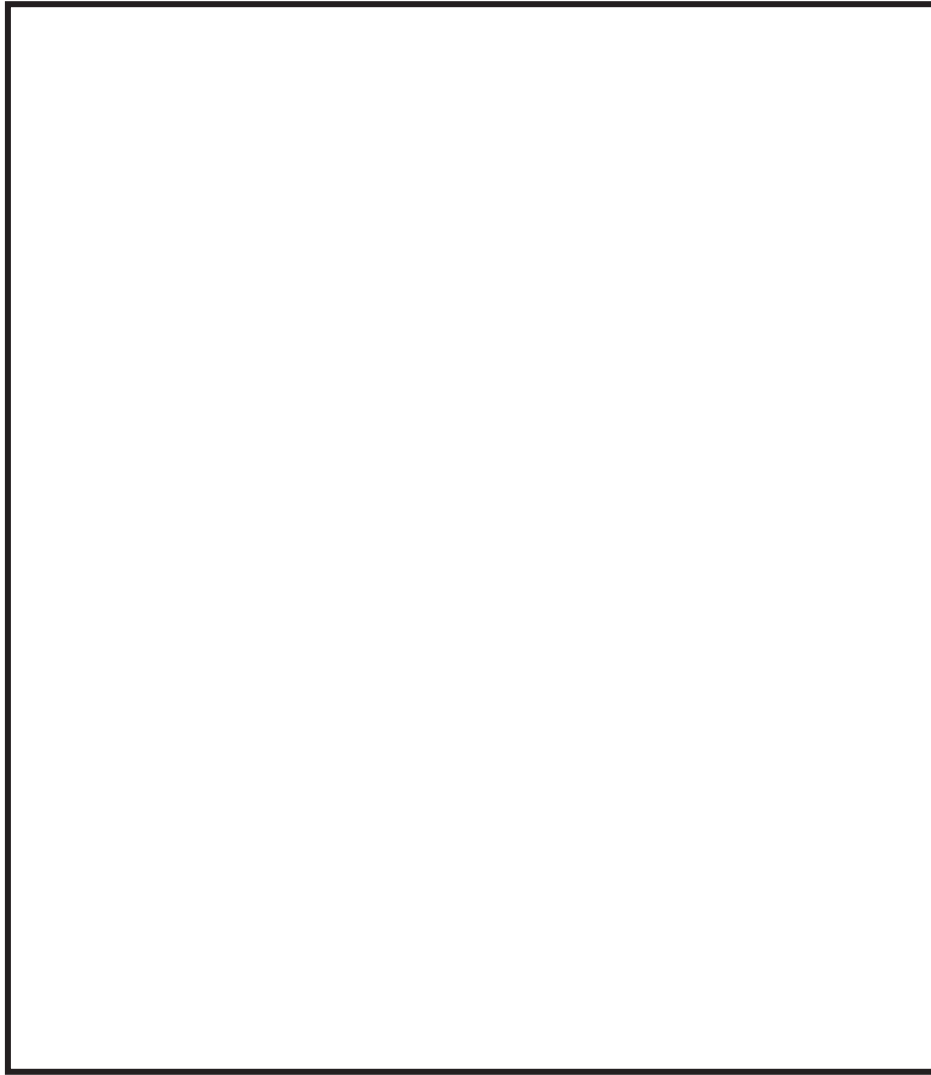


図 6.6.2-16 ボンベラック (B) 固有振動モード図 (1次:水平方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(d) 応力計算

<耐震評価（ボンベラック，フレーム）>

①フレームの組合せ応力

はり要素の軸応力 σ_t

$$\sigma_t = \frac{R_1}{A_{rea}}$$

=0 (MPa)

はり要素の曲げ応力 σ_b

$$\sigma_b = \left(\frac{M_2}{Z_2} \right) + \left(\frac{M_3}{Z_1} \right)$$

=34.9122

=35 (MPa)

はり要素のせん断応力 τ_s

$$\tau_s = M a x \left\{ \left(\frac{R_2}{A_{S1}} \right) + \left(\frac{M_1}{Z_{P1}} \right), \left(\frac{R_3}{A_{S2}} \right) + \left(\frac{M_1}{Z_{P2}} \right) \right\}$$

=(0.22381, 4.63)

=4.63 (MPa)

