

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-60-1 改 85
提出年月日	平成 30 年 8 月 1 日

東海第二発電所

工事計画に係る説明資料

(V-1-1-2-2 津波への配慮に関する説明書)

平成 30 年 8 月

日本原子力発電株式会社

改定履歴

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改0	H30.2.5	<ul style="list-style-type: none"> ・新規制定 ・「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を新規作成し、追加
改1	H30.2.7	<ul style="list-style-type: none"> ・「1.1 潮位観測記録の考え方について」及び「1.3 港湾内の局所的な海面の励起について」を新規作成し、追加
改2	H30.2.8	<ul style="list-style-type: none"> ・改0の「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を改定
改3	H30.2.9	<ul style="list-style-type: none"> ・改1に、「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」を新規作成し、追加（「1.1 潮位観測記録の考え方について」及び「1.3 港湾内の局所的な海面の励起について」は、変更なし）
改4	H30.2.13	<ul style="list-style-type: none"> ・改3の内、「1.1 潮位観測記録の考え方について」及び「1.3 港湾内の局所的な海面の励起について」を改定（「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」は、変更なし）
改5	H30.2.13	<ul style="list-style-type: none"> ・「5.11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」及び「5.17 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」を新規作成し、追加
改6	H30.2.15	<ul style="list-style-type: none"> ・「5.7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について」及び「5.19 津波荷重の算出における高潮の考慮について」を新規作成し、追加
改7	H30.2.19	<ul style="list-style-type: none"> ・改6に、「5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について」を新規作成し、追加（「5.7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について」及び「5.19 津波荷重の算出における高潮の考慮について」は、変更なし）
改8	H30.2.19	<ul style="list-style-type: none"> ・「5.9 浸水防護施設の評価に係る地盤物性値及び地質構造について」及び「5.14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」を新規作成し、追加
改9	H30.2.22	<ul style="list-style-type: none"> ・改8の「5.9 浸水防護施設の評価に係る地盤物性値及び地質構造について」を改定（「5.14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」は、変更なし）
改10	H30.2.23	<ul style="list-style-type: none"> ・改2の「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を改定
改11	H30.2.27	<ul style="list-style-type: none"> ・「4.1 設計に用いる遡上波の流速について」及び「5.4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について」を新規作成し、追加
改12	H30.3.1	<ul style="list-style-type: none"> ・「1.2 遡上・浸水域の評価の考え方について」、「1.4 津波シミュレーションにおける解析モデルについて」、「4.2 漂流物による影響確認について」、「5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて」及び「5.6 浸水量評価について」を新規作成し、追加 ・改4の内、「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」を改定
改13	H30.3.6	<ul style="list-style-type: none"> ・改12の内、「1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討」を改定
改14	H30.3.6	<ul style="list-style-type: none"> ・改5の内、「5.11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5.11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」のうち、「5.11.5 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁」を新規作成） ・改9の内、「5.14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」を改定

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 15	H30. 3. 9	<ul style="list-style-type: none"> 資料番号を「補足-60」→「補足-60-1」に変更（改定番号は継続） 改 7 の内、「5. 7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について」を改定 改 10 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 16	H30. 3. 12	<ul style="list-style-type: none"> 改 14 の内、「5. 14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁止水シールについて」を改定
改 17	H30. 3. 22	<ul style="list-style-type: none"> 改 15 の内、「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 18	H30. 3. 30	<ul style="list-style-type: none"> 「1. 5 入力津波のパラメータスタディの考慮について」、「3. 1 砂移動による影響確認について」、「6. 5. 1 防潮扉の設計に関する補足説明」及び「放水路ゲートに関する補足説明」を新規作成し追加 改 17 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 19	H30. 4. 3	<ul style="list-style-type: none"> 改 18 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 20	H30. 4. 4	<ul style="list-style-type: none"> 改 11 の内「4. 1 設計に用いる遡上波の流速について」を改定 「5. 10 浸水防護施設の強度計算における津波荷重、余震荷重及び漂流物荷重の組合せについて」を新規作成し追加
改 21	H30. 4. 6	<ul style="list-style-type: none"> 改 11 の内「5. 4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について」を改定 改 16 の内「5. 14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁シール材について」を改定（「5. 14 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁シール材について」のうち「5. 14. 2 鋼製防護壁シール材について」を新規作成）
改 22	H30. 4. 6	<ul style="list-style-type: none"> 「6. 9. 2 逆止弁を構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」を新規作成し追加
改 23	H30. 4. 10	<ul style="list-style-type: none"> 改 18 の「6. 5. 1 防潮扉の設計に関する補足説明」及び「6. 6. 1 放水路ゲートに関する補足説明」を改訂 改 21 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 24	H30. 4. 11	<ul style="list-style-type: none"> 改 5 の内、「5. 11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5. 11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」のうち、「5. 11. 4 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）」を改定） 改 14 の内、「5. 11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5. 11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」のうち、「5. 11. 5 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁」を改定） 改 20 の内、「4. 1 設計に用いる遡上波の流速について」を改定 「5. 15 東海発電所の取放水路の埋戻の施工管理要領について」を新規作成し追加 「6. 2. 1 鉄筋コンクリート防潮壁の設計に関する補足説明」を新規作成し追加 「6. 3. 1 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の設計に関する補足説明」を新規作成し追加 「6. 4. 1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計に関する補足説明」を新規作成し追加 「6. 8. 1 貯留堰の設計に関する補足説明」を新規作成し追加
改 25	H30. 4. 12	<ul style="list-style-type: none"> 改 23 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 26	H30. 4. 13	<ul style="list-style-type: none"> 改 12 の内、「4. 2 漂流物による影響確認について」及び「5. 6 浸水量評価について」を改定
改 27	H30. 4. 18	<ul style="list-style-type: none"> 改 25 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 28	H30. 4. 19	<ul style="list-style-type: none"> ・改 5 の内, 「5. 11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定(「5. 11. 7 防潮扉」を改定) ・改 24 の内, 「4. 1 設計に用いる遡上波の流速について」を改定 ・改 21 の内, 「5. 4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について」 ・「5. 13 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について」を新規作成し, 追加 ・「5. 18 津波に対する止水性能を有する施設の評価について」を新規作成し, 追加 ・「6. 5. 1 防潮扉の設計に関する補足説明」(土木)を新規作成し, 追加 ・「6. 8. 2 貯留堰取付護岸に関する補足説明」を新規作成し, 追加
改 29	H30. 4. 19	<ul style="list-style-type: none"> ・改 18 の内, 「1. 5 入力津波のパラメータスタディの考慮について」を改定
改 30	H30. 4. 27	<ul style="list-style-type: none"> ・H30. 4. 23 時点での最新版一式として, 改 29 (H30. 4. 19) までの最新版をとりまとめ, 一式版を作成
改 31	H30. 4. 26	<ul style="list-style-type: none"> ・改 28 の内, 「4. 1 設計に用いる遡上波の流速について」を改定 ・改 28 の内, 「5. 4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について」 ・改 5 の内, 「5. 11 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定(「5. 11. 2 防潮堤(鋼製防護壁)」, 「5. 11. 3 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)」を改定) ・「6. 12 止水ジョイント部の相対変位量に関する補足説明」を新規作成し, 追加 ・「6. 13 止水ジョイント部の漂流物対策に関する補足説明」を新規作成し, 追加
改 32	H30. 5. 1	<ul style="list-style-type: none"> ・改 31 の内, 「4. 1 設計に用いる遡上波の流速について」を改定 ・「5. 9 浸水防護施設の評価に係る地盤物性値及び地質構造について」を削除し, 5. 9 以降の番号を繰り上げ ・改 5 の内, 「5. 10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定(「5. 10. 8 構内排水路逆流防止設備」を改定) ・改 21 の内, 「5. 13 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁シール材について」を改定(「5. 13. 2 鋼製防護壁シール材について」を改定) ・「6. 1. 1. 1 鋼製防護壁の耐震計算書に関する補足説明」を新規作成し, 追加 ・「6. 7. 1. 1 構内排水路逆流防止設備の耐震計算書に関する補足説明」を新規作成し, 追加
改 33	H30. 5. 7	<ul style="list-style-type: none"> ・改 5 の内, 「5. 16 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」を改定 ・「6. 2. 1. 2 鉄筋コンクリート防潮壁の強度計算書に関する補足説明資料」を新規作成し, 追加 ・「6. 3. 1. 2 鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア)の強度計算書に関する補足説明」を新規作成し, 追加 ・「6. 4. 1. 2 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の強度計算書に関する補足説明」を新規作成し, 追加 ・「6. 8. 1. 2 貯留堰の強度計算書に関する補足説明」を新規作成し, 追加

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 34	H30. 5. 7	<ul style="list-style-type: none"> ・改 27 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定 ・「6. 7. 1 構内排水路逆流防止設備の設計に関する補足説明」を新規作成し、追加
改 35	H30. 5. 14	<ul style="list-style-type: none"> ・改 34 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定 止水機構の実証試験の記載等について適正化
改 36	H30. 5. 17	<ul style="list-style-type: none"> ・「5. 19 許容応力度法における許容限界について」を新規追加 ・「6. 1. 1. 2 鋼製防護壁の強度計算書に関する補足説明」を新規作成し、追加 ・「6. 5. 1. 2 防潮扉の強度計算書に関する補足説明」を新規作成し、追加
改 37	H30. 5. 17	<ul style="list-style-type: none"> ・改 4 の内、「1. 1 潮位観測記録の考え方について」及び「1. 3 港湾内の局所的な海面の励起について」を改定 ・改 18 の内、「3. 1 砂移動による影響確認について」を改定 ・「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」に名称を変更
改 38	H30. 5. 18	<ul style="list-style-type: none"> ・改 24 の内、「5. 10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5. 10. 5 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）」を改定） ・改 31 の内、「5. 10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5. 10. 3 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）」を改定） ・改 31 の内、「6. 12 止水ジョイント部の相対変位量に関する補足説明」を改定
改 39	H30. 5. 22	<ul style="list-style-type: none"> ・改 35 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定 止水機構の解析結果及び実証試験結果について記載を追記。 ・改 34 「6. 7. 1 構内排水路逆流防止設備の設計に関する補足説明」を改訂
改 40	H30. 5. 25	<ul style="list-style-type: none"> ・「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を新規作成し、追加 ・改 22 の「6. 9. 2 逆止弁を構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について」を改定
改 41	H30. 5. 29	<ul style="list-style-type: none"> ・改 40 の「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定
改 42	H30. 5. 31	<ul style="list-style-type: none"> ・改 5 の内、「5. 10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5. 10. 6 貯留堰及び貯留堰取付護岸」を改定） ・改 24 の内、「6. 4. 1. 1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の耐震計算書に関する補足説明」を改定 ・改 24 の内、「6. 8. 1. 1 貯留堰の耐震計算書に関する補足説明」を改定 ・改 28 の内、「5. 12 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について」を改定
改 43	H30. 6. 1	<ul style="list-style-type: none"> ・改 41 の「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 44	H30.6.5	<ul style="list-style-type: none"> ・改 24 の「6.2.1.1 鉄筋コンクリート防潮壁の耐震計算書に関する補足説明資料」を改定 ・改 28 の「5.10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5.10.7 防潮扉」を改定） ・改 32 の「5.10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5.10.8 構内排水路逆流防止設備」を改定）
改 45	H30.6.5	<ul style="list-style-type: none"> ・改 43 の「6.9.1 浸水防止蓋，水密ハッチ，水密扉，逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定
改 46	H30.6.6	<ul style="list-style-type: none"> ・改 39 の「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を改定 審査会合時(H30.5.31)の記載に改訂及び実証試験後の評価方法を記載。
改 47	H30.6.8	<ul style="list-style-type: none"> ・改 24 の「5.14 東海発電所の取放水路の埋戻の施工管理要領について」を改定 ・改 32 の「5.13.2 鋼製防護壁シール材について」を改定 ・改 33 の「5.16 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」を改定
改 48	H30.6.11	<ul style="list-style-type: none"> ・「4.3 漂流物荷重について」を新規作成し，追加 ・改 36 の「5.19 許容応力度法における許容限界について」を改定
改 49	H30.6.12	<ul style="list-style-type: none"> ・改 45 の「6.9.1 浸水防止蓋，水密ハッチ，水密扉，逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定
改 50	H30.6.12	<ul style="list-style-type: none"> ・改 46 の「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を改定 ・改 18 の「6.5.1 防潮扉の設計に関する補足説明」及び「放水路ゲートに関する補足説明」を改定
改 51	H30.6.15	<ul style="list-style-type: none"> ・改 42 の「6.4.1.1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の耐震計算書に関する補足説明」を改定 ・改 48 の「5.19 許容応力度法における許容限界について」を改定
改 52	H30.6.19	<ul style="list-style-type: none"> ・改 49 の「6.9.1 浸水防止蓋，水密ハッチ，水密扉，逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定 ・「6.10.1 津波・構内監視カメラの設計に関する補足説明」に名称を変更 ・「6.10.1 津波・構内監視カメラの設計に関する補足説明」，「6.10.3 加振試験の条件について」及び「6.10.4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について」を新規作成し，追加
改 53	H30.6.19	<ul style="list-style-type: none"> ・改 50 の「6.1.3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 54	H30.6.20	<ul style="list-style-type: none"> ・「5.8 浸水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」を新規作成し，追加
改 55	H30.6.20	<ul style="list-style-type: none"> ・改 38 の「5.10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5.10.5 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）」を改定） ・改 44 の「5.10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について」を改定（「5.10.7 防潮扉」を改定） ・改 51 の「5.19 許容応力度法における許容限界について」を改定

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 56	H30. 6. 21	<ul style="list-style-type: none"> ・改 42 の「5. 12 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について」を改定 ・改 42 の「6. 8. 1. 1 貯留堰の耐震計算書に関する補足説明」を改定
改 57	H30. 6. 25	<ul style="list-style-type: none"> ・改 55 の「5. 19 許容応力度法における許容限界について」を改定 ・改 56 の「5. 12 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について」を改定 ・「6. 1. 2 鋼製防護壁アンカーに関する補足説明」を新規作成し、追加
改 58	H30. 6. 26	<ul style="list-style-type: none"> ・改 52 の「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」, 「6. 10. 3 加振試験の条件について」及び「6. 10. 4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について」を改定 ・「6. 10. 2 取水ピット水位計及び潮位計の設計に関する補足説明」を新規作成し、追加
改 59	H30. 6. 26	<ul style="list-style-type: none"> ・改 53 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定
改 60	H30. 6. 27	<ul style="list-style-type: none"> ・「5. 11 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」及び「5. 15 地殻変動後の基準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」を新規作成し、追加 ・改 58 の「6. 10. 4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について」を登載 (変更なし)
改 61	H30. 6. 28	<ul style="list-style-type: none"> ・改 57 の「6. 1. 2 鋼製防護壁アンカーに関する補足説明」を改定 ・「6. 11 耐震計算における材料物性値のばらつきの影響に関する補足説明」を新規作成し、追加 ・「6. 14 杭-地盤相互作用バネの設定について」を新規作成し、追加
改 62	H30. 6. 28	<ul style="list-style-type: none"> ・改 59 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定 (抜粋版)
改 63	H30. 6. 29	<ul style="list-style-type: none"> ・改 28 の「6. 8. 2 貯留堰取付護岸に関する補足説明」を改定 ・改 33 の「6. 4. 1. 2 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の強度計算書に関する補足説明」を改定 ・改 56 の「6. 8. 1. 1 貯留堰の耐震計算書に関する補足説明」を改定
改 64	H30. 6. 29	<ul style="list-style-type: none"> ・改 58 の「6. 10. 2 取水ピット水位計及び潮位計の設計に関する補足説明」を改定 ・「5. 15 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」に名称を変更
改 65	H30. 7. 3	<ul style="list-style-type: none"> ・改 58 の内, 「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定
改 66	H30. 7. 4	<ul style="list-style-type: none"> ・改 28 の内, 「6. 5. 1. 1 防潮扉の耐震計算書に関する補足説明」を改定
改 67	H30. 7. 4	<ul style="list-style-type: none"> ・「5. 5 津波防護施設のアンカーボルトの設計について」を新規作成し、追加 ・改 60 の「5. 11 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. 15 地殻変動後の基準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」及び「6. 10. 4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について」を改定

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 68	H30. 7. 5	・改 56 の「5. 12 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について」を改定
改 69	H30. 7. 6	<ul style="list-style-type: none"> ・改 24 の「6. 3. 1. 1 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の耐震計算書に関する補足説明」を改定 ・改 32 の「6. 7. 1. 1 構内排水路逆流防止設備の耐震計算書に関する補足説明」を改定 ・改 32 の「6. 1. 1. 1 鋼製防護壁の耐震計算書に関する補足説明」を改定 ・改 33 の「6. 8. 1. 2 貯留堰の強度計算書に関する補足説明」を改定 ・改 33 の「6. 3. 1. 2 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の強度計算書に関する補足説明」を改定 ・改 36 の「6. 5. 1. 2 防潮扉の強度計算書に関する補足説明」を改定 ・改 44 の「6. 2. 1. 1 鉄筋コンクリート防潮壁の耐震計算書に関する補足説明資料」を改定 ・「6. 7. 1. 2 構内排水路逆流防止設備の強度計算書に関する補足説明」を新規作成し、追加
改 70	H30. 7. 6	<ul style="list-style-type: none"> ・改 33 の「6. 2. 1. 2 鉄筋コンクリート防潮壁の強度計算書に関する補足説明資料」を改定 ・改 36 の「6. 1. 1. 2 鋼製防護壁の強度計算書に関する補足説明」を改定
改 71	H30. 7. 11	・改 62 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定（抜粋版）
改 72	H30. 7. 11	<ul style="list-style-type: none"> ・改 65 の「6. 9. 1 浸水防止蓋，水密ハッチ，水密扉，逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定 ・改 52 の「6. 10. 1 津波・構内監視カメラの設計に関する補足説明」を改定
改 73	H30. 7. 11	<ul style="list-style-type: none"> ・「3. 2 海水ポンプの波力に対する強度評価について」を新規作成し、追加 ・改 67 の内、「5. 15 地殻変動後の基準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」を改定
改 74	H30. 7. 12	・改 71 の「6. 1. 3 止水機構に関する補足説明」を改定（抜粋版）
改 75	H30. 7. 17	<ul style="list-style-type: none"> ・改 72 の「6. 9. 1 浸水防止蓋，水密ハッチ，水密扉，逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定 ・「5. 3 強度計算に用いた規格・基準について」及び「6. 9. 3 津波荷重（突き上げ）の強度評価における鉛直方向荷重の考え方について」を新規作成し、追加 ・改 64 の「6. 10. 2 取水ピット水位計及び潮位計の設計に関する補足説明」を改定 ・改 58 の「6. 10. 3 加振試験の条件について」を改定
改 76	H30. 7. 18	<ul style="list-style-type: none"> ・改 67 の「6. 10. 4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について」を改定 ・「2. 1 津波防護対象設備の選定及び配置について」を新規作成し、追加
改 77	H30. 7. 19	・改 61 の「6. 1. 2 鋼製防護壁アンカーに関する補足説明」を改定
改 78	H30. 7. 23	・改 77 の「6. 1. 2 鋼製防護壁アンカーに関する補足説明」を改定

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 79	H30. 7. 24	・改 75 の「5. 3 強度計算に用いた規格・基準について」, 「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」, 「6. 9. 3 津波荷重 (突き上げ) の強度評価における鉛直方向荷重の考え方について」及び「6. 10. 2 取水ピット水位計及び潮位計の設計に関する補足説明」を改定
改 80	H30. 7. 25	・「3. 3 除塵装置の取水性の影響について」及び「6. 2. 2 フラップゲートに関する補足説明」を新規作成し, 追加
改 81	H30. 7. 27	・改 48 のうち, 「4. 3 漂流物荷重について」を改定
改 82	H30. 7. 27	・改 44 のうち, 「5. 10. 8 構内排水路逆流防止設備」を改定
改 83	H30. 7. 31	・「7. 1 工事計画変更許可後の変更手続き」を新規作成し, 追加 ・改 50 のうち, 「放水路ゲートに関する補足説明」を改定
改 84	H30. 8. 1	・改 37 のうち, 「3. 1 砂移動による影響確認について」を改定
改 85	H30. 8. 1	・改 37 のうち, 「6. 9. 1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明」を改定

下線は、今回提出資料を示す。

目 次

[]内は、当該箇所を提出
(最新)したときの改訂を示
す。

1. 入力津波の評価
 - 1.1 潮位観測記録の考え方について[改 37 H30. 5. 17]
 - 1.2 遡上・浸水域の評価の考え方について[改 12 H30. 3. 1]
 - 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について[改 37 H30. 5. 17]
 - 1.4 津波シミュレーションにおける解析モデルについて[改 12 H30. 3. 1]
 - 1.5 入力津波のパラメータスタディの考慮について[改 29 H30. 4. 19]
 - 1.6 SA用海水ピットの構造を踏まえた影響の有無の検討[改 13 H30. 3. 6]
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[改 76 H30. 7. 18]
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[改 84 H30. 8. 1]
 - 3.2 海水ポンプの波力に対する強度評価について[改 73 H30. 7. 11]
 - 3.3 除塵装置の取水性の影響について[改 80 H30. 7. 25]
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[改 32 H30. 5. 1]
 - 4.2 漂流物による影響確認について[改 26 H30. 4. 13]
 - 4.3 漂流物荷重について[改 81 H30. 7. 27]
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[改 7 H30. 2. 19]
 - 5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて[改 12 H30. 3. 1]
 - 5.3 強度計算に用いた規格・基準について[改 79 H30. 7. 24]
 - 5.4 津波波力の選定に用いた規格・基準類の適用性について[改 31 H30. 4. 26]
 - 5.5 津波防護施設のアンカーボルトの設計について[改 67 H30. 7. 4]
 - 5.6 浸水量評価について[改 26 H30. 4. 13]
 - 5.7 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について[改 15 H30. 3. 9]
 - 5.8 浸水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[改 54 H30. 6. 20]
 - 5.9 浸水防護施設の強度計算における津波荷重、余震荷重及び漂流物荷重の組合せについて[改 20 H30. 4. 4]
 - 5.10 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定について
 - 5.10.1 概要[改 5 H30. 2. 13]
 - 5.10.2 防潮堤（鋼製防護壁）[改 31 H30. 4. 26]
 - 5.10.3 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）[改 38 H30. 5. 18]
 - 5.10.4 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））[改 24 H30. 4. 11]
 - 5.10.5 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）[改 55 H30. 6. 20]
 - 5.10.6 貯留堰及び貯留堰取付護岸[改 42 H30. 5. 31]
 - 5.10.7 防潮扉[改 55 H30. 6. 20]
 - 5.10.8 構内排水路逆流防止設備[改 82 H30. 7. 27]

- 5.11 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[改 67 H30.7.4]
 - 5.12 スロッシングによる貯留堰貯水量に対する影響評価について[改 68 H30.7.5]
 - 5.13 防潮堤止水ジョイント部材及び鋼製防護壁シール材について
 - 5.13.1 防潮堤止水ジョイント部材について[改 16 H30.3.19]
 - 5.13.2 鋼製防護壁シール材について[改 47 H30.6.8]
 - 5.14 東海発電所の取放水路の埋戻の施工管理要領について[改 47 H30.6.8]
 - 5.15 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[改 67 H30.7.4]
 - 5.16 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[改 47 H30.6.8]
 - 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[改 28 H30.4.19]
 - 5.18 津波荷重の算出における高潮の考慮について[改 7 H30.2.19]
 - 5.19 許容応力度法における許容限界について[改 55 H30.6.20]
6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.1 鋼製防護壁に関する補足説明
 - 6.1.1 鋼製防護壁の設計に関する補足説明
 - 6.1.1.1 鋼製防護壁の耐震計算書に関する補足説明[改 69 H30.7.6]
 - 6.1.1.2 鋼製防護壁の強度計算書に関する補足説明[改 69 H30.7.6]
 - 6.1.2 鋼製防護壁アンカーに関する補足説明[改 78 H30.7.23]
 - 6.1.3 止水機構に関する補足説明[改 74 H30.7.12]
 - 6.2 鉄筋コンクリート防潮壁に関する補足説明
 - 6.2.1 鉄筋コンクリート防潮壁の設計に関する補足説明
 - 6.2.1.1 鉄筋コンクリート防潮壁の耐震計算書に関する補足説明資料[改 69 H30.7.6]
 - 6.2.1.2 鉄筋コンクリート防潮壁の強度計算書に関する補足説明資料[改 69 H30.7.6]
 - 6.2.2 フラップゲートに関する補足説明[改 80 H30.7.25]
 - 6.3 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）に関する補足説明
 - 6.3.1 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の設計に関する補足説明
 - 6.3.1.1 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の耐震計算書に関する補足説明[改 69 H30.7.6]
 - 6.3.1.2 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の強度計算書に関する補足説明[改 69 H30.7.6]
 - 6.4 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に関する補足説明
 - 6.4.1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計に関する補足説明
 - 6.4.1.1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の耐震計算書に関する補足説明[改 51 H30.6.15]
 - 6.4.1.2 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の強度計算書に関する補足説明[改 63 H30.6.29]
 - 6.5 防潮扉に関する補足説明
 - 6.5.1 防潮扉の設計に関する補足説明[改 50 H30.6.12]
 - 6.5.1.1 防潮扉の耐震計算書に関する補足説明[改 66 H30.7.4]（土木）
 - 6.5.1.2 防潮扉の強度計算書に関する補足説明[改 69 H30.7.6]
 - 6.6 放水路ゲートに関する補足説明
 - 6.6.1 放水路ゲートの設計に関する補足説明[改 83 H30.7.31]

[]内は、当該箇所を提出
(最新)したときの改訂を示
す。

- 6.7 構内排水路逆流防止設備に関する補足説明
 - 6.7.1 構内排水路逆流防止設備の設計に関する補足説明[改 39 H30. 5. 22]
 - 6.7.1.1 構内排水路逆流防止設備の耐震計算書に関する補足説明[改 69 H30. 7. 6]
 - 6.7.1.2 構内排水路逆流防止設備の強度計算書に関する補足説明[改 69 H30. 7. 6]
 - 6.8 貯留堰に関する補足説明
 - 6.8.1 貯留堰の設計に関する補足説明
 - 6.8.1.1 貯留堰の耐震計算書に関する補足説明[改 63 H30. 6. 29]
 - 6.8.1.2 貯留堰の強度計算書に関する補足説明[改 69 H30. 7. 6]
 - 6.8.2 貯留堰取付護岸に関する補足説明[改 63 H30. 6. 29]
 - 6.9 浸水防護設備に関する補足説明
 - 6.9.1 浸水防止蓋, 水密ハッチ, 水密扉, 逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明[改 85 H30. 8. 1]
 - 6.9.2 逆止弁を構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について[改 40 H30. 5. 25]
 - 6.9.3 津波荷重(突き上げ)の強度評価における鉛直方向荷重の考え方について[改 79 H30. 7. 24]
 - 6.10 津波監視設備に関する補足説明
 - 6.10.1 津波・構内監視カメラの設計に関する補足説明[改 72 H30. 7. 11]
 - 6.10.2 取水ピット水位計及び潮位計の設計に関する補足説明[改 79 H30. 7. 24]
 - 6.10.3 加振試験の条件について[改 75 H30. 7. 17]
 - 6.10.4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について[改 76 H30. 7. 18]
 - 6.11 耐震計算における材料物性値のばらつきの影響に関する補足説明[改 61 H30. 6. 28]
 - 6.12 止水ジョイント部の相対変位量に関する補足説明[改 38 H30. 5. 18]
 - 6.13 止水ジョイント部の漂流物対策に関する補足説明[改 31 H30. 4. 26]
 - 6.14 杭-地盤相互作用バネの設定について[改 61 H30. 6. 28]
- 7. 工事計画変更許可後の変更手続き
 - 7.1 工事計画変更許可後の変更手続き[改 83 H30. 7. 31]

[]内は、当該箇所を提出
(最新)したときの改訂を示
す。

6.9 浸水防護設備に関する補足説明

下線は、今回提出資料を示す。

目 次

6.9.1 浸水防止蓋，水密ハッチ，水密扉，逆止弁及び貫通部止水処置の設計に関する補足説明

- (1) 概要
- (2) 浸水防止蓋及び水密ハッチの補足説明
 - a. 取水路点検用開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明
 - b. 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明
 - c. SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明
 - d. 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明
 - e. 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明
 - f. 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明
 - g. 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの設計に関する補足説明
 - h. 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの設計に関する補足説明
 - i. 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの設計に関する補足説明
 - j. 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の設計に関する補足説明
- (3) 逆止弁の補足説明
 - a. 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の設計に関する補足説明
 - b. 取水ピット空気抜き配管逆止弁の設計に関する補足説明
 - c. 緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の設計に関する補足説明
 - d. 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設計に関する補足説明
- (4) 貫通部浸水処置の補足説明
 - a. 貫通部止水処置の設計に関する補足説明
- (5) 水密扉の補足説明
 - a. 水密扉の設計に関する補足説明

c. S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋は、主桁を単純支持梁としてモデル化し、評価を行う。「構造力学公式集(1988年)、土木学会」より、両端支持梁の一次固有振動数は次のとおり与えられる。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

ここで、

f	: 一次固有振動数 (Hz)	
L	: 主桁の長さ (m)	= 1.32
E	: 縦弾性係数 (Pa)	= 2.06×10^{11}
I	: 断面二次モーメント (m ⁴)	= 9.57×10^{-5}
M	: 主桁の単位長さ当りの重量 (kg/m)	= 673

以上より、

$$f = \frac{\pi^2}{(2\pi \cdot 1.32^2)} \cdot \sqrt{(2.06 \times 10^{11} \times 9.57 \times 10^{-5} / 673)}$$
$$= 154 \text{ Hz}$$

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造図を図 6.9.1-1 に示す。

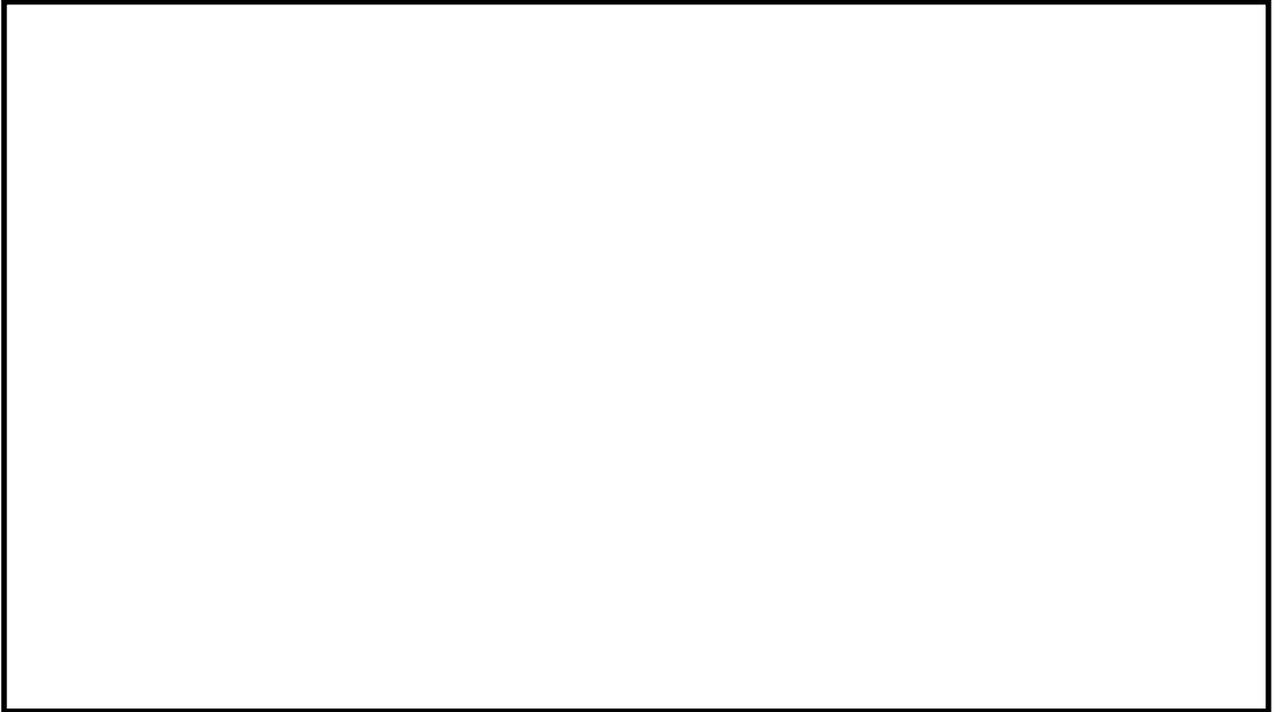


図 6.9.1-1 S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造図

ロ. 固有値解析結果

固有振動数は 154 Hz であり，20 Hz 以上であることから，剛構造である。

(b) 評価条件の整理

イ. 固定荷重

固定荷重は以下のとおりとする。

固定荷重 D

蓋 : 8 (kN)

蓋の幅 : 1.96

蓋の長さ : 1.32

蓋の面積 : 2.587 (m²)

よって、固定荷重 D は、3.093 kN/m² を考慮する。

ロ. 積雪荷重

積雪荷重は以下のとおりとする。

茨城県建築基準法等施行細則に定められた東海村（前号に掲げる区域以外の区域）の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。

また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1 cm ごとに 20 N/m² の積雪荷重が作用することを考慮し、積雪面積を乗じて積雪荷重を算定する。

$$\text{津波時} \quad P_S = 0.35 \times W_S \times d_S \times A_S$$

$$S_S \text{ 地震時, 津波+余震時} \quad P_S = W_S \times d_S \times A_S$$

ここで、

P_S : 積雪荷重 (N)

W_S : 1 cm 当たりの積雪荷重 (N/m²・cm)

d_S : 積雪高さ (cm) (30cm)

A_S : 積雪面積 (m²)

$$A_S = B \cdot L = 1.96 \cdot 1.32 = 2.587 \text{ m}^2$$

よって、積雪荷重 P_S は、津波時は 1552.2 N (600 N/m²)、 S_S 地震時及び津波+余震時には 543.27 N (210 N/m²) を考慮する。

(c) 応力計算

イ. S_s 地震時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) S_s 地震荷重

応力評価に用いる基準地震動 S_s による S_s 地震荷重の最大震度を表 6.9.1-1 に示す。

震度は水平方向及び鉛直方向の最大床応答加速度を採用する。

鉛直地震荷重は、固定荷重及び積雪荷重と同じ方向の鉛直下向きのみを考慮する。

水平地震荷重は、固定質量及び積雪質量による水平地震慣性力を考慮する。

表 6.9.1-1 応力評価に用いる基準地震動 S_s による S_s 地震荷重の最大震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (EL. m)	建屋 及び 高さ (EL. m)	地震による設計震度*	
			水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
基準地震動 S _s	S A用海水 ピット 8.0	S A用海水 ピット 8.0	水平方向 C _H	0.98
			鉛直方向 C _V	0.49

注記 * : 固有値解析結果により, S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため, 最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

地震荷重 S_s は, 以下のとおりとする。

なお, 鉛直震度は, 自重と同じ鉛直下向きに考慮する。

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A$$

ここで,

K_h : 設計水平震度 (G)

K_v : 設計鉛直震度 (G)

W_{hg} : 全体の水平地震荷重 (N)
 W_{vg} : 全体の鉛直地震荷重 (N)
 w_{vg} : 鉛直地震分布荷重 (N/m²)
D : 固定荷重による全体質量 (kg)
g : 重力加速度 (m/s²)
 P_s : 積雪荷重 (N)
A : 浸水防止蓋の投影面積 (m²)

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s) = 0.98 \cdot (8 \text{ kN} + 0.55 \text{ kN}) = 8.379 \text{ kN}$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s) = 0.49 \cdot (8 \text{ kN} + 0.55 \text{ kN}) = 4.190 \text{ kN}$$

$$A = B \cdot L = 1.96 \cdot 1.32 = 2.587 \text{ m}^2$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A = 4.190 / 2.587 = 1.620 \text{ kN/m}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する地震荷重（鉛直上向き）は、蓋を介して固定ボルトに伝達し、固定ボルトを介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋（スキンプレート）

(a-1-1-1) 発生荷重

地震時作用荷重	$q = D + P_s + w_{vg}$ $= 3.093 + 0.21 + 1.620$ $= 4.923 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 0.38 \text{ m}$ （主桁フランジ間）
負担荷重	$w = q \cdot b$ $= 4.923 \times 0.38$ $= 1.871 \text{ kN/m}$
支間	$L = 0.620 \text{ m}$ （補助桁間）
曲げモーメント	$M = w \cdot L^2 / 8$ $= 1.871 \times 0.620^2 / 8$ $= 0.090 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = w \cdot L / 2$ $= 1.871 \times 0.620 / 2$ $= 0.580 \text{ kN}$

(a-1-1-2) 断面性能

蓋の材質	SM490
蓋の断面二次モーメント	$I = 3.167 \text{ cm}^4$
蓋の断面係数	$Z = 4.88 \text{ cm}^3$
蓋の断面積	$A_s = 49.4 \text{ cm}^2$

(a-1-1-3) 発生応力

曲げモーメント	$M = 0.090 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = 0.580 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b = M / Z$ $= 0.090 \times 10^3 / 4.88$ $= 18.443 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau = S / A_s$ $= 0.580 \times 10 / 49.4$ $= 0.118 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(18.443^2 + 3 \cdot 0.118^2)} \\ &= 18.444 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重

地震時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= D + P_s + w_{vg} \\ &= 3.093 + 0.21 + 1.620 \\ &= 4.923 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.19 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 4.923 \times 0.19 \\ &= 0.936 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間

$$L = 1.24 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot L^2 / 8 \\ &= 0.936 \times 1.24^2 / 8 \\ &= 0.180 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot L / 2 \\ &= 0.936 \times 1.24 / 2 \\ &= 0.581 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

蓋の材質

SM400

蓋の断面二次モーメント

$I = 820 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数

$Z = 106 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積

$A_s = 6.86 \text{ cm}^2$

(a-2-1-3) 発生応力

曲げモーメント

$$M = 0.180 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 0.581 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 0.180 \times 10^3 / 106 \\ &= 1.699 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 0.581 \times 10 / 6.86 \\ &= 0.847 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(1.699^2 + 3 \cdot 0.847^2)} \\ &= 2.245 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋（中間桁）

(a-2-2-1) 発生荷重

地震時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= D + P_s + w_{vg} \\ &= 3.093 + 0.21 + 1.620 \\ &= 4.923 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.380 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 4.923 \times 0.380 \\ &= 1.871 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間

$$L = 1.24 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot L^2 / 8 \\ &= 1.871 \times 1.24^2 / 8 \\ &= 0.360 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot L / 2 \\ &= 1.871 \times 1.24 / 2 \\ &= 1.160 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-2-2) 断面性能

