

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 53
提出年月日	平成 30 年 6 月 19 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 6 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

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
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 37 H30. 5. 17]
 - 3.2 海水ポンプの波力に対する強度評価について
 - 3.3 電源喪失による除塵装置の機能喪失に伴う取水性の影響について
4. 漂流物に関する考慮事項
 - 4.1 設計に用いる遡上波の流速について[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 48 H30. 6. 11]
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
 - 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の設計に用いる規格・基準類の適用性について
 - 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
 - 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 38 H30. 5. 18]
 - 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 44 H30. 6. 5]
 - 5.10.8 構内排水路逆流防止設備[改 44 H30. 6. 5]

- 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
- 5.12 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 42 H30. 5. 31]
- 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
- 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 51 H30. 6. 15]

[]内は，当該箇所を提出
(最新)したときの改訂を示
す。

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 32 H30. 5. 1]
 - 6.1.1.2 鋼製防護壁の強度計算書に関する補足説明[改 36 H30. 5. 17]
 - 6.1.2 鋼製防護壁アンカーに関する補足説明
 - 6.1.3 止水機構に関する補足説明[改 53 H30. 6. 19]
- 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 44 H30. 6. 5]
 - 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 33 H30. 5. 7]
 - 6.2.2 フラップゲートに関する補足説明
- 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 24 H30. 4. 11]
 - 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 33 H30. 5. 7]
- 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 33 H30. 5. 7]
- 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 28 H30. 4. 19]（土木）
 - 6.5.1.2 防潮扉の強度計算書に関する補足説明[改 36 H30. 5. 17]
- 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 50 H30. 6. 12]

- 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 32 H30. 5. 1]
 - 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
- 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 42 H30. 5. 31]
 - 6.8.1.2 貯留堰の強度計算書に関する補足説明[改 33 H30. 5. 7]
 - 6.8.2 貯留堰取付護岸に関する補足説明[改 28 H30. 4. 19]
- 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 52 H30. 6. 19]
 - 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
- 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 52 H30. 6. 19]
 - 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
 - 6.10.3 加振試験の条件について[改 52 H30. 6. 19]
 - 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 52 H30. 6. 19]
- 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
- 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]

[]内は, 当該箇所を提出
(最新)したときの改訂を示
す。

6.1.3 止水機構に関する補足説明

6.1.3.1 止水機構（1次止水機構）の実規模大実証試験の計画について

1. 目的

止水機構が基準地震動 S_s 及び余震+津波時において、実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）を行い、止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認する。

実証試験においては、振動台の能力の中で実証試験を行う必要があることから、最大限の加振ケースにて実証試験を行ない止水板の挙動等*を確認する。また、実証試験にて得られた結果については、三次元動的解析を実施し検証を行うと共に、基準地震動 S_s における止水板の挙動等*については、三次元動的解析にて止水板の挙動等*を確認する。

※止水板の挙動等とは

地震時又は余震+津波時における止水板の挙動、変位追従性、水密ゴムの健全性

2. 止水機構（1次止水機構）の概要

鋼製防護壁と既設取水路間の止水構造は、津波による荷重、鋼製防護壁と取水路の地震時における追従性を確保する必要があることから、止水板が可動できるよう止水機構を設置する。1次止水機構は、止水板の底面と側面に設置した水密ゴムにて水密性を確保する構造とする。水密ゴムは、摩擦抵抗を低減し追従性を向上させるため、表面ライニング（樹脂）を施工する。

また、止水板には漂流物の衝突による影響も考慮し、止水板押え及び保護プレートを設置し漂流物荷重からも耐える構造とする。

止水機構の構造図を図1に、1次止水機構に係る各部位の役割・機能を表1に示す。

なお、止水機構は、1次止水機構である止水板からの微少な浸水も考慮し、敷地内に浸水させないよう陸側にシートジョイントからなる2次止水機構を設置する。

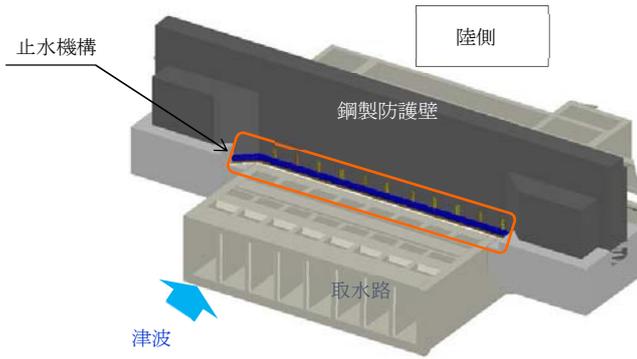


図 止水機構の設置位置

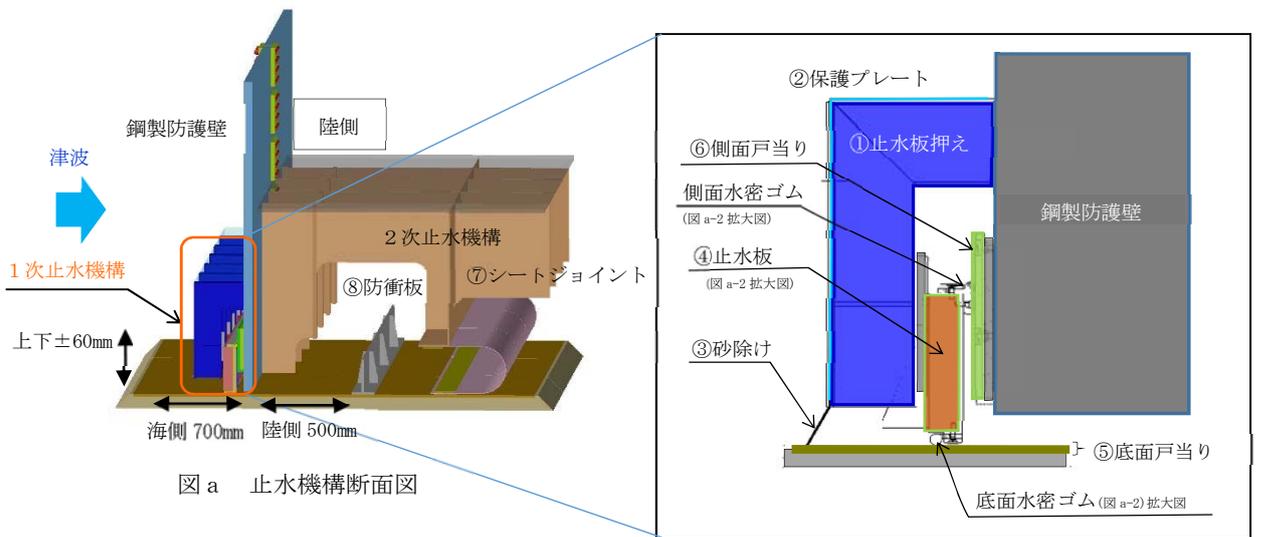


図 a 止水機構断面図

図 a-1 1次止水機構拡大図

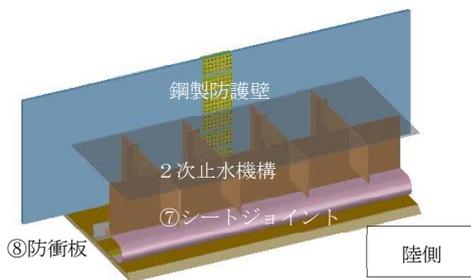


図 b 2次止水機構の構造

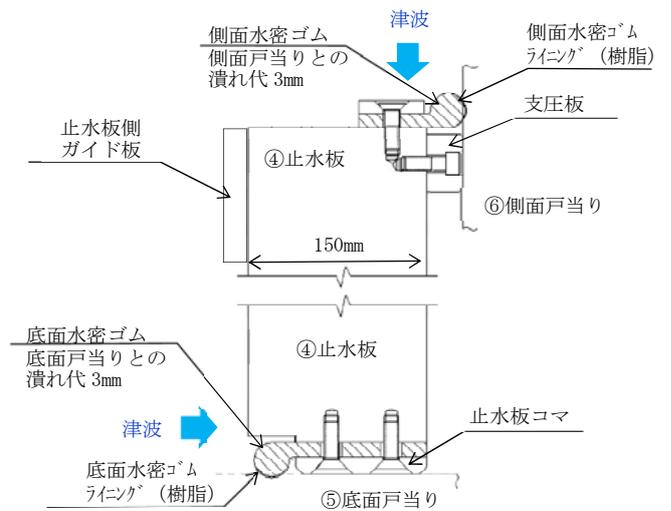


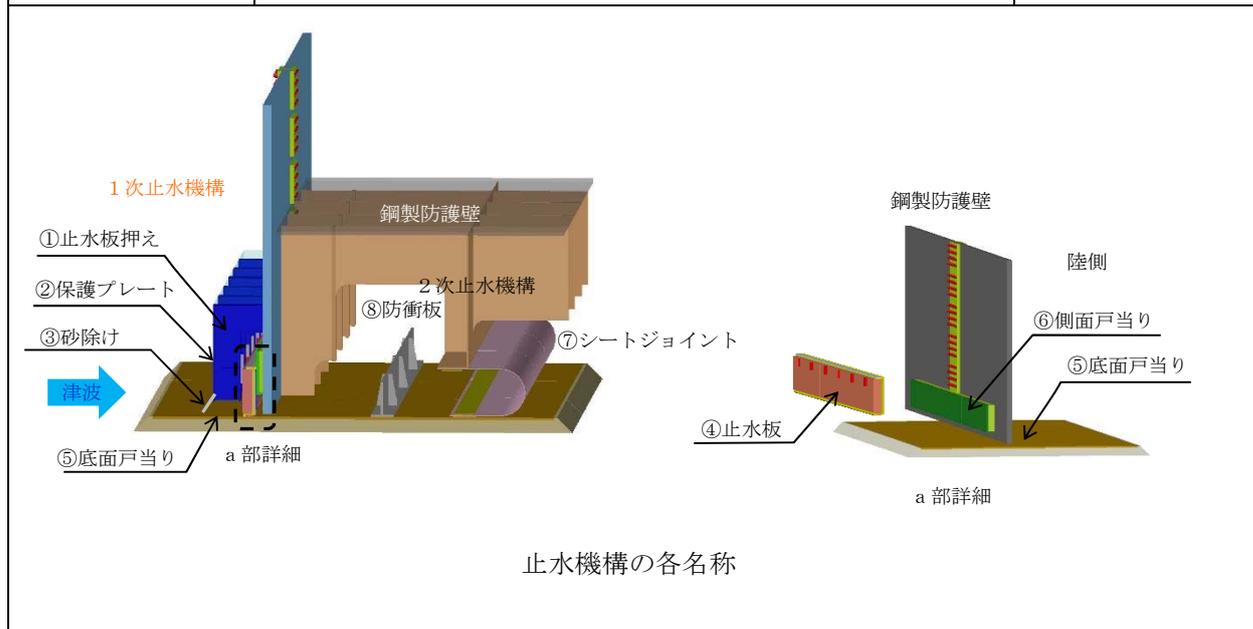
図 a-2 止水板、底面・側面水密ゴム拡大図

図1 止水機構の構造図

表1 1次止水機構に係る各部位の役割・機能

各部位の役割・機能については以下のとおり。名称は下図に示す。

名称	役割・機能	材料
① 止水板押え	<ul style="list-style-type: none"> 止水板を支持する。 漂流物等から止水板を防護する。 	鋼製
② 保護プレート	<ul style="list-style-type: none"> 大型植生などから止水板を防護する。 止水板への異物混入を防止する。 	鋼製
③ 砂除け	<ul style="list-style-type: none"> 底面戸当り面への砂等の異物混入を防止する。 	ナイロン
④ 止水板	<ul style="list-style-type: none"> 止水機構の扉体の機能。 底面及び側面の戸当りに面する部位に水密ゴムを設置し浸水を防止する。 1枚当たりの主要仕様 寸法：横2000mm×幅150mm×高さ400mm 重量：約930kg 	ステンレス ＋ 水密ゴム (P形ゴム)
⑤ 底面戸当り	<ul style="list-style-type: none"> 止水板の底面水密ゴムとのシール性を確保する。 (真直度, 平面度の管理) 床部より約100mm嵩上げし異物混入を防止する。 	ステンレス (表面仕上げNo.1) ^{※2}
⑥ 側面戸当り	<ul style="list-style-type: none"> 止水板の側面水密ゴムとのシール性を確保する。 (真直度, 平面度の管理) 	ステンレス (表面仕上げNo.1) ^{※2}
⑦ シートジョイント ^{※1}	<ul style="list-style-type: none"> 水密ゴムからの微少な浸水を保持する。 陸側からの異物混入を防止する。 	シートジョイント
⑧ 防衝板 ^{※1}	<ul style="list-style-type: none"> 1次止水機構の損傷又は保守に伴う取り外し時に漂流物が2次止水機構に到達することを防止する。 	鋼製



※1：2次止水機構

※2：JIS G 4304 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 表面仕上げ より

3. 鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー及び1次止水機構の実証試験評価フロー

鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー（図2）及び1次止水機構の実証試験評価フロー（図3）については以下の通り。

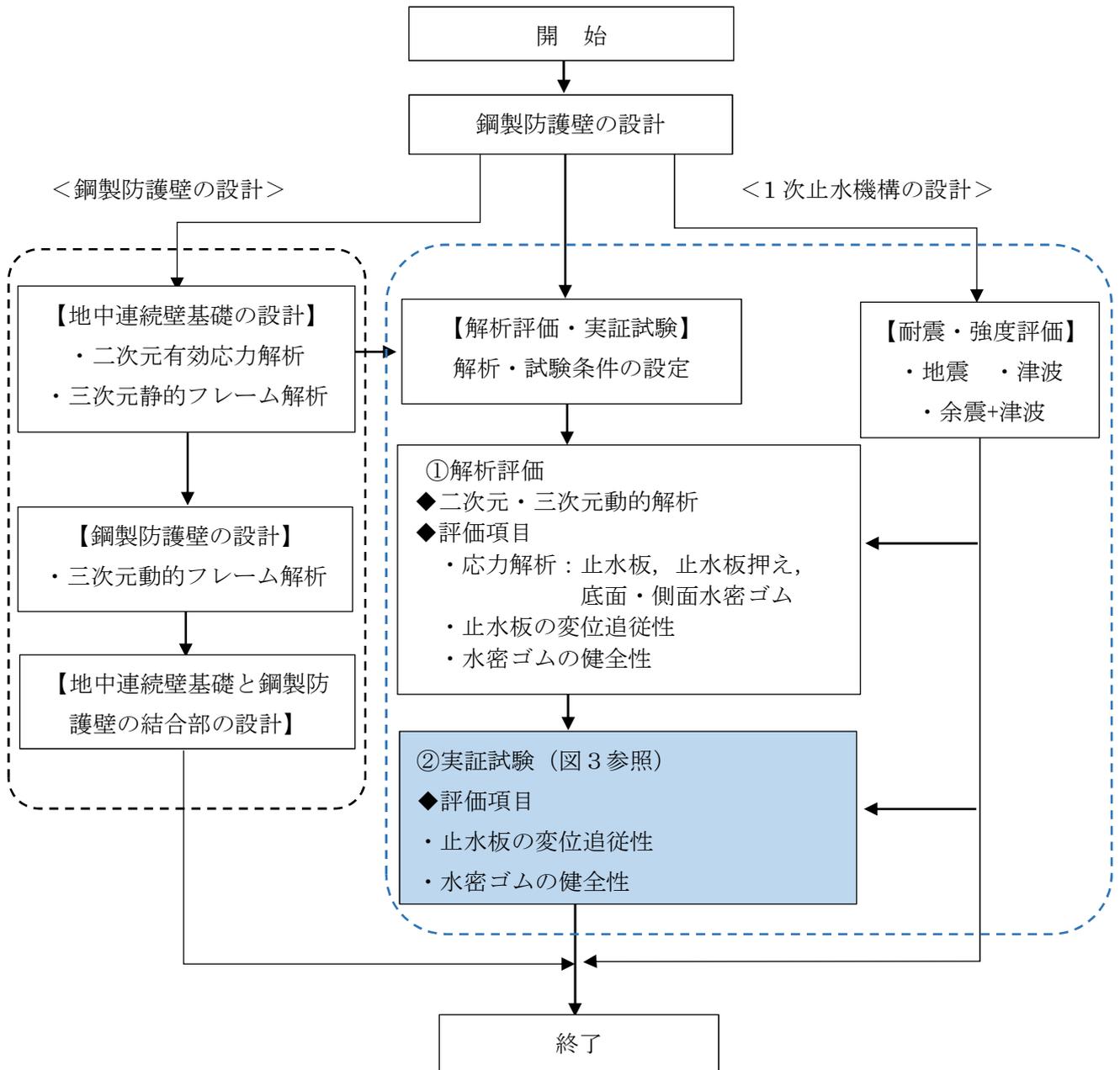


図2 鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー

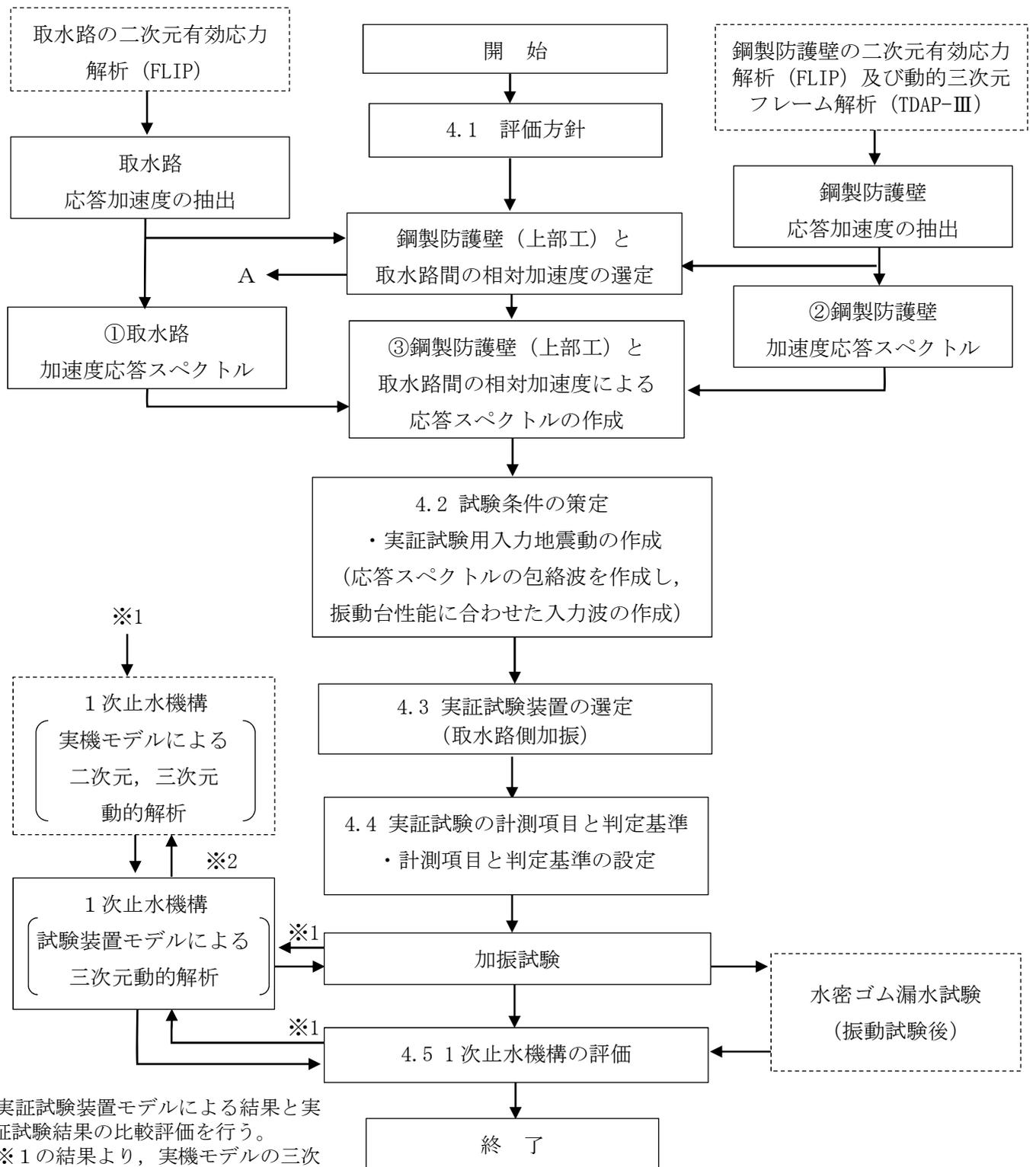


図3 1次止水機構の実証試験評価フロー

4. 実証試験の計画について

4.1 評価方針

鋼製防護壁に設置する1次止水機構は、鋼製防護壁の底面と既設取水路の応答変位の違いにより相対変位が生じ敷地に浸水する可能性があることから、可動式の止水板を設置する。

1次止水機構の実証試験において、止水板の地震時及び余震+津波における挙動を確認する。

止水板の評価は、鋼製防護壁と取水路の本震 S_s-D1 の応答加速度から加振試験用応答スペクトルを作成し実証試験を実施する。

実証試験で得られた止水板の挙動について、評価するとともに「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水板、水密ゴム及び止水機構全体に影響がないか確認する。

また、実証試験の結果と三次元動的解析の結果から、止水板の挙動について評価を行う。

4.2 試験条件

(1) 実証試験用の入力地震動の作成

実証試験に用いる評価用の地震動は、解放基盤表面からの地盤の特性に応じた地震動の応答スペクトルに基づく本震 S_s-D1 を選定し、実証試験用に応答スペクトルを作成し実施する。

また、津波防護施設である鋼製防護壁は、余震時にも耐える必要があることから、 S_d-D1 を選定し、実証試験を実施する。表2に加振試験用応答スペクトルに用いる入力地震動を示す。

表2 加振試験用応答スペクトルに用いる入力地震動

種類	入力地震動
本震	S_s-D1
余震	S_d-D1

(2) 余震時の津波高さ

余震時の津波高さは、敷地に遡上する津波高さについても考慮した T.P. +24m の静水圧とする。

構造設計上は、止水板に動水圧を荷重条件とした構造設計を行う。但し、実証試験においては、二次元動的解析の試計算結果（補足説明2参照）から動水圧（高圧）で実施した場合に、地震時における止水板の挙動に比べ余震時の止水板が浮き上がらない傾向であったことから、動水圧（高圧）より低い状態の静水圧（低圧）での試験を実施し止水板の挙動を確認する。

また、実機における構造においても、止水板押えの前面に設置している保護プレートの下部より津波は浸水することから、直接津波の波圧を受けにくい。そのため、静水圧での実証試験がより現実的な止水板の挙動が把握できる。図3に止水板への流入イメージを示す。

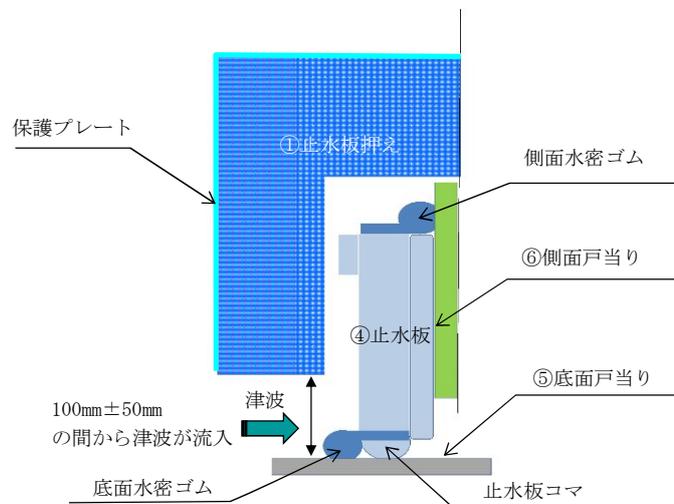


図3 止水板への流入イメージ

(3) 試験ケースと試験回数

実証試験に用いる入力地震動（ S_s-D1 ， S_d-D1 ）による確認は，以下の2ケースを実施する。

<試験ケース> ・本震 ・余震+津波

<試験回数>再現性確認のため，各2回実施。

	本震（ S_s-D1 ）	余震+津波（ S_d-D1 ）
試験回数	2回	2回

(4) 水密ゴムの摩擦係数

水密ゴムの摩擦係数は，ダム・堰施設技術基準（案）に記載のライニングがある場合，未使用状態（水密ゴムが健全の状態）の0.2（乾式）を適用し実施する。また，ライニングがない場合は，1.2（乾式）を適用し実施する。水密ゴムの摩擦係数については補足説明1に示す。

なお，水密ゴムのライニングがない状態についても実施し挙動を確認する計画であるが，二次元動的解析の摩擦係数のしきい値の結果を踏まえ，安全上配慮した試験を実施する。試験の回数については，解析結果及びライニングありの実証試験状況を踏まえ決定する。

(5) 試験装置の制限に対する対応

- ① 実証試験用地震動の加速度が試験装置の上限（水平3G，鉛直1G）を超えた場合には，振動試験装置の上限を超えない範囲で実証試験を実施する。なお，上限を超える止水板の挙動については，二次元・三次元動的解析にて挙動を把握する。
- ② 実証試験用地震動の水平又は鉛直変位が試験装置の上限（水平±150mm，鉛直±100mm）を超える場合には，振動台入力波形の長周期側で加速度をカットするハイパスフィルタで処理した入力地震動にて試験を実施する。

ハイパスフィルタで処理する場合には，止水機構（止水板：剛体）の実証試験に影響のない周波数範囲であることを確認する。

4.3 実証試験装置の概要

(1) 試験装置

振動台の上に1次止水機構を設置し、水平方向と鉛直方向とを同時加振する。図4に大型3軸振動台の概要を示す。

振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
最大積載重量	80 t f		
テーブル寸法	X : 6m × Y : 4m		
定格	X方向	Y方向	Z方向
最大変位	±300mm	±150mm	±100mm
最大加速度 (35 t 積載時)	1G (水平)	3G (水平)	1G (鉛直)

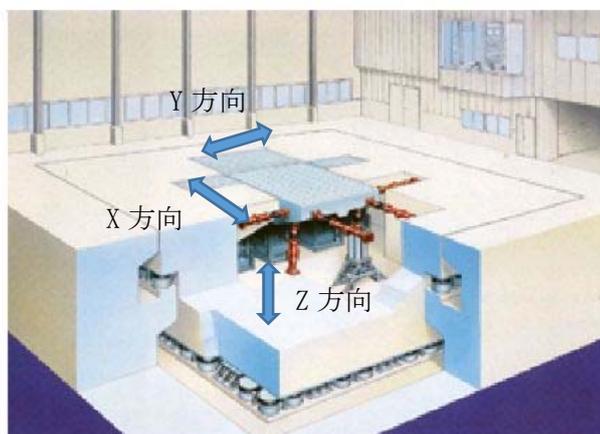
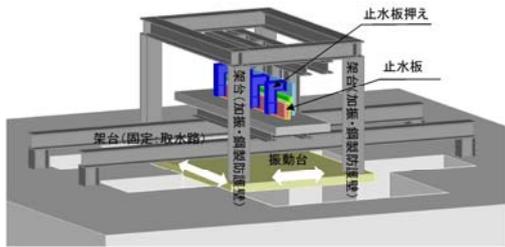
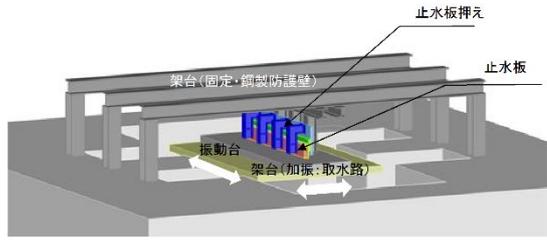


図4 大型3軸振動台の概要

(2) 試験装置の選定

実証試験を実施するに当たり、鋼製防護壁と取水路の振動特性に違いがあることから実証試験においては鋼製防護壁を固定するケースと加振させるケースの2通りについて検討した。試験装置のケースを表3に示す。

表3 試験装置ケース

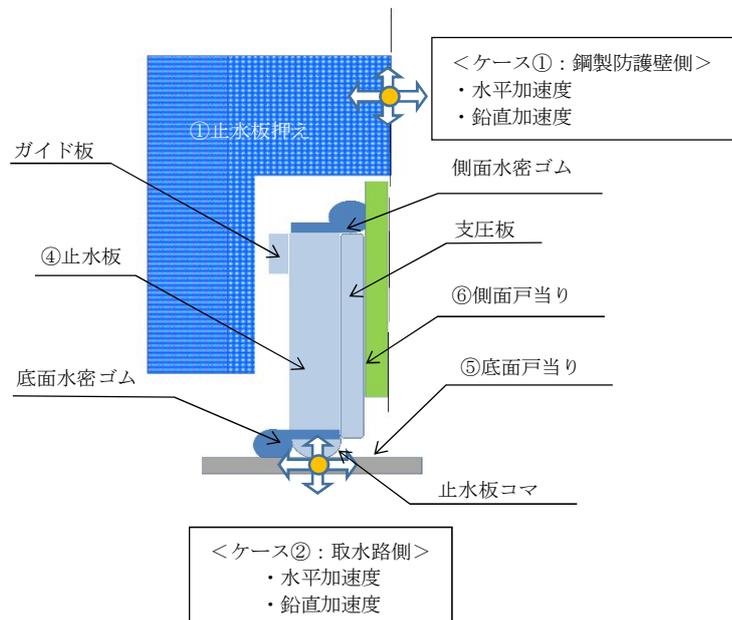
	ケース①	ケース②
固定	取水路	鋼製防護壁
加振	鋼製防護壁	取水路
装置概要		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製防護壁側を直接加振するため、止水板に対する加速度（水平）が伝わりやすい。 鋼製防護壁側を直接加振するため、水平の慣性力が入りやすく、底面及び側面水密ゴムの挙動が確認しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 固定基礎に架構を設置することで鋼製防護壁を想定した架構の剛性が得られやすい。 取水路側を直接加振するため、止水板に対する加速度（鉛直）が伝わりやすい。 取水路側を直接加振するため、底面水密ゴム及び止水板底面が摩耗し保守的な結果が得られやすい。 想定した加速度時刻歴波形を直接振動台に入力することができる。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 実機では、鋼製防護壁と取水路が同時に振動するが、鋼製防護壁の加振のみとなる。 固定基礎に取水路を想定した架構、振動台に鋼製防護壁を想定した架構を設置するため架構が大型化する。 振動台に直接加速度時刻歴波形を入力するケース①に比べ、鋼製防護壁を介して加振するため、入力加速度の伝達に影響が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> 実機では、鋼製防護壁と取水路が同時に振動するが、取水路の加振のみとなる。

上記デメリットの部分については、試験装置の解析モデルにて評価を行い、実証試験装置に影響のないことを確認する。

試験装置のケース毎の止水板に作用する慣性力の考え方については、表4に示すとおり。ケース②の取水路側を加振する場合、鉛直加速度の慣性力が止水板に伝わりやすく、浮き上がりの挙動を確認しやすい。また、鋼製防護壁の剛性が得られやすいことから、ケース②を選択する。

表4 止水板に作用する慣性力

振動の種別		実機適用	実証試験装置
ケース① 〈鋼製防護壁側〉	水平 加速度	止水板押えあるいは側面戸当りを介して直接慣性力が作用する。	鋼製防護壁側を加振した場合、鉛直加速度の慣性力が止水板に伝わりにくく、浮き上がり等の挙動が確認しにくい。
	鉛直 加速度	支圧板又はガイド板の摩擦抵抗力が作用した場合に慣性力が作用する。	
ケース② 〈取水路側〉	水平 加速度	底面水密ゴム及び止水板コマの摩擦抵抗力が作用した場合に慣性力が作用する	取水路側を加振した場合、鉛直加速度の慣性力が止水板に伝わりやすく、浮き上がりの挙動を確認しやすい。
	鉛直 加速度	取水路より直接慣性力が作用する。	



止水板に与える地震動の入力イメージ

試験装置ケースの選定は、前述の試験装置ケースの検討及び止水板に作用する慣性力の検討を踏まえ、更に、二次元動的解析の試解析結果から、鉛直方向の慣性力を伝達しやすいケース②を選択する。二次元動的解析の試解析結果を補足説明2に示す。

(3) 実証試験の試験条件

止水板の実規模の挙動を確認するため、止水板と止水板を支持する部材については実機と同じ構造部材にて実証試験を実施し実物と同じ挙動が再現できるようにする。以下の条件にて実証試験を実施する。

- ① 止水板は実機と同じ大きさ、構造のものを使用し、止水板 2 枚を止水板接続ゴムで接続する。また、止水板に取り付ける底面・側面水密ゴムも実機と同じ寸法、構造のものを使用する。図 5 に実機と同じ仕様部材を示す。

<実機と同じ仕様部材> (材質, 構造, 寸法, 重量全て同じ部材)

- ・ 止水板 (止水板本体, 止水板コマ, 支圧板, 止水板側ガイド含む)
- ・ 水密ゴム (底面・側面水密ゴム (ライニング含む), 止水板接続ゴム)
- ・ 止水板押え (止水板押え側ガイド含む)
- ・ 底面・側面戸当り (水密ゴムとの接触するステンレス部材)

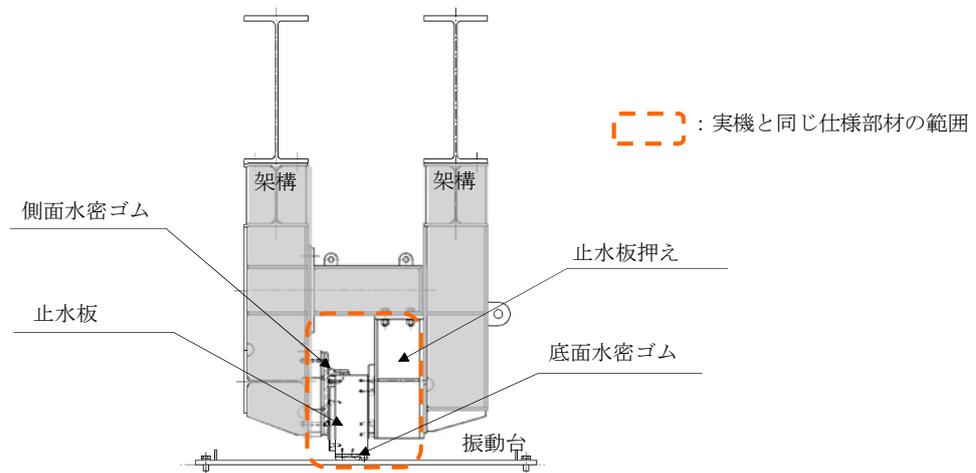


図 5 実機と同じ仕様部材の部位

- ② 止水板は取水路側に垂直に置かれ鋼製防護壁の側面戸当りと止水板押えにより、実機と同じ隙間で支持された状態で設置する。実証試験のイメージを図 6 に示す。

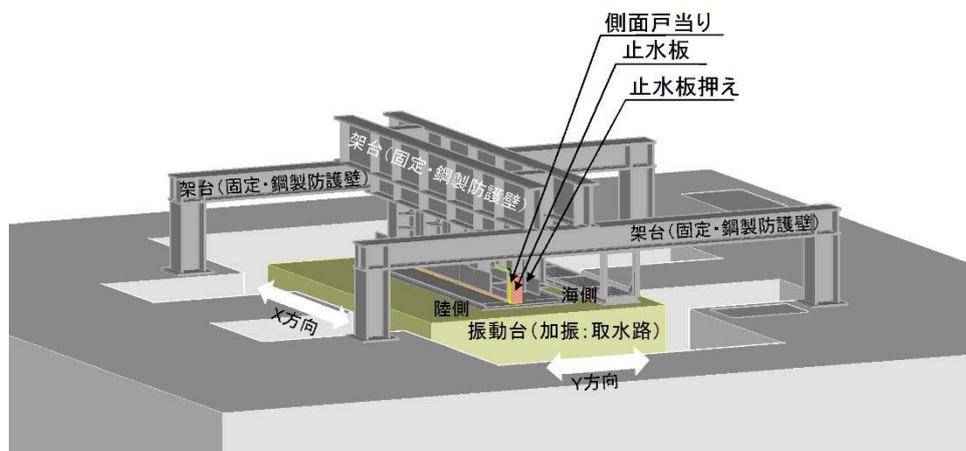


図 6 実証試験の鳥観図

③鋼製防護壁の応答加速度及び変位は取水路側に与え加振する。

入力波形については、鋼製防護壁と取水路の応答スペクトル及び鋼製防護壁と取水路の重ね合わせた相対的な応答スペクトルの全体を包絡させた応答スペクトルにより模擬地震波を作成し、加振試験を実施する。

3方向（X方向（堤軸）包絡波）の実証試験用地震動の作成方法は以下のとおり。

a. 二次元有効応力解析による鋼製防護壁基礎天端の応答時刻歴を算出する。

(図7参照)

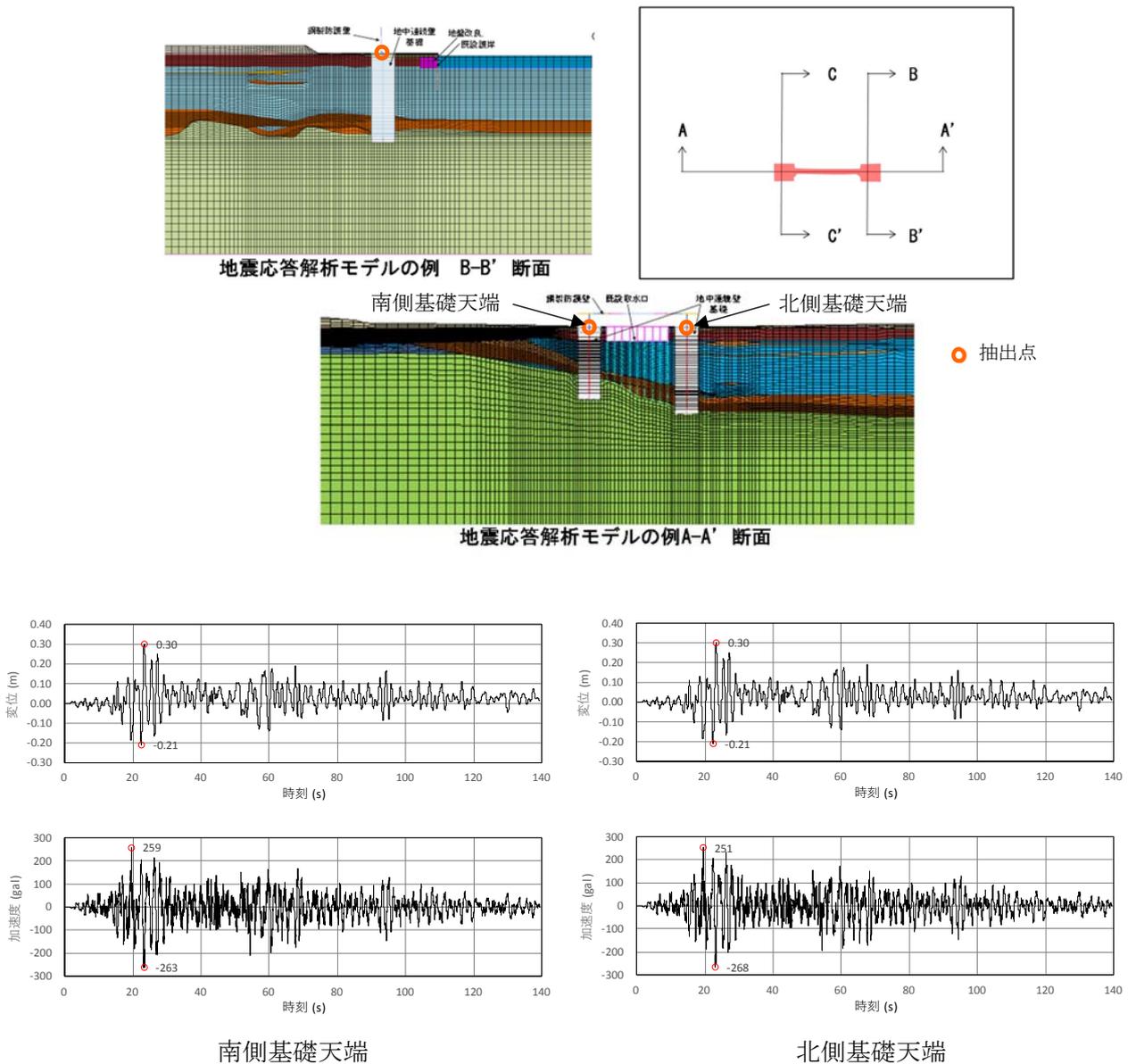


図7 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴（堤軸方向；A-A断面）

b. 前項を入力した鋼製防護壁の動的三次元フレーム解析にて止水機構位置の応答時刻歴及び応答スペクトルを抽出する。(図8参照)

◎ 入力する変位時刻歴には組合せ係数法を考慮し、下記の2ケースを実施する。
堤軸方向(X)着目ケース：X1.0, Y0.4, Z1.0
堤軸直交方向(Y)着目ケース：X0.4, Y1.0, Z1.0

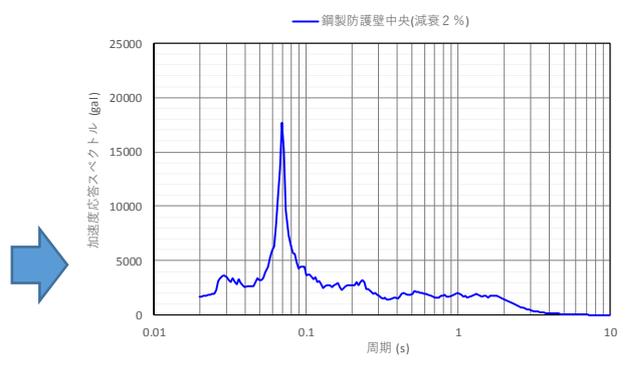
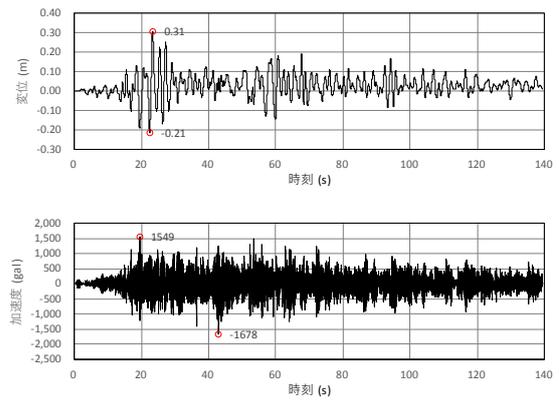
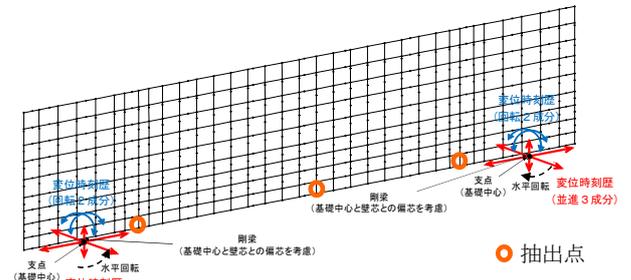


図8 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸方向)

c. 二次元有効応力解析による取水路天端の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図9参照)

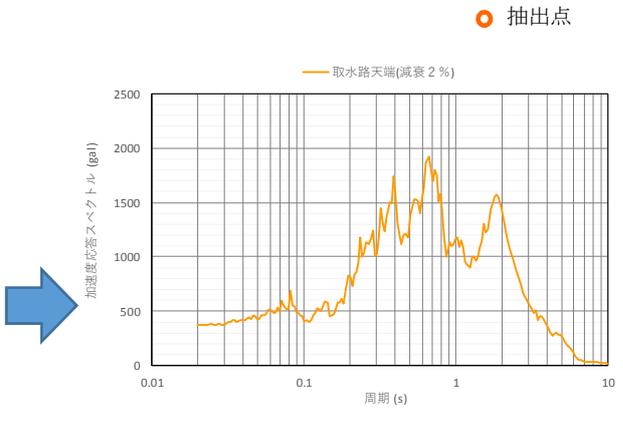
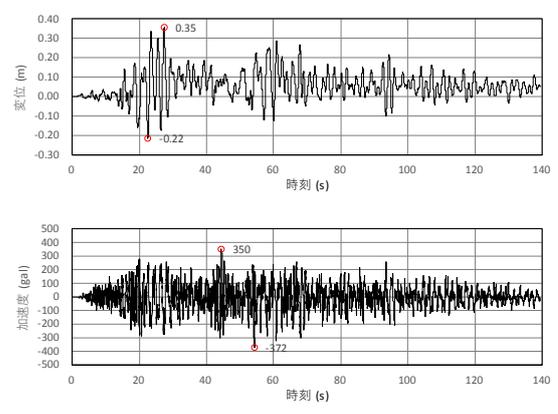
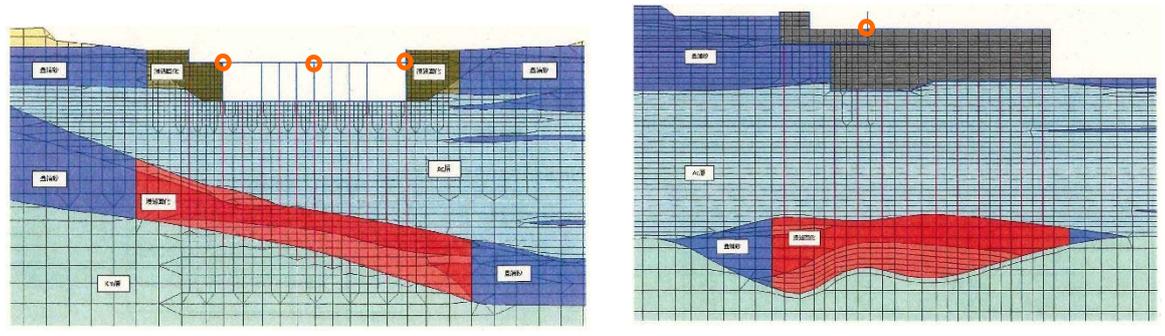
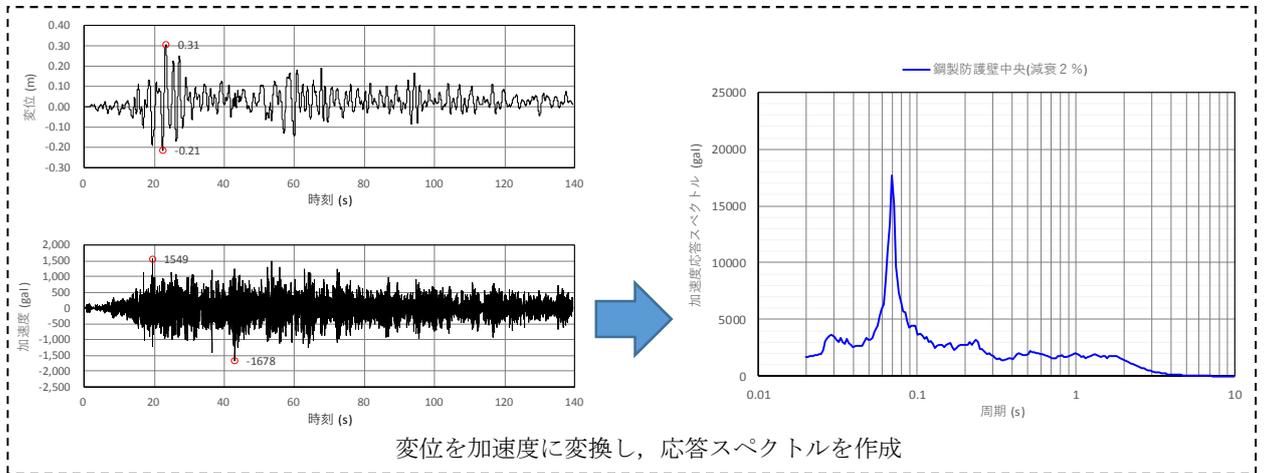


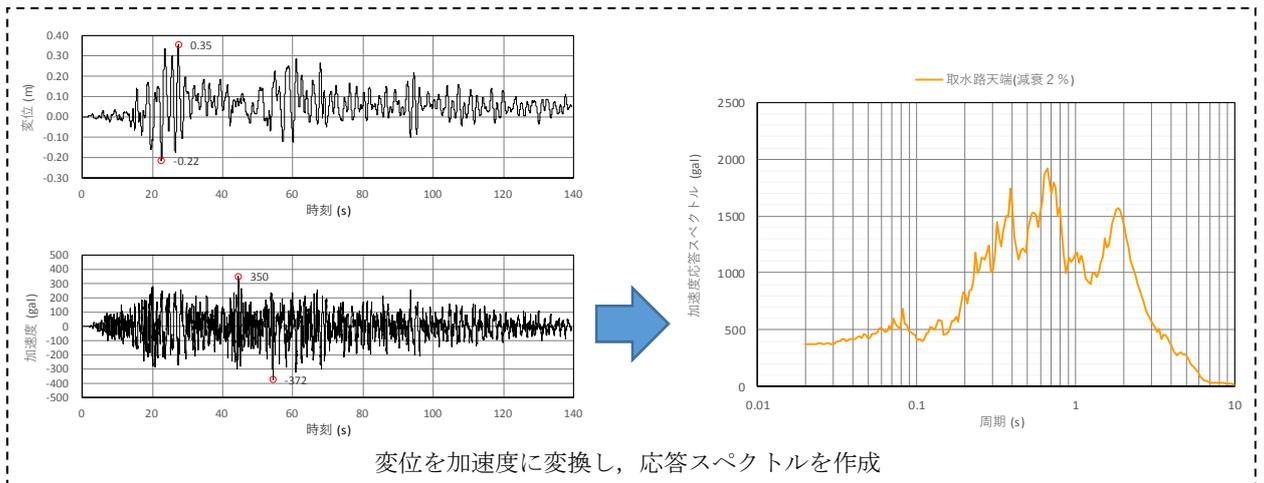
図9 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸方向)

d. b 項, c 項で求めた応答時刻歴を重ね合わせ, 鋼製防護壁と取水路の相対的な応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図 10 参照)

b 項で算出した鋼製防護壁三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸方向)



c 項で算出した取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸方向)



鋼製防護壁 (b 項) と取水路 (c 項) の応答時刻歴及び応答スペクトルの重ね合わせ(堤軸方向)

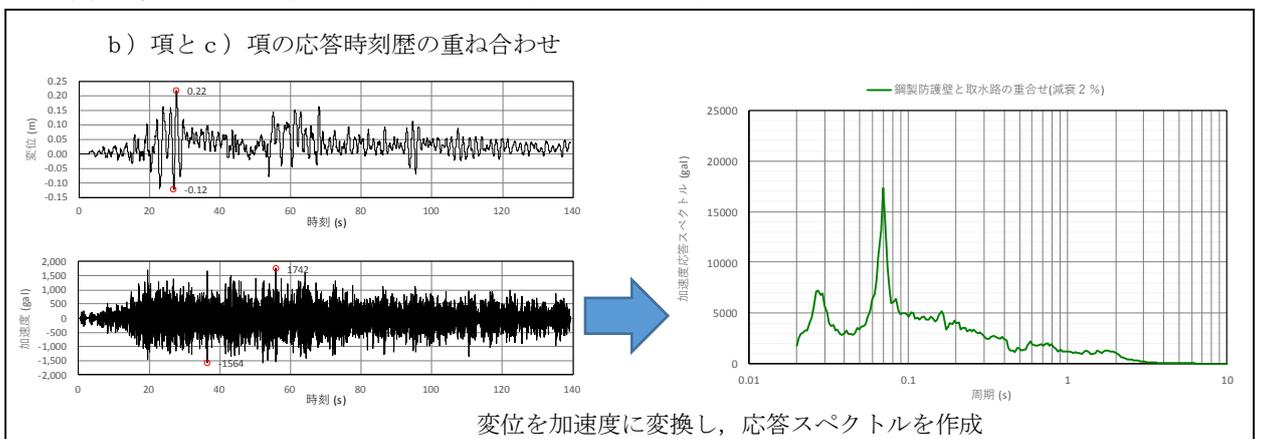


図 10 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトル

e. b 項, c 項と d 項にて算出した応答スペクトルを比較し, 加速度応答スペクトルの包絡波を作成し実証試験用地震動として振動台に入力する。(図 11)

X 方向 (NS) については振動台の能力(1G)が上限であることから, Y 方向 (EW) に X 方向 (NS) の包絡波を入力し方向を反転させた加振 (①) を行なうことで止水板の挙動を確認する。

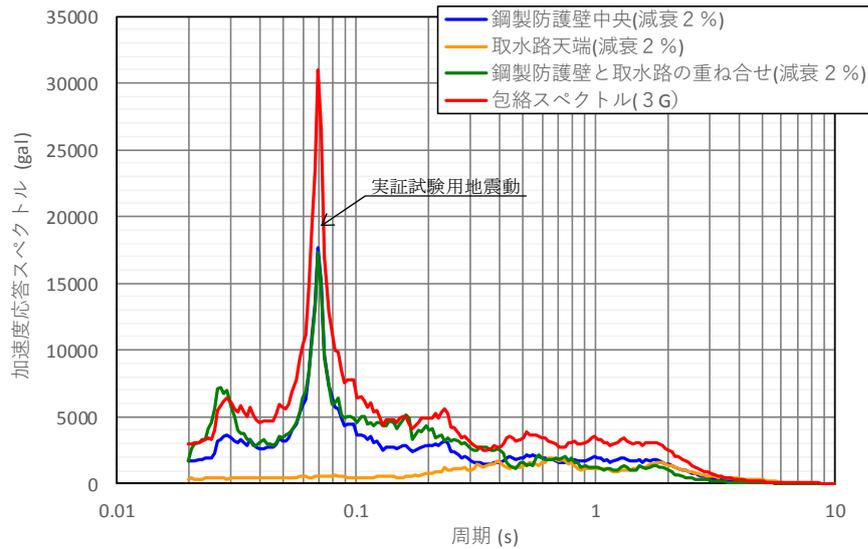


図 11 応答スペクトルの包絡波の作成(堤軸方向)

3 方向(Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)及び鉛直 (取水路側包絡波) の実証試験用地震動の作成については, 6.1.3.4 項の「実証試験に用いる地震動の作成, 実証試験及び三次元動的解析のケースについて」にて示す。

(4) 実証試験装置の構造

① 鋼製防護壁の架構構造（固定部）

実証試験装置の試験装置構造図を図 12 に示す。

鋼製防護壁(固定部)の架構部分は、固定基礎より設置し振動台を跨ぐ構造で止水板を支持する。

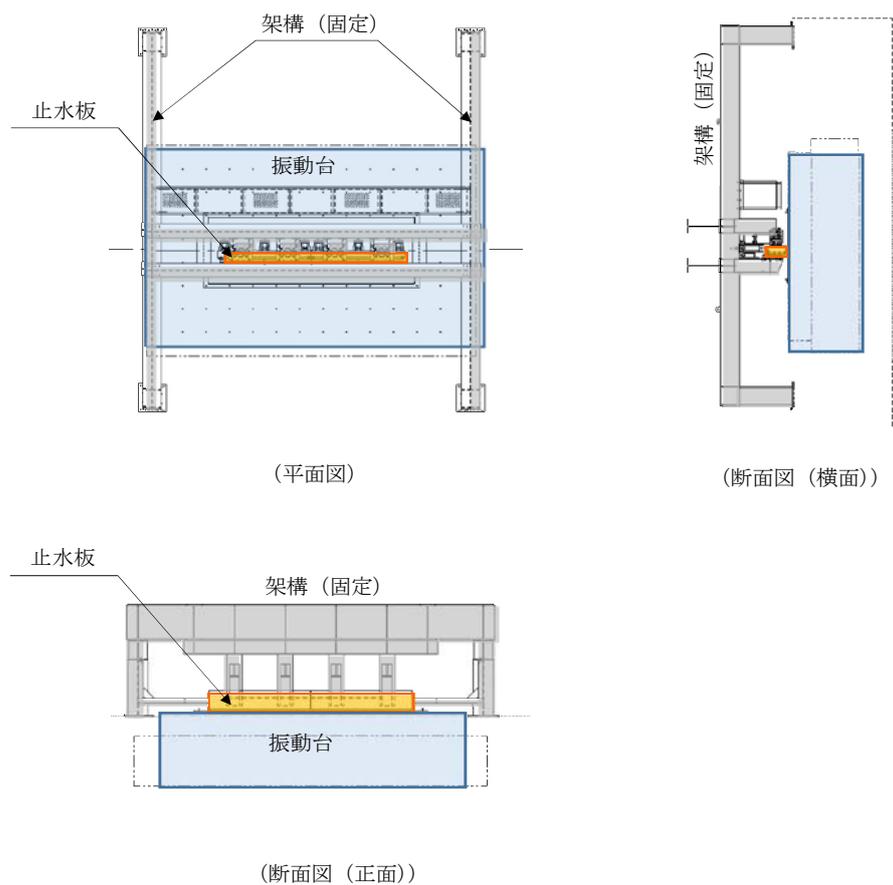


図 12 実証試験の試験装置構造図

②取水路の架構構造（加振部）

取水路側に設置する止水板部の試験装置の構造は、架構で止水板を支持する構造である。余震+津波時においては、津波高さを模擬する必要があることから、ロードセルを用いて水圧をかけた状態を模擬し余震を与える。余震時の津波高さは、敷地に遡上する津波高さについても考慮した T.P. +24m の静水圧にて実施する。余震+津波時の水圧を模擬した試験装置の構造を図 13 に示す。

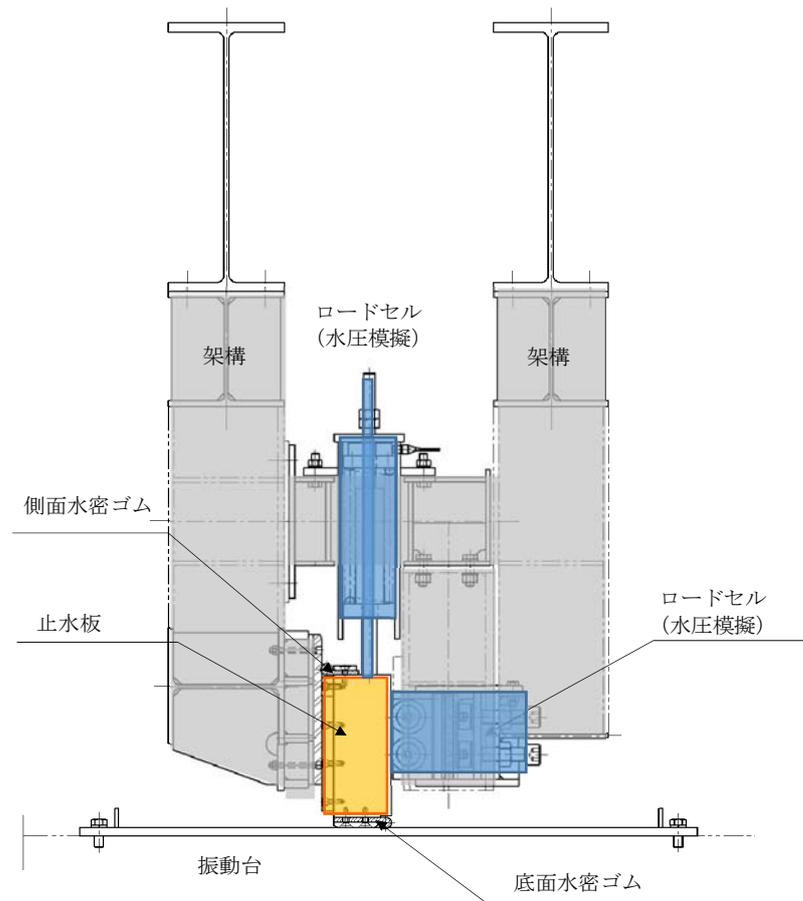


図 13 余震+津波時の試験装置の構造図

(5) 供試体（止水板）の構造（実規模）

止水板は、止水板（実物大）2枚を実機と同じ連結方法（止水板接続ゴム）にて連結させた構造にする。重量も同じ（約930kg/枚）として製作する。

水密ゴムは、止水板の底面及び側面に設置する。水密ゴムも実物と同じ構造にて設置する。

止水板の構造及び水密ゴムの構造を図14に示す。また、止水板の長手方向の挙動及び実証試験における荷重条件について補足説明3にて示す。

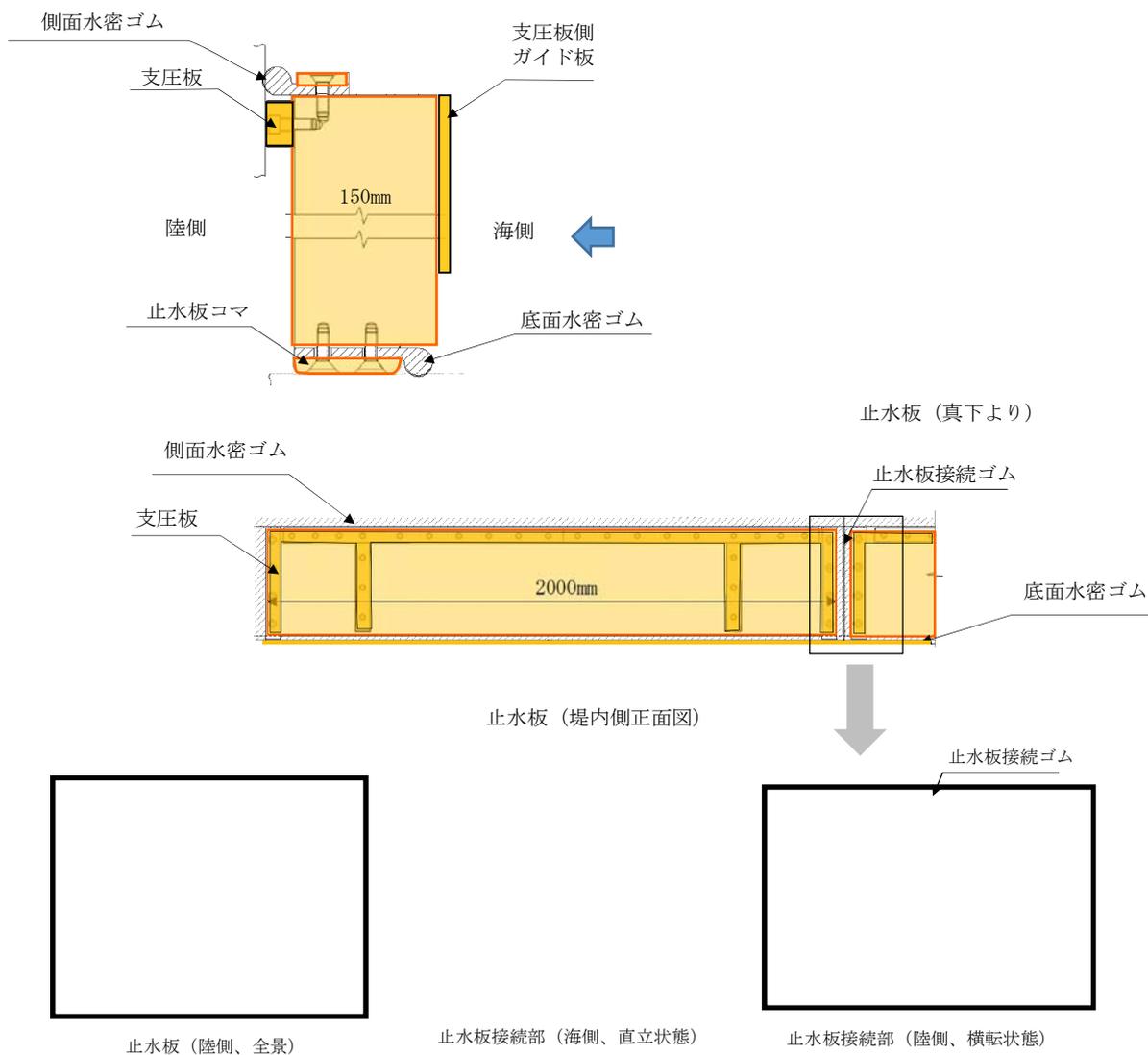


図14 止水板の構造及び水密ゴムの構造

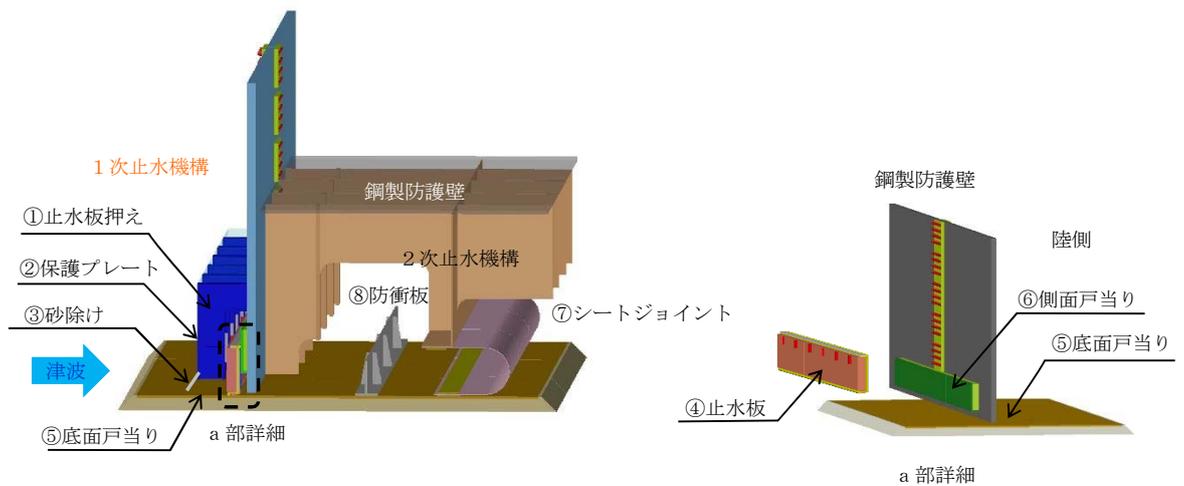
4.4 実証試験の計測項目と判定基準

実証試験では以下の項目について計測を行い「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水機構全体に影響がないか確認する。表5に実証試験の計測項目と判定基準、表6に各部位の検査項目と図15に実証試験時の計測装置の配置を示す。