フレームの組合せ応力 σ_a

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau_s^2}$$

= $\sqrt{(0+34.9122)^2 + 3 \times 4.63^2}$

=35.8213

=36 (MPa)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

40°Cにおける $S_y=245$

40°Cにおける $S_u=400$

$$F = \text{Min}(S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

$$= \text{Min}(245, 0.7 \times 400)$$

$$= \text{Min}(245, 280)$$

$$= \underline{245 \text{ MPa}}$$

③ 許容引張応力

許容引張応力 f_t

$$f_t = F / 1.5 \cdot 1.5$$

$$= 245 / 1.5 \times 1.5$$

$$= \underline{245 \text{ (MPa)}}$$

<耐震評価（ボンベラック，溶接部）>

①溶接部せん断応力

溶接部に作用するせん断力 F_w

$$F_w = \sqrt{R_2^2 + R_3^2}$$

$$\boxed{}$$

$$=4159.08$$

$$=4.159 \times 10^3 \text{ (N)}$$

せん断応力 τ_w

$$\tau_w = \frac{F_w}{A_w} + \frac{M_1}{Z_{PW}}$$

$$\boxed{}$$

$$=2.71334$$

$$=3 \text{ (MPa)}$$

②F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

40℃における $S_y=245$

40℃における $S_u=400$

$$F = \text{Min}(S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

$$= \text{Min}(245, 0.7 \times 400)$$

$$= \text{Min}(245, 280)$$

$$=245 \text{ MPa}$$

③許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sb}

2005 設計・建設規格第 I 編 第 8 章 SSB-3121.1 (1)b. を適用し，許容せん断応力算出時に 0.45 倍とする。

$$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \cdot 1.5 \cdot 0.45$$

$$= 245 / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5 \times 0.45$$

$$= 63.6528$$

$$=63 \text{ MPa}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

<耐震評価（ボンベラック，基礎ボルト）>

①基礎ボルトの応力

基礎ボルトに作用する引張力 F_b

$$F_b = \text{Max} \left\{ \left(\frac{R_1}{n} \right) + \left(\frac{M_2}{n_f \cdot L} \right), \left(\frac{R_1}{n} \right) + \left(\frac{M_3}{n_f \cdot L} \right) \right\}$$

$$= \text{Max} (4565.64, 4581.43)$$

$$= \underline{4.581 \times 10^3 \text{ (N)}}$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_{bt}

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

$$= 22.7818$$

$$= \underline{23 \text{ (MPa)}}$$

基礎ボルトに作用するせん断力 σ_b

$$\sigma_b = \sqrt{\left(R_2 + \frac{M_1}{L} \right)^2 + \left(R_3 + \frac{M_1}{L} \right)^2}$$

$$= 4.25546$$

$$= \underline{4.255 \times 10^3 \text{ (N)}}$$

基礎ボルトに作用するせん断応力 τ_{bs}

$$\tau_{bs} = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

$$= 5.29022$$

$$= \underline{6 \text{ (MPa)}}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

40°Cにおける $S_y=215$

40°Cにおける $S_u=400$

$$\begin{aligned} F &= \text{Min}(S_y, 0.7 \cdot k_j S_u) \\ &= \text{Min}(215, 0.7 \times 400) \\ &= \text{Min}(215, 280) \\ &= \underline{215 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

③ 許容引張応力

許容引張応力 f_{ts}

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}) \cdot 0.8$$

$$f_{to} = F / 2 \cdot 1.5$$

$$= 215 / 2 \times 1.5$$

$$= 161.25$$

$$= \underline{161 \text{ (MPa)}}$$

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \times 161.25 - 1.6 \times 5.29022, 161.25) \times 0.8$$

$$= \text{Min}(217, 161.25) \times 0.8$$

$$= \underline{129 \text{ MPa}}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984 に基づき、後施工アンカの許容応力は 20%低減を考慮する。