蓋の材質

SM400

蓋の断面二次モーメント

$I = 943 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数

$Z = 121 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積

$A_s = 6.58 \text{ cm}^2$

(a-2-2-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント

$$M = 0.360 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 1.160 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 0.360 \times 10^3 / 121 \\ &= 2.976 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 1.160 \times 10 / 6.58 \\ &= 1.763 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(2.976^2 + 3 \cdot 1.763^2)} \\ &= 4.264 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-3) 蓋（端桁）

(a-2-3-1) 発生荷重

地震時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= D + P_s + w_{vg} \\ &= 3.093 + 0.21 + 1.620 \\ &= 4.923 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.645 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 4.923 \times 0.645 \\ &= 3.176 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間

$$L = 1.933 \text{ m}$$

支間長

$$a_1 = 0.410 \text{ m}$$

$$a_2 = 1.140 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot (a_2^2 - 4a_1^2) / 8 \\ &= 3.176 \times (1.140^2 - 4 \times 0.410^2) / 8 \\ &= 0.249 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot L / 2 \\ &= 3.176 \times 1.933 / 2 \\ &= 3.070 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-3-2) 断面性能

蓋の材質

SM400

蓋の断面二次モーメント

$$I = 1466 \text{ cm}^4$$

蓋の断面係数

$$Z = 186 \text{ cm}^3$$

蓋の端部ウェブ断面積

$$A_s = 13.6 \text{ cm}^2$$

(a-2-3-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント

$$M = 0.249 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 3.070 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 0.249 \times 10^3 / 186 \\ &= 1.339 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 3.070 \times 10 / 13.6 \\ &= 2.258 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(1.339^2 + 3 \cdot 2.258^2)} \\ &= 4.134 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-4) 蓋（補助桁）

(a-2-4-1) 発生荷重

地震時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= D + P_s + w_{vg} \\ &= 3.093 + 0.21 + 1.620 \\ &= 4.923 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.645 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 4.923 \times 0.645 \\ &= 3.176 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間

$$L = 0.380 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot L^2 / 8 \\ &= 3.176 \times 0.380^2 / 8 \\ &= 0.058 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot L / 2 \\ &= 3.176 \times 0.380 / 2 \\ &= 0.604 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-4-2) 断面性能

蓋の材質

SM400

蓋の断面二次モーメント

$I = 99 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数

$Z = 28 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積

$A_s = 2.1 \text{ cm}^2$

(a-2-4-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント

$$M = 0.058 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 0.604 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 0.058 \times 10^3 / 28 \\ &= 2.072 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 0.604 \times 10 / 2.1 \\ &= 2.877 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(2.072^2 + 3 \cdot 2.877^2)} \\ &= 5.397 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-3) 固定ボルト

蓋に作用する地震荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-3-1) 蓋

(a-3-1-1) 発生荷重

せん断力

$$S = W_{hg} = 8.379 \text{ kN}$$

1本あたり

$$0.931 \text{ kN}$$

(a-3-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質

SUS316L

固定ボルトの呼び径

M36（谷径 $\phi = 33.402 \text{ mm}$ ）

固定ボルトの呼び径断面積

$$A_b = \pi/4 \cdot \phi^2$$

$$= 876 \text{ mm}^2$$

(a-3-1-3) 発生応力

固定ボルトのせん断応力

$$\tau = S/A_b$$

$$= 8.379 \times 10^3 / 876$$

$$= 9.565 \text{ N/mm}^2$$

(a-4) ブラケット

(a-4-1) 発生荷重

地震時作用荷重

$$q = D + P_s + w_{vg}$$

$$= 3.093 + 0.21 + 1.620$$

$$= 4.923 \text{ kN/m}^2$$

受圧幅

$$b = 0.645 \text{ m}$$

負担荷重

$$w = q \cdot b$$

$$= 4.923 \times 0.645$$

$$= 3.176 \text{ kN/m}$$

支間

$$L_1 = 1.933 \text{ m}$$

ブラケット長

$$L_2 = 0.210 \text{ m}$$

曲げモーメント	$M = w \cdot L_2$ $= 3.176 \times 1.933$ $= 6.140 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = w \cdot L_1/2$ $= 3.176 \times 1.933/2$ $= 3.070 \text{ kN}$

(a-4-2) 断面性能

ブラケットの材質	SM490
ブラケットの断面係数	$Z = 77 \text{ cm}^3$
ブラケットの断面積	$A_s = 13.2 \text{ cm}^2$

(a-4-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント	$M = 6.140 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = 3.070 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b = M/Z$ $= 6.140 \times 10^3 / 77$ $= 79.741 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau = S/A_s$ $= 3.070 \times 10 / 13.2$ $= 2.326 \text{ N/mm}^2$
組合せ応力 (垂直+せん断)	$\sigma = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)}$ $= \sqrt{(79.741^2 + 3 \cdot 2.326^2)}$ $= 79.843 \text{ N/mm}^2$

(a-5) ピン

(a-5-1) 発生荷重

地震時作用荷重	$q = D + P_s + w_{vg}$ $= 3.093 + 0.21 + 1.620$ $= 4.923 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 0.645 \text{ m}$
負担荷重	$w = q \cdot b$ $= 4.923 \times 0.645$ $= 3.176 \text{ kN/m}$
支間	$L = 1.933 \text{ m}$
支間長	$a_1 = 0.410 \text{ m}$ $a_2 = 1.140 \text{ m}$

せん断力	$S = w \cdot L / 2$
	$= 3.176 \times 1.933 / 2$
	$= 3.070 \text{ kN}$

(a-5-2) 断面性能

ピンの材質	SUS316L
ピンの断面係数	$Z = 22 \text{ cm}^3$
ピンの端部ウェブ断面積	$A_s = 28.3 \text{ cm}^2$

(a-5-3) 発生応力<地震時>

せん断力	$S = 3.070 \text{ kN}$
せん断応力	$\tau = S / A_s$
	$= 3.070 \times 10 / 28.3$
	$= 1.017 \text{ N/mm}^2$

ロ. 基準津波時

(イ) 荷重条件

(a-1) 基準津波荷重

基準津波荷重は以下のとおりとする。

$$P_t = h_1 \cdot W_0$$

ここで,

$$P_t : \text{突き上げ津波荷重 (kN/m}^2\text{)} \quad = 121.2$$

$$W_0 : \text{海水の単位体積重量 (kN/m}^3\text{)} \quad = 10.1$$

$$h_1 : \text{スキンプレート面作用水深 (m)} \quad = 12$$

以上より,

$$P_t = 12.0 \times 10.1 = 121.2 \text{ kN/m}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する津波荷重は、蓋を介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋 (スキンプレート)

(a-1-1-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重	$q = P_t$ $= 121.2 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 0.380 \text{ m}$ (主桁フランジ間)
負担荷重	$w = q \cdot b$ $= 121.2 \times 0.380$ $= 46.056 \text{ kN/m}$
支間	$L = 0.620 \text{ m}$ (補助桁間)
曲げモーメント	$M = w \cdot L^2 / 8$ $= 46.056 \times 0.620^2 / 8$ $= 2.213 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = w \cdot L / 2$ $= 46.056 \times 0.620 / 2$ $= 14.278 \text{ kN}$

(a-1-1-2) 断面性能

蓋の材質	SM490
蓋の断面二次モーメント	$I = 6.957 \text{ cm}^4$
蓋の断面係数	$Z = 10.71 \text{ cm}^3$
蓋の断面積	$A_s = 49.4 \text{ cm}^2$

(a-1-1-3) 発生応力

曲げモーメント	$M = 2.213 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = 14.278 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b = M / Z$ $= 2.213 \times 10^3 / 10.71$ $= 206.630 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau = S / A_s$ $= 14.278 \times 10 / 49.4$ $= 2.891 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(206.630^2 + 3 \cdot 2.891^2)} \\ &= 206.691 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= P_t \\ &= 121.2 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.190 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 121.2 \times 0.190 \\ &= 23.028 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

水密幅

$$B = 1.160 \text{ m}$$

支間

$$L = 1.240 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot B / 8 \cdot (2L - B) \\ &= 23.028 \times 1.160 / 8 \times (2 \times 1.240 - 1.160) \\ &= 4.408 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot B / 2 \\ &= 23.028 \times 1.160 / 2 \\ &= 13.357 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

蓋の材質

SM400

蓋の断面二次モーメント

$$I = 820 \text{ cm}^4$$

蓋の断面係数

$$Z = 106 \text{ cm}^3$$

蓋の端部ウェブ断面積

$$A_s = 6.86 \text{ cm}^2$$

(a-2-1-3) 発生応力

曲げモーメント

$$M = 4.408 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 13.357 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 4.408 \times 10^3 / 106 \\ &= 41.585 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 13.357 \times 10 / 6.86 \\ &= 19.471 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(41.585^2 + 3 \cdot 19.471^2)} \\ &= 53.542 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋（中間桁）

(a-2-2-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= P_t \\ &= 121.2 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.380 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 121.2 \times 0.380 \\ &= 46.056 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

水密幅

$$B = 1.160 \text{ m}$$

支間

$$L = 1.240 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot B / 8 \cdot (2L - B) \\ &= 46.056 \times 1.160 / 8 \times (2 \times 1.240 - 1.160) \\ &= 8.816 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot B / 2 \\ &= 46.056 \times 1.160 / 2 \\ &= 26.713 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-2-2) 断面性能

蓋の材質

SM400

蓋の断面二次モーメント

$$I = 943 \text{ cm}^4$$

蓋の断面係数

$$Z = 121 \text{ cm}^3$$

蓋の端部ウェブ断面積

$$A_s = 6.58 \text{ cm}^2$$

(a-2-2-3) 発生応力

曲げモーメント

$$M = 8.816 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 26.713 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 8.816 \times 10^3 / 121 \\ &= 72.860 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 26.713 \times 10 / 6.58 \\ &= 40.593 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(72.860^2 + 3 \cdot 40.593^2)} \\ &= 101.252 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-3) 蓋（端桁）

(a-2-3-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重 $q = P_t$

$$= 121.2 \text{ kN/m}^2$$

受圧幅 $b = 0.645 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$

$$= 121.2 \times 0.645$$

$$= 78.174 \text{ kN/m}$$

支間 $L = 1.933 \text{ m}$

支間長 $a_1 = 0.410 \text{ m}$

$$a_2 = 1.140 \text{ m}$$

曲げモーメント $M = w \cdot (a_2^2 - 4a_1^2) / 8$

$$= 78.174 \times (1.140^2 - 4 \times 0.410^2) / 8$$

$$= 6.129 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力 $S = w \cdot L / 2$

$$= 78.174 \times 1.933 / 2$$

$$= 75.556 \text{ kN}$$

(a-2-3-2) 断面性能

蓋の材質 SM400

蓋の断面二次モーメント $I = 1466 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 186 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 13.6 \text{ cm}^2$

(a-2-3-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント $M = 6.129 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 75.556 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b = M / Z$

$$= 6.129 \times 10^3 / 186$$

$$= 32.952 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力 $\tau = S / A_s$

$$= 75.556 \times 10 / 13.6$$

$$= 55.556 \text{ N/mm}^2$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(32.952^2 + 3 \cdot 55.556^2)} \\ &= 101.712 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-4) 蓋（補助桁）

(a-2-4-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重	$q = P_t$
	$= 121.2 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 0.645 \text{ m}$
負担荷重	$w = q \cdot b$
	$= 121.2 \times 0.645$
	$= 78.174 \text{ kN/m}$
支間	$L = 0.380 \text{ m}$
曲げモーメント	$M = w \cdot L^2 / 8$
	$= 78.174 \times 0.380^2 / 8$
	$= 1.411 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = w \cdot L / 2$
	$= 78.174 \times 0.380 / 2$
	$= 14.853 \text{ kN}$

(a-2-4-2) 断面性能

蓋の材質	SM400
蓋の断面二次モーメント	$I = 99 \text{ cm}^4$
蓋の断面係数	$Z = 28 \text{ cm}^3$
蓋の端部ウェブ断面積	$A_s = 2.1 \text{ cm}^2$

(a-2-4-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント	$M = 1.411 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = 14.853 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b = M / Z$
	$= 1.411 \times 10^3 / 28$
	$= 50.393 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau = S / A_s$
	$= 14.853 \times 10 / 2.1$
	$= 70.729 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(50.393^2 + 3 \cdot 70.739^2)} \\ &= 132.482 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-3) 固定ボルト

蓋に作用する基準津波荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-3-1) 固定ボルト

(a-3-1-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重	$q = P_t$
	$= 121.2 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 1.960 \text{ m}$
支間長	$L = 1.320 \text{ m}$
ボルト本数	$n = 9 \text{ 本}$
引張力	$T_1 = q \times b \times L / n$
	$= 121.2 \times 1.960 \times 1.320 / 9$
	$= 34.841 \text{ kN}$

(a-3-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質	SUS316L
固定ボルトの呼び径	M36
固定ボルトの谷径断面積	$A_{b1} = \pi / 4 \cdot \phi^2$
	$= \pi / 4 \times 24^2$
	$= 452.389 \text{ mm}^2$

(a-3-1-3) 発生応力

固定ボルトの引張応力	$\sigma_{t1} = T_1 / A_b$
	$= 34.841 \times 10^3 / 452.389$
	$= 77.016 \text{ N/mm}^2$

(a-4) ブラケット

(a-4-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重	$q = P_t$ $= 121.2 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 0.645 \text{ m}$
負担荷重	$w = q \cdot b$ $= 121.2 \times 0.645$ $= 78.174 \text{ kN/m}$
支間	$L_1 = 1.933 \text{ m}$
ブラケット長	$L_2 = 0.210 \text{ m}$
曲げモーメント	$M = w \cdot L_2$ $= 78.174 \times 0.210$ $= 16.417 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = w \cdot L_1/2$ $= 78.174 \times 1.933/2$ $= 75.556 \text{ kN}$

(a-4-2) 断面性能

ブラケットの材質	SM490
ブラケットの断面係数	$Z = 77 \text{ cm}^3$
ブラケットの断面積	$A_s = 13.2 \text{ cm}^2$

(a-4-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント	$M = 16.417 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = 75.556 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b = M/Z$ $= 16.417 \times 10^3 / 77$ $= 213.208 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau = S/A_s$ $= 75.556 \times 10 / 13.2$ $= 57.239 \text{ N/mm}^2$
組合せ応力 (垂直+せん断)	$\sigma = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)}$ $= \sqrt{(213.208^2 + 3 \cdot 57.239^2)}$ $= 235.131 \text{ N/mm}^2$

(a-5) ピン

(a-5-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重 $q = P_t$
 $= 121.2 \text{ kN/m}^2$

受圧幅 $b = 0.645 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$
 $= 121.2 \times 0.645$
 $= 78.174 \text{ kN/m}$

支間 $L = 1.933 \text{ m}$

支間長 $a_1 = 0.410 \text{ m}$

$a_2 = 1.140 \text{ m}$

せん断力 $S = w \cdot L/2$
 $= 78.174 \times 1.933/2$
 $= 75.556 \text{ kN}$

(a-5-2) 断面性能

ピンの材質 SUS316L

ピンの断面係数 $Z = 22 \text{ cm}^3$

ピンの端部ウェブ断面積 $A_s = 28.3 \text{ cm}^2$

(a-5-3) 発生応力<地震時>

せん断力 $S = 75.556 \text{ kN}$

せん断応力 $\tau = S/A_s$
 $= 75.556 \times 10/28.3$
 $= 26.699 \text{ N/mm}^2$

ハ. 基準津波+余震時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) 基準津波荷重

基準津波荷重は「基準津波時」と同じ値とする。

(a-4) S_d 地震荷重

応力評価に用いる弾性設計用地震動 S_d による S_d 地震荷重の最大震度を表 6.9.1-2 に示す。震度は水平方向及び鉛直方向の最大床応答加速度を採用する。

鉛直震度が 1G を超えないため、鉛直上向きの地震力は考慮しない。また、鉛直下向きに固定荷重が作用するが、基準津波荷重を緩和する方向に作用することから、考慮しない。

水平地震荷重は、固定質量及び積雪質量による水平地震慣性力を考慮する。

表 6.9.1-2 応力評価に用いる弾性設計用地震動 S_d による S_d 地震荷重の最大震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (EL. m)	建屋 及び 高さ (EL. m)	地震による設計震度*	
			水平方向 C_H	
弾性設計用 地震動 S_d-D1	SA用海水 ピット 8.0	SA用海水 ピット 8.0	水平方向 C_H	0.40
			鉛直方向 C_V	0.38

注記 * : 固有値解析結果により、SA用海水ピット開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

余震荷重 S_d は、以下のとおりとする。

なお、鉛直震度は、自重と同じ鉛直下向きに考慮する。

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s + P_h)$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A$$

ここで、

K_h : 余震時水平震度 (G)
 K_v : 余震時鉛直震度 (G)
 W_{hg} : 全体の水平地震荷重 (N)
 W_{vg} : 全体の鉛直地震荷重 (N)
 w_{vg} : 鉛直地震分布荷重 (N/m²)
D : 固定荷重による全体質量 (kg)
g : 重力加速度 (m/s²)
 P_s : 積雪荷重 (N)
 P_h : 基準津波荷重 (N)
A : 浸水防止蓋の投影面積 (m²)

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s) = 0.40 \cdot (8 \text{ kN} + 0.55 \text{ kN}) = 3.420 \text{ kN}$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s + P_h) = 0.38 \cdot (8 \text{ kN} + 0.55 \text{ kN} + 37.20 \text{ kN}) = 49.593 \text{ kN}$$

$$A = B \cdot L = 1.96 \cdot 1.32 = 2.587 \text{ m}^2$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A = 49.593 / 2.587 = 2.694 \text{ kN/m}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する津波+余震荷重は、蓋を介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋 (スキンプレート)

(a-1-1-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重	$q=P_t$
	$=121.2 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b=0.38 \text{ m}$ (主桁フランジ間)
負担荷重	$w=q \cdot b$
	$=121.2 \times 0.38$
	$=46.056 \text{ kN/m}$
支間	$L=0.620 \text{ m}$ (補助桁間)
曲げモーメント	$M=w \cdot L^2/8$
	$=46.056 \times 0.620^2/8$
	$=2.213 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S=w \cdot L/2$
	$=46.056 \times 0.620/2$
	$=14.278 \text{ kN}$

(a-1-1-2) 断面性能

蓋の材質	SM490
蓋の断面二次モーメント	$I=6.957 \text{ cm}^4$
蓋の断面係数	$Z=10.71 \text{ cm}^3$
蓋の断面積	$A_s=49.4 \text{ cm}^2$

(a-1-1-3) 発生応力

曲げモーメント	$M=2.213 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S=14.278 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b=M/Z$
	$=2.213 \times 10^3/10.71$
	$=206.630 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau=S/A_s$
	$=14.278 \times 10/49.4$
	$=2.891 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(206.630^2 + 3 \cdot 2.891^2)} \\ &= 206.691 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重 $q = P_t$

$$= 121.2 \text{ kN/m}^2$$

受圧幅

$$b = 0.190 \text{ m}$$

負担荷重

$$w = q \cdot b$$

$$= 121.2 \times 0.190$$

$$= 23.028 \text{ kN/m}$$

水密幅

$$B = 1.160 \text{ m}$$

支間

$$L = 1.240 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$M = w \cdot B / 8 \cdot (2L - B)$$

$$= 23.028 \times 1.160 / 8 \times (2 \times 1.240 - 1.160)$$

$$= 4.408 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = w \cdot B / 2$$

$$= 23.028 \times 1.160 / 2$$

$$= 13.357 \text{ kN}$$

(a-2-1-2) 断面性能

蓋の材質

SM400

蓋の断面二次モーメント

$$I = 820 \text{ cm}^4$$

蓋の断面係数

$$Z = 106 \text{ cm}^3$$

蓋の端部ウェブ断面積

$$A_s = 6.86 \text{ cm}^2$$

(a-2-1-3) 発生応力

曲げモーメント

$$M = 4.408 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 13.357 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = M / Z$$

$$= 4.408 \times 10^3 / 106$$

$$= 41.585 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力

$$\tau = S / A_s$$

$$= 13.357 \times 10 / 6.86$$

$$= 19.471 \text{ N/mm}^2$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(41.585^2 + 3 \cdot 19.471^2)} \\ &= 53.542 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋（中間桁）

(a-2-2-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重 $q = P_t$

$$= 121.2 \text{ kN/m}^2$$

受圧幅 $b = 0.380 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$

$$= 121.2 \times 0.380$$

$$= 46.056 \text{ kN/m}$$

水密幅 $B = 1.160 \text{ m}$

支間 $L = 1.240 \text{ m}$

曲げモーメント $M = w \cdot B / 8 \cdot (2L - B)$

$$= 46.056 \times 1.160 / 8 \times (2 \times 1.240 - 1.160)$$

$$= 8.816 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力 $S = w \cdot B / 2$

$$= 46.056 \times 1.160 / 2$$

$$= 26.713 \text{ kN}$$

(a-2-2-2) 断面性能

蓋の材質 SM400

蓋の断面二次モーメント $I = 943 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 121 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 6.58 \text{ cm}^2$

(a-2-2-3) 発生応力

曲げモーメント $M = 8.816 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 26.713 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b = M / Z$

$$= 8.816 \times 10^3 / 121$$

$$= 72.860 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力 $\tau = S / A_s$

$$= 26.713 \times 10 / 6.58$$

$$= 40.593 \text{ N/mm}^2$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(72.860^2 + 3 \cdot 40.593^2)} \\ &= 101.252 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-3) 蓋（端桁）

(a-2-3-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重 $q = P_t$

$$= 121.2 \text{ kN/m}^2$$

受圧幅 $b = 0.645 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$

$$= 121.2 \times 0.645$$

$$= 78.174 \text{ kN/m}$$

支間 $L = 1.933 \text{ m}$

支間長 $a_1 = 0.410 \text{ m}$

$$a_2 = 1.140 \text{ m}$$

曲げモーメント $M = w \cdot (a_2^2 - 4a_1^2) / 8$

$$= 78.174 \times (1.140^2 - 4 \times 0.410^2) / 8$$

$$= 6.129 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力 $S = w \cdot L / 2$

$$= 78.174 \times 1.933 / 2$$

$$= 75.556 \text{ kN}$$

(a-2-3-2) 断面性能

蓋の材質 SM400

蓋の断面二次モーメント $I = 1466 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 186 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 13.6 \text{ cm}^2$

(a-2-3-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント $M = 6.129 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 75.556 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b = M / Z$

$$= 6.129 \times 10^3 / 186$$

$$= 32.952 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力 $\tau = S / A_s$

$$= 75.556 \times 10 / 13.6$$

$$= 55.556 \text{ N/mm}^2$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(32.952^2 + 3 \cdot 55.556^2)} \\ &= 101.712 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-4) 蓋（補助桁）

(a-2-4-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重 $q = P_t$

$$= 121.2 \text{ kN/m}^2$$

受圧幅 $b = 0.645 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$

$$= 121.2 \times 0.645$$

$$= 78.174 \text{ kN/m}$$

支間 $L = 0.380 \text{ m}$

曲げモーメント $M = w \cdot L^2 / 8$

$$= 78.174 \times 0.380^2 / 8$$

$$= 1.411 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力 $S = w \cdot L / 2$

$$= 78.174 \times 0.380 / 2$$

$$= 14.853 \text{ kN}$$

(a-2-4-2) 断面性能

蓋の材質 SM400

蓋の断面二次モーメント $I = 99 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 28 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 2.1 \text{ cm}^2$

(a-2-4-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント $M = 1.411 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 14.853 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b = M / Z$

$$= 1.411 \times 10^3 / 28$$

$$= 50.393 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力 $\tau = S / A_s$

$$= 14.853 \times 10 / 2.1$$

$$= 70.729 \text{ N/mm}^2$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(50.393^2 + 3 \cdot 70.739^2)} \\ &= 132.482 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-3) 固定ボルト

蓋に作用する基準津波荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-3-1) 固定ボルト

(a-3-1-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重 $q = P_t$

$$= 121.2 \text{ kN/m}^2$$

受圧幅 $b = 1.960 \text{ m}$

支間長 $L = 1.320 \text{ m}$

ボルト本数 $n = 9 \text{ 本}$

引張力 $T_1 = q \times b \times L / n$

$$= 121.2 \times 1.960 \times 1.320 / 9$$

$$= 34.841 \text{ kN}$$

(a-3-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質 SUS316L

固定ボルトの呼び径 M36

固定ボルトの谷径断面積 $A_{b1} = \pi / 4 \cdot \phi^2$

$$= \pi / 4 \times 24^2$$

$$= 452.389 \text{ mm}^2$$

(a-3-1-3) 発生応力

固定ボルトの引張応力

$$\sigma_{t1} = T_1 / A_b$$

$$= 34.841 \times 10^3 / 452.389$$

$$= 77.016 \text{ N/mm}^2$$

(a-4) ブラケット

(a-4-1) 発生荷重

基準津波+余震時作用荷重 $q=P_t$
 $=121.2 \text{ kN/m}^2$

受圧幅 $b=0.645 \text{ m}$

負担荷重 $w=q \cdot b$
 $=121.2 \times 0.645$
 $=78.174 \text{ kN/m}$

支間 $L_1=1.933 \text{ m}$

ブラケット長 $L_2=0.210 \text{ m}$

曲げモーメント $M=w \cdot L_2$
 $=78.174 \times 0.210$
 $=16.417 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S=w \cdot L_1/2$
 $=78.174 \times 1.933/2$
 $=75.556 \text{ kN}$

(a-4-2) 断面性能

ブラケットの材質 SM490

ブラケットの断面係数 $Z=77 \text{ cm}^3$

ブラケットの断面積 $A_s=13.2 \text{ cm}^2$

(a-4-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント $M=16.417 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S=75.556 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b=M/Z$
 $=16.417 \times 10^3/77$
 $=213.208 \text{ N/mm}^2$

せん断応力 $\tau=S/A_s$
 $=75.556 \times 10/13.2$
 $=57.239 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力 (垂直+せん断)
 $\sigma=\sqrt{(\sigma_b^2+3 \cdot \tau^2)}$
 $=\sqrt{(213.208^2+3 \cdot 57.239^2)}$
 $=235.131 \text{ N/mm}^2$

(a-5) ピン

(a-5-1) 発生荷重

$$\begin{aligned} \text{基準津波+余震時作用荷重 } q &= P_t \\ &= 121.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{受圧幅 } b = 0.645 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{負担荷重 } w &= q \cdot b \\ &= 121.2 \times 0.645 \\ &= 78.174 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{支間 } L = 1.933 \text{ m}$$

$$\text{支間長 } a_1 = 0.410 \text{ m}$$

$$a_2 = 1.140 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断力 } S &= w \cdot L/2 \\ &= 78.174 \times 1.933/2 \\ &= 75.556 \text{ kN} \end{aligned}$$

(a-5-2) 断面性能

$$\text{ピンの材質 } \text{SUS316L}$$

$$\text{ピンの断面係数 } Z = 22 \text{ cm}^3$$

$$\text{ピンの端部ウェブ断面積 } A_s = 28.3 \text{ cm}^2$$

(a-5-3) 発生応力<地震時>

$$\text{せん断力 } S = 75.556 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力 } \tau &= S/A_s \\ &= 75.556 \times 10/28.3 \\ &= 26.699 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

二. T. P. +24m 津波時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) T. P. +24m 津波荷重

T. P. +24m 津波荷重は以下のとおりとする。

$$P_h = h \cdot W_0$$

ここで、

P_h : T. P. +24m 津波荷重 (kN/m²)

h : スキンプレート面作用水深 (m) = 追而

W_0 : 海水の密度 (kN/m³) = 10.100

以上より、

$$P_h = \text{追而} \times 10.100 = \text{追而} \text{ kN/m}^2$$

(a-4) S_d 地震荷重

S_d 地震荷重は「基準津波+余震時」と同じ値とする。

ホ. T. P. +24m 津波+余震時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) T. P. +24m 津波荷重

T. P. +24m 津波荷重は「T. P. +24m 津波時」と同じ値とする。

(a-4) S_d 地震荷重

S_d 地震荷重は「基準津波+余震時」と同じ値とする。

(d)許容応力

許容応力は、ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（（社）ダム・施設技術協会，平成 25 年 6 月）に基づき設定する。

イ. Ss 地震時，基準津波時，基準津波＋余震時

(イ) 蓋

蓋（スキンプレート）の材質 SM490

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 160 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 240 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 135 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 264 \text{ N/mm}^2$

蓋（端部桁）の材質 SM400

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 70 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 180 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 105 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 198 \text{ N/mm}^2$

蓋（中間桁）の材質 SM400

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 70 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 180 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 105 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 198 \text{ N/mm}^2$

蓋（端桁）の材質 SM400

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 70 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 180 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 105 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 198 \text{ N/mm}^2$

蓋（補助桁）の材質 SM400

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 120 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 70 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 180 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 105 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 198 \text{ N/mm}^2$

(ロ) 固定ボルト

固定ボルト（蓋）の材質 SUS316L

許容引張応力度 $\sigma_a = 60 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 50 \text{ N/mm}^2$

許容限界（引張） $1.5 \sigma_a = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 75 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 99 \text{ N/mm}^2$

(ハ) ヒンジ

ブラケットの材質 SM490

許容引張応力度 $\sigma_a = 160 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（引張） $1.5 \sigma_a = 240 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 135 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 264 \text{ N/mm}^2$

ピンの材質 SUS316L

許容せん断応力度 $\tau_a = 50 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 75 \text{ N/mm}^2$

□. T.P. +24m 津波時, T.P. +24m 津波 + 余震時
追而

(e) 応力評価結果

イ. Ss 地震時

Ss 地震時の評価結果を表 6.9.1-5 に示す。

表 6.9.1-5 Ss 地震時の応力評価結果（蓋，固定ボルト）

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ	19	240	
		せん断	1	135	
		組合せ	19	264	
	主桁	端部桁	曲げ	2	180
			せん断	1	105
			組合せ	3	198
		中間桁	曲げ	3	180
			せん断	2	105
			組合せ	5	198
		端桁	曲げ	2	180
			せん断	3	105
			組合せ	5	198
	補助桁	曲げ	3	180	
		せん断	3	105	
		組合せ	6	198	
固定ボルト		せん断	10	75	
ヒンジ	ブラケット	曲げ	80	240	
		せん断	3	135	
		組合せ	80	264	
	ピン	せん断	2	75	

ロ. 基準津波時

基準津波時の評価結果を表 6.9.1-6 に示す。

表 6.9.1-6 基準津波時の応力評価結果 (蓋)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ	207	240	
		せん断	3	135	
		組合せ	207	264	
	主桁	端部桁	曲げ	42	180
			せん断	20	105
			組合せ	54	198
		中間桁	曲げ	73	180
			せん断	41	105
			組合せ	102	198
		端部桁	曲げ	33	180
			せん断	56	105
			組合せ	102	198
	補助桁	曲げ	51	180	
		せん断	71	105	
		組合せ	133	198	
固定ボルト		引張	78	90	
ヒンジ	ブラケット	曲げ	214	240	
		せん断	58	135	
		組合せ	236	264	
	ピン	せん断	27	75	

ハ. 基準津波＋余震時

基準津波＋余震時の評価結果を表 6.9.1-7 に示す。

表 6.9.1-7 基準津波＋余震時の応力評価結果（蓋）

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ	207	240	
		せん断	3	135	
		組合せ	207	264	
	主桁	端部桁	曲げ	42	180
			せん断	20	105
			組合せ	54	198
		中間桁	曲げ	73	180
			せん断	41	105
			組合せ	102	198
		端桁	曲げ	33	180
			せん断	56	105
			組合せ	102	198
	補助桁	曲げ	51	180	
		せん断	71	105	
		組合せ	133	198	
固定ボルト		引張	78	90	
ヒンジ	ブラケット	曲げ	214	240	
		せん断	58	135	
		組合せ	236	264	
	ピン	せん断	27	75	

ニ. T.P. +24m 津波時

T.P. +24m 津波時の評価結果を表 6.9.1-8 に示す。

表 6.9.1-8 T.P. +24m 津波時の応力評価結果 (蓋)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
	主桁	端部桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
		中間桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
		端部桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
	補助桁	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
ヒンジ	ブラケット	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
	ピン	曲げ			
		せん断			
		組合せ			

ホ. T.P. +24m 津波+余震時

T.P. +24m 津波+余震時の評価結果を表 6.9.1-9 に示す。

表 6.9.1-9 T.P. +24m 津波+余震時の応力評価結果 (蓋)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
	主桁	端部桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
		中間桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
		端桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
	補助桁	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
固定ボルト		せん断			
ヒンジ	ブラケット	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
	ピン	曲げ			
		せん断			
		組合せ			

d. 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

固有値解析に用いる記号については、添付書類V-2-10-2-5-4「緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は、主桁を単純支持梁としてモデル化し、評価を行う。「構造力学公式集(1988年), 土木学会」より、両端支持梁の一次固有振動数は次のとおり与えられる。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

ここで、

f	: 一次固有振動数 (Hz)	
L	: 主桁の長さ (mm)	= 1060
E	: 縦弾性係数 (MPa)	= 2.06×10^5
I	: 断面二次モーメント (mm ⁴)	= 6.80×10^6

主桁の断面における寸法は図 6.9.1-(2)-d-1 に示すとおりである。

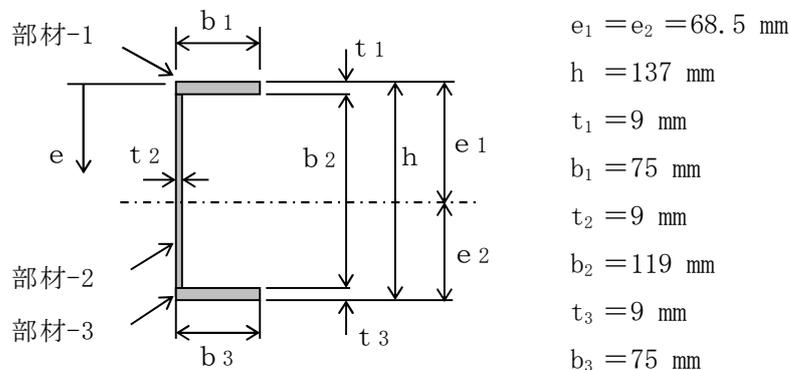


図 6.9.1-(2)-d-1 主桁の断面寸法図

断面二次モーメント I は以下の式により算出する。

$$I = \frac{b_3 h^3 - b_2^3 (b_3 - t_2)}{12}$$

$$I = (75 \times 137^3 - 119^3 \times (75 - 9)) / 12$$

$$= 6802500 \text{ mm}^4 = 6.80 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$m: \text{主桁の単位長さ当りの重量 (kg/mm)} = 191.9 \times 10^{-3}$$

以上より、

$$f = \pi^2 / (2\pi \cdot 1060^2) \cdot \sqrt{(2.06 \times 10^5 \times 6.80 \times 10^6 \times 10^3 / 191.9 \times 10^{-3})}$$

$$=119.442=119 \text{ Hz}$$

ロ. 固有値解析結果

固有振動数は 119 Hz であり，20 Hz 以上であることから，剛構造である。

(b) 評価条件の整理

イ. 固定荷重及び積雪荷重

固定荷重の算出に用いる記号については，添付書類 V-2-10-2-5-4「緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

固定荷重は以下のとおりとする。

$$W=m_D \cdot g$$

ここで，

$$m_D : \text{蓋の質量 (kg)} = 400$$

ロ. 風荷重

添付書類 V-2-1-9「機能維持の基本方針」及び添付書類 V-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定した荷重の組合せに基づき，考慮しない。

(c) 応力計算

イ. 基準津波時

基準津波時荷重の算出に用いる記号については、添付書類V-3-別添3-2-4-4「緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 基準津波荷重

基準津波荷重は以下のとおりとする。

$$P_t = h_1 \cdot W_0$$

ここで、

$$P_t : \text{突き上げ津波荷重 (N/mm}^2\text{)} = 0.1212$$

$$W_0 : \text{海水の単位体積重量 (kN/m}^3\text{)} = 10.1$$

$$h_1 : \text{スキンプレート面作用水深 (m)} = 12.0$$

以上より、

$$P_t = 12.0 \times 10.1 = 121.2 \text{ kN/m}^2 = 0.1212 \text{ N/mm}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する津波荷重（鉛直上向き）は、蓋を介して固定ボルトに伝達し、固定ボルトを介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋（端部桁）

(a-1-1-1) 発生荷重

$$\begin{aligned} \text{作用水圧} & q_1 = P_t \\ & = 0.1212 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

受圧幅 b_1 、荷重の作用幅 B 及び支間 L は図 6.9.1-(2)-d-2 に示す寸法であり、それぞれ以下のとおりである。

$$\text{受圧幅} \quad b_1 = 193.5 \text{ mm}$$

$$\text{荷重の作用幅} \quad B = 850 \text{ mm}$$

$$\text{支間} \quad L = 1060 \text{ mm}$$

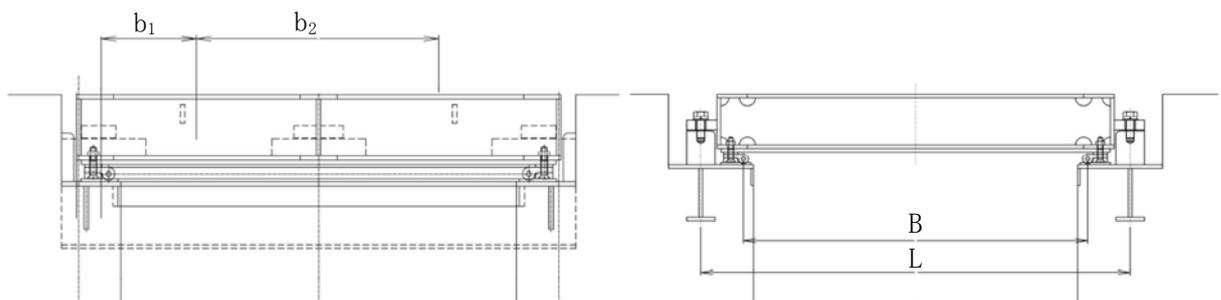


図 6.9.1-(2)-d-2 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の構造図

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の応力評価に当たっては、図 6.9.1-(2)-d-3 に示す単純支持梁として評価する。