表5 実証試験の計測項目と判定基準

機能目標	計測項目※	判定基準
止水板の地震時の追従性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆追従性評価（ビデオ撮影） ◆変位計測（レーザー変位計） ◆加速度計測（加速度計） ◆外観目視検査 	<ul style="list-style-type: none"> ◆止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。（浮き上がり、止水板の破損・損傷）
水密ゴムの健全性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆追従性評価（ビデオ撮影） ◆変位計測（レーザー変位計） ◆寸法計測 ◆外観目視点検 	<ul style="list-style-type: none"> ◆水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。（噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗） ◆水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。（ライニングの破損、めくれ）
1次止水機構の構成部品の健全性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆止水板、側面戸当り、底面戸当り、止水板押え、架構等の外観目視点検 ◆三次元計測による試験装置全体の計測 	<ul style="list-style-type: none"> ◆装置全体に異常がなく健全であること。（試験装置、部材の変形、損傷、他）

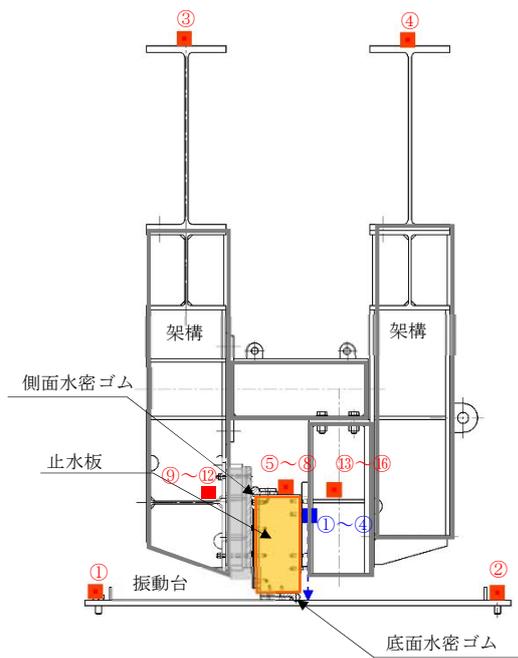
※各部位毎の計測項目については、表7の1次止水機構の各部位毎の評価項目に示す。



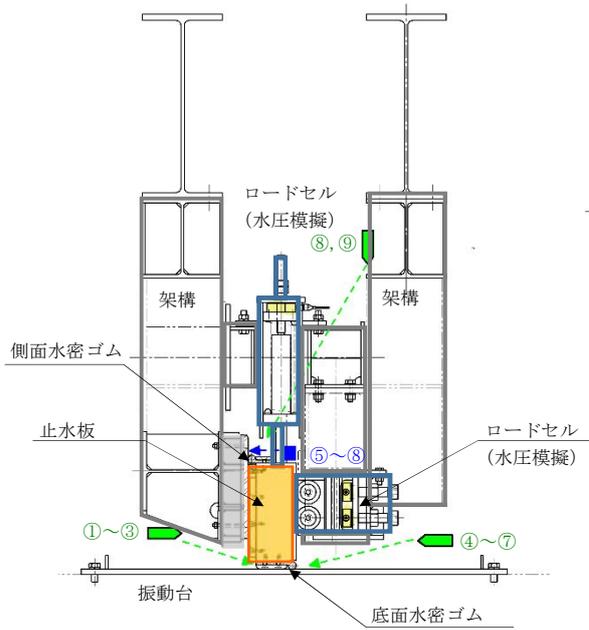
止水機構の各名称

表 6 各部位の検査項目

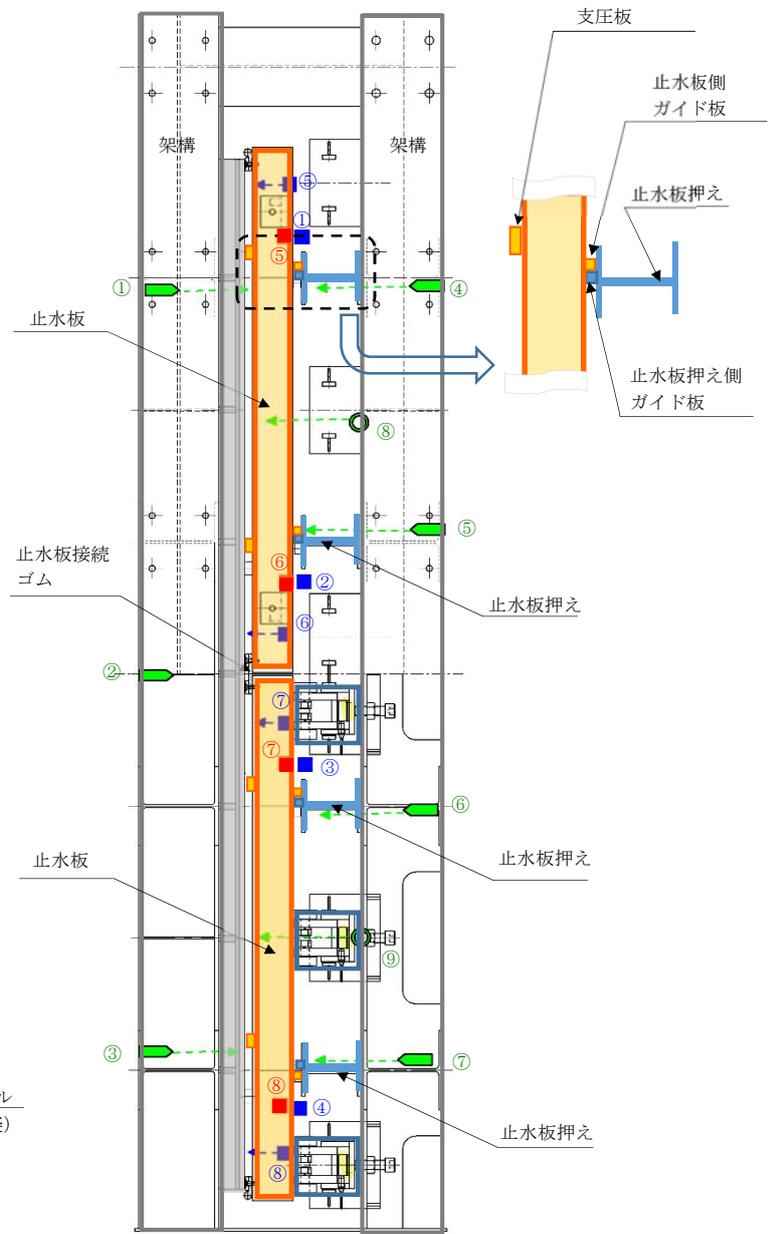
各部位	目的	確認項目	
①止水板押え	止水板の追従性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板押えの加速度計測 (⑬～⑯)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板押えと止水板の隙間計測 ・止水板押え側ガイド板の平面度測定 ・止水板押え側ガイド板と止水板側ガイドとの寸法測定 ◆外観目視検査 ・変形, 摩耗等の確認
④止水板 (底面止水板コマ部含む)	止水板の追従性及び健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板と底面, 側面戸当りの変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による止水板の挙動確認) ◆止水板の加速度計測 (⑤～⑧) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板, 支圧板の寸法測定 ・止水板コマ寸法測定 (寸法, 板厚, 摩耗量測定 (試験後)) ◆外観目視, 据付け状況検査 ・止水板コマ, 支圧板の変形, 摩耗, 据付け等の確認
⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	止水性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆加速度計測 (底面・側面戸当り) (⑨～⑫) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法測定 ・平面度測定 ◆外観目視, 据付け状況検査 ・変形, 摩耗, ゆがみ, 据付け等の確認
底面・側面水密ゴム	止水板に追従し, 水密性に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板と底面, 側面戸当りの変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による浮き上がり確認) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測 (厚さ) ◆外観目視, 据付け状況検査 ・変形, 摩耗, 亀裂, ライニング面, 据付け等の確認 ◆漏水検査
止水板接続ゴム	止水板との接続部に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板の変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による止水板の挙動を把握し, 接続ゴムの変位を計測) ◆止水板の加速度計測 (⑤～⑧) ◆ビデオ撮影 (②)
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測 (寸法) ◆外観目視検査 ・変形, 摩耗, 亀裂の確認 ・底面・側面水密ゴムの接続箇所の確認 ◆水密ゴムの据付け状況確認



断面図 (加速度計, レーザ変位計)



断面図 (ロードセル (水圧模擬))



平面図

<凡例>

- : 加速度計
- : レーザー変位計
- : ビデオ撮影

図 15 実証試験時の計測部位

4.5 1次止水機構の評価

実証試験の結果及び1次止水機構の評価については以下の通り分析し、二次元・三次元動的解析の結果との考察を加え、止水機構全体の評価を行う。

①実証試験データの分析

- ・表5の結果から異常の有無を確認する。
- ・加振時の止水板の挙動を評価する。

②二次元及び三次元動的解析結果の分析

- ・二次元及び三次元動的解析の結果から止水板の挙動を確認する。解析結果については補足説明4に示す。
- ・実証試験の結果と試験装置の三次元動的解析の結果から、止水板の挙動について評価を行う。

③1次止水機構の評価

1次止水機構の各部材毎における、強度評価、耐震評価の項目について、表7の1次止水機構の各部位毎の評価項目に示す。

耐震評価については、実証試験にて得られた結果と実証試験装置の解析モデルとの挙動評価の結果から、実機モデルでの三次元動的解析結果と検証を行い1次止水機構の挙動を評価する。

また、止水板の瞬間的な跳ね上がりについては、地震時の跳ね上がり時間から浸水量を評価し、余震+津波時における浸水量として算出し、2次止水機構への影響を評価する。

止水機構の概要を補足説明5に示す。

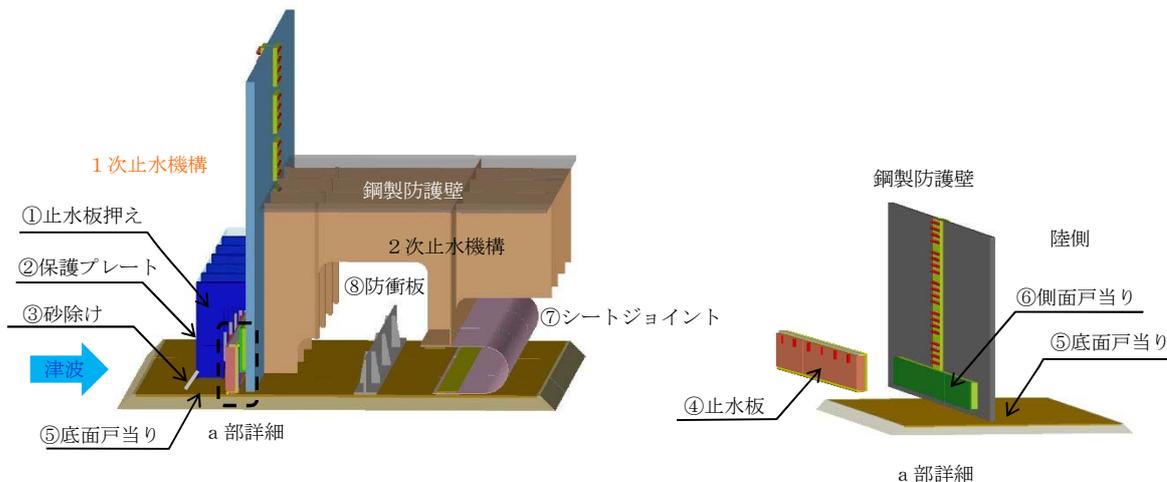
④漏水試験の実施（別途実施）

実証試験にて実施した水密ゴム（底面水密ゴム、側面水密ゴム、止水板接続ゴム）について漏水試験を実施する。

主に漏水試験は、本震、余震+津波を経験させた水密ゴムについて、漏水試験を実施し評価する。漏水試験の試験要領は補足説明6に示す。

表7 1次止水機構の各部位毎の評価項目

各部位	役割・機能	評価	評価項目
①止水板押え	<ul style="list-style-type: none"> 止水板を支持する。 漂流物等から止水板を防護する。 	耐震評価	<ul style="list-style-type: none"> ◆二次元・三次元動的解析 <ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・追従性評価(ビデオ撮影) ・加速度計測(水平, 鉛直) ・外観目視検査(試験装置の架構部)
④止水板 (底面止水コマ部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 止水機構の扉体の機能 底面及び側面の戸当りに面する部位に水密ゴムを設置し浸水を防止する。 	耐震評価	<ul style="list-style-type: none"> ◆二次元・三次元動的解析 <ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・追従性評価(ビデオ撮影) ・変位計測(浮上り測定: 底面戸当りと鉛直の相対変位計測) ・加速度計測(水平, 鉛直) ・余震+津波(水圧模擬) ・外観目視検査
⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	<ul style="list-style-type: none"> 止水板の底面と側面の水密ゴムとのシール性を確保する。 	実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・追従性評価(ビデオ撮影) ・外観目視検査
底面・側面水密ゴム	<ul style="list-style-type: none"> 底面・側面戸当りとのシール性を確保する。 	耐震評価	<ul style="list-style-type: none"> ◆二次元・三次元動的解析 <ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 ・追従性評価 ・余震+津波
		実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ◆挙動評価 <ul style="list-style-type: none"> ・追従性評価(ビデオ撮影) ・変位計測(浮上り測定: 底面戸当りと鉛直の相対変位計測) ・外観目視検査 ◆漏水試験(別途実施)



止水機構の各名称

5. 実証試験のスケジュール

実証試験については、平成 30 年 5 月上旬までに実施する計画である。

(場所：茨城県つくば市)

表 8 に実証試験に関するスケジュール (案) を示す。

年 月	2018年				
	2月	3月	4月	5月	6月
項目					
【入力地震動の作成】					
鋼製防護壁の解析		二次元有効応力解析 (Ss-D1) 三次元フレーム解析			
取水路の解析		二次元有効応力解析 (Ss-D1)			
入力地震動の作成			▽入力地震波の作成 (包絡波)		
入力地震動の妥当性評価				▽妥当性評価 (包絡の確認)	
【止水機構の解析】					
二次元動的解析		▽試計算 (試験装置の選定)	▽実機モデル		
三次元動的解析			▽実機モデル ▽試験モデル		
【実証試験】					
製作・据付け		試験装置製作	▽据付け		
実証試験				▽試験 (5/9~5/17 予定)	
【漏水試験】					▽試験
【評価】				試験データ分析	
【ご報告】				報告 (本震) (余震) ▽	▽

表 8 実証試験に関するスケジュール (案)

【補足説明1】水密ゴムの摩擦係数について

実証試験における水密ゴムの摩擦係数は、ダム・堰施設技術基準（案）に記載の0.2及び、物性値確認を行った結果、最大で乾式の0.2、湿式の0.22であることから、ダム・堰施設技術基準（案）に記載の0.2と定義し実証試験を実施する。

なお、水密ゴムのライニングなしの実証試験については、同様に1.2と定義し実証試験を実施する。

①ダム・堰施設技術基準（案）

水密ゴム（ライニングあり）とステンレスの摩擦係数は、0.2（乾式）、0.1（湿式）と記載がある。なお、水密ゴム（ライニングなし）の場合は、1.2（乾式）、0.7（湿式）である。

②水密ゴムの物性値

- ・静摩擦係数は最大0.2（乾式）、動摩擦係数は最大0.22（乾式）表9に超高分子量ポリエチレンの物性値を示す。

表9 超高分子量ポリエチレンの物性値

項目	物性値
引張り強さ (MPa)	44
伸び (%)	450
高度 (Rスケール)	40
摩擦係数 (相手：ステンレス)	・静摩擦係数：0.10～0.20 [※] （乾式） ・動摩擦係数：0.07～0.22 [※] （乾式） 0.05～0.10（湿式）

※：動摩擦係数＞静摩擦係数の状況について

一般的に摩擦係数は、動摩擦係数＜静摩擦係数の関係であるが、高分子材料のように、静摩擦係数と動摩擦係数の値に大きな差が生じやすい場合に「スティック・スリップ（付着すべり）」と言われる現象が生じやすいことから、動摩擦係数が静摩擦係数より僅かに上回ったものと推定される。

【補足説明 2】 二次元動的解析の試解析結果

1. 目的

本解析は、止水機構の実証試験を実施するにあたり、試験ケースを確定させる必要があることから試計算を実施し試験ケースを確定する。

2. 解析条件

(1) 解析コード MSC_MARC2014.2.0 (エムエスシーソフトウェア株式会社)

(2) 解析内容 大変形超弾性解析 (水密ゴムを超弾性体として解析)

止水機構の止水板の水密ゴムと戸当り側を解析する必要があることから、大変形超弾性解析を実施する。以下に解析の概要を示す。

①材料非線形解析：水密ゴムの応力とひずみの関係が非線形状態の解析。

②幾何学非線形解析：水密ゴムの引張りひずみが100%程度を示す大変形になりうる場合も、変形に伴う荷重、応力の方向変化を考慮した解析。

③境界非線形解析：荷重の変化に伴い水密ゴムの抑え金具 (コマ) 及び扉体等への接触境界条件及びその領域を変化させた解析。

(3) 入力地震動

解析に用いた入力地震動は、基準地震動 S_s (設置許可段階) を鋼製防護壁の地中連続壁基礎天盤の応答を算出し、鋼製防護壁の三次元フレーム解析にて算出した応答時刻歴及び応答スペクトルを解析モデルの摺動側になる鋼製防護壁 (ケース①) と取水路 (ケース②) に入力し解析を実施した。

(4) モデル化

解析モデルは3次元要素 (6面体要素) で面外方向厚みを10mmとし、面外方向変位を拘束することで平面ひずみ要素の状態とした。図16に二次元動的解析のモデル図を示す。

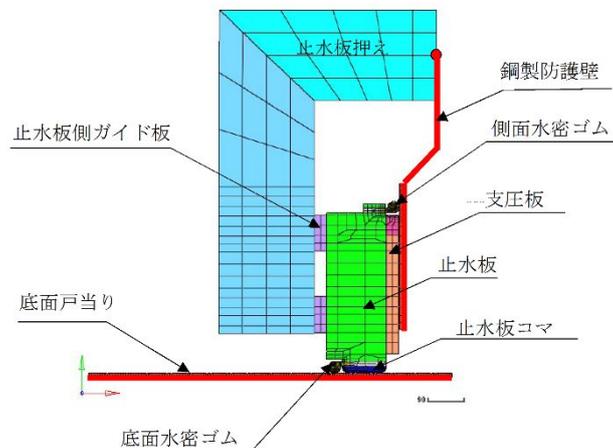


図16 二次元動的解析モデル図

(5) 解析ケース

試験装置ケースと解析ケースを表10に示す。

表10 試験装置ケースと解析ケース

試験装置ケース	摺動	解析ケース	地震波
ケース①	鋼製防護壁側	Case1-1	本震
		Case1-2	余震
ケース②	取水路側（基礎）	Case2-1	本震
		Case2-2	余震

(6) 物性値および摩擦係数

各部の物性値と摩擦係数は表11に示す通り。モデル化に当たっては、⑤底面戸当り、鋼製防護壁（⑥側面戸当り）は、剛体としてモデル化した。

表11 物性値および摩擦係数

部位（材質）	物性値	許容値	摩擦係数
①止水板押え （SM490）	縦弾性係数 205000MPa ポアソン比 0.3	耐力 315MPa	-
④止水板 （SUS304）	縦弾性係数 197000MPa ポアソン比 0.3	耐力 205MPa	-
底面・側面水密ゴム （合成ゴム+ ライニング貼付け）	単軸引張試験結果	引張強さ 14.7 MPa	0.2
止水板押え （アルミニウム銅合金）	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4 （金属間の摩擦係数）
支圧板 （超高分子ポリエチレン）	縦弾性係数 785MPa ポアソン比 0.3	引張強さ 44MPa	0.2
止水板側ガイド板 （アルミニウム銅合金）	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4

(7) 試験条件

ここでは、鋼製防護壁側の基準地震動 S_s （設置許可段階）による相対変位及び応答加速度について評価し、鋼製防護壁側及び取水路側（基礎）に摺動を与え止水機構の挙動を評価した。

①鋼製防護壁摺動（ケース①）

鋼製防護壁摺動のケースでは鋼製防護壁（止水版押えの根元も含む）は剛として水平相対変位、鉛直変位および回転変位を止水板押えの据付け部（鋼製防護壁との設置部）に強制変位として与えた。取水路側（基礎）は剛として固定した。

②取水路側（基礎）摺動（ケース②）

取水路側（基礎）摺動のケースでは、取水路側（基礎）を剛として水平相対変位、鉛直変位を強制変位として与えた。鋼製防護壁（止水版押え据付け部も含む）は剛として固定した。

③解析地震波

本震および余震ともに、最大の鉛直加速度が認められる 40～46sec（6 秒間）について解析を実施した。

(8) 水圧荷重

水圧荷重は、水位TP+20mの静水圧および動水圧とした。

(9) 解析結果

止水板コマの取水路側（基礎）からの浮き上がり量を表 12 に示す。

本震時において、静的には自重に対して摩擦力等による上向力は小さく止水板が取水路側（基礎）から浮き上がることはないが、取水路側（基礎）や鋼製防護壁への接触時に生ずる衝撃力などの動的作用により浮き上がるものと考えられる。浮き上がり量は、鋼製防護壁摺動より取水路側（基礎）摺動の方が大きい傾向が見られた（CASE1-1 と CASE2-1）。

これは、取水路側（基礎）摺動の方が鉛直方向の慣性力がより顕著に表れたためと考えられる。

余震時（津波重畳）において、鋼製防護壁摺動の場合には浮き上がりは無いが、取水路側（基礎）摺動の場合に 0.03 mm の浮き上がりが見られた。本震時と同様に衝撃力などの動的作用の影響もあるものと考えられる。また本震時と同様に浮き上がり量は、鋼製防護壁摺動より取水路側（基礎）摺動の方が大きい傾向が見られた。

表 12 止水板コマの取水路側（基礎）からの浮き上がり量

ケース	摺動側	地震波	浮き上がり量(mm)	継続時間(秒)	説明図
Case1-1	鋼製防護壁側	本震	1.81	0.15	図17
Case1-2		余震	0	—	図18
Case2-1	取水路側（基礎）	本震	3.71	0.24	図19
Case2-2		余震	0.03	0.10	図20

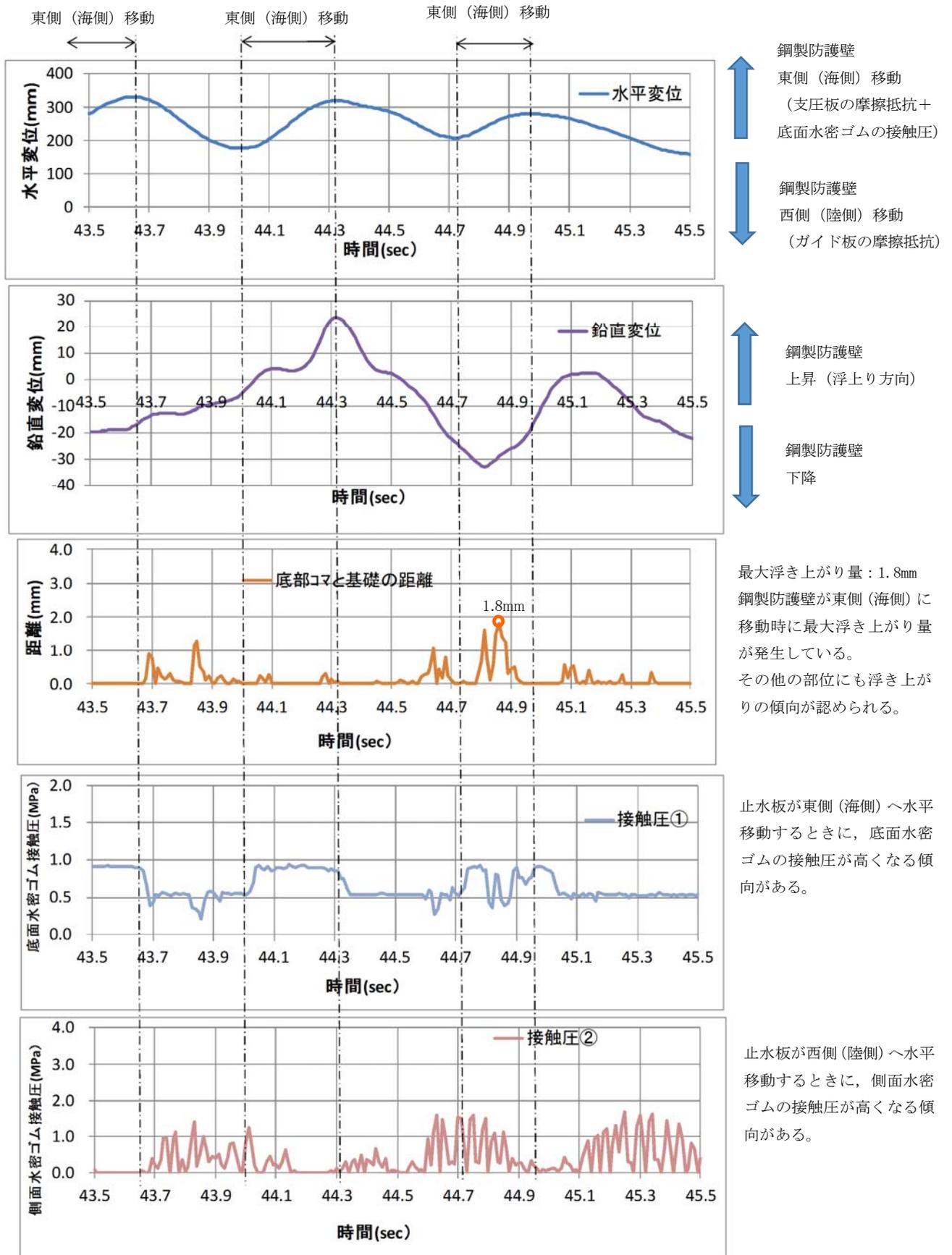


図 17 本震時 鋼製防護壁側揺動 (CASE1-1)

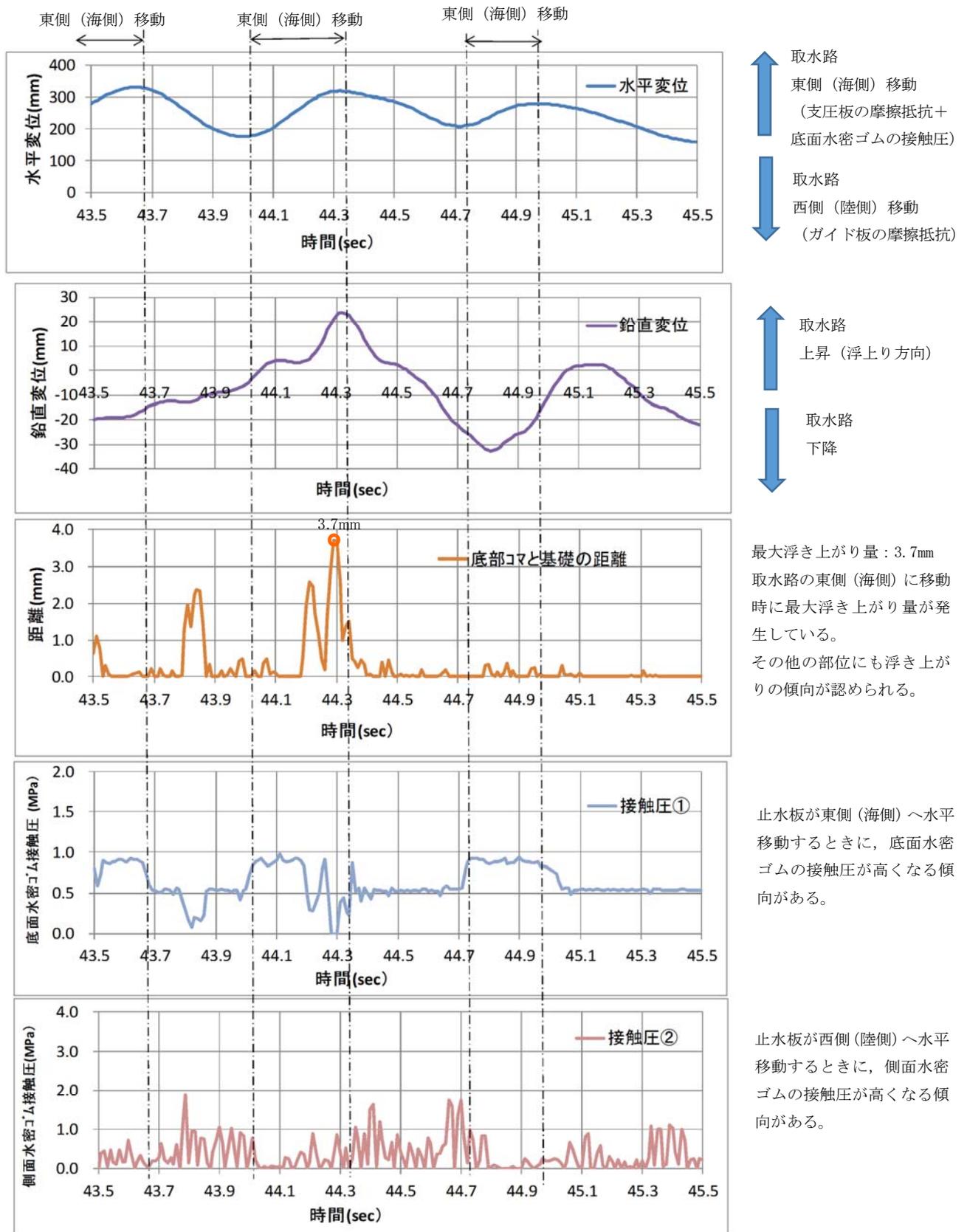


図 18 本震時 取水路側（基礎）摺動（CASE2-1）

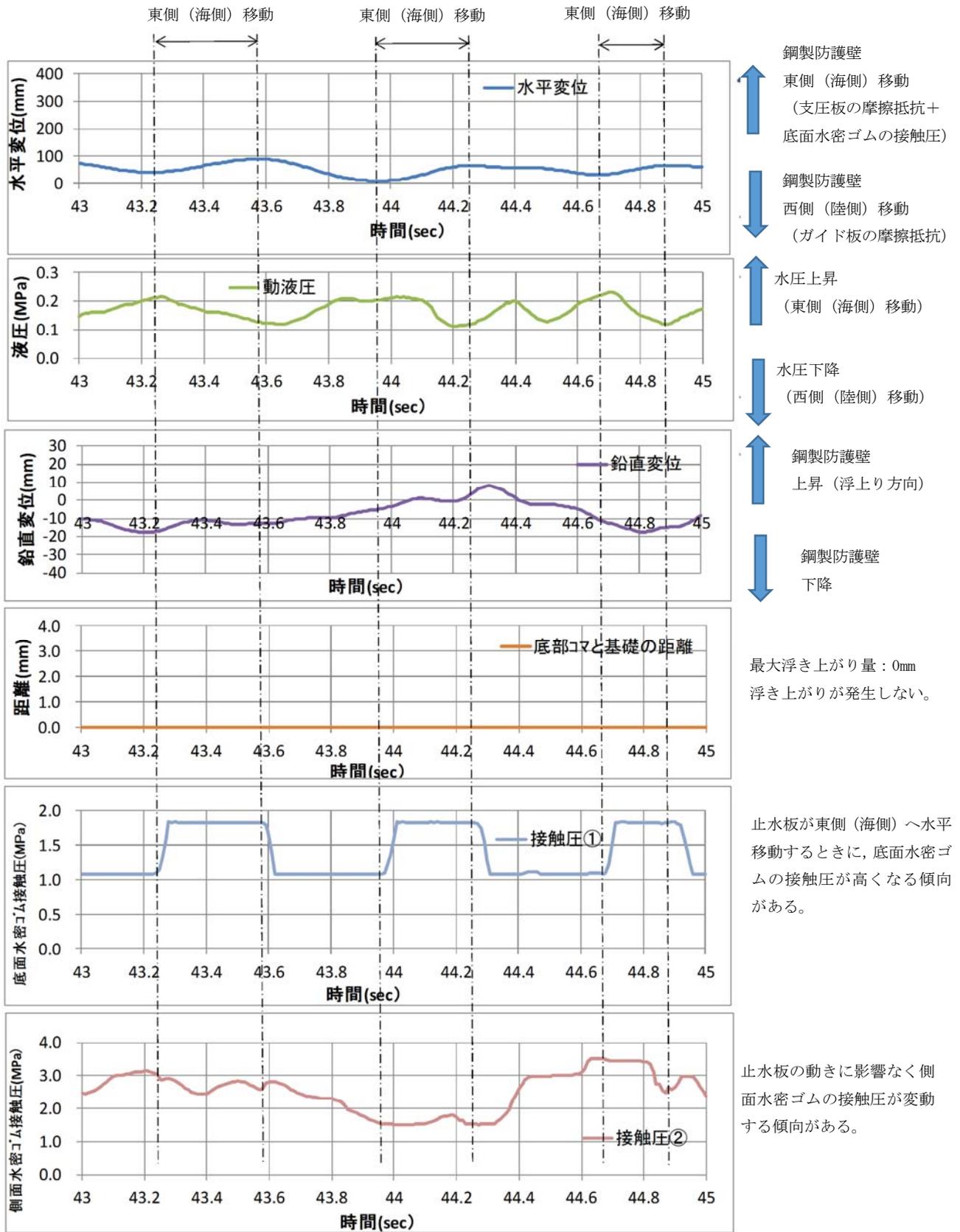


図 19 余震時 鋼製防護壁摺動 (CASE1-2)

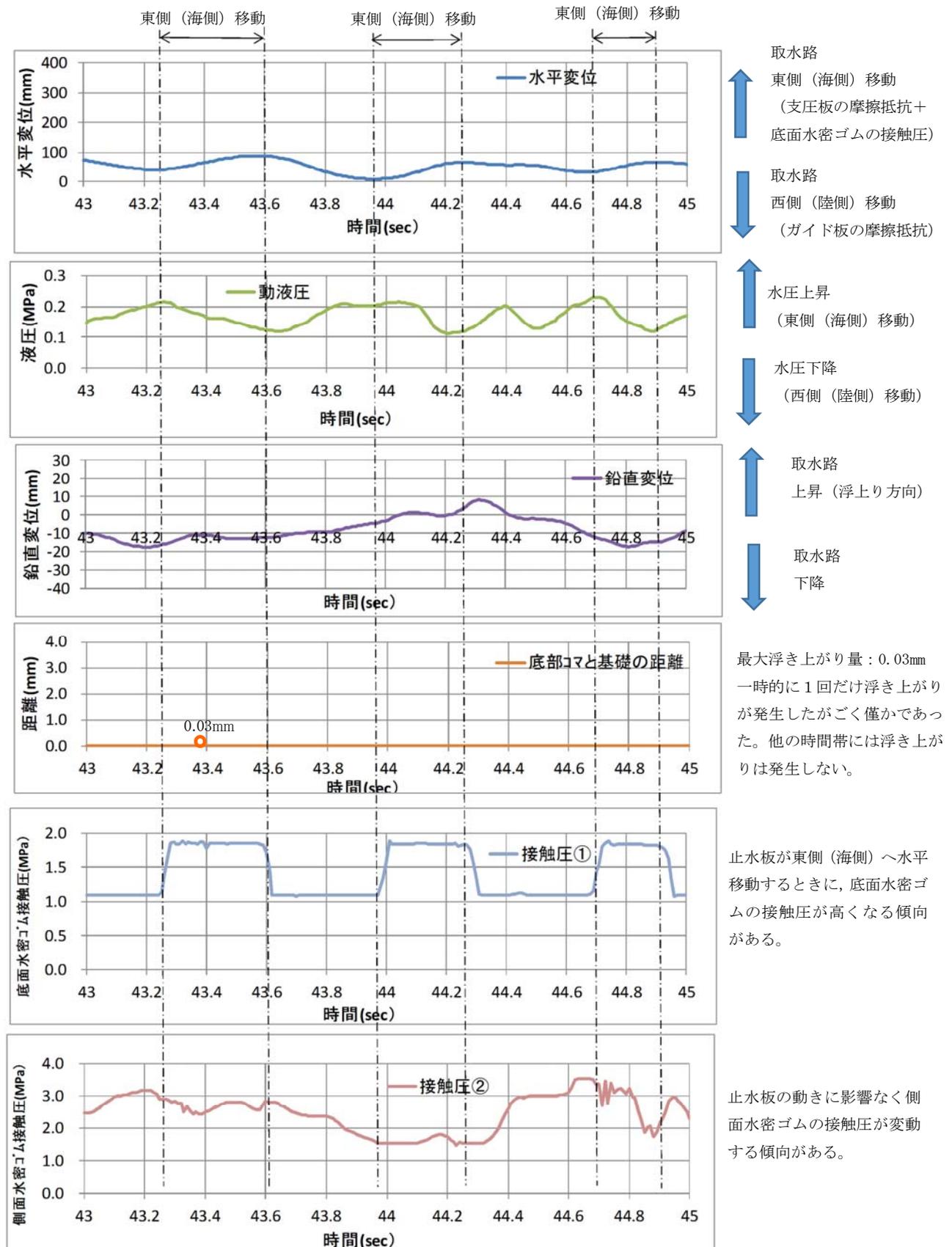


図 20 余震時 取水路側（基礎）摺動（CASE2-2）

【補足説明 3】 止水板の長手方向の挙動及び実証試験における荷重条件について

(1) 止水板の長手方向の挙動について

止水板動は、①止水板押えの止水板押え側ガイド板と④止水板の止水板側ガイド板にて長手方向の移動を制限している。止水板側ガイド板と止水板押え側ガイド板の隙間は5mmで管理している。図21に止水板と止水板押えのガイド構造について示す。

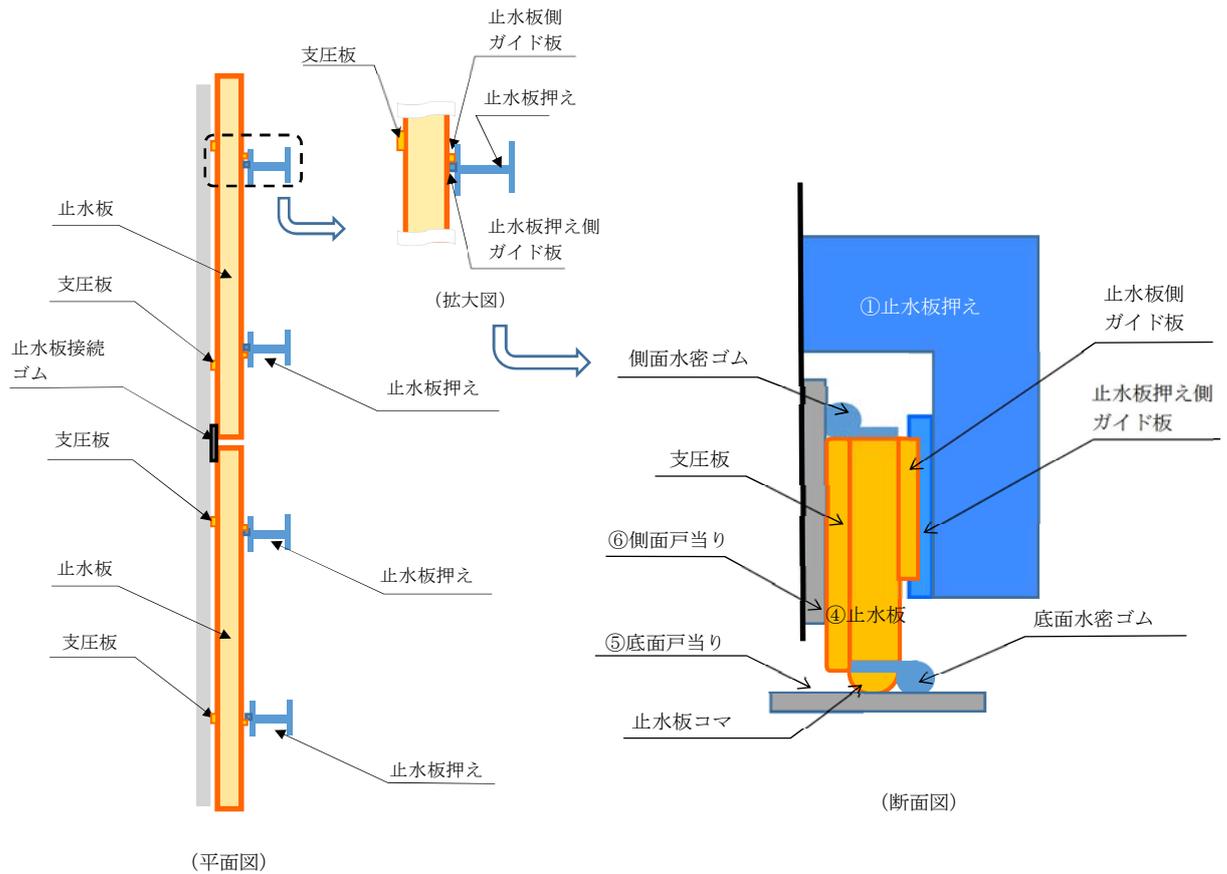


図 21 止水板と止水板押えのガイド構造について

(2) 実証試験における荷重条件について

止水板の耐震設計における考慮する荷重は、固定荷重、地震荷重である。実証試験においても、固定荷重、地震荷重について模擬している構造であり、耐震評価の荷重の組み合わせと同じ状態で実証試験を実施する。

表 12 に止水板の耐震評価における荷重の組合せを示す。

なお、積雪荷重と風荷重については、止水板押えの外側に設置している保護プレートで受けることから、構造上止水板には積雪荷重及び風荷重は考慮しない。

表 12 止水板の耐震評価における荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + K_s$

G : 固定荷重 躯体自重を考慮する。

K_s : 地震荷重 基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

【補足説明 4】 二次元・三次元動的解析の解析評価について

(1) 二次元動的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時+余震
解析モデルは図22に示す。
- ・水密ゴム摩擦係数：
 - 常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省））
 - 劣化時の挙動把握（しきい値確認）：0.2～1.2
- ・金属間摩擦係数
 - 止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4
- ・評価対象部位：
 - 底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
 - 止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板
- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）
弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）
- ・評価項目：
 - 応力評価，追従性評価（止水板浮上り），水圧模擬，摩擦係数しきい値確認

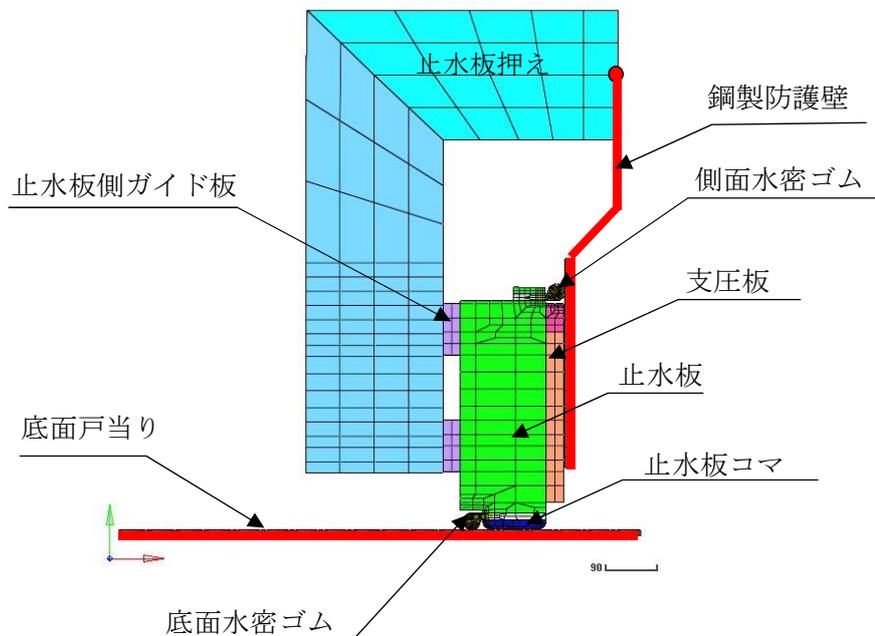


図 22 二次元動的解析モデル

(2) 三次元的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時+余震
解析モデルは図23に示す。
- ・水密ゴム摩擦係数：
常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案））（国土交通省）
- ・金属間摩擦係数
止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4
- ・評価対象部位：
底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板
- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）
弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）
- ・評価項目：
応力評価，追従性評価（止水板2枚の挙動，浮上り），水圧模擬

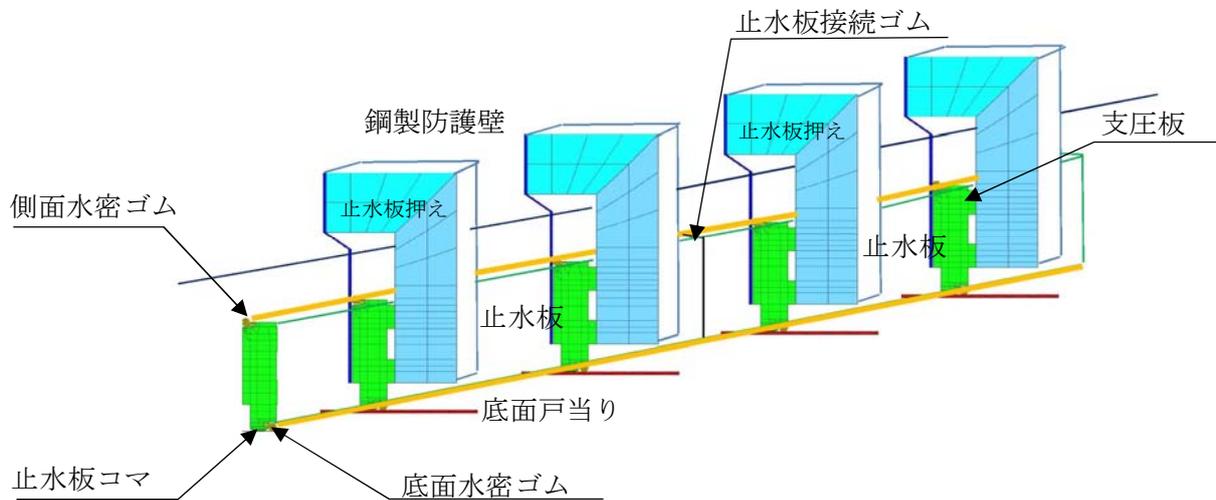


図 23 三次元的解析モデル

【補足説明 5】 止水機構の概要について

(1) 1次止水機構の止水板について

1次止水機構の止水板は、地震時の追従性を確保するとともに、津波による津波荷重、漂流物による衝突荷重を考慮した構造とする。水密部の水密ゴムは、津波による圧力に耐えうるよう設置し津波からの浸水を防止する。

なお、止水板からの微少な漏えいを考慮し、敷地内に浸水させないよう陸側にシートジョイントからなる2次止水機構を設置している。図24に止水機構全体の構造図を示す。

(2) 2次止水機構の構造について

- a. 2次止水機構は、共通要因故障（止水板の追従性不良等）による同時機能喪が生じないように多様性を図ることとし、1次止水機構の構造と異なるシートジョイントを設置している。
- b. シートジョイントについては、想定する津波荷重に対して十分な耐性を有するものを採用するが、1次止水機構の取り外し時に津波の襲来を想定すると、漂流物が2次止水機構に到達する可能性があることから、2次止水機構前面に防衝板を設置し、漂流物による損傷を防止する構造にしている。
- c. さらに、2次止水機構の後段には、2次止水機構からの漏水の可能性を考慮し、漏水を収集・排水可能な排水溝を設置する構造にする。排水は、構内排水路の防潮堤内側の集水枘に収集し、構内排水路逆流防止設備を介して排水する。
- d. 1次止水機構及び2次止水機構のこれらの対策により、基準津波の遡上波の重要な安全機能を有する海水ポンプが設置されたエリアへの到達、流入防止を確実なものとしている。

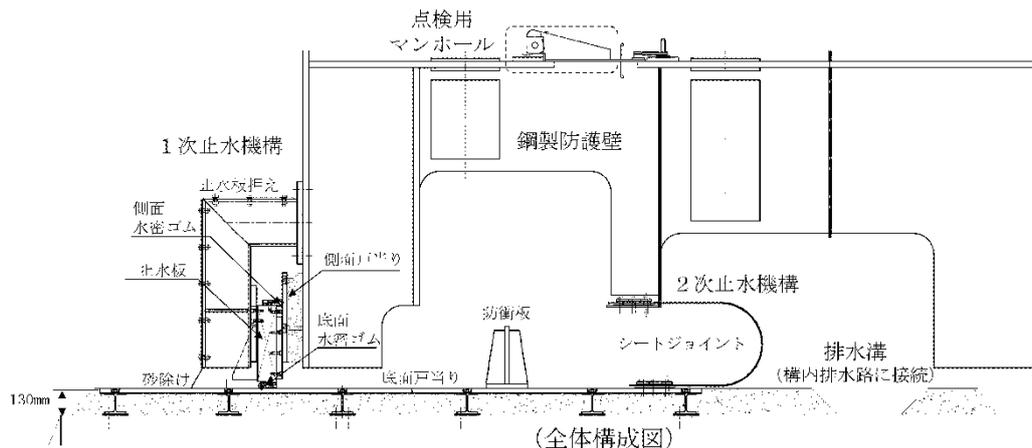


図 24 止水機構全体の概要

【補足説明6】漏水試験について

実証試験にて実施した水密ゴムについて、漏水試験を実施し水密性を確認する。

設計圧力における漏水試験のため、止水機構の水密ゴム（P形）について、試験装置を製作し、漏水試験により設計圧力に耐えることを確認する。

試験装置は、止水板2枚分（4m）の水密ゴムを設置可能な漏水試験装置を製作し、底面水密ゴム、側面水密ゴム、止水板接続ゴムからの漏水を確認する。漏水位置は中央部の3m分からの漏水量を算出する。

表13に漏水試験条件の一覧、表14に漏水試験装置の主要仕様、表15に漏水試験結果、図25に漏水試験の装置概要図を示す。

表13 漏水試験条件一覧表

項目	条件	備考
水密ゴム	試験体 1	本震，余震+津波を経験させた水密ゴム
	試験体 2	本震，余震+津波を経験させた水密ゴム
試験圧力	0.17MPa以上	保守的に，防潮堤天端高さ（T.P. +20m）から設置地盤標高（T.P. +3m）を差し引いた値
	0.21MPa以上	敷地に遡上する津波高さ（T.P. +24m）から設置地盤標高（T.P. +3m）を差し引いた値
試験時間	10分保持	「ダム・堰施設技術基準（案）」より
許容漏水量*	5.2 ℓ/10分	試験圧力0.17MPaに対する許容漏水量
	6.4 ℓ/10分	試験圧力0.21MPaに対する許容漏水量

* 「ダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省）」で規定する保持時間及び許容漏水量算定式に基づく3m当たりの許容漏水量

・許容漏水量： $W = 10.2 L \times P$

W：漏水量（ml/min）

P：設計圧力（MPa）

L：長辺の長さ（cm）

（試験装置の漏水検出範囲長さ300cm）

表 14 漏水試験装置の主要仕様

項目		仕様
試験装置	寸法	長さ約 4.3m×高さ約 0.7m×幅約 0.7m
	材質	鋼製
	設計圧力	0.7MPa
止水板	寸法	1枚当たり 長さ約 2m×幅約 0.1m×高さ約 0.4m 2枚の止水板を接続ゴムにて接続し実施
	材質	ステンレス鋼
	重量	約 930kg/枚

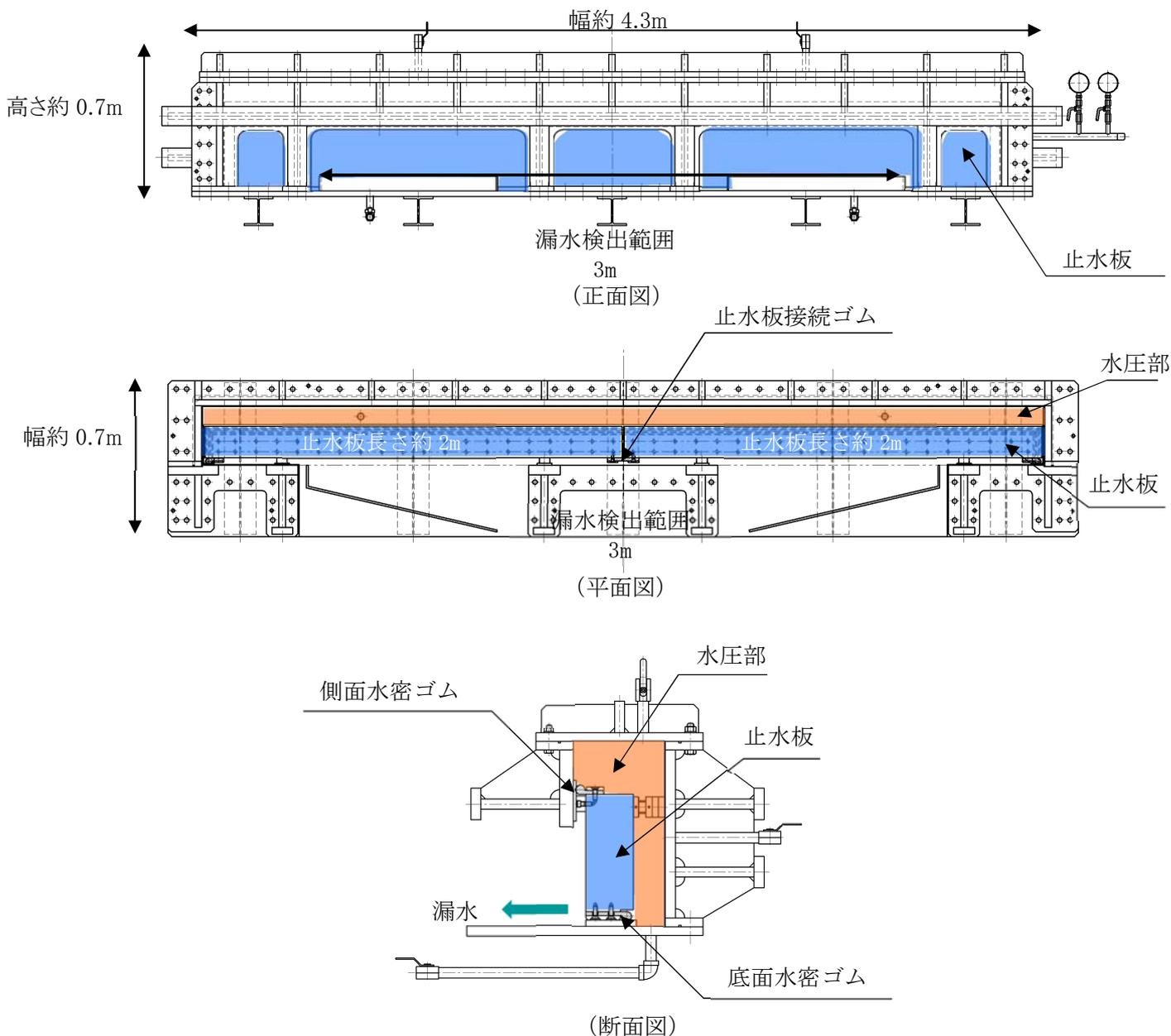
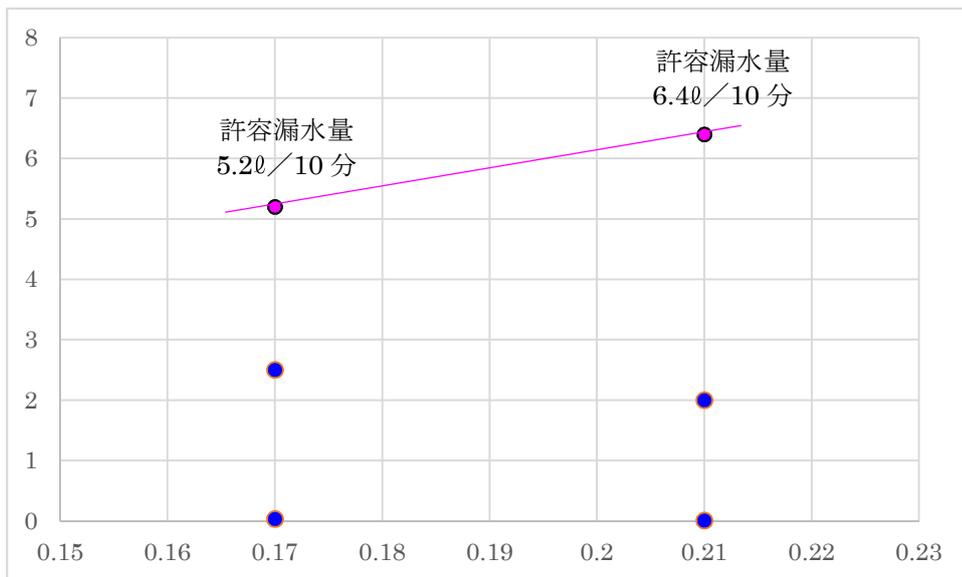


図 25 漏水試験の装置概要図

表15 漏水試験結果

	試験圧力 (MPa)	時間 (分)	漏水量 ^{※1} (ℓ/10分)	許容 漏水量 (ℓ/10分)	判定
試験体1 (1回目加振)	0.17	10	2.5	5.2	○
	0.21	10	2.0	6.4	○
試験体2 (2回目加振)	0.17	10	0.035	5.2	○
	0.21	10	0.005	6.4	○

※1：漏水量は1 mあたり10分間漏水量。



試験圧力と漏水量

<水密ゴムの単体漏水試験結果>

水密ゴムの単体試験として、未使用品の水密ゴム及び劣化状況を模擬した漏水試験を実施しており良好な結果を得ている。表 16 に試験装置の主要仕様、表 17 に漏水試験結果、図 25 に試験装置の概要図、図 26 に試験圧力と漏水量を示す。

表 16 試験装置主要仕様

項目		仕様
試験装置	寸法	長さ約 2.3m×高さ約 0.7m×幅約 0.5m
	材質	鋼製
	設計圧力	0.7MPa
止水板	寸法	長さ約 2m×幅約 0.1m×高さ約 0.4m
	材質	ステンレス鋼
	重量	約 620kg

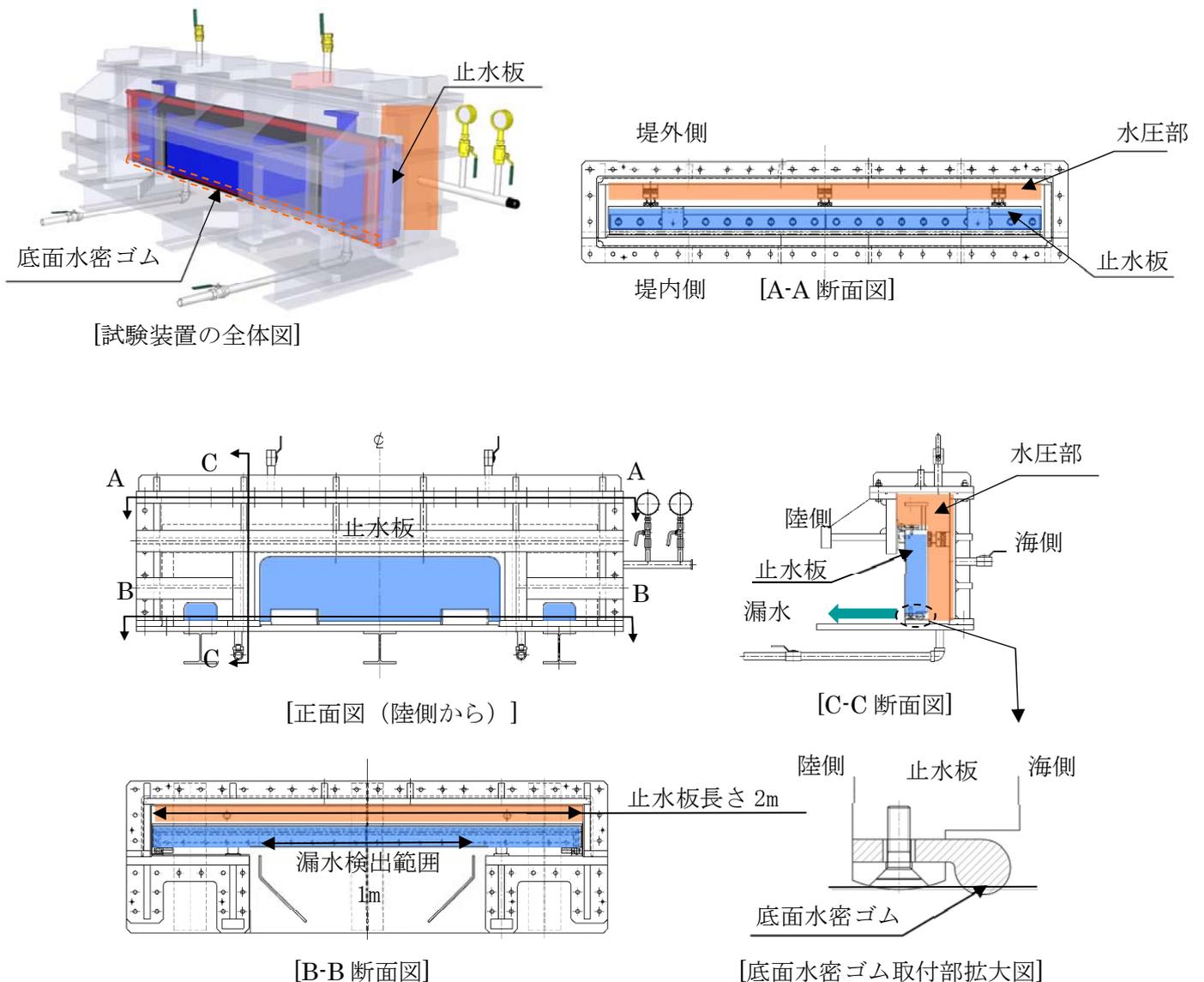


図 25 試験装置概要図

表17 漏水試験結果

	区分	試験圧力 (MPa)	時間 (分)	漏水量 ^{※1} (ℓ/10分)	許容漏水量 (ℓ/10分)	判定
試験体1	未使用品	0.20	10	0.020	2.0	○
試験体2		0.20	10	0.029	2.0	○
試験体3	劣化状態を仮定	0.17	10	0.039	1.7 ^{※2}	○
		0.66	10	0.625	6.7 ^{※2}	○
		0.17	10	0.440	1.7 ^{※2}	○
		0.66	10	0.525	6.7 ^{※2}	○