④ 許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sb}

$$f_{sb} = F / (1.5 \cdot \sqrt{3}) \cdot 1.5 \cdot 0.8$$

$$= 215 / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5 \times 0.8$$

$$= 99.3042$$

$$= \underline{99 \text{ MPa}}$$

注：J E A G 4 6 0 1・補-1984 に基づき、後施工アンカの許容応力は 20%低減を考慮する。

<耐震評価結果>

ボンベラックの耐震評価結果を表 6.6.2-8 に示す。

表 6.6.2-8 ボンベラックの耐震評価結果

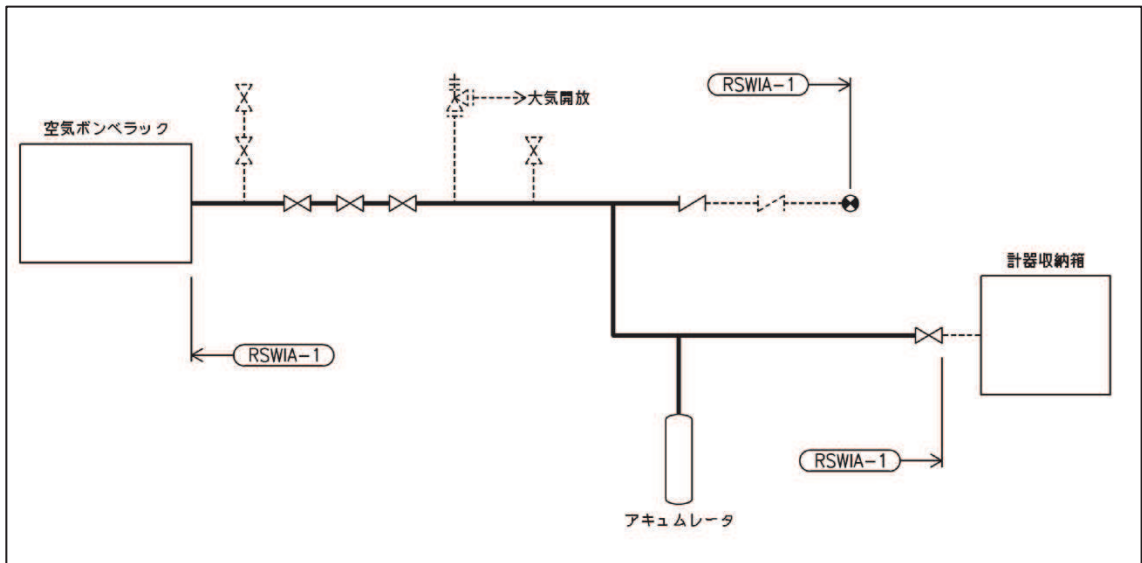
設備名称	部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
ボンベ ラック (A)	フレーム	組合せ	36	245	OK
	溶接部	せん断	3	63	OK
	基礎ボルト	引張	23	129*	OK
		せん断	6	99	OK
ボンベ ラック (B)	フレーム	組合せ	36	245	OK
	溶接部	せん断	3	63	OK
	基礎ボルト	引張	30	129*	OK
		せん断	5	99	OK

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

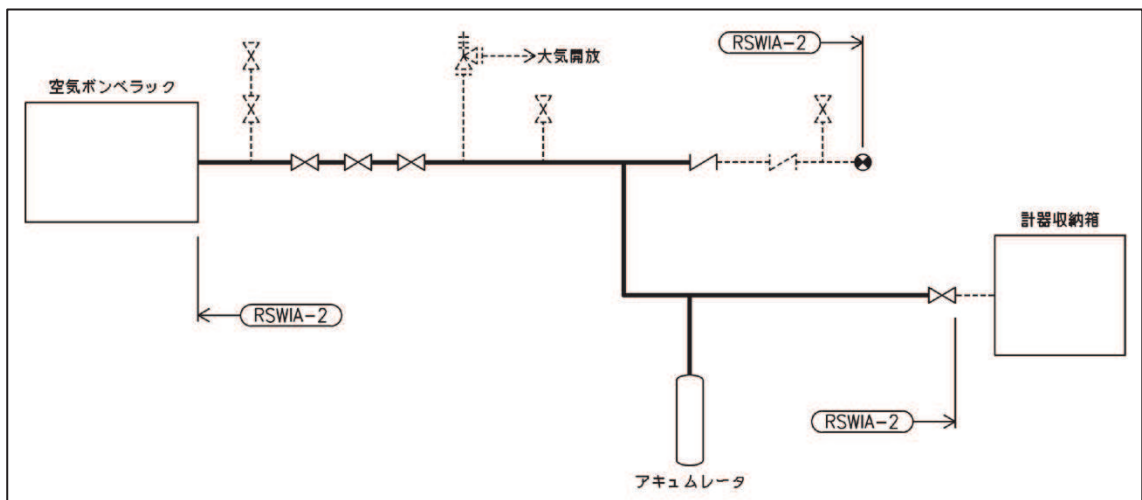
f. 管

(a) 一般事項

図6.6.2-17に管の概略系統図を示す。



(配管モデル：RSWIA-1)



(配管モデル：RSWIA-2)

図6.6.2-17 管の概略構造図

(b) 評価条件

<設計用地震力>

設置場所（海水ポンプ室）の最大応答加速度を適用する。

S。 水平方向震度 (C_H) :

鉛直方向震度 (C_V) :

<雰囲気温度>

50℃ (屋外)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 固有周期

管の固有周期は、3次元はりモデルによる固有値解析により求める。固有値解析の結果、固有周期が0.05秒以下であり、剛であることを確認している。

(d) 応力計算

<耐震評価>

①一次応力

$$S_{pr m} = P \cdot D_o / 4 \cdot t + 0.75 i_1 \cdot (M_a + M_b) / Z$$
$$= 127 \text{ (N)} \quad : \quad \text{R S W I A} - 1$$
$$= 124 \text{ (N)} \quad : \quad \text{R S W I A} - 2$$

②一次+二次応力

$$S_n = (0.75 i_1 \cdot M_b + i_2 \cdot M_c) / Z$$
$$= 241 \text{ (N)} \quad : \quad \text{R S W I A} - 1$$
$$= 241 \text{ (N)} \quad : \quad \text{R S W I A} - 2$$