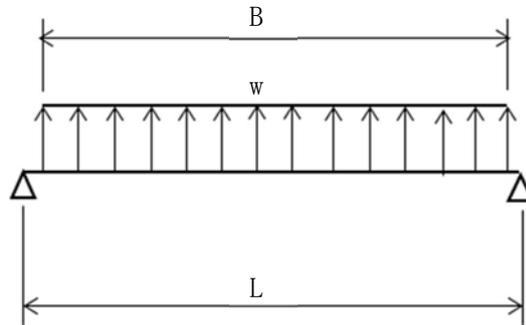


図 6.9.1-(2)-d-3 応力評価に用いるモデル図

端部桁負担荷重 $w_1 = q_1 \cdot b_1$
 $= 0.1212 \times 193.5$
 $= 23.4522 \text{ N/mm}$

曲げモーメント $M_1 = w_1 \cdot B/8 \cdot (2L-B)$
 $= 23.4522 \times 850/8 \times (2 \times 1060 - 850)$
 $= 3.164500 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$

せん断力 $S_1 = w \cdot B/2$
 $= 23.4522 \times 850/2$
 $= 9.9671 \times 10^3 \text{ N}$

(a-1-1-2) 断面性能

端部桁の材質 SUS304
 I_1 : 端部桁の断面二次モーメント (mm^4) $= 6.802500 \times 10^6$

端部桁の断面における寸法は図 6.9.1-(2)-d-4 に示すとおりである。

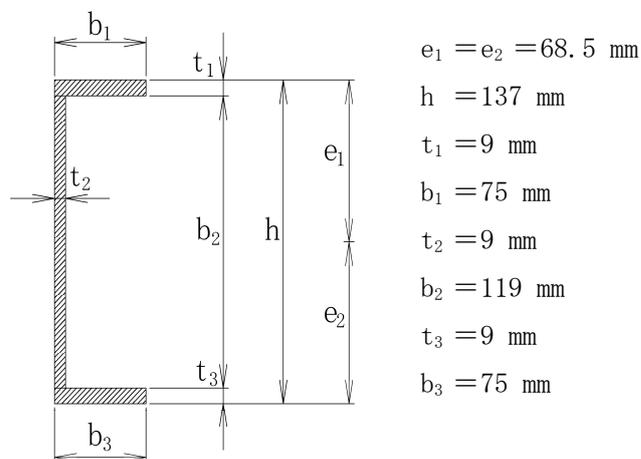


図 6.9.1-(2)-d-4 端部桁の断面寸法図

端部桁の断面二次モーメント

$$I_1 = (75 \times 137^3 - 119^3 \times (75 - 9)) / 12 = 6.802500 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Z_1 : \text{端部桁の断面係数 (mm}^3\text{)} = 9.9306 \times 10^4$$

$$Z_1 = I_1 / e_1 = 6.802500 \times 10^6 / 68.5 = 9.9306 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_{S1} : \text{端部桁の端部ウェブ断面積 (mm}^2\text{)} = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

図 6.9.1-(2)-d-5 に示す寸法図から

$$R = 20 \text{ mm}$$

$$b_2 = 119 \text{ mm}$$

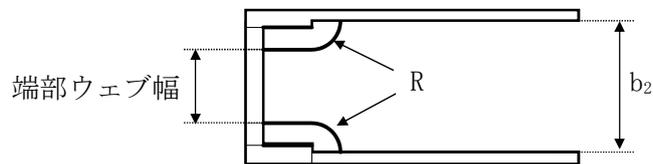


図 6.9.1-(2)-d-5 蓋端部の寸法図

端部ウェブ幅は

$$b_2 - 2 \cdot R = 119 - 2 \times 20 = 79 \text{ mm}$$

以上より

$$A_{S1} = 79 \times 9 = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(a-1-1-3) 発生応力

$$\text{曲げモーメント} \quad M_1 = 3.164500 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{せん断力} \quad S_1 = 9.9671 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力} \quad \sigma_{b1} &= M_1 / Z_1 \\ &= 3.164500 \times 10^6 / (9.9306 \times 10^4) \\ &= 31.8661 \text{ N/mm}^2 = 32 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力} \quad \tau_1 &= S_1 / A_{S1} \\ &= 9.9671 \times 10^3 / 7.11 \times 10^2 \\ &= 14.0184 \text{ N/mm}^2 = 15 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{組合せ応力} \quad \sqrt{(\sigma_{b1}^2 + 3 \cdot \tau_1^2)} &= \sqrt{(32^2 + 3 \times 15^2)} \\ &= 41.2189 = 42 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(a-1-2) 蓋 (中間桁)

(a-1-2-1) 発生荷重

$$\begin{aligned} \text{基準津波作用水圧} \quad q_2 &= P_t \\ &= 121.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{受圧幅} \quad b_2 = 490 \text{ mm}$$

中間桁負担荷重	$w_2 = q_2 \cdot b_2$ $= 0.1212 \times 490$ $= 59.388 \text{ kN/m}$
水密幅	$B = 0.850 \text{ m}$
支間	$L = 1.060 \text{ m}$
曲げモーメント	$M_2 = w_2 \cdot B/8 \cdot (2L - B)$ $= 59.388 \times 0.850/8 \times (2 \times 1.060 - 0.850)$ $= 8.013600 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$
せん断力	$S_2 = w_2 \cdot B/2$ $= 59.388 \times 0.850/2$ $= 2.5239 \times 10^4 \text{ N}$

(a-1-1-2) 断面性能

端部桁の材質	SUS304
中間桁の断面二次モーメント	$I_2 = 680 \text{ cm}^4$

中間桁の断面における寸法は図 6.9.1-(2)-d-6 に示すとおりである。

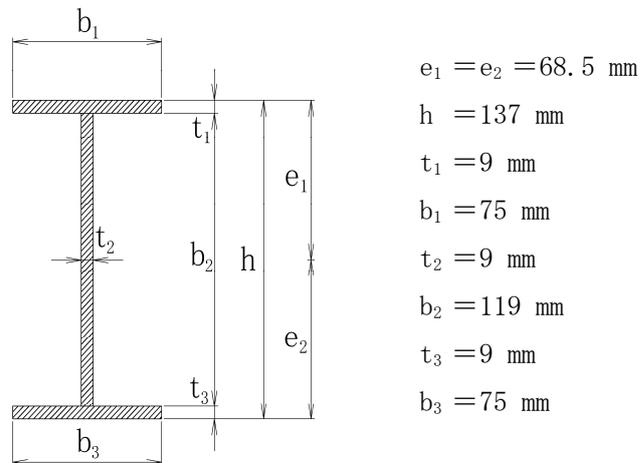


図 6.9.1-(2)-d-6 中間桁の断面寸法図

中間桁の断面二次モーメント

$$I_2 = (75 \times 137^3 - 119^3 \times (75 - 9)) / 12 = 6.802500 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Z_2 : \text{中間桁の断面係数 (mm}^3\text{)} = 9.9306 \times 10^4$$

$$Z_2 = I_2 / e_1 = 6.802500 \times 10^6 / 68.5 = 9.9306 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_{S2} : \text{中間桁の端部ウェブ断面積 (mm}^2\text{)} = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

図 6.9.1-(2)-d-5 に示す寸法図から

$$R = 20 \text{ mm}$$

$$b_2 = 119 \text{ mm}$$

6.9.1-(2)-d-6

端部ウェブ幅は

$$b_2 - 2 \cdot R = 119 - 2 \times 20 = 79 \text{ mm}$$

以上より

$$A_{S2} = 79 \times 9 = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$\text{中間桁の断面係数} \quad Z_2 = 9.9306 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\text{中間桁の端部ウェブ断面積} \quad A_{S2} = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(a-1-1-3) 発生応力

$$\text{曲げモーメント} \quad M_2 = 8.013600 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{せん断力} \quad S_2 = 2.5239 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力} \quad \sigma_{b2} &= M_2 / Z_2 \\ &= 8.013600 \times 10^6 / (9.9306 \times 10^4) \\ &= 80.696 \text{ N/mm}^2 = 81 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力} \quad \tau_2 &= S_2 / A_{S2} \\ &= 2.5239 \times 10^4 / (7.11 \times 10^2) \\ &= 35.4978 \text{ N/mm}^2 = 36 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{組合せ応力} \quad \sqrt{(\sigma_{b2}^2 + 3 \cdot \tau_2^2)} &= \sqrt{(81^2 + 3 \times 36^2)} \\ &= 102.22 = 103 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(a-2) 固定ボルト

蓋に作用する基準津波荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重

$$\text{引張力} \quad T_1 = S_1 = 9.9671 \times 10^3 \text{ N}$$

(a-2-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質 SUS304

固定ボルトの呼び径 M24

$$\begin{aligned} \text{固定ボルトの谷径断面積} \quad A_{b1} &= \pi / 4 \cdot \phi^2 \\ &= \pi / 4 \times 24^2 \\ &= 452.389 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(a-2-1-3) 発生応力

$$\begin{aligned} \text{固定ボルトの引張応力} \quad \sigma_{t1} &= T_1 / A_b \\ &= 9.9671 \times 10^3 / 452.389 \\ &= 22.0321 \text{ N/mm}^2 \\ &= 23 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋 (中間桁)

(a-2-2-1) 発生荷重

引張力

$$T_2 = S_2 / 2 = 1.26195 \times 10^4 \text{ N}$$

(a-2-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質

SUS304

固定ボルトの呼び径

M24

固定ボルトの谷径断面積

$$\begin{aligned} A_{b2} &= \pi / 4 \cdot \phi^2 \\ &= \pi / 4 \times 24^2 \\ &= 452.389 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(a-2-1-3) 発生応力

固定ボルトの引張応力

$$\begin{aligned} \sigma_{t2} &= T_1 / A_{b2} \\ &= 1.26195 \times 10^4 / 452.389 \\ &= 27.8952 \text{ N/mm}^2 \\ &= 28 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

ロ. S_s 地震時

S_s 地震時荷重の算出に用いる記号については、添付書類V-2-10-2-5-4「緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) S_s 地震荷重

基準地震動 S_s による地震荷重に考慮する固定荷重は以下の式により算出する。

$$W = m_D \cdot g$$

蓋の質量は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおり以下の値とする。

$$m_D : \text{蓋の質量 (kg)} = 400$$

$$W = 400 \times 9.80665$$

$$= 3.9226 \times 10^3 \text{ N}$$

応力評価に用いる基準地震動 S_s による設計震度を表 6.9.1-(2)-d-1 に示す。鉛直方向の設計震度が 1G を超えないため、鉛直方向地震荷重については固定荷重及び積雪荷重と同じ方向の鉛直下向きのみを考慮する。

水平方向地震荷重は、蓋の質量のみを考慮する。

固有値解析結果より、緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 6.9.1-(2)-d-1 応力評価に用いる基準地震動 S_s による設計震度

基準地震動 S_s による設計震度*	
水平方向 K_H	鉛直方向 K_V
1.83	1.05

注記 * : 固有値解析結果より、緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

基準地震動 S_s による水平方向地震荷重 I_H 及び鉛直方向地震荷重 I_V は以下の式により算出する。

$$I_H = W \cdot K_H$$

$$I_V = W \cdot K_V$$

$$I_H = 3.9226 \times 10^3 \times 1.83 = 7.1783 \times 10^3 \text{ N}$$

$$I_V = 3.9226 \times 10^3 \times 1.05 = 4.1187 \times 10^3 \text{ N}$$

蓋の幅 B_o 、蓋の長さ L_o は図 6.9.1-(2)-d-7 に示す寸法であり、それぞれ以下のとおりである。

$$B_o : \text{蓋の幅} = 850 \text{ mm}$$

$$L_o : \text{蓋の長さ} = 1060 \text{ mm}$$

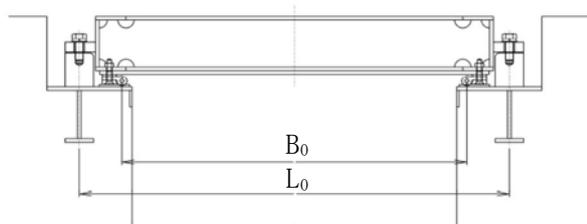


図 6.9.1-(2)-d-7 蓋の幅及び長さ寸法図

単位長さ当たりの水平方向地震荷重

$$i_h = I_H / L_o$$

$$i_h = 7.1783 \times 10^3 / 1060$$

$$= 6.77198 \text{ N/mm}$$

単位面積当たりの鉛直方向地震荷重

$$i_v = I_V / (B_o \times L_o)$$

$$= 4.1187 \times 10^3 / (850 \times 1060)$$

$$= 0.00457125 \text{ N/mm}^2 = 4.57125 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する地震荷重（水平方向及び鉛直方向）は、蓋を介して固定ボルトに伝達し、固定ボルトを介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋（端部桁）

(a-1-1-1) 発生荷重

地震時慣性力 $q_1 = i_v$
 $= 4.57125 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$

受圧幅 b_1 、荷重の負担幅 B 及び支間 L は図 6.9.1-(2)-d-8 に示す寸法であり、それぞれ以下のとおりである。

受圧幅	$b_1 = 193.5 \text{ mm}$
荷重の負担幅	$B = 850 \text{ mm}$
支間	$L = 1060 \text{ mm}$

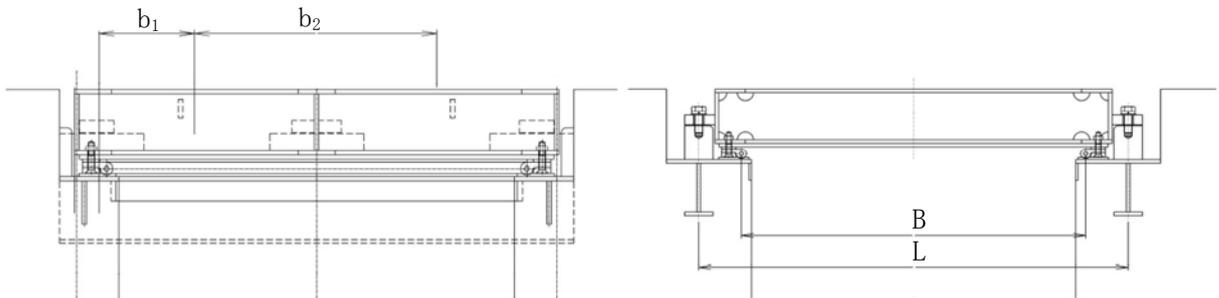


図 6.9.1-(2)-d-8 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の構造図

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の応力評価に当たっては、図 6.9.1-(2)-d-9 に示す単純支持梁として評価する。

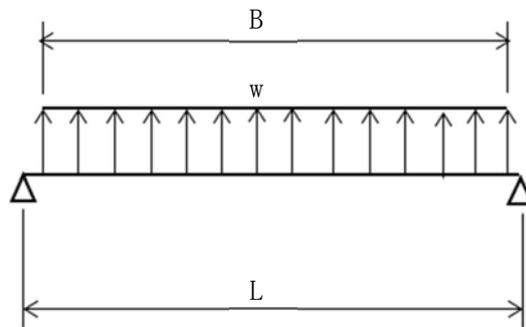


図 6.9.1-(2)-d-9 応力評価に用いるモデル図

受圧幅	$b_1 = 193.5 \text{ mm}$
主桁負担荷重	$w_1 = q_1 \cdot b_1$ $= 4.57125 \times 10^{-3} \times 193.5$ $= 0.884536 \text{ N/mm}$
荷重の作用幅	$B = 850 \text{ mm}$
支間	$L = 1060 \text{ mm}$
曲げモーメント	$M_1 = w_1 \cdot B/8 \cdot (2L - B)$ $= 0.884536 \times 850/8 \times ((2 \times 1060) - 850)$ $= 1.19357 \times 10^5 \text{ N/mm}$
せん断力	$S_1 = w_1 \cdot B/2$ $= 0.884536 \times 850/2$ $= 3.75927 \times 10^2 \text{ N}$

(a-1-1-2) 断面性能

蓋の材質 SUS304

I_1 : 端部桁の断面二次モーメント (mm^4) $= 6.802500 \times 10^6$

端部桁の断面における寸法は図 6.9.1-(2)-d-10 に示すとおりである。

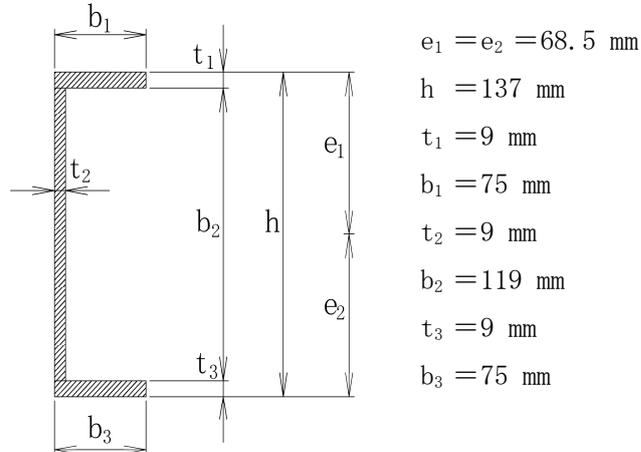


図 6.9.1-(2)-d-10 端部桁の断面寸法図

端部桁の断面二次モーメント

$$I_1 = (75 \times 137^3 - 119^3 \times (75 - 9)) / 12 = 6.802500 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Z_1 : \text{端部桁の断面係数} (\text{mm}^3) = 9.9306 \times 10^4$$

$$Z_1 = I_1 / e_1 = 6.802500 \times 10^6 / 68.5 = 9.9306 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_{S1} : \text{端部桁の端部ウェブ断面積} (\text{mm}^2) = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

図 6.9.1-(2)-d-11 に示す寸法図から

$$R=20 \text{ mm}$$

$$b_2=119 \text{ mm}$$

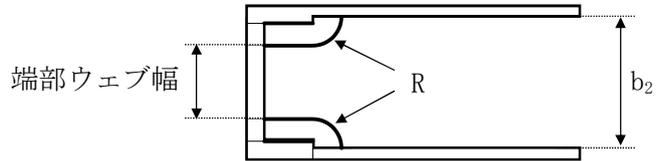


図 6.9.1-(2)-d-11 蓋端部の寸法図

端部ウェブ幅は

$$b_2 - 2 \cdot R = 119 - 2 \times 20 = 79 \text{ mm}$$

以上より

$$A_{S1} = 79 \times 9 = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(a-1-1-3) 発生応力

曲げモーメント $M_1 = 1.19357 \times 10^5 \text{ N/mm}$

せん断力 $S_1 = 3.75927 \times 10^2 \text{ N}$

曲げ応力 $\sigma_{b1} = M_1 / Z_1$
 $= 1.19357 \times 10^5 / (9.9306 \times 10^4)$
 $= 1.201911 \text{ N/mm}^2$
 $= 2 \text{ N/mm}^2$

せん断応力 $\tau_1 = S_1 / A_{S1}$
 $= 3.75927 \times 10^2 / (7.11 \times 10^2)$
 $= 0.528729 \text{ N/mm}^2$
 $= 1 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力 $\sqrt{(\sigma_{b1}^2 + 3 \cdot \tau_1^2)} = \sqrt{(2^2 + 3 \times 1^2)}$
 $= 3 \text{ N/mm}^2$

(a-1-2) 蓋 (中間桁)

(a-1-2-1) 発生荷重

地震時慣性力 $q_2 = i_v$
 $= 4.57125 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$

受圧幅 $b_2 = 490 \text{ mm}$

主桁負担荷重 $w_2 = q_2 \cdot b_2$
 $= 4.57125 \times 10^{-3} \times 490$
 $= 2.23991 \text{ N/mm}$

水密幅 $B = 850 \text{ mm}$

支間 $L = 1060 \text{ mm}$

曲げモーメント $M_2 = w_2 \cdot B / 8 \cdot (2L - B)$
 $= 2.23991 \times 850 / 8 \times (2 \times 1060 - 850)$
 $= 3.02247 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{mm}$

せん断力 $S_2 = w_2 \cdot B / 2$
 $= 2.23991 \times 850 / 2$
 $= 9.5196 \times 10^2 \text{ N}$

(a-1-1-2) 断面性能

蓋の材質 SUS304

I_2 : 蓋の断面二次モーメント (mm^4) $= 6.802500 \times 10^6$

中間桁の断面における寸法は図 6.9.1-(2)-d-12 に示すとおりである。

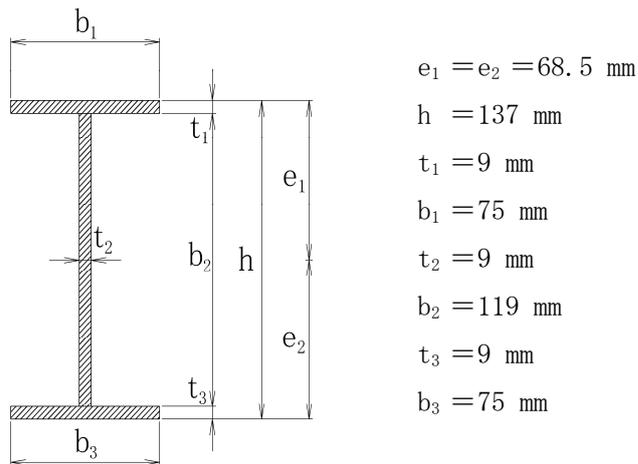


図 6. 9. 1-(2)-d-12 中間桁の断面寸法図

中間桁の断面二次モーメント

$$I_2 = (75 \times 137^3 - 119^3 \times (75 - 9)) / 12 = 6.802500 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Z_2 : \text{中間桁の断面係数 (mm}^3\text{)} = 9.9300 \times 10^4$$

$$Z_2 = I_2 / e_1 = 6.802500 \times 10^6 / 68.5 = 9.9300 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_{S2} : \text{中間桁の端部ウェブ断面積 (mm}^2\text{)} = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

図 6. 9. 1-(2)-d-5 に示す寸法図から

$$R = 20 \text{ mm}$$

$$b_2 = 119 \text{ mm}$$

端部ウェブ幅は

$$b_2 - 2 \cdot R = 119 - 2 \times 20 = 79 \text{ mm}$$

以上より

$$A_{S2} = 79 \times 9 = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$\text{中間桁の断面係数} \quad Z_2 = 9.9300 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\text{中間桁の端部ウェブ断面積} \quad A_{S2} = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(a-1-1-3) 発生応力

$$\text{曲げモーメント} \quad M_2 = 3.02247 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{せん断力} \quad S_2 = 9.5196 \times 10^2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力} \quad \sigma_{b2} &= M_2 / Z_2 \\ &= 3.02247 \times 10^5 / (9.9300 \times 10^4) \\ &= 3.04377 = 4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力} \quad \tau_2 &= S_2 / A_{S2} \\ &= 9.5196 \times 10^2 / (7.11 \times 10^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1.338902 \text{ N/mm}^2 = 2 \text{ N/mm}^2 \\
\text{組合せ応力} \quad & \sqrt{(\sigma_{b2}^2 + 3 \cdot \tau^2)} = \sqrt{(4^2 + 3 \times 2^2)} \\
&= 5.291 = 6 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

(a-2) 固定ボルト

蓋に作用する地震荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-2-1) 蓋 (端部桁)

(a-2-1-1) 発生荷重

せん断力

$$\begin{aligned}
S_{b1} &= I_H / n = 7.1783 \times 10^3 / 6 \\
&= 1.196383 \times 10^3 \text{ N}
\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質

SUS304

固定ボルトの呼び径

M24

固定ボルトの谷径断面積

$$\begin{aligned}
A_{b1} &= \pi / 4 \cdot \phi^2 \\
&= \pi / 4 \times 24^2 \\
&= 452.389 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

(a-2-1-3) 発生応力

固定ボルトのせん断力

$$\begin{aligned}
\tau_{b1} &= S_{b1} / A_{b1} \\
&= 1.196383 \times 10^3 / 452.389 \\
&= 2.644589 \text{ N/mm}^2 \\
&= 3 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋 (中間桁)

(a-2-2-1) 発生荷重

せん断力

$$\begin{aligned}
S_{b2} &= I_H / n = 7.1783 \times 10^3 / 6 \\
&= 1.196383 \times 10^3 \text{ N}
\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質

SUS304

固定ボルトの呼び径

M24

固定ボルトの谷径断面積

$$\begin{aligned}
A_{b2} &= \pi / 4 \cdot \phi^2 \\
&= \pi / 4 \times 24^2 \\
&= 452.389 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

(a-2-1-3) 発生応力

固定ボルトのせん断力

$$\tau_{b2} = S_{b2} / A_{b2}$$

$$= 1.196383 \times 10^3 / 452.389$$

$$= 2.644589 \text{ N/mm}^2$$

$$= 3 \text{ N/mm}^2$$

ハ. 基準津波+S_d地震時

基準津波+S_d地震時荷重の算出に用いる記号については、添付書類V-3-別添3-2-4-4「緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 基準津波荷重

基準津波荷重は「イ. 基準津波時」にて示したとおりとする。

(a-3) S_d地震荷重

余震による地震荷重に考慮する固定荷重は以下の式により算出する。

$$W = m_D \cdot g$$

蓋の質量は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおり以下の値とする。

$$m_D : \text{蓋の質量 (kg)} = 400$$

$$\begin{aligned} W &= 400 \times 9.80665 \\ &= 3.9226 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

応力評価に用いる弾性設計用地震動S_dによる設計震度を表6.9.1-(2)-d-2に示す。

鉛直震度が1Gを超えないため、鉛直上向きの地震力は考慮しない。また、鉛直下向きに固定荷重が作用するが、基準津波荷重を緩和する方向に作用することから、考慮しない。

固有値解析結果より、緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の固有振動数が20 Hz以上であることを確認したため、最大床応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

表 6.9.1-(2)-d-2 応力評価に用いる弾性設計用地震動 S_d による設計震度

弾性設計用地震動 S_d による設計震度*	
水平方向 K_{HSd}	鉛直方向 K_{VSd}
0.92	0.53

注記 * : 固有値解析結果より, 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため, 最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

余震による水平方向地震荷重 I_{HSd} は以下の式により算出する。

$$I_{HSd} = W \cdot K_{HSd}$$

$$I_{HSd} = 3.9226 \times 10^3 \times 0.92 = 3.6088 \times 10^3 \text{ N}$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する基準津波+余震荷重（鉛直上向き）は、蓋を介して固定ボルトに伝達し、固定ボルトを介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋（端部桁）

(a-1-1-1) 発生荷重

$$\begin{aligned} \text{作用水圧} \quad q_1 &= P_t \\ &= 0.1212 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

受圧幅 b_1 、荷重の作用幅 B 及び支間 L は図 6.9.1-(2)-d-13 に示す寸法であり、それぞれ以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{受圧幅} \quad b_1 &= 193.5 \text{ mm} \\ \text{荷重の作用幅} \quad B &= 850 \text{ mm} \\ \text{支間} \quad L &= 1060 \text{ mm} \end{aligned}$$

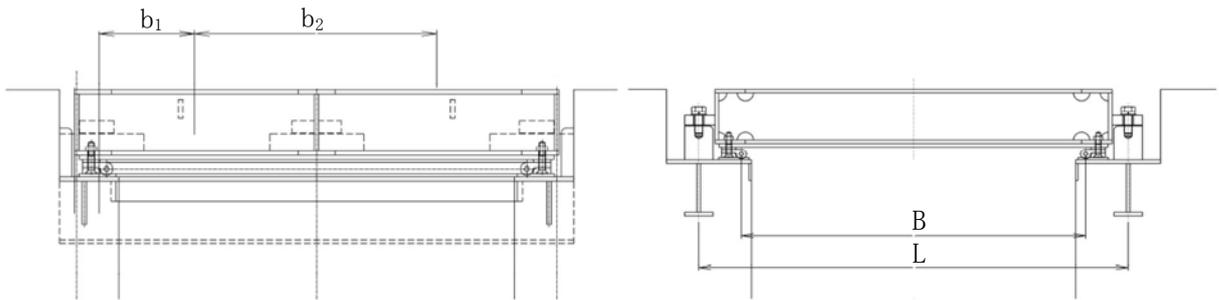


図 6.9.1-(2)-d-13 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の構造図

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の応力評価に当たっては、図 6.9.1-(2)-d-14 に示す単純支持梁として評価する。

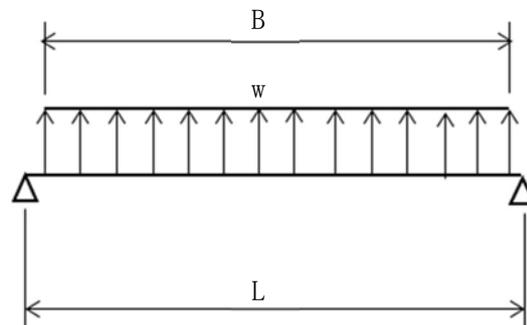


図 6.9.1-(2)-d-14 応力評価に用いるモデル図

$$\begin{aligned} \text{端部桁負担荷重} \quad w_1 &= q_1 \cdot b_1 \\ &= 0.1212 \times 193.5 \\ &= 23.4522 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\text{曲げモーメント} \quad M_1 = w_1 \cdot B / 8 \cdot (2L - B)$$

$$= 23.4522 \times 850 / 8 \times (2 \times 1060 - 850)$$

$$= 3.164500 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

せん断力

$$S_1 = w \cdot B / 2$$

$$= 23.4522 \times 850 / 2$$

$$= 9.9671 \times 10^3 \text{ N}$$

(a-1-1-2) 断面性能

端部桁の材質

SUS304

I_1 : 端部桁の断面二次モーメント (mm^4) = 6.802500×10^6

端部桁の断面における寸法は図 6.9.1-(2)-d-15 に示すとおりである。

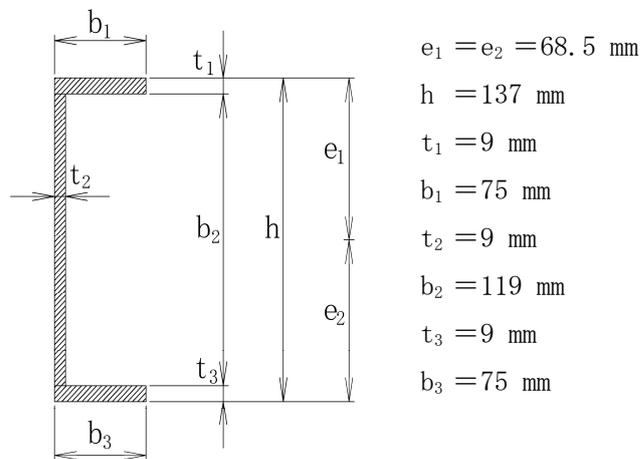


図 6.9.1-(2)-d-15 端部桁の断面寸法図

端部桁の断面二次モーメント

$$I_1 = (75 \times 137^3 - 119^3 \times (75 - 9)) / 12 = 6.802500 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Z_1 : \text{端部桁の断面係数 (mm}^3\text{)} = 9.9300 \times 10^4$$

$$Z_1 = I_1 / e_1 = 6.802500 \times 10^6 / 68.5 = 9.9300 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_{S1} : \text{端部桁の端部ウェブ断面積 (mm}^2\text{)} = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

図 6.9.1-(2)-d-16 に示す寸法図から

$$R = 20 \text{ mm}$$

$$b_2 = 119 \text{ mm}$$

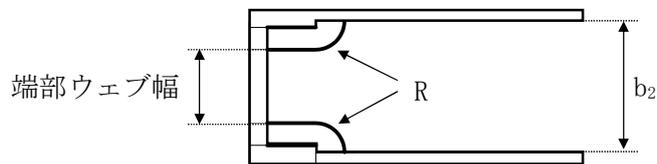


図 6.9.1-(2)-d-16 蓋端部の寸法図

端部ウェブ幅は

$$b_2 - 2 \cdot R = 119 - 2 \times 20 = 79 \text{ mm}$$

以上より

$$A_{S1} = 79 \times 9 = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(a-1-1-3) 発生応力

$$\text{曲げモーメント} \quad M_1 = 3.164500 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{せん断力} \quad S_1 = 9.9671 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力} \quad \sigma_{b1} &= M_1 / Z_1 \\ &= 3.164500 \times 10^6 / (9.9300 \times 10^4) \\ &= 31.868076 \text{ N/mm}^2 = 32 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力} \quad \tau_1 &= S_1 / A_{S1} \\ &= 9.9671 \times 10^3 / 7.11 \times 10^2 \\ &= 14.018424 \text{ N/mm}^2 = 15 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{組合せ応力} \quad \sqrt{(\sigma_{b1}^2 + 3 \cdot \tau_1^2)} &= \sqrt{(32^2 + 3 \times 15^2)} \\ &= 41.2189 = 42 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(a-1-2) 蓋 (中間桁)

(a-1-2-1) 発生荷重

$$\begin{aligned} \text{基準津波作用水圧} \quad q_2 &= P_t \\ &= 121.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{受圧幅} \quad b_2 = 490 \text{ mm}$$

中間桁負担荷重	$w_2 = q_2 \cdot b_2$ $= 0.1212 \times 490$ $= 59.388 \text{ kN/m}$
水密幅	$B = 0.850 \text{ m}$
支間	$L = 1.060 \text{ m}$
曲げモーメント	$M_2 = w_2 \cdot B/8 \cdot (2L - B)$ $= 59.388 \times 0.850/8 \times (2 \times 1.060 - 0.850)$ $= 8.013600 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$
せん断力	$S_2 = w_2 \cdot B/2$ $= 59.388 \times 0.850/2$ $= 2.5239 \times 10^4 \text{ N}$

(a-1-1-2) 断面性能

端部桁の材質	SUS304
中間桁の断面二次モーメント	$I_2 = 680 \text{ cm}^4$

中間桁の断面における寸法は図 6.9.1-(2)-d-17 に示すとおりである。

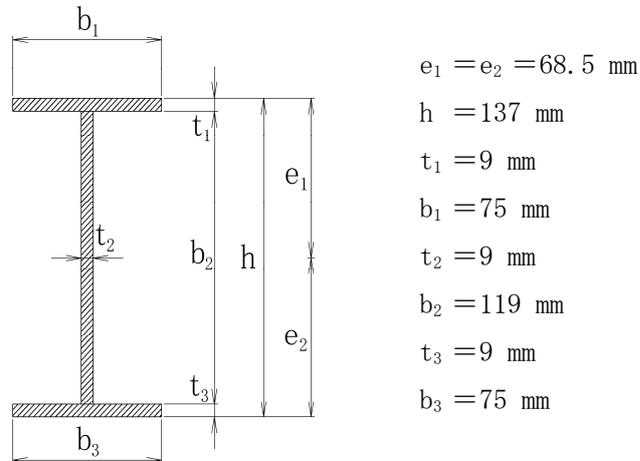


図 6.9.1-(2)-d-17 中間桁の断面寸法図

中間桁の断面二次モーメント

$$I_2 = (75 \times 137^3 - 119^3 \times (75 - 9)) / 12 = 6.802500 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Z_2 : 中間桁の断面係数 (mm^3) $= 9.9306 \times 10^4$

$$Z_2 = I_2 / e_1 = 6.802500 \times 10^6 / 68.5 = 9.9306 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

A_{S2} : 中間桁の端部ウェブ断面積 (mm^2) $= 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$

図 6.9.1-(2)-d-5 に示す寸法図から

$R = 20 \text{ mm}$

$b_2 = 119 \text{ mm}$

端部ウェブ幅は

$$b_2 - 2 \cdot R = 119 - 2 \times 20 = 79 \text{ mm}$$

以上より

$$A_{S2} = 79 \times 9 = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$\text{中間桁の断面係数} \quad Z_2 = 9.9306 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\text{中間桁の端部ウェブ断面積} \quad A_{S2} = 7.11 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

(a-1-1-3) 発生応力

$$\text{曲げモーメント} \quad M_2 = 8.013600 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{せん断力} \quad S_2 = 2.5239 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力} \quad \sigma_{b2} &= M_2 / Z_2 \\ &= 8.013600 \times 10^6 / (9.9306 \times 10^4) \\ &= 80.696 \text{ N/mm}^2 = 81 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力} \quad \tau_2 &= S_2 / A_{S2} \\ &= 2.5239 \times 10^4 / (7.11 \times 10^2) \\ &= 35.4978 \text{ N/mm}^2 = 36 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{組合せ応力} \quad \sqrt{(\sigma_{b2}^2 + 3 \cdot \tau_2^2)} &= \sqrt{(81^2 + 3 \times 36^2)} \\ &= 102.22 = 103 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(a-2) 固定ボルト

蓋に作用する基準津波荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重〈津波＋余震時〉

$$\text{引張力} \quad T_1 = S_1 = 9.9671 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\text{固定ボルトの本数} \quad n = 6 \text{ 本}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断力} \quad S_{b1} &= I_{HSd} / n = 3.6088 \times 10^3 / 6 \\ &= 6.01466 \times 10^2 \text{ N} \end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

$$\text{固定ボルトの材質} \quad \text{SUS304}$$

$$\text{固定ボルトの呼び径} \quad \text{M24}$$

$$\begin{aligned} \text{固定ボルトの谷径断面積} \quad A_{b1} &= \pi / 4 \cdot \phi^2 \\ &= \pi / 4 \times 24^2 \\ &= 452.389 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(a-2-1-3) 発生応力

固定ボルトの引張応力

$$\begin{aligned}\sigma_{t1} &= T_1/A_b \\ &= 9.9671 \times 10^3 / 452.389 \\ &= 22.0321 \text{ N/mm}^2 \\ &= 23 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

固定ボルトのせん断応力

$$\begin{aligned}\tau_{t1} &= S_{b1}/A_b \\ &= 6.01466 \times 10^2 / 452.389 \\ &= 1.329532 \text{ N/mm}^2 \\ &= 2 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力

$$\begin{aligned}\sqrt{(\sigma_{t1}^2 + 3 \cdot \tau_{t1}^2)} &= \sqrt{(23^2 + 3 \times 2^2)} \\ &= 23.2594 = 24 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋 (中間桁)

(a-2-2-1) 発生荷重

引張力

$$T_2 = S_2/2 = 1.26195 \times 10^4 \text{ N}$$

固定ボルトの本数

$$n = 6 \text{ 本}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S_{b2} &= I_{hsd} / n = 3.6088 \times 10^3 / 6 \\ &= 6.014 \times 10^2 \text{ N}\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質

SUS304

固定ボルトの呼び径

M24

固定ボルトの谷径断面積

$$\begin{aligned}A_{b2} &= \pi / 4 \cdot \phi^2 \\ &= \pi / 4 \times 24^2 \\ &= 452.389 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-1-3) 発生応力

固定ボルトの引張応力

$$\begin{aligned}\sigma_{t2} &= T_2/A_{b2} \\ &= 1.26195 \times 10^4 / 452.389 \\ &= 27.8952 \text{ N/mm}^2 \\ &= 28 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