※1：漏水量は1 mあたり10分間漏水量。

※2：未使用品（新品）の場合の許容漏水量

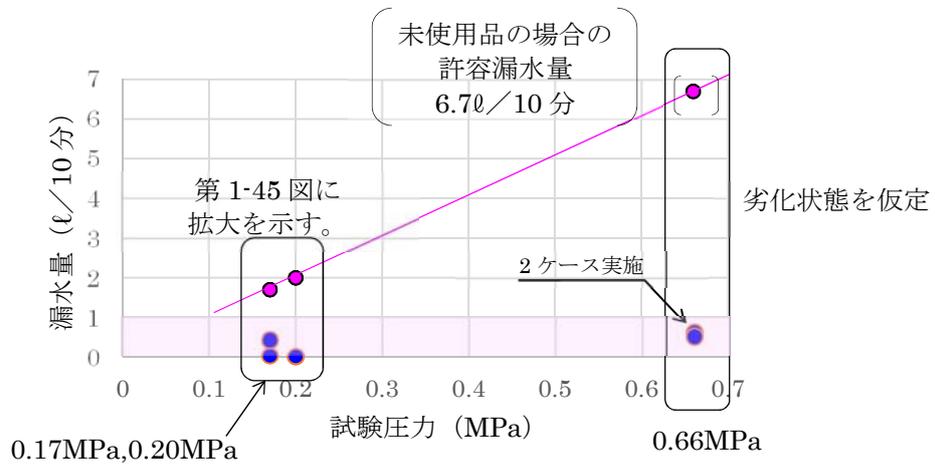


図 26 試験圧力と漏水量（高圧）

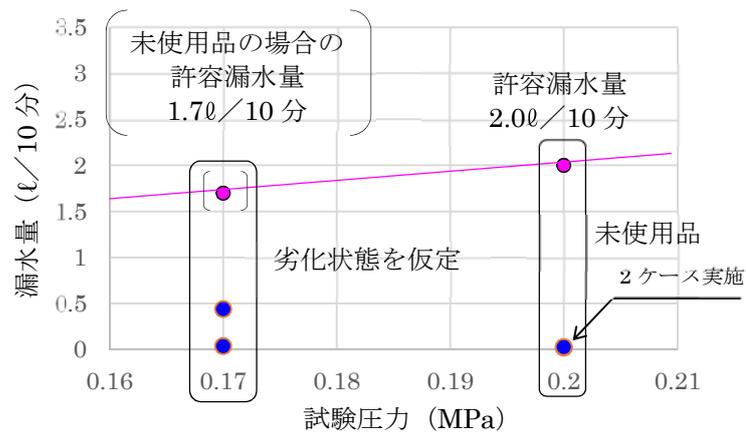


図 26 試験圧力と漏水量（低圧）

【参考】実証試験において想定される不具合と対策（案）

実証試験において想定される不具合として、止水板の浮上りや水密ゴムの噛み込み等が考えられるため、以下の対策（案）を検討している。

対策（案）の実施に当たっては、二次元・三次元動的解析の結果も踏まえ、原因の分析を十分に行い、必要に応じて対策を実施する。

図 27 に要因と対策（案）を示す。

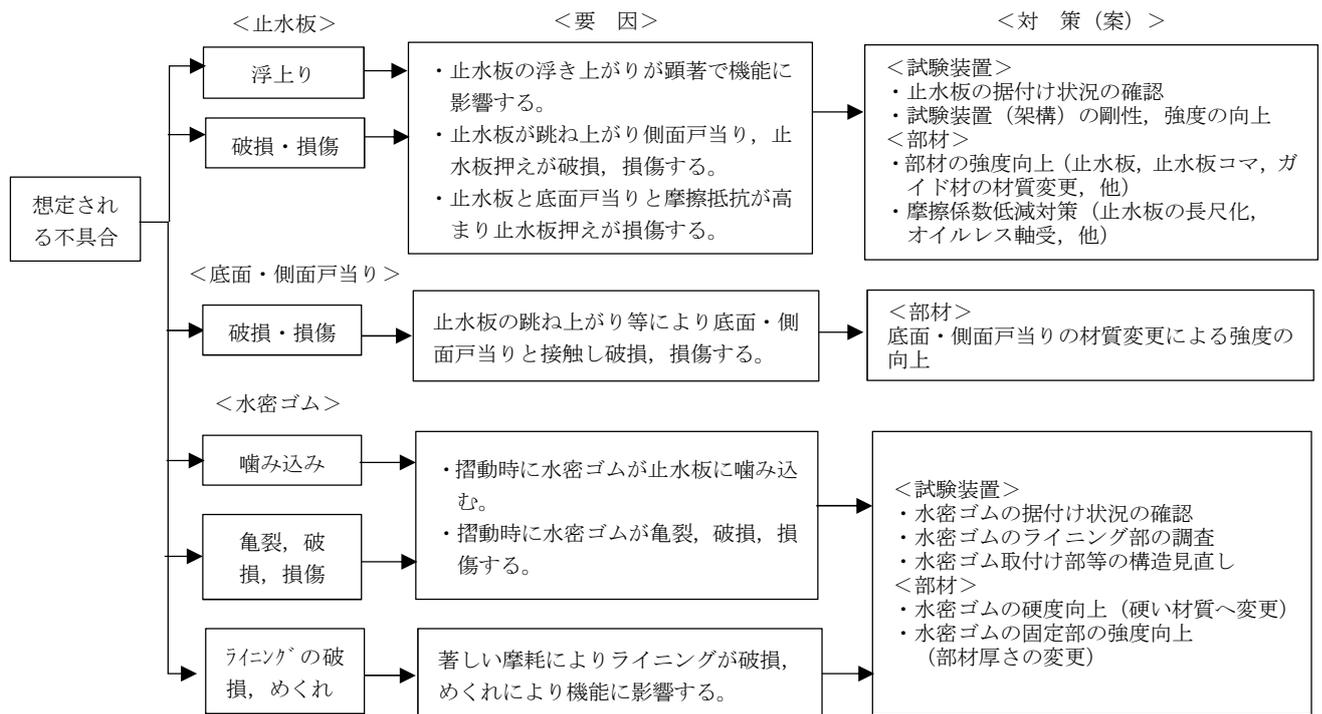


図 27 実証試験時における不具合時に対する対策（案）

6.1.3.2 止水機構（1次止水機構）の実証試験の試験要領について

1. 目的

止水機構の地震時及び余震+津波時の追従性を確認するため、実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）を行い、止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認する。本件は、実証試験の試験要領を示す。

2. 試験期間及び場所

実施時期：平成30年5月9日（水）～17日（木）（予定）

場 所

--

3. 試験体制

実証試験体制は、図1に示す。

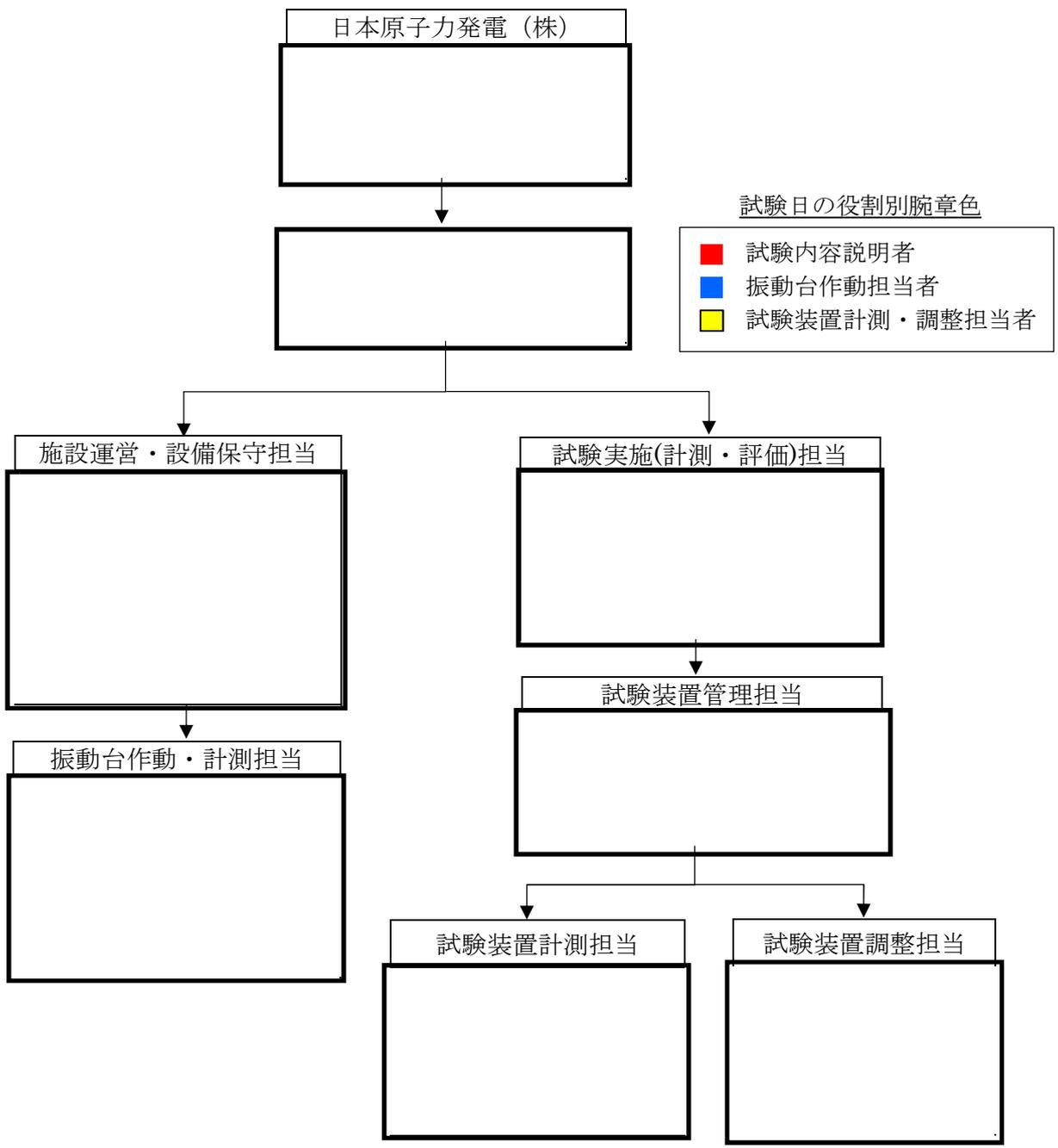


図 1 実証試験体制

4. 実証試験装置の概要

振動台の上に1次止水機構を設置し、水平方向と鉛直方向とを同時加振する。図2に大型3軸振動台の概要、図3に振動台の平面図、図4に試験装置のイメージ図を示す。

振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
最大積載重量	80 t f		
テーブル寸法	X : 6m × Y : 4m		
定格	X方向	Y方向	Z方向
最大変位	±300mm	±150mm	±100mm
最大加速度 (35 t 積載時)	1G (水平)	3G (水平)	1G (鉛直)

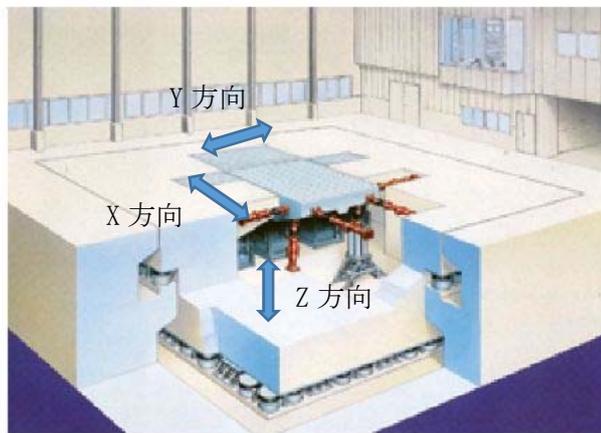


図2 大型3軸振動台の概要

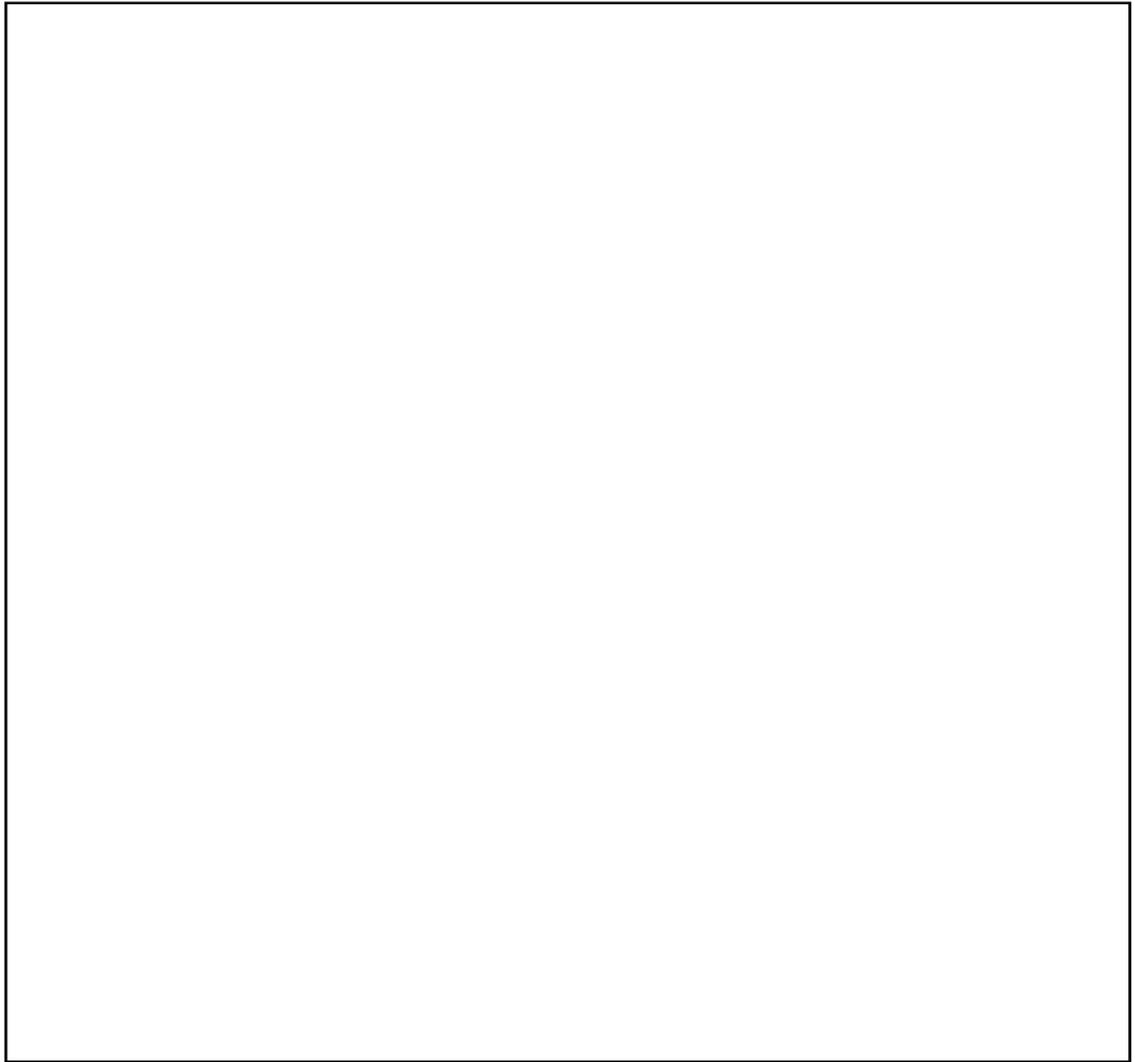


図3 振動台平面図

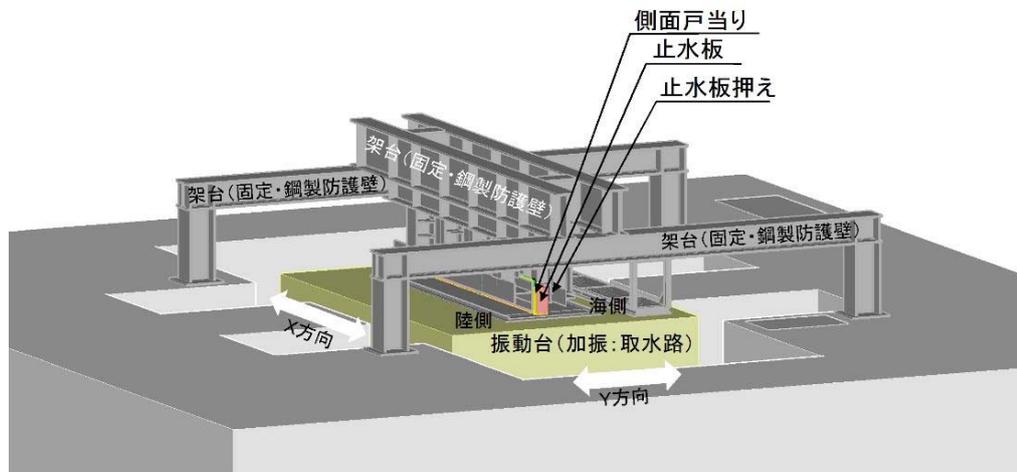


図4 試験装置の鳥観図

6. 1. 3-48

5. 試験条件

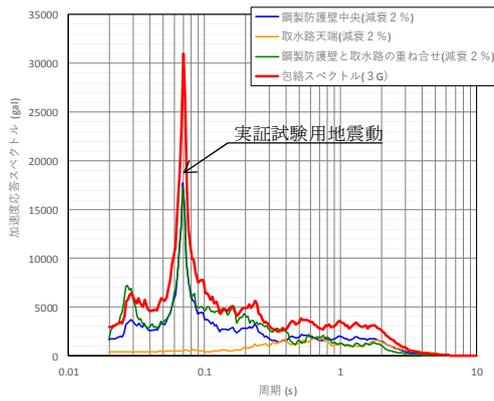
(1) 実証試験用地震動

振動台に入力する実証試験用地震動は、本震として基準地震動 S_s を包絡させた地震動及び余震+津波時として津波波圧を模擬的に与えた条件にて実証試験を実施する。表1に実証試験用応答スペクトルに用いる入力地震動を示す。

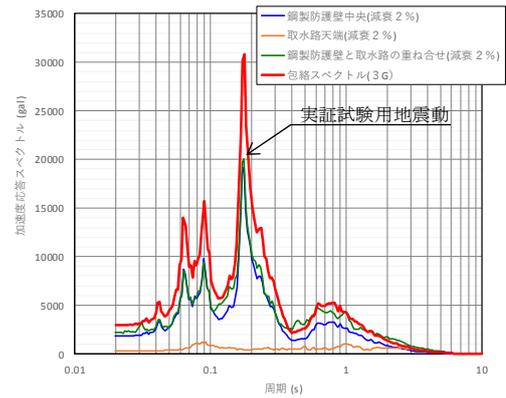
図5に本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルを示す。模擬地震動の詳細については「6.1.3.4 実証試験に用いる地震動の作成，実証試験及び三次元動的解析のケースについて」に示す。

表1 実証試験用応答スペクトルに用いる入力地震動

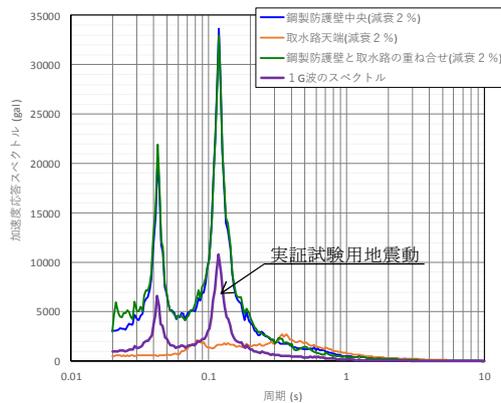
種類	入力地震動
本震	$S_s - D1$
余震+津波	$S_d - D1$



加速度応答スペクトルX方向（NS）



加速度応答スペクトルY方向（EW）



加速度応答スペクトルZ方向

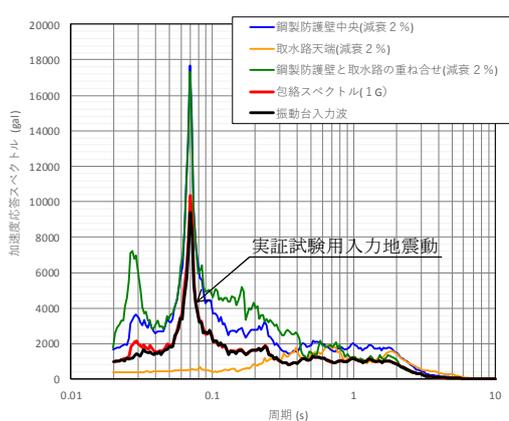
図5 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトル

(2) 実証試験用入力地震動

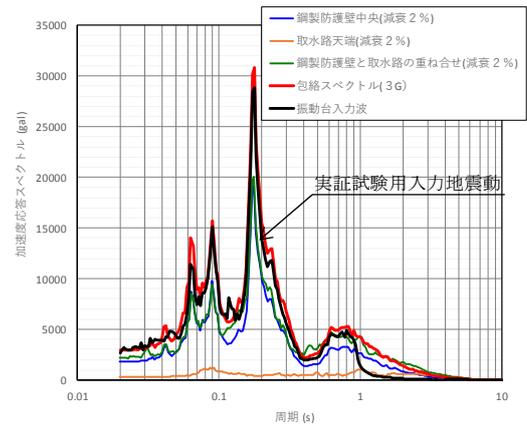
実証試験用入力地震動は、変位量に対する振動台性能の制限内に地震動を収めることを目的として、実証試験用地震動にハイパスフィルター（HPF）を掛け、長周期成分をカットした地震動である。

実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形を図6に示す。

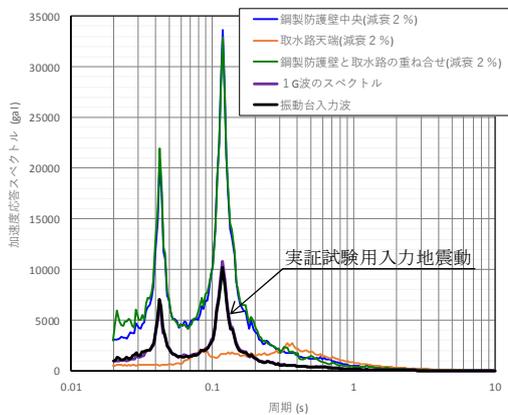
図6の入力加速度が最大3GであるY方向（EW）の加速度応答スペクトル図から周期1sec付近でHPFが掛かっていることが読み取れるが、最大加速度レベルは実証試験用地震動とほぼ同一レベルであることを確認した。



加速度応答スペクトルX方向（NS）



加速度応答スペクトルY方向（EW）



加速度応答スペクトルZ方向

図6 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用入力地震動の加速度応答スペクトル

(3) 実証試験ケースと三次元動的解析ケース

表2に本震時、表3に余震時の実証試験のケースと三次元動的解析のケースを示す。

表2 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	1 G	3 G (X包絡波)	1 G	○	○	3方向同時 (Y方向にX方向の地震動を入力。方向反転)
② 3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	1 G	3 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時 (図7に実証試験用入力地震動)
③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独
④鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 (図8に実証試験用入力地震動)
⑤基準地震動 (S_s) (S_s -D1)	—			—	○	3方向同時
⑥基準地震動 (S_s)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

表3 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (Y方向(堤軸直交)包絡波)	1 G	2 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時
②鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④基準地震動 (S_d) (S_d -D1)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

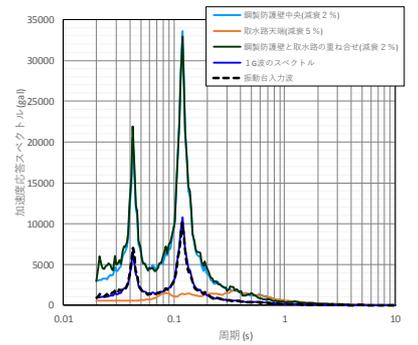
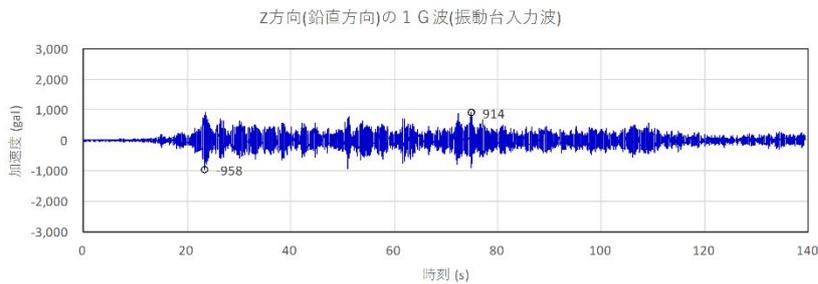
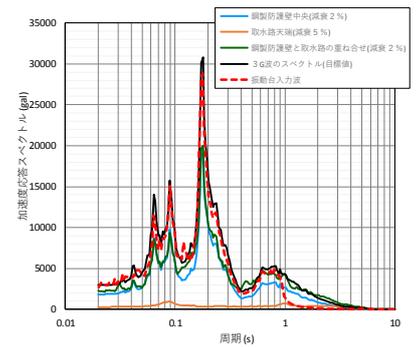
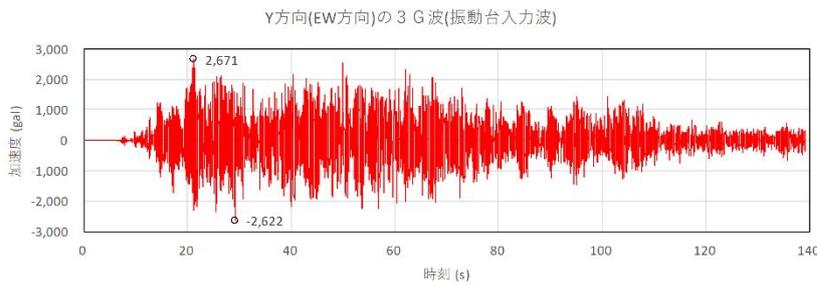
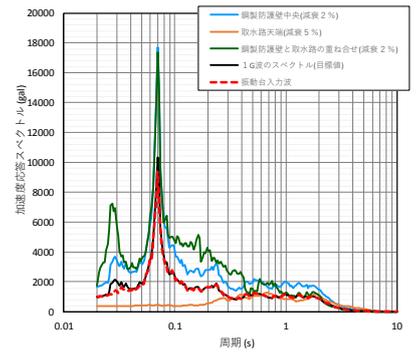
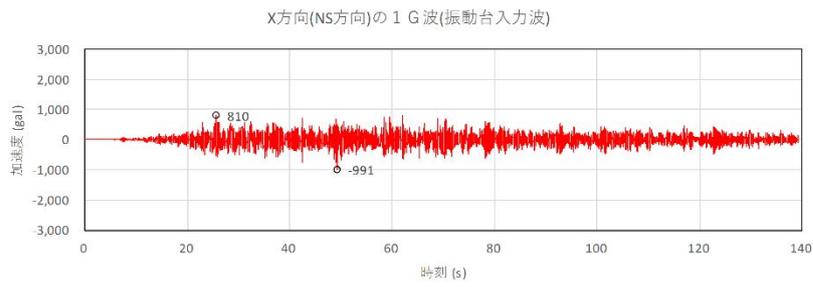


図7 ②3方向 (Y方向 (堤軸直交) 包絡波) 実証試験用入力地震動

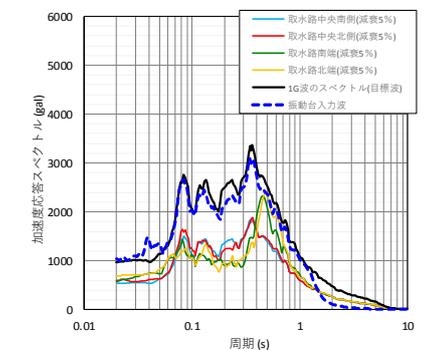
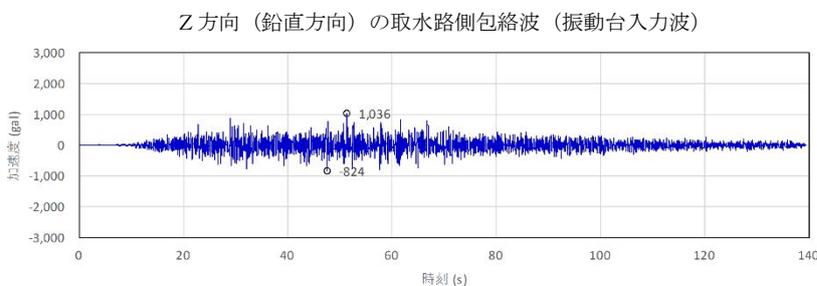


図8 ④鉛直 (取水路側包絡波) 実証試験用入力地震動

(4) 試験回数

実証試験に用いる入力地震動（ S_s-D1 ， S_d-D1 ）による確認は、止水板の挙動の再現性を確認するため、表4の試験回数の設定のとおり2回づつ実施する。

表4 試験回数の設定

	本震	余震+津波
試験回数	2回	2回

(5) 摩擦係数の設定

止水板に設置する側面・底面水密ゴムは、材料証明書にてダム堰施設技術基準の物性値であることを確認した未使用品のものを使用するため、摩擦係数は0.2の状態とする。表5に水密ゴムの物性値及び試験方法の規格を示す。

表5 水密ゴムの物性値及び試験方法の規格

	試験項目	物性値	規格値	試験条件・試験方法	
通常	硬さ (DURO-A型)	55	55±5	JIS K 6253	
	引張り 強さ	(MPa)	16.3	14.7以上	JIS K 6251
		(kgf/cm ²)	166	150以上	
	伸び (%)	500	300以上		

(6) 余震時の波圧の設定について

余震時においては、余震+津波の津波高さの圧力を想定する必要があるため、津波による荷重を以下のとおり止水板に負荷し、実証試験を実施する。

◆水平方向荷重

止水板1枚(2m)当り3カ所×2セットの水圧負荷装置により29.0kN以上の荷重を掛ける。

$$W_h = 86.7 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \div (3 \times 2) = 28.9 \text{ kN} \approx 29.0 \text{ kN}$$

<水平方向水圧荷重(単位m当たり)>

$$W_H = 1/2 \cdot (h^2 - h_1^2) \cdot \gamma_w$$

$$= 1/2 \times (20.90^2 - 20.485^2) \times 10.1 = 86.7 \text{ kN/m}$$

γ_w : 海水の単位体積重量 10.1 kN/m

◆鉛直方向荷重

止水板1枚(2m)当り2カ所×2セットの水圧負荷装置により29.0kN以上の荷重を掛ける。

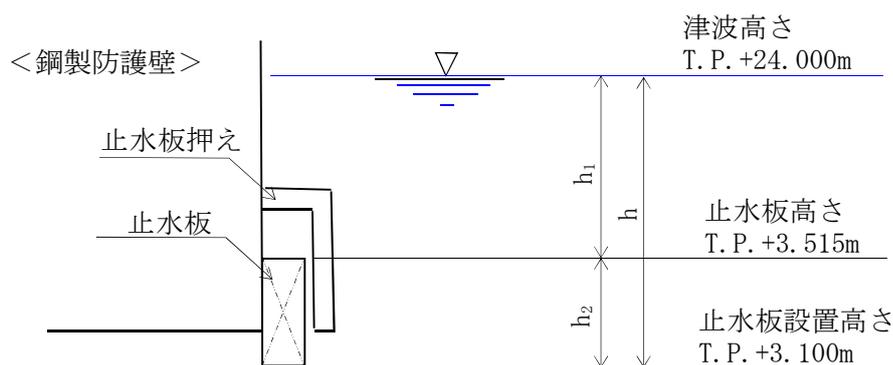
$$W_v = 29.0 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \div 2 = 29.0 \text{ kN}$$

<鉛直方向水圧荷重(単位m当たり)>

$$W_V = h_1 \cdot \gamma_w \cdot B'$$

$$= 20.485 \times 10.1 \times 0.14 = 29.0 \text{ kN/m}$$

B' : 鉛直方向受圧厚さ 0.14m



$$h = 20.9 \text{ m}$$

$$h_1 = 20.485 \text{ m}$$

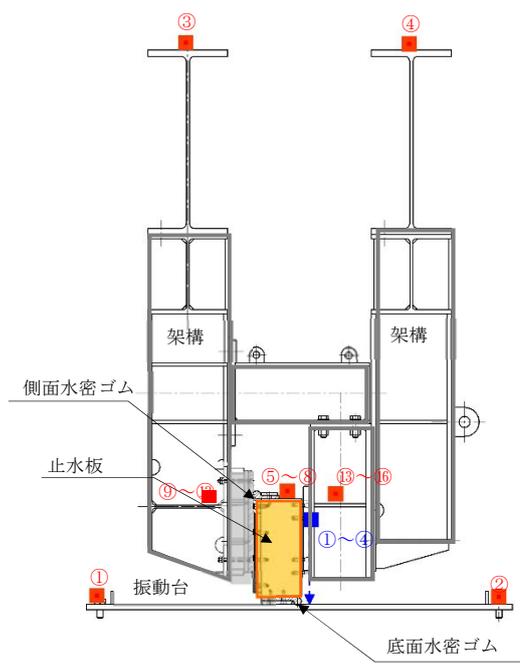
$$h_2 = 0.415 \text{ m}$$

(7) 実証試験に係る計測項目

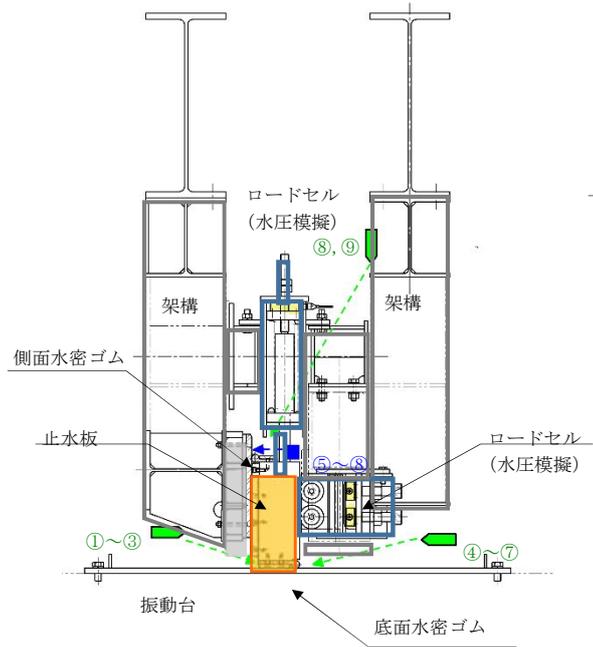
実証試験における計測項目（表6）計測箇所（図9）及び計測器一覧（表7）を示す。

表6 実証試験における計測項目

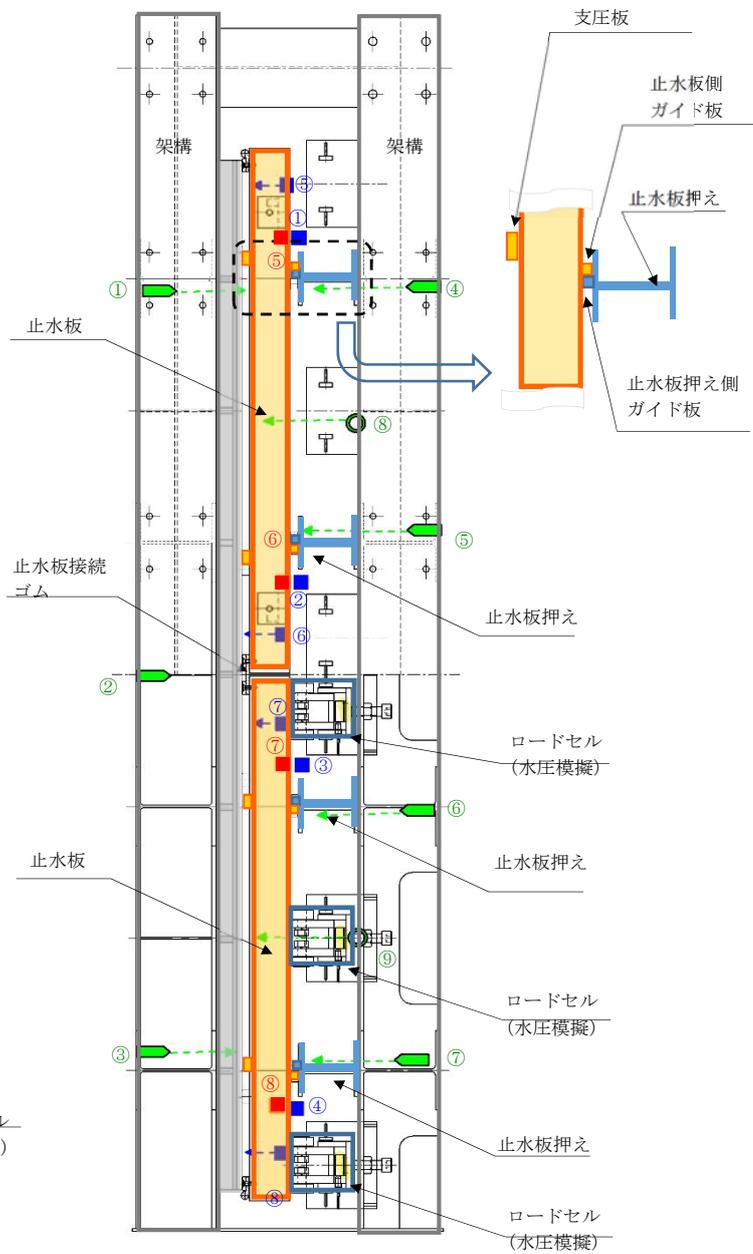
各部位	目的	確認項目	
①止水板押え	止水板の追従性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板押えの加速度計測（⑬～⑰）
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板押えと止水板の隙間計測 ・止水板押え側ガイド板の平面度測定 ・止水板押え側ガイド板と止水板側ガイドとの寸法測定 ◆外観目視検査 ・変形，摩耗等の確認
④止水板 （底面止水板コマ部含む）	止水板の追従性及び健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板と底面，側面戸当りの変位計測（①～⑧） （レーザー変位計による止水板の挙動確認） ◆止水板の加速度計測（⑤～⑧） ◆ビデオ撮影（①～⑨）
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板，支圧板の寸法測定 ・止水板コマ寸法測定（寸法，板厚，摩耗量測定（試験後）） ◆外観目視，据付け状況検査 ・止水板コマ，支圧板の変形，摩耗，据付け等の確認
⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	止水性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆加速度計測（底面・側面戸当り）（⑨～⑫） ◆ビデオ撮影（①～⑨）
		健全性確認	◆寸法測定 ・平面度測定 ◆外観目視，据付け状況検査 ・変形，摩耗，ゆがみ，据付け等の確認
底面・側面水密ゴム	止水板に追従し，水密性に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板と底面，側面戸当りの変位計測（①～⑧） （レーザー変位計による浮き上がり確認） ◆ビデオ撮影（①～⑨）
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測（厚さ） ◆外観目視，据付け状況検査 ・変形，摩耗，亀裂，ライニング面，据付け等の確認 ◆漏水検査
止水板接続ゴム	止水板との接続部に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板の変位計測（①～⑧） （レーザー変位計による止水板の挙動を把握し，接続ゴムの変位を計測） ◆止水板の加速度計測（⑤～⑧） ◆ビデオ撮影（②）
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測（寸法） ◆外観目視検査 ・変形，摩耗，亀裂の確認 ・底面・側面水密ゴムの接続箇所の確認 ◆水密ゴムの据付け状況確認



断面図 (加速度計, レーザ変位計)



断面図 (ロードセル (水圧模擬))



平面図

<凡例>

- : 加速度計
- : レーザ変位計
- ◀▶ : ビデオ撮影

本震時の計測機器に、更に水圧模擬するためロードセルを設置する。

図9 実証試験時の計測部位 (本震時・余震+津波時)

表7 計測器一覧

計測器	型番	メーカー	仕様	数量	備考
レーザー変位計			測定範囲 160~450 mm 繰返し精度 30 μ m 計測精度 : 0.1mm	4	鉛直 相対変位
			測定範囲 75~130 mm 繰返し精度 30 μ m 計測精度 0.01mm	4	水平 相対変位
加速度計			定格容量 ±20G 応答周波数範囲 500Hz 計測精度 0.02G±1%	16	X Y Z 方向
ロードセル			定格容量 50 k N 非直線性 ±0.05%	12	水平方向
			定格容量 100 k N 非直線性 ±0.2%	4	鉛直方向
CCD カメラ			f6 mm, 8 mm, 12 mm	6	
			f3.7 mm	3	
ビデオ カメラ			デジタルハイビジョン方式	2	全景用

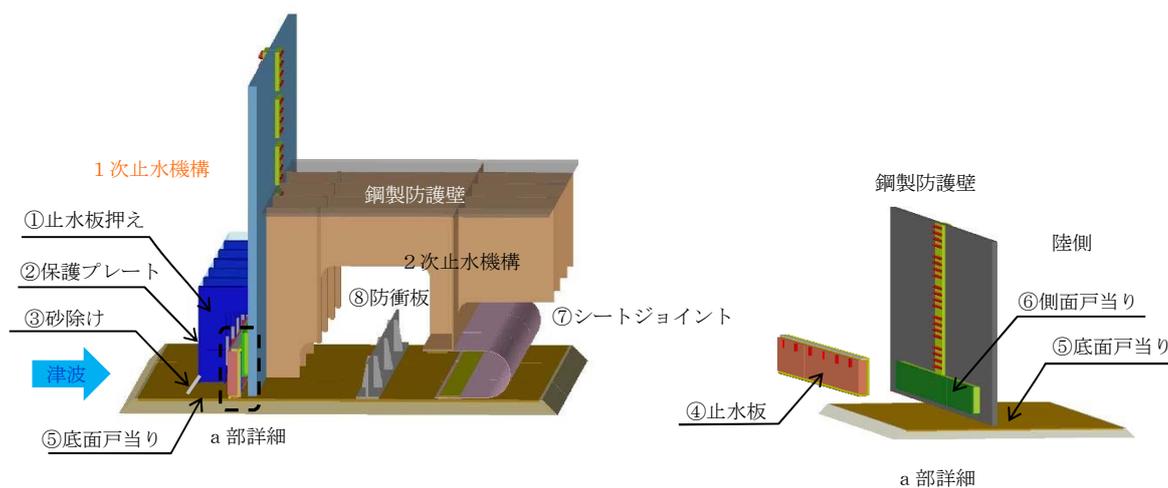
(8) 実証試験の計測項目と判定基準

実証試験では以下の項目について計測を行い「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水機構全体に影響がないか確認する。表8に実証試験の計測項目と判定基準を示す。

表8 実証試験の計測項目と判定基準

機能目標	計測項目※	判定基準
止水板の地震時の追従性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 追従性評価 (ビデオ撮影) ◆ 変位計測 (レーザー変位計) ◆ 加速度計測 (加速度計) ◆ 外観目視検査 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。(浮き上がり、止水板の破損・損傷)
水密ゴムの健全性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 追従性評価 (ビデオ撮影) ◆ 変位計測 (レーザー変位計) ◆ 寸法計測 ◆ 外観目視点検 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。(噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗) ◆ 水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。(ライニングの破損、めくれ)
1次止水機構の構成部品の健全性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 止水板、側面戸当り、底面戸当り、止水板押え、架構等の外観目視点検 ◆ 三次元計測による試験装置全体の計測 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 装置全体に異常がなく健全であること。(試験装置、部材の変形、損傷、他)

※各部位毎の計測項目については、表7の1次止水機構の各部位毎の評価項目に示す。



止水機構の各名称

(9) 実証試験手順

実証試験は1回の実証試験で約3日間必要とする。そのため、実証試験の「本震」,「余震+津波」を実施し水密ゴムの計測等は4日目に実施する手順になる。表9に実証試験の実施手順を示す。

水密ゴムは、実際に想定しうる「本震」の後に「余震+津波」となるため、「余震+津波」の実証試験が終了するまでは同じものを通して使用する。

以下は1回目の試験手順を示す、2回目の試験手順も同様の手順で実施する。

表9 実証試験の実施手順 (1回目)

時間帯	本震 (1日目)	本震 (2日目)	余震+津波1回 (3日目)
午前 (約3.5時間)	<試験前準備> ・各部外観検査, 寸法計測 (試験前健全性確認) ・振動台の油圧上昇 (XYZ軸方向) ・振動台の油圧降下 ・止水板設置 ・計測器取付け ・水密ゴムの計測 ・水密ゴムの外観据付け検査	<試験前準備> ・同左	<試験前準備> ・同左
午後 (約4.5時間)	<試験前準備> ・振動台油圧上昇 ・ホワイトノイズ加振 [*]	<試験枚準備> ・同左	<試験前準備> ・水密ゴムの外観据付け検査 ・水密ゴムの計測 ・水圧負荷装置設置
	<実証試験> ・実証試験(本震) ・加振終了後油圧降下	<実証試験> ・同左	<実証試験> ・油圧上昇 ・水平負荷装置荷重調整 ・実証試験(余震) ・水平負荷解除 ・加振終了後油圧降下
	<試験後> ・止水板取り外し ・水密ゴムの外観・据付け検査	<試験後> ・同左	<試験後> ・止水板取り外し ・水密ゴムの外観・据付け検査 ・水圧負荷装置取外し

(4日目)

- ・水密ゴム取外し, 摩耗等計測
- ・各部外観検査, 寸法計測(試験後健全性確認)
- ・品質記録の例を図10に示す。

※ホワイトノイズ加振とは

止水板を設置しない状態で試験装置の固有振動数を算出し, 試験装置の固有振動数に有意な変化がないことを試験前に確認することで, 試験装置が正常な状態であることを確認する。

発注者	日本原子力発電株式会社 殿		発注者	受注者	再委託先			
	業名	東海第二発電所			承認	審査	担当	
実施日	一次止水機構 振動試験							
再委託先								
実施場所								
試験NO.	UPC有無	計測場所		試験NO.	UPC有無	計測場所		備考
		止水板	位置			止水板	位置	
1		底面止水板		3	有り	底面止水板		
		加振前	加振後			加振前	加振後	
		右側	右側					
		中央	中央					
		左側	左側					
		右側	右側					
		中央	中央					
		左側	左側					
		右側	右側					
		中央	中央					
		左側	左側					
2		底面止水板		4	無し	底面止水板		
		加振前	加振後			加振前	加振後	
		右側	右側					
		中央	中央					
		左側	左側					
		右側	右側					
		中央	中央					
		左側	左側					
		右側	右側					
		中央	中央					
		左側	左側					
備考	UPC有無	計測場所		試験NO.	UPC有無	計測場所		備考
		止水板	位置			止水板	位置	
		0-100mmノギス				0-100mmノギス		
		左側	左側			中央	中央	
		右側	右側			左側	左側	
		中央	中央			右側	右側	
		左側	左側			中央	中央	
		右側	右側			左側	左側	
		中央	中央			右側	右側	
		左側	左側			中央	中央	
		右側	右側			左側	左側	

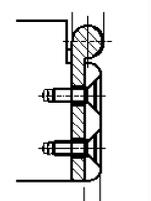


図 10 品質記録の例 (1/3) (止水板の寸法計測の例)

発注者	日本原子力発電株式会社 殿									
業務名	東海第二発電所									
実験名	一次止水機構 振動試験									
実施日										
受注者										
再委託先										
実施場所										
止水板ガイド板間隔	設計値(mm)	計測値(mm)	設計値(mm)	計測値(mm)	止水板押えガイド板間隔	位置	設計値(mm)	計測値(mm)	ガイド板軸方向隙間(mm)	再委託先
									B-A	担当
右	上		右	上						
	下			下						
中央	上		中央	上						
	下			下						
左	上		左	上						
	下			下						

左側

陸側

海側

平面配置

止水板ガイド板間隔：D

止水板押えガイド板間隔：E

計測：スケール

備考

図 10 品質記録の例 (3/3) (止水板押えの間隔計測の例)

6.1.3.3 二次元・三次元動的解析の結果について

1. 目的

止水機構の実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）では，基準地震動 S_s 及び余震+津波時における止水板の挙動を確認することにより，変位追従性，水密ゴムの健全性を確認する。

本件では，実証試験に合わせて実施する二次元・三次元動的解析の結果について説明する。

2. 解析条件

(1) 二次元動的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時+余震
解析モデルは図1に示す。
- ・水密ゴム摩擦係数：
常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省）
劣化時の挙動把握（しきい値確認）：0.2～1.2
- ・金属間摩擦係数
止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4
- ・評価対象部位：
底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板
- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）
弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）
- ・評価項目：
応力評価，追従性評価（止水板浮上り），水圧模擬，摩擦係数しきい値確認

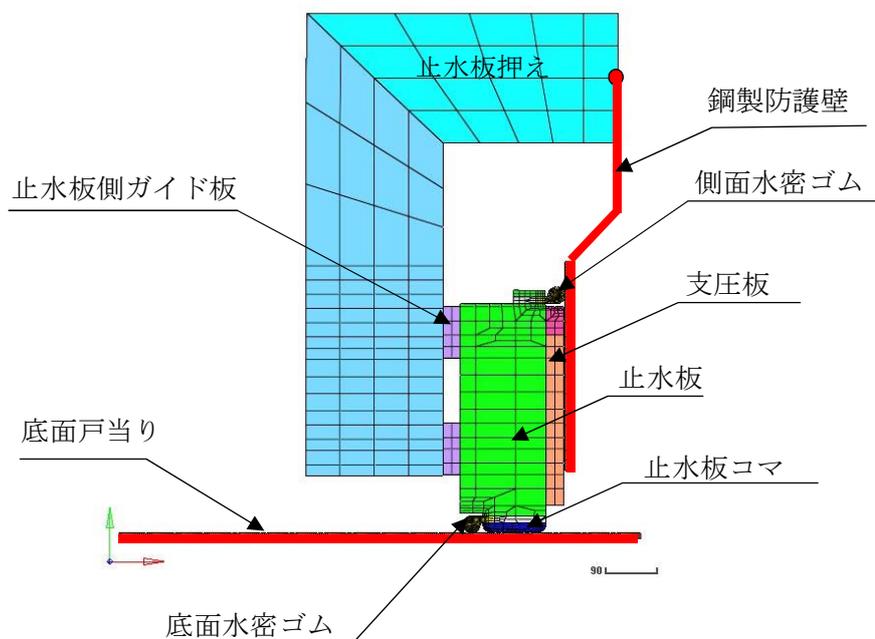


図1 二次元動的解析モデル

(2) 三次元的解析

<評価条件>

- ・解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・地震動：基準地震動 S_s
- ・解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時+余震
解析モデルは図2に示す。
- ・水密ゴム摩擦係数：
常時：0.2（ダム・堰施設技術基準（案））（国土交通省）
- ・金属間摩擦係数
止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4
- ・評価対象部位：
底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板接続ゴム，止水板（止水板コマ含む），
止水板押え，底面・側面戸当り，止水板側ガイド板，支圧板
- ・許容応力：引張り強度，変形量（伸び）（水密ゴム）
弾性設計範囲内（止水板，その他の部材）
- ・評価項目：
応力評価，追従性評価（止水板2枚の挙動，浮上り），水圧模擬

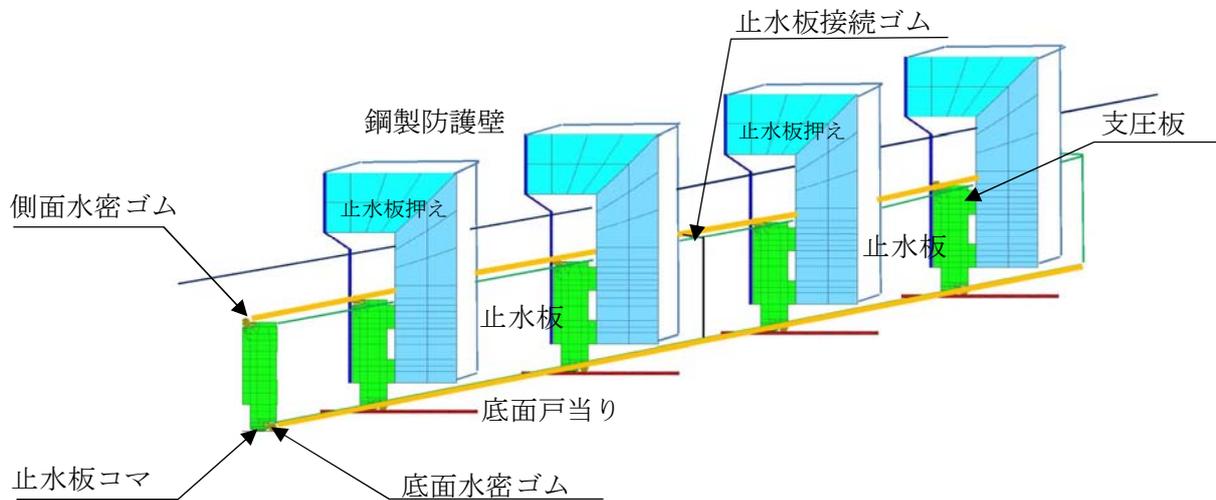


図2 三次元的解析モデル

3. 三次元動的解析

(1) 実証試験モデルの解析条件

- a. 解析コード MSC_MARC2014. 2. 0 (エムエスシーソフトウェア株式会社)
- b. 解析内容 大変形超弾性解析 (止水ゴムを超弾性体として扱う)
- c. モデルの説明

基本的に6面体ソリッド要素，架台の部分はシェル要素として作成した。

d. 解析に用いる物性値および摩擦係数

各部の物性値と摩擦係数は表 1 に示す通り。モデル化に当たっては，⑤底面戸当り，鋼製防護壁 (⑥側面戸当り) は，剛体としてモデル化した。

表1 物性値および摩擦係数

部位 (材質)	物性値	許容値	摩擦係数
①止水板押え (SM490)	縦弾性係数 205000MPa ポアソン比 0.3	耐力 315MPa	-
④止水板 (SUS304)	縦弾性係数 197000MPa ポアソン比 0.3	耐力 205MPa	-
底面・側面水密ゴム (合成ゴム+ライニング貼付け)	単軸引張試験結果	引張強さ 14.7 MPa	0.2
止水板コマ (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4 (金属間の摩擦係数)
支圧板 (超高分子ポリエチレン)	縦弾性係数 785MPa ポアソン比 0.3	引張強さ 44MPa	0.2
止水板側ガイド板 (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4

e. 解析モデルに考慮している隙間

止水機構の実機と同じ構造を模擬するため，以下の箇所については，解析モデル上も隙間を考慮し解析を実施する。図 3 に解析モデル上の隙間を示す。

- ①側面水密ゴムと側面戸当りの隙間 3mm
- ②底面水密ゴムと底面戸当りの隙間 3mm
- ③止水板ガイドと止水板押えの隙間 5mm

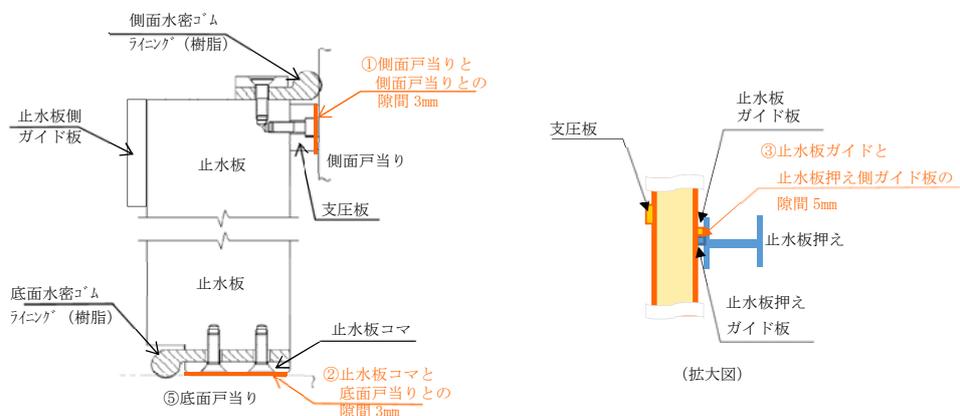


図 3 解析モデル上の隙間

f. 解析モデルの作成

実証試験モデルの解析モデルを図4に示す。

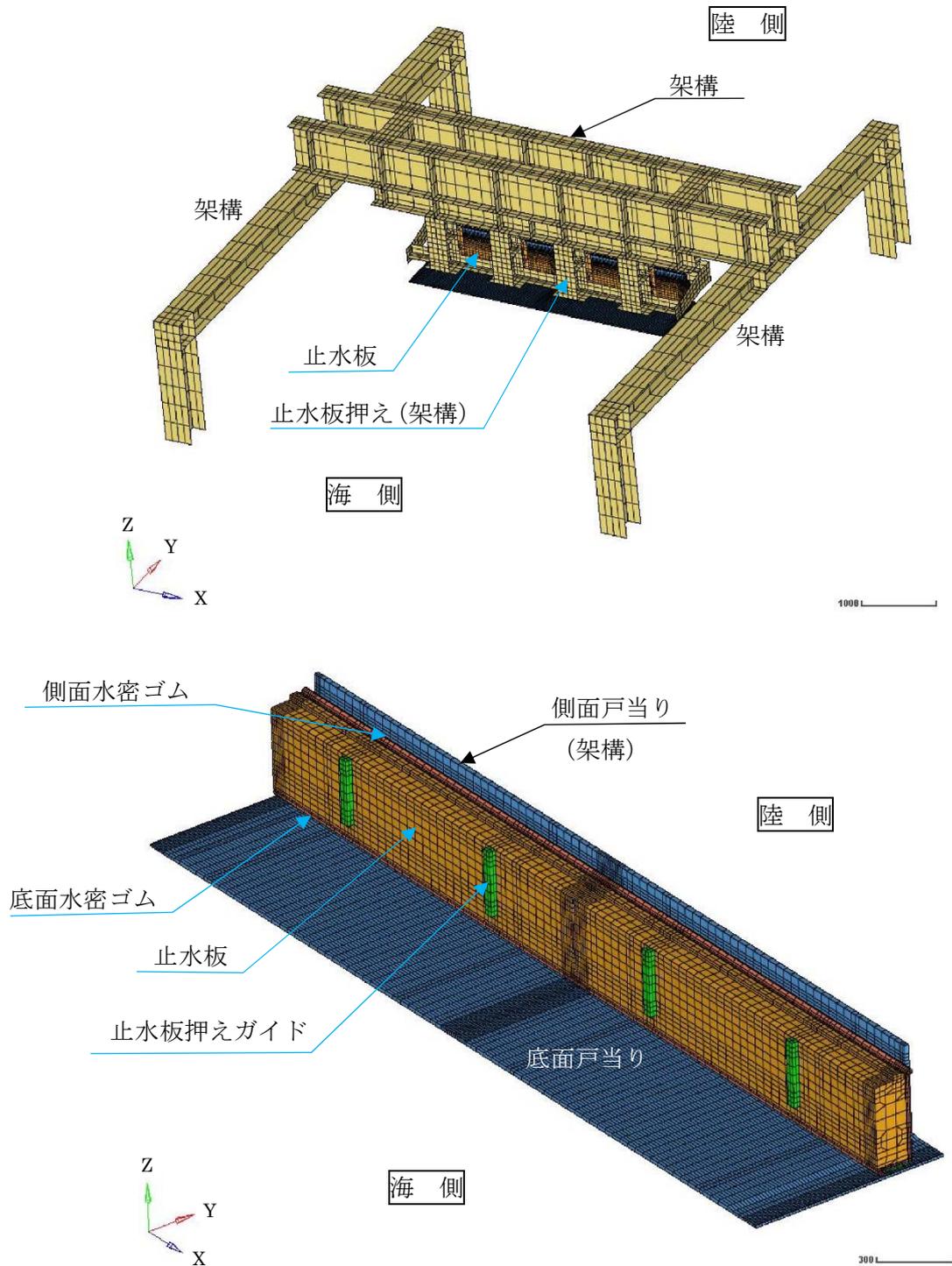


図4 三次元解析モデル（実証試験用）（1/2）

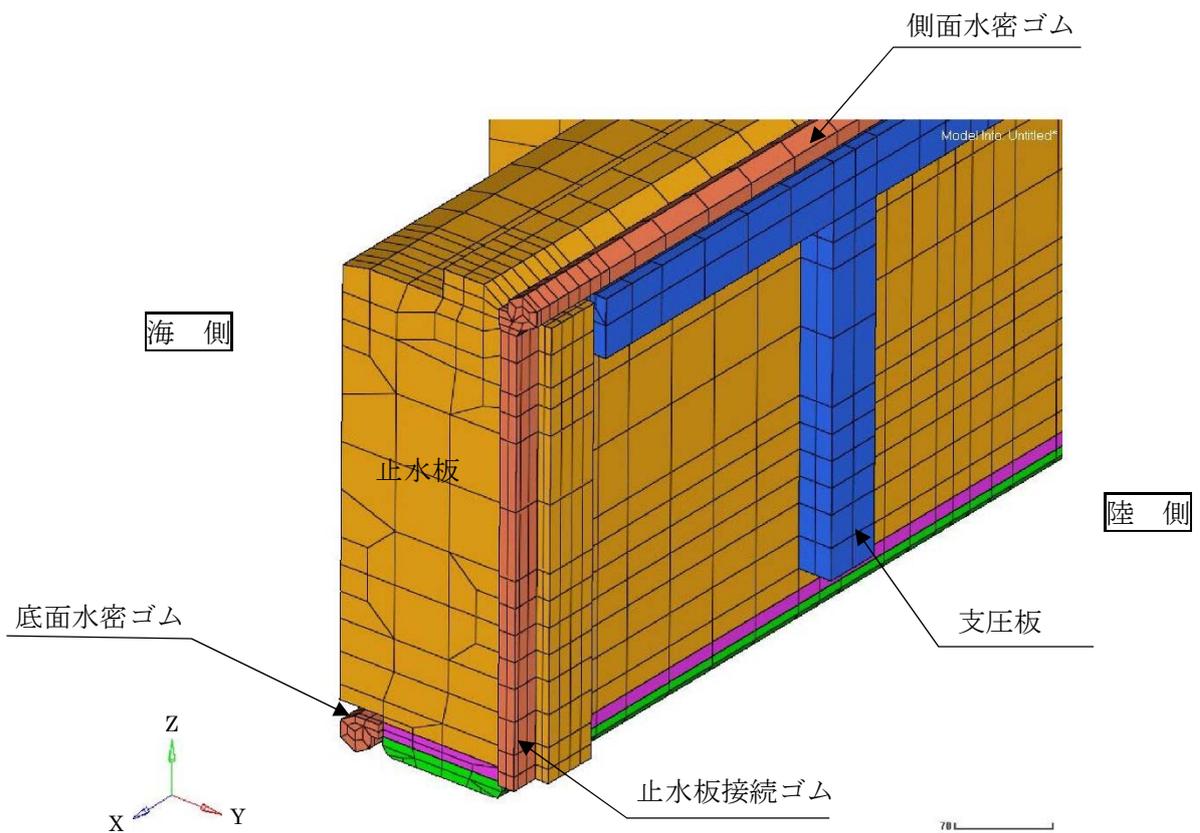
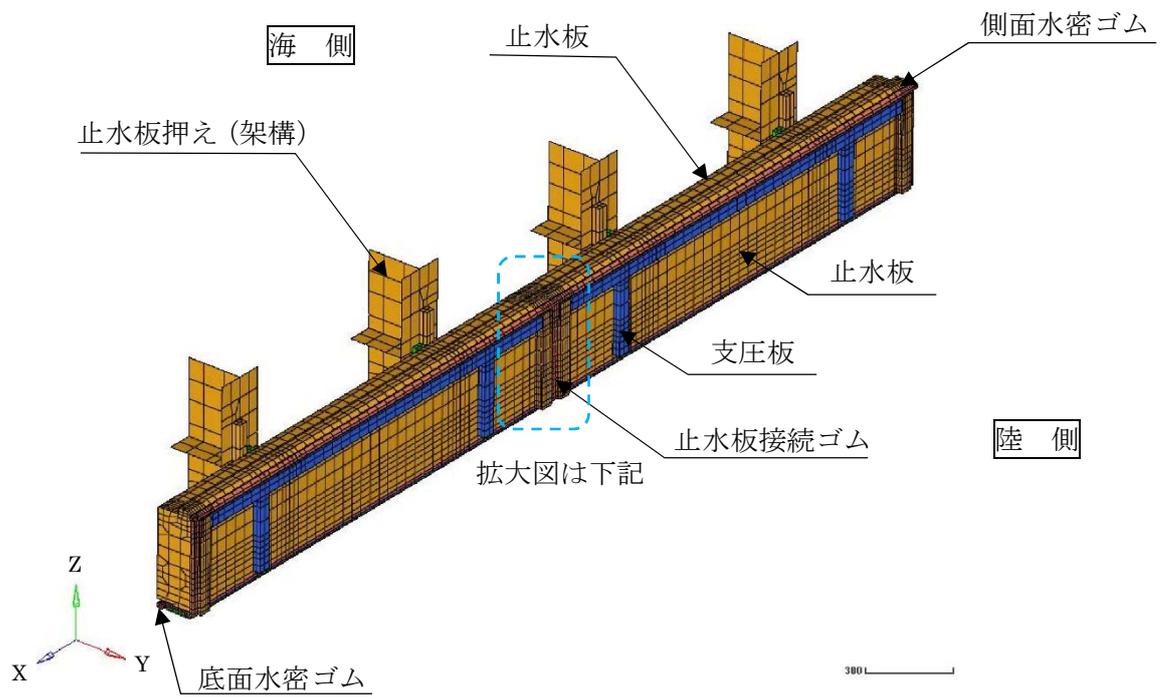