<耐震評価結果>

管の耐震評価結果を表 6.6.2-9 に示す。

表 6.6.2-9 管の耐震評価結果

配管モデル		計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定 計算応力 ≤ 許容応力
R S W I A - 1	一次応力	127	188	OK
	一次+二次応力	241	376	OK
R S W I A - 2	一次応力	124	188	OK
	一次+二次応力	241	376	OK

(4) 強度計算における評価方法

a. 評価にあたって

(a) モデル化の対象範囲について

モデル化の対象範囲は、**図6.6.2-18**のとおり、フランジ部より下のバブラー管を対象としている。なお解析時は、バブラー管の質量に加えフランジ部の質量も加味している。

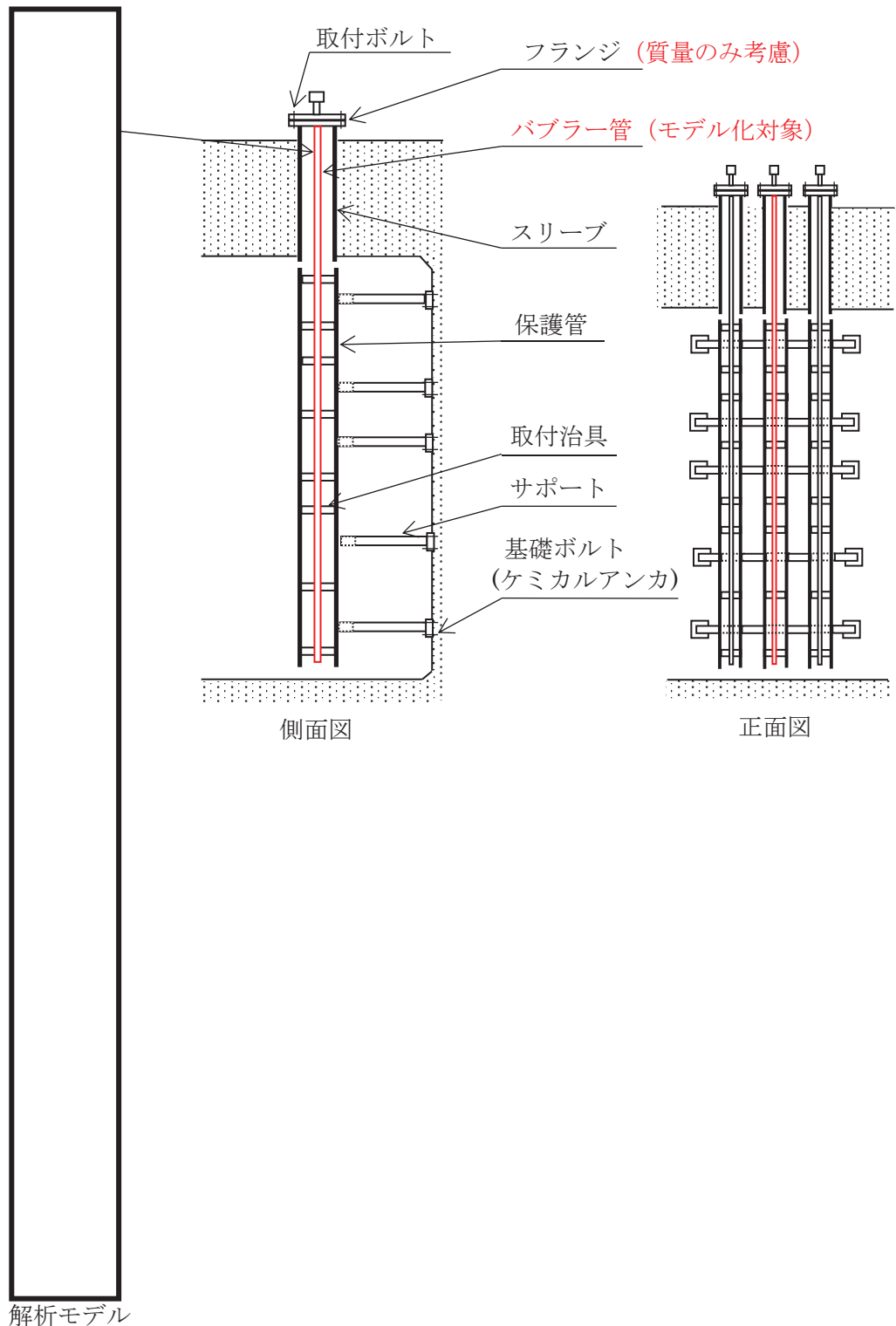


図 6.6.2-18 モデル化の対象範囲

(b) 評価部位について

取水ピット水位計の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。

取水ピット水位計はフランジ面をバブラー管が貫通しており、貫通部分は溶接されている。バブラー管下部は取付治具で保護管に固定され、保護管を固定するサポートは取水ピット内壁面に基礎ボルトで固定されている。