固定ボルトのせん断応力

$$\begin{aligned}\tau_{t2} &= S_{b2}/A_{b2} \\ &= 6.014 \times 10^2 / 452.389 \\ &= 1.329534 \text{ N/mm}^2 \\ &= 2 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力

$$\begin{aligned}\sqrt{(\sigma_{t2}^2 + 3 \cdot \tau_{t2}^2)} &= \sqrt{(28^2 + 3 \times 2^2)} \\ &= 28.2134 = 29 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(d) 許容応力

許容応力は、ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会）にもとづき設定する。

SUS304 の軸方向引張応力度及び曲げ引張応力度 σ_{a1} 並びにせん断応力度 τ_{a1} をそれぞれ以下のとおりとする。

$$\sigma_{a1} = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{a1} = 60 \text{ N/mm}^2$$

イ. 端部桁及び中間桁の許容応力

(イ) 基準津波時

許容限界（曲げ） $1.5 \cdot \sigma_a = 1.5 \times 100 = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \cdot \tau_a = 1.5 \times 60 = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \cdot \sigma_a = 1.65 \times 100 = 165 \text{ N/mm}^2$

(ロ) S_s 地震時

許容限界（曲げ） $1.5 \cdot \sigma_a = 1.5 \times 100 = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \cdot \tau_a = 1.5 \times 60 = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \cdot \sigma_a = 1.65 \times 100 = 165 \text{ N/mm}^2$

(ハ) 基準津波 + S_d 地震時

許容限界（曲げ） $1.5 \cdot \sigma_a = 1.5 \times 100 = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \cdot \tau_a = 1.5 \times 60 = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \cdot \sigma_a = 1.65 \times 100 = 165 \text{ N/mm}^2$

ロ. ボルトの許容応力

(イ) 基準津波時

許容限界 (引張) $1.5 \cdot \sigma_a = 1.5 \times 100 = 150 \text{ N/mm}^2$

(ロ) S_s 地震時

許容限界 (せん断) $1.5 \cdot \tau_a = 1.5 \times 60 = 90 \text{ N/mm}^2$

(ハ) 基準津波 + S_d 地震時

許容限界 (曲げ) $1.5 \cdot \sigma_a = 1.5 \times 100 = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界 (せん断) $1.5 \cdot \tau_a = 1.5 \times 60 = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界 (組合せ) $1.65 \cdot \sigma_a = 1.65 \times 100 = 165 \text{ N/mm}^2$

(e) 応力評価結果

イ. 基準津波時

基準津波時の評価結果を表 6.9.1-(2)-d-3 に示す。

表 6.9.1-(2)-d-3 基準津波時の応力評価結果（蓋，固定ボルト）

部位		評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
蓋	端部桁	曲げ	32	150	OK
		せん断	15	90	OK
		組合せ	42	165	OK
	中間桁	曲げ	81	150	OK
		せん断	36	90	OK
		組合せ	103	165	OK
固定ボルト	端部桁	引張	23	150	OK
	中間桁	引張	28	150	OK

ロ. S_s 地震時

S_s 地震時の評価結果を表 6.9.1-(2)-d-4 に示す。

表 6.9.1-(2)-d-4 S_s 地震時の応力評価結果（蓋，固定ボルト）

部位		評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
蓋	端部桁	曲げ	2	150	OK
		せん断	1	90	OK
		組合せ	3	165	OK
	中間桁	曲げ	4	150	OK
		せん断	2	90	OK
		組合せ	6	165	OK
固定ボルト	端部桁	せん断	3	90	OK
	中間桁	せん断	3	90	OK

ハ. 基準津波+S_d地震時

基準津波+S_d地震時の評価結果を表 6.9.1-(2)-d-5 に示す。

表 6.9.1-(2)-d-5 基準津波+S_d地震時の応力評価結果（蓋，固定ボルト）

部位		評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	判定 発生応力 ≤ 許容応力
蓋	端部桁	曲げ	32	150	OK
		せん断	15	90	OK
		組合せ	42	165	OK
	中間桁	曲げ	81	150	OK
		せん断	36	90	OK
		組合せ	103	165	OK
固定ボルト	端部桁	引張	23	150	OK
		せん断	2	90	OK
		組合せ	24	165	OK
	中間桁	引張	28	150	OK
		せん断	2	90	OK
		組合せ	29	165	OK

e. 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は、主桁を単純支持梁としてモデル化し、評価を行う。「構造力学公式集(1988年)、土木学会」より、両端支持梁の一次固有振動数は次のとおり与えられる。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

ここで、

f : 一次固有振動数 (Hz)

L : 主桁の長さ (m) = 1.37

E : 縦弾性係数 (Pa) = 1.94×10^{11}

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part6 表 1 を用いて計算する。温度 40 °Cにおけるオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数は、温度 20 °Cの縦弾性係数 195000 MPa と、温度 50 °Cの縦弾性係数 193000 MPa より、比例法を用いて計算する。

$$195000 + (193000 - 195000) \times (40 - 20) / (50 - 20) = 193667 \text{ MPa} = 1.94 \times 10^{11}$$

I : 断面二次モーメント (m⁴) = 4.17×10^{-5}

M : 主桁の単位長さ当たりの重量 (kg/m) = 192

以上より、

$$f = \frac{\pi^2}{(2\pi \cdot 1.37^2)} \cdot \sqrt{(1.94 \times 10^{11} \times 4.17 \times 10^{-5} / 192)}$$
$$= 171 \text{ Hz}$$

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の構造図を図 6.9.1-1 に示す。

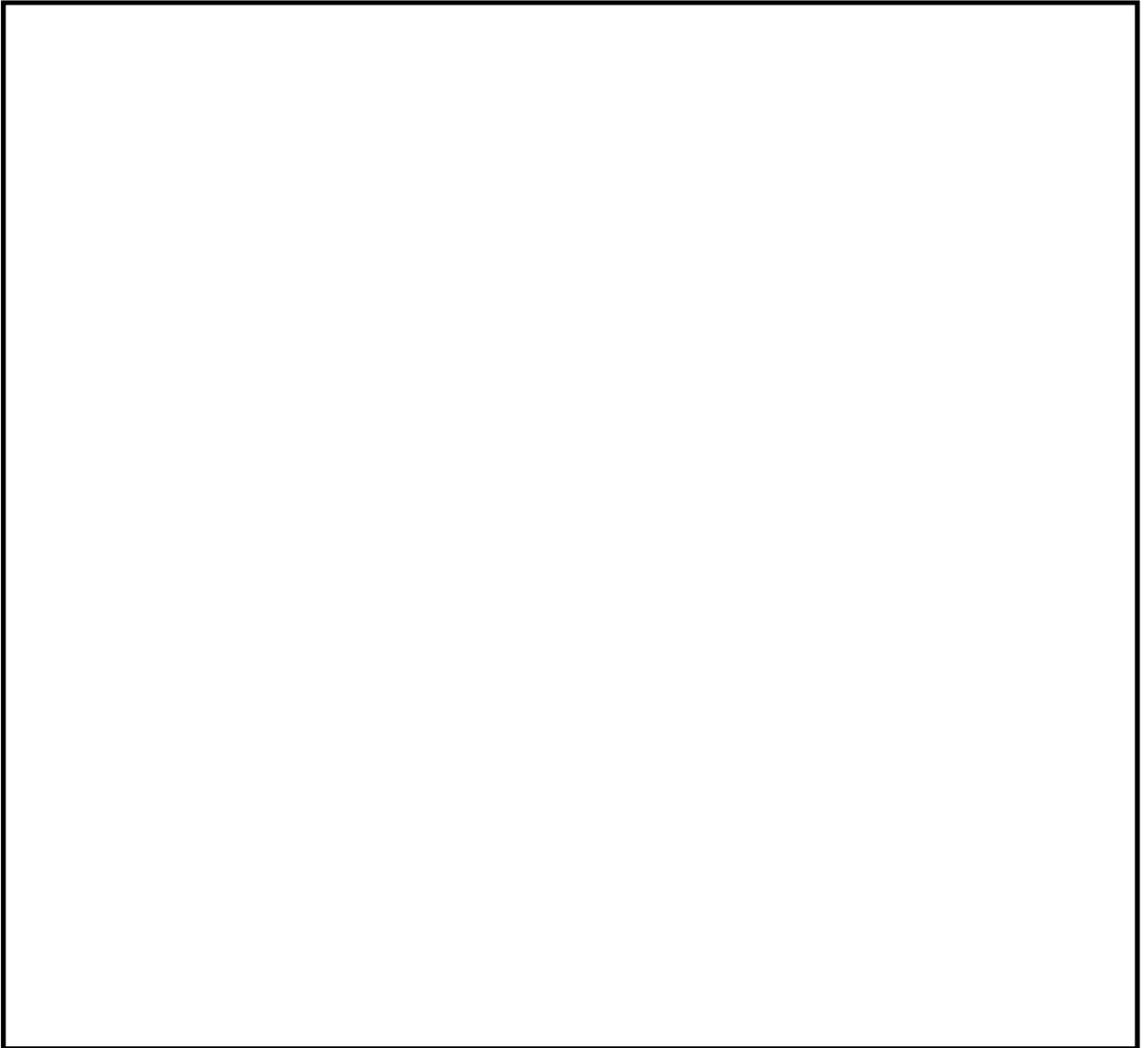


図 6.9.1-1 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の構造図

ロ. 固有値解析結果

固有振動数は 171 Hz であり，20 Hz 以上であることから，剛構造である。

(b) 評価条件の整理

イ. 固定荷重

固定荷重は以下のとおりとする。

固定荷重 D

蓋 : 5.8kN

蓋の幅 : 1.37

蓋の長さ : 1.37

蓋の面積 : 1.877 (m²)

よって、固定荷重 D は、3.091 kN/m² を考慮する。

ロ. 積雪荷重

積雪荷重は以下のとおりとする。

茨城県建築基準法等施行細則に定められた東海村（前号に掲げる区域以外の区域）の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。

また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1 cm ごとに 20 N/m² の積雪荷重が作用することを考慮し、積雪面積を乗じて積雪荷重を算定する。

$$\text{津波時} \quad P_S = 0.35 \times W_S \times d_S \times A_S$$

$$S_S \text{ 地震時, 津波+余震時} \quad P_S = W_S \times d_S \times A_S$$

ここで、

P_S : 積雪荷重 (N)

W_S : 1 cm 当たりの積雪荷重 (N/m²・cm)

d_S : 積雪高さ (cm) (30cm)

A_S : 積雪面積 (m²)

$$A_S = B \cdot L = 1.37 \cdot 1.37 = 1.877 \text{ m}^2$$

よって、積雪荷重 P_S は、津波時は 394.2 N (600 N/m²)、 S_S 地震時及び津波+余震時には 1126.2 N (210 N/m²) を考慮しする。

(c) 応力計算

イ. S_s 地震時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) S_s 地震荷重

応力評価に用いる基準地震動 S_s による S_s 地震荷重の最大震度を表 6.9.1-1 に示す。

震度は水平方向及び鉛直方向の最大床応答加速度を採用する。

鉛直地震荷重は、固定荷重及び積雪荷重と同じ方向の鉛直下向きのみを考慮する。

水平地震荷重は、固定質量及び積雪質量による水平地震慣性力を考慮する。

表 6.9.1-1 応力評価に用いる基準地震動 S_s による S_s 地震荷重の最大震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (EL. m)	建屋 及び 高さ (EL. m)	地震による設計震度*	
			水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
基準地震動 S _s	緊急用海水 ポンプピット 8.0	緊急用海水 ポンプピット 8.0	水平方向 C _H	1.83
			鉛直方向 C _V	1.05

注記 *：固有値解析結果により、緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

地震荷重 S_s は、以下のとおりとする。

なお、鉛直震度は、自重と同じ鉛直下向きに考慮する。

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A$$

ここで、

K_h：設計水平震度 (G)

K_v：設計鉛直震度 (G)

W_{hg} : 全体の水平地震荷重 (N)
 W_{vg} : 全体の鉛直地震荷重 (N)
 w_{vg} : 鉛直地震分布荷重 (N/m²)
D : 固定荷重による全体質量 (kg)
g : 重力加速度 (m/s²)
 P_s : 積雪荷重 (N)
A : 浸水防止蓋の投影面積 (m²)

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s) = 1.83 \cdot (5.8 \text{ kN} + 1.13 \text{ kN}) = 12.682 \text{ kN}$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s) = 1.05 \cdot (5.8 \text{ kN} + 1.13 \text{ kN}) = 7.277 \text{ kN}$$

$$A = B \cdot L = 1.37 \cdot 1.37 = 1.877 \text{ m}^2$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A = 7.277 / 1.877 = 3.877 \text{ kN/m}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する地震荷重（鉛直上向き）は、蓋を介して固定ボルトに伝達し、固定ボルトを介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋（スキンプレート）

(a-1-1-1) 発生荷重

地震時作用荷重	$q = D + P_s + w_{vg}$ $= 3.091 + 0.21 + 3.877$ $= 7.178 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 0.42 \text{ m}$ （主桁フランジ間）
負担荷重	$w = q \cdot b$ $= 7.178 \times 0.42$ $= 3.015 \text{ kN/m}$
支間	$L = 0.460 \text{ m}$ （補助桁間）
曲げモーメント	$M = w \cdot L^2 / 8$ $= 3.015 \times 0.460^2 / 8$ $= 0.080 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = w \cdot L / 2$ $= 3.015 \times 0.460 / 2$ $= 0.694 \text{ kN}$

(a-1-1-2) 断面性能

蓋の材質	SUS304
蓋の断面二次モーメント	$I = 3.5 \text{ cm}^4$
蓋の断面係数	$Z = 5.84 \text{ cm}^3$
蓋の断面積	$A_s = 42.0 \text{ cm}^2$

(a-1-1-3) 発生応力

曲げモーメント	$M = 0.080 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = 0.694 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b = M / Z$ $= 0.080 \times 10^3 / 5.84$ $= 13.699 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau = S / A_s$ $= 0.694 \times 10 / 42.0$ $= 0.166 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(13.699^2 + 3 \cdot 0.166^2)} \\ &= 13.702 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重

地震時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= D + P_s + w_{vg} \\ &= 3.091 + 0.21 + 3.877 \\ &= 7.178 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.21 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 7.178 \times 0.21 \\ &= 1.508 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間

$$L = 1.37 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot L^2 / 8 \\ &= 1.508 \times 1.37^2 / 8 \\ &= 0.354 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot L / 2 \\ &= 1.508 \times 1.37 / 2 \\ &= 1.033 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

蓋の材質

SUS304

蓋の断面二次モーメント

$I = 1066 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数

$Z = 142 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積

$A_s = 11.34 \text{ cm}^2$

(a-2-1-3) 発生応力

曲げモーメント

$$M = 0.354 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 1.033 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 0.354 \times 10^3 / 142 \\ &= 2.493 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 1.033 \times 10 / 11.34 \\ &= 0.911 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(2.493^2 + 3 \cdot 0.911^2)} \\ &= 2.951 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋（中間桁）

(a-2-2-1) 発生荷重

地震時作用荷重 $q = D + P_s + w_{vg}$

$$\begin{aligned}&= 3.091 + 0.21 + 3.877 \\ &= 7.178 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅 $b = 0.42 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$

$$\begin{aligned}&= 7.178 \times 0.42 \\ &= 3.015 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間 $L = 1.37 \text{ m}$

曲げモーメント $M = w \cdot L^2 / 8$

$$\begin{aligned}&= 3.015 \times 1.37^2 / 8 \\ &= 0.708 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力 $S = w \cdot L / 2$

$$\begin{aligned}&= 3.015 \times 1.37 / 2 \\ &= 2.066 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-2-2) 断面性能

蓋の材質 SUS304

蓋の断面二次モーメント $I = 1294 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 173 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 11.34 \text{ cm}^2$

(a-2-2-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント $M = 0.708 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 2.066 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b = M / Z$

$$\begin{aligned}&= 0.708 \times 10^3 / 173 \\ &= 4.093 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力 $\tau = S / A_s$

$$\begin{aligned}&= 2.066 \times 10 / 11.34 \\ &= 1.822 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(4.093^2 + 3 \cdot 1.822^2)} \\ &= 5.405 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-3) 蓋（補助桁）

(a-2-3-1) 発生荷重

地震時作用荷重 $q = D + P_s + w_{vg}$

$$\begin{aligned}&= 3.091 + 0.21 + 3.877 \\ &= 7.178 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅 $b = 0.457 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$

$$\begin{aligned}&= 7.178 \times 0.457 \\ &= 3.281 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間 $L = 0.420 \text{ m}$

曲げモーメント $M = w \cdot L^2 / 8$

$$\begin{aligned}&= 3.281 \times 0.420^2 / 8 \\ &= 0.073 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力 $S = w \cdot L / 2$

$$\begin{aligned}&= 3.281 \times 0.420 / 2 \\ &= 0.690 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-3-2) 断面性能

蓋の材質 SUS304

蓋の断面二次モーメント $I = 359 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 60 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 11.36 \text{ cm}^2$

(a-2-3-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント $M = 0.073 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 0.690 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b = M / Z$

$$\begin{aligned}&= 0.073 \times 10^3 / 60 \\ &= 1.217 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力 $\tau = S / A_s$

$$\begin{aligned}&= 0.690 \times 10 / 11.36 \\ &= 0.607 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(1.217^2 + 3 \cdot 0.607^2)} \\ &= 1.609 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-3) 固定ボルト

蓋に作用する地震荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-3-1) 蓋

(a-3-1-1) 発生荷重

せん断力

$$S = W_{hg} = 12.682 \text{ kN}$$

1本あたり

$$1.586 \text{ kN}$$

(a-3-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質

SUS304

固定ボルトの呼び径

M30（谷径 $\phi = 26.211 \text{ mm}$ ）

固定ボルトの呼び径断面積

$$\begin{aligned}A_b &= \pi/4 \cdot \phi^2 \\ &= 539 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

(a-3-1-3) 発生応力

固定ボルトのせん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S/A_b \\ &= 1.586 \times 10^3 / 539 \\ &= 2.943 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

ロ. 基準津波時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) 基準津波荷重

基準津波荷重は以下のとおりとする。

$$P_h = h \cdot W_0$$

ここで,

P_h : 基準津波荷重 (kN/m²)

h : スキンプレート面作用水深 (m) = 0.2

W_0 : 海水の密度 (kN/m³) = 10.100

以上より,

$$P_h = 0.2 \times 10.100 = 2.020 \text{ kN/m}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する津波荷重（鉛直下向き）は、蓋を介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋（スキンプレート）

(a-1-1-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重	$q = D + P_s + P_h$
	$= 3.091 + 0.6 + 2.020$
	$= 5.711 \text{ kN/m}^2$
受圧幅	$b = 0.42 \text{ m}$ （主桁フランジ間）
負担荷重	$w = q \cdot b$
	$= 5.711 \times 0.42$
	$= 2.399 \text{ kN/m}$
支間	$L = 0.46 \text{ m}$ （補助桁間）
曲げモーメント	$M = w \cdot L^2 / 8$
	$= 2.399 \times 0.46^2 / 8$
	$= 0.064 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = w \cdot L / 2$
	$= 2.399 \times 0.46 / 2$
	$= 0.552 \text{ kN}$

(a-1-1-2) 断面性能

蓋の材質	SUS304
蓋の断面二次モーメント	$I = 3.5 \text{ cm}^4$
蓋の断面係数	$Z = 5.84 \text{ cm}^3$
蓋の断面積	$A_s = 42.0 \text{ cm}^2$

(a-1-1-3) 発生応力

曲げモーメント	$M = 0.064 \text{ kN}\cdot\text{m}$
せん断力	$S = 0.552 \text{ kN}$
曲げ応力	$\sigma_b = M / Z$
	$= 0.064 \times 10^3 / 5.84$
	$= 10.959 \text{ N/mm}^2$
せん断応力	$\tau = S / A_s$
	$= 0.552 \times 10 / 42.0$
	$= 0.132 \text{ N/mm}^2$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(10.959^2 + 3 \cdot 0.132^2)} \\ &= 10.962 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= D + P_s + P_h \\ &= 3.091 + 0.6 + 2.020 \\ &= 5.711 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.210 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 5.711 \times 0.210 \\ &= 1.120 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

水密幅

$$B = 1.322 \text{ m}$$

支間

$$L = 1.370 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot B / 8 \cdot (2L - B) \\ &= 1.120 \times 1.322 / 8 \times (2 \times 1.370 - 1.322) \\ &= 0.263 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot B / 2 \\ &= 1.120 \times 1.322 / 2 \\ &= 0.741 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

蓋の材質

SUS304

蓋の断面二次モーメント

$$I = 1066 \text{ cm}^4$$

蓋の断面係数

$$Z = 142 \text{ cm}^3$$

蓋の端部ウェブ断面積

$$A_s = 11.34 \text{ cm}^2$$

(a-2-1-3) 発生応力

曲げモーメント

$$M = 0.263 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 0.741 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 0.263 \times 10^3 / 142 \\ &= 1.853 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 0.741 \times 10 / 11.34 \\ &= 0.654 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(1.853^2 + 3 \cdot 0.654^2)} \\ &= 2.172 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋（中間桁）

(a-2-2-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重

$$\begin{aligned}q &= D + P_s + P_h \\ &= 3.091 + 0.6 + 2.020 \\ &= 5.711 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅

$$b = 0.420 \text{ m}$$

負担荷重

$$\begin{aligned}w &= q \cdot b \\ &= 5.711 \times 0.420 \\ &= 2.399 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

水密幅

$$B = 1.322 \text{ m}$$

支間

$$L = 1.370 \text{ m}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned}M &= w \cdot B / 8 \cdot (2L - B) \\ &= 2.399 \times 1.322 / 8 \times (2 \times 1.370 - 1.322) \\ &= 0.563 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}S &= w \cdot B / 2 \\ &= 2.399 \times 1.322 / 2 \\ &= 1.586 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-2-2) 断面性能

蓋の材質

SUS304

蓋の断面二次モーメント

$$I = 1294 \text{ cm}^4$$

蓋の断面係数

$$Z = 173 \text{ cm}^3$$

蓋の端部ウェブ断面積

$$A_s = 11.34 \text{ cm}^2$$

(a-2-2-3) 発生応力

曲げモーメント

$$M = 0.563 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

せん断力

$$S = 1.586 \text{ kN}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M / Z \\ &= 0.563 \times 10^3 / 173 \\ &= 3.255 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= S / A_s \\ &= 1.586 \times 10 / 11.34 \\ &= 1.399 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(3.255^2 + 3 \cdot 1.399^2)} \\ &= 4.058 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-3) 蓋（補助桁）

(a-2-3-1) 発生荷重

基準津波時作用荷重 $q = D + P_s + P_h$

$$\begin{aligned}&= 3.091 + 0.6 + 2.020 \\ &= 5.711 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

受圧幅 $b = 0.457 \text{ m}$

負担荷重 $w = q \cdot b$

$$\begin{aligned}&= 5.711 \times 0.457 \\ &= 2.610 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

支間 $L = 0.420 \text{ m}$

曲げモーメント $M = w \cdot L^2 / 8$

$$\begin{aligned}&= 2.610 \times 0.420^2 / 8 \\ &= 0.058 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

せん断力 $S = w \cdot L / 2$

$$\begin{aligned}&= 2.610 \times 0.420 / 2 \\ &= 0.549 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-3-2) 断面性能

蓋の材質 SUS304

蓋の断面二次モーメント $I = 359 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 60 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 11.36 \text{ cm}^2$

(a-2-3-3) 発生応力<地震時>

曲げモーメント $M = 0.058 \text{ kN}\cdot\text{m}$

せん断力 $S = 0.549 \text{ kN}$

曲げ応力 $\sigma_b = M / Z$

$$\begin{aligned}&= 0.058 \times 10^3 / 60 \\ &= 0.977 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

せん断応力 $\tau = S / A_s$

$$\begin{aligned}&= 0.549 \times 10 / 11.36 \\ &= 0.484 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(0.977^2 + 3 \cdot 0.484^2)} \\ &= 1.288 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-3) 固定ボルト

蓋に作用する基準津波荷重は、鉛直下向きに作用することから評価は行わない。

ハ. 基準津波+余震時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) 基準津波荷重

基準津波荷重は「基準津波時」と同じ値とする。

(a-4) S_d 地震荷重

応力評価に用いる弾性設計用地震動 S_d による S_d 地震荷重の最大震度を表 6.9.1-2 に示す。震度は水平方向及び鉛直方向の最大床応答加速度を採用する。

鉛直地震荷重は、固定荷重及び積雪荷重と同じ方向の鉛直下向きのみを考慮する。

水平地震荷重は、固定質量及び積雪質量による水平地震慣性力を考慮する。

表 6.9.1-2 応力評価に用いる弾性設計用地震動 S_d による S_d 地震荷重の最大震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (EL. m)	建屋 及び 高さ (EL. m)	地震による設計震度*	
			水平方向 C_H	
弾性設計用 地震動 S_d-D1	緊急用海水 ポンプピット 8.0	緊急用海水 ポンプピット 8.0	水平方向 C_H	0.92
			鉛直方向 C_V	0.53

注記 *：固有値解析結果により、緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

余震荷重 S_d は、以下のとおりとする。

なお、鉛直震度は、自重と同じ鉛直下向きに考慮する。

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s + P_h)$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A$$

ここで、

K_h ：余震時水平震度 (G)

K_v : 余震時鉛直震度 (G)
 W_{hg} : 全体の水平地震荷重 (N)
 W_{vg} : 全体の鉛直地震荷重 (N)
 w_{vg} : 鉛直地震分布荷重 (N/m²)
 D : 固定荷重による全体質量 (kg)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 P_s : 積雪荷重 (N)
 P_h : 基準津波荷重 (N)
 A : 浸水防止蓋の投影面積 (m²)

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s) = 0.92 \cdot (5.8 \text{ kN} + 1.13 \text{ kN}) = 6.376 \text{ kN}$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s + P_h) = 0.53 \cdot (5.8 \text{ kN} + 1.13 \text{ kN} + 3.792 \text{ kN}) = 5.683 \text{ kN}$$

$$A = B \cdot L = 1.37 \cdot 1.37 = 1.877 \text{ m}^2$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A = 5.683 / 1.877 = 3.028 \text{ kN/m}^2$$

(ロ) 各部の応力計算

蓋に作用する津波+余震荷重（鉛直下向き）は、蓋を介してコンクリート躯体に伝達するものとする。

(a-1) 蓋

蓋は、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして検討を行う。

(a-1-1) 蓋（スキンプレート）

(a-1-1-1) 発生荷重

$$\begin{aligned} \text{基準津波+余震時作用荷重 } q &= D+P_s+P_h+w_{vg} \\ &= 3.091+0.21+2.020+3.028 \\ &= 8.349 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{受圧幅 } b = 0.42 \text{ m (主桁フランジ間)}$$

$$\begin{aligned} \text{負担荷重 } w &= q \cdot b \\ &= 8.349 \times 0.42 \\ &= 3.507 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{支間 } L = 0.46 \text{ m (補助桁間)}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げモーメント } M &= w \cdot L^2/8 \\ &= 3.507 \times 0.46^2/8 \\ &= 0.093 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断力 } S &= w \cdot L/2 \\ &= 3.507 \times 0.46/2 \\ &= 0.807 \text{ kN} \end{aligned}$$

(a-1-1-2) 断面性能

$$\begin{aligned} \text{蓋の材質} & \text{ SUS304} \\ \text{蓋の断面二次モーメント} & I = 3.5 \text{ cm}^4 \\ \text{蓋の断面係数} & Z = 5.84 \text{ cm}^3 \\ \text{蓋の断面積} & A_s = 42.0 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(a-1-1-3) 発生応力

$$\begin{aligned} \text{曲げモーメント} & M = 0.093 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ \text{せん断力} & S = 0.807 \text{ kN} \\ \text{曲げ応力 } \sigma_b &= M/Z \\ &= 0.093 \times 10^3/5.84 \\ &= 15.925 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断応力 } \tau &= S/A_s \\ &= 0.807 \times 10/42.0 \\ &= 0.193 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(15.925^2 + 3 \cdot 0.193^2)} \\ &= 15.928 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-1) 蓋（端部桁）

(a-2-1-1) 発生荷重

$$\begin{aligned}\text{基準津波+余震時作用荷重 } q &= D + P_s + P_h + w_{vg} \\ &= 3.091 + 0.21 + 2.020 + 3.028 \\ &= 8.349 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{受圧幅 } b = 0.21 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{主桁負担荷重 } w &= q \cdot b \\ &= 8.349 \times 0.21 \\ &= 1.754 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\text{水密幅 } B = 1.322 \text{ m}$$

$$\text{支間 } L = 1.370 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{曲げモーメント } M &= w \cdot B / 8 \cdot (2L - B) \\ &= 1.754 \times 1.322 / 8 \times (2 \times 1.370 - 1.322) \\ &= 0.412 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{せん断力 } S &= w \cdot B / 2 \\ &= 1.754 \times 1.322 / 2 \\ &= 1.160 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-1-2) 断面性能

蓋の材質 SUS304

蓋の断面二次モーメント $I = 1066 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 142 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 11.34 \text{ cm}^2$

(a-2-1-3) 発生応力

$$\text{曲げモーメント } M = 0.412 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{せん断力 } S = 1.160 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\text{曲げ応力 } \sigma_b &= M / Z \\ &= 0.412 \times 10^3 / 142 \\ &= 2.902 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{せん断応力 } \tau &= S / A_s \\ &= 1.160 \times 10 / 11.34 \\ &= 1.023 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(2.902^2 + 3 \cdot 1.023^2)} \\ &= 3.401 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-2) 蓋（中間桁）

(a-2-2-1) 発生荷重

$$\begin{aligned}\text{基準津波+余震時作用荷重 } q &= D + P_s + P_h + w_{vg} \\ &= 3.091 + 0.21 + 2.020 + 3.028 \\ &= 8.349 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{受圧幅 } b = 0.420 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{負担荷重 } w &= q \cdot b \\ &= 8.349 \times 0.420 \\ &= 3.507 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\text{水密幅 } B = 1.322 \text{ m}$$

$$\text{支間 } L = 1.370 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{曲げモーメント } M &= w \cdot B / 8 \cdot (2L - B) \\ &= 3.507 \times 1.322 / 8 \times (2 \times 1.370 - 1.322) \\ &= 0.822 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{せん断力 } S &= w \cdot B / 2 \\ &= 3.507 \times 1.322 / 2 \\ &= 2.319 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-2-2) 断面性能

蓋の材質 SUS304

蓋の断面二次モーメント $I = 1294 \text{ cm}^4$

蓋の断面係数 $Z = 173 \text{ cm}^3$

蓋の端部ウェブ断面積 $A_s = 11.34 \text{ cm}^2$

(a-2-2-3) 発生応力

$$\text{曲げモーメント } M = 0.822 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{せん断力 } S = 2.319 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\text{曲げ応力 } \sigma_b &= M / Z \\ &= 0.822 \times 10^3 / 173 \\ &= 4.752 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{せん断応力 } \tau &= S / A_s \\ &= 2.319 \times 10 / 11.34 \\ &= 2.045 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(4.752^2 + 3 \cdot 2.045^2)} \\ &= 5.927 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-2-3) 蓋（補助桁）

(a-2-3-1) 発生荷重

$$\begin{aligned}\text{基準津波+余震時作用荷重 } q &= D + P_s + P_h + w_{vg} \\ &= 3.091 + 0.21 + 2.020 + 3.028 \\ &= 8.349 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{受圧幅 } b = 0.457 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{負担荷重 } w &= q \cdot b \\ &= 8.349 \times 0.457 \\ &= 3.816 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\text{支間 } L = 0.420 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{曲げモーメント } M &= w \cdot L^2 / 8 \\ &= 3.816 \times 0.420^2 / 8 \\ &= 0.085 \text{ kN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{せん断力 } S &= w \cdot L / 2 \\ &= 3.816 \times 0.420 / 2 \\ &= 0.802 \text{ kN}\end{aligned}$$

(a-2-3-2) 断面性能

蓋の材質	SUS304
蓋の断面二次モーメント	$I = 359 \text{ cm}^4$
蓋の断面係数	$Z = 60 \text{ cm}^3$
蓋の端部ウェブ断面積	$A_s = 11.36 \text{ cm}^2$

(a-2-3-3) 発生応力<地震時>

$$\text{曲げモーメント } M = 0.085 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{せん断力 } S = 0.802 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\text{曲げ応力 } \sigma_b &= M / Z \\ &= 0.085 \times 10^3 / 60 \\ &= 1.417 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{せん断応力 } \tau &= S / A_s \\ &= 0.802 \times 10 / 11.36 \\ &= 0.706 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

組合せ応力（垂直+せん断）

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2)} \\ &= \sqrt{(1.417^2 + 3 \cdot 0.706^2)} \\ &= 1.872 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(a-3) 固定ボルト

蓋に作用する地震荷重は、蓋を介して固定ボルトに伝達するものとする。

(a-3-1) 蓋

(a-3-1-1) 発生荷重

せん断力

$$S = W_{hg} = 6.376 \text{ kN}$$

1本あたり

$$0.797 \text{ kN}$$

(a-3-1-2) 断面性能

固定ボルトの材質

SUS304

固定ボルトの呼び径

M30（谷径 $\phi = 26.211 \text{ mm}$ ）

固定ボルトの呼び径断面積

$$A_b = \pi/4 \cdot \phi^2$$

$$= 539 \text{ mm}^2$$

(a-3-1-3) 発生応力

固定ボルトのせん断応力

$$\tau = S/A_b$$

$$= 0.797 \times 10^3 / 539$$

$$= 1.479 \text{ N/mm}^2$$

二. T. P. +24m 津波時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) T. P. +24m 津波荷重

T. P. +24m 津波荷重は以下のとおりとする。

$$P_h = h \cdot W_0$$

ここで,

P_h : T. P. +24m 津波荷重 (kN/m²)

h : スキンプレート面作用水深 (m) = 追而

W_0 : 海水の密度 (kN/m³) = 10.100

以上より,

$$P_h = \text{追而} \times 10.100 = \text{追而} \text{ kN/m}^2$$

(a-4) S_d 地震荷重

S_d 地震荷重は「基準津波+余震時」と同じ値とする。

ホ. T. P. +24m 津波+余震時

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b)評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) T. P. +24m 津波荷重

T. P. +24m 津波荷重は「T. P. +24m 津波時」と同じ値とする。

(a-4) S_d 地震荷重

S_d 地震荷重は「基準津波+余震時」と同じ値とする。

(d)許容応力

許容応力は、ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（（社）ダム・施設技術協会，平成 25 年 6 月）に基づき設定する。

イ. Ss 地震時，基準津波時，基準津波＋余震時

(イ) 蓋

蓋（スキンプレート）の材質 SUS304

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 100 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 60 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 165 \text{ N/mm}^2$

蓋（端部桁）の材質 SUS304

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 100 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 60 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 165 \text{ N/mm}^2$

蓋（中間桁）の材質 SUS304

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 100 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 60 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 165 \text{ N/mm}^2$

蓋（補助桁）の材質 SUS304

許容曲げ応力度 $\sigma_a = 100 \text{ N/mm}^2$

許容せん断応力度 $\tau_a = 60 \text{ N/mm}^2$

許容限界（曲げ） $1.5 \sigma_a = 150 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 90 \text{ N/mm}^2$

許容限界（組合せ） $1.65 \sigma_a = 165 \text{ N/mm}^2$

(ロ) 固定ボルト

固定ボルト（蓋）の材質 SUS304

許容せん断応力度 $\tau_a = 60 \text{ N/mm}^2$

許容限界（せん断） $1.5 \tau_a = 90 \text{ N/mm}^2$

□. T.P. +24m 津波時, T.P. +24m 津波 + 余震時
追而

(e) 応力評価結果

イ. S_s 地震時

S_s 地震時の評価結果を表 6.9.1-5 に示す。

表 6.9.1-5 S_s 地震時の応力評価結果 (蓋, 固定ボルト)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ	14	150	
		せん断	1	90	
		組合せ	14	165	
	主桁	端部桁	曲げ	3	150
			せん断	1	90
			組合せ	3	165
		中間桁	曲げ	5	150
			せん断	2	90
			組合せ	6	165
	補助桁	曲げ	2	150	
		せん断	1	90	
		組合せ	2	165	
固定ボルト		せん断	3	90	

ロ. 基準津波時

基準津波時の評価結果を表 6.9.1-6 に示す。

表 6.9.1-6 基準津波時の応力評価結果 (蓋)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート		曲げ	11	150
			せん断	1	90
			組合せ	11	165
	主桁	端部桁	曲げ	2	150
			せん断	1	90
			組合せ	3	165
		中間桁	曲げ	4	150
			せん断	2	90
			組合せ	5	165
	補助桁		曲げ	1	150
			せん断	1	90
			組合せ	2	165

ハ. 基準津波+余震時

基準津波+余震時の評価結果を表 6.9.1-7 に示す。

表 6.9.1-7 基準津波+余震時の応力評価結果 (蓋)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキムプレート		曲げ	16	150
			せん断	1	90
			組合せ	16	165
	主桁	端部桁	曲げ	3	150
			せん断	2	90
			組合せ	4	165
		中間桁	曲げ	5	150
			せん断	3	90
			組合せ	6	165
	補助桁		曲げ	2	150
			せん断	1	90
			組合せ	2	165
	固定ボルト		せん断	2	90

ニ. T.P. +24m 津波時

T.P. +24m 津波時の評価結果を表 6.9.1-8 に示す。

表 6.9.1-8 T.P. +24m 津波時の応力評価結果 (蓋)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
	主桁	端部桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
		中間桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
	補助桁	曲げ			
		せん断			
		組合せ			

ホ. T.P. +24m 津波+余震時

T.P. +24m 津波+余震時の評価結果を表 6.9.1-9 に示す。

表 6.9.1-9 T.P. +24m 津波+余震時の応力評価結果 (蓋)

評価対象部位		発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)	
蓋	スキンプレート	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
	主桁	端部桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
		中間桁	曲げ		
			せん断		
			組合せ		
	補助桁	曲げ			
		せん断			
		組合せ			
固定ボルト		せん断			

g. 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

上蓋は、全周囲を固定ボルトにより支持されていることから、周辺固定の長方形板モデルとする。周辺固定の長方形板モデルの一次固有振動数 f は、「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」より、次式を用いて算出する。

$$f = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \frac{h_p}{2}}{2 \cdot b^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

ここで、

a : モデル化に用いる蓋材の幅 (長辺) (m)

b : モデル化に用いる蓋材の長さ (短辺) (m)

f : 一次固有振動数 (Hz)

λ : 振動数係数 (a/b 及び振動系によって決まる係数) 「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」の周辺固定の長方形板モデルより, $a/b=1$ のとき $\lambda=3.65$, $a/b=1.5$ のとき $\lambda=2.74$, $a/b=2$ のとき $\lambda=2.49$