図4 三次元解析モデル(実証試験用)(2/2)

(2) 実機モデルの解析条件

- a. 解析コード MSC_MARC2014. 2. 0 (エムエスシーソフトウェア株式会社)
- b. 解析内容 大変形超弾性解析 (止水ゴムを超弾性体として扱う)
- c. モデルの説明
基本的に6面体ソリッド要素として作成した。
- d. 解析に用いる物性値および摩擦係数
各部の物性値と摩擦係数は表 1 に示す通り。

表1 物性値および摩擦係数

部位 (材質)	物性値	許容値	摩擦係数
①止水板押え (SM490)	縦弾性係数 205000MPa ポアソン比 0.3	耐力 315MPa	-
④止水板 (SUS304)	縦弾性係数 197000MPa ポアソン比 0.3	耐力 205MPa	-
底面・側面水密ゴム (合成ゴム+ライニング貼付け)	単軸引張試験結果	引張強さ 14.7 MPa	0.2
止水板コマ (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4 (金属間の摩擦係数)
支圧板 (超高分子ポリエチレン)	縦弾性係数 785MPa ポアソン比 0.3	引張強さ 44MPa	0.2
止水板側ガイド板 (アルミニウム銅合金)	縦弾性係数 110000MPa ポアソン比 0.3	耐力 245MPa	0.4

e. 解析モデルに考慮している隙間

止水機構の実機と同じ以下の箇所については、解析モデル上も隙間を考慮し解析を実施する。図 5 に解析モデル上の隙間を示す。

- ①側面水密ゴムと側面戸当りの隙間 3mm
- ②底面水密ゴムと底面戸当りの隙間 3mm
- ③止水板ガイドと止水板押えの隙間 5mm

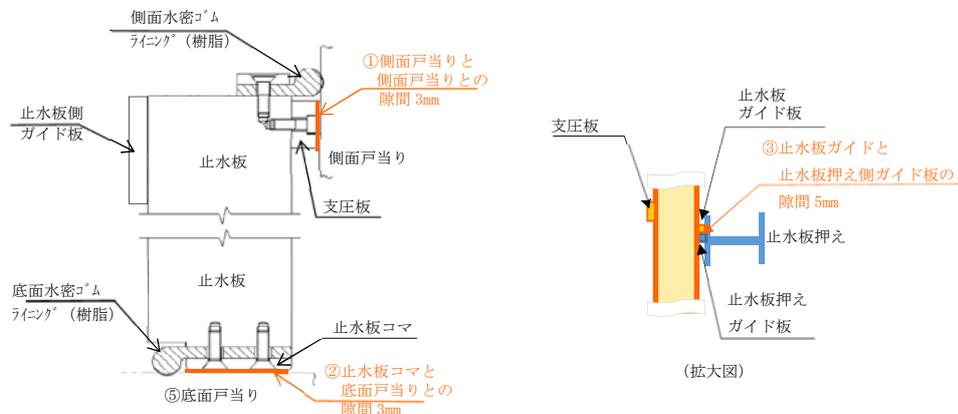


図 5 解析モデル上の隙間

f. 解析モデルの作成

実機モデルの解析モデルを図6に示す。

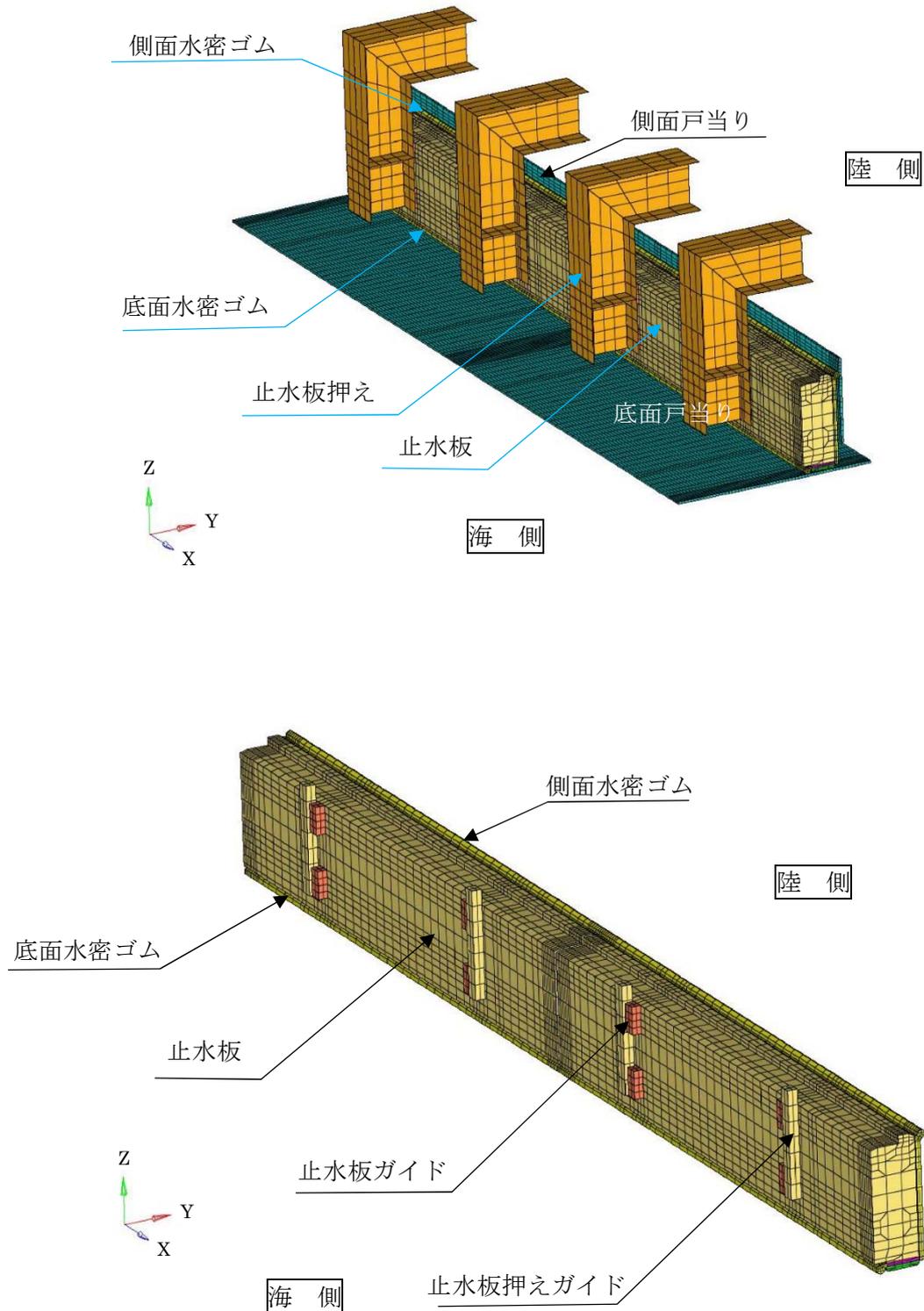


図6 三次元解析モデル（実機用）（1/2）

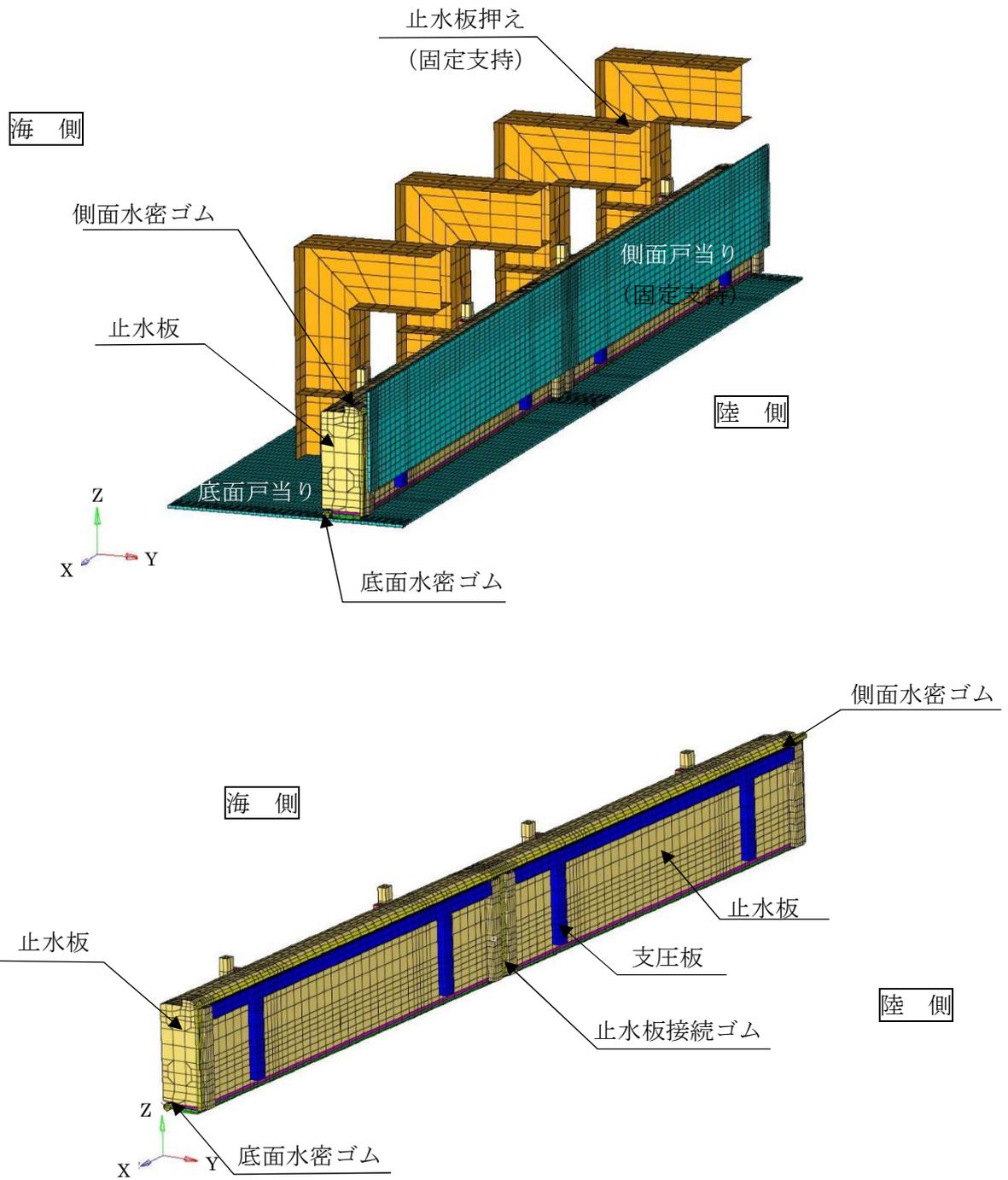


図6 三次元解析モデル（実機用）（2/2）

(3) 実証試験と三次元動的解析ケースの目的について

三次元動的解析と実証試験検証における検証ケースとして、3方向加振試験の場合は②の三次元動的解析と実証試験を検証ケースとし、鉛直方向については、④の三次元動的解析と実証試験を検証ケースとして実施する。その他のケースについては、主にデータ拡充の観点から止水板の挙動について確認する。表2に実証試験及び三次元動的解析ケースの目的を示す。

表2 実証試験及び三次元動的解析ケースの目的

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		各実証試験及び三次元動的解析ケースの目的
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (X方向(堤軸) 包絡波)	1 G	3 G (X包絡 波)	1 G	○	○	【データ拡充】3方向データ ◆実証試験において、鋼製防護壁側の堤軸側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
② 3方向 (Y方向(堤軸直 角)包絡波)	1 G	3 G (Y包絡 波)	1 G	○	○	【検証ケース】3方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において鋼製防護壁側の堤軸直角側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動を確認する。 ◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。
③ 鉛直 (鋼製防護壁包 絡波)	-	-	1 G	○	-	【データ拡充】鉛直方向データ ◆実証試験において鋼製防護壁側の鉛直方向の加速度(1G)を取水路側の鉛直方向に入力し、止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
④ 鉛直 (取水路側包絡 波)	-	-	波形 入力	○	○	【検証ケース】鉛直方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において止水板の挙動は、鉛直方向からの慣性力が支配的と考えられることから本件をベースケースとした実証試験を実施し、鉛直からの変位量を計測する。実機と同じ方向で確認 ◆3次元動的解析については、実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。

(4) 三次元動的解析結果

表 3 に本震時，表 4 に余震時の三次元動的解析ケースと解析結果を示す。

表 3 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (X 方向 (堤軸) 包絡波)	1 G	3 G (X 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 (Y 方向に X 方向の地震動 を入力。方向反転) 図 7, 8 に記載
② 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波)	1 G	3 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時 図 9, 図 10 に記載
③ 鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独 図 11, 図 12 に記載
④ 鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 図 13, 図 14 に記載
⑤ 基準地震動 (S _s) (S _s -D1)	—			—	○	3 方向同時
⑥ 基準地震動 (S _s)	—			—	○	3 方向同時

○: 解析実施ケース

表 4 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備 考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3 方向 (Y 方向 (堤軸直交) 包絡波)	1 G	2 G (Y 包絡波)	1 G	○	○	3 方向同時
② 鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③ 鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④ 基準地震動 (S _d) (S _d -D1)	—			—	○	3 方向同時

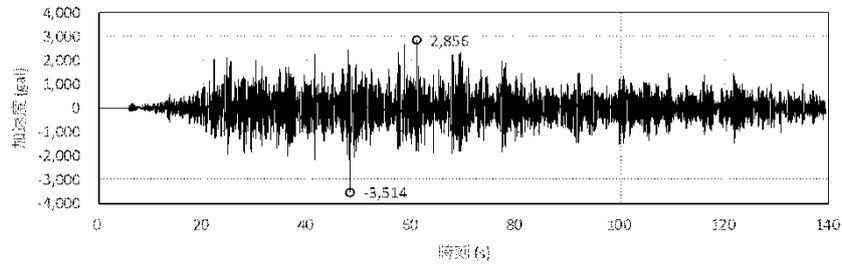
○: 解析実施ケース

【本震時】

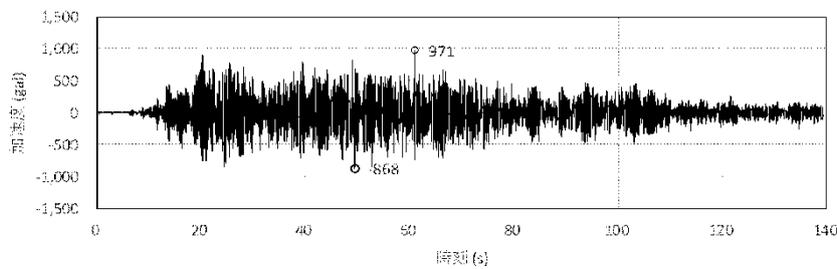
①3 方向（X 方向（堤軸）包絡波）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

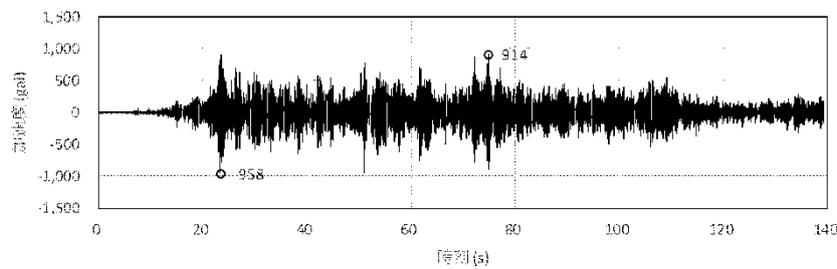
3 軸方向（X, Y, Z）の加速度時刻歴を図 7 に示す。



水平（X 方向）加速度



水平（Y 方向）加速度



鉛直（Z 方向）加速度

図 7 3 方向（X 方向（堤軸）包絡波）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図8に示す。

浮き上がり量は最大で0.55mm (図8-1)であることを確認した。

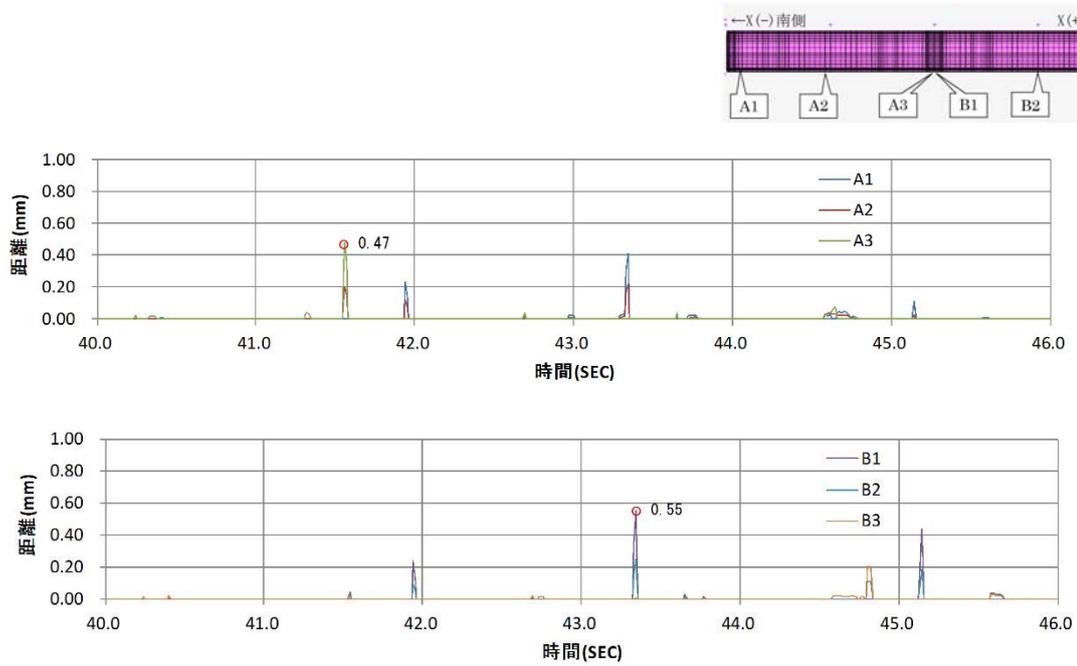


図8-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

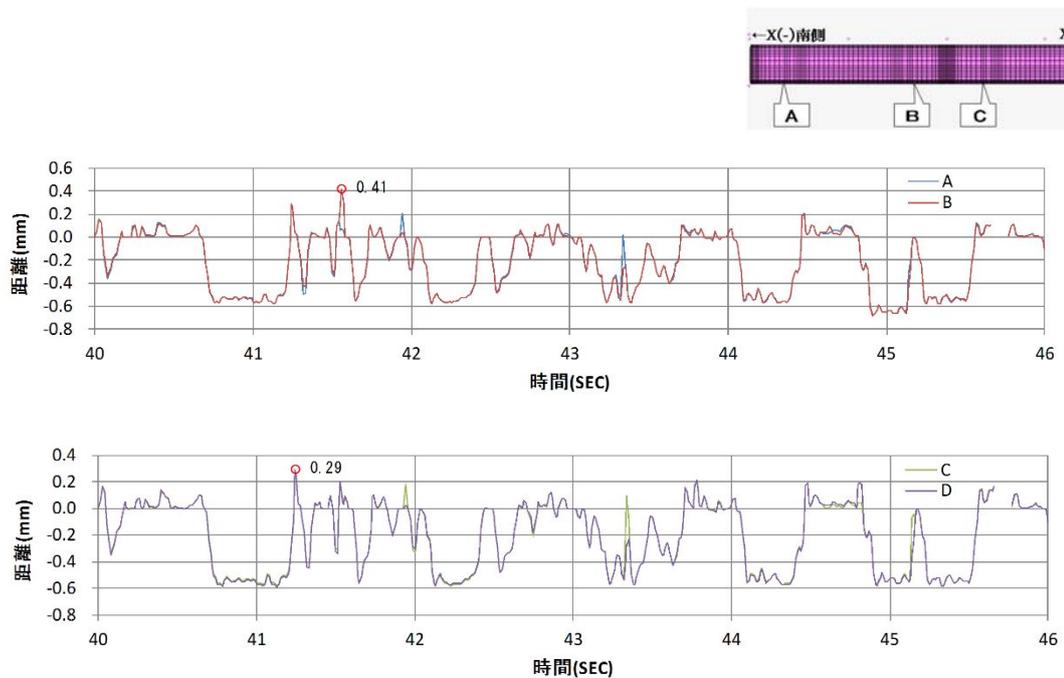


図8-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

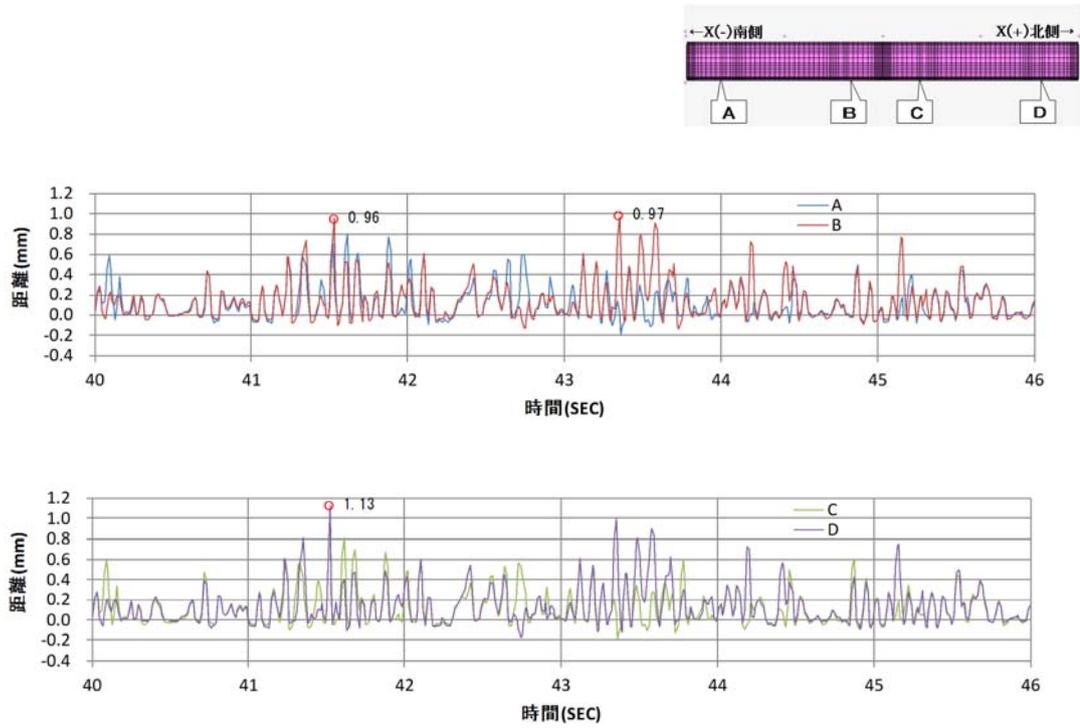


図 8-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 8 (1/2) 3 方向 (X 方向 (堤軸) 包絡波) の解析結果

(c) 実機モデルの解析

実機モデルの解析結果を図 8 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.65mm であることを確認した。

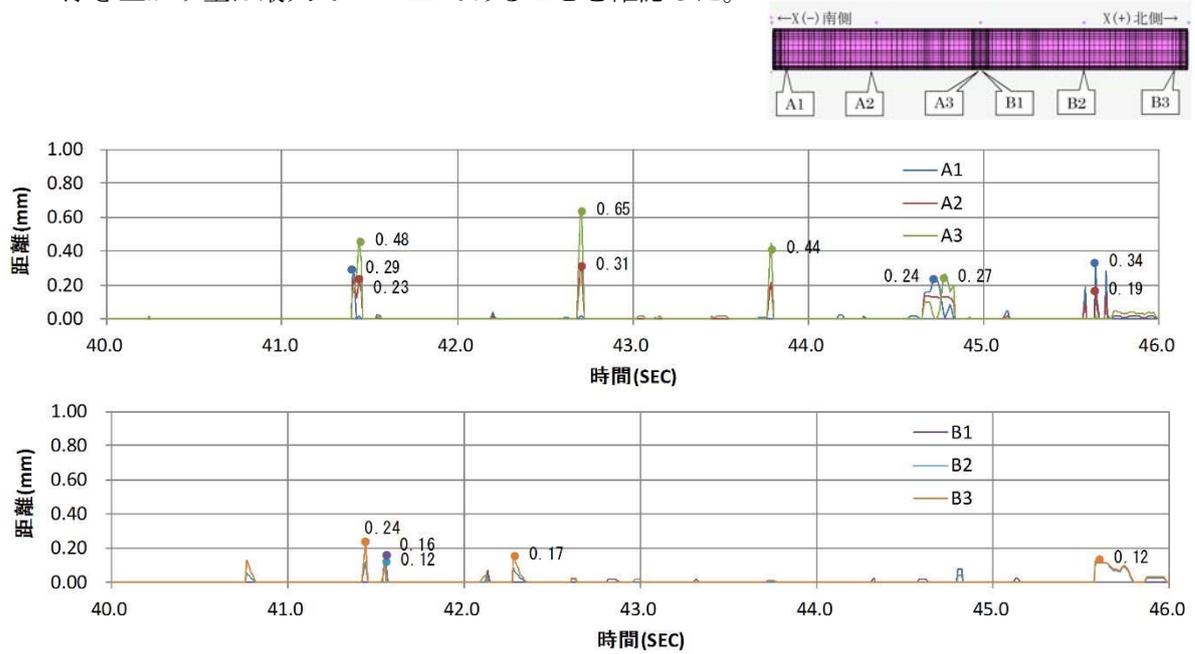


図 8-4 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

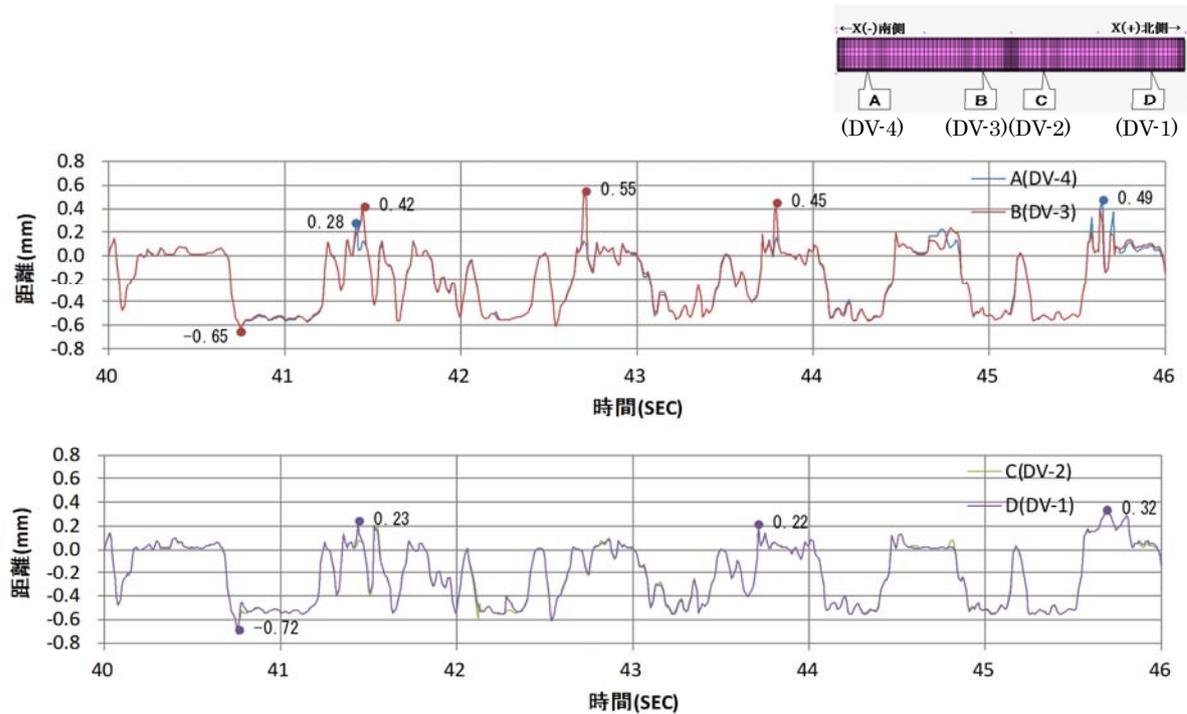


図 8-5 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

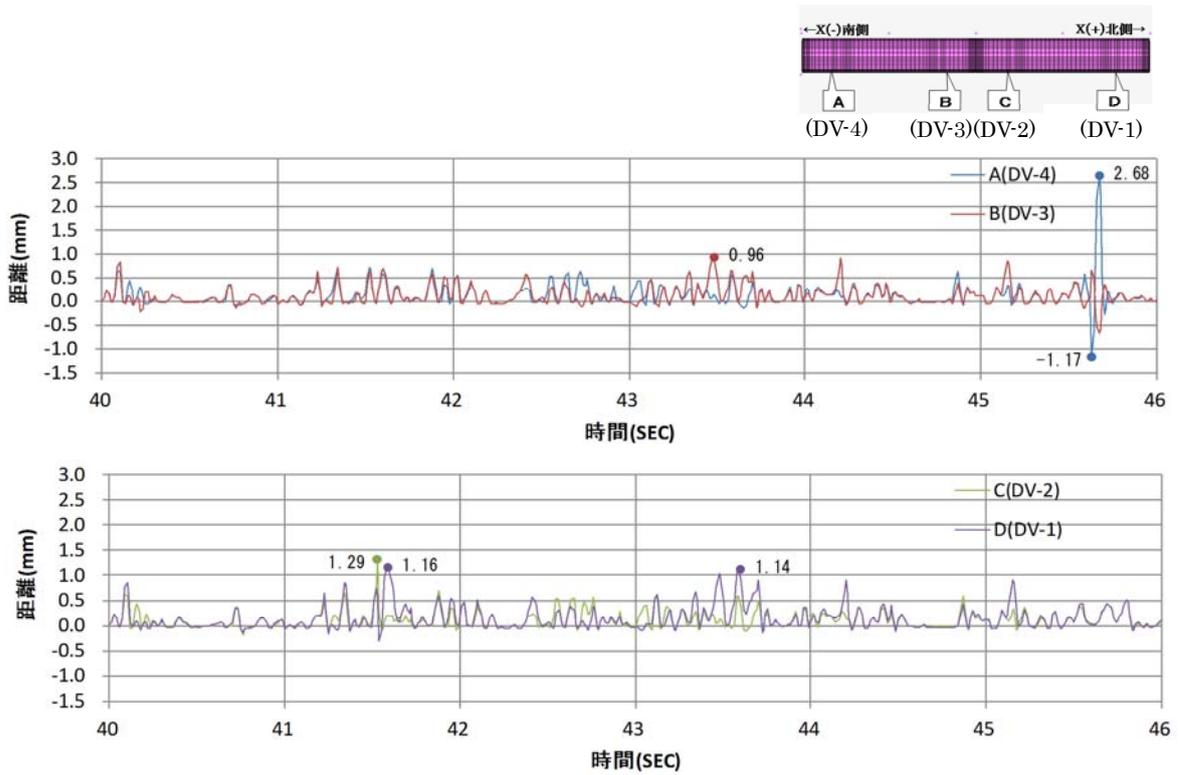


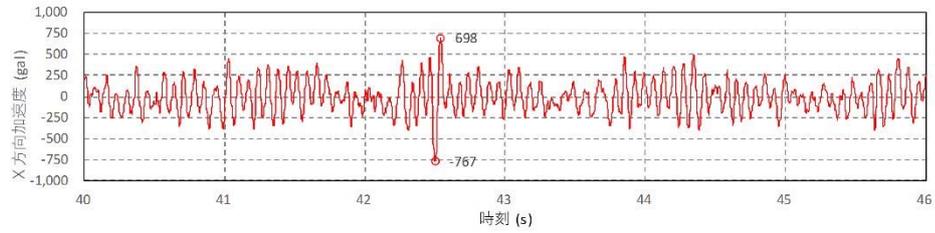
図 8-6 止水板と側面戸当りとの距離（浮上り量）実証試験計測位置

図 8 (2/2) 3 方向（X 方向（堤軸）包絡波）の解析結果

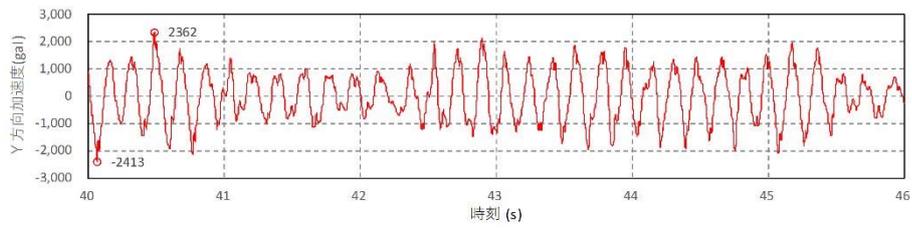
②3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

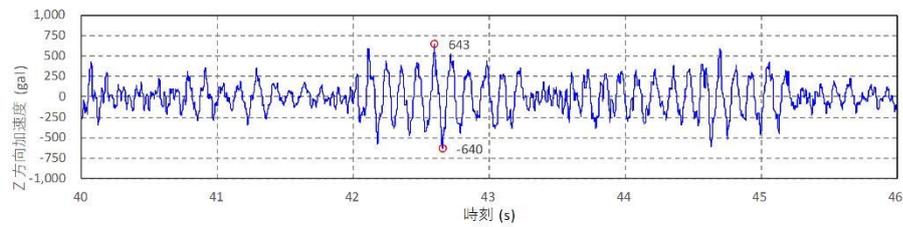
3 軸方向（X, Y, Z）の加速度時刻歴を図 9 に示す。



水平（X 方向）加速度



水平（Y 方向）加速度



鉛直（Z 方向）加速度

図 9 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 10 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.72mm (図 10-1) であることを確認した。

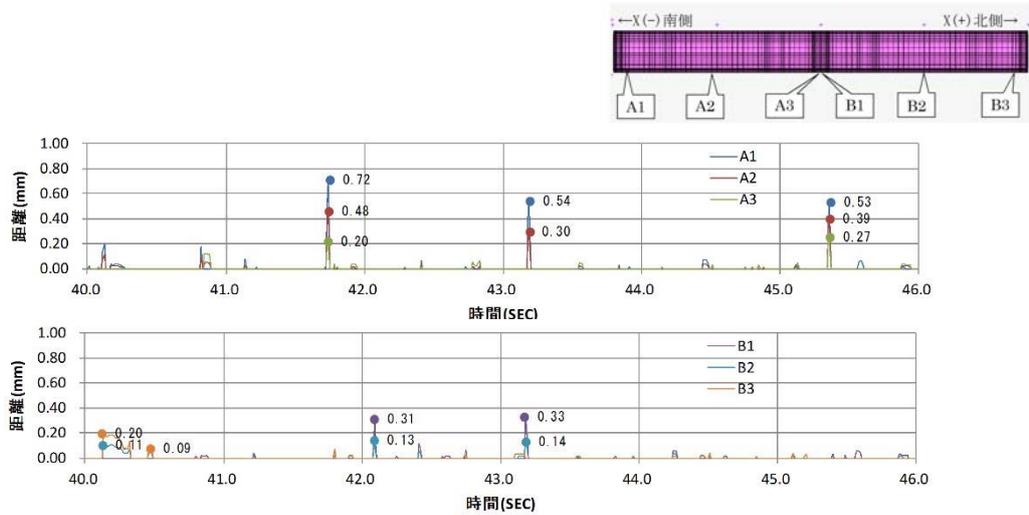


図 10-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

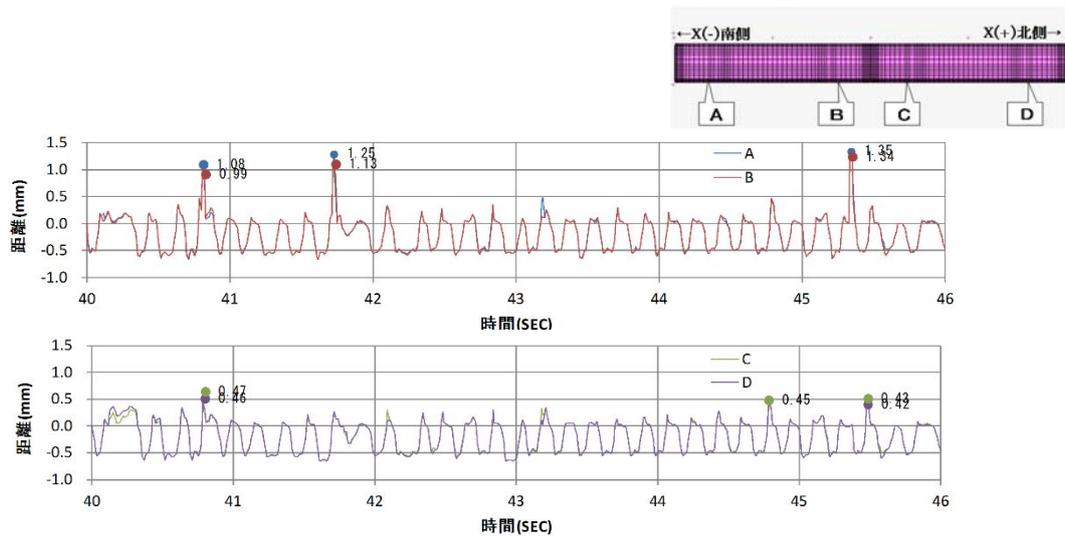


図 10-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

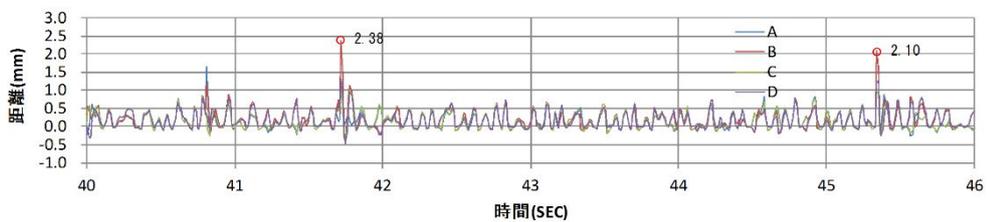


図 10-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 10 (1/2) 3 方向 (Y 方向 (堤軸直角) 包絡波) の解析結果

【実証試験モデル】

(c) 実機モデルの解析

実機モデルの解析結果を図 8 に示す。

浮き上がり量は最大で 1.92mm であることを確認した。

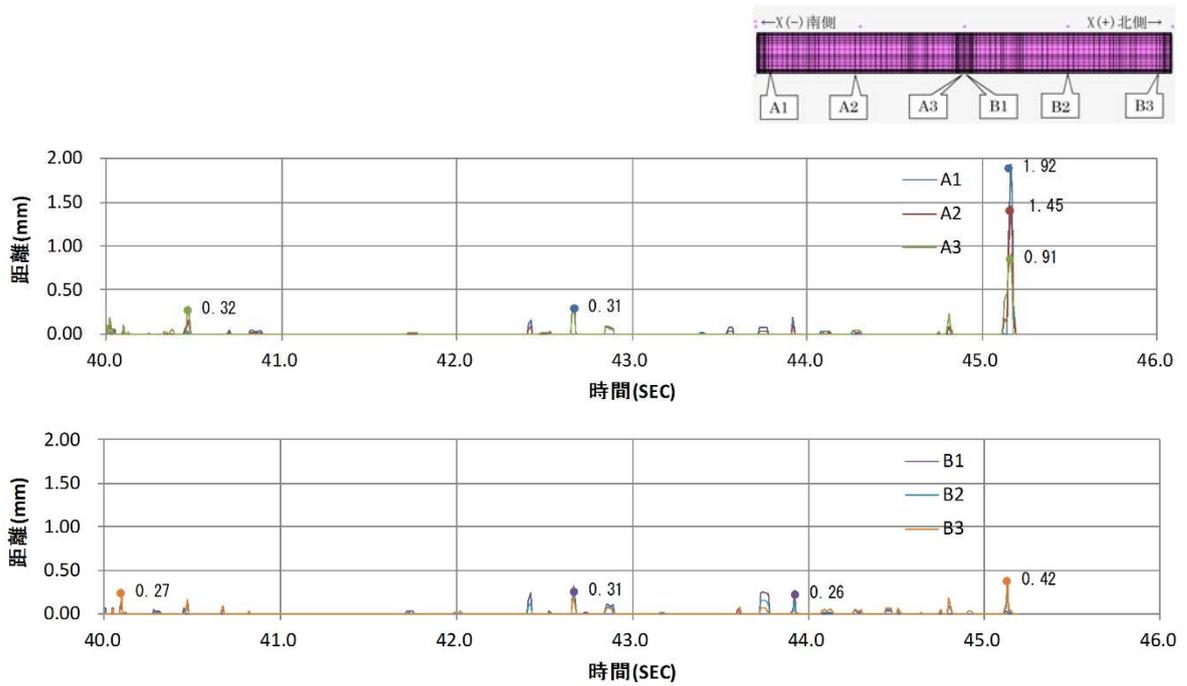


図 10-4 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮上り量）

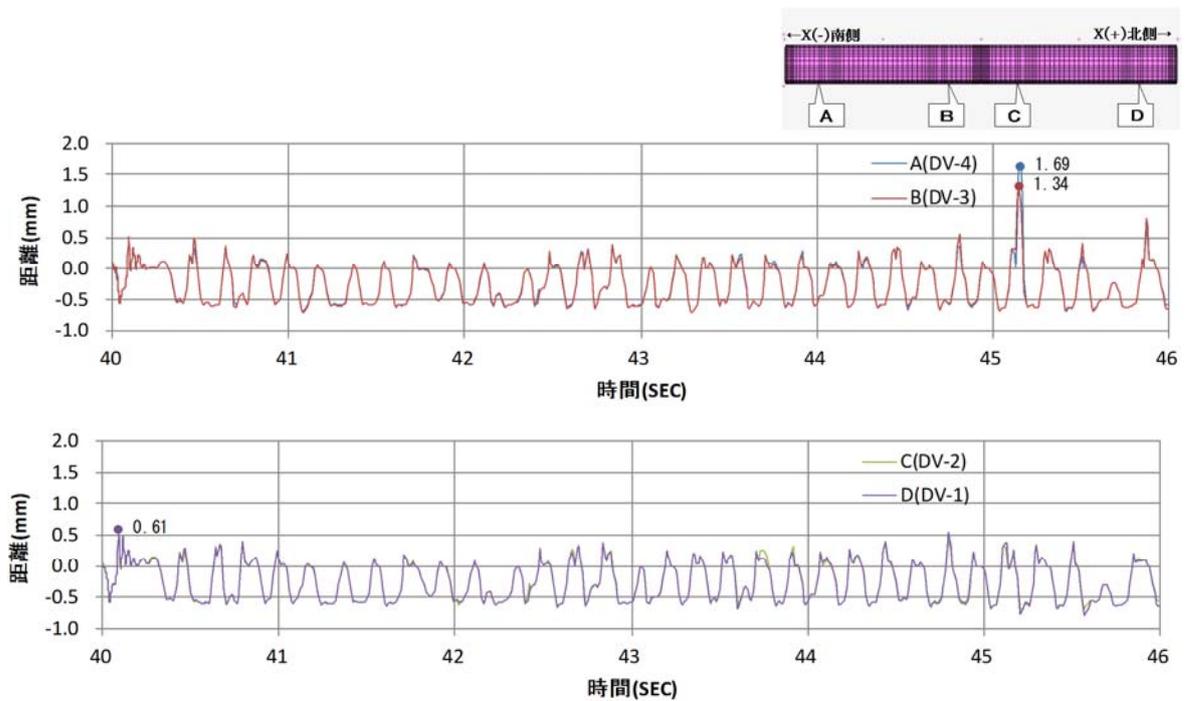


図 10-5 止水板と底面戸当りとの距離（浮上り量）実証試験計測位置

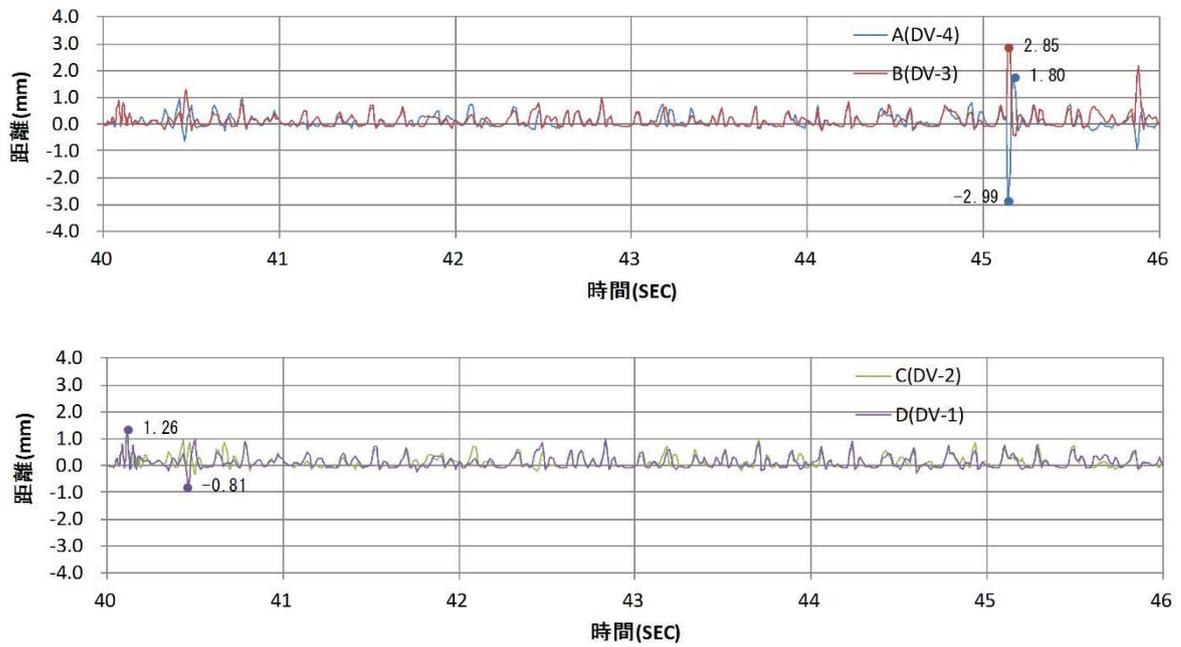


図 10-6 止水板と側面戸当りとの距離（浮上り量）実証試験計測位置

図 10 (2/2) 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）の解析結果

③鉛直（鋼製防護壁包絡波）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

鉛直方向（Z方向）の加速度時刻歴を図 11 に示す。

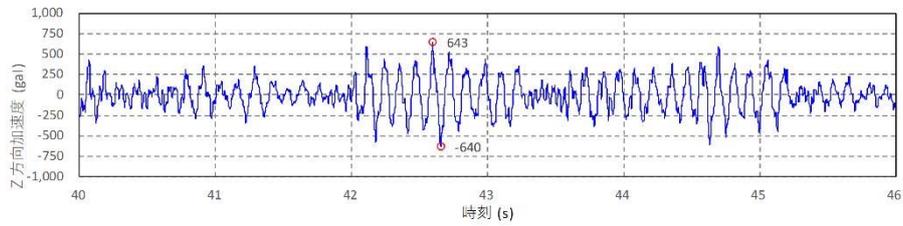


図 11 鉛直（鋼製防護壁包絡波）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 12 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.00mm (図 12-1) であることを確認した。

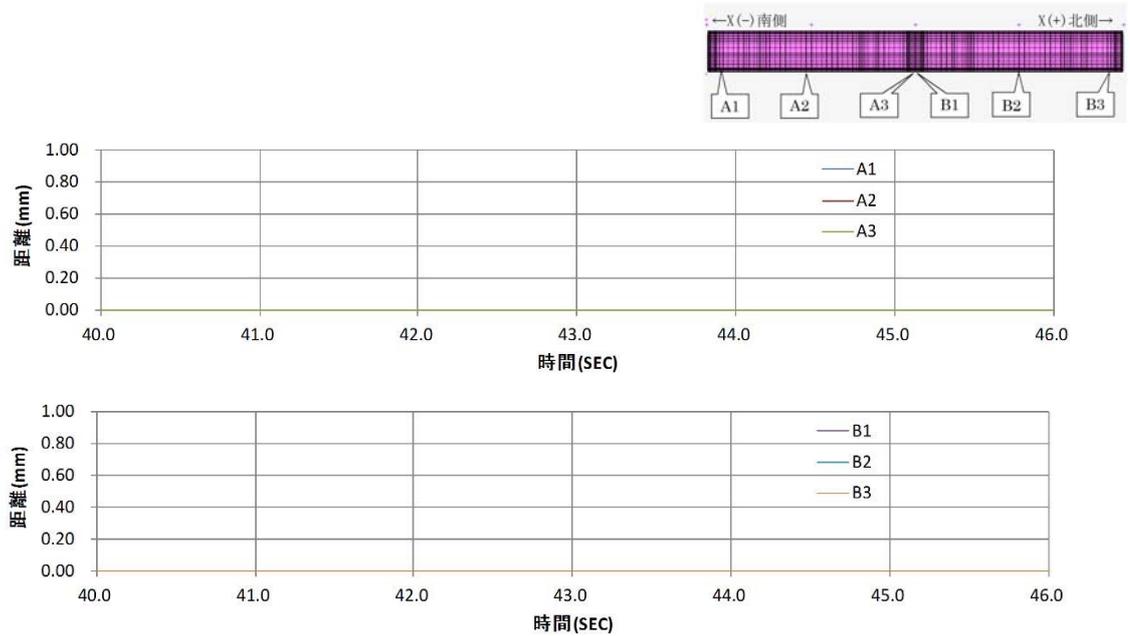


図 12-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

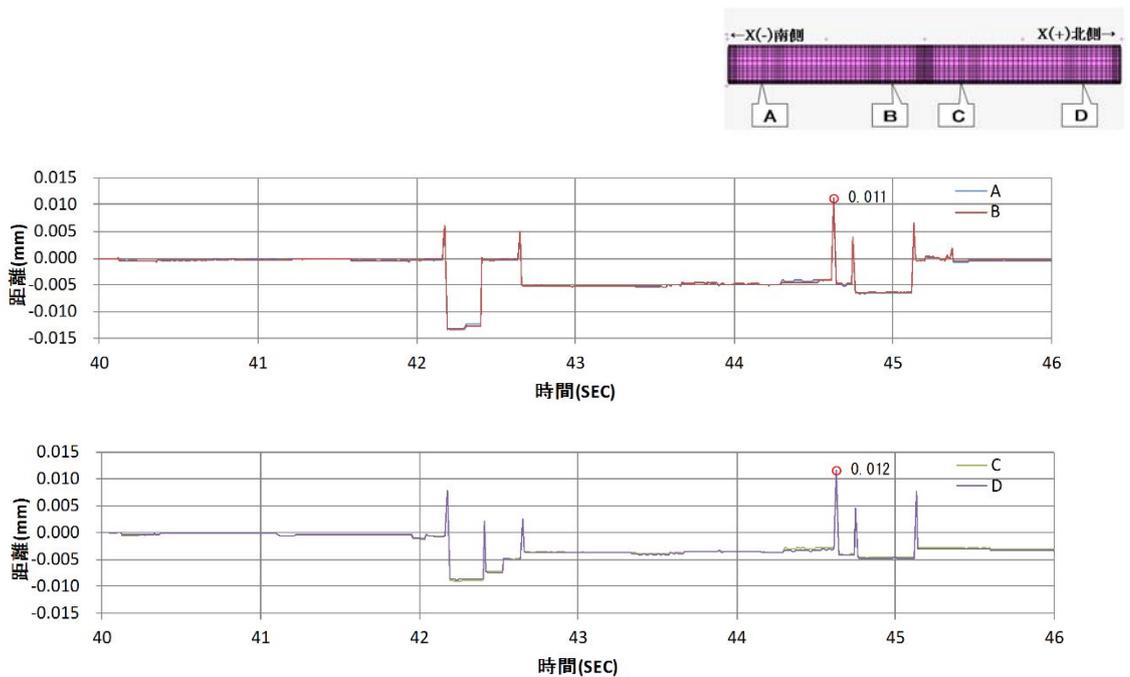


図 12-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

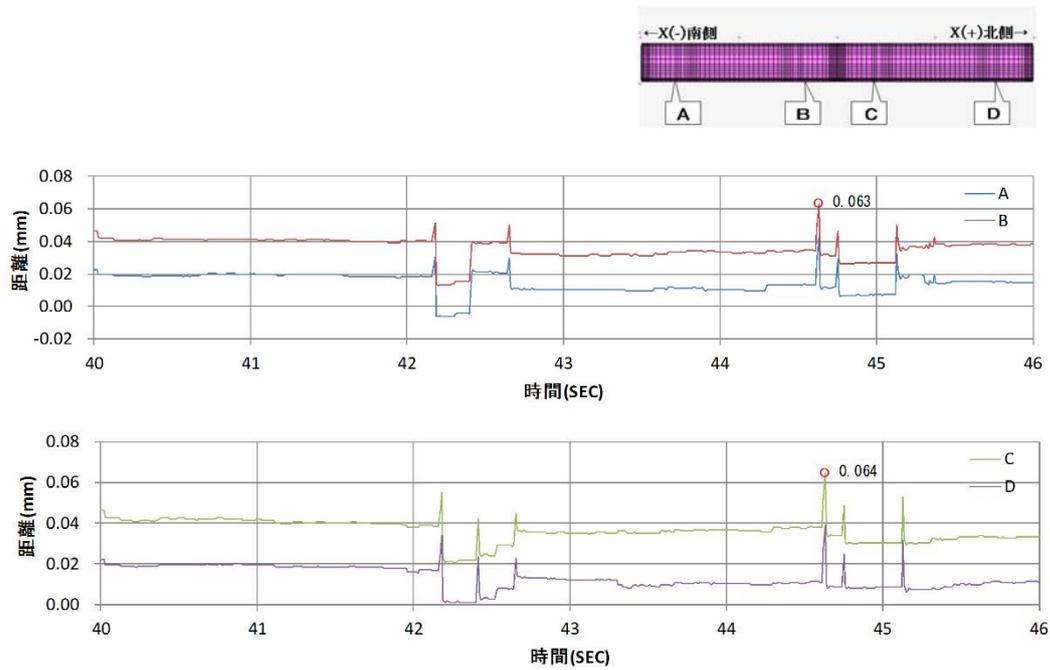


図 12-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 12 (1/2) 鉛直 (鋼製防護壁側包絡波) の解析結果
【実証試験モデル】

④鉛直（取水路側包絡波）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

鉛直方向（Z方向）の加速度時刻歴を図13に示す。

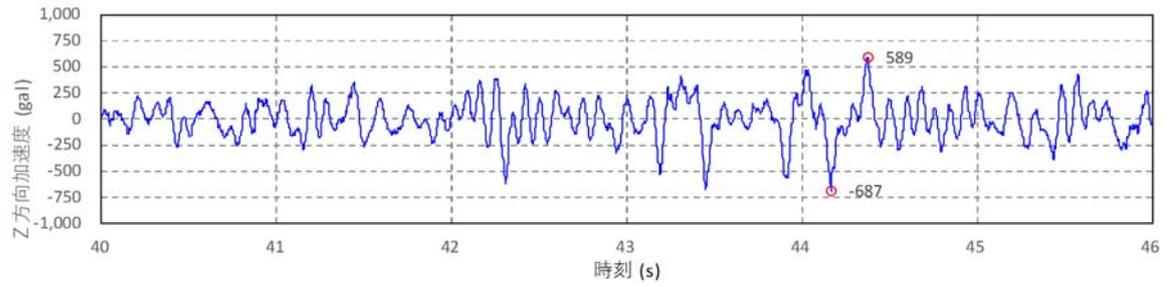


図13 鉛直（取水路波形入力）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 14 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.08mm (図 14-1) であることを確認した。

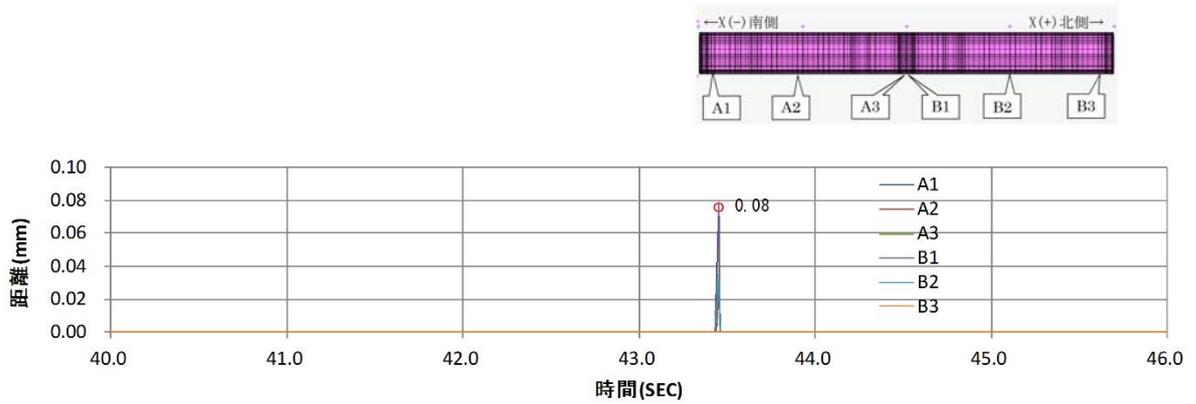


図 14-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

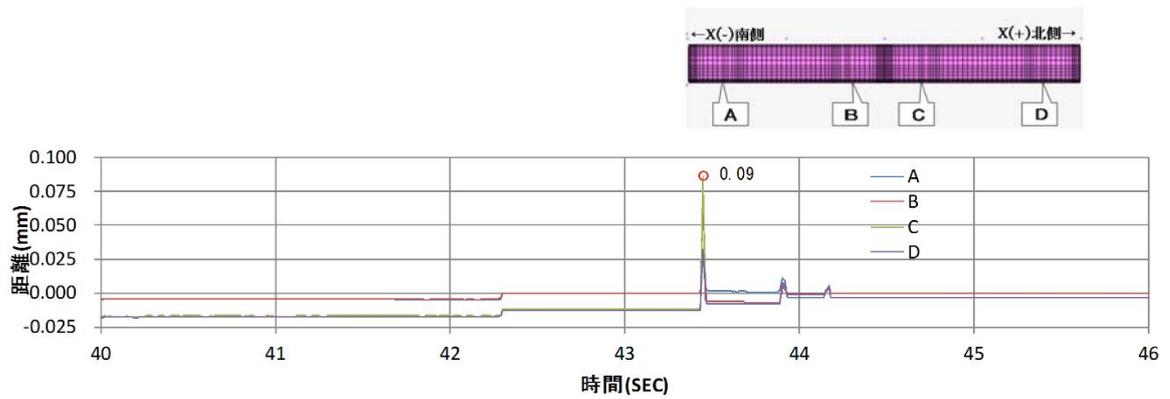


図 14-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

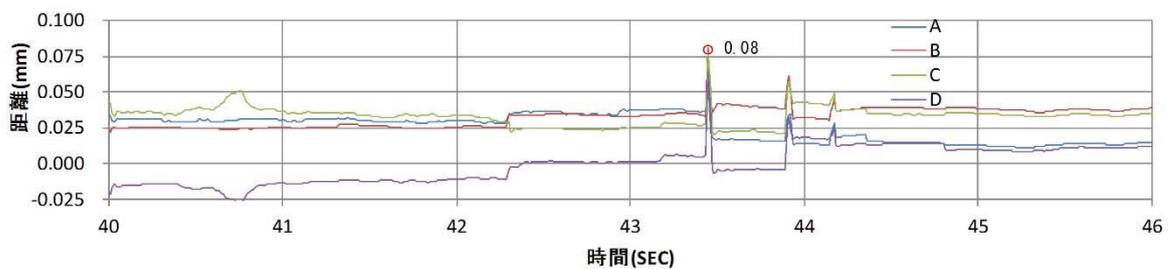


図 14-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 14 (1/2) 鉛直 (取水路波形入力) の解析結果
【実証試験モデル】

(c) 実機モデルの解析結果

実機モデルの解析結果を図 14 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.05mm (図 14-4) であることを確認した。

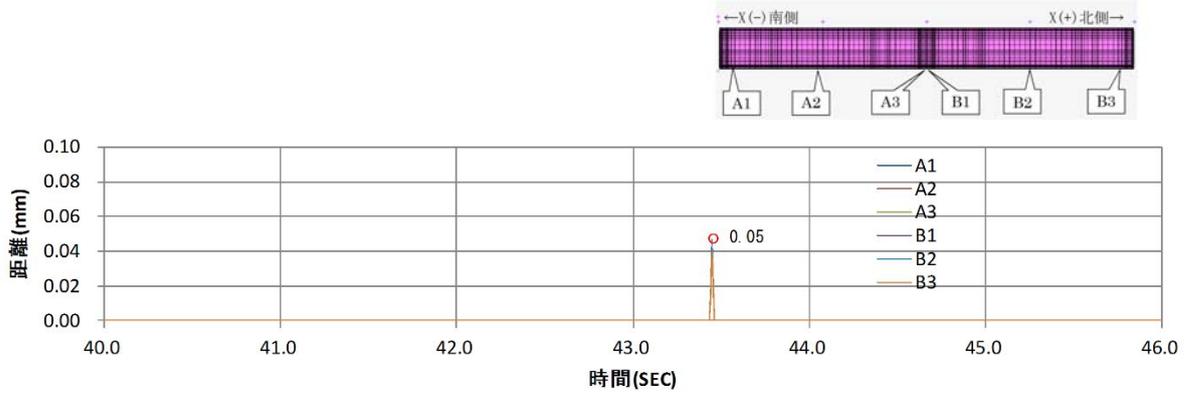


図 14-4 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

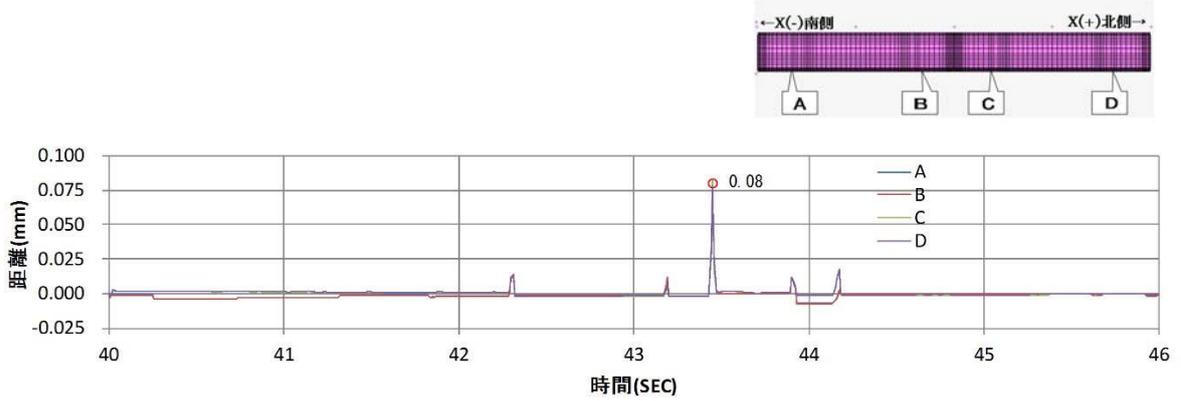


図 14-5 止水板と底面戸当りとの距離 (浮き上がり量) 実証試験計測位置

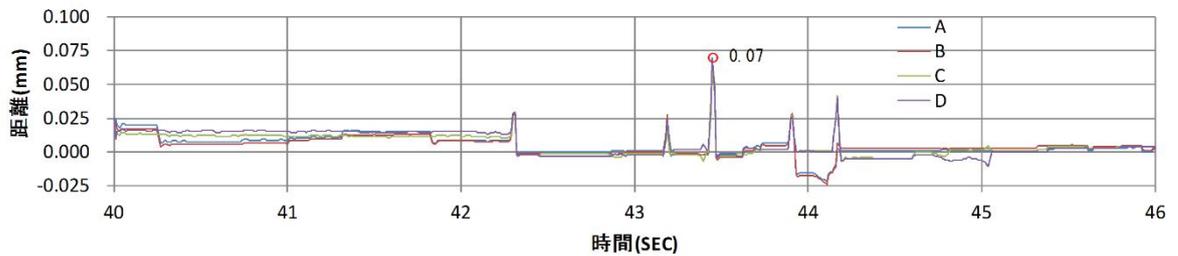


図 14-6 止水板と側面戸当りとの距離

図 14 (2/2) 鉛直 (取水路波形入力) の解析結果
【実機モデル】

【余震時】

③鉛直（取水路側波形入力）の解析結果

(a) 加速度時刻歴

鉛直方向（Z方向）の加速度時刻歴を図15に示す。

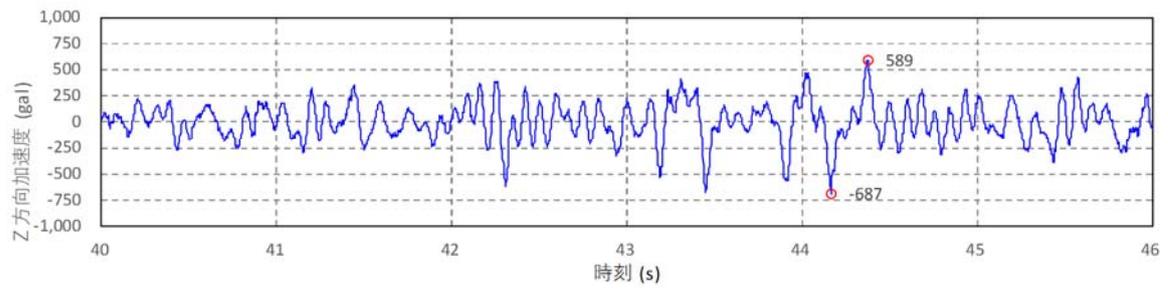


図15 鉛直（取水路波形入力）の加速度応答時刻歴

(b) 実証試験モデルの解析結果

実証試験モデルの解析結果を図 16 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.00mm (図 16-1) であることを確認した。