余震に伴う荷重はバブラー管に作用するが、バブラー管は剛構造のサポートで固定されていることから、力としてはバブラー管上部のフランジと保護管のサポートにかかる。

また、津波の突上げ荷重はフランジ面に作用するため、フランジ上面部には津波及び余震に伴う荷重の両方の力がかかることになる。

強度評価においては、引張力が一番厳しくなるフランジ部を抑える取付ボルトを評価部位とする。図6.6.2-19にバブラー管構造図を示す。

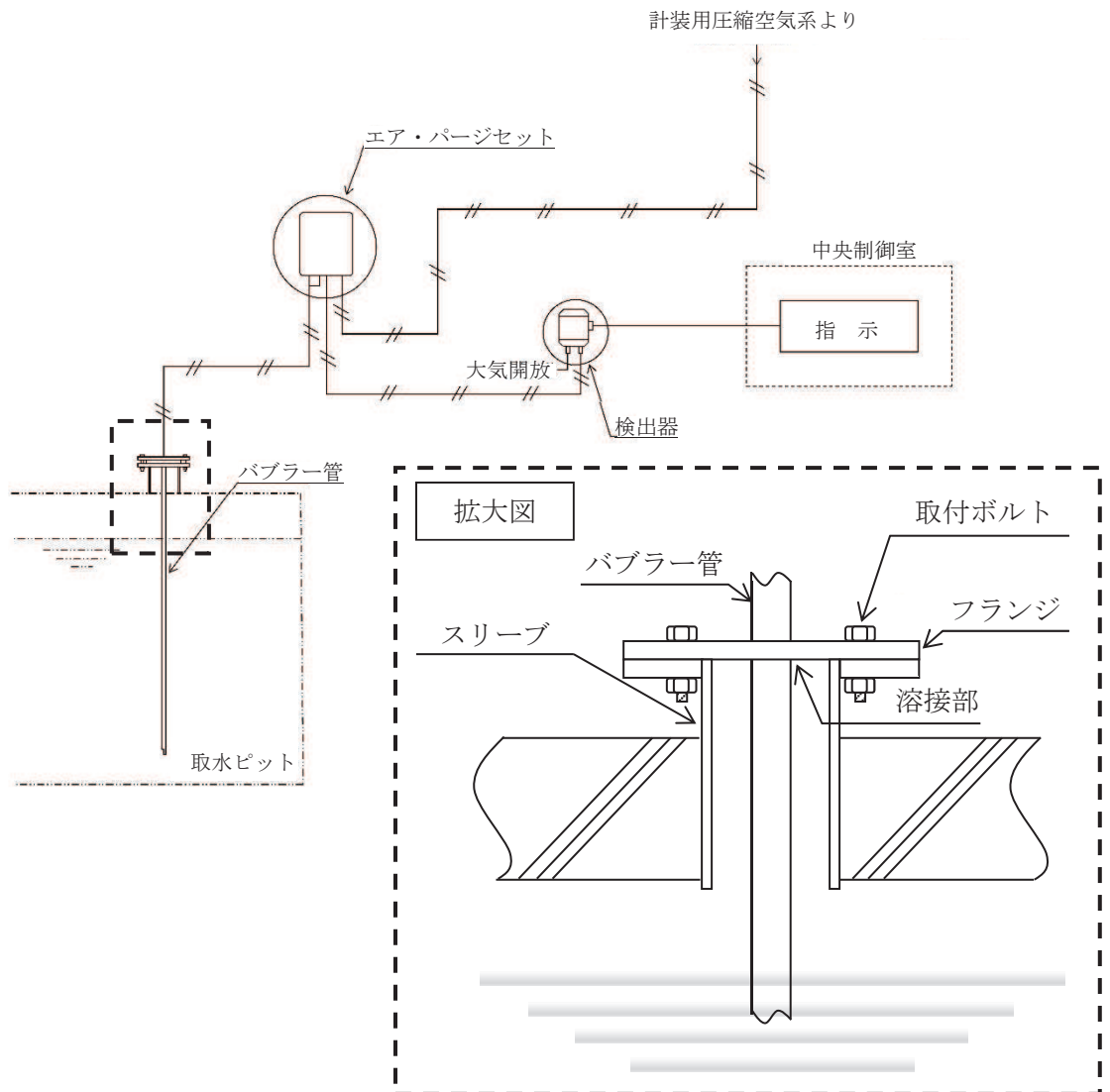


図6.6.2-19 バブラー管構造図

b. 評価方法

(a) 一般事項

図6.6.2-20に取水ピット水位計の概略構造図を示す。

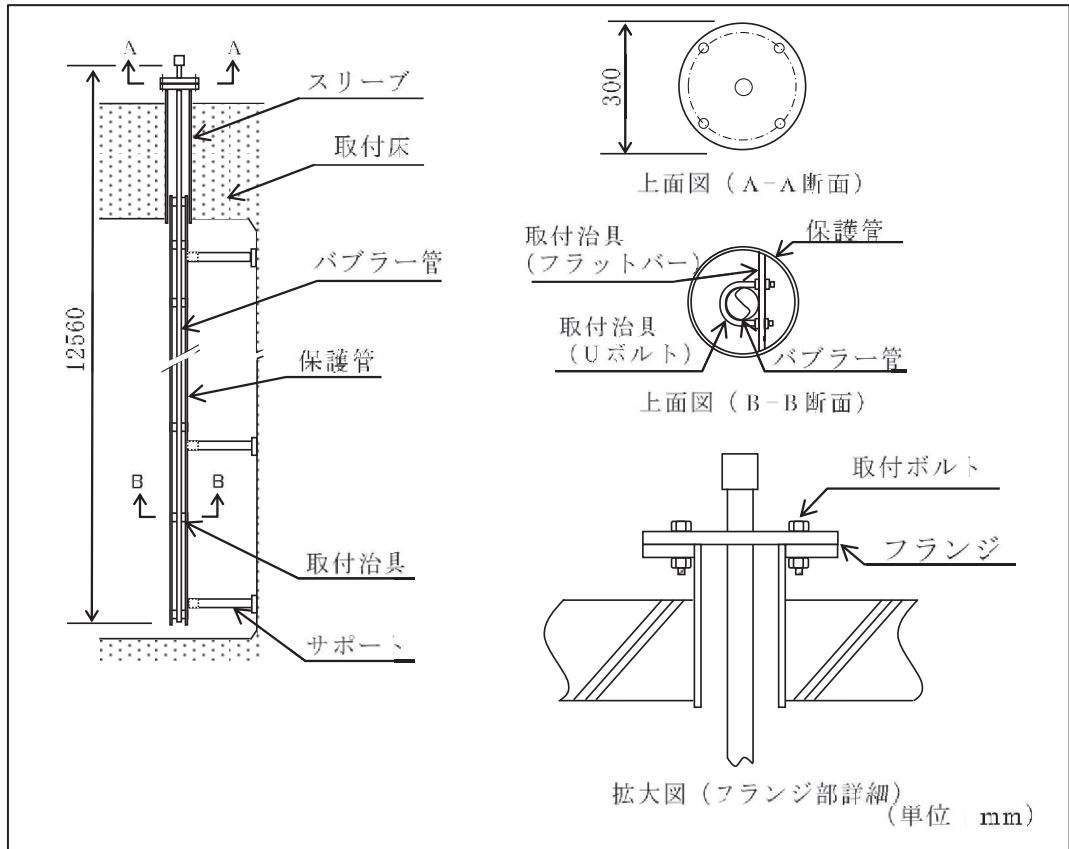


図6.6.2-20 取水ピット水位計の概略構造図

(b) 評価条件