π : 円周率 = 3.14159

h_p : 上蓋の厚さ (m) (公称厚) = 0.030

E : 縦弾性係数 (MPa) = 1.93666×10^5

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part6 表 1 を用いて計算する。温度 40 °C におけるオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数は、温度 20 °C の縦弾性係数 195000 MPa と、温度 50 °C の縦弾性係数 193000 MPa より、直線補間を用いて計算する。

$$\begin{aligned} E &= E_{20} - \frac{(t_{40} - t_{20}) \cdot (E_{50} - E_{20})}{(t_{50} - t_{20})} \\ &= 195000 - \frac{(40 - 20) \times (193000 - 195000)}{(50 - 20)} \\ &= 1.93666 \times 10^5 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

ここで、

t_{20} , t_{40} , t_{50} : 温度 (各 20°C, 40°C, 50°C)

E_{20} , E_{50} : 各温度時のオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数 (E_{20} : 20°C の時 195000MPa, E_{50} : 50°C の時 193000MPa)

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

ν : ポアソン比 = 0.3

ρ : 材料の密度 (kg/m^3) オーステナイト系ステンレス鋼 = 7930

表 6.9.1-17 上蓋の固有振動数の算出条件

	モデル化に用いる 上蓋の幅 a (m)	モデル化に用いる 上蓋の長さ b (m)	振動数係数 λ ※1※2	一次固有振動数 f ※1※2 (Hz)
水密ハッチA	2.580	2.320	2.74	35.8752
水密ハッチB	2.620	2.130	2.74	42.5597

注記 ※1 水密ハッチAの振動数係数 λ は、 $a/b \doteq 1.1$ の場合の定数 λ が無いいため、より小さな値として算出される $a/b = 1.5$ の場合の定数 $\lambda = 2.74$ を用いた。

※2 水密ハッチBの振動数係数 λ は、 $a/b \doteq 1.2$ の場合の定数 λ が無いいため、より小さな値として算出される $a/b = 1.5$ の場合の定数 $\lambda = 2.74$ を用いた。

※3 水密ハッチAの一次固有振動数 f は以上より、

$$f = \frac{2.74 \times 3.14159 \times \frac{0.030}{2}}{2 \times 2.320^2} \sqrt{\frac{1.93666 \times 10^{11} \times 9.80665}{3 \times (1 - 0.3^2) \times 7930 \times 9.80665}}$$

$$= 35.8752$$

※4 水密ハッチBの一次固有振動数 f は以上より、

$$f = \frac{2.74 \times 3.14159 \times \frac{0.030}{2}}{2 \times 2.130^2} \sqrt{\frac{1.93666 \times 10^{11} \times 9.80665}{3 \times (1 - 0.3^2) \times 7930 \times 9.80665}}$$

$$= 42.5597$$

ロ. 固有値解析結果

水密ハッチA

固有振動数は 35 Hz であり、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

水密ハッチB

固有振動数は 42 Hz であり、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

(b) 応力計算

(イ) 荷重条件

(a-1) 常時作用する固定荷重 (D) <重畳時及び地震時>

固定荷重は以下のとおりとする。

$$D = m \cdot g$$

ここで、

D : 固定荷重 (N)

m : 上蓋の質量 (kg)

表 6.9.1-18 水密ハッチの質量及び固定荷重

	上蓋の質量m (kg)	固定荷重D ^{※1※2} (N)
水密ハッチA	1700	16671.3
水密ハッチB	1600	15690.6

注記 ※1 水密ハッチAの固定荷重Dは以上より

$$D = 1700 \times 9.80665 \\ = 16671.3$$

※2 水密ハッチBの固定荷重Dは以上より

$$D = 1600 \times 9.80665 \\ = 15690.6$$

(a-2) 積雪荷重(P_s) <重畳時及び地震時>

積雪荷重 P_s については、30cmの積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮する。

積雪荷重による質量は次式を用いて算出する。

$$P_s = k \cdot \omega \cdot H$$

ここで、

P_s : 積雪荷重 (Pa)

k : 定数 (積雪荷重算出) = 0.35

ω : 積雪の単位荷重 (Pa/cm) = 20

H : 垂直積雪高さ (cm) = 30

以上より、

$$P_s = 0.35 \times 20 \times 30 \\ = 210$$

(a-3) 浸水津波荷重(P_h) <重畳時>

浸水津波荷重として、経路からの津波又は溢水に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、次式を用いて算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h$$

ここで、

P_h : 浸水津波荷重による静水圧荷重 (Pa)

ρ_0 : 海水の密度 (kg/m³) = 1030

港湾の施設の技術上の基準・同解説 ((社) 日本港湾協会 平成19年)
より

h : 水位差 (m) = 0.200

以上より、

$$P_h = 1030 \times 9.80665 \times 0.200$$

$$= 2020.17$$

(a-4) 余震荷重(S_d) <重畳時>

余震荷重は、添付資料 V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた地震応答解析に伴う格納容器圧力逃がし装置格納槽上版における最大応答加速度の最大値を静的震度として、水密ハッチに作用する余震による慣性力を考慮する。なお、静的震度は最大応答加速度を重力加速度で除して算出する。

水密ハッチの最大床応答加速度を表 6.9.1-19 に、応力評価に用いる S_d 地震荷重の最大静的震度を表 6.9.1-20 に示す。

表 6.9.1-19 水密ハッチの最大床応答加速度

弾性設計用地震動	水平地震動	鉛直地震動	最大床応答加速度 (Gal)	
			水平方向	鉛直方向
S_d-D1L	正転	正転	192	357
	反転	正転	187	371
	正転	反転	199	373
	反転	反転	332	551

追而

表 6.9.1-20 応力評価に用いる最大静的震度

弾性設計用地震動	水平地震動	鉛直地震動	最大床応答加速度 (Gal)		水平震度 C_H	鉛直震度 C_V
			水平方向	鉛直方向		
S_d-D1L	反転	反転	332	551	0.34	0.57

追而

地震荷重による水方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重(D)及び積雪荷重(P_s)を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{HSd} = C_H \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{HSd} : 水平方向の静的地震荷重 (N) 表 6.9.1-21 参照

A : 上蓋に積雪が載荷する面積 (上蓋端面面積) (m^2) 表 6.9.1-21 参照

地震荷重による鉛直方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重(D)及び積雪荷重(P_s)を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{VSd} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{Vsd} : 鉛直方向の静的地震荷重 (N) 表 6.9.1-21 参照

表 6.9.1-21 余震による地震荷重

	上蓋端 幅 (m)	上蓋端 長さ(m)	上蓋面積 A (m ²)	水平地震荷重 ^{※1※2} P_{Hsd} (N)	鉛直地震荷重 ^{※3※4} P_{Vsd} (N)
水密ハッチA	2.32	2.58	5.9856	6095.61	10219.1
水密ハッチB	2.13	2.62	5.5806	5733.26	9611.64

注記 ※1 水密ハッチAの水平地震荷重 P_{Hsd} は以上より

$$P_{Hsd} = 0.34 \times (16671.3 + 210 \times 5.9856) \\ = 6095.61$$

※2 水密ハッチBの水平地震荷重 P_{Hsd} は以上より

$$P_{Vsd} = 0.34 \times (15690.6 + 210 \times 5.5806) \\ = 5733.26$$

※3 水密ハッチAの鉛直地震荷重 P_{Vsd} は以上より

$$P_{Vsd} = 0.57 \times (16671.3 + 210 \times 5.9856) \\ = 10219.1$$

※4 水密ハッチBの鉛直地震荷重 P_{Vsd} は以上より

$$P_{Vsd} = 0.57 \times (15690.6 + 210 \times 5.5806) \\ = 9611.64$$

(a-5) 地震荷重(S_s) <地震時>

水基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

ここで、応力評価に用いる静的震度は格納容器圧力逃がし装置格納槽上版における最大加速度を重力加速度で除して算出し、各方向での最大値を用いる。表 6.9.1-22 に応力評価に用いる静的震度 (評価用震度) を示す。

表 6.9.1-22 設計用震度

設置場所 及び床面 高さ(m)	水平方向			鉛直方向		
	設計用地震動 (表 2-1 より)	裕度	評価用震度 C_{HSS} ^{※1}	設計用地震動 (表 2-2 より)	裕度	評価用震度 C_{VSS} ^{※2}
8.2	1.10	2.5	2.75	0.96	1.2	1.152

注記 ※1 水平方向の評価用震度 C_{HSS} は以上より

$$C_{HSS} = 1.10 \times 2.5 \\ = 2.75$$

※2 鉛直方向の評価用震度 C_{VSS} は以上より

$$C_{VSS} = 0.96 \times 1.2$$

=1.152

表 2-1 基準地震動 S_s による原子炉建屋内機器・配管系の
水平方向評価用震度 (1.2DAS_s × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)

質点 番号	標高 EL (m)	水平方向 評価用震度 (1.2DAS _s × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)																	
		基準地震動S _s																	
		S _s -D1		S _s -11		S _s -12		S _s -13		S _s -14		S _s -21		S _s -22		S _s -31		評価用震度 (8波包絡)	
NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW				
1	63.65	2.15	2.19	1.49	1.43	1.74	1.11	1.70	1.14	0.99	1.10	2.40	2.01	2.34	2.45	2.09	2.33	2.45	
2	57.00	1.89	1.94	1.16	1.14	1.38	0.90	1.35	0.92	0.86	0.90	2.09	1.58	2.01	2.06	1.95	2.04	2.09	
3	46.50	1.56	1.55	0.59	0.63	0.71	0.65	0.72	0.65	0.59	0.51	1.61	0.77	1.58	1.29	1.74	1.71	1.74	
4	38.80	1.41	1.41	0.47	0.57	0.60	0.60	0.60	0.60	0.48	0.47	1.37	0.63	1.32	1.04	1.62	1.67	1.67	
5	34.70	1.35	1.32	0.41	0.54	0.54	0.57	0.54	0.60	0.45	0.45	1.17	0.59	1.28	0.95	1.62	1.64	1.64	
6	29.00	1.22	1.25	0.45	0.48	0.51	0.59	0.50	0.60	0.44	0.45	1.05	0.53	1.07	0.81	1.55	1.53	1.55	
7	20.30	1.07	1.07	0.45	0.53	0.50	0.57	0.54	0.59	0.45	0.44	0.89	0.56	0.89	0.75	1.26	1.34	1.34	
8	14.00	0.96	0.98	0.50	0.54	0.51	0.53	0.57	0.54	0.45	0.41	0.89	0.56	0.75	0.66	1.10	1.13	1.13	
10	2.00	0.80	0.80	0.48	0.51	0.51	0.42	0.57	0.44	0.44	0.36	0.78	0.53	0.68	0.60	0.95	0.96	0.96	
11	-4.00	0.77	0.77	0.47	0.48	0.53	0.39	0.59	0.42	0.41	0.35	0.72	0.51	0.68	0.56	0.87	0.83	0.87	

追而

表 2-2 基準地震動 S_s による原子炉建屋内機器・配管系の
鉛直方向評価用震度 (1.2DAS_vs × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)

質点 番号	標高 EL (m)	鉛直方向 評価用震度 (1.2DAS _v s × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)									
		基準地震動S _s									
		S _s -D1	S _s -11	S _s -12	S _s -13	S _s -14	S _s -21	S _s -22	S _s -31	評価用震度 (8波包絡)	
25	63.65	4.14	2.25	2.87	3.11	1.86	3.30	3.57	2.18	4.14	
24	63.65	3.42	1.55	1.80	1.79	1.28	2.04	2.99	2.01		
23	63.65	2.99	1.83	2.12	2.22	1.53	2.40	2.58	1.49		
22	63.65	2.12	1.86	2.22	2.25	1.58	2.40	2.57	0.87		
1	63.65	1.35	1.65	1.34	1.34	1.07	1.88	1.82	0.69	1.88	
2	57.00	1.31	1.55	1.26	1.29	0.98	1.77	1.71	0.66	1.77	
3	46.50	1.20	1.28	1.08	1.10	0.80	1.52	1.38	0.57	1.52	
4	38.80	1.16	1.19	1.07	1.07	0.75	1.44	1.29	0.54	1.44	
5	34.70	1.08	1.10	1.02	1.01	0.72	1.34	1.19	0.51	1.34	
6	29.00	0.99	0.98	0.93	0.92	0.71	1.17	1.08	0.45	1.17	
7	20.30	0.95	0.81	0.81	0.78	0.68	1.01	1.01	0.38	1.01	
8	14.00	0.93	0.75	0.78	0.75	0.65	0.93	0.99	0.35	0.99	
10	2.00	0.89	0.77	0.77	0.69	0.60	0.81	0.92	0.32	0.92	
11	-4.00	0.84	0.77	0.74	0.71	0.60	0.77	0.90	0.32	0.90	

追而

地震荷重による水方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{HSS} = C_{HSS} \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{HSS} : 水平方向の静的地震荷重 (N) 表 6.9.1-23 参照

A : 上蓋に積雪が載荷する面積 (上蓋端面積) (m²) 表 6.9.1-23 参照

地震荷重による鉛直方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{VSS} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{VSS} : 鉛直方向の静的地震荷重 (N) 表 6.9.1-23 参照

表 6.9.1-23 地震 (S_s) による地震荷重

	上蓋端幅 (m)	上蓋端長さ (m)	上蓋面積 A (m ²)	水平地震荷重 ^{※1※2} P _{HSS} (N)	鉛直地震荷重 ^{※3※4} P _{VSS} (N)
水密ハッチA	2.32	2.58	5.9856	49302.8	20653.4
水密ハッチB	2.13	2.62	5.5806	46371.9	19425.6

注記 ※1 水密ハッチAの水平地震荷重P_{HSS}は以上より

$$P_{HSS} = 2.75 \times (16671.3 + 210 \times 5.9856) \\ = 49302.8$$

※2 水密ハッチBの水平地震荷重P_{HSS}は以上より

$$P_{HSS} = 2.75 \times (15690.6 + 210 \times 5.5806) \\ = 46371.9$$

※3 水密ハッチAの鉛直地震荷重P_{VSS}は以上より

$$P_{VSS} = 1.152 \times (16671.3 + 210 \times 5.9856) \\ = 20653.4$$

※4 水密ハッチBの鉛直地震荷重P_{VSS}は以上より

$$P_{VSS} = 1.152 \times (15690.6 + 210 \times 5.5806) \\ = 19425.6$$

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 上蓋

上蓋に作用する鉛直荷重（鉛直下向き方向）は，コンクリート躯体に支持されることから，上蓋には曲げ及びせん断力が作用する。

上蓋は固定ボルト間を支点とした等分布荷重を受ける周辺固定の長方形板モデルとして検討を行う。

尚，水平荷重（水平2方向）は固定ボルトに対するせん断力として評価を行う。

(a-1-1) 重畳時

(a-1-1-1) 曲げ応力<重畳時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に，上蓋に発生する曲げ応力は，「機械工学便覧（1986年），日本機械学会」より次式を用いて算出する。

$$\sigma_b = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + P_{vsd}}{A} + Ph + P_s \right) \cdot a'^2}{t^2}$$

ここで，

σ_b : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の曲げ応力 (MPa)

表 10 参照

β_2 : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の応力係数

「機械工学便覧（1986年），日本機械学会 第4編材料力学 第37表及び 第160図」より求める。表 6.9.1-24 参照

t : 上蓋の厚さ（公称値） (m) = 0.030

a' : モデル化に用いる上蓋の短辺長さ (m) 表 10 参照

b' : モデル化に用いる上蓋の長辺長さ (m) 表 10 参照

表 6.9.1-24 上蓋の応力算出緒元及び曲げ応力

	モデル化に用いる上蓋の短辺長さ a' (m)	モデル化に用いる上蓋の長辺長さ b' (m)	応力係数 ^{*1*2} β_2	上蓋の厚さ t (m)	上蓋の曲げ応力 ^{*3*4} σ_b (MPa)
水密ハッチA	2.320	2.580	0.33	0.030	34
水密ハッチB	2.130	2.620	0.45	0.030	39

注記 ※1 水密ハッチAの応力係数 β_2 は b' / a' から

$$b' / a' = 2.580 / 2.320$$

$$= 1.11207$$

第 160 図から

$$\beta_2 = 0.33$$

※2 水密ハッチ B の応力係数 β_2 は b' / a' から

$$b' / a' = 2.620 / 2.130$$

$$= 1.23004$$

第 160 図から

$$\beta_2 = 0.45$$

※3 水密ハッチ A の曲げ応力 σ_b は以上より

$$\sigma_b = \frac{0.33 \times \left(\frac{16671.3 + 10219.1}{5.9856} + 2020.17 + 210 \right) \times 2.320^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 13.2675$$

小数点第一位切り上げより 14MPa

※4 水密ハッチ B の曲げ応力 σ_b は以上より

$$\sigma_b = \frac{0.45 \times \left(\frac{15690.6 + 9611.64}{5.5806} + 2020.17 + 210 \right) \times 2.130^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 15.34401$$

小数点第一位切り上げより 16MPa

(a-1-1-2) せん断応力<重畳時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生するせん断応力は、すべての荷重が支持縁に作用するとして次式を用いて算出する。

$$\tau = \frac{D + P_{Vsd} + (Ph + P_s) \cdot A}{t \cdot (a' + b') \cdot 2}$$

ここで、

τ : せん断応力 (MPa)

水密ハッチ A のせん断応力 τ は以上より

$$\tau = \frac{16671.3 + 10219.1 + (2020.17 + 210) \times 5.9856}{0.030 \times (2.320 + 2.580) \times 2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0.136868$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

水密ハッチBのせん断応力 τ は以上より

$$\tau = \frac{15690.6 + 9611.64 + (2020.17 + 210) \times 5.5806}{0.030 \times (2.130 + 2.620) \times 2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0.132449$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-1-1-3) 組合せ応力<重畳時>

前項にて算出した垂直応力やせん断応力について、「J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 SSB-3121.1」より次式を用いて算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力 (MPa) 表 6.9.1-25 参照

σ_x, σ_y : 互いに直交する垂直応力 (σ_b と同値) (MPa) 表 6.9.1-25 参照

τ_{xy} : σ_x, σ_y の作用する面内のせん断応力 (τ と同値) (MPa) 表 6.9.1-25

表 6.9.1-25 組合せ応力

	垂直応力 σ_x (σ_b) (MPa)	垂直応力 σ_y (σ_b) (MPa)	せん断応力 τ_{xy} (τ) (MPa)	組合せ応力 ^{※1※2} σ (MPa)
水密ハッチA	14	14	1	15
水密ハッチB	16	16	1	17

注記 ※1 水密ハッチAの組合せ応力 σ は以上より

$$\sigma = \sqrt{14^2 + 14^2 - 14 \times 14 + 3 \times 1^2}$$

$$= 14.1067$$

小数点第一位切り上げより 15MPa

※2 水密ハッチBの組合せ応力 σ は以上より

$$\sigma = \sqrt{16^2 + 16^2 - 16 \times 16 + 3 \times 1^2}$$

$$= 16.0935$$

小数点第一位切り上げより 17MPa

(a-1-2) 地震時

(a-1-2-1) 曲げ応力<地震時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生する曲げ応力は、「機械工学便覧（1986年）、日本機械学会」より次式を用いて算出する。

$$\sigma_{bss} = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + P_{Vss}}{A} + P_s \right) \cdot a'^2}{t^2}$$

ここで、

σ_{bss} : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の曲げ応力 (MPa)

t : 上蓋の厚さの公称値 (m) = 0.030

水密ハッチAの曲げ応力 σ_{bss} は以上より

$$\begin{aligned} \sigma_{bss} &= \frac{0.33 \times \left(\frac{16671.3 + 20653.4}{5.9856} + 210 \right) \times 2.320^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6} \\ &= 12.7210 \end{aligned}$$

小数点第一位切り上げより 13MPa

水密ハッチBの曲げ応力 σ_{bss} は以上より

$$\begin{aligned} \sigma_{bss} &= \frac{0.45 \times \left(\frac{15690.6 + 19425.6}{5.5806} + 210 \right) \times 2.130^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6} \\ &= 14.7507 \end{aligned}$$

小数点第一位切り上げより 15MPa

(a-1-2-2) せん断応力<地震時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生するせん断応力は、すべての荷重が支持縁に作用するとして次式を用いて算出する。

$$\tau_{ss} = \frac{D + P_{Vss} + P_s \cdot A}{t \cdot (a' + b')} \cdot 2$$

ここで、

τ_{ss} : せん断応力 (MPa)

水密ハッチAのせん断応力 τ は以上より

$$\tau_{ss} = \frac{16671.3 + 20653.4 + 210 \times 5.9856}{0.030 \times (2.320 + 2.580)} \cdot 10^{-6}$$

$$=0.131230$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

水密ハッチBのせん断応力 τ は以上より

$$\tau_{SS} = \frac{15690.6 + 19425.6 + 210 \times 5.5806}{0.030 \times (2.130 + 2.620) \times 2} \cdot 10^{-6}$$

$$=0.127327$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-1-2-3) 組合せ応力<地震時>

前項にて算出した垂直応力やせん断応力について、「J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB-3121.1」より次式を用いて算出する。結果を表 6.9.1-26 に示す。

$$\sigma_{SS} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

表 6.9.1-26 組合せ応力

	垂直応力 σ_x (σ_{bSS}) (MPa)	垂直応力 σ_y (σ_{bSS}) (MPa)	せん断応力 τ_{xy} (τ_{SS}) (MPa)	組合せ応力 ^{※1※2} σ_{SS} (MPa)
水密ハッチA	13	13	1	14
水密ハッチB	15	15	1	16

注記 ※1 水密ハッチAの組合せ応力 σ は以上より

$$\sigma_{SS} = \sqrt{13^2 + 13^2 - 13 \times 13 + 3 \times 1^2}$$

$$=13.1149$$

小数点第一位切り上げより 14MPa

※2 水密ハッチBの組合せ応力 σ は以上より

$$\sigma_{SS} = \sqrt{15^2 + 15^2 - 15 \times 15 + 3 \times 1^2}$$

$$=15.0997$$

小数点第一位切り上げより 16MPa

(a-2) 固定ボルト

固定ボルトに作用する水平荷重（水平震度）は、上蓋を介して固定ボルトにせん断力が作用する。

尚、鉛直下向き方向の荷重は固定ボルトに作用しないこと及び余震による鉛直震度が 1G を超えないため上蓋の浮き上がりによる固定ボルトの引張が起らないことから、固定ボルトは引張の評価を行わない。地震時は鉛直震度が 1G を超えるため引張も考慮する。

(a-2-1) 重畳時

(a-2-1-1) せん断応力<重畳時>

余震による水平荷重が作用した際の固定ボルトのせん断応力は、以下の式より算出する。

$$\tau_k = \frac{P_{Hsd}}{n \cdot A_b}$$

ここで、

τ_k : 固定ボルトに作用するせん断応力 (MPa) 表 6.9.1-27 参照

n : 固定ボルトの本数 (本) 表 6.9.1-27 参照

A_b : 固定ボルトの呼び径の断面積 (mm²) 呼び径 M20mm より

$$\begin{aligned} A_b &= \pi \cdot 20^2 / 4 \\ &= 3.14159 \times 20^2 / 4 \\ &= 314.159 \end{aligned}$$

表 6.9.1-27 固定ボルトのせん断応力

	固定ボルト本数 n (本)	固定ボルトの断面積 A_b (mm ²)	せん断応力 ^{※1※2} τ_k (MPa)
水密ハッチ A	20	314.159	1
水密ハッチ B	22	314.159	1

注記 ※1 水密ハッチ A の固定ボルトせん断応力は以上より

$$\begin{aligned} \tau_k &= \frac{6095.61}{20 \times 314.159} \\ &= 0.970147 \end{aligned}$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

※2 水密ハッチ B の固定ボルトせん断応力は以上より

$$\tau_k = \frac{5733.26}{22 \times 314.159}$$

$$= 0.829525$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-2-2) 地震時

(a-2-2-1) 引張応力<地震時>

地震 (S_s) による鉛直荷重が作用した際の固定ボルトの引張応力は、以下の式より算出する。

$$\sigma_{tss} = \frac{P_{vss} - D - P_s \cdot A}{n \cdot A_b}$$

ここで、

σ_{tss} : 鉛直方向の地震荷重 (S_s) による固定ボルトに作用する引張応力 (MPa)

水密ハッチAの固定ボルトの引張応力は以上より

$$\sigma_{tss} = \frac{20653.4 - 16671.3 - 210 \times 5.9856}{20 \times 314.159}$$

$$= 0.433717$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

水密ハッチBの固定ボルトの引張応力は以上より

$$\sigma_{tss} = \frac{19425.6 - 15690.6 - 210 \times 5.5806}{22 \times 314.159}$$

$$= 0.370842$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-2-2-2) せん断応力<地震時>

地震 (S_s) による水平荷重が作用した際の固定ボルトのせん断応力は、以下の式より算出する。

$$\tau_{kss} = \frac{P_{HSS}}{n \cdot A_b}$$

ここで、

τ_{kss} : 水平方向の地震荷重 (S_s) による固定ボルトに作用するせん断応力 (MPa)

水密ハッチAの固定ボルトせん断応力は以上より

$$\tau_{ks s} = \frac{49302.8}{20 \times 314.159}$$

$$= 7.84679$$

小数点第一位切り上げより 8MPa

水密ハッチBの固定ボルトせん断応力は以上より

$$\tau_{ks s} = \frac{46371.9}{22 \times 314.159}$$

$$= 6.70938$$

小数点第一位切り上げより 7MPa

(a-2-2-3) 組合せ応力<地震時>

地震 (S_s) 荷重が作用した際の固定ボルトの引張応力とせん断応力を同時に受けるボルトは「J S M E S N C 1-2005/2007 SSB-3132」より、その影響を許容値にて考慮する。

(ハ) 許容応力

許容応力は、S_s地震時、浸水津波+S_d地震時は、供用状態C(許容応力状態Ⅲ_AS)として設定する。

(a-1) 上蓋の許容応力

許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [S_y, 0.7 \cdot S_u] \\ &= \min [205, 0.7 \times 520] \\ &= \min [205, 364] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-1) 許容曲げ応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_b &= (F/1.5) \cdot 1.5 \\ &= (205/1.5) \times 1.5 \\ &= 136 \times 1.5 \\ &= 204 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-3) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/1.5) \cdot 1.5 \\ &= (205/1.5) \times 1.5 \\ &= 136 \times 1.5 \\ &= 204 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) 基礎ボルトの許容応力
許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [S_y, 0.7 \cdot S_u] \\ &= \min [205, 0.7 \times 520] \\ &= \min [205, 364] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-1) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-3) 組合せを考慮した許容引張応力

$$\begin{aligned} f_{ts} &= 1.4 \cdot 1.5 \cdot f_t - 1.6 \tau \\ &= 1.4 \times 153 - 1.6 \times 8 \\ &= 201.4 \text{ MPa} \\ &> 1.5 \cdot f_t = 153 \text{ MPa より} \\ &\text{許容引張応力は } 1.5 \cdot f_t \text{ を使用する。} \end{aligned}$$

h. 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

上蓋は、全周囲を固定ボルトにより支持されていることから、周辺固定の長方形板モデルとする。周辺固定の長方形板モデルの一次固有振動数 f は、「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」より、次式を用いて算出する。

$$f = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot b^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

ここで、

a : モデル化に用いる蓋材の幅 (長辺) (m)

b : モデル化に用いる蓋材の長さ (短辺) (m)

f : 一次固有振動数 (Hz)

λ : 振動数係数 (a/b 及び振動系によって決まる係数) 「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」の周辺固定の長方形板モデルより, $a/b=1$ のとき $\lambda=3.65$, $a/b=1.5$ のとき $\lambda=2.74$, $a/b=2$ のとき $\lambda=2.49$

π : 円周率 = 3.14159

t : 上蓋の厚さ (m) (公称厚) = 0.030

E : 縦弾性係数 (MPa) = 1.93666×10^5

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part6 表 1 を用いて計算する。温度 40 °C におけるオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数は、温度 20 °C の縦弾性係数 195000 MPa と、温度 50 °C の縦弾性係数 193000 MPa より、直線補間を用いて計算する。

$$\begin{aligned} E &= E_{20} - \frac{(t_{40} - t_{20}) \cdot (E_{50} - E_{20})}{(t_{50} - t_{20})} \\ &= 195000 - \frac{(40-20) \times (193000 - 195000)}{(50-20)} \\ &= 1.93666 \times 10^5 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

ここで、

t_{20} , t_{40} , t_{50} : 温度 (各 20°C, 40°C, 50°C)

E_{20} , E_{50} : 各温度時のオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数 (E_{20} : 20°C の時 195000MPa, E_{50} : 50°C の時 193000MPa)

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

ν : ポアソン比 = 0.3

ρ : 材料の密度 (kg/m^3) オーステナイト系ステンレス鋼 = 7930

表3 上蓋の固有振動数の算出条件

	モデル化に用いる 上蓋の幅 a (m)	モデル化に用いる 上蓋の長さ b (m)	振動数係数 λ ※1	一次固有振動数 f ※2 (Hz)
水密ハッチ	3.320	3.080	2.74	20.3549

注記 ※1 水密ハッチの振動数係数 λ は、 $a/b \approx 1.1$ の場合の定数 λ が無いいため、より小さな値として算出される $a/b=1.5$ の場合の定数 $\lambda=2.74$ を用いた。

※2 水密ハッチの一次固有振動数 f は以上より、

$$f = \frac{2.74 \times 3.14159 \times \frac{0.030}{2}}{2 \times 3.080^2} \sqrt{\frac{1.93666 \times 10^{11} \times 9.80665}{3 \times (1 - 0.3^2) \times 7930 \times 9.80665}}$$

$$= 20.3549$$

ロ. 固有値解析結果

水密ハッチ

固有振動数は 20.3 Hz であり、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

(b) 応力計算

(イ) 荷重条件

(a-1) 常時作用する固定荷重 (D) <重畳時及び地震時>

固定荷重は以下のとおりとする。

$$D = m \cdot g$$

ここで、

D : 固定荷重 (N)

m : 上蓋の質量 (kg)

表4 水密ハッチの質量及び固定荷重

	上蓋の質量 m (kg)	固定荷重 D* (N)
水密ハッチ	2800	27458.6

注記 ※ 水密ハッチの固定荷重 D は以上より

$$D = 2800 \times 9.80665$$

$$= 27458.6$$

(a-2) 積雪荷重 (P_s) <重畳時及び地震時>

積雪荷重 P_s については、30cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は次式を用いて算出する。

$$P_s = k \cdot \omega \cdot H$$

ここで、

$$\begin{aligned}
P_s &: \text{積雪荷重 (Pa)} \\
k &: \text{定数 (積雪荷重算出)} &= 0.35 \\
\omega &: \text{積雪の単位荷重 (Pa/cm)} &= 20 \\
H &: \text{垂直積雪高さ (cm)} &= 30 \\
\text{以上より,} \\
P_s &= 0.35 \times 20 \times 30 \\
&= 210
\end{aligned}$$

(a-3) 浸水津波荷重 (P_h) <重畳時>

浸水津波荷重として、経路からの津波又は溢水に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、次式を用いて算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h$$

ここで、

P_h : 浸水津波荷重による静水圧荷重 (Pa)

ρ_0 : 海水の密度 (kg/m^3) = 1030

港湾の施設の技術上の基準・同解説 ((社) 日本港湾協会 平成 19 年)
より

h : 水位差 (m) = 0.200

以上より、

$$\begin{aligned}
P_h &= 1030 \times 9.80665 \times 0.200 \\
&= 2020.17
\end{aligned}$$

(a-4) 余震荷重 (S_d) <重畳時>

余震荷重は、添付資料 V-1-1-2-2-5 「津波防護に関する施設の設計方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた地震応答解析に伴う **上版コンクリート** における最大応答加速度の最大値を **設計震度** として、水密ハッチに作用する余震による慣性力を考慮する。なお、**設計震度** は最大応答加速度を重力加速度で除して算出する。

水密ハッチの最大床応答加速度を表 5 に、応力評価に用いる S_d 地震荷重の **設計震度** を表 6 に示す。

表 5 水密ハッチの最大床応答加速度

弾性設計用地震動	水平地震動	鉛直地震動	最大床応答加速度 (Gal)	
			水平方向	鉛直方向
S _d -D1L	正転	正転	192	357
	反転	正転	187	371
	正転	反転	199	373
	反転	反転	332	551

追而

表6 応力評価に用いる設計震度

弾性設計用地震動	水平地震動	鉛直地震動	最大床応答加速度 (Gal)		水平震度 C _H	鉛直震度 C _V
			水平方向	鉛直方向		
S _d -D1L	反転	反転	332	551	0.34	0.57

追而

地震荷重による水方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{HSd} = C_H \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{HSd} : 水平方向の静的地震荷重 (N) 表7参照

A : 上蓋に積雪が載荷する面積 (上蓋端面積) (m²) 表7参照

地震荷重による鉛直方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{VSd} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{VSd} : 鉛直方向の静的地震荷重 (N) 表7参照

表7 余震による地震荷重

	上蓋の幅 (m)	上蓋の長さ (m)	上蓋面積 A (m ²)	水平地震荷重 ^{※1} P _{HSd} (N)	鉛直地震荷重 ^{※2} P _{VSd} (N)
水密ハッチ	3.32	3.08	10.2256	10066.0	16875.4

注記 ※1 水密ハッチの水平地震荷重 P_{HSd} は以上より

$$P_{HSd} = 0.34 \times (27458.6 + 210 \times 10.2256) = 10066.0$$

※2 水密ハッチの鉛直地震荷重 P_{VSd} は以上より

$$P_{VSd} = 0.57 \times (27458.6 + 210 \times 10.2256) = 16875.4$$

(a-5) 地震荷重(S_s) <地震時>

水基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

ここで、応力評価に用いる設計震度は上版コンクリートにおける最大加速度を重力加速度で除して算出し、各方向での最大値を用いる。表8に応力評価に用いる設計震度を示す。

表8 設計用震度

設置場所 及び床面 高さ(m)	水平方向			鉛直方向		
	設計用地震動 (表2-1より)	裕度	評価用震度 C_{HSS}^{*1}	設計用地震動 (表2-2より)	裕度	評価用震度 C_{VSS}^{*2}
8.2	1.10	2.5	2.75	0.96	1.2	1.152

注記 ※1 水平方向の評価用震度 C_{HSS} は以上より

$$C_{HSS} = 1.10 \times 2.5 = 2.75$$

※2 鉛直方向の評価用震度 C_{VSS} は以上より

$$C_{VSS} = 0.96 \times 1.2 = 1.152$$

表2-1 基準地震動 S_s による原子炉建屋内機器・配管系の水平方向評価用震度 (1.2DASs × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)

質点 番号	標高 EL (m)	水平方向 評価用震度 (1.2DASs × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)																評価用震度 (8波包絡)
		基準地震動 S_s																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
1	63.65	2.15	2.19	1.49	1.43	1.74	1.11	1.70	1.14	0.99	1.10	2.40	2.01	2.34	2.45	2.09	2.33	2.45
2	57.00	1.89	1.94	1.16	1.14	1.38	0.90	1.35	0.92	0.86	0.90	2.09	1.58	2.01	2.06	1.95	2.04	2.09
3	46.50	1.56	1.55	0.59	0.63	0.71	0.65	0.72	0.65	0.59	0.51	1.61	0.77	1.58	1.29	1.74	1.71	1.74
4	38.80	1.41	1.41	0.47	0.57	0.60	0.60	0.60	0.60	0.48	0.47	1.37	0.63	1.32	1.04	1.62	1.67	1.67
5	34.70	1.35	1.32	0.41	0.54	0.54	0.57	0.54	0.60	0.45	0.45	1.17	0.59	1.28	0.95	1.62	1.64	1.64
6	29.00	1.22	1.25	0.45	0.48	0.51	0.59	0.50	0.60	0.44	0.45	1.05	0.53	1.07	0.81	1.55	1.53	1.55
7	20.30	1.07	1.07	0.45	0.53	0.50	0.57	0.54	0.59	0.45	0.44	0.89	0.56	0.89	0.75	1.26	1.34	1.34
8	14.00	0.96	0.98	0.50	0.54	0.51	0.53	0.57	0.54	0.45	0.41	0.89	0.56	0.75	0.66	1.10	1.13	1.13
9																		
10	2.00	0.80	0.80	0.48	0.51	0.51	0.42	0.57	0.44	0.44	0.36	0.78	0.53	0.68	0.60	0.95	0.96	0.96
11	-4.00	0.77	0.77	0.47	0.48	0.53	0.39	0.59	0.42	0.41	0.35	0.72	0.51	0.68	0.56	0.87	0.83	0.87

追而

表 2-2 基準地震動 S_s による原子炉建屋内機器・配管系の鉛直方向評価用震度 (1.2DASV_s × 「④地盤物性等のばらつき」 1.5 倍)

質点番号	標高 EL (m)	鉛直方向 評価用震度 (1.2DASV _s × 「④地盤物性等のばらつき」 1.5倍)								
		基準地震動 S _s								
		S _s -D1	S _s -11	S _s -12	S _s -13	S _s -14	S _s -21	S _s -22	S _s -31	評価用震度 (8波包絡)
25	63.65	4.14	2.25	2.87	3.11	1.86	3.30	3.57	2.18	4.14
24	63.65	3.42	1.55	1.80	1.79	1.28	2.04	2.99	2.01	
23	63.65	2.99	1.83	2.12	2.22	1.53	2.40	2.58	1.49	
22	63.65	2.12	1.86	2.22	2.25	1.58	2.40	2.57	0.87	
1	63.65	1.35	1.65	1.34	1.34	1.07	1.88	1.82	0.69	1.88
2	57.00	1.31	1.55	1.26	1.29	0.98	1.77	1.71	0.66	1.77
3	46.50	1.20	1.28	1.08	1.10	0.80	1.52	1.38	0.57	1.52
4	38.80	1.16	1.19	1.07	1.07	0.75	1.44	1.29	0.54	1.44
5	34.70	1.08	1.10	1.02	1.01	0.72	1.34	1.19	0.51	1.34
6	29.00	0.99	0.98	0.93	0.92	0.71	1.17	1.08	0.45	1.17
7	20.30	0.95	0.81	0.81	0.78	0.68	1.01	1.01	0.38	1.01
8	14.00	0.93	0.75	0.78	0.75	0.65	0.93	0.99	0.35	0.99
10	2.00	0.89	0.77	0.77	0.69	0.60	0.81	0.92	0.32	0.92
11	-4.00	0.84	0.77	0.74	0.71	0.60	0.77	0.90	0.32	0.90

追而

地震荷重による水方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{HSS} = C_{HSS} \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{HSS} : 水平方向の静的地震荷重 (N) 表 9 参照