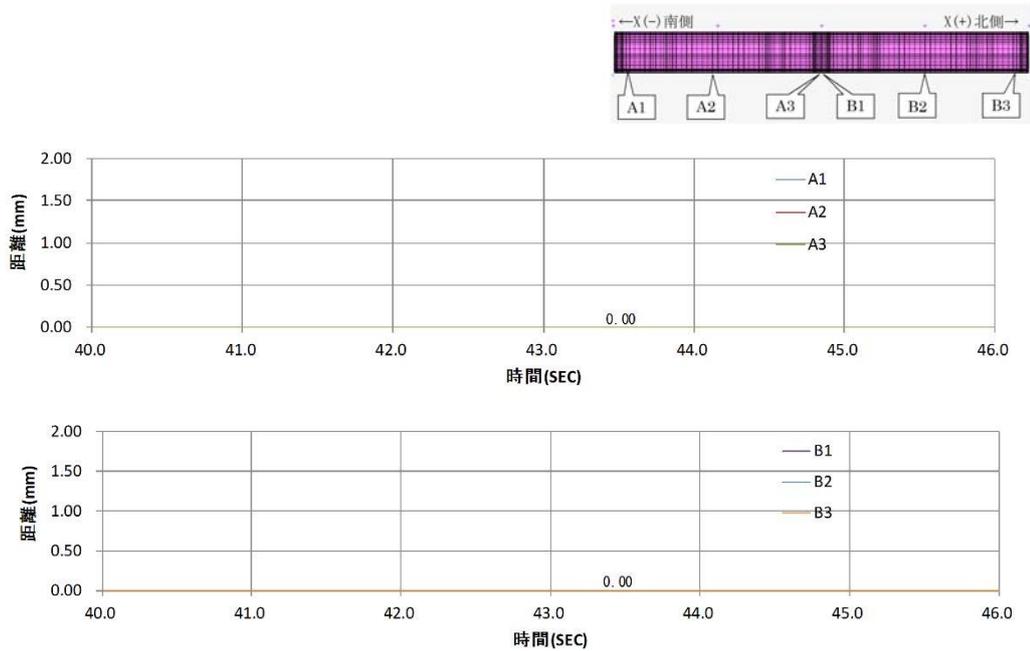


図 16-1 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

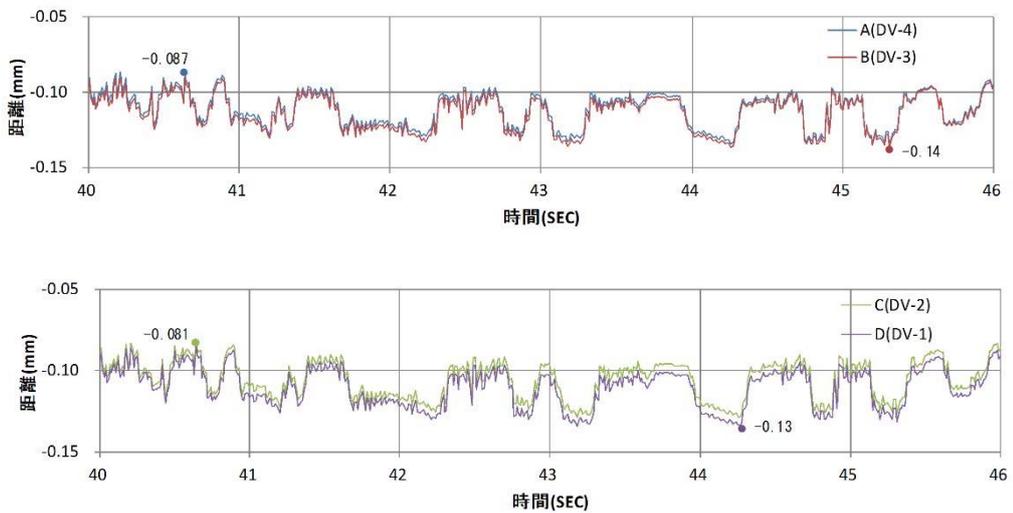


図 16-2 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

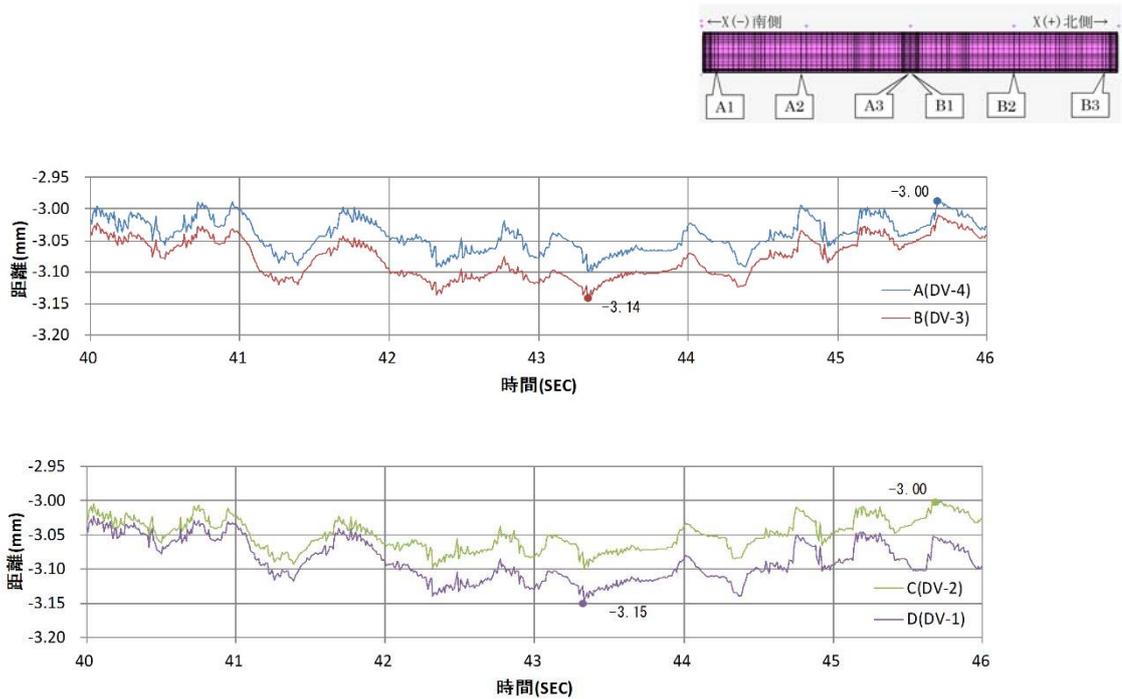


図 16-3 止水板と側面戸当りとの距離

図 16 (1/2) 鉛直 (取水路波形入力) の解析結果
【実証試験モデル】

(c) 実機モデルの解析結果

実機モデルの解析結果を図 16 に示す。

浮き上がり量は最大で 0.27mm (図 16-4) であることを確認した。

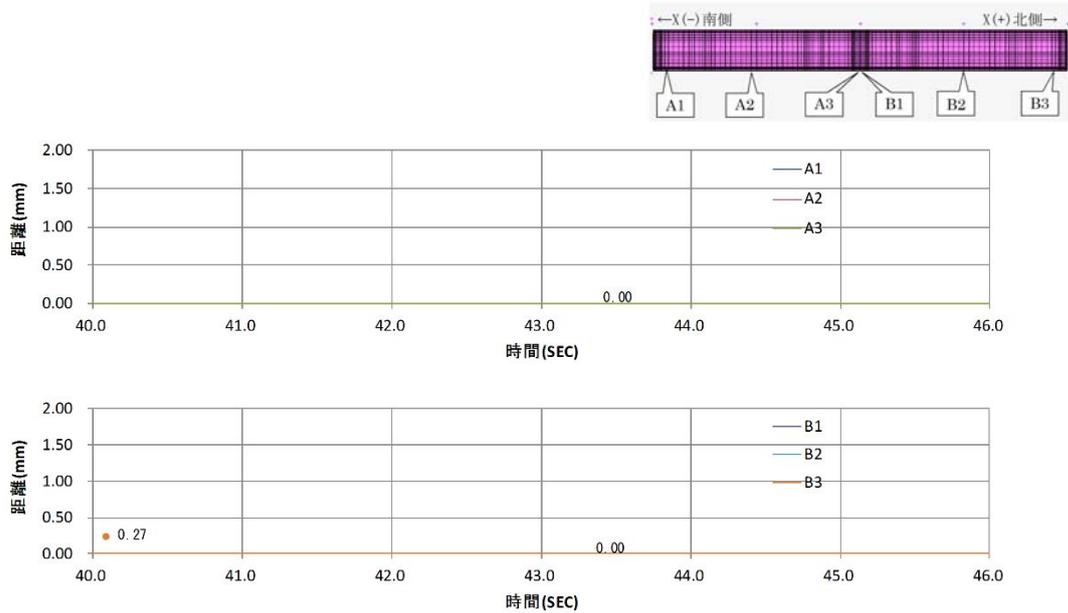


図 16-4 止水板コマと底面戸当りとの距離 (浮上り量)

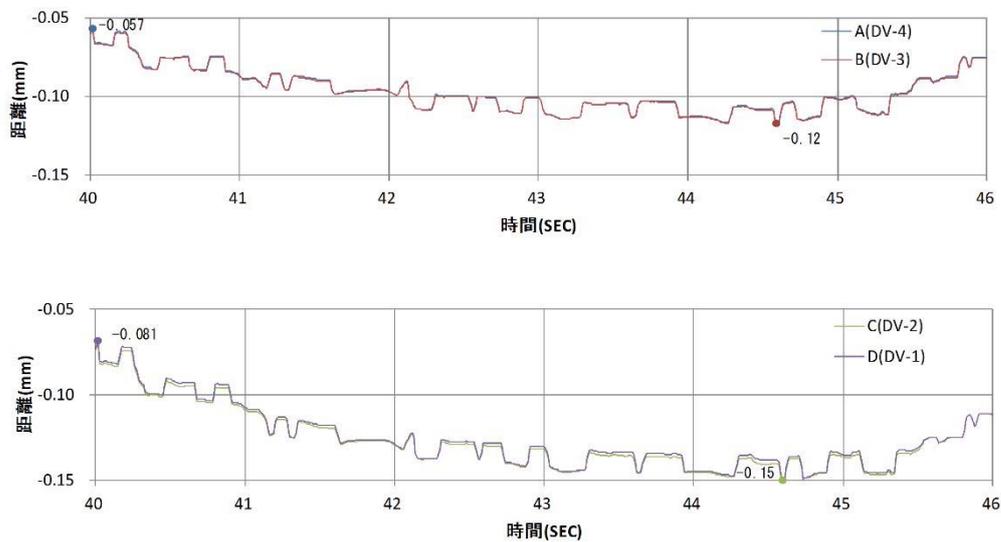


図 16-5 止水板と底面戸当りとの距離 (浮上り量) 実証試験計測位置

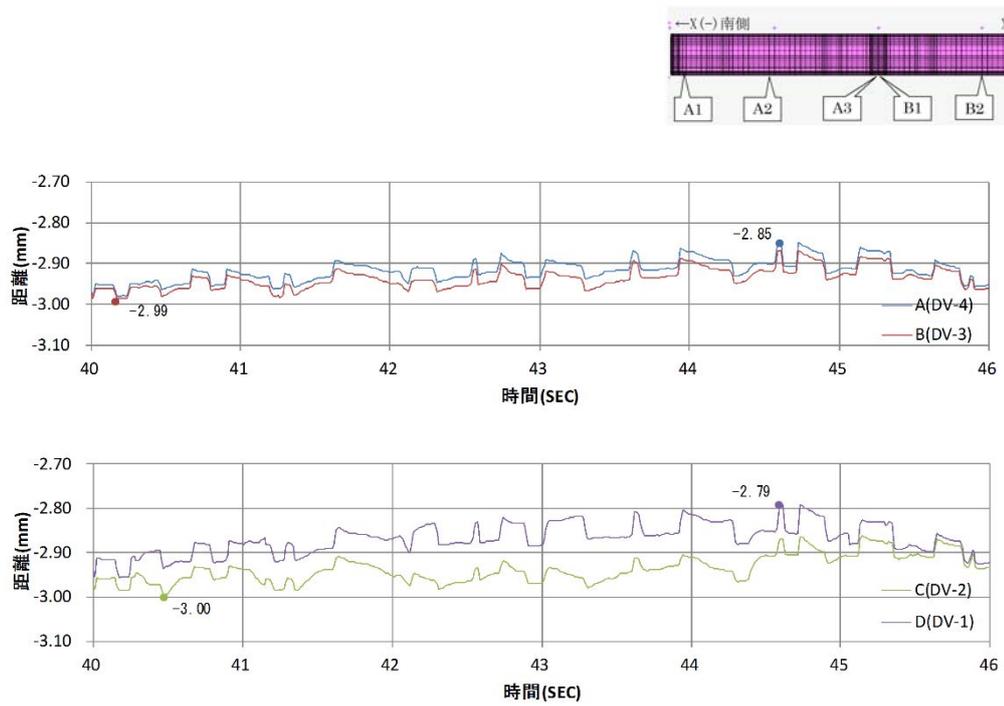


図 16-6 止水板と側面戸当りとの距離

図 16 (2/2) 鉛直 (取水路波形入力) の解析結果
【実機モデル】

(5) 実証試験モデルと実機モデルとの検証

鉛直の解析結果 (④鉛直く取水路波形入力), 実証試験モデルと実機モデルとの解析結果を比較すると, 止水板の浮き上がりの挙動やタイミング, 浮き上がり量はほぼ同じ結果が得られ, 止水板の挙動をよく再現できている結果が得られた。比較の結果を図 15 示す。

実機モデルの止水板押えは, 鋼製防護壁側にボルト接合されているため, 比較的剛性が高いのに対し, 実証試験モデルの場合は, 架構による支持のため剛性は低いものとなっている。また, 実機モデルにおける止水板は, 両端が連続して設置されているのに対し, 実証試験モデルの場合は, 両端が拘束されていない自由端となる。そのため, 実証試験モデルの場合は, 比較的浮き上がりの挙動が大きくなる傾向にある。

実証試験モデルと実機モデルの浮き上がりについて 2 枚の止水板の浮き上がりを検証した。検証結果を図 16, 図 17 示す。

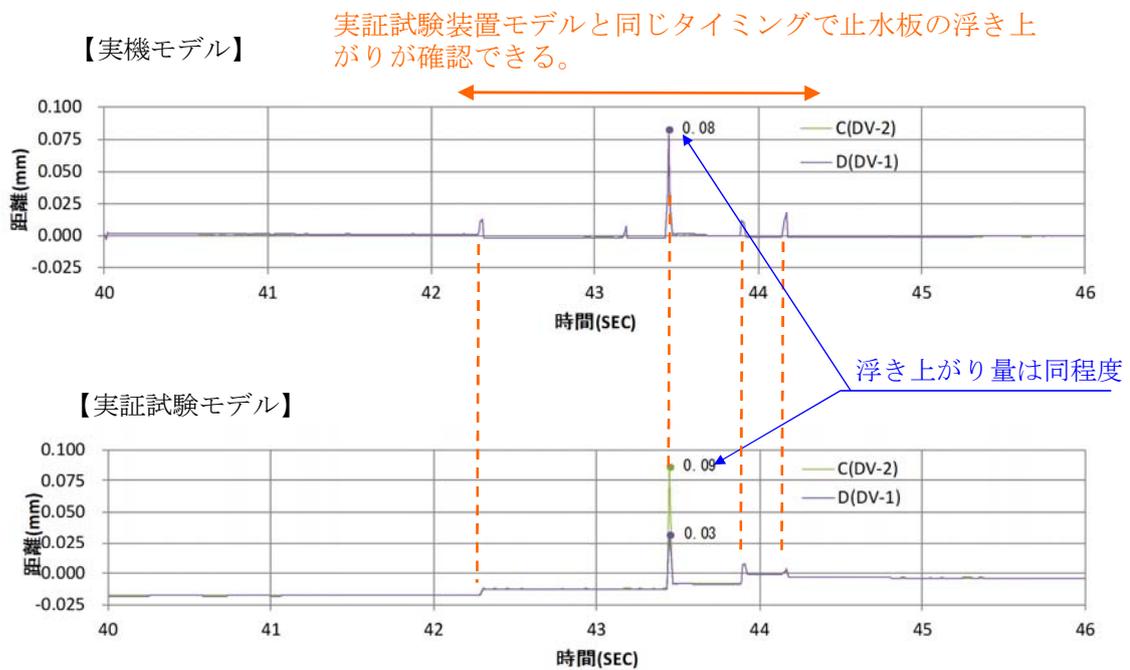


図 15 実機モデルと実証試験モデルの三次元的解析結果の比較

【実証試験モデルの検証】

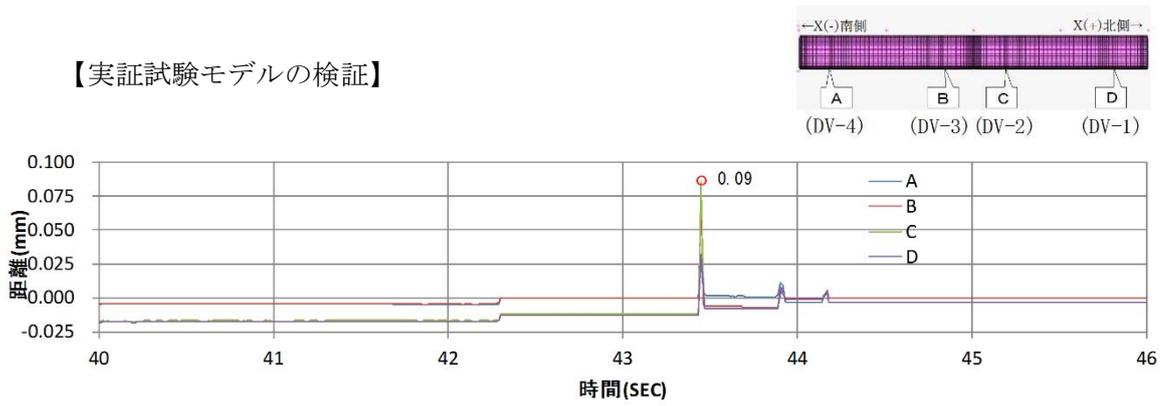


図 16-1 止水板コマと底面戸当りとの浮き上がり量

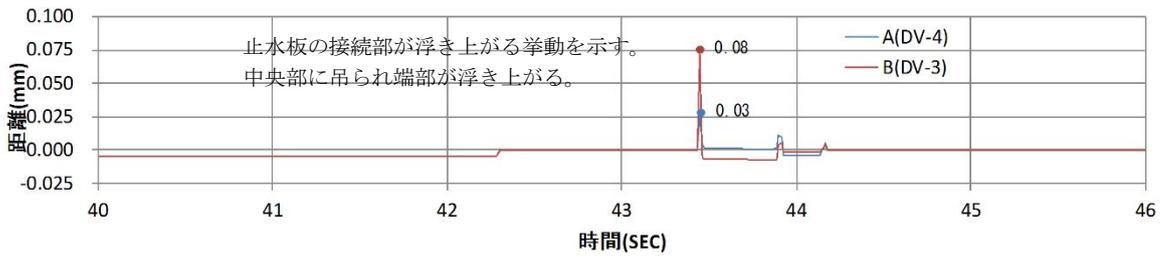


図 16-2 止水板 (A, B) の浮き上がり量

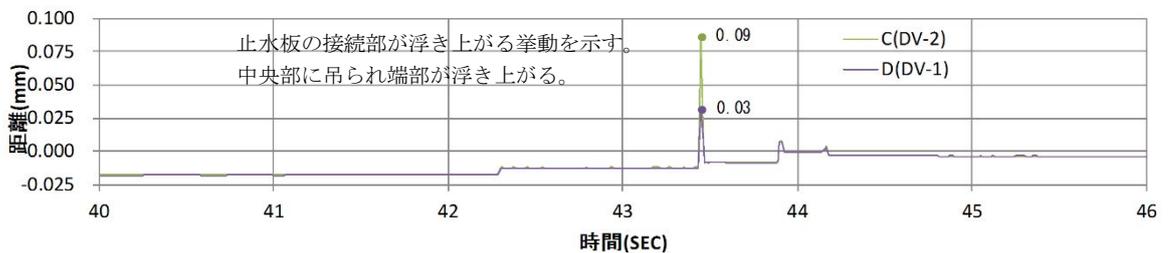
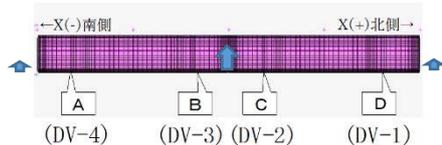


図 16-3 止水板 (C, D) の浮き上がり量

実証試験モデルは両端が拘束されていないため、中央部の浮き上がりに吊られ両端部も浮き上がる傾向が確認できる。浮き上がり量は最大で 0.09mm であった。

中央の浮き上がりに吊られて両端が浮き上がる。



止水板の浮き上がりの模式図



止水板の浮き上がり量 (mm)

【実機モデルの場合】

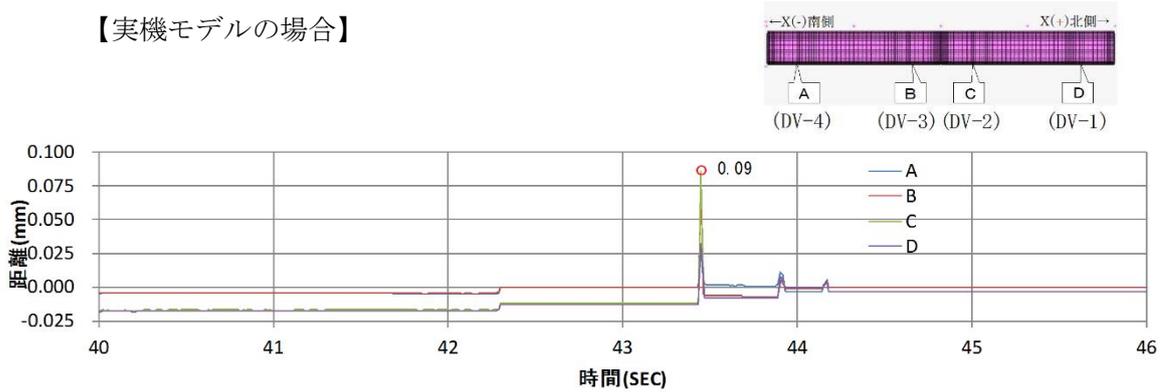


図 17-1 止水板コマと底面戸当りとの浮き上り量

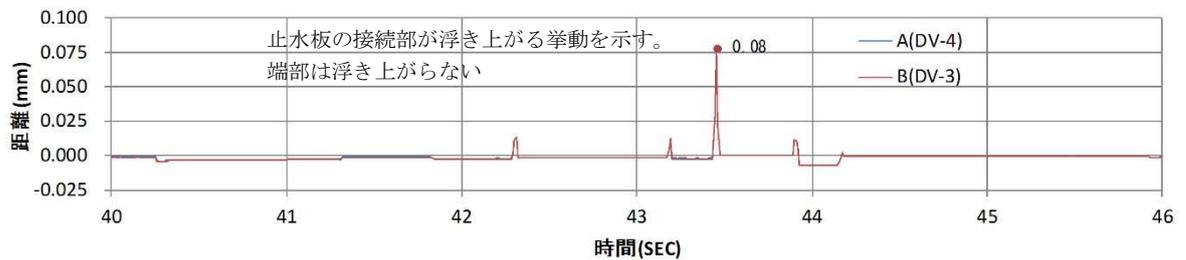


図 17-2 止水板 (A, B) の浮き上がり量

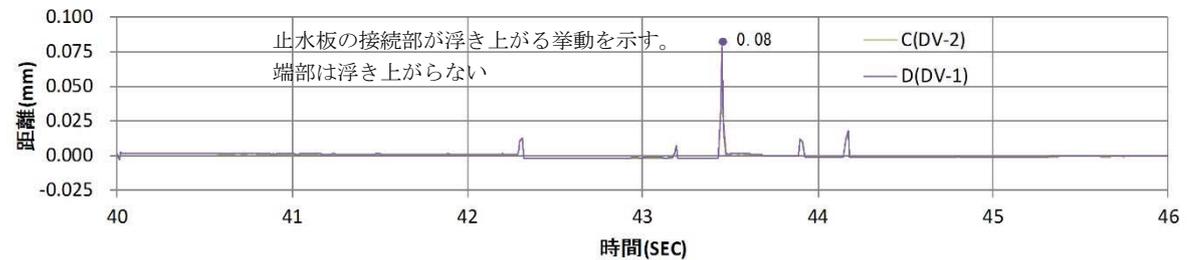
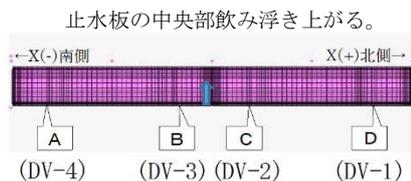
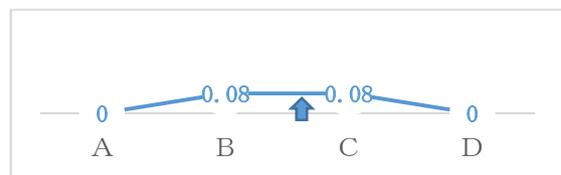


図 17-3 止水板 (C, D) の浮き上がり量

実機モデルは両端が拘束されているため、止水板の中央部が浮き上がるが両端は浮き上がらない傾向が確認できる。また、浮き上がり量の最大値は実証試験モデル 0.09mm に対し実機モデル 0.08mm とほぼ同じ浮き上がり量となった。



止水板の浮き上がりの模式図



止水板の浮き上がり量 (mm)

(6) 3方向同時加振の実証試験モデルの検証及び挙動

a. 実証試験モデルと実機モデルとの検証

鉛直の解析結果（②Y方向（堤軸直角）包絡波）、実証試験モデルと実機モデルとの解析結果を比較すると、止水板の浮き上がりの挙動やタイミング、浮き上がり量はほぼ同等の結果が得られ、止水板の挙動をよく再現できている結果が得られた。比較の結果を図18に示す。

実証試験結果を再現できた実証試験装置モデルによる三次元動的解析の結果と実機設計モデルによる三次元動的解析結果によく一致していることから、三次元動的解析による実機止水板の地震時の追従性の評価は問題ないと判断される。

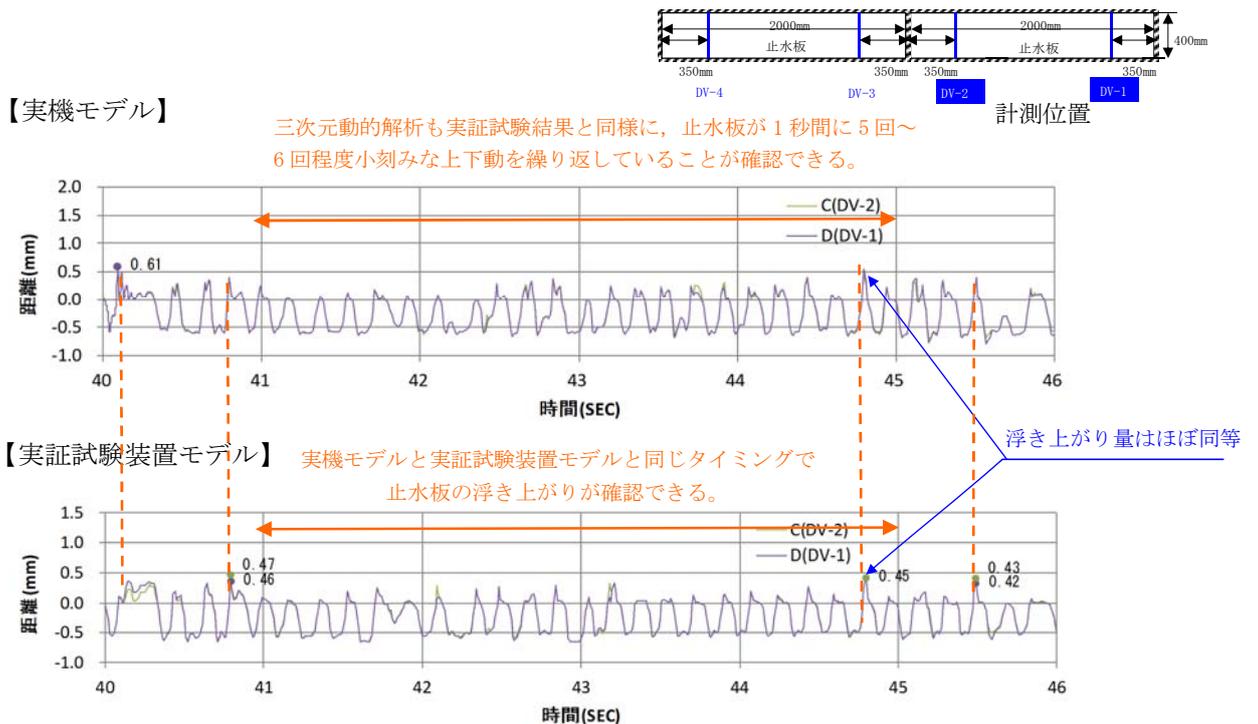


図18 実機モデルと実証試験装置モデルの三次元動的解析結果の比較

<実機モデル考察>

- ◆実証試験装置モデルにおける止水板の挙動と良く一致している。
- ◆このため、「実証試験結果」⇔「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」⇔「実機設計モデルによる三次元動的解析結果」に相関があり、実機設計において三次元動的解析の適用に問題ないと判断される。

<実証試験装置モデル考察>

- ◆実証試験結果の方が鉛直変位量（+側の絶対値）が約2倍大きい結果となっているが、実証試験結果の鉛直変位のうねりを考慮した場合の鉛直変位量は、実証試験装置モデルの鉛直変位量とほぼ同等である。
- ◆実機設計においては、実証試験結果の鉛直変位量（+側の絶対値）を安全側と捉え考慮する。但し、鉛直変位量自体が数mmと小さいため、浸水の観点からは実質問題はない。

b. 止水板の挙動検証

3方向同時加振（②3方向（Y方向包絡波））について止水板の挙動について検証を行った。

前述の（5）項の鉛直の解析の結果、止水板の両端が実機モデルは固定支持であるが、実証試験モデルは自由端であるため、3方向同時加振の2枚の止水板の挙動、浮き上がるタイミング、浮き上がり量は一致しない傾向にあることが分かった。

また、実証試験モデルは両端部分の浮き上がりが大きくなる傾向がある。検証結果を図19に示す。

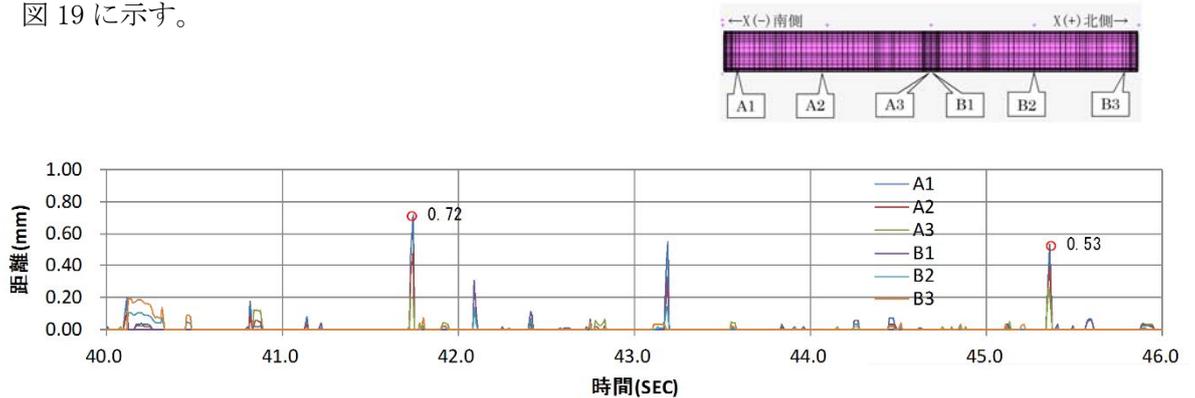


図 19-1 止水板コマと底面戸当りとの距離（浮上り量）



図 19-2 止水板の A 側（A1～A3）の浮き上がり量

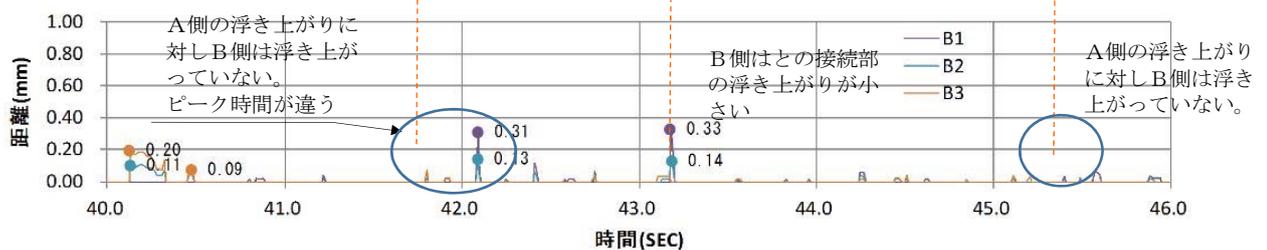


図 19-3 止水板の B 側（B1～B3）の浮き上がり量

上記の解析結果を分析すると、A側の浮き上がりのピークに対しB側は浮き上がっていない。また、浮き上がりのピーク時間も違い、浮き上がりもB側の方が小さな傾向にあることが確認できる。

そのため、実証試験における2枚の止水板の鉛直変位による距離は、2枚同じ挙動を示さず、止水板の端部の浮き上がりが大きくなる傾向が解析結果より確認できる。

6.1.3.4 実証試験に用いる地震動の作成，実証試験及び三次元動的解析のケースについて

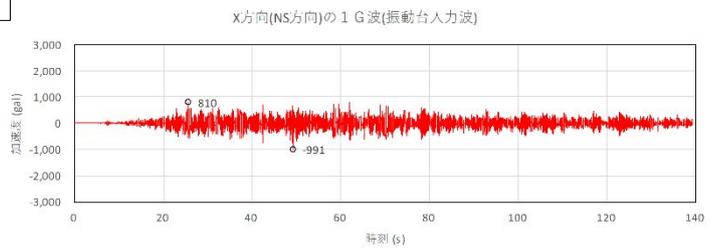
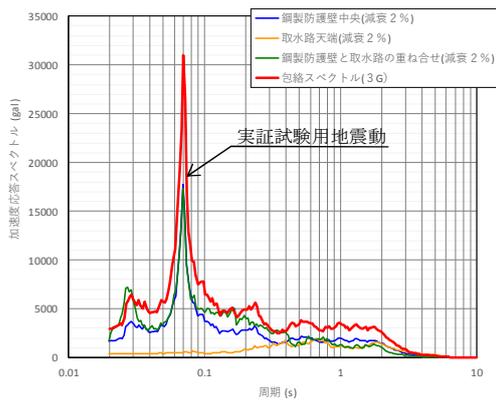
1. 本震

(1)本震時における実証試験用地震動の加速度応答スペクトルと時刻歴波形

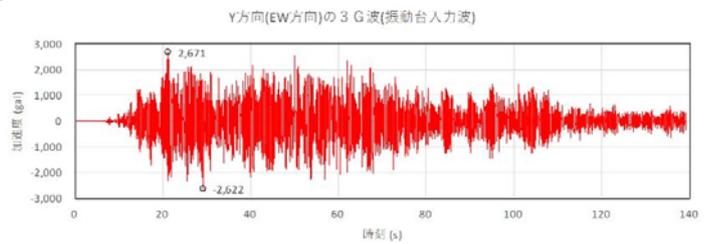
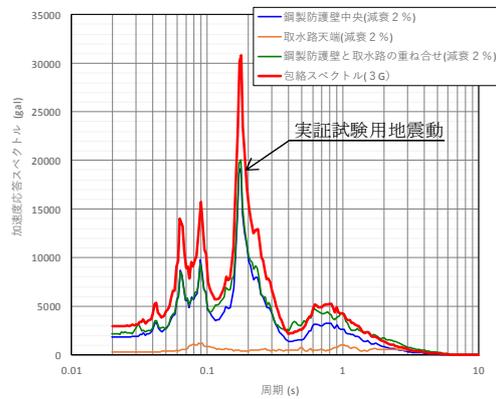
XY方向の水平加振については，振動台の能力(3G)の範囲で包絡波を作成した。

Z方向の鉛直加振については，振動台の能力(1G)を超えるため，実証試験において振動台の鉛直性能の最大の1Gの加振により実施する。

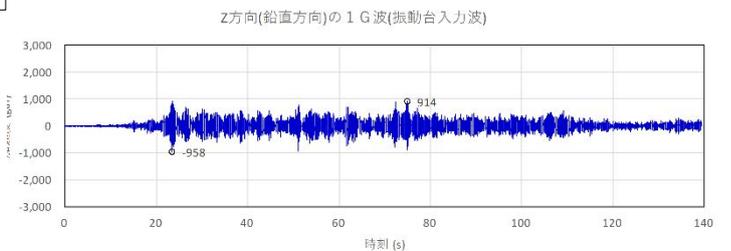
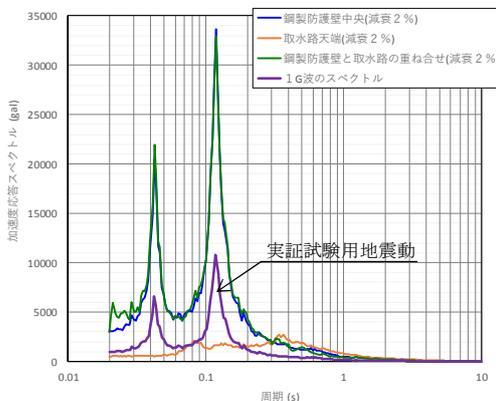
図1に三方向(X, Y, Z)の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルと加速度時刻歴を示す。



加速度応答スペクトルと時刻歴波形 (X方向 (NS))



加速度応答スペクトルと時刻歴波形 (Y方向 (EW))



加速度応答スペクトルと時刻歴波形 (Z方向)

図1 三方向 (X, Y, Z) の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルと加速度時刻歴

(2) 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

本震時における実証試験のケースと検証に用いる三次元動的解析の実施ケースを表1に示す。

実証試験実施前に実施する項目は、実証試験に合わせた三次元動的解析を実施し、実証試験結果の報告時には、実機モデルでの三次元動的解析を実施し止水板の挙動を検証する。

a. 水平方向 (X, Y)

水平方向の加振は、Y方向 (EW) の包絡波で加振 (②) を行う。X方向 (NS) については振動台の能力(1G)が上限であることから、Y方向 (EW) にX方向 (NS) の包絡波を入力し方向を反転させた加振 (①) を行なうことで止水板の挙動を確認する。

b. 鉛直方向 (Z方向)

鉛直方向による加振試験については、実証試験による振動台の能力(1G)が上限であることから、鉛直方向の上限 (1G) を考慮したケース (①, ②) にて実証試験を行い、止水板の挙動を確認する。

また、データ拡充の観点から鋼製防護壁の波形と取水路の波形を与えたケース (③, ④) も実施し、止水板の挙動を確認する。

表1 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (X方向 (堤軸) 包絡波)	1 G	3 G (X包絡波)	1 G	○	○	3方向同時 (Y方向にX方向の地震動を入力。方向反転)
② 3方向 (Y方向 (堤軸直角) 包絡波)	1 G	3 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時 (図7に実証試験用入力地震動)
③ 鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独
④ 鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 (図8に実証試験用入力地震動)
⑤ 基準地震動 (S _s) (S _s -D1)	—			—	○	3方向同時
⑥ 基準地震動 (S _s)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

2. 余震

(3) 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

余震時における実証試験のケースと検証に用いる三次元動的解析の実施ケースを表2に示す。

表2 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (Y方向(堤軸直交)包絡波)	1 G	2 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時
② 鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③ 鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④ 基準地震動 (S _d) (S _d -D1)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

(3) 実証試験用地震動の作成について

◆ X方向（堤軸）の実証試験用地震動の作成

作成方法は、6.1.3-13頁に示す。

◆ Y方向（堤軸直角）の実証試験用地震動の作成

a. 二次元有効応力解析による鋼製防護壁基礎天端の応答時刻歴を算出する。（図2参照）

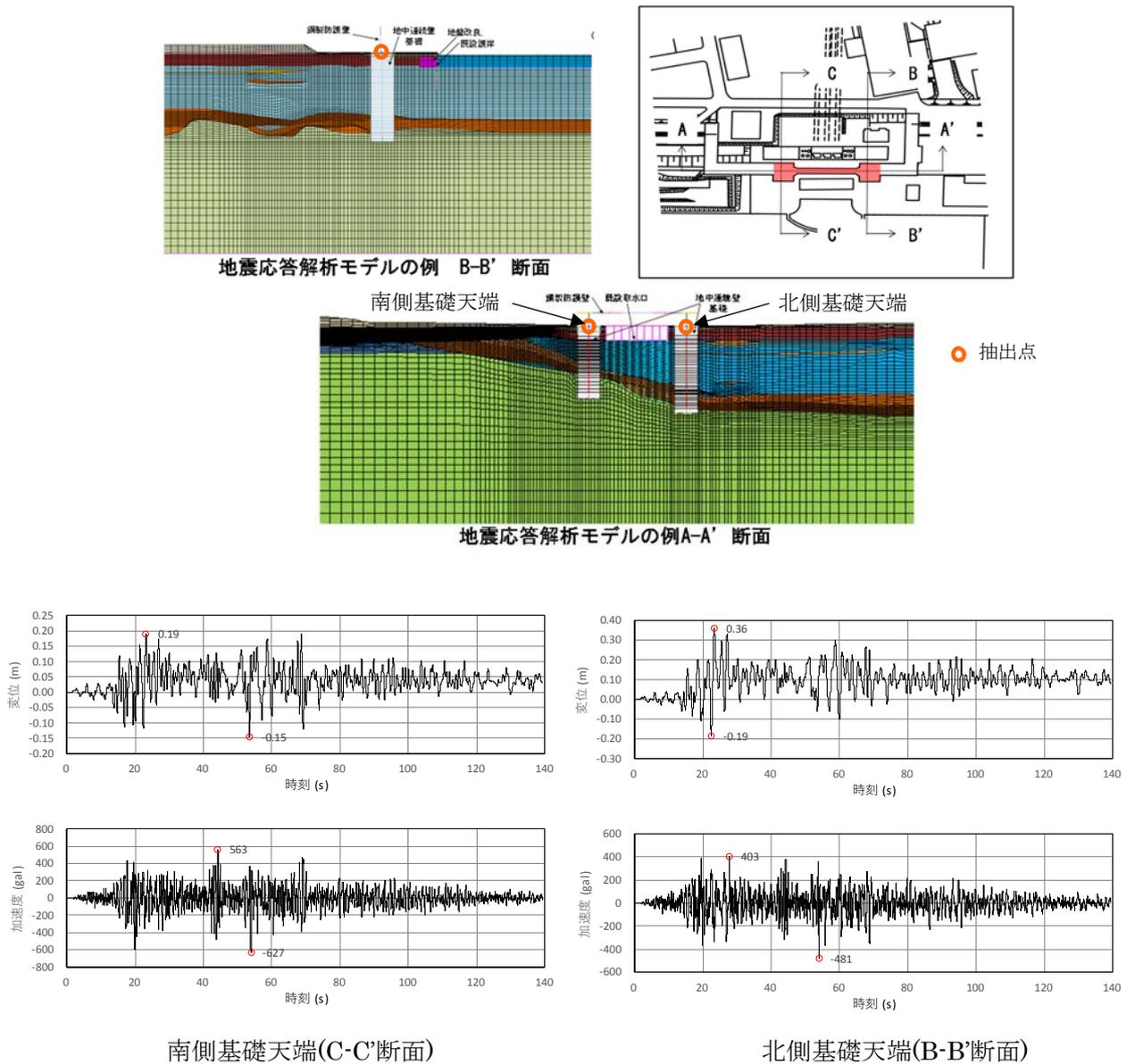


図2 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴

(堤軸直角方向；B-B'及びC-C'断面)

- b. 鋼製防護壁の三次元フレームモデルの基礎との接続部に前頁の a. に示す変位時刻歴を入力した動的解析を行い、止水機構位置の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 3 参照)

◎ 入力する変位時刻歴には組合せ係数法を考慮し、下記の 2 ケースを実施する。
堤軸方向(X)着目ケース：X1.0, Y0.4, Z1.0
堤軸直交方向(Y)着目ケース：X0.4, Y1.0, Z1.0

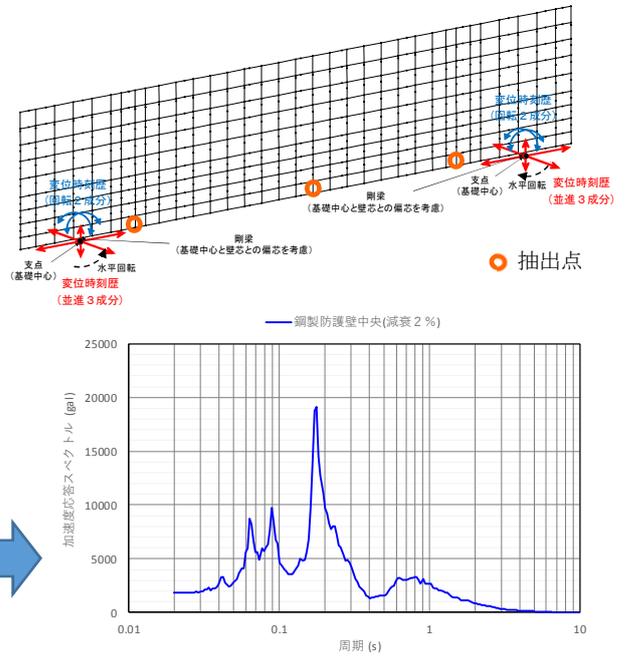
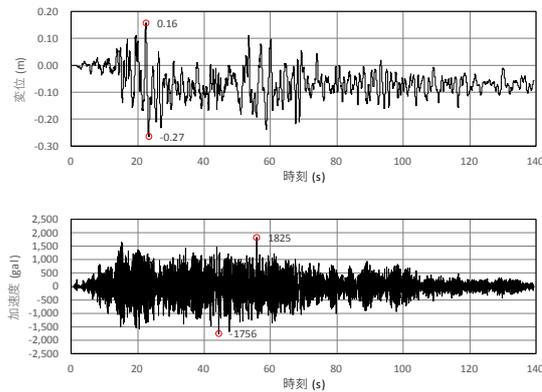


図 3 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴と応答スペクトル
(堤軸直交方向)

- c. 二次元有効応力解析による取水路天端の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 4 参照)

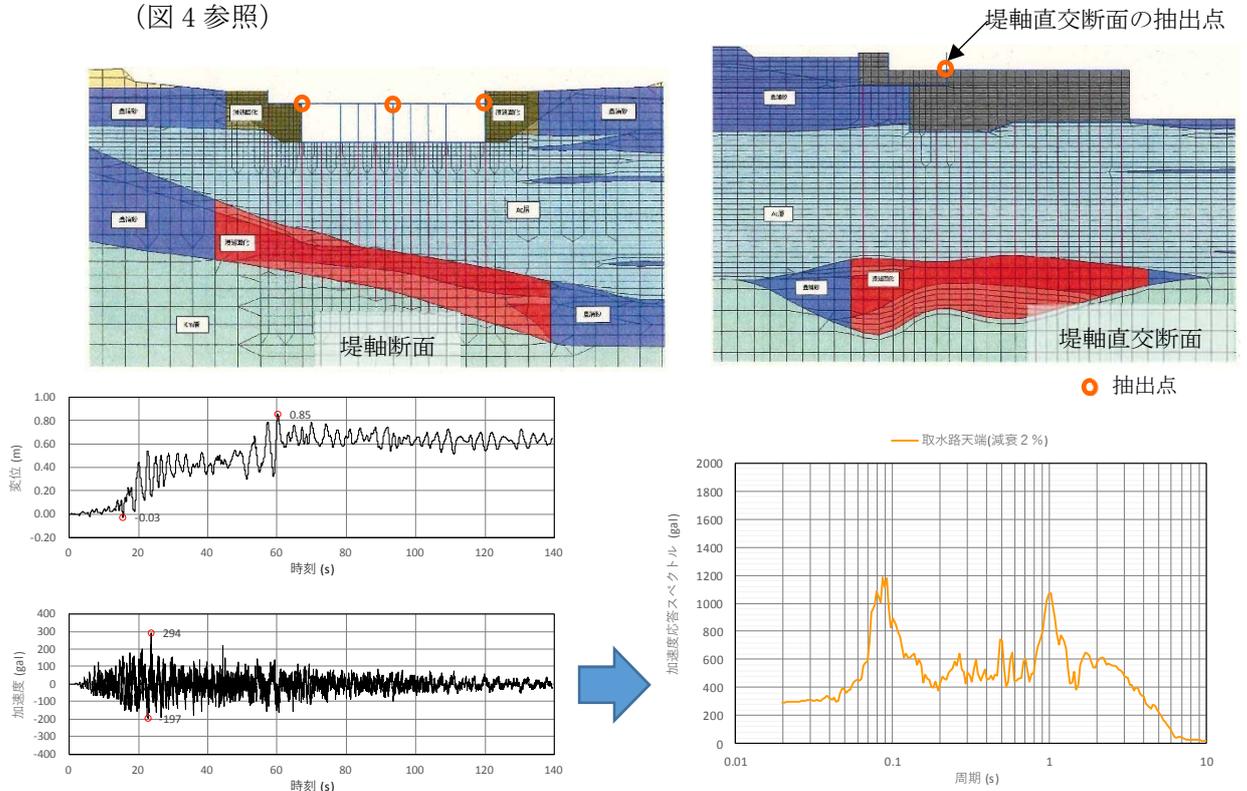
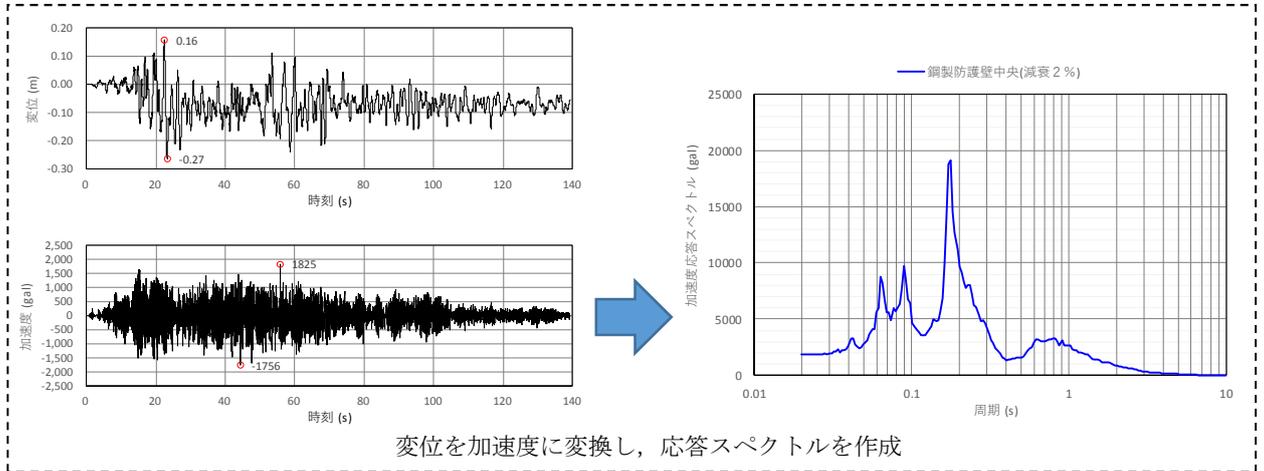


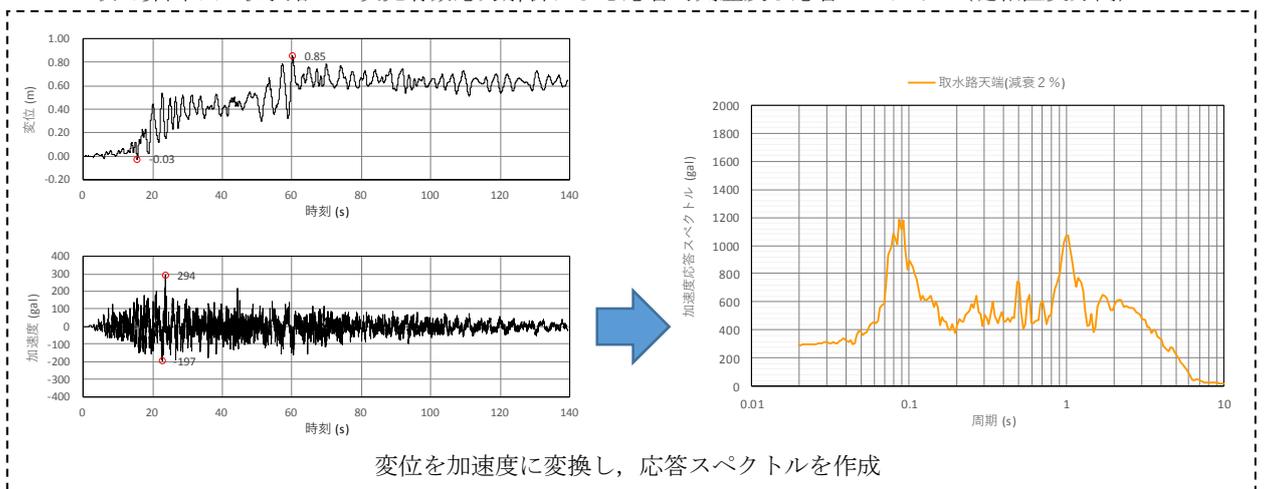
図 4 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトル(堤軸直交方向)

d. b 項, c 項で求めた応答時刻歴を重ね合わせ, 鋼製防護壁と取水路の相対的な応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図 5 参照)

b 項で算出した鋼製防護壁三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸直交方向)



c 項で算出した取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴及び応答スペクトル(堤軸直交方向)



鋼製防護壁 (b 項) と取水路 (c 項) の応答時刻歴及び応答スペクトルの重ね合わせ(堤軸直交方向)

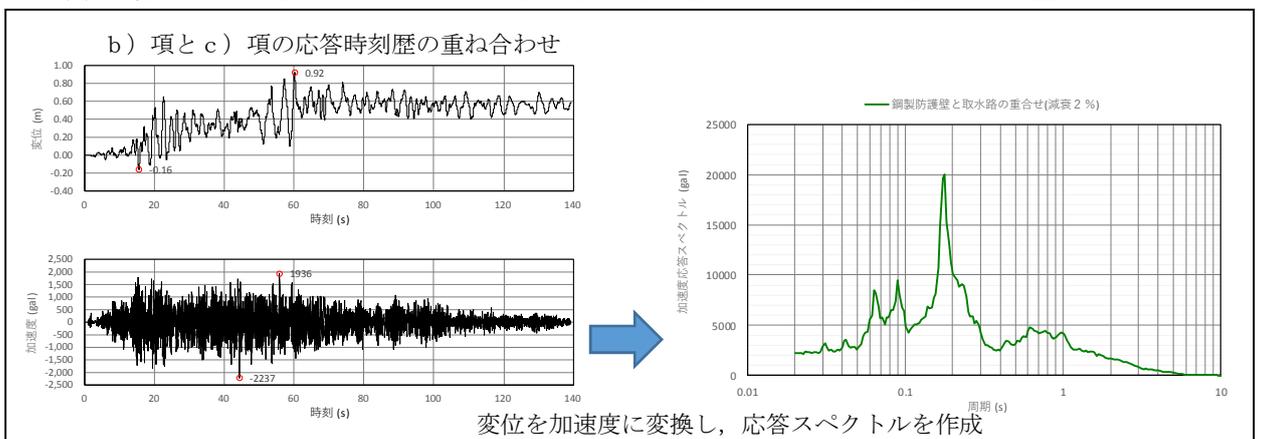


図 5 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトルの作成

e. b 項, c 項と d 項にて算出した応答スペクトルを比較し, 加速度応答スペクトルの包絡波を作成し実証試験用地震動として振動台に入力する。(図 6)

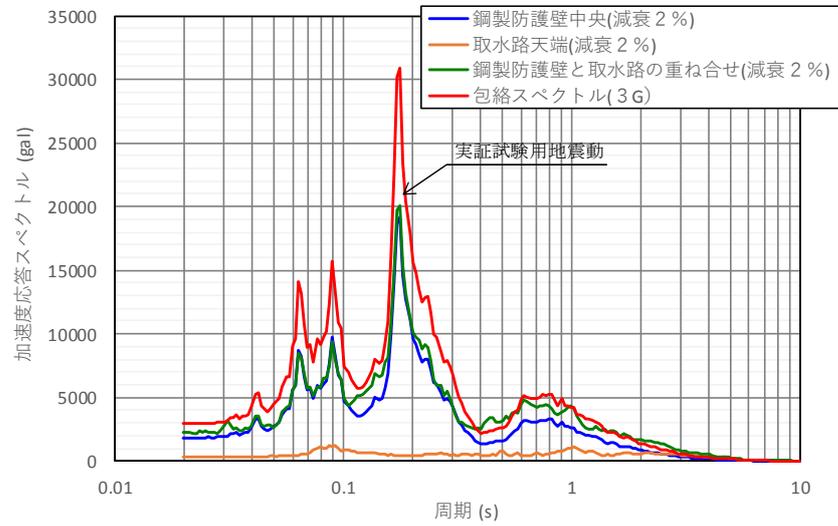


図 6 応答スペクトルの包絡波の作成(堤軸直交方向)

◆Z方向(鉛直方向)の実証試験用地震動の作成方法

a. 二次元有効応力解析による鋼製防護壁基礎天端の応答時刻歴を算出する。(図7参照)

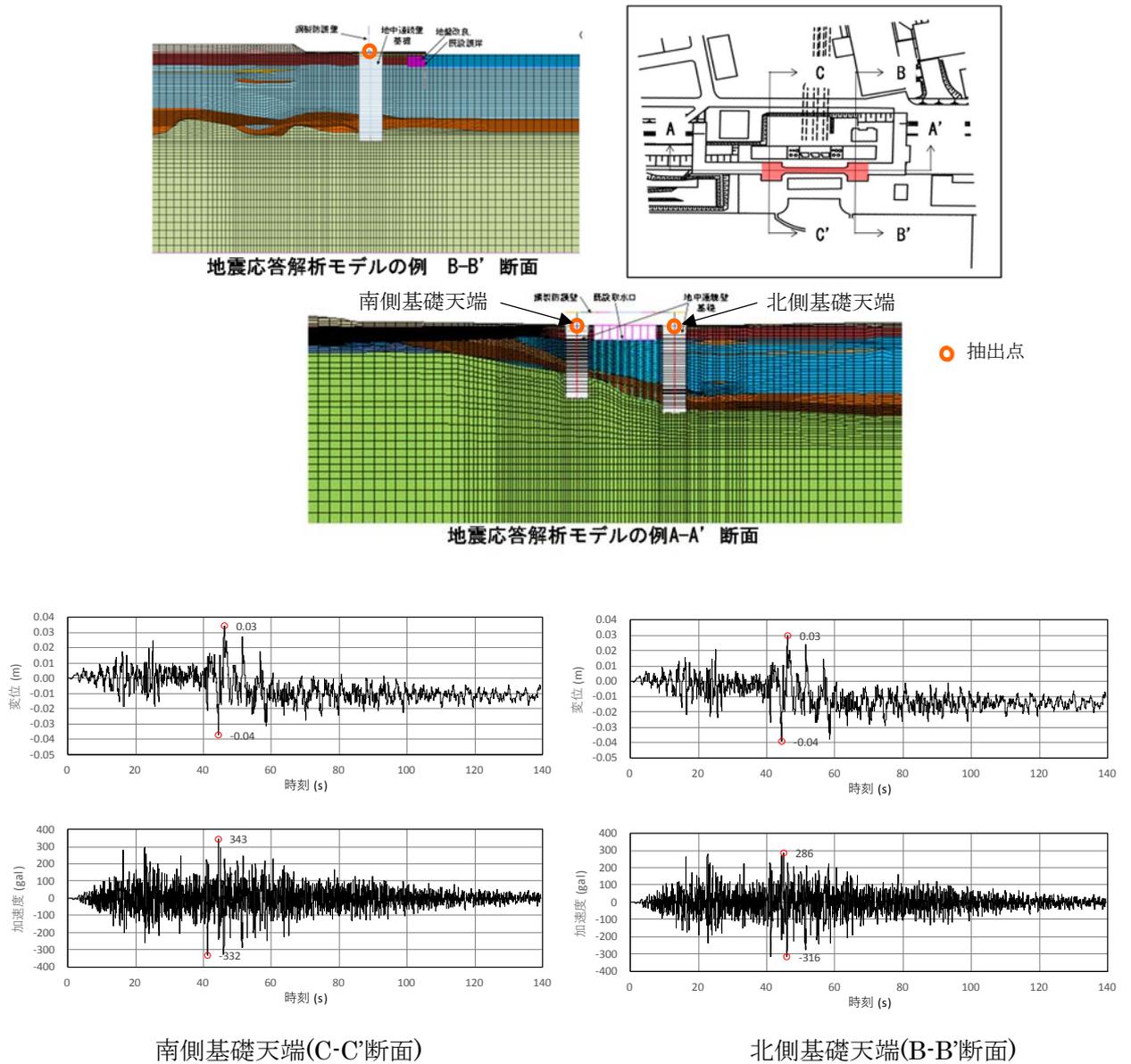


図7 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴(鉛直方向)

- b. 鋼製防護壁の三次元フレームモデルの基礎との接続部に前頁の a. に示す変位時刻歴を入力した動的解析を行い、止水機構位置の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 8 参照)

◎ 入力する変位時刻歴には組合せ係数法を考慮し、下記の 2 ケースを実施する。
堤軸方向(X)着目ケース：X1.0, Y0.4, Z1.0
堤軸直交方向(Y)着目ケース：X0.4, Y1.0, Z1.0