<設計用地震力>

設置場所（海水ポンプ室）の最大応答加速度を適用する。

S d - D 2 水平方向震度 (C_H) : 1.05

鉛直方向震度 (C_V) : 1.03

<雰囲気温度>

40°C (屋外)

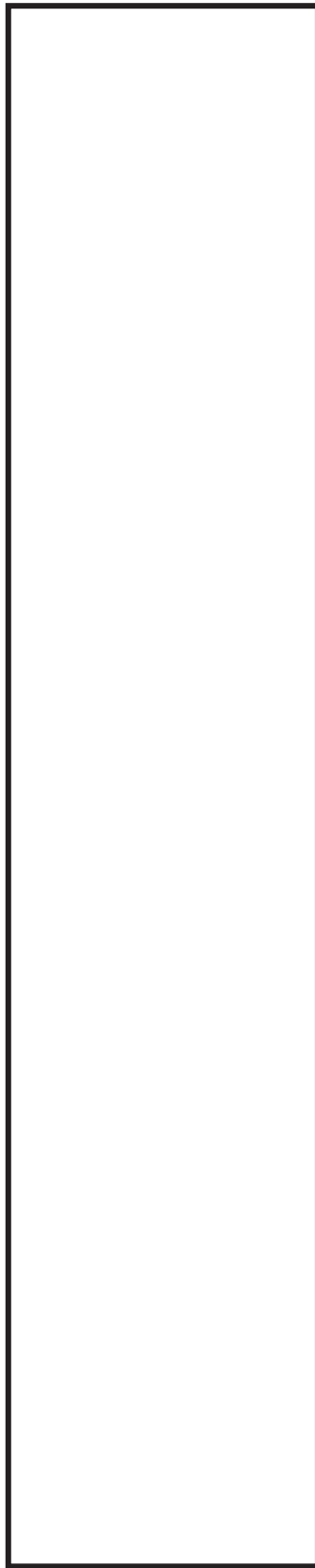
<津波荷重水位>

取水ピット水位計の津波荷重水位は添付書類「V-1-1-2-2-3 入力津波の設定」にて設定している取水ピットの入力津波高さを元に設定する。

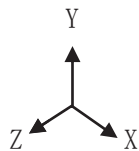
基準津波 : 0.P + 18.6 m

(c) 固有周期

取水ピット水位計の固有周期は、3次元はりモデルによる固有値解析により求める。固有値解析の結果、固有周期が0.05秒以下であり、剛であることを確認している。バブラー管の解析モデルを図6.6.2-21に示す。