A : 上蓋に積雪が載荷する面積 (上蓋端面積) (m²) 表 9 参照

地震荷重による鉛直方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{VSS} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{VSS} : 鉛直方向の静的地震荷重 (N) 表 9 参照

表9 地震（S_s）による地震荷重

	上蓋の幅 (m)	上蓋の長さ (m)	上蓋面積 A (m ²)	水平地震荷重 ^{※1} P _{HSS} (N)	鉛直地震荷重 ^{※2} P _{VSS} (N)
水密ハッチ	3.080	3.320	10.2256	81416.4	34106.1

注記 ※1 水密ハッチの水平地震荷重 P_{HSS} は以上より

$$P_{HSS} = 2.75 \times (27458.6 + 210 \times 10.2256) = 81416.4$$

※2 水密ハッチの鉛直地震荷重 P_{VSS} は以上より

$$P_{VSS} = 1.152 \times (27458.6 + 210 \times 10.2256) = 34106.1$$

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 上蓋

上蓋に作用する鉛直荷重（鉛直下向き方向）は、コンクリート躯体に支持されることから、上蓋には曲げ及びせん断力が作用する。

上蓋は固定ボルト間を支点とした等分布荷重を受ける周辺固定の長方形板モデルとして検討を行う。

尚、水平荷重（水平2方向）は固定ボルトに対するせん断力として評価を行う。

(a-1-1) 重畳時

(a-1-1-1) 曲げ応力<重畳時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生する曲げ応力は、「機械工学便覧（1986年）、日本機械学会」より次式を用いて算出する。

$$\sigma_b = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + P_{Vs d}}{A} + Ph + P_s \right) \cdot a'^2}{t^2}$$

ここで、

σ_b : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の曲げ応力 (MPa)

表10 参照

β_2 : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の応力係数

「機械工学便覧（1986年）、日本機械学会 第4編材料力学 第37表及び 第160図」より求める。表10 参照

t : 上蓋の厚さ (公称値) (m) = 0.030
 a' : モデル化に用いる上蓋の短辺長さ (m) 表 10 参照
 b' : モデル化に用いる上蓋の長辺長さ (m) 表 10 参照

表 10 上蓋の応力算出緒元及び曲げ応力

	モデル化に用いる上蓋の短辺長さ a' (m)	モデル化に用いる上蓋の長辺長さ b' (m)	応力係数 ^{※1} β_2	上蓋の厚さ t (m)	上蓋の曲げ応力 ^{※2} σ_b (MPa)
水密ハッチ	3.080	3.320	0.32	0.030	23

注記 ※1 水密ハッチの応力係数 β_2 は b' / a' から
 $b' / a' = 3.320 / 3.080$
 $= 1.07792$
 第 160 図から
 $\beta_2 = 0.32$

※2 水密ハッチの曲げ応力 σ_b は以上より

$$\sigma_b = \frac{0.32 \times \left(\frac{27458.6 + 16875.4}{10.2256} + 2020.17 + 210 \right) \times 3.080^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 22.1459$$

小数点第一位切り上げより 23MPa

(a-1-1-2) せん断応力<重畳時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生するせん断応力は、すべての荷重が支持縁に作用するとして次式を用いて算出する。

$$\tau = \frac{D + P_{Vsd} + (Ph + P_s) \cdot A}{t \cdot (a' + b') \cdot 2}$$

ここで、

τ : せん断応力 (MPa)

水密ハッチのせん断応力 τ は以上より

$$\tau = \frac{27458.6 + 16875.4 + (2020.17 + 210) \times 10.2256}{0.030 \times (3.080 + 3.320) \times 2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0.174841$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-1-1-3) 組合せ応力<重畳時>

前項にて算出した垂直応力やせん断応力について、「J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB-3121.1」より次式を用いて算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力 (MPa) 表 11 参照

σ_b : 垂直応力 (MPa) 表 11 参照

τ : σ_b が作用する面内のせん断応力 (MPa) 表 11 参照

表 11 組合せ応力

	垂直応力 σ_b (MPa)	せん断応力 τ (MPa)	組合せ応力 [※] σ (MPa)
水密ハッチ	23	1	24

注記 ※ 水密ハッチの組合せ応力 σ は以上より

$$\sigma = \sqrt{23^2 + 3 \times 1^2}$$

$$= 23.0651$$

小数点第一位切り上げより 24MPa

(a-1-2) 地震時

(a-1-2-1) 曲げ応力<地震時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生する曲げ応力は、「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」より次式を用いて算出する。

$$\sigma_{b s s} = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + P_{VSS}}{A} + P_s \right) \cdot a^2}{t^2}$$

ここで、

$\sigma_{b s s}$: 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の曲げ応力 (MPa)

t : 上蓋の厚さの公称値 (m) = 0.030

水密ハッチの曲げ応力 $\sigma_{b s s}$ は以上より

$$\sigma_{bss} = \frac{0.32 \times \left(\frac{27458.6 + 34106.1}{10.2256} + 210 \right) \times 3.080^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 21.0156$$

小数点第一位切り上げより 22MPa

(a-1-2-2) せん断応力<地震時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生するせん断応力は、すべての荷重が支持縁に作用するとして次式を用いて算出する。

$$\tau_{ss} = \frac{D + P_{vss} + P_s \cdot A}{t \cdot (a' + b') \cdot 2}$$

ここで、

τ_{ss} : せん断応力 (MPa)

水密ハッチのせん断応力 τ は以上より

$$\tau_{ss} = \frac{27458.6 + 34106.1 + 210 \times 10.2256}{0.030 \times (3.080 + 3.320) \times 2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0.103844$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-1-2-3) 組合せ応力<地震時>

前項にて算出した垂直応力やせん断応力について、「J SME S NC 1 - 2005/2007 SSB-3121.1」より次式を用いて算出する。結果を表 12 に示す。

$$\sigma_{ss} = \sqrt{\sigma_{bss}^2 + 3 \cdot \tau_{ss}^2}$$

表 11 組合せ応力

	垂直応力 σ_{bss} (MPa)	せん断応力 τ_{ss} (MPa)	組合せ応力 [※] σ_{ss} (MPa)
水密ハッチ	22	1	23

注記 ※ 水密ハッチの組合せ応力 σ_{ss} は以上より

$$\sigma_{ss} = \sqrt{22^2 + 3 \times 1^2}$$

$$= 22.0681$$

小数点第一位切り上げより 23MPa

(a-2) 固定ボルト

固定ボルトに作用する水平荷重（水平震度）は、上蓋を介して固定ボルトにせん断力が作用する。

尚、鉛直下向き方向の荷重は固定ボルトに作用しないこと及び余震による鉛直震度が 1G を超えないため上蓋の浮き上がりによる固定ボルトの引張が起らない。地震時は鉛直震度が 1G を超えるため引張応力も発生する。

(a-2-1) 重畳時

(a-2-1-1) せん断応力<重畳時>

余震による水平荷重が作用した際の固定ボルトのせん断応力は、以下の式より算出する。

$$\tau_k = \frac{P_{Hsd}}{n \cdot A_b}$$

ここで、

τ_k : 固定ボルトに作用するせん断応力 (MPa) 表 10 参照

n : 固定ボルトの本数 (本) 表 10 参照

A_b : 固定ボルトの呼び径の断面積 (mm²) 呼び径 M20mm より

$$\begin{aligned} A_b &= \pi \cdot 20^2 / 4 \\ &= 3.14159 \times 20^2 / 4 \\ &= 314.159 \end{aligned}$$

表 10 固定ボルトのせん断応力

	固定ボルト本数 n (本)	固定ボルトの断面積 A_b (mm ²)	せん断応力* τ_k (MPa)
水密ハッチ	26	314.159	2

注記 ※ 水密ハッチの固定ボルトせん断応力は以上より

$$\tau_k = \frac{10066.0}{26 \times 314.159}$$

$$= 1.23235$$

小数点第一位切り上げより 2MPa

(a-2-2) 地震時

(a-2-2-1) 引張応力<地震時>

地震 (S_s) による鉛直荷重が作用した際の固定ボルトの引張応力は、以下の式より算出する。

$$\sigma_{tS} = \frac{P'_{vss} - D}{n \cdot A_b}$$

ここで、

σ_{tSS} : 鉛直方向の地震荷重 (S_s) による固定ボルトに作用する引張応力 (MPa)

$$P'_{vSS} : P'_{vSS} = C_V \cdot D$$

ここで、

P'_{vSS} : 固定ボルト引張算出時の鉛直地震荷重 (N)

$$P'_{vSS} = 1.152 \times 27458.6 \\ = 31632.3$$

水密ハッチの固定ボルトの引張応力は以上より

$$\sigma_{tSS} = \frac{31632.3 - 27458.6}{26 \times 314.159}$$

$$= 0.510973$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-2-2-2) せん断応力<地震時>

地震 (S_s) による水平荷重が作用した際の固定ボルトのせん断応力は、以下の式より算出する。

$$\tau_{kSS} = \frac{P_{HSS}}{n \cdot A_b}$$

ここで、

τ_{kSS} : 水平方向の地震荷重 (S_s) による固定ボルトに作用するせん断応力 (MPa)

水密ハッチの固定ボルトせん断応力は以上より

$$\tau_{kSS} = \frac{81416.4}{26 \times 314.159}$$

$$= 9.96756$$

小数点第一位切り上げより 10MPa

(a-2-2-3) 組合せ応力<地震時>

地震 (S_s) 荷重が作用した際の固定ボルトの引張応力とせん断応力を同時に受けるボルトは「J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 SSB-3132」より、その影響を許容値にて考慮する。

(ハ) 許容応力

許容応力は、 S_s 地震時、浸水津波+ S_d 地震時は、供用状態C(許容応力状態Ⅲ A_S)として設定する。

(a-1) 上蓋の許容応力

許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [S_y, 0.7 \cdot S_u] \\ &= \min [205, 0.7 \times 520] \\ &= \min [205, 364] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-1) 許容曲げ応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_b &= (F/1.5) \cdot 1.5 \\ &= (205/1.5) \times 1.5 \\ &= 136 \times 1.5 \\ &= 204 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-3) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/1.5) \cdot 1.5 \\ &= (205/1.5) \times 1.5 \\ &= 136 \times 1.5 \\ &= 204 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) 基礎ボルトの許容応力
許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [S_y, 0.7 \cdot S_u] \\ &= \min [205, 0.7 \times 520] \\ &= \min [205, 364] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-1) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-3) 組合せを考慮した許容引張応力

$$\begin{aligned} f_{ts} &= 1.4 \cdot 1.5 \cdot f_t - 1.6 \tau \\ &= 1.4 \times 153 - 1.6 \times 10 \\ &= 198.2 \text{ MPa} \\ &> 1.5 \cdot f_t = 153 \text{ MPa より} \\ &\text{許容引張応力は } 1.5 \cdot f_t \text{ を使用する。} \end{aligned}$$

i. 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

上蓋は、全周囲を固定ボルトにより支持されていることから、周辺固定の長方形板モデルとする。周辺固定の長方形板モデルの一次固有振動数 f は、「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」より、次式を用いて算出する。

$$f = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot b^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

ここで、

a : モデル化に用いる蓋材の幅 (長辺) (m)

b : モデル化に用いる蓋材の長さ (短辺) (m)

f : 一次固有振動数 (Hz)

λ : 振動数係数 (a/b 及び振動系によって決まる係数) 「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」の周辺固定の長方形板モデルより, $a/b=1$ のとき $\lambda=3.65$, $a/b=1.5$ のとき $\lambda=2.74$, $a/b=2$ のとき $\lambda=2.49$

π : 円周率 = 3.14159

t : 上蓋の厚さ (m) (公称厚) = 0.030

E : 縦弾性係数 (MPa) = 1.93666×10^5

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part6 表 1 を用いて計算する。温度 40 °C におけるオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数は、温度 20 °C の縦弾性係数 195000 MPa と、温度 50 °C の縦弾性係数 193000 MPa より、直線補間を用いて計算する。

$$\begin{aligned} E &= E_{20} - \frac{(t_{40} - t_{20}) \cdot (E_{50} - E_{20})}{(t_{50} - t_{20})} \\ &= 195000 - \frac{(40-20) \times (193000 - 195000)}{(50-20)} \\ &= 1.93666 \times 10^5 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

ここで、

t_{20} , t_{40} , t_{50} : 温度 (各 20°C, 40°C, 50°C)

E_{20} , E_{50} : 各温度時のオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数 (E_{20} : 20°C の時 195000MPa, E_{50} : 50°C の時 193000MPa)

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

ν : ポアソン比 = 0.3

ρ : 材料の密度 (kg/m^3) オーステナイト系ステンレス鋼 = 7930

表3 上蓋の固有振動数の算出条件

	モデル化に用いる 上蓋の幅 a (m)	モデル化に用いる 上蓋の長さ b (m)	振動数係数 λ ※1	一次固有振動数 f ※2 (Hz)
水密ハッチ	2.530	2.320	2.74	35.8752

注記 ※1 水密ハッチの振動数係数 λ は、 $a/b \approx 1.1$ の場合の定数 λ が無いいため、より小さな値として算出される $a/b = 1.5$ の場合の定数 $\lambda = 2.74$ を用いた。

※2 水密ハッチの一次固有振動数 f は以上より、

$$f = \frac{2.74 \times 3.14159 \times \frac{0.030}{2}}{2 \times 2.320^2} \sqrt{\frac{1.93666 \times 10^{11} \times 9.80665}{3 \times (1 - 0.3^2) \times 7930 \times 9.80665}}$$

$$= 35.8752$$

ロ. 固有値解析結果

水密ハッチ

固有振動数は 35.8 Hz であり、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

(b) 応力計算

(イ) 荷重条件

(a-1) 常時作用する固定荷重 (D) <重畳時及び地震時>

固定荷重は以下のとおりとする。

$$D = m \cdot g$$

ここで、

D : 固定荷重 (N)

m : 上蓋の質量 (kg)

表4 水密ハッチの質量及び固定荷重

	上蓋の質量 m (kg)	固定荷重 D* (N)
水密ハッチ	1600	15690.6

注記 ※ 水密ハッチの固定荷重 D は以上より

$$D = 1600 \times 9.80665$$

$$= 15690.64$$

(a-2) 積雪荷重 (P_s) <重畳時及び地震時>

積雪荷重 P_s については、30cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は次式を用いて算出する。

$$P_s = k \cdot \omega \cdot H$$

ここで、

P_s : 積雪荷重 (Pa)
 k : 定数 (積雪荷重算出) = 0.35
 ω : 積雪の単位荷重 (Pa/cm) = 20
 H : 垂直積雪高さ (cm) = 30
 以上より,
 $P_s = 0.35 \times 20 \times 30$
 $= 210$

(a-3) 浸水津波荷重 (P_h) <重畳時>

浸水津波荷重として、経路からの津波又は溢水に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、次式を用いて算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h$$

ここで、

P_h : 浸水津波荷重による静水圧荷重 (Pa)

ρ_0 : 海水の密度 (kg/m³) = 1030

港湾の施設の技術上の基準・同解説 ((社) 日本港湾協会 平成 19 年) より

h : 水位差 (m) = 0.200

以上より、

$$P_h = 1030 \times 9.80665 \times 0.200$$

$$= 2020.17$$

(a-4) 余震荷重 (S_d) <重畳時>

余震荷重は、添付資料 V-1-1-2-2-5 「津波防護に関する施設の設計方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた地震応答解析に伴う格納容器圧力逃がし装置格納槽上版における最大応答加速度の最大値を静的震度として、水密ハッチに作用する余震による慣性力を考慮する。なお、静的震度は最大応答加速度を重力加速度で除して算出する。

水密ハッチの最大床応答加速度を表 5 に、応力評価に用いる S_d 地震荷重の最大静的震度を表 6 に示す。

表 5 水密ハッチの最大床応答加速度

弾性設計用地震動	水平地震動	鉛直地震動	最大床応答加速度 (Gal)	
			水平方向	鉛直方向
$S_d - D1L$	正転	正転	192	357

	反転	正転	187	371
	正転	反転	199	373
	反転	反転	332	551

追而

表6 応力評価に用いる最大静的震度

弾性設計用 地震動	水平 地震動	鉛直 地震動	最大床応答加速度 (Gal)		水平震度 C_H	鉛直震度 C_V
			水平方向	鉛直方向		
S_d-D1L	反転	反転	332	551	0.34	0.57

追而

地震荷重による水方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{HSd} = C_H \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{HSd} : 水平方向の静的地震荷重 (N) 表7参照

A : 上蓋に積雪が載荷する面積 (上蓋端面積) (m^2) 表7参照

地震荷重による鉛直方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{VSd} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{VSd} : 鉛直方向の静的地震荷重 (N) 表7参照

表7 余震による地震荷重

	上蓋端 幅 (m)	上蓋端 長さ(m)	上蓋面積 A (m^2)	水平地震荷重 ^{※1} P_{HSd} (N)	鉛直地震荷重 ^{※2} P_{VSd} (N)
水密ハッチ	2.58	2.32	5.9856	5762.18	9660.12

注記 ※1 水密ハッチの水平地震荷重 P_{HSd} は以上より

$$\begin{aligned} P_{HSd} &= 0.34 \times (15690.6 + 210 \times 5.9856) \\ &= 5762.18 \end{aligned}$$

※2 水密ハッチの鉛直地震荷重 P_{VSd} は以上より

$$\begin{aligned} P_{VSd} &= 0.57 \times (15690.6 + 210 \times 5.9856) \\ &= 9660.12 \end{aligned}$$

(a-5) 地震荷重 (S_s) <地震時>

水基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

ここで、応力評価に用いる静的震度は格納容器圧力逃がし装置格納槽上

版における最大加速度を重力加速度で除して算出し、各方向での最大値を用いる。表 8 に応力評価に用いる静的震度（評価用震度）を示す。

表 8 設計用震度

設置場所 及び床面 高さ(m)	水平方向			鉛直方向		
	設計用地震動 (表 2-1 より)	裕度	評価用震度 C_{HSS}^{*1}	設計用地震動 (表 2-2 より)	裕度	評価用震度 C_{VSS}^{*2}
8.2	1.10	2.5	2.75	0.96	1.2	1.152

注記 ※1 水平方向の評価用震度 C_{HSS} は以上より

$$C_{HSS} = 1.10 \times 2.5 \\ = 2.75$$

※2 鉛直方向の評価用震度 C_{VSS} は以上より

$$C_{VSS} = 0.96 \times 1.2 \\ = 1.152$$

表 2-1 基準地震動 S_s による原子炉建屋内機器・配管系の
水平方向評価用震度 (1.2DASs × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)

質点 番号	標高 EL (m)	水平方向 評価用震度 (1.2DASs × 「④地盤物性等のばらつき」1.5倍)																評価用震度 (8波包絡)
		基準地震動 S_s																
		Ss-D1		Ss-11		Ss-12		Ss-13		Ss-14		Ss-21		Ss-22		Ss-31		
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
1	63.65	2.15	2.19	1.49	1.43	1.74	1.11	1.70	1.14	0.99	1.10	2.40	2.01	2.34	2.45	2.09	2.33	2.45
2	57.00	1.89	1.94	1.16	1.14	1.38	0.90	1.35	0.92	0.86	0.90	2.09	1.58	2.01	2.06	1.95	2.04	2.09
3	46.50	1.56	1.55	0.59	0.63	0.71	0.65	0.72	0.65	0.59	0.51	1.61	0.77	1.58	1.29	1.74	1.71	1.74
4	38.80	1.41	1.41	0.47	0.57	0.60	0.60	0.60	0.60	0.48	0.47	1.37	0.63	1.32	1.04	1.62	1.67	1.67
5	34.70	1.35	1.32	0.41	0.54	0.54	0.57	0.54	0.60	0.45	0.45	1.17	0.59	1.28	0.95	1.62	1.64	1.64
6	29.00	1.22	1.25	0.45	0.48	0.51	0.59	0.50	0.60	0.44	0.45	1.05	0.53	1.07	0.81	1.55	1.53	1.55
7	20.30	1.07	1.07	0.45	0.53	0.50	0.57	0.54	0.59	0.45	0.44	0.89	0.56	0.89	0.75	1.26	1.34	1.34
8	14.00	0.96	0.98	0.50	0.54	0.51	0.53	0.57	0.54	0.45	0.41	0.89	0.56	0.75	0.66	1.10	1.13	1.13
10	2.00	0.80	0.80	0.48	0.51	0.51	0.42	0.57	0.44	0.44	0.36	0.78	0.53	0.68	0.60	0.95	0.96	0.96
11	-4.00	0.77	0.77	0.47	0.48	0.53	0.39	0.59	0.42	0.41	0.35	0.72	0.51	0.68	0.56	0.87	0.83	0.87

追而

表 2-2 基準地震動 S_s による原子炉建屋内機器・配管系の鉛直方向評価用震度 (1.2DASV_s × 「④地盤物性等のばらつき」 1.5 倍)

質点 番号	標高 EL (m)	鉛直方向 評価用震度 (1.2DASV _s × 「④地盤物性等のばらつき」 1.5倍)								
		基準地震動S _s								
		S _s -D1	S _s -11	S _s -12	S _s -13	S _s -14	S _s -21	S _s -22	S _s -31	評価用震度 (8波包絡)
25	63.65	4.14	2.25	2.87	3.11	1.86	3.30	3.57	2.18	4.14
24	63.65	3.42	1.55	1.80	1.79	1.28	2.04	2.99	2.01	
23	63.65	2.99	1.83	2.12	2.22	1.53	2.40	2.58	1.49	
22	63.65	2.12	1.86	2.22	2.25	1.58	2.40	2.57	0.87	
1	63.65	1.35	1.65	1.34	1.34	1.07	1.88	1.82	0.69	1.88
2	57.00	1.31	1.55	1.26	1.29	0.98	1.77	1.71	0.66	1.77
3	46.50	1.20	1.28	1.08	1.10	0.80	1.52	1.38	0.57	1.52
4	38.80	1.16	1.19	1.07	1.07	0.75	1.44	1.29	0.54	1.44
5	34.70	1.08	1.10	1.02	1.01	0.72	1.34	1.19	0.51	1.34
6	29.00	0.99	0.98	0.93	0.92	0.71	1.17	1.08	0.45	1.17
7	20.30	0.95	0.81	0.81	0.78	0.68	1.01	1.01	0.38	1.01
8	14.00	0.93	0.75	0.78	0.75	0.65	0.93	0.99	0.35	0.99
10	2.00	0.89	0.77	0.77	0.69	0.60	0.81	0.92	0.32	0.92
11	-4.00	0.84	0.77	0.74	0.71	0.60	0.77	0.90	0.32	0.90

追而

地震荷重による水方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{HSS} = C_{HSS} \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{HSS} : 水平方向の静的地震荷重 (N) 表 9 参照

A : 上蓋に積雪が載荷する面積 (上蓋端面積) (m²) 表 9 参照

地震荷重による鉛直方向の静的地震荷重は常時作用する固定荷重 (D) 及び積雪荷重 (P_s) を考慮し次式を用いて算出する。

$$P_{VSS} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、

P_{VSS} : 鉛直方向の静的地震荷重 (N) 表 9 参照

表9 地震（S_s）による地震荷重

	上蓋端 幅 (m)	上蓋端 長さ(m)	上蓋面積 A (m ²)	水平地震荷重 ^{※1} P _{HSS} (N)	鉛直地震荷重 ^{※2} P _{VSS} (N)
水密ハッチ	2.58	2.32	5.9856	46605.8	19523.6

注記 ※1 水密ハッチの水平地震荷重 P_{HSS}は以上より

$$P_{HSS} = 2.75 \times (15690.6 + 210 \times 5.9856) \\ = 46605.8$$

※2 水密ハッチの鉛直地震荷重 P_{VSS}は以上より

$$P_{VSS} = 1.152 \times (15690.6 + 210 \times 5.9856) \\ = 19523.6$$

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 上蓋

上蓋に作用する鉛直荷重（鉛直下向き方向）は、コンクリート躯体に支持されることから、上蓋には曲げ及びせん断力が作用する。

上蓋は固定ボルト間を支点とした等分布荷重を受ける周辺固定の長方形板モデルとして検討を行う。

尚、水平荷重（水平2方向）は固定ボルトに対するせん断力として評価を行う。

(a-1-1) 重畳時

(a-1-1-1) 曲げ応力<重畳時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生する曲げ応力は、「機械工学便覧（1986年）、日本機械学会」より次式を用いて算出する。

$$\sigma_b = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + P_{Vs d}}{A} + Ph + P_s \right) \cdot a'^2}{t^2}$$

ここで、

σ_b : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の曲げ応力 (MPa)

表10 参照

β_2 : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の応力係数

「機械工学便覧（1986年）、日本機械学会 第4編材料力学 第37表及び 第160図」より求める。表10 参照

t : 上蓋の厚さ (公称値) (m) = 0.030
 a' : モデル化に用いる上蓋の短辺長さ (m) 表 10 参照
 b' : モデル化に用いる上蓋の長辺長さ (m) 表 10 参照

表 10 上蓋の応力算出緒元及び曲げ応力

	モデル化に用いる上蓋の短辺長さ a' (m)	モデル化に用いる上蓋の長辺長さ b' (m)	応力係数 ^{※1} β_2	上蓋の厚さ t (m)	上蓋の曲げ応力 ^{※2} σ_b (MPa)
水密ハッチ	2.320	2.580	0.33	0.030	13

注記 ※1 水密ハッチの応力係数 β_2 は b' / a' から
 $b' / a' = 2.580 / 2.320$
 $= 1.11207$
 第 160 図から
 $\beta_2 = 0.33$

※2 水密ハッチの曲げ応力 σ_b は以上より

$$\sigma_b = \frac{0.33 \times \left(\frac{15690.6 + 9660.12}{5.9856} + 2020.17 + 210 \right) \times 2.320^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 12.7599$$

小数点第一位切り上げより 13MPa

(a-1-1-2) せん断応力<重畳時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生するせん断応力は、すべての荷重が支持縁に作用するとして次式を用いて算出する。

$$\tau = \frac{D + P_{Vsd} + (Ph + P_s) \cdot A}{t \cdot (a' + b') \cdot 2}$$

ここで、

τ : せん断応力 (MPa)

水密ハッチのせん断応力 τ は以上より

$$\tau = \frac{15690.6 + 9660.12 + (2020.17 + 210) \times 5.9856}{0.030 \times (2.320 + 2.580) \times 2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0.131631$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-1-1-3) 組合せ応力<重畳時>

前項にて算出した垂直応力やせん断応力について、「J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB-3121.1」より次式を用いて算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

ここで、

σ : 組合せ応力 (MPa) 表 11 参照

σ_x, σ_y : 互いに直交する垂直応力 (σ_b と同値) (MPa) 表 11 参照

τ_{xy} : σ_x, σ_y の作用する面内のせん断応力 (τ と同値) (MPa)
表 11 参照

表 11 組合せ応力

	垂直応力 σ_x (σ_b) (MPa)	垂直応力 σ_y (σ_b) (MPa)	せん断応力 τ_{xy} (τ) (MPa)	組合せ応力* σ (MPa)
水密ハッチ	13	13	1	14

注記 ※ 水密ハッチの組合せ応力 σ は以上より

$$\sigma = \sqrt{13^2 + 13^2 - 13 \times 13 + 3 \times 1^2}$$

$$= 13.1149$$

小数点第一位切り上げより 14MPa

(a-1-2) 地震時

(a-1-2-1) 曲げ応力<地震時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生する曲げ応力は、「機械工学便覧 (1986 年), 日本機械学会」より次式を用いて算出する。

$$\sigma_{bss} = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + P_{VSS}}{A} + P_s \right) \cdot a^2}{t^2}$$

ここで、

σ_{bss} : 周辺固定の長方形板モデルに等分布荷重が作用する際の曲げ応力 (MPa)

t : 上蓋の厚さの公称値 (m) = 0.030

水密ハッチの曲げ応力 σ_{bss} は以上より

$$\sigma_{bss} = \frac{0.33 \times \left(\frac{15690.6 + 19523.6}{5.9856} + 210 \right) \times 2.320^2}{0.030^2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 12.0251$$

小数点第一位切り上げより 13MPa

(a-1-2-2) せん断応力<地震時>

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に、上蓋に発生するせん断応力は、すべての荷重が支持縁に作用するとして次式を用いて算出する。

$$\tau_{ss} = \frac{D + P_{vss} + P_s \cdot A}{t \cdot (a' + b') \cdot 2}$$

ここで、

τ_{ss} : せん断応力 (MPa)

水密ハッチのせん断応力 τ は以上より

$$\tau_{ss} = \frac{15690.6 + 19523.6 + 210 \times 5.9856}{0.030 \times (2.320 + 2.580) \times 2} \cdot 10^{-6}$$

$$= 0.124052$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-1-2-3) 組合せ応力<地震時>

前項にて算出した垂直応力やせん断応力について、「J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB-3121.1」より次式を用いて算出する。結果を表 12 に示す。

$$\sigma_{ss} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

表 11 組合せ応力

	垂直応力 σ_x (σ_{bss}) (MPa)	垂直応力 σ_y (σ_{bss}) (MPa)	せん断応力 τ_{xy} (τ_{ss}) (MPa)	組合せ応力* σ_{ss} (MPa)
水密ハッチ	13	13	1	14

注記 ※ 水密ハッチの組合せ応力 σ は以上より

$$\sigma_{ss} = \sqrt{13^2 + 13^2 - 13 \times 13 + 3 \times 1^2}$$

$$= 13.1149$$

小数点第一位切り上げより 14MPa

(a-2) 固定ボルト

固定ボルトに作用する水平荷重（水平震度）は、上蓋を介して固定ボルトにせん断力が作用する。

尚、鉛直下向き方向の荷重は固定ボルトに作用しないこと及び余震による鉛直震度が 1Gを超えないため上蓋の浮き上がりによる固定ボルトの引張が起こらないことから、固定ボルトは引張の評価を行わない。地震時は鉛直震度が 1Gを超えるため引張も考慮する。

(a-2-1) 重畳時

(a-2-1-1) せん断応力<重畳時>

余震による水平荷重が作用した際の固定ボルトのせん断応力は、以下の式より算出する。

$$\tau_k = \frac{P_{Hsd}}{n \cdot A_b}$$

ここで、

τ_k : 固定ボルトに作用するせん断応力 (MPa) 表 10 参照

n : 固定ボルトの本数 (本) 表 10 参照

A_b : 固定ボルトの呼び径の断面積 (mm²) 呼び径 M20mm より

$$\begin{aligned} A_b &= \pi \cdot 20^2 / 4 \\ &= 3.14159 \times 20^2 / 4 \\ &= 314.159 \end{aligned}$$

表 10 固定ボルトのせん断応力

	固定ボルト本数 n (本)	固定ボルトの断面積 A _b (mm ²)	せん断応力 [※] τ _k (MPa)
水密ハッチ	20	314.159	1

注記 ※ 水密ハッチの固定ボルトせん断応力は以上より

$$\begin{aligned} \tau_k &= \frac{5762.18}{20 \times 314.159} \\ &= 0.917080 \end{aligned}$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-2-2) 地震時

(a-2-2-1) 引張応力<地震時>

地震（ S_s ）による鉛直荷重が作用した際の固定ボルトの引張応力は、以下の式より算出する。

$$\sigma_{tSS} = \frac{P_{VSS} - D - P_s \cdot A}{n \cdot A_b}$$

ここで、

σ_{tSS} : 鉛直方向の地震荷重（ S_s ）による固定ボルトに作用する引張応力 (MPa)

水密ハッチの固定ボルトの引張応力は以上より

$$\sigma_{tSS} = \frac{19523.6 - 15690.6 - 210 \times 5.9856}{20 \times 314.159}$$
$$= 0.409987$$

小数点第一位切り上げより 1MPa

(a-2-2-2) せん断応力<地震時>

地震（ S_s ）による水平荷重が作用した際の固定ボルトのせん断応力は、以下の式より算出する。

$$\tau_{kSS} = \frac{P_{HSS}}{n \cdot A_b}$$

ここで、

τ_{kSS} : 水平方向の地震荷重（ S_s ）による固定ボルトに作用するせん断応力 (MPa)

水密ハッチの固定ボルトせん断応力は以上より

$$\tau_{kSS} = \frac{46605.8}{20 \times 314.159}$$
$$= 7.41755$$

小数点第一位切り上げより 8MPa

(a-2-2-3) 組合せ応力<地震時>

地震（ S_s ）荷重が作用した際の固定ボルトの引張応力とせん断応力を同時に受けるボルトは「J SME S NC 1 -2005/2007 SSB-3132」より、その影響を許容値にて考慮する。

(ハ) 許容応力

許容応力は、 S_s 地震時、浸水津波+ S_d 地震時は、供用状態C(許容応力状態Ⅲ_AS)として設定する。

(a-1) 上蓋の許容応力

許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [S_y, 0.7 \cdot S_u] \\ &= \min [205, 0.7 \times 520] \\ &= \min [205, 364] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-1) 許容曲げ応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_b &= (F/1.5) \cdot 1.5 \\ &= (205/1.5) \times 1.5 \\ &= 136 \times 1.5 \\ &= 204 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-1-3) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/1.5) \cdot 1.5 \\ &= (205/1.5) \times 1.5 \\ &= 136 \times 1.5 \\ &= 204 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) 基礎ボルトの許容応力
許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [S_y, 0.7 \cdot S_u] \\ &= \min [205, 0.7 \times 520] \\ &= \min [205, 364] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-1) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2-3) 組合せを考慮した許容引張応力

$$\begin{aligned} f_{ts} &= 1.4 \cdot 1.5 \cdot f_t - 1.6 \tau \\ &= 1.4 \times 153 - 1.6 \times 10 \\ &= 198.2 \text{ MPa} \\ &> 1.5 \cdot f_t = 153 \text{ MPa より} \\ &\text{許容引張応力は } 1.5 \cdot f_t \text{ を使用する。} \end{aligned}$$

c. 緊急用海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

固有値解析に用いる記号については、添付資料V-2-10-2-6-3「緊急用海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

固有振動数計算モデルは1質点系モデルとして、重量の不均一性を考慮し、自由端に弁の集中質量を付加する。

モデル化は、円筒状の弁本体及び円柱状の4本のフロートガイドの異なる2つの断面をもつ梁の組合せとして設定する。モデル化の概略を図6.9.1-(3)-c-1に示す。

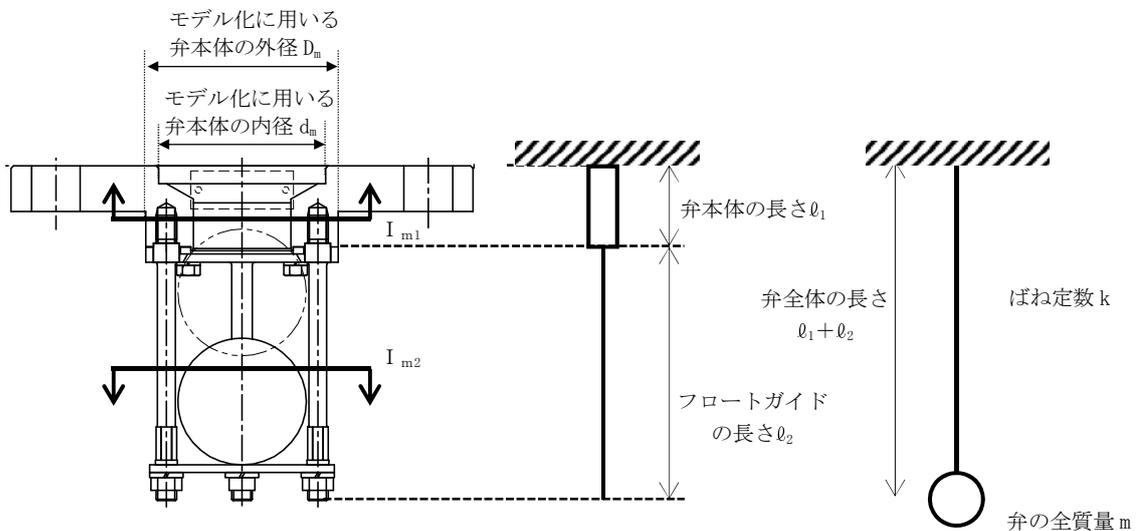


図 6.9.1-(3)-c-1 モデル化の概略

一次固有振動数 f は以下の式より算出する。

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

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

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

f : 一次固有振動数 (Hz)

m : モデル化に用いる弁の全質量 (kg) = 3.95

モデル化に用いる弁本体の長さ ℓ_1 、モデル化に用いるフロートガイドの長さ ℓ_2 、モデル化に用いる弁本体の外径 D_m 及びモデル化に用いる弁本体の内径 d_m は図 6.9.1-(3)-c-1 からそれぞれ以下のとおりとする。

ℓ_1 : モデル化に用いる弁本体の長さ (mm) = 30
 ℓ_2 : モデル化に用いるフロートガイドの長さ (mm) = 102
 D_m : モデル化に用いる弁本体の外径 (mm) = 75
 d_m : モデル化に用いる弁本体の内径 (mm) = 65

I_{m1} : モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント (mm⁴) = 6.76915 × 10⁵
 $I_{m1} = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \pi / 64$
 $I_{m1} = (75^4 - 65^4) \times \pi / 64 = 6.76915 \times 10^5 \text{ mm}^4$

フロートガイドの図心 G と X 軸の距離 y_g 及びモデル化に用いるフロートガイドの直径 D_{fm} は図 6.9.1-(3)-c-2 からそれぞれ以下のとおりとする。

y_g : フロートガイドの図心 G と X 軸の距離 (mm) = 30
 D_{fm} : モデル化に用いるフロートガイドの直径 (mm) = 7

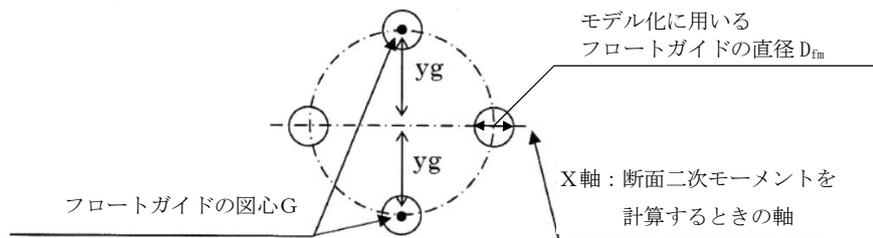


図 6.9.1-(3)-c-2 フロートガイド 4 本の断面

A : モデル化に用いるフロートガイド 1 本の断面積 (mm²) = 38.48
 $A = D_{fm}^2 \cdot \pi / 4$
 $A = 7^2 \times \pi / 4 = 38.4845 \text{ mm}^2 = 38.48 \text{ mm}^2$