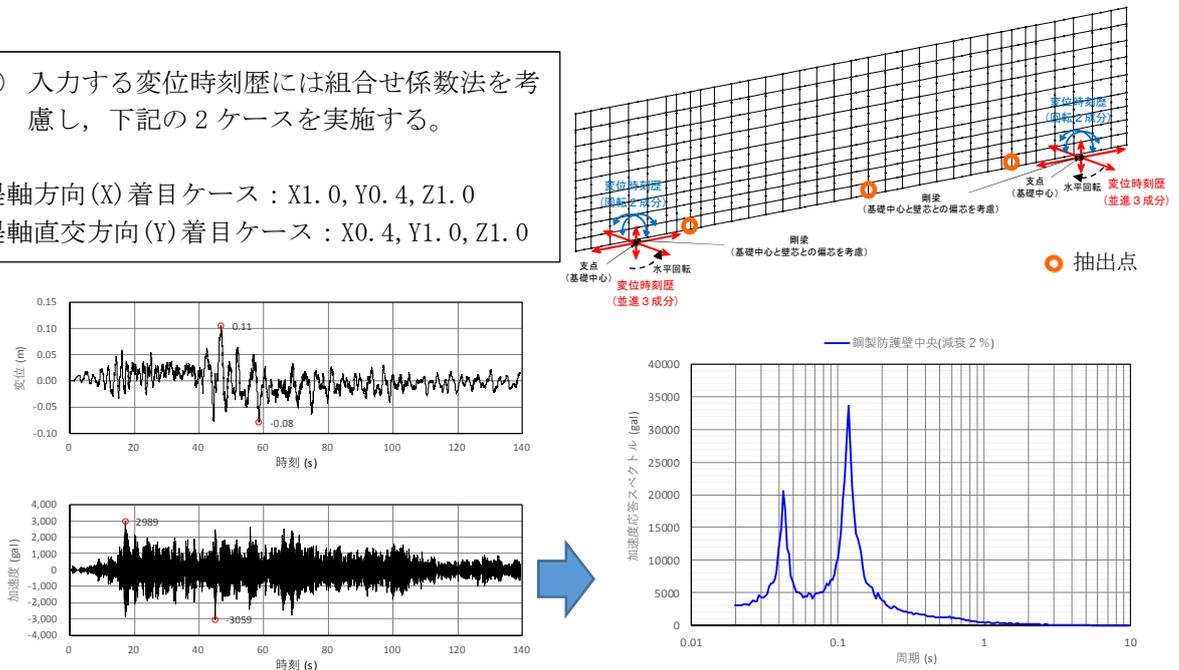


図 8 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴と応答スペクトル(鉛直方向)

- c. 二次元有効応力解析による取水路天端の応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。
(図 9 参照)

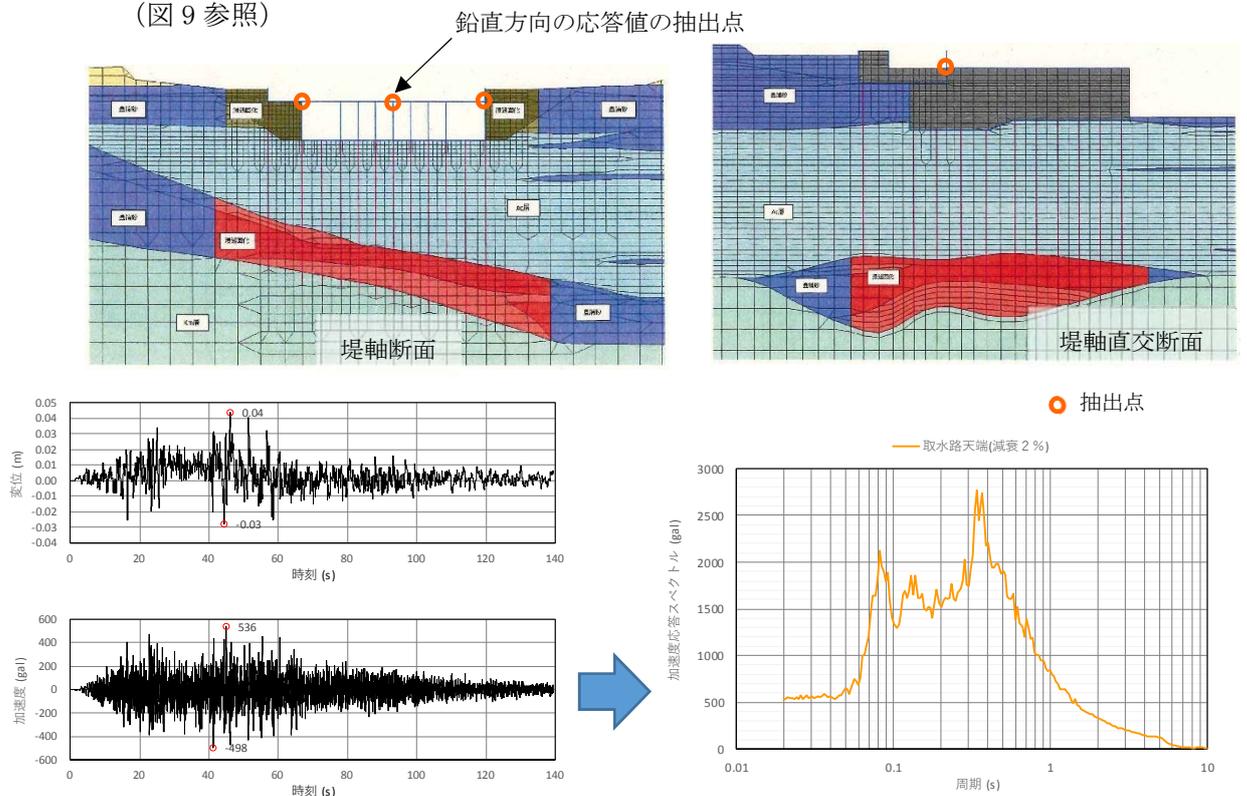
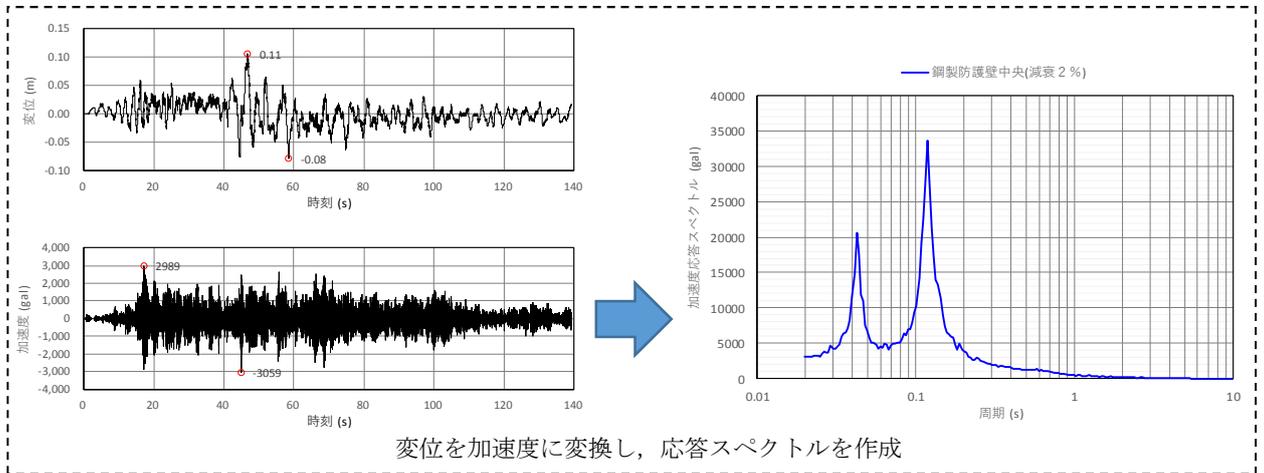


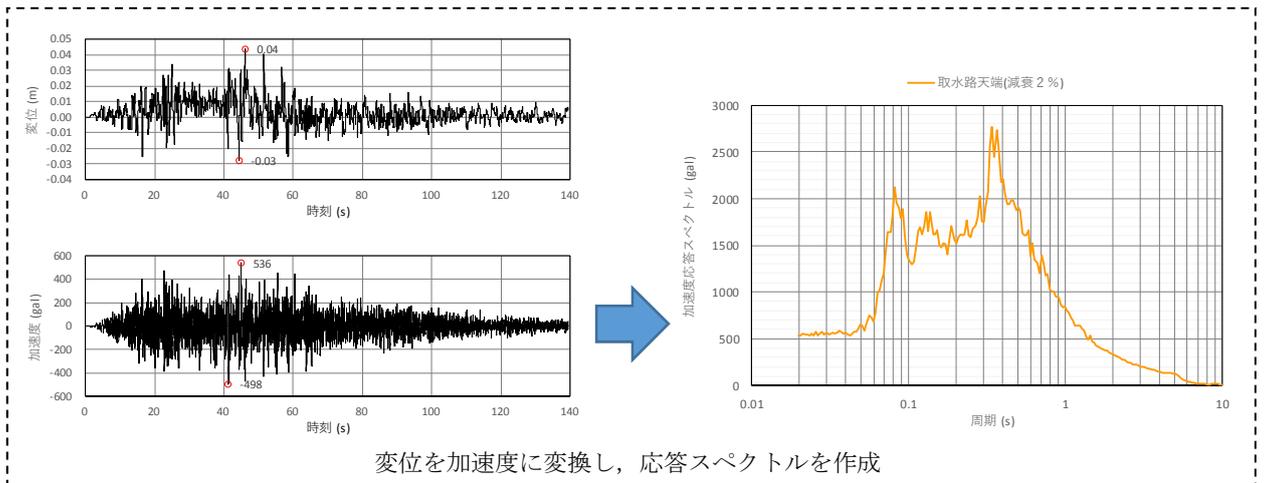
図 9 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトル(鉛直方向)

d. b 項, c 項で求めた応答時刻歴を重ね合わせ, 鋼製防護壁と取水路の相対的な応答時刻歴及び応答スペクトルを算出する。(図 10 参照)

b 項で算出した鋼製防護壁三次元フレーム解析による中央部の応答時刻歴及び応答スペクトル(鉛直方向)



c 項で算出した取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴及び応答スペクトル(鉛直方向)



鋼製防護壁 (b 項) と取水路 (c 項) の応答時刻歴及び応答スペクトルの重ね合わせ(鉛直方向)

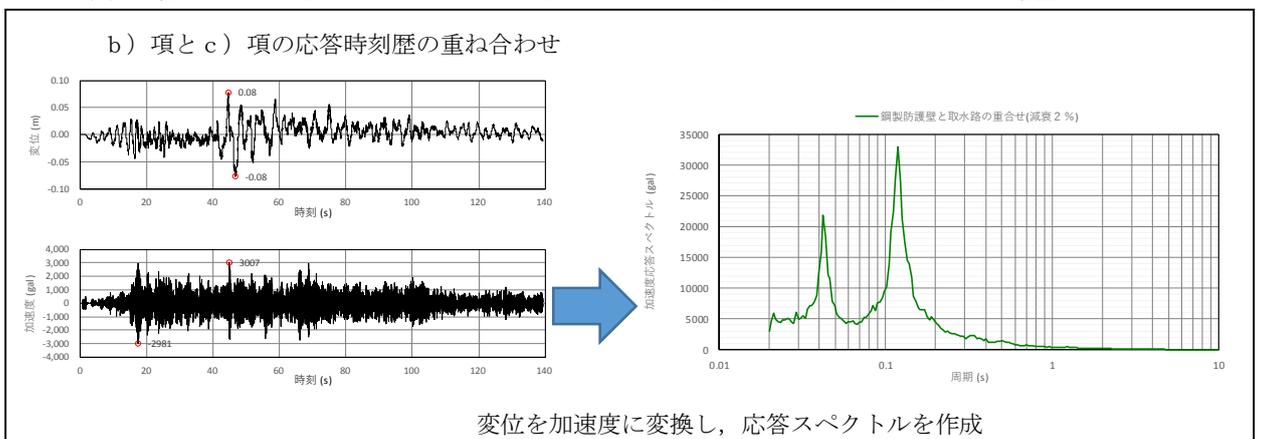


図 10 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトルの作成

e. b 項, c 項と d 項にて算出した応答スペクトルを比較し, 加速度応答スペクトルの包絡波を作成し実証試験用地震動として振動台に入力する (図 11)。

鉛直による加振試験については, 実証試験による加振は 1G が振動台の能力の上限であることから, 鉛直の上限 (1G) によるケースを考慮し実証試験を行う。なお, 三次元動的解析においては, 基準地震動 (S_s) を包絡波した実証試験用地震動にて解析を実施し挙動を確認する。

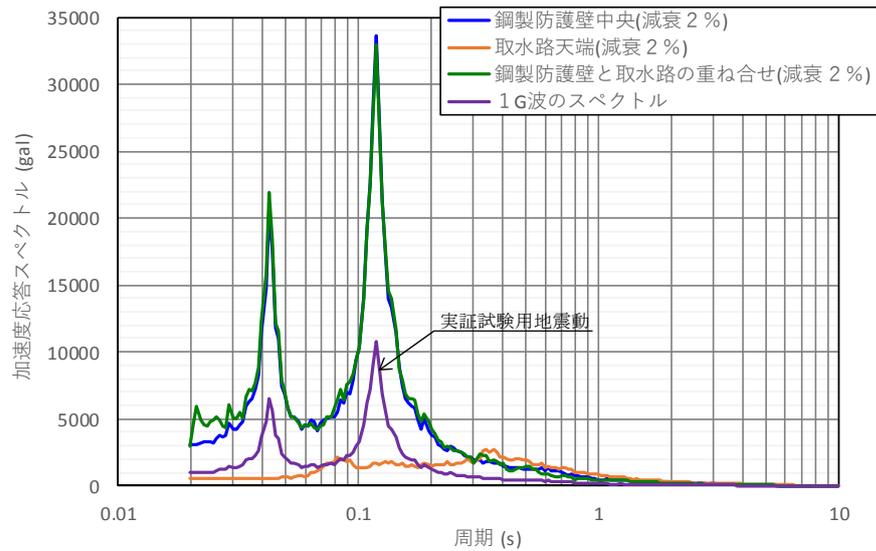


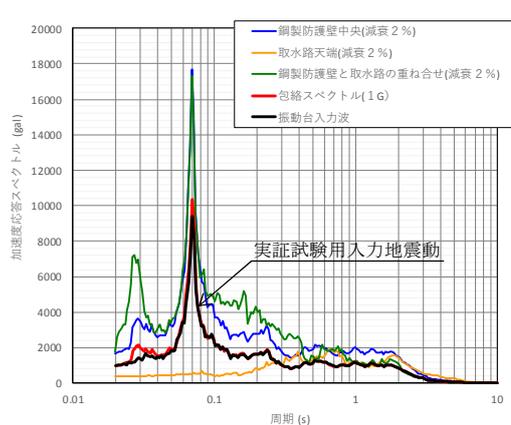
図 11 応答スペクトルの包絡波の作成(鉛直方向)

(4) 実証試験用入力地震動

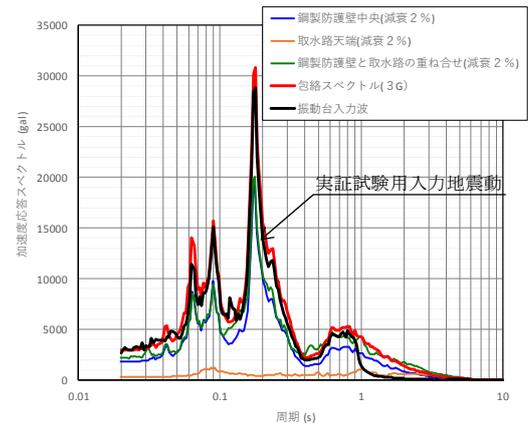
実証試験用入力地震動は、変位量に対する振動台性能の制限内に地震動を収めることを目的として、実証試験用地震動にハイパスフィルター（HPF）を掛け、長周期成分をカットした地震動である。

実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形を示す。

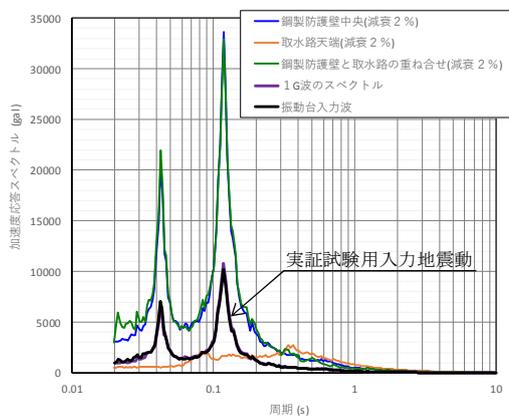
図 12 の入力加速度が最大 3G である Y 方向（EW）の加速度応答スペクトル図から周期 1sec 付近で HPF が掛かっていることが読み取れるが、最大加速度レベルは実証試験用地震動とほぼ同一レベルであることを確認した。



加速度応答スペクトル X 方向（NS）



加速度応答スペクトル Y 方向（EW）



加速度応答スペクトル Z 方向

図 12 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用入力地震動の加速度応答スペクトル

◆鉛直（取水路側包絡波）の実証試験用地震動の作成

鉛直（取水路側包絡波）における実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形の策定の考え方を図13～図15に示す。

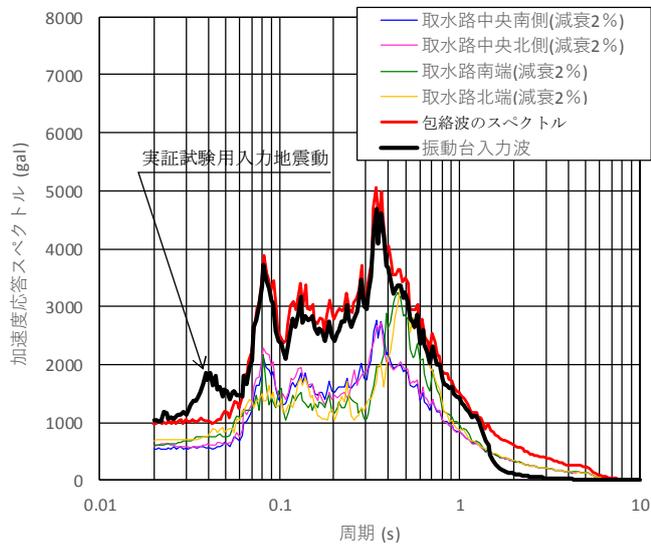


図13 取水路上面の加速度応答スペクトル(包絡波は取水路中央南側の1.83倍

※入力地震動はSs-D1-H-V

取水路のZ方向（鉛直方向）の包絡波

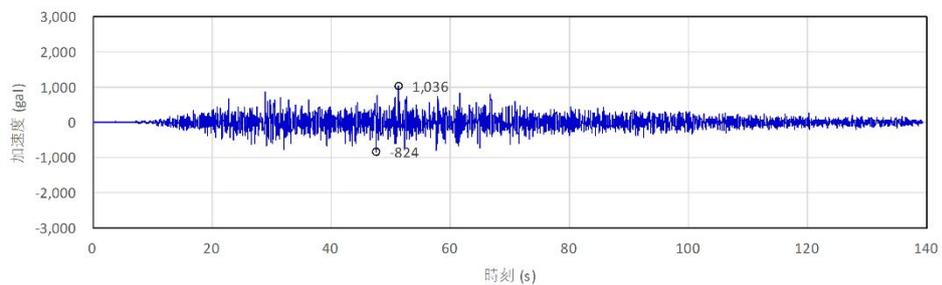


図14 取水路の鉛直方向の包絡波の加速度時刻歴(包絡波は取水路中央南側の1.83倍)

取水路中央南側の応答加速度時刻歴を1.83倍して取水路の鉛直方向の包絡波を作成

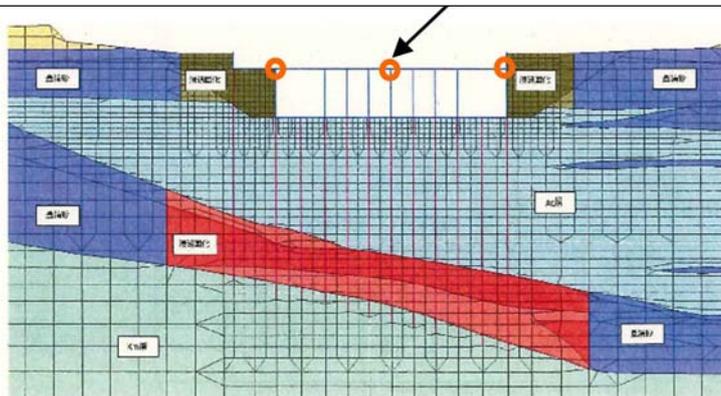


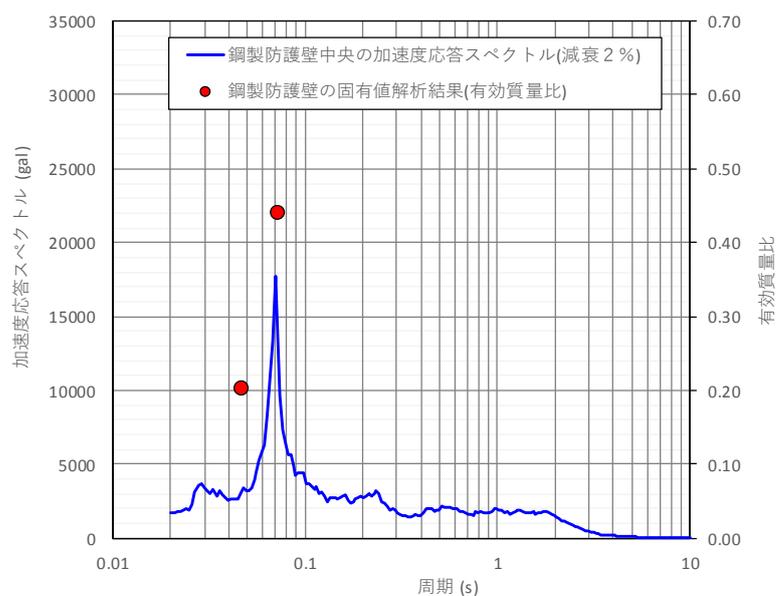
図15 加速度応答スペクトルの算出位置

(5) 実証試験用地震動の加速度応答スペクトルのピークについて

実証試験用地震動は、前述のとおり鋼製防護壁の三次元フレーム解析により算出した鋼製防護壁中央の応答加速度時刻歴に所定の倍率を乗じることにより、作成したものである。乗じる倍率は、振動台の能力を考慮しつつ鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルを基に取水路天端および鋼製防護壁と取水路の重ね合せの加速度応答スペクトルを包絡するように設定したものである。ここでは、実証試験用地震動を設定する上で基になった鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルのピークについて考察する。

図 16 に X 方向(堤軸方向)の鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルと鋼製防護壁の固有値解析により得られた固有周期及び有効質量比の比較図を示す。同図から、加速度応答スペクトルの最大ピークを示す周期(0.070s)と有効質量比が最大ピークを示す周期(0.072s)がほぼ一致していることが分かる。したがって、鋼製防護壁中央で算出した堤軸方向の加速度応答スペクトルの妥当性を確認することができる。

なお、有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図を図 17 に示す。



ピーク	加速度応答スペクトル		有効質量比(固有値解析)	
	周期 (s)	スペクトル (gal)	周期 (s)	有効質量比
最大ピーク	0.070	17697	0.072	0.44
2 番目のピーク	—	—	0.047	0.20

図 16 鋼製防護壁の加速度応答スペクトルと固有値解析結果の比較(堤軸方向)

固有周期(s): 0.07154
 固有振動数(Hz): 13.97800
 有効質量比
 DX(%): 44
 DY(%): 0
 DZ(%): 0
 RX(%): 0
 RY(%): 0
 RZ(%): 0
 制振係数
 DX: -57.640
 DY: 0.000
 DZ: -0.005
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.5

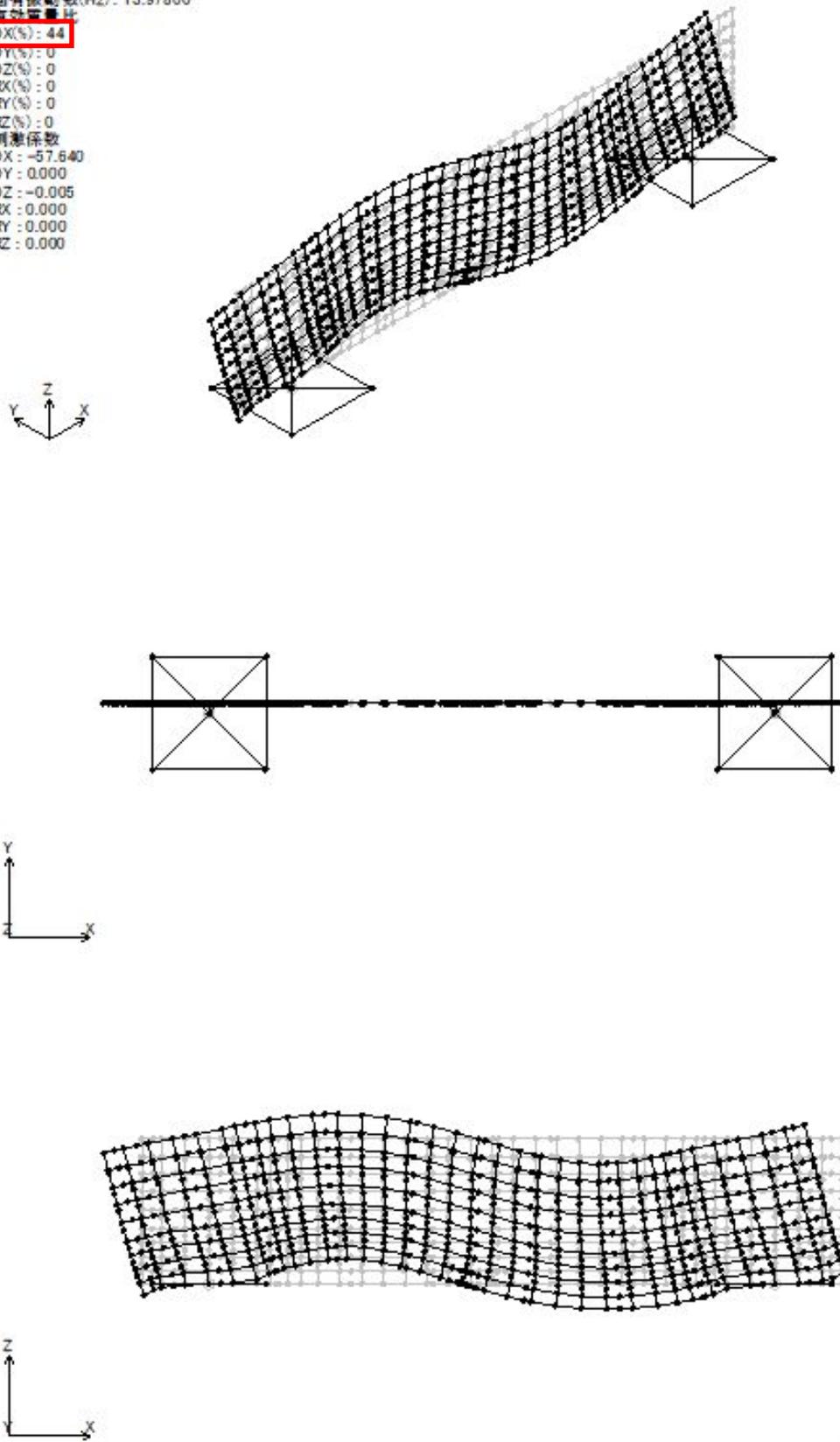
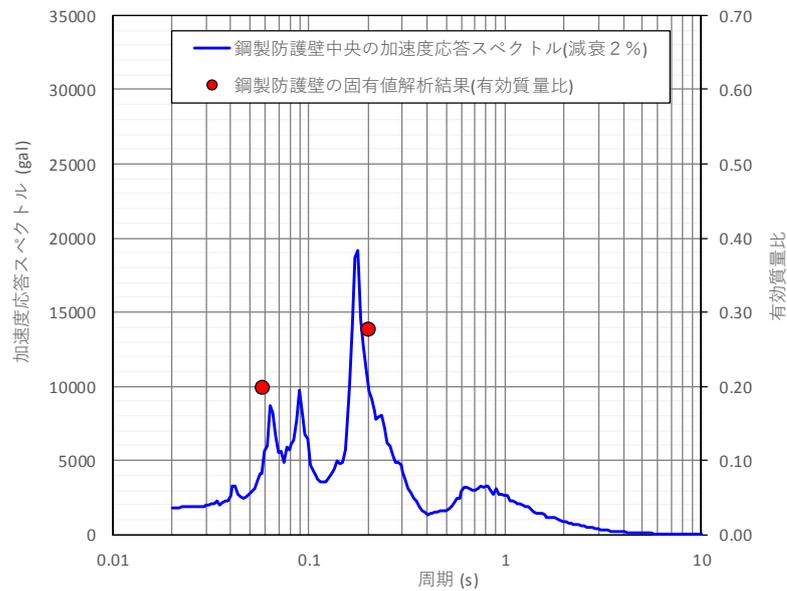


図 17 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(堤軸方向)

図 18 に Y 方向(堤軸直交方向)の鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルと鋼製防護壁の固有値解析により得られた固有周期及び有効質量比の比較図を示す。同図から、加速度応答スペクトルの最大ピークを示す周期(0.178s)と有効質量比が最大ピークを示す周期(0.201s)がほぼ一致していることが分かる。また、加速度応答スペクトルの 3 番目のピークを示す周期(0.064s)と有効質量比の 2 番目のピークを示す周期(0.058s)が対応していると考えられる。

以上のことから、鋼製防護壁中央の堤軸直交方向の加速度応答スペクトルのピークは、概ね固有値解析による有効質量比のピークに対応している。

なお、有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図を図 19 に示す。



ピーク	加速度応答スペクトル		有効質量比(固有値解析)	
	周期 (s)	スペクトル (gal)	周期 (s)	有効質量比
最大ピーク	0.178	19157	0.201	0.28
2 番目のピーク	0.090	9759	0.058	0.20
3 番目のピーク	0.064	8721		

図 18 鋼製防護壁の加速度応答スペクトルと固有値解析結果の比較(堤軸直交方向)

固有周期(s): 0.20111
 固有振動数(Hz): 4.97230
 有効質量比
 DX(%): 0
 DY(%): 28
 DZ(%): 0
 RX(%): 0
 RY(%): 0
 RZ(%): 0
 制振係数
 DX: 0.000
 DY: 45.660
 DZ: -0.011
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.1

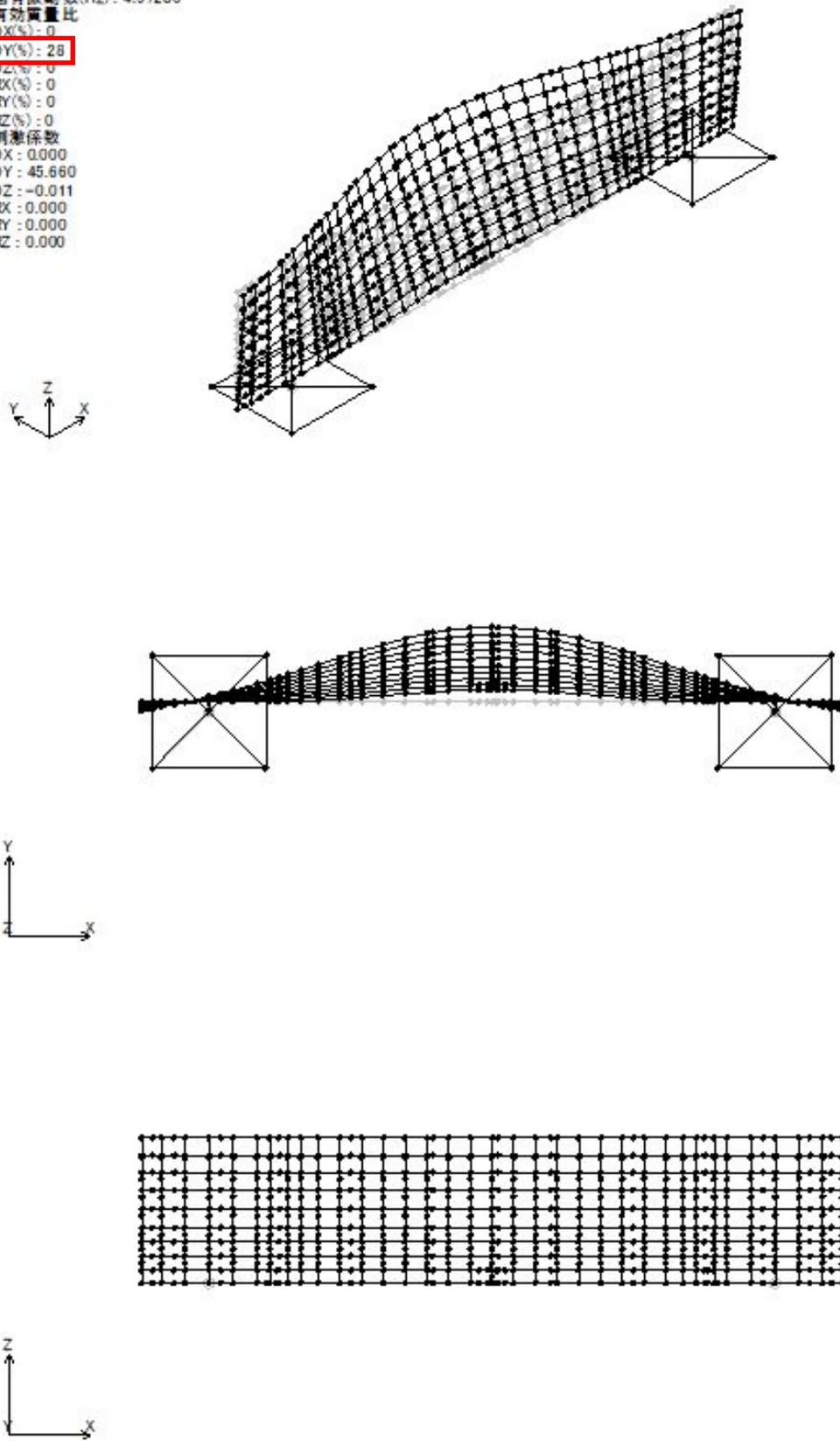
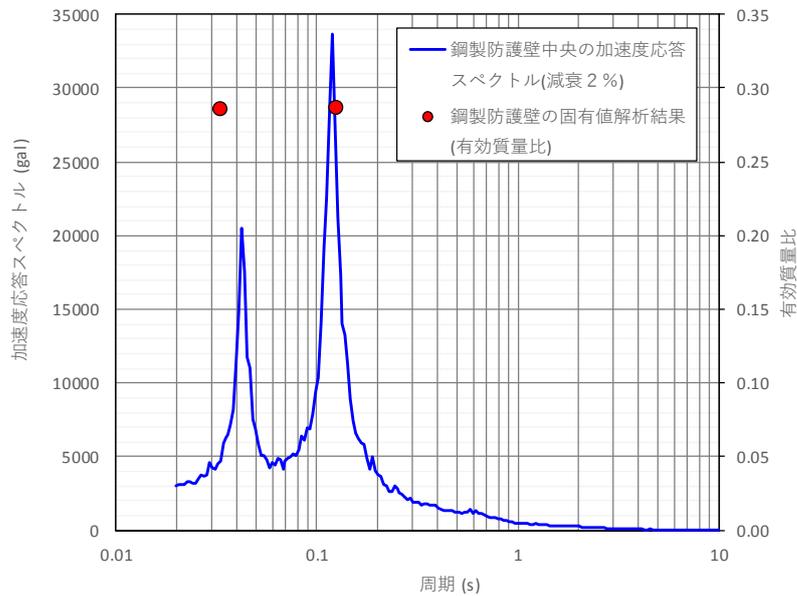


図 19 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(堤軸直交方向)

図 20 に Z 方向(鉛直方向)の鋼製防護壁中央の加速度応答スペクトルと鋼製防護壁の固有値解析により得られた固有周期及び有効質量比の比較図を示す。同図から、加速度応答スペクトルの最大ピークを示す周期(0.119s)と有効質量比が最大ピークを示す周期(0.124s)がほぼ一致していることが分かる。また、加速度応答スペクトルの 2 番目のピークを示す周期(0.042s)と有効質量比の 2 番目のピークを示す周期(0.033s)が対応していると考えられる。

以上のことから、鋼製防護壁中央の鉛直方向の加速度応答スペクトルのピークは、概ね固有値解析による有効質量比のピークに対応している。

なお、有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図を図 21 に示す。



ピーク	加速度応答スペクトル		有効質量比(固有値解析)	
	周期 (s)	スペクトル (gal)	周期 (s)	有効質量比
最大ピーク	0.119	33639	0.124	0.29
2 番目のピーク	0.042	20518	0.033	0.29

図 20 鋼製防護壁の加速度応答スペクトルと固有値解析結果の比較(鉛直方向)

固有周期(s): 0.12445
 固有振動数(Hz): 8.03540
 有効質量比
 DX(%): 0
 DY(%): 0
 DZ(%): 29
 RX(%): 0
 RY(%): 0
 RZ(%): 0
 制振係数
 DX: -0.003
 DY: -0.001
 DZ: 46.460
 RX: 0.000
 RY: 0.000
 RZ: 0.000

No.1:固有値解析 MODE No.2

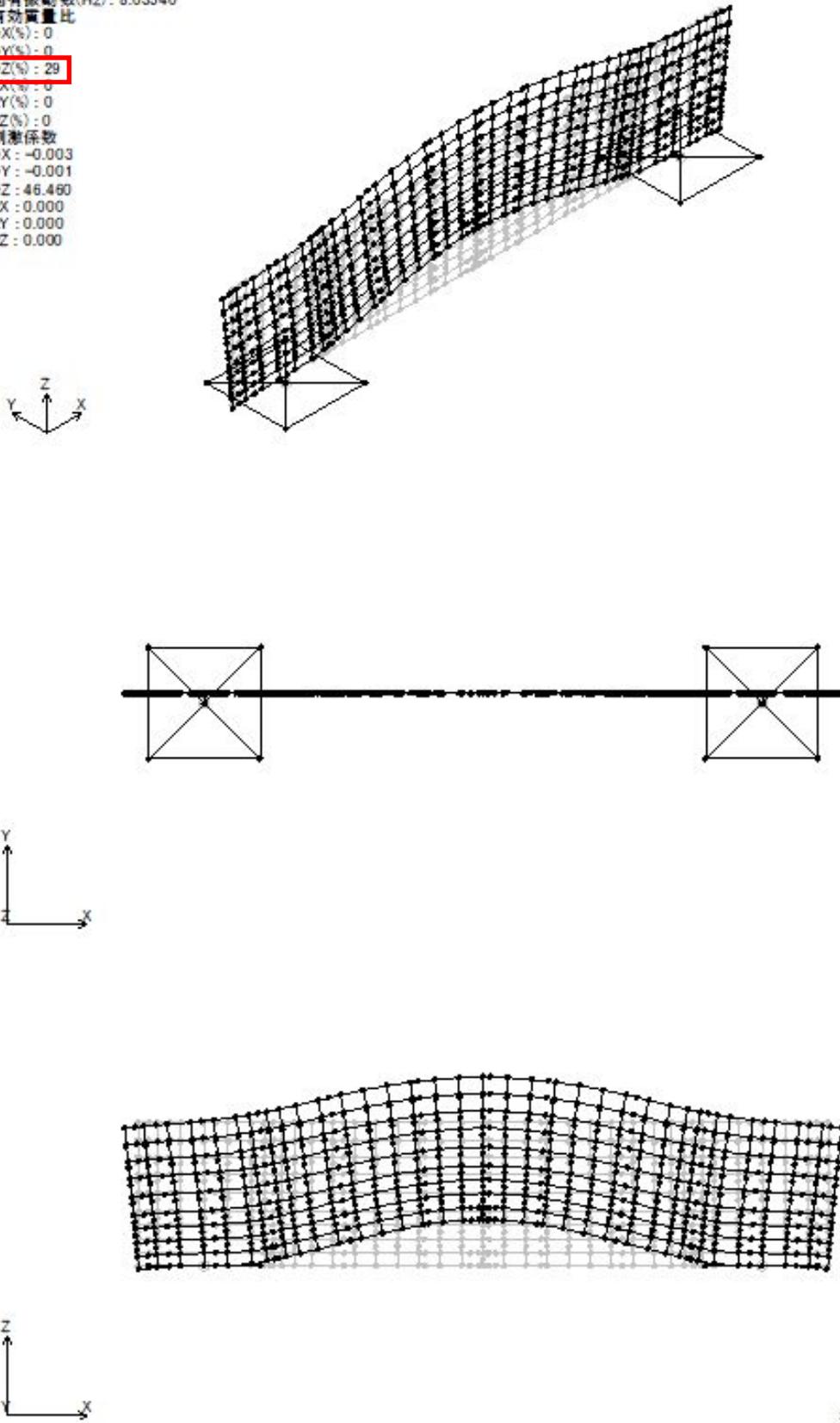


図 21 有効質量比最大ピーク時の鋼製防護壁のモード図(鉛直方向)

6.1.3.5 止水機構（1次止水機構）の実証試験結果及び3次元動的解析との検証について

1. 目的

止水機構の地震時及び余震+津波時の追従性を確認するため、実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）を行い、止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認する。本件は、実証試験の試験結果及び3次元動的解析との検証結果を示す。

2. 実証試験ケースと結果

表1に本震時、表2に余震時の実証試験のケースと三次元動的解析のケースを示す。

表1 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	1 G	3 G (X包絡波)	1 G	○	○	3方向同時 (Y方向にX方向の地震動を入力。方向反転)
②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	1 G	3 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時
③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	—	—	1 G	○	—	鉛直単独
④鉛直 (取水路側包絡波)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独 (図8に実証試験解析結果)
⑤基準地震動 (S_s) (S_s -D1)	—			—	○	3方向同時
⑥基準地震動 (S_s)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

表2 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
①3方向 (Y方向(堤軸直交)包絡波)	1 G	2 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時
②鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④基準地震動 (S_d) (S_d -D1)	—			—	○	3方向同時

○：解析実施ケース

3. 実証試験の試験結果

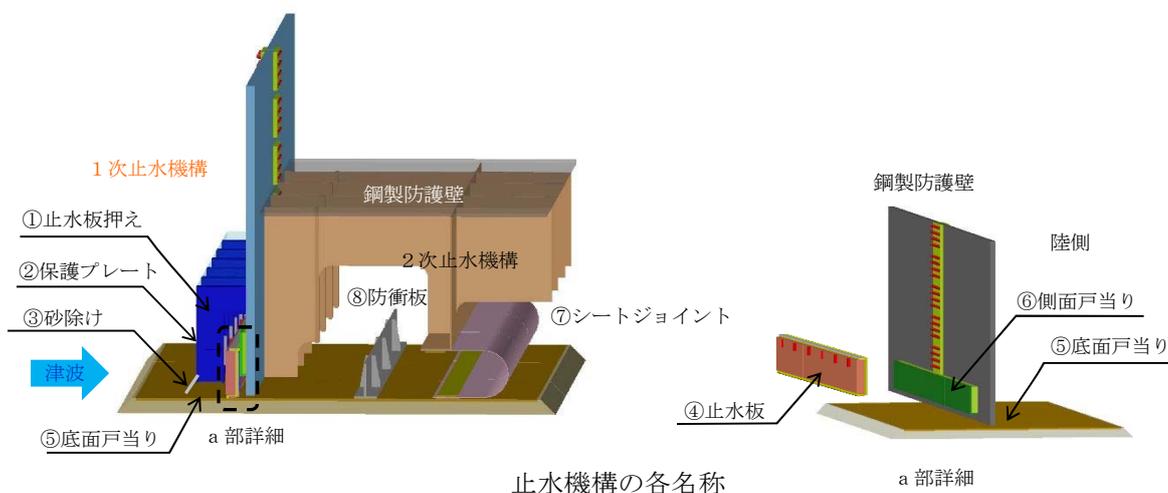
実証試験では以下の項目について判定を行い、「止水板の地震時の追従性」、「水密ゴムの健全性」及び「1次止水機構の構成部品の健全性」について確認し、止水機構全体に影響がないことを確認した。表3に実証試験の確認項目と試験結果を示す。

特段の不具合もなく、止水板の追従性、水密ゴムの健全性及び1次止水機構構成部材の健全性に関し、想定通りの結果を得ることができた。また、止水板の跳ね上がり量は小さく、止水性に問題ないことを確認できた。

表3 実証試験の確認項目と試験結果

機能目標	判定基準	試験結果
止水板の地震時の追従性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。(浮き上がり、止水板の破損・損傷) ◆ 止水板の浮き上がり量* 3mm以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 止水板の浮上り固着、止水板の破損・損傷の異常は認められなかった。 ◆ 約1.94mm(5月9日) / 約2.61mm(5月15日) (加振ケース:3方向加振時)
水密ゴムの健全性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。(噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗) ◆ 水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。(ライニングの破損、めくれ) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 水密ゴムの噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗は認められなかった。 ◆ ライニングの破損、めくれは認められなかった。
1次止水機構の構成部品の健全性確認	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 装置全体に異常がなく健全であること。(試験装置、部材の変形、損傷、他) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 試験装置、部材の変形、損傷等は認められなかった。

※:別途、止水機構の損傷・保守を想定し、1次止水機構及び2次止水機構がない場合の敷地内浸水量を評価しており、止水板の瞬間的な跳ね上がりによる漏えいは無視できる程度であり安全上の問題はない。



4. 実証試験結果【本震時】

(1) 振動試験結果の波形

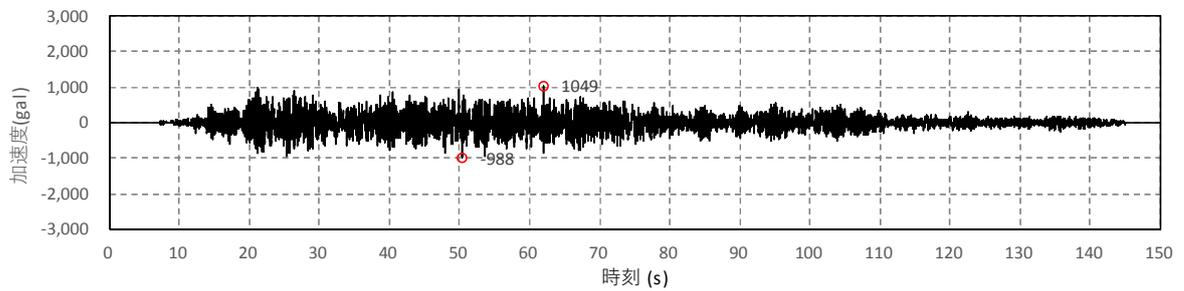
① 3方向（X方向（堤軸）包絡波）

a. 鉛直最大変位（1回目）

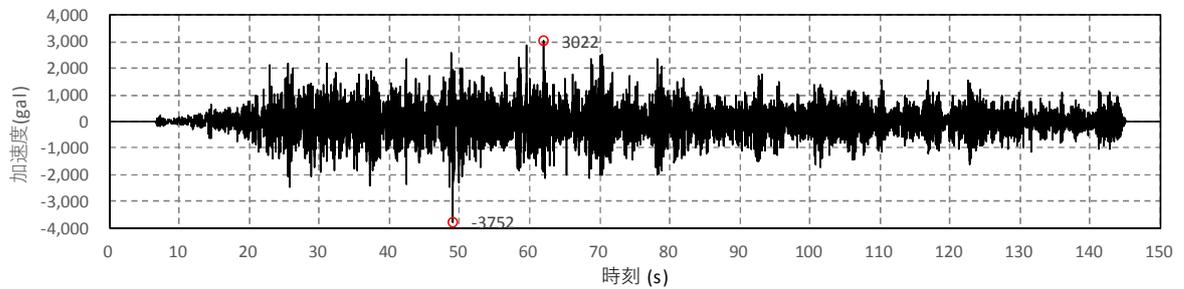
【振動台上応答加速度変位】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	1049	-3752	-1089

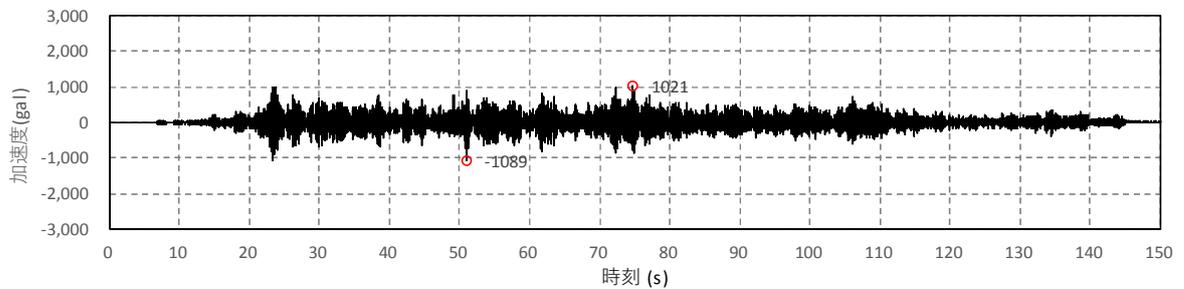
X方向



Y方向



Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

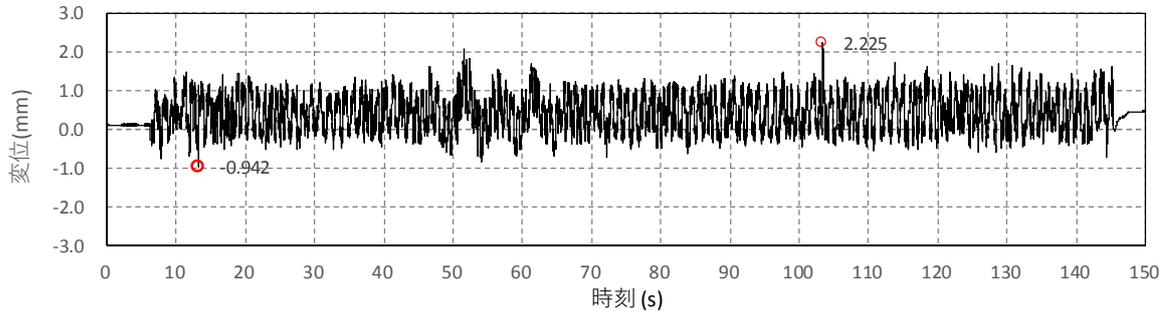


図-a DV-1 時刻歴波形

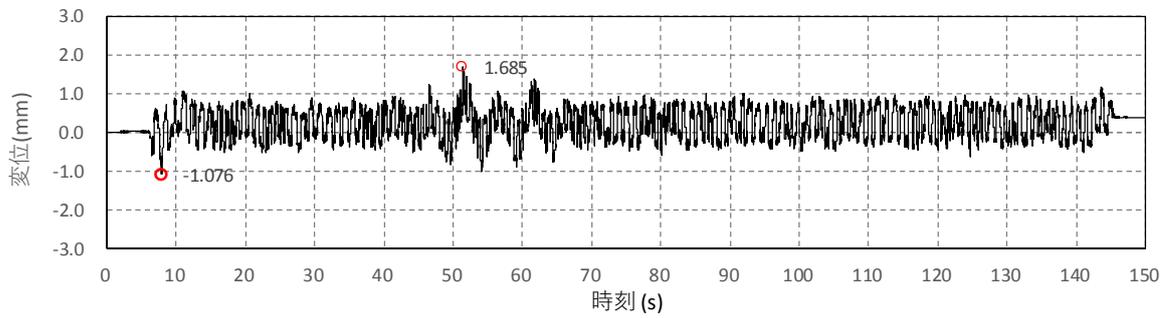


図-b DV-2 時刻歴波形

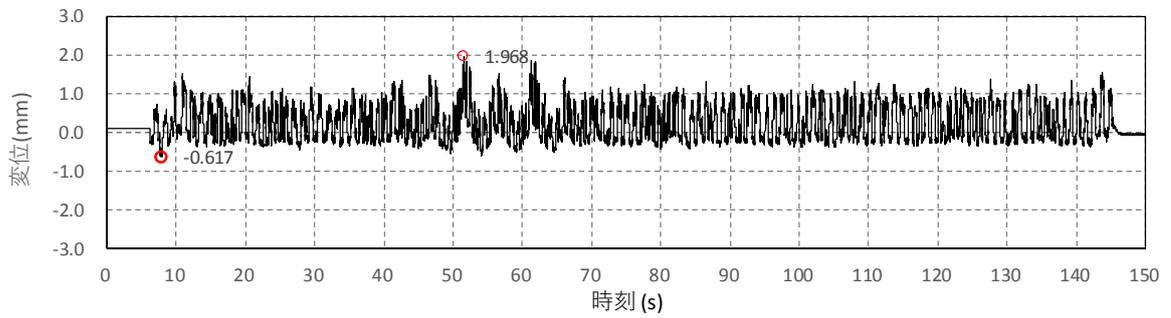


図-c DV-3 時刻歴波形

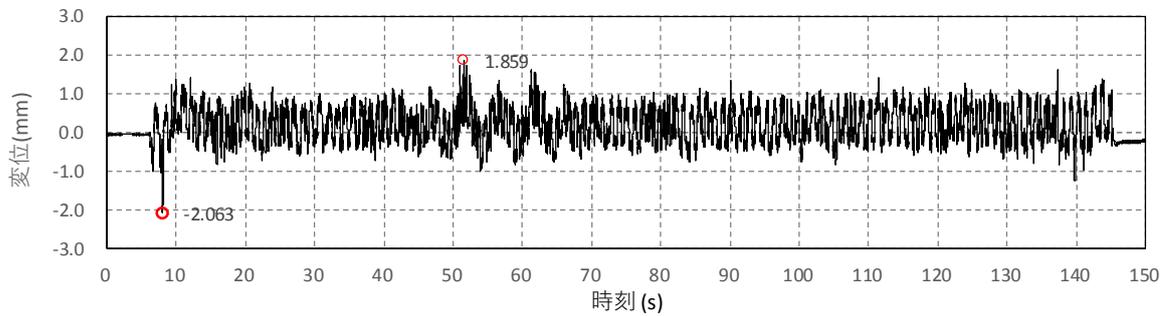


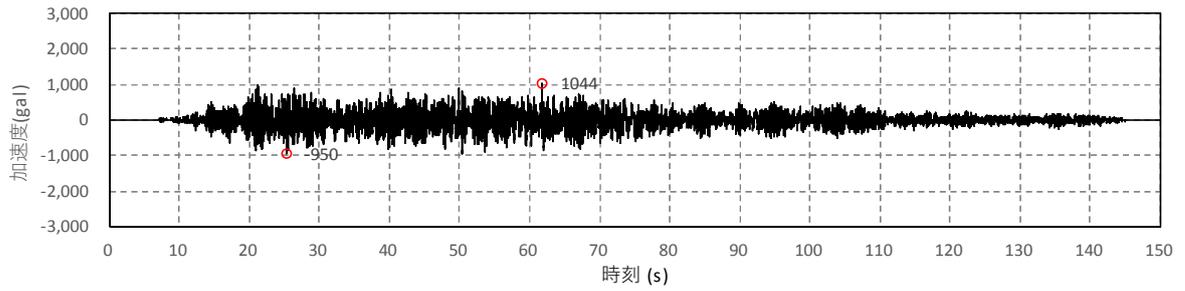
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

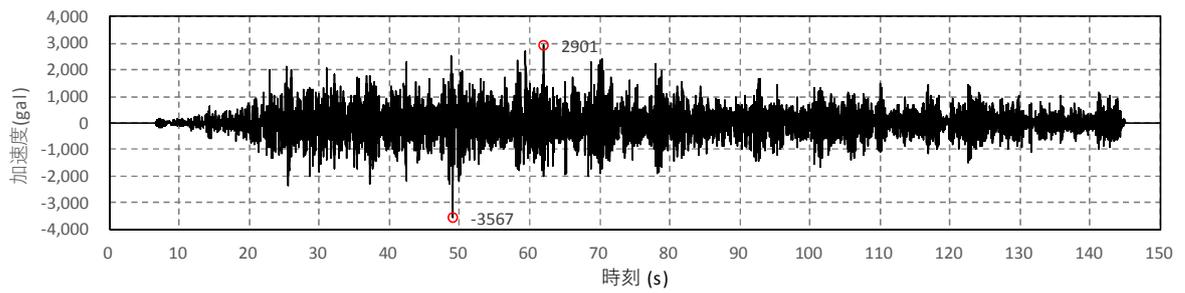
【振動台上応答加速度波形】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	1044	-3567	-1076

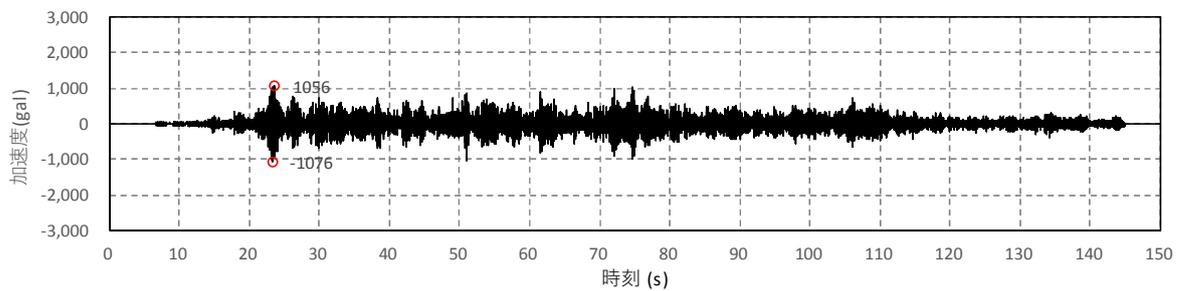
X方向



Y方向



Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

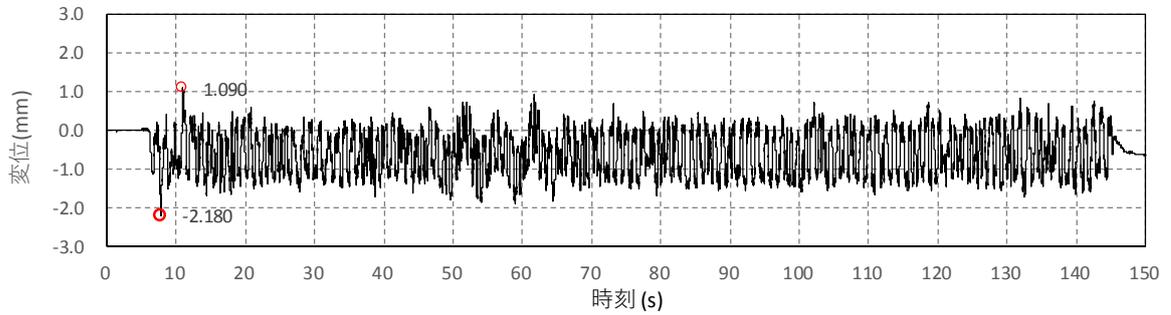


図-a DV-1 時刻歴波形

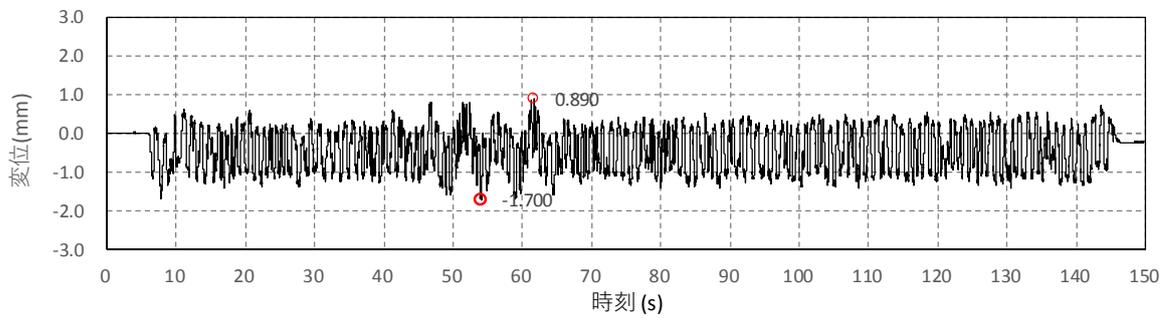


図-b DV-2 時刻歴波形

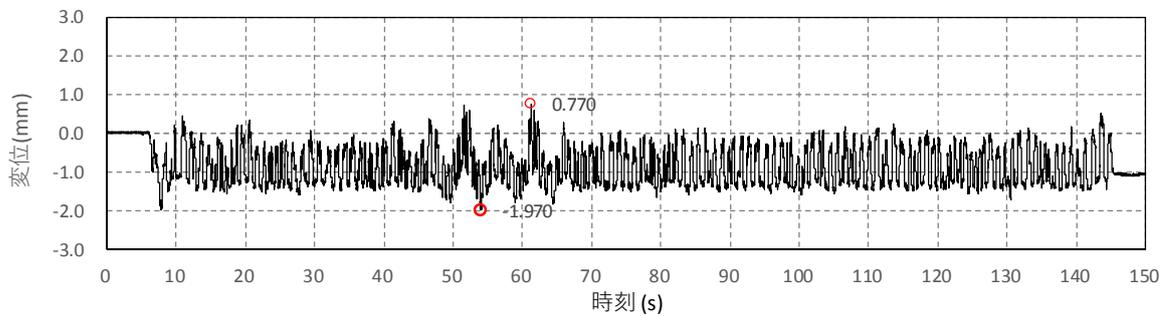


図-c DV-3 時刻歴波形

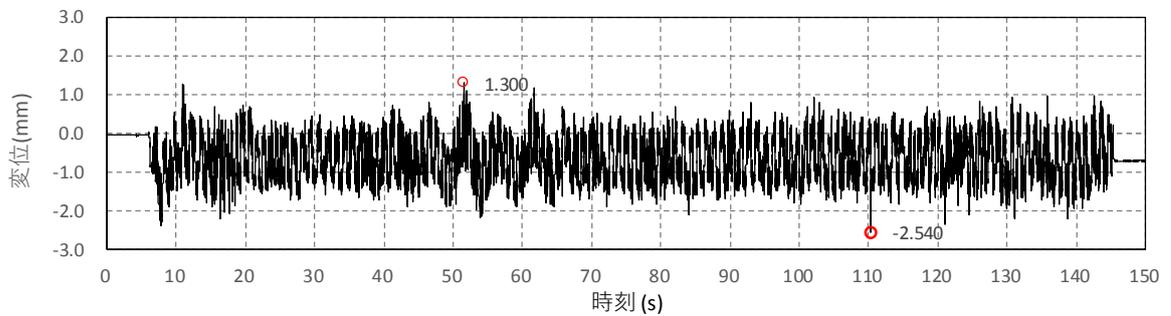


図-d DV-4 時刻歴波形

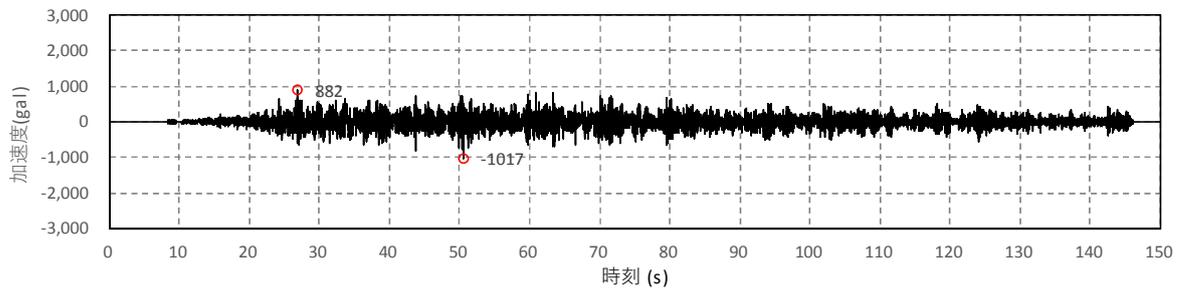
② 3 方向（Y 方向（堤軸直角）包絡波）

a. 鉛直最大変位（1 回目）

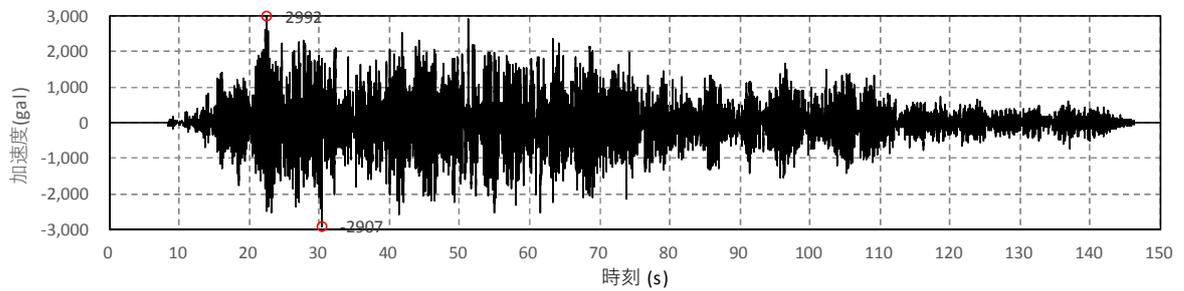
【振動台上応答加速度波形】

	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動台入力加速度 (gal)	-1017	2992	-1109