△ : 支持点
△ : 拘束点

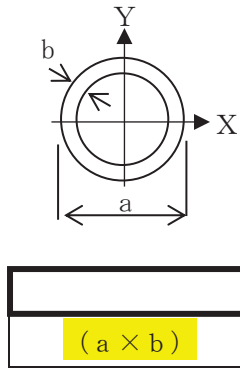


注記* : 部材の諸元については、表 6.6.2-10 に示す。

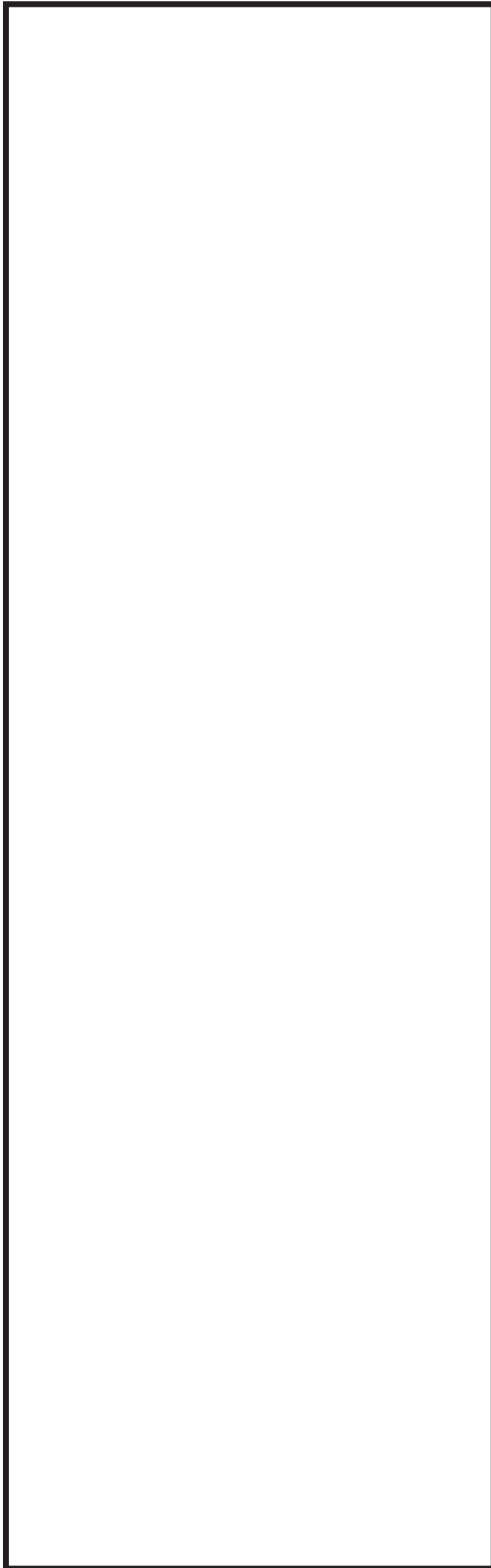
図 6.6.2-21 解析モデル（取水ピット水位）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