I_a : モデル化に用いるフロートガイド 1 本の断面二次モーメント (mm⁴)
 $= 1.17858 \times 10^2$
 $I_a = D_{fm}^4 \cdot \pi / 64$
 $I_a = 7^4 \times \pi / 64 = 1.17858 \times 10^2 \text{ mm}^4$

I_{m2} : モデル化に用いるフロートガイド 4 本の等価断面二次モーメント (mm⁴)
 $= 6.97354 \times 10^4$
 $I_{m2} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot (I_a + (y_g)^2 \cdot A)$
 $I_{m2} = 2 \times 1.17858 \times 10^2 + 2 \times (1.17858 \times 10^2 + (30)^2 \times 38.48)$
 $= 6.97354 \times 10^4 \text{ mm}^4$

I_m : モデル等価断面二次モーメント (mm⁴) = 1.34914 × 10⁵
 モデルの等価断面二次モーメントは以下の式より算出する。

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

$$I_m = ((30 + 102)^3 \times 6.76915 \times 10^5 \times 6.97354 \times 10^4) / (6.76915 \times 10^5 \times 102^3 + 6.97354 \times 10^4 \times (30^3 + 3 \times 30 \times 102^2 + 3 \times 30^2 \times 102))$$

$$= 1.34914 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

$$E: \text{縦弾性係数 (MPa)} = 1.92 \times 10^5$$

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part6 表 1 を用いて計算する。温度 66 °C におけるオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数は、温度 50 °C の縦弾性係数 193000 MPa と、温度 75 °C の縦弾性係数 191000 MPa より、比例法を用いて計算する。

$$193000 + (191000 - 193000) \times (66 - 50) / (75 - 50) = 191720 \text{ MPa}$$

$$= 1.92 \times 10^5 \text{ MPa}$$

k : モデルのばね定数 (kg/s²)

$$k = (3 \cdot E \cdot I_m) / (\ell_1 + \ell_2)^3$$

$$k = (3 \times 1.92 \times 10^5 \times 1.34914 \times 10^5) / (30 + 102)^3 = 3.37876 \times 10^7 \text{ kg/s}^2$$

以上より、

$$f = 1/2 \pi \cdot \sqrt{(3.37876 \times 10^7) / (3.95)}$$

$$= 465.479 \text{ Hz} = 465 \text{ Hz}$$

ロ. 固有値解析結果

固有振動数は 465 Hz であり、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

(b) 評価条件の整理

イ. 固定荷重

固定荷重の算出に用いる記号については、添付資料 V-2-10-2-6-3「緊急用海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

固定荷重は以下のとおりとする。

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

ここで、

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N)

m : 弁の全質量 (kg) = 3.95

g : 重力加速度 (m/s²) = 9.80665

以上より、

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

$$= 3.95 \times 9.80665$$

$$= 38.7362 \text{ N}$$

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

ここで、

W_{d2} : フロートガイド 1 本あたりに作用する常時荷重 (N)

M_f : フロートガイド 1 本あたりの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

以上より、

$$\begin{aligned} W_{d2} &= m_f \cdot g \\ &= 0.05 \times 9.80665 \\ &= 0.490332 \text{ N} \end{aligned}$$

ロ. 風荷重及び積雪荷重

添付資料 V-2-1-9 「機能維持の基本方針」及び添付資料 V-3-別添 3-1 「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定した荷重の組合せに基づき、考慮しない。

(c) 応力計算

イ. 基準津波時

基準津波時の応力算出に用いる記号については、添付資料V-3-別添 3-2-5-1「緊急用海水ポンプグラウンド dren 排出口逆止弁の強度計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) 基準津波荷重

突き上げ津波荷重は以下のとおりとする。

$$P_t = (\rho_o \cdot g \cdot h + 1/2 \cdot C_D \cdot \rho_o \cdot U^2) / 10^6$$

ここで、

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa)

ρ_o : 海水の密度 (kg/m³) = 1030

g : 重力加速度 (m/s²) = 9.80665

h : 津波荷重水位 (m) = 12.0

(基準津波の水位に対し、参照する裕度である+0.65mを含めても十分に保守的である水位として設定した津波荷重水位)

C_D : 抗力係数 = 2.01

U : 流速 (m/s) = 2.0

以上より、

$$P_t = (1030 \times 9.80665 \times 12.0 + 1/2 \times 2.01 \times 1030 \times 2.0^2) / 10^6 \\ = 0.125350 \text{ MPa}$$

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 弁本体の発生応力

$$\sigma_{t1} = \frac{W_1 + P_t \cdot A_2}{A_1}$$

ここで、

σ_{t1} : 弁本体に加わる圧縮応力 (MPa)

W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = $W_{d1} = 38.7362$

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350

図 6.9.1-(3)-c-3 に示す構造図から、突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 及び弁本体の内径 d_1 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_2 : 突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる
受圧面の直径 (mm) = 75

d_1 : 弁本体の内径 (mm) = 65

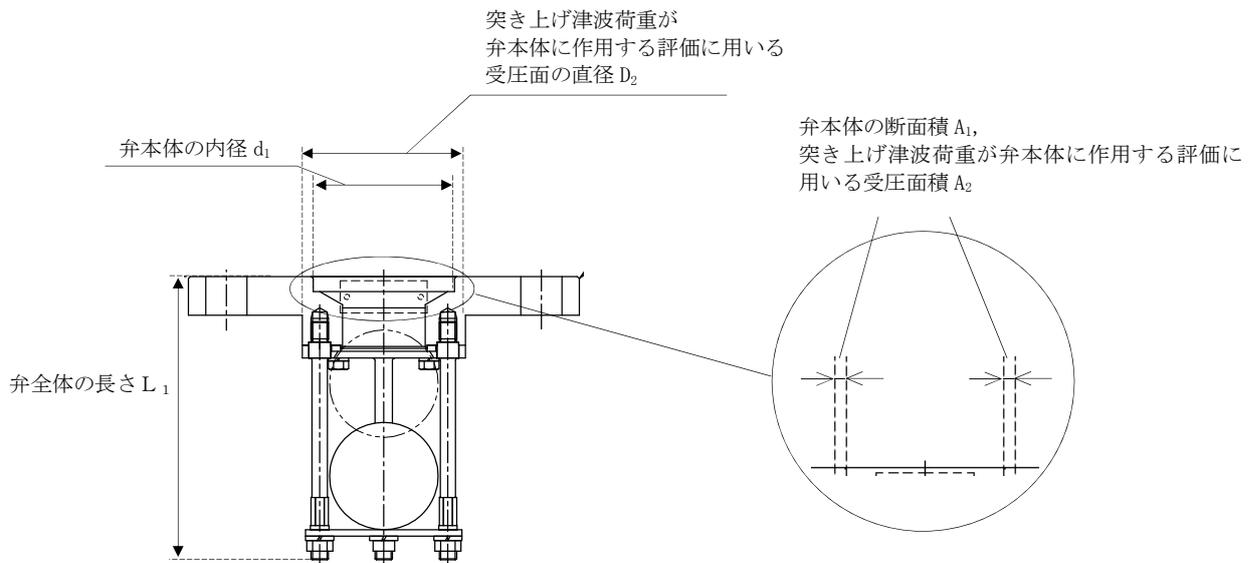


図 6.9.1-(3)-c-3 緊急用海水ポンプグランド dren 排出口逆止弁の弁本体の受圧面の寸法図

A_1 : 弁本体の断面積 (mm^2) = 1.100×10^3

$$\begin{aligned} A_1 &= (75^2 - 65^2) \times \pi / 4 \\ &= 1.09955 \times 10^3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A_2 : 突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる
受圧面積 (mm^2) = 1.100×10^3

$$A_2 = A_1$$

$$\begin{aligned} \text{圧縮応力 } \sigma_{t1} &= (38.7362 + 0.125350 \times 1.100 \times 10^3) / (1.100 \times 10^3) \\ &= 0.160564 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) フロートガイドの発生応力

$$\sigma_{t2} = \frac{W_2 + P_t \cdot A_4}{A_3}$$

ここで、

σ_{t2} : フロートガイドに加わる圧縮応力 (MPa)

W_2 : フロートガイドに作用する荷重 (N) $= W_{d2} = 0.490332$

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) $= 0.125350$

図 6.9.1-(3)-c-4 に示す寸法図から、フロートガイドの最小直径 D_3 、突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_3 : フロートガイドの最小直径 (mm) $= 6.6$

D_4 : 突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 (mm) $= 7$

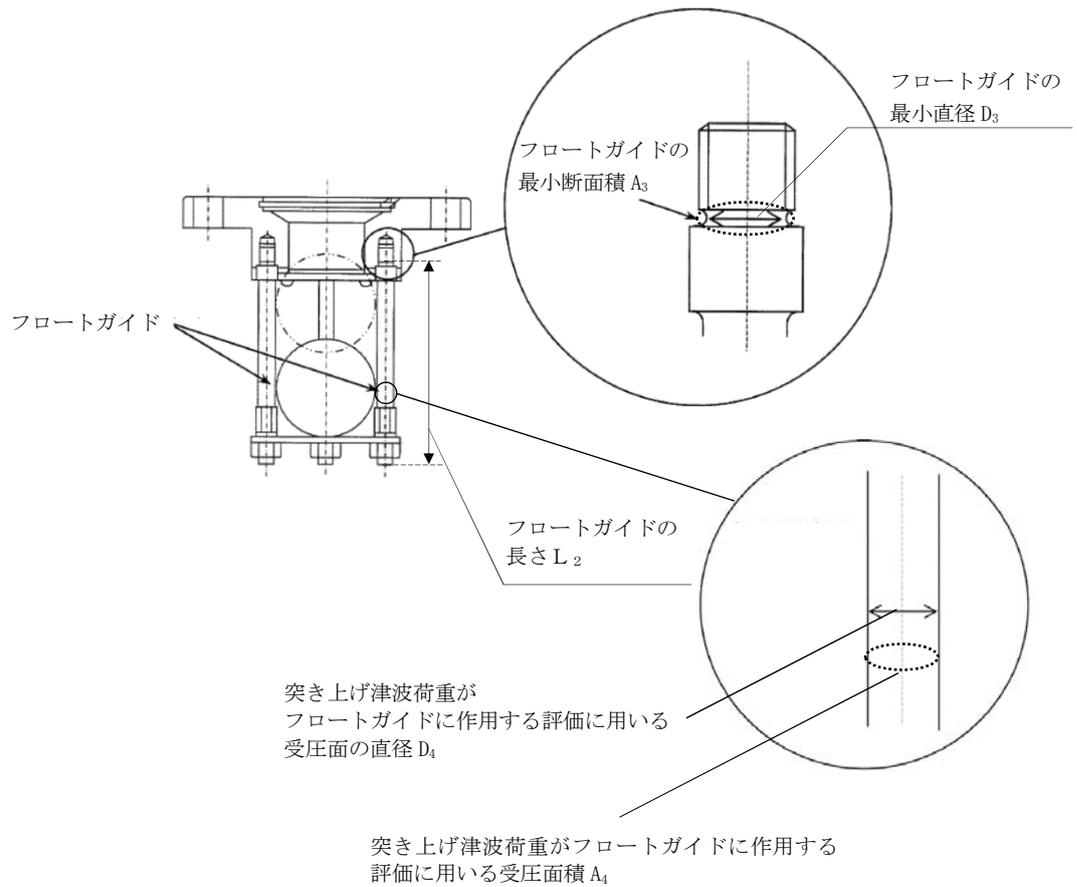


図 6.9.1-(3)-c-4 緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁のフロートガイド寸法図

A_3 : フロートガイドの最小断面積 (mm²) = 34.21

$$A_3 = 6.6^2 \times \pi / 4$$

$$= 34.2119 \text{ mm}^2 = 34.21 \text{ mm}^2$$

A_4 : 突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる
受圧面積 (mm²) = 38.48

$$A_4 = (7^2) \times \pi / 4$$

$$= 38.4845 \text{ mm}^2 = 38.48 \text{ mm}^2$$

$$\text{圧縮応力 } \sigma_{t2} = (0.490332 + 0.125350 \times 38.48) / (34.21)$$

$$= 0.155328 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}$$

(a-3) 基礎ボルトの発生応力

$$\sigma_{t3} = \frac{W_1 + P_t \cdot A_6}{A_5 \cdot n}$$

ここで、

σ_{t3} : 基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力 (MPa)

W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = $W_{d1} = 38.7362$

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350

A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm^2) = 2.011×10^2

呼び径 16mm のボルトの断面積であるため

$$A_5 = 16^2 \times \pi / 4 = 201.061 \text{ mm}^2 = 2.011 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

図 6.9.1-(3)-c-5 に示す寸法図から、突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_6 を以下のとおりとする。

D_6 : 突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 (mm^2) = 80

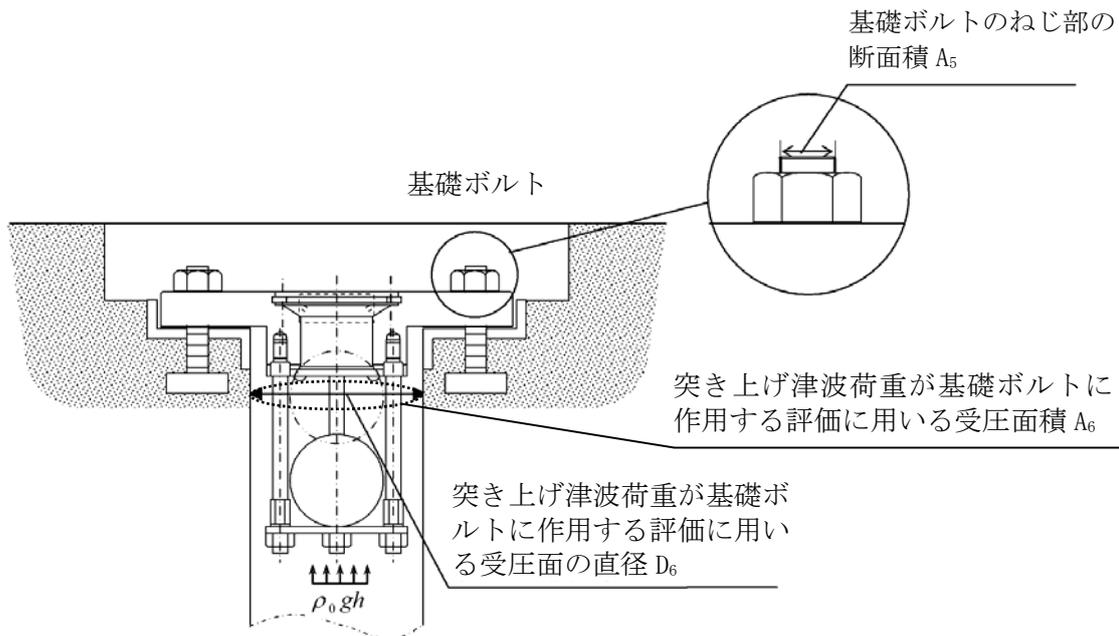


図 6.9.1-(3)-c-5 緊急用海水ポンプグランド dren 排出口逆止弁の基礎ボルトの受圧面直径及びねじ部の面積

A_6 : 突き上げ津波荷重が弁蓋に作用する評価に用いる受圧面積 (mm^2) = 1.708×10^3

$$A_6 = (80^2 - 65^2) \times \pi / 4 = 1708.24 \text{ mm}^2 = 1.708 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に

$$\begin{aligned} \text{加わる引張応力 } \sigma_{t3} &= (38.7362 + 0.125350 \times 1.708 \times 10^3) / (2.011 \times 10^2 \times 4) \\ &= 0.314313 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-4) フロートに発生する圧力

波圧によりフロートに発生する圧力 P_w は突き上げ津波荷重 P_t の算出結果をもとに設定する。基準津波による突き上げ津波荷重 P_t は以下のとおりである。

$$P_t = 0.125350 \text{ (MPa)}$$

上記の算出結果を踏まえ、波圧によりフロートに発生する圧力 P_w を 0.2 (MPa) とする。

ロ. S_s 地震時

S_s 地震時の応力算出に用いる記号については、添付資料V-2-10-2-6-3「緊急用海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) S_s 地震荷重

応力評価に用いる基準地震動 S_s による設計震度を表 6.9.1-(3)-c-1 に示す。

固有値解析結果より、緊急用海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 6.9.1-(3)-c-1 応力評価に用いる基準地震動 S_s による設計震度

基準地震動 S_s による設計震度*	
水平方向 C_H	鉛直方向 C_V
1.83	1.05

注記 * : 固有値解析結果より、緊急用海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

(a-3-1) 弁本体

(a-3-1-1) 鉛直加速度負荷時

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

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

ここで、

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N)

F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度 = 1.05

m : 弁の質量 (kg) = 3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$W_{d1} = 3.95 \times 9.80665$$

$$= 38.7362 \text{ N}$$

$$F_{V1} = 3.95 \times 1.05 \times 9.80665$$

$$= 40.6730 \text{ N}$$

(a-3-1-2) 水平加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント (N・mm)

L_1 : 弁全体の長さ (mm) = 132

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度 = 1.83

m : 弁の質量 (kg) = 3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{H1} = 3.95 \times 1.83 \times 9.80665$$

$$= 70.8873 \text{ N}$$

$$M_1 = 70.8873 \times 132$$

$$= 9357.12 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(a-3-2) フロートガイド

(a-3-2-1) 鉛直加速度負荷時

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

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

ここで、

W_{d2} : フロートガイドに作用する常時荷重 (N)

F_{V2} : フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度 = 1.05

m_2 : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$W_{d2} = 0.05 \times 9.80665$$

$$= 0.490332 \text{ N}$$

$$F_{V2} = 0.05 \times 1.05 \times 9.80665$$

$$= 0.514849 \text{ N}$$

(a-3-2-2) 水平加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{H2} : フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント (N・mm)

L_2 : フロートガイドの長さ (mm) = 102

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度 = 1.83

m_f : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{H2} = 0.05 \times 1.83 \times 9.80665$$

$$= 0.897308 \text{ N}$$

$$M_2 = 0.897308 \times 102$$

$$= 91.5254 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(a-3-3) 基礎ボルト

(a-3-3-1) 鉛直加速度負荷時

弁全体の常時荷重 W_{d1} 及び弁本体に加わる鉛直方向荷重 F_{V1} が作用する。

(a-3-3-2) 水平加速度負荷時

弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 F_{H1} が作用する。

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 弁本体の発生応力

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

ここで、

σ_{v1} : 弁蓋に加わる引張応力 (MPa)

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N) = 38.7362

F_{v1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 40.6730

A_1 : 弁本体の断面積 (mm^2) = 1.100×10^3

弁本体の外径 D_1 及び弁本体の内径 d_1 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_1 : 弁本体の外径 (mm) = 75

d_1 : 弁本体の内径 (mm) = 65

$$\begin{aligned} A_1 &= (75^2 - 65^2) \times \pi / 4 \\ &= 1.09955 \times 10^3 \text{ mm}^2 = 1.100 \times 10^3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{引張応力 } \sigma_{v1} &= (38.7362 + 40.6730) / (1.100 \times 10^3) \\ &= 0.0721901 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot D_1 / 2}{I_1}$$

ここで、

σ_{H1} : 弁本体に加わる曲げ応力 (MPa)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$) = 9357.12

I_1 : 弁本体の断面二次モーメント (mm^4) = 6.76915×10^5

弁本体の外径 D_1 及び弁本体の内径 d_1 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_1 : 弁本体の外径 (mm) = 75

d_1 : 弁本体の内径 (mm) = 65

$$\begin{aligned} I_1 &= (D_1^4 - d_1^4) \cdot \frac{\pi}{64} \\ I_1 &= (75^4 - 65^4) \times \pi / 64 \\ &= 6.76915 \times 10^5 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力 } \sigma_{H1} &= (9357.12 \times (75/2)) / (6.76915 \times 10^5) \\ &= 0.518369 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v1} + \sigma_{H1} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$$

(a-2) フロートガイドの発生応力

$$\sigma_{v2} = \frac{W_{d2} + F_{v2}}{A_2}$$

ここで、

σ_{v2} : フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力 (MPa)

W_{d2} : フロートガイド 1 本あたりに作用する常時荷重 (N) = 0.490332

F_{v2} : フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 0.514849

A_2 : フロートガイドの最小断面積 (mm²) = 34.21

フロートガイドの最小直径 D_2 を以下のとおりとする。

D_2 : フロートガイドの最小直径 (mm) = 6.6

$$\begin{aligned} A_2 &= 6.6^2 \times \pi / 4 \\ &= 34.2119 \text{ mm}^2 = 34.21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{引張応力 } \sigma_{v2} &= (0.490332 + 0.514849) / 34.21 \\ &= 0.0293826 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot D_2 / 2}{I_2}$$

ここで、

σ_{H2} : フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力 (MPa)

M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント (N・mm) = 91.5254

D_2 : フロートガイドの最小直径 (mm) = 6.6

A_2 : フロートガイドの最小断面積 (mm²) = 34.21

I_2 : フロートガイドの断面二次モーメント (mm⁴) = 93.1420

フロートガイドの断面二次モーメント I_2 は以下の式より算出する。

$$I_2 = D_2^4 \cdot \pi / 64$$

$$I_2 = 6.6^4 \times \pi / 64 = 93.1420 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力 } \sigma_{H2} &= (91.5254 \times (6.6/2)) / (93.1420) \\ &= 3.24272 \text{ MPa} = 4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v2} + \sigma_{H2} = 1 + 4 = 5 \text{ MPa}$$

(a-3) 基礎ボルトの発生応力

$$\sigma_{bv} = \frac{W_{d1} + F_{v1}}{A_3 \cdot n}$$

ここで、

σ_{bv} : 鉛直方向地震荷重により基礎ボルト 1 本あたりに加わる引張応力 (MPa)

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N) = 38.7362

F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 40.6730
 A_3 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 2.011 × 10²
 n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

鉛直方向地震荷重による引張応力

$$\begin{aligned}\sigma_{bV} &= (38.7362 + 40.6730) / (2.011 \times 10^2 \times 4) \\ &= 0.0987185 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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

ここで,

τ_3 : 基礎ボルトに加わるせん断応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 70.8873

A_3 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 2.011 × 10²

呼び径 16mm のボルトの断面積であるため

$$A_3 = 16^2 \times \pi / 4 = 201.061 \text{ mm}^2 = 2.011 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

$$\begin{aligned}\text{せん断応力 } \tau_3 &= 70.8873 / (2.011 \times 10^2 \times 4) \\ &= 0.0881244 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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

ここで,

σ_{bH} : 水平方向地震荷重によるモーメントにより基礎ボルト 1 本あたりに加わる引張応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 70.8873

L_1 : 弁全体の長さ (mm) = 132

D_p : 基礎ボルトのピッチサークル = 145

A_3 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 2.011 × 10²

$$\begin{aligned}\text{モーメントによる引張応力 } \sigma_{bH} &= (70.8873 \times 132) / (145 \times 2.011 \times 10^2) \\ &= 0.320894 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力 } \sigma_{bH} + \sigma_{bV} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$$

ハ. 基準津波+S_d地震時

基準津波+S_d地震時の応力算出に用いる記号については、添付資料V-3-別添 3-2-5-1「緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) 基準津波荷重

突き上げ津波荷重は「イ. 基準津波時」にて示したとおりとする。

(a-4) S_d地震荷重

応力評価に用いる弾性設計用地震動S_dによる設計震度を表 6.9.1-(3)-c-2 に示す。

固有値解析結果より、緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 6.9.1-(3)-c-2 応力評価に用いる弾性設計用地震動 S_dによる設計震度

弾性設計用地震動 S _d による設計震度*	
水平方向 C _{Hsd}	鉛直方向 C _{Vsd}
0.92	0.53

注記 * : 固有値解析結果より、緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

(a-4-1) 弁本体

(a-4-1-1) 鉛直加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_{Vsd} : 余震による鉛直方向の設計震度=0.53

m_1 : 弁の全質量 (kg) =3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) =9.80665

P_{Vsd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa)

ρ_o : 海水の密度 (kg/m^3) =1030

H : 接続高さ (m) =13.2

$$F_{V1} = 3.95 \times 0.53 \times 9.80665$$

$$= 20.5302 \text{ N}$$

$$P_{Vsd} = 1030 \times 0.53 \times 9.80665 \times 13.2 \times 10^{-6}$$

$$= 0.0706655 \text{ MPa}$$

(a-4-1-2) 水平加速度負荷時

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

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

$$P_{Hsd} = \beta \cdot 7/8 \cdot \rho_o \cdot C_{Hsd} \cdot g \cdot H$$

ここで、

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント ($N \cdot mm$)

L_1 : 弁全体の長さ (mm) =132

C_{Hsd} : 余震による水平方向の設計震度=0.92

m_1 : 弁の質量 (kg) =3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) =9.80665

P_{Hsd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数=1.0

ρ_o : 海水の密度 (kg/m^3) =1030

H : 接続高さ (m) =13.2

$$F_{H1} = 3.95 \times 0.92 \times 9.80665$$

$$= 35.6373 \text{ N}$$

$$M_1 = 35.6373 \times 132$$

$$= 4704.13 \text{ N} \cdot mm$$

$$P_{Hsd} = 1.0 \times 7/8 \times 1030 \times 0.92 \times 9.80665 \times 13.2 \times 10^{-6}$$

$$=0.107331 \text{ MPa}$$

(a-4-2) フロートガイド

(a-4-2-1) 鉛直加速度負荷時

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

ここで、

F_{V2} : フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_{VSd} : 余震による鉛直方向の設計震度 = 0.53

m_2 : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{V2} = 0.05 \times 0.53 \times 9.80665$$

$$= 0.259876 \text{ N}$$

(a-4-2-2) 水平加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{H2} : フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

L_2 : フロートガイドの長さ (mm) = 102

C_{HSd} : 余震による水平方向の設計震度 = 0.92

m_2 : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{H2} = 0.05 \times 0.92 \times 9.80665$$

$$= 0.451105 \text{ N}$$

$$M_2 = 0.451105 \times 102$$

$$= 46.0127 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(a-4-3) 基礎ボルト

(a-4-3-1) 鉛直加速度負荷時

弁全体の常時荷重 W_1 及び弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 F_{V1} が作用する。

(a-4-3-2) 水平加速度負荷時

弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 F_{H1} が作用する。

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 弁本体の発生応力

$$\sigma_{v1} = \frac{W_1 + F_{v1} + (P_t + P_{Hsd} + P_{Vsd}) \cdot A_2}{A_1}$$

ここで、

σ_{v1} : 弁本体に加わる圧縮応力 (MPa)

W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = 38.7362

F_{v1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 20.5302

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350

P_{Hsd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.107331

P_{Vsd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.0706655

A_1 : 弁本体の断面積 (mm^2) = 1.100×10^3

A_2 : 突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる
受圧面積 (mm^2) = $A_1 = 1.100 \times 10^3$

$$\begin{aligned} \text{圧縮応力 } \sigma_{v1} &= (38.7362 + 20.5302 + (0.125350 + 0.107331 + 0.0706655) \times 1.100 \times 10^3) \\ &\quad / (1.100 \times 10^3) \\ &= 0.357225 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot D_1 / 2}{I_1}$$

ここで、

σ_{H1} : 弁本体に加わる曲げ応力 (MPa)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$) = 4704.13

I_1 : 弁本体の断面二次モーメント (mm^4) = 6.76915×10^5

D_1 : 弁本体の外径 (mm) = 75

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力 } \sigma_{H1} &= (4704.13 \times (75/2)) / (6.76915 \times 10^5) \\ &= 0.260601 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v1} + \sigma_{H1} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$$

(a-2) フロートガイドの発生応力

$$\sigma_{v2} = \frac{W_2 + F_{v2} + (P_t + P_{Hsd} + P_{Vsd}) \cdot A_4}{A_3}$$

ここで、

σ_{v2} : フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力 (MPa)

W_2 : フロートガイドの常時荷重 (N) = $W_{d2} = 0.490332$

F_{v2} : フロートガイドに加わる鉛直方向荷重 (N) = 0.259876

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350
 P_{Hsd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.107331
 P_{Vsd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.0706655
 A_3 : フロートガイドの最小断面積 (mm²) = 34.21
 A_4 : 突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積 (mm²) = 38.48

$$\begin{aligned}
 \text{圧縮応力 } \sigma_{v2} &= (0.490332 + 0.259876 + (0.125350 + 0.107331 + 0.0706655) \times 38.48) \\
 &\quad / 34.21 \\
 &= 0.363138 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot D_3 / 2}{I_2}$$

ここで,

σ_{H2} : フロートガイドに加わる曲げ応力 (MPa)
 M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント (N・m) = 46.0127
 I_2 : フロートガイドの断面二次モーメント (mm⁴) = 93.1420
 D_3 : フロートガイドの最小直径 (mm) = 6.6

$$\begin{aligned}
 \text{曲げ応力 } \sigma_{H2} &= (46.0127 \times (6.6/2)) / 93.1420 \\
 &= 1.63021 \text{ MPa} = 2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v2} + \sigma_{H2} = 1 + 2 = 3 \text{ MPa}$$

(a-3) 基礎ボルトの発生応力

$$\sigma_{v3} = \frac{W_1 + F_{V1} + (P_t + P_{Hsd} + P_{Vsd}) \cdot A_6}{A_5 \cdot n}$$

ここで,

σ_{v3} : 基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力 (MPa)
 W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = W_{d1} = 38.7362
 F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 20.5302
 P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350
 P_{Hsd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.107331
 P_{Vsd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.0706655
 A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 201.1
 A_6 : 突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面積 (mm²) = 1.708×10^3
 n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力

$$\begin{aligned}\sigma_{v3} &= (38.7362 + 20.5302 + (0.125350 + 0.0706655 + 0.107331) \times 1.708 \times 10^3) \\ &\quad / (201.1 \times 4) \\ &= 0.7177799 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\tau_3 = \frac{F_{H1}}{A_5 \cdot n}$$

ここで、

τ_3 : 基礎ボルトのねじ部に加わるせん断応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 35.6373

A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 201.1

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

$$\begin{aligned}\text{せん断応力 } \tau_3 &= (35.6373) / (201.1 \times 4) \\ &= 0.0443029 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{v4} = \frac{F_{H1} \cdot L_1}{D_p \cdot A_5}$$

ここで、

σ_{v4} : モーメントにより基礎ボルト 1 本当たりの
ねじ部に加わる引張応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 35.6373

L_1 : 弁全体の長さ (mm) = 132

D_p : 基礎ボルトのピッチサークル = 145

A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 201.1

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

モーメントにより弁蓋ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力

$$\sigma_{v4} = (35.6373 \times 132) / (145 \times 201.1) = 0.1613238 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}$$

基礎ボルトの引張応力 $\sigma_{v3} + \sigma_{v4} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$

(d) 許容応力

許容応力は、供用状態 C(許容応力状態Ⅲ_AS)として設定する。

イ. ボルト以外の許容応力

許容応力の設定に用いる温度 66°Cにおける SUS316L の許容引張応力 S は、JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 5 を用いて、温度 40 °Cにおける許容引張応力 S₄₀ と、温度 75°Cにおける許容引張応力 S₇₅ より、比例法を用いて算出する。

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 5 より温度 40 °Cにおける許容引張応力 S₄₀=111MPa, 温度 75°Cにおける許容引張応力 S₇₅=108MPa であるため、 $111 + (108 - 111) \times (66 - 40) / (75 - 40) = 108.771 = 108\text{MPa}$

(イ) 基準津波時, S_s地震時, 基準津波+S_d地震時

(a-1) 弁本体の許容圧縮応力, 許容曲げ応力及び組合せ応力

$$\begin{aligned} 1.2 \cdot S &= 1.2 \times 108 \\ &= 129 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) フロートガイドの許容圧縮応力, 許容曲げ応力及び組合せ応力

$$\begin{aligned} 1.2 \cdot S &= 1.2 \times 108 \\ &= 129 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ロ. ボルトの許容応力

許容応力の設定に用いる設計降伏点 S_y , 設計引張強さ S_u 及び 40°Cにおける設計降伏点 $S_y(\text{RT})$ は, JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 を用いて設定する。

温度 66°Cにおける SUS304 の設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は, 温度 40 °Cにおける設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u と, 温度 75°Cにおける設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u より, 比例法を用いて計算する。

温度 66°Cにおける SUS304 の設計降伏点 S_y

温度 40 °Cにおける設計降伏点 $S_y=205\text{MPa}$, 温度 75 °Cにおける設計降伏点 $S_y=183\text{MPa}$ であるため, $205 + (183 - 205) \times (66 - 40) / (75 - 40) = 188.657 = 188\text{MPa}$

温度 66°Cにおける SUS304 の設計引張強さ S_u

温度 40 °Cにおける設計引張強さ $S_u=520\text{MPa}$, 温度 75 °Cにおける設計引張強さ $S_u=466\text{MPa}$ であるため, $520 + (466 - 520) \times (66 - 40) / (75 - 40) = 479.885 = 479\text{MPa}$

温度 40°Cにおける SUS304 の設計降伏点 $S_y(\text{RT})$

温度 40 °Cにおける設計降伏点 $S_y=205\text{MPa}$

許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [1.35 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u, S_y(\text{RT})] \\ &= \min [1.35 \times 188, 0.7 \times 479, 205] \\ &= \min [253, 335, 205] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(イ) 基準津波時

許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(ロ) S_s 地震時, 基準津波 + S_d 地震時

(a-1) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-3) 組合せ応力

組合せ応力の許容応力として、せん断応力と引張応力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力を求める。

ボルトに作用するせん断応力 $\tau = 1 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{ts1} &= 1.4 \cdot (1.5 \cdot f_{t0}) - 1.6 \cdot \tau \\ &= 1.4 \times 153 - 1.6 \times 1 \\ &= 212 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{t0} &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{ts2} &= 1.5 \cdot f_{t0} \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

以上より、

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{ts} &= \text{Min} (1.5 \cdot f_{ts1}, 1.5 \cdot f_{ts2}) \\ &= \text{Min} (212, 153) \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(e) 応力評価結果

イ. 基準津波時

基準津波時の評価結果を表 6.9.1-(3)-c-3 に示す。

表 6.9.1-(3)-c-3 基準津波時の応力評価結果 (弁本体, フロートガイド及び基礎ボルト)

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
弁本体	圧縮	1	132	OK
フロートガイド	圧縮	1	132	OK
基礎ボルト	引張	1	153	OK

ロ. S_s地震時

S_s地震時の評価結果を表 6.9.1-(3)-c-4 に示す。

表 6.9.1-(3)-c-4 S_s地震時の評価結果 (弁本体, フロートガイド及び基礎ボルト)

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
弁本体	引張	1	132	OK
	曲げ	1	132	OK
	組合せ*1	2	132	OK
フロートガイド	引張	1	132	OK
	曲げ	4	132	OK
	組合せ*1	5	132	OK
基礎ボルト	引張*2	2	153*3	OK
	せん断	1	117	OK

注記 *1: 圧縮 (σ_t) + 曲げ (σ_b) は, $\sigma_t + \sigma_b \leq 1.2S$ で評価

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

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

ハ. 基準津波+S_d地震時

基準津波+S_d地震時の評価結果を表 6.9.1-(3)-c-5 に示す。

表 6.9.1-(3)-c-5 基準津波+S_d地震時の評価結果 (弁本体, フロートガイド及び基礎ボルト)

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
弁本体	圧縮	1	132	OK
	曲げ	1	132	OK
	組合せ*1	2	132	OK
フロートガイド	圧縮	1	132	OK
	曲げ	2	132	OK
	組合せ*1	3	132	OK
基礎ボルト	引張*2	2	153*3	OK
	せん断	1	117	OK

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

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

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

d. 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の設計に関する補足説明

(a) 固有値解析

イ. 固有振動数の計算

固有値解析に用いる記号については、添付資料V-2-10-2-6-4「緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

固有振動数計算モデルは1質点系モデルとして、重量の不均一性を考慮し、自由端に弁の集中質量を付加する。

モデル化は、円筒状の弁本体及び円柱状の4本のフロートガイドの異なる2つの断面をもつ梁の組合せとして設定する。モデル化の概略を図6.9.1-(3)-d-1に示す。

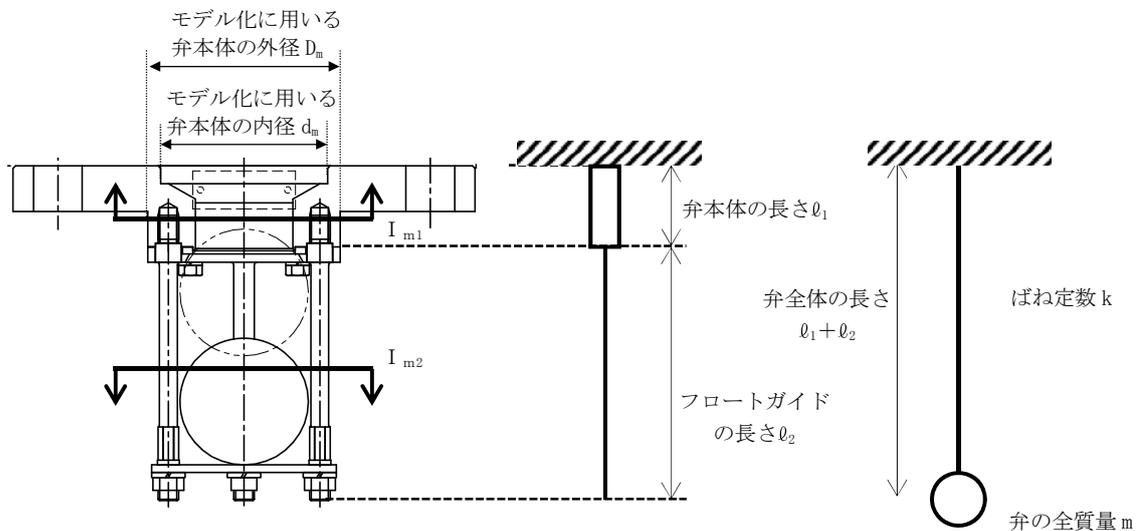


図 6.9.1-(3)-d-1 モデル化の概略

一次固有振動数 f は以下の式より算出する。

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

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

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

f : 一次固有振動数 (Hz)

m : モデル化に用いる弁の全質量 (kg) = 3.95

モデル化に用いる弁本体の長さ l_1 、モデル化に用いるフロートガイドの長さ l_2 、モデル化に用いる弁本体の外径 D_m 及びモデル化に用いる弁本体の内径 d_m は図 6.9.1-(3)-d-1 からそれぞれ以下のとおりとする。

ℓ_1 : モデル化に用いる弁本体の長さ (mm) = 30
 ℓ_2 : モデル化に用いるフロートガイドの長さ (mm) = 102
 D_m : モデル化に用いる弁本体の外径 (mm) = 75
 d_m : モデル化に用いる弁本体の内径 (mm) = 65