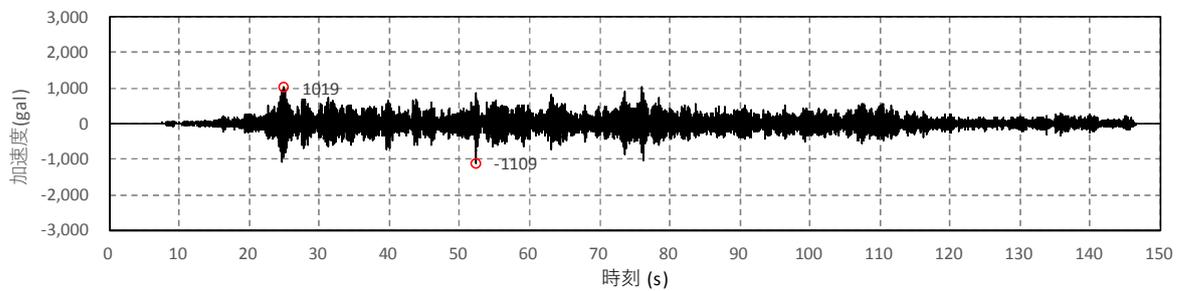
X 方向



Y 方向



Z 方向



【鉛直変位時刻歴波形】

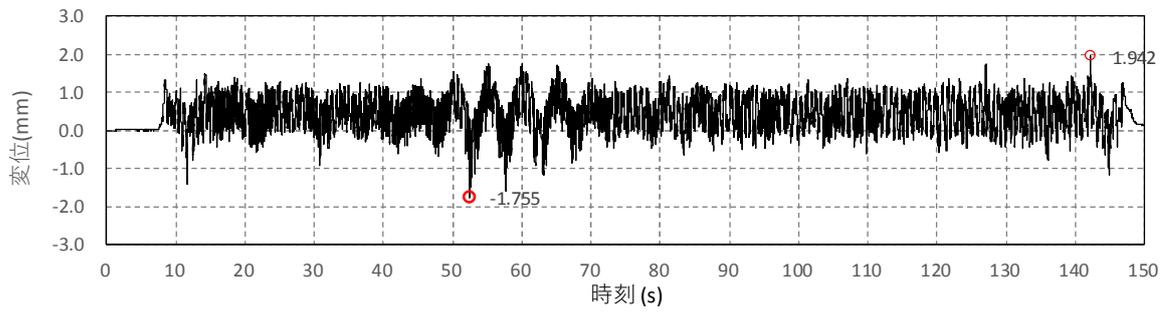


図-a DV-1 時刻歴波形

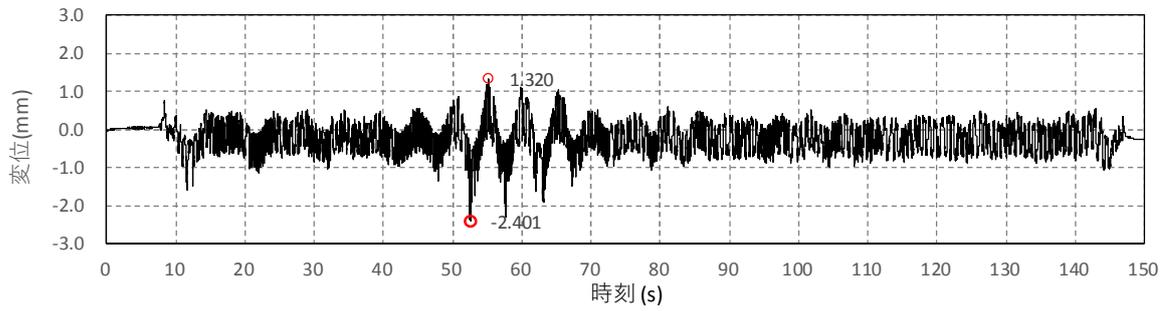


図-b DV-2 時刻歴波形

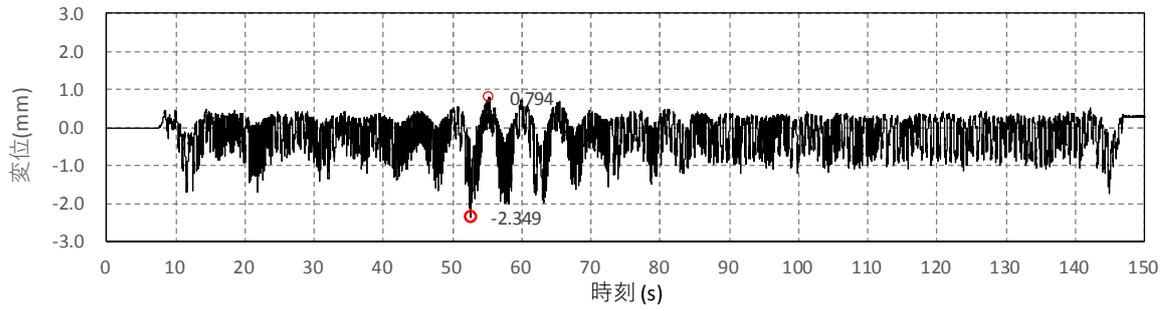


図-c DV-3 時刻歴波形

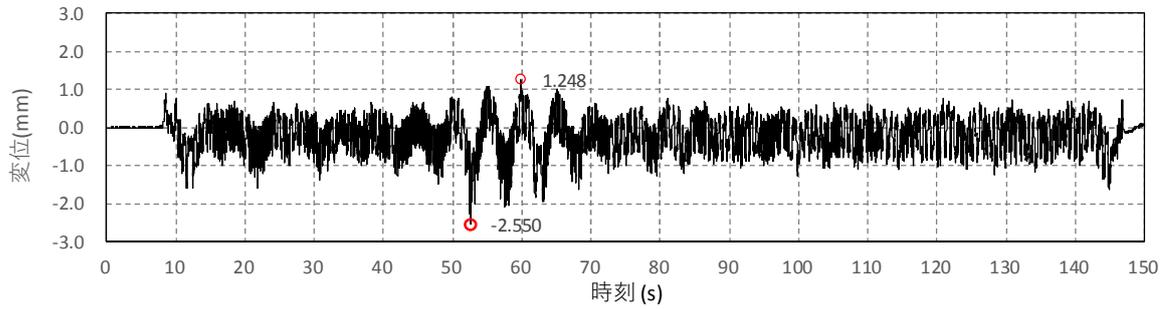


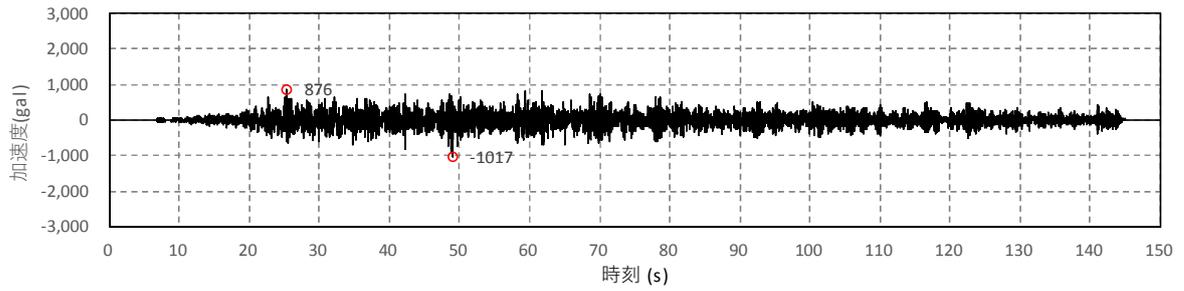
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

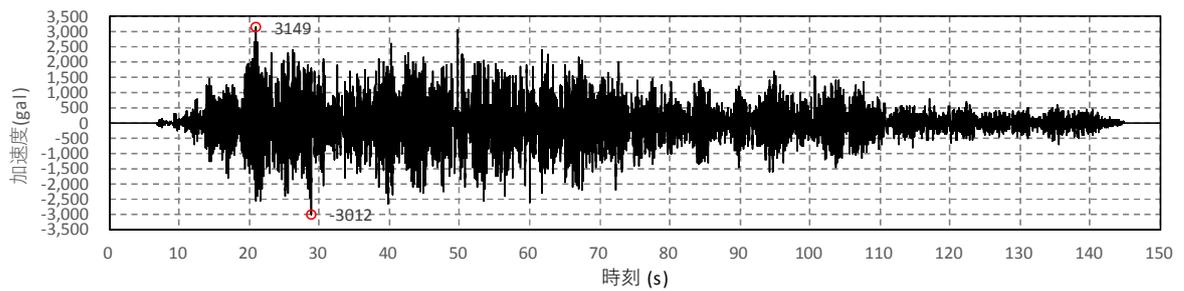
【振動台上応答加速度波形】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-1017	3149	-1095

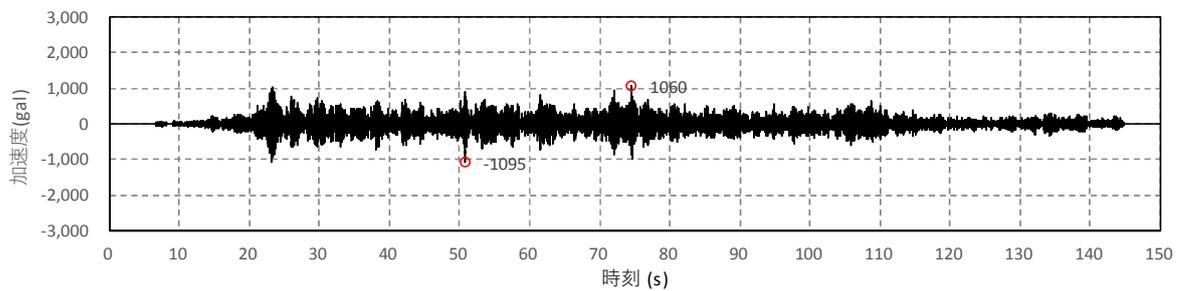
X方向



Y方向



Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

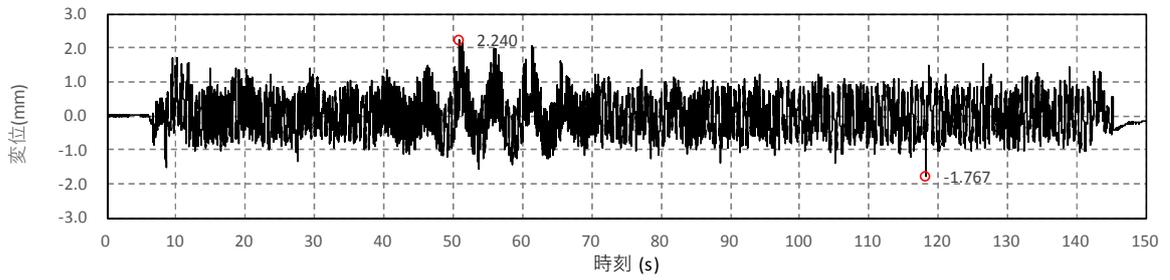


図-a DV-1 時刻歴波形

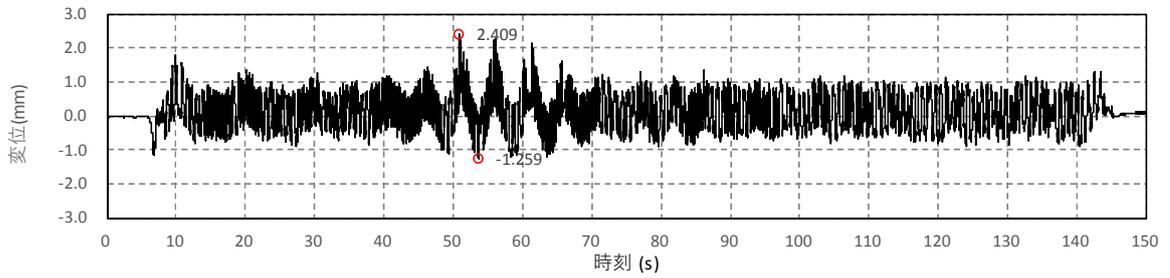


図-b DV-2 時刻歴波形

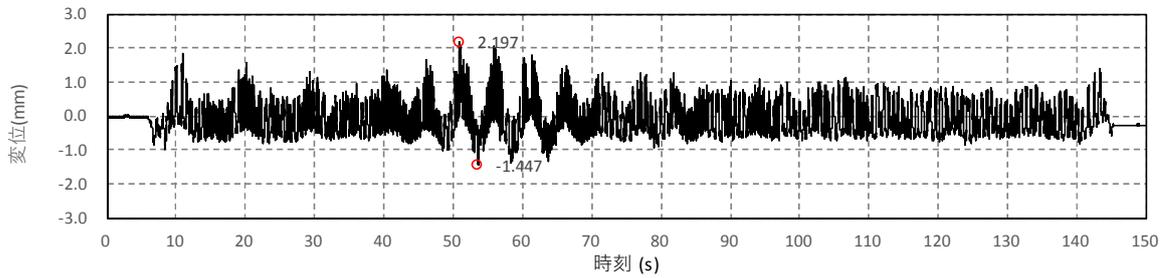


図-c DV-3 時刻歴波形

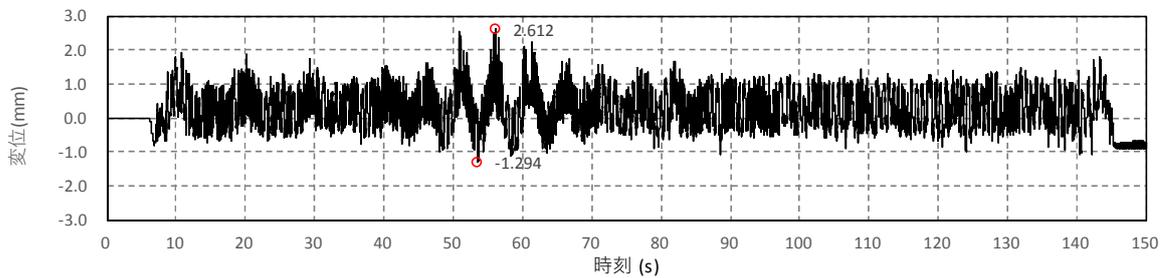


図-d DV-4 時刻歴波形

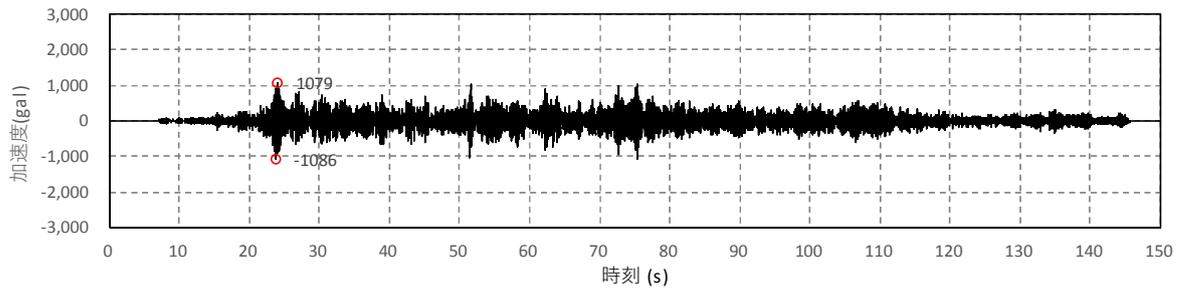
③鉛直（鋼製防護壁包絡波）

a. 鉛直最大変位（1回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-257	79	-1086

Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

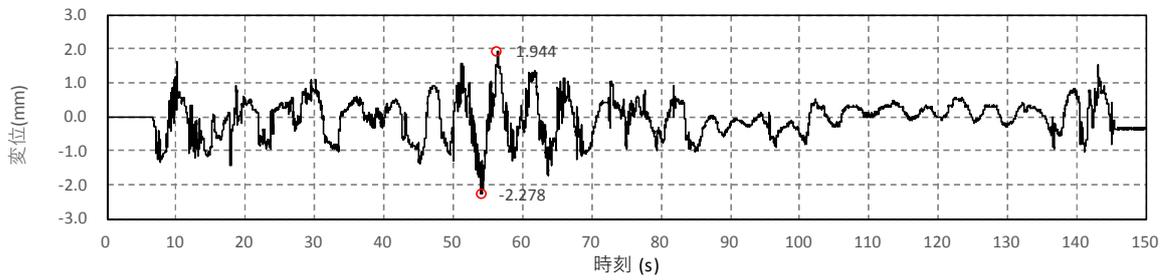


図-a DV-1 時刻歴波形

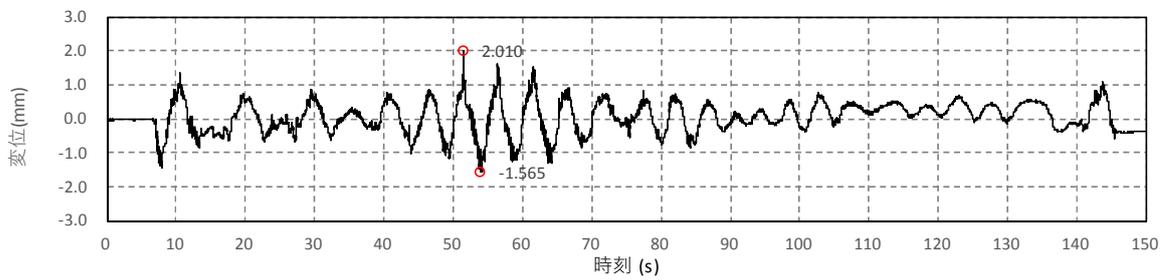


図-b DV-2 時刻歴波形

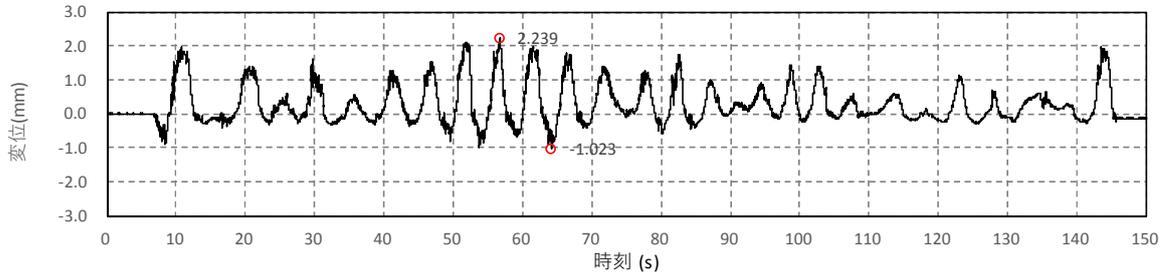


図-c DV-3 時刻歴波形

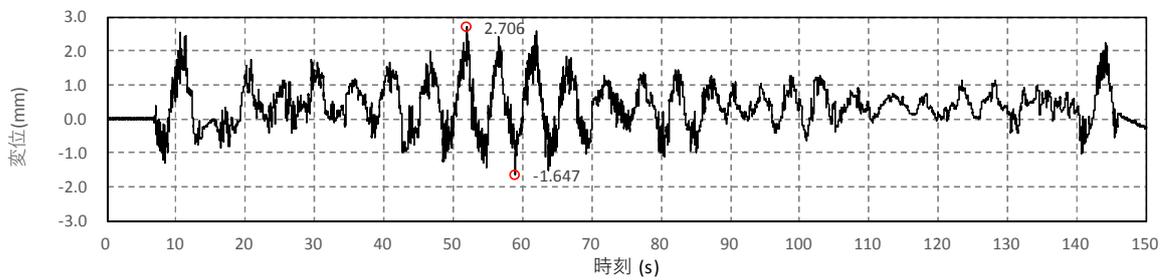


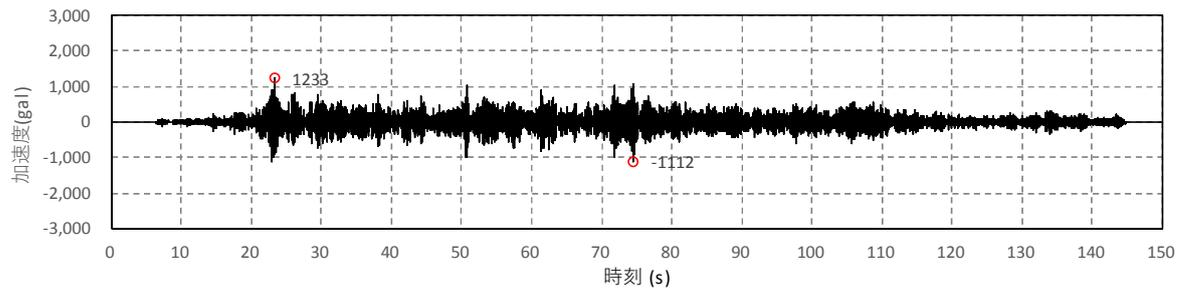
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-251	-80	1233

Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

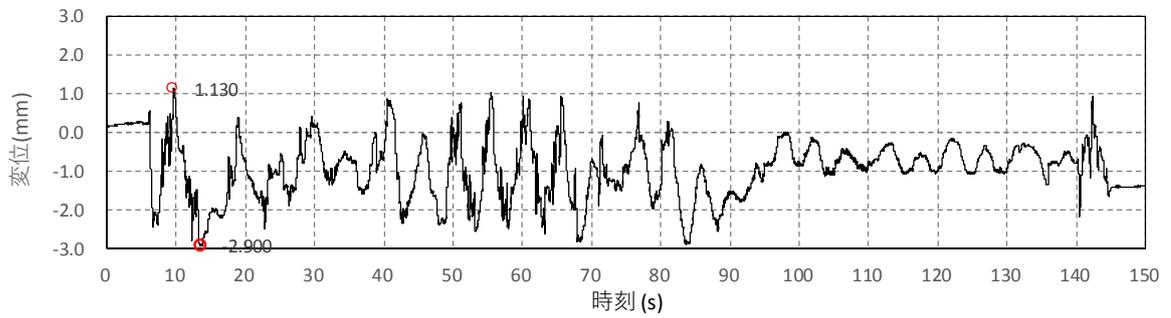


図-a DV-1 時刻歴波形

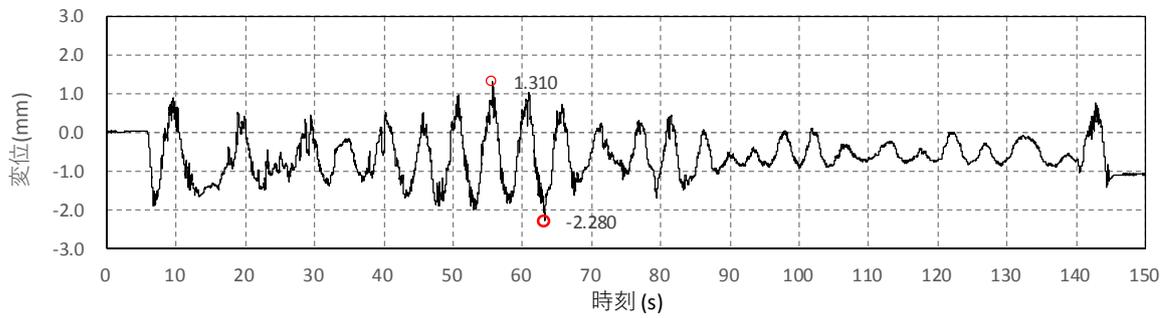


図-b DV-2 時刻歴波形

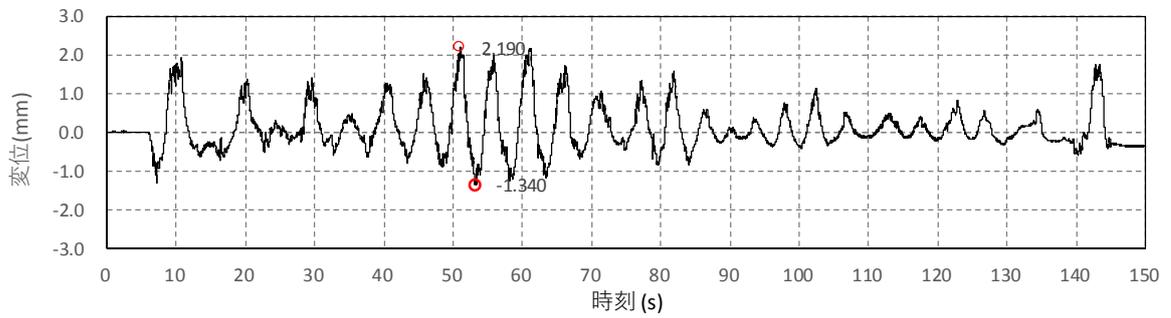


図-c DV-3 時刻歴波形

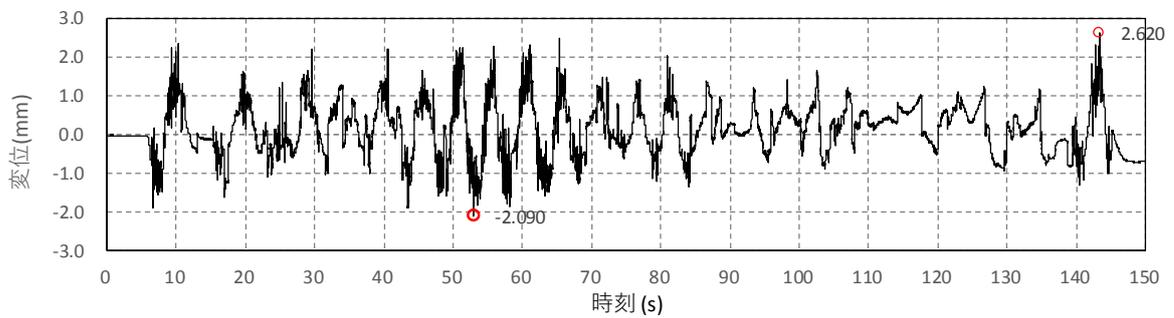


図-d DV-4 時刻歴波形

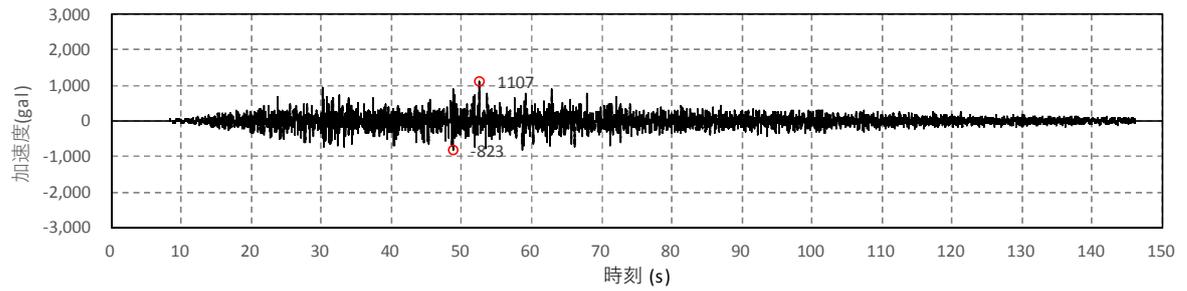
④鉛直（取水路包絡波）

a. 鉛直最大変位（1回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	60	101	1107

Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

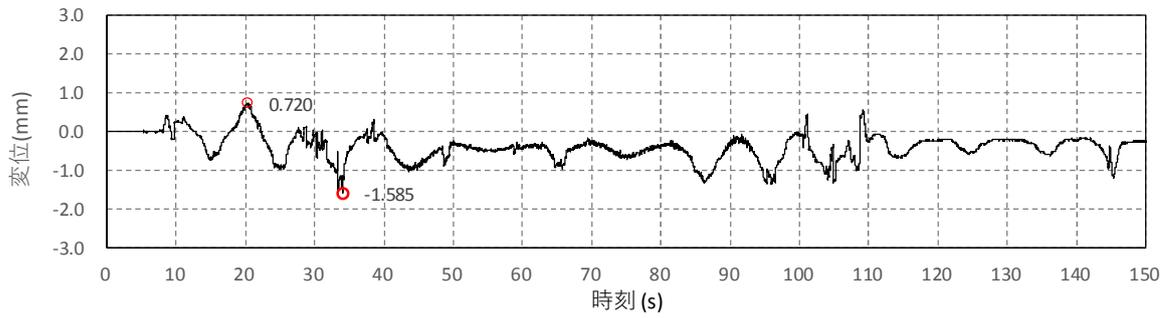


図-a DV-1 時刻歴波形

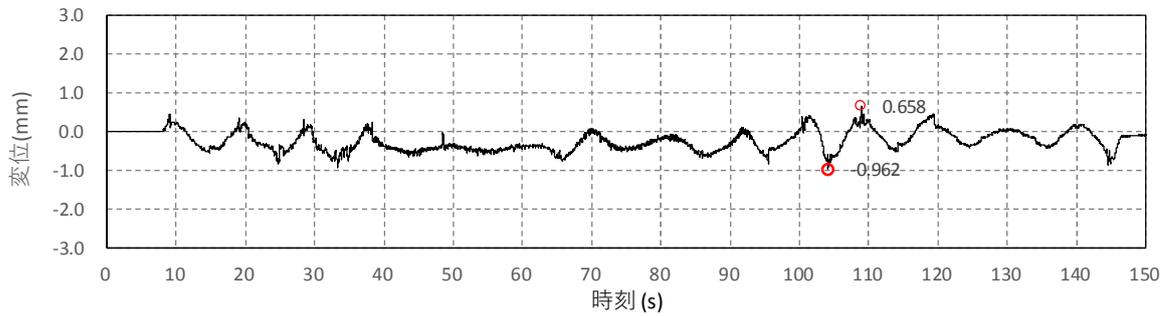


図-b DV-2 時刻歴波形

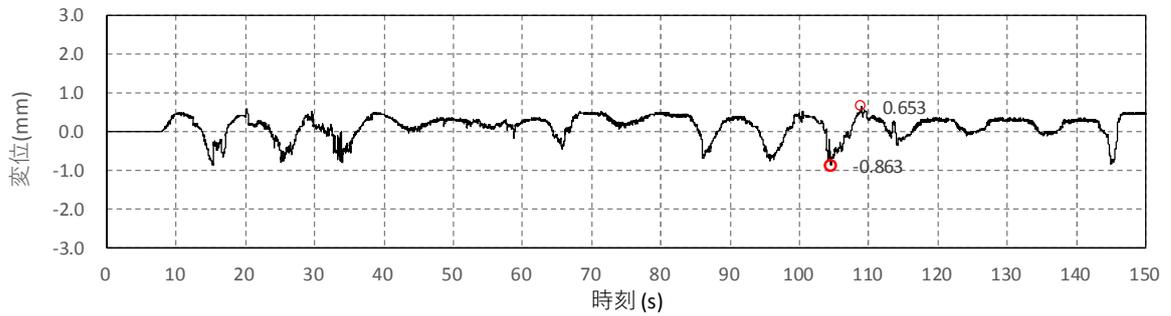


図-c DV-3 時刻歴波形

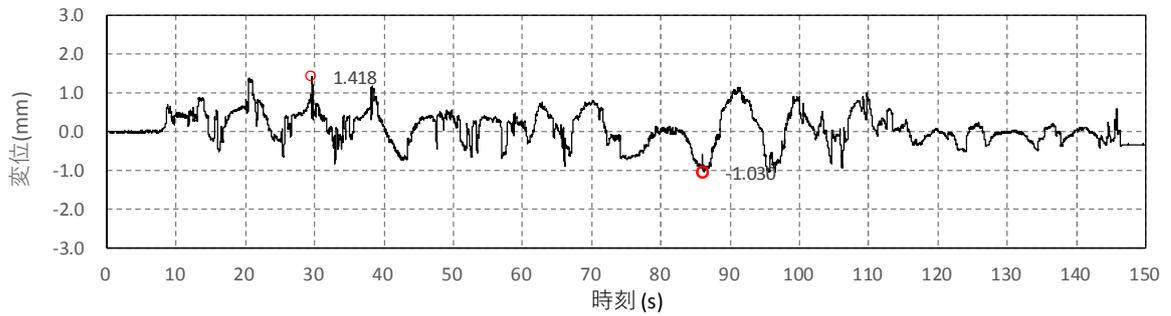


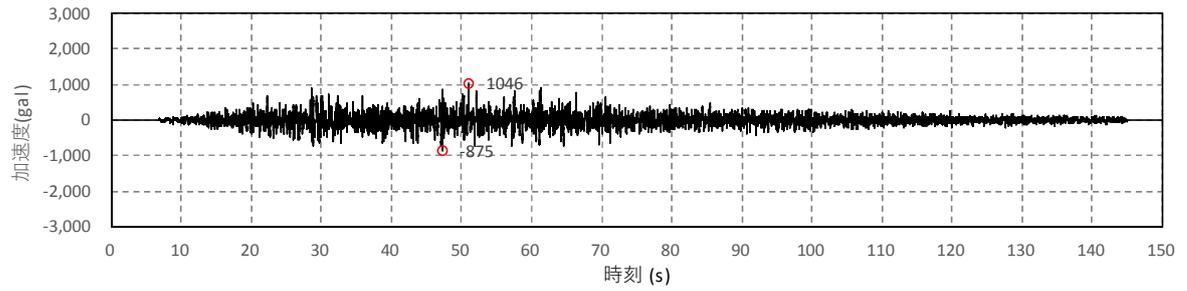
図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

【振動台上応答加速度波形】

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-54	65	1046

Z方向



【鉛直変位時刻歴波形】

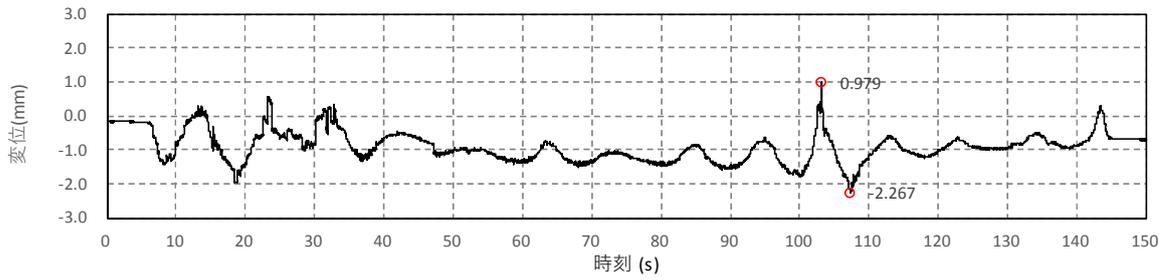


図-a DV-1 時刻歴波形

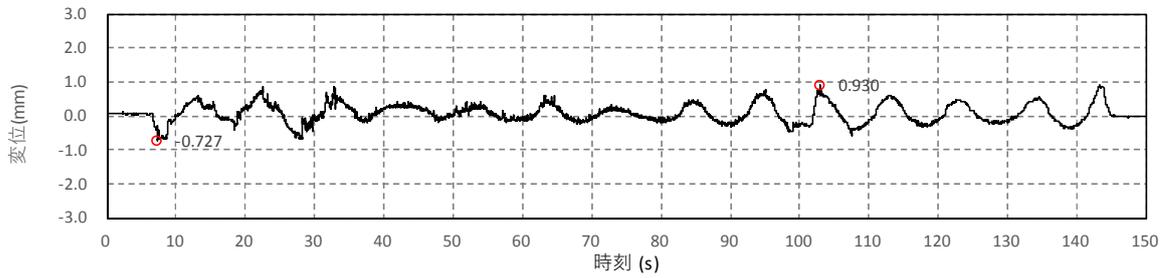


図-b DV-2 時刻歴波形

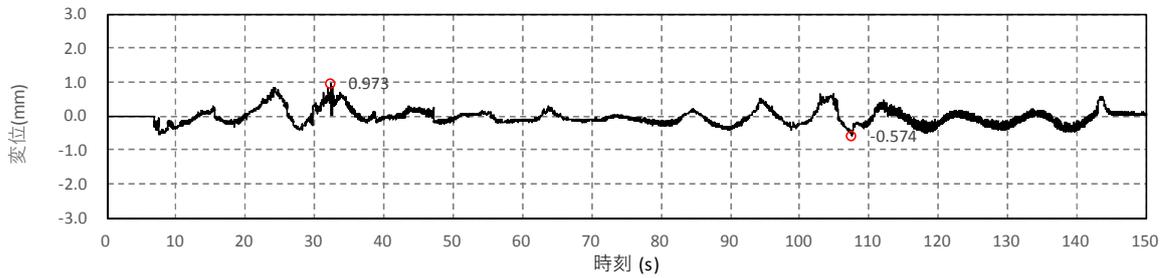


図-c DV-3 時刻歴波形

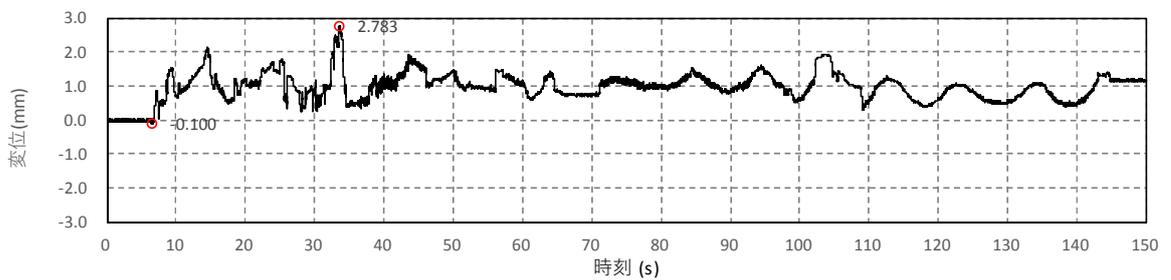


図-d DV-4 時刻歴波形

(2) 水密ゴムの外観状況

a. 各部位の水密ゴムの外観状況

摺動試験 2 回目の本震後の水密ゴム等の状況

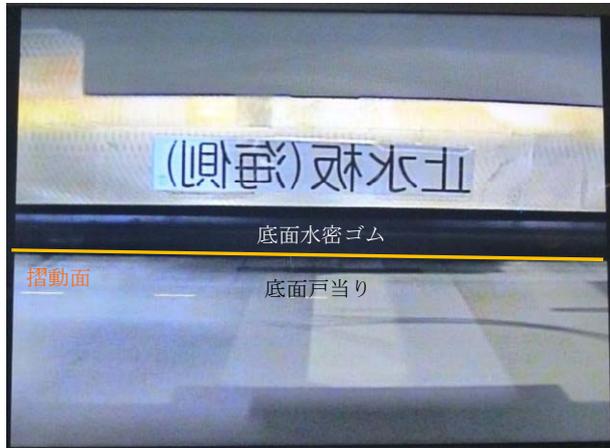


写真1 底面水密ゴムと底面戸当り
(海側より)

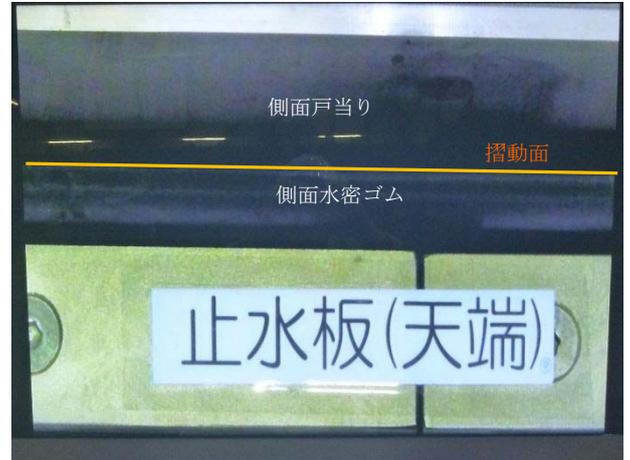


写真2 側面水密ゴムと側面戸当り
(海側より)

加振中における底面水密ゴム及び側面水密ゴムの噛み込みは画像から認められなかった。



写真3 底面水密ゴムと底面戸当り
(陸側より)

写真4 止水板接続ゴム
(陸側より)

加振中における底面水密ゴム及び止水板接続ゴムの状況に画像から異常は認められなかった。



(上方側移に移動)



(中間位置)



(下方側に移動)

写真4 加振時の止水板の挙動

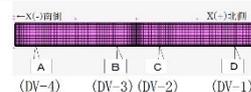
(3) 確認結果【本震時】

実証試験の本震時の結果、全てのケースにおいて止水板の追従性は良好であった。水密ゴムの噛み込みや破損等についても見られなかった。表4に実証試験結果を示す。水密ゴムの浮き上がり量については表5に示す。実証試験モデルの場合、実態に近い挙動は止水板接続部であることから表6に止水板接続部として整理し、全てのケースで3mm以下(図1参照)であることを確認した。実証試験モデルと実機モデルの検証については、6.1.3.3に示す。

表4 実証試験結果(1回目/2回目)

		①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	④鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。(浮き上がり、止水板の破損・損傷)	良好/良好	良好/良好	良好/良好	良好/良好
水密ゴムの健全性確認	◆水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。 (噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗) ◆水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。(ライニングの破損、めくれ) 写真5参照	良好/良好	良好/良好	良好/良好	良好/良好
1次止水機構の構成部品の健全性確認	◆装置全体に異常がなく健全であること。 (試験装置、部材の変形、損傷、他) 写真5参照	良好/良好	良好/良好	良好/良好	良好/良好

表5 止水板の浮き上がり量(最大値の整理(mm))



			①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	④鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量3mm以下3mm以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態(図1参照)	1回目	2.23 (DV-1)	1.94 (DV-1)	2.71 (DV-4)	1.42 (DV-4)
		2回目	1.30 (DV-4)	2.61 (DV-4)	2.62 (DV-4)	2.78 (DV-4)

鉛直変位の最大値は、止水板の端部(DV-1,4)が拘束されていないため浮き上がる傾向が認められた。

表6 止水板の浮き上がり量(止水板接続部(mm))

			①3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	②3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	③鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	④鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量3mm以下3mm以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態(図1参照)	1回目	1.69(DV-2) 1.97(DV-3)	1.32(DV-2) 0.79(DV-3)	2.01(DV-2) 2.24(DV-3)	0.66(DV-2) 0.65(DV-3)
		2回目	0.89(DV-2) 0.77(DV-3)	2.41(DV-2) 2.20(DV-3)	1.31(DV-2) 2.19(DV-3)	0.93(DV-2) 0.97(DV-3)

実態に近い止水板接続部については、数値に大きなばらつきもなく全ての状態で3mm以下であった。



底面水密ゴム



底面水密ゴム



側面水密ゴム



止水板接続ゴム

【1回目加振試験後（1回目加振試験供試材）】

- ◆底面・側面止水ゴムの亀裂・破損・摩耗，水密ゴムライニングの破損，めくれ等はなかった。
- ◆止水板接続の破損，底面・側面水密ゴムとの接続部の破損等は認められなかった。



底面水密ゴム



底面水密ゴム



底面水密ゴム



止水板接続ゴム

【2回目加振試験後（2回目加振試験供試材）】

- ◆底面・側面止水ゴムの亀裂・破損・摩耗，水密ゴムライニングの破損，めくれ等はなかった。
- ◆止水板接続の破損，底面・側面水密ゴムとの接続部の破損等は認められなかった。

写真5 (1/2) 加振試験後における水密ゴムの点検結果



底面戸当り



側面戸当り



止水板コマ

【2回目加振試験後（1回目及び2回目共通加振試験供試材）】

- ◆底面・側面戸当り，止水板コマに摺動痕は認められるが，破損等の異常は認められなかった。
- ◆水密ゴム固定ボルトの緩み，脱落も認められなかった。

- ◆加振試験後に1次止水機構を取り外し，1次止水機構の構成部材の状態について確認した。底面戸当り，側面戸当り，止水板コマの点検結果を上記写真5に示す。
 - ①底面戸当り，側面戸当りに摺動痕が見られるものの，1次止水機構の機能を阻害するような破損等は認められなかった。
 - ②水密ゴムを固定する止水板コマの取り付けボルトの緩み，脱落等の異常は認められなかった。
- ◆以上より，1次止水機構の構成部材の地震時の健全性が保持できることが確認できた。今後，三次元動的解析等により，各主要部材に作用する応力等について評価を実施し，今回の実証試験結果と合わせて構造成立性について確認していく。

写真5（2/2） 加振試験後における水密ゴムの点検結果

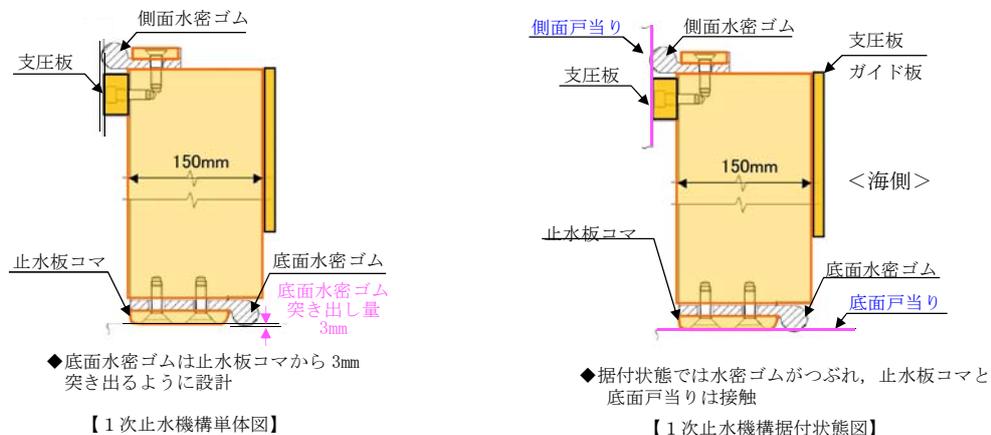


図1 底面，側面水密ゴムの単体及び据付け状況

(4) 実証試験結果と3次元動的解析（実証試験モデル）の検証について【本震時】

a. 実証試験及び三次元動的解析ケースの目的

実証試験は以下の4ケース（①～④）を実施した。各試験ケースの目的を示す。

検証ケースとして3方向加振試験の場合は，②の実証試験と三次元動的解析を実施し，鉛直方向については④の実証試験と三次元動的解析を実施する。表7に三次元動的解析及び実証試験ケースの目的を示す。

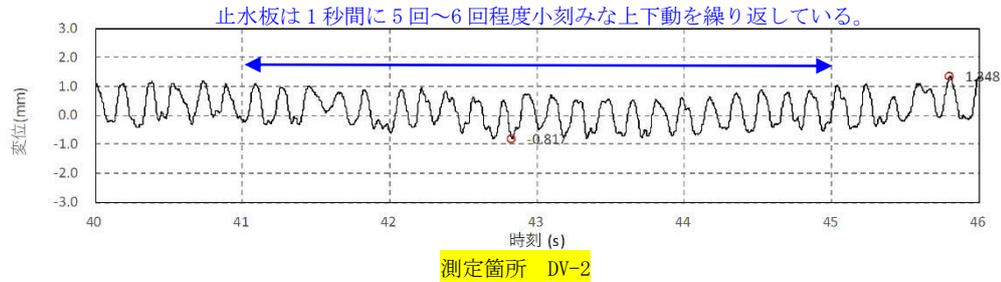
表7 実証試験及び三次元動的解析ケースの目的【本震時】

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		実証試験及び三次元動的解析ケースの目的
	X	Y	Z	実証試験	実機	
① 3方向 (X方向(堤軸)包絡波)	1 G	3 G (X包絡波)	1 G	○	○	【データ拡充】3方向データ ◆実証試験において，鋼製防護壁側の堤軸側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
② 3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	1 G	3 G (Y包絡波)	1 G	○	○	【検証ケース】3方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において鋼製防護壁側の堤軸直角側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動を確認する。 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。
③ 鉛直 (鋼製防護壁包絡波)	-	-	1 G	○	-	【データ拡充】鉛直方向データ ◆実証試験において鋼製防護壁側の鉛直方向の加速度(1G)を取水路側の鉛直方向に入力し，止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
④ 鉛直 (取水路側包絡波)	-	-	波形入力	○	○	【検証ケース】鉛直方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において止水板の挙動は，鉛直方向からの慣性力が支配的と考えられることから本件をベースケースとした実証試験を実施し，鉛直からの変位量を計測する。実機と同じ方向で確認 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。

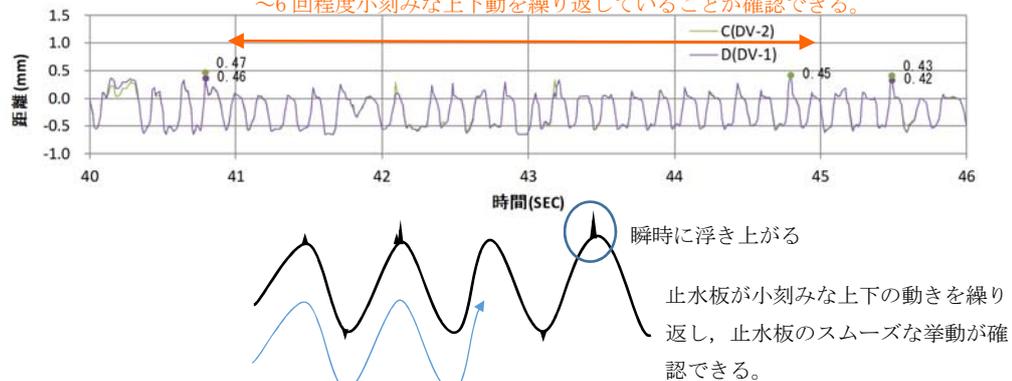
b. 実証試験と実証試験モデルとの検証 (② 3方向Y方向 (堤軸直角) 包絡波での検証)

止水板の挙動について、3方向同時加振時の検証ケースとして「② 3方向 (堤軸直角) Y方向包絡」について、実証試験で得られた鉛直変位の結果と実証試験モデルの解析結果から得られた検証結果を以下に示す。

【実証試験結果】



【3次元動的解析結果】 三次元動的解析も実証試験結果と同様に、止水板が1秒間に5回～6回程度小刻みな上下動を繰り返していることが確認できる。



止水板の鉛直変位の模式図 (3方向加振)

<検証結果>

◆ 3方向同時入力による「実証試験結果」, 「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」及び「実機設計モデルによる三次元動的解析結果」における止水板の鉛直変位量を比較した。

- ① 「実証試験」及び「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」を比較すると、鉛直変位量に差があるものも、止水板は1秒間に5～6回程度の小刻みな上下動を繰り返している。
- ② 「実証試験装置モデルによる三次元動的解析結果」と「実機モデルによる三次元動的解析結果」を比較すると、鉛直変位が生じるタイミング (1秒間に5～6回程度の小刻みな上下動も同じ) 及び鉛直変位量とも良く一致している。
- ③ それぞれ結果とも、止水板は動作途中で固着 (引っ掛かり) するような異常な挙動は見られない。

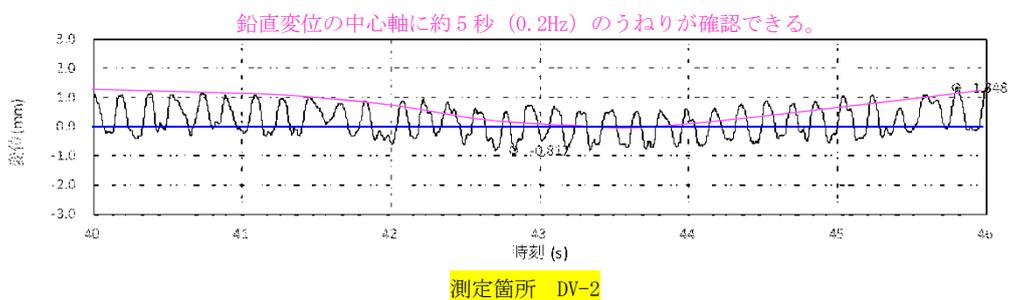
◆ 以上のとおり、三次元動的解析は「実証試験結果」をよく再現できていることから、解析の信頼性は確認できたものと考えられる。このため、実機止水板の地震時の追従性評価への三次元動的解析の適用は問題ないと判断される。

< 考 察 >

◆ 実証試験装置モデル及び実機設計モデルによる三次元動的解析結果には見られない鉛直変位量の中心軸のうねりが確認される。これは取水路を模擬した加振台にアクチュエータにより入力波を入力した際に、アクチュエータからの振動が固定側の鋼製防護壁を模擬した架構を設置している浮き基礎に伝わり、架構側が揺れた影響によるものと推定される。

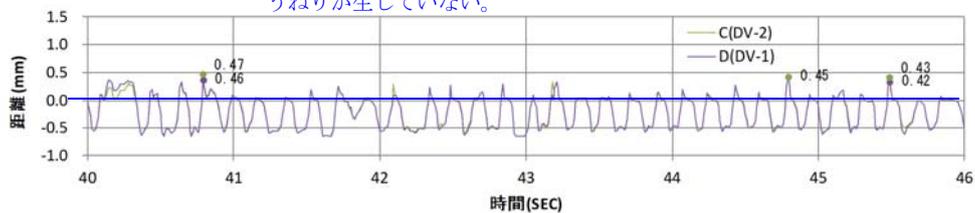
一方、実証試験装置モデルによる三次元動的解析は、加振台のみが振動する条件になっているため、実証試験のような中心軸のうねりが生じていないものと推定される。

【実証試験結果】



【三次元動的解析】

実証試験モデルには加振台の条件になっていないため中心軸のうねりが生じていない。



c. 止水板の上下の挙動について

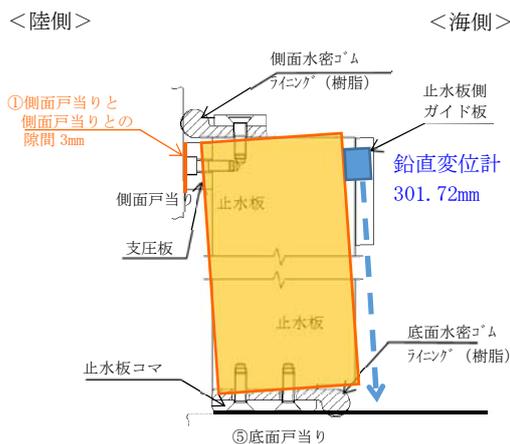
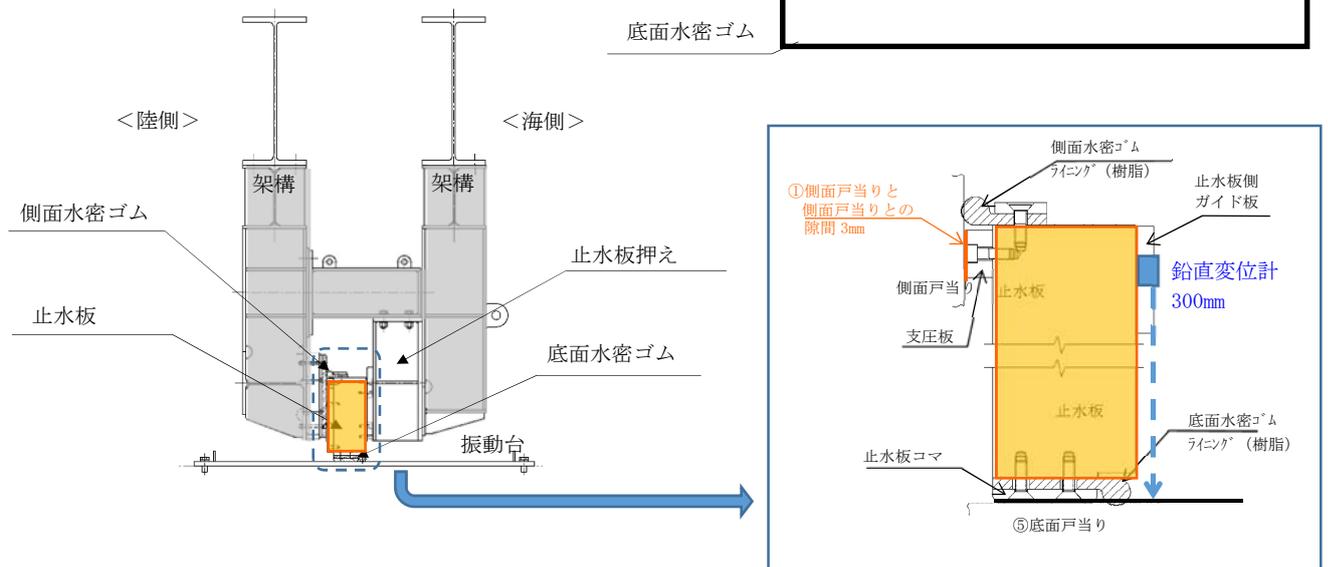
b 項 c 項の特徴にてみられる止水板の上下の挙動について

止水板と側面戸当りとの間には 3mm の隙間を施工上設けており 3mm の隙間による止水板の傾きが鉛直変位に影響していると思われる。

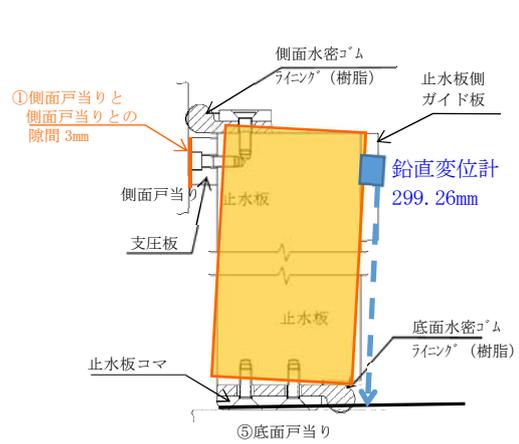
以下は図面寸法による算出結果を示す。

◆通常状態 300mm

- ・陸側に傾いた場合 301.72mm (+1.72mm)
- ・海側に傾いた場合 299.26mm (-0.74mm)



陸側に倒れた場合



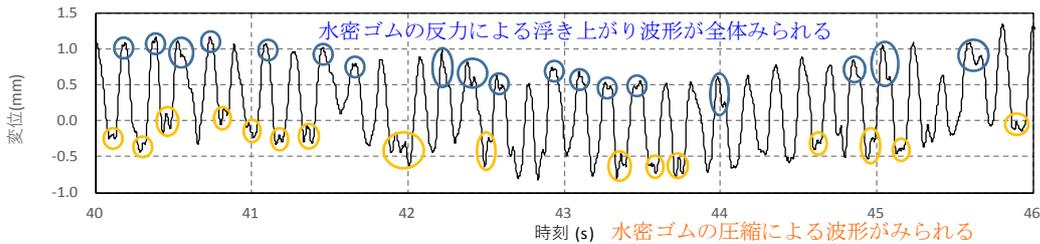
海側に倒れた場合

止水板の傾きにより鉛直変位量にはわずかな上下の傾きが常に発生している。そのため、止水板の浮き上がり量が 3mm 以下を水密ゴムの接触状態として判断しているが、仮に 3mm 以上の僅かな浮き上がりが発生したとしても、止水板の鉛直変位量には上記の寸法が含まれた数値となり、水密機能に影響を与えるものではない。

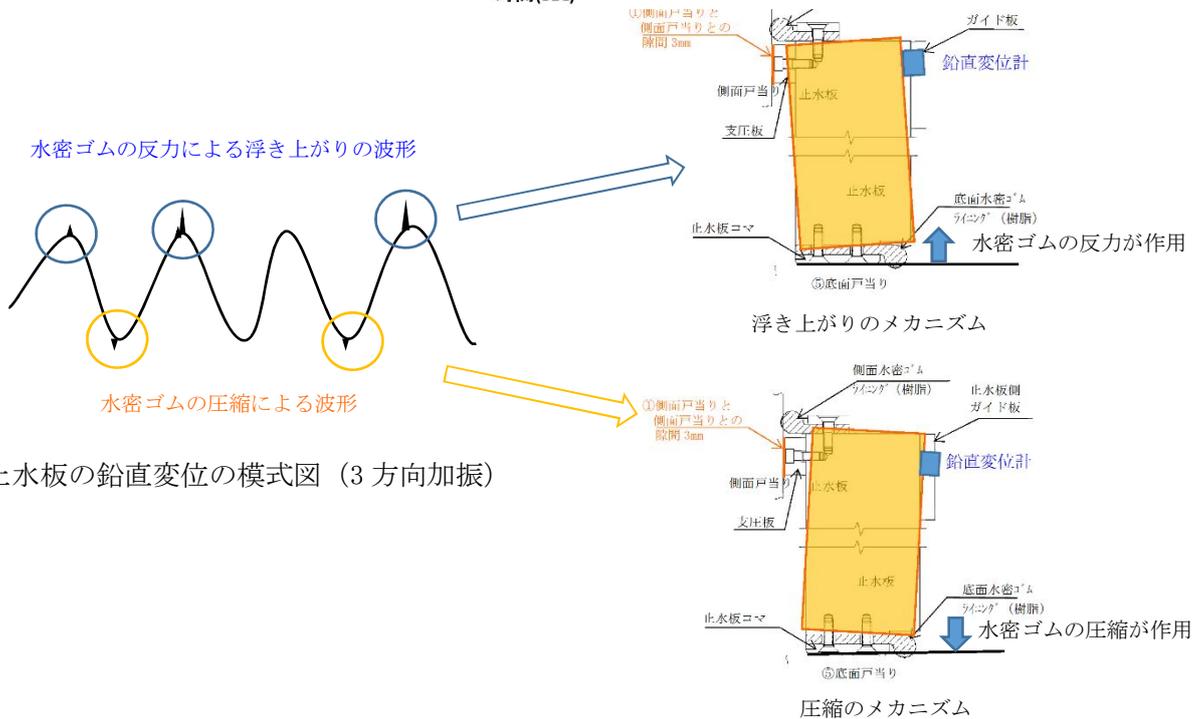
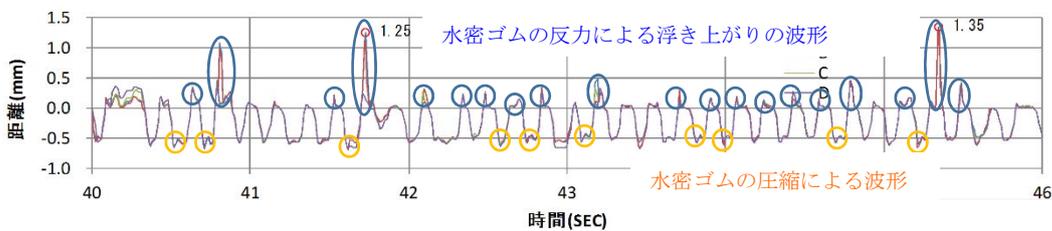
d. 水密ゴムの浮き上がりと圧縮による挙動について

止水板の鉛直変位の上下挙動の動きに合わせ、水密ゴムの反力による浮き上がりや圧縮による波形が見られる。ここでは、水密ゴムの浮き上がりや圧縮の挙動について分析する。底面水密ゴムに設置している水密ゴムは、常時 3mm 圧縮した状態で設置している（図 1 参照）。そのため、止水板の上下挙動に合わせ、水密ゴムの反力及び圧縮による影響が鉛直変位の波形に表れている。

<実証試験> 3 方向鉛直変位



<3次元動的解析> 3 方向鉛直変位



止水板の鉛直変位の模式図（3方向加振）

浮き上がる波形の大小については、その時の振動台の入力加速度や方向、振動する固有周波数に左右され瞬時に大きく浮き上がる時と微小なときが存在すると考えられ、大小さまざまな波形が認められる。圧縮側についてはほぼ同じ圧縮量のため波形の大きさに同じ大きさのものが多く傾向にある。