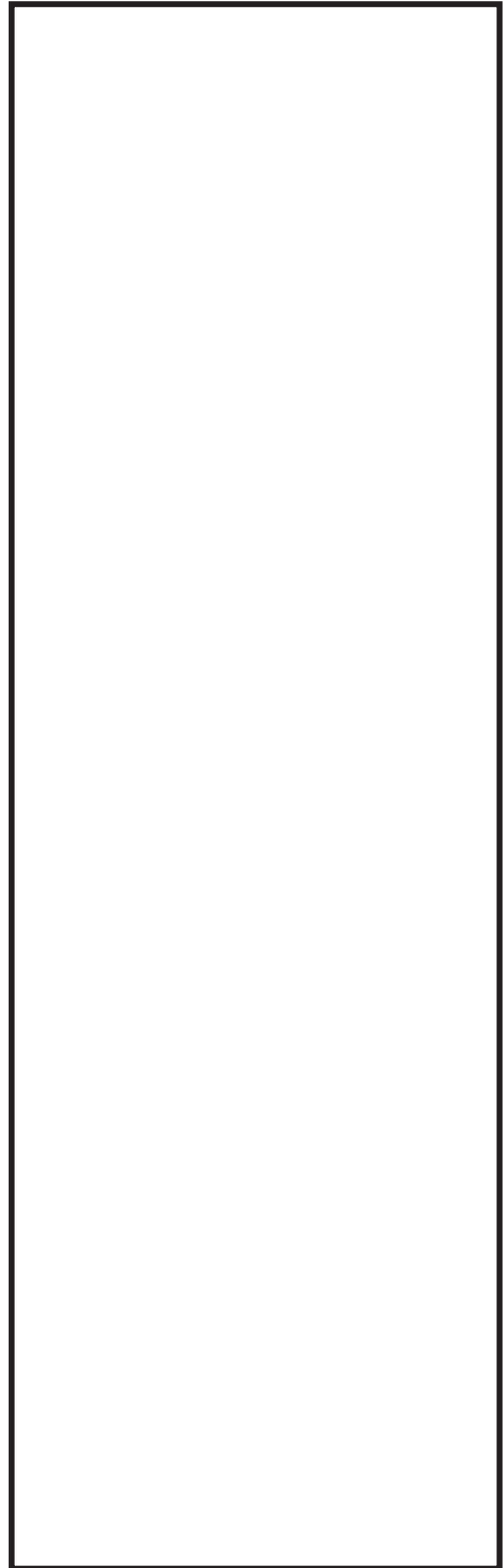
表 6.6.2-10 部材の諸元

番号	①
材料	
A (mm ²)	
I _X (mm ⁴)	
I _Y (mm ⁴)	
I _Z (mm ⁴)	
I _P (mm ⁴)	
断面形状 (mm)	
温度条件 (雰囲気温度) (°C)	40
縦弾性係数	
ポアソン比	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



1次固有振動モード図（水平方向）



41次固有振動モード図（鉛直方向）

図 6. 6. 2-22 固有振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(d) 応力計算

<強度評価>

①突き上げ津波荷重(P_t)

取水ピット水位計に作用する突き上げ津波荷重(P_t)

$$P_t = \rho \cdot g \cdot T_h \cdot A_1 + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_1 \cdot U^2$$

なお、抗力係数 (C_d) は日本港湾協会 港湾の施設の技術上の基準・同解説の値を使用する。

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$



$$\begin{aligned} T_h &= h - z \\ &= 18.6 - 2.15 \\ &= 16.45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_t &= 1030 \times 9.80665 \times 16.45 \times 0.0706857 + 0.5 \times 2.01 \times 1030 \times 0.0706857 \times 1.0^2 \\ &= 11818.23 \\ &= 1.182 \times 10^4 \text{ (N)} \end{aligned}$$

②引張応力

取付ボルトに作用する引張力 F_b

$$F_b = \frac{F_Y}{n} + \frac{M_X}{\varrho_1 \cdot n_X} + \frac{M_Z}{\varrho_2 \cdot n_Z} + P_t$$



$$\begin{aligned} &= 11993.1 \\ &= 1.199 \times 10^4 \text{ (N)} \end{aligned}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

取付ボルトに作用する引張応力 σ_b

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

--

$$= 38.1752$$

$$= 39 \text{ (MPa)}$$

③せん断応力

取付ボルトに作用するせん断力 Q_b

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{n}$$

取付ボルトに作用するせん断応力 τ_b

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

④ F 値

設計温度における使用部材の設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u は 2005 設計・建設規格第 I 編 付録図表 Part5 表 8, 表 9 より

$$40^\circ\text{C} \text{における } S_y = 205$$

$$40^\circ\text{C} \text{における } S_u = 520$$

$$\begin{aligned} F &= \text{Min}(S_y, 0.7 S_u) \\ &= \text{Min}(205, 0.7 \times 520) \\ &= \text{Min}(205, 364) \\ &= \underline{205 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

⑤ 許容引張応力

許容引張応力 f_{ts}

$$\begin{aligned} f_{ts} &= \text{Min}(1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau_b, f_{to}) \\ f_{to} &= F / 2 \times 1.5 \\ &= 205 / 2 \times 1.5 \\ &= 153.75 \\ &= 153 \text{ (MPa)} \\ f_{ts} &= \text{Min}(1.4 \times 153.75 - 1.6 \times 0.0517254, 153) \\ &= \text{Min}(215, 153) \\ &= \underline{153 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

⑥ 許容せん断応力

許容せん断応力 f_{sb}

$$\begin{aligned} f_{sb} &= F / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5 \\ &= 205 / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5 \\ &= 118.356 \\ &= \underline{118 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

< 強度評価結果 >

取水ピット水位計の強度評価結果を表 6.6.2-11 に示す。

表 6.6.2-11 取水ピット水位計の強度評価結果

部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
取付ボルト	引張	39	153*	OK
	せん断	0	118	OK

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