I_{m1} : モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント (mm⁴) = 6.76915 × 10⁵
 $I_{m1} = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \pi / 64$
 $I_{m1} = (75^4 - 65^4) \times \pi / 64 = 6.76915 \times 10^5 \text{ mm}^4$

フロートガイドの図心 G と X 軸の距離 y_g 及びモデル化に用いるフロートガイドの直径 D_{fm} は図 6.9.1-(3)-d-2 からそれぞれ以下のとおりとする。

y_g : フロートガイドの図心 G と X 軸の距離 (mm) = 30
 D_{fm} : モデル化に用いるフロートガイドの直径 (mm) = 7

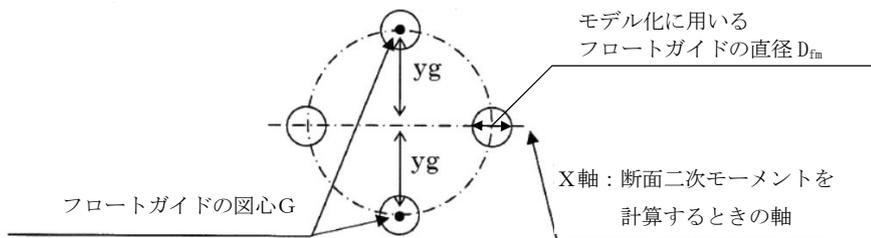


図 6.9.1-(3)-d-2 フロートガイド 4 本の断面

A : モデル化に用いるフロートガイド 1 本の断面積 (mm²) = 38.48
 $A = D_{fm}^2 \cdot \pi / 4$
 $A = 7^2 \times \pi / 4 = 38.4845 \text{ mm}^2 = 38.48 \text{ mm}^2$

I_a : モデル化に用いるフロートガイド 1 本の断面二次モーメント (mm⁴)
 $= 1.17858 \times 10^2$
 $I_a = D_{fm}^4 \cdot \pi / 64$
 $I_a = 7^4 \times \pi / 64 = 1.17858 \times 10^2 \text{ mm}^4$

I_{m2} : モデル化に用いるフロートガイド 4 本の等価断面二次モーメント (mm⁴)
 $= 6.97354 \times 10^4$
 $I_{m2} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot (I_a + (y_g)^2 \cdot A)$
 $I_{m2} = 2 \times 1.17858 \times 10^2 + 2 \times (1.17858 \times 10^2 + (30)^2 \times 38.48)$
 $= 6.97354 \times 10^4 \text{ mm}^4$

I_m : モデル等価断面二次モーメント (mm⁴) = 1.34914 × 10⁵
 モデルの等価断面二次モーメントは以下の式より算出する。

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

$$I_m = ((30+102)^3 \times 6.76915 \times 10^5 \times 6.97354 \times 10^4) / (6.76915 \times 10^5 \times 102^3 + 6.97354 \times 10^4 \times (30^3 + 3 \times 30 \times 102^2 + 3 \times 30^2 \times 102))$$

$$= 1.34914 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

$$E: \text{縦弾性係数 (MPa)} = 1.92 \times 10^5$$

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part6 表 1 を用いて計算する。温度 66 °C におけるオーステナイト系ステンレス鋼の縦弾性係数は、温度 50 °C の縦弾性係数 193000 MPa と、温度 75 °C の縦弾性係数 191000 MPa より、比例法を用いて計算する。

$$193000 + (191000 - 193000) \times (66 - 50) / (75 - 50) = 191720 \text{ MPa}$$

$$= 1.92 \times 10^5 \text{ MPa}$$

k : モデルのばね定数 (kg/s²)

$$k = (3 \cdot E \cdot I_m) / (\ell_1 + \ell_2)^3$$

$$k = (3 \times 1.92 \times 10^5 \times 1.34914 \times 10^5) / (30 + 102)^3 = 3.37876 \times 10^7 \text{ kg/s}^2$$

以上より、

$$f = 1/2 \pi \cdot \sqrt{(3.37876 \times 10^7 / (3.95))}$$

$$= 465.479 \text{ Hz} = 465 \text{ Hz}$$

ロ. 固有値解析結果

固有振動数は 465 Hz であり、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

(b) 評価条件の整理

イ. 固定荷重

固定荷重の算出に用いる記号については、添付資料 V-2-10-2-6-4「緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

固定荷重は以下のとおりとする。

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

ここで、

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N)

m : 弁の全質量 (kg) = 3.95

g : 重力加速度 (m/s²) = 9.80665

以上より、

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

$$= 3.95 \times 9.80665$$

$$= 38.7362 \text{ N}$$

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

ここで、

W_{d2} : フロートガイド 1 本あたりに作用する常時荷重 (N)

M_f : フロートガイド 1 本あたりの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

以上より、

$$\begin{aligned} W_{d2} &= m_f \cdot g \\ &= 0.05 \times 9.80665 \\ &= 0.490332 \text{ N} \end{aligned}$$

ロ. 風荷重及び積雪荷重

添付資料 V-2-1-9 「機能維持の基本方針」及び添付資料 V-3-別添 3-1 「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定した荷重の組合せに基づき、考慮しない。

(c) 応力計算

イ. 基準津波時

基準津波時の応力算出に用いる記号については、添付資料V-3-別添 3-2-5-1「緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の強度計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) 基準津波荷重

突き上げ津波荷重は以下のとおりとする。

$$P_t = (\rho_o \cdot g \cdot h + 1/2 \cdot C_D \cdot \rho_o \cdot U^2) / 10^6$$

ここで、

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa)

ρ_o : 海水の密度 (kg/m³) = 1030

g : 重力加速度 (m/s²) = 9.80665

h : 津波荷重水位 (m) = 12.0

(基準津波の水位に対し、参照する裕度である+0.65mを含めても十分に保守的である水位として設定した津波荷重水位)

C_D : 抗力係数 = 2.01

U : 流速 (m/s) = 2.0

以上より、

$$\begin{aligned} P_t &= (1030 \times 9.80665 \times 12.0 + 1/2 \times 2.01 \times 1030 \times 2.0^2) / 10^6 \\ &= 0.125350 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 弁本体の発生応力

$$\sigma_{t1} = \frac{W_1 + P_t \cdot A_2}{A_1}$$

ここで、

σ_{t1} : 弁本体に加わる圧縮応力 (MPa)

W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = $W_{d1} = 38.7362$

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350

図 6.9.1-(3)-d-3 に示す構造図から、突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 及び弁本体の内径 d_1 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_2 : 突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる
受圧面の直径 (mm) = 75

d_1 : 弁本体の内径 (mm) = 65

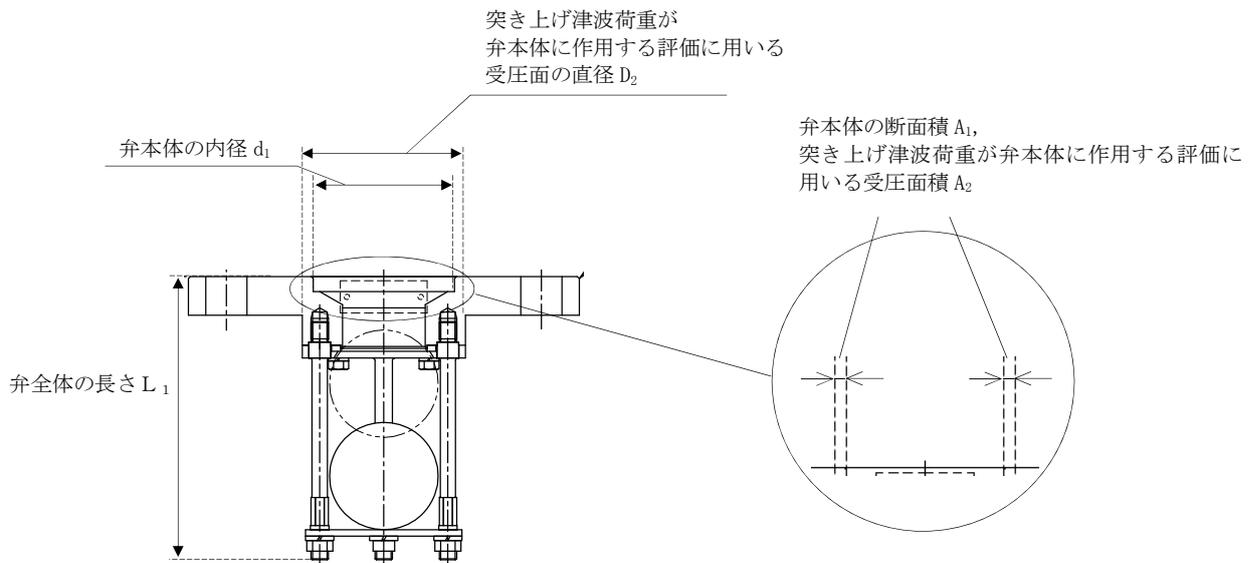


図 6.9.1-(3)-d-3 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の弁本体の受圧面の寸法図

A_1 : 弁本体の断面積 (mm^2) = 1.100×10^3

$$A_1 = (75^2 - 65^2) \times \pi / 4$$

$$= 1.09955 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

A_2 : 突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる
受圧面積 (mm^2) = 1.100×10^3

$$A_2 = A_1$$

$$\begin{aligned} \text{圧縮応力 } \sigma_{t1} &= (38.7362 + 0.125350 \times 1.100 \times 10^3) / (1.100 \times 10^3) \\ &= 0.160564 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) フロートガイドの発生応力

$$\sigma_{t2} = \frac{W_2 + P_t \cdot A_4}{A_3}$$

ここで、

σ_{t2} : フロートガイドに加わる圧縮応力 (MPa)

W_2 : フロートガイドに作用する荷重 (N) $= W_{d2} = 0.490332$

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) $= 0.125350$

図 6.9.1-(3)-d-4 に示す寸法図から、フロートガイドの最小直径 D_3 、突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_3 : フロートガイドの最小直径 (mm) $= 6.6$

D_4 : 突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 (mm) $= 7$

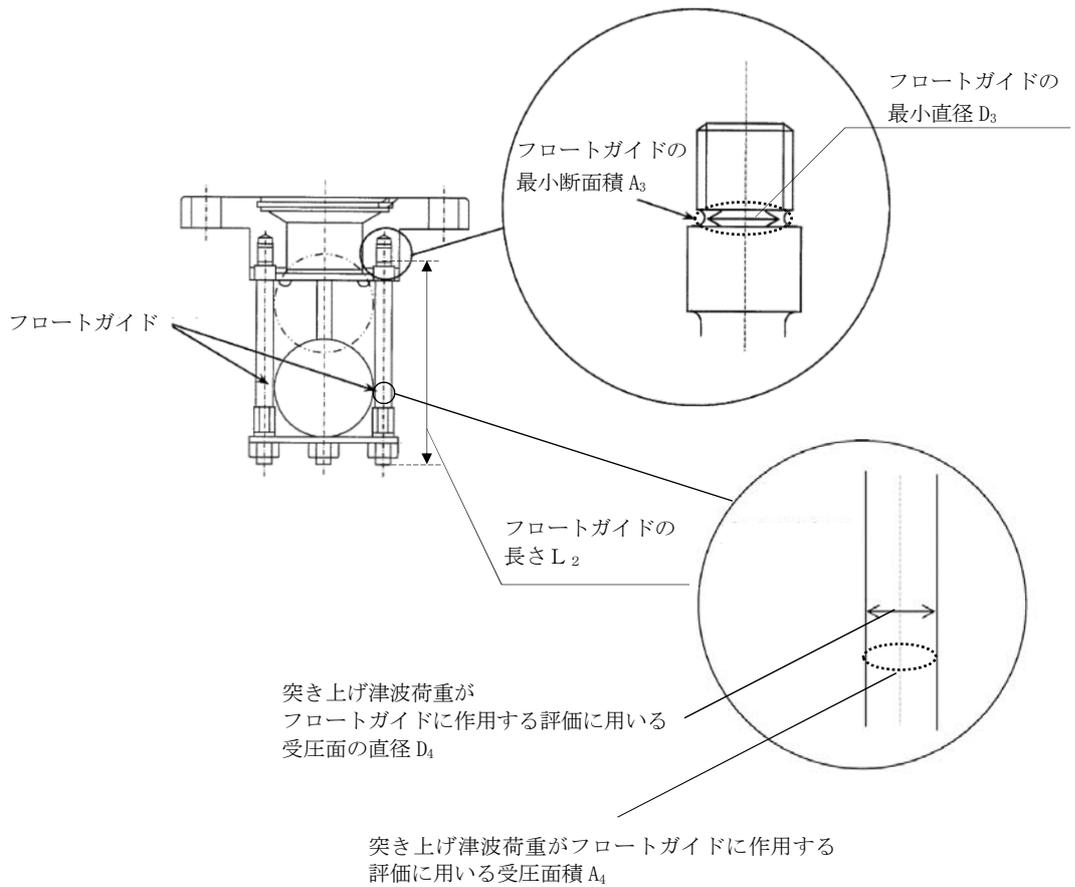


図 6.9.1-(3)-d-4 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁のフロートガイド寸法図

A_3 : フロートガイドの最小断面積 (mm²) = 34.21

$$A_3 = 6.6^2 \times \pi / 4$$

$$= 34.2119 \text{ mm}^2 = 34.21 \text{ mm}^2$$

A_4 : 突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる
受圧面積 (mm²) = 38.48

$$A_4 = (7^2) \times \pi / 4$$

$$= 38.4845 \text{ mm}^2 = 38.48 \text{ mm}^2$$

$$\text{圧縮応力 } \sigma_{t2} = (0.490332 + 0.125350 \times 38.48) / (34.21)$$

$$= 0.155328 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}$$

(a-3) 基礎ボルトの発生応力

$$\sigma_{t3} = \frac{W_1 + P_t \cdot A_6}{A_5 \cdot n}$$

ここで、

σ_{t3} : 基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力 (MPa)

W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = $W_{d1} = 38.7362$

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350

A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm^2) = 2.011×10^2

呼び径 16mm のボルトの断面積であるため

$$A_5 = 16^2 \times \pi / 4 = 201.061 \text{ mm}^2 = 2.011 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

図 6.9.1-(3)-d-5 に示す寸法図から、突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_6 を以下のとおりとする。

D_6 : 突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 (mm^2) = 80

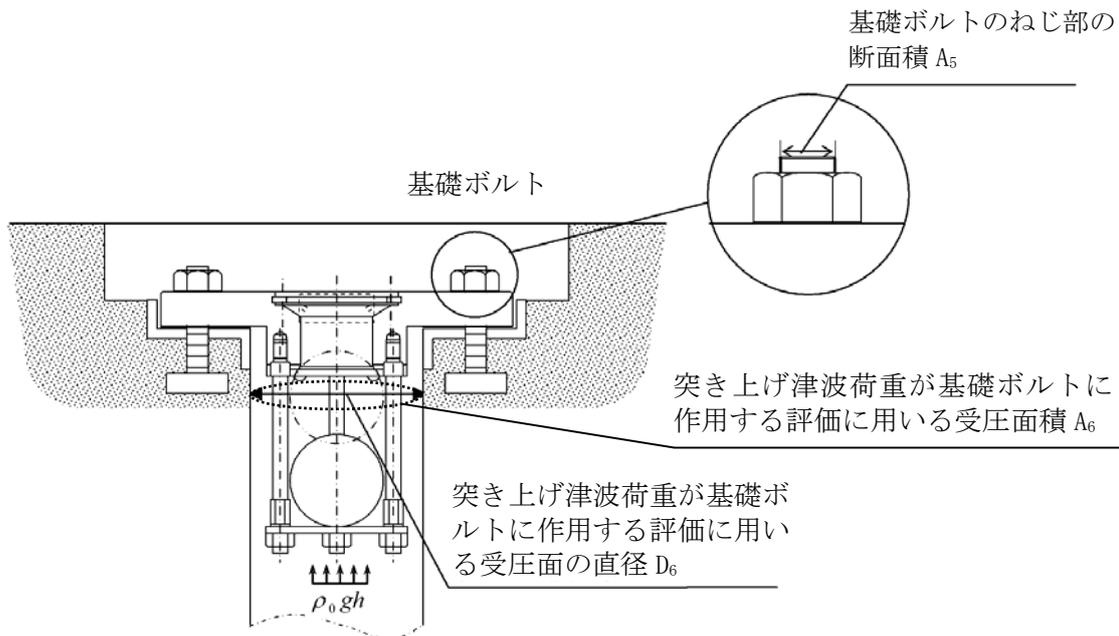


図 6.9.1-(3)-d-5 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の基礎ボルトの受圧面直径及びねじ部の面積

A_6 : 突き上げ津波荷重が弁蓋に作用する評価に用いる受圧面積 (mm^2) = 1.708×10^3

$$A_6 = (80^2 - 65^2) \times \pi / 4 = 1708.24 \text{ mm}^2 = 1.708 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に

$$\begin{aligned} \text{加わる引張応力 } \sigma_{t3} &= (38.7362 + 0.125350 \times 1.708 \times 10^3) / (2.011 \times 10^2 \times 4) \\ &= 0.314313 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-4) フロートに発生する圧力

波圧によりフロートに発生する圧力 P_w は突き上げ津波荷重 P_t の算出結果をもとに設定する。基準津波による突き上げ津波荷重 P_t は以下のとおりである。

$$P_t = 0.125350 \text{ (MPa)}$$

上記の算出結果を踏まえ、波圧によりフロートに発生する圧力 P_w を 0.2 (MPa) とする。

ロ. S_s 地震時

S_s 地震時の応力算出に用いる記号については、添付資料V-2-10-2-6-4「緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の耐震性についての計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) S_s 地震荷重

応力評価に用いる基準地震動 S_s による設計震度を表 6.9.1-(3)-d-1 に示す。

固有値解析結果より、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 6.9.1-(3)-d-1 応力評価に用いる基準地震動 S_s による設計震度

基準地震動 S_s による設計震度*	
水平方向 C_H	鉛直方向 C_V
1.83	1.05

注記 * : 固有値解析結果より、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

(a-3-1) 弁本体

(a-3-1-1) 鉛直加速度負荷時

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

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

ここで、

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N)

F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度 = 1.05

m : 弁の質量 (kg) = 3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$W_{d1} = 3.95 \times 9.80665$$

$$= 38.7362 \text{ N}$$

$$F_{V1} = 3.95 \times 1.05 \times 9.80665$$

$$= 40.6730 \text{ N}$$

(a-3-1-2) 水平加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント (N・mm)

L_1 : 弁全体の長さ (mm) = 132

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度 = 1.83

m : 弁の質量 (kg) = 3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{H1} = 3.95 \times 1.83 \times 9.80665$$

$$= 70.8873 \text{ N}$$

$$M_1 = 70.8873 \times 132$$

$$= 9357.12 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(a-3-2) フロートガイド

(a-3-2-1) 鉛直加速度負荷時

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

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

ここで、

W_{d2} : フロートガイドに作用する常時荷重 (N)

F_{V2} : フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度 = 1.05

m_2 : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$W_{d2} = 0.05 \times 9.80665$$

$$= 0.490332 \text{ N}$$

$$F_{V2} = 0.05 \times 1.05 \times 9.80665$$

$$= 0.514849 \text{ N}$$

(a-3-2-2) 水平加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{H2} : フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント (N・mm)

L_2 : フロートガイドの長さ (mm) = 102

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度 = 1.83

m_f : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{H2} = 0.05 \times 1.83 \times 9.80665$$

$$= 0.897308 \text{ N}$$

$$M_2 = 0.897308 \times 102$$

$$= 91.5254 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(a-3-3) 基礎ボルト

(a-3-3-1) 鉛直加速度負荷時

弁全体の常時荷重 W_{d1} 及び弁本体に加わる鉛直方向荷重 F_{V1} が作用する。

(a-3-3-2) 水平加速度負荷時

弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 F_{H1} が作用する。

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 弁本体の発生応力

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

ここで、

σ_{v1} : 弁蓋に加わる引張応力 (MPa)

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N) = 38.7362

F_{v1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 40.6730

A_1 : 弁本体の断面積 (mm^2) = 1.100×10^3

弁本体の外径 D_1 及び弁本体の内径 d_1 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_1 : 弁本体の外径 (mm) = 75

d_1 : 弁本体の内径 (mm) = 65

$$\begin{aligned} A_1 &= (75^2 - 65^2) \times \pi / 4 \\ &= 1.09955 \times 10^3 \text{ mm}^2 = 1.100 \times 10^3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{引張応力 } \sigma_{v1} &= (38.7362 + 40.6730) / (1.100 \times 10^3) \\ &= 0.0721901 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot D_1 / 2}{I_1}$$

ここで、

σ_{H1} : 弁本体に加わる曲げ応力 (MPa)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$) = 9357.12

I_1 : 弁本体の断面二次モーメント (mm^4) = 6.76915×10^5

弁本体の外径 D_1 及び弁本体の内径 d_1 をそれぞれ以下のとおりとする。

D_1 : 弁本体の外径 (mm) = 75

d_1 : 弁本体の内径 (mm) = 65

$$\begin{aligned} I_1 &= (D_1^4 - d_1^4) \cdot \frac{\pi}{64} \\ I_1 &= (75^4 - 65^4) \times \pi / 64 \\ &= 6.76915 \times 10^5 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力 } \sigma_{H1} &= (9357.12 \times (75/2)) / (6.76915 \times 10^5) \\ &= 0.518369 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v1} + \sigma_{H1} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$$

(a-2) フロートガイドの発生応力

$$\sigma_{v2} = \frac{W_{d2} + F_{v2}}{A_2}$$

ここで、

σ_{v2} : フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力 (MPa)

W_{d2} : フロートガイド 1 本あたりに作用する常時荷重 (N) = 0.490332

F_{v2} : フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 0.514849

A_2 : フロートガイドの最小断面積 (mm^2) = 34.21

フロートガイドの最小直径 D_2 を以下のとおりとする。

D_2 : フロートガイドの最小直径 (mm) = 6.6

$$\begin{aligned} A_2 &= 6.6^2 \times \pi / 4 \\ &= 34.2119 \text{ mm}^2 = 34.21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{引張応力 } \sigma_{v2} &= (0.490332 + 0.514849) / 34.21 \\ &= 0.0293826 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot D_2 / 2}{I_2}$$

ここで、

σ_{H2} : フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力 (MPa)

M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$) = 91.5254

D_2 : フロートガイドの最小直径 (mm) = 6.6

A_2 : フロートガイドの最小断面積 (mm^2) = 34.21

I_2 : フロートガイドの断面二次モーメント (mm^4) = 93.1420

フロートガイドの断面二次モーメント I_2 は以下の式より算出する。

$$I_2 = D_2^4 \cdot \pi / 64$$

$$I_2 = 6.6^4 \times \pi / 64 = 93.1420 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力 } \sigma_{H2} &= (91.5254 \times (6.6/2)) / (93.1420) \\ &= 3.24272 \text{ MPa} = 4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v2} + \sigma_{H2} = 1 + 4 = 5 \text{ MPa}$$

(a-3) 基礎ボルトの発生応力

$$\sigma_{bv} = \frac{W_{d1} + F_{v1}}{A_3 \cdot n}$$

ここで、

σ_{bv} : 鉛直方向地震荷重により基礎ボルト 1 本あたりに加わる引張応力 (MPa)

W_{d1} : 弁全体の常時荷重 (N) = 38.7362

F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 40.6730
 A_3 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 2.011 × 10²
 n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

鉛直方向地震荷重による引張応力

$$\begin{aligned}\sigma_{bV} &= (38.7362 + 40.6730) / (2.011 \times 10^2 \times 4) \\ &= 0.0987185 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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

ここで,

τ_3 : 基礎ボルトに加わるせん断応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 70.8873

A_3 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 2.011 × 10²

呼び径 16mm のボルトの断面積であるため

$$A_3 = 16^2 \times \pi / 4 = 201.061 \text{ mm}^2 = 2.011 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

$$\begin{aligned}\text{せん断応力 } \tau_3 &= 70.8873 / (2.011 \times 10^2 \times 4) \\ &= 0.0881244 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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

ここで,

σ_{bH} : 水平方向地震荷重によるモーメントにより基礎ボルト 1 本あたりに加わる引張応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 70.8873

L_1 : 弁全体の長さ (mm) = 132

D_p : 基礎ボルトのピッチサークル = 145

A_3 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 2.011 × 10²

$$\begin{aligned}\text{モーメントによる引張応力 } \sigma_{bH} &= (70.8873 \times 132) / (145 \times 2.011 \times 10^2) \\ &= 0.320894 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力 } \sigma_{bH} + \sigma_{bV} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$$

ハ. 基準津波+S_d地震時

基準津波+S_d地震時の応力算出に用いる記号については、添付資料V-3-別添 3-2-5-1「緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の強度計算書」にて示す記号を使用する。

(イ) 荷重条件

(a-1) 固定荷重

固定荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-2) 積雪荷重

積雪荷重は「(b) 評価条件の整理」にて示したとおりとする。

(a-3) 基準津波荷重

突き上げ津波荷重は「イ. 基準津波時」にて示したとおりとする。

(a-4) S_d地震荷重

応力評価に用いる弾性設計用地震動S_dによる設計震度を表 6.9.1-(3)-d-2 に示す。

固有値解析結果より、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20 Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

表 6.9.1-(3)-d-2 応力評価に用いる弾性設計用地震動 S_dによる設計震度

弾性設計用地震動 S _d による設計震度*	
水平方向 C _{Hsd}	鉛直方向 C _{Vsd}
0.92	0.53

注記 * : 固有値解析結果より、緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

(a-4-1) 弁本体

(a-4-1-1) 鉛直加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_{VSd} : 余震による鉛直方向の設計震度=0.53

m_1 : 弁の全質量 (kg) =3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) =9.80665

P_{VSd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa)

ρ_o : 海水の密度 (kg/m^3) =1030

H : 接続高さ (m) =13.2

$$F_{V1} = 3.95 \times 0.53 \times 9.80665$$

$$= 20.5302 \text{ N}$$

$$P_{VSd} = 1030 \times 0.53 \times 9.80665 \times 13.2 \times 10^{-6}$$

$$= 0.0706655 \text{ MPa}$$

(a-4-1-2) 水平加速度負荷時

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

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

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

ここで、

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント (N・mm)

L_1 : 弁全体の長さ (mm) =132

C_{HSd} : 余震による水平方向の設計震度=0.92

m_1 : 弁の質量 (kg) =3.95

g : 重力加速度 (m/s^2) =9.80665

P_{HSd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数=1.0

ρ_o : 海水の密度 (kg/m^3) =1030

H : 接続高さ (m) =13.2

$$F_{H1} = 3.95 \times 0.92 \times 9.80665$$

$$= 35.6373 \text{ N}$$

$$M_1 = 35.6373 \times 132$$

$$= 4704.13 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$P_{HSd} = 1.0 \times 7/8 \times 1030 \times 0.92 \times 9.80665 \times 13.2 \times 10^{-6}$$

$$=0.107331 \text{ MPa}$$

(a-4-2) フロートガイド

(a-4-2-1) 鉛直加速度負荷時

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

ここで、

F_{V2} : フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重 (N)

C_{VSd} : 余震による鉛直方向の設計震度 = 0.53

m_2 : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{V2} = 0.05 \times 0.53 \times 9.80665$$

$$= 0.259876 \text{ N}$$

(a-4-2-2) 水平加速度負荷時

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

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

ここで、

F_{H2} : フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重 (N)

M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

L_2 : フロートガイドの長さ (mm) = 102

C_{HSd} : 余震による水平方向の設計震度 = 0.92

m_2 : フロートガイドの質量 (kg) = 0.05

g : 重力加速度 (m/s^2) = 9.80665

$$F_{H2} = 0.05 \times 0.92 \times 9.80665$$

$$= 0.451105 \text{ N}$$

$$M_2 = 0.451105 \times 102$$

$$= 46.0127 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

(a-4-3) 基礎ボルト

(a-4-3-1) 鉛直加速度負荷時

弁全体の常時荷重 W_1 及び弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 F_{V1} が作用する。

(a-4-3-2) 水平加速度負荷時

弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 F_{H1} が作用する。

(ロ) 各部の応力計算

(a-1) 弁本体の発生応力

$$\sigma_{v1} = \frac{W_1 + F_{v1} + (P_t + P_{Hsd} + P_{Vsd}) \cdot A_2}{A_1}$$

ここで、

σ_{v1} : 弁本体に加わる圧縮応力 (MPa)

W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = 38.7362

F_{v1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 20.5302

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350

P_{Hsd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.107331

P_{Vsd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.0706655

A_1 : 弁本体の断面積 (mm^2) = 1.100×10^3

A_2 : 突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる
受圧面積 (mm^2) = $A_1 = 1.100 \times 10^3$

$$\begin{aligned} \text{圧縮応力 } \sigma_{v1} &= (38.7362 + 20.5302 + (0.125350 + 0.107331 + 0.0706655) \times 1.100 \times 10^3) \\ &\quad / (1.100 \times 10^3) \\ &= 0.357225 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot D_1 / 2}{I_1}$$

ここで、

σ_{H1} : 弁本体に加わる曲げ応力 (MPa)

M_1 : 弁本体に発生する曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$) = 4704.13

I_1 : 弁本体の断面二次モーメント (mm^4) = 6.76915×10^5

D_1 : 弁本体の外径 (mm) = 75

$$\begin{aligned} \text{曲げ応力 } \sigma_{H1} &= (4704.13 \times (75/2)) / (6.76915 \times 10^5) \\ &= 0.260601 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v1} + \sigma_{H1} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$$

(a-2) フロートガイドの発生応力

$$\sigma_{v2} = \frac{W_2 + F_{v2} + (P_t + P_{Hsd} + P_{Vsd}) \cdot A_4}{A_3}$$

ここで、

σ_{v2} : フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力 (MPa)

W_2 : フロートガイドの常時荷重 (N) = $W_{d2} = 0.490332$

F_{v2} : フロートガイドに加わる鉛直方向荷重 (N) = 0.259876

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350
 P_{Hsd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.107331
 P_{Vsd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.0706655
 A_3 : フロートガイドの最小断面積 (mm^2) = 34.21
 A_4 : 突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積 (mm^2) = 38.48

$$\begin{aligned}
 \text{圧縮応力 } \sigma_{v2} &= (0.490332 + 0.259876 + (0.125350 + 0.107331 + 0.0706655) \times 38.48) \\
 &\quad / 34.21 \\
 &= 0.363138 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot D_3 / 2}{I_2}$$

ここで,

σ_{H2} : フロートガイドに加わる曲げ応力 (MPa)

M_2 : フロートガイドに発生する曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{m}$) = 46.0127

I_2 : フロートガイドの断面二次モーメント (mm^4) = 93.1420

D_3 : フロートガイドの最小直径 (mm) = 6.6

$$\begin{aligned}
 \text{曲げ応力 } \sigma_{H2} &= (46.0127 \times (6.6/2)) / 93.1420 \\
 &= 1.63021 \text{ MPa} = 2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{組合せ応力 } \sigma_{v2} + \sigma_{H2} = 1 + 2 = 3 \text{ MPa}$$

(a-3) 基礎ボルトの発生応力

$$\sigma_{v3} = \frac{W_1 + F_{V1} + (P_t + P_{Hsd} + P_{Vsd}) \cdot A_6}{A_5 \cdot n}$$

ここで,

σ_{v3} : 基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力 (MPa)

W_1 : 弁全体の常時荷重 (N) = W_{d1} = 38.7362

F_{V1} : 弁本体に加わる鉛直方向地震荷重 (N) = 20.5302

P_t : 基準津波による突き上げ津波荷重 (MPa) = 0.125350

P_{Hsd} : 水平加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.107331

P_{Vsd} : 鉛直加速度により加わる動水圧荷重 (MPa) = 0.0706655

A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm^2) = 201.1

A_6 : 突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる
受圧面積 (mm^2) = 1.708×10^3

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

基礎ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力

$$\begin{aligned}\sigma_{v3} &= (38.7362 + 20.5302 + (0.125350 + 0.0706655 + 0.107331) \times 1.708 \times 10^3) \\ &\quad / (201.1 \times 4) \\ &= 0.7177799 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\tau_3 = \frac{F_{H1}}{A_5 \cdot n}$$

ここで、

τ_3 : 基礎ボルトのねじ部に加わるせん断応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 35.6373

A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 201.1

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

$$\begin{aligned}\text{せん断応力 } \tau_3 &= (35.6373) / (201.1 \times 4) \\ &= 0.0443029 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{v4} = \frac{F_{H1} \cdot L_1}{D_p \cdot A_5}$$

ここで、

σ_{v4} : モーメントにより基礎ボルト 1 本当たりの
ねじ部に加わる引張応力 (MPa)

F_{H1} : 弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重 (N) = 35.6373

L_1 : 弁全体の長さ (mm) = 132

D_p : 基礎ボルトのピッチサークル = 145

A_5 : 基礎ボルトのねじ部の断面積 (mm²) = 201.1

n : 基礎ボルトの本数 (本) = 4

モーメントにより弁蓋ボルト 1 本当たりのねじ部に加わる引張応力

$$\sigma_{v4} = (35.6373 \times 132) / (145 \times 201.1) = 0.1613238 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}$$

基礎ボルトの引張応力 $\sigma_{v3} + \sigma_{v4} = 1 + 1 = 2 \text{ MPa}$

(d) 許容応力

許容応力は、供用状態 C(許容応力状態Ⅲ_AS)として設定する。

イ. ボルト以外の許容応力

許容応力の設定に用いる温度 66°Cにおける SUS316L の許容引張応力 S は、JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 5 を用いて、温度 40 °Cにおける許容引張応力 S₄₀ と、温度 75°Cにおける許容引張応力 S₇₅ より、比例法を用いて算出する。

JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 5 より温度 40 °Cにおける許容引張応力 S₄₀=111MPa, 温度 75°Cにおける許容引張応力 S₇₅=108MPa であるため、 $111 + (108 - 111) \times (66 - 40) / (75 - 40) = 108.771 = 108\text{MPa}$

(イ) 基準津波時, S_s地震時, 基準津波+S_d地震時

(a-1) 弁本体の許容圧縮応力, 許容曲げ応力及び組合せ応力

$$\begin{aligned} 1.2 \cdot S &= 1.2 \times 108 \\ &= 129 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) フロートガイドの許容圧縮応力, 許容曲げ応力及び組合せ応力

$$\begin{aligned} 1.2 \cdot S &= 1.2 \times 108 \\ &= 129 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ロ. ボルトの許容応力

許容応力の設定に用いる設計降伏点 S_y 、設計引張強さ S_u 及び 40°Cにおける設計降伏点 S_y (RT)は、JSME S NC1-2005/2007 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 を用いて設定する。

温度 66°Cにおける SUS304 の設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は、温度 40 °Cにおける設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u と、温度 75°Cにおける設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u より、比例法を用いて計算する。

温度 66°Cにおける SUS304 の設計降伏点 S_y

温度 40 °Cにおける設計降伏点 $S_y=205\text{MPa}$ 、温度 75 °Cにおける設計降伏点 $S_y=183\text{MPa}$ であるため、 $205 + (183 - 205) \times (66 - 40) / (75 - 40) = 188.657 = 188\text{MPa}$

温度 66°Cにおける SUS304 の設計引張強さ S_u

温度 40 °Cにおける設計引張強さ $S_u=520\text{MPa}$ 、温度 75 °Cにおける設計引張強さ $S_u=466\text{MPa}$ であるため、 $520 + (466 - 520) \times (66 - 40) / (75 - 40) = 479.885 = 479\text{MPa}$

温度 40°Cにおける SUS304 の設計降伏点 S_y (RT)

温度 40 °Cにおける設計降伏点 $S_y=205\text{MPa}$

許容応力算定用基準値

$$\begin{aligned} F &= \min [1.35 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u, S_y \text{ (RT)}] \\ &= \min [1.35 \times 188, 0.7 \times 479, 205] \\ &= \min [253, 335, 205] \\ &= 205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(イ) 基準津波時

許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(ロ) S_s 地震時，基準津波 + S_d 地震時

(a-1) 許容引張応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_t &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-2) 許容せん断応力

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_s &= \{F / (1.5 \cdot \sqrt{3})\} \cdot 1.5 \\ &= \{205 / (1.5 \times \sqrt{3})\} \times 1.5 \\ &= 78 \times 1.5 \\ &= 117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(a-3) 組合せ応力

組合せ応力の許容応力として、せん断応力と引張応力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力を求める。

ボルトに作用するせん断応力 $\tau = 1 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{ts1} &= 1.4 \cdot (1.5 \cdot f_{t0}) - 1.6 \cdot \tau \\ &= 1.4 \times 153 - 1.6 \times 1 \\ &= 212 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで,

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{t0} &= (F/2) \cdot 1.5 \\ &= (205/2) \times 1.5 \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{ts2} &= 1.5 \cdot f_{t0} \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

以上より,

$$\begin{aligned} 1.5 \cdot f_{ts} &= \text{Min} (1.5 \cdot f_{ts1}, 1.5 \cdot f_{ts2}) \\ &= \text{Min} (212, 153) \\ &= 153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(e) 応力評価結果

イ. 基準津波時

基準津波時の評価結果を表 6.9.1-(3)-d-3 に示す。

表 6.9.1-(3)-d-3 基準津波時の応力評価結果 (弁本体, フロートガイド及び基礎ボルト)

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
弁本体	圧縮	1	132	OK
フロートガイド	圧縮	1	132	OK
基礎ボルト	引張	1	153	OK

ロ. S_s地震時

S_s地震時の評価結果を表 6.9.1-(3)-d-4 に示す。

表 6.9.1-(3)-d-4 S_s地震時の評価結果 (弁本体, フロートガイド及び基礎ボルト)

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
弁本体	引張	1	132	OK
	曲げ	1	132	OK
	組合せ*1	2	132	OK
フロートガイド	引張	1	132	OK
	曲げ	4	132	OK
	組合せ*1	5	132	OK
基礎ボルト	引張*2	2	153*3	OK
	せん断	1	117	OK

注記 *1: 圧縮 (σ_t) + 曲げ (σ_b) は, $\sigma_t + \sigma_b \leq 1.2S$ で評価

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

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

ハ. 基準津波+S_d地震時

基準津波+S_d地震時の評価結果を表 6.9.1-(3)-d-5 に示す。

表 6.9.1-(3)-d-5 基準津波+S_d地震時の評価結果 (弁本体, フロートガイド及び基礎ボルト)

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
弁本体	圧縮	1	132	OK
	曲げ	1	132	OK
	組合せ*1	2	132	OK
フロートガイド	圧縮	1	132	OK
	曲げ	2	132	OK
	組合せ*1	3	132	OK
基礎ボルト	引張*2	2	153*3	OK
	せん断	1	117	OK

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

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

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