5. 実証試験結果【余震時】

(1) 振動試験結果の波形

① 3方向（Y方向（堤軸直角）包絡波）

a. 鉛直最大変位（1回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-984	-2112	1038

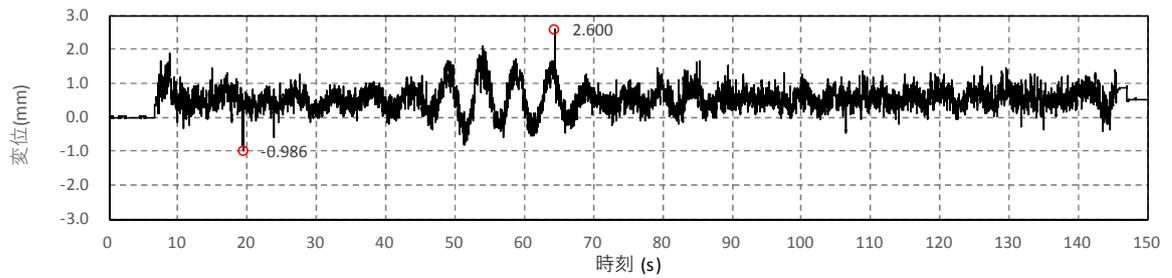


図-a DV-1時刻歴波形

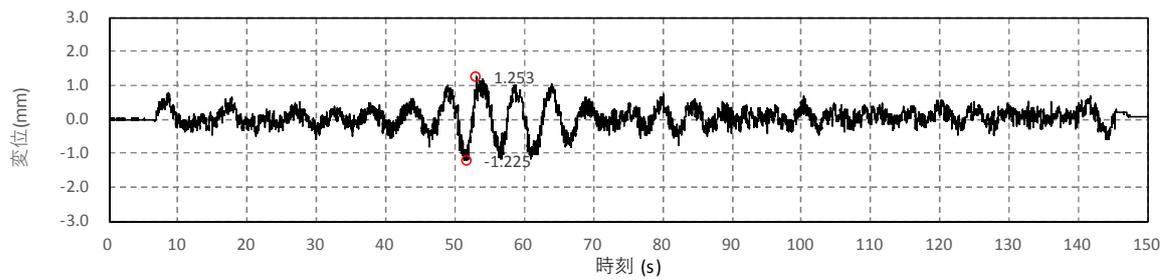


図-b DV-2時刻歴波形

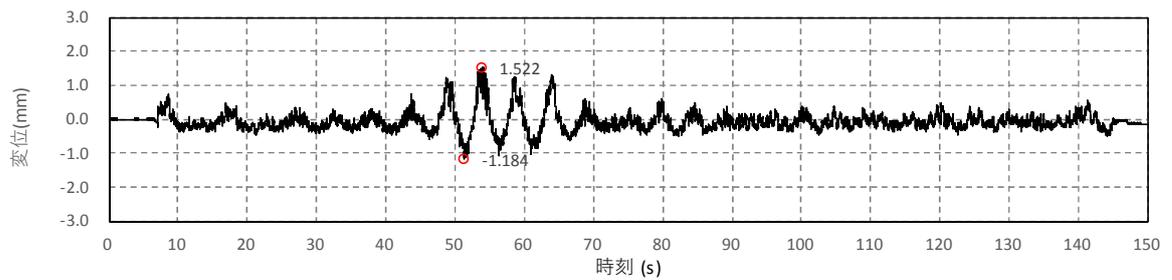


図-c DV-3時刻歴波形

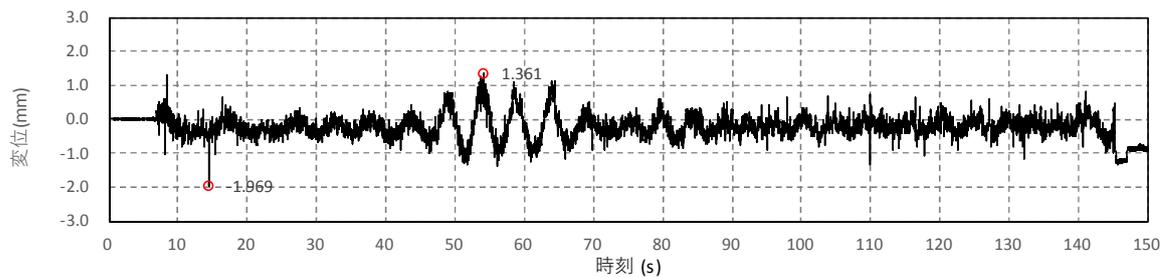


図-d DV-4時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-988	-2087	1075

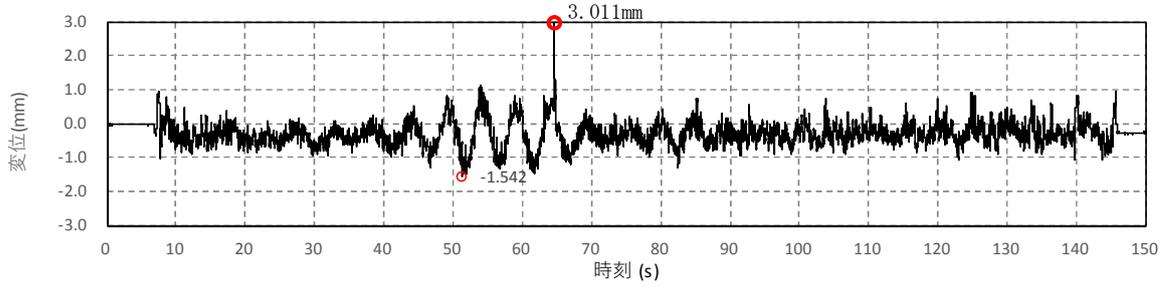


図-a DV-1 時刻歴波形

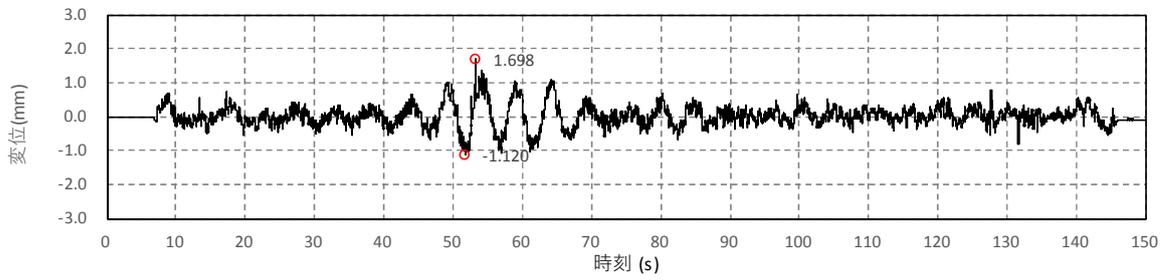


図-b DV-2 時刻歴波形

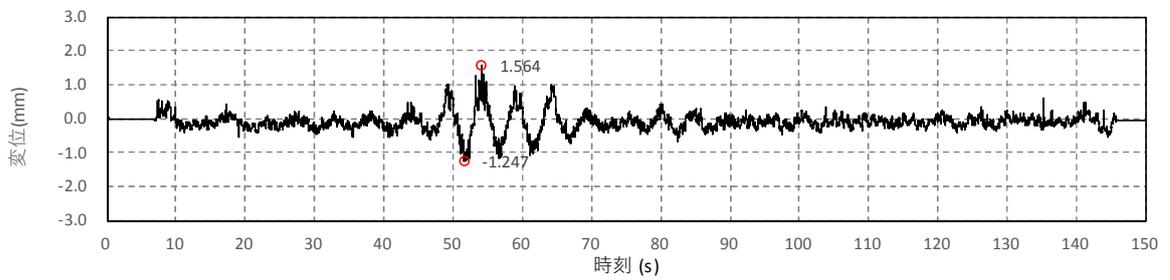


図-c DV-3 時刻歴波形

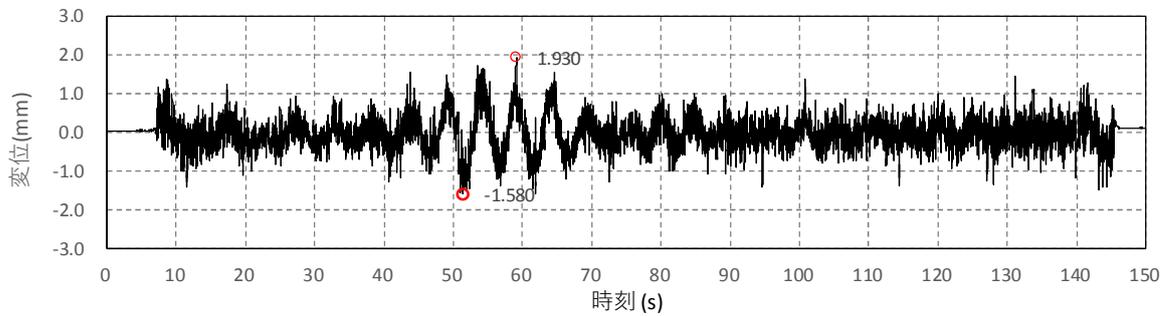


図-d DV-4 時刻歴波形

②鉛直（鋼製防護壁波形入力）

a. 鉛直最大変位（1回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-62	108	1082

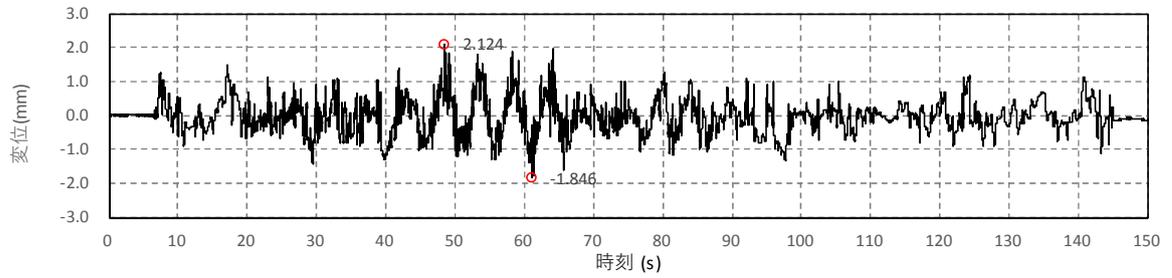


図-a DV-1時刻歴波形

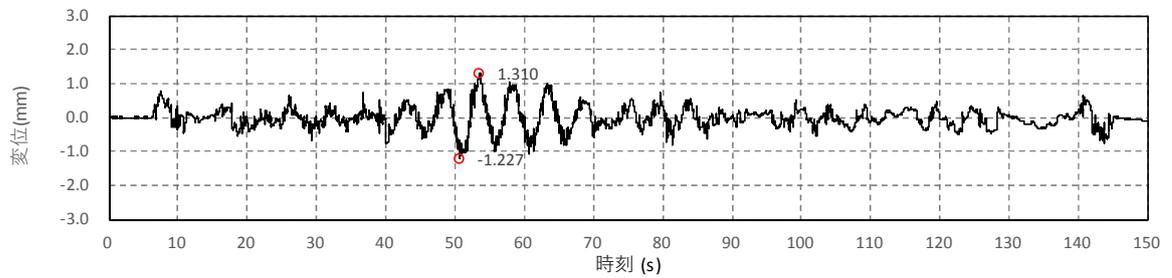


図-b DV-2時刻歴波形

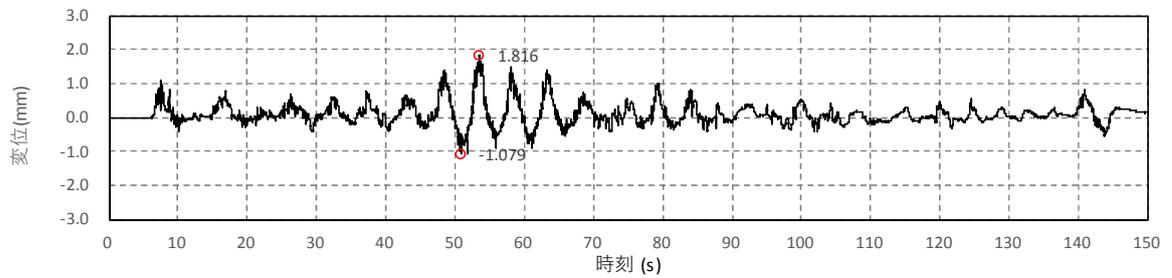


図-c DV-3時刻歴波形

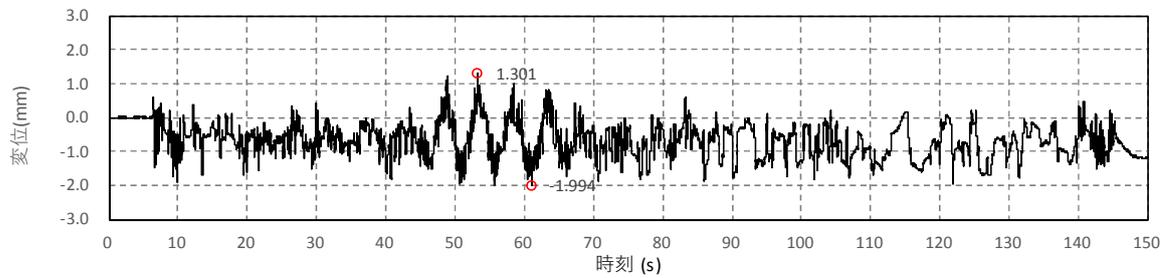


図-d DV-4時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-64	119	1046

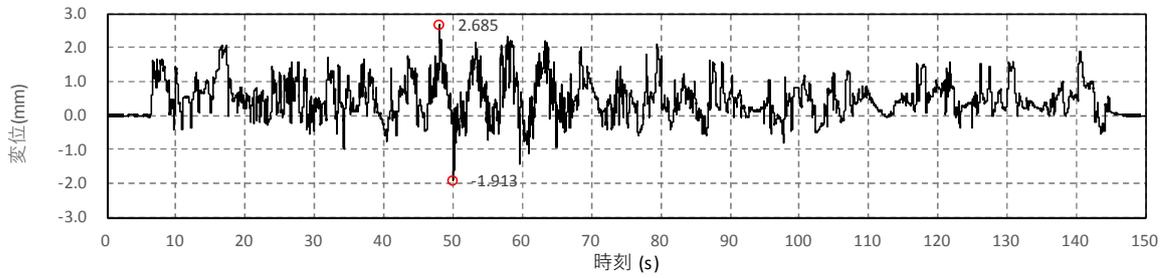


図-a DV-1時刻履歴波形

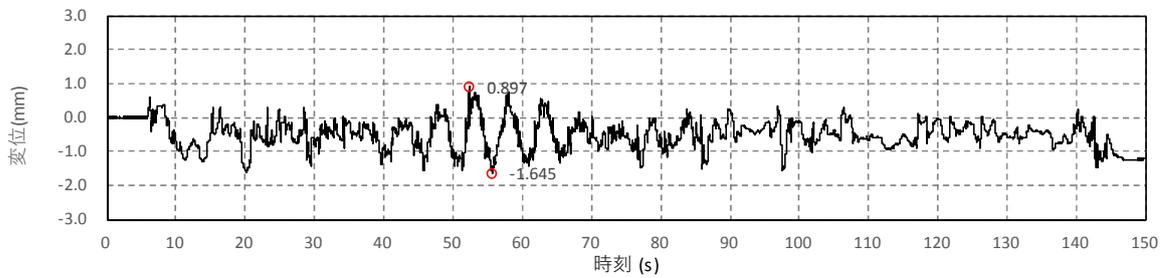


図-b DV-2時刻履歴波形

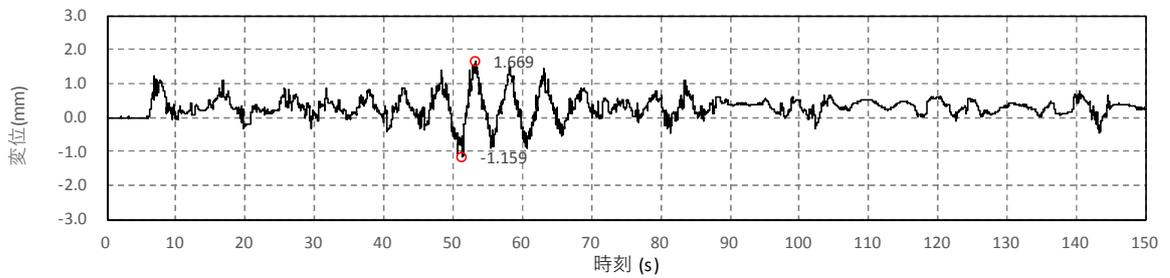


図-c DV-3時刻履歴波形

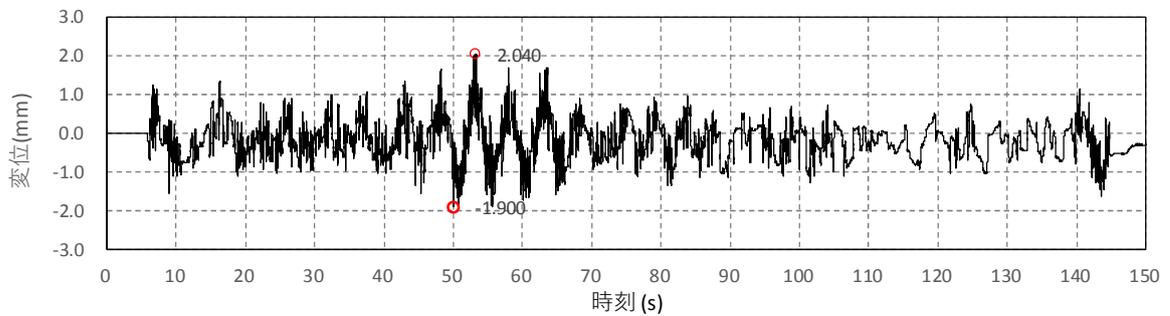


図-d DV-4時刻履歴波形

③鉛直（取水路波形入力）

a. 鉛直最大変位（1回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	-33	49	-572

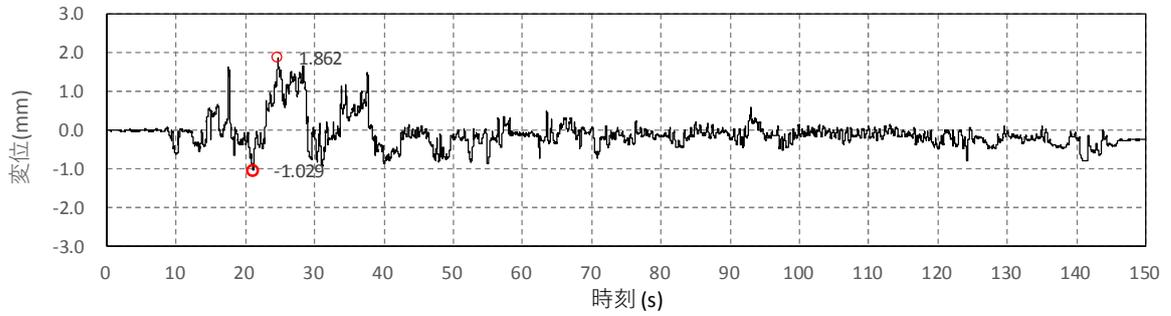


図-a DV-1 時刻歴波形

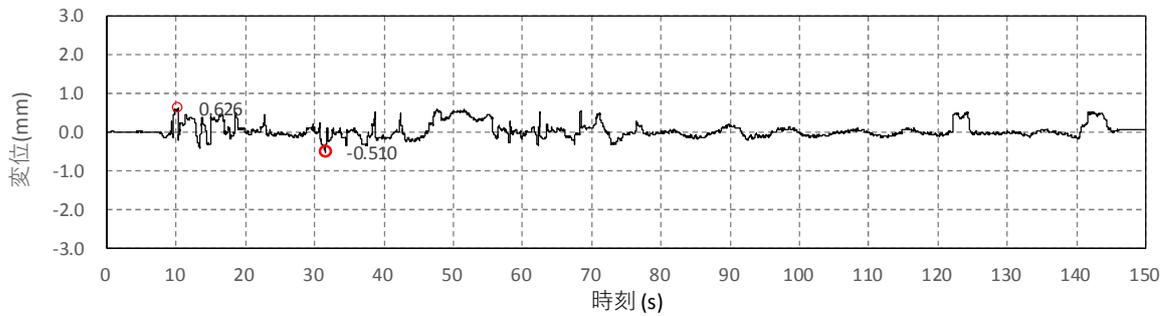


図-b DV-2 時刻歴波形

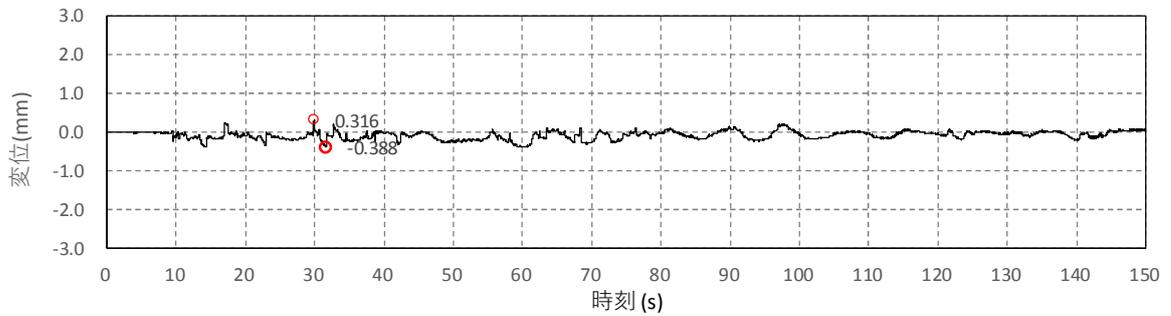


図-c DV-3 時刻歴波形

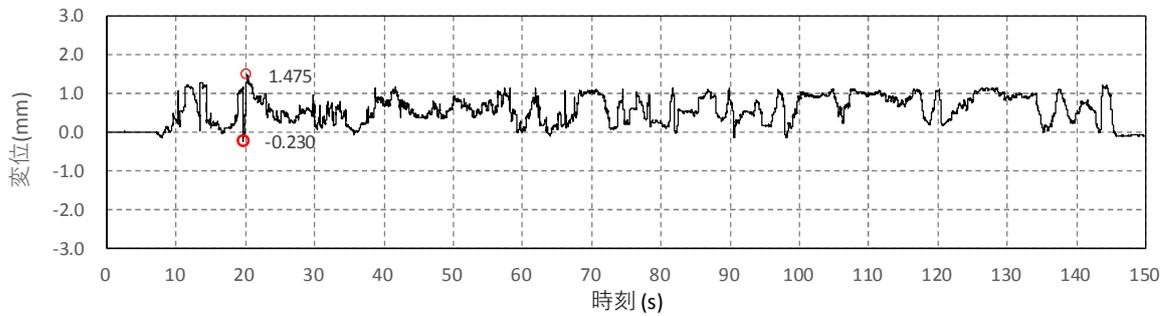


図-d DV-4 時刻歴波形

b. 鉛直最大変位（2回目）

	X方向	Y方向	Z方向
振動台入力加速度 (gal)	30	-50	-558

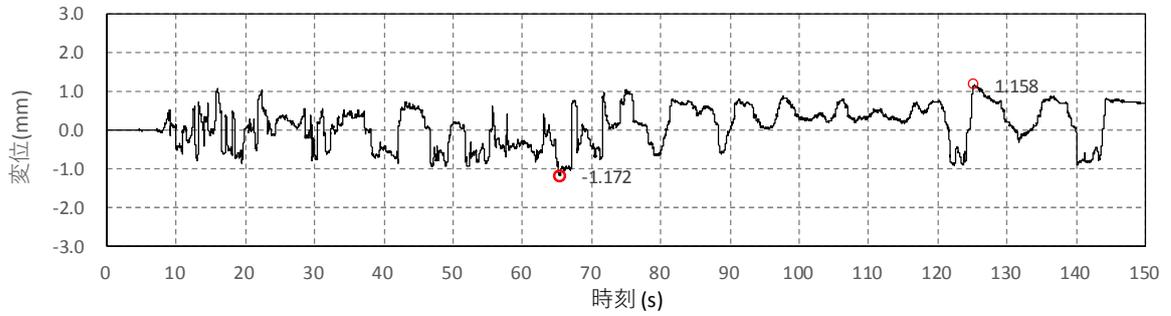


図-a DV-1 時刻歴波形

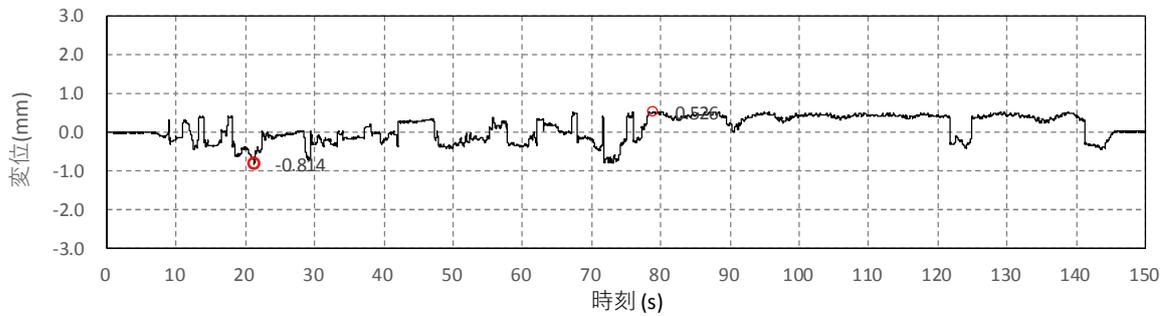


図-b DV-2 時刻歴波形

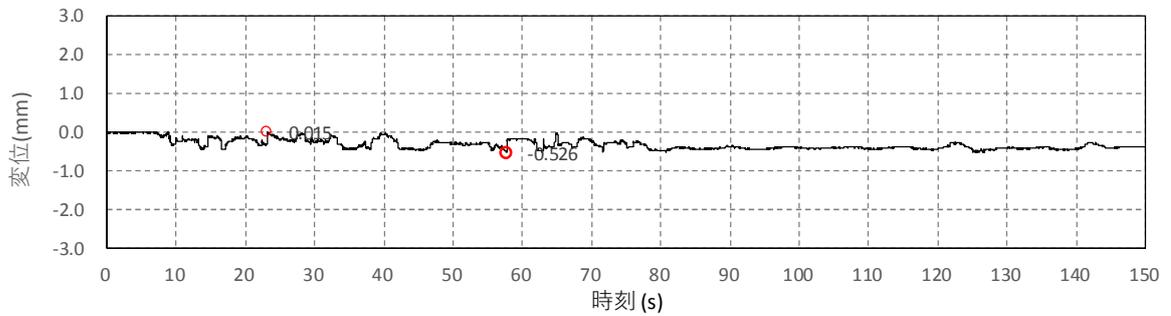


図-c DV-3 時刻歴波形

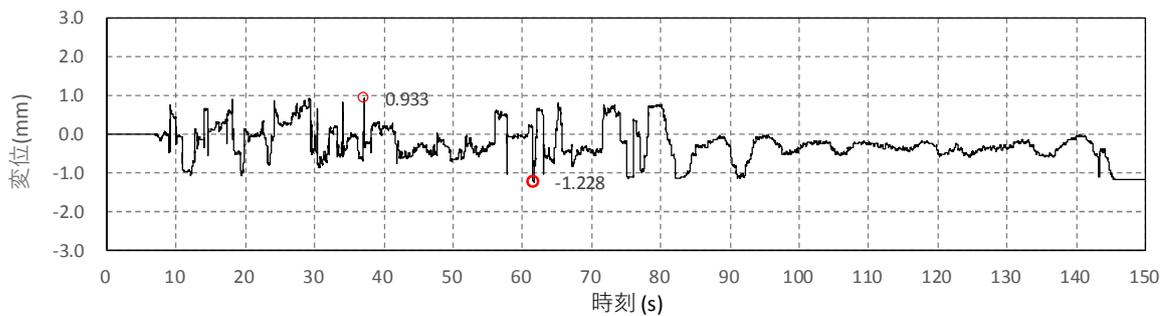


図-d DV-4 時刻歴波形

(2) 確認結果【余震時】

実証試験の余震時の結果、全てのケースにおいて止水板の追従性は良好であった。水密ゴムの噛み込みや破損等についても見られなかった。表8に実証試験結果を示す。水密ゴムの浮き上がり量については表9に示す。最大値で1箇所3mmを0.01mm上回る箇所が認められた。実証試験モデルの場合、実態に近い挙動は止水板接続部であることから表10に止水板接続部として整理し、全てのケースで3mm以下(図1参照)であることを確認した。(実証試験モデルと実機モデルの検証については、6.1.3に示す。)

表8 実証試験結果(1回目/2回目)

		①3方向 (Y方向(堤軸直 角)包絡波)	②鉛直 (鋼製防護壁波形 入力)	③鉛直 (取水路側包絡波)
止水板の地震 時の追従性確 認	◆止水板の動作に異常がなく、止水板としての機能が保持されていること。(浮き上がり、止水板の破損・損傷)	良好/良好	良好/良好	良好/良好
水密ゴムの健全 性確認	◆水密ゴムの動作に異常がなく機能が保持されていること。 (噛み込み、摺動による亀裂、破損、摩耗) ◆水密ゴムのライニングに異常がなく機能が保持されていること。(ライニングの破損、めくれ)※	良好/良好	良好/良好	良好/良好
1次止水機構 の構成部品の 健全性確認	◆装置全体に異常がなく健全であること。 (試験装置、部材の変形、損傷、他)	良好/良好	良好/良好	良好/良好

※詳細については、試験終了後に確認

表9 止水板の浮き上がり量(最大値(mm))

		①3方向 (Y方向(堤軸直 角)包絡波)	②鉛直 (鋼製防護壁波形 入力)	③鉛直 (取水路側包絡波)	
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量3mm以下3mm以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態(図1参照)	1回目	2.60 (DV-1)	2.12 (DV-1)	1.86 (DV-1)
		2回目	3.01※ (DV-1)	2.69 (DV-1)	1.16 (DV-1)

鉛直変位の最大値は、止水板の端部(DV-1,4)が拘束されていないため浮き上がる傾向が認められた。

※:浮き上がり量3mmに対し0.01mm上回った。

表10 止水板の浮き上がり量(止水板接続部(mm))

		①3方向 (Y方向(堤軸直 角)包絡波)	②鉛直 (鋼製防護壁波形 入力)	③鉛直 (取水路側包絡波)	
止水板の地震時の追従性確認	◆止水板の浮き上がり量3mm以下3mm以下の浮き上がりであれば水密ゴムは底面戸当りと接触状態(図1参照)	1回目	1.25(DV-2) 1.52(DV-3)	1.31(DV-2) 1.82(DV-3)	0.63(DV-2) 0.32(DV-3)
		2回目	1.70(DV-2) 1.56(DV-3)	0.90(DV-2) 1.67(DV-3)	0.53(DV-2) 0.02(DV-3)

実態に近い止水板接続部については、数値に大きなばらつきもなく全ての状態で3mm以下であった。

表9の①3方向(Y方向(堤軸直角)包絡波)の0.01mm浮き上がりのケースの場合についても良好な結果であった。

(3) 実証試験結果と3次元動的解析（実証試験モデル）の検証について【余震時】

a. 実証試験及び三次元動的解析ケースの目的

実証試験は以下の3ケース（①～③）を実施した。各試験ケースの目的を示す。

検証ケースとして3方向加振試験の場合は，①の実証試験と三次元動的解析を実施し，鉛直方向については③の実証試験と三次元動的解析を実施する。表11に実証試験及び三次元動的解析ケースの目的を示す。

表11 実証試験及び三次元動的解析ケースの目的

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		実証試験及び三次元動的解析ケースの目的
	X	Y	Z	実証試験	実機	
①3方向 (Y方向(堤軸直角)包絡波)	1G	2G (Y包絡波)	1G	○	○	【検証ケース】3方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において鋼製防護壁側の堤軸直角側の水平方向の包絡波を入力し止水板の挙動を確認する。 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。
②鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1G	○	—	【データ拡充】鉛直方向データ ◆実証試験において鋼製防護壁側の鉛直方向の加速度(1G)を取水路側の鉛直方向に入力し，止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。 ◆3次元動的解析における止水板の挙動をデータ拡充の観点から確認する。
③鉛直 (取水路側波形入寮)	—	—	波形入力	○	○	【検証ケース】鉛直方向データ(実機と同じ方向確認) ◆実証試験において止水板の挙動は，鉛直方向からの慣性力が支配的と考えられることから本件をベースケースとした実証試験を実施し，鉛直からの変位量を計測する。実機と同じ方向で確認 ◆3次元動的解析については，実証試験と実証試験ケースの検証を行うと共に実機ケースモデルとの解析検証を行いモデルの妥当性についても確認する。

実証試験と実証試験モデルとの検証（3方向及び鉛直方向）については解析結果確認後に検証する。

6.1.3.5 実証試験結果と三次元動的解析結果における評価について

1. 評価目的

止水機構の実証試験結果の挙動において、三次元動的解析結果との挙動に相違する部分が見受けられることから、実証試験結果における要因を分析評価し、三次元動的解析モデルの信頼性を評価する。

2. 評価・検証項目

実証試験結果と三次元動的解析との止水板の挙動について、以下の項目について検討を実施し、実証試験結果と三次元動的解析結果との挙動の相違点等について評価する。

図1に実証試験結果における三次元動的解析との挙動等の相違点に対する評価方針を示す。

<評価項目>

①実証試験に生じるうねりの解明

うねりが3方向同時加振時に発生し、鉛直のみの時には発生しない理由。

②実証試験の浮き上がり量が三次元動的解析より大きくなる事の分析

③その他、実証試験及び三次元動的解析の結果に生じた挙動等の相違についての評価 (架構自体の挙動、振動台の挙動など)

④①～③の検討を踏まえ、三次元動的解析モデルの更なる信頼性の向上

工事計画認可申請時の評価用のため、改良点等を抽出しモデルの信頼性を向上

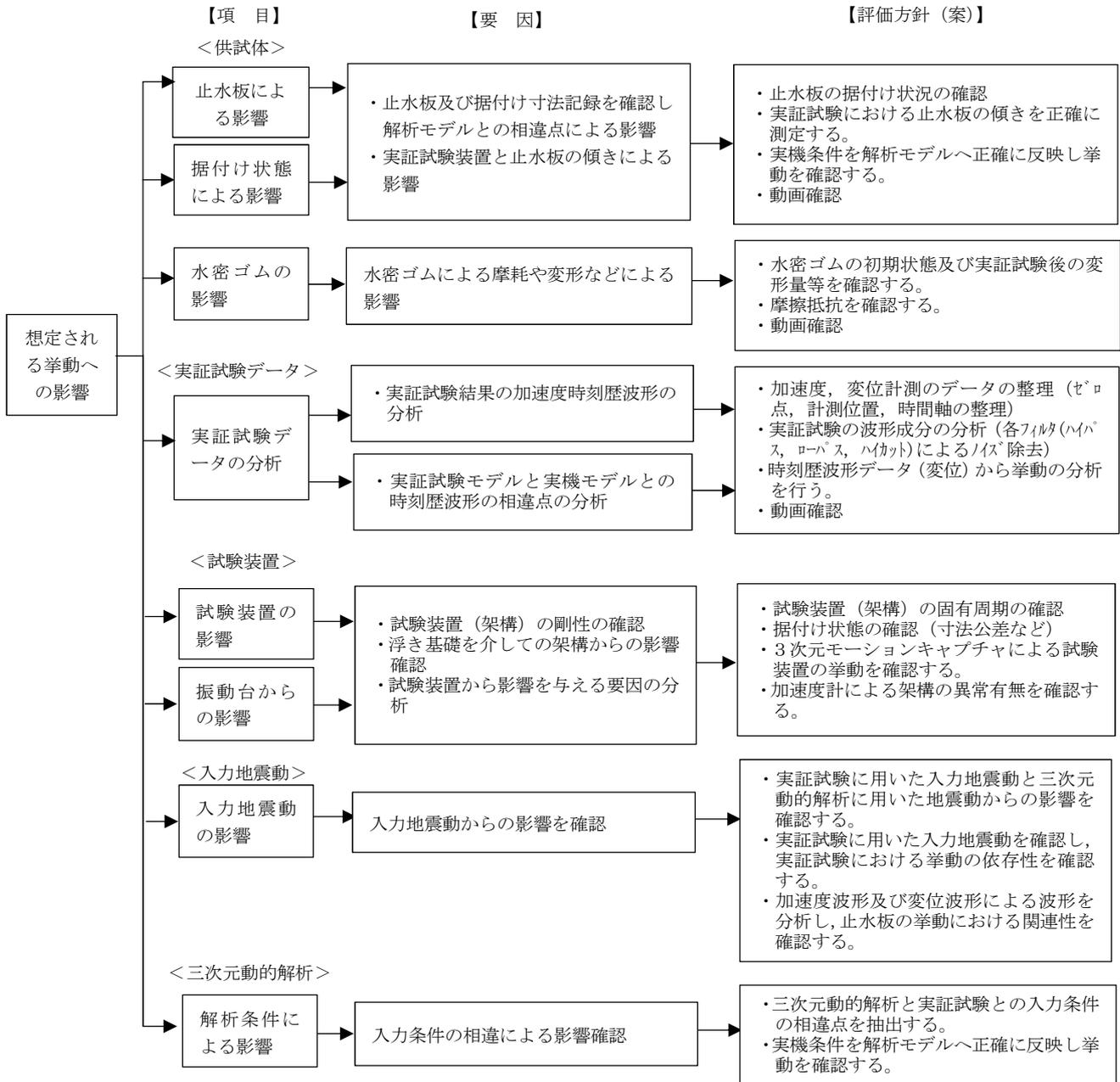


図1 実証試験結果における三次元的解析との挙動等の相違点に対する評価方針

3. 実証試験に生じるうねりの解明

実証試験における3方向同時加振の鉛直変位の結果から、長周期のうねりが認められたことから、評価項目の「①実証試験に生じるうねりの解明」及び「③その他実証試験及び三次元的解析の結果に生じた挙動等の相違についての評価」について本項で説明する。

(1) 実証試験用入力波による影響

実証試験時における3方向同時加振時の実証試験用地震動は、「Y方向（堤軸直角）包絡波」で鋼製防護壁の応答加速度を包絡させた地震動を用いている。

そのため、振動台より伝達される実証試験用地震動のY方向についてフーリエスペクトルを作成し周波数成分を分析した。

その結果、卓越周波数に3つのピーク（1.09Hz、1.22Hz、5.77Hz）を確認した。表1に実証試験時の入力地震動における卓越振動数、図2に実証試験時のY方向フーリエスペクトル図を示す。

表1 実証試験時の入力地震動における卓越振動数

方向	卓越振動数(Hz)	
	1回目	2回目
X方向	0.72, 14.48	0.72, 14.48
Y方向	1.09, 1.22, 5.77	1.09, 1.22, 5.78
Z方向	8.25, 23.75	8.25, 23.75

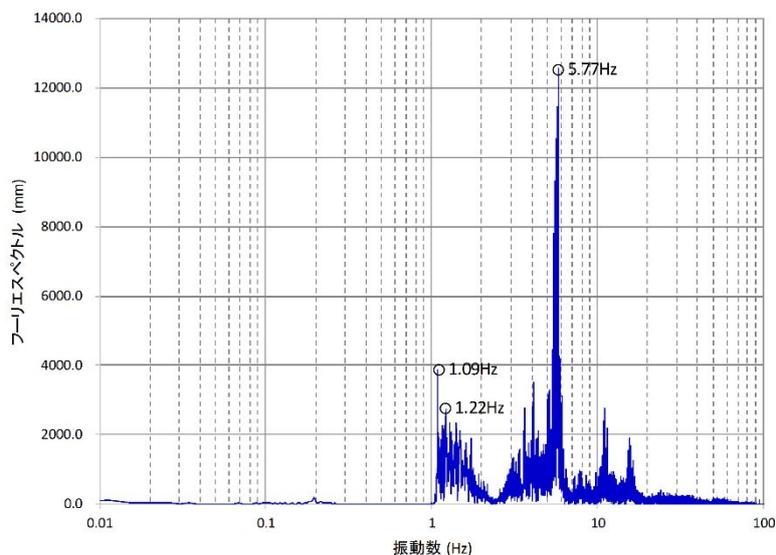
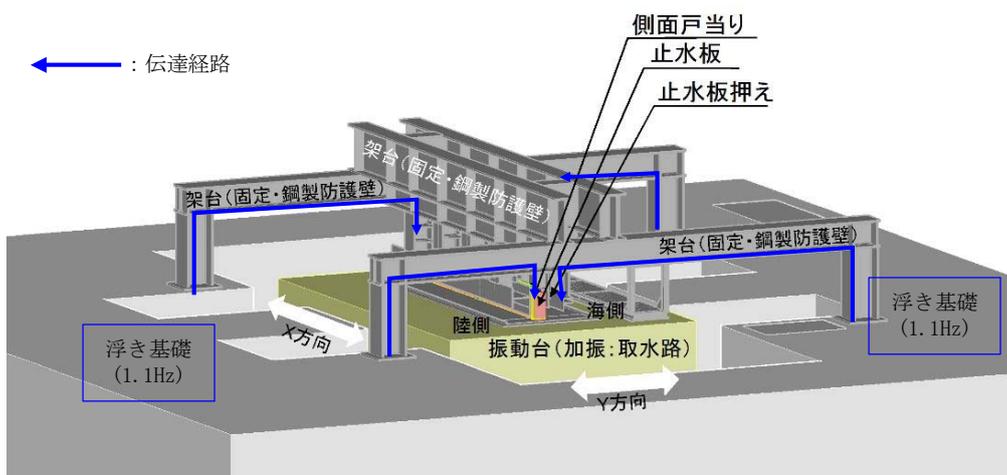


図2 実証試験時のY方向のフーリエスペクトル

(2) 浮き基礎による影響

実証試験時に用いた加振装置において浮き基礎の影響を確認した。その結果、浮き基礎の固有周期は 1.1Hz 程度であることを確認した。

浮き基礎からの振動（周波数）は、架台を経由し止水板の摺動時の振動（周波数）として伝達したと思われる。図 3 に浮き基礎からの振動（周波数）の伝達イメージと固有振動数を示す。



浮き基礎からの振動（周波数）の伝達イメージ

浮き基礎の固有振動数

浮き基礎の軸	1次固有振動数 (Hz)
X軸	1.16
Y軸	1.13
Z軸	1.16

浮き基礎の固有振動数は、「特性把握加振」（ランダム波による逆伝達関数を求める加振）の結果から 3 成分ともに 1.1Hz 程度であった。

図 3 浮き基礎からの振動（周波数）の伝達イメージと固有振動数

(3) 試験装置による影響

試験装置の影響を検討するにあたり想定される事象として考えられることは、取水路を模擬した振動台にアクチュエータによる入力波を入力した際に、アクチュエータからの振動が固定側の鋼製防護壁を模擬した架構を設置している浮き基礎に伝わり、架構側も揺れた影響によることが想定される。

その影響を確認するため、振動試験装置の固有周期について固有値解析を実施した。その結果、X : 5.58Hz, Y : 15.29Hz, Z : 12.94Hzであることが分かった。

その結果、3方向同時加振中にみられる長周期のうねりとは異なる短い周期であることから、試験装置による影響ではないと評価する。

表2に試験装置の固有振動数及び周期、表3に加振時における試験装置の架構下端(Y方向)の卓越振動数、図4に実証試験装置の解析モード図を示す。

表2 試験装置の固有振動数および周期

モード	止水板質量考慮		備考
	振動数(Hz)	周期 T(s)	
モード1	5.58	0.18	X方向
モード2	12.94	0.077	Z方向
モード3	15.29	0.065	Y方向

表3 加振時における試験装置架構下端(Y方向)の卓越振動数

架構(縦材下端)	卓越振動数(Hz)
海側	1.09, 1.21, 5.77
陸側	1.09, 1.21, 4.07, 5.77

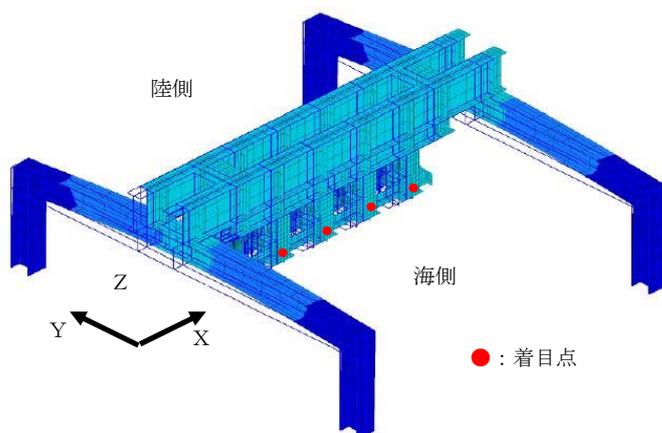


図4 実証試験装置の解析モード図

(4) 振動台による影響

3次元モーションキャプチャによる振動台の影響について評価を行った。

振動台の影響をみるためにY方向（3G）のみの加振時データの実証試験データを分析した。

その結果、振動台にピッチングによる影響が確認された。図5に振動台の特性と図6にモーションキャプチャの測定点を示す。図7にモーションキャプチャ設置位置による回転成分と鉛直成分の算出方法を示す。

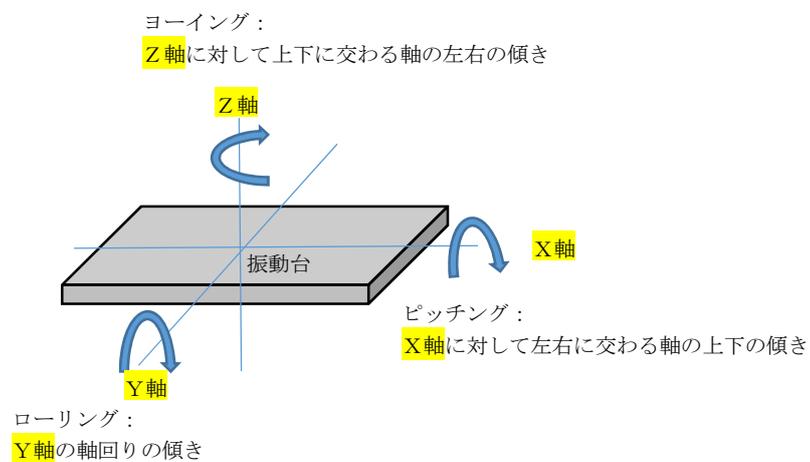


図5 振動台の傾きの特性

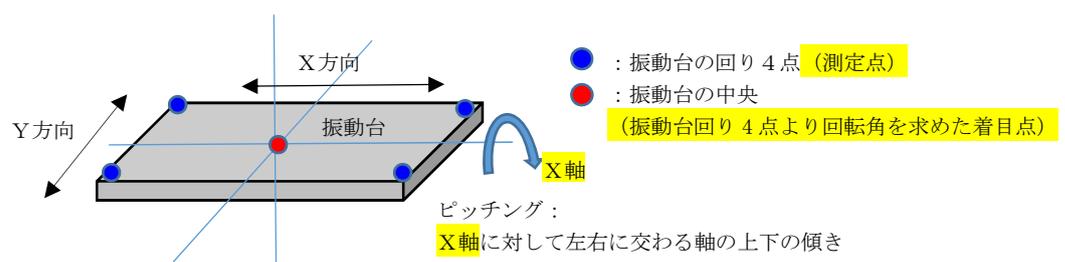


図6 モーションキャプチャの測定点

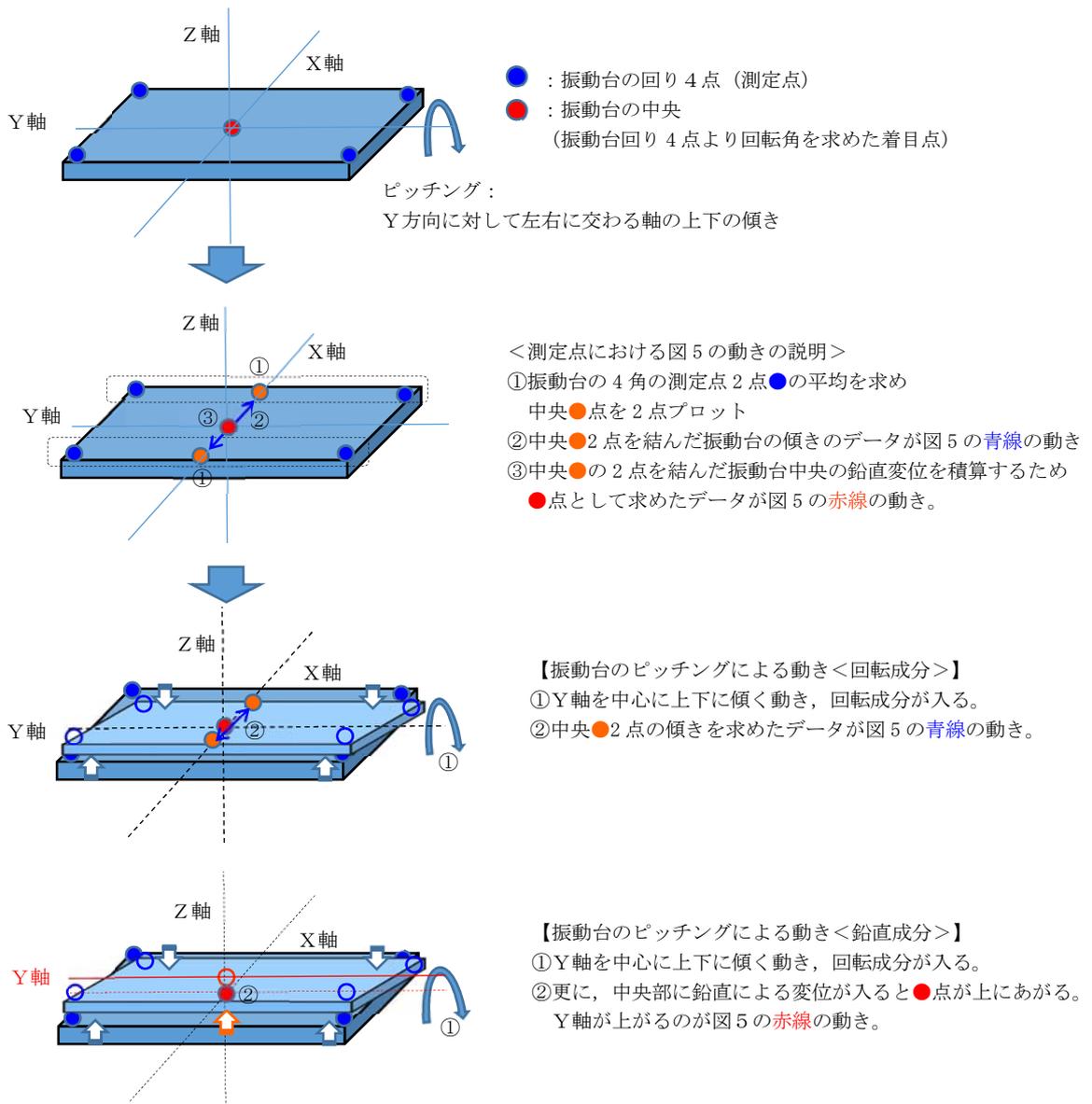


図 7 モーションキャプチャ設置位置による回転成分と鉛直成分の算出方法

振動台を 3 次元で振動させる場合、入力地震動に対し正確に振動させるため、定期点検時に加振を行い、計測したデータに対し振動台制御のソフトウェアに誤差を打ち消すデータを逆伝達関数として与え、制御する。

今回の振動試験は定期点検を実施した際に設定された逆伝達関数の設定が以下の状態であった。

- ・ 逆伝達関数を求める際に行う特性把握加振の加速度レベルが数百 cm/s^2 であり、変位量も数十 mm と小さく、止水機構の実証試験にて再現したい 3000cm/s^2 の波形に対して小さく、逆伝達関数の設定レベルが不足していた。

そのため回転成分があらわれ 0.2Hz 周辺でのうねりの原因と思われる。

振動台に設置したモーションキャプチャ測定値による振動台の回転変位と中央部の鉛直変位算出結果を図8に示す。

その結果、水平Y方向のみの単独加振時において振動台中心に回転変位（青線）及び鉛直変位（赤線）が生じていた。振動台の回転変位（青線）と鉛直変位（赤線）の周期について周波数分析を行い回転変位は0.20Hzで鉛直変位は0.21Hz, 1.09Hz, 5.77Hzであった。図9に振動台の回転変位と中央部鉛直変位のフーリエスペクトルを示す。

鉛直変位のうち0.21Hzは回転変位の影響と思われる振動台のピッチングによる影響があるものと思われる。周波数1.09Hz, 5.77Hzは、実証試験用入力地震動の卓越周波数に近い周波数であることを確認した。

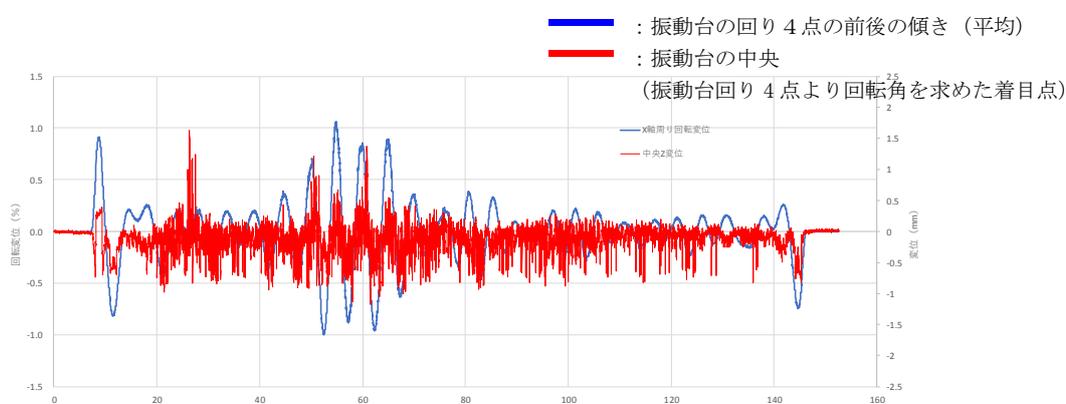


図8 振動台の回転変位と中央部の鉛直変位

振動台の回転変位と中央部の卓越振動数

種別	卓越振動数(Hz)
回転変位	0.20
中央部鉛直変位	0.21, 1.09, 5.77

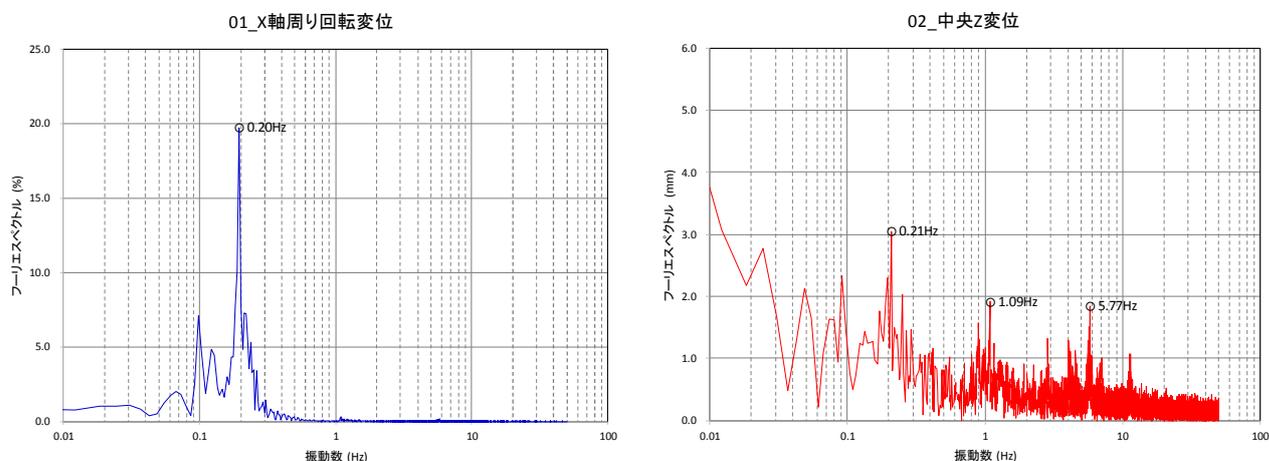


図9 振動台の回転変位と中央部の卓越周波数とフーリエスペクトル

(5) 止水板の挙動について

a. 止水板の固有値解析

止水板の固有値解析を実施した。止水板の固有値は 10.55Hz であった。

図 10 に止水板の固有周期解析モデル図を示す。

<解析条件>

○解析コード

MSC_MARC2014.2.0 (エムエスシーソフトウェア株式会社)

○解析内容

線型固有値解析 (止水ゴムを弾性体とした解析)

○モデルの説明

6 面ソリッド要素

<解析結果>

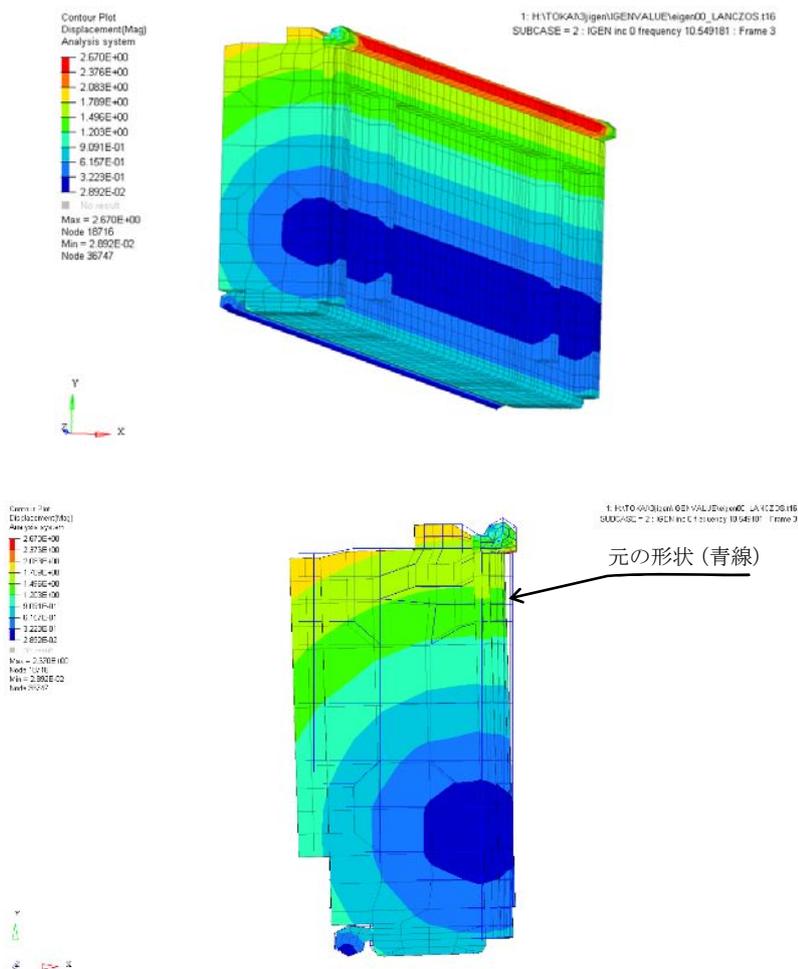


図 10 止水板の固有周期解析モデル図

b. 鉛直変位におけるピッチングの影響

(4)項にて振動台におけるピッチングによる影響を確認した。ここではピッチングによる影響と思われる長周期のピークが止水板の挙動に表れてないか確認する。そのため、止水板の鉛直変位のフーリエスペクトルを作成し周期を分析し、周期のピーク 0.2Hz, 1.1Hz, 5.7Hz を確認した。その結果、ピッチングによる影響である周波数 0.2Hz が確認できた。図 11 に止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトルを示す。

また、前項 a にて確認した止水板の固有値解析の結果 10.55Hz とは周波数が共振領域にはないことを確認した。

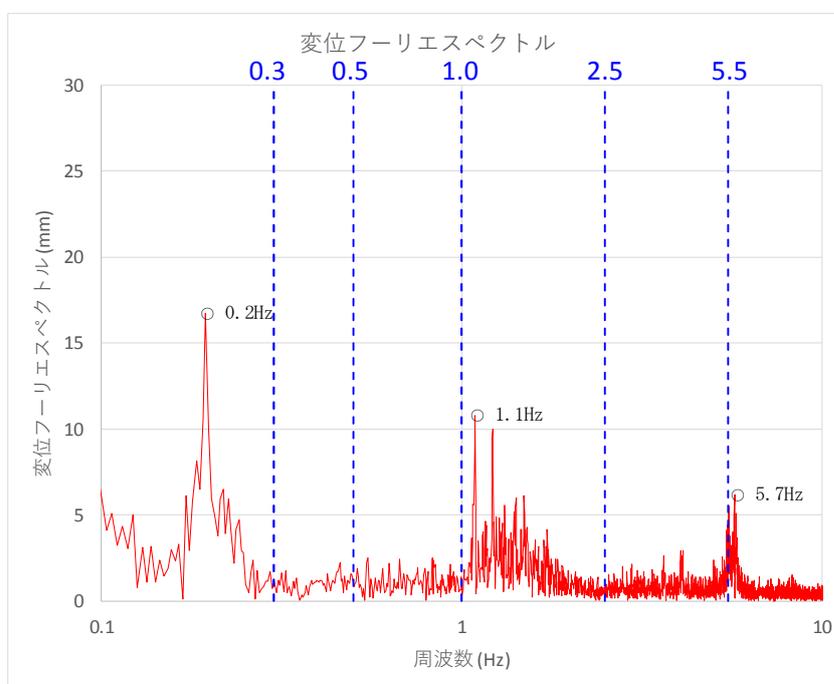


図 11 止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトル図

(6) 実証試験に生じるうねりの評価

各評価対象による周波数成分を評価した結果を表4に示す。

表4 各評価対象の周波数分析結果

	(1) 実証試験用 入力波	(2) 浮き基礎	(3) 試験装置	(4) 振動台	(5) 止水板
周波数 (Hz)	—	—	—	0.21 (ピッチング)	—
	1.09	1.1 (固有)	1.09	1.09	—
	1.22 (固有)	—	1.21	—	—
	5.77 (固有)	—	5.77	5.77	—
	—	—	—	—	10.55 (固有)

各評価対象の周波数が伝達し各対象設備に同様の周波数が検出されていることから、実証試験のうねりの原因は、実証試験装置や供試体（止水板等）の影響ではないことが分かった。

0.21Hzだけが振動台によるピッチングによる影響であることから、実証試験に生じているうねりは振動台によるものと推測される。

そのため、実証試験に生じている振動台のピッチング成分を除去するため、止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトルから、0.3Hz以下のフィルタリングにより影響を除去した止水板の挙動を確認する。図12に止水板の鉛直変位におけるフィルタリングの実施範囲を示す。

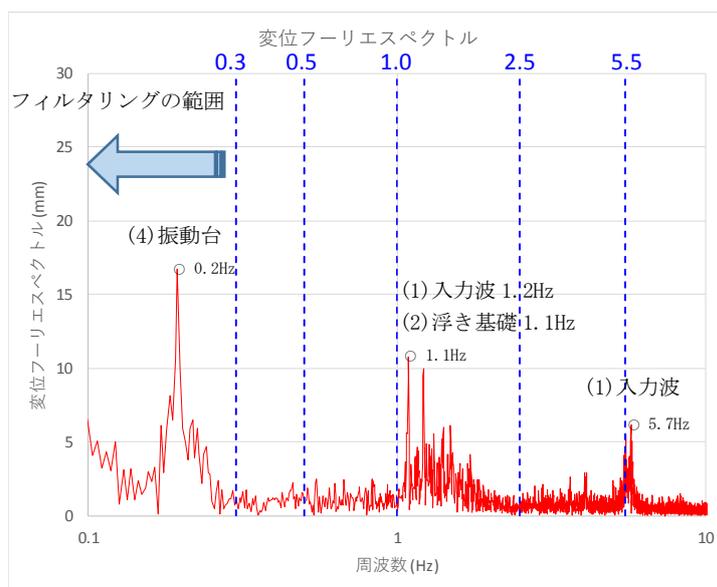
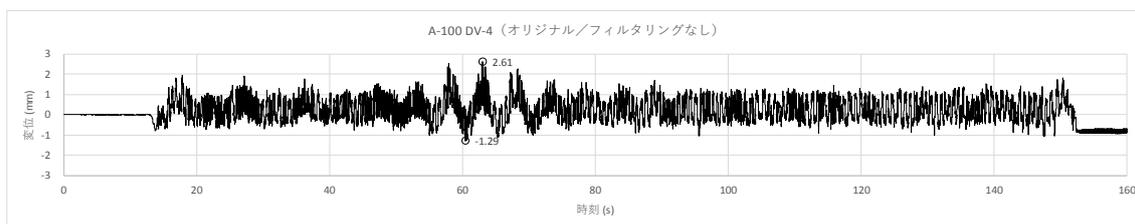


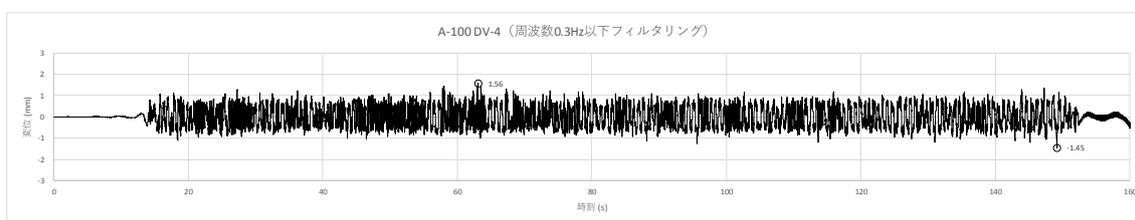
図12 止水板の鉛直変位におけるフィルタリング実施範囲

実証試験にて得られた鉛直変位の結果から振動台のピッチングにおける周波数を除去するため実証試験の鉛直変位のデータに対し、0.3Hz以下の周波数をフィルタリングした波形を以下に抽出した。

その結果、止水板の実証試験の鉛直変位の結果から、ピッチングを除去した止水板の鉛直変位データを把握することができ、ピッチングが実証試験におけるうねりの成分であることが明らかになった。図13に3方向同時加振時（Y方向）の鉛直変位時刻歴波形を示す。



実証試験時の鉛直変位（生データ）



実証試験時の鉛直変位（0.3Hz以下フィルタ）

図13 3方向同時加振時の鉛直変位時刻歴波形フィルタリング結果

今後は、止水板の挙動について三次元動的解析結果と実証試験データとの比較や検討時には、必要に応じてフィルタリング（0.3Hz以下）を通した止水板の挙動と比較することで検証を実施